

第一篇 绪论

本篇阐述生产运作管理的基本概念和基本问题，是全书的基础。生产活动是人类最基本的活动，世界上绝大多数人都在从事生产活动。有生产活动就有生产管理。人类最早的管理活动就是对生产活动的管理，本世纪初的科学管理运动也始于生产管理。生产活动是在生产系统中发生的。本书从系统的观点出发，将有关生产运作管理的内容组织起来，将全书分成生产运作系统的设计、生产运作系统的运行和生产运作系统的维护和改进三大部分。本篇将要阐述生产运作管理的基本概念，介绍生产运作战略和需求预测方面的知识。基本概念是讨论生产系统设计、运行、维护和改进的基础，生产运作战略是生产系统设计、运行、维护和改进的指导思想和谋划，需求预测则是进行生产系统设计、运行、维护和改进的前提。

第一章 基本概念

生产是大多数人都了解的概念。然而，随着服务业的兴起，生产的概念已经扩展，生产不再只是工厂里从事的活动了，而是一切社会组织将其最主要的资源投入进去的最基本的活动，没有生产活动，社会组织就不能存在。生产、营销和理财是一切社会组织最主要的三项基本职能。本章阐述生产及生产管理的基本概念，讨论生产运作的分类、各种生产运作类型及其特征，提出提高多品种、小批量生产效率的途径；介绍组织生产过程的基本原则和要求，以及物料的三种典型移动方式。

第一节 社会组织的基本职能

一、社会组织

世界上存在各种社会组织。公司、学校、商店、医院、车站、旅馆、消防队、饭馆、运输公司、银行、建筑公司等等，都是社会组织。社会组织是具有特定目标和功能的、社会化的生产要素的集合体。

各种社会组织的出现，是社会分工的结果，也是社会生产力发展的标志。它们的出现，改变了人们的生活方式。试想，如果没有现存的各种社会组织，我们的生活该是什么样的？人们居住的将不是高楼大厦，而是简陋的茅屋。穿的将不是高级的棉花、化纤和毛料制品，而是土布。出门旅行将不是乘火车、汽车、轮船和飞机，而是骑马、步行或乘木筏。通讯将不是通过电话、电报、传真、电子函件，而是靠骑马或步行传送，以至“家书值千金”。现在，尽管人们经常抱怨这些社会组织服务得不够好，但它们为人们所提供的各种产品和服务，远比人们自己为自己做的好得多。由于社会组织具有高的效率，使得人们才能在维持生计之余，有时间去从事科学研究、文艺创作、体育活动和休假。

一种社会组织通过它的输出为其它社会组织和居民服务。输出是社会组织对社会作出的贡献，也是它赖以生存的基础。社会组织的输出主要是产品和服务。社会组织若不提供输出，或者所提供的输出因品种、质量或其它问题不为人们所接受，就得不到社会的承

全国Mini-MBA职业经理双证班



精品课程 权威双证 全国招生 请速充电

你可能准备跳槽或者求职, 却为缺少行业经验和专业证书而被用人单位百般挑惕!

你可能目前衣食无忧, 但随着年龄的增长和社会竞争压力的增大, 因为得不到专业的全新培训而失去竞争的机会和面临被淘汰的危机。

美华教育携手中国经济管理大学面向全国举办迷你 MBA 职业经理双证书班, 毕业颁发双证书。

招生专业及其颁发证书

认证项目	颁发双证	学费
全国《职业经理》MBA 高等教育双证书班	高级职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《人力资源总监》MBA 双证书班	高级人力资源总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修证书	1280 元
全国《生产经理》MBA 高等教育双证班	高级生产管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《品质经理》MBA 高等教育双证班	高级品质管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《营销经理》MBA 高等教育双证班	高级营销经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《物流经理》MBA 高等教育双证班	高级物流管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《项目经理》MBA 高等教育双证班	高级项目管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《市场总监》MBA 高等教育双证书班	高级市场总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《酒店经理》MBA 高等教育双证班	高级酒店管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《企业培训师》MBA 高等教育双证班	企业培训师高级资格认证毕业证书+2 年制 MBA 高等教育研修证书	1280 元
全国《财务总监》MBA 高等教育双证班	高级财务总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《营销策划师》MBA 双证书班	高级营销策划师高级资格认证证书+2 年制 MBA 高等教育研修证书	1280 元
全国《企业总经理》MBA 高等教育双证班	全国企业总经理高级资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《行政总监》MBA 高等教育双证班	高级行政总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《采购经理》MBA 高等教育双证班	高级采购管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《医院管理》MBA 高等教育双证班	高级医院管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《企业管理咨询师》MBA 双证班	高级企业管理咨询师资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元



【授课方式】 全国招生、函授学习、权威双证

我校采用国际通用3结合的先进教育方式授课（远程函授+教学电子光盘自修+网络学院持续视频学习）



【颁发证书】 学员毕业后可以获取权威双证书与全套学员学籍档案

- 1、毕业后可以获取相应专业钢印《高级职业经理资格证书》;
- 2、毕业后可以获取2年制的《MBA研究生课程高等教育研修结业证书》;



【证书说明】

1. 证书加盖中国经济管理大学钢印和公章（学校官方网站电子注册查询、随证书带整套学籍档案）;
2. 毕业获取的证书与面授学员完全一致，无“函授”字样，与面授学员享有同等待遇，证书是学员求职、提干、晋级的有效证明；。



【学习期限】 3个月（允许有工作经验学员提前毕业，毕业获取证书后学校仍持续辅导2年）



【收费标准】 全部费用1280元（含教材光盘、认证辅导、注册证书、学籍注册等全部费用）

函授学习为你节省了大量的宝贵的学习时间以及昂贵的MBA导师的面授费用，是经理人首选的学习方式。



【招生对象】

- 1、对管理知识感兴趣，具有简单电脑操作能力（有2年以上相应工作经验者可以申请提前毕业）。
- 2、年龄在20—55岁之间的各界管理知识需求者均可报名学习。



【教程特点】

- 1、完全实战教材，注重企业实战管理方法与中国管理背景完美融合，关注学员实际执行能力的培养；
- 2、对学员采用1对1顾问式教学指导，确保学员顺利完成学业、胸有成竹的走向领导岗位；
- 3、互动学习（专家、顾问24小时接受在线咨询，第一时间回答学员的提问和咨询）



【考试说明】

1. 卷面考核：毕业试卷是一套完整的情景模拟试卷（与工作相关联的基础问卷）
2. 论文考核：毕业需要提交2000字的论文（学员不需要参加毕业论文答辩但论文中必修体现出5点独特的企业管理心得）
3. 综合心理测评等问卷。



【颁证单位】

中国经济管理大学经中华人民共和国香港特别行政区批准注册成立。目前中国经济管理大学课程涉及国际学位教育、国际职业教育等。学院教学方式灵活多样，注重人才的实际技能的培养，向学员传授先进的管理思想和实际工作技能，学院会永远遵循“科技兴国、严谨办学”的原则不断的向社会提供优秀的管理人才。



【承办单位】

美华管理人才学校是中国最早由教委批准成立的“工商管理MBA实战教育机构”之一，由资深MBA教育专家、教育协会常务理事徐传有教授担任学校理事长。迄今为止，已为社会培养各类“能力型”管理人才近10万余人，并为多家企业提供了整合策划和企业内训，连续13年被教委评选为《优秀成人教育学校》《甲级先进办学单位》。办学多年来，美华人独特的教学方法，先进的教学理念赢得了社会各界的高度赞誉和认可。



【咨询电话】13684609885 0451--88342620

【咨询教师】王海涛 郑毅

【学校网站】<http://www.mhjy.net>

【咨询邮箱】xchy007@163.com



【报名须知】

- 1、报名登记表格下载后详细填写并发送邮件至 xchy007@163.com (入学时不需要提交相片，毕业提交试卷同时邮寄4张2寸相片和一张身份证复印件即可)
- 2、交费后请及时电话通知招生办确认，以便于收费当日学校为你办理教材邮寄等入学手续。



【证书样本】(全国招生 函授学习 权威双证 请速充电)

(高级职业经理资格证书样本)

(两年制研究生课程高等教育结业证书样本)



【学费缴纳方式】可以选择以下任意一种方式缴纳学费

方式一	学校地址	邮寄地址：哈尔滨市道外区南马路 120 号职工大学 109 室 邮政编码：150020 收件人：王海涛
方式二	学校帐号	学校帐号：184080723702015 账号户名：哈尔滨市道外区美华管理人才学校 开户银行：哈尔滨银行龙江支行 支付系统行号：313261018018
方式三	交通银行 (太平洋卡)	帐号：40551220360141505 户名：王海涛 开户行：交通银行哈尔滨分行信用卡中心
方式四	邮政储蓄 (存折)	帐号：602610301201201234 户名：王海涛 开户行：哈尔滨道外储蓄中心
方式五	中国工商银行 (存折)	帐号：3500016701101298023 户名：王海涛 开户行：哈尔滨市道外区靖宇支行
方式六	建设银行帐户 (存折)	中国人民建设银行帐户(存折)： 1141449980130106399 用户名：王海涛
方式七	农业银行帐户 (卡号)	农业银行帐户(卡号)： 6228480170232416918 用户名：王海涛 农行卡开户银行：中国农业银行黑龙江分行营业部道外支行景阳支行

可以选择任意一种方式缴纳学费，建议使用第五种方式(中国工商银行，比较方便快捷)收到学费的当天，学校就会用邮政特快的方式为你邮寄教材和考试问卷。

<http://www.mhgy.net>

认。这样的社会组织就不能生存下去，就会在竞争中被淘汰。生存的根本条件是使顾客满意。

要提供输出，则必须有输入。输入的是原材料、能源和信息。社会组织的生产经营活动以其内部的资源条件为基础，并受到各种外部环境的约束。内部资源条件包括人、财、物和技术等方面。外部约束来自经济、政治、社会、法律和市场等方面。社会组织就是在这样的条件下运行的，如图1-1所示。

二、基本职能

社会组织的基本职能有3项：生产、理财和营销。生产是一切社会组织最基本的活动。社会组织中的大部分人力、物力和财力都投入到生产活动之中，以制造社会所需要的产品和提供顾客所需要的服务。因此，把生产活动组织好，对提高社会组织的经济效益至关重要。理财就是为社会组织筹措资金并合理地运用资金。从资金运动的观点看，企业和公司可以被看作是资金汇集的场所，不断有资金进入，也不断有资金流出。只要进入的资金多于流出的资金，公司的财富就不断增加。营销就是要发现与发掘顾客的需求，让顾客了解公司的产品和服务，并将这些产品和服务送到顾客手中。

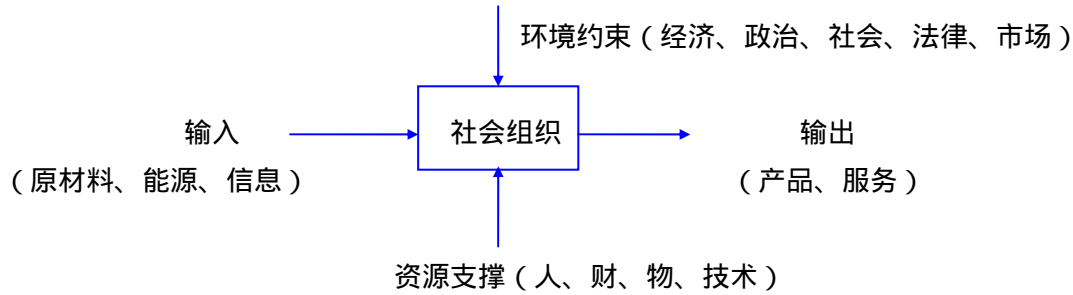


图1-1 社会组织及其外部约束

三项基本职能是一切社会组织都有的。离开这三项基本职能，任何社会组织都不可能存在。但社会组织并不只有这三项职能。采购与供应也是一项很重要的职能。在集中的计划经济体制下，供应比营销更重要。但是，随着社会主义市场经济体制的逐步建立，卖方市场逐渐为买方市场所取代，供应职能将远远不如营销职能重要。人事管理也是一项十分重要的职能，它也具有普遍性，但它与生产经营活动的关系不如这三项基本职能直接。

三项基本职能是相互依存的。其中，发现需求是进行生产经营活动的前提，有了资金和生产某种产品和提供某种服务的能力，如果该产品或服务没有市场，那将是毫无意义的；有了资金和市场，但却制造不出产品或提供不了服务，也只能眼睁睁地看着市场被别人占领；有了市场和生产能力，但没有资金购买原材料、支付工资，显然也是不行的。三项基本职能连同组织的其它职能，都是组织不可少的，且每项职能都依赖于其它职能。因此，当我们研究生产运作管理时，不要忘记生产职能与其它职能之间的关系。传统的生产管理将生产职能与其它职能分离开来讨论，不能满足市场经济的客观要求，也不利于企业生产经营活动的整体优化。

三、服务业的兴起

经济学家将经济的发展分成前工业 (Preindustrial) 社会、工业化 (Industrial) 社会和后工业 (Postindustrial) 社会三个阶段。

在前工业社会，人们主要从事农业和采掘业，包括种植庄稼和树木、捕鱼、狩猎，采掘煤炭、岩盐，利用天然气、淘金等等。农业和采掘业的实质是从自然界直接提取所需的物品。在前工业社会，人们利用体力、兽力和简单的工具，以家庭为基本单位进行生产。劳动生产率低下，受自然条件的影响大。生活节奏与自然界同步，主要活动是同自然界打交道。

在工业社会，人们主要从事制造业。制造业的实质是通过物理的或（和）化学的方法，改变自然界的物质，产生人们需要的人造物品--产品。分工是工业社会组织生产活动的基本原则。通过分工，提高了人们操作的熟练程度，节约了不同工作之间的转换时间，并促进了机器的发明。人们利用机器和动力，以工厂为单位进行生产，使劳动生产率大幅度提高。在工业社会，人们的生活节奏加快，生活质量以拥有的产品数量来衡量，主要活动是同经过加工的物品打交道。

在后工业社会，人们主要从事服务业，其实质是提供各种各样的服务。人类利用智慧和创造力，以信息技术为依托，通过不同的社会组织，为顾客提供服务。信息成为关键资源。生活质量由保健、教育和消遣来衡量，主要活动是人们之间的交往。

服务业并不限于餐饮、旅店一类服务行业，它一般包括五个方面的活动：

业务服务：如咨询、财务金融、银行、房地产等；

贸易服务：零售、维修等；

基础设施服务：交通运输、通讯等；

社会服务：餐馆、旅店、保健等；

公共服务：教育、公用事业、政府等。

可见，服务业的范围十分广泛。服务业的重要性日益被人们所认识，它已经成为现代社会不可分离的有机组成部分。如果没有服务业，就不会有现代社会。没有交通和通讯这样的基础设施，工农业生产就不可能进行；没有政府提供的服务，各种社会组织就不能正常运行；没有各种生活服务，人们就不能正常生活。这些都是人们常识了解的。

服务业的兴起是社会生产力发展的必然结果，也是社会生产力发展水平的一个重要标志。在社会生产力水平比较低下的时期，社会绝大部分成员从事农业生产，自己养活自己。当农业生产力发展到一定水平，一个农业人口除了养活自己之外，还能提供剩余农产品时，才可能有一部分人脱离农业生产，去从事手工业和其它行业。由手工业到机器大工业，劳动生产率得到了极大的提高。工业的发展，尤其是制造业的发展，为农业提供先进的装备，反过来又促进了农业劳动生产率的进一步提高。工农业劳动生产率的提高，使剩余劳动力转移到服务业，从而促进了服务业的发展。服务业的发展反过来又促进了工农业生产的发展。

从人口就业分布的变化也可以看到服务业的兴起。以美国为例，本世纪初，美国从事服务业的人数不到全部就业人数的40%；1950年，这个比例达到55%；现在达到80%。相反，

从事农业和采掘业的就业人数，从本世纪初的40%下降到1950年的12%，现在不到5%。美国国民收入的70%是服务业创造的。现代社会出现的人口老龄化，将促进闲暇服务业和保健业的发展。双职工家庭和单亲家庭的增多，将促进餐饮业的发展。未来学家Elsa C.Arnett曾预言，到2001年美国从事服务业的人口比例将达到88%。我国自改革开放以来，不仅工农业生产得到了很大发展，服务业也日益引起人们的重视。尤其是运输业和通讯业，面貌已大大改观。

四、生产概念的扩展

按照马克思主义的观点，生产是以一定生产关系联系起来的人们利用劳动资料，改变劳动对象，以适合人们需要的过程。这里所说的生产，主要是指物质资料的生产。通过物质资料生产，使一定的原材料转化为特定的有形产品。

服务业的兴起，使生产的概念得到延伸和扩展。过去，西方学者把与工厂联系在一起的有形产品的制造称作“Production”，而把提供劳务的活动称作“Operations”。现在，他们有时将两者均称为“Operations”。西方学者将有形产品和劳务都称作“财富”，把生产定义为创造财富的过程，从而把生产的概念扩大到非制造领域。这是有道理的。虽然，搬运工人和邮递员转送的都不是他们自己制造的东西，但他们付出了劳动，我们不能说他们从事的不是生产活动。毛泽东说过，阶级斗争、生产斗争和科学实验是三项伟大革命运动。显然，将提供劳务的活动归于阶级斗争或科学实验都是不合适的，只有将它归于生产。为了区分“Production”和“Operations”，我们将它们分别译作“生产”和“运作”。在一般情况下，为了符合汉语的习惯，将两者都称作生产或生产运作。

从一般意义上讲，我们可以给生产下这样一个定义：生产是一切社会组织将对它的输入转化为输出的过程。

为了解释这个定义，表1-1列出了几种典型的社会组织的输入、转化和输出的内容。

表1-1 典型社会组织的输入、转化和输出

社会组织	主要输入	转化的内容	主要输出
工厂	原材料	加工制造	产品
运输公司	产地的物资	位移	销地的物资
修理站	损坏的机器	修理	修复的机器
医院	病人	诊断与治疗	恢复健康的人
大学	高中毕业生	教学	高级专门人才
咨询站	情况、问题	咨询	建议、办法、方案

社会组织要提供输出，则必须有输入。俗话说：“巧妇难为无米之炊”。输入是由输出决定的，生产什么样的产品和提供什么样的服务，决定了需要什么样的原材料和其它投入。输入不同于输出，这就需要转化。转化是通过人的劳动实现的，转化的过程就是生产。

转化是在生产运作系统中实现的。生产运作系统是由人和机器构成的、能将一定输入

转化为特定输出的有机整体。生产运作系统本身是一个人造的系统，它也是由输出决定的。输出的“质”不同，则生产系统不同。显而易见，钢铁厂的生产系统不同于机床厂的生产系统，餐馆的运作系统不同于银行的运作系统。不仅如此，生产运作系统还取决于输出的“量”。同是生产汽车，大量大批生产和小批量生产所采用的设备以及设备布置的形式是不相同的；同是提供食物，快餐店和大饭馆的运作组织方式也是不同的。

输入、转化和输出与社会组织的三项基本活动 供应、生产运作和销售相对应。

五、生产运作管理

生产运作管理是对生产运作系统的设计、运行与维护过程的管理，它包括对生产运作活动进行计划、组织与控制。

（一） 生产运作管理的内容

生产运作系统的设计包括产品或服务的选择和设计、生产运作设施的定点选择、生产运作设施布置、服务交付系统设计和工作设计。生产运作系统的设计一般在设施建造阶段进行。但是，在生产运作系统的生命周期内，不可避免地要对生产运作系统进行更新，包括扩建新设施，增加新设备；或者由于产品和服务的变化，需要对生产运作设施进行调整和重新布置。在这种情况下，都会遇到生产运作系统设计问题。

生产运作系统的设计对其运行有先天性的影响。如果产品和服务选择不当，将导致方向性错误，一切人力、物力和财力都将付之东流。厂址和服务设施的位置选择不当，将铸成大错。在何处建造生产运作设施对生产经营活动的效果有很大影响，尤其是对服务业。同时，位置和设施的布置往往决定了产品和服务的成本，决定了产品和服务在价格上的竞争力，甚至决定了一个组织的兴衰。

生产运作系统的运行，主要是讲在现行的生产运作系统中，如何适应市场的变化，按用户的需求，生产合格产品和提供满意服务。生产运作系统的运行主要涉及生产计划、组织与控制三个方面。

计划方面解决生产什么、生产多少和何时出产的问题，包括预测对本企业产品和服务的需求，确定产品和服务的品种与产量，设置产品交货期和服务提供方式，编制生产运作计划，作好人员班次安排，统计生产进展情况等。

组织方面解决如何合理组织生产要素，使有限的资源得到充分而合理的利用的问题。生产要素包括劳动者(工人、技术人员、管理人员和服务人员)、劳动资料(设施、机器、装备、工具、能源)、劳动对象(原材料、毛坯、在制品、零部件和产品)和信息(技术资料、图纸、技术文件、市场信息、计划、统计资料、工作指令)等。劳动者、劳动资料、劳动对象和信息的不同组合与配置，构成了不同的组织生产的方式，或简称生产方式。例如，福特生产方式，丰田生产方式。一种生产方式不是一种具体方法的运用，而是在一种基本思想指导下的一整套方法、规则构成的体系，它涉及到企业的每个部门和每一项活动。

控制方面解决如何保证按计划完成任务的问题，主要包括接受订货控制、投料控制、生产进度控制、库存控制和成本控制等。对订货生产型企业，接受订货控制是很重要的。接不接，接什么，接多少，是一项重要决策，它决定了企业生产经营活动的效果。投料控

制主要是决定投什么，投多少，何时投，它关系到产品的出产期和在制品数量。生产进度控制的目的是保证零件按期完工，产品按期装配和出产。库存控制包括对原材料库存、在制品库存和成品库存的控制。如何以最低的库存保证供应，是库存控制的主要目标。

（二）生产运作管理的目标

生产运作管理所追逐的目标可以用一句话来概括：高效、低耗、灵活、准时地生产合格产品和(或)提供满意服务。

高效是对时间而言，指能够迅速地满足用户的需要。在当前激烈的市场竞争条件下，谁的订货提前期短，谁就能争取用户。低耗是指生产同样数量和质量的产品，人力、物力和财力的消耗最少。低耗才能低成本，低成本才有低价格，低价格才能争取用户。灵活是指能很快地适应市场的变化，生产不同的品种和开发新品种或提供不同的服务和开发新的服务。准时是在用户需要的时间，按用户需要的数量，提供所需的产品和服务。合格产品和(或)满意服务，是指质量。当前，激烈的市场竞争对企业的要求包括4方面：时间

(Time, T)、质量 (Quality, Q)、成本 (Cost, C) 和服务 (Service, S)。T指满足顾客对产品和服务在时间方面的要求，即交货期要短而准；Q指满足顾客对产品和服务在质量方面的要求；C指满足顾客对产品和服务在价格和使用成本方面的要求，即不仅产品形成过程中的成本要低，而且在用户使用过程中的成本也低；S为提供产品之外为满足顾客需求而提供的相关服务，如产品售前服务及售后服务等。

（三）生产运作管理人员所需技能

自从本世纪初，美国推行泰罗的科学管理以来，美国制造业的劳动生产率一直高于欧洲各工业发达国家。美国在制造业的领先地位促进了农业劳动生产率的提高和服务业的发展，也使得美国很多企业逐渐把生产管理放到次要地位，使从事生产管理的人员成了“灰姑娘”。日本经济的振兴，主要靠的是制造业的高效率、低成本与高质量。面对日本企业咄咄逼人的挑战，美国一些企业又重新把注意力放到生产上，提出了各种夺回制造业优势的对策。美国国防部根据国会的要求，委托里海(Lehigh)大学亚科卡(Iacocca)研究所对美国制造技术规划进行研究，亚科卡研究所提出了“21世纪制造企业战略”报告。该报告对汽车工业、化学工业、半导体工业和电子产品工业进行了分析，提出要在2006年以前通过采用敏捷制造，夺回美国制造业在世界上的领先地位。服务业的竞争也同样激烈。

要搞好生产运作管理，必须有一支高水平的生产运作管理人员。生产运作管理人员运用了企业的绝大部分资金(固定资产 - 设施、设备等，流动资金 - 原材料、在制品、成品)来组织生产运作，他们活动的效果决定了企业效益的好坏。因此，生产运作管理人员在企业中的作用是十分重要的。

生产运作管理人员与其它管理人员一样，也是通过他人来完成工作任务。因此，他们必须具备两方面的技能。

1. 技术技能 技术技能包括两方面：专业技术与管理技术。生产运作管理人员面临的是转化物料或提供各种特定服务这样的活动，他们必须了解这个过程。因此，必须具备有关的专业技术知识，特别是工艺知识。不懂专业技术的人是无法从事生产运作管理的。但单有专业技术知识对生产运作管理人员是不够的，他们还需懂生产运作过程的组织，懂计划与控制，懂现代生产运作管理技术。这些正是本书要讲的内容。

2. 行为技能 生产运作管理者要组织工人和技术人员进行生产活动，他们必须具备处理人际关系的能力，要善于与他人共事，调动他人的工作积极性，协调众人的活动。

因此，对生产运作管理人员的要求是很高的。要获得这些技能，当一名有效的生产运作管理者，一靠培训，二靠实践。生产运作管理人员是企业的宝贵财富，企业主管应当充分发挥他们的作用。

第二节 生产运作的分类

可以从不同角度对生产运作进行分类。如果从管理的角度，可以将生产运作分成两大类：制造性生产和服务性运作。

一、制造性生产

制造性生产是通过物理和(或)化学作用将有形输入转化为有形输出的过程。例如，通过锯、切削加工、装配、焊接、弯曲、裂解、合成等物理或化学过程，将有形原材料转化为有形产品的过程，属于制造性生产。通过制造性生产能够产生自然界原来没有的物品。

(一) 连续性生产与离散性生产

按工艺过程的特点，可以把制造性生产分成两种：连续性生产与离散性生产。连续性生产是指物料均匀、连续地按一定工艺顺序运动，在运动中不断改变形态和性能，最后形成产品的生产。连续性生产又称作流程式生产，如化工(塑料、药品、肥皂、肥料等)、炼油、冶金、食品、造纸等。

离散性生产是指物料离散地按一定工艺顺序运动，在运动中不断改变形态和性能，最后形成产品的生产。如轧钢和汽车制造。轧钢是由一种原材料(钢锭)轧制成多个产品(板材、型材、管材)；汽车制造是由多种零件组装成一种产品。像汽车制造这样的离散性生产又称作加工装配式生产。机床、汽车、柴油机、锅炉、船舶、家具、电子设备、计算机、服装等产品的制造，都属于加工装配式生产。在加工装配式生产过程中，产品是由离散的零部件装配而成的。这种特点使得构成产品的零部件可以在不同地区，甚至不同国家制造。加工装配式生产的组织十分复杂，是生产管理研究的重点。

流程式生产与加工装配式生产在产品市场特征、生产设备、原材料等方面有着不同的特点，如表1-2所示。

表1-2 流程式生产与加工装配式生产的比较

特征	流程式生产	加工装配式生产
用户数量	较少	较多
产品品种数	较少	较多
产品差别	有较多标准产品	有较多用户要求的产品
营销特点	依靠产品的价格与可获性	依靠产品的特点
资本/劳力/材料密集	资本密集	劳力、材料密集

自动化程度	较高	较低
设备布置的性质	流水式生产	批量或流水生产
设备布置的柔性	较低	较高
生产能力	可明确规定	模糊的
扩充能力的周期	较长	较短
对设备可靠性要求	高	较低
维修的性质	停产检修	多数为局部修理
原材料品种数	较少	较多
能源消耗	较高	较低
在制品库存	较低	较高
副产品	较多	较少

由于流程式生产与加工装配式生产的特点不同，导致生产管理的特点也不同。对流程式生产来说，生产设施地理位置集中，生产过程自动化程度高，只要设备体系运行正常，工艺参数得到控制，就能正常生产合格产品，生产过程中的协作与协调任务也少。但由于高温、高压、易燃、易爆的特点，对生产系统可靠性和安全性的要求很高。相反，加工装配式生产的生产设施地理位置分散，零件加工和产品装配可以在不同地区甚至在不同国家进行。由于零件种类繁多，加工工艺多样化，又涉及多种多样的加工单位、工人和设备，导致生产过程中协作关系十分复杂，计划、组织、协调任务相当繁重，生产管理大大复杂化。因此，生产管理研究的重点一直放在加工装配式生产上。在讨论制造业生产方面，本书也将以加工装配式生产为主要内容。

（二）备货型生产与订货型生产

按照企业组织生产的特点，可以把制造性生产分成备货型生产(Make-to-Stock, MTS)与订货型生产(Make-to-Order, MTO)两种。流程式生产一般为备货型生产，加工装配式生产既有备货型又有订货型。

备货型生产是指在没有接到用户订单时，按已有的标准产品或产品系列进行的生产。生产的直接目的是补充成品库存，通过维持一定量成品库存来满足用户的需要。例如，轴承、紧固件、小型电动机等产品的生产，属于备货型生产。

订货型生产是指按用户订单进行的生产。用户可能对产品提出各种各样的要求，经过协商和谈判，以协议或合同的形式确认对产品性能、质量、数量和交货期的要求，然后组织设计和制造。例如，锅炉、船舶等产品的生产，属于订货型生产。

为了缩短交货期，还有一种“按订单装配”式生产(Assemble-to-Order, ATO)，即零部件是事先制作的，在接到订单之后，将有关的零部件装配成顾客所需的产品。很多电子产品的生产属于按订单装配式生产。服务业也有很多按订单装配式生产的例子，例如，餐馆按顾客的点菜来炒菜，每种菜的原料是事先准备好的。按订单装配式生产必须以零部件通用化、标准化为前提。

以往，对生产计划与控制方法的研究大都以备货型生产为对象。人们认为，对备货型生产所得出的计划与控制方法，也适用于订货型生产。其实不然。例如，用线性规划方法优化产品组合，适用于备货型生产，但一般不能用于订货型生产。原因很简单：用户不一

定按工厂事先优化的结果来订货。表1-3列出了订货型生产与备货型生产的主要区别。

表1-3 MT0与MTS的主要区别

项目	备货型生产 (MTS)	订货型生产 (MT0)
产品	标准产品	按用户要求生产，无标准产品，大量的变型产品与新产品
对产品的需求	可以预测	难以预测
价格	事先确定	订货时确定
交货期	不重要，由成品库随时供货	很重要，订货时决定
设备	多采用专用高效设备	多采用通用设备
人员	专业化人员	需多种操作技能

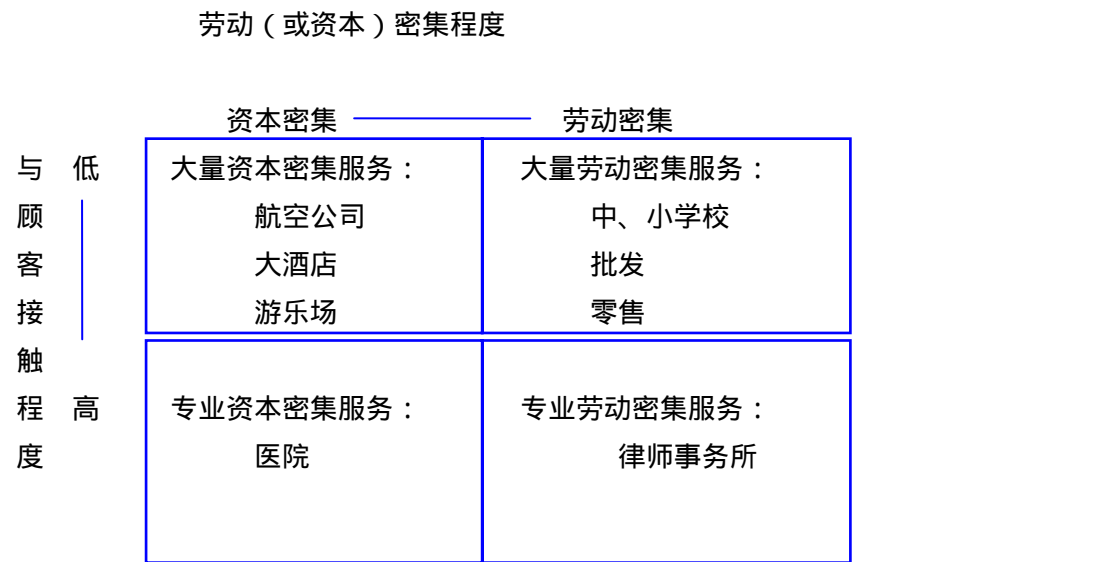
值得一提的是，订货型生产与订合同是有区别的。无论是MT0还是MTS，订货方与供货方都要签定合同，但签定合同后如果直接从成品库存供货，这并不是MT0，而是MTS。

二、 服务性生产

服务性生产又称作非制造性 (Nonmanufacturing)生产，它的基本特征是提供劳务，而不制造有形产品。但是，不制造有形产品不等于不提供有形产品。

(一) 服务生产的分类

- 1. 按照是否提供有形产品可将服务性生产分成纯劳务生产和一般劳务生产两种。纯劳务生产不提供任何有形产品。如咨询、法庭辩护、指导和讲课。一般劳务生产则提供有形产品，如批发、零售、邮政、运输、图书馆书刊借阅。
- 2. 按顾客是否参与也可将服务运作分成两种：顾客参与的服务生产和顾客不参与的服务生产。前者如理发、保健、旅游、客运、学校、娱乐中心等，没有顾客的参与，服务不可能进行；后者如修理、洗衣、邮政、货运等。顾客参与的服务运作管理较为复杂。
- 3. 按劳动密集程度和与顾客接触程度可将服务运作分成4种：大量资本密集服务、专业资本密集服务、大量劳务密集服务和专业劳务密集服务。如图1-2 所示。



车辆修理

专利事务所

会计事务所

图1-2 按劳动密集程度和与顾客接触程度对服务业分工

（二）服务运作的特征

服务业以提供劳务为特征，但服务业也从事一些制造性生产，只不过制造性生产处于从属地位，例如饭馆，它需要制作各种菜肴。

由于服务业的兴起，提高服务运作的效率日益引起人们的重视。然而，服务性生产的管理与制造性生产的管理有很大不同，不能把制造性生产的管理的方法简单地搬到服务业中。与制造性生产相比，服务性生产有以下几个特点：

服务性生产的生产率难以测定。一个工厂可以计算它所生产的产品的数量，一个律师的辩护则难以计量。

服务性生产的质量标准难以建立。

与顾客接触是服务性生产的一个重要内容，但这种接触往往导致效率降低。

纯服务性生产不能通过库存来调节。理发师不能在顾客少时存储几个理过发的脑袋，以便顾客多时提供极快的服务。

因此，需要专门对服务性生产的管理进行研究。

第三节 生产运作的类型

产品和服务千差万别，产量大小相差悬殊，工艺过程又十分复杂，如何按照其基本特征，将其分类，以把握各种生产运作类型的特点和规律，是进行生产管理的基本前提。

一、生产类型的划分

可以根据产品或服务的专业化程度和工作地的专业化程度来划分生产类型。

1) 按产品或服务的专业化程度划分生产类型

产品或服务的专业化程度可以通过产品或服务的品种数多少，同一品种的产量大小和生产的重复程度来衡量。显然，产品或服务的品种数越多，每一品种的产量越少，生产的重复性越低，则产品或服务的专业化程度就越低；反之，产品或服务的专业化程度越高。按产品或服务专业化程度的高低，可以划分为大量生产、成批生产和单件生产三种生产类型。

(1) 大量生产 大量生产品种单一，产量大，生产重复程度高。美国福特汽车公司曾长达19年始终坚持生产T型车一个车种，是大量生产的典型例子。

(2) 单件生产 单件生产与大量生产相对立，是另一个极端。单件生产品种繁多，每种仅生产一台，生产的重复程度低。我国某汽车公司冲模厂制造汽车冲模是典型的单件生产。

(3) 成批生产 成批生产介于大量生产与单件生产之间，即品种不单一，每种都有一

定的批量，生产有一定的重复性。在当今世界上，单纯的大量生产和单纯的单件生产都比较少，一般都是成批生产。由于成批生产的范围很广，通常将它划分成“大批生产”、“中批生产”和“小批生产”三种。如图1-3所示。

由于大批生产与大量生产的特点相近，所以，习惯上合称“大量大批生产”。同样，小批生产的特点与单件生产相近，习惯上合称“单件小批生产”。有的企业，生产的产品品种繁多，批量大小的差别也很大，习惯上，称之为“多品种中小批量生产”。“大量大批生产”、“单件小批生产”和“多品种中小批量生产”的说法比较符合企业的实际情况。

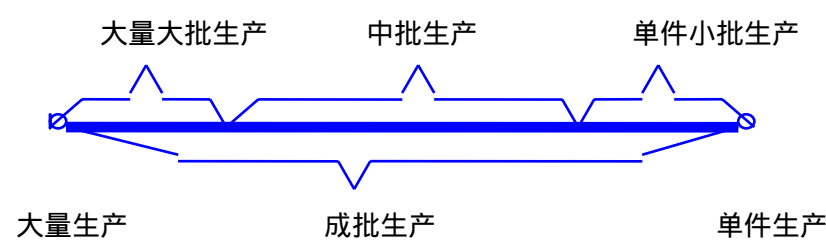


图1-3 生产类型的划分

对于服务性生产，也可以划分与制造性生产类似的生产类型。医生看病，可以看作是单件小批生产，因为每个病人的病情不同，处治方法也不同；而学生体检，每个学生的体检内容都一致，可以看作是大量大批生产。中、小学教育，可以看作是大量大批生产，因课程、课本相同，教学大纲也相同。大学本科生的教育可看作中批生产，因专业不同课程设置不同，但每个专业都有一定批量。硕士研究生只能是小批生产，而博士研究生则是单件生产。

制造业和服务业不同生产类型划分举例，如表1-4所示。

表1-4 制造业和服务业的不同生产类型举例

生产类型	制造性产品	服务
单件小批生产	模具，电站锅炉，大型船舶，长江大桥 三峡工程	研究项目，计算机软件，博士生，咨询报告，包机服务，保健，理发，特快专递邮件，出租车服务，零售
大量大批生产	汽车，轴承，紧固件，电视机，洗衣机 电冰箱，灯泡	公共交通，快餐服务，普通邮件，批发，体检
流程式生产	化工，炼油，面粉，造纸	

2) 按工作地专业化程度划分生产类型

工作地是工人运用机器设备和工具对物料进行加工制作或为顾客服务的场所。工作地专业化程度是指工人从事同样的操作的重复程度，它可以通过工作地所执行的工序数(m)或工序大量系数(K_B)来表示。 K_B 是 m 的倒数， $K_B = 1/m$ 。划分工作地生产类型可参照表1-4确定。

表1-4 划分工作地生产类型的 m 及 K_B 参考数据

工作地生产类型	m	K_B
大量生产	1 ~ 2	0.5 以上
大批生产	2 ~ 10	0.1 ~ 0.5
中批生产	10 ~ 20	0.05 ~ 0.1
小批生产	20 ~ 40	0.025 ~ 0.05
单件生产	40 以上	0.025 以下

当所有工作地的生产类型确定之后，可按“比重最大”的原则和“自下而上”的方法确定工段、车间以及工厂的生产类型。即根据比重最大的工作地生产类型，决定工段的生产类型；再根据比重最大的工段生产类型，决定车间的生产类型。依此类推。

按产品或服务专业化程度划分生产类型与按工作地专业化程度划分生产类型，其结果应该基本一致。当产品品种数少，产量大，生产重复程度高时，工作地的分工应当精细，工作地所执行的工序数(m)必然少，某种零件(顾客)占工作地的有效工作时间的份额(K_B)必然大；反之，则工作地执行的工序数必然多，各种零件(顾客)占工作地的有效工作时间的份额必然都不大。因此，一般可按产品或服务的专业化程度来划分生产类型。

但是，按产品或服务专业化程度划分生产类型与按工作地专业化程度划分生产类型也不完全一致，它还与组织生产过程的方法有关。如果按产品或服务专业化程度划分为大量大批生产类型，但生产设备是通用设备，设备布置是机群式的，则工作地专业化程度并不高。按 m 与 K_B 的值判断，则不一定是大量大批生产。早期福特汽车公司的生产由全能技工包干，就属于这种情况。

然而，出现这种情况是不合理的。如果产品或服务专业化程度很高，而工作地专业化程度不高，则生产效率必然低下，适应不了市场需求；反之，如果工作地专业化程度很高，而产品或服务专业化程度不高，则生产系统缺乏柔性，适应不了市场变化，也会造成人工与设备的浪费。

采用何种设备布置形式是与产量(销量)密切相关的。图1-2描述了这种关系。从固定成本考虑，流水线布置最高，功能布置次之，固定位置布置最低。从变动成本考虑，固定位置布置最高，功能布置次之，流水线布置最低。当产量小于 V_1 ，采用固定位置布置总成本最低，产量大于 V_2 ，流水线布置的总成本最低，产量介于 V_1 与 V_2 之间，功能布置总成本最低。

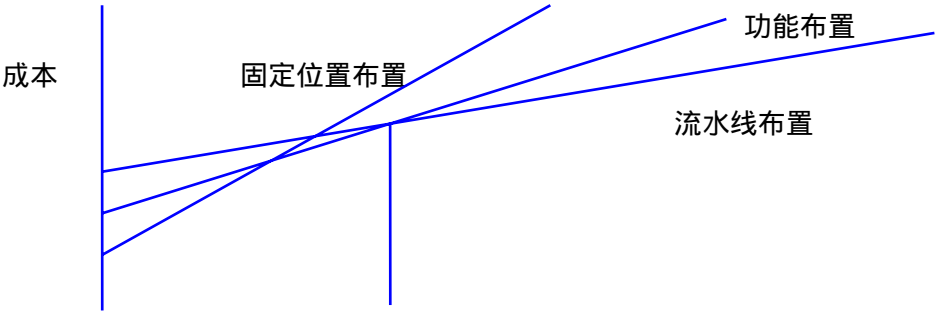




图1-4 不同布置下产量与成本的关系

图1-4反映了市场需求与工厂内部组织生产的关系，产量高低是由市场决定的，销量高则产量应该高，产量越高，则采用流水线布置越经济。

由此也可以看出，产品专业化程度单看品种数多少是不够的，还要看产量大小。如果一个企业仅生产一种产品，生产的重复程度可以很高，但产量很小，达不到一定的生产规模，是不能称作大量生产的。即使采用精细分工、专用设备和流水线布置，生产也是不经济的。

990511

二、不同生产类型的特征

不同生产类型对设计、工艺、生产组织和生产管理的影响是不同的，因而导致生产效率上的巨大差别。一般来讲，大量大批生产容易实现高效率、低成本与高质量，单件小批生产则难以实现高效率、低成本与高质量。

1) 大量大批生产类型的特征

大量大批生产的品种数少，产量大，生产的重复程度高，这一基本特点使它具有以下几个方面的优势：

(1) 设计方面 由于可以采用经过多次制造和使用检验的标准图纸生产，不仅大大减少了设计工作量(重复生产时，图纸只需作小的修改)，节省了设计阶段所需的时间，而且保证了设计质量，也节省了设计人员。

(2) 工艺方面 由于设计图纸变化小，产品结构相对稳定，可以编制标准制造工艺，标准工艺经过反复生产验证，其质量可不断提高。由于减少以至消除了重复编制工艺的工作，不仅大大减少了工艺编制的工作量，缩短了工艺准备周期。而且节省了工艺人员。由于产量大，生产重复程度高，可设计专用、高效的工艺装备，便于且宜于精确制定材料消耗定额，减少原材料消耗。

(3) 生产组织方面 可进行精细分工，工作地专业化程度高，工人操作简化，可推行标准操作方法，提高工作效率。宜于购置专用高效设备，采用流水线、自动线等高效的组织生产的形式。

生产管理方面 便于且宜于制定准确的工时定额。由于产品品种及产量稳定，原材料、毛坯变化小，易与供应厂家和协作厂家建立长期稳定的协作关系，质量与交货期容易得到保证。例行管理多，例外管理少，计划、调度工作简单，生产管理人员易熟悉产品和工艺，易掌握生产进度。

由于大量大批生产具有上述优势，它可给企业带来很多好处：

从设计到出产的整个生产周期短，因此加快资金周转。大量大批生产一般是备货型生产，生产周期短使得用户的订货提前期短，从而加快了整个社会的生产速度； 用人少，机械化、自动化水平高，产出率高，劳动生产率高； 人力、物力消耗少，成本低； 产品质量高而稳定。

大量大批生产是基于美国福特汽车公司的创始人亨利·福特的“单一产品原理”。按“单一产品原理”，从产品、机器设备到工人操作都实行标准化，建立固定节拍流水生产线，实现高效率与低成本，使汽车进入平民家庭。大量生产改变了美国人的生活方式，福特因此而成为“汽车大王”。

2) 单件小批生产类型的特征

单件小批生产类型具有完全不同的特点。单件小批生产产品种类繁多，每一品种生产的数量甚少，生产的重复程度低，这一基本特征带来了一系列的问题：

(1) 设计方面 每生产一种新产品都必须重新设计，绘制新图，或作较大修改。因此，设计工作量大，设计周期长，需要的设计人员多。因图纸得不到制造过程和使用过程的检验，设计质量也不易提高。

(2) 工艺方面 必须为每种新设计的产品编制工艺，需设计、制造新的工艺装备。编制工艺的周期长。由于生产的重复程度低，材料消耗定额也不易或不宜准确制定。工艺质量不易提高，需要的工艺人员多。

(3) 生产组织方面 只能进行粗略分工，工作地专业化程度不高。工人需完成多种较复杂的操作，需较长时间培训。多品种生产只适于使用通用设备，效率低，工作转换时间长。一般只能采用按功能布置(机群式布置)，零件运输路线长。

(4) 生产管理方面 只能粗略制定工时定额。原材料、毛坯种类变化大，不易建立长期稳定的协作关系，质量与交货期不易保证。计划、调度工作复杂，例行管理少，例外管理多，需要管理人员多。

由于以上问题，使单件小批生产具有很多缺点：

产品制造周期长，资金周转慢，用户订货提前期长； 用人多，生产效率低，劳动生产率低； 成本高； 产品质量不易保证。

中批生产类型的特点介于大量大批生产与单件小批生产之间。

劳务性生产的不同类型也有类似于制造性生产不同生产类型的特点，也是大量大批生产容易实现高效率、低成本与高质量。

由于大量大批生产具有很大的优势，而单件小批生产具有很大的劣势，从企业内部组织生产的角度看，单一品种大量生产最有效。然而，“单一产品原理”的应用有一个先决条件，即所选定的单一产品必须是市场上在较长时间内大量需要的产品。离开了市场需要谈效率，只能得到相反的效果。效率越高，生产越多，销售不出去则浪费越大。标准件是长期大量需要的产品，应该采用大量生产方式，若采用单件小批生产方式去生产，不仅价昂质劣，而且满足不了市场需要。因此，如果看准了市场需求，就没有必要搞低效率的多品种生产。然而，如果不是市场长期大量需要的产品，而采用了大量生产方式，将会冒很

大的风险。福特汽车公司曾因生产T型车一个车种而兴旺，但也正因为它长达19年生产T型车而陷入困境。因为居民消费水平的提高，使曾经畅销一时的朴素、坚固、价廉的T型车逐渐不受欢迎了。可见，大量大批生产类型的致命弱点是难以适应市场变化。相反，单件小批生产类型却具有“以不变应万变”的优点。然而，它的低效率又是其根本缺陷。如何提高单件小批生产类型的效率已成为当今生产管理理论界和实业界所关注的问题。

三、提高多品种小批量生产类型效率的途径

随着科学技术的飞速发展和居民消费水平的提高，当今社会已进入多样化时代。过去的标准化产品，现在也做不到标准化了；昔日赖以发迹的才干、手段和经验，成了今日前进的障碍；昨天公认为正确的东西，今天必须抛弃，否则会导致失败。

象汽车和电话这样的产品，过去曾象“别针或火柴”那样统一规格，实行标准化生产，现在品种规格繁多到让人难以置信。以日本的汽车工业为例，按发动机功率、外观颜色以及音响设备等区分，小汽车的变型产品已达数千种之多。美国电报电话公司的电话已达1500种之多。

产品多样化给制造与管理带来了一系列的问题，它将导致零件种类和装配工作复杂性的迅速增加，并引起设计工作、工艺工作、工装设计与制作、设备种类、毛坯和原材料种类、协作任务、库存量、采购活动、管理工作以及人员的大量增加。其结果是固定成本、变动成本上升，质量和生产率下降，利润减少乃至亏损。因此，谁能提高多品种小批量生产的效率，谁就会在竞争中占优势。

提高多品种小批量生产效率的途径有两条：减少零件变化与提高生产系统的柔性。

产品多样化的动因来自市场，企业只能去适应它，而不能改变它。对加工装配式生产，如何变产品的多品种为零件的少品种，是适应市场变化的主动办法。被动的办法是提高生产系统的柔性。生产系统的柔性就是处理加工对象变化的能力。能加工不同零件的种数越多，而且加工不同零件的转换时间越短，生产系统的柔性就越高。尽管提高生产系统的柔性是一种被动的办法，但也是不可缺少的方法。因为无论采取什么办法，零件的变化总是存在的。

（一）减少零件变化

要减少零件的变化，可以通过三种途径：推行三化（产品系列化、零部件标准化、通用化），推行成组技术和推行变化减少方法（Variety Reduction Program, VRP）。

推行产品系列化可以减少产品的品种数，用户的多种要求可以通过产品系列得到满足。例如，人的脚的尺寸是一个连续的量，但生产厂家却不能制造无限多不同尺码的鞋，只能生产一个尺码系列的鞋。顾客选用最接近其脚大小的鞋，便可满足使用要求。产品系列化导致品种数减少，从而导致零件数减少。

零部件标准化、通用化可以直接减少零件的变化。标准化、通用化的零件可供不同的设计者选用。大家选用的结果，使零件变化减少，标准、通用的零件大量增加，从而可以组织大量生产，降低成本，提高质量。选用标准零件、通用零件多的产品，一般来说，其制造质量好，成本低。

推行成组技术，并不能直接减少零件的变化。成组技术是一种利用零件相似性来组织多品种小批量生产的方法。从设计属性和制造属性考虑，很多不同零件具有相似性。将相似零件归并成零件族，就可以采用相同或相近的方法处理，从而减少重复工作，节省时间，提高效率，改进工作质量和产品质量。可见，成组技术并不是用来减少零件变化的，而是从现有的零件出发，发掘其相似性。但是，在运用零件分类编码系统设计零件时，可以减少零件的变化，设计者只要花几分钟时间对他所构思的零件进行编码，然后按编码去检索已有的设计。如果已有相近的设计，则不必重新设计新零件。这样不仅减少了设计工作量，而且促进了设计标准化。

VRP 是一种崭新的面向市场多样化需求的制造工程思想和方法。VRP从分析产生产品“变化性”的根源入手，本着“以不变应万变”思想，变产品的多品种为零件、工艺的少品种；创造性地将产品成本分为“功能成本”、“变化成本”和“控制成本”，通过寻求三种成本间的平衡来达到控制产品成本、生产多样化产品的目的。它运用统计方法，区分产品中固定不变部分与变动部分，使变动部分尽可能减少；它研究各种组合技术，如基本部分加附加部分，公共模块的组合方式以及各种基本模块的组合方式，以简化设计。

(二) 提高生产系统的柔性

一般地说，系统柔性(System flexibility)是指系统处理外界变化的能力。生产系统柔性包括两方面的含义，一是能适应不同的产品或零件的加工要求。从这个意义上讲，能加工的产品(零件)种类数越多，则柔性越好；二是指转换时间。加工不同零件之间的转换时间越短，则柔性越好。

要提高生产系统的柔性，可以采用两种办法：硬办法和软办法。硬办法是提高机床的柔性，软办法是采用成组技术。

为了提高机床的柔性，自五十年代起，人们一直在研究数控(Numerical control, NC)机床。数控机床就是通过由数字、字符构成的指令程序控制工件加工的机床。通过改变指令程序来适应不同的工件的加工，比改变机床和工艺装备来适应不同工件的加工，要容易得多。因此，数控机床具有柔性。

柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)是70年代初出现的。FMS是由自动化物料传送系统联结起来的、在计算机控制下运行的一组数控机床构成的、能完成数个零件族加工的制造系统。FMS是为了弥补自动生产线和数控机床两者的不足而产生的。自动生产线生产率很高，但缺乏柔性，它适于大量大批生产类型。单台数控机床具有很高的柔性，但它的生产率很低，利用率一般也低于50%，它适于多品种小批量生产类型。对于中等批量生产，两者都不太合适。FMS正是适应中等批量生产而出现的。

提高生产系统柔性采用的软办法，就是推行成组技术(Group Technology, GT)。利用成组技术，将相似零件构成零件族，同族零件具有相似的制造属性或(和)设计属性，同族零件在一起加工可以减少机器的调整准备时间(Setup time)，从而使生产系统能较快地从生产一种零件转向生产另一种零件。

值得提出的是，将硬办法与软办法相结合，“软硬兼施”，对提高生产系统的柔性效果最好。不推行GT，FMS的利用率也不会高；采用GT，可使FMS的利用率提高到80%以上。

第四节 生产过程的组织

产品的生产过程是指从原材料投入到成品出产的全过程，通常包括工艺过程、检验过程、运输过程、等待停歇过程和自然过程。

工艺过程是生产过程的最基本部分。对于机械制造工艺过程，一般可划分为毛坯制造、零件加工和产品装配三个阶段。每一阶段又可划分为若干工序。工序是工艺过程最基本的组成单位。对机械加工来讲，工序是在一个工作地上工人利用一次装卡所完成的加工作业。从生产管理角度，可以把零件从到达一个工作地(机床)到离开该工作地(机床)工人所从事的加工作业称作一道工序。因为从生产作业计划的编制上看，这样做已足够精确，按工艺上规定的工序安排生产是没有必要的。

检验和运输过程也是必不可少的，但应该尽可能缩短。等待停歇过程如属于制度规定，则是合理的；若由于组织管理不善造成，则应该消除。自然过程，如冷却、干燥、发酵、时效，是技术上要求的，是不可避免的。

一、组织生产过程的原则

为了提高效率，现代化大生产必须遵循分工原则，实行专业化生产。组织生产过程的原则有两个：工艺专业化原则与对象专业化原则。

(一) 工艺专业化原则

按照工艺特征建立生产单位，称作工艺专业化原则。按工艺专业化原则，将完成相同工艺的设备和工人放到一个厂房或一个区域内，这样构成诸如铸造厂、锻造厂、热处理厂、铸造车间、锻造车间、机械加工车间、热处理车间、车工工段、铣刨工段、……等生产单位。

按工艺专业化原则建立生产单位的优点是：

对产品品种变化的适应能力强； 生产系统的可靠性较高； 工艺及设备管理较方便。

缺点是：

工件在加工过程中运输次数多，运输路线长； 协作关系复杂，协调任务重；

只能使用通用机床、通用工艺装备，生产效率低； 在制品量大，生产周期长。

(二) 对象专业化原则

按照产品(或零件、部件)建立生产单位，称作对象专业化原则。按对象专业化原则，将加工某种产品(零部件)所需的设备、工艺装备和工人放到一个厂房或一个区域内，这样构成诸如汽车制造厂、发动机分厂(车间)、电机车间、齿轮工段、曲轴工段、……等生产单位。

按对象专业化原则建立生产单位的优点是：

可减少运输次数，缩短运输路线； 协作关系简单，简化了生产管理； 可使用专用高效设备和工艺设备； 在制品少，生产周期短。

缺点是：

对品种变化适应性差； 生产系统的可靠性较差； 工艺及设备管理较复杂。

在实际生产过程的组织中，一般综合运用以上两个原则，以取两者的优点。应用形式有两种：

在对象专业化原则的基础上采用工艺原则，如锅炉厂的铸造车间、锻造车间。

在工艺专业化原则的基础上采用对象原则，如铸造厂的箱体造型工段、床身造型工段等。

二、组织生产过程的基本要求

组织生产过程是企业内部的工作，它必须与外界需求相适应。合理组织生产过程的基本要求，是要使生产过程保持连续性、比例性、平行性、均衡性(节奏性)与准时性。这些要求是现代化大生产所决定的，只有按这些要求去做，才能取得好的经济效益。

(一) 生产过程的连续性

生产过程的连续性是指物料处于不停的运动之中，且流程尽可能短，它包括空间上的连续性与时间上的连续性。时间上的连续性是指物料在生产过程的各个环节的运动，自始至终处于连续状态，没有或很少有不必要的停顿与等待现象。空间上的连续性要求生产过程各个环节在空间布置上合理紧凑，使物料的流程尽可能短，没有迂回往返现象。

提高生产过程的连续性，可以缩短产品的生产周期，降低在制品库存，加快资金的流转，提高资金利用率。

为了保证生产过程的连续性，首先需要合理布置企业的各个生产单位，使物料流程合理。其次，要组织好生产的各个环节，包括投料、运输、检验、工具准备、机器维修等，使物料不发生停歇。

(二) 生产过程的平行性

生产过程的平行性是指物料在生产过程中实行平行交叉作业。加工装配式生产使实现生产过程的平行性成为可能。平行作业是指相同的零件同时在数台相同的机床上加工；交叉作业是指一批零件在上道工序还未加工完时，将已完成的部分零件转到下道工序加工。显然，平行交叉作业可以大大缩短产品的生产周期。

(三) 生产过程的比例性

生产过程的比例性是指生产过程各环节的生产能力要保持适合产品制造的比例关系。它是生产顺利进行的重要条件，如果比例性遭到破坏，则生产过程必将出现“瓶颈”。瓶颈制约了整个生产系统的产出，造成非瓶颈资源的能力浪费和物料阻塞，也破坏了生产过程的连续性。

(四) 生产过程的均衡性(节奏性)

生产过程的均衡性是指产品从投料到完工能按计划均衡地进行，能够在相等的时间间隔内完成大体相等的工作量。节奏性与均衡性的含义基本相同，只不过它的时间间隔取得较小。均衡性一般取月、旬、日，节奏性则以小时、分、秒计。节奏性一般用于大量大批生产。

生产不均衡会造成忙闲不均，既浪费资源，又不能保证质量。还容易引起设备、人身

事故。

保持生产过程的均衡性，主要靠加强组织管理。它涉及毛坯和原材料供应、设备管理、生产作业计划与控制，乃至对职工的考核办法。

(五) 生产过程的准时性

生产过程的准时性是指生产过程的各阶段、各工序都按后续阶段和工序的需要生产。即，在需要的时候，按需要的数量，生产所需要的零部件。准时性将企业与客户紧密联系起来。企业所做的一切都是为了让用户满意，用户需要什么样的产品，企业就生产什么样的产品；需要多少就生产多少；何时需要，就何时提供。要做到让用户满意，企业的生产过程必须做到准时。只有各道工序都准时生产，才能准时地向用户提供所需数量的产品。

准时性是市场经济对生产过程提出的要求。从市场角度来审视连续性、平行性、比例性与均衡性，可以看出它们都有一定的局限性。不与市场需求挂钩，追求连续性、平行性与均衡性是毫无意义的。在市场多变的情况下，比例性也只是一种永远达不到的理想状态，瓶颈出现永远是正常现象。

三、零件在加工过程中的移动方式

零件在加工过程中可以采用三种典型的移动方式，即顺序移动、平行移动和平行顺序移动。

(一) 顺序移动方式

一批零件在上道工序全部加工完毕后才整批地转移到下道工序继续加工，这就是顺序移动方式。采用顺序移动方式，一批零件的加工周期 $T_{顺}$ 为：

$$T_{顺} = n \sum_{i=1}^m t_i \tag{1.1}$$

式中， n — 零件加工批量；
 t_i — 第 i 工序的单件工序时间；
 m — 零件加工的工序数。

例1.1 如图1-3所示，已知 $n = 4$ ， $t_1 = 10$ 分钟， $t_2 = 5$ 分钟， $t_3 = 15$ 分钟， $t_4 = 10$ 分钟，则 $T_{顺} = 4 \times (10 + 5 + 15 + 10) = 160$ 分钟。

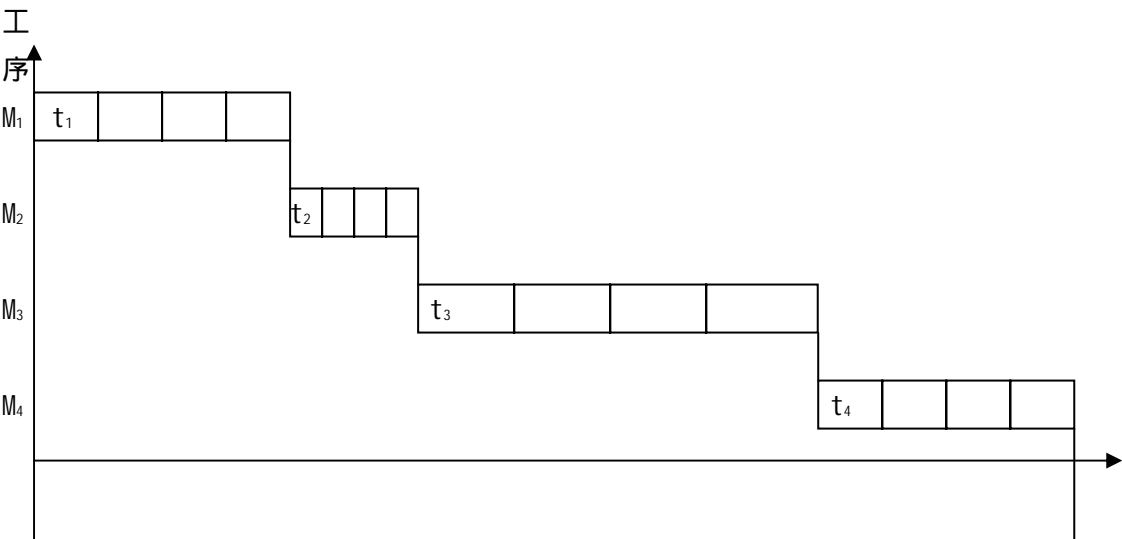




图1-3 顺序移动方式

(二) 平行移动方式

每个零件在前道工序加工完毕后，立即转移到后道工序去继续加工，形成前后工序交

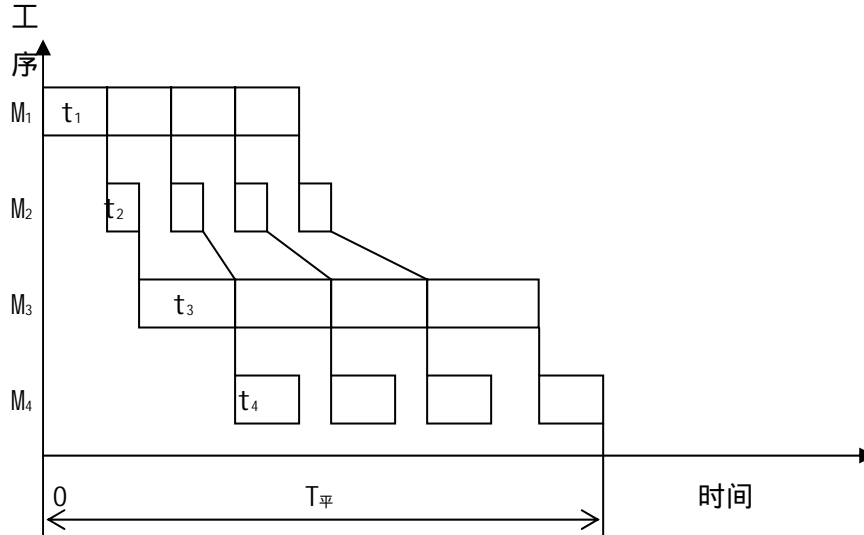


图1-4 平行移动方式

叉作业。这就是平行移动方式。采用平行移动方式一批零件的加工周期 $T_{\text{平}}$ 为：

$$T_{\text{平}} = \sum_{i=1}^m t_i + (n-1)t_L \quad (1.2)$$

式中， t_i 为最长的单件工序时间，其余符号同前。

将例1.1中单件工序时间代入，可求得 $T_{\text{平}}$ ，如图1-4所示。

$$T_{\text{平}} = (10 + 5 + 15 + 10) + (4 - 1) \times 15 = 85 \text{ 分钟}$$

(三) 平行顺序移动方式

顺序移动方式零件运输次数少，设备利用充分，管理简单，但加工周期长，平行移动方式加工周期短，但运输频繁，设备空闲时间多而零碎，不便利用。为了综合两者的优点，可采用平行顺序移动方式。平行顺序移动方式要求每道工序连续进行加工，但又要求各道工序尽可能平行地加工。具体做法是：

当 $t_i < t_{i+1}$ 时，零件按平行移动方式转移；

当 $t_i \geq t_{i+1}$ 时，以 i 工序最后一个零件的完工时间为基准，往前推移 $(n-1) \times t_{i+1}$ 作为零件在 $(i+1)$ 工序的开始加工时间。(图1-5)

采用平行顺序移动方式，一批零件的加工周期 $T_{\text{平顺}}$ 为：

$$T_{\text{平顺}} = n \sum_{i=1}^m t_i - (n-1) \sum_{j=1}^{m-1} \min(t_j, t_{j+1})$$

(1.3)

将例1.1数值代入，得

$$T_{\text{平顺}} = 4 \times (10+5+15+10) - (4-1) \times (5+5+10) = 100 \text{分钟}$$

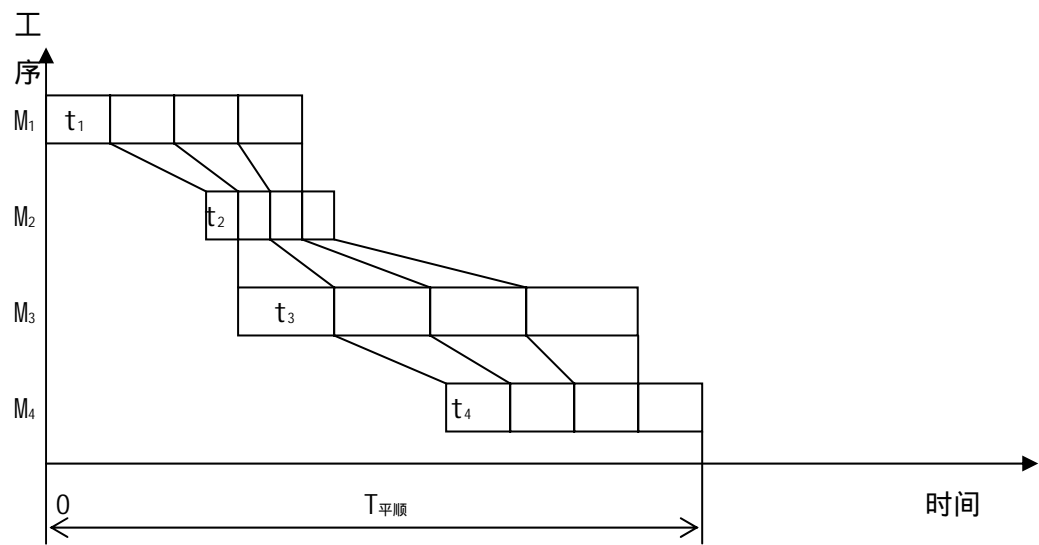


图1-5 平行顺序移动方式

三种移动方式各有优缺点，它们之间的比较如表1-5所示。

表1-5 零件三种移动方式的比较

比较项目	平行移动	平行顺序移动	顺序移动
生产周期	短	中	长
运输次数	多	中	少
设备利用	差	好	好
组织管理	中	复杂	简单

可以用平行系数P来表示生产过程平行性的程度。

$$P=1 - \text{(一批零件加工周期 / 顺序移动方式下零件加工周期)} \quad (1.4)$$

对于顺序移动方式，前后工序没有交叉， $P = 0$ ；平行移动方式的平行系数略高于平行顺序移动方式，且两者的平行系数均随n增大而增大。

在实际生产中，选择零件的移动方式需要考虑零件的大小、零件加工时间的长短、批量的大小以及生产单位专业化的形式。一般来讲，零件大宜平行移动，零件小则顺序移动或平行顺序移动。如表1-6所示。

表1-6 选择零件移动方式需考虑的因素

	零件尺寸	加工时间	批量大小	专业化形式
平行移动方式	大	长	大	对象专业化
平行顺序移动方式	小	长	大	对象专业化
顺序移动方式	小	短	小	工艺专业化

小结：

本章阐述了生产运作管理的基本概念。第一节从介绍社会组织的作用和它们的生存条件开始，对社会组织的输入、输出、约束和资源支撑的关系进行了描述，分析了社会组织的三项基本职能(生产、理财和营销)及其关系，从服务业的兴起，论述了生产概念的扩展。从生产管理角度提出了生产和运作的定义，对生产运作管理的目标、内容和生产管理人员所需的技能进行了论述。第二节讨论了生产运作的分类，比较了流程式生产和加工装配式生产、备货型生产和订货型生产的特点，提出了服务性生产的分类和特征。第三节讨论了生产运作类型的划分和不同生产运作类型的特征，提出了提高多品种、小批量生产效率的途径。第四节介绍了组织生产过程的基本原则和要求，以及物料的三种典型移动方式。

思考题

- 1 叙述社会组织的三项基本职能，说明它们之间的关系。
- 2 叙述生产管理的内容与目标。
- 3 分别对制造业与服务业中的大量大批生产与单件小批生产各举一例，并说明其特点。
- 4 说明流程式生产与加工装配式生产、订货型生产与备货型生产的特点。
- 5 劳务性生产主要有哪几点与制造性生产不同？
- 6 组织生产过程有哪些基本要求和原则？
- 7 查找近期杂志或报纸上刊登的有关当前企业生产管理中的问题的文章，供讨论。

练习题

已知 $m=5$ ， $n=4$ ， $t_1=10$ ， $t_2=4$ ， $t_3=8$ ， $t_4=12$ ， $t_5=6$ ，分别求在顺序移动、平行移动和平行顺序移动方式下，这批零件的加工周期。

第二章 生产运作战略

市场如战场，有竞争就有战略问题。企业战略是企业为求得生存和发展，在较长时期内生产经营活动的发展方向和关系全局问题的重大谋划。生产运作战略是在企业战略指导下制定的职能性战略，它是企业总体战略成功的保证。本章通过分析现代企业的生存与发展环境，阐述了企业战略及其制定的过程，探讨了生产运作战略的内容。

第一节 现代企业的生存与发展环境

企业环境是指对企业赖以生存和发展的各种外部条件和外在因素。企业环境的构成是复杂的，可以从不同的角度看待环境。从范围上讲，企业环境可以由国内环境和国际环境构成；从企业经营要素上讲，企业环境可以由投资环境、劳动力环境、资金环境、技术环境、信息环境、市场环境等方面构成；从企业的社会联系上讲，企业环境可以由投资者、消费者、供应者、主管机关、政府部门、社会团体等方面构成。

现代企业处于一个瞬息万变、充满竞争的环境：技术革新步伐急剧加速；需求日益多样化、个性化；竞争全球化、白热化；产品寿命周期越来越短。企业环境因素是多方面的、复杂的，既有经济因素，又有自然资源、技术、文化等因素，还有政治、社会的因素，这些因素相互依存、相互制约，综合地对企业发生影响，制约企业的行为。反之，企业的战略实施，又影响了环境的变化。

一、现代企业在产品竞争方面的特点

第一次石油危机以前，世界范围的产品需求和供给迅速增长。在这一时期，市场对产品有充分的需求。产品的开发、生产、销售主要由最早生产这类产品的少数企业控制。产品数量增长快、产品品种较少、生命周期长是这一时期的特点。为了适应这些特点，制造企业通过采用专用设备和自动生产线来提高生产率，满足市场需求。

第一次石油危机后，世界市场对产品需求呈饱和趋势。企业为了赢得竞争必须按用户不同要求进行新产品开发和生产，从而使产品品种不断增加，形成了市场多变的特点。现代企业生存与发展环境的特点是多方面的，如果从产品角度考察，主要表现在以下几个方面：

(1) 产品生命周期明显缩短。一方面由于市场对产品的需求不断变化，另一方面也由于技术发展为产品更新提供了可能，从而使产品生命周期越来越短，以汽车为例，在 1970 年产品生命周期为 12 年，1980 年为 4 年，到 1990 年仅为 18 个月。电子产品行业产品生命周期更短。如今，“电脑”几乎一进入市场就过时了。

(2) 产品品种日益增多。据日本丰田汽车公司的统计资料，3 个月中公司生产了 364,000 万辆汽车，共 4 个基本车型，32,100 种型号。平均一种型号的产量是 11 辆，最多的是 17 辆，最少的是 6 辆。现在，很多企业已经开始追求“一样一件生产”(One of a kind production)。

(3) 产品成本结构发生了变化。由于设备的改进和自动化程度的提高，使直接劳动成

本在总成本中比重不断降低，而间接劳动（包括管理决策人员和非生产人员的劳动）成本和原材料、外购件的成本比重不断增加。

（4）产品交货期缩短。缩短从订货到交货的时间是赢得竞争的重要手段。美国不少企业，如 AB 公司（Allen-Brandry）宣称其交货期为 24 小时。

在这样的环境下，制造企业是否能正确把握市场，及时开发并生产适合市场要求的新产品就成为企业成败的关键。

二、大公司的合并和跨国公司的发展

1998 年 5 月 7 日，德国汽车业的老大戴姆勒—奔驰公司和美国汽车业老三克莱斯勒公司在伦敦宣布组成新的越洋公司：戴姆勒—克莱斯勒公司。这项并购涉及市场资本 920 亿美元，从而成为有史以来规模最大的行业内企业合并。合并后，戴姆勒—克莱斯勒公司的市场资本排序仅次于丰田汽车公司，名列第二；按销售额，名列第三。戴姆勒—克莱斯勒公司在几乎不增加任何投资的条件下，在汽车产品上全线出击。有人估计，目前世界上 20 多个大汽车制造商，在今后的 10 年竞争中，将淘汰一半，能够生存下来的只有 10 个左右。这件事虽然出现在汽车行业，但反映了全球制造业竞争的白热化。这次合并有两个特点：（1）是两厢情愿的强强合并，不是以强欺弱的吞并式合并。（2）合并不完全是为了扩大规模，更多地是为了实现优势互补。

由于通讯、运输和相对宽松的全球贸易政策，使得一些公司在全球范围内寻求资源、生产产品和开拓市场，从而形成了一批跨国公司。有的跨国公司已将总部迁到他国，成为无国界的公司，它们不属于某个具体的国家，而是全球的公司。跨国公司能够在全世界范围内寻求商业机会，优化资源的利用，能够使成本更低，销售更方便，因而更有竞争力。

当然，跨国公司的运行也遇到一些新问题。在一个新的国家设立分公司或子公司，会受到这个国家的政治环境、经济环境、社会环境、法律环境、宗教文化等各方面的影响。

三、基于时间的竞争(Time-based competition)

决定制造企业竞争力的五大要素是品种、质量、价格、时间和服务。然而，这五大要素在不同时期对竞争力的作用是不同的，不同时期决定竞争力的关键因素也是不同的。

在工业化初期，人们消费水平较低，竞争主要依靠价格。产品只要便宜、可用，就有市场。要使价格便宜，必须降低成本。与此相适应，大量生产成为主流生产方式。本世纪二十、三十年代福特所创立的大量生产方式，是依据“单一品种原理”发展起来的。通过大量生产，使过去通过手工方式制造的、价格高昂的汽车，能象“别针和火柴”那样大量生产出来，使成本大幅度降低，使普通平民都能买得起。这种方式适应了美国当时的国情，满足人们想拥有一部车的愿望，一举把汽车从少数富翁的奢侈品变成了大众化的交通工具，使汽车进入了普通家庭。从此，汽车工业成为美国的支柱产业，汽车也改变了人们的生活方式。

后来，随着技术的进步、经济的发展、工业化水平的提高，人们的消费水平也日益提高。此时质量和服务就成为影响竞争力的关键。质量高、服务好的产品就拥有更多的顾客。日本企业大力开展全面质量管理（TQM）运动，提高服务水平，使不少企业获得巨大成功。

随着世界范围内统一市场的形成，世界市场对产品需求呈饱和趋势的出现以及科学技术

的迅速发展，自八十年代以来，环境变化迅速，企业经营环境的不确定性增加，人们的消费方式和消费观念也发生了深刻的变化，使企业竞争日趋激烈。竞争优势已逐渐转移到时间和品种上。谁能迅速适应市场环境的变化，推出用户所需要的全新产品，谁就能占领市场，赢得竞争。

可见，企业竞争和经营环境的变化，促使竞争模式从依靠产品价格向依靠质量、服务转移，最终转移到基于时间的竞争。

其实，时间始终是一个重要的竞争要素，只不过在过去还没有成为主要的因素。

对于时间的研究可以追溯到泰勒时代。泰勒搞的那一套时间研究和动作研究，推行的科学管理运动，其实质是通过缩短加工时间（Processing time），来提高劳动生产率。在泰勒科学管理基础上，福特通过标准化将分工理论应用到极端，他的流水生产线曾一天生产 9109 辆 T 型车，平均不到 10 秒钟生产 1 辆。

对于大量大批生产，品种少，产量大，只要能减少加工时间，就能提高生产率，调整准备时间（Setup time）问题不突出。但对于多品种小批量生产，调整准备时间就成为妨碍生产率提高的主要问题了。为了适应多品种小批量生产，作到“一机多用”，丰田汽车公司通过技术方法和组织措施，实现了“三分钟换模”，使加工不同零件达到和加工相同零件一样的效率。

加工时间和调整准备时间的缩短使产品的生产周期大大压缩。但仅仅缩短产品生产过程中物料转化的时间还不能满足市场变化的需要，新产品开发周期太长就成了关键。为了进一步缩短对顾客需求的响应时间，人们在新产品开发阶段采用并行工程（Concurrent Engineering, CE）。CE 是将本来为串行的活动（如研究、试验、设计、工艺、制造）通过协同工作（Teamwork），变成并行的活动，从而大大缩短新产品开发周期。与此同时，“时间压缩技术”（Time Compression Technology, TCT）也提出了。TCT 的目的是缩短产品开发周期和产品上市时间。

为了提高对市场需求的响应速度，企业还必须对内部资源进行重组。最先提出对内部资源重组的是 Michael Hammer 和 James Chapy，他们提出了业务过程重组（Business Process Reengineering, BPR）的概念。BPR 的实质是：将传统的按 Adam Smith 的劳动分工理论组织生产的方式，改变为按服务对象和业务流程组织生产的方式，变批量加工为单件服务，从而提高对顾客服务的效率。BPR 引起了世界各国理论界和企业界的极大关注。很多人认为，这是管理理论和管理方式的重大突破，是一次管理革命。

单纯考虑企业内部资源重组还不能适应基于时间竞争的需要，企业必须充分利用外部资源。敏捷制造（Agile Manufacturing, AM）也就应运而生。1988 年，美国国会要求美国国防部拟定一份发展制造技术的规划，国防部委托里海（Lehigh）大学亚科卡研究所（Iacocca Institute）负责编写。1991 年完成了“21 世纪制造企业战略”的报告。该报告的结论性意见是：全球性的竞争使得市场变化太快，企业依靠自己的资源进行自我调整的速度赶不上市场变化的速度。为了解决这个影响企业生存和发展的世界性问题，报告提出了以虚拟企业（Virtual Enterprise）或动态联盟为基础的敏捷制造模式。提出 AM 是一次战略高度的变革。与精细生产（Lean production, LP）、智能制造（Intelligent Manufacturing, IM）相比，它完全突破了大量大批生产的模式。敏捷制造面对的是全球化激烈竞争的买方市场，它以多品种、

变批量生产代替大量大批生产,采用可以快速重构的生产单元构成的扁平组织结构,以充分自治的、分布式的协同工作代替金字塔式的多层管理结构,注重发挥人的创造性,变企业之间你死我活的竞争关系为既有竞争又有合作的“共赢”(Win-win)关系。AM 强调基于互联网的信息开放、共享和集成。现在,人们又在研究“全球并行工程技术”,目标是实现多个工厂各个生产活动的敏捷协调和保证高生产率。

四、先进制造技术的发展

先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology, AMT)的应用是现代企业的一个重要特征。现在人们一般用 AMT 来概括由于电子技术和计算机技术的应用给传统制造技术带来的种种变化及其形成的新型系统。因此 AMT 也是现代信息技术与制造技术相结合所产生的各种设备、技术、系统的总称。AMT 是由三个部分构成的:(1) AMT 硬件组成。计算机辅助制造(Computer-Aided Manufacturing, CAM)是 AMT 硬件的核心部分。它具体包括:数控(Numerical Control, NC)机床,计算机数控(CNC),直接数控(DNC),工业机器人,自动导向车(Automatically Guided Vehicle, AGV)和自动化物料传送系统(Automatically Materials Handling, AMH)等由设备为主体构成的先进制造技术。AMT 的硬件完成了现代制造中工艺加工、物料输送、过程监控的功能,形成了自动化工作站的基本单位。(2) AMT 的软件组成。它主要由支持制造系统运作的辅助部分所组成,其中包括:计算机辅助设计(Computer-Aided Design, CAD),计算机辅助工程(Computer-Aided Engineering, CAE),计算机辅助工艺编制(Computer-Aided Process Planning, CAPP),物料需求计划(Materials Requirements Planning, MRP),制造资源计划(Manufacturing Resource Planning, MRPII),企业资源计划(Enterprise Resource Planning, ERP)等,它们相对于 CAM 而言都具有信息软件的特点,而且在不同程度上直接参与生产系统的运行,并在其中担当着指挥、控制、协调、调度等方面的作用。AMT 的软件形成了现代制造系统的联接、支持性系统,它们与 AMT 的硬件组成将构成 AMT 系统。(3) AMT 的集成系统。AMT 具有三个层次上的集成系统,即加工中心或制造单元(Manufacturing Center, MC),柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)和计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。

柔性制造系统是 20 世纪 60 年代后期诞生和发展起来的。它是由计算机控制的以数控机床和加工中心为基础的,适应多品种中小批量生产的自动化制造系统。它综合应用现代数控技术、计算机技术、自动化物料传送技术,由计算机控制,使多品种中小批量生产实现了自动化。它的显著特点之一是,在不降低生产效率的条件下,仍然具有较高的适应性。当产品需求和生产任务发生变化时,FMS 能够在很短时间内实现转产,而且不需要重新调整设备布置和增加额外的费用。八十年代以来,FMS 已进入实用阶段。据统计,1984 年全世界已建成 FMS300 多条,1987 年有近 800 条,1990 年达 1500 条,我国在八十年代也引进了 FMS,已投入运行。

根据大量资料综合分析,FMS 具有下列优点和效益:

(1) 具有很强的柔性制造能力,适宜于多品种生产。

(2) 缩短制造周期,加速资金周转。据统计,FMS 可缩短制造周期 40%~91%,减少流动资金 95.6%。

(3) 提高设备利用率,减少占地面积。据估计 FMS 提高设备利率 1.3~3.5 倍,减少占地面积 42%~76%。

(4) 减少直接生产工人,提高劳动生产率。工人可减少 52.6%,提高生产率 50%~55%。

(5) 减少在制品数量,提高对市场反映能力。由于 FMS 的柔性、高生产率及准备时间短等优点,可以对市场变化作出较快反应,没有必要保持大量在制品和产成品库存,据报道,库存量可减少 75%。

计算机集成制造的概念是 1974 年首先由约瑟夫·哈林顿 (Joseph Harrington) 博士在《Computer Integrated Manufacturing》一书中提出的。

CIM 是信息技术和生产技术的综合应用,目的在于使企业更快、更好、更省地制造出市场需要的产品,提高企业的生产效率和市场响应能力。CIM 是一种哲理、思想和方法。数据驱动、柔性和集成是其三大核心。从生产技术的观点看,CIM 包含了一个工厂的全部生产经营活动,是生产的高度柔性自动化,它比传统的加工自动化的范围要大得多;从信息技术观点看,CIM 是信息系统在整个企业范围的集成,主要是体现以信息集成为特征的技术集成、组织集成乃至人的集成。当一个企业按 CIM 哲理组织整个企业的生产经营活动时,就构成了 CIMS。关于 CIM 将在第 18 章作较详细的介绍。

先进制造技术在企业生产以及企业管理中的应用,极大地提高了生产和管理的自动化水平和生产率。飞速发展的电子技术、自动化技术以及计算机技术,从生产工艺技术以及管理两方面,都使企业在市场需求多样化和不确定的经营环境面前呈现出很强的柔性,使快速灵活地适应市场需求变化成为可能。现代科学技术奠定了企业柔性的技术基础。因此,西方发达国家的一些企业纷纷采用先进制造技术,加强竞争优势。八十年代以后,CIMS 受到世界各国的重视。美国有 96000 个工厂正要实施 CIM 有关项目,而美国一些著名的大公司在有关 CIM 技术方面作出了显著成绩。1990 年日本提出倡议,由日本、美国和欧共体联合共同进行研究“智能制造系统”(Intelligent Manufacturing Systems,IMS)的计划,作为开发 21 世纪制造工业新模式的重大措施。在我国,CIMS 被列为“863”计划的研究主题之一,CIM 技术在一些应用工厂得到了实施和推广。

事实表明,世界各国都以较大的投入来实施先进制造技术的发展战略,其目的在于提高本国制造业的水平,适应市场环境的变化,加强自己的竞争地位。可见,科学技术是其基础。我们不仅应该看到科学技术为企业的竞争力提供强有力的支持,而且也必须认识到:科学技术的发展在另一个方向上加强了市场和环境变化的不确定性,使得本来动态多变的市场变得更加捉摸不定,使得企业的竞争更加激烈。今天的企业会发现可能一夜之间就能使它们的产品在市场上被淘汰,而市场机会又是稍纵即逝。总之,科学技术的发展对企业的发展是一把双刃剑。

第二节 企业战略和战略管理

一、战略和战略管理的重要性

“人无远虑,必有近忧。”这句话充分说明了长远考虑与近期工作的关系。在激烈的竞

争中，企业日益感到制定发展战略的重要性。据联合国经济合作与发展组织（OECD）统计，美国制定发展战略的企业，1947 年仅占企业总数的 20%；但是到了 1970 年，已达到 100%。日本经济新闻社 1967 年的调查表明，99%的大公司有长期经营规划。无战略规划的大公司出现重大失利的占 48%。制定发展战略，实行战略管理是七十年代西方企业在环境急剧变化的条件下，为了生存和发展而在管理上的一次大变革。其目的是使企业的组织结构、资源分配和经营方式与环境提供的各种机会取得动态平衡，以实现总体战略目标。未来学家托夫勒指出：“对没有战略的企业来说，就象是在险恶气候中飞行的飞机，始终在气流中颠簸，在暴风雨中沉浮，最后很可能迷失方向，即使飞机不坠毁，也不无耗尽燃料之虞。”事实证明，在一个精心制定的、符合实际的战略的指导下，企业各部门和全体员工团结一致，朝着共同的目标努力，企业就会取得巨大的成功。相反，如果战略制定失当，或者企业各部门追求各自的目标，则会造成资源的巨大浪费，甚至给企业带来灾难。我国一些兴旺发达的企业也大都具有长期经营规划。

企业高层领导的最重要的工作就是进行战略管理。企业战略管理是指在企业战略的形成过程中以及在这些战略的实施过程中，制定的决策和采取的行动。企业高层领导对设置企业的长期发展目标负责，并使企业的各个部分朝着这个目标前进。美国通用电气公司董事长威尔逊说过：“我整天没做几件事，但有一件做不完的工作，那就是规划未来。”对企业总体的发展方向有长期作用的决策称为战略决策。

为什么现代企业如此重视战略？最主要的原因是竞争日益剧烈。进入九十年代后，由于参与竞争的选手远远超过市场这个竞技场地的容量，加上科学技术的发展日新月异，使竞争变得空前激烈。竞争不仅使每年有大量的中小企业倒闭，也使一些有名的大公司破产。1991 年 1 月 19 日美国东方航空公司（Eastern Airlines）关闭，是九十年代最早受害的一家航空企业。紧接着是中路航空公司（Midway Airlines），1991 年 3 月破产，11 月 13 日停业。泛美航空公司（Pan American），先是破产，变卖了几乎一半的财产，最后于 1991 年 12 月 4 日倒闭。美国航空业竞争激烈，导致航空公司由 1979 年的 27 家减少到 1991 年的 7 家。零售商、啤酒、钢铁、房地产、葡萄酒和电视工业都面临严峻的形势。R.H.Macy & Co.'s 是有 51 年历史、10 家连锁零售店的百货公司，McCrory 是美国最大的联号廉价杂货店，它们都在 1992 年初破产或停业。此外，从 1988 年到 1992 年破产的联邦等 6 家大百货公司。

我国经济管理体制正从计划经济向社会主义市场经济转变，国有企业开始走向市场。由于政府尚未转变职能以及企业长期在计划经济体制下形成的思想观念、工作作风、习惯和方法都不适应市场经济的要求，国有企业出现了大面积亏损，甚至是全行业亏损。面临“复关”和全球性竞争，形势十分严峻。一些最初搞得好的企业，经过 5 年左右，大部分已经销声匿迹。缺乏企业战略和不重视战略管理是其主要原因之一。因此，战略和战略管理应该引起足够的重视。

二、企业战略的制定

制定企业战略要充分考虑外部环境和内部条件，要分析本企业与竞争对手的优势和劣势，提供标新立异的产品和服务，以满足顾客不断变化的需求。

（一）外部条件

外部条件包括政治条件、经济条件、技术条件、社会条件和市场条件。

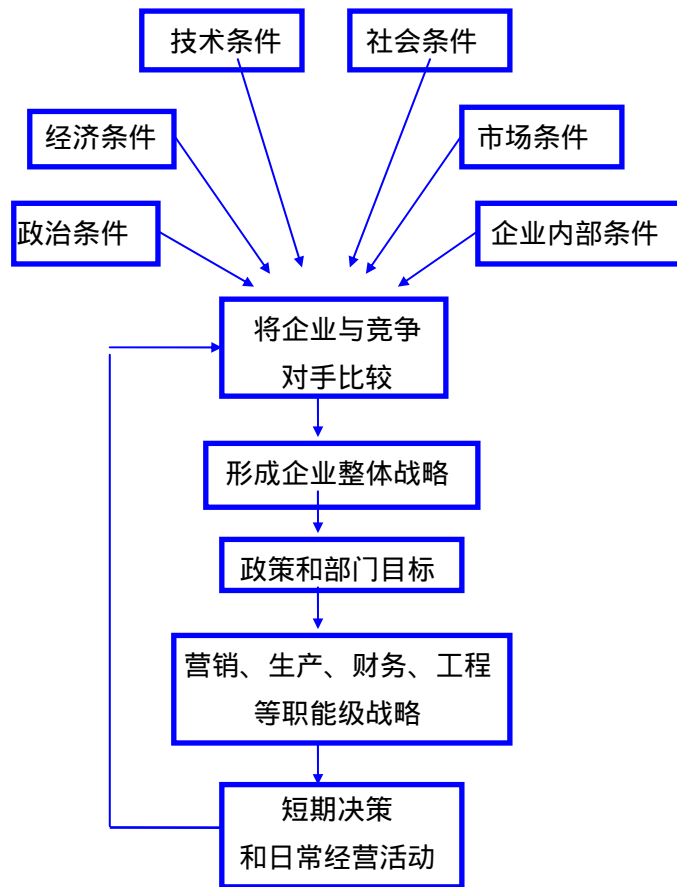


图 2-1 企业战略的制定和实施

1、 政治条件 政治条件包括国际形势，国家政治的稳定性，法令，关税政策，国家预算，就业政策，环境政策，国家经济政策等。七十年代、八十年代和九十年代发生的多次石油危机，都与国际形势有关。七十年代阿拉伯国家的石油禁运，1991 年伊拉克入侵科威特，影响了跨国公司的战略制定。政治条件对我国企业的发展战略也有很大的影响。政府一项新规定，既给企业发展作出某些限制，同时又给企业带来新的发展机会。如转变经济增长方式，变外延扩大再生产为内涵式扩大再生产，就会压缩基本建设规模，从而导致对水泥、木材和钢材需求的减少，相关生产企业就要及时调整自己的产品品种和产量。与此同时，提出了提高产品技术含量的需求，使高新技术产品的生产得到发展，从而导致对科学技术以及教育发展的促进。

2、 经济条件 经济条件包括国民消费水平，收入分配，投资水平，国民生产总值，国内生产总值，家庭数量和结构，经济周期，就业水平，储蓄率，利率等。如何把握趋势，取决于对经济发展情况的预测。由于未来的经济环境难以准确预料，企业在制定发展战略时，往往准备几套替代方案，以减少风险，把握成功的机遇。尽管如此，也不能保证绝对成功。壳牌石油公司曾制定了详细的方案以应付 1991 年的海湾战争，但在一些难以预料的突发事件中，如炼油厂爆炸和石油泄漏，仍遭受了巨大的损失。总体经济的研究对一些大的产业特别重要。

如汽车产业的发展,不单取决于国民收入的水平,而且取决于国家的经济政策和基础设施条件。

3、技术条件 新产品、新工艺、新材料、新能源的出现,为企业的发展提供了巨大的机遇和严重的威胁。例如,高清晰度电视的研制可能会给现存的电视机市场带来巨大的冲击,在给一些企业带来机会的同时,也给另一些企业带来很大的威胁。一些企业正是通过技术上的优势来保证其竞争优势的。英特尔公司的领导在 286 微处理器风头正盛的时候,实行了在当时大多数人都觉得不可理解的名为“吃掉自己的孩子”的革新计划,即放弃仍然有利可图的 286 微处理器,开发 386 微处理器,以更新的技术和产品来保持并发展市场优势。事实证明,“吃掉自己的孩子”是一个极其英明的决策。抛弃虽然还是有利可图、但已经不稳固的竞争优势,继续走创新之路,是英特尔公司作为一个半导体产业的中央大国长盛不衰的关键因素。

4、社会条件 社会条件包括人们的生活方式和生活习惯,人口数和年龄结构,妇女和少数民族的地位,双职工家庭和单亲家庭增加,外出吃饭人数的增加,独生子女政策以及平均寿命增加等。社会条件的变更也给企业带来了发展的机遇。

5、市场条件 顾客和潜在顾客的需求和期望,原材料供应,协作厂家,销售渠道,当前的竞争对手和潜在竞争对手的数量、优势和不足,他们的战略,进入市场的障碍,产品的价格结构,市场对价格的敏感性,产品生命周期的潜在销售量和盈利性等。除了新的竞争对手进入现存产品和服务市场造成的威胁以外,新产品也对现存产品造成潜在威胁。在九十年代初,柯达公司曾努力发展一种战略去对付来自一次性照相机的竞争,这种竞争威胁了该公司的核心产品——柯达胶卷的生产。

(二) 内部条件

企业的能力要能够满足提供市场所需的产品和服务的需要。当发现机会,特别是发现威胁之后,企业需要尽早对内部条件进行评审,以便有时间弥补本身的不足。要与竞争对手比较企业的优势和不足。需要评价的企业内部条件包括:

- (1) 对市场的了解和适当的营销能力;
- (2) 现有的产品和服务;
- (3) 现有的顾客及与顾客的关系;
- (4) 现有的分配和交付系统;
- (5) 现有的供应商网络及与供应商的关系;
- (6) 人力资源情况:管理层的能力、当前工人的技能和积极性、工人必要技能的获取;
- (7) 对自然资源拥有的情况及获取能力;
- (8) 当前的设施、设备、工艺及其位置;
- (9) 对特殊技能的掌握;
- (10) 产品和工艺的专利保护;
- (11) 可获得的资金和财务优势。

在评价企业内部情况时,要回答这样一些问题:在满足现有的和将来的顾客需求方面,本企业有什么优势?本企业的不足是什么?如何才能弥补这些不足?本企业能够尽快吸引和培训足够的工人和管理人员吗?本企业能够更恰当地将获得的资金投到不同的项目中去吗?在弥补本企业的不足方面有哪些内部限制?

由于条件随时间变化，加上竞争对手的对策也在不断变化，制定战略是一个动态过程和连续的工作。企业管理者需要不断研究新的情况，不断评价内外条件，不断调整、修改战略。一旦战略发生变化，就必须让企业内各个部门都知道，以提高工作的有效性。

企业战略制定之后，就要制定保证战略实施的政策，为下级部门设置目标。企业的各个组成部分在这些政策和目标的指导下运作，从而保证战略目标的实现。

由图 2-1 可知，生产运作战略属于职能级战略。在职能级战略的指导下，企业各部门进行日常生产经营活动的决策，并将发生的情况反馈到战略决策过程中。

三、三种市场竞争战略及其对生产运作战略的要求

(一) 三种市场竞争战略

Michael Porter 认为有三种市场竞争战略：成本领先(Overall cost leadership)、独具一格(Differentiation)和集中一点(Market focus)。

- 1、成本领先 制造业中福特的 T 型车，服务业中的麦当劳 (McDonald's) 和沃尔玛 (Wal-mart)，都是运用成本领先战略的典型例子。运用成本领先战略有时能给一个产业带来革命性的变化。福特生产方式使得普通人都能拥有一辆车，使汽车制造业发展起来，成为一个国家的支柱产业，也改变了人们的生活方式。运用成本领先战略一般需要采用高效专用设备和设施；在组织生产的过程中，要提高设备利用率；要对物料库存进行严密控制；要提高劳动生产率；采用低工资率并降低间接费。成本领先策略一般用于大量生产、大量消费的产品和服务。
- 2、独具一格。独具一格战略的实质是要创造一种使人们感到是独一无二的产品或服务。这般战略可以有多种形式。如唯一的品牌、唯一的技术、唯一的特点、唯一的服务等。湖南的“酒鬼”酒厂就是采用这种策略。
- 3、集中一点。集中一点战略是为特定的狭窄目标市场顾客的特殊需求提供良好的产品和服务。

(二) 市场竞争战略对产品和服务的要求

三种战略最终都落实到企业生产的产品和提供的服务上。产品和服务如何体现不同的战略，主要是通过如下一些因素表现出来。

- 1、品种 这里说的品种是广义的，它不仅包括不同功能和结构的产品，而且包括不同的型号、规格、花色。显然，企业能够提供的产品品种数越多，就越能满足顾客多方面的需求。服务业能提供的服务越多，就越能满足顾客多方面的需求。
- 2、质量。有形的产品和无形的服务都是为满足人们的需求的，达不到一定的质量标准，就谈不上满足人们的需求。产品质量包括其使用性能、可靠性、安全性、节能性和外观质量。服务大都是无形的，质量难以度量。使顾客满意是最终的质量标准。
- 3、价格。包括产品的售价和使用成本。售价低，但使用中能源和原材料消耗大的产品也是不受欢迎的。
- 4、可获性。指顾客能按需要的时间方便地得到所需的产品和服务。质量好、价格低但买不到，或难以买到，或不能及时买到，都不能使顾客满意。所谓基于时间的竞争，

就是通过及时满足顾客对产品和服务在时间上的要求来竞争。按期交货也是可获性的一个方面。

- 5、 服务。预定提供的产品和服务往往不能满足顾客随时变化的要求，这就需要按顾客的要求提供额外的服务。如产品的售前和售后服务，安装培训、使用培训、维修等。

在不同的经营战略下，对产品和服务的 5 个方面的要求是不同的。如果采用别具一格战略，在以上 5 个因素上都可以做到独树一帜。

(三) 产品和服务对生产系统的要求

产品和服务都是由生产系统提供的，生产系统是企业竞争之本。要满足品种、质量、价格、可获性和服务等方面的要求，必然要对生产系统提出相应的要求。归纳起来，对生产系统的要求有以下几个指标。

- 1、 成本效率(Cost efficiency)。衡量低成本、高效率地生产产品和提供服务的能力。
- 2、 质量(Quality)。衡量能提供比竞争对手质量更好的产品和服务的能力。
- 3、 可靠性(Dependability)。衡量按时提交物品和服务的能力。
- 4、 柔性(Flexibility)。衡量能够适应市场变化，很快地从生产一种产品或提供一种服务转向生产另一种产品或提供另一种服务的能力。

从大工业生产时代直至现在，特别是本世纪的前三十年，成本一直是企业制定战略时的首要考虑因素。低成本战略，或以最低的价格占领最大的市场份额，成了企业竞争的制胜法宝。随着经济的发展，质量越来越受到重视。然而，到了当代，许多企业发现仅靠低成本和高质量已不能保证企业获得成功。在激烈的市场竞争中，一些技术先进、设备精良、资金雄厚、生产效率很高的企业都也难逃失败的命运。众所周知，当七十年代，第一次石油危机冲击袭来，汽油价格大幅度上涨时，消费者们都纷纷转向购买油耗低的小型汽车，而美国的福特、通用和克莱斯勒三大汽车公司却没有及时地调整自己的战略，他们仍然满负荷地生产大马力、高油耗的大型豪华汽车。结果失去了消费者青睐的美国汽车大量积压，各大汽车公司陷入了困境，有的甚至濒临破产倒闭的边缘。而日本汽车公司却得消费者购车倾向变化之先，以全力生产小功率、低油耗、高功能的小型汽车为自己的战略，大举侵入美国市场，创造了前所未有的销售记录。经验告诉我们，高效率当然是企业成功的必要条件，但还不是成功的充分条件。要取得现代市场竞争的成功，除了提高企业的生产率之外，还需要灵活的应变能力。事实也表明全球化市场的竞争重点正逐步从成本、质量转移到了柔性。当今世界企业经营管理将逐步进入一个以柔性战略为中心，柔性、成本、质量和服务等战略要素多位一体的时代。。

柔性，已经越来越成为企业生存与发展的决定性因素。为了提高企业的柔性，人们早先的努力主要在制造系统方面，如柔性制造系统的开发与应用。但是通过实践，人们发现仅仅提高物的柔性是远远不够的。只是机器设备有柔性，操作者缺乏柔性，所构成的人机系统也没有柔性。研究表明，在美国一些企业安装的柔性制造系统并没有使企业具有柔性。原因是，企业的组织管理系统缺乏柔性。过于按职能进行专业化分工以及金字塔式的多层次组织结构，使得企业对外界变化的反应迟钝，即使生产系统的柔性很高，企业的整体柔性也不高。新的竞争环境使得现代企业必须采用一种新的企业管理模式，企业的整体柔性日益成为影响和决定企业兴衰的关键因素。

第三节 生产运作战略的内容

生产运作战略主要包括 3 方面内容：(1) 生产运作的总体战略；(2) 产品或服务的选择、设计与开发；(3) 生产运作系统的设计。

一、生产运作的总体战略

生产运作的总体战略包括 5 种常用的生产运作战略。

- 1、 自制或购买 这是首先要决定的问题。如果决定制造某种产品或由本企业提供某种服务，则需要建造相应的设施，采购所需要的设备，配备相应的工人、技术人员和管理人员。自制或购买决策有不同的层次。如果在产品级决策，则影响到企业的性质。产品自制，则需要建一个制造厂；产品外购，则需要设立一个经销公司。如果只在产品装配阶段自制，则只需要建造一个总装配厂，然后寻找零部件供应厂家。由于社会分工大大提高了效率，一般在作自制或购买决策时，不可能全部产品和零部件都自制。
- 2、 低成本和大批量 早期福特汽车公司就是采用这种策略。在零售业，Wal-Mart 和 K-Mart 公司也是采取这种策略。采用这种策略需要选择标准化的产品或服务，而不是顾客化的产品和服务。这种策略往往需要高的投资来购买专用高效设备，如同福特汽车公司当年建造 T 型车生产线一样。需要注意的是，这种策略应该用于需求量很大的产品或服务。只要市场需求量大，采用低成本和高产量的策略就可以战胜竞争对手，取得成功，尤其在居民消费水平还不高的国家或地区。
- 3、 多品种和小批量 对于顾客化的产品，只能采取多品种和小批量生产策略。当今世界消费多样化、个性化，企业只有采用这种策略才能立于不败之地。但是多品种小批量生产的效率难以提高，对大众化的产品不应该采取这种策略。否则，遇到采用低成本和大批量策略的企业，就无法去竞争。
- 4、 高质量 质量问题日益重要。无论是采取低成本、大批量策略还是多品种小批量策略，都必须保证质量。在当今世界，价廉质劣的产品是没有销路的。
- 5、 混合策略 将上述几种策略综合运用，实现多品种、低成本、高质量，可以取得竞争优势。现在人们提出的“顾客化大量生产”或称“大量定制生产”，既可以满足用户多种多样的需求，又具有大量生产的高效率，是一种新的生产方式。

二、产品或服务的选择、开发与设计

企业进行生产运作，先要确定向市场提供的产品或服务，这就是产品或服务选择或决策问题。产品或服务确定之后，就要对产品或服务进行设计，确定其功能、型号、规格和结构；接着，要对如何制造产品或提供服务的工艺进行选择，对工艺过程进行设计。

(一) 产品或服务的选择

提供何种产品或服务，最初来自各种设想。在对各种设想进行论证的基础上，确定本企业要提供的产品或服务，这是一个十分重要而又困难的决策。产品或服务的选择可以决定一个企业的兴衰。一种好的产品或服务可以使一个小企业发展成一个国际著名的大公司；相反，一种不合市场需要的产品或服务也可以使一个大企业亏损甚至倒闭。这已为无数事实所证

明。产品决策可能在工厂建成之前进行，也可能在工厂建成之后进行。要开办一个企业，首先要确定生产什么产品。在企业投产之后，也要根据市场需求的变化，确定开发什么样的新产品。

产品本质上是一种需求满足物。产品是通过它的功能来满足用户某种需求的。而一定的功能是通过一定的产品结构来实现的。满足用户需求，可能有不同的功能组合。不同的功能组合，由不同的产品来实现。因此，可能有多种产品满足用户大体相同的需求，这就提出了产品选择问题。比如，同是为了进行信息处理，是生产普通台式电脑还是生产笔记本电脑？同是为了货物运输，是生产轻型车还是生产重型车？必须作出选择。

产品选择需要考虑以下因素：

1、市场需求的不确定性 人的基本需求无非是食、衣、住、行、保健、学习和娱乐等方面，可以说变化不大。但满足需求的程度上的差别却是巨大的。简陋的茅屋可以居住，配有现代化设备的高级住宅也是供人居住。显然，这两者对居住需求的满足程度的差别是很大的。人们对需求满足程度的追求又是无止境的，因而对产品功能的追求无止境。随着科学技术进步速度的加快，竞争的激化，人们“喜新厌旧”的程度也日益加强。这就造成市场需求不确定性增加。由于一夜之间某企业推出全新的产品，使得原来畅销的产品一落千丈。现实情况是，很多企业不注意走创新之路。当电风扇销路好时，大家都上电风扇；洗衣机走俏时，大家都上洗衣机；农用车好赚钱时，又纷纷上农用车；现在又是 VCD 大战。结果，或者由于市场容量有限，或者由于产品质量低劣，造成产品大量积压，企业因此而亏损。因此，企业在选择产品时，要考虑不确定性，要考虑今后几年内产品是否有销路。

2、外部需求与内部能力之间的关系 在外部需求与内部能力之间的关系上，首先要看外部需求。市场不需要的产品，企业有再强的技术能力和生产能力，也不应该生产。同时，也要看到，对于市场上需求量大的产品，若与企业的能力差别较大，企业也不应该生产。企业在进行产品决策时，要考虑自己技术能力和生产能力。一般地讲，在有足够需求的前提下，确定生产一个新产品取决于两个因素。一是企业的主要任务。与企业的主要任务差别大的产品，不应生产。汽车制造厂的主要任务是生产汽车，决不能因为彩色电视机走俏就去生产彩色电视机。因为汽车制造厂的人员、设备、技术都是为生产汽车配备的，要生产彩色电视机，等于放弃现有的资源不用，能力上完全没有优势可言，是无法与专业生产厂家竞争的。当然，主要任务也会随环境变化而改变。如果石油枯竭，现在生产的汽车都将被淘汰，汽车制造厂可能就要生产电动汽车或者太阳能汽车。二是企业的优势与特长。与同类企业比较，本企业的特长决定了生产什么样的产品。如果选择没有优势的产品，是不明智的。一旦人家参加竞争，你就会败下阵来。

3、原材料、外购件的供应 一个企业选择了某种产品，要制造该产品必然涉及原材料和外购件的供应。若没有合适的供应商，或供应商的生产能力或技术能力不足，这种产品也不能选择。美国洛克希德(Lockheed)“三星”飞机用的发动机是英国洛尔斯-洛依斯(Rolls-Royce)公司供应的，后来洛尔斯-洛依斯公司破产，使得洛克希德公司也濒于破产，最后不得不由美国政府担保。

4、企业内部各部门工作目标上的差别 通常，企业内部划分为多个职能部门，各个职能部门由于工作目标不同，在产品选择上会发生分歧。如果不能解决这些分歧，产品决策也难以

进行。生产部门追求高效率、低成本、高质量和生产的均衡性，希望品种数少一些，产品的相似程度高一些，即使有变化，也要使改动起来不费事。销售部门追求市场占有率、对市场需求的响应速度和按用户要求提供产品，希望扩大产品系列，不断改进老产品和开发新产品。财务部门追求最大的利润，要求加快资金流动，减少不能直接产生利润的费用，减少企业的风险。一般说来，希望只销售立即能得到利润的产品，销售利润大的产品，不制造不赚钱的产品。由于职能部门工作目标上的差异，往往造成产品决策的困难。销售部门要求创新、发展，愿冒风险，要求保持广而全的多种产品的生产线。财务部门往往守住目前成功的产品，以扩大销售；生产部门由于追求低成本和简化的管理而要求尽可能生产少的品种，而销售部门矛盾的解决，只有通过最高管理层协调。

(二) 产品或服务的开发与设计策略

在产品或服务的开发与设计方面，有 4 种策略。

- 1、作跟随者还是领导者 企业在设计产品或服务时是作新技术的领导者还是作跟随者，是两种不同的策略。作领导者就需要不断创新，需要在研究与开发方面作出大量投入，因而风险大。但作领导者可以使企业领导新潮流，拥有独到的技术，在竞争中始终处于领先地位。英特尔公司就是采用的作领导者的策略。作跟随者只需要仿制别人的新产品，花费少，风险小，但得到的不一定是先进的技术。如果跟随者善于将别人的技术和产品拿过来进行改进，则有可能后来居上。这里还有一个是采用最先进的技术还是采用适用技术的问题。最先进的技术一旦拥有，优势在手。但采用先进技术的费用高、风险大。适用技术不一定是最先进的技术，但它是符合企业当前发展的、经过使用检验的技术。采用适用技术花费少，风险也小。
- 2、自己设计还是请外单位设计 同自制或购买决策一样，对产品开发和设计也可以自己做或请外单位做。一般地，涉及独到技术必须自己做。
- 3、花钱买技术或专利 利用大学和研究所的成果来节约研究与开发的费用不失为一种聪明的办法。巴特尔(Battle)研究所曾为施乐(Xerox)公司开发复印机产品，强生(Johnson and Johnson)公司曾利用宾州大学的专门技术开发治疗粉刺和皱纹的 Retin-A 产品，利用哥伦比亚大学的专门技术开发一种治癌药品。企业通过购买大学或研究所的生产许可证、专利权和设计，不仅少冒风险，而且节约了开发和设计的时间。
- 4、做基础研究还是应用研究 基础研究是对某个领域或某种现象进行研究，但不能保证新的知识一定可以得到应用。基础研究成果转化为产品的时间较长，而且能否转化为产品的风险很大。但是，一旦基础研究的成果可以得到应用，对企业的发展将起很大的推动作用。例如，Dow 化学品公司在 1982 年投入 50 万美元研究一种陶瓷化合物，这种陶瓷化合物与钢铁一样坚硬，却只有其一半的重量。几年以后，公司就发现这种陶瓷化合物可以用于装甲车等军事装备。

应用研究是根据用户需求选择一个潜在的应用领域，有针对性地进行的研究活动。

应用研究实用性强，容易转化为现实的生产力。但应用研究一般都需要基础理论的指导。

三、生产运作系统的设计

生产运作系统的设计对生产运作系统的运行有先天性的影响，它是企业战略决策的

一个重要内容，也是实施企业战略的重要步骤。生产运作系统的设计有 4 方面的策略，即选址、设施布置、岗位设计、工作考核和报酬。如表 2-1 所示。

1、 选址 生产服务设施建在什么地点的问题 ,对企业的运行效率和效果都有先天性的影响。在当年“ 要准备打仗 ” 的思想指导下，一些工厂进了山沟或山洞，造成今天生产成本高、难管理、难发展的局面。大学、餐馆、商店也都有选址问题。有的大学就是因为过去迁址造成今天难以发展的局面。

在工厂建成运行之后，有时也需要扩大生产能力。采取扩充现有设施的办法比较经济易行，但往往受到空间的限制。另一种办法就是购买或租赁厂房或服务设施，但不一定能够满足要求。第 3 种办法是另找地方建造新设施。这种办法选择的余地较大，但需要大量资金。设施还有一个集中还是分散安放的问题。

表 2-1 生产运作系统的设计

选址	设施布置	岗位设计	工作考核和报酬
*按长期预测确定所需能力 *评估市场因素 ,有形和无形成本因素 *确定是建造或购买新设施还是扩充现有设施 *选择具体的地区、社区和地点	*选择物料传送办法和配套服务 *选择布置方案 *评估建设费用	*按照技术、经济和社会的可行性确定岗位 *确定何时使用机器和/或人力 *处理人机交互 *激励员工 *开发、改进工作方法	*工作考核 *设置标准 *选择和实施报酬方案

2、 设施布置

设施布置对生产运作的效率有很大影响。设施布置不当，会造成运输路程长，运输路线迂回曲折，不仅浪费了人力、物力资源，而且延长了生产周期。

不同生产类型的设施布置形式不同。对大量大批生产，一般采用流水线布置。对多品种小批量生产，一般采用按功能布置(Layout by Process)，即将完成相同功能的机器设备布置在一起。功能布置有较高的柔性，但物料运送的路线长。第 3 种是固定位置布置(Fixed Position Layout)。按照固定位置布置，将原材料、零部件和人员集中到一个特定的地点，被加工的工件不动，机器设备和工具按加工需要配置，使用过的设备和工具随时拿走。飞机制造就是采用固定位置布置，大型电站锅炉的安装也是固定位置布置。采用固定位置布置的原因很简单：工件太大，不能移动。外科手术也是固定位置布置，病人(工件)在动手术是不能移动的。第 4 种布置是生产单元。按生产单元布置，把不同的设备集中到一起，进行有限范围内的产品生产。在生产单元中，机器设备不动，工件的移动也很有限。

除了生产设备布置以外，设施布置还包括物料传送方法和其它服务性设施的选择和配置。

对于服务业，确定设施布置时，要考虑生产过程的组织方式。是准制造式(Quasi

Manufacturing), 顾客参与式(Customer-as-Participant), 还是顾客作为产品式(Customer-as-Product)? 不同的运作方式的设施布置不一样。麦当劳(McDonald's)采用的是准制造式, 在全世界都取得了成功, 它为顾客提供的服务是标准化的, 与顾客的接触也很少, 有形的物品超过了无形的服务。

3、岗位设计

岗位设计是制定与每个员工工作有关的活动的正规的和非正规的说明, 包括岗位的结构和与同事、与顾客之间的联系。岗位设计有不同的指导思想和方案。一种是进行细致分工, 使每个员工只完成最简单的操作。这样可以提高工作效率, 从而提高生产系统的产出。福特最早的流水生产线上的岗位就是这样设计的。这种方式使工作单调乏味, 遭到工人的反对。另一种是进行粗略分工, 每个员工都从事不同的操作, 使工作丰富化。这样可以提高员工的工作兴趣, 但在一定程度上牺牲了效率。

在岗位设计上要正确处理人机分工。现在, 完全用手工进行工作的情况很少。一般都使用机器(包括计算机)来完成既定的任务。因此, 在岗位设计时要正确处理人机分工。人是最灵活而富有创造性的, 适用完成非例行的工作; 机器比人更持久、更准确地完成程序化的工作, 但没有人的能动性。如果让人做机器能做的事, 不仅浪费了宝贵的人力资源, 而且是不人道的。岗位设计要使机器和工作环境适合人的能力和需要, 而不是相反。道理很简单: 人不能重新设计来适应机器, 机器可以重新设计来适应人。

3、工作考核和报酬

对人的工作业绩要进行考核, 并将考核结果与报酬挂钩。这样才能激励员工努力工作, 不断改进工作方法, 发挥创造性, 提高工作效率。报酬涉及工资和薪水的数量和发放办法。通常有两种计酬的办法: 计时付薪和按贡献付薪。计时付薪就是按小时、天或月付薪, 适用于难以量化的工作。按贡献付薪包括计件和承包等办法, 适用于能够量化的工作。报酬系统的选择和设计对于发挥最重要的资源的潜力有十分重要的影响。

案例: 神龙汽车公司应该选择什么样的发展战略

神龙汽车公司是1992年5月18日由东风汽车公司出资70%, 法国雪铁龙公司出资25%, 法国国民银行出资5%组成的中外合资有限责任公司。它引进雪铁龙公司1992年在法国投产的ZX轿车生产技术, 该轿车的发动机排量为1.36升, 两厢五门车身。神龙公司现有襄樊机加厂和武汉总装厂, 前者生产发动机、车桥、变速箱, 后者包括冲压、焊装、油漆、总装车

间。1995年9月1日开始试生产出车，1996年销售汽车7000辆，市场占有率为1.89%，1998年销售汽车34000辆，市场占有率6.73%。

神龙公司从1992~1998年间共投入资金100亿元，与滚动发展的企业上海桑塔纳、天津夏利相比，神龙由于远未达到经济规模，也没有达到15万辆的生产能力，因此企业背着沉重的债务负担。公司的流动资金非常紧张，多次因资金困难而运转不灵。在市场营销方面，从纵向比较，公司这几年销售增长较快，但从横向与一汽大众比，则还有较大差距。一汽大众1997、1998年的销售量已分别达到4.6万辆、6万辆，而且已实现较大的盈利。1998年上海大众、天津夏利、长安奥托的销售量分别为23.5万辆，9.96万辆，3.6万辆，因此神龙在中国汽车市场上仍处在市场挑战者地位。

一、神龙公司所处外部环境

1、国家经济与行政体制改革

自1998年以来，中国政府几次降低银行存款利率，降低银行存款准备金率，恢复国债回购，发行1000亿元的特种国债用于增加公共投资的措施，目标是启动新一轮经济增长。但是，改革在进行了近二十年后到了攻坚阶段，各种遗留的困难问题都急待解决，因此政府在同期内又出台了許多力度很大的经济改革措施，如产权制度改革、企业减员增效、职工下岗分流、国家行政机构改革、银行体制改革、社会养老保险改革、住房制度改革及即将进行的医疗制度改革。这些改革是使投资和消费需求都更加有约束。但是，职工下岗和政府职员转岗使居民对未来的收入预期不看好，而社会保险和福利制度改革、住房制度改革和医疗卫生制度改革都使居民对未来的支出预期增加，因此更不敢增加消费。从居民储蓄对银行工资性支出的比例看，1997年全年平均高达57%，而1998年1-10月则进一步上升到60%，1999年一季度全国居民储蓄增加了3400亿元，创下了季度增加的新高。这些情况对汽车工业的发展构成了不利的影响。

2、国家汽车工业产业政策

国家是鼓励汽车工业发展的。中国将出台《汽车管理条例》，它将取消以汽车使用年限和行驶里程作为报废标准，而直接按汽车本身的安全、环保、节能的标准决定汽车能否继续使用。该项政策的出台将极大地鼓励在产品开发上的技术进步，促使汽车厂竭尽全力开发安全性、环保性、节能性俱佳的汽车产品。对用户而言，他们将不再贪图便宜去买那些安全、环保、节能性差的产品。由于神龙轿车是九十年代的全新先进技术产品，而且实施的是一年一个新产品的国内领先开发产品战略，因此该政策的出台将对神龙公司的发展起很大的促进作用。

3、走私车和拼装车问题

据资料统计，1997年各类走私汽车高达10万辆，1998年仅第一季度日本车的非正常进口量就达1.9万辆，是正常进口量的2.8倍。1998年7月以来，全国开展了一场声势浩大的反走私联合行动和专项斗争，并组建专门的缉私武警部队，已经取得了阶段性的成果。

拼装车是又一个问题。每年光拼装进口吉普车就近两万辆，超过北京切诺基的产销量。拼装车除标牌外都是进口件，价格比国产车稍高，但比进口车便宜。它通常受地方政府保护，得以减免税，赚取高额利润。走私车和拼装车对国产车是一个冲击。

4、进口关税下调

国产轿车的主导产品的国产化率均已经超过80%，成本和价格已下降到可与进口车抗争的水平，因此近年进口汽车的市场份额已下降到10%左右。种种迹象表明中国将于1999年底加入世贸组织，关税必然会逐步下调到许诺的15%。由于其它产品已无多大降税空间，汽车关税将首当其冲。汽车及零部件关税的下调，无疑会提高进口汽车的市场竞争力。这对神龙公司的发展自然不利，必须早做对策，迎接“入关”的挑战。

5、税收体制改革和费改税

在汽车的购买、落籍和使用中的收费，涉及交通、公安、城建、工商、财政、环保等部门，收费政策政出多门，层层加码，名目繁多，车主和使用单位不堪重负。例如广东省购置税费22项，使用环节税费28项。在广东省内各条公路上，路桥收费站295个，平均每年每台车仅过路桥费一项，平均就达6~7万元。

国家计委的调研报告的汽车税费改革方案建议内容为：改车辆购置费为车辆购置税；改车船使用税为汽车税；设立燃油税，取消养路费、公路建设基金、增容费等车辆购置附加费等。

实施燃油税，是一件利国利民的重大举措。由于神龙公司生产的轿车系列是典型的绿色环保、节能安全轿车，它将成为中低收入家庭用车的首选目标，而一些污染大、能耗高的轿车或微型车将逐步被淘汰。

6、公车改革

公车改革将打破过去的官本位的按级别配车制度。公车改革在短期内可能对汽车市场造成冲击，但从长期看它将有损于出租车和私人用车的销售，而对中高档轿车的销售不利。可见公车改革对神龙汽车公司的长远发展是个好消息。

7、银行按揭销售轿车

分期付款购车是我国目前发展民族汽车工业的最佳途径。因此国家在1998年底颁布了银行按揭销售汽车管理办法。由于银行按揭业务是针对潜在的个人消费者，即那些有购车欲望又不能一次全部付款的个人，而这些人借钱提前消费必然是选择经济型轿车。

8、文化因素

人们的汽车消费观念，是影响汽车销售的重要原因。中国人传统上把乘用小汽车称为“轿车”，因为轿车最早只有官员和富贵人家才能乘坐，而这些人原本是坐轿的，因此老百姓心目中的轿车是有头有尾的三厢式汽车。但是平民老百姓在自己购车时，讲究的都是便宜实用，因此同是两厢车的奥托、夏利前几年一直销售火爆。而公款购车的官员和“老板们”，他们要的是气派、排场、面子，他们不愿意在自己的汽车上与出租车、私人用车同一档次。而富康的两厢式轿车在价格上与捷达、桑塔纳相差无几，却是两厢的，因此神龙富康与它们在公务车、商务车上的竞争处于被动。另一方面，由于夏利、奥托的生产成本低，有价格优势，因此神龙富康在中小城市出租车和农村用车市场上也较被动。

9、竞争对手状况分析

到1998年，中国轿车市场已经基本形成“一枝独秀，三强争雄”的竞争格局。上海大众以占有中国轿车市场近50%的市场份额一枝独秀。天津夏利得益于其起步早，多年来滚动投资发展，已在中国的出租车及私人用车市场先入为主，占有约20%的市场份额。一汽大众与神龙类似，属于集中投入一次建成的模式。从表1可看出神龙的三个竞争对手的销量和市场

占有率情况。

表1 国内四大轿车公司销售情况表

企业名称	97年		98年		99年
	销售量（辆）	市场占有率	销售量（辆）	市场占有率	一季度销量
上海大众	230186	48.4%	235020	46%	51221
天津夏利	96627	20.3%	99668	20%	25991
一汽大众	45153	9.5%	60328	11.9%	15418
神龙公司	28028	5.9%	33364	6.7%	7775

1) 上海大众

上海大众1986年建厂,起步早,国产化率高,现在已取得了良好的经济效益和社会效益。其竞争优势主要表现在:(1)品牌优势。桑塔纳最早进入市场,它的形象已被中国男女老少普遍认同。(2)营销和服务优势。桑塔纳有密布全国的销售和服务网点,配件价格低,服务及时。(3)成本和价格优势。由于国产化早,并形成规模经济效应,其成本比神龙低得多。其竞争劣势表现为:(1)产品开发的能力低,速度慢。(2)产品质量水平不稳定,车型性能属于八十年代水平。(3)缺少一个进入大众家庭的经济型轿车。

2) 一汽大众

一汽大众1991年2月6日成立,它从一开始就按汽车工业的经济规模、集中投资,并于1997年7月一次建成投产。在项目建设期内,上缴国家各种税款30亿元,销售汽车98304辆,从1997年开始盈利并提前还贷,建成当年实现部分整车和总成出口,实现班产250辆的生产能力。在轿车市场徘徊不前的情况下,1998年一汽大众能取得30%以上的增长率。其竞争优势主要有:(1)有一汽集团的强有力的人才队伍、产品开发、销售网络、零配件配套、能源供给方面的全方位的支持。(2)产品开发能力强,从捷达车身及发动机的改进,到捷达王的诞生和自动变速箱的投产,都领先于国内其它企业。(3)生产效率高,预计其15万辆轿车全面生产后,人员将在5700人以内。其竞争的劣势表现在:(1)从其个人购车只占10%左右看,要进一步开拓市场还需建立自己的高效的营销体系。(2)目前缺少一个1.3L左右进入家庭的经济型轿车。

3) 天津夏利

自1986年以CKD方式开始生产以来,经过多年的滚动发展,已形成15万辆生产能力,国产化率已达到90%以上,是国内目前排量1.0升以下轿车生产批量最大的公司。

天津夏利的竞争优势是:(1)经济性好油耗低,功率大,小巧玲珑占地少,属经济型轿车。(2)价格适中,在现有的经济条件下,容易被私人出租车司机所接受。(3)国产化率高,生产成本较低,备件价格低。天津夏利的竞争劣势也是明显的:(1)产品质量较差,性能不佳,如空调制冷效果不佳。(2)产品开发能力和水平尚待改进。如开发的三厢夏利车不太成功。(3)市场营销缺乏力度,仅仅依靠价格吸引消费者。

二、神龙公司内部经营条件

1、市场营销分析

神龙富康虽是先进车型,但最晚进入中国市场,与兄弟企业相比,是“小孩和大人赛跑”。

为了“让用户更满意”，神龙公司迅速建立了营销网络，目前已有销售商449家，服务站340家，水、陆、空32家运输商和逐步占优势的宣传网。

- (1) 消费者或用户 神龙汽车的用户的地理分布主要集中在湖北省、北京市、浙江省，最近在江苏、四川、广州的销售也日趋看好，总体看地理分布较窄，集中在一些较富裕的大城市。
- (2) 广告宣传 公司在广告宣传方面，东风销售部策划的电视广告“坐富康车，走富康路”曾给人深刻印象。最近中央电视台播出的神龙电视广告，以“绿色环保、安全节能”为促销主题，切中了未来汽车消费趋势的要点。
- (3) 销售 销售网络已初步形成，但布点不合理，同一地区几家经销商相互削价竞争甚至跨地区的低价倾销时有发生。销售人员的素质普遍较差，很多销售人员都没有专门知识和经验，甚至有不少各部门不胜任原岗位的人员转岗到市场营销部。

(4) 分销 神龙公司的分销系统包括了直销、批发商、零售商及代理商，但代理制的推行不太成功，主要由于代理商经营的目的不是佣金，而是利用回收货款进行别的经营活动，使得神龙回款困难。神龙的储运工作是成功的，通过公路、铁路、船运等方式已基本实现了国际上通行的零公里运输，在全国建立了五大中转储存库。

(5) 服务 神龙公司向用户做出了12条售后服务承诺，并提出了十五项优质服务项目，以落实“精品服务”。由于服务态度好，服务质量高，获得了“全国售后服务先进企业”的荣誉。在售后服务上，主要的问题仍是备件价格偏高，服务站的分布仍不合理，一些地区没有服务站。

2、生产运行分析

神龙汽车公司全面引进雪铁龙的生产工艺和质量控制技术，配备了先进的、大量的进口生产设备和质检设备，由于严格管理，其产品质量在全国轿车行业中已形成了优势。1998年8月，神龙汽车公司顺利地通过了中国汽车产品质量认证中心和法国BVQI国际质量认证有限公司的ISO9000质量认证，拿到了通向国际市场的通行证。

(1) 设施 武汉总装厂和襄樊机加工厂的生产能力已基本达到15万辆/年，生产能力利用率仅为22%左右。冲压生产线已达到国际水平，焊装、油漆、发动机等车间及质检设备达到国内先进水平。生产工厂的集中程度比竞争对手低，上海大众、一汽大众、天津夏利都是总装和机加工集中生产。

(2) 质量 神龙公司视质量为企业的生命，力求造精品创名牌。神龙形成了一整套较为科学的质量保证体系。但在外协件质量控制和用户故障质量分析方面还有很多工作要做。如1997年，1998年两次发生水厢漏水的大批量重大质量事故，反映了外协件进厂质量控制的问题。

(3) 库存 神龙公司在控制库存上做了一些工作，如座椅的看板直供上线。但由于市场预测不准，零配件和原材料的库存仍较大，平均为三个月的库存水平，离国外的1~2天的库存水平相差甚远。产品库存从1999年1月到4月，库存保持在12000~15000辆汽车之间，积压资金十几亿元。

(4) 劳动力 神龙汽车公司有一支稳定、年轻、有知识的生产一线队伍，经过两三

年的培训和实践，他们已经逐步走向成熟。

- (5) 供应商 由于神龙的自制件比例只有20%左右，因此需要采购大量的零配件、原材料和辅料。在公司创立初期每种零配件及钢板的供应商只有一家，缺乏竞争，导致价格过高；同时有些厂家改进质量和服务的积极性也较差。近两年在推行A B两家供应商制度后，神龙公司控制供应商的能力有所增强。

3、产品研究与开发分析

在东风、雪铁龙两个母公司的大力支持下，神龙“一年一个新产品”，两年实现了5个系列，13种车身颜色，从单一品种，向以两厢车为基本型，向上发展三厢车，满足公务车、商务车用户的需求，满足中国用户的独特文化要求；向下开发神龙商务车系列；横向拓展发动机排量系列，1.36L，1.6L，1.36L电喷，1.6L电喷。形成了神龙富康的三维产品车型空间。在车型上大做文章的同时，加大发动机、变速箱及关键总成零部件的改进和变型力度，以普通型、标准型、豪华型多层次满足用户的需求。

神龙汽车公司有一批精干、高效的产品开发人员，同时得到雪铁龙技术中心和东风技术中心的大力支持，三方的联合开发较为成功。但是离独立开发一种新产品的要求还很远。

公司现有的两厢式富康轿车正处在产品生命周期的成长期，越来越多的消费者开始认同这种具有强烈欧洲风格的轿车，但因成本偏高，赢利能力一般。公司的三厢988轿车正处在产品生命周期的导入期，因定价较高，赢利能力强，但销售不畅。

4、财务分析

(1) 财务状况 神龙公司是国家“八五”重点建设项目，一期工程为15万辆生产能力，经过调整后的投资预算为103亿元，到1998年底完成投资100亿元，公司总资产为184亿元，其中固定资产83亿元，流动资产59亿元。公司的注册资本为25亿元，注册资本金比例为25%。1997年实现销售收入34.32亿元，1998年实现销售收入37亿元左右，销售收入增长8%，但1997年、1998年一直处于亏损状态。为此神龙公司推行预算管理，严把预算关。公司近两年抓住采购成本这个大头，采用AB配套点竞争的手段，控制质量和降低成本，1997年比1996年降低22.4%，到1998年10月止，又比1997年下降了25.4%。

(2) 投资情况 一汽捷达投资83亿元达到15万辆生产能力，而神龙公司则投资了103亿元；设备采购基本没有采取国际招标方式，比价采购虽然采用但效果很差，尤其是进口设备；投资立项层层签字把关，但流于形式，缺乏统一的投资控制管理部门。

5、未来竞争形势分析

中国轿车市场的竞争将以上海大众、天津夏利全力维持其市场份额，而神龙公司、一汽大众以挑战者姿态拼命挤占抢占对手的市场份额全面展开，这种竞争将异常的激烈。其原因在于：

(1) 中国轿车市场到1998年已处于增长停顿的状态，1999年甚至可能出现负增长，而在这有限市场中，各公司都已形成了较大的生产能力，其总量超出了市场的需求(见表2)，各公司尤其是扩张性思维的公司为了利用其生产能力，必然充分利用其各自的优势，采取相应的竞争手段，以期获取优势。

表2 各轿车厂2000年前形成的生产能力 单位:万辆

生产厂家	1997年	1998年	1999年	2000年
上海大众	30	30	45	45
神龙汽车	10	15	15	15
一汽大众	15	16	17	18
天津夏利	15	15	30	30
长安铃木	5	5	10	15
北京吉普	8	8	8	10
一汽轿车	3	6	6	6

(2) 中国虽然只有50万辆的轿车市场，但却是全世界轿车公司最多的国家，较知名的除上述七家，还有上海通用、广州本田及重庆奥托、三雀、西安秦川等，加上不知名的有近二十家，如此众多的厂家争先恐后分一个较小的蛋糕，很明显市场竞争必然激烈。同时虽然从市场占有率看上海大众遥遥领先，但与国际汽车公司年销量的绝对数比较，中国的轿车厂家都相差无已。

(3) 在轿车市场上，有两家依靠国家的正规军，即神龙汽车、一汽大众，它们依仗其人才、产品开发及技术等优势，绝不会甘于落后，绝不会满意其现有的市场份额，从而必然导致市场的激烈竞争。

讨论题 :你认为神龙汽车公司应该采用什么样的企业战略和生产战略才能求得生存和发展？

小结

本章阐述了生产运作战略问题。第一节从现代企业在产品竞争方面的特点、大公司的合并和跨国公司的发展、基于时间的竞争以及先进制造技术的发展等四个方面，分析了现代企业所处的环境及其特点。第二节论述战略和战略管理的重要性和企业战略的制定的内外条件，分析了3种市场竞争战略对生产运作战略的要求，特别提到对生产系统柔性和企业柔性的要求已成为企业生存和发展的决定性因素。第三节阐述生产运作战略的内容，包括生产运作的总体战略，产品或服务的选择、开发与设计决策，生产运作系统的设计等方面的内容。

思考题

- 1、现代企业在产品竞争方面有哪些特点？
- 2、什么是基于时间的竞争？基于时间的竞争对生产运作管理有什么要求？

- 3、什么是企业战略和战略管理？它们之间有什么联系与区别？
- 4、制定企业战略要考虑哪些外部条件和内部条件？
- 5、市场竞争战略对产品和服务有哪些要求？产品和服务对生产运作系统有哪些要求？
- 6、生产运作总体战略包含哪些内容？
- 7、产品选择需要考虑哪些因素？
- 8、在产品或服务的开发与设计方面有哪些策略？
- 9、生产运作系统设计有哪些重要决策？

第三章 需求预测

任何社会组织都是通过向社会提供各种产品或服务来求得生存与发展。为了向用户提供满意的产品和服务，并能发挥组织的优势，决策者必须面对这样一些问题：为哪些用户提供产品或服务；所提供的产品或服务应具备哪些特色；什么时候提供这些产品或服务；在什么地方提供这些产品或服务；提供多少产品或服务；等等。

对以上问题的回答在很大程度上取决于对未来需求的预测。本章将首先介绍预测的基础知识，然后着重介绍几种常见的定性和定量预测方法，最后介绍预测监控的问题。

第一节 预测

一、预测及其分类

（一）什么是预测

预测是对未来可能发生的情况的预计与推测。由于未来情况有很大的不确定性和变化，预测不可能是绝对准确的。即使是十分周密的预测，也可能与未来事实不完全相符，甚至相差很远。事实上，与未来事实完全一致的预测是相当少见的。然而，“凡事预则立，不预则废”，尽管预测不可能百分之百准确，它仍具有不可忽视的作用。

预测不仅是长期的战略性决策的重要输入，而且是短期的日常经营活动的重要依据。任何组织都应当通过预测来指导自己的生产活动。比如服务行业，其服务一般是不能存贮的，因此，必须尽可能准确地估计未来的需求，以配置适当的服务能力。如果员工太多，势必造成浪费；如果员工太少，就可能失去生意、丧失顾客，或者加重员工的工作负担。

在组织内部，预测为编制各部门的计划提供了基础。显然，当各部门基于相同的预测结果开展工作时，它们的步调是一致的，它们间的活动是相互支持的。比如在在一个制造企业里，人事部门雇佣适当数量的具有不同技能的员工；采购部门签订各种各样的原材料、零部件购销合同；财务部门在对销售收入和资金需求的估计基础上，决定在适当的时间以多快的速度筹措资金。这些都是以共同的预测为基础开展各自的业务的。

（二）预测的种类

1. 科学预测 科学预测是对科学发展情况的预计与推测。它有时是可以精确计算出来的。如门捷列夫发现了元素周期表，并按照元素周期表预计有 3 个当时未发现元素存在，他称这 3 个元素为亚铝、亚硼和亚硅。后来，这 3 个元素都发现了，就是镓、钪和锗。科学预测应该由科学家来做。

2. 技术预测 技术预测是对技术进步情况的预计与推测。电力行业对太阳能和核能方面的技术进步速度感兴趣，石油化工行业关心从油页岩里提炼油的技术的发展状况。一方面，技术进步为很多企业提供了新的产品和原材料，另一方面也使一些企业面临着同行业或相近行业的更加激烈的竞争。因为技术进步即使不能从根本上改变一种产品，但它所引起的生产该产品的方式的变化也可能导致大量的资金节约(对使用新技术的企业而言)或浪费(对未使用新技术的企业而言)。技术预测最好由该领域的专家来进行。

3. 经济预测 政府部门以及其它一些社会组织经常就未来的经济状况发表经济预测报告。对政

府部门而言,关于未来总的经济形势的估计是十分重要的,因为它是预计税收收入、就业水平、货币需求等经济指标的基础。企业可以从这些报告中获取长期的和中期的经济增长指标,以规划自己的行动。

4. 需求预测 需求预测不仅为企业给出了其产品在未来的一段时间里的需求期望水平,而且为企业的计划和控制决策提供了依据。既然企业生产的目的是向社会提供产品或服务,其生产决策无疑会很大程度地受到需求预测的影响。

5. 社会预测 社会预测是对社会未来的发展状况的预计和推测。比如人口预测、人们生活方式变化预测、环境状况预测等。

需求预测与企业生产经营活动关系最密切,是本章讨论的重点。

二、影响需求预测的因素

对企业产品或服务的实际需求是市场上众多因素作用的结果。其中有些因素是企业可以影响甚至决定的,而另外一些因素则是企业无法控制的。在众多的因素中,一般地讲,某产品或服务的需求取决于该产品或服务的市场容量以及该企业所拥有的市场份额,即市场占有率。图 2-1 给出了影响需求的各种因素,其中,用曲线圈起来的因素是企业努力可以做到的。我们只对其中一些主要因素进行讨论。

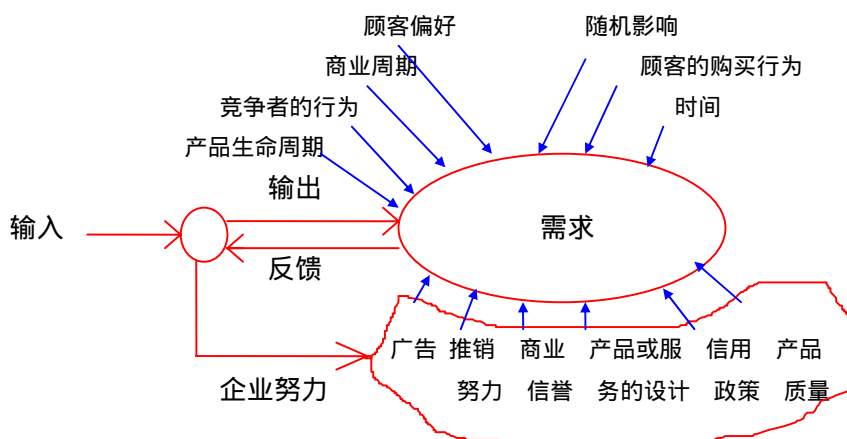


图 3-1 影响需求的因素

(一) 商业周期

商业周期从复苏到高涨到衰退到萧条,周而复始。处于不同的阶段,需求不同。

(二) 产品生命周期

任何成功的产品都要导入期、成长期、成熟期和衰退期 4 个阶段。4 个阶段对产品的需求是不同的。在导入期,顾客对产品了解得不多,销售量不会很大,但呈逐步上升趋势。到了成长期,产品需求急剧上升,一般会出现仿制品,将影响销售量上升的速度。到了成熟期,每个希望拥有某种产品的人都能买到这种产品,销售量达到最高点。到了衰退期,产品销售量下降,若不进行更新换代或改进,产品就不会有销路。

三、预测分类

预测按不同的目标和特征可以分为不同的类型。这里是按预测期限的长短、主客观因素在

预测中的作用等进行分类的。

(一) 按预测时间的长短分类

1. 长期预测(Long-range Forecast) 长期预测是指对 5 年或 5 年以上的需求前景的预测。它是企业长期发展规划、产品开发研究计划、投资计划、生产能力扩充计划的依据。长期预测一般通过对市场的调研、技术预测、经济预测、人口统计等方法,加上综合判断来完成,其结果大多是定性的描述。

2. 中期预测(Intermediate-range Forecast) 中期预测是指对一个季度以上两年以下的需求前景的预测。它是制订年度生产计划、季度生产计划、销售计划、生产与库存预算、投资和现金预算的依据。中期预测可以通过集体讨论、时间序列法、回归法、经济指数相关法或组合等方法结合判断而做出。

3. 短期预测(Short-range Forecast) 短期预测是指以日、周、旬、月为单位,对一个季度以下的需求前景的预测。它是调整生产能力、采购、安排生产作业计划等具体生产经营活动的依据。短期预测可以利用趋势外推、指数平滑等方法与判断的有机结合来进行。

(二) 按主客因素所起的作用分类

1. 定性预测方法(Subjective or Qualitative Approach) 定性预测方法也称主观预测方法,它简单明了,不需要数学公式。它的依据是来源不同的各种主观意见。定性预测方法包括德尔菲法、部门主管集体讨论法、用户调查法、销售人员意见汇集法等(如图 3-2 所示)。第 2.2 节将对以上方法做具体的说明。

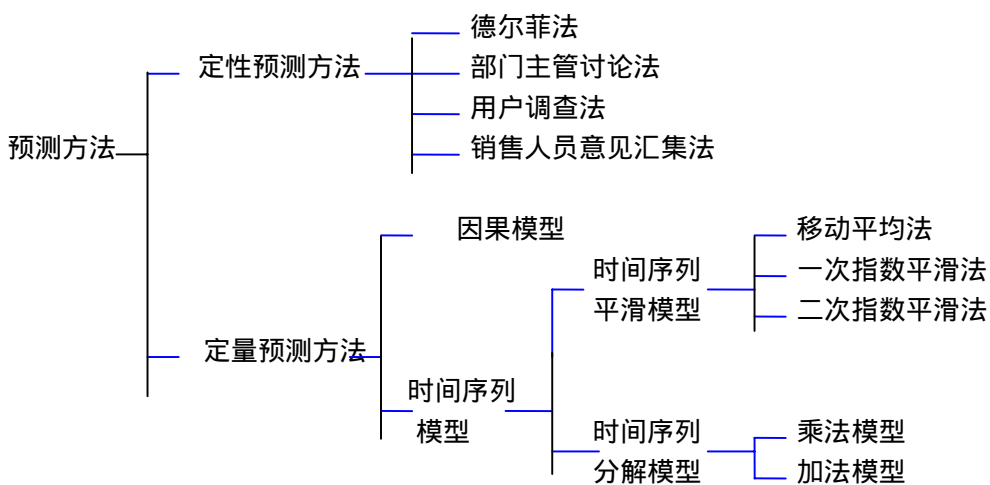


图 3-2 预测方法分类

2. 定量预测方法(Quantitative or Statistical Approach) 定量预测方法又称统计预测法,其主要特点是利用统计资料和数学模型来进行预测。然而,这并不意味着定量方法完全排除主观因素,相反,主观判断在定量方法中仍起着重要的作用,只不过与定性方法相比,各种主观因素所起的作用小一些罢了。定量预测方法可分为因果模型和时间序列模型,时间序列模型还可进一步细分,如图 3-2 所示。定量预测方法是本章的重点,第三节将深入讨论各种具体方法。

四、预测的一般步骤

预测的一般步骤可简单叙述如下：

决定预测的目的和用途； 根据企业不同的产品及其性质分类； 决定影响各类产品需求的因素及其重要性； 收集所有可以利用的过去和现在的资料，加以分析； 选择适当的预测方法或模型； 计算并核实初步预测结果； 考虑和设定无法预测的内外因素； 对 、 两步进行综合考虑，判断并做出结论，然后求出各类产品或地域性的需求预测； 将预测结果应用于生产计划工作中； 根据实际发生的需求对预测进行监控。

五、预测中应注意的几个问题

（一）判断在预测中的作用

预测不能被当做是象数学、物理一样的精确的科学，而应看作是一门艺术，一种特别的技巧。预测的输入不象数学、物理的输入那样，是自然现象的确定的表现，而是经验、主观分析等不确定的信息或历史数据提供的过去的信息。同时，影响预测结果的诸因素间也不存在过去现在和将来都起着同样作用的联系和规律。因此，判断在预测中起着十分重要的作用。

1. 判断在选择预测方法中的作用 面对一个预测问题，首先要确定采用什么样的方法。用定性方法还是定量方法？用哪一种具体的定性或定量方法？是否用由多种方法组成的混合方法？等等。要回答这些问题，必须仔细分析预测的目的、预测问题的环境以及预测者在人、财、物、信息各方面资源的情况，然后再做出判断，选出合适的预测方法。另外，当实际需求发生以后，若实际值与预测值有较大的偏差，原方法是否继续使用？应选用什么新的方法？也需预测者按时做出选择。

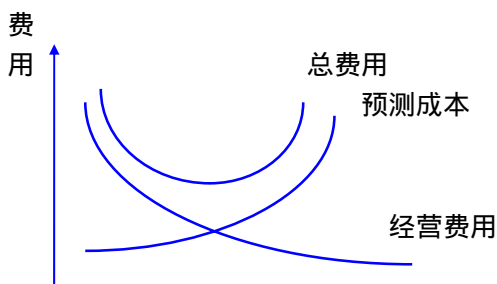
2. 判断在辨别信息中的作用 不管使用什么样的预测方法，都存在着输入信息的问题。哪些信息，比如历史数据、各种图表、影响需求的各种因素等是有价值的，是必须输入的？所有选定的信息是否同等地影响着需求？应如何确定各因素的重要程度？等等。这些问题也只能通过判断来解决。

3. 判断在取舍预测结果时的作用 单个的预测值往往是不准确的，百分之几到百分之几百的偏差都不足为奇。因此，常常使用多种方法或用一种方法做出悲观、乐观等多种预测。对于各种不同的预测结果如何取舍，同样需要判断。

应该指出的是，上面强调了判断的作用，但决不能把预测等同于判断。预测虽不能与数学物理奢谈“科学性”，但较之“拍脑袋”这类纯粹主观的判断，仍要科学得多。这里所强调的判断是指在应用预测方法基础之上的判断，是对迷信预测结果的态度的一种批判。

（二）预测精度与成本

在选择预测方法时，显然要在成本和精度之间权衡。精确的预测方法在实施时的成本一般较高，但它能取得精度较高即与实际需求偏离较小的预测值，从而最终使生产经营成本降低。图 3-3 说明成本与精度之间的关系。应该注意的是：第一，不存在百分之百准确的预测方法，因而不要为了预测的绝对准确而白费心机。第二，就任何一个预测问题而言，存在精度比较合理的最低费用区间。



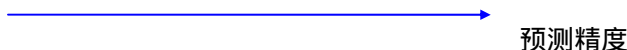


图 3-3 预测精度与成本的关系

（三）预测的时间范围和更新频率

预测是基于历史，立足现在，面向未来的。从现在到未来之间的时间就是预测的时间范围。不同的预测方法有不同的时间范围，因而在选用预测方法时应特别留意这一点。另外，时间范围越大，预测结果越不准确。

同时，任何一种预测方法都不可能完全适用于某一预测问题，应根据实际需求不断检验预测方法。若预测值与实际值偏离过大，则应更新预测方法。

（四）稳定性与响应性

稳定性与响应性是对预测方法的两个基本要求。稳定性是指抗拒随机干扰，反应稳定需求的能力。稳定性好的预测方法有利于消除或减少随机因素的影响，适用于受随机因素影响较大的预测问题。响应性是指迅速反映需求变化的能力。响应性好的预测方法能及时跟上实际需求的变化，适用于受随机因素影响小的预测问题。良好的稳定性和响应性都是预测追求的目标，然而对于时间序列模型而言，这两个目标却是互相矛盾的。如果预测结果能及时反映实际需求的变化，它也将敏感地反映随机因素影响。若要兼顾稳定性和响应性，则应考虑除时间以外的内外因素的影响，运用其它的预测方法。

第二节 定性预测方法

一、德尔菲法(Delphi Method)

德尔菲法又称专家调查法，是本世纪四十年代末期由美国兰德公司首先提出、很快就在世界上盛行起来的一种调查预测方法。现将此法的应用过程概述如下。

第一步是挑选专家，具体人数视预测课题的大小而定，一般问题需 20 人左右。在进行函询的整个过程中，自始至终由预测单位函询或派人与专家联系，不让专家互相发生联系。

专家选定之后，即可开始第一轮函询调查。一方面向专家寄去预测目标的背景材料，另一方面提出所需预测的具体项目。首轮调查，任凭专家回答，完全没有框框。专家可以以各种形式回答问题，也可向预测单位索取更详细的统计材料。预测单位对专家的各种回答进行综合整理，把相同的事件、结论统一起来，剔除次要的、分散的事件，用准确的术语进行统一的描述。然后将结果反馈给各位专家，进行第二轮函询。

第二轮函询要求专家对所预测目标的各种有关事件发生的时间、空间、规模大小等提出具体的预测，并说明理由。预测单位对专家的意见进行处理，统计出每一事件可能发生日期的中位数，再次反馈给有关专家。

第三轮是各位专家再次得到函询综合统计报告后，对预测单位提出的综合意见和论据加以评价，修正原来的预测值，对预测目标重新进行预测。

上述步骤，一般经过三至四轮，预测的主持者要求各位专家根据提供的全部预测资料，提出最后的预测意见，若这些意见收敛或基本一致，即可以此为根据作出判断。

以上所述是德尔菲法的基本过程。它是在专家会议的基础上发展起来的一种预测方法。其主要优点是简明直观，预测结果可供计划人员参考，受到计划人员的欢迎。避免了专家会议的许多弊端。在专家会议上，有的专家崇拜权威，跟着权威一边倒，不愿发表与权威不同的意见；有

的专家随大流,不愿公开发表自己的见解。德尔菲法是一种有组织的咨询,在资料不甚全或不多的情况下均可使用。

德尔菲法虽有比较明显的优点,但同时也存在着缺点。例如,专家的选择没有明确的标准,预测结果的可靠性缺乏严格的科学分析,最后趋于一致的意见,仍带有随大流的倾向。

在使用德尔菲法时必须坚持三条原则。第一条是匿名性。对被选择的专家要保密,不让他们彼此通气,使他们不受权威、资历等方面的影响。第二条是反馈性。一般的征询调查要进行三至四轮,要给专家提供充分反馈意见的机会。第三是收敛性。经过数轮征询后,专家们的意见相对收敛,趋向一致,若个别专家有明显的不同观点,应要求他详细说明理由。

二、部门主管集体讨论法(Jury of Executives)

通常由高级决策人员召集销售、生产、采购、财务、研究与开发等各部门主管开会讨论。与会人员充分发表意见,提出预测值,然后由召集人按照一定的方法,如简单平均或加权平均,对所有单个的预测值进行处理,即得预测结果。

这种方法的优点是:简单易行;不需要准备和统计历史资料;汇集了各主管的经验与判断;如果缺乏足够的历史资料,此法是一种有效的途径。

这种方法的缺点是:由于是各主管的主观意见,故预测结果缺乏严格的科学性;与会人员容易相互影响;耽误了各主管的宝贵时间;因预测是集体讨论的结果,故无人对其正确性负责;预测结果可能较难用于实际目的。

三、用户调查法(Users' Expectation)

当对新产品或缺乏销售记载的产品的需求进行预测时,常常使用用户调查法。销售人员通过信函、电话或访问的方式对现实的或潜在的顾客进行调查,了解他们对与本企业产品相关的产品及其特性的期望,再考虑本企业的可能市场占有率,然后对各种信息进行综合处理,即可得到所需的预测结果。

这种方法的优点是:预测来源于顾客期望,较好地反映了市场需求情况;可以了解顾客对产品优缺点的看法,也可以了解一些顾客不购买这种产品的原因,有利于改进、完善产品、开发新产品和有针对性地开展促销活动。

这种方法的缺点是:很难获得顾客的通力合作;顾客期望不等于实际购买,而且其期望容易发生变化;由于对顾客知之不多,调查时需耗费较多的人力和时间。

四、销售人员意见汇集法(Field Sales Force)

这种方法有时也称基层意见法,通常由各地区的销售人员根据其个人的判断或与地区有关部门(人士)交换意见并判断后做出预测。企业对各地区的预测进行综合处理后即得企业范围内的预测结果。有时企业也将各地区的销售历史资料发给各销售人员作为预测的参考;有时企业的总销售部门还根据自己的经验、历史资料、对经济形势的估计等做出预测,并与各销售人员的综合预测值进行比较,以得到更加正确的预测结果。

这种方法的优点是:预测值很容易按地区、分支机构、销售人员、产品等区分开;由于销售人员的意见受到了重视,增加了其销售信心;由于取样较多,预测结果较具稳定性。

这种方法的缺点是:带有销售人员的主观偏见;受地区局部性的影响,预测结果不容易正确;当预测结果作为销售人员未来的销售目标时,预测值容易被低估;当预测涉及紧俏

商品时, 预测值容易被高估。

第三节 定量预测方法

时间序列模型和因果关系模型是两种主要的定量预测方法。时间序列模型以时间为独立变量, 利用过去需求随时间变化的关系来估计未来的需求。时间序列模型又分为时间序列平滑模型和时间序列分解模型。因果模型利用变量(可以包括时间)之间的相关关系, 通过一种变量的变化来预测另一种变量的未来变化。需要指出的是, 在使用时间序列和因果关系模型时, 存在着这样一个隐含的假设: 过去存在的变量间关系和相互作用机理, 今后仍将存在并继续发挥作用。这个假设是使用这两种定量预测模型的基本前提。

一、时间序列的构成

时间序列是按一定的时间间隔和事件发生的先后顺序排列起来的数据构成的序列。每天、每周或每月的销售量按时间的先后所构成的序列, 是时间序列的典型例子。通常, 一个时间序列可以分解成趋势、季节、周期、随机 4 种成分。如图 3-4 所示。

- (1) 趋势成分 数据随着时间的变化表现出一种趋向。它按某种规则稳步地上升或下降, 或停留在某一水平。
- (2) 季节成分 在一年里按通常的频率围绕趋势作上下有规则的波动。
- (3) 周期成分 在较长的时间里(一年以上)围绕趋势作有规则的上下波动。这种波动常被称作经济周期。它可以没有固定的周期。一般需要数十年的数据才能描绘出这种周期。
- (4) 随机成分 由很多不可控因素引起的、没有规则的上下波动。

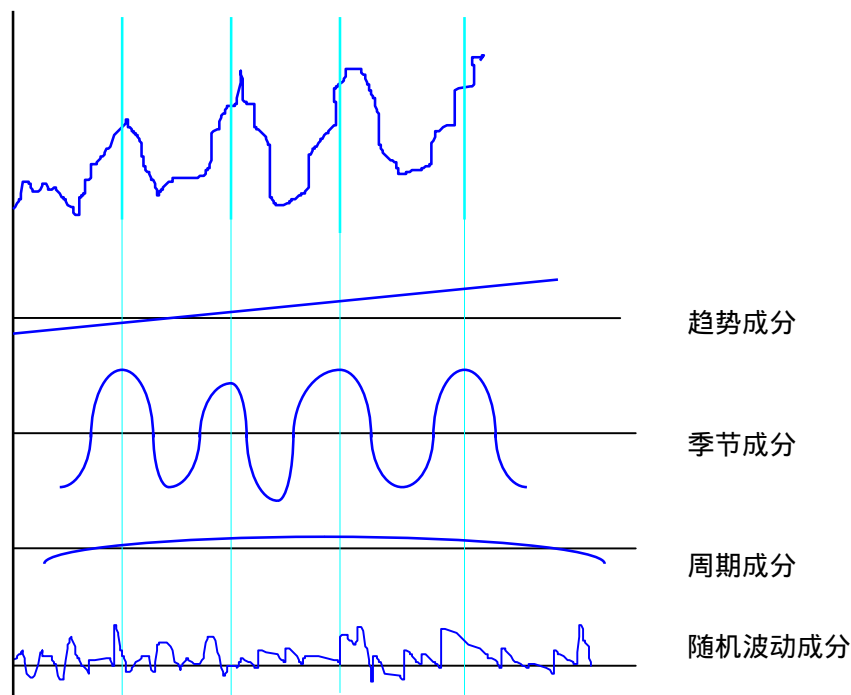


图 3-4 时间序列及其构成

对于时间序列的 4 种成分,本章只讨论趋势成分和季节成分。随机成分的影响由于无法预测故不在讨论之列。周期成分也因需要长期的历史数据而被忽略。不过,这样做并不影响绝大多数生产经营决策的科学性,因为其时间一般都比较短,周期成分对它们不会造成明显的影响。即使对于长期预测而言,预测也是滚动的,是随着时间的推移而不断修改的,因而周期成分的影响也很小。

二、时间序列平滑模型

当由于随机成分的影响而导致需求偏离平均水平时,应用时间序列平滑模型,通过对多期观测数据平均的办法,可以有效地消除或减少随机成分的影响,以使预测结果较好地反映平均需求水平。这里将讨论简单移动平均、加权移动平均、指数平滑几种时间序列平滑模型。

(一) 简单移动平均和加权移动平均(Simple Moving Average and Weighted Moving Average)

简单移动平均值可按式计算:

$$SMA_{t+1} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=t+1-n}^t A_i \quad (3.1)$$

式中, SMA_{t+1} 为 t 周期末简单移动平均值,它可作为 $t+1$ 周期的预测值;

A_i 为 i 周期的实际需求;

n 为移动平均采用的周期数。

加权移动平均值可按式计算:

$$WMA_{t+1} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=t+1-n}^t \alpha_{i-t+n} A_i \quad (3.2)$$

式中, WMA_{t+1} 为 t 周期末加权移动平均值,它可作为 $t+1$ 周期的预测值;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ 为实际需求的权系数;其余符号意义同前。

显然,若对每个时段, α_i 都取相同的值,即同等地对待序列中的每个值,加权移动平均预测值就变成了简单移动平均预测值。因而,简单移动平均是加权移动平均的一种特例。

例 3.1 某电子音响器材公司 SONY 牌单放机的逐月销售量记录如表 3-1 所示。取 $n=3$ 和 $n=4$, 试用简单移动平均法进行预测。

解:当 $n=3$ 时, (3.1) 式为: $SMA_{t+1} = (A_{t-2} + A_{t-1} + A_t)/3$, 如预测 5 月份销售量,

$$SMA_{4+1} = (A_2 + A_3 + A_4)/3 = (21 + 23 + 24)/3 = 22.67 \quad (\text{百台});$$

当 $n=4$ 时, (3.1) 式为: $SMA_{t+1} = (A_{t-3} + A_{t-2} + A_{t-1} + A_t)/4$, 如预测 5 月份销售量,

$$SMA_{4+1} = (A_1 + A_2 + A_3 + A_4)/4 = (20 + 21 + 23 + 24)/4 = 21.75 \quad (\text{百台}).$$

全部计算结果如表 3-1 所示。

表 3-1 简单移动平均法预测

月份	实际销量(百台)	$n=3$ (百台)	$n=4$ (百台)
1	20.00		
2	21.00		
3	23.00		

4	24.00	21.33	
5	25.00	22.67	21.75
6	27.00	24.00	23.33
7	26.00	25.33	24.75
8	25.00	26.00	25.50
9	26.00	26.00	25.75
10	28.00	25.67	26.00
11	27.00	26.33	26.25
12	29.00	27.00	26.50

从表 3-1 中可以看出, 预测值同简单移动平均所选的时段长 n 有关。 n 越大, 对干扰的敏感性越低, 预测的稳定性越好, 响应性就越差。

简单移动平均法对数据不分远近, 同样对待。有时, 最近的数据反映了需求的趋势, 用加权移动平均法更合适些。加权移动平均法则弥补了简单移动平均法的不足。在例 3.1 中, 当 $n=3$ 时, 若取 $\alpha_1=0.5$, $\alpha_2=1.0$, $\alpha_3=1.5$, 则预测结果见表 3-2。

表 3-2 加权移动平均预测

t(月)	实际销量(百台)	三个月的加权移动平均预测值(百台)
1	20.00	
2	21.00	
3	23.00	
4	24.00	$(0.5 \times 20 + 1 \times 21 + 1.5 \times 23) / 3 = 21.83$
5	25.00	23.17
6	27.00	24.33
7	26.00	25.83
8	25.00	26.17
9	26.00	25.67
10	28.00	25.67
11	27.00	26.83
12	29.00	27.17

从表 3-2 所示的计算结果可以看出, 若对最近的数据赋予较大的权重, 则预测数据与实际数据的差别较简单移动平均法的结果要小。一般地说, α_i 和 n 的取值不同, 预测值的稳定性和响应性也不一样, 受随机干扰的程度也不一样。 n 越大, 则预测的稳定性就越好, 响应性就越差; n 越小, 则预测的稳定性就越差, 响应性就越好。近期数据的权重越大, 则预测的稳定性就越差, 响应性就越好; 近期数据的权重越小, 则预测的稳定性就越好, 响应性就越差。然而, α_i 和 n 的选择都没有固定的模式, 都带有一定的经验性, 究竟选用什么数值, 要根据预测的实践而定。

(二) 一次指数平滑法(Single Exponential Smoothing)

一次指数平滑法是另一种形式的加权移动平均。加权移动平均法只考虑最近的 n 个实际数据，指数平滑法则考虑所有的历史数据，只不过近期实际数据的权重大，远期实际数据的权重小。一次指数平滑平均值 SA_t 的计算公式为：

$$SA_t = \alpha A_t + (1 - \alpha) SA_{t-1} \quad (3.3)$$

若把 t 期一次指数平滑平均值 SA_t 作为 $t+1$ 期的一次指数平滑预测值 SF_{t+1} ，即，则一次指数平滑法的预测公式为：

$$SF_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha) SF_t \quad (3.4)$$

式中， SF_{t+1} 为 $(t+1)$ 期一次指数平滑预测值；

A_t 为 t 期实际值；

α 为平滑系数，它表示赋予实际数据的权重， $(0 < \alpha < 1)$ 。

(3.4) 式可以改写成：

$$SF_{t+1} = SF_t + \alpha (A_t - SF_t) \quad (3.5)$$

(3.4) 式是一个递推公式。它赋予 A_t 的权重为 α ，赋予 SF_t 的权重为 $(1 - \alpha)$ 。将(3.4)式展开，得：

$$\begin{aligned} SF_{t+1} &= \alpha A_t + (1 - \alpha) [\alpha A_{t-1} + (1 - \alpha) SF_{t-1}] \\ &= \alpha A_t + \alpha (1 - \alpha) A_{t-1} + (1 - \alpha)^2 SF_{t-1} \\ &= \alpha A_t + \alpha (1 - \alpha) A_{t-1} + (1 - \alpha)^2 [\alpha A_{t-2} + (1 - \alpha) SF_{t-2}] \\ &= \alpha A_t + \alpha (1 - \alpha) A_{t-1} + \alpha (1 - \alpha)^2 A_{t-2} + (1 - \alpha)^3 SF_{t-2} \\ &\dots\dots\dots \\ &= \alpha [(1 - \alpha)^0 A_t + (1 - \alpha)^1 A_{t-1} + (1 - \alpha)^2 A_{t-2} + \dots + (1 - \alpha)^{t-1} A_1] + (1 - \alpha)^t SF_1 \\ &= \alpha \sum_{j=0}^{t-1} (1 - \alpha)^j A_{t-j} + (1 - \alpha)^t SF_1 \end{aligned} \quad (3.6)$$

式中， $SF_1 = SA_0$ ，它可以事先给定或令 $SF_1 = A_1$ 。

在式(3.6)中，当 t 很大时， $(1 - \alpha)^t SF_1$ 可以忽略。因此，第 $t+1$ 期的预测值可以看作为前 t 期实测值的指数形式的加权和。随着实测值“年龄”的增大，其权数以指数形式递减。这正是指数平滑法名称的由来。

例 3-2 某公司的月销售额记录如表 3-3 所示，试分别取 $\alpha = 0.4$ 和 0.7 ， $SF_1 = 11.00$ ，计算一次指数平滑预测值。

解： $SF_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha) SF_t = 0.4A_t + 0.6 SF_t$

当 $t=1$ ， $SF_2 = 0.4 \times 10.00 + 0.6 \times 11.00 = 4.00 + 6.60 = 10.60$ （千元），其余计算相同，结果如表 3-3 和表 3-4 所示。

表 3-3 某公司的月销售额一次指数平滑预测表 ($\alpha = 0.4$)

月 份	实际销售额 A_t (千元)	$\alpha \times$ 上月实销 额(千元)	上月预测销售 额(千元)	$(1 - \alpha) \times$ 上月 预测销售额(千 元)	本月平滑预测 销售额(千元)
1	10.00				11.00
2	12.00	4.00	11.00	6.60	10.60
3	13.00	4.80	10.60	6.36	11.16
4	16.00	5.20	11.16	6.70	11.90

5	19.00	6.40	11.90	7.14	13.54
6	23.00	7.60	13.54	8.12	15.72
7	26.00	9.20	15.72	9.43	18.63
8	30.00	10.40	18.63	11.18	21.58
9	28.00	12.00	21.58	12.95	24.95
10	18.00	11.20	24.95	14.97	26.17
11	16.00	7.20	26.17	15.70	22.90
12	14.00	6.40	22.90	13.74	20.14

表 3-4 某公司的月销售额一次指数平滑预测表(α=0.7)

月 份	实际销售额 (千元)	$\alpha \times$ 上月实际 销售额(千元)	上月预测销售 额(千元)	$(1-\alpha) \times$ 上月 预测销售额(千 元)	本月平滑预测 销售额(千元)
1	10.00				11.00
2	12.00	7.00	11.00	3.30	10.30
3	13.00	8.40	10.30	3.09	11.49
4	16.00	9.10	11.49	3.45	12.55
5	19.00	11.20	12.55	3.77	14.97
6	23.00	13.30	14.97	4.49	17.79
7	26.00	16.10	17.79	5.34	21.44
8	30.00	18.20	21.44	6.43	24.63
9	28.00	21.00	24.63	7.39	28.39
10	18.00	19.60	28.39	8.52	28.12
11	16.00	12.60	28.12	8.44	21.04
12	14.00	11.20	21.04	6.31	17.51

将预测值和实际值进行比较，结果如图 3-5 所示。由图 3-5 可以看出，用一次指数平滑法

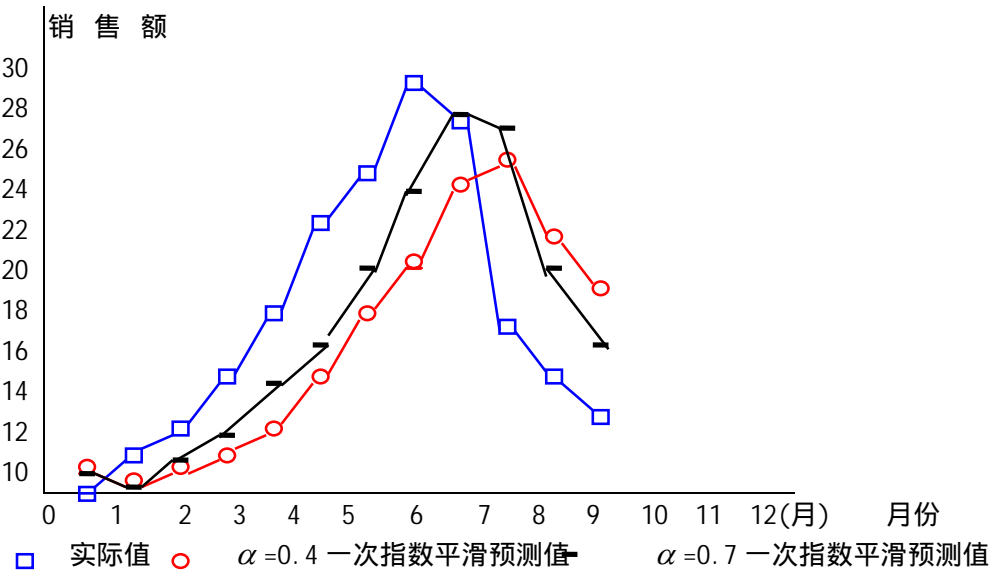


图 3-5 $\alpha=0.4$ 和 $\alpha=0.7$ 预测值的比较

进行预测，当出现趋势时，预测值虽然可以描述实际值的变化形态，但预测值总是滞后于实际值。当实际值呈上升趋势时，预测值总是低于实际值；当实际值呈下降趋势时，预测值总是高于实际值。比较不同的平滑系数对预测的影响，当出现趋势时，取较大的 α 得到的预测值与实际值比较接近。

综上所述，预测值依赖于平滑系数 α 的选择。一般说来， α 选得小一些，预测的稳定性就比较好；反之，其响应性就比较好。在有趋势的情况下，用一次指数平滑法预测，会出现滞后现象。面对有上升或下降趋势的需求序列时，就要采用二次指数平滑法(Double Exponential Smoothing)进行预测；对于出现趋势并有季节性波动的情况，则要用三次指数平滑法(Triple Exponential Smoothing)预测。下面将介绍二次指数平滑法，本书不介绍三次指数平滑法。

(三) 二次指数平滑法

二次指数平滑预测值可按(3-7)式计算：

$$F_{t+p} = SA_t + (p)T_t \tag{3.7}$$

式中， F_{t+p} 为从 t 期计算，第 p 期的二次指数平滑预测值；

T_t 为 t 期平滑趋势值， T_0 事先给定。

SA_t 为 t 期平滑平均值，又称之为“基数”， SA_0 事先给定；

SA_t 可按(3.8)式计算：

$$\begin{aligned} SA_t &= \alpha A_t + (1-\alpha)(SA_{t-1} + T_{t-1}) \\ &= \alpha A_t + (1-\alpha)F_t \end{aligned} \tag{3.8}$$

T_t 可按(3.9)式计算：

$$T_t = \beta(SA_t - SA_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1} \tag{3.9}$$

式中， β 为斜率偏差的平滑系数，其余符号意义同前。

例 3.3 对例 3.1 提供的数据，设 $\alpha = 0.4$ ， $\beta = 0.5$ ， $SA_0 = 11.00$ ， $T_0 = 0.80$ ，求二次指数平滑预测值。

解：由(3.8)式计算 SA_t ，再由(3.9)式计算 T_t ，最后由(3.7)式计算 F_{t+p} ，结果如表 3-5 所示。当 α 都取 0.4 时，二次指数平滑预测值、一次指数平滑预测值与实际值的比较，如图 3-6 所示。由图 3-6 可以看出，二次指数平滑预测的结果比一次指数平滑预测的结果再有趋势存在的情况下，与实际值更加接近，且滞后要小得多。

表 3-5 二次指数平滑预测

t	A_t	αA_t	$(1-\alpha)F_t$	SA_t	$\beta(SA_t-SA_{t-1})$	$(1-\beta)T_{t-1}$	T_t	F_t
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(3)+(4)	(6)	(7)	(8)=(6)+(7)	(9)=(5)+(8)
				11.00			0.80	11.80
1	10.00	4.00	7.08	11.08	0.04	0.40	0.44	11.52
2	12.00	4.80	6.91	11.71	0.32	0.22	0.54	12.25

3	13.00	5.20	7.35	12.55	0.42	0.27	0.69	13.24
4	16.00	6.40	7.94	14.34	0.90	0.35	1.25	15.59
5	19.00	7.60	9.35	16.95	1.31	0.63	1.94	18.89
6	23.00	9.20	11.33	20.53	1.79	0.97	2.76	23.29
7	26.00	10.40	13.97	24.37	1.92	1.38	3.30	27.67
8	30.00	12.00	16.60	28.60	2.12	1.65	3.77	32.37
9	28.00	11.20	19.42	30.62	1.01	1.89	2.90	33.52
10	18.00	7.20	20.11	27.31	-1.65	1.45	-0.20	27.11
11	16.00	6.40	16.27	22.67	-2.32	-0.10	-2.42	20.25
12	14.00	5.60	12.15	17.75	-2.46	-1.21	-3.67	14.08

二次指数平滑预测的结果与 α 和 β 的取值有关。 α 和 β 越大，预测的响应性就越好；反之，稳定性就越好。 α 影响预测的基数， β 影响预测值的上升或下降的速度。

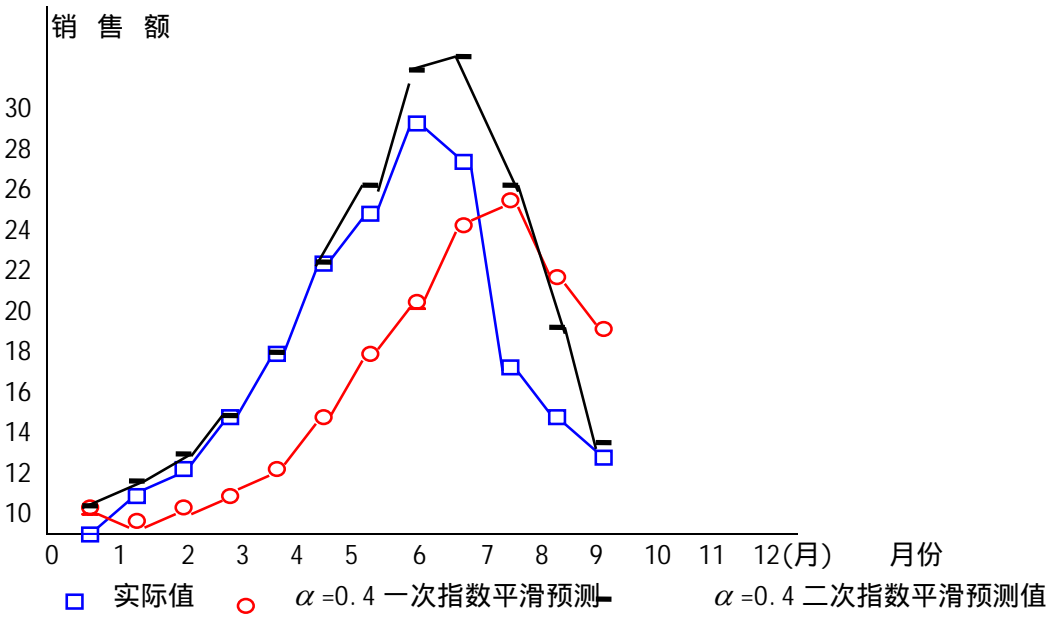


图 3-6 二次指数平滑预测值、一次指数平滑预测值与实际值的比较

三、时间序列分解模型(Time Series Decomposition)

实际需求值是趋势的、季节的、周期的或随机的等多种成分共同作用的结果。时间序列分解模型企图从时间序列值中找出各种成分，并在对各种成分单独进行预测的基础上，综合处理各种成分的预测值，以得到最终的预测结果。

时间序列分解方法的应用基于如下的假设：各种成分单独地作用于实际需求，而且过去和现

在起作用的机制将持续到未来。因此，在应用该方法时要注意各种成分是否已经超过了其起作用的期限。同时，还应该分析过去出现的“转折点”情况。比如，1973年的石油危机对美国1973年以后的汽车销售记录产生了重大影响。当应用某种模型来预测今后十年的汽车销售量时，就应该考虑类似石油危机这样的重大事件是否会发生。

时间序列分解模型有两种形式：乘法模型(Multiplicative Model)和加法模型(Additive Model)。乘法模型比较通用，它是通过将各种成分(以比例的形式)相乘的方法来求出需求估计值的。加法模型则是将各种成分相加来预测的。对于不同的预测问题，人们常常通过观察其时间序列值的分布来选用适当的时间序列分解模型。(3.10)式和(3.11)式分别给出了乘法模型与加法模型。

$$TF = T \cdot S \cdot C \cdot I \quad (3.10)$$

$$TF = T + S + C + I \quad (3.11)$$

式中，TF—时间序列的预测值；

T—趋势成分；S—季节成分；C—周期性变化成分；I—不规则的波动成分。

图3-7给出了几种时间序列类型，本小节将以类型(c)为例，介绍时间序列分解模型的应用。线性趋势、相等的季节波动类型是线性趋势和季节性变化趋势共同作用的结果。

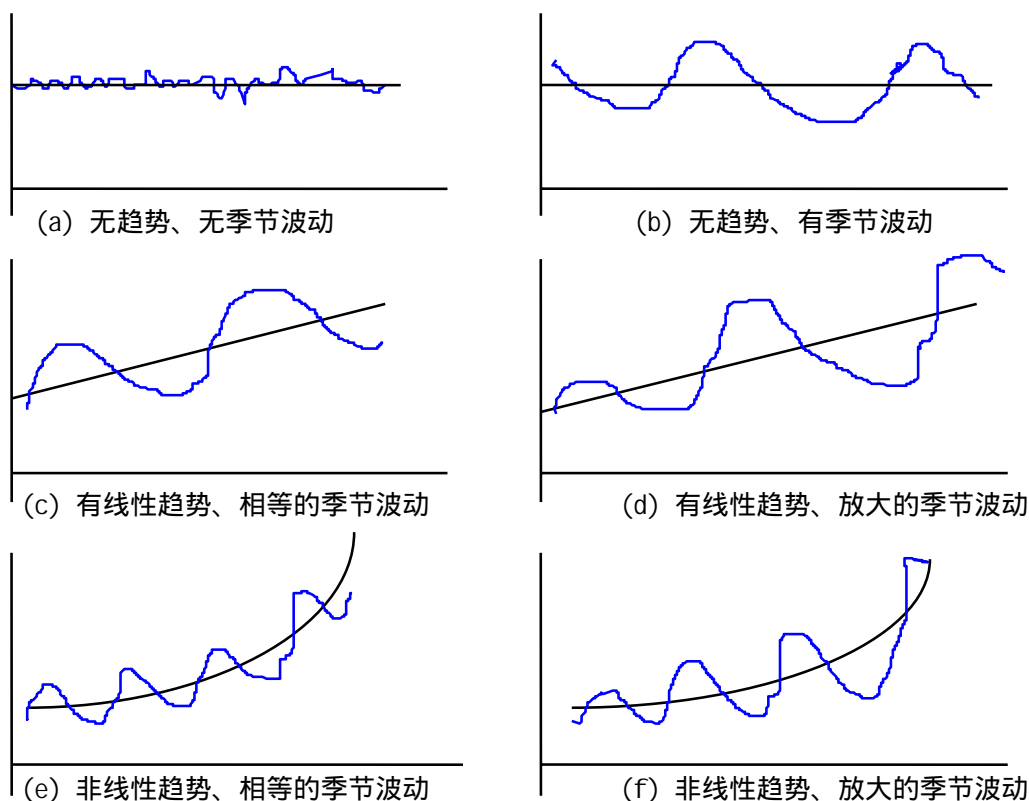


图 3-7 几种可能的时间序列类型

用这种方法进行预测的关键在于求出线性趋势方程(直线方程)和季节系数。下面通过一个实例来说明。

例 3.4 表 3-6 是某旅游服务点过去三年各季度快餐的销售记录。试预测该公司未来一年各季度的销售量。

表 3-6 某旅游服务点过去三年快餐销售记录

季度	季度序号 t	销售量 A_t	4 个季度销售总量	4 个季度移动平均	季度中点
夏	1	11,800			
秋	2	10,404			
冬	3	8,925			
春	4	10,600	41,729	10,432.3	2.5
夏	5	12,285	42,214	10,553.5	3.5
秋	6	11,009	42,819	10,704.8	4.5
冬	7	9,213	43,107	10,776.8	5.5
春	8	11,286	43,793	10,948.3	6.5
夏	9	13,350	44,858	11,214.5	7.5
秋	10	11,270	45,119	11,279.8	8.5
冬	11	10,266	46,172	11,543.0	9.5
春	12	12,138	47,042	11,756.0	10.5

解：求解可分三步进行。

(1) 求趋势直线方程

首先根据表 3-6 给出的数据绘出曲线图形(图 3-8)，然后用简单移动平均法求出 4 个季度的平均值，将它们标在图上(圆圈)。为求趋势直线，可采用最小二乘法。为简单起见，这里采用目测法。让直线穿过移动平均值的中间，使数据点分布在直线两侧，尽可能地各占一半。此直线代表着趋势，它与 Y 轴的截距为 a，这里 $a = 10,000$ (份)。另一端，

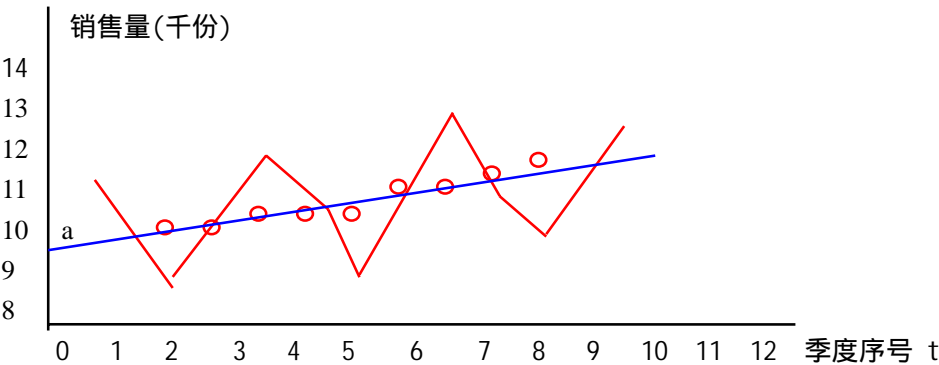


图 3-8 快餐销售情况

在 $t = 12$ 时，销售量为 12,000(份)。故 b 的值为

$$b = (12,000 - 10,000) / 12 = 167$$

由此得到趋势直线方程为

$$T_t = 10,000 + 167 \times t$$

(2) 估算季节系数

所谓季节系数 (Seasonal Index, SI) 就是实际值 A_t 与趋势值 T_t 的比值的平均值。例如对季度 1, $A_1/T_1=11,800/10,167=1.16$ 。类似地, 可以求出各个季度的 A_t/T_t , 如表 3-7 所示。

表 3-7 A_t/T_t 计算表

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A_t/T_t	1.16	1.01	0.85	0.99	1.13	1.00	0.82	1.00	1.16	0.95	0.87	1.01

由于季节 1、5、9 都是夏季, 应求出它们的平均值作为季节系数:

$$SI(\text{夏})=(A_1/T_1+A_5/T_5+A_9/T_9)/3=(1.16+1.13+1.16)/3=1.15$$

同样可得,

$$SI(\text{秋})=1.00, \quad SI(\text{冬})=0.85; \quad SI(\text{春})=1.00。$$

需要指出的是, 随着数据的积累, 应该不断地对季节系数进行修正。

(3) 预测

在进行预测时, 关键是选择正确的 t 值和季节系数。在这里, 该旅游点未来一年的夏秋冬春各季对应的 t 值分别为 13, 14, 15, 16, 对应的季节系数分别为 $SI(\text{夏})$, $SI(\text{秋})$, $SI(\text{冬})$, $SI(\text{春})$ 。因此该公司未来一年销售量分别为:

$$\text{夏季: } (10,000+167 \times 13) \times 1.15=13,997 \quad (\text{份})$$

$$\text{秋季: } (10,000+167 \times 14) \times 1.00=12,338 \quad (\text{份})$$

$$\text{冬季: } (10,000+167 \times 15) \times 0.85=10,629 \quad (\text{份})$$

$$\text{春季: } (10,000+167 \times 16) \times 1.00=12,672 \quad (\text{份})$$

由例 3-4 可以看出, 对线性趋势、相等的季节性波动类型可以用一种简明的周期性预测方法, 它应用起来比较方便。

四、因果模型

在时间序列模型中, 它将需求作为因变量, 将时间作为唯一的独立变量。这种做法虽然简单, 但忽略了其它影响需求的因素, 如政府部门公布的各种经济指数, 地方政府的规划, 银行发布的各种金融方面的信息, 广告费的支出, 产品和服务的定价等, 都会对需求产生影响。因果模型则有效地克服了时间序列法的这一缺点, 它通过对一些与需求(如书包)有关的先导指数(学龄儿童数)的计算, 来对需求进行预测。

由于反映需求及其影响因素之间因果关系的数学模型不同, 因果模型又分为回归模型、经济计量模型、投入产出模型等。

本书只介绍一元线性回归模型预测方法。

一元线性回归模型可用下式表达:

$$Y_T = a + bx \quad (3.12)$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (3.13)$$

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n} \quad (3.14)$$

式中, Y_T 为一元线性回归预测值;

a 为截距，为自变量 x=0 时的预测值；
b 为斜率；
n 为变量数；
X 为自变量的取值；
Y 为因变量的取值。

例 3.5 对例 3.4 应用一元线性回归法进行预测。

解：计算 b 和 a，然后求 Y_T ，结果如表 3-8 所示。

表 3-8 一元线性回归计算

X	Y	X^2	XY
2.5	10,432.3	6.25	26,080.75
3.5	10,553.5	12.25	36,937.25
4.5	10,704.8	20.25	48,171.60
5.5	10,776.8	30.25	59,272.40
6.5	10,948.3	42.25	71,163.95
7.5	11,214.5	56.25	84,108.75
8.5	11,279.8	72.25	95,878.30
9.5	11,543.0	90.25	109,658.50
10.5	11,756.0	110.25	123,438.00
$\Sigma X = 58.5$	$\Sigma Y = 99,209.0$	$\Sigma X^2 = 440.25$	$\Sigma XY = 654,709.50$

$$b = [9(654,709.5) - 58.5(99,209.0)] / [9(440.25) - 58.5^2] = 164.183;$$

$$a = [99,209 - 164.183(58.5)] / 9 = 9,956.03;$$

$$Y_T = 9,956.03 + 164.183 x.$$

为了衡量一元线性回归方法的偏差，可采用两个指标：线性相关系数 r 和标准差 S_{yx} 。

$$r = \frac{n\Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{\sqrt{[n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2][n\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}} \quad (3.15)$$

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\Sigma (Y - Y_T)^2}{n - 2}} \quad (3.16)$$

当 r 为正，说明 Y 与 X 正相关，即 X 增加，Y 也增加；当 r 为负，说明 Y 与 X 负相关，即 X 增加，Y 也减少。r 越接近 1，说明实际值与所作出的直线越接近。 S_{yx} 越小表示预测值与直线的距离接近。

第四节 预测监控

一、预测精度(Forecast accuracy)测量

由于需求受许多不确定因素的影响,不可避免地存在预测误差(Forecast error)。所谓预测误差,是指预测值与实际值之间的差异。误差有正负之分。当预测值大于实际值时,误差为正;反之,误差为负。预测模型最好是无偏的模型(Unbiased model),即应用该模型时,正、负误差出现的概率大致相等。平均误差是评价预测精度、计算预测误差的重要指标。它被常用来检验预测与历史数据的吻合情况,同时它也是判断预测模型能否继续使用的重要标准之一。在比较多个模型孰优孰劣时,也经常用到平均误差。

本节将介绍平均绝对偏差、平均平方误差、平均预测误差和平均绝对百分误差这四个常用的评价指标。

(一) 平均绝对偏差(Mean Absolute Deviation, MAD)

平均绝对偏差就是整个预测期内每一次预测值与实际值的绝对偏差(不分正负,只考虑偏差量)的平均值。用公式表示:

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (3.17)$$

式中, A_t 表示时段 t 的实际值; F_t 表示时段 t 的预测值; n 是整个预测期内的时段个数(或预测次数)。

MAD 的作用与标准偏差相类似,但它比标准偏差容易求得。如果预测误差是正态分布, MAD 约等于 0.8 倍的标准偏差。这时, 1 倍 MAD 内的百分比约为 58%, 2 倍 MAD 内约为 89%, 3 倍 MAD 内约为 98%。

MAD 能较好地反映预测的精度,但它不容易衡量无偏性。

(二) 平均平方误差(Mean Square Error, MSE)

平均平方误差就是对误差的平方和取平均值。沿用式 3.17 中的符号, MSE 用公式表示为

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (3.18)$$

MSE 与 MAD 相类似,虽可以较好地反映预测精度,但无法衡量无偏性。

(三) 平均预测误差(Mean Forecast Error, MFE)

平均预测误差是指预测误差的值的平均值。用公式表示为

$$MFE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)}{n} \quad (3.19)$$

在式 3.19 中, $\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)$ 被称作预测误差滚动和 (Running Sum of Forecast Errors,

RSFE)。如果预测模型是无偏的, RSFE 应该接近于零, 即 MFE 应接近于零。因而 MFE 能很好地衡量预测模型的无偏性, 但它不能够反映预测值偏离实际值的程度。

(四) 平均绝对百分误差

平均绝对百分误差 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) 用公式表示如下:

$$\text{MAPE} = \left(\frac{100}{n} \right) \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (3.20)$$

MAD, MFE, MSE, MAPE 是几种常用的衡量预测误差的指标, 但任何一种指标都很难全面地评价一个预测模型, 在实际应用中常常将它们结合起来使用。

表 3-9 中是计算 MAD, MSE, MFE, MAPE 的例子。

表 3-9 MAD, MSE, MFE, MAPE 计算一览表

实际值 (A)	预测值 (F)	偏差 (A-F)	绝对偏差 A-F	平方误差 (A-F) ²	百分误差 100(A-F)/A	绝对百分误差 $100 \left \frac{A-F}{A} \right $
120	125	-5	5	25	-4.17	4.17
130	125	+5	5	25	3.85	3.85
110	125	-15	15	225	-13.64	13.64
140	125	+15	15	225	+10.71	10.71
110	125	-15	15	225	-13.64	13.64
130	125	<u>+5</u>	<u>5</u>	<u>25</u>	3.85	<u>3.85</u>
		-10	60	750		49.86

$$\text{MAD} = 60/6 = 10$$

$$\text{MSE} = 750/6 = 125$$

$$\text{MAPE} = (49.86/6) = 8.31\%$$

$$\text{MFE} = -10/6 = -1.67$$

二、预测监控(Monitoring and Controlling Forecasts)

预测的一个十分重要的理论基础是: 一定形式的需求模式过去, 现在和将来起着基本相同的作用。然而, 实际情况是否如此呢? 换句话说, 过去起作用的预测模型现在是否仍然有效呢? 这需要通过预测监控来回答。

检验预测模型是否仍然有效的一个简单的方法是将最近的实际值与预测值进行比较, 看偏差是否在可以接受的范围以内, 另一种办法是应用跟踪信号(Tracking Signal, TS)

所谓跟踪信号, 是指预测误差滚动和与平均绝对偏差的比值, 即

$$TS=RSFE/MAD$$

$$= \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)}{MAD} \quad (3.21)$$

式 3.21 中各符号意义同前。

每当实际需求发生时,就应该计算 TS。如果预测模型仍然有效,TS 应该比较接近于零。反过来,只有当 TS 在一定范围内(如图 3-9 所示)时,才认为预测模型可以继续使用。否则,就应该重新选择预测模型。

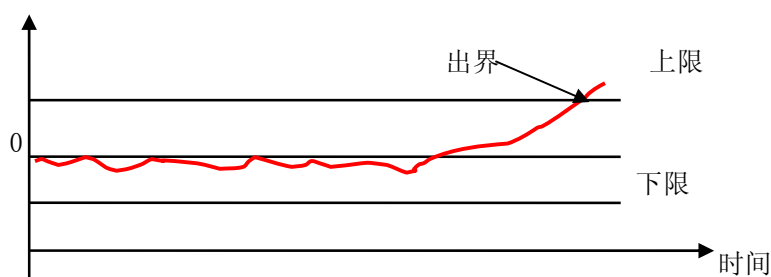


图 3-9 预测跟踪信号

小结

本章第一节介绍了预测及其分类,对影响需求的主要因素进行了分析,从不同的角度对预测和预测方法进行分类,提出了预测的一般步骤和实行预测应该注意的问题。第二节介绍了常用的几种定性预测方法,包括德尔菲法、部门主管集体讨论法、用户调查法和销售人员意见汇集法。第三节分析了时间序列的构成,阐述了定量预测方法,包括时间序列平滑模型(简单移动平均法、加权移动平均法、一次指数平滑法和二次指数平滑法),时间序列分解模型(加法模型和乘法模型),因果模型。第四节介绍平均绝对偏差、平均平方误差、平均预测误差和平均绝对百分误差这四个常用的评价指标来衡量预测精度,提出了预测监控问题和预测跟踪信号。

思考题

- 1 预测是一种技能还是一种科学,为什么?
- 2 销售预测和需求预测的关系是什么?
- 3 说明判断在预测中的作用。
- 4 有哪些定性预测方法和定量预测方法?说明它们各自的特点和适用范围。
- 5 预测可分为哪些类型?时间序列分析预测法一般用于哪些方面?它有哪些明显的优缺点?

练习题

- 1 表 3-10 给出了某计算机公司近 10 个月的实际销售量和用 A, B 两种模型进行预测的预测值。
 - (a) 计算两种模型的 MAD;
 - (b) 计算两种模型的 RSFE;
 - (c) 哪一种模型好一些,为什么?

表 3-10

单位:台

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实际销售量	566	620	584	652	748	703	670	625	572	618
A 模型预测值	610	630	610	630	640	650	655	655	630	630
B 模型预测值	580	600	580	630	702	680	680	680	600	600

2、表 3-11 是某种特种汽车轮胎的月销售记录。

(a) 计算当 $SA_0=100$, $\alpha=0.2$ 时的一次指数平滑预测值。

(b) 计算当 $SA_0=100$, $\alpha=0.4$ 时的一次指数平滑预测值。

(c) 计算(a), (b)两种情况下的 MAD, RSFE。

表 3-11

单位:只

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
销售量	104	104	100	92	105	95	95	104	104	107	110	109

3、表 3-12 是某城区居民平均每季猪肉消费量。试选用适当的模型并预测该城区居民下一年各季平均猪肉消费量。

表 3-12

单位:公斤

	春	夏	秋	冬
第一年	3.05	1.45	1.96	4.54
第二年	5.11	3.42	3.89	6.62
第三年	7.03	5.51	5.95	8.52
第四年	9.14	7.55	7.88	10.56

4、已知 5 周的实际销售量为 38, 41, 39, 43 和 44, 预测的基数为 $SA_0=35$, $T_0=2.0$, 取 $\alpha=0.3$,

$\beta=0.5$, 试求这 5 周的预测值, 并对今后 3 周的需求进行预测。

5、表 3-13 为某公司过去两年的实际需求。 (1) 计算在 2.5, 3.5, 4.5, 5.5, 6.5 季的一年移动平均值; (2) 通过这 5 个移动平均值, 求线性回归方程; (3) 计算每季的季节指数; (4) 预测第 3 年每季需求。

表 3-13

第一年		第二年	
季度	需求	季度	需求
1	26,209	1	25,390
2	21,402	2	19,064
3	18,677	3	18,173
4	24,681	4	23,866

第四章 产品开发、工艺设计和技术选择

顾客个性化需求和市场的多变性进一步加剧了市场竞争的激烈程度。为了占据主动，企业纷纷加强产品开发工作，加强产品生产过程的设计与优化工作。本章将以此为中心，研究现代企业研究与开发(R&D)组织、分析产品开发对生产过程成本的影响、生产流程的种类和特点及影响生产流程设计和决策的主要因素。本章还将对并行工程的产生、发展和应用等内容进行详细讨论。

第一节 新产品开发与企业 R&D

一、企业面临的竞争环境

进入 20 世纪 90 年代以来，由于科学技术飞速进步和生产力的发展，顾客(Customer)消费水平不断提高，企业之间竞争(Competition)加剧，加上政治、经济、社会环境的巨大变化(Change)，使得需求的不确定性大大加强，导致需求日益多样化。“3C”既是多样性与市场需求不确定性的根源，也是促进企业不断提高自身竞争能力的外在压力。在全球市场的激烈竞争中，企业面对一个变化迅速且无法预测的买方市场，致使传统的生产与经营模式对市场剧变的响应越来越迟缓和被动。

这些变化导致产品生产方式革命性的变化。传统的生产方式是“一对多”的关系，即企业开发出一种产品，然后组织规模化大批量生产，达到高效低耗、占领市场的目的。然而，这种模式已不在风光。现在企业面临的是另一种生产模式：根据每一个顾客的特别要求定制产品或服务，即人们所说的“一对一”的定制化服务。正如大批量生产创造了 20 世纪经济奇迹一样，个性化定制生产极有可能成为 21 世纪经济发展的源泉。例如，以生产巴碧娃娃著称的玛泰尔公司，从 1998 年 10 月份起，可以让女孩子登录到 barbie.com 设计她们自己的巴碧朋友。她们可以选择娃娃的皮肤弹性、眼睛颜色、头发的式样和颜色、附件和名字。当娃娃邮寄到孩子手上时，女孩子会在上面找到她们娃娃的名字。这是玛泰尔公司第一次大量制造“一个一样”的产品。再如，位于美国戴顿的一家化学公司，有 1700 多种工业肥皂配方，用于汽车、工厂、铁路和矿山的清洗工作。公司分析客户要清洗的东西，或者访问客户所在地要清洗的东西，分析之后，公司酿制一批清洁剂提供给客户使用。大多数客户都会觉得没有必要对另一家公司描述他们清洁方面的要求，所以该化学公司的 95% 的客户都不会离去。个性化定制生产或服务要求企业有很强的产品开发能力，这不仅指产品品种，更重要的是指产品上市时间，即尽可能提高对客户需求的响应速度。

与传统的规模化大批量生产相比，个性化定制生产的优点在于大大削减库存。例如，宝马公司在欧洲所销售汽车的 60% 都是根据定单制造的，其销售商在每一笔这样的交易中可以在存货上节省 450 美元。除此之外，个性化定制生产还必须采用先进的制造和生产组织技术，因为只有这样才能做到高质量、低成本、快速响应客户需求，才能实现企业盈利的目的。

由此可见，企业面临外部环境变化带来的不确定性，包括市场因素(顾客对产品、产量、质量、交货期的需求和供应方面)和企业经营目标(新产品、市场扩展等)的变化。企业要想在这种严峻的竞争环境下生存下去，必须具有强有力的处理环境的变化和由环境引起的不确定性的能力，即通常所说的柔性(Flexibility)。

我国企业受长期计划经济的影响，其产品开发能力很弱，如果在市场经济环境下无法快速响应用户需求，企业就会丧失了许多市场机遇。当前许多企业陷入经营困境，与其产品开发能力差有很大关系。

从企业提供产品的角度来看，企业面临两大方面的变化：产品生产任务的变动和产品性能的变化。生产任务的变动是由于顾客对产品规格型号、数量、质量和交货时间等需求的随机性、独立性造成的。生产任务的变动要求企业具有产品生产柔性，如组合柔性、产量柔性、交货期柔性、质量柔性属于生产柔性。产品性能变化指的是产品的功能、结构、加工工艺等方面发生了变化，它们将导致新产品的出现。当顾客有新产品要求时，企业要具有产品设计柔性。产品设计柔性具体的地说，就是快速开发新产品和改造老产品的能力。对于现代企业来说，加强新产品的研究与开发已经是一项经常性的工作，因为在当今市场需求迅速变化、技术进步日新月异的环境下，新产品的研究与开发能力和相应的生产技术是企业赢得竞争的根本保证。

二、现代企业的研究与开发(R&D)

一) 研究与开发的分类和特征

研究与开发(Research and Development, 简称 R&D)包括基础研究、应用研究和技术开发。基础研究进行的是探索新的规律、创建基础性知识的工作。应用研究是将基础理论研究中开发的新知识、新理论应用于具体领域。技术开发研究是将应用研究的成果经设计、试验而发展为新产品、新系统和新工程的科研活动。为了更好地理解这三类不同工作，我们将这三者的目的、性质、内容及其在计划与管理上的不同特点比较如下，见表 4-1。

表 4-1 三种类型的科研比较

	基础研究	应用研究	技术开发
目的	寻求真理,扩大知识	探讨新知识应用的可能性	将研究成果应用于生产实践
性质	探求发现新事物,新规律	发明新事物	完成新产品,新工艺,使之实用化,商品化。
内容	发现新事物,新现象	探求基础研究应用的可能性	运用基础研究,应用研究成果从事产品设计,产品试制,工艺改进
成果	论文	论文或专利	专利设计书,图纸,样品
成功	成功率低	成功率较高	成功率大
经费	较少	费用较大,控制松	费用大,控制严
人员	理论水平高,基础雄厚的科学家	创造能力强,应用能力强的发明家	知识和经验丰富,动手能力强的技术专家
管理原则	尊重科学家意见,支持个人成果,采用同行评议	尊重集体意见,支持研究组织在适当事作出评价	尊重和支持团体合作
计划	自由度大,没有严格的指标和期限	弹性,有战略方向,期限较长	硬性,有明确目标,较短期限

二) 各国对 R&D 的投入情况

在世界经济渐趋一体化的现代社会，市场经济的激烈竞争，迫使越来越多的企业在 R&D 上投入大量的资金和人力。据各国和 OECD 统计，1990 年西方 7 国(美国、日本、西德、英国、法国、意大利、加拿大)在研究与开发上支出逾 3000 亿美元。当然这一数字既指私营和政府出资的投入，也包含军事方面研究与开发的支出。要将这一数字以天来换算，则每个工作日近 10 亿美元。据美国 1998 年最新的统计报告，1997 年美国 R&D 的投入占国内生产总值(GDP)的 2.6%。工业企业对 R&D 的重视程度日益提高，相比十年前，大约不到 10%的企业设有专门的 R&D 部门，如今这比例已增加到 25%。工业企业的 R&D 投入占

R&D 总投入的 65%以上。

我国在 R&D 经费投入上尽管逐年增长，但总量仍然很低，而且占 GDP 的比重也低(表 4-2)。相比一些发达国家，他们平均的 R&D/GDP 比在 2% 以上，而且正逐步向 2.5%-3.0% 发展。而我国近年来 R&D/GDP 比在 0.5%左右，见表 4-3。

表 4-2 1988-1995 年我国 R&D 经费投入状况

年份	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1994
R&D 投入(亿元)	89.5	112.3	125.4	142.3	169.0	196.0	222	286
比上年增长(%)		6.25	9.36	10.3	12.63	0.66	-6.93	
GDP 年增长(%)	11.3	4.3	3.9	8.0	13.2	13.4	11.4	
R&D/GDP(%)	0.64	0.70	0.71	0.70	0.70	0.62	0.5	0.5

表 4-3 近年来各国 R&D/GDP 的比重

国家	日本	美国	法国	英国	韩国	中国	巴西	印度
R&D/GDP(%)	2.7-2.9	2.6-2.7	2.42	2.08	2.0	0.5-0.7	1.1	0.9

其中，GDP：国内生产总值

在我国，基础研究和在此成果上进行的应用研究为国家政府和科技界所关注，企业关心和参与的大多是技术开发。技术开发的作用是实现技术知识和市场需求的融合与转换。技术开发占 R&D 的 60%-70%，因此，从宏观上，它影响着一个国家技术进步水平和国民生产总值；从微观上，决定了一个企业的生存和发展。

近年来，我国对企业的 R&D 越来越重视，已经成立了 200 多家企业技术中心，从事企业中长期产品发展。R&D 已形成与生产、营销、财务鼎足而立，甚至更为突出的趋势，这是现代经营的一个明显特性。目前，国内极力倡导的“哑铃型”企业就是对 R&D 重视一种体现。

三、产品生命周期与 R&D

产品生命周期的概念是 1950 年由乔尔·迪安首先提出的，其后，西奥多·莱维特在他那篇著名的论文“利用产品生命周期”中对这一概念给予了高度肯定。自那以后，产品生命周期理论得到了广泛的运用。产品生命周期是指任何一项产品都会经历从开发期经商品化而进入市场，为市场所接受，经过成长，成熟和衰退以至最终推出市场而消亡的过程。产品生命周期一般分为引入期、成长期、成熟期和衰退期 4 个阶段。

新产品的开发、企业 R&D 活动的开展和产品生命周期有着密切联系。在产品生命周期的各阶段，R&D 的内容、重点及数量都有不同变化。掌握这些，对于有计划地组织和管理 R&D，提高企业技术创新能力和经济效益具有重要的意义。

在产品引入期，市场需求与有关技术尚不明确，R&D 着重于改进产品的功能和特征，从多种多样的产品创新型号中筛选出性能最好最具竞争力的型号。经过不断地评价和改进，确定产品的基型设计。基型设计是产品引入阶段中一项非常重要大的工作，它使产品具有创新的性质。在组织方面，不求规模大，需要的是生气勃勃，富有创业精神的灵活的组织形式。

在产品成长期，产品的标准化和工艺的合理化是该阶段的标志。从技术创新的角度来看，是从产品创新向工艺创新过渡的阶段。由于产品性能和结构已渐趋定型化，有可能在工艺方面进行创新和改进。另一方面，市场上同类产品的竞争，已从性能方面转向价格方面，因此，必须在工艺与生产组织方面为减低成本创造良好的条件。在这一阶段，R&D 工

作的重要性大大提高。由于风险较前阶段小，只要决定了企业的核心技术和调查了市场的需求，便可增大 R&D 的投资力度，大量开展应用研究与技术开发工作。但是为了长远的技术与储备的需要，在基础研究上也应该保证一定的力量。在组织上，特别要求那些同市场，R&D，规划与生产有关的职能部门之间的合作与协调。

在产品生成期，产品创新和工艺创新都已减少而趋于稳定。产品结构和工艺上的相互依赖性进一步增强。一种产品结构的改进往往要大量增加工艺改革费用。这时，R&D 工作集中在技术服务和工艺改进方面。在组织方面，强调组织的稳定，各职能部门之间的矛盾已相应减少。

从以上分析可以看出，在整个产品生命周期的过程中，产品创新和工艺创新有规律地变化。要使产品创新和工艺创新能有计划地进行，企业必须在整个产品生命周期各阶段进行相应的组织调整与改革，以及按照产品生命周期不同阶段制定 R&D 的策略。

四、新产品开发面临的压力

早在本 1980 年，美国的《研究与管理》杂志就已报道了大多数企业销售额和利润的 30%-40% 来自本企业最近 5 年推出的新产品。并且产品是有生命周期的，新陈代谢是一种规律，企业必须改进老产品，开发新产品才能赢得市场。目前，新产品开发面临着费用高、成功率低、风险大、回报下降等压力。

Greg A. Stevens 和 James Burley 调查统计后提出：3000 个新产品的原始想法，只有 1 个能成功。用成功曲线表述在图 4-1 中。Albala 在总结以往研究的基础上，指出新产品开发的死亡率为 98.2%。在初期的项目中只有 2% 可以进入市场，其它的都半途而废。通过对美国和欧洲的文献中查到的所谓失败事例进行研究，其结果是：大约 25% 的工业新产品与开发者的愿望相去甚远，同时 30-35% 的消费品也遭到了同样的命运。

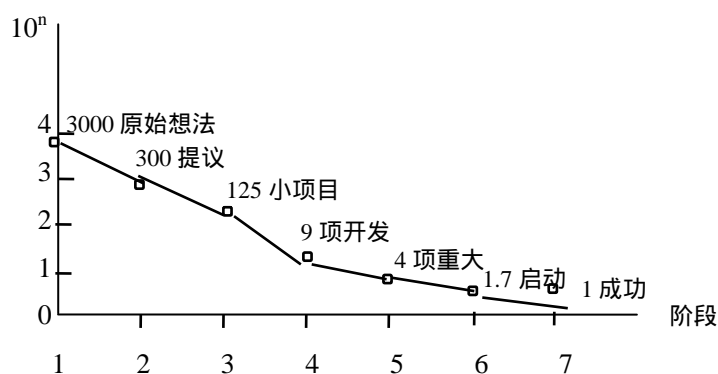


图 4-1 产品开发的成功曲线

新产品失败可归纳为三个关键原因：(1)没有潜在的用户和需求；(2)新产品与当前的需求不匹配，要么不能满足需求，要么功能过剩；(3)在营销方面，特别是在将产品介绍给顾客的相互沟通方面的工作不得力。

新产品开发的动力可分为技术推动、市场牵引、同行竞争。但归根结底，新产品开发成功首先必须满足技术与市场匹配的原则。新产品诞生的一个基本条件是特定的技术(科学、方法、思维过程、设备等等)以一种特定的方式被利用，即它对人类的需求产生了新满足，或更高的层次上实现了这种满足。因此，了解和确定人们的需求，将这种需求用技术实现，这是新产品开发的关键。

第二节 R&D 与产品开发组织

由企业系统结构及 R&D 的特征看出,企业的技术活动主要属于 R&D 中的技术开发范畴。在企业整个系统中,承担技术开发任务的子系统称为技术系统,是企业系统中的一个重要的组成部分。

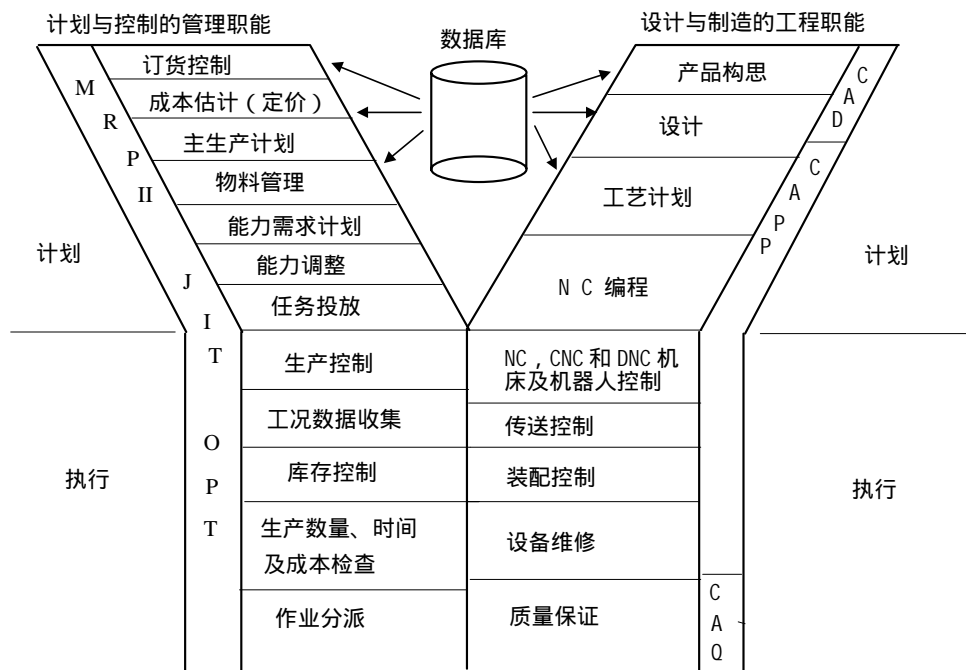


图 4-3 企业系统结构模型

技术系统的任务是在企业内部储备不断进行技术创新的潜力，并不失时机地将这样潜力转化为有竞争力的新产品。因此，有时也称为新产品开发或产品创新活动。

三）技术系统与其他系统的关系

技术系统与制造系统、经营系统、组织系统共同构成了企业系统。技术系统与其它系统存在着的如下关系：

- (1) 制造分系统是技术分系统的基础和依据，是技术分系统运转时必须考虑的资源约束，技术分系统的活动确定了制造分系统的行为；
- (2) 经营分系统反映市场的需求导向，为技术分系统确定了工作的目标和任务，技术分系统中的 R&D 的研究就依赖于经营分系统中的市场预测，新产品开发直接影响着企业的经营发展策略；
- (3) 组织分系统贯串于各分系统之中，是技术分系统有效运转的保障，也是企业系统中软柔性关键所在。

企业技术活动，在产品的整个生命周期过程中起着关键性作用。一方面，要通过产品设计和工艺设计来满足产品的功能，对外满足顾客需求。另一方面，产品设计和工艺设计直接决定着产品质量，成本等因素，同时也影响物资供应，生产组织调整等一系列生产技术准备活动，以及产品投产后的生产活动。

二、产品开发对生产过程成本的影响

技术分系统是企业系统的重要组成部分。企业的任务是为社会提供产品和服务。而产品的开发周期，成本、质量和制造的效率无不受到产品开发的影响。

据统计，产品设计时间占总开发时间的近 60%，如图 4-4 所示。因此，为缩短新产品上市时间，必须缩短产品设计时间，产品设计和工艺设计影响着新产品的创新速度。

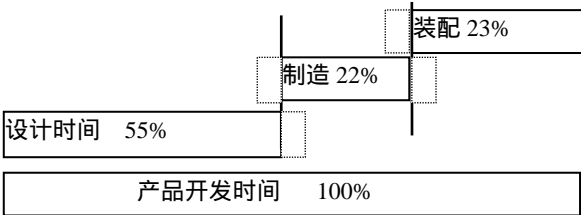


图 4-4 产品开发时间构成示意图

目前，国外新产品的研制周期大大缩短。AT&T 公司新电话的开发时间从过去 2 年缩短为 1 年；HP 公司新打印机的开发时间从过去的 4.5 年缩短 22 个月。与此同时，产品的生命周期越来越短，革新换代速度加快(图 4-5)。实践证明：若产品生命周期为 5 年，产品开

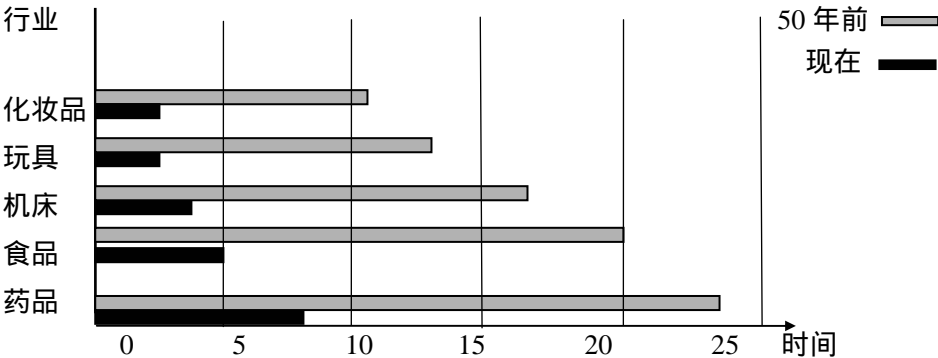


图 4-5 产品生命周期的缩短

发时间每延长 6 个月，利润就损失 1/3。

更重要的是：企业的技术活动影响着产品的成本、质量和制造的效率。因此，企业在产品设计时采用许多新的开发手段和方法，以保证产品开发早期阶段能作出正确的决策，

从而提高产品质量、降低产品成本，进一步缩短产品开发周期。从以下的研究结果可以看出：

· Boothroyd 引用福特汽车公司的报告表明，尽管产品设计和工艺费用只占整个产品费用的 5%，却影响了总费用的 70% 以上(图 4-6)。

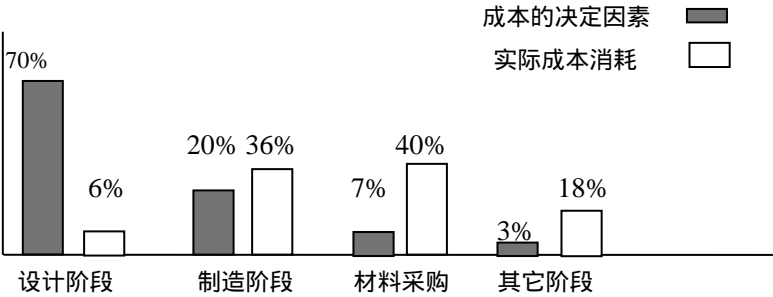


图 4-6 产品成本的决定因素构成及实际成本消耗构成示意图

· Sohlenius G. 以波音公司为例进行分析后指出：一般产品成本的 83% 以上在产品设计阶段被决定。而这一阶段本身所占有的费用仅为产品全部成本的 7% 以下(图 4-7)。

- Sun 认为制造生产率的 70%-80%是在设计和工艺阶段决定的。
- 所有质量问题的 40%可以归因于低劣的设计和工艺。
- Huthwaite 强调产品设计对各组织的影响力,形象地称产品设计的影响为“波动效应”。

由此可见：产品设计和工艺设计在产品开发中作用重大，它几乎占用了 60%的开发时间，决定了 70%的成本。根据管理学中 ABC 分类思想，企业技术活动是企业快速响应客户要求的瓶颈，是提高企业竞争力的关键。

三、技术活动的过程

1993 年，迈克尔·海默在《企业流程重构-管理革命的宣言》一书中提出了一套如何在企业中进行有效地彻底变革的理论，这就是企业流程重构(Business Process Reengineering, BPR)。BRP 的基本思想是过程导向，即打破传统的思维方式，不再将精力集中在狭义的任

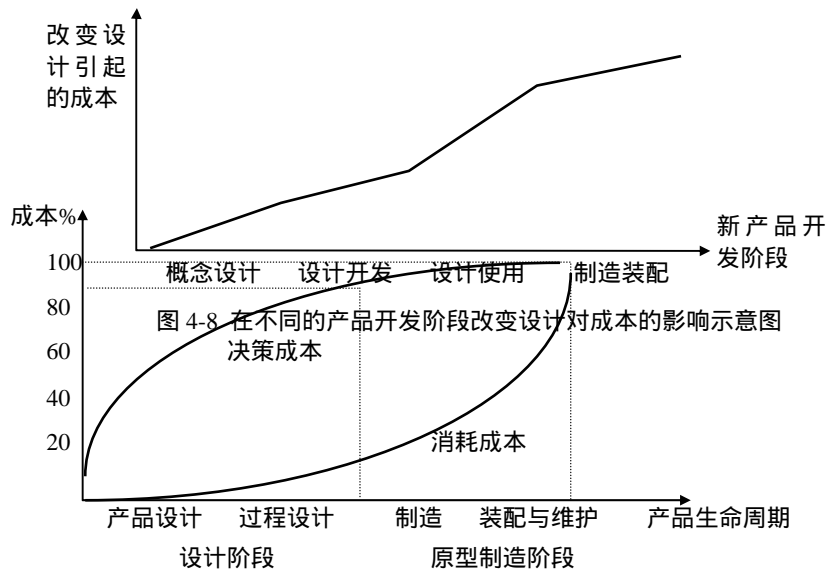


图 4-7 产品开发过程-成本曲线（波音）

务上，突破企业内部部门间的界限，将分散在各功能部门的任务整合成过程流。因此，根据 BPR 的思想，企业的一切的活动可归纳为一系列的过程。过程是一组有界的、相互之间紧密联系的活动集合，每个活动都有明确的输入和输出。从根本上来说，企业的任何过程都是一个转换的过程，企业中的转换可以划分为以下四类：

- (1) 物理转换：物料的转换，如原材料或半成品转换位具有更高价值的输出(产品)的过程。
- (2) 位置转换；对象或物料在空间位置上的移动。物料的移动，出入库等。
- (3) 交易转换：与资金有关的交易。如物资采购，产品销售等
- (4) 信息转换：信息的处理、修改和生成过程。如产品设计、生产计划的生成。

技术分系统是企业系统中的一个重要的组成部分，技术活动包括新产品开发中的产品设计阶段的结构设计和工艺设计活动。产品设计阶段的活动，是一个从产品的构思到产品结构、产品制造工艺的信息转换过程。它可以形象地描述为信息在顾客域、功能域、物理域之间连续的变换过程(图 4-9)。

需求来自外界环境，表现为顾客需求和潜在顾客需求，形象化地表示为一组功能需求 FR，它们决定了产品的设计过程和工艺过程。在设计阶段，功能需求 FR 被映射成产品的设计参数 DP，产品设计参数 DP 经工艺过程设计对应到工艺过程变量 PV。这一过程可形式化地表示为：

$$FR = A \cdot DP$$

$$DP = B \cdot PV$$

其中，FR 为功能需求向量

DP 为对应的设计参数向量

A 为设计矩形，决定了每一功能需求和设计参数之间的对应关系。

PV 为工艺设计变量向量

B 为工艺矩形，决定了每一设计参数和工艺过程之间的对应关系。

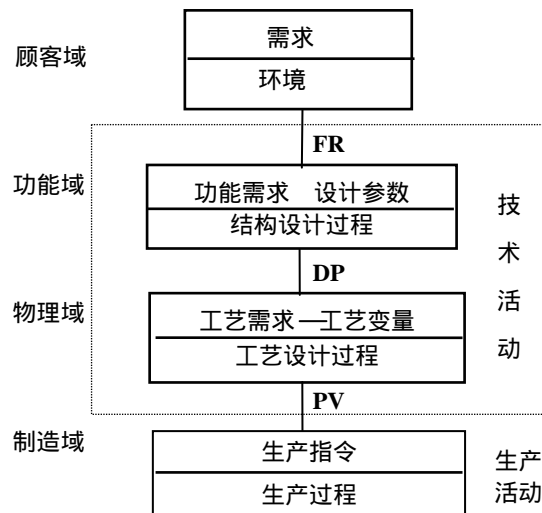


图 4-9 技术活动的过程分析

从以上分析可以看出，产品设计阶段的活动实际上是 FR-DP-PV 的变换过程。每一变换过程都是一次决策过程，也就是从许多设计方案中选出满足功能需求和企业资源约束的可行解，最终找出满意的或最优解。方案的可行性取决于方案满足约束的程度。由于后继过程的约束存在不确定性、随机性，约束的确定过程是一个从定性到定量、从模糊到清晰的过程。

顾客需求的多样化和个性化，使得市场演变和产品更新的速度越来越快，产品的生命周期越来越短。目前，企业一方面按顾客需求设计产品的工作大大增加；另一方面，为在激烈的竞争中取胜，企业还须需要不断研究和开发新产品，主动占领市场。因此，在快速多变的 market 环境下，产品设计、工艺设计等技术活动在企业经营活动中的作用越来越突出。下面将具体分析技术系统中产品结构设计、工艺设计过程的内容。

四、结构设计过程

设计过程包括从明确设计任务开始，到确定产品的具体结构为止的一系列活动。无论是新产品开发、老产品改进、还是外来产品仿制、顾客产品订制，产品设计始终是企业生产活动中的重要环节。设计阶段决定了产品的性能、质量、成本。因此，产品的设计阶段决定了产品的前途和命运，一旦设计出了错误或设计不合理，将导致产品的先天不足，工艺和生产上的一切努力都将无济于事。

为了保证设计质量，缩短设计周期，减低设计费用，产品设计必须遵循科学的设计程序。产品设计一般分为总体设计、技术设计、工作图设计三个阶段(图 4-10)。

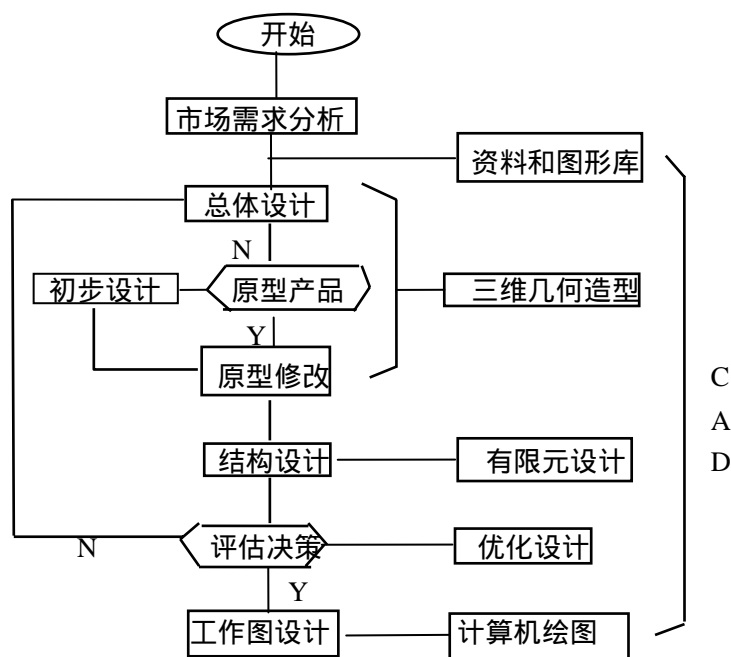


图 4-10 结构设计过程

(1) 总体设计

通过市场需求分析，确定产品的性能、设计原则、技术参数，概略计算产品的技术经济指标和进行产品设计方案的经济效果的分析。

(2) 技术设计

将技术任务书中确定的基本结构和主要参数具体化，根据技术任务书所规定的原则，进一步确定产品结构和技術经济指标，以总图、系统图、明细表、说明书等总括形式表现出来。

(3) 工作图设计

根据技术设计阶段确定的结构布置和主要尺寸，进一步作结构的细节设计，逐步修改和完善，绘制全套工作图样和编制必要的技术文件，为产品制造和装配提供确定的依据。

产品设计是一个递阶、渐进的过程。产品设总是从产品要实现的总体功能出发，从系统级构思产品方案，然后逐步细化，划分成不同的子系统、组件、部件、零件，最后确定设计参数。

五、工艺设计过程的基本内容

工艺过程是结构设计过程和制造过程之间的桥梁，它把产品的结构数据转换为面向制造的指令性数据。工艺过程的结果，一方面反馈给产品设计用以改进产品设计；另一方面，工艺过程的结果作为生产实施的依据。工艺过程设计的主要任务是确定产品的制造工艺及其相应的后勤支持过程，具体而言是指按产品设计要求，安排或规划出由原材料加工出产品所需要得一系列加工步骤和设备、工装需求的过程。图 4-11 描述了工艺过程设计的内容。

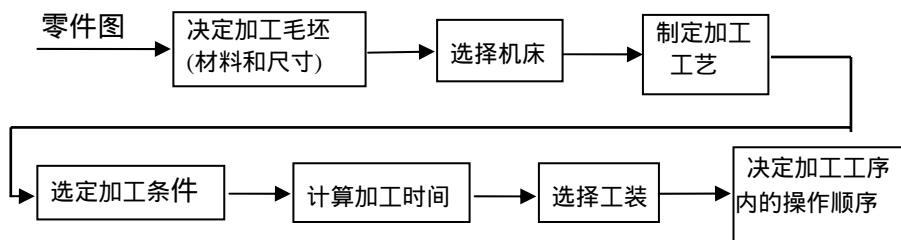


图 4-11 工艺过程设计的内容

工艺过程设计难度大，是技术系统中的瓶颈环节。它涉及的范围广，用到的数据和信息量相当庞大，又与生产现场个人经验水平密切相关，工艺过程设计的程序包括：产品图纸的工艺分析和审查、拟定工艺方案、编制工艺规程、工艺装备的设计与制造。

(1)产品图纸的工艺分析和审查。

产品图纸的工艺分析和审查，是保证产品结构工艺性的重要措施。产品图纸的工艺分析和审查的主要内容有：产品结构是否与生产类型相适应，是否充分地利用已有的工艺标准；零件的形状尺寸和配合是否合适，所选用的材料是否适宜，以及在企业现有设备、技术力量等条件下的加工可能性和方便程度。

(2)拟定工艺方案。

拟定工艺方案是工艺计划的总纲。在工艺方案中，要明确产品制造过程中会存在哪些主要问题，关键件用什么方法加工，工艺路线怎样安排，工艺装备的原则和系数如何确定等等重大原则问题。具体来说，工艺方案的内容一般包括：确定产品所采取的工艺原则，规定生产时应达到的质量要求、材料利用率、设备利用率、劳动量和制造成本等技术经济指标，列出产品的各类加工关键件，确定工艺路线，工艺方案的经济效果分析。

(3)编制工艺规程。

工艺规程是最主要的工艺文件，它是安排生产作业计划、生产调度、质量控制、原材料供应、工具供应、劳动组织的基础数据，是具体指导工人进行加工制造操作的文件。编制工艺规程包括：产品及零部件制造方法和顺序的确定，设备的选择，切削规范的选择，工艺装备的确定，设备调整方法的选择，产品装配与零件加工的技术条件的确定等等。

(4) 工艺装备的设计与制造

为实现工艺过程所需要的工具、夹具、卡具、量具、模具等，总称为工艺装备。工艺装备的设计与制造对贯彻工艺规程，保证加工质量，提高生产效率，具有重要作用。

六、产品设计的原则和绩效评价

选择一个真正能为企业带来效益的产品并不容易，关键看产品设计人员是否真正具备市场经济的头脑。一方面，新技术的出现对新产品的形成有重要影响，而另一方面，则主要看企业是否真正把用户放在第一位。

因此，产品设计和选择应该遵循以下几条原则。

1. 设计用户需要的产品(服务)。
2. 设计出制造性(Manufacturability)强的产品。
3. 设计鲁棒性(Robustness)强的产品(服务)。
4. 设计绿色产品(考虑环保要求)。

为了使企业保持长久的竞争力，必须不断向市场推出新的产品，为此，企业必须有效响应用户需求，并且能超过竞争对手。抓住机会的能力、快速开发出新产品、用很短的时间将产品推向市场，对一个企业而言是十分重要的，因为产品的市场寿命是有限的。

为此，必须对企业的产品和服务设计的绩效进行测量和控制，争取取得最大的效益。根据企业在市场上的竞争要素，通常用表 4-4 所列出的内容作为度量产品开发绩效的主要指标。

表 4-4 产品开发绩效评价指标

绩效指标	度量	对竞争力的影响
上市时间	新产品引入频率 从新产品构思到上市的时间 构思数量和最终成功数量 实际效果与计划效果的差异 来自新产品的销售比例	顾客/竞争对手的响应时间 设计的质量----接近市场的程度 项目的频率-----模型的寿命
生产率	每一个项目的研究发展周期 每一个项目的材料及工具费用 实际与计划的差异	项目数量----新产品设计与开发的频率 项目的频率----开发的经济性
质量	舒适度-使用的可靠性 设计质量----绩效和用户的满意度 生产质量----工厂和车间的反映	信誉----用户的忠诚度 对用户的相对吸引力----市场份额 利润率

第三节 生产流程设计与选择

一、生产流程(Type of Processes)分类

根据生产类型的不同，生产流程有三种基本类型：按产品进行的生产流程、按加工路线进行的生产流程和按项目组织的生产流程。下面做一简要介绍。

一）按产品(Product-Focused)进行的生产流程

就是以产品或提供的服务为对象、按照生产产品或提供服务的生产要求，组织相应的生产设备或设施，形成流水般的连续生产，有时又称为流水线(Flow Line)生产。例如离散型制造业企业的汽车装配线、电视机装配线等就是典型的流水式生产。连续型企业的生产一般都是按产品组织的生产流程。由于是以产品为对象组织的生产流程，国内又叫对象专业化形式。这种形式适用于大批量生产类型。

二）按加工路线(Process-Focused)进行的生产流程

对于多品种生产或服务情况，每一种产品的工艺路线都可能不同，因而不能象流水作业那样以产品为对象组织生产流程，只能以所要完成的加工工艺内容为依据来构成生产流程，而不管是何种产品或服务对象。设备与人力按工艺内容组织成一个生产单位，每一个生产单位只完成相同或相似工艺内容的加工任务，国外有人称之为“Job Shop”。不同的产品有不同的加工路线，它们流经的生产单位取决于产品本身的工艺过程，因而国内又叫工艺专业化形式。这种形式适用于多品种中小批量或单件生产类型。

三）按项目(Project)进行的生产流程

对有些任务，如拍一部电影、组织一场音乐会，或生产一件产品、盖一座大楼等等。每一项任务都没有重复。所有的工序或作业环节都按一定秩序依次进行，有些工序可以并行作业，有些工序又必须顺序作业。

三种生产流程的特征比较列于表 4-5 中。

表 4-5 不同生产流程特征比较

特征标记	对象专业化	工艺专业化	项目型
产品			

订货类型	批量较大	成批生产	单件、单项定制
产品流程	流水型	跳跃型	无
产品变化程度	低	高	很高
市场类型	大批量	顾客化生产	单一化生产
产量	高	中等	单件生产
劳动者			
技能要求	低	高	高
任务类型	重复性	没有固定形式	没有固定形式
工资	低	高	高
资本			
投资	高	中等	低
库存	低	高	中等
设备	专用设备	通用设备	通用设备
目标			
柔性	低	中等	高
成本	低	中等	高
质量	均匀一致	变化更多	变化更多
按期交货程度	高	中等	低
计划与控制			
生产控制	容易	困难	困难
质量控制	容易	困难	困难
库存控制	容易	困难	困难

二、产品-流程矩阵(Product-Process Matrix)

生产流程设计一个重要内容就是要使生产系统的组织与市场需求相适应。生产过程的成功与失败与生产过程组织有直接关系。什么样的需求特征，应该匹配什么样的生产过程。这就是产品-流程矩阵，如图 4-12 所示。

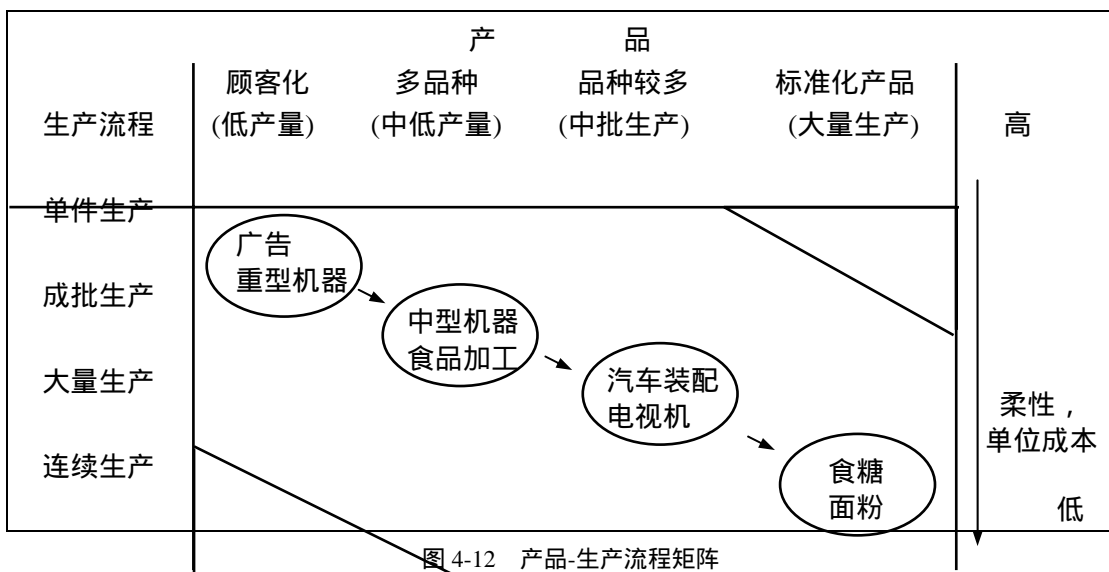


图 4-12 产品-生产流程矩阵

产品-生产流程矩阵最初由 Hayes 和 Wheelwright 提出来，后来得到了广泛应用，具体反映在，其一，根据产品结构性质，沿对角线选择和配置生产流程，可以达到最好的技术

经济性，换言之，偏离对角线的产品结构-生产流程匹配战略，不能获得最佳的效益。其二，那种传统的根据市场需求变化仅仅调整产品结构战略，往往不能达到预期目标，因为它忽视了同步调整生产流程的重要性。因此，产品-生产流程矩阵可以帮助管理人员选择生产流程，对制定企业的生产战略有一定的辅助作用。

三、影响生产流程设计的主要因素

影响生产系统生产流程设计的因素很多，其中最主要的是产品/服务的构成特征，因为生产系统就是为生产产品或提供服务而存在的，离开了用户对产品的需求，生产系统也就失去了存在的意义(图 4-13)。

一) 产品/服务需求性质

生产系统要有足够的能力满足用户需求。首先要了解产品/服务需求的特点，从需求的数量、品种、季节波动性等方面考虑对生产系统能力的影响，从而决定选择那种类型的生产流程。有的生产流程具有生产批量大、成本低的特点，而有的生产流程具有适应品种变化快的特点，因此，生产流程设计首先要考虑产品/服务特征。

二) 自制-外购决策

从产品成本、质量生产周期、生产能力和生产技术等几个方面综合考虑，企业通常要考虑构成产品所有零件的自制-外购问题。本企业的生产流程主要受自制件的影响。企业自己加工的零件种类越多，批量越大，对生产系统的能力和规模要求越高。不仅企业的投资额高，而且生产准备周期长。因此，现代企业为了提高生产系统的响应能力，只抓住关键零件的生产和整机产品的装配，而将大部分零件的生产扩散出去，充分利用其他企业的力量。这样一来即可降低本企业的生产投资，又可缩短产品设计、开发与生产周期。所以说，自制-外购决策影响着企业的生产流程设计。

三) 生产柔性

生产柔性是指生产系统对用户需求变化的响应速度，是对生产系统适应市场变化能力的一种度量，通常从品种柔性和产量柔性两个方面来衡量。所谓品种柔性，是指生成系统从生产一种快速地转换为生产另一种产品的能力。在多品种中小批量生产的情况下，品种柔性具有十分重要的实际意义。为了提高生产系统的品种柔性，生产设备应该具有较大的适应产品品种变化的加工范围。产量柔性是指生产系统快速增加或减少所生产产品产量的能力。在产品需求数量波动较大，或者产品不能依靠库存调节供需矛盾时，产量柔性具有特别重要的意义。在这种情况下，生产流程的设计必须考虑到具有快速且低廉地增加或减少产量的能力。

输入	生产流程设计	输出
1. 产品/服务信息 产品/服务要求 价格/数量 竞争环境 用户要求 所期望的产品特点 2. 生产系统信息 资源供给 生产经济分析 制造技术 优势与劣势 3. 生产战略 战略定位 竞争武器 工厂设置 资源配置	1. 选择生产流程 与生产战略相适应 2. 自制-外购研究 自制-外购决策 供应商的信誉和能力 配套采购决策 3. 生产流程研究 主要技术路线 标准化和系列化设计 产品设计的可加工性 4. 设备研究 自动化水平 机器之间的连接方式 设备选择 工艺装备 5. 布局研究 厂址选择与厂房设计 设备与设施布置	1. 生产技术流程 工艺设计方案 工艺流程之间联系 2. 布置方案 厂房设计方案 设备设施布置方案 设备选购方案 3. 人力资源 技术水平要求 人员数量 培训计划 管理制度

图 4-13 生产流程设计的输入/输出信息

四) 产品/服务质量水平

产品质量过去是、现在是、而且将来还是市场竞争的武器。生产流程设计与产品质量水平有着密切关系。生产流程中的每一加工环节的设计都受到质量水平的约束，不同的质量水平决定了采用什么样的生产设备。

五) 接触顾客的程度

绝大多数的服务业企业和某些制造业企业，顾客是生产流程的一个组成部分，因此，顾客对生产的参与程度也影响着生产流程设计。例如，理发店、卫生所、裁缝铺的运营，顾客是生产流程的一部分，企业提供的服务就发生在顾客身上。在这种情况下，顾客就成了生产流程设计的中心，营业场所和设备布置都要把方便顾客放在第一位。而另外一些服务企业，如银行、快餐店等，顾客参与程度很低，企业的服务是标准化的，生产流程的设计则应追求标准、简洁、高效。

三、生产流程选择决策

按不同生产流程构造的生产单位形式有不同的特点，企业应根据具体情况选择最为恰当的一种。在选择生产单位形式时，影响最大的是品种数的多少和每种产品产量的大小。图 1-6 给出了不同品种-产量水平下生产单位形式的选择方案。一般而言，随着图中的 A 点到 D 点的变化，单位产品成本和产品品种柔性都是不断增加的。在 A 点，对应的是单一品种的大量生产，在这种极端的情况下，采用高效自动化专用设备组成的流水线是最佳方案，它的生产效率最高、成本最低，但柔性最差。随着品种的增加及产量的下降（B 点），采用对象专业化形式的成批生产比较适宜，品种可以在有限范围内变化，系统有一定的柔性，尽管操作上的难度较大。另一个极端是 D 点，它对应的是单件生产情况，采用工艺专业化形式较为合适。C 点表示多品种中小批量生产，采用成组生产单元和工艺专业化混合形式较好。

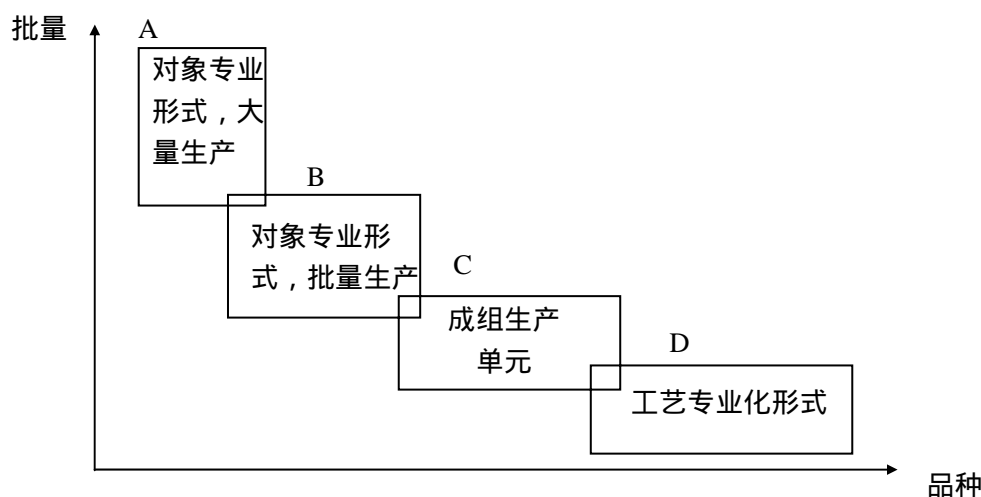


图 4-14 品种-产量变化与生产单位形式的关系

图 4-14 给出的是一种定性分析的示意图,根据这一概念确定出生产流程方案后,还应从经济上作进一步分析,如图 4-15 所示。每一种形式的生产单位的构造都需要一定的投资,在运行中还要支出一定的费用,作为一种生产战略,要充分考虑这些费用对生产流程设计的影响。

图中的纵轴表示费用,横轴表示产量。产量等于零时的费用是固定费用,通常指生产系统的初始投资。从图中可以看出,对象式生产过程方案的固定费用最高,这是因为对象式生产系统一般采用较为昂贵的自动化加工设备和自动化的物料搬运设备。由于对象式生产系统的生产效率很高,单位时间出产量很大,劳动时间消耗少,因此单位产品的变动费用相对最低(成本曲线变化最平缓)。以图中的数字为例,生产同一种产品的对象式系统投资额为 225 万元成组生产单元为 111 万元,工艺式为 50 万元。当产量在 100000 件以下时,选择工艺式最经济,当产量在 100000-250000 件之间时,成组生产单元最经济,当产量在 250000 件以上时,对象式最经济。当然还有一种选择,如果以上几种方案都不能得到满意的投资回报时,则应放弃该产品的生产。

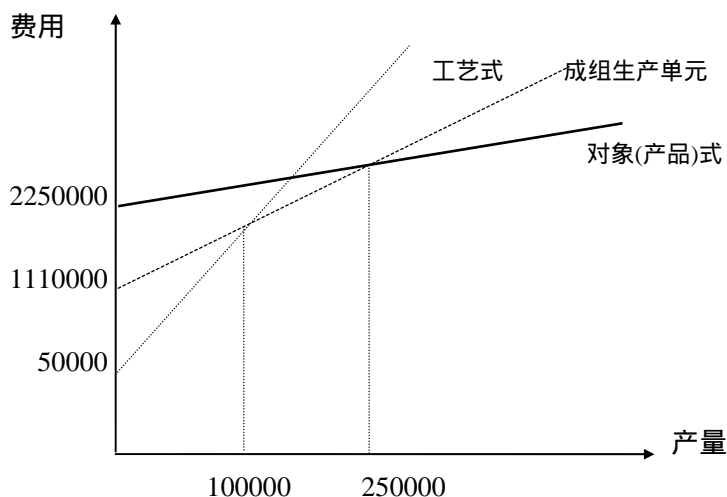


图 4-15 不同生产过程方案的费用变化

经营杠杆(Operating Leverage)是另外一个非常有用的经济分析工具。经营杠杆系反映年总费用一定的情况下和销售收入的关系,总费用在销售收入中所占比重越高,则经营杠杆的作用越大。在其他条件不便的情况下,这意味着销售收入很小的变化都会给企业带来很大的净收益。图 4-16 是经营杠杆在生产系统选择中的示意图。

图 4-16 中的 BE1 点是采用成组生产单元时的总收入等于总费用的产量水平（盈亏平衡点）。BE1 左侧是亏损区，BE1 右侧是赢利区。经营杠杆就是成本函数和销售收入之间的夹角。夹角小，经营杠杆的作用小，利润或亏损的变化率也小；夹角大，经营杠杆的作用大，利润或亏损的变化率也大。例如，采用流水生产的销售收入与总费用之间的夹角比采用成组生产单元的大，说明流水生产的经营杠杆作用大。经营杠杆在选择生产系统方式时的作用有：

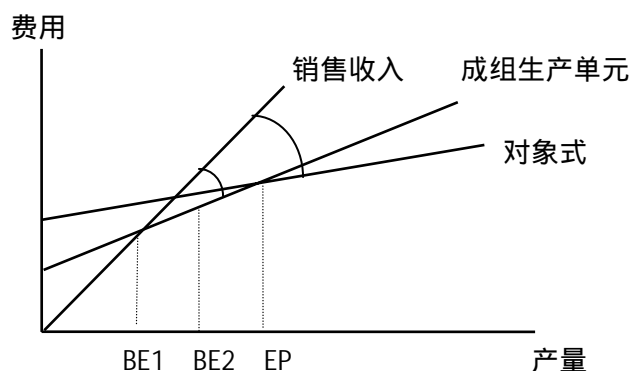


图 4-16 不同生产流程方案的经营杠杆

1、产品产量达到一定水平后，如图 4-16 中的 EP 点，经营杠杆作用越大，从生产系统获得的长期收益越大。

2、如果产量没有达到盈亏平衡点（如图 4-16 中的 BE2 点），经营杠杆作用越大，则长期损失越大。

3、经营杠杆作用越大，未来预期利润的不确定性也越大。

4、销售预测的不确定性越高，经营杠杆作用大的生产系统产生损失的风险越高。

经营杠杆概念对生产过程设计的作用是：如果对所要生产的产品预测的不确定性很大，则以选用经营杠杆作用小的生产过程方式为佳。

第四节 并行工程——产品开发组织的新方法

一、串行的产品设计方法

按过程分析的方法，产品开发由许多过程组成。过程中存在两种类型的活动(图 3-5)：一是专业活动，如需求分析、结构设计、工艺设计，另一类是协调活动，通过协调顾客域、功能域、物理域、制造域的方案和建议，取得各方面一致认可的决策。

多年来，企业的产品开发一直采用串行的方法(图 4-17(a))，即从需求分析、产品结构设计、工艺设计一直到加工制造和装配是一步步在各部门之间顺序进行。产品开发的工作流程是：首先由熟悉顾客需求的市场人员提出产品构想，在由产品设计人员完成产品的精确定义，之后交制造工程师确定工艺工程计划，确定产品总费用和生产周期，质量控制人员作出相应的质量保证计划。

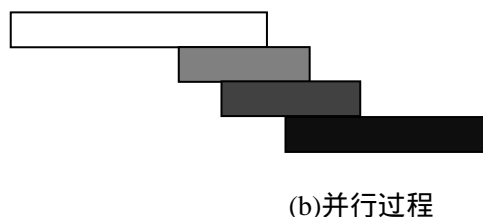
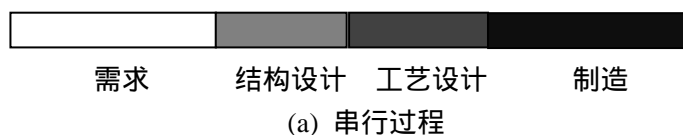


图 4-17 产品开发的两种方式

串行的产品开发过程存在着许多弊端，首要的问题是以部门为基础的组织机构严重地妨碍了产品开发的速度和质量。产品设计人员在设计过程难以考虑到顾客的需求，制造工程、质量控制等约束因素，易造成设计和制造的脱节，所设计的产品可制造性、可装配性较差，使产品的开发过程变成了设计、加工、试验、修改的多重循环，从而造成设计改动量大，产品开发周期长，产品成本高。归纳起来，串行的产品开发过程存在的问题关键有如下两点：

(1) 各下游开发部门所具有的知识难以加入早期设计，越是设计的早期阶段，降低费用的机会越大。而发现问题的时间越晚，修改费用越大，费用随时间成指数增加。

(2) 各部门对其它部门的需求和能力缺乏理解，目标和评价标准的差异和矛盾降低了产品整体开发过程的效率。

要进一步提高产品质量、减低产品成本、缩短产品上市时间，必须采用新的产品开发策略，改进新产品开发过程，消除部门间的隔阂，集中企业的所有资源，在产品设计时同步考虑产品生命周期中所有因素，以保证新产品开发一次成功。

二、并行的产品设计方法

为解决串行的产品设计方法的弊端，减少产品的开发时间和成本。近几年提出的并行工程的产品设计方法，它能够并行地集成设计、制造、市场、服务等资源。根据 IDA 的 Winner 等人(1988)对并行工程的定义，并行工程是对产品及其相关过程，包括制造过程和支持过程，进行并行、一体化设计的一种系统化方法。这种方法力图使产品开发者从一开始就考虑到产品全生命周期从概念形成到产品报废的所有因素，包括质量、成本、进度和用户需求(表 4-5)。

表 4-5 产品设计时要考虑的因素

过程	需求阶段	设计阶段	制造阶段	营销阶段	使用阶段	终止阶段
考虑的 因素	顾客需求 产品功能	减低成本 提高效率	易制造 易装配	竞争力(低成 本、标新立异)	可靠性，可维护 性，操作简便	环境保护

并行工程的是一种强调各阶段领域专家共同参加的系统化产品设计方法，其目的在于将产品的设计和产品的可制造性、可维护性、质量控制等问题同时加以考虑，以减少产品早期设计阶段的盲目性，尽可能早地避免因产品设计阶段不合理因素对产品生命周期后续阶段的影响，缩短研制周期。并行工程的主要思想有：

(1) 设计时同时考虑产品生命周期的所有因素(可靠性、可制造性，)，作为设计结果，同时产生产品设计规格和相应的制造工艺和生产准备文件。

(2) 产品设计过程中各活动并行交叉进行。

(3) 产品生命周期有关的不同领域技术人员的全面参与和协同工作，实现生命周期中所有因素在设计阶段的集成，实现技术、资源、过程在设计中的集成。

并行的产品开发流程是：当初步的需求规格确定后，以产品设计人员为主，其它专业领域的人员为辅，共同进行产品的概念设计，概念设计方案作为中间结果为所有开发人员共享，开发人员以此作为基础展开对应的概念设计，如工艺过程概念方案、后勤支持概念方案等。每一专业领域输出的中间结果既包括方案，又包括建议的修改意见。所有的中间结果经协调后，达成一致的认识，并根据此修改意见完善概念设计方案，然后逐步进入初步设计阶段、详细设计阶段(图 4-18)。 本文运用并行工程的思想，提出了产品设计的并行方法。其特点是：

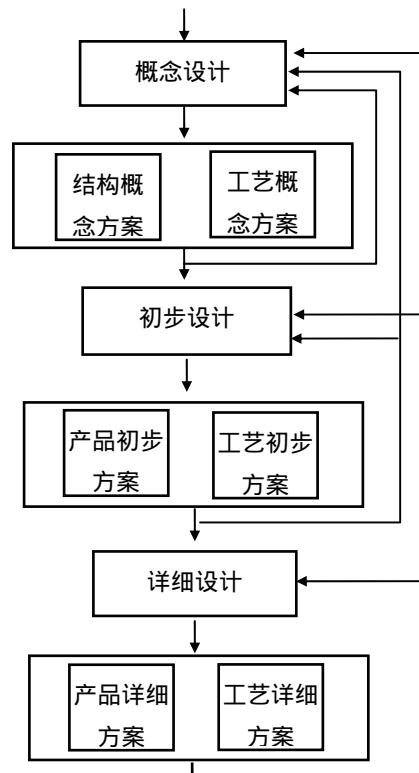


图 4-18 并行的产品设计方法

(1) 产品设计的各阶段是一个递阶渐进的连续过程，概念设计、初步设计、详细设计等设计阶段的划分只标志着产品和设计的粒度和清晰度。粒度是设计人员在设计过程中所考虑和处理问题要素的大小。清晰度表明设计对象在相应粒度水平上的确定性程度的度量。

(2) 产品设计过程和产品信息模型经历着从定性到定量、从模糊到清晰渐进演化。设计每前进一步，过程每循环一次，设计的粒度减小，信息的清晰度增加，不确定性减少，并行程度逐渐增加。

(3) 产品设计过程和工艺设计过程不是顺序进行，而是并行展开，同时进行。

在设计早期，必须从总体上着眼，设计的粒度大；随着设计工作的进展，要处理的问题越来越细，粒度越来越小，清晰度越来越高。至粒度最小时，产品和过程的设计也告结束，清晰度最高。

根据霍尔的系统工程(SE)三维结构，产品设计的时间维：总体设计、初步设计、详细设计。逻辑维为结构、工艺。时间维和逻辑维构成了产品设计的系统活动域。

作为新产品开发策略上的创新，并行工程其实际应用已经取得了巨大的效益。并行工程从提出至今，还只有几年的时间。由于并行工程能带来明显的经济效益，能增强企业的竞争力，它已引起了企业经营者、研究机构和政府部门的密切注意。特别在汽车、计算机、航空航天及电子等制造业倍受重视。美国国防分析研究所(IDA)将并行工程用于武器系统的发展研究，我国自然科学基金会(NNSF)和国家高技术研究发展计划(863)也大力支持开展并行工程的有关技术研究。

并行工程的目的是在设计阶段就能周密考虑产品生命周期各阶段的各种因素(图 4-19)，以减少产品早期设计阶段的盲目性，尽早避免因产品设计的不合理对产品生命周期后续阶段的影响，缩短研制周期，更好地满足用户需求。

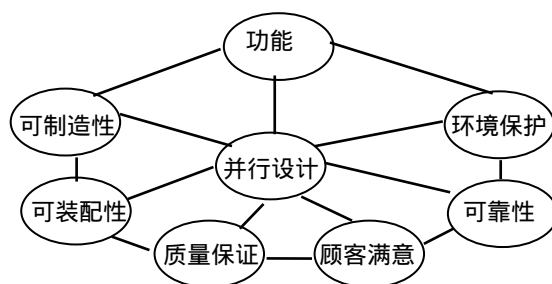


图 4-19 并行设计时考虑的因素

根据并行工程的思想，要提高产品开发过程的效率和柔性，须从两方面进行变革，(1)过程重构，从传统的串行过程转变为集成的、并行的产品开发过程。(2)组织的重构，打破功能部门制的组织机构，建立跨部门、跨专业的开发小组。产品设计的过程重构已介绍过，这里讨论并行工程的组织重构，即工作小组方式。

表 4-6 产品设计时要考虑的因素及采取的措施

	需求阶段	设计阶段	制造阶段	营销阶段	使用阶段	终止阶段
采取的措施	顾客参与 质量功能部署	CAD/CAPP VRP、GT	DFM, DFA	价值工程 CE	工业工程 IE	绿色制造

并行工程

三、并行工程技术

一) 虚拟设计

(1) 面向并行工程的 DFX 设计模式体现了开发过程的集成。DFX 同时考虑制造、质量、环境等方面的约束，已超越了设计与制造间简单的信息共享，引起了广泛的关注。目前研究的关键技术包括：计算机辅助概念设计、集成产品信息模型、产品可制造性模型及其评价方法、并行设计过程分析等，已有面向制造(DFM)的商品化的软件推出。

(2) PDM 发展成为 CAD / CAPP / CAM 系统的集成平台。PDM 确保了整个企业中的人员在适当时候以适当形式得到所需产品数据，使集成水平达到了更高阶段。

(3) Internet 使设计集成的范围更加广泛。Internet 技术为世界范围信息共享提供了一个很好的平台。CAD 软件将面向 Internet 发展，SDRC 公司的 I-DEAS 软件已经能够调用 Web 浏览器。

(4) STEP 标准作为设计开发集成的标准接口。STEP 克服了 I-GEAS 的局限性，已经发展到了实用阶段，从 1995 年初，许多著名的 CAD / CAM 系统供应商已开始推出商品化的 STEP 转换器，一些公司就利用 STEP 描述语言和参考模型开发他们的集成系统。

二) 产品数据管理(Product Data Management,PDM)

在国内已有数以千计的企业实施了 CAD, CAPP, CAM 等单元技术，近百家制造企业实施了 CIMS 工程，而且越来越多的企业都期望利用现代信息技术和先进制造技术来满足上市产品 TQCSE 的要求。

PDM 技术是在数据库基础上发展起来的一门面向工程应用的信息管理技术，它管理所有与产品有关的信息和所有与产品的过程，是支持企业重构、并行工程、虚拟制造、计算机集成制造、ISO9000 认证的使能技术。PDM 系统继承了数据库的基本功能，但与它又有本质的不同。在 PDM 中，用户对文件的操作和对数据库的操作达到了形式上的统一；应用系统与 PDM 系统中被操作的对象形成了更紧密的关系；工程知识和数据管理功能紧密结合。目前，PDM 技术发展有如下特点：

(1) 基于 Internet/Intranet 平台的 PDM 系统，支持全球化虚拟企业的信息管理。

(2)面向对象技术的应用及信息模型的标准化

(3)PDM 和 MRPII 的功能相渗透

(4)流程管理、项目管理和配置管理功能越来越强。

三) 产品系列化、零部件标准化、通用化

为扩大产品结构继承性,提高产品设计质量,减轻设计工作量,缩短设计周期,在设计阶段推行产品系列化、零部件标准化、通用化。

产品系列化是对相同的设计依据、相同的结构性和相同使用条件的产品,将其基本尺寸和参数按一定的规律编排,建立产品系列型谱,以减少产品品种,简化设计。

零部件标准化,是在产品系列化的基础上,在企业内不同型号的产品之间扩大相同的通用零部件。在产品品种数相同的情况下,就可以大大地减少零部件的种类。

零部件通用化,是按国家标准生产零部件。当标准化水平提高后,会缩短设计的工作量相应地缩短了设计周期。

标准化技术(ST)通过制定标准、选择使用标准件,使小批量生产获得大批大量生产的规模效益,的确可以很大程度地减少单个零件的制造成本,但过多选择或一味追求使用标准件必然造成零件的某些功能的冗余和浪费,就实现某一功能而言,往往会造成成本的增加。

四) 成组技术 (Group Technology, GT)

成组技术是一种利用零件的相似性来组织生产的原理和方法。从设计属性和工艺属性考虑,许多零件具有相似性,将相似零件归并为一族,就可以采用相同或相近的设计和工艺编织方法,从而减少重复工作,节省时间,提高效率,改进工作质量和产品质量。

五) 减少变化的方案(Variety Reduction Prigram, VRP)

在 90 年代后期,日本学者 Toshio Suzue 和 Akira Kohdate 提出的“变化减少方案”(Variety Reduction Prigram, VRP)。VRP 是一种面向多品种生产的有效方法。其核心思想是变产品的多品种为零部件的少变化,从而达到简化生产和管理,降低成本的目的。它提出了“变化是成本增加的根源”,从产品的变化性入手,分析了产品结构变化性和制造结构变化性对产品制造成本的影响,创造性地将产品成本分“功能成本”、“变化成本”和“控制成本”加以考虑,通过寻求三种成本间的均衡来达到控制产品成本生产多样化产品的目的。

VRP 以产品系列为研究对象,系统地归纳了减少变化的五项技术:固定/可变技术,模块化技术,功能复合和集成技术,范围划分技术,趋势分析技术。

(1) 固定/可变技术,将零部件划分成固定件和可变件。用固定的零部件来满足产品系列中不同型号产品的某些基本功能,提高零件、工艺的通用性和效率。使用可变零部件满足市场多样化的需求。

(2) 模块化技术,按功能将产品分解成若干模块,通过模块的不同组合得到不同品种、不同规格的产品。

(3) 功能复合和集成技术,利用组合、删除和交换等方法,将多个功能的零件复合集成于一个零件,以减少零件的数目和加工工序数,减低成本。例,集成电路

(4) 范围划分技术,将零件的各项数值尺寸、设计参数进行分析,使之能在尽可能多的产品中适用。

(5) 趋势分析技术,对由品种带来的规格和尺寸的变化进行数据分析,得出产品发展趋势的统计规律,设计和开发符合这一规律的产品系列,保证现有零件在未来产品中的适应性和继承性。

四、并行工程的人员构成

新产品开发特别强调人的作用,由于产品是设计是一项创造性的劳动,离开了人的创

创造性思维要设计出创新产品是不可能的。此外，由于技术的复杂性和产品复杂性的增加，产品是研究和开发更加依赖于多方人员的参与，因而组织和人员之间的沟通、协作显得尤为重要。

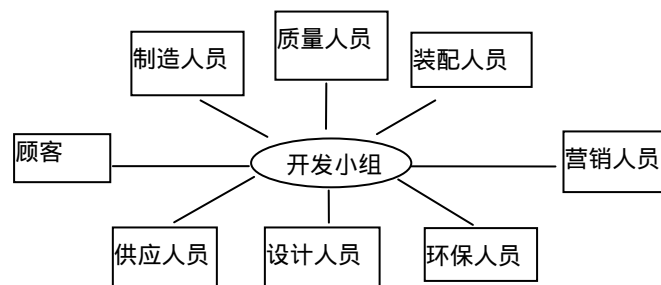


图 4-20 工作小组的人员组成

一）制造、装配、质量、营销人员

制造、装配、质量、营销人员等下游人员加入到开发小组，参与产品设计的早期活动，有利于预防设计的先天不足，减少开发的时间和费用，确保产品设计一次成功。越是设计的早期阶段，减低成本的机会越大。因为，修改错误的费用随着发现问题的时间的推后成指数增长。而且产品总成本的大约 70%在设计阶段就已经确定了，在制造阶段减低成本的努力往往事倍功半。在设计界，流行这样一种说法“产品的质量远不是制造出来的，而更重要的是设计决定了产品的性能，产品是质量是设计出来的”。

二）顾客和供应商

顾客和供应商加入到产品开发之中，能减少不确定性，在设计中更好地反映顾客需求，提高产品适应市场的能力。对企业来说，获得利润的唯一途径，就是给顾客提供他们认为有价值的并情愿为此而付出的东西。现在，产品有没有价值越来越少地体现在经济上，而更多地体现在社会心理上。因此，顾客的所见、所想、所需及他们所信任的就决定了企业开发的产品是否有价值。企业如果只顾闭门造车，设计的产品要么过时了，要么不受顾客欢迎。我们知道：新产品开发成功率不高，风险大。顾客和市场人员的加入能降低风险，增大成功的可能性。

如今，企业和顾客之间是一种新型的和谐关系。以前顾客只能被动地取得现有的产品和劳务，如今他们参与产品的设计。企业中每个人都有责任倾听顾客的意见，而且根据顾客的需求将这些信息反馈到产品的设计中。产品不只是作为满足顾客需求和反应顾客价值的手段，它们还是企业参与和改变顾客生活方式的日常活动。成功企业的经验是：向顾客学习，尤其是向有主见的关键顾客学习，不断地将顾客的意见反馈到产品的开发过程中，不断地完善和改进产品的性能(图 4-21)。快速的反馈提高了产品开发的效率，它使倾听到的信息发挥作用，使得学习的过程加快。产品的设计过程不是一个封闭的、或单向交流的过程，而是一个顾客参与的问询调研相结合的过程。不仅要向外部顾客学习，而且要向内部顾客学习，甚至要向竞争对手学习。产品开发小组成员和顾客的联系是一种积极的相互学习和了解的关系。学习能帮助产品设计的细化，清晰度增加，循环次数减少。

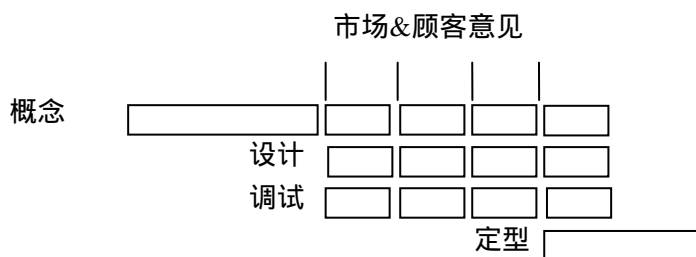


图 4-21 Netscape 开发小组的柔性产品开发过程结构

三) 环保人员

环保人员的加入到产品设计小组中，其作用是在产品设计时要考虑到产品终止时的资源重用和环境保护问题。日趋严格的环境和资源约束，使可持续发展越来越被重视，绿色制造将成为 21 世纪制造业的一个重要特征。据统计，环境污染问题十分严重，产品报废时，环保费用急剧增加。因此，企业不仅要解决生产过程中的污染和资源浪费问题，更重要的是在产品设计阶段就要考虑环保问题。

在产品开发的不同时期项目组成员的作用是不同的。随着产品开发过程的进展,小组中成员之间的主次关系是变化。概念形成阶段,以市场营销人员和顾客为主,其它人员为辅,在设计阶段,以设计人员为主,制造、营销、质量等人员为辅。到制造阶段,以制造人员为主。以次类推,形成“车轮式”运作方式。

第五节 计算机技术在产品设计中的运用

为提高技术系统的效率和柔性,目前在企业中,计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助过程(CAPP)等技术已得到了广泛地运用。目前以计算机网络为基础的各种支撑技术在产品设计中的作用日趋重要。信息化是当今技术发展的显著特征。

一、CAD/CAPP 系统

CAD/CAPP 的应用使得产品设计的手段发生巨大的变化。它们提高了设计效率,缩短了产品设计周期,采用 CAD 便于建立产品数据库,消除重复设计,减少设计工作量。还可将产品设计和产品制造直接连在一起,实现 CAD/CAPP 的集成。借助于计算机辅助技术 CAD,增大了产品获得最佳性能和设计一次成功的可能性。新一代 CAD/CAPP 系统发展迅速,主要特点是:

(1)以微机为平台的 CAD / CAM 系统性能不断提高。微机 CAD / CAM 系统已从简单的绘图工具发展成为更高一级的建模和集成系统,可实现曲面、实体建模,特征建模、参数化设计、约束管理及相关性设计等多种功能。

(2)参数化、变量化设计技术发展到了实用化阶段。参数化 CAD 系统的关键技术,如约束定义与求解等问题的研究取得了很大的进展。

(3)特征建模技术使 CAD / CAM 集成进一步发展,解决了传统 CAD 只面向几何形状的问题,已成为实现 CAD / CAM 集成的主要手段之一,有关特征分析、归纳、描述等特征模型方面的研究也取得了长足的进步,特征建模系统达到原型化阶段。

80 年代,在 CAPP 的研究开发中开始探索人工智能、专家系统技术。有人将这一进程看成是一种新方法的出现,但大多数人将它视为原有两种方法的进一步发展,即向智能化方向发展。集成化、智能化的综合的 CAPP 系统是发展的趋势,概括国内外许多学者的看法,将来的 CAPP 应具有下述特点:

(1)兼有创新和继承修改综合功能。

- (2)具有更大的灵活性和适应性。
- (3)闭环反馈，动态设计。
- (4)基于知识的智能系统。

二、计算机支撑技术

计算机网络是信息集成的基础，网络从局域网发展到 Internet / Intranet / Extranet，Internet 是一个开放的网络集合，它为不同种类、不同性质信息的共享提供了有力支持。高性能网络协议现有 XTP、IPV6 和 TCPng、RTSP、DRP 等。安全、高速、易于使用和群件解决方案是网络技术发展的 4 大方面。

数据库技术是信息集成的工具，数据库技术向面向分析的网络化数据仓库发展。数据库从传统的事务驱动、面向应用的在线事务处理(OLTP)发展到面向主题、集成稳定的、面向分析(OLAP)的数据仓库，从而能够有效地支持决策系统。数据挖掘技术为数据仓库提供了提取隐藏的预测性信息的新方法。对象型关系数据库、数据库与 Internet 连接，利用多媒体、网络与通信、分布式处理等技术，为群体工作建立一个多模式协同环境，以支持并行工程、群体决策等也是计算机支撑技术在产品设计中应用的一个重要方面。

三、拟实产品开发(VPD)

拟实产品开发(VPD)成为加速新产品进入市场的有效途径，VPD 是指以数字方式在计算机上完成包含产品设计、分析、实验和测试各环节的整个开发过程，从而在实际原型制造出来之前就能对产品的各方面进行评价，减少了对物理模型的依赖，加速了设计进程。VPD 目前进入试用阶段，如美国几家大汽车制造商在新产品开发中使用了这种技术。

[小结] 产品开发及其与之相关的工艺流程和技术选择是企业生产战略决策的重要内容之一。特别是进入 20 世纪 90 年代以来，由“3C”引发的市场需求多样性与不确定性更进一步使企业认识到产品开发的重要性。本章围绕这一中心思想，讨论了现代企业研究与开发(R&D)的有关概念、产品寿命周期不同阶段对 R&D 行动的影响和产品开发组织等问题，分析了产品开发对生产过程成本的影响，介绍了结构设计和工艺设计的基本内容。从最优实现整个产品生产的角度出发，本章讨论了生产流程的种类和特点、影响生产流程设计和决策的主要因素。作为产品开发组织的先进方法，本章着重讨论了并行工程的产生、发展和应用问题，详细介绍了采用并行工程进行产品开发的思想、并行工程的主要技术、并行工程的人员构成等内容。

思考题

- 1、讨论面向顾客设计思想的重要性。
- 2、讨论产品开发在企业战略中的重要地位。
- 3、如何组织好与产品开发有关的技术系统和生产系统之间的关系。
- 4、研究产品开发过程对产品成本的影响，并讨论科学和合理地组织产品开发过程的重要性。
- 5、讨论工艺设计在产品开发中地位。
- 6、影响生产流程选择的主要因素有那些？
- 7、分析几种生产流程形式的特征，说明其适用条件。
- 8、说明产品-生产流程矩阵在生产流程选择决策中的作用。
- 9、比较分析并行工程与传统的产品开发组织的区别。
- 10、并行工程的实现技术有哪些？

11、计算机和信息技术从哪些方面支持企业产品开发过程。

第五章 生产和服务设施选址

在产品或服务决策完成之后，接着就要决定在何处建造生产或服务设施来制造产品或提供服务的问题。选址是生产运作战略的一个重要内容。本章首先讨论了生产和服务设施选址的重要性。然后，分析了选址需考虑的因素，提出了选址的一般步骤。阐述了选址的评价方法。最后，通过一个案例，描述了一个实际的选址问题。

第一节 选址的重要性和难度

设施选址 (Facility Location) 就是确定在何处建厂或建立服务设施。它不仅关系到设施建设的投资和建设的速度，而且在很大程度上决定了所提供的产品和服务的成本，从而影响到企业的生产管理活动和经济效益。特别是服务设施选址，直接关系到营业额的多少。

对选址问题的研究由来已久。人类祖先对居住的洞穴的选择问题以及始于中国古代的风水问题的研究其本质都是选址问题。德国经济学家 Weber 是第一个研究制造活动选址问题的学者。到了八十和九十年代，特别是随着经济全球化的发展，全球化范围的选址问题受到了人们的重视。全球化的一个重要特征是制造活动从集中式到分布式的转变，人们面对的不再是一个单一的工厂选址的问题，而是为由不同的零部件厂、装配厂以及市场构成的制造网络选址的问题。与单一工厂的选址问题相比，网络选址可以更有效地利用不同地方、乃至世界各地的资源与能力优势。

一、选址的重要性

1、投资

建设新工厂或新的服务设施需要一大笔投资。在不同的地点建厂对投资多少有很大的影响。在偏僻的山区建厂，而且要求“靠山、分散、隐蔽”，甚至要“进洞”，从备战的角度讲，有一定道理；但从经济上分析，则是巨大的浪费。显然，在山区建厂比在平原建厂的投资要大得多，建设速度也要慢得多。在不同的地点建立服务设施的投资也大不一样。在城市的中心地段建服务设施，地价很高，以至“尺土寸金”；在城郊建服务设施，投资较少。

2、成本

不同的选址会影响到提供产品和服务的成本，从而影响到价格和竞争力。生产服务设施若建在远离原料供应地或远离市场的地方，原料或产品的运输成本会很高；建在城市或经济发达的地区，容易找到协作厂家，但职工工资较高。这些都影响到成本。

3、职工

不同的选址还会影响到职工的生活和工作积极性。不同地方的风俗习惯、气候条件、生活标准、教育水平、精神风貌不相同，对职工生活、子女上学都会有影响。这些问题，在过去的一些“三线”建设工厂特别突出，使一些内迁职工长期不能安心工作，影响了积极性。

4、改变困难，作用深远

选址建厂是一件巨大的永久性投资，一旦工厂已经建成，如发现厂址选择错误，则为时已晚，难以补救。因为新建的厂房既然不利于经营，那么出售亦必无人问津；将厂房移动是不可能的，将设备搬迁而易地重建，则耗资巨大；如果继续维持下去，投资大、成本高、职工队伍不稳，企业将永远处于不利地位，一旦发生市场冲击，很可能就要到闭。因此可以

说，选址不当，将“铸成大错”，也就决定了企业失败的命运。

二、选址的难度

选址固然重要，但选址又十分困难。其原因有：

- 1、选址因素互相矛盾。选址关系到很多因素，而这些因素常常是互相矛盾的。有利于营业的地方能接受较多订货，但常常地价贵、租金高。
- 2、不同因素的相对重要性很难确定和度量。
- 3、不同的决策部门利益不同，所追求的目标不同。
- 4、判别的标准会随时间变化，现在认为是好的选址，过几年可能就不一定是好的了。

在作选址决策时，必须针对企业的生产经营特点，如原材料、产品，销售渠道，运输工具等有总体上的了解，然后就其所处的客观环境，提出数个备选方案，逐个调查分析，权衡利弊，再决定取舍。

第二节 影响选址的因素和选址的一般步骤

应该从系统的观点来考虑选址问题，因为整个生产活动是一个整体，每个企业不可能孤立地存在。一个企业的输出（产品）是另一个企业的输入（原料、材料）。从采矿到冶金，从冶金到毛坯制造，到零件加工和产品装配，从产品发运到批发、到零售，最后到达顾客手中，一系列的输入和输出，一环扣一环，形成了一条生产分配（Production-Distribution）链。因此，任何企业选址既要考虑供应厂家，又要考虑顾客，还要考虑产品分配。从系统观点看，选址决策应该使得整个生产分配链的成本最低；从一个企业看，选址决策应该使得它所能控制的那段生产分配链的成本最低。从实际情况考虑，企业的选址决策要受到很多约束。因为一个新企业在考虑选址时，很多企业已经存在。对服务性企业同样有这个问题，它们也是一条生产分配链的一部分。不同的是，很多服务企业需要直接面对顾客，这就要求服务设施接近顾客。

选址决策需要考虑很多因素。这些因素可分为4类：经济因素、政治因素、社会因素和自然因素。其中经济因素是基本的，将单独阐述。

一、经济因素

（一）运输条件与费用

企业一切生产经营活动都离不开交通运输。原材料、工具和燃料进厂，产品和废物出厂，零件协作加工，都有大量的物料需要运输；职工上下班，也需要交通方便。交通便利能使物料和人员准时到达需要的地点，使生产活动能正常进行，还可以使原材料产地与市场紧密联系。

在运输工具中，水运运载量大，运费较低；铁路运输次之；公路运输运载量较小，运费较高，但最具有灵活性，能实现门到门运输；空运运载量小，运费最高，但速度最快。因此，选择水、陆交通都很方便的地方是最理想的。在考虑运输条件时，还要注意产品的性质。生产粗大笨重产品的工厂，要靠近铁路车站或河海港口；制造出口产品的工厂，厂址要接近码头。

在企业输入和输出过程中，有大量的物料进出。有的企业输入运输量大，有的企业输出

运输量大。在选址时，要考虑是接近原材料供应地，还是接近消费市场。

1、接近原料或材料产地 原材料成本往往占产品成本的比重很大。优质的原材料与合理的价格，是企业所希望的。下述情况的企业应该接近原料或材料产地：

① 原料笨重而价格低廉的企业，如砖瓦厂、水泥厂、玻璃厂、钢铁冶炼厂和木材厂等。

② 原料易变质的企业，如水果、蔬菜罐头厂。

③ 原料笨重，产品由原料中的一小部分提炼而成，如金属选矿和制糖。

④ 原料运输不便，如屠宰厂。

2、接近消费市场 工厂区位接近消费市场的主要目的，是节省运费并及时提供服务。在作选址决策时，要追求单位产品的生产成本和运输成本最低，不能追求只接近消费市场或只接近原料或材料产地。一般说来，下述情况的企业应该接近消费市场：

① 产品运输不便，如家具厂，预制板厂。

② 产品易变化和变质，如制冰厂、食品厂。

③ 大多数服务业，如商店、消防队、医院等。

2) 劳动力可获性与费用

对于劳动密集型企业，人工费用占产品成本的大部分，必须考虑劳动力的成本。设厂在劳动力资源丰富、工资低廉的地区，可以降低人工成本。一些发达国家的公司纷纷在经济不够发达的国家设厂，一个重要原因是降低人工成本。凡使用粗工的企业，工人易于训练，可以随时招用，劳动力的可获性不成为选址的条件。但是，随着现代科学技术的发展，只有受过良好教育的职工才能胜任越来越复杂的工作任务，单凭体力干活的劳动力越来越不受欢迎。对于大量需要具有专门技术员工的企业，人工成本占制造成本的比例很大，而且员工的技术水平和业务能力，又直接影响产品的质量和产量，劳动力资源的可获性和成本就成为选址的重要条件。在大城市较容易获得高水平的劳动力资源，选择在城市或城郊建厂，容易解决劳动力资源问题。过去搞三线建设，在偏僻的山区建厂，劳动力资源的可获性就成了大问题。人们一般不愿离开自己长期居住的地方。通过行政命令，使内地职工迁往三线工厂，造成内迁职工长期不安心工作，这也是一个教训。

(三) 能源可获性与费用

没有燃料（煤、油、天然气）和动力（电），企业就不能运转。对于耗能大的企业，如钢铁、炼铝、火力发电厂，其厂址应该靠近燃料、动力供应地。

(四) 厂址条件和费用

建厂地方的地势、利用情况和地质条件，都会影响到建设投资。显然，在平地上建厂比在丘陵或山区建厂要容易施工得多，造价也低得多。在地震区建厂，则所有建筑物和设施都要达到抗震要求。同样，在有滑坡、流沙或下沉的地面上建厂，也都要有防范措施，这些措施都将导致投资增加。此外，选择在荒地上还是良田上建厂，也会影响投资多少。需要强调的是，我国人均耕地面积十分有限，选择厂址要尽可能不占良田或少占良田。

地价是影响投资的重要因素。城市地价高，城郊地价较低，农村地价更低。

厂址条件还应考虑协作是否方便。和人类一样，企业也需要“群居”，与世隔绝的企业是难以生存的。由于专业化分工，企业必然与周围其它企业发生密切的协作关系。大城市是企业群居的地方，但地价高。因此，这些因素需要综合考虑。

二、 其它因素

其它因素包括政治因素、社会因素和自然因素。

（一）政治因素

政治因素包括政治局面是否稳定，法制是否健全，税负是否公平等。建厂，尤其是在国外建厂，必须要考虑政治因素。

政治局面稳定是发展经济的前提条件。在一个动荡不安，甚至打内战的国家投资建厂，是要冒极大风险的。有些国家或地区的自然环境很适合设厂，但其法律变更无常，资本权益得不到保障，也不宜设厂。要了解当地有关法规，包括环境保护方面的法规，不能将污染环境的工厂建在法规不允许的地方。若税负不合理或太重，使企业财务负担过重，也不宜设厂。相反，一些国家为了吸引外资，制定建厂地价从优，保障外商合法权益，并采取减免税收等政策，造成了一个有利的投资环境。

（二）社会因素

投资建厂要考虑的社会因素包括居民的生活习惯，文化教育水平，宗教信仰和生活水平。

不同国家和地区、不同民族的生活习惯不同。企业的产品一定要适合当地的需要。本国流行的产品或流行的款式，拿到外国就不一定流行了。同样，外国流行的产品或流行的款式，拿到中国就不一定流行，富康轿车就是一个典型的例子。内地畅销的汉族的服装、装饰品拿到少数民族地区未见得销得出去，反之亦然。

在文化教育水平高的地区设厂，不仅有利于招收受过良好教育和训练的员工，而且文化教育水平高的地区的氛围也有利于吸引更多的优秀人才，这对企业的发展是至关重要的。

到经济不发达地区建厂，要注意当地居民的开化程度和宗教信仰。清朝末年，创办铁路曾遭到举国上下的反对，甚至受到愚民和顽吏的破坏。如果生产企业的性质与当地宗教信仰相矛盾，则不仅原料来源和产品销路有问题，招收职工有困难，而且会遭到无端的干涉和破坏。

建厂地方的生活条件和水平决定了对职工的吸引力。人们的住房、交通工具、饮食、衣着以及能耗，反映了人们的生活水平。但生活水平高的地区，企业付给员工的工资也高，从而产品的成本也高。到贫困地区设厂，人工费用低，如果产品的科技含量不高，对劳动力素质要求不高，是可行的。

（三）自然因素

自然因素主要是气候条件和水资源状况。气候条件将直接影响职工的健康和工作效率。根据美国制造业协会的资料，气温在15 - 22 之间，人们的工作效率最高。气温过高或过低，都会影响工作效率。气温的高低关系着厂房和办公室的建筑设计。通过空调来保持适宜的温度，不仅作用范围有限，而且耗费能源，增加成本。有的产业对气候条件的要求较高。对气候条件敏感的产业有纺织厂和乐器厂。英国的曼彻斯特是世界著名的纺织业区，温度及湿度合适是一个主要原因。电影制片厂之所以集中在好莱坞，是因为该地终年温和而干燥，适于室外拍片活动。

有些企业耗水量巨大，应该靠近水资源丰富的地区。例如，造纸厂、发电厂、钢铁厂、化纤厂等。水资源短缺，是世界性问题。我国北方缺水，不仅影响了工业生产，而且影响了人民生活。耗水量大的企业给水质造成的污染也大。选址时，要同时考虑当地环保的有关规定，并要安装治理污染的设施，这又会增加投资。有些企业，如啤酒厂，对水质要求高，则不仅要近水源，而且要考虑水质。

三、 选址的一般步骤

选址没有固定不变的程序。一般步骤为：(1) 选择某一个地区；(2) 在同一地区选择若干适当的地点；(3) 比较不同地点，作出决定。

(一) 选择某一个地区

按照企业发展战略，选择若干地区新建厂或扩建厂。选择地区时要综合考虑经济因素、政治因素、社会因素和自然因素，最后确定某一个地区。可以选择在城市设厂、农村设厂和城郊设厂。

- 1、城市设厂 城市人口稠密，人才集中，交通便利，通讯发达，各种企业聚集，协作方便，动力供应便利，资金容易筹集，基础设施齐备。但是，城市高楼林立，地价昂贵，生活水平高，对环境保护要求高。综合比较，以下情况较适于在城市设厂：(1) 工厂规模不大，需大量受过良好教育和培训的员工；(2) 服务业，因大部分服务业需要与顾客直接接触；(3) 厂地占用空间少，最好能设置于多层建筑内；(4) 对环境污染小。
2. 农村设厂 在农村设厂与城市设厂的优缺点相反，以下情况较适于在农村设厂：(1) 工厂规模大，需占用大量土地；(2) 生产对环境污染较大，如噪音、有害气体或液体；(3) 需大量非技术性粗工；(4) 有高度制造机密，需与周围隔离。
3. 城郊设厂 城郊具有城市和农村的优点，且由于现代交通和通讯发达，将有越来越多的工厂设在城郊。

(二) 选择适当的地点

地区选定之后，要确定哪片土地建厂。这时要针对企业的特点，更深入地分析研究各种有关因素。通常考虑的是产品的可变成本，如直接人工、物料搬运费和管理费等。具体要求还有：

- 1、确定厂址应考虑厂区平面布置方案，并留有适当扩充余地。按一般程序，先定厂址，再搞厂区平面布置设计。实际上，做任何工作都不可能如此刻板，都有一个交互的过程。在购置厂地之前，即应有厂区平面布置方案。留有余地会增加投资，但不考虑长远发展可能会导致更多的投资。
- 2、整理厂地环境的费用。不能只考虑厂房和仓库的建设费用，还要考虑周围环境、道路、供水、下水道及废料堆放处理的场地等费用。尤其在远离城市的地方建厂，公共设施缺乏，一切都需自理，所需费用往往很大。
- 3、职工生活方便。在远离城市的地区建厂，还要考虑职工的住房问题，厂区和生活区要同时考虑。在城市或城郊建厂，要考虑职工上下班交通问题。

第三节 选址的评价方法

一、 选址问题的特点

很难找到一个正规的、一般性的选址评价模型。首先，由于选址决策涉及的因素很多，加之一些因素又相互矛盾，造成评价选址决策方案的困难。第二，如果企业生产多种产品或提供多种服务，它们的原料供应地差别大，市场差别也大，则难以按那一种产品或服务来确定厂址。第三，即使有一个比较完善的评价模型，由于数据资料的不准确，也不会得出正确的结果。选址关系到10年、20年乃至更长时间的决策。由于长期预测的准确性是很低的，对准确性很低的数据资料用准确的模型进行精确的计算，其结果也是不准确的。最后，由于计算复杂性，很多组合优化问题已被证明是NP难题，是不可能在常规时间范围内找到最优解

的。

其实，世界上有很多事情不仅很难做到精确，而且也不一定要求做得很精确，只要有一个令人满意的解答也就够了。选址问题也一样。在同一个地区，可能有相同类型的工厂，也有更多相同类型的商店。它们虽然区位不同，但有经营得好的，也有经营得不好的。这不是说明选址不重要，而是说选址只是经营好坏的一个重要条件。在选址差别不是很大的情况下，其它条件就成为企业经营好坏的决定因素。

任何办法、方案、措施都有其效果，也有其弊端。如同药品一样，它可以治某些病，但也有副作用。选址方案也是这样。如果在某个地区选择一个地方集中建厂，在该厂生产企业所有的产品。其好处是可利用规模经济性，降低单位固定成本，提高设备和人工利用率，从而降低总成本。但是，从不同的供应商将原材料和外购件送到一个地点以及从同一个地方将产品运送给不同的顾客，运费会增加。而且，当发生意外事故或灾害时，整个企业就可能毁于一旦。为了克服这种弊端，可采取的一种替代方案是在一个地区建几个小厂，每个小厂生产该企业的一种产品。这样，当出现火灾或水灾时，只是部分遭到破坏。产品和原材料的运输费用也可以减少，因为每个小厂可以尽量靠近原材料供应地或市场。但是，由于规模减小，设备和人工的利用都不够充分，企业的固定成本也会上升。还可以采取的替代方案是，每个小厂只生产所有产品中的一部分零部件，如同大部分汽车制造厂那样。这样做的好处是每个小厂都有一定的规模效益。但抗风险的能力仍然不强，如果某个零部件厂停产，整个生产还是会中断。同时，由于大量的零部件都要运送到装配厂装成产品，会造成运输成本增加。因此，要根据本企业的产品特点、用户和供应商的地点以及本企业的其它特点，作出选址决策，没有一成不变的、普遍适用的方案。

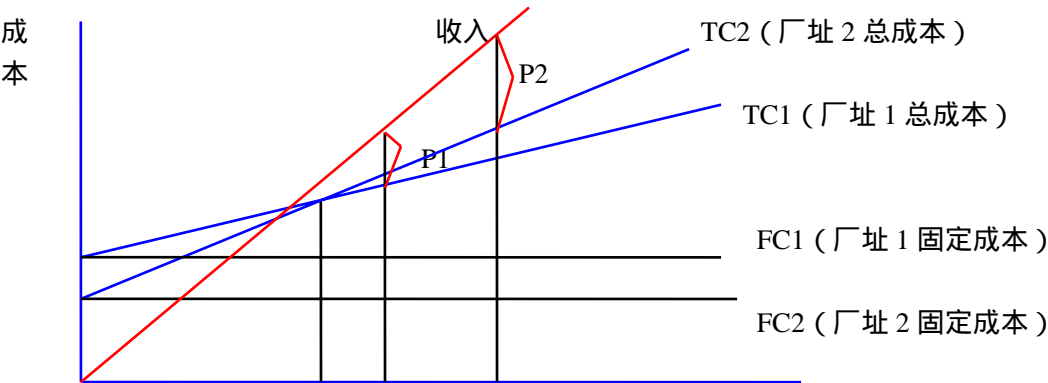
制造业一般不同顾客直接接触，服务业则必须同顾客直接接触，这种情况使得它们在选址问题上也有不同的特点。顾客在采购物品时，并不需要到工厂或仓库去，因此工厂和仓库建在何处的问题不会影响需求量。然而，服务点的位置对销售量的影响却是相当大的。对于低值物品，顾客最需要的是方便。为了买点杂货，谁都想就近。因此，零售点的位置应该靠近顾客。

二、 评价方法

下面介绍4种评价选址决策的方法：量本利分析法、评分法、线性规划运输问题算法以及仿真方法。

（一）量本利分析法

量本利分析法可以用来评价不同的选址方案。任何选址方案都有一定的固定成本和变动成本，图5-1表示两种不同的选址方案的成本和收入随产量变化的情况。



0 V0 V1 V2 销售量

图5-1 两个选址方案比较

假定无论厂址选在何处，其产品的售价是相同的。因此，收入曲线相同。对于制造业来说，厂址不影响其销售量。只要销售量大于V0，两个选址方案都盈利。但是，由于厂址1的总成本较低，在销售量相同的情况下，其盈利较多。然而，我们不能得出总成本最低的选址方案盈利最高的结论。因为，以上结论是在售价和销售量都相同的假设下才成立。如果是服务业，比如说零售店，不同的选址方案的销售量不同。如图5-1所示，选址1的销售量为V1，选址2的销售量为V2。可能会出现这种情况，选址2的总成本虽然比选址1的总成本高，但由于选址2的销售额高，造成选址2的盈利高（ $P_2 > P_1$ ）。

量本利分析法也能用于多个选址方案的比较，成本曲线和收入曲线也不一定象本例那样为直线。

（二）评分法

量本利分析法只是从经济上进行比较。如前所述，选址涉及多方面因素，有些因素是无形的、难以量化的。全面比较不同选址方案，是一个多目标或多准则的决策问题。由于不同的目标对选址决策的重要程度不同，就要对不同的目标分配不同的权重。权重通过分配给不同目标以不同的最高分数来体现。表5-1为评分法的举例。有3个候选厂址：A、B和

表5-1 评分法举例

选址因素	最高分数	候 选 厂 址		
		A	B	C
未来燃料可获性	300	200	250	220
水源供应的充足程度	100	80	90	80
劳动力供应情况	250	220	200	200
生活条件	150	120	120	100
运输的灵活性及前景	200	160	160	140
环境污染法规	50	30	40	30
税收稳定性	50	30	40	30
共 计	1100	840	900	800

C，它们的经济因素相当。现按7个难以量化的因素对它们进行进一步比较。这7个因素对选址的重要性不同，这种不同从表5-1中第2列“最高分数”可以看出。通过专家估计每个方案的分数，得出表3、4、5列中的数字。比较这些数字可以看出，厂址C的每项分数都没有超过厂址B的分数，厂址B与厂址A都有优于对方的因素。因此，可以不考虑厂址C。厂址B的总分数为900，厂址A的总分数为840，可以优先选择厂址B。

评分法也可以采用其它形式，如表5-2所示的加权法。用加权法，每一个选址因素最多为100点，其重要程度由权重表示。这样专家评分时会感觉方便些。

表5-2 加权法

选 址 因 素	权 重	备 选 厂 址		
		A	B	C
交通条件	0.25	70	100	80
土地状况	0.10	80	70	100
停车场地可获性	0.20	70	60	60
公众态度	0.25	90	80	90
扩展潜力	0.20	90	80	80

对于多目标决策问题，如有多个备选方案（厂址），可以采取以下办法进行决策。

（1）淘汰法 如果多个备选方案中有一些方案的每项指标值（点数）都不优于某一方案的对应的指标值，则这些备选方案都可以淘汰，如同表5-1中的厂址C。

（2）设置最低指标值 对某些评价指标设置最低值，任何方案的相应指标若低于这个最低值，则该方案被淘汰。这种方法在入学考试中经常采用，某门功课低于某一分数线，则不予录取。在厂址选择中有些因素也是不能太差的。比如水源，达不到一个最低标准，则不能建厂。

（3）加权和法 将每个方案的各项指标分值乘以各项指标的权重之后求和，取加权和最大者。在表5-1所示的例子中，比较厂址A和厂址B就是采用的这种方法，只不过将权重体现在分数设置上。

（三） 线性规划运输问题算法

如果一个工厂或一个服务设施仅有一个原材料供应点，则只要将供应点的原材料生产成本加上从原材料供应点到该工厂或服务设施的运输成本，就可以计算供应成本。通过计算所有备选厂址（服务设施）的供应成本，经过比较，就可以得出最优的选址方案。

当一个工厂或一个服务设施有多个原材料供应点，则问题就复杂得多。要解决这个问题，需要应用线性规划运输问题算法。为了说明如何应用线性规划运输问题算法来解选址问题，现举一个例子。

例1 某公司现有3个工厂，A、B和C，它们在3个不同的城市。有2个仓库P和Q，它们位于不同的城市，仓库用来存放工厂生产的产品，随时供应用户。为了更好地为顾客服务，该公司决定再设置一个新仓库。经过调查研究和估点法评价，确定X和Y两个点可建仓库。有关资料如表5-3所示。

表5-3 工厂能力和至仓库运费

工 厂	生 产 能 力 (吨/月)	到 各 仓 库 单 位 运 费 (元)			
		P	Q	X	Y
A	2400	15	27	48	51
B	2400	27	12	24	27
C	1800	45	24	9	15

为了计算方便，我们不同时考虑两个备选仓库。首先，假设仓库X已选中，用运输问题算法求解。该问题的解如表5-4所示。月总运输费为： $2100 \times 15 + 2100 \times 12 + 300 \times 24 + 1800 \times 9 = 80,100$ (元)。

表5-4 假定仓库X选定情况下运输问题最优解

工 厂	仓 库				能 力
	P	Q	X	虚拟仓库	
A	2100 15	27	48	300 0	2400
B	27	2100 12	300 24	0	2400
C	45	24	1800 9	0	1800
需求	2100	2100	2100	300	

用同样的方法，计算仓库Y作为选定点的费用为： $2100 \times 15 + 2100 \times 12 + 300 \times 27 + 1800 \times 15 = 91,800$ （元），如表5-5所示。

表5-5 假定仓库Y选定情况下运输问题最优解

工 厂	仓 库				能 力
	P	Q	Y	虚拟仓库	
A	2100 15	27	51	300 0	2400
B	27	2100 12	300 27	0	2400
C	45	24	1800 15	0	1800
需求	2100	2100	2100	300	

比较仓库X和Y，选择X较好。

以上讨论的是追求供应(Supply)过程运费最少的选址问题。现在讨论追求产品发运(Shipment)过程运费最少的选址问题。我们还是通过一个例子来说明。

例2 某公司现有两个工厂A和B，3个仓库U、V和W。这些工厂和仓库位于不同的城市。该公司为了求得发展，决定选择某个城市建一个新厂。现有两个备选厂址X和Y，它们位于不同的城市。各工厂的生产能力、各仓库的需求以及工厂到仓库的单位运费如表5-6所示。

表5-6 能力、需要和单位运费

现有工厂和 备选工厂	生产能力 (台/月)	到 仓 库 的 单 位 运 费 (元)		
		U	V	W
A	2,800	10	24	36
B	2,000	20	16	14
X	2,400	30	22	12
Y	2,400	40	30	8
各 仓 库 的 需 求 (台/月)		22,000	1,400	2,600

按类似的方法，我们可以分别假定X和Y作为备选工厂，计算发运费用，经比较求出较好的方案。计算结果如表5-7和表5-8所示。

表5-7 假定工厂X选定情况下运输问题最优解

工 厂	仓 库				能 力
	U	V	W	虚拟仓库	
A	2,200 10	24	36	600 0	2,800

B	20	1,400	16	200	14	400	0	2,000
X	30		22	2,400	12		0	2,400
需 求	2,200	1,400		2,600		1,000		3,600

表5-8 假定工厂Y选定情况下运输问题最优解

工 厂	仓 库					能 力
	U	V	W	虚拟仓库		
A	2,200 10	24	36 600 0		2,800	
B	20	1,400 16	200 14 400 0		2,000	
Y	40	30	2,400 8 0		2,400	
需 求	2,200	1,400	2,600 1,000		3,600	

对表5-6计算总发运费： $2,200 \times 10 + 1,400 \times 16 + 200 \times 14 + 2,400 \times 12 = 76,000$ （元/月）。

对表5-7计算总发运费： $2,000 \times 10 + 1,400 \times 16 + 200 \times 14 + 2,400 \times 8 = 64,400$ （元/月）。

因此，在Y地建厂是较好的选择。

（四）仿真方法

按物料供应过程运费最少的选址决策可能导致产品发运过程运费增加，反之，按产品发运过程运费最少的选址决策可能导致物料供应过程运费增加。如何从总体上考虑运输费用最少，是一个难以用解析方法解决的问题。对这种复杂的优化问题，可以采用仿真方法。

仿真方法不是一种单项技术，而是一种求解问题的方法。它可以运用各种模型和技术，对实际问题进行建模，通过模型采用人工试验的手段，来理解需要解决的实际问题。通过仿真，可以评价各种替代方案，证实哪些措施对解决实际问题有效。

仿真方法的一个突出优点是能够解决用解析方法难以解决的十分复杂的问题。有些问题不仅难以求解，甚至难以建立数学模型，当然也就无法得到分析解。仿真可以用于动态过程。可以通过反复试验（Trial-and-error）求优。与实体试验相比，仿真的费用是比较低的，而且可以在较短的时间内得到结果。

关于用仿真法求满意的选址的细节，本书就不介绍了。

案例：邦图化学品公司在印度设厂

近年来，厂商在国外设厂的兴趣越来越浓。原因很多，第一，一些不发达国家的土地、劳动力和原材料的成本低廉；第二，为了开拓国际市场，就近生产可以节约运输及其它费用，如关税等；第三，通过与当地合作企业建厂，可以避免一些贸易限制。

作为世界上最大的化工企业之一，邦图公司也把跨国经营作为发展的重要战略之一。对于邦图公司来说，不够发达但拥有 7 亿人口的印度是个不容忽视的市场。但对邦图公司希望在印度销售的产品，印度政府规定必须与当地企业合资才能够生产，生产的地点也必须获得政府的许可。为了进入印度市场，邦图公司决定在印度设立合资企业。公司选择了一家印度企业作为合作伙伴，并对未来厂址提出如下要求：

- 接近市场
- 接近港口
- 便于原材料运输

- 地方政府稳定
- 与当地政府有良好的合作关系
- 容易通过许可审查
- 便于与其它企业联系
- 劳工经济
- 场地经济
- 能源供应充足
- 便于处理污染
- 投资政策和环境良好
- 接近基础设施
- 接近首都新德里，因为邦图公司和其他伙伴的总部都在那儿

根据以上条件，首先排除一些明显不具备条件的地点，如不接受化工企业、政局动荡的地区。经过几番筛选，最后选择了位于喜马拉雅山脚下的 Uttar Pradesh 州作为候选地区。这个地方离最近的海港有 1,700 公里，沿途许多地方的道路都很危险。邦图公司的合作伙伴历时两年才获得了在这个州只有 200 人口的 Bhang Wan 生产的许可，其过程真可谓漫长而艰辛。而另外三家公司也获得了在印度生产同类产品的许可。所以时不我待，邦图公司必须尽快作出决策。

为此，邦图公司成立了一支由各方面专家组成的选址小组，深入印度，对候选地点进行考察和评价。其核心任务就是考察该地是否存在严重不符合投资建厂条件的因素。邦图公司的选址小组包括各方面的专家。房地产专家确保在计算土地成本时将所有占地包括进去，并且负责场地获得方式的选择。另外，他们还要调查建造公司派驻人员的住所和其它辅助设施的可能性，如仓库、办公场所等。土木工程师负责考察土质稳定性、工厂建筑的方式、公共设施、风向、环境因素等。后勤人员研究和评价将原材料运入和产品运出的可行性。制造和生产方面的代表对劳动人口、劳动纪律、劳动力的素质，以及该地是否适合生产进行整体上的评价。选址小组的一些人员到该地区的其它工厂调查劳动力的素质、当地政府的态度和政策、电力供应等情况；还对公共服务设施以及当地的学校进行了调查，因为这对公司派驻到当地的员工和他们的家庭成员十分重要。

在做选址决策时，选址小组重点考虑了与以下几方面问题有关的内容：

- 合资企业生产所用的原材料是一种具有潜在毒性的异氢酸盐（NDI）
- 这种异氢酸盐必须在内陆运输 1,700 公里
- 公司派驻人员的设施可能十分简陋和缺欠
- 对当地劳动力的素质状况不了解
- 必须重视当地的环境条件

以下是选址小组对候选厂址各方面条件的调查结果。

原材料

合资工厂的主要原料之一是 NDI。NDI 是一种异氢酸盐，在印度的 Bhopal，曾经发生过由异氢酸盐引起的毒气渗漏事故，造成 2500 余人死亡，10 万多人终身残废。因此无论是印度政府还是当地居民对异氢酸盐都极度恐惧和反感。这可能会使原料的进口和运输带来一些问题。实际上，在 Bhopal 的悲剧发生后，印度当局立即下令禁止所有的异氢酸盐在印度国内运输。以进口 NDI 为原料的印度泡沫制造商经过一个多月的努力才使当局相信它们使用的 NDI 与造成事故的 NDI 完全不同，至此才得以恢复 NDI 进口。

邦图公司使用的 NDI 与造成 Bhopal 悲剧的那种异氢酸盐也不相同，邦图使用的是一种熔点很高的固体异氢酸盐。邦图的 NDI 主要来自于美国的道氏公司，如果需要也可以考虑从其它公司购买，比如目前为印度国内的泡沫制造商提供 NDI 的德国贝氏公司。只是为了确保 NDI 在整个运输过程中保持固态，邦图公司必须在从供应商到新厂的全程中使用 40 英尺的冷冻容器装载 NDI。选址小组在调查中发现有几家运输公司与印度有着良好的接触或在印度有分支机构。这些公司可以作为承担杜邦公司 NDI 运输的候选者。

新厂使用的另一种原材料则完全不会造成环境污染。这种原料可以在邦图公司的尼亚加拉瀑布分厂装入容器后再运往印度。

运输

另一个令人担忧因素是将原料从生产地运到合资厂需要很长的提前期。不仅因为路上运输需要时间，沿途港口的停靠检查也要花去很长时间。在印度境内的运输情况还要受到雨季的影响。专家估计，如果运输原料的货车只在白天行驶的话，从港口到选定的厂址大约需要 6 天时间。

装载 NDI 的货车将会经过 Bombay。在这个地区，道路的宽度从 6 米急剧减到 3 米，沿途还有许多急转弯。这使装载有 40 英尺容器的卡车在转弯时将十分困难。尽管邦图公司并没有改善路况的计划和预算，但专家们注意到印度政府正在将通往该地的某些路段加宽。

其它因素

公司还考虑在厂区附近兴建一个住宅区。可这个地方实在太偏远，当地没有任何适宜居住的条件，如果要建住宅区，公司必须提供一切。在离厂区大约 1 小时路程处有一个环境很好的居住区，那里曾是英国殖民者消暑避夏的地方，从厂址处有一条路况不错但十分繁忙的公路通向那里。另外在离厂区大约 2 小时路程的 Pontseib 城内也有一个居民区，但那里的治安情况不太好，盗匪十分猖獗，所有住在那儿的西方人都雇有保安人员。菜蔬的购买也另西方人十分头痛。虽然有专门的商店，但商店处于闹市区，卫生状况也相当糟糕。

该地区有一个相当不错的男子学校，设有初中部。但该地区没有任何医疗设施，因此公司需要建立自己的医疗服务机构。

下面来看看当地劳动力的素质。厂址所在地与一所重要的锡克(Seikh)族寺庙毗邻。有许多锡克族人居住在这一地区。锡克族是印度素质最高的人口之一，因此劳动力资源将是充足的，并且有一定的培训基础。附近的水泥厂有机械方面的专业人员。这一地区还有很多轻工企业。

工厂的安全生产可能存在一定的障碍。因为这个地区的居民都有很高的宗教热情，他们不会放弃他们的穆斯林头巾，而现在的安全帽是无法戴在头巾之上的。劳动保护措施中的硬头鞋和听力保护等装备，也与当地人的风俗习惯不符，只能强迫员工执行这些安全措施。

环境方面，工厂需要处理一些废液。虽然有一条河流过厂区，但这条河是当地居民饮水之源，废液不能直接向河中倾倒。但固体废物的处理则相对不成问题。

附近的水泥厂会造成一定程度的粉尘污染。但专家们认为在正常的风向条件下，水泥厂的粉尘不会造成影响。另外还要在厂内打井，这又牵涉到地下水源的分布。但专家们认为，只要取得当地的支持，打井也不会是多大的问题。

最后要考虑的是印度的雨季。选址小组分别在雨季和旱季考察了该地。发现在 7-8 月的一个半月内，降雨量可达 25-35 英寸。

场地的收购

所选的场地属于当地政府已经指定为工业用地的范围，因此购买不成问题。可以通过两种方式获得用地：一种是通过政府征用。这通常需要较长的时间，而且可能会造成土地原有者的反感。第二种方式是直接与土地所有者商谈。邦图公司选定的 230 亩土地属于 27 个不同的所有者。但土地收购只需要与村长及其助手们谈判就可以了，他们能够代表所有村民的决定。整个谈判大概需要 1-6 个月时间。

以每亩 \$ 4,300 的价格计算，再加上 \$ 100,000 的居民安置费，估计总共需要一百万美元。居民们还要求邦图公司的医务室为居民提供医疗服务，并且雇佣那些移民的家庭成员。一般是一户一员。这些人可以被派作园艺、场地维护以及清扫工厂等，因为这些工作不要求员工受过教育。

讨论题

1. 根据案例中现有的内容，你是否同意可以选择该地建厂？
2. 你认为邦图公司在选址时，所考虑的因素是否周全？你认为还须再考虑哪些因素？

小结

本章对生产和服务设施的选址问题进行了阐述。第一节简要论述了选址问题的重要性和难度。第二节叙述生产和服务设施选址需要考虑的因素，包括经济因素、政治因素、社会因素和自然因素，着重对选址的经济因素进行了分析，介绍了选址的一般步骤。第三节在分析选址问题特点的基础上，介绍4种选址决策的评价方法，包括量本利分析法、评分法、线性规划运输问题算法及仿真方法。最后是邦图公司在印度建厂的选址案例。

思考题

- 1 为什么要从系统观点考虑选址决策问题？
- 2 影响选址决策的主要因素有哪些？
- 3 哪些因素导致生产服务设施应该靠近原材料供应地？哪些因素导致它们靠近销售市场？
- 4 导致选址决策复杂化的原因是什么？
- 5 选址决策的一般步骤是什么？
- 6 服务业的选址与制造业的选址有哪些不同？

练习题

- 1 某汽车制造公司决定在南方建一新厂，现在南方三个省初步确定了3个备选厂址A、B和C，经过专家调查和判断，对这3个厂址按5个因素进行评分。结果如下表所示：

选 址 因 素	权 重	备 选 厂 址		
		A	B	C
交通运输	0.25	90	95	80
土地费用	0.10	80	75	95
生活条件	0.25	90	80	80
人口素质	0.20	90	85	80

科技文化条件	0.20	90	80	80
--------	------	----	----	----

哪个厂址较可取？

2 为民修理公司决定在交通便利的街区设立一个新的修理站。该公司经过调查，初步确定2个点作为备选站址。这两个备选站址的情况如下表所示：

选 址 因 素	站 址1	站 址2
站址费（元）	135,000	164,000
建筑费（元）	125,000	125,000
预计日平均修理收入（元/天）	2,500	3,100
年运行费（工资、维修费、保险、税收、水电费等）（元/年）	50,000	50,000

已知修理站每年营业260天，固定成本为初投资的19%，可变成本为修理收入的60%，选择哪个站址较好？

3 给出如下3个厂址的有关数据，选择哪个厂址较好。

有 关 因 素	厂 址 A	厂 址 B	厂 址 C
单位可变成本（元/台）	18.00	20.00	19.50
年固定成本（元）	1,500,000.00	3,000,000.00	4,000,000.00
单价（元/台）	30.00	30.00	30.00
年产量（台/年）	300,000	250,000	325,000

4 某公司现有3个工厂A、B、C和2个分配中心P、Q，准备在W城或A城再建一个分配中心。现给出以下资料，求最佳分配中心地点。

工 厂	从 工 厂 到 分 配 中 心 的 单 位 运 费（元）				工厂生产能力
	分配中心P	分配中心Q	A城分配中心	W城分配中心	
A	17	6	9	10	800
B	13	9	8	7	900
C	5	11	7	7	800
需求	900	700	600	600	

5 某公司现有3个原料供应地M1、M2、M3和2个工厂F1、F2，准备在X城或Y城再建一个工厂。现给出以下资料，求最佳厂址。

原料供应地	从 原 料 供 应 地 到 工 厂 的 单 位 运 费（元）				原料供应量
	工厂F1	工厂F2	工厂X	工厂Y	
M1	18	36	27	30	1,000
M2	27	24	24	21	1,000
M3	33	27	27	21	1,000
需求	600	500	550	550	

第六章 生产和服务设施布置

生产和服务设施布置是生产与运作管理中的一个经典问题，早期的工业工程师的主要工作就是解决企业设施布置和优化问题的。虽然当今市场环境和生产方式都有了很大变化，生产和服务设施布置仍然是生产过程组织的重要内容。所不同的是，设施布置问题早已超出针对制造业企业这一特定范畴，因而现在被称为生产和服务设施布置，除了制造业企业外，其他类型的组织如医院、储运公司、学校、办公室、银行、购物中心、航空港等，都有生产和服务设施布置问题。本章将以加工-装配式企业布置为例，讨论有关的设施布置方法，其结果对所有类似问题都适用，因为所有这些组织的布置问题都有共同特征。

第一节 布置决策

生产和服务设施布置就是指合理安排企业或某一组织内部各个生产作业单位和辅助设施的相对位置与面积、车间内部生产设备的布置。生产和服务设施布置是在确定了企业内部生产单位组成和生产单位内部采用的专业化形式之后才能进行。

一、影响企业生产单位构成的因素

本节以制造业企业为例讨论企业内部生产结构问题。从我国企业的一般结构特点看，企业内部的生产车间是基本生产单位，车间下设工段或生产小组，实行分层管理，分别完成各项生产任务。

企业生产单位的构成因行业不同差异甚大，尤其是机械制造企业生产单位设置比较复杂。每个企业都有自身的特点，多受下列因素的影响：

一）产品的结构与工艺特点

生产单位的设置应根据产品结构要求，设置相应的制造车间，如生产机械产品的制造企业，生产单位可由毛坯、加工、装配车间组成；流程式的化工行业则严格按工艺流程的阶段组成车间。同类型的产品，结构相似，可能采用不同的工艺方法，如齿轮厂的毛坯，可以模锻而成或精密铸造，因而相应地设置锻造车间或铸造车间，或者锻造与铸造车间均设置。

二）企业的专业化与协作化水平

企业的专业化是以生产的产品品种多少和工艺类型与方法的单一化程度来衡量的。专业化程度高的企业，年产量较大，生产单位（车间）的任务比较单一。企业的生产专业化形式不同，相应设置的生产单位也不同。采用产品专业化形式的企业，要求企业有较为完整的生产单位，应设置毛坯车间、机械加工车间、热处理车间、装配车间等，如汽车制造企业。采用零件专业化形式的企业，多数没有完整的加工过程各个工艺阶段，可不设置装配车间或毛坯车间，如齿轮厂等。采用工艺专业化的企业，一般只设有相应工艺阶段的车间，如装配厂，只有部件装配车间、总装车间等。

企业的专业化程度高，必然有大量的外协件需进行协作化生产，企业可发展成一个企业集团。

企业的协作化水平不同，相应地由不同的生产单位组成。协作范围越广，则企业的生产车间组成越简单。

三）企业的生产规模

企业的生产规模是指劳动力和生产资料在企业集中的程度，如企业职工人数、固定资产总值、产品总产值等，可分为大、中、小规模企业。大型企业的车间规模大，为了便于组织生产，同类生产性质的车间往往设置多个，如机械加工一车间，机械加工二车间；对

于小型企业，则可将加工与装配同设置在一个车间。

二、生产单位的专业化原则和形式

生产单位专业化的原则和形式，影响企业内部的生产分工和协作关系，决定着物料流向、物流路线和运输量，它是企业与车间平面布置中必须考虑的重要问题。按照生产流程的不同类型，生产单位专业化原则有工艺专业化和对象专业化原则。

一) 工艺专业化原则

按照工艺专业化特征建立的生产单位，形成工艺专业化车间。工艺专业化形式的生产单位内集中了完成相同工艺的设备和工人，可以完成不同产品上相同工艺内容的加工，如制造业企业中的机械加工车间、锻造车间、车工工段、铣工工段等生产单位。工艺专业化生产单位具有对产品品种变化适应能力强、生产系统可靠性高、工艺管理方便的优点，但由于完成整个生产过程需要跨越多个生产单位，因而也有加工路线长、运输量大、运输成本高、生产周期长、组织管理工作复杂等缺点，由于变换品种时需要重新调整设备，耗费的非生产时间较多，生产效率低。

二) 对象专业化原则

是指按照产品（或零件、部件）建立的生产单位。对象专业化形式的生产单位内集中了完成同一产品生产所需的设备、工艺装备和工人，可以完成相同产品的全部或大部分的加工任务，如汽车制造厂的发动机车间、曲轴车间、齿轮工段等生产单位。对象专业化生产单位便于采用高效专用设备组织连续流水作业，可缩短运输路线、减少运输费用，有利于提高生产效率、缩短生产周期，同时还简化了生产管理，但是，对象专业化生产单位只固定了生产一种或很少几种产品的设备，因而对产品品种变化的适应能力很差。

按对象专业化形式组成的车间（工段）的主要优点是，有利于提高工作地的专业化程度，可以采用高效率的专用设备，提高工作效率，提高生产过程的连续性，缩短生产周期，简化生产管理工作。在对象专业化形式建立的车间与工段内多是采用流水生产组织形式。这种形式的主要缺点是，适应市场需求变化的应变能力较差。对象专业化原则布置形其适用于大量大批生产类型。

上述两种专业化形式相应有两种车间内部的布置形式，如图 6-1，6-2 所示。

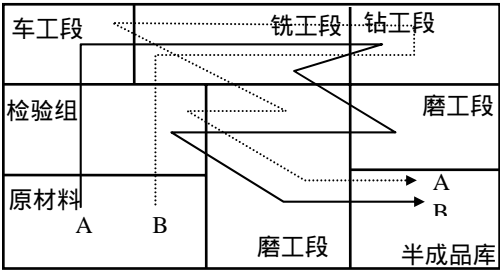


图 6-1 工艺专业化形式示意图

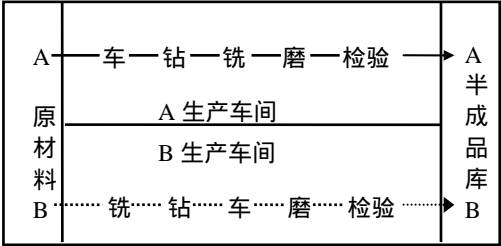


图 6-2 对象专业化形式示意图

事实上，任何企业，特别是机械制造企业，纯粹按工艺专业化形式或对象专业化形式布置的较少，常常是同时采用两种专业化形式进行车间或企业的布置。工艺专业化原则适用于批量生产，对象专业化原则适用于大量大批生产。

工艺专业化原则和对象专业化原则具有普遍的适用意义。例如，政府部门有各种不同职能部门，一般是按职能分工布置，可以认为是工艺专业化原则。在这种布置下，一份公文的审批要经过若干个部门，花费时间多，效率较低。如果围绕某种特殊任务，如审批外商投资项目，为提高办公效率，往往从有关职能部门抽出办事人员集中在一起，采用流水作业方式处理项目申请，很快就可以办完手续，这就是对象专业化原则的具体应用。

三、生产和服务设施布置的影响因素

- 1)、工厂厂房的布置满足生产过程的要求，以避免互相交叉和迂回运输，缩短生产周期，节省生产费用。
- 2)、生产联系和协作关系密切的单位应相互靠近布置，比如机械加工和装配车间应该安排在相邻的位置上。
- 3)、充分利用现有运输条件，如公路、铁路、港口及供水、供电等公共设施。
- 4)、按照生产性质、防火和环保要求，合理划分厂区，如热加工车间区、冷加工车间区、动力设施区。为了减少居民生活区的污染，生活区应设在上风区。
- 5)、在考虑防火和卫生条件下，总平面布置应力求占地面积小。
- 6)、工厂布置应考虑有扩建的余地。

第二节 典型布置形式

一、物料流程形式

如前所述，布置问题方法的目标是使物流成本最小。当物流成本最小是主要目标时，流程分析在布置中就是很重要的问题。流程形式可以分为水平的和垂直的。如果所有的设备、设施都在同一个车间里时，就按水平方式考虑，当生产作业是在多个楼层周转时，就按垂直方式考虑。常见的水平流程形式如图 6-3 所示。

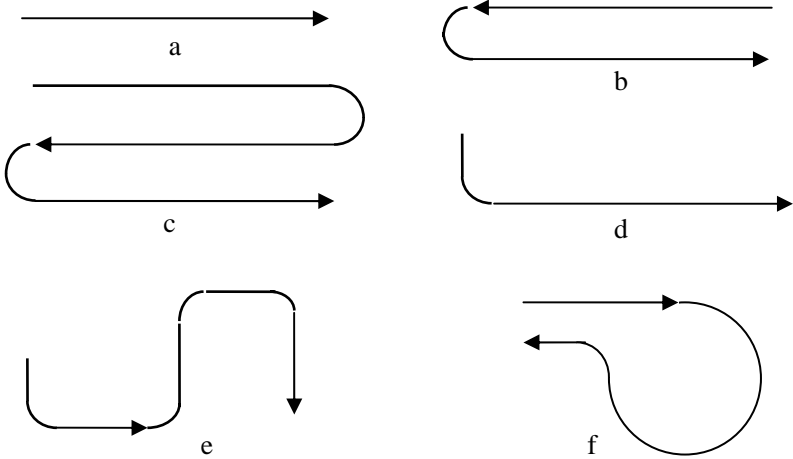


图 6-3 常见流程布置形式

二、布置类型

一) 固定式布置(Fixed Position Layout)

固定式布置是指加工对象位置固定，生产工人和设备都随加工产品所在的某一位置而转移，例如内燃机车的装配、造船装配等，这种布置形式适用于大型产品的装配过程。由于某些产品体积庞大笨重，不容易移动，所以可

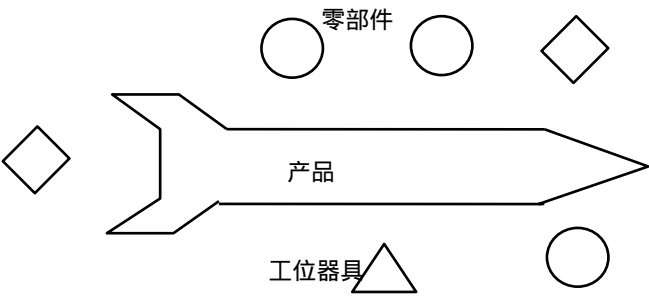


图 6-4 固定式布置示意图

保持产品不动，将工作地按产生产品的要求来布置。例如，大型飞机、船舶、重型机床等。对于这样的项目，一旦基本结构确定下来，其他一切功能都围绕着产品而固定下来，如机器、操作人员、装配工具等。如图 6-4 所示。

二) 按产品布置(Product Layout)

按产品布置就是按对象专业化原则布置有关机器和设施。最常见的如流水生产线或产品装配线，如图 6-5 所示。

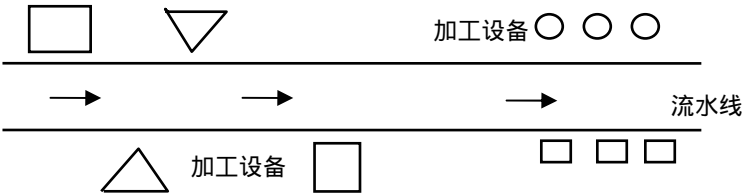


图 6-5 按产品(对象)布置的示意图

三) 按工艺过程布置(Process Layout)

按工艺过程布置，又称工艺专业化布置。就是按照工艺专业化原则将同类机器集中在一起，完成相同工艺加工任务，如图 6-6 所示。

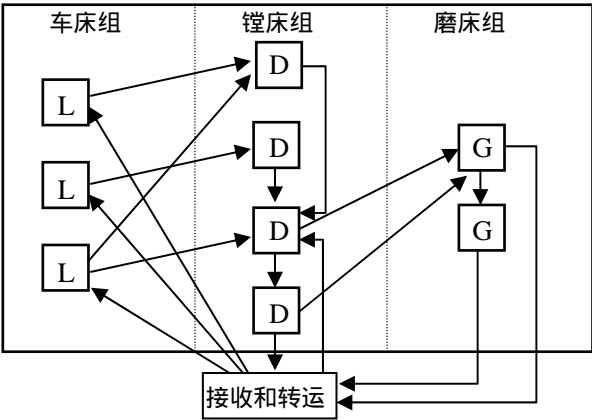


图 6-6 按工艺过程布置示意图

四) 按成组制造单元布置(Layouts Based on Group Technology)

按工艺专业化布置生产和服务设施，带来的问题是很明显的。它容易造成被加工对象在生产单位之间交叉往返运输，不仅引起费用上升，而且延长了生产周期。人们经过研究，通过实践中创造了成组生产单元的形式。其基本原理是，首先根据一定的标准将结构和工艺相似的零件组成一个零件组，确定出零件组的典型工艺流程，再根据典型工艺流程的加工内容选择设备和工人，由这些设备和工人组成一个生产单元，如图 6-7 所示。成组生产单

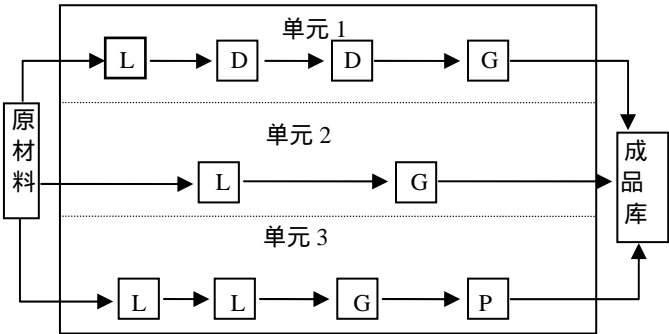


图 6-7 成组生产单元布置示意图

元很类似对象专业化形式，因而也具有对象专业化形式的优点。但成组生产单元更适合于多品种的批量生产，因而又比对象专业化形式具有更高的柔性，是一种适合多品种中小批量生产的理想生产方式。

在实际生产中，一般都综合运用上述几种形式，针对不同的零件品种数和生产批量选择不同形式的生产单位。

第三节 车间布置与库房布置

一旦企业厂区确定之后，企业的平面布置是企业建设要解决的重要问题之一。任何生产过程，其运输（车间之间和工序之间）所需的费用和时间是十分可观的，因此，各个生产单位的布置是否有利于建立合理的物流，使总的运输路线最短、运输费用最小，它是评价企业布局的主要标准。

一、企业内部生产单位布置主要考虑因素

- 1) . 企业厂房的布置应满足生产过程的要求，以避免互相交叉和迂回运输，从而缩短生产周期，节约生产费用。
- 2) . 生产联系和协作关系密切的车间应相互靠近，比如机械加工和装配车间应安排在相邻位置。
- 3) . 充分利用现有运输条件，如铁路、公路、港口及供电、供水等公共设施等。
- 4) . 按照生产性质、防火和环保要求，合理划分厂区。如热加工车间区、冷加工车间区、动力设施区。为了减少生活区的工业污染，企业生活区应设在上风方向。
- 5) . 在考虑防火和卫生的条件下，总平面布置力求占地面积小。
- 6) . 企业布置应考虑有扩建的余地。

二、厂区布置的常用方法

一) 物料运量图法

物料运量图法是按照生产过程中物料的流向及生产单位之间运输量布置企业的车间及各种设施的相对位置，其步骤为：

- 1) 根据原材料、在制品在生产过程中的流向，初步布置各个生产车间和生产服务单位的相对位置，绘出初步物流图；
- 2) 统计车间之间的物料流量，制定物料运量表，见表 6-1；
- 3) 按运量大小进行初试布置，将车间之间运输量大的安排在相邻位置，并考虑其它因素进行改进和调整。

最后的结果如图 6-8 所示。因为部门 01 和 02、部门 02 和 03、部门 03 和 04 之间的运量较大，所以应该相邻布置。

表 6-1 车间之间运量表(单位:10 吨)

	01	02	03	04	05	总计
01		7	2	1	4	15
02			6	2		8
03		4		5	1	10
04			6		2	8
05				2		
总计	0	11	14	10	6	

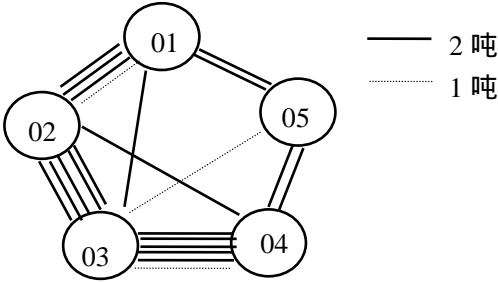


图 6-8 运量图

二) 作业相关图

作业相关图法是由穆德提出的，它是根据企业各个部门之间的活动关系密切程度布置其相互位置。首先将关系密切程度划分为 A、E、I、O、U、X 六个等级，其意义见表 6-2。然后，列出导致不同程度关系的原因，见表 6-3。使用这两种资料，将待布置的部门一一确定出相互关系，根据相互关系重要程度，按重要等级高的部门相邻布置的原则，安排出最合理的布置方案。

表 6-2 关系密切程度分类表		表 6-3 关系密切原因	
代号	密切程度	代号	关系密切原因
A	绝对重要	1	使用共同的原始记录
E	特别重要	2	共用人员
I	重要	3	共用场地
O	一般	4	人员接触频繁
U	不重要	5	文件交换频繁
X	不予考虑	6	工作流程连续
		7	做类似的工作
		8	共用设备
		9	其它

例：一个快餐店欲布置其生产与服务设施。该快餐店共分成 6 个部门，计划布置在一个 2X3 的区域内。已知这 6 个部门间的作业关系密切程度，如图 6-9 所示。请根据图 6-9 作出合理布置。

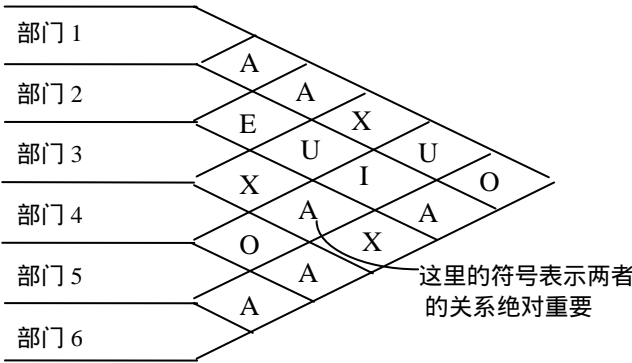


图 6-9 作业相关图示例

解：第一步，列出关系密切程度分类表（只考虑 A 和 X）。

A	X
1-2	1-4
1-3	3-6
2-6	3-4
3-5	
4-6	
5-6	

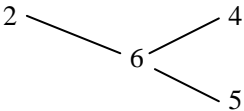


图 6-10 联系簇

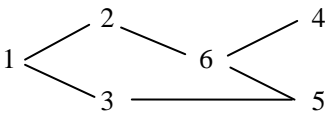


图 6-11 联系簇

第二步，根据列表编制主联系簇，如图 6-10 所示。原则是，从关系“A”出现最多的部门开始，如本例的部门 6 出现 3 次，首先确定部门 6，然后将与部门 6 的关系密切程度为

A 的一一联系在一起。

第三步，考虑其它“ A ”关系部门，如能加在主联系簇上就尽量加上去，否则画出分离的子联系簇。本例中，所有的部门都能加到主联系簇上去，如图 6-11 所示。

第四步，画出“ X ”关系联系图。如图 6-12 所示。

第五步，根据联系簇图和可供使用的区域，用实验法安置所有部门。如图表 6-13 所示。

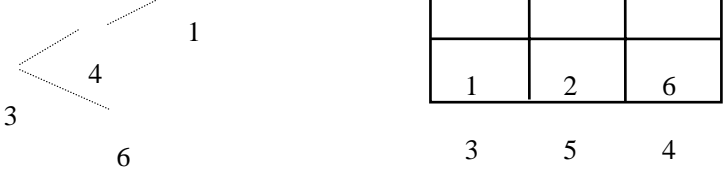


图 6-12 X 关系联系簇

图 6-13 最后结果

三、仓库布置

一般情况下，企业都有不同类型的仓库，储存不同种类的物资。生产或服务过程中会经常有物资运进搬出，工作量很大。如果仓库布置不合理，也会影响生产成本。仓库类似于制造业的工厂，因为物品也需要在不同地点(单元)之间移动。因此，仓库布置也可以有多种不同的方案。下面举一简单例子说明。

假设有一个家电用品仓库，共有 M 个货区，分别储存 7 种家电。仓库有一个出入口，进出仓库的货物都要经过该口（图 6-14 所示）。假设该仓库每种物品每周的存取次数如表 6-4 所示，应该如何布置不同物品的货区，

表 6-4 家电用品仓库的存储信息

存储物品	搬运次数（每周）	所需货区
1 电烤箱	280	1
2 空调	160	2
3 微波炉	360	1
4 音响	375	3
5 电视	800	4
6 收音机	150	1
7 其它	100	2

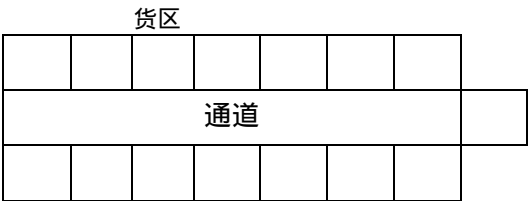


图 6-14 仓库平面示意图

使总搬运量最小？

这实际上就是一个典型的仓库布置问题。显而易见，这个问题关键是寻找一种布置方案，使得总搬运量最小。这个目标函数与一般设施布置的目标函数是一致的。实际上，这种仓库布置的情况比制造业工厂中的生产单元的布置更简单，因为全部搬运都发生在出入口和货区之间，而不存在各个货区之间的搬运。

这种仓库布置进一步区分为两种不同情况:(1)各种物品所需货区面积相同。在这种情况下。只需把搬运次数最多的物品货区布置在靠近出入口之处，即可得到最小的总负荷数;(2)各种物品所需货区面积不同。需要首先计算某物品的搬运次数与所需货区数量之比，取该比值最大者靠近出入口，依次往下排列(请读者自己考虑，为什么？。如在上例中，各种物品的该比值从大到小的排列顺序为(括号中为比值数)：3(360), 1(280),5(200),6(150),4(125), 2(80), 7(50)。图 6-15 是根据这种排列所作出的布置方案。

上面是以总负荷数最小为目标的一种简单易行的仓库货区的布置方法。在实际中，根据情况的不同，仓库布置可以有多种方案，多种考虑目标。例如，不同物品的需求经常是季节性的，因此，在上例中，也许在元旦、春节期间应把电视、音响放在靠近出入口处，



图 6-15 布置好的仓库平面示意图

而在春夏之季将空调放在靠近出入口处。又如，空间利用的不同方法也会带来不同的仓库布置要求，在同一面积内，高架立体仓库可存储的物品要多得多。由于拣运设备、存储记录方式等的不同，也会带来布置方法上的不同。再如，新技术的引入会带来考虑更多有效方案的可能性：计算机仓储信息管理系统可使得拣运人员迅速知道每一物品的准确仓储位置，并为拣运人员设计一套汇集不同物品于同一货车上的最佳拣出行走路线，自动分拣运输线可使仓储人员分区工作，而不必跑遍整个仓库，等等。总而言之，根据不同的目标。所使用技术不同以及仓储设施本身的特点，仓库的布置方法有多种。

第四节 车间设备布置的定量分析

一、从-至(From-to)表法

从-至表是一种常用的生产和服务设施布置方法。利用从-至表列出机器或设施之间的相对位置，以对角线元素为基准计算工作地之间的相对距离，从而找出整个生产单元物料总运量最小的布置方案。这种方法比较适合于多品种、小批量生产的情况。其基本步骤如下：

- (1) 选择典型零件，制定典型零件的工艺路线，确定所用机床设备。
- (2) 制定设备布置的初始方案，统计出设备之间的移动距离。
- (3) 确定出零件在设备之间的移动次数，和单位运量成本。
- (4) 用实验法确定最满意的布置方案。

例：一金属加工车间有六台设备，已知其生产的零件品种及加工路线,并据此给出如表 6-5 所示的零件在设备之间的每月移动次数，表 6-6 给出了单位距离运输成本。请用这些数据确定该车间的最佳布置方案。

将运输次数矩阵与单位距离运输成本矩阵的相同位置的数据相乘,得到从一台机器到另一台机器的每月运输成本,如表 6-7 所示。然后，再按对角线对称的成本元素相加，得到两台机器间的每月总的运输成本，如表 6-8 所示。

接着，确定紧密相邻的系数。其确定依据就是总运输成本的大小。按总运输成本的大小，从大到小降序排列，就得到了机器（或部门）之间的紧密相邻程度。如本例，根据表 6-6 中的①②③④⑤的顺序，应将锯床与冲床相邻布置，磨床与钻床相邻布置，锯床与磨床相邻布置，钻床与车床相邻布置，车床与插床相邻布置。最后结果如图 6-16 所示。

表 6-5 设备间月平均移动次数矩阵

	锯床	磨床	冲床	钻床	车床	插床
锯床		217	418	61	42	180
磨床	216		52	190	61	10
冲床	400	114		95	16	68
钻床	16	421	62		41	68
车床	126	71	100	315		50
插床	42	95	83	114	390	

表 6-6 单位距离运输成本（元）矩阵

	锯床	磨床	冲床	钻床	车床	插床
锯床		0.15	0.15	0.16	0.15	0.16
磨床	0.18		0.16	0.15	0.15	0.15
冲床	0.15	0.15		0.15	0.15	0.16
钻床	0.18	0.15	0.15		0.15	0.16
车床	0.15	0.17	0.16	0.20		0.15
插床	0.15	0.15	0.16	0.15	0.15	

表 6-7 单位距离每月运输成本（元）

	锯床	磨床	冲床	钻床	车床	插床
锯床		32.6	62.7	9.8	6.3	28.8
磨床	38.9		8.3	28.5	9.2	1.5
冲床	60.0	17.1		14.3	2.4	3.2
钻床	2.9	63.3	9.3		6.2	10.9
车床	18.9	12.1	16.0	63.0		7.5
插床	6.3	14.3	13.3	17.1	58.5	

表 6-8 单位距离每月总运输成本（元）

	锯床	磨床	冲床	钻床	车床	插床
锯床		71.5 ^③	122.7 ^①	12.7	25.2	35.1
磨床			25.4	91.7 ^②	21.3	15.8
冲床				23.6	18.4	16.5
钻床					69.2 ^④	28.0
车床						66.0 ^⑤
插床						

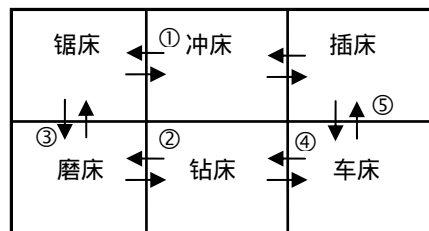


图 6-16 最后布置方案

二、新设备的布置问题

这里考虑一种常见的设施布置问题。为适应生产或服务要求，人们常常对原有的部门进行改造，例如在已有的设备设施中，再安置一台新装备。该问题的目标是使从新设备到老设备的加权直线移动距离的总和最小。为方便起见，假设物料或人员在两台设备或两个部门之间移动时，只能按交叉垂直的路线运动，即两个点之间不能走对角线。设原有设备在坐标内的点为 $(a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, (a_n, b_n)$ ，则目标是求出 x, y 使得

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i (|x - a_i| + |y - b_i|)$$

最小。引进加权系数 w 是允许新、老设备间有不同的流量。

该问题的一个简化特点是可以分别求出 x 和 y 的最优值，即

$$f(x, y) = g_1(x) + g_2(y)$$

这里

$$g_1(x) = \sum_{i=1}^n w_i |x - a_i|$$

$$g_2(y) = \sum_{i=1}^n w_i |y - b_i|$$

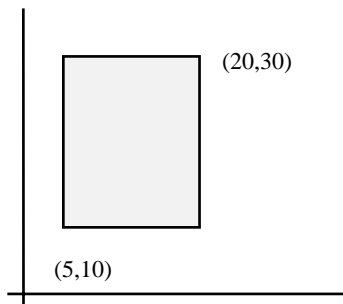


图 6-17 新设备布置的最优区域

为使读者有一个清楚认识，这里先讨论一个简化了的问题。假设现已有两台设备，分别坐落在(5,10)和(20,30)的位置，如图 6-17 所示。取权重为 1。若 x 可取 5 和 20 之间的任何值，则 $g_1(x)$ 等于 15(例如 $x=13$, $g_1(x)=|5-13|+|13-20|=15$)。同样,若 y 可取 10 和 30 之间的任何值,则 $g_2(y)$ 等于 20。任何在 $[5,20]$ 外的 x , 任何在 $[10,30]$ 外的 y 都将导致更大的 $g_1(x)$ 和 $g_2(y)$ 。因此, (x,y) 的最优解应为 $5 \leq x \leq 20$, $10 \leq y \leq 30$ 。落在图 6-17 内的阴影内的解都是最优的。从这个例子可以看出, x 等于 a_i 的某个值、 y 等于 b_i 的某个值，该问题总存在最优解。

例：某大学购买一台新设备，以便全校教师制作教学录像带。这台设备由校园内六个学院的教师使用。这六个学院的位置如图 6-18 所示。其坐标和各学院使用该设备的教师人数见表 6-9。各学院间用草坪隔开，故通道都是交叉垂直的。问该录像带制作设备安置在何处，使所有教师的总行程最小。

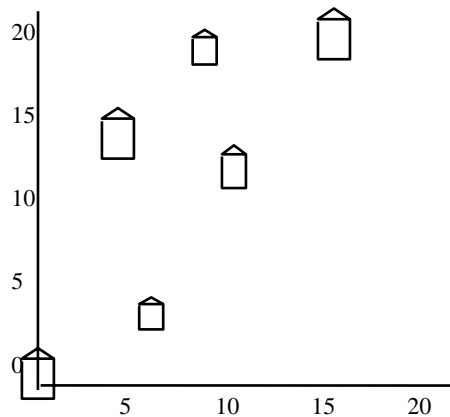


图 6-19 学院坐标图

表 6-9 学院坐标和使用人数

学院	坐标	教师人数
商学院	(5,13)	31
教育学院	(8,18)	28
工学院	(0,0)	19
人文学院	(6,3)	53
法学院	(14,20)	32
理学院	(10,12)	41

解：设布置录像带制作设备的坐标为 x 和 y ，取每个学院使用该设备的教师人数为加权数。下面分别求出 x 和 y 的值。

首先求 x 的最优解。将 x 的坐标按递增的顺序排列，同时求出累计加权值，见表 6-10。

表 6-10 x 坐标和累计加权值

学 院	x 坐标	权数	累计加权值
工学院	0	19	19
商学院	5	31	50
人文学院	6	53	103
教育学院	8	28	131
理学院	10	41	172
法学院	14	32	204

表 6-11 y 坐标和累计加权值

学 院	y 坐标	权数	累计加权值
工学院	0	19	19
人文学院	3	53	72
理学院	12	41	113
商学院	13	31	144
教育学院	18	28	172
法学院	20	32	204

x 最优值求解方法：

① 将累计加权值除以 2，如本例 $(204/2) = 102$ 。

② 在累计加权值中从小到大找出第一个大于 102 的值，如 103。

③ 与 103 相对应的 x 坐标即为最优解，如 x=6。

y 值的求法与此相同。由表 6-11 可知，y=12。则本例的最优解为 (6,12)，即新的录像带制作设备应布置在坐标为(6,12)的地方，这样所有教师的行走路程的总和最小。

三、线性规划方法

设：n = 机器数量

c_{ij} = 机器 i 布置在 j 时，单位时间的成本

d_{jr} = 从位置 j 到位置 r 物料移动一次的成本

f_{ik} = 单位时间内机器 i 到机器 k 的平均移动次数

S_i = 机器 i 可能布置的位置的集合

$$a_{ijk} = \begin{cases} f_{ik} d_{jr} & \text{if } i \neq k \text{ or } j \neq r \\ c_{ij} & \text{if } i = k \text{ and } j = r \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{如果机器 } i \text{ 布置在位置 } j, \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

a_{ijk} 是单位时间机器 i 布置在位置 j 和机器 k 布置在位置 r 物料运输费用。这个费用仅在 x_{ij} 等于 x_{kr} 情况下出现。因此，总成本的表达式为：

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{r=1}^n a_{ijk} x_{ij} x_{kr}$$

约束条件有：

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, n$$

$$x_{ij} = 0 \quad \text{or} \quad 1 \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, n$$

$$x_{ij} = 0, i = 1, \dots, n \quad j \notin S(i)$$

优化的目标是使总的物料搬运成本最低。这是一个四重分配问题，一般来说，该问题的求解是极为困难的。

四、计算机辅助布置

随着计算机在企业管理中的应用，越来越多的管理人员处理生产与服务设施布置时，通过计算机解决一些比较复杂的问题。下面介绍一个常见的计算机辅助布置的软件：CRAFT(Computerized Relative Allocation of Facilities Technique)。CRAFT 是美国人开发出来的一种常用的计算机辅助生产和服务设施布置的工具，它的基本内容如下。

1) 合理布置实现的目标是运输总成本最小。

2) 允许对生产中的材料和部件使用不同的物料搬运方式和工具，其成本同搬运距离成比例。

3) 已知各块状中心的面积及其初试布置方案，并在布置图上标明各个块状中心的坐标。

4) 若某些块状中心要求特殊位置，则可以作为约束条件，预先说明。

5) 使用计算方法进行运算，使整个系统综合搬运费用最小。可按下式计算。

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Y_{ij} l_{ij}$$

式中，n-----块状中心的数目， $y_{ij}=v_{ij}u_{ij}$ ， v_{ij} 为i到j块状中心的搬运次数（在规定时间内），用矩阵表示：

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \cdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & & v_{2n} \\ \vdots & & & \\ v_{n1} & v_{n2} & \cdots & v_{nn} \end{bmatrix}$$

u_{ij} 为i到j块状中心之间搬单位重量，移动单位距离的费用，用矩阵表示是：

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & & u_{2n} \\ \vdots & & & \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{nn} \end{bmatrix}$$

l_{ij} -----i到j的之间的移动距离，用矩阵表示：

$$L = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \cdots & l_{1n} \\ l_{21} & l_{22} & & l_{2n} \\ \vdots & & & \\ l_{n1} & l_{n2} & \cdots & l_{nn} \end{bmatrix}$$

各块状中心之间的搬运量不随块状中心所在位置的变化而变化。

设 v_{ij} 与 u_{ij} 对应元素为 y_{ij} ，用矩阵表示为：

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & & y_{2n} \\ \vdots & & & \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nn} \end{bmatrix}$$

当块状中心之间运量确定之后，费用 y_{ij} 为定值，不受块状中心位置变化的影响。

运用 CRAFT 软件就是力求使 E 最小化。CRAFT 的运算流程见图 6-20。

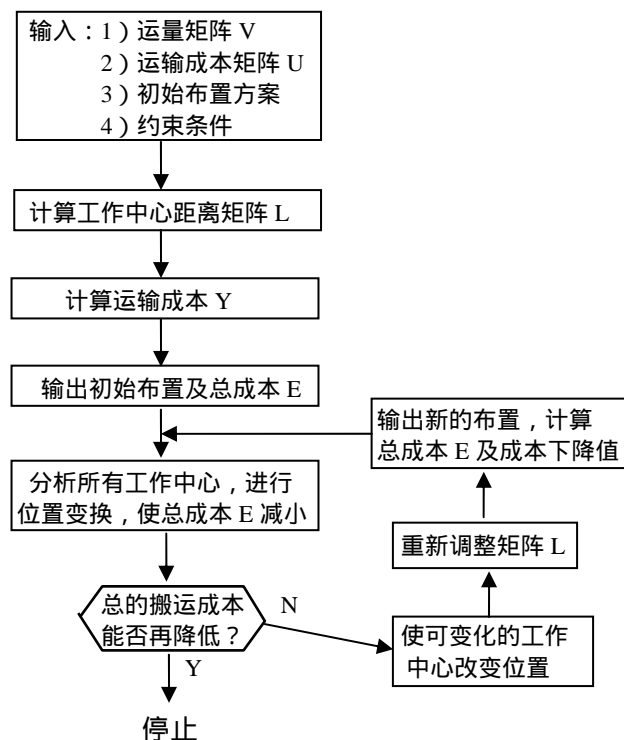


图 6-20 CRAFT 程序流程图

第五节 装配线平衡

装配线平衡，又称工序同期化，是对于某装配流水线，在给定流水线的节拍后，求出装配线所需工序的工作地数量和用工人数最少的方案。装配线平衡问题还可以表述为：对于特定的产品，给定工作地数量，求出使流水线节拍最小的配置方案。这两种表达方式都是要使各工作地的单件作业时间尽可能接近节拍或节拍的整数倍。

一、为什么要进行装配线时间平衡？

参看图 6-21，某装配线有 6 道工序，其作业顺序和工序作业时间如图所示。假定节拍为 5 分钟/件，计算一下工序负荷率。通过简单分析不难看出，工序负荷率最高的只有 60%，即 3、4 两道工序，而工序 1 的负荷率只有 20%。这种现象会导致：

- ◆ 浪费时间资源
- ◆ 忙闲不均，引起矛盾
- ◆ 浪费人力资源

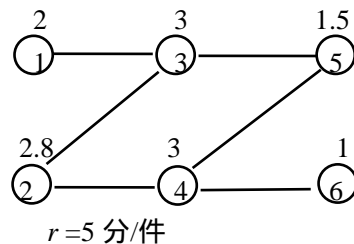


图 6-21 装配线顺序图

为了解决这些问题，必须对装配线的工序进行新的组合分析，重新组织工作地。

一) 装配线（流水线）节拍

所谓流水线的节拍，是指流水线上连续出产两件相同制品的时间间隔。

$$r = \frac{\text{计划期有效工作时间}}{\text{计划期内计划产量}} = \frac{F_e}{N} = \frac{F_0 \cdot \eta}{N} \quad (\text{分/件})$$

例：某流水线计划日产量为 150 件，采用两班制生产，每班规定有 21 分钟停歇时间，

计划不合格品率为 2%，计算该流水线的节拍。

$$r = \frac{\text{计划期有效工作时间}}{\text{计划期内计划产量}} = \frac{F_e}{N} = \frac{8 \times 2 \times 6 - (21 \times 2)}{150 \times (1 + 0.02)} = 6(\text{分/件})$$

二) 装配线平衡的方法

以适当的方式将装配线上若干个相邻工序合并成一个大工序（又称工作地），并使这些大工序的作业时间接近或等于装配线的节拍。具体步骤如下。

- 1) 确定装配流水线节拍。
- 2) 计算装配线上需要的最少工作地数。

$$S_{\min} = \left\lceil \frac{\sum t_i}{r} \right\rceil$$

- 3) 组织工作地。按以下条件向工作地分配小工序：

- ① 保证个工序之间的先后顺序
- ② 每个工作地分配到的工序作业时间之和(T_{ei})，不能大于节拍
- ③ 各工作地得大于的作业时间应尽量接近或等于节拍($T_{ei} \rightarrow r$)
- ④ 应使工作地数目尽量少

- 4) 计算工作地时间损失系数，平滑系数。

$$\varepsilon_L = \frac{S \cdot r - \sum_{i=1}^S T_{ei}}{S \cdot r} \times 100\%$$

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^S (T_{e\max} - T_{ei})^2}$$

三) 装配线平衡的举例

例：启明公司开发出一种款式新颖的三轮童车，试销结果表明深受顾客欢迎。公司决定建立一条装配流水线，大批量生产这种三轮童车，面向全国销售。现需要对这条装配线进行组织设计，装配线平衡过程如下。

三轮童车装配路线如图 6-22 所示。三轮童车装配作业先后顺序如图 6-23 所示。

- 1) 装配作业的分解和节拍的确定

由生产计划和工作班次，三轮童车装配线的节拍为：

$$r = 20 \text{ 秒/件}$$

- 2) 计算最小工作地数

$$S_{\min} = [253/20] = [12.65] = 13$$

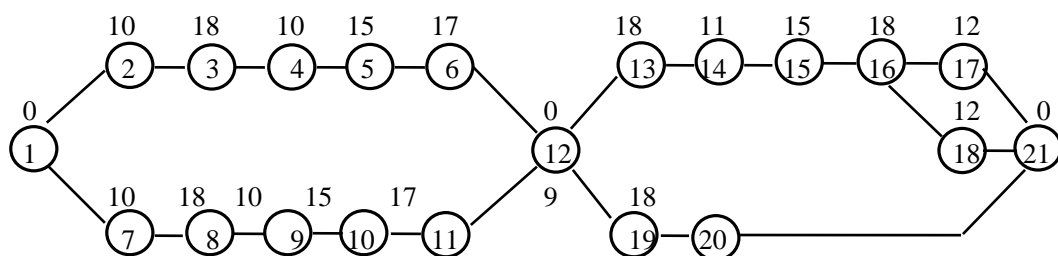
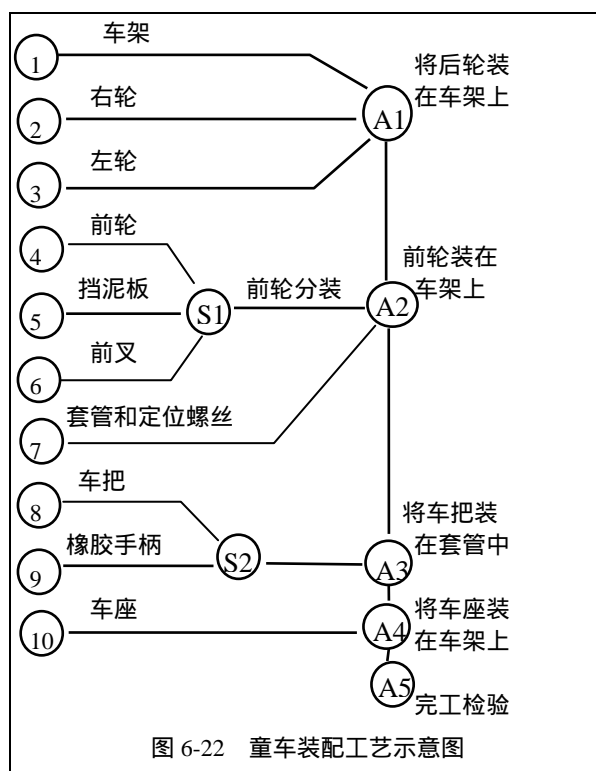
- 3) 组织工作地

根据装配作业顺序图，用试算法进行工作地重新划分。共划分出 15 个工作地。

- 4) 计算装配线的时间损失系数和平滑系数

$$\varepsilon_L = \frac{S \cdot r - \sum_{i=1}^S T_{ei}}{S \cdot r} \times 100\% = \frac{15 \times 20 - 253}{15 \times 20} \times 100\% = 16\%$$

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^S (T_{e\max} - T_{ei})^2} = \sqrt{(20-0)^2 + (20-2)^2 + (20-2)^2 + \dots + (20-5)^2} =$$



1,12,21 的引入是为了方便计算机处理

图 6-23 三轮童车装配作业先后顺序

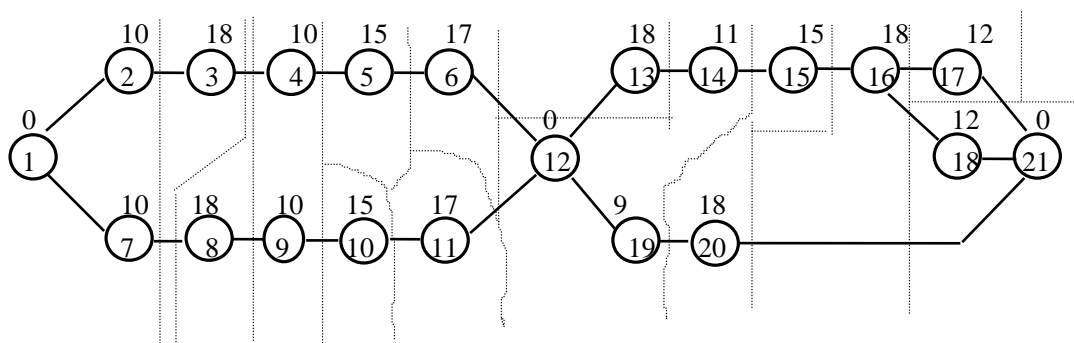


图 6-24 三轮童车装配线工作地重新布置方案

第五节 非制造业的设施布置

如本书前面几章所述，非制造业行业种类繁多，难以归纳成如制造业的几种基本类型。这里，仅以介绍一下办公室布置。当今，“白领”人员在一国就业人口中所占比重越来越大，

因此，如何通过合理、有效的办公室布置提高工作效率、提高“白领”的劳动生产率也正在日益成为一个重要问题。

办公室布置对于办公室工作效率的提高、“白领”人员劳动生产率的提高以及改善“工作生涯质量”都具有重要作用。在今天，办公室工作人员在整个就业人员中所占的比重越来越大，因此，办公室布置的问题就显得越发重要。近 20 年来，不断有新的有关研究结果出现，这里仅作一简单概述。办公室与生产制造系统相比，有许多根本不同的特点。首先，生产制造系统加工处理的对象主要是有形的物品，因此，物料搬运是进行设施布置的一个主要考虑因素。而办公室工作的处理对象主要是信息以及组织内外的来访者，因此，信息的传递和交流方便与否，来访者办事是否方便、快捷，是主要的考虑因素。其次，在生产制造系统中，尤其是自动化生产系统中，产出速度往往取决于设备的速度，或者说与设备速度有相当大的关系。而在办公室，工作效率的高低往往取决于人的工作速度，而办公室布置，又会对人的工作速度产生极大影响。再次，在生产制造系统中，产品的加工特性往往在很大程度上决定设施布置的基本类型，生产管理人员一般只在基本类型选择的基础上进行设施布置。而在办公室布置中，同一类工作任务可选用的办公室布置有多种，包括房间的分割方式、每人工作空间的分割方式、办公家具的选择和布置形式等。此外，在办公室的情况下，组织结构、各个部门的配置方式、部门之间的相互联系和相对位置的要求对办公室布置有更重要的影响作用，在办公室布置中要予以更多的考虑。但在办公室布置中，也有一些考虑原则与生产制造系统是相同的，例如，按照工作流程和能力平衡的要求划分工作中心和个人工作站，使办公室布置保持一定的柔性，以便于未来的调整和发展等。

办公室布置的主要考虑因素可以说是两个：(1)信息传递与交流的迅速、方便；(2)人员的劳动生产率。其中信息的传递与交流既包括各种书面文件、电子信息的传递，也包括人与人之间的信息传递和交流。对于需要跨越多个部门才能完成的工作，部门之间的相对地理位置也是一个重要问题，这一点与生产系统相似。本章所述的各种图表分析技术也同样可以应用于办公室布置。

办公室布置中要考虑的另一个主要因素是办公室人员的劳动生产率。当办公室人员主要是由高智力、高工资的专业技术人员所构成时，劳动生产率的提高就具有更重要的意义。而办公室布置，会在很大程度上影响办公室人员的劳动生产率。但也必须根据工作性质的不同、工作目标的不同来考虑什么样的布置更有利于生产率的提高。例如，在银行营业部、贸易公司等情况下，开放式的大办公室布置使人们感到交流方便，促进了工作效率的提高；而在一个出版社，这种开放式的办公室布置可能会使编辑们感到无端的干扰，无法专心致志地工作。

尽管办公室布置根据行业的不同、工作任务的不同有多种，但仍然存在几种基本的模式：一种是传统的封闭式办公室，办公楼被分割成多个小房间，伴之以一堵堵墙、一个个门和长长的走廊。显然，这种布置可以保持工作人员足够的独立性，但却不利于人与人之间的信息交流和传递，使人与人之间产生疏远感，也不利于上下级之间的沟通。而且，几乎没有调整和改变布局的余地。另一种模式是近 20 多年来发展起来的开放式办公室布置，在一间很大的办公室内，可同时容纳一个或几个部门的十几人、几十人甚至上百人共同工作。这种布置方式不仅方便了同事之间的交流，也方便了部门领导与一般职员的交流，在某种程度上消除了等级的隔阂。但这种方式的一个弊病是，有时会相互干扰，会带来职员之间的闲聊等。因此，后来进一步发展起来的一种布置是带有半截屏风的组合办公模块。这种布置既利用了开放式办公室布置的优点，又在某种传递上避免了开放式布置情况下的相互干扰、闲聊等弊病。而且，这种模块式布置有很大的柔性，可随时根据情况的变化重新调整和布置。有人曾估计过，采用这种形式的办公室布置。建筑费用比传统的封闭式办公建

筑能节省 40%，改变布置的费用也低得多。实际上，在很多组织中，封闭式布置和开放式布置都是结合使用的。20 世纪 80 年代，在西方发达国家又出现了一种称之为“活动中心”的新型办公室布置。在每一个活动中心，有会议室、讨论间、电视电话、接待处、打字复印、资料室等进行一项完整工作所需的各种设备。楼内有若干个这样的活动中心，每一项相对独立的工作集中在这样一个活动中心进行，工作人员根据工作任务的不同在不同的活动中心之间移动。但每人仍保留有一个小小的传统式个人办公室。显而易见，这是一种比较特殊的布置形式，较适用于项目型的工作。

20 世纪 90 年代以来，随着信息技术的迅猛发展，一种更加新型的办公形式——“远程”办公也正在从根本上冲击着传统的办公布置方式。所谓“远程”办公，是指利用信息技术，将处于不同地点的人们联系在一起，共同完成工作。例如，人们可以坐在家里办公，也可以在出差地的另一个城市或飞机、火车上办公等等。可以想象，当信息技术进一步普及、其使用成本进一步降低以后，办公室的工作方式和对办公室的需求，以及办公室布置等，均会发生很大的变化。

小结 生产和服务设施布置是生产与运作管理中的一个经典问题，也是一个十分重要的问题。许多设备、设施的布置一旦确定下来，其影响就是永久性的。当生产系统投入运行以后才发现问题，再想改正就十分困难了。因此，为了寻求生产系统的最优运行效果，必须在生产系统设计时优化其布置方案。本章介绍了布置决策的主要内容及影响布置决策的主要因素，讨论了在组织生产单位决策中的两个原则——工艺专业化原则和对象专业化原则，分析了这两个原则的特点及应用场合。为了帮助管理人员优化布置方案，还介绍了几种常用的布置方案优化方法。作为一种普遍应用的布置问题，本章介绍了装配线的时间平衡，讨论了装配线时间平衡的概念及平衡方法。

思考题

- 1、你所在地区的印刷厂或其他你所熟悉的企业的布置是什么样的？
- 2、你如何收集数据帮助一家小企业（如小餐厅）改进它的布置？
- 3、有哪些影响企业生产单位构成的主要因素？
- 4、分别叙述生产单位的专业化原则和形式，并对其优缺点作一简要比较，并说明其适用条件。
- 5、讨论几种布置类型的特点。
- 6、为什么要进行装配线时间平衡？装配线平衡的方法是什么？
- 7、研究非制造业设施布置的主要特点，提出几种布置方法。
- 8、在一家零售店的布置中，经理能操作的变量是什么？
- 9、走访一家超级市场并绘出其布置图，谈谈你的主要观察结构。
- 10、你最近注意到的零售业所进行的布置创新是什么？
- 11、为了适应快速响应市场需求，制造业的生产系统布置应进行哪些创新？

练习题

1、一个制造厂计划在某车间旁增加一侧房，建一条新的生产线，可生产五种型号的产品：A，B，C，D，E。现有两个布置备选方案，显示于图 6-中。五种产品在六个部门间的移动距离和移动次数见表 6-。哪一种布置方案的月运输量最小？

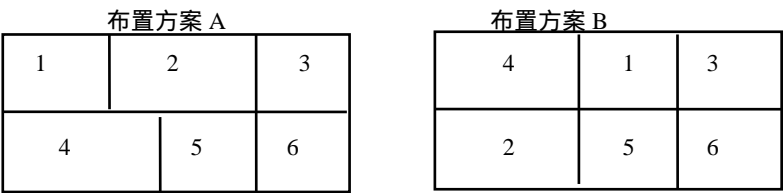


图 6- 新建侧房内生产线设备布置方案

表 6-

产品型号	产品工艺路线	月产量 (件)	移动方向	设备间的距离 (米)	
				方案 A	方案 B
A	1-2-3	2000	1-2	15	25
B	4-5-6	2000	1-5	30	10
C	1-5-6	3000	2-3	15	35
D	2-5-6	1000	2-4	20	10
E	2-4-3	3000	2-5	15	15
			3-4	35	25
			4-5	15	25
			5-6	10	10

答案：方案 A：420000 米/月，方案 B：380000 米/月。

2、根据下列作业活动关系图，将 9 个部门安排在一个 3×3 的区域内，要求把部门 5 安排在左下角的位置上。

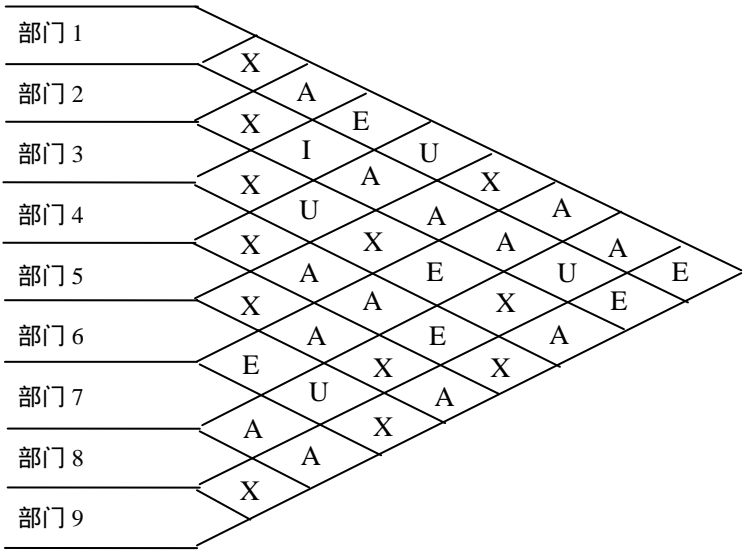


图 6- 作业相关图示例

3、一产品装配线计划每小时出产 300 件产品，每小时用于生产的时间是 50 分钟。表 6-是装配工序、每道工序的作业时间及紧前工序等信息。请：（1）画出装配工序先后顺序图；（2）该装配线的节拍是多大；（3）计算每小时装配 300 件产品的最小工作地数。

表 6- 装配线工序及作业时间

工序	工序作业时间（分钟）	紧前工序
A	0.69	-
B	0.55	A
C	0.21	B
D	0.59	B
E	0.70	B
F	1.10	B
G	0.75	C,D,E
H	0.43	G,F
I	0.29	H

答案：节拍为 0.167 分/件，31.86 个工作地

4、一装配线计划每小时装配 200 件产品，每小时的用于生产的时间是 50 分钟。表 6-是装配工序、每道工序的作业时间及紧前工序等信息。请：（1）画出装配工序先后顺序图；（2）该装配线的节拍是多大；（3）计算每小时装配 200 件产品的最小工作地数；(4)进行装配线平衡,使时间损失率最小。

表 6- 装配线工序及作业时间

工序	工序作业时间（分钟）	紧前工序
A	0.20	-
B	0.05	-
C	0.15	-
D	0.06	-
E	0.03	A,B
F	0.08	C,D
G	0.12	E,F
H	0.05	-
I	0.05	-
J	0.12	H,I,J
K	0.15	J
L	0.08	K

答案：(2) 节拍为 0.25 分/件，(3)最小工作地数为 5, (4) 重新组合的工作地为：(A,B),(C,D,E), (F,G), (H,I),(J),(K,L), 效率为 83.3%。

第七章 岗位设计与工作测量

本章讨论的属于生产与运作管理中的工作设计的内容。将要介绍工作设计的有关概念、基本原理、方法、技术和社会因素等内容，讨论如何通过工作的多样化、丰富化、扩大化和工作轮换等措施满足操作者的心理需求，如何保持和提高操作者对工作的热情，进而提高生产率等有关问题。这一章中还要研究工作测量问题，将对测时法、模特法、预定标准时间法及工作抽样法等制定标准作业时间和劳动定额的方法进行详细讨论。最后，本章从劳动者工作环境对生产率的影响出发，介绍了人-机工程学的基本常识，从温度、空气流通、照明、色彩、噪音对劳动者的心理和生理影响出发，简单讨论在工作环境设计中应注意的问题。

第一节 引言

一、生产率与人的行为

一) 生产率及其影响因素

生产管理的目标之一，就是在满足市场需求的前提下提高生产系统的生产率。所谓生产率，是指生产系统的输出的产品或服务与生产这些产品或服务所消耗资源之比，即：

$$\text{生产率} = \frac{\text{系统输出的产品或服务}}{\text{使用的资源}}$$

生产率是经济发展的基础，生产率问题历来为管理科学的研究所关注。对管理者来说，生产率是一个比较工具，它把生产系统的产品生产（输出）与所消耗的资源进行比较，从而判断生产系统的运行效率。

从上式可以看出，要想提高生产率，就必须尽可能提高系统的输出而减少其消耗。可能的组合方案有：

- ① 在资源消耗量一定或减少的情况下，增加产出。
- ② 在出产一定或增加的情况下，减少资源消耗量。
- ③ 资源消耗量略微增加，但产出大幅度增加。
- ④ 出产略微减少，但资源消耗量大幅度减少。

要把握提高生产率的要点，必须了解影响生产率的因素。从企业内部环境来说，影响生产率因素有两大类：技术因素和操作者行为因素。技术因素主要指企业生产产品或提供服务所必须的生产技术和生产装备的技术水平，如新设备、新工艺、新材料的采用可以大大提高生产率。由于技术因素与生产设备、设施有密切关系等，因此有人将其称为“硬因素”。行为因素是指操作者的心理需求和感情变化对生产率的影响。由于操作者的行为因素是易变的，因此有人将其称为“软因素”。新技术的应用必须通过人的劳动才能落到实处，随着人们接受教育程度的不断提高，人的心理需求逐渐超越经济需求而占据主导地位。

二) 生产管理中的人的行为影响

为达到提高生产率的目的，人们除了采用技术先进的装备之外，还必须考虑使用和管理这些设备的人的因素。在人类目前所能掌握的生产技术水平条件下，任何设备的使用和维护都离不开人。除了操作者的技能等技术要素外，他的心理活动、情绪等也会影响到生产率的提高。图 7-1 给出了影响工人生产率的主要因素及其相互关系。

传统的生产与运作管理在考虑人的因素对生产率的影响时，主要关注的是操作者的工

作环境，如工作地布置、照明强度、通风、温度、劳动场所的色彩等方面的因素，而对操作者的社会需要关注较少。随着社会经济的发展，人们在解决基本生存问题之后，越来越注重心理上的需求。单调乏味的流水作业渐渐为工人所厌倦，经过精确设计的操作动作并没有给企业带来期望中的高效率。经过研究发现，一个人长期从事一种简单的劳动会使他丧失对工作的热情，为了保持操作者对工作的热情，应该不断变化工作内容，增加对操作者的吸引力。因此，现代生产与运作管理中非常强调工作的多样化、丰富化和扩大化，通过工作轮换保持操作者的兴趣和对工作的热情。所有这些措施，都是为了满足操作者的心理需求，通过强化其行为因素保持和提高生产率。

经过不断的实践和理论探索，在生产与运作管理系统中逐渐形成了工作设计(Job design)和工作测量(Work measurement)学说，在生产系统设计时同时考虑技术和社会两个方面的因素，争取为操作者提供一个理想的劳动场所。

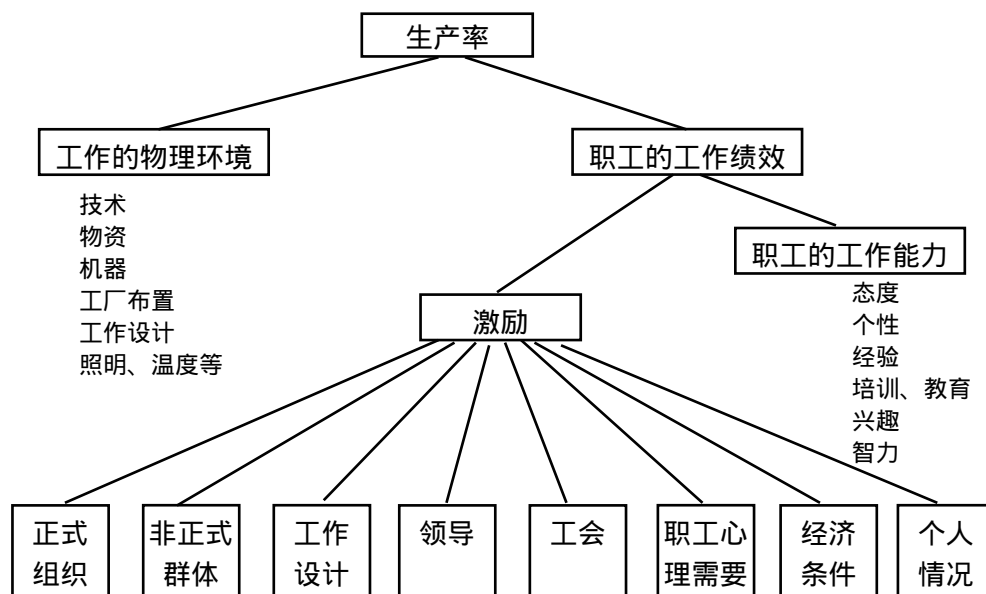


图 7-1 影响工人生产率的主要因素

三) 工作设计与工作测量

生产管理人员的关键任务之一就是对员工工作的设计。所谓工作，是指一个工人承担的一组任务(tasks)或活动(activities)的总称。工作设计则是确定具体的任务和责任、工作环境、以及完成任务以实现生产管理目标的方法。工作设计要满足两个目标，一是满足生产率和质量的目标，二是使工作安全、有激励性、能使工人有满意感。一个通过良好设计的工作，可以使员工在工作中心情愉快，疲劳感下降，自我实现感得到满足，对实现企业总体目标很有帮助。通过工作设计，达到提高生产率和质量，降低成本，缩短生产周期的目的。

工作测量，在工业工程中又称为时间研究(Time study)，是各种时间测定技术的总称，用以制定各项工作或作业的时间标准、确定劳动定额，并通过某种研究方法（如工作抽样）评价现实的工作时间利用情况以及人员工作效率。简言之，工作测量就是在一定的标准测定条件下，确定人们作业活动的所需时间，并制定出时间标准或定额的一种科学管理方法。工作测量是企业制定劳动力需求计划、确定生产能力需求、预测生产成本、制定劳动工资及奖励激励等项工作的基础。

四) 工作设计与工作测量的基础——科学管理原理

在本世纪初时，科学管理运动的创始人，美国工程师和管理学家 F.W.泰罗首创了时间研究和动作研究。与泰罗同时代的一些著名的科学管理运动的前驱 F.B 吉尔布雷斯夫妇、

H.L.甘特以及 H.E.埃默森等人，发展了泰罗的科学管理思想，丰富了方法研究和工作测定的方法，发展成为工作研究体系。将近一个世纪过去了，社会生产已进入了自动化和计算机控制的年代，就业结构已从制造业为主转向了服务业为主。面对如此巨大的变革，科学管理的思想和方法仍然有效。

F.W.泰罗在倡导科学管理运动时，提出过一些重要的思想。在泰罗看来，管理技术就是“确切知道要别人干什么，并注意让他们用最好最经济的方法去干”。1)他认为整个作业管理制度应当是“建立在对单位工时的精确和科学的研究上，这是科学管理中最最重要的因素”。2)倘若工作的性质要求多次重复去做，则时间研究应当做得更仔细、更精确。每项工作应当妥善地分成若干基本动作，对每个单位工时应当加以最彻底的时间研究，而不是笼统地对整件活定出一个工时和工资数额。3)泰罗最著名的思想是他提出的科学管理四原则。

1. 对工人操作的每个动作进行科学研究，用以代替老的单凭经验的办法。

2. 科学地挑选工人，并进行培训和教育，使之成长。

3. 与工人亲密协作，以保证一切工作都按已发展起来的科学原则去办。

4. 资方(管理者)和工人们之间在工作和职责上几乎是均分的，资方把自己比工人更胜任的那部分工作承揽下来。

泰罗早就预见到并提出，高工资和低劳动成本相结合是可能的，这种可能性“主要在于一个第一流的工人，在有利环境下所能做的工作量和普通水准的工人实际做的工作量间的巨大差距”。而使这种可能性变为现实的途径就是：基于方法研究和时间研究基础上的科学管理。我们看到，泰罗的这种预言，已经被当代一些发达国家和许多世界级企业实现了。

任何组织和作业几乎都可以应用工作研究的原理和方法，来帮助寻求一种更好的作业程序和作业方法。无论是对于制造业还是服务业，无论是工业，还是政府或其他非营利组织，都面临改进作业方法与提高生产率的问题。而且过去如此，现在如此，将来也是如此。提高生产率是一个永恒的主题，随着技术的进步工作的改进永无止境。现代社会中的各种服务性作业，如商店的售货作业、餐馆的烹调作业、银行的出纳作业、邮局的打包作业、医院的门诊作业、电话局的维修作业、政府部门的审批作业，以及办公室的收发作业等等，如果都能像吉尔布雷斯研究砌砖那样加以细致分析，使之简化和标准化，我们这个社会的效率将会大大提高，人们的生活也将会更加舒适愉快。

第二节 工作设计

一、工作设计的主要内容

工作设计为有效组织生产劳动过程，确定一个组织内的个人或小组的工作内容，实现工作的协调和确保任务的完成。它的目标是建立一个工作结构，来满足组织及其技术的需要，满足工作者的个人心理需求。图 7-2 给出了与工作设计决策有关的几个主要内容。

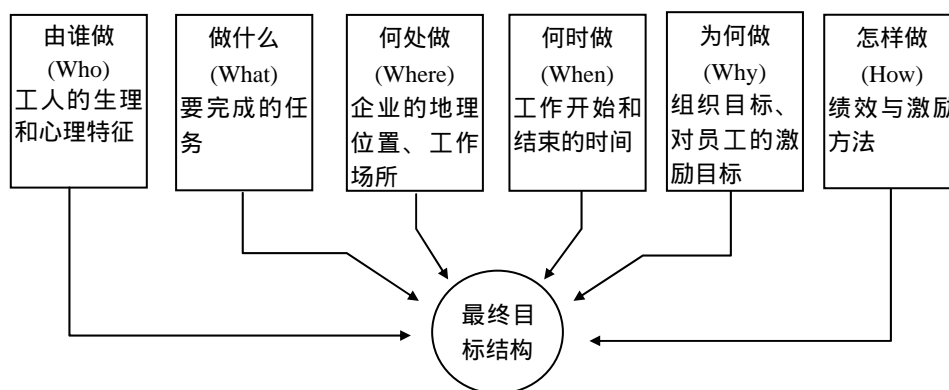


图 7-2 工作设计决策

工作设计的内容包括：① 明确生产任务的作业过程；②通过分工确定工作内容；③明确每个操作者的工作责任；④ 以组织形式规定分工后的协调，保证任务的完成。

这些决策受到以下几个因素的影响。

- 1) 员工工作组成部分的质量控制。
- 2) 适应多种工作技能要求的交叉培训。
- 3) 工作设计与组织的员工参与及团队工作方式。
- 4) 自动化程度。
- 5) 对所有员工提供有意义的工作和对工作出色员工的奖励组织承诺。
- 6) 远程通讯网络和计算机系统的使用。扩展了工作的内涵，提高员工的工作能力。

二、工作设计中的社会技术理论(sociotechnical theory)

工作设计中的社会技术理论是由英格兰的特瑞斯特(Eric Trist)及其研究小组首先提出来的。这种理论认为，在工作设计中应该把技术因素与人的行为、心理因素结合起来考虑，如图 7-3 所示。任何一个生产运作系统都包括两个子系统:技术子系统和社会子系统。如果只强调其中的一个而忽略另一个，就有可能导致整个系统的效率低下，因此应该把生产运作组织看作一个社会技术系统，其中包括人和设备、物料等。生产设备、生产工艺及物流组织与控制方法反映了这个系统的技术性，而人是一种特殊的、具有灵性的投入要素，这个系统还应该具有社会性。人与这些物性因素结合得好坏不仅决定着系统的经济效益，还决定着人对工作的满意程度，而后者，对于现代人来说是很重要的一个问题。因此，在工作设计中，着眼点与其说放在个人工作任务的完成方式上，不如说应该放在整个工作系统的工作方式上。也就是说，工作小组的工作方式应该比个人的工作方式更重要。

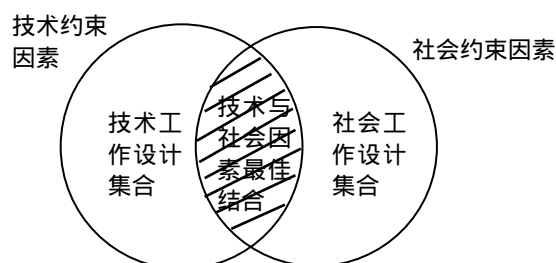


图 7-3 社会技术设计

图 7-3 中左侧的圆代表从技术的角度设计的所有可行工作方案的集合,右侧的圆代表从社会因素（心理学和社会学）的角度设计的所有工作方案的集合。交叉部分代表能满足社会和技术要求的工作设计。该理论认为，最佳的社会技术设计应该在这个交叉部分。

社会技术设计理论的价值在于它同时强调技术因素与社会变化对工作设计的影响，这与早期工业工程师们过度强调技术性因素对生产效率的影响有很大不同。早期的工业工程师将工人看做机器的一部分，而社会技术设计理论除了考虑技术要素的影响外，还将人的行为因素考虑进来，例如把工人调动工作、缺勤、厌倦等与技术选择联系起来。

如果把生产运作组织方式、新技术的选择应用和工作设计联系起来考虑的话，还应该看到，随着新技术革命和信息时代的到来，以柔性自动化为主的生产模式正在成为主流。但是，这种模式如果没有在工作设计的思想和方法上的深刻变革，是不可能取得成功的。为此，需要把技术引进和工作设计作为一个总体系统来研究，将技术、生产组织和人的工作方式三者相结合，强调在工作设计中注重促进人的个性的发展，注重激发人的积极性和劳动效率。这种理论实际上就奠定了现在所流行的“团队工作”方式的基础。

三、工作设计中的行为理论

行为理论的主要内容之一是研究人的工作动机，这一理论对于进行工作设计也有直接的参考作用。人们工作的动机有多种：经济需要、社会需要以及特殊的个人需要等(感觉到自己的重要在，实现自我价值等)。人的工作动机对人如何进行工作以及对工作结果有很大的影响，因此，在工作设计中，必须考虑到人的这些精神因素。当一个人的工作内容和范围较狭窄，或工作的专业化程度较高时，人往往无法控制工作速度(例如装配线)，也难以从工作中感受到一种成功感，满足感。此外，与他人的交往、沟通较少，进一步升迁的机会也几乎没有(因为只会很单调的工作)。因此，象这样的专业化程度高、重复性很强的工作往往容易使人产生单调感，它导致人对工作变得淡漠，从而影响到工作结果。西方的一些研究表明，这种状况给“蓝领”工人带来的结果是:工人变换工作频繁，缺勤率高，闹情绪，甚至故意制造生产障碍。对于“白领”工人，也有类似的情况。由于这些问题直接影响着一个生产运作系统的产出的好坏，因此，需要在工作设计中考虑一些方法来解决这些问题，以下是三种可以考虑的方法。

一)工作扩大化(Job enlargement)

工作扩大化是指工作的横向扩大，即增加每个人工作任务的种类，从而使他们能够完成一项完整工作(例如，一个产品或提供给顾客的一项服务)的大部分程序，这样他们可以看到他们的工作对顾客的意义，从而提高工作积极性。进一步，如果顾客对这个产品或这项服务表示十分满意并加以称赞，还会使该员工感受到一种成功的喜悦感和满足感。工作扩大化通常需要员工有较多的技能和技艺，这对提高员工钻研业务的积极性，使其从中获得一种精神上的满足也有极大帮助。

二)工作职务轮换(Job rotation)

工作职务轮换是指允许员工定期轮换所作的工作，这种定期可以是小时、天、日或数月。这种方法可给员工提供更丰富、更多样化的工作内容。当不同工作任务的单调性和乏味性不同时，采用这种定期轮换方式很有效。采用这种方式需要员工掌握多种技能，可以通过“在岗培训”(on-the-job training)来实现。这种方法还有增加了工作任务分配的灵活性，例如，派人顶替缺勤的工人;往瓶颈环节多增派人等。此外，由于员工互相交换工作岗位，可以体会到每一岗位工作的难易，这样比较容易使员工理解他人的不易之处，互相体谅，结果使整个生产运作系统得到改善。

在很多国家的企业中都使用工作职务轮换的方法，但各企业的具体实施方法和实施内容则多种多样。

三)工作丰富化(Job enrichment)

1959年，赫茨伯格(Ferdinand Herzberg)和他的助手发表了一项著名的研究成果，指出内在工作因素(如成就感、责任感、工作本身)是潜在的满意因素，而外在工作因素(如监

督、工资、工作条件等)是潜在的不满足因素。赫茨伯格指出满足感和不满足感不是一条直线上的对立面,而是两个范围。满足感的对立面不是满足,不满足感的对立面不是不满足。根据这个原理,改进外在因素如增加工资可能降低不满足感,但不会产生满足感。根据赫茨伯格的理论,唯一能使工人感到满足的是工作本身的内在因素。赫茨伯格将对工作的满足感与激励联系起来,提出了强化内在因素使工作丰富化观点,这不仅可提高工人的满足感,而且可以提高生产率。

工作丰富化是指工作的纵向扩大,即给予职工更多的责任,更多参与决策和管理的机会。例如,一个生产第一线的工人,可以使他负责若干台机器的操作,检验产品,决定机器何时进行保养,或自己进行保养。工作丰富化可以给人带来成就感,责任心和得到认可(得到表彰等)的满足感。当他们通过学习,使丰富化的工作内容被掌握之后,他们会感到取得了成就;当他们从顾客那里得到了关于他们工作成果——产品或服务的反馈信息时,他们会感受到被认可;当他们需要自己安排几台设备的操作、自己制定保养计划、制定所需资源的计划时,他们的责任心也就会大为增强。

图 7-4 是 Hackman-Oldham 的实工作丰富化的一个理论框架,也是一个实施模式。该模式从右端的工作丰富化后工人和产出的结果开始,前溯到关键心理状态、核心工作范围、概念定义。

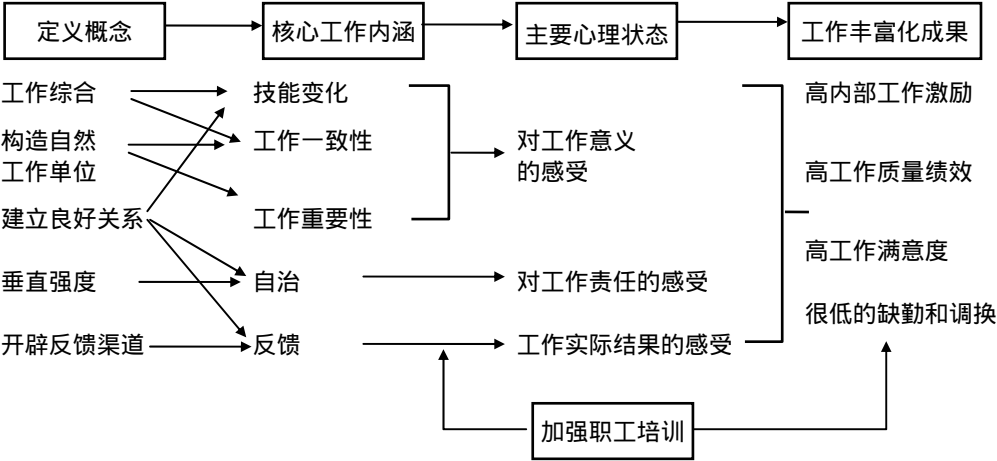


图 7-4 Hackman-Oldham 的工作丰富化框架

根据这个框架,个人与工作成果是由下列关键心理状态决定的:

- ① 工作意义感受。
- ② 对工作责任心的感受。
- ③ 对工作实际结果的认知。

这三种方法的实施有时是通过“团队”来进行的,这样会使成员之间得到更好的沟通,从而取得更大的工作成就。

四、团队工作方式

团队工作方式(team work)是指,与以往每个人只负责一项完整工作的一部分(如一道工序、一项业务的某一程序等)不同,由数人组成一个小组,共同负责并完成这项工作。在小组内,每个成员的工作任务、工作方法以及产出速度等都可以自行决定。在有些情况下,小组成员的收入与小组的产出还挂钩,这样一种方式就称为团队工作方式。其基本思想是全员参与,从而调动每个人的积极性和创造性,使工作效果尽可能好。这里工作效果系指效率、质量、成本等的综合结果。

团队工作方式与传统的泰勒制工作分工方式的主要区别如表 7-1 所示。这种工作方式可

以追溯到 20 世纪二三十年代。在现代管理学中，系指 80 年代后后期才开始大量研究、应用的一种人力资源管理方法。这种方法实际上是一种工作方法，即如何进行工作，因此，在工作设计中有更直接的参考意义。

表 7-1 泰勒制与团队式工作方式的对比

泰勒制工作方式	团队式工作方式
最大分工和简单工作	工作人员高素质、多技能
最少的智能工作内容	较多的智能工作内容
众多的从属关系	管理层次少、基层自主性强

团队工作方式也可以采取不同的形式，以下是 3 种常见的方式。

解决问题式团队(problem-solving teams)。这种团队实际上是一种非正式组织，它通常包括七八名或十来名自愿成员，他们可以来自一个部门内的不同班组。成员每周有一次或几次碰头，每次几小时，研究和解决工作中遇到的一些问题，例如质量问题、生产率提高问题、操作方法问题、设备、工具的小改造问题(使工具、设备使用起来更方便)等，然后提出具体的建议，提交给管理决策部门。这种团队的最大特点是:他们只提出建议和方案，但并没有权利决定是否实施。这种团队在 70 年代首先被日本企业广泛采用,并获得了极大的成功，日本的 QC 小组就是这种团队的最典型例子。这种方法对于提高日本企业的产品质量、改善生产系统、提高生产率起了极大的作用，同时，对于提高工作人员的积极性、改式善职工之间、职工与经营者之间的关系也起了很大的作用。这种思想和方法首先被日本企业带到了他们在美国的合资企业中，在当地的美国工人中运用，同样取得了成功，因此其它美国企业也开始效仿，进而又扩展到其它的国家和企业中，并且在管理理论中也开始对这种方式加以研究和总结。

这种方式有很多优点，但也有其局限性。因为它只能建议，不能决策，又是一种非正式组织，所以，如果这样的团队所提出的建议和方案被采纳的比率很低，这种团队就会自生自灭。

(2)特定目标式团队(special-purpose teams)。这种团队是为了解决某个具体问题，达到一个具体目标而建立的，例如，一个新产品开发，一项新技术的引进和评价，劳资关系问题等等。在这种团队中，其成员既有普通职工，又有与问题相关的经营管理人员。团队中的经营管理人员拥有决策权，也可以直接向最高决策层报告。因此，他们的工作结果、建议或方案可以得到实施。或者，他们本身就是在实施一个方案，即进行一项实际的工作，这种团队不是一个常设组织，也不是为了进行日常工作，而通常只是为了一项一次性的工作，实际上类似于一个项目组。这种团队的特点是，容易使一般职工与经营管理层沟通，使一般员工的意见直接反映到决策中。

(3)自我管理式团队(self-managing teams)。这种方式是最具完整意义的团队工作方式。上述第一种方式是一种非正式组织，其目标只是在原程序中改善任务，而不是建立新程序，也无权决策和实施方案;第二种方式主要是为了完成一些一次性的工作，类似于项目组织。而在自找管理式团队中，由数人(几人至十几人)组成一个小组，共同完成一项相对完整的工作，小组成员自己决定任务分配方式相任务轮换，自己承担管理责任。诸如制定工作进度计划(人员安排、轮休等)、采购计划、决定工作方法等等。在这种团队中，包括两个重要的新概念:

员工授权(employee empowerment)。即把决策的权力和责任一层层下放，直至每一个普通员工。如上所述，以往任务分配方式、工作进度计划、人员雇用计划等是由不同层次、不同部门的管理人员来决定的，现在则将这些权力交给每一个团队成员，与此同时，相应的责任也由他们承担。

组织重构(organizational restructuring)。这种组织重构实际上是权力交给每一个职工

的必然结果。采取这种工作方式后，原先的班组长、工段长、部门负责人(科室主任、部门经理等)等中间管理层几乎就没有必要存在了，他们的角色由团队成员自行担当，因此整个企业组织的层次变少，变得“扁平”。

这种团队工作方式是近几年才开始出现并被采用的。这种方式在美国企业中取得了很大成功，在制造业和非制造业都有很多成功事例。

第三节 工作测量(Work Measurement)

一、生产时间消耗结构及工时定额

一) 生产产品时间消耗的结构

产品在加工过程中的作业总时间包括:产品的基本工作时间、设计缺陷的工时消耗、工艺过程缺陷的工时消耗、管理不善而产生的无效时间、工人因素引起的无效时间，如图 7-5 所示。

1. 产品的基本工作时间

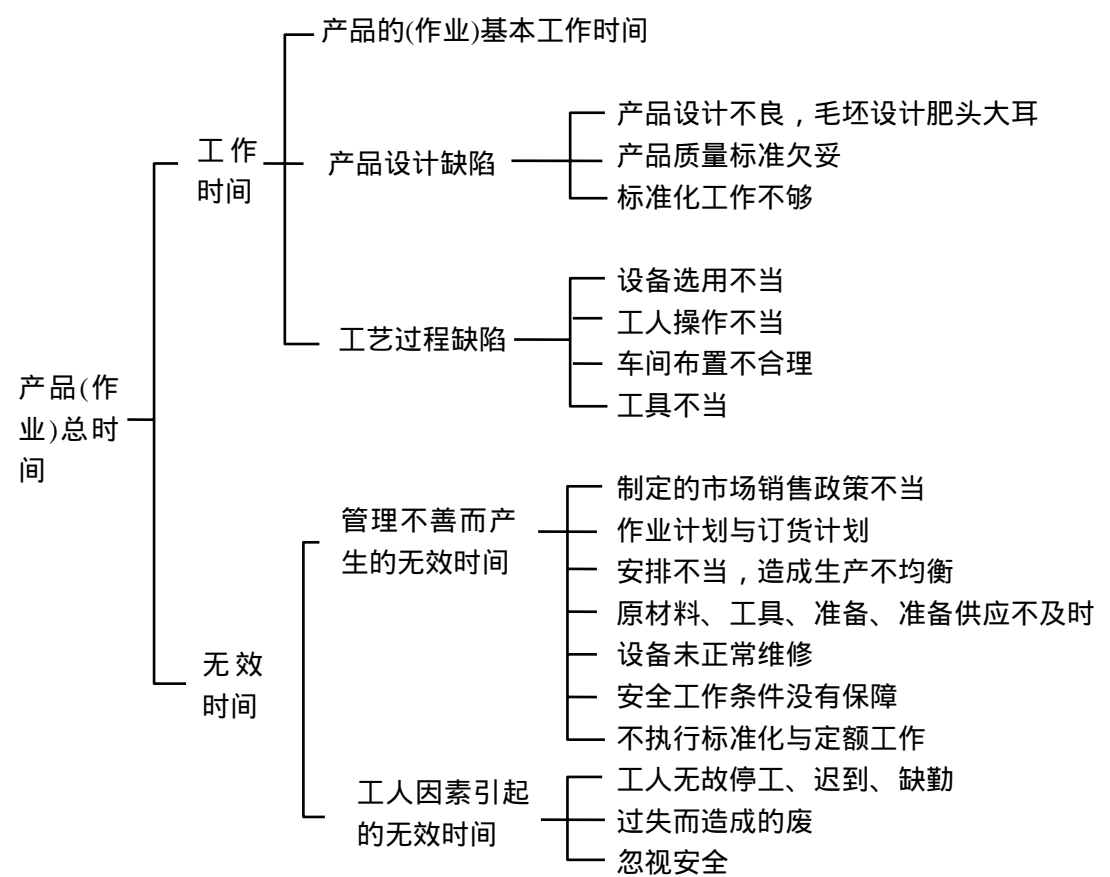


图 7-5 生产产品的时间构成

指在产品设计正确、工艺完善的条件下，制造产品或进行作业所用的时间。也称定额时间，其构成见图 7-5。

基本工作时间由作业时间与宽放时间构成。所谓宽放时间是劳动者在工作过程中，因工作需要、休息与生理需要，需要作业时间给予补偿的时间。宽放时间一般用宽放率表示。

$$\text{宽放率} = \frac{\text{作业时间}}{\text{宽放时间}}$$

宽放时间由三部分时间组成：

(1)休息与生理需要时间。由于劳动过程中正常疲劳与生理需要所消耗的时间，如休息、

饮水、上厕所所需的时间。

(2)布置工作地时间。是指在一个工作班内，生产工人用于照管工作地，使工作地保持正常工作状态和文明生产水平所消耗的时间，例如交接班时间、清扫机床时间等。它是以一个工作班内所消耗布置工作地时间作为计量单位。

(3)准备与结束时间。是指在加工一批产品或进行一项作业类型之前的技术组织准备和事后结束工作所耗用的时间，不同的生产类型其准备与结束时间不同。准备结束时间一般可通过工作抽样或工作日写实来确定。

休息与生理需要时间的确定，应进行疲劳研究，即研究劳动者在工作中产生疲劳的原因、劳动精力变化的规律、测量劳动、过程中的能量消耗，从而确定恢复体力所需要的时间。

用能量代谢率标度作业过程中能量消耗的程度。能量代谢率的计算如下式：

$$\text{能量代谢量} = \frac{\text{作业时能量消耗量} - \text{安静时能量消耗量}}{\text{基础代谢量}}$$

式中，基础代谢量——劳动者在静卧状态下维持生命所需的最低能量消耗量；安静时能量消耗量——劳动者在非工作状态，即安静状态的能量消耗，按基础代谢量的 1.2 倍计算。

能量代谢量用 RMR 表示。上述公式中每一项的取值都是在同样时间范围内的能量消耗量。

能量代谢率划分为不同级别，按照不同级别的能量代谢率确定相对应的疲劳宽放率。

由于宽放时间直接影响作业者一天的工作量及定额水平的制定。外国对此类时间的研究十分重视，将宽放时间作了更细致的分类。一般地说，宽放时间可分为四类。

作业宽放——作业过程中不可避免的特殊的作业中断或滞后，如设备维护、刀具更换与刃磨、切屑清理、熟习图纸等等。

个人宽放——与作业无关的个人生理需要所需的时间，如上厕所、饮水等。

疲劳宽放——即休息宽放。

管理宽放——非操作者个人过失所造成的无法避免的作业延误，如材料供应不足、等待领取工具等，并制定了各种宽放时间的宽放率。

2. 无效时间

无效时间是由于管理不善或工人控制范围内的原因，而造成的人力、设备的窝工闲置的时间。无效时间造成的浪费十分惊人。以生产管理为例，超过必要数量的人、设备、材料和半成品、成品等的闲置与存放造成浪费，就会使生产成本提高，产生第一次浪费。人员过多，生产过程各环节不平衡，工作负荷不一致，导致奖惩不公，引起部分工人不满，进而怠工或生产效率降低等。企业管理者为了解决上述问题，增加管理人员，制定规章制度，最终浪费了人力、物力、财力，消耗了时间，形成恶性循环，这即为第二次浪费。最终造成劳务费、折旧费和管理费增加，提高了制造成本。这些浪费往往会将仅占销售总额数 10~20% 的利润全部吃掉。若能消除上述两次浪费，减少无效劳动所带来的无效时间损失，则十分有意义。在企业产品成本中，材料、人工费、管理费之和占总成本的 90%，减少生产过程中无效劳动的浪费是比较容易做到的，但利润提高一成就需营业额提高一倍，这将是十分困难的。因此，减少无效劳动、走挖掘企业内部潜力的道路是生产与运作管理的首要任务。

生产过程中由于无效劳动所带来的浪费归纳为以下几个方面：

(1)生产过剩的浪费。整机产品中部分零件生产过多或怕出废品有意下料过多，造成产品的零件不配套，积压原材料、浪费加工工时。

(2)停工等待的浪费。由于生产作业计划安排不当，工序之间衔接不上，或由于设备突发事故等原因。

(3)搬运的浪费。如由于车间布置不当造出产品生产过程中迂回搬运。
(4)加工的浪费。如加工过程中切削用量不当,引起时间浪费。
(5)动作的浪费。由于操作工人操作动作不科学,引起时间浪费。
(6)制造过程中产生的废品的浪费。减少以致消除无效时间,是工业工程中工作研究探讨的基本内容之一。

二) 工时定额

工时定额,又称为标准工作时间,是在标准的工作条件下,操作人员完成单位特定工作所需的时间。这里标准工作条件的含义是指,在合理安排的工作场所和工作环境下,由经过培训的操作人员,按照标准的工作方法,通过正常的努力去完成工作任务。可见,工时定额的制定应当以方法研究和标准工作方法的制定为前提。

工时定额是企业管理的一项基础工作,其作用如下:

- 1). 确定工作所需人员数和确定部门人员编制的依据。
- 2). 计划管理和生产控制的重要依据。任何生产计划的编制,都必须将产品出产量转换成所需的资源量,然后同可用的资源量进行比较,以决定计划是否可行,这步工作称为负荷平衡。无论是出产量转换,还是可用资源量的确定,都应当以工时定额为标准,这样的生产计划才具有科学性和可行性。此外,生产进度的控制和生产成果的衡量,都是以生产计划为基础的,从而也是以工时定额为依据的。
- 3). 控制成本和费用的重要依据。在绝大多数企业中,尤其是服务企业中,人工成本在全部成本中都占有较大的比重。降低人工成本必须降低工时消耗,而工时定额是确定工时消耗的依据,从而也是制定成本计划和控制成本的依据。
- 4). 工时定额是提高劳动生产率的有力手段。劳动生产率的提高,意味着生产单位产品或提供特定服务所需的劳动时间的减少。而要减少和节约劳动时间,必须设立工时定额,据以衡量实际的劳动时间,找到偏差,采取改进措施。无标准,则难分优劣;无规矩,则不成方圆。
- 5). 制定计件工资和奖金的标准。在实行计件工资的条件下,工时定额(有时换算成小时或每日的工作量或产量)是计算计件工资单价的重要依据,在实行奖金制度条件下,工时定额是核定标准工作量(或产量),计算超额工作量(或产量),考核业绩,计算奖金和进行赏罚的主要依据。

通过工作测量法可以得到科学合理的工时定额。工作测量法常用的技术有测时法、预定标准时间法和工作抽样法等,下面简单介绍之。

二、测时法

测时法,又称直接时间研究,是用秒表和其它一些计时工具,来实际测量完成一件工作所需要的实际时间。其基本过程叙述如下。

① 选择观测对象。被观测的操作者应是一般熟练工人。避免选择非熟练和非常熟练的人员,因为非熟练人员不能很好地完成标准作业,而非常熟练的人员的动作过于灵巧,如果以超出正常作业速度为依据的话,就很难为大多数人所接受。被选定的操作者还应与观测者协作,心理和操作尽量不受观测因素的影响。

② 划分作业操作要素,制定测时记录表。

③ 记录观察时间,剔除异常值,并计算各项作业要素的平均值。设 t_{ij} 是作业要素 i 的第 j 次观察时间,则作业要素 i 的平均观察时间为:

$$\text{平均时间} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n t_{ij}$$

④ 计算作业的观察时间。作业的观察时间等于该作业的各项作业要素平均时间之和。

例如，观测某车床加工某种零件的标准工作时间，根据根据测时法的基本要求，将该作业分解为 5 个作业要素进行观测，然后求出每个作业要素的平均时间：

置零件于卡盘并压紧	13.2 (秒)
开车与进刀	3.0
车削	27.0
关车与退刀	12.0
卸下零件	12.8
作业时间	68.0 (秒)

⑤ 效率评定,计算正常作业时间。评定,也称评比,是时间研究人员将所观测到的操作者的操速度,与自己理想中的速度(正常速度)作一对比。

例如,如果研究人员认为工人是在以 115%的速度工作,也就是比正常速度(100%)快 15%,研究人员就要将作业时间的观测值调整为:

$$\text{正常时间} = 68 \times (1 + 0.15) = 78.2 \text{ 秒}$$

另一种情况,如果研究人员认为工人以 90%的速度工作,比正常速度慢 10%,则正常时间应为:

$$\text{正常时间} = 68 \times (1 - 0.1) = 61.2 \text{ 秒}$$

⑥ 考虑宽放时间比率,确定标准作业时间。

例如,通过调查研究发现:个人生理需要时间占正常时间的 4%;疲劳时间正常时间的 5%;不可避免的耽搁时间正常时间的 3%,则总的宽放时间系数为(4%+5%+3%)=12%,标准作业时间为:

$$\text{标准作业时间} = 78.2 \times (1 + 0.12) = 87.58 \text{ 秒}$$

以上的例子是高度简化了的，但从中可以看出用测时法确定标准作业时间的基本过程。

三、预定时间标准法(Predetermined Time Standard，简称 PTS)

PTS 法把人们所从事的所有作业都分解成基本动作单元，对每一种基本动作都根据它的性质与条件，经过详细观测，制成基本动作的标准时间表。当要确定实际工作时间时，只要把作业分解为这些基本动作，从基本动作的据预定时间表查出相应的时间值，累加起来作为正常时间，再适当考虑宽放时间，即得到标准作业时间。

PTS 的具体操作形式有多种。常见的有工作要素法(Work Factor)、标准时间测量法(Methods of Time Measurement,MTM)、基本动作时间研究法(Basic Motion Study, BMT)等等。其中用得较多的是 MTM。

PTS 法起源于 20 世纪 30 年代，目前已发展到第三代。第一代 PTS 主要有动作因素分析法和动作时间测定法，上述两种方法很复杂，动作分类很细，不易掌握，目前国外仍在使用。第二代 PTS 如简易动作因素分析和动作时间测定法 II(MTM-2)等，是在第一代 PTS 方法基础上简化而来的。第三代 PTS 是模特法，即 Modular Arrangement of Predetermined Time Standard,简称 MOD 法。MOD 法是澳大利亚的海德(G.C.Heyde)在长期研究第一代与第二代 PTS 法的基础上创立的更简便且精度不低于传统 PTS 的新方法，目前得到了较为普遍的应用。

四、模特法(MOD 法)

模特法与上述的二种 PTS 法相比，它具有形象直观，动作划分简单，好学易记，使用方便的优点。模特法适用于加工部门、生产技术、设计、管理、服务等方面，以及制定时

间标准、动作分析等。模特法将动作分为四大类:移动动作、终止动作、身体动作、其它动作,共计 21 个动作。

1. 移动动作

指抓住或挪动物件的动作。根据手臂所使用的身体部位不同,手臂移动距离的不同,时间值也不相同。移动动作分为如下 5 种。

(1)手指动作(M1)。指用手指第三关节前部分进行的动作。每动作一次时间值为 1MOD。

(2)手的动作(M2)。指手腕关节前部分进行的动作。每次时间值定为 2MOD。

(3)前臂动作(M3)。指肘关节前部分进行的动作,每次时间值定为 3MOD。

(4)上臂动作(M4)。指上臂及前面各部分以自然状态伸出的动作,每次时间值定为 4MOD。

(5)肩动作(M5)。指整个胳膊伸出再伸直的动作,每次时间值为 5MOD。

以手拿着工具反复重复上述的移动动作,称为反射动作,可看作是移动动作的特殊形式,所用的时间值小于正常移动动作。如手指反射时间值为 $1/2\text{MOD}$,手反射时间值为 1MOD,前臂反射时间值为 2MOD,上臂反射时间值为 3MOD。

2. 终止动作

指在移动动作之后,动作的终结。动作终结时,操作者的手必定作用于目的物。终止动作有下列几种:

(1)触碰动作(G0)。指用手接触目的物的动作。如摸、碰等动作,它仅仅是移动动作的结束,并未进行新的动作,每次动作的时间值定为 0MOD。

(2)简单抓握(G1)。指在移动动作触及到目的物之后,用手指或手掌捏、抓握物体的动作。简单抓握必须保证目的物附近无妨碍物,动作没有迟疑,每次时间值定为 1MOD。

(3)复杂抓握(G3)。指抓握时要注视,抓握前有迟疑,手指超过两次的动作,每次时间值为 3MOD。

(4)简单放下(P0)。指目的物到达目的地之后立即放下的动作,每次时间值为 0MOD。

(5)注意放下(P2)。指注视目的物放到目的地的动作。在放置目的物的过程中只允许一次方向与位置的修正。每次时间值定为 2MOD。

(6)特别注意放下(P5)。指把目的物准确地放置在规定的位置或进行装配的动作,动作有迟疑,眼睛注视,有两次以上的方向、位置的修正动作,时间值定为 5MOD。

3. 身体动作

指躯干、下肢的动作,分下列四种类型:

(1)踏板动作(F3)。指足颈摆动进行脚踏地的动作,每下踏一次时间值定为 3MOD,返回一次其时间值也为 3MOD。因此往返踏板一次,时间值定为 6MOD。

(2)步行动作(W5)。指步行或转动身体的动作,每动作一次其时间值为 5MOD。

(3)向前探身动作(B17)。指以站立状态弯曲身体、弯腰、单膝跪地,之后再返回站立状态的一个循环过程的动作,每一动作循环时间值定为 WMOD。

(4)坐和站起动作(S30)。指坐在椅上,站起之后再坐下的动作,每一循环过程时间值为 30MOD。

4. 其它动作

包括以下内容:

(1)校正动作(R2)。指改变原来抓握物体方式的动作,但只有独立地校正动作时才赋予时间值。每次校正动作其时间值定为 2MOD。

(2)施压动作(A4)。指作用于目的物推、拉、压的动作,推、拉、压的力在 20 牛顿以上,并为独立地施压动作,其时间值定为 4MOD。

(3)曲柄动作(C4)。指以手腕或肘关节为轴心划圆形轨迹的动作,动作时间值定为

4MOD。

(4)眼睛动作(E2)。指眼睛移动动作或眼睛对准目标的动作，每次动作时间值定为 2MOD。在正常视界内(距眼睛 40 厘米范围内)，不赋予眼睛移动时间值。当眼睛注视范围较广时，颈部需要伴随眼球运动而转动时，其时间值定为 6MOD。

(5)判断动作(D3)。指在两个动作之间判断要从事的下一动作所需时间的动作，时间值定为 3MOD。判断动作一般是在前一动作停止时，判断下一个动作如何进行时发生的。

(6)重量修正(L1)。指用手搬运时，不同物体重量所耗用的时间需要修正。单手负重，若不足 2 千克时不做重量修正;每增加 4 千克重量，单手负重的时间值增加 1MOD。双手搬运时应换算为单手搬运进行修正。当物体滑动时，手的负重减轻，用有效重量计算，有效重量为实际重量的 1/3;在滚道上滑动时，有效重量为实际重量的 1/10。

图 7-6 列出模特法动作图解。表 7-2 列出模特法的动作分类与时间值。

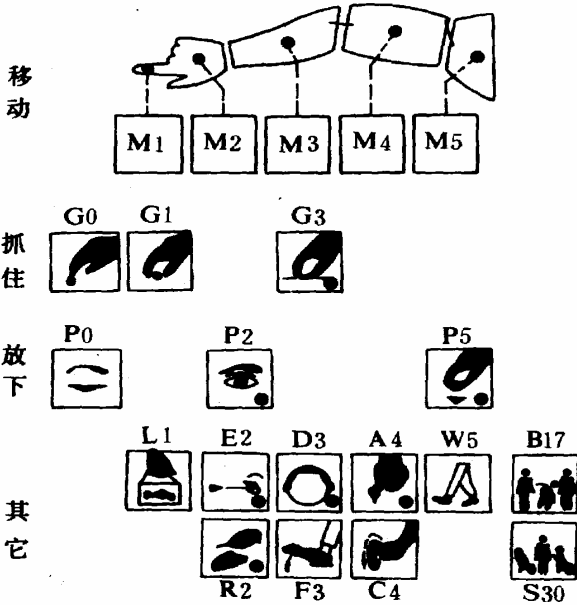


图 7-6 模特法动作图解

模特法的原理是根据操作时人体动作的部位、动作距离、工作物的重量，然后通过分析和计算，确定标准的操作方法，并预测完成标准动作所需要的时间。模特法的制定比较科学，使用时也十分方便。模特法的实施过程，必然包含着操作方法的改进和工作场地的合理布置，以方便工人操作。

表 7-2 模特法的动作分类与时间值

动作分类	动作名称	符号	时间值 (MOD)
移动动作	手指动作	M1	1
	手的动作	M2	2
	前臂动作	M3	3
	上臂动作	M4	4
	肩动作	M5	5
终止动作	触碰动作	G0	0
	简单抓握	G1	1
	复杂抓握	G2	3

	简单放下	P0	0
	注意放下	P2	2
	特别注意放下	P5	5
身体动作	踏板动作	F3	3
	步行动作	W5	5
	向前探身动作	B17	17
	坐和站起动作	S30	30
其它动作	校正动作	R2	2
	施压动作	A4	4
	曲柄动作	C4	4
	眼睛动作	E2	2
	判断动作	D3	3
	重量修正	L1	1

模特法特别适用于手工作业较多的劳动密集型产业，如电子仪表、汽车工业、纺织、食品、建筑、机械等行业。中外合资企业在改造与发展过程中，模特法是有效的手段。

模特法以 MOD 为时间单位：

1MOD= 0.129 秒

1 秒 = 7.75MOD

1 分 = 465MOD

按人类工程学原理，以人的最小能量消耗为原则，以手指移动 2.5 厘米距离所需的平均时间为基本单位，即 1MOD，其它任何动作时间都是它的倍数。

使用模特法进行作业分析，作业时间值计算举例：

将螺丝刀插入螺钉槽内这一动作排列式为：

M2 GI M2 P5

M2 表示开始手的移动时间为 2MOD; GI 表示简单抓取的时间为 1MOD; M2 表示第二次手的移动时间为 2MOD; P5 表示螺丝刀“特别注意放下”插入螺钉槽内的时间为 5MOD。

动作时间值计算：(2+1+2+5) × 0.129=1.29 秒

四、工作抽样法

工作抽样法(work sampling method)在工作测量中也是使用很广泛的一种方法。工作抽样法又称间接时间研究,其特点是采取间断性观测的方法,不用秒表直接观测操作者的作业时间,而是通过大量的随机观察,通过确认操作者是在工作还是处于空闲状态,按“工作”和“空闲”分类记录发生次数,不记录事件的延续时间,通过对样本的分析计算出百分比,对操作者实际工作时间和空闲时间的百分比作出估计。这种方法的基本原理是,并不关心具体动作所耗费的时间,而是估计人或机器在某种行为中所占用的时间比例。例如,加工产品、提供服务,处理事务,等候指示,等候检修,或空闲,这些都可看作为某种“行为”,都会占据一定的时间。对这些行为所占用时间的估计是在进行大量观察的基础上作出的。其基本假设是:在样本中观察到的某个行为所占用的时间比例,一般来说是该行为发生时实际所占用的时间比例。在给定的置信度下,样本数的大小将影响估计的精度。

从这样的样本观察中所获得数据除用于作业测定外,还可以用来估计人或设备的利用率,决定在其它作业研究方法中已经讨论过的宽放时间,决定工作内容,以及估计成本等。

一)样本法的应用步骤

选择好准备用样本法进行观测的行为或活动后,需要经过以下几个步骤来测定其所占用的时间比例。

(1) 设计观测方式。观察被观测对象工作的方式可以有多种,根据将工作划分为不同行为的详略程度和划分方式的不同而不同。

(2) 决定观测的时间长度。样本法中的观测时间长度必须具有代表意义,即在该时间段内,每一行为都应该有发生若干次的机会。例如,某行为一周只发生一次,那么将观测时间设定为一天就毫无意义,在这种情况下,观测的时间也许要几个月。

(3) 决定最初的样本数。通常,研究人员在观测开始之前需要对被观测行为所占用的时间比例进行初步估计,并设定一个所希望的估计精度,在此基础上决定最初的样本数。经观测得出数据后,再进一步考虑是否要增加样本数。

由于工作抽样是用随机抽样理论为指导的制定定额的方法,其准确程度与观察次数成正比。观察次数少,观测误差大,结果无实际价值;观察次数太多,又耗费不必要的人力和时间。

设: p ---观测到的某事件发生率; n ---观测总次数; m ---事件实际发生的次数, 则 p 的估计值为:

$$\bar{p} = \frac{m}{n}$$

标准偏差为:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

根据抽样统计理论,将观测结果的置信度取为 95%,亦即认为用抽样法处理的现象接近正态分布,因此,当置信度为 95%时,工作抽样的范围在 $\pm 2\sigma$ 。

定义抽样的绝对精度为 ε , 且有

$$\varepsilon = 2\sigma_p = 2\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

定义抽样的相对精度为 θ , 且有

$$\theta = \frac{\varepsilon}{\bar{p}} = 2\sqrt{\frac{(1-\bar{p})}{n\bar{p}}}$$

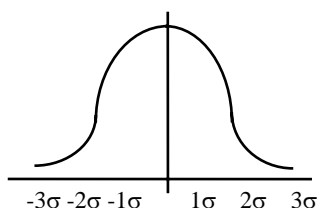


图 7-7 分布图

所以,当抽样开始之前规定了抽样精度,就可以确定相应的观测次数。

$$n = \frac{4\bar{p}(1-\bar{p})}{\varepsilon^2} \quad \text{或} \quad n = \frac{4(1-\bar{p})}{\theta^2 \cdot \bar{p}}$$

(4) 选择随机的观测时间。观测者去观测现场获取数据的时间应该在选定的时间长度内随机确定,以避免数据失真。例如,假如被观测对象知道观测者每天下午 2:30 来进行观测,他们就有可能在这一时间有意调整他们的行为方式,这样,所获数据就代表不了他们真正的工作方式。

(5) 观察和获取数据。观察并采用一定方式记录下有关数据。

(6) 检查是否需要更多的样本数。

(7) 数据计算、分析与结论。

下面举例说明工作抽样法的应用。

例 1: 某车间有车床若干台,任意抽查了 140 次,观测到的在工作的有 54 次。问该车间车床的利用率 p 的估计值 \bar{p} 和绝对精度是多少?

解: 由题意, $n=140$, $m=54$, 则

$$\bar{p} = \frac{m}{n} = \frac{54}{140} = 38.57\%$$

绝对精度(95%的概率意义下):

$$\varepsilon = 2\sigma_p = 2\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 2\sqrt{\frac{0.3857 \times (1-0.3857)}{140}} = 0.0823$$

所以,车床的利用率在(30.34, 46.80)之间。

例 2: 某种活动占规定的工作时间百分比大体上为 25%左右,要求对实际百分比 p 作出比较准确的估计,估计的相对精度为 10%,问大体上要观测多少次?

解: 设 $\bar{p}=25\%$, $\theta=(\varepsilon/p)=10\%$, 则观测次数为:

$$n = \frac{4(1-\bar{p})}{\theta^2 \cdot \bar{p}} = \frac{4 \times (1-0.25)}{0.1^2 \times 0.25} = 1200 \text{ 次}$$

(2) 根据抽样结果计算时间定额

例 3: 对某操作者的作业观测 100 小时,共 1000 次。其中观测到“工作”的有 800 次,其余均为“空闲”。其间产量为 500 件,设效率评定系数为 0.8825,宽放率为 15%,试确定单件时间定额。

解: ① 计算实际工作时间

$$\text{实际工作时间} = \text{总工作时间} \times \frac{\text{实际作业次数}}{\text{总观测次数}} = 100 \times \frac{800}{1000} = 80 \text{ 小时}$$

② 计算实际作业时间

$$\text{实际作业时间} = \text{实际工作时间} \times \text{效率评定系数} = 80 \times 0.8825 = 70.6 \text{ 小时}$$

③ 计算单件产品作业时间

$$\text{单件时间} = \frac{\text{实际作业时间}}{\text{总件数}} = \frac{70.6}{500} = 0.1412 \text{ 小时(或 8.472 分钟)}$$

④ 计算单件产品定额时间。考虑宽放 15%, 得:

$$\text{单件产品定额时间} = \text{单件时间} \times (1 + \text{宽放率}) = 8.472 \times (1 + 0.15) = 9.74 \text{ 分钟}$$

二) 工作抽样法的特点

工作抽样法所具有的几个主要优点是:

- (1) 观测者不需要受专门训练(其它方法都需要);
- (2) 不需要使用秒表,因此可同时进行几种行为的观测(例上例中的使用医疗记录,照顾病人,空闲等几种行为);
- (3) 在工作循环较长的情况下,因为所需的观测时间不多,因此是一种很经济的工作研究方法;
- (4) 与其它的作业测定方法相比,被观测人员更喜欢这种方法。

其局限性在于所需观察的样本数较大,需要保证有一定的估计精度等。此外,这种方法对于重复性工作的标准时间的制定是不经济的。

五、工作测量中人的因素

方法研究和工作测量用来制定工人工作的标准方法和标准时间,它的成功推行,离不开工人的认同和合作。工作研究的目的是提高生产率,从而从根本上和从长远角度改善工人的工作条件,满足他们的物质和社会需要。但实践过程中,工作改进的根本和长远的利益,往往不能被工人认识到和直接感受到,工人们更关心的是他们从工作改进中,可以立刻得到的直接好处是什么。他们会很自然地认为,工作研究会使他们付出过分的努力,受到更多的管制和约束,生产率的提高会使他们中的一些人失去工作甚至失业。在服务企业

或政府机构中，当开展工作研究时常会听到这样的议论，“我们的工作无法计划！”，“你们怎么能用秒表来测定我们！”。其实这并不奇怪。

方法研究和工作测量不应当成为一种榨取工人的手段，也决不当以牺牲一部分人的利益作为提高生产率的代价。减轻工人的劳动强度，以同样的付出获取更多报偿，或是以额外的付出获取加倍的报偿，在组织和其成员之间公平地分配工作改进的成果，这些既是工作研究追求的目标，也是工作研究取得成功的保证。

在研究人员与工人之间建立起良好的沟通和信任关系，是工作研究取得成功的关键。管理学发展史中著名的霍桑(Hawthorne)工厂试验，雄辩地证明了这一点。正如 G.E.梅奥(George Elton Mayo)所提出的，解释霍桑秘密的关键因素是小组中精神状态的一种巨大改变，实验室中的工人对于受到试验者越来越多的关心而高兴，并培养出一种参与试验计划的感觉，试验者对试验小组的真正影响，在于整个改造了其全部工业情境。霍桑试验得出的结论，不是要低估方法研究与工作测量的作用，而是要提醒工作研究人员，在专注于工作研究过程的技术细节时，别忘了担任工作的人们。

第四节 人机工程

一、人-机-环境系统

生产过程也是人与机器和环境发生交互作用的过程，几次产业革命的结果使得这种关系变得更加广泛与复杂，现在无论是要提高效率还是退一步要保证系统安全或正常运行，都必须处理好人-机器-环境三者之间的关系。

在生产过程中工人为了完成生产任务必须操纵设备、控制机器，而控制的前提是首先要利用人的感官系统从机器上的显示系统中获取机器运行状态信息，然后再根据人的判断指挥命令人的操作系统去对机器的控制系统施加影响，机器受到其控制系统作用后产生响应并重新在显示系统中反映出状态信息。这便是一个人-机系统在运行过程中会发生的交互作用过程，但还应注意的是机器与人之间是依靠环境来沟通的，环境既是媒体也是干扰源，有时会阻断人与机器的联系，或使人犯错误，对机器施加不正确的影响而使系统失效，因此，研究人与机器的关系不可能脱离环境的影响，平时所说的人-机系统实际上也是包含着环境因素在内的。

人-机工程正是以人-机系统为对象，研究其内部相互作用与结合的规律，使设计的机器和环境系统更适合人的生理和心理特点，达到在生产中具有安全、健康、舒适和高效率的目的。

人-机工程在不同的国家有不同的称呼，英国称其为 Ergonomics，可译作人类工程学，美国称其为 Human Engineering，“人-机工程”实际由此转译而来，日本称其为 人间工学，在我国也有人根据其目的直称为工效学。这门学科之所以有这么多的名称，一是由于它经历了漫长而曲折的发展过程，很多国家都注意到该问题的重要性并由基层相对独立地进行研究；另一个原因是这门学科是在几个基础性学科的交叉点上生长出来的，不同背景的人或研究侧重点不一样，也会导致为它命名的差异。然而不管其名称何其多，它们的目标却都是一致的。

由于人-机系统由三大要素构成，人-机工程也围绕着它们进行了深入的探讨。其中对于人的方面，人-机工程主要在感官神经系统和人体构造与测量学等方面，对人接受信息、进行判断、做出反应这一过程的机制、素质及极限能力进行了研究，并对人体肌体特征、动作的生物力学特性等方面也进行了研究，并形成 人因工程(Human Factor Engineering)的专门分支；对于机器方面，人-机工程主要结合人的特性探讨了机器显示、控制、空间布置、作业地设计等方面的专门问题。由于以上两方面的研究涉及较多医学、生理、心理学等方面的

内容，属于工业工程师较深的知识层次，故在此不作介绍，而本节仅就人-机系统中环境因素的影响作一简单介绍。

二、工作环境研究与设计

工作环境是指人操纵机器设备或利用各种工具进行劳动生产时在工作地周围的物理环境因素，它们主要包括气候状况、照明与色彩状况、噪声与振动状况三大类影响因素。

一) 气候状况的影响分析与设计

工作地和工作用房的气候状况决定于下列因素:空气的温度，空气的流动速度、气压与大气污染等。

1.温度对人劳动的影响

一个有生命的人本身就是一个热源，需要向外散发热量。如果人体产生的热量等于向体外散发的热量，人便处于热平衡状态，此时体温约在 36.5C 左右，人会感到比较舒适，当产生的热量大于散发的热量时，人便会感到发热，相反则会感到发冷。人体无时无刻不在产生和散发热，研究表明一位正常男子在休息或静止状态下平均小时要产生 293 焦耳的热量，而在劳动和激烈运动中，产生的热量可达到平常值的 20 倍。所以在工作环境中适宜的气候条件是获得良好工作能力的前提。室内的温度高会引起瞌睡、疲劳、从而使工作能力降低，增加差错。若室内温度低则会分散注意力。因此需要确定一个适宜的温度(包括湿度)。但对于冷热的主观感觉不仅依赖于气候条件，而且也与工作人员的体质、年龄、性别、对水土的适应、工作的难易、服装等因素有关。也就是说对适宜温度的评定是与主观态度有关。因此，所谓最佳温度不是某一固定的数值，而是指某一区域。再加上主观因素的影响，最佳温度的评定就不一样了。例如美国的统计资料规定的最佳温度范围是脑力劳动为 60~65 ° F(相当于 15.5~18.3)，轻劳动 55~65 ° F(相当于 12.7~18.3);体力劳动 50~62.5 ° F(相当于 10~16.9)。

我国一般企业对湿度控制比较困难，温度控制亦往往多限于冬季供暖。冬季供暖的温度以距地板 1.5 米、离墙 1 米处的干泡温度为准，表 7-3 为各种用途建筑物内的最佳温度。

表 7-3 我国各种运筑物内的最佳温度范围标准

地点	最佳温度范围
学校教室	65~70 ° F(18.3~21.1)
医院病房	70~72 ° F(21.1~22.2)
剧院电影院	65~68 ° F(18.3~20)
食堂	65 ° F(18.3)
工厂车间	55~65 ° F(12.8 — 18.3)
住宅	65 ° F(18.3)

2．空气流通对人劳动的影响

工作环境的空气流动情况也会影响劳动效率，实验表明在温度相同的情况下，保持空气新鲜的工作地要比空气停滞的工作地效率高出约 10%。一般认为在工作人员不多的房间中，空气流动的最佳速度估计约为 0.3m/s，在拥挤的房间中约为 0.4 米/秒，而当室内温度、湿度都很高，空气流速应最好达到 1~2m/s。

3．空气污染对人劳动的影响

工作环境中的空气污染源有两个，第一个来源于人。在人的呼吸过程中会排出二氧化碳，随着劳动强度的增大，二氧化碳的排放量会随之增加，成年男子在不同劳动强度下的二氧化碳呼出量见表 7-4 所示。与此同时，劳动汗水的蒸发也会使空气污染。表 7-4 不同劳

动情况下一位成年男子的 CO₂ 呼出量。

表 7-4 不同劳动情况下成年男子的 CO₂ 呼出量

能量代谢率	劳动强度	二氧化碳呼出量 m ³ /h	计算用量(m ³ /h)
0	睡觉	0.011	0.011
0~1	极轻劳动	0.0129~0.023	0.022
1~2	轻劳动	0.023~0.033	0.028
2~4	中劳动	0.033~0.0538	0.046
4~7	重劳动	0.0538~0.084	0.069

第二个空气污染源来自生产过程(包括加工、运输、贮存等),生产过程中产生出的粉尘、烟雾、气体、纤维质、蒸气都会造成对人体不同器官的刺激、损害、有的这种污染不仅影响效率,更严重的是损害健康,甚至影响工作安全。因此保持室内空气清洁,至少把污染限制在许可范围之内是必须的。

二)照明的影响与设计

视觉对人在工作环境中正确定向起着最重要的作用,正常人通过视觉刺激的反应大约可以得全部信息的 80%。眼睛作为接受视觉显示信息的器官,其功能及其效率的发挥依赖于照明条件和显示物的颜色特征。

1. 照明对工作人员的影响

人的视觉功能的发挥依赖于周围环境的照明水平和对比度。所谓对比度是反应观测物体与其背景的亮度差。统计分析表明,照明条件与对比度情况越好,工作中的差错率、事故率越低,而且对于效率的提高也有促进作用。图 7-8 给出了国外一项对在不同照度情况下眼睛疲劳的研究,在该项研究中,眨眼次数被用来作为衡量眼睛疲劳的指标。从图中可以看出,在照明强度增加的情况下,看出后眨眼的次数减少,说明视觉疲劳减少。

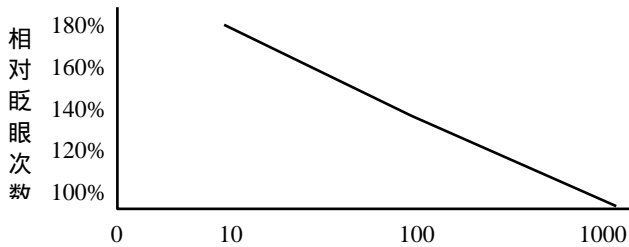


图 7-8 照明与疲劳

照明除对工作人员的效率有一定影响外,实验还表明在照明不好时人会更快地疲劳,工作效果更差。如果创造舒适的光线条件,不仅在从事手工劳动时,而且在从事要求紧张的记忆,逻辑思维的脑力劳动时,都会提高工作能力。此外照明对人的自我感觉也有影响,它主要影响工作人员的情绪状态和动机,而这些对工作能力也有影响。一般认为明亮的房间是令人愉快的,而且许多人都认为光应从左侧投射。因此人选择工作地点时都喜欢比较明亮的地方。在供休息的房间里,多数人都喜欢较暗的地区。

2. 工作场地和厂房的照明

- 工作场地上必须有适宜的照明,一般在设计照明系统时,应考虑以下几方面的因素:
- 工作附近的适当亮度;
 - 工作附近的固定照明;
 - 工作与背景之间应有适当的亮度差;
 - 避免光源或作业区域发出眩光。

根据以上这些因素，并结合科研成果和经验，确定最适当的照明条件(照明要求、照明方式选择、照明方法的确定、照明设备的安装等)。既要避免作业损失和工伤设备事故的发生，又要防止照明上的浪费。因此，合理的工作地照明应是使工作面照度适宜、均匀、稳定，而且无眩目感。良好的照明，不仅要明亮，还需要消除黑角暗道，更要避免闪光反射，并不发生过高热量。因此在进行工作地照明的组织工作时，不仅考虑光源，还要考虑距离及分布，也应考虑操作者视网膜对光线的适应性。表 7-5 所提供的数据可供参考。

表 7-5 不同工作的照明条件要求

工作分类	例	标准照度 lx	照度范围 lx
超精密工作	钟表、超精密机械加工、刺绣	1000	700~1500
精密工作	排字、汽车飞机组装、	500	300~700
普通工作	机加工、铸造、焊接	200	150~300
粗工作	木工	100	70~150
非工作	车间非工作区	50	30~70
	附属生活区及厕所	20	15~30

三) 色彩对工作人员的影响

由于色彩容易创造形象与气氛，激发心理联想和想象，因此色彩能够比普通照明产生更进一步的效果。许多国家的工业卫生、环境保护专家和劳动心理学家以及医学家证明厂房、建筑物及工作地装备的色调，对工人的劳动情绪，生产效率和作业质量有明显的影响。实践证明，色彩已不是可有可无的装饰，而是一种管理手段，可以为改善劳动环境、提高生产效率服务。

1) 颜色的表示方法

为分辨不同的颜色,人们以色调(H)、明度 (V) 和彩度 (C) 三个要素将各种各样的颜色排列起来。

色调分为 5 种基本色调：红(R)、黄(Y)、绿(G)、蓝(B)、紫(P)，加上 5 种中间色调：黄红(YR)、绿黄(GY)、蓝绿(BG)、紫蓝(PB)、红紫(RP),也叫做 10 色环。每一色调又分为 10 个等级。

明度指在一定背景下的明亮感觉，在白黑中间分成由 0 ~ 10 感觉上等距离的等级。

彩度指颜色的浓淡饱和程度。无彩色如黑、白、灰的彩度为 0。彩度分为 12 ~ 14 个等级。当某颜色达到饱和时，便为纯色。

色彩的标定方法：

$$HV/C=\text{色调/明度/彩度}$$

例如，7.5YR8/4 的颜色，就代表色调是 7.5 橙，明度 8，彩度 4。这种颜色对保护眼睛很好。

2) 颜色对人的影响

色彩对工作人员的影响表现在两个方面，一方面是对人的机体，另外一方面是对人心理的影响。

医学家从医学上证实，颜色光对人体的机能和过程会发生作用。影响到内分泌系统、含水量的平衡、血液循环和血压。红色和红的色调会使人各种器官的机能兴奋和不稳定，而蓝色和绿色色调则会使人各种器官的机能稳定。之所以颜色对人的心理会产生影响，是因为色彩与它所属的对象和物品是紧密相连的，所以，颜色对心理的影响受制于生活中积累起来的人与物交往的经验，以及对物的态度。也就是说色彩能引起某种情绪或改变某种情绪。如"明快"的颜色引起愉快感，"阴郁"的颜色可能是心情不佳的起因。一般情况下，红、橙、黄色给人以温暖感觉，这些颜色叫暖色;青、绿、紫色给人以寒冷感觉，这些颜色叫冷色。因此朝北的房间室内温度低时，可用暖色。高温车间必须用冷色。

暖色一般起积极的兴奋的心理作用。红色系列颜色对人在生理上起增加血压及脉搏的作用，在心理上有兴奋作用，并有不安感及紧张神经的付作用，因此一般不广泛使用。橙色系列颜色可以增加食欲，故适合于食堂。在暖色中黄色系列颜色的生理反映近于中性，所以可用于一般工作场所，特别是女工作人员为主的场所，用暖色为宜。

冷色一般起消极的镇静心理作用。青色系列颜色对人在生理上起降低血压及脉搏的作用，在心理上有镇静作用，有清洁感，但大面积使用会给人荒凉的感觉，所以只能配套使用。在冷色中，绿色系列颜色的生理反应近于中性，可给人以平静感。

明色调与暗色调，由反射决定的色彩亮度可能影响人的情绪。如明色调会使人产生轻松、自在、舒畅的感觉。暗色调会使人产生压抑和不安的感觉。色彩的选择除了上述的一般情况外，还与人的个别特点象年龄、性别、生活经验等有关。例如：儿童喜欢更鲜艳的色调，如红色或黄色。成年人往往更喜欢蓝色、绿色和红色。有过统计调查得出了成人所喜爱的色调顺序为：蓝、红、绿、黄、橙、紫、褐、灰、黑、白与粉色。

3) 生产环境与设备的色彩调节

对于生产用房，一般不主张把房间涂成单一的颜色或者一种色调占去主要地位。因为单一的颜色会使视觉疲劳，把表面涂成对比色是有效的。具体颜色还要适合于房间的用途。如：普通生产用房应采用明快的色调；温度很高的房间最好涂上冷色调；俱乐部和休息室应采用使人感到舒适的热色调；而会客室则可涂上暗色调。通常天花板要具较大的反射值；而墙与地板的反射值应较小。表 7-6 列举了作业环境色彩参考。

表 7-6 建议作业环境用色

场所	天花板	墙壁上部	墙壁下部
车间	7.5GY9/2	7.5GY8/2	10GY5.5/2
办公室	7.5GY9/2	7.5GY8.5/2	7.5GY7.5/2
食堂	7.5GY9/2	6YR8/3	7.5YR8/2
侯诊所	N(白)9/0	6.5YR8/2	5YR6/3
走廊	7.5GY9/2	7.5GY9/2	7.5GY7.5/3

关于设备色彩，设备不论规模大小，大体上可分为主机、辅机和动力来源，以及控制盘、座面和工作台筹。对这些进行色彩装饰时，要考虑生产用房的环境色和工作内容才能确定设备本体的色调。一般来说，设备使用中性色的绿色系列和没有刺激的灰色系列较佳，因为这种色彩能予以静感而可使工作人员眼睛不会过度疲劳。因此，要使生产用房的环境色、机械色、作业时的材料色要结合在一起考虑。此外，对于需要卫生管理的食品、饮料工厂的设备，刚采用白色或近于白色力最佳。对于搬运设备如堆高机，手推车等尽量避免深色，而以使用较明快的色彩为好。

四) 噪音状况的影响与控制

人-机工程对噪音的理解是：它对生产者形成了干扰，是使其感到不快、不安或者有伤害的一切声音信号，它主要包括城市交通噪音、工厂噪音、建筑施工噪音、以及商业、体育和娱乐场所的人群喧闹声等等。

1) 噪音对工作效率的影响

噪音直接或间接影响工作效率。在嘈杂的环境里，人们心情烦躁，工作容易疲劳，反应迟钝，注意力不容易集中等都直接影响工作效率、质量和安全。尤其是对一些非重复性的劳动影响更为明显。通过许多实验得知，在高噪音下工作，心算速度降低，遗漏和错误增加，反应时间延长，总的效率降低。降低噪音给人带来舒适感，精神轻松，工作失误减少，精确度提高。例如对打字员做过的实验表明，把噪音从 60dB 降低到 40dB，工作效率提高 30%。对排字、速记、校对等工种进行的调查发现，随着噪声级增高，错字率迅速上

升。对电话交换台调查的结果是，噪声级从 50dB 降至 30dB，差错率可减少 12%。

噪声干扰对人的脑力劳动会有消极影响，使人的精力分散。例如，让一组脑力劳动的人记住几组单词，然后复述出来。在安静的环境中他们能按顺序再现出单词，但是随着从安静转入噪声环境，思路遭到破坏，记忆的东西会按另一种顺序排列，所记单词的数量会减少。可见，从事脑力劳动的人对噪声特别敏感。分散注意力的噪声会使劳动生产率下降，可能导致劳动能力的损耗，在从事要求长时间内保持紧张注意的工作，如检查作业、监视控制作业等，噪声干扰会大大降低工作能力。

由于噪声的心理作用，分散人们的注意力以及高噪声掩饰危险、警报信号，容易引起工伤事故。实践证明，噪声较高的工厂，如钢铁厂等，噪声是酿成事故不可忽视的原因。噪声造成经济上的损失也是十分可观的。据世界卫生组织估计，仅工业噪声，每年由于低效率、缺勤、工伤事故和听力损失赔偿等，就使美国损失近 40 亿美元。

值得注意的是，声音过小也会成为问题。在一个死静无声的房间里工作，心理上会产生一种可怕的感觉，使人痛苦，这也必然影响工作。

2、噪声控制

形成噪声干扰的过程是：声源—传播途径—接收者。因此，噪声控制必须从这三方面研究解决。首先是降低声源本身的噪声级，如果技术上不可能或经济上不合算，则考虑从传播途径中来降低，如果这种考虑达不到要求或不合算，则可从接收者方面采取个人防护措施。

1) . 声源控制

减少机器设备本身的振动和噪声，通过研制和选择低噪声的设备和改进生产加工工艺，提高机械设备精度和安装技术，使发声体不发声或降低发声强度，就可以从根本上解决噪声的污染。

工厂中的噪声主要是机械噪声和空气动力性噪声。要选择低噪声机器或对现有声源采取措施，首先需要了解各种声源的性质和发声机理。

目前，我国机械制造部门正在着手制定有关低噪声产品的噪声容许标准。已开始研制和生产低噪声的各种生产设备。

2) . 限制噪声传播

在传播途径上阻断和屏蔽声波的传播，或使声源传播的能量随距离衰减，这是控制噪声，限制噪声传播的有效方法。

(1)工厂总体设计布局要合理。预计工厂建成后可能出现的厂区环境噪声情况，在总图设计时统盘予以考虑。例如，将高噪声车间、场所与噪声较低的车间、生活区分开设置，以免互相干扰，对特别强烈的噪声源，可设在厂区比较边远偏僻的地区，使噪声级最大限度地随距离自然衰减。

(2)利用天然地形，如山岗土坡、树丛草坪和已有的建筑屏障等有利条件，阻断或屏蔽一部分噪声向接收者传播。

在噪声严重的工厂、施工现场或交通道路的两旁设置有足够高的围墙或屏障，可以减弱声音的传播。绿化不仅能净化空气、美化环境，而且还可以限制噪声的传播。

(3)利用声源的指向性来控制噪声。

(4)在声源周围采用消声、隔声、吸声、隔振、阻尼等局部措施，降低噪声。

3) . 接收者的防护

当其它措施不成熟或达不到预期效果时，使用防护用具进行个人防护是一种经济、有效的方法。防护用具常见的有橡胶或塑料制的耳塞、耳罩、防噪声帽以及耳孔内塞以防声棉(加上蜡或凡士林)等，可以降低噪声 20 — 30dB。在噪声强烈的车间，也可以开辟小的隔声间，工人在其中进行仪表控制或休息。

此外，可以从劳动组织上采取轮换作业，缩短工人在高噪声环境中的工作时间。

小结 人是生产系统中一种有灵性的要素。为提高生产系统的运行效率，生产与运作管理中非常强调工作设计。本章介绍了工作设计的有关原理、方法及技术和社会两个方面的因素，讨论了通过工作的多样化、丰富化和扩大化，通过工作轮换等措施满足操作者的心理需求，保持和提高操作者对工作的热情，进而提高生产率等问题。这一章中还研究了工作测量问题，介绍了测时法、模特法、预定标准时间法及工作抽样法等制定标准作业时间和劳动定额的方法，并对每一种方法的应用要点作了简要分析。最后，本章从劳动者工作环境对生产率的影响出发，介绍了人-机工程学的基本常识，从温度、空气流通、照明、色彩、噪音对劳动者的心理和生理影响出发，简单讨论了在进行工作环境设计时应注意的问题，避免因工作环境设计不当而降低生产效率。

思考题

- 1、你认为应如何定义一个良好的工作环境。
- 2、什么是工作设计，它的重要意义是什么？
- 3、标准化和专业化的优点和缺点是什么？
- 4、试叙述工作扩大化和工作丰富化的区别。
- 5、请解释社会技术理论(sociotechnical theory)的主要含义。
- 6、许多管理人员都认为通过自动化可以提高生产效率，你的观点是什么？在引进自动化技术时应注意哪些问题？
- 7、某些日本公司制定了部门经理轮换制度，而美国的公司则强调在一个岗位上的专业化(如财务经理或生产经理)。讨论每一种策略的优缺点。
- 8、工作扩大化、职务轮换、工作丰富化的内涵是什么？
- 9、工作扩大化、职务轮换、工作丰富化的职工授权的区别是什么？
- 10、你知道哪些工作使人机界面突破了人的能力的局限？
- 11、什么是标准时间？标准时间真的标准吗？它的作用是什么？
- 12、在时间研究中，为什么要考虑操作者的效率评定？
- 13、时间研究的局限性是什么？
- 14、人-机工程可从哪些方面帮助提高生产率？讨论注重工作环境布置，如照明、色彩、噪音、温度等，对操作者产生的有利影响。

练习题

1、一个管理人员欲制定一个金属切削作业的时间定额。共对此操作观测了 50 次，每次的平均时间是 10.40 分钟，标准偏差是 1.20 分钟，操作工人的工作效率评定为 125%。假设宽放率是 16%，请确定该项作业的标准时间。

答案：15.08 分钟

2、观测一项作业，共 60 次，平均每次观测到的作业时间是 1.2 分钟。对操作者的效率评定是 95%，宽放率为 10%，在每天工作 8 小时的条件下，确定以下各种时间值。

(1) 观测到的时间；(2) 正常时间；(3) 标准时间。

答案：(1) 观测到的时间=1.2 分钟；(2) 正常时间=1.14 分钟；(3) 标准时间=1.27 分钟。

3、保险公司办公室的工作之一是通过电话与客户交谈。办公室的经理估计其中一位职员将一半的时间花在打电话上，为了证实这一点，该经理打算做一次工作抽样研究。他希望绝对

误差 6% 以内, 置信度为 98%, 问至少要观察多少次?

答案: 377 次

第三篇 生产运作系统的运行

生产运作系统的运行，主要是讲在现存的生产运作系统中，如何适应市场的变化，按用户的需求，生产合格产品和提供满意服务。要进行生产，首先要编制生产计划和生产作业计划。然后，组织制造资源，保证计划的实施。在实施中，要以计划为标准，对实际生产进度和库存进行控制。

本篇阐述年度生产计划的编制，独立需求库存控制，制造资源计划，制造业和服务业的作业计划，物资采购供应和项目的计划管理等方面的内容。

第八章 年度生产计划

计划是管理的首要职能。没有计划，企业内一切活动都会陷入混乱。在一个好的计划指导下，水平一般的下属，也会做出成效；在一个差的计划指导下，能力很强的下属，也会把工作弄糟。现代工业生产是社会化大生产，企业内部分工十分精细，协作非常严密，任何一部分生产活动都离不开其它部门而单独进行。因此，需要统一的计划来指挥企业各部分的活动。企业里没有计划，好比一个交响乐队没有乐曲，是无法进行任何生产经营活动的。

本章介绍了计划的层次，指标体系，制定计划的一般步骤，滚动式计划方法，生产能力，备货型生产企业和订货型生产企业年度生产计划的制定方法。

第一节 计划管理

按照计划来管理企业的生产经营活动，叫做计划管理。计划管理是一个过程。通常包括编制计划、执行计划、检查计划完成情况和拟订改进措施四个阶段。计划管理包括企业生产经营活动的各个方面，如生产、技术、劳资、供应、销售、设备、财务、成本等等。计划管理不仅仅是计划部门的工作，所有其它部门和车间都要通过四个阶段来实行计划管理。

一、企业计划的层次和职能计划之间的关系

（一）计划的层次

企业里有各种各样的计划，这些计划是分层次的。一般可以分成战略层计划、战术层计划与作业层计划三个层次，如图 8-1所示。

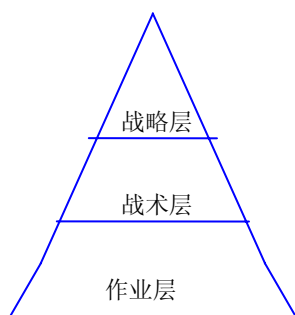


图8-1 计划的层次

战略层计划涉及产品发展方向，生产发展规模，技术发展水平，新生产设备的建造等。战术层计划是确定在现有资源条件下所从事的生产经营活动应该达到的目标，如产量、品种、产值和利润。作业层计划是确定日常的生产经营活动的安排。三个层次的计划有不同的特点，

如表8-1所示。由表中可以看出，从战略层到作业层，计划期越来越短，计划的时间单位越来越细，覆盖的空间范围越来越小，计划内容越来越详细，计划中的不确定性越来越小。

表8-1 不同层次计划的特点

	战略层计划	战术层计划	作业层计划
计划期	长(≥ 5 年)	中(一年)	短(月、旬、周)
计划的时间单位	粗(年)	中(月、季)	细(工作日、班次、小时、分)
空间范围	企业、公司	工厂	车间、工段、班组
详细程度	高度综合	综合	详细
不确定性	高	中	低
管理层次	企业高层领导	中层，部门领导	低层，车间领导
特点	涉及资源获取	资源利用	日常活动处理

（二）企业各种计划之间的关系

企业战略层计划主要是企业长远发展规划。长远发展规划是一种十分重要的计划，它关系到企业的兴衰。常言道：“人无远虑，必有近忧”，可见古人已懂得长远考虑与日常工作的关系。作为企业的高层领导，必须站得高，才能看得远。只看到眼前事务的领导者，谈不上领导。战略计划指导全局。战略计划下面最主要的是经营计划(Business Plan)，也称年度综合计划。再往下是各种职能计划。这些职能计划不是孤立的，它们之间的联系如图8-2所示。本书主要讨论的是生产计划。生产计划是实现企业经营目标的最重要的计划，是编制生产作业计划，指挥企业生产活动的龙头，又是编制物资供应计划、劳动工资计划和技术组织措施计划的重要依据。各种职能计划又是编制成本计划和财务计划的依据。成本计划和财务计划是编制经营计划的重要依据。

二、生产计划的层次与计划指标体系

（一）生产计划的层次

生产计划是一种战术性计划，它以产品和工矿配件作为计划的对象，这些都是企业向市场所提供的东西。生产作业计划是生产计划的执行计划，是指挥企业内部生产活动的计划。对于大型加工装配式企业，生产作业计划一般分成厂级生产作业计划和车间级生产作业计划两级。厂级生产作业计划的对象为原材料、毛坯和零件。从产品结构的角度来看，也可称作零件级作业计划。车间级生产作业计划的计划对象为工序，故也可称为工序级生产作业计划。表8-2列出了生产计划的层次及特征。

（二）生产计划指标体系

- 生产计划的主要指标有品种、产量、质量、产值和出产期。
- 1、品种指标 是企业在计划期内出产的产品品名、型号、规格和种类数，它涉及“生产什么”的决策。确定品种指标是编制生产计划的首要问题，关系到企业的生存和发展。
 - 2、产量指标 是企业在计划期内出产的合格产品的数量，它涉及“生产多少”的决策，关系到企业能获得多少利润。产量可以台、件、吨表示。对于品种、规格很多的系列产品，也可用主要技术参数计量，如拖拉机用马力，电动机用千瓦等。
 - 3、质量指标 是企业在计划期内产品质量应达到的水平，常采用统计指标来衡量，如一等

品率、合格品率、废品率、返修率等。

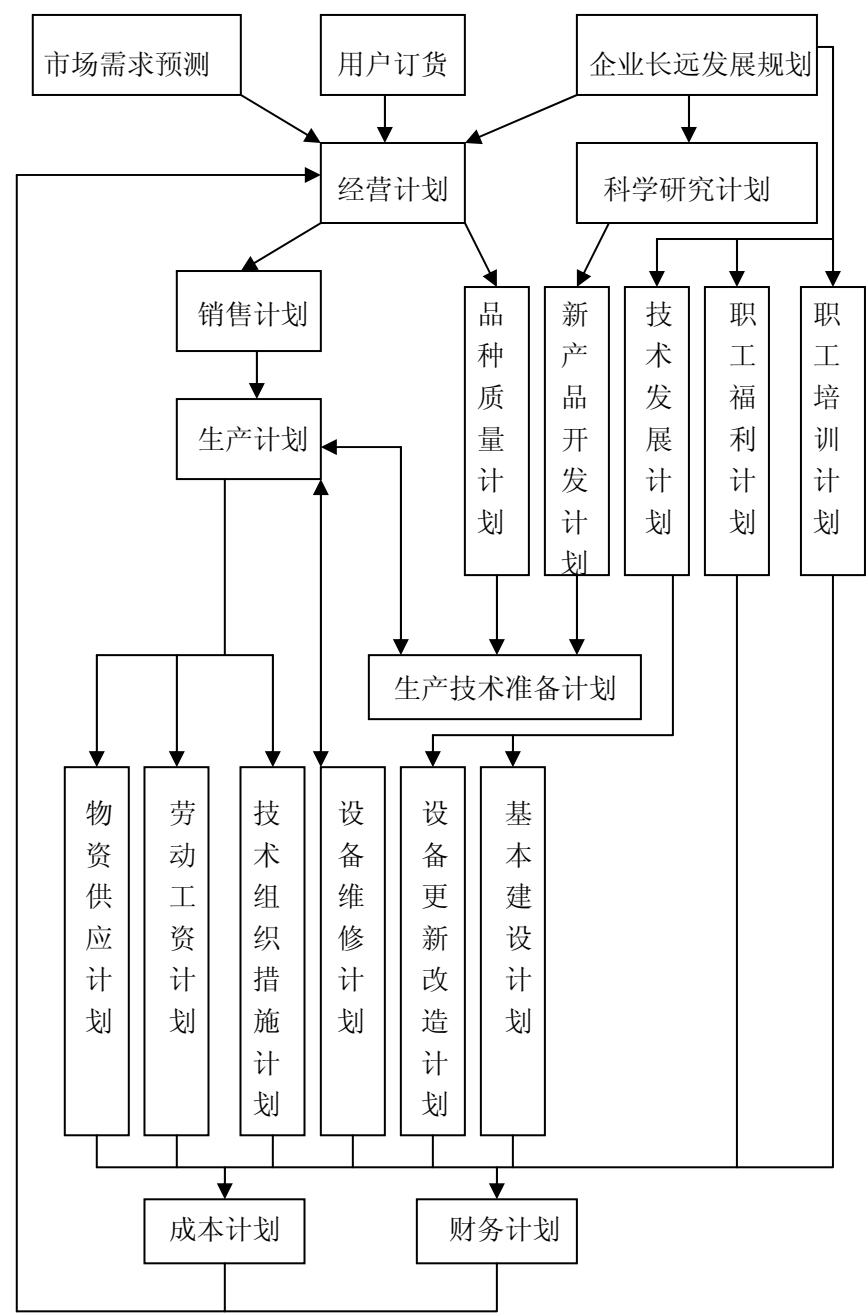


图8-2 企业各种职能计划之间的关系

4、 产值指标 是用货币表示的产量指标，能综合反映企业生产经营活动成果，以便不同行业比较。根据具体内容与作用不同，分为商品产值、总产值与净产值三种。

商品产值是企业在计划期内出产的可供销售的产品价值。商品产值的内容包括：用本企业自备的原材料生产的成品和半成品的价值；用外单位来料加工的产品加工价值；工业劳务

表8-2 生产计划的层次及特征

	计划层	执行层	操作层
计划的形式及种类	生产计划大纲 产品出产计划	零部件(毛坯)投入出产计划、 原材料(外购件)需求 计划等	双日(或周)生产作业计划、 关键机床加工计划等
计划对象	产品(假定产品、 代表产品、具体 产品)工矿配件	零件(自制件、外购件、外协 件)、毛坯、原材料	工序
编制计划的基础数据	产品生产周期、 成品库存	产品结构、加工制造提前期、 零件、原材料、毛坯库存	加工路线、加工时间、在 制品库存
计划编制部门	经营计划处(科)	生产处(科)	车间计划科(组)
计划期	一年	一月~一季	双日、周、旬
计划的时间单位	季(细到月)	旬、周、日	工作日、小时、分
计划的空间范围	全厂	车间及有关部门	工段、班组、工作地
采用的优化方法举例	线性规划、运输 问题算法、搜索 决策法则 (SDR) 、线性 决策法则(LDR)	MRP、批量算法	各种作业排序方法

的价值。只有完成商品产值指标，才能保证流动资金正常周转。

总产值是企业在计划期内完成的以货币计算的生产活动总成果的数量。总产值包括：商品产值；期末期初在制品价值的差额；订货者来料加工的材料价值。总产值一般按不变价格计算。

净产值是企业在计划期内通过生产活动新创造的价值。由于扣除了部门间重复计算，它能反映计划期内为社会提供的国民收入。净产值指标算法有两种：生产法和分配法。按生产法：净产=总产值-所有转入产品的物化劳动价值。按分配法：净产值=工资总额+福利基金+税金+利润+属于国民收入初次分配的其它支出。

5、出产期 是为了保证按期交货确定的产品出产期限。正确地决定出产期很重要。因为出产期太紧，保证不了按期交货，会给用户带来损失，也给企业的信誉带来损失；出产期太松，不利于争取顾客，还会造成生产能力浪费。

对于MTO企业，确定交货期和产品价格是主要的决策；对于MTS企业，主要是确定品种和产量。

三、 制定计划的一般步骤及滚动式计划

（一） 制定计划的一般步骤

制定计划的一般步骤如图8-3所示。

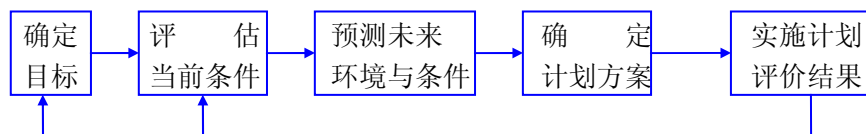


图8-3 制定计划的一般步骤

“确定目标”要根据上期计划执行的结果，目标要尽可能具体，如利润指标，市场占有率等。

“评估当前条件”是要弄清楚现状与目标有多大差距。当前条件包括外部环境 with 内部条件。外部环境主要包括市场情况、原料、燃料、动力、工具等供应情况，以及协作关系情况。内部条件包括设备状况，工人状况，劳动状况，新产品研制及生产技术准备状况，各种物资库存情况及在制品占用量等。

“预测未来的环境与条件”是根据国内外各种政治因素、经济因素、社会因素和技术因素综合作用的结果，预测未来，把握现状将如何变化，找出达成目标的有利因素及不利因素。

“确定计划方案”包括拟定多个可实现目标的可行计划方案，并从中按一定的标准，选择一个计划方案。

“实施计划，评价结果”是检查目标是否达到，如未达到是什么原因？需采取什么措施？是否需修改计划？等等。

（二）滚动式计划的编制方法

编制滚动式计划是一种编制计划的新方法。这种方法可以用于编制各种计划。

按编制滚动计划的方法，整个计划期被分为几个时间段，其中第一个时间段的计划为执行计划，后几个时间段的计划为预计计划。执行计划较具体，要求按计划实施。预计计划比较粗略。每经过一个时间段，根据执行计划的实施情况以及企业内、外条件的变化，对原来的预计计划作出调整与修改，原预计计划中的第一个时间段的计划变成了执行计划。比如，1994年编制五年计划，计划期从1995年至1999年，共五年。若将五年分成五个时间段，则1995年的计划为执行计划，其余4年的计划均为预计计划。当1995年的计划实施之后，又根据当时的条件编制1996-2000年的五年计划，其中1996年的计划为执行计划，1997-2000年的计划为预计计划。依次类推。修订计划的间隔时间称为滚动期，它通常等于执行计划的计划期。如图8-4所示。

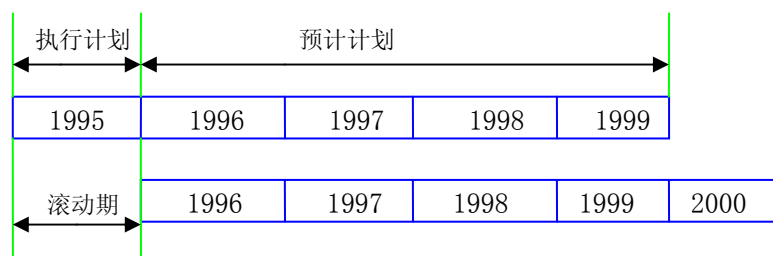


图8-4 编制滚动计划示例

滚动式计划方法有以下优点：

① 使计划的严肃性和应变性都得到保证。因执行计划与编制计划的时间接近，内、外条件不会发生很大变化，可以基本保证完成，体现了计划的严肃性；预计计划允许修改，体现了应变性。如果不是采用滚动式计划方法，第一期实施的结果出现偏差，以后各期计划如不作出调整，就会流于形式。② 提高了计划的连续性。逐年滚动，自然形成新的五年计划。

四、 生产能力

生产能力是指企业的设施，在一定时期(年、季、月)内，在先进合理的技术组织条件下所能生产一定种类产品的最大数量。对于流程式生产，生产能力是一个准确而清晰的概念。如某化肥厂年产30万吨合成氨，这是设备的能力和实际运行时间决定的。对于加工装配式生产，生产能力则是一个模糊的概念。不同的产品组合，表现出的生产能力是不一样的。大量生产，品种单一，可用具体产品数表示生产能力；对于大批生产，品种数少，可用代表产品数表示生产能力；对于多品种、中小批量生产，则只能以假定产品(Pseudo-product)的产量来表示生产能力。

生产能力有设计能力、查定能力和现实能力之分。设计能力是建厂或扩建后应该达到的最大年产量；查定能力是原设计能力已不能反映实际情况，重新调查核实的生产能力；现实能力为计划年度实际可达到的生产能力，是编制年度生产计划的依据。国外有的人将生产能力分成固定能力(Fixed capacity)和可调整能力(Adjustable capacity)两种，前者指固定资产所表示的能力，是生产能力的上限；后者是指以劳动力数量和每天工作时间和班次所表示的能力。

(一) 代表产品与假定产品

代表产品是结构与工艺有代表性，且产量与劳动量乘积最大的产品。在多品种生产企业里，产品的结构、工艺、劳动量差别很大，难以确定代表产品，这时可采用假定产品。假定产品是按各种具体产品工作量比重构成的一种实际上不存在的产品。

设 t_{pj} 为假定产品在j机床加工的台时定额， n_i 为具体产品的年计划产量， t_{ij} 为i产品在j机床加工的单位产品台时定额，则 $t_{pj} = \sum_i \frac{n_i}{N} t_{ij}$ ，N为各种产品年产量总和。

设有A、B、C和D 4种产品，其计划年产量和各产品的单位产品台时定额如表8-3所示。现以产品C 为代表产品，将各产品的计划年产量折算成代表产品产量：

表8-3 代表产品和假定产品

产品	计划年产量	单位产品台时定额	折换成代表产品C的产量	折换成假定产品的产量
A	50	20	25	27
B	100	30	75	82
C	125	40	125	136
D	25	80	50	55
合计	300		275	300

A: $50 \times 20 / 40 = 25$ (台); B: $100 \times 30 / 40 = 75$ (台);

D: $25 \times 80 / 40 = 50$ (台)。

即,按工作量可将50台产品A折算成25台代表产品C,将100台产品B折算成75台代表产品C,可将25台产品D折算成50台代表产品C。这样,A、B、C、D四种产品共300台,折算成代表产品 $(25 + 75 + 125 + 50) = 275$ 台。

现以表8-3所示的产品组合为对象,计算假定产品。首先,计算假定产品的台时定额:

$$t_{pj} = (50 \times 20 + 100 \times 30 + 125 \times 40 + 25 \times 80) \div 300 = 36.67 \text{ (台时)}$$

然后,将各产品的计划产量折合成假定产品的产量:

$$A : 50 \times 20 / 36.67 = 27; \quad B : 100 \times 30 / 36.67 = 82;$$

$$C : 125 \times 40 / 36.67 = 136; \quad D : 25 \times 80 / 36.67 = 55 .$$

按假定产品得出的产品年产量为 $27 + 82 + 136 + 55 = 300$,与具体产品得出的年产量之和相等,这不是巧合,因为,

$$\frac{\sum n_i t_{ij}}{t_{ij}} = \frac{\sum n_i t_{ij}}{\frac{\sum n_i t_{ij}}{N}} = N$$

于是,只要知道各种具体产品的年产量之和,就能知道假定产品的年产量。

在采用自上而下(Top-down)的生产计划编制方法时,先用假定产品(如电视机厂的“电视机”,不涉及具体型号,则为假定产品)进行优化,然后将优化的结果换算成具体产品的产量。换算时只要将假定产品的产量乘以权数 n_i / N 。

采用假定产品需要知道各种产品的计划年产量和单位产品台时定额。

(二) 生产能力与生产任务(负荷)的平衡

生产能力与生产任务平衡包括三个方面内容:将生产任务与生产能力进行比较;按比较的结果采取措施;计算生产能力利用指标。

比较生产任务与生产能力有两种方法:用产品数和用台时数。后者用得较多。对于单品种生产企业,可用具体产品数进行比较:

设备生产能力 = 设备年有效工作小时数 / 单位产品台时定额

设备年有效工作小时数 = 全年工作日数 \times 每天工作小时数 \times (1 - 设备停修率)。

取最小的设备生产能力(台数)作为生产线或企业的生产能力,将其与计划年产量比较。

对于多品种生产,可用代表产品或假定产品,但计算较复杂,不如用台时数计算方便。

$$j \text{ 设备生产任务} = \sum n_i t_{ij} (1 + r_i)$$

式中, r_i 为 i 产品补废台时损失系数,由统计确定。

将 j 设备年有效工作小时数与 j 设备生产任务台时数比较,可知能力是否够。需说明的是,这是一种能力与任务总量上的比较。由于需求不均匀,即使总量上平衡,某段时间内负荷仍可能超过能力。总量平衡还有一个问题是,无论作业计划安排得如何好,机床的空闲是不可避免的。因此,在实际应用时,有的企业将能力再打一个折扣,如任务量达到能力的90%,就算平衡了。

当任务能力不平衡时,一种方法是增加能力,如加班加点。另一种方法是减少、调整任务或转包一部分任务给其它企业。

生产能力利用指标有多种,其中有代表性的是生产能力综合利用系数,它等于生产任务与生产能力之比。

第二节 MTS企业年度生产计划的制定

备货型生产企业编制年度生产计划的核心内容是确定品种和产量，因为有了品种和产量就可以计算产值。备货型生产无交货期设置问题，因顾客可直接从成品库提货。大批和中批生产一般是备货型生产。

一、品种与产量的确定

(一) 品种的确定

对于大量大批生产，品种数很少，而且既然是大量大批生产，所生产的产品品种一定是市场需求量很大的产品。因此，没有品种选择问题。

对于多品种批量生产，则有品种选择问题。确定生产什么品种是十分重要的决策。

确定品种可以采取象限法和收入利润顺序法。象限法是美国波士顿顾问中心提出的方法，该法是按“市场引力”和“企业实力”两大类因素对产品进行评价，确定对不同产品所应采取的策略，然后从整个企业考虑，确定最佳产品组合方案。这里不作详细介绍。

收入利润顺序法是将生产的多种产品按销售收入和利润排序，并将其绘在收入利润图上，表8-4所示的8种产品的收入和利润顺序，可绘在图8-4上。

由图8-4可以看出，一部分产品在对角线上面，一部分产品在对角线上方，还有一部分

表8-4 销售收入和利润次序表

产品代号	A	B	C	D	E	F	G	H
销售收入	1	2	3	4	5	6	7	8
利润	2	3	1	6	5	8	7	4

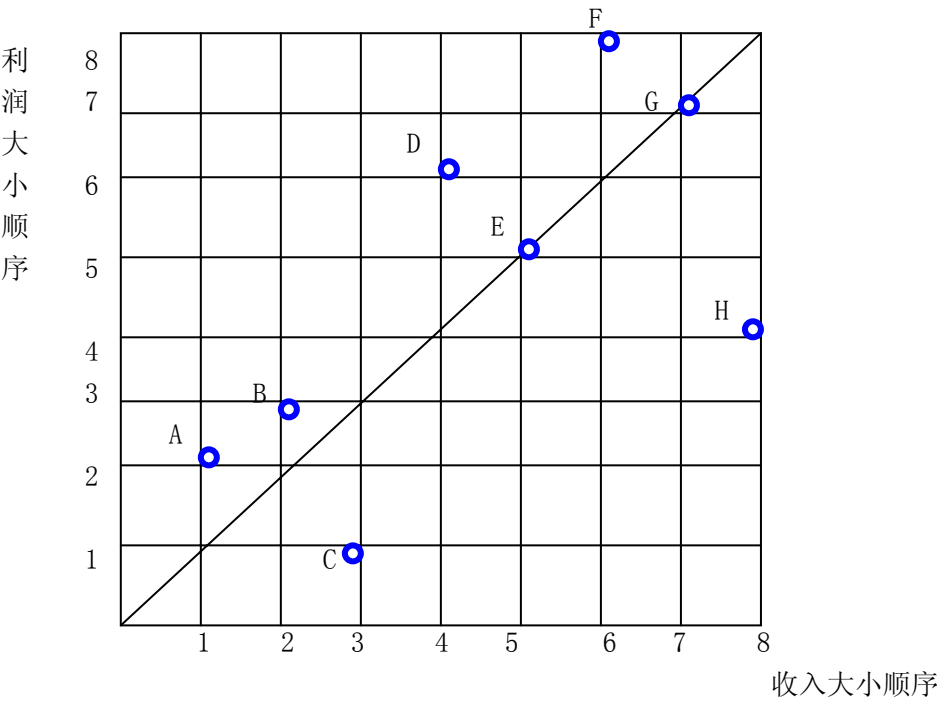


图8-4 收入-利润次序图

产品在对角线下方。销售收入高，利润也大的产品，即处于图8-4左下角的产品，应该生产。相反，对于销售收入低，利润也小的产品(甚至是亏损产品)，即处于图8-4右上角的产品，需要作进一步分析。其中很重要的因素是产品生命周期。如果是新产品，处于导入期，因顾客不了解，销售额低；同时，由于设计和工艺未定型，生产效率低，成本高，利润少，甚至亏损，就应该继续生产，并作广告宣传，改进设计和工艺，努力降低成本。如果是老产品，处于衰退期，就不应继续生产。除了考虑产品生命周期因素以外，还可能有其它因素，如质量不好，则需提高产品质量。

一般来说，销售收入高的产品，利润也高，即产品应在对角线上，对于处于对角线上方的产品，如D和F，说明其利润比正常的少，是销价低了，还是成本高了？需要考虑。反之，处于对角线下方的产品，如C和H，利润比正常的高，可能由于成本低所致。可以考虑增加销售量，以增加销售收入。

(二) 产量的确定

品种确定之后，确定每个品种的产量，可以采用线性规划方法。利用线性规划，可求得在一组资源约束下(生产能力、原材料、动力等)，各种产品的产量，使利润最大。例如有n种产品品种，m种资源约束，可采用以下形式的线性规划来优化：

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^n (t_i - c_i) x_i$$

满足：

$$\sum_{i=1}^n a_{ik} x_i \leq b_k, k = 1, 2, \dots, m.$$

$$x_i \leq U_i$$

$$x_i \geq L_i, L_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n.$$

式中， x_i — 产品i的产量；

b_k — 资源k的数量；

a_{ik} — 生产一个单位产品i需资源k的数量；

U_i — 产品i最大潜在销售量(通过预测得到)；

L_i — 产品i的最小生产量；

r_i — 产品i的单价；

c_i — 产品i的单位可变成本。

线性规划可用单纯形法求解。关于单纯形法，运筹学中已有详细介绍，本书不再赘述。

二、产品出产计划的编制

确定了产品品种与产量之后，再安排产品的出产时间，就得到了产品出产计划。前一章我们讲了需求预测。需要说明的是预测的需求并不一定等于生产需求。因生产出来的产品还需经过包装、发运，才能到批发商手中，然后又从批发商到零售商，最后才能到顾客手中。因此，生产必须提前一段时间进行，才能满足市场需求。另外，因能力所限，生产并不一定要满足所有的需求。

编制产品出产计划需要解决的一个基本问题是，如何处理非均匀需求。市场需求的起伏和波动是绝对的，而企业内部组织生产又要求均衡，要解决这个矛盾，就要研究处理非均匀需求的策略。

（一） 处理非均匀需求的策略

处理非均匀需求有三种纯策略：改变库存水平、改变工人的数量和改变生产率 (Production rate)。

1. 改变库存水平 就是通过库存来调节生产，而维持生产率和工人数量不变。如图8-5所示，当需求不足时，由于生产率不变，库存量就会上升。当需求过大时，将消耗库存来满足需要，库存就会减少。这种策略可以不必按最高生产负荷配备生产能力，节约了固定资产投资，是处理非均匀需求常用的策略。成品库存的作用好比是水库，可以蓄水和供水，既防旱又防涝，保证水位正常。但是，通过改变库存水平来适应市场的波动，会产生维持库存费；同时，库存也破坏了生产的准时性。对纯劳务性生产，不能采用这种策略。纯劳务性生产只能通过价格折扣等方式来转移需求，使负荷高峰比较平缓。

2. 改变生产率 就是要使生产率与需求率匹配。需要多少就生产多少，这是准时生产制 (Just-in-Time) 所采用的策略，它可以消除库存。忙时加班加点，闲时把工人调到其它生产单元或做清理工作。当任务超出太多时，可以采取转包或变制造为购买的办法。这种策略引

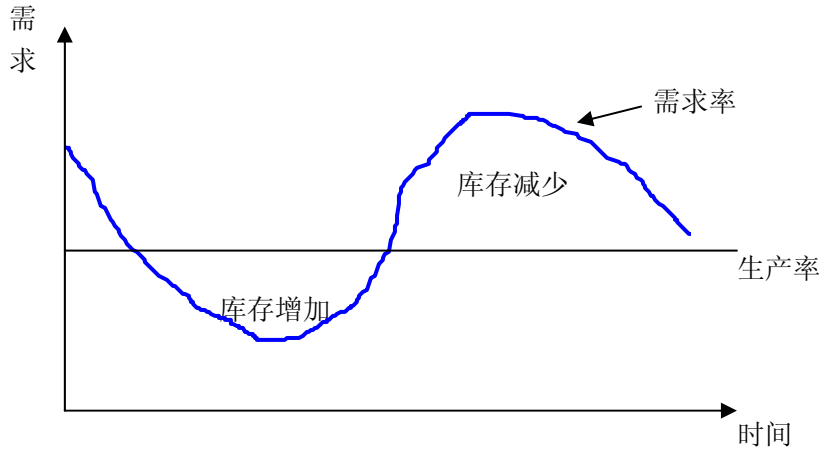


图8-5 通过改变库存水平来吸收需求波动

起的问题是生产不均衡，同时会多付加班费。

3. 改变工人数量 就是在需求量大时多雇工人，在需求量小时裁减工人。这种做法不一定永远可行。对技术要求高的工种一般不能采取这种策略，因技术工人不是随时可以雇到的。另外，工人队伍不稳定会引起产品质量下降和一系列的管理问题。

以上三种纯策略可以任意组合成无数混合策略。比如，可以将改变工人的数量与改变库存水平结合起来。混合策略一般要比纯策略效果好。究竟采用什么样的策略，一般要通过反复试验法。

（二） 反复试验法(The Trial-and-Error Method)

反复试验法可能是在管理实践中应用最广的方法。面对复杂的管理对象，人们很难找到优化的方法来处理，于是通过直觉和经验得出一种方法。将这种方法用于实践，取得经验，发现问题，对方法作出改进，再用于实践，……。如此反复。虽然，不一定能得到最优解，但是一定可得到可行的且令人满意的结果。在制定生产计划中，也可采用反复试验法。下面将以一个例子说明如何应用反复试验法（本例摘自 James B. Dilworth 编的

Production and Operations Management, Fourth Edition, Random House, Inc.)。

某公司将预测的市场需求转化为生产需求，如表8-5 所示。该产品每件需20小时加工，工人每天工作8小时。 招收工人需广告费、考试费和培养费，折合雇一个工人需300元，裁减一个工人需付解雇费200元。假设生产中无废品和返工。 为了应付需求波动，有1000件产品作为安全库存。单位维持库存费为6 元/件·月。设每年的需求类型相同。因此在计划年度开始时的工人数等于计划年度结束时的工人数。相应地，库存量也近似相等。现比较以下不同的策略下的费用。

表8-5 预测的需要量

(1) 月份	(2) 预计月生产需求量 (件)	(3) 累计需求量(件)	(4) 每月正常工作日数 (天)	(5) 累计正常工作 日数(天)
4	1,600	1,600	21	21
5	1,400	3,000	22	43
6	1,200	4,200	22	65
7	1,000	5,200	21	86
8	1,500	6,200	23	109
9	2,000	8,700	21	130
10	2,500	11,200	21	151
11	2,500	13,700	20	171
12	3,000	16,700	20	191
1	3,000	19,700	20	211
2	2,500	22,200	19	230
3	2,000	24,200	22	252

1. 仅改变工人的数量 采取这种纯策略需假定随时可以雇到工人，这种策略可见表8-6，总费用为200, 000元。

表8-6 仅改变工人数量的策略

(1) 月 份	(2) 预计生产 月需求量 (件)	(3) 所需生 产时间 20×(2)	(4) 月生产天 数	(5) 每人每月 生产小时 8×(4)	(6) 需 工 人 数 (3)÷(5)	(7) 月初 增 加工人 数	(8) 月初 裁 减 工人 数	(9) 变更费 300 ×(7)或200 ×(8)
4	1,600	32,000	21	168	190		37	7,400
5	1,400	28,000	22	176	159		31	6,200
6	1,200	24,000	22	176	136		23	4,600
7	1,000	20,000	21	168	119		17	3,400
8	1,500	30,000	23	184	163	44		13,200
9	2,000	40,000	21	168	238	75		22,500
10	2,500	50,000	21	168	298	60		18,000

11	2,500	50,000	20	160	313	15		4,500
12	3,000	60,000	20	160	375	62		18,600
1	3,000	60,000	20	160	375			0
2	2,500	50,000	19	152	329		46	9,200
3	2,000	40,000	22	176	227		102	20,400
							256	128,000元

维持1000件安全库存需 $1000 \times 6 \times 12 = 72,000$ 元

总费用 $128,000 + 72,000 = 200,000$ 元

2. 仅改变库存水平 这种策略需允许晚交货(back-ordering)。由于252天内需生产24200件产品，则平均每个工作日生产96.03件，需 $96.03 \times 20 = 1920.63$ 小时，每天需工人 $1920.63 \div 8 = 240.08$ 人。取241人，则每天平均生产 $241 \times 8 \div 20 = 96.4$ 件产品。仅改变库存水平的策略如表8-7所示。总费用为209,253元。

表8-7 仅改变库存水平的策略

(1) 月份	(2) 累计生 产天数	(3) 累计产量 (2)× 96.4	(4) 累计生产需求	(5) 月末库存 (3)-(4)+1000	(6) 维持库存费 (月初库存量+月末库存量)/2
4	21	2,024	1,600	1,424	7,272
5	43	4,145	3,000	2,145	10,707
6	65	6,266	4,200	3,066	15,633
7	86	8,290	5,200	4,090	21,468
8	109	10,508	6,200	4,808	26,694
9	130	12,532	8,700	4,832	28,920
10	151	14,556	11,200	4,356	27,564
11	171	16,484	13,700	3,784	24,420
12	191	18,412	16,700	2,712	19,488
1	211	20,340	19,700	1,640	13,056
2	230	22,172	22,200	972	7,836
3	252	24,293	24,200	1,093	6,195

209,253

3. 一种混合策略 混合策略可以多种多样，这里仅讲一种(表8-8)。考虑到需求的变化，在前一段时间采取相对低的均匀生产率，在后一段时间采取相对高的均匀生产率。4月初需生产1600件，每天需生产76.19件。设前一段时间采用每天80件的生产率，则每天需 $80 \times 20 \div 8 = 200$ 工人。生产到8月底，累计109天生产了 $109 \times 80 = 8720$ 件。在余下 $(252 - 109) = 143$ 天内。要生产 $(24200 - 8720) = 15480$ 件产品，平均每天生产 $15480 \div 143 = 108.25$ 件，需 $108.25 \times 20 \div 8 = 270.6$ 人，取271人。因此，9月初要雇71人，每天可生产 $271 \times 8 \div 20 = 108.4$ 件产品。年末再裁减71人。这种混合策略的总费用为179,275元。

表8-8 一种混合策略

(1) 月 份	(2) 累计 生产	(3) 生产率	(4) 累计产量	(5) 累计 需求	(6) 月末库存 (4)-(5)	(7) 维持库存 费	(8) 变更工人数费用
---------------	-----------------	------------	-------------	--------------	------------------------	------------------	----------------

	天数				+1000		
4	21	80	1,680	1,600	1,080	6,240	71×300=21,300
5	43	80	3,440	3,000	1,440	7,560	
6	65	80	5,200	4,200	2,000	10,320	
7	86	80	6,880	5,200	2,680	14,040	
8	109	80	8,720	6,200	3,020	17,100	
9	130	108.4	10,996	8,700	3,296	18,948	
10	151	108.4	13,273	11,200	3,073	19,107	
11	171	108.4	15,441	13,700	2,741	17,442	
12	191	108.4	17,609	16,700	1,909	13,950	
1	211	108.4	19,777	19,700	1,077	8,958	
2	230	108.4	21,836	22,200	636	5,139	71×200=14,200
3	252	108.4	24,221	24,200	1,021	4,971	
						143,775	35,500

反复试验法不能保证获得最优策略，但可以不断改善所采取的策略，读者还可改变混合策略来减少总费用。

（三）不同生产类型产品出产计划的编制方法

按前面讲的处理非均匀需求的策略，可以编制产品出产计划。由于不同的生产类型有不同的特点，在编制产品出产计划的方法上也有一定差别。

1. 大量大批生产企业 由于其品种数很少，产量大，生产的重复程度高，大量大批生产是典型的备货型生产，其生产的直接目标是补充成品库存。采用改变库存水平的策略较好。这样可以通过成品库将市场与生产系统隔开，使生产率均匀，保证生产的节奏性。

有三种方式分配各季各月的产量：

①均匀分配方式。将全年计划产量按平均日产量分配给各月。这种方式适用于需求稳定，生产自动化程度较高的情况。

②均匀递增分配方式。将全年计划产量按劳动生产率每季(或每月)平均增长率，分配到各月生产。这种方式适用于需求逐步增加，企业劳动生产率稳步提高的情况。

③抛物线递增分配方式。将全年产量按开始增长较快，以后逐渐缓慢的递增方式安排各月任务。

2. 成批生产企业

由于品种较多，各种产品产量多少相差较大，不能采用大量大批生产企业的方式安排生产。具体方法有：

①对于订有合同的产品，要按合同规定的数量与交货期安排，以减少库存。

②对于产量大，季节性需求变动小的产品，可按“细水长流”方式安排。

③对于产量小的产品，要权衡库存费用与生产准备费用，确定投产批量，做到经济合理。

④同一系列不同规格的产品，当产量较少时，尽可能安排在同一时期内生产，这样可以集中组织通用件的生产。

第三节 MTO企业年度生产计划的确定

单件小批生产(Job-shop production)是典型的订货型生产，其特点是按用户订单的要求，生产规格、质量、价格、交货期不同的专用产品。

单件小批生产方式与大量大批生产方式都是典型的生产方式。大量大批生产以其低成本、高效率与高质量取得的优势，使得一般中等批量生产难以与之竞争。但是，单件小批生产却以其产品的创新性与独特性，在市场中牢牢地站稳了脚跟。其原因主要有三个：

①大量大批生产中使用的各种机械设备是专用设备，专用设备是以单件小批生产方式制造的。

②随着技术的飞速进步和竞争的日益加剧，产品生命周期越来越短，大量研制新产品成了企业赢得竞争优势的关键。新产品即使是要进行大量大批生产，但在研究与试制阶段，其结构、性能、规格还要作各种改进，只能是单件小批生产方式。

③单件小批生产制造的产品大多为生产资料，如大型船舶、电站锅炉、化工炼油设备、汽车厂的流水线生产设备等，它们是为新的生产活动提供的手段。

对于单件小批生产，由于订单到达具有随机性，产品往往又是一次性需求，无法事先对计划期内的生产任务作总体安排，也就不能应用线性规划进行品种和产量组合上的优化。但是，单件小批生产仍需要编制生产计划大纲。生产计划大纲可以对计划年度内企业的生产经营活动和接受订货决策进行指导。一般来讲，编制大纲时，已有部分确定的订货，企业还可根据历年的情况和市场行情，预测计划年度的任务，然后根据资源的限制进行优化。单件小批生产企业的生产计划大纲只能是指导性的，产品出产计划是按订单作出的。因此，对单件小批生产企业，接受订货决策十分重要。

一、 接受订货决策

当用户订单到达时，企业要作出接不接，接什么，接多少和何时交货的决策。在作出这项决策时不仅要考虑企业所能生产的产品品种，现已接受任务的工作量，生产能力与原材料、燃料、动力供应状况，交货期要求等，而且要考虑价格是否能接受。因此，这是一项十分复杂的决策。其决策过程可用图8-6描述。

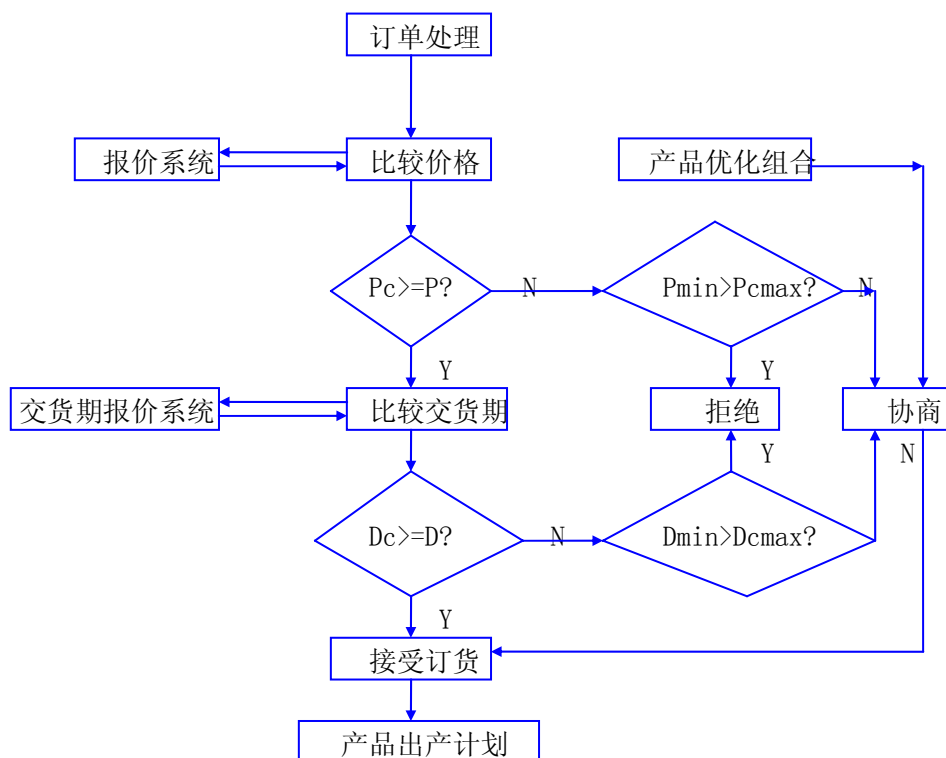


图8-6 订货决策过程

用户订货一般包括要订货的产品型号、规格、技术要求、数量、交货时间 D_c 和价格 P_c 。在顾客心里可能还有一个最高可以接受的价格 $P_{c\max}$ 和最迟的交货时间 $D_{c\max}$ 。超过此限，顾客将另寻生产厂家。

对于生产企业来说，它会根据顾客所订的产品和对产品性能的特殊要求以及市场行情，运用它的报价系统(计算机和人工的) 给出一个正常价格 P 和最低可接受的价格 P_{\min} ， 也会根据现有任务情况，生产能力和生产技术准备周期、产品制造周期，通过交货期设置系统(计算机和人工的) 设置一个正常条件下的交货期和赶工情况下最早的交货期 D_{\min} 。

在品种、数量等其它条件都满足的情况下，显然，当 $P_c > P$ 和 $D_c > D$ 时，订货一定会接受。接受的订货将列入产品出产计划。当 $P_{\min} > P_{c\max}$ 或者 $D_{\min} > D_{c\max}$ ，订货一定会被拒绝。若不是这两种情况，就会出现很复杂的局面，需经双方协商解决。其结果是可能接受，也可能拒绝。较紧的交货期和较高的价格，或者较松的交货期和较低的价格，都可能成交。符合企业产品优化组合的订单可能在较低价格下成交，不符合企业产品优化组合的订单可能在较高价格下成交。

从接受订货决策过程可以看出，品种、数量、价格与交货期的确定对MT0企业十分重要。

二、 品种、价格与交货期的确定

(一) 品种的确

对于订单的处理，除了前面讲的即时选择的方法之外，有时还可将一段时间内接到的订单累积起来再作处理，这样做的好处是，可以对订单进行优选。

对于小批生产也可用线性规划方法确定生产的品种与数量。对于单件生产，无所谓产量问题，可采用0-1 型整数规划来确定要接受的品种。例如，已接到A、B和C三种订货，其加工时间和可获利润如表8-9所示，能力工时为40个时间单位，应该接受哪些品种最有利？这是一个0-1型整数规划问题。决策变量取0，表示该品种不生产；取1，表示生产。其数学模型为：

$$\text{Max } 10x_a + 13x_b + 25x_c$$

满足：

$$12x_a + x_b + x_c \leq 40$$

$$x_a, x_b, x_c = 0 \text{ 或 } 1$$

表8-9 产品的加工时间和利润

产品	A	B	C
加工时间	12	8	25
利润	10	13	25

0-1型整数规划的解法十分复杂，对于n个品种，有 2^n 种组合情况。对于规模较大的实例，在正常的时间范围内是得不到最优解的。因此，需要采用启发式算法。有一种启发式算法是按（利润/加工时间）的值从大到小排序，即优先考虑单位加工时间的利润最大的任务。对本例：

A : $10/12=0.83$ B : $13/8=1.63$ C : $25/25=1$.

于是，得到优选顺序为B—C—A。选择B，余下能力工时为32；再选择C，余下能力工时为7，不足以加工产品A。只能选择B和C，结果获利38。

0-1型整数规划问题的一般形式为：

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum p_i x_i \\ \text{满足} \quad & \sum t_{ij} x_i \leq c_j \\ & x_i = 0 \text{或} 1; \\ & i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

式中， p_i — 产品i的单位利润；

t_{ij} — 单位产品i对资源j的需要量；

c_j — j种资源可供量。

（二）价格的确定

确定价格可采用成本导向法和市场导向法。成本导向法是以产品成本作为定价的基本依据，加上适当的利润及应纳税金、得出产品价格的一种定价方法。这是从生产厂家的角度出发的定价法，其优点是可以保证所发生的成本得到补偿。但是，这种方法忽视了市场竞争与供求关系的影响，在供求基本平衡的条件下比较适用。

市场导向法是按市场行情定价，然后再推算成本应控制的范围。按市场行情，主要是看具有同样或类似功能产品的价格分布情况，然后再根据本企业产品的特点，确定顾客可以接受的价格。按此价格来控制成本，使成本不超过某一限度，并尽可能小。

对于单件小批生产的机械产品，一般采用成本导向定价法。由于单件小批生产的产品的独特性，它们在市面上的可比性不是很强。因此，只要考虑少数几家竞争对手的类似产品的价格就可以了。而且，大量统计资料表明，机械产品原材料占成本比重的60-70%，按成本定价是比较科学的。

由于很多产品都是第一次生产，而且在用户订货阶段，只知产品的性能、容量上的指标，并无设计图纸和工艺，按原材料和人工的消耗来计算成本是不可能的。因此，往往采取类比的方法来定价。即按过去已生产的类似产品的价格，找出一大类产品价格与性能参数、重量之间的相关关系，来确定将接受订货的产品价格。

（三）交货期的确定

出产期与交货期的确定对单件小批生产十分重要。产品出产后，经过发运，才能交到顾客手中。交货迅速而准时可以争取顾客。正确设置交货期是保证按期交货的前提条件。交货期设置过松，对顾客没有吸引力，还会增加成品库存；交货期设置过紧，超过了企业的生产能力，造成误期交货，会给企业带来经济损失和信誉损失。

现将常用的交货期设置方法作一简单介绍：

1. CON(Constant): $d_i = r_i + k$

式中, d_i — 产品(工件) i 的完工期限;

r_i — 产品(工件) i 的到达时间或准备就绪时间;

k — 固定常量, 对所有产品都一样, 由经验决定。

CON 法建立在所有产品从接受订货后的生产技术准备与生产制造所花的时间都是一样假设的基础上。显然, 这是一种比较粗略的处理方法。

2. RAN(Random): $d_i = r_i + e_i$

式中, e_i — 随机数。其余符号同前。

RAN法是指交货期是按顾客要求决定的, 因而具有随机性。完全按顾客要求定交货期的情况也比较少。

3. TWK(Total work content): $d_i = r_i + k p_i$

式中, k — 系数, 由经验确定, 一般取3~8;

p_i — 产品(工件) i 的总工作量。其余符号同前。

TWK法考虑了不同产品的工作量, 在实际上用得较多。

4. SLK(Slack): $d_i = r_i + p_i + k$

式中, k — 固定常量。

SLK法与CON法不同之处是将产品的总工作量分离出来, 体现了不同产品之间的差别。

5. NOP(Number of operations): $d_i = r_i + k n_i$

式中, n_i — 产品(工件) i 的工序数。其余符号同前。

NOP法实际上是认为排队时间是主要的。

还有一些其他设置交货期的方法, 这里就不一一介绍了。

对单件小批量生产, 设置交货期不仅要考虑产品从投料到出产之间的制造周期, 而且还要考虑包括设计、编制工艺、设计制造工装、准备大型铸锻件和采购供应原材料等活动所需的生物技术准备周期。然而, 由于产品的独特性, 生物技术准备周期和制造周期也难以估计。因此, 统计方法一直是最广泛使用的方法。

小结

本章是第三篇生产运作系统的运行中的第一章, 主要讨论年度生产计划。第一节论述了企业计划和生产计划的层次、不同层次计划的特点以及各种职能计划之间的关系, 制定计划的一般步骤和滚动式计划编制方法, 讨论了生产能力、代表产品和假定产品的概念。第二节阐述了备货型生产企业年度生产计划的制定方法, 内容主要涉及品种与产量的确定, 处理非均匀需求的3种纯策略(仅改变库存, 仅改变生产率和改变劳动力数量)、混合策略和反复试验法。第三节讨论订货型生产企业年度生产计划的制定方法, 内容主要涉及接受订货决策以及品种、价格、交货期的确定。

思考题

1 什么是计划管理? 企业计划的层次如何划分? 各种职能计划之间有什么联系?

- 2 叙述生产计划的层次及内容。生产计划的主要指标及含义是什么？
- 3 何谓滚动式计划方法？它有什么优点？
- 4 什么是代表产品？什么是假定产品？如何进行生产任务与生产能力的平衡？
- 5 MTS企业和MTO企业如何确定产品品种与数量？
- 6 处理非均匀需求有哪几种策略？其应用条件及限制如何？

练习题

- 1 某企业生产两种产品，A和B，产品的台时定额及产品出产试计划如下表所示。

产品台时定额			
产品A		产品B	
机床号	台时定额	机床号	台时定额
16	2.1	10	2.8
19	6.8	18	1.3
25	4.1	19	3.6
41	7.2	35	2.1
52	3.9	52	1.7

产品出产试计划						
产品	1月	2月	3月	4月	5月	6月
A	400	200	250	350	200	100
B	0	300	350	200	300	300

- ①计算机床19和52的负荷；
- ②调整产品出产试计划，使负荷尽可能均衡，但要满足1月底至少出产400台A，另外750台A和1100台B必须在5月底前出产，并重复①。
- 2 对本章所讲例题制定一种混合策略，使总费用低于179,275元。

第九章 独立需求库存控制

什么是库存?为什么要进行库存控制?独立需求库存问题与相关需求库存问题有何差异?库存控制的中心问题是什么?怎样实施库存控制?这些都是本章将回答的问题。

本章从分析生产过程的物料流入手,在介绍了库存的概念、作用及对待库存的不同态度之后,讨论了处理不同库存问题的模型与方法。

第一节 库存

“库存”(Inventory)有时被译为“存贮”或“储备”,它无论对制造业还是对服务业都十分重要。传统意义下的库存是指存放在仓库中的物品,指象蓄水池中的水一样的暂时派不上用场的备用品。库存是既有利又有弊的。库存一方面占用了大量的资金,减少了企业利润,甚至导致企业亏损;另一方面它能防止短缺,有效地缓解供需矛盾,使生产尽可能均衡地进行。它有时还有“居奇”的投机功能,为企业盈利。本节将从物料流开始讨论库存的本质和库存控制问题。

一、物料流

大多数生产运作过程都伴随着物料流动。从各种原材料供应商到消费者的合理有效的物料流不仅能满足消费者的需求,而且有利于提高企业的利润。

众所周知,任何企业都不是孤立地存在于社会之中的,它必定与周围的企业发生联系。这种联系是通过物料流、信息流、人员流和资金流来实现的。企业的物料流不是封闭的,而是开放的。机械厂的原材料主要是各种钢材,其产品主要是各种机械设备。对机械厂而言,从钢材到机械设备之间要经过一系列物料转换,物料转换的过程构成了企业内部的物料流。这一物料流从内部看起来是有头有尾的,是封闭的。然而,各种钢材是钢铁厂的产品,钢铁通过矿石冶炼而成,而开采矿石又离不开各种机械。这样,物料流将各种不同的企业联系在一起,形成一个复杂的“供需网络”。从宏观上考虑,封闭的、单一的物料流是不存在的。相反,各种错综复杂的物料流构成的网络却遍布于各行各业。每个企业的物料流都只是这个大网络中的一小部分。

图9-1所示为一典型的、经过简化的生产企业的物料流。企业要按计划生产产品,首先要采购各种原材料。原材料进厂之后,可能直接进入生产现场,被各种机器设备加工,也可能进入原材料仓库存放起来,供以后生产用。原材料投入生产之后,变成各种在制品。不论在制品是处于不断运动状态,还是处于停顿状态,它们都构成在制品库存。物料在生产过程中不断加工,最终形成产品。产品一时销售不出去,就形成成品库存。由此可见,企业有3项主要库存:原材料库存、在制品库存和成品库存。这三部分库存占用企业的绝大部分流动资金。因此,若能有效地控制这3部分库存,将大大减少资金占用,提高资金周转速度,从而提高企业的经济效益。

二、库存的定义

从一般意义上来说,库存是为了满足未来需要而暂时闲置的资源。资源的闲置就是库存,与这种资源是否存放在仓库中没有关系。库存与资源是否处于运动状态也没有关系。汽车运输的货物处于运动状态,但这些货物是为了未来需要而暂时闲置的,就是库存,是一种在途库存。这里所说的资源,不仅包括工厂里的各种原材料、毛坯、工具、半成品和成品

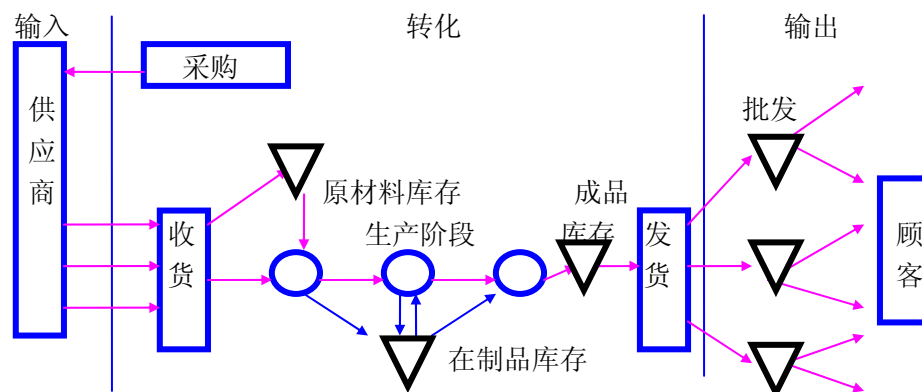


图9-1 生产企业物料流

，而且包括银行里的现金，医院里的药品、病床，运输部门的车辆等。一般地说，人、财、物、信息各方面的资源都有库存问题。专门人才的储备就是人力资源的库存，计算机硬盘贮存的大量信息，是信息的库存。

三、库存的作用

库存既然是资源的闲置，就一定会造成浪费，增加企业的开支。那么，为什么还要维持一定量的库存呢？这是因为库存有其特定的作用。归纳起来，库存有以下几方面的作用：

(1) 缩短订货提前期 当制造厂维持一定量的成品库存时，顾客就可以很快采购到他们所需的物品，这样缩短了顾客的订货提前期，加快了社会生产的速度，也使供应厂商争取到顾客。

(2) 稳定作用 在当代处于激烈竞争的社会中，外部需求的不稳定性是正常现象。生产的均衡性又是企业内部组织生产的客观要求。外部需求的不稳定性与内部生产的均衡性是矛盾的。要保证满足需方的要求，又使供方的生产均衡，就需要维持一定量的成品库存。成品库存将外部需求和内部生产分隔开，象水库一样起着稳定作用。

(3) 分摊订货费用 需要一件采购一件，可以不需要库存，但不一定经济。订货需要一笔费用，这笔费用若摊在一件物品上，将是很高的。如果一次采购一批，分摊在每件物品上的订货费就少了，但这样会有一些物品一时用不上，造成库存。对生产过程，采取批量加工，可以分摊调整准备费用(Setup cost). 但批量生产就会造成库存。

(4) 防止短缺 维持一定量库存可以防止短缺。为了应付自然灾害和战争，一个国家必须要有储备。

(5) 防止中断 在生产过程中维持一定量的在制品库存，可以防止生产中断。显然，当某道工序的加工设备发生故障时，如果工序间有在制品库存，其后续工序就不会中断。同样，在运输途中维持一定量的库存，可以保证供应，使生产正常进行。例如，某工厂每天需要100吨原料，供方到需方的运输时间为2天，则在途库存为200吨，才能保证生产不中断。

尽管库存有如此重要的作用，但生产管理的努力方向不是增加库存，而是不断减少库存。实际上，正如本书第17章——准时生产制将论述的那样，库存掩盖了生产经营过程中的各种矛盾，是应该消除的。我们研究库存，是要在尽可能低的库存水平下满足需求。

四、库存问题的分类

(一) 单周期库存与多周期库存

根据对物品需求的重复次数可将物品分为单周期需求与多周期需求。所谓单周期需求即仅仅发生在比较短的一段时间内的或库存时间不可能太长的需求，也被称作一次性订货量问题。圣诞树问题和报童问题都属于单周期库存问题。多周期需求则指在足够长的时间里对某种物品的重复的、连续的需求，其库存需要不断地补充。与单周期需求比，多周期需求问题普遍得多。

单周期需求出现在下面两种情况：①偶尔发生的某种物品的需求；②经常发生的某种生命周期短的不定量的需求。第一种情况如由奥运会组委会发行的奥运会纪念章或新年贺卡；第二种情况如那些易腐物品(如鲜鱼)或其它生命周期短的易过时的商品(如日报和期刊)等。对单周期需求物品的库存控制问题称为单周期库存问题，对多周期需求物品的库存控制问题称为多周期库存问题。

(二) 独立需求库存与相关需求库存

来自用户的对企业产品和服务的需求称为独立需求。独立需求最明显的特征是需求的对象和数量不确定，只能通过预测方法粗略地估计。相反，我们把企业内部物料转化各环节之间所发生的需求称为相关需求。相关需求也称为非独立需求，它可以根据对最终产品的独立需求精确地计算出来。比如，某汽车制造厂年产汽车30万辆，这是通过预计市场对该厂产品的独立需求来确定的。一旦30万辆汽车的生产任务确定之后，对构成该种汽车的零部件和原材料的数量和需要时间是可以计算精确地得到的。对零部件和原材料的需求就是相关需求。相关需求可以是垂直方向的，也可以是水平方向的。产品与其零部件之间垂直相关，与其附件和包装物之间则水平相关。

独立需求库存问题和相关需求库存问题是两类不同的库存问题。后者将在第十章专门介绍，前者则是本章讨论的重点。另外，相关需求和独立需求都是多周期需求，对于单周期需求，是不必考虑相关与独立的。企业里成品库存的控制问题属于独立需求库存问题，在制品库存和原材料库存控制问题属于相关需求库存问题。

五、库存控制系统

库存控制系统有输出、输入、约束和运行机制4方面，如图9-2 所示。库存控制系统的输出和输入都是各种资源。与生产系统不同，在库存控制系统中没有资源形态的转化。输入是为了保证系统的输出(对用户的供给)。约束条件包括库存资金的约束、空间约束等。运行

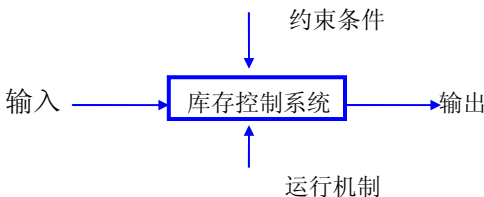


图9-2 库存控制系统

机制包括控制哪些参数以及如何控制。在一般情况下，在输出端，独立需求不可控；在输入端，库存系统向外发出订货的提前期也不可控，它们都是随机变量。可以控制的一般是何时发出订货（订货点）和一次订多少（订货量）两个参数。库存控制系统正是通过控制订货点和订货量来满足外界需求并使总库存费用最低。

任何库存控制系统都必须回答如下三个问题：

(1) 隔多长时间检查一次库存量？

(2) 何时提出补充订货?

(3) 每次订多少?

按照对以上3个问题的回答方式的不同, 可以分成3种典型的库存控制系统。

(一) 固定量系统

所谓固定量系统就是订货点和订货量都为固定量的库存控制系统, 如图9-3 所示。当

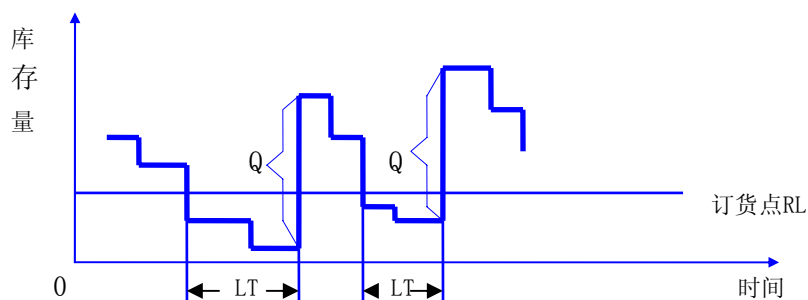


图9-3 固定量系统

库存控制系统的现有库存量降到订货点 (Reorder point, RL) 及以下时, 库存控制系统就向供应厂家发出订货, 每次订货量均为一个固定的量 Q 。经过一段时间, 我们称之为提前期 (Lead time, LT), 所发出的订货到达, 库存量增加 Q 。订货提前期是从发出订货至到货的时间间隔, 其中包括订货准备时间、发出订单、供方接受订货、供方生产、产品发运、产品到达、提货、验收、入库等过程。显然, 提前期一般为随机变量。

要发现现有库存量是否到达订货点RL, 必须随时检查库存量。固定量系统需要随时检查库存量, 并随时发出订货。这样, 增加了管理工作量, 但它使得库存量得到严密的控制。因此, 固定量系统适用于重要物资的库存控制。

为了减少管理工作量, 可采用双仓系统 (Two bin system)。所谓双仓系统是将同一种物资分放两仓 (或两个容器), 其中一仓使用完之后, 库存控制系统就发出订货。在发出订货后, 就开始使用另一仓的物资, 直到到货, 再将物资按两仓存放。

(二) 固定间隔期系统

固定量系统需要随时监视库存变化, 对于物资种类很多且订货费用较高的情况, 是很不经济的。固定间隔期系统可以弥补固定量系统的不足。

固定间隔期系统就是每经过一个相同的时间间隔, 发出一次订货, 订货量为将现有库存补充到一个最高水平 S , 如图9-4 所示。当经过固定间隔时间 t 之后, 发出订货, 这时库存量降到 L_1 , 订货量为 $S-L_1$; 经过一段时间 (LT) 到货, 库存量增加 $S-L_1$ 。再经过固定间隔期 t 之后, 又发出订货, 这时库存量降到 L_2 , 订货量为 $S-L_2$, 经过一段时间 (LT) 到货, 库存量增加 $S-L_2$ 。

固定间隔期系统不需要随时检查库存量, 到了固定的间隔期, 各种不同的物资可以同时订货。这样, 简化了管理, 也节省了订货费。不同物资的最高水平 S 可以不同。固定间隔期系统的缺点是不论库存水平 L 降得多还是少, 都要按期发出订货, 当 L 很高时, 订货量是很少的。为了克服这个缺点, 就出现了最大最小系统。

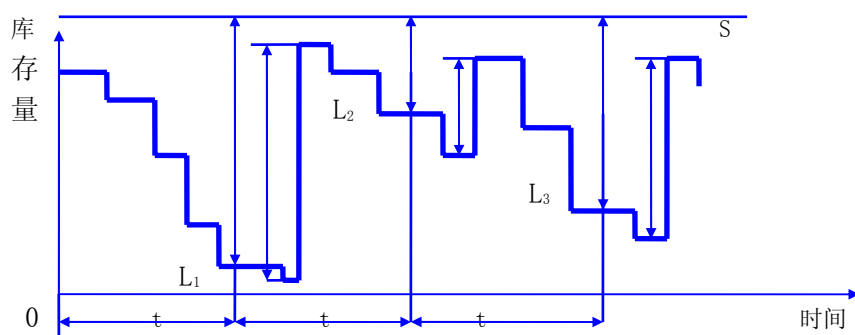


图9-4 固定间隔期系统

(三) 最大最小系统

最大最小系统仍然是一种固定间隔期系统，只不过它需要确定一个订货点 s 。当经过时间间隔 t 时，如果库存量降到 s 及以下，则发出订货；否则，再经过时间 t 时再考虑是否发出订货。最大最小系统如图9-5所示：当经过间隔时间 t 之后，库存量降到 L_1 ， L_1 小于 s ，发出订货，订货量为 $S-L_1$ ，经过一段时间 LT 到货，库存量增加 $S-L_1$ 。再经过时间 t 之后，库存量降到 L_2 ， L_2 大于 s ，不发出订货。再经过时间 t ，库存量降到 L_3 ， L_3 小于 s ，发出订货，订货量为 $S-L_3$ ，经过一段时间 LT 到货，库存量增加 $S-L_3$ 。如此循环。

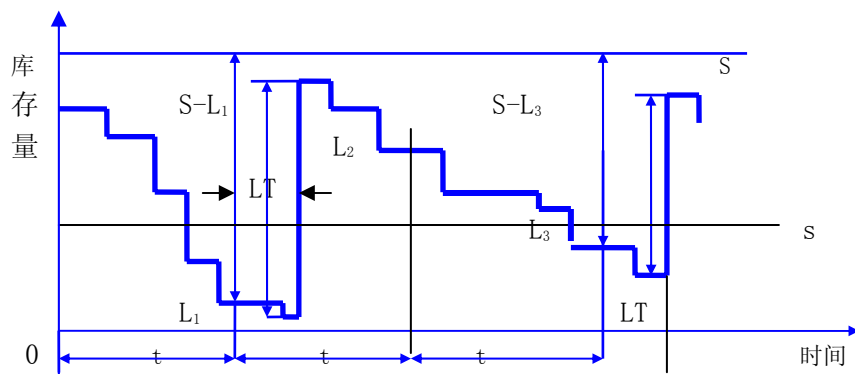


图9-5 最大最小系统

第二节 库存问题的基本模型

库存问题的基本模型包括单周期库存基本模型和多周期库存基本模型。多周期库存基本模型包括经济订货批量模型、经济生产批量模型和价格折扣模型。

一、单周期库存模型

对于单周期需求来说,库存控制的关键在于确定订货批量。对于单周期库存问题,订货量就等于预测的需求量。

由于预测误差的存在,根据预测确定的订货量和实际需求不可能一致。如果需求量大于订货量,就会失去潜在的销售机会,导致机会损失——即订货的机会(欠储)成本。加一方面,假如需求量小于订货量,所有未销售出去的物品将可能以低于成本的价格出售,甚至可能报废还要另外支付一笔处理费。这种由于供过于求导致的费用称为陈旧(超储)成本。显然,最理想的情

况是订货量恰恰等于需求量。

为了确定最佳订货量,需要考虑各种由订货引起的费用。由于只发出一次订货和只发生一次订购费用,所以订货费用为一种沉没成本,它与决策无关。库存费用也可视为一种沉没成本,因为单周期物品的现实需求无法准确预计,而且只通过一次订货满足。所以即使有库存,其费用的变化也不会很大。因此,只有机会成本和陈旧成才对最佳订货量的确定起决定性的作用。确定最佳订货量可采用期望损失最小法、期望利润最大法或边际分析法。

(一) 期望损失最小法

1、基本思想 顾名思义,期望损失最小法就是比较不同订货量下的期望损失,取期望损失最小的订货量作为最佳订货量。已知库存物品的单位成本为C,单位售价为P。若在预定的时间内卖不出去,则单价只能降为S(S<C)卖出,单位超储损失为C_o=C-S;若需求超过存货,则单位缺货损失(机会损失)C_u=P-C。设订货量为Q时的期望损失为E_L(Q),则取使E_L(Q)最小的Q作为最佳订货量。E_L(Q)可通过下式计算:

$$E_L(Q) = \sum_{d>Q} C_u (d - Q) p(d) + \sum_{d<Q} C_o (Q - d) p(d) \quad (9-1)$$

2、举例 按过去的记录,新年期间对某商店挂历的需求分布率如表9-1 所示:

表9-1 某商店挂历的需求分布率

需求d (份)	0	10	20	30	40	50
分布率p (d)	0.05	0.15	0.20	0.25	0.20	0.15

已知,每份挂历的进价为C=50元,售价P=80元。若在1个月内卖不出去,则每份挂历只能按S=30元卖出。求该商店应该进多少挂历为好。

解:设该商店买进Q份挂历。

当实际需求d<Q时,将有一部分挂历卖不出去,每份超储损失为C_o= C-S=50-30=20 (元);

当实际需求d>Q时,将有机会损失,每份欠储损失为C_u = P-C = 80-50=30 (元);

当Q=30,则

$$\begin{aligned} E_L(Q) &= [(30)(40-30)(0.20) + (30)(50-30)(0.15)] + [(20)(30-0)(0.05) + (20)(30-10)(0.15) \\ &\quad + (20)(30-20)(0.20)] \\ &= [(300)(0.20) + (600)(0.15)] + [(600)(0.05) + (400)(0.15) + (200)(0.20)] \\ &= [60+90] + [30+60+40] = 150+130 = 280 \text{ (元)} \end{aligned}$$

当Q取其它值时,可按同样方法算出E_L(Q),结果如表9-2 所示。

表9-2 期望损失计算表

订货量Q	实际需求d						期望损失E _L (Q) (元)
	0	10	20	30	40	50	
	P (D=d)						
	0.05	0.15	0.20	0.25	0.20	0.15	
0	0	300	600	900	1200	1500	855

10	200	0	300	600	900	1200	580
20	400	200	0	300	600	900	380
30	600	400	200	0	300	600	280
40	800	600	400	200	0	300	305
50	1000	800	600	400	200	0	430

由表9-2 可以得出最佳订货量为30。

(二) 期望利润最大法

1、基本思想 顾名思义，期望利润最大法就是比较不同订货量下的期望利润，取期望利润

$$E_p(Q) = \sum_{d < Q} [c_u d - c_o(Q-d)]p(d) + \sum_{d > Q} c_u Q p(d)$$

最大的订货量作为最佳订货量。设订货量为Q时的期望利润为 $E_p(Q)$ ，则：

(9-2)

2、举例

当 $Q=30$, $E_p(30) = [(30)(0-20)(30-0)](0.05) + [(30)(10)-20(30-10)](0.15) + [(30)(20)-20(30-20)](0.20) + (30)(30)(0.25) + (30)(30)(0.20) + (30)(30)(0.15)$

$$= (-600)(0.05) + (300-400)(0.15) + (600-200)(0.20) + (900)(0.25+0.20+0.15)$$

$$= -30-15+80+540=575$$

当Q取其它值时，可按同样方法算出 $E_p(Q)$ ，结果如表9-3 所示。

表9-3 期望利润计算表

订货量Q	实际需求d						期望利润E _p (Q) (元)
	0	10	20	30	40	50	
	P(D=d)						
	0.05	0.15	0.20	0.25	0.20	0.15	
0	0	0	0	0	0	0	0
10	-200	300	300	300	300	300	275
20	-400	100	600	600	600	600	475
30	-600	-100	400	900	900	900	575
40	-800	-300	200	700	1200	1200	550
50	-1000	-500	0	500	1000	1500	425

由表9-3 可以得出最佳订货量为30，与期望损失最小法得出的结果相同。

(三) 边际分析法

1. 基本思想 假定原计划订货量为Q。考虑追加一个单位订货的情况。由于追加了1个单位的订货,使得期望损失的变化为:

$$\begin{aligned} \Delta E_L(Q) &= E_L(Q+1) - E_L(Q) = [c_u \sum_{d>Q} (d-Q-1)p(d) + c_o \sum_{d<Q} (Q+1-d)p(d)] \\ &+ [c_u \sum_{d>Q} (d-Q)p(d) + c_o \sum_{d<Q} (Q-d)p(d)] = (c_u + c_o) \sum_{d=0}^Q p(d) - c_u = 0, \text{则} \\ \sum_{d=0}^Q p(d) &= 1 - p(D^*) = \frac{c_u}{c_u + c_o}, \\ p(D^*) &= \frac{c_o}{c_o + c_u} \end{aligned} \quad (9-3)$$

确定了 $p(D)^*$,然后再根据经验分布就可以找出最佳的订货量。

2. 举例 某批发商准备订购一批圣诞树供圣诞节期间销售。该批发商对包括订货费在内的每棵圣诞树要支付\$2,树的售价为\$6。未售出的树只能按\$1出售。节日期间圣诞树需求量的概率分布如表9-4所示(批发商的订货量必须10的倍数)。试求该批发商的最佳订货量。

表9-4 圣诞树需求量的概率分布

需求量	10	20	30	40	50	60
概率	0.10	0.10	0.20	0.35	0.15	0.10
P(D)	1.00	0.90	0.80	0.60	0.25	0.10

在这里, $C_o=2-1=\$1$

$C_u=6-2=\$4$

所以,

$$p(D)^* = C_o / (C_o + C_u) = 1 / (1+4) = 0.20$$

查表9-1可知,实际需求大于50棵的概率为0.25,再结合求 D^* 的条件可以求出最佳订货量为50棵。

二、多周期模型

对于多周期库存模型,本书将讨论经济订货批量模型、经济生产批量模型和价格折扣模型。在介绍这些模型之前,先要对与库存有关的费用进行分析。只有在对费用分析的基础上,才能有明确的优化方向。

(一) 与库存有关的费用

有两种费用,一种随着库存量的增加而增加,另一种随着库存量的增加而减少。正是这两种费用相互作用的结果,才有最佳订货批量。

1、随库存量增加而增加的费用

(1) 资金的成本。库存的资源本身有价值,占用了资金。这些资金本可以用于其它活动来创造新的价值,库存使这部分资金闲置起来,造成机会损失。资金成本是维持库存物品本身所必需的花费。

(2) 仓储空间费用。要维持库存必须建造仓库、配备设备,还有供暖、照明、修理、保

管等开支。这是维持仓储空间的费用。

- (3) 物品变质和陈旧。在闲置过程中, 物品会发生变质和陈旧, 如金属生锈, 药品过时, 油漆褪色, 鲜货变质。这又会造成一部分损失。
- (4) 税收和保险。

以上费用都随着库存量增加而增加。如果只有随着库存量增加而增加的费用, 则库存量越少越好。但也有随着库存量增加而减少的费用, 使得库存量既不能太低, 也不能太高。

2、随库存量增加而减少的费用

- (1) 订货费。订货费与发出订单活动和收货活动有关, 包括评判要价、谈判、准备订单、通讯、收货检查等, 它一般与订货次数有关, 而与一次订多少无关。一次多订货, 分摊在每项物资上的订货费就少。
- (2) 调整准备费(Setup cost)。在生产过程中, 工人加工零件, 一般需要准备图纸、工艺和工具, 需要调整机床、安装工艺装备。这些活动都需要时间和费用。如果花费一次调整准备费, 多加工一些零件, 则分摊在每个零件上的调整准备费就少。但扩大加工批量会增加库存。
- (3) 购买费和加工费。采购或加工的批量大, 可能会有价格折扣。
- (4) 生产管理费。加工批量大, 为每批工件作出安排的工作量就会少。
- (5) 缺货损失费。批量大则发生缺货的情况就少, 缺货损失就少。

3、库存总费用

计算库存总费用一般以年为时间单位。归纳起来, 年库存费用包括以下4项:

- (1) 年维持库存费 (Holding cost), 以 C_H 表示。顾名思义, 它是维持库存所必需的费用。包括资金成本、仓库及设备折旧、税收、保险、陈旧化损失等。这部分费用与物品价值和平均库存量有关。
- (2) 年补充订货费 (Reorder cost), 以 C_R 表示。与全年发生的订货次数有关, 一般与一次订多少无关。
- (3) 年购买费(加工费) (Purchasing cost), 以 C_P 表示。与价格和订货数量有关。
- (4) 年缺货损失费 (Shortage cost), 以 C_S 表示。它反映失去销售机会带来的损失、信誉损失以及影响生产造成的损失。它与缺货多少、缺货次数有关。

若以 C_T 表示年库存总费用, 则

$$C_T = C_H + C_R + C_P + C_S \quad (9-4)$$

对库存进行优化的目标就是要使 C_T 最小。

(二)经济订货批量模型

经济订货批量 (Economic Order Quantity, EOQ) 模型最早是由F.W.Harris于1915年提出的. 该模型有如下假设条件:

- (1) 外部对库存系统的需求率已知、需求率均匀且为常量。年需求率以 D 表示, 单位时间需求率以 d 表示。
- (2) 一次订货量无最大最小限制。
- (3) 采购、运输均无价格折扣。
- (4) 订货提前期已知, 且为常量。
- (5) 订货费与订货批量无关。
- (6) 维持库存费是库存量的线性函数。

- (7) 不允许缺货。
- (8) 补充率为无限大，全部订货一次交付。
- (9) 采用固定量系统。

在以上假设条件下，库存量的变化如图9-6所示。从图9-6可以看出，系统的最大库存量

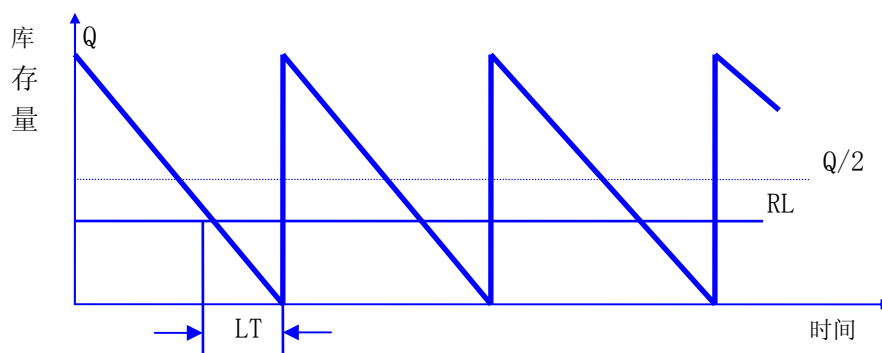


图9-6 经济订货批量假设下的库存量变化

为 Q ，最小库存量为0，不存在缺货。库存按值为 D 的固定需求率减少。当库存量降到订货点 RL 时，就按固定订货量 Q 发出订货。经过一固定的订货提前期（Lead Time, LT ），新的一批订货 Q 到达（订货刚好在库存变为0时到达），库存量立即达到 Q 。显然，平均库存量为 $Q/2$ 。

在EOQ模型的假设条件下，式(9-4)中 C_s 为零， C_p 与订货批量大小无关，为常量。因此，

$$C_T = C_H + C_R + C_P = H(Q/2) + S(D/Q) + pD \quad (9-5)$$

年维持库存费 C_H 随订货批量 Q 增加而增加，是 Q 的线性函数；年订货费 C_R 与 Q 的变化呈反比，随 Q 增加而下降。不计年采购费用 C_P ，总费用 C_T 曲线为 C_H 曲线与 C_R 曲线的叠加。 C_H 曲线与 C_R 曲线有一个交点，其对应的订货批量就是最佳订货批量，如图9-7所示。为了求出经济订货批量，将式(9-5)对 Q 求导，并令一阶导数为零，可得，

$$Q^o = EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad (9-6)$$

式中， S —一次订货费或调整准备费；

H —单位维持库存费， $H=p \cdot h$ ， p 为单价， h 为资金效果系数。

D —年需求量；

Q^o —最佳订货批量或称经济订货批量。

订货点 RL 可按(9-6)式计算：

$$RL = D(LT) \quad (9-7)$$

在最佳订货批量下， $C_R + C_H = S(D/Q^o) + H(Q^o/2)$

$$= \frac{DS}{\sqrt{\frac{2DS}{H}}} + \frac{H}{2} \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{2DSH} \quad (9-8)$$

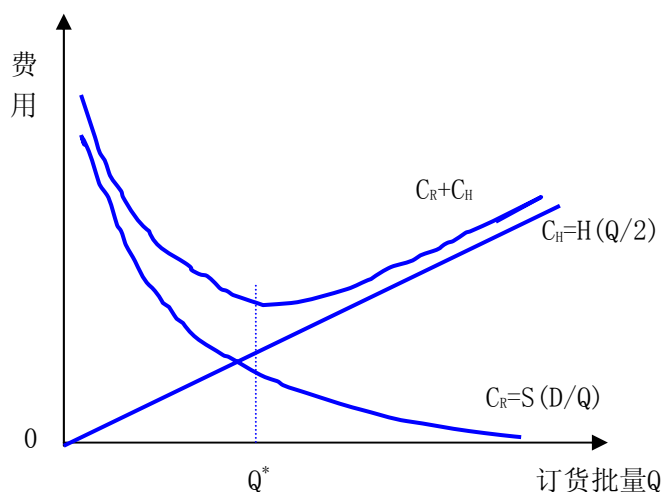


图9-7 年费用曲线

从式(9-5)可以看出,经济订货批量随单位订货费 S 增加而增加,随单位维持库存费 H 增加而减少。因此,价格昂贵的物品订货批量小,难采购的物品一次订货批量要大一些。这些都与人们的常识一致。

例 S公司以单价10元每年购入某种产品8,000件。每次订货费用为30元,资金年利息率为12%,单位维持库存费按所库存货物价值的18%计算。若每次订货的提前期为2周,试求经济订货批量,最低年总成本,年订购次数和订货点。

解:这是一个直接利用EOQ公式的问题。显然, $p=10$ 元/件, $D=8,000$ 件/年, $S=30$ 元, $LT=2$ 周。 H 则由两部分组成,一是资金利息,一是仓储费用,即 $H=10 \times 12\% + 10 \times 18\% = 3$ 元/件·年。

因此, $EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$

$$= \sqrt{\frac{2(8000)(30)}{3}} = 400 \text{ 单位}$$

最低年总费用为:

$$\begin{aligned} C_T &= p \cdot D + (D/Q) \cdot S + (Q/2) \cdot H \\ &= 8,000 \times 10 + (8,000/400) \times 30 + (400/2) \times 3 = 81,200 \text{ 元} \end{aligned}$$

$$\text{年订货次数 } n = D/EOQ = 8,000/400 = 20$$

$$\begin{aligned} \text{订货点 } RL &= (D/52) \cdot LT \\ &= 8,000/52 \times 2 = 307.7 \text{ 单位} \end{aligned}$$

(二) 经济生产批量模型

EOQ假设整批订货在一定时刻同时到达,补充率为无限大。这种假设不符合企业生产过程的实际。一般来说,在进行某种产品生产时,成品是逐渐生产出来的。也就是说,当生产率大于需求率时,库存是逐渐增加的,不是一瞬间上去的。要使库存不致无限增加,当库存达到一定量时,应该停止生产一段时间。由于生产系统调整准备时间的存在,在补充成品库存的

生产中，也有一个一次生产多少最经济的问题，这就是经济生产批量问题。经济生产批量 (Economic Production Lot, EPL) 模型，又称经济生产量 (Economic Production Quantity, EPQ) 模型，其假设条件除与经济订货批量模型第(8)条假设不一样之外，其余都相同。

图9-8描述了在经济生产批量模型下库存量随时间变化的过程。生产在库存为0时开始进行，经过生产时间 t_p 结束，由于生产率 p 大于需求率 D ，库存将以 $(p-D)$ 的速率上升。经过时间 t_p ，库存达到 I_{\max} 。生产停止后，库存按需求率 D 下降。当库存减少到0时，又开始了新一轮生产。 Q 是在 t_p 时间内的生产量， Q 又是一个补充周期 T 内消耗的量。

图中， p —生产率(单位时间产量)；

D —需求率(单位时间出库量)， $D < p$ ；

T_p —生产的时间；

I_{\max} —最大库存量；

Q —生产批量；

RL —订货点；

LT —生产提前期。

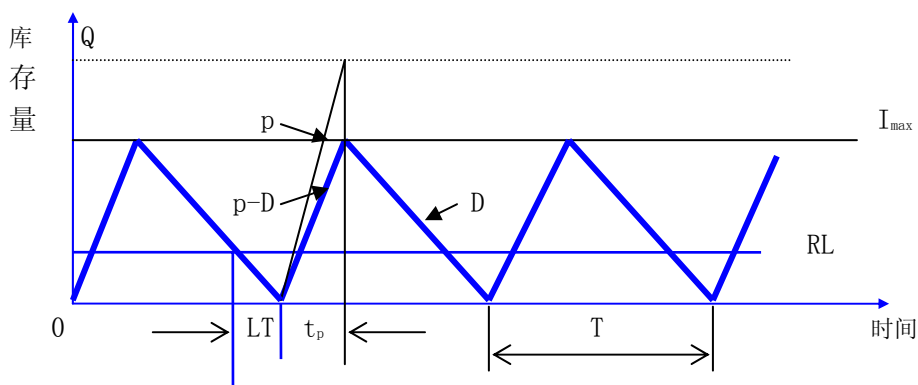


图9-8 经济生产批量模型假设下的库存量变化

在EPL模型的假设条件下，式(9-4)中的 C_s 为零， C_p 与订货批量大小无关，为常量。与EOQ模型不同的是，由于补充率不是无限大，这里平均库存量不是 $(Q/2)$ ，而是 $(I_{\max}/2)$ 。于是：

$$C_T = C_H + C_R + C_P = H(I_{\max}/2) + S(D/Q) + pD.$$

问题现在归结为求 I_{\max} 。由图9-8可以看出：

$$I_{\max} = t_p(p-D).$$

由 $Q=pt_p$ ，可以得出 $t_p=Q/p$ 。

$$\text{所以， } C_T = H(1-D/p)Q/2 + S(D/Q) + pD \quad (9-9)$$

将式(9-9)与式(9-5)比较，可以得出：

$$EPL = \sqrt{\frac{2DS}{H(1-\frac{D}{p})}}$$

(9-10)

例：根据预测，市场每年对X公司生产的产品的需求量为20,000台，一年按250个工作日计算。生产率为每天100台，生产提前期为4天。单位产品的生产成本为50元，单位产品的年维持库存费为10元，每次生产的生产准备费用为20元。试求经济生产批量EPL，年生产次数，订货点和最低年总费用。

解：这是一个典型的EPL问题，将各变量取相应的单位，代入相应的公式即可求解。

$$d=D/N=20,000/250=80 \text{ 台/日}$$

$$EPL = \sqrt{\frac{2DS}{H(1-D/p)}} = \sqrt{\frac{2(20000)(20)}{(10)(1-80/100)}} = \sqrt{\frac{800000}{2}} = 632$$

$$\text{年生产次数 } n=D/EPL=20,000/632=31.6$$

$$\text{订货点 } RL=d \cdot LT=80 \times 4=320 \text{ 台}$$

$$\begin{aligned} \text{最低年库存费用 } C_T &= H(1-D/p)Q/2 + S(D/Q) + pD \\ &= (10)(1-80/100)(632/2) + (20)(20000/632) + (50)(20000) \\ &= 1,001,265 \text{ 元} \end{aligned}$$

EPL模型比EOQ模型更具一般性，EOQ模型可以看作EPL模型的一个特例。当生产率 p 趋于无限大时，EPL公式就同EOQ公式一样。

EPL模型对分析问题十分有用。由EPL公式可知，一次生产准备费 S 越大，则经济生产批量越大；单位维持库存费 H 越大，则经济生产批量越小。在机械行业，毛坯的生产批量通常大于零件的加工批量，是因为毛坯生产的准备工作比零件加工的准备工作复杂，而零件本身的价值又比毛坯高，从而单位维持库存费较高。

（三）价格折扣模型

为了刺激需求，诱发更大的购买行为，供应商往往在顾客的采购批量大于某一值时提供优惠的价格。这就是价格折扣。图9-9表示有两种数量折扣的情况。当采购批量小于 Q_1 时，单价为 p_1 ；当采购批量大于或等于 Q_1 而小于 Q_2 时，单价为 p_2 ；当采购批量大于或等于 Q_2 时，单价为 p_3 。 $p_3 < p_2 < p_1$ 。

价格折扣对于供应厂家是有利的。因为，生产批量大，则生产成本低，销售量扩大可以占领市场，获取更大利润。价格折扣对用户是否有利，要作具体分析。在有价格折扣的情况下，由于每次订购量大，订货次数减少，年订货费用会降低。但订购量大会使库存增加，从而使维持库存费增加。按数量折扣订货的优点是单价较低，年订购成本较低，较少发生缺货，装运成本较低，而且能比较有效地对付价格上涨。其缺点是库存量大，储存费用高，存货周转较慢且容易陈旧。接不接受价格折扣，需要通过价格折扣模型计算才能决定。

价
格

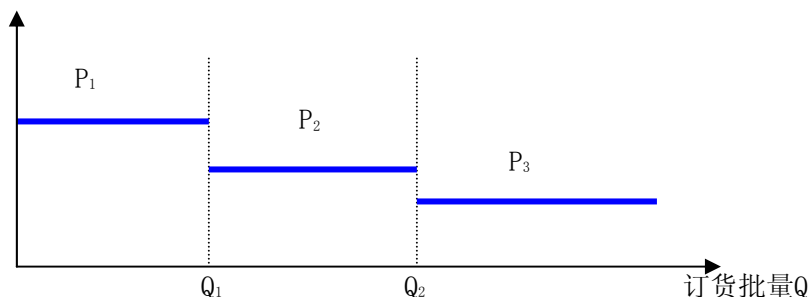


图9-9 有数量折扣的价格曲线

1、基本思想 价格折扣模型的假设条件仅有一条(条件(3))与EOQ模型假设条件不一样,即允许有价格折扣。由于有价格折扣时,物资的单价不再是固定的了,因而传统的EOQ公式不能简单地套用。图9-10所示为有两个折扣点的价格折扣模型的费用。年订货费 C_R 与价格折扣无关,曲线与EOQ模型的一样。年维持库存费 C_H 和年购买费 C_p 都与物资的单价有关。因此,费用曲线是一条不连续的折线。3条曲线的叠加,构成的总费用曲线也是一条

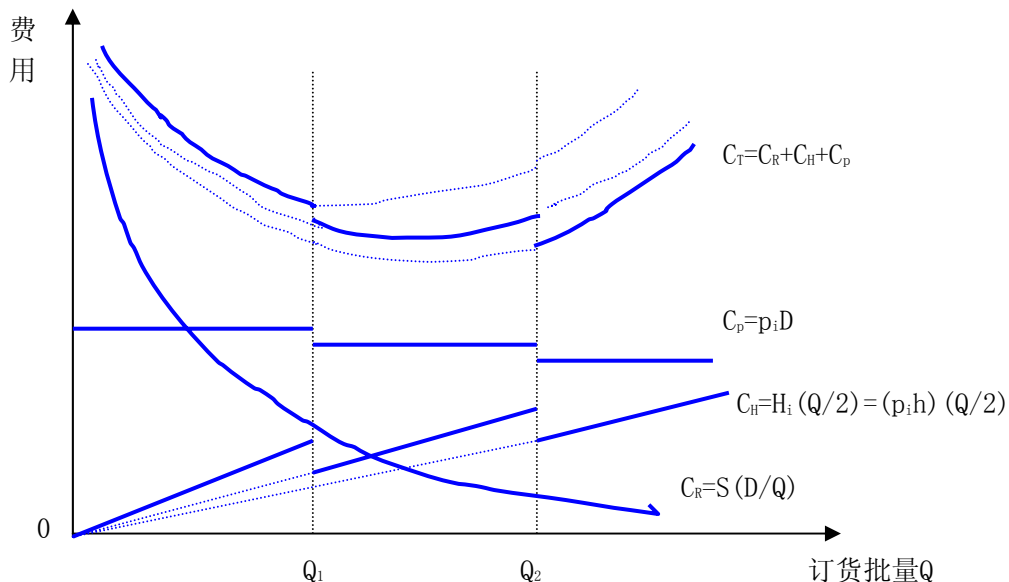


图9-10 有两个折扣点的价格折扣模型的费用

不连续的曲线。但是,不论如何变化,最经济的订货批量仍然是总费用曲线 C_T 上最低点所对应的数量。由于价格折扣模型的总费用曲线不连续,所以成本最低点或者是曲线斜率(亦即

一阶导数)为零的点,或者是曲线的中断点。求有价格折扣的最优订货批量可按下面步骤进行:

① 取最低价格代入基本EOQ公式求出最佳订货批量 Q^0 ,若 Q^0 可行(即所求的点在曲线 C_T

上), Q^0 即为最优订货批量,停止。否则转步骤②。

② 取次低价格代入基本EOQ公式求出 Q^0 。如果 Q^0 可行,计算订货量为 Q^0 时的总费用和所有大于 Q^0 的数量折扣点(曲线中断点)所对应的总费用,取其中最小总费用所对应的数量即为最优订货批量,停止。

③ 如果 Q^0 不可行,重复步骤②,直到找到一个可行的EOQ为止。

例 S公司每年要购入1,200台X产品。供应商的条件是:①订货量大于等于75单位时,单价32.50元;②订货量小于75单位时,单价35.00元。每次订货的费用为8.00元;单位产品的年库存维持费用为单价的12%。试求最优订货量。

解:这是一个典型的数量折扣问题,可按这类问题的一般求解步骤求解。

第一步,当 $C=32.50$ 时, $H=32.50 \times 12\%=3.90$, $S=8.00$, $D=1,200$ 。则

$$EOQ(32.50) = \sqrt{\frac{(2)(1200)(8)}{3.90}} = 70.16$$

因为只有当订货量大于等于75时,才可能享受单价为32.50元的优惠价格,也就是说,70.16是不可行的(即70.16所对应的点不在曲线 C_T 的实线上)。

第二步,求次低的单价 $C=35.00$ 时的情况。此时, $H=35.00 \times 12\%=4.20$, $S=8.00$, $D=1,200$ 。

$$EOQ(35.0) = \sqrt{\frac{(2)(1200)(8)}{4.20}} = 67.61$$

当单价为35.00元时,经济订货批量取68单位,这与供应商的条件是不矛盾的,因而68为可行的订货量。在这里,订货量大于68的数量折扣点只有一个,即75单位。因此应该分别计算订货量为68单位和75单位时的总成本 $C_T(68)$ 和 $C_T(75)$ 。

$$\begin{aligned} C_T(68) &= (68/2) \times 4.20 + (1,200/68) \times 8 + 1,200 \times 35.00 \\ &= 42,283.98 \text{元} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_T(75) &= (75/2) \times 3.90 + (1,200/75) \times 8 + 1,200 \times 32.50 \\ &= 39,274.25 \text{元} \end{aligned}$$

由于 $C_T(75) < C_T(68)$,所以最优订货批量应为75单位。

第三节 随机型库存问题

在前面的讨论中,需求率和订货提前期都被视为确定的,这只是一种理想情况。在现实生活中,需求率和提前期都是随机变量。需求率和提前期中有一个为随机变量的库存控制问题,就是随机型库存问题。

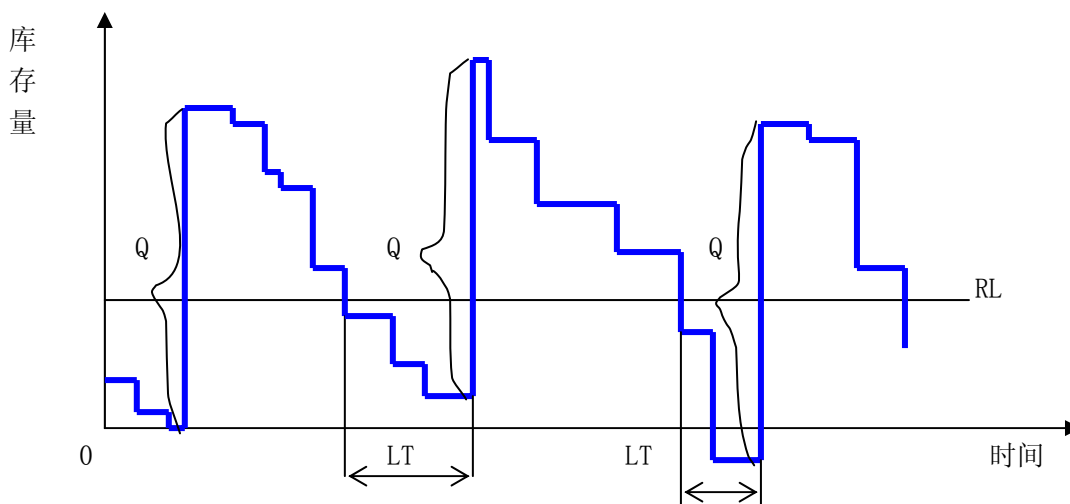


图9-11 随机型库存问题

一、假设条件

- 1、需求率 d 和提前期 LT 为已知分布的随机变量,且在不同的补充周期,这种分布不变。
- 2、补充率无限大,全部订货一次同时交付。
- 3、允许晚交货,即供应过程中允许缺货,但一旦到货,所欠货必须补上。
- 4、年平均需求量为 D 。
- 5、已知一次订货费为 S ,单位维持库存费为 H ,单位缺货损失费为 c_s 。
- 6、无价格折扣。

按照以上假设条件，库存量的变化如图9-11所示。

二、固定量系统下订货量和订货点的确定

确定固定量系统下订货量和订货点的目标仍然是使总库存费用最少，随机型库存问题与确定性库存问题的最大差别在于它允许缺货，因此必须考虑缺货损失费。由式(9-4)可知，

$C_T = C_R + C_H + C_S + C_P$ ，由于没有价格折扣， C_P 为常量，可不考虑。

$$C_T = C_R + C_H + C_S = S(D/Q) + H E_I + c_s E_S(RL)(D/Q) \quad (9-11)$$

式中， C_T —库存相关费用；

E_I —各周期库存量的期望值；

$E_S(RL)$ —订货点为 RL 下各周期缺货量的期望值；

c_s —单位缺货损失费。

其余符号意义同前。

由于库存量降到订货点就发出订货，缺货只是在提前期内发生。因此，

$$E_S(RL) = \sum_{y>RL} (y - RL)p(y) \quad (9-12)$$

式中， $p(y)$ —提前期内需求的分布律。

$$E_I = (Q/2) + RL - D_L \quad (9-13)$$

式中， D_L —提前期内需求的期望值。于是，

$$C_T = S(D/Q) + H[(Q/2) + RL - D_L] + c_s(D/Q)[\sum_{y>RL} (y - RL)p(y)]$$

欲求最佳的订货量 Q^0 和最佳订货点 RL^0 ，可通过对 Q 和 RL 求一阶偏导数，并令其等于零。通过对订货点 RL 求偏导数，得出：

$$\begin{aligned} H - c_s(D/Q)[\sum_{y>RL} p(y)] &= 0 \\ \sum_{y>RL} p(y) &= P(D_L > RL^*) = 1 - P(D_L \leq RL^*) = \frac{HQ}{c_s D} \end{aligned} \quad (9-14)$$

通过对订货批量 Q 求偏导数，得出：

$$\begin{aligned} \frac{H Q^2}{2} &= SD + c_s D E_S(RL) \\ Q^* &= \sqrt{\frac{2D(S + c_s E_S(RL))}{H}} \end{aligned} \quad (9-15)$$

如果 Q 和 (RL) 可以连续取值，则联立求解式(9-14)和式(9-15)便可以求出最优的订货批量 Q^0 和最优的订货点 $(RL)^0$ 。但无论是订货量还是订货点，都只能取离散值。因此，只能用逐步逼近

的方法求近优解。

逐步逼近法可以这样进行：先用EOQ公式计算一个Q，然后将该Q值代入式(9-14)，求得一个(RL)，再求 $E_s(RL)$ ，用式(9-15)又求的一个Q值，再代入式(9-14)求得另一个(RL)，……，如此进行下去，可以求得满意解。

三、提前期内需求分布律的确定

从前面的讨论可知，无论是求各周期库存量的期望值 E_r ，还是求订货点为(RL)下各周期缺货量的期望值 $E_s(RL)$ ，都需要确定提前期内需求分布律 $p(y)$ 。

(一) 计算法

当已知单位时间内(比如每周)需求的分布律和提前期的分布律时，可以通过计算的方法求出提前期内需求分布律。现举例说明。

例：已知对某种物资的日需求分布律如表9-5所示，其提前期的分布律如表9-6所示。

表9-5 某种物资的周需求分布律

X(件)	0	1	2
分布律 P(x)	0.40	0.30	0.30

表9-6 提前期的分布律

L(周)	1	2
分布律P(L)	0.4	0.6

求提前期的分布律 $P(y)$ 。

解：提前期最长为2周，其间需求量可能为0，1，2，3，4个单位。下面用树形图来说明。图9-12为求提前期需求分布律的计算图。从图的左边往右看，提前期可能为1周，也可能为2周。根据过去统计，为1周的概率为0.4，为2周的概率为0.6。对提前期为1周的情况，需求量为0的概率为0.4，为1个单位的概率为0.3，为2个单位的概率也为0.3。对提前期为2

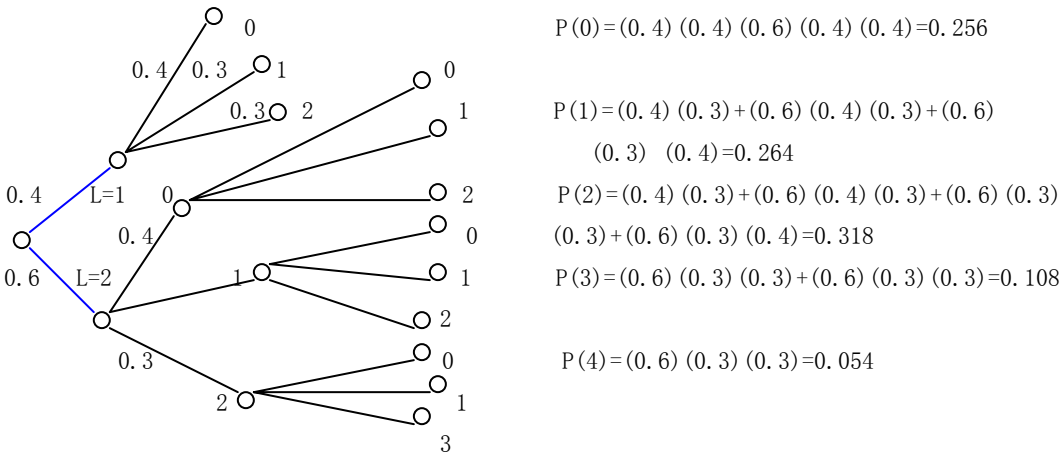


图9-12 分布律计算图

周的情况，第1周需求量为0的概率为0.4，为1个单位的概率为0.3，为2个单位的概率也为

0.3。在第1周需求量为0的情况下，第2周的需求可能为0，1，2三种情况。在第1周需求量为1个单位的情况下，第2周的需求也可能为0，1，2三种情况。在第1周需求量为2个单位的情况下，第2周的需求也可能为0，1，2三种情况。将这些情况综合考虑，得出提前期内需求量为0，1，2，3，4五种情况，计算其概率，从而得出提前期内需求的分布律。结果如表9-7所示。

表9-7 提前期内需求的分布律

y	0	1	2	3	4
P(y)	0.256	0.264	0.318	0.108	0.054

(二) 模拟法

模拟过程为：

- 1、由计算机产生一个均匀分布的随机数，按提前期的分布律确定提前期LT的一个值L；
- 2、产生L个均匀分布的随机数，按单位时间需求的分布律确定L个需要量 $x_1, x_2 \dots x_L$ ；
- 3、求L内的需求 $y = x_1 + x_2 + \dots + x_L$ ；
- 4、将y的频数加1；
- 5、模拟次数加1，检查达到模拟次数否，若未达到，转步骤1，否则转步骤6；
- 6、求y发生的频率；
- 7、停止。

模拟程序框图如图9-13所示。

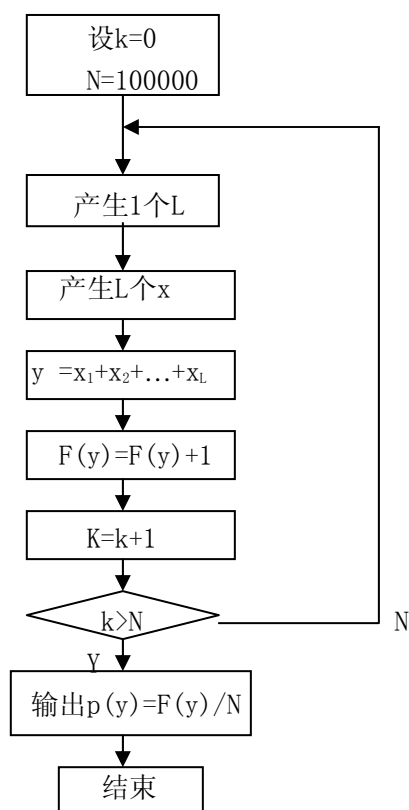


图9-13 模拟法求提前期需求分布律框图

四、求订货量和订货点的近似方法

前述求最佳订货量和订货点的方法十分复杂，难以在生产实际中应用。加之实际数据并不一定很准确，用精确的方法处理不精确的数据，其结果还是不精确。因此，有必要研究简单易行并足够准确的求订货量和订货点的近似方法。

对于订货量，可以直接用EOQ公式计算。对于订货点，可以采用经验方法确定，也可以通过确定安全库存或服务水平的办法来计算。经验办法比较粗造。比如，手头库存是提前期内需求的2倍(或1.5倍，1.2倍)时，就提出订货。通过安全库存或服务水平来计算则比较精确。

(一) 安全库存和服务水平

1、安全库存

安全库存(Safety Stock, SS)如已确定，就可以按下式来计算订货点：

$$RL=SS+D_E \quad (9-16)$$

式中，SS—安全库存；

D_E —提前期内需求的期望值。

在随机型库存系统中，需求率和订货提前期的随机变化都被预设的安全库存所吸收。安全库存是一种额外持有的库存，它作为一种缓冲器用来补偿在订货提前期内实际需求超过期望需求量或实际提前期超过期望提前期所产生的需求。图9-14表示提前期内需求近似服从正态分布的情况。图中左边阴影部分面积表示不发生缺货的概率，可以作为库存系统的服务水平；右边阴影部分面积表示发生缺货的概率。从图9-14可以看出，如果没有安全库存，缺

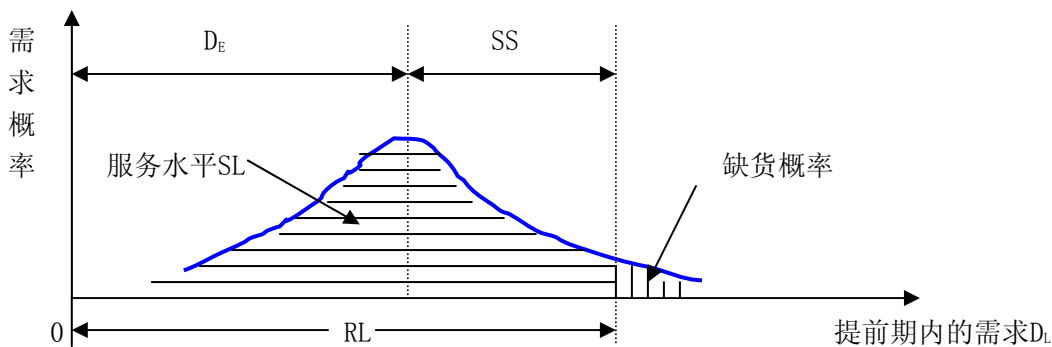


图9-14 提前期内需求的概率分布

货的概率可达到50%。安全库存对公司的成本有双重的影响：降低缺货损失费，提高了服务水平(Service Level, SL)，却又增加维持库存费用。但是，即使有安全库存存在，仍不能保证顾客的每一次需求都能得到满足，因此缺货是不可避免的。

2、服务水平

服务水平是衡量随机型库存系统的一个重要指标，它关系到库存系统的竞争能力。有很多种衡量服务水平的方法：

- (1) 整个周期由供货的数量/整个周期的需求量；
- (2) 提前期内供货的数量/提前期的需求量；
- (3) 顾客订货得到完全满足的次数/订货发生的总次数；
- (4) 不发生缺货的补充周期数/总补充周期数；

(5) 手头有货可供的时间/总服务时间。

我们取提前期内需求 D_L 不超过订货点 RL 的概率作为服务水平：

$$SL = p(D_L \leq RL) \quad (9-17)$$

3、安全库存与服务水平的关系

很明显, 服务水平越高, 安全库存量越大, 所花的代价也越大, 但服务水平过低又将失去顾客, 减少利润。因而确定适当的服务水平是十分重要的。图9-15中的曲线描述订货点和服务水平的关系。在服务水平比较低时, 将服务水平提高同样比例, 订货点增加幅

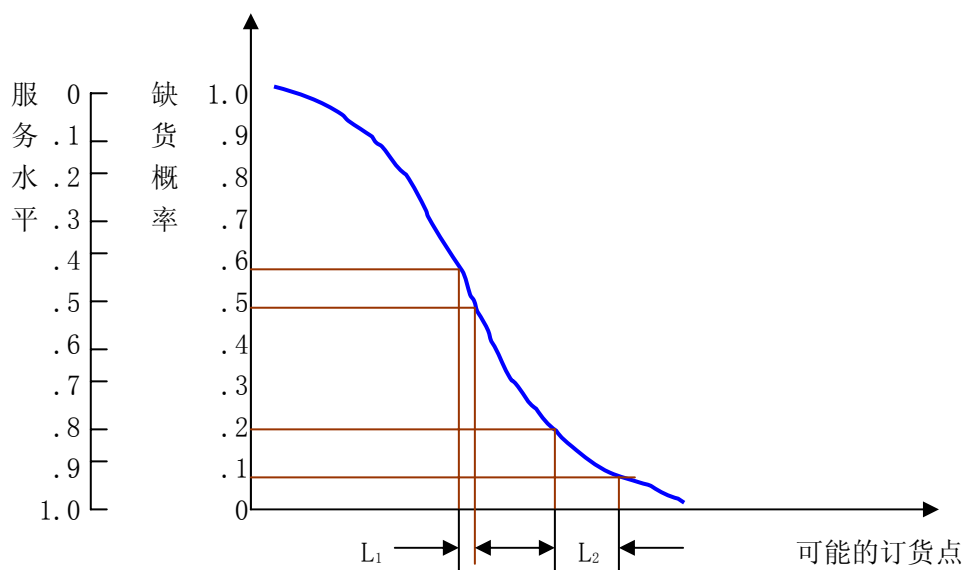


图9-15 订货点和服务水平的关系

度(安全库存增加幅度)小(L_1)；在服务水平比较高时, 将服务水平提高同样比例, 订货点增加幅度(安全库存增加幅度)大(L_2), $L_2 > L_1$. 这就是说, 在服务水平较低时, 稍稍增加一点安全库存, 服务水平提高的效果就很明显。但是, 当服务水平增加到比较高的水平(如90%), 再提高服务水平就需大幅度增加安全库存。

对于提前期内需求符合正态分布的情形, 式(9-16)可以改写成:

$$RL = D_E + Z \sigma_L \quad (9-18)$$

式中, Z 为

$$\sigma_L$$

为提前期内需求量的标准差。对于提前期内各单位时间内需求分布相互独立的情况, 有:

$$\sigma_L = \sqrt{(LT) \sigma_p^2} \quad (9-19)$$

式中, LT —提前期所含时间单位数;

$$\sigma_p$$

提前期内各单位时间需求量的标准差。

例 根据历年资料，可知C公司在提前期内需求呈正态分布，提前期平均销售A产品320台，其标准差为40台。订货提前期1周，单位订货费是14元，单位维持库存费用是每台每年1.68元，缺货成本是每台2元。试确定该公司的库存策略。

解：利用有关公式可求：

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(320)(52)(14)}{1.68}} = \sqrt{27733.33} = 526.62$$

公司订货批量为527台。最优服务水平下的缺货概率为：

$$P(D_L) = HQ/c_s D = (1.68)(527)/(2)(320)(52) = 0.0266$$

查正态分布表可求得 $Z = 1.93$

利用公式(9-18)计算订货点， $RL = 320 + (1.93)(40) = 397$ 台

安全库存 $SS = RL - D_L = 397 - 320 = 77$ 台

服务水平 $SL = 1 - 0.0266 = 0.9734 = 97.34\%$

小结

本章系统地独立需求库存问题进行了阐述。第一节通过分析物料流提出了库存的概念，分析了库存的作用，提出了库存问题的分类，描述了3种典型的库存控制系统，即固定量系统，固定间隔期系统和最大最小系统。第二章介绍了库存问题的基本模型，包括单周期库存模型和求订货量的3种方法(期望损失最小法，期望利润最大法，边际分析法)，多周期模型中的经济订货批量模型、经济生产批量模型和价格折扣模型。第三节讨论随机库存模型，介绍了求订货量和订货点的理论计算方法和实用方法。通过算例讨论了模型的应用。

思考题

- 1、什么是库存?怎样认识库存的作用?
- 2、不同种类的库存问题各有什么特点?
- 3、哪些费用随库存量增加而上升，哪些费用随库存量增加而减少?
- 4、3种典型的库存控制系统的控制机制是什么?
- 5、EOQ模型有哪些假设条件?它如何在生产实际中应用?

练习题

- 1、某种时令产品在适销季节到来前一个月，批发单价为16.25元，零售时单价为26.95元，如果该时令产品销售完了，当时是不能补充的。过时卖不出去的产品单价为14.95元，根据往年情况，该产品需求分布律如下表所示：

需求 d (打)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
分布律 $p(D=d)$	0.03	0.05	0.07	0.15	0.20	0.20	0.15	0.07	0.05	0.03

求使期望利润最大的订货量。

- 2、四达设备公司每年要按单价4元购入54,000套轴承组合件。单位维持库存费为每年每套轴承9元，每次订货费用为20元。试求经济订货批量和年订货次数。
- 3、某自行车公司计划下年度生产特种轮胎40,000只。生产率为每天200只，一年按250天

计算。一次生产准备费用为200.00元,提前期为5天。单位生产费用为15.00元,单位维持库存费为11.50元。试求经济生产批量和订货点。

- 4、某公司每年需用某元件3,000单位。每次订购的固定成本为250.00元。单位维持库存费为货物价值的25%。现有三个货源可供选择。A:不论订购多少单价都为10.00元; B:订购量必须大于等于600单位,单价9.50元; C:订货起点为800单位,单价9.00元。试确定该公司的订货策略,并计算年最低库存费用。
- 5、某汽车配件供应商每三个月以批量为500盒购买一次垫圈。每盒价格为12.50元,每次订货费为15.00元,单位维持库存费为单价的20%。试以经济效益为标准评价其订货策略。
- 6、某公司经销Y产品,Y的单位成本为60.00元。日平均销售量为5件,单位维持库存费为单价的25%,订货费用为每次450.00元,订货提前期为20天。Y的年需求量为1,500件,每件的缺货损失为50.00元。订货提前期内的需求信息如下表所示。试确定订货批量、安全库存和订货点。

需求量	70	80	90	100	110	120
出现次数	3	3	4	80	6	4

- 7、若习题6中所给的分布服从均值为100,方差为5的正态分布。试求安全库存和订货点。
- 8、LOUIS公司每年要按单价4元购入C零件36,000个。每次订货费用为90.00元,订货提前期为5天,每年按250天计算。单位维持库存费为单价的25%。试求经济订货间隔期、最高库存水平和最低年总成本

第十章 物料需求计划(MRP)与制造资源计划(MRP II)

物料需求计划(Material Requirements Planning, MRP)是六十年代发展起来的一种计算物料需求量和需求时间的系统。所谓“物料”，泛指原材料、在制品、外购件以及产品。最初，它只是一种需求计算器，是开环的，没有信息反馈，也谈不上控制。后来，从供应商和生产现场取得了信息反馈，形成了闭环MRP (Closed-loop MRP)系统，这时的MRP才成为生产计划与控制系统。

八十年代发展起来的制造资源计划(Manufacturing Resource Planning, MRP II)，不仅涉及物料，而且涉及生产能力和一切制造资源，是一种广泛的资源协调系统。它代表了一种新的生产管理思想，是一种新的组织生产的方式。MRP包含在MRP II中。如不特别说明，本章将用MRP泛指物料需求计划与制造资源计划，读者可根据实际内容区分具体指哪一部分。

MRP具有广泛的适用性。它不仅适用于多品种中小批量生产，而且适用于大量大批生产；不仅适用于制造企业，而且适用于某些非制造企业。不过，MRP 的长处在于多品种中小批量生产的加工装配式企业，得到了最有效的发挥。因此，本章将以进行多品种中小批量生产的加工装配式企业为背景来介绍MRP原理、系统结构、MRP II 以及应用中的有关问题。

第一节 MRP的原理

加工装配式生产的工艺顺序是：将原材料制成各种毛坯，再将毛坯加工成各种零件，零件组装成部件，最后将零件和部件组装成产品。如果要求按一定的交货时间提供不同数量的各种产品，就必须提前一定时间加工所需数量的各种零件；要加工各种零件，就必须提前一定时间准备所需数量的各种毛坯，直至提前一定时间准备各种原材料。

过去，由于缺乏现代化生产管理的方法与工具，只能采用手工方式编制生产作业计划。随着电子计算机在我国工业企业越来越广泛的应用，MRP目前已经进入我国的一些工业企业。因此研究MRP的原理及方法，无论对于消化国外的MRP软件还是结合本企业的特点自行开发MRP系统，都有十分重要的意义。

一、MRP的基本思想

MRP的基本思想是，围绕物料转化组织制造资源，实现按需要准时生产。

如前所述，物质资料的生产是将原材料转化为产品的过程。对于加工装配式生产来说，如果确定了产品出产数量和出产时间，就可按产品的结构确定产品的所有零件和部件的数量，并可按各种零件和部件的生产周期，反推出它们的出产时间和投入时间。物料在转化的过程中，需要不同的制造资源(机器设备、场地、工具、工艺装备、人力和资金等)，有了各种物料的投入出产时间和数量，就可以确定对这些制造资源的需要数量和需要时间，这样就可以围绕物料的转化过程，来组织制造资源，实现按需要准时生产。

按照MRP的基本思想，从产品销售到原材料采购，从自制零件的加工到外协零件的供应，从工具和工艺装备的准备到设备维修，从人员的安排到资金的筹措与运用，都要围绕MRP的基本思想进行，从而形成一整套新的方法体系，它涉及到企业的每一个部门，每一项活动。因此，我们说，MRP是一种新的生产方式。

MRP按反工艺顺序来确定零部件、毛坯直至原材料的需要数量和需要时间，并不是什么新思想，一般生产管理人员都可能想到。那么，为什么MRP作为一种新的生产方式，只是近

二三十年才发展起来呢？

由于现代工业产品的结构极其复杂，一台产品常常由成千上万种零件和部件构成，用手工方法不可能在短期内确定如此众多的零件部件及相应的制造资源的需要数量和需要时间。据报道，在使用电子计算机以前，美国有些公司用手工计算各种零部件的需要数量和时间，一般需要6周到13周时间。人们称这样编制生产作业计划的方式为“季度订货系统”。由于这样制订的计划只能每季度更新一次，计划不可能很细、很准，而且计划的应变性很差。

由于企业处于不断变化的环境之中，实际情况必然偏离计划的要求，其原因可能是对产品的需求预测不准确，引起产品的交货时间和交货数量的改变；也可能是外协件、外购件和原材料的供应不及时；还可能是其它一些偶然因素，如出废品，设备故障，工人缺勤等等，使生产不能按计划进行。

当计划与实际执行情况已经出现了较大偏差，通过主观努力已不可能达到计划的要求，或者计划本身不能完全反映市场需求时，必须修改计划。但是修改计划和制订计划一样费事，计划制订得越细致，修改计划的工作量就越大，越困难。而且，修订计划要求在很短的时间内完成，否则，修订的计划跟不上变化。显然，不使用电子计算机，单靠手工方式是无法及时对计划作出修改和调整的。MRP的出现，是电子计算机应用于生产管理的结果。

二、为什么要围绕物料转化组织准时生产？

在生产过程中，物料不断地改变其形态和性质。从原材料逐步转变为产品，企业很大一部分流动资金被物料占用。同时，企业的固定资金主要为设备所占有。因此，管好设备和物料，对于提高企业的经济效益有举足轻重的作用。

是以物料为中心来组织生产，还是以设备为中心来组织生产，代表了两种不同的指导思想。以物料为中心组织生产体现了为顾客服务的宗旨。物料的最终形态是产品，它是顾客所需要的东西，物料的转化最终是为了提供使顾客满意的产品。因此围绕物料转化组织生产是按需定产思想的体现。以设备为中心组织生产，即有什么样的设备生产什么样的产品，是以产定销思想的体现。以物料为中心来组织生产，要求一切制造资源围绕物料转。要生产什么样的产品，决定了需要什么样的设备和工具，决定需要什么样的人员。以物料为中心可以把企业内各种活动有目的地组织起来。比如，某工艺装备是为满足某零件的某道工序的加工要求而设计制造的，该工艺装备应该在该零件的那道工序开始进行时提供，既不能早，也不能迟。以设备或其它制造资源为中心组织生产，则会陷入盲目性。比如导致追求所有设备的满负荷，追求每个人每时每刻必须有活干，等等。

既然最终是要按期给顾客提供合格的产品，在围绕物料转化组织生产的过程中，上道工序应该按下道工序的要求进行生产，前一生产阶段应该为后一生产阶段服务，而不是相反。MRP正是按这样的方式来完成各种生产作业计划的编制的。

为什么要按后一生产阶段，后一道工序的要求组织准时生产呢？因为准时生产是最经济的，它既消除了误期完工，又消除了提前完工。

误期完工影响生产进度，是很容易被认识到的。那么，提前完工好不好呢？很多人认为提前完工好，是应该支持与鼓励的。其实，提前完工和误期完工一样，浪费了资源，也影响了生产，是应该否定的。

图10—1表示部分零件提前完工造成的后果。假设一台产品由A、B两部分零件构成，按现有生产能力，这两部分零件都可以在预定完工期内加工出来。但是，由于没有按生产作业计划的要求进行，造成A部分零件提前完工。这会造成什么后果呢？由于B部分零件还没

有加工完，产品不能装配；已完工的A部分零件必须库存一段时间，造成资金积压和一连串的损失，如要修建库房，安排保管人员等。不仅如此，由于A部分零件提前完工，必然占用设备和人工，致使加工B部分零件的生产能力不足。如果不加班，B部分零件就会误期完工，这样A部分零件还要增加一段库存时间。外协、外购零件如果按预定完工期到达，则也需库存一段时间才能用于装配。如果对B部分零件安排加班生产，保证按预定完工期完工，则要支付加班费。

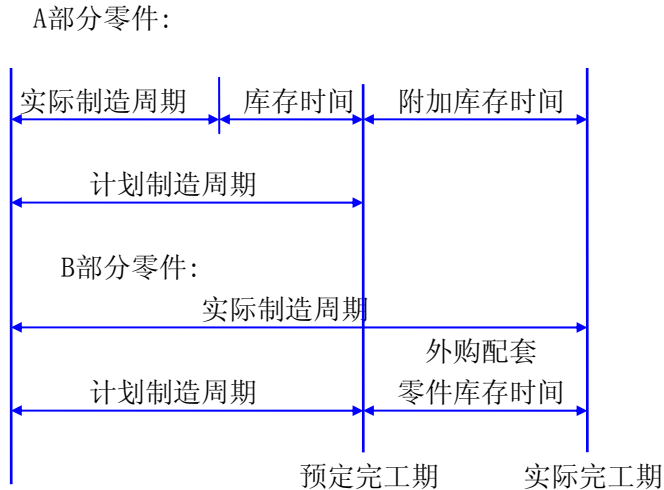


图10—1 部分零件提前完工的影响

由此可知，过量生产更是有害的。过量生产不仅长期积压某些零件，而且影响了急需零件的生产。很多企业只注意考核工人完成的工作量，鼓励超额完成任务，不注意他们是否按计划完成任务，造成严重的过量生产，也造成了严重的零件短缺。人们常常感叹，不该加工的加工出来，该加工的没有加工出来，零件的积压与短缺并存。这正是鼓励“提前”与“超额”带来的后果。

部分零件提前完工不好，那么全部零件提前完工好不好呢？同样不好。提早完成若不能提早交货，则要放入成品库存放起来，成品积压是更大的浪费。若能提早交货，虽不影响制造厂的利益，却增加了用户的负担。因为没有到需要的时候，产品必然要存放起来。

三、为什么能够围绕物料转化组织准时生产

如前章所述，对产品和某些维修使用的零部件的需求来自企业外部，是独立需求，而对原材料、毛坯、零件、部件的需求，来自制造过程，是相关需求。正是制造过程中的相关需求使得MRP 能“围绕物料转化组织准时生产”。

对一种产品或零部件的需求，若与对其它产品或零部件的需求无关，则对这种产品或零部件的需求为独立需求。相反，对某些产品项目的需求若取决于对另一些产品项目的需求，则对这种产品项目的需求为相关需求。独立需求来自企业外部，需要通过预测和顾客订货来确定；相关需求发生在制造过程中，可以通过计算得到。

从库存系统的观点来看，可以把制造过程看作从成品到原材料的一系列订货过程。要装配产品，必须向其前一阶段发出订货，提出需要什么样的零部件，需要多少，何时需要；同样，要加工零件，必须向前一阶段发出订货，提出需要什么样的毛坯，需要多少，何时需要；要制造毛坯，就需要对原材料订货。当然，对这个过程还可以作更细的划分。

如毛坯要经过若干道工序加工才能制成零件，在加工过程中，后道工序也向前道工序提出订货。这样在制造过程中形成了一系列的“供方”与“需方”。供方按需方的要求进行生产，最终保证外部顾客的需要。在制造过程中，需方的要求不可以任意改变，它完全取决于产品的结构、工艺和生产提前期，因而是可以预见的。于是，可以用生产作业计划的形式来规定每一生产阶段、每一道工序在什么时间，生产什么和生产多少。这就是MRP能够实现按需要准时生产的原因。 在本章后面的叙述中，不论是对自制件还是对外购件，都采用“订货”和“交货”这些名词，读者要注意其实际含义。

四、 订货点方法在处理相关需求时的局限性

用传统的订货点方法来处理制造过程中的供需矛盾，有很大的盲目性，结果会造成大量的原材料及在制品库存。传统的订货点方法和MRP一样也是要解决订什么，订多少和何时提出订货3个问题，它是靠维持一定量的库存来保证需要的。为了叙述方便，下面将用“元件”来代表零件、部件、毛坯和原材料。将订货点方法用于制造过程有以下缺点：

(1) 盲目性。对需求的情况不了解，盲目地维持一定量的库存会造成资金积压。例如，对某种零件需求可能出现如表10－1所示的三种情况。按经济订货批量(E0Q)公式，可以计算出经济订货批量，比如说为50件。这样，对于情况1，第一周仅需20件，若一次订50件，则余下30件还需存放3周，到第4周再消耗20件，余下的10件还需存放4周，而且还满足不了第8周的需要。因此在第8周前又要提出数量为50件的订货。对于情况2，订货量不足以满足前三周的需要。对于情况3，剩余的30件无缘无故地存放了9周，而且还不满足第10周的需要。靠经常维持库存来保证需要，是由于对需求的数量及时间不了解所致。盲目性造成浪费。

(2) 高库存与低服务水平。用订货点方法会造成高库存与低服务水平。由于对需求的情况不了解，只有靠维持高库存来提高服务水平。这样会造成很大浪费。传统的订货点方法使得低库存与高服务水平两者不可兼得。从第九章可知，服务水平越高则库存越高。而且，服务水平达到95%以上时，再要提高服务水平，库存量上升很快。从理论上讲，服务水平接近100%则库存量必然趋于无穷大。

表10－1 对某零件的需求

周次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
情况1	20	0	0	20	0	0	0	20	0	0
情况2	20	0	40	0	0	0	0	0	0	0
情况3	20	0	0	0	0	0	0	0	0	40

如果装配一个部件，需要5种零件。当以95%的服务水平供给每种零件时，每种零件的库存水平会很高。即使如此，装配这个部件时，5种零件都不发生缺货的概率仅为 $(0.95)^5=0.774$ ，即装配这种部件时，几乎4次中就有一次碰到零件配不齐的情况。一台产品常常包含上千种零部件，装配产品时不发生缺件的概率就很低了。这就是采用订货点方法造成零件积压与短缺共存局面的原因。

(3) 形成“块状”需求。采用订货点方法的条件是需求均匀。但是，在制造过程中形成的需求一般都是非均匀的：不需要的时候为零，一旦需要就是一批。采用订货点方法加剧了这种需求的不均匀性。图10－2所示的例子清楚的表明了这一点。

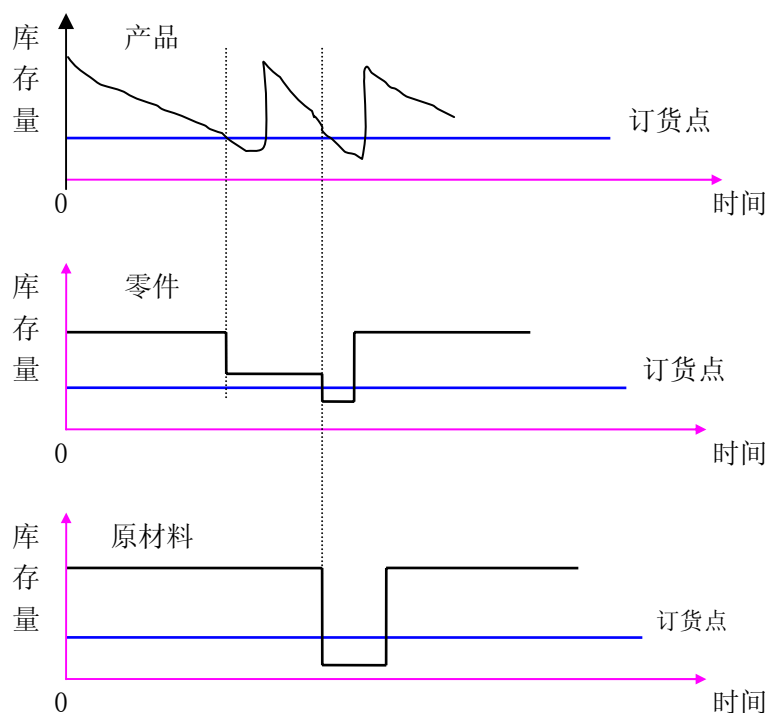


图10-2 订货点方法与块状需求

在这个例子中，产品、零件和原材料的库存都采用订货点方法控制。对产品的需求由企业外部多个用户的需求所决定。由于每个用户的需求相差不很大，综合起来，对产品的需求比较均匀，库存水平的变化的总轮廓呈锯齿状。当产品的库存量下降到订货点以下时，要组织该产品的装配。于是，要从零件库中取出各种零件。这样，零件的库存水平陡然下降一块。而在此之前，尽管产品库存水平在不断下降，由于没下降到订货点，不必提出订货，因而零件的库存水平维持不变。类似地，当零件的库存水平未降到订货点以下时，也不必提出订货。于是，原材料的库存水平维持不变。随着时间的推移，产品的库存逐渐消耗，当库存水平再降到订货点以下时，再次组织产品装配，这时又消耗一部分零件库存。如果这时零件的库存水平降到零件的订货点以下，就要组织零件加工。这样，就要消耗一部分原材料库存。

由此可以看出，在产品的需求率为均匀的条件下，由于采用订货点方法，造成对零件和原材料的需求率不均匀，呈“块状”。“块状”需求与“锯齿状”需求相比，平均库存水平几乎提高一倍，因而占用更多的资金。

订货点方法是用于处理独立需求问题的，它不能令人满意地解决生产系统内发生的相关需求问题。而且，订货点方法不适于MTO企业。于是，人们找到了MRP。它可以精确地确定对零部件、毛坯和原材料的需求数量与时间，消除了盲目性，实现了低库存与高服务水平并存。

第二节 MRP系统

一、MRP在生产经营系统中的地位和作用

图10-3描述了MRP在生产经营系统中的地位和作用。企业的最高层领导确定企业的经营战略与目标，确定全面安排本企业生产经营活动的企业经营计划。然后，根据预测和工

厂当前资源条件确定年度和季度生产计划。在确定生产计划的过程中，要进行任务与能力平衡。这种平衡是粗略的，是以假定产品或代表产品为计划单位核算的。

将生产计划细化到具体产品，明确每种产品的出产数量与出产时间，就得到产品出产预计划。确定产品出产预计划时，要进行粗略能力平衡然后变成产品出产计划。MRP中的产品出产计划与我国企业通常的产品出产计划有区别。后者一般以月为计划的时间单位，不符合MRP的需要。按MRP的需求，应转化为以周为时间单位。MRP中的产品出产计划，国外一般称为主生产作业计划(Master Production Schedule, MPS)。它是MRP系统的主要输入。这里说的MRP系统，指的是仅涉及物料需求的基本MRP系统，它是MRP的核心部分。除了产品出产计划之外，MRP系统的另外两项输入为产品结构文件 and 库存状态文件。

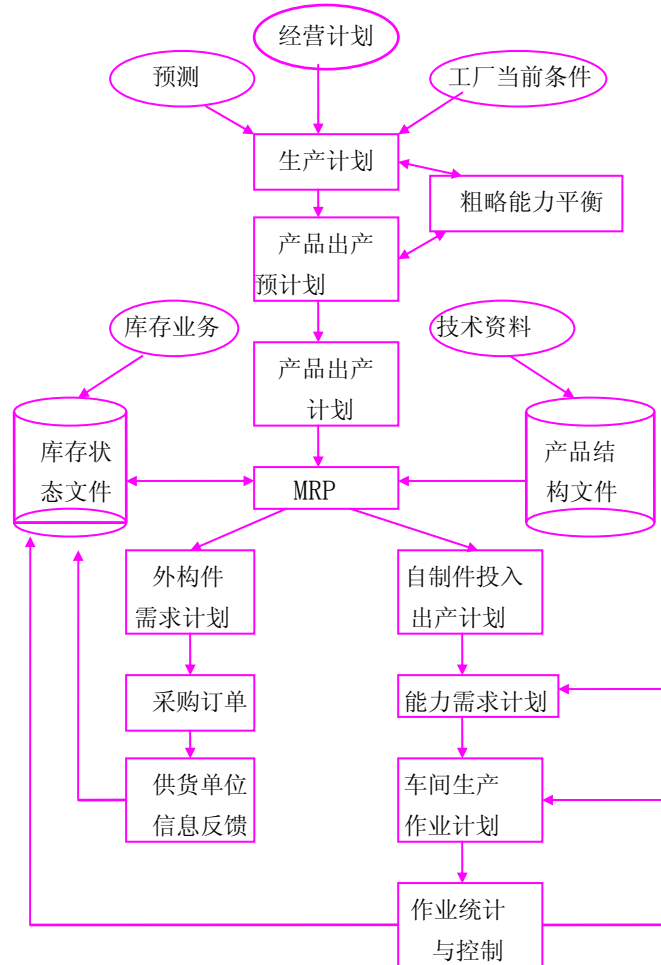


图10—3 MRP在生产经营系统中的地位

经过MRP程序的处理，将产品出产计划转化为自制件投入出产计划和外购件需求计划。自制件投入出产计划是一种生产作业计划，它规定了构成产品的每个零件的投入和出产的时间及数量，使各个生产阶段互相衔接，准时地进行。外购件的需求计划规定了每种外购零部件和原材料的需要时间及数量。

由自制件投入出产计划可计算出对每一工作地的能力需求，从而得出能力需求计划。如果生产能力得不到充分利用或者负荷超过能力，则可采取调节办法，如加班加点，调整人力与设备、转外协等。如果调整行不通，则将信息反馈到编制产品出产计划模块，对该

计划作出调整。当任务与能力基本上平衡后，各车间可按自制件投入出产计划编制车间生产作业计划。车间生产作业计划的实施情况要通过车间作业统计得到。由统计发现实际与计划的偏离，通过修改计划或采用调度方法纠正这种偏离，实行生产控制。从实际生产中得到的反馈信息可用来调整车间生产作业计划与能力需求计划，从而使计划具有应变性。

按照外购件需求计划，按时向供货单位提出订货。提出订货后，不断从供货单位得到信息，连同生产过程中零部件的完工信息，一起输送到库存状态文件中。

二、MRP的输入

MRP的输入有3个部分：产品出产计划、产品结构文件和库存状态文件。

(一) 产品出产计划

产品出产计划是MRP的主要输入，它是MRP运行的驱动力量。产品出产计划中所列的是最终产品项。它可以是一台完整的产品，也可以是一个完整的部件，甚至是零件。总之，是企业向外界提供的东西。

产品出产计划中规定的出产数量可以是总需要量，也可以是净需要量。如果是总需要量，则需扣除现有库存量，才能得到需要生产的数量；如果是净需要量，则说明已扣除现有库存量，可按此计算对下层元件的总需要量。一般来说，在产品出产计划中列出的为净需要量，即需生产的数量。于是，由顾客订货或预测得出的总需要量不能直接列入产品出产计划，而要扣除现有库存量，算出净需要量。

表10—2为一产品出产计划的一部分。它表示产品A的计划出产量为：第5周10台，第8周15台；产品F的计划产量为：第4周13台，第7周12台；配件C，计划1—9周每周出产10件。

产品出产计划的计划期，即计划覆盖的时间范围，一定要比最长的产品生产周期长。否则，得到的零部件投入出产计划不可行。产品出产计划的滚动期应该同MRP的运行周期一致。若MRP每周运行一次，则产品出产计划每周更新一次。

表10—2 产品出产计划

周次	1	2	3	4	5	6	7	8	9
产品A (台)					10			15	
产品B (台)				13			12		
配件C (件)	10	10	10	10	10	10	10	10	10

另外，可以把产品出产计划从时间上分成两部分，近期为确定性计划，远期为尝试性计划。这是由于近期需要的产品项目都有确定的顾客订货，而远期需要的产品，只有部分是顾客订货，而另一部分是预测的。确定性计划以周为计划的时间单位，尝试性计划可以以月为计划的时间单位。没有尝试性计划往往会失去顾客，因为很多顾客订货较迟，而交货又要求比较急。随着时间的推移，预测的订货将逐步落实到具体顾客身上。

(二) 产品结构文件

产品结构文件又称为物料清单文件(Bill of Materials, BOM)，它不只是所有元件的清单，还反映了产品项目的结构层次以及制成最终产品的各个阶段的先后顺序。

在产品结构文件中，各个元件处于不同的层次。每一层次表示制造最终产品的一个阶段。通常，最高层为零层，代表最终产品项；第一层代表组成最终产品项的元件；第二层为组成第一层元件的元件……，依此类推。最低层为零件和原材料。各种产品由于结构复杂程度不同，产品结构层次数也不同。

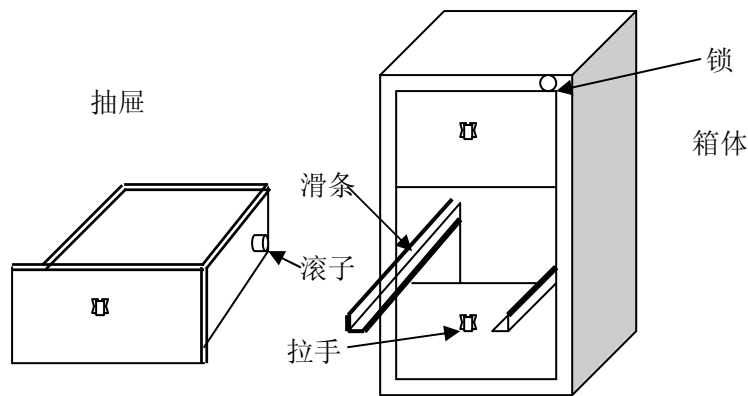


图10 - 4 三抽屉文件柜组成

为了形象地说明产品结构文件，以图10—4所示的三抽屉文件柜为例，并以图10—5所示的产品结构树来说明。三抽屉文件柜由1个箱体、1个锁和3个抽屉组成，1个箱体又由1个箱外壳和6根滑条(每个抽屉需2根滑条)装配而成；每个抽屉又由1个抽屉体和1个手柄和2个滚子组成；锁为外购件。为了简单起见，我们将各种具体产品及其构成部分统称为产品和元件，用英文字母代表它们，并将产品及其元件之间的关系用一种树形图表示出来，如图10—5所示。这种树形图通常被称为“产品结构树”。图10—5中1个单位A产品(文件柜)由1个B部

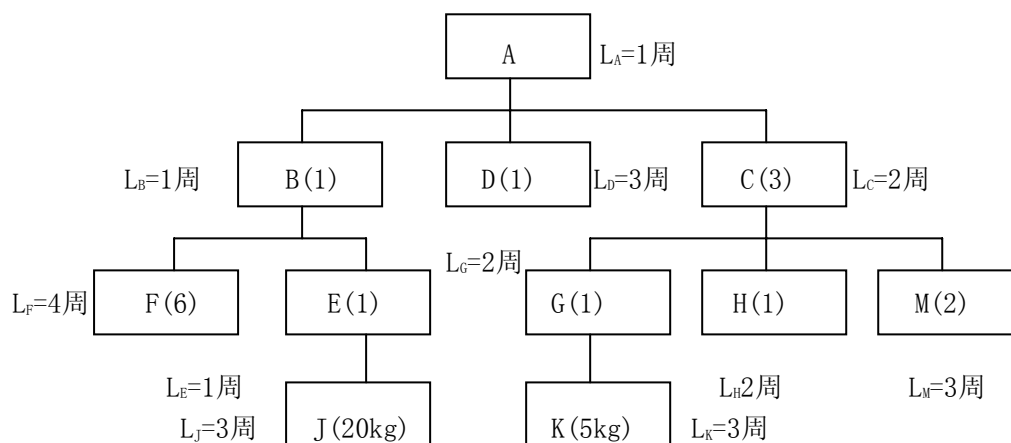


图10—5 三抽屉文件柜结构树

件(箱体)、3个C组件(抽屉)和1个D零件(锁)构成；1个B部件又由1个E(箱外壳)和6个F(滑条)构成；1个C组件由1个G零件(抽屉体)、1个H零件(手柄)和2个M零件(滚子)构成；每个E零件要消耗20公斤钢材J，每个G零件要消耗5公斤钢材K。图中方框里字母后括号中的数字表示单位上层元件包含的该元件的数量，如B(1)表示1个A中包含1个B，J(20kg)表示1个E零件要消耗20kg材料J。

图中 L_x 表示加工、装配或采购所花的时间，称为提前期(Lead time)。它相当于通常所说的加工周期，装配周期或订货周期。如 $L_A=1$ 周，说明产品A从开始装配到完成装配需要1周时间； $L_G=2$ 周，说明零件G从开始加工到完成加工需要2周时间； $L_K=3$ 周，说明采购钢材K从订货到到货需3周时间。

为使树形图具有一般性，另绘一产品A的结构树，如图10—6所示。

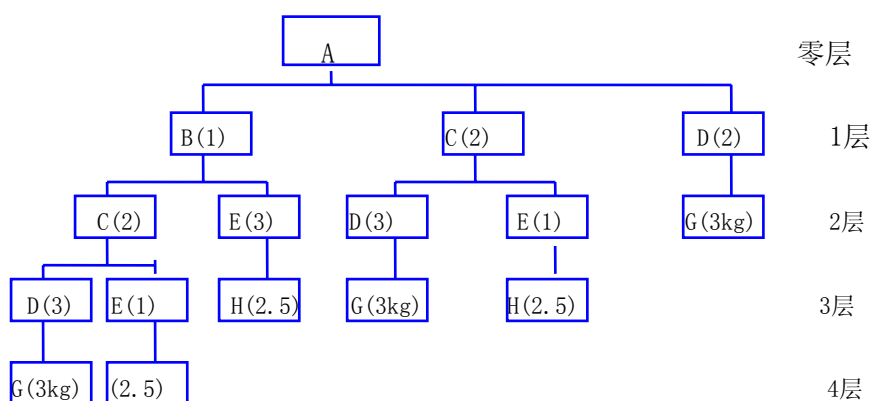


图10—6 A产品结构树

由图10—6可以发现，相同的元件出现在不同的层次上。如元件E，既出现在第2层，又出现在第3层，这固然可以清楚地表示各个不同的生产阶段，但给计算机处理带来麻烦。为了便于计算机处理，凡是遇到同一元件出现在不同层次上的情况，取其最低层次号，作为该元件的低层码。图10—6所示的产品结构树可以变成如图10—7所示的产品结构树。按照改进的产品结构树，可以从上到下逐层分解，每一元件只需检索一次，节省了计算机的运行时间。

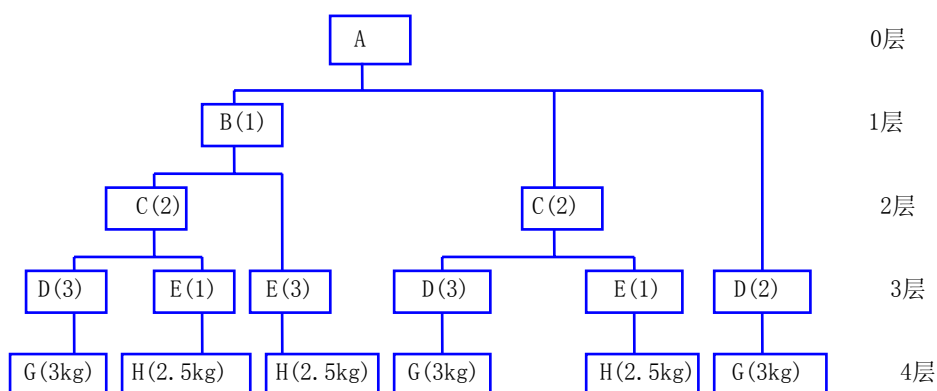


图10—7 调整后的产品结构树

(三) 库存状态文件

产品结构文件是相对稳定的，库存状态文件却处于不断变动之中。MRP每运行一次，它就发生一次大的变化。MRP系统关于订什么，订多少，何时发出订货等重要信息，都存贮在库存状态文件中。

库存状态文件包含每一个元件的记录。表10—3为部件C的库存状态文件的记录。其中，时间是这样规定的：现有数为周末时间数量，其余4项均为一周开始的数量。数据项可以作更细的划分，如预计到货量可以细分成不同的来源，现有数可以按不同的库房列出。

总需要量是由上层元件的计划发出订货量决定的。在本例中，A产品在第6周、第9周和第11周的开始装配数量各为15台，一台A包含2个C，则对C的总需要量各为300件。

表10—3 库存状态文件

部件C LT=2周	周次											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
总需要量	300								300		300	
预计到货量	400											
现有数 20	20	420	420	420	420	120	120	120	-180	-180	-480	
净需要量									180		300	
计划发出订货量	180							300				

预计到货量为已发出的订货或开始生产的元件的预计到货或预计完成的数量。本例中，元件C将在第2周得到400件。

现有数为相应时间的当前库存量。对于本例，在订计划的时候，元件C的当前库存量为20件，到第2周，由于预计到货400件，所以现有数为420件。到第6周用去300件，现有数为120件。到第9周，需用300件，现有数已不足以支付，将欠180件。因此，现有数将为负值，那时需要发出订货。

$$\text{净需要量} = \text{总需要量} - \text{预计到货量} - \text{现有数} \quad (10.1)$$

经计算，第9周对C的净需要量为180件，第11周净需300件。

计划发出订货要考虑提前期。第9周需180件，提前期为2周，则第7周必须开始制造180件C。如果考虑安全库存量 and 经济批量，相应的计算会复杂一些。

三、MRP的输出

MRP系统可以提供多种不同内容与形式的输出，其中主要的是各种生产和库存控制用的计划和报告。现将主要输出列举如下：

(1) 零部件投入出产计划。零部件投入出产计划规定了每个零件和部件的投入数量和投入时间、出产数量和出产时间。

如果一个零件要经过几个车间加工，则要将零部件投入出产计划分解成“分车间零部件投入出产计划”。分车间零部件投入出产计划规定了每个车间一定时间内投入零件的种类、数量及时间，出产零件的种类、数量及时间。

(2) 原材料需求计划。规定了每个零件所需的原材料的种类、需要数量及需要时间，并按原材料品种、型号、规格汇总，以便供应部门组织供料。

(3) 互转件计划。规定了互转零件的种类、数量、转出车间和转出时间，转入车间和转入时间。

(4) 库存状态记录。提供各种零部件，外购件及原材料的库存状态数据，随时供查询。

(5) 工艺装备机器设备需求计划。提供每种零件不同工序所需的工艺装备和机器设备的编号、种类、数量及需要时间。

(6) 计划将要发出的订货。

(7) 已发出订货的调整，包括改变交货期，取消和暂停某些订货等。

(8) 零部件完工情况统计，外购件及原材料到货情况统计。

(9) 对生产及库存费用进行预算的报告。

(10) 交货期模拟报告。

(11) 优先权计划。

四、MRP的处理过程

在介绍库存状态文件时，曾提出5种库存状态数据：总需要量、预计到货量、现有数、净需要量和计划发出订货量。这5种库存状态数据可以分成两类，一种为库存数据，另一种为需求数据。预计到货量和现有数为库存数据，这些数据要经过检查才能进入系统；总需要量，净需要量和计划发出订货量为需求数据，是由系统计算得出的，只有通过计算才能验证。

如果我们考虑安全库存量，则有以下关系：
净需要量=总需要量-预计到货量-现有数+安全库存量 (10.2)

如果计算得到的净需要量为负数，则取零。

一般情况下，可以使计划发出订货量等于净需要量，但发出订货的时间要提前一段时间，当考虑有一定订货批量或生产批量的限制时，计划发出订货量大于或等于净需要量。

进行MRP处理的关键是找出上层元件(父项)和下层元件(子项)之间的联系。这种联系就是：按父项的计划发出订货量来计算子项的总需要量，并保持时间上一致。

要提高MRP的处理效率，可采用自顶向下、逐层处理的方法。按照这种方法，先处理所有产品的零层，然后处理第1层，…，一直到最低层，而不是逐台产品自顶向下地处理。这样做的好处每一项目只需检索处理一次，效率较高。为此，需要对每个元素编一个低层码。按低层码有助于逐层处理。

为了具体说明MRP的处理过程，以图10—7所示的产品为例，逐层计算，元件C的低层码为2，计算过程如表10—4所示。

表10—4 MRP的处理过程

产品 项目	提前 期	项 目	周 次										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A (零层)	2周	总需要量								10			15
		预计到货量											
		现有数 0	0	0	0	0	0	0	0	-10	-10	-10	-25
		净需要量								10			15
		计划发出订货量						10			15		
B (1层)	1周	总需要量						10			15		
		预计到货量	10										
		现有数 2	12	12	12	12	12	2	2	2	-13		
		净需要量									13		
		计划发出订货量								13			
C (2层)	2周	总需要量						20		26	30		
		预计到货量		10									
		现有数 5	5	15	15	15	15	-5	-5	-31	-61		
		净需要量						5		26	30		
		计划发出订货量				5		26	30				

计算过程是自顶向下、逐层处理的过程。从零层开始，A产品在第6周的计划发出订货量为10台，第9周为15台。零层处理完毕，再处理第1层。第1层只有部件B。由产品结构树形图可知，1台A产品包含1个B部件。于是，对B部件的总需要量为第6周10件，第9周15件。只有按对B部件的总需要量供货，才能保证A产品按时装配。经过B部件内部平衡计算，得出第8周需要发出13件B部件的订货。第1层处理完毕，再处理第2层。第2层只有组件C。由产品结构树形图可知，1台A产品包含2个C组件，1个B部件也包含2个C组件。按A产品第6周计划发出10台订货和第11周发出15台订货的需求，可计算出C组件第6周的总需要量为20件，第9周的总需要量为30件；按B部件第8周计划发出13件订货的需求，可计算出C组件第9周的总需要量为26件。按这样的方法继续进行，读者可以处理第3层的D元件和E元件。

第三节 MRP II

一、从MRP到MRP II

制造资源计划，即MRP II，并不是一种与MRP完全不同的新技术，而是在MRP的基础上发展起来的一种新的生产方式。

MRP可以将产品出产计划变成零部件投入出产计划 and 外购件、原材料的需求计划。但是，只知道各种物料的需要量和需要时间是不够的，如果不具备足够的生产能力，计划将会落空。考虑生产能力，从内部必然涉及车间层的管理，从外部必然涉及到采购。单靠MRP不够了，这就从MRP发展到闭环MRP。

闭环MRP的“闭环”实际有双重含义。一方面，它不单纯考虑物料需求计划，还将与之有关的能力需求、车间生产作业计划和采购等方面考虑进去，使整个问题形成“闭环”；另一方面，从控制论的观点，计划制订与实施之后，需要取得反馈信息，以便修改计划与实行控制，这样又形成“闭环”。

在MRP出现之前，人们常常在没有物料需求计划的条件下，谈论对生产能力的需求，使得对生产能力的需求建立在一种粗糙的估算上。这样得出的能力需求计划是不准确的。与对物料的需求一样，对生产能力的需求也有时间性，即在什么时候，需要什么类型的设备，需多少能力工时？如果不考虑时间性，则无法准确判断生产能力是否能满足生产任务的要求。可能从总量上讲，能力工时不少于任务工时，但在某一特定时间内，能力可能不够，也可能能力有富余。只有得出了物料需求计划，才能准确地确定对能力的需求计划。同样，单纯谈论车间生产作业控制，而不管各个零部件的计划完工期限是否有效，也是没有意义的。要使每个零部件的计划完工期限有效，也需要MRP提供准确的零部件计划出产时间。采购更是这样，没有MRP提供的原材料及外购件需求计划，采购将是盲目的。

在没有MRP之前，各种生产经营活动都是孤立地进行的，也只能是孤立地进行的。因为没有人能够及时作出如此准确的物料需求计划。有了MRP，才使企业内各项活动建立在更自觉的基础上，使盲目性造成的浪费减到最小。

然而，企业里其它活动单向地从MRP取得信息是不够的。MRP必须从车间、供应部门和设备部门得到信息和反馈信息，才能得出切实可行的物料需求计划。正是这一方面，闭环MRP将MRP向前推进了一步。成功地应用闭环MRP的人们很自然地联想到，既然库存记录足够精确，为什么不可以根据它来计算费用？既然MRP得出的是真正要制造和要购买的元件，为什么不能依据它作采购方面的预算？既然生产计划已被分解成确定要实现的零部件的投入出产计划，为什么不可以把它转化为货币单位，使经营计划与生产计划保持一致呢？把生产活动与财务活动联系到一起，是从闭环MRP向MRP II迈出的关键一步。MRP II实际是整个企业的系统，它包括整个生产经营活动：销售、生产、库存、生产作业计划与

控制等等。图10—8表示MRP II的结构。

从图10—8可以看出，经营计划是MRP II的起始点。经营计划就是确定企业的产值与利润指标，而要实现一定的产值和利润，必须按市场的需求决定生产什么和生产多少，这是企业生产经营活动的一个最基本的决策。但经营计划一般只列出要生产的产品大类和总吨位等。

按经营计划确定的产值和利润指标，并根据市场预测和企业当前的生产条件，确定生产计划。生产计划也是确定生产什么和生产多少，但它一般以产品族为对象，而且在制定生产计划时要进行粗略能力平衡。所谓“粗略能力平衡”，只是对关键机床进行月度或季度范围内的生产任务与生产能力平衡。编制生产计划不仅要考虑市场需求，而且要考虑企业的生产能力，不仅要考虑生产能力，而且要考虑企业当前条件，如当前原材料、毛坯和零部件库存、设备、人员状况等。按现有的生产能力和当前条件。若不能满足经营计划的要求，则将信息反馈到经营计划，使之作出相应的调整。

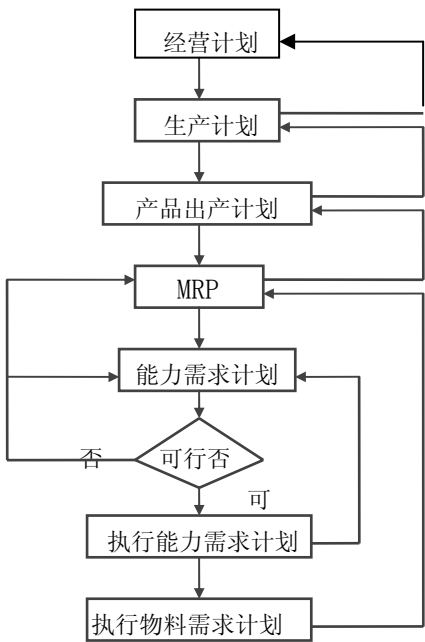


图10—8 MRP II

接着按生产计划确定产品出产计划。产品出产计划以具体产品为对象，它规定每种具体产品的出产时间与数量，是组织生产的依据，同时也是销售的依据。因此，它是企业内生产活动和经销活动的结合点。

产品出产计划必须切实可行。它是MRP的一项关键输入。若不可行，必然导致MRP运行失败。当生产能力不够，以至通过有限的调整生产能力的方法仍不能消除这种不足时，零部件就不能按MRP给出的完工期限完工。这时要将信息反馈到生产计划，使之作出调整。

MRP输出的零部件投入出产计划实际上可以作为车间的“生产计划”，它规定了车间的生产任务，规定了车间“产品”（各种零部件）的完工期限与数量，因而可以作为对车间生产实行控制的标准和车间编制生产作业计划的依据。

车间生产作业计划要规定每个工作地每天的工作任务，使MRP输出的零部件投入出产计划落实到每一道工序。编制车间生产作业计划要依据每个零件的加工路线和每道工序的工时定额，要在满足加工路线的条件下，保证安排到每台机床上的任务不发生冲突，同时保证每个零件按期完工。这是一个十分困难的问题，它需要运用排序的理论与方法。

由于对各种物料都有确定的时间要求，因而对加工这些物料所需的机器设备、工具、工艺装备、场地和工人也有时间要求，进而对一些后勤部门，如食堂、医院、澡堂等也有确定的时间要求，使企业内一切活动都围绕物料转化准时进行。这就是MRP II。MRP II不再是生产部门的MRP了，它是整个企业的MRP。

三、MRP II统一了企业的生产经营活动

以往，一个企业内往往有很多系统，如生产系统，财务系统，销售系统，供应系统，设备系统，技术系统，人事系统等等，它们各自独立运行，缺乏协调，相互关系并不密切，在各个系统发生联系时，常常互相扯皮，互相埋怨。而且，各个部门往往要用到相同类型的数据，并从事很多相同或类似的工作，但往往是同一对象，各部门的数据不一致，造成管理上的混乱。这都是由于缺乏一个统一而有效的系统所致。

企业是一个有机整体，它的各项活动相互关联，相互依存，应该建立一个统一的系统，使企业有效地运行。

由于MRP II能提供一个完整而详尽的计划，可使企业内各部门的活动协调一致，形成一个整体。各个部门享用共同的数据，消除了重复工作和不一致，也使得各部门的关系更加密切，提高了整体的效率。下面简要叙述MRP II如何改变了企业各个部门的生产经营活动。

（一）营销部门

营销部门通过产品出产计划与生产部门建立了密切的联系。按市场预测与顾客订货，使产品出产计划更符合市场的要求。有了产品出产计划，使签订销售合同有了可靠依据，可大大提高按期交货率。由于MRP有适应变化的能力，它可以弥补预测不准的弱点。

（二）生产部门

过去，生产部门的工作是最不正规的，由于企业内部条件和外部环境的不不断变化，生产难以按预定的生产作业计划进行。这使得第一线生产管理人员不相信生产作业计划，他们认为那是“理想化”的东西，计划永远跟不上变化，因此他们只凭自己的经验和手中的“缺件表”去工作。事实上，在第一线指挥生产的工段长们不是不喜欢计划，而是不喜欢那些流于形式的、不能指挥生产的计划。有了MRP II之后，使计划的完整性、周密性和应变性大大加强，使调度工作大为简化，工作质量得到提高。采用电子计算机可以实现日生产作业计划的编制，充分考虑了内外条件的变化。这就使得人们从经验管理走向科学管理。由于采用MRP II及其它现代管理方法，生产部门的工作将走向正规化。

（三）采购部门

采购人员往往面临两方面的困难。一方面是供方要求提早订货，另一方面是本企业不能提早确定需要的物资的数量和交货期。这种情况促使他们早订货和多订货。有了MRP II，使采购部门有可能做到按时、按量供应各种物资。由于MRP的计划期可长到一年至二年，使得一二年后出产的产品所需的原材料和外购件能提前相当长时间告诉采购部门，并能准确地提供各种物资的“期”和“量”方面的要求，避免了盲目多订和早订，节约了资金，也减少了短缺。MRP不是笼统地提供一个需求的总量，而是要求按计划分期分批地交货，也为供方组织均衡生产创造了条件。

（四）财务部门

实行MRP II，可使不同部门采用共同的数据。事实上，一些财务报告只要在生产报告的基础上是很容易作出的。例如，只要将生产计划中的产品单位转化为货币单位，就构成了经营计划。将实际销售、生产、库存与计划数相比较就会得出控制报告。当生产计划发生变更时，马上就可以反映到经营计划上，可以使决策者迅速了解这种变更在财务上造成的

影响。

（五）技术部门

以往技术部门似乎超脱于生产活动以外，生产上那些琐事似乎与技术人员无关。但是，对于MRPⅡ这样的正规系统来讲，技术部门提供的却是该系统赖以运行的基本数据，它不再是一种参考性的信息，而是一种作控制用的信息。这就要求产品结构清单必须正确，加工路线必须正确，而且不能有含糊之处。修改设计和工艺文件也要经过严格的手续，否则，会造成很大的混乱。按照MRP用户的经验，产品结构清单的准确度必须达到98%以上，加工路线的准确度必须达到95—98%，库存记录的准确度达到95%，MRP才能运行得比较好。

第四节 MRP系统设计决策及应用中的技术问题

一、主要设计决策

应用MRP首先要解决MRP软件问题。国外有大量的MRP商品软件。国内有的企业购买了国外的软件，但由于企业的环境与管理体制不同，需进行较大改造。因此，有的企业自己开发软件。无论是购买现成的软件，还是自己开发软件，事先都需要进行设计决策。

MRP系统的主要设计决策包括：计划期的长短，计划的时间单位，是否考虑ABC分类，系统运行的频率，采用“重新生成”方式，还是采用“净变”方式等问题。

（一）计划期的长短

计划期不能比最长的产品制造周期短，这是一个必须满足的要求。在满足这项要求的前提下，计划期越长，计划的预见性就越好，对于生产能力的合理安排也越有利。但计划期过长，还会造成数据处理量大，运行时内存多。因此，在确定计划期长短时，要按企业最长的产品生产周期、企业计划工作的要求，以及现有计算机设备的能力等来决定。通常，计划期一般为一年(52周)。对于制造周期短的产品，也可以缩短一些，比如39周。

（二）计划的时间单位

对于具体指挥生产的人员来讲，希望计划的时间单位小一些好。但是，计划的时间单位太小，又会造成数据量过大，占据的存储空间过多，运行时间过长等问题。实践证明，以周为计划的时间单位是比较好的。但对于预计计划部分，也可采用双周或月，甚至季为计划的时间单位。

（三）ABC分类问题

实行MRP要不要对零件进行ABC分类，这是有争议的问题，也是设计MRP系统必须解决的问题。

一种意见认为，应该对制造零件进行ABC分类。对A类和B类零件用MRP处理，对C类零件用订货点方法处理，这样既抓住了主要零件，控制了资金占用，又节省了计算机的存贮空间，加快了运行速度。

另一种意见认为，实行MRP就没有必要对零件进行ABC分类，没必要对不同类的零件分别处理。其原因是，ABC分类的目的是为了抓住重点，以适于人工处理。对于电子计算机，由于它的运行速度越来越快，存储空间越来越大，没有必要这样做；而且缺少一个C类零件与缺少一个A类零件都不能进行产品装配；订货点方法不仅造成高库存，而且避免不了缺货；为了使计划落实，要进行生产能力与生产任务的平衡，离开C类零件，平衡难以进行；在生产过程中，要按零件的优先权来安排加工的先后顺序，并非A类零件的优先权一定比C类零件的优先权高。将C类零件排除在外，就不能有效分配优先权。

两种意见都有各自的道理，用户应按自己的条件作出抉择。

（四）系统运行的频率

运行一次MRP一般要10个小时左右。运行的频率太高，花费是很大的。但是，运行的频率太低又不能及时对变化了的情况作出反应。因此，对动态的、易变的环境，MRP的运行频率应该高一些。因为在这种环境下，产品出产计划随顾客需求的波动而改变频率较高。从企业内部来讲，经常发生设计变更、工艺修改、出废品等等，也是促使MRP运行频率增高的原因。相反，对于比较稳定的环境，MRP的运行频率可以低一些。

运行频率既是MRP系统设计的一个重要参数，又是其运行的一个重要参数。对于“重新生成”系统来说，运行频率不应该高于每周一次，因为MRP运行时间长，只能利用周末时间运行。如果这样的运行频率还不能满足要求，则应采用“净变”系统。

（五）需求跟踪功能

在进行负荷能力平衡时，常常需要知道是哪一个最终产品引起的负荷。这时需要从具体零件的总需要量出发，通过需求跟踪(Pegging)，找出该零件的总需要量是由哪些“源”决定的，这就需要需求跟踪功能。需求跟踪与MRP的处理过程正好相反。需求跟踪很费时，是否需要这种功能需作出抉择。

（六）固定计划订货功能

固定计划订货的意思是，将一次运行确定的计划发出订货的时间及数量“冻结”起来，不随以后的运行改变。通常，MRP每运行一次，计划发出订货的数量与时间就变化一次，以至于某项计划发出订货在正式发出之前要改变好多次，有了固定计划订货功能，迫使MRP系统通过调节净需要量来适应变化。当然，这种特殊的功能只是用于控制某些特定的计划发出订货，而不是用于所有的计划发出订货。

（七）“重新生成”方式还是“净变”方式

MRP的更新有两种典型的方式：“重新生成”(Regeneration)方式与“净变”(Net Change)方式。

按照重新生成方式，MRP每隔一个固定的时间运行一次，每一个产品项目，不论是否发生变化，都必须重新处理一遍。重新生成方式是传统的处理方式，计算量大，且不能对变化及时作出反应。但系统运行次数少，数据处理效率高，还有“自洁”作用，不会把上一次运行中的错误带到新得出的计划中。因此至今仍得到广泛的应用。

按净变方式，系统要按发生的变化随时运行，但运行中只处理发生变化的部分，只计算净变量。因此，净变方式计算量小，对变化反应及时，但系统运行次数多。

选择哪种方式是设计时要考虑的。多数软件都将两种方式结合起来使用。

二、MRP应用中的技术问题

（一）变型产品

需求多样化使变型产品数急剧增加。变型产品往往是几种标准模块的不同组合。以小轿车为例，比方说车身有2个门和4个门2种选择，发动机有3种选择，空调有3种选择，轮胎有4种选择，变速器有3种选择，颜色有10种选择，则有 $2 \times 3 \times 3 \times 4 \times 3 \times 10 = 2160$ 种变型产品。按前面所讲的方法，则有2160种产品结构文件，而每种文件中绝大部分内容是重复的。这将占用大量的存贮空间。若以变型产品为最终产品项编制产品出产计划，则产品出产计划也将大大复杂化，而且很难预测每种变型产品的需求量。为了处理大量的变型产品，可以模块代替变型产品，建立模块物料清单(Modular bill of materials)，以模块为对象编制产品出产计划。这样产品结构文件将大大减少。对于本例，仅 $(2+3+3+4+3+10) = 25$ 种模块物料清单。只需将模块作适当组合，就可在短得多的时间内提供顾客所需的特定产品。

（二）安全库存

设置安全库存是为了应付不确定性。尽管是相关需求，仍有不确定性。比如，不合格品的出现，外购件交货延误，设备故障，停电，缺勤等。一般仅对产品结构中最低层元件设置安全库存，不必对其它层次元件设置安全库存。

（三）提前期

MRP中使用的提前期与我们通常所讲的提前期在含义上有差别。前者实际上指零件的加工周期和产品的装配周期；后者是以产品的出产时间作为计算起点，来确定零件加工和部件装配何时开始的时间标准。

提前期按计划时间单位计，此处是按周计，这是比较粗糙的。提前期为5个工作日时，按1周计；提前期为1天，也按1周计。这样处理会出现一些极端的情况。比如，元件C的提前期为1个工作日。由C装成元件B也需1个工作日，由B装成元件A也需1个工作日。这样圆整成周以后再相加，需3周。实际上，由C开始加工到A装成，仅3天时间，应该圆整成1周。

确定提前期要考虑以下几个因素：排队（等待加工）时间，运行（切削、加工、装配等）时间，调整准备时间，等待运输时间，检查时间和运输时间，对于一般单件生产车间，排队时间是最主要的，约占零件在车间停留时间的90%左右。这个数值只是对于所有零件的平均数。对某个具体零件来说排队时间是其优先权的函数。优先权高的零件，排队时间短；优先权低的零件，排队时间长。所以，排队时间是一个很不稳定的因素。除了排队时间之外。其它几个因素也是很难确定的。这些因素与工厂里的工时定额、机器设备及工艺装备的状况，工人的熟练程度，厂内运输的条件以及生产组织管理的水平都有关系。因此，要得出精确的计算公式或程序来确定每批零件的提前期，几乎是不可能的。

当然，人们也提出一些经验公式，用来计算提前期。当排队时间是主要因素时，可采用下面的公式：

$$L=2N+6 \quad (10.3)$$

式中：L——提前期，以工作日计；

N——工序数。

当加工时间是主要的因素时（如大型零件的加工），可采用下面的公式：

$$L=k \times T \quad (10.4)$$

式中：T为工件的总加工时间，

k为系数，可取1.5 - 4。

MRP采用固定提前期，即不论加工批量如何变化，事先确定的提前期均不改变。这实际上假设生产能力是无限的。这是MRP的一个根本缺陷。

（四）批量

无论是采购或者是生产，为了节省订货费用或生产调整准备费用，都要形成一定的批量。

对于MRP系统，确定批量十分复杂。这是因为产品是层次结构，各层元件都有批量问题，每一层元件计划发出订货的数量和时间的变化，都将波及下属所有元件的需要量及需要时间，这样将引起一连串变动。而且，由于下层元件的批量一般比上层的大，这种波动还会逐层放大。这种上层元件批量变化引起下层元件批量的急剧变化，称为系统紧张（Nervousness）。

批量问题还与提前期互相作用，批量的变化应该导致提前期改变，而提前期的改变又会引起批量的变化。为了简化，一般都把提前期当作已知的确定量来处理。为了避免引起系统紧张，一般仅在最低层元件订货时考虑批量。

MRP零件层批量问题是离散周期需求下的批量问题，它与连续均匀需求下的批量问题不同。因此，不能用EOQ公式求解。处理离散周期需求下的批量问题，一般假设周期内需求连

续均匀，不允许缺货，订货提前期为零。对这个问题，人们提出了很多算法。这里仅介绍一个较好的启发式算法——最大零件周期收益 (Maximum Part-Period Gain, MPG) 法。

MPG法的思想是这样的：当把某周 (t) 的需求 $D(t)$ 合并到相对 t 的第1周一起订货时 (第1周有需求)，可以节省一次订货费 (S)，但却增加了维持库存费 $(t-1) \cdot D(t) \cdot H$ ，H 为单位维持库存费。因此，只要 $(t-1) \cdot D(t) \cdot H < S$ ，即 $(t-1) \cdot D(t) < S / H$ ，就将 $D(t)$ 合并到第1周一起订货。第1周是相对 t 周而言的。 $(t-1) \cdot D(t)$ 越小，则合并订货越合算。 $(t-1) \cdot D(t)$ 单位为“零件一周期”。将一个零件提前1周订货为一个“零件一周期”。

MPG法步骤如下：

- ① 从MRP计算出的净需求表中，挑选最小的“零件一周期”对应的净需求；
- ② 将相应的净需求合并到该周前面有净需求的周一起订货；
- ③ 合并后，若所有的“零件一周期”值均大于 S / H ，停止；否则，转步骤①。

现通过一个算例说明MPG法的应用。

已知， $S=300$ 元， $H=2$ 元 / 件 · 周，零件净需求如表10—5所示。计算 $(S / H) = 150$ 件 · 周。用MPG法求订货批量的过程，如表10—6所示。

表10—5 零件净需求

周	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
净需求量	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10

表10—6 用MPG法求订货批量的过程

移动 次数	最小零件 周期	周 次											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	10	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10
1	20	20	0	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10
2	20	20	0	35	0	70	180	250	270	240	40	0	10
3	50	20	0	35	0	70	180	250	270	230	50	0	0
4	70	20	0	35	0	70	180	250	270	280	0	0	0
5	180	55	0	0	0	70	180	250	270	280	0	0	0
期初库存 Q_s		55	45	35	20	70	180	250	270	280	50	10	10
期末库存 Q_f		45	35	20	0	0	0	0	0	50	10	10	0

从给出的净需要量表中的可以看出，将第2周的需求合并到第1周订货时，零件一周期值最小。因此，将其合并到第1周订货。第1周净需求由10变为20。然后，将第4周的需求合并到第3周订货的零件一周期值最小。于是，将其合并到第3周订货。按这样的方式一直进行到最小零件一周期值大于150为止。最终订货安排为：第1周订55，保证第1、2、3、4周的需求能够满足；第5周订70，第6周180，第7周250，第8周为270，都是为满足当周需要；第9周订280，可满足9、10和12周的需求。

求出订货安排之后，可按下式计算总费用：

$$\begin{aligned} \text{总费用 } C_T &= C_R + C_H \\ &= kS + 0.5H \sum (Q_s + Q_f) \end{aligned}$$

式中： C_R —总订货费；

C_H —总维持库存费；

k—订货次数；

Q_s —i周期初库存量；

Q_i — i 周末库存量。

对于本例,

$$C_R = 6 \times 300 = 1800 \text{元},$$

$$C_H = 0.5 \times 2(55 + 45 + 45 + 35 + 35 + 20 + 20 + 70 + 180 + 250 + 270 + 280 + 50 + 50 + 10 + 10 + 10 + 10) = 1445 \text{元}$$

$$C_T = 1800 + 1445 = 3245 \text{元}$$

第五节 分配需求计划(DRP)

MRP的逻辑和形式可以应用到服务领域,这种应用的典型例子就是分配需求计划(Distribution Requirements Planning, DRP)。从第九章图9-1 生产企业物料流中可以看出,企业生产的产品发送到到批发商,再通过零售商送到用户手中。物资部门和商业部门一般都有分层次的销售网点,下层零售点由上一层供货,最上层直接向生产企业订货,最低层零售点直接将物品卖给顾客。这些供应网点形成了一个多级分配网络(Multilevel Distribution Network, MDN)。

一、DRP的处理逻辑

虽然最低层网点的需求属于独立需求,但它们之间的需求关系也可以用类似MRP的逻辑处理。多级分配网络的每一个网点的每一种物品的需求和库存情况都可以用一个表来表示。表中有3项:预计总需求量、现有数和计划发出订货量。如表10-7所示。最低层网点的预计总需求量由各网点根据以往的销售情况预测确定,其余网点的预计总需求量可按下级网点的计划发出订货量计算。与MRP不同,DRP中库存现有数包括预计到货量,它可按下式计算:

$$\text{下期现有数} = \text{上期现有数} - \text{预计需求量} + \text{预计到货量} \quad (10.5)$$

每个服务网点对每项库存物品都设置了安全库存量。发出订货的条件是,预计的现有数到达规定的安全库存量以下。计划发出订货量可以按实际需要多少就提出多少,也可按确定的最佳订货批量或最小订货批量订货。订货需要按提前期提早一段时间发出。上一层网点的预计需求量是根据下一层网点的计划发出订货量确定的,并在时段上保持一致。表10-7说明分配需求计划的处理过程。

表10-7所示的例子设在某城市有1个批发部,在该城市的不同地区设有2个零售点。零售点对某种物品的预计需求量如表10-7所示。零售点A现有库存量为230件,按式(10.5)计算其现有数。在第4周现有数为60,仅够满足第5周60件的需求量,低于安全库存50。因此,第5周必须有补充。由于该物品从零售点A订货的提前期为2周,订货批量为250,所以需在第3周发出250件订货。假定第5周到达250件订货,则现有数变成250。到第7周,现有数为110,第8周预计需求量为70, $110 - 70 = 40 < 50$,需补充订货。提前2周在第6周计划发出订货,订货量为250件。用同样的方法可以算出零售点B的计划发出订货量(第3周300件)。

批发部的预计总需求按零售点A和零售点B的计划发出订货量计算得出:第3周为 $(250 + 300) = 550$ 件,第6周为250件。按式(10-7)计算得出,批发部第2周应该发出1500件订货。批发部可以向上一级批发部或直接向企业订货。

表10-7 DRP的处理过程

零售点A

提前期2周, 安全 库存50,订货批量 250	周次								
		1	2	3	4	5	6	7	8
预计需求		40	40	40	50	60	70	70	70
现有数	230	190	150	110	60	250	180	110	290
计划发出订货				250			250		

零售点B

提前期3周, 安全 库存70,订货批量 300	周次								
		1	2	3	4	5	6	7	8
预计需求		60	60	60	60	65	65	65	65
现有数	90	330	270	210	150	85	320	255	190
计划发出订货				300					

批发部

提前期3周, 安全 库存1000,订货批 量1500	周次								
		1	2	3	4	5	6	7	8
预计需求				550			250		
现有数	1750	1750	1750	1200	1200	2700	2450	2450	2450
计划发出订货			1500						

二、DRP与MRP的异同

(一) 相同点

- 1、DRP和MRP都是按时段的订货点(Time-phased Order Point, TPOP)方法. TPOP的准时性比一般订货点方法好得多。
- 2、DRP和MRP都采用固定提前期。
- 3、DRP和MRP都假设能力无限。

(二) 不同点

- 1、MRP处理的是生产过程的物料流问题，其形态在不断变化。如若干不同零件装配成一台产品，计划的对象不断发生变化。DRP处理的是流通领域的物料流，其形态并不改变，计划对象无论在最低层的服务网点，还是最高层的批发部门，都是不变的。
- 2、MRP是从总体(产品)出发，按产品结构文件，自上而下地处理到部分(零部件、原材料)；DRP是从局部(最低层服务网点)出发，按分配网络，自下而上地处理到全局(如全国服务中心)。

案例：爱博集团的MRP II 项目

一. 公司简况

爱博公司是国内高低压电器成套设备的定点生产厂家，拥有26家分支企业和若干职能

部门。主要的分支企业有成套厂、柜体厂、销售公司、机械厂、研究所。公司本部的职能部门主要有总裁办、总工办、企管部、质管部、财务部、供应部等。集团公司采用股份制形式管理各分支企业。公司按订单组织生产，具有多品种小批量的生产特征。

公司的主导产品有JK型、GCD型、GCK型等几十种，各产品均有多个结构设计上的标准型，各由数百个品种的零部件装配而成，各有数百个可供用户选择的电气接线方案，由数千种电气元件按不同的方案组装而成。产品的生产制造主要由柜体厂、机械厂、成套厂分工承担。其中，柜体厂主要承担零部件制造，生产按工艺专业化原则分工组织，主要有冲压车间、结构车间和油漆车间。设备多按离散机群式布置，生产过程中零件按成批顺序移动方式有上道工序经质检转入下道工序；机械厂主要承担金属切削件的生产和专用工装模具的制造，也按工艺专业化组织生产；成套厂主要承担产品总装配，按产品对象专业化原则组织生产，分为高压车间和低压车间。

公司内部的生产管理过程大致是：销售公司将定货合同以内部合同的形式转给柜体厂和成套厂。柜体厂以内部合同为依据，制定月、周、日生产计划并监督计划执行情况，完成自制件的原材料采购、自制件的加工、半成品库存等工作，为成套厂提供必要的自制件。成套厂以内部合同为依据，制定月、周、日生产计划，并监督计划执行情况，完成产品结构、工艺设计、元器件的采购、库存、产品的组装及质量的检查等工作。

多年来，公司强化管理，成效显著，综合效益和人均利税名列全国前茅。然而，公司实施MRPII以前，在生产经营管理方面存在一些问题，表现在：

- 在柜体厂、成套厂以及相关的各部门之间，没有形成一个统一的、协调的生产计划，而且各部门之间普遍存在着采用口头或电话等没有严格约束力的信息交换方式，加上许多信息的统计工作采用手工作业，反馈速度慢，造成生产方面的计划、执行、反馈、处理不协调和不一致，时常影响公司按期交货。

- 月生产计划的可操作性差。各厂主要依据内部合同编制月生产计划，很少考虑车间生产的实际负荷，缺乏准确的生产进度数据。因而，这种月生产计划只具参考价值，各部门还要进一步编制适合本部门并具有可操作性的计划。然而，由于计划编制工作的复杂性以及月份生产计划本身又在不断地变化，使得编制下一层计划难以进行，结果造成车间作业计划、采购供应计划等计划环节薄弱。

- 公司内部信息共享程度差。如在外的销售人员难以及时了解车间生产安排情况以及可用生产能力；有关部门难以了解产品的技术改进数据，也无法获得动态的库存数据等。

- 采购计划的制定与执行难度大。编制采购计划需要来自生产计划、产品结构、库存以及车间等方面的信息，编制工作量大。而且，由于生产计划不断变化，采购计划难以跟着变化。另一方面，由于生产部、供应部门、车间和仓库之间没有形成统一的、准确一致的库存与采购动态信息，使编制的采购计划不够准确，因而无法达到准确平衡的物料供应，结果不仅经常造成生产过程的不均衡，而且最终影响交货期。

- 库存管理效率低。采用手工记帐，不仅工作量大，易出错，而且难以及时提供准确的库存信息。

- 由于车间作业计划工作比较薄弱，使得现场的生产调度与协调难度加大，也就难免存在临时安排性和随意性，造成生产过程中一定程度的不规范和不平衡。

由于以上问题的存在，不利于公司的进一步发展，不利于公司保持竞争优势。因此，公司领导层决定采用现代管理思想与技术，在全集团公司范围内实施MRPII系统，并决定采用引进商品化软件加二次开发的方式实施系统。

二. 系统的总体目标和主要功能

针对公司多品种、小批量的生产特征以及多变的市场需求，公司确定MRPII系统应当是一个以用户订单为驱动，以计划管理为中心的企业级集成系统。其总体目标是缩短产品生产周期，减少流动资金，提高企业经济效益和市场应变能力。

结合公司的实际情况，最后确定MRPII系统的主要功能包括销售管理、主生产计划、物料需求计划、车间作业计划、车间作业控制、能力需求计划、应收帐、应付帐、总帐、物资管理、库存管理、成本核算、人力资源管理、设备管理、制造数据管理、综合查询，这些功能基本上覆盖了生产经营的各个方面。同时，MRPII系统还实现了与CAD/CAPP/CAM的集成。

三、MRPII实施的组织和数据准备

1. 项目的组织

爱博公司在MRPII 的实施过程中有一个强有力的组织保证。

- 项目指导委员会。该委员会由公司总经理亲自担任组长，主要工作是把握MRPII实施的总体进度，解决实施过程中出现的重大问题。定期举行指导委员会会议，协调在实施过程中产生的比较大的矛盾，同时布置下一步的重点工作。

- 项目实施小组。实施小组由有关业务岗位上的业务骨干组成，具体完成系统各功能的数据录入和业务操作，组长由涉及部门的经理或分厂长担任，并由中心派计算机专业人员任技术助理。

- 项目实施与控制小组。该小组主要由信息中心的人员组成。负责对项目的开发、实施进行管理、协调，制订实施进度，提出考核建议，同时负责项目的质量控制。

2. 数据准备

包括整理产品结构数据、毛坯和零部件加工工艺数据，定义工作中心数据，对物料、仓库、货位等进行统一编码，核查整顿仓库实物量数据，对每一物料按其加工特性制订库存控制策略和生产提前期等。

四. 实施策略

公司在MRP II 项目的实施上采用了“稳扎稳打，步步为营”的方针。

- 首先实施财务系统，包括总账、应收账款和应付账款。因为财务系统有章可循，稳定运行一段时间后，就可得到各类财务报表，以及手工系统中需要花费大量精力才能得到的一些分析报告。

- 第二步，实施经营和库存管理部分，包括销售和库存管理、物资管理，并分别实现与财务系统的集成。在这一步实施中，重点需要解决的问题是部门之间的协调和有效配合。

- 第三步，实施生产部分，包括物料清单、生产订单下达以及计划展开、车间生产控制等，同时实现MRPII系统与CAD/CAPP的集成。实施这部分要求逐步实现以销定产、以生产驱动采购的目标。这个过程是实施MRPII系统的核心部分，也是最见效益的部分，但这一步的实施难度较大，它要求库存记录和物料清单的准确度达到98%以上。实施生产部分涉及的部门更多，特别是在建立产品的物料清单时，需要产品设计、工艺、生产等各部门的参与，在准备基础数据时常常会发现，由于手工管理问题，工程的改变不能在整个企业内统一实现，使用MRP II 系统则解决了这一问题。

- 最后，实施成本核算系统，实现生产、经营与财务的集成。在库存记录、物料清单准确及整个系统的操作规程完善以后，才能通过实施成本系统实现整个MRPII系统的集成。

五、效益和效果

爱博集团公司实施MRPII系统所取得的效益和效果是显著的，主要表现在以下几方面：

- 存货逐渐降低，存货不成比例、无效库存过高的状况得到改善。库存水平下降约5%~10%。
- 加快企业的货款回收，避免坏账损失。使用MRPII系统对应收账款严格管理、及时分析，加快了货款回收，有效地改善了企业的资金状况。
- 降低成本。MRPII的实施使整个公司的成本状况处于实时监控中，使事后成本变为事前成本，很多事情能变事后补救为事前预防，从而大幅度地降低了公司的生产成本和采购成本。
- 改善财务的核算能力和分析能力。使用MRPII系统完全可以做到日清日结，使财务系统像一面镜子，随时反映企业的经营状况。系统提供大量的统计数据，管理人员准确地分析这些数据就能及时控制和解决企业经营过程中的问题。
- 提高企业管理水平。
- 企业对市场变化的反应能力加强。通过实施MRP II 系统，企业的整体工作被协调起来，以销售计划和订单确定主生产计划，展开出生产计划和采购计划只需要2~3小时的时间，当市场变化时企业能很快跟随。
- 为管理层决策提供科学依据。随着系统使用不断深入，所积累的数据越来越多，这为管理层决策提供了各种分析数字，改善了经营决策，提高了企业的应变能力和竞争地位，企业领导可随时了解销售、生产和财务等方面的运行状况。
- 均衡生产、稳定质量。通过实施MRPII，公司在各分厂以及相关的各部门之间有一个统一的、协调的生产计划，各生产车间也有可操作的作业计划。依靠这种均衡性的生产计划，能消除原材料的突击采购和突击性的加班加点，保证了原材料的质量和车间在制品的生产和装配质量，从而提高整个产品的质量。

六、实施MRPII的关键

MRPII的特点是高投资、高收益，同时也是高风险。MRPII的应用是一项艰巨复杂的工作，工作量大，涉及面广，实施周期长。爱博公司在实施MRPII项目中，注意开展了以下几个关键工作：

- 领导重视和积极参与MRPII的实施。推行MRPII系统不可避免地会冲击现行管理中的一些不符合管理规律但又沿袭已久的观念、作风和习惯，所以在实施过程中会遇到各种困难和阻力。爱博公司在开始推行MRPII之初，就成立了由各分厂、各部门第一把手组成的MRPII领导小组，由公司主管生产经营的副总经理亲自担任项目经理，直接领导MRPII实施工作，企管办主任直接担任MRPII实施小组长，指挥和协调整个的实施工作。
- 重视人员的培训、培训、再培训，使人人自觉参与与投入。通过培训，让广大职工、管理干部明白MRPII的管理思想，让各岗位人员对MRPII都有系统的理解和统一的认识，明白实施MRPII的必要性和效益，变被动的“要我干”为主动的“我要干”。从而公司员工都能从全局的观点来理解和做好本职工作，保证MRPII系统实施成功。
- 从运行MRPII的需要出发，加强各项基础管理工作，完善生产经营管理体系。MRPII是以生产计划和控制为主，实现企业管理整体优化的人机结合的系统。爱博公司在实施MRPII系统的过程中，注意从MRPII的需要出发，改造和完善企业的各项管理，如切实做好产品工程数据管理、生产计划管理、销售计划管理、物料采购及仓库管理、成本核算及财务管理五大基础管理工作，提高了企业基础管理的水平。同时改进现行管理方式以适应MRPII 的运行模式，不断完善生产经营管理体系。

- 注意培养作业技术人才，根据企业自身特点，适当开展软件用户化和二次开发工作。

[简评]

实施MRPII是一项高投资、高收益，同时也是高风险的系统工程，必须得到领导层的全面支持，必须要有强有力的组织保障和切实可行的实施计划，必须提供充分有效的培训和咨询，必须按照总体规划，分步实施的方针逐步推进。系统规划完成后，应先实施条件成熟、见效快的模块。在项目实施过程中，项目组成员的努力和改革进取的精神也是成功实施MRPII的重要因素。

小结

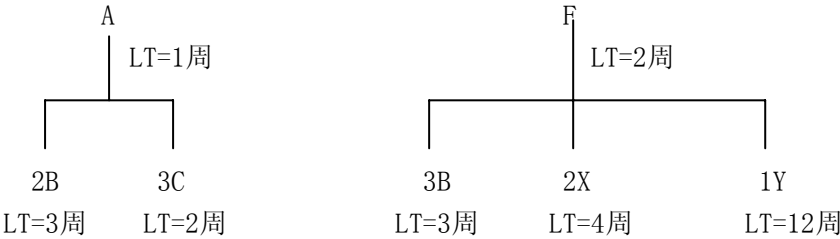
本章全面地介绍了物料需求计划MRP和制造资源计划MRPII。第一节论述了MRP的基本思想，即围绕物料转化组织制造资源，实现按需要准时生产，讨论了订货点方法的局限性。第二节分析了MRP在企业生产经营系统中的地位和作用，从系统的观点详细地介绍了MRP系统的输入、输出、处理逻辑和处理过程。第三节论述了MRPII的基本思想。第四节讨论了MRP系统设计决策和应用的若干问题，包括计划期的长短，计划的时间单位，ABC分类问题，系统运行的频率，需求跟踪，固定计划订货功能以及“重新生成”方式和“净改变”方式，变型产品，安全库存，提前期和批量等问题。第五节探讨了MRP的基本逻辑在服务领域的应用，重点介绍分配需求计划DRP的处理逻辑。

思考题

- 1、 MRP的基本思想是什么？ 为什么需要且能够围绕物料转化组织准时生产？
- 2、 将订货点方法用于处理相关需求库存有何问题？为什么？
- 3、 MRP系统有哪些输入和输出？ MRP系统的处理过程如何？为什么要采用低层码？
- 4、 MRP II 为何统一了企业的生产经营活动？
- 5、 设计 MRP系统涉及哪些问题的决策？如何处理变型产品？

练习题

- 1、 完成表10-4的处理过程。
- 2、 已知A和F两种产品的结构和产品出产计划，求元件B的总需求量。



周次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
产 品			200	150	200	150	250	300	300	300	200	100	150

A													
产 品 F			90	200	150	200	210	100	180	150	250	200	250

3、 已知对某零件的净需求如下表所示，单位订货费为100元，单位维持库存费为0.25元/件周。(1)用EOQ公式确定订货批量；(2)试用MPG法确定订货安排。

周次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
需求量	200	150	100	200	100	100	150	200	150	200

第十一章 制造业作业计划与控制

通过 MRP 确定各车间的零部件投入出产计划,将全厂性的生产计划变成了各车间的生产任务。各车间要完成既定的生产任务,还必须将零部件投入出产计划转化成车间生产作业计划,将车间的生产任务变成各个班组、各个工作地的任务。只有将计划安排到工作地,任务才算真正落到实处。每个工作地生产作业计划的完成,保证了车间生产作业计划的完成,从而保证了厂级生产作业计划的完成;厂级生产作业计划的完成,又保证了全厂生产计划的完成。但是,单靠计划和作业计划并不能保证生产任务的按期完成,还必须实行生产控制。

排序的理论与方法是编制车间作业计划的基础。本章将介绍排序问题的基本概念,重点介绍流水作业排序问题、单件作业排序问题和用于输入/输出控制的漏斗模型。

第一节 排序问题的基本概念

一、名词术语

在生产管理中,常用到“编制作业计划”(Scheduling)、“排序”(Sequencing)、“派工”(Dispatching)、“控制”(Controlling)和“赶工”(Expediting)这些名词。

一般说来,编制作业计划与排序不是同义语。排序只是确定工件在机器上的加工顺序。而编制作业计划,则不仅包括确定工件的加工顺序,而且还包括确定机器加工每个工件的开始时间和完成时间。因此,只有作业计划才能指导每个工人的生产活动。由于编制作业计划的主要问题是确定各台机器上工件的加工顺序,而且,在通常情况下都是按最早可能开(完)工时间来编排作业计划的。因此,当工件的加工顺序确定之后,作业计划也就确定了。所以,人们常常不加区别地使用“排序”与“编制作业计划”这两个术语。在本章里,讲排序的时候就暗指相应的作业计划是最早时间作业计划。只有在需要的时候,才将这两个术语区别使用。

“派工”是按作业计划的要求,将具体生产任务安排到具体的机床上加工,属于我们经常说的“调度”范围。“赶工”是在实际进度已落后于计划进度时采取的行动,也属于“调度”范围。“调度”是实行控制所采取的行动。“编制作业计划”是加工制造发生之前的活动;“调度”是在加工制造发生之后的活动,是发现实际生产进度已经偏离预定计划而采取的调配资源的行动。调度的依据是作业计划。比如,火车时刻表是一种作业计划,火车发生晚点,就要进行调度。调度是一种现场指挥。

描述排序问题的名词术语来自加工制造行业。为了和惯用的名词术语保持一致,本书仍使用“机器”、“工件”、“工序”和“加工时间”等术语来描述各种不同的排序问题。但要注意,它们已不限于本来的含义。这里所说的“机器”,可以是工厂里的各种机床,也可以是维修工人;可以是轮船要停靠的码头,也可以是电子的计算机中央处理单元、存储器 and 输入、输出单元。一句话,表示“服务者”;工件则代表“服务对象”。工件可以是单个零件,也可以是一批相同的零件。

假定有 n 个工件要经过 m 台机器加工。“加工路线”是工件加工的工艺过程决定的,它

是工件加工在技术上的约束。比如，某工件要经过车、铣、占、磨的路线加工，我们可以用 M_1, M_2, M_3, M_4 来表示。一般地，可用 M_1, M_2, \dots, M_m 来表示加工路线。“加工顺序”则表示每台机器加工 n 个工件的先后顺序，是排序要解决的问题。

二、假设条件与符号说明

为了便于分析研究，建立数学模型，有必要对排序问题提出一些假设条件。

一个工件不能同时在几台不同的机器上加工。

工件在加工过程中采取平行移动方式，即当上一道工序完工后，立即送下道工序加工。

不允许中断。当一个工件一旦开始加工，必须一直进行到完工，不得中途停止插入其它工件。

每道工序只在一台机器上完成。

工件数、机器数和加工时间已知，加工时间与加工顺序无关。

每台机器同时只能加工一个工件。

在下面的讨论中，如不作特别说明，都是遵循以上假设条件的。

下面对有关符号进行说明。

J_i 工件 i ， $i = 1, 2, \dots, n$ 。

M_j 机器 j ， $j = 1, 2, \dots, m$ 。

p_{ij} J_i 在 M_j 上的加工时间， J_i 的总加工时间为 $P_i = \sum p_{ij}$

r_i J_i 的到达时间，指 J_i 从外部进入车间，可以开始加工的最早时间。

d_i J_i 的完工期限。

C_i J_i 的完工时间， $C_i = r_i + (w_{ij} + p_{ij}) = r_i + w_i + P_i$ 。

C_{\max} 最长完工时间， $C_{\max} = \max \{ C_i \}$ 。

F_i J_i 的流程时间，即工件在车间的实际停留时间， $F_i = C_i - r_i = w_i + P_i$ 。

F_{\max} 最长流程时间， $F_{\max} = \max \{ F_i \}$ 。

L_i 工件的延迟时间

$$L_i = C_i - d_i$$

$$= r_i + P_i + w_i - d_i$$

$$= (P_i + w_i) - (d_i - r_i)$$

$$= F_i - a_i$$

当 $L_i > 0$ (正延迟)，说明 J_i 的实际完工时间超过了完工期限；当 $L_i < 0$ (负延迟)，说明 J_i 提前完工；当 $L_i = 0$ (零延迟)， J_i 按期完工。

L_{\max} 最长延迟时间， $L_{\max} = \max \{ L_i \}$ 。

三、排序问题的分类和表示法

排序问题有不同的分类方法。最常用的分类方法是按机器、工件和目标函数的特征分类。按机器的种类和数量不同，可以分成单台机器的排序问题和多台机器的排序问题。对于多台机器的排序问题，按工件加工路线的特征，可以分成单件作业(Job-shop)排序问题和流水作业

(Flow-shop)排序问题。工件的加工路线不同,是单件作业排序问题的基本特征;而所有工件的加工路线完全相同,则是流水作业排序问题的基本特征。

按工件到达车间的情况不同,可以分成静态的排序问题和动态的排序问题。当进行排序时,所有工件都已到达,可以一次对它们进行排序,这是静态的排序问题;若工件是陆续到达,要随时安排它们的加工顺序,这是动态的排序问题。

按目标函数的性质不同,也可划分不同的排序问题。譬如,同是单台机器的排序,目标是使平均流程时间最短和目标是使误期完工工件数最少,实质上是两种不同的排序问题。按目标函数的情况,还可以划分为单目标排序问题与多目标排序问题。以往研究的排序问题,大都属于单目标排序问题,而对多目标排序问题则很少研究。

另外,按参数的性质,可以划分为确定型排序问题与随机型排序问题。所谓确定型排序问题,指加工时间和其它有关参数是已知确定的量;而随机型排序问题的加工时间和有关参数为随机变量。这两种排序问题的解法本质上不同。

由机器、工件和目标函数的不同特征以及其它因素上的差别,构成了多种多样的排序问题。本章只讨论几种有代表性的排序问题。

对于本章要讨论的排序问题,我们将用 Conway 等人提出的方法表示。这个方法只用 4 个参数就可以表示大多数不同的排序问题。4 参数表示法为:

$n/m/A/B$ 。

其中, n 工件数;

m 机器数;

A 车间类型;在 A 的位置若标以“ F ”,则代表流水作业排序问题。若标以“ P ”,则表示流水作业排列排序问题。若标以“ G ”,则表示一般单件作业排序问题。当 $m=1$,则 A 处为空白。因为对于单台机器的排序问题来说,无所谓加工路线问题,当然也就谈不上是流水作业还是单件作业的问题了。

B 目标函数,通常是使其值最小。

有了这 4 个符号,就可以简明地表示不同的排序问题。例如, $n/3/p/C_{\max}$ 表示 n 个工件经 3 台机器加工的流水作业排列排序问题,目标函数是使最长完工时间 C_{\max} 最短。

第二节 流水作业排序问题

流水作业排序问题的基本特征是每个工件的加工路线都一致。在流水生产线上制造不同的零件,遇到的就是流水作业排序问题。我们说加工路线一致,是指工件的流向一致,并不要求每个工件必须经过加工路线上每台机器加工。如果某些工件不经某些机器加工,则设相应的加工时间为零。

一般说来,对于流水作业排序问题,工件在不同机器上的加工顺序不尽一致。但本节要讨论的是一种特殊情况,即所有工件在各台机器上的加工顺序都相同的情况。这就是排列排序问题。流水作业排列排序问题常被称作“同顺序”排序问题。对于一般情形,排列排序问题的最优解不一定是相应的流水作业排序问题的最优解,但一般是比较好的解;对于仅有 2 台和 3

台机器的特殊情况，可以证明，排列排序问题下的最优解一定是相应流水作业排序问题的最优解。

本节只讨论排列排序问题。但对于 2 台机器的排序问题，实际上不限于排列排序问题。

一、最长流程时间 F_{\max} 的计算

本节所讨论的是 $n/m/p/F_{\max}$ 问题，目标函数是使最长流程时间最短。最长流程时间又称作加工周期，它是从第一个工件在第一台机器开始加工时算起，到最后一个工件在最后一台机器上完成加工时为止所经过的时间。由于假设所有工件的到达时间都为零($r_i = 0, i = 1, 2, \dots, n$)，所以 F_{\max} 等于排在末位加工的工件在车间的停留时间，也等于一批工件的最长完工时间 C_{\max} 。

设 n 个工件的加工顺序为 $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ ，其中 S_i 为排第 i 位加工的工件的代号。以 C_{kS_i} 表示工件 S_i 在机器 M_k 上的完工时间， $p_{S_i^k}$ 表工件 S_i 在 M_k 上的加工时间， $k = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n$ ，则 C_{kS_i} 可按以下公式计算：

$$\begin{aligned} C_{1S_i} &= C_{1S_{i-1}} + p_{S_i^1} \\ C_{kS_i} &= \max\{C_{(k-1)S_i}, C_{kS_{i-1}}\} + p_{S_i^k} \end{aligned} \quad (11.1)$$

$k = 2, 3, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n$ 。

当 $r_i = 0, i = 1, 2, \dots, n$ 时，

$$F_{\max} = C_{mS_n} \quad (11.2)$$

式(11.1)是一个递推公式。当由式(11.1)得出 C_{mS_n} 时， F_{\max} 就求得了。

在熟悉以上计算公式之后，可直接在加工时间矩阵上从左向右计算完工时间。下面以一例说明之。

例 11.1 有一个 $6/4/p/F_{\max}$ 问题，其加工时间如表 11-1 所示。当按顺序 $S = (6, 1, 5, 2, 4, 3)$ 加工时，求 F_{\max} 。

表 11-1 加工时间矩阵

i	1	2	3	4	5	6
P_{i1}	4	2	3	1	4	2
P_{i2}	4	5	6	7	4	5
P_{i3}	5	8	7	5	5	5
P_{i4}	4	2	4	3	3	1

解：按顺序 $S = (6, 1, 5, 2, 4, 3)$ 列出加工时间矩阵，如表 11-2 所示。按式(11.1)进行递推，将每个工件的完工时间标在其加工时间的右上角。对于第一行第一列，只需把加工时间的数值作为完工时间标在加工时间的右上角。对于第一行的其它元素，只需从左到右依次将前一列右上角的数字加上计算列的加工时间，将结果填在计算列加工时间的右上角。对于从第二行到第 m 行，第一列的算法相同。只要把上一行右上角的数字和本行的加工时间相加，将结果填在本行加工时间的右上角；从第 2 列到第 n 列，则要从本行前一列右上角和本列上一行的右上角数字中取大者，再和本列加工时间相加，将结果填在本列加工时间的右上角。这样计算

下去，最后一行的最后一列右上角数字，即为 C_{mS_n} ，也是 F_{\max} 。计算结果如表 11-2 所示。本例 $F_{\max} = 46$ 。

表 11 - 2 顺序 S 下的加工时间矩阵						
<i>i</i>	6	1	5	2	4	3
P _{i1}	2 ²	4 ⁶	4 ¹⁰	2 ¹²	1 ¹³	3 ¹⁶
P _{i2}	5 ⁷	4 ¹¹	4 ¹⁵	5 ²⁰	7 ²⁷	6 ³³
P _{i3}	5 ¹²	5 ¹⁷	5 ²²	8 ³⁰	5 ³⁵	7 ⁴²
P _{i4}	1 ¹³	4 ²¹	3 ²⁵	2 ³²	3 ³⁸	4 ⁴⁶

二、n/2/F/F_{max} 问题的最优算法

对于 n/2/F/F_{max} 问题，S.M.Johnson 于 1954 年提出了一个有效算法，那就是著名的 Johnson 算法。为了叙述方便，以 a_i 表示 J_i 在 M_1 上的加工时间，以 b_i 表示 J_i 在 M_2 上的加工时间。每个工件都按 $M_1 \rightarrow M_2$ 的路线加工。Johnson 算法建立在 Johnson 法则的基础之上。Johnson 法则为

$$\text{如果 } \min(a_i, b_j) < \min(a_j, b_i), \tag{11.3}$$

则 J_i 应该排在 J_j 之前。如果中间为等号，则工件 i 既可排在工件 j 之前，也可以排在它之后。
按式(11.3)可以确定每两个工件的相对位置，从而可以得到 n 个工件的完整的顺序。但是，这样做比较麻烦。事实上，按 Johnson 法则可以得出比较简单的求解步骤，我们称这些步骤为 Johnson 算法。

Johnson 算法：

从加工时间矩阵中找出最短的加工时间。

若最短的加工时间出现在 M_1 上，则对应的工件尽可能往前排；若最短加工时间出现在 M_2 上，则对应工件尽可能往后排。然后，从加工时间矩阵中划去已排序工件的加工时间。若最短加工时间有多个，则任挑一个。

若所有工件都已排序，停止。否则，转步骤 。

例11.2 求表 11 - 3 所示的 $6/2/F/ F_{\max}$ 问题的最优解。

表 11 - 3 加工时间矩阵						
<i>i</i>	1	2	3	4	5	6
a_i	5	1	8	5	3	4
b_i	7	2	2	4	7	4

解：应用 Johnson 算法。从加工时间矩阵中找出最短加工时间为 1 个时间单位，它出现在 M_1 上。所以，相应的工件(工件 2)应尽可能往前排。即，将工件 2 排在第 1 位。划去工件 2 的加工时间。余下加工时间中最小者为 2，它出现在 M_2 上，相应的工件(工件 3)应尽可能往后排，于是排到最后一位。划去工件 3 的加工时间，继续按 Johnson 算法安排余下工件的加工顺序。求解过程可简单表示如下：

将工件 2 排第 1 位

2

将工件 3 排第 6 位

2

3

将工件 5 排第 2 位 2 5 3

将工件 6 排第 3 位 2 5 6 3

将工件 4 排第 5 位 2 5 6 4 3

将工件 1 排第 4 位 2 5 5 1 4 3

最优加工顺序为 $S = (2, 5, 6, 1, 4, 3)$ 。求得最优顺序下的 $F_{\max} = 28$ 。

我们可以把 Johnson 算法作些改变，改变后的算法按以下步骤进行：

将所有 $a_i \leq b_i$ 的工件按 a_i 值不减的顺序排成一个序列 A。

将所有 $a_i > b_i$ 的工件按 b_i 值不增的顺序排成一个序列 B。

将 A 放到 B 之前，就构成了最优加工顺序。

按改进后的算法对例 11.2 求解，如表 11 - 4 所示。序列 A 为 $(2, 5, 6, 1)$ ，序列 B 为 $(4, 3)$ ，构成最优顺序为 $(2, 5, 6, 1, 4, 3)$ ，与 Johnson 算法结果一致。

表 11-4 改进算法

i	1	2	3	4	5	6
a_i	5	1	8	5	3	4
b_i	7	2	2	4	7	4

i	2	5	6	1	4	3
a_i	1	3	4	5	5	8
b_i	2	7	4	7	4	2

当从应用 Johnson 法则求得的最优顺序中任意去掉一些工件时，余下的工件仍构成最优顺序。如对例 6.2 的最优顺序 $(2, 5, 6, 1, 4, 3)$ 。若去掉一些工件，得到的顺序 $(5, 6, 1, 4, 3)$ ， $(2, 6, 4, 3)$ ， $(2, 6, 1, 4)$ 等仍为余下工件的最优顺序。但是，工件的加工顺序不能颠倒，否则不一定是最优顺序。同时，我们还要指出，Johnson 法则只是一个充分条件，不是必要条件。不符合这个法则的加工顺序，也可能是最优顺序。如对例 11.2 顺序 $(2, 5, 6, 4, 1, 3)$ 不符合 Johnson 法则，但它也是一个最优顺序。

三、一般 $n/m/P/F_{\max}$ 问题的启发式算法

对于 3 台机器的流水车间排序问题，只有几种特殊类型的问题找到了有效算法。对于一般的流水车间排列排序问题，可以用分支定界法。用分支定界法可以保证得到一般 $n/m/P/F_{\max}$ 问题的最优解。但对于实际生产中规模较大的问题，计算量相当大，以至连电子计算机也无法求解。同时，还需考虑经济性。如果为了求最优解付出的代价超过了这个最优解所带来的好处，也是不值得的。

为了解决生产实际中的排序问题，人们提出了各种启发式算法。启发式算法以小的计算量得到足够好的结果，因而十分实用。下面介绍求一般 $n/m/P/F_{\max}$ 问题近优解 (Near optimal solution) 的启发式算法。

(一) Palmer 法

1965 年，D.S.Palmer 提出按斜度指标排列工件的启发式算法，称之为 Palmer 法。工件的斜度指标可按下式计算：

$$\lambda_i = \sum_{k=1}^m [k - (m+1)/2] p_{ik}$$

(11.4)

$k=1,2,\dots,n$.

式中， m 机器数；

p_{ik} 工件 i 在 M_k 上的加工时间。

按照各工件 λ_i 不增的顺序排列工件，可得出令人满意的顺序。

例11.3 有一个 $4/3/F/F_{\max}$ 问题，其加工时间如表 11 - 5 所示，用 Palmer 法求解。

表 11-5 加工时间矩阵

i	1	2	3	4
P_{i1}	1	2	6	3
P_{i2}	8	4	2	9
P_{i3}	4	5	8	2

解：计算 λ_i 。

对于本例，(11.4)式变成：

$$\lambda_i = \sum_{k=1}^3 [k - (3+1)/2] p_{ik}$$

(11.5)

$k = 1, 2, 3$

$$\lambda_i = - p_{i1} + p_{i3}$$

于是， $\lambda_1 = - p_{11} + p_{13} = - 1 + 4 = 3$ ，

$$\lambda_2 = - p_{21} + p_{23} = - 2 + 5 = 3$$
，

$$\lambda_3 = - p_{31} + p_{33} = - 6 + 8 = 2$$
，

$$\lambda_4 = - p_{41} + p_{43} = - 3 + 2 = - 1。$$

按 λ_i 不增的顺序排列工件，得到加工顺序(1，2，3，4 和(2，1，3，4)，恰好这两个顺序都是最优顺序。如不是这样，则从中挑选较优者。在最优顺序下， $F_{\max} = 28$ 。

(二) 关键工件法

关键工件法是本书作者 1983 年提出的一个启发式算法。其步骤如下：

计算每个工件的总加工时间 $P_i = \sum p_{ij}$ ，找出加工时间最长的工件 C ，将其作为关键工件。

对于余下的工件，若 $p_{i1} < p_{im}$ ，则按 p_{i1} 不减的顺序排成一个序列 s_a ；若 $p_{i1} > p_{im}$ ，则按 p_{im} 不增的顺序排列成一个序列 s_b 。

顺序(s_a ， C ， s_b)即为所求顺序。

下面用关键工件法求例 11.3 的近优解。求 $P_i, i=1, 2, 3, 4$ ，如表 11 - 6 所示。总加工时间最长的为 3 号工件， $p_{i1} > p_{i3}$ 的工件为 1 和 2，按 p_{i1} 不减的顺序排成

$$S_a = (1, 2)$$

$p_{i1} > p_{i3}$ 的工件为 4 号工件， $S_b = (4)$ ，这样得到的加工顺序为 (1, 2, 3, 4)，对本例为最优顺序。

表 11 - 6 用关键工件法求解

i	1	2	3	4
P_{i1}	1	2	6	3
P_{i2}	8	4	2	9
P_{i3}	4	5	8	2
p_i	13	11	16	14

(三) CDS 法

Campbell-Dudek-Smith 三人提出了一个启发式算法,简称 CDS 法。他们把 Johnson 算法用于一般的 $n/m/P/F_{\max}$ 问题，得到 $(m - 1)$ 个加工顺序，取其中优者。

具体做法是，对加工时间

$$\sum_{k=1}^l p_{ik} \text{ 和 } \sum_{k=m+1-l}^m p_{ik}, l=1,2,\dots,m-1.$$

用 Johnson 算法求 $(m - 1)$ 次加工顺序，取其中最好的结果。

现在我们对例 11.3 用 CDS 法求解。

首先，求 $\sum_{k=1}^l p_{ik}$ 和 $\sum_{k=m+1-l}^m p_{ik}, (l=1,2)$ ，结果如表 11-7 所示。

表 11 - 7 用 CDS 法求解

i		1	2	3	4
l=1	P_{i1}	1	2	6	3
	P_{i3}	4	5	8	2
L=2	$P_{i1}+p_{i2}$	9	6	8	12
	$P_{i2}+p_{i3}$	12	9	10	11

当 $l = 1$ 时，按 Johnson 算法得到加工顺序(1, 2, 3, 4)；当 $l = 2$ 时，得到加工顺序(2, 3, 1, 4)。对于顺序(2, 3, 1, 4)，相应的 $F_{\max} = 29$ 。所以，取顺序(1, 2, 3, 4)。我们已经知道，这就是最优顺序。

第三节 单件作业排序问题

单件作业的排序问题是最一般的排序问题，也是最复杂的一种排序问题。R.W.Conway 等在《编制作业计划的理论》(Theory of Scheduling)一书中说过：一般单件作业的排序问题是一个迷人的挑战性问题。尽管问题本身容易表述，也容易看到所需要的是什么，但是朝着求解的方向作任何推进都是极端困难的。许多能干的人都研究过这个问题，但他们都是一无所获。由于挫折和失败都不在文献中报道，问题就继续吸引着新的探索者，他们不相信结构如此简单的问题竟会那样复杂，直到他们亲自尝试后才明白。

一、问题的描述

对于一般单件作业的排序问题，每个工件都有其独特的加工路线，工件没有一定的流向。对于流水作业的排序问题，第 k 道工序永远在 M_k 上加工，没有必要将工序号与机器号分开。对于一般单件作业排序问题，要描述一道工序，要用 3 个参数： i ， j 和 k 。 i 表示工件代号， j 表示工序号， k 表示完成工件 i 的第 j 道工序的机器的代号。因此，可以用 (i, j, k) 来表示工件 i 的第 j 道工序是在机器 k 上进行的这样一件事。于是，可以用加工描述矩阵的形式来描述所有工件的加工。

加工描述矩阵 D 的每一行描述一个工件的加工，每一列的工序序号相同。例如，加工描述矩阵

$$D = \begin{pmatrix} 1,1,1 & 1,2,3 & 1,3,2 \\ 2,1,3 & 2,2,1 & 2,3,2 \end{pmatrix}$$

的第一行描述工件 1 的加工，第二行描述工件 2 的加工。它表明，工件 1 的第 1 道工序在 M_1 上进行，第 2 道工序在 M_3 上进行，第 3 道工序在 M_2 上进行；工件 2 的第 1 道工序在 M_3 上进行，第 2 道工序在 M_1 上进行，第 3 道工序在 M_2 上进行。

二、一般 $n/m/G/F_{\max}$ 问题的启发式算法

对于一般的 $n/m/G/F_{\max}$ 问题，可以用分支定界法或整数规划法求最优解。但它们都是无效算法，不能应用到生产实际中。启发式方法是求解一般单件车间排序问题使用最多的方法。在介绍 3 类启发式方法之前，先要讲 2 种十分重要的作业计划及其构成方法。

(一) 两种作业计划的构成

在可行的加工顺序下，可以作出无数种作业计划。其中，各工序都按最早可能开(完)工时间安排的作业计划称为半能动作业计划(Semi-active schedule)。任何一台机器的每段空闲时间都不足以加工一道可加工工序的半能动作业计划，称为能动作业计划(active schedule)。无延迟

作业计划(non-delay schedule)是没有任何延迟出现的能动作业计划。所谓“延迟”，指有工件等待加工时，机器出现空闲，即使这段空闲时间不足以完成一道工序。

能动作业计划和无延迟作业计划在研究一般单件作业排序问题时有重要作用。下面先介绍它们的生成方法。为此，先作一些符号说明。

我们称每安排一道工序称作一“步”，设
 $\{s_t\}$ —— t 步之前已排序工序构成的部分作业计划；
 $\{o_t\}$ ——第 t 步可以排序的工序的集合；
 T_k —— $\{o_t\}$ 中工序 o_k 的最早可能开工时间；
 T'_k —— $\{o_t\}$ 中工序 o_k 的最早可能完工时间。

1、能动作业计划的构成步骤:

- ① 设 $t=1$ ， $\{s_1\}$ 为空集， $\{o_1\}$ 为各工件第一道工序的集合。
- ② 求 $T^* = \min\{T'_k\}$ ，并求出 T^* 出现的机器 M^* 。如果 M^* 有多台，则任选一台。
- ③ 从 $\{o_t\}$ 中挑出满足以下两个条件的工序 o_j ：需要机器 M^* 加工，且 $T_j < T^*$ 。
- ④ 将确定的工序 o_j 放入 $\{s_t\}$ ，从 $\{o_t\}$ 中消去 o_j ，并将 o_j 的紧后工序放入 $\{o_t\}$ ，使

$t=t+1$ 。

- ⑤ 若还有未安排的工序，转步骤②；否则，停止。

例 11.4 有一个 2/3/G/ F_{\max} 问题，其加工描述矩阵 D 和加工时间矩阵 T 分别为：

$$D = \begin{pmatrix} 1,1,1 & 1,2,3 & 1,3,2 \\ 2,1,3 & 2,2,1 & 2,3,2 \end{pmatrix} \quad T = \begin{pmatrix} 2 & 4 & 1 \\ 3 & 4 & 5 \end{pmatrix}$$

试构成一个能动作业计划。

解：求解过程如表 11-8 所示。

当 $t=1$ ， $\{O_1\}$ 为 2 个工件的第 1 道工序的集合， $\{O_1\} = \{(1,1,1), (2,1,3)\}$ ，它们的最早可能开工时间是零，工序(1,1,1)的最早完工时间为 2，工序(2,1,3)的最早完工时间是 3。因此， $T^*=2$ 。 T^* 出现在 M_1 上， M_1 上仅有一道可排序的工序(1,1,1)。所以，首先安排(1,1,1)，当(1,1,1)确定之后，其紧后工序(1,2,3)就进入 $\{O_2\}$ 。其后排法相同。当 $t=3$ 时， M^* 有 2 个，这时任取其中一个。按表 11-8 中得出的能动作业计划如图 11-1 所示。

按以上步骤可以求出所有的能动作业计划。当 $t=2$ 时，也可以安排工序(1,2,3:)，因为该工序也需经机器 M_3 加工，而且最早可能开工时间小于 T^* 。同样，当 $t=5$ 时，可以先安排工序(2,3,2)。这样，可以得出所有的能动作业计划，从中可以找出最优的作业计划。

表 11-8 能动作业计划的构成

t	$\{o_i\}$	T_k	T'_k	T^*	M^*	o_j
1	1.1.1	0	2	2	M_1	1.1.1
	2.1.3	0	3			
2	1.2.3	2	6	3	M_3	2.1.3
	2.1.3	0	3			
3	1.2.3	3	7	7	M_3	1.2.3
	2.2.1	3	7			
4	1.3.2	7	8	7	M_1	2.2.1
	2.2.1	3	7			
5	1.3.2	7	8	8	M_2	1.3.2
	2.3.2	7	12			
6	2.3.2	8	13	13	M_2	2.3.2

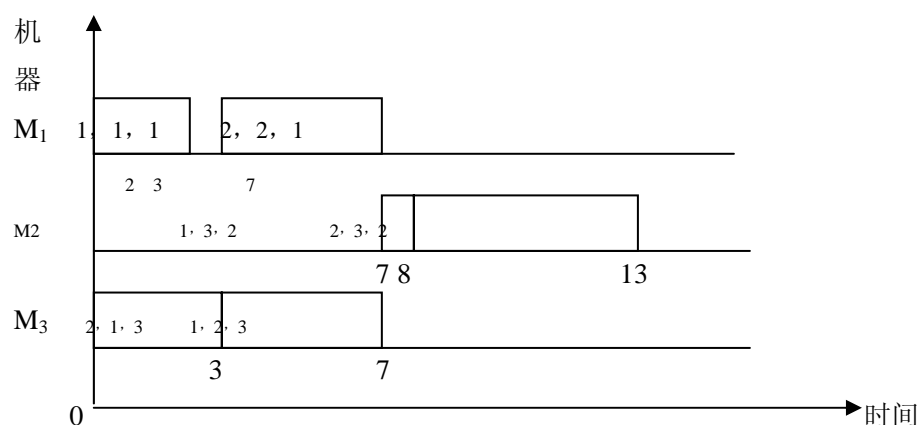


图 11-1 能动作业计划

2、无延迟作业计划的构成步骤:

- ① 设 $t=1$, $\{s_1\}$ 为空集, $\{o_1\}$ 为各工件第一道工序的集合。
- ② 求 $T^* = \min\{T_k\}$, 并求出 T^* 出现的机器 M^* 。如果 M^* 有多台, 则任选一台。
- ③ 从 $\{o_i\}$ 中挑出满足以下两个条件的工序 o_j : 需要机器 M^* 加工, 且 $T_j = T^*$ 。
- ④ 将确定的工序 o_j 放入 $\{s_t\}$, 从 $\{o_i\}$ 中消去 o_j , 并将 o_j 的紧后工序放入 $\{o_i\}$, 使

$t=t+1$ 。

- ⑤ 若还有未安排的工序, 转步骤②; 否则, 停止。

下面对例 11.4 构成无延迟计划, 其求解过程如表 11-9 所示, 得出的无延迟计划如图 11-2 所示。同样, 按以上步骤可以求出所有的无延迟作业计划。

表 11-9 无延迟计划的构成

t	$\{o_i\}$	T_k	T'_k	T^*	M^*	o_j
1	1.1.1	0	2	0	M_1	1.1.1
	2.1.3	0	3	0	M_3	
2	1.2.3	2	6	0	M_3	2.1.3
	2.1.3	0	3			
3	1.2.3	3	7	3	M_3	1.2.3
	2.2.1	3	7	3	M_1	
4	1.3.2	7	8	3	M_1	2.2.1
	2.2.1	3	7			
5	1.3.2	7	8	7	M_2	2.3.2
	2.3.2	7	12	7	M_2	
6	2.3.2	8	13	12	M_2	1.3.2

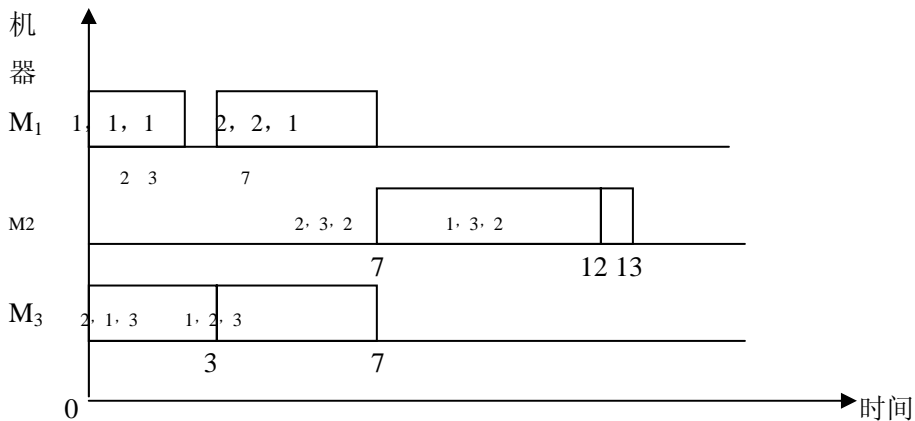


图 11-2 无延迟作业计划

(二) 三类启发式算法

1、优先调度法则

在介绍能动作业计划与无延迟作业计划的构成步骤时，其中第③步的两个条件一般都有多个工序可以满足。按什么样的准则来选择可安排的工序，对作业计划的优劣有很大影响。为了得到所希望的作业计划，人们提出了很多优先调度法则，按优先调度法则挑选工序比随意挑选一道工序的方法更能符合计划编制者的要求，同时又不必列出所有可能的作业计划，从而计算量小。

迄今，人们已提出了 100 多个优先调度法则，其中主要的有下 8 个：

- ① SPT(Shortest Processing Time)法则 优先选择加工时间最短的工序。
- ② FCFS(First Come First Served)法则 优先选择最早进入可排工序集合的工件。

- ③ EDD(Earliest Due Date)法则 优先选择完工期限紧的工件。
- ④ MWKR(Most Work Remaining)法则 优先选择余下加工时间最长的工件。
- ⑤ LWKR(Least Work Remaining)法则 优先选择余下加工时间最短的工件。
- ⑥ MOPNR(Most Operations Remaining)法则 优先选择余下工序数最多的工件。
- ⑦ SCR(Smallest Critical Ratio)法则 优先选择临界比最小的工件。临界比为工件允许停留时间与工件余下加工时间之比。
- ⑧ RANDOM 法则 随机地挑一个工件。

按 SPT 法则可使工件的平均流程时间最短，从而减少在制品量。FCFS 法则来自排队论，它对工件较公平。EDD 法则可使工件最大延误时间最小。SCR 也是保证工件延误最少的法则。MWKR 法则使不同工作量的工件的完工时间尽量接近。LWKR 法则使工作量小的工件尽快完成。MOPNR 法则与 MWKR 法则类似，只不过考虑工件在不同机器上的转运排队时间是主要的。

在应用优先调度法则时，只要将构成能动作业计划的第③步修改为：对于 $\{O_i\}$ 中需要 M^* 加工，且 $T_j < T^*$ 的工序，按预定的优先调度法则确定一个进入 $\{S_i\}$ 的工序。对于构成无延迟作业计划的第③步修改为：对于 $\{O_i\}$ 中需要 M^* 加工、且 $T_j = T^*$ 的工序，按预定的优先调度法则确定一个进入 $\{S_i\}$ 的工序。一般来说，以构成无延迟作业计划的步骤为基础的启发式算法比以构成能动作业计划的步骤为基础的启发算法的效果要好。

现在我们对表 11-8 的第 2 步($t=2$)应用优先调度法则来挑选工序。当应用 SPT 法则时，应挑选工序(2,1,3)；应用 MWKR 法则或 MOPNR 法则时，也应挑选工序(2,1,3)；而应用 LWKR 法则时，则应挑选工序(1,2,3)；用 FCFS 法则，应挑选工序(2,1,3)，因为(2,1,3)比(1,2,3)早进入 $\{O_i\}$ 。

有时应用一个优先法则还不能唯一地确定一道应挑选的工序。这时，需要多个优先调度法则的有序组合。譬如，SPT+MWKR+RANDOM 表示：首先按 SPT 法则挑选工序。若还有多个工序，则应用 MWKR 法则再挑选。若仍有多个工序满足条件，则应用 RANDOM 法则随机地挑一个。

按优先调度法则，可赋予不同工件以不同的优先权。按工件的优先权进行调度，可以使生成的作业计划按预定目标优化。

(二) 随机抽样法

用穷举法或分支定界法求一般单件车间排序问题的最优解时，实际上比较了全部能动作业计划；采用优先调度法则求近优解时，只选择了一种作业计划。这是两个极端。

随机抽样法介乎这两个极端之间。它从全部能动作业计划或无延迟作业计划之中抽样，得出多个作业计划，从中选优。应用随机抽样法时，实际上是对同一个问题多次运用 RANDOM 法则来决定要挑选的工序，从而得到多个作业计划。这种方法不一定能得到最优作业计划，但可以得到较满意的作业计划，而且计算量比分支定界法小得多。随机抽样法比用优先调度法则得到的结果一般要好一些，因为“多放几枪”一般比“只放一枪”的命中率要高。但计算量比后者要大。

显然，随机抽样法的效果与样本大小有关。样本越大，获取较好解的可能性越大，但花费的时间也越多。而且，随机抽样法与母体有关。经验证明，无论是以 F_{\max} 还是以 \bar{F} 为目标函数，从无延迟作业计划母体中抽样所得到的结果比从能动作业计划母体中抽样所得到的结果要好。

(三) 概率调度法

随机抽样法是从 k 个可供选择的工序以等概率方式挑选，每个工序被挑选的概率为 $1/k$ ，这种方法没有考虑不同工序的特点，有一定盲目性。

既然优先调度法则中的一些法则对一定的目标函数的效果明显地比其它法则好，我们为什么不能运用这些法则来影响随机抽样呢？显然，如果我们把除 **RANDOM** 法则以外的某个法则对一个问题使用多次，也只能得到一种作业计划。这样做毫无意义。但是，我们可以给不同的工序按某一优先调度法则分配不同的挑选概率，这样就可以得到多个作业计划供比较。例如，在构在无延迟作业计划的第③步有 3 道工序，A、B 和 C 可挑选，这 3 道工序所需的时间分别为 3、4 和 7。如果按 **RANDOM** 法则，每道工序挑选上的概率都是 $1/3$ ；如果按 **SPT** 法则，则只能挑选工序 A，不可能产生多个作业计划。现按目标函数的要求，选择了 **SPT** 法则。按概率调度法，将这 3 道工序按加工时间从小到大排列，然后给每道工序从大到小分配一个被挑选的概率，比如 A、B 和 C 的挑选概率分别为 $6/14$ 、 $5/14$ 和 $3/14$ 。这样，既保证了 **SPT** 法则起作用，又可产生多个作业计划供挑选。

试验表明，概率调度法比随机抽样法更为有效。

第四节 生产作业控制

一、实行生产作业控制的原因和条件

生产计划和生产作业计划都是生产活动发生之前制定的，尽管制定计划时充分考虑了现有的生产能力，但计划在实施过程中由于以下原因，往往造成实施情况与计划要求偏离。

- (1) 加工时间估计不准确。对于单件小批量生产类型，很多任务都是第一次碰到，很难将每道工序的加工时间估计得很精确。而加工时间是编制作业计划的依据，加工时间不准确，计划也就不准确，实施中就会出现偏离计划的情况。
- (2) 随机因素的影响。即使加工时间的估计是精确的，但很多随机因素的影响也会引起偏离计划的情况。如工人的劳动态度和劳动技能的差别，人员缺勤，设备故障，原材料的差异等等，这些都会造成实际进度与计划要求不一致。
- (3) 加工路线的多样性。调度人员在决定按哪种加工路线加工时，往往有多种加工路线可供选择，不同的加工路线会造成完成时间的偏离。
- (4) 企业环境的动态性。尽管制定了一个准确的计划，但第二天又来了一个更有吸引力的新任务，或者关键岗位的职工跳槽，或者物资不能按时到达，或者发生停电等等，这些都使得实际生产难以按计划进行。

当实际情况与计划发生偏离，就要采取措施。要么使实际进度符合计划要求，要么修改计划使之适应新的情况。这就是生产控制问题。

实施生产控制有 3 个条件：

- (1) 要有一个标准。标准就是生产计划和生产作业计划。没有标准就无法衡量实际情况是否发生偏离。生产计划规定的产品出产期，MRP 系统生成的零部件投入出产计划，通过排序方法得出的车间生产作业计划，都是实行生产控制的标准。
- (2) 要取得实际生产进度与计划偏离的信息。控制离不开信息，只有取得实际生产进度偏离计划的信息，才知道两者发生了不一致。计算机辅助生产管理信息系统能有效地提供实际生产与计划偏离的信息。通过生产作业统计模块，每天都可以取得各个零部件的实际加工进度和每台机床负荷情况的信息。
- (3) 要能采取纠正偏差的行动。纠正偏差是通过调度来实行的。

二、不同生产类型生产控制的特点

第一章已经对不同生产类型的特征进行了介绍，这里，从物料流、库存、设备和工人几个方面进行比较(如表 11-10 所示)，以利于了解不同生产类型生产控制的特点。

表 11-10 不同生产类型的典型特点

特 点	单件小批生产	大量大批生产
零件的流动	没有主要的流动路线	单一的流动路线
瓶颈	经常变动	稳定
设备	通用设备，有柔性	高效专用设备
调整准备费用	低	高
工人操作	多	少
工人工作的范围	宽	窄
工作节奏的控制	由工人自己和工长	由机器和工艺过程
在制品库存	高	低
产品库存	很少	较高
供应商	经常变化	稳定
编制作业计划	不确定性高，变化大	不确定性低，变化少

(一) 单件小批生产

单件小批生产是为顾客生产特定产品或提供特定服务的。因此，产品品种千差万别，零件种类繁多。每一种零件都有其特定的加工路线，整个物流没有什么主流。各种零件在不同的机器前面排队等待加工。各个工作地之间的联系不是固定的，有时为了加工某个特定的零件，两个工作地才发生联系，该零件加工完成之后，也许再也不会发生什么联系了。这种

复杂的情况使得没有任何一个人能够把握如此众多的零件及其加工情况。为此，需要专门的部门来进行控制。

工件的生产提前期可以分成以下 5 个部分，如图 11-3 所示。

- (1) 移动时间。为从上道工序加工完成后转送到本工序途中所需时间。这个时间取决于运输工具和运输距离，是相对稳定的。
- (2) 排队时间。由于本工序有很多工件等待加工，新到的工件都需排队等待一段时间才能加工。排队时间的变化最大，单个工件的排队时间是优先权的函数，所有工件的平均排队时间与计划调度的水平有关。
- (3) 调整准备时间。为加工本工件需作的调整准备所花的时间。它与技术和现场组织管理水平都有关。
- (4) 加工时间。是按设计和工艺加工，改变物料形态所花的时间。加工时间取决于所采用的加工技术和工人的熟练程度，它与计划调度方法无关。
- (5) 等待运输时间。加工完毕，等待转下一道工序所花的时间。它与计划调度工作有关。

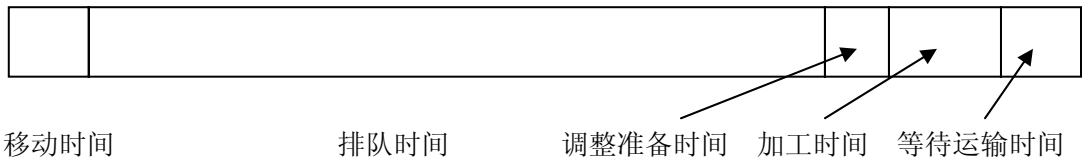


图 11-3 零件加工提前期的构成

对于单件小批生产，排队时间是主要的，它大约占工件加工提前期的 80%到 95%。排队时间越长，在制品库存就越高。如果能够控制排队时间，也就控制了工件在车间的停留时间。要控制排队时间，实际是控制排队队长的问题。因此，如何控制排队的队长，是生产控制要解决的主要问题。

通过输入/输出控制，可以控制队长。输入/输出控制在第三段中将详细介绍。

(二) 大量大批生产

大量大批生产的产品是标准化的，通常采用流水线或自动线的组织方式生产。在流水线或自动线上，每个工件的加工顺序都是确定的，工件在加工过程中没有排队现象，没有派工问题，也无优先权问题。因此，控制问题比较简单。主要通过改变工作班次，调整工作时间和工人数来控制产量。但是，在组织混流生产时，由于产品型号、规格、花色的变化，也要加强计划性，使生产均衡。

三、利用“漏斗模型”进行生产控制

德国汉诺威大学的 Bechte 和 Wiendall 等人在八十年代初提出了“漏斗模型”(Funnel Model). 所谓“漏斗”是为了方便地研究生产系统而作出的一种形象化描述。一台机床、一个

班组、一个车间乃至一个工厂，都可以看作是一个“漏斗”。作为“漏斗”的输入, 可以是上道工序转来的加工任务，也可以是来自用户的订货；作为“漏斗”的输出， 可以是某工序完成的加工任务，也可以是工厂制成的产品。而“漏斗”中的液体，则表示累积的任务或在制品。液体的量则表示在制品量，如图 11—4 所示。

1、输入输出图

图 11-4 左部的漏斗的开口的大小表示生产能力，它是可以调整的。液面高低表示累

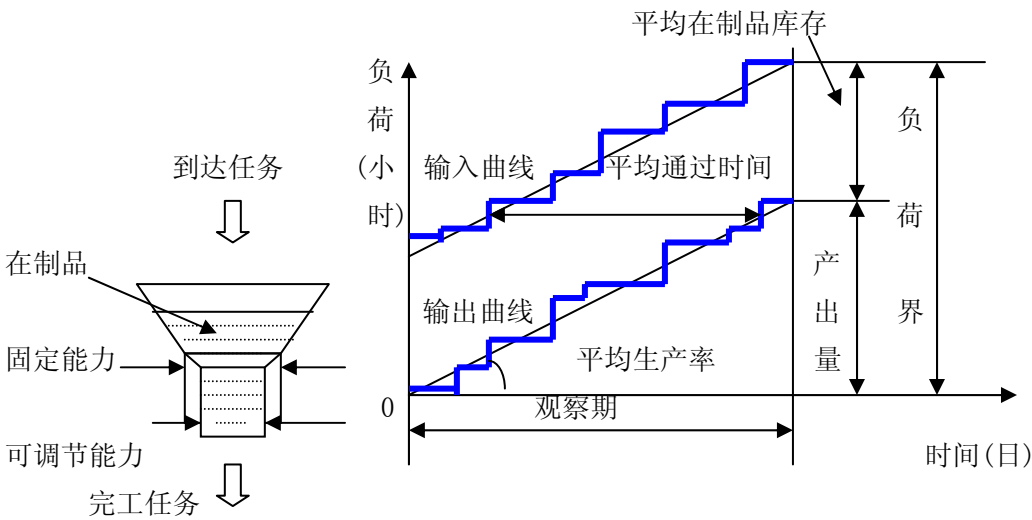


图 11—4 一个工作地的漏斗模型

积任务量的大小。图 11- 4 右部为输入输出图。该图包括输入曲线和输出曲线，它们分别描述工件的到达情况和完成情况。横坐标为时间，通常以工作日为单位；纵坐标为工作负荷，通常以小时表示。曲线的垂直段表示某天到达或完成的一个或多个工件所包含的工作量；水平段表示相邻两个到达或完成的任务之间的时间间隔。如果运输时间不变，输入曲线与上道工序的输出曲线相对应。输入曲线和输出曲线表示在一定观察期内任务到达的累计情况和任务完成的累计情况，它们可以从过去任何一天开始构造到现在。实际上，几周时间已足够。两条曲线任一时刻垂直方向的距离表示该时刻在制品占用量(以工作量表示)，两条曲线的水平距离表示相应工作任务在该工作地停留的时间(按 FIFO 规则)。

2、基本公式

对于单台机器的情况，可以按泊松输入、负指数分布、单服务台的等待制(M/M/1)系统来描述。

$$\text{平均队长 } L = \lambda / (\mu - \lambda),$$

$$\text{平均队列队长 } L_g = \lambda^2 / \mu(\mu - \lambda),$$

$$\text{平均通过时间 } T = 1 / (\mu - \lambda),$$

$$\text{平均等待时间 } T_w = \lambda / \mu(\mu - \lambda).$$

式中，

λ 为平均到达率(单位时间到达工件的平均数)

μ 为平均完工率(单位时间完成的平均工件数)

$\mu > \lambda$.

平均等待时间等于工件的平均在制品占用量(以时间为单位表示)，平均队长等于平均在制品库存。

在一段较长的时间(如数周)内，如果工况稳定，输入曲线和输出曲线可以近似地由两条平行直线来表示，其斜率等于平均在制品库存/平均通过时间。这时，下式成立：

平均通过时间 = 平均在制品库存 / 单位时间平均产量 (11.6)

3、控制规则

按照式(11.6)，可以采用4个简单的规则来调整输入、输出、在制品库存和通过时间。

- (1) 若希望保持在制品库存稳定，就要使单位时间内的平均输入等于平均输出。
- (2) 若希望改变在制品库存量，可暂时增加或减少输入。增加输入，在制品量将上升；减少输入，在制品将下降。
- (3) 若希望平均通过时间在所控制的范围内，则适当调整平均在制品库存与单位时间平均产量的比例。
- (4) 要使各个工件的平均通过时间稳定，就采用FIFO规则安排各工件的加工顺序。

下面通过举例说明如何做出工作地的输入输出图及其参数计算。

例 11.4 某工作地加工能力为8小时/天，现对该工作地做了为期10天的观察（某月20—29号），在观察期内的输入输出情况如表11-11所示。试根据这些数据画出该工作地的输入/输出曲线，并计算有关参数。其中1—10号工件已出产，11—15号工件已投入，但尚未出产。

表 11-11 某月20-29日工作地生产情况表

任务号 i	投入日期	出产日期	定额工时	生产周期
			t_i (小时)	T_{pi} (天)
1	15	20	5	5
2	12	21	10	9
3	18	22	10	4
4	20	23	5	3
5	17	23	10	6
6	15	24	15	9
7	22	25	5	3
8	24	26	5	2
9	24	27	5	3

10	20	29	20	9
11	21	—	20	—
12	21	—	5	—
13	23	—	15	—
14	25	—	35	—
15	28	—	15	—

解：设：AB — 观察期出产量； BA — 观察期初在制品； BE — 观察期末在制品； ML — 平均生产率； MZ — 加权平均通过时间； MI — 平均在制品； MA — 平均设备利用率； P — 观察期； a — 加工能力（小时/天）。

首先，根据表 11-11 的数据做出工作地输入输出图，见图 11-5。

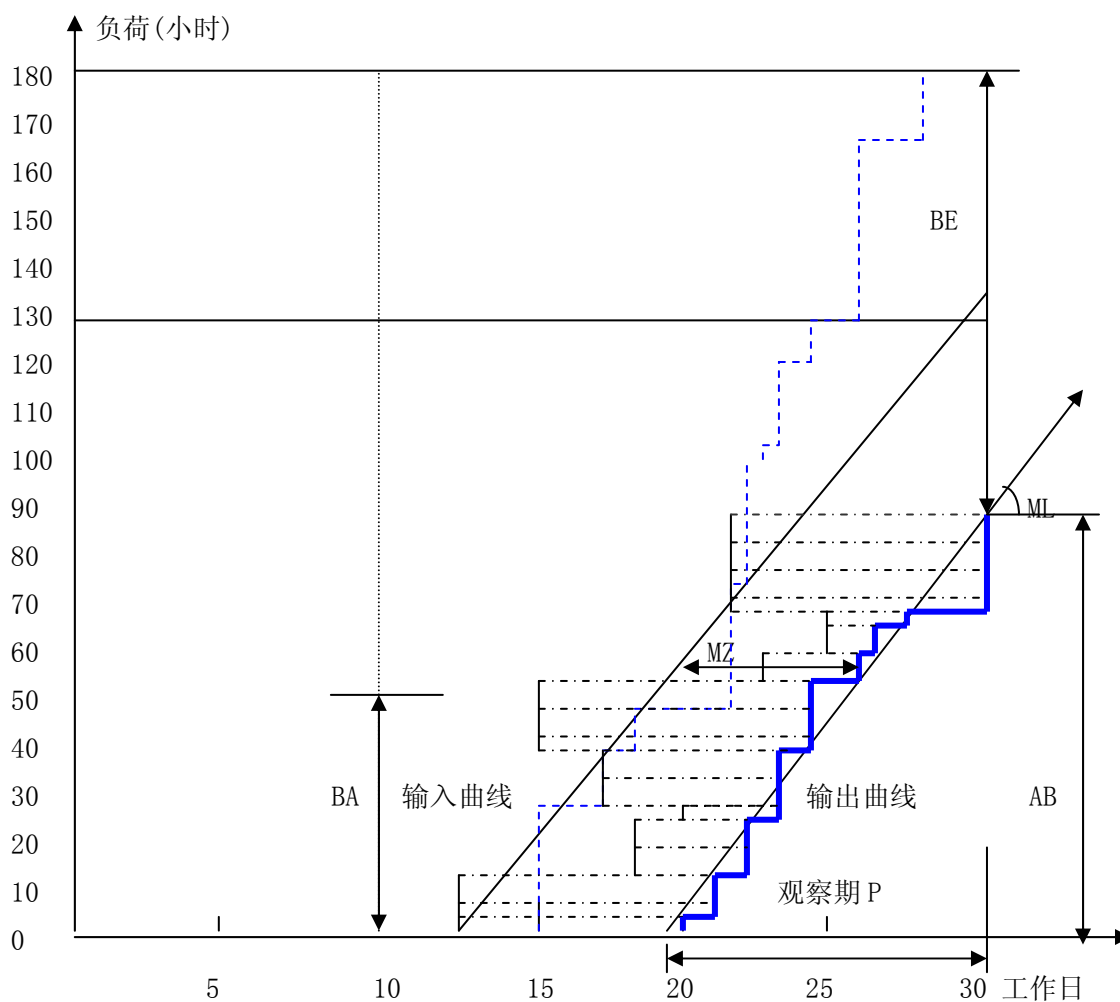


图 11-5 工作地输入输出图

然后，再计算该工作地的有关生产参数。

(1) 计算观察期末出产量 AB（以小时为单位），从表 11-11 中可知 1—10 号工件已经出

产，累计出产量为：

$$AB = 90 \quad (\text{小时})$$

(2) 计算平均生产率 ML：

$$ML = AB/P = 90/10 = 9 \quad (\text{小时/天})$$

(3) 计算加权平均通过时间 MZ。每一批生产任务的实际通过时间都可以从生产现场测得。但是，人们关心的不是每批生产任务的通过时间，而是一定时期内该工序的平均通过时间。统计数据表明，大多数情况下生产任务批量与通过时间成正比关系，因此，平均通过时间采用加权平均方法，且以生产任务的工时定额为权数计算平均通过时间。平均加权通过时间也可由下式求出：

$$MZ = FE/AB$$

$$FE = \sum_{i=1}^n (t_i T_{p_i})$$

可以算出， $FE = 585$ ，因此，

$$MZ = FE/AB = 585/90 = 6.5 \quad (\text{天})。$$

式中， FE — 通过时间面积。

(3) 制品占用分析 由图 11-4 可看出，

$$\text{观察期初在制品：} BA = 50 \quad (\text{小时})$$

$$\text{观察期末在制品：} BE = 90 \quad (\text{小时})$$

(4) 计算平均设备利用率 MA

$$MA = ML/a = 9/8 = 1.125 = 112.5\%$$

从图中还可看出，观察期总的输入量是 130 小时。

“漏斗模型”适合于多品种中小批量生产系统的控制。例如，根据图 11-4 中的有关信息，管理人员就可以对下一计划期投料量的大小做出决策。图中输出曲线的斜率（即平均出产率 ML）说明对下一期的投入率不要超过 9 小时/天的水平，否则就要进一步增加在制品积压。

利用“漏斗模型”的理论和方法，还可以对生产系统进行全局的和动态的监控，克服了传统的只注重单个工作地产量大小、设备利用率高低的弊端。

小结

本章对制造业的作业计划与控制问题进行了阐述。第一节对排序问题的基本名词术语、符号进行了说明，介绍了排序问题的分类。第二节叙述流水作业排序问题。包括最长流程时间的计算，求 $n/2/F/F_{\max}$ 问题最优解的 Johnson 算法，求一般流水作业排列排序问题的 3 种启发式算法(Palmer 法、关键工件法、CDS 法)。第三节叙述单件作业排序问题。包括问题的描述方法，能动作业计划和无延迟作业计划的构成方法，3 类启发式方法(优先调度法则、随机抽样法、概率调度法)。第四节阐述生产作业控制问题。包括实行生产作业控制的原因和条件，大量大批生产类型和单件小批生产类型生产控制的特点，利用漏斗模型对生产系统进行输入

输出控制的方法。

思考题

- 1、说明排序、编制作业计划、派工、赶工、调度、控制等术语的含义及其相互关系。
- 2、生产中的在制品对企业经济效益有何影响？ 如何控制在制品的占用量？
- 3、“漏斗模型”的基本原理是什么？ 它在生产控制中的用途如何？
- 4、解释加工路线和加工顺序。说明能动作业计划和无延迟作业计划的关系。

练习题

1、用 Johnson 算法求以下 $8/2/F/F_{\max}$ 问题的最优解。

i	1	2	3	4	5	6	7	8
a_i	9	7	10	8	2	1	5	4
b_i	6	2	3	1	5	8	7	4

2、用 Palmer 法、关键工件法和 CDS 法求以下 $4/4/P/F_{\max}$ 问题的最优解，并比较三种方法的结果。

i	1	2	3	4
p_{i1}	1	9	5	4
p_{i2}	5	7	6	3
p_{i3}	4	6	3	5
p_{i4}	6	2	3	7

3、有一个 $4/4/G/F_{\max}$ 问题，其加工描述矩阵和加工时间矩阵为：

$$D = \begin{pmatrix} 1,1,1 & 1,2,2 & 1,3,3 & 1,4,4 \\ 2,1,3 & 2,2,1 & 2,3,4 & 2,4,3 \\ 3,1,1 & 3,2,4 & 3,3,3 & 3,4,2 \\ 4,1,2 & 4,2,4 & 4,3,1 & 4,4,3 \end{pmatrix} \quad T = \begin{pmatrix} 5 & 7 & 6 & 2 \\ 8 & 3 & 4 & 9 \\ 4 & 4 & 5 & 1 \\ 6 & 2 & 7 & 3 \end{pmatrix}$$

试用优先调度法则求近优解。优先调度法则的层次为：

- ①MWKR，②SPT，③RANDOM。(用构成无延迟计划的方法)

第十二章 服务业的作业计划

服务业与制造业一样，也要合理利用资源，提高生产率和改进服务质量。为了做到这一点，服务业也需要制定战略决策，寻求目标市场，设计特定的服务，用低成本、高质量、按期交付的方式提供各种服务，以满足顾客的需要。服务业的作业计划与制造业的作业计划有共同点。但是，服务运作有其特点。本章主要讨论服务业运作的特点，随机服务系统和人员班次计划。

第一节 服务业运作的特点

制造业是通过员工劳动制作产品，通过产品为顾客服务；服务业是通过员工的劳动直接为顾客服务。服务业与顾客的关系比制造业与顾客的关系更紧密。在第一章，我们已介绍过服务业与制造业在四方面的不同点，此处不再赘述。

一、服务交付系统

类似于制造业中的生产系统，服务业中有服务交付系统(Service delivery system)。为了确定适当的服务交付系统，服务企业必须确定提供什么样的服务，在何处提供服务以及对谁提供服务。因此，在确定目标市场的战略决策过程中，必须确定服务交付系统的设计及其运行方式。有时，服务的消费者并非购买服务的人。例如，电视节目的消费者是观众，但电视台的收入却来自广告费和赞助。这种情况使确定目标市场变得复杂。

在目标市场确定之后，第二步就是确定服务“产品”，或称“成套服务”(Service package)。服务是通过服务台进行的。服务台是服务企业与顾客的界面。在各个服务台工作的员工好比是制造业第一线的工人，代表了服务企业的形象。所设计的成套服务都是经过他们实现的。因此，在服务企业要树立为在服务台工作的员工服务的思想。确定服务内容时，要弄清楚顾客经过所有的服务台后获得了什么。由于服务的无形性，服务企业不能象制造企业那样，通过事先展示自己的产品来了解顾客的需要，只有在为顾客服务之后才能了解所设计的一套服务是否满足顾客的需要。潜在的顾客往往是通过被服务过的顾客的感受和推荐，来决定是否接受服务的。服务内容是丰富的。酒店和旅馆并不只是提供一个房间给顾客过夜，它还需要考虑顾客的舒适，房间的清洁，服务人员的礼貌，人身和物品的安全等。顾客正是通过他们的感受来评价服务质量的。

服务业和制造业的另一个不同点是，服务业很难将营销与生产运作分离。对于制造业，从事营销的人们直接与顾客打交道，从事生产的人们基本不与顾客直接接触；对于服务业，从事营销的人与从事生产的人往往不可分离，他们要同顾客直接打交道。由于纯服务不能存储，使得只有在顾客出现时才能提供服务，即服务在生产出来时也就交付了。理发是一个典型例子。实际上，一些服务业的管理者在同时管理营销渠道、分配渠道和生产系统。

二、服务特征矩阵

我们将用服务特征矩阵来说明不同的服务交付系统的特点和需求。按照服务的复杂程度和顾客化程度，把服务特征矩阵分成4组，如图12-1所示。服务的复杂程度表示进行某种服务的所需要的知识和技能的复杂性。顾客自己能从事简单的服务，但不经过训练则不能从事复杂的服务。因此，服务的复杂程度是相对顾客而言的。



图12-1 服务特征矩阵

服务特征矩阵左半部的活动需要经过训练或需要一定的投资才能进行，顾客缺乏所需的知识、技能和设备，难以从事矩阵左半部的活动；矩阵右半部的活动比较简单，一般顾客自己都能够做，但要花费一定时间和精力。矩阵上半部的活动的顾客化程度高，这些活动能够满足顾客特定的需要；矩阵下半部的活动标准化程度高，这些活动能够满足顾客共同的需要。

由于服务业员工需要与顾客接触，因此服务业员工必须对顾客热情、有礼貌，还要有较好的人际交往技能。对于处于矩阵中II和IV的服务业，由于不需要专门技能，服务企业能够培训自己的员工。对处于IV中的企业，由于服务的复杂程度和顾客化程度都低，可以开发一种标准的工作程序，使每个员工都能可靠地、始终一致地工作，即使员工更换，也能保证服务质量。在II中服务的员工需要有较广泛的技能，并能对顾客的指示作出灵活的响应。而对于在I中服务的员工，则需要接受来自企业外的专门训练。解决问题和提供劝告是他们服务中的重要组成部分，因此需要员工要有好的悟性和诊断能力。对于III中的活动，一般需要较大的投资购买设施和设备，并需要对员工专门训练。

三、服务交付系统管理中的问题

由于服务业需要接触顾客且服务无法通过库存调节，给服务作业带来很大的影响。

(一) 顾客参与的影响

- 1、顾客参与影响服务运作实现标准化，从而影响服务效率。顾客直接与服务员工接触，会对服务人员提出各种各样的要求和发出各种各样的指示，使得服务人员不能按预定的程序工作，从而影响服务的效率。同时，顾客的口味各异也使得服务时间难以预计，

导致所需服务人员的数量难以确定。

- 2、为使顾客感到舒适、方便和愉快，也会造成服务能力的浪费。顾客为了不孤独和与他人分享信息和兴趣，希望与服务人员交谈。为了满足顾客这种需求，则难以控制时间。使顾客感到舒适和有趣的代价是损失了服务人员的时间。
- 3、对服务质量的感觉是主观的。纯服务是无形的，难以获得客观的质量评价。服务质量与顾客的感觉有关。某些顾客如果感到自己不受重视或者某些要求不能得到及时的回答，就会感到不满，尽管他们所得到的纯服务与其他顾客一样多，也会认为服务质量差。因此，与顾客接触的服务人员必须敏感，善于与顾客交往。
- 4、顾客参与的程度越深，对效率的影响越大。不同的服务，顾客参与的程度不同。邮政服务，顾客的参与程度低；饭馆，顾客参与程度较高；咨询服务，顾客参与程度更高。顾客参与程度不同，对服务运作的影响就不同。表12-1列出顾客参与对生产运作活动的影响。

表12-1 对参与程度不同的系统的主要设计考虑

生产活动	顾客参与程度高的系统	顾客参与程度低的系统
选址	生产运作必须靠近顾客	生产运作可能靠近供应商，便于运输或劳动力易获的地方
设施布置	设施必须满足顾客的体力和精神需要	设施应该提高生产率
产品设计	环境和实体产品决定了服务的性质	顾客不在服务环境中，产品可规定较少的属性
工艺设计	生产阶段对顾客有直接的影响	顾客并不参与主要的加工过程
编作业计划	顾客参与作业计划	顾客主要关心完工时间
生产计划	订货不可储存，均衡生产导致生意损失	晚交货和生产均衡都是可能的
工人的技能	第一线工人组成服务的主要部分，要求他们能很好地与公众交往	第一线工人只需要技术技能
质量控制	质量标准在观众眼中，易变化	质量标准一般是可测量的，固定的时间定额标准紧
时间定额标准	服务时间取决与顾客需求，时间定额标准松	固定的产出允许计件工资
工资	可变的产出要求计时工资	通过库存调节，可使能力处于平均水平
能力计划	为避免失售，能力按尖峰负荷考虑	预测是长期的、产量导向的
预测	预测是短期的、时间导向的	

(二)减少顾客参与影响的方法

由于顾客参与对服务运作的效率造成不利的影响，就要设法减少这种影响。有各种方法使服务运作在提高效率的同时也能提高顾客的满意度。

- 1、通过服务标准化减少服务品种。顾客需求的多样性会造成服务品种无限多，服务品种增加会降低效率，服务标准化可以有限的服务满足不同的需求。饭馆里的菜单或快餐店食品都是标准化的例子。
- 2、通过自动化减少同顾客的接触。有的服务业通过操作自动化限制同顾客的接触，如银

- 行使用自动柜员机，商店的自动售货机。这种方法不仅降低了劳动力成本，而且限制了顾客的参与。
- 3、将部分操作与顾客分离。提高效率的一个常用策略是将顾客不需要接触的那部分操作同顾客分离。如在酒店，服务员在顾客不在时才清扫房间。这样做不仅避免打扰顾客，而且可以减少顾客的干扰，提高清扫的效率。另一种方法是设置前台和后台，前台直接与顾客打交道，后台专门从事生产运作，不与顾客直接接触。例如，对于饭馆，前台服务员接待顾客，为顾客提供点菜服务；后台厨师专门炒菜，不与顾客直接打交道。这样做的好处是既可改善服务质量，又可提高效率。此外，前台服务设施可以建在交通方便、市面繁华的地点，这样可以吸引更多的顾客，是顾客导向。相反，后台设施可以集中建在地价便宜的较为偏僻的地方，以效率导向。
 - 4、设置一定量库存。纯服务是不能库存的。但很多一般服务还是可以通过库存来调节生产活动。例如，批发和零售服务，都可以通过库存来调节。

四、影响需求类型的策略

(一)固定时间表

对于处于服务特征矩阵第III块中的服务业，如果完全按照顾客的需要来安排服务，会造成巨大的浪费。例如，随时都有顾客要出门旅行，如果满足顾客随时旅行的要求，则需要无数次航班、汽车和火车。采用固定时间表来满足顾客的需要，使顾客按固定时间表行动，既可以满足绝大多数顾客的需求，又可以减少服务能力的浪费。如火车、轮船和飞机按固定的时间表运行。采用固定时间表策略就象采用产品系列化策略一样，可以兼顾顾客的需要和企业的生产能力。

(二)使用预约系统

对于处于服务特征矩阵上半部中的服务业，由于其顾客化程度高，为了正确处理服务能力与需求的关系，可采用预约系统，使顾客的需求在服务企业有时间时得到满足。如牙医看病，通过预约，既满足了病人的需要，又可使其不致因排队浪费时间，还使得牙医的时间得到充分利用。

(三)推迟交货

由于服务能力有限，无论采用什么策略，都会有一些顾客的要求得不到及时满足，这就出现推迟交货的情况。如家用电器突然出现故障需要修理，是难以预约的。如果维修站无任务排队，则可及时修理；如果有很多任务排队，则按一定的优先顺序修理，某些修理任务就要推迟。

(四)为低峰时的需求提供优惠

如果按照最高负荷配置服务设施，其投资将很大。为了使有限的服务设施得到充分利用，可以采用转移需求的策略。对低峰时的需求提供价格或其它优惠，如在晚上9点钟之后打电话实行半价，就是这种策略。

五、处理非均匀需求的策略

各种转移需求的办法只能缓解需求的不均匀性，不能完全消除不均匀性。因此，需要采取各种处理非均匀需求的策略。

(一)改善人员班次安排

很多服务是每周7天，每天24小时进行的。其中有些时间是负荷高峰，有些时间是负荷低峰。完全按高峰负荷安排人员，会造成人力资源的浪费；完全按低峰负荷安排人员，又造成

供不应求，丧失顾客。因此，要对每周和每天的的负荷进行预测，在不同的班次或时间段安排数量不同的服务人员。这样既保证服务水平，又减少了人员数量。人员班次安排问题将在第三节讨论。

(二)利用半时工作人员

在不能采用库存调节的情况下，可以采用半时工作人员，采用半时工作人员可以减少全时工作的固定人员的数量。对一天内需求变化大的服务业或者是季节性波动大的服务业，都可以雇佣半时工作人员。在服务业采用半时工作人员来适应服务负荷的变化，如同制造业采用库存调节生产一样。

(三)让顾客自己选择服务水平

设置不同的服务水平供顾客选择，既可满足顾客的不同需求，又可使不同水平的服务得到不同的收入。如邮寄信件，可采用普通平信或特快专递。顾客希望缩短邮寄时间，就得多花邮费。

(四)利用外单位的设施和设备

为了减少设施和设备投资，可以借用其它单位的设施和设备，或者采用半时方式使用其它单位的设施和设备，如机场可以将运输货物的任务交给运输公司去做。

(五)雇佣多技能员工

相对于单技能员工，多技能员工具有更大的柔性。当负荷不均匀时，多技能员工可以到任何高负荷的地方工作，从而较容易地做到负荷能力平衡。

(六)顾客自我服务

如果能做到顾客自我服务，则需求一旦出现，能力也就有了，就不会出现能力与需求的不平衡。顾客自己加油和洗车，超级市场购物，自助餐等，都是顾客自我服务的例子。

(七)采用生产线方法

一些准制造式的服务业，如麦当劳，采用生产线方法来满足顾客需求。在前台，顾客仍可按菜单点他们所需的食品。在后台，则采用流水线生产方式加工不同的元件(食品)，然后按订货型生产(Make-to-order)方式，将不同的元件(食品)组合，供顾客消费。这种方式生产效率非常高，从而做到成本低、高效率及时服务。麦当劳是将制造业方法用于服务业的一个成功的例子。

第二节 随机服务系统

尽管采用各种措施来改变和处理需求的不均匀性，但仍然避免不了顾客等待服务的排队现象。在日常生活中，经常可以见到各种排队现象。如，顾客在超级市场出口处等待付款，零件在机器面前等待加工，卡车等待轮渡，货轮等待卸货，飞机等待着陆，病人等待就医，等等。一般说来，顾客到来的时间和服务的时间都是随机变量，这是产生排队现象的根本原因。研究排队现象有助于合理确定服务能力，使顾客排队限制在一个合理的范围内，目的是以尽可能少的设施获得最大的效益。

一、随机服务系统的构成

随机服务系统由输入过程、排队规则和服务设施三部分构成。

- 1、输入过程。描述输入过程最重要的参数是到达率。到达率是单位时间内顾客到达的数量。
- 2、排队规则。可以分先来先服务，后来先服务，按优先权服务，随机服务和成批服务等。

3、服务设施。有几个服务台，每个服务台的服务时间。

图12-2所示为随机服务系统结构的几种类型。单队单阶段随机服务系统是最简单的随机服务系统。在这种系统中，顾客到达后要经过一个服务台服务，然后离开。多队单阶段随机服务系统有多个并行的通道，每个通道仅有一个服务台。单队多阶段随机服务系统只有一个通道，但有多多个服务台。多队多阶段随机服务系统有多个并行的通道，每个通道有多多个服务台。混合式系统有多多个通道，但各个通道

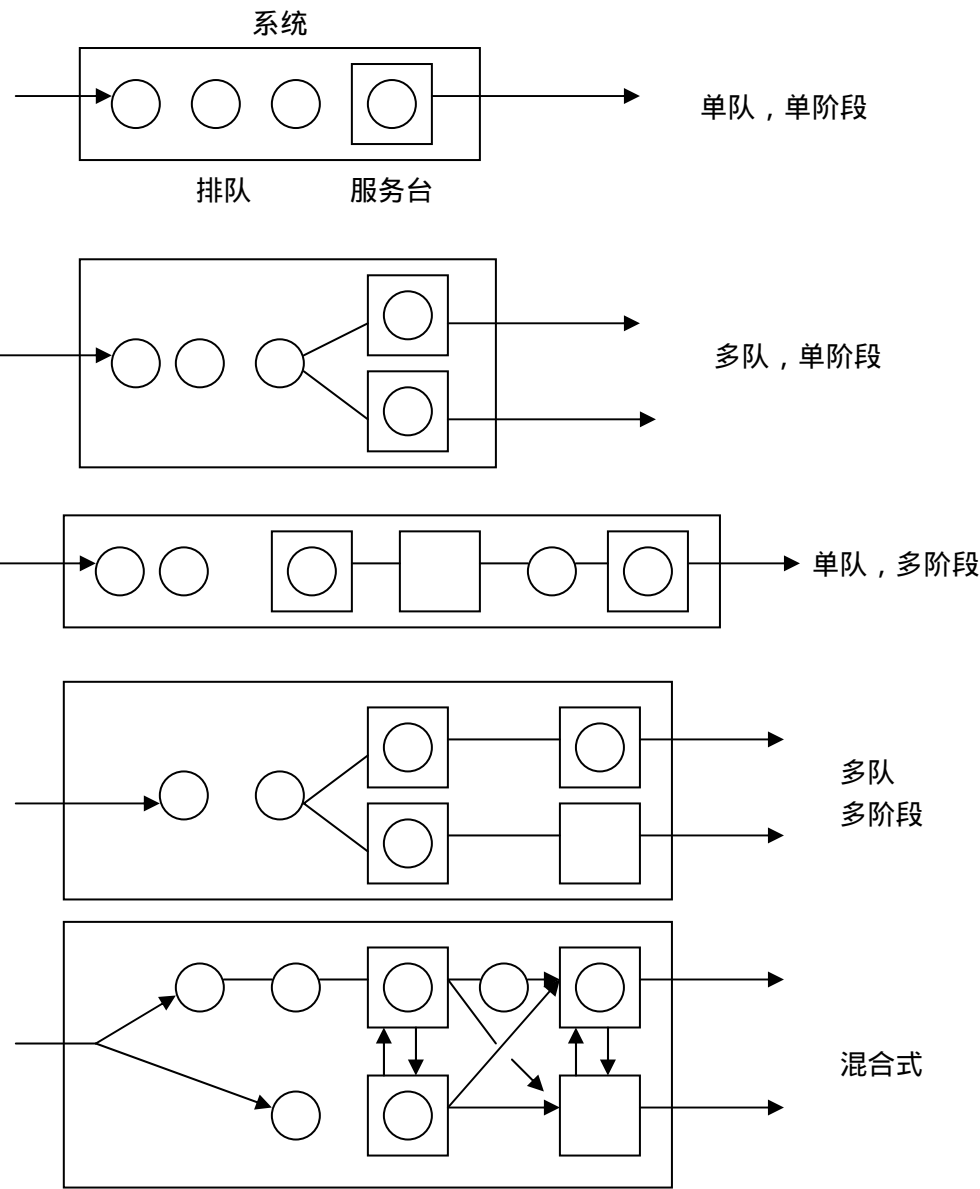


图12-2 随机服务系统的结构类型

不是平行的，它们之间有交叉。服务台也有多个。

二、最简单的随机服务系统

通常采用平均到达率表示需求率的强度，用平均服务率表示服务系统的能力。平均到达率是顾客到达平均时间间隔的倒数，平均服务率是对顾客服务的平均时间的倒数。若平均5分钟到达一个顾客，则平均到达率为每小时平均到达12个顾客；若对每个顾客的平均服务时间为3分钟，则平均服务率为每小时20个顾客。通常，平均到达率小于平均服务率。否则，排队将越来越长。

最简单的随机服务系统是单队单阶段，且按先来先服务规则的等待制系统。设到达率服从泊松分布，则单位随机到达x个顾客的概率为：

$$p(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \quad (12.1)$$

式中，e为自然对数的底，e=2.71828；

x=0, 1, 2, 3, ...；

λ 为平均到达率。

其它要用到的符号为：

μ 为平均服务率， $\mu > \lambda$ ；

$\rho = \lambda / \mu$ ，为利用率因子；

P_n 为系统中顾客数为n的概率；

L_s 为系统中顾客的平均数；

L_q 为队列中顾客的平均数；

W_s 为顾客在系统中的平均停留时间；

W_q 为顾客在队列中的平均停留时间。

系统中没有顾客的概率为(即服务设施处于闲置状态的时间比例)：

$$P_0 = 1 - \lambda / \mu \quad (12.2)$$

$$P_n = (\lambda / \mu)^n P_0 \quad (12.3)$$

$$L_s = \sum_{n=0}^{\infty} n P_n = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad (12.4)$$

$$L_q = L_s - \lambda / \mu = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (12.5)$$

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (12.6)$$

$$W_q = W_s - \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (12.7)$$

例：某医院急诊室有一个外科医生全日工作。急诊病人的到达率服从泊松分布，外科医生的服务率服从负指数分布。问：

(1) 该外科医生平均有多少时间在救护病人？

(2) 急诊病人平均等多久才能得到治疗？

已知：

$$\lambda = 2.4 \text{人/小时}, \mu = 3 \text{人/小时}$$

解：

$$\rho = \lambda / \mu = 2.4 / 3 = 80\%$$

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{2.4}{3(3 - 2.4)} = 1.33 \text{小时}$$

第三节 人员班次计划

一、人员班次安排问题的背景

人员班次安排问题普遍存在于工业企业和服务行业。通常，流程式生产企业需要一周7天，每天24小时有人值班，医院的护士需要日夜护理病人。按规定，每名职工每周应有2天休息，平均每天工作时间亦不能超过8小时，这就产生了人员班次安排问题。从管理者的要求出发，希望降低成本，提高服务水平，即安排尽可能少的员工来满足生产和服务的需要。员工则希望满足自己的休息要求。如，休息日最好安排在周末，以便与家人团聚；每周的双休日连在一起，以便充分利用休息的时间。如何兼顾两方面的要求，合理安排员工的工作班次，做到在满足生产需要和职工对休息及工作时间的要求的前提下，使职工数量最少，这就是人员班次安排问题所要解决的问题。

二、人员班次问题的常用术语

为了便于叙述，所有给职工安排班次的企业、部门、单位，统称为部门；所有被安排的对象称为工人。

安排人员班次计划，一般以周为时间单位。在人员班次安排问题中，常采取周一至周日或周日至周六两种表示方法。本书采取周一至周日的表示法。一周内有5天平常日和2天周末日。每天可由一个班次，两个班次或三个班次组成。单班次人员班次问题是指每天仅安排一个班次的问题(简称单班次问题)，多班次人员班次问题是指每天安排多个班次的问题(简称多班次问题)。如果说某工人在哪天工作，实际是指他在那天的某个班次工作。每个工人每天只能被分配一个班次，不同天可以被分配到不同种类的班次，如白班、晚班、夜班等。工人不

被安排工作的天称为休息日，连续两个休息日称为双休日。周末休息指在两个周末日连续休息，即星期六和星期日休息。周末休息频率 A/B 的意思是在任意连续 B 周内，工人有 A 周在周末休息。工人在两个休息日之间的工作天数称为连续工作时间，所有连续工作时间中最长者最大连续工作时间。班次计划为表示每名工人安排的休息日/工作日(班次)顺序的作业计划。

以 $R(i, j)$ 表示第 i 天第 j 班次所需的劳动力数量， N 表示总的人力需求，即需要部门雇佣的工人数， W 表示所需劳动力的下限。显然， W 小于或等于 N 。

三、人员班次计划的分类

由于MSP问题的多样性，可以从多种角度对其分类，基本内容主要包括以下方面：

(一)班次计划的特点

根据最后编制的班次计划的特点，班次计划可分为个人班次计划(Individual schedule)和公共班次计划(Common schedule)。个人班次计划又称为固定或非循环班次计划(fixed / noncyclical schedule)，它是指在计划期内每名工人的作业计划，一直延用一特定的工作日(班次)/休息日的顺序，与其他工人的作业计划无直接关联。对于有周末休息频率 A/B 约束的人员班次问题，作业计划编制连续 B 周的即可；否则，只需编制一周的计划。每名工人每隔 B 周/一周重复自己的计划。公共计划又称为循环作业计划(rotating/cyclical schedule)，每隔一周期，每名工人的计划就重复一次。完整的计划期为 $N \times B$ 周，在 $N \times B$ 周内，每名工人的作业计划相同。

两种班次计划各有优劣。个人班次计划的安排算法比较简单，遇到人力需求变动时，调整起来较方便，故有较强的灵活性，最大的缺点是不公平性。公共班次计划的优点则是公平性，但灵活性不大。

(二)班次的种类

根据每天的班次数，可分为单班次问题和多班次问题。单班次问题指每天只有一种班次，部门每天都需营业，但不超过10小时，如储蓄所。多班次问题每天有多班，一般为两班(如商业大楼)或三班(每班为8小时或10小时，重叠时间应付高峰期。常见于全天候营业部门)。有的多班次问题中每个班次的时间长度、开始时间、结束时间等可以不同；在当班过程中，工人有规定的小憩时间，其起始时刻亦需计划人员安排。多班次问题无疑比单班次问题更为复杂，更具代表性。

(三)工人的种类

在某些服务部门，会出现季节性或短期的高峰期，如快餐店、图书馆等，管理人员常采取雇佣临时工或兼职工的方式。这样一来，总人力需求既要考虑一定范围内恒定数量的全时工人，又要考虑需依据实际而雇佣的临时工/兼职工的数量。在另外一些部门，工人可能有多个级别，每个级别的工人有各自的时间人力需求。高级别工人可以替代低级别工人干活，反之则不允许。这种现象最常见的部门为医院的护理病房，涉及的人员班次问题的实例就是为医院的护士排班。所以，根据排班对象的特点，可以将人员班次问题分为全职(单种)工人排班、全职及兼职排班、多种向下替代(downward substitutability)排班。最常见的现象为第一种，最复杂的为第三种。

(四)参数的性质

按参数性质的不同，可以划分为确定型人员班次问题与随机型人员班次问题。所谓确定型人员班次问题，指时间人力需求和其它有关参数是已知的确定的量，而随机型人员班次问题的时间人力需求和其它有关参数是随机变量。确定型的人员班次问题与随机型的人员班次问题的解决方法有实质上的差别。应该说，在实际生活中，动态的、随机型的占的比重较大，但是，也有很多人员班次问题是确定型的。而且，有很多问题，其中随机因素占的比重很小，用确定型的模型来处理不仅方便，而且足够精确。再者，由于人员班次问题极其困难，很多确定型问题尚不能很好解决，更何况随机型的人员班次问题。

四、单班次问题

单班次问题指的是每天只有一个班次工人当班，不存在换班的情况。它具有以下几个特点：(1)是最简单，也是最基本的班次问题，一般比较容易找到求解方法。(2)单班次问题的模型可作为某些特殊的多班次问题的合理近似。例如，有些多班次问题允许工人固定班次种类，则每种班次的工人看成独立的一组，按照单班次的方法求解。(3)求解单班次问题的思想和方法，虽然不能直接应用于求解一般的人员班次安排问题，但对于我们建立求解一般的人员班次问题的方法能提供一些有益的启示。对单班次问题的研究是更一般、更复杂的人员班次安排问题研究和发展的基石。

设某单位每周工作7天，每天一班，平常日需要N人，周末需要n人。求在以下条件下的班次计划：(1)保证工人每周有两个休息日；(2) 保证工人每周的两个休息日为连休；(3)除保证条件(1)以外，连续2周内，每名工人有一周在周末休息。(4) 除保证条件(2)以外，连续2周内，每名工人有一周在周末休息。其中，第(1)种情况最简单，第(4)种情况最复杂。

设 W_i 为条件(i)下最少的工人数；

$\lceil x \rceil$ 为大于等于x的最小整数；

X 在作业计划中表示休息日。

(一) 条件(1)，每周休息2天

对条件(1)，所需劳动力下限为：

$$W_1 = \max \{n, N + \lceil 2n/5 \rceil\} \tag{12.8}$$

求解步骤为：

- (1)安排 $[W_1-n]$ 名工人在周末休息；
- (2)对余下的n名工人从1到n编号，1号至 $[W_1-N]$ 号工人周一休息；
- (3)安排紧接着的 $[W_1-N]$ 名工人第二天休息，这里，工人1紧接着工人n；
- (4)如果 $5W_1 > 5N + 2n$ ，则有多余的休息日供分配，此时可按需要调整班次计划，只要保证每名工人一周休息两天，平日有N人当班即可。

例12.1 设 $N=5$ ， $n=8$ ，求班次安排。

解：

$$W_1 = \max \{8, 5 + \lceil 2 \times 8/5 \rceil\} = 9$$

按上述步骤排班，得出如表12-2所示的班次计划。由表12-2可以看出，1-4号工人每周一和周四休息，5-8号工人每周二和周五休息，9号工人周末连休。每名工人连续工作天数最多为5天。但工人9的班次计划明显优于其他工人。

表12-2 条件(1)下的班次计划

工人号	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日
1	X			X				X			X			
2	X			X				X			X			
3	X			X				X			X			
4	X			X				X			X			
5		X			X				X			X		
6		X			X				X			X		

7	X		X			X		X				
8	X		X			X		X				
9							X	X			X	X

(二) 条件2，每周连休两天

对条件(2)，所需劳动力的下限为：

$$W_2 = \max\{n, N + \lceil 2n/5 \rceil, \lceil (2N + 2n)/3 \rceil\} \quad (12.9)$$

排班步骤为：

- (1) 利用式(12.9)计算 W_2 ，给 W_2 名工人编号；
- (2) 取 $k = \max\{0, 2N + n - 2W_2\}$ ；
- (3) 1至 k 号工人(五，六)休息， $(k+1) - 2k$ 号工人(日，一)休息，接下来的 $[W_2 - n - k]$ 名工人周末(六，日)休息；
- (4) 对于余下的工人，按(一，二)，(二，三)，(三，四)，(四，五)的顺序安排连休，保证有 N 名工人在平常日当班。

例12.2 对于 $N=6$ ， $n=5$ ，求班次安排。

解：按式(12.9)可计算出 $W_2=8$ ， $k=1$ 。

8名工人的班次计划如表12-3所示。

表12-3 条件(2)下的班次计划

工人号	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日
1					X	X						X	X	
2	X						X	X						X
3						X	X						X	X
4						X	X						X	X
5	X	X						X	X					
6		X	X						X	X				
7			X	X						X	X			
8				X	X						X	X		

(三) 条件3，隔一周在周末休息

对条件(3)，所需劳动力的下限为：

$$W_3 = \max\{2n, N + \lceil 2n/5 \rceil\} \quad (12.10)$$

班次安排步骤为：

- (1) 由(12.10)式计算 W_3 ，将 $[W_3 - 2n]$ 名工人安排两个周末休息；
- (2) 将余下的 $2n$ 名工人分成A、B两组，每组 n 名工人，A组的工人第一周周末休息，B组工人第二周周末休息；
- (3) 按照条件一每天休息两天的步骤(3)和(4)，给A组工人分配第二周的休息日。如果

$5W_3 > 5N + 2n$, 可以先安排1至 $[W_3 - N]$ 号工人周五休息, 按周五、周四、...周一的顺序安排休息日。

(4) B组的n名工人第一周的班次计划与A组的第二周班次计划相同。

例12.3 $N=7, n=4$, 求班次安排。

解：可计算 $W_3=9, W_3-2n=1$ 。安排第9号工人每个周末休息, 余下的8名工人分成两组, 1-4号为A组, 5-8号为B组, 按步骤3)和4)给8名工人排班, 得出如表12-4所示的班次计划。

表12-4 条件(3)下的班次计划

工人号	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日
1						X	X			X		X		
2						X	X			X		X		
3						X	X	X			X			
4						X	X	X			X			
5			X		X								X	X
6			X		X								X	X
7		X		X									X	X
8		X		X									X	X
9						X	X						X	X

(四) 条件4, 每周连休两天, 隔一周在周末休息

这是最复杂的情况。在这种情况下, 所需劳动力数量下限的公式为：

$$W_4 = \max \{ 2n, N + \lceil 2n/5 \rceil, \lceil (4N + 4n)/5 \rceil \} \tag{12.11}$$

求解步骤为：

(1) 将 W_4 名工人分成A、B两组：

A组 $\lfloor W_4/2 \rfloor$ 名工人, 第一周周末休息; B组 $(W_4 - \lfloor W_4/2 \rfloor)$ 名工人, 第二周周末休息。

(2) $k = \max \{ 0, 4N + 2n - 4W_4 \}$, A组中 $k/2$ 名工人(五₂, 六₂)休息, $k/2$ 工人(日₂, 一₁) (即第2周的星期日和第1周的星期一)休息; B组中 $k/2$ 名工人(五₁, 六₁)休息, $k/2$ 名工人(日₁, 一₂)休息。

(3) 在保证周末有n人当班, 平日有N人当班的前提下, 对A组余下的工人按下列顺序安排连休日：(六₂, 日₂), (四₂, 五₂), (三₂, 四₂), (二₂, 三₂), (一₂, 二₂); 对B组余下的工人按下列顺序安排连休日：(六₁, 日₁), (四₁, 五₁), (三₁, 四₁), (二₁, 三₁), (一₁, 二₁)。

例12.4 $N=10, n=5$, 求班次安排。

解：按式(12.11)可以求得, $W_4=12, k=2$ 。给工人从1-12编号, 1-6号为A组, 7-12号为B组, 班次计划如表12-5所示。

表12-5 条件(4)下的班次计划

工人号	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日
1						X	X					X	X	
2	X					X	X							X

他们参观所有的房间。

3. 在职工中灌输新式营销观念，组织销售队伍。该饭店经理认为，饭店的形象和对顾客的亲切态度比食物更重要。因此，他们一方面尽量将饭店布置得舒适、优雅，另一方面大力提高服务水平，使顾客有宾至如归的感觉。他们认为，如果以上两点都能做好，即使厨师烧焦了牛排，顾客也不会见怪。广场饭店还组织了一批销售队伍，在饭店内外招揽顾客。自新任总经理上任以来，该饭店增加了三百多名销售人员，其中相当一批被派往店外去发掘潜在顾客。

4. 制定新的销售策略。广场饭店的职工经常在探索顾客的需要，当顾客对一种食物感到厌烦时，他们就进行研究，向顾客推荐另一种食物。例如，当他们发现顾客在正餐后不再喜欢吃甜食的情况后，他们就想到草莓，并开始向顾客推荐草莓，结果草莓的销售量在六个月后增加了一倍。因为草莓可以下酒，他们又推出马提尼酒，并用雪糕冰激淋与草莓配味。于是，“想到草莓”就变成了广场饭店探索顾客需要并积极进行推销的代名词。饭店的每一个职工都是销售专家，深深懂得销售哲学。

5. 经常对成本和利润进行分析。广场饭店应用了以上销售策略后，生意很快就兴隆起来。接着，他们就开始着手分析各种产品的销售情况。在分析中，他们发现，顾客的庆典集会（如婚礼）等所赚的利润，几乎是6个餐厅总利润的3倍，也等于一千间客房服务所得利润的两倍。根据这种情况，在新的一年里，饭店就将80%的广告费用花在庆典业务上。为了做好婚礼的生意，广场饭店还特地请了一位婚礼专家来负责婚礼时的司仪和其它工作。

广场饭店的上述措施，有仅使顾客得到了可口的食品，而且使顾客得到了优质服务，这是广场饭店成功的关键。

小结

本章介绍服务业的作业计划。第一节分析服务业运作的特点，介绍服务交付系统，服务特征矩阵的有关概念，讨论了服务交付系统管理中的问题，提出影响需求类型的策略和处理非均匀需求的策略。第二节介绍随机服务系统的构成和最简单的随机服务系统。第三节阐述人员班次安排问题，对单班次问题进行了较详细的讨论，包括对以下问题的求解方法：(1) 保证工人每周有两个休息日；(2) 保证工人每周的两个休息日为连休；(3) 保证工人每周有两个休息日以外，且在连续2周内，每名工人有一周在周末休息。(4) 保证工人每周的两个休息日为连休，且在连续2周内，每名工人有一周在周末休息。最后是广场饭店管理策略的变化的案例。

思考题

- 1、与制造业相比，服务业有哪些特点？
- 2、什么是服务特征矩阵？
- 3、有哪些减少顾客参与影响的方法？
- 4、如何影响顾客的需求？
- 5、处理非均匀需求有哪些策略？

计算题

- 1、某快餐店为顾客提供快餐盒饭。快餐店的服务率服从负指数分布，平均服务率为每分钟1个顾客；顾客的到达服从泊松分布，平均到达率为每小时45人。求：(1) 快餐店空

- 闲的概率；(2)快餐店平均有多少时间在服务？(3) 顾客平均等多久才能买到饭？
- 2、已知某单位平日需要 $N=11$ 人当班，周末需要 $n=7$ 人值班, 求在以下4种条件下单班次计划：(1)保证工人每周有两个休息日；(2) 保证工人每周的两个休息日为连休；(3)除保证工人每周有两个休息日以外，在连续2周内每名工人有一周在周末休息。(4) 除保证工人每周的两个休息日为连休外，在连续2周内每名工人有一周在周末休息。

第十三章 物资管理

物资无论对制造业还是对服务业，都是十分关键的输入。要制造产品，必须输入原材料；要提供饮食服务，必须输入大米、面粉、蔬菜、肉类、油和燃料等。从前，在生产企业的成本的构成中，原材料和外购件的成本仅占很小部分，活劳动占绝大部分。在现代企业中，原材料和外购件的成本大约占产品成本的60%-70%，活劳动仅占产品成本的7%-8%。因此，物资管理对提高企业的经济效益至关重要。良好的物资供应是企业维持正常生产和提高对顾客的服务水平所必须的。本章将讨论物资和物资管理的基本概念，物资消耗定额，物资采购，物料搬运和仓库管理。

第一节 概述

一、物资和物资管理

物资包括各种原材料、在制品、零部件和产成品。对制造性企业来讲，生产过程实质上是物料的转化过程。对服务性企业来说，同样存在物料流。运输离开物料就没有任何意义。物料通过运输，从批发商流向零售商，再从零售商流向顾客。从原料供应到将最终产品送到顾客手中，往往要经过多种企业加工和各种处理过程，这些过程构成了一条供应链（Supply chain）。从整体上考虑，制造企业和服务企业都只是整个供应链的一部分。

从广义上讲，物资管理是对整个物料流管理的总称，包括采购、厂内运输、收货、生产物料的内部控制、厂内仓储、物料搬运、发货与分配、厂外运输、厂外仓储等环节的管理。从狭义上讲，物资管理是指对企业的物资输入部分的管理，包括采购、厂内运输、收货、物料搬运和厂内仓储。人们有时也用物流(Physical Distribution)管理来描述物资输出部分的管理，如发货、分配、厂外运输和厂外仓储管理等。有时也用后勤管理(Logistics management)来代表广义的物资管理。生产物料的内部控制属于生产控制范围，库存控制已在第九章进行了介绍。本书仍采用“物资管理”来描述本章内容。本章将主要讨论采购、搬运、发货方面的管理，同时也介绍一些相关知识。在讨论主要内容之前，先对厂内运输、收货和发货作一简单介绍。

二、厂内运输

企业内运输的时间和成本，无论是对制造业还是对服务业都是十分重要的。第五章和第六章关于选址和工厂布置的主要考虑因素都是运输费用和时间。选址和工厂布置决定了企业内的运输成本。一般地讲，企业的运输管理部门的责任是：

- 1、选择运输方法。是采用邮寄、汽车运输、航空运输、水运还是铁路运输？若是铁路运输，是采用整车方式还是零担方式？是租用车辆还是用企业自己的交通工具？等等。
- 2、确定装运条件，是卖方企业装运或买方企业装运。
- 3、熟悉交通运输的法规和各种运输方式的单位运费，以便选择合适的运输方式。
- 4、对运单进行审计。
- 5、协调物资的到达和起运，减少费用开支。

三、收货

收货部门的责任是：

- 1、组织卸货和检查到达的物资。

- 2、准备收货报告。
- 3、将物资分发到需要检验、仓储和使用的地点。

四、装运

物资管理的最后阶段是成品的分配。分配负责安排装运的方法和工具以及控制厂外各种库存。关于用DRP控制分配阶段多级库存的问题已经在第十章进行了阐述。现集中讨论装运问题。

(一)装运部门的责任是：

- 1、按订单从仓库提取所需的物资。
- 2、包装并贴上标签。
- 3、装运。
- 4、管理企业的车辆。

(二)运输方式的选择

物资发运可以采用空中运输，也可采用陆上运输或水上运输。陆上运输也有多种方式，如铁路运输和公路运输。显然，空中运输时间最短，但运费最高。运输时间短的方式可以节约维持库存费，这里有一个最佳选择的问题。下面通过一个例子说明选择运输方法的方法。举例：从武汉到北京发运一批货物，采用普通邮包需要8天时间，采用快件邮包需要2天时间，每年的单位维持库存费为单位货物价值的30%，采用哪种运输方式较好。

解：快件邮包的运费增加与其维持库存费节约平衡，或普通邮包运费的节省与其维持库存费增加的平衡，就是这两种运输方式的平衡点。

用普通邮包节省运费 = 快件邮包运费 - 普通邮包运费 = 用普通邮包增加的维持库存费，

用普通邮包增加的维持库存费 = (货物价值 × 0.30 × 6) / 365。

所以，货物价值 = (365) (用普通邮包节省运费) / (0.3 × 6)。

当装运重量为1公斤时，货物价值 = (365) (9.59) / (0.3 × 6)

= 1944.64 (元)

这就是说，当货物为1公斤，其价值为1944.64元时，用普通邮包运输和快件邮包运输的花费是持平的。当货物价值超过1944.64元时，用快件运输比较有利；当货物价值低于1944.64元时，用普通邮包比较有利。

用同样方法，可以计算不同装运重量下的物品价值平衡点。结果如表13-1所示。用装运

表13-1 费用比较

装运重量 (公斤)	普通邮包 (元)	快件邮包 (元)	用普通邮包节 省费用(元)	物品价值平 衡点(元)	单位重量物品价 值平衡点(元)
1	1.91	11.50	9.59	1944.64	1944.64
2	2.37	12.50	10.13	2054.14	1027.07
3	2.78	13.50	10.72	2173.78	724.59
4	3.20	14.50	11.30	2291.39	572.85
5	3.54	15.50	11.96	2425.22	485.04
6	3.88	16.50	12.62	2559.06	426.51
7	4.28	17.50	13.22	2680.72	382.96
8	4.70	18.50	13.80	2798.33	349.79
9	5.12	19.50	14.38	2915.94	323.99
10	5.53	20.50	14.97	3035.58	303.56

重量去除物品价值平衡点，就得到单位重量物品价值平衡点。称单位重量的价值为价值密度 (Value Density)。因此，只要将物品的价值密度与单位重量物品价值平衡点比较，就可以判断采用哪种运输方法较经济。

五、物资的ABC分类

管理讲求效率，力求“事半功倍”。ABC分类法是一种重点管理法，抓住重点就可以事半功倍。ABC分类法简单易行，在管理中得到广泛的应用。

(一) ABC分类的基本思想

意大利经济学家帕列图(Pareto)在统计社会财富的分配时，发现大约占人口总数20%左右的人占有社会财富的80%左右。后来，从很多社会现象中都发现了这种统计规律，即所谓20—80律。ABC分类法基于20—80律。简单地说就是20%左右的因素占有(带来)80%左右的成果。比如，占品种数20%左右的产品为企业赢得了80%左右的利润，占用户总数20%的客户提供了80%左右的订单，占员工总数20%左右的员工作出了80%左右的贡献，占20%左右的供应商造成了80%左右的延迟交货，等等。当然，这里所说的20%和80%并不是绝对的。总之，20—80律作为一个统计规律提示人们，不同的因素在同一活动中起着不同的作用。在精力有限的情况下，注意力显然应该放在起关键性作用的因素上。物资管理的ABC分类法正是在20—80律的指导下，试图对物资进行分类，以找出占用大量资金的少数物资，并加强对它们的控制与管理。对那些占少量资金的大多数物资，则施以较松的控制和管理。这样，只用20%左右的精力就控制了80%左右的资金。在实际上，人们将占用了65-80%的价值的15%-20%的物品划为A类；将占用了15-20%的价值的30%-40%的物品划为B类；将占用了5-15%的价值的40%-55%的物品划为C类。如图13-1所示。

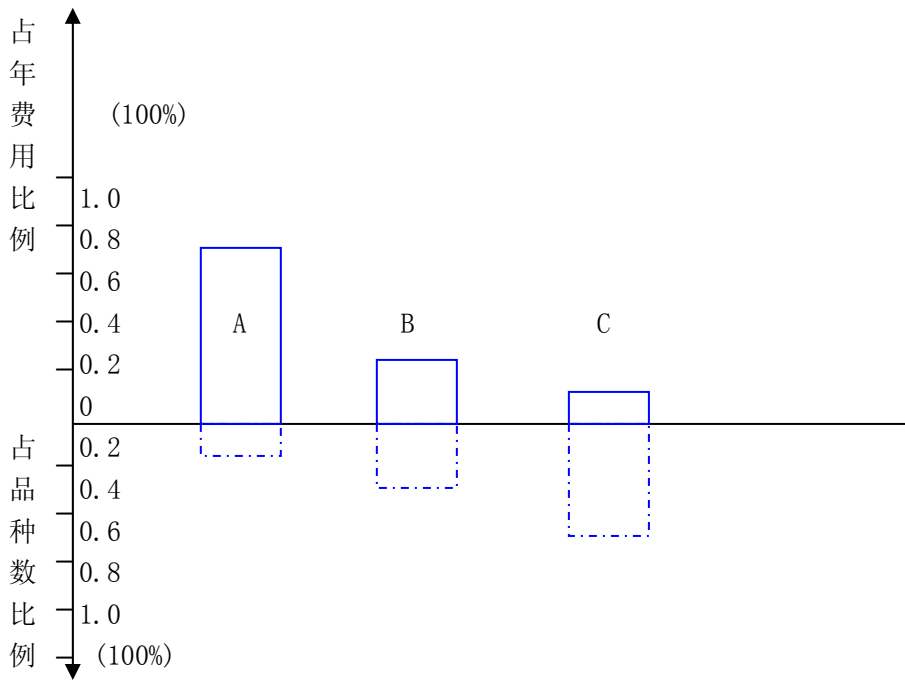


图13-1 物资的ABC分类

(二) 物资ABC分类法的实施

物资ABC分类法，或称按价值分配法，其具体做法是将每一种物资的年用量乘上单价，然后按价值从大到小排列而成。年用量可以根据历史资料或预测数据来确定。为更好地反映现状，人们更多地使用预测数据。下面用一个实例来进一步说明如何实施物资ABC分类法。

第一步，列出所有产品及其全年使用量(预测值)。将年使用量乘以单价求得其价值。按价值的高低标明各种物资的大小序号，如表13-2所示。

第二步，按序号大小将物资重新排序，并计算累积年使用金额和累积百分比，如表13-3所示。

对表13-3进行整理，即可得到ABC分类汇总表，如表13-4所示。

表 13-2 物资及其用量情况表（一）

物资代码	年使用量（件）	单价（元）	年费用（元）	序号
X-30	50,000	0.08	4,000	5
X-23	200,000	0.12	24,000	2
K-9	6,000	0.10	600	9
G-11	120,000	0.06	7,200	3
H-40	7,000	0.12	840	8
N-15	280,000	0.09	25,200	1
Z-83	15,000	0.07	1,050	7
U-6	70,000	0.08	5,600	4
V-90	15,000	0.09	1,350	6
W-2	2,000	0.11	220	10

表 13-3 物资及其用量情况表（二）

物资代码	年使用量	累积年使用量	累积百分比	分类
N-15	25,200	25,200	36%	A
X-23	24,000	49,200	70%	A
G-11	7,200	56,400	81%	B
U-6	5,600	62,000	88%	B
X-30	4,000	66,000	94%	B
V-90	1,350	67,350	96%	C
Z-83	1,050	68,400	98%	C
H-40	840	69,240	99%	C
K-9	600	69,840	99%	C
W-2	220	70,060	100%	C

表 13-4 ABC分类汇总表

类别	物资代码	种类百分比	每类价值	价值百分比
A	N-15,X-23	20%	49,200	70%
B	G-11,U-6,X-30	30%	16,800	24%

C	V-90,Z-83 H-40,K-9,W-2	50%	4,060	6%
---	---------------------------	-----	-------	----

（三）ABC分类的运用

一般地，对于低价值的C类物资，可以进行较松散的控制，维持较高的库存以避免缺货；对于高价值的A类物资，则应实行严密控制，以减少库存。具体地说，对于A、B、C类物资，在确定控制的松紧程度、赋予优先权、订购和检查存量记录等方面都应区别对待。

1. A类物资 应施以尽可能紧的控制，包括最完整、精确的记录，最高的作业优先权，高层管理人员经常检查，小心精确地确定订货量和订货点，紧密的跟踪措施以使库存时间最短。
2. B类物资 正常的控制，包括做记录和固定时间的检查；只有在紧急情况下，才赋予较高的优先权；可按经济批量定货。
3. C类物资 简单的控制，如设立简单的记录或不设立记录，可通过半年或一年一次的盘存来补充大量的库存，给予最低的优先作业次序等。

第二节 物资消耗定额

物资消耗定额的制定和管理是物资管理的一项基础工作。要组织好企业的物资供应工作，就要弄清物资的需要量。物资的需要量是由产品的产量和物资消耗定额所决定的。物资消耗定额不仅是决定物资需要量的依据，而且是计算产品成本的依据。

一、材料消耗的构成

对于机械制造行业来说，物资的消耗主要是材料的消耗。材料消耗的构成包括以下三部分：

- 1、构成产品或零件净重的材料消耗。这是材料的有效消耗部分。
- 2、工艺性消耗。指产品或零件在加工过程中产生的消耗，如边角余料，切屑等。
- 3、非工艺性消耗。包括由于供应条件的限制所造成的消耗和其它不正常的消耗。

二、物资消耗定额的制定

物资消耗定额应该先进合理。先进合理的消耗定额是在保证产品质量的前提下，大多数职工经过努力可以达到的消耗定额。

物资消耗定额可以分为工艺定额和供应定额。工艺定额包括产品或零件的净重和工艺性损耗。工艺定额通常由工艺部门制定。供应定额是在工艺定额的基础上，加上一定比例的非工艺损耗构成。供应定额通常由供应部门制定。供应定额一般由工艺定额乘上一个比例系数来确定。比例系数同该种物资的供应条件有关，也企业的管理水平有关。系数的确定一般是根据经验和当时的供应条件。工艺定额是物资消耗定额的基础，供应定额是核算材料需要量的依据。非工艺损耗应该尽量减少，但在一定的供应条件和管理水平下还难以避免。

1、制定物资消耗定额的基本方法

- (1) 技术计算法。对于机械加工企业，由设计人员按产品零件的形状、尺寸和材质计算出零件的净重。然后，由定额员按工艺文件确定工艺损耗部分，得出工艺定额。这种方法比较准确，但工作量大。对于产量较高或材料贵重的产品，通常采用这种方法。
- (2) 统计分析法。按以往同类产品物资消耗的统计资料，考虑到当前产品的特点和技术条件的变化，经过类比来制定物资消耗定额。这种方法较第一种方法简单，但不够精确。在产品的设计还未完成时，常常需要申报材料需要量，这时可以用这种方法作粗略估计。
- (3) 经验估计法。根据技术人员和工人的经验，经过分析来确定物资消耗定额。这种方法简

单易行，但不精确。

不同行业产品对象和工艺方法差别很大，制定物资消耗定额的方法也就不同。不仅如此，主要材料和辅助材料消耗定额制定的方法也不同。

2、物资需要量的确定

确定物资需要量的方法有直接计算法和间接计算法两种。

(1) 直接计算法。又称定额计算法，是用生产计划规定的产量乘以某物资的消耗定额，便得到该种物资的需要量。这种方法比较准确，应尽可能采用。但是，在编制物资采购计划时，企业的生产任务往往还没有最后确定，就不能用直接计算法。

(2) 间接计算法。又称比例计算法，是按一定的比例来估算某种物资的需要量。比如，每千元销售额的材料消耗量。

第三节 物资采购

由于原材料和外购零部件的价值占产品成本的份额相当大，采购活动就显得特别重要，采购部门的经理的地位也就十分重要。

一、采购活动的目标 and 责任

- 1、确定原材料和外购零部件的供应地区和厂家，对供应地区和厂家进行评价，并按企业的需要寻求新的供应厂家。
- 2、同供应厂家建立良好的关系，保证供货的质量、交货期 and 不合格品的退货和替换。
- 3、寻求新的原材料和产品以及供应商。
- 4、用与质量相匹配的价格购买物品，在考虑价格时同时还需要考虑使用成本。
- 5、开展降低成本的活动，进行价值分析、自制或购买研究、市场分析和长期规划；随时掌握企业所需物资的价格和可获性。
- 6、维持企业内各部门以及企业与供应商、潜在供应商的联系。
- 7、让企业高层经理随时掌握将影响企业盈利的采购费用和市场的变化。

二、采购步骤

- 1、从各职能部门和库存管理部门获得对各种物资的需要量。
- 2、了解对各种物资的技术要求和等级。
- 3、按不同的供应商将物资分类编组。
- 4、对特定的物资进行招投标。
- 5、按质量、价格、交货期等进行评标。
- 6、选择供应商。
- 7、发出订货后，进行催货，掌握供货进程。
- 8、检查到货进度和质量情况。
- 9、随时记录价格、质量等信息，以便对供应商进行评价。

三、多货源和单货源的优缺点比较

在采购活动中，选择供应商是十分重要的。供应商选择得合适，就能保证所供应的物资的质量和交货期，并能得到较合理的价格。一种物资可以从多个货源采购，也可以从单个货源采购。多货源和单货源的比较如表13-5 所示。如果有多个供应商，则采购不到特定物资的风险性较小，供货的可靠性较高，讨价还价的余地和对物资技术规格的选择余地较大，但由于与多个供应商打交道，工作量较大，与供应商的关系较松散，供应商对长期合

表13-5 多货源和单货源比较

比较项目	多货源	单货源
风险性	小	大
供货的可靠性	高	低
讨价还价	余地较大	余地较小
采购工作量	大	小
供应商的责任心	弱	强
物资技术规格的选择余地	大	小
制造商与供应商关系	松散	紧密

作的信心不足，责任心较弱。

选择供应商一般要考虑以下条件：

- 1、设备能力 了解供应商的设备能否加工所需要的零部件并保证质量。设备能力可以通过工序能力指数(Process Capability Index, PCI)来衡量。
- 2、质量保证 通过检查供应商的质量控制方法来确定：(1) 是否进行入厂检查和由何处进行检查；(2) 供应商的供应商是否进行统计质量控制；(3) 供应商应用统计质量控制的情况；(4) 在制品检查方法；(5) 所采用的测量设备和工具；(6) 处理拒绝采用的原材料的方法；(7) 出厂检查和包装程序；(8) 包装、检查和测试的方法。
- 3、财务状况 通过调查供应商的财务状况，了解供应商承担市场风险的能力。一般可以检查：(1) 当前的资产负债情况；(2) 库存周转率。
- 4、成本结构 如果要选择一个长期合作的供应商，则需要了解供应商的成本结构。成本结构包括：原材料，直接人工，管理费，销售收入，利润等。
- 5、供应商的价值分析开展情况 制造企业如果愿意与供应商建立长期合作关系，则制造企业希望供应商不断改进管理，运用价值分析的方法不断降低成本。
- 6、生产作业计划与控制 供应商采用的生产作业计划与控制方法对准时交货有重要影响，因此需要了解供应商的生产能力，计划、调度方法，能否与制造企业匹配等。
- 7、合同执行情况 过去合同的执行情况可以反映供应商的信誉。

评价供应商是一项费时的工作，然而又是一件十分重要的工作。由于受日本企业准时生产的影响，当前的趋势是选择较少的供应商。这点将在第十七章详细讨论。

四、价值分析

价值分析有助于降低采购物资的成本。价值分析要回答以下问题：(1) 所采购的零部件的功能是什么？(2) 这些功能是否必要？(3) 能否找到能实现这些功能的标准零部件？(4) 零部件的成本是多少？(5) 还有什么替代品可以实现等价的功能？(6) 替代品的成本是多少？进行价值分析常常由一个包括工程技术人员，生产管理人员和采购人员的小组来完成。

五、自制或购买分析

在组织生产的过程中，对某些零部件是自制还是购买，是一项重要决策，它会直接影响到产品或服务的质量和成本。为此，要进行自制或购买分析。进行自制或购买分析，要考虑以下因素。

- (1) 零部件成本 如果在同样的条件下生产，自制零部件的成本比较低；因为它不包含供

应厂家的利润、运费和管理费。但是，对于一些需要专门设备加工的少量零部件，只要能够购买，就不必自制，因为为了少量的零部件而购置昂贵的专用设备是不合算的。对于供应厂家来说，如果有多个用户需要同一种零部件，则可以大批量生产，成本就会降低。大量生产的零部件不仅成本比自制的低，而且质量高。(2) 零部件的可获性，无处采购则只有自制。(3) 零部件质量。供应厂家若不能保证质量，则只有自制。(4) 设备和专门技术的可获性。(5) 技术保密性。如果生产某种零部件需要专门的技术，目前这种技术不能扩散，则应该自制。

第四节 物料搬运

有效的物料搬运 (Materials handling) 对提高生产效率、降低成本和保护零部件不受损伤是重要的。在工厂里，物料的运动包括装卸、位移、加工、检验、仓储，最后为成品装运，这些都离不开各种装卸运输工具。物料在工厂内部的运动没有增加产品的使用价值，却增加了成本。因此，应该尽可能减少物料搬运。但由于生产过程必然在一定的空间范围内进行，物料在厂内的搬运是不可避免的。最优的物料搬运量应该是保证完成加工的最低的搬运量。物料搬运量与工厂布置有关，工厂布置对物料搬运量有先天性的影响。在工厂布置已定的情况下，选择合适的物料搬运方法对降低成本、防止磕碰是重要的。

一、主要的物料搬运方法

有5种主要的物料搬运设备：传送带、工业卡车、自动导向车、吊车和葫芦、工业机器人。

1、传送带 是能将物料从一个地点传送的另一个地点的一组固定设备，按其结构和功能的不同，可以将其分成滚子传送带、翻斗传送带和皮带传送带3种。传送带的主要优点是不需要操作者，运送量大、运输成本低。其缺点主要是投资大，占空间也大，运输路线难以调整。

2、工业卡车 是可以自由行驶的载物车辆，可能用人力推拉，更多的是通过内燃机或电动机带动。工业卡车包括叉车、平车和工业拖拉机3种。工业卡车主要用于物料的运进运出。其优点是运输灵活，需要的投资较少。叉车可以码垛，充分利用空间。工业卡车的缺点是需要通道，需要人驾驶，运输成本比传送带高。

3、自动导向车 (Automatically Guided Vehicle, AGV) AGV不需要人驾驶，并具有很大的灵活性，它可沿着规定的路线自由行驶，完成预定的功能。AGV一般用蓄电池作为动力。AGV的运动受信号控制。一般采用遥控计算机来储存指令，一台计算机可以控制数台在不同地点工作的AGV。

4、吊车和葫芦 吊车和葫芦是安装在建筑物上方的物料搬运设备，它不占用生产场地，在其活动的范围内具有很大的灵活性。葫芦起重能力较小，多半在安装工地和维修场所使用。桥式吊车在生产车间得到普遍使用，它的起重量大，灵活。

5、工业机器人 工业机器人是具有人的一定特征的可编程机器，它的外形并不像人，但能承担某些人干的工作。工业机器人日益引起人们的重视。它可以在工作条件恶劣的环境下工作，能不知疲倦地从事繁重的、重复性的工作，并能搬运较笨重的工件。它还具有很大的灵活性，能完成多种不同的操作。通用的工业机器人可以用于以下场合：(1) 对人体有害或有危险的工作环境，如喷漆、接触放射线、高温、高寒等。(2) 重复性工作。这种工作使人感到厌烦和疲劳，往往造成误操作。机器人干这种工作比人更持久、更有效，也更可靠。(3)

物料搬运。

二、物料搬运方法的选择

物料搬运方法的选择取决于多个因素，如物料的形状、尺寸、物理性质和化学性质等。要移动的产品组合的性质影响到对灵活性的需求，从而影响搬运方法的选择。物料的搬运量影响到所用搬运方法的投资。象传送带这样的自动化或半自动化物料搬运设备多用于产量大，从而物料搬运量大，移动路线相对稳定的场合。

第五节 仓库管理

仓库是存放物资的场所。仓库管理业务主要包括物资的验收入库、保管、发放和清点。

一、物资的验收入库

物资验收入库一般要经过提货、验收、办理入库手续等过程。可以到供货单位或车站、码头去提货，也可以通过专用线直接运到企业的仓库。提货工作应该做到准确及时、手续清楚、责任分明。

验收包括质量检查和数量点收。质量检查可以通过直观检查、量衡、化验或试用的方式进行。需要质量管理部门检查的，应该由该部门的有关人员负责。数量点收可以是全部点收，也可以抽点。验收不合格的不得入库，并将货物妥善保管，以便同供货单位交涉。只有当数量、质量和单据都验收无误之后，才能办理入库、登帐、立卡等手续，并将入库通知单连同发票、运单一起送交财务部门。

二、物资的保管

物资保管的基本要求是摆放科学、数量准确、质量不变、消灭差错。为此，要对物资的摆放进行编号，以便查找。某企业创造的“四号定位”方法，是一项好经验。“四号定位”就是按库号、架号、层号、位号4个号决定某项物资的位置。这样便于发料、盘点、保管。为便于点数和充分利用空间，对物资要码垛。“五五化”码垛方法可以减少差错，便于点数，提高工作效率。

在物资保管过程中，要按物资性能，分门别类进行维护保养，做好防锈、防尘、防潮、防震、防腐、防磨、防水、防爆、防变质、防漏电等十防工作。露天货场的物资必要时遮盖。必须健全帐卡档案。发现超储积压或缺货，要及时报告业务主管部门。

三、物资的发放

把生产车间所需的物资及时、迅速、准确地发放出去，是仓库为生产服务的一项重要工作。限额发料制是一种科学的发放制度。这种发料制能及时掌握物资的库存情况和车间的用料情况，加强了计划性，既有利于生产，又降低了消耗，节约了物资。物资的发放可以有送料和领料两种形式。送料是由仓库按用料单位的计划送料上门。领料是由用料单位到仓库自行提货。送料方式比较好，可以简化手续，减少领料时间，便于供应人员掌握生产情况，加强物资管理。

四、清点盘点

由于仓库物资种类规格繁多，数量又很大，流动性也很大，要及时掌握物资的变动情况，做到帐、卡、物相符，就要进行盘点。

盘点的内容是检查帐面数与实存数是否相符，有无超储积压，物资有无损坏、锈蚀或变质。

盘点有经常盘点和定期盘点两种。经常盘点由仓库管理人员随时进行。定期盘点由供应部门和财务部门共同组织，定期进行。发现问题要查明原因和责任。对于超储积压物资要作

出处理。

案例：465 厂的物资管理

物资供应与管理对企业的生产和销售起着举足轻重的作用。物资供应计划制定的正确与否，购入物资的数量、质量、型号、规格、价格等因素，都影响着企业的生产经营和经济效益。本案例以中国船舶工业总公司第 465 厂为例，阐述其物资管理中存在的问题及拟采用的对策。

465 厂物资供应的特点

中国船舶工业总公司第 465 厂是生产船用柴油发动机油泵、油嘴和调速器的专业化工厂，在为船用柴油机主机厂配套的同时，还为船舶市场生产零配件。该厂物资供应主要有以下这些特点：

1、产品所需材料品种、规格多，批量小，难以组织供应。

由于国内船用配件需量不大，且品种多，该厂的年产值只有 3000 万元左右，产成品又多为精密偶件，本身耗材少。目前该厂生产的零部件有 3 0 0 多个品种，仅钢材的规格就有 4 5 6 种，牌号 4 5 个，而钢材的年耗量才 3 6 0 吨。也就是说，平均每个牌号、每种规格的钢材耗量不足 1 吨。产品中的其它配套件和辅助原料用量自然由此可知。面对如此小的批量，供应部门组织供应的难度是很大的。

2、产成品供货要求周期短，原材料的供应变化大、要货急，计划性差，按时供货上困难多。

物资供应部门工作的核心就是要按质、按量、配套、及时、均衡地供给生产单位各种所需物资，以保障生产正常进行。进入市场经济后，用户对该厂产品的供货时间提出了越来越严的要求，从签定供需合同到现货交付使用，时间很短，尤其是现货供应时间更短，即使是新产品有的也只有十天左右。有时设计部门的材料定额还没确定，供应部门的计划和采购人员就要开始奔波和联系。

3、对产品原材料的专用性和特殊性要求高。

该厂生产的产品是船用柴油机的核心和关键零部件，为满足用户的需求，使用户放心，该厂对进厂的原材料的质量都要进行严格控制。但由于设计保险系数留得过大，再加上质量要求太高，又给供应工作增加了不少困难。比如喷嘴器针阀偶件及柱塞偶件的材料，均要求电渣无发纹；CrWMn 材料的晶体结构的国家标准 ≤ 3 级，而该厂标准要求 ≤ 2.5 级；对于晶体的带状结构国家未作规定，但该厂却要求 ≤ 2.5 级；GCr15 材料的珠光体国家标准是 1 至 5 级，而该厂要求 2 至 4 级等等，致使一般钢厂难以接受，供应部门四处求购均难以落实。

4、企业资金紧张，生产所需物资很难迅速到位。

我们知道，企业的物资流动是资金流动的基础，资金流动则反映企业物质资料的再生产过程，两者相互联系，相互制约。从该厂 1 9 9 5 年的生产经营情况来看，1 至 1 0 月发出的产品应收款为 2 1 0 2 万元，而实际只收到货款 3 9 9 万元，使当年外欠的货款占销售额的 81%，且多发生在中船总系统内部。由于外欠货款收不回来，使物供部门购买原材料的资金不能到位，导致生产所需原料难以保供。

物资管理存在的问题

目前，465 厂的物资管理主要存在以下这些问题：

1、企业物资管理人员业务素质不高，规范性管理差。

该厂供应部门人员结构不很合理，主要表现为平均年龄偏高，文化程度普遍偏低，人员更换频繁，不少人员缺乏工作经验等。不少物管人员对自己分管物资的技术性能、用途、要求、生产成本、生产单位、价格行情和供求关系等不熟悉，导致了供、管、用的不和谐，甚至出现差错。比如不该使用的材料和零配件使用了；可以代用的材料不懂得代用；物资定额

不清楚、计算不熟练；材料标准、牌号不清楚；物资进出仓库计量不严格、检验不及时；材料标志不明确、存放不合理等。因此，常出现发料差错等问题。

2、物资消耗定额不准，限额发料流于形式。

在市场经济条件下，企业产成品的生产周期有的拉长，有的缩短，而统计工作只有数据罗列，没有对数据进行有效的分析以指导经营管理实践。供应部门对物资进货的渠道、质量和用款等情况难以控制，计划管理的综合平衡差，尤其是各车间、工段乃至班组的小仓库物资，更有鞭长莫及之感，造成了企业人力、物力和财力的浪费。

3、对节材降耗重视不够，处理物资管理不得力。

由于对节材降耗和处理物资的管理重视不够，控制不严，所以对各类人员所实施的节约受奖，浪费受罚的教育管理亦多流于形式。其原因是：一方面奖励额度小，难以调动企业全体员工厉行节约的积极性；另一方面对超额和浪费的问题处理不力。一些职工甚至认为，工厂是国家的，企业受损是大家的事，对个人没有多少直接损害，致使一些浪费现象无法管理、无人问津。比如：个别单位的管理人员因责任心不强，怕得罪人，不进行大胆管理，造成原材料的浪费也无人过问；生产过程中各车间、处室、班组层层设立物资小仓库，使得生产中的多余物资难以清理返库，由此造成了一些无帐物资和非生产原因形成的报废物资流失，而无法管理；对产品的性能、质量及使用寿命等技术方面考虑较多，片面求新、求洋、求全；由于在设计上对成本、余量、标准化和通用化考虑不充分，物管部门要按设计要求订购原料，自然无法去谈材料的节约管理。

拟采用的对策

面对这种状况，考虑到自身物资供应的特点和存在的问题，该厂提出了以下几条对策拟予采用。

1. 转变思想，适应市场，掌握规律，作好计划。

在计划经济时期，企业生产资料的供应主要是通过国家物资部门按不同企业的生产要求，有计划地供应物资。那时企业对于上级物资部门的依赖性很大，而现在企业的物资供应主要通过市场来调节，企业可直接向市场购买所需生产资料。因此，企业必须参与市场竞争，面向市场组织物资资源，并在市场竞争中求质、求量、求价。为此，首先要熟悉市场，了解市场，及时掌握物资信息和市场动态，作好信息收集、储存与分析，为满足企业生产需要提供前提条件。其次，要及时可靠地掌握本企业生产经营活动中的各种动态和物资消耗规律，累积历史资料，做到需求清楚、资源清楚、余缺清楚，搞好综合平衡工作，在质优价廉的前提下，按时、按量、按品种、按规格、有计划地保障企业再生产所需的各类物资。再次是物供部门要适时地向企业领导汇报物资供应管理情况，让领导掌握和理解物供部门面临的状况和困难，支持物供部门在市场经济条件下，提高科学管理水平，做好物资供应管理工作。

2. 简化品种，加强预测，货比三家，择优选购。

考虑成立产品材料研究小组，吸收工厂设计、质量、计检、工艺和供应等部门的人员参加研究小组。通过对各产品材料的化学成份、机械性能、设计要求、制造工艺和产品的装机测试、工作状态、强度要求等进行全面的理论与实践的分析，化多品种、小批量、要求高、难控制、难组织为少品种、大批量、既经济、又合理、好控制、易组织。其次是做好产品生产、销售的统计、预测工作和物资部门自身的统计分析、预测工作，以加强生产准备、原材料供应的计划性，在“先平衡、后采购”的原则下实施再生产物资的补充。三是强化采购管理，逐步建立和完善《合格厂商表》，严格遵循“优质、价廉、就近、选源头”的原则，做到货比三家，择优选购。

3. 发挥优势，搭配订货，筹集资金，集中订货。

为解决该厂产品主要原材料质量要求高、订货数量少的困难，首先，应发挥中船总系统的集团优势，采取布点的方式，集中订购短线、冷门物资。对个别材料实行搭配订货的方法，部分产品采用主机厂配套产品材料标准加以解决。其次，进行清理、催收欠款，节支降耗，压缩非生产性开支。同时要加强同地方金融界的联系，利用各种渠道积极筹集资金，作好集中订货的准备，以保障企业生产的正常运转，使企业在激烈的市场竞争中，保持良好的经营

状态，取得最大的经济效益。

4. 厂校结合，开发新品，节材降耗，综合平衡。

首先从技术革新、产品开发、增强企业在市场竞争中的活力入手，不断提高企业面向市场组织生产的能力，逐步从国内走向世界。为此，工厂实行厂校（或厂所）结合，开展科学理论攻关，进行技术设备改造和科研开发，不断向产品集约型、规模化发展。这样，企业产量上去了，原材料的供应也就好采购了。其次是加大奖惩额度，进一步开展节能降耗工作，从而降低成本，减少资金占用。再次是强化综合平衡的管理工作。为增加企业利润，物管部门必须经常对生产现场的多余物资进行定期清理，做到“工停料清”，并建立专项帐册，加强对库存物资的清理，及时发现呆滞、积压、废旧和无帐物资，对其中能改制、代用的建议改制代用，对积压和无帐物资进行调剂和出售，对尚能利用的尽量利用，千方百计地开源节流，求得物资供需的综合平衡。

5. 设计把关，限额发料，提高素质，强化管理。

设计把关是企业节支创效的首要环节。企业物管部门要适时地向厂领导和设计部门提出建议，在不影响产品质量、使用寿命的前提下，尽可能使设计的部件标准化、通用化、系列化，以降低材料费用，降低成本。要严格实行限额发料，对生产车间的投入产出进行定量考核，促使节约用料，不断降低消耗。要严格物资领用手续，加强对物管人员的文化教育和业务培训，不断提高他们的文化素质和专业技术水平。结合工厂的实际，尽可能地增加一些文化程度高、思想品德好的年轻职工，充实和改善企业物供队伍，为实现物供工作的科学化管理创造条件，要强化物资管理，做好物资的申请、平衡、订货、采购、日常供应和储备工作。对全厂的各种生产和非生产性物资实行集中统一的管理，取消从车间到班组的小仓库，以提高物资的利用率。

讨论题

- 1、你认为应该如何解决465厂所需物资品种多、需要量少给物资采购带来的困难？
- 2、为了保证生产顺利进行，应该如何保证物资供应？
- 3、465厂能否实行准时采购？

小结

本章叙述了物资管理的主要内容。第一节介绍物资和物资管理的有关概念，概略地讨论了厂内运输和收货，对装运和物资的ABC分类进行了较为详细的讨论。通过举例，说明选择运输方式的方法和ABC分类法。第二节介绍物资消耗的构成和物资消耗定额的制定方法。第三节讨论物资采购，包括采购的目标和责任，采购步骤，多货源和单货源的比较，价值分析以及自制或购买分析。第四节介绍5种主要的物料搬运方法。第五节阐述仓库管理，包括物资的验收入库、保管、发放和清仓盘点。

思考题

- 1、说明物资管理、后勤管理和物流管理的含义。
- 2、说明ABC分类法的基本思想。
- 3、说明物资消耗的构成和工艺定额、供应定额的含义及其制定方法。
- 4、比较多货源和单货源的优缺点。
- 5、选择供应商一般有哪些条件？
- 6、自制或购买分析要考虑哪些因素？
- 7、在工业企业有哪几种物料搬运设备？
- 8、仓库管理包括哪几方面内容？

练习题

某公司需要使用12000种不同的零部件，为了对这些零部件进行有效的管理，需要对其进行ABC分类。为了简化起见，将这12000种零部件分成12组，每组的年需要量和单价如下表所示。试对这12组零部件进行ABC分类。

代表零件号	年需要量(件)	单价(元)	年费用(元)
A	6850	1.20	8220.00
B	371	8.60	3190.60
C	1292	13.18	17028.56
D	62	91.80	5691.60
E	12667	3.20	40566.40
F	9625	10.18	97982.50
G	7010	1.27	8902.70
H	5100	0.88	4488.00
I	258	62.25	16060.50
J	862	18.10	15602.20
K	1940	0.38	737.20
L	967	2.20	2127.40

第十四章 项目计划管理

从生产管理角度，项目属于单件生产。但它又不同于一般的单件生产。重点和重大项目对国民经济发展有重要意义，它投资大、周期长、牵涉面广、管理复杂。本章主要从项目计划管理的角度，介绍了项目和项目管理的含义和特点，讨论了项目管理的目标和项目管理的内容，重点阐述了项目的计划管理和网络计划方法。

第一节 项目管理概述

一、项目

项目(Project)可以定义为在规定时间内，由专门组织起来的人员共同完成的、有明确目标的一次性工作。我国的宝山钢铁工程，航空航天工程，原子弹工程，北京电子对撞机工程，大庆乙烯工程，第十一届亚运会工程，鲁布革水电工程，长江三峡工程；美国的曼哈顿计划，阿波罗登月计划都是项目的例子。从生产类型上划分，项目也是一种单件生产。但它与一般单件生产有不同之处。其特点是规模大，耗资多，参加的单位多，没有或很少有经验可借鉴，管理十分复杂。如举世闻名的长江三峡工程，是一个解决防洪、发电、航运、调水等多功能、多目标协调运行的巨型复杂工程。它的主体工程工程量为：土石方开挖1.02亿立方米，填筑2933万立方米，混凝土2715万立方米，钢材28.08万吨，钢筋35.43万吨。按1993年5月末价格计算，枢纽工程静态投资为500.9亿元。工程分三期施工，持续17年。施工准备和第一期工期5年，第二期6年，第三期6年。美国的阿波罗登月计划，从1961年到1972年，参加这个项目的有2万多家公司，120个工厂和大学的研究机构，共42万科技人员，耗资300亿美元。当然，并非如此大的工程项目才是项目。对于建造一条新的生产线，开发一个新产品，开发一个计算机管理信息系统，拍摄一部电影，维修一台大型设备...等等，也都是项目。所有这些项目都有一些共同之处，如一次性，有较大风险和不确定性，需要协调多个具有不同性质和利益的单位的活动，有预知的寿命周期等。

二、项目管理的目标

项目管理就是对项目进行计划、组织和控制。由项目定义可知，项目管理是一项十分复杂的工作。不论是项目的提出、咨询、论证、设计，还是项目的施工、投产、运行，以及以后的改造、更新，都是一个动态发展的系统工程。需要多学科、多部门、多地区、多技术协调。项目管理得好，可以带来巨大的节约；管理得不好，就会造成惊人的浪费，甚至失败。项目管理的特殊性，使项目管理的方法应该是定性定量相结合的综合集成方法，并尽可能地将定性认识上升到定量分析。

项目管理通常涉及三个主要目标：质量、费用和进度。即以低的费用、短的工期完成高质量的项目。

1. 质量 “百年大计，质量第一”，质量是项目的生命。如果一项大型工程项目的质量好，就可以福泽子孙，功在千秋；如果质量差，不仅会造成经济上的重大损失，而且会贻误子孙，祸及后世。项目的质量管理必须贯穿于全方位、全过程和全体人员中。全方位是指工程的每一部分，每个子项目、子活动，每一件具体工作，都保证质量，才能确保整个工程的质量。全过程是指从提出项目任务、可行性研究、决策、设计、订货、施工、调试，到试运转、投产、达产整个寿命周期，都要保证质量。全员指的是参加项目建设的每一个人，从最

高领导者到普通员工，都要对本岗位的工作质量负责。

2. 费用 建设费用包括实施该项目所有的直接费用和间接费用的总和。项目管理者的工作就是通过合理组织项目的施工，控制各项费用支出，使之不要超出项目的预算。值得指出的是，要注意控制项目的寿命周期费用，它包括研制费、建设费和运行(使用)费三大部分。对一般项目而言，这三部分的费用比例大致为1:3:6。从总体考虑，大头在运行费上。因此，不能单纯追求研制和建设费用最低，忽视运行费用。

3. 进度 项目的进度管理。项目的完工期限一旦确定下来，项目管理者的任务就是以此为目标，通过控制各项活动的进度，确保整个工程按期完成。按程序、分阶段实施是大型工程项目管理的特点。任何大型项目的实施都有客观的阶段性和科学的程序。在项目的寿命期内，严格按科学程序办事，实现分阶段目标，一步步逼近总体目标。

大型工程项目具有多目标结构，在不同阶段、不同层次、不同分系统中，都有相应的目标体系。但其中最重要的目标是质量、进度和费用。需要指出的是，项目的质量、进度与费用有时也是矛盾的，在处理三者关系时，要以质量为中心，通过计划统筹，实现三者的优化组合。

三、项目管理的内容

项目管理包括立项、建设和运行三个阶段的管理。

(一) 立项阶段

立项阶段是整个项目管理的初始阶段，它关系到项目要不要上的问题。忽视立项管理，造成大量重复建设，导致经济结构不合理，在我国已不少见。大型项目的立项管理属于国民经济建设宏观决策管理，对国民经济发展具有战略意义。为了做到立项正确，需要进行可行性研究，充分听取各方面专家的意见，进行科学决策。大型工程项目前期总体方案论证是大型项目立项决策的依据，也是工程建设的重要依据，对工程的成败影响极大。总体方案论证不仅需要对工程本身进行论证，而且需要全面分析影响工程的外部环境条件和工程对环境的影响的各个方面，预测未来可能发生的各种情况。论证不充分，不要急于决策。

(二) 建设阶段

建设阶段是工程实施的重要阶段，不同性质的项目有不同的建设目标和条件。包括项目的规划、确定作业计划和控制决策。项目规划主要涉及确定项目总体目标、资源需要量、项目组织形式、项目经理人选等问题。项目规划是中、高层管理部门的职能，通常以项目任务书形式下达给具体承担项目实施任务的有关部门。项目作业计划根据项目任务书对整个项目做出更为具体和详细的进度安排。在做出进度安排时，首先要将项目分解为各项活动，然后确定活动的先后顺序，给出每项活动的时间、活动的开始和完工时间，并将活动分配到具体部门或个人。项目控制则是在项目实施中监督每项活动的进度、成本和质量水平。如果发现实际结果与计划要求不一致，则必须采取纠正措施，确保每项活动都能按计划要求进行。

(三) 运行阶段

运行阶段不仅要求能维持正常的生产，而且需要改造和更新。否则，经过一段时间后，产品老化落后，缺乏竞争力，也缺乏自身发展的能力。

本章主要介绍项目建设阶段的管理。

四、项目的组织管理

1. 指挥 项目必须实行集中统一指挥。由于在项目论证和实施过程中，涉及众多部门和单位，要使它们协调有序地工作，必须有上一级权威部门主持，成立不同形式的指挥部，对工

程建设进行组织、协调和指挥，对建设投资实行统一管理，进行全过程控制。

2. 组织和管理方式 组织社会协作是项目成功的保证。项目的建设通常涉及到四个方面：建设单位、施工单位、设计单位、设备制造单位。不同的工程项目有不同的管理方式。在钢铁工业建设中，过去实行过生产企业自营的管理方式，建设单位、设计单位和施工单位“三方分工”的管理方式以及“三方独立”的管理方式。现在，主要是以建设单位为主体的管理方式。它的特点是，建设单位处于工程建设的主导地位，由建设单位对工程建设的全过程负责，设计、施工方处于为建设方服务的地位。建设、设计、施工和设备制造厂四方以合同契约为主要纽带联系在一起。在水电建设方面，采用建设单位、施工单位和监理单位互相促进、互相制约的管理制度。监理单位是业主和承包商之间的中间环节。监理单位有以下5方面的作用： 招标和采购。受建设单位的委托，通过竞争性招标或其它方式选择施工单位和采购设备。包括资格预审、编标、评标、编制合同文件等。如果监理单位参与较早，也可负责项目可行性和参与项目评估，还可参与设计招标、项目采购和聘请咨询专家等工作。 组织和计划。应用网络计划方法，制定工程实施计划。以工程总进度计划为主导，建立一个动态的计划系统以指导工程实施。对项目的组织工作包括项目的划分、工作程序的安排、结合部的处理等。 监督和控制。对承包商的施工进行监督和控制是监理单位的基本职能。监理单位通过对工程现场监督，及时、准确、完整地掌握信息，对工程实施进行反馈、调整 and 决策。对工程的进度、质量和成本进行控制。 指导和优化。一个优秀的监理单位决不墨守成规地办事，而要根据自己丰富的经验，探索一套科学的管理方法，对工程实施进行优化，对承包商进行指导和激励，从而加快进度，降低成本，保证质量，圆满地实现项目目标。 协调和仲裁。实行招标合同制，一个工程往往有几十个甚至更多的合同，在工程实施中形成众多的结合部。协调工作只能由监理单位来承担。合同实施中各方面由于地位和经济利益不同，会发生各种争执和纠纷。在一般情况下，也要由监理单位站在公正立场上解释合同，调解纠纷，进行协调和仲裁。

第二节 网络计划方法

一、网络计划方法的产生

网络计划方法是项目计划管理的重要方法。网络计划方法起源于美国。从1956年起，美国就有一些数学家和工程师开始探讨这方面的问题。1957年，美国杜邦化学公司首次采用了一种新的计划管理方法，即关键路线法(Critical Path Method, CPM)，第一年就节约了一百多万美元，相当于该公司用于研究发展CPM所花费用的5倍以上。1958年，美国海军武器局特别规划室在研制北极星导弹潜艇时，应用了称为计划评审技术(Program Evaluation and Review Technique, PERT)的计划方法，使北极星导弹潜艇比预定计划提前两年完成。统计资料表明，在不增加人力、物力、财力的既定条件下，采用PERT就可以使进度提前15%~20%，节约成本10%~15%。网络计划方法在我国各类大型工程项目的管理中已经得到普遍应用。航天工程在型号研制和大型试验中较早地采用了网络计划方法，取得了很好的效果；宝钢建设、第十一届亚运会等工程也应用了网络计划方法，并在许多方面有所创新。

CPM和PERT是独立发展起来的计划方法，在具体做法上有不同之处。CPM假定每一活动的时间是确定的，而PERT的活动时间基于概率估计；CPM不仅考虑活动时间，也考虑活动费用及费用和时间的权衡，而PERT则较少考虑费用问题；CPM采用节点型网络图，PERT采用箭线

型网络图。但两者所依据的基本原理基本相同，都是通过网络形式表达某个项目计划中各项具体活动的逻辑关系，现在人们就将其合称为网络计划技术。

网络图是由若干个圆圈和箭线组成的网状图，它能表示一项工程或一项生产任务中各个工作环节或各道工序的先后关系和所需时间。网络图有两种形式。一种以箭线表示活动（或称为作业、任务、工序），称为箭线型网络图；另一种以圆圈表示活动，称为节点型网络图。箭线型网络图又称为双代号网络图。因为它不仅需要一种代号在箭线上表示活动，而且还需要一种代号在圆圈上表示事件。每一条箭线的箭头和箭尾各有一圆圈，分别代表箭头事件和箭尾事件。圆圈上有编号，可以用一条箭线的箭头事件和箭尾事件的两个号码表示这项活动，如图14-1(a)所示。节点型网络图用圆圈表示活动，用箭线表示活动之间的关系，它又称为单代号网络图，因为它只需要一个代号就可以表示。单代号网络图如图14-1(b)所示。

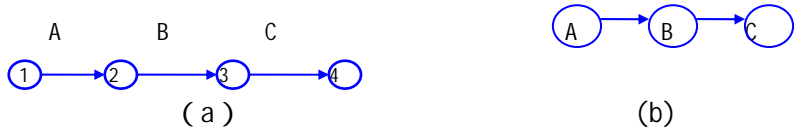


图 14-1 双代号网络图和单代号网络图

箭线型网络图可以用箭线的长度形象地表示活动所持续的时间，因而深受管理人员和工程技术人员欢迎。本书将主要介绍箭线型网络图。

二、网络计划方法的优点

网络计划方法是继本世纪初甘特(Henry L. Gantt)发明甘特图以来，在计划工具上最大的进步。甘特图法是传统的作业计划方法。图14-2为用甘特图表示制造某一专用设备的各项活动的进度安排。图中用线条标出了各项活动的延续时间和起、止时间。从图14-2中还可看出，活动A(设计活动)、B(工艺编制活动)、D(工装制造活动)、E(零件加工活动)、F(产品装配活动)是顺序关系，即前一项活动完成后，后一项活动才能开始。而B和C(采购活动)是并行关系，它们可以同时进行。用网络图表示该专用设备制造进度计划如图14-3所示，其中字母后的数字为活动的持续时间。

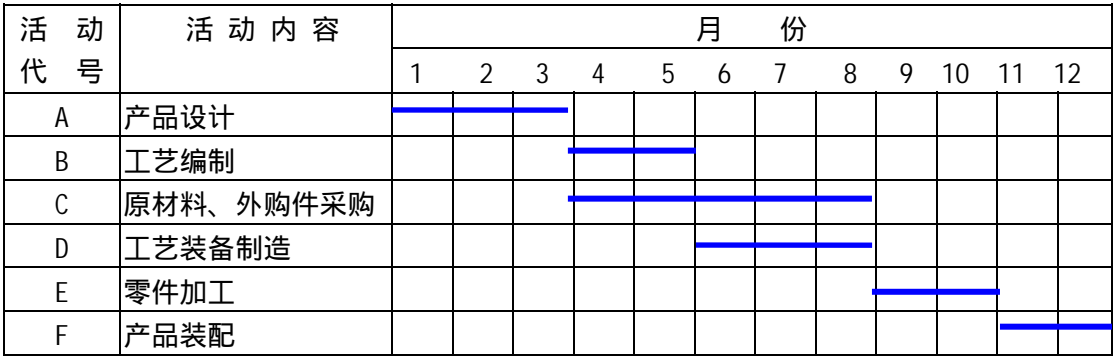


图14-2 用甘特图表示进度计划

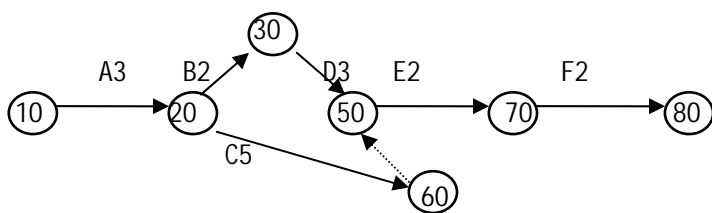


图14-3 用网络图表示进度计划

将甘特图与网络图进行比较，可以看出，网络图有以下优点：

- (1) 通过网络图，可使整个项目及其各组成部分一目了然；
- (2) 可足够准确地估计项目的完成时间，并指明哪些活动一定要按期完成；
- (3) 使参加项目的各单位和有关人员了解他们各自的工作及其在项目中的地位和作用；
- (4) 便于跟踪项目进度，抓住关键环节；
- (5) 可简化管理，使领导者的注意力集中到可能出问题的活动上。

三、应用网络计划方法的步骤

应用网络计划方法一般可按如下步骤进行。

(一) 项目分解

项目分解就是将一个工程项目分解成各种活动(作业，工序，任务)。在进行项目分解时，可采用“任务分解结构”(Work breakdown structure, WBS)。WBS类似于产品结构，它将整个项目分解成任务包(Work package)，再将任务包分解成主要成分，最后再分解成具体活动。WBS有助于管理人员确定所要去做的工作，便于管理人员编制预算和作业计划。

在把一个项目分解之前，必须确定分解的详细程度。项目分解的详细程度按需要决定。给上级领导使用的网络计划较粗略，项目可分解成一些较大的活动，如设计、制造、安装等，这样做的目的是便于他们从总体上把握进度。给具体施工单位使用的网络计划较细，项目可分解成一些较细的活动，如挖地基、浇灌水泥等，这样便于具体应用。

一般可以从以下几个角度进行项目分解：

- (1) 按项目的结构层次分解，如建设火电站需要制造锅炉、汽轮机、发电机以及辅机；制造锅炉需要制造水冷壁、汽包、空气预热器等；而制造水冷壁需要对钢管进行加工。
- (2) 按项目的承担单位或部门分解，如设计、施工、验收等。
- (3) 按工程的发展阶段分解，如分成论证、设计、试制等。
- (4) 按专业或工种分解，如机械、电气、装配、焊接等。

以上几种项目分解的方式可以混合使用，使工程进展的一定阶段与一定的部门发生联系。

(二) 确定各种活动之间的先后关系，绘制网络图

项目分解成活动之后，要确定各种活动之间的先后次序，即一项活动的进行是否取决于其它活动的完成，它的紧前活动或紧后活动是什么。活动之间的关系通常有以下几种，如图14-4所示。图14-4(a)表示活动A完成之后活动B才能开始，活动B完成之后活动C才能开始。如设计之后才能制造产品，产品制造后才能安装。图14-4(b)表示活动B和C都只有在活动A完成之后开始。图14-4(c)表示活动C只有在活动A和活动B都完成之后才能开始。图14-4(d)表示活动C和活动D都只有在活动A和活动B都完成之后才能开始。图14-4(e)表示活动C只有在活动A完成之后开始，活动D只有在活动B完成之后开始，但活动A和C与活动B和D相互独立。图

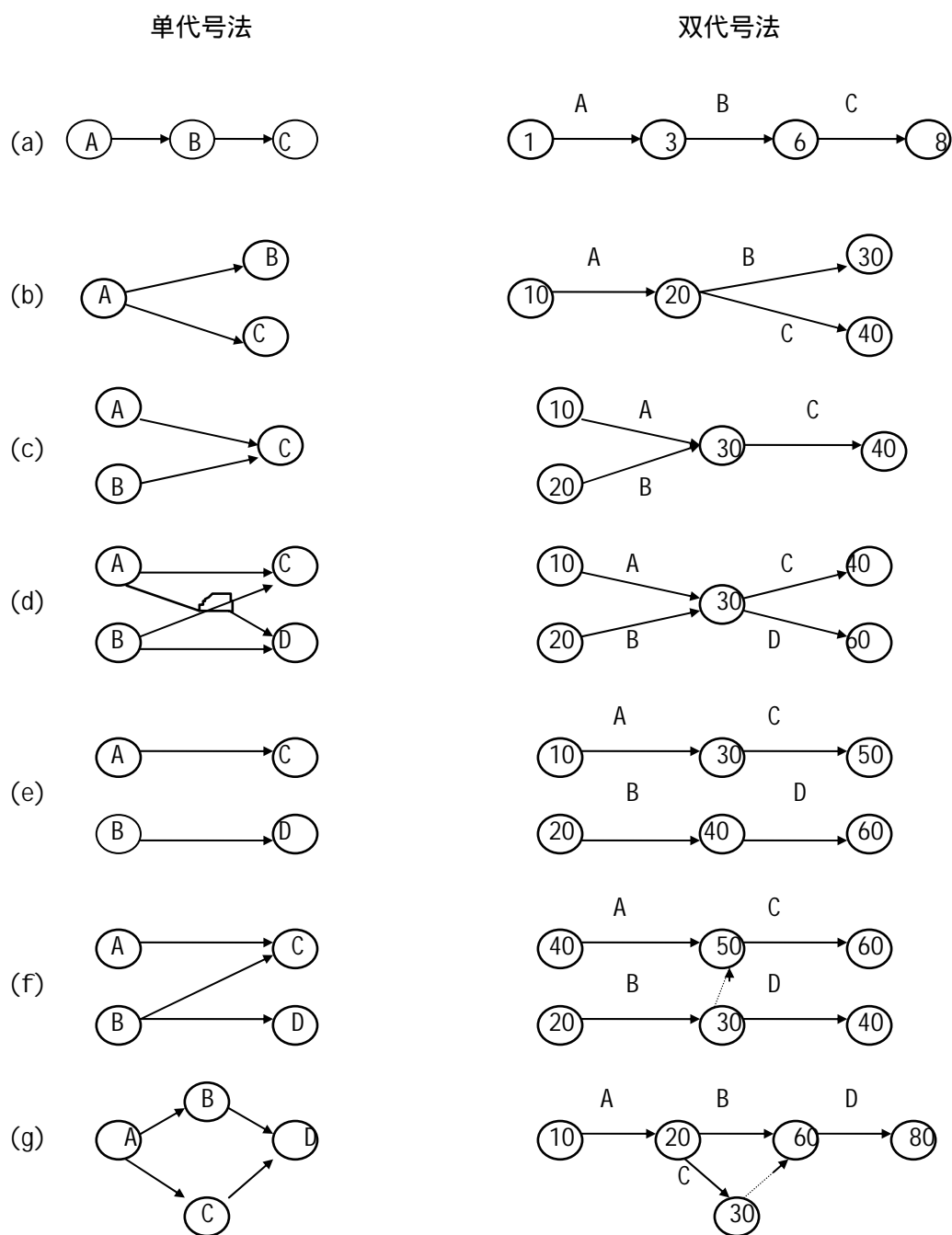


图14-4 活动之间的典型关系

14-4(f)表示活动C只有在活动A和活动B都完成之后才能开始,但活动D只需在活动B完成之后就可以开始。图14-4(g)表示活动B和C都只有在活动A完成之后开始,活动D只有在活动B和活动C都完成之后开始。

网络图的绘制方法将在下面讨论。

(三) 估计活动所需的时间

活动所需的时间是指在一定的技术组织条件下，为完成一项任务或一道工序所需要的时间，是一项活动的延续时间。活动时间以 $t(i, j)$ 表示，其时间单位可以是小时、日、周、月等，可按具体工作性质及项目的复杂程度以及网络图使用对象而定。

根据活动性质的不同，活动时间有两种估计方法。

1. 单一时间估计法 是指对各种活动的时间，仅确定一个时间值。这种方法适用于有同类活动或类似活动时间作参考的情况。如过去进行过、偶然性因素的影响又较小的活动。采用单一时间估计法作出的网络图也称为确定型网络图。

2. 三点时间估计法 是对活动时间预估三个时间值，然后求出可能完成的平均值。这三个时间值是：

最乐观时间(Optimistic Time) 指在最有利的条件下顺利完成一项活动所需要的时间，常以 a 表示。

最可能时间(Most Likely Time) 指在正常情况下完成一项活动所需要的时间，常以 m 表示。

最悲观时间(Pessimistic Time) 指在最不利的条件下完成一项活动所需要的时间，常以 b 表示。

三点时间估计法常用于带探索性的工程项目。如原子弹工程，其中有很多工作任务是从未做过的，需要研究、试验，这些工作任务所需的时间也很难估计，只能由一些专家估计最乐观的时间、最悲观的时间和最可能的时间，然后对这三种时间进行加权平均。计算活动平均时间的公式为：

$$t(i, j) = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (14.1)$$

$$\text{其方差 } \sigma^2 \text{ 为: } \sigma^2 = \left(\frac{b-a}{6} \right)^2 \quad (14.2)$$

采用三点时间估计法作出的网络图也称为随机型网络图。

(四) 计算网络参数，确定关键路线

对箭线型网络图，网络参数包括事件的时间参数和活动的的时间参数。求出时间参数之后，就可以确定关键路线。

(五) 优化

包括时间优化、时间-资源优化和时间-费用优化。

(六) 监控

利用网络计划对项目进行监视和控制，以保证项目按期完成。

(七) 调整

按实际发生的情况对网络计划进行必要的调整。

四、箭线型网络图的绘制

(一) 箭线型网络图的构成

如前所述，箭线型网络图用圆圈(节点)表示事件，用箭线表示活动。事件表示一项活动开始或结束的瞬间。在箭线型网络图中，某一节点用圆圈及圆圈内的数字表示。如果一个节

点只有箭线发出，没有箭线引入，即只表示某些活动的开始时刻，而不表示任何活动的结束瞬间，则该结点称为起始节点。相反，如果一个节点只有箭线引入而没有箭线引出，即只与箭头相连，则只表示某些活动的结束时刻，而不表示任何活动的开始瞬间，这样的节点称为终止节点。介于起始节点与终止节点之间的节点都是中间节点。中间节点连接着先行活动箭线的箭头和后续活动箭线的箭尾。因此，中间节点的时间状态既表示先行活动的结束时刻，又表示后续活动的开始时刻。

既不需要消耗时间也不需要消耗其它资源的活动称为虚活动。虚活动是为了准确而清楚地表达各项活动之间的关系而引入的，一般用虚箭线表示。虚活动在实际工作中并不存在，但在箭线型网络图中却有着重要作用。图14-4 (f)和(g)中都有虚活动。虚活动是箭线型网络图中所独有的，节点型网络图不需要虚活动或虚箭线。

观察图14-3，从中可以发现，从网络图的起始节点出发，顺箭线方向经过一系列节点和箭线，到网络图的终止节点有若干条路，每一条路都称为一条路线。例如，A-C-F 就是一条路线。路线上各项活动延续时间之和称为该路线的长度。其中最长的路线称为关键路线，图14-3中的关键路线为A-B-D-E-F。

(二) 绘制箭线型网络图的规则

(1) 网络图中不允许出现循环。网络图中的箭线必须从左至右排列，不能出现回路。图14-5 为出现循环的示例。

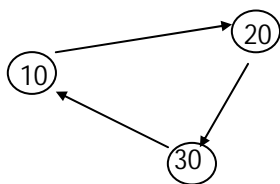


图14-5 循环

(2) 两个节点之间只允许有一条箭线相连。否则，当用节点编号标识某项活动时，就会出现混乱。要消除这样的现象，就必须引入虚活动。图14-6(a)为不正确的画法，图14-6(b)为正确的画法。

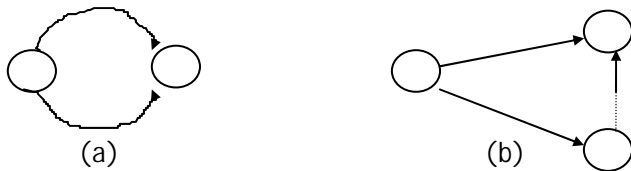


图14-6 两节点之间箭线的画法

(3) 箭头事件的编号必须大于箭尾事件的编号。编号可以不连续，而且最好是跳跃式的，以便调整。通常用 i 表示箭尾事件，用 j 表示箭头事件， $j > i$ 。

(4) 一个完整的网络图必须有，也只能有一个起始节点和一个终止节点。起始节点表示项目的开始，终止节点表示项目的结束。在本书中，起始节点的编号为“1”，终止节点的编号为“n”。按惯例，起始节点放在图的左边，终止节点放在图的右边。图14-7的情形是不允

许的。



图14-7 完整网络图的不正确画法

(三) 网络图的绘制

任务分解之后，根据在任务分解中确定的活动之间的关系，列出活动清单。在列活动清单时，可以采用紧前活动或紧后活动作为表示活动先后关系的依据。表14-1所示为某机械厂开发计算机管理信息系统项目的活动清单。现以表14-1中的资料为例说明网络图的绘制方法。

表14-1 某机械厂管理信息系统开发活动清单

活动代号	活 动 描 述	紧后活动	活动所需时间(周)
A	系统分析和总体设计	B , C	3
B	输入/输出设计	D	4
C	模块I 详细设计	E , F	6
D	输入/输出程序设计	G , I	8
E	模块I 程序设计	G , I	8
F	模块II 详细设计	H	5
G	输入/输出和模块I 测试	J	3
H	模块II 程序设计	I , K	6
I	模块II 测试	J	3
J	系统总调试	L	5
K	文档编写	无	8
L	系统测试	无	3

根据活动清单中规定的活动之间的关系，将活动代号栏中所有的活动逐项地画在网络图上。按惯例，绘制网络图应该从左至右进行。起始节点画在最左边，表示项目的开始。然后，从活动代号栏中找出紧后活动栏中没有出现的活动，即它(们)是项目开始时就可以进行的活动。这样，从起始节点发出的箭线就表示这个(些)活动。画出最早能开始的活动之后，就要找出其紧后活动，再将表示其紧后活动的箭线画在紧后。按这样的方式进行下去，直到没有紧后活动的活动为止。没有紧后活动的活动所对应的箭线汇集在终止节点上。草图绘出后，将序号标在节点上，将活动代号和时间标在箭线上。要根据网络图绘制规则，逐项活动进行检查，去掉不必要的虚活动。然后，按要求画出正规的网络图。如图14-8所示。

绘制箭线型网络图的关键在虚箭线的画法。 以下三种情况都需要虚箭线才能表示清楚：
(1) 当一项活动完成后，同时有几项活动可以进行，且这几项活动都完成后，后续活动才能开始。图14-4(g)就是这种情况。平行作业也属于这种情况。如图14-9所示，当活动B被分成

B1、B2和B3可以同时进行时，只有用虚箭线才能表示清楚。(2) 交叉作业。如图14-10所示。(3) 当出现图14-11 所示的情况时，没有虚箭线也是无法表达的。

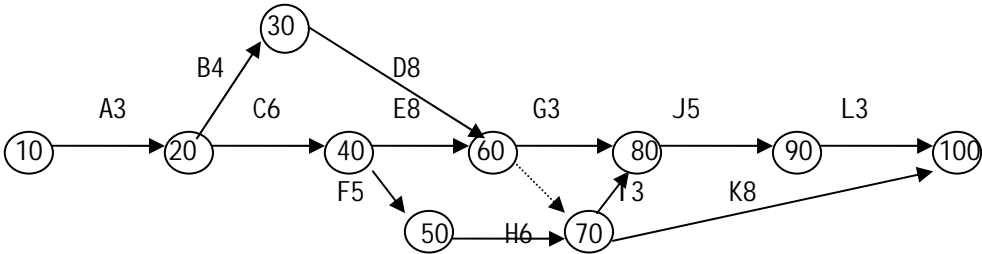


图14-8 某机械厂管理信息系统开发网络图

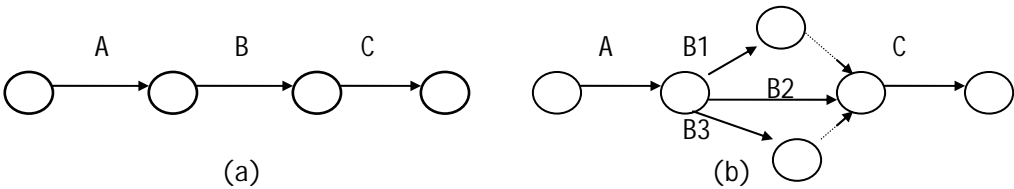


图14-9 平行作业

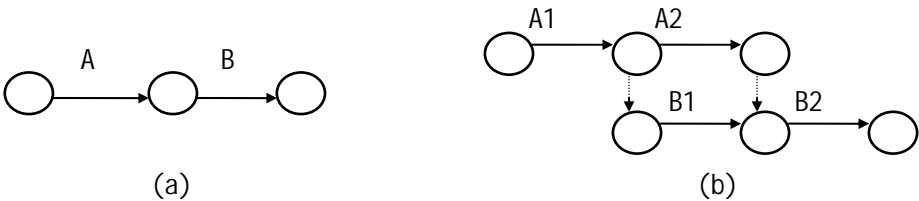


图14-10 交叉作业

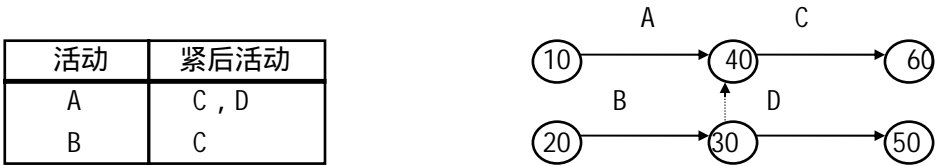


图14-11 出现虚箭线的第三种情况

第三节 网络时间参数的计算

网络时间参数包括事件的时间参数和活动的的时间参数。

一、事件时间参数计算

事件时间是一个瞬时的概念，在时间轴上是一个点，它包括事件最早可能发生时间、事件最迟必须发生时间和事件时差。在网络图中，节点与事件对应。起始节点表示项目开始事件，这一事件的发生，表示项目最早可以进行的活动开始；终止节点表示项目完成事件，这一事件的发生，表示最后进行的活动完成。中间节点表示终止在该节点的箭线所代表的活动

完成和从该节点发出的箭线所代表的活动开始这一事件。

(一) 事件最早可能发生时间(Early Time, ET(j))

事件最早可能发生时间是指从相应节点发出的箭线所代表的活动可能开始的最早时间,或相应节点接受的箭线所代表的活动可能完成的最早时间。事件最早可能发生时间从网络图的起始节点开始,按节点编号顺向计算,直到网络图的终止节点为止。一般假定网络图的起始节点最早开始时间为零。即 $ET(1)=0$ 。其余节点最早可能发生时间可按下式计算:

$$ET(j)=\max\{ET(i)+t(i,j)\} \quad (14.3)$$

式中, i 和 j 分别代表箭尾事件和箭头事件; $t(i,j)$ 为活动 (i,j) 所需时间。

(二) 事件最迟必须发生时间(Late Time, LT(i))

事件最迟必须发生时间是指从相应节点接受的箭线所代表的活动完成的最迟时间或相应节点发出的箭线所代表的活动开始的最迟时间。节点最迟必须发生时间的计算从网络图的终止节点开始,按节点编号逆向计算,直到网络图的起始节点为止。由于事件本身不消耗时间,所以网络终止节点的最迟必须发生时间可以等于它的最早可能发生时间。即 $LT(n)=ET(n)$ 。其余节点最迟必须发生时间可按下式计算:

$$LT(i)=\min\{LT(j)-t(i,j)\} \quad (14.4)$$

符号意义同前。

(三) 事件时差 $S(i)$

$$S(i)=LT(i)-ET(i) \quad (14.5)$$

(四) 关键路线

从起始节点到终止节点顺序地将所有事件时差为零的节点连接起来的路线。

现将图14-8所示的网络图事件时间参数计算如下。

先计算事件的最早可能发生时间。

设 $ET(10)=0$,

则 $ET(20)=ET(10)+t(10,20)=0+3=3$,

$ET(30)=ET(20)+t(20,30)=3+4=7$,

$ET(40)=ET(20)+t(20,40)=3+6=9$ 。

$ET(50)=ET(40)+t(40,50)=9+5=14$,

$ET(60)=\max\{ET(30)+t(30,60), ET(40)+t(40,60)\}=\max\{7+8, 9+8\}=17$,

$ET(70)=\max\{ET(60)+t(60,70), ET(50)+t(50,70)\}=\max\{17+0, 14+6\}=20$ 。

按这样的方式可将其余事件的最早可能发生时间计算出来,得到 $ET(100)=31$ 。

然后计算事件最迟必须发生时间。

设 $LT(100)=ET(100)=31$,

则 $LT(90)=LT(100)-t(90,100)=31-3=28$,

$LT(80)=LT(90)-t(80,90)=28-5=23$,

$LT(70)=\min\{LT(100)-t(70,100), LT(80)-t(70,80)\}=\min\{31-8, 23-3\}=20$,

$LT(60)=\min\{LT(80)-t(60,80), LT(70)-t(60,70)\}=\min\{23-3, 20-0\}=20$ 。

按同样的方式可将其余事件的最迟必须发生时间计算出来。

事件时差的计算按公式(14.5)进行。计算结果如表14-2所示。

表14-2 事件时间参数计算表

事件i	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ET(i)	0	3	7	9	14	17	20	23	28	31
LT(i)	0	3	12	9	14	20	20	23	28	31
S(i)	0	0	5	0	0	3	0	0	0	0

从起始节点到终止节点顺序地将事件时差为零的节点连接起来，就得到项目的关键路线：10-20-40-50-70-80-90-100, 或A-C-F-H-I-J-L。

对于比较简单的网络图，可以直接在网络图上计算各节点时间参数。将节点最早可能发生时间记于符号“ \perp ”的左边，将节点最迟必须发生时间记于符号“ \perp ”的右边，如图14-12所示。

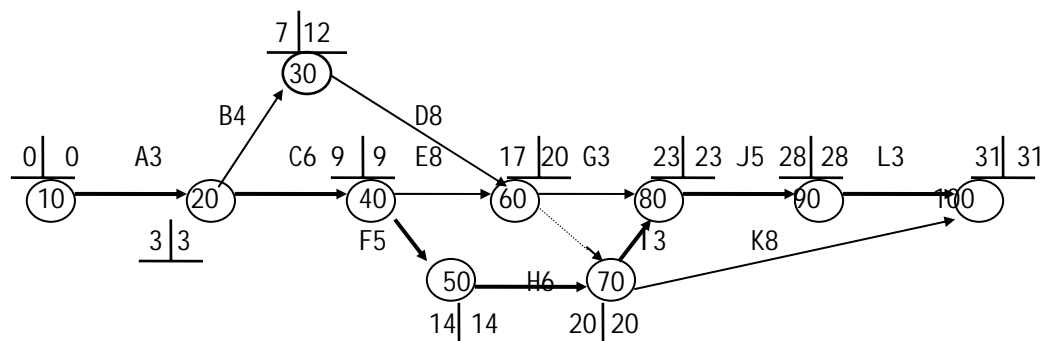


图14-12 某机械厂管理信息系统开发网络图节点参数计算

二、活动时间参数计算

与事件时间不同，活动时间是一个时段概念，活动需要持续一段时间才能完成。因此，活动有4个时间，即活动最早可能开始时间，活动最早可能完成时间，活动最迟必须完成时间，活动最迟必须开始时间。活动时间参数可以通过事件时间参数计算，也可以独立计算。

(一) 活动最早可能开始时间(Early start time, $ES(i, j)$)

活动最早可能开始时间等于该活动对应的箭线的箭尾事件的最早可能发生时间，即

$$ES(i, j) = ET(i) \quad (14.6)$$

或按紧前活动的最早可能开始时间计算：

$$ES(i, j) = \max(ES(h, i) + t(i, j)), \quad ES(1, j) = 0 \quad (14.7)$$

(二) 活动最早可能完成时间(Early finish time, $EF(i, j)$)

活动最早可能完成时间等于该活动的最早可能开始时间与活动所需时间之和，即

$$EF(i, j) = ES(i, j) + t(i, j) = ET(i) + t(i, j) \quad (14.8)$$

(三) 活动最迟必须完成时间(Late finish time, $LF(i, j)$)

活动最迟必须完成时间是指为保证工程按期完工的最迟必须完成时间。活动最迟必须完成时间就等于该活动的箭头事件的最迟必须发生时间，即

$$LF(i, j) = LT(j) \quad (14.9)$$

或按活动最迟必须开始时间计算：

$$LF(i, j) = LS(i, j) + t(i, j) \quad (14.10)$$

(四) 活动最迟必须开始时间(Late start time, $LS(i, j)$)

活动最迟必须开始时间可通过事件的时间参数计算：

$$LS(i, j) = LT(j) - t(i, j) \quad (14.11)$$

或按紧后活动的最迟必须开始时间计算：

$$LS(i, j) = \min(LS(j, k) - t(i, j)) \quad (14.12)$$

(五) 活动时差

有了活动的最早时间和最迟时间，就可以计算活动时差。活动时差是指在不影响整个项目完工时间的条件下，某项活动最迟开始(完成)时间与最早开始(完成)时间的差值，也就是活动开始时间或完成时间容许推迟的最大限度。活动时差一般可以分为活动总时差和活动单时差。

1、总时差 活动总时差 $ST(i, j)$ 是指在不影响整个工程工期，即不影响紧后活动的最迟必须开始时间的前提下，活动 (i, j) 的开始时间或完成时间可以前后松动的最大范围。活动 (i, j) 的总时差计算公式是：

$$ST(i, j) = LS(i, j) - ES(i, j) = LF(i, j) - EF(i, j) = LT(j) - ET(i) - t(i, j) \quad (14.13)$$

虽然总时差是对某一活动而言的，但它的影响却是全局的，这也是称之为“总时差”的原因。任何活动的总时差范围超过一天，则整个工程将延期一天。

2、单时差 单时差 $S(i, j)$ 是指在不影响紧后活动最早可能开始时间的条件下，活动 (i, j) 的开始时间或完成时间可以前后松动的最大范围。活动 (i, j) 单时差计算公式是

$$S(i, j) = ES(j, k) - EF(i, j) = ES(j, k) - ES(i, j) - t(i, j) = ET(j) - ET(i) - t(i, j) \quad (14.14)$$

活动单时差是活动总时差的一部分。由于单时差以不影响紧后工序最早开始时间为前提，这就有两方面的意义。一方面表明单时差只能在本项活动中利用，如果不用也不能让给紧后作业，而总时差可以部分让给后续作业使用；另一方面，它对紧后活动的正常进行毫无影响，即使某项活动的单时差全部用完了，其紧后活动并不会推迟开工。这对多个单位协作的大工程的组织有十分重要的意义，它使得各个施工单位的工作可以独立按计划进行。因此，在进行网络计划优化时，单时差是十分有用的。

除了总时差和单时差，活动时差还包括自由时差 $FF(i, j)$ 和专用时差两种 $SF(i, j)$ 。

3、自由时差 是指活动 (i, j) 按最迟时间进行时，在不影响其紧后活动最迟必须开始时间的条件下，活动 (i, j) 可以前后松动的最大时间范围。活动 (i, j) 自由时差计算公式是

$$FF(i, j) = LS(i, j) - LT(i) = LT(j) - LT(i) - t(i, j) \quad (14.15)$$

4、专用时差，是指活动 (i, j) 按最迟时间进行时，在不影响其紧后活动最早可能开始时间的条件下，活动 (i, j) 可以前后松动的最大时间范围。活动 (i, j) 专用时差计算公式是

$$SF(i, j) = \max(0, ET(j) - LT(i) - t(i, j)) \quad (14.16)$$

(六) 关键路线

时差为零的活动也叫做关键活动。因为活动总时差为零，意味着所有其它时差均为零，没有任何缓冲余地，只能按时完成。所以，关键活动成为工程中重点管理的对象。

对于确定型问题，顺序地把所有关键活动连结起来所得到的从起始节点到终止节点的路线就是关键路线。关键路线至少有一条，可能有多条，它(们)上面各种活动时间之和一定是最大的。关键路线的长度决定整个工期。总时差为零的活动一定在关键路线上。

需要指出的是，关键路线不是一成不变的。在一定条件下，关键路线可以变成非关键路线，非关键路线，也可以变成关键路线。因此，在网络计划的执行过程中，要用动态的观点看待关键路线，保证工程按期完工。

（七）随机型网络图的关键路线

对于随机型网络图，由于活动时间是用三点估计法得出的，其关键路线是在规定期限内按期完工概率最小的路线。

在随机型网络图中，每一条路线所需要的时间是其上所有活动所需时间的和，随机变量的和也是一个随机变量。按照数理统计学的“中心极限定理”，具有有限的数学期望和方差的独立同分布的随机变量的和近似地服从正态分布。因此，网络图中每一条路线所需时间近似地服从正态分布。

例：图14-13所示的网络图，其参数估计如表14-3所示。

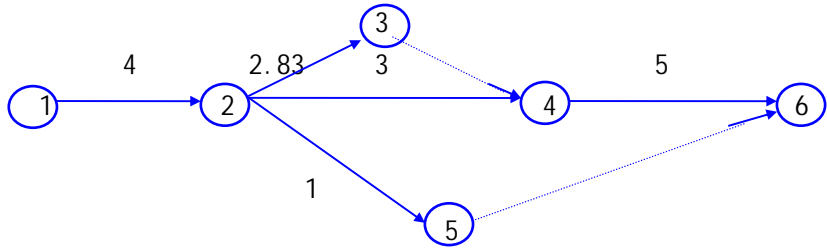


图14-13 网络图

表14-3 活动时间参数估计 (周)

活动	a_i	m_i	b_i	$t_{ei} = (a_i + b_i + C_i) / 6$	$\sigma_i = (b_i - a_i) / 6$
1-2	2	3	10	4	1.33
2-3	1	2	8	2.83	1.17
2-4	2	3	4	3	0.33
2-5	1	1	1	1	0
3-4	0	0	0	0	0
4-6	3	4	11	5	1.33
5-6	0	0	0	0	0

设 T_K 为路线K上所有活动时间之和的期望值， σ_K 为路线K上所有活动时间之和的均方差。则

$$T_K = \sum_{i \in K} t_{ei} \quad (14-17)$$

$$\sigma_K = \sqrt{\sum_{i \in K} \sigma_i^2} \quad (14-18)$$

对于路线1-2-4-6, $T_K = (4+3+5) = 12$ (周) ;

$$\sigma_K = \sqrt{(1.33^2 + 0.33^2 + 1.33^2)} = 1.91 \text{ (周)}.$$

比较各条路线的长度，得知最长路线为1-2-4-6，相应的活动时间之和的均值为12周，均方差为1.91周。由于是正态分布，这条路线上的活动在12周内完工的概率为50%。若问路线

1-2-4-6上所有活动在15周内都完工的概率有多大，可以将其转化为标准正态分布，通过查标准正态分布表就可得出完工的概率。

$Z = (15 - 12)/1.91 = 1.57$ ，查标准正态分布表得出概率为94.2%，即路线1-2-4-6上所有活动在15周内都完工的概率是94.2%。

那么，路线1-2-4-6是不是关键路线呢？不一定。现在我们来计算路线1-2-3-4-6上的所有活动在15周内完工的概率。

$$T_k = (4 + 2.83 + 5) = 11.83 \text{ (周)}; \quad \sigma_k = \sqrt{(1.33^2 + 1.17^2 + 1.33^2)} = 2.22 \text{ (周)};$$

$Z = (15 - 11.83)/2.22 = 1.43$ ，查标准正态分布表得出概率为92.4%。这就是说，路线1-2-3-4-6在15周内完工的概率小于路线1-2-4-6在15周内完工的概率，路线1-2-3-4-6在15周内完工的把握性更小。由此可见，对随机型网络计划问题，活动时间之和均值最大的路线不一定是关键路线。

三、网络时间参数的计算方法

计算网络时间参数可以采用手工计算和电脑计算的方法。对于手工计算，最常用的计算方法是图上计算法和表格上计算法。前述事件时间参数的计算，就是采用图上计算法。图上计算法的优点是直观，容易掌握。但对于较复杂的网络图，会造成图上参数太多，不易辨认，也容易出错。一般，图上计算法适用于30个节点左右的网络图，表上计算法适用于50个节点左右的网络图。

图14-8所示的例子事件时间参数计算过程如下。

(1) 活动最早可能开始时间

按 $ES(i, j) = ET(i)$ ，可得到所有活动的最早可能开始时间。

(2) 活动最迟必须完成时间

按 $LF(i, j) = LT(j)$ ，可得到所有活动的最迟必须完成时间。

(3) 活动最早可能完成时间

按 $EF(i, j) = ES(i, j) + t(i, j) = ET(i) + t(i, j)$ ，可得到所有活动的最早可能完成时间。

(4) 活动最迟必须开始时间

按 $LS(i, j) = LF(i, j) - t(i, j) = LT(j) - t(i, j)$ ，可得到所有活动最迟必须开始时间。

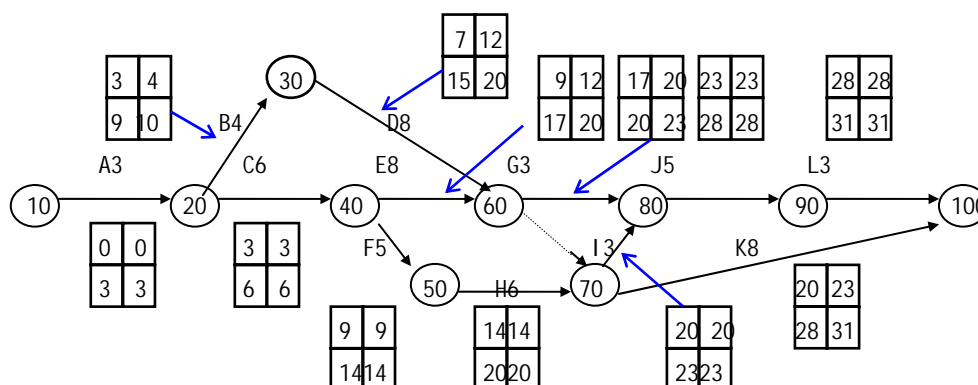


图14-14 事件时间参数图算法示例

在进行图上计算时，可用符号“田”表示以上4个时间，即左上角为活动最早可能开始时间 $ES(i,j)$ ，右上角为活动最早可能完成时间 $EF(i,j)$ ，左下角为活动最迟必须开始时间 $LS(i,j)$ ，右下角为活动最迟必须完成时间 $LF(i,j)$ 。图14-8所示的例子事件时间参数计算结果如图14-14所示。

当网络图作业项目数很多、结构比较复杂时，图算法使得图上参数太多，容易造成读图困难，也影响图面美观，因此往往采用表算法。

表算法就是根据时间参数的计算公式，借助于表格进行计算的一种方法。使用这种方法，可直接求出作业的时间参数，而不需要计算结点时间参数。表14-4为网络图14-14中各项活动 $ES(i,j)$ 、 $EF(i,j)$ 、 $LS(i,j)$ 、 $LF(i,j)$ 值计算表。

表 14-4 活动时间参数计算表

活动代号	i - j	活动时间	$ES(i,j)$	$EF(i,j)$	$LS(i,j)$	$LF(i,j)$	$ST(i,j)$	$S(i,j)$	关键活动
A	10-20	3	0	3	0	3	0	0	*
B	20-30	4	3	7	8	12	5	0	
C	20-40	6	3	9	3	9	0	0	*
D	30-60	8	7	15	12	20	5	2	
E	40-60	8	9	17	12	20	3	0	
F	40-50	5	9	14	9	14	0	0	*
G	60-80	3	17	20	20	23	3	3	
虚活动	60-70	0	17	17	20	20	3	3	
H	50-70	6	14	20	14	20	0	0	*
I	70-80	3	20	23	20	23	0	0	*
J	80-90	5	23	28	23	28	0	0	*
K	70-100	8	20	28	23	31	3	3	
L	90-100	3	28	31	28	31	0	0	*

第四节 网络计划优化

网络计划优化，就是在满足一定条件下，利用时差来平衡时间、资源与费用三者的关系，寻求工期最短、费用最低、资源利用最好的网络计划过程。但是，目前还没有使这三个方面因素同时优化的数学模型。目前能进行的网络计划优化是时间优化、时间-费用优化和时间-资源优化。

一、 时间优化

时间优化就是不考虑人力、物力、财力资源的限制，寻求最短工期。这种情况通常发生在任务紧急、资源有保障的情况。

由于工期由关键路线上活动的时间所决定，压缩工期就在于如何压缩关键路线上活动的时间。缩短关键路线上活动时间的途径有：

- (1) 利用平行、交叉作业缩短关键活动的时间；
- (2) 在关键路线上赶工。

由于压缩了关键路线上活动的时间，会导致原来不是关键路线的路线成为关键路线。若要继续缩短工期，就要在所有关键路线上赶工或进行平行交叉作业。随着关键路线的增多，压缩工期所付出的代价就越大。因此，单纯地追求工期最短而不顾资源的消耗是不可取的。

二、 时间-费用优化

时间-费用优化就是在使工期尽可能短的同时，也使费用尽可能少。能够实现时间-费用优化的原因是，工程总费用可以分为直接费用和间接费用两部分，这两部分费用随工期变化而变化的趋势是相反的。

（一） 直接费用 C_D

直接费用 C_D 是指能够直接计入成本计算对象的费用，如直接工人工资、原材料费用等。直接费用随工期的缩短而增加。

一项活动如果按正常工作班次进行，其延续时间称为正常时间，记为 t_z ；所需费用称为正常费用，记为 C_z 。若增加直接费用投入，就可以缩短这项活动所需的时间，但活动所需时间不可能无限缩短。如加班加点，一天也只有24小时；生产设备有限，投入更多的人力也不会增加产出。我们称赶工时间条件下活动所需最少时间为极限时间，记为 t_g ；相应所需费用为极限费用，记为 C_g 。直接费用与活动时间之间的关系如图14-15所示。

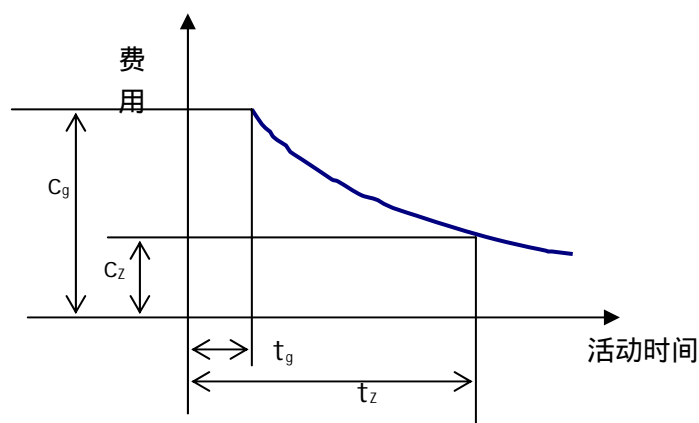


图14-15 直接费用与活动时间的关系

为简化处理，可将活动时间-费用关系视为一种线性关系。在线性假定条件下，活动每缩短一个单位时间所引起直接费用增加称为直接费用变化率，记为 e 。

$$e = (C_g - C_z) / (t_z - t_g) \quad (14-19)$$

（二） 间接费用 C_I

间接费用 C_I 是与整个工程有关的、不能或不宜直接分摊给某一活动的费用，包括工程管理费用、拖延工期罚款、提前完工的奖金、占用资金应付利息等等。间接费用与工期成正比关系，即工期越长，间接费用越高，反之则越低。通常将间接费用与工期的关系作为线性关系处理。

工程总费用 C_T 、直接费用 C_D 、间接费用 C_I 与工期的关系如图14-16所示。

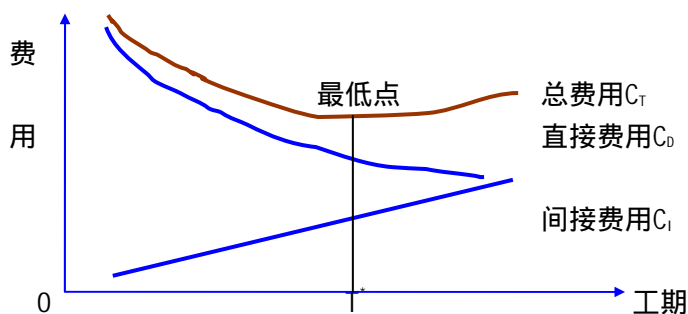


图14-16 费用和工期的关系

由图中可以看出，总费用先随工期缩短而降低，然后又随工期进一步缩短而上升。总费用的这一变化特点告诉人们，其间必有一最低点，该点所对应的工程周期就是最佳工期，如图中 T' 点所示。时间-费用优化的过程，就是寻求总费用最低的过程。

设工期从 T 压缩至 T' ， $T' < T$ ，相应的总费用变化为：

$$C_T(T') = C_D(T') + C_I(T') = C_D(T) + \Delta C_D + C_I(T) + \Delta C_I$$

$$C_T(T') - C_T(T) = \Delta C_D + \Delta C_I \quad (14.20)$$

若 $\Delta C_D + \Delta C_I < 0$ ，则工期还可以进一步缩短。

在进行时间-费用优化时，需要把握以下三条规则：

(1) 必须对关键路线上的活动赶工；(2) 选择直接费用变化率 e 最小的活动赶工；(3) 在可赶工的时间范围内赶工。

下面以这一思想为指导，通过一个例子说明时间-费用优化的方法。

例：某项目计划的网络图如图14-17所示。各项活动的正常时间、正常费用、极限时间、极限费用列于表14-5中。设该项目的单位时间的间接费用为5000元。按合同要求，工期为8周，每超过1周，罚款4500元；每提前1周，奖励4500元。试找出最低费用下的工期。

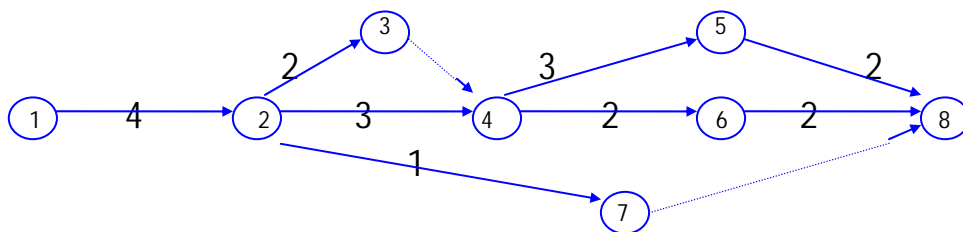


图14-17 某项目的网络图

解：利用所给的正常和赶工情况下的各种数据，计算直接费用变化率，填于表14-5中。

根据正常条件下的网络图(图14-17)求出关键路线。关键路线为1-2-4-5-8。在正常条件下，直接费用和间接费用都没有变化，但由于比合同规定延迟了4周，罚款为18000元，如表14-6所示。因此要考虑压缩关键活动时间。此时，关键活动为1-2、2-4、4-5、5-8。在这4项活动中，活动5-8的直接费用率最小，因此优先考虑压缩活动5-8的时间。将活动5-8的时间从2周压缩到1周。活动5-8时间压缩1周后，直接费用增加4000元，由于工期

缩短1周，间接费用减少5000元，两项相加，节省1000元。但工期拖后3周，罚款为13500元，

表14-5 费用率计算表(时间单位: 周, 费用: 千元)

活动	正 常 条 件 下		赶 工 条 件 下		直接费用变化率e (元/周)
	时间(周)	直 接 费 用 (元)	时间(周)	直接费用(元)	
1-2	4	14000	3	20000	6000
2-3	2	15000	1	20000	5000
2-4	3	15000	1	25000	5000
2-7	1	6000	1	6000	-
3-4	0	-	0	-	-
4-5	3	13000	2	20000	7000
4-6	2	3000	1	5000	2000
5-8	2	8000	1	12000	4000
6-8	2	6000	1	10000	4000

总费用变化为12500元，低于正常工期下的费用。接着，考虑将工期压缩为10周。由于活动5-8已压缩到极限时间，而且活动4-6和活动6-8也已成为关键活动，要使工期变为10周，要么同时压缩活动4-5的时间和活动4-6的时间，要么压缩活动2-4的时间。压缩活动4-5时间和活动4-6时间各1周需9000元，压缩活动2-4一周只需5000元。因此，压缩活动2-4的时间。

表14-6 网络计划优化过程计算表

工期	12周	11周	10周	9周	8周	7周
赶工活动	无	5-8	5-8, 2-4	5-8, 2-4, 1-2	5-8, 2-4, 1-2, 4-6, 4-5	5-8, 2-4, 1-2, 4-6, 4-5, 2-3, 2-4
ΔC_0	0	4000	9000	15000	24000	34000
ΔC_1	0	-5000	-10000	-15000	-20000	-25000
$\Delta C_0 + \Delta C_1$	0	-1000	-1000	0	4000	9000
罚款	18000	13500	9000	4500	0	-4500
总费用变化	18000	12500	8000	4500	4000	4500

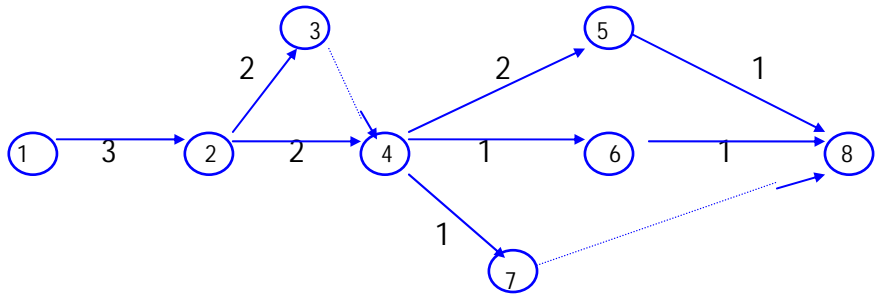


图14-18 经优化的网络图

按这样的方法继续进行，最后结果如表14-6所示。总费用增加最少的方案是工期压缩到8周。每压缩一次活动的时间，都要重新计算出新的关键路线和关键活动，以便找出下一次的压缩对象。随着活动时间的压缩，关键活动和关键路线越来越多，优化工作也越来越复杂。本例的最后结果见图14-18及表14-6。

三、 时间-资源优化

时间-资源优化有两方面含义：(1) 在有限的资源约束下，如何调整网络计划使工期最短；(2) 在工期一定的情况下，如何调整网络计划使资源利用充分。前者称为有限资源下的工期优化问题，后者称为工期规定下的资源均衡问题。

(一) 资源有限，工期最短问题

由于人力、物力和财力有限，使一些活动不能同时进行，一些活动必须推迟进行。在这种条件下，要使工期最短，只能采用试算的办法。为了使工期最短，首先要尽可能保证关键活动准时进行；然后，保证时差最小的活动优先进行。基于这种思想，提出以下求解方法。

我们称每安排完一项活动称作一“步”，设

$\{S_t\}$ t 步之前已安排活动构成的部分网络计划；

$\{O_t\}$ 第 t 步可以安排活动的集合。

有资源约束的网络计划的构成步骤：

设 $t = 1$ ， $\{S_1\}$ 为空集， $\{O_1\}$ 为项目第一步可安排活动的集合。

将 $\{O_1\}$ 中的活动按总时差大小，从小到大排序，对于前一步已安排的活动，由于不能中断，必须赋予最高的优先权。

计算活动所需资源量，在可供最大资源量约束下，按优先顺序安排 $\{O_1\}$ 中的活动；对优先权相同的情况，取最能充分利用资源的活动。

将能完成的活动放入 $\{S_t\}$ ，从 $\{O_t\}$ 中消去已完成的活动，并将随后可安排的活动放入 $\{O_t\}$ ，使 $t = t + 1$ 。

若还有未安排的活动，转步骤 ；否则，停止。

下面通过一个例子来说明这个方法。

例：图14-19为一网络计划图，其每项活动的先后关系、活动所需资源(此例为人力)、活动时差和关键路线如表14-7 所示。若不考虑资源约束，每项活动都按最早可能开始时间进行，则工期为20周，所需人数的分布如图14-20所示。图中粗线表示活动进行。由图14-20可见，对人力资源的需求是很不均匀的，最多需25人，最低7人。

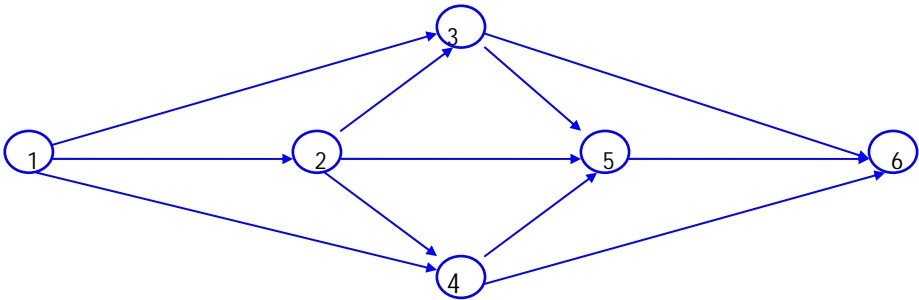


图14-19 某项目网络图

表14-7 某项目的有关情况

活动	活动时间(周)	紧后活动	活动需人数 (人)	活动总时差 (周)	活动单时差 (周)	关键活动
1-3	2	3-5, 3-6	6	6	6	
1-2	3	2-3, 2-4, 2-5	4	0	0	*
1-4	4	4-5, 4-6	9	7	1	
2-3	5	3-5, 3-6	5	0	0	*
2-5	4	5-6	3	7	7	
2-4	2	4-5, 4-6	8	6	0	
3-6	7	/	7	5	5	
3-5	6	5-6	8	0	0	*
4-5	3	5-6	3	6	6	
4-6	5	/	3	10	10	
5-6	6		7	0	0	*

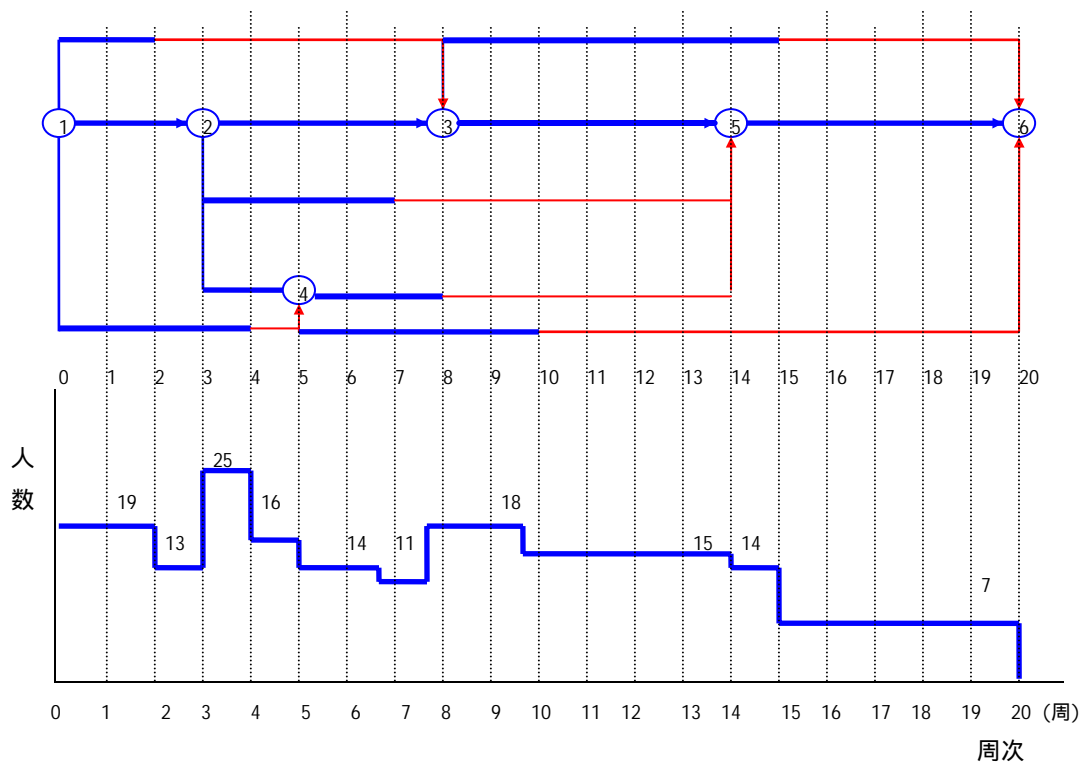


图14-20 按最早可能开始时间的网络图及其人力资源分布

现假定可供劳动力为14人，求最短工期。按前述步骤求解，求解过程如表14-8所示，结果如图14-21所示。结果工期为21周，但资源的利用均匀得多。

表14-8 求解过程

步	1	2	3	4	5	6	7	8	9
可排活动 集合(按 优先序)	1-2, 1-4, 1-3	1-4, 2-3 1-3, 2-4, 2-5	2-3, 1-3 2-4, 2-5	2-3, 1-3 4-5, 2-5	4-5, 3-5 2-5, 3-6 4-5, 4-6	3-5, 2-5 3-6, 4-6	3-5, 4-6 5-6, 3-6	5-6, 3-6	3-6
排定活动	1-2, 1-4	1-4, 2-3	2-3, 2-4	2-3, 1-3 4-5	4-5, 3-5 2-5	3-5, 2-5 4-6	3-5, 4-6	5-6, 3-6	3-6
本步能完成的 活动	1-2	1-4	2-4	2-3, 1-3	4-5	2-5	3-5, 4-6	5-6	3-6
本步时间	0-3	3-4	4-6	6-8	8-9	9-12	12-14	14-20	20-21
需资源量 (人数)	4+9=13	9+5=14	5+8=13	5+6+3 =14	3+8+3 =14	8+3+3 =14	8+3=11	7+7=14	7

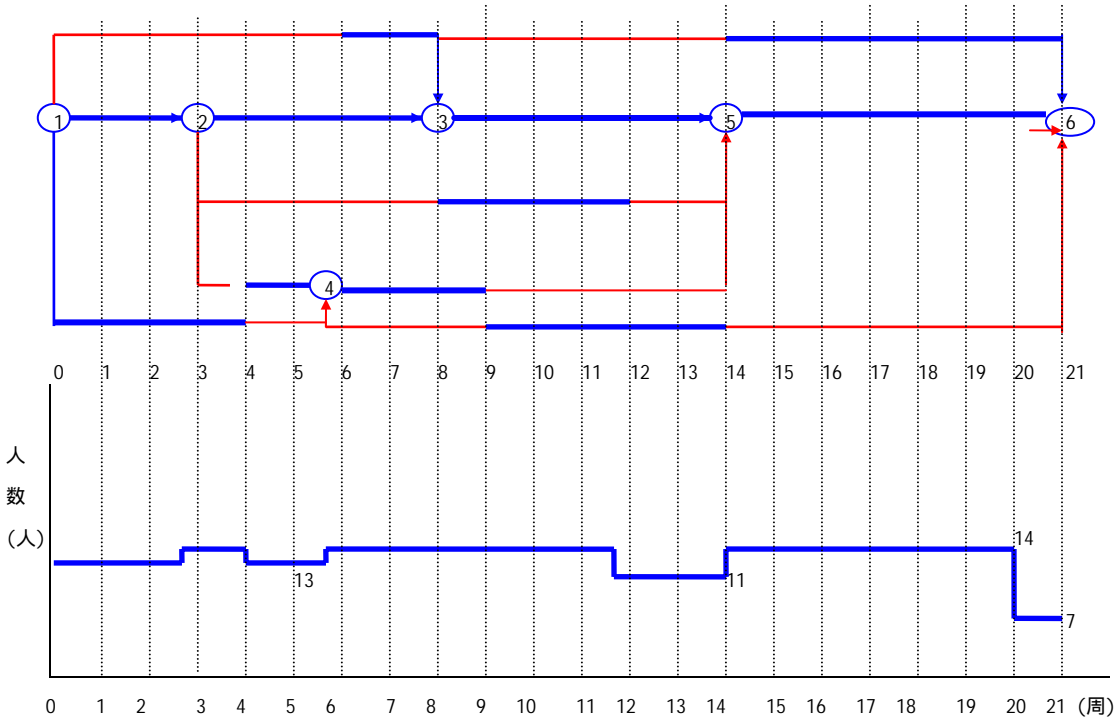


图14-21 在资源有限下优化的结果

（二） 工期规定，资源均匀问题

如果工期不能变动，如何使资源得到尽可能充分的利用？我们还是用上面的例子来说明。调整的思路与前述类似，结果如图14-22所示，工期控制在20周，资源利用较均衡。

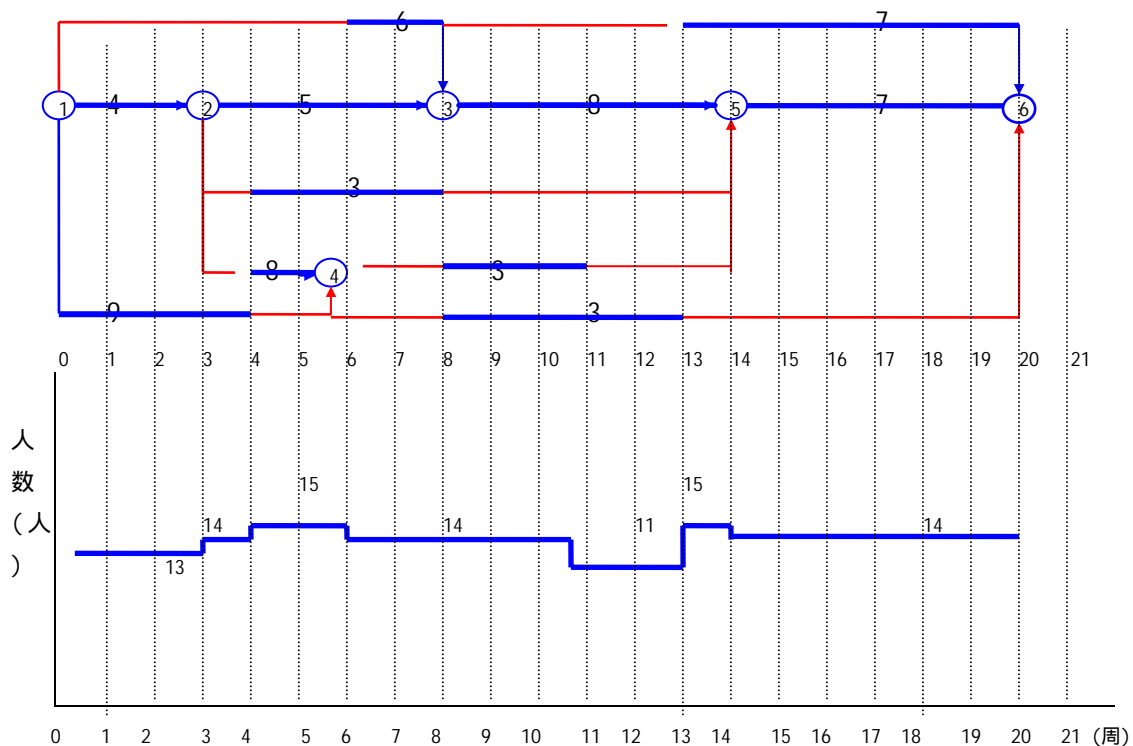


图14-22 在资源有限下优化的结果

案例：宝钢工程

概况

1978年12月23日，宝钢工程正式动工建设。为贯彻国民经济调整方针，宝钢工程一度停建。1980年8月，国务院批准宝钢恢复建设，并分为一期、二期工程，分别列为“六五”计划、“七五”计划期间国家重点工程。宝钢两期工程共计投资为300.77亿元，其中人民币100.5亿元，外汇47.8亿美元。

宝钢工程主要实物投入量：混凝土353万立方米，钢桩35万吨，混凝土桩27.7万立方米，厂房钢结构34.6万吨，机电设备67万吨，电缆2.95万公里，工业和给排水管道3384公里，木材26.8万立方米，耐火材料28万吨。

宝钢厂区工程占地面积达13.7平方公里，工业建筑面积为475万平米。

宝钢工程系统管理组织的基本原则

宝钢工程系统管理组织的基本原则主要有：

1. 集中统一和分级管理相结合的原则

为保证宝钢工程的整体性，发挥其最大的投资效益，必须对工程进行集中管理和统一指挥。但是，由于宝钢工程太大，太复杂，故又必须实行一定程度的分散控制和分级管理。

集中统一方面主要是工程的总目标，总战略、总概算、总工期，总协调等，均集中在管理组织的最高层，整个工程系统的运行，由最高层次统一组织指挥和控制。管理组织的最高层次，对工程建设总负责。

在集中统一管理的前提下，设置必要的管理分系统（包括垂直和水平两个方向），赋予

各级管理组织相应的权与责。各级各层次的管理组织和领导人，都按照规定的职责范围开展工作。上一级领导人按照例外管理原则，主要精力放在抓全局、抓关键、抓重点、抓大事和处理异常情况上。

2. 权威等级和指导统一相结合的原则

现代化的宝钢工程的管理，按社会化大生产方式进行分级递进式管理，亦即权威等级管理。每一层管理组织和每一级领导人，都要有明确的管理范围和权威线。为了保证管理的有序性和发挥分级管理的作用，一个下级只有一个直接上级进行直接领导。一般情况下，领导者不越级进行指挥，不越级下达指令。但是，作为对整个工程的指导，全工地都要服从工地的最高领导者（即指挥部总指挥）的统一指导。

3. 专业化分工和协作相结合的原则

宝钢工程建设管理，涉及到的专业技术和管理门类众多，专业性很强，内容十分广泛，同时相互协同的要求也很高，本身就是一个复杂的系统。因此，宝钢工程的管理，既要实行专业分工，又要在总目标下协调配合。专业分工和协作相结合，就是运用大系统“分解—协调”技术，把复杂的管理系统按照不同专业，分解为若干个较为简单的专业管理分系统，并使之优化；同时，根据整个管理系统的总目标、总任务、使各个专业管理分系统相互协调配合，从而达到全管理系统的整体优化，发挥出最佳的管理功能。宝钢管理组织机构的设置，各类专业部门和保证系统的建立，尽可能体现专业化的原则，实行专业管理责任制。各条条的专业管理，通过领导协调、制度协调、自我协调三大主要协调方式，又成为统一体系而和谐运转。

4. 必要和精简相结合的原则

所谓必要指的是工程管理组织结构中每一个部分，都是为了保证管理功能得以实现而设置的。必须设置的组织机构，务要组织落实，人员落实。所谓精简，就是在满足必要性的前提下，按照集中化原则尽可能少设机构，减少管理人员，合并或取消管理业务重复交叉或分工过细的职能机构，简化不必要或过于繁琐的办事程序。缩短管理路线，避免无效管理活动，以节省投入管理的时间和人员。

宝钢工程管理的主要方法

在十多年的管理实践中，宝钢逐步形成了工程管理的“六全”方针，即总的方法和管理模式。它们是：

（1）全系统规划。包括整个系统及各分系统的规模、水平、关联、顺序、目标值、以及人、财、物和建设环境的统筹等，均实行统一规划，全面统筹。

（2）全目标控制。以质量效益为核心，以质量目标、工期目标和投资目标为三大主要目标，全面控制工程的运行。所有的分系统都有自己的目标，并以此进行控制。

（3）全程序组织。从项目建议书开始，到项目的竣工验收，为实现项目目标坚持一切按建设程序办，并在组织范围内一以贯之。

（4）全方位指挥。由于工程规模大，分系统多，内外环境复杂，因而总体上必须实行集中统一指挥。

（5）全功能协调。即调动行政、经济、政治、文化等各个方面的功能而共同作用于工程项目协调。

（6）全责任承担。对工程建设的后果承担全部责任。

“六全”的方法，是综合宝钢管理主要方法的总概括，反过来，它又是对具体工程管理方法的完善和发展，对外来的先进管理方法的学习和借鉴，具有导向作用。同时，由于这个

总方法包含了方法要达到的目的，因此，它又对具体的管理方法具有规范作用和检验功能；“六全”还全面体现了宝钢工程指挥部管理组织的职能和行为，因此，它又是宝钢工程的管理模式——全面包干制。

网络技术动态控制法

网络技术在宝钢建设中逐渐被广泛采用，但如何利用网络技术进行工程进度控制，在认识和实践上有一个过程。宝钢一期工程“85.9”建成前的1983年三季度，上任不久的总指挥黎明同志检查工程进度，感到未完工程量还很大，就提出了“85.9”能否投产的问题。但对此问题众说纷纭，莫衷一是。但较普遍的看法是问题不大。于是，总指挥要求各方按照编制的网络计划，逐项工程进行检查并运用网络分析技术对工程进行系统分析。结果是：在编入网络1223个项目中，有311个项目工期拖延，整个工程平均拖期3个月；同时有7个项目最危险，对“85.9”的威胁很大。后来，采取了针对性措施，抢回了全部拖延的工期，实现了“85.9”的目标。自此以后，网络技术在宝钢工程管理工程上的运用进入了新阶段，形成了把编网络和用网络结合起来，利用网络分析技术，以关键路线为重点，随时对工程进度进行检查和监督，严格控制并及时调整工程进度的方法。

(1) 要认真编制网络计划。网络技术动态控制的方法，要求管理组织按照自己的级次功能，在所辖的工程管理范围内，编制具有完整性、全面性、层次性、准确性的网络计划。编网要“一网打尽”，不疏不漏。

(2) 计划网络的保证作用。网络计划的实现，需要网络计划各构成因素的保证作用。为此，宝钢工程利用网络技术，又编制了工程前期工作计划、设计计划、投资计划、质量计划、设备计划、材料计划、资金计划、引进合同计划、工程形象进度计划、试车计划、交工计划、竣工验收计划等一整套的工作计划，以保证网络计划的实现。网络计划和计划网络二者的关系是：网络计划的是计划网络要达到的目的和制订的依据；计划网络是网络计划的分系统，是实现网络计划的保证和手段。

(3) 网络技术与目标管理。在动态控制中，网络技术与目标管理要有机地结合起来。宝钢工程每一个网络，都有一个中心，即目标；而在实现目标的过程中，又有许多节点，即大小界面。全部节点的按期实现，亦即目标的实现。因此，在工程进度管理上，采取目标控制节点，节点保证目标的方法，为网络技术动态控制提供了抢回拖延工期的主要途径，就是控制和调整节点，尤其是关键线路上的节点。

(4) 积极主动地利用网络技术进行动态控制。网络技术是系统工程方法一，它对工程建设的作用如何，却决定于系统的主体——人的运用技巧和精神状态。特别是像宝钢工程这样特大的工程项目，受内外环境影响的广度和强度都比较大。因此，工程实际进展往往与网络计划脱节，这是难免的。为此对网络技术运用，在熟练掌握它的同时，一定要持积极主动的态度，即：

要把编好网络和用好网络结合起来，紧密结合工程实际情况发挥网络技术的作用。

要把使用网络技术和发挥主观能动性结合起来。网络计划在执行过程中，若碰到意料不到的异常情况而“破”网，则要千方百计把网“补”好，以保证目标工期的实现。

要重视网络计划执行过程中的信息反馈。不但要对正在运行的工作路线进行跟踪和反馈，而且要通过对信息的处理和系统分析的方法，预测本路线运行的结果以及对整个系统的影响，从而增强预见性。

(5) 平行交叉以缩短路线，权衡取舍以确保关键。尤其是二期工程中的冷轧、热轧、

连铸和高炉、烧结、焦化等工程，前者因外商图纸严重晚交，后者因为国内设备严重迟到，所有工程都一度严重突破工序界面。运用网络技术，增加作业的平行交叉，取主舍次，先主后次，对确保网络目标实现，作用十分明显。2号高炉工程由于设备交货严重拖期，到1990年三季度时，工期只剩下10个月来月，但工程量还有50%未完成。为了确保网络目标，土建、工业结构与管道、机构、电气、筑炉、铁路等7个专业公司，集中势兵力打歼灭战，连续几个月近3000人投入作业，从地面土建、铁路到高达110米的炉顶管道进行多层次施工、多线条穿插。从而形成了多施工面操作、多层次平行施工、多线条交叉作业和多工种协同作战的庞大复杂而又井然有序的网络，大大缩短了关键路线。

案例小结

宝钢工程是一个规模庞大、结构复杂、因素众多、时空深广、目标多元、功能综合的大系统，也是一个现代化的工程系统。宝钢工程建设成功，主要体现在：

(1) 整个工程系统按照统一的规划和周密的计划运行，按期或提前建成投产，一天也不拖后。

(2) 工程质量达到高标准，一期工程达到或超过国外设计水平，二期工程实现了“超一期、创一流”的目标，工程投产后的经济效益的社会效益是好的，发挥是快的。

(3) 工程投资得到有效控制，工程投资不但不超概算，而且还有节余，这在国内特大型工程建设上是少有的。

(4) 通过实践，摸索和积累管理特大型工程项目的经验，培养了适应现代化型项目建设和管理的人才，提高了建设队伍的素质。

(5) 对系统外部的环境产生了一定的积极影响，并对大项目如何积极适应外部环境以利自身的运行，有了一些感性和理性的认识。

宝钢工程建设成功，说明了宝钢工程管理是成功的。

小结

本章对项目计划管理进行了全面阐述。第一节对项目的概念、项目管理的目标、内容和组织管理进行了介绍。第二节对网络计划方法的产生，网络计划的优点和应用网络计划的步骤作了简要描述，比较详细地讨论了网络图的画法，包括活动之间的典型关系、时间的估计、箭线型网络图的绘制规则以及虚活动的作用。第三节介绍了网络参数的计算，包括事件时间参数(事件最早可能发生时间、事件最迟必须发生时间、事件时差)的计算和活动时间参数(活动最早可能开始时间、活动最早可能完成时间、活动最早必须开始时间、活动最早必须完成时间、活动的总时差、单时差、自由时差、专用时差)的计算方法，介绍了确定型网络图的关键路线的求法，分析了随机型网络图的关键路线的概念。第四节讨论了网络计划的优化，包括时间优化，时间-费用优化和时间资源优化的方法。

思考题

- 1、随机型网络计划的关键路线与确定型网络计划的关键路线在概念上有何差别？
- 2、什么是时差？有哪几种时差？它们的区别是什么？
- 3、PERT 与 CPM 的差别是什么？

练习题

- 1、按下表提供的资料，(1) 绘制节点型网络图和箭线型网络图；(2) 在箭线型网络图上计算

事件的时间参数；(3)计算活动的最早可能开工时间和最迟必须开工时间，求出关键路线。

活动代号	A	B	C	D	E	F	G	H	L	K
活动时间（周）	6	12	12	8	12	16	5	6	9	7
紧后活动	B, F, C	L	E	K	K	L, G	H, E	K	D	/

2、按下表提供的资料，(1)绘制箭线型网络图；(2)在图上计算事件的时间参数；(3)计算活动的最早可能开工时间和最迟必须开工时间；(4)求出关键路线；(5)计算非关键活动的单时差。

活动代号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
活动时间（周）	4	6	5	9	8	2	5	6	4	5
紧前活动	/	A	A	A	B	B, C	E	F, I	D	G, H

3、按下表提供的资料，(1)绘制箭线型网络图；(2)计算每项活动的期望时间(单位为周)；(3)确定项目的期望完工时间和关键路线。

活动	紧后活动	a_i	m_i	b_i
A	B, C	4	6	8
B	F	3	5	7
C	D, E	4	5	8
D	G	3	5	7
E	H	5	6	7
F	G, I	6	8	11
G	J	6	8	10
H	J	5	7	9
I	K	3	8	13
J	K	6	7	8
K	/	1	2	3

4、按下表提供的资料，(1)绘制箭线型网络图；(2)计算每项活动的期望时间(单位为周)；(3)确定项目的期望完工时间；(4)求出每个节点的时差；(5)求关键路线，并计算在项目60周内完工的概率。

活动	紧后活动	a_i	m_i	b_i
A	C, D	7	10	12
B	E, F	7	10	13
C	G	9	11	13
D	H	8	14	20
E	H	6	15	21
F	J, K	12	15	17
G	I	5	9	15
H	J, K	6	10	16
I	L	7	9	13
J	L	3	7	11

K	/	12	16	25
L	/	9	15	18

5、按下表提供的资料，(1)按正常条件绘制箭线型网络图；(2)计算事件最早可能发生时间、事件最迟必须发生时间，作业最早可能开工时间、作业最迟必须开工时间，求出关键路线；(3)已知工期每压缩1周，间接费用省600元。求在总费用不超过正常工期费用的情况下的最短工期。

作业	紧前作业	正常时间 (周)	正常条件下 直接费用(元)	极限时间 (周)	赶工条件下 直接费用(元)
A	无	4	1400	3	2200
B	A	6	600	4	1000
C	A	5	1500	3	2700
E	B	8	1300	7	1900
F	B, C	9	1000	7	1800
G	E	5	800	4	1200
H	F	5	3000	3	4600
J	G, H	5	1300	4	2100

第十五章 维修管理与可靠性

设备和设施是企业用以生产产品和提供服务的物质基础，对设备和设施的维护和管理的好坏将直接影响企业竞争能力和经济效益。本章讨论设备管理及其意义，着重介绍在设备管理中占主要地位的预防维修和全面生产维修制，将具体研究设备维修管理几种常见的设备维修体制和决策方法。本章还将介绍可靠性的概念、计算方法及可靠性理论在设备维修中的应用，对设备管理人员从理论上掌握机器出现故障的规律很有帮助。最后，还对制定保修策略等问题作了简单讨论。

第一节 设备管理概论

一、设备维修管理的概念

什么是维修(Maintenance)?英国标准 3811 号给“维修”下的定义是：“各种技术行动与相关的管理行动相配合，其目的是使一个物件保持在或者恢复达到能履行它所规定功能的状态。”在工业上，需要维护的对象有生产产品的一切设施和系统以及企业向用户提供的各种产品。

所谓设备维修管理，是指依据企业的生产经营目标，通过一系列的技术、经济和组织措施，对设备寿命周期内的所有设备物质运动形态和价值运动形态进行的综合管理工作。

做好设备管理工作对企业竞争力有重要意义。在生产主体由人力向设备转移的今天，设备管理的好坏对企业的竞争力有重要影响。

设备管理水平的高低直接影响企业的计划、交货期、生产过程的均衡性等方面的工作。

设备管理水平的高低直接关系到企业产品的产量和质量。

设备管理水平的高低直接影响着产品制造成本的高低。

设备管理水平的高低关系到安全生产和环境保护。

在工业企业中，设备及其备品备件所占用的资金往往占到企业全部资金的 50 ~ 60% 以上，设备管理水平的高低影响着企业生产资金的合理使用。

设备管理对企业参与市场竞争有如此重要的影响，必须花大力气做好这项工作。

设备管理的主要内容包括：

依据企业经营目标及生产需要制定设备规划。

选择、购置、安装调试所需设备。

对投入运行的设备正确、合理地使用。

精心维护保养和及时检查设备，保证设备正常运行。

适时改造和更新设备。

二、设备维修发展概况

设备维修体制的发展过程可划分为事后修理、预防维修、生产维修、维修预防和设备综合管理五个阶段。

1. 事后修理。事后修理是指设备发生故障后，再进行修理。这种修理法出于事先不知道故障在什么时候发生，缺乏修理前准备，因而，修理停歇时间较长。此外，因为修理是无计划的，常常打乱生产计划，影响交货期。事后修理是比较原始的设备维修制度。目前，除在小型、不重要设备中采用外，已被其他设备维修制度所代替。

2. 预防维修。二次大战时期，军工生产很忙，但是设备故障经常破坏生产。为了加强设备维修，减少设备停工修理时间，出现了设备预防维修的制度。这种制度要求设备维修

以预防为主，在设备使用过程中做好维护保养工作，加强日常检查和定期检查，根据零件磨损规律和检查结果，在设备发生故障之前有计划地进行修理。由于加强了日常维护保养工作，使得设备有效寿命延长了，而且由于修理的计划性，便于做好修理前准备工作，使设备修理停歇时间大为缩短，提高了设备有效利用率。

3. 生产维修。预防维修虽有上述优点，但有时会使维修工作量增多，造成过分保养。为此，1954 年又出现了生产维修。生产维修要求以提高企业生产经济效果为目的来组织设备维修。其特点是，根据设备重要性选用维修保养方法；重点设备采用预防维修，对生产影响不大的一般设备采用事后修理。这样，一方面可以集中力量做好重要设备的维修保养工作，同时又可以节省维修费用。

4. 维修预防。人们在设备的维修工作中发现。虽然设备的维护、保养、修理工作进行得好坏，对设备的故障率和有效利用率有很大影响，但是设备本身的质量如何对设备的使用和修理往往有着决定性的作用。设备的先天不足常常是使修理工作难以进行的主要方面。因此，于 1960 年，出现了维修预防的设想。这是指在设备的设计、制造阶段就考虑维修问题，提高设备的可靠性和易修性，以便在以后的使用中，最大可能地减少或不发生设备故障，一旦故障发生，也能使维修工作顺利地进行。维修预防是设备维修体制方面的一个重大突破。

5. 设备综合管理。在设备维修预防的基础上，从行为科学、系统理论的观点出发，于七十年代初，又形成了设备综合管理的概念。设备综合工程学，或叫设备综合管理学，英文原名是 Terotechnology，它是对设备实行全面管理的一种重要方式。1970 年首创于英国，继而流传于欧洲各国。这是设备管理方面的一次革命。日本在引进、学习的过程中，结合生产维修的实践经验，创造了全面生产维修制度，它是日本式的设备综合管理。

随着计算机技术在企业中应用的发展，设备维修领域也发生了重大变化，出现了基于状态维修(Condition-based maintenance)和智能维修(Intelligent maintenance)等新方法。

基于状态维修是随着可编程逻辑控制器(PLC)的出现并在生产系统上使用，现在能够连续地监控设备和加工参数。采用基于状态维护，把 PLC 直接连接到一台在线计算机上，实时监控设备的状态。如与标准正常公差范围发生任何偏差，将自动发出报警(或修理命令)。这种维护系统安装成本可能很高，但是可以大大提高设备的使用水平。

智能维修或称自维修，包括电子系统自动诊断和模块式置换装置。将把远距离设施或机器的传感器数据连续提供给中央工作站。通过这个工作站，维护专家可以得到专家系统和神经网络的智能支持，以完成决策任务。然后将向远方的现场发布命令，开始维护例行程序，这些程序可能涉及调整报警参数值、启动机器上的试验振动装置，或驱动备用系统或子系统。美国联邦航空管理局(FAA)正在开发远距离维护监控系统(RMMS)，它是维护自动化未来发展方向的一个范例。在有些例子中，可以用机器人技术进行远距离模块置换。

三、设备综合工程学

设备日益朝着大型化、复杂化、精密化或超小型化、连续化、超高温、超高压等方向发展，所需设备投资不断增加，如使用不当，将会影响企业的经济效果。高度机械化、自动化是现代化工业的特点。但在机械化、自动化程度较高的工厂，设备一旦发生故障而停工，就会打乱生产计划，影响交货期。严重的设备事故，不仅造成废次品，甚至影响人身安全。大量使用机器设备，废水、废汽等的排放量增加，对环境造成污染日益严重。由于设备的效率低，或者漏汽、漏水、漏油等原因，造成贵重资源和能源的浪费。设备的严重腐蚀、磨损现象，造成检查、加油、清洁、修理等维护人员的增加和费用的提高。

所有这些，都对设备管理提出了新的课题，设备综合工程学就是在这种形势下产生和发展起来的一种新型的设备管理方法和体制。

设备综合工程学有五个特点。

1. 把设备的最经济寿命周期费用作为其研究目的。

设备的寿命周期费用是指设备从研究设计开始,到制造,安装、运转、维修、改造、直至更新,整个过程(或称设备一生)发生的全部费用。

寿命周期费用可划分为两部分,其一为设置费,包括研究、设计、制造等费用。外购的设备,设置费包括售价、运输及安装费用;其二为维持费,指设备投入运转以后发生的全部费用,如操作人员工资,能源消耗费,维护修理费,固定资产税金等费用。以寿命周期费用最经济作为评价设备的目标,就是要求在选购设备时,不仅要考虑设置费,同时要考虑维持费。售价低的设备,如其维持费高,就不一定是经济的设备。

单纯考虑寿命周期费用尚不全面,还要求设备的综合效率要高。设备的综合效率是指设备在整个寿命周期内设备的输出与输入之比。即

$$\text{设备综合效率} = \frac{\text{设备寿命周期的输出}}{\text{设备寿命周期的输入}}$$

其中,对设备的输入,即设备的寿命周期费用,输出则可用设备在整个寿命周期内的出产量来表示。但要求是在产品质量(Q)、成本(C)、交货期(D)、安全与环境保护(S)、劳动情绪(M)等达到规定条件下的生产量(P)。

2. 把与设备有关的工程技术、财务、管理等方面结合起来进行综合性管理。设备综合工程学要求对设备进行全面的、综合的管理,要运用工程技术、管理数学、经济学、心理学等多方面的知识。这是管好现代化设备的客观需要。

3. 研究提高设备的可靠性、维修性设计,提高设计的质量和效率。设备的设计阶段对其效率有决定性的作用,设备生产率、精度、维修性、可靠性、环保性、节能性等要求,主要取决于设计阶段。因此,设备综合工程学要求研究设计的可靠性和维修性,可靠性高、维修性好的设备,寿命周期费用可低,产品产量、质量、交货期易于保证,产品成本低,操作安全,因此,可以提高设备效率。

4. 把设备的一生,即整个寿命周期作为管理和研究的对象。设备综合工程学把设备当作一个系统,并以它的整个寿命周期为管理和研究对象。这是系统的观点和方法在设备管理中的应用,是对设备的设计、制造、使用、维修、革新改造以至更新等各个阶段,进行全面的、综合的、技术和经济的管理。

5. 强调设备的设计、使用和费用的信息反馈。设备综合工程学要求建立设计、使用和费用的信息反馈过程。即将设备在使用过程发生的问题,维修过程的情况以及各种与设备有关的费用发生资料,反馈给设计制造部门,以便对设备进行改进或研制更高质量的设备。为此,要求设备生产厂和用户厂之间疏通信息反馈的渠道。

简言之,设备综合工程学是一间以设备一生为研究对象,以提高设备综合效率,使其寿命周期费用最经济为目的的综合性管理科学。

第二节 生产维修

设备维修的理论有两种基本观点。

第一种观点建立在磨擦学基础之上,以研究机械磨损规律的“设备修理周期结构”理论。这种理论认为,由于磨擦磨损的原因,随着磨损时间的延续和按一定规律磨损量的增加,将会引起急起机器零件表层的破坏和几何形状与尺寸的改变,甚至会造成机构动作的失调与工作精度的下降,最后丧失工作能力,导致故障或事故的发生。机器设备的维修工作所采取的对策是以这种理论为基础的。

第二种观点是建立在故障物理学基础之上,以研究故障规律和设备可靠性的“故障分

析与状态管理”理论。这种理论认为，设备的故障除了磨损的原因之外，还有外界工作条件如温度、压力、振动等原因，以及内部工作条件如内应力、变形、疲劳及老化等多种原因的影响。运用这种理论是要通过对设备的异常现象的数据检测、对故障频率及其分布的分析、设备可靠性的原因分析，并运用数理统计方法分析它的规律性，进而得到设备劣化与维修必要性的信息。这种理论和方法对尚未掌握维修规律，以及重型、精密、电子、自动化等设备是比较适用的。

一、机器零件的磨损规律

设备管理工作也和其他管理工作一样，首先必须掌握设备出故障的规律，这样才能对症下药，才能比较准确地判断设备发生故障的原因，并且可以根据设备出故障的规律，安排好生产和维修的时间，避免生产与维修的冲突。

各种设备都是由零件组合而成的。一个零件丧失了机能，就会影响设备的正常工作，如果关键零件出了问题，则可能导致整台设备出现故障。因此，了解和掌握零件的磨损规律，有助于事先做好修复或更换工作，做到防患于未然，保证设备的正常运转。

机器零件的磨损规律如图 15-1 所示。

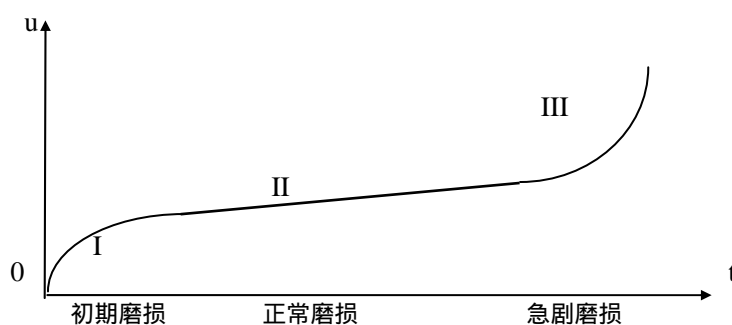


图 15-1 零件磨损示意图

零件从投入使用到磨损报废一般可分为三个阶段，既初期磨损期、正常磨损期、急剧磨损期。

1、初期磨损 零件的表面宏观几何和微观几何都要发生明显变化，磨损速度很快。这一阶段对设备来说没有什么危害，而是设备进入正常运转的必经阶段，有时这一阶段又叫“跑合”、“磨合”。例如，一辆刚买回来的自行车不一定轻便好骑，而骑了一段时间之后就感到很轻便了，这是因为自行车的上有相对运动的零件经过磨合后处于一种良好的配合状态。初期磨损期一般很短。

2、正常磨损 经跑合磨损后，设备各个部分进入了正常工作状态，这时候只要工作条件比较稳定，零件的磨损是比较缓慢的。这一阶段的长短代表着一个零件的寿命周期长短。为了延长零件的使用寿命，这一时期要加强设备日常保养工作，及时清扫和润滑。

3、急剧磨损 零件是有一定寿命的。经过一定时间以后，零件由于疲劳、腐蚀、氧化等原因，正常磨损关系被坏了，这时候的磨损速度非常快，很短时间内就可以使零件丧失应有的精度或强度。如果没有及时更换，就可能导致整台设备不能正常工作，甚至出现重大事故，导致设备报废。因此，在实际工作中是不容许零件进入急剧磨损期的。

二、设备故障曲线

根据设备出故障的基本规律（详细内容见本章第 3 节），人们归纳出了设备故障曲线，因其形状象浴盆，所以又称为“浴盆”曲线，如图 15-2 所示。图中的 $\lambda(t)$ 代表故障率。

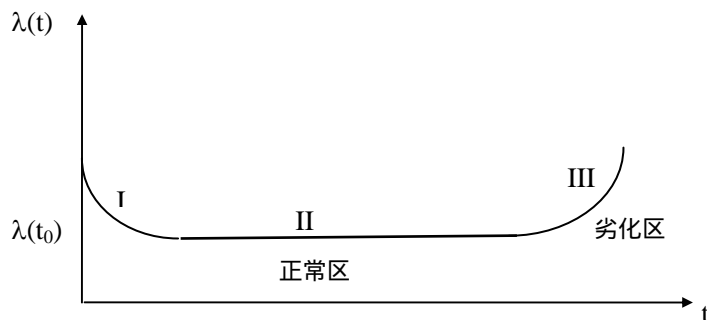


图 15-2 设备故障曲线

第 I 段为初期故障时期。这段时期的故障主要是由于设计上的原因，操作上的不习惯，新装配的零件没有跑合，或质量不好等原因，制造质量欠佳、搬运和安装的大意以及操作者不适应等原因而引起的，开始时故障率较高，随后逐渐降低，而后随着时间的推移而降低，再过一段时间故障率就比较稳定了。减少这段时期故障的措施是，慎重地搬运及安装设备，严格进行试运转并及时消除缺陷，细致地研究操作方法，将由于设计和制造造成的缺陷反馈给设备制造单位以便改进。这一时期的工作主要是抓好岗位培训，让操作者尽快掌握操作技能，提高操作的熟练程度。

第 II 段称偶发故障期。这段时期内设备处于正常运转阶段，故障率较低，一般情况下是由于维护不好和操作失误而引起的偶然故障。偶发故障期故障率的高低，取决于是否使用可靠性高的设备，以及是否做好日常维护保养和小修工作等。这一阶段持续的时间较长，主要管理工作是抓好日常维护和保养工作，掌握机器性能，定期维修。

第 III 期为磨损故障期。这时设备经过很长时间的使用，某些零件开始老化，故障率逐渐上升，而后加剧。这说明设备已处于不正常状态，必须停机检修，更换已损坏的零件，恢复设备原有性能。设备故障率重新增加的时期称为耗损故障期。做好设备的预防性修理和进行改革性维修，可以降低设备的故障率，延长设备的有效寿命。

把设备故障分成三个不同的阶段，有助于对设备管理起到指导作用。管理人员可以根据设备故障在不同时期的特点和规律，采取不同的措施。

三、设备维修体制

设备管理的主要任务之一就是保证生产的正常进行，为此必须做好设备维修工作，使设备始终处理完好状态。根据设备出现故障的基本建设，人们提出了几种设备维修体制，本书简要介绍两种常见的维修体制。

一)计划预防修理制

计划预防修理制度，简称计划预修制，是我国工业企业从五十年代开始普遍推行的二种设备维修制度，它是进行有计划的维护、检查和修理，以保证设备经常处于完好状态的一种组织技术措施。

1. 计划预修制的内容

计划预修制是根据零件的一般磨损规律和设备故障规律，有计划地进行维修，在故障发生之前修复或更换已磨损或老化的零部件。计划预修制的主要内容包括对设备的维护和计划修理。

设备维护的主要工作内容有：日常维护、定期清洗换油、定期检查、计划修理。计划修理的主要工作内容有：小修、中修、大修。

(1) 日常维护 日常维护由生产工人每天进行，其工作内容包，括设备润滑及清扫，紧固松动部位，调整机构，消除细小故障等。

(2) 定期清洗换油 对工作时多垢屑、多灰尘及经常接触腐蚀介质的设备，除了日常维

护进行清扫外，要按规定的清洗间隔期，进行清洗。要按换油计划表定期定质给润滑系统换油。

(3) 定期检查 定期通过外部观察、试运转或拆卸部分部件来查明设备及其零部件的技术状态，磨损情况；对设备进行调整和消除小缺陷；并通过检查，查明下次计划修理时需要更换或修复的零件，编制初步的设备缺陷一览表，以便作好修理前的准备工作。定期检查主要由维修人员负责。

(4) 计划修理 由于修理工作项目和修理内容及要求不同、修理分为小包中修和大修三种。

1)小修。小修是工作量最小的一种修理。小修时要修复或更换少量的使用期限短的磨损零件，并进行必要的局部解体，消除一些小缺陷，调整设备，以保证设备能正常使用到下一次计划修理。

2)中修。中修工作量介于小修和大修之间。中修时要更换或修复数量较多的已磨率损零件，修复设备的主要零件，校正设备基准，使设备达到规定的精度、性能和生产 3)大修。大修是工作量最大的一种修理。大修时要全部拆卸设备，修复或更换全部磨损零件和修复基准零件。设备通过大修要恢复原有的精度、性能和生产率。

2. 实现计划修理的方法

计划预修制规定设备修理按计划进行，由于设备的重要程度和结构的繁简程度不同，以及对零件使用寿命的掌握程度不同，因此，规定了三种不同的实现计划修理的方法。

(1) 标准修理法 也叫强制修理法。这种方法是对设备的修理日期，类别和内容，都按标准预先做出计划，并严格按照计划进行修理，而不管设备零件的实际磨损情况及设备的运转情况如何。标准修理法的优点是，便于做好修理前准备工作，缩短修理时间，保证设备正常运转。但是，采用这种方法容易脱离实际，造成设备的过剩修理，修理费用较高。所以，一般用于那些必须严格保证安全运转和特别重要的设备，如动力设备、自动线上的设备等。

(2) 定期修理法 这种方法是根据设备实际使用情况，参考有关修理定额资料，制定设备修理的计划日期和大致的修理工作量。确切的修理日期和修理内容，则根据每次修理前的检查，再作详细规定。这种方法的优点是对修理日期和内容的规定既有科学依据，又允许根据设备的实际工作状态做适当的调整。因而有利于作好修理的准备工作，缩短修理停歇时间，又能合理的利用零件的使用寿命，提高修理质量，降低修理费用。目前我国维修基础比较好的企业，多采用此法。

(3) 检查后修理法 这种方法事先只规定设备的检查计划；而每次修理的时间和内容，则根据检查结果及以前的修理资料来决定。采用检查后修理法，可以充分利用零件的使用期限，修理费用较低。但由于每次修理均是根据检查的结果，则可能由于主观判断错误，而作出不正确的决定，而且，也不容易做好修理前的准备工作。从而延长设备修理的停歇时间。

检查后修理法一般在缺乏修理定额资料时，或对简单、不重要的设备采用之。

总的说来，计划预修制是一种比较科学的预防维修制，但还不完善。例如，不能很好解决修理计划切合设备实际的问题，因此，既有过剩修理(修理时间过早、修理项目过多)，也有失修的情况发生；强调恢复性修理，而对改善性修理未作相应规定，在实际修理中出现大修时“复制古董”的问题；对生产工人参加维护保养限制较多，不利于调动广大工人管好、用好设备的积极性。

针对上述问题，我国许多企业在实践中，作了相应的改革，例如推广应用项目修理(简称项修)和改善性修理等。项目修理是针对设备的精度、性能的劣化程度进行局部修理，以恢复或提高设备某个部位的精度或性能，满足生产工艺的要求。改善性修理是对设备中故

障率高的部位，通过改进其结构、参数、材料和制造工艺等方法，提高零部件的性能，使故障不再发生。

二)、全面生产维修制(Total Productive Maintenance, 简称 TPM) TPM 是日本企业界在生产维修制的基础上，根据英国人创立的设备综合工程学，在 1971 年提出了动员全企业人员参加的更为全面的“生产性维修”。TPM 的提出可以说是现代设备管理渐趋成熟的一个标志。

1. TPM 的基本思想

- ① 全效益 全效益就是要求设备一生的寿命周期的费用最小、输出最大。

$$\text{设备综合效率} = \frac{\text{设备寿命周期的输出}}{\text{设备寿命周期的输入}}$$

② 全系统 全系统就是从设备的设计、制造、使用、维修、改造到更新的设备一生的管理，因此有时又称全过程管理。

③ 全员参加 就是凡是和设备的规划、设计、制造、使用、维修有关的部门和有关人员都参加到设备管理的行列中来。

所以，TPM 是指全员参加的、以提高设备综合效率为目标的、以设备一生为对象的生产维修制。

2. TPM 的基本特征

以提高设备综合效率为目标;

建立以设备一生为对象的生产维修总系统;

涉及到设备的计划、使用、保养等所有部门;

从最高领导到第一线工人全体成员参加;

加强生产维修保养思想教育，开展班组自主活动，推广生产维修。

3. TPM 的主要内容

① 日常点检。首先由技术人员、维修人员共同制定出点检卡，并且向操作人员讲解点检方法，然后由操作工人在上班后的 5-10 分钟里，用听、看、试的办法，根据点检卡内容逐项进行检查。15 分钟后，维修人员逐台看点检卡，若有标记机器运转不良的符号，立即进行处理。根据日本丰田公司的统计，有 80% 的早期发现故障，都是由生产工人在日常点检时发现的。

② 定期检查。维修工人按计划定期对重点设备进行的检查。要测定设备劣化的程度，确定设备性能，调整设备等。

③ 计划修理。根据日常点检、定期检查的结果所提出的设备修理委托书或维修报告、机床性能检查记录等资料编制的计划定期进行的修理。这种修理属于恢复性维修。

④ 改善性维修。对设备的某些结构进行改进的修理，主要用于经常发生故障的设备。

⑤ 故障修理。当设备突然发生故障或由于设备原因造成废品时必须立即组织抢修，这称为故障修理。这是一个重要环节，它直接影响停机时间。

⑥ 维修记录分析。这是 TPM 的一项重要内容。尤其是“平均故障间隔时间”分析很受日本企业的重视。它把各项维修作业的发生时间、现象、原因、所需工时、停机时间等都记录下来，做成分析表，通过分析找出故障重点次数多、间隔时间短、维修工作量大、对生产影响大的设备和部件，把它们作为维修保养的重点对象。

⑦ 开展 5S 活动、经常进行 TPM 教育。5S 活动是指整理(Seiri)、整顿(Seiton)、清洁(Seisoh)、清扫(Seiketsu)、教养(Shitsuke)，主要目的是从思想上建立良好的工作作风。日本人认识到，再先进的方法也要靠人去落实、去执行，特别是第一线的操作工人，因此特别重视对员工的经常性教育。不单从技能上，更重要的从职业道德和敬业精神上开展不懈的教育活动，使员工能够自觉地执行各项规章制度。

曾获 TPM 优秀企业奖的日本丰田合成公司,在获奖前的三年时间里,发动全公司人员,认真整顿 TPM 体制,结果使产量增加 60%,设备费用降低 40%,效果显著。

第三节 基本维护决策

一、集中维修与分散维修

集中维修是指把所有维修力量集中起来组成专门的设备维修部门,负责整个企业的设备维修工作。集中维修方式的优点是有助于提高维修技术水平,有利于集中力量完成复杂、技术难度大的维修任务,但其缺点是容易出现生产与维修脱节,不能及时处理出现故障的机器等等。分散维修就是由企业的各个下层部门分别设立维修小组,每一个小组负责本部门的设备维修工作。分散维修的优点是把各部门的生产与维修统一起来了,维修工作的时间安排比较灵活,但其缺点是分散了维修力量,难以处理技术难度大的维修任务,另外也容易造成维修人员冗余。

二、委托维修与自行维修

有的企业规模较小,设备数量较少,因此没有必要自己建立一套完整的维修队伍。如果设备需要维修,可以委托其它企业或专业维修公司进行维修保养,这样可以节省不必要的开支。而对于规模较大的企业,如果设备数量足够多,则应该建立自己的维修部门,负责本企业的设备维修保养工作。

三、备用设备问题

在有些情况下,一旦设备出现故障,就有可能造成很大的损失。为缓解这一情况,有时预先准备一些备用设备,一旦生产设备出现故障,马上用备用设备顶替,然后再来修理出了故障的机器。如计算机网络系统的备用服务器等。但是,备用设备会占用大量的资金,造成成本上升。因此,设备管理的任务之一就是找到一个平衡点,如图 15-3 所示。下面通过一个例子说明备用设备的确定问题。

例:维修部的王经理负责全厂 200 台轮胎成型机的维修工作。当一台机器出现故障时,立即用备用设备替换,这样可使停机时间大为减少。今天,总经理要求王经理重新确定一下需要多少备用设备最好。表 15-1 是设备故障的历史数据。根据财务及工程部门的数据,如果备用设备太少,每一次故障若没有备用设备顶替将引起 150 元的生产和抢修损失。如果备用设备太多,每一台备用设备的费用是 80 元/小时。问备用设备数量为多大最好。

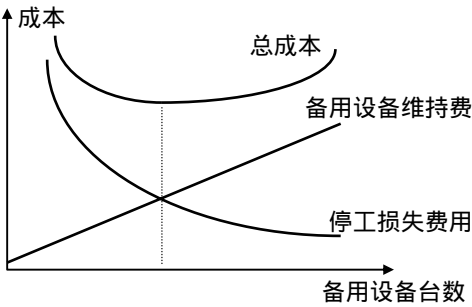


图 15-3 备用设备数量对成本的影响

表 15-1 设备故障的历史数据

每小时出故障的机器数	出现次数	相对频率
6	25	$25/500=0.05$
5	75	$75/500=0.15$
4	125	$125/500=0.25$
3	175	$175/500=0.35$
2	100	$100/500=0.20$
总计	500	1.00

解:根据以上数据,作出下计算表,见表 15-2:

表 15-2 费用计算表

		每小时需要的备用设备数					总期望成本 $EC=\sum[P(SN_i)C_{ij}]$
可供使用的备用设备数	SN_i	6	5	4	3	2	
	S_i						
	6	0	80 元	160 元	240 元	320 元	200.00 元
	5	150	0	80	160	240	131.50
	4	300	150	0	80	160	97.00
	3	450	300	150	0	80	121.00
	2	600	450	300	150	0	225.00
	$P(SN_i)$	0.05	0.15	0.25	0.35	0.20	

表中的 C_{ij} 是 S_j 和 SN_i 交叉点的成本,例如,当每小时需要 5 台设备,而有 6 台备用设备,多一台备用设备的成本是 80 元。总期望成本按计算示例如下(备用设备为 6 台):

$$EC_1 = \sum_{i=1}^5 [P(SN_i)C_{i1}] = 0.05 \times 0 + 0.15 \times 80 + 0.25 \times 160 + 0.35 \times 160 + 0.20 \times 240 = 200.00$$

其余与此相同。

从表 15-2 可以看出,总成本最低者为 97.00 元,因此最佳备用设备数量等于 4。

四、维修人员的确定

一个企业应该具有多大的维修规模,这取决于很多因素。维修人员过多,造成成本上升,维修人员过少,又不能保证生产需要,也会影响企业的经济效益。因此,维修决策的内容之一就是决定维修人员的数量。维修人员顶数量与待维护设备的数量和种类有关,也与维修频率及对生产停顿影响程度有关。这个问题可以借助于排队论加以解决。

将所有的设备看成需要维修部门服务的对象,然后把停歇时间和维修造成的成本与维持维修人员的支出相比较,来寻求等待成本和维修人员成本的平衡。

假设一组设备的数量足够大,使得到达概率为常数并且到达间隔时间与服务时间服从负指数分布(Poisson 到达率)。设机器平均故障率 λ 为每周 0.8,一个维修工人一个星期能修好一台机器($\mu=1$),如果增加工人(最多到 4 人),则维修时间成比例地下降,超过 4 个维修工人时,需要另外增加一个排队维修场地。若维修工人每周工资为 250 元/人,一台机器停歇一周的费用是 750 元,问在这种情况下应该招聘多少维修工人?

首先,利用排队论的结果求出生产系统的平均故障设备数量(正在修理的和等待修理的):

$$L_s = \frac{\lambda}{\lambda - \mu} = \frac{0.8}{1 - 0.8} = 4$$

其次,计算使用不同数量维修工人的总成本,然后进行比较。当使用一个维修工人时,总成本为: $1 \times 250 + 4 \times 750 = 3250$ (元)。如果使用两个工人,由于提高了服务率,每周可以修好两台设备,所以

$$L_s = \frac{\lambda}{\lambda - \mu} = \frac{0.8}{2 - 0.8} = 0.6667$$

总成本为: $2 \times 250 + 0.6667 \times 750 = 1000$ (元)。如果使用 3 个工人,维修能力为每周修好 3 台设备,此时

$$L_s = \frac{\lambda}{\lambda - \mu} = \frac{0.8}{3 - 0.8} = 0.3636$$

总成本为: $3 \times 250 + 0.3636 \times 750 = 1023$ (元)。比较而言,最佳的维修工人数为 2 人。

五、预防性维修与事后修理

是采取预防性维修，还是采取设备发生故障后再来抢修，这也是一个设备维修的决策问题。采取预防性维修，容易造成设备的过度维修，浪费时间和金钱；采取故障后抢修，容易导致故障机器停歇时间过长，对生产造成的损失太大。管理人员必须作出选择。通常是从成本的角度去平衡，寻求总成本最低的预防维修水平，避免造成过度维修，如图 15-4 所示。总成本的计算思路参考上例。

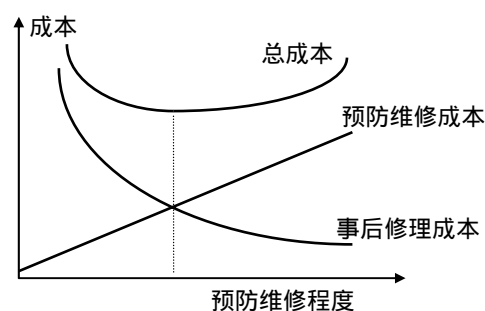


图 15-4 预防维修与事后修理成本

六、更换年限决策

对于机器运行不符合指数规律的情况，其优点是可以在故障发生前更换已磨损的零件。通常情况下，机器发生故障后再进行修理的成本很高（包括修理费用和停机损失），如果能在机器发生故障前，利用操作人员休息的时间更换有关零件，则可避免出现过高的修理费用。本节将讨论总费用最低的零件更换年限的确定。将分别讨论确定型和随机型两种情况。

一）确定型零件更换年限的确定

设：机器维护费用随着机器的使用年限而增加。

这里所讨论的模型既适用于连续工作的设备，如雷达、发电机等，也适用于间歇工作的机器如汽车等。在以下的讨论中，侧重于运转时间而不是时钟时间。

假设，更换某个零件的费用是 K ，该零件在工作年限为 u 时的运行费用是 $C(u)$ ，且 $C(u)$ 的初始值是 au 。边际更换费用随时间的推移而降低，边际运行维护费用随时间推移而上升。总费用是零件更换费用与维护费用之和。这里就是要找到总费用最低的更换时间点。

1. 经济更换周期的基本模型

为讨论问题的方便，假设：

- 机器连续运转
- 不考虑停机修理时间
- 机器上的每一个新零件具有相同的特征
- 只考虑更换费用和运行维护费用
- 目标是取得长期总费用最低
- 维护一个零件运行的费用是 au ，更换一个零件的费用是 K 。

决策变量是一台机器上的新零件投入使用直到被更换为零件的延续时间值。图 15-5 为几个更换周期示意图。

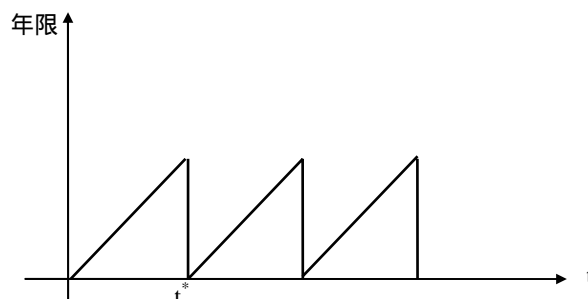


图 15-5 最优经济更换周期示意图

分析的目标是确定 t 的大小以使更换和维修的总费用最小。更换周期是相邻两次更换的时间间隔。因为所有更换周期都相同，我们可以只研究某个周期的情况。

每一周期的更换总费用= K

$$\text{每一周期的维护总费用} = \int_0^t C(u) du = \int_0^t a u du = at^2 / 2$$

设单位时间总费用为 $G(t)$ ，更换周期为 t ，则可 $G(t)$ 由下式给出。

$$G(t) = \frac{1}{t} \left(K + \frac{at^2}{2} \right) = \frac{K}{t} + \frac{at}{2}$$

由于 $G''(t) = K/t^3 > 0$ ， $G(t)$ 是变量 t 的凹函数，如图 15-6 所示。

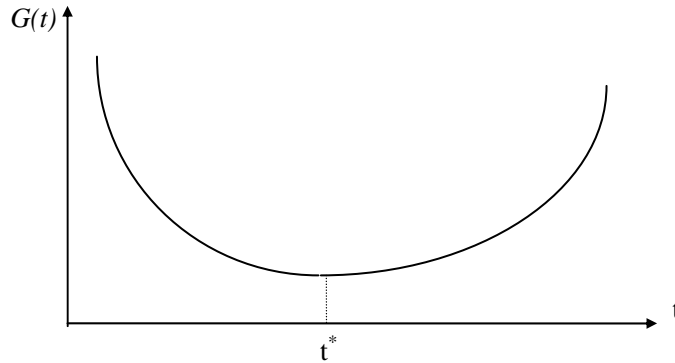


图 15-6 总费用最低的更换周期 t^*

目标是求出总费用最低的更换周期 t^* 。由于 $G(t)$ 是凹函数，其最优解满足

$$G'(t) = -\frac{K}{t^2} + \frac{a}{2} = 0$$

解得

$$t^* = \sqrt{\frac{2K}{a}}$$

例：设有某辆使用了 u 年的汽车，其运行维护费用率为每年 $400u$ 元，如果想更换一辆新汽车，则需要花费 10000 元。试确定该车的经济更换年限。

解：由题意及以上的讨论结果，得出 $a=400$ 元， $K=10000$ 元，则

$$t^* = \sqrt{\frac{2K}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times 10000}{400}} = 7.07 \text{ 年}$$

即在第 7 年更换最经济。

2. 经济更换年限的一般模型

如果考虑更一般的运行维护费用函数和机器的残值，经济更换周期模型会变得更为复杂。如前所述，记 $C(u)$ 为零件使用年限为 u 时的维护费用率，定义 $S(u)$ 为零件使用 u 年后的残值，则总费用为：

$$K + \int_0^t C(u) du - S(t)$$

单位时间的平均费用为：

$$G(t) = \frac{K}{t} + \frac{1}{t} \int_0^t C(u) du - \frac{S(t)}{t}$$

最优更换周期 t^* 可由下式解得

$$G'(t) = \frac{-K}{t^2} - \frac{H(t)}{t^2} + \frac{C(t)}{t} + \frac{S(t)}{t^2} - \frac{S'(t)}{t^2} = 0$$

为方便，

$$H(t) = \int_0^t C(u) du$$

求出 t^* 是非常困难的。在很多的实际问题中，指数分布提供了对运行维护费用增加和残值减小的准确描述，如果令：

$$C(u) = ae^{bu} \quad a, b > 0$$

$$S(u) = ce^{-du} \quad c, d > 0$$

t^* 满足

$$tae^{bt} + ce^{-dt} = K + \int_0^t ae^{bu} du + t \frac{d}{dt}(ce^{-dt})$$

容易看出，

$$H(t) = \int_0^t ae^{bu} du = \frac{a}{b}(e^{bt} - 1)$$

$$\frac{d}{dt}(ce^{-dt}) = -cde^{-dt}$$

所以，最优解的方程是：

$$tae^{bt} + ce^{-dt} = K + \frac{a}{b}(e^{bt} - 1) - tcde^{-dt}$$

整理，得：

$$ae^{bt}(t - \frac{1}{b}) + ce^{-dt}(1 + dt) + \frac{a}{b} = K$$

目标是找出 t 的值，使等式左边尽可能接近 K 。

例：考虑更换汽车的最佳年限。假设购买新车要花费 10000 元，而且以每年 15% 的速度贬值，即一年后这辆汽车价值为 $0.85 \times 10000 = 8500$ 元，两年后价值 $0.85 \times 0.85 \times 10000 = 7225$ 元，余此类推。已知第一年的维护费是 200 元，以后以每年 40% 的速度上升。

解：首先残值，确定系数 a 和 b 。因为 $t=0$ 时的残值为 10000 元，即 $S(0)=10000$ ，所以：

$$S(0) = ce^{-d(0)} = c = 10000$$

$$S(1) = 0.85 \times 10000 = ce^{-d(1)} = ce^{-d}$$

因为， $c=10000$ ，所以：

$$e^{-d} = 0.85$$

$$d = -\ln(0.85) = 0.1625$$

因此，得如下结果：

$$S(t) = 10000e^{-0.1625t}$$

接着考虑运行费用。已知第一年维护费是 200 元，则有 $H(1)=200$ ，或 $(a/b)(e^b - 1) = 200$ 。

又知维护费年增长 40%，有：

$$\frac{C(t)}{C(t-1)} = 1.4$$

代入 $C(t)$ ，得到：

$$\frac{ae^{bt}}{ae^{b(t-1)}} = e^b = 1.4$$

解得， $b=0.3365$ 。随之

$$a = \frac{200 \times b}{e^b - 1} = \frac{200 \times 0.3365}{0.4} = 168.25$$

将以上结果结合起来，得：

$$168.25e^{0.3365t}(t - 2.972) + 10000e^{-0.1625t}(1 + 0.1625t) + 500 = 10000$$

由于该方程解起来非常困难，这里采用的方法之一是用图解法求出估计值，如图 15-7 所示。最佳更换年限约为 4.5 年。

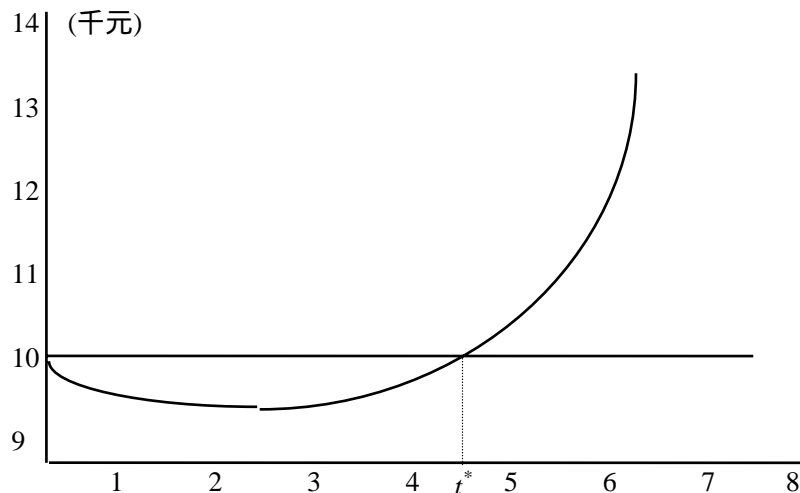


图 15-7 汽车最佳更换年限图解

第四节 机器的可靠性

一、可靠性的概念

为了使读者能更好地了解可靠性的含义与作用，本节从单个零件的可靠性开始介绍有关内容。

例 15.1 某公司购买了 1000 个用于短距离发射机上的某种零件。该公司详细记录下该零件的失效数据，如表 15-3 所示。根据这些数据，该公司希望估计出随机挑选一个零件的失效的概率分布。

表 15-3 零件失效统计表

使用年数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
失效个数	220	158	121	96	80	68	47	40	35	25	110

定义随机变量 T 为该种零件失效前的运行时间，使用以上数据可以估计出 T 的累计分布函数 $F(t)$ 。 $F(t)$ 是一个随机挑选出的零件在 t 或 t 之前失效的概率，记为 $F(t)=P\{T \leq t\}$ 。

为了估计出从给出的数据 $F(t)$ ，先计算出在每年的失效累计数和比例，见表 15-4。

表 15-4 年失效累计数和比例

使用年数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10
失效累计数	220	378	499	595	675	743	790	830	865	890	1000
占总数的比例	0.220	0.378	0.499	0.595	0.675	0.743	0.790	0.830	0.865	0.890	1.0

这些比例数就是 $F(t)$ 在 $t=1,2,3,\dots$ 的估计值。这些数据可以用作计算 T 作为离散随机变量的概率，或用做连续分布的估计参数。我们将用来回答下面几个问题。

- a、随机挑选一个零件可延续使用 5 年的概率
- b、这 1000 个零件投入使用后在第 6 年失效的比例
- c、在第 6 年失效的零件中至少使用了 5 年的零件数的比例
- d、在第 9 年失效的零件中至少使用了 8 年的零件数的比例

解:

$$a、P\{T>5\}=1-P\{T\leq 5\}=1-0.675=0.325$$

$$b、P\{T=6\}=P\{T\leq 6\}-P\{T\leq 5\}=0.743-0.675=0.068$$

c、初看起来与第二个问题相同,但实际上有一个重要区别. 问题 b 问的是同一批零件在第 6 年的失效率,而问题 c 求的是在第 6 年失效的那部分零件至少使用了 5 年的比例。这是一种条件概率。

$$P\{T=6|T>5\}=\frac{P\{T=6,T>5\}}{P\{T>5\}}=\frac{P\{T=6\}}{P\{T>5\}}=\frac{0.068}{0.325}=0.209$$

注意到 $\{T=6\}\subset\{T>5\}$, 事件 $\{T=6,T>5\}$ 和 $\{T=6\}$ 是等价的。

d、

$$P\{T=9|T>8\}=\frac{P\{T=9\}}{P\{T>8\}}=\frac{0.035}{0.170}=0.206$$

其结果几乎与问题 c 相同。事实上,在第 $n+1$ 年失效的零件中使用了 n 年的零件比例非常接近 0.20, $n=1,2,3,\dots$, 这一特点将在以后的讨论中见到。

1、基本概念和定义

例子 15.1 引进了几个新的概念。下面给出本章要用到的几个术语。

如上所述,定义随机变量 T 为零件的寿命周期,并假设 T 有下式给出的累计分布函数。

$$F(t)=P\{T\leq t\}$$

接着求出 $F(t)$ 对 t 的微分, 则概率密度函数 $f(t)$ 由下式给出。

$$f(t)=\frac{dF(t)}{dt}$$

除了随机变量 T 的分布和概率密度函数外,我们还对某些相关函数感兴趣。一个是可靠性函数 $R(t)$, 被定义为:

$$R(t)=P\{T>t\}=1-F(t)$$

用话来说, $R(t)$ 就是一个新零件可以使用 t 这么长时间的概率。注意, $F(t)$ 就是一个新零件不能使用 t 这么长时间的概率。

另一个是故障率 $r(t)$, 被定义为:

$$r(t)=\frac{f(t)}{R(t)}$$

故障率是可靠性理论中的一个最主要的量。但是,就象概率密度函数一样, $r(t)$ 没有直接的物理含义。然而,如果 Δt 足够小, $r(t)\Delta t$ 就是一个正常运转到时间 t 的零件在 t 和 $t+\Delta t$ 之间出故障的概率。怎样确定 Δt 足够小? 一般而言, Δt 相对零件寿命来说非常小就可以认为 Δt 足够小。不过,最好是直接计算条件概率 $P\{t<T\leq t+\Delta t|T>t\}$ 来得到确定的结果。

2、指数故障律(Exponential Failure Law)

指数分布函数在可靠性理论和实践中有很重要的作用,因为它可精确地描述多种设备运行的故障特征。可以从多种途径获得故障的指数特征。这里考虑故障率的微分形式。

从以上讨论可知,故障率可由下式得到。

$$r(t)=\frac{f(t)}{R(t)}$$

该式用来描述一个零件运行了 t 个时间单位而出现故障的可能性。考虑以下情况: $r(t)=\lambda, \lambda$

是一常数且大于零。这意味着一个正在运行的零件在下一时刻出现故障的可能性取决于它已经工作多长时间。这隐含着零件没有显现寿命的信号。我们可获得与故障率是常数的寿命周期为 T 的概率分布。

因为 $R(t) = 1 - F(t)$ ，定义 $r(t) = \lambda$ ，有

$$f(t) = \frac{dR(t)}{dt} = -R'(t)$$

因此，等式 $r(t) = \lambda$ 可被写作另一种形式：

$$\frac{-R'(t)}{R(t)} = \lambda$$

或

$$R'(t) = -\lambda R(t)$$

这是最简单的一次线性微分方程，它的解为：

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

其分布函数为：

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

而概率密度函数为：

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

这就是所说的指数分布。它取决于单个的表示发生比例的参数 λ 。如果 T 服从参数为 λ 的指数分布，则与零件寿命周期相对应的 T 与使用时间长短无关。这就是说，一个零件正常工作到 t_1 ，很有可能在下一个瞬间就发生了故障，因为...。期望故障时间是 $1/\lambda$ 。故障时间的标准偏差也是 $1/\lambda$ 。概率密度和分布函数如图 15-8 所示。

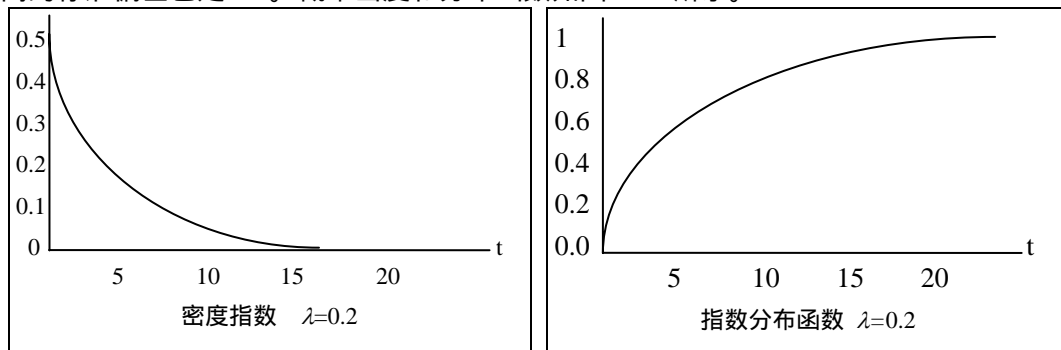


图 15-8 概率密度和分布函数

二、递增型和递减型故障率

虽然故障率为常数的函数在可靠性理论有很重要的地位，也还有其它重要的描述故障规律的函数。其中人们最为熟悉的是零件工作的年限越长越容易发生故障，即递增型故障率。而对新投入使用的零件而言，在刚刚开始使用的期间里，故障率比较高，而后逐步下降，这是因为新零件需要一段跑合时间。这是典型的递减型故障率函数。

包括递增和递减两类情况的故障率函数如下式所示。

$$r(t) = \alpha \beta t^{\beta-1} \quad \alpha, \beta > 0$$

这里， $r(t)$ 是变量 t 取决于 α, β 两个参数的多项式。当 $\beta > 1$ ， $r(t)$ 是增加的，当 $0 < \beta < 1$ ， $r(t)$ 是减少的。典型的故障函数如图 15-9 所示。

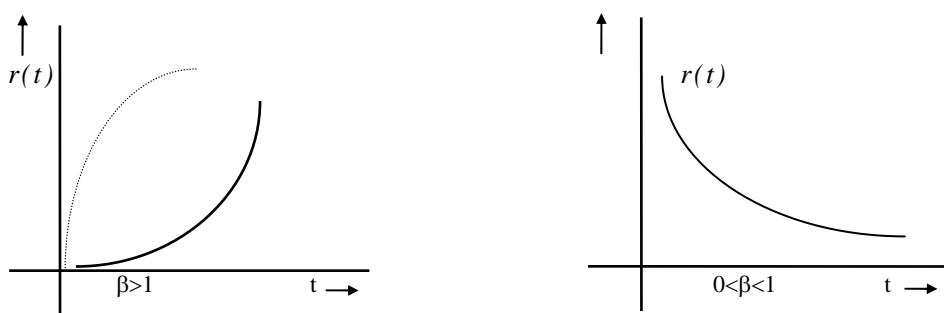


图 15-9 故障率韦伯分布

这个公式可得到另一个微分方程 $R(t)$ ，其解为：

$$R(t) = e^{-\alpha t^\beta}$$

或

$$F(t) = 1 - e^{-\alpha t^\beta}$$

这就是所谓的韦伯分布。它取决于两个 α 、 β 两个参数，正如上面讲到的，当 $0 < \beta < 1$ ，它与零件寿命周期内故障率递减是一致的，当 $\beta > 1$ ，它与零件寿命周期内故障率递增是一致的。

三、复杂设备故障率分析

可靠性理论的常常用于预示由多个零部件组成的机器的故障类型。根据零部件的组成形式不同，分为串联结构系统和并联结构系统，如图 15-10 所示。

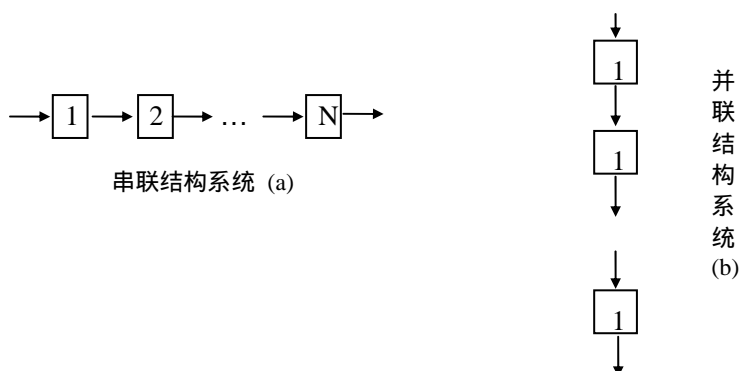


图 15-10 串联和并联结构示意图

1、串联结构

对于串联结构系统，只有当组成机器的每一个零件都是好的，机器系统才正常工作。

定义 T_i 为第 i 个零件失效时所经历的时间，令 T_s 为整个系统的故障时间。如上所述，有 $T_s = \min(T_1, T_2, \dots, T_N)$ 。由可靠性的定义， $R(t) = P\{T > t\}$ ，我们可得到与每一个零件可靠性 $R_i(t)$ 有关的系统可靠性函数 $T_s(t)$ 。由前所述，得到：

$$\begin{aligned} R_s(t) &= P\{T_s > t\} = P\{\min(T_1, T_2, \dots, T_N) > t\} \\ &= P\{T_1 > t, T_2 > t, \dots, T_N > t\} \\ &= P\{T_1 > t\} \times P\{T_2 > t\} \times \dots \times P\{T_N > t\} \\ &= R_1(t) \times R_2(t) \times \dots \times R_N(t) \end{aligned}$$

对 N 个可靠性函数为 $R_i(t)$ 相同的零件，上式可简写为 $[R(t)]^N$ 。

$$F_S(t) = 1 - [1 - F(t)]^N$$

2、并联结构

对于并联结构系统，只要其中一个部件能够工作，系统就可以正常运转。在通过冗余提高系统可靠性的情况下，通常采用并联结构。定义 T_P 为并联系统的故障时间，显然有 T_P

$= \max(T_1, T_2, \dots, T_N)$ 。对于并联系统，可以很容易确定出现故障的时间分布函数：

$$\begin{aligned} F_P(t) &= P\{\max(T_1, T_2, \dots, T_N) \leq t\} = P\{T_1 \leq t, T_2 \leq t, \dots, T_N \leq t\} \\ &= F_1(t) \times F_2(t) \times \dots \times F_N(t) \end{aligned}$$

如果是由 N 个相同部件组成的并联系统，上式最终减少到 $F(t)^N$ 。

N 个相同部件组成的并联系统的可靠性方程为是 $R_P(t) = 1 - [1 - R(t)]^N$ 。

四、维修术语

下面将介绍几个常用的维修术语。

1、平均故障期(MTBF: Mean Time between Failure) MTBF 是指两次故障之间的期望时间，其大小等于 $1/\lambda$ 。

2、平均维修时间(MTTR: Mean Time to Repair) MTTR 是修理时间 R 的期望值。

3、可用性(Availability) 机器运行时间的平均值。

$$A = \frac{E(T_i)}{E(T_i) + E(R_i)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

考虑某机器有 T_1, T_2, \dots 次故障时间，有 R_1, R_2, \dots 修理时间，该系统的结构如图 15-11 所示。

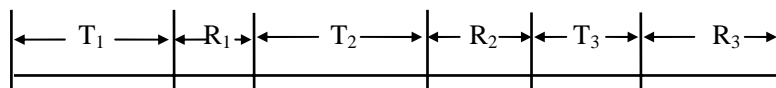


图 15-11 故障与修复时间结构示意图

第 4 节 保修策略分析

与可靠性有关的一个重要问题是消费者经历的设备在使用寿命周期结束前出现故障的保修承诺。消费者和经销商对保修期有不同的认识。从经销商的角度看，保修是一种有限的在明确消费者责任基础上所承担的义务。消费者的责任主要指必须正确使用机器。从市场的角度看，保修有利于吸引消费者购买自己的商品。从购买者的角度看，保修是减少或消除正确使用机器条件下，机器出现故障的经济惩罚。保修对那些早期故障率较高的商品具有特别重要的意义。

本节将讨论确定经济保修期的数学模型。某些模型可能被用于发现一个商品的满足保修需要的成本构成部分。在这些模型中，为了求出保修价值，我们既考虑保修结构，又考虑产品可靠性。

首先必须辨别出可修理的和不可修理的零部件或产品。不可修理的产品如电子元件(灯泡、电线等)，或者是不能修理但是可以更换的产品。大多数产品属于可以修理的产品，如洗衣机、电视机等。对可以修理的产品，如在保修期内出现问题，通常是修理而不是更换。本节提出的模型假设是不可修理的产品。

对不能修理的产品的使用担保，一般采取两种形式中的一种。一是免费更换，一个在保修期内损坏的产品，厂商免费更换一个新的产品。二是根据保修期剩余的时间给消费者

一定比例的折扣，以减少更换新产品的费用。

一、免费更换策略

假设一台机器以已知的故障率 λ 连续运行，一旦出故障则完全损坏。设：

T =随机挑选一个零件的寿命周期，

λ =该零件的故障率，

$F(t)$ =随机变量 T 的累计分布函数，

C_I =采用免费更换保修策略时更换一个新零件的费用，

K =没有采用免费更换保修策略时更换一个新零件的费用，

W_1 =更换一个新零件后免费更换保修期。

如果在保修期内出现故障，该零件免费更换。假设消费者在超出保修期后，机器出现购买一个新零件更换。令 Y 为表示相邻两次采购时间之间的随机变量，由图 15-12 可知：

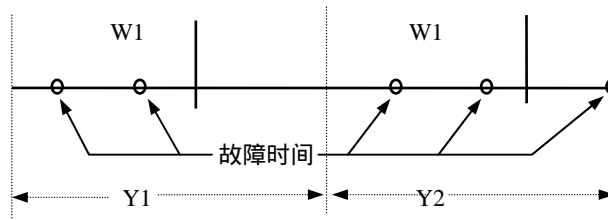


图 15-12 免费更换策略的更换周期结构示意图

$$Y = W_1 + \text{超出保修期后第一次出现故障的时间}$$

可以看出，

$$E(Y) = W_1 + 1/\lambda$$

注意，该表达式只在使用周期服从指数分布时成立。现在，介绍采用免费更换策略是，计算一个零件更换有限次数情况下的单位时间成本。

每次购买零件都是在超出原保修期而进入一个新的保修期循环。因为每个循环的成本是 C_I ，在免费保修期内单位时间平均成本是：

$$\frac{C_I}{E(Y)} = \frac{C_I}{W_1 + 1/\lambda} = \frac{\lambda C_I}{\lambda W_1 + 1}$$

没有保修的话，单位时间的更换成本是 λK 。令 C_I^* 是采取免费保修时一个零件的成本，则有：

$$\lambda K = \frac{\lambda C_I^*}{\lambda W_1 + 1} \quad \text{or} \quad C_I^* = (\lambda W_1 + 1)K$$

定义 $(C_I^* - K)$ 为保修的经济价值。如果 $C_I > C_I^*$ ，则不必购买免费保修，如果 $C_I < C_I^*$ ，则应购买免费保修。

二、支付折扣策略

沿用上述符号，并进一步设：

C_2 =采用给付折扣策略时的成本，

W_2 =采用给付折扣策略时的有效时间。

考虑一个零件，随机地在时间 T 出现故障。有两种情况：

情况 1： $T < W_2$ 。在这种情况下，保修期与已过期时间之比为 T/W_2 ，更换零件的费用为

$C_2(T/W_2)$ 。

情况 2： $T \geq W_2$ 。这里，保修期已过，更换费用是 C_2 。

两种情况可以表示为：

$$\frac{C_2}{W_2} \min(W_2, T)$$

为确定寿命周期成本的期望值，需要找出 $E[\min(W_2, T)]$ 的表达式，有

$$\begin{aligned} E[\min(W_2, T)] &= \int_0^{\infty} \min(W_2, t) \lambda e^{-\lambda t} dt \\ &= \int_0^{W_2} t e^{-\lambda t} dt + W_2 \int_{W_2}^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt \end{aligned}$$

这里， $\lambda e^{-\lambda t}$ 是到出现故障的时间， T ，概率密度函数。整理式得到：

$$E[\min(W_2, T)] = \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda W_2})$$

给付折扣策略从购买一个新零件开始。因此，每一次购买都是一个新的循环。那么，单位时间成本的期望值为：

$$\frac{C_2}{W_2} \frac{E[\min(W_2, T)]}{E(T)} = \frac{C_2}{W_2} \frac{(1/\lambda)(1 - e^{-\lambda W_2})}{1/\lambda} = \frac{C_2(1 - e^{-\lambda W_2})}{W_2}$$

采用给付折扣策略的成本不同与没有采用给付折扣策略的成本， C_2 。解得：

$$\frac{C_2(1 - e^{-\lambda W_2})}{W_2} = \lambda K$$

或者

$$C_2^* = \frac{\lambda K W_2}{(1 - e^{-\lambda W_2})}$$

采用给付折扣策略的值是 C_2^* 。如果 $C_2 > C_2^*$ ，则无须购买给付折扣策略。如果 $C_2 < C_2^*$ ，则应该购买给付折扣策略。这里假设消费者愿意基于期望值做决策。如果消费者是冒险型的，无偏值可能略高于 C_2^* 。

例：假设你正在考虑为你的汽车买一个蓄电池。有三个商店出售相同的电池。商店 A 的电池售价是 21 元/个，但不提供保修；商店 B 的电池售价为 40 元/个，如果电池在两年内出现故障，可以免费更换；商店 C 的电池售价也是 40 元/个，但对电池在期望的寿命期内(按广告上的承诺是 5 年)提供给付折扣策略。电池的故障率取决于使用条件，但从过去的经验看，可以估计两次故障的时间间隔是 3 年。请确定两种策略的 C_1^* 和 C_2^* 的值。

对完全更换保修，有： $K=21$ ； $C_1^*=40$ ； $\lambda=1/3$ ； $W_1=2$ ，于是

$$C_1^* = (\lambda W_1 + 1)K = [(1/3) \times 2 + 1] \times 21 = 35 \text{ 元}$$

这意味着免费更换策略的值是：35 元-21 元=14 元，小于 19 元(40 元-21 元=19 元)的有保修和没有保修的价格差异。从期望成本来衡量，不提供保修的策略(商店 A)优于免费更换策略(商店 B)。

对商店 C 提供的给付折扣的策略， $W_2=5$ 年，其它数据如上，有：

$$C_2^* = \frac{\lambda K W_2}{1 - e^{-\lambda W_2}} = \frac{(1/3) \times 21 \times 5}{1 - e^{-5/3}} = 43.15 \text{ 元}$$

给付折扣保修策略的值是：43.15 元-21 元=22.15 元，超出了有保修和没有保修的价格差异，也超出了免费更换策略的价格，因此，购买给付折扣保修是最好的选择。

小结 本章讨论设备维修管理与可靠性问题。设备和设施是任何一个企业用以生产产品和提供服务的物质基础,设备管理得好坏直接影响着企业在市场上的竞争能力和经济效益。在这一章中,首先给出了设备管理的含义,然后依照设备管理发展的历史过程,分别介绍了事后修理、预防维修、生产维修、维修预防和设备综合管理五个阶段的特点,并着重讲述了全面生产维修制。针对当前企业面临的设备维修管理问题,介绍了几种常见的设备维修体制,分析了它们的特点及适用场合,并且从经济的角度讨论了几种设备维修中常见问题的决策方法,如维修人数的确定、设备经济更换年限的确定等。本章还讨论了与设备维修密切相关的机器可靠性问题,介绍了可靠性的概念和计算方法,分析了可靠性理论在研究机器故障中的应用,对设备管理人员从理论上掌握机器出现故障的规律很有帮助。最后,还简要讨论了确定经济保修期的数学模型,分别介绍了免费更换和支付折扣两种策略。

思考题

- 1、导致新机器出故障的主要原因是什么？
- 2、管理人员可以利用哪些技术提高系统的可靠性？
- 3、在什么情况下可以运用预防性维护？
- 4、让操作工人掌握机器维护技术有哪些好处？
- 5、全面设备管理有哪些主要特征？它对提高企业竞争力有哪些贡献？
- 6、管理人员如何评价维护的有效性？
- 7、分析不同的设备管理体制，比较各自的特点，有哪些适用条件。
- 8、作为厂家，你认为设计产品保修策略有何重要性？
- 9、设备维修方法的趋势是什么？
- 10、找一家你熟悉的企业（不论规模大小），了解其设备管理情况，分析一下由于设备维护不当而引起的损失。

练习题

1、一个企业的维修车间有三个相同的修理小组。出故障的机器送到修理小组服从泊松分布，平均到达率为 15 台/小时。每一个修理中心修好机器的速度服从泊松分布，平均修复率为 6 台/小时，因此要考虑有足够大的停放待修机器所需的面积。

- (1) 机器不能生产的平均时间是多长？
- (2) 如果一台机器占用 40 平方米的话，那么待维修的机器平均要占用多大的面积？

答案： (1) 24.04 分钟， (2) 140.4 平方米

2、一个维修车间使用 365 号密封胶用于维修某种机器。如果车间需要用此密封胶而库存又没有,则要花费 25 元从当地供应商快速获得。如果该密封胶在星期一购进,但整个星期内都不需要,将引起 65 元的费用,因为该密封胶在 5 天之内不用就很快失效。对密封胶需要量的历史数据见表 15-5。问每星期应该储存多少密封胶使总成本最低。

表 15-5 密封胶需要量统计数据

周需要量(桶)	发生率
30	5
40	10
50	25
55	25
60	15

总计	80
----	----

答案： 50 桶

3、如果你的汽车有 4 个电火花插销，每一个电火花插销在 10000 小时运行周期中的失效概率是 0.01，求：(1) 每一个电火花插销的可靠性有多大?(2) 汽车的电火花插销系统的可靠性有多大?

答案： 99% , 96.1%

4、某汽车发动机大修一次的费用为 400 元，两次换油之间发动机故障的概率是变化的，见表 15-6。如果你有 10 辆这种汽车，每辆汽车每次用于换油的费用为 50 元。问应该选择哪一个区间换油?

表 15-6 汽车发动机运行里程及故障概率

两次换油之间的里程 (千公里)	发动机出故障概率
20	0.05
40	0.10
60	0.20
80	0.30
100	0.35

答案： 40000 公里，每千公里的期望成本是 27.70 元。

5、比尔是维修部的经理，几年前工厂安装了 200 多台型号相同的轮胎压制机，比尔负责这些机器的维修工作。从生产经理处得知，机器出现故障后应在 2 小时（平均值）内修好并投入使用，比尔收集了一些数据：发生故障的机器台数平均值为 3.5 台/小时，一个维修工人平均要用 4 小时修好一台机器，即一个维修工人平均每小时修好 0.25 台机器，问需要多少个维修工人？

答案：16。

第十六章 全面质量管理

本章内容主要介绍全面质量管理的内容。主要分为质量、质量管理、全面质量管理及 ISO9000 质量认证体系等几个与生产管理有关的部分进行讨论。重点讨论质量管理的内涵、质量管理的重要意义,介绍质量保证、质量控制、质量体系、PDCA 循环等主要内容。本章还着重讲述统计质量控制的常用方法,对直方图、控制图、排列图、因果分析图等主要和常用的统计质量控制工具,以及抽样检验原理、抽样检验方案的确定进行详细介绍。最后讨论了 ISO9000 质量认证体系、ISO9000 系列标准的组成及质量认证的目的和意义。

第一节 质量与质量管理

一、质量的概念

质量、成本、交货期、服务及响应速度,是决定市场竞争成败的几个关键要素,而质量更是居首位的要素,是企业参与市场竞争的必备条件。质量低劣的产品,成本再低也无人问津。日本企业为什么能够占据世界汽车市场和家用电器市场的领先地位?靠的是优异的产品质量。企业要想跻身国际市场,后来居上,首先要有优质的产品和完美的服务。

提高生产率是社会生产的永恒主题。而只有有了高质量,才可能有真正的高生产率。企业的产品和服务的质量不能满足顾客要求,就不能在市场上实现其价值,就是一种无效或低效率的劳动,就不可能有真正的高效率和高效益。

一) 质量(quality)的概念

质量是质量管理的对象,正确、全面地理解质量的概念,对开展质量管理工作是十分重要的。在生产发展的不同历史时期,人们对质量的理解随着科学技术的发展和社会经济的变化而有所变化。

自从美国贝尔电话研究所的统计学家休哈特(W.A.Shewhart) 博士于 1924 年首次提出将统计学应用于质量控制以来,质量管理的思想和方法不断丰富和发展。一种新的质量管理思想和质量管理方式的提出,通常伴随的是质量概念的理解和重新定义,那么到底什么是质量?国际标准 ISO8402-1986 对质量作了如下定义:质量(品质)是反映产品或服务满足明确或隐含需要能力的特征和特性的总和。现代质量管理认为,必须以用户的观点对质量下定义。这方面最著名的也是最流行的,是美国著名的质量管理权威朱兰(J. M. Juran)给质量下的定义:“质量就是适用性”。

所谓适用性,就是产品和服务满足顾客要求的程度。企业的产品是否使顾客十分满意?是否达到了顾客的期望?如果没有,就说明存在质量问题。不管是产品本身的缺陷还是没有了解清楚顾客到底需要的是什么,都是企业的责任。

但是适用性和满足顾客要求是比较抽象的概念,为了使之对质量管理工作起到指导作用,还需将其具体化。在这方面,美国质量管理专家戴维教授将适用性的概念具体为 8 个方面的含义,即:

- 1)、性能。产品主要功能达到的技术水平和等级,如立体声音响的信噪比、灵敏度等。
- 2)、附加功能。为使顾客更加方便、舒适等所增加的产品功能,如电视机的遥控器、照

相机的自动卷片功能。

3)、可靠性。产品和服务完全规定功能的准确性和概率。比如燃气灶、打火机每次一打就着火的概率；快递信件在规定时间内送达顾客手中等概率。

4)、一致性。产品和服务符合产品说明书和服务规定的程度，如汽车的百公里油耗是否超过说明书规定的公升数、饮料中的天然固形物的含量是否达到所规定的百分比等。

5)、耐久性。产品和服务达到规定的使用寿命的概率。比如电视机是否达到规定的服务故障使用小时、烫发发型是否保持规定的日数等。

6)、维护性。产品是否容易修理和维护。

7)、美学性。产品外观是否具有吸引力和艺术性。

8)、感觉性。产品和服务是否使人产生美好联想甚至妙不可言。如服装面料的手感、广告用语给人的感觉和使人产生的联想等。

以上这 8 个方面是适用性概念的具体化，从而也就更容易从这 8 个方面明确顾客对产品和服务的要求，并将这种要求化为产品和服务的各种标准。

美国著名作业管理专家理查德·施恩伯格认为，上述 8 个方面的质量涵义，偏重于制造企业及其产品，而对于服务企业来说，还应进一步补充下列质量内容：

9)、价值。服务是不是最大限度地满足了顾客的希望，使其觉得钱花得值。

10)、响应速度。尤其对于服务业来说，时间是一个主要的质量性能和要求。有资料显示，超级市场出口处的顾客等待时间超过 5 分钟，就显得很不耐烦，服务质量就会大打折扣。

11)、人性。这是服务质量中一个最难把握但却非常重要的质量要素。人性不仅仅是针对顾客的笑脸相迎，还包括对顾客的谦逊、尊重、信任、理解、体谅和与顾客有效的沟通。

12)、安全性。无任何风险、危险和疑虑。

13)、资格。具有必备的能力和知识提供一流的服务。如导游的服务质量，就在很大程度上取决于导游人员的外语能力和知识素养。

从以上关于质量概念的表述可以看出，随着社会的进步、人们的收入水平和受教育水平的提高，消费者对产品和服务质量的要求越来越高，越来越具有丰富的文化和个性内涵。从而，如何正确地认识顾客的需求，如何将其转化为系统性的产品和服务的标准是现代质量管理首先要解决的重要问题。质量管理水平的提高，首先要求质量管理思想和观念革新。

二) 质量过程

因此产品和服务质量从形成过程来说，还有设计过程质量、制造过程质量和使用过程质量及服务过程质量之分。

1)、设计过程质量

指设计阶段所体现的质量，也就是产品设计符合质量特性要求的程度，它最终是经过图样和技术文件质量来体现。

2)、制造过程质量

指按设计要求，通过生产工序制造而实际达到的实物质量，是设计质量的实现；是制造过程中，操作工人、技术装备、原料、工艺方法以及环境条件等因素的综合产物。也称符合性质量。

3)、使用过程质量

这是在实际使用过程中所表现的质量，它是产品质量与质量管理水平的最终体现。

4) . 服务过程质量

指产品进入使用过程后，生产企业(供方)对用户的服务要求的满足程度。

三) 工作质量

工作质量一般指与质量有关的各项工作，对产品质量、服务质量的保证程度。工作质量涉及各个部门、各个岗位工作的有效性，同时，决定着产品质量、服务质量。然而，它又取决于人的素质，包括工作人员的质量意识、责任心、业务水平。其中，最高管理者(决策层)的工作质量起主导作用，一般管理层和执行层的工作质量起保证和落实的作用。

工作质量能反映企业的组织工作、管理工作与技术工作的水平。工作质量的特点是它不像产品质量那样直观地表现在人们面前，而是体现在一切生产、技术、经营活动之中，并且通过企业的工作效率及工作成果，最终通过产品质量和经济效果表现出来。

产品质量指标可以用产品质量特性值来表示，而工作质量指标，一般是通过产品合格率、废品率和返修率等指标表示。如合格率的提高，废品率、返修率的下降，就意味着工作质量水平的提高。然而，工作质量在许多场合是不能用上述指标来直接定量的，而通常是采取综合评分的方法来定量评价。例如，工作质量的衡量可以通过工作标准，把“需要”予以规定，然后通过质量责任制等进行评价、考核与综合评分。具体的工作标准依不同部门、岗位而异。

对于生产现场来说，工作质量通常表现为工序质量。所谓工序质量是指操作者(Man)、机器设备(Machine)、原材料(Material)、操作及检测方法(Method)和环境(Environment)等 5 大因素(即 4M1E)综合起作用的加工过程的质量。在生产现场抓工作质量，就是要控制这 5 大因素，保证工序质量，最终保证产品质量。

二、质量管理的基本概念

一) 质量管理(Quality Management)

根据 ISO8402-1994 给出的定义，质量管理是指“确定质量方针、目标和职责，并通过质量体系中的质量策划、质量控制、质量保证和质量改进来使其实现的所有管理职能的全部活动”。这个定义指出了质量管理是一个组织管理职能的重要组成部分，必须由一个组织的最高管理者来推动，质量管理是各级管理者的职责，并且和组织内的全体成员都有关系，他们的工作都直接或间接地影响着产品或服务的质量。因此，质量管理的涉及面很广：从横向来说，包括战略规划、资源分配和其它系统活动，如质量计划、质量保证、质量控制等活动；从纵向来说，质量管理包括质量方针、质量目标以及质量体系。

二) 质量保证(Quality Assurance)

所谓质量保证，是指“为使人们确信某实体能满足质量要求，在质量体系内所开展的并需要按计划进行证实的有计划和有系统的全部活动”(国际标准 ISO 8402-1994)。

质量保证的基本思想是强调对用户负责，其核心问题在于使人们确信某一组织有能力满足规定的质量要求，给用户、第三方(政府主管部门、质量监督部门、消费者协会等)和本企业最高管理者提供信任感。为了确有把握地使用户、第三方、本企业最高管理者相信具有质量保证能力，使他们树立足够信心，必须提供充分必要的证据和记录，证明有足够能力满足他们对质量的要求。为了使质量保证系统行之有效，还必须时常接受评价，例如，用户、第

三方和企业最高管理者组织实施的质量审核、质量监督、质量认证、质量评价(评审)等。

质量保证是一种有计划、有系统的活动,是实现质量保证所必需的工作保证。通过有计划地开展质量保证活动,应当形成一个有效的质量保证体系(质量保证模式)。

质量保证还分为内部质量保证和外部质量保证。内部质量保证是质量管理职能的一个组成部分,这是为了使企业各层管理者确信本企业具备满足质量要求的能力所进行的活动。外部质量保证是为了使用户和第三者确信供方具备满足质量要求的能力所进行的活动。

三) 质量控制(Quality Control)

所谓质量控制,是指“为满足质量要求所采取的作业技术和活动”(国际标准 ISO 8402-1994)。

定义中所表述的“作业技术与活动”是贯穿于质量形成全过程的各个环节,目的是为了保持质量形成全过程或其某一环节受控。因此,“作业技术和活动”的主要内容是确定控制计划与标准、实施控制计划与标准,并在实施过程中进行连续监视和验证、纠正不符合计划与程序现象、排除质量形成过程中的不良因素与偏离规范现象,恢复其正常状态。

在实际运用质量控制概念时,应该明确控制对象。对具体的质量控制活动,应冠以限定词,如工序质量控制、外协件质量控制、公司范围质量控制等。

四) 质量体系(Quality System)

为了实现质量方针、目标,提高质量管理的有效性,应建立与健全质量体系。质量体系是指“为实施质量管理的组织机构、职责、程序、过程和资源”(国际标准 ISO 8402-1994)。

质量体系应是质量管理的组织保证。因此,质量体系定义中所表述的“组织机构、职责”,是指影响产品质量的组织体制,是组织机构、职责、程序等的管理能力和资源能力(包括人力资源与物质资源,即体系的硬件如人才资源与技能,设计研究设备,生产工艺设备,检验与试验设备以及计量器具等)的综合体。一般包括:领导职责与质量管理职能;质量机构的设置;各机构的质量职能、职责以及它们之间的纵向与横向关系;质量工作网络与质量信息传递与反馈等。

质量体系是由若干要素构成的。根据 ISO 9000 系列标准,质量体系一般可以包括下列要素:市场调研;设计和规范;采购;工艺准备生产过程控制产品验证;测量和试验设备的控制;不合格控制;纠正措施搬运和生产后的职能;质量文件和记录;人员;产品安全与责任;质量管理方法的应用等。

质量体系有两种形式。一种是用于内部管理的质量体系,一般以管理标准、工作标准、规章制度、规程等予以体现。一种是用于外部证明的质量保证体系。前者要求比后者宽。为完成某项活动所规定的方法,即规定某项活动的目的、范围、做法、时间进度、执行人员、控制方法与记录等。

质量体系作为一个有机体,还应拥有必要的体系文包有质量手册、程序性文件(包括管理性程序文件、技术性程序文件)、质量计划及质量记录等。

通过以上关于质量管理、质量保证、质量控制、质量体系等概念的分别阐述,我们可以说,质量管理涵括了质量保证、质量控制、质量体系。其中质量保证、质量控制是质量管理的具体实施方式与手段;质量体系是质量管理的组织、程序与资源的规范化、系统化。

五) 质量职能(Quality Function)

质量管理在很大程度上是对质量职能的管理。

所谓质量职能是指质量形成全过程所必须发挥的质量管理功能及其相应的质量活动。从产品质量形成的规律来看,直接影响产品质量的主要质量职能是市场研究、开发设计、生产技术准备、采购供应、生产制造、质量检验、产品销售、用户服务等。

一般来说,质量职能不同于质量职责。质量职能是针对质量形成全过程的需要提出来的质量活动属性与功能,具有科学性;而质量职责是为了实现质量职能,对部门、岗位与个人提出的具体的质量工作任务并赋予责、权、利,具有规定性与法定性。因而可以说,质量职能是制订质量职责的依据,质量职责是落实质量职能的方式或手段。

质量职能不能等同于职能部门。一项质量职能可能由几个部门去担当实现,一个职能部门质量管理在很大程度上是对质量职能的管理。

总之,质量管理是一门学问,从根本上说,这是一门如何发现质量问题、定义质量问题、寻找问题原因和制定整改方案的方法论。质量管理还是一种思想,他实际对企业的宗旨,即企业是干什么的,应该是在什么的这一基本使命的一种深刻的理解和不断升华的认识。质量管理更是一种实践,一种从企业最高领导到每位员工主动参与的永无止境的改进活动。

三、提高产品质量的意义

产品(服务)质量是任何一个企业赖以生存的基础,提高产品质量对于提高企业竞争力、促进企业的发展有着直接而重要的意义。

1) 质量是企业的生命线,是实现企业兴旺发达的杠杆。一个企业有没有生命力,在经营上有没有活力,首先是看它能否生产和及时向市场提供所需要的质量优良的产品。生产质量低劣的产品,必然要被淘汰,企业也就不能兴旺发达。

2) 质量是提高企业竞争能力的重要支柱。无论在国际和国内市场,竞争都是一条普遍的规律。市场的竞争首先是质量的竞争,质量低劣的产品是无法进入市场的。可以说,质量是产品进入市场的通行证。企业也只能以质量开拓市场,以质量巩固市场。提高产品质量是企业管理中一项重要战略。

3) 质量是提高企业经济效益的重要条件。提高产品质量大多可以在不增加消耗的条件下,向用户提供使用价值更高的产品,以优质获得优价,走质量效益型道路,使企业经济效益提高。如果粗制滥造,质量低劣,就必然导致产品滞销,无人购买,这就从根本上失去了提高经济效益的条件。经验也表明,只有高的质量,才可能有高的效益。

产品的质量始终是个重大的战略问题。优质能给人们生活带来方便与安乐,能给企业带来效益和发展,最终能使社会繁荣,国家富强;劣质则会给人们生活带来无数的烦恼以至灾难,造成企业的亏损以至倒闭,并由此给社会带来各种不良影响,直接阻碍社会的进步,乃至造成国家的衰败。因此,我们可以把优质的产品和服务看成是人们现代生活与工作的保障。美国著名质量管理专家朱兰博士曾形象地把“质量”比拟为人们在现代社会上赖以生存的大堤,就象生活在江河堤岸,对产品质量提出越来越高的要求。要保证质量大堤的安全,就必须对质量问题常抓不懈。

第二节 全面质量管理

一、质量管理的发展过程

质量管理这一概念早在 20 世纪初就提出来了，它是伴随着企业管理与实践的发展而不断完善、随着市场竞争的变化而发展起来的。

从质量管理的发展历史可看出，对于不同时期，质量管理的理论、技术和方法都在不断地发展和变化，并且有不同的发展特点。从一些工业发达国家经过的历程来看，质量管理的发展大致经历了三个阶段。

一）．产品质量的检验阶段（20 世纪 20-30 年代）

20 世纪初，美国企业出现了流水作业等先进生产方式，提高了对质量检验的要求，随之在企业管理队伍中出现了专职检验人员，组成了专职检验部门。从 20 世纪初到 40 年代前，美国的工业企业普遍设置了集中管理的技术检验机构。

质量检验对手工业生产来说，无疑是一个很大进步，因为它有利于提高生产率，有利于分工的发展。但从质量管理的角度看，质量检验的效能较差，因为这一阶段的特点就是按照标准规定，对成品进行检验，即从成品中挑出不合格品，这种质量管理方法的任务只是“把关”，即严禁不合格品出厂或流入下一工序，而不能预防废品产生。虽然可以防止废品流入下道工序，但是由废品造成的损失已经存在了，是无法消除的。

1924 年，美国贝尔电话研究所的统计学家休哈特博士提出了“预防缺陷”的概念。他认为，质量管理除了检验外，还应做到预防，解决的办法就是采用他所提出的统计质量控制方法。

与此同时，同属贝尔研究所的道奇(H.F.Dodge)和罗米格(H.G.Romig)又共同提出，在破坏性检验的场合采用“抽样检验表”，并提出了第一个抽样检验方案。此时，还有瓦尔德(A.Wald)的序贯抽样检验法等统计方法。但在当时，只有少数企业，如通用电器公司，福特汽车公司等采用他们的方法，并取得了明显的效果，而大多数企业却仍然搞事后检验。这是由于 30 年代前后，资本主义国家发生严重的经济危机，在当时生产力发展水平不太高的情况下，对产品质量的要求也不可能高，所以，用数理统计方法进行质量管理未被普遍接受。因此第一阶段，即质量检验阶段一直延续到 40 年代。

二）．统计质量管理阶段(20 世纪 40-50 年代)

由于第二次世界大战对大量生产(特别是军需品)的需要，质量检验工作立刻显示出其弱点，检验部门成了生产中最薄弱的环节。由于事先无法控制质量，以及检验工作量大，军火生产常常延误交货期，影响前线军需供应。这时，休哈特防患于未然的控制产品质量的方法及道奇、罗米格的抽样检查方法被重新重视起来。美国政府和国防部组织数理统计学家去解决实际问题，制订战时国防标准，即 21.1《质量控制指南》、21.2《数据分析用的控制图法》、21.3《生产中质量管理用的控制图》这三个标准是质量管理中最早的标准。

在美国战时的质量管理方法的研究中，哥伦比亚大学的“统计研究组”作出了较大的贡献。该组是做为政府机关的应用数学咨询机构而成立的(1942 年 6 月成立，1945 年 9 月撤消)，在其许多的研究成果中，具有特殊意义的是瓦尔德提出的逐次抽检(序贯抽检)法。

第二次世界大战后，美国的产业界顺利地战时生产转入到和平生产，统计方法在国民工业生产中得到了广泛的应用。随后，在欧美各国企业相继推广开来。

这一阶段的手段是利用数理统计原理,预防产生废品并检验产品的质置。在方式上是由专职检验人员转过来的专业质量控制工程师和技术人员承担。这标志着将事后检验的观念转变为预防质量事故的发生并事先加以预防的概念,使质量管理工作前进了一大步。

但是,这个阶段曾出现了一种偏见,就是过分地强调数理统计方法,忽视了组织管理工作和生产者的能动作用。使人误认为“质量管理好象就是数理统计方法”、“质量管理是少数数学家和学者的事情”,因而对统计的质量管理产生了一种高不可攀、望而生畏的感觉。这种倾向阻碍了数理统计方法的推广。

三) . 全面质量管理阶段(20 世纪 60 年代至今)

从 60 年代开始,进入全面质量管理(Total Quality Management, TQM)阶段。50 年代以来,由于科学技术的迅速发展,工业生产技术手段越来越现代化,工业产品更新换代也越来越频繁。特别是出现了许多大型产品和复杂的系统工程,质量要求大大提高了,特别是对安全性、可靠性的要求越来越高。此时,单纯靠统计质量控制,已无法满足要求。因为整个系统工程与试验研究、产品设计、试验鉴定、生产准备、辅助过程、使用过程等每个环节都有着密切关系,仅仅靠控制过程是无法保证质量的。这就要求从系统的观点,全面控制产品质量形成的各个环节、各个阶段。其次,由于行为科学在质量管理中的应用,其中主要内容就是重视人的作用,认为人受心理因素、生理因素和社会环境等方面的影响。因而必须从社会学、心理学的角度去研究社会环境、人的相互关系以及个人利益对提高工效和产品质量的影响,发挥人的能动作用,调动人的积极性,去加强企业管理。同时,认识到不重视人的因素,质量管理是搞不好的。因而在质量管理中,也相应地出现了“依靠工人”、“自我控制”、“无缺陷运动”和“QC 小组活动”等。

此外,由于“保护消费者利益”运动的发生和发展,迫使政府制定法律,制止企业生产和销售质量低劣、影响安全、危害健康等的劣质品,要求企业对提供产品的质量承担法律责任和经济责任。制造者提供的产品不仅要求性能符合质量标准规定,而且在保证产品售后的正常使用过程中,使用效果良好,安全、可靠、经济。于是,在质量管理中提出了质量保证和质量责任问题,这就要求在企业建立全过程的质量保证系统,对企业的产品质量实行全面的管理。

基于上述理由,美国通用电器公司的费根堡姆(A.V.Feigenbaum)首先提出了全面质量管理的思想,或称“综合质量管理”,并且在 1961 年出版了《全面质量管理》一书,他指出要真正搞好质量管理除了利用统计方法控制制造过程外,还需要组织管理工作,对生产全过程进行质量管理。他还指出执行质量职能是企业全体人员的责任,应该使全体人员都具有质量意识和承担质量的责任。费根堡姆还同朱兰等一些著名质量管理专家建议用全面质量管理代替统计质量管理。全面质量管理的提出符合生产发展和质量管理发展的客观要求,所以,很快被人们普遍接受,并在世界各地逐渐普及和推行。经过多年实践,全面质量管理理论已比较完善,在实践上也取得了较大的成功。

二、全面质量管理的概念、特点及基本观点

一) 全面质量管理的概念

目前对全面质量管理的理解,是指在全社会的推动下,企业的所有组织、所有部门和全

体人员都以产品质量为核心,把专业技术、管理技术和数理统计结合起来,建立起一套科学、严密、高效的质量保证体系,控制生产全过程影响质量的因素,以优质的工作、最经济的方法,提供满足用户需要的产品(服务)的全部活动。简言之就是全社会推动下的、企业全体人员参加的,用全面质量去保证生产全过程的质量的活动,而核心就在“全面”二字上。

二) 全面质量管理的特点

全面质量管理的特点就在“全面”上,所谓“全面”有以下四方面的含义。

(1) TQC 是全面质量的管理

所谓全面质量就是指产品质量、过程质量和工作质量。全面质量管理不同于以前质量管理的一个特征,就是其工作对象是全面质量,而不仅仅局限于产品质量。全面质量管理认为应从抓好产品质量的保证入手,用优质的工作质量来保证产品质量,这样能有效地改善影响产品质量的因素,达到事半功倍的效果。

(2) TQC 是全过程质量的管理

所谓的全过程是相对制造过程而言的,就是要求把质量管理活动贯穿于产品质量产生、形成和实现的全过程,全面落实预防为主方针。逐步形成一个包括市场调研,开发设计直至销售服务全过程所有环节的质量保证体系,把不合格品消灭在质量形成过程之中,做到防患于未然。

(3) TQC 是全员参加的质量管理

产品质量的优劣,取决于企业全体人员的工作质量水平,提高产品质量必须依靠企业全体人员的努力。企业中任何人的工作都会在一定范围和一定程度上影响产品的质量。显然,过去那种依靠少数人进行质量管理是很不得力的。因此,全面质量管理要求不论是哪个部门的人员。也不论是厂长还是普通职工,都要具备质量意识,都要承担具体的质量职能,积极关心产品质量。

(4) TQC 是全社会推动的质量管理

所谓全社会推动的质量管理指的是要使全面质量管理深入持久地开展下去,并取得好的效果,就不能把工作局限于企业内部,而需要全社会的重视,需要质量立法、认证、监督等工作,进行宏观上的控制引导,即需要全社会的推动。全面质量管理的开展要求全社会推动这一点之所以必要,一方面是因为一个完整的产品,往往是由许多企业共同协作来完成的,例如,机器产品的制造企业要从其他企业获得原材料,各种专业化工厂生产的零部件等。因此,仅靠企业内部的质量管理无法完全保证产品质量,另一方面,来自于全社会宏观质量活动所创造的社会环境可以激发企业提高产品质量的积极性和认识到它的必要性。例如。通过优质优价等质量政策的制定和贯彻,以及实行质量认证、质量立法、质量监督等活动以取缔低劣产品的生产,使企业认识到,生产优质产品无论对社会和对企业都有利,而质量不过关则企业无法生存发展,从而认真对待产品质量和质量管理问题,使全面质量管理得以深入持久地开展下去。

三) 全面质量管理的主要工作内容

全面质量管理是生产经营活动全过程的质量管理,要将影响产品质量的一切因素都控制起来,其中主要抓好以下几个环节的工作。

(1) 市场调查 市场调查过程中要了解用户对产品质量的要求,以及对本企业产品质量

的反映，为下一步工作指出方向。

(2) 产品设计 产品设计是产品质量形成的起点，是影响产品质量的重要环节，设计阶段要制定产品的生产技术标准。为使产品质量水平确定得先进合理，可利用经济分析方法。这就是根据质量与成本及质量与售价之间的关系来确定最佳质量水平。

(3) 采购 原材料、协作件、外购标准件的质量对产品质量的影响是很显然的，因此，要从供应单位的产品质量、价格和遵守合同的能力等方面来选择供应厂家。

(4) 制造 制造过程是产品实体形成过程，制造过程的质量管理主要通过控制影响产品质量的大大因素，即操作者的技术熟练水平、设备、原材料、操作方法、检测手段和生产环境来保证产品质量。

(5) 检验 制造过程中同时存在着检验过程。检验在生产过程中起把关、预防和预报的作用。把关就是及时挑出不合格品，防止其流入下道工序或出厂；预防是防止不合格品的产生，预报是产品质量状况反馈到有关部门，作为质量决策的依据。为了更好地起到把关和预防等作用，同时要考虑减少检验费用，缩短检验时间，要正确选择检验方式和方法(参见本章第三节，产品质量检查)。

(6) 销售 销售是产品质量实现的重要环节。销售过程中要实事求是地向用户介绍产品的性能、用途、优点等，防止不合实际地夸大产品的质量，影响企业的信

(7) 服务 抓好对用户的服务工作，如提供技术培训、编制好产品说明书、开展咨询活动、解决用户的疑难问题、及时处理出现的质量事故。为用户服务的质量影响着产品的使用质量。

三、全面质量管理的基本工作方法----PDCA 循环

在质量管理活动中，要求把各项工作按照作出计划、计划实施、检查实施效果、然后将成功的纳入标准，不成功的留待下一循环去解决的工作方法进行，这就是质量管理的基本工作方法。实际上也是企业管理各项工作的一般规律。这一工作方法简称为 PDCA 循环。P(Plan)是计划阶段，D(Do)是执行阶段，C(Check)是检查阶段，A(Action)是处理阶段。PDCA 循环是美国质量管理专家戴明博士最先总结出来的，所以又称戴明环。

PDCA 工作方法的四个阶段，在具体工作中又进一步化为八个步骤。

P (计划)阶段有四个步骤，

(1) 分析现状，找出所存在的质量问题。对找到的问题要问三个问题，这个问题可不可以解决？这个问题可不可以与其他工作结合起来解决？这个问题能不能用最简单的方法解决而又能达到预期的效果？

(2) 找出产生问题的原因或影响因素。

(3) 找出原因(或影响因素)中的主要原因(影响因素)。

(4) 针对主要原因制定解决问题的措施计划。措施计划要明确采取该措施的原因(Why)，执行措施预期达到的目的(What)，在哪里执行措施(Where)，由谁来执行(Who)，何时开始执行和何时完成(When)，以及如何执行(How)，通常简称为要明确 5W1H 问题。

D (执行)阶段有一个步骤，

(5) 按制定的计划认真执行。

C (检查)阶段有一个步骤，

(6) 检查措施执行的效果。

A (处理)阶段有两个步骤:

(7) 巩固提高,就是把措施计划执行成功的经验进行总结并整理成为标准,以巩固提高。

(8) 把本工作循环没有解决的问题或出现的新问题,提交下一工作循环去解决。

PDCA 循环的特点:

(1) PDCA 循环一定要顺序形成一个大圈,接着四个阶段不停地转,如图 16-1 所示。

(2) 大环套小环,互相促进。如果把整个企业的工作做为一个大的 PDCA 循环,那么各个部门、小组还有各自小的 PDCA 循环,就像一个行星轮系一伴,大环带动小环,一级带一级,大环指导和推动着小环,小环又促进着大环。有机地构成一个运转的体系。如图 16-2 所示。

(3) 循环上升。PDCA 循环不是到 A 阶段结束就算完结,而是要回到 P 阶段开始新的循环,就这样不断旋转。PDCA 循环的转动不是在原地转动,而是每转一圈都有新的计划和目标。犹如爬楼梯一样逐步上升,使质量水平不断提高。

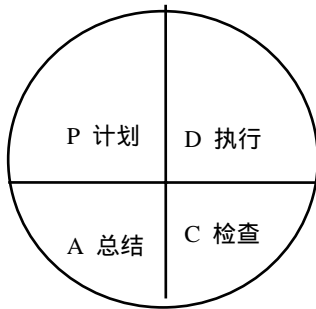


图 16-1 PDCA 循环

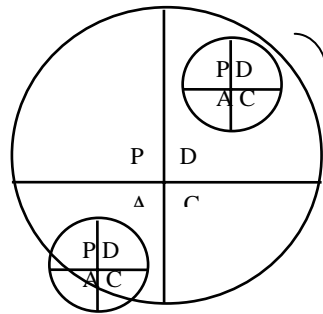
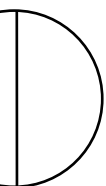


图 16-2 大环套小环示意图

PDCA 循环实际上是有效进行任何一项工作的合乎逻辑的工作程序。在质量管理中, PDCA 循环得到了广泛的应用,并取得了很好的效果,因此有人称 PDCA 循环是质量管理的基本方法。之所以将其称之为 PDCA 循环,是因为这四个过程不是运行一次就完结,而是要周而复始地进行。一个循环完了,解决了一部分问题,可能还有其它问题尚未解决,或者又出现了新的问题,再进行下一次循环。

在解决问题过程中,常常不是一次 PDCA 循环就能够完成的,需要将 PDCA 循环持续下去,直到彻底解决问题。问题=标准-现状。每经历一次循环,需要将取得的成果加以巩固,也就是修订和提高标准,按照新的更高的标准衡量现状,必然会发现新的问题,这也是为什么必须将循环持续上去的原因和方法。每经过一个循环,质量管理达到一个更高的水平,不断坚持 PDCA 循环,就会使质量管理不断取得新成果。这一过程可以形象的用图 16-3 的示意图来表示。



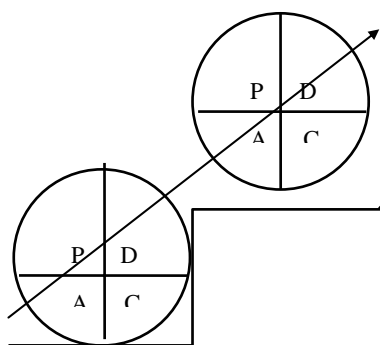


图 16-3 PDCA 循环上升

第三节 统计质量控制

一、质量管理的统计控制方法

统计质量控制方法以 1924 年美国的休哈特((W.A.Shewhan)提出的控制图为起点，半个多世纪以来有了很大发展，现在包括很多种方法。这些方法可大致分为以下三类：

(1) 常用的统计管理方法 又称为初级统计管理方法。它主要包括控制图、因果图、相关图、排列图、直方图等。运用这些工具，可以从经常变化的生产过程中，系统地收集与产品质量有关的各种数据，并用统计方法对数据进行整理、加工和分析，进而画出各种图表，计算某些数据指标，从中找出质量变化的规律，实现对质量的控制。日本著名的质量管理专家石川馨曾说过，企业内 95% 的质量管理问题，可通过企业上上下下全体人员活用这七种工具而得到解决。全面质量管理的推行，也离不开企业各级、各部门人员对这些工具的掌握。

(2) 中级统计管理方法 包括抽样调查方法、抽样检验方法、官能检查方法、实验计划法等。这些方法不一定要企业全体人员都掌握，主要是有关技术人员和质量管理部门的人使用。

(3) 高级统计管理方法 包括高级实验计划法、多变量解析法。这些方法主要用于复杂的工程解析和质量解析，而且要借助于计算机手段，通常只是专业人员使用这些方法。

统计质量管理方法是进行质量控制的有效工具，但在应用中必须注意以下几个问题，否则的话就得不到应有的效果。这些问题主要是：① 数据有误。数据有误可能是两种原因造成的，一是人为的使用有误数据，二是由于未真正掌握统计方法；② 数据的采集方法不正确。如果抽样方法本身有误，则其后的分析方法再正确也是无用的；③ 数据的记录、抄写有误；④ 异常值的处理。通常在生产过程取得的数据中总是含有一些异常值的，它们会导致分析结果有误。

二、常用的质量管理统计方法

常用的质量管理统计方法主要包括所谓的“QC 七种工具”，即直方图、数据分层法、控制图、排列图、因果分析图、散布图、统计分析表。七种方法简介如下。

一) 直方图

直方图的形式如图 16.7 所示，它是表示数据变化情况的一种主要工具。用直方图可以

比较直观地看出产品质量特性的分布状态,可以判断工序是否处于受控状态,还可以对总体进行推断,判断其总体质量分布情况。

1) 直方图的画法

下面结合一个例子说明直方图的作法。

例 16-1：某厂测量钢板厚度，尺寸按标准要求为 6mm，现从生产批量中抽取 100 个样本进行测量，测出的尺寸如表 16-1 所示，试画出直方图。

表 16-1 钢板厚度测量值

组号	尺 寸					组号	尺 寸				
1	5.77	6.27	5.93	6.08	6.03	11	6.12	6.18	6.10	5.95	5.95
2	6.01	6.04	5.88	5.92	6.15	12	5.95	5.94	6.07	6.00	5.75
3	5.71	5.75	5.96	6.19	5.70	13	5.86	5.84	6.08	6.24	5.61
4	6.19	6.11	5.74	5.96	6.17	14	6.13	5.80	5.90	5.93	5.78
5	6.42	6.13	5.71	5.96	5.78	15	5.80	6.14	5.56	6.17	5.97
6	5.92	5.92	5.75	6.05	5.94	16	6.13	5.80	5.90	5.93	5.78
7	5.87	5.63	5.80	6.12	6.32	17	5.86	5.84	6.08	6.24	5.97
8	5.89	5.91	6.00	6.21	6.08	18	5.95	5.94	6.07	6.00	5.85
9	5.96	6.06	6.25	5.89	5.83	19	6.12	6.18	6.10	5.95	5.95
10	5.95	5.94	6.07	6.02	5.75	20	6.03	5.89	5.97	6.05	6.45

解：(1) 收集数据。至少收集 100 个以上的数据,一般以 100 个样本为宜。

(2) 找出数据的最大值与最小值,计算极差 R。本例中,

$$\text{最大值 } x_{\max} = 6.45$$

$$\text{最小值 } x_{\min} = 5.56$$

$$\text{极差 } R = x_{\max} - x_{\min} = 6.45 - 5.56 = 0.89$$

(3) 确定组数 K 与组距 h。组数 K 的确定可根据表 16-2 选择。本例中,K=10, 组距 $h=(R/K)=(0.89/10)\approx 0.09$ 。

表 16-2 分组数 K 参考值

数据个数 N	分组数 K	一般使用 K
50 ~ 100	6 ~ 10	10
100 ~ 250	7 ~ 12	
250 以上	10 ~ 20	

(4) 确定组的界限值。分组的组界值要比抽取的数据多一位小数,以使边界值不致落入两个组内。因此,先取测定单位的 1/2,然后用最小值减去测定单位的 1/2,作为第一组的下界值;再加上组距,作为第一组的上界值,依此加到最大一组的上界值。本例中测量单位为 0.01,所以第一组的下界值为:

$$x_{\min} - \frac{\text{测量单位}}{2} = 5.56 - \frac{0.01}{2} = 5.56 - 0.005 = 5.555$$

第一组上界值为: $5.555 + 0.09 = 5.645$

第二组上界值为: $5.645+0.09=5.735$

.....

(5) 记录各组中的数据,计算各组的中心值,整理成频数表,见表 16-3 。

表 16-3 频数表

组号	组界值	组中值 x_i	频数核对	频数 f_i	变换后组 中值 u_i	$f_i u_i$	$f_i u_i^2$
1	5.555 ~ 5.645	5.60		2	-4	-8	32
2	5.645 ~ 5.735	5.69		3	-3	-9	27
3	5.735 ~ 5.825	5.78		13	-2	-26	52
4	5.825 ~ 5.915	5.87		15	-1	-15	15
5	5.915 ~ 6.005	5.96		26	0	0	0
6	6.005 ~ 6.095	6.05		15	1	15	15
7	6.095 ~ 6.185	6.14		15	2	30	60
8	6.185 ~ 6.275	6.23		7	3	21	63
9	6.275 ~ 6.365	6.32		2	4	8	32
10	6.365 ~ 6.455	6.41		2	5	6	50
			Σ	100		26	346

(6) 根据频数表画出直方图。在方格纸上,使坐标取各组的组限,纵坐标取各组的频数,画出一系列直方形即直方图。如图 16-4 所示,图中每个直方形面积为数据落到这个范围内的个数(或频率),故所有直方形面积之和就是频数的总和(或频率的总和)为 1 或 100%。图中要标出平均值(\bar{x})和标准差(s)。

2) 直方图的观察与分析

直方图是从神态的角度,通过产品质量的分布反映工序的精度状况。通常是看图形本身的形状是否正常,再与公差(标准)做对比,作出大致判断。常见的有以下几种图形,如图 16-5 所示。

对称型(图 16-5a)又称正常型,直方图中的直方形以中间为顶峰,向左右两侧大体呈对称型排列。这是正常的典型分布图型。

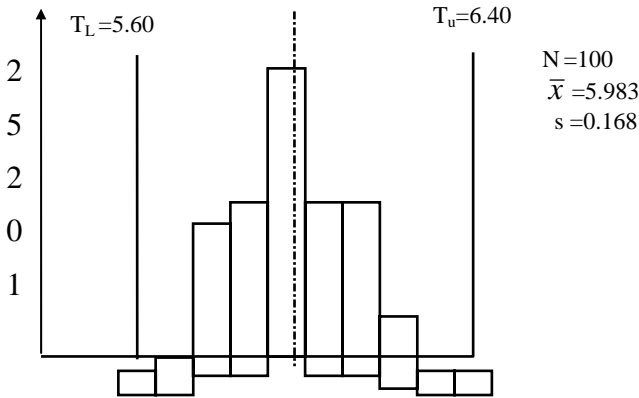


图 16-4 钢板厚度直方图

偏向型(图 16-5b、c)

其高峰偏向于一侧，另一侧呈缓坡状。通常是由于产品的公差(标准)是单侧标准(如形位公差)，或某种加工习惯等原因所造成的。如只有公差上限要求的产品以及轴件产品的质量分布往往呈右偏形，只有公差下限要求的产品以及套作产品的质量分布往往呈左偏形。大多数修过的产品，其质量分布也会偏向一边。

双峰形(图 16-5d)

图形出现两个顶峰。这往往是由于两个不同的分布混在一起所造成的，如有一定差别的两台机床或两种原料所生产的产品混在一起。这时应按照数据的不同性质进行分层，再作分层后的直方图。

锯齿形(图 16-5e)

高峰的变化呈参差不齐的锯齿状，这往往是由于作直方图的过程中分组过多或测量读数有误等原因造成的。

平顶形(图 16-5f)

直方形顶部平直，峰谷不明。这往往是由于生产过程中某种缓慢的带有变动倾向的因素在起作用所造成的。如工具的磨损、操作者的疲劳等。

孤岛形(图 16-5g)

即在远离主分布中心的地方出现一些小直方形。这表明工序质量有异常，往往是原材料有变化，短时期内由不熟练工人替班操作，或测且有误等原因造成的。

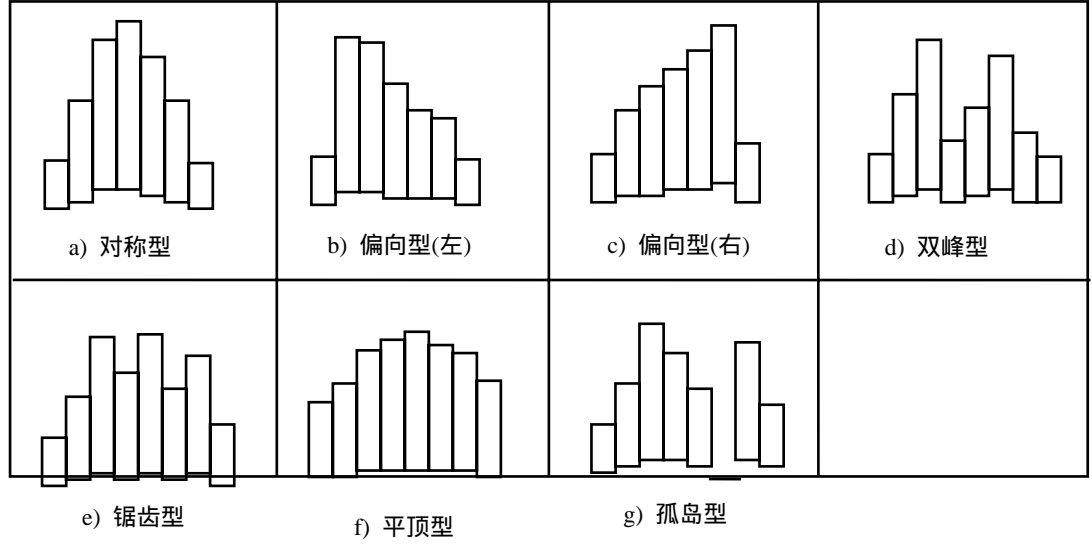


图 16-5 直方图的形状

二) 数据分层法

数据分层就是把性质相同的、在同一条件下收集的数据归纳在一起，以便进行比较分析。因为在实际生产中，影响质量变动的因素很多，如果不把这些因素区别开来，难以得出变化的规律。数据分层可根据实际情况按多种方式进行，例如，按不同时间、不同班次进行分层，按使用设备的种类进行分层，按原材料的进料时间、原材料成分进行分层，按检查手段、使用条件进行分层，按不同缺陷项目进行分层，等等。数据分层法经常与下述的统计分析表结合使用。

三) 控制图

控制图又称为管理图。如图 16-5 所示，它是一种有控制界限的图，用来区分引起质量波动的原因是偶然的还是系统的，可以提供系统原因存在的信息，从而判断生产过程是否处于受控状态。控制图按其用途可分为两类，一类是供分析用的控制图，用控制图分析生产过程中有关质量特性值的变化情况，看工序是否处于稳定受控状态，再一类是供管理用的控制

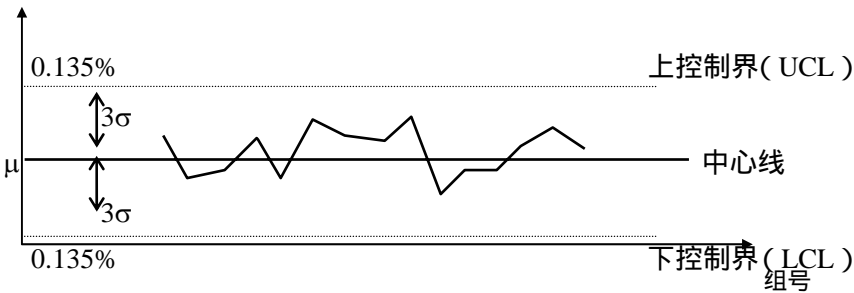


图 16-5 控制图的基本形状

图，主要用于发现生产过程是否出现了异常情况，以预防产生不合格品。

控制图通常以样本平均值 \bar{x} 为中心线，以上下取 3 倍的标准差 ($\bar{x} + 3\sigma$) 为控制界，因此，用这样的控制界限作出的控制图叫做 3σ 控制图，是休哈特最早提出的控制图。

控制图根据数据的种类不同，基本上可以分为两大类：计量值控制图和计数值控制图。计量值控制图一般适用于以长度、强度、纯度等为控制对象的场合，属于这类的控制图有单值控制图、平均值和极差控制图、中位数和极差控制图等。计数值控制图以计数值数据的质量特性为控制对象，属于这类的控制图有不合格品率控制图 (P 控制图) 和不合格品数控制图 (P_n 控制图)、缺陷数控制图 (c 控制图) 和单位缺陷数控制图 (u 控制图) 等等。下面结合某轧钢厂生产的 6 ± 0.4 mm 厚度的钢板为例，介绍平均值和极差控制图 (\bar{x} -R 控制图) 的作法和应,其它类型的控制图请参考其它有关资料。

1) 控制图的画法

以例 16-1 的数据说明 \bar{x} -R 控制图的作法。

① 收集数据，N=100。见表 16-4。

表 16-4 钢板厚度数据

组号	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	\bar{x}	R
1	5.77	6.27	5.93	6.08	6.03	6.016	0.50
2	6.01	6.04	5.88	5.92	6.15	6.000	0.27
3	5.71	5.75	5.96	6.19	5.70	5.862	0.49
4	6.19	6.11	5.74	5.96	6.17	6.034	0.45
5	6.42	6.13	5.71	5.96	5.78	6.000	0.71
6	5.92	5.92	5.75	6.05	5.94	5.916	0.30
7	5.87	5.63	5.80	6.12	6.32	5.948	0.69
8	5.89	5.91	6.00	6.21	6.08	6.018	0.32
9	5.96	6.06	6.25	5.89	5.83	5.996	0.42

10	5.95	5.94	6.07	6.02	5.75	5.946	0.32
11	6.12	6.18	6.10	5.95	5.95	6.000	0.23
12	5.95	5.94	6.07	6.00	5.75	5.942	0.32
13	5.86	5.84	6.08	6.24	5.61	5.926	0.63
14	6.13	5.80	5.90	5.93	5.78	5.908	0.35
15	5.80	6.14	5.56	6.17	5.97	5.928	0.61
16	6.13	5.80	5.90	5.93	5.78	5.908	0.35
17	5.86	5.84	6.08	6.24	5.97	5.998	0.40
18	5.95	5.94	6.07	6.00	5.85	5.962	0.22
19	6.12	6.18	6.10	5.95	5.95	6.060	0.23
20	6.03	5.89	5.97	6.05	6.45	6.078	0.56

② 将数据分组，一般取组数 $K=20$ ，每组样容量 n 取 $4 \sim 5$ 为宜，本例 $n=5$ 。

③ 按下式计算 \bar{x} 和 R ，将结果填入表中。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

④ 按下式计算 $\bar{\bar{x}}$ 和 \bar{R} ，

$$\bar{\bar{x}} = \sum_{i=1}^k \frac{\bar{x}_i}{k} = \frac{6.016 + 6.000 + \cdots + 6.078}{20} = 5.975$$

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^k \frac{R_i}{k} = \frac{0.50 + 0.27 + \cdots + 0.56}{20} = 0.419$$

⑤ 计算 \bar{x} -R 控制图的控制界限。

\bar{x} 控制图的控制界限的计算公式：

$$UCL = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$LCL = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

$$CL = \bar{\bar{x}}$$

R 控制图的控制界限计算公式为：

$$UCL = \bar{R} + 3\sigma_R = d_2\sigma + 3d_3\sigma = (1 + \frac{3d_3}{d_2})\bar{R} = D_4\bar{R}$$

$$LCL = \bar{R} - 3\sigma_R = d_2\sigma - 3d_3\sigma = (1 - \frac{3d_3}{d_2})\bar{R} = D_3\bar{R}$$

式中的系数 A_2, d_2, d_3, D_3, D_4 可由表 16-5 查出。

表 16-5 求控制图界限的系数表

n	A_2	D_4	D_3	E_2	$m_3 A_2$	d_2	d_3
2	1.880	3.267	-	2.659	1.880	1.128	0.853
3	1.023	2.575	-	1.772	1.187	1.603	0.888

4	0.729	2.282	-	1.457	0.796	2.059	0.880
5	0.577	2.115	-	1.290	0.691	2.326	0.864
6	0.483	2.004	-	1.184	0.549	2.534	0.848
7	0.410	1.924	0.076	1.109	0.509	2.704	0.833
8	0.373	1.864	0.136	1.054	0.432	2.847	0.820
9	0.337	1.816	0.184	1.010	0.412	2.970	0.808
10	0.308	1.777	0.223	0.975	0.363	3.173	0.797

如本例， \bar{x} 控制图的控制界限为：

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = 5.975 + 0.577 \times 0.419 = 6.217$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = 5.975 - 0.577 \times 0.419 = 5.733$$

$$CL = \bar{\bar{x}} = 5.975$$

R 控制图的控制界限为：

$$UCL = D_4 \bar{R} = 2.115 \times 0.419 = 0.886$$

$$LCL = D_3 \bar{R} = -(\text{不考虑})$$

$$CL = \bar{R} = 0.419$$

⑥ 画出控制图（图 16-6），并记入有关事项，入零件名称、件号、工序名称、操作者等等。

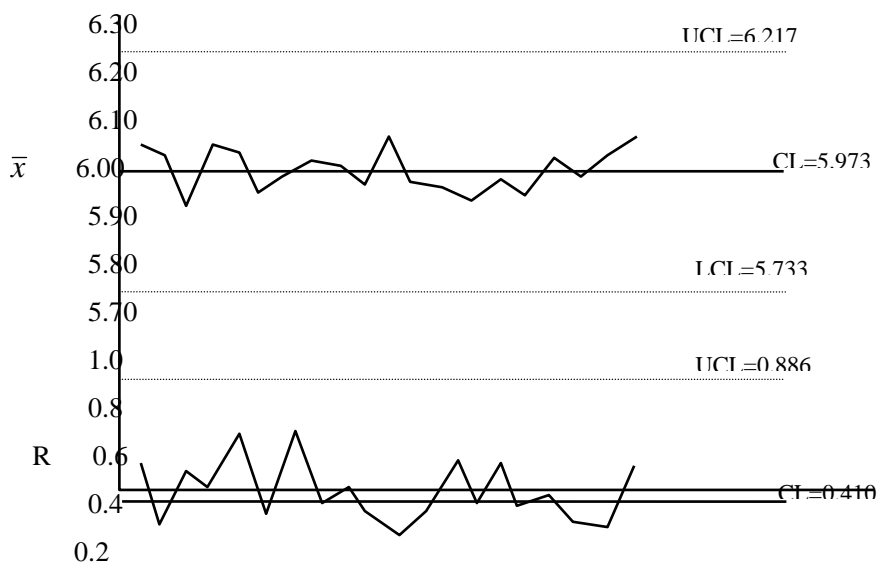


图 16-6 \bar{x} -R 控制图

2) 控制图的观察分析

所谓控制图的观察分析是指工序生产过程的质量特性数据在设计好的控制图上标点后取得工序质量状态信息，以便及时发现异常，采用有效措施，使工序处于质量受控状态的质量控制活动。

(1) 工序稳定状态的判断。工序是否处于稳定状态的判断条件有二：

- ① 点子必须全部在控制界限之内。
- ② 在控制界限内的点子，排列无缺陷或者说点子无异常排列。

如果点子的排列是随机地处于下列情况，则可认为工序处于稳定状态，

- ① 连续 25 个点子在控制界限对，
- ② 连续 35 个点子，仅有一个点子超出控制界限。
- ③ 连续 100 个点子仅有 2 个点子超出控制界限。

(2) . 工序不稳定状态的判断。只要具有下列条件之一时，均可判断为工序不稳定。

- ① 点子超出控制界限(点在控制界限上按超出界限处理)。
- ② 点在警戒区内。

点子处在警戒区是指点子处在 $2\sigma \sim 3\sigma$ 范围之内。若出现下列情况之一，均判定工序不稳定。

- ① 连续 8 点有 2 点在警戒区内。
- ② 连续 7 点有 3 点在警戒区内。
- ③ 连续 10 点有 4 点在警戒区内。

点子虽在控制界限内,但排列异常。所谓异常是指点子排列出现链、倾向、周期等缺陷之一。此时，即判定工序不稳定。

① 连续链。连续链是指在中心线一侧连续出现点子。链的长度用链内所含点数的多少衡量。当链长大于 7 时，则判定为点子排列异常。

② 间断链。间断链是指多数点在中心线一侧。如连续 11 点有 10 点在中心线一侧;连续 14 点有 12 点在中心线一侧;连续打点有 14 点在中心线一侧;连续 20 点有 16 点在中心线一侧。

③ 倾向。倾向是指点子连续上升或下降，如连续上升或下降点子数超过 7 时，则判定为异常。

④ 周期。周期是指点子的变动呈现明显的一定间隔。点子出现周期性，判断较复杂，应当慎重决策。通常，应先弄清原因，再作判断。

对上述判断工序异常的现象，可用小概率事件作出概率论解释。本节不作定量描述，有兴趣的读者可查阅有关资料。

3)、控制图的两类错误

控制图是判断异常因素是否出现的一种图形化的检验工具。由于控制图的控制限是基于 3σ 原则，从正态分布理论，有

$$P(\mu - 3\sigma < x < \mu + 3\sigma) = 0.9973$$

上式说明，当工序质量特性值 x 的均值 μ 和标准差 σ 在工序生产过程中并未发生变化时，仍有 $\alpha=0.27\%$ 的点超出控制界限而发出工序异常的不正常信号。我们称这种不正常虚发信号为控制图的第 I 类错误，记为 α 。

由第 I 类错误引起不必要的停产检查，将导致相应经济损失。同样，当系统因素影响工序生产过程使均值 μ 和标准差 σ 发生变化时，据正态分布性质，有部分点子仍在控制界限之内，而不能及时发出报警信号，视工序正常，使生产过程继续下去，从而，导致大量废品产生。我们称这种不能及时发出报警信号的错误为控制图的第 II 类错误，记为 β 。 α 与 β 之间关系如图 16-7。由图可见，当控制限为 $\pm 3\sigma$ 时， α 是一个确定值。且有， α 将随控制限增大而减少。当均值由 μ_0 变为 μ_1 时，仍有 β 部分落在控制限之内。显见， β 是随着控制限的增大而增

大。

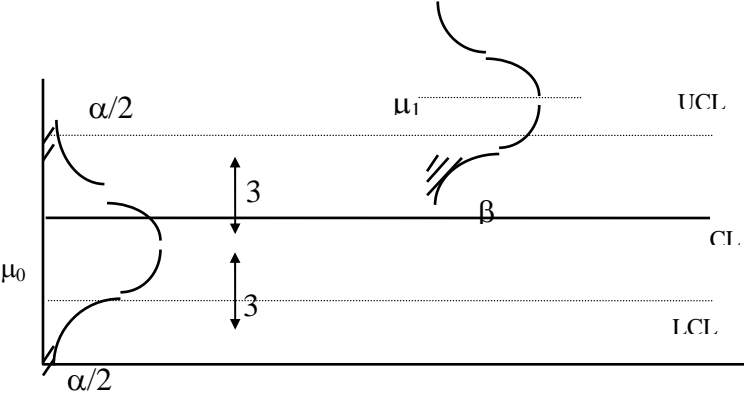


图 16-7 控制图的两类错误

四) 排列图

排列图又称为帕累特图，由此图的发明者意大利经济学家帕累特(Paleto)的名字而得名。帕累特最早用排列图分析社会财富分布的状况，后来美国质量管理专家朱兰将其用于质量管理。排列图是分析和寻找影响质量主要因素的一种工具，其形式见图 16-8。图中的左边纵坐标表示顿数(如件数、金额等)，右边纵坐标表示频率(以百分比表示)，图中的折线表示累积频率。横坐标表示影响质量的各项因素，按影响程度的大小(即出现频数多少)从左向右排列。通过对排列图的观察分析，可抓住影响质量的主要因素。这种方法实际上不仅在质量管理中，在其它许多管理工作中，例如物资库存管理，都是十分有用的。

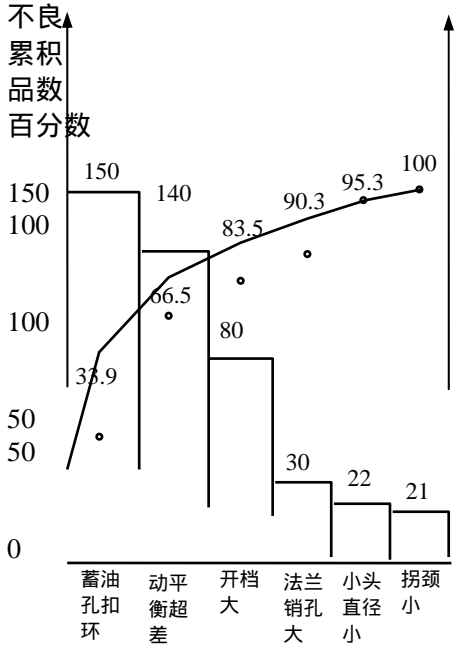


图 16-8 曲轴加工不良品排列图

表 16-6 曲轴加工不良品统计数据表

序号	不良品因素	不良品数	不良品率	累积百分比
1	蓄油孔扣环	150	33.9	33.9
2	动平衡超差	140	31.6	65.5
3	开档大	80	18.0	83.5
4	法兰销孔大	30	6.8	90.3
5	小头直径小	22	5.0	95.3
6	拐颈小	21	4.7	100.0

五) 因果分析图

因果分析图是以结果作为特性，以原因作为因素，在它们之间用箭头联系表示因果关系，

图 16-9 是一个示例。因果分析图是一种充分发动员工动脑筋、查原因、集思广益的好办法。也特别适合于工作小组中实行质量的民主管理。当出现了某种质量问题,但未搞清楚原因时,可针对问题发动大家寻找可能的原因,使每个人都畅所欲言,把所有可能的原因都列出来,如图 16-10 所示,这是一个制造企业的流程中存在的某一问题的因果图。这个企业加工出的某种活塞杆出现弯曲,其原因可能有四大类:操作方法,所用材料,操作者和机器。每一类原因可能又是由若干个因素造成的。与每一因素有关的更深入的考虑因素还可以做为下一级分支。当所有可能的原因都找出来以后,就完成了第一步工作,下一步就是要从其中找出主要原因。

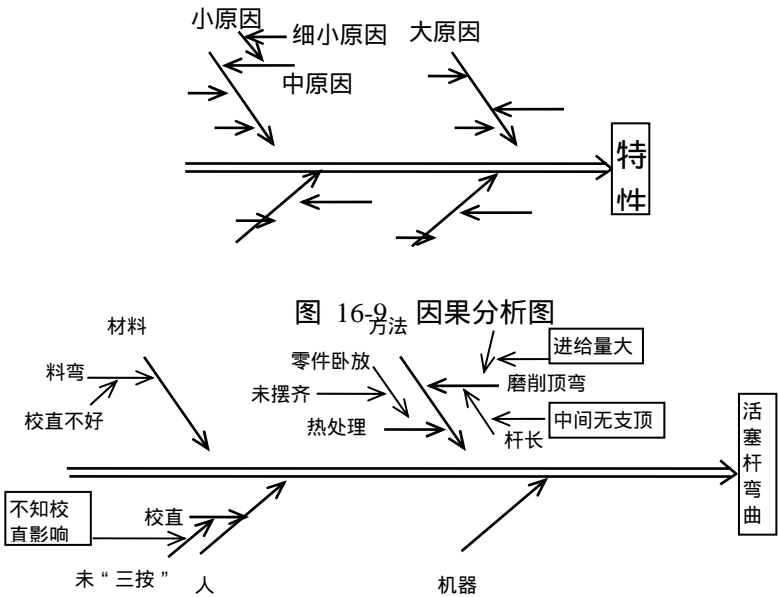
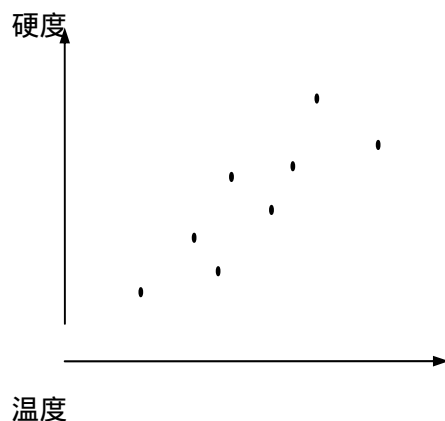


图 16-10 因果分析图

六) 散布图

散布图又称相关图法、简易相关分析法。散布图是把两个变量之间的相关关系、用直角坐标系表示的图表。它根据影响质量特性因素的各对数据,用点子填列在直角坐标图上,以观察判断两个质量特性值之间的关系,对产品或工序进行有效控制。图中所分析的两数间的关系,可以是特性与原因,特性与特性的关系,也可以是同一特性的两个原因的关系。如在热处理时,需了解钢的淬火温度与硬度的关系,在金属机械零件加工时,需了解切削用量、操作方法与加工质量的关系等,都可用散布图来观察与分析。图 16-11 是表明淬火温度与硬度关系的散布图。这种关系虽然存在,但又难以用精确的公式或函数关系表示,在这种情况下用相关图来分析就是很方便的。假定有一对变量 x 和 y , x 表示某一种影响因素, y 表示某一质量特征值,通过实验或收集到的 x 和 y 的数据,可以在坐标图上用点表示出来,根据点的分布特点,就可以判断 x 和 y 的相关情况。表 14.5 表示六种典型的相关形式。



七) 统计分析表

表 16-7 不合格品调查表

以上概要介绍了七种常用的质量管理统计方法，这些方法集中体现了质量管理的“以事实和数据为基础进行判断和管理”的特点。最后还需指出的是，这些方法看起来都比较简单，但能够在实际工作中正确、灵活地应用并不是一件简单的事。

一、全数检验与抽样检验

一般认为，只有全数检验才能可靠地保证检验批的质量，在心理上有一种安全感；而且，通过全检可提供较多的质量情报。因此，若检验费用较低且对产品的合格与否比较容易鉴别时，全检不失为一种比较适用的检验方法，特别是随着检测手段的现代化，最近又有向全检发展的趋势。但是，随着生产逐步现代化，全检存在着如下问题：

现代化生产数量多、速度快、要求高，若采用全检，必须增加人员，添置设备、多设站点，显得很不适应；

在有限的人力条件下全检工作量很大，势必缩短每个产品的检验时间，或减少检验项目，这将降低产品质量的保证程度；

全检也存在着错检、漏检。在一次全检中，平均只能检出 70% 的不合格品。检验误差与批最大小、不合格品率高低、检验技术水平与责任心强弱等因素有关；

不能应用于破坏性检测等一些试验费用十分昂贵的检验；

对价值低，批量大的产品采用全检显得很经济。

二）抽样检验

抽样检验是相对于全数检验而言的。这种检验方法不是逐个地检验作为总体的检验批中的所有单位产品，而是按照规定的抽样方案和程序仅从其中随机抽取部分单位产品组成样本，根据对样本逐个测定的结果，并与标准比较，最后对检验批作出接受或拒收判定的一种检验方法。简言之，按照规定的抽样方案，随机地从一批或一个过程中抽取少量个体进行的检验称抽样检验。

由于抽验的检验量少，所需人员减少，管理亦不复杂，有利于集中精力，抓好关键质量，因而检验费用低，较为经济。从逐件判定发展到逐批判定，这对检验工作来讲，无疑是一个很大的改革，适用于破坏性检测。由于是逐批判定，对供货方提供的产品可能是成批拒收，这样能够起到刺激供货方加强质量管理的作用。但是，抽验也存在一些缺点，经抽验合格的产品批中，混杂一定数量的不合格品，抽验存在着一个错判风险，抽验前要设计方案，增加了计划工作和文件编制工作负担，抽验所提供的质量情报比全检少。

三）检验方法的选择

必须采用全检的场合是：对精密、重型、贵重的关键产品；若在产品中混杂进一个不合格品将造成致命后果时，即使费用再大，也必须采用全检；与检验费用相比。

有利于采用全检的场合是：对于单件小批量生产的产品，数量少且检查项目又不多；全检比较容易且很可靠，而检验费用又较低（如灯泡的点亮试验）时；能够采用自动化检验方法的产品；对影响产品质量的重要特性项目以及对质量要求较高的产品，即使采用自动化检验，尚需以全检作为补充检查手段，对于不稳定的工序，将通过全检杜绝不合格品的流出。

必须采用抽验的场合是：破坏性检验；测定对象是连续体，例如胶片、纸张、酒精等；均质物料的化学分析等。

有利于采用抽验的场合是：量多值低且允许有不合格品混入的检验；检验项目较多时；希望检验费用较少时；希望刺激生产方提高质量；督促厂方加强工序管理；作为工序控制的检查。

二、抽样的基本术语及分类

一）抽样检验的基本术语

- 1、批：在相同的条件下制造出来的一定数量的产品。
- 2、单位产品：构成批的基本的产品单位。单位产品有时可以自然划分，如一台车床、一颗螺钉，有时不能自然划分，如连续生产的产品，对不能自然划分的产品，可以用1米钢带、1尺布、10米铜丝等来表示。
- 3、批量：批中所含单位产品的个数。
- 4、抽样检验方案：为实施抽样检验而确定的一组规则，其中包括对样本大小所做的规定，以及通过对样本的检验结果决定批量是否合格的判定规则。
- 5、随即抽样：

二) 抽样检验的基本术语

按照质量特性值的性质以及供购双方的需要，抽验方案可分为如下两类，

1、计数抽验方案

根据规定的要求，用计数方法衡量产品质量特性，把样本中的单位产品仅区分为合格品或不合格品(计件)，或计算单位产品的缺陷数(计点)，据其测定结果与判定标准比较，最后对其作出接受或拒收而制定的抽验方案。

计数抽验具有如下优点：由于它仅仅把产品区分为合格与否，故手续简便，费用节省；且它无需预先假定分布律。

2、计量抽验方案

凡对样本中的单位产品的质量特性进行直接定量计测，并用计量值作为批判定标准的抽验方案称为计量抽验方案。这类方案具有如下优点：计算检验提供的信息多，判定明确，一般更适用于对关键质量特性的检验。

对一般的成批成品抽验，常采用计数抽验方法；对于那些需作破坏性检验以及检验费用极大的项目，一般采用计量抽验方法。

三、抽验的若干要点

抽验是以“批”作为处理对象的，而全检是以“个”作为处理对象的；

抽验是假设检验的具体应用，因此，它要承担由于推断失误所造成的风险；

要严格区分“合格品”与“合格批”的关系。产品合格与否是相对于质量标准而言的，凡符合标准者为合格品，否则为不合格品；站检验批合格与否是相对于 p_o 、 $p_K \geq p_o$ 两指标而言的。凡 $p \leq p_o$ 为合格批，因此合格批中允许含有一定的不合格品，凡 $p \geq p_1$ 为不合格批，不合格批中大部分产品还是合格品；

并非任何抽验方案都是科学、合理的。例如套用至今的百分比抽验是不尽合理的。至今我国已正式颁布了 GB6378-86“不合格品率的计量抽样检查程序和图表(适用连续批)”、GB2828-87“逐批检查计数抽样程序及抽样表(适用于连续批的检查)”、GB2829-87“周期检查计数抽样程序及抽样表”、GB8051-87“计数序贯抽样检查程序及表”、GB8052-87“单水平和多水平计数连续抽样检查程序及表”、GB8063-87“不合格品率的计量标准型一次抽样检查程序及表”与 GB8054-87“平均值的计量标准型一次抽样检查程序及表”等标准。

四、计数抽验原理与方案

根据在检查批中最多抽样次数才能作出批合格与否判定这一准则，抽样方案可分成一次、二次与多次等类型。

一) 一次抽样

所谓一次性抽样，是指从批中只抽取一个大小为 n 的样本，如果样本的不合格品个数 d 不超过某个预先指定的数 c ，判定此批为合格，否则判为不合格。其操作原理示意图见图 16-12。数 c 叫做“合格判断数”，也叫“接收数”，用记号 $(n|c)$ 来表示这样一个抽样方案。从定义上看，一个 $(n|c)$ 包括两个规则：

- ① 规定样本的大小；
- ② 判断规则 如果 $d \leq c$ ，批合格 如果 $d > c$ ，批不合格。

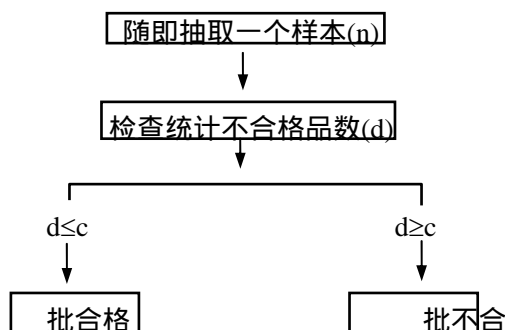


图 16-12 一次抽样检查程序

一次抽样的优点在于方案的设计、培训与管理比较简单，抽样量是常数，有关批质量的情报能最大限度地被利用。其缺点是抽样量比其它类型大；在心理上仅依据一次抽样结果就作判定似欠慎重。

1. 一次抽样方案的特性

① 批量为有限的情况

设一批产品的批量为 N (N 为有限数)，批中不合格品总数为 D_0 ，则这批产品的不合格率为

$$p = \frac{D_0}{N}$$

如果采用方案 $(n|c)$ 来检验，那末“判断此批为合格品”的概率，或者说“接收概率”就要依赖于批不合格品率 p 。 p 越大，接收概率越小。我们知道，只要在随机抽取的一个大小为 n 的样本中不合格品数不超过 c ，就会接收这批产品。在这个样本中所含合格品的个数实际上是个随机变量。用 X 代表这样一个随机变量，并且用 d 表示随机变量 X 的任意观测值。根据概率论的超几何分布可以知道：

$$p(X = d) = \frac{C_D^d C_{N-D}^{n-d}}{C_N^n}$$

式中， N ---批量的大小； D ---批量的不合格品数； n ---样本大小； d ---样本中不合格品数。

只要 $0 \leq d \leq c$ ，都可以判断这批产品是合格的。这批事件是互不相容的，所以接收这批产品的概率应该是：

$$P(X = 0) + P(X = 1) + P(X = 2) + \cdots + P(X = c)$$

如果用 $L(p)$ 表示当批不合格品率为 p 时抽样方案 $(n|c)$ 的接收概率，就有：

$$L(p) = \sum_{d=0}^c P(X = d) = \sum_{d=0}^c \frac{C_D^d C_{N-D}^{n-d}}{C_N^n} = \sum_{d=0}^c \frac{C_{Np}^d C_{N(1-p)}^{n-d}}{C_N^n}$$

我们就把 $L(p)$ 规定为抽样方案为 $(n|c)$ 的检验特性函数，简称 OC 函数。把 $L(p)$ 画在坐标上，就得到了抽样特性曲线，简称 OC 曲线。如图 16-13 所示。

② 批量为无限大的情况

当产品的批量大到无法计数时，可以认为它是无限大的。假定已知批不合格率为 p ，如果采用方案 $(n|c)$ 来检验，和情况 1 相仿，批的接收概率为：

$$P(X=0) + P(X=1) + P(X=2) + \cdots + P(X=c)$$

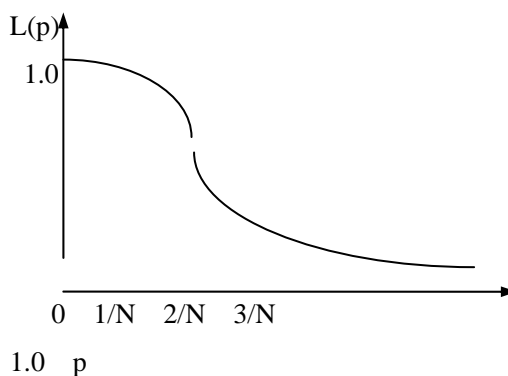


图 16-13 OC 曲线

但这时接收概率 $L(p)$ 应该用二项分布来计算，所以 OC 函数是：

$$L(p) = \sum_{d=0}^c C_D^d p^d q^{n-d}$$

③ 批量为有限，但 $(n/N) \leq 0.1$

$N > 100$ 时，虽然可以用超几何分布来计算，但是非常复杂，所以只要 $(n/N) \leq 0.1$ ，就可以用二项概率去近似超几何概率。

$$L(p) \approx \sum_{d=0}^c C_D^d p^d q^{n-d}$$

④ 批量 N 为有限，但 $(n/N) \leq 0.1$ 且 $p \leq 0.1$

在这种情况下可以用泊松概率去近似超几何概率。

$$L(p) \approx \sum_{d=0}^c \frac{\mu^d}{d!} \cdot e^{-\mu} \quad \mu = np$$

在实际应用中，人们实现排好了超几何概率计算表，对给定的 N, D, n, d ，可以从表上查出接收概率 $L(p)$ 。

2. 一次抽样方案的确定

① 抽样检验的两种风险

批质量是由这一批产品的不合格品率 p 来表示的，要想得到准确的 p 值，只有通过全数检验，而这在很多情况下是做不到的。实际工作中大量采用的还是抽样检验。由于抽样检验是根据样本的合格品数决定批的接收或拒绝，因此就存在着两种风险，或两种错误。

第一种错误，就是可能把合格批判为不合格的。由图 16-15 可以看出，当 $N=1000, n=10, c=0$ 时，作出的 OC 曲线。不合格品率的标准是 $p_t=0.5\%$ 。假如实际检验的 p 是 2% 时，比标准要求的质量要高，应判为合格。但从 OC 曲线可以看出，在 100 次检查中，仍有 2 次左右被判为不合格，这就产生了第一种错误，对生产者是不利的，所以又称为生产者风险，用 α 表示。

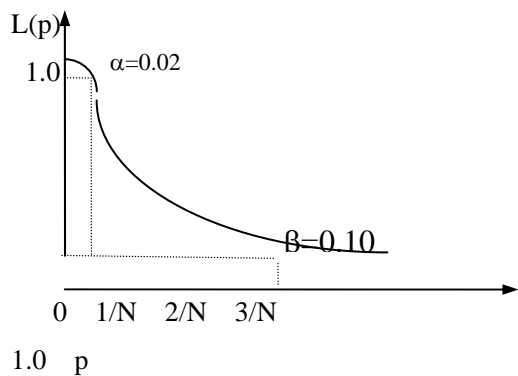


图 16-15 OC 曲线

这种风险控制适当的程度。

② 理想的抽样方案

由生产者和消费者协商确定一个批不合格品率 p_0 ，当 $p < p_0$ 时，要求 100% 地接收，即 $L(p)=1$ ；当 $p > p_0$ 时，要求 100% 地拒收，即 $L(p)=0$ 。这就构成一个理想的抽样方案，如图 16-16 所示。要想达到这种理想境界，唯一的办法是进行准确无误的全检。因此，这样的抽样方案实际上是不存在的。因为即使是百分之百全检，有时也会有错检和漏检。

③ 标准型抽样方案

标准型抽样方案就是同时严格地控制生产方和使用方风险的一种抽样方案。为了建立这样一个抽样方案，标准的做法是，由生产方与使用方协商确定 p_0 与 p_1 ，把 p_0 作为批的合格质量标准，把 p_1 作为批的不合格质量标准，并且规定：

当 $p=p_0$ 时，必须以某个指定的高概率 $(1-\alpha)$ 接收；

当 $p=p_1$ 时，必须以某个指定的低概率 β 接收。

对于 α 和 β 的值，经过长期实践和理论证明，一般取 $\alpha=0.5$ ， $\beta=0.10$ 比较合适。从 OC 曲线来看，一个标准型抽样方案的 OC 曲线必须通过预先规定的两个点 $(p_0, 1-\alpha)$ ， (p_1, β) ，如图 16-17 所示。

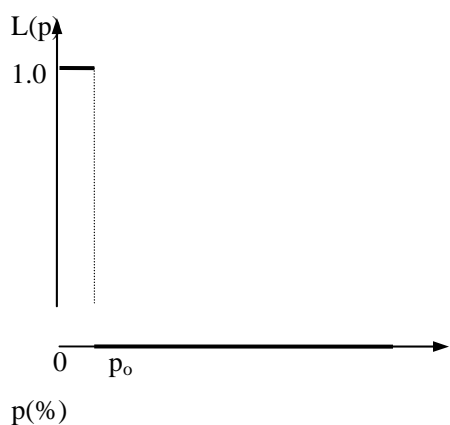


图 16-16 理想抽样方案

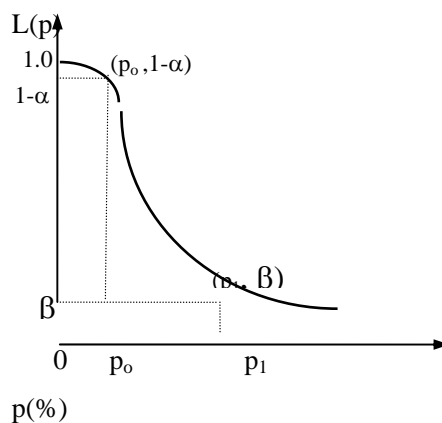


图 16-17 标准型抽样方案

当 p_0, α, p_1, β 确定之后，可以通过下列联立方

程组求出 n 和 c 。

第二种错误，假如实际检验 p 为 20%，质量很差，但是由于是抽样检验，在 100 次检查中，仍有 10 次可能判为合格而被接收，于是产生了第二种错误：把不合格批判为合格批。这对消费者不利，所以称为消费者风险，以 β 表示。

以上事实告诉我们，既然采用抽样检验，就必须承认和允许生产与使用方都承担一点风险，我们就是要通过适当的选取方案，把

$$\begin{cases} L(p_o) = \sum_{d=0}^C C_n^d p_o^d (1-p_o)^{n-d} = 1-\alpha \\ L(p_1) = \sum_{d=0}^C C_n^d p_1^d (1-p_1)^{n-d} = \beta \end{cases}$$

为了实际工作的方便，人们制作了一种表格，规定在 $\alpha=0.05, \beta=0.10$ 时，对任意一对 p_o 和 p_1 值，查出接近满足上面方程组的 n 和 c ，此处不赘述。

二) 二次抽样

所谓二次抽样是指最多从批中抽取二个样本、最终对批作出接受与否判定的一种抽样方式。此类型须根据第一个样本提供的信息，决定是否抽取第二个样本，其示意图见图 16-18。二次抽样中，一般设定 $n_1=n_2$ ，这在理论上并非必要，但此时检查量最少。本类型具有平均抽样少于一次抽样以及在心理上易于接受的优点，但其抽样量不定，管理稍复杂，须作一定的培训。

二次抽样检验的接收概率为

$$L(p) = P(X_1 < A_1) + P(X_1 + X_2 < A_2 \text{ and } A_1 < X_1 < R_1)$$

三) 多次抽样

多次抽样是一种允许抽取两个以上具有同等大小样本、最终才能对批作出接受与否判定的一种抽样方式。因此它可能依次抽取多达 k 个样本，是否需抽取第 i 个($i \leq k$)样本由前($i-1$)个样本所提供的信息而定。多次抽样的平均抽样量少于一次、二次抽样，且在心理上最为安全。但其操作复杂，须作专门训练。ISO2859 的多次抽样多达七次，我国 GB2898-87 的多次抽样达五次。

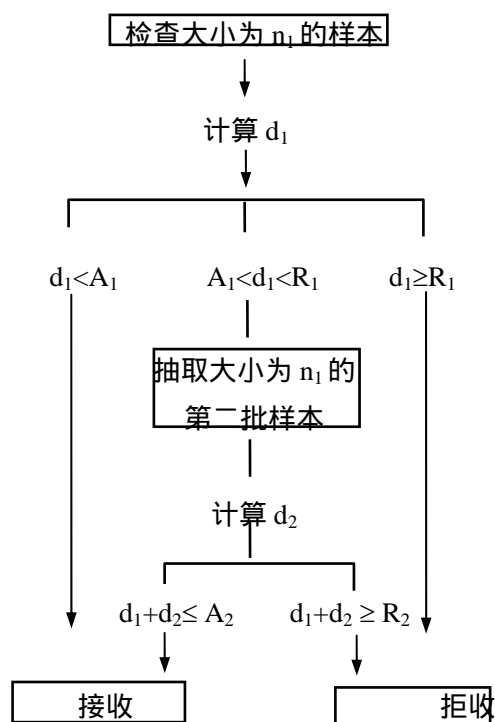


图 16-18 二次抽样检查程序

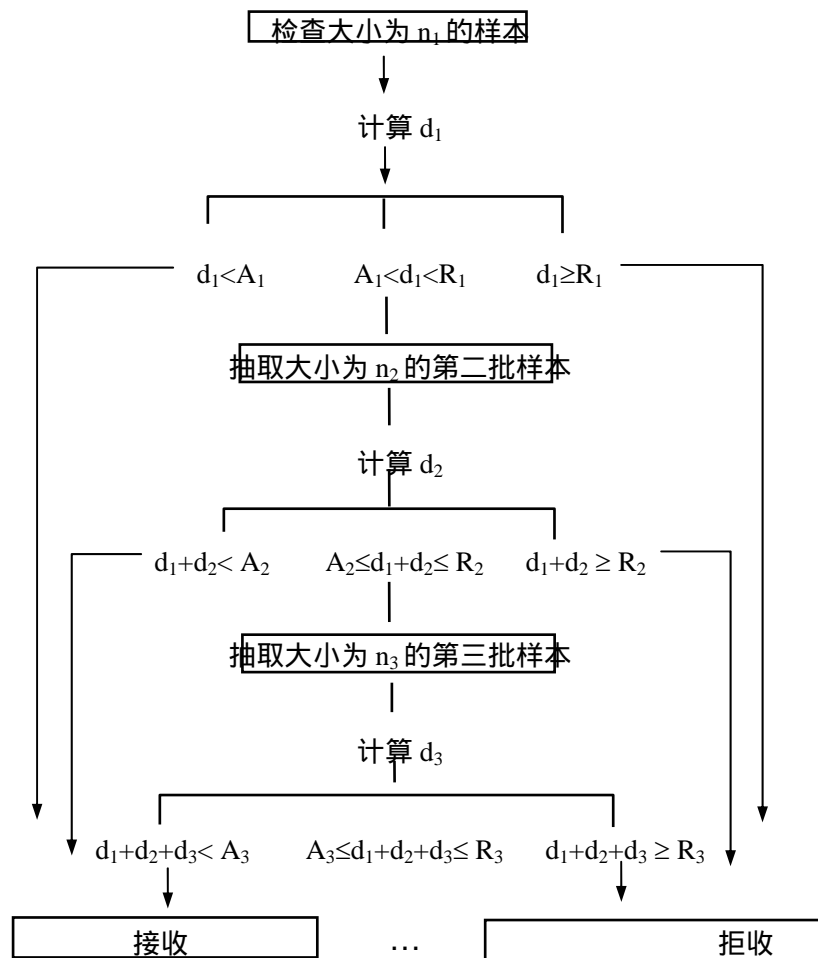


图 16-19 多次抽样检查程序

第五节 ISO9000 简介

世界级企业的特点之一就是它活动于全球市场范围内,把整个国际市场作为自己一展身手的大舞台。然而,正如人们所共知的那样,能进入这个舞台却不是一件轻而易举的事情。在强手如林的国际市场竞争中,企业要想占有一席之地,而且还要成为本行业的领导者,自身必须具有坚强的实力。在诸多影响企业竞争能力的因素中,产品和服务质量是最基本、也是最重要的一个。

为了适应国际市场竞争的需要,国际标准化组织(ISO)于1987年发布了ISO9000《质量管理和质量保证》系列标准,从而使世界质量管理和质量保证活动统一在ISO9000系列标准基础之上。它标志着质量体系走向规范化、系列化和程序化的世界高度。经验表明,采用ISO9000系列标准是走向世界的通行证,作为世界级企业,更离不开ISO9000系列标准。

目前世界上已有60多个国家和地区等同或等效采用ISO9000系列标准,力求使本国的

质量体系、认证制度能获得世界的普遍承认。中国是国际标准化组织的成员国，在 1992 年 5 月召开的“全国质量工作会议”上，决定等同采用 ISO9000 系列标准，以双编号的形式 GB/T19000 ~ ISO9000 发布了系列标准，从 1993 年 1 月起实施。这就适应了我国企业参与国际市场竞争的需要，为管理者实施质量取胜战略提供了可操作性的质量目标，促使企业质量体系认证向国际化发展。

ISO9000 系列标准是推荐标准，不是强制执行标准。但是，由于国际上独此一家，各国政府又予以承认，因此，谁不执行谁就无法在国际市场站稳脚跟。在国际贸易、产品开发、技术转让、商检、认证、索赔、仲裁等方面，它成为国际公认的标准。在这种情况下，积极采用 ISO9000 系列标准就成为对世界级企业的基本要求。为此，要了解 ISO9000 系列标准的组成及其主要内容，了解质量认证工作的含义、意义和基本程序。

一、ISO9000 系列标准的组成

ISO9000 系列标准是知道企业建立质量保证体系的标准，是有关质量的标准体系的核心内容。具体包括

ISO9000—1《质量管理和质量保证标准 第一部分：选择和使用指南》

ISO9001《质量体系—设计、生产、安装和服务的质量保证模式》

ISO9002《质量体系—生产、安装和服务的质量保证模式》

ISO9003《质量体系—最终检验和试验的质量保证模式》

ISO9004—1《质量管理和质量体系要素 第一部分：指南》

ISO9000—1 常被看成 ISO9000 系列标准的“导游图”，它帮助生产者和用户两方面理解 ISO9000 系列标准的真正含义，对主要质量目标和质量职责，受益者及期望。质量体系要求和产品要求的区别、通用产品类别和质量概念的若干方面等问题作出了明确的解释，并提供了关于这些标准的选择和使用的原则、程序、方法。因此，在具体应用这些标准时，首先应对 ISO9000—1 进行研究，然后根据不同的需要选择不同类型的标准。

二、ISO9000 系列标准的主要内容

ISO9000—1《质量管理和质量保证标准 第一部分：选择和使用指南》。该标准阐明基本质量概念之间的差别及其相互关系，并为质量体系系列标准的选择和使用提供指导。这套标准中包括了用于内部质量管理目的的标准 ISO9004 和用于外部质量保证目的的标准 ISO 9001 - ISO9003。

ISO9001《质量体系—设计、生产、安装和服务的质量保证模式》规定了对质量体系的要求，用于双方所订合同中需方要求供方证实其从设计到提供产品全过程的保证能力。该标准阐述从产品设计/开发开始，直至售后服务的全过程的质量保证要求，以保证在包括设计/开发、生产、安装和服务各个阶段符合规定要求，防止从设计到服务的所有阶段出现不合格现象。ISO9001 特别强调对设计质量的控制，因为产品的质量水平和成本有 60%-70%是在设计阶段形成的。

ISO9002《质量体系—生产、安装和服务的质量保证模式》阐述了从采购开始，直到产品交付使用的生产过程的质量保证要求，以保证在生产、安装阶段符合规定的要求，防止以

及发现生产和安装过程中的任何不合格,并采取措施以避免不合格重复出现。它是用于外部质量保证的三个涉及质量体系要求的标准中要求程度居中的一个标准,使用于需方要求供方企业根据质量体系具有对生产过程进行严格控制的能力的足够证据的情况。

ISO9003《质量体系—最终检验和试验的质量保证模式》是用于外部质量保证的三个系列标准中要求最低的一个标准。他阐述了从产品最终检验至成品交付的成品检验和试验的质量保证要求,以保证在最终检验和试验阶段符合规定的要求,查出和控制产品不合格项目并加以处理。它适用于用户要求供方企业提供质量体系具有对产品最终检验和试验进行严格控制能力的足够证据的情况。

ISO9004—1《质量管理和质量体系要素 第一部分:指南》这个标准是指导企业建立质量管理体系的基础性标准。它就质量体系的组织结构、程序、过程和资源等方面的内容,对产品质量形成各阶段影响质量的技术、管理个人等因素的控制提供了全面的指导。标准指出,为了满足用户的需求和期望,企业应该建立一个有效的质量体系,而完善的质量体系是在考虑风险、成本和利益的基础上使质量最佳化以及对质量加以控制的重要管理手段。该标准从企业质量管理的需要出发,阐述了质量体系原理和建立质量体系的原则,提出了企业建立质量体系一般应包括的基本要素。标准对各基本要素的含义、目标、要素间的接口,以及各项活动的内容、要求、方法、人员和所要求的文件、记录等,都做了明确规定。

三、质量认证

经过几年的实践及世界各国政府对 ISO9000 系列标准的认可,使 ISO9000 系列标准已成为一种新的产品认证制度。据传,欧共体宣布,从 1993 年起,凡进入欧共体市场的产品,其生产企业必须按 ISO9000 系列标准进行质量体系认证,取得认可后方可进入。美国、日本、澳大利亚等国也曾宣布,进入该国的某些商品必须持有 ISO9000 合格证书。如我国深圳南星玻璃加工有限公司的产品,八成销往澳大利亚,向来通行无阻。1991 年底,该公司突然接到澳大利亚有关当局的通知,所进口的玻璃,生产企业必须有经专门认证机构通过的 ISO9000 质量体系的认证方可放行。由于该公司当时未推行这一质量体系,结果被搞得措手不及。后来,该公司着手抓 ISO9000 系列标准的贯彻工作,用了半年多的时间,便取得了 ISO9000 质量体系认证,不仅产品重新打入澳大利亚市场,而且比原来更加畅销。由此可见 ISO9000 认证工作对世界级企业的重要性。

质量认证包括产品质量认证和质量体系认证等。产品质量认证是依据产品标准和相应技术要求,经认证机构确认并通过颁发认证证书和认证标志来证明某一产品相应标准和相应技术要求的活动。质量体系认证通常是又国家或国际认可并授权、具有第三方法人资格的权威认证机构来进行。

四、质量体系认证的趋势和特点

1、质量体系认证的依据是 ISO9000 系列标准或其等同标准。目前,各国开展质量体系认证,均趋向采用 ISO9000 系列标准,以利于质量体系认证工作的国际间统一交流与合作。这也正是 ISO 国际标准化组织所提倡的。

2、审核的对象是供方的质量体系。主要是产品质量认证与质量体系审核,即产品形式

试验加上对工厂质量管理体系的审核。质量体系认证范围往往与所申请认证的产品有关。

3、供方选择资信度高、有权威的认证机构审核。一般都选择世界上先进工业国家中历史悠久、有影响的独立的第三方认证机构，如英国的 BSI（英国标准协会）、劳氏船级社、美国的 UL（美国安全检定所）、加拿大的 CSA（加拿大标准学会）等。

4、单独的质量体系认证采取注册、发给证书和公布名录的方式。这是对被审核单位已通过质量体系认证的有效证明，能扩大获证单位的社会影响。

十多年来，我国已批准设立了十个产品认证机构、四个独立的体系认证（注册）机构、十一个检验机构。根据合格评定（认证）制度的总体方案，我国将组成由政府代表、部门和地方专家参加的中国认证机构认可委员会，下设四个分委员会，经授权后，按照统一的认可办法，分别对产品认证机构、体系认证机构、检验和检定机构、人员培训及注册机构进行认可和管理。

ISO9000 系列标准认证有八个步骤：

- (1) 对照 ISO9001—ISO9003 标准，评估现有的质量程序；
- (2) 确定改进措施，以使现有质量程序符合 ISO9000 系列标准；
- (3) 制定质量保证计划；
- (4) 确定新的质量程序并形成文件，实施新程序；
- (5) 制定质量手册；
- (6) 评估前与注册人员共同分析质量手册；
- (7) 实施评估；
- (8) 认证。

五、质量认证对企业管理的意义

成功企业的经验表明，推行质量认证制度对于有效促使企业采用先进的技术标准、实现质量保证和安全保证、维护用户利益和消费者权益、提高产品在国内外市场的竞争能力，以及提高企业经济效益，都有重大意义。

(1)质量认证有利于促使企业建立、完善质量体系。企业要通过第三方认证机构的质量体系认证，就必须充实、加强质量体系的薄弱环节，提高对产品质量的保证能力。另一方面，通过第三方的认证机构对企业的质量体系进行审核，也可以帮助企业发现影响产品质量的技术问题或管理问题，促使其采取措施加以解决。

(2)质量认证有利于提高企业的质量信誉，增强企业的竞争能力。企业一旦通过第三方的认证机构对其质量体系或产品的质量认证，获得了相应的证书或标志，则相对其他未通过质量认证的企业，有更大的质量信誉优势，从而有利于企业在竞争中取得优先地位。特别是对于世界级企业来说，由于认证制度已在世界上许多国家，尤其是先进发达国家实行，各国的质量认证机构都在努力通过签定双边的认证合作协议，取得彼此之间的相互认可，因此，如果企业能够通过国际上权威的认证机构的产品质量认证或质量体系认证（注册），便能够得到各国的承认，这相当于拿到了进入世界市场的通行证，甚至还可以享受免检、优价等优惠待遇。

(3)质量认证可减少企业重复向用户证明自己确有保证产品质量能力的工作，使企业可

以集中更多的精力抓好产品开发及制造全过程的质量管理工作。

小结 本章主要讲述质量、质量管理、全面质量管理及 ISO9000 质量认证体系等有关内容。首先介绍了质量的含义,而后比较详细地讨论了质量管理的内涵,分别阐述了质量管理、质量保证、质量控制、质量体系的内容。介绍了从事后检验到全面质量管理的整个发展过程,讲解了 PDCA 循环的主要内容。本章还着重讲述了统计质量控制的常用方法,重点介绍了常用的质量控制七种工具,即直方图、数据分层法、控制图、排列图、因果分析图、散布图和统计分析表。这七种质量控制工具在实际工作中得到了普遍应用,取得了十分明显的效果。除此之外,还介绍了在质量管理中广为采用的抽样检验法,分别介绍了抽样检验原理、抽样检验(一次抽样、二次抽样和多次抽样)方案的确定。最后,对当前企业管理者关心的 ISO9000 质量认证体系作了介绍,谈到了 ISO9000 质量认证的目的和意义、ISO9000 系列标准的主要内容、ISO9000 系列标准的组成以及 ISO9000 认证的趋势和特点。

思考题

- 1、提高质量的意义是什么?
- 2、请说明质量管理、质量保证、质量控制与质量体系之间的关系。
- 3、什么是全面质量管理?它有哪些特点?
- 4、什么是 PDCA 循环?它都有哪些特点?PDCA 循环的应用有哪些步骤?
- 5、质量管理发展的各个阶段都有哪些特点?
- 6、质量体系要素与质量职能有何关系?
- 7、生产控制的质量职能是什么?
- 8、建立质量体系的指导思想是什么?
- 9、质量认证的重要性体现在哪些方面?
- 10、质量管理体系与质量保证体系二者在体系的构成与体系环境特点方面有何不同?
- 11、直方图、散布图的主要用途有哪些?
- 12、排列图法、因果分析图法的主要用途有哪些?
- 13、试述全数检验与抽样检验的优缺点及其适用范围。
- 14、抽样检验方案有几种分类方法?各自有何特点?
- 15、抽样方法有哪些?
- 16、批质量判断与每件产品的质量判断有何区别?
- 17、什么是生产者风险?什么是使用者风险?

练习题

- 1、某工厂加工螺栓,其外径尺寸要求为 $\Phi 8_{-0.10}^{-0.05}$ 。现场随机抽样测得频数表如表 16-8 所示。试作出直方图,并判断其是否正常。

表 16-8 抽样测量螺栓的数据

组号	组界值	组中值 x_i	频数 f_i	变换后组 中值 u_i	$f_i u_i$	$f_i u_i^2$
----	-----	--------------	----------	------------------	-----------	-------------

1	7.9115 ~ 7.9145	7.913	2	-4	-8	32
2	7.9145 ~ 7.9175	7.916	2	-3	-6	18
3	7.9175 ~ 7.9205	7.919	16	-2	-32	64
4	7.9205 ~ 7.9235	7.922	18	-1	-18	18
5	7.9235 ~ 7.9265	7.925	23	0	0	0
6	7.9265 ~ 7.9295	7.928	17	1	17	17
7	7.9295 ~ 7.9325	7.931	15	2	30	60
8	7.9325 ~ 7.9355	7.934	3	3	9	27
9	7.9355 ~ 7.9385	7.937	4	4	16	64
			100		8	300

2、某化工厂电解酸洗液的硫酸浓度测定值见表 16-9，试作出 \bar{x} -R 控制图。

表 16-9 硫酸浓度测定值

组号	x_1	x_2	x_3	\bar{x}	R
1	8.3	8.9	9.4	8.87	1.1
2	9.1	9.8	8.5	9.13	1.3
3	8.6	8.0	9.2	8.60	1.2
4	10.6	8.6	9.0	9.40	2.0
5	9.0	8.5	9.3	8.93	0.8
6	8.8	9.8	8.3	8.97	1.5
7	8.9	8.7	11.0	9.53	2.3
8	9.9	8.7	9.0	9.20	1.2
9	10.6	11.9	8.2	10.23	3.7
10	9.2	9.0	9.4	8.73	1.2
11	8.9	10.8	8.7	9.47	2.1
12	9.0	7.9	7.9	8.27	1.1
13	9.7	8.5	9.6	9.27	1.2
14	8.6	9.8	9.2	9.20	1.2
15	10.7	10.7	9.3	10.23	1.4
16	8.7	9.6	9.4	9.23	0.9
17	9.9	9.0	8.8	9.23	1.1
18	10.2	8.5	9.4	9.03	1.7
19	8.4	9.7	9.0	9.03	1.3
20	8.4	10.2	10.0	9.53	1.8

3、从大小 $N=5000$ 的批中，随机抽取大小为 $n=100$ 的样本，进行合格判定数为 $c=2$ 的一次抽样检验。试计算，其不合格品率为 1%，2%，3%，4%，5%，6% 的批的接收概率，并求出这一计数抽样方案的 OC 曲线。

答案： $L(0.01)=0.9206$, $L(0.02)=0.6767$, $L(0.03)=0.4198$, $L(0.04)=0.2321$,
 $L(0.05)=0.1183$, $L(0.06)=0.0566$

4、试求给定 $p_0=2.5\%$, $p_1=19\%$, $\alpha=0.05$, $\beta=0.10$ 时的计数标准型一次抽样检验方案(n, c)。

答案： $n=25$, $c=2$

5、设有一批交验产品 $N=50$ 件，假定已知其不合格品率为 $P=0.06$ ，从这批产品中随机抽取一个样本共 5 件($n=5$)，试求样本中不合格品数 d 分别为 0,1,2,3 的概率是多少？

答案：出现不合格品数的概率分别为 0.72398, 0.25255, 0.02296, 0.00051

第十七章 准时生产制

准时生产制 (Just-in-Time, JIT), 又称作无库存生产方式 (Stockless Production), 零库存 (Zero Inventories), 一个流 (One-piece Flow) 或者超级市场生产方式 (Supermarket Production)。JIT的实质是什么? 实施JIT的条件是什么? 什么是精细生产? 这些都是本章要回答的问题。本章论述了JIT的基本思想, 阐述了看板控制系统, 讨论了实施准时生产的条件, 介绍了精细生产的基本内容。

第一节 JIT的实质

一、JIT的出发点

JIT的出发点是不断消除浪费, 进行永无休止的改进。

为什么要不断消除浪费? 归根结底是为了提高企业的竞争力。大家知道, 成本领先是一种市场竞争策略。要降低成本, 就要不断消除浪费。有两种不同的经营思想, 一种思想称为“成本主义”, 用公式表示就是: $\text{价格} = \text{成本} + \text{利润}$ 。即, 随着原材料价格的上涨, 工资、奖金的提高, 成本要升高, 为了获得必要的利润, 只有提高售价。另一种经营思想是: $\text{利润} = \text{价格} - \text{成本}$ 。从数学上看, 这个式子与前一个式子没有什么区别, 但它代表了完全不同的经营思想。这个式子的意思是, 价格不是某个企业可以决定的, 而是在市场上形成的, 要想获得较多利润, 只有不断降低成本。JIT遵循的是后一种思想。按照后一种思想行事, 企业就可以在竞争中立于不败之地。因为在经济不景气的时候, 成本高的企业得不到利润, 甚至亏损, 就被淘汰; 成本低的企业还可以得到少量利润, 能够维持生存和发展。所以, 不断消除浪费、降低成本, 是积极进取的经营思想, 是企业的求生之路; “成本主义”是消极被动的经营思想, 它将导致企业亏损、破产、倒闭。消除浪费, 就要不断挖潜, 要“把干毛巾拧出一把水来”。不断消除浪费, 才能使成本由“西瓜”那样大变成“西瓜籽”那样小。

这里所说的浪费, 比我们通常所说的浪费的概念要广泛得多, 深刻得多。什么是浪费? 按照丰田汽车公司的说法, 凡是超过生产产品所绝对必要的最少量的设备、材料、零件和工作时间的部分, 都是浪费。这个定义有含糊之处, 什么是“绝对必要”的? 没有一定的标准。美国一位管理专家对这个定义作了修正。他提出, 凡是超出增加产品价值所必需的绝对最少的物料、机器和人力资源的部分, 都是浪费。这里有两层意思。一是不增加价值的活动, 是浪费; 二是尽管是增加价值的活动, 所用的资源超过了“绝对最少”的界限, 也是浪费。

在生产过程中, 只有实体上改变物料的活动才能增加价值。加工零件, 增加价值; 装配产品, 增加价值; 油漆包装, 也增加价值。但是, 很多我们常见的活动并不增加价值。点数不增加价值, 库存不增加价值, 质量检查也不增加价值。搬运不仅不增加价值, 反而会减少价值(常常引起损伤)。这些不增加价值的活动, 却增加了成本, 因而都是浪费。浪费是应当不断消除的。

二、理想的生产方式

如前所述, JIT的名称很多, 其实它们说的都是一回事。“无库存”或“零库存”表示

没有暂时闲置的资源，“无库存生产”就是不提供暂时不需要的物料的生产，即提供的都是当时需要的东西，这就是“准时生产”的意思。“一个流”是指需要一件，生产一件，零件一个一个地流动，也是“准时生产”的意思。

JIT认为库存象是恶魔，它不仅造成浪费，还将许多管理不善的问题掩盖起来，使问题得不到及时解决，就象水掩盖了水中的石头一样。比如机器经常出故障、设备调整时间太

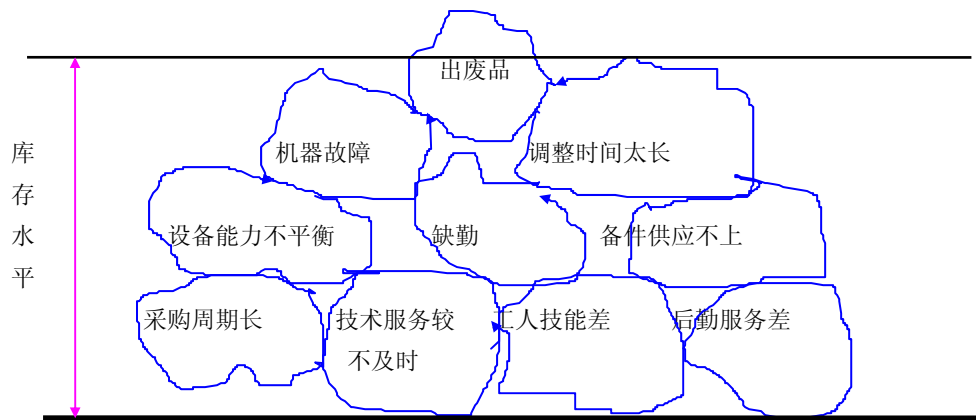


图17-1 库存水平高掩盖的管理问题多

长、设备能力不平衡、工人缺勤、备件供应不及时等问题，由于库存水平高，不易被发现。如图17-1所示。JIT是要通过不断减少各种库存来暴露管理中的问题，以不断消除浪费，进行永无休止的改进。

说JIT是一种理想的生产方式，有两个原因。一是因为它设置了一个最高标准，一种极限，就是“零”库存。实际生产可以无限地接近这个极限，但却永远不可能达到零库存。有了这个极限，才使得改进永无止境。二是因为它提供了一个不断改进的途径，即，降低库存 — 暴露问题 — 解决问题 — 降低库存 —。这是一个无限循环的过程。例如，通过降低在制品库存，可能发现生产过程经常中断，原因是某些设备出了故障，来不及修理，工序间在制品少了，使后续工序得不到供给。要使生产不发生中断，可以采取两种不同的办法。一种是加大工序间在制品库存，提供足够的缓冲，使修理工人有足够的时间来修理设备；另一种办法是分析为什么来不及修理的原因，是备件采购问题还是修理效率问题？能否减少修理工作的时间？后一种办法符合JIT的思想。按JIT的思想，“宁可中断生产，决不掩盖矛盾”。找到了问题，就可以分析原因，解决问题，使管理工作得到改进，达到一个新的水平。当生产进行得比较正常时，再进一步降低库存，使深层次问题得到暴露，解决新的问题，使管理水平得到进一步提高。因此，推行JIT，是一个不断改进的动态过程，不是一朝一夕可以完成的。

进行改进的途径，并不一定从“降低库存”开始。当管理中的问题很明显时，可以先解决问题，然后降低库存。如果现存的问题很多，不去解决它，还要降低库存，那就会使问题成灾，甚至使企业瘫痪。“降低库存”要逐步进行，不能一次降得太多。否则，也会造成问题成堆，解决问题无从下手。但是，很多问题往往隐藏很深，尤其是当管理水平已达到较高水平时，就不大容易发现，在这种情况下通过降低库存来暴露问题乃是必要的。

三、综合的管理技术

JIT基本思想简单，容易理解。但是，实现JIT却不容易，因为实施JIT几乎要涉及企业

的每一个部门，渗透到企业的每一项活动之中。日本丰田汽车公司从看到美国的超级市场开始，就有了准时生产的思想，但只是经过了20多年坚持不懈的努力，才达到比较完善的地步。因为JIT是一项综合的管理技术，它涉及到产品的设计，生产计划的编制，机器的改造，设备的重新布置，工序的同期化，设备的预防维修，生产组织和劳动组织的调整，人员的再培训等各方面的工作。任何一个环节不改进，JIT就推行不下去。JIT是生产管理上的一次革命。那种急功近利，要求“立竿见影”，短期内就“大见成效”的思想是不符合JIT不断改进的思想的。

第二节 看板控制系统

一、JIT的起源

丰田汽车公司的看板管理经历了一个产生、发展和完善的过程。早在该公司初建阶段，丰田喜一郎就提出了“非常准时”的基本思想。这一思想是实行看板管理的原则和基础。50年代初，看板管理的积极推行者，当时在丰田汽车公司机械工厂工作的大野耐一，从美国超级市场的管理结构和工作程序中受到启发，从而找到了通过看板来实现“非常准时”思想的方法。他认为，可以把超级市场看作是作业线上的前一道工序，把顾客看作是这个作业线上的后一道工序。顾客(后工序)来到超级市场(前工序)，在必要的时间就可以买到必要数量的必要商品(零、部件)。超级市场不仅可以“非常及时”满足顾客对商品的需要，而且可以“非常及时”的把顾客买走的商品补充上(当计价器将顾客买走的商品进行计价之后，载有购走商品数量、种类的卡片就立即送往采购部，使商品得到及时的补充)。50年代后期日本也出现了超级市场，这就为丰田推行看板管理提供了直接的研究资料。但是，流通领域与生产领域毕竟是两个不同的领域，要在工业企业中实行看板管理并不是一件容易的事情。1953年，丰田公司先在总公司的机械工厂试行了看板管理。以后，为了全面推行看板管理，丰田公司进行了多年的摸索和试验，1962年在整个公司全面实行了看板管理。

到了70年代，丰田采用的生产方式已扩展到汽车工业以外。虽然各个企业的做法不尽相同，但其基本思想是一致的。

我国二汽车桥厂转向节生产线在日产柴油机公司专家的指导下，于1987年初开展“一个流生产方式”的试点，仅用了9个月的时间，就取得了很大的成效。据报道，该生产线的产量提高了29.8%，人员减少了28%，废品率下降68%，在制品下降79.9%，设备故障停工率下降84%。二汽人把一个流生产方式看作是开发二汽“金山”的斧子。

二、推进式系统和牵引式系统

对于加工装配式生产，产品由许多零件构成，每个零件要经过多道工序加工。要组织这样的生产，可以采用两种不同的发送生产指令的方式。

一种是由一个计划部门根据市场需求，按零部件展开，计算出每种零件部件的需要量和各生产阶段的生产提前期，确定每个零部件的投入出产计划，按计划发出生产和订货的指令。每一工作地、每一生产车间和生产阶段都按计划制造零部件，将实际完成情况反馈到计划部门，并将加工完的零部件送到后一道工序和下游生产车间，不管后一道工序和下游生产车间当时是否需要。物料流和信息流是分离的。这种方式称为推进式(push)方法。实行推进式方法的生产系统称为推进式系统。推进式系统如图17-2所示。

另一种方式是从市场需求出发，由市场需求信息牵动产品装配，再由产品装配牵动零

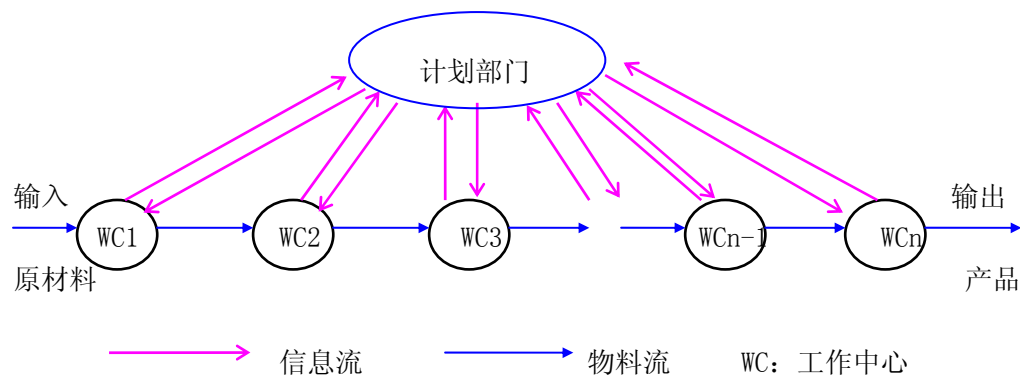


图17-2 推进式(Push)系统

件加工。每道工序、每个车间和每个生产阶段都按照当时的需要向前一道工序、上游车间和生产阶段提出要求，发出工作指令，上游工序、车间和生产阶段完全按这些指令进行生产。物料流和信息流是结合在一起的。这种方式为牵引式(pull)方法。实行牵引式方法的生产系统称为牵引式系统。日本丰田汽车公司的生产系统就是牵引式系统。牵引式系统如图16-3所示。

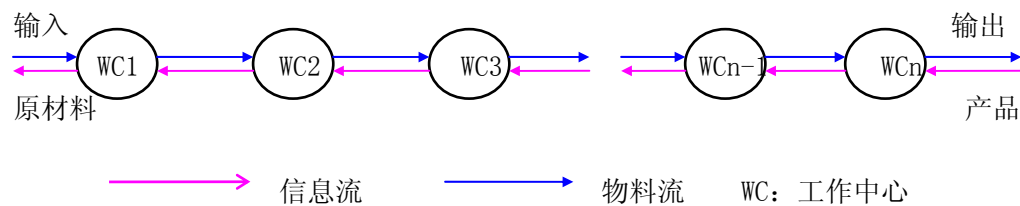


图17-3 牵引式(Pull)系统

对于推进式系统，进行生产控制的目的是就要保证按生产作业计划的要求按时完成任务。但在实际上，由于计划难以做到十分精确，加上不可避免的随机因素的干扰，一般不能做到每道工序都按时完成，这就需要取得实际进度和计划要求偏离的信息，并采取纠正措施。纠正措施可以是加快实际进度（如加班，加点），以保证计划的完成，也可以是修改计划进度，使之符合实际情况。

第10章介绍的MRP，是一个比较完善的计划方法。它的基本思想也是按需要准时生产，但是能否进行准时生产，不是由MRP系统本身决定的。因为任何计划都不可能把未来的情况考虑得十分周全，很多意想不到的事情会在计划的执行过程中出现，迫使管理人员要么修改计划，要么采取一切行动，保证计划的实现。而且，零部件和产品的生产提前期也难以做到十分精确。将所有的提前期圆整成周，本身就有很大误差。所以靠推进式系统，即使是MRP这样比较完善的方法实行的推进式系统，也难以真正做到准时生产。

采用牵引式系统可以真正实现按需生产。如果每道工序都按其紧后工序的要求，在适当的时间，按需要的品种与数量生产，就不会发生不需要的零部件生产出来的情况。

三、丰田的看板控制系统

看板，又称作传票卡，是传递信号的工具。它可以是一种卡片，也可以是一种信号，一种告示牌。看板及其使用规则，构成了看板控制系统。

实行看板管理之前，设备要重新排列，重新布置。做到每种零件只有一个来源，零件在加工过程中有明确固定的移动路线。每一个工作地也要重新布置，使在制品与零部件存放在工作地旁边，而不是存放在仓库里。这一点很重要。因为现场工人亲眼看到他们加工的东西，就不会盲目地过量生产。同时，工人可以看到什么样的零部件即将用完，需要补充，也不会造成短缺，影响生产。重新布置使得加工作业的每一个工作地都有两个存放处：入口存放处和出口存放处。对于装配作业，一个工作地可能有多个入口存放处。如图17-4所示。众多的存放处放在车间内，使车间好象变成了库房。这种车间与库房合一的形式是看板控制的一个特点，是准时生产的初级阶段。

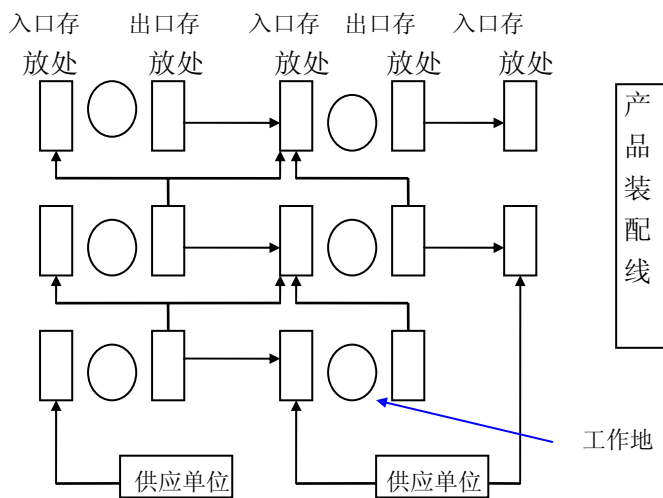


图 17-4 JIT的设备布置

(一) 看板

看板分两种，即传送看板和生产看板。传送看板用于指挥零件在前后两道工序之间移动。当放置零件的容器从上道工序的出口存放处运到下道工序的入口存放处时，传送看板就附在容器上。当下道工序开始使用其入口存放处容器中的零件时，传送看板就被取下，放在看板盒中。当下道工序需要补充零件时，传送看板就被送到上道工序的出口存放处相应的容器上，同时将该容器上的生产看板取下，放在生产看板盒中。可见，传送看板只是在上道工序的出口存放处与下道工序的入口存放处之间往返运动。

每一个传送看板只对应一种零件。由于一种零件总是存放在一定的标准容器内，所以，一个传送看板对应的容器也是一定的。

传送看板通常包括以下信息：

零件号

容器容量

看板号(如：发出 5 张的第 3 号)

供方工作地号

供方工作地出口存放处号

需方工作地号

需方工作地入口存放处号

典型的传送看板如图17—5所示。

从供方工作地： 38# 油漆	零件号： A435 油 箱 座	到需方工作地： 3# 装配
出口存放处号 №. 38-6	容器： 2 型(黄色) 每一容器容量： 20 件	入口存放处号 №. 3-1
	看板号： 3 号(共发出 5 张)	

图17-5 典型的移动看板

生产看板用于指挥工作地的生产，它规定了所生产的零件及其数量。它只在工作地和它的出口存放处之间往返。当需方工作地转来的传送看板与供方工作地出口存放处容器上的生产看板对上号时，生产看板就被取下，放入生产看板盒内。该容器(放满零件)连同传送看板一起被送到需方工作地的入口存放处。工人按顺序从生产看板盒内取走生产看板，并按生产看板的规定，从该工作地的入口存放处取出要加工的零件，加工完规定的数量之后，将生产看板挂到容器上。

每一个生产看板通常包括以下信息：

要生产的零件号；容器的容量；供方工作地号；供方工作地出口存放处号；看板号(如：发出4张的第1号)。

所需的物料：

所需零件的简明材料清单；

供给零件的出口存放处位置；

其它信息。如所需工具等。

典型的生产看板如图17—6所示。

工作地号：38#油漆 零件号：A435油箱座 放于出口存放处：№38-6 所需物料：5#漆，黑色 放于：压制车间21-11号储藏室

图17-6 典型的生产看板

(二) 用看板组织生产的过程

图17-7表示用看板组织生产的过程。为简化起见，假设只有3个工作地，其中3号工作地为装配。对于装配工作地，可能有很多工作地向它提供零件，因而它的入口存放处会有很多容器，存放着各种零件。

产品装配是按装配计划进行的。当需要装配某台产品时，3号工作地就发出传送看板，按传送看板规定的供方工作地及出口存放处号，找到存放所需零件的容器。将容器上挂着的生产看板取下，放到2号工作地的生产看板盒中，并将传送看板挂到该容器上，将容器运

到3号工作地的入口存放处相应的位置，供装配使用。2号工作地的工人从生产看板盒中取出一个生产看板，按生产看板的规定，到2号工作地的入口存放处找到放置所需零件的容器，从中取出零件进行加工。同时将该容器上的传送看板放入2号工作地的传送看板盒中。当生产的数量达到标准容器的要求，则将该生产看板挂到该容器上，将容器放于2号工作地的出口存放处规定的位置。同样，将2号工作地的传送看板送到1号工作地的出口存放处，取走相应的零件。按同样的方式，逐步向前推进，直到原材料或其它外购件的供应地点。

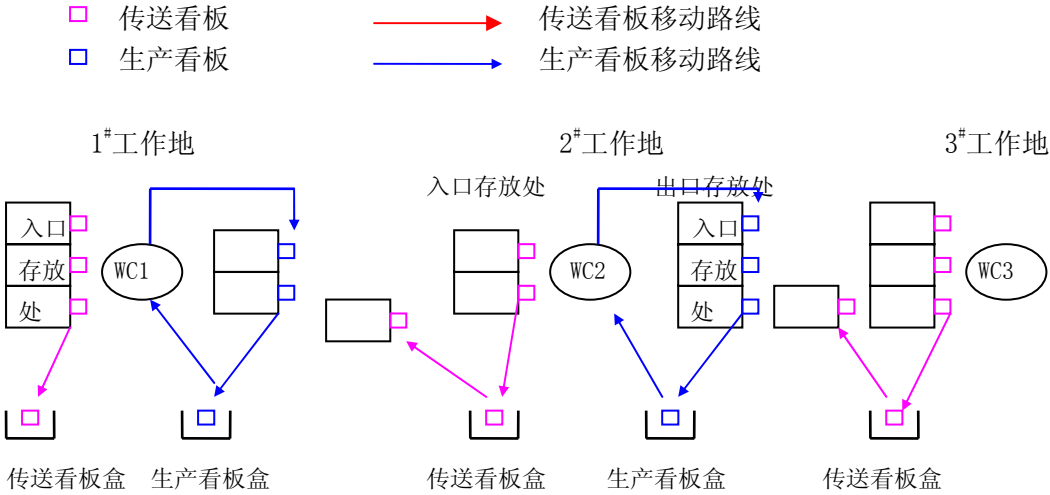


图17-7 用看板组织生产的过程

图17-8表示用看板控制从供应商到产品发运的全过程。

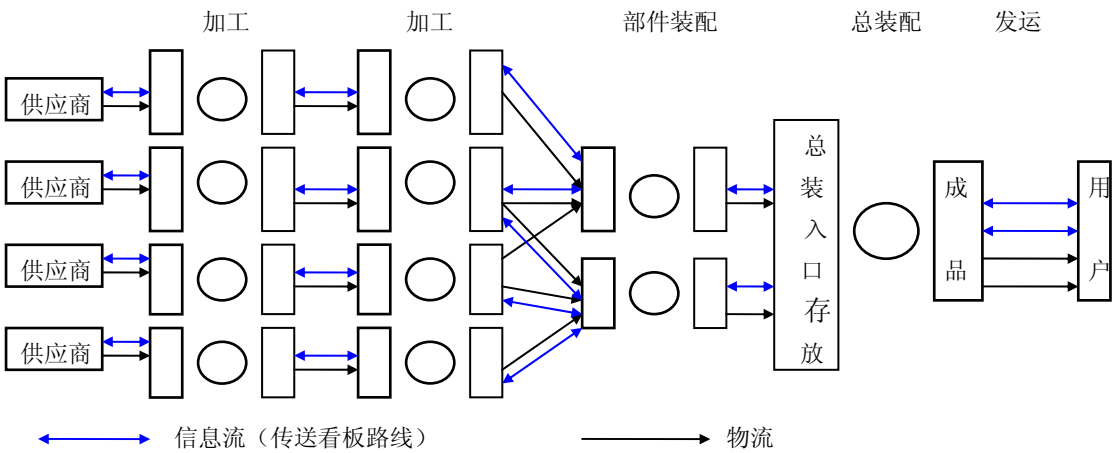


图17-8 用看板控制物流的全过程

（三）需要多少看板

实行看板管理需要确定发出的看板数量。尽管各个企业的看板系统不同，但计算看板数量的方法却基本一致。可以按下式来计算所需的看板数量N：

$$N = N_m + N_p \tag{17.1}$$

$$N_m = DT_w(1+A_w)/b \quad (17.2)$$

$$N_p = DT_p(1+A_p)/b \quad (17.3)$$

式中,

N_m —— 传送看板数量;

N_p —— 生产看板数量;

D —— 对某零件的日需要量;

b —— 标准容器中放置某种零件的数量;

T_w —— 零件的等待时间(日), 即传送看板的循环时间;

T_p —— 所需的加工时间(日), 即生产看板的循环时间;

A_w —— 等待时间的容差;

A_p —— 加工时间的容差。

其中 A_w 和 A_p 应该尽可能接近于零。

例17.1: 对某零件的日需要量 $D=24000$ 件/天, 标准容器放置该零件数量为 $b=100$ 件/箱, 每天实行一班制, 8小时为一工作日。

$T_w=1$ 小时, $T_p=0.5$ 小时, $A_w=A_p=0.2$, 求所需传送看板数和生产看板数。

$$\text{解: } N_m = \frac{24000}{100} \times \frac{1}{8} (1 + 0.2) = 36 \quad (\text{个})$$

$$N_p = \frac{24000}{100} \times \frac{1}{16} (1 + 0.2) = 18 \quad (\text{个})$$

需要传送看板36个, 生产看板18个。

由式(17.2)和(17.3)可以看出, 工件等待时间越长, 所需传送看板的数量越多; 同样, 生产时间越长, 则所需的生产看板数量越多。

反过来, 如果我们要缩短工件等待时间和加工时间, 可以通过减少发出的看板数。当然, 减少看板数并不能直接缩短工件的等待时间和加工时间, 只能暴露出生产管理中的问题。让人们看到, 究竟是什么原因使得工作等待时间和加工时间不能进一步缩短, 从而采取措施, 改进管理。

当零件在两个工作地之间传递时, 如果只有一个用户(下道工序), 则只需一组移动看板; 如果有多个用户, 则需多组传送看板。

如果只需要计算看板总数 N , 则可按下式计算:

$$N = D(T_w + T_p)(1 + A)/b$$

式中, $1+A = \frac{\text{传送看板数} + \text{生产看板数}}{\text{不考虑容差的看板总数}}$; A 为总的时间容差, 其余符号意义同前。

(四) 看板管理的主要工作规则 使用看板的规则很简单, 但执行必须严格。

① 无论是生产看板还是传送看板, 在使用时, 必须附在装有零件的容器上。

② 必须由需方到供方工作地凭传送看板提取零件或者由需方向供方发出信号, 供方凭传送看板转送零件。总之, 要按需方的要求传送零件, 没有传送看板不得传送零件。

③ 要使用标准容器, 不许使用非标准容器或者虽使用标准容器但不按标准数量放入。这样做可减少搬运与点数的时间, 并可防止损伤零件。

④ 当从生产看板盒中取出一个生产看板时, 只生产一个标准容器所容纳数量的零件。当标准容器装满时, 一定要将生产看板附在标准容器上, 放置到出口存放处。且按照看板

出现的先后顺序进行生产。

⑤ 次品不交给下道工序。出现次品本来就是浪费，如果把次品交给下道工序，不仅会造成新的浪费，而且会影响整个生产线的工作。所以，在严格控制次品发生的同时，还必须严禁次品进入下道工序。

按照这些规则，就会形成一个十分简单的牵引式系统。每道工序都为下道工序准时提供所需的零件，每个工作地都可以在需要的时候从其上道工序得到所需的零件。使物料从原材料到最终装配同步进行。做到这一点就可以消除人们的紧张心理，避免零件囤积造成的浪费。

四、准时生产的实现

用看板组织生产的过程表明，有两个存放在制品的地方：上道工序的出口存放处和下道工序的入口存放处。这两处在制品数越少，则生产的准时性就越好。每减少一次在制品，都要大大改进各方面的管理，都要付出极大的努力。至于减少原材料和外购件库存，还与供应厂家有关，更是不易做到。但是，只要初步实现了按牵引方式组织生产，就到达了进入准时生产的一个起始点。从这里开始，就可以沿着JIT方式指引的方向不断改进。

实际上，大多数在制品存放在出口存放处，出口存放处的在制品数量可按发出的生产看板数计算，因为生产看板挂在出口存放处的容器上。当传送看板附在容器上时，则容器不是处于搬运过程中，就是放在入口存放处。于是，可以用发出的传送看板数来计算处于搬运过程和入口存放处的在制品数量。因此，控制看板的发出数量就控制了工序间的在制品的数量。

通常，可以用下述方法来控制与调整在制品的数量：

① 在固定生产作业计划期的期初发出看板。固定生产作业计划期指能将生产作业计划确定下来不再改变的时间范围，它取决于各个企业所处的条件，一般为10-30天。

② 减少超过维持前后工序不平衡的在制品所对应的看板数。

③ 减少看板，如出现问题，则找出原因。当需要找出某一工作地生产上存在的问题时，则减少发出的生产看板数；当需要找出物料搬运方面以及需方工作地存在的问题，则减少发出的传送看板数。

④ 生产中的问题有些是可以预先发现的，有些则只有通过减少在制品库存的方法才能发现。

⑤ 要让每一个人，从工人到管理人员，都动脑筋想办法来解决发现的问题。比如，让大家思考有无新的主意来减少调整准备时间？更换机器或采用预防维修可否减少停机时间？如何更好地实现生产率与需求率之间的平衡？等等。

⑥ 采用最简单易行的、花费最少的方法使生产在新的低库存水平下运行。

⑦ 当在较低库存水平下生产能够平稳地运行时，再减少一些看板。

⑧ 重复以上过程，直至不需要看板，就实现了准时生产。

这是一个无止境的改善过程。在这个过程中，要使问题摆在每个人的面前，让大家想办法解决。这个过程是不断收紧的过程，它使人们永远不会自满，永远不会不面临新的问题。这正是JIT的实质所在。

第三节 组织准时生产的条件

JIT要求做到生产平准化(Level Production)。所谓平准化，就是要求物料流的运动完全与市场需求同步，即从采购、生产到发货各个阶段的任何一个环节都要与市场合拍。实

现平准化生产，才能减少以至消除原材料、外购件、在制品与成品的库存。在前一节，我们讨论了如何不断减少在制品库存的问题。要实现JIT，还要不断减少成品库存和原材料库存。本节将要讨论如何通过混流生产来减少成品库存，通过准时采购来减少原材料和外购件库存，并讨论组织JIT的其它条件。显然，要做到各个阶段供给与需求完全同步，是十分困难的。平准化是一种理想状态，要接近这种状态，必须具备以下几个条件：组织混流生产；减少调整准备时间；建立JIT制造单元；准时采购；从根源上保证质量。

一、组织混流生产

混流生产是为适应外部市场变化和企业内部组织生产的要求提出的。欲使企业生产系统在品种和产量的调整上，象通过变阻器调整电阻那样方便灵活，实际上是做不到的。但如果企业能够实现混流生产，就可以在满足市场不断变化需求的同时，使成品库存大大减少。

例如，按市场需求，某厂三月份要生产A，B，C，D 4种产品，每种产品的月产量分别为：A 400台；B 300台；C 200台；D 100台。总共1000台。该月有25个工作日。

对于这个例子，可以在一个月内每种产品各生产一次，也可以生产多次。当每种产品各生产一次时，可以先生产A产品400台，然后生产B产品300台，再生产C产品200台，最后生产D产品100台。这是一种扩大批量的组织生产的方法，它可以节省调整准备时间。但是，市场需求情况一般不是这样的。由于一个企业的产品一般都有多个用户，每个用户对产品的品种、规格、型号、式样以至色泽的要求不同，要求交货的具体时间也不相同。按照需求的这种特征，企业应该在尽可能短的时间内(比如一天)提供尽可能多的品种。扩大批量的方法势必造成一部分产品一时供大于求，销售不出去，造成积压。同时，另一部分产品一时生产不出来，供不应求，发生缺货。这两种情况都造成损失和浪费，使企业丧失销售时机，失去市场。另外，从企业内部组织生产来看，批量大固然给组织生产带来一定方便，但会造成资源浪费。由于面临多品种生产，企业必然配备多种设备与多种技能的工人，准备多种原材料。如果一段时间只生产一种产品，会造成忙闲不均。在生产某一种产品时，可能一部分车间和设备超负荷运行，部分工人加班加点，“熬红了眼”，某些原材料和外购件一时供应不上。相反，另一部分车间和设备负荷不足，甚至空闲，工人无事可干，“坐红了屁股”，某些原材料和外购件暂时积压，造成浪费。过了一段时间，生产另一种产品时，闲的可能变忙，忙的可能变闲。这样势必造成浪费。

如果减少批量，每天生产A产品16台，B产品12台，C产品8台，D产品4台。一个月25天重复25次，情况就会好得多。对于顾客来讲，无论需要哪种产品，每天都可以得到，产品积压与短缺的情况将大大减少，企业内部资源利用情况也将好得多。但是，月生产频率为25，调整准备时间为原生产安排(月生产频率为1)的25倍。要避免这种损失，就要设法减少每次调整准备时间。如果每次调整准备时间降为原来的1/25，则可以补偿这种损失。

进一步扩大生产频率，可以做到按“AAAA-BBB-CC-D”这样的顺序轮番生产，1/4个工作日重复一次，一个月重复100次。这样，对顾客的服务与对企业资源的利用情况就更好。当然，总的调整准备时间将更多。

这样改进下去，可以达到一个极限，即按“A-B-C-A-B-C-A-B-A-D”这样的顺序重复生产，这就达到了理想的情况，实现了混流生产。虽然仍然是1/4个工作日重复一次这个循环，但生产频率更大了。A产品每月重复生产400次，B产品重复300次，C产品重复200次，D产品重复100次。它可以保证每隔26.2分钟向顾客提供一台A产品，每隔35分钟提供一台B产品，每隔52.5分钟提供一台C产品，每隔105分钟提供一台D产品。

象这样减少批量，扩大生产频率，不仅提高了对顾客的服务水平，改进了制造资源的

利用，而且还有以下好处：

(1) 使工人更容易熟练。按扩大批量的做法，工人干完400台A产品之后，再生产300台B产品，然后再生产200台C产品，最后生产100台D产品，每个月只重复一次。由于相隔时间长，可能在生产D产品时，对A产品的制作过程和方法已不太熟悉，甚至忘了。相反，按扩大频率，减少批量的方法，工人每天都在重复生产不同的产品，会对几种产品的操作越来越熟练。熟练有助于提高效率。

(2) 提高了对需求的响应性。当生产频率为1时，可能某顾客恰恰在400件A产品生产完之后来订A产品，若没有存货，则该顾客要等到下个月再生产A产品时才能得到满足。相反，生产频率为100时，物流大大改善，顾客几乎随时都可以得到不同的产品。

(3) 降低了库存。在制品库存量与生产批量成正比，当生产批量每减少1/2，在制品库存量就降低一半。成品库存也将大量减少，对于随时可得到货的高频率生产，没有必要专门设置一定的成品库存。

(4) 缩短了每台产品的制造周期。批量生产加长了毛坯准备周期，零件加工周期和产品装配周期。批量越小，则每台产品的制造周期越短。

二、减少调整准备时间

如果机器的调整准备时间不能压缩，则扩大生产频率会使调整准备占用的时间大大增加，这是不合算的。减少调整准备时间使生产系统具有柔性，使它能够非常快地从生产一种产品转向生产另一种产品，从加工一种零件转向加工另一种零件。

从广义上讲，要缩短从生产一种产品到生产另一种产品的转换时间应该包括生产技术准备时间。缩短调整准备时间，就要求快速设计、试制出新产品，快速编制工艺，设计工艺装备，快速制造工艺装备，准备原材料及毛坯，尤其是大型铸锻件。从狭义上讲，调整准备时间是指机器从加工一种零件到加工另一种零件的转换时间。本文主要从狭义上讲柔性。

(一) 如何提高生产系统的柔性

要提高生产系统的柔性可以从两个方向努力：一是改变劳动工具，二是改变劳动对象。劳动工具包括机器设备，工夹模具等，劳动对象则是各种物料。

改变劳动工具主要是购置具有柔性的加工设备，如数控机床，加工中心，柔性制造单元等。也包括改造现有的设备和工艺装备，使其在加工不同零件时能快速调整。

改变劳动对象主要是从不同产品中找出设计属性和制造属性相似的零件，将相似零件分类归族。同一族零件由于制造工艺相似，可以用构成一个生产单元的一组机器来加工。由于一族零件相似，其加工中的转换时间可以大大减少。从而提高生产系统的柔性。这就是成组技术的思想。

两种途径都可以使生产系统的柔性提高，但它们并非互不相容。恰恰相反，只有将这两种途径互相结合，互相渗透，才能更有效地提高生产系统的柔性。

通过改造现有的设备和工艺装备来提高生产系统的柔性，是一种值得推广的方法。只要能完成既定的加工任务，机器越简单越好。复杂的机器不仅价格昂贵，而且由于组成它的元件多，可靠性也低。很多普通设备和工艺装备，经过改造是可以缩短调整准备时间的。

(二) 减少调整准备时间的办法

从泰罗和吉尔布雷斯夫妇开始，工业工程师们曾对如何缩短加工时间进行了很多研究，从机器和工具的改造，到工人操作的简化，都做出了卓有成效的努力。用同样的方法来研究如何缩短调整准备时间，也会取得显著的效果。

通常，可以采用以下方法来减少调整准备时间。

(1) 尽可能在机器运行时进行调整准备 机器正在加工零件A，接着要加工零件B。在A加工时，就可为加工B作准备。将加工B所需的工、夹、模具和机器附件准备好，在一定位置上摆放整齐。就象外科医生做手术前一样，作好一切准备工作。当机器加工完零件A，马上就可以拆卸加工A所需的工夹模具，换上加工B所需的工艺装备。为了使工人在作准备时不忘记任何一件需要进行的工作，可以将加工一定零件的准备工作内容写成条文，并经过一段时间的实践后使其完善。

采用这样的方法，可使机器停止运行的时间减到最少。这种方法虽然简单，但效果十分显著。按照日本一些企业的经验，采用这种方法可使调整准备时间减少50%。

(2) 尽可能消除停机时的调整时间 停机时要更换工艺装备及机床附件，其中用于调整工艺装备及机床的时间往往占了一大部分。如果从调整方法上改进，又可减少余下调整准备时间的50%。经验表明，对工艺装备进行改进有可能消除大部分定位的时间。

(3) 进行人员培训 当企业推行平准化生产时，工人的工作将主要是进行工件转换过程的调整准备。因此，要对工人进行从事调整准备工作的训练，如同以前对工人进行操作训练一样。应该象训练消防队员那样训练工人，使他们能够在一个工件加工完之后，象扑灭火灾那样迅速动作，在极短的时间内完成调整准备工作。

(4) 对设备和工艺装备进行改造 要了解每台设备的工作范围是什么，按其工作范围来研究简化调整准备工作的方法。尽管两台设备相同，其工作范围也不一定相同。只有了解设备的工作范围，才能有的放矢地进行改进。在做这项工作时，还需要了解工厂的有关规划与打算，了解产品的变化，工艺的改进等，以免浪费时间与精力。

要仔细研究现有的调整准备方法，找出其不合理之处。

三、建立JIT制造单元

实行JIT的第一步是“把库房搬到厂房里”，大大小小的入口存放处和出口存放处，就象大大小小的库房。“把库房搬到厂房里”的目的是使问题明显化。工人看到他们加工的零件还没有为下道工序所使用时，就不会盲目生产；也只有看到哪种零件即将使用完时，才会自觉地生产。第二步是不断减少工序间的在制品库存，“使库房逐渐消失在厂房中”，实现准时生产。

为了推行JIT，需要对车间进行重新布置与整理，实行定置管理。要依据所生产的产品和零件的种类，将设备重新排列，使每个零件从投料、加工到完工都有一条明确的流动路线。零件存放到车间会带来一些问题。如果零件杂乱无章地堆放，需要时难以找到，就会造成生产中断，甚至引起安全事故。因此，所有零件必须放在确定的位置上，并要用不同的颜色作出明显的标记。要及时消除一切不需要的东西，创造一个整洁的环境。

要开展“5S”活动。5S是指整理(Settle)、整顿(Straighten)、清扫(Scavenge)、清洁(Sanitary)和素养(Schooling)。整理是区分要与不要，将不需要的东西及时清理出现场；整顿是对整理后需要的物品进行合理摆放；清扫是清除垃圾、油水、杂物、铁屑等；清洁是维持整理、整顿、清扫的状态，使设备、工艺装备、工位器具、零件无污物，环境清洁美化；素养是通过前“4S”，使人们的道德观念和纪律得到加强，做到严格遵守规章制度，尊重他人劳动，养成良好的习惯。

对车间进行重新布置的一个重要内容是建立JIT制造单元。JIT制造单元是按产品对象布置的。一个制造单元配备有各种不同的机床，可以完成一组相似零件的加工。JIT制造单元有两个明显的特征：一是在该制造单元内，零件是一个一个地经过各种机床加工的，而不是象一般制造单元那样一批一批地在机床间移动。在单元内，工人随着零件走，从零件

进入单元到加工完离开单元，始终是一个工人操作。工人不是固定在某台设备上，而是逐次操作多台不同的机器，这与一般的多机床操作不同。一般的多机床操作通常是由一个工人操作多台相同的机器。二是JIT制造单元具有很大的柔性，它可以通过调整单元内的工人数使单元的生产率与整个生产系统保持一致。

JIT制造单元一般采用“U”型布置，如图17-9所示。“U”型布置使工人能集中在一起，增加了工人之间接触的机会，形成一个集体，也使工人在转换机器时行走路线较短。如果采用直线布置，工人从机器1到机器9将行走较长距离。而采用U型布置，转过身来就行了。

可以把JIT制造单元看作是一个同时可供多个工人进行多道工序加工的机器，一个单元只需设置一个入口存放处和一个出口存放处，不必为每台机器单独设置入口存放处和出口存放处。

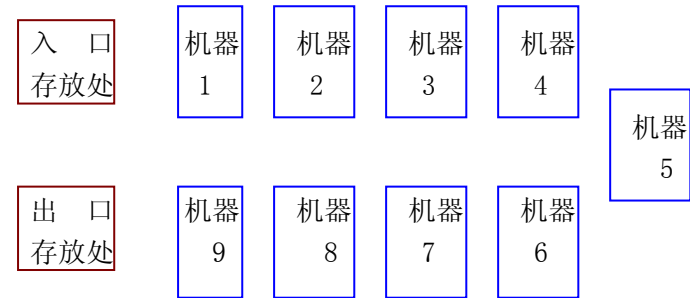


图 17-9 采用“U”型布置的制造单元

为了维持制造单元的生产率与产品装配的生产率一致，保证同步生产，要使单元的固定生产能力有富余，机器设备数按最高负荷配置。当生产率改变时，只要调整制造单元的工人数量就可以满足需要。JIT有一条重要的原则，认为工人是最重要的资源，劳动力的闲置是最大的浪费。因此，每当生产节拍改变，都要调整工人的数量，使每个工人都有较满的工作负荷。调整工人人数比改变机床数要容易得多，也迅速得多，这使得制造单元具有很大的柔性。由于工人具有多种操作技能，一个制造单元的多余工人可以安排到另一个任务较重的制造单元中去工作，从而使劳动力得到合理而充分的利用。

四、准时采购

推行JIT，除了消除在制品库存和成品库存之外，还要消除原材料和外购件的库存。消除原材料与外购件库存，要比消除工序间在制品库存还要困难，因为它不仅取决于企业内部，还取决于供应厂家。然而，由于原材料和外购件占有大量资金，不消除这种浪费，推行JIT的效果就不会好。因此，必须消除采购过程中的浪费。

采购中有大量活动是不增加产品价值的。订货、修改订货、收货、开票、装卸、运输、质量检查、入库、点数、运转、送货等等，都不增加产品的价值。准时采购的目的就是要消除这些浪费，消除原材料与外购件的库存。

如何消除这些浪费?应该先从供货质量抓起。如果供货质量可以保证，就可以取消购入检查。有人认为取消购入检查会增加风险，实际上，推行JIT减少了质量不合格的风险。

要消除采购中的浪费，就应该选择尽量少的、合格的供应厂家。要同供应厂家建立新型的关系。这种关系应该是长期的、互利的。因为只有建立长期的关系，才能解决供货质量问题；只有双方都有利，才能建立长期合作关系。合格的供应厂家具有较好的设备、技

术条件和较好的管理水平，可以保证准时供货，保证质量。选择尽量少的供应厂家，是因为企业的力量和资源有限，只能帮助较少的供应厂家去消除浪费，组织好准时生产。面对成千个供应厂家，企业是无计可施的。

在选择供应厂家时，要考虑5个因素：质量、合作的愿望、技术上的竞争力、地理位置和价格。把价格放到最后，并非价格不重要，而是当前4个条件具备时，才谈得上讨论价格。而且在多数情况下，前4个因素较好的供应厂家，价格也可能是较低的。即使不是这样，双方建立起合作关系之后，企业可以帮助供应厂家实施JIT，找出降低成本的方法，使价格降下来。当建立了良好的合作关系之后，很多工作可以简化，以至消除，如订货、修改订货、质量检查等等，从而减少浪费。

美国Xerox公司在实行准时采购上取得了成效。1980年，该公司有5000家供应厂家。经过筛选，到1985年降为300个供应厂家，到1987年初降为260个供应厂家，该公司准备继续减少供应厂家的数字。经过几年的努力，到1985年该公司对3/4的厂家提供的物资取消了购入检查，这3/4的厂家提供的物资牵涉到该公司90%的产品。1985年，该公司挑选了25个质量合格且距公司不超过40英里的供应厂家进行准时采购的试验。公司每天用卡车从这25个厂家运来一天所必需消耗的物资，使原材料和外购件库存大为减少。由于这25个厂家的质量有保证，取消了购入检查。运货卡车直接将所需的物资运到需要的地方，消除了收货、装卸、入库等一系列环节，减少了浪费，并使库房成为多余的东西。该公司还采用一种能回用的塑料容器代替以往用过就扔的包装物。这种塑料容器还起着看板的作用，当它们送到供应厂家时，就起着订单的作用，从而取消了订货手续。

Xerox公司实行准时采购使原材料与外购件库存大幅度下降，并使采购物资的价格下降了40-50%，这是准时采购带来的效果。

五、从根源上保证质量

质量是实行JIT的保证，不从根本上保证质量，则不可能成功地实行JIT。当需要一件才生产一件时，如果某道工序出了废品，则后续工序将没有输入，会立即停工。所有上游工序都必须补充生产一件，这样就完全打乱了生产节拍。要实行JIT，必须消除不合格品。

传统的质量管理的方法是：加工零件或生产产品 — 检查 — 挑出合格品或合格批 — 交给用户。对于能返修的不合格品要进行返修，或降级使用；对于不能返修的不合格品，则报废。这种方法主要依靠事后把关来保证质量。其实，经检查确定的合格品或合格批，也不能保证百分之百合格。因为错检或漏检时有发生，且采用抽样检查得出的合格批中一定包含一定数量的不合格品。

与传统质量管理不同，全面质量管理强调事前预防不合格品的发生，要从操作者、机器、工具、材料和工艺过程等方面保证不出现不合格品。它的座右铭是：开始就把必要的工作做正确。强调从根源上保证质量。

JIT给全面质量管理增加了新的特色。它使“必要的工作”这一模糊的概念变得十分清楚，大大提高了质量管理的有效性。“必要的工作”是指那些增加价值的活动。不增加价值的活动是应该消除的，把不增加价值的工作做得再正确也是不必要的，也是浪费。

使质量管理工作从事后把关变成事前预防，要经过三个步骤：正确地规定质量标准，使工艺过程得到控制和维持这种控制。

产品是为用户所用的，产品能够满足用户的需要，才达到了质量标准。因此，应该将用户的要求作出明确规定，将其作为产品质量的标准。

有两种用户。一种是企业外部的用户，他们是企业产品的最终消费者；另一种是企业内部的用户。每一个生产阶段，每一道工序都是前一生产阶段，前一道工序的用户。全面

质量管理不仅要规定外部用户对质量的要求，而且要规定内部用户对质量的要求，不仅要对外部用户提供符合要求的产品，而且要对内部用户提供符合要求的在制品。

要使工艺过程得到控制，需要做好两件事。一是操作工人的参与，二是要解决问题。操作工人的参与对于工序质量控制至关重要。工人在操作过程中要收集必要的数 据，发现问题，实行自检。解决问题要采取正确的方式，正确的方式要求采用必要的诊断方法找出影响质量的根本原因。是否找出根本原因有一个标准可衡量：该问题是否重复出现。如果没找到根本原因，不采取措施消除产生该种质量问题的根本原因，则这种质量问题一定会再现。错误的方式就是“有病乱投医”。只求解决质量问题，将能采用的方法都用上，不管是什么办法真正起作用。结果，问题还可能出现。即使问题不再出现，也不知是什么办法使之不再现。

一旦工艺过程处于控制状态，就要维持这种控制状态，才能保证质量。维持控制状态可以采用3种方法：操作者的更多的参与，统计过程控制和防错。

要使操作工人参加维持控制状态的活动，首先要使他们了解下道工序的要求。其次要有反馈机制，通过控制图使工人了解工序是否处于控制状态。第三要使工人懂得如何采取行动，纠正所出现的偏差。

统计过程控制基本上是一种反馈控制机制，即通过过去的信息去控制将来的操作。反馈控制对JIT是不够的，应该采取事前控制，即当缺陷出现之前就采取行动，防止缺陷出现。统计过程控制方法一般适用于可以定量的场合，如长度、直径、重量、数量等等。但工序控制中有更多的因素是非定量的。比如机器运转的声音，环境的污染，不正确的设备调整和误操作等等，是不能用统计方法进行控制的。这就需要防错的方法。

试验证明，当正确的操作方法与错误的操作方法一样容易做的时候，人们总是选择正确的操作方法。防错方法的实质就是要使正确的操作容易做，而错误的操作难以做或者不能做。例如，设计一种工艺装备，当它安装得不正确时，它会使机器不能运转。这就保证工装的安装错误不致影响加工质量。防错方法不仅可用于工序质量控制，而且可用于检查 and 产品设计。防错方法与统计过程控制方法同样重要。

如前所述，JIT需要全面质量管理的支持，质量是实行JIT的保证。反过来，JIT可以促进质量的提高。

对于传统的生产方式，一道工序往往持续数周加工一种零件，等到下道工序加工这种零件时，发现有质量问题，则已造成很大损失，要返修或报废一大批零件。同时，事隔数周，该工序的工人已经加工其它零件，他已记不起究竟是哪方面的操作出了问题，也难以找出产品质量问题的根本原因。

实行JIT，需要一件才生产一件，当加工过程出现问题时，可以立即得到反馈信息，立即采取纠正措施。下道工序是上道工序的用户，是上道工序质量最权威的检验者，而且实行的不是抽检，是100%的检查。这不仅取消了工序间的专职检查，消除了这一不增加价值的活动，而且更彻底地保证了质量。

另外，当某道工序出现质量问题时，生产就会自动停下来，这种压力迫使每个操作者保证质量，也可以防止继续生产废品，有利于找出问题的根本原因。

在开始实行JIT时，不可能使工艺过程得到完全的控制，因而不可能消除不合格品，但是，一定要做到有预计性，预见要出多少不合格品。要使生产过程有预见性，其中很重要的一条是保证设备的可靠性，要保持设备处于可用状态，保证设备在运行中不发生故障。为此，要对设备进行全面生产维修(Total Productive Maintenance)。

其中，预防维修在实行JIT时是很重要的。日本一些企业，两个工作班之间一般有2-3小时间隔，这个时间正好用来进行预防维修。如同一列火车到站，一架飞机降落到机场上一样，为保证安全运行与飞行，要进行检修。

第四节 精细生产

精细生产（Lean Production, LP）是美国麻省理工学院国际汽车项目组（International Motor Vehicle Program, IMVP）的研究者John Krafoik给日本汽车工业的生产方式起的名称。之所以用“Lean”这个词，是因为与大量生产相比，LP只需要一半的人员，一半的生产场地，一半的投资，一半工程设计时间，一半新产品开发时间和少得多的库存，就能生产质量更高、品种更多的产品。

精细生产既是一种原理，又是一种新的生产方式。它是继大量生产（Mass Production, MP）方式之后，对人类社会和人们的生活方式影响最大的一种生产方式，是新时代工业化的象征，它将改变整个世界。

本节将对精细生产的起源进行介绍，对精细生产基本思想和主要的内容进行探讨。

一、精细生产的起源

精细生产起源于日本丰田汽车公司。但是，它的出现不是偶然的。精细生产有其深刻的历史渊源。为了说明精细生产的起源，先要从大量生产谈起。

（一）从手工生产到大量生产

（1）手工生产方式 19世纪末，法国巴黎 Panhard-Levassor（P & L）机床公司开始制造汽车，它采用的是一种典型手工生产方式。

工人都是熟练的技术工人，他们不仅懂机械设计和材料，而且具有高超的操作技术。他们与P & L公司签订合同，在手工工场独立地完成产品设计和制作。P & L公司完全按顾客的要求生产汽车。因此，几乎没有两辆车是相同的。零件由不同的工人制造，各种零件形状与尺寸都有差异，在装配汽车时只能对零件进行选配。这样制作的汽车成本很高，且易出故障。但由于顾客是富翁，他们并不关心成本、驾驶与维修，他们所关心的只是气派、速度和自己独特的风格。

手工生产方式的特点是：工人以师傅带徒弟的方式培养，具有高超技术；组织分散，产品设计和零件制造分散，使用通用机器，实行单件生产。

（2）大量生产方式的兴起 1908年，亨利·福特推出了他的T型车。该车驾驶和修理都比较方便，不用专门的司机和机械师。福特设想象生产别针和火柴那样生产T型车，以使劳动生产率大幅度提高，成本大幅度降低。

进行大量生产的技术关键是零件的互换性和装配的简单化。零件具有互换性才能使任何地方任何人加工的零件都能装配到一起。这样，可实行更广泛的分工。装配简单化则不需全能的装配工，也大大节省了装配时间。零件互换性和装配的简化是采用装配生产线的前提条件。

按照福特提出的“单一产品原理”，只生产T型车一种车型。由于车型固定，零件可做到标准化。专门生产一定种类的零部件，可采用专用高效的机器设备。细划工序使工人只完成一、二道简单工序，操作可以标准化。操作时间短，加快了产品出产的节拍。另外，使用传送带，使每个工件按固定的节拍从一道工序流向另一道工序，工人不能随意地多干或少干，保证了生产过程总体上的优化。

实行大量生产的结果，生产率大幅度提高。1908年，514分钟（8.56小时）生产一辆车。1913年，2.3分钟生产一辆车。1914年，实行流水线生产后，只要1.19分钟就生产一辆车。随着产量提高，成本大幅度下降。T型车刚出现的1908年，售价850美元一辆。到了1926年，仅290美元一辆，几乎人人都买得起。

由于分工精细、操作简化，工人只需几分钟训练，就能上装配线干活。工人甚至语言不通，也能共同制造汽车。这是由于工业工程师对生产组织及设备安排进行了精心设计。操作简化使非熟练工人找到了工作，同时也使人们从此陷入一种单调乏味的生活。

在生产组织上，福特最初从其它公司购买发动机、底盘和其它一些零件，然后组装成汽车。后来，全部零件都自己生产。其原因是其它公司未实行大量生产，成本太高，公差太大，交货不及时。

福特在不同国家和地区建立了生产不同型号汽车的工厂，但每个工厂只生产一种车型，他的思想是，通过以标准形式生产产品，能极大地降低成本，从而使得公众富裕。

随着大量生产方式在全世界的广泛传播和应用，一些小的汽车公司被淘汰、被兼并。在美国，原来有100多家汽车公司，到后来只剩12家，其中最强的三家（通用、福特和克莱斯勒）占全部销售额的95%。

福特的大量生产方式使美国的劳动生产率大大提高，使美国成为世界上经济最发达的国家，也改变了美国人的生活方式。

（二）从大量生产到精细生产

（1）大量生产方式的衰落 第一次世界大战后，以美国企业为代表的大量生产方式逐步取代了以欧洲企业为代表的手工生产方式；第二次世界大战之后，以日本企业为代表的精细生产方式又逐步取代大量生产方式。看来，任何一种生产方式都不可能是万古长青的，都有一个产生、发展与衰退的过程。因为任何一种生产方式有其优点，也有其缺陷。当社会发展到具备使其优势得以充分发挥的条件时，一种生产方式就占统治地位；当条件发生了变化，其优势得不到发挥或得不到充分发挥，而缺陷成为主要问题时，这种生产方式就衰退。发展是螺旋式上升，大量生产方式否定了手工生产方式，精细生产方式又否定了大量生产方式。

福特的大量生产有一个根本的缺陷，那就是缺乏适应品种变化的能力，即缺乏柔性。亨利·福特因创造了大量生产而成为“汽车大王”。但是，后来正是由于他顽固坚持生产T型车一个车型，而使他的公司陷入困境。

消费者一般先要解决“有没有”的问题。当“有没有”的问题解决之后，紧接着要解决“好不好”的问题。当福特汽车公司推出T型车时，正好适应了当时一般人的要求：要拥有一辆车，只要价廉、耐用就行。当这个要求满足之后，人们就要追求式样美观、舒适、省油等，即使价格高一点也不在乎。这时，朴素、坚固、价廉的T型车就不受欢迎了。

耐人寻味的是，为什么福特汽车公司在长达19年始终生产T型车？除了福特顽固保守，死抱住“单一产品原理”不放之外，还由于他的庞大的专用机器体系完全是为了永远生产T型车而建立的。它没有柔性，不能生产别的车种。改变原有的设备，不仅耗资巨大，而且要停产一年。这是一个不能轻易作出的决策。

虽然在随后50多年，大量生产推广到全世界，并作出了很多改进，但是它的固有缺陷并没有克服。专用、高效、昂贵的机器设备缺乏柔性，使大量生产者拒绝开发新品种。为了使高的固定成本分摊到尽可能多的产品上，生产线不能停工。而为了保证不间断地生产，就需要各种缓冲：过量的库存，过多的供应厂家，过多的工人，过大的生产场地。

这种缺陷在能源紧张、原材料价格上涨、工资提高、消费多样化的时代，显得格外突出。著名的福特汽车公司在80年代初险些破产，只好反过来向过去的学生——日本丰田汽车公司学习精细生产。表17—1引用了IMVP 1989年世界汽车装配厂的统计资料。它充分说明了大量生产的衰落。表中，在日本的日本汽车装配厂是精细生产的代表，欧洲的汽车装配厂是大量生产的代表。北美的美国工厂和日本工厂不同程度实行了精细生产方式。

表17—1 1989年世界汽车装配厂比较（平均值）

地区 比较内容 平均值	在日本的 日本工厂	在北美的 日本工厂	在北美的 美国工厂	欧洲
生产率（小时/辆）	16.8	21.2	25.1	36.2
质量（百辆车装配缺陷）	60.0	65.0	82.3	97.0
生产场地（平方尺/年·辆）	5.7	9.1	7.8	7.8
返修区大小（占装配场地%）	4.1	4.9	12.9	14.4
8种代表零件库存（天数）	0.2	1.6	2.9	2.0
加入工作小组的工人比例（%）	69.3	71.3	17.3	0.6
工作轮换（0—不轮换） （4—常轮换）	3.0	2.7	0.9	1.9
平均每个雇员建议数	61.6	1.4	0.4	0.4
职业等级数	11.9	8.7	67.1	14.8
新工人培训时间（小时）	380.3	370.0	46.4	173.3
缺勤率	5.0	4.8	11.7	12.1
焊接自动化程度（%）	86.2	85	76.2	76.6
油漆自动化程度（%）	54.6	40.7	33.6	38.2
装配自动化程度（%）	1.7	1.1	1.2	3.1

（2）精细生产方式的出现 1950年春天，丰田汽车公司丰田喜一郎到美国仔细参观了福特汽车公司在底特律的 Rouge 工厂。对这个当时世界上最大、最有效率的汽车制造厂，丰田喜一郎发现有改进之处。回到日本之后，经过与生产管理专家大野耐一仔细研究，得出一条重要结论：大量生产方式不适于日本。原因是当时日本经济十分困难，不可能花大量的外汇去购买美国的技术与装备，不可能花巨额投资去建Rouge那样的工厂。当时日本国内市场对汽车的需要量小，需要的汽车品种却相当多，也不可能实行大量生产。受到新劳工法保护，日本老板不能象美国老板那样，把工人当作可互换零件，随时解雇。日本企业也不象美国企业，在大量生产中雇佣大量的移民。

在汽车生产中，需大量的冲压件。冲压件的加工需要在压力机上配备重达数吨的模具。要压制不同的零件需要不同的模具。在美国，更换模具是由专家来做的。换一次模具常常需要1~2天时间。为了提高效率，在西方一些汽车制造厂常常配备数百台压力机，以至于数月甚至数年才更换一次模具。这样大量生产冲压件，在制品库存相当高。而且，一旦工序失控，会大量生产不合格产品，造成大量报废，大量返工。在很多大量生产的工厂，大约有20%的生产面积和25%的工作时间是用来返修产品的。

为了解决换模问题，大野耐一花了十多年时间研究出一种快速换模方法。他利用滚道送进送出模具，采取一种一般操作工人可迅速掌握的调整办法，使换模时间减为3分钟。3分钟换模使加工不同零件与加工相同零件几乎没有什么差别。于是，可以进行多品种小批量生产。这样做的结果，使得每个零件的制造成本比大量生产的还低。原因是，小批生产的结果，使在制品库存大大降低，使加工过程的质量问题可以及时发现，避免了大量生产不合格品和大量返修。而且，一机多用，降低了固定成本。

大量大批生产通过专用机床和专用工艺装备来提高加工的速度和减少调整准备时间，从而实现高效率加工。精细生产突破了“批量小，效率低，成本高”的逻辑，打破了大量生产“提高质量则成本升高”的惯例，使成本更低，质量更高，能生产的品种更多，是一种可以淘汰大量生产的新的生产方式。

（3）三种生产方式的比较 精细生产综合了手工生产方式和大量生产方式的优点，克

服了两者的缺点，使它成为新形势下最有生命力的生产方式。表17-2对三种生产方式作了简明对比。

表17-2 三种生产方式的比较

	手工生产方式	大量生产方式	精细生产方式
产品特点	完全按顾客要求	标准化品种单一	品种规格多样系列
加工设备和工艺装备	通用,灵活,便宜	专用,高效,昂贵	化柔性高,效率高
分工与工作内容	粗略 丰富多样	细致 简单 重复	较粗 多技能 丰富
操作工人	懂设计制造具有高操作技艺	不需专门技能	多技能
库存水平	高	高	低
制造成本	高	低	更低
产品质量	低	高	更高
权力与责任分配	分散	集中	分散

二、精细生产的基本思想

(一)精细生产的基本含义

英文词“Lean”的本意是指人或动物瘦，没有脂肪。译成“精细生产”反映了“Lean”的本意，反映了 Lean Production的实质。日本人工作上追求完美无缺，在制造上讲双“零”：零缺陷和零库存。这就是“精”和“细”，精指质量高，细指库存低。

人有胖瘦之分。胖则脂肪多，而为了支持体内的脂肪，又需要过多的肌肉。多余的脂肪和肌肉对维持人体正常的功能是不必要的。多余的东西造成人体负担过重，移动不灵活。不仅如此，它们还会造成血脂（胆固醇、甘油三脂等）增高，引起动脉粥样硬化，导致心脏负担过重和血栓、出血出现，危害人的生命。因此，为了健康，需要减肥。

企业中的库存如同人体内的脂肪。库存占用生产面积，占用厂房、设备和人员，造成资金大量占用。不仅如此，库存还掩盖了管理中的各种问题，使企业丧失竞争力，甚至导致企业亏损、破产。可见，库存在企业中的作用与脂肪在人体中的作用一样糟糕。

当然，“细”并不完全指库存。从一般意义上讲，精细生产是指对一切资源的占用少，对一切资源的利用率高。资源包括土地、厂房、设备、物料、人员、时间和资金。精细的含义包括质量。质量高的产品在消耗同样多的物化劳动和活劳动的条件下，可以提供更好的功能，更可靠的性能和更长的使用寿命。这实质上是对资源的利用率高。

精细生产是资源稀缺引起的。精细生产的思想早就有了。我国江浙一带，人口稠密，土地资源紧张。只有实行“精耕细作”，充分利用每一寸土地，才能生产足够的粮食和蔬菜，供众多人口消费。“精耕细作”就是农业上的精细生产。

(二)精细生产的基本原理

精细生产的基本原理是：①不断改进;②消除对资源的浪费;③协力工作;④沟通。不断改进是精细生产的指导思想，消除浪费是精细生产的目标，协力工作和沟通是实现精细生产的保证。

(1) 不断改进 改进，就是永远不满足于现状，不断地发现问题，寻找原因，提出改进措施，改变工作方法，使工作质量不断提高。改进与创新，都是进步和提高。改进是渐进式的进步，是细微的改变，其过程是连续的，日积月累，会获得巨大的成功；创新是跃进式的进步，是显著的变化，其过程是不连续的。创新可为少数人所为，改进则必须众人努力。如果创新之后无改进，则实际成果会降低；创新之后继续改进，成果将更大。如图17-10所示。日本人学习美国人提出的全面质量管理，经过改进，后来居上，就是证明。日

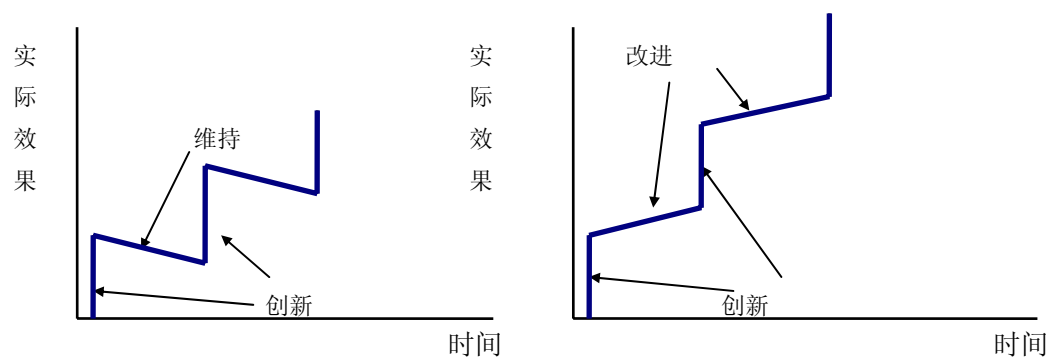


图17-10 “创新+维持”与“创新+改进”的效果比较

本的成功，首先在观念上，就是要进行永无休止的改进。改进是众人之事，是每个职工的责任，应该成为每个职工的指导思想，成为职工生活的一部分。事物是发展变化的，新事物、新问题天天都会出现，任何先进的方法都有缺陷，都有改进的余地。谁能不断改进，谁就能赢得竞争。

(2) 消除浪费 在本章我们给出了浪费的定义。对资源的占用和对资源的利用只能作出相对比较。对于库存和质量可以给出一个绝对的标准：零库存和零缺陷。零是一种极限，可以无限地接近它，但永远不可能达到。工作上没有缺陷，则没有改进的余地。双零使得改进永无止境。只有达到双零，才能说在质量与库存方面完全消除了浪费。

(3) 协力工作(Teamwork) 协力工作是将职业、专长不同的人组织到一起，以小组的形式完成特定任务的工作方式。它是对传统的分工方式的革命。大量生产将分工推向极端，致使每个人只能从事极其简单而专门的工作，极大地妨碍了人的创造力的发挥，使最重要的资源只能发挥简单机械设备所发挥的功能，是对人力资源的一个极大的浪费。

现代社会的一个趋势是走向综合。分工虽然使效率空前提高，但过细的分工也使协调空前复杂。协调的复杂将导致工作效率下降。协力工作将使协调简化。协力工作还可集中不同职业和专长的人的意见，从而提高工作质量和工作效率，使得改进不断进行。操作工人、维修工人、工业工程师、管理人员协力工作，可使生产现场出现的问题迅速解决；设计人员、工艺人员、销售人员和管理人员协力工作，才使并行工程得以实现，才使新产品开发周期大大缩短。要对市场作出快速响应，不仅企业内部要协力工作，本企业还必须与供应厂家、顾客协力工作。

(4) 沟通 人员之间、部门之间、本企业与客户、供应厂之间都需要沟通，及时传递信息，以使相互了解。没有沟通，谈不上协力工作。为此，小组的每个成员都必须了解其它成员的专业和工作内容。这样，才能有共同语言，才能将自己的工作放到全局中去考虑，才能避免片面性。沟通可以面对面进行，也可通过各种通讯手段来实现。现代化的通讯手段是实现组织之间沟通的物质条件。

三、精细生产的主要内容

精细生产的主要内容包括工厂现场管理、新产品开发、与用户的关系、与供应厂家的关系等方面。对于现场管理，即如何通过看板系统来组织生产过程，实现准时生产，我们已在前面作了详细介绍。这里仅对与用户的关系、新产品开发、与供应厂家的关系以及精细企业的概念进行讨论。

(一)与用户的关系

在亨利·福特时代，汽车制造厂与用户不发生直接联系。汽车制造厂将产品批发给很多小的中间商，顾客到中间商那里去购买汽车。为了减少库存资金，制造厂将成品卖给中间商，将收回的资金用于购买原材料和零件。对于某些滞销的产品，则采用搭配的办法，强迫中间商接受。因为小的中间商好比是福特公司的雇工，随时可能被取消资格，它们无力与福特公司抗衡。结果，使制造厂与用户完全隔离。在制造厂内部，产品开发部门不能从销售部门那里得到任何关于用户需求方面的信息，改进产品也就没有依据。中间商只顾多赚钱，没有动因去收集用户的意见。由于供不应求，销售部门成了一个官僚机构，它与中间商形成一种敌对关系。制造厂由于生产单一产品，对用户的特殊要求一概拒之于门外。

亨利·福特这种与用户的关系，提供了一个坏的先例。后来的大量生产企业基本是按这种方式处理与用户的关系的。当前，这种方式面临精细生产方式的挑战，再也维持不下去了。

以丰田汽车公司为代表的精细生产，在处理与用户的关系方面采取了完全不同的态度与做法。“用户至上”、“用户第一”是公司处理与用户关系的指导思想。在这种思想指导下，公司采取了积极主动的态度，搞“主动销售”。他们不是等待用户上门，而是主动上门了解情况，征求意见，搞售前和售后服务。

丰田汽车公司是通过它自己的销售渠道而不是中间商在日本销售它的产品的。销售渠道遍布全国，通过不同渠道销售不同的产品。各销售渠道与产品开发过程紧密联系在一起。在某种新型汽车开发过程中，负责该车销售的销售人员也参加开发小组的工作。

丰田汽车公司重视提高销售人员的素质。销售人员中很多人是大学毕业生，他们一到公司就要参加公司举办的强化培训班，学习产品推销。销售人员组成小组，每天上班下班时都要开小组会，安排检查工作。其余时间小组成员到各自工作的地区，搞上门销售。小组全体成员每月开一天会，系统地研究并解决所遇到的问题。

销售人员在他们所负责的区域将每户家庭的情况都标在图上。定期对用户进行访问，了解各种情况。如，每家有几辆小汽车？使用了几年？谁制造的？性能如何？有多大停车地方？家里有多少小孩？小汽车在家里有哪些用途？何时需买新车？等等。销售小组成员系统地将这些信息转达给产品开发小组。并对新车应该具有哪些性能提出建议。在下次访问这个家庭时，将符合用户要求的车型给用户看。如果用户决定买，销售人员可帮助用户提出订单。

工厂按订单排出生产日程表，并将日程表交给零件供应厂家。日本的工厂能在两周以内将用户所需的汽车交给用户。在西方，起码需6周，甚至长达数月。由于按订单生产，成品一出产就交给用户，成品库存很低。

诚然，搞上门销售比一般推销产品所付出的代价要大，平均每个销售人员每月销售的汽车数也比美国的公司少一些。但是，销售人员及时为产品开发提供大量宝贵的信息，消除了费时的、花费大的、而常常又是不准确的市场评估活动。而且，通过上门销售方式，提供高水平的服务，使用户与生产厂建立了长期相互信任的关系，使新的竞争者难以插足。这也是西方汽车难以进入日本市场的一个重要原因。

(二)新产品开发

不断开发新产品是形成竞争优势的一个主要因素。如何缩短新产品开发周期，是成功推出新产品的关键。美国通用汽车公司开发GM-10新产品，整整花了7年时间。由于开发周期长，新产品不能及时赶上市场的需求，导致新产品销售量只有原计划的60%。与此形成鲜明对照的是日本本田汽车公司，它开发第4代Accord只花了4年时间，一出产便成了最畅销的车型。原因何在呢？因精细生产在产品开发上有4个方面与大量生产不同。

(1)领导 对日本企业，开发新产品小组的负责人，具有很大的权力，他是领导者，而不是一般协调人。小组负责人的位子是一个受人羡慕的职位，容易得到进一步提升。相反，在美国企业，小组负责人没有实权，他的工作只是协调。他要说服来自不同职能部门的小组成员共同工作，这使得他在一个一个问题面前无能为力。

(2)协力工作 在日本企业，为了开发新产品，由项目负责人组织一个小组，小组一直工作到新产品开发完成。小组成员来自不同的职能部门，包括市场评估、生产计划、设计、工艺、生产管理各部门的人员。虽然，小组成员保持与各自的职能部门的联系，但他们的工作完全在项目负责人的控制之下，因工作业绩也由项目负责人考核，项目负责人还可决定小组成员今后能否参加新项目的工作。

相反，在西方一些公司，小组成员只是短期从职能部门借来的。在项目进行过程中，主要任务从一个部门转移到另一个部门，小组成员也在不断变换。由于小组成员只有受到本职能部门领导的重视才能得到提升，他们只能为各职能部门的利益说话，不可能从开发新产品的角度提出建议，也不可能协力工作。

(3)沟通 西方企业在开发新产品时一些重大的决策问题总到最后才决定。原因是小组成员回避矛盾，加上工作是从一个部门到另一个部门序贯地进行，使成员之间沟通非常困难。相反，实行精细生产的日本企业一开始就将小组所有成员召集到一起，发誓要对项目负责。大家互相沟通，将一些重大问题一开始就定下来。虽然随着项目的进行，某些部门（如市场评估和产品计划）的人不必继续参加小组活动，但由于重大问题一开始就决定了，项目也能较顺利地进行。

(4)并行开发 将各部门人员放到一起可使很多工作并行地进行，从而大大缩短开发周期。在开发新产品过程中，模具设计和模具加工周期很长。为了加快开发速度，可使模具毛坯的准备与车身设计同时进行。由于模具设计者与车身设计者共同工作，模具设计者一开始就从车身设计者那里得到新设计的汽车的大致尺寸和组成车身的零件的种类。于是，可以提前订购模具的毛坯。当设计最后完成时，毛坯就能准备好。在大量生产方式下，一般是序贯地进行各项工作。模具制造周期一般需要两年。而按并行开发方式，模具制造周期仅为一年，缩短了一半时间。

(三)与供应厂家的关系

现代的汽车结构非常复杂，一个典型的车型通常由1万多个零件构成。如何组织众多零件的设计与制造，是一个十分困难的任务。

亨利·福特把一切生产任务都交给自己的公司做，由于管理十分复杂，问题很多。后来，该公司只好将零件制造承包给独立的企业，但图纸是本公司提供的，价格是双方商定的。因此，有一个处理与零件供应厂家关系的问题。在如何处理装配厂与零件供应厂家的关系方面，精细生产与大量生产也有很大不同。

对于大量生产，装配厂与零件供应厂之间是一种主仆关系。当装配厂的一种新产品的零件图出来之后，才开始选择供应厂家。选择的标准是谁要价低，就选谁。当然要求供应厂家保证达到设计要求并按期交货。在大量生产方式下，汽车装配厂的供应厂家数通常为1,000到2,500之间。由于供应厂家不了解整个产品，甚至也不了解与他们制造的零件相关的部件，它们不知如何保证整个产品质量，也不知从何处改进。多个供应厂家生产的零件往往难以装配到一起。更重要的是，供应厂家也没有改进工作的积极性。装配厂为了获取更多利润，采取让供应厂之间竞争的办法来降低成本。在利润分配上，绝大部分利润归装配厂，供应厂不仅得利很少，而且还可能象一个雇工一样被解雇。因此，它们没有长期合作的打算，也没有改进质量的积极性。

在精细生产方式下，供应厂与装配厂是一种合作关系。供应厂是从合作共事过的企业中挑选的。在新产品开发初期，供应厂家就可以参加进来。按承担的任务不同，将供应厂

家按不同层次组织起来。装配厂只与第一层供应厂直接发生联系。第一层供应厂一般承包一个的独立的部件的设计与制造。第一层供应厂根据需要再将该部件下的零件给第二层供应厂承包。依此类推。这样，装配厂只需同较少的供应厂直接打交道。日本的汽车制造厂的供应厂一般只有300家左右。

在决定零部件的价格时，装配厂是按市场行情确定汽车的目标价格，然后与供应厂一起考虑合理的利润，推算各部分的目标成本。为了达到目标成本，双方共同利用价值工程方法，找出每一个能降低成本的因素。然后，第一层供应厂同装配厂商量，如何达到目标成本，并使供应厂有合理的利润。在零件生产过程中，再利用价值分析方法对加工制造的每一步进行分析，以进一步降低成本。

供应厂家能够主动地降低成本是因为降低成本可以给它们带来更多利润。供应厂与装配厂约定，供应厂经过自己的努力带来的成本降低，从而多获的利润归供应厂所有。这样做的结果虽然使装配厂在一定时期减少了利润，但供应厂的积极性调动起来，有利于改进产品质量，降低产品成本，提高产品竞争力。从长远看，对装配厂无疑是有利的。

(四)精细企业

全面实行精细生产的企业是精细企业(Lean Enterprise)。精细企业包括以下五个方面的含义。

(1) 产品 产品实质上是一种需求满足物，是企业向外界提供的东西，包括有形的和无形的。产品必须精细。只要能提供满足顾客需求的功能，产品包含的物化劳动和活劳动越少越好，任何多余的劳动都是浪费。从这点出发，不仅要求所设计的产品在制造中要尽可能少地消耗原材料、能源、资金和人工，而且要求产品使用方便、可靠、节能。对精细产品不仅要求制造成本低，而且要求使用成本低。使用成本关系到用户能否实行精细生产，具有重要的社会效益。使用成本与产品质量的关系十分密切。

(2) 生产过程 包括产品设计、工艺编制、供应、加工制造和库存等方面。要提高生产系统的柔性，加快生产过程，提高对市场变化的响应速度。要运用并行工程的思想缩短从设计到出产产品的整个生产周期，要运用看板系统实现准时生产和准时采购，使原材料、在制品和成品的库存向零挑战。

(3) 工厂布置 尽可能少地占用并最有效地利用土地和空间。土地是不可再生资源，良田是有效利用太阳能生产粮食和蔬菜的工厂，精细工厂必须占地少。生产设备要有柔性，可以一机多用。设备布置要紧凑有序充分利用空间，并能按产品变化方便地进行重新布置。工厂布置是实行精细生产的前提。

(4) 组织 精细企业具有完全新的组织及人际关系。对企业内部，不仅要求彻底改变机构臃肿、人浮于事的状态，而且要对劳动分工作出调整。要在组织的各个层次建立功能交叉、任务交叉的小组，实行协力工作，保证不同职能的工作人员相互沟通。实行并行工程，缩短新产品开发周期和生产技术准备周期，提高工作过程的质量和产品质量。要广泛实行分权，让下级和工人分享权力与责任，有充分的自主权和积极性去做好各自的工作。在现代社会，权力过份集中不仅容易做出错误的决策，而且会降低组织的应变能力和工作效率。一个成功的管理者的基本条件之一是让其下属能充分发挥主动性与创造性。工人与管理者的合作是日本企业成功的重要条件。

(5) 环境 经济发展带来了环境污染。大量生产，大量消费，大量污染，使我们居住的地球失去了生态平衡，也使人类受到惩罚，遭受各种灾害。对自然资源掠夺性的开采，导致人类生存的危机。防治污染应该是企业的一项社会责任。耗油量少的汽车排放的废气也少，占用和消耗资源少的企业对环境的污染也小。因此，精细企业是少污染的企业。这也是精细的一个含义。

案例：卡尔公司应用JIT取得世界级制造的地位

卡尔公司主要生产计算机图形系统。这些系统有10种基本模型，每一种模型提供给用户多种选择，有的多达40种。组成这些系统需要每天生产400-500多个印刷电路板，并把它们装配成最终产品。这个占地约2万8千平方米的公司仅仅雇佣了750个职员。

使卡尔公司挤入世界级制造商行列的功劳应归于JIT项目的实施。为确保公司管理目标和JIT哲理相吻合，公司成立了JIT领导委员会。委员由公司管理者和工程师组成。他们开展了研讨会、学习、参观其他实施JIT的公司等一系列有效活动，促进了对JIT的理解，并研究了在实践中应用JIT可能会遇到的问题，预测了应用成功会带来的巨大效益。为了使职员目睹JIT生产方式的成效，并从思想上得到根本的认可，同时也为工程专家和管理者提供一块实际操作的“试验田”，公司选择一个简单但又典型的键盘装配单元作为试验项目。最初的装配过程为：先一次性装配大批量的键盘，然后再送去检验，不合格的装配品返工，合格的装配品送往下一道工序。这种生产过程存在一些问题：首先是大量在制品的存在，积压了流动资金。由于装配者的劳动生产率都很高，他们往往装配出的键盘多于实际需要的数量；其次是产品质量低。装配者缺乏检验部门提供的反馈信息，等到检验部门发现质量问题时，大量的有缺陷的装配品的库存已经形成。事实上，这个小小的键盘装配单元存在的问题集中体现了整个公司的生产问题，即大批量库存，生产周期长，大量的废品和返工现象。

针对这种状况，JIT委员们设计了一种新的流水装配布局，使必要的装配操作彼此毗邻。同时，过去的装配与测试过程也被重新加以组织与细化，转化为每个操作者需完成的三项操作作业，即：每个操作者装配键盘，检验前一位操作者的装配品，传递合格品与返回次品。这样做减少了生产周期，降低了库存，提高了质量。产品流的控制的实现借助于一个简单的看板系统。在两位操作者之间留出一个黄色的看板区域，通过看板区域的“空”和“满”作为生产的控制信号。一个“空”看板区是向上流操作者发出需要生产的信号，而一个“满”看板区则表明不需要任何产品。每一个操作者也担负起检验的责任，他不仅检验自己的装配工作，还要检验前一个操作者的装配品，并将次品返回给责任人加以修理。采取这种方式，明确了责任，使质量问题得到了及时的反映，并消除了大量的返工现象。这种即时的次品信息反馈系统导致了装配过程质量的持续提高与改善。两个月后，试验项目取得了成效：装配周期与在制品减少了80%，质量也提高了30%。

这些实施JIT的成功经验被进一步推广到总装配单元，通过六个月的努力，总装配的生产周期从3周减少到5天，测试产量也增加了33%。

只是在对电路板装配单元进行JIT生产方式转换时，改进过程略微复杂。基本的电路板装配操作工序多，包括自动插入、手工装配、波峰焊、定点装配和测试等。JIT改造集中于前两个操作与装配单元的布局设计。最初的布局包括一个传输带系统，它将操作者之间库存的电路板传送给各个操作者。JIT委员意识到整个传输系统是一种自动化的浪费，JIT的目标是消除浪费，而不是自动化。于是他们通过采用U-型布局加以改造，减少了操作者之间的库存，缩短了运输距离，并且促进了各个操作者之间的信息交流。通过在手工装配操作中使用红黄灯看板系统，控制了库存；为零件赋予特殊含义的彩色标识，减少了安装的错误，提高了装配质量。自动插入操作中突出的设备调整次数和时间问题，也通过同类零件的归类与集成加工（类似于成组技术）得到了改善。经过这一系列的改造与革新，该装配单元的生产周期从6周减少为10天。

在消除了产品流中存在的浪费现象后，公司开始把注意力转向生产过程控制。所有的生产工人都参加了每周由卡尔公司质量保证部开办的统计过程（SPT）的研讨班。通过学习，工人们学会了质量分析，寻找问题，并加以改进。为了帮助“一线”工人解决生产中暴露的问题，管理层向每个工作中心都指派了JIT支持小组。这些小组由领域专家、质量保

证人员、工程师和物料计划人员组成。

没有人比现场操作人员更熟悉生产过程。这一点毋庸置疑。然而人们却常常忽略现场操作人员的这种熟悉与发现问题的能力也是一种宝贵资源的事实。卡尔公司意识到了这一点。它采取了全员参与形式。在每个工作日的交替班前20分钟，生产工人和JIT支持小组成员一起讨论和解决生产问题。这些问题一般采用鱼刺图、直方图辅助分析。操作者提出行动方案并且使用一些简单的控制图帮助度量方案实施绩效。

在进行生产过程的JIT生产方式转换取得一些成果后，卡尔公司也一直没有放弃与供应商建立良好合作关系的努力。相反的，可以说卡尔公司在这方面做得相当出色。归结起来，它做了三方面的尝试：减少供应商数目，培植长期的合作关系，与几个关键的供应商实施“仓库对仓库”的物料供给方式。长期采购合同的签定使得短期合作（两年以内）供应商的数目减少了70%。通过对几个主要供应商发放“仓库对仓库”证书，省却了批量检验、装卸搬运等繁琐活动。这些供应商的运载卡车把物料送到卡尔公司的生产现场。卡尔公司还和这几个质量免检的供应商共同协商和寻找减少成本的方法。譬如他们把装载容器标准化，彼此交流使用；共同开发与设计产品。当然这种牢固的合作关系也使得卡尔公司获得了小批量、高质量与及时供应的收益。

卡尔公司从成立JIT领导委员会，确定实验项目，生产过程全面实施JIT转换，过程控制，全员参与质量与生产管理，到发展供应商关系，方方面面都进行了一次彻底与成功的JIT革命，取得了以下瞩目的成绩：

- ①第一次系统测试时，产量提高了41%
- ②生产周期从12周减少为4周
- ③平均库存下降了60%
- ④年废品和返工现象减少了67%
- ⑤车间内部面积获得了7千5百平方米的节余，其中主要归功于占地4千平方米的仓库的撤消。
- ⑥供应商及时供货方面有53%的提高

当然，以上的绩效并不包括那些不可计量的无形效果，如果将士气、公司信用和良好的工作环境等这些改善也算入，卡尔公司的这次JIT转换效果相当可观。

小结

本章对准时生产制(JIT)的思想和实施问题进行了全面阐述。第一节论述JIT的实质，提出JIT的出发点是不断消除浪费，进行永无休止的改进；分析了JIT是理想的生产方式的原因，指出JIT是一项综合的管理技术。第二节说明看板控制系统。分析了推进式系统和牵引式系统的实质，介绍了丰田的看板控制系统，描述了用看板组织生产的过程和看板数量的确定方法以及如何实现准时生产。第三节论述了组织JIT的条件，包括组织混流生产、减少调整准备时间、建立JIT制造单元、准时采购和从根源上保证质量等五个方面。第四节阐述精细生产的起源，对手工生产方式、大量生产方式和精细生产方式进行比较，提出了精细生产的基本思想和精细生产的主要内容，其中包括与用户的关系，与供应厂家的关系，新产品开发和精细企业的概念。

思考题

- 1、简述JIT的出发点及其与传统生产方式有什么区别。
- 2、低库存对企业有何意义？
- 3、比较牵引式和推进式方式的异同点。
- 4、简述看板控制系统的工作过程。

- 5、如何从根本上保证质量？
- 6、降低调整准备时间或费用的方法有哪些？
- 7、如何实现准时采购？
- 8、讨论供应商在JIT中的地位和作用。
- 9、精细生产的基本思想是什么？
- 10、为什么精细生产比大量生产的成本更低、质量更好、品种更多？
- 11、精细生产包括哪几方面内容？
- 12、你从精细生产方式得到什么样的启示？

练习题

- 1、对某零件的日需要量是40,000件，标准容器每箱可放置该零件150件，每天实行一班制，8小时为一工作日， $T_w=1$ 小时， $T_p=0.5$ 小时， $A_w=A_p=0.2$ ，计算所需的移动看板和生产看板数。

第十八章 其它先进生产方式

除了MRPII和JIT以外,还有其它先进的组织生产的方式。本章将介绍最优生产技术、敏捷制造和计算机集成制造等3种先进生产方式的基本思想和有关的概念。

第一节 最优生产技术

最优生产技术(Optimized Production Technology, OPT),是以色列物理学家Eli Goldratt 博士于本世纪七十年代提出的。最初它被称作最优生产时间表(Optimized Production Timetable),80年代才改称为最优生产技术。后来Goldratt 又进一步将它发展成为约束理论(Theory of Constraints)。OPT产生的时间不长,却取得了令人瞩目的成就,是继MRP和JIT(Just-in-Time)之后出现的又一项组织生产的新方式。

最优生产技术,作为一种新的生产方式,它吸收了MRP和JIT的长处。其独特之处不仅在于提供了一种新的管理思想,而且在于它的软件系统。OPT的两大支柱是OPT原理及OPT软件。

一、OPT的目标

OPT的倡导者认为,任何制造企业的真正目标只有一个,即在现在和将来都能赚钱。要衡量一个企业是否能赚钱,通常采用以下三个指标:

(1)净利润(Net Profit, NP) 即一个企业赚多少钱的绝对量。净利润越高的企业,其效益越好。

(2)投资收益率(Return on Investment, ROI) 表示一定时期的收益与投资的比。当两个企业投资大小不同时,单靠净利润是无法比较他们效益的好坏的。

(3)现金流量(Cash Flow, CF) 表示短期内收入和支出的钱。没有一定的现金流量,企业也就无法生存下去。

但是,以上三个指标不能直接用于指导生产,因为它们太一般。例如,究竟采用多大批量为好,是无法直接从这三个指标作出判断的。因此,需要一些作业指标作桥梁。如果这些作业指标好,以上三个指标就好,则说明企业赚钱。

按照OPT的观点,在生产系统中,作业指标也有三个:

(1)产销率(Throughput, T) 按OPT的规定,它不是一般的通过率或产出率,而是单位时间内生产出来并销售出去的量,即通过销售活动获取金钱的速率。生产出来但未销售出去的产品只是库存。

(2)库存(Inventory, I) 是一切暂时不用的资源。它不仅包括为满足未来需要而准备的原材料,加工过程的在制品和一时不用的零部件,未销售的成品,而且还包括扣除折旧后的固定资产。库存占用了资金,产生机会成本及一系列维持库存所需的费用。

(3)运行费(Operating Expenses, OE) 是生产系统将库存转化为产销量的过程中的一切花费,包括所有的直接费用和间接费用。

按照OPT的观点,用这3个指标就能衡量一个生产系统。如果从货币角度考虑,T是要进入系统的钱,I是存放在系统中的钱,而OE是将I变成T而付出的钱。

现在我们来分析三个作业指标与NP、ROI、CF的关系。

当T增加,I和OE不变时,显然NP、ROI和CF都将增加;当OE减少,T和I不变时,也会导致NP、ROI和CF增加。然而,当I减少,T和OE不变时,情况就不那么简单。I降低使库存投资减少,当T不变时,ROI将提高。同时,I降低可以加快资金周转,使CF增加。但是,I降低,T和OE不变时,NP却不会改变,因而能否使企业赚钱还不清楚。

通常,I降低可以导致OE减少。而OE减少,将导致NP、ROI和CF增加,从而使企业赚钱。但是,通过降低I来减少OE的作用是随着I降低的程度而减弱的。当I较高时,减少I可以明显减少维持库存费,从而减少OE。然而,当库存降低到一个较低水平时,再继续降低I,则对

减少OE作用不大。可是，为何日本一些公司在已达到世界上最低的库存水平之后仍然要尽力继续降低库存？其中必有缘故。

原来，降低库存还能缩短制造周期。缩短制造周期是提高企业竞争能力的一个重要因素。缩短制造周期，对于缩短顾客的订货提前期，提高对顾客订货的响应性以及争取较高的价格都有很大作用。于是，制造周期的缩短导致市场占有率的增加，从而导致未来的产销量的增加。

作业指标与财务指标的关系如图18-1所示。

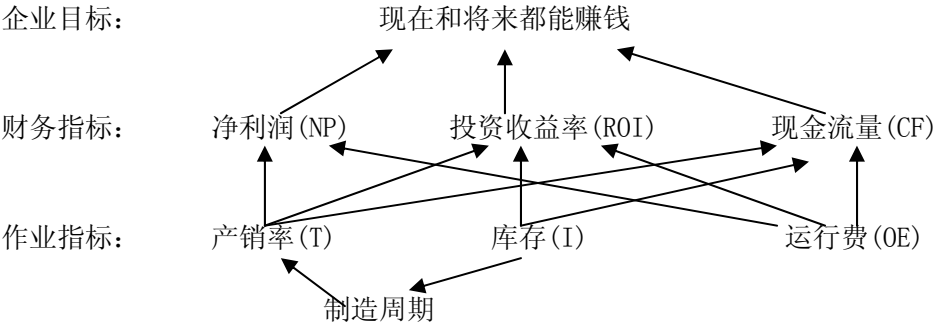


图18-1 作业指标与财务指标的关系

二、 OPT的基本思想和9条原则

（一） OPT的基本思想

瓶颈(Bottlenecks)是OPT的最重要的概念。

任何一个制造组织都可以看作是将原材料转化为产品的系统。在这个系统中，制造资源是关键的部分。通常，制造资源指的是生产产品所需的机器设备、工人、厂房和其它固定资产等。

按照通常的假设，在设计一个企业时，可以使生产过程中各阶段的生产能力相等，即达到能力的平衡。但这只是一种理想状态。因为，生产是一个动态的过程，需求随时都在变化，使得能力的平衡在实际中是做不到的。因此，在生产过程中必然会出现有的资源负荷过大，成为卡“脖子”的地方，即变为瓶颈。这样，企业的制造资源就存在瓶颈与非瓶颈的区别。

按OPT的定义，所谓瓶颈(或瓶颈资源)，指的是实际生产能力小于或等于生产负荷的资源，这一类资源限制了整个生产系统的产出速度。其余的资源则为非瓶颈资源。

因此，要判别是否瓶颈，应从资源的实际生产能力与它的生产负荷(或对其的需求量)来考察。这里说的需求量不一定是市场的需要量，而是指企业为了完成其产品计划而对该资源的需求量。

假设某产品P的生产流程如下：

原材料 → 机器A → 机器B → 市场

市场需求每周25个单位；机器A的生产能力为每周生产15个单位；机器B的生产能力为每周生产20个单位。

在这里，如果相对市场需求来说机器A与机器B都应该为瓶颈。但根据OPT的定义，只有机器A为瓶颈，因为机器B的生产能力虽然每周只有20个单位，但每周只能接到机器A所能生产的15个单位的最大生产负荷，即其生产能力超过了对它的需求量，为非瓶颈。如果企业又购买了一台机器A，则机器B为唯一的瓶颈。这时，尽管两台机器A每周能生产30个单位，但市场需求要求其每周只生产25个单位。而机器B每周只能生产20个单位，小于对其每周生产25个单位的需求量，则为瓶颈。从这个例子中可以看出，生产能力小于市场需求的资源，按OPT的定义不一定为瓶颈。

根据以上的定义，任何企业只应该存在着少数的瓶颈资源。按OPT的观点，瓶颈资源的数目一般小于5个。瓶颈与非瓶颈的之间存在着4种基本的关系，如图18-2所示。它们分别是：①

从瓶颈到非瓶颈资源(图18-2(a)); ②非瓶颈到瓶颈资源(图18-2(b)); ③瓶颈资源和非瓶颈资源到同一装配中心(图18-2(c)); ④瓶颈资源和非瓶颈资源相互独立(图18-2(d))。

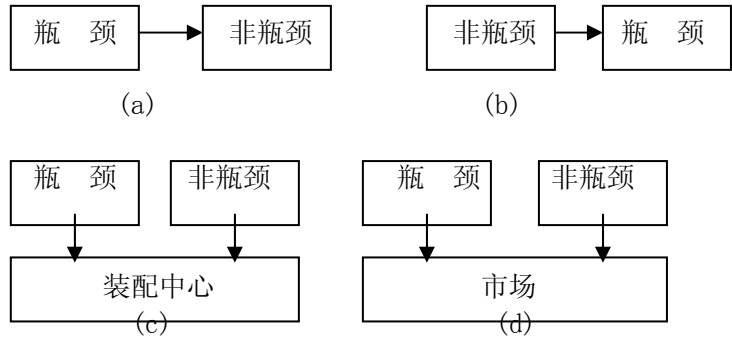


图18-2 瓶颈资源与非瓶颈资源的关系

(二) OPT的9条原则

OPT的基本思想具体体现在9条原则上,这9条原则是实施OPT的基石。OPT有关生产计划与控制的算法和软件,就是按这9条原则提出和开发的。此外,这些原则也可以独立于软件之外,直接用于指导实际的生产管理活动。下面将逐条叙述这9条原则。

(1) 平衡物流,而不平衡能力 平衡生产能力是一种传统的生产管理方法,它要求各工作地的生产能力都与市场需求平衡,试图通过平衡能力来产生一种连续的产品流。线平衡的方法就是这种方法的一个很好的范例。从能力的角度来看,制造产品的工作被分解为大致相等的部分,人们通过考察生产加工过程中各种制造资源来平衡它们的生产能力,以保证各种资源都达到最大的利用率,同时在生产中形成一个连续的物流通过这些资源。

OPT则主张在企业内平衡物流,认为平衡能力实际是做不到的。因为波动是绝对的,市场每时每刻都在变化,生产能力总是相对稳定的。一味追求做不到的事情将导致企业无法生存。所以必须接受市场波动及其引起的相关事件这个现实,并在这种前提下追求物流平衡。所谓物流平衡就是使各个工序都与瓶颈机床同步。

(2) 非瓶颈资源的利用程度不是由它们自己的潜力决定的,而是由系统的约束决定的。系统约束就是瓶颈。因为系统的产出是由所能经过瓶颈的量决定的,即瓶颈限制了产销量。而非瓶颈资源的充分利用不仅不能提高产销量,而且会使库存和运行费增加。从图18-2所示的瓶颈与非瓶颈的4种基本关系中,我们可以看出,关系(a)(b)(c)中非瓶颈资源的利用程度是由瓶颈资源来决定的。如关系(a),非瓶颈资源为后续工序,只能加工由瓶颈传送过来的工件,其使用率自然受瓶颈的制约;关系(b),虽然非瓶颈资源为前道工序,能够充分地使用,使用程度可以达到100%,但整个系统的产出是由后续工序,即瓶颈决定的,非瓶颈资源的充分使用只会造成在制品库存的增加,而不改变产出;关系(c),由于非瓶颈与瓶颈资源的后续工序为装配,此时非瓶颈也能充分地使用,但受装配配套性的限制,由非瓶颈加工出来的工件其中能够进行装配的,必然受到瓶颈产出的制约,多余部分也只能增加在制品库存。而对于第4种关系,非瓶颈资源的使用程度虽不受瓶颈的制约,但显然应由市场的需求来决定。从上分析,容易看出,非瓶颈资源的使用率一般不应该达到100%。

(3) 资源的“利用”(Utilization)和“活力”(Activation)不是同义词 “利用”是指资源应该利用的程度,“活力”是指资源能够利用的程度。

按照传统的观点,一般是将资源能够利用的能力加以充分利用,所以“利用”和“活力”是同义的。按OPT的观点,两者有着重要的区别。因为需要做多少工作(即“利用”)与能够做多少工作(即“活力”)之间是不同的。所以在系统非瓶颈资源的安排使用上,应基于系统的约束。例如,一个非瓶颈资源能够达到100%的利用率,但其后续资源如果只能承受其60%的产出,则其另外的40%产出,将变成在制品库存,此时从非瓶颈资源本身考察,其利用率

很好，但从整个系统的观点，其只有60%的有效性。所以“利用”注重的是有效性，而“活力”注重的则是可行性。从平衡物流的角度出发，应允许非关键资源上有适当的闲置时间。

(4) 瓶颈上一小时的损失则是整个系统一个小时的损失。一般说来，生产时间包括加工时间和调整准备时间。但瓶颈资源与非瓶颈资源上的调整准备时间的意义是不同的。因为瓶颈控制了产销率，瓶颈上中断一个小时，是没有附加的生产能力来补充的。而如果在瓶颈资源上节省一个小时的调整准备时间，则将能增加一个小时的加工时间，相应地，整个系统增加了一个小时的产出。所以，瓶颈必需保持100%的“利用”，尽量增大其产出。为此，对瓶颈还应采取特别的保护措施，不使其因管理不善而中断或等工。增大瓶颈物流的方法一般有如下几种：

①减少调整准备时间和频率，瓶颈上的批量应尽可能大；②实行午餐和工修连续工作制，减少状态调整所需的时间损失；③加工前注重质量检查；④利用时间缓冲器等。

(5) 非瓶颈获得的一小时是毫无意义的。因为在非瓶颈资源上的生产时间除了加工时间和调整准备时间之外，还有闲置时间，节约一个小时的调整准备时间并不能增加产销率，而只能增加一小时的闲置时间。当然，如果节约了一个小时的加工时间和调整准备时间，可以进一步减少加工批量，加大批次，以降低在制品库存和生产提前期。

(6) 瓶颈控制了库存和产销率。因为，产销率指的是单位时间内生产出来并销售出去的量，所以它受到企业的生产能力和市场的需求量这两方面的制约。而它们都是由瓶颈控制的。如果瓶颈存在于企业内部，表明企业的生产能力不足，因受到瓶颈能力的限制，相应的产销率也受到限制；而如果当企业所有的资源都能维持高于市场需求的能力，那么，则市场需求就成了瓶颈。这时，即使企业能多生产，但由于市场承受能力不足，产销率也不能增加。

同时，由于瓶颈控制了产销率，所以企业的非瓶颈则应与瓶颈同步，它们的库存水平只要能维持瓶颈上的物流连续稳定即可，过多的库存只是浪费，这样，瓶颈也就相应地控制了库存。

以上6条原则都是涉及资源的，以下2条是涉及物流的。

(7) 转运批量可以不等于(在许多时候应该不等于)加工批量。车间现场的计划与控制的一个重要的方面就是批量的确定，它影响到企业的库存和产销率。OPT采用了一种独特的动态批量系统，它把在制品库存分为两种不同的批量形式，即：

①转运批量：是指工序间转运一批零件的数量；②加工批量：指经过一次调整准备所加工的同种零件的数量，可以是一个或几个转运批量之和。在自动装配线上，转运批量为1，而加工批量很大。

根据OPT的观点，为了使瓶颈上的产销率达到最大，瓶颈上的加工批量必须大。但另一方面，在制品库存也不应增加，所以转运批量应该小，即意味着非瓶颈上的加工批量要小，这样就可以减少库存费用和加工费用。

(8) 加工批量应是可变的，而不是固定的。这一原则是原则7的直接应用。在OPT中，转运批量是从零部件的角度来考虑的，而加工批量则是从资源的角度来考虑的。由于资源有瓶颈和非瓶颈之分，瓶颈要求加工批量大，转运批量小，同时考虑到库存费用，零部件需求等其它因素，加工批量应是变化的。

(9) 安排作业计划应同时兼顾所有的约束，提前期是作业计划的结果，而不应是预定值。

传统的制定作业计划的方法一般包括以下几个步骤：①确定批量；②计算提前期；③安排优先权，据此安排作业计划；④根据能力限制调整作业计划，再重复前三个步骤。而在OPT中，提前期是批量、优先权和其它许多因素的函数。在这点上，OPT与MRP正好相反。在MRP中，提前期一般都是预先制定的，而下例可以看出提前期应该是后制定的。如某个企业有两批订货，要求零件A与零件B各100件。A、B两零件都需在机床M上加工0.35小时，如果假设该企业有两台M机床，则A、B的提前期都为35小时(100×0.35)；但如果该企业只有一台M机床，则当A先加工时，其提前期为35小时，而B要等35小时才能加工，其提前期实际上为70小时。反之亦然。所以提前期应是计划的结果。

三、DBR系统

以9条原则为指导，OPT的计划与控制是通过DBR系统实现的。BPR系统即“鼓(Drum)”、“缓冲器(Buffer)”和“绳索(Rope)”系统，如图18-3 所示。实施计划与控制主要包括以下的步骤：

(1) 识别瓶颈。这是控制物流的关键，因为，瓶颈制约着企业的产出能力。一般说来，当需求超过能力时，排队最长的机器就是“瓶颈”。如果我们知道一定时间内生产的产品及其组合，就可以按物料清单计算出要生产的零部件。然后，按零部件的加工路线及工时定额，计算出各类机床的任务工时。将任务工时与能力工时比较，负荷最高的机床就是瓶颈。因为瓶颈上损失1小时就是系统损失1小时，所以在瓶颈上要采取扩大批量的办法来提高瓶颈的利用率。扩大批量可以使调整准备时间减少。

瓶颈控制着企业生产的节奏——“鼓点”。要维持企业内部生产与瓶颈同步，存在着一系列的问题。其中一个主要问题就是生产过程如何既能满足市场或顾客的需求而又不产生过多的库存。实际上，顾客要求的交货期是不以企业何时能生产出来决定的。因此，安排作业计划时，除了要对市场行情进行正确的预测外，还要对不同顾客的交货期赋予不同的优先权。在瓶颈上要根据优先权安排生产，并据此对上下游的工序排序，得出交付时间。OPT 的处理逻辑就是使交付时间尽可能与交货期限相符。找出瓶颈之后，可以把企业里所有的加工设备划分为关键资源和非关键资源。

(2) 基于瓶颈的约束，建立产品出产计划 (Master Schedule)。一般按有限能力，用顺排方法对关键资源排序。这样排出的作业计划是切实可行的。

(3) “缓冲器”的管理与控制。要对瓶颈进行保护，使其能力得到充分利用。为此一般要设置一定的“时间缓冲”(Time buffer)。时间缓冲的意思是所提供的物料要比预定的时间提早一段时间到达，以避免瓶颈出现停工待料情况。

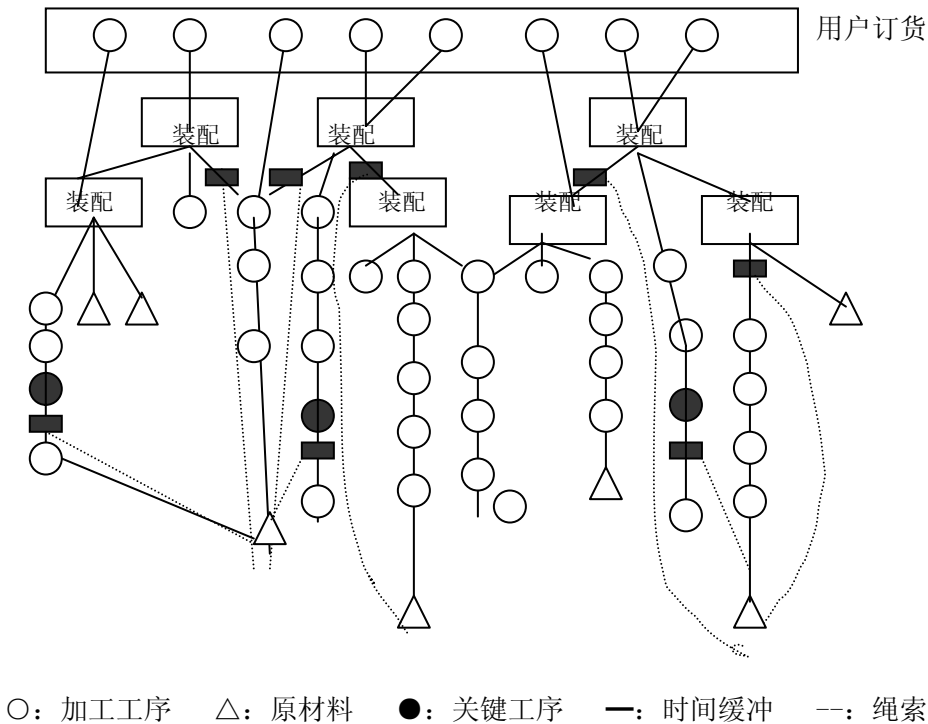


图18-3 DBR系统

(4) 控制进入非瓶颈的物料，平衡企业的物流。进入非瓶颈的物料应被瓶颈的产出率，

即“绳子”所控制。一般是按无限能力，用倒排方法对非关键资源排序。非关键资源上排序的目标是使之与关键资源上的工序同步。倒排时，采用的提前期可以随批量变化，批量也可按情况分解。

(3)根据OPT的原理，瓶颈上的加工批量是最大的，而瓶颈的上游工序则是小批量多批次的。瓶颈前的加工工序的批次又和各道工序的调整准备时间有关。如果上游工序的调整准备时间小，或瓶颈上的加工时间和前一台机器的加工时间之差大，则批次可以较多，批量可以较小。反之，批次则可能较少，甚至和瓶颈上的批次相同，加工批量也和瓶颈上的批量相同。

(4)要考虑在制品库存费用、成品库存费用、加工费用和人工费用。要在保证瓶颈上加工持续的情况下，使得整个加工过程的总费用最小。

3)“绳子”。如果说“鼓”的目标是使产出率最大，那么，“绳子”的作用则是使库存最小。我们知道，瓶颈决定着生产线的产出节奏，而在其上游的工序实行牵引式的生产，等于用一根看不见的“绳子”把瓶颈与这些工序串联起来，有效地使物料依照产品出产计划快速通过非瓶颈作业，以保证瓶颈的需要。所以，“绳子”起的是传递作用，以驱动系统的所有部分按“鼓”的节奏进行生产。在DBR的实施中，“绳子”是由一个涉及原材料投料到车间的详细的作业计划来实现的。

“绳子”控制着企业物料的进入（包括瓶颈的上游工序与非瓶颈的装配），其实质和“看板”思想相同，即由后道工序根据需要向前道工序领取必要的零件进行加工，而前道工序只能对动用的部分进行补充，实行的是一种受控生产方式。在OPT中，就是受控于瓶颈的产出节奏，也就是“鼓点”。没有“瓶颈”发出的生产指令，就不能进行生产，这个生产指令是通过类似“看板”的东西在工序间传递的。

通过“绳子”系统的控制，使的瓶颈前的非瓶颈设备均衡生产，加工批量和运输批量减少，可以减少提前期以及在制品库存，而同时又不使瓶颈停工待料。所以，“绳子”是瓶颈对其上游机器发出生产指令的媒介，没有它，生产就会造成混乱，要么造成库存过大，要么会使瓶颈出现“饥饿”现象。

四、OPT软件系统

OPT软件首先是由Creative Output有限公司(COI)开发的。实践表明,应用OPT软件使许多企业取得了巨大的经济效益，因此OPT也越来越被人们所重视，OPT软件的用户也由大型企业扩展到中、小企业。OPT软件有OPT21和OPT5000。其中，OPT21主要是针对大中型企业的，OPT5000则是面向小型企业的。

1) OPT软件的工作原理

OPT软件系统主要基于一个保密的算法，该算法的核心在于识别瓶颈和对瓶颈排序。从模块构成来看，OPT系统主要由BUILDNET、SPLIT、SERVE和BRAIN几个模块构成，如图18-4所示。

“产品网络”准确地表示了一个产品是怎样制造出来的，它包含产品结构文件和加工路线文件两部分内容，只不过在OPT中这两部分信息是通过网络结合在一起，构成一个文件。

对于企业现有的各种资源的具体描述是在“资源描述”这个模块中完成的。其中包括每种资源(机器、工人、空间等)及其替代资源和它们的相互影响、允许加工时间、用于加工的某种资源的数量等。

BUILDNET模块是将“产品网络”和“资源描述”模块中的信息结合起来，生成一个工程网络。BUILDNET的一个强有力的地方表现在其模型化的语言上，该语言能精确地描述生产制造中的大量数据，从而使得OPT对企业进行成功而精确的模型化构造。在工程网络中，可以对各种可选择的作业，甚至可选择的物料清单进行详细的描述。据称，在这样的网络中，完全描述各种关系只需24个数据字段。另外，BUILDNET还具有提示数据逻辑错误的功能。例如，物料清单没有与工艺路线相联；存在没有去处的库存；或顾客提出了不存在的产品的需求等。另外，BUILDNET具有便利的数据修改维护功能，从而保证了数据的相对精确。

一旦工程网络建立起来，接下来就要确定瓶颈。这是由SERVE 模块通过运行工程网络以及采取类似MRP的倒排方法来完成的。SERVE的一个输出是各个资源的负荷率，这些负荷率与按MRP系统生成方式生产的数据相类似。资源的负荷率一般是参差不齐的。通常的作法是通过将超量的负荷前移或后移来实现能力平衡，但这将涉及到产品结构的所有层次，极难实现。SERVE 模块在计算各个资源的负荷率的基础上，还计算了每种资源的平均负荷率，并以此来确定瓶颈。如果工程网络的数据完全精确，很明显，平均负荷率最高的就是瓶颈。

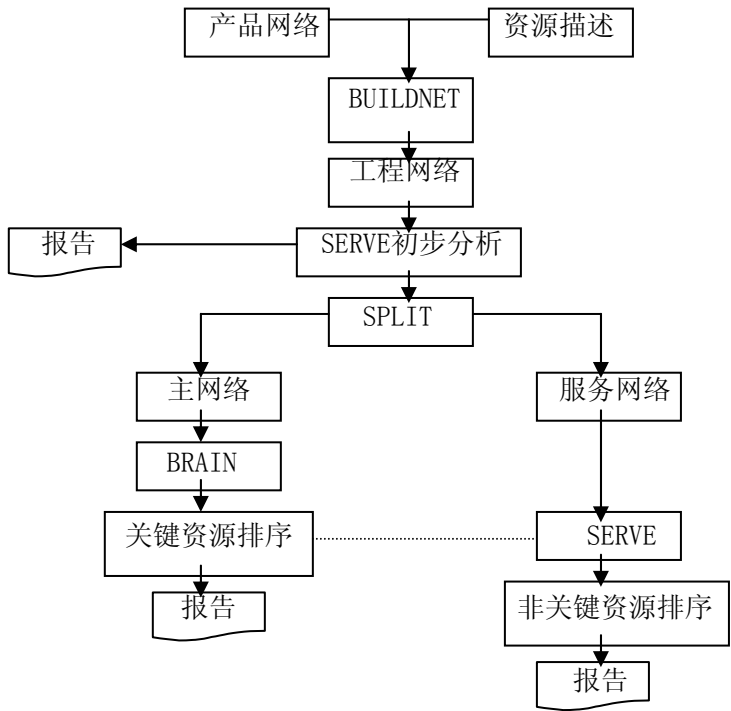


图18-4 OPT信息系统构成

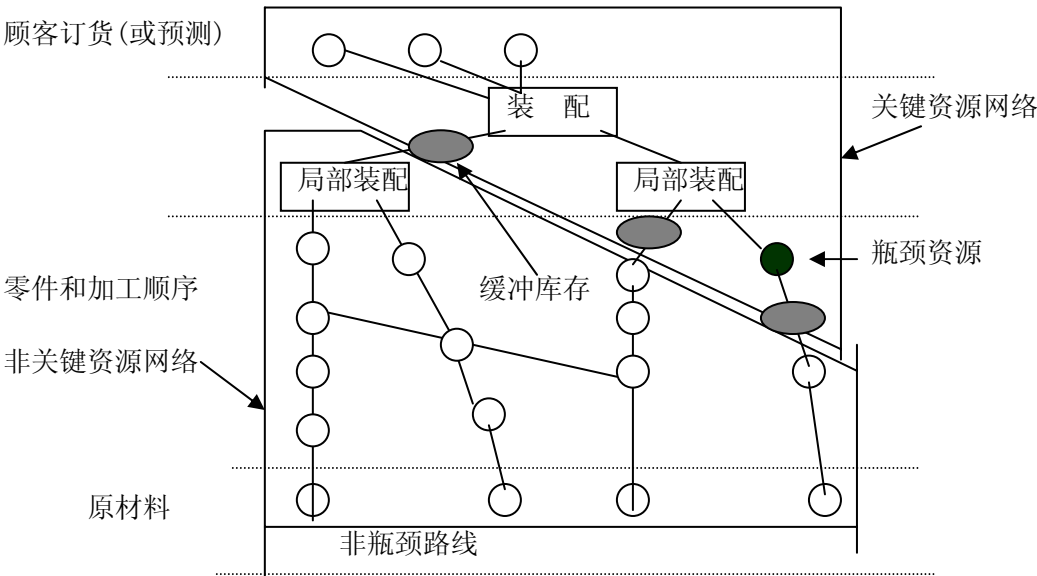


图18-5 关键资源、非关键资源网络划分

当瓶颈确定之后，SPLIT模块将工程网络分成两部分：主网络(关键资源网络)和服务网络(非关键资源网络)。主网络由瓶颈作业和其下游作业(且包括顾客需求在内)构成，如图18-5所示，其余的部分为服务网络。对于主网络，通过BRAIN模块采用有限能力顺排的方法编制作业计划，目标是要使瓶颈上的空闲时间为零，使产销率最大。所生成的不仅包括生产计划，而且确定了每个作业的传送批量和加工批量。对于服务网络，则再通过SERVE 模块采用无限能力倒排的方法编制作业计划。第二次调用SERVE模块时，不是从定单上的完工期限开始倒排，而是从BRAIN模块确定的完工期限倒排。

在生产计划生成之后，接着还应设置安全库存或“缓冲器”。在两个关键的地方一般要设置安全库存，一是瓶颈资源前，二是来自非瓶颈资源与来自瓶颈资源加工路线的交叉点。在这些位置的工件应安排在其需要时间之前到达，提前多少时间应取决于某一特殊的制造环境，通常有几天或一个星期。在交叉点工件的提前到达，可以使整个系统的产出不受延迟的干扰。

以上步骤一旦完成，如果在系统中没有其它的约束或瓶颈，OPT的结果也就生成了。然而，通常在第一个循环的最后，往往会发现在系统中还有其它的瓶颈。如果出现这样的情况，则应重新检查数据的合理性，重复以上的过程。一般要重复五到六次，直到所有的约束都移到工程网络的关键资源部分为止。

第二节 敏捷制造

八十年代后期，美国意识到了必须夺回在制造业上的优势，才能保持在国际上的领先地位。于是他们就向日本学习精细生产方式，并力图在美国企业中实施。但是由于文化背景和种种社会条件的差别，其效果总是不尽人意。1991年美国国会提出要为国防部拟定一个较长期的制造技术规划，要能同时体现工业界和国防部的共同利益。于是，委托里海(Lehigh)大学的亚科卡(Iacocca)研究所编写了一份“21世纪制造企业战略”的报告。里海大学邀请了国防部、工业界和学术界的代表，建立了以13家大公司为核心的，有100多家公司参加的联合研究组。耗资50万美元，花费了7500多人时，分析研究了美国工业界近期的400多篇优秀报告，提出了“敏捷制造”(Agile Manufacturing, AM)的概念，描绘了一幅在2006年以前实现敏捷制造模式的图画。

该报告的结论性意见是：全球性的竞争使得市场变化太快，单个企业依靠自己的资源进行自我调整的速度赶不上市场变化的速度。为了解决这个影响企业生存和发展的世界性问题，报告提出了以虚拟企业(Virtual Enterprise)或动态联盟为基础的敏捷制造模式。提出敏捷制造是一次战略高度的变革。敏捷制造面对的是全球化激烈竞争的买方市场，采用可以快速重构的生产单元构成的扁平组织结构，以充分自治的、分布式的协同工作代替金字塔式的多层管理结构，注重发挥人的创造性，变企业之间你死我活的竞争关系为既有竞争又有合作的“共赢”(Win-win)关系。敏捷制造强调基于互联网的信息开放、共享和集成。

一、敏捷制造企业的基本特征

亚科卡研究所提出了18条敏捷制造企业的特征。

1. 并行工作。为了能迅速抓住市场机遇，要求企业内各部门都能并行工作，实现最快的响应。不单是设计部门与制造部门，还应包括市场营销、财务、人力资源管理等部门，相互间保持良好的通讯联系，逐渐形成一个并行工作网络。

2. 继续教育。当今世界知识更新速度越来越快，要保持企业的活力和技术上的先进性，必须不断更新和提高雇员的全面技能。雇员每年要花费几周时间接受教育与培训，重点在新技术新思想方面“知其所以然”的“教育”，而不是单纯“知其然”的“培训”。

3. 根据用户反应建立组织机构。类似于精细生产中“牵引”(pull)方式，完全按下游的需要来组织上游的生产活动。从对用户需求及市场竞争作出迅速反应出发，“牵引”出对新的企业组织各方面的要求，根据需求促进新的组织机构的变化。

4. 多方动态合作。从竞争走向合作，共同抓市场机遇，将是未来制造业的一个重要特征。这种合作关系可以发生在不同层次上，有不同的紧密程度。因为低层的工作人员也都被授权，在他本人权力范围内通过各种标准过程进入各种合作，只要这样做对满足顾客需求有利就行。

5. 珍惜雇员。在敏捷制造企业中，把雇员的知识 and 创造性看作是企业最宝贵的财富。每个雇员必须把自己看作是企业的积极组成部分，运用自己的智慧和技能，参加工作小组，为企业的兴旺发达而奋斗。

6. 向工作小组及其成员放权。为了快速地响应市场的变化，企业组织结构要减少层次，做到扁平化。要下放部分决策权，使工作小组和个人在必要的时候不必层层请示而独立作出决策，以实现对环境最敏捷的反应。

7. 对环境仁慈。人们对环境的要求越来越高，制造企业要对生产过程及其产品的整个生命周期对环境造成的影响负责任。不是消极防御式的“减少污染”，而是要求“仁慈”（benign），也就是不仅不要造成危害，而且要主动关心在生产过程和产品报废处理过程中创造改善环境的条件。

8. 柔性的重新配置组合。敏捷企业的雇员，应能够根据任务需要灵活地形成各种工作小组，重新组合成各种职能部门。技术系统也应是模块化的，可以根据产品变化在短时间内重新配置，以适应新产品的开发需要。

9. 信息的沟通。在敏捷制造时代，企业往往既是合作伙伴又是竞争对手，为了能制造出高质量的新产品，工作小组要能获取本企业以及合作公司的各种信息。人们已认识到多方合作模式带来的经济效益远远大于信息保密的好处，所以将大力扩展共享信息的通讯网络。

10. 知识面广的雇员。雇员们有渊博的知识，并且不断更新，才能在新产品中融入各种新鲜内容，去满足顾客多种多样的需求。

11. 开放的体系结构。敏捷企业的任务、产品、组织、技术系统等都可能变化，所以企业的体系结构，不应该是封闭的，而应该是开放的。除了组织机构的重新组合，还应能增删各种工作小组，可以扩展新的技术系统，可以在各种层次上与其它企业合作，形成新的广义企业的架构。

12. 产品设计一次成功。必须进一步改善分析、仿真工具，在充分利用先进的计算机辅助设计软件，加快设计速度的同时，保证产品设计一次成功。

13. 产品终身质量保证。技术的进展导致人们对质量概念的变化，“零缺陷”已经成为一种最起码的常识，要更好做到“顾客满意”，必须在产品的整个生命周期中保证顾客满意。

14. 缩短交付周期。从顾客或者设计师提出一个新的产品概念到最后产品交到顾客手上，这段时间称为“交付周期”。它是竞争获胜的重要指标，不仅涉及从设计到制造过程的快速完成，而且包含整个经营过程各个环节的组织与管理，所以是一个企业的综合指标。

15. 技术的领先作用。为了竞争的成功，企业在寻找合作伙伴时，必然要找技术上最领先的。几个各有所长的公司组合在一起，互相取长补短才能互利。每个公司一定要有自己的独占技术，别人才会同你合作。

16. 技术的敏感。敏捷企业要与用户、供应商有密切联系，企业内部各部门之间有密切联系，一旦发现问题和新的需求，就能进行快速而细致的分析。引进新技术，特别是要了解竞争对手，在各种关键技术方面绝不能落后于竞争对手。

17. 整个企业集成。向工作小组和个人放权，绝不意味着各自为政，而应该是在人人都明确为实现企业全局战略目标的前提下，在快速的通讯系统支持下，取得更高水平的全局协调。也就是说，要通过整个企业集成，来提高企业的柔性。

18. 基于远景蓝图的管理与领导。描绘一幅既现实又激动人心的远景蓝图（vision），给全企业职工指出企业的目标，以及达到目标的途径。这样才能使各层人员都发挥最大的主动性、积极性，以最高效率去为企业的成功奋斗。

二、敏捷制造与大量生产在思想观念、经营战略上的差别

（一）使顾客富裕

按照传统观念，销售活动总是要以赚顾客的钱为目的。敏捷制造有两个新的提法，一个是“使顾客富裕”（enriching the customer）；另一个是，销售的是“解决”（solution）而不是“产品”（product）。敏捷制造把目标定位在大量个人市场上，主要是满足顾客个性化的需要，而评价准则又只以“顾客满意”为标准。因此，必须突破传统观念。顾客感觉到的是他的问题得到了解决，而不单是拿到了一个实体的产品。当然，“解决”并不是说没有实体产品的抽象结果，而是指完全按照顾客要求的个性化的产品和服务的综合，其价值体现在使顾客真正感到“我的问题解决了”，甚至是“我赚了”。

对于产品，顾客支付的费用是基于它的生产成本以及一定的市场利润。而对于“解决”，顾客支付的费用则是一个在供应商和顾客之间都认可的这个“解决”的价值。譬如，在同一个航班上的乘客，可能其票价差别很大；有些旅游的乘客，为了买便宜机票，提前很多天订票，完全听从从航空公司安排的航班。而有的经理，由于临时决定的商业谈判，要求马上订到机票，航空公司就为他们提供高价机票，满足了他们的“及时性”要求。要签订一项几百万元的合同，如果能够及时到达，合同签成了；如果不能，合同可能被另一家公司抢去了。这就是满足顾客“个性化”需要的“解决”。他绝不在乎多花点旅费，而是因为航空公司这项业务帮他解决了一个难题，而觉得自己赚了。

因为“解决”往往是具体顾客的特殊需要（至少有别于其它顾客），供应商就需要与他共同研究，如何满足他的需要，还可能要对原设计进行重新思考、重新设计，这样在供应商和顾客之间就建立了一种长期联系的依存关系。供应商以取悦于顾客、为顾客服务为目标，顾客当然也愿意依靠这个供应商，当原来的产品用完或报废需要更新时，还会找同一个供应商。所以“使顾客富裕”实际上当然也就会使供应商富裕。

（二）用合作去加强竞争

为了在竞争中壮大自己的力量，人们总会寻找一些伙伴。但是在敏捷制造的年代又有了与以前很不一样的新思想，“合作”可以在从前的竞争对手之间进行。下面从组织内部和外部两方面来说明。

从内部来说，主要是发扬团队的合作精神。要鼓励员工协同工作解决问题，他们要把合作看作是一种义务，而不是互相推诿责任。这样，企业就会以一种类似于医院急救室的工作方式进行运转，去完成新的订单带来的任务，攫取新的市场机遇。另一方面也要有明确的智力资源权利条例和企业内部明确的道德准则，来规范人们的行为和保护员工发明创造的权利。

从外部来说，合作概念的发展已进展到了以前竞争对手之间的合作。在七十年代，美国三大汽车巨头——通用、福特、克莱斯勒，都投资了几亿美元开发汽车排气管上控制空气污染的装置。在那个时候，他们绝不愿意联合起来开发。实际上各自做出了类似的结果，白花了很多钱。现在，他们都参加了一个多功能的集团“USCAR”，共同开发各种技术、材料和部件，从结构塑料到电池到电机车控制系统等。日立（Hitachi）与IBM，在计算机主机市场上，一直是两大竞争对手，但现在成了合作伙伴。日立买进IBM的主机CMOS处理机芯片，并制造IBM结构的主机（IBM给予许可证），打上日立牌子销售。当然也要解决利益分配的问题，使供应商、合作伙伴以及顾客都能共享信息，互相受惠。进而就为创建或加入“虚拟企业”制订出明确的标准。

（三）急救室式的工作

对于敏捷制造企业，可以把它类比为医院里的急救室。在那里，准备了一套人力的、技术的和制度的资源，随时可以按特殊需要，重新组合成各种不同的组织形式。从使命和任务上来说，急救的需要是紧急的、多种多样的，必须在尽可能的短时间内完成。从人员的配置上，必须是技能高超，每个人都有各自的专长，而对于相关岗位也不陌生。在紧急抢救的时候，任务是不可预见的，不知道需要哪一类专家来唱主角，当然也无法预先安排相互的配合关系。分工仍是必要的，但不是一种限制，最关键的问题是抢时间。在人员的相互关系上是一种密切合作、互相默契的配合关系。当然，在设备配置上，医院要保证抢救人员要什么就有什么，甚至可以快速取得与医院有关的其它专家的专门知识的咨询，可以要求在短时间内

取得本医院所能有的其它特殊设备。对于敏捷制造，为了能完成一项用户需要的紧急订单，首先是人员之间，能主动承担任务，相互积极配合；其次是，设备器材、专业知识等也将能作最灵活的调度。只有在这样一种新的资源配置和调度的环境中，在同心同德、团结奋斗的氛围中，与抢救危重病人类似的商业战场上的“战役”，才能一个一个地取得胜利。所以组织机构及其运行机制要慎重选择，使之满足灵活、动态的结构要求。

在管理上，强调权力分散，让中下层管理人员在保证企业总任务的前提下，有更多的自治权。循循善诱的领导作风、鼓励和信任代替了传统的上司对下属的命令和控制。一种各级人员都具有强烈进取心，责任分担、荣誉分享的企业文化蔚然成风。整个企业，从员工个人到组织机构，都能最有效地适应市场的变化，做出“敏捷”的响应。

（四）充分发挥人和信息的作用

在敏捷企业中人是最核心的资源，最宝贵的东西不是技术、不是厂房、也不是设备，是人和信息。

只要有钱，设备、技术总是可以买到的，但是人，特别是知识渊博，有熟练技能，有突出的开创精神和有强烈的主人翁责任感的人，却不是一朝一夕所能培养起来的。因此，敏捷企业应该不断地探索和实施激励人的主动性和创造性的措施。敏捷制造要求每个员工都学会从全局需要来考虑问题，每个人都好像是厂主，都愿意承担为顾客服务的责任和义务，为企业的成功共同解决问题和共担风险。还都要求自己不断学习、不断充实自己。他们已经被授权在自己的工作领域中可独立做决定，而不学习就不可能在多变的情况下做出正确的决策。

另一方面是信息的作用。因为市场的急剧变化，最主要要掌握用户需求的变化和在竞争中知己知彼。如果对本企业内部的信息不能透彻了解，那么如何能要求员工从全局出发做到集成呢？如果竞争对手采取了一些新的措施，采用了一些新技术，而本企业却迟迟不了解，又如何能及时采取改进竞争手段的对策呢？“敏捷”的基本思想是既快又灵，所以一定要把信息的价值提到足够的高度来认识。

三、实现敏捷制造的措施

1. 将继续教育放在实现敏捷制造的首位，高度重视并尽可能创造条件使雇员能获取最新的信息和知识。因为今后的竞争，归根结蒂是人才的竞争，是人才所掌握的知识和创造力的竞争。企业的雇员知识面广、视野宽，才有可能不断产生战胜竞争对手的新思想。

2. 虚拟企业的组成和工作。从竞争走向合作，从互相保密走向信息交流，实际上会给企业带来更大利益。如果市场上出现一个新的机遇，譬如看准了半年后推出某种新型计算机必能畅销，于是几家本来是竞争对手的大计算机公司，可能立即组成一种合作关系。A公司开发的主机性能好，B公司的软件开发能力强，C公司的外围设备有特色和很好的声誉，各家都发挥自己的优势共同开发，就能迅速占领市场。完成这次合作以后，各家还是各自独立的公司。这种方式就是“敏捷制造”。实施敏捷制造的基础是全国以至全球的通讯网络，在网上了解到有专长的合作伙伴，在网络通讯中确定合作关系，又通过网络用并行工程的做法实现了最快速和高质量的新产品开发。

3. 计算机技术和人工智能技术的广泛应用。未来制造业中强调人的作用，丝毫没有贬低技术所起作用。计算机辅助设计、辅助制造，计算机仿真与建模分析技术，都应在敏捷企业中加以应用。另外，还要提到“团件”（group ware），这是近来研究比较多的一种计算机支持协同工作（computer supported cooperative work, CSCW）的软件，称为group ware是强调作为分布式群决策软件系统，它可以支持两个以上用户以紧密方式共同完成一项任务，例如有同样想法而又同时工作的人所用的文章大纲编辑器。人工智能在生产和经营过程中的应用，是另一个重要的先进技术的标志。从底层原始数据检测和收集的传感器，到过程控制的机理以至辅助决策的知识库，都需要应用人工智能技术。

4. 方法论的指导。所谓“方法论”，就是在实现某一目标，完成某一项大工程时，所需要使用的一整套方法的集合。我们强调要实现全企业的整体集成，这是一项十分复杂的任务。对每一时期每一项具体任务，都应该有明确的规定和指导方法，这些方法的集合就叫“集成方法论”。这样的方法论能帮助人们少走弯路，避免损失。这种效益，比一台新设备，一个

新软件所能产生的有形的经济效益，要巨大得多，重要得多。

5. 环境美化的工作不仅仅指工厂企业范围内的绿化，更主要是对废弃物的处理。主动地、有专门的组织积极开展对废物的利用或妥善的销毁。

6. 绩效测量与评价。传统的企业评价总是着眼于可计量的经济效益，而对生产活动的评价，则看一些具体的技术指标。这种方法基本上属于短期行为的做法。对于敏捷制造、系统集成所提出的战略考虑，如缩短提前期对竞争能力有多少好处？如何度量企业柔性？企业对产品变异的适应能力会导致怎样的经济效益？如何检测雇员和工作小组的技能？技能标准对企业柔性又会有什么影响？……这一系列问题都是在新形势、新环境下提出来需要解决的。又如会计核算方法，传统的会计核算主要适合于静态产品和大批量生产过程，用核算结果来控制成本，压缩原材料和直接劳动力的使用，是一种消极防御式的核算方法。这些都是不适应敏捷企业需要的，当前要采用一种支持这些变化的核算方法。如 ABC法 (activity based costing) 把成本计算与各种形式的经营活动相关联，是未来企业中很有希望的一种核算方法。合作伙伴资格预评是另一种评价问题。因为虚拟企业的成功必须要合作伙伴确有所长，而且应有很好的合作信誉。

7. 标准和法规的作用。目前产品和生产过程的各种标准还不统一，而未来的制造业的产品变异又非常突出，如果没有标准，不论对国家、对企业、对企业间的合作、对用户都非常不利。因此必须要强化标准化组织，使其工作能不断跟上环境和市场的改变，各种标准能及时演进。现行法规也应该随着国际市场和竞争环境的变化而演进，其中包括政府贷款、技术政策、反垄断法规、税法、税率、进出口法、国际贸易协定等等。

8. 组织实践。外部形势要求变，内部条件也可以变，这时的关键就在于领导能否下决心组织变革，引进新技术，实现组织改革，实现放权，进行与其它企业的新形式的合作。现在不仅要求富于革新精神和善于根据敏捷制造的概念进行变革的个人，更需要而且是必然需要这样的小组，才能推动企业的变革。

第三节 计算机集成制造系统

一、CIMS的产生及定义

早期的生产与运作管理主要依赖工厂主的个人经验。二十世纪以后，随着泰勒倡导的科学管理运动的蓬勃发展，人们逐渐寻求各种各样的优化生产与运作管理的科学方法，出现了诸如订货点法、经济生产批量法、物料需求计划方法等。到了七十、八十年代，世界经济形势发生了巨大变化，企业面临的市场竞争越来越激烈，承受的压力越来越大，使企业的生产方式发生着巨大的变化。为了提高市场竞争能力，企业一方面继续寻求更好的生产与运作管理方法，如准时生产制、最优生产技术等，另一方面积极探索采用新的制造技术和生产组织方式，其中，最具代表性的是计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。CIMS已被预言为21世纪制造业的主流技术。它的出现，完全改变了人们对企业经营活动的传统认识，对许多传统的观念提出了严峻的挑战，也使生产与运作管理又一次进入了发展新时期。

1974年，美国的约瑟夫·哈林顿 (Joseph Harrington) 博士在《Computer Integrated Manufacturing》一书中首次提出计算机集成制造的概念，其中有两个基本观点：

① 企业生产的各个环节，即从市场分析、产品设计、加工制造、经营管理到售后服务的全部生产活动是一个不可分割的整体，要紧密连接，统一考虑。

② 整个生产过程实质上是一个数据的采集、传递和加工处理的过程。最终形成的产品可以看作是数据的物质表现。

综合这两个观点，可以看出，CIM是信息技术和生产技术的综合应用，目的在于使企业更快、更好、更省地制造出市场需求的产品，提高企业的生产效率和市场响应能力。从生产技术的观点看，CIM包含了一个企业的全部生产经营活动，是生产的高度柔性自动化，它比传统

的加工自动化的范围要大得多；从信息技术的观点看，CIM是信息系统在整个企业范围内的集成，主要是体现以信息集成为特征的技术集成、组织集成乃至人的集成。因此，CIM是生产组织的一种哲理、思想和方法。当一个企业按CIM哲理组织整个企业的生产经营活动时，就构成了计算机集成制造系统（CIMS）。

哈林顿博士是根据计算机技术在工业生产中的应用实践，并预见其必然的发展趋势提出CIM概念的。这一概念在进入80年代以后受到了企业界和学术界的广泛注意，并把它作为制造业的新一代生产方式。这是科学技术发展和市场需求变化综合作用的结果。

（一）产生CIMS的技术推动作用

谈及CIMS，离不开计算机技术的支持。自从1946年世界上第一台电子计算机诞生以后，它很快就在社会各领域得到广泛应用，并使每一个应用对象在技术上都发生了革命性的变化。计算机在工业生产上的应用，使产品制造由刚性自动化转向柔性自动化，使企业的管理工作由手工抄、写、算转为计算机处理，并为CIMS的形成作了技术上的准备。

1、计算机在产品设计和制造中的应用

计算机在产品中的应用研究，即计算机辅助设计（CAD），是在50年代中期开始的。主要包括：计算机制图、设计计算和建立数据库。早期的CAD主要用于产品设计计算及计算机绘图。随着微型机性能的提高和成本的大幅度下降，CAD进入了更多的制造应用领域，不仅出现了可绘制2维、3维图形的交叉绘图系统，而且还产生了用于3维设计和2维分析的CAD系统，可以完成产品设计、材料分析、制造要求分析、优化产品性能以及工、模具和专用零部件设计等工作。采用CAD可以大大节省设计时间，其设计速度一般是人工的1至5倍。CAD不但提高了产品设计的效率，而且也提高了设计的水平和质量。从而使采用CAD技术的工厂能够迅速推出高性能、高质量的新产品。

计算机辅助制造（Computer Aided Manufacturing, CAM）的研究也起始于50年代。1952年，美国首先研制成功数控机床，为计算机在产品制造中的应用开创了一条崭新的道路，成为CAM的开端。1958年，随着刀库的发明，出现了能在一台机床上通过自动换刀实现铣、钻、镗、铰及攻丝等多种加工的数控加工中心，能够在一次装夹中完成多道工序，使数控自动化加工由工序分散方式向集中方向发展。由于当时计算机价格昂贵、体积庞大，为了充分利用计算机的功能，人们又开始研究并于1966年在美国制造出用一台计算机同时控制数台机床的直接数控（Direct Numerical Control, 简称DNC）系统。1967年，英国首先研制、美国制造成功了由数控机床组成名符其实的多品种加工自动生产线，并命名为柔性制造系统（Flexible Manufacturing System, 简称FMS）。FMS的建成把机械加工的劳动生产率又提高到一个新的高度。据1982年美国的一份调查报告报道，组成FMS的一套机床的产量通常为同样机床在单机使用情况下所完成产量的3倍。然而FMS的重要意义还不仅仅如此，还在于它解决了离散型制造企业一直试图解决而未能解决的、经常更换品种的中小批量生产自动化问题。中小批量离散型生产企业在整个制造业中约占85%左右，是最难实现自动化的领域。FMS使其有了实现的途径，从而展现了工业生产有可能全面实现自动化的前景。

随着CAD和CAM技术的迅速发展，人们开始考虑两者的集成，即由计算机将所设计的零件信息直接转化为加工信息传递到机床，使一项产品从设计到制造在一个系统中完成，不再使用图纸等书面文件。到了八十年代中期，CAD/CAM集成系统已进入实用化阶段。

2、计算机在企业管理中的应用

计算机问世后的开始几年中，主要用于科学技术和工程方面的计算。1954年美国通用电气公司第一次用电子计算机计算职工的工资，是计算机首次进入管理业务。以后电子计算机在管理上的应用范围越来越广，而且随着电子计算机技术、网络技术的迅速发展，计算机在管理上的应用也由初期的单项数据处理阶段发展到数据综合处理阶段，进而发展到现在的数据库系统处理和管理信息系统（Management Information System, MIS）阶段。数据处理系统的功能就是在企业生产的各个环节全面使用计算机对生产数据进行处理；管理信息系统主要是对企业的经营管理方面进行计算机化管理。在这方面有较大影响的美国IBM公司，在1958年发表了标准生产管理方式，1968年在标准生产管理方式基础上建成了生产信息与管理信息系统（Production Information and Control System, PICS），其中包括8个子系统。70年代又改

进为面向通信的生产信息与管理系统（Communication Oriented Production Information and Control System, COPICS）。

计算机对企业管理从信息流的管理上升到物质流的管理是一个飞跃。因此，1961年美国又提出了MRP系统。1979年在此基础上又研制了制造资源计划（MRP II）。MRP II现已成为CIMS体系中的重要组成部分。

计算机在各单元技术上的应用，如CAD/CAM、FMS、MRP、MRP II等等，在缩短产品生产周期、提高各种资源的利用率、制造高度精密、复杂的零件、降低生产成本、增强市场应变能力和竞争能力等方面，都给采用这些技术的企业在不同程度上带来了效益。同时，这些单元技术的发展也为CIMS的建立提供了技术上和物质上的准备。

（二）产生CIMS的市场拉动作用

从市场方面看，自二十世纪七十年代开始，世界市场发生了重大变化。科学技术飞速发展和社会需求多样化的相互作用，相互促进，使过去相对稳定的市场变成需求多变的市场。这里所说的市场是一个广义的概念，可以概括为3个“C”：用户（Customer）、竞争（Competition）和变化（Change）。

用户——今天的用户对企业来说具有举足轻重的影响，失去了用户就等于失去了市场。然而用户需求的多样性和日趋个性化却给企业带来了经营上的困难。

竞争——不仅竞争强度增加了，而且竞争要素也增加了。企业除了继续要在价格、成本、质量三个传统要素上竞争外，还要在服务 and 交货期上与竞争对手一比高低。

变化——环境的变化对企业来说已成为理所当然的事情。变化无处不在，无时不有，而且变化的速度在加快。新技术加速了革新，产品寿命周期比若干年前大幅度缩短，如今的“电脑”几乎一进入市场就已经过时了。

面对上述技术和经济的新形势，过去那种“四平八稳”的经营习惯早已不能适应了，企业必须寻求一种技术与管理高度结合的新的生产方式，才能在今后继续得到发展。CIMS正是这样一种新的生产方式。

如前所述，计算机在各单元技术上的应用使企业获益匪浅。但是人们进一步发现，如果将这些自动化单元技术加以有机集成，则可以带来更高的技术上和经济上的效益。因为集成度的提高，可以使各种生产要素之间的“配合”得到更好的优化，各种要素的潜力可以得到更大的发挥，即可以达到整体的静态和动态的最优化，使得实际存在于企业生产中的各种潜力充分发挥出来。可以说，对整体最优化目标的积极追求是产生对CIMS的需求动机。

技术上的可能和市场竞争的需要，使哈林顿提出的CIM概念迅速成为一些技术上处于先导地位的企业和一些国家政府的实践活动，随着实现CIMS的技术难关的逐步攻克，CIM从一般概念变成了较大规模的工业应用。

（三）关于CIM和CIMS的定义

如前所述，CIM是组织现代化生产的一种哲理，一种指导思想。那么，CIMS便是这种哲理的实现。因为CIMS才走过二十几年的路程，还有许多问题有待于深入研究，就是其定义目前也是众说纷纭，这里列举几个简要介绍。

企业类型不同，例如进行单件生产的企业与多品种、中小批量生产的企业或大批量生产的企业，其生产经营方式将是不同的，离散型制造业与流程工业也是不同的，因而实现CIMS必然是不同的。即使是同一行业的企业，由于它们的生产经营目标不同，企业的基础条件不同（如技术水平、人员素质、资金能力等等），其实现CIMS的过程与结果也将是不同的。当然，就技术而言，其中许多技术是有共性的。

可以说，CIM哲理只有一个，CIM的许多相关技术（如CAD、成组技术、MIS等）具有共性，而CIM系统（即CIMS）则是因企业的不同而千变万化的。CIMS主要是强调我们的研究开发不停留在哲理上，而要把重点放在实现上，通过实现去带动解决关键技术、形成高技术产业。强调系统的另一方面原因是要用系统观点来指导整个CIMS的研究开发，即系统的目标、结构、组成、约束、优化、实现等，这一点与CIM概念本身强调总体、强调系统是一致的。

CIMS可以由工程设计自动化分系统、管理信息分系统、制造自动化分系统、质量保证分系统以及计算机网络分系统、数据库分系统等组成；也可以由上述部分分系统集成组成CIMS。

CIMS的实施方案、实施规划和实施步骤等是由企业的长期和近期目标及约束条件决定的。总之，CIM哲理的各种具体实现都是CIMS。

德国自八十年代初期开始注意探讨CIM这一主题，出现了各种不同的概念定义，直至1985年(联邦)德国经济生产委员会(AWF)提出了关于CIM的推荐性定义才取得了一定程度上的统一。AWF推荐的定义是：CIM是指在所有与生产有关的企业部门中集成地采用电子数据处理，CIM包括了在生产计划和控制(PPC)、计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规划(CAPP)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助质量管理(CAQ)之间信息技术上的协同工作，其中为生产产品所必需的各种技术功能和管理功能应实现集成。目前，各主要工业发达国家对CIM的定义已基本趋向一致。例如日本能率协会在1991完成的研究报告中提出CIM的定义为“为实现企业适应今后企业环境的经营战略，有必要从销售市场开始对开发、生产、物流、服务进行整体优化组合。CIM是以信息作为媒介，用计算机把企业活动中多种业务领域及其职能集成起来，追求整体效率的新型生产系统”。欧共体CIM-OSA(开放系统结构)课题委员会最近提出的CIM定义，被认为是当前对CIM的最权威最科学的定义：“CIM是信息技术和生产技术的综合应用，由此，企业的所有功能、信息、组织管理方面都是一个集成起来的整体的各个部分。”

在激烈的市场竞争中，各种企业要求生存、争发展，就要用CIM的概念组织生产。要达到企业的总体优化，不仅要正确处理加工制造过程的自动化，而且必须使设计过程、管理和决策过程采用先进技术，更加重要的是企业的体制、运行机制必须作相应的深刻变革。因此，CIM是一种组织现代化生产的哲理。

二、CIMS的一般结构

1974年哈林顿博士首先提出CIM概念至今已走过20多年的发展历程。有关CIM的概念和定义虽然存在着多种观点，经历了不少发展，但都保持了一个共同点，这就是“集成”。在自动化技术、信息技术和制造技术的基础上，在新的管理模式和生产工艺的指导下，把以往企业中相互孤立的工程设计、生产制造、经营管理等全部生产、经营活动所需的各种孤立的、局部的子系统，借助数据库和数字通信网络有机地集成起来，构成一个覆盖整个企业的综合系统，这就是CIMS。

不过，CIMS的具体结构在不同的企业则有不同的形式。例如美国国家标准局建立的自动化研究试验基地(Automated Manufacturing Research Facility, AMRF)、美国的IBM公司、DEC公司，德国的西门子公司，欧洲共同体的欧洲信息技术研究发展战略计划(Europe Strategic Programme for Research and Development in Information Technology, ESPRIT)都提出了自己的CIMS结构框架。尽管这些公司或组织提出的CIMS模型各不相同，但从功能和组织要素上看却有着惊人的一致性。这就使我们有可能从中提取CIMS的一般模型。

(一) CIMS的功能结构

从功能上看，CIMS包含了一个制造企业的设计、制造、经营管理三种主要功能，要使这三者集成起来，还需要一个支撑环境，即分布式数据库和计算机网络以及指导集成运行的系统技术，如图18-1所示。

1. 4个功能分系统

1) 管理信息分系统

它是以MRPII为核心，包括预测、经营决策、各级生产计划、生产技术准备、销售、供应、财务、成本、设备、工具、人力资源等管理信息功能，通过信息的集成，达到缩短产品生产周期，降低流动资金占用、提高企业应变能力的目的。

2) 产品设计与制造工程设计自动化分系统

它是用计算机来辅助产品设计、制造准备及产品性能测试等阶段的工作，即常说的CAD/CAPP/CAM系统，目的是使产品开发活动更高效、更优质、更自动地进行。

3) 制造自动化或柔性制造分系统它是CIMS中信息流和物流的结合点，是CIMS最终产生经济效益的聚集地，可以由数控机床、加工中心、清洗机、测量机、运输小车、立体仓库、多级分布式控制(管理)计算机等设备及相关支持软件组成。根据产品的工程技术信息、车间

层的加工指令，完成对零件毛坯加工的作业调度及制造，使产品制造活动优化、周期短、成本低、柔性高。

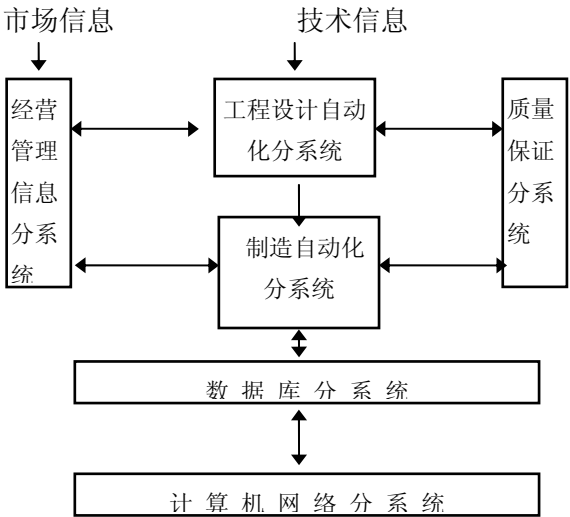


图18 -1 CIMS功能组成示意图

4) 质量保证分系统

包括质量决策、质量检测与数据采集、质量评价、控制与跟踪等功能。系统保证从产品设计、制造、检验到售后服务的整个过程，以实现产品的高质量、低成本、提高企业的竞争力为目的。

2. 2个支撑分系统

1) 计算机网络分系统

它是支持CIMS各个分系统的开放型网络通信系统。采用国际标准和工业标准规定的网络协议，可以实现异种机互联，异构局部网络及多种网络的互联。以分布为手段，满足各应用分系统对网络支持服务的不同需求，支持资源共享、分布处理、分布数据库、分层递阶和实时控制。

2) 数据库分系统它是支持CIMS各分系统，扛盖企业全部信息的数据库系统。它在逻辑上是统一的，在物可以是分布的全局数据管理系统，以实现企业数据共享和信息集成。

二) CIMS的技术结构

从结构上看，CIMS的技术结构如图18-2所示。

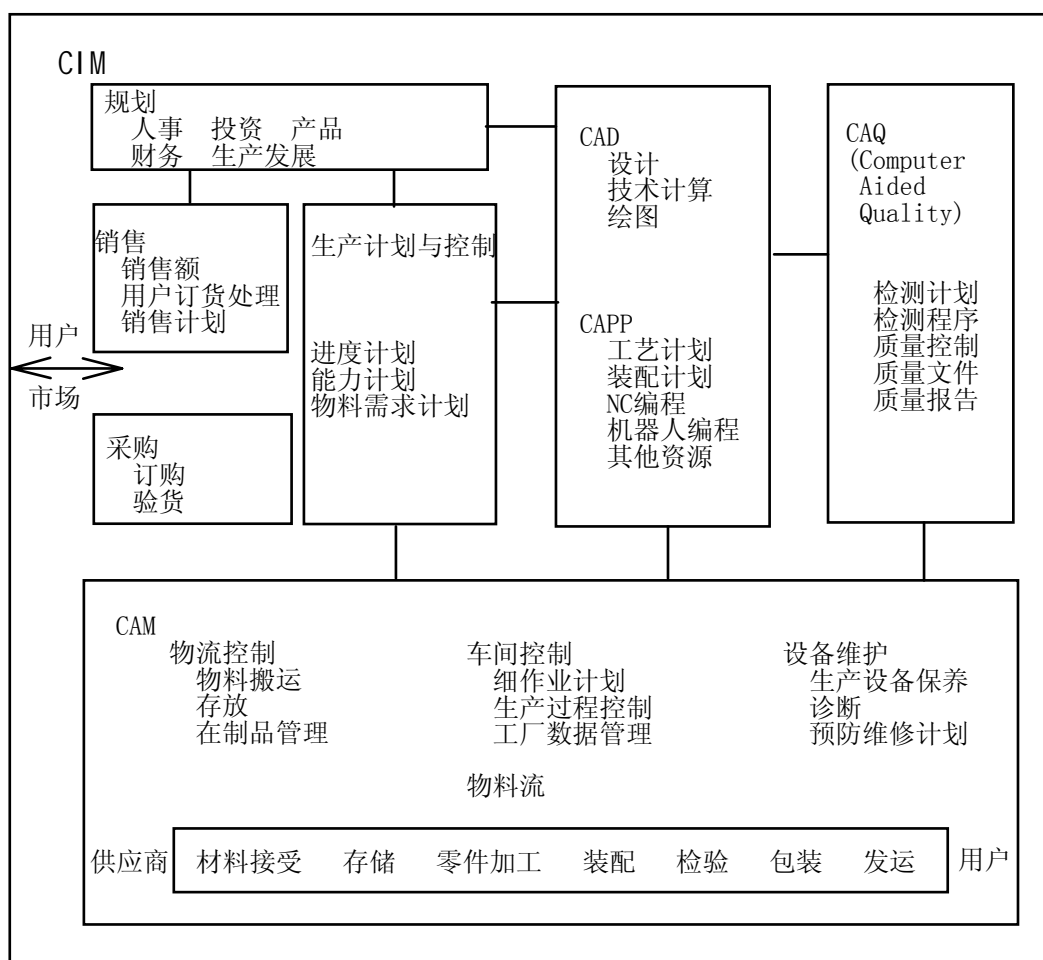


图18 -2 CIMS技术结构示意图

三、CIMS集成的内涵和模型

（一）CIMS集成的内涵

集成和连接不同，它不是简单地把两个或多个单元连在一起，它是将原来没有联系或联系不紧密的单元组成为有一定功能的、紧密联系的新系统。两种或多种功能的集成包含着两种或多种功能之间的相互作用。集成是属于系统工程中的系统综合、系统优化范畴。CIMS的集成，从宏观上看主要是以下5个方面：

1) 系统运行环境的集成：主要是将不同的硬设备、操作系统、网络操作系统、数据库管理系统、开发工具以及其他系统支撑软件集成为一个系统，形成一个统一的高效协调运行的应用平台，用户可共享系统软硬件资源。

2) 信息的集成：从信息资源管理(IRM)出发，进行全企业的数据总体规划和分市分析与应用分析，统一规划设计建立数据库系统，使不同部门、不同专业、不同层次的人员，在信息资源方面达到高度共享。

3) 应用功能的集成：对工程设计领域而言，就是将决策支持系统(D5S)、计算机辅助管理(MIS)、计算机辅助工程(CAE)、计算机辅助设计(CAD)等应用系统溶为一体，建成计算机集成工程设计系统(CIEDS)。

4) 技术的集成：开发建设面向行业应用的计算机集成应用系统是多种高技术的综合运用。例如进行系统设计时，必然要运用系统工程理论以及某种系统开发方法论(如结构化方法、信息工程方法、面向对象方法等等)作指导。又如网络通信技术、数据库技术、多媒体技术、可视化技术、并行工程与计算机支持的协同工作(CSCW)、人工智能与优化技术以及工

程设计理论与技术和管理科学等等。需要多方面的高级技术人员参加和有关专家学者的技术咨询。

5) 人和组织的集成：首先要开发建设集成应用系统，高层领导必须亲自介入，加强统一领导，自始至终坚持“管理人员、设计人员、计算机技术人员三结合”的原则。其次随着集成应用系统规划、分析、设计和实施逐步的完成，必须促进管理机制的变化，使之真正达到管理机构和生产组织的现代化和科学化。最后，对集成应用系统的每一个管理者和使用者而言，都要有系统集成的明确观念，每一个人都将在系统的控制下进行工作，每个人的工作任务能否正确实时地完成，也将影响系统的维护和运行。

总之，人、组织和系统是不可分割的有机体，从系统的设计开发到系统建成后的应用、运行维护，起关键作用的仍然是人、组织和管理。

将上述几个特点简单归纳成一句话，就是以网络为支撑、以数据库为核心，把各类功能分系统和应用软件有机地集合在一起，形成综合性的多功能的计算机集成应用系统。

(二) CIMS集成的模型

从集成的观点看，CIMS又可以用“Y”模型来描述，如图18-3所示。“Y”模型的左侧，描述的是生产计划与控制（Production Planning and Control, 简称PPC）的管理职能，右侧描述的是CAD/CAM的技术职能，中间是中心数据库。因此，所谓集成，包括了PPC与CAD/CAM的横向集成，还包括PPC由上到下的纵向集成，CAD/CAM、CAPP的纵向集成。“Y”模型直观地表示出企业系统内的信息集成和功能集成的基本含义。

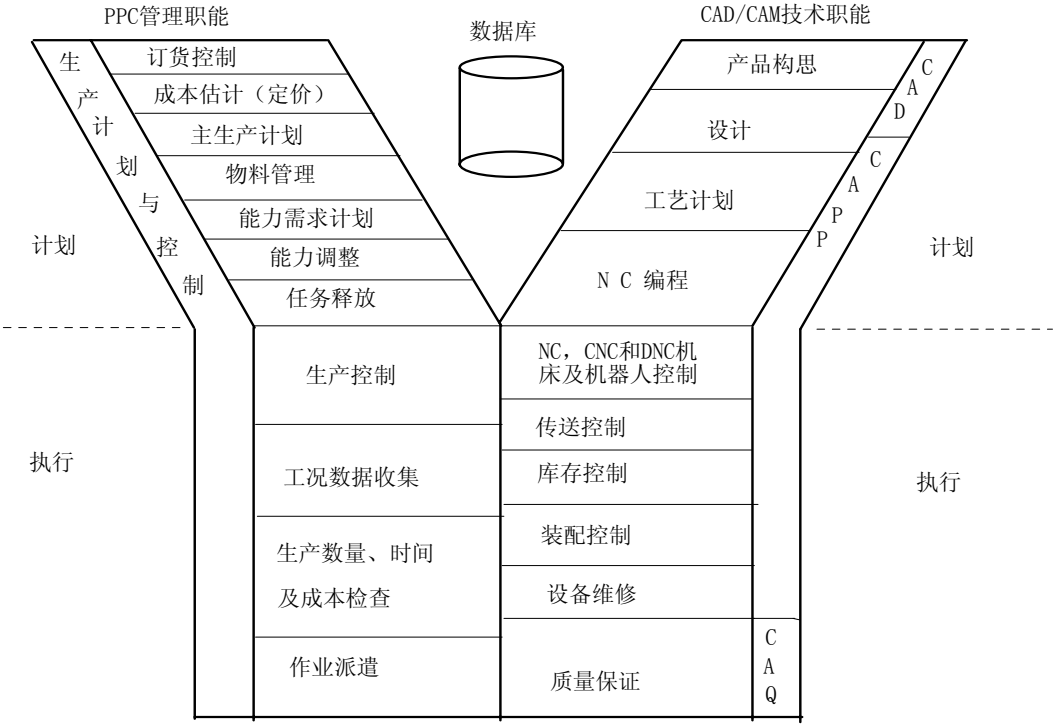


图18 -3 CIMS的“Y”模型

四、实施CIMS给企业带来的效益

概括地讲，实施CIMS会提高企业的整体效益。具体体现是：

1. 在工程设计自动化方面，采用现代化工程设计手段，如CAD/CAPP/CAM，可提高产品的研制与生产能力，便于开发技术含量高和结构复杂的产品，保证产品设计质量，缩短产品设计与工艺设计周期，从而加速产品更新换代速度，满足用户的需要。

2. 在加工制造上，FMS、柔性制造单元(FMC)或分布式数控(DNC)的应用可提高制造过程

的柔性质量，提高设备利用率，缩短产品制造周期，增强生产能力。

3. 在经营管理上，使企业的经营决策与生产管理科学化。在市场竞争中，可保证产品报价的快速、准确、及时；在生产过程中，可有效地解决生产“瓶颈”，减少在制品；在库存控制方面，可使库存压到最低水平，减少制造过程所占资金，减少仓库面积，从而可有效地降低生产成本，加速企业的资金周转。总之，CIMS通过计算机、网络、数据库等硬、软件将企业的产品设计、加工制造、经营管理等方面的所有活动有效地集成起来，有利于信息及时、准确地变换，保证了数据的一致性，提高产品质量、缩短产品开发周期，提高生产效率，带来更多的效益。

下面是美国和日本对一些CIMS工厂的效益所作的调查统计：

1) 1985年，美国国家科研委员会对CIMS实施方面处于领先地位的美国公司(麦克唐纳飞机公司、迪尔拖拉机公司、通用汽车公司、英格索尔铣床公司和西屋防卫与电子公司)所进行的调查分析表明，采用CIMS可获得以下效益：

- ①工程设计成本降低15%-60%；
- ②产品设计并投产的时间减少30%-60%；
- ③生产率提高40%-70%；
- ④在制品减少30%-60%；
- ⑤产品质量提高2-3倍；
- ⑥工程技术人员分析问题的厂度与深度提高3-35倍；
- ⑦设备利用率提高2-3倍；
- ⑧人力费用减少5%-20%。

2. 日本富士通公司的试点工厂小山工厂经一年运转，使用CIMS的效益如下：

- ①生产率提高2倍；
- ②生产人员减少50%；
- ③库存减少35%；
- ④废品率降低2/3。

3. 采用并行工程模式的CIMS，其效益统计结果如下：

- ①早期生产中工程变更次数减少1/2；
- ②产品开发周期减少40%-60%；
- ③制造成本降低30%-40%；
- ④产品报废及重复工作减少75%。

五、CIM哲理的广泛适用性

这个问题还是在于对Manufacturing (制造)一词的理解，国外也有过很多争论。现在大多数的理解是把这个词看作一个很广义的概念，绝不局限于金属切削加工的离散类零件制造，也不局限于飞机、汽车等大型装配企业，有些CIMS成功的例子是在电器行业、电子元器件、成衣业、食品(包括乳制品)加工业，有些是连续加工行业，如化工、钢铁、制药等。这一切都反映了对这个概念没有行业的限制。CIM还有可能闯入农林牧副渔各业的应用，甚至开创在各种服务行业中的应用。

在经营机制上，高生产率和高柔性是不同企业的共同追求的目标。为了追求高生产率，在规模经济思想指导下，努力扩大批量，努力将离散作业连续化，如流水生产线、自动生产线。但是为了提高柔性，又需要生产线是变化的，实施CIMS及柔性制造系统，即考虑到提高生产率，也要努力提高系统的柔性，从而获得更大的经济效益。因此，CIMS对不同类型的企业都有适用性。

当然，由于企业类型不同，其CIMS的具体构成、实施重点及方法是不同的，这些确实需要根据具体的情况，在生产自动化方面、生产工艺方面、产品设计方面、生产管理方面、质量控制方面设计和实施CIMS。

另外，CIMS的概念还适用于大中小各种规模的企业。在一般人眼里，CIMS是一种巨额投资的高科技项目，经济实力比较弱的中小型企业似乎是无从问津的。但实际上，CIMS是一种

用计算机技术作为手段,把企业内各个部分、各种技术集成成为一个整体的一种生产模式,所以它不应该受企业规模的限制。只要这个企业有应用计算机技术进行企业技术改造和体制改革的实际需求,我们就建议他们制订一个总体规划,逐步扩大计算机技术的应用,量力而行地逐步集成,而不要再去只建筑自动化孤岛。中小企业有自己的具体情况,有自己的特点,譬如有的企业只是对某些产品进行来料加工,其设计部门很弱,不需要CAD/CAM;有些企业,加工的产品手工完成的工作量多(如成衣),没有必要买FMS。甚至可以说,只要根据CIM哲理寻求企业最佳经营模式,即使不用计算机辅助设计或编制生产计划等,也可以认为是CIMS,不过这里的“C”是“contemporary”,构成“现代集成制造系统”。摆脱了那种“非有什么什么才叫CIMS”、“非要高度自动化才叫CIMS”的框框之后,中小企业完全可以根据“计算机集成制造”这一概念,规划自己企业的CIMS,实施CIMS,增强自己的竞争能力,得到实惠。

综上所述,最重要的是实施CIMS的目标要获得全面综合管理目标。要在T、Q、C、S四个方面获得全面的竞争优势。因此不必要也不可能全厂自动化,特别是在实施CIMS的初级阶段更不能过份强调自动化。实施CIMS要有一个总体规划,这一点十分重要。因此可根据企业生产经营的战略目标,确定与之相应的CIMS技术目的,“自上而下的设计与规划,自下而上的分步实施,边实施、边见效”。采用这一指导原则,可以避免由于没有总体规划而产生自动化孤岛给未来集成带来困难,使各个阶段投资尽可能长久地发挥效益。

六、我国CIMS应用情况

我国对制造业的这场巨大而深刻的革命十分关注,给予了极大的重视,把它既看作是一次挑战,又看作是一次机遇。

1986年,我国4位著名科学家上书国家领导人,提出追踪国际高技术发展的建议。国家科委因此设立了“863计划”,计算机集成制造系统是其中的一个主题。在“863计划”的支持下,以清华大学为主的11个承担单位在我国建立了第一个CIMS实验研究应用基地,解决了多项关键技术,培养了一支技术队伍,缩短了我国在CIMS方面同国外的差距,起到了跟踪国际高技术的发展及对我国工厂自动化的牵引与导向作用,达到了建设实验工程的目标,发挥了总体集成技术研究、单元技术集成测试、人才培训和技术转移等4个中心的作用,为我国CIMS研究与应用作出了重大贡献。与国际上80年代末所建成的几个CIMS工程中心水平相当,达到了国际先进水平。经过十余年的努力,计算机集成制造系统在我国已取得较大进展。清华大学CIMS实验工程和北京第一机床厂分别获得了美国1994年SME大学领先奖和1995年工业领先奖。这表明我国的CIMS技术水平已进入国际先进水平的行列。其它CIMS应用工厂(如北京第一机床厂,沈阳鼓风机厂,河北经纬纺织机械厂,成都飞机工业公司等)也都取得了十分显著的经济效益。

我国推广CIMS的经验是:

- 1) 推行CIMS是厂长、总经理行为。
- 2) 采用自顶向下制定总体规划,自底向上的逐步实施。
- 3) 当前阶段要特别重视人的作用,牢记CIMS的实质上是人、机器和管理的集成。
- 4) 我国科学家和企业家总结出的实施CIMS十六字方针是“效益驱动、总体规划、重点突破、分步实施”。

1997年,我国两院院士对863/CIMS的实施情况进行了考察,认为我国科研人员和企业人员相结合,用少量的投资推广CIMS及其单元技术,使企业提高了综合竞争能力和生存能力,是功不可没的。大学和科研院所还开展了超前性研究,有些成果可望带动我国制造技术的进一步发展。为探索在我国条件下发展高技术及其产业化的道路,提供了可供借鉴的经验。

七、CIM技术发展动向

21世纪即将来临,世界市场竞争也变得愈来愈激烈,人们要求不断改进T、Q、C、S,以及开发高质量、低成本的新产品,同时也由于技术装备和工具软件的日新月异,CIMS的内容也随之发展和充实,新的发展动向可以归纳如下几个内容。

1. 并行工程(Concurrent Engineering)将成为CIMS优化运行的一种有效哲理与模式。前

面已对并行工程进行了介绍,已经知道它是对产品及其相关过程(包括制造过程和支持过程)进行并行一体化设计的一种系统化的工作模式。这种工作模式就是把原来串行进行的开发过程的设计尽可能地并行进行,把整个开发过程集成起来。把产品及其加工制造的设计、后勤支持及用户组织成一个多专业的开发组并授权。配备相应的自动化开发环境,使整个设计并行进行。这种工作模式力图使开发者们从一开始就考虑到产品全生命周期(从概念形成到产品报废)中的所有因素,包括质量、成本、进度与用户需求。

2. 人(包括组织机构)、经营(包括目标与过程)、技术三者的全面集成将是CIMS取得成功的关键。为此,近年来开展了许多新的概念与方法的研究:人的系统透视图;机构的设计与分析;高级制造技术小组;级职小组;交叉职能管理;以用户为中心的设计;人/机系统等。

3. CIMS集成及其支撑系统方面的发展动向。系统集成的级别已从硬件级(70年代)、网络级(80年代中期)、数据管理级(80年代末期),发展到应用级(90年代),即基于集成平台,将在不同计算机硬件和操作系统上运行的应用系统,使用不同网络型式的应用系统和基于不同供应商数据库的应用系统皆紧密地集成而构成CIMS。

网络系统正向开放、集成、高速和网络管理智能化发展。

数据库发展重点是:面向对象(O-O)、同构分布和异构分布。

面向对象的分析、设计方法学越来越广泛地用于CIMS的人/机接口软件工程以及CIMS的分析设计等各个方面。

仿真技术已成功地用于CIMS全生命周期 系统分析、设计、实验、运行、评价、培训。

标准化技术是CIMS集成、开放的基础技术。CIM标准化融合并发展了有关的信息技术与制造技术的标准化。

4. 面向CIMS的经营管理技术方面的发展动向。基于高性能微机的分布式MRPII系统迅速增长。MRPII功能正在扩展,它将包括MRPII及准时生产(JIT)、专家系统、数据库等,及在MRPII中综合车间控制功能和基于知识的调度等。越来越重视计算机辅助质量监督、诊断与控制子系统的完善与发展。

5. 面向CIMS的计算机辅助工程设计CAD/CAPP/CAM技术方向的发展动向。基于高性能微机的CAD/CAM系统继续增长。新一代的CAD/CAM系统将以参数化特征建模为基础。CAPP已成为CAD/CAPP/CAM集成系统的重要子系统;现有的CAPP以派生式系统为主流,但创成式系统的研究工作正积极开展。

PDES/STEP已定为产品数据表达和交换的国际标准,并将成为CIMS信息集成的核心环节。

面向并行工程的CAD/CAPP/CAM正引起人们的充分重视。

6. 面向CIMS的柔性制造系统(FMS)发展动向

系统规模减少,重视发展标准单元;

自动化设备功能模块向标准化发展;

正在积极研究基于平台的控制系统;

刀具技术更趋完善;

人工智能技术获得较好的应用。

7. 精细生产(Lean Production)模式将深刻影响下一代CIMS:组织方面的特点是它能把大量的工作任务和责任转移到生产线上,真正使产品增值到工人们的身上。在设计方面的特点是采用由“主查”(Shusa)或项目负责人掌握产品开发投产大权的领导方式。在协作配套方面的特点是协作配套厂分层次与产品的总装厂组成体系。在与用户关系方面的特点是主动上门销售。

8. 重视敏捷制造企业(Agile Manufacturing Enterprise)模式的研究。敏捷制造企业被认为是21世纪的制造模式。它将替代旧的以批量生产为主的企业模式。其目标是使企业在“持续变化、快速响应、质量响应及环境变化的能力”等方面赢得竞争。

9. 重视大批量定制生产(Mass Customization)和供应链管理(Supply Chain Management)等新的生产与经营模式的影响,把CIMS企业的集成概念由考虑一个企业的内部扩展到企业外部,即全球性的资源集成。

小结

本章系统地介绍了其它几种重要的先进生产方式。第一节介绍最优生产技术(OPT)，内容包括OPT的目标，OPT的基本思想和9条原则，DBR系统和OPT软件系统。第二节介绍敏捷制造概念的提出，敏捷制造企业的基本特征，敏捷制造与大量生产在思想观念和经营战略上的差异以及实现敏捷制造的措施。第三节介绍计算机集成制造系统CIMS的产生背景及其定义，CIMS的结构，CIMS的内涵和模型，实施CIMS的效益，CIMS的哲理和我国CIMS的应用情况。

思考题

- 1、叙述OPT的三个作业指标以及它们与企业目标之间的关系。
- 2、简述OPT的九条原则。
- 3、简述DBR系统的原理以及“鼓”、“缓冲器”和“绳子”的含义。
- 4、叙述OPT软件的模块构成及其工作原理。
- 5、讨论OPT与JIT在计划过程、控制重点和方式以及基本目标的区别。
- 6、讨论OPT在一个服务性生产中应用的可能性，其范围和条件是什么？
- 7、敏捷制造的基本特征是什么？
- 8、敏捷制造在哪些方面与大量生产不同？
- 9、如何理解CIMS中“集成的概念”？
- 10、实施CIMS可以给企业带来哪些效益？