

管理应用丛书

质量管理 新老七种工具与应用

梁乃刚 编

辽宁人民出版社

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《IE 工业工程管理》MBA 双证班	高级 IE 工业工程师职业资格证书+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+视频光盘+网络学院在线辅导（集中面授）



【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小时接受在线教学辅导+每年度集中面授辅导



【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。



【主办单位】

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教育培训专家、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.mh.jy.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】(请携带本人身份证到银行办理交费手续，部分银行需要查验办理者身份证)

方式一	学校地址	<p>邮寄地址：哈尔滨市道外区南马路 120 号职工大学 109 室</p> <p>邮政编码：150020 收件人：王海涛</p>
方式二	学校帐号 (企业账户)	<p>学校帐号：184080723702015 账号户名：哈尔滨市道外区美华管理人才学校</p> <p>开户银行：哈尔滨银行中大支行 支付系统行号：313261018034</p>
方式三	交通银行 (太平洋卡)	<p>帐号：40551220360141505 户名：王海涛</p> <p>开户行：交通银行哈尔滨分行信用卡中心</p>
方式四	邮政储蓄 (存折)	<p>帐号：602610301201201234 户名：王海涛</p> <p>开户行：哈尔滨道外储蓄中心</p>
方式五	中国工商银行 (存折)	<p>帐号：3500016701101298023 户名：王海涛</p> <p>开户行：哈尔滨市道外区靖宇支行</p>
方式六	建设银行帐户 (存折)	<p>中国人民建设银行帐户(存折)： 1141449980130106399</p> <p>用户名：王海涛</p>
方式七	农业银行帐户 (卡号)	<p>农业银行帐户(卡号)： 6228480170232416918 用户名：王海涛</p> <p>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</p>
方式八	招商银行 (卡号)	<p>招商银行帐户(卡号)： 6225884517313071 用户名：王海涛</p> <p>招商银行卡开户银行：招商银行哈尔滨分行马迭尔支行</p>

可以选择任意一种方式缴纳学费，收到学费当天，学校就会用邮政特快的方式为你邮寄教材、考试问卷以及收费票据。

目 录

前 言

第一篇 质量管理概述

第一章 质量和质量管理.....	1
第一节 质量.....	1
第二节 质量管理.....	3
第二章 质量管理的发展.....	5
第一节 国外质量管理的发展.....	5
第二节 我国质量管理的发展和现状.....	12
第三章 全面质量管理.....	14
第一节 全面质量管理的概念和特点.....	14
第二节 质量保证体系.....	17
第三节 PDCA 循环.....	18

第二篇 老 QC 七种工具

第四章 分层法.....	22
第一节 什么是分层法.....	22
第二节 分层法的应用.....	23
第五章 调查表法.....	24
第一节 什么是调查表法.....	24
第二节 调查表的种类.....	24

第六章 排列图法	29
第一节 什么是排列图法	29
第二节 排列图的作图步骤	30
第三节 作排列图的注意事项	31
第四节 排列图的适用范围	32
第七章 因果分析图法	38
第一节 什么是因果分析图法	38
第二节 因果分析图的作图步骤	39
第三节 作因果分析图的注意事项	39
第四节 因果分析图的类型	40
第五节 因果分析图的应用	42
第八章 散布图法	44
第一节 什么是散布图法	44
第二节 散布图的作图步骤	45
第三节 散布图的观察与分析	47
第四节 作散布图的注意事项	47
第五节 散布图的相关检验	49
第六节 相关系数	52
第七节 回归直线的应用	59
第九章 直方图法	65
第一节 质量管理中的数据	65
第二节 什么是直方图法	68
第三节 直方图的作图步骤	69
第四节 直方图的定量表示法	72
第五节 直方图的使用	85
第六节 直方图与正态分布曲线	90

第七节	工序能力	97
第十章	控制图法	118
第一节	控制图的原理	118
第二节	控制图的种类	120
第三节	控制图的设计	121
第四节	控制图的观察与使用	141
第五节	控制图的特性与经济性	152

第三篇 新QC七种工具

第十一章	关系图法	177
第一节	什么是关系图法	177
第二节	关系图的类型	178
第三节	关系图的绘制和注意事项	180
第四节	关系图法的用途及应用实例	182
第十二章	KJ 法	188
第一节	什么是 KJ 法	188
第二节	A型图解的绘制	189
第三节	KJ 法的用途	195
第四节	KJ 法的应用实例	197
第十三章	系统图法	198
第一节	什么是系统图法	198
第二节	系统图的绘制	203
第三节	系统图法的用途	207
第四节	系统图法的应用实例	208
第十四章	矩阵图法	214
第一节	什么是矩阵图法	214

第二节	矩阵图的种类	215
第三节	矩阵图与系统图的配合使用	218
第四节	矩阵图的用途和应用实例	219
第十五章	矩阵数据分析法	224
第一节	什么是矩阵数据分析法	224
第二节	矩阵数据分析法的用途	224
第三节	矩阵数据分析法的计算方法	225
第四节	矩阵数据分析法的应用实例	232
第十六章	PDPC法	242
第一节	什么是 PDPC 法	242
第二节	PDPC 法的特征	242
第三节	PDPC 的作法	244
第四节	PDPC 法的类型	245
第五节	PDPC 法的用途及应用实例	246
第十七章	网络图法	248
第一节	什么是网络图法	248
第二节	网络图的构成及绘制规则	250
第三节	网络图的绘制	256
第四节	网络时间的计算及关键线路的确定	258
第五节	网络计划技术的应用	265
第六节	网络的优化	269

第一篇 质量管理概述

第一章 质量和质量管理

第一节 质量

所谓质量，就是产品、过程或服务满足规定要求的特征和特性的总和。从该定义可以看出，质量不仅指产品质量，也包括过程质量和服务质量。过程是指若干个程序或环节的连贯整体而言。如影响产品质量的设计、生产、操作、检验、维修等合起来可视为大过程，分开来可视为小过程。服务，既包括企业性服务，也包括社会性服务；既有技术服务，也有其它社会服务。如：技术维修、广播、邮电、饭店、商业、银行、旅游等服务项目。也就是说，一般地说，质量应该包括狭义和广义的两个方面：狭义的质量，就是指产品质量；广义的质量，则除了产品质量之外，还包括工作质量。

一、产品质量

所谓产品质量就是产品的适用性，也就是指产品适合一定用途，满足社会需要所具备的特性的总和。产品质量特性

一般包括：性能、寿命、可靠性、安全性和经济性。

性能——是指产品符合一定标准，满足一定使用目的要求所具备的特性。性能可分物质、结构、操作方面的性能。物质方面的性能包括尺寸、重量、规格、强度、硬度等物理性能以及成分、纯度等化学性质；结构方面的性能包括便于拆装、维修和更换；操作方面的性能包括操作方便、灵活、轻巧。

寿命——指产品能够使用的期限，即产品在规定的条件下，满足规定功能要求的工作总时间。

可靠性——指产品在规定时间内、规定条件下满足规定功能的能力。

安全性——指产品在流通或使用过程中保证安全的程度，对使用操作人员是否会造成伤害事故、影响人身健康、产生污染周围环境等可能性。

经济性——指产品寿命周期总费用的大小。它包括购置费用（购价、运费和安装费）、运转使用费用（工人工资、耗能费用）和维修费用。

为了衡量产品的质量，需要有一个统一的尺度，这个尺度就是产品的质量标准的。凡是符合规定质量标准的就称为合格品，达不到标准的就称为不合格品。合格品还可以按照它符合质量标准的程度分为一等品、二等品、三等品等等。不合格品也可以分为次品和废品两类。次品（包括等外品）是指产品的外观或某些次要质量特性低于规定的标准，但仍可按原定用途使用，在纺织品、轻工业品中有时会出现这种情况。废品是指产品最主要的质量特性不符合标准，致使产品不能按原定用途使用。废品按其是否能够修整又可分为可修

整的和不可修整的两种。

二、工作质量

工作质量是企业为了保证和提高产品质量所进行的生产、技术、组织等各方面的工作水平。工作质量一般应包括人的质量意识、业务能力、各项工作标准和工作制度以及人们在贯彻执行这些标准和制度的严谨程度等。

一般地说，工作质量不易加以定量，考核也比较困难，通常是通过产品质量的高低，不合格品数量的多少来间接衡量。有的企业在推行全面质量管理工作中，也创造和积累了一定经验。例如，通过实行目标管理，建立各项工作标准体系和采用综合评分计奖等定量管理方法，也使得一部分管理组织、业务、技术等项工作质量得以直接或间接定量，有了具体衡量标准。而且，在一些质量指标中，有一部分综合性的质量指标就属于工作质量指标。例如，不合格品率、废品率、返修率等，就是反映工作质量的指标。

从上述可知，产品质量和工作质量是两个不同的概念，但它们之间又密切相关。概括地说，产品质量是各方面工作质量的综合反映，要保证产品质量，就必须保证工作质量。提高产品质量只有通过提高工作质量才可以达到。

第二节 质量管理

所谓质量管理，就是达到或实现质量的所有职能和活动的管理，也就是企业为了保证和提高产品或工程质量所进行

的调查、计划、组织、协调、控制、检查、处理及信息反馈等各项活动的总称。对企业来说，它主要包括质量保证和质量控制两个方面。

一、质量保证

质量保证就是为使人们确信某产品、过程或服务的质量所必须的全部有计划有系统的活动。质量保证是企业对外部而不是对内部使用的，目的在于确保用户和消费者对质量的信任。换句话说，质量保证也就是企业对用户在产品质量方面所提供的担保，保证用户购买的产品在寿命周期内质量可靠、使用正常。

从上述定义可知，质量保证的目的在于确保用户和消费者对质量的信任。它包括一个持久而有效的适当的评价，即不间断地对产品的适用性和效果做出评价。对一个具体产品或服务项目来说，质量保证包括对质量因素进行核实、检查、评定和提供信任所必要的计划和活动。

二、质量控制

质量控制就是为保持某一产品、过程或服务的质量所采取的作业技术和有关活动。通过该定义可知，质量控制就是指企业为了保证质量而采取的各种技术措施和其他措施，其目的在于为用户和消费者提供满意的质量。质量控制这一概念是企业内部使用的。

质量管理的基本任务就是：确定合理的质量目标；制定全面的质量计划；建立有效的质量保证体系。

第二章 质量管理的发展

第一节 国外质量管理的发展

质量管理这一概念早在二十世纪初就提出来了，它是伴随企业管理理论与实践的发展而不断完善起来的。到现在已形成一门独立的学科。这门学科也是随着资本主义现代化工业生产的发展逐步形成、充实和发展起来的，它经历了一个长期的发展过程。同时，它又是同资本主义的竞争分不开的，是伴随着竞争而一起发展起来的。

从质量管理的发展历史可以看到，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。从国外一些工业比较发达的国家来看，质量管理的发展大致经历了三个阶段。

一、产品质量检验阶段

在封建社会和资本主义社会的初期，一切管理工作都是凭个人的经验和判断来进行，无论是农村的工匠或者是城市工厂的工人都完全是依据个人经验的例规和手艺技巧来操作，检验和生产都集中在工匠或操作者的个人身上。工匠或工人是操作者又是检验者，随着资本主义的发展，工业生产

由私人的工场手工业，发展到资本家的规模宏大的工厂生产。对产品来说，由单一品种的生产过渡到多品种而复杂的产品现代化大量生产的生产方式。

二十世纪初，美国工程师泰勒总结了工业革命以来的经验，根据大工业管理实践，提出一整套工业管理的理论，其中有一条就是主张：在企业中，要想提高效率，就必须把计划职能和执行职能分开，一部分人专门负责设计、计划；而另一部分人去执行（实施）。为保证这两个环节协调，检查计划执行情况，其间必须有一个检查环节，使产品的检验从制造过程中分离出来，成为一道独立的工序。这是对手工业生产方式的一项重大改革。自此，在企业管理中产生了一支专职检验队伍，并由检验人员集中组成了专职检验部门。从廿世纪初到四十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，因为它有利于提高劳动生产率，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来，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。

1924年美国贝尔电话研究所的统计学家休哈特（W·A·Shewhart）博士提出了“预防缺陷”的概念，他认为质量管理除了检验以外，还应做到预防，解决的办法就是采用他所提出的控制图。他首创质量控制的统计方法，于1925年以后又连续发表了《统计方法的应用》等论文，并于1931年，他把自己的论文、设计的质量检查方案和控制图收集在一起出

版了《工业产品质量的经济控制》一书。

与此同时，同属贝尔研究所的道奇（H.F.Dodge）和罗米格（H.G.Romig）两人一起又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，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、福特汽车公司等使用他们的方法，并且取得了较好的效果。而绝大多数企业却仍搞事后检验，因此，第一阶段，即质量检验阶段一直延续到四十年代，虽然质量控制在理论上、方法上已经提出来了，但在生产中多数企业还未有实践，包括美国在内的绝大多数国家，都还处于质量检验阶段。

二、统计质量管理阶段

统计质量管理就是运用数理统计方法这一手段，从产品质量的波动中找出规律性的东西，进而消除产生波动的异常原因，使生产过程的每个环节都控制在稳定的生产状态之中，从而保证生产出符合用户要求的合格产品。从质量检验阶段发展到统计的质量管理阶段，是从第二次世界大战爆发以后开始的。这个阶段是从40年代初期到50年代末期。

第二次世界大战的爆发，急需大批军用物资，当时，大部分工业企业都转向了军需品生产，生产的军需品数量、质量、价格和交货期等问题都突出出来了。高产、优质、廉价和按期交货成为各企业的生产目标。

大批量订货，紧迫的交货期，使得靠过去一套的全数检

验的办法来保证质量已经行不通了。通过抽样检验来推测质量特性值分布，进而判断整批的产品质量，这已是势在必行。但采用抽样检验的前提是生产过程必须稳定。为此，各企业必须彻底实行统计质量管理，确保生产工序经常处于稳定的控制状态。所以说，第二次世界大战在客观上促进了统计质量管理的普及和推广。

当时，美国的军政部门适应军需的要求，由美国标准化协会制定和公布了三项质量管理方法的国家标准，即 ASA Z1.1~Z1.3，作为美国战时质量管理标准。

Z1.1 质量管理指南 (1941)

Z1.2 数据分析用的控制图表 (1941)

Z1.3 生产过程中质量控制的控制图表 (1942)

结果，美国的战时生产，无论是在产量、质量，还是在经济性方面都在较好的状态下不断地发展，并取得了很大的成果。在各种作战研究中都采用了统计方法。据说在战争中研究出一种统计方法，非常有效，以至于这种方法一直到德国投降以前都是作为军事机密，不予公开发表的。因此，当时也有人吹嘘说，第二次大战的胜负是由质量管理和运用统计方法所决定的。

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。该组是作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 (A. Wald) 提出的逐次抽检（序贯抽检）法。

第二次世界大战以后，美国的产业界顺利地战时生产转入到和平生产，统计方法在民用工业生产中得到了广泛

的运用。接着,在欧美各国以至资本主义世界各国相继推行。

统计的质量管理阶段,除进行成品检验外,还注重采用数理统计方法来控制生产过程,事先发现和预防废品的产生。质量管理工作由被动的事后“把关”转为主动的事先“预防”前进了一大步。

但是这个阶段曾出现了一种偏向,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的片面性,使人们误认为“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。这种倾向反而阻碍了数理统计方法的推广。

三、全面质量管理阶段

从60年代开始进入全面质量管理的阶段。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,对这些大型产品和系统工程的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了,这时,对产品质量的高标准、高可靠性、高精度的要求,单纯靠统计质量控制,已无法满足要求了,因为整个系统工程与试验研究、产品设计、试制鉴定、生产准备、辅助过程、使用过程等每个环节都有着密切关系,仅仅是控制过程是无法保证质量的。这样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，其中主要之点就是重视人的作用，认为人是受心理因素、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，采取发挥人的能动作用，调动人的积极性的办法，去加强企业管理，认识到不重视人的因素，质量管理是搞不好的。因而相应的在质量管理中也出现了“依靠工人”、“自我控制”、“无缺陷运动”和“QC 小组活动”等，这些办法，在资本主义社会里，也无非是为实现更巧妙的剥削，而采取的一种新的手段而已。

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、危害健康等劣质品，要求企业提供的产品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体系，对企业的产品质量实行全面的管理。

基于上述理由，美国通用电气公司的费根堡姆和质量管理专家朱兰博士等先后提出了全面质量管理的思想，或称“综合质量管理”。费根堡姆于1961年出版了《全面质量管理》一书，主张用全面质量管理代替统计质量管理，提倡讲究质量成本，加强企业经营的全面质量管理。从统计的质量管理发展到全面质量管理，是质量管理工作的又一个大的进步。全面质量管理阶段的标志是把企业的经营管理、数理统计等管理手段和现代科学技术密切地结合起来，建立一整套

的质量管理工作体系，以保证经济地生产出满足用户要求的产品。这个时期的质量管理，无论在深度上还是在广度上均有所发展。美国人把这个时期的质量管理工作叫作质量管理工作的“完善期”，而日本人则称为质量管理工作的“巩固期”。

在全面质量管理方面走在前面的要算日本，他们于1960年开始引进美国的全面质量管理，现在已有一整套的全面质量管理理论和丰富的实践经验。几乎在全体工业界，不管企业大小都已得到普及，形成了具有特色的日本质量管理。

除此而外，在西德、瑞士、法国、苏联、捷克、意大利、荷兰和巴西等国也都在热心研究和开展质量管理工作。还有如印度和东南亚各国、南朝鲜等也十分重视产品质量和质量管埋，在推广科学质量管理方面都做了大量工作。随着质量管理的作用和效果越来越显著，也就越来越受到更多的国家和人们的重视，目前在第三世界的许多国家，也都开始引进了质量管理这门科学。而在一些工业发达的国家，质量管理都已形成了一门重要的学科，许多高等院校已开设质量控制与管理的课程，有的还设置了质量管理专业，并培养出大批质量管理方面的专门人才（质量经理、质量工程师等）。并且，为了适应推进质量管理的要求，这些国家还建立了全国性的质量管理组织和推进机构，如美国的质量管理协会(ASQC)、学会、日本的科学技术联盟(JUSE)、规格协会(JSA)、欧洲各国联合成立的欧洲质量管理组织(EC-OC)、国际质量管理学会(IAQ)等，联合国的一个工业发展组织也在从事推进这方面的工作。

第二节 我国质量管理的发展和现状

就全面质量管理来说，国外在60年代就已开展了，而在我国，目前刚刚推行，因此，从时间上来看，我们落后了20年。但是我国古代的文化与科学技术不仅光明灿烂，而且总是领世界之先，即使在产品质量方面，也是如此。我国公元前403年春秋战国时代，在周礼考工记上，曾有明确记载，命百工审查五库器材的质量。所谓百工就是指金工、皮革工、色工、刮磨工以及他们所用的原材料。当时金工是指青铜工，他们所造重要器物主要是武器。所审查的也是武器的质量。这是我国古代重视产品质量的文字记载。这说明我国在很早以前就开始重视产品质量了。

多年来，我们国家在实行科学的质量管理方面，也是取得了一定成绩的。在建国初期的三年国民经济恢复时期和社会主义建设时期，有计划地改造旧企业，并建立了新的合理的管理制度。继1950年实行定额管理及建立责任制度以后，1951年又实行了经济核算制；1953年学习苏联的企业管理经验，在加强成品检查把关的同时，实行了工艺过程的监督检查，贯彻技术操作规程，开始将把关和预防结合起来。1960年3月毛泽东同志批示了《鞍钢宪法》，提出了“两参一改三结合”的方针。即工人参加管理，干部参加劳动，改革一切不合理的规章制度，实现领导干部、技术人员和工人三结合。出现了多种形式的群众性的质量管理活动，1961年，党中央提出了“质量第一”的方针，并颁发了“工业七十条”，强调了“工业技术监督”。

50年代以来，我国在推行统计的质量管理方面，也作了大量的研究和试点工作。如1957年1月由中国数学学会上海分会的数理统计研究小组，在上海所进行的试验研究；1958年由中国科学院数学研究所数理统计研究组所进行的研究；以后在1961—1964年前后，在北京科学技术协会主持下，开设了有关试验设计法和数理统计学在科学研究及工业生产中应用的讲座。在同一时期，中国科学院数理统计研究小组还在北京、辽宁等地区和企业具体进行试验，对3 σ 法的控制图和运筹学等的应用作了大量的试验。然而，由于长期以来受“左”的错误思想的影响，特别是十年动乱的干扰和破坏，使我国的质量管理工作遭受到了严重的冲击。

粉碎四人帮以后，于1979年，党中央提出了调整国民经济的方针，强调把生产纳入质量第一的轨道，并大力引进和推广了全面质量管理，使我国的质量管理出现了崭新的局面。1978年国家经委派代表团学习日本全面质量管理，并在北京内燃机厂进行试点，自1977年以来多次邀请日本质量管理专家石川馨教授来华讲学和指导工作，于1982年3月邀请美国质量管理专家朱兰博士来华讲学。从1978年开始，在全国工交战线开展了一年一度的质量月活动，到1985年为止，推行全面质量管理的企业已达到38000个，举办全面质量管理学习班共25万期，参加学习的人数达1600多万人次，已注册登记的QC小组有59万多个。

国家围绕质量问题作了大量工作。例如，大力宣传和贯彻质量第一的方针；恢复和建立行之有效的各项规章制度；建立和健全各级质量管理组织；成立了中国质量管理协会和各级质量管理协会，加强了质量管理的国际间的学术交流；颁发了

《优质产品奖励条例》、《优质产品标志实施办法》和《工业企业全面质量管理暂行办法》，制订了《质量管理名词术语》等等。

实践证明，全面质量管理这套科学的理论与方法在我国是适用的。但必须紧密与我国现场实际相结合，按照实际情况去发展去创新。只要不断实践，不断积累经验，就能够逐步形成我们中国式的科学的质量管理理论与方法。

第三章 全面质量管理

第一节 全面质量管理的概念和特点

一、概 念

所谓全面质量管理（Total Quality Control 简称 TQC），就是企业为了保证和提高产品质量，运用一整套质量管理体系、手段和方法所进行的系统的管理活动。从该定义可知，全面质量管理是科学的现代质量管理，它有自己的科学的的质量管理思想、理论和方法体系，其目的是为了经济地开发研制、生产和销售用户满意的产品。

二、特 点

全面质量管理可概括为以下四个特点：

（一）质量管理的全面性

1. 全面的质量概念

全面质量管理中的质量含义不仅包括产品质量，而且也包括质量管理的各项工作质量。即不仅要保证产品质量，还要保证低消耗、低成本、按期交货、服务质量等，以及对质量管理的各项工作质量实行全面的综合管理。

2. 全员参加的质量管理

全面质量管理必须依靠企业全体职工参加，这是科学管理的客观要求。

工业产品质量的好坏，涉及企业的所有部门和所有人员。因此，全面质量管理要求企业在集中统一领导下，把各部门、每个职工的工作有机地组织起来，即从厂长、党委书记及各级干部、技术人员、经营管理人员到每个工人，都为提高产品质量，加强质量管理尽职尽责。只有这样，才能把企业的质量管理建立在坚实、可靠的基础上。

3. 全过程的质量管理

产品质量是企业生产经营活动综合作用的结果，产品质量状态有一个逐步产生和形成的过程，它是经过生产的全过程一步一步形成的，它包括从产品研究、设计、制造一直到产品出厂以及销售服务等所有环节，都实行严格的质量管理。

（二）质量管理的服务性

社会主义企业生产目的是为了**满足国民经济发展和人民生活的需要**。因此，企业必须把一切为用户服务作为根本的宗

旨，这是由社会主义的基本经济规律所决定的。为此，企业生产的产品应以用户的需要为最高标准。应当重视销售服务质量，要做到“产品出厂，服务上门”。

还应把对用户高度负责的精神贯穿到生产过程中去，要求各工序之间，凡是达不到本工序质量要求的产品都不得送交下一道工序，这要作为一种责任制度。各道工序都要把下一道工序当作用户。

（三）质量管理的预防性

通过检查发现质量问题固然是重要的，但更重要的是预防问题的发生，一切以预防为主。这就是说，质量好的产品是生产出来的，而不是检查出来的。要做到预防为主，就必须把检查的重点由“事后把关”转到“事先控制”，把管理的重点由“产品质量管理”转到“工序质量管理”，建立一套科学的质量保证体系。通过检查和管理，找出提高质量的途径和办法。

（四）质量管理的科学性

这就是一切要用数据或事实说话，广泛地采用科学的管理方法。现代质量管理除了采用统计方法以外，还有市场调查（MR）法、适于综合管理的工业工程（IE）法、成本分析用的价值分析（VA）法、运筹学（OR）法、系统工程（SE）法，以及电子计算机技术的应用等。

用户满意的产品。因此，建立质量保证体系是从组织上保证企业长期、稳定地生产和提供用户满意的产品关键。

二、质量保证体系的内容

1. 规定各部门在质量方面的职责、任务和权限；
2. 建立灵敏的质量信息反馈系统；
3. 建立专职的质量管理组织机构；
4. 实现质量管理业务标准化和质量管理流程程序化；
5. 组织外协厂的质量管理活动；
6. 广泛开展质量管理小组活动。

第三节 PDCA循环

一、什么是PDCA循环

质量管理中的PDCA循环，就是按照计划、实施、检查、处理四个阶段来开展质量管理活动的一种科学的管理工作程序。

PDCA是英语Plan（计划）、Do（实施）、Check（检查）、Action（处理）的缩写。它反映了做工作必须经过的四个阶段如图3—2（a），第一个阶段就是计划阶段，包括方针、目标、活动计划，在这个阶段里主要应明确计划的目的性、必要性，在什么时间、地点的条件下制订，由谁来完成，用什么方法来完成等内容；第二个阶段就是实施，即脚踏实地的按计划规定的内容去干；第三个阶段是检查，即干了之后要进行检查，哪些对了？哪些错了？有无效果？还存

在哪些问题等等；第四个阶段就是处理，把成功的经验加以肯定，形成标准，以后再干工作就要按这个标准去做。把失败的教训也加以总结，纳入工作标准，以后可避免重犯这种错误。没有解决的问题，向下一个PDCA循环反映。

二、PDCA循环的特点

PDCA循环一般有以下几个特点：

（一）大环套小环，互相促进

PDCA循环作为企业管理的一种科学方法，适用于企业的各个方面的工作。因此，整个企业是一个大的PDCA循环，各车间、各部门的管理又都有各自的PDCA循环，依次又有更小的PDCA循环，直到把任务具体落实到每个人。比如说，某车间或科室根据全厂计划（即全厂PDCA循环中的P阶段）制定自己的计划，这就是车间或科室PDCA循环的P阶段；接着是工段或小组的PDCA循环的P阶段，然后把计划落实到个人，上一级PDCA循环是下一级

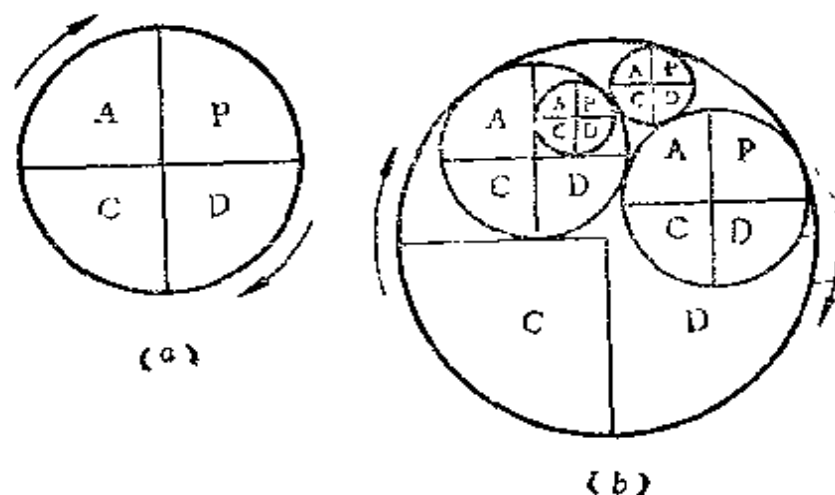


图3—2 PDCA循环图

PDCA 循环的依据：下一级PDCA循环又是上一级PDCA^A循环的贯彻落实和具体化。通过这个循环把企业各项工作有机地联系起来，彼此协同，互相促进。见图3—2(b)。

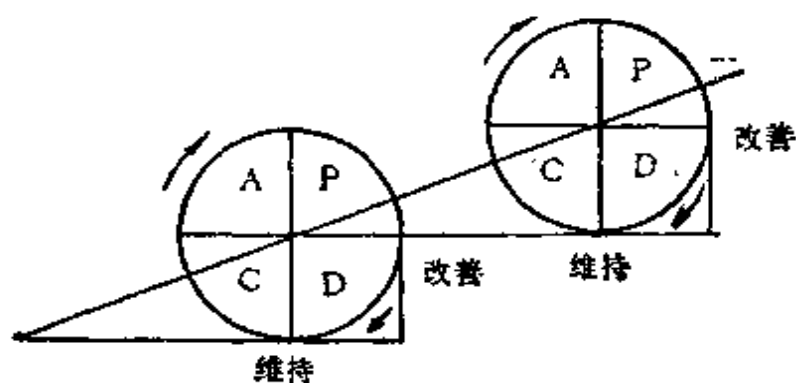


图3—3 爬楼梯

(二) 爬楼梯式上升不断前进

PDCA四个阶段要周而复始地运转，而每转一次都有新的内容与目标，因而也意味着前进了一步，这就是象爬楼梯似的，逐步上升，见图3—3。在质量管理中，经过了一次循环，也就是解决了一批问题，质量水平就有了新的提高。

(三) 关键在于“处理”这个阶段

“处理”就是总结经验，肯定成绩，纠正错误，找出差距，以利再战。为了做到这一点，就必须对成绩和错误都加以“标准化”、“制度化”，以便在下一个循环中，巩固成绩，避免重犯错误。

三、PDCA循环的应用步骤

应用PDCA循环解决质量问题，可按PDCA的四个阶

段采取八个步骤来进行，如图3—4所示。

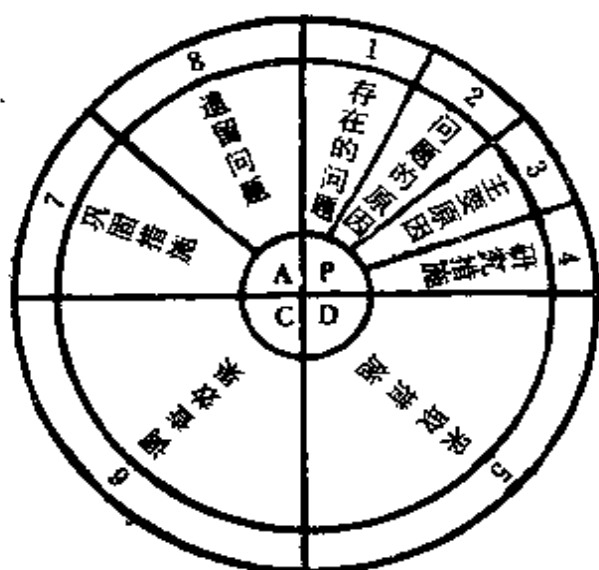


图3—4 PDCA 循环的八个步骤

P阶段包括四个步骤：

- (一) 分析现状，找出存在的质量问题；
- (二) 分析影响产品质量问题的各种原因；
- (三) 找出影响质量问题的主要原因；
- (四) 针对主要原因，研究和制订措施，

提出改进计划。措施和行动计划应该具体明确。一般的要求是：为什么要制订这一措施或计划；预期达到什么目标；在哪里执行这一措施或计划；由谁或哪个单位来执行；什么时间开始，什么时间完成，如何执行，等等。

D阶段是实施，它只有一个步骤：

- (五) 按P阶段预定的计划目标执行措施。

C阶段是检查阶段。它只有一个步骤：

- (六) 根据行动计划的要求，检查实际执行的效果。

A阶段是处理，它包括两个步骤：

- (七) 根据检查进行总结，把成功的经验和失败的教训都纳入有关的标准、制度或规定中去，以防止问题的再发生。

- (八) 提出这一循环尚未解决的问题，即本次循环遗留的问题，并将它们转入下一个PDCA循环中去。

第二篇 老 QC 七种工具

第四章 分层法

第一节 什么是分层法

分层法，也叫分类法。这是一种把记录的原始质量数据按照一定目的加以分类整理，以便分析质量问题及其影响因素的方法。分层的目的，是为了通过分层把性质不同的数据和错综复杂的影响因素分析清楚，找到问题的症结所在，以便对症下药，解决问题。

将数据分层时，不能随意地分，而是根据分析的目的，按照一定的标志加以区分，把性质相同，在同一条件下收集的数据归在一起。分层时，应使同一层内的数据波动幅度尽可能小、而层间的差别尽可能大，这是搞好分层的关键所在。质量数据分层的标志有多种多样，一般按以下原则来分：

一、按不同的时间分：如按不同的班次、不同的日期进行分类；

二、按操作人员分：如按新、老工人，男、女不同工龄，操作技术水平高低进行分类；

三、按机器设备分：如按不同型号，新旧程度进行分类；

四、按原材料分：如按不同的供料单位、不同的进料时

间、不同的生产环境等标志分类；

五、按操作方法分：如按不同的切削用量、温度、压力等工作条件进行分类；

六、按不同的检验手段进行分类；

七、其它分类方法。

第二节 分层法的应用

分层法，广泛应用于各个行业和各种生产类型的工业企业；也适用于商业企业、事业单位和服务行业等等。分层法，它可以通过表格表示，也可以通过图形表示出来，它在后面要讲的图表中都可以用到。

应用实例

表 4—1 列出某轧钢厂某月份的生产情况数字。如果只知道甲乙丙三班各轧2000吨钢材，总共轧制6000吨，其中轧废 169吨这样三个数据，则无法对质量问题进行分析。如果对废品原因等进行分类，则可看出甲班产生废品的主要原因是“尺寸超差”，乙班的主要原因是“轧废”，丙班的主要原因是“耳子”。这样就可针对各自产生废品的原因来采取相应的措施。

表 4—1 某轧钢厂某月份废品分类

废 品 项 目	废 品 数 量 (吨)			合 计
	甲	乙	丙	
尺寸超差	30	20	15	65
轧 废	10	23	10	43
耳 子	5	10	20	35
压 痕	8	4	8	20
其 它	3	1	2	6
小 计	56	58	55	169

第五章 调查表法

第一节 什么是调查表法

调查表，也叫检查表或核对表，它是为了分层收集数据而设计的图表。调查表法，就是利用统计表进行整理数据和粗略地分析原因的一种工具，其格式有多种多样，可根据调查目的不同，使用不同的调查表。常用的调查表，其使用方法，是把所要观察的项目进行分类，并在表上的该项目的位上，对结果、缺陷、事故等等进行核对。项目的选择虽然是因对象不同而异，但一般来说，常常是按事故（不合格）项目、时间、工序、班组、场所等项目来划分。这样，如果把搜集来的很多与产品有关的一些结果，按照不同项目进行分析，就能够将其产生不合格的状况或产生不合格有关项目之间的关系分析出来。

第二节 调查表的种类

一、调查缺陷位置的调查表

调查产品各不同部位的缺陷情况，可将其发生缺陷的位置标记在产品示意图或展开图上。将不同的缺陷采用不同的符号或颜色在图中标出以示区别（见表5—1）。

表 5—1 为某洗衣机厂生产的洗衣机喷漆不良调查表，

表5—1 缺陷位置检查表

型号		检查部位	外表
工序		检查者	年月日
检查目的	喷漆缺陷	检查件数	500 台

色斑 ●
 流漆 X
 尘粒 △

从表中可以看出，根据缺陷的种类不同，分别标以不同的记号。

二、不良项目调查表

为了调查生产中出现的各种不良品，以及各种不良品的比率有多大，以便在技术上和管理上采取改进措施，加以控制。这样，就可以采用不良项目调查表。表5—2为某轧钢厂钢板不良项目调查表。从表5—2可知，钢板不良的主要项目是厚度不良。

表5—2 钢板不良项目调查表

项 目		核 对	数 量 (件)
厚 度 表 面 性 能 板 形		正正正正正正	30
		正正	10
		正 F	8
		正—	6
合 计			54

三、不良原因调查表

要弄清各种不良发生的原因，就需要按设备、操作者、时间等标志进行分层调查，填写不良原因调查表。表5—3为电木勺的不良原因项目调查表。

从表5—3可见，操作者在2号设备上加工电木勺时发生的不良品较多，即共达74个，星期五那一天的不良品也比较多，即达58个。经过进一步现场调查得知，是因为操作者甲在2号设备上换模具不及时造成的，星期五则是由于原料成份不符合质量要求所产生的。

四、工序分布调查表

在能测量产品的尺寸、重量、纯度之类的计量值数据的工序中，为了掌握这些工序的产品质量状况，可用这种调查表。

图5—4的调查表就是工序分布调查表。在频数分布座标纸上，预先在座标轴上标好可能出现的产品特性值与频数的标度，每测一个数据就在相应栏内画出“/”即可。如此下去，测量结束，频数分布也就作出来了。

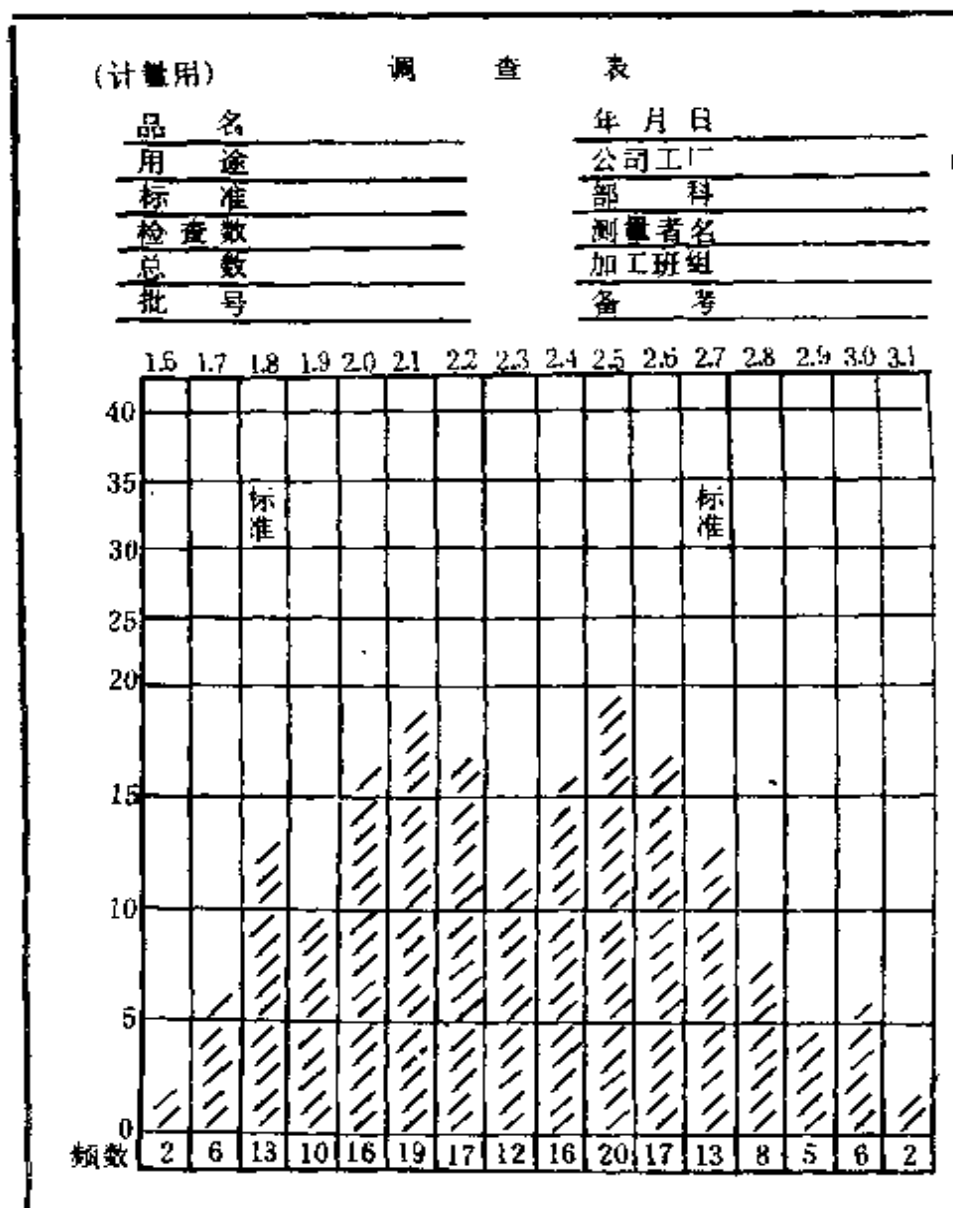
表5—3

不良原因调查表

零件名称	星期一		星期二		星期三		星期四		星期五		星期六		合计
	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	
1	○○○	○○	○○	×	○○○○	○ ××	○○○ ×	○○ ×	○○○ ××××	○○○ ××××	○○○○ ×	○○ ××	50
2	○○○○ ××	○○○○	○○○○ ×	○○○○ ××	○○○○ ××	○○○○ ××	○○○○ ××	○○○○ ××	○○○○ ×	○○○○ ×	○○○○ ×	○○○○ ×	74
3	○○ ×	○○ △	○○ □	○○ □	○○○○	●	○○ ×	○○ ×	○○○○ ×	○○○○ ×	○○○○ ×	○○○○ ×	37
4	○○○ ××	○○ ×	○ ×	○ ×	○○○○ △	●	○○○○ ×	○○○○ ×	○○○○ ×	○○○○ ×	○○○○ ×	○○○○ △△	49
合计	19	14	12	14	15	16	14	14	30	28	17	17	210

图中: ○缺陷不良 △加工不良 □其它 ×尺寸不良 ·材料不良

表5—4 工序分布调查表



第六章 排列图法

第一节 什么是排列图法

排列图也称帕累托图。排列图法，它是找出影响质量的主要因素的一种方法。这种方法最早是由意大利经济学家帕累托（Pareto）所发现，当时将此图用于统计分析社会财富占有的分布状况，他发现少数人占有社会大量财富，而绝大多数人处于贫困状态。即发现了所谓“关键的少数和次要的多数”的关系，后来美国质量管理专家朱兰把它用于质量管理。

排列图，一般由两个纵座标、一个横座标，几个直方块

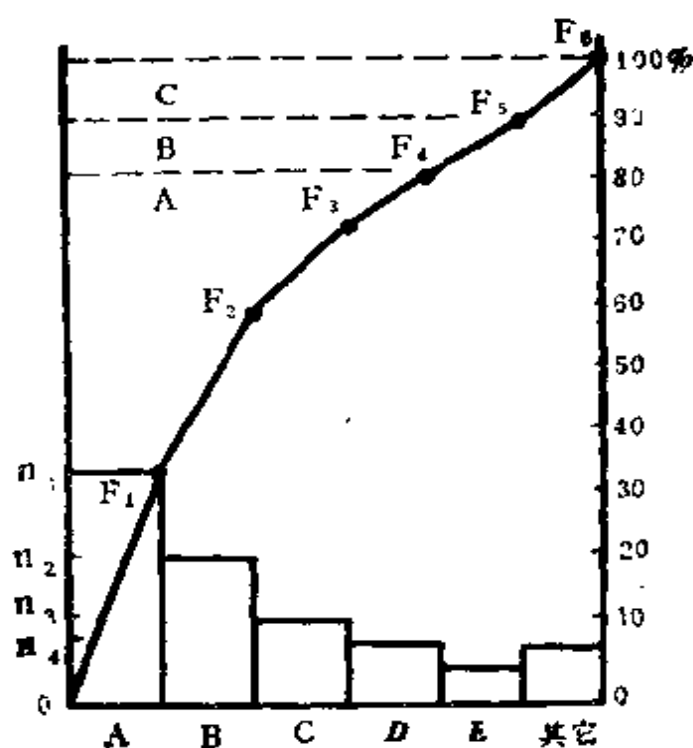


图6-1 排列图

和一条曲线（称帕累托曲线）所组成、左边的纵座标表示频数（如件数、金额、时间等），右边纵座标表示百分比（%）横座标表示质量的项目、或者影响质量的各种因素，按频数大小由左向右排列，直方块高度表示

项目频数的大小，曲线表示各项目频数的累积百分数，如图6—1所示。

第二节 排列图的作图步骤

一、搜集一定时间的数据，并按项目进行分类，如表6—1的A、B、C、D、E，其它六项。

二、统计各项目的数据，即频数，如表6—1的 n_1, n_2, \dots, n_6 ，以及比率(%) f_1, f_2, \dots, f_6 和累计比率(%) F_1, F_2, \dots, F_6 。并将频数、比率及累计比率列入表6—1中。

三、根据各项目的频数、累计比率(%)作排列图。在已准备好的方格纸上，记上纵、横座标，纵座标的长度要相当于频数合计的总值T。横座标轴如图6—1所表示的那样，

表6—1

累计比率的求法

	项目	频数	比 率	累 计 比 率
1	A	n_1	$f_1 = \frac{n_1}{T} \times 100$	$F_1 = f_1$
2	B	n_2	$f_2 = \frac{n_2}{T} \times 100$	$F_2 = F_1 + f_2$
3	C	n_3	$f_3 = \frac{n_3}{T} \times 100$	$F_3 = F_2 + f_3$
4	D	n_4	$f_4 = \frac{n_4}{T} \times 100$	$F_4 = F_3 + f_4$
5	E	n_5	$f_5 = \frac{n_5}{T} \times 100$	$F_5 = F_4 + f_5$
6	其它	n_6	$f_6 = \frac{n_6}{T} \times 100$	$F_6 = F_5 + f_6$
	计	T		100

共有六项，即六个方块，每个方块的宽度要相同，横坐标轴长度与六个方块的宽度相等。帕累托曲线的纵坐标轴如图6—1所示可画在右侧。为了便于读出用图表示的数据，方格纸的格数宜取整数。另外，作为整体来说，为了使图形整齐起见，图的纵横比例要均衡匀称。纵坐标轴的格数要写为0、5、10、或0、2、4等等较为显眼的数字。

画图时，应按每个分类项目统计的大小顺序画出方块，在方块下的横坐标轴下面，写出分类项目名称或代号。

四、画帕累托曲线

把步骤二中计算出来的累计频率按每个项目分别记入，画出连接各点的折线图。图中的点要在方块之间的交界处或者点在方块宽度的中间。

五、在排列图上写明标题

在填写标题的同时，也要写出统计期间各种数据的来源。

排列图作出后，一般习惯用法。还要把累计百分数分成三类：

- 0—80%为A类，属于A类的因素为主要因素；
- 80—90%为B类，属于B类的因素为次要因素；
- 90—100%为C类，属于C类的因素为一般因素。

第三节 作排列图的注意事项

一、主要因素最好是一、二项，至多三项，否则将失去意义。

二、项目不宜过多，可把不重要的项目并入其它栏，排在最后。

三、主要问题可以分层处理，画不同的排列图，以便于分析比较。

四、针对主要因素采取措施后，应按原项目重新画排列图，以检查措施的效果。

第四节 排列图的适用范围

由于排列图法可以指出进行改善工作的重点，因此，不仅适用于各行业，各类型的工业企业的质量改进活动，而且也适用于各种企、事业单位，以及各方面的工作。只要你想进行改善工作，就可以用排列图找出主要影响因素，以便抓住重点进行有成效的改善。

使用排列图法，不仅可以使所分析的问题主次因素分明、系统、形象，而且能逐步培养我们用数据说话的科学分析的习惯。排列图可根据不同的目的灵活运用，日常应用时主要有以下几种形式：

一、分析主要缺陷形式

产品不合格，往往是由多种缺陷形式所造成的。运用排列图可以定量地分析其主次。

表6—2

镀锌薄板不合格品调查表

	项 目	频 数 (片)	比率 (%)	累计比率 (%)
1	锌 疤	10176	57.2	57.2
2	压 印	4437	24.9	82.1
3	黑 点	1847	10.37	92.47
4	折 角	714	4.01	96.48
5	其 它	628	3.52	100
	计	17802	100	

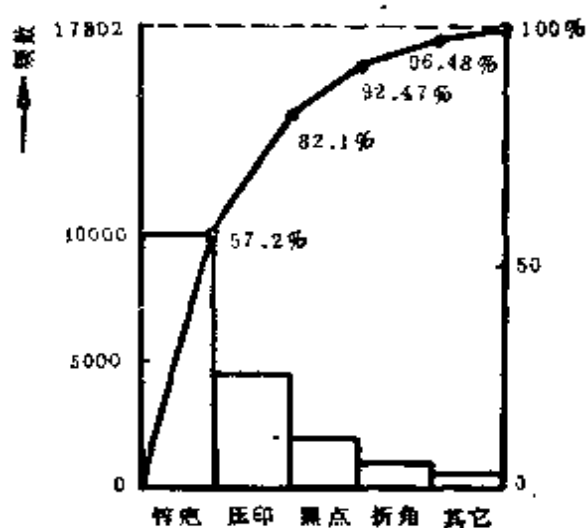


图6—2 镀锌薄板不合格品排列图

〔例1〕：某轧钢厂生产镀锌薄板，其不合格品中有17802片，其中锌疤所造成的为10176片，压印所造成的为4437片，黑点所造成的有1847片，折角所造成的有714片，其它缺陷为628片，各种缺陷计算如表6—2所示，根据表6—2作出排列图，如图6—2所示。可见锌疤是薄板的主要缺陷。

二、分析造成不合格品的主要工序原因

我们可以用排列图对产生不合格品(或主要缺陷)的原因

进一步进行分析，以便于有的放矢地采取相应的措施，提高产品质量。

〔例2〕：图6—3 是某轧钢厂钢材缺陷的主要工序原因排列图。由图6—3 可知，造成钢材缺陷的主要因素是轧钢工艺，占67.6%。

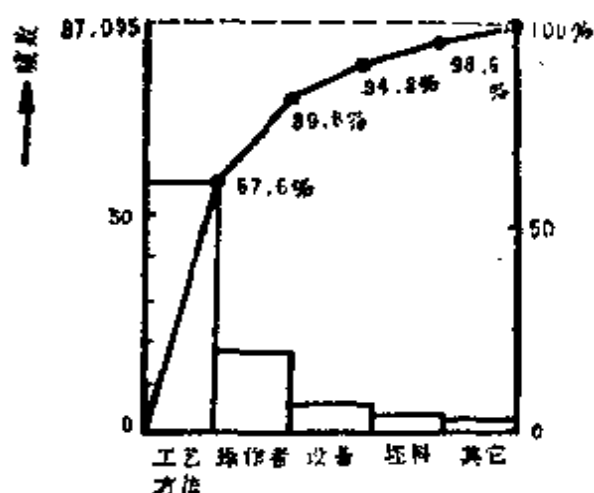


图6—3 钢材缺陷的主要工序原因排列图

三、分析产生不合格品的关键工序

一件产品的加工，一般由若干道工序来完成，分析哪些工序是关键工序是很重要的。

〔例3〕：某有机化工厂癸二酸产品质量管理小组对1600袋达到一级品标准而未达到优级品的癸二酸产品进行分析，作出统计分析表（见表6—3）及排列图（见图6—4）。

表6—3 癸二酸产品不合格调查表

工序原因	数量（袋）	百分率(%)	累计百分率(%)
分离	1075	67.19	67.19
裂解	400	25.00	92.19
脱色	100	6.25	98.44
其它	25	1.56	100
合计	1600	100	

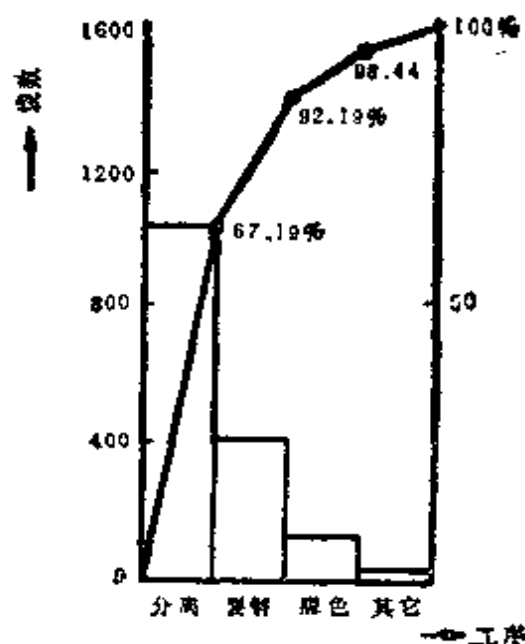


图6-4 癸二酸产品不合格排列图

从图 6—4 可知，影响癸二酸优级品率90%以上是脂肪酸分离不彻底和裂解不完全造成产品色号高，样品碱溶时混浊，说明分离脂肪酸和裂解转化是主攻方向。

四、分析不合格品的主次地位

对企业生产的产品或零件，如能定量地确定不合格品的主次地位，这对确定管理和采取措施的重点对象是很有必要的。

〔例4〕：某厂对一年来制品的不合格品调查结果如下：直齿轮440件，斜齿轮252件，蜗轮158件，蜗杆67件，缸体55件。绘制排列图如图6—5所示。

从图6—5可知，直齿轮、斜齿轮、蜗轮是关键制品，蜗杆是主要制品，而缸体是次要制品。

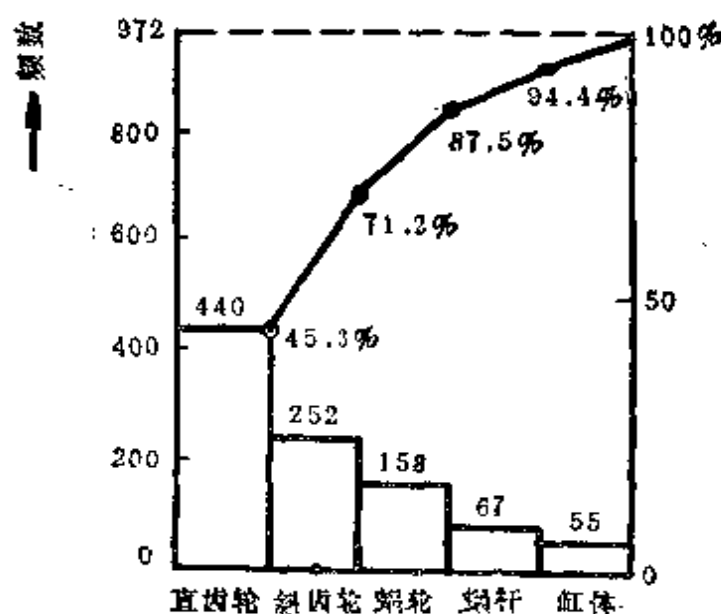


图6-5 不合格品的主次地位排列图

五、分析经济损失的主次

在质量管理中，为了经济地生产出质量好的产品，往往需要进行经济分析。排列图可以在这方面定量地解决问题。

〔例5〕：在例3中，各种制品的不合格品单位经济损失金额已统计列入表 6—4 中，则可根据表 6—4 的数据作出排列图，如图 6—6 所示。于是可用表 6—4 及图 6—6 分析其主次。可见，其结果完全相反，从本例可以看出，当主次因素排列图采用金额为衡量标准时，问题反映得更充分。但是，当各制品的单位损失（指不合格品、超差代用品，降级品、返修品的平均单位损失）大致相同时，则就没有必要这样做。

表6—4 不合格产品经济损失金额调查表

项 目 制 品	不 合 格 数	单 位 损 失 (元/件)	总 损 失 (元)	比 例 (%)	累 计 (%)
缸 体	55	1850	101750	39.2	39.2
蜗 杆	67	850	56950	21.9	61.1
蜗 轮	158	320	50560	19.5	80.6
斜 齿 轮	252	130	32760	12.6	93.2
直 齿 轮	440	40	17600	6.8	100
共 计	972		259620	100	

六、用于对比采取措施前后的效果

如果采取提高产品质量的措施后进行主次因素分析，则

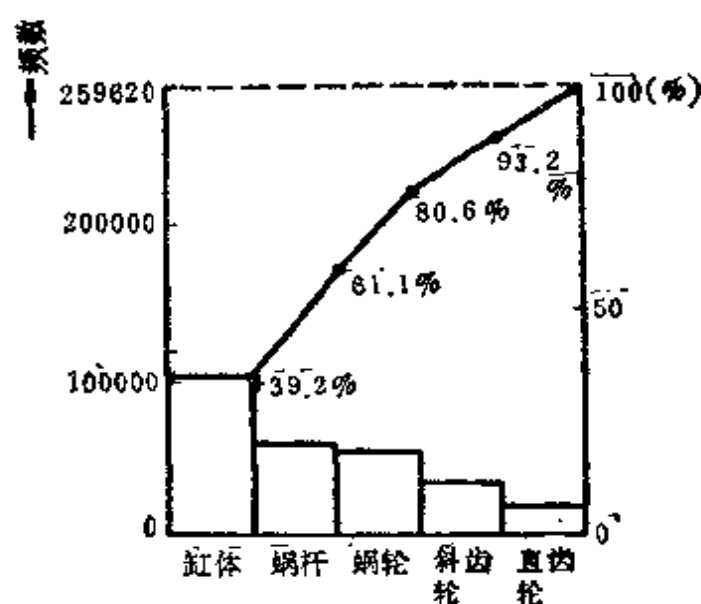


图6—6 不合格品经济损失的主次地位排列图

能够检查出措施的有效性，并能定量地得出采取措施前后的效果来。经与采取措施前的排列图比较，如果各因素造成缺陷或不合格品的绝对数量减少了，并且因素间的主次地位

发生了改变，则说明措施有效。反之则说明措施无效，应进一步查明原因。

例6：某有机化工厂生产癸二酸产品，对达到一级品率标准而达不到优级品的癸二酸产品进行调查，并采取措施来提高优级品率。其采取措施前后对比的排列图，见图6—7。

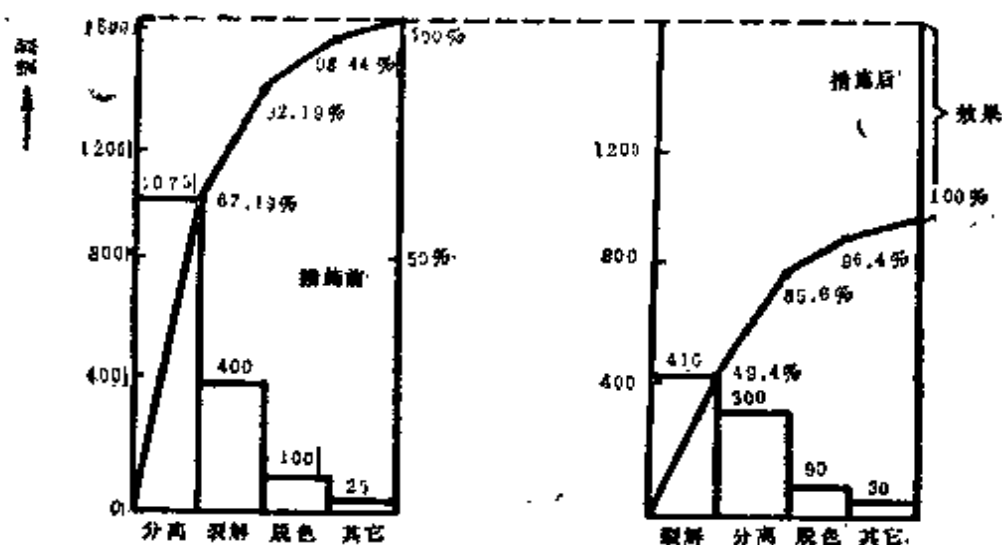


图6—7 采取措施前后对比的排列图

从采取措施前后的两个排列图可以看出，分离工序造成的非一级品率由采取措施前的占67.19%下降到36.2%，即下降了31.09%。

第七章 因果分析图法

第一节 什么是因果分析图法

因果分析图，也叫特性要因图，又因其图形象树枝和鱼刺，因此，又称树枝图或鱼刺图。因果分析图是日本质量管理专家石川馨最早提出，于1953年首先开始在日本川崎制铁所的葺合工厂应用，以后又介绍到其他一些国家，因此，因果分析图也称川馨图或石川图。

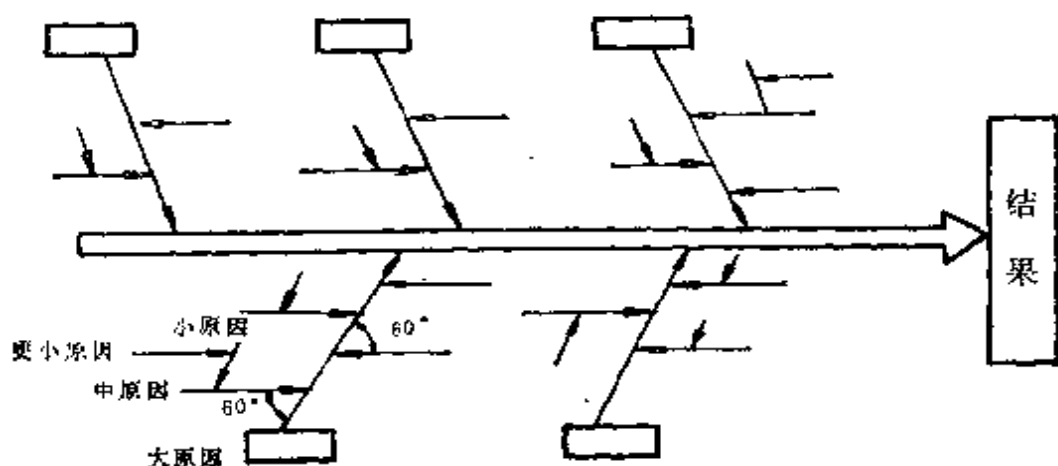


图7-1 因果分析图的基本型

在生产过程中，影响产品质量的因素是错综复杂、多种多样的，因果分析图就是整理和分析影响产品质量(结果)的各因素(原因)之间的关系的一种工具。它是通过带箭头的线，将质量问题与原因之间的关系表示出来的。其基本图形如图7-1所示。

第二节 因果分析图的作图步骤

- 一、确定分析对象，明确要解决的问题。
- 二、发动群众集思广益，分析产生质量问题的原因。
- 三、整理原因，把所有原因从大到小按其关系画在图上。
- 四、主要原因应作记号(例如*号)。确定主要原因可采用投票法、排列图法和评分等方法来确定。

第三节 作因果分析图的注意事项

- 一、调查研究，开诸葛亮会，要请各方面人员参加，听取不同意见。
- 二、大原因可从人、设备、材料、方法、环境等方面来考虑。

三、原因分析应细化到能采取措施为止。

四、找出主要原因后，应到现场进行实地调查，再确定改进措施，措施实现后，可用排列图检查效果。

第四节 因果分析图的类型

一、问题分解型。这种图型的要点就是沿着为什么发生这个问题的思路一直追到底。其想法是：凡存在质量问题的地方就一定要设法进行改善。其优点是：由于分解了质量问题，可以系统地掌握相互之间的关系。缺点是：由于将许多原因都归结成问题分解的形式，因而一些小原因容易漏掉。如图 7—2 所示为某电缆厂漆包线表面疙瘩因果分析图。

二、工序分类型。这种图形，可以先画工艺流程，而后按每个工序记入原因。画这种图形的基本想法是：质量问题是在制造过程中产生的，因此可以按工艺流程讨论生产质量问题的原因。其优点是：作图简便，易于理解。缺点是：相同原因有时重复出现，并且几个原因同时影响质量的情况不

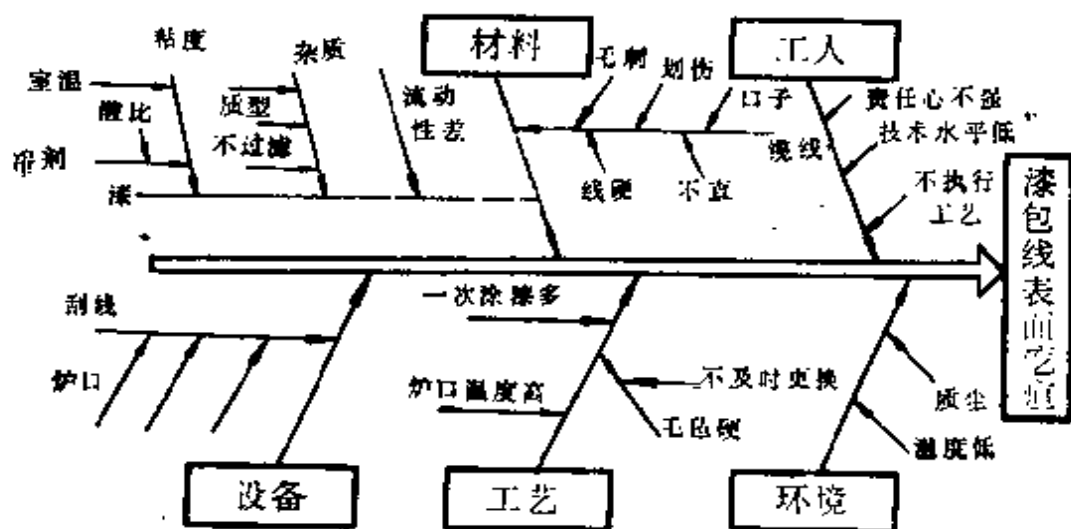


图7—2 漆包线表面疙瘩因果分析图

大容易表达出来。如图 7—3 所示为解决“阀孔光洁度达不到要求”的因果分析图。按该零件工序流程顺序来探讨原因，以期解决问题。显然，工序流程也可延续到使用过程。

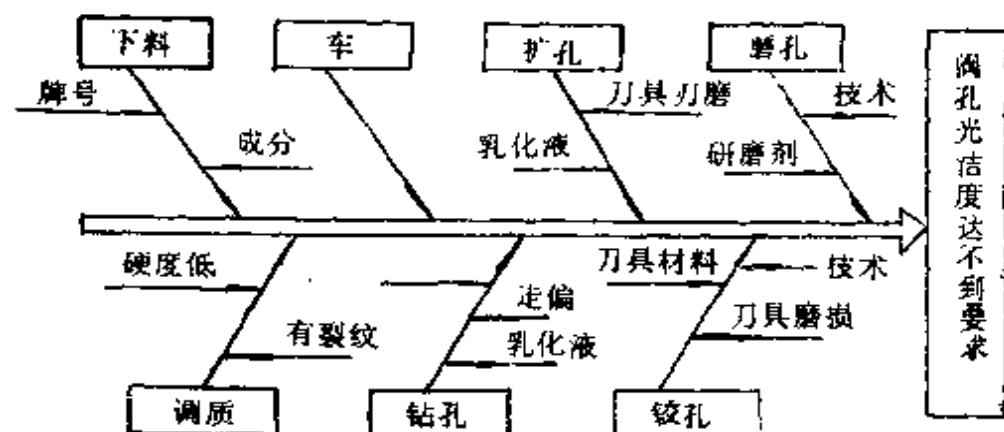


图7—3 阀孔光洁度达不到要求因果分析图

三、原因罗列型。即把所有的原因都罗列出来。当然先找大原因后再找中原因、小原因以及更小的原因……，它们之间必须能够成为因果关系。这种类型的基本想法是：各自无限制地发表意见，就能把各种各样的原因都找出来，这其中就会存在有真正的原因或改善的关键。其优点是：由于原因全部罗列，所以不大可能遗漏原因。另外，基于原因之间的因果关系，就可采用各种表达形式，使图的内容生动、易懂，并且丰富。其缺点是：结果与小枝间难于联结，所以因果分析图作起来较为麻烦。如图7—4所示为某军工厂炮管拉线啃刀因果分析图，从图7—4可知，机床振动是主要原因，用*表示。

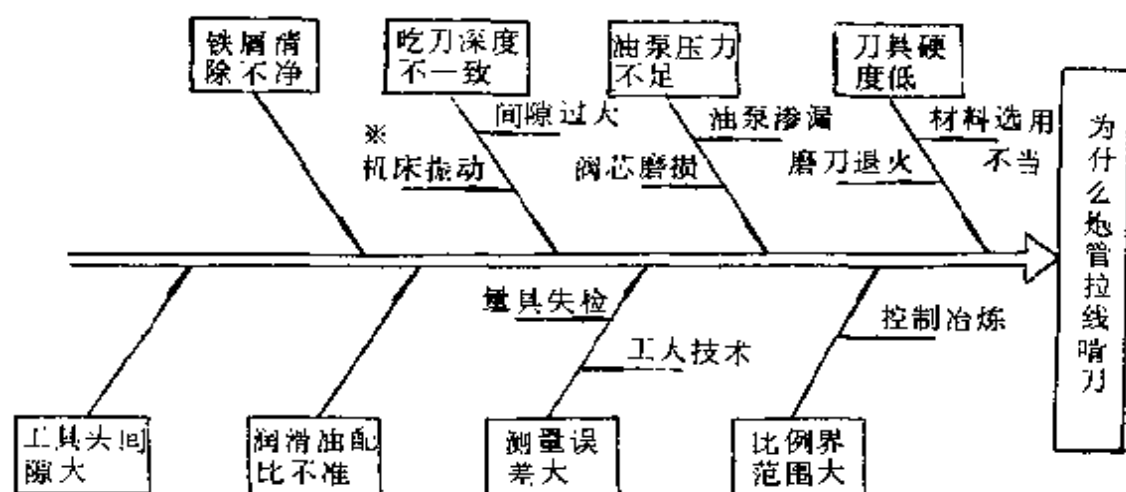


图7—4 炮管拉线啃刀因果分析图

第五节 因果分析图的应用

因果分析图不仅可以用来分析产品质量问题，而且可以作为分析其它问题的有效方法。不仅工业企业可以用，而且其它企业和事业单位都可以用。

应用实例：

图7—5为某轧钢厂生产镀锌板的锌疤缺陷因果分析图。从图7—5可知，影响锌疤缺陷的主要原因是镀锌锅温度控制不当和镀锌出口辊维护不好。为此，就必须针对这两项原因采取措施，减少锌疤缺陷。

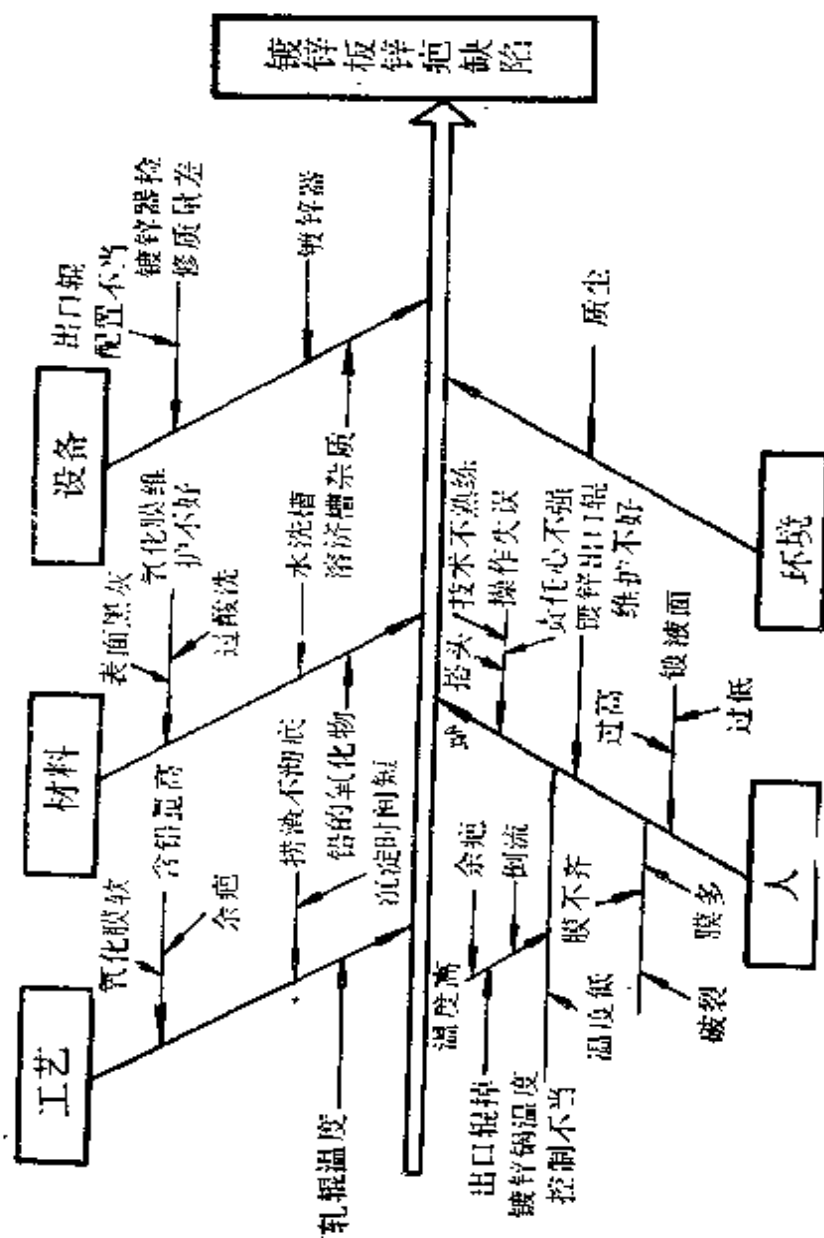


图7-5 镀锌板锌疤缺陷因果分析图

第八章 散布图法

第一节 什么是散布图法

一、相关的概念

首先让我们从一个简单的例子谈起。我们都知道一个人穿衣服要想合身，必须量体裁衣。然而，一个人的身材的尺寸很多、有身长、腰肥、肩宽、胸围、袖长等，详细量不下几十个尺寸。但裁缝工人做衣服时，并没有把所有的尺寸都量出来，而是把有关人的体型的各部分之间的关系调查清楚，掌握了每个人共性的几个关系，然后量出几个主要尺寸，就可以做出合身的衣服来。这样，除了特殊身材的人以外，人们都可以从中选到满意的衣服。

在工业生产中，类似上述的情况很多，一般来说，某一种产品都有很多质量特性，而且这些特性都很重要。但是其中有些质量特性测量比较容易，而有些质量特性测量比较困难或者费时太多。如果我们知道质量特性之间的关系，从容易测量的特性来代表不易测量的特性，就能够把难测量的特性控制起来，这样就会省事多了。即使两个质量特性测量都比较容易，只要掌握他们之间的相关关系，也可以通过对其中的一个质量特性进行测量，来控制另外一个质量特性，这样可以减少质量管理所需要的费用。

例如，炼钢过程中钢液中含碳量与冶炼时间有一定关系，我们如果知道了含碳量，就可以大致估计出冶炼时间，

但不能精确地求出冶炼时间，这是由于炼钢过程中影响冶炼时间的因素很多，互相之间构成一个很复杂的关系。还有，如钢材的强度常常和添加的合金元素有关，即强度随合金元素的添加而改变。但是钢材的强度又和热处理工艺等因素有密切关系，并非仅取决于合金元素的含量。

上述这些变量之间既存在着密切关系，又不能由一个（或几个）变量的数值精确地求出另一变量的数值关系，我们称这类变量的关系为相关关系。这种相关关系一般可分为：原因与结果的关系，如加工工艺对质量特性的影响；结果与结果的关系，即特性与特性之间的关系，如钢材的强度与硬度的关系；原因与原因的关系，即形成某种质量特性的两个原因之间的关系，如影响某零件的装配性的该零件的尺寸和光洁度之间的关系。

二、散布图

散布图是分析研究两种质量特性值之间相关关系的分布状态的图形，也叫相关图。两种数据之间有无相关性，相关关系又是如何，如果只从数据表中观察很难判断。但是我们把数据作出散布图就比较容易得出其相关与否的结论。

第二节 散布图的作图步骤

一、收集数据。用散布图研究相关关系，需成对的收集数据，并作出数据表。收集数据的数量应在30组左右。

本例，分析研究合成纤维的强度与其拉伸倍数的关系，今由试验得到两组质量特性数据，并一一对应的填入数据表

中（见表8—1）。

表8—1 纤维的拉伸倍数与强度记录

编 号	拉伸倍数x	强 度 y(公斤/毫米 ²)	编 号	拉伸倍数x	强 度 y(公斤/毫米 ²)
1	1.9	1.4	13	5.0	5.5
2	2.0	1.3	14	5.2	5.0
3	2.1	1.8	15	6.0	5.5
4	2.5	2.5	16	6.3	6.4
5	2.7	2.8	17	6.5	6.0
6	2.7	2.5	18	7.1	5.3
7	3.5	3.0	19	8.0	6.5
8	3.5	2.7	20	8.0	7.0
9	4.0	4.0	21	8.9	8.5
10	4.0	3.5	22	9.0	8.0
11	4.5	4.2	23	9.5	8.1
12	4.6	3.5	24	10.0	8.1

二、画出横座标x，纵座标y，填上特性值标度，一般横座标表示原因特性，纵座标表示结果特性。

进行座标轴的分计标度时，应先求出数据x和y的各自最大值与最小值。划分间距的原则，应使x最小值至最大值（在x轴上）的距离，大致等于y轴最小值至最大值（在y轴上）的距离。其目的是为了避免因散布图做法不合适而致使判断错误。

三、根据数据画出座标点。按数据x值与y值分别在横座标（x）与纵座标（y）上取对应值，由这两点，分别引两条平行于x、y座标轴的平行线，两线交点即为该数据的座标点，如图8—1所示。

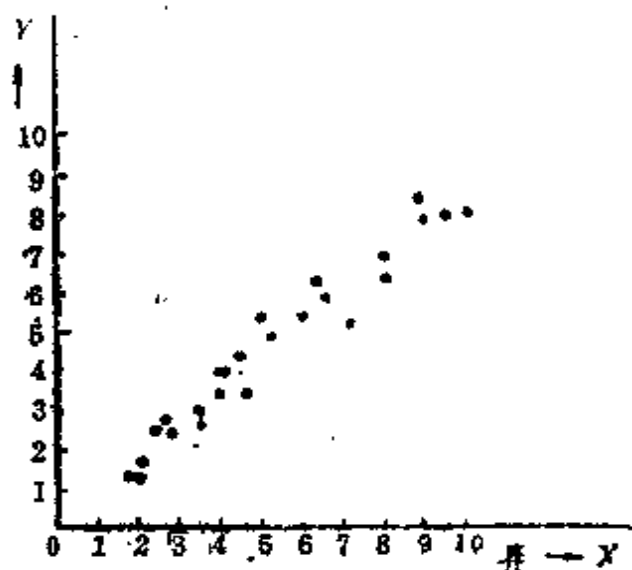


图8—1 纤维拉伸倍数与强度关系散布图

当两组数据的值完全相同时，应并排打两个点，再以圆圈圈起或者在点子旁边标志“2”字。

四、填写散布图标题、数据的来历及其它必要事项。

第三节 散布图的观察与分析

从散布图上座标点的分布状态上来看，可作如下判断：

一、 x 增加， y 随之增加，这是正相关。对于正相关关系，只要能控制 x 、 y 就能够得到控制（图8—2a）。

二、 x 增加， y 随之减少。这是负相关，与（一）一样，可通过控制 x 来控制 y （图8—2b）。

三、在一定限度以内， x 增加， y 随之增加，而在一定限度以外， x 增加， y 随之减少，这是非线性（曲线）相关（图8—2c）。

四、 x 与 y 没有关系，叫作无相关（图8—2d）。

第四节 作散布图的注意事项

一、要明确在什么范围内相关

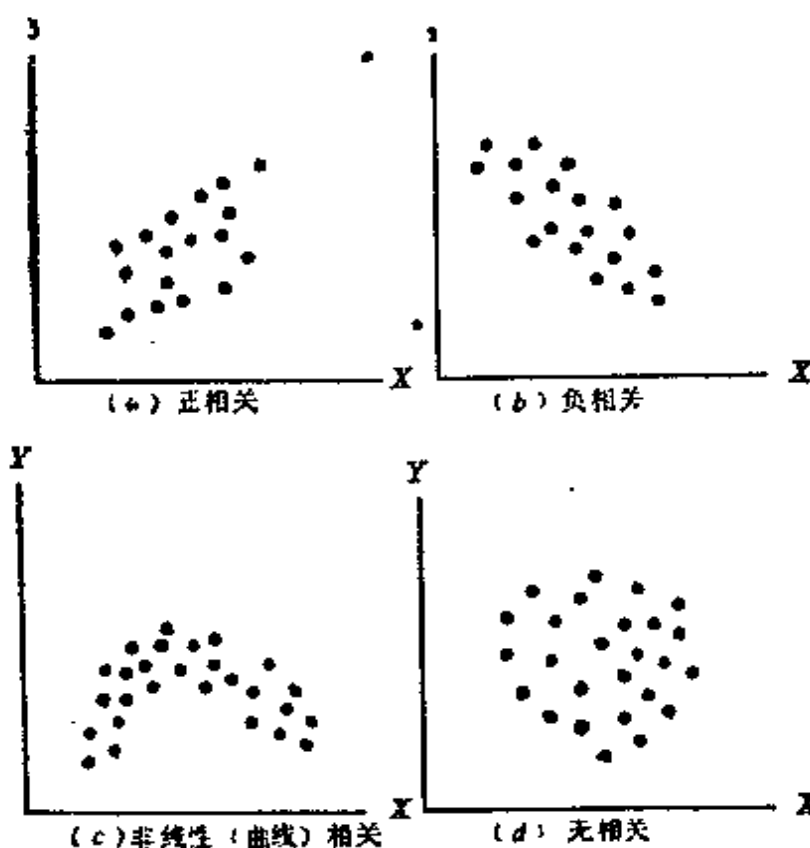


图8—2 各种类型的散布图

当 x 在很小范围内提取时, 即使 x 和 y 之间有相关关系, 有时也常常呈现不相关的状态, 因此这时 x 需在足够大的范围内提取, 如图8—3所示。

有时在试验条件下 x 、 y 相关, 而在实际制造条件下

x 、 y 不相关, 这样就不能把相关的结论扩大到更广泛的范围内。总之必须注意相关性的范围问题。

二、异常值的处理

在散布图上如果出现图8—4所示的偏离集体很远的点, 则该点可认为是异常值, 有必要追究其原因。

作为异常值的原因, 除了测量的差错或记录的疏忽外, 常常是由于操作条件的变化造成的, 由此可找到工



图8—3 相关性的范围

序改进的线索。

三、分层的必要性

图 8—5 的散布图,从全体坐标点来看似乎看不到相关。然而,以“*”与“×”将坐标点分层,则发现各自皆有相关。反之,整体好像相关,而分层后,层内部有不相关的情况存在,所以,作散布图前应考虑分层,且以不同的记号表示分层后的坐标点。

四、假相关

有时存在这样的情况:观察散布图明明有相关,但从技术上,直接提出的原因与结果之间都没有关系。比如,可能与所列原因之外的原因相关,而错误的认为与所列原因相关了,这就叫假相关。



图 8—4 出现异常点的情况



图 8—5 不同性质的数据混在一起

第五节 散布图的相关检验

利用散布图分析两组数据的相关性。在实际生产中为了较快的判断是否相关时,常常采用中值法,现介绍其作法如下:

一、作中值线

在已作出的散布图上分别作出 x 、 y 的中值线A、B,使A线左右的点数相等,使B线上下两部分的点数相等,中值线在散布图上所划分的4个区域自右上角起沿逆时针方向分

别为第 I、II、III、IV 象限，如图 8—6 所示。

二、数点子数

数出各象限内的点数 n 及位于线上的点数分别记入表 8—2 中。

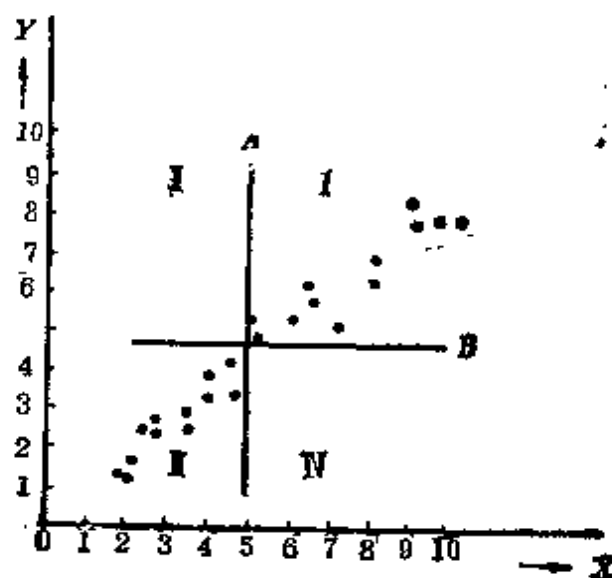


图 8—6 带有中值线的散布图

表 8—2

象 限	I	II	III	IV	线上	合计
点 数	12	0	12	0	0	24

三、计算

$$n(I+III) = n_I + n_{III}$$

$$n(II+IV) = n_{II} + n_{IV}$$

取 $n(I+III)$ 及 $n(II+IV)$ 中的小值。

其中 $n_I, n_{II}, n_{III}, n_{IV}$ 分别为 I、II、III、IV 象限中的点数；

Σn 为散布图的总点数； $n_{\text{线}}$ 为线上的点数。

在表 8—2 的数据中 $n(I+III) = 24$ ， $n(II+IV) = 0$ ，则应取 $n(I+IV) = 0$ 作为判断值。

$$\text{算出 } N = \Sigma n - n_{\text{线}} = 24 - 0 = 24。$$

四、判定

将计算中所得结果与检验表比较，如果点数界限大于判定值，则应判定为相关，否则为无相关。

检验表如表 8—3 所示，其中 5%，1.0% 为危险率。

上例中由 $n = 24$ ，查点数界限 (1.0%) 为 5，(5%) 为 6，大于 $n(I + IV) = 0$ ，则判定有相关关系。由于是统计推断，在下这一结论时，犯错误的可能性分别为 1.0% 和 5%。

表 8—3 相 关 检 验 表

N	0.01	0.05	N	0.01	0.05	N	0.01	0.05	N	0.01	0.05
			28	6	8	50	15	17	72	24	27
			29	7	8	51	15	18	73	25	27
8	0	0	30	7	9	52	16	18	44	25	28
9	0	1	31	7	9	53	16	18	75	26	28
10	0	1	32	8	9	54	17	19	76	26	28
11	0	1	33	8	10	55	17	19	77	27	29
12	1	2	34	9	10	56	17	20	78	27	29
13	1	2	35	9	11	57	18	20	79	28	30
14	1	2	36	9	11	58	18	21	80	28	30
15	2	3	37	10	12	59	19	21	81	28	31
16	2	3	38	10	12	60	19	21	82	29	31
17	2	4	39	11	12	61	20	22	83	29	32
18	3	4	40	11	13	62	20	22	84	30	32
19	3	4	41	11	13	63	20	23	85	30	32
20	3	5	42	12	14	64	21	23	86	31	33
21	4	5	43	12	14	65	21	24	87	31	33
22	4	5	44	13	15	66	22	24	88	31	34
23	4	6	45	13	15	67	22	25	89	31	34
24	5	6	46	13	15	68	22	25	90	32	35
25	5	7	47	14	16	69	23	25	91	32	35
26	6	7	48	14	16	70	23	26	92	33	36
27	6	7	49	15	17	71	24	26	93	33	36

第六节 相关系数

一、相关系数的意义

除了用散布图表示两个变量 x 、 y 之间的相关关系外，我们还可以引入相关系数这一概念，以讨论相关的数字特征。相关系数表示两个变量 x 与 y 的相关程度。相关系数用 γ 表示，有：

$$\gamma = \frac{S(xy)}{\sqrt{S(xx) S(yy)}} \quad (8-1)$$

式中：

$$S(xx) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n} \quad (8-2)$$

$$S(yy) = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n} \quad (8-3)$$

$$\begin{aligned} S(xy) &= \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \\ &= \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (8-4) \end{aligned}$$

从数学上可以证明，相关系数 r 的绝对值不超过1，即 r 在 $r \pm 1$ 之间取值（ $-1 \leq r \leq 1$ ，在 x 增加 y 也增加时 $r > 0$ ，为正相关，在 x 增加 y 减少时 $r < 0$ 为负相关）。

当 r 的绝对值愈接近于1，就表明 x 与 y 愈接近线性关系。如果 r 接近于0，可以认为 x 和 y 之间没有线性关系，这时有两种情况，即或者两者没有相关关系。或者两者有非线性关系。

从数据中算出的 r 值，准确到什么程度，这和数据数 n 有关， n 愈多 r 值就愈可靠。

二、相关系数的计算

相关系数的计算，根据数据多少的不同，有两种方法：

（一）利用质量特性的测量值直接计算

现仍以纤维的拉伸倍数与强度的关系的测量数据为例（见表8—4），来叙述相关系数的计算方法。

表8—4 回归直线方程和相关系数的计算表

编 号	x	y	x^2	y^2	xy
1	1.9	1.4	3.61	1.96	2.66
2	2.0	1.3	4.00	1.69	2.60
3	2.1	1.8	4.41	3.24	3.78
4	2.5	2.5	6.25	6.25	6.25
5	2.7	2.8	7.29	7.84	7.56
6	2.7	2.5	7.29	6.25	9.75
7	3.5	3.0	12.25	9.00	10.50
8	3.5	2.7	12.25	7.29	9.45
9	4.0	4.0	16.00	16.00	16.00

10	4.0	3.5	16.00	12.25	14.00
11	4.5	4.2	20.25	17.64	18.90
12	4.6	3.5	21.16	12.25	16.10
13	5.0	5.5	25.00	30.25	27.50
14	5.2	6.0	27.04	25.00	26.00
15	6.0	5.5	36.00	30.25	33.00
16	6.3	6.4	39.69	40.96	40.32
17	6.5	6.0	42.25	36.00	39.00
18	7.1	6.3	50.41	28.09	37.63
19	8.0	6.5	64.00	42.25	52.00
20	8.0	7.0	61.00	49.00	56.00
21	8.9	8.5	79.21	72.25	75.65
22	9.0	8.0	84.00	64.00	72.00
23	9.5	8.1	90.25	65.61	76.95
24	10.0	8.1	100.0	65.61	81.00
Σ	127.5	113.1	829.61	650.93	731.60

由表8-4可知:

$$\Sigma x = 127.5, \Sigma y = 113.1, n = 24$$

$$\Sigma x^2 = 829.61, \Sigma y^2 = 650.93, \Sigma xy = 731.60$$

$$\frac{(\Sigma x)^2}{n} = 677.34, \frac{(\Sigma y)^2}{n} = 532.98$$

$$\frac{\Sigma x \Sigma y}{n} = \frac{127.5 \times 113.1}{24} = 600.84$$

$$S (xx) = \Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n} = 152.27$$

$$S(y y) = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} = 117.95$$

$$S(x y) = \sum x y - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n} = 130.76$$

则:

$$r = \frac{S(x y)}{\sqrt{S(x x) S(y y)}} = \frac{120.76}{\sqrt{152.27 \times 117.95}} = 0.976$$

由 $r = 0.976$ 可知, x 与 y 为接近线性关系的正相关。

(二) 利用变换测量值的简化方法计算

这种方法是用:

$$X = (x - x_0)g \quad (8-5)$$

$$Y = (y - y_0)h \quad (8-6)$$

对 x, y 进行变换以后进行计算。

式中: g, h 是为消去小数乘上的系数。

现以某产品的温度与合格率的关系的测量值(见表8—5)为例来计算相关系数 r 。

表8—5 温度和合格率测量值

x (温度 $^{\circ}C$)	y (合格率 $\%$)	x	y	x	y
19	78	18	75	15	79
21	78	19	78	17	76
25	75	12	82	20	76
18	77	14	77	22	76
13	80	40	78	19	79
16	78	22	72	19	77
24	77	26	72	16	74
18	78	21	75	24	74
20	77	24	72	22	75
19	76	23	79	14	72
22	76	79	70		

1. 用 $X = (x - 20)$, $x_0 = 20$

$Y = (y - 75)$, $y_0 = 75$

对表8—5的测量值进行变换。式中 $g = 1$, $h = 1$ 故可不记入, 将变换后的数值, 列入表8—6。

2. 求出 X^2 , Y^2 , XY 。

3. 求出 X 、 Y 的平方和与 ΣX^2 , ΣY^2 及 X 、 Y 乘积之和 ΣXY , 然后求出 $S(XX)$, $S(YY)$ 及 $S(XY)$

表8—6 数值变换表

x	y	$X = x - 20$	$Y = y - 75$	X^2	Y^2	XY
19	78	-1	3	1	9	-3
21	78	1	3	1	9	3
25	75	5	0	25	0	0
18	77	-2	2	4	4	-4
16	80	-4	5	16	25	-20
16	78	-4	3	16	9	-12
24	77	4	2	16	4	8
18	76	-2	1	4	1	-2
20	77	0	2	0	4	0
19	76	1	1	1	1	-1
12	76	2	1	4	1	2
13	75	-2	0	4	0	0
19	78	-1	3	1	9	-3
12	82	-8	7	64	49	-56
14	77	-6	3	36	9	-18
20	78	0	3	0	9	0
22	72	2	-3	4	9	-6
26	72	6	-3	36	9	-18
21	75	1	0	1	0	0
24	72	4	-3	16	9	-12
23	79	3	4	9	16	12
17	79	-3	4	9	16	-12
15	79	-5	4	25	16	-20

续表8—6

X	Y	X=x-20	Y=y-75	X ²	Y ²	XY
17	76	-3	1	9	1	-3
20	76	0	1	0	1	0
22	76	2	1	4	1	2
19	79	-1	4	1	16	-4
19	77	-1	2	1	4	2
16	74	-4	-1	16	1	4
24	74	4	-1	16	1	-4
22	75	2	0	4	0	0
14	72	-6	-3	36	9	18
		-18	45	380	247	-145

$$S(XY) = \sum XY - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{n}$$

$$= -145 - \frac{(-18) \times 45}{32} = -119.7$$

$$S(XX) = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}$$

$$= 380 - \frac{(-18)^2}{32} = 369.9$$

$$S(YY) = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}$$

$$= 247 - \frac{45^2}{32} = 183.7$$

4. 求相关系数

$$r = \frac{S(XY)}{\sqrt{SXX} \cdot S(YY)}$$

$$= \frac{-119.7}{\sqrt{369.9 \times 183.7}} = -0.459^{**}$$

三、相关系数的检验

前面已经讲过散布图相关检验可以判定两组数据 x 、 y 是否相关，但是如果求出相关系数时就能够用数字特征更加准确地说明两组数据的相关性。数据总数为 n 时，表值假定为 r_n ，则：

$$|r| \geq r_n$$

时说明有相关关系，这时才能考虑用直线（回归直线）来描述 X 与 Y 之间的关系，其所配的直线才有意义。

表8—7 相关系数检验表

$n-2$	r_n (5%)	r_n (1%)	$n-2$	r_n (5%)	r_n (1%)	$n-2$	r_n (5%)	r_n (1%)
1	0.977	1.000	16	0.468	0.590	35	0.325	0.418
2	0.950	0.990	17	0.456	0.575	40	0.304	0.393
3	0.875	0.959	18	0.444	0.561	45	0.285	0.372
4	0.811	0.917	19	0.433	0.549	50	0.273	0.354
5	0.754	0.874	20	0.423	0.537	60	0.256	0.325
6	0.707	0.834	21	0.413	0.526	70	0.232	0.302
7	0.666	0.794	22	0.404	0.515	80	0.217	0.282
8	0.632	0.765	23	0.396	0.505	90	0.205	0.267
9	0.602	0.735	24	0.388	0.496	100	0.1950	0.254
10	0.576	0.708	25	0.381	0.488	125	0.174	0.228
11	0.553	0.684	26	0.374	0.478	150	0.159	0.218
12	0.532	0.661	27	0.367	0.470	200	0.138	0.181
13	0.514	0.641	28	0.361	0.463	300	0.113	0.149
14	0.494	0.623	29	0.355	0.456	400	0.098	0.128
15	0.482	0.606	30	0.349	0.446	1000	0.062	0.081

表8—7中， $n-2$ 为自由度，5%、1%为危险率，它们分别说明相关显著性水平，当然用 r_n (1%) 时比较准确。

在前例的实际测量值中，经计算相关系数 $r = 0.976$ 、

$n = 24$ ，用表8—7检验表来判定：

$$n - 2 = 24 - 2 = 22$$

表8—7中查出 $n - 2 = 24 - 2 = 22$ 时

$$r_n (1\%) = 0.515$$

$$|r| = 0.976 > r_n = 0.515$$

这说明纤维的拉伸倍数与强度有相关关系。

通过相关系数的计算，可以了解两个质量特性数据之间是否存在相互关系，以及推测相关程度，为了进一步明确它们之间存在怎样的关系，还要求出回归方程式，通过回归方程式，可以找出一条比较合适的经验直线，然后就可以了解两个质量特性之间的确定性关系，这样就可以通过控制一个质量特性（X）来控制另一个质量特性（Y）。这个问题将在下面叙述。

第七节 回归直线的应用

一、回归直线的求法

通过相关系数的计算，可以了解两个质量特性数据之间是否存在相关关系，以及推测相关程度，为了进一步的了解两个数据之间的相关关系，还必须了解它们之间的定量关系。

在生产实践中，我们经常碰上两个质量特性数据 X 和 Y 之间表现出近似的线性关系，因为从散布图上无法找出一条直线通过图中所有点子，而可能在一切可能的直线中找出一条比较合适的直线。但决定哪一条直线是比较合适的直线，

必须有一个准则，这就是用线性方程 $y = a + bx$ 来表示。

即 y 随 x 增大而增大，若 a 、 b 求出，则 x 与 y 的关系即可定出，由截距 a 和回归系数 b ，求得的 $y = a + bx$ 的式子叫回归方程式，由这个式子所作的直线叫作回归直线。求 a 、 b 可用最小二乘法求出：

$$a = \frac{1}{n} \sum y - b \frac{1}{n} \sum x = \bar{y} - b\bar{x} \quad (8-7)$$

$$b = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2} = \frac{S(xy)}{S(xx)} \quad (8-8)$$

若将坐标轴平行移动，使原点移到点 (\bar{x}, \bar{y}) 上，则回归直线通过原点，这时：

$$a = 0, \quad b = \frac{S(xy)}{S(xx)} = \frac{S(XY)}{S(XX)} \times \frac{g}{h}$$

其中： $X = (x - x_0)g$ $Y = (y - y_0)h$

这时回归直线可用回归方程 $y - \bar{y} = b(x - \bar{x})$ 求出，

其中 $\bar{x} = x_0 + \frac{\sum X}{n} \times \frac{1}{g}$,

$$\bar{y} = y_0 + \frac{\sum Y}{n} \times \frac{1}{h}$$

求回归直线的步骤如下：

首先仍以表8—6的数据关系为例：

(一) 求回归系数

$$b = \frac{S(XY)}{S(XX)} \times \frac{g}{h}, \text{ 在表8—6的例子中 } g = 1$$

$$h = 1$$

$$\therefore b = \frac{-119.7}{369.9} = -0.324$$

(二) 求 \bar{x} 、 \bar{y}

$$\bar{x} = x_0 + \frac{\sum X}{n} \times \frac{1}{g} = 20 + \frac{-18}{32} = 19.44$$

$$\bar{y} = y_0 + \frac{\sum Y}{n} \times \frac{1}{h} = 75 + \frac{45}{32} = 76.41$$

(三) 求回归方程式

将 b 、 \bar{x} 、 \bar{y} 代入 $y - \bar{y} = b(x - \bar{x})$ 后得

$$y - 76.41 = -0.324(x - 19.44)$$

$$y = 82.71 - 0.324x$$

(四) 把求出的回归方程式记在散布图中，并作回归直线，首先把 x 取适当值代入回归式，就可以得对应的 y 值，或者取 y 适当的值代入，也可以得到对应的 x 值，把作出的对应两个点连结起来就是所求的回归直线，所取的两点最好是用左右两个端点的数值。在此例中的 $y = 82.71 - 0.324x$ 式中，取 $x = 12$ ，则 $y = 82.71 - 12 \times 0.324 = 78.82$

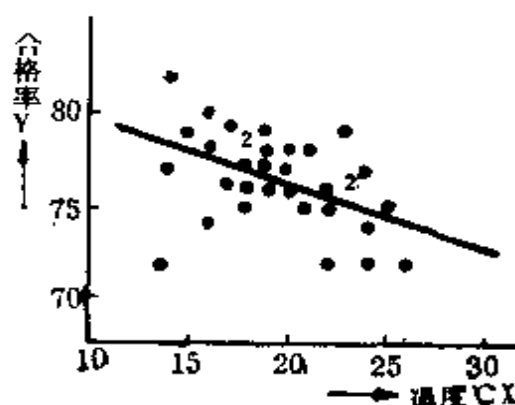


图8—7 温度和合格率关系的散布图

取 $x = 30$ ，则 $y =$

$$82.71 - 30 \times 0.324 = 72.99$$

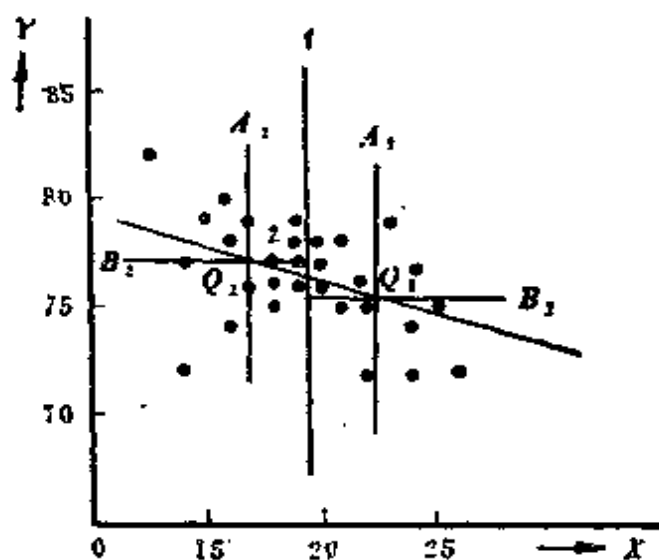
用 $(x = 12, y = 78.82)$ 和 $(x = 30, y = 72.99)$ 两个点即可作出图8—7的回归直线。

从上述回归直线可知，只要能够控制一个变量 x 的变化，就可以控制另一个变量 y 的变化。例如要使温度控制在 20°C ，合格率就可以控制在 76.23%

下面介绍一种求回归直线的简便方法。

(一) 画一条与纵座标平行的直线 A ，使散布图分成点数相等（或大致相等）的左右两区。

(二) 在右区中，分别划出平行于纵座标和横座标的两条直线 A_1 和 B_1 ，使点数左右、上下各自相等（或大致相等），并得交点 Q_1 。



(三) 在左区中，分别画出平行于纵座标和横座标的两条直线 A_2 和 B_2 使点数左右、上下各自相等（或大致相等），并得交点 Q_2 。

(四) 通过 Q_1 与 Q_2 画一条直线，该直线，即为所求的回归直线。见图8—8。

图8—8 回归直线的简便求法

二、变量 y 的取值范围和 x 值的控制

我们现在仍以上例为例，考察温度 x 与合格率 y 之间的关系。我们知道 x 与 y 具有线性关系，并已求出回归方程为

$y = 82.71 - 0.324x$ 。但我们知道他们之间并不存在确定的函数关系，因此对于温度 x 的某一固定值 x 对应的合格 率 y_0 是一个随机变量，并服从正态分布（在按照固定工艺操作条件下的一般生产数据总是大致服从正态分布的）。对于每一个固定的 $x = x_0$ ，则 相应于 x_0 的 y_0 总是服从正态分布的。它的平均数就是当 $x = x_0$ 时回归方程的相应值 $y_0 = a + bx_0$ ，方差 S^2 近似于 $S^2 = \frac{Q}{n-2}$ ，而标准偏差 S 近似于

$$S = \sqrt{\frac{Q}{n-2}} = \sqrt{\frac{(1-r^2) S_{yy}}{n-2}} \quad (8-9)$$

亦即，随机变量 y_0 近似具有正态分布 $N(y_0, S)$ ，因而，由正态分布的性质可知：

y_0 落在 $Y_0 \pm S$ 范围内的概率为 68.3%

y_0 落在 $Y_0 \pm 2S$ 范围内的概率为 95.5%

y_0 落在 $Y_0 \pm 3S$ 范围内的概率为 99.7%

于是，对于任一固定的 $x = x_0$ ，我们可以有 95.5% 的把握预测其相应的 y_0 是落在区间 $(Y_0 - 2S, Y_0 + 2S)$ 内；同样，可以有 99.7% 的把握预测其相应的 y_0 是落在区间 $(Y_0 - 3S, Y_0 + 3S)$ 内。

由上式可知，若 S 愈小，则从回归方程预测 y 的值就越精确，故可用它来作为衡量预测的精确度。

上面的结论对一切通常取值范围内的 x 都成立。如果在平面上作两条与回归直线平行的直线：

$$Y_1 = a - 2S + bx$$

$$Y_2 = a + 2S + bx$$

则可以预料，在全部可能出现的 y 值中，大约有 95.5% 的点落在这两条直线所夹的范围内。

在本例中，

$$S = \sqrt{\frac{(1 - r^2)}{n - 2} S_{yy}}$$

$$= \sqrt{\frac{[1 - (-0.459)^2] \times 183.7}{32 - 2}} = 2.199$$

于是，当温度 $x_0 = 18$ 时，我们可以预测合格率 y_0 在什么范围内。

由回归方程 $y = 82.71 - 0.324x$ 可算得：

$$Y_0 = 82.71 - 0.324 \times 18 = 76.95$$

$$Y_1 = Y_0 - 2S = 76.95 - 2 \times 2.199 = 72.552$$

$$Y_2 = Y_0 + 2S = 76.95 + 2 \times 2.199 = 81.348$$

故当温度 $x_0 = 18$ 时，我们可以有 95.5% 的把握预测其相应的合格率 y_0 落在区间 (72.555, 81.348) 内。

控制是预测的反问题。若观测值在 $y_1 < y_0 < y_2$ 的范围内取值，则可由下式求解 x_1 和 x_2 。

$$a - 2S + bx_1 = y_1 \quad (8-10)$$

$$a + 2S + bx_2 = y_2 \quad (8-11)$$

若 $b > 0$ 时，则 $x_1 \leq x_2$

若 $b < 0$ 时，则 $x_1 \geq x_2$

第九章 直方图法

第一节 质量管理中的数据

一、数据和总体的关系

数据是科学质量管理的基础。任何质量都是通过一定数量界限表现出来的，统计方法就是从对大量的数据的观察和分析中，找出其中规律性的倾向，再根据数据作出判断。因此，研究质量管理的统计方法，必须收集数据，研究数据。收集数据的目的不外乎以下几点：（1）掌握生产现状；（2）分析质量问题；（3）控制生产过程；（4）调整工序；（5）判断产品质量是否符合标准等等。

但是，是否对整个工序的产品质量的所有质量特性数据都要收集，统统进行测试检查呢？这无论是从技术上还是经济上都是不可能的。而往往都是对其中某个对象，从中随机地抽出若干个，作为代表进行调查，此时被调查的全体称为总体，而抽出来的调查对象称为样本（或样品组），样本中的每个产品称为样品。表达样本性质的叫作统计量，表达总体性质的叫作总体量，统计方法的任务就在于通过统计量对总体量进行推测。样本、总体之间的关系，如图9—1所示。

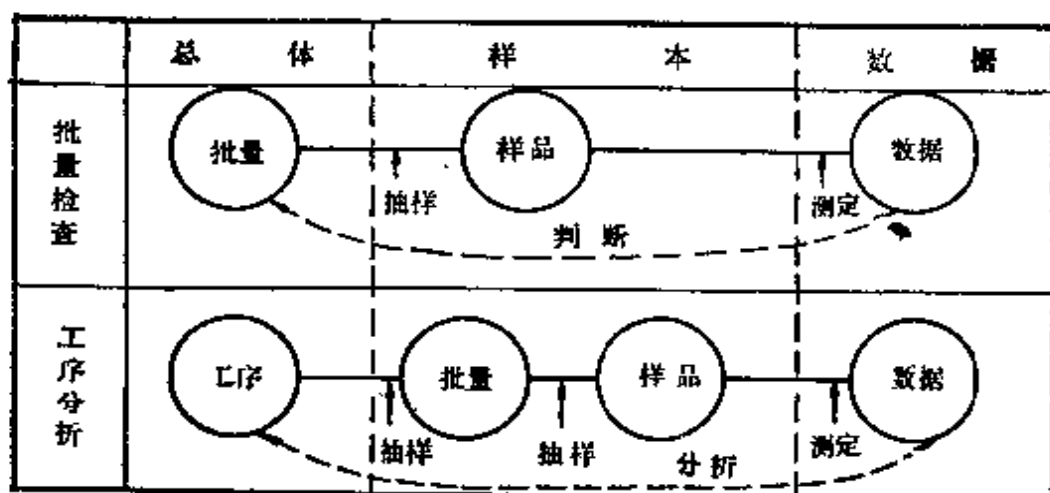


图0—1 数据、样本和总体之间的关系

二、数据的种类

根据测定的对象和数据的来源不同，数据可分为计量值数据和计数值数据两类。

计量值数据。凡是可以连续取值的，或者说可以用测量工具具体测出小数点以下数值的这类数据叫做计量值数据。如：长度、容积、重量、化学成分、温度等等。就拿长度来说，在 1—2 毫米之间，还可以连续测出 1.1，1.2，1.3 毫米等等数值来。

计数值数据。凡是不能连续取值的，或者说即使用测量工具也得不到小数点以下的数据，而只能得到 0 或 1、2、

3、4 ……………等自然数的这类数据就叫做计数值数据。如废品件数、不合格品件数、疵点数、缺陷数等等。计数值数据还可以细分为计件值数据和计点值数据。计件值数据是指按件计数的数据，如不合格品件数、不合格品率等。计点值数

据是按点计数的数据,如疵点数、焊缝缺陷数、单位缺陷数等。

在质量管理中,并不是所有质量都有一个现成的数据可以收集和直接用来加以统计的。有时特别要人为地定出一些数字来进行统计。如评定分数就是一种常用的方法,人为地评上3分、5分、10分等,或者一等品、二等品、三等品等等。

三、数据的分散性

我们收集数据,尽管从主观上避免出现虚假的现象,但事实上,实际生产出来的产品的质量特性总是有些差异,这种差异就反映质量特性的数据有分散性。如果质量特性的数据总是一个定值,多数情况下,则可认为是不真实的数据,应加以分析研究。

例如测量钢板厚度,尺寸按标准要求为6毫米,现从生产的批量中抽取100个样品的尺寸如下(见表9—1):

表9—1 钢板厚度尺寸数据

1	5.77	6.27	5.93	6.08	6.03	11	8.12	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	5.03	5.78
7	5.87	5.63	5.80	6.12	6.32	17	5.93	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	6.05	6.25	5.89	5.83	19	9.12	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

从上述实际测量的厚度尺寸中可以看出,尽管按6毫米

的要求生产，实际尺寸是不一致的。

在生产过程中，客观上形成分散的原因是无限多的，大致主要来自五个方面，即：原材料、设备、操作方法、操作者及环境等因素，而这些原因又可分为两大类：（1）由偶然原因引起的分散性；（2）由系统原因引起的分散性。偶然原因也可以说是正常原因，主要指的是原材料、设备、操作方法、人和环境等因素的微小变化，比如设备的微小磨损等，这类原因，一般说来，是经常起作用的因素，对质量的分散性影响比较小，但因素的数目较多，不易避免，也难以消除。系统原因也叫异常原因，主要是指原材料、设备、操作方法、人和环境等因素的较大变化所引起的分散性，如操作上的错误、设备的严重磨损或损坏等，一般说来，这类因素不是经常起作用的因素，但这类因素对质量的分散性影响较大，而因素的数目比较小，因此，容易发现，也可以避免。

数据虽然有分散性，但是，对于质量整体来说，一定程度的分散性还是允许的，因为产生分散性的原因，其中从技术上能控制的只占一小部分，因此分散性的产生是必然的，是客观存在的现实。如果要求生产质量分散性很小的产品，就要使用更好的原材料、设备、操作方法和技术水平等，而这往往会带来成本过高的缺点。因此，我们在生产中应该实事求是地承认这种分散性，并用数理统计方法分析这些分散性，尽可能的控制这些分散性。

第二节 什么是直方图法

直方图又称质量分布图。它是通过对测定或收集来的数据加以整理，来判断和预测生产过程质量及不合格品率的一

种常用的工具。它是将生产过程中测得的全部数据分为若干组，以组距为底边，以频数为高度，以与频数成比例的面积所构成的矩形图。

前面我们已经谈到，数据存在有分散性，这是客观存在的事实，但是我们还可以常常发现，数据虽然有分散性，但经过分析可以看到这些分散的数据并不是杂乱无章的，而是呈现出一定的规律性，这种规律性也是客观存在的事实。那么，如何才能找出这种规律性呢？最好的办法就是通过对数据的整理作出直方图。例如，在表 9—1 的100个钢板厚度尺寸的数据中，只要我们对这些数据进行整理作出直方图（如图 9—2），就可以清楚的看出这100个数据的波动范围是在6.45~5.56之间，而在中间值附近出现的次数最多，呈现出一定的规律性。这样的例子在生产实践中是经常可以碰到的，如每炉铁水的含碳量，钢材的强度和硬度，圆钢的直径等等。在正常的情况下，大多数产品质量的数据波动都有这种规律性，即反映质量问题的数据总是围绕中间值上下波动，从直方图上看，就是数据既有向中间值附近集中的倾向，又有向最大值与最小值两侧分散的趋势。在生产实践中，我们就是根据这一规律性来判断产品质量的好坏，进行质量管理。

第三节 直方图的作图步骤

现以实例来说明直方图的画法，仍以上例（表 9—1）检查钢板厚度的测量值为例，为了作出直方图，首先必须从生产过程中收集数据，在这里，我们连续抽样20次，每隔一小时抽取 5 个样品，共抽取100个样品。其次对收集来的数

据进行分组、归纳和整理，作出频数表。最后根据频数表作出直方图。作频数表的要点有三：

- (1) 确定组数；
- (2) 确定组距；
- (3) 确定组的边界值；

作直方图的具体步骤如下：

一、收集数据，至少应在100个以上。本例 $N=100$ 。

二、找出数据的最大值与最小值。本例中：

$$X_{\max} = 6.45$$

$$X_{\min} = 5.56$$

X_{\max} 为最大值， X_{\min} 为最小值。

三、求出最大值与最小值之差，即极差(用 R 表示)。本例

$$R = X_{\max} - X_{\min} = 6.45 - 5.56 = 0.89$$

四、确定组数(用 k 表示)。组数可从表 9—2 中，按 $N=100\sim 250$ 时选取。本例 k 取10组

表9—2

数据个数 N	分组个数 k
50以下	7以下
50—100	8—10
100—250	7—12
250以上	10—20

组数 k 也可按公式：

$$k = 1 + 3.3 \log n \text{ 来确定。}$$

五、求出组距，(用 h 表示)。将最大值与最小值的差 R 用 k 除之，并取近似

值得：

$$h = \frac{R}{k} = \frac{0.89}{10} = 0.89 \quad \text{取} 0.9$$

六、确定组的界限值。把最小值分在第一组的中间上，并且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。因此分组的组界值必须带上最小测量单位 $\frac{1}{2}$ 的尾数。第一组下界值可按下式确定：

$$\text{最小值} - \frac{\text{测量单位}}{2}$$

然后依次加上组距，决定直到包括最大值的一组的上界。本例中测量单位为0.01，所以第一组的下界值为：

$$5.56 - \frac{0.01}{2} = 5.56 - 0.005 = 5.555$$

第一组的上界为：

$$5.555 + 0.09 = 5.645$$

七、记录各组中的数据，整理成频数表（见表9—3）。并记入：

表9—3

频 数 表

组号	组 界 值	组中值 t_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	5.66	||	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	15	0
6	6.005~6.095	6.05	||||	15	1	0	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	10	50
				Σ	100	29	346
					$\Sigma/\Sigma f$	0.26	3.46

（一）组界值；

(二) 频数标志;

(三) 各组频数。

八、在方格纸上，横坐标取分组的组界值，纵坐标取各组的频数，用直线连成直方块，就成直方图（如图9—2）。

九、在直方图上要注明数据数 N 以及下面要介绍的平均数 \bar{x} 和标准偏差 S ，采取数据日期和绘图者等可供参考的项目也要注明。

十、规格或公差标准（公差上限用 T_u 、下限用 T_L 表示）也要在图上画出来。

第四节 直方图的定量表示法

直方图可以直观、形象的把质量分布情况表示出来，

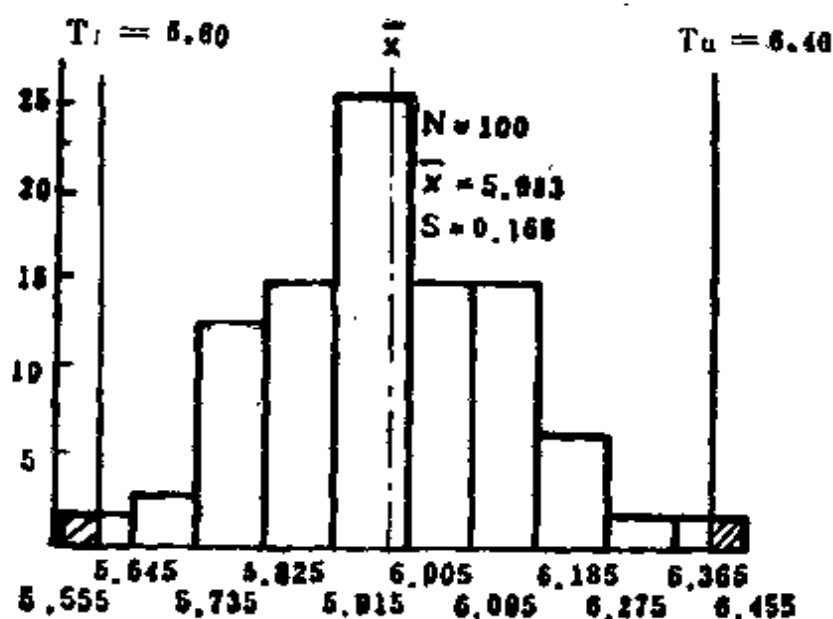


图9—2 钢板厚度直方图

除此以外，还可以用定量方法表示质量的分布情况。我们知道直方图的特点有一个向中间对称轴集中和两端分散的趋

势，这种集中的位置，可用算术平均数 \bar{x} 和中位数 \tilde{x} 表示，分散情况可用极差 R 和标准偏差 S 表示。这些都称为统计量，下面就 \bar{x} 、 R 和 S 分别加以说明：

一、平均值 \bar{x}

平均值就是算术平均数，它表示数据的集中位置。例如表9—1中第一组有5个数据求其平均值：

$$\begin{aligned} & 5.77 \quad 6.27 \quad 5.93 \quad 6.08 \quad 6.03 \\ \bar{x} &= \frac{5.77 + 6.27 + 5.93 + 6.08 + 6.03}{5} = 6.016 \end{aligned}$$

如果有 N 个数据： x_1, x_2, \dots, x_N ，则：

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} = \frac{\sum x_i}{N} \quad (9-1)$$

对于上例，我们还可以用一种简便方法计算平均值，

$$\text{设 } U_i = \frac{x_i - 5.77}{0.1}, \text{ 则}$$

$x_1 = 5.77$	$U_1 = 0$
$x_2 = 6.27$	$U_2 = 5$
$x_3 = 5.93$	$U_3 = 1.6$
$x_4 = 6.08$	$U_4 = 3.1$
$x_5 = 6.03$	$U_5 = 2.6$

$$\bar{U} = \frac{\sum U_i}{N} = \frac{12.3}{5} = 2.46$$

再恢复到原来的数据，则：

$$\begin{aligned} \bar{x} &= 5.77 + 0.1 \bar{U} \\ &= 5.77 + 0.1 \times 2.46 \\ &= 6.016 \end{aligned}$$

二、中位数 \bar{x}

中位数是将一批数据按大小次序排列后，居中间位置的一个数。采用中间数作为分布集中位置的度量，可简化计算。若数据总个数为偶数时，则中位数等于两个中间值的平均值。例如：样本数据为5、6、10、15、8，则 $\bar{x}=8$ 。而若样本数据为2、4、6、9则

$$\bar{x} = \frac{4+6}{2} = 5$$

在质量管理中，平均值 \bar{x} 和中位数 \bar{x} 表示质量分布中心，即表明产品的平均质量水平，它代表大部分数据所取得的数值的大小。当质量形成波动时，大部分质量密集在平均值或中位数的上下附近。因此平均值 \bar{x} 或中位数 \bar{x} 是反映质量稳定程度的一个参数。

三、极差R

极差R也叫范围，是数据最大值与最小值之差。

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (9-2)$$

对于上例 $R = 6.27 - 5.77 = 0.50$

R是反映数据分散程度的一个参数，在质量管理中，我们希望R愈小愈好，但是当数据较多时，因为中间的数据分布情况不同，R便不能反映这些数据的分散情况，例如有下列两组数据：

第一组：5、5、5、5、10

第二组：4、5、6、6、9

其平均值 \bar{x} 和极差R分别为：

$$\text{第一组: } \bar{x}_1 = 6 \quad R_1 = 5$$

$$\text{第二组: } \bar{x}_2 = 6 \quad R_2 = 5$$

显然，这两组数据的平均值 \bar{x} 与极差 R 皆相同，但两组数据的分布情况是不同的，这样就需要用另外的一个参数来反映数据的分散情况。

四、标准偏差 S

标准偏差 S 所表示的是各个数据对平均值 \bar{x} 的分散程度，也叫标准离差或标准差。对于前例：

$$S = \sqrt{\frac{(5.77 - 6.016)^2 + \dots + (6.03 - 6.016)^2}{5}}$$

$$= 0.124$$

对于一般：

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N}}$$

$$= \sqrt{\sum \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (9-3)$$

(9—3) 式中： $(x_i - \bar{x})$ 是各个数据与平均值 \bar{x} 之差，叫偏差或离差。偏差有正也有负，这些偏差加在一起，就表示数据的差异程度，但如果数据是一个完全对称的分布，平均值就正在中间，有一个正偏差也就有一个负偏差，加在一起就等于零了，这时偏差就显示不出来了。例如：有下列五个数，1、2、3、4、5偏差和 = $(1 - 3) + (2 - 3) + (3 - 3) + (4 - 3) + (5 - 3) = 0$ ，但如果把它们完全自乘（偏差平方）后，就可以变成正数了，但这时虽能消除正负相消的

影响，看出偏差的大小，但这时还可能出现两组数据不同，但偏差平方和相同，因此还必须将偏差平方和取算术平均值，即被数据个数N除之，于是便得：

$$\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

因为在计算过程中用了平方，所以需要开方恢复原来的单位，则标准偏差得：

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

例如上述五个数据的标准偏差为：

$$S = \sqrt{\frac{(1-3)^2 + (2-3)^2 + (3-3)^2 + (4-3)^2 + (5-3)^2}{5}} \\ = \sqrt{2} = 1.414$$

标准偏差S也可以用下式表示：

$$S = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N} - \left(\frac{\sum x_i}{N}\right)^2}$$

这是因为：

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}} &= \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - 2\sum x_i \bar{x} + \sum \bar{x}^2}{N}} \\ &= \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N} - 2\bar{x}^2 + \bar{x}^2} \\ &= \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N} - \left(\frac{\sum x_i}{N}\right)^2} \quad (9-4) \end{aligned}$$

在质量管理中，标准偏差表示产品质量的分散程度，即均匀程度。也就是说， S 愈大，质量分散愈大，愈不均匀； S 愈小，分散愈小，质量也就愈均匀。因此，在质量管理中，平均数 \bar{x} 和标准偏差 S 是反映产品质量好坏的最重要的两个参数，这两个参数缺一不可，在判断质量问题时，一般都是同时使用这两个参数的，平均值 \bar{x} 只能表示平均质量水平，因而不能代表实际的水平，要了解实际水平，还必须看标准偏差 S ，即分散程度怎么样？标准偏差 S 实际上就是用来衡量平均值 \bar{x} 是否具有代表性的一个参数。例如：表（9—1）的钢板厚度测量数据中，第2和第5组抽出的钢板厚度尺寸（单位：毫米）分别为：

$$6.01 \quad 6.04 \quad 5.88 \quad 5.92 \quad 6.15 \quad \bar{x}_2 = 6.00$$

$$6.42 \quad 6.13 \quad 5.71 \quad 5.96 \quad 5.78 \quad \bar{x}_5 = 6.00$$

可知，两组的平均值是一样的，但能否说两组的产品质量是相同的呢？这还需比较一下分散程度如何。

$$S_2 = 0.0949$$

$$S_5 = 0.2434$$

可见 $S_5 > S_2$ ，所以尽管两组平均值 \bar{x} 相同，但第5组分散程度大，质量不均匀，所以第2组质量好。

五、标准偏差的简便求法

当数据个数超过50个以上时，用上述方法计算平均值和标准偏差是非常麻烦的。这时，可采用简便的求法，这里仅介

绍两种简便方法，变换组中值计算法和频数交叉累计计算方法。

（一）变换组中值算法

利用组中值的变换值计算平均值和标准偏差是一种近似的计算方法，采用这种方法计算时，是先将数据按数值的大小分为若干组，然后统计数据落入各组的频数，并计算每一组的组中值（代表值），再用每组变换的组中值（代表值）与频数的乘积来代替这一组内数据之和，用每组变换的组中值的平方与频数乘积来代替这一组内数据的平方和，最后由各组中值与频数乘积之和，各组变换组中值的平方与频数乘积之和分别求出平均值 \bar{x} 和标准偏差 S 。其基本道理如下。

设有 N 个数据 x_i ($i=1, 2, 3, \dots, N$)，现将数据分成 K 组，各组数据的组中值分别为 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_k$ ，各组数据的频数分别为 $f_1, f_2, f_3, \dots, f_k$ 。

首先求出各组的组中值与频数的乘积为： $f_1 t_1, f_2 t_2,$

$f_3 t_3, \dots, f_k t_k$ ，各组乘积之和为 $\sum_{i=1}^k f_i t_i$

每组的组中值的平方与频数乘积为 $f_1 t_1^2, f_2 t_2^2, f_3 t_3^2$

$\dots, f_k t_k^2$ ，各组乘积之和为 $\sum_{i=1}^k f_i t_i^2$ 。

因为全部数据之和即为各组数据之总和，所以全部数据之和可近似用各组的组中值与频数乘积之和来代替。即：

$$\sum_{i=1}^n x_i \approx \sum_{i=1}^k f_i t_i \quad (9-5)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \approx \frac{\sum_{i=1}^k f_i t_i}{\sum_{i=1}^k f_i} \quad (9-6)$$

同理，全部数据的平方和可近似用各组的组中值的平方与频数乘积之和来代替，即：

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 \approx \sum_{i=1}^k f_i t_i^2 \quad (9-7)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i t_i^2}{\sum_{i=1}^k f_i} - \left[\frac{\sum_{i=1}^k f_i t_i}{\sum_{i=1}^k f_i} \right]^2} \quad (9-8)$$

$$\text{再将组中值 } t_i \text{ 用 } u_i = \frac{t_i - t_0}{h} \quad (9-9)$$

进行变换，

其中：\$u_i\$ —— 变换后的组中值

\$t_i\$ —— 变换前的组中值

\$t_0\$ —— 变换前频数最大一组(或大约中间一组)的组中值

\$h\$ —— 组距

将式 (9-9) 代入式 (9-6) 得：

$$\bar{x} \approx t_0 + h \frac{\sum_{i=1}^k f_i u_i}{\sum_{i=1}^k f_i} \quad (9-10)$$

将 (9-9) 代入 (9-8) 得:

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i (t_0 + u_i h)^2}{\sum_{i=1}^k f_i} - \left[\frac{\sum_{i=1}^k f_i (t_0 + u_i h)}{\sum_{i=1}^k f_i} \right]^2} \\
 &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i (t_0^2 + 2t_0 u_i h + u_i^2 h^2)}{\sum_{i=1}^k f_i} \dots \rightarrow} \\
 &\leftarrow \dots \frac{(\sum_{i=1}^k f_i)^2 (t_0^2 + 2t_0 u_i h + u_i^2 h^2)}{(\sum_{i=1}^k f_i)^2} \\
 &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i u_i^2 h^2}{\sum_{i=1}^k f_i} \quad \frac{(\sum_{i=1}^k f_i)^2 u_i^2 h^2}{(\sum_{i=1}^k f_i)^2}}
 \end{aligned}$$

$$= h \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i u_i^2}{\sum_{i=1}^k f_i} - \left(\frac{\sum_{i=1}^k f_i u_i}{\sum_{i=1}^k f_i} \right)^2} \dots (9-11)$$

把 (9—8) 式和 (9—11) 式中的 $t_i, f_i u_i, f_i u_i^2$ 列入频数表如表 (9—4)，并求出

$$\sum_{i=1}^k f_i u_i \quad \text{和} \quad \sum_{i=1}^k f_i u_i^2 \quad \text{以及} \quad \frac{\sum_{i=1}^k f_i u_i}{\sum_{i=1}^k f_i}$$

$$\text{和} \quad \frac{\sum_{i=1}^k f_i u_i^2}{\sum_{i=1}^k f_i}$$

表9—4 频 数 表

组号	组中值	频 数	变 换 组中值	数据之和	数 据 平 方 和
	t_i	f_i	u_i	$f_i u_i$	$f_i u_i^2$
1	t_1	f_1	u_1	$f_1 u_1$	$f_1 u_1^2$
2	t_2	f_2	u_2	$f_2 u_2$	$f_2 u_2^2$
3	t_3	f_3	u_3	$f_3 u_3$	$f_3 u_3^2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
k	t_k	f_k	u_k	$f_k u_k$	$f_k u_k^2$
Σ		$\sum_{i=1}^k f_i = N$		$\sum_{i=1}^k f_i u_i$	$\sum_{i=1}^k f_i u_i^2$
$\Sigma / \Sigma f$				$\frac{\sum_{i=1}^k f_i u_i}{\sum_{i=1}^k f_i}$	$\frac{\sum_{i=1}^k f_i u_i^2}{\sum_{i=1}^k f_i}$

利用交换组中值计算平均值 \bar{x} 和标准偏差 S 的方法的具体步骤（仍以表9—1中的数据为例，前几个步骤与作直方图时完全相同）：

(8) 计算各组的组中值 t_i

$$t_i = \frac{\text{某组上界值} + \text{某组下界值}}{2}$$

$$\text{如第一组的组中值 } t_1 = \frac{5.555 + 5.645}{2} = 5.6$$

余此类推。

(9) 用 $u_i = \frac{t_i - t_0}{h}$ 对各组的组中值 t_i 进行变换， t_0 为频数最大组的组中值 $t_0 = 5.96$ $h = 0.09$

$$\text{如第一组的 } u_1 = \frac{5.60 - 5.96}{0.09} = -4$$

余此类推。

(10) 计算各组的 f_i 与 u_i 的乘积 $f_i u_i$ ，并求出 $\sum f_i u_i$ 。

(11) 计算各组的 $f_i u_i$ 与 u_i 的乘积 $f_i u_i^2$ ，并求出 $\sum f_i u_i^2$ 。

(12) 计算平均值 \bar{x} 与标准偏差 S （见表9—3）

$$\begin{aligned} \bar{x} &= t_0 + h \frac{\sum f_i u_i}{\sum f_i} & (9-12) \\ &= 5.96 + 0.09 \times \frac{26}{100} = 5.96 + 0.09 \times 0.26 = 5.983 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= h \sqrt{\frac{\sum f_i u_i^2}{\sum f_i} - \left(\frac{\sum f_i u_i}{\sum f_i} \right)^2} & (9-13) \\ &= 0.09 \sqrt{3.46 - 0.26^2} = 0.09 \times 1.842 = 0.166 \end{aligned}$$

(二) 频数交叉累计计算法

用这种方法计算平均数 \bar{x} 和标准偏差 S ，是将数据分组，用频数累计的方法求出平均数 \bar{X} 和标准偏差 S ，这种方法是在作出频数表的基础上进行的。这种累计的方法也有几种算法，现仅介绍其中的一种累计法。

计算 \bar{x} 和 S 的具体步骤，仍以表 9—1 的测量数据为例，从(1)到(8)的八个步骤与利用组中值的计算方法完全相同。

(9) 计算出组中值以后，在其后面增加两栏，即为第 I 列和第 II 列（如表 9—5）。

(10) 确定第 I 列和第 II 列数据。

在第 I 列中令与频数最大的位置 f_0 ($f_0 = 26$)相对应的一栏的数值为 0，然后分别自上、下两方开始累计相加频数，即得出第 I 列中各栏的数值为：2、5、18、33 和 2、-4、11、

表 9—5

组号	组 界 值	组 中 值 x_i	频 数 f_i	第 I 列	第 II 列
1	5.555~5.645	5.60	2	2	2
2	5.645~5.735	5.69	3	5	7
3	5.735~5.825	5.78	13	18	D25
4	5.825~5.915	5.87	15	C33	0
5	5.915~6.005	5.96	26	0	0
6	6.005~6.095	6.05	15	A41	0
7	6.095~6.185	6.14	15	26	B43
8	6.185~6.275	6.23	7	11	17
9	6.275~6.365	6.32	2	4	6
10	6.365~6.455	6.41	2	2	2
			100		102

26、41，令0上面那栏的数值为C，0下面那栏的数值为A，
 $C = 33$ ， $A = 41$ 、

(11) 确定第Ⅱ列数据。

在第Ⅱ列中，令与第Ⅰ列0相对应一栏的数值为0，与此0相近的上、下两栏的数值也取0，然后在0上下两方的数值与第Ⅰ列相同的累加方法确定各栏的数值，即为2，7，25和采取2，6，17，43，令0上面那一栏的数值为D，0下面那一栏数值为B， $D = 25$ ， $B = 43$ 。

(12) 求出第Ⅱ列数值的总和，令其为E， $E = 102$ 。

(13) 计算平均值 \bar{x} 和标准偏差S

$$\bar{x} = x_0 + h \frac{(A+B) - (C+D)}{\Sigma f} \quad (9-14)$$

x_0 为频数最大一组的组中值， $x_0 = 5.96$

h为组距， $h = 0.09$

$$S = h \sqrt{\frac{A+B+C+D+2E}{\Sigma f} - \left[\frac{(A+B) - (C+D)}{\Sigma f} \right]^2} \quad (9-15)$$

$$\therefore \bar{x} = 5.96 + 0.09 \times \frac{(41+43) - (33+25)}{100}$$

$$= 5.96 + 0.09 \times 0.26 = 5.983$$

$$S = 0.09 \times \sqrt{\frac{41+43+33+25+2 \times 102}{100} \dots \rightarrow}$$

$$\leftarrow \dots - \left[\frac{(41+43) - (33+25)}{100} \right]^2$$

$$= 0.09 \times \sqrt{3.46 - 0.26^2} = 0.09 \times 1.842 = 0.166$$

此外，目前在数据处理上，已广泛地应用了计算器进行

运算，这就大大地简化了数据的计算。

第五节 直方图的使用

在生产现场中，由于直方图比较形象、直观和清晰地反映出了产品质量的分布情况，因此它是一种有效的现场分析工具和管理工具。直方图大致说来，有以下几方面的用途：

1. 通过分层后分别绘制直方图，可以比较不同设备、操作方法、操作者、原材料和环境等因素对产品质量影响的差异程度。

2. 将直方图的形状与各种典型的直方图的分布类型进行对比，就可以大致看出产品质量的分布情况，分析质量问题的原因及采取措施。

3. 将直方图与公差界限对比，以掌握工序加工质量的情况。

4. 通过直方图还可以进行工序能力调查。

一、调查直方图的分布状态

从稳定正常的生产过程中得到的数据作出直方图，是左右对称的山峰形状，而当生产过程发生变化时，所取得的数据作出直方图将不是上面所说的简单形状，而是带有某种“奇异的形状”。

下面我们就一些典型的直方图进行分析，来观察直方图的分布状态。我们通过直方图要了解的是数据所代表的产品的总体分布情况，并不是为了了解样本数据的分布，因此，

对于直方图参差不齐的情况不必太注意，而首先应着眼于整体的大体形状，其次看图形是否有异常形状。

（一）对称型。直方图以中间为峰，向左右两方分散，大体是对称的分布，如图9—3（a）。

（二）绝壁型。表示产品经过全数检查以后，剔除了不合格品，提高了平均值时的情况，即用不合格品数据作直方图时易出现此型，如图9—3（b）。

（三）双峰型。往往是表示是由两台不同的机械进行加工的产品，或者是从两个工厂交来的产品，如图9—3（c）。

（四）掉齿型。可能是由于测定工具、测定方式、测定者出现的差错，或者分组有问题所致，如图9—3（d）。

（五）孤岛型。表示可能由于原料发生变化，有不同性质的产品，或者由于不熟练的工人接班加工所致，如图（9—3（e））。

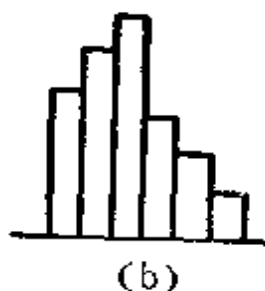
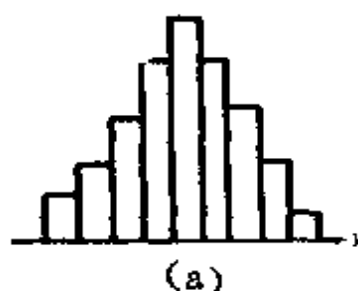


图9—3 直方图的分布状态

二、调查同标准或目标值的关系

这是在直方图上，画出上下公差或目标值，用以观察产品是否符合标准以及偏离标准的大小，工序处于何种状态。

(一) 满足标准的情况。产品的分散程度比标准的幅度小，分布中心正在中间，这是正常的分散，如图9—4 (a)。

(二) 产品的分散程度比标准的幅度小，但由于分布中心偏高，有些超过了上限标准，如图9—4 (b)。

(三) 分散程度太大，虽然分布中心没有偏离，但上下标准均已超过，而出现了废品，应采取措施缩小分散程度或者放宽标准，如图9—4 (c)。

(四) 质量分布中心偏离，分散幅度也大的情况。这时应缩小分散程度，并把分布中心移到中间来，如图9—4 (d)。

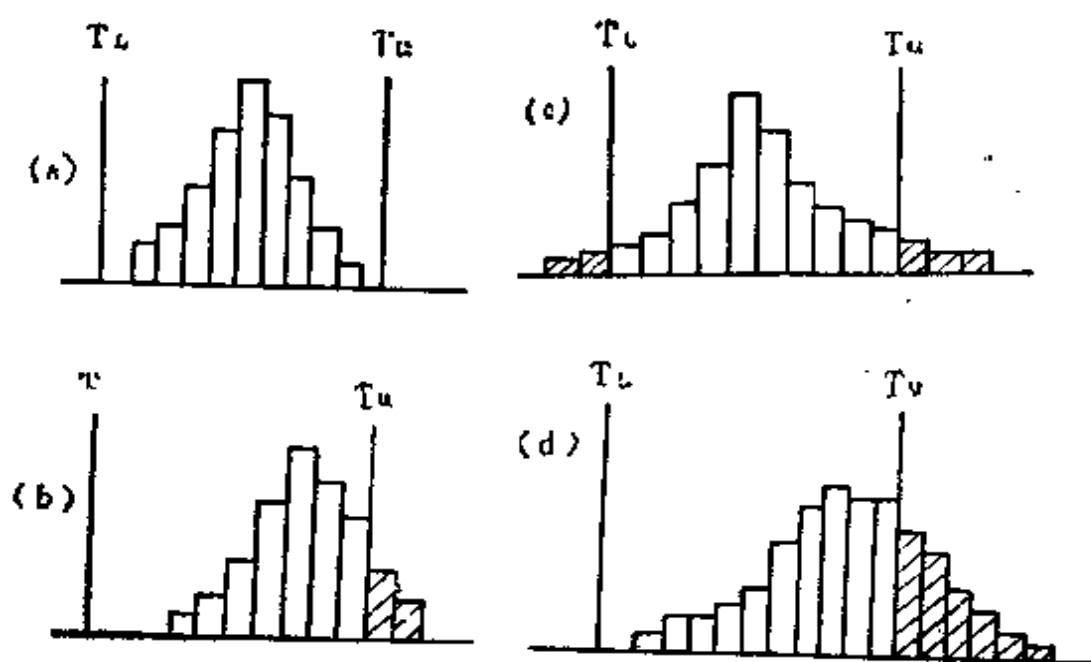


图9—4 直方图同标准对比

三、分层对比，找出改进的线索

例：某产品的外径摆差波动大，不合格品多，需加以改进，如图9—5所示。

现在将这道工序的有关人员召集起来，互相提供情况，调查外径摆差波动大的原因。据调查结果可知，磨外径这道工序共使用三台设备加工，

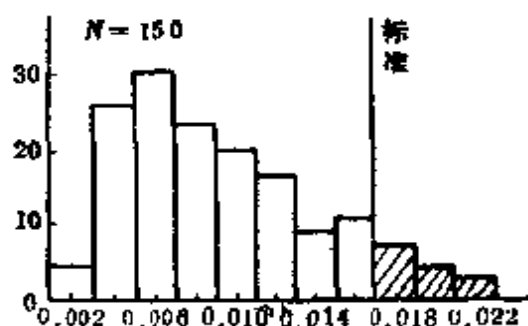


图9—5 外径的摆差

而前一道工序又是由两个人操作的。但是调查结果表明，磨外径这道工序虽然用三台设备加工，然而按机床、按操作人员、按测量人员进行分层，作出直方图，却没有多大差别，而调查了前一道工序后发现，两个人的操作方法有差别，如图9—6所示。从图9—6可知，B操作者的波动大，于是，便仔细地调查了B操作者的加工方法，然后改变了工

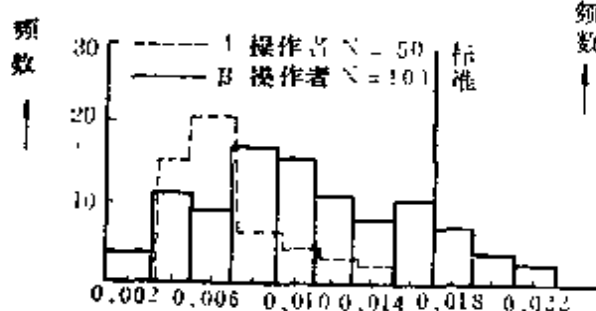


图9—6 按操作人员划分的直方图

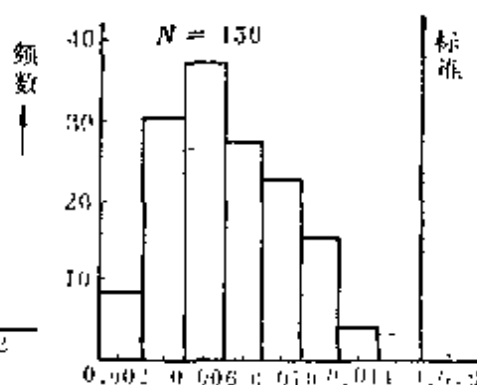


图9—7 改进后的外径摆差

具的用法，从而得到图9—7那样满足了标准的直方图。

四、调查工序能力

调查工序能力，分析数据，一般可采用工序能力图，所谓工序能力图。就是为了测量和表示工序能力用的图。它是以样本组号为横坐标，质量特性值为纵坐标的坐标图，如图9—8 (a)所示。每隔一定时间随机抽取样品，将数据填入图中。从图9—8(a)可以看出每次获得一个数据的情况，工序中出现相当大的波动，表示工序能力不够充分。图9—8(b)是每次抽取5个数据的情况。由图可知，该工序勉强满足标准的要求。这种情况就需要采取措施提高工序能力。工序能力图和直方图配合使用，既能掌握工序能力随时间的变化，又能掌握

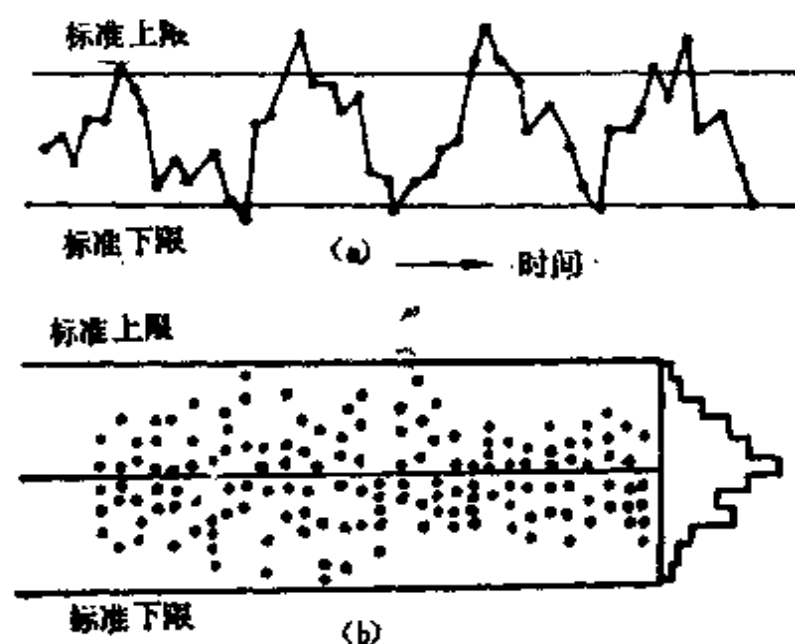


图9—8 随时间变化的工序能力图

工序能力分布，计算标准偏差和工序能力度量值。

又如图9—9所示数据从某一趋向变化，即工序状态的前半部与后半部有变化，但在直方图上是看不出来的，这时，有必要画出按期间分层的直方图，来研究其差别。

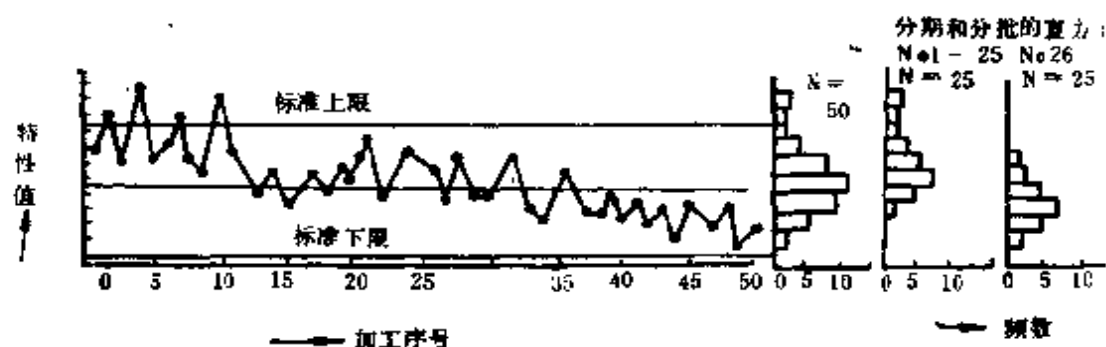


图9—9 有倾向的工序能力图与直方图

第六节 直方图与正态分布曲线

前面所作的直方图

(图9—2)是通过测量钢板厚度尺寸的100个数据作出来的，如果在同样条件下，测量的样品数再增加，分组也不断增加，而组距不断减少时，直方图形中的小



图9—10 正态分布曲线

直方块就愈来愈密集，当样品无限增加，分组也无限增加，而组距无限缩小时，直方图便从一个多角形趋向一个平滑的曲线（如图9—10）。

形成此曲线的函数称为“概率密度函数”，通常以 $f(x)$ 表示。由曲线垂直而下至 x 轴之距离，其数值与附近

之 x 值出现的概率具有极其密切的关系。故称“概率密度”。

如果 x 的概率密度函数为：

$$y = f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (-\infty < x < \infty)$$

(9—16)

对正态分布的概率密度函数的积分，就是它的分布函数。则称 x 服从参数为 μ, σ 的正态分布（ $\sigma > 0, -\infty < \mu < +\infty$ ）

$$F(x) = P(-\infty < X < x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

(9—17)

式中：

- y —— 曲线的纵坐标（某相应计量值的频数）
- x —— 曲线的横坐标（计量值数据，即为从该分布抽出的随机样本值）
- μ —— 正态分布曲线的平均值
- σ —— 正态分布曲线的标准偏差（在正态分布曲线上，就是拐点到中心线垂直的长度）
- π —— 圆周率（ $\pi = 3.1416$ ）
- e —— 自然对数的底（ $e = 2.7183$ ）

从这个曲线可以看出，曲线的最高点，是当 x 值在平均值 μ 附近时的位置，当 x 值向平均值 μ 远离时，曲线不断降低，逐渐与 x 轴趋近。因此正态分布曲线，很象我国古代的“钟”。因此，也称钟形曲线。在日常生产实践中，大量计量值的质量特性值，都符合或接近这一规律。

(9—16) 式、(9—17) 式中的平均值 μ 和标准偏差 σ 可以通过它们的随机抽取的样本中的平均值 \bar{x} 和标准偏差 S 来估算。有了平均值 μ 和标准偏差 σ 就可以把正态分布曲线完全定下来。

因此，正态分布曲线是从大量生产实践中归纳抽象出来的，并不是凭空臆造的。按照一定标准制造产品的质量特性的计量值的分布符合正态分布规律或近似正态分布规律的情况很多。此外，在统计方法中假定为正态分布或近似正态分布的情况也很多。因此正态分布是主要的分布之一，在质量管理中，我们碰到的大多数问题都可以用正态分布来近似地加以分析。

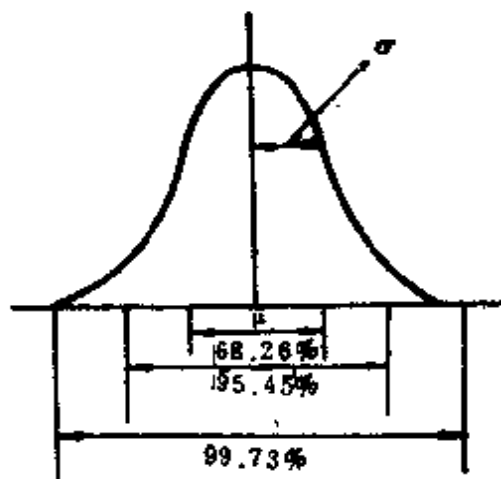


图9—11 正态分布的特征

正态分布曲线有以下几个特征（见图9—11）：

1. 两头小中间大；
2. 曲线以 $x = \mu$ 这条直线为轴，左右对称；
3. 离对称轴愈远， y 值愈小，当 $x \rightarrow \pm \infty$ 时， $y = 0$ ，即横坐标为 y 当 $x \rightarrow \pm \infty$ 时的渐近线；

4. 在对称轴两边 $x = \mu \pm \sigma$ 处各有一个拐点；

5. 曲线与横坐标轴所围成的面积等于1。

其中在 $\mu \pm \sigma$ 范围内的面积占68.26%

$\mu \pm 2\sigma$ 范围内的面积占95.45%

$\mu \pm 3\sigma$ 范围内的面积占99.73%

$\mu \pm 4\sigma$ 范围内的面积占99.99%。

由图 9—12可见， μ 处是曲线的最高点，即平均值 μ 是出现频率最大数值的所在位置。

图 9—12画出了 σ 相同而 μ 不同的两条正态分布曲线。可见，由于平均值 μ 不同，频率最大值的位置是不同的。因此，正态分布曲线的位置由平均值 μ 来决定。

标准偏差 σ 大小是表示曲线的胖瘦程度， σ 愈大，曲线愈胖，计量值愈分散； σ 越小，曲线越瘦，计量值愈集中，如图 9—13所示。可见正态分布曲线的形状特点，由 σ 的大小来决定。

在质量管理中，标准偏差 σ 反映了产品质量的均匀程度，显然这个指标愈小产品质量愈好。

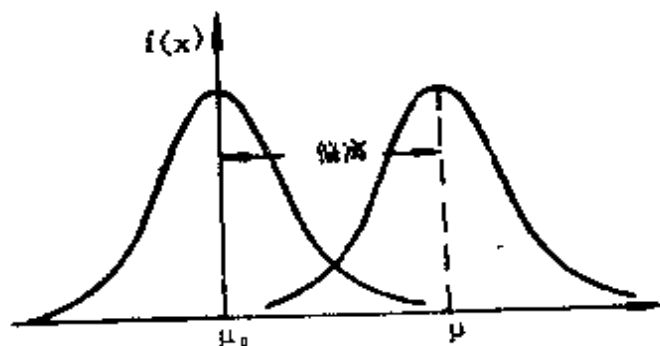


图9—12 σ 相同而 μ 不同的两条正态分布曲线

为了叙述方便，我们用 $N(\mu, \sigma)$ 或 $N(\mu, \sigma^2)$ 表示均值为 μ ，标准偏差为 σ 的正态分布。当横坐标以 σ 为单位，并将 μ 移到原点时，则为标准正态分布。即当 $\mu = 0, \sigma = 1$ 时：

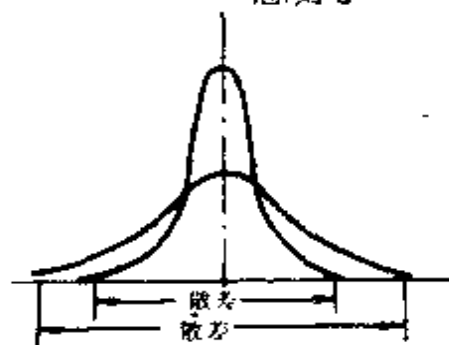


图9—13 μ 相同而 σ 不同的两条正态分布曲线

$$y = f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \quad (9-18)$$

可以证明分布函数为。

$$\begin{aligned} F(x) &= P(-\infty < x < \infty) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \\ &= 1 \end{aligned} \quad (9-19)$$

这是最简单的正态分布。但对于计算 $f(x)$ 的积分一般不能用初等函数表示。为了避免复杂的计算，人们把标准正态分布经计算排列成正态分布表，见表9—6，表中给出了下列函数值。

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (9-20)$$

其图形就是图9—14曲线下面阴影部分的面积。

这就是说，有了标准正态分布，就可以把一般分布情况化为标准正态分布情况来解决。也就是说，正态分布 N

(μ, σ) 的计算

可以从表查到，

(见表9—6) 但

需作下列变换：

$$\text{令 } t = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

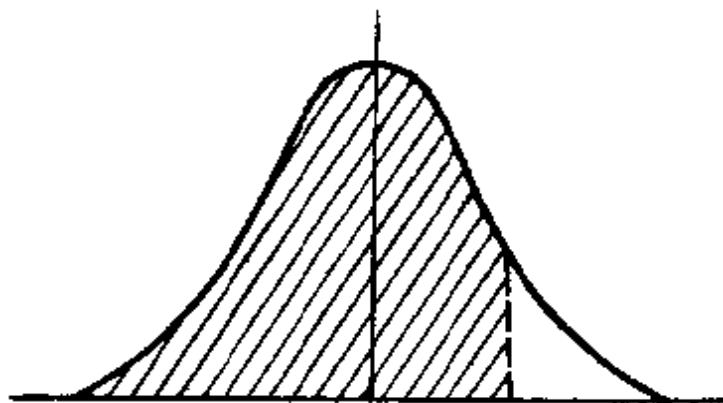


图9—14 $\phi(x)$ 的几何意义

这时 t 便成为标准正态分布。一个均值为 μ ，标准偏差为 σ 的一般正态分布的累计分布函数是：

$$\begin{aligned} F_X &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \\ &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{x-\mu}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \\ &= \phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (9-21)$$

因此落在 (a, b) 区间上的概率是

$$\begin{aligned} P(a < X < b) &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \\ &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{a-\mu}{\sigma}}^{\frac{b-\mu}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \\ &= \left(\frac{b-\mu}{\sigma}\right) - \phi\left(\frac{a-\mu}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (9-22)$$

例：已知 x 服从正态分布 $N(\mu, \sigma)$ 。试分别求出落在 $(\mu - \sigma, \mu + \sigma)$ ， $(\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma)$ ， $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ 内的概率。

解：

$$\begin{aligned} P(\mu - \sigma \leq X < \mu + \sigma) &= \phi(+1) - \phi(-1) \\ &= \phi(1) - (1 - \phi(1)) \\ &= 2\phi(1) - 1 \quad (\text{查表9-6}) \end{aligned}$$

$$= 2 \times 0.8413 - 1 = 0.6826$$

$$\begin{aligned} P(\mu - 2\sigma \leq X < \mu + 2\sigma) &= \phi(2) - \phi(-2) \\ &= 2\phi(2) - 1 \text{ (查表9—6)} \\ &= 2 \times 0.9773 - 1 = 0.9546 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(\mu - 3\sigma \leq X < \mu + 3\sigma) &= \phi(3) - \phi(-3) \\ &= 2\phi(3) - 1 \text{ (查表9—6)} \\ &= 2 \times 0.9987 - 1 = 0.9974 \end{aligned}$$

表 9—6 正 态 分 布 数 值 表

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

X	$\phi(X)$	X	$\phi(X)$	X	$\phi(X)$	X	$\phi(X)$
0.00	0.5000	0.80	0.7881	1.60	0.9452	2.35	0.6906
0.05	0.5199	0.85	0.8023	1.65	0.9506	2.40	0.6818
0.10	0.5398	0.90	0.8159	1.70	0.9554	2.45	0.6929
0.15	0.5596	0.95	0.8289	1.75	0.9599	2.50	0.6938
0.20	0.5793	1.00	0.8413	1.80	0.9641	2.55	0.6946
0.25	0.5987	1.05	0.8531	1.85	0.9678	2.58	0.6951
0.30	0.6176	1.10	0.8643	1.90	0.9713	2.60	0.6953
0.35	0.6368	1.15	0.8749	1.95	0.9744	2.65	0.6960
0.40	0.6554	1.20	0.8849	1.96	0.9750	2.70	0.6965
0.45	0.6736	1.25	0.8944	2.00	0.9772	2.75	0.6970
0.50	0.6915	1.30	0.9032	2.05	0.9798	2.80	0.6974
0.55	0.7088	1.35	0.9116	2.10	0.9821	2.85	0.6978
0.60	0.7257	1.40	0.9192	2.15	0.9842	2.90	0.6981
0.65	0.7422	1.45	0.9265	2.20	0.9861	2.95	0.6984
0.70	0.7580	1.50	0.9332	2.25	0.9878	3.00	0.6987
0.75	0.7734	1.55	0.9394	2.30	0.9893	4.00	1.0000

第七节 工序能力

所谓工序就是人、机器、材料、方法和环境等因素对产品质量综合起作用的加工过程，通常称4M1E。即：

(1) 人 (Man)：其中包括人的质量意识，责任感，技术和文化水平，操作熟练程度及组织管理能力等；

(2) 机器 (Machine)，指机床，工艺装备 及其他有关生产工具等；

(3) 方法 (Methob)：包括工艺方法， 试验分析 方法和组织管理方法等；

(4) 原材料 (Material)：包括原材料， 零部件及外购件等；

(5) 环境 (Enviroument)：包括空气的温度、湿度、含尘量(度)、噪音、震动以及工人劳动环境的文明整洁和美化的程度。

一、什么是工序能力

我们知道质量特性值的分散性是客观存在的，其分散程度可用频数分布表、直方图、分布的定量值及分布曲线来描述。在我们实际工作中，既需承认这种分散性，又要对这一分散性加以限制，这种限制就是质量特性值的公差值。如对材料成分的公差值要求，对铸件允许表面缺陷的公差值要求，对锻件屈服强度的公差值要求，对热处理硬度的公差值要求等等。评定产品或者工序是否合格，就是以是否符合公差要求为依据。因此研究实际分布状况与公差范围的比较，就

成为质量控制中的主要问题之一。研究这个问题具有十分重要的意义。

我们把正态分布曲线或直方图与公差带画在一起，就能明确地表示出质量特性值的分布与公差之间的关系。

图9—15中， T 为公差范围（公差带）。当公差范围为 T_1 时，说明质量特性值的分布在公差带内，这时质量特性值比要求的技术条件为高。

当公差范围为 T_2 时，说明质量特性值恰好符合技术要求。当公差范围为 T_3 时，说明质量特性值分布超出公差范围，这时质量特性值不符合技术要求。

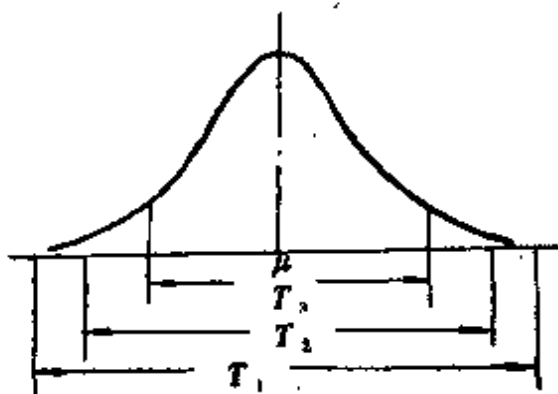


图9—15 正态分布曲线与公差范围的关系

当质量特性值为正态分布，并把分布中心取在公差范围中位处，且分布范围取为 $\mu \pm 3\sigma$ 时，其概率为99.7%，接近于1，即几乎包括了所有的产品。因此，我们以 $\pm 3\sigma$ 即 6σ 范围为标准来衡量工序能力。所谓工序能力就是指该生产过程能满足质量要求的能力，即在稳定生产状态下，生产合格品的能力。这主要表现在两个方面：

- 1) 产品质量是否稳定；
- 2) 产品质量精度是否足够。

二、工序能力指数的计算

工序能力是描述生产过程客观存在的一个数值。但这个数值是否能满足产品标准的要求呢？因此还要引出一个数值来反映工序能力满足产品质量标准（规格或公差）的程度，这个数值就叫做工序能力指数，它是技术标准要求与工序能力的比值，可用 C_p 或 C_{pk} 表示。

（一）给出双侧标准时的情况

工序能力指数计算，如图9—16所示。

$$C_p = \frac{T_u - T_L}{6\sigma}$$

$$= \frac{T}{6\sigma} \quad (9-23)$$

式中： T_u 公差上限

T_L 公差下限

$T = T_u - T_L$ 公差范围

例1：轧制某钢板，其厚度上限标准 $T_u = 50$ ，下限标准 $T_L = 41$ ， $\sigma = 1.403$ ，则：

标准 $T_L = 41$ ， $\sigma = 1.403$ ，则：

$$C_p = \frac{T_u - T_L}{6\sigma} = \frac{50 - 41}{6 \times 1.403} = 1.069$$

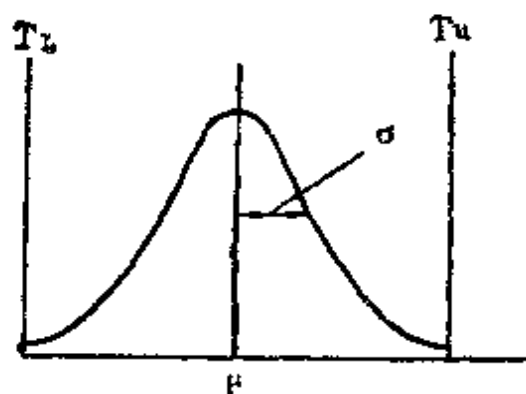


图9—16

（二）给出单侧标准时的情况

对于某些质量特性值只规定了单侧标准。这类标准的特点是不能确定它的范围，也不能确定它的中心。此时，特性值分布的中心与标准界限的距离（以标准偏差为单位），就决

定了工序能力的大小。作为分布中心的平均值，希望距离标准界限 3σ 。这时产生的不合格品很少，只有0.135%，如果中心值距离标准界限越大，当然不合格品会更少，但是经济代价就太大了。

单侧标准时，又可分以下两种情况：

1. 只给出上限标准时的情况

对某些质量特性值只规定了上限标准（如图9—17）。例如炼钢过程中有害杂质的含量（如硫的含量等），只规定了上限，下限就没有规定，而是要求愈小愈好。

只给出上限标准时，工序能力指数按下式计算：

$$C_p = \frac{T_u - \mu}{3\sigma} \quad (9-24)$$

式中， μ 为工序的分布中心，可用产品质量分布的平均值 \bar{X} 来估计， σ 可用 S 来估计。

例2：某高炉生铁含硫量的质量分布中心 $\bar{x} = 0.033$ ，标准偏差 $S = 0.089$ ，标准上限 $T_u = 0.070$ ，则：

$$C_p = \frac{T_u - \mu}{3\sigma} = \frac{0.70 - 0.033}{3 \times 0.089} = 1.39$$

若 $\mu > T_u$ 时，如图9—18所示，这时规定 $C_p = 0$ ，即为完全没有工序能力。 $C_p = 0$ 时，可能出现的不合格品率为50—100%。

如果是形位公差的平面度、正圆度、同心度等，可以把0看作为下限标准，此时可按双向偏差来考虑。

例3：某产品标准给出平面度偏差上限值为 $T_u = 0.04$ ，其 $\sigma = 0.012$ ， $\mu = 0.031$ 按双向偏差计算，则为：

$$C_p = \frac{T_u - T_L}{6\sigma} = \frac{0.04 - 0}{6 \times 0.012} = 0.56$$

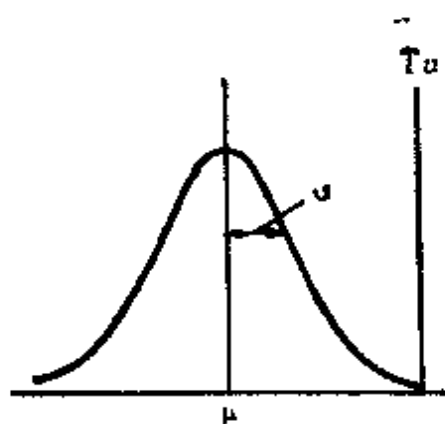


图9—17

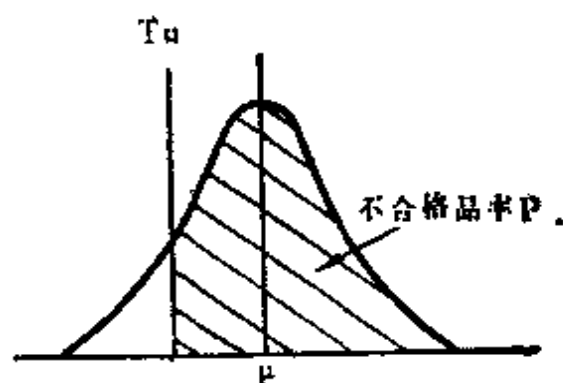


图9—18

2. 只给出下限标准时的情况

对某些质量特性值只规定了下限标准，例如强度、寿命等，而对上限标准就没有规定（如图9—19）。

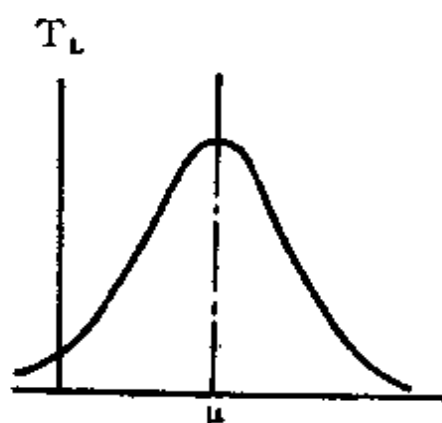


图9—19

对于这种情况，工序能力指数可按（9—25）式计算。

$$C_p = \frac{\mu - T_L}{3\sigma} \quad (9-25)$$

例4：W₁₈C₄V 钢的洛氏硬度分布的平均值 $\mu = 64.35$ ，标准偏差 $\sigma = 0.63$ ，标准下限值为： $T_L = 62$ ，则：

$$C_p = \frac{64.35 - 62}{3 \times 0.63} = 1.24$$

若 $\mu < T_L$ 时, 如图 9—20 所示。

这时不合格率为 50—100%, 则工序能力按 $C_p = 0$ 考虑。

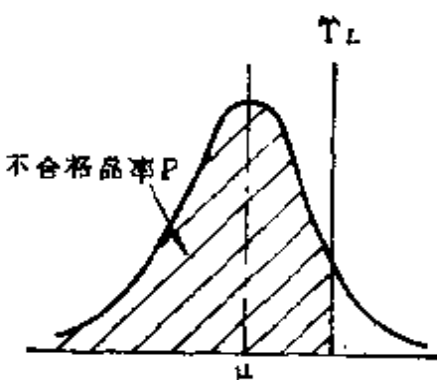


图 9—20

(三) 双侧标准时的平均值偏移问题

在分析工序能力指数时, 不仅应考虑以 6σ 的分散范围与公差进行比较, 还应考虑平均值偏离标准中心的影响, 因为有 6σ 能够满足标准要求, 且 C_p 也足够大, 但正式生产时仍然有连续出现相当数量不合格品的情况, 这往往是由于分布中心偏离了公差中心所造成的。因此, 在进行工序能力研究时, 不仅要注意工序能力指数 C_p , 还应考虑平均值的偏移。

从图 9—21 可以看出, 平均值 μ 与公差中心 $\frac{T_u + T_L}{2}$ 的偏离为 ϵ 。虽然这个加工过程的工序能力指数 $C_p = 1$, 但是由于有 ϵ 这样大的偏离, 因此有图中正态分布曲线的 k_p 点到 $+\infty$ 范围内的面积 (阴影部分) 超过公

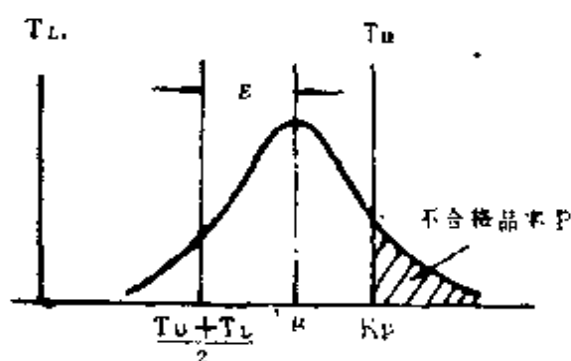


图 9—21

差上限，这个面积就表示这个工序将产生的不合格品率。

1. 偏移的表示方法

一个分布有偏移，究竟偏移有多大，为了表示这个偏移的程度，我们用相对偏离度 k 来表示。相对偏离度 K ，我们把它看成为偏移量对于公差的一半所占的比例。例如图9—22。

$$k = \frac{\frac{\varepsilon}{T}}{2} \quad (9-26)$$

式中： ε —— 偏移量

T —— 公差幅度

由上式可知，当 \bar{x} 恰好处于标准中心时， $k = 0, \varepsilon = 0$ ，即不发生偏移。

若 \bar{x} 正好与标准界限重合时，则 $\varepsilon = \frac{T}{2}, k = 1$ ；

若 \bar{x} 偏于标准界限以外时，则 $\varepsilon > \frac{T}{2}, k > 1$ 。

可见， K 值愈小愈好， $K = 0$ 时最理想。

在单向标准差时，由于没有标准中心，那么 K 的值比上标准界限值愈小或比下标准界限值愈大愈好，但是在上偏差的情况下，当把下限标准作为0时，可按双向偏差的考虑方法处理。

2. 考虑偏离度的工序能力指数 C_{pk}

从以上分析可以知道，为了生产出合格品，在调查工序能力时，不但应考虑工序能力指数 C_p 值的大小，而且应当考虑偏离度 K 的影响。因为无论计算出的工序能力指数 C_p 值怎样好，如果平均值偏移较大，也就是相对偏离度较大，也可能出现不合格品，因此，要用一个新的工序能力指数来评

价工序能力，这就是考虑偏离度的工序能力指数 C_{pk} 。

$$C_{pk} = (1 - k) C_p = \frac{T - 2e}{6\sigma} \quad (9-27)$$

式中 $1 - k$ 为修正系数

或者写成：

$$C_{pk} = (1 - k) \frac{T}{6\sigma} = \frac{T/2 - e}{3\sigma} \quad (9-28)$$

例5：例如某工序 $C_p = 1.5$ 说明不偏移时，工序能力很充足；如果工序有偏移，其 $K = 0.28$ 。

这时，工序能力指数就变成为：

$$C_{pk} = (1 - 0.28) \times 1.5 = 1.05$$

这说明工序能力刚满足，并不充足，为了防止不良品的产生，最好减少偏移量，并须加强管理。

例6：某厂生产3C 船板，要求四辊终轧温度控制在 $850^\circ\text{C} \sim 780^\circ\text{C}$ 。为了调查其工序能力，取100个数据，做出直方图，其平均值 $\bar{x} = 809.25$ ，标准偏差 $S = 9.13$ ，求 C_{pk}

$$T_u = 850 \quad T_L = 780$$

$$T = T_u - T_L = 850 - 780 = 70$$

$$\text{公差中心} = \frac{T_u + T_L}{2} = \frac{850 + 780}{2} = 815$$

$$k = \frac{815 - 809.25}{70/2} = \frac{5.75}{35} = 0.16$$

$$C_{pk} = (1 - 0.16) \frac{70}{6 \times 9.13} = 0.84 \times 1.278 \\ = 1.07$$

通过上述计算分析可知工序能力不足，这就需要从原材料、设备、人和工艺等方面去查找原因，从产品的具体情况

看，可考虑标准界限定的是否合适。

三、工序能力的判断

我们用上面的各个公式，把工序能力指数计算出来以后，然后根据 C_p 值，就可以判断工序能力的有无和大小，判断标准见表 9—7。

判断时，还需注意以下两种情况：

1. 只有上限标准时，可以得出两个 C_p 值，例如，形位公差所期望的数值为0时，可以得到按上限标准和双向标准考虑的两种 C_p 值，究竟用哪一个，应根据特性值的具体情况加以判断。

例7：某产品从直方图上求出的工序平均值为：

$\mu = 30.2$ ，标准偏差为： $\sigma = 11.4$ ，上限标准 $T_u \approx 70$ ，下限标准 $T_L = 0$ ，求工序能力指数：

$$C_p = \frac{T_u - \mu}{3\sigma} = \frac{70 - 30.2}{3 \times 11.4} = 1.16$$

按双向标准计算时：

$$C_p = \frac{T_u - 0}{6\sigma} = \frac{70 - 0}{6 \times 11.4} = 1.02$$

2. 只有单向标准时，即使是工序不同，也可能在计算判断时，得到相同的评价。

假如，两个工序A和B本来有明显的不同，但由于只有下限偏差，就出现得到同样的合格率和 C_p 值相同的矛盾情况。

例 8：有二个工序A和B同生产一种钢材，其抗拉强度的数据如下：

$$T_L = 45 \text{ 公斤/毫米}^2, \mu_A = 55 \text{ 公斤/毫米}^2, \sigma_A = 3$$

表9—7 工序能力指数的分级判断和处置一览表

Cp值	级别	判断	相当于双侧标准 (K=0)		处 理
			T	P (%)	
$C_p > 1.67$	特级	能力过高	$> 10\sigma$	0.29×10^{-4} 0.29×10^{-4}	(1) 可将公差缩小到大约 $\pm 4\sigma$ 的范围。 (2) 放宽波动幅度或移动波动的平均水平, 即允许较大的外来波动, 以提高效率。 (3) 改用精度较差的设备, 以降低成本。 (4) 简略检验。
$1.67 \geq C_p > 1.0$	一级	能力充分	$8\sigma \sim 10\sigma$	$0.29 \times 10^{-4} \sim$ 0.64×10^{-3}	(1) 如加工件不是关键性的零件, 可采取特级的第2项措施, 允许一定程度的外来波动。 (2) 简化检验。 (3) 用控制图控制。
$1.33 \geq C_p > 1.0$	二级	能力尚可	$6\sigma \sim 8\sigma$	0.64×10^{-3} 0.27	(1) 用控制图控制, 防止外来波动。 (2) 对产品抽样检验, 注意抽样方式和间隔。 (3) $CP \rightarrow 1.0$ 时, 出废品可能性增大, 应检查设备等方面的情况。
$1.0 \geq C_p > 0.67$	三级	能力不足	$4\sigma \sim 6\sigma$	$0.27 \sim 4.56$	(1) 分析研究极差R过大的原因, 并采取措施。 (2) 可以考虑放大公差, 如不影响产品质量和装配工作的话。 (3) 对产品全数检验, 或进行分级筛选。
$0.67 > C_p$	四级	能力全无	$< 4\sigma$	≥ 4.56	(1) 必须追查各方面的原因, 对工艺进行根本的改革。 (2) 对产品进行全数检验。

公斤/毫米², $\mu_B = 65$ 公斤/毫米², $\sigma_B = 6$ 公斤/毫米²
 则:

$$\text{工序A的 } C_p = \frac{55 - 45}{3 \times 3} = 1.1$$

$$\text{工序B的 } C_p = \frac{65 - 45}{3 \times 6} = 1.1$$

结果, A、B两工序 C_p 值相同, 而实际上两个工序是完全不同的。从图形分布的情况来看工序A分散小, 因此比工序B好, 所以, 判断时, 有必要结合看波动的误差进行比较。

四、废品率和工序能力指数的关系

(一) 废品率的计算

当公差上限或下限处于 6σ 范围之内时, 就会出现废品, 对于标准正态分布, 我们已经知道曲线下的面积为1, 从正态分布表则可以查出曲线下对应横坐标的各部分的面积, 因此我们可以利用正态分布表来查一下公差界限以外的部分曲线下的面积, 就可以确定废品了。

例 9: 某厂对3C造船钢板实行控

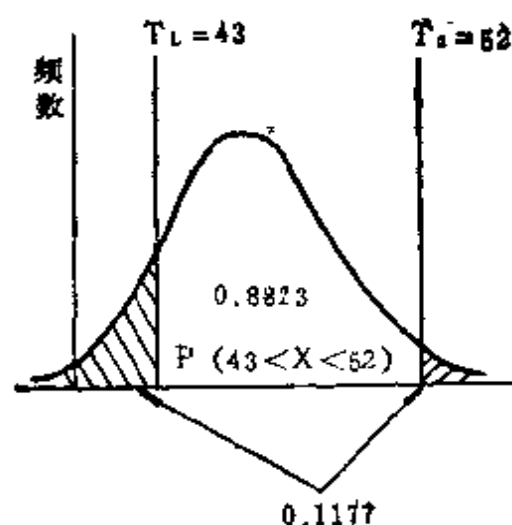


图 9-22

制, 抗拉强度 σ_b 的公差标准为 $50 \begin{smallmatrix} +2 \\ -7 \end{smallmatrix}$, 知道抗拉强度 σ_b 的中心值 \bar{x} 向下公差方向偏移, 将要出现不合格品, 其测量的结果如下 (如图 9—22):

$$\bar{x} = 45.79 \quad S = 2.253$$

求: C_{pk} 值及废品率。

解:

$$T_u = 52 \quad T_L = 43$$

$$T = T_u - T_L = 52 - 43 = 9$$

$$\begin{aligned} \text{公差中心} &= \frac{T_u + T_L}{2} \\ &= \frac{52 + 43}{2} = 47.5 \end{aligned}$$

$$k = \frac{47.5 - 45.79}{\frac{9}{2}} = \frac{1.71}{4.50} = 0.38$$

$$C_{pk} = (1 - 0.38) \frac{9}{6 \times 2.253} = 0.413$$

可知工序能力不足, 要产生废品。其废品率的求法如下,

$$\begin{aligned} \text{废品率 } P &= 1 - \text{合格品率} \\ &= 1 - P(43 < X < 52) \\ &= 1 - P\left(\frac{43 - 45.79}{2.253} < \frac{X - 45.79}{2.253} < \frac{52 - 45.79}{2.253}\right) \\ &= 1 - P(-1.2 < t < 2.8) \\ &= 1 - [\phi(2.8) - (1 - \phi(1.2))] \end{aligned}$$

$$= 1 - [0.9974 - (1 - 0.8849)] = 0.1177$$

例10：某厂为了提高一等电炉顶砖的内在质量，对炉顶砖显气孔率的质量特性进行测定，调查分析作出直方图（见图9—23）。测量其数据如下：

$$\bar{x} = 15.4 (\%) \quad S = 1.92 \quad \text{已知} \quad T_u = 19.0 (\%)$$

求： C_p 值及废品率。

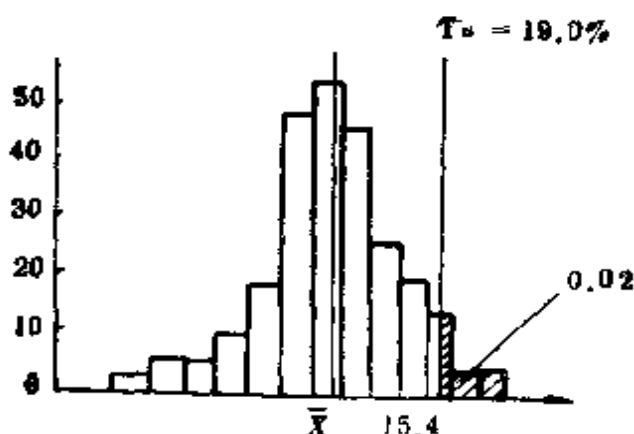


图9—23

解：1) 求 C_p 值。

$$C_p = \frac{T_u - \mu}{3\sigma} = \frac{19.0 - 15.4}{3 \times 1.92} = 0.625$$

可知工序能力不足，要产生废品。

2) 求废品率

$$\text{废品率} = 1 - \text{合格品率}$$

$$= 1 - P(x < 19.0)$$

$$= 1 - P\left(\frac{X - 15.4}{1.92} < \frac{19 - 15.4}{1.92}\right)$$

$$= 1 - P(t < 1.9) = 1 - \phi(1.9)$$

$$= 1 - 0.9713 = 0.0287$$

(二) C_p 值与不合格品率的关系

从概率的角度来分析,对任何一道工序,无论其设备精度和操作者的技术水平多么高,都不能绝对保证不产生废品,而只能说明根据其工序能力指数的大小,其发生废品的可能性各不相同。 C_p 值与不合格率的对应关系可从图9—24导出。现分别介绍如下,

1. 双侧标准,分布中心与公差中心重合。

若以 P_u 表示质量特性值超出公差上限而造成的不合格品率, $P(X > T_u)$ 表示随机变量(质量特性), X 为超出公差上限的概率,则:

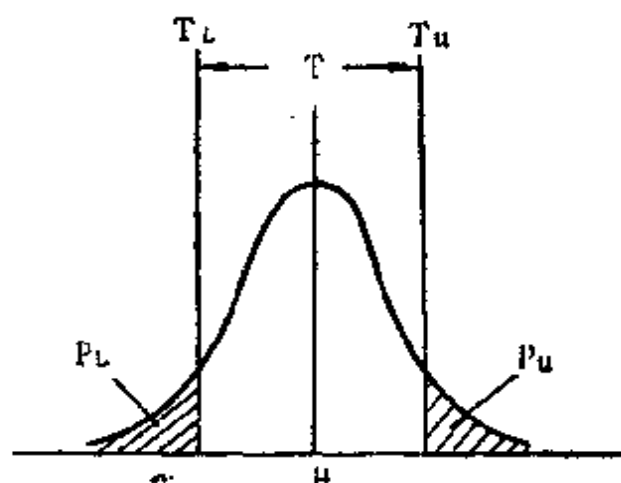


图9—24

$$\begin{aligned}
 P_u &= P(X > T_u) = P\left(\frac{X - \mu}{\sigma} > \frac{T_u - \mu}{\sigma}\right) \\
 &= P\left(t > \frac{T/2}{\sigma}\right) = P\left(t > \frac{3\sigma C_p}{\sigma}\right) \\
 &= 1 - P(t < 3C_p) = 1 - \phi(3C_p) \quad (9-29)
 \end{aligned}$$

式中 t —标准正态分布值

若以 P_L 表示质量特性值超出公差下限而造成 的不合格品率,则同理可得:

$$P_L = 1 - \phi(3C_p) \quad (9-30)$$

总不合格品率为:

$$P = P_u + P_L = 2[1 - \phi(3C_p)] \\ = 2\phi(-3C_p) \quad (9-31)$$

例：从某产品的加工过程中随机抽样求得 $\bar{x} = 35.77$
 $S = 5.395$ $T = 30$ 问：当分布中心与公差中心重合时，
 该工序的不合格品率是多少？

$$\text{解： } C_p = \frac{30}{6 \times 5.395} = 0.93 \quad \text{则}$$

$$P = 2\phi(-3C_p) = 2\phi(-3 \times 0.93) \\ = 2\phi(-2.79)$$

查正态分布表 $\phi(-2.79) = 0.002635$

可知 $P = 2\phi(-2.79) = 2 \times 0.002635 = 0.00527$

2. 双侧标准，分布中心与公差中心不重合。

(1) 分布中心向公差上限偏移时(如图9—25所示)。

$$P_u = P(X > T_u) = P\left(\frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} > \frac{T_u - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}\right) \\ = P\left(t > \frac{T/2 - e}{\sigma}\right) \\ = P[t > 3C_p(1-K)] \\ = 1 - P[t < 3C_p(1-K)] \\ = 1 - \phi[3C_p(1-K)] \quad (9-32)$$

同理可得

$$P_L = 1 - \phi[3C_p(1+K)] \quad (9-33)$$

总不合格品率为：

$$P = P_u + P_L = 2 - \phi[3C_p(1-K)] \\ - \phi[3C_p(1+K)] \quad (9-34)$$

当 K 较大时, $P \approx P_u$

(2) 分布中心向公差下限偏移时。

$$P_u = 1 - \phi [3C_p (1+K)] \quad (9-35)$$

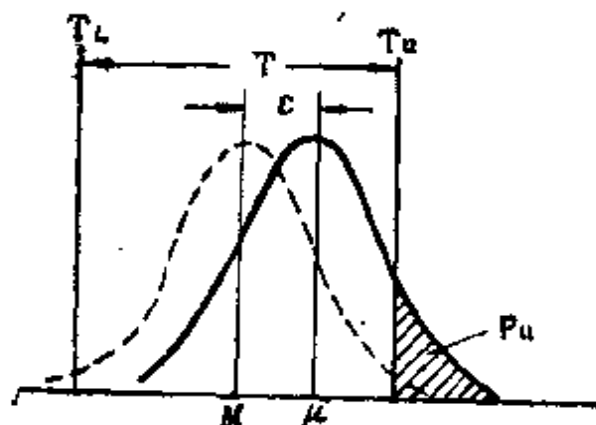


图9-26

$$P_L = 1 - \phi [3C_p (1-K)] \quad (9-35)$$

总不合格品率为:

$$P = P_u + P_L = 2 - \phi [3C_p (1+K)] - \phi [3C_p (1-K)] \quad (9-37)$$

当 k 较大时, $P \approx P_L$ 。

例如, 某工序 $C_p = 1$, 分布中心向公差上限偏移, $K = 0.4$ 。求此时可能造成的不合格品率。

$$\begin{aligned} R_u &= 1 - \phi [3C_p (1-K)] \\ &= 1 - \phi [3(1-0.4)] \\ &= 1 - \phi [3 \times 0.6] = 1 - \phi [1.8] \\ &= 1 - 0.9641 = 0.0359 \end{aligned}$$

($\phi(1.8)$ 值可由表9-6查得)。

如果已知工序能力指数 C_p (或 C_{pk} 及 C_{ps}) , 便可查表9-8 (或表9-9及表9-10) , 得相应的总不合格品率。

表9—8 Cp值对应的总体不合格率 (%)

Cp	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	100.0	97.60	95.22	92.82	90.44	88.08	85.72	82.36	81.04	78.72
0.1	78.42	74.14	71.88	69.66	67.44	65.23	63.12	61.00	58.92	56.86
0.2	54.86	52.85	50.92	49.02	47.16	45.32	43.54	41.80	40.10	38.44
0.3	36.82	35.24	33.70	32.22	30.78	29.38	28.02	26.70	25.42	24.20
0.4	23.02	21.86	20.76	19.70	18.86	17.70	16.76	15.86	14.98	14.16
0.5	13.36	12.60	11.88	11.18	10.52	9.90	9.30	8.72	8.18	7.68
0.6	7.19	6.72	6.28	5.88	5.48	5.12	4.78	4.44	4.14	3.84
0.7	3.57	3.32	3.08	2.86	2.64	2.44	2.26	2.08	1.93	1.78
0.8	1.64	1.51	1.39	1.32	1.17	1.08	0.988	0.908	0.830	0.758
0.9	0.694	0.634	0.578	0.527	0.480	0.437	0.398	0.361	0.328	0.298
1.0	0.270	0.245	0.221	0.200	0.181	0.163	0.147	0.133	0.120	0.108
1.1	0.0987	0.0868	0.779	0.0698	0.0628	0.0561	0.0501	0.0448	0.0400	0.0357
1.2	0.0318	0.0283	0.0252	0.224	0.0199	0.0177	0.0157	0.0139	0.0123	0.0109
1.3	0.0096	0.0085	0.0075	0.0066	0.0058	0.0051	0.0045	0.0040	0.0035	0.0030
1.4	0.0027	0.0023	0.0020	0.0018	0.0016	0.0014	0.0012	0.0010	0.0009	0.0008
1.5	0.0007	0.0006	0.0005	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
1.6	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001			

表 9—9 Cp值、K值对应的总体不合格率 (%)

K Cp	.00	.05	.10	.15	.20	.25	.30	.35	.40	.45	.50
0.30	36.82	36.88	37.01	37.25	37.59	37.97	38.53	39.07	39.84	40.38	41.49
0.35	29.38	29.44	29.62	29.98	30.43	30.99	31.50	32.61	33.51	34.53	35.52
0.40	23.02	23.09	23.35	23.77	24.34	25.09	25.99	27.03	28.23	29.55	31.02
0.45	17.70	17.81	17.93	18.57	19.27	20.17	21.03	22.38	23.84	25.47	26.95
0.50	13.36	13.47	13.80	14.21	15.10	15.93	17.25	18.47	22.20	24.79	23.88
0.55	9.89	10.00	10.25	10.95	11.73	12.72	13.88	15.52	17.15	18.98	20.99
0.60	7.19	7.30	7.65	8.22	9.03	10.07	11.34	12.85	14.60	16.56	18.78
0.65	5.12	5.23	5.50	6.10	6.90	7.95	9.09	10.63	12.42	14.46	16.52
0.70	3.57	3.63	3.98	4.45	5.23	6.13	7.39	8.76	10.54	12.41	14.77
0.75	2.44	2.53	2.77	3.29	3.94	4.80	5.87	7.33	8.93	10.81	12.06
0.80	1.64	1.72	1.95	2.36	2.94	3.73	4.74	6.00	7.53	9.37	11.53
0.85	1.03	1.14	1.32	1.87	1.18	2.88	3.72	4.88	6.32	8.09	10.04
0.90	0.69	0.75	0.90	1.13	1.60	1.18	2.98	3.98	5.27	6.88	8.85
0.95	0.44	0.48	0.59	0.83	1.16	1.64	2.29	3.22	4.37	5.82	7.64
1.00	0.27	0.30	0.40	0.57	0.84	1.23	1.79	2.56	3.59	4.95	6.68
1.05	0.16	0.19	0.25	0.38	0.59	0.92	1.36	2.02	2.94	4.18	5.71
1.10	0.09	0.11	0.16	0.26	0.42	0.67	1.04	1.60	2.39	3.48	4.95
1.15	0.056	0.067	0.10	0.17	0.29	0.48	0.78	1.28	1.92	2.87	4.18
1.20	0.032	0.039	0.064	0.11	0.20	0.35	0.59	0.96	1.54	2.39	3.59
1.25	0.018	0.023	0.038	0.072	0.14	0.25	0.43	0.73	0.22	1.97	3.01
1.30	0.0098	0.013	0.023	0.046	0.090	0.17	0.32	0.56	0.96	1.60	2.56
1.35	0.0051	0.0070	0.013	0.029	0.059	0.12	0.23	0.43	0.75	1.39	2.12
1.40	0.0027	0.0038	0.0080	0.018	0.039	0.082	0.16	0.31	0.59	1.04	1.79
1.45	0.0014	0.0020	0.0040	0.011	0.025	0.056	0.11	0.23	0.45	0.84	1.46
1.50	0.0007	0.0011	0.0026	0.0065	0.016	0.037	0.082	0.17	0.35	0.67	1.22

表9—10 Cps值对应的总体不合格率 (%)

Cps*	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	50.00	48.80	47.61	46.41	45.22	44.04	42.86	41.63	40.52	39.36
0.1	38.21	37.07	35.94	34.83	33.72	32.46	31.56	30.50	29.46	28.43
0.2	27.43	26.43	25.46	24.51	23.58	22.66	21.77	20.90	20.05	19.22
0.3	18.41	17.62	16.85	16.11	15.39	14.69	14.01	13.35	12.71	12.10
0.4	11.51	10.93	10.38	9.85	9.34	8.85	8.38	7.93	7.49	7.08
0.5	6.68	6.30	5.94	5.59	5.26	4.95	4.65	4.38	4.09	3.84
0.6	3.59	3.36	3.14	2.94	2.74	2.56	2.39	2.22	2.07	1.92
0.7	1.91	1.66	1.54	1.43	1.32	1.22	1.13	1.04	0.96	0.89
0.8	0.82	0.75	0.69	0.64	0.59	0.54	0.49	0.45	0.41	0.38
0.9	0.35	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.15	0.15
1.0	0.14	0.12	0.11	0.10	0.090	0.082	0.074	0.066	0.060	0.054
1.1	0.048	0.043	0.039	0.035	0.031	0.028	0.025	0.022	0.020	0.018
1.2	0.016	0.014	0.013	0.011	0.010	0.0088	0.0078	0.0069	0.0062	0.0054
1.3	0.0048	0.0042	0.0037	0.0033	0.0029	0.0026	0.0023	0.0020	0.0017	0.0015
1.4	0.0013	0.0012	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0006	0.0005	0.0004	0.0004
1.5	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
1.6	0.0001									

* 单侧标准时

五、工序能力调查步骤

工序能力调查步骤如下：

工序能力的计算和判断过程，就是工序能力调查。

（一）明确调查的目的。

刚开始进行工序能力调查时，调查的目的都是为了摸清某道工序保证产品质量能力的大小。

（二）选择调查对象。

根据调查目的来选择被调查的工序和项目。

（三）确定调查方法。

包括决定调查范围、分层方法、调查期限、抽样方法、样本大小等内容。

（四）工序的标准化。

这就是对被调查工序的操作者、机器设备、使用的原材料、操作测量方法及工作地布置等制定出各项标准。

（五）严格按着各项标准进行作业。

（六）收集数据。

（七）画工序能力图或直方图或分析用的控制图。

（八）判断工序是否处于控制状态。

（九）计算工序能力指数。

（十）处理。

工序能力调查和处理详细步骤、内容等参阅图 9—26。

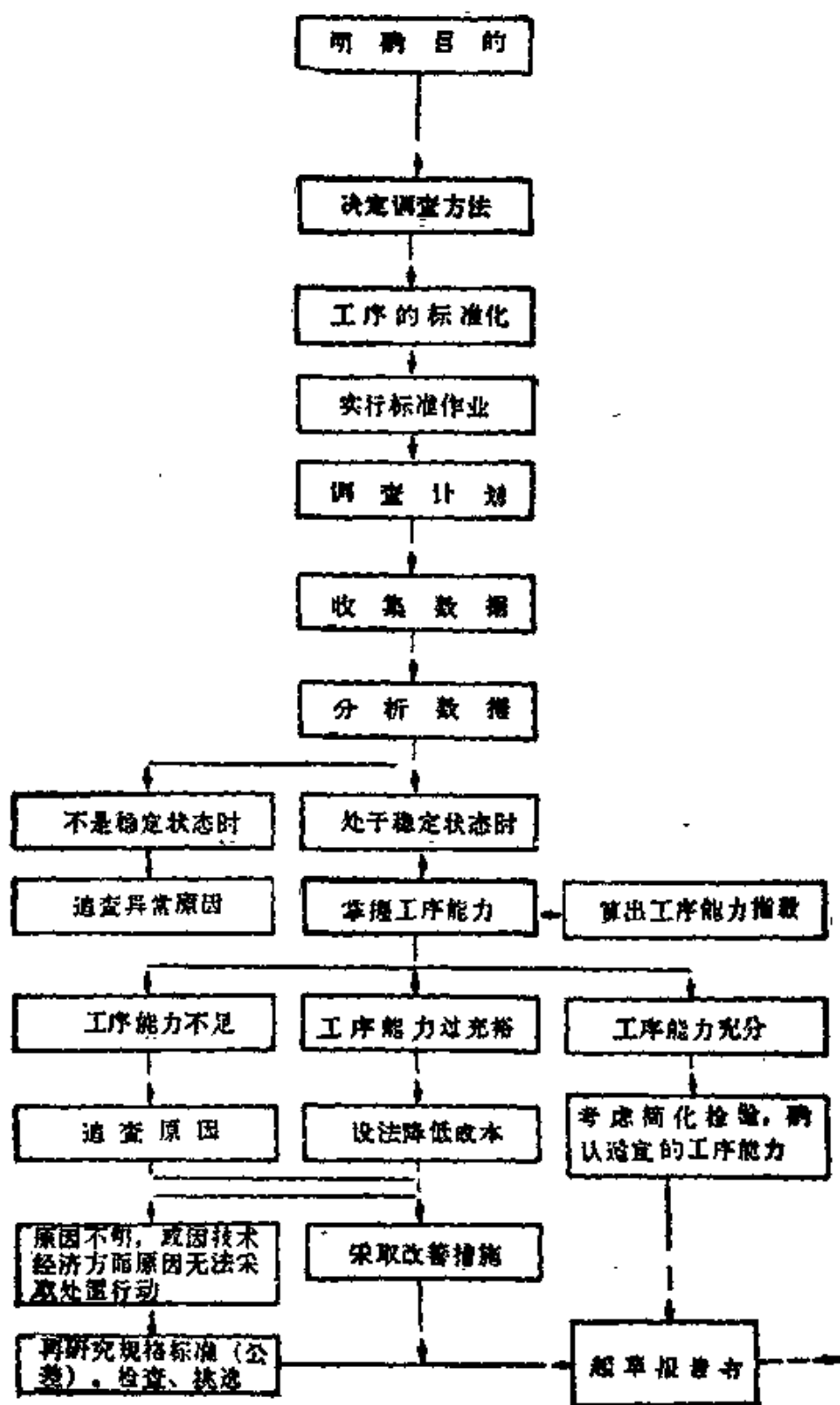


图9—26 工序能力调查与处理流程图

第十章 控制图法

第一节 控制图的原理

一、控制图的基本概念

控制图是用于分析和判断工序是否处于稳定状态所使用的，并带有控制界限的图形。它是预报工序中存在影响工序质量的异常原因的一种有效工具。控制图的基本形式如图10—1所示。

控制图上一般有三条线。在上面的一条线称上控制线，用符号UCL表示；在下面的一条线称下控制线，用符号LCL表示；在中间的一条线称中心线，用符号CL表示。

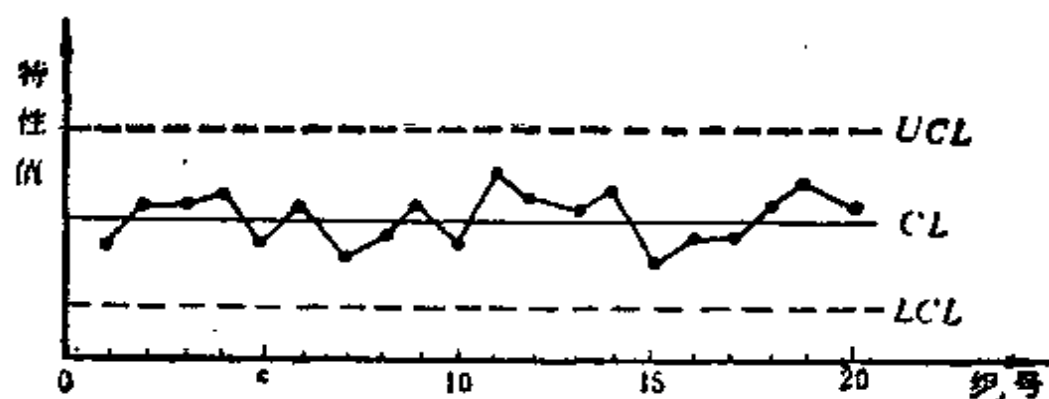


图10—1 控制图的基本型式

控制图上的控制界限是用来判断工序是否发生异常变化的尺度。我们知道，在实际工作中，无论在什么情况下（生产条件相同或者不同），按一定标准制造出来的大量的同类产

品的质量不可能完全一致，它们之间总是存在着差异的，这种差异在某一个范围内变化的现象，就称为产品质量的波动性。前面我们已经叙述过，造成产品质量的波动的原因可分两大类，即偶然原因和异常原因。我们知道由于偶然原因所引起的质量波动是不可避免的，所以就称这种波动为正常波动，此时的生产过程被认为是处于控制状态（稳定状态）。由于这种因素对质量特性值的波动影响较小，因而，在质量管理中，对影响产品质量的正常波动的偶然因素就不必加以控制了。

而由于异常因素引起的质量特性值的波动称为异常波动，此时的生产过程被认为是处于非控制状态（异常状态）。由于这类因素对质量的波动影响较大，因而在质量控制中，对这类异常因素必须加以控制。在生产过程中，质量控制的~~任务就是要查明和消除这类异常因素，使工序始终尽量被控制在正常波动之中。利用控制图对生产过程进行控制，就是把被控制的质量特性值变为点子描在图上，如果点子全部落在上、下控制界限以内，而且点子的排列又没有什么缺陷（如链、倾向、周期等），就判断生产过程是处于控制状态，否则就认为生产过程中存在有异常因素，于是，就必须查明、予以消除。~~

二、控制界限的确定

我们通常所用的控制图，是以样本平均值 \bar{x} 为中心线，而上下取3倍的标准偏差（即 $\bar{x} \pm 3\sigma$ ）为控制界限，故又称“3倍标准偏差法”（3 σ 法），用这样的控制界限作出的控制图，叫作3 σ 控制图，这就是休哈特（W·A·She

whart) 最早提出的控制图。如图10—2所示。

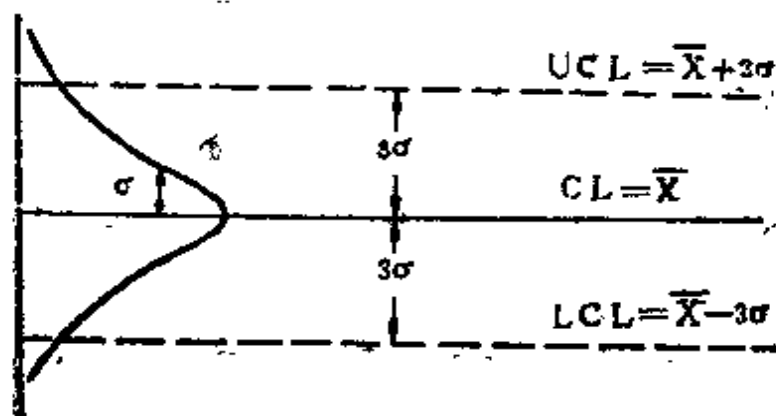


图10—2 3 σ 控制图

在生产条件仅有偶然原因影响的稳定状态下生产出来的产品，其总体产品质量特性分布为正态分布。根据正态分布的性质，我们取 $\bar{x} \pm 3\sigma$ 作为上下控制界限，这样产品质量特性值出现在 3σ 界限以外的比率很小，仅为0.27%，即1000次中大约有3次。如果这3次忽略不计，即认为正态分布总体的产品质量特性值全部分布在 3σ 界限以内，如果在生产过程中有特性值出现越过 3σ 界限以外的情况，我们就可以判断为有异常原因使生产状态发生变化（即认为分布状态有所改变）。因此，把按照这种原则确定控制界限的方法称为千分之三法则。

第二节 控制图的种类

控制图根据数据的种类不同基本上可以分两大类，即计量值控制图和计数值控制图。

计量值控制图，它一般适应于长度、强度、纯度等计量

值为控制对象场合。属于这类的有：单值控制图（ \bar{x} 控制图），平均值和极差控制图（ $\bar{x}-R$ 控制图）以及中位数和极差控制图（ $\bar{x}-R$ 控制图）等。

计数值控制图，它是以计数值数据的质量特性值为控制对象的。属于这类的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），这两种控制图又统称为计件值控制图。还有缺陷数控制图（C控制图）和平均缺陷数控制图（ u 控制图），这两种控制图又统称为计点值控制图。

控制图的分类及控制特征见表10—1。

第三节 控制图的设计

一、计量值控制图

（一）平均值与极差（ $\bar{x}-R$ ）控制图

在计量值控制图中， $\bar{x}-R$ 控制图是最实用的一种质量控制的工具。 $\bar{x}-R$ 控制图是从工序的各批采取 n 个样本把两个控制图配合起来使用。平均值（ \bar{x} ）控制图是用来控制平均值的变化，极差（ R ）控制图是用来控制工序散差的变化。它是通过调查平均值 \bar{x} 和极差 R 是否有异常变化，来对工序进行控制的。

一般在20—25组的预备数据中，每组取4—5个试样而组成一个样本，计算其平均值 \bar{x} 与极差 R 。

1. 控制界限的确定

（1） \bar{x} 控制图的控制界限

表10—1 控制图分类表

类别	图名	中心线	控制界限*	样本组大小	控制特征
计量值控制图	\bar{X}	\bar{X}	$\bar{X} \pm A_2 \bar{R}$	$n \geq 2$ 一般取4~5	\bar{X} 图主要用于观察分布的平均值的变化。 P图主要用于观察分布的散差变化。
	R	\bar{R}	$D_4 \bar{R}$ $D_3 \bar{R}$	$n \geq 2$ 一般取4~5	\bar{X} 图与R图通常共同使用。
	\bar{X}		$\bar{X} \pm m_3 A_3 \bar{R}$	$n \geq 2$ 一般取4~5	$\bar{X}-R$ 图是获得技术情报最多的控制图。
	X	\bar{X}		$n=1$	\bar{X} 代替X图。通常并用 $\bar{X} \sim R$ 图。
	R_s	\bar{R}_s	$\bar{X} \pm E_2 \bar{R}_s$ $D_4 \bar{R}_s$	一般取 $n=2$	用途与上相似，且反应迅速，使用方便，但检验能力较差。通常 $\bar{X}-R_s$ 图并用，应尽可能并用 \bar{X} ， $\bar{X}-R$ 图。
计数值控制图	P	P	$P - 3 \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}}$	$n = \text{常数}$	通过不合格品率(数)来控制工序，*
	P_n	\bar{P}_n	$\bar{P}_n \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{P}_n(1-\bar{P}_n)}{n}}$	$n = \text{常数}$	
	C	\bar{C}	$\bar{C} \pm 3 \sqrt{\bar{C}}$	$n = \text{常数}$	对一定数量的产品的缺陷数进行控制。
	u	\bar{u}	$\bar{u} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	$n = \text{常数}$	对每一给定单位的产品中的缺陷数进行控制。

*1. 各控制界限均相当于 $\pm 3\sigma$ 以内。

*2. 计量值的百分比，例如按工时或金额计算的综合废品率，应使用 $\bar{X}-R$ 图或 \bar{X} 图。

从数理统计的理论可知，特性值 x 服从总体为 $N(\mu, \sigma)$ 的正态分布时，则对于大小为 n 的样本 x_1, x_2, \dots, x_n 的平均值 \bar{x} 有下式成立：

$$\bar{x} \text{ 的期望值 } E(\bar{x}) = \mu$$

$$\bar{x} \text{ 的标准偏差 } D(\bar{x}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

而 μ 和 σ 可通过 K 组，大小为 n 的样本数据求得：

$$\mu \text{ 的估计值 } = \bar{\bar{x}}$$

$$\sigma \text{ 的估计值 } = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

式中 d_2 是由 n 确定的系数，可由表 10—2 查得。所以 \bar{x} 控制图的控制界限为：

$$UCL = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$LCL = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

$$CL = \bar{\bar{x}}$$

式中： $A_2 = 3/\sqrt{n} \cdot d_2$ ，是由 n 确定的系数，可由表 10—2 查得；

(2) R 控制图的控制界限

从数理统计的理论可知，特性值 X 服从总体为 $N(\mu, \sigma)$ 的正态分布时，则对于大小为 n 的样本 x_1, x_2, \dots, x_n 的极差 R 有下式成立：

$$R \text{ 的期望值 } E(R) = d_2 \sigma$$

R的标准偏差 $D(R) = d_3 \sigma$

式中 σ 可通过样本数据来估计:

$$\sigma \text{的估计值} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

式中 d_2, d_3 是由 n 确定的系数。所以 R 控制图的控制界限为:

$$UCL = d_2 \sigma + 3d_3 \sigma = \left(1 + 3 \frac{d_3}{d_2}\right) \bar{R} = D_4 \bar{R}$$

$$LCL = d_2 \sigma - 3d_3 \sigma = \left(1 - 3 \frac{d_3}{d_2}\right) \bar{R} = D_3 \bar{R}$$

$$CL = \bar{R}$$

式中 $D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$, $D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$, 是由 n 来确定的

系数, 可由表 (10—2) 查得。

表10—2 求控制界限的系数表

n	A_2	D_4	D_3	E_2	$m_3 A_2$
2	1.880	3.267	—	2.659	1.880
3	1.023	2.575	—	1.772	1.187
4	0.729	2.282	—	1.457	0.796
5	0.577	2.115	—	1.290	0.691
6	0.483	2.004	—	1.184	0.549
7	0.419	1.924	0.076	1.109	0.509
8	0.373	1.864	0.136	1.054	0.432
9	0.337	1.816	0.134	1.010	0.412
10	0.308	1.777	0.223	0.975	0.363

2. \bar{X} -R 控制图的作图步骤

现仍以某轧钢厂生产的 6 ± 0.4 毫米厚度的钢板为例，来说明 \bar{X} -R 控制图的作图步骤。

(1) 收集数据。收集近期数据100个（见表10—3）。

(2) 将数据分组，一般取组数 $k=20$ ，每组样本大小 $n=5$ 。

(3) 计算 \bar{x} , R。

$$\begin{aligned}\text{例如：第一组 } \bar{x}_1 &= \frac{5.77 + 6.27 + 5.93 + 6.08 + 6.03}{5} \\ &= 6.016 \\ R &= 6.26 - 5.77 = 0.5\end{aligned}$$

余此类推。

(4) 计算 $\bar{\bar{x}}$, \bar{R} 。

$$\begin{aligned}\bar{\bar{x}} &= \frac{6.016 + 6.000 + \cdots + 6.078}{20} = 5.975 \\ R &= \frac{0.50 + 0.27 + \cdots + 0.56}{20} = 0.419\end{aligned}$$

(5) 计算UCL, LCL, CL。

\bar{x} 图：

$$\begin{aligned}UCL &= 5.975 + 0.577 \times 0.419 = 6.217 \\ LCL &= 5.975 - 0.577 \times 0.419 = 5.733 \\ CL &= 5.975\end{aligned}$$

R图：

$$\begin{aligned}UCL &= 2.115 \times 0.419 = 0.886 \\ LCL &= \text{不考虑} \\ CL &= 0.419\end{aligned}$$

(6) 绘制控制图（如图10—3）。

表10—3 质量特性：钢板厚度 (6 ± 0.4 毫米)

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	5.95	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	6.05	6.25	5.89	5.83	5.996	0.42
10	5.95	6.04	6.07	6.02	5.75	5.943	0.37
11	6.12	6.18	6.10	5.85	5.95	6.060	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	5.993	0.40
18	5.39	5.94	6.07	6.00	6.85	5.962	0.22
19	6.12	6.18	6.10	5.95	5.95	6.160	0.23
20	6.03	5.89	5.97	6.05	6.45	6.078	0.56
合计						119.506	8.37
平均						5.975	0.419

准备专用的控制图用纸，以纵轴表示 \bar{x} 、R，在横轴上取组号，分别记入 \bar{x} 、R图的中心线和上下控制界限，然后用 \bar{x} 、R数据打点连线。

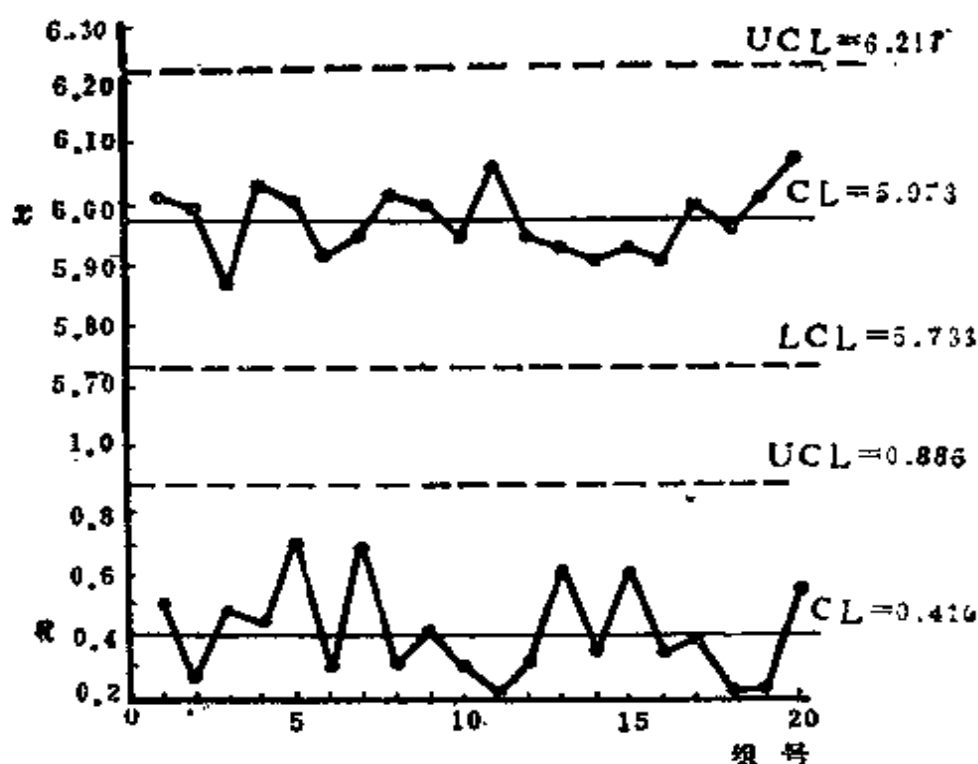


图10—3 钢板厚度 \bar{x} -R控制图

(二) 单值和移动极差 (\bar{X} - R_s) 控制图

这是把单值控制图和移动极差控制图配合起来运用，一般把单值控制图放在上方，把移动极差控制图放在下方。

采用单值控制图时，是把测得的数据一个个地直接在图上打点，不用对数据进行分组，不用计算各样本的平均值或选择中位数，所以简便省事。采用单个值 (\bar{x}) 的控制图主要应用于下述场合：希望尽快发现和消除异常原因；从工序只能获得一个测定值；工序内部均一，不需要测取多少个测定值；因费用或时间关系，现实中只能得到一个测定值。

单个值 (\bar{x}) 控制图具有从测试到判断工序状态时间短、情报快的特征。缺点是不易发现工序平均值的变化。

与 \bar{x} 控制图相比,发现异常的检出能力差。因此,一般常将 \bar{x} 控制图和 R_s 控制图配合使用,就是 $\bar{x}-R_s$ 控制图。

1. 单值(\bar{x})控制图控制界限的计算

从数理统计的理论可知,特性值 X 服从总体为 $N(\mu, \sigma)$ 的正态分布时,则 \bar{x} 有下式成立:

$$\bar{x} \text{ 的期望值 } E(\bar{x}) = \mu$$

$$\bar{x} \text{ 的标准偏差 } D(\bar{x}) = \sigma$$

式中 μ, σ 可用样本数据来估计。

$$\mu \text{ 的估计值 } = \bar{\bar{x}}$$

$$\sigma \text{ 的估计值 } = \frac{\bar{R}_s}{d_2} = \frac{\bar{R}_s}{1.128}$$

式中 \bar{R}_s 是移动极差的平均值, d_2 是由 n 决定的系数。

1.128是 $n=2$ 时的 d_2 值。因此, \bar{x} 图的控制界限为:

$$UCL = \mu + 3\sigma = \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\bar{R}_s}{1.128} = \bar{\bar{x}} + 2.66\bar{R}_s$$

$$LDL = \bar{\bar{x}} - 2.66\bar{R}_s$$

$$CL = \bar{\bar{x}}$$

2. 移动极差控制图控制界线的计算

移动极差 R_s 就是测得的相邻两个数据的大值与小值之差量。或者取一数据与前一数据的绝对值,即

$$R_{s,i} = |x_{i+1} - x_i|$$

对于移动极差 R_s ,有下式成立:

$$R_s \text{ 的期望值 } E(R_s) = 1.128\sigma$$

R_s 的标准偏差 $D(R_s) = 0.853\sigma$ (0.853 为 $n=2$ 时的 d_3 值),所以 R_s 的控制界限为:

$$UCL = 1.128\sigma + 3 \times 0.853\sigma = 3.687\sigma$$

$$LCL = 1.128\sigma - 3 \times 0.853\sigma = -1.431\sigma$$

而 σ 的估计值 $=\bar{R}_s/1.128$, 故 R_s 的控制界限为:

$$UCL = 3.687 \times \frac{\bar{R}}{1.128} = 3.27 \bar{R}_s$$

$$CL = \bar{R}_s$$

因为下控制界限为负值, 故不予考虑。

3. $\bar{x}-R_s$ 控制图的绘制

例: 表10—4的数据为某产品收得率(%)的数据表。
试绘制出 $\bar{x}-R_s$ 控制图。

(1) 求各个样本的移动极差及平均值

$$\text{第2号样本 } R_{s2} = |54.2 - 52.7| = 1.5$$

$$\text{第3号样本 } R_{s3} = |53.9 - 54.2| = 0.3$$

余此类推, 其它样本号的 R_s 已列入表10—4

移动极差平均值 \bar{R}_s 为

$$\bar{R}_s = \frac{\sum_{i=1}^k R_{si}}{k-1} = \frac{32.8}{20-1} = 1.726$$

(2) 求 \bar{x} 控制图的中心线和控制界限

$$CL = \bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{x}_i}{k} = \frac{1075.7}{20} = 53.79$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + 2.66 \bar{R}_s = 53.79 + 2.66 \times 1.726 = 58.38$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - 2.66 \bar{R}_s = 53.79 - 2.66 \times 1.726 = 49.20$$

(3) 求 R 控制图的中心线和控制界限

$$CL = \bar{R}_s = 1.726$$

$$UCL = D_4 \bar{R}_s = 3.27 \bar{R}_s = 3.27 \times 1.726 = 5.644$$

表10—4 某产品收得率数据

试样号	收得率(%)	移动极差	试样号	收得率(%)	移动极差
	\bar{x}	R_s		\bar{x}	R_s
1	52.7		12	53.3	5.0
2	54.2	1.5	13	53.1	0.2
3	53.9	0.3	14	53.2	0.1
4	56.1	2.2	15	55.9	2.7
5	52.5	3.6	16	54.8	1.1
6	50.8	1.7	17	52.7	2.1
7	53.4	2.6	18	54.9	2.2
8	54.5	1.1	19	53.5	1.4
9	51.7	2.8	20	55.1	1.6
10	54.1	2.4	计	1375.7	32.8
11	55.3	1.2	平均	53.79	1.726

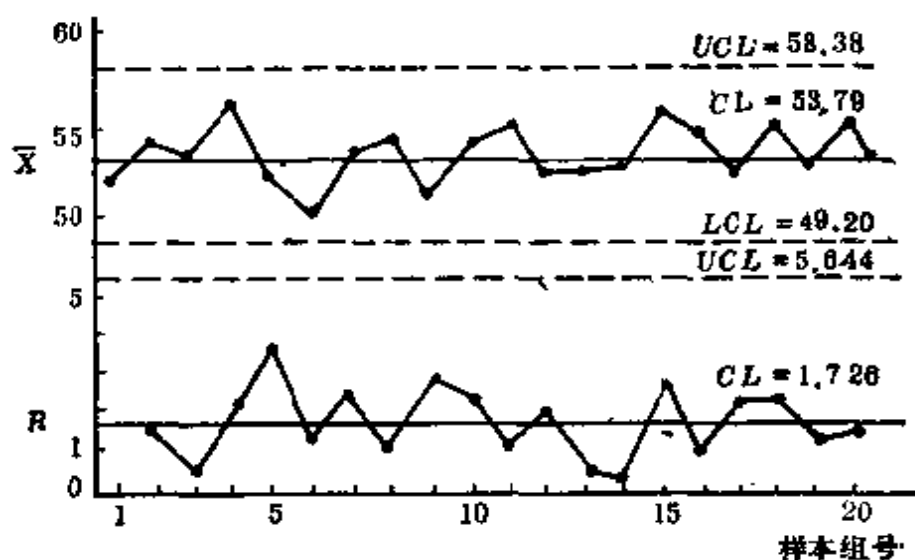


图10—4 某产品收得率(%)的 $\bar{x}-R_s$ 控制图

LCL = (一) 无意义

(4) 根据以上计算结果, 画出中心线和上下控制界限, 并将数据往图上打点, 如图10—4所示。

二、计数值控制图

(一) 计件值控制图

计件值控制图, 包括不合格品数 (P_n) 控制图 和 不合格品率 (P) 控制图, 这两种控制图都可以单独使用, 不需要组合。

1. P_n 及 P 控制图控制界线的确定

生产实践证明, 计件值一般服从二项分布, 因此计算计件值控制图的控制界限和中心线时, 要依据二项分布的性质。

当工序总体不合格品率为 P 时, 从中抽取 n 个产品, 其中不合格品数 np' 服从二项分布:

P_n 的期望值 $E(np') = np$

P_n 的标准偏差 $D(np') = \sqrt{np(1-p)}$

式中 P 可通过 k 组大小为 n 的样本数据来估计:

P 的估计值 $\bar{p} = \frac{k \text{组样本中的不合格品总数}}{k \text{组样本中的产品总数}}$

因此 P_n 控制图的控制界限为:

$$\begin{aligned} P_n \text{ 的控制界限} &= np \pm 3\sqrt{np(1-p)} \\ &= \bar{p}n \pm 3\sqrt{\bar{p}n(1-p)} \end{aligned}$$

P_n 值除以 n 后即得 P 控制图的控制界限:

$$\begin{aligned}
 P \text{ 的控制界限} &= \bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \\
 &= \bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}
 \end{aligned}$$

2. P控制图的作图步骤

现以钢材不合格品率为例（见表10—5）来说明P控制图的作图步骤。

表10—5 重轨钢材不合格品率数据表

样品组号	检查根数	废品数	废品率	样品组号	检查根数	废品数	废品率
1	500	11	0.022	16	500	24	0.048
2	500	19	0.038	17	500	18	0.036
3	500	13	0.026	18	500	22	0.044
4	500	16	0.032	19	500	15	0.030
5	500	14	0.028	20	500	16	0.032
6	500	12	0.024	21	500	23	0.046
7	500	25	0.050	22	500	10	0.020
8	500	13	0.026	23	500	12	0.024
9	500	16	0.032	24	500	18	0.036
10	500	15	0.030	25	500	13	0.026
11	500	12	0.024	26	500	13	0.026
12	500	16	0.032	27	500	5	0.010
13	500	22	0.044	28	500	21	0.042
14	500	26	0.052	29	500	17	0.034
15	500	14	0.028	30	500	28	0.056
计					15000	499	
平均					500	\bar{p}	0.0333

（1）搜集预备数据。

检查的样品个数和废品个数的数据应尽量多一些，至少也应搜集20个以上。

（2）分组。

一般每隔一批分一组，每组的样品数 n 当在50—100时，平均废品数 P_n 以3—4个为宜。若 n 过少时，在管理图上 $P=0$ 的情况出现的多是不合适的。

(3) 计算各组的不合格品率和平均不合格品率。

例如在预先准备的表10—5里，记样品组号，样品数 n ，废品数 P_n 等项后，再计算各组的不合格品率。本例中的第一组的不合格品率为：

$$P = \frac{P_n}{n} = \frac{\text{不合格品数}}{\text{检查样品数}} = \frac{11}{500} = 0.022$$

平均不合格品率为：

$$\bar{P} = \frac{\sum P_n}{N} = \frac{\text{总不合格品数}}{\text{总检查样品数}} = \frac{499}{15000} = 0.0333$$

(4) 计算控制界限

$$CL = \bar{P} = 0.0333$$

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{P} + 3 \times \sqrt{\bar{P} \left(\frac{1}{n} - \bar{P} \right)} \\ &= 0.0333 + 3 \times \sqrt{\frac{0.0333 \times (1 - 0.0333)}{500}} \\ &= 0.0333 + 3 \times 0.00802 = 0.0574 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCL &= \bar{P} - 3 \times \sqrt{\bar{P} \left(\frac{1}{n} - \bar{P} \right)} \\ &= 0.0333 - 3 \times \sqrt{\frac{0.0333 \times (1 - 0.0333)}{500}} \\ &= 0.0333 - 3 \times 0.00802 = 0.0092 \end{aligned}$$

(5) 画出控制界限和中心线（如图10—5）

(6) 往图上打点。

(7) 记入有关事项。

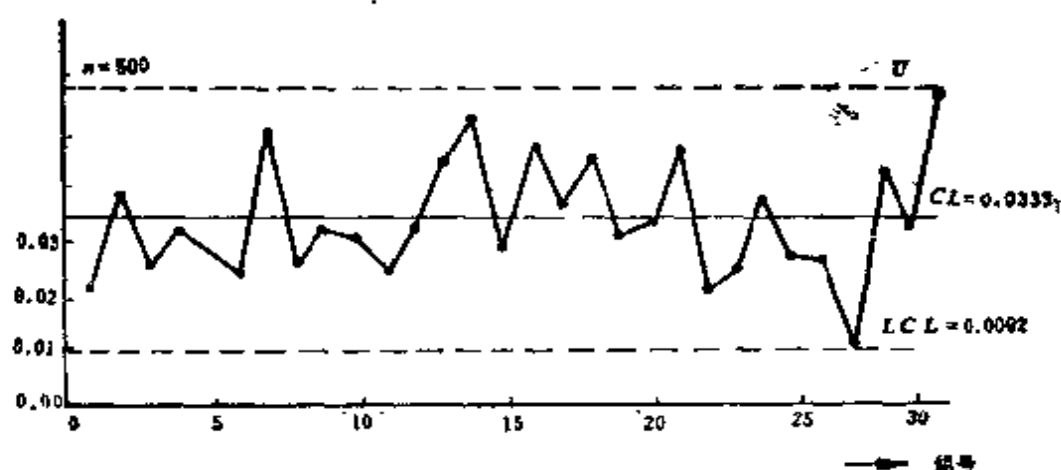


图10—5 重轨钢材P控制图

3. P_n 控制图的作图步骤

例如：在100 个被集中检查的产品中，每个样本组中发现的不合格品数如表10—6所示，试作出 P_n 控制图。

(1) 搜集30组数据。

(2) 根据过去的不合格品率的统计资料，确定样本大小 $n=100$ 。

(3) 统计每个样本中的不合格品数，将其记入表10—6中。

(4) 计算中心线和控制界限。

$$\begin{aligned} \text{平均不合格品个数 } \bar{P}_n &= \frac{\sum_{i=1}^k p_i n_i}{K} = \frac{\text{总不合格个数}}{\text{样本组数}} \\ &= \frac{129}{30} = 4.30 \end{aligned}$$

$$\text{平均不合格品率 } \bar{P} = \frac{\bar{P}_n}{n} = \frac{\text{平均不合格品数}}{\text{样本大小}}$$

表10—6 某产品不合格品数数据表

样品号	样品数 n	废品数 P _n	样品号	样品数 n	废品数 P _n
1	100	4	16	100	1
2	100	7	17	100	6
3	100	5	18	100	5
4	100	2	19	100	5
5	100	3	20	100	4
6	100	3	21	100	3
7	100	4	22	100	2
8	100	3	23	100	2
9	100	6	24	100	4
10	100	12	25	100	6
11	100	15	26	100	2
12	100	6	27	100	1
13	100	1	28	100	3
14	100	4	29	100	1
15	100	5	30	100	4
计				Σn=3000	ΣP _n =129

$$= \frac{4.3}{100} = 0.043$$

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{P}_n + 3\sqrt{\bar{P}_n(1-\bar{P})} \\ &= 4.30 + 3\sqrt{4.30(1-0.043)} \\ &= 10.39 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCL &= \bar{P}_n - 3\sqrt{\bar{P}_n(1-\bar{P})} \\ &= 4.30 - 3\sqrt{4.30(1-0.043)} \end{aligned}$$

= (一), 无意义

$CL = 4.30$

(5) 画出控制界限及打点 (见图10—6)。

(6) 记入有关事项。

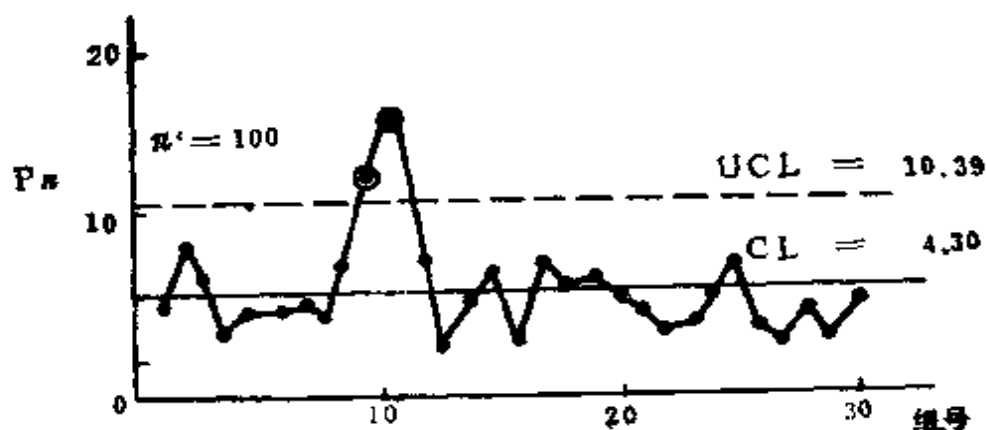


图10—6 P_n 控制图

(二) 计点值控制图

计点值控制图, 包括缺陷数 (C) 控制图和单位缺陷数 (u) 控制图。生产实践证明, 计点值一般服从泊松分布, 因此在计算计点值控制图的控制界限的中心线时, 要依据泊松分布的性质。

1. 控制界线的确定

从稳定的工序, 随机地抽取的一定单位的样本中, 出现的产品缺陷数 C 服从泊松分布, 则有:

C 的期望值 $E(C) = \bar{C}$

C 的标准偏差 $D(C) = \sqrt{\bar{C}}$

式中 \bar{C} 由预备数据来估计。

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^k C_i}{K} = \frac{\text{样本中的总缺陷数}}{\text{样本组数}}$$

因此C控制图的控制界限为：

$$\left. \begin{array}{l} UCL = \bar{C} + 3\sqrt{\bar{C}} \\ LCL = \bar{C} - 3\sqrt{\bar{C}} \\ CL = \bar{C} \end{array} \right\}$$

当样本的单位数n不固定时，就需要将它换成标准单位（长度、面积、体积）的缺陷数来进行控制，这时就应当用u控制图。

设单位缺陷数为u，则 $u = \frac{C}{n} = \frac{\text{样本的缺陷数}}{\text{样本大小}}$

$$u \text{ 的标准偏差 } D(u) = \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

式中u为单位缺陷数的平均数，可通过预备数据来计算。

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^k C_i}{\sum n} = \frac{\text{样本中的总缺陷数}}{\text{样本大小合计}}$$

所以，u控制图的控制界限为：

$$\left. \begin{array}{l} UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \\ LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \end{array} \right\}$$

2. 缺陷数 (C) 控制图的绘制

〔例1〕：对钢管的焊接部位进行X射线检查，现就30处发现有二级品数（微缺陷）列入表10—7，由此数据表作出C控制图（图10—7）

（1）搜集30组数据。

表10—7 钢管焊接部位缺陷统计表

试 样 号	缺 陷 数 C	试 样 号	缺 陷 数 C
1	3	16	5
2	2	17	8
3	6	18	6
4	2	19	6
5	1	20	7
6	1	21	6
7	4	22	2
8	3	23	1
9	6	24	1
10	5	25	2
11	3	26	1
12	2	27	3
13	3	28	3
14	5	29	1
15	6	30	2

(2) 固定单位面积为 10cm^2 。

(3) 统计出单位面积中的缺陷数，将其记入表10—7中。

(4) 计算中心线和控制界限，

$$CL = \bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^k C_i}{K} = \frac{107}{30} = 3.57$$

$$UCL = \bar{C} + 3\sqrt{\bar{C}} = 3.57 + 3\sqrt{3.57} = 9.24$$

$$LCL = \bar{C} - 3\sqrt{\bar{C}} = 3.57 - 3\sqrt{3.57} = (-) \text{ 无意义}$$

(5) 画出控制界限及打点 (见图10—7)

(6) 记入有关事项。

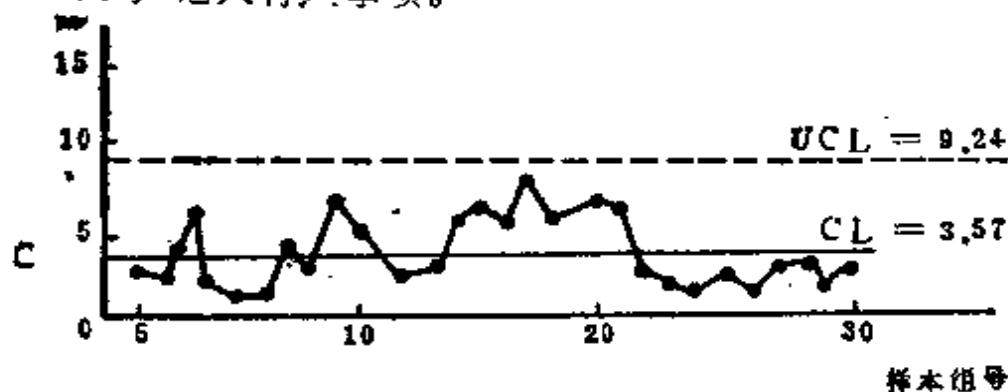


图10—7 C控制图

3. 单位缺陷数u控制图

[例2]: 现以某钢板的表面缺陷为例作出u控制图。

(1) 搜集数据。搜集25组数据, (见表10—8)

C = 1~5

(2) 分组。按照一批产品、一台设备或者一个班组等进行分组。

(3) 计算各组的单位缺陷数u

$$u = \frac{C}{n}$$

(4) 求平均单位缺陷数。

$$\text{总平均 } \bar{u} = \frac{\sum C}{\sum n} = 2.279$$

(5) 求控制界限线

$$CL = \bar{u}$$

$$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

表10—8 某钢板表面缺陷数

试样号	试样的 大小n (米 ²)	缺陷数 C	单位缺陷数 u (米 ²)	UCL	LCL
1	1.5	2	1.33	5.976	—
2	1.5	3	2.00	∅	—
3	1.0	2	2.00	6.808	—
4	1.0	1	1.00	∅	—
5	1.0	3	3.00	∅	—
6	1.5	3	2.00	5.976	—
7	1.5	5	3.33	∅	—
8	1.3	2	1.54	6.251	—
9	1.3	3	2.31	∅	—
10	1.3	1	0.77	∅	—
11	1.0	4	4.00	6.808	—
12	1.0	2	2.00	∅	—
13	1.0	3	3.00	∅	—
14	1.0	1	1.00	∅	—
15	1.5	4	2.67	5.976	—
16	1.5	3	2.00	∅	—
17	1.5	3	2.00	∅	—
18	1.5	2	1.33	∅	—
19	1.5	4	1.67	∅	—
20	1.5	5	3.33	∅	—
21	0.7	1	1.43	7.692	—
22	0.7	3	4.29	∅	—
23	0.7	2	2.86	∅	—
24	0.7	2	2.86	∅	—
25	0.7	3	4.29	∅	—
	Σn=29.4	ΣC=67	$\bar{u} = \frac{\sum C}{\sum n}$ $= 2.279$		

$$LCL = \bar{\bar{u}} - 3\sqrt{\frac{\bar{\bar{u}}}{n}}$$

(6) 记入控制界限、 \bar{u} 的曲线图形(图10—8)和其它有关事项。

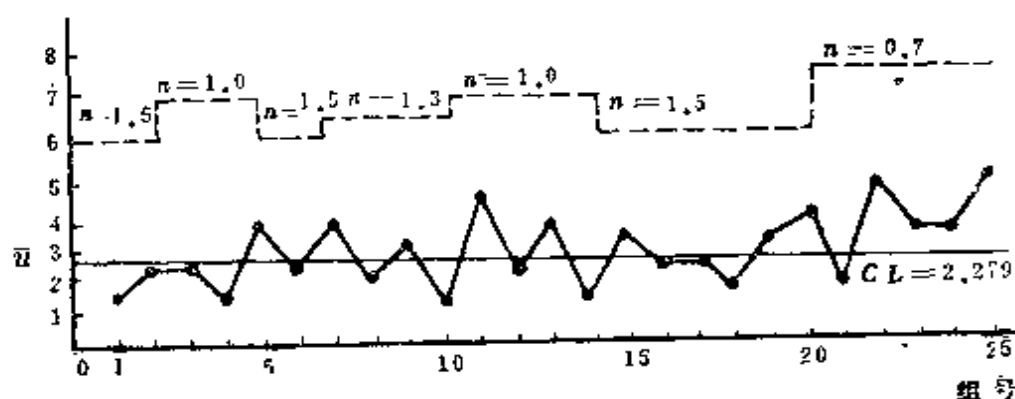


图10—8 某钢板表面缺陷的 \bar{u} 控制图

第四节 控制图的观察与使用

对于工序控制来说, 仅仅画出控制图, 还不是目的, 只有善于观察和分析控制图, 从中提取有关工序状态的情报, 一旦生产过程处于异常状态, 就能够尽快查明原因, 采取有效措施, 让生产过程迅速恢复统计的控制状态, 这样才能真正地发挥出控制图的效用, 把大量产生不合格品的因素消灭在萌芽之中。

一、控制状态的判断

控制状态, 即工序稳定时的状态, 也就是工序的质量特性分布(平均值和散差)随时间的推移而不发生变化的状态。

我们不可能知道某一工序的正常状态，而只能根据质量特性值取数据作分析用控制图，由控制图来推测工序的状态。判断工序是否处于控制状态，要根据以下两个条件来判断。

（一）控制图上的点子没有越出控制界限之外

如果控制图上的点子没有越出控制界限以外，就判断工序处于控制状态，而只要有一个点越出界限以外就应判断为“异常”（图10—9）。因为这是一个小概率事件，如前所述，

在正常条件下，在 3σ 界限的控制图上，能越出界限外的点子的总概率只有0.3%左右，若不是异常状态，点一般不会越出界限以外的。

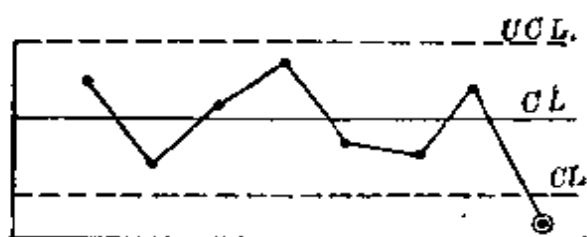


图10—9 控制界线外的点

（二）点在控制界限内排列方式没有缺陷

点在控制界限内，出现有下列特殊的排列方式时，就认为是“异常”，因为这些也都是小概率事件，若不是“异常”，一般是不会出现这些情况的。

1. 相对于点的中心线一侧，连续出现7点“链”的情况。如果相对中心线一侧连续出现7个以上的点子时就认为是有异常发生，这就要采取措施，消除异常原因（图10—10），这种

情况出现，对 \bar{X} 、R控制图来说，表明 \bar{X} 和R变大或变小。

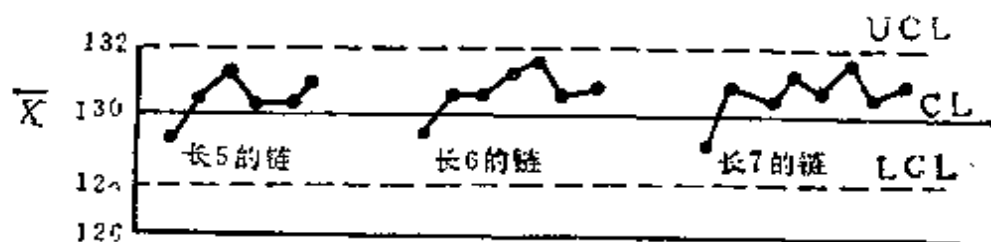


图10—10 在中心线一侧出现7点“链”的情况

如果在控制图上随机选取一点，那么它落在中心线上侧或下侧的概率各为1/2，连续出现7个点落在中心线一侧的概率为：

$$P_7 = \left(\frac{1}{2} \right)^7 = \frac{1}{128} = 0.008 = 0.8\%$$

即连续出现7点“链”是个小概率事件。

但是，在连续出现5个点时，就要注意工艺操作，连续出现6个点时，就要开始调查其原因。

2. 点在中心线一侧多次出现的情况（图10—11）。

这种情况和（1）一样，表示 \bar{x} 、R或废品率等变大或者变小的情况，有异常发生。

（1）连续11个点子中，至少有10个点子在中心线同一侧出现（见图10—11）。

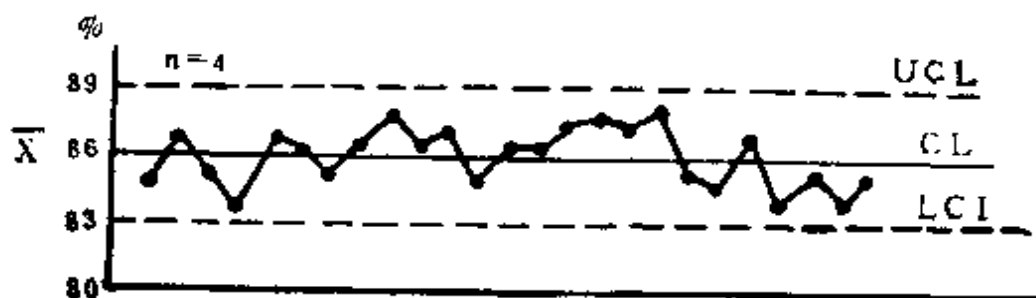


图10—11 11个点子中有10个点子在中心线同一侧出现的情况

(2) 连续14个点子中, 至少有12个点子, 在中心线的同一侧出现;

(3) 连续17个点子中, 至少有14个点子, 在中心线的同一侧出现;

(4) 连续20个点子中, 至少有16个点子, 在中心线的同一侧出现。

这时, 要采取措施, 消除异常原因。

连续11个点子中至少有10个点在同一侧出现的概率为:

$$P_{11} = \left(\frac{1}{2}\right)^{11} + C_{11}^{10} \left(\frac{1}{2}\right)^{10} \left(\frac{1}{2}\right)^1 + C_{11}^{10} \left(\frac{1}{2}\right)^{10}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^1 + \left(\frac{1}{2}\right)^{11} = \frac{24}{2048} \approx \frac{1}{85}$$

3. 点子按次序连续上升或者连续下降的倾向。一般把连续有7个点子以上的上升或下降的倾向, 作为判断是否有异常的标准 (见图10—12), 这也是一小概率事件。

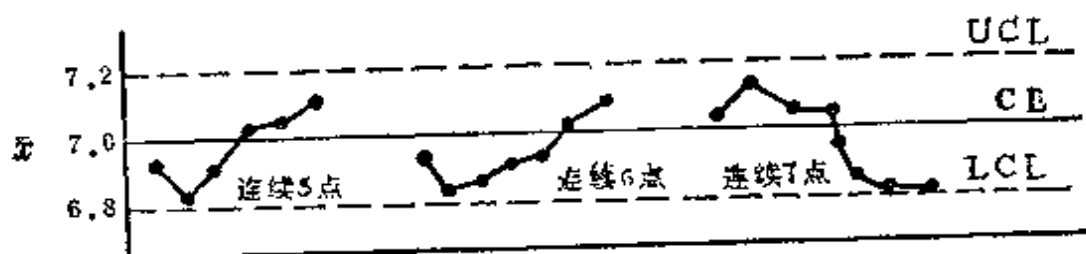


图10—12 “倾向”的情况

4. 点在靠近控制线出现的情况。

判断标准是以下面几种情况是否超出上下 2σ 控制线以外为原则:

(1) 连续3点中, 有2点以上 (不连续的点也可以 (图10—13))。

- (2) 连续7点中, 有3点以上 (不连续的点也可以);
 (3) 连续10点中, 有4点以上 (不连续的点也可以)。
 连续3点中有2点在 $\pm 2\sigma \sim \pm 3\sigma$ 之间出现的概率为

$$P = C_3^2 (0.0428)^2 \times 0.9545 = 0.00525$$

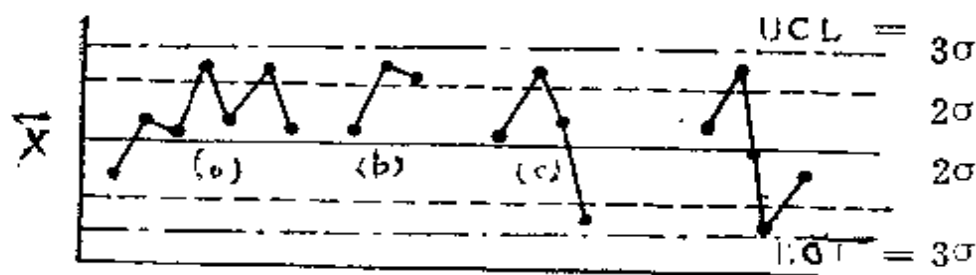
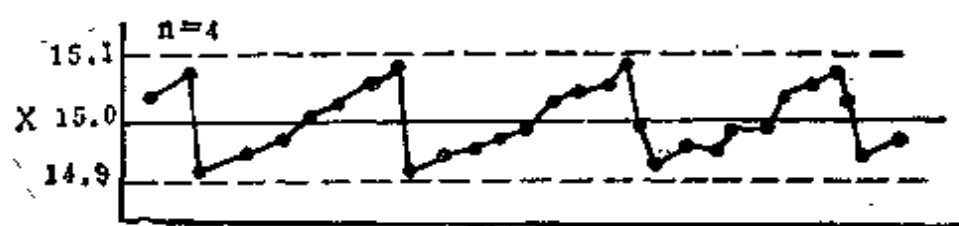


图10—13 点接近控制界限出现的情况 (3点中有2点)

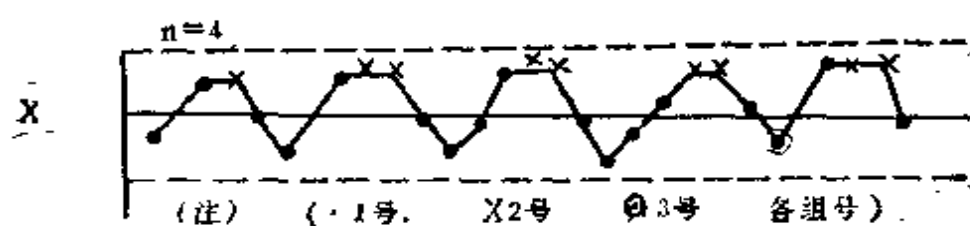
5. 点子具有周期变动的情况。

点子虽然全部进入控制界限内, 但如果出现有周期性的变动, 则表明有异常情况发生, 周期性变动的发生往往与分组方法、取样方法、数据的取法及数字修正法等有关。这种变化有时也根据“链”和“倾向”(1,3)的原则来判断。周期变动的情况大致有以下几种 (图10—14) :

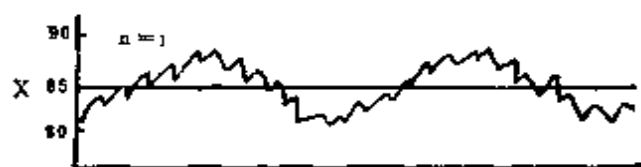
- (1) 阶段的周期变动, 如图10—14 (a) ;
- (2) 波状的周期变动, 如图10—14 (b) ;
- (3) 大波中有小波的情况, 如图10—14 (c) ;
- (4) 大、中、小波结合的情况, 如图10—14 (d) 。



(a)



(b)



(c)



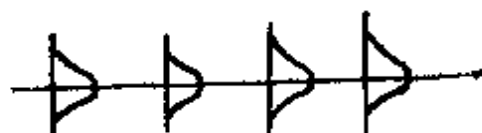
(d)

图10-14 周期性变动

二、控制图点的移动和工序变化的关系

从控制图上点的移动，可推测工序的变化。

1. 工序处于控制状态（如图10—15所示）



2. 工序平均值变化，而标准偏差不变化（如图10—16和图10—17所示）

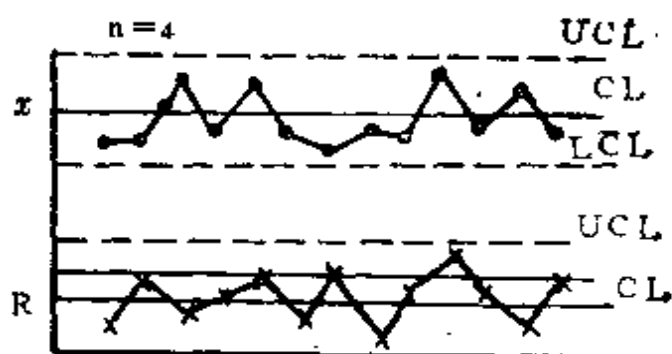
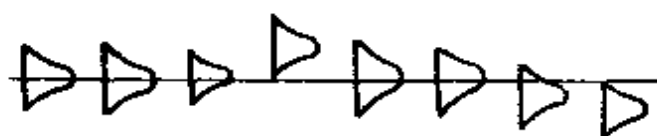


图10—15 控制状态

图10—16为工序平均值随机变大变小的控制图。图10—17为工序平均值稍有增大时的控制图。



3. 标准偏差发生变化，平均值不变（如图10—18所示）

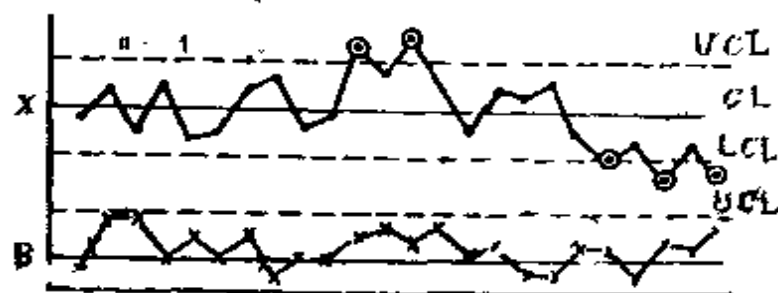


图10—16 工序平均值变大变小（散差不变）

4. P

控制图点的移动（如图10—19所示）

图10-17
平均值变大的情况 (散
差不变)

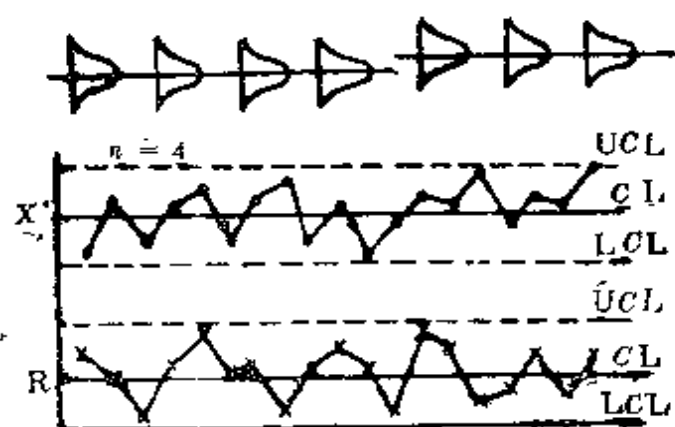


图10-18
工序散差变大的情况

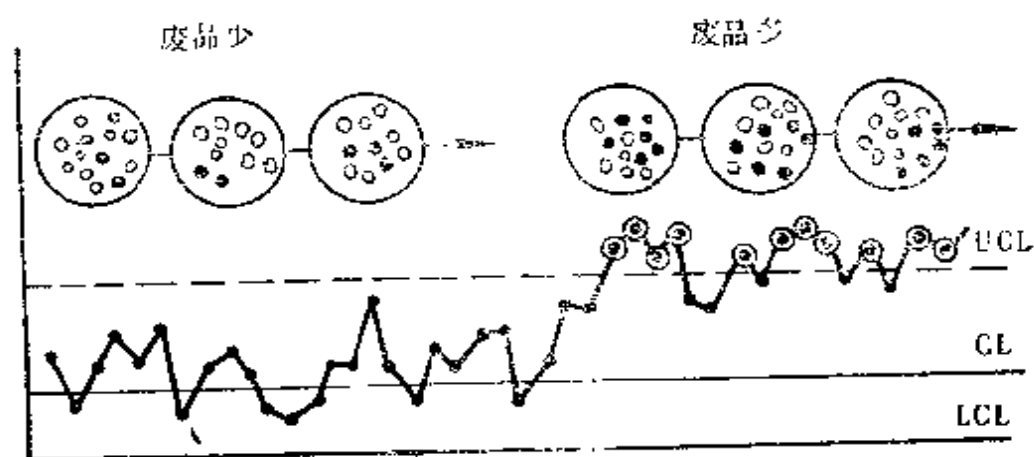
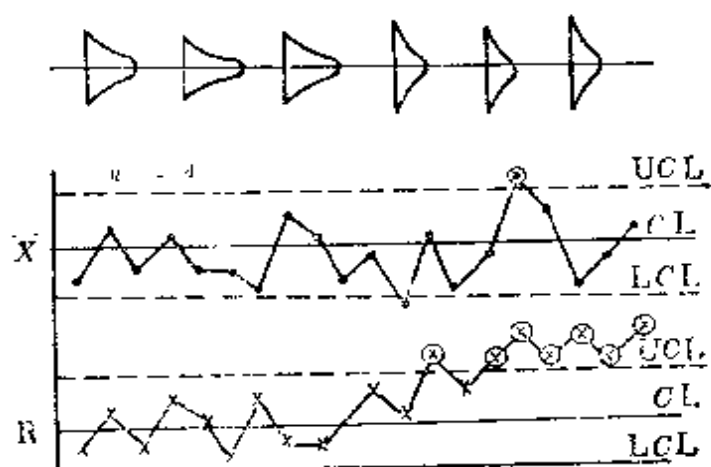


图10-19 P点上下点的移动

三、控制图判断的实例

实例 1. 某轧板厂的主要产品之一是冷轧汽车薄板，该厂为了提高冷轧汽车薄板质量，减少厚薄超差，使用了 $\bar{x}-R$ 控制图对厚度尺寸进行控制，如图10—20所示。从图10—20可知，第10组的数据在 \bar{x} 控制图上出现有界外点，而 R 控制图的点变化较大，故说明出现了异常原因，于是他们组织了质量管理小组针对异常现象，查找原因，发现X光侧厚仪出现了误差，经过调整后，消除了异常，防止了废品的发生。

实例 2. 某晶体管厂生产的大功率可控硅元件中，钼片是该产品的管芯部分的主要材料之一，它约占总材料费的百

分之三十。而一度曾因钼片的质量低，废品多，将使该厂每年有近8600元价值的钼片得不到充分利用，为了提高钼片的质量，降低废品率，该厂使用了 P_n 控制图来控制废品数，如图10—21所示，从图10—21可以看

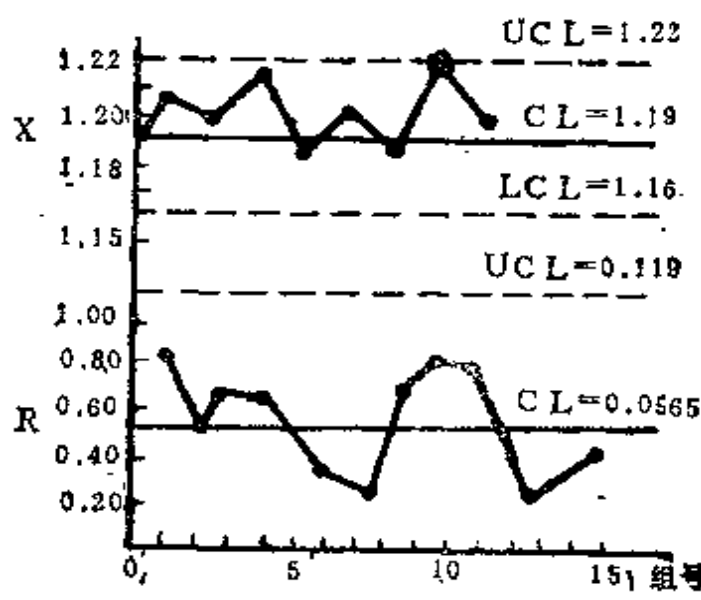


图10—20 冷轧汽车板 $\bar{x}-R$ 控制图

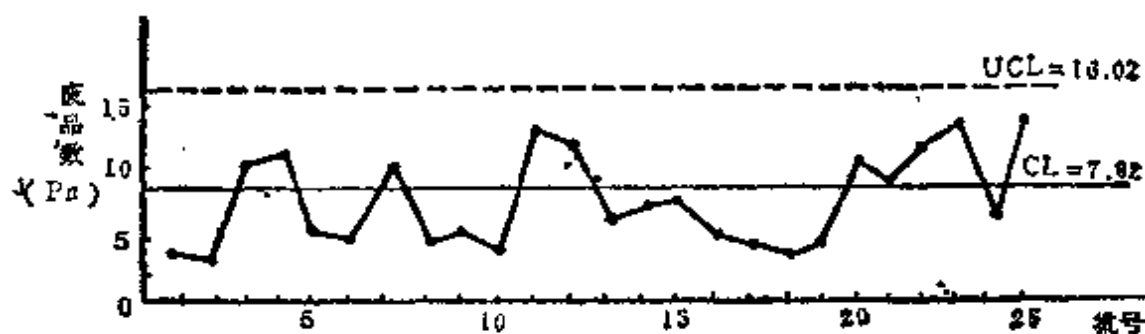


图10—21 废品数控制图

出，该产品的废品变化基本是处于控制的状态。但是在第13批到第15批之间出现了7点“链”的情况，这就说明这段时间内，生产不够稳定。

四、控制图的用途和使用方法

(一) 控制图的用途

控制图有两种用途：一是分析用，二是控制用。分析用是利用控制图看工序是否稳定，看各种因素对质量特性的影响，如果发现有异常变化，就及时采取措施，进行调查原因，消除异常，使工序稳定。控制用的控制图是在已作好分析用控制图的基础上，在工序中定期采取数据，在控制图上打点，如果有点子越出界限外或者虽在界限内，但点子排列方式有缺陷，就表明有异常，就要采取措施，使之恢复稳定状态。分析用控制图与控制用控制图采取数据的方式不同。分析用的是在现场一次或两次取完数据。而控制用的是规定隔一定时间，按规定的数据采取。控制用控制图在积累了一些点子以后，也可再重画分析用控制图。

(二) 控制图的使用方法

根据控制图进行质量控制，可按下列步骤进行。

1. 确定质量特性值和所用的控制图;

2. 取预备数据作分析用的控制图。

在规定的期间内取数据,或者用过去的¹数据作控制图,如果有异常的点子出现就要调查其原因,采取措施,消除异常。分组方式有缺点就要改变分组方式,还可画出排列图、因果分析图、分层表找出工序上的原因和不良的项目,并调查这些原因所造成的影响,采取措施。这样的作法经过几次反复,一直到没有异常的点子,点子全部处于控制状态,就得到理想的控制图。

3. 操作标准化

如果对工序不稳定的因素采取措施,使之稳定以后,就要在稳定的状态下,调查产品是否满足标准。使之控制状态标准化。利用作出的分析用控制图的全部数据作直方图,将直方图同标准对比。如满足标准,即可进行下一步骤。如不满足标准,就要采取措施处理,消除异常原因,达到标准。假如考虑技术经济条件,不便采取措施,可考虑修订标准。对没有满足标准的已生产出的产品,要进行全数检查,进行批量处理。

4. 画控制用的控制图

经过上述步骤以后,当工序处于稳定状态时,就要在分析用的控制图上延长控制界限线(界限线用---线画出);然后按每天取的数据打点,若看到控制图在控制时有异常的情况,就要立即追查原因,采取措施,并保留记录。原因不明的情况也是有的,但是认真追查原因是非常重要的。

5. 控制界线的再计算

如果工序能继续处于稳定状态,质量水平就能够提高。

这时，要定期的评价控制界限线和进行再计算。当操作者，材料，机器设备，操作方法等变化时，也要进行再计算，进行再计算时，要注意两点：

（1）对显示出来的异常点，要找出原因，并采取措施除掉异常点。

（2）仍然包含原因不明，或者没有采取措施的点子。

第五节 控制图的特性和经济性

一、控制图的判断错误

在统计检验中必然要犯判断性错误，用控制图判断工序状态时，也同样存在这个问题，在控制图上，每当有点子出现在控制界限之外时，一般就判断工序发生了异常，如果实际工序本来没有发生异常而被判断为异常，这就是判断错误，对于 3σ 控制界限，进行1000次判定，发生这种错判的可能性平均有3次，对于 4σ 控制界限，10000次中平均有6次错误。总之，完全不犯这种错误是不可能的，这样将正常判为不正常的错误，称作第一类错误，用 α 表示。

然而，如此把控制界限扩展，又会使漏过异常原因变动的机会增多(如图10—22)，亦即，属于其它分布的产品进入控制界限内的比率增加。这会使本来不是正常状态而错判为正常状态。即犯第二类错误。用 β 表示。也就是说，出现在控制界限之内的产品，实际上可能属于其它分布，越扩大控制界限，犯第一类错误的危险性就会越增加。

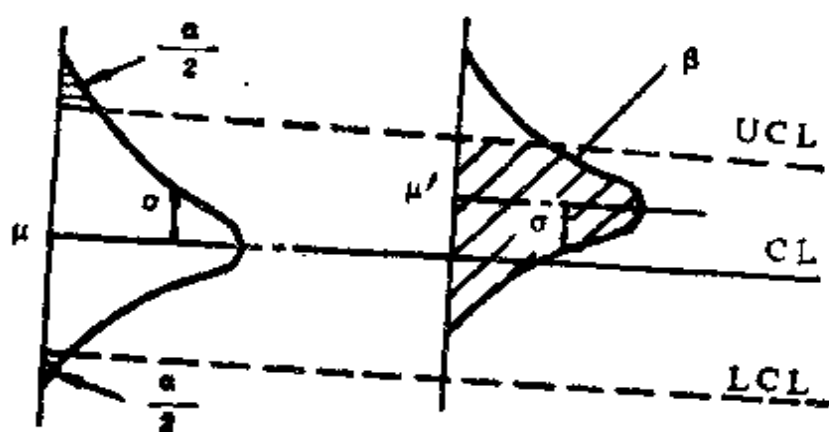


图10—22 控制图的两类错误

二、控制图的特性

所谓控制图的特性，也就是指用控制图进行判断时，所犯错误的大小。

(一) \bar{x} 控制图的特性

\bar{x} 控制图是用每个样本组的平均值 \bar{x} 打点，而不是直接使用每个测定值 x 打点。由P.123页式可知 \bar{x} 控制图的控制界限为：

$$\begin{aligned} \text{UCL} &= \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} = \bar{\bar{x}} + \frac{3\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} \\ \text{LCL} &= \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} = \bar{\bar{x}} - \frac{3\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} \end{aligned}$$

如果求出控制界限的期望值，则：

$$E\left(\bar{x} \pm \frac{3\bar{R}}{d_2\sqrt{n}}\right) = E(\bar{x}) \pm \frac{3}{\sqrt{n}}E\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right) \\ = \mu \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

对于上式，从总体为 $N(\mu, \sigma^2)$ 中抽出的样本的平均值 \bar{X} ，小于 X 值的概率，可用下式表示：

$$\Pr\{\bar{x} \leq X(\mu, \sigma)\}$$

因此， 3σ 控制图的第一类错误 α 可用下式表示：

$$\alpha = \Pr\left\{\bar{x} \leq \mu - \frac{3}{\sqrt{n}}\sigma(\mu, \sigma)\right\} \\ + \Pr\left\{\bar{x} \geq \mu + \frac{3}{\sqrt{n}}\sigma(\mu, \sigma)\right\} \quad (10-1)$$

$$\text{若按 } u = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma\sqrt{n}}$$

进行变换，则 $\mu - \frac{3}{\sqrt{n}}\sigma$ 将变为

$$\frac{(\mu - 3\frac{\sigma\sqrt{n}}{\sqrt{n}}) - \mu}{\sigma\sqrt{n}} = -3$$

同理， $\mu + \frac{3}{\sqrt{n}}\sigma = 3$ ，因此，(10-1) 式可变为：

$$\alpha = \Pr\{u \leq -3\} + \Pr\{u \geq 3\} \quad (10-2)$$

(10-2) 式中的变数 u 由于进行了标准化，因此 u 服从 $(0, 1^2)$ 分布，其概率密度应当为：

$$\phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} \quad (10-3)$$

因此 (10—2) 式可变为:

$$\begin{aligned}\alpha &= \int_{-\infty}^{-3} \phi(u) du + \int_3^{\infty} \phi(u) du \\ &= 2 \int_{-\infty}^{-3} \phi(u) du\end{aligned}\quad (10-4)$$

式中 $\Phi(u) = \int_{-\infty}^u \phi(u) du$

则 (10—4) 式可变为下式, 并由正态分布表可求出 α :

$$\alpha = 2\phi(-3) \approx 0.0027$$

上式仅适用于 3σ 控制界限的情况。如推广为一般, 则

$$\alpha = 2\phi(-B) \quad (10-5)$$

从 (10—5) 式中可求出任意控制界限中的第一类错误。

然而, 仅仅由超出控制界限以外的点子来判断异常的情况时, 一般来说犯第二类错误的概率是比较大的, 这时发现异常概率可用下式表示:

$$P = 1 - \beta \quad (10-6)$$

(10—6) 式中的 P 称为检出力。检出力也就是表示控制

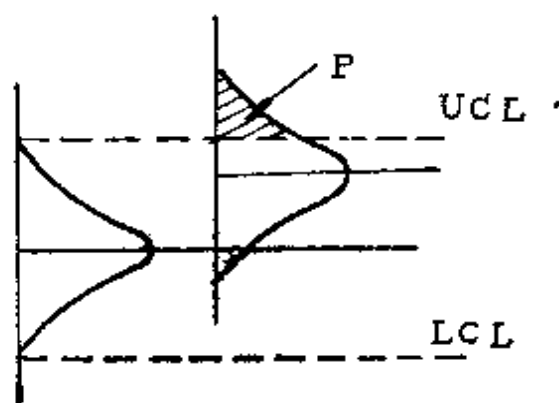


图10—23 控制图的检出力

制图把异常变化正确地检查出来的概率, 由 (10—6) 式可知, 与确定 α 的道理相同可求出检出力 P (如图10—23所示)。

下面就从研究检出力的基础上, 来研究 \bar{x} 控制图的特性。

1. 仅仅由于总体平均值变化时, 检出力的变化情况。如图10—24的情况。

总体标准偏差没有发生变化, 而仅仅由于总体平均值发生变化时的情况,

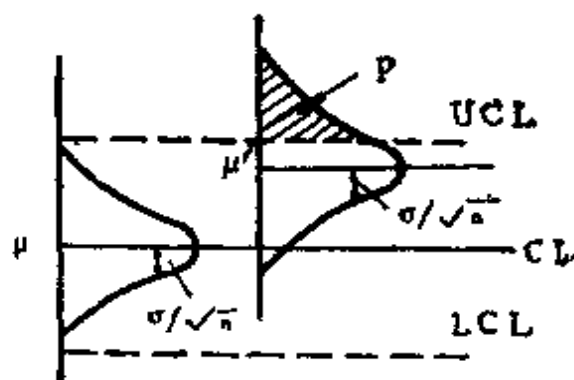


图10—24 仅仅由于总体平均值变化时 \bar{x} 控制图的检出力

即总体 $N(\mu, \sigma^2)$ 变为 $N(\mu', \sigma^2)$ 时的检出力 P 为:

$$\begin{aligned} P &= \Pr\{\bar{x} \leq LCL(\mu', \sigma)\} + \Pr\{\bar{x} \geq UCL(\mu', \sigma)\} \\ &= \Pr\left\{\bar{x} \leq \mu - B \frac{\sigma}{\sqrt{n}}(\mu', \sigma)\right\} \quad (10-7) \\ &\quad + \Pr\left\{\bar{x} \geq \mu + B \frac{\sigma}{\sqrt{n}}(\mu', \sigma)\right\} \end{aligned}$$

若用 $u = \frac{\bar{x} - \mu'}{\sigma/\sqrt{n}}$ 进行变换

则: $\mu - B\sigma/\sqrt{n}$ 可变为:

$$\frac{\mu - B\sigma/\sqrt{n} - \mu'}{\sigma/\sqrt{n}} = -B + \frac{(\mu - \mu')\sqrt{n}}{\sigma} \quad (10-8)$$

如果(10—8)式中 μ 的变化用 $\delta = \frac{\mu' - \mu}{\sigma}$ 表示,

则(10—8)式可变为: $-B - \delta\sqrt{n}$

同样道理, $\mu + B\sigma/\sqrt{n}$ 也同样进行变换, 则(10—7)式可用下式表示:

$$P = \Pr\{u \leq -B - \delta\sqrt{n}\} + \Pr\{u \geq B - \delta\sqrt{n}\}$$

$$= \int_{-\infty}^{-B-\delta\sqrt{n}} \phi(u) du + \int_{B-\delta\sqrt{n}}^{\infty} \phi(u) du$$

$$= \phi(-B-\delta\sqrt{n}) + \phi(-B+\delta\sqrt{n}) \quad (10-9)$$

在10—7式中，如给出B、n即可计算检出力。

表10—9是用3σ法，n=4时，计算出来的检出力。

表10—9 总体标准偏差变化时 \bar{X} 控制图检出力的计算

δ	$\delta\sqrt{n}$	$-3-\delta\sqrt{n}$	$\phi(-3-\delta\sqrt{n})$	$-3+\delta\sqrt{n}$	$\phi(-3+\delta\sqrt{n})$	$P = \phi(-3-\delta\sqrt{n}) + \phi(-3+\delta\sqrt{n})$
0	0	-3	0.0013	-3	0.0013	0.0028
0.5	1	-4	0.0000	-2	0.0228	0.0228
1.0	2	-5	0.0000	-1	0.1587	0.1587
1.5	3	-6	0.0000	0	0.5000	0.5000
2.0	4	-7	0.0000	1	0.8413	0.8413
2.5	5	-8	0.0000	2	0.9772	0.9772
3.0	6	-9	0.0000	3	0.9987	0.9987
3.5	7	-10	0.0000	4	1.0000	1.0000
4.0	8	-11	0.0000	5	1.0000	1.0000

图10—25是根据3σ法，n=1、2、4、6及2σ法的n=1时的检出力作出的图形。从图10—26可知，当n>4时，检出能力变化不大。

2. 仅仅由于总体标准偏差变化时检出能力的变化。

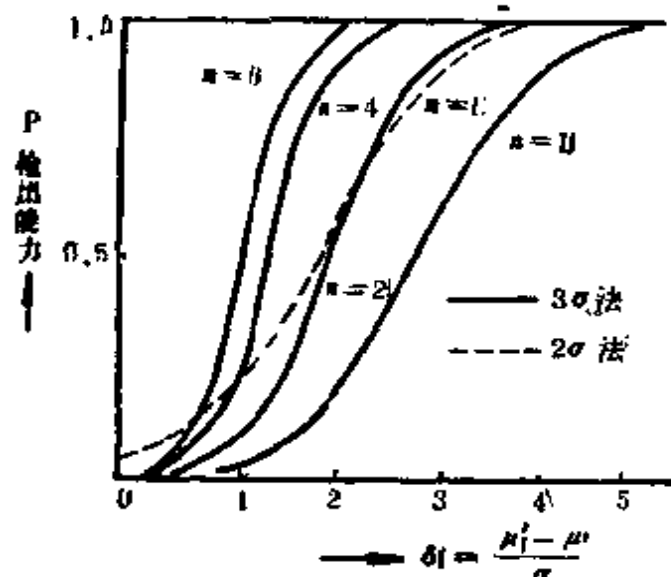


图10—25 仅仅由于总体平均值变化时的 \bar{X} 控制图的OC曲线

总体平均值不变化，而仅仅由于总体标准偏差变化时的情况，即由总体 $N(\mu, \sigma^2)$ 变为 $N(\mu, \sigma'^2)$ 时的检出力由图10—26可知，是相当小的值，也就是说当总体标准偏差变化时，采用R控制图是有效的，总体标准偏差发生变化时，其检出力为：

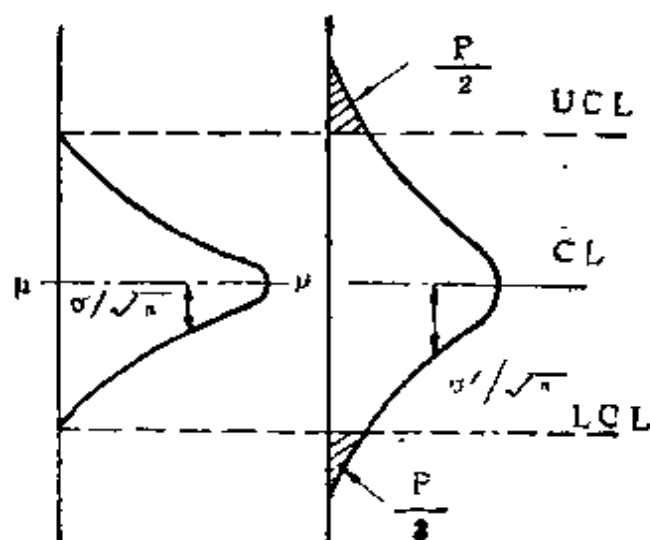


图10—26 仅仅由于总体标准偏差发生变化时 \bar{X} 控制图的检出力

$$P = \Pr\left\{\bar{x} \leq \mu - B \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \mid (\mu, \sigma')\right\} + \Pr\left\{\bar{x} \geq \mu + B \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \mid (\mu, \sigma')\right\} \quad (10-10)$$

如用 $u = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma' / \sqrt{n}}$ 进行变换，则 $\mu - B \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 可变为：

$$\frac{\left(\mu - \frac{B \sigma}{\sqrt{n}}\right) - \mu}{\sigma' / \sqrt{n}} = -B \frac{\sigma}{\sigma'} \quad (10-11)$$

如把 σ 的变化用 $K = \sigma' / \sigma$ 表示，则 (10—10) 式可变为下式：

$$P = \Pr\left\{u \leq -B \frac{\sigma'}{\sigma}\right\} + \Pr\left\{u \geq B \frac{\sigma'}{\sigma}\right\} \\ = 2\phi\left(-B \frac{\sigma'}{\sigma}\right) = 2\phi(-B/K) \quad (10-12)$$

总体标准偏差变化时，用 3σ 法， $n=4$ 时，计算出来

的检出力, 见表10—10。

表10—10 仅仅由于总体标准偏差变化时, \bar{X} 控制图检出力的计算 (3 σ 法, $n=4$)

k	$-3/k$	$\phi(-\frac{3}{k})$	$P=2\phi(-\frac{3}{k})$
1.0	-3.00	0.0013	0.0026
1.5	-2.00	0.0228	0.0456
2.0	-1.50	0.0668	0.1336
2.5	-1.20	0.1151	0.2302
3.0	-1.00	0.1587	0.3174
4.0	-0.75	0.2266	0.4532
5.0	-0.60	0.2743	0.5486
6.0	-0.50	0.3085	0.6170

图10—27为总体平均值不变, 而仅仅总体标准偏差发生变化时, 用3 σ 法 $n=4$ 时, \bar{X} 控制图的OC曲线。

3. 总体平均值与总体标准偏差均变化时, \bar{X} 控制图检出力的变化。

此种情况与上述两种情况相似, 只是这时

总体为 $N(\mu, \sigma^2)$ 变为 $N(\mu', \sigma'^2)$, 此时, 出检力的计算可用下式表示:

$$P = \Pr\{\bar{x} \leq \mu - B \frac{\sigma}{\sqrt{n}} (\mu', \sigma')\} + \Pr\{\bar{x} \geq \mu + B \frac{\sigma}{\sqrt{n}} (\mu', \sigma')\} \quad (10-13)$$

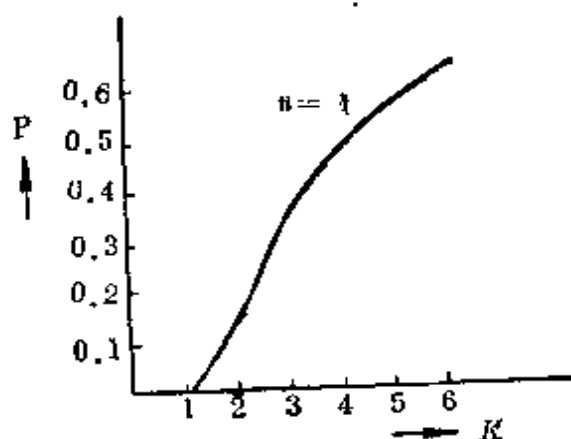


图10—27

仅仅由于总体标准偏差变化时的
 \bar{X} 控制图的OC曲线 (3 σ 法, $n=4$)

若用 $u = \frac{\bar{X} - \mu'}{\sigma' / \sqrt{n}}$ 进行变换, 并令 $\delta = \frac{\mu' - \mu}{\sigma}$, $K = \frac{\sigma'}{\sigma}$

则 (10—13) 式可变为:

$$\begin{aligned} P &= \Pr\{u \leq (\mu - \mu') \frac{\sqrt{n}}{\sigma'} - B \frac{\sigma}{\sigma'}\} \\ &\quad + \Pr\{u \geq (\mu - \mu') \frac{\sqrt{n}}{\sigma'} + B \frac{\sigma}{\sigma'}\} \\ &= \Pr\{u \geq \frac{-\delta \sqrt{n} - B}{K}\} + \Pr\{u \geq \frac{-\delta \sqrt{n} + B}{K}\} \\ &= \phi\left\{\frac{-B - \delta \sqrt{n}}{K}\right\} + \phi\left\{\frac{-B + \delta \sqrt{n}}{K}\right\} \quad (10-14) \end{aligned}$$

为了与前面两种情况进行对比, 由 (10—14) 式, 采用 3σ 法, $n=4$ 时的情况, 对 \bar{x} 控制图的检出力进行计算, 如表 10—11 所示。由表 10—11 可知, 这里给出的检出力, 对于平均值 μ 的变化来说, 检测的灵敏度较高, 而 σ 的变化对检出力的影响不大。

表 10—11 总体平均值和总体标准偏差均有变化时 \bar{x} 控制图检出能力的计算 (3 σ 法, $n=4$)

δ	K	0.5	1	2	3
0		0.0000	0.026	0.1336	0.3174
0.5		0.0000	0.0228	0.1715	0.3437
1		0.0228	0.1587	0.3147	0.4174
1.5		0.5000	0.5000	0.5013	0.5528
2		0.9772	0.8413	0.6917	0.6402
2.5		1.0000	0.9972	0.8413	0.7514
3		1.0000	0.9974	0.9332	0.8426
3.5		1.0000	1.0000	0.9772	0.9091
4		1.0000	1.0000	0.9938	0.9523
4.5		1.0000	1.0000	0.9977	0.9772
5		1.0000	1.0000	0.9998	0.9902

从上面所叙述过的 \bar{x} 控制图的 OC 曲线图(图10—25)和式(10—12)可知,对于总体平均值 μ 的变化相同时(例如 $\delta = 1.0$),其检出能力,当采用 3σ 法, $n = 2$ 时, $P = 6\%$,在 $n = 4$ 时, $P = 16\%$,即 $n = 2$ 时的检出能力较差,这时作出的控制图所需要的管理费用为 $n = 4$ 时的一半,然而当总体平均值 μ 的变化为 $\delta = 1.4$ 时,其检出能力 P 大约为 16% ,可知用 $n = 2$ 也是可以的。另外,如果总体平均值 μ 的变化仍为 $\delta = 1.0$,而如果对第一类错误在一定程度上宁肯大一些,即用 2σ 法在 $n = 1$ 的场合时,可与 \bar{x} 控制图 $n = 4$ 的 3σ 法的情况时的检出力是相同的,即 P 约为 16% 。

因此,如果对于总体的平均值 μ 的变化较小时,为了用比较高的检出力进行管理,就必须把 n 取得大一些。但如果 $n > 5$ 时,其效果较差,即检出能力提高较小。此外,无论 3σ 法或者是 2σ 法,如果采用把控制界限的幅度变狭窄的方法,对提高检出能力也是有利的,因而,把 n 取的小一些也是可能的。

有时,为了对异常状态能够迅速地采取措施,进行处理,宁肯检出能力低一些,也要把 n 取得小一些。例如,把一天生产的产品作为一批,从中抽取 $n = 4$ 的样本进行控制的方法,同把一天中生产的产品分为午前和午后,各为一组,分别从中抽取 $n = 2$ 的样本进行控制的方法进行对比,两者的管理费用是相同的,但是通过前面的叙述可知,后者的检出力较差。然而对于发现异常情况来说,采用午前、午后分组的办法,可以在半天内较快地发现异常,采取措施进行处理。如果这种异常程度直接与不合格品有联系的话,那么,在半天内就可以迅速地防止了不合格品的发生,特别是

表10-12 由 n, w 求 $P_n(w)$ 的表

n	w	2	3	4	5	n w	2	3	4	5
0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000		1.25	0.6232	0.3495	0.1868	0.0970
0.05	0.05	.0282	.0007	0.0000		1.30	.6420	.3719	.2054	.1104
0.10	0.10	.0564	.0028	.0001		1.35	.6602	.3943	.2248	.1247
0.15	0.15	.0845	.0062	.0004	0.0000	1.40	.6778	.4168	.2448	.1400
0.20	0.20	.1125	.0110	.0010	.0001	1.45	.6948	.4392	.2654	.1562
0.25	0.25	0.1403	0.0171	0.0020	0.0002	1.50	0.7112	0.4614	0.2865	0.1733
0.30	0.30	.1680	.0245	.0034	.0004	1.55	.7269	.4835	.3080	.1913
0.35	0.35	.1955	.0332	.0053	.0008	1.60	.7421	.5053	.3299	.2001
0.40	0.40	.2227	.0431	.0079	.0014	1.65	.7567	.5269	.3521	.2296
0.45	0.45	.2497	.0543	.0111	.0022	1.70	.7707	.5481	.3745	.2498
0.50	0.50	0.2763	0.0666	0.0152	0.0033	1.75	0.7841	0.5690	0.3971	0.2706
0.55	0.55	.3027	.0800	.0200	.0048	1.80	.7989	.5894	.4197	.2920
0.60	0.60	.3286	.0944	.0257	.0068	1.85	.8032	.6084	.4423	.3138
0.65	0.65	.3542	.1098	.0323	.0092	1.90	.8209	.6290	.4549	.3361
0.70	0.70	.3794	.1263	.0398	.0121	1.95	.8321	.6480	.4874	.3587
0.75	0.75	0.4041	0.1436	0.0483	.0157	2.00	0.8427	0.6665	0.5086	0.3816
0.80	0.80	.4284	.1616	.0578	.0200	2.05	.8528	.6845	.5317	.4046
0.85	0.85	.4522	.1805	.0682	.0250	2.10	.8624	.7019	.5534	.4277
0.90	0.90	.4755	.2000	.0797	.0300	2.15	.8716	.7087	.5748	.4508
0.95	0.95	.4983	.2201	.0922	.0375	2.20	.8802	.7349	.5957	.4739
1.00	1.00	0.5205	0.2407	0.1057	0.0450	2.25	0.8884	0.7505	0.6162	0.4969
1.05	1.05	.5422	.2618	.1261	.0535	2.30	.8961	.7665	.6363	.5196
1.10	1.10	.5633	.2833	.1355	.0629	2.35	.9034	.7709	.6558	.5421
1.15	1.15	.5839	.3051	.1517	.0733	2.40	.9103	.7837	.6748	.5643
1.20	1.20	.6039	.3272	.1688	.0847	2.45	.9068	.8069	.6932	.5861

续表

w	z	n					w					2	3	4	5	6	7	8	9
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11								
2.50		0.9229	0.8195	0.7110	0.6075	3.75	0.9920	0.9782	0.9600	0.9386									
2.55		.9286	.8316	.7282	.6283	3.80	.9928	.9803	.9637	.9441									
2.60		.9340	.8429	.7448	.6487	3.85	.9935	.9822	.9672	.9493									
2.65		.9390	.8537	.7607	.6685	3.90	.9943	.9839	.9703	.9540									
2.70		.9438	.8640	.7759	.6877	3.95	.9948	.9856	.9732	.9583									
2.75		0.9482	0.8737	0.7905	0.7063	4.00	0.9953	0.9870	0.9758	0.9623									
2.80		.9523	.8828	.8045	.7242	4.05	.9958	.9883	.9782	.9660									
2.85		.9561	.8915	.8177	.7415	4.10	.9963	.9895	.9804	.9693									
2.90		.9597	.8996	.8304	.7580	4.15	.9967	.9906	.9824	.9724									
2.95		.9630	.9073	.8427	.7739	4.20	.9970	.9916	.9842	.9752									
3.00		0.9661	0.9145	0.8537	0.7891	4.25	0.9974	0.9625	0.9859	0.9777									
3.05		.9690	.9212	.8645	.8086	4.30	.9976	.9933	.9874	.9800									
3.10		.9716	.9275	.8746	.8174	4.35	.9979	.9941	.9887	.9821									
3.15		.9741	.9334	.8842	.8305	4.40	.9981	.9947	.9899	.9840									
3.20		.9763	.9388	.8931	.8429	4.45	.9984	.9953	.9910	.9857									
3.25		0.9784	0.9439	0.9016	0.8546	4.50	0.9985	0.9958	0.9920	0.9873									
3.30		.9804	.9487	.9095	.8657	4.55	.9987	.9963	.9929	.9887									
3.35		.9822	.9531	.9163	.8761	4.60	.9989	.9967	.9937	.9899									
3.40		.9838	.9572	.9237	.8858	4.65	.9990	.9971	.9944	.9911									
3.45		.9853	.9609	.9302	.8951	4.70	.9991	.9974	.9951	.9921									
3.50		0.9867	0.9644	0.9361	0.9037	3.75	0.9992	0.9977	0.9956	0.9930									
3.55		.9879	.9677	.9417	.9117	4.80	.9993	.9980	.9962	.9938									
3.60		.9891	.9706	.9468	.9192	4.85	.9994	.9983	.9966	.9945									
3.65		.9901	.9734	.9516	.9261	4.90	.9995	.9985	.9970	.9952									
3.70		.9911	.9759	.9559	.9326	4.95	.9995	.9987	.9974	.9958									
						5.00	0.9996	0.9988	0.9977	0.9963									

对于计量值控制图的情况，由于工作异常直接与不合格品有联系，而考虑总体平均值变化的 δ 值较大的情况是比较多的，因此，即使 n 较少，其检出能力也不一定差。

(二) R控制图的特性

从(10—4)式和(10—5)式可知，R控制图的控制界限为：

$$UCL = (1 + 3 \frac{d_3}{d_2}) \bar{R} = D_4 \bar{R}$$

$$LCL = (1 - 3 \frac{d_3}{d_2}) \bar{R} = D_3 \bar{R}$$

所以，R控制图的第一类错误 α ，可用下式求出：

$$\begin{aligned} \alpha &= \Pr\{R \leq D_3 \bar{R}(\sigma)\} + \Pr\{R \geq D_4 \bar{R}(\sigma)\} \\ &= \Pr\left\{\frac{R}{\sigma} \leq \frac{D_3 \bar{R}}{\sigma}\right\} + \Pr\left\{\frac{R}{\sigma} \geq \frac{D_4 \bar{R}}{\sigma}\right\} \end{aligned}$$

$$\text{式中：} \left. \begin{aligned} E\left(\frac{D_3 \bar{R}}{\sigma}\right) &= D_3 E\left(\frac{\bar{R}}{\sigma}\right) = D_3 d_2 \\ &= d_2 - 3d_3 = D_1 \\ E\left(\frac{D_4 \bar{R}}{\sigma}\right) &= D_4 E\left(\frac{\bar{R}}{\sigma}\right) = D_4 d_2 \\ &= d_2 + 3d_3 = D_2 \end{aligned} \right\} (10-31)$$

式中 D_1 ， D_2 亦为随 n 大小而变化的系数。

如果给定 $W = \frac{R}{\sigma}$ ，则：

$$\alpha = \Pr\{W \leq D_1\} + \Pr\{W \geq D_2\} \quad (10-32)$$

当按(10—32)式进行计算时，可采用皮尔逊(E·S·

$$\text{Pearson}) \text{ 给出的 } P_n(W) = \int_0^W f_n(W) dw \quad (10-33)$$

的表，由下式进行计算：

$$\begin{aligned}\alpha_n &= \int_0^{D_1} f_n(W) dW + \int_{D_1}^{\infty} f_n(W) dW \\ &= P_n(D_1) + \{1 - P_n(D_2)\} \quad (10-34)\end{aligned}$$

表10—12即为给出的皮尔逊的表中的一部分。

表10—13及图10—28是在 $n = 2 \sim 10$ 的情况下， 3σ 法的R控制图的第一类错误，由图10—23 可知，在R 控制图中， α 是随 n 而变化的，并且， 还可以知道当 $n > 5$ 时， α 几乎是不变的。

表10—13 R控制图的第一类错误 (3σ 法)

n	D_1	D_2	$P_n\{D_1\}$	$P_n\{D_2\}$	α
2	—	3.686	—	0.9908	0.0092
3	—	4.359	—	0.9942	0.0058
4	—	4.698	—	0.9951	0.0049
5	—	4.918	—	0.9954	0.0046
7	0.206	5.203	0.0000	0.9956	0.0044
10	0.678	5.496	0.0000	0.9958	0.0044

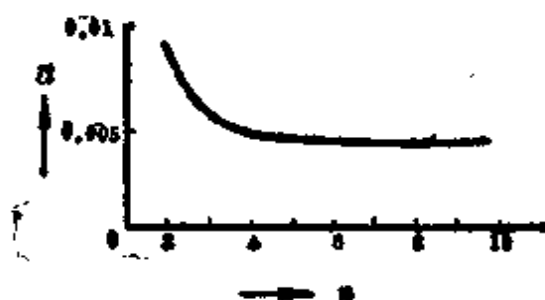


图10—28 R控制图的第一类错误

下面来讨论 R控制的检出力，根据R控制图的作用，这里仅仅考虑总体标准偏差变化时的情况，即求出由总体 N

(μ, σ^2) 变为 $N(\mu, \sigma'^2)$ 时的检出力, 而这种场合采用 D_1, D_2 等的系数是比较方便的, 所以当采用 3σ 法时, 可由下式求出检出力。

$$\begin{aligned} P &= \Pr\{R \geq UCL(\sigma')\} + \Pr\{R \leq LCL(\sigma')\} \\ &= \Pr\left\{\frac{R}{\sigma'} \geq \frac{D_4 \bar{R}}{\sigma'}\right\} + \Pr\left\{\frac{R}{\sigma'} \leq \frac{D_3 \bar{R}}{\sigma'}\right\} \\ &= \Pr\left\{\frac{R}{\sigma'} \geq \frac{D_4 d_2 \sigma}{\sigma'}\right\} + \Pr\left\{\frac{R}{\sigma'} \leq \frac{D_3 d_2 \sigma}{\sigma'}\right\} \quad (10-35) \end{aligned}$$

如果与前面同样, 令 $\frac{\sigma'}{\sigma} = K$, $\frac{R}{\sigma'} = W$, 则 (10-35)

式) 可变为:

$$P = \Pr\left\{W \geq \frac{D_2}{K}\right\} + \Pr\left\{W \leq \frac{D_1}{K}\right\} \quad (10-36)$$

如果采用皮尔逊的表, 则检出力可由下式求出:

$$\begin{aligned} P &= \int_{\frac{D_1}{K}}^{\infty} f_n(W) dW + \int_0^{\frac{D_2}{K}} f_n(W) dW \\ &= 1 - P_n\left(\frac{D_2}{K}\right) + P_n\left(\frac{D_1}{K}\right) \quad (10-37) \end{aligned}$$

根据 (10-37) 式, 对于 $n=4$ 时, 计算的结果如表 10-14 所示, 并作出各个不同的 n 值的 OC 曲线, 如图 10-29 所示。这里, 当 $n \leq 6$ 时, D_1 值不考虑, 而当 $n \geq 7$ 时, 由于存在着 D_1 值, 故其 K 值在 1 以下时, 其检出力也应该考虑。而在 R 控制图中, 由于一般均采用 $n < 6$, 所以在图 (10-29) 中, 对于小于 1 以下的 K 值就不予考虑了。

表10—14 R控制图的检出力的计算
(3σ 法, $n=4$)

K	D_2/K	$P_0\{D_2/K\}$	$1-P\{D_2/K\}$	D_1/K	$P_0\{D_1/K\}$	P
1.0	4.698	0.9951	0.0049	—	—	0.0049
1.5	3.132	0.8807	0.1193	—	—	0.1193
2.0	2.349	0.6554	0.3446	—	—	0.3446
2.5	1.879	0.4554	0.5446	—	—	0.5446
3.0	1.566	0.3150	0.6850	—	—	0.6850
3.5	1.342	0.2217	0.7783	—	—	0.7783
4.0	1.174	0.1602	0.8398	—	—	0.8398
4.5	1.044	0.1184	0.8816	—	—	0.8816
5.0	0.939	0.0895	0.9105	—	—	0.9105
5.5	0.854	0.0691	0.9309	—	—	0.9309
6.0	0.783	0.0546	0.9454	—	—	0.9454

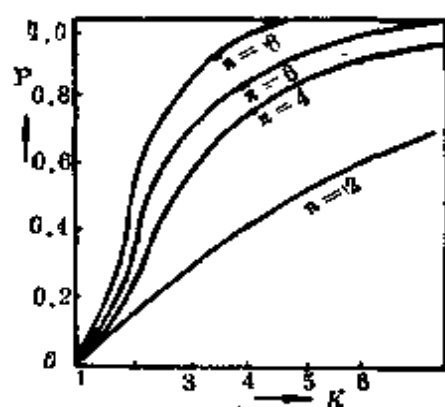


图10—29 R控制图检出力曲线(OC曲线)

从图10—29可知, 当用 3σ 法, $n=4$, 标准偏差变化到原来的2倍 ($K = \sigma'/\sigma = 2$) 时, 检出能力 $P = 0.3446$ 。即在取 $n=4$ 的样本组容量时, 如果R分布的标准偏差增大到原来分布的标准偏差2倍时, 则点子平均出现在 3σ 界限外的可能性为34.46%。

总之，从图10—29可以看出：

(1) 随着 n 的增大，检出能力变好。但在 $n > 10$ 时，一般就不宜采用 R 控制图了，因为当 $n > 10$ 时，用 R 估计总体标准偏差的误差较大，即由于 $\sigma = \frac{\bar{R}}{d}$ 因随 n 增大， \bar{R} 变化大。所以总体标准偏差的误差估计就不准确。

(2) 当 $K = \sigma' / \sigma = 1.5$ 左右时，即使增大 n ，检出能力提高也很少；而当 $K > 2.0$ 以后时，检出力才随着 n 的增大而明显地趋向好转。

(3) 当 $n = 4 \sim 6$, $K = 2.0$ 时，可以以 35—50% 的概率检出异常。

综合以上所述，一般来说，检出能力小当然不好，但操作标准化不完备，工序状态不稳定，则即使检出能力过大，也会因为采取措施，进行处理的麻烦而带来经济上的不利。因此，当按照控制图进行工序控制时，应该明确工序和控制图的变化程度，检出能力的情况，特别应该明确在多长的时间间隔内进行控制及其控制的对策等，应该考虑这种情况进行综合的评价。

(三) P 及 P_n 控制图的特性

P 及 P_n 控制图是用于存在有二项分布时的场合，即由总体不合格率为 P' 的总体中，抽出 n 个样本时，其中出现的不合格品的个数 r 服从二项分布，其概率为：

$$Pr = C_n^r P'^r (1 - P')^{n-r}$$

而其 r 的期望值与标准偏差如下：

$$E(r) = nP'$$

$$D(r) = \sqrt{nP'(1-P')}$$

因此， P_n 控制图的控制界限可用下式求出

$$E(r) \pm BD(r) = nP' \pm B\sqrt{nP'(1-P')}$$

如果令 $\frac{r}{n} = P$ ，则 P 的期望值及标准偏差可用下式表示：

$$E(P) = E\left(\frac{r}{n}\right) = P'$$

$$D(P) = D\left(\frac{r}{n}\right) = \sqrt{\frac{P'(1-P')}{n}}$$

则 P 控制图的控制界限可用下式表示：

$$E(P') \pm BD(P') = P' \pm B\sqrt{\frac{P'(1-P')}{n}}$$

由上述公式 (10—38) 式和 (10—39) 式可知， P_n 及 P 控制图的控制界限是表示 $B\sigma$ 法的控制界限。

P_n 控制图的第一类错误可由下式确定：

$$\begin{aligned} \alpha &= \Pr\{P_n \geq UCL(P')\} + \Pr\{P_n \leq LCL(P')\} \\ &= \sum_{r=UCL}^n C_n^r P'^r (1-P')^{n-r} + \sum_{r=0}^{LCL} C_n^r P'^r (1-P')^{n-r} \end{aligned}$$

上式中，当 n 一定时， P 控制图的第一类错误与 P_n 控制图相同。

而当样本中的 P 随着总体不合率 P' 变化时，其检出力 P 可由下式求得：

$$P = \Pr\{P_n \geq UCL(P')\} + \Pr\{P_n \leq LCL(P')\}$$

$$\sum_{r=UCL}^n C_n^r P^r (1-P)^{n-r} + \sum_{r=0}^{LCL} C_n^r P^r (1-P)^{n-r}$$

式中，UCL及LCL为由总体不合格率P给定的控制界限，若 $P' = 0.10$ ， $n = 100$ ，其控制界限UCL及LCL为

$$UCL = P'_n + 3\sqrt{P'_n(1-P')} \\ = 0.1 \times 100 + 3\sqrt{0.1 \times 100 \times (1-0.1)} = 19$$

$$LCL = P'_n - 3\sqrt{P'_n(1-P')} = 1$$

因而，检出力P，可用下式求得：

$$P = \sum_{r=19}^{100} C_{100}^r P'^r (1-P')^{100-r} + \sum_{r=0}^1 C_{100}^r P'^r (1-P')^{100-r}$$

由上式求出不同P'值的检出力列表如下，见表10—15，并作出P控制图的OC曲线见图10—30。

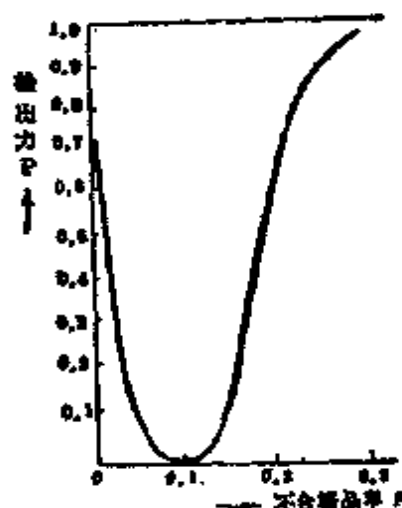


图10—30 P控制图的OC曲线

表10—15 按二项分布计算的 P控制图的检出力
($n = 100, p' = 0.10$)

P	$P_1 = \sum_{r=0}^1 C_{100}^r P'^r (1-P')^{100-r}$	$P_2 = \sum_{r=19}^n C_{100}^r P'^r (1-P')^{100-r}$	$P = P_1 + P_2$
0.02	0.403272	0.000000	0.403272
0.04	0.087163	0.000000	0.087163
0.06	0.015171	0.000003	0.015174
0.08	0.002319	0.000116	0.002435
0.10	0.000322	0.001980	0.001113
0.15	0.000002	0.106546	0.403272
0.20	0.000000	0.532839	0.087163
0.25	0.000000	0.900470	0.015174
0.30	0.000000	0.991113	0.002435

图10—30 P控制图的 OC 曲线 ($n = 100, P' = 0.10$)

然而，对于P控制图，由于样本数 n 的确定及控制界限的设定均可知道，故检出力 P 可以不用二项分布直接计算，当 $P' \leq 0.1$ 时，可由泊松分布近似计算，当 $P' \geq 0.1$ 时，二项分布近似 $N(P, \frac{P(1-P)}{n})$ 的正态分布，因此，

也可以由正态分布来近似地进行计算。

对于C控制图的检出力，也可以将 P控制图的二项分布变为泊松分布近似地计算求得，其道理与P控制图的情况是相同的，故 C控制图的检出力计算，在此给以省略。

三、 \bar{X} -R控制图样本容量 n 的确定

根据前面对控制图检出能力的分析和技术、经济上的原因， n 大小的确定主要应考虑以下几个因素：

(1) 尽量使各样本组的平均值 \bar{x} 能够近似正态分布。

为此，就要从没有异常原因的期间内取样，因为这时取的各个测定值数据 x ，无论是否是正态分布，但只要 $n \geq 4$ 时，就近似于正态分布。

(2) 尽量保证样本组内的技术条件一致。

例如从两个系统中，每1小时各取4个产品时，显然必须作出 $n = 4$ 时的样本组，而不能作出 $n = 6$ 的样本组。因为 $n = 6$ 时，有可能两个不同系统的产品出现在同一个样本里，这样会因 R 增大，而使本来不处于控制状态的工序错误地判为控制状态的工序。因此， n 不能太大，否则在样本组内容易混进异质的数据，因而一般取 $n = 4 \sim 5$ 为宜。

(3) 从检出能力来考虑， n 可以取大一些。从图4可知当 3σ 法， $\delta = 2.5$ ， $n = 4$ 的样本组，其检出能力就可达到97.72%。说明 n 越大检出力越大，也就越容易发现微小的异常原因。因此，如果希望生产过程有较小的偏离正常状态的情况时，经过较少的几次点图就能发现，则应该取大一些否则， n 可取小一些。

但从 R 控制图的效能来看， n 不能过大。从前面可知，对于 R 控制图，若 $n > 10$ 时，其效果就不好，这时就不宜采用 R 控制图了。

综上所述，对于 \bar{x} - R 控制图，当总体平均值 μ 的变化 $\delta > 1.5$ 时，在 3σ 控制图中取 $n = 4 \sim 5$ 是比较合适的。

四、 \bar{X} -R控制图的合理分组问题

我们知道 \bar{X} -R控制图的控制界限 $\bar{\bar{x}} \pm A_2 \bar{R}$, $D_4 \bar{R}$ 及 $D_3 \bar{R}$ 是 $E(\bar{x}) \pm 3D(\bar{x})$ 和 $E(\bar{R}) \pm 3D(\bar{R})$ 的估计值, 如果样本 k 太少, 估计的误差就要大, 则发生第一类错误概率, 即平均数 \bar{x} , 极差 \bar{R} 跑出 $\bar{\bar{x}} \pm A_2 \bar{R}$, $D_4 \bar{R}$ 及 $D_3 \bar{R}$ 的概率比理论分析的第一类错误的概率 $\sigma(0.0027$ 及 $0.0046)$ 要大的多。当 $n=5$ 时, 不同的 k 值所对应的 α 大小见表10—16及图10—31, 可见当 k 值增大时 α 值下降, 并且逐渐接近于 0.0027 和 0.0046 。

表10—16 $n=5$ 时的 K 个样本组, 计算控制界限时, 发生第一类错误(α)的概率

K	5	10	15	20	25	50	100	∞
\bar{x} 图	0.0120	0.0067	0.005	0.0044	0.0040	0.0033	0.0030	0.0027
R图	0.013	0.0102	0.0081	0.0072	0.0066	0.0056	0.0050	0.0046

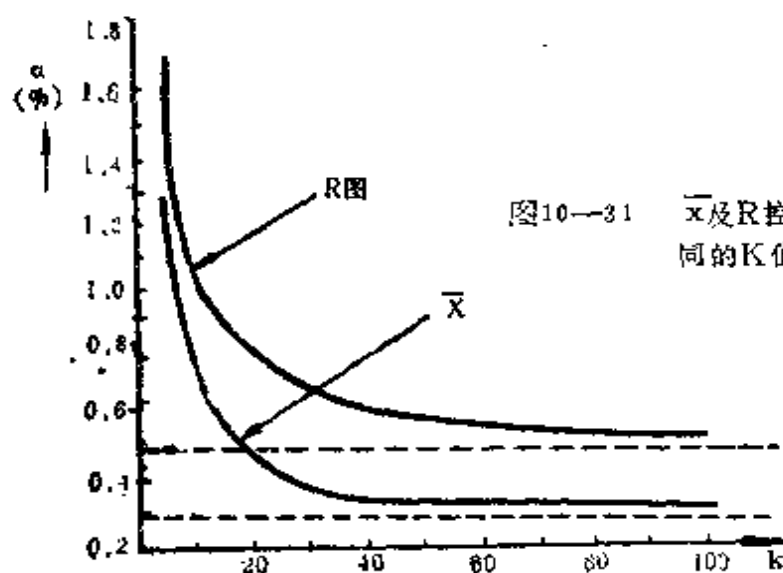


图10—31 \bar{x} 及R控制图 $n=5$ 时, 不同的 K 值所对应的 α 大小

但是，抽取无穷多个样本组，这实际上是不可能做到的，因此，在实践中，一般取20—25个样本组，以使发生第一类错误的概率同理论分析值的差别不至于太大。

五、 3σ 控制界限的经济性

前面已经叙述过，当用控制图来判断生产过程的状态时，要犯两种错误，而在生产实践中，我们总是希望这两类错误都尽可能小才好。如果孤立地看某一种错误，两种错误的任何一种都可以避免，但是完全避免两类错误却是不可能的，减少第一类错误，即扩大控制界限，就会增加第二类错误，反之，要减少第二类错误，即缩小控制界限，这样一来，就会增大第一类错误，问题在于如何将两类错误所造成的总损失控制在最小限度。也就是说，因产品出现在控制界限之外就错判为总体发生异常，而采取措施所造成的损失（第一类错误的损失），以及因产品在界限内而未判断出总体发生异常，而未采取措施所造成的损失（第二类错误损失），两者的损失之和为最少的地方，应是控制界限所在之处。图10—32就表示出这种关系，如以 $\frac{1}{2}$ 上下控制界限的距离 S 代表横坐标，以损失

C 代表纵坐标，并以 C_1 和 C_2 分别表示第一类错误和第二类错误的损失， C_r 表示两类错误损失的总和。 3σ 处就是损失合计曲线的最低点，这样确定的控制界限可以最经济，最有效地控制生产过程的质量。因此，具有 3σ 控制界限的控制图应用最为广泛，所以在一般情况下，如无特殊的经济上或其

它方面的原因去选择非 3σ 控制界限的话，最好采用 3σ 控制界限。

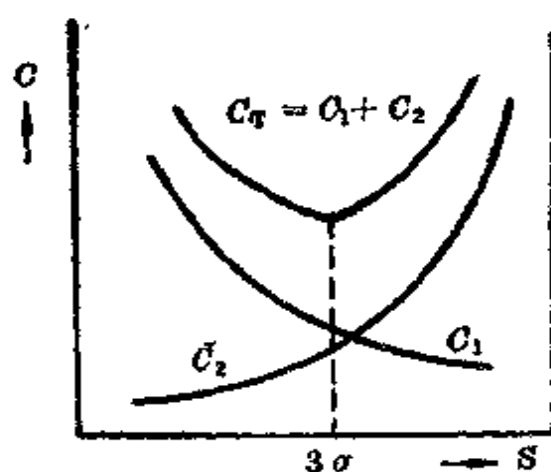


图10—32 3σ 控制界限的经济意义

当然有时从利用控制图作为控制生产过程的工具的角度来看，不用 3σ 界限更为经济。现仍以前面叙述过的 \bar{X} 控制图为例来说明这一问题。

从式(10—5)和式(10—8)在 $\delta\sqrt{n}$ 一定时，可知，当 B 变大时， α 变小， δ 变大（因为 $\phi(-B-\sigma\sqrt{n})$ 变小， $\phi(-B+\delta\sqrt{n})$ 变小，所以检出力 P 变小），反过来，当 B 变小时， α 变大， β 变小，表10—13给出了 $n=4$ ， $\delta=2$ 时， β 与 B 的关系。

表10—13 $n=4$ $\delta=2.0$ β 与 B 的关系

B	1σ	1.5σ	2σ	2.5σ	3σ	3.5σ	4σ
β	0.0013	0.0082	0.0228	0.0668	0.1587	0.3085	0.5000

因此，在生产实践中，根据需要究竟采用哪一种控制图可以灵活掌握，对于 α 可以取的比较大的情况下，例如，一旦有点子跑出控制界限之外，就可立即查出来生产过程是否有异常发生，而且这种检查的代价又很小时，可取较小的 B （如 $B = 2, 1, 5 \dots$ ）以减小 β ，提高控制界限的灵敏度；反之，如果检查生产过程是否有异常原因时，所付出的代价较大，并且，因为生产过程有些异常而造成的损失相对较低的情况时，可取较大的 B （如 $B = 3, 4, 5 \dots$ ）以减少 α ，这样来考虑问题是比较经济的。

第三篇 新QC七种工具

第十一章 关系图法

第一节 什么是关系图法

关系图法也称关联图法，它是把几个质量问题及其主要影响因素的因果关系用箭头连接起来，从而找出主要因素的一种方法，基本图形如图11—1所示。图11—1表示许多个质量问题之间的原因——结果，或目的——手段等复杂关系互相缠绕的问题，用箭头连接起来，表示其逻辑关系。

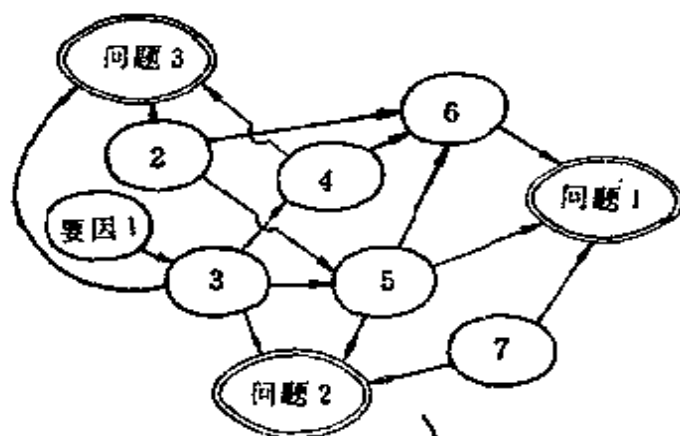


图11—1 关系图的基本型

在现代企业管理中，必须注意解决产品质量，降低成本，缩短交货期，节省资源和能源，产品责任，防止公害，提高自动化程度等许多重大课题。然而，涉及

这些问题的主要因素之间的关系，极为复杂，不能按常规的办法，只依靠一个人或少数的几个人，一个一个地找出这些因素，去解决问题，而必须依靠有关部门和有关人员共同协作，广泛地有成效地进行工作才能解决。关系图就是与此相适应所提出来的一种方法。

第二节 关系图的类型

一、按其应用方式，关系图可分为多目的型和单一目的型两种。

(一) 多目的型 (如图11—4和图11—5)。这是一种用于解决两个以上目的的关系图。例如，用于推行全面质量管理、方针目标管理和改进业务等，它对于解决多种目的的问题是非常有效的，它可以发挥其它方法所没有的特长。

(二) 单一目的型 (如图11—2和图11—3)。这是一种用于解决单一目的的关系图。例如，用于减少不良品，防止索赔措施或缩短日程等。

二、按图形结构分，可以分为中央集中型、单向汇集型、关系表示型和应用型四种。

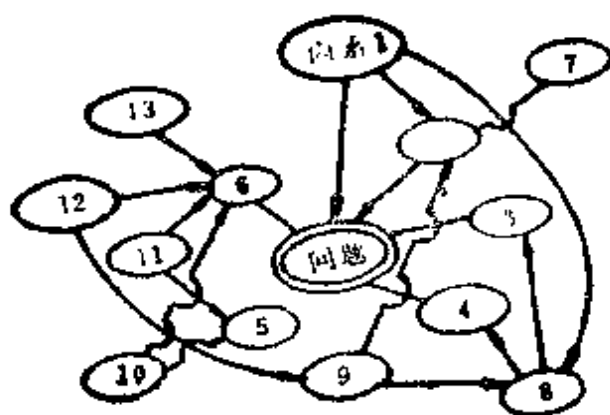


图11—2 中央集中型关系图

(1) 中央集中型(单一目的型)。这种图型是把重要项目或应解决的问题尽量放在中央位置，从和它们关系最密切的因素开始，把有关的各种因素从近至外排列在其周围 (如图11—2所示)。

(2) 单向汇集型(单一目的型)。这种图型是把重要项目或解决的问题放在右侧 (或左侧)，将各因素按主要

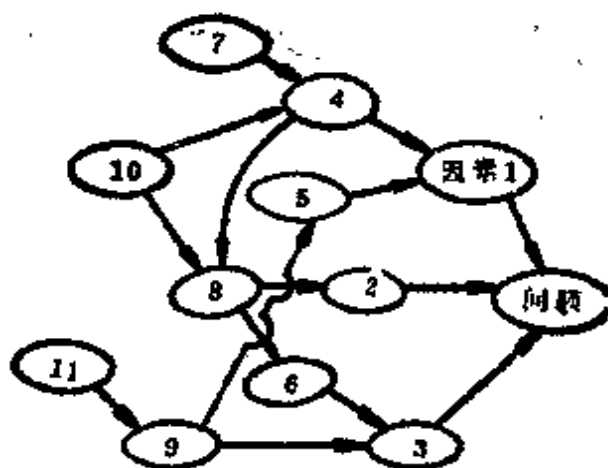


图11—3 单向汇集型关系图

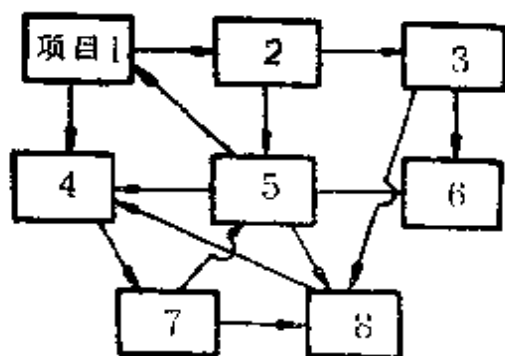


图11—4 关系表示型关系图

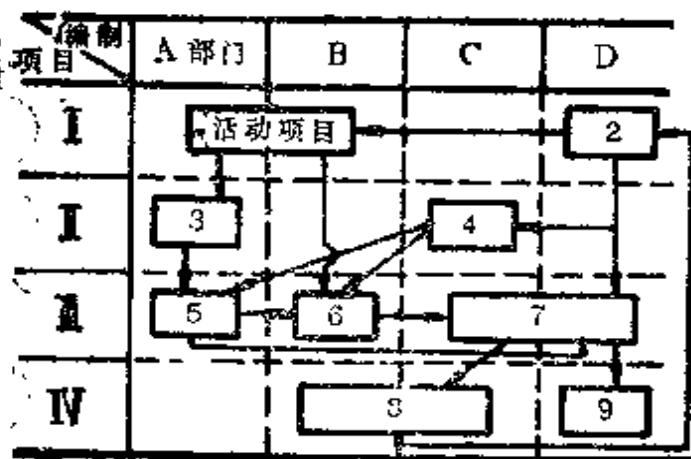


图11—5 应用型关系图（例1）

的因果关系的顺序，尽量从左侧（或右侧）向右侧（或左侧）排列（如图11—3所示）。

（3）关系表示型（多目的型）。

这种图形的主体是用来简明地表示各种活动项目之间、因素之间或因果之间的关系，这种图形在其排列上较为灵活（如图11—4所示）。

（4）应用型。这是以上述三种形式为基础而加以组合运用的关系图。例如，

1. 在关系图的外框栏目排列有职能部门，工序名称或原材料、机械设备、工人、操作方法及环境等五大

因素等等（如图11—5所示）。这种图形为多目的型。

2. 在系统展开的过程中，将各因素间的关系用箭头表示出来（如图11—6所示），这种图形为单一目的型。

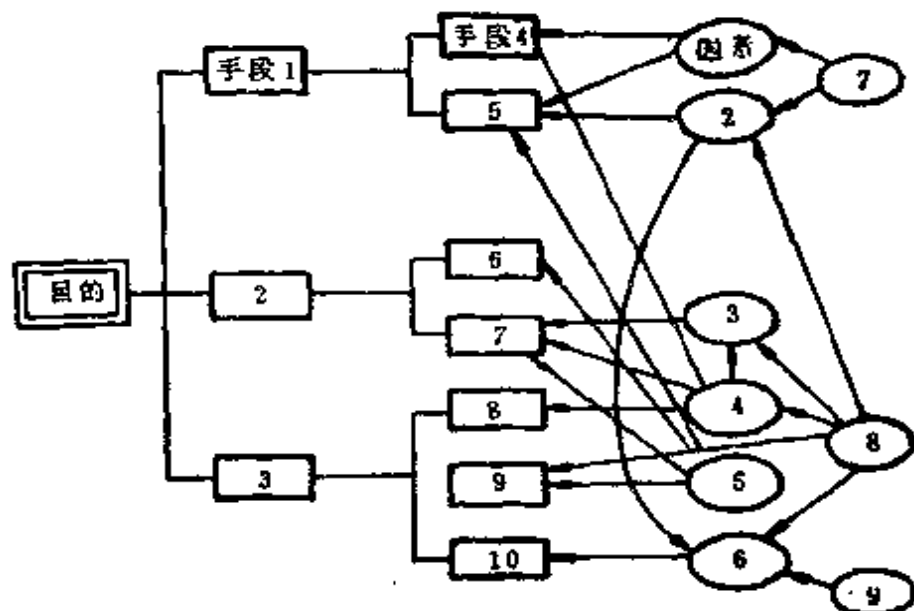


图11—6 应用型关系图（例2）

第三节 关系图的绘制和注意事项

一、关系图的绘制

随着课题不同，绘制步骤也不尽相同，一般绘制步骤如下：

（一）组织与达到目标有关的小组。例如，应用于目标展开时，可由有关部门领导人和工作人员组成小组。

（二）确认存在的问题。

（三）让小组成员自由地提出与存在问题有关的因素（包括原因、理由和个人的看法等），即使对这些因素判断

不准也没有关系。

(四) 用简明而确切的语言规定出存在问题 和各因素的名称。因素用() 或 [] 圈起来, 达到的目标或存在的问题用 ⊙ 或 [] 圈起来表示。

(五) 确定存在问题和各因素间的因果关系, 并用箭线连接起来。箭头的指向原则是: 对原因——结果型, 从原因指向结果; 对目的——手段型, 从手段指向目的。但是, 有时为了达到A目的而必须采取B手段时, 把箭头从A指向B, 使人更容易理解。也就是说, 可根据具体问题, 把箭头指向相反方向。所以在制作关系图时, 必须由小组预先规定箭线的指向和意义。

(六) 统观全局, 讨论确认是否是这种因果关系。如有遗漏项目, 还可以进行补充和修改。

(七) 把重要问题或重要因素用影线、双重线或粗线清晰醒目地标出来。

(八) 制订相应解决重要问题的具体措施计划。

(九) 修改关系图。随着情况和环境的变化, 应当相应地修改关系图, 以使管理活动经常处于最佳状态。

二、制作和应用关系图的注意事项

(一) 应尽可能广泛地搜集情报, 听取多方面的意见, 集思广益, 抓住问题。尤其是直接听取现场工人的意见。

(二) 各种问题和因素的名称一定要找准, 应尽可能用准确而生动的语言来表示, 并且尽量按原意, 以短语、短句来表达。

(三) 要发挥集体力量, 发动小组成员反复琢磨, 反复

研究进行作图。逻辑关系一定要搞清楚。

(四) 要反复地对图形进行修改, 为了找出重点项目, 这项工作最好由质量管理人员去做。

(五) 要善于找出诸因素中的最主要因素。

第四节 关系图法的用途及应用实例

一、关系图法的用途

关系图法, 不仅用来解决质量管理和企业管理活动中的各种问题, 而且还可以应用于社会现象的分析, 在此, 仅就质量管理方面来说明其用途。

- (一) 用于企业制定推行全面质量管理的计划。
- (二) 用于制定质量管理和质量保证的方针及其展开。
- (三) 用来制定生产过程中减少不合格品的措施。
- (四) 用来寻求解决索赔意见的相应措施。
- (五) 用来制订质量管理小组的活动规划。
- (六) 改进企业各部门的工作。
- (七) 用来寻求解决工序管理上的各种问题。

二、关系图法的应用实例

(一) 多目的型实例

1. 在方针管理中的应用

图11—7是科一级规模的方针实施项目简单关系图的例子。从图可知, 研究外协件的供应问题有助于确保作业稳

定。另一方面，要提高外协件的质量可给予外协厂以技术或质量管理方面的指导，经过指导质量仍不能提高时，可考虑转至本厂生产。这时，改为自制就会提高生产效率，但必须相应的及早充实设备，备齐标准文件，训练工人等工作。图11—7所列项目还不够完全，仅仅是一部分项目，但是作出这种关系图就可以明确部门的方针与实施项目。

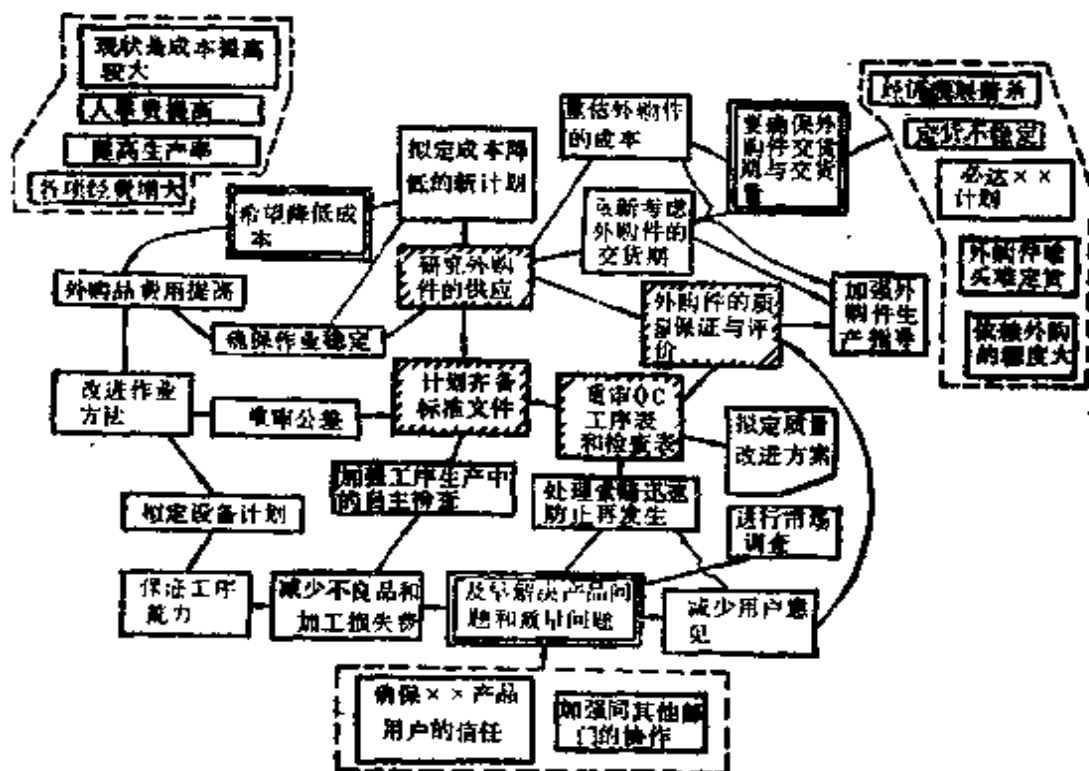


图11—7 方针与实施项目关系图

2. 开展全面质量管理活动

在开展全面质量管理活动时，企业各有关部门都应按照企业的领导方针进行协作。在这种情况下，会涉及到质量、成本和人员等一系列复杂的因素。在各企业中，可不拘形式地作成如图11—8所示的关系图，这对于确保全面质量管理方向是有好处的。

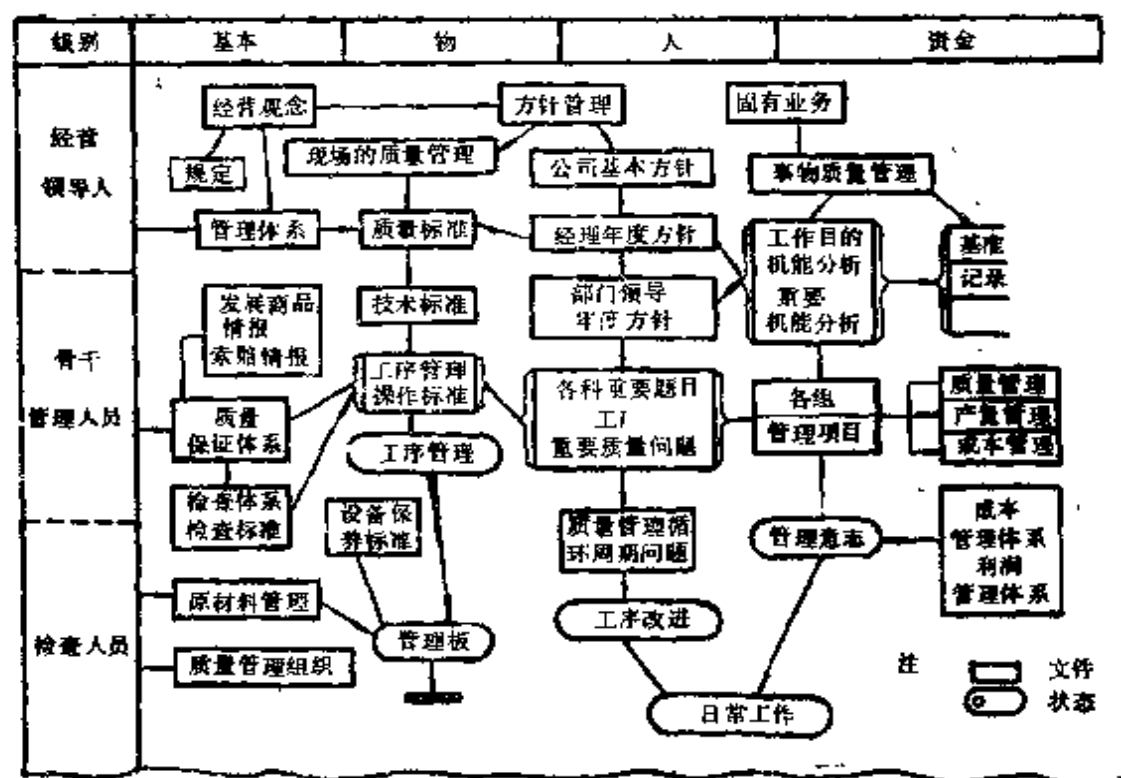


图 11—8 实施全面质量管理内容的关系图

(一) 单一目的型实例

1、减少在制品流失

某厂针对在产品非正常流失问题进行了广泛调查，并召开了“在制品流失”问题因果分析会，为了找出主要因素，采用了关系图法。在分析会上，根据调查材料提出了24个在制品流失有关的因素，其中有5个因素与流失有直接关系，见图11—9。

将5个因素分别绘制关系图，得到了一个关系图群，见图11—10① ② ③ ④ ⑤，检查24个因素有无遗漏，然后将5个图中的公共因素用符号标明，例如：思想不重视，其中① ② ⑤表示该因素在关系图群中的第① ② ⑤

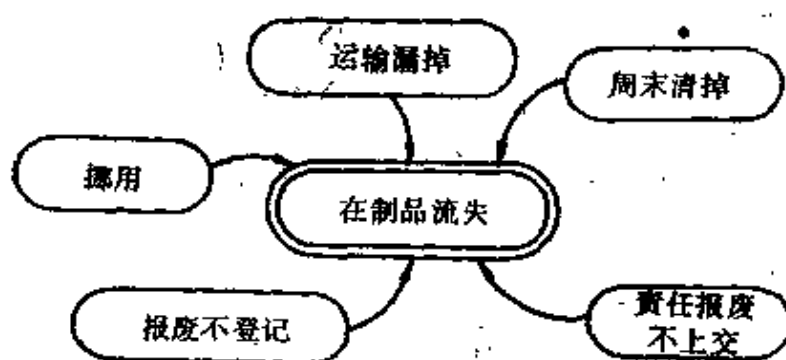


图11-9

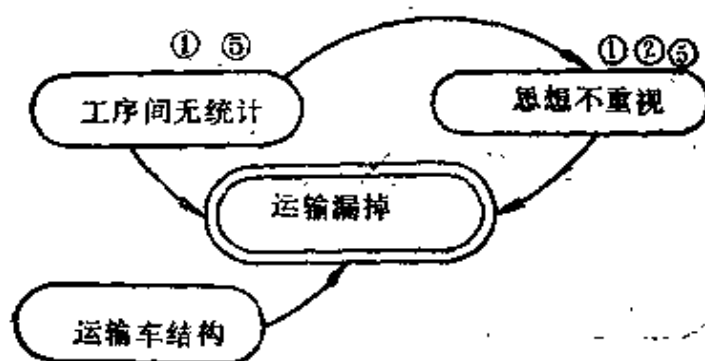


图11-10 ①

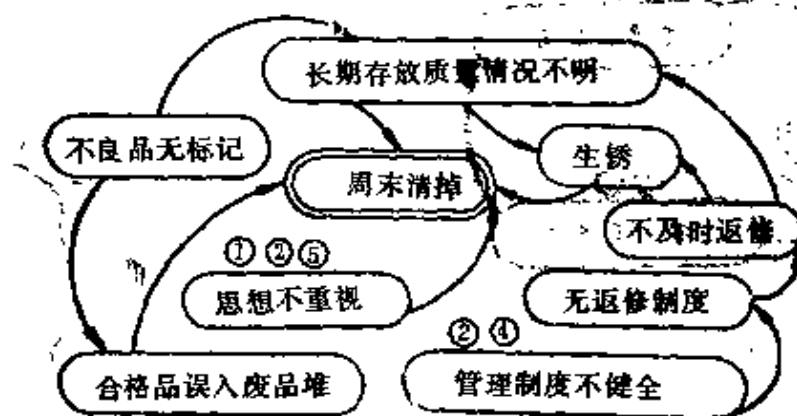


图11-10 ②

图中重复出现，最后绘出关系图，见图11-11。

绘制图11-11时要注意把图11-10中的①②⑤③④和②④图尽量排在一起，并将公共因素放在它们的中间。

采用关系图群和关系图法具有以下几个优点：

(1) 由于进行了分解，便于掌握错综复杂的事物间的相互关系；

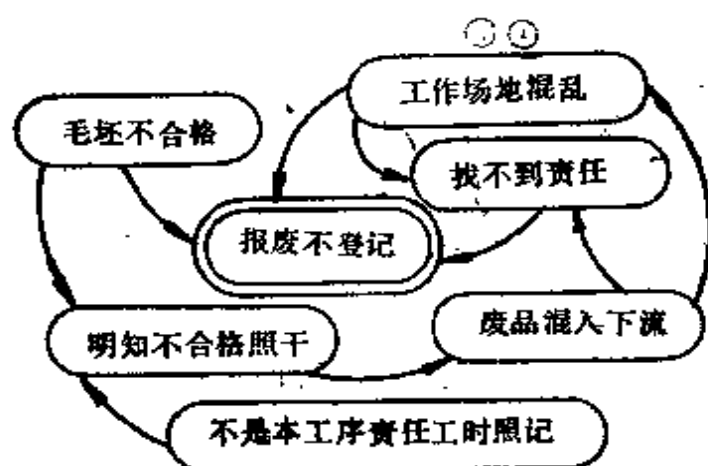


图11—10

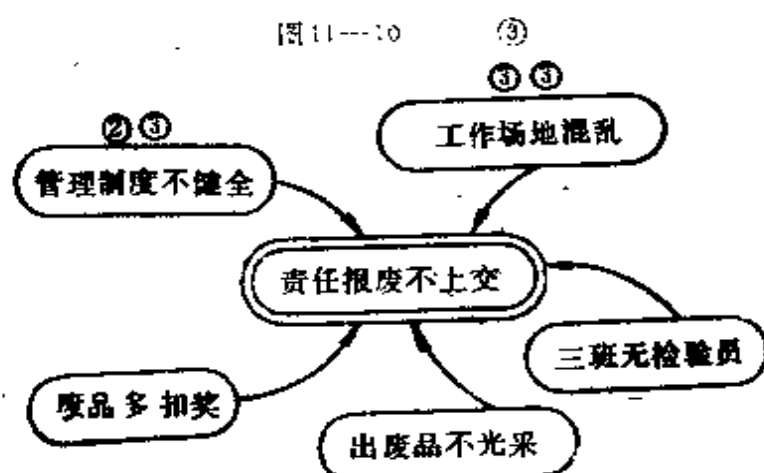


图11—10

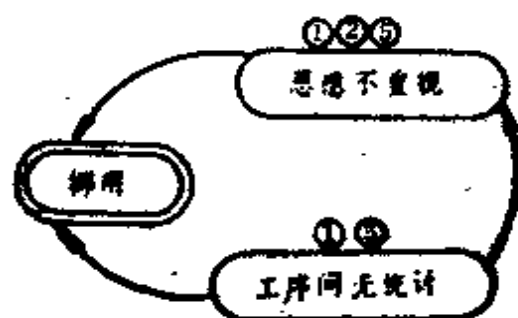


图11—10

(2) 配合实际情况很容易找到主要因素;

(3) 大大缩短了关系图的绘制时间;

(4) 画出的关系图清晰美观, 箭头线交叉较少。



图 11—11

2. 减小产品特性的误差

某油毡厂就该厂生产的油毡卷重过重超差进行了研究，他们分析了影响卷重偏差的因素，制成了如图 11—12 所示的关系图。经过进一步分析，结论是主要因素为工艺因素（包括涂油、轨辊转速、原纸克重）和设备因素，其次是操作因素和卷长误差。

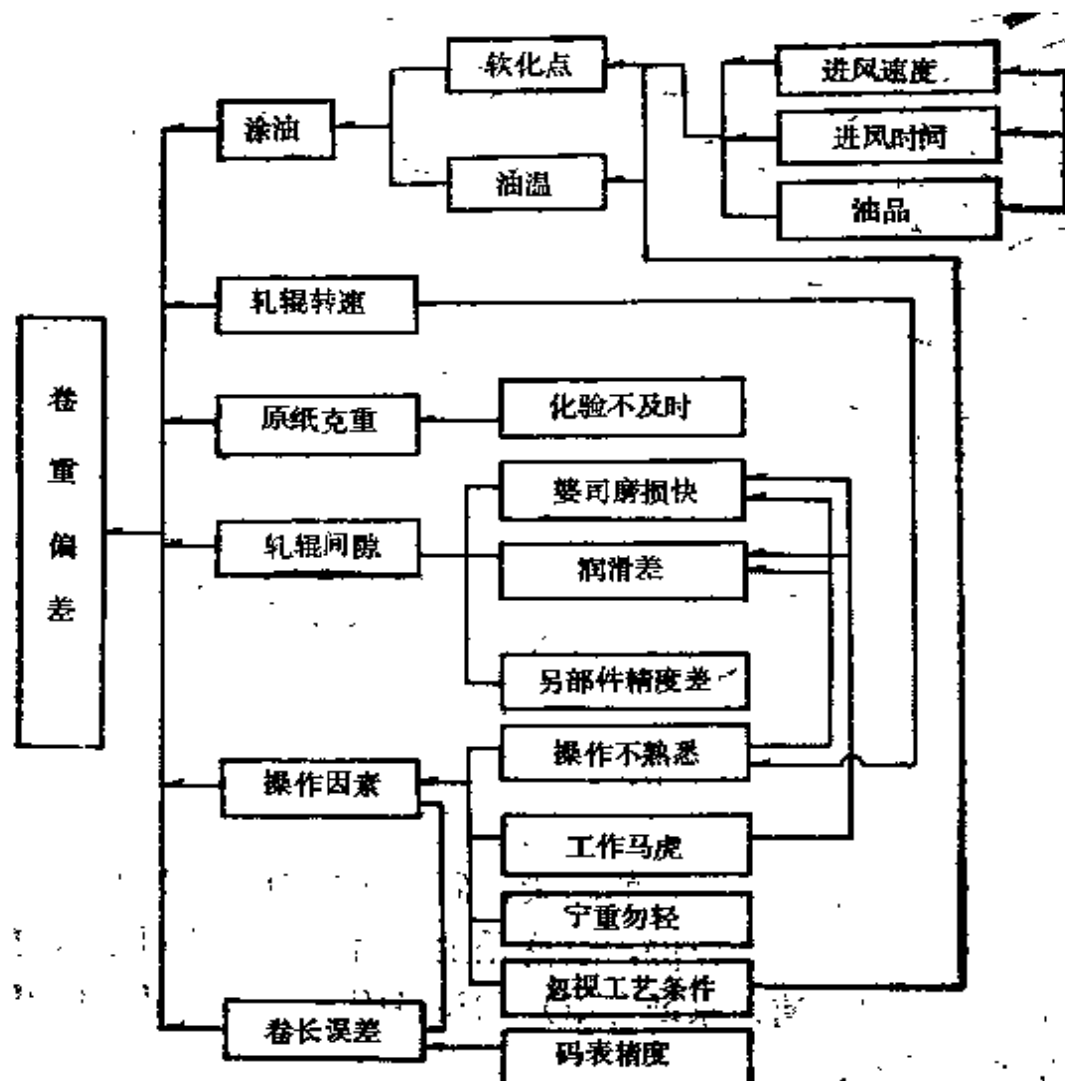


图11—12 影响卷重产生偏差的关系图

第十二章 KJ法

第一节 什么是KJ法

KJ法是将处于混乱状态中的语言文字资料,利用其间的

内在相互关系（亲和性）加以归纳整理，然后找出解决问题的方法。这种方法不是用数据说明问题，而是用文字说明问题，是在讨论问题时，充分吸收参加者的经验、知识和想法等，由文字和语言对所表达的内容加以整理，从而达到思想统一、意见一致的解决问题的方法。

KJ法的主体方法是A型图解（也称亲和图affinity diagram）。所谓A型图解，简单说来，就是未知或未经检验过的（包括未来）领域中的混乱问题，搜集其事实、意见及设想等方面的语言文字资料，然后利用资料间的相互亲和性作成归类合并图，进而从中找到所要解决的问题。

表12—1 KJ法与统计方法比较表

KJ法	统计方法
1. 发现问题型。	1. 假设检验型。
2. 不把现象数量化，而是用语言文字形式掌握问题。	2. 把现象数量化，依靠数据资料掌握问题。
3. 抓综合，谋求不同性质问题的综合。	3. 抓分析，分清层次。
4. 从概念出发进行归纳。	4. 用数据统计方法推理。
5. 以本国语言文字作为思考基础。	5. 欧洲式的思想方法。

KJ法是日本川喜田二郎 (kawak itajiro)氏所发明并普及起来的。KJ为“川”、“二”两字的字头。

KJ法同质量管理中的统计方法相比较，有表12—1所示之不同的特点。

KJ法是累积使用A型图解来解决问题的，故这里重点介绍A型图解。

第二节 A型图解的绘制

A型图解的绘制步骤如下：

一、确定课题。首先，必须明确这种方法只能用于需要时间、慢慢解决、不容易解决和非解决不可的问题，不适用于简单的需要迅速解决的问题（如图12—1）。

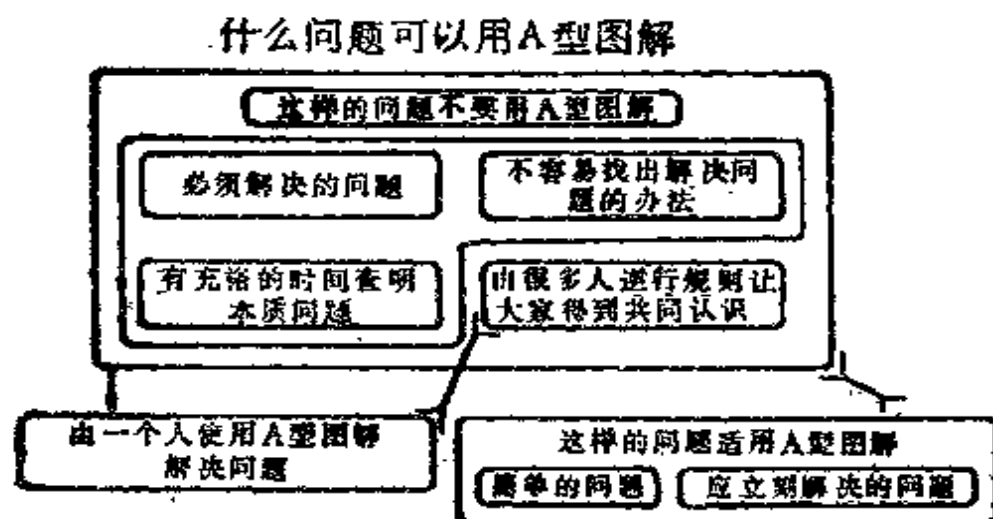


图12—1 适用A型图解解决问题图

二、按照客观的事实，找原始资料 and 思想火花，收集语言资料。

收集语言资料有以下方法（如图12—2）：

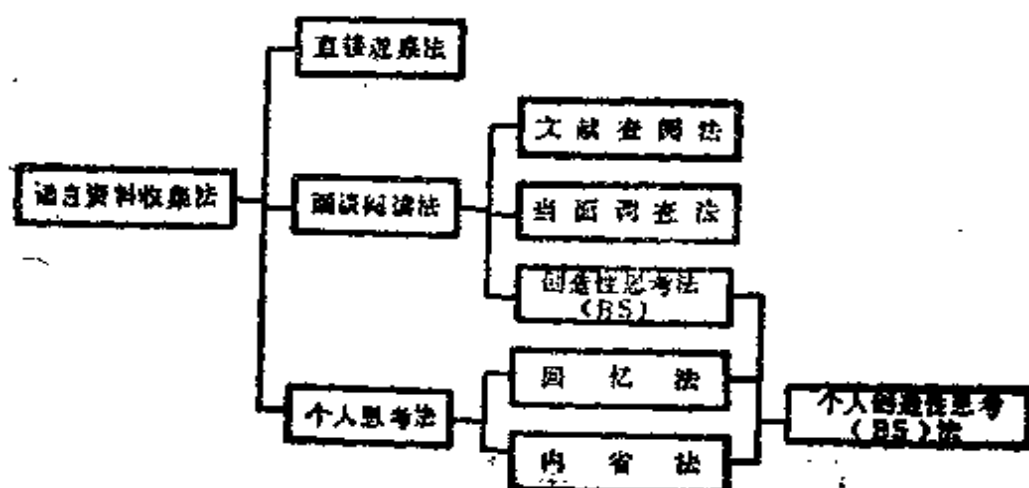


图12—2 语言资料收集法

(一) 直接观察法。

直接观察法是指亲自到现场去看、去听、亲手去摸，直接把情况掌握起来，增强感性认识。全面质量管理是根据事实进行管理，十分重视掌握事实。而KJ法更是强调掌握事实的重要性，所以，用直接观察法收集语言资料是极其重要的。

(二) 面谈阅读法

面谈阅读法包括查阅文献资料、直接征求别人的意见和启发多数人构思的集体创造性思考等方法。因为，直接到现场去接触实物是有限度的，所以，为了广泛地收集情报，这种间接方法也是有效的。并且征求别人的意见或新构思也只有用这个方法。

文献查阅法和当面调查法是众所周知的方法，在这里就不作详细介绍了。这里，着重介绍头脑风暴法。

头脑风暴法的英文是“Brain Storming”，简称BS法，所以，头脑风暴法又叫做集体BS法。它是一种集体创造性的讨论方法，运用这种方法，必须遵守以下基本规则：

(1) 禁止批判：不准批判和反对别人的发言内容。

(2) 解放思想：要尽情地想象，自由地发言。

(3) 欢迎多提：观点和看法越多越好。

(4) 结合改善：与别人的意见结合起来，以谋求使自己的想法得到改善，而且应该符合他人发言的方式发表意见。

其实，我们也经常采用集体讨论的方法，谋求某个问题的解决，但是，往往收不到成效，其主要原因是：

(1) 对要解决问题的重视程度和紧迫感不足。

(2) 事先没有很好收集资料，仔细思考，也没有准备好自己的观点和想法。

(3) 发言少，提不出观点。

(4) 没有解放思想，不能打破常规，框框多。

(5) 只是一般性的抽象的发言，作为语言资料没有用处。

为了弥补这些缺点，必须做到：

(1) 领导必须事先出“安民告示”，对参加会议的人讲明意图，提出课题，使他们具有出谋划策的意识。

(2) 如果发言少，可每次只对一件事情发表意见，直到能提出好的想法为止。

(3) 领导要对参加会议的人讲明，不抓辫子，不打棍子，让大家解放思想，自由奔放地发表自己的想法。

3. 个人思考法，（个人BS法）

个人思考法包括以自己对过去经验为题材的回忆法和针对课题探索自己内心状态的内省法。个人BS法（一个人进行的创造性思考法）作为回忆法和内省法的一种手段是十分有效的。

所谓个人BS法，就是运用集体创造性思考法的原理，由一个人进行思考，也叫做“记笔记思考法”。即边思考，边把想到的东西记在笔记本上，然后，再反复阅读所记的笔记，以它作为促进扩展思路的提示。如果不用笔记本帮助思考，就会始终在同一个事情上兜圈子，或者毫无方向、漫无边际的胡思乱想，会毫无结果。由于用了笔记本，适当地限制了思考的范围，就可避免这种现象。记笔记还可以促进人的思考效果。另外，在记笔记的过程中，如果进行不下去时，

就停下来休息或通过做其它工作，从中得到启示。

可根据A型图解的不同用途和目的，采取不同的收集语言资料的方法（详见表12—2）。

表12—2

资料种类 使用目的	直接 观察法	文献 查阅法	当面 调查法	BS法	回忆法	内省法
认识事物	●	△	△	△	○	×
确立思想	○	○	●	○	○	●
改变现状	●	○	○	●	●	●
提出新理论	△	●	●	×	○	○
促进协调	×	×	×	●	○	○
贯彻方针	×	×	×	●	○	○

●经常使用 ○使用 △不太使用 ×不使用

三、语言资料卡片化

把收集的语言资料，按内容逐个分类，并分别用独立的简洁的语言写在一张张卡片上（这种卡片也叫做KJ标签，类似中学生记英文单词的卡片）。注意不要用抽象化或呆板的语言表述，而应该尽量采用生动的能反映事实的带有“乡土味”的语言表达。如果抽象化，在下一阶段几乎就会失去任何作用。

四、整理、综合卡片

把卡片汇总在一起以后，将其全部卡片按顺序展开，然后，反复读数次，先竖读，再横读，用一定的时间，全部看几遍。在阅读卡片的过程中，要把那些内容相似或比较接近

的卡片汇总在一起。也就是说，要按卡片内容的相近性而不是按理智（主观意志）进行分类、综合。但是，头脑中要有一个分类的思路，根据这个思路将卡片分类。这与邮局的投递员在分信时，把信件投入分信架的情形有点相似。至于分类方法，可以用矩阵图法，也可以用系统图法或关联图法。

五、制作标签卡片

按相近性将卡片分类、综合后，接着就要制作标签卡片。即对内容相似的卡片组，要找出能反映出该卡片组内容的简单的表达形式，把它写在一张卡片上，作为“标签”。制作标签卡片的关键是不能失掉原卡片组的原意，而并要生动如实地表达出来。不能表达原卡片组上没有的内容，更不能使表达的内容抽象化。标签卡片制好以后，要把一组卡片归拢起来，放上标签卡片，用夹子或象皮筋捆起来。可以把捆起来的带有标签卡片的卡片组，当作一张卡片对待，继续进行综合卡片的工作。

六、制图

在整理、综合卡片时，总会留下一些无法归入任何一组的卡片，叫做“号外”卡片。因为没有理由勉强地把这些卡片放到任何一组去，所以，可把它按原样放在那里。当卡片组多达10组（有孤立卡片也作为一组）时，可继续按各阶段编成组。

编组工作结束后，把它们的总体结构用容易理解的图形来表示。为此，要把最终收集起来的卡片组，安排在最能使入理解的相应位置上，进行展开排列，并按照既定的位置，把这些卡片贴在道林纸上，用适当的符号画出卡片的相互关系。

七、按照思路，进行口头发表或写成文章。

口头发表是一边看A型图解，一边按结构图解的内容进行讲解。在讲解时，需要知道每张卡片的意思，并说明自己所理解的观点。

写成文章、论文、报告，这就是一边看A型图解，一边不断构思结构，使之文章化。要不断记下对各种资料的解释，把新的构思也编入到自己的构思结构中去。关于事实的记述要用“是”、“有”，在解释时用“我认为”、“似乎”这样的词，以示区别。

第三节 KJ法的用途

KJ法的用途有以下几点：

一、用来认识事物

在未知和没有经验的情况下，事情是杂乱无章的，有哪些情况？还很难弄清楚。因此，必须把每一个事实弄清楚，然后，了解它们具有怎样的关系。例如，在不掌握市场需求的情况下，要了解用户对本企业生产的新产品的反映；或者当某一个厂长被委派去一个新厂或老厂工作时，要掌握该厂的经营、管理情况等，均可应用KJ法。

二、用于归纳思想，提出新的方针

对于未知或无经验的领域来讲，开始几乎提不出来任何意见和看法。这就要从零开始，总结归纳自己的思想和见解，提出新的方针。例如，每接受一项完全新的任务时，对完成这项新的任务，要提出一个新的方针，可以用KJ法。

三、用于改变现状，提出新的方针

在旧有经验基础上形成的观念，会阻碍事物的发展。只有打破现状破除传统观念，才能创造新的观念。具体程序是：首先，破除传统的固有观念体系，然后，在此基础上，使用A型图解，重新确立自己的思想，提出新的方针。

四、用于提出新的理论

这就是阅读前人的著作、论文，而制成卡片。然后再把卡片分解，重新混合后，用A型图解归纳出新的论点。这样就可以在采用他人的意见和观点的同时，形成自己独立的观点，提出新的理论。

五、用于促进协调，统一思想

为着共同的目的，时常需要将一些人编成小组。小组成员都提出自己的经验、意见和想法，并将这些资料制作成卡片为大家所共有，然后各小组成员再使用A型图解整理出自己的看法。当每个成员都根据A型图解表明自己的想法时，自然就促进了相互了解与合作，有利于整个小组协调一致而又有生气的工作。

六、用于贯彻上级方针

领导者、管理人员向下级贯彻意图和方针时不能靠强迫命令，必须让下级能自觉地接受。为此管理者应亲自参加下级的集会并积极发表看法，然后，将通过集体讨论获得的语言文字资料整理成A型图解，这A型图解给出管理人员的方针

和意图，然后再以口头形式向下级传达。听取了下级的意见后，再重新作A型图解（修正自己的方针和意图），然后再次以口头形式向下级传达新的方针与意图。如此可使管理者的方针得以彻底贯彻。

第四节 KJ法的应用实例

例1：如何搞好QC小组活动？

这个例子是某企业以“如何搞好QC小组活动”为题，采用集体创造性的思考法，归纳总结出来的A型图解（如图12—3）。

但是，我们应该明确即使是同一课题，如果参加集体创造性思考的人员不同，收集的资料（卡片）就不同。如果资料不同，即使由相同的人作图解，而作出的A型图解也不会一样。

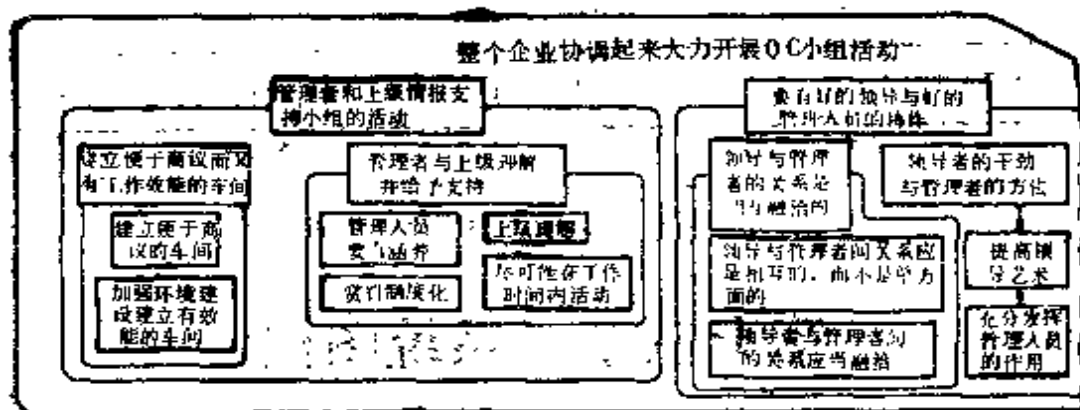


图12—3 如何搞好QC小组活动

例2：如何提高国产自行车质量？

图12—4为讨论如何提高国产自行车质量的A型图解，

通过召集有关人员座谈讨论，为改进自行车质量、降低成本提供了大量的语言资料。

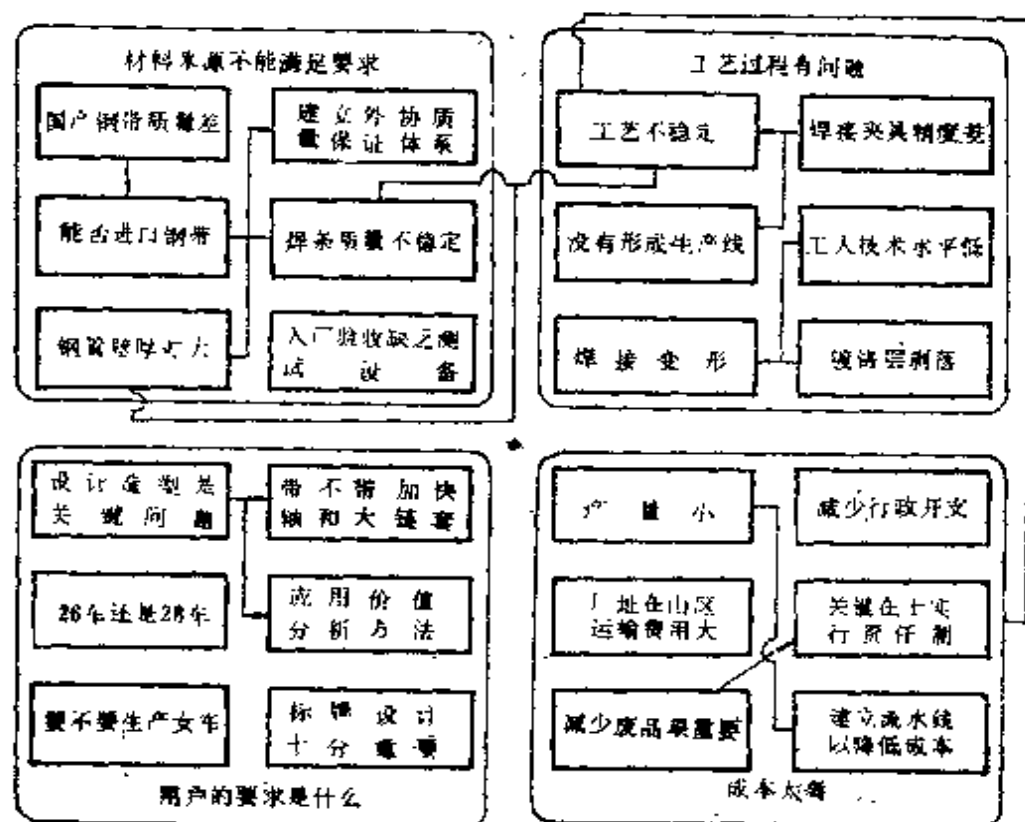


图12—4 如何提高国产自行车质量

第十三章 系统图法

第一节 什么是系统图法

系统图法是一种系统地找出达到目的（或目标）的最好手段（或措施）的方法。其工具是系统图。就是通常使用的树

形图或框图，所以，系统图又称为树形图。它是将价值工程中的机能分析所用的功能系统图，应用到全面质量管理的一种图形方法。

为了达到某种目的，就要采取某种手段。为了实现这一手段，又必须考虑下一水平的手段，这样，上一级水平的手段，就成为下一级水平的目的。图13—1简单地说明了系统图的概念。利用这一概念，把达到某种目的所必须采取的手段，按顺序层层展开，作成图形。这样，就能对全部问题有一个全貌认识，不仅能明确问题的重点，而且能找出达到预定目的需要采取的最好手段和方法。

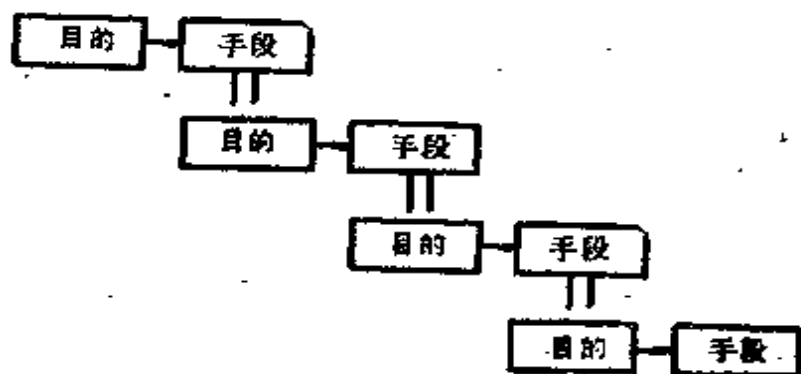


图13—1 系统图法的概念

在系统图法中，所用的系统图大体上可以分为两大类：一类是把组成事项的因素展开为目的——手段关系，称为“构成要素展开型”，一类是把为了解决问题和达到目的、目标的手段、措施加以系统地展开，称为“措施展开型”。

一、构成要素展开型系统图

系统图作为一般因果图使用，还不能表现出它的优越性。当进一步确定保证质量特性部署时，采用构成要素展开型系

统图，就能得到比较满意的回答（见图13—2）。

当构成要素展开型系统图作好之后，还需要请有关单位和人员，再次对这个图进行讨论，并按质量保证部署中，各自承担的责任，再进行调查各要素的影响程度以及采取措施后，所能解决问题的程度。

在现代化的企业中，关键的质量特性往往是与很多部门有关。采用系统图分析原因，一方面能够使改进措施脚踏实地落实，同时还可以发现从前没有认识到的因素，使围绕质量特性的各环节都运转起来。

由图13—2可以看出，采用构成要素展开型系统图，不但能明确地把影响质量特性的各原因在图上表示出来，而且最低一级的手段落实，也有具体安排，这样，系统图的作用不只是分析原因，而且还可以在质量保证活动中，应用于解决生产中的具体问题。

二、措施展开型系统图

在使用因果分析图中，对各具体措施的可行性的评价，具体实施事项和用数据表达对具体实施的要求等，都不能在图上表示出来，而在实际生产中，往往很需要对改善质量特性的各种措施的可行性以及它对质量改进的可能程度，在同一张图上一目了然。这点也是因果图无法做到的。

采用措施展开型系统图，一方面可把各级原因清楚地表现出来；另一方面，对系统图中最后（最低）一级手段，运用专业知识进行分析，并使数据化，然后对比进行详细评价，并将评价“可”“否”的结果，用符号表示在图上。对回答“可”的，再使之具体化，确定实施项目，逐项进行实施

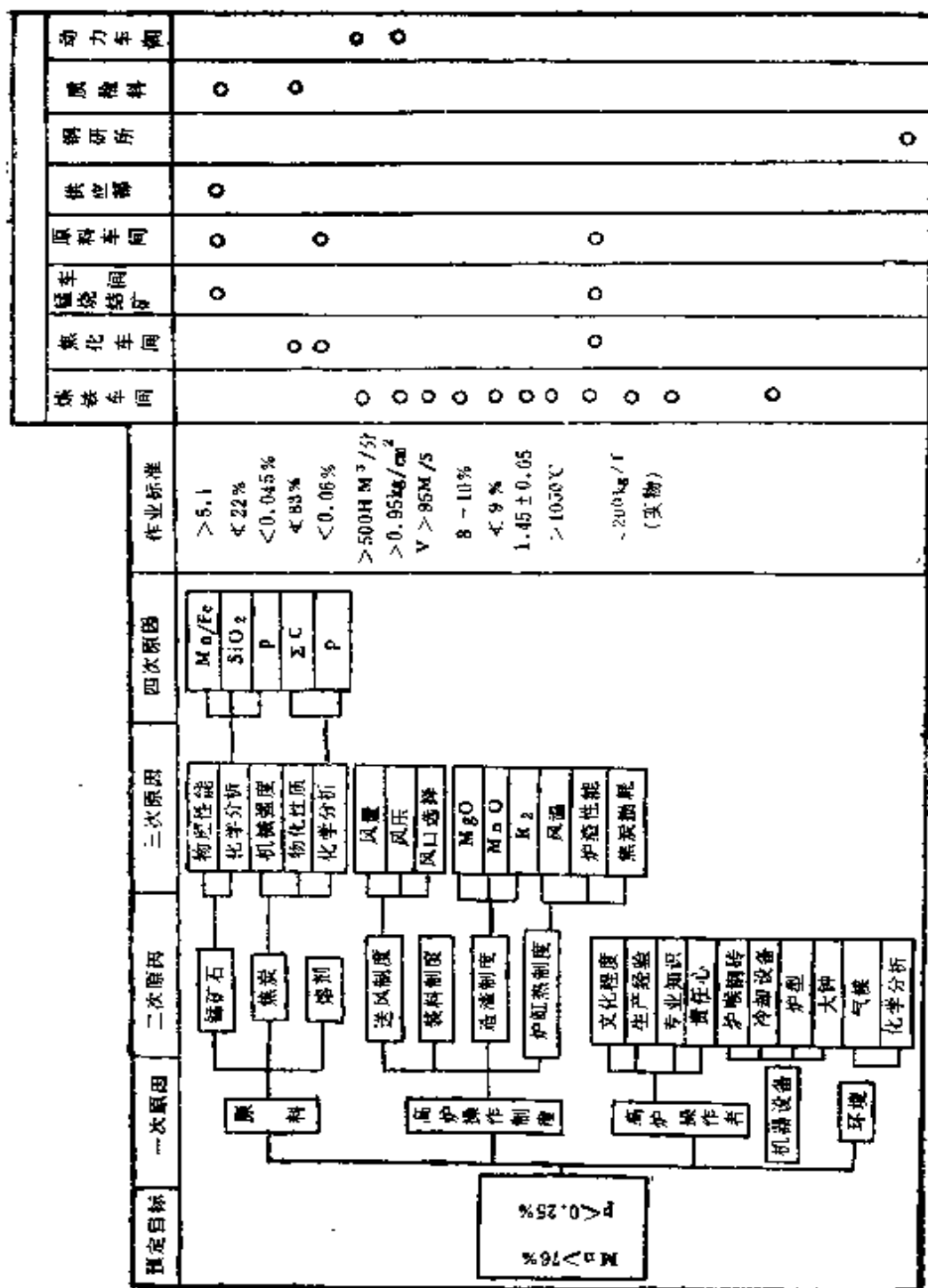


图13—2 构成要素展开型系统图

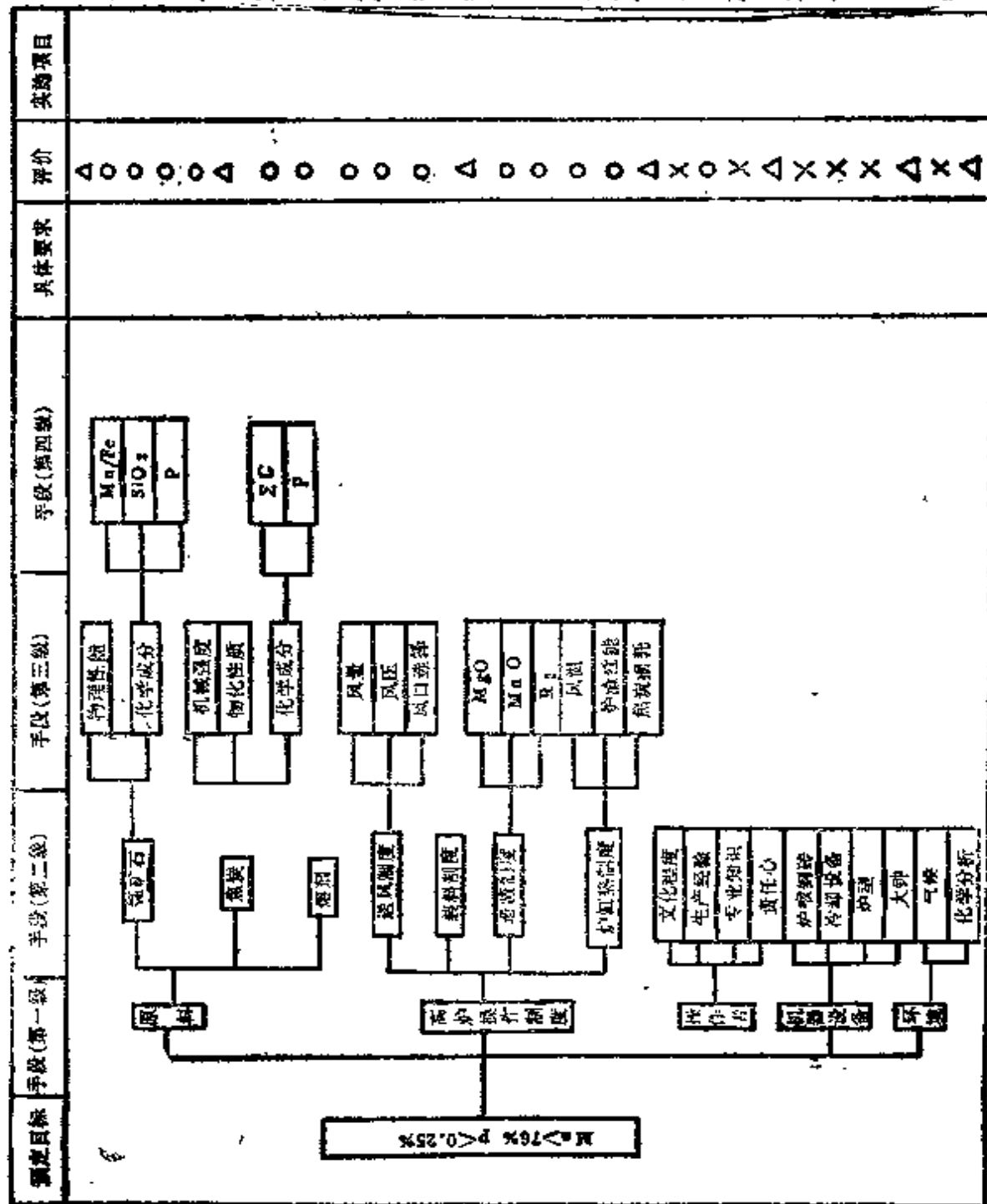


图13—3 措施展开型系统图

见图13—3)。
 例如从高炉操作的
 角度,要
 解决质量
 特性的关
 键措施和
 以往的常
 规工艺是
 不同的。
 进一步分
 析之后,
 采用火法
 富集锰
 (冶炼富
 锰渣)工
 艺加以

解决。这就出现高炉二步法用贫锰矿冶炼优质碳素锰铁的新工艺。

手段和措施实施的结果表明，产品质量完全达到预期的目地要求（见表13—1）。

表13—1

阶 段	锰 铁 成 份	
	[Mn]%	[P]%
试 验 期	78.10	0.219
试 生 产 期	78.03	0.220
生 产 期*	77.78	0.309

*生产期要求[Mn]≥76%，[P]≤0.33%

第二节 系统图的绘制

现仅以“措施展开型系统图”为中心，来说明其绘制步骤。

一、确定具体的目的或目标

要把应用系统图法最终要达到的目的或目标，明确地记录在卡片上。在确定具体的目的或目标时，应该注意：

1. 为了使任何人都能一目了然，必须把目的或目标用名词或短文以简洁的形式表示出来。

2. 在为达到目的、目标的过程中，如果存在着制约事项，必须予以指明。

3. 确定目的、目标时，首先，要对已经确定的目的、目标，问几个“为什么要实现该目的、目标？”

4. 在确认了更高一级水平的目的、目标之后，还要确认原目的、目标是否恰当。

二、提出手段、措施

为了达到预定的目的、目标，必须召开“三结合”会议，集思广益，提出必要的手段、措施，并依次记录下来。提出这种手段、措施的方法是：

1. 从水平高的手段、措施开始，按顺序边想边提。
2. 先提出被认为是最低水平的手段、措施，一边把它们编组，一边按顺序提出较高水平的手段、措施。
3. 不管水平的高低，按随意想到的方式，提出手段、措施。

至于采用哪种方法，要视具体情况而定，不能一概而论。

三、评价手段、措施

要对提出的手段、措施一一进行评价，每项手段、措施是否恰当、可行或是否需要调查之后才能确认。在有限制事项时，不要忘记对该限制事项也要进行评价。

评价用○、▲、×表示。

○：表示可以实行。

▲：表示需要调查之后才能确认。

×：表示不可能实行。

但是，对带有▲的手段、措施，必须通过调查，才能明确是○型还是×型。特别是在进行评价时，需要着重注意：

1. 不要用粗浅的认识进行评价，轻易否定别人提出的

手段、措施。

2. 对这些手段、措施要反复推敲、思考和调查，有许多手段、措施初看是不行的，实践证明是可行的。

3. 愈是离奇的想法和手段，愈容易被否定。但是，实践证明，当离奇的想法和手段实现后，往往效果更大，因此，更要慎重。

4. 在进行评价的过程中，往往又会出现新的设想，要不断补充、完善。

四、绘制手段、措施卡片

把经过评价后提出的手段、措施，用通俗易懂的语言写在一张张卡片上。

五、目的、目标和手段、措施系统化

摊开一张白纸，把绘制的目的、目标卡片放在纸的左侧中间。如有限制事项时，把这一事项记在目的、目标卡片的下方。

目的、目标和手段、措施系统化，就是对目的、目标卡片提出下列问题：

第一，为了实现这一目的、目标、需要采取什么手段、措施？

第二，以上述手段、措施作为目的、目标，为了实现这些目的、目标又需要采取什么手段、措施？

从绘制的手段、措施卡片中，找出能够回答这一问题的手段、措施卡片，把它安排在提出问题的手段、措施卡片的后面（右侧）以下，不断重复第二问题，把绘制成的所有手段、措施卡片按顺序排列在成为“目的”的手段、措施卡片的后面（右侧）。排列结束后，分别按“目的——手段”的关系，用线连接起来，就得到了确定的目的、目标系统图。

六、确认目的

虽然作出了系统图，但是，还需要从“手段”出发，确认上一水平的“手段”（目的）是否妥当。也就是说，首先，对作出的系统图的最低水平（最右端）的手段提出下述问题：

实现这些手段、措施，能否达到高一级水平的目的、目标？

如果回答“行”，那即依次对上一水平的“手段”（目的）提出同样的问题，并且确认所展开的手段、措施能否达到最初所确定的具体的目的、目标。如果回答“不行”，这就意味着所展开的手段，不能实现上一水平的“手段”（目的），就必须增加所缺少的手段、措施。

以上确认后，为达到目

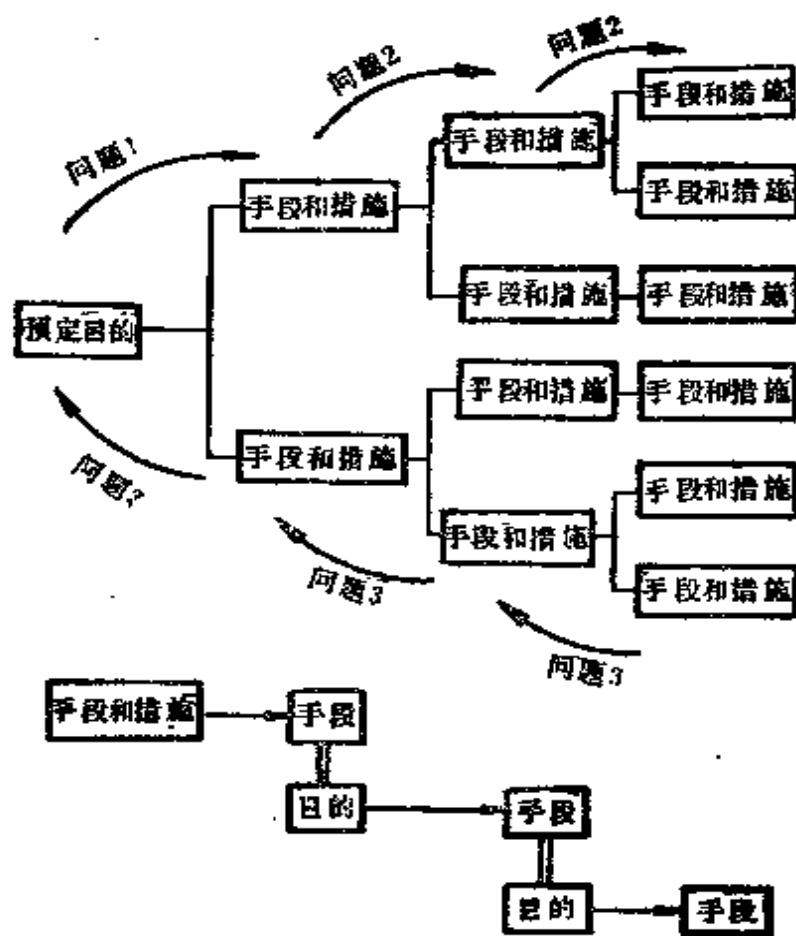


图13-4 系统图的绘制方法

的、目标所必须的所有手段、措施都进行了系统地展开，系统图即告完成。图13—4表示以上顺序的图示情况。

七、制定实施计划

根据上述方案，制订实施计划。这时要把系统图最低水平的手段更加具体化，并决定其具体的实施内容、日期和负责人等。

第三节 系统图法的用途

在全面质量管理中，系统图法不仅是用来明确有理重点和改善实施效果的一种手段、措施的有效方法，而且对企业中的管理人员来讲，在不可缺少的目的——手段思考训练方面，也是很有用的。其主要用途有以下几个方面：

一、用来作为新产品开发中的设计质量的展开。

二、制订质量保证活动计划和建立质量保证体系的展开。

三、可以结合因果分析图一起使用。

四、把解决企业内质量、成本、交货期等问题的相互关系所采取的措施加以展开。

五、目标、方针、实施事项的展开。

六、用来明确部门职能，管理职能和寻求有效的措施。

第四节 系统图法的应用实例

一、在新产品开发方面的应用

新产品开发的程序，首先是通过调查研究，明确用户的质量要求，并把满足这种要求的规划质量作为企业领导方针确定下来。其次，再通过质量设计，把此规划质量变换成设计质量（代用质量特性）。最后，经过性能设计和生产设计，确定出能经济地实现设计质量的具体设计手段和制造方法，这个过程是图13—5所表示的“目的——手段系统图”，用于新产品开发的质量设计系统图，称为“设计质量系统图”。

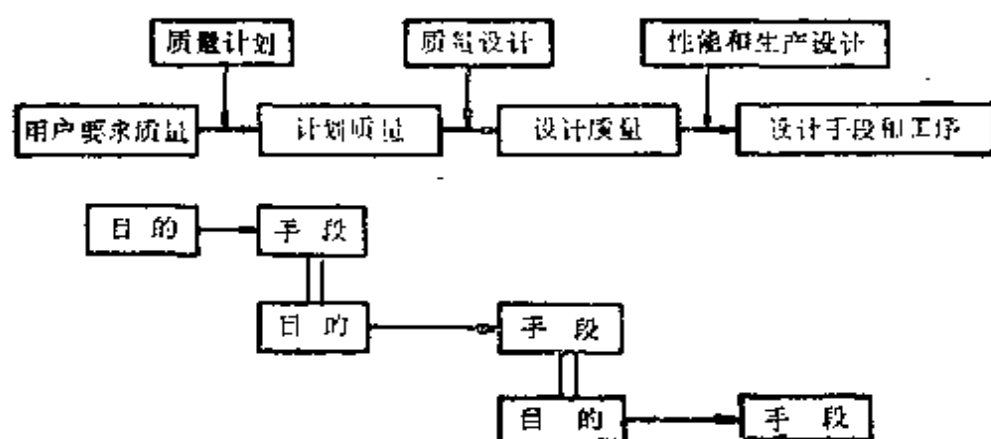


图13—5 设计质量系统图

例1：我国某灯泡厂开发ZGI—2.5/1.5管新产品，取代英国XGI—2500管，满足化纤厂需要的设计质量展开（如图13—6）。

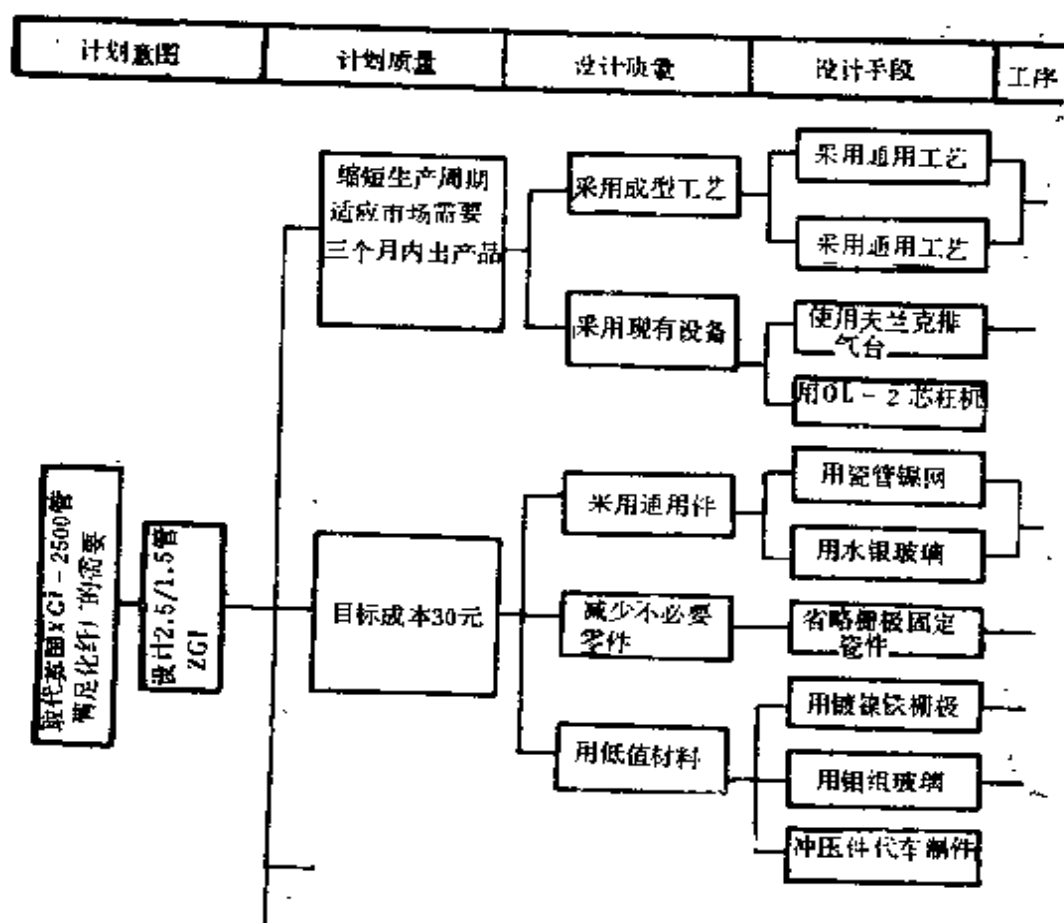


图13—6 ZGI—2.5/1.5管设计质量系统图

二、在改进质量方面的应用

(一) 因素分析用系统图

这种图形是对问题的结果，按其影响因素进行展开的

系统图。

例2：某造船厂使用B49测功器不能用于测试苏尔寿6RLA56柴油机的因果分析系统图，见图13—7。

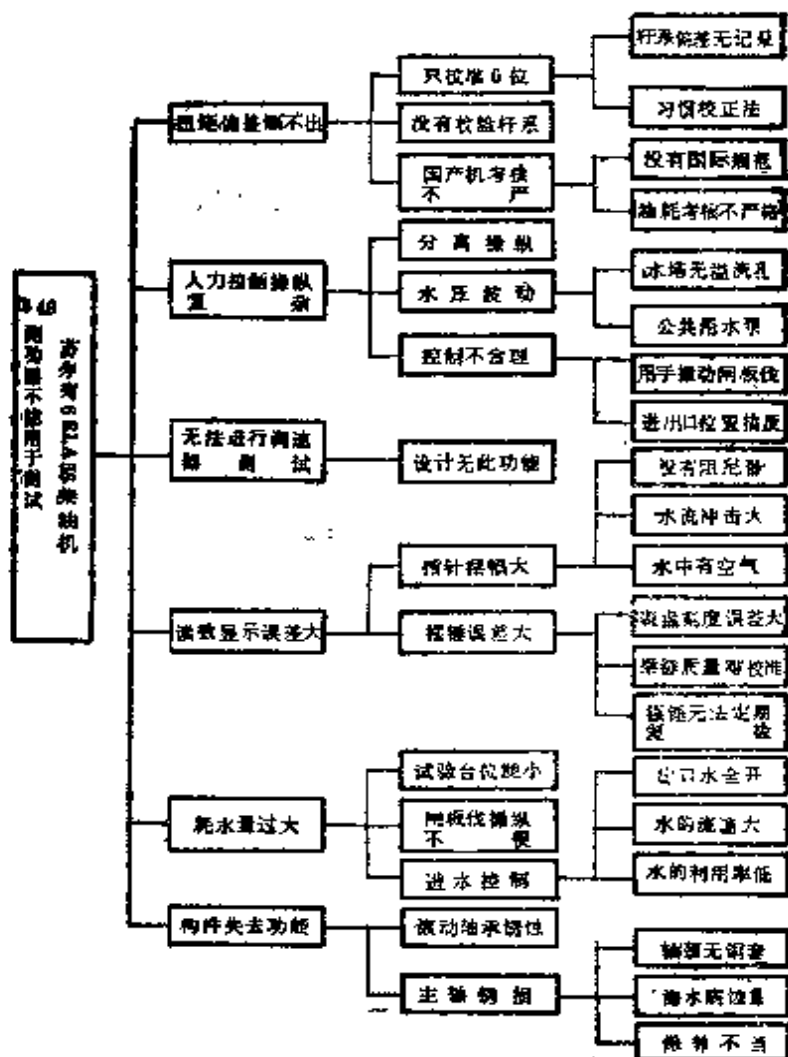


图13—7 B49测功器不能用于测试苏尔寿6RLA56柴油机因果分析系统图

（二）与因果分析图的配合使用

因果分析图是一种非常简便而有效的方法。但是，具有一系列缺点：

1. 很难看出同一水平的原因彼此的关系。
2. 很难看出同一级因素对质量特性的影响程度。
3. 具体措施和实施项目看不出来。

如果把因果图和系统图配合起来使用，就可以弥补这些缺点。这种系统图表示特性和因果关系的图形，叫做“因果分析系统图”。

例3：某炼铁厂试验研究高炉用贫锰矿冶炼符合转炉吹炼中碳锰铁的碳素锰铁，利用系统图和因果分析图配合使用进行对比分析。

转炉吹炼中碳锰铁所需要的锰铁，其质量要求很高， $[\text{Mn}] \geq 76\%$ ， $[\text{P}] \leq 0.25\%$ ，使用我国现有的贫锰矿，用现行的高炉冶炼工艺是达不到要求的。通过系统图和因果分析图配合使用，可知，通过系统图对原因的分析将更加清晰一些，见图13—8。

三、在方针展开方面的应用

方针展开是下一级对上一级的方针目标站在本部门的业务立场上，根据本部门的现状按职能、产品、部门进行展开，主动的找出实现上级方针目标的问题点，然后采取措施制订活动计划书，积极进行改善活动，以确保上级方针的实现。

例4：为某工厂方针展开的实例，此例是企业为了保证

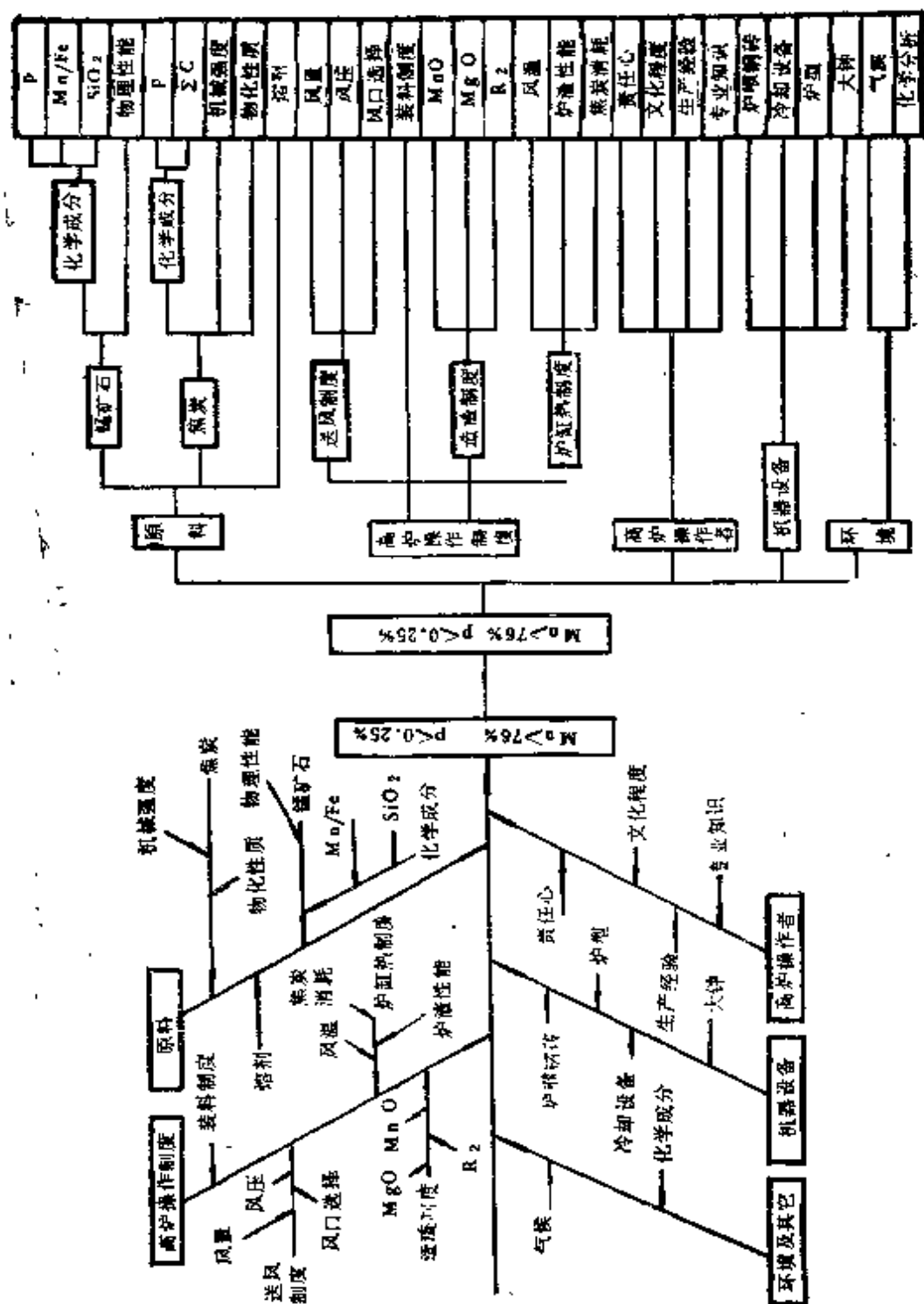


图13—8 因果图与系统图的配合使用

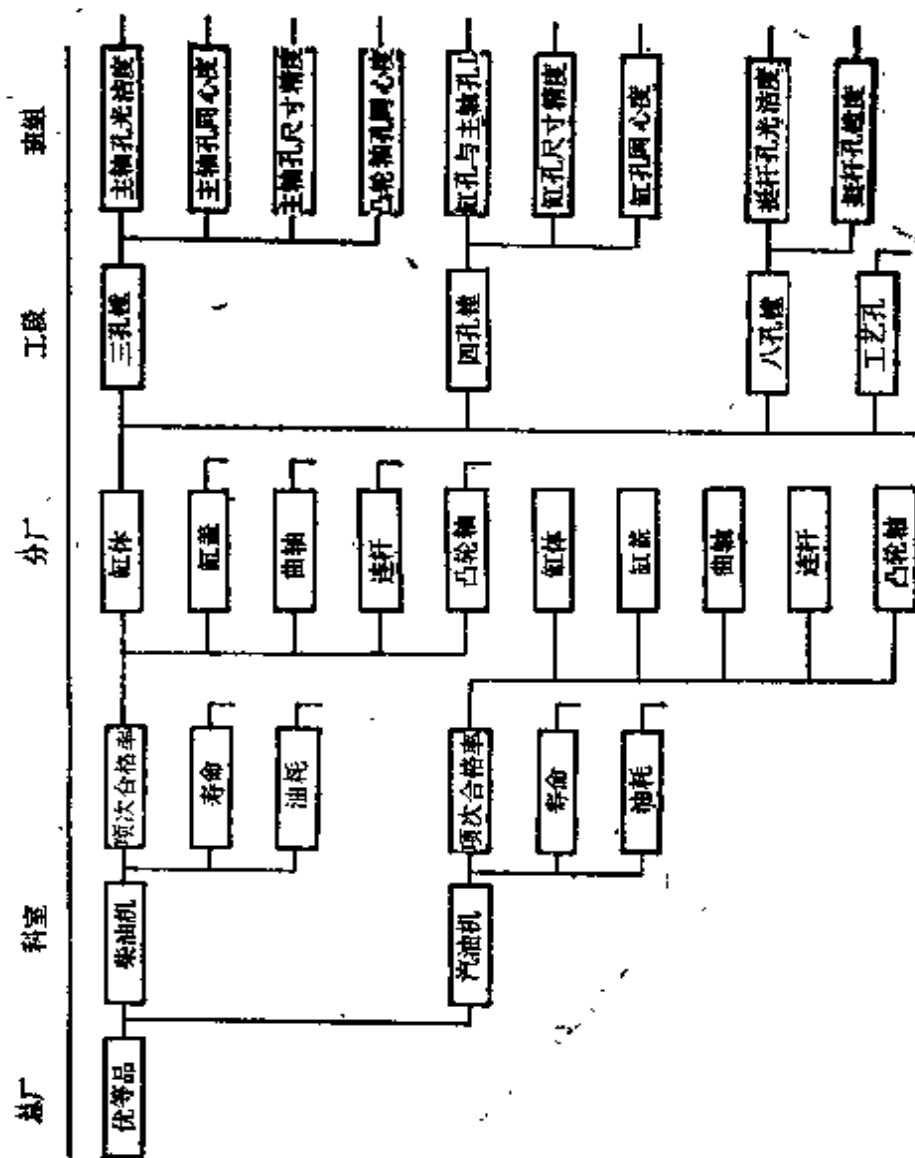


图13--9 方针展开系统统图

生产优等品，按产品、按部门层层进行展开，一直展开到班QC小组。见图13—9。

第十四章 矩阵图法

第一节 什么是矩阵图法

所谓矩阵图法，它是利用数学上的多维的思考方法，去逐步明确问题的方法。即把与研究问题有关的多种对应关系的因素，排列成行列式的形式，然后找出其中有密切关系的关键问题，如图14—1所示，即为从某一个问题的对象的事件

	R_1	R_2	R_j	R_r
L_1									
L_2									
\vdots									
\vdots									
L_i					⊙				
\vdots									
\vdots									
\vdots									
L_r									

⊙ 关键点

图14—1 矩阵图

件找出成对的因素，然后把属于同一类的因素、例如 $L_1, L_2, \dots, L_i, \dots, L_r$ ，和属于另一类的因素，例如 $R_1, R_2, \dots, R_j, \dots, R_r$ 分别列在行和列上，在行列的交点表示各因素之间有无关系及关系的程度。通过行列的交点上发现的“关键点”，再进一步寻找解决问题的手段和方法。

第二节 矩阵图的种类

矩阵图有多种型式，使用时应根据分析对象选择合适的型式。

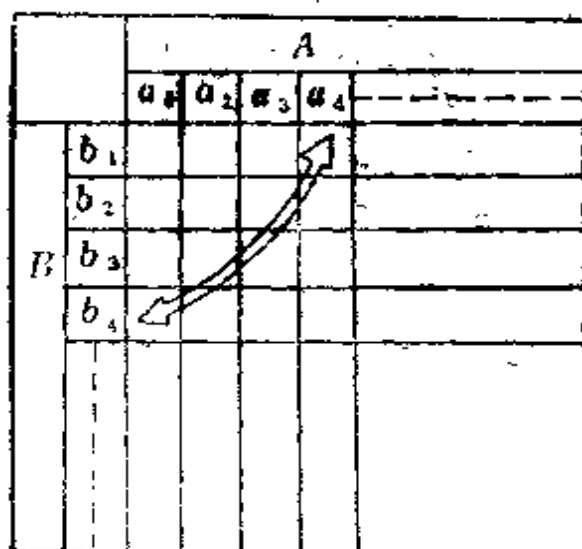


图14-2 L型矩阵图

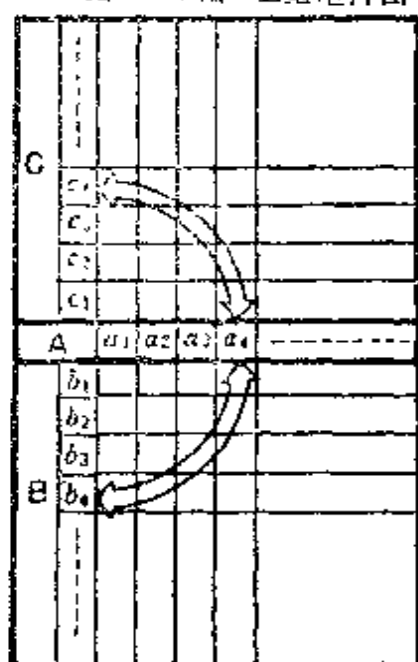


图14-3 T型矩阵图

一、L型矩阵图

这是最基本的一种矩阵图，它是将由A要素与B要素组成的事件按行与列排列成图14-2所示的矩阵图。这种L型矩阵图，适用于探讨多种目的与多种手段之间的关系（包括多种结果与多种原因之间的关系）。

二、T型矩阵图

T型矩阵图，它是A要素与B要素的L型矩阵同A要素与C要素的L型矩阵图组合使用的矩阵图。即表示A要素分别与B、C要素相对应的矩阵图。如图14-3所示。

三、Y型矩阵图

Y型矩阵图，它是A要素与B要素，B要素与C要素，C要素与A要素三个L型矩阵组合使用的矩阵图。即表示A与B，B与C，C与A这三对要素有分别对应关系的矩阵图。如图14—4所示。

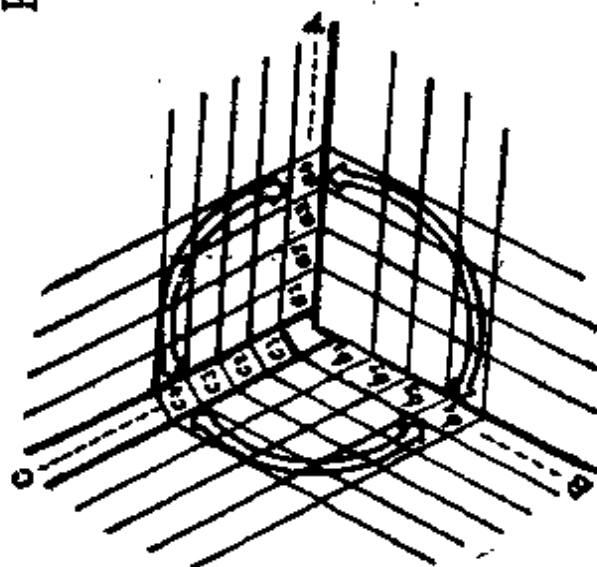


图14—4 Y型矩阵图

四、X型矩阵图

X型矩阵图，它是A与B，B与C，C与D，D与A分别有对应关系的矩阵图。这种矩阵图是由四个L型矩阵图所构成。如图14—5所示。这种矩阵图应用不多。

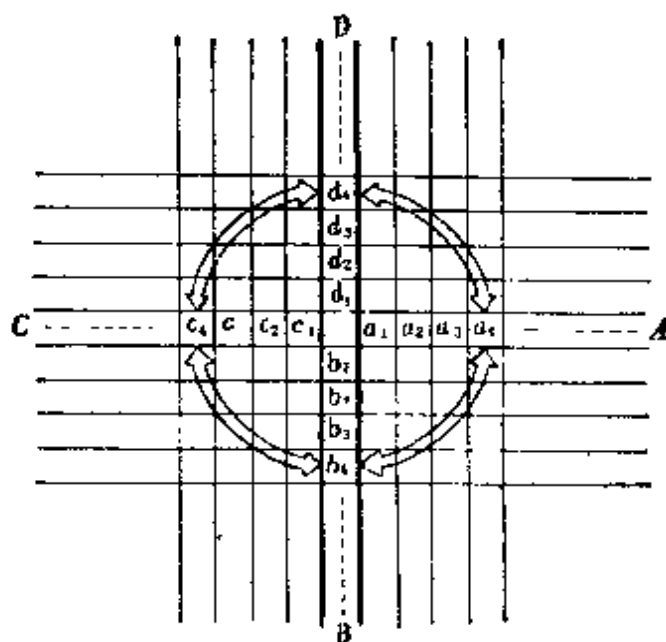


图14—5 X型矩阵图

五、C型矩阵图

C型矩阵图，它是以A，B，C各要

素为边画出的立方体。C型矩阵图的特征是A, B, C各要素所确定的三维空间的点为“着眼点”，如图14—6所示。这种着眼点如果以图14—6的型式表示，则难以表示，因此常常用图14—7的型式来表示。

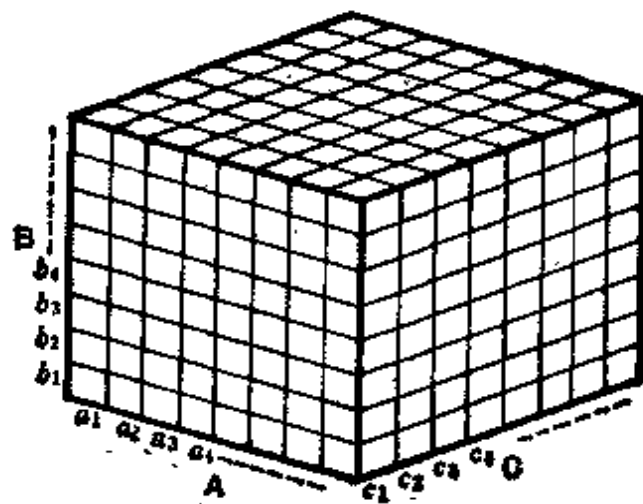
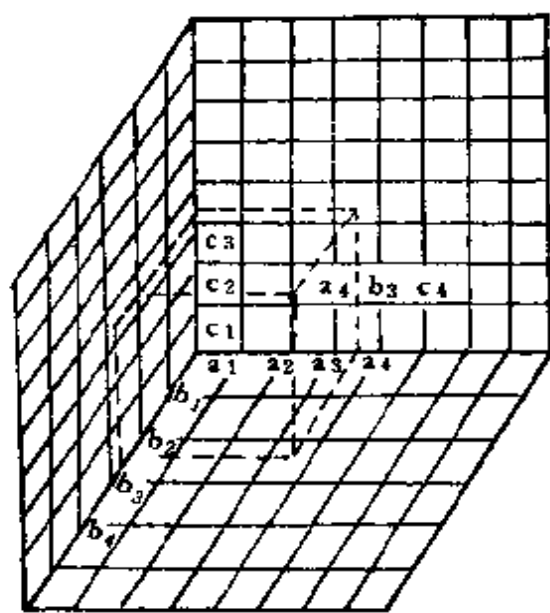


图14—6 C型矩阵图



14—7 C型矩阵图的展开图

以上介绍了五种型式的矩阵图，如果将它们组合起来，还可以创造出各种类型的矩阵图。

第三节 矩阵图与系统图的配合使用

作矩阵图的关键，是选择图A、B要素以及确定应以什么样水平的要素对应起来作图。

如果作矩阵图所取的对应要素A、B确定了，则可将每一个要素利用“系统图”予以展开，直到得出具有意义的末级水平要素 a_1, a_2, \dots 及 b_1, b_2, \dots ，然后将各a、b对应起来即可作出图14—8所示的矩阵图。

矩阵图与系统图的配合使用，为确定矩阵图的要素提供了方便。

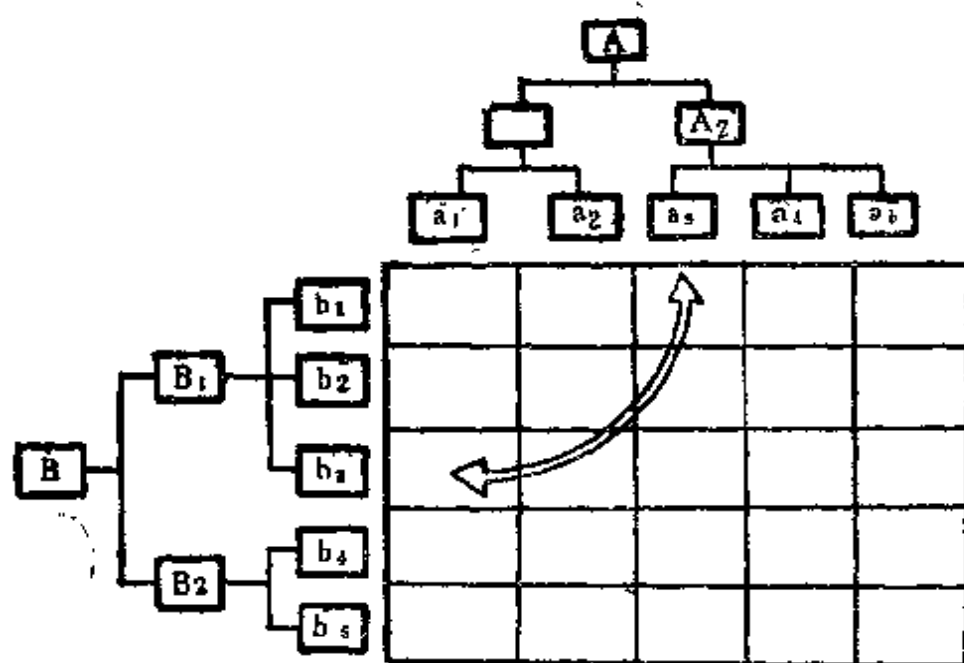


图14—8 利用系统图确定矩阵图要素

第四节 矩阵图的用途和应用实例

一、矩阵图的用途

- (1) 把系列产品硬件的性能和软件的性能对应起来，找出新产品开发和老产品改进的重点。
- (2) 原材料的质量展开。
- (3) 建立质量保证体系，明确产品保证的质量特性与负责部门的关系。
- (4) 进行产品质量评价。
- (5) 分析创造过程产生不良品的原因。
- (6) 对现有技术的应用领域。

二、矩阵图法的应用实例

(一) 在系统产品性能设计方面的应用

例1：日本某公司决定开发新的粉粒状物称量配合装置。他们研究了该装置系统的性能，讨论了哪种性能应具有新的特性；哪种性能可以使用本公司的原有技术，同时，又具有新产品的特点，还能提高附加价值。

分析了对象系统的要求规格以后，作出新产品计划书，编制有关该系统的纲要，从中提出必要的性能，给予性能定义。这种定义后的性能又分为硬件性能和软件性能，分别作出它们的性能系统图，把这两个性能系统图组合起来就作成了图14—9所示的软硬件性能系统的矩阵图，接着要决定该系

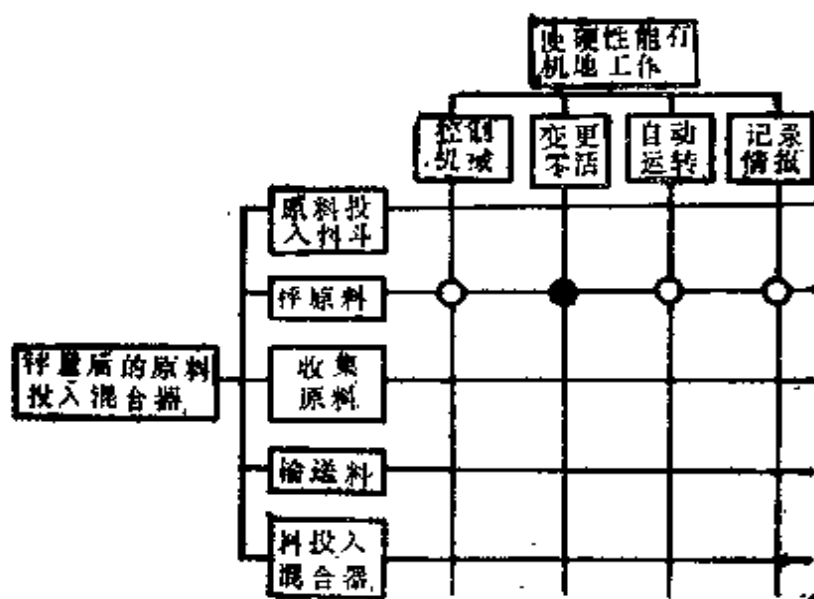


图14—9 软硬性能系统矩阵图 (L型矩阵)

统是否具有符合工厂情况的平面布置性能。最后汇总如图14—10所示的C型矩阵图，很好地表现了“粉粒状物称量配制装置”

所具有的性能。这种矩阵图称为“性能系统矩阵图”。

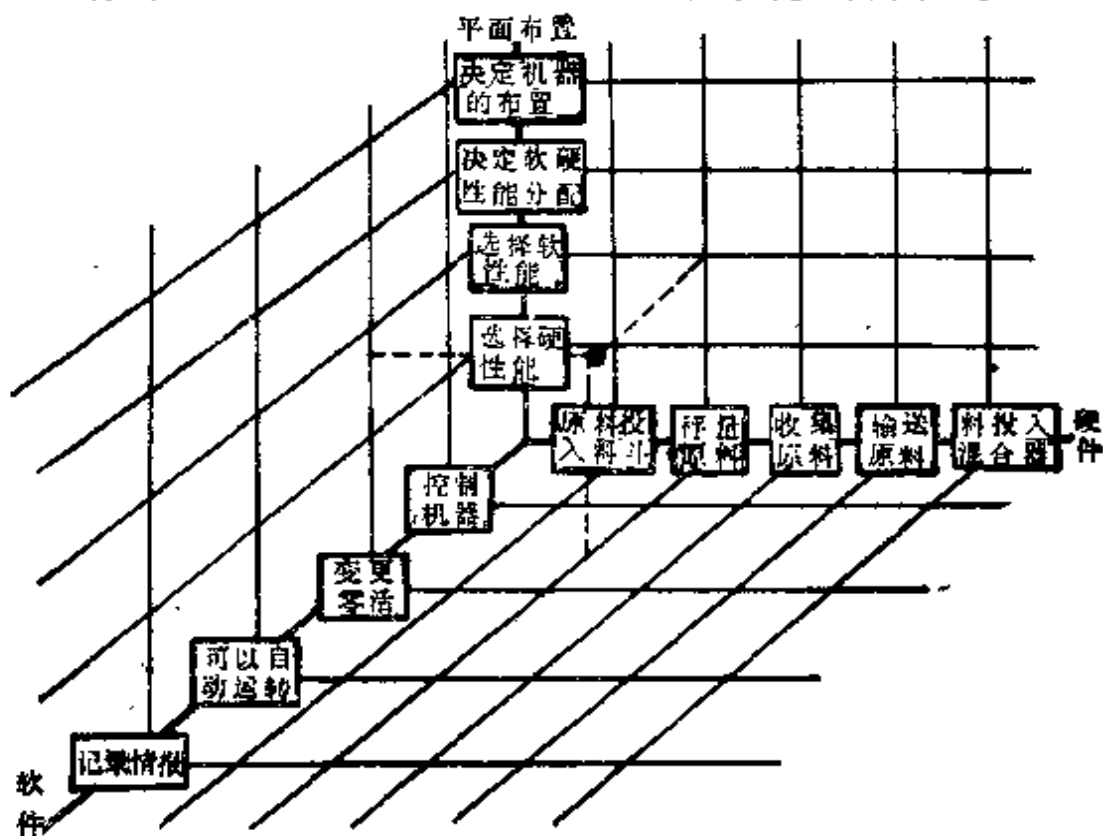


图14—10 性能系统图矩阵图

(二) 在市场开发方面的应用

例 2：某钢厂在制订扩大高速钢市场的方案时，使用了 T 型矩阵图。

高速钢同任何产品一样，都是由它本身所具备的主要性能来决定用户产品的，用户产品通常表现为产品用途，而用途

合计	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
韧性	△						△	△		△	△						0
切削性	△	△	△	○	○	△	○	○	△					○	○	○	7
热硬性	○																1
耐磨性	△	△	△	△	△	○	△	△	○	○	○	○	△	△	△	○	6
红硬性	△	○	○	△		△			△								2
硬度	△	△	△	△	△	△	△	△	○	△	△	△	△	△	△	△	1
性能																	
用途	扭轧直柄钻头	带柄钻头	车刀	铣刀	拉刀	滚刀	丝锥	铰刀	锯条	卡尺	千分尺	块规	板牙	插齿刀	梯齿刀	量规	合计
市场																	
哈一工	△	△		○	○	○								○	○		5
哈二工			○						○								2
哈重	○	○		△			○			○	○	○	○				7
沈一工	○	○															2
沈重	○	○		○						△							3
本溪工具厂									○								1
关东工具厂	○	○	△	△				○					○				4
江板工具厂			△		△	○								○	○		3
天津工具厂	○	○			○												3
太原工具厂	○	○		○													3
重庆工具厂	○	○		○		○								○			5
上海工具厂	○	○			○	○								○			5
合计	8	8	1	4	3	4	1	1	2	1	1	1	2	4	2		43

○—密切，△—一般

图 14—11 高速工具钢性能—用途—市场情况分析矩阵图

的程度（使用价值大小）往往又是决定市场的关键因素（如图14—11所示）。

这种性能——用途——市场三因素的关系，运用T型矩阵图，就可以探索到扩大高速钢市场的着眼点，这是科学的有效的分析方法。

（三）在研究企业各个管理部门与其职能之间

关系应用矩阵图

例：图14—12表示各个管理部门与其职能的关系，了解它们之间相互关系后就可根据各个职能的需要，对各个部门分配和下达任务。

部门 \ 职能		计划部	设计部	技术部	供应部	生产部	销售部	财会部	人事总务部	
1	质量管理	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○	按职能管理
2	成本管理	⊙	○	⊙	⊙	○	○	⊙	○	
3	人事管理	○	○	○	○	⊙	○	○	⊙	
4	事务管理	○	○	○	⊙	○	○	⊙	⊙	
5	产量管理	⊙	○	⊙	⊙	⊙	⊙	○	△	
6										
7										

图14—12 职能管理与部门管理之间关系的矩阵图

（四）在质量分析中的应用

图14—13是追查生成盐块，堵管原因的矩阵图

工序岗位 (发生源)	生成盐块	△	●	●	●	○	△		○	○	○		●	●
	堵管		○	○	○	△	○	●				○	○	○
	现象	原因	卤水未处理	背效蒸汽压力不稳	效液面波动大	未定期冲洗罐壁	控制仪表稳定度欠佳	循环泵流量偏低	冲孔筛板筛孔过大	四效固液比不稳	石膏晶种含量不稳	蒸发室罐壁不光洁	加热管管壁不光洁	停转提盐
														紧急停车
原料	供卤	○												
	锅炉供气		●	○					○	△			●	●
	背压发电机		●	○					○	△			●	●
	锅炉给水处理		○										○	
	炉水排污		○										○	
设备 仪器														
	加热室底部冲筛							●						
	循环泵							●					○	○
	仪表及维修		○	○		●								
蒸发 操作														
	背效压与控制		●	○					○	△			○	
	料液流量控制		●	●					●	●			●	
	泵电流控制												●	○
	固液比控制		○	○					●	●			●	
	石膏晶种控制			△					○	●			●	
	运行中冲洗罐壁		○	○	●				△	△				
	洗罐		○	○		○					●	●		
	化验									●	●			

注 ● 有强关系

○ 有关系

△ 可能有关系

图14—13 追查生成盐块，堵管原因矩阵图

第十五章 矩阵数据分析法

第一节 什么是矩阵数据分析法

所谓矩阵数据分析法，是当矩阵图上各要素间的关系能够定量表示（即在行与列相交栏内以数据表示其关系程度）时，通过计算来分析、整理数据的方法。矩阵数据分析法，是新七种工具中唯一利用数据分析问题的方法，但其结果仍需要用图表示出来。

矩阵数据分析法的主要方法是数量化方法和主成分分析法等方法的具体应用，无论在国外还是在国内均有应用的实例，它们是属于数学上的多元分析方法。在我国多元分析方法已成为数学地质的主要内容之一，运用数量化方法和主成分分析等多变量分析方法处理各种地质观测数据，对成矿规律的评价，矿产预测，构造解释推断、勘探工程布置等等都得出了一些定量的依据，从金属到非金属都获得了一些找矿信息。

第二节 矩阵数据分析法的用途

矩阵数据分析法，主要有以下用途：

- (1) 对由复杂因素组成的工序进行分析；
- (2) 对包括多变量数据的质量问题因素进行分析；
- (3) 对市场调查数据进行分析，掌握用户质量要求；

(4) 对感官检验特性进行分类与系统化;

(5) 对复杂质量进行评价;

(6) 对曲线所对应的数据进行分析等。总之, 矩阵数据分析法, 在市场调查、新产品的规划和研制及工序分析等方面均有广泛应用。在PDCA循环的P (计划) 与D (实施) 阶段, 只要存在有数据, 就有可能应用此种方法。

第三节 矩阵数据分析法的计算方法

下面以日本户田先生“食品嗜好调查”为例, 说明一下主成分分析法的计算步骤及计算结果分析。

表15—1的矩阵形式数据, 为日本男女各年龄组对100种食品的嗜好程度评分。最喜欢的食品可评以9分, 最讨厌的食品可评以1分, 即评分从1~9共分9级。表中给出的是各年龄组 (每组调查50人以上) 对每种食品评价的平均值。表中共有10行 \times 100列=1000个数据, 由这么多数据组成的矩阵, 仅粗看一下, 很难掌握各年龄组对各种食品的嗜好差异。故需要用矩阵数据分析法来进行数据的分析处理。表中的100种食品, 其中包括主食19种, 汤菜4种, 肉菜10种, 鱼菜11种, 其他副食3种, 饮料14种, 糕点11种, 水果4种。

现在的问题是研究男女及各种年龄对食品的嗜好有无差异。若有差异, 则应估计出每个年龄组喜欢什么样的食品。也就是, 对男女各5个年龄组, 不仅探讨每个年龄组对各种食品是否喜好, 而且还要求出每个年龄组所喜好的代表性食品。

各年龄组评价者对100种食品的嗜好评价

表15—1 (平均值) (X_{ij})

年 龄 组	食 品 1	食 品 2	.....	食 品 100
男15岁以下	7.8($x_{1,1}$)	4.6($x_{1,2}$)	.....	3.1($x_{1,100}$)
男16岁—20岁	5.4($x_{2,1}$)	3.8($x_{2,2}$)	.....	2.8($x_{2,100}$)
男21岁—30岁	3.9($x_{3,1}$)	4.4($x_{3,2}$)	.....	3.3($x_{3,100}$)
男31岁—40岁	3.5($x_{4,1}$)	4.0($x_{4,2}$)	.....	3.0($x_{4,100}$)
男41岁以下	3.0($x_{5,1}$)	3.5($x_{5,2}$)	.....	2.5($x_{5,100}$)
女15岁以下	8.1($x_{6,1}$)	6.2($x_{6,2}$)	.....	3.6($x_{6,100}$)
女16岁—20岁	6.0($x_{7,1}$)	7.2($x_{7,2}$)	.....	3.5($x_{7,100}$)
女21岁—30岁	5.4($x_{8,1}$)	7.5($x_{8,2}$)	.....	3.0($x_{8,100}$)
女31岁—40岁	3.8($x_{9,1}$)	7.0($x_{9,2}$)	.....	2.8($x_{9,100}$)
女41岁以上	2.5($x_{10,1}$)	9.0($x_{10,2}$)	.....	3.0($x_{10,100}$)

主成分分析法就是探讨这种代表性之方法。例如期末考试成绩,第*i*科第*j*个学生的成绩为 x_{ij} 。这时,作为学生*ij*的一个代表特性,在有*P*个学科的情况下,应表示为:

$$w_j = x_{1j} + x_{2j} + \cdots + x_{Pj} = \sum_{i=1}^P x_{ij} \quad (15-1)$$

一般,各个学科的重要性是不相同的,例如对于技术系学生,数学的重要性就大些。为此,设第*i*科的重要性系数为*li* (一般*li*不等于1),于是求代表特性的公式(15—1)又转换为:

$$w_j = l_1 x_{1j} + l_2 x_{2j} + \cdots + l_p x_{pj} = \sum_{i=1}^n l_i x_{ij} \quad (15-2)$$

随着问题的不同，其代表特性可以选定多种。主成分分析法，即是从数学上求数种代表特性的方法。这些代表特性是相互独立的。(15—2)式中的重要性系数 l_i 称作特征矢量，各代表特性对原始数据的代表程度称作影响率。

下面将其计算步骤介绍一下。

步骤 1 将各原始数据表示为 x_{ij} ； $i = 1, 2, \dots, 10$ ， $j = 1, 2, \dots, 100$ 。这里， i 为评价者的年龄组， j 为食品种类。

步骤2 按下式求各年龄组间的相关系数行列：

$$r_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n Z_{ij} Z'_{ij} \quad (15-3)$$

式中， $Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sqrt{V_j}}$ ， $\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}$ ，

$$V_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2, \quad n = 100。$$

计算结果示于表15—2。

步骤 3 根据相关行列求特征值、特征矢量。这种计算完全是用电子计算机进行的，其结果见表15—3。

下面对计算作以下分析：

(1) 观察表 15—3，我们希望知道10个评价组对各种

表15—2 各年龄组间的相关系数的行列

	男					女				
	15岁 以下 1	16—20 2	21—30 3	31—40 4	41岁 以上 5	15岁 以下 6	16—20 7	21—30 8	31—40 9	41岁 以上 10
2	0.871									
3	0.516	0.759								
4	0.370	0.604	0.852							
5	0.172	0.402	0.726	0.874						
6	0.938	0.821	0.517	0.358	0.208					
7	0.811	0.858	0.658	0.488	0.344	0.889				
8	0.616	0.709	0.698	0.620	0.523	0.746	0.894			
9	0.500	0.647	0.701	0.721	0.710	0.621	0.768	0.852		
10	0.336	0.457	0.558	0.632	0.748	0.493	0.642	0.773	0.911	

(对角线处为1, 右上半部因对称而省略)

表15—3 特征值、特征矢量

评价的年龄组	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
1	0.286	0.448	0.194
2	0.391	0.240	0.336
3	0.323	-0.166	0.442
4	0.299	-0.359	0.375
5	0.261	-5.507	0.128
6	0.309	0.408	-0.084
7	0.344	0.353	-0.171
8	0.348	0.032	-0.290
9	0.346	-0.164	-0.322
10	0.303	-0.267	-0.522
特 征 值	6.83	1.76	0.75
影 响 率	0.683	0.176	0.075
累积影响率	0.683	0.859	0.936

食品的喜好情况,特别想找到少数的代表特性组。而特征值的大小,则表示应把注意力集中到何种代表特性上。

(2) 各特征值6.83、1.76、0.75等,表示各代表特性代表原始数据的程度:数字越大代表性越强。第1主成分的特征值为6.83,表示第1主成分所给予的影响率为0.683(68%),这是因为在 10×10 相关行列情况下全体变动为10。同样,第2和第3主成分的影响率为0.176(17.6%),和0.075(7.5%)。这意味着三种嗜好类型占全体原始数据变动的0.934(93.4%),也就是累积影响率栏所示的数值,特征值,一般在 10×10 的相关行列情况下求到10个。但求到第1、第2、第3个特征值,已能代表全体变动的绝大部分。

(3) 上述三个主成分的意义可用特征矢量来表示。表15—3的左栏1,2,...,10,对应于表15—1的各观测组。第1主成分下有10个数值,此即特征矢量。各数值表示各观测组同该嗜好类型(主成分)的关系。第1主成分下的各数值大体相近且符号相同,这表示不论哪一年龄组均喜欢它。第2主成分,特征矢量从第1观测组向第5观测组降低;同样,对于第6至第10观测组,情况亦然。这里,观测组1~5为男性,6~10为女性。换言之,特征矢量值随着男女年龄的不同而有正负变化,这恰说明,对于第2嗜好类型(第2主成分)的喜爱是随年龄而不同的。对于第3主成分,男性的特征矢量为正值,女性为负值。由此看出男女之间的嗜好差别。以上结果告诉人们,一般嗜好的影响率为68.3%,嗜好的年龄影响率为17.6%,嗜好的男女性别影响率为7.5%,三种主成分占全变动的93.4%。

(4) 现就各种食品按各种嗜好类型排列一下。为此,

需用计算机按下式算出主成分得分：

$$w_{mj} = \sum_{i=1}^{10} l_{mi} Z_{ij} \quad (15-4)$$

这里， l_{mi} 为第 m 个主成分的第 i 个观测组所对应的特征矢数值，具体数值示表 15—3。就 $m=1, 2, 3$ 的各主成分，求各食品 $j=1, 2, \dots, 100$ 时的主成分得分。若将第 1 主成分得分和第 2 主成分得分，分别表示在横坐标轴与纵坐标轴上，则如图 15—1 所示。

沿横轴方向向右表示一般喜好的食品，向左表示不太喜好的食品。纵轴向上表示年轻人喜爱的食品，纵轴向下表示老年人喜爱的食品。若就第 1 主成分与第 3 主成分的得分在图上打点，还可得到一般嗜好与男女嗜好之别的情况。

主成分分析法的典型用法是将表 15—1 所示的矩阵数据，通过数值分析表现为图 15—1 的形式。

经过以上主成分分析，就找到了今后如何进行食品研究的方向与情报。

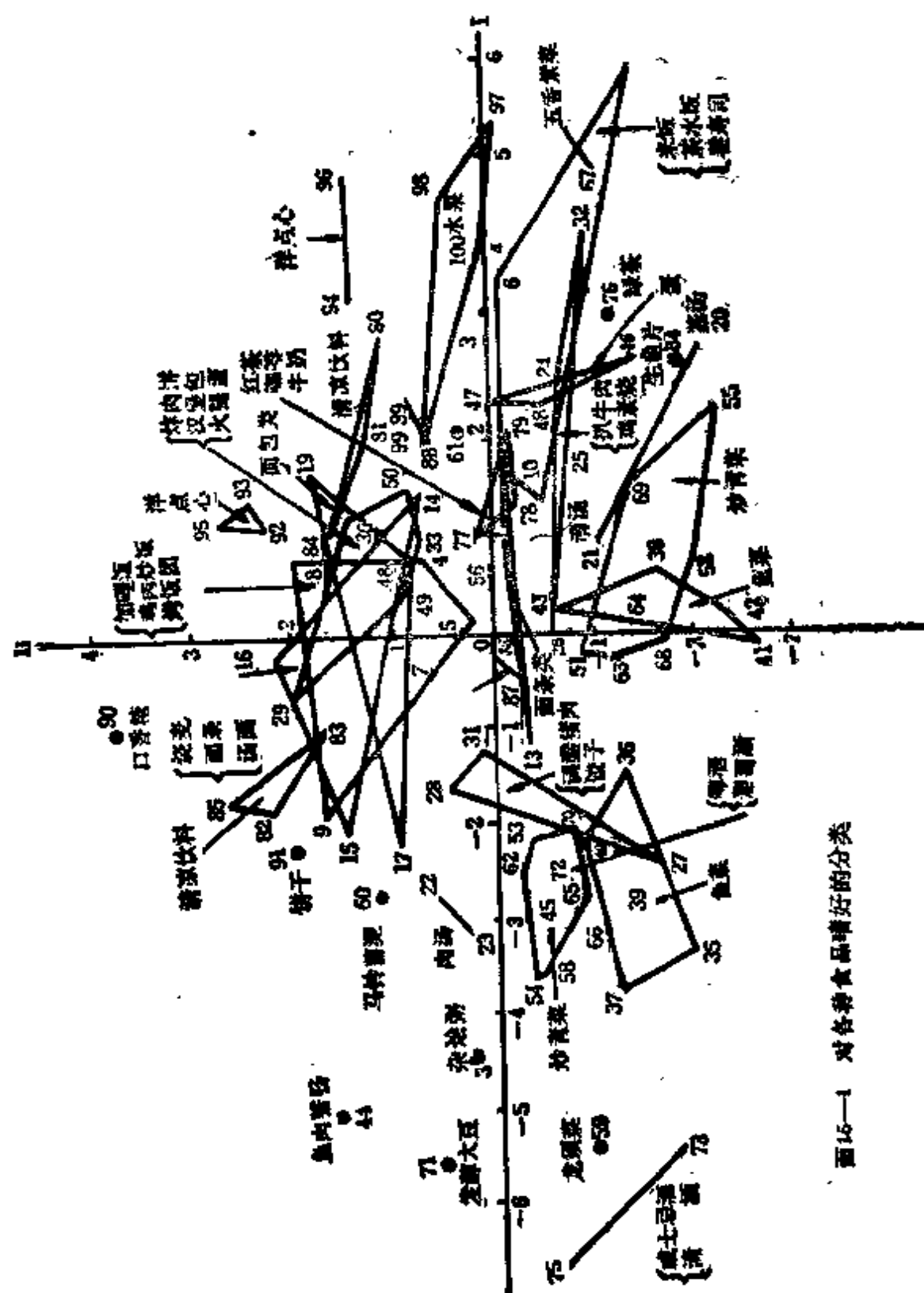


图15-1 对各种食品嗜好的分类

第四节 矩阵数据分析法的应用实例

一、实例I

下面是修建某海底隧道工程时，根据钻探调查的数据，选择隧道施工方法的例子。

该隧道的特点是：（1）地质年代较为年轻，地质疏松，变化大；（2）在海面以下 240 米的位置处，地下水的压力增加很大，因而挖掘比较困难。

在一般情况下，在地质疏松、地压大的场合，挖掘的隧道要发生较大的变形，以至会造成塌顶，变形事故对施工将产生很大的影响。为了防止变形就必须事前预测地质的变化，研究合适的施工方法。为此，就必须对地质数据进行科学的分析。

（一）原来的分析方法

该隧道的主要坑道，其施工首先是挖掘导坑、作业坑，其次是在这些施工前进行先进调查水平的钻探。在其各个施工阶段里，采取各种调查数据，而这些调查数据中，最早采取的钻探调查数据。过去仅仅是片断的、孤立的利用这些数据，而现在是从这些数据的有机联系上，灵活运用这些数据。

过去，对于从这些多变量中得到的数据，仅仅局限在两个变量间的相关（例如压缩强度和施工方法）分析，而当使用多变量时，则只能对原始数据，按照雷达图的方法进行分析，这种方法既繁杂又不明确。

(二) 主成分分析法的应用

过去,对专业技术水平较高的技术人员,在选择工作方式时,是靠分析、判断原始数据来进行的,而根据对钻探调查数据进行统计的处理,合理地选择施工方式,是要对这些数据灵活地使用,因此,就需要研究数据的结构,对多变量数据进行归纳、分类,这种场合,可应用主成分分析法。

1. 因素的选择。对钻探调查项目的17个项目中,在同一个地点,采取对应的7个指标,使用82个地点的数据。

(1) 比重: $r = W_0 \div (W_3 - W_2)$

(2) 吸水率: $\alpha_w = (W_3 - W_1) \div W_1 \times 100$

(3) 含水率: $\rho = (W_0 - W_1) \div (W_3 - W_2) \times 100$

W_0 : 供给标本的空中称量;

W_1 : 24小时干燥后的空中称量;

W_2 : 96小时浸水后的水中称量;

W_3 : 96小时浸水后的空中称量;

(4) 超声波传播速度: ρ 波的传播速度;

(5) 压缩强度: 圆筒状供给标本的压缩强度(纵向);

(6) 压裂强度: 圆筒状供给标本的压裂强度(横向);

(7) RQD: 1米区间内的10cm以上的中心的累积率;

这七个指标的数据,无论从历史条件,还是技术上来看都是可靠的,而由于数据的波动(测定误差、抽样误差)较小,所以采用4—9个数据的平均值。

2. 假设条件

(1) 假设1 在所有项目中都有共同的地质因素。

(2) 假设2 所谓好的地质条件,就是各变量符合下列条

件：

比重大；吸水率小；含水率小；超声波传播速度大；压缩强度大；压裂强度大；RQD大；

(3) 假设3 考虑调查数据大致分为“硬度”和“对水阻力”。

3. 数据的修正 如果要想很容易地判断出结果，采取的数据既不能太多，又能较好地表示出地质条件，可对含水率、吸水率进行倒数变换。

4. 计算结果 表15—4的计算结果，对第一主成分，由于特征向量除RQD外，得到的都是比较均等的正值，所以这一成分可看成是“地质良好性”的综合特性值。对第二主成分，特征向量含水率和吸水率为正值，其它为负值，岩石疏松，不易膨胀、崩坏，可以得到高的分数，这可以看成是“岩石硬度”和“对水的阻力”的偏转成分。

以上，到第二主成分为止，其累积贡献率为78%，到其它各成分为止的累积贡献率在1.0以上，因此，可以把7个变量的因素归结为2个变量的数据。

表15—4

计 算 结 果

主成分分析 (n=82)							
特征值	3.4791	1.9695	0.7744	0.4850	0.2158	0.637	0.0124
贡献率	0.497	0.281	0.111	0.069	0.031	0.009	0.002
累积贡献率	0.497	0.778	0.889	0.958	0.989	0.998	1.000
特征向量	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7
X_1	0.4320	0.0041	0.2898	0.7531	0.2051	0.0080	0.3465
X_2	0.3434	0.5157	0.2752	0.0283	0.0328	0.0267	0.7332
X_3	0.1339	0.6441	0.2285	0.3743	0.1837	0.1042	0.5746
X_4	0.4368	0.1632	0.1038	0.4558	0.7151	0.1670	0.0806
X_5	0.4736	0.2419	0.0476	0.1154	0.5819	0.6018	0.0276
X_6	0.4752	0.2081	0.1260	0.1157	0.2700	0.7722	0.6011
X_7	0.1372	0.4024	0.8710	0.2398	0.0144	0.0432	0.0320
因子载荷	1	2	3	4	5	6	7
X_1	0.8057	0.0061	0.2551	0.5245	0.0952	0.0020	0.0385
X_2	0.6040	0.7237	0.2422	0.0197	0.0153	0.0057	0.0813
X_3	0.2497	0.9040	0.2011	0.2607	0.0853	0.0263	0.0641
X_4	0.8520	0.2290	0.0931	0.3174	0.322	0.0421	0.0090
X_5	0.3834	0.3394	0.0419	0.0304	0.2703	0.1519	0.0031
X_6	0.8363	0.3767	0.1109	0.0806	0.1254	0.1949	0.0068
X_7	0.2580	0.5647	0.7865	0.1670	0.0067	0.0109	0.0036
累积贡献率	1	2	3	4	5	6	7
X_1	0.6491	0.6462	0.7143	0.9894	0.9884	0.9934	0.9999
X_2	0.4101	0.9339	0.9926	0.9929	0.9931	0.9932	0.9999
X_3	0.0824	0.8798	0.9200	0.9880	0.9952	0.9959	0.1000
X_4	0.7259	0.7783	0.7870	0.8878	0.9981	0.9998	0.1000
X_5	0.7304	0.8956	0.8973	0.9038	0.9679	0.9699	0.1000
X_6	0.7855	0.9274	0.9397	0.9462	0.9620	0.9999	0.1000
X_7	0.0655	0.3844	0.6719	0.8937	0.9999	0.0000	0.1000

5. 各变量的构成图

各变量的构成图，如图15—2所示。

(1) 我们确认大致可以划分为表示“硬度”特性（压缩强度、压裂强度、超声波传播速度）和表示“对水的阻力”特性（含水率、吸水率）这样两个特性指标。

(2) 对于RQD过去认为是表示“硬度”的特性指标，然而象该钻探这样的膨胀性高、疏松的凝质岩屑，则不必这样来表示，而是建立了新的观点（对RQD由于各变量的累积贡献率到第二主成分为止只有38%，为此，在第三主成分中再作讨论）。

(3) 以上，大致地证明了假设，判明了第一主成份能表示“综合地质条件的良好性”，第二主成分能表示“岩石的偏转成分”。

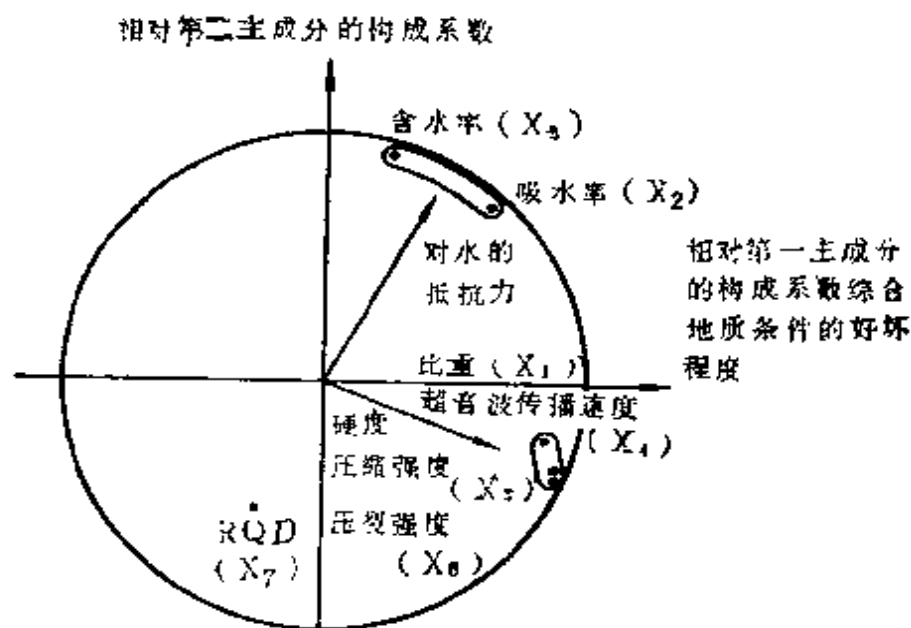


图15—2 各变量的构成图

(三) 主成分分析结果的应用

1. 实际的施工方式与施工结果的对比 取第一主成分为横轴，第二主成分为纵轴，作出各个标本的主成分值散布图（如图15—3所示）。由于标本代表地质调查的地点，所

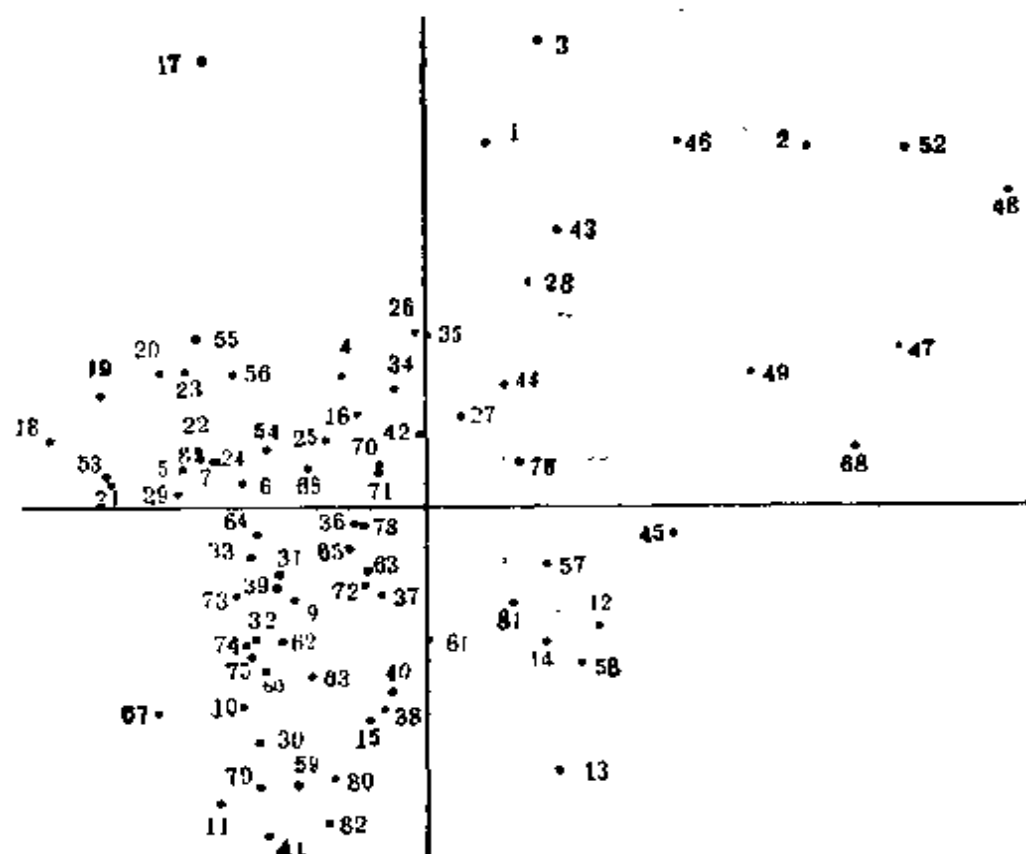


图15—3 主成分值散布图

以，按调查地点，把进行的施工方式、施工结果布置在散布图上，如果按同一工作方式分组，就可以得到图15—4那样的工作方式分类图。从图15—4可知，工作方式，从A工作方式到D工作方式可分四个阶段；从A工作方式到D

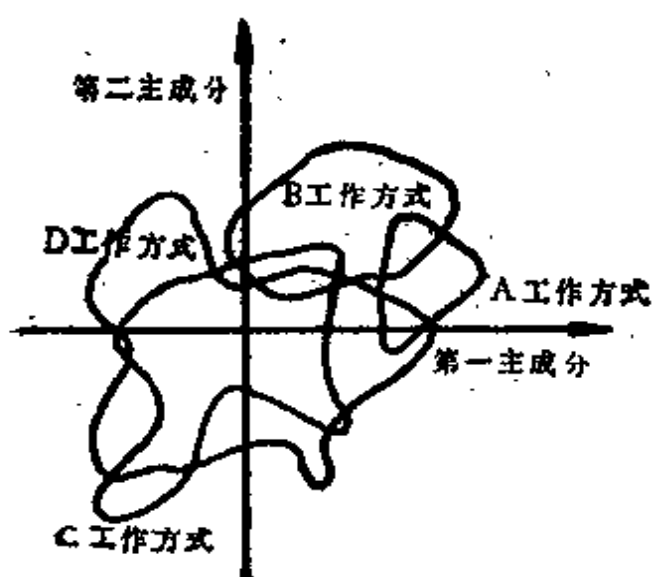


图15—4 工作方式分类图

工作方式梯度愈来愈高，并且工程费用也增加。

2. 选择施工方式图表

根据工作方式分类图进行分类，从技术上看也是合理的，为便于实际使用，可

按下列规则进行归纳、整理，作成图15—5那样的选定施工方式图表。

(1) 工作方式分类图按网络划分；

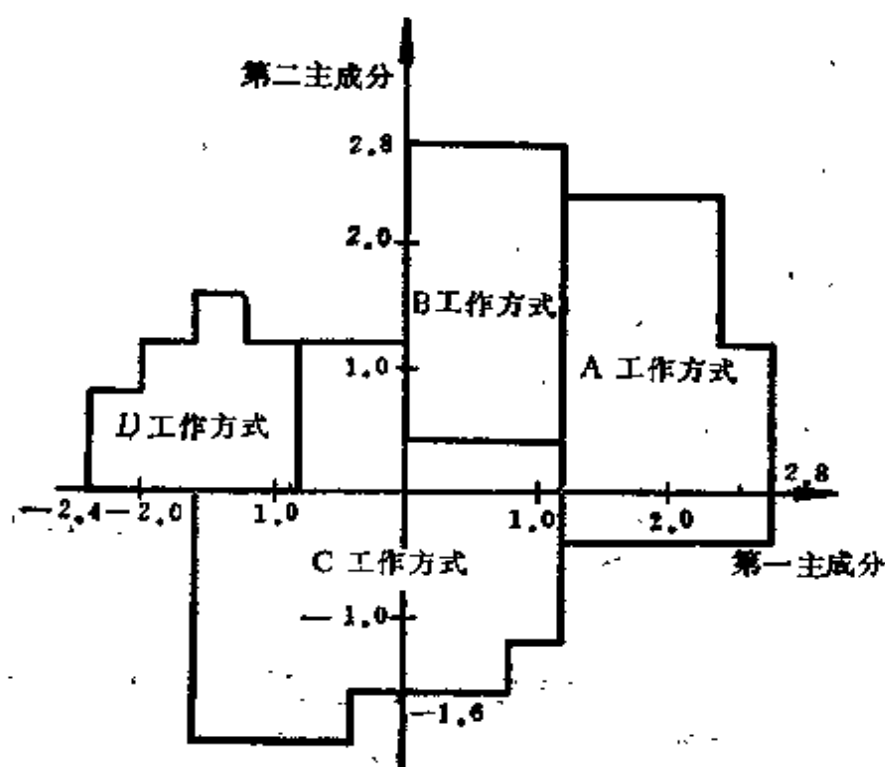


图15—5 选定施工方式图

2. 有两个工作方式以上不存在变形的区域，则采用梯度低的工作方式是经济的；

3. 变形的区域，采用比以前梯度高的工作方式是安全的；

4. 对于特殊的区域，应适当加以修正。

这个图表是为了从某一任意地点的钻探调查数据，求出第一、第二主成分值，根据这个图上的曲线，确定适合该地点的施工方式而使用的。

这一结果适用于挖掘计划，进行施工，今后根据从这个图表中得到的情报和综合未处理数据中的重要断层、破碎带、层界等的情报，可得到更重要的情报。

二、实例I

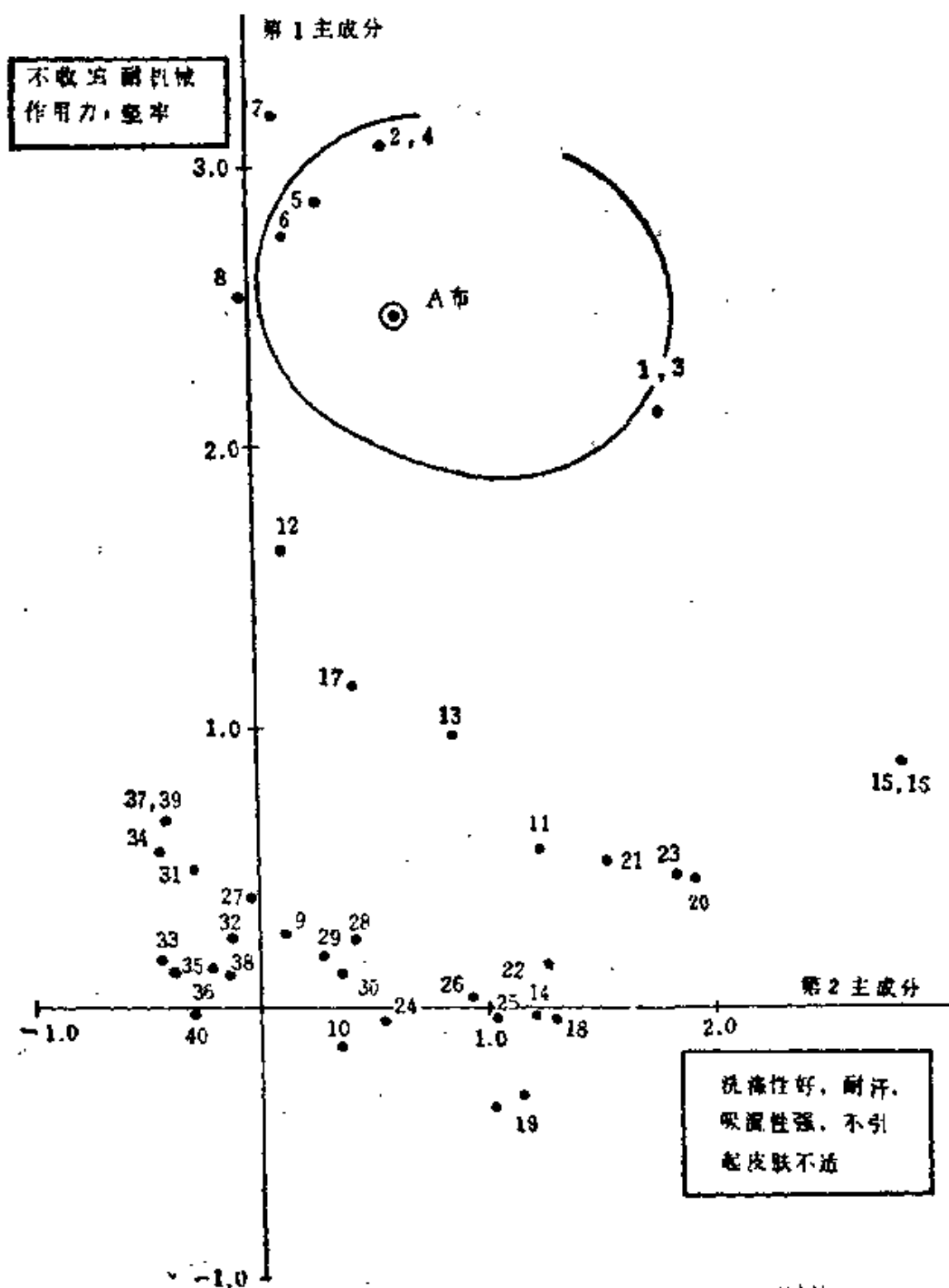
已知某种布的各种用途与相应的质量要求如表 15—5 所示。该矩阵在行方向排列出产品的各种用途，在列方向排列出产品对材料质量的要求。矩阵中数值1表示此种用途确有这样的质量要求，数值 0 表示此种用途无这样的质量要求。现如果有一种新开发的产品A布，该布用于何种用途为最优呢？可以利用主成分分析法对0—1数据矩阵进行分析。

按各种用途所要求的质量计算出第一主成分（收缩性、耐磨性）和第二主成分（洗条牢固性、耐汗性、透气性）的得分分数，并将得分点画在平面坐标上，如图15—6所示。

从图15—6可以看出，有类似质量要求的用途（产品）相距较远。并可得出A布是比较适合男女冬装、裙子和裤子等用途的材料。

表15—5 A布的各种用途与质量要求项目

用 途	质量要求项目		1	2	3	4	5	6	7	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
			耐光 坚牢性	洗涤 坚牢性	汗液 坚牢性	干洗 坚牢性	防 染 性	收 缩 性	防 皱 性	拔水 拔油性	刚 软 性	手 感	装 饰 性	拉 伸 回 复	压 缩 弹 性	滑 动 摩 擦	带 电 性	难 燃 性	耐 药 性	对 皮 肤 危 害
1	男 夏 装	男 夏 装	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	男 春 装	男 春 装	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
3	女 夏 装	女 夏 装	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	女 春 装	女 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
5	女 西 裙	女 西 裙	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
6	女 短 裤	女 短 裤	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
7	男 夏 装	男 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
8	男 春 装	男 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
9	女 夏 装	女 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
10	女 春 装	女 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
11	男 夏 装	男 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
12	男 春 装	男 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
13	女 夏 装	女 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
14	女 春 装	女 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
15	男 夏 装	男 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
16	男 春 装	男 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
17	女 夏 装	女 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
18	女 春 装	女 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
19	男 夏 装	男 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
20	男 春 装	男 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
21	女 夏 装	女 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
22	女 春 装	女 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
23	男 夏 装	男 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
24	男 春 装	男 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
25	女 夏 装	女 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
26	女 春 装	女 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
27	男 夏 装	男 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
28	男 春 装	男 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
29	女 夏 装	女 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
30	女 春 装	女 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
31	男 夏 装	男 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
32	男 春 装	男 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
33	女 夏 装	女 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
34	女 春 装	女 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
35	男 夏 装	男 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
36	男 春 装	男 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
37	女 夏 装	女 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
38	女 春 装	女 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
39	男 夏 装	男 夏 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
40	男 春 装	男 春 装	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0



第十六章 PDPC法

第一节 什么是 PDPC 法

PDPC法 (Process Decision Program Chart)

即过程决策程序图法。这一方法是运筹学在质量管理中的具体运用。这是一种对于事态进展中可以设想的各种结果，确定其达到最佳结果的途径的方法。利用这样方法可以确定出达到所期望的某种结果的过程与步骤。

为达到预定目标而制定的实施计划，由于技术原因或系统发生故障（甚至重大事故），有时不一定按照预想的那样发展。而使当初确定的解决方法贯彻不下去。

PDPC法就是针对上述问题提出来的。它是对事先可能考虑到的各种情况都进行预测，提出相应的预防措施，并在事态发展中随时进行预测和修正，以引导事态向所希望的结果发展。因此，每当出现未曾预料到的事态时，还须尽速重画PDPC图。

第二节 PDPC法的特征

从图形上看，PDPC法与系统图有相似之处。即为了解决问题，均以所想到的手段、方法的形式进行展开，都具有目的——手段部分，都算系统图。但是，系统图是在静态下将事物展开成目的——手段体系的，相比之下，PDPC法，则是动态下的展开，用线连接的展开事项，表示从某一状态，经过

一段时间才能达到下一个状态，这就是系列是按时间顺序排列的。PDPC法的这种动态性特征，可从它在质量管理中的下述应用步骤中看出。

(1) 第一步，在计划阶段，就所要解决的质量问题，根据技术知识、经验和资料，无遗漏地提出所要研究的各种项目，并同时准备相应的对策（措施）。

图16—1的现时状态 A_0 为不良品率高的状态（即所要解决的问题），希望设法减少不良品率使之达到 Z 状态（目的，结果）即为理想状态。在第一步的计划初期阶段，可考虑从 A_0 到 Z 的手段有 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_p$ 系列一种。希望这一系列能够

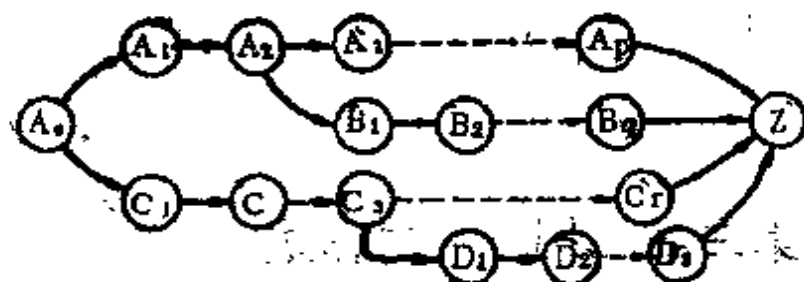


图16—1 PDPC法的思路

顺利进行，但对于慢性质量问题，实行起来未必会那么顺利，比如从

技术上考虑 A_3 较难实现。

于是，召集有关人员进行讨论，又提出从 A_2 开始经由 B_1, B_2, \dots, B_p 的实施项目系列来达到 Z 状态。

如果上述两系列均行不通，尽管花费了一些费用也要考虑 $C_1, C_2, C_3, \dots, C_r$ 或 $C_1, C_2, C_3, D_1, D_2, \dots, D_s$ 这两条途径来达到目的。

这样，作为第一步不仅考虑一种手段系列，为提高达到目标的准确度，还有必要预先多想出几个手段系列。实施时，可按各系列的顺序实行，或因工期紧迫，数种系列并行

实施。

(2) 第2步, 对于有慢性质量问题的情况, 尽管在第一步已经考虑了多个系列, 但在实施过程中未曾预料的问题可能随时出现, 这时就须研究新情况, 补充新的手段系列, 以提高达到Z的可能性。例如图 16—1 经过2~3个月的实践, 发现各条路均行不通, 这就有必要研究迄今所获得的情报, 追加新的系列E或F。

在质量管理中, 不仅要重视评价结果, 同时也要注意过程的评价。类似图16—2的各实施阶段均应画出, 以便保存完整资料, 供制定下期的方针计划参考。

PDPC 法在解决问题的每个阶段都在考虑有无新的 更可行的方案, 随时准备应付不测的事态发生, 故 PDPC 法带有极大的动态性质。

第三节 PDPC的作法

制作 PDPC 的图形尚无确定的作图步骤, 下面仅仅给出一例参考的作法:

步骤 1 召集有关人员 (尽量邀请多方面人士参加) 讨论所要解决的问题。此时, 最好领导先提出一系列实施项目作为初步解决方案, 据此, 大家就容易发表意见了。

步骤 2 从自由讨论中选出需要研究的事项。

步骤 3 就所提出的研究事项准备实施时, 还要预测一下实施结果。如果上述两步给出的研究事项和措施无法实施或实施效果不佳, 则应进一步提出另外的方案。

步骤 4 将各研究事项按紧迫程度、所需工时、实施可

能性予以划分。然后就当前可实施的事项预测其结果，并据此确定各项实施的先后顺序，最后用箭头向理想状态连线。

步骤 5 不同性质的内容，可根据其相互关系确定优先顺序。某一路径上所获得的情报如对其他路径的研究有影响，则相关连的事项之间可用虚线连结起来。

步骤 6 如果由几条路径构成的过程，已确定其负责实施的部门，则应将这几条路径用细线圈起，并记上负责部门。

步骤 7 确定过程终了的预定日期。

按最初作出的PDPC图进行具体实施时，如在某一阶段发生了意外情况，则应召集有关人员研究修正或补充原方案，必要时可重作PDPC图。

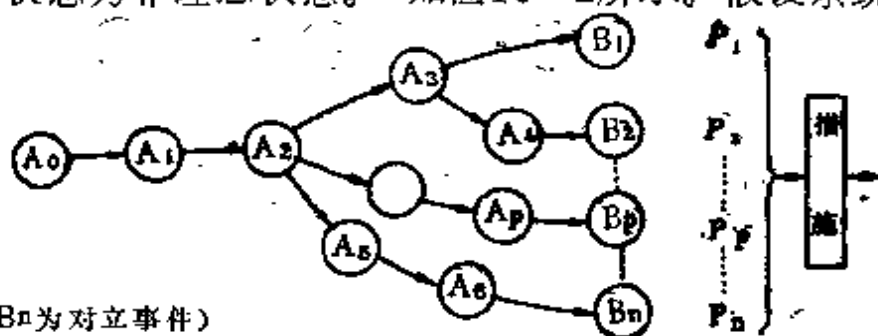
第四节 PDPC 法的类型

PDPC法的基本图形可分两类：

一、图形 I，可分两种状态

1 最终状态为理想状态。如图16—1所示。

2 最终状态为非理想状态。如图16—2所示。假设系统



(B_1, B_2, \dots, B_n 为对立事件)

在决定 B_p 是不应发生的事态时，所采取的措施须使 $A_1, A_2, \dots, A_p, B_p$ 不得发生

B_p 为包含致命缺陷的事态

图16—2 PDPC图形1 (预测重大事故时)

或装置为正常状态 A_0 ，由于系统受到种种干扰，状态 A_0 经过各种状态 A_i 不断变化到 B_i ($i = 1, 2, \dots, n$ ，其中 B_i 是对立事件)。对于 B_i 的各种情况，要考虑到它们要发生的可能性以及发生后的影响程度，并采取相应的处理措施。例如， B_p 是与系统相对应的重大事故，是非理想状态。在这种情况下，就不希望发生经过 $A_0, A_1, A_2, \dots, A_p, B_p$ 的一系列现象，而是应把这条路线切断，并把它们诱导到 A_0 或 A_s 的路线上去。这是为了预测重大事故而使用的方法。

二、图形 I，如图16—3所示

这种图形是当最后状态 Z 为理想状态（或非理想状态）时，首先确定 Z ，然后，从 Z 出发，需经过什么样的过程才能达到最初状态 A_0 的一种方法。理想状态（或非理想状态） Z ，如果能与最初状态 A_0 联系起来，那就要对该过程作详细地研究，如同图形 I 一样。考虑其相应的措施。图16—3 就是当 Z 为理想状态时，从 Z 逆向上推，无论如何也要设法使其与最初状态 A_0 相联系。当 Z 为非理想状态时，就要考虑切断可能达到该状态的所有路线。



从理想状态上溯到 A_0 与 Z 中间状态连结起来，注意不使环节中断。当 Z 为非理想状态时，要考虑措施切断 $Z \rightarrow A_i \rightarrow A_0$ 这一连环。这时 Z 为通过研究分析设想的状态。

图16—3 PDPC图形 II

第五节 PCPD 法的用途及应用实例

一、PDPC 法的用途

- (1) 制定目标管理中的实施计划;
- (2) 制定研究项目的实施计划;
- (3) 预测系统中的重大事故和制定相应措施;
- (4) 制定预防制造工序中出现不良情况的措施;
- (5) 提出或选择谈判过程中的对策, 等等。

二、PDPC 法的应用实例

例1: 图16—4是探讨降低浆纱伸长率方案的PDPC图。

我国某厂要把生产的防雨羽绒布的浆纱伸长率由原来的 A_0 为0.645%降到 Z 为0.38%。该厂生产的防雨羽绒布, 由于经纬密度高, 经纱在织造过程中受到磨擦和屈曲拉伸次数增

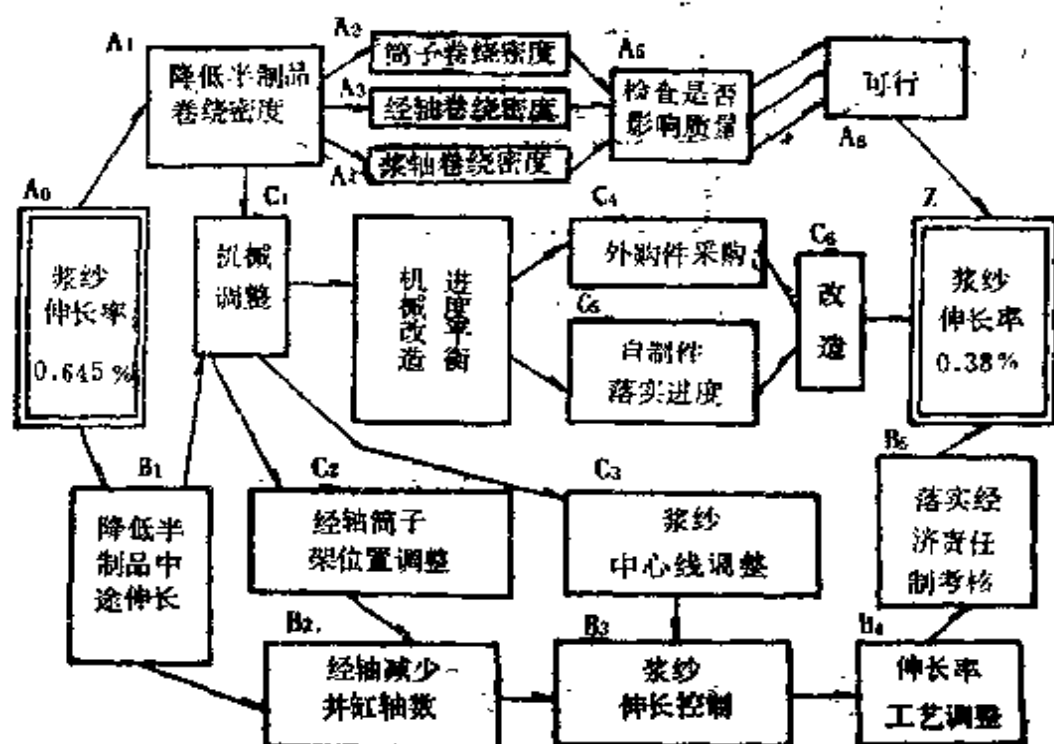


图16—4 降低防雨羽绒布浆纱伸长率的PDPC图 (型式I)

多，引起断经增高，试制时，浆纱伸长在 0.645% 左右，不能适应新的要求。他们运用 PDPC 法（如图 16—4 所示），从三条路线来降低浆纱的伸长率：A₁，降低半制品的卷绕密度；B₁，降低半制品中途伸长；C₁，机械调整。通过 PDPC 展开，达到了目标 Z，浆纱伸长率下降到 0.38%。

例 2。为了达到使装卸工在装卸易碎货物时不倒置，就要事先设想在运输过程中装卸工的不同情况，提出相应的措施，如图 16—5 所示。

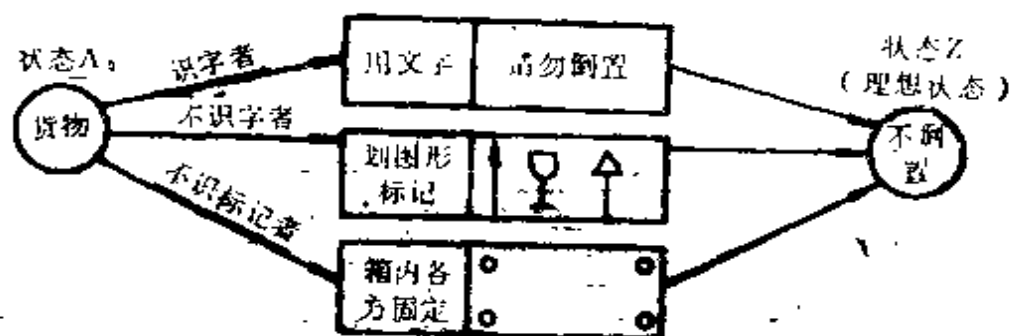


图 16—5 防止货物倒置的 PDPC 图（型式 II）

第十七章 网络图法

第一节 什么是网络图法

网络图法，也称统筹法或网络计划技术。它是通过网络图的形式，反映和表达计划的安排，据以选择最优方案，组

织、协调和控制生产的进度和费用，使其达到预定目标的一种科学管理方法。其工具就是PERT法（计划评审法，Program Evaluation and Review Technique）和CPM法（关键线路法，Critical Path Method）中使用的日程计划网络图，也称箭条图或矢线图（如图17—1）。

在全面质量管理活动中，不仅质量，而且时间也是不可缺少的重要内容。例如，新产品开发的时机，产品交货期，工程项目的进度安排等。为了在限定的时间内生产出所要求的质量产品，日程计划及其进度管理是极其重要的管理活动。

过去习惯用线条或横道图来表示作业计划中不同工序。（或工程）的日程安排，这种图亦称为甘特（Gantt）图（如图17—1）。它具有

方便直观的优点。

但是这种图对各项工序之间的相互关系不很明确；哪些作业是

关键作业，哪些作业是一般作业看不出来。

当某个作业的实际进度偏离了计划进

度，其它作业应如何

调整，在图上也很难

反映出来；而网络图

在表示各工序相互关

系这点就比甘特图优

越得多。绘制网络图

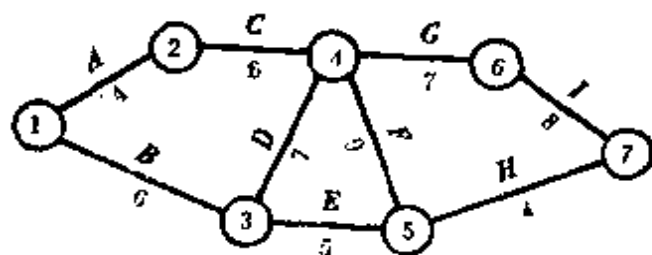


图17—1 网络图

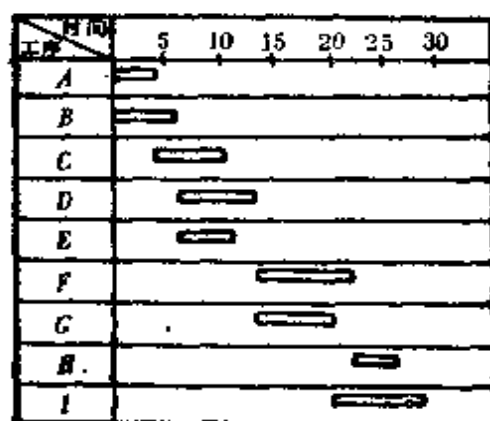


图17—2 与网络图对应的甘特图

就可以看清楚整个工程的相互关系，并且可以看出哪些工序是关键工序，方案如何优化。

网络图法就是为了弥补甘特图的这些缺点而设计的一种科学管理方法。

第二节 网络图的构成及绘制规则

一、网络图的构成

构成网络图的基本要素有三：作业、结点和线路。

（一）作 业

作业是指工程中某一项工作或某一道工序，也称活动。要完成一项作业就需要消耗一定资源和时间（包括人力、物力、设备、资金和时间），而有些作业不需要消耗资源，但也要占用时间，因此，首先要考虑它的时间、作业一般用箭线来表示，箭线的上部标明作业的名称，箭线的下部标明所需要的时间（以小时、日、周、月等表示），箭头表示该作业所进行的方向，作业的长度用 t_{ij} 表示（如图17—3）。

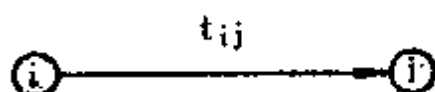


图17—3 作业的图示法



图17—4 虚作业

在实际工作中，有些作业不需要消耗资源和时间，只表明一道工序和另一道工序的相互依存的制约关系，称这种作业为虚作业，它的箭线以虚线表示。见图17—4。

此外，在网络图中，如果作业A与B之间有两种关系，一是如果作业A尚未结束，作业B就不能开始，二是如果作业A结束，作业B就可以开始，那么，称A为B的先行作业，B为A的后续作业（如图17—5）。如果作业A和B同时进行或者规定作业A和B必须同时进行，那么，称A和B为平行作业（如图17—6）。

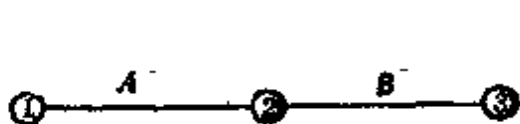


图17—5 先行作业和后续作业

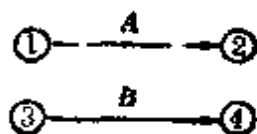


图17—6 平行作业

（二）结 点

网络图中，两个或两个以上的箭线的交点叫做结点（或节点），它表示前项活动的结束后项活动的开始，也叫做事件。事件与作业不同，它是工作完成的瞬间，不需要消耗时间和资源，只表示某项作业的开始或结束的符号（用“○表示”）。

结点要进行统一编号，以便于识别、检查和进行计划。编号就是在圆圈内，其顺序一般由小到大，采用非连续编号法，即把每项作业的起点结点用*i*表示，把终点结点用*j*表示，要求 $j > i$ ，但不一定要连号，有时还故意跳号，以便抽入增设结点。任何一个作业都可以用前后两个结点的编码来表示（见图17—3）。

（三）线 路

线路是指从起点事件开始，顺着箭头方向，连续不断地

到达终点事件为止的一条通道。一条线路上各工序的作业时间之和就是该路所需要的周期(或叫路长)。在一个网络图中,有很多条线路,每条线路的周期是不一样的,其中周期最长的一条线路,就叫做关键线路,或称主要矛盾线。网络分析主要是找出生产(工程)中的关键线路,它对整个生产周期有着直接影响。

二、绘制网络图的规则

(一) 网络图中不允许出现循环线路。网络图是个有向图,一般应从左到右排列,不应有回路,例如图17—7 为错误的表示方法,图17—8为正确的表示方法。



图17—7 错误的表示方法



图17—8 正确的表示方法

(二) 网络图中每项作业都应有自己的结点编号,号码不能重复使用,而且要按顺序编号,从小到大,符合 $j > i$ 的要求。每一对结点只能代表一项作业,不能同时代表几项作业。

(三) 箭头必须从一个结点开始到另一个结点结束,前

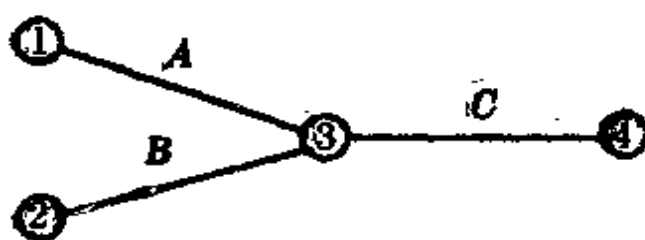


图17—9 错误的画法

一个箭线的作业必须完成,后一个箭线的作业才能开始,如图17—9作业C必须在作业A、B完成之后才能开始。箭线之间不能列出箭线,如图17—10

和图17—11。

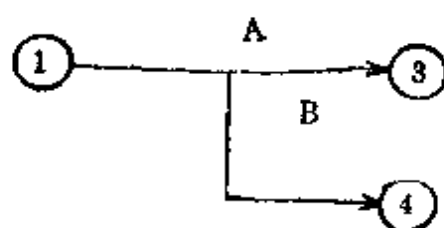


图17—10 错误的画法

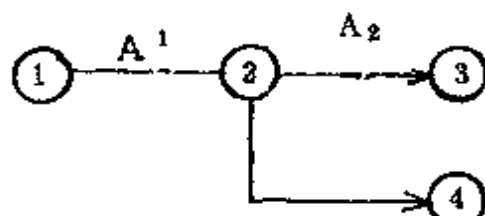


图17—11 正确的画法

(四) 两个结点之间只能画出一条箭线，但一个结点可能进入很多箭线，也可能引出很多箭线。图17—12为错误的画法。



图17—12 错误的画法

(五) 网络图的画法，一般从始点开始，按产品（工程）流程顺序画，也可以从终点开始反顺序画，网络图至少有一个始点和一个终点。

(六) 网络中遇有几道工序平行作业和交叉作业时间时，必须引进虚作业。

1. 在两个结点间有两个或两个以上的作业，而这些作业的长度又不同，为了避免混淆，可设增一虚作业，如图17—13所示。

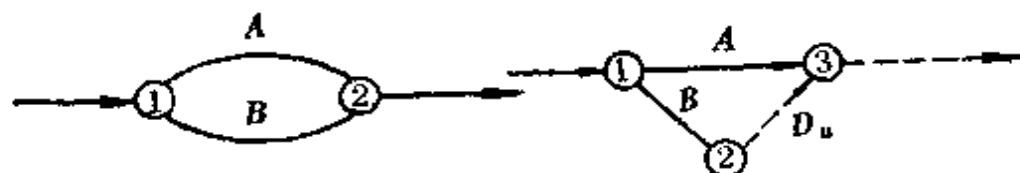


图17—13 平行作业加入虚作业

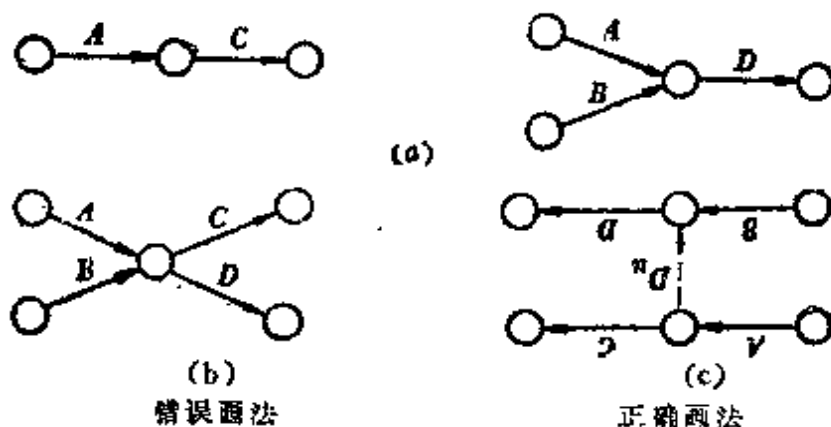


图17—14 虚作业用法一

2. 如果四项作业A、B、C、D有下列关系，图17—14 (a) 不能画成图17—14 (b) 因为作业D与作业A无关。正确的画法见图17—14 (c)，加入虚作业 D_u 后，就能符合原图要求。

图17—15 (a) 不能画成图 17—15 (b)，因为B与C无关。正确的画法见图17—15 (c)，应加入两项虚作业。

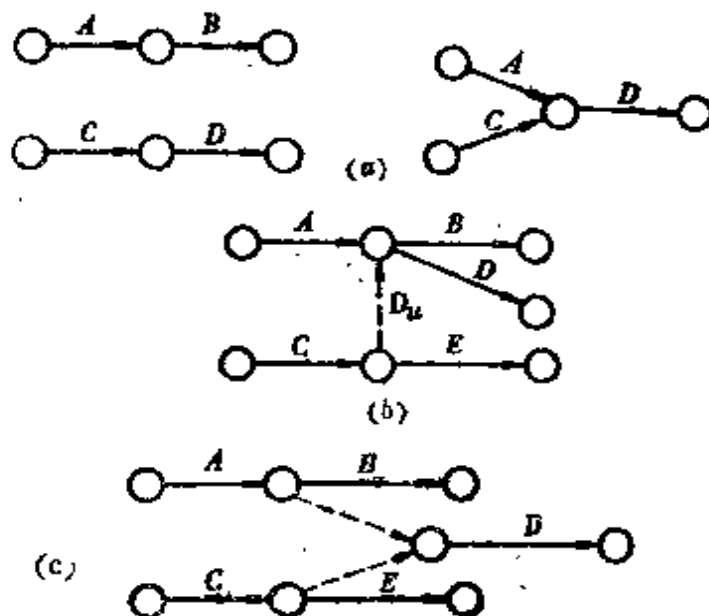


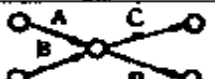
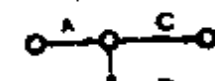


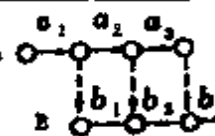



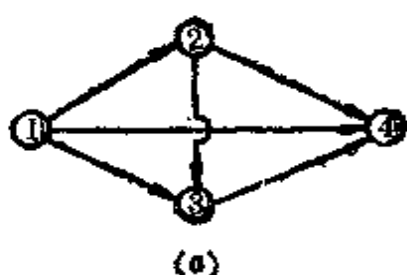
图17—15 虚作业用法二

(七) 网络图中各箭号尽量避免交叉，故需对图中的结

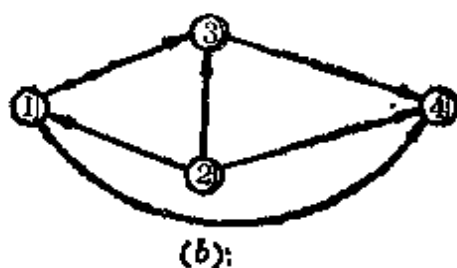
点作合理的安排。凡发生交叉之处,可用暗桥表示,见图17—16(a)。图17—16(b)则避免了箭号交叉,较图17—16(a)更佳。

表17—1 网络图画法示例表

序 号	作业名称 (代号)	作业之间相互关系	图 示
1	A.B.C	A完成后,B和C才能开始,B和C是独立的	
2	A.B.C	A与B均完成后,C才开始,C受制于B	
3	A,B C.D	A与B完成后, C与D才开始,但不一定同时开始	
4	A.B C.D	A完成后,C才开始, A与B完成后,D才开始, D受制于B	
5	A.B.C D.E.F	A和B完成后, D才开始, A.B.C都完成后, E才开始, E受制于C, E和D都完成后, F才开始, F受制于D	
6	A.B.C D.E	A完成后, B、C、D三项同时开始,并行作业, A、C、D均完成后, E才开始。E受制于C	
7	A.B	A分解为 $A=a_1+a_2+a_3$ B分解为 $B=b_1+b_2+b_3$ A与B分段交叉进行作业	
8	A.B.C D.E.F G.H	A完成后, B和C才开始, C接于B, F接于D, E接于C, B和E完成后, G才开始, G受制于E, F和G完成后, H才开始	



(a)有交叉的箭号



(b)无交叉的箭号

图17—16

三、网络图的表示方法

一项生产任务或一项工程可以分解为许多作业。这些作业在生产工艺和生产组织上存在着多种多样的相互依赖、相互制约的关系。在网络图中必须把各项作业之间的内在联系正确地表示出来。要做到这一点必须熟悉工艺，懂得生产组织的原理与方法。并能熟练地掌握网络图的表示方法。见表17—1。

第三节 网络图的绘制

一、划分作业项目

对一项产品（工程）的制造确定后，首先要研究划分那些作业（工序或零部件）。划分的原则：

- （一）由不同单位执行的；
- （二）工作时间先后有差别的；
- （三）使用不同设备、机具、原材料、器材的；
- （四）工作方法（工艺）不同的工作等。

二、分析作业相互关系，排列先后顺序

将划分的全部作业，逐个分析作业之间前后左右的相互关系，找出各作业之间哪些是先行作业，哪些是平行作业和后续作业等等。将全部作业排列出先后顺序。

三、开列作业清单(工序明细表)

将所有作业分别确定名称，给以代号，把每一作业以一对结点表示，结点编号按作业先后顺序编作业清单，应列的项目有：作业代号、作业名称、作业结点及编号、作业顺序（与前后作业的关系）、每项作业所需时间等。见表17—2。

表17—2 作业明细表

作业号	作业名称	先行作业	作业时间
1—3	A	—	6
1—2	B	—	5
3—4	C	A	7
3—6	D	A	5
2—4	E	B	6
4—5	F	C, E	6
4—6	G	C, E	9
5—7	H	F	2
6—7	I	D, G	4

四、绘制网络图 (见图17—7)

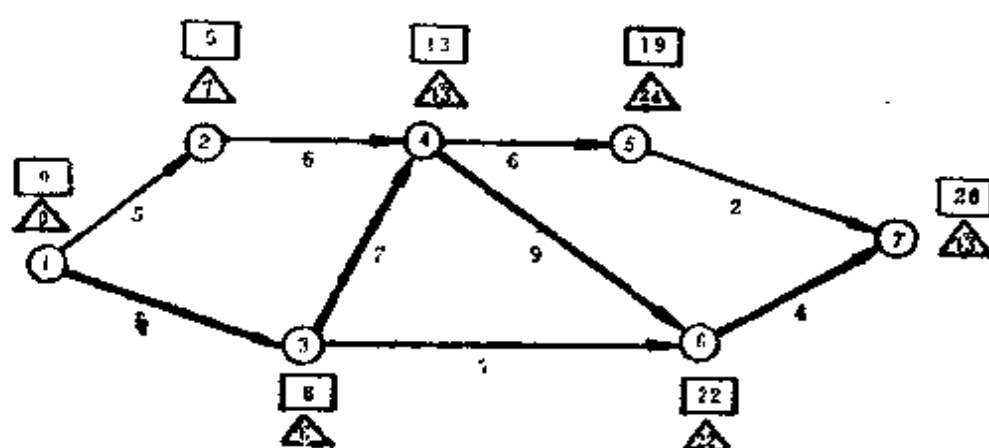


图17—17

五、各作业时间的计算

在划分作业时，就可以根据每项作业的时间定额或经验估计，确定每项作业所需时间。估计作业所需时间，一般采用三点时间估计法，三点估计法的基本原理是假设作业完成时间服从贝塔分布。其平均作业时间（期望值），

$$T = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (17-1)$$

式中：a—完成一项作业可能需要的最短时间；

b—完成一项作业可能需要的最长时间；

m—完成一项作业最可能需要的时间；

假设m出现的可能性两倍于a及b，在a与m之间的平均值为：

$$\frac{a + 2m}{3}$$

同理，在b与m之间的平均值为：

$$\frac{b + 2m}{3}$$

这两种时间各以 $\frac{1}{2}$ 的可能性出现，则其平均值为：

$$T = \frac{1}{2} \left(\frac{a + 2m}{3} + \frac{b + 2m}{3} \right) = \frac{a + 4m + b}{6}$$

第四节 网络时间的计算与关键线路的确定

网络时间的计算包括下列内容：结点最早开始时间与最

迟结束时间；活动的最早开始时间与结束时间、活动的最迟开始与结束时间；时差及关键线路的时间周期等等。时间参数的计算方法，一般有图算法、表算法和矩阵法三种。

一、图 算 法

就是在网络图上直接进行网络时间的计算，并把计算的结果注明在网络图上。在网络图上标明网络时间的形式很多，常见的是用“□”表示最早开始与结束时间，用“△”表示最迟开始与结束时间，如图17—17所示。

（一）结点最早开始时间与最迟结束时间

1. 结点最早开始时间 T_E^i

$$T_E^j = \max \{ T_E^i + T_{ij} \} \quad (17-2)$$

式中： T_E^j 结点j的最早开始时间；

T_E^i 一先行结点i的最早开始时间；

T_{ij} 一作业i—j的作业时间；

max—最大值。

也就是说，结点最早开始时间，是指从该结点开始的各项活动的最早可能开始时间。每一结点的最早开始时间等于先行结点的最早开始时间与两结点间活动的作业时间之和。当先行结点不止一个时，取和数中之最大值。

计算结点最早开始时间时，由始点事项开始，按结点编号顺序由小到大进行。始点事项的最早开始时间可取零，即

$$T_E^1 = 0.$$

本例中的结点最早开始时间计算如下:

$$T_E^1 = 0$$

$$T_E^2 = \max(0 + 5) = 5$$

$$T_E^3 = \max(0 + 6) = 6$$

$$T_E^4 = \max\{(5 + 6), (6 + 7)\} = 13$$

$$T_E^5 = \max(13 + 6) = 19$$

$$T_E^6 = \max\{(6 + 5), (13 + 9)\} = 22$$

$$T_E^7 = \max\{19 + 2, (22 + 4)\} = 26$$

2. 结点最迟结束时间 T_L^i

$$T_L^i = \min \{T_L^j - T_{ij}\} \quad (17-3)$$

式中: T_L^i — 结点*i*的最迟结束时间;

T_L^j — 结点*j*的最迟结束时间;

min 最小值。

也就是说, 结点最迟结束时间, 是指以该结点为结束的各项活动最迟必须结束的时间。亦等于从该点开始的各项活

动的最迟必须开始的时间，因此结点的最迟结束时间可等于后续结点的最迟结束时间与两结点间活动的作业时间之差。当后续结点不止一个时，取差数中之最小值。

结点最迟结束时间由终点事项开始计算，逆结点编号顺序进行。结点的最迟结束时间等于其最早开始时间。

本例中的结点最迟结束时间计算如下：

$$T_L^7 = T_E^7 = 26$$

$$T_L^6 = \min (26 - 4) = 22$$

$$T_L^5 = \min (26 - 2) = 24$$

$$T_L^4 = \min \{ (24 - 6), (22 - 9) \} = 13$$

$$T_L^3 = \min \{ (13 - 7), (22 - 5) \} = 6$$

$$T_L^2 = \min (13 - 6) = 7$$

$$T_L^1 = \min \{ (7 - 5), (6 - 6) \} = 0$$

(二) 活动的最早开始与结束时间、最迟开

始与结束时间

1. 活动的最早开始时间 T_{ES}^{ij}

活动的最早开始时间，等于其箭尾结点的最早开始时间，即

$$T_{ES}^{ij} = T_E^i$$

2. 活动的最早结束时间 T_{EF}^{ij}

活动的最早结束时间等于活动的最早开始时间加上该活动的作业时间，即：

$$T_{EF}^{ij} = T_{ES}^{ij} + T^{ij} = T_E^i + T^{ij} \quad (17-4)$$

3. 活动的最迟结束时间 T_{LF}^{ij}

活动的最迟结束时间等于活动结点的最迟结束时间，即：

$$T_{LF}^{ij} = T_L^j$$

4. 活动的最迟开始时间 T_{LS}^{ij}

活动的最迟开始时间等于活动的最迟结束时间减去该活动的作业时间，即：

$$T_{LS}^{ij} = T_{LF}^{ij} - T^{ij} \quad (17-5)$$

(三) 时差的计算

所谓时差，是指在不影响整个任务完工时间条件下，某项工作从最早开始时间到最迟开始时间，中间可以推迟的最大延迟时间。它表明某项工作可以利用的机动时间。时差越大机动时间越多，潜力也就越大。时差也叫作“机动时间”、“富裕时间”，以S表示。计算和利用时差是网络计划技术中一个重要的问题。它为计划进度的安排提供了可供选择的可能性，又是决定关键线路的科学依据。利用时差可以进一步挖掘潜力，求得计划和资源分配的合理方案。

时差有两种，即总时差（S）和单时差（Se）。总时差表示在不影响总工期完成的前提下，允许增加该作业时间的最大幅度。单时差表示在不影响下一个作业最早开工时间的前提下，允许增加该工作时间的最大幅度。总时差的计算公式如下：

$$\begin{aligned} S(ij) &= T_{LS}^{ij} - T_{ES}^{ij} = T_L^j - T_E^i - T^{ij} \\ &= T_{LF}^{ij} - T_{EF}^{ij} \end{aligned} \quad (17-6)$$

式中：S(ij) — 工序的总时差

T_{LS}^{ij} — 活动i—j的最迟开始时间；

T_{ES}^{ij} — 活动i—j的最早开始时间；

T_L^j — 箭头结点j的最迟结束时间；

T_E^i — 箭尾结点i的最早开始时间；

T^{ij} — 活动i—j的作业时间。

（四）关键线路的确定

关键线路是指从网络始点到终点的最耗费时间的线路（即最长时间线路）。即是网络中一条穿过最占时间的“结点”的线路，网络中关键线路可能有一条以上。关键线路也就是总时差为零（S = 0）的作业全部连接起来的线路，在网络图中用粗线或双线表示，如图17—15所示。从图17—15可知，关键线路为①→③→④→⑥→⑦。

二、表算法

这是用列表的形式算出每项作业的 earliest start time T_{ES}^{ij} 和最迟开始时间 T_{LS}^{ij} , 算出最早结束时间 T_{EF}^{ij} 和最迟结束时间 T_{LF}^{ij} , 以及结点的最早开始时间 T_E^i 和最迟结束时间 T_L^i 。计算结果列入表17—3及表17—4。时差为零的作业为关键作业, 由各关键作业连接起来的线路就是关键线路。即为①→③→④→⑥→⑦。

表17—3 作业时差

作业代号	作业名称	作业时间 T_{ij}	作业最早 开始时间 T_{ES}^{ij}	作业最早 结束时间 T_{EF}^{ij}	作业最迟 开始时间 T_{LS}^{ij}	作业最迟 结束时间 T_{LF}^{ij}	总时差 $S(ij)$
1—3	A	6	0	6	0	6	0
1—2	B	5	0	5	2	7	2
3—4	C	7	6	13	6	13	0
3—6	D	5	6	11	17	22	11
2—4	E	6	5	11	7	13	2
4—5	F	6	13	19	18	24	5
4—6	G	9	13	22	13	22	0
5—7	H	2	19	21	24	26	5
6—7	I	4	22	26	22	26	0

表17—4 结点时差

结 点	结点最迟结束时间 T_L^i	结点最早开始时间 T_E^i	时 差 $S(i)$
1	0	0	0
2	7	5	2
3	6	6	0
4	13	13	0
5	24	19	5
6	22	22	0
7	26	26	0

三、矩阵法

矩阵法是在矩阵图上计算各结点的最早开始时间和最迟结束时间。

以结点数 n 组成 n 行 n 列矩阵，并将 T^{ij} 作业时间填入矩阵相应位置：例如 $T^{1*2}=5$, $T^{1*3}=6$, $T^{3*4}=7$, $T^{3*6}=5$ 等等，以此类推。然后利用前面讲的公式计算结点的最早开始时间和结点的最迟结束时间。

在矩阵对角线上填入 $T_L^i - T_E^j$ 的值，就得各结点的时差 S_i ，见表17—5。

表17—5 矩阵计算表

结点号→		1	2	3	4	5	6	7
↑	T_E^j T_L^j	0	7	6	13	24	22	26
1	0	0	5	6				
2	5		2		6			
3	6			0	7		5	
4	13				0	6	9	
5	19					5		2
6	22						0	•
7	26							0

第五节 网络计划技术的应用

例：某厂决定在试制某种产品应用网络计划技术，并提出为了满足市场的需要，要求新产品的试制在一定期限内完成，这就是在工期方面提出了具体的目标。同样也可以在其他方面提出一些目标，例如某工程项目的投资指标、成本指标等。以便在工期、投资、成本等既定目标的约束条件下，利用网络计划技术为实现工程项目寻求最合适的方案。

一、确定目标。

如上所述，要在试制某种新产品时应用网络计划技术，要求新产品试制在一定期限内完成，以满足市场的需要。

二、分解工程项目，列出作业明细表，计算作业时间。

一个工程项目是由许多作业组成，在绘制网络图前就要首先将工程项目分解成各项作业。本例分解成17项作业。

在工程项目分解成作业的基础上，还要进行作业分析，主要分析的问题有：

（一）该项作业开始前，有那些作业必须先期完成；

（二）在该项作业进行过程中，有哪些作业可以同时平行地进行；

（三）该项作业完成后，有哪些作业应接着开始。

通过作业分析，可以确定各项作业的先后顺序，并在此基础上，列出作业表。见表17—6。

在工程项目分解成作业后，可接着为各项作业制定项目的作业时间，列入作业明细表。

表17—6 某新产品试制项目的作业明细表

作 业 名 称	作业代号	作业时间(天)	后 续 作 业
编制作业任务书	A	10	B
技术设计	B	10	C.D.E.L
铸件图设计	C	20	F.G.K
其他零件图设计	D	40	G.K
装配图设计	E	30	G.K
铸造工艺规程	F	10	I
机加装配工艺规程	G	45	H
工艺装配设计	H	30	J

续表17—6

作业名称	作业代号	作业时间(天)	后续作业
木模制造	I	20	M
工艺装备制造	J	40	P
样品试制计划	K	10	M、N
原材料外购件准备	L	30	M、N
铸件加工	M	20	P
锻件加工	N	15	P
机械加工	P	30	Q
样品装配	Q	25	R
样品试车鉴定	R	5	结束

三、绘制网络图，进行结点编号。

根据作业明细表中各项作业的先后顺序关系，可以绘制网络图。根据表17—6绘制的网络图如图17—17所示。

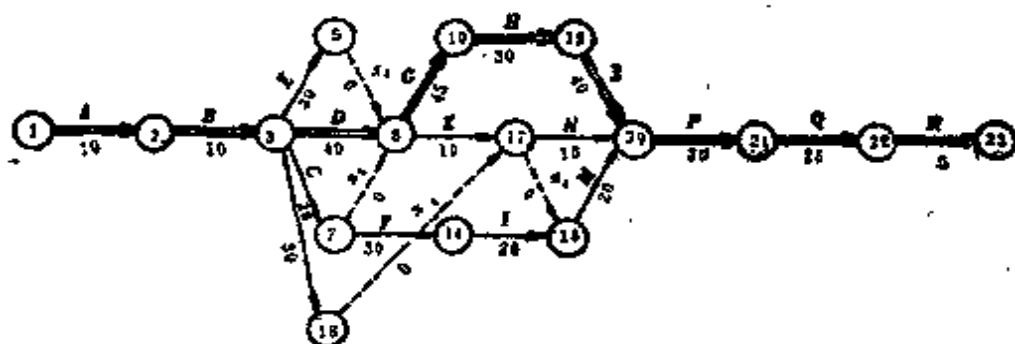


图 17—17

四、计算结点最早开始时间及最迟结束时间并在图上用□、△标出(本图省略)。

五、计算各项作业的最早开始时间及最早结束时间，最迟开始时间及最迟结束时间。将上述各时间列入表中，并在图上用□、△标出(本图省略)。

六、计算时差，确定关键线路及工程周期。

时差可以利用表17—7中的 T_{ES}^{ij} 与 T_{LF}^{ij} 的值直接计算。

表17—7 作业时间及时差

作业代号	作业编号 i—j	作业时间 (天)	T_{ES}^{ij}	T_{EF}^{ij}	T_{LS}^{ij}	T_{LF}^{ij}	S^{ij}
①	②	③	④	⑤ = ③ + ④	⑥ = ⑤ - ③	⑦	⑧ = ⑥ - ④
A	1—2	10	0	10	0	10	0
B	2—3	10	10	20	10	20	0
C	3—7	20	20	40	40	60	20
D	3—8	40	20	60	20	60	0
E	3—5	30	20	50	30	60	10
x ₁	6—8	0	50	50	60	60	10
x ₂	7—8	0	40	40	60	60	20
F	7—14	10	40	50	125	135	85
G	8—10	5	60	105	60	105	0
H	10—12	30	105	135	105	135	0
i	14—18	20	50	70	135	155	85
j	12—20	40	135	175	135	175	0
K	8—17	10	60	70	145	155	85
L	3—16	30	20	50	125	155	105
x ₃	16—17	0	50	50	155	155	105
x ₄	17—18	0	70	70	155	155	85
BM	18—20	20	70	90	155	175	85
N	17—20	15	70	85	160	175	90
P	20—21	30	175	205	175	205	0
Q	21—22	25	205	230	205	230	0
R	22—23	5	230	235	235	235	0

将时差为零的各项作业连接起来，就成为该工程项目的关键线路（如图17—16所示）。

关键线路上各项作业时间之和，即为整个工程项目的工程周期。可知，该新产品试制项目的工期等于235天。

第六节 网络的优化

网络的优化，主要是利用时差，不断改善网络的最初方案，缩短周期，有效地利用各种资源。网络计划的优化处理包括时间优化、时间——资源优化和时间——成本优化。

一、时间优化。这就是在人力、设备、资金等有保证的条件下，寻求最短的工程周期。它可以争取时间，迅速发挥投资效果。

时间优化的具体措施是：（1）利用时差，从非关键线路上抽调部分人力、物力集中用于关键线路，缩短关键线路的延续时间；（2）分解作业，增加作业之间的平行交叉程度；（3）在可能的条件下，增加投入的人力和设备，采用新工艺、新技术等来缩短工程周期。

二、时间——资源优化。这是在人力、设备等资源有一定限度的条件下，寻求最短工程周期，或在工期有一定要求的条件下，通过平衡资源，求得工期与资源需要的最佳结合。

三、时间——成本优化。这就是寻求直接费用与间接费用之和为最低时的工程周期。

下面着重讨论网络计划的时间——成本优化问题，也就是讨论工程总成本的最优化方法。工程总成本可以分为直接费

用和间接费用两部分。直接费用是指与各项作业直接有关的费用，它与工期长短有直接关系，为了缩短工期，就要增加机械设备，劳动力等，从而使直接费用增大。而间接费用是指管理费用等不与各项作业直接有关的费用，但间接费用与工期长短成正比，它随工程周期变动而变动。总成本有一个最小值，与之相对应的工期称为最优工期 T^* 。图17—18为最优工期的示意图。图中 C_1 表示直接费用， C_2 表示间接费用， $C_{总}$ 表示总费用，它有一个最小值 C_{min} 。

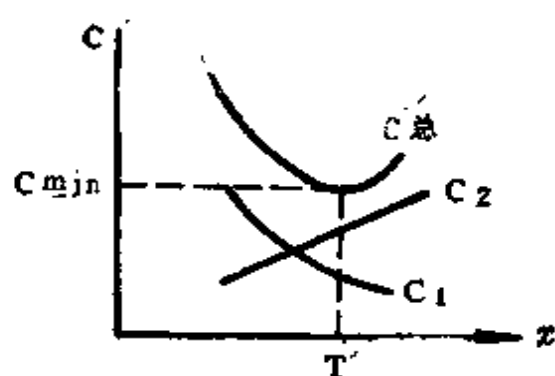


图17—18

现举时间——成本优化之例如下：

设有某项计划，共有九项作业。为了解决这类优化问题，首先必须知道每项作业的费用，包括正常作业时间和最短作业时间下的费用。今将时间和

费用列入表17—8。表17—8中最右边一列为费用率 e_{ij} ，它表示缩短单位时间所增加的费用。计算公式如下：

$$e_{ij} = \frac{S_{ij} - r_{ij}}{t_{ij} - k_{ij}}$$

费用率大意味着缩短单位工期所增加的费用大。因此要缩短工期，又要使增加的费用最小，则应优先缩短费用率小的作业。

该项计划的直接费用在正常作业时间的条件下为310000元，间接费用为每周10000元。现要求出直接费用与间接费用之和最小的工程周期，缩短工期的具体步骤如下：

表17—8

作 业	时 间 (周)		费 用 (万 元)		费 用 率
i—j	正 常 t_{ij}	最 短 k_{ij}	正 常 r_{ij}	最 短 工 期 S_{ij}	e_{ij} (元/周)
1—3	6	3	4	5.2	4000
1—2	5	1	3	5	5000
3—4	7	5	4	10	30000
3—6	5	2	3	6	10000
2—4	6	2	4	7	7500
4—5	6	4	3	6	15000
4—6	9	5	6	11	12500
5—7	2	1	2	4	20000
6—7	4	1	2	4.7	3000

一、绘制网络图 (见图17—17) 并按正常作业时间计算网络时间值, 确定关键线路、工期及正常作业时间条件下的工程总费用。

从图17—17可知, 工程周期为26周, 故间接费用为 $26 \times 10000 = 260000$ 元, 在正常作业时间的条件下的工程总费用为:

$$\begin{aligned} \text{工程总费用} &= \text{直接费用} + \text{间接费用} \\ &= 310000 + 260000 = 570000 \text{ 元} \end{aligned}$$

在正常作业时间的条件下计算的网络时间值、时差等的结果, 列入表17—9。

从图17—17可知, 网络图上共有五条线路, 各线路及线路延续时间如图17—18所示。线路V为关键线路。

表17—9

作业 $i \rightarrow j$	正常费用	正常时间	最早开始时间 T_{Es}^{ij}	最迟开始时间 T_{Ls}^{ij}	时差
1—3	4	6	6	6	0
1—2	3	5	5	7	2
3—4	4	7	13	13	0
3—6	3	5	11	22	11
2—4	4	6	11	13	2
4—5	3	6	19	24	5
4—6	6	9	22	22	0
5—7	2	2	21	26	5
6—7	2	4	26	26	0

线	路	线路延续 时间(周)
I	①—③—⑥—⑦	15
II	①—②—④—⑤—⑦	19
III	①—③—④—⑤—⑦	21
IV	①—②—④—⑥—⑦	21
V	①—③—④—⑥—⑦	26

图17—18

二、在关键线路上找出费用率最小的作业。

$e_{\min} = \min$
 $(4000, 30000,$
 $12500, 10000) =$
 $4000 \text{ 元/周, 该作业为 (1—3)。$

三、决定缩短作业时间，现分析一下(1—4)的两条线路(1—3—4)和(1—2—4)，前者为关键线路，后者为非关键线路，最合适的办法是缩短关键线路，使之与非关键线路相等。即缩短作业(1—3)，使之从6周减至4周，缩短2周。

四、计算调整后的总工期和总费用。

直接费用增加额 $\Delta C_1 = 2 \times 4000 = 8000$ 元

直接费用 $C_1 = 31000 + 8000 = 318000$ 元

间接费用节约额 $\Delta C_2 = 2 \times 10000 = 20000$ 元

间接费用 $C_2 = 260000 - 20000 = 240000$

工程总费用 $C = C_1 + C_2 = 318000 + 240000$
 $= 558000$ 元

总工期 $T = 26 - 2 = 24$ 周

调整后的线路 V 缩短 2 周与线路 VI (5—6—9—4) 的延续时间相等, 为 24 周。线路 III 压缩 2 周与线路 II 的延续时间相等, 为 19 周, 线路 I 压缩 2 周, 为 13 周。

五、继续寻找费用率最小的作业, 决定把 (1—2) 和 (1—3) 各缩短 1 周。

直接费用增加额 $\Delta C_1 = 1 \times 4000 + 1 \times 5000 = 9000$ 元

直接费用 $C_1 = 318000 + 9000 = 327000$ 元

间接费用节约额 $\Delta C_2 = 1 \times 10000 = 10000$ 元

间接费用 $C_2 = 240000 - 10000 = 230000$ 元

工程总费用 $C = C_1 + C_2 = 327000 + 230000$
 $= 557000$ 元

总工期 $T = 24 - 1 = 23$ 周

调整后的线路 V 与线路 VI 的延续时间相等 (各自均缩短 1 周), 为 23 周, 线路 III 与线路 II 的延续时间相等, 为 18 周, 线路 I 压缩 1 周, 为 12 周。

六、使作业 (6—7) 缩短 3 周 (见图 17—19)。

直接费用增加额 $\Delta C_1 = 3 \times 9000 = 27000$ 元

直接费用 $C_1 = 327000 + 27000 = 354000$ 元

间接费用节约额 $\Delta C_2 = 3 \times 10000 = 30000$ 元

间接费用 $C_2 = 230000 - 30000 = 200000$ 元
 工程总费用 $C = C_1 + C_2 = 354000 + 200000 = 554000$
 总工期 $T = 23 - 3 = 20$ 周

从图17—19可知调整后的线路V与线路Ⅵ的延续时间相等（各自均缩短3周），为20周，线路Ⅲ与线路Ⅱ的作业时间没有压缩，仍为18周，而线路Ⅰ的作业时间压缩3周，为9周。

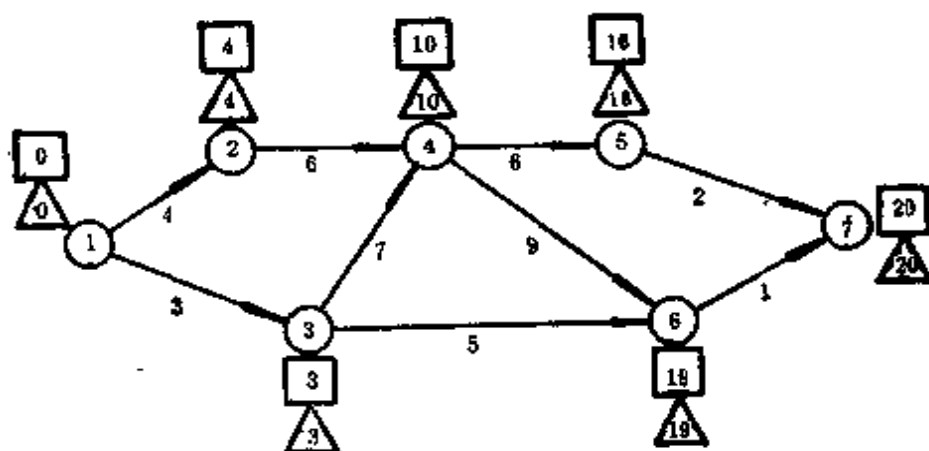


图17—19

七、使作业（4—6）缩短2周。

直接费用增加额 $\Delta C_1 = 2 \times 12500 = 25000$ 元

直接费用 $C_1 = 345000 + 25000 = 379000$ 元

间接费用节约额 $\Delta C_2 = 2 \times 10000 = 20000$ 元

间接费用 $C_2 = 200000 - 20000 = 180000$ 元

工程总费用 $C = C_1 + C_2 = 379000 + 180000 = 559000$ 元

总工期 $T = 20 - 2 = 18$ 周

调整后的线路V与线路Ⅵ的延续时间相等（各自均缩短

2周)，为18周，其他线路的延续时间没有变化。

八、把作业（4—5）和（4—6）同时缩短2周。

$$\begin{aligned}\text{直接费用增加额 } \Delta C_1 &= 2 \times (15000 + 125000) \\ &= 55000 \text{元}\end{aligned}$$

$$\text{直接费用} \quad C_1 = 379000 + 55000 = 434000 \text{元}$$

$$\text{间接费用节约额 } \Delta C_2 = 2 \times 10000 = 20000 \text{元}$$

$$\text{间接费用} \quad C_2 = 180000 - 20000 = 160000 \text{元}$$

$$\begin{aligned}\text{工程总费用} \quad C &= C_1 + C_2 = 434000 + 170000 \\ &= 594000 \text{元}\end{aligned}$$

$$\text{总工期} \quad T = 18 - 2 = 16 \text{周}$$

调整后的线路 V 与线路 VI、III、II 均缩短 2 周，其延续时间相等，为 16 周，而线路 I 的作业时间未变。

九、把作业（1—2）和（3—4）同时缩短 2 周。

$$\text{直接费用增加额 } \Delta C_1 = 2 \times (5000 + 30000) = 70000 \text{元}$$

$$\text{直接费用} \quad C_1 = 434000 + 70000 = 504000 \text{元}$$

$$\text{间接费用节约额 } \Delta C_2 = 2 \times 10000 = 20000 \text{元}$$

$$\text{间接费用} \quad C_2 = 160000 - 20000 = 140000 \text{元}$$

$$\begin{aligned}\text{工程总费用} \quad C &= C_1 + C_2 = 504000 + 140000 \\ &= 644000 \text{元}\end{aligned}$$

$$\text{总工期} \quad T = 16 - 2 = 14 \text{周}$$

线路 V 与线路 VI、III、II 均缩短 2 周，其延续时间是相等的，为 14 周。

因为关键线路上的作业已缩至最短时间，所以计算到此结束，再不能压缩了。计算结果列入表 17—10。

表17—10

总 工 期 (周)	间 接 费 用 (元)	间 接 费 用 (元)	总 费 用 (元)
14	504000	140000	644000
16	434000	130000	594000
18	397000	130000	559000
20	354000	200000	554000
23	327000	230000	557000
22	318000	240000	558000
32	310000	260000	700000

由此可见，最优工期为20周，最低费用为554000元，比原来的方案缩短工期6周，节约总费用 $\Delta C = 570000 - 554000 = 16000$ 元。

实际上缩短工期，只压缩到第六步骤就可以了，从第六步骤以后，虽然工期可以缩短，但由于直接费用的增加额将大于间接费用的节约额，而使工程总费用增加。

