

第三章 生产运作系统的空间组织

本章教学目的与要求

通过本章学习，使学生理解企业选址及决策的重要性，了解影响企业选址决策的因素、选址决策的程序及方法、影响工厂平面布置的要素及指导原则，掌握设置生产单位的专业化原则、生产运作系统空间布置的步骤及方法，掌握流水生产的基本内涵与特征、流水生产的类型、组织流水生产的基本条件以及流水线组织设计的基本原理。

本章教学重点与难点

1. 影响企业选址决策的因素、选址决策的程序。
2. 影响工厂平面布置的因素及工厂平面布局的基本原则。
3. 设置生产单位的专业化原则。
4. 生产运作系统空间布置的步骤及方法。
5. 流水生产的基本内涵与特征。
5. 流水生产的主要类型与组织流水生产的基本条件。
6. 流水线组织设计的基本原理。

生产运作系统的组织包括空间组织和时间组织两大方面，本章主要介绍生产运作系统的空间组织。所谓生产运作系统的空间组织，直观地说就是确定构成生产运作系统硬件的空间位置、地理位置。

第一节 企业选址

企业选址就是为其生产运作系统选择空间、地理位置。

一、企业选址决策的重要性

企业选址决策的重要性可以从三个方面予以阐述，这三个方面是战略属性，经济属性和人文属性。

(一)企业选址决策的战略属性

所谓战略属性是说企业选址是企业的一个基本问题、重要问题和作用影响长远的问题。选择了某一地理位置获得了某些有利因素和条件，但同时也放弃了另一些地理位置的资源 and 机遇。尤其是企业选址的决策一旦实施，其可逆性很差，甚至是无法逆转的。

(二)企业选址决策的经济属性

生产运作系统的地理位置决定了生产运作系统与相关经济要素的空间联系，因而它影响和决定了企业的投资、成本和市场竞争能力，乃至影响和决定了企业的经济效益。

对企业投资产生重大影响的包括：购置和租用厂地的地价，同时地形地貌也影响到基建速度，还有动力供应，水源和自然气候条件等等，投资的大小必然直接影响到成本中的固定费用总额。

对企业日常生产产品成本产生影响的包括原材料、产成品以及各种生产经营资源要素的运输时间及费用。

(三)企业选址决策的人文属性

企业选址决策选择了企业的地理位置，也同时选择了企业的外部环境，也必然有与相应的社会、社区相融合的问题。

包括法制环境：法制是否健全，社会是否安定，以及有关法律条款、政策规定、税赋水平及倾向性。还包括企业周围社区居民的生活习俗、文化教育、宗教信仰等。这些都将会对企业文化的形成和建立产生深远的重要的影响，在国外，跨地区多种族建厂的企业，这些问题就显得尤其重要和突出。

二、选址决策的影响因素

选址决策根据有关国家合理布局规划，按设计任务的要求，从厂区内和厂区外两个方面考虑以下一些因素：

(一)厂区外的因素

厂区外的因素及基本要求

1. 市场因素 根据各地区目前和将来对该产品的需求量，选择在主要消费区和需求最迫切的地区配置企业。
2. 原料因素 靠近原材料、燃料产地。
3. 能源因素 能源消耗大的企业要接近产煤、产油和供电的地点；用水量不大的工厂，可采用城市供水，用水量大的工厂，应靠近河流和水库。
4. 技术因素 考虑地区的科研机构、设计单位、实验中心、计算中心、高等院校、中等专业学校的设置对工业企业发展的影响。
5. 协作因素 有利于建立具有特色的地区工业体系，工厂配置要便于组织地区之间、部门之间、工厂之间协作，实行专业化生产。
6. 运输因素 利用本地现成的运输线，如铁路、公路、河运、海运和航空运输等。
7. 人力因素 最好选择劳动力资源充足或通过企业互相调剂能够解决工人需要量的地方，尽可能就地解决生活供应和住房，不宜从远处大批调动工人。
8. 水电因素 靠近水源和电站，尽可能不要建设巨大的线路和管道工程就可取得生产用水和电力。
9. 卫生因素 厂址不设在影响居民卫生的上风方向和工厂烟尘吹来的下风方向的地方。
10. 社会因素 职工居住区宜靠近城市和文化福利区，距离工厂不远，以便利用城市的服务、卫生、公共交通运输、下上水道、煤气等设施。

(二)厂区内的因素

厂区内的因素及基本要求

1. 地质因素 在震区和有地下工程的区域应慎重选择；地下有开采价值的矿体和崩塌、滑坡层、流沙层、淤泥层、断层、溶洞、大水库下游、山洪、内涝、地下水位高、受邻近工厂严重污染的下风或下游地段、爆破危险区内，都不应选作厂址。
2. 容量因素 所选厂区按工艺过程要求，能足够容纳全部建筑物、构筑物 and 厂内运输设备。有扩建计划的应考虑适当的伸展余地。但应慎重征用耕地，力求少占或不占农田，少拆或不拆房屋。
3. 地势因素 厂区力求地势平坦，土方工程量较少；不宜选在有大量土方工程的地方。
4. 环保因素 “三废”（废气、废水、废渣）和烟尘、噪声、振动等有全面治理的可能性，避免污染周围环境。

三、选址决策的程序

选址决策无异于一次重大的复杂的系统工程，需要做可行性研究。既要切实可行，科学合理，更要追求全面的经济效益。

从层次方面看，选址决策需先选择一个区域，再选择适当的地点；从工作步骤和内容方面看，需经过准备阶段，现场调查阶段和评价抉择阶段。

(一)选择区域和地点

1. 选择某一个地区

选择地区时要综合考虑经济因素、政治因素、社会因素和自然因素。城市设厂较适合于对环境污染小、占用土地少、需要与顾客直接接触的服务业。城市人口稠密，人才集中，交通便利，通讯发达，动力供应便利。但是，城市地价昂贵，生活水平高。在农村设厂与城市设厂优缺点相反。城郊具有城市和农村的优点，且由于现代交通和通讯发达，将有越来越多的工厂设在城郊。

2. 选择适当的地点

这时要针对企业的特点，更深入地分析研究各种有关因素。通常要求考虑管理厂址环境的费用和产品的可变成本，如直接人工、物料搬运费和管理费等。

(二)工作步骤和相关内容

1. 准备阶段

主要工作内容包括：

(1)根据计划任务书，确定工厂组成和生产协作原则；

(2)根据工厂生产纲领和同类型工厂的资料，确定主要车间的外形尺寸，绘制 2~3 个总平面草图进行比较，从中加以选择；

(3)根据工厂生产纲领，初步确定工厂的运输量，确定工厂用电、用水、蒸汽、压缩空气等的概略需要量；

(4)根据设计能力，确定职工的概略人数和劳动力来源；对地形、气候、地质、交通运输，以及附近城市发展规划、人文情况等方面进行研究。

2. 现场调查阶段

由设计单位、生产企业和主管部门组成建厂工作组，并邀请当地城市建设、铁路运输等部门参加。

主要工作内容包括：

(1)从当地城市建设单位取得厂区附近地形图和城市规划图，并听取他们对建厂的意见；

(2)根据城市规划图，试作几个工厂位置的方案，初步定出生产区、住宅区。

在需要的情况下，还要

(1)研究连接铁路专用线的可能性；

(2)对厂区地质条件进行初步勘测，了解土质、地震史、地下水位等情况。

3. 评价抉择阶段

要根据企业的主要要求，抓住几个主要因素，对不同的厂址方案进行分析比较，依据经济合理的原则从中择优。

方案确定后，就要与有关部门和地方机关签订土地使用、铁路接轨、电力供应、基本建设、设备安装等协议，最后编制报告书上报批准。

对于选址这项重大，复杂的系统工程，需要有关人员和各种专业人员协同进行。区域与地点，各种要求和要素的关联性和平衡，需要反复研究讨论，尝试各种组合及相关测算，统筹规划、优化。

四、选址决策的方法

一般而言，选址决策的方法，应该不拘于形式与模型，而是具体问题具体分析，按企业的生产经营的特点及要求，区分轻重缓急，比较利弊得失。如单纯的运输问题可采用运筹学，线性规划等方法。从理论

上说，选址决策涉及要素多，性质类别、层次、关系复杂多样化，较常见和较适合采用评分法和量本利分析法，下面分别予以简单介绍。

(1)评分法

评分法的一般步骤为：

- ①按照企业生产经营要求，确立评价要素；
- ②按照要素的重要程度，予以或排序或赋予权重或分配该要素的最高分值；
- ③组织相关人员调研和按满足程度予以打分；
- ④最后计算汇总。

现举例如下：

某企业选址综合评价统计如表 3-1

表 3-1 加权法

选址因素	权重	备选厂址		
		A	B	C
赋税政策	0.25	70	95	80
土地状况	0.10	80	70	90
交通条件	0.20	70	60	60
人力资源	0.25	90	80	90
扩展潜力	0.20	90	80	80

评分法的优点：

评分法有利于枚举、突出一些重大因素。重大因素评分高的方案可以优先考虑。重大因素评分低于下限的可予以剔除淘汰。

评分法虽粗略但直观，更适合选择区域作前期评估。

(2)量本利分析法

量本利分析方法更适合作细致评价。地理位置的不同，营业额和销售收入不同。地理位置不同相应的固定成本和变动成本也不同。可以通过逐个方案的测算和相互比较。予以选址决策。其示意图如图 3-1

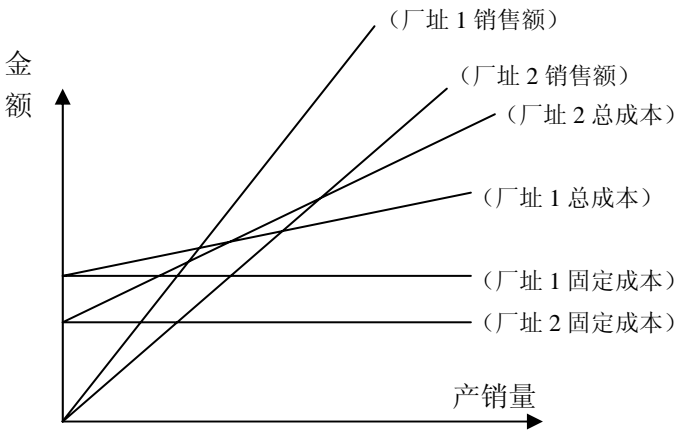


图 3-1 量本利分析示意图

第二节 工厂平面布局

选择了企业，工厂的地理位置，就要进行工厂平面布局，生产运作系统的管理是一个多层次、多方面、多要素的问题，是一个追求基本单元、局部，最终追求总体高水平优化的问题。

一、工厂平面布局的内容与层次，基本原则与影响因素

(一)工厂平面布局的内容与层次

1. 工厂平面布局包括两大内容

其一，设置生产单位；其二，布置空间场所。

生产单位是生产运作系统的基本组成部分，是生产运作系统的组织形式。

物质形态的资源是有限的，空间和时间资源也是有限的。为生产单位合理地设置空间场所，关系到各生产单位的相互协作，有利于空间总体和各生产单位内部空间资源的充分利用，同时也利于时间资源充分利用，还涉及到运输费用、仓储保管费等一系列生产运作的成本费用。

2. 工厂平面布局的层次

无论是设置生产单元乃至布置空间场所，都是有层次划分或分层次进行的。

以较为复杂和典型、具有理论代表意义的机械加工企业为例，一般地分为工厂、车间、班组三个层次。规模更大、层次更多的可分为总厂、分厂、车间、工段和班组五个层次。

在不同层次进行生产运作系统的空间组织时，既有共性的一面，又有特殊个性的一面。

(1)不同层次生产运作系统的空间组织共性的一面

无论哪个层次进行生产运作系统的空间组织，都具有以下共性：

①都是以它下一个层次作为基本单位。

②都是以它的上一个层次作为总体协调目标。

③都要遵循空间组织共同的基本原则。

(2)不同层次生产运作系统空间组织个性的一面

很显然，不同层次生产运作系统空间组织的内容不同，影响要素不同，所面临和需要处理的问题也不同，层次愈高，愈倾向于粗略的规划问题；层次愈低，愈倾向于细微的具体问题。

(二)工厂平面布局的基本原则

1. 设置生产单位的基本原则

生产运作管理的核心是从生产力的角度研究和解决生产过程中的**分工与协作**问题。按合理组织生产运作过程的基本要求，在设置生产单位时，应突出提高**专业化**的原则，提高生产运作系统的**适应性**的原则。高专业化是提高劳动生产率的基础，适应性又是技术飞速发展，市场千变万化的需要。因此，必须追求建立一个高专业化、高效率，又具有柔性和一定适应性，能充分利用资源的生产运作系统。

2. 布置空间场所的原则

合理布置空间场所应遵循的原则，概括地说就是：有利生产、方便运输、节约用地、美化环境。

厂房、设置和其他建筑物的布置，应满足生产运作过程的要求，使原材料、半成品和成品的运输路线尽可能短，并应避免互相交叉和往返运输，从而缩短生产周期，节约生产费用。

充分利用城市现有的运输条件，如铁路、公路、港口等条件。生产运作过程的流向和运输系统的布置应满足货运线路的要求，保证物料输入和产品输出的方便，有密切生产联系和协作关系的车间应靠近布置；辅助车间和生产服务部门应设在其主要服务的车间附近，以保证最短的运输距离和工作联系方便。

按照生产性质、防火和卫生条件以及按照动力需要和物料周转量，分别把同类性质的车间和建筑物布置在一个区域里，以便更好地满足生产要求和防火、卫生要求，合理利用厂区面积。

在其他条件相同的情况下，工厂所占面积愈小，总平面布置愈紧凑，则建厂时的土方工程将愈小，各

种工程管道和道路也将愈短，从而基建投资费用也愈低。

在不影响生产和符合节约的原则下，适当地考虑到企业的美化和绿化，使工厂布置得整齐、美观，使职工在一个良好的环境里工作，感到身心愉快，工作情绪饱满，有利于企业文化的建设和良好企业形象的树立。

(三)生产运作系统空间组织的影响因素

一个企业，尤其是机械加工企业在设置生产单位时应着重考虑以下重要影响因素：

1. 企业的专业方向、结构和工艺特点

企业的专业方向规定着企业出产的产品品种。它决定企业应建立哪些车间。

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

2. 企业的专业化与协作水平

企业的专业化是以生产的产品品种多少和工艺类型与方法的单一化程度来衡量的。专业化程度高的企业，年产量较大，生产单位(车间)的任务比较单一。**企业的生产专业化形式不同，相应设置的生产单位也不同**。

采用产品专业化形式的企业，要求企业有较为完整的生产单位，应设置毛坯车间、机械加工车间、热处理车间、装配车间等，如汽车制造企业。

采用零件专业化形式的企业，多数没有完整加工过程的各个工艺阶段，可不设置装配车间或毛坯车间，如齿轮厂等。

采用工艺专业化的企业，一般只设有相应工艺阶段的车间，如装配厂，只有部件装配车间、总装车间等。

企业的专业化程度高，必然有大量的外协件需进行协作化生产，协作范围越广，则企业的生产车间组成越简单。

3. 企业的生产规模

机械制造企业的生产单位组成也受生产规模影响。因为，实现生产过程所需的车间数目、车间大小等都取决于企业的生产规模。**企业的生产规模愈大，它所需要的车间数目愈多，每个车间的规模愈大**。在大型机械制造企业中，往往要建立几个同类工艺性质的车间，例如大型的汽车厂，拖拉机厂、重型机器厂等，往往把铸造车间分为铸铁车间、铸钢车间、有色金属铸造车间；机械加工车间也分为若干个。而在小型机械制造企业中，往往又把某些基本车间合并为一个车间，如把热处理与电镀合并为一个车间。

二、设置生产单位的专业化原则

设置生产单位的专业化原则，是劳动生产率水平高低的基础。它同样也决定着企业内部的分工与协作关系，决定着工艺过程以及物流的流向，厂内运输路线和运输量等等。它是生产运作系统空间组织的一个重要问题。

①就生产运作系统的装备是通用还是专用而言，生产单位的专业化原则在理论上多为典型的**工艺专业化原则**和**对象专业化原则**，在实际上又多交叉为**混合原则**。

②就集中相似劳动，采用成组技术及装备而言，则需设置**成组工艺中心**、**成组生产中心**和**成组流水线**。按理论教学的需要，在此只介绍基础内容，即工艺专业化原则和对象专业化原则。

(一)工艺专业化原则和工艺专业化车间

工艺专业化原则就是集中同种工艺要素建立工艺专业化的生产单位。

特点：在工艺专业化车间中，集中了同类型的机器设备和同工种的工人，对企业的各种产品、零部件

进行相同工艺方法的加工。

1. 工艺专业化原则的两种形式

工艺专业化车间，按完成企业生产过程中的某个工艺阶段或其中的部分工序，它又有下述两种形式：

第一，完成一个工艺阶段的全部工种作业的专业化车间，如铸造车间、锻工车间、机械加工车间和装配车间。这是工艺专业化程度**较低**的形式。

第二，完成一个工艺阶段的部分工种或某一工种的工艺专业化车间，如车工车间、铣工车间、磨工车间等。它们分别集中了车床与车工、铣床与铣工、磨床与磨工，分别完成各种零件工序数由于工种的单一而相对减少，所以它是工艺专业化程度**较高**的形式。

按工艺专业化原则建立的工艺专业化车间，其零件运动的示意图，见图 3-2

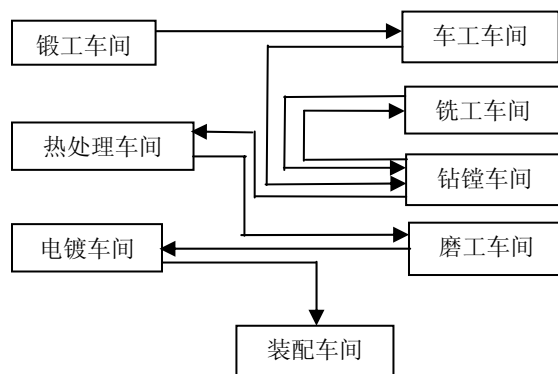


图 3-2 工艺专业化车间之间零件运动示意图

2. 工艺专业化的**优点**

- (1)对产品品种的变换有较强的适应性；
- (2)便于充分利用设备和生产面积，提高负荷系数；
- (3)便于工艺管理，有利于工人技术水平的提高。

需要指出的是，按工艺专业化原则设置生产单位，可因有利于生产任务的调剂而充分利用设备资源，但并不因此而可以推断出其劳动生产率是高的。**(为什么?)**

(因为按工艺专业化原则设置生产单位时，一般多为通用设备和装备。而通用设备和装备的劳动生产率远远低于专用设备和装备。)

3. 工艺专业化的**缺点**

由于工艺专业化车间只能完成某一种工艺加工，因而加工对象必须经过工艺专业化不同的几个车间才能制造出来，这就必然造成：

- (1)大批半成品由一个车间转到另一个车间，交叉运输和往返运输很多，使加工路线延长，运输工具、运输工人和中间仓库增多，厂内运输费用增加；
- (2)当半成品大批地由一个车间转到时另一个车间时，大量时间花在运送途中，且停放时间多，延长了生产周期，积压了在制品，使流动资金占用量很大；
- (3)车间之间的生产联系和协作关系复杂化，从而不利于计划管理、在制品管理、质量管理等工作。

(二)对象专业化原则和对象专业化车间

对象专业化原则是按加工对象的要求集中工艺要素。

特点：在对象专业化车间中，把加工对象的全部或大部分工艺过程集中在一个生产单位中，一般而言，它集中了不同种类的机器设备和不同工种的工人，对同类加工对象进行不同的工艺加工。

1. 对象专业化原则的两种形式

对象专业化车间的零件运动示意图，见图 3-3

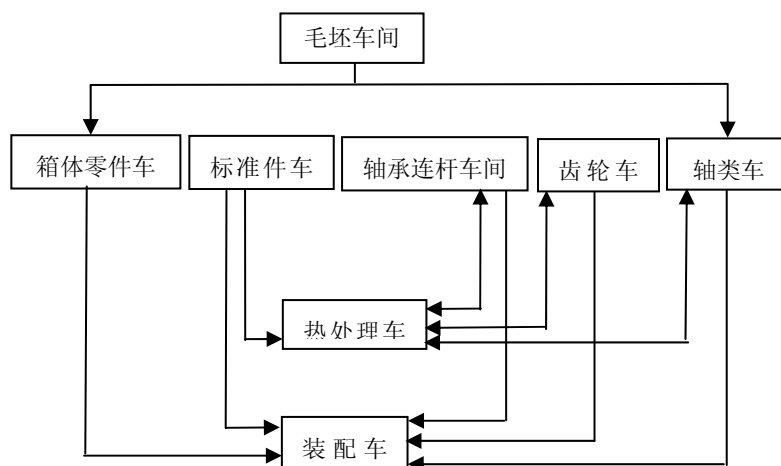


图 3-3 对象专业化车间之间零件运动示意图

按对象专业化原则建立的对象专业化车间，有两种主要形式：

第一，以产品或部件为对象的和以同类零件为对象的。以产品或部件为对象建立的专业化车间是，把产品或部件的大部分加工、装配与试验的工艺过程封闭在一个车间中。如汽车厂的底盘车间和发动机车间，飞机发动机厂的涡轮转子车间等。

第二，以同类零件为对象建立的专业化车间。如汽轮机厂的叶片车间、机床厂的齿轮车间、轴承厂的滚子车间等。

衡量对象专业化程度的指标有二：

一是车间内生产的对象种数。对象的种数越少，专业化程度就越高；

二是车间内完成该种生产对象全部工艺工序的比重或工艺封闭程度。封闭程度越高，专业化程度也越高。

2. 对象专业化车间的优缺点

主要优点是：

(1)可以大大缩短产品加工路线，节约运输等辅助劳动量，减少仓库和生产面积的占用；

(2)可以减少产品的运输时间和停放时间，提高生产过程的连续性，缩短生产周期，减少生产中的在制品占用量，节约流动资金；

(3)减少车间之间的生产联系，从而可以简化计划管理与生产核算工作，加强在制品管理、质量管理工作；

但是，由于对象专业化原则多采用高专业化的设备和装备，按固定少数几种加工对象的需要而设置的，因而其适应性是较差的。

三、工厂平面布局的步骤与方法

(一)工厂平面布置的步骤

影响空间布置的主要因素分别是，物料流向，物料运量和作业相互关联。

系统的布置设计(SLP)从系统的观点出发综合应用各种有效方法，综合考虑影响空间布置的主要因素，进行工厂总平面布置设计。见图 3-4。其具体步骤和内容如下：

1. P—Q 分析

P 指产品品种，Q 指产量。进行 P—Q 分析的结果，可按照 Q 递减的顺序来排列各种产品，并绘制 P—Q 图，如图 3-5 所示。利用该图可以大致确定不同产量的产品应采用何种设备布置方案，如生产线布置、

机群式布置、成组式布置。

2. 物流分析

这一步骤的内容是在已知各种产品(P)产量(Q)的基础上，分析各种产品工艺阶段和工序(R)以及物流时间(T)。

3. 生产活动相互关系的分析

这是在物料因素之外，考察各种生产活动的相关性及其对平面布置的影响。一般可以用作业(活动)相关图表示各生产单位的各种生产活动之间的关系。

4. 绘制物流—活动相关图

根据前述的物流分析和生产活动相互关系的分析，决定工厂各组成部分的相对位置，并绘制成图。

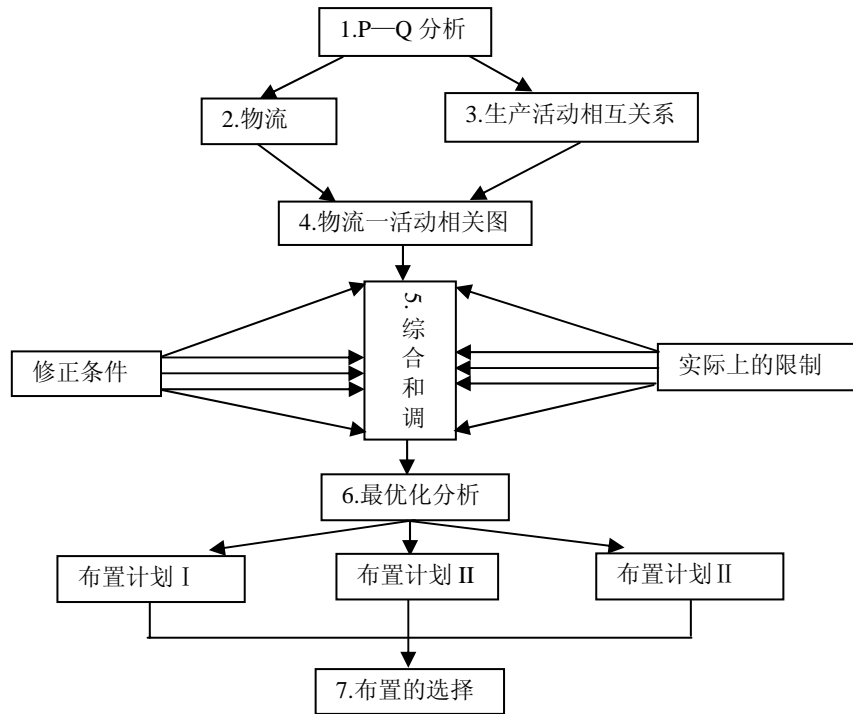


图 3-4 总平面布置设计步骤图

5. 设计布置方案

以面积相关图为基础，考虑物料运输、储存设备和工厂地区等条件及实际上的限制，调整布置。然后，再根据最优化的评价标准，对两个相邻车间或三个车间进行调换，给出几种方案。

6. 选择评价方案

分析已设计方案的优点和缺点，综合各种方案进行评价，选出最优布置方案。

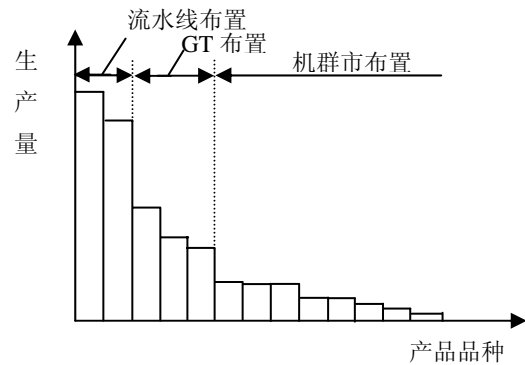


图 3-5 P—Q 分析图

(二)平面布置设计的方法

下面就影响空间布置的因素，处理单一问题的具体方法，分别予以介绍。

1. 物料流向图法

物料流向图法，就是按照原材料、在制品及其他物资在生产过程中总的流动方向来布置工厂的车间、设施和生产服务单位。

在机械制造厂中，同时进行着许多不同种类的生产过程，其中将原料经过加工装配变成产品的基本生产过程是最主要和起决定性作用的。因此，工厂厂房和建筑物的相互位置应符合下列顺序，见图 3-6

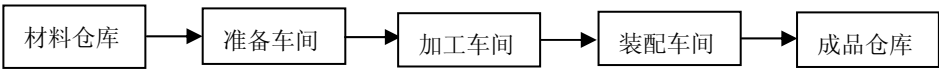


图 3-6 工厂厂房建筑布置的顺序

为了反映各组成部分相互间的生产联系和在生产过程中原材料、毛坯、半成品、成品等的物流流向，可以先绘制系统图，以便按它进行平面布置。见图 3-7

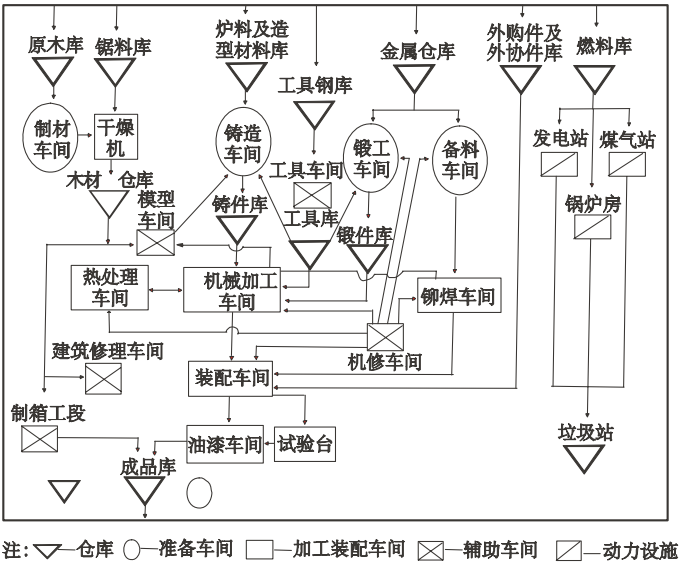


图 3-7 某机械制造厂生产系统图

2. 代数式法

代数式法的具体做法是：

- ①划分各生产单位和进行分区编号。
- ②列出约束条件和优化条件。
- ③用乘式表达布置组合。
- ④进行乘积运算排斥某生产单位多个分区并置的方案。
- ⑤反复进行乘积运算完成所有排斥。

高次方表示满足各个优化条件。举例如下：

(1)条件

某厂总平面图按需要划分为 5 个小区。各小区只表示划位置，并不精确地表示该小区的面积大小。各小区面积可在完成总体布置后，根据实际需要，在相邻小区之间调整(见图 3-8)。

设有 A、B、C、D、E 等五个生产单位，每个子系统应

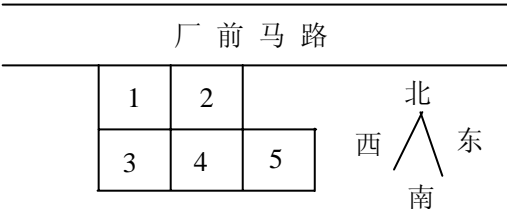


图 3-8 各小区相对位置布置图

当占一个小区，用字母为代号表示车间、仓库、动力站及办公楼等各个子系统。有如下限制和要求：

限制条件：

- ① D 生产单位不准靠近厂前马路；
- ② B 生产单位必须靠近厂前马路；
- ③ C 生产单位不能置于 5 区；
- ④ E 生产单位不许置于 4 区；

优化目标(要求)

- ⑤ E 生产单位应尽可能置于 5 区；
- ⑥ 由于风向影响，D 生产单位应尽可能置于 C 生产单位东边；
- ⑦ E 生产单位应尽可能远离 B；
- ⑧ A、B 两生产单位应尽可能靠近。

(2)具体运算过程

①先用约束条件列出各生产单位可能的小区。

根据约束条件①有 $(D_3+D_4+D_5)$ ；

根据约束条件②有 (B_1+B_2) ；

根据约束条件③有 $(C_1+C_2+C_3+C_4)$ ；

根据约束条件④有 $(E_1+E_2+E_3+E_5)$ 。

②再用优化目标对上述结果进一步筛选，列出各生产单位优化的位置。

根据优化目标⑤有 E_5 ；

根据优化目标⑥有 $(C_3D_4+C_4D_5)$ ；

根据优化目标⑦有 B_1E_5 ；

根据优化目标⑧有 $(B_1A_2+B_1A_3+B_2A_1+B_2A_4)$ 。

③所有可能方案如算式：

$$(D_3+D_4+D_5)(B_1+B_2)(C_1+C_2+C_3+C_4)(E_1+E_2+E_3+E_5)E_5(C_3D_4+C_4D_5)B_1E_5(B_1A_2+B_1A_3+B_2A_1+B_2A_4)$$

④进行代数式运算后，予以排斥。

$$(D_3+D_4+D_5)(B_1^2E_5+B_1B_2E_5)(C_1+C_2+C_3+C_4)(E_1E_5+E_2E_5+E_3E_5+E_5^2)(C_3D_4+C_4D_5)(B_1A_2+B_1A_3+B_2A_1+B_2A_4)$$

上式中， $B_1B_2E_5$ 表示 B 生产单位既置于 1 区，又置于 2 区； E_1E_5 表示 E 生产单位既置于 1 区，又置于 5 区； E_2E_5 表示 E 生产单位既置于 2 区，又置于 5 区； E_3E_5 表示 E 生产单位既置于 3 区，又置于 5 区；均为不允的方案。剔出后有

$$(D_3+D_4+D_5)B_1^2E_5(C_1+C_2+C_3+C_4)E_5^2(C_3D_4+C_4D_5)(B_1A_2+B_1A_3+B_2A_1+B_2A_4)$$

⑤继续进行运算和剔出。

$$(C_3D_3D_4+C_3D_4^2+C_3D_4D_5+C_4D_3D_5+C_4D_4D_5+C_4D_5^2)(C_1+C_2+C_3+C_4)E_5^3(B_1^3A_2+B_1^3A_3+B_1^2B_2A_1+B_1^2B_2A_4)$$

上式中， $C_1^2D_3D_4$ 、 $C_3D_4D_5$ 、 $C_4D_3D_5+C_4D_4D_5$ 均表示 D 生产单位同时置于两个小区； $B_1^2B_2A_1$ 、 $B_1^2B_2A_4$ 均表示 B 生产单位同时置于两个小区，显然是不允许的方案。剔出后继续运算。

$$⑥(C_3D_4^2+C_4D_5^2)(C_1+C_2+C_3+C_4)E_5^3(B_1^3A_2+B_1^3A_3)$$

同理，则有：

$$=(C_1C_3D_4^2+C_1C_4D_5^2+C_2C_3D_4^2+C_2C_4D_5^2+C_3^2D_4^2+C_3C_4D_5^2+C_3C_4D_4^2+C_4^2D_5^2)E_5^3(B_1^3A_2+B_1^3A_3)$$

$$=(C_3^2D_4^2+C_4^2D_5^2)E_5^3(B_1^3A_2+B_1^3A_3)$$

$$=(C_3^2D_4^2E_5^3+C_4^2D_5^2E_5^3)(B_1^3A_2+B_1^3A_3)$$

$$=C_3^2D_4^2E_5^3(B_1^3A_2+B_1^3A_3)$$

$$=B_1^3A_2C_3^2D_4^2E_5^3+B_1^3A_3C_3^2D_4^2E_5^3$$

$$=A_2B_1^3C_3^2D_4^2E_5^3$$

⑦如此反复不断地运算剔出后，可得 $A_2B_1^3C_3^2D_4^2E_5^3$ 方案。即 A 置于 2 号区，B 置于 1 号区，C 置于

3 号区，D 置于 4 号区，E 置于 5 号区。其中 B₁、C₃、D₄、E₅ 的高次方，表示该生产单位位于该小区是同时满足了多个约束条件或优化目标。

3. 作业相关图法

作业相关图法注重考虑各生产单位生产作业的相互关联，按关系密切程度来安排生产单位的区域相邻布置。现举例如下：

(1)某一工厂，八个组成部分的作业相关图(见图 3-9)

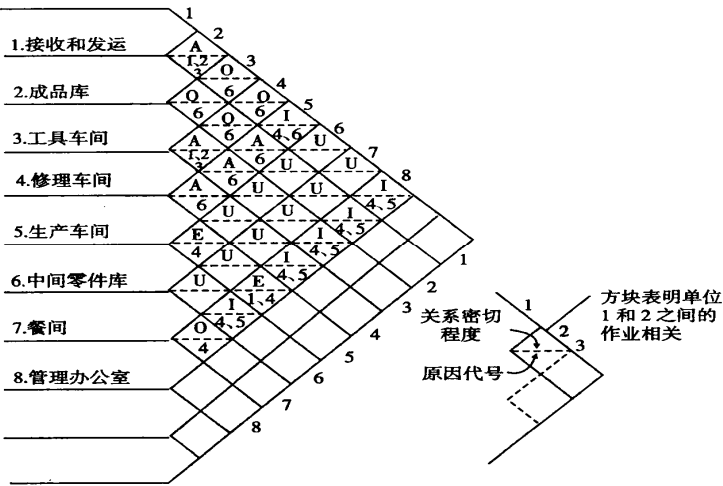


图 3-9 某工厂作业相关图

(2)图中分类代号及原因代号见(表 3-2 和表 3-3)

表 3-2 关系密切程度分类及代号

代号	关系密切程度
A	绝对必要
E	特别重要
I	重要
O	普通的
U	不重要
X	不予考虑

表 3-3 原因及代号

代号	关系密切程度的原因
1	使用共同的记录
2	共用人员
3	共用地方
4	人员接触的程度
5	文件接触的程度
6	工作流程的连续性
7	做类似的工作
8	使用共同的设备
9	可能的不良秩序

将图 3-9 表明的关系转移到一种方块图上去，见图 3-10。

(3)把图 3-10 的各个方块切断，根据关系的密切程度和靠近的必要性重新在平面上进行排列。着重安

排好区域相邻位置。如成品库(2)和接收与发运(1)及生产车间(5)的关系密切，所以靠近布置，工具车间(3)和修理车间(4)及生产车间(5)的关系密切，也应靠近布置。经过整理的方块图如图 3-11。

1.接收与运处	2.成品库	3.工具车间	4.修理车间
A—2 I—5,8 O—3,4 U—6,7	A—1,5 I—8 O—3,4 U—6,7	A—4,5 I—8 O—1,2 U—6,7	A—3,5 I—8 O—1,2 U—6,7
5.生产车间	6.中间零件库	7.餐间	8.办公室
A—2,3,4 E—6,8 I—1 U—7	E—5 I—8 U—1,2,3,4,7	O—8 U—1,2,3,4,5,6	E—5 I—1,2,3,4,6 O—7

图 3-10 未加整理的方块图

1.接收与发运处	2.成品库	4.修理车间
A—2 I—5,8 O—3,4 U—6,7	A—1,5 I—8 O—3,4 U—6,7	A—3,5 I—8 O—1,2 U—6,7
6.中间零件库	5.生产车间	3.工具车间
E—5 I—8 U—1,2,3,4,7	A—2,3,4 E—6,8 I—1 U—7	A—4,5 I—8 O—1,2 U—6,7
7.餐间	8.办公室	
O—8 U—1,2,3,4,5,6	E—5 I—1,2,3,4,6 O—7	

图 3-11 经过初步整理的方块图

(4)然后，改变每个工厂组成部分的面积大小，使它们更加符合于实际需要面积的比例。并按工厂的厂区面积设计成最后的平面布置形式，见图 3-12

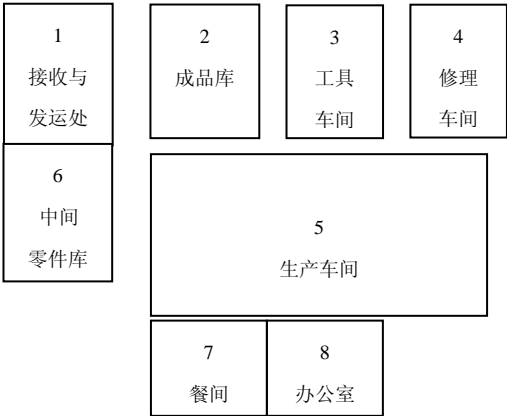


图 3-12 按厂区范围安排的工厂平面布置草图

4. 从至表一试验法

当进行多品种小批量生产时，由于各加工对象的工艺路线不同，要在物流方向不完全一致时，布置生产设置的平面位置就需要寻求总运费最低的方案。即使

$$C = \sum_{i=1}^n h_i w_i d_i \tag{3-1}$$

最小。

式中： d_i ——某一加工对象的运输距离；
 w_i ——某一加工对象的运输量；
 h_i ——某一加工对象的运输费用率。

下面举一例来说明从至表—试验法的操作过程和原理。

(1)举例。某一车间内有十个组成部分。共加工十几种零件。各零件的工艺路线如图 3-13。

关于这个例子有几点说明：

- ①设定这十个组成部分呈单列一字排列的；
- ②相邻两个组成部分均是一个运输距离；
- ③各种零件的数量相同(不同也是可以在运输次数统计中予以处理的)；
- ④各种零件的运输费用率相同。

(2)作出初始零件从至表如表 3-4

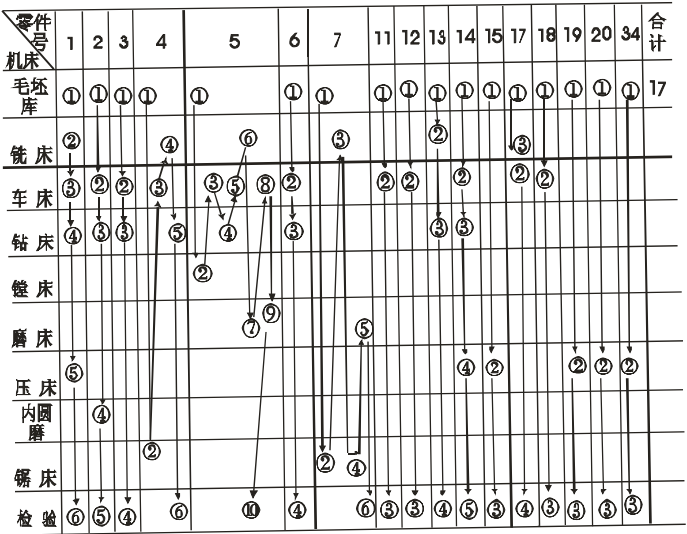


图 3-13 零件的综合工艺路线图

表 3-4 初始零件从至表

至 从	1 毛坯库	2 铣床	3 车床	4 钻床	5 镗床	6 磨床	7 压床	8 内圆磨床	9 锯床	10 检验台	合计
1 毛坯库		2	8		1		4		2		17
2 铣床			1	2		1			1	1	6
3 车床				6		1				3	13
4 钻床				1			2	1		4	8
5 镗床				1							1
6 磨床				1						2	3
7 压床										6	6
8 内圆磨床										1	1
9 锯床			1	1			1				3
10 检验台											
合计		6	13	8	1	3	6	1	3	17	58

关于初始零件从至表的说明：

- ①初始零件表的排列顺序可以是任意的，它只是起到一个统计各组成部分运输次数的作用。如横行毛坯库与纵列压床的方格内的 4 表示从毛坯库向压床在这种初始假设的排列中正向运输 4 次，运输距离为 6

个单位。

②任意一种排列都有一个运输总费用值与之相对应。在这个问题里，总运输问题已经转化为运输总距离的问题。

③对初始零件从至表进行总距离运算(见表 3-5)

表 3-5 零件运输总距离计算表

次别	前进	后退
第一次	格数×对角线上各次数之和 $1 \times (2+1+6)=9$ $2 \times (8+2+1)=22$ $3 \times (1+2+6)=27$ $4 \times (1+1+1+2)=20$ $5 \times 0=0$ $6 \times (4+4)=48$ $7 \times (1+3)=28$ $8 \times (2+1)=24$	格数×对角线下各次数之和 $1 \times (3+1)=4$ $2 \times 1=2$ $3 \times (1+1)=6$ $4 \times 0=0$ $5 \times 0=0$ $6 \times 1=6$ $7 \times 1=7$ $8 \times 0=0$
	小计 178	小计 25
	零件移动总距离 178+25=203(单位距离)	

(3)尝试改进。

①改进方向。我们注意到在费用表达式中运量(运输次数)和费用率是不变的，因此改进方向是通过改变排列减少运输距离。

②改进操作。通过改变排列使表中运输次数大的数字尽量调近对角线。因为愈靠近对角线的格位里，运输距离就愈短。

下面做一次改进尝试，见表 3-6，总距离计算见表 3-7。

表 3-6 改进的零件从至表

至 从	1 毛坯库	2 铣床	3 钻床	4 车床	5 压床	6 检验台	7 锯床	8 镗床	9 内圆磨床	10 磨床	合计
1 毛坯库		8		2	4		2	1			17
2 铣床			6	3		3				1	13
3 钻床				1	2	4			1		7
4 车床					1	1					6
5 压床						6					6
6 检验台											
7 锯床			1		1					1	3
8 镗床			1								1
9 内圆磨床						1					1
10 磨床			1			2					3
合计		13	8	6	6	17	3	1	1	2	58

表 3-7 改进的零件运输总距离运算表

次别	前进	后退
第一次	格数×对角位上各次数之和 $1 \times (8+6+6)=20$ $2 \times (3+2+1)=12$ $3 \times (2+4+1+1)=24$ $4 \times (4+3)=28$ $5 \times 0=0$ $6 \times (2+2+1)=48$ $7 \times 1=7$ $8 \times 1=8$	格数×对角位上各次数之和 $1 \times (1+2)=4$ $2 \times 1=2$ $3 \times (1+1)=6$ $4 \times 2=8$ $5 \times 1=5$ $6 \times 1=6$ $7 \times 0=0$ $8 \times 1=8$
	小计 123	小计 38
	零件移动总距离 123+38=161(单位距离)	

四、流水线的组织及其平面布局

(一)流水线生产的发展

流水生产方式是将高度的对象专业化的生产组织和劳动对象的平行移动方式有机地结合起来成为一种先进的生产组织形式。特别是在大量生产企业中，流水生产方式占有十分重要的地位。

流水生产方式起源于**福特制**。福特(H·Ford)在 1914~1920 年创立了汽车工业的流水生产线，适应了大规模生产的需求。

福特制的**主要内容**包括两个方面：

- ①实施产品的标准化、零件的标准化、设备及工具的专用化和工场专业化；
- ②建立了传送带式的流水生产线。

流水线开始出现时，采取了单一对象流水线的形式，以后又出现了多对象的可变流水线和成组流水线。

流水生产的组织，大大提高了工作地专业化水平，使各工序采用高效率的专门的设备和工艺装备成为可能，而专用设备、专用工装同机械化运输装置、电气控制装置相结合，很自然地向着自动化发展。20 世纪 50 年代以后，建立和发展了自动化、半自动化的流水线。

(二)流水线的特征、种类和组织条件

1. **流水线生产**是指劳动对象按照一定的工艺路线顺序地通过各个工作地，并按照统一的生产速度(节拍)完成工艺作业的连续的重复的生产过程。流水生产一般具有以下特征：

- (1)工作地专业化程度高。
- (2)生产具有明显的节奏性，即按节拍进行生产。
- (3)各道工序的工作地(设备)数量与单件工时的比值相一致。
- (4)工艺过程是封闭的，并且工作地(设备)按工艺顺序排列成链状，劳动对象在工序间作单向移动。
- (5)劳动对象流水般地在工序之间移动，生产过程具有高度的连续性。

将一定的设备、工具、传送装置和人员按照上述特征组织起来的生产线称为流水线。如果工作地(设备)是按工艺顺序排列，但不满足上述特征要求的，只能称生产线。

2. 流水线的分类

机械制造企业中的流水线有多种形式，可以按不同的标志分类。

(1)根据生产对象的移动与否，流水线可分为固定流水线和移动流水线。

前者是指生产对象固定，工人及生产单元顺次作业。

后者是指生产对象移动，工人和设备、工具的位置固定。

(2)根据流水线上生产对象的数目，可以分为单一对象流水线和多对象流水线。

单一对象流水线只固定地生产一种制品，多对象流水线上生产两种以上的制品。

从对象的轮换方式来看，多对象流水线又分为**可变流水线**与**成组流水线**。

可变流水线是成批轮番地生产固定在流水线上的几个对象。

成组流水线是在同一时间内成组地生产在流水线上的若干种对象。

(3)根据流水生产的连续程度，流水线分为连续流水线和间断流水线。

(4)根据流水线所达到的节奏性程度不同，分为强制节拍流水线、自由节拍流水线和粗略节拍流水线。

(5)根据流水线的机械化程度，可分为手工流水线、机械化流水线和自动生产线。

3. 组织流水生产的条件

组织流水生产须具备的主要条件如下：

(1)产品结构和工艺相对稳定。

(2)工艺过程能划分为简单的工序，又能根据工序同期化的要求把某些工序适当合并与分解，各工序的单件工时不宜相差过大。

(3)制品的产量足够大，单位产品劳动量也较大。

(4)厂房建筑和生产面积容许安装流水线的设备、工装和运输传送装置。

(三)流水线的组织设计

1. 流水线的组织设计和技术设计

流水线设计，包括**技术设计**和**组织设计**两个方面。

技术设计是指工艺规程的制订、专用设备的设计、设备改装设计、运输传送装置的设计，等等，这是流水线的“硬件”设计。

组织设计是指流水线节拍的确定、设备需要量和负荷系数的计算、工序同期化工作、工人配备、生产对象传送方式的设计、流水线平面布置设计、流水线工作制度、服务组织和标准计划图表的制订，等等，可以说是流水线的“软件”设计。

流水线的组织设计和技术设计有密切关系。组织设计是技术设计的根据；技术设计应当保证组织设计的每一项目的实现。不论是组织设计，还是技术设计，都应当符合技术先进、经济合理的原则，事先做好建立流水线的可行性研究。

2. 单一对象流水线的组织设计与计算

在单一对象流水线的组织设计中体现了分工与协作的整体协调原理。

单一对象流水线组织设计的步骤和有关计算方法如下：

(1)确定流水线的节拍

节拍是流水线上出产相邻两件同种制品的时间间隔，它是流水线最重要的工作参数，它表明流水线生产速度的快慢乃至整个企业的生产节奏。流水线节拍的计算公式为：

$$R = \frac{F_e}{N} = \frac{F_o \cdot \eta}{N} \quad (3-2)$$

式中 R —流水线节拍(分)；

F_e —计划期有效工作时间(分)；

N —计划期制品产量(件)；

F_o —计划期制度工作时间(分)；

η —时间有效利用系数。

系数 η 考虑了设备检修、设备调整、更换工具的时间，以及工人班内休息的时间，一般取 0.9~0.96。产量 N 包括计划产量和预计废品量。

如果计算出来的节拍数值很小，同时零件的体积、重量也很小，不适于按件传送，则可以实行成批传送。这时，**顺序出产两批同种制品之间的时间间隔**称为**节奏**或**运输批节拍**，它等于节拍与运输批量的乘积。

$$r_g = R \cdot n \quad (3-3)$$

式中 r_g —节奏(分/批)；

n —运输批量(件/批)。

(2)工序同期化

工序同期化是组织连续流水线的必要条件，**就是通过各种可能的技术和组织措施，调整或压缩各工序的单件时间定额，使它们等于流水线节拍或与节拍成整数倍比关系。**

(3)计算设备(工作地)数量和设备负荷系数

每道工序的设备(工作地)数量应等于单件工序时间与流水线节拍之比。

$$S_i = t_i / R \quad (3-4)$$

式中 S_i —流水线 i 工序所需设备数(台)

t_i —流水线第 i 工序的单件时间定额(分/件)。

计算出的设备需要量若为整数，就可以确定为该工序的设备数；若不为整数，则采用的设备数 S_{ei} 应取接近于计算 S_i 的整数，一般 $S_{ei} \geq S_i$ 。

表明设备负荷程度的指标称设备负荷系数(K_i), 其计算公式为:

$$K_i = S_i / S_{ei} \quad (3-5)$$

工序数为 m 的流水线的总设备负荷系数(K_a)等于:

$$K_a = K_a = \sum_{i=1}^m S_i / \sum_{i=1}^m S_{ei} \quad (3-6)$$

设备负荷系数既反映了设备等资源的利用程度又反映了流水线作业的连续程度。一般根据它来决定流水线是连续的还是间断的。若反复进行工序同期化后, K_a 值仍在 0.75 以下, 宜组织间断流水线, 若大多数工序时间定额超过流水线节拍, 可考虑采用两条或三条加工同一对象的流水线。

(4) 计算工人人数

工人人数按下式计算:

$$P_i = S_{ei} g W_i \quad (3-7)$$

式中 P_i —第 i 工序的工人人数(人);

W_i —第 i 工序每一工作地同时工作人数(人/台·班);

g —每日工作班次(班)。

整个流水线的工人人数, 就是所有工序的工人人数之和。

(5) 确定流水线节拍的性质和实现节拍的方法

选择节拍的主要依据, 是工序同期化程度和加工对象的重量、体积、工艺性等特征。当工序同期化程度很高, 工艺性良好, 制品的重量、精度和其他技术条件要求容许严格地按节拍出产制品时, 采用强制节拍, 否则采用自由节拍或粗略节拍。

强制节拍流水线, 采用三种类型的传送带: 分配式传送带, 连续式工作传送带, 间歇式(脉动式)工作传送带。

自由节拍流水线, 一般采用连续式运输传送带、滚道(辊道)、平板运输车、滑道等运输装置。

粗略节拍流水线, 一般采用滚道、重力滑道、手推车、叉车、吊车等运输工具。

(6) 流水线的平面布置

流水线的平面布置应当有利于人操作方便, 制品运动路线最短, 流水线互相衔接以及生产面积的充分利用。而这些要求同流水线的形状、流水线内工作地的排列方式、流水线的位置和它们之间的衔接方式等有密切关系。

流水线的形状, 一般有直线形、直角形、开口形、山字形、环形、蛇形等, 如图 3-14 每种形状的流水线在工作地(设备)的布置上, 又有单列流水线与双列流水线。如图 3-15

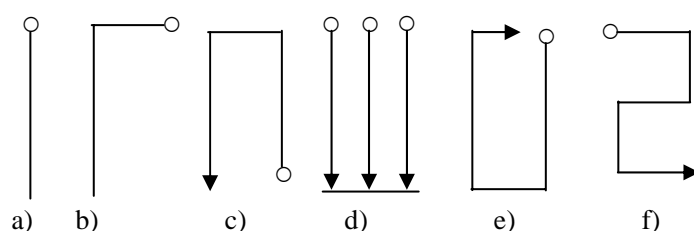


图 3-14 流水线布置形状示意图

(7) 编制流水线标准计划图表

流水线标准计划图表应反映流水线的各项期量标准、工作制度和 work 程序, 它是制订月度生产作业计划的重要依据。

连续流水线的标准计划图表的编制工作比较简单, 只需要规定整个流水线统一的工作时间和中断时间。粗略节拍流水线标准计划图表的编制较复杂, 需要分工序规定每一工作地的工作时间与 work 程序和产量。

(8) 计算流水线的经济效果指标

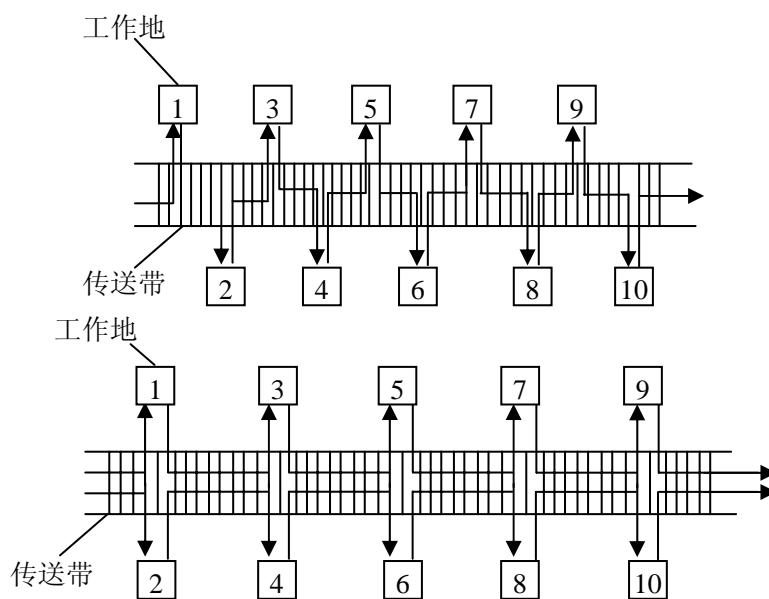


图 3-15 流水线双列直线形示意图

流水线的经济效果指标有：产品产量增加额及增长率，劳动生产率及其增长幅度，流动资金节约额，设备利用率，产品成本降低额及降低率，基本投资的节约额或追加额，追加投资回收期，年度综合节约额，内部收益率，等等。

[本章关键词]

工厂设计 Design of the Plant
 资源利用最大化 Maximum Use of Volume
 柔性最大化 Maximum Flexibility
 最优化协调 Maximum Con-ordination
 按产品的生产流程 Product-focused
 按工艺流程布置 Process Layout
 按产品布置 Product Layout
 平面面积 Number of Floor
 面积方块图 Block Diagram
 流水生产 Streamline Production

[本章思考题与习题]

1. 谈谈企业选址决策的重要性。
2. 厂址选择要考虑哪些重要因素？
3. 简述厂址选择的评分法。
4. 整理生产运作系统空间组织的关联逻辑链。
5. 工艺专业化和对象专业化各有哪些优缺点？
6. 影响厂内空间布置的有哪些要素？
7. 简述工厂平面布置的步骤。
8. 流水线生产有哪些有利于提高劳动生产率的优点？
9. 简述单一对象流水线组织设计的步骤。
10. 某产品年计划产量为 40000 件，预计流水线全年有 40 周时间生产该品种，每周工作 5 天，两班制，每班工作 8 小时，已知流水线停工检修率为 5%，废品率为 2% 试计算流水线节拍。