

# 第一章 生产系统的设计

## 第一节 产品或服务项目设计

### 一、产品或服务项目设计的要素

生产系统的设计首先取决于生产什么样的产品或提供什么样的服务项目，不同的产品与服务项目要求不同结构与特征的生产系统。企业使命规定了企业产品或服务项目的类别和功能，具体的品种则要根据市场需求和企业的力量确定。

产品或服务项目设计对实现企业的使命和目标具有战略性的作用，因为设计直接关系到产品或项目的功能、质量、成本和用户的满意度，从而影响到企业的市场竞争力和经济效益。抢在竞争对手之前向市场推出新的、更好的产品或服务项目，可以赢得顾客的青睐，扩大市场份额，赚取额外利润，塑造行业领先者的形象，使企业获得意外的成功。对于非营利组织则可创造更高的社会效益。

对产品或服务项目进行设计有两种情况。一种是对现有产品或服务项目进行改进并进行再设计，以提高质量，增加功能，减少消耗，降低成本，延长产品生命周期；另一种是开发新产品或新服务项目，满足顾客新的需要，开发新的市场，开拓新的领域，调整企业经营结构。

一项好的设计主要取决于以下因素：

(1) 动机。选择与开发产品和服务项目的起因，可能来自顾客的需要、竞争的压力、技术的发展、政府的规定、企业的利益等，归根结底是满足用户的需求。

(2) 创意。设计的创意可能来自企业外部，如用户的意见、销售代理商的建议、协作组织的启发、竞争对手的示范、研究单位的成果等；也可能来自企业内部，如研究开发的工作、职工的革新等。对企业来说，创意来自何方并不重要，重要的是广开渠道然后加以集成，形成新的思路。一些公司经常运用反转工程，买来竞争对手的产品加以剖析、模仿和改进，推出更加优良的产品。

(3) 可制造性。产品或服务项目易于制造、装配或容易实施，是其成功的重要因素，可制造性也关系到产品或服务项目的质量、成本、效率。

(4) 能力。产品和服务项目设计必须以企业的生产运作能力为前提，即设备、技

术、员工素质、原材料、管理等能满足生产与服务的要求。如果不能满足，要考虑提高或改进能力的可能性，使两者匹配。

(5) 经济性。好的设计应保证产品在制造和使用过程中有较高的效率如周期时间短，耗用材料少，产品包装适度，资源综合利用。一些企业正在发展物资的再循环利用，为此设计了易拆卸零件，如克莱斯勒汽车公司回收轮胎生产档泥板。

(6) 法规。政府制定的各种法规对产品或服务项目的设计起着制约和促进的双重作用。产品或服务项目必须符合各种强制性的法规，如在食品中禁止使用糖精，汽车尾气必须达到环保标准。

## 二、产品选择和开发

制造企业的产品决策无非有两种情况，在原有产品中选择或开发新产品。

### (一) 产品选择

根据产品生命周期的理论，绝大多数产品都要经历投入、成长、成熟、饱和、衰退各期（见图 3-1-1），最后被市场淘汰。进入后期的产品面临着改进以延长其生命周期，保留以充分利用其价值，或者淘汰以转入其他产品生产的选择。只有少数产品例外，如剪刀、钉子等。

波士顿咨询公司根据不同产品在市场的销售增长率和市场占有率，将产品分成 4 类：问号产品、明星产品、金牛产品和瘦狗产品，这就是有名的波士顿矩阵（见图 3-1-2）。企业可以根据各种产品在矩阵中所占的位置，对已有产品作出选择：发展、改进，还是收缩、放弃。

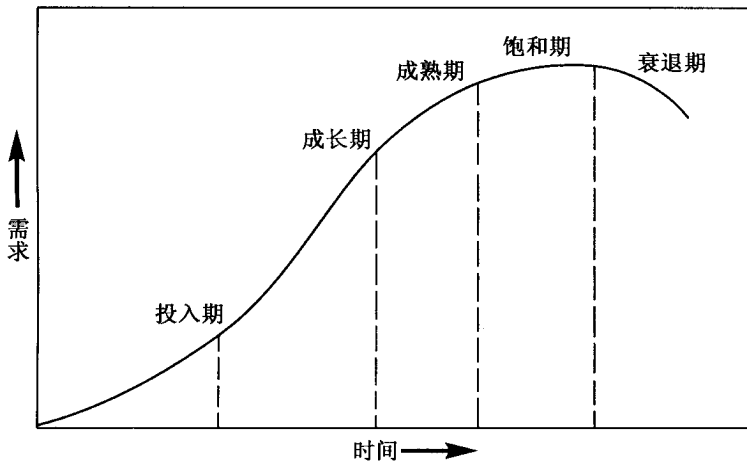


图 3-1-1 产品的生命周期

有些企业采用收入利润分析法对原有产品进行选择，方法是将各种产品按销售收入与利润排序后画在一张二维图上（图 3-1-3），以销售收入排序为横坐标，利润排序

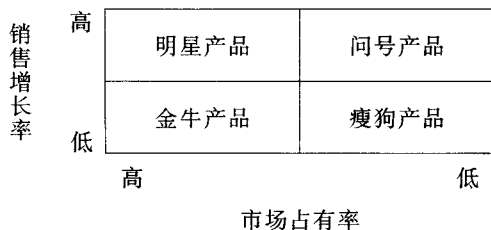


图 3-1-2 波士顿矩阵

为纵坐标，位于对角虚线以上的产品，销售收入位次高，利润位次低，可予改进或收缩；位于对角虚线以下的产品，销售收入位次相对不很高，但利润位次高，如图中 A、B 产品，可重点发展。对于那些销售不畅的亏损产品，位于图中右上方，可考虑放弃。

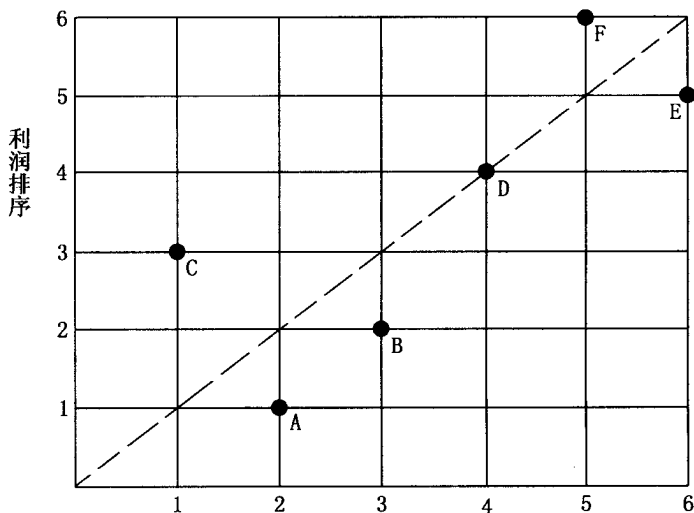


图 3-1-3 收入利润分析图

## (二) 产品开发

产品开发的动力主要来自两方面：市场拉动与技术推动。其他还有政府鼓励与企业家偏好等。市场拉动与技术推动是两种不同的模式，前者沿着“市场—研究开发—生产制造—市场”途径开发产品，后者的开发过程是“技术研究—生产制造—市场”。两种模式对产品开发都很重要。曾经有人认为技术推动型的产品开发可能脱离市场的需求，只有市场拉动才是惟一的动力。事实并非如此，例如信息技术的发展带来了一系列全新产品，如数字电视、办公自动化、信息高速公路等，技术推动在产品开发中的作用不可轻视。但是，不管什么类型，都要以市场空间为前提，具有市场空间的产品开发才能实现其商业价值。

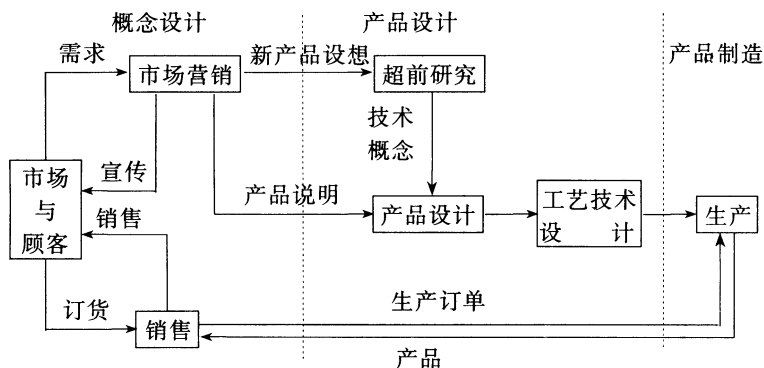


图 3-1-4 新产品开发过程

图 3-1-4 表示了产品开发的过程。一般产品开发经历三个阶段：概念产品形成阶段，产品和工艺技术设计阶段和产品制造阶段。其中除产品制造阶段外，前两个阶段都属设计阶段。

概念产品的形成是概念设计的任务。概念设计从创意开始，即根据顾客的需要，提出关于产品的设想，形成一种概念产品。原始的创意可能很多，要经过分析、综合，从中筛选出有成功前途的方案。筛选的标准通常有以下方面：

(1) 生产标准，即在技术上可以实现，最好可以利用现有设备、技术进行正常生产，原材料供应没有问题，质量可以保证，符合相关法规如环保、安全等要求；

(2) 销售标准，有足够的市场容量、预期的销售增长，对现有产品没有冲击，有相当的竞争力；

(3) 财务标准，可以筹集必要的资金，有可接受的获利能力与投资回报，以及足够的现金流量。

筛选时，可就以上三项标准确定若干指标，分级评分，按分值确定各方案的优劣。对筛选的方案还应进行技术经济评价，计算获利能力、现金流量以及投资回报，确定产品开发的可行性。

概念设计通过后，即可进入产品设计。产品设计的任务是将概念产品转化为具体的产品，确定产品的结构、尺寸、零部件组成、原材料的技术要求，并完成工作图纸。具体工作步骤如下：

(1) 编制技术任务书，规定产品设计的各项原则，如产品用途、使用性能、工作原理、结构分析、型号尺寸、技术规范、主要技术经济指标等，这些内容都是进一步设计的依据；

(2) 技术设计，详细设计构成产品各种零部件的明细、加工与装配技术条件、精度标准、质量控制与检验、外购外协件明细，并绘制出产品总图、部件装配图等；

(3) 工作图设计，根据技术设计绘制出全部工作图纸，以指导生产；

(4) 样机的设计与制造，通过试制或试验，不断修改与完善设计，这个过程可能会

反复进行，直至具备试生产条件。

由此可见，产品设计除了产品本身结构与技术规范外，还包括制造设计、装配设计、拆装设计与再循环设计。

(1) 制造设计 (DFM)，指导产品如何制造，它必须适合企业的生产条件。

(2) 装配设计 (DFA)，指导产品如何由各种零部件组装而成，好的装配设计应尽可能减少装配的零件数，简化装配方法和顺序。

(3) 拆装设计 (DFD)，新的设计概念要求产品用旧后容易将部件拆卸下来重新用到新产品中，这叫做再制造。再制造不仅可以降低产品的成本，而且可以减少废旧物品的处理量。拆装设计要求减少零部件使用量并且容易拆卸，如用楔形咬合方法代替螺丝等。

(4) 再循环设计 (DFR)，要求用旧后的产品可以拆卸，使其中可利用的零件或材料修复与再使用。

产品设计中遇到的一个普遍问题是标准化。产品标准化的好处是零件可以互换，设计成本低，生产与维修都方便，有利于提高产品的质量与可靠性，减少员工培训要求，便于实现生产自动化；用户使用不同厂家的产品时可兼容，尤其像电脑系统软件与应用软件，缺少标准化给使用造成许多不便。但是标准化使用不当，也会带来一些问题。它会降低产品多样化的程度，顾客没有选择的余地，竞争对手一旦推出独特的产品对企业不利；过早的标准化可能固化某些缺点，而且以后很难改进。在设计中应权衡两者的利弊，选择适度的标准化。

为了保证所设计的产品能为市场接受，许多企业开展市场测试，将试制的样品投放市场接受顾客检验，再根据顾客的意见或反映改进产品设计。市场测试有许多成功的案例，也有不成功的例子。如一些后来颇受市场欢迎的产品早先在市场测试中很受冷落，如录音电话、定型摩丝等，原因是顾客接受新产品往往有一个过程，而市场测试的费用又很高。所以有些企业改用更具柔性的反馈设计方法，即不经过市场测试，一下向市场推出若干产品款式，销量好的款式增加生产，销量不好的则减产，而这种快速应变是通过建立具有柔性的制造平台得到的。

产品设计中另一个重要问题是如何保证产品的功能和质量最大限度地满足用户需要，为此发展了许多方法，如正交试验设计，田口方法，质量功能展开，可靠性理论等。田口方法是日本学者田口玄一发展的三次设计方法，即系统设计（产品的功能设计）、参数设计（确定系统中各参数的最佳组合）、容差设计（确定各参数波动的容许范围），力求减少各种内、外因素对产品功能稳定性的影响，实现稳健设计。质量功能展开 (QFD) 首创于日本，它采用质量屋把用户要求的质量转化为产品设计的质量要素，并量化为设计质量，落实到产品设计中。可靠性指产品、零件、系统在给定条件下实现目标功能的能力。人们希望产品可靠性高，但提高可靠性会相应提高成本，合理的界限取决于可靠性带来的潜在效益与费用。

近期发展的一系列方法可以提高产品设计的效率，值得提出的有：

#### 1. 模块化设计。

将产品部件按功能特征分解成若干相对独立的功能单元，并使接口标准化而成为标准模块。模块的不同组合成为不同型号的产品。此举可以简化设计，便于拆装，易于维修，不足之处是有时为了更换损坏部件必须更换整个模块。

#### 2. 计算机辅助设计（CAD）。

用计算机代替设计人员完成部分设计工作，如共享信息、设计绘图、修改设计、工程分析、性能试验和选优等，从而大大提高设计人员的生产率。典型的计算机辅助设计系统包括交互的计算机图形系统，数据库和图形库，连结设计工作站的信息网络等，可以实时交换和共享相关信息。但完成相应的数据库和图形库也需相当大的先期投入。

#### 3. 并行工程。

早先产品开发划分成若干阶段，前阶段工作完成后以批处理方式转入下阶段，设计、制造和营销部门相互割裂，不可避免会产生脱节和冲突。并行工程将传统的串行作业改成平行作业，在设计阶段的早期便将设计、制造、营销相关部门的人员组合起来共同工作。例如，营销人员将顾客要求、制造工程师将制造要求与参数提供给正在设计中的设计人员，设计尚未结束制造工程师即考虑如何生产，营销人员将概念产品拿到市场征求意见，从而缩短开发周期，减少和避免返工浪费，保证开发质量。组织产销研一体化，可能是实现并行工程的好方法。

### 三、服务项目设计

服务项目是服务企业的“产品”。由于服务业自身的特点，服务项目设计与制造业产品设计有明显的差别，表现在：

（1）产品是有形的实体，服务项目往往是无形的，或以无形的非实体为主，在项目设计中要更多地考虑无形的因素，如服务的气氛，顾客的感知等；

（2）服务不能储存，从而限制了它的柔性，能力设计与市场需求的匹配显得格外重要；

（3）服务过程伴随着顾客的参与，使项目设计更加复杂，尤其要精心设计服务流程，选择好对顾客最方便的地理位置；

（4）服务业进入与退出的壁垒比制造业低，项目设计创新与降低服务成本对服务业的竞争力至关重要。

服务项目的设计取决于企业的定位。同在一个行业，由于服务复杂性与差异性不同，可以设计不同的服务项目。以餐馆为例，从快餐店到大型酒店的服务项目有很多种选择，如订座、自助、点菜、套餐、饮料、主食花色、水果或甜食、外卖、上门送菜或主厨、结账方式（现金或信用卡）等，主要取决于销售机会。所以服务项目设计与营销的关系特别紧密，一旦确定了目标市场与服务重点，便可根据顾客的需求与偏好设计合适的服务项目。

服务项目设计的关键因素是提供服务的差异度、服务过程的客体与顾客参与度。

低差异度服务可以实行标准化服务，如提款机上取现金。这种服务项目只需技能较低的工作人员，或通过自动化代替人，保证服务质量稳定。高差异度服务实行定制服务，由于无固定模式可循，服务人员必须具备与顾客沟通的能力，有较高的技能与灵活性才能满足顾客的需求。

服务过程的客体有实体产品（如干洗）、信息处理（如建筑设计）或人员（如公共交通），对不同的客体有不同的设计。例如，实体产品若属于顾客自备的，绝对不能损坏；属于企业提供的辅助产品，要确保其质量与适当的库存。服务客体为人员时，设施、布局、流程的设计十分重要。

顾客的参与程度大体有三种情况：一种是不需顾客参与的服务，如汽车维修；一种是顾客通过电子媒介间接参与的服务，如电子转账；第三种是顾客直接参与的服务，如提供顾问服务。对于前两种服务由于顾客与服务传递系统是隔离的，可借鉴制造业的方法；后一种服务由于顾客出现在服务过程中，要更多地考虑服务能力与顾客需求管理的问题。

需要指出的是在许多企业中既有制造又有服务，两者不能截然分清。制造企业也提供某些服务，如设备维修、使用培训等；服务企业也提供一些辅助商品，如维修业提供

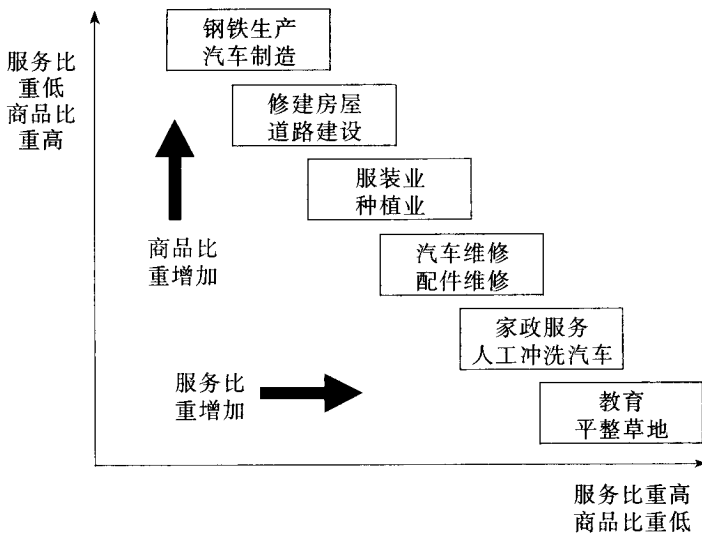


图 3-1-5 商品—服务图

配件，只不过比重不同而已，如图 3-1-5。在这种情况下，产品设计与服务项目设计应同时进行，使之相互配合。

## 第二节 工艺与流程设计

### 一、生产系统的工艺设计

制造企业生产系统工艺设计的核心问题是：

- (1) 自制与外购的决策；
- (2) 工艺技术的选择；
- (3) 生产流程的确定。

#### (一) 自制与外购的决策

复杂的产品由许多零部件组成。例如，一架大型运输机由5万多个零件组成，企业不可能生产全部所需零件。有的生产厂商会外购部分零部件，有的甚至全部外购而只从事装配，有的则将物业管理或维修等服务转包出去。其中哪些自制、哪些外购，主要取决于以下因素：

(1) 企业现有的能力，含生产能力与技术能力。若已有相应的能力，自制可以充分利用能力，降低成本；缺少相应的能力则应比较自制与外购的经济性。

(2) 质量与可靠性。通常外购专业厂商生产的零部件质量较高，但自制重要或特殊部件有利于控制质量及供应的可靠性，尤其是体现企业核心能力的核心产品，由于它是产生或决定最终产品价值的部件或组件，也是决定企业核心竞争力的源泉，一定要自制。

(3) 成本。外购或自制某些零件直接影响产品成本，多数厂商会以成本作为外购或自制决策的主要标准，那些使产品产生高附加值的零部件以自制为宜。

(4) 其他因素，如对专利或技术诀窍的控制，保持对供应商的谈判地位，适度掌握企业生产柔性专业化程度，政府部门的有关规定等，都将影响自制或外购的决策。

#### (二) 工艺技术的选择

生产系统的工艺技术，涉及产品的制造技术及其相应的生产设备与工艺过程。高新技术的发展，促进了电子计算机、信息技术与制造技术的结合，使制造技术不断创新，人们常用高级制造技术（AMT）加以概括。高级制造技术的含义包括三个部分：硬件 [如数控机床（NC），计算机数控机床（CNC），直接数字控制机床（DNC），计算机工艺过程监视/控制器（CPM/CPC），机器视觉系统（MC），自动运货小车（AGV），机器人（Robot）等]，软件 [如计算机辅助设计系统（CAD），计算机辅助工程（CAE），计算机辅助工艺设计（CAPP），物料需求计划（MRP）与制造资源计划（MRP II）等]，及集成系统 [如加工中心（MC），柔性制造系统（FMS），计算机集成制造系统（CIMS）等]。



高级制造技术的发展带来了极大的生产效率和优异的质量控制，但其设备也相当昂贵，运用不当可能导致巨大的经济损失。所以高级制造技术的采用要经过充分论证，相当谨慎。

工艺技术的选择在很大程度上取决于企业技术地位的策略，是追求技术领先，还是进行技术跟随。技术领先可以提高企业的竞争力，但在很多情况下，技术创新者只能暂时获得超额利润，技术跟随者会很快赶上，分享新技术带来的利益。企业应根据实际情况选择适用技术，即既符合产品生产需要，又适合企业具体经济、技术与人文环境（如资金能力、人员素质等）的技术，以最有效地发挥生产系统的作用。

### （三）生产方式的确定

生产方式在很大程度上取决于产品性质、品种数量、生产规模和工艺方法。一般地说，企业产品品种多、批量小，适于选择通用设备，进行间歇式生产；相反产品品种少、批量大，适于选择专用设备，进行连续生产。图 3-1-6 表示的产品—工艺矩阵，提出了不同产品—工艺组合下按对角线选择生产流程是比较有效的。如果选择对角线下方，例如用流水生产方式组织多品种小批量生产，或选择对角线上方，例如用单件生产方式组织少品种大批量生产，都会使系统损失应变能力和生产效率。

	多品种小批量	品种和批量中等	少品种大批量
工艺连续性低	单件生产		
工艺连续性中	成批生产		
工艺连续性高	大量生产		

图 3-1-6 生产流程的选择

下面介绍几种高效的生产流程：

#### 1. 流水生产。

大量生产的有效形式是流水生产。20 世纪 20 年代亨利·福特（Henry Ford）在他的汽车厂建立了第一条流水生产线，引起了制造业的重大变革。流水生产具备以下 5 个基本特征：

- （1）工作地专业化程度高，每个工作地只固定完成一道或少数几道工序；
- （2）工作地/设备按工艺顺序排列，劳动对象在工序间单向移动，运输路线短；
- （3）生产节奏性强，按规定的节拍出产产品；
- （4）生产连续性高，各道工序的工序时间与节拍相等或成倍数关系，劳动对象在工序间平行移动，保证生产过程的比例性和平行性；
- （5）工艺过程是封闭的，劳动对象如流水一般通过各道工序，完成某一工艺阶段全部或大部分工序。

流水线设计的关键是确定流水线的节拍，计算所需工作地/设备数，进行工序同期

化，计算作业人数，选择运输方式。

节拍指流水线上生产相邻两件制品的时间间隔，它决定了流水线的生产速度，可以下式计算：

$$r = \frac{T_e}{N} \quad (1-1)$$

式中， $r$ ——流水线节拍（分/件）； $T_e$ ——计划期有效工作时间（分），它等于计划期制度工作时间与时间有效利用系数的乘积； $N$ ——计划期制品产量（件）。如果制品在生产线上成批传送，则相邻两批制品的时间间隔称为节奏  $r_g$ ：

$$r_g = r \cdot n \quad (1-2)$$

式中， $n$ ——运输批量。

显然，每道工序配备的工作地/设备数，应为工序时间和节拍之比：

$$S_i = \frac{t_i}{r} \quad (1-3)$$

式中， $S_i$ ——第  $i$  道工序工作地/设备数； $t_i$ ——第  $i$  道工序单件时间定额（分/件）；工作地/设备数取整。

如果各工序加工的时间不同，要采取技术组织措施，如合并或分解某些工序、合理调配资源、采用高效设备或专用工具、调整加工参数、减少辅助时间、加强人员培训等，使之等于流水线节拍或其整数倍。则流水线应配备的工人数  $P$  为：

$$P = (1 + b) \sum_{i=1}^m \frac{Se_i \cdot g}{f_i} \quad (1-4)$$

式中， $b$ ——后备工人百分数； $Se_i$ ——第  $i$  道工序实际采用设备数（台）； $g$ ——每日工作班次； $f_i$ ——第  $i$  道工序每个工人的设备看管定额（台/人）； $m$ ——工序数。

在强制节拍流水线上，通常用传送带运输制品，传送带速度  $V$  可以下式计算：

$$V = \frac{l}{r} \quad (1-5)$$

式中， $l$ ——相邻两工作地的中心距。自由节拍或粗略节拍流水线，可用运输带、辊道、运输车、滑道等作为运输工具。

## 2. 成组技术。

现代生产的一个重要趋势是向多品种、中小批量生产发展，因为人们的消费观念在变化，生活水平不断提高，消费趋向多样化、个性化、新颖化。同时，产品的更新速度在加快，企业再想用一两件固定的产品追求规模经济已经行不通了。据资料，世界机电产品中属中小批量生产的产品数，20世纪60年代还只占50%左右，80年代便上升到85%，产值占75%。同大批量流水生产方式比，多品种、中小批量生产有许多不利的地方，如无法采用专用设备，生产率低；只能按工艺专业化原则建立生产单位，导致物流路线长而复杂；工序间等待时间长，在制品多，生产周期长，成本因而升高。

如何提高多品种中小批量生产的效率？人们发现机械产品的品种虽多，但就其功能

构成不外乎由工作机构、传动机构和基础部件组成，其中有许多通用的零件，如连接件、支撑件、紧固件等。而且，功能相似的机构其组成零件也相似。如齿轮传动机构无非由齿轮、齿轮箱、轴、轴承、拨叉等组成；液压传动机构由活塞、缸体、连杆、阀门等零件组成。这就是说，品种虽多，却存在大量相似件。

相似件在功能形状、尺寸、材质等方面相似，导致它们在设计、加工工艺、所用设备与工具、物料消耗、甚至期量标准等方面都相似。可以将这些相似件归集在一起集中加工处理，相当于放大了批量，有可能采用先进高效设备，按工艺专业化与对象专业化结合的方式组建生产单元，从而在相当程度上缓解了中小批量生产带来的问题。

成组技术的思想最早是在 1959 年由前苏联学者米特洛夫诺夫（С. П. Митрофанов）提出的，即运用大批量的生产技术和专业化方法进行多品种中小批量生产。其关键是将机械产品的零件按结构形状和工艺特征的相似性分类分组，建立零件族，按零件族制订相应的产品设计和工艺设计的标准资料，采用成组加工机床和成组工艺装备生产。

成组技术的实施主要有两件事：以数代形和按类归族。

(1) 以数代形，就是对零件分类编码，使计算机能识别零件的几何形状、尺寸大小和加工要求。许多国家开发了不同的分类编码系统，图 3-1-7 列举了 Opitz 零件分类编码系统。它由 9 个码位组成：1—5 位表示零件的形状特征，是主码；6—9 位表示零件的尺寸、材料、毛坯和精度，是辅码。图中，L、D 分别表示回转体零件的长度与直径，A、B、C 表示非回转体的长、宽、高。代码相近意味着零件相似。

(2) 按类归族，即确定零件相似性码域，在同一码域内的零件是同族零件。按类归族时以相似性标准为依据，同时要考虑企业生产条件与设备能力的平衡，如果同组零件数量过多可调整一部分到相邻族中。

成组技术是在成组生产单元中实现的。成组生产单元是为一个或几个零件族组织成组生产而建立的生产单元，其中配置了成套的生产设备、工艺装备和相关工种的工人，以便能在单元内封闭地完成这些零件族的全部工艺过程。成组生产单元中设备的需求量可按下式计算：

$$S_j = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \times t_{ij}}{T_o \times \eta_j} \quad (1-6)$$

式中， $S_j$ —— $j$  设备的需要量； $N_i$ —— $i$  零件的年需求量； $t_{ij}$ ——零件  $i$  在设备  $j$  上加工的单件工时； $T_o$ ——设备全年工作时间； $\eta_j$ —— $j$  设备的时间利用系数； $n$ ——该零件族中零件的种数。设备的负荷率希望达到 85% 以上。

### 3. 柔性制造系统。

柔性制造系统是由计算机控制的、由若干台数控机床（NC）或加工中心（MC）和自动装卸运送系统组成的自动化制造系统。自从 1967 年英国研制出最初的柔性制造系统以来，该种系统得到很快发展与应用。

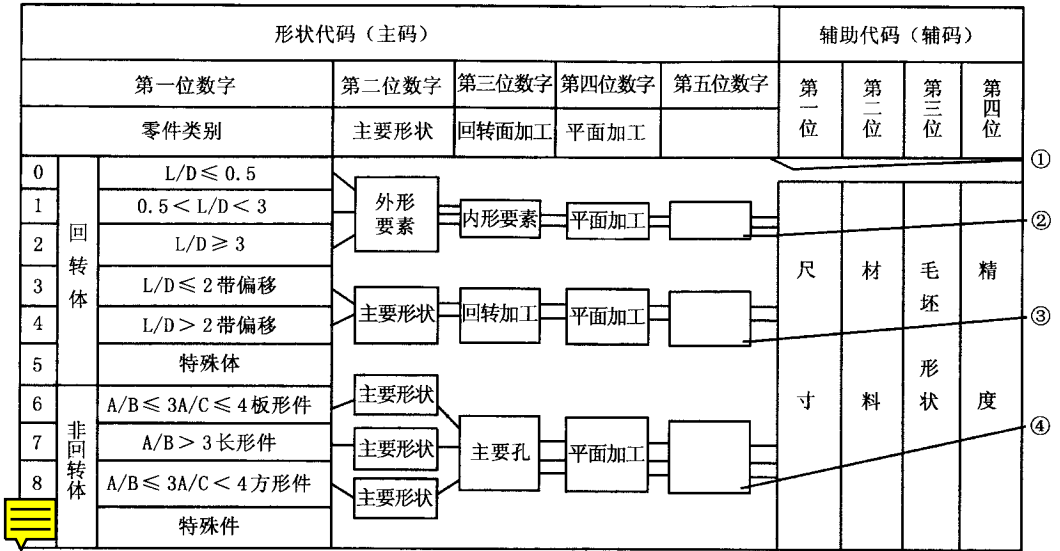


图 3-1-7 Opitz 零件分类编码系统

柔性制造系统最大的特点是具有较高的柔性，表现为：

- (1) 机器柔性，当加工完一种零件后，可按计算机指令自动转为加工另一种零件，而不需停机调整；
- (2) 加工柔性，能同时加工多种零件或作多种加工；
- (3) 产品柔性，对不同产品的适应能力强；
- (4) 流程柔性，可根据需要临时变更加工路线；
- (5) 批量柔性，尤其适应多品种、小批量生产；
- (6) 作业柔性，系统内机床设备可相互替代，改变作业顺序；
- (7) 扩展柔性，便于将来扩展。

柔性制造系统的发展，本意是为了适应市场对产品需求多变的趋势。一般认为，如果产品品种多、批量小，适宜采用标准、通用机床；品种少、产量大，则采用专用系统。柔性制造系统适用于品种在 4~100、批量在 50~2000 之间的场合，见图 3-1-8。

每个柔性制造系统由以下几部分组成：

(1) 加工系统。由数控机床、加工中心、工件自动上下料装置、刀具与夹具自动更换装置组成，能以任意顺序自动完成各种工件的加工及更换工件、刀具、夹具。

(2) 物料储运系统。由存贮、运送和装卸三个子系统组成，存贮子系统能自动存取工件和夹具、刀具，一般采用立体仓库；运送子系统能以自由节拍可变地完成物料输送，一般采用辊道传送带、架空单轨悬挂式输送装置或自动导行运料小车；装卸子系统自动实现运送装置和加工设备间的连接，多采用托盘交换台（对立式或卧式加工中心）和机械手（对车削加工中心）。

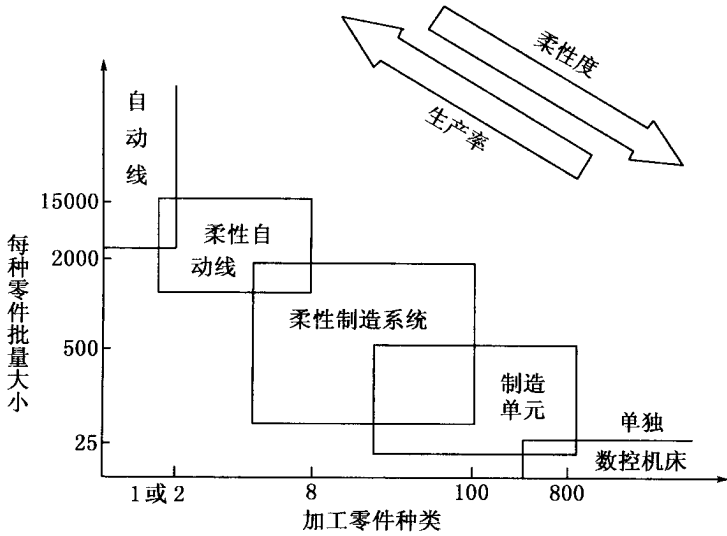


图 3-1-8 柔性制造系统的适用范围



(3) 刀具系统。趋向于采用中央刀具库和机床刀库两级刀库结构，由行走机器人换刀。

(4) 计算机控制系统。其功能是进行信息处理和实现系统的控制，包括机床运行的监控、物料储运系统的监控、刀具管理和生产管理。通常采用分级控制方式。例如，在三级控制系统中，基层级为各种设备的控制计算机，中间级为过程控制计算机，最高级为管理计算机。图 3-1-9 表示了柔性制造系统中的信息流。

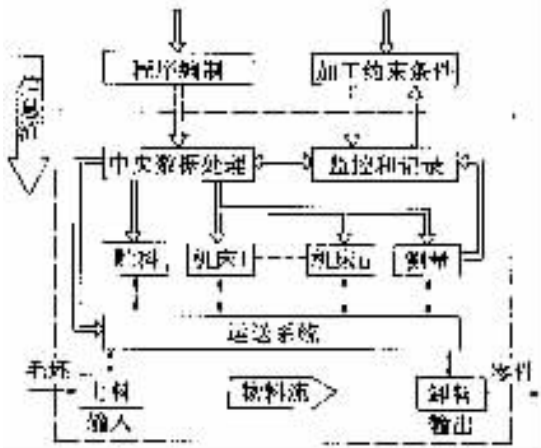


图 3-1-9 柔性制造系统中的信息流



柔性制造系统典型的运作方式是：被加工的工件在中央装卸站装夹好后，由计算机

控制系统将带有底盘和工件的小车送到工作站，按给定的程序指挥设备加工，完成后把载有工件的小车送到下一工作站继续加工，或送到装卸站装卸，或在缓冲区排队等候处理。

柔性制造系统按其规模大小可分为4类级别：柔性制造模块（由一台计算机数控机床及相应的工件自动装卸装置组成）、柔性制造单元（由2~3个柔性制造模块组成）、柔性制造系统（由4台以上计算机数控机床及相应设施组成）及柔性制造工厂（全厂范围的柔性制造）。

柔性制造系统被认为是21世纪制造业发展的方向，它有非常显著的优点，表现在：柔性高，对加工对象变化的适应能力强；制造周期短，在制品量少；设备利用率高；节省劳动消耗，3~4人可管理6~10台机床。但柔性制造系统技术复杂，投资高，如果建成后不能满负荷工作，或企业没有足够的技术力量保证系统的开发和可靠运行，就可能得不偿失，所以在决定是否采用以及如何设计柔性制造系统时要慎重。

## 二、服务流程设计

### （一）服务流程设计的方法

服务流程可以用以下4种方法中的任一种设计：生产线方法、顾客参与法、顾客接触法和信息授权法。

生产线方法是参照制造业生产系统的工艺设计而发展的一种方法，它追求服务的高效率，如同制造业的生产线一样为顾客提供标准化的服务，从而可以获得成本领先的竞争优势，其特点是：

（1）严密的劳动分工，每个员工只从事其中一种简单的工作，发展专门化的劳动技能；

（2）尽可能用设备（含软技术）代替人力，例如银行用自动提款机代替出纳员部分工作，提高工作效率；

（3）服务标准化，以稳定服务的质量，员工很少有自主权，不提供个性化服务。

用生产线方法设计服务流程的范例如麦当劳快餐，所有食品均事先经过测量和预包装处理，有专门的储存设施，服务是标准化的。

顾客参与法正好是相对于生产线方法的另一种极端，将顾客由原先旁观者的角色转换为积极的参与者。例如自助餐，顾客可以根据自己的爱好选取食物，而服务人员只管烹调、添菜。这种方式的特点是：

（1）将某些服务活动转移给顾客自己完成，从而提高生产率，而部分顾客也乐意参与这些活动；

（2）在不增加服务工作量的情况下，提高服务的定制程度；

（3）有利于平衡服务需求与能力，例如通过预约方式减少顾客等待时间。

顾客接触法是介于上述两种极端之间的折衷方法。根据服务传递系统可以区分高顾

客接触与低顾客接触的作业，其中低顾客接触的作业可以放在后台或办公室，像工厂一样组织运行，而高顾客接触的作业则放在前台，提供个性化服务。例如，航空公司的订票与机组服务属于前台作业，直接与顾客接触，而行李装卸或飞机维修则可以像工厂一样组织生产。理查德·查尔斯（Richard Chase）提出了一个服务设计图（图 3-1-10），说明不同顾客接触度下生产效率和销售机会（指从每位顾客身上增加销售额的可能性）的关系，同时也说明了相应的对员工的要求、作业焦点与创新点。在选择服务传递方式时，要在营销和生产之间进行权衡。

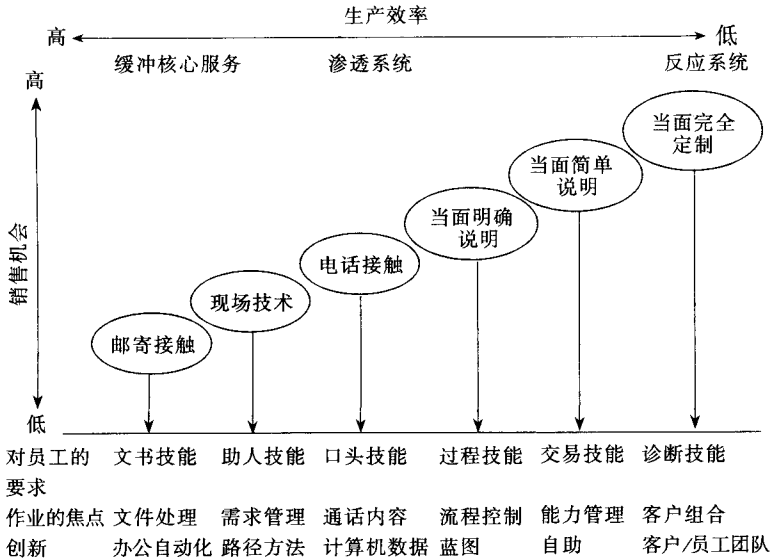


图 3-1-10 销售机会和服务系统设计

信息授权法是将信息技术运用到服务流程中，它可以通过向员工信息授权或向顾客信息授权完成，前者如前台工作人员查阅存货清单申请订货，后者如顾客通过访问网站寻求自己所需的服务。

## （二）服务蓝图

服务蓝图是服务流程设计中常用的工具，它的作用是对服务流程结构进行准确的定义。

图 3-1-11 是一个电话订货的服务蓝图，它说明了该项服务的全部流程。

绘制服务蓝图的步骤如下：

- （1）列出各道业务流程；
- （2）分清各道业务流程的先后顺序与相互关系；
- （3）绘出流程图；

（4）标注可能出现故障/问题的地方，并设法减少或避免这些故障/问题的出现，消除故障/问题出现后的负面影响；

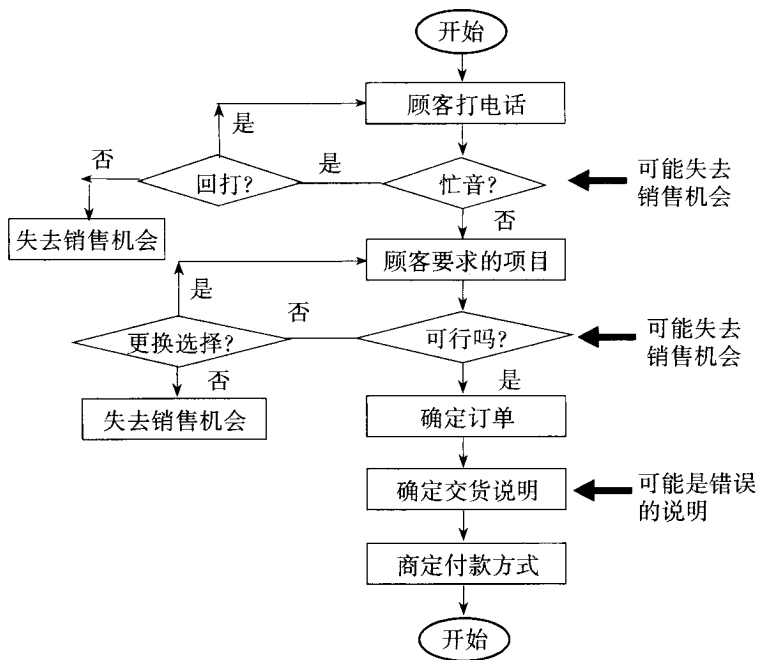


图 3-1-11 电话订单流程图

- (5) 确定执行服务的时间标准；
- (6) 分析并改进影响服务效率与效益的因素，如缩短顾客等待时间等。

### 第三节 生产能力设计

#### 一、生产能力规划

企业对生产能力的规划，主要解决以下三个问题：需要何种生产能力，需要多大生产能力，以及何时配备这些生产能力。生产能力规划也是生产系统设计最重要的决策之一，因为系统的生产能力决定了它未来满足市场对产品和服务需求的水平，以及生产能力利用的程度（过剩或不足），直接影响到系统运作的成本和投资收益水平，因而在很大程度上决定了企业的竞争力。

合理地确定生产能力主要取决于以下因素：

##### 1. 市场需求。

这是企业得以生存和发展的基础。有很多方法可以对未来市场的需求进行科学的预



测，生产能力的确定力求与未来市场的需求相匹配。

2. 工艺要求。

设备的额定生产能力制约着生产能力的选择。例如，某种机器预计生产 4 种产品，每种产品的年产量及单位产品占用时间如表 3-1-1。机器按单班制工作，年有效工作时间为 250 天，则每年需要机器的生产能力为：

表 3-1-1 某种机器生产能力的的需求计算

产品	年产量（件）	单位产品加工时间（小时）	所需加工时间（小时）
甲	400	4.0	1600
乙	500	6.0	3000
丙	250	3.0	750
丁	300	7.0	2100
合计			7450

若每台机器年生产能力为 2000 小时，则需要机器 3.725 台，取整数为 4 台，实有生产能力为 8000 小时/年。由于取整，实有生产能力与需求生产能力相比可能有富裕或不足，可采取措施为富裕生产能力寻找其他利用机会或挖掘潜力以弥补生产能力的不足。

3. 经济评价。

生产能力的选择应有利于系统获得最好的经济效益。经济评价的方法很多，常用的有盈亏平衡分析、决策树分析与投资效益分析。

盈亏平衡分析基于生产系统在成本、收益和产量之间的关系，设以  $FC$  表示生产系统的固定成本， $VC$  表示产品的单位可变成本， $Q$  为产量，则生产系统运行的总成本  $TC$  为：

$$TC = FC + VC \times Q \tag{1-7}$$

若单位产品收益为  $R$ ，则生产系统的总收益  $TR$  为：

$$TR = R \times Q \tag{1-8}$$

当总收益与总成本相等时，即盈亏平衡点的产量应为：

$$Q^* = \frac{FC}{R - VC} \tag{1-9}$$

在此盈亏平衡点以上生产，系统可以获利；若产量在盈亏平衡点以下，系统将有亏损，故盈亏平衡点是生产能力选择的下限。

[例] 设某玩具生产商拟生产一种玩具，在选择生产能力时考虑三种方案：配置 1 条、2 条与 3 条生产线，估算其年固定费分别为 4000、7000、10000 元。设玩具的制造成本为每件 4 元，收益为每件 10 元，则可算出三个方案的盈亏平衡点及年总收益如表 3-1-2。

表 3-1-2 三种方案的盈亏平衡点

方案	生产线数	生产能力(件)	盈亏平衡点产量(件)	总收益预计(元)
1	1	600	667	-400
2	2	1200	1167	200
3	3	1800	1667	-1600

显然方案 1 的生产能力未能达到盈亏平衡点，应予舍弃。若预测该玩具的年需求量在 1100~1400 件之间，则方案 3 的盈亏平衡点产量已超出了需求量，亦应舍弃，选择方案 2 比较合理，此时，企业预计获利能力  $P$  为：

$$P = Q(R - VC) - FC = 1200 \times 6 - 7000 = 200 \text{ 元}$$

运用决策树法进行生产能力规划可以考虑未来市场需求的不确定因素，从多个方案中选优。为此，要估计未来市场需求的若干自然状态，并为每种状态分配出现的概率。例如，某生产水晶的加工厂在生产能力规划中有三种方案：建立 3 条、2 条、1 条生产

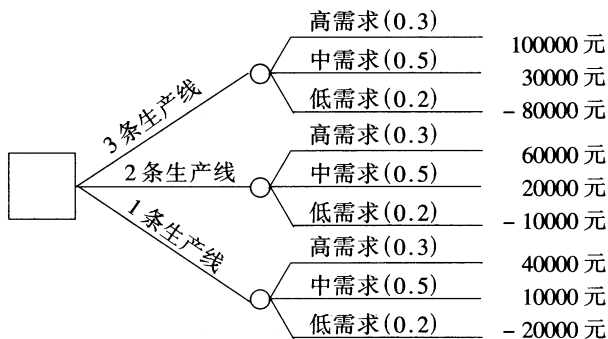


图 3-1-12 生产能力规划的决策树

线，每条生产线的年产量为 100 吨。未来市场对产品的需求有三种可能（自然状态）：高需求的概率为 0.3，中等需求的概率为 0.5，低需求的概率为 0.2，每个方案在每种需求出现时的期望获利额见图 3-1-12。

可以算出，每种生产能力配置方案的期望收益如下：

$$\begin{aligned} \text{3 条生产线: } & 100000 \times 0.3 + 30000 \times 0.5 - 80000 \times 0.2 \\ & = 29000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{2 条生产线: } & 60000 \times 0.3 + 20000 \times 0.5 - 10000 \times 0.2 \\ & = 26000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{1 条生产线: } & 40000 \times 0.3 + 10000 \times 0.5 - 20000 \times 0.2 \\ & = 13000 \end{aligned}$$

显然，企业为获取最大的期望收益应选择 3 条生产线的能力配置。

投资效益分析通常用投资回收期法、现值法与内部报酬率法对不同生产能力的方案进行财务分析比较，从中选取最佳方案。回收期法计算用收益全部回收投资所需的时间，现值法将历年现金流与报废时的残值折算成现值与投资的现值进行比较，内部报酬率法则计算净现值等于零时的报酬率。

根据以上方法选择的生产能力在最终决策时还要考虑以下因素：

- (1) 根据未来市场需求的趋势，有无必要为以后扩大生产能力留有余地；
- (2) 主体生产能力与辅助设施能力配套、平衡；
- (3) 按最终形成的生产能力分期建设的必要性与可能性；
- (4) 应付需求波动引起的供需不平衡的措施，以提高生产能力的柔性，如生产季节互补的产品，通过临时调剂资源、增减存货、外部协作等方式，充分利用生产能力等。

## 二、服务排队

服务系统的生产能力规划要运用到排队理论。所谓排队是指等待一个或多个服务台提供服务的顾客队列。在服务系统中排队现象是十分普遍的，而过长的队列会导致顾客的流失，所以服务企业的生产能力在总量上必须超过服务需求，使队长控制在一定的合理范围内。

### (一) 排队系统的基本特征

排队系统的形式多种多样，有的队列是有形的实体，如售票窗口的购票队伍，有的队列是无形的，如计算机终端前等候主机响应的任务；有的服务台是实体，如坐堂的医生，有的服务台是虚设的，如超市内供顾客选购的物品；有的服务台一次只能为一位顾客服务，有的则提供批量服务，如电梯。图 3-1-13 描述了一个简单的排队系统。

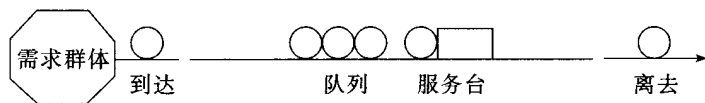


图 3-1-13 一个简单的排队系统

无论排队系统采取何种形式，都可从以下 5 方面概括系统的基本特征：

#### 1. 需求群体。

即等待服务的顾客群体。当潜在顾客数量很多，远远超过系统服务能力时，可将需求群体视为无限来源。相反，如果潜在顾客有一定限制时，则视为有限来源。前者如路桥收费系统，后者如病房护理系统。

#### 2. 到达过程。

指顾客到达排队系统的规律。虽然顾客的到达是随机的，还是可以用分布理论加以描述。在大多数情况下，认为顾客到达的时间间隔呈负指数分布，或在一定间隔期顾客的到达数服从泊松分布。

前者具有连续型的概率密度函数：

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad t \geq 0 \quad (1-10)$$

后者具有离散型的概率密度函数：

$$f(n) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!} \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1-11)$$

式中， $\lambda$ ——一定间隔时间顾客的平均到达率；

$t$ ——顾客到达的间隔时间；

$n$ ——顾客到达数；

$e$ ——自然对数的底。

### 3. 排队结构。

指队列的数量、位置与空间分布。在单服务台系统，顾客通常排成一列等候服务；在多服务台系统中，排队结构可以有多种选择，如按服务台数排成多个队列，或只排一个队列，哪个服务台出现空闲则由队首顾客递补接受服务。有的系统向到达的顾客发号，按号码的先后次序提供服务，顾客无需排成形式上的队列。

### 4. 排队规则。

描述对顾客提供服务的顺序政策。最常用的规则是先到先服务，体现了对顾客的公平性。在特定情况下也采用有优先级别的动态响应排队规则，如超市对购买量少的顾客开设快速结账通道，急诊病人可以优先挂号诊治。

### 5. 服务过程。

描述服务过程的时间分布。在大多数情况下认为服务时间服从负指数分布，但一些标准化或自动化程度高的服务时间可能是常数，如自动洗车服务等。

## (二) 排队模型

针对不同的排队特征开发了多种排队模型，这些模型的分类方法通常采用肯德(D. G. Kendall)的A/B/C标记法，其中A代表顾客到达间隔时间的分布，B代表服务时间的分布，C代表平行服务台的数量。描述A、B分布类型的符号有：M，负指数分布或泊松分布；G，具有均值和方差的一般分布如正态分布、均匀分布；D，时间为常数。例如，M/M/1表示只有一个服务台、到达率服从泊松分布、服务时间服从负指数分布的排队系统模型。

有关各种排队模型的推导由专门的排队理论讨论，这里只是从应用的角度，列举若干基本模型的公式示于表3-1-3，表内所用的数学符号如下：

$n$ ——系统中顾客数；

$N$ ——系统中允许的最大顾客数；

$\lambda$ ——平均到达率，如每小时到达的顾客数；

$\mu$ ——每个忙的服务台的平均服务率，如用每小时服务的顾客数表示的服务速度；

$\rho$ ——服务强度，它等于 $\lambda/\mu$ ；

$c$ ——服务台数量；

- $P_n$ ——系统中有  $n$  个顾客的概率；
- $P_0$ ——系统中没有顾客的概率；
- $L_s$ ——系统中顾客平均数；
- $L_q$ ——排队等候服务的顾客平均数；
- $L_b$ ——一个繁忙系统中排队等候服务的顾客平均数；
- $W_s$ ——顾客在系统中平均逗留时间；
- $W_q$ ——顾客排队等候的平均时间；
- $W_b$ ——一个繁忙系统中顾客排队等候的平均时间。

表 3-1-3 若干基本排队模型的计算公式

模型	无限排队 M/M/1	有限排队 M/M/1	无限排队 M/M/C	有限排队 M/M/C
$P_0$	$1 - \rho$	$\frac{1-\rho}{1-\rho^{N+1}}$ , 当 $\lambda \neq \mu$ 时 $\frac{1}{N+1}$ , 当 $\lambda = \mu$ 时	$\left[ \sum_{i=0}^{c-1} \frac{\rho^i}{i!} \right] + \frac{\rho^c}{c!(1-\rho/c)}$	$\left[ \sum_{i=0}^c \frac{\rho^i}{i!} \right] + \left[ \frac{1}{c!} \right] \left[ \sum_{i=c+1}^N \frac{\rho^i}{i-c} \right]$
$P_n$	$P_0 \rho^n$	$P_0 \rho^n$ 当 $n \leq N$ 时	$\frac{\rho^n}{n!} P_0$ 当 $0 \leq n \leq c$ 时 $\frac{\rho^n}{c! c^{n-c}} P_0$ 当 $n \geq c$ 时	$\frac{\rho^n}{n!} P_0$ 当 $0 \leq n \leq c$ 时 $\frac{\rho^n}{c! c^{n-c}} P_0$ 当 $c \leq n \leq N$ 时
$P$ ( $n \geq k$ )	$\rho^k$	$1 - P_0$ ①	$\frac{\rho^c \mu c}{c!(\mu c - \lambda)} P_0$ ②	$1 - P_0 \sum_{i=0}^{c-1} \frac{\rho^i}{i!}$
$L_s$	$\frac{\lambda}{\mu - \lambda}$	$\frac{\rho(N+1)}{1-\rho} \frac{\rho^{N+1}}{1-\rho^{N+1}}$ 当 $\lambda \neq \mu$ 时 $\frac{N}{2}$ 当 $\lambda = \mu$ 时	$\frac{\rho^{c+1}}{(c-1)!(c-\rho)} P_0 + \rho$	$\frac{P_0 \rho^{c+1}}{(c-1)!(c-\rho)^2} \left[ 1 - \left(\frac{\rho}{c}\right)^{N-c} - (N-c) \left(\frac{\rho}{c}\right)^{N-c} \left(1 - \frac{\rho}{c}\right) \right] + \rho(1 - P_N)$
$L_q$	$\frac{\rho \lambda}{\mu - \lambda}$	$L_s - (1 - P_0)$	$L_s - \rho$	$L_s - \rho(1 - P_N)$
$L_b$	$\frac{\lambda}{\mu - \lambda}$	$\frac{L_q}{1 - P_0}$	$\frac{L_q}{P(n \geq c)}$	$\frac{L_q}{P(n \geq c)}$

模型	无限排队 M/M/1	有限排队 M/M/1	无限排队 M/M/C	有限排队 M/M/C
$W_s$	$\frac{1}{\mu - \lambda}$	$\frac{L_q}{\lambda(1 - P_N)} + \frac{1}{\mu}$	$\frac{L_q}{\lambda} + \frac{1}{\mu}$	$\frac{L_q}{\lambda(1 - P_N)} + \frac{1}{\mu}$
$W_q$	$\frac{\rho}{\mu - \lambda}$	$W_s - \frac{1}{\mu}$	$\frac{L_q}{\lambda}$	$W_s - \frac{1}{\mu}$
$W_b$	$\frac{1}{\mu - \lambda}$	$\frac{W_q}{1 - P_o}$	$\frac{W_q}{P(n \geq c)}$	$\frac{W_q}{P(n \geq c)}$
应用条件	顾客相互独立, 且不受排队系统影响 队长无限制, 不存在退出队伍或队伍间移动, 先到先服务, 到达率符合泊松分布, 服务时间服从指数分布	同左, 且最大允许顾客数为 $N$	同左, 且不同服务台的服务率相等并相互独立, $\rho < c$	同左, 且 $N > c$ , 但 $\rho$ 可以大于 $c$

注：①  $P(n > 0)$ ；②  $P(n \geq c)$ ；③ 由于模型中  $P_o$ 、 $L_q$  等计算公式比较繁杂，为减少计算量，常将  $\rho$  及  $c$  的组合计算出来制成数据表，应用时只需查表便可，读者可查阅有关书籍。

[例] 某面包房设有现裱现卖奶油蛋糕专柜，有一位裱花师为顾客服务，顾客到达率为每小时平均 6 人，服从泊松分布，裱一只蛋糕的平均时间为 6 分钟，服从指数分布，则可以按无限排队 M/M/1 模型算出其主要参数如下：

系统服务强度  $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{6}{10} = 0.6$

裱花师空闲的时间比例为：

$$P_o = 1 - \rho = 0.4$$

系统中顾客平均数为：

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{6}{10 - 6} = 1.5 \text{ 人}$$

排队等候服务的顾客平均数为：

$$L_q = \frac{\rho\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{0.6 \times 6}{10 - 6} = 0.9 \text{ 人}$$

顾客在系统中平均逗留时间为：

$$W_s = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{10 - 6} = 0.25 \text{ 小时}$$

顾客排队等候服务的时间为：

$$W_q = \frac{\rho}{\mu - \lambda} = \frac{0.6}{10 - 6} = 0.15 \text{ 小时}$$

由于蛋糕销量有增长的趋势，为了不使顾客流失，面包房希望将顾客排队等候的时间控制在 15 分钟（即 0.25 小时）内，则顾客到达率达多少时，需要增聘一位裱花师？此时，令  $W_q = 0.25$  小时，即

$$\frac{\rho}{\mu - \lambda} = \frac{0.6}{10 - \lambda} = 0.25 \text{ 小时}$$

$$\lambda = 7.6$$

即顾客到达率平均达每小时 7.6 人时，要增添服务能力。

### （三）服务能力规划

服务系统的能力规划，不仅要求在总量上满足顾客的需求，而且要符合顾客对排队的要求，将排队等候时间控制在顾客接受范围之内，否则将导致顾客的流失，贻误商机。以下是几种常用的规划思路：

#### 1. 控制顾客排队等候服务时间进行能力规划。

设某民航公司售票站，顾客平均到达率为每小时 20 人，服从泊松分布；售出一张票平均需要 4 分钟，服从指数分布。顾客按售票口排队买票，队列之间用栏杆隔开，不能互相窜动，以保证良好的秩序。若想将顾客排队等候购票的时间控制在 8 分钟以内，需设立几个售票窗口？

由于各队列是平行、独立的，可按多个单一服务台系统 M/M/1 处理，计算设立不同数量售票口时顾客平均等候时间：

$$W_b = \frac{1}{\mu - \lambda} \tag{1-12}$$

表 3-1-4 不同数量售票口的顾客平均等候时间

售票口数	$\lambda$	$\mu$	$W_b$ (分钟)
2	10	15	12
3	6.7	15	7.2
4	5	15	6

可见，设置 3 个售票口时顾客的平均等候时间为 7.2 分钟，符合要求。

#### 2. 要求达到一定服务水平来规划能力。

设某快餐店午餐时间每小时接待的顾客平均为 20 人，服从泊松分布，每位顾客就餐时间 15 分钟，服从指数分布，要求服务水平达到 90% 的时间里顾客来店就餐能找到空座位，需设置多少座位及与之配套的设施？

这是一个 M/M/C 模型，可按  $\rho$  与  $c$  值查表得不同座位数下的  $P_0$ ，再用表 3-1-3 列公式计算在不同座位数下的概率  $P(n \geq c)$  如表 3-1-5。

表 3-1-5 快餐店满座的概率

$c$	$P_0$	$P(n \geq c)$
6	0.005	0.65
7	0.006	0.33
8	0.006	0.16
9	0.007	0.08

表中显示当  $c=9$  时， $n \geq c$  的概率为 0.08，可保证来店就餐的顾客立即能找到座位的概率达 92%，故设置 9 个座位为好。

### 3. 最佳服务能力。

增加服务能力可以提高服务水平，但同时增加了服务成本，如服务员的薪酬和服务设施开支。要想降低服务成本而减少服务能力，势必增加顾客等候时间，因而提高了顾客等候成本，如提供等候空间的开支，顾客流失的损失，如果等候的顾客是内部职工还包括为他们支付的工资。最佳服务能力应是使服务成本与顾客等候成本之和最小处的服务能力，见图 3-1-14。

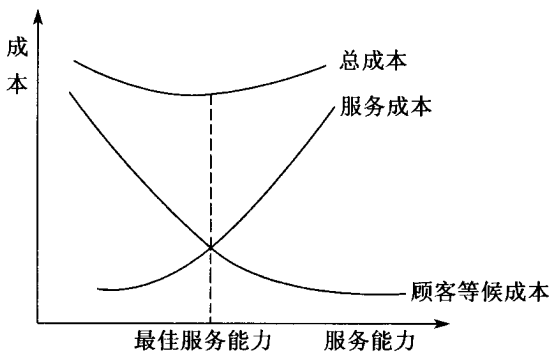


图 3-1-14 服务能力与成本的关系

设  $TC$  为服务系统的总成本， $SC$  为服务成本， $QC$  为顾客等候成本，则有

$$TC = SC + QC = C_s c + C_w \lambda W_q = C_s c + C_w L_q \quad (1-13)$$

式中， $c$ ——服务台数量；

$C_s$ ——每个服务台的小时成本；

$C_w$ ——顾客等候的小时成本。

例如，某公司通过租赁方式为职员配备计算机，统计计算机的实际使用状况，平均



每小时需要使用 10 次，每次平均使用 10 分钟，计算机每小时的租赁费用为 12 元，职员平均工资为每小时 30 元，现在来确定最佳服务能力。

本例适用无限排队 M/M/C 模型， $\rho = 10/6 = 1.67$ ，查表可以找到不同配置数量下的  $L_q$  值，并计算出不同配置方案下的服务总成本见表 3-1-6。

由表 3-1-6，最佳方案是租赁 3 台计算机，此时服务总成本最低。

表 3-1-6 计算机配置方案的总成本（元）

$c$	$L_q$	$C_s c$	$C_w L_q$	$T_c$
2	3.951	24	109.5	133.5
3	0.380	36	11.4	47.4
4	0.074	48	2.2	50.2

## 第四节 选址与布局

### 一、设施选址

#### （一）选址因素

选址对企业所产生的长远影响，决定了选址的重要性。实际上，选址不只是新建企业面临的决策，现有企业在考虑改建、扩建、搬迁、兼并时也存在选址问题。一个原来比较理想的地理位置，若干年后由于环境的变迁，例如市场重心的转移、生态环境的恶化等，有可能成为阻碍企业发展的因素。这体现了地理位置的动态性，所以企业选址应有全局的长远的考虑。

影响选址的因素很多：

- （1）自然资源因素，如物产资源、土地资源、水资源、气候条件等；
- （2）经济因素，如原材料和能源供应、市场容量、人力资源、基础设施、交通运输、资金融通条件等；
- （3）社会因素，如政局稳定、治安状况、政策法规、税收负担等；
- （4）因素，如社区条件、风俗文化、科技依托、生态环境、公众态度等。

选址考虑的因素很多，但对某个特定企业来说，可能只有少数几个最重要的因素对选址决策起决定性的作用。例如，钢铁企业应接近原料基地，零售企业选址主要考虑市场容量与顾客方便等。

当企业具有多个生产设施时，有三种选址策略可供选择：产品专业化策略，即将某

一产品或生产线集中在某个工厂生产，供应所有市场，其优点是可以获得规模经济效益；市场区域化策略，即不同工厂服务于特定地区的市场，生产该市场所需的各种产品，其优点是可以降低运输成本，但生产成本比前一种方式高；工序分工策略，即每个工厂侧重于生产流程中的某些工序，然后集中组装，如汽车制造企业，其优点是每个工厂都可以实现专业化批量生产，获得规模经济效益，但生产协调工作量大。

近年来由于经济、技术的发展，在设施选址上出现了一些新的趋势：

#### 1. 工业园区。

一些国家与地区为吸引外来资金发展本地经济，设立工业园区或科技园区，并提供优越的公共设施和优惠的经济待遇，使一些企业选址向工业园区集中；

#### 2. 群体布局。

由于准时制的推广，供应商与制造商毗邻而居，可以缩短从订货到交货的时间，减少库存。在有些产业中正在发展生产特定产品的小型自动化的微型工厂，以利靠近主要市场。

#### 3. 全球选址。

企业在全球范围内建立分厂或子公司采购物资，进行零部件生产。例如，美国波音公司生产的飞机，由6个国家26万家大小企业协作生产所需部件。一开始，逃避关税或其他贸易壁垒是全球选址的重要动因，由于世贸组织的发展，这一因素已不再那么重要。全球选址的主要考虑是有效利用全球资源，尽可能接近市场。

### （二）选址方案评估

基于选址考虑的因素众多，很难找到一个十全十美的最优解。在实际工作中通常先寻找少量可供选择的方案，通过评估比较，从中选出一个比较满意的可行解。方案评估可以用定性分析和定量分析相结合的方法进行。定性分析的任务是确定选址的要求与标准，识别关键因素，如接近市场或原料基地等，只有满足这些基本要求的地址才可列入备选方案。通常各备选方案各有优缺点，综合评估需要运用定量分析法。下面介绍几种常用的定量分析方法。

#### 1. 量本利分析。

量本利分析主要从经济收益上比较各方案的优劣，其步骤是：

（1）确定每个备选地址方案的固定成本和可变成本；

（2）计算各备选方案的总成本，并在同一张图上画出总成本线；

（3）比较各备选方案在预期生产规模下总成本的高低，在售价相同的情况下，总成本最低的方案意味着利润最高，因而是首选方案。

[例] 设有3个备选方案，地址分别为A、B、C，其固定成本与可变成本如表3-1-7。

表 3-1-7 各备选地址的固定成本与可变成本

地址	年固定成本 (元)	单位可变成本 (元)
A	125000	11
B	75000	25
C	150000	8

设预期产量为 10000 件，则总成本为：

A 址： $TC = 125000 + 11(10000) = 235000$  元

B 址： $TC = 75000 + 25(10000) = 325000$  元

C 址： $TC = 150000 + 8(10000) = 230000$  元

得盈亏平衡图如下：

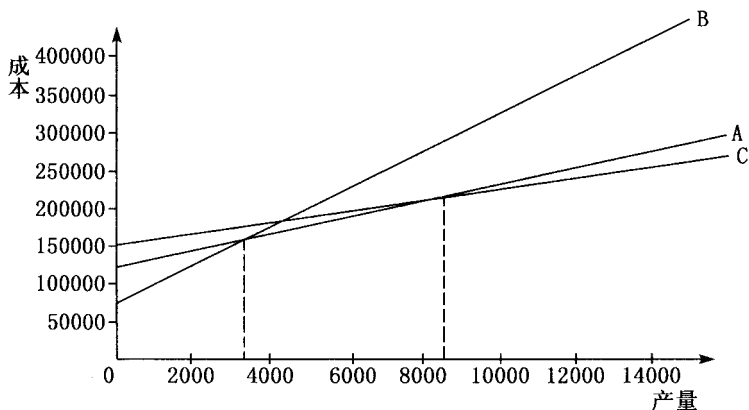


图 3-1-15 选址方案比较

可见，预期产量在 3571 件以下，B 址最佳；3571 ~ 8333 件间，A 址最佳；8333 件以上，则 C 址最佳。

## 2. 模糊评价法。

模糊评价法通过专家评分的方法选址，其步骤是：

- (1) 对选址评估提出若干评价项目，称因素集；
- (2) 为每个项目（因素）赋予权重，称权重集；
- (3) 为每个项目（因素）规定评价等级，如 3 级或 4 级，称评价集；
- (4) 请若干专家按规定评价等级范围为每个备选方案的每个项目（因素）评级，得项目评价矩阵；
- (5) 求综合评价矩阵，它应为各方案项目评价矩阵与权重向量之积。

[例] 设有 A、B、C 三个备选地址，评价因素为 6 项，请 100 位专家按优良中差 4 个等级评级，其数据见表 3-1-8。

表 3-1-8 专家评价结果

评价项目	权重	A 址				B 址				C 址			
		优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差
地质条件	0.10	49	27	18	6	64	31	4	1	0	12	36	52
原料供应	0.20	92	8	0	0	52	40	7	1	0	0	26	74
市场	0.20	11	34	49	6	12	22	18	48	0	0	3	97
运输	0.15	20	68	12	0	43	51	6	0	2	0	12	86
供排水	0.20	35	54	8	3	0	7	66	27	1	16	71	12
扩展余地	0.15	48	35	9	8	8	12	76	4	1	19	32	48

先构造各方案的项目评价矩阵  $R$  :

$$R_A = \begin{bmatrix} 0.49 & 0.27 & 0.18 & 0.06 \\ 0.92 & 0.08 & 0 & 0 \\ 0.48 & 0.35 & 0.09 & 0.08 \end{bmatrix}$$

$$R_B = \begin{bmatrix} 0.64 & 0.31 & 0.04 & 0.01 \\ 0.52 & 0.40 & 0.07 & 0.01 \\ 0.08 & 0.12 & 0.76 & 0.04 \end{bmatrix}$$

$$R_C = \begin{bmatrix} 0 & 0.12 & 0.36 & 0.52 \\ 0 & 0 & 0.26 & 0.74 \\ 0.01 & 0.19 & 0.32 & 0.48 \end{bmatrix}$$

再建立权重向量  $W$  :

$$W = [0.10 \quad 0.20 \quad 0.20 \quad 0.15 \quad 0.20 \quad 0.15]$$

求综合评价矩阵  $B$  :

$$B = W \cdot R \tag{1-14}$$

$$B_A = [0.10 \quad 0.20 \quad 0.20 \quad 0.15 \quad 0.20 \quad 0.15]$$

$$\times \begin{bmatrix} 0.49 & 0.27 & 0.18 & 0.06 \\ 0.92 & 0.08 & 0 & 0 \\ 0.48 & 0.35 & 0.09 & 0.08 \end{bmatrix}$$

$$= [0.427 \quad 0.3735 \quad 0.1635 \quad 0.036]$$

$$B_B = [0.10 \quad 0.20 \quad \dots \quad 0.15]$$

$$\begin{aligned}
 & \times \begin{bmatrix} 0.64 & 0.31 & 0.04 & 0.01 \\ 0.52 & 0.40 & 0.07 & 0.01 \\ 0.08 & 0.12 & 0.76 & 0.04 \end{bmatrix} \\
 & = [0.2685 \quad 0.2635 \quad 0.309 \quad 0.159] \\
 B_C & = [0.10 \quad 0.20 \quad \Delta\Delta \quad 0.15] \begin{bmatrix} 0 & 0.12 & 0.36 & 0.52 \\ 0 & 0 & 0.26 & 0.74 \\ 0.01 & 0.19 & 0.32 & 0.48 \end{bmatrix} \\
 & = [0.0065 \quad 0.0725 \quad 0.302 \quad 0.619]
 \end{aligned}$$

按隶属度最大原则，A 址属优，B 址属中，C 址属差。类似的方法还有分级加权评分法、因素评分法等。

### 3. 线性规划方法。

用线性规划方法建立选址优化模型求解，以获得优化地址，其步骤为：

- (1) 确定企业选址的备选方案及其供应的目标市场；
- (2) 确定选址追求的主要目标，如生产成本最低、运输费用最小等，建立目标函数；
- (3) 确定选址中若干重要要求，作为约束条件；
- (4) 建立线性规划模型求解，选定优化地址。

[例] 设已筛选出  $n$  个备选地址，其生产的产品供应  $m$  个目标市场，在厂址  $i$  生产单位产品的成本为  $C_i$ ，由厂址  $i$  向目标市场  $j$  供货所需的单位产品运费及其他流通费用为  $D_{ij}$ ，则可建立模型如下：

目标函数：

$$\sum_{i=1}^n C_i X_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m D_{ij} X_{ij} \rightarrow \min \quad (1-15)$$

约束条件：

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = R_j \quad (1-16)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = X_i \quad (1-17)$$

$$\sum_{j=1}^m R_j = \sum_{i=1}^n X_i \quad (1-18)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m$$

式中， $X_i$ ——工厂  $i$  的产量； $X_{ij}$ ——工厂  $i$  运往目标市场  $j$  的产品数量； $R_j$ ——目标市场  $j$  的需求量。目标函数要求产品生产费用与运费及其他流通费用之和最低，在售价及税收相同的情况下，企业利润最多；3 个约束条件分别要求每个目标市场需求量与运入量相等，每个工厂生产量与输出量相等，该产品总产量与总需求相等。如果尚有其他要求，还可以增加约束条件，运用线性规划相关软件很容易获得最优解。

### (三) 服务设施选址的特点

生产企业选址的因素和评估方法原则上也适用于服务企业，但服务业的选址有它自身的特点，表现在：

- (1) 战略弹性，服务设施对未来经济、人口和竞争的变化要保持良好的反应；
- (2) 竞争地位，服务设施选址更多地考虑与对手的竞争价需要，最好产生人为的进入障碍，阻止竞争对手进入有利地点；
- (3) 需求管理，服务设施的选址有利于控制服务需求的数量、质量和时间；
- (4) 集中化，在区域内许多地点都建立标准化的服务设施，以利于占领更大的市场份额。

服务业的情况比较复杂，大多数以营利为目的的企业的选址着重考虑经营成本和运输成本，地点适中以吸引更多顾客也是产生盈利的源泉，而非营利性的公共部门的选址则以接近用户、方便居民为首要因素。

#### 1. 重心法。

单一服务设施的选址比较多地采用重心法，即以顾客到达服务设施的平均距离最小为目标。出于到达路径上的考虑，通常以直角距离代替向量距离。为此，将一个坐标系加到地图上以确定各需求点的相对位置。

设以  $X_i$ 、 $Y_i$  代表第  $i$  个需求点的坐标位置， $X_s$ 、 $Y_s$  代表服务设施的位置，共有  $n$  个需求点，则其直角距离的中值  $Z$  为：

$$Z = \sum_{i=1}^n W_i \{ |X_i - X_s| + |Y_i - Y_s| \} \quad (1-19)$$

式中， $W_i$  为  $i$  点的权重，各需求点的权重可以人口数或其他标准确定。平均距离最小，则服务设施应处于中值，有

$$\text{Min} Z = \sum_{i=1}^n W_i |X_i - X_s| + \sum_{i=1}^n W_i |Y_i - Y_s| \quad (1-20)$$

意味着最佳位置应满足在  $X$  和  $Y$  方向都位于  $W_i$  值的中间。这样，整个工作步骤可描述如下：

- (1) 收集需求点与需求量的统计数据，建立坐标图；
- (2) 计算权重中值，它等于  $\sum_{i=1}^n \frac{W_i}{2}$ ；
- (3) 在坐标图上，将  $X$  方向上的  $W_i$  从左到右、再从右到左汇总起来，求取中值线；将  $Y$  方向上的  $W_i$  从上到下、再从下到上汇总起来，求取中值线。其相交点、线或面即为最佳选址区。

[例] 为开设复印服务社，找到目标需求区有 4 个，其位置用  $X$ 、 $Y$  二维坐标表示分别为： $A(6, 2)$ 、 $B(8, 6)$ 、 $C(5, 9)$ 、 $D(3, 4)$ （见图 3-1-16）。预计相应需求量为 2000、1000、3000 和 2000，求其最佳位置。

先求需求量中值为  $(2000 + 1000 + 3000 + 2000) / 2 = 4000$ 。

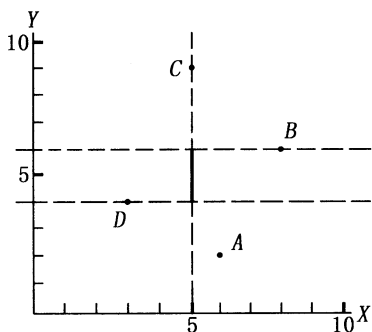


图 3-1-16 复印服务社选址

在图上，将  $X$  方向上的  $w_i$  从左到右相加，到其和等于或超过中值为止，例中  $D + C = 5000$ ，中位线在  $X = 5$  处；如从右到左相加， $B + A + C = 6000$ ，中值线通过  $C$  点，仍为  $X = 5$  处。然后，从上向下移动相加， $C + B = 4000$ ，中值线  $Y = 6$  通过  $B$  点，再从下向上移动相加， $A + D = 4000$ ，中值线  $Y = 4$  通过  $D$  点，故最佳位置应在  $(5, 4)$  到  $(5, 6)$  表示的线段上，以粗线表示。

2. 覆盖法。

公共设施的设立与选址常考虑覆盖面。例如，某城市有 7 个社区，拟建立若干文化馆，要求每个社区中心到文化馆之距离不超过 6 公里，且建立的文化馆数量最少以集中资金，备选地址除第 6 社区外均可，见图 3-1-17。

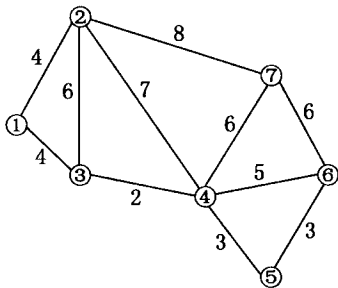


图 3-1-17 文化馆的选址

具体步骤如下：

(1) 对每个社区，确定符合距离不超过 6 公里要求的可以覆盖的社区，例如社区 1 可覆盖 1、2、3、4 区，其余类推；

(2) 确定能够服务该社区的潜在地址的集合，如能为社区 1 服务的潜在地址可以是社区 1、2、3、4，注意按要求社区 6 不能作为潜在地址；

(3) 根据设立文化馆最少的原则，任何一个等同于其他两个或更多子集的位置都是备选位置，例中有社区 3、4 或 3、7，设立两个文化馆即可。考虑到平衡各文化馆的负

荷可以选定在社区 3、7。

表 3-1-9 文化馆服务的覆盖范围

社区	能够服务的社区集合	能够服务该社区的潜在定位点集合
1	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4
2	1, 2, 3	1, 2, 3
3	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5
4	1, 3, 4, 5, 6, 7	1, 3, 4, 5, 7
5	3, 4, 5, 6	3, 4, 5
6	4, 5, 6, 7	4, 5, 7
7	4, 6, 7	4, 7

应当指出的是，服务企业在选址时，从竞争出发常常会采用逆向思维方法超出常规做法而出奇制胜。例如，针对顾客对部分商品喜欢比较选购的心理，将地址选在竞争对手云集的地方；有的企业在繁华地区集中设立许多相同的营业点，采用“饱和销售”的策略，以较低的广告费用、便于监督等优势提高竞争力。这与制造业选址有很大差别。

## 二、设施布局

### (一) 厂区布置

设施布局是指在给定的空间范围内为生产运作系统的各要素安排适当的位置，使系统运行有效、安全与经济。实际上，设施布局在选址时已有考虑，选址后则根据产品生产特点、企业规模、专业化协作状况、生产技术水平、所选地址的环境等因素，将厂区、车间的布置加以安排和落实，所以选址与设施布局的过程是互动的。

设施布局的第一步是厂区布置，即对构成企业的生产单位作平面或立面布置，要求做到：

- (1) 满足生产工艺过程的要求，做到生产流程简捷，物流畅通，避免迂回和往复运输；
- (2) 将生产单位划分成若干功能区域，以利各生产单位间的协调，便于管理；
- (3) 厂区平面布置紧凑，面积利用率高，物料运输距离短，与厂外运输衔接方便；
- (4) 保证厂区安全，注意厂区绿化和环境保护，为职工创造良好的工作环境，并与周围社区环境相协调；
- (5) 充分考虑远景发展的要求，为企业未来发展留有余地。

厂区布置的方法很多，下面介绍几种常用的方法。应当指出，这些方法也适用于车间内部工作地或设备的布局。



1. 相关图法。

理查德·穆瑟 (Richard Muther) 提出的相关图法通过将各生产单位间的活动关系和接近程度汇集到一张相关图上, 根据关系越密切越应靠近布置的原则安排布局。穆瑟将各生产单位相关程度分成 6 类, 分别给以评分, 见表 3-1-10。

表 3-1-10 相关程度分类

代 号	相 关 程 度	评 分
A	绝对重要	6
E	很重要	5
I	重要	4
O	一般	3
U	不重要	2
X	不予考虑	1

其相关原因可区分为表 3-1-11 中所列的几种。

表 3-1-11 相关原因代号表

相关原因	代 号	相关原因	代 号
使用公共记录	1	文件联系密切	5
共用人员	2	工作连续	6
共用场地	3	类似工作	7
人员密切相关	4	共用设备	8

将各生产单位之间的相关程度与相关原因填入相关图中。假如企业有 6 个生产单位, 可得相关图如图 3-1-18, 图中每个菱形格处于两个单位发生平行线的交汇处, 表示两者之间的关系, 其相关程度填入格的上方, 原因填在格的下方。

计算每个生产单位相关程度的积分, 方法是将穿过该单位所有小格的相关度评分相加, 见表 3-1-12。

表 3-1-12 各生产单位相关图积分

单 位	与其他单位相关度	相关度积分	排 序
1	AAXUO	18	5
2	AEUIA	23	1
3	AEXAX	19	4

单 位	与其他单位相关度	相关度积分	排 序
4	XUXOA	13	6
5	UIAOA	21	3
6	OAXAA	22	2

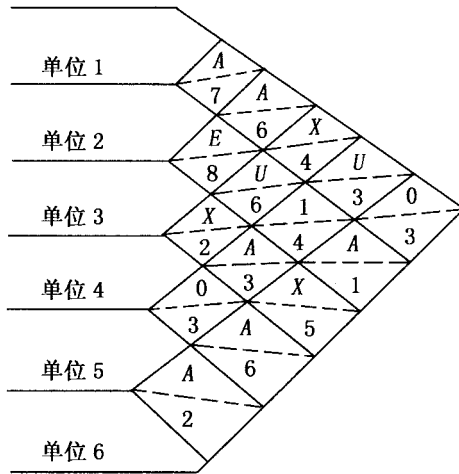


图 3-1-18 某企业各生产单位相关图

在平面布置时，将积分最高的生产单位尽可能安排在中心区，再将其他单位按积分高低和相关度顺序布置在它的周围，同类性质的单位尽可能靠近一些，见图 3-1-19。

3	2	6
1	5	4

图 3-1-19 平面布置示意图

如此得到的平面布置图并非惟一的，可以考虑其他一些因素试做调整，获得更理想的布置。

此法也可以忽略评分，利用关系最密切的 A 与不予考虑（或不允许相连）的 X，运用启发式进行布置，例如上例中列出相关程度为 A 与 X 的部门，见表 3-1-13。

从相关程度 A 出现次数多的单位开始，以它为中心，列出所有有 A 关系的部门，如图 3-1-20 (a)，然后找到所有有 A 关系的单位连接上去，见图 3-1-20 (b)，再找到有 X 关系的单位，见图 3-1-20 (c)，即可得到图 3-1-19 的平面布置图，但这里忽略了除 A、X 以外的其他相关关系。

表 3-1-13 相关程度为 A 与 X 的单位

相关程度为 A 的两单位	相关程度为 X 的两单位
1~2	1~4
1~3	3~6
2~6	3~4
3~5	
4~6	
5~6	

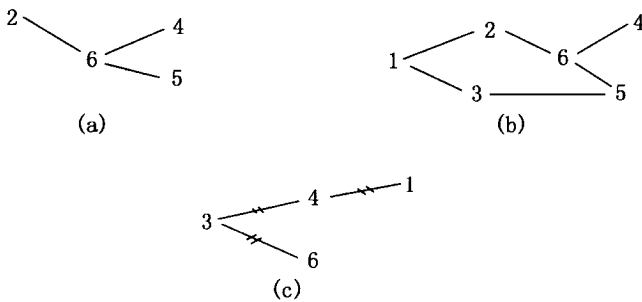


图 3-1-20 相关图

2. 从至表法。

从至表指从某一生产单位到另一生产单位间物料运送量汇总表，其基本思路是厂区布置以物料运送量最小，发生运费最少为追求的目标。

设有 6 个部门，分配到厂区 6 个地块。6 个部门每天的搬运物料重量见表 3-1-14。

表 3-1-14 各生产单位间搬运物料重量（吨）

从/至	1	2	3	4	5	6
1	—	180	50	46	22	36
2	70	—	16	10	20	32
3	74	4	—	2	0	14
4	82	24	2	—	8	0
5	28	32	0	18	—	6
6	64	76	26	4	4	—

由表 3-1-13 可求得各生产单位间搬运物料总重量的两两相应关系，见表 3-1-15。

表 3-1-15 各生产单位间搬运物料总重量

部 门	总重量	排 序	部 门	总重量	排 序
1~2	250	1	2~6	108	4
1~3	124	3	3~4	4	13
1~4	128	2	3~5	0	15
1~5	50	7	3~6	40	8
1~6	100	5	4~5	26	10
2~3	20	11	4~6	4	14
2~4	34	9	5~6	10	12
2~5	52	6			

将物料搬运量最大的生产单位靠近布置，即从部门 1~2 邻接布置开始，依次考虑各单位的相对位置。设由于技术上的原因，单位 6 必须设在 A 区，则可得各生产单位布置如图 3-1-21。

由于已知各地块间的距离，可求出各生产单位间物料搬运总工作量（吨公里）。若已知搬运费率，即可求得搬运总费用。

A 部门 6	B 部门 2	C 部门 5
D 部门 3	E 部门 1	F 部门 4

图 3-1-21 厂区平面布置图

### 3. 地块区划作图法。

此法的基本思路是按各单位之间运输量最少的原则，用图解法对各单位的相对位置作出初步安排，然后逐步调整优化。设有 11 个生产单位，每个生产单位间物料月搬运量见表 3-1-16。

# 第一章 生产系统的设计

表 3-1-16 各生产单位间物料搬运量

从 \ 至	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		240									
2			160	40			40				
3				140	20						
4						40	180				
5							20				
6				40					60	40	
7						20		180	40		
8						80			100		
9										200	
10											240
11											

设计平面布置时，先按运量大的单位靠近的原则，画出各单位的位置图。图中以圆圈表示生产单位，连线表示关系，线上数字代表相应单位间的运量，先不考虑各单位所

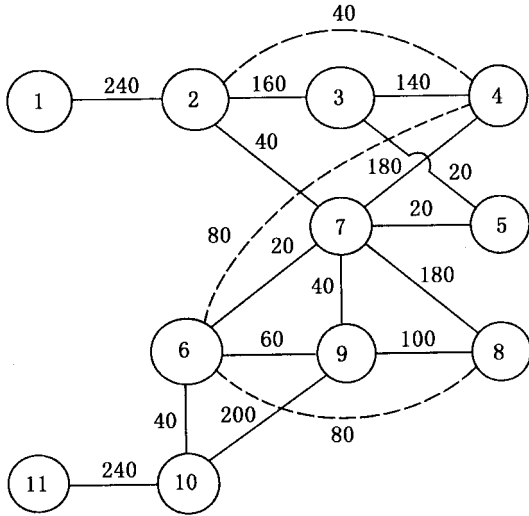


图 3-1-22 某厂平面布置示意图（调优前）

需面积。当然不同人设计的图形会有差别，假定得到的初步设计如图 3-1-22。

在此基础上考虑调优。例如，分析发现生产单位 4 与图中非邻接单位之间的搬运量有 120（单位 4 与 2 之间搬运量为 40，与 6 之间搬运量为 80），如果将它的位置排到单位 6 与单位 2 之间成为邻接单位，则可显著节省运量，且不影响它与单位 3 和单位 7 的邻接关系。出于同样考虑，将单位 8 与 9 也作了调整，结果见图 3-1-23。

各生产单位相对位置确定后，可考虑其所需占用面积与厂区轮廓的限制，画出地块区划图。各生产单位占用的面积，考虑到操作者工作空间、物料储存、通道等需要，可按各类机器所需面积之和乘以 3~4 倍估算。得到的平面布置地块区划图见图 3-1-24。

4. 计算机平面布置规划法。

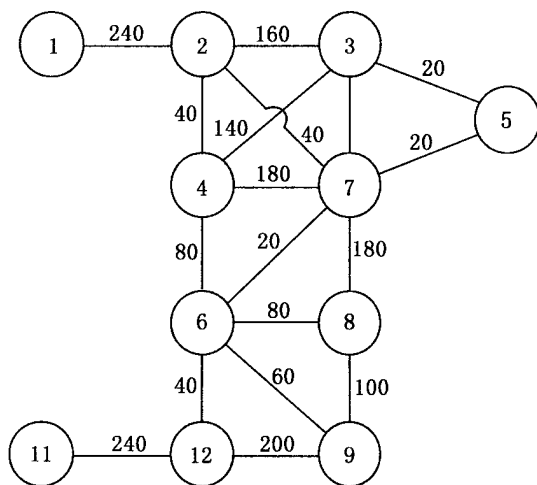


图 3-1-23 某厂平面布置示意图 (调优后)

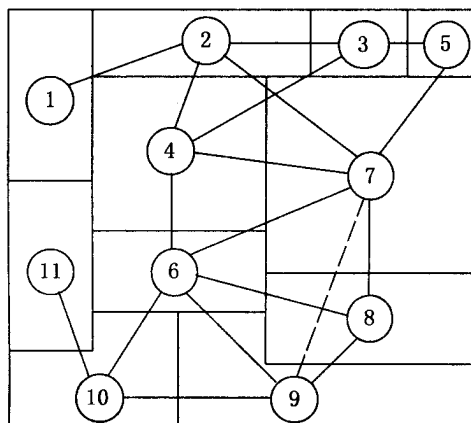


图 3-1-24 某厂平面布置地块区划图

以上讨论的方法存在一定的局限性，设计者的主观偏好起一定的作用，而且当生产单位很多时操作起来很麻烦。为了克服这种局限性，出现了计算机平面布置规划法 (CRAFT)，即一种通过分析生产单位交换逻辑来解决布局相对位置的计算机程序。CRAFT 的基本思路是把各生产单位之间的流程关系和物料搬运费用，连同地块区划图的初始方案输入计算机，程序运用启发式算法，问用户如果其中两个或三个生产单位位

置互相交换，对物料搬运用有什么影响，应答后计算机重新计算这些生产单位调换后的物料搬运用，并存在计算机中，然后再就另外两个生产单位作同样的交换处理，直到得到成本最低的最佳的布局，打印出地块区划布置图，作为进一步绘制工厂平面布置地块详图的基础。CRAFT的算法并不能得到惟一最优解，但其结果很难再加以优化。

### 5. 模型法。

利用比例制作的模拟生产设施的二维或三维模型在选定的厂址区域模型上排列出布置方案。通过多方案的分析比较，选择较满意的方案。这种方法简明、直观、灵活，是比较好的定性布局方法。

## (二) 车间布置

生产车间通常由生产、辅助、仓库、通道、管理、服务等部分组成，其中生产部分又要根据生产过程的要求，安排若干设备与工作地。一个好的车间布置应当满足以下要求：

- (1) 设备和工作地的布置应尽可能符合生产过程的流向和工艺顺序，使加工路线最短，便于物料运输，避免物流上的迂回、曲折或倒流；
- (2) 充分、合理地利用车间面积；
- (3) 便于工人作业，留有足够面积供工人走动、操作、放置工具物品，物流运送与走行通道分开，工作环境符合采光、照明、卫生、防污染等要求。

车间布置大体有 4 种类型：产品原则布置、工艺原则布置、定位布置与混合布置。

### 1. 产品原则布置。

按产品原则布置车间适用于大批量标准化产品的生产，其特点是按照产品加工的技术顺序来布置设备和工作地。常用的布置方式是直线式的，这种生产线有简洁、高效的优点。但如果生产线过长，不利于工人和车辆的往返移动，对场地要求也高，不如 U 形布置更加紧凑。U 形布置由于工人彼此接近，有利于交流协作，工作分配的弹性也比较大，如果物料入口与产品出口在同一侧还有利于控制生产节奏。其他还有直角形、山字形、S 形、环形等布置形式。

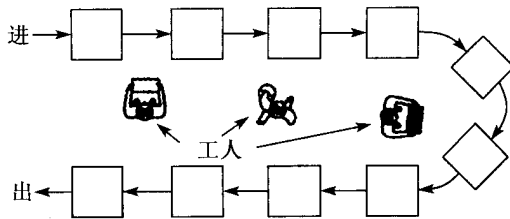


图 3-1-25 U 形生产线

按产品原则布置车间的重点，是把生产过程分解成一系列作业，并将它们按先后顺序分配到各设备和工作地，使各设备和工作地按相同的节拍生产，以保证物流顺畅，设备和工时利用充分。

2. 工艺原则布置。

按工艺原则布置车间是将同类生产设备集中布置在一起，组成一个工作中心，对产品进行相同工艺的加工，适用于多品种中小批量生产。不同的产品要求选择不同的工艺路线，进度安排以及运输路线。为了提高效率，这类布置的重点是确定设备和工作地的相对位置，使运输距离最短、运输费用最小、时间最少。

上节介绍的工厂布置方法也适用于这类车间布置。

3. 定位布置。

定位布置的特点是加工对象保持不动，而工人、设备和物料却围绕着加工对象移动，完成生产过程，适用于特大、笨重或受其他一些因素影响不能或不便移动的产品，如飞机制造、造船或大楼、大坝等大型建设项目。定位布置要求工人、设备、物料随生产过程的需要到达待加工的产品处，所以设计要重点考虑它们运送路线、方式与时间的控制，不能堵塞工地。

4. 混合布置。

许多情况下混合使用以上三种布置方式，叫做混合布置。通过混合布置的方式可以设计一个既富于柔性又高效低成本的生产系统，比较典型的例子是成组生产单元与柔性制造单元。

成组生产单元由于采用了成组技术，可以按零件族组织生产线，使之具备产品原则布置的缩影。成组生产单元的平面布置，可以按直线、U形布置，也可以按功能布置。

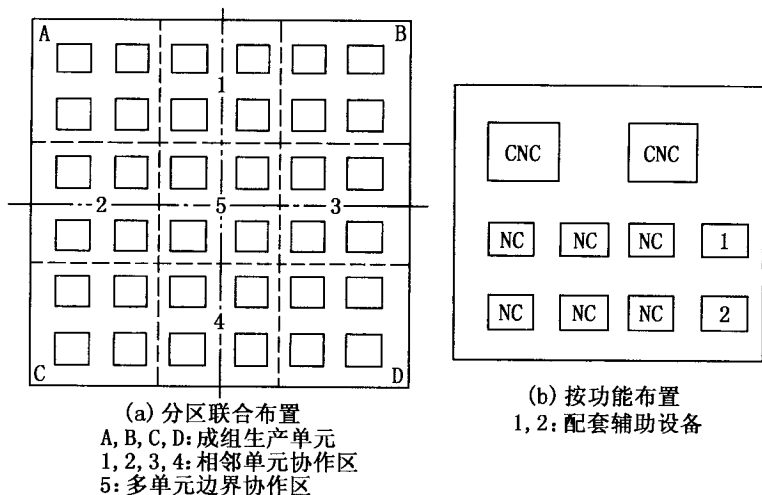


图 3-1-26 成组生产单元平面布置图

后者因为一个零件基本上能在一台数控机床或加工中心中完成全部工序，形成了一个成组技术中心。功能相同的成组技术中心布置在一起，即构成了按功能布置的生产单元。在成组生产单元较多的情况下，通常把成组单元集中组建为成组生产车间，车间内



按单元分区域布置，成为分区联合布置，见图 3-1-26。

柔性制造单元采用计算机控制零件在机器之间的输送与加工，实现了高度自动化，可以在小批量生产条件下享有产品原则布置所具有的一些好处。图 3-1-27 是由 9 台 CNC 机床、检验站、工件托板装卸站和轨道小车组成的加工齿轮箱的直线形柔性制造系统的生产线。

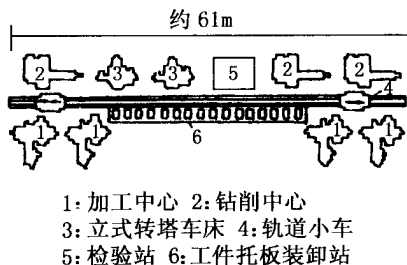


图 3-1-27 直线形布置的柔性制造系统

### (三) 服务设施的布置

服务企业与顾客直接接触多，其设施的装修与布局更具特色。例如，除了考虑土地资源的约束外，要更多地考虑到适应服务需求数量和质量变化的柔性，影响顾客消费心理的美学因素，以及对社会与环境的影响因素。

与生产设施相似，服务设施的布局也可以分成产品线布置、过程布置、定位布置与混合布置等几种情况。

#### 1. 产品线布置。

有些标准的服务可以分解为一系列每个顾客都必须经历的固定操作程序，如自助餐、办理汽车驾照等，好比产品在生产线上组装一样。这些服务可以按生产线平衡的方式，在服务人员之间分配任务，使每个步骤的服务耗费近似相等的时间。如果出现瓶颈，可通过增加服务员、任务重组、添置设备等方式使之趋于平衡。

以机场服务中旅客入境转机为例，每位旅客都必须经历以下程序：下飞机、入境登记、认领行李、通过海关、行李检查、国内航班登机，每道程序所需时间见表 3-1-17。

按生产线平衡的方式，画出服务流程图如图 3-1-28：

表 3-1-17 入境转机程序

活 动	平均时间 (秒)
1. 下飞机	30
2. 入境登记	25
3. 认领行李	60

活 动	平均时间 (秒)
4. 通过海关	35
5. 行李检查	28
6. 国内航班登机	22

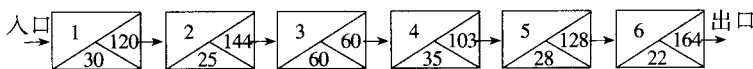


图 3-1-28 入境转机流程图 (1)

图 3-1-28 中，每个方框表示一道手续，方框内左上角为序号，下角为所需时间，右角为小时流量。由图可见“生产线”不平衡，其中瓶颈为认领行李，小时流量只有 60 人，而最快的步骤国内航班登机，小时流量为 164 人。

为消除瓶颈，将行李认领区面积加倍，入境登记与海关区域组合在一起，便可得到新的流程图如图 3-1-29 所示，小时流量增加到 120 人。

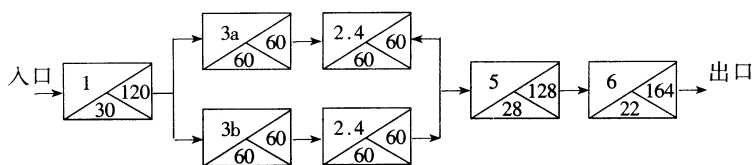


图 3-1-29 入境转机流程图 (2)

## 2. 过程布置。

在过程布置方式中，执行相似任务或承担相同责任的人分成一组，类似于制造业中的工艺原则布置，其主要优点是便于接受顾客的定制，为用户提供个性化服务，当然这对服务人员的技能要求也高了。从服务提供者的角度看，由于顾客需求不同，提供服务呈间歇式，每个部门都要设有等待的区域，以应付顾客流的忙闲不均。

过程布置考虑的主要问题是让顾客行走的距离最短；或者相反，有时可能有意识地引导顾客去浏览某些区域。

以图书馆为例说明过程布置的方法。设图书馆有 6 个区域：藏书室，参考文献室，复印室，阅览室，期刊室与机房。表 3-1-18 是学生每月在不同区域走动的次数。

表 3-1-18 图书馆内各定室的流动量

从 \ 至	A	B	C	D	E	F
A 藏书室	—	8	12	6	10	4
B 参考文献室	6	—	11	5	9	5
C 复印室	4	4	—	10	5	6
D 阅览室	5	5	13	—	5	8
E 期刊室	4	5	9	6	—	5
F 机房	4	4	4	7	5	—

为了得到能使学生走动距离最短的布置方式，先计算各室之间的流动矩阵，见表 3-1-19。

表 3-1-19 图书馆内部各室间总流动矩阵

区域	A	B	C	D	E	F
A	—	14	16	11	14	8
B	—	—	15	10	14	9
C	—	—	—	23	14	10
D	—	—	—	—	11	15
E	—	—	—	—	—	10
F	—	—	—	—	—	—

距离最短的布置方式，要求高流量区域布置在相邻位置，可得图 3-1-30。

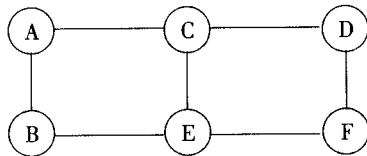


图 3-1-30 图书馆平面布置图

得到平面布置图后，可通过交换不相邻配对区寻求总行走距离更短的方案。

### 3. 其他布置。

当被服务对象不便移动时，可以按定位布置方式安排服务设施，如住院部治疗的重病人，此时要考虑如何便于将医疗设备和材料送达病床。

服务设施采用混合布置的情况也很多，如：超市的商品采用过程布置，但在仓库或

收银台，常使用传送带作业；医院住院部重病人虽采用定位布置，但其他科室的布置采取过程布置。

#### 4. 定向。

服务设施为便于顾客利用，需要有适当的标志为顾客定向。定向有两种：地点定向与功能定向。地点定向告诉顾客当前所在的位置，以及如何能到达他想去的地点；功能定向告诉顾客某个组织的功能及其工作程序，帮助他判断下一步该做什么。一些连锁服务企业使用统一的标识为顾客定向，使顾客到连锁企业中任何一家时都不感到陌生；也有一些企业如银行、宾馆通过在入口处布置大厅的形式，让顾客很容易看到整个空间，帮助定向。