

(京)新登字036号

高等学校教学用书

生 产 管 理 学

北京科技大学 张浩 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 17.5 字数 415 千字

1992年10月第一版 / 1992年10月第一次印刷

印数00,001~2,000 册

ISBN 7-5024-1072-4

F·49(课) 定价 4.50元

目 录

第一章 生产管理概论	1
第一节 生产系统的概念和构成	1
第二节 生产管理的任务、功能与发展过程	2
第三节 生产系统的基本特性和类型	4
第二章 厂址选择与工厂布置	7
第一节 厂址选择	7
第二节 工厂布置	16
第三节 企业生产规模的确定	26
第三章 生产过程组织	29
第一节 组织生产过程的要求	29
第二节 基本生产车间的组织形式	32
第三节 生产过程的时间组织	34
第四章 流水生产组织	39
第一节 流水生产组织概述	39
第二节 单一品种流水线的设计	42
第三节 多品种流水线的设计	48
第五章 生产计划	61
第一节 概述	61
第二节 生产能力的核定与平衡	63
第三节 产品产量决策和产品结构优化	67
第四节 生产方式选择	77
第五节 产品出产进度计划	82
第六章 生产作业计划与生产作业控制	91
第一节 概述	91
第二节 期量标准	92
第三节 生产作业计划的编制	100
第四节 作业排序	105
第五节 生产控制	111
第七章 工程项目进度与控制	119
第一节 概述	119
第二节 网络图	119
第三节 网络图时间参数的计算	122
第四节 网络计划的优化	131
第八章 工作研究与劳动定额	141
第一节 概述	141
第二节 流程分析	143
第三节 动作分析	151

第四节 时间研究	153
第五节 劳动定额	158
✓第九章 产品开发	173
第一节 概述	173
第二节 新产品开发的一般程序	175
第三节 新产品开发的评价方法	178
第四节 产品开发管理	183
第十章 质量控制	190
第一节 概述	190
第二节 工序能力的调查与分析	195
第三节 工序控制	201
第四节 质量检验	209
第十一章 物资管理	221
第一节 概述	221
第二节 物资消耗定额	222
第三节 物资的储备定额	225
第四节 库存控制方法	238
第五节 物资供应计划	240
第六节 物料需用量计划(MRP)	245
第七节 仓库管理	249
第十二章 设备管理	252
第一节 概述	252
第二节 设备的选择与经济评价	255
第三节 设备磨损与故障规律	259
第四节 设备的维修	261
第五节 设备更新与改造	266
参考文献	272

第一章 生产管理概论

第一节 生产系统的概念和构成

一、生产与生产系统

生产是生产要素变换为有形产品或无形服务，从而创造效用，增加附加价值的过程。它是人们有目的的活动。生产过程所提供的产品或服务，在商品经济条件下是以商品的形式提供给社会消费。

从系统观点来考察产品（或服务）生产，可以把将生产过程各要素转化为有用产品的系统，称之为生产系统，如图1-1所示。

从图1-1看出，生产系统包括三个基本部分：

（1）投入（或称输入）：它主要指生产对象、劳动力、生产手段、生产信息等。

（2）生产过程（或称转换过程）：指加工或制造过程。

（3）产出（或称输出）：指转换的结果。它包括有形实物和无形的服务，信息等。

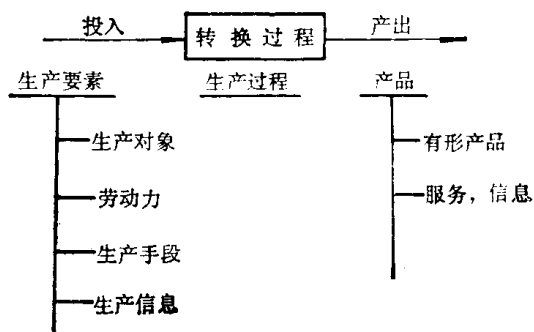


图 1-1 生产系统的投入—产出示意图

生产系统作为系统进行观察时，在输入-转换-输出过程中，有两种流在流动。一种是信息流；另一种是物质流。企业活动中的工作程序、工作标准、技术条件、生产计划和各种图纸、报表等都是信息。这些信息在企业各部门和成员之间流动而形成信息流。生产过程中的原材料、毛坯、半成品、成品以及工具、设备等物质，在企业各个场所间流动而形成物质流。输入经过转换变为输出的过程主要是物质流。两种流相辅相成，每一方都是以另一方的存在为前提而存在。应当指出，在现代生产中，知识和信息的作用越来越重要，知识和信息在投入要素中占着越来越大的比重。生产过程既是物质转换过程，又是信息处理和变换过程。这是由于科学技术的迅速发展及其在生产中的广泛应用所决定的。

还应指出，产品的生产过程不仅是使用价值（有用产品）的生产过程，而且是价值的再生产和增殖的过程，即劳动力创造新价值的过程。生产过程组织的任务之一，就在于合理、有效地组织生产过程，使新创造的价值最大。

二、生产系统的构成

任何系统都是由若干相互作用的组成部分在统一的目标下构成的。各个组成部分本身可以是一个较为简单的系统。各个系统是以不同目的区别开来的。

在社会—经济系统中，企业是其一个组成部分，是其一个子系统。而一个企业自身又可分为若干不同的子系统。

通常，一个企业包括以下几个主要的子系统：

(1) 生产系统(或称制造系统)。这里所讲的生产系统是狭义的。这一系统是直接进行产品的加工或实现劳务的过程。这个子系统的工作直接决定着产品的数量、质量和生产费用。

(2) 研究开发系统。这一系统进行着生产前的各项技术准备工作以及产品的研究与开发工作。在现代化生产过程中,这一子系统的作用日益重要,在很大程度上预先决定了产品的品种、质量、数量和其它经济指标。

(3) 生产计划与控制系统。该子系统也称生产管理系统。

(4) 生产供应与保证系统。这个系统提供保证生产正常进行所需要的物料、能源、设备等各种要素。

(5) 销售与服务系统。该系统进行产后销售与服务过程。

本书所说的生产系统是广义的生产系统。它包括上述子系统 中的 生产系统(制造系统),生产计划与控制系统,生产供应与保证系统。

第二节 生产管理的任务、功能与发展过程

一、生产管理的任务

生产管理的任务是根据社会需求,最经济地按期、按质、按量、按品种生产或提供消费者所需要的产品或劳务。为实现这一任务,生产管理系统要进行大量地组织与管理工作,这些工作可分为两大类:

(1) 与生产系统设计有关的活动。它主要包括厂址选择,工厂与车间布置,生产工艺的选择等等。

(2) 生产计划与控制。它是生产管理中的日常管理活动。

二、生产管理的功能

为了实现日常的生产管理,生产管理必须具备以下两种功能:

(1) 计划功能。通过市场需求预测,根据用户的要求,编制各种生产计划。广义的计划工作包括组织与协调的功能,如劳动力的组织,生产前各项技术准备工作的组织与协调。

(2) 控制功能。生产控制是指围绕完成生产计划任务所进行的各种检查、监督、调整等工作。其作用是完善生产组织,实现生产计划,保证经济地按质、按量、按期完成生产任务。广义的生产控制是对生产全过程实行全面的控制。从内容看,主要包括生产准备控制、生产过程控制、产品质量控制、物料消耗及生产费用控制、库存和资金占用控制。狭义的生产控制,是指生产作业控制。主要包括生产调度工作,在制品管理和生产作业统计等。

三、生产管理的发展

生产方式决定了管理方式。生产力的发展和科学技术的进步推动着管理理论和管理方法的发展。从资本主义工厂制度出现起,经历了经验管理、科学管理、现代管理等若干发展阶段。

资本主义工厂制度出现时期,英国经济学家亚当·斯密(Adam Smith)于1776年第一个论述了劳动分工的基本经济优点。这些经济优点是:当重复地完成单项作业时,会使技能或作业熟练程度得以很快提高;由于劳动分工节约了因工作变换损失的时间;劳动分

工带来的作业专门化，促进了机器和专用工具的发展和使用。亚当·斯密把这三个优点写进他的《国富论》中，这本书是生产管理学发展的第一个里程碑。这个论述清楚地说明了一个生产的基本原理。

后来，英国人查理·巴贝奇（Charles Babage）发展了亚当·斯密的见解，提出了关于生产组织机构和经济学方面带有启发性的问题。在亚当·斯密和查理·巴贝奇之后的年代里，尽管劳动分工，工厂规模和科学技术不断发展，但直到19世纪末，管理的方式仍然没有摆脱小生产经营方式的影响，采用的仍是因袭式管理，也就是凭个人经验管理工厂。在经验管理阶段，当时的管理人员凭个人经验进行生产管理，工人凭自己的经验进行操作，没有统一的操作规程。管理人员单纯靠计件工资去刺激工人的生产积极性。由于他们并不知道各种工作所需要的合理时间，在制定计件单价时缺乏科学依据，以致工人为取得较高工资，有时把工作效率提高到管理人员所预料不到的程度。于是，厂主不断降低计件单价以降低劳动成本。工人为免受过分严重的剥削就采取有组织的怠工措施来对抗厂主，其结果是生产效率只达到当时可能达到的 $1/3 \sim 1/2$ 。

随着生产技术的进步，生产规模和生产社会化程度的提高，竞争也更加激烈，迫切需要改变传统的经验管理方法，需要管理工作科学化、系统化。在这种客观条件下，于20世纪初，产生了以美国泰罗（F.W.Taylor）为代表的科学管理理论。泰罗的科学管理理论可概括为以下几点：

（1）对作业方法进行科学研究，使作业标准化，并根据标准化操作方法的要求，把工人使用的工具、设备、材料以及作业环境标准化。由于实验心理学和生理学研究者的帮助，这一领域大大扩展，而发展为《人类工程学（Human Engineering）》，普遍应用于生产管理方面。

（2）对工人进行科学的挑选和培训。

（3）工人和管理部门之间发挥协作精神，以保证工作按照科学设计的程序进行。

第（2）、（3）条已发展成为人事管理领域。

（4）工人与管理部门之间工作分工，各自承担最适合的工作。这一条具有深远的影响，它导致产生了计划与控制这两项基本管理职能。

泰罗的管理理论重点在基层管理，注意提高作业的效率。如何从更加全面的观点，从更高层次出发来提高整个企业的效率注意不够。

在泰罗稍后一段时间，是福特（H.Ford）开创的“同步管理”。对于大量生产以标准化、专门化和简单化，通过流水线使生产率大幅度提高，生产成本也大幅度降低。采用流水生产，生产线每天完成的作业和产品数量不再由工人自由地决定，而由传送带的速度决定。因此，如何确定流水线的节拍，使各项工作跟上节拍，就成了生产组织的重点内容。

第二次世界大战以后，特别是近二、三十年来，由于科学技术的发展，使工业生产发生巨大变化。主要表现在：

（1）企业的生产规模空前扩大；

（2）产品的技术复杂性增加；

（3）产品的升级换代周期缩短；

（4）生产日益社会化使得生产协作关系极为复杂。

为适应市场对产品品种多样化的需要，生产已进入多品种小批量的时代。生产和生产

管理方式正在经历根本性的改变。生产管理不再限于控制单个生产设备或生产线，而是通过建立生产管理信息系统，动态地、及时地制定生产计划，实施生产计划并加以控制。这个阶段的管理特点是从整个企业的经营目标出发，以系统工程的思想为指导，建立计算机辅助管理系统，力求实现对整个企业的最优管理。所以，这一阶段又称“系统管理”阶段。

第三节 生产系统的基本特性和类型

一、生产系统的基本特性

生产系统的特性是多方面的，其中最主要的特性是生产能力和适应性。

（一）生产能力

它通常是指一个生产系统在一定时间内生产产品的最大数量。对多工序，多环节的生产系统，其生产能力指综合生产能力。生产能力主要决定于以下三个因素：

（1）生产效率。指一个生产单位或一台设备（设备的单位容积，或单位面积）在单位时间的产品产量，产量一般以实物单位表示。

（2）生产系统中相同生产单位或设备的数量。

（3）有效工作时间。指生产系统在一定计划内的总有效工作时间。

（二）生产系统的适应性

生产系统的适应性也称生产系统的灵活性或柔性，它指生产系统在产品种类、品种、产量等方面，对市场变化的适应能力。生产系统的适应性取决于生产系统的技术装备、工艺流程和生产组织方法。

但从目前国外机械工业发展情况来看，多品种小批量生产的比重愈来愈高，很多原来的单一品种大量生产自动线也开始向多品种或混合品种生产线发展。由于多品种小批量生产中存在着的品种多样性，生产过程的多样性、生产能力的复杂性、外部条件的不确定性、生产计划和进度计划的困难性、生产实施和生产控制的动态性等，也给生产管理工作带来了很大的困难。为了克服上述这些困难，已经提出多种工艺上的和管理上的有效措施，如成组技术，面向零部件的生产系统，柔性制造系统等。

二、生产系统的类型

生产系统的类型是影响生产过程组织的主要因素，也是设计企业生产系统首先要确定的重要问题。为了更好地研究和组织企业的生产过程，就需要按照一定的标志，将生产系统划分为不同的类型，以便根据不同的生产类型确定相应的生产组织形式和计划管理方法。

根据生产系统特点，有以下几种分类方法。

（一）按生产任务来源分类

按任务的来源，生产系统可分为订货生产式和存货生产式。

（1）订货生产式：根据用户的订货，通过签订合同，按合同规定的品种规格、数量、质量、交货期、价格等要求组织生产。任务的来源有些是随机的、不稳定的，属于无存货生产。

（2）存货生产式：在预测市场需要的基础上，根据本企业的生产能力有计划的安排生产。采取“有库存待售”的生产方式。

(二) 按生产工艺特点分类

按产品生产工艺的特点，生产系统可分为合成型、分解型、调制型与提取型。

(1) 合成型：是将不同的零件装配成成套产品或将不同成分的物质合成一种产品的生产系统。如汽车厂、机床厂、水泥厂、化肥厂等。

(2) 分解型：是将原料经过加工处理后分解为多种产品的生产系统，如炼油厂、焦化厂等。

(3) 调制型：是指通过改变加工对象的形状和性能的生产系统，如轧钢厂、热处理厂、电镀厂。

(4) 提取型：是从矿山、地下、海洋中挖掘提取产品的生产系统，如矿山，油田，天然气工业等。

(三) 按生产的连续程度分类

按生产过程连续性程度可分为连续生产型与间断生产型。

(1) 连续生产型：指长期不间断地生产一种或少数几种产品的生产系统，如石油化工厂、手表厂、电视机厂等。这些企业产品的工艺流程一般是固定的，多采用专用生产设备，进行有节奏的连续生产。

(2) 间断生产型：指产品品种较多，工艺流程各不相同的生产系统，如重型机器厂、机修厂等。

(四) 按工作地专业化程度分类

生产系统按工作地专业化程度分类可分为大量生产，批量生产和单件小批量生产等类型。按工作地专业化程度分类是生产系统的主要分类形式。下面按此种分类方法来讨论大量生产，批量生产和单件小批量生产的技术经济特性。

三、各种生产类型的技术经济特性

(一) 大量生产类型的技术经济特性

大量生产类型的特点是产品品种少，产品产量大，生产条件稳定，而且生产的产品长期重复，生产专业化程度高。

产品是一种或少数几种结构相似，工艺路线相同的同类产品，产品有稳定的销售量与长期稳定的销售市场。

生产设备方面，多采用专用高效率的生产设备和工艺装备。这些装备与工作地多是按工艺路线的要求，以“对象”原则排列，有利于工序间衔接和缩短运输路线，为运输机械化创造条件。

大量大批生产类型由于专业化程度高，劳动分工精细，每个操作工人只限定完成一道或少数几道工序，工人作业范围小，长期从事重复性的劳动，工人易于掌握工艺加工技术，提高熟练程度和操作技巧。

大量生产类型便于采取流水生产组织形式，生产效率高，生产周期短，可大幅度降低成本。因而大批生产类型的技术经济指标较好。

(二) 批量生产类型的技术经济特性

批量生产是相对大量大批生产而言的，是指产品品种较多，产量较少，专业化程度较低的一种生产类型。

在产品方面，产品的结构多为相似的系列产品，品种较多，有一定的批量，销售量能

长期稳定，便于组织轮番成批生产。

在生产设备方面，由于产品产量较低，品种较多，为适应这个特点，不可能象大量大批生产那样，采用较多的自动化和半自动化专用设备，只能根据产量大小，工艺的难易程度，在采用通用设备的同时，部分采用自动化、半自动化的专用设备。

在成批生产条件下，工人需要掌握多种操作技术和技能，而且还应具有一定的熟练程度，以适应多品种和周期性生产变动的要求。

（三）单件小批生产类型的技术经济特性

单件小批生产的特点是产品品种繁多而不固定，有些品种只生产一次，且多是根据用户的要求设计的。产品产量极少，产品复杂，如大型造船厂、重型机器厂、大型水轮机厂、大型制氧机厂、单项工程等。

生产设备多属万能通用型的，以适应多变的各种工序加工的需要。

另外，由于每台设备和每个工作地上，要完成范围较广的工作内容，因此专业化程度低。工人需要较高的技术水平，掌握较为广泛的操作技能，以适应产品多变的生产要求。

习 题

1. 什么是生产和生产系统？
2. 什么是生产管理的任务和职能？
3. 生产管理的发展经历了哪些阶段？各阶段的主要管理特点是什么？
4. 生产系统的基本特性是什么？如何采取措施提高生产系统的适应性？
5. 生产系统的类型有哪几种分类方法？
6. 大量生产，批量生产和单件小批生产的技术经济特征是什么？

第二章 厂址选择与工厂布置

第一节 厂址选择

一个生产系统不能脱离环境而单独存在。外界环境对生产系统输入原材料、劳动力、能源、科技和社会因素；同时，生产系统对外界环境输出其产品、劳务、废弃物等。因此，生产系统不断受外界环境的影响而改变其活动；同时，生产系统的活动结果亦不断改变其外界环境。

厂址选择为生产系统确定了所接触的外界环境，影响着生产系统的各种输入和输出。合理的厂址选择有利于充分利用人力、物力和自然资源；有利于促进建厂地区的经济发展；有利于保护环境和生态平衡。因此，厂址选择合理否，直接影响工厂的基建投资、产品成本、发展前景、企业经济效益和国民经济效果。

厂址选择就是确定工厂座落的区域和位置。所谓区域是指一个比较大的地区空间，而位置则指某区域内的工厂实际座落点。在解决厂址选择问题时，首先要决定建厂地区。而后，要在该地区作详细调查研究，以确定合适建厂位置。建厂的可行位置，要经过多种因素衡量后作出决定。

一、厂址选择要考虑的基本条件

选择厂址时，要考虑以下基本条件：

(1) 可靠的原料、燃料和动力供应。原燃料和动力消耗大的企业，如钢铁联合企业，应尽量接近原料、燃料和动力的产地，以保证供应，并降低运输费用。

(2) 足够的厂区用地面积。厂区用地面积既要满足现有生产规模的要求，又要留有发展的余地。

(3) 土壤地质条件。厂址的土壤地质条件应符合建筑厂房和其它建筑物的要求，以减少地基加固费用。

(4) 厂址地势应较平坦。厂址地势平坦有利于内外运输，地面水的排除，减少土方工程量。

(5) 厂址靠近水源。对耗水量大的企业，必须考虑生产对水量、水质的要求。

(6) 厂址应接近产品消费地区。厂址接近产品消费地区，便于产品运输和降低产品运输费用。

厂址应接近原料产地还是应接近产品消费地区，这要看原料利用系数。

$$\text{原料利用系数} = \frac{\text{耗用的原料重量}}{\text{制成品的重量}}$$

如上述系数远大于1，厂址应接近原料产地；如上述系数接近于1，厂址应接近产品消费地区。

(7) 所在地区的经济、技术和文化条件。厂址所在地区的经济、技术和文化条件应有利于生产技术协作和提供充分的技术力量。

(8) 运输条件。厂址应尽可能靠近铁路或水运线,以减少交通运输的投资和运输费用。

(9) 满足环保,生态和地区总体规划的要求。

应指出,厂址选择中完全满足上述条件是不可能的。应当对各种因素进行综合研究,通过技术经济论证和多方案对比,才能从中选出合理的厂址来。

二、厂址选择的程序

厂址选择的程序一般分为三个阶段。

(一) 准备阶段

根据已批准的建设项目计划任务书中规定的工厂规模、组成、职工人数等,由选厂专业人员计算出工厂需要占地的面积、厂内外运输量、用水、用电、用热的数量;提出对工程水文地质条件及其它协作条件的要求;提出“三废”的性质、排放标准、处理途径的初步设想等等。

(二) 现场勘察阶段

根据上述要求,由设计单位、企业单位和主管单位组成选厂工作组,邀请城市建设局、环境保护局等有关部门参加,到现场调查和勘察,选出若干供比较的厂址,整理成厂址比较方案汇总表。

(三) 确定方案阶段

对选定的若干厂址,从宏观与微观经济效益、近期与长远的经济效益等方面进行全面的技术经济论证,从中确定一个合理的方案。

三、厂址选择的定量分析方法

厂址方案的选择对比,一般应从定性和定量两个方面进行分析。定性方面的分析是指根据建厂的总原则,凭借已掌握的信息、经验和对客观实际的判断,对厂址方案进行一般理论上的研究分析,大体确定方案的优劣。而定量分析则是指对厂址方案中有关因素的一系列指标,从数量上进行具体的论证。两者是相互补充,相互结合进行的。

下面介绍几种主要的定量分析方法。

(一) 重心法

所谓重心法,就是从众多制约因素中,选择主要因素进行数学分析。当产品生产成本中运输费用占较大比重,所需原材料由多个原料产地供应,其产品又销往若干地区。这类厂址选择问题,可用重心法选择运输费用最小的地点为最佳厂址。

设有 n 个原料供应地,它们的坐标为 $(x_j, y_j) (j=1, 2, \dots, n)$, 工厂的厂址坐标为 (x_0, y_0) , 如图2-1所示。

原料从 j 地至工厂的运输费为 c_j , 则总运输费用为

$$H = \sum_{j=1}^n c_j \quad (2-1)$$

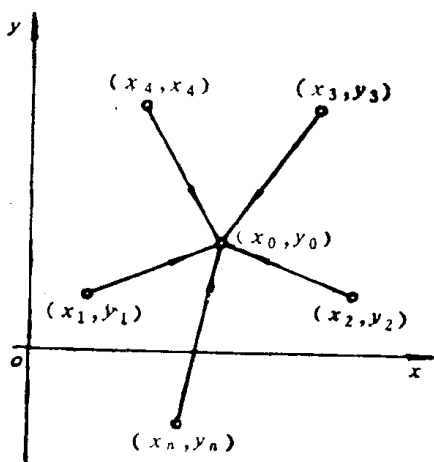


图 2-1 原料供应地和厂址坐标

$$c_j = h_j w_j d_j \quad (2-2)$$

式中 h_j ——运输费率;

d_j ——原料地 j 至工厂的距离;

$$d_j = [(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2]^{1/2} \quad (2-3)$$

将式 (2-2) 代入式 (2-1), 得到

$$H = \sum_{j=1}^n h_j w_j d_j \quad (2-4)$$

由式 (2-3) 和式 (2-4) 可求出使 H 最小的 (x_0, y_0) 。 H 是 (x_0, y_0) 的函数, 根据极值原理

$$\frac{\partial H}{\partial x_0} = \sum_{j=1}^n h_j w_j (x_0 - x_j) / d_j = 0 \quad (2-5)$$

$$\frac{\partial H}{\partial y_0} = \sum_{j=1}^n h_j w_j (y_0 - y_j) / d_j = 0 \quad (2-6)$$

从式 (2-5) 和式 (2-6) 求出最佳 (x_0^*, y_0^*)

$$x_0^* = \frac{\sum_{j=1}^n h_j w_j x_j / d_j}{\sum_{j=1}^n h_j w_j / d_j} \quad (2-7)$$

$$y_0^* = \frac{\sum_{j=1}^n h_j w_j y_j / d_j}{\sum_{j=1}^n h_j w_j / d_j} \quad (2-8)$$

x_0^*, y_0^* , 可采用迭代法求解。计算步骤如下:

- (1) 给出厂址的初始位置 (x_0^0, y_0^0) ;
- (2) 利用式 (2-3)、式 (2-4) 计算与 (x_0^0, y_0^0) 相应的总运输费 H^0 ;
- (3) 把 (x_0^0, y_0^0) 分别代入式 (2-7)、式 (2-8) 中, 计算厂址的改善地址 (x_0^1, y_0^1) ;
- (4) 用式 (2-3)、式 (2-4) 计算出与 (x_0^1, y_0^1) 相对应的总运输费用 H^1 ;
- (5) H^1 与 H^0 进行比较, 如果 $H^1 \geq H^0$, 则 x_0, y_0 为最优解, 停止迭代。如果 $H^1 < H^0$, 则返回步骤 (3), 将 (x_0^1, y_0^1) 代入式 (2-7), 式 (2-8) 中, 计算出厂址的再改善地点 (x_0^2, y_0^2) 。反复计算, 直至 $H^{k+1} \geq H^k$, 求出最优解 (x_0^k, y_0^k) 。

表 2-1 原料供应地、供应量和运输费率

原料供应地 (j)	原料需要量 (W_j)	运输费率 (h_j)	坐 标	
			x_j	y_j
R_1	2	5	2	2
R_2	3	5	11	3
R_3	2.5	5	10	8
R_4	1	5	4	9

应用迭代法的关键是给出厂址的初始解 (x^0, y^0) 。一般的作法是将原料供应地的重心点作为初始厂址，故叫重心法。

例2-1 某厂所需原料有四个供应地。供应地坐标，原料需要量和运输费率如表2-1所示。

首先根据表中给出的数据求出重心点的坐标 $(\bar{x}, \bar{y})$,

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j w_j x_j}{\sum_{j=1}^n h_j w_j} \quad (2-9)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j w_j y_j}{\sum_{j=1}^n h_j w_j} \quad (2-10)$$

本例中 h_j 是相同的，可从式 (2-9) 和式 (2-10) 中消去。

$$\bar{x} = \frac{2 \times 2 + 3 \times 3 + 2.5 \times 10 + 1 \times 4}{2 + 3 + 2.5 + 1} = 7.8$$

$$\bar{y} = \frac{2 \times 2 + 3 \times 3 + 2.5 \times 8 + 1 \times 9}{2 + 3 + 2.5 + 1} = 4.9$$

重心点 (7.8, 4.9) 作为初始厂址 (x^0, y^0) ，用迭代法来改善它，使运输费最小。

(1) 按上述步骤 (1) 求 H^0

$$d_1 = [(7.8 - 2)^2 + (4.9 - 2)^2]^{1/2} = 6.5$$

$$d_2 = [(7.8 - 11)^2 + (4.9 - 3)^2]^{1/2} = 3.7$$

$$d_3 = [(7.8 - 10)^2 + (4.9 - 8)^2]^{1/2} = 3.8$$

$$d_4 = [(7.8 - 4)^2 + (4.9 - 9)^2]^{1/2} = 5.6$$

由式 (2-4) 计算 H^0

$$H^0 = (2 \times 6.5 + 3 \times 3.7 + 2.5 \times 3.8 + 1 \times 5.6) \times 5 = 196$$

(2) 由式 (2-7)、式 (2-8) 求 (x^1, y^1)

$$x_0^1 = \frac{2 \times 2/6.5 + 3 \times 11/3.7 + 2.5/3.8 + 1.4/5.6}{2/6.5 + 3/3.7 + 2.5/3.8 + 1/5.6} = 8.6$$

$$y_0^1 = \frac{2 \times 2/6.5 + 3 \times 3/3.7 + 2.5/3.8 + 1.9/5.6}{2/6.5 + 3/3.7 + 2.5/3.8 + 1/5.6} = 5.1$$

(3) 按上述迭代步骤 (4)。用改善地点 (8.6, 5.1) 计算 d_j 、 H^1

$$d_1 = [(8.6 - 2)^2 + (5.1 - 2)^2]^{1/2} = 7.3, \quad d_2 = [(8.6 - 11)^2 + (5.1 - 3)^2]^{1/2} = 3.2$$

$$d_3 = [(8.6 - 10)^2 + (5.1 - 8)^2]^{1/2} = 3.2, \quad d_4 = [(8.6 - 4)^2 + (5.1 - 9)^2]^{1/2} = 6$$

$$H^1 = (2 \times 7.3 + 3 \times 3.2 + 2.5 \times 3.2 + 1 \times 6) \times 5 = 191$$

因 $H^1 = 191 < H^0 = 196$ ，应返回步骤 (3) 计算 (x^2, y^2)

$$x_0^2 = \frac{2 \times 2/7.3 + 3 \times 11/3.2 + 2.5/3.2 + 1 \times 4/6}{2/7.3 + 3/3.2 + 2.5/3.2 + 1/6} = 9.0$$

$$y_0^2 = \frac{2 \times 2/3.7 + 3 \times 3/3.2 + 2.5 \times 8/3.2 + 1 \times 9/6}{2/7.3 + 3/3.2 + 2.5/3.2 + 1/6} = 5.2$$

对地点 (9.0, 5.2) 计算各 d_j 和 H^2 , 其结果为

$$d_1 = 7.7, d_2 = 3.0, d_3 = 3.0, d_4 = 6.3,$$

$$H^2 = 191,$$

$H^2 = 191 = H^1$, 因此 (x_0^1, y_0^1) 已接近最优解。故最佳厂址的坐标为 (8.6, 5.1)。

迭代计算结果见表2-2。

表 2-2 迭代计算结果

计 算 次 数	厂 址	运 输 费 用
0	(7.8, 4.9)	196
1	(8.6, 5.1)	191
2	(9.0, 5.2)	191

重心法的局限性:

(1) 只考虑了运输费, 未考虑其它条件。

(2) 工厂与原料供应地之间的运输距离按直线计算, 而实际运输路线并非如此。

(3) 用重心法求出的最佳厂址 (x^*, y^*) 可能由于地势, 地质或其它原因是不宜建厂的地点。因此, 此法应与其它方法结合使用。

(二) 交通网中的厂址选择模型

交通网一般由交通线路和交通枢纽组成。在交通网中, 通过交通线路把各个交通枢纽连结起来。产品销售地, 原材料供应地和货物转运地通常都设在交通枢纽处。图 2-2 为一个具有九个枢纽的交通网。

设运输费率 (单位重量, 单位距离的运输费) h 为一常数。厂址选择在 A_m 点, 则总运输费可用下式表示

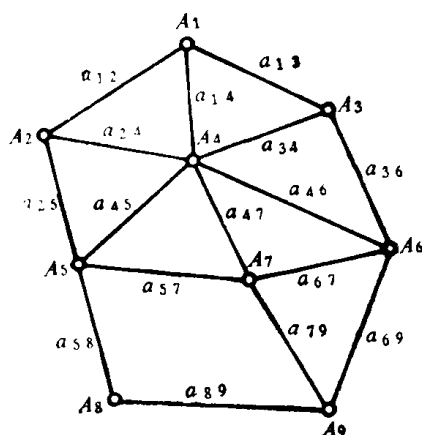


图 2-2 某交通网示意图

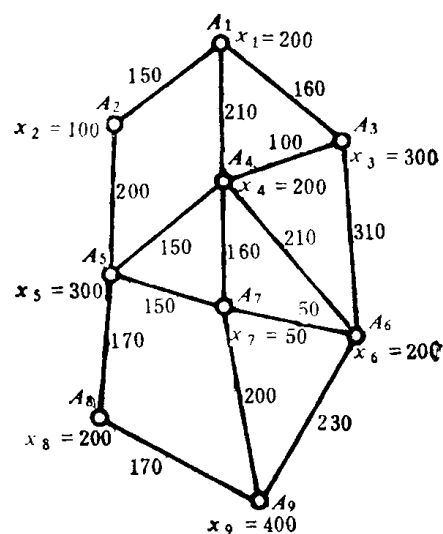


图 2-3 交通枢纽间的距离和运输量

$$K_{Tm} = \sum_{j=1}^J x_j a_{jm} h \quad (2-11)$$

式中 x_j —— j 点的产品销售量;

a_{jm} —— A_j 点与 A_m 点间的运输距离。

以 A_{jm} 表示 A_j 和 A_m 之间的最短运输距离, 则 A_{jm} 可用下面矩阵表示

$$A_{jm} = \begin{pmatrix} 0 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1J} \\ a_{21} & 0 & a_{23} & \cdots & a_{2J} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{J1} & a_{J2} & a_{J3} & \cdots & 0 \end{pmatrix} \quad (2-12)$$

各枢纽未来可能销售量 x_j 向量

$$x_j = (x_1, x_2, \cdots, x_j) \quad (2-13)$$

厂址选择在枢纽 A_j 时, 总运费 K_{Tj} 为

$$K_{Tj} = A_{jm} x_j h$$

总运输费最低的最佳厂址 A_m 由下式求解

$$K_{Tj} = \min(A_{jm} x_j h)$$

例2-2 拟在一个交通网中选择厂址。该厂的产品在各交通枢纽销售。各销售地的销售量与各地间运输距离如图2-3所示。运输费率 $h=2$ (货币单位), 厂址选在何处运输费最低。

由图2-3可知, 各地销售量为

$$x'_j = (200, 100, 300, 200, 300, 200, 50, 200, 400)$$

各销售地间的最短运输距离矩阵 A_{jm} 为

$$A_{jm} = \begin{pmatrix} 0 & 150 & 160 & 210 & 350 & 460 & 370 & 520 & 570 \\ 150 & 0 & 310 & 350 & 200 & 400 & 350 & 370 & 540 \\ 160 & 310 & 0 & 100 & 250 & 310 & 260 & 420 & 460 \\ 210 & 350 & 100 & 0 & 150 & 210 & 160 & 320 & 360 \\ 350 & 200 & 250 & 150 & 0 & 200 & 150 & 170 & 340 \\ 460 & 400 & 310 & 210 & 200 & 0 & 50 & 370 & 230 \\ 370 & 350 & 260 & 160 & 150 & 50 & 0 & 320 & 200 \\ 520 & 370 & 420 & 320 & 170 & 370 & 320 & 0 & 170 \\ 570 & 540 & 460 & 360 & 340 & 230 & 200 & 170 & 0 \end{pmatrix}$$

运输费率 $h=2$, 运输费用矩阵为

$$K_{Tj} = 2 \begin{pmatrix} 0 & 150 & 160 & 210 & 350 & 460 & 370 & 520 & 570 \\ 150 & 0 & 310 & 350 & 200 & 400 & 350 & 370 & 540 \\ 160 & 310 & 0 & 100 & 250 & 310 & 260 & 420 & 460 \\ 210 & 350 & 100 & 0 & 150 & 210 & 160 & 320 & 360 \\ 350 & 200 & 250 & 150 & 0 & 200 & 150 & 170 & 340 \\ 460 & 400 & 310 & 210 & 200 & 0 & 50 & 370 & 230 \\ 370 & 350 & 260 & 160 & 150 & 50 & 0 & 320 & 200 \\ 520 & 370 & 420 & 320 & 170 & 370 & 320 & 0 & 170 \\ 570 & 540 & 460 & 360 & 340 & 230 & 200 & 170 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 200 \\ 100 \\ 300 \\ 200 \\ 300 \\ 200 \\ 50 \\ 200 \\ 400 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1305000 \\ 1281000 \\ 1002000 \\ 820000 \\ 825000 \\ 931000 \\ 836000 \\ 108000 \\ 1140000 \end{pmatrix}$$

最佳厂址在 A_{j_4} 点, 相应运输费用 $K_{T_4} = 820000$ 货币单位。

如果交通网如图2-4所示情况, 则可用更简便计算方法确定最佳厂址。

在图2-4所示情况下, 当厂址从 A_1 开始, 从一个地点向另一个地点移动时, 运输费用和边际运输费用的变化如图2-5所示。由图2-5看出, 在总运输费用最低点, 边际运输费由负向正变化。在各交通枢纽站, 边际运输费发生跳跃。

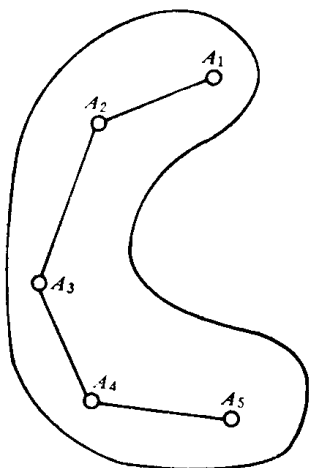


图 2-4 多边交通网

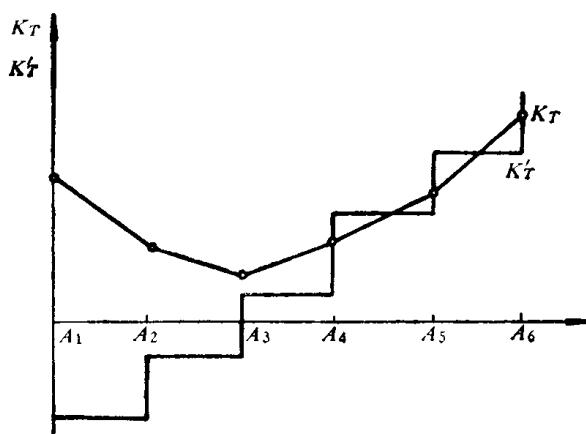


图 2-5 运输费用和边际运输费用变化

A_1 与 A_2 之间的边际费用为

$$K'_{T_1} = -h \sum_{j=2}^J x_j + h x_1 \quad (2-14)$$

式中 h —— 运输费率;

x_j —— A_j 地的产品销售量;

x_1 —— A_1 地的产品销售量。

同理, A_2 与 A_3 之间的边际费用为

$$K'_{T_2} = -h \sum_{j=3}^J x_j + h(x_1 + x_2) \quad (2-15)$$

如果上式右侧的第 1 项的绝对值大于第 2 项, 则边际费用为负值; 反之, 则为正值。

A_{S-1} 与 A_S 之间的边际费用为

$$K'_{T,S-1} = -h \sum_{j=S}^J x_j + h \sum_{j=1}^{S-1} x_j \quad (2-16)$$

$$h \sum_{j=1}^J x_j = \left| -h \sum_{j=S}^J x_j \right| + h \sum_{j=1}^{S-1} x_j$$

当 A_S 为最佳厂址时, 有下列关系

$K'_{T,S-1} \leq 0$, $K'_{T,S} \geq 0$, 由式 (2-16) 得

$$\sum_{j=S}^J x_j \geq \sum_{j=1}^{S-1} x_j,$$

两边加 $\sum_{j=1}^{S-1} x_j$, 则得 $\sum_{j=1}^{S-1} x_j + \sum_{j=S}^J x_j \geq \sum_{j=1}^{S-1} x_j + \sum_{j=1}^{S-1} x_j$

$$\frac{1}{2} \sum_{j=1}^I x_j \geq \sum_{j=1}^{s-1} x_j \quad (2-17)$$

同理，可以得出

$$\frac{1}{2} \sum_{j=1}^I x_j \leq \sum_{j=1}^s x_j \quad (2-18)$$

由式 (2-17) 和式 (2-18) 得出最佳厂址确定原则：从 A_1 点开始，累加各点的销售量，直至累加的销售量第一次超过总销售量的一半，此地即为最佳厂址。

例2-3 各地销售量及运输距离如表2-3所示。求最佳厂址和相应的最低运输费用，运输费率 $h=1$ 。

表 2-3 各地销售量和运输距离

地 点	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
x_j	400	300	200	100	200	200	100
a_{1j}	0	20	50	90	110	150	200
$\sum_{j=1}^s x_j$	400	700	900	1000	1200	1400	1500

由表2-3得知，在 A_3 点累加销售量第一次超过总销售量的一半。 A_3 为最佳厂址。总运输费用为

$$K_T = (400 \times 50 + 300 \times 20 + 100 \times 40 + 200 \times 60 + 200 \times 100 + 100 \times 150) \times 1 = 80000$$

(三) 数学规划法

运用数学规划，可以确定工厂（或仓库）的最优位置、数目和规模。运用数学规划模型解决厂址选择问题时，首先要确定工厂的一些可能位置。工厂的厂址涉及到固定费用和未来产品的可变费用。下面首先定义模型使用的符号

m ——用户数目；

n ——工厂可能位置数目（预先确定）；

K_j ——在 j 地建厂的固定费用（基建投资费，保险费等）；

x_{ij} ——由工厂 j 满足用户 i 的需求量的百分数；

$y_j = \begin{cases} 0, & \text{如果工厂不设在 } j \text{ 地} \\ 1, & \text{如果工厂设在 } j \text{ 地} \end{cases}$

c_{ij} ——由工厂 j 供应用户 i 总需求量的费用。

用户 i 从工厂 j 所接受数量的可变费用为 $c_{ij}x_{ij}$ ，所有用户和工厂的全部可变费用如下式表示

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij} \quad (2-19)$$

如果工厂位于地点 j ，则会有固定费用 K_j 。如果不位于地点 j ，则没有固定费用。于是确定所有工厂地址的总固定费用公式如下