

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

生 产 作 业



前 言

MBA (工商管理硕士) 这一简洁而响亮的名称, 以其不可抗拒的魅力和不可思议的魔力征服了全球主要发达国家, 目前正强烈地吸引着中国的有识之士特别是青年人的注意。

MBA 诞生于美国。经过近百年的探索和努力, 它培养了为数众多的优秀工商管理人才, 创造了美国经济发展的神话和奇迹。MBA 被誉为“天之骄子”和“管理精英”, 成为企业界乃至社会敬重和羡慕的特殊人物, 甚至在公众心目中被视为“商界英雄”。据统计, 美国最大的 500 家公司的总经理、董事长等高层主管, 绝大多数都是 MBA。这一惊人的事实, 是对 MBA 教育的成功业绩的最好说明。MBA 意味着超群的能力、胆识、品德……, 代表着财富、地位、权力、荣誉……, 预示着希望、成功和辉煌。

MBA 创造的奇迹得益于其教育的科学性、规范性、灵活性和实用性。MBA 教育具有传统教育不可比拟的特色和优势。在教育观念、教育理论、教学内容和教学方法等诸多方面, 都显现出其不同凡响的特点。这些特点不仅贯彻于 MBA 教育的整个过程之中, 还体现在高质量的教材里面。因此, 学习和阅读 MBA 权威教材, 是了解和掌握 MBA 精髓要义的捷径; 尤其是在我国 MBA 教育发展尚不能完全满足广大求学者要求的时候, 这种求知的方式越发显得必要和实惠。

我们编译的这套“MBA 必修核心课程”, 包括《经营战略 (CORPORATION STRATEGY)》、《新产品开发 (NEW PRODUCTS DEVELOPMENT)》、《市场营销 (MARKETING)》、《生产作业 (PRODUCTION)》、《理财: 资金筹措与使用 (FINANCE)》、《人力资源: 组织与人事 (HUMAN RESOURCE)》。所依据的都是当今欧美最权威、最通行的教科书, 囊括了工商管理最普遍、最适用的知识。系统研读这些教材, 就会对 MBA 核心必修课程有一个比较全面的了解。

成就事业需要人才, 优秀的工商管理人才需要接受一流的教育。实践证明, MBA 教育是当今世界培养职业企业家最完美的教育。一切有志于在企业界谋求发展并最终赢得成功的人士, 都应该不失时机地夯实自己的知识根基。通过自学, 掌握 MBA 必修核心课程的基本内容, 能让你茅塞顿开、恍然大悟, 会使你获得一种全新的感觉、全新的视野、全新的理念、全新的境界、全新的体验。

MBA 必修核心课程编译组
1997 年 8 月

内 容 简 介

生产管理导论：生产管理；决策和生产职能；系统概念。

分析方法：生产和业务管理的分析方法；决策的成本数据；资本成本和投资标准。

生产系统建立的设计：生产设计和生产过程；过程规划；建厂地区规划：物质设备布置；作业设计与人—机系统；生产标准与劳动测定。

生产系统运行的计划和控制：生产—储存系统；预测和库存；总体计划和方案；大量生产系统的进度安排和控制；间断生产系统的进度计划和控制；大规模工程项目的计划、进度安排和控制；质量控制；生产和业务管理综述。

生产作业

第一篇 生产管理导论

第一章 生产管理

现代企业已经发展到了相当高的水平，企业的内部分工越来越精细，使得任何一个生产环节的失误都可能使整个生产过程无法进行。企业专业化水平也越来越高，因此，企业之间的联系和协作也就越来越广泛和密切。技术的高度发达，使得企业大规模地采用机器和机器系统进行生产。并且，生产系统的许多过程都是自动化，许多重要的决策领域能够变为自动化管理，而电子计算机能够成为过程的控制者。但是，我们不能设想生产机器会自动地工作，必须由人来设计生产系统和对生产系统进行管理所必需的信息和控制系统。

第一节 生产系统在现代社会中的决定性作用

对于有效率的生产系统在现代社会以及现代生活方式中所起的决定性作用，怎么强调也不过分。“发达经济”特有的形象是规模大、组织程度高、专业化、机械化、高效率的生产系统。而另一方面，“不发达经济”一词则具有规模小、以人力和畜力为主要动力的手工操作、低效率的生产系统的形象。诚然，这些形象的对比，用来解释发达与不发达经济之间的区别未免有些简单化了。不发达的经济单靠改变生产系统的性质并不能创造出一个发达的经济。然而，建立一个具有物质财富方面一切属性的现代化社会，如果没有它特有的生产系统，也是不可能的。

令人遗憾的是，我们常把每个人/时的高产量同人们的节俭、勤奋、艰苦工作联系在一起；却把每个人/时的低产量归因于上述个人特性的反面。事实上，在每个人/时低产量的经济中，由于没有机械去完成最沉重的任务，人们在体力方面的工作更为艰苦。

第二节 生产经济学——成本平衡问题

每个人/时高产量的经济被认为是有效率的，而相反的则被认为是无效率的，这是正确的。但是，生产效率是一个相对意义上的术语，其实际意义是：“我们使用适当的可以利用的资源（投入）生产一定单位数量的产品，能有什么样的效率？”因此，在发达经济中，机器和设备的成本相对较低，而劳动成本则相对较高，它反映了在这个经济中工人的每人/时产量一般是高的。在不发达经济中，相对的成本状况通常是相反的（原材料的成本高低取决于复杂的因素）。因为，发达经济的高效率生产系统机械化程度较高，使用较少的劳动力，就可使单位产品消耗的资本、劳动及原料所组成的联合成本达到最低的限度。

这两个系统如果都能使每单位产品的资源投入达到最小，那么它们都可以算是高效率的。这一点有助于了解有效率的生产系统的设计和运转。我们并不总是追求使用已知的最尖端的机械化或自动化技术，而是要在各种情况下努力达到资源最好的平衡。因此，即使在发达经济中，为一个较小产量而设计的系统，一般在资源的投入方面，强调使用劳动力而不强调资本的使用。这一观点贯穿本书大部分篇章。

第三节 管理一个生产系统——信息和决策分析的问题

在已定的生产系统中，成功的管理取决于计划和反映实际情况的信息系统，以及我们对需求、库存状况、进度、质量水平、产品和设备革新等方面的变化作出的反应（决定）等因素。在为生产系统的运转或管理拟订计划时，我们尽量最有效地运用可供利用的资源来满足一定的预计需求，资源是指生产能力单位的总数，如在正常时间和加班时间内可用的人/时数量、可用的存货、转包工作等，减去当需要的资源短缺或延迟交货时的生产能力的单位数。在制订生产计划时，提供上述每一项能力都要支出一定的费用，而最好的计划则是在未来一段时间内，把所有成本的总数缩减到最低限度。

在努力实现计划目标时，会有某些实际的干扰因素，例如：设备故障，人员失误，流程时间安排上的误差，质量的变化，等等。所以，为了有助于保持正常的秩序，避免系统趋于混乱，就创建了保持进度、质量控制和成本控制等系统。

第四节 生产系统——转化为有用的产品还是转化为污染

生产系统通常被认为是把某些原料转化为有用的产品的体系。当然，在这一转化过程中，一般都会出现废弃物，可是过去人们很少注意到这一点。人们强调的是有用的产品，对废弃物却以尽量便宜的方法——倒进江河或排入大气中来进行处理。只是到了现在，我们才越来越紧迫地认识到，我们还正在污染着自己的家园。

今天，颇有社会意识的主管人员认识到，生产职能必须包括加工处理废弃物，使之无害或被利用，而不是造成污染，甚至危及人畜和其他生物的生命。在生产过程中，废弃物的转化是一个组成部分，将在下述的概念体系中包括这个过程。

第五节 生产管理的形成和发展

一、形成时期

最早注意生产经济学的是工厂制度刚出现时期的经济学家亚当·斯密。

1776年，他写了《国富论》一书，在这本书中，他揭示出劳动分工的三个基本的经济优点。这些经济优点是：重复完成单项作业会使技能或熟练程度得到发展；通常由于工作变换而损失时间的节约；当人们在一定范围内努力使作业专门化时，通常会发明出机器和工具来。斯密没有用理论的形式推理出这些观点。在工厂制度下，由于大量生产需要集中大量的工人，劳动分工也作为一个具有普遍意义的方法发展起来。在这种情况下，协作的方法是有效的。斯密观察到了这个现象，注意到了它的三方面的优点，并把它们写进了他的书中。他的这本书是生产经济学发展中的一个里程碑，不仅因为斯密的观察也许会加速了劳动分工，而且因为一个伟大的学者已经认识到了生产的一个基本原理。这个基本原理的发展经历了很长一段时间。我们注意到，现在我们终于处于真正的快速发展的阶段。生产管理这门学科，已经从完全叙述的阶段，发展到具有一门应用科学特征的阶段了。

在亚当·斯密之后，一位英国人查尔斯·巴贝奇扩大了斯密的观察范围，提出了许多关于生产组织和经济学方面带有启发性的观点。巴贝奇主要是一位数学家，对制造业很有兴趣，具有科学的态度，他探索了许多现实的实践。他的思想在《论机器和制造业的经济》（1832年）一书中概述出来了。巴贝奇同意斯密关于劳动分工有三个方面经济优点的观点，但是他注意到亚当·斯密忽略了一个最重要的优点。例如，巴贝奇引用了那个时候制针业（普通直针）的调查结果。专业化分工导致制针业有七个基本操作工序：

1. 拉线，这项工序由通过压模拉线使它符合要求的直径组成；
2. 直线；
3. 削尖；
4. 切断顶部；
5. 作头；
6. 镀锡或镀白，这项工序可与现代电镀工序相比，目的是防钢丝生锈；
7. 包装：这项工序通过刺穿把完好的针放在纸张或卡片内，即做好针的包装。

表 1—1 制针的制造成本和工序的分析
英国制造【(178) 针“11 号”，5546 枚，重 1 磅；
“12 号”6932 枚，重 20 盎司，需要用纸 6 盎司。】

工 序 名 称	工人	制造一磅针 的时间 (小时)	制造一磅针 的成本(便 士)	工人每天挣得 (先令)(便士)		制造一枚针各 个部分的价格 (百万分之一 便士)
1.拉线	男工	0.3636	1.2500	3	3	225
2.直线	女工	0.3000	0.2840	1	0	51
	女孩	0.3000	0.1420	0	6	26
3.削尖	男工	0.3000	1.7750	5	3	319
4.切断顶端	男孩	0.0400	0.0147	0	4.5	3
	男工	0.0400	0.2103	5	4.5	38
5.作头	女工	4.0000	5.0000	1	3	901
6.镀锡或镀 白	男工	0.1071	0.6666	6	0	121
	女工	0.1071	0.3333	3	0	60
7.包装	女工	2.1314	3.1973	1	6	576
		7.6892	12.8732			2320

雇佣人数：男工 4 人，女工 4 人，童工 2 人，共计 10 人。

巴贝奇注意到对这些不同工序工资等级所付的先令和便士（见表 1—1），他接着指出，如果工厂按照每个人完成全部工序的操作来重新组织的话，就要对这些人按全部工序要求的最难的或者最好的技巧来支付工资。因而，企业要按镀锡技巧付钱，即使对正在做直线、或者包装的工人也是这样，然而，实行劳动分工就可以按每种技巧恰好所需要的数量来雇用劳动力。所以，除了亚当斯密提出的生产率方面的优点以外，巴贝奇还认识到对技巧订出界限作为支付报酬依据的原则。

在亚当·斯密和查尔斯·巴贝奇考察之后的年代里，劳动分工继续发展，并且在 20 世纪前半叶里发展得更快了。我们在大规模生产线反映出劳动分工的原则已达到了它的极限。实际上，到目前为止，劳动分工的原则已被推进到使一些人对目前它的应用状况发生怀疑的地步。有关的各种论文书籍中都说，由于工作范围的扩大会使成本得到降低，人们创造了一个新名词——“作业扩大”（job enlargement）来表示这个新趋势。一些工业部门中的分工也许早已超过了最合适的水平。

在生产管理领域的发展史上，弗雷德里克·W·泰罗毫无疑问地是个杰出的历史人物，斯密和巴贝奇只能算是观察家和作家，而泰罗则既是一个思想家，同时也是一个实干家。当时的作法是让工人自己决定进行生产的方法。他们根据自己的技巧和过去的经验决定怎样生产一个部件，根据传统的方法确定生产的时间和费用。“无事瞎忙”和磨洋工的现象很普遍。

泰罗很熟悉这些作法，因为他曾是工业系统的一个工人，但是他拒绝与其他工人同流，而是尽自己最大的能力去生产。他的进步很快，后来取得了一个能实践他的想法的职位。为了理解泰罗成就的大小，我们必须了解当时存在着强烈的因循守旧的习惯，任由工人们自由地决定制造的方法，以及把

自己的知识像商业秘密一样保密，泰罗正是在这种对管理普遍漠不关心的环境下的一个创造者。在这个静止的环境中，泰罗掀起了一阵管理哲学变革的浪潮，许多组织机构因此从根本上动摇了。

从本质上看，泰罗的新哲学认为：科学的方法能够而且也应当应用于解决各种管理中的难题，而且完成工作所用的方法应当通过科学的调查研究由企业的管理部门来决定。他列举出管理部门的四条新的职责，概述如下：

1. 研究一个人工作的各个组成部分，以替代传统的凭经验的做法；
2. 用对工人科学的选拔、培训和提高，代替允许工人选择自己的工作和尽他自己的能力来锻炼自己的传统做法；
3. 在工人和管理部门之间发展诚心合作的精神，以保证工作在科学的设计程序下进行；
4. 在工人和管理部门之间按几乎是均等的份额进行工作分工，各自承担最合适的工作，以代替过去工人负担绝大部分工作和责任的状况。

这四条想法使人们对管理组织有了许多新的考虑，几乎完全是现代组织实践的基本组成部分，因而很难使人相信情况曾经发生什么变化。泰罗的著述，在第一条的总标题下，在工程方法与劳动测量领域中得到了发展，最近几年以来，这个领域由于实验心理学和生理学研究者的帮助而大大地扩展了，现在这个被称为“人类工程”（Human Engineering）的领域普遍应用于生产管理方面。第二条、第三条已发展为包括人员选拔和配置的方法连同劳资关系的组织职能在一起的人事管理领域。第四条，即工人与管理部门之间工作的分工，已具有了影响深远的含义。现在，计划工作和控制工作这两个基本的管理职能包括了许多以前由工人来完成的工作，从而解放了第一线的领班和工人，使他们集中精力执行精心安排过的计划。

泰罗还做了许多著名的开创性的实验。这些实验涉及到各个领域，包括基层生产组织、工资付酬理论，以及诸如当时钢铁工业部门中常有的金属加工、生铁搬运和铲掘作业的基本步骤的制订。在他的金属切削实验中，泰罗用掉了上千磅的金属，花了十多年的时间；这些实验结果形成了能为不同的金属和器材使用的在进料和速度方面的规范。此外，通过这些实验，他和蒙塞尔·怀特（Maunsel White）合作发现了高速钢。这一使他富裕起来的发现，使他能够在晚年用大量的时间进一步丰富他的哲学。泰罗认为，他的重要贡献与其说是在于他有什么专门的发现，不如说是在于他的一般哲学和对解决管理问题的方法。后者只不过是“科学管理”在个别情况下的应用而已。

泰罗在发展和应用他的想法时毫不妥协，这种态度引起了很多争论，使他在许多场合都受到了强烈的反对。在泰罗那样的工作环境中，也许一个人就要有他那样的坚强个性才能改变产业的运行方式。

泰罗有很多追随者。卡尔·巴恩（Carl Barth）、亨利·甘特（Henry L. Gantt）、哈林顿·埃默尔森（Harrington Emerson）、弗兰克·吉尔布雷思和莉莲·吉尔布雷思（Frank and Lillian Gilbreth）及其他一些人，他们都没有超出泰罗的体系和哲学方面的哲学。另外还有一些人，他们没有知识和能力，却披上“泰罗制”的外衣，为了谋取暴利而把自己伪装成能够应用“泰罗制”的顾问。泰罗不承认这些“走狗”，但他们为害甚大。由于他们败坏了“科学管理”的名声，乃至减慢了这个领域的健康的实践发展。泰罗的基本观点很少发生变化。而这些人有关的论文书籍充斥着骗人的东西和明显的泰罗思想成果的变体，如工资付酬计划、时间研究方法、图表和自动控制盘

等。但是泰罗所设想的本来意义上的生产管理科学却发展得极为缓慢。

之所以发展缓慢的原因也许有很多。如还没有可以运用的合适的知识与工具，而且必须纠正泰罗以后一段时期内的滥用情况。生产系统的衡量的变化一般会很大。例如，我们能够期望一项作业获得多少产量？产量取决于工作中的人和工作条件，但即使对同一个在工作中的人来说，每时、每天、每周的变化也很大。为了描述这样一个系统，我们需要应用概率论和统计方法。多年以来，人们试图用单一的数字代表人们的产量或单个人一机系统的产量来解决这些问题，正如在多数工程问题中一样。可是这个方法不适用于这种情况。例如在机械工程、电气工程和化学工程方面，测量的误差很小，而定数论模型(deterministic models)则产生良好的效果。然而，差异是生产问题中的特征。今天，由于统计和概率论的普遍认识以及日益应用于生产问题，与以往相比，我们的生产系统模型更加接近于现实了。

在泰罗以后的时期中，困扰着认真调查研究者的另一个重大困难是：大规模问题的复杂性出现了。任何问题的所有可变因素似乎完全是相互依存的。显然，数学方法是必要的，但是它们并不能得出要求的解法。即使能够，人工进行求解所要求的时间将要以人的一生时间来衡量。现代高速数学电子计算机是必要的，但一直到 50 年代，即使是最大最强的公司也无力应用它。F·W·哈里斯(F.W. Harris)在 1915 年作了数学分析的尝试，他最先发展了简单情况的经济批量的模型。F·E·雷蒙德(F.E. Raymond)和其他人对其作了进一步的发展。但在工业中这些想法的应用并不普遍，我们试以图 1—1 来概述这些历史的事件。

二、近代发展

当前出现的一般生产领域活动的高涨，是以 30 年代的两个发展作为开端的，这两个发展成为未来的基础并指明了未来的发展方向。一个是沃尔特·休哈特(Walter Shewhart)在 1931 年对统计质量控制的发展和它在工业中的应用；另一个是 1934 年在英国工作的 L·H·C·蒂皮特对工作(劳动)抽样理论(确定各种延迟、工作时间等方面标准的取样程序)的发展。特别是第二次世界大战开始以后，统计质量的概念发展迅速，在产品质量控制中广泛地应用了。工人、领班和主管人员对于抽样、控制图等方面基本概

图 1-1 生产管理的一系列发展

念的接受，对于战后时期将要发生的情况，是一个重要的初步发展。然而，蒂皮特的工作取样程序几乎不为人知地沉默达 20 年之久，最后才由一些先进的公司重新采用并于 50 年代投入工作。今天，它的应用相当广泛，在实践中的用途很可能还将继续得到发展。

在第二次世界大战以后不久，当代生产管理的概念、理论和技术就开始迅速发展了。军事部门对作战问题的研究产生了新的数学和计算上的方法，也使人们认识到在作战问题方面如何应用旧的技术。后者似乎与生产经营的问题有些类似，因而对作战问题的研究方法在工业领域中开始逐渐应用。其中一个重大的发展就是引用了线性规划。在这里，终于有了一个有可能处理在生产系统有限资源安排与分配方面许多大规模的复杂的问题的基本数学工具。但更为重要的是，高速电子计算机的发展使大规模线性规划问题的解决成为可能，线性规划如果不用电子计算机，那么它的应用将会是非常有限的。

其他的数学方法也发展起来。例如排队论，在电话业分析电话系统中应

用已有一段时间了，在生产线、长途公用电话间、机器保养等方面也得到了应用。还发展了一些新的、更现实的库存模型，在这些模型中，包括了需求的易变性和不肯定性以及其它条件。设备更新、保养，竞争性投标等模型，都加强了生产问题形式化的总趋势。

电子计算机成为一种强有力的工具，不仅是能完成繁琐复杂的计算的工具。运用电子计算机，就能根据相当现实的条件对生产系统进行模拟、模型化。而且如果用电子计算机对一个复杂系统做模拟，那么就能很快地决定方案的选择，不须花费这些方案试验的费用和时间了。由美国经营管理协会（AMA）、洛杉矶加利福尼亚大学（UCLA）和其它单位发展起来的经营决策策略，在较广泛的规模上，是一种模拟。现在，人们正试图通过建立各种以电子计算机为基础的公司的模型来对整个企业的实际经营进行模拟。我们在第三章中将会看到，这一方面的工作正在实现；在不远的将来，先进的公司都要对自己的业务活动进行模拟，以便在采取行动之前确定主要的可抉择决策可能产生的影响。

此外，电子计算机推动了自动化这一新领域的发展。人们编制电子计算机程序，以便来控制机器的整个工作周期，不用人力的帮助就做出完整的部件。这些发展对将来具有极大的意义，不仅对社会，对经济也是如此。随着这一领域内技术的进步，电子计算机将根据计算机的程序表来安排数控机床系统。主要的成果之一就是人们所说的自动化工厂。在一些产业中，我们已更为接近于这个目标，例如，在连续性的化学加工业中，如肥皂和石油，自动化控制程序的应用非常普遍，大部分劳动是间接的或警戒性的。

最后应当提出的一点是战争的一个结果是对人的因素的注意。这起源于雷达和声纳系统、超音速飞机、高空飞行等方面对人的能力要求更高而引起的问题，心理学家和生理学家在战时和战后帮助研究设计了这样的系统，它几乎更能符合人类的视觉、听觉、嗅觉和肌肉运动感觉的能力，以及人类对热、光、幅射和噪音这样一类环境因素所能承受的能力。收集了大量的数据资料。尽管在工业、商业部门中，人的紧张程度通常不像在战时大量体验到的那样严重，但在概念上的问题则是相同的，也即是说，设计生产的任务和系统，它能够认识到人类操作者的限定条件，从而充分发挥人的能力。

现在，人们把这个领域称为人类工程，人的因素或生物技术构成了设计作业的基本数据资料。标准机器设计迄今为止还没有充分运用已认识到的东西，但已有所改进。在工厂中，专门机器的设计更加反映了这一事实：不是机器生产产品，而是人一机系统生产产品。人类工程最早由吉尔布雷思发展起来，是动作研究的结果。在概念上，人类工程比动作研究要更广泛些，并接受更广泛的一套标准，如错误频率，心理和生理上的耗费，以及较老的动作节约和劳动费用的标准。

三、现状及发展

从亚当·斯密以来，两个多世纪过去了。在这段时间里，我们对生产管理学到了什么？今天我们的知识又是处于什么水平呢？我们在评价过去的时候可以这么说，结果本身就可以说明问题。生产率和总的生产能力提高极大。在西方文明中，普通人的生活水平已从仅仅为了生存而发展到亚当·斯密做梦也想不到的生活水平。在这个时期中，生产管理发展主要是由于借助一门“经验”的应用科学。在这 200 多年时间内，我们适应了市场的扩大和大企

业的日益增长，这些大企业实行了劳动分工和先进的机械化，以便利用大规模生产来取得经济效益。

在这些年中，我们已学会了设计更好的工作场所，更好的送运设备，以及更好的生产活动用的建筑物。我们已经创造出生产线和自动化机器。我们已掌握了生产经济学的基本原则，从而学会使劳动、原材料和机器在数量上达到精确的平衡，使其适应于这些基本生产要素相对价值的变化。我们学会了控制生产系统，设计这些生产系统是要使产品和服务适应于质量标准的要求，并保证需要，还能够相当恰当地预计生产成本。大部分的发展都是逐步进行的，通过不断尝试和失误，对现存的系统做出了改进。

仅仅在最近的 20 年中，我们才开始逐步发展出一些原则，这些原则促使设计出对其性能有相当程度预见性的设备和控制系统成为可能；这就是对我们关于生产管理的知识水平进行衡量的真正尺度。今天，我们正开始回答一定范围限度内的问题，并确信这是可能达到的最好的结果。也就是说，这个结果是最优的，不只是比以前的解法更好。这是一个真正的进步，它表明泰罗所设想的应用科学正在发展之中。

从生产管理作为一门应用科学的角度来看，我们今天所处的位置正是迅速发展阶段的开始。某些特殊领域中知识的增长往往以一条增长的饱和曲线来表示，从中可以看见，最初的发展阶段是缓慢而艰难的。随着许多知识进入这一领域，增长的速度加快达到飞速发展的阶段，最后当它接近饱和状态时，这条曲线也就几乎变平直了。我们用图 1—2 来表示这个曲线。在以后的岁月里，能找出可靠的最优答案的问题的范围将会增大。生产系统的理论将会普及，包括整个完整的系统，不只涉及系统的局部，我们设计工厂设备和带有可预测特征的控制系统的的能力将会提高。计算机在模拟系统中的应用及对各种类型的生产过程实行数控（计算机控制）将会同样普及。

图 1—2 作为一门应用科学的生产管理知识的成长曲线

在过去，生产管理理论的精华是在工商业的实际应用中表现出来的；大学中的数学活动与实践同步进行。今天，理论正指引着最好的实践，这种状况在未来的一段时间内将不会有有多大改变。

第六节 生产管理在大企业和小企业中的地位

人们往往做出类似这样的评论：“所有这些有关生产管理的新看法对于大企业来说是很好的，但对小企业来说效果会如何呢？”与大企业一样生产经济学的基本原理和设备的设计与控制对于小企业来说，是同样适用的。但是，要实施这些原则则必须根据组织的规模和财务实力而做些调整。规模大的组织可以使用高速的电子计算机，以制订用最小限度库存就满足需求的计划日程表。规模小的组织可能就不不得使用手工的方法和用图解的辅助法来解决类似的计划日程表问题。两类组织可能都在努力应用同样的编制程序的原则。尽管具体方法有些不同，但原理是一样的。

我们知道，生产管理并不是一套技术。反之，它是关于生产经济、工厂设计、作业设计、日程表设计、质量控制、库存控制、工作测量以及成本和预算控制的一系列一般的原则。那么，我们是不是要放弃技术呢？当然不是这样，我们宁可说是用先进的技术力量改进和发展原则。可以用一个先进的技术，如计算机模拟技术，来建立和测验用于编制进度计划的各种规则。这些规则在小企业同大企业一样也是同样适用的，它们成为指导编制进度计划的原则。可以用数学方法来得出各个用于制订决策的规则，以使一次购买材料的总量能够符合经济的原则。这样产生的规则成为制订某种购买决策时所遵守的原则。只要条件具有可比性，那么这些原则无论在大企业还是在小企业都能应用。因此，在我们研究先进的分析方法和技术时，并不是一定要研究大企业的管理工作。我们正在讨论的是那些用较为元力的工具无法论证，而用先进的方法能够论证的概念和思想。由此产生的概念和思想，一般具有普遍适用的特点。

第七节 生产管理职业

提出关于本书的材料在实际工作中的应用问题是合乎逻辑的。这些材料与职业有什么关系呢？首先，大多数的无论是盈利性企业还是非盈利性企业都有一个正在对某种东西进行操作和生产的加工处理阶段。这个加工处理过程可能包括材料形态或形式的变化、化学处理阶段、装配、运输、办公室工作等等。加工过程在制造业企业中很明显，而在“生产”性质是无形的服务组织中也许就很模糊。可是，这种生产系统的经营管理方面都有着大量的共性问题，不论在工厂、银行，还是在超级市场中都是如此。它们都要把装备、设备和人员组织在某些联合体内，使之形成生产能力。对于设备和作业的设计要有助于形成为有效的系统。经营水平的预测，生产和人力的程序表的安排，库存水平的计划，质量和成本的控制等，都是一些共性的问题，尽管其侧重点会由于各系统的特点不同而有所差别。既然所有企业都有自己的经营领域，于是生产管理知识也就成为经理和主管人员的背景材料的重要组成部分。此外，无论如何，具有挑战性的生产管理问题要求聘请顾问和业务专家来解决作业设计、选厂定点、装备布置、生产计划和控制、工业工程、质量控制、成本分析等方面的问题。在一个技术基础日益增长的正在成长的经济中，对受过培训的人员的需要一直在增长，而且这种需要将会继续增长下去。

第二章 决策和生产职能

管理的首要职能是制订决定企业今后短期和长期行动路线的决策。这些决策对象可以是每一个能够想象得到的物质领域和组织领域；可以涉及财务计划、销售、人事安排以及作业和生产方面。决策还经常同时相互交错地关系到这些职能系统。

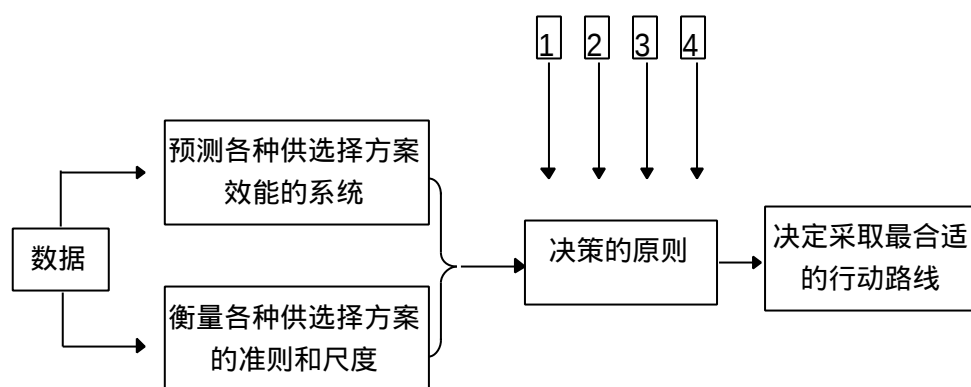
决策理论是用来指导如何做出合理的决定的。它试图建立起一个坚定的以科学和数学以及现实世界为依据的合乎逻辑的结构；在这个结构中，把科学和现实世界两个领域联结起来取得各种可供选择的行动路径，估价风险，以便决策人员根据已认识到的可能的结果，来决定所要采取的行动。这些决策与组织机构中的每一个因素都有关。对于日常作业和重复的决策，例如工业质量控制，可以用一整套决策的规则来保持作业的连续性和稳定性。新厂的设计生产能力这样重大的决策，同样可以运用决策理论的一般概念，但它只是间断性的，一定时期内才有这么一次。

第一节 决策的性质

显然，一个决策的含义是有多个可供选择的方案；拟订决策的过程就是从这些可供选择方案中找出将执行的行动路线。制订决策的最简单的方法是掷一枚硬币或用其他碰运气的方法来选择。这是一种容易使人上当的简单方法，除非是其各种结果都同样能使人满意。要判断是否满意就需要立即明确：（1）要达到的目的；（2）根据所要达到的目的比较和衡量各种可选择方案的满意程度的标准。这确实是比较简单的。我们有各种可供选择的方案和所要达到的目的，同时我们需要一个比较的标准。但是，如果我们一般所说的是未来的价值，而不幸的是，这些未来的价值经常是互相冲突的，因而这个过程实际上并不容易。既然期望达到的结果是未来的结果，我们怎么能确保这些结果的实现呢？每一个可选择方案的实现预期目标的概率是多少？或者反过来问，有多大不能达到预期目标的危险呢？

其实，各种可选择方案的最终的满意程度，是能得到的相对利益同概率的乘积。例如，有一种彩金大而中彩机会少的彩票，每张彩票 2 美元，彩金为 200 美元，中彩的机会为 1%，则概率加权后的中彩报酬为 $200 \times 0.01 = 2.00$ 美元。还有一种“走红”彩票的彩金只有 2.80 美元，可是有 80% 的中彩机会，其概率加权的报酬是 $2.80 \times 0.80 = 2.24$ 美元，比 2 美元多，所以更能令人满意。当然，“如果”一个人在彩金大而中彩机会小的彩票中中奖，那么他会获得更多的彩金。可是，中彩机会太小了，在这种情况下，这两个可供选择方案的加权满意度使一位明智的决策人员选择“走红”彩票。图 2—1 以图解方式表明决策的构成，其中包括可供选择的方案、现实世界中的数据资料以及代表着决策人员投入的价值量和标准。在制订决策系统中，根据这些标准和价值量计算各种可选择方案的估计相对数值。最后，用达到概率对数值进行加权来决定各种方案的相对满意度。“使最后满意程度最大的行动方针就是合理的决策。”

在一定领域内制订决策的复杂程度取决于这个领域内的知识水平和需要做出决策的复杂程度。我们常常会发现标准和尺度简单明了，也容易得到数据资料，未来的价值很容易估计，所含的风险也很清楚。在这种情况下，决策似乎就会是科学的、用数学计算的、几乎是自动的，在许多其他情况下，标准和尺度不清楚，而且常常采取几种难于进行比较的形式，对风险和未来成果的估计甚至更为艰难。这样，我们就用判断来衡量各种互相矛盾的价值，估计风险的大小，最后确定一种行动方针。无论如何，不管在什么时候，决策就是企图选择正负相抵最令人满意的那些行动方针，在这么



做时，我们希望最大限度地利用科学的方法论而尽可能少地使用判断。

第二节 决策的种类

对决策的分类方法很多。例如，可以按主管人员所面对的实际问题的性质来划分，或按用来分析决策问题的方法来划分，或者按有关基本可供选择方案发生概率的现有情报量来划分。后者是决策理论中运用的共同的分类基础之一。从这个意义上讲，决策有四大类：确定性的决策，冒险性的决策，不确定的决策，以及互相冲突的决策。

对于一种可供选择的方案（性质的状态），如果我们确切地知道将来发生的事情，我们就有了制订“确定性决策”的条件。在这种情况下，人们对于每一种可能的供选方案或战略只需要考虑一种后果。“冒险性决策”的条件是，存在着一些可能的可供选择的方案（性质的状态），而决策人员知道其中每一种可能发生的概率。在生产和业务管理的问题中，可以根据过去的经验估计出各种可选择方案的概率。如果我们估计不出各种可选择方案（性质的状态）发生的概率，这就是“不确定性决策”。在没有过去的经验基础时估计发生概率易产生这类问题，例如，在估计一种新的未经试用的产品的市场需求时，情况就是这样。最后，在决策人员必须估计到一个竞争者或对手的行动时才出现“互相冲突的决策”。

在生产和业务管理方面的决策占主导的是前两类，即确定性决策和冒险性决策。下面将举例对这两种决策做进一步的阐明。

1. 确定性的决策

确定性的词意是，每个可选择方案都有一个并且只有一个最后结果的数值。如果方案已定，上述后果发生的概率就为 1。我们接下去所要做的就是找出这种后果最好的可选择方案，而且这就是应当选择的方案。参看图 2—1，决策的标准很简单，就是选择后果最好的方案。

例如，假设我们为了满足预测的需求而拟订了可选择的生产计划，假设这是一种季节性的产品。可以安排出几种满足销售要求的进度表，每种都假定了运用正常生产能力、加班生产能力、转包和季节性库存来满足需求的最有效的办法。假定为运用这四个方面以满足需求而制订了三个计划：一个计划是平稳生产，没有额外的劳动流动成本、加班补助或转包成本，但用于满足销售高峰的季节性库存成本却很高；第二个计划是生产水平有些波动，但生产水平不会过多地超过实行加班的工厂生产能力，其结果是季节性库存成本比第一个计划的成本要小，它没有转包成本，而有大量的加班补助成本；第三个计划倾向于紧密适应销售曲线，包括雇佣临时工人和解雇较多的工人，可是，由于工厂的生产能力有限，必须尽量大地利用加班时间和转包。这三个计划的正常和加班劳动、转包和季节性库存的总费用排列如下：

第一种计划：31.80 万美元。

第二种计划：29.80 万美元。

第三种计划：25.30 万美元。

看着这个费用的清单，就很易于选择第三种计划，因为它的总费用最低。这就是确定性的决策，因为当计划确定以后，就可以计算出确定的结果了。但是，人们不应当认为确定性的决策就是简单的。在许多生产和经营管理问题中，制订各种可选择方案所使用的模型可能相当复杂，可能包括上千个可供选择方案。线性规划就是这种类型的决策模型，其中可能有很多可选择策略，以致于不可能在人的有生之年中将它们的结果全部都列举并计算出来。

可是，有了线性规划模型，就可能在几秒的时间内确定可能最好的策略。

2. 冒险性决策

如前所述，决策人员在处理一个有风险的决策问题时知道每一种可选择方案发生的概率。他通常以过去的经验来作为指导确定概率。例如，确定维持某一替换部件的最优库存的决策，在需求状况已知的情况下，就是一种冒险性决策。

既然结果是同概率相联系的，决策人员会希望按照使其“预期的”或概率加权的报酬为最大的方式来做出决策。请再一次参看图 2—1，冒险性的决策问题所用的决策标准就是预期的或概率加权的结果。

第三节 模型

我们从小时候起就接触这样或那样的模型。所玩的玩偶、模型飞机以及玩具汽车等都都有助于我们从现实世界中的这些原型学到有用的知识。模型对于任何一种研究问题的脑力活动都是极端重要的，我们对模型的利用也许比我们想象中的要多。例如，在一次讨论中，运用多少次类比法来解释或论证一个论点？在课堂上讲课的教授使用类比和实物的、图形以及抽象的模型。其实，了解模型的性质和作用会使思路更加清晰。

对于我们想要预测的工作活动来说，模型是对现实生活中的事物或过程的某种程度上的抽象。例如，空气动力学家用模型和风洞来设计他的研究工作。从根本上来说，模型不能复制设计的全部特征。虽然在决定飞机设计情况时，形状、重量、部件的强度、温度等等因素都是很重要的，但是工程师正在研究的是空气动力学方面的性能，所以形状是主要的特点。因此，他的模型就着重精确地复制了形状而忽略了其他的因素。使用模型使计量变得容易，能任意操作各种可变因素等等，而且需要的费用较低。如果用真的飞机来作同样的研究，则不仅花费多而且很危险，得到的资料还不可能会这么多。通过对现实生活情况的抽象，空气动力学家能着重于某些简单的事情，但不会由于其他方面许多细节的忽略而受到多大损失。

但是，使用模型的人可能会由于只停留在使用模型上而犯严重的错误。一个“凭空想象的”模型看起来似乎很方便、合适，可是，它并不能精确地描述现实世界中的状况，因为它仅只是一个模型而已。必须对模型进行检验——有时要不断重复检验。我们需要一种能准确地预示在现实世界中会发生什么样的模型。只有一次风洞试验肯定不能完满地做到这一点，可是如果把风洞试验的结果同实际飞行试验的结果联系起来，空气动力学家就可能改进其模型的某些方面，所以他的预示是好的。即使如此，在新的技术进步过程中，会出现旧的模型不再适用的新情况，如超音速飞行就是这样，这时就必须建立新的模型。图 2—2 表明了模型世界和现实世界中向前发展的连续的步骤，而在每一步骤之间都进行检验并估价模型。

一、模型的种类

我们刚才所提到的空气动力学家的模型是个实物模型。我们所看到的其他实物模型还有天文学家的天象仪、物理学家的分子结构模型和建筑学家的建筑设计模型等。在每种情况下，实物模型都反映实物上问题的某些方面。还有其他类型的模型，每个模型都做进一步抽象实物状态，以便研究问题的某些特殊方面。例如，“一个图像模型”通常以在二维或三维空间内的一定长度的线段来代表各种变量，例如，表示在一天之内在乔治·华盛顿桥上向西行驶的车辆通行密度变化的曲线图就是一个图像模型。一个人是驾驶自己的汽车出动，还是坐出租汽车，或者搭乘公共汽车，还是留在家里，可以根据这个表示交通密度的模型来做出部分决定。

图 2-2 研制一个合意的模型的步骤

1. 图画模型

“图画模型”往往利用一种使相互关系变成可见的图画来帮助传递信息和影响决策。例如，一个安全卡通可能就是一个产生于不安全生产的实际工作的图画模型。主管部门希望工人会考虑这个表示不安全会有什么后果的模

型，以提起对生产安全的注意。“图解模型”通常用来表示信息流和电流等，这里，实物关系并不重要。一个电气专家的线路图或一幅组织机构图就是一个图解模型。图 2—3 就是一个组织机构图。它是关于公司内部职权关系的图解模型。

2. 数学模型

在反映了对现实世界最抽象的“数学模型”中，用符号来描述现实世界中的各种因素。符号比实物更便于运算。在研究某种环境下的各种内在联系时，数学模型是非常有用的。例如，牛顿运动第二定律的简单描述为 $F = ma$ ，它表明了力、质量和加速度这三个因素之间的关系。数学模型在物理学中最普遍，只是在最近才应用于实业界。其最大优点在于，符号运算往往能揭示出其他方法所不能揭示的各种因素之间的相互关系。

当被研究的状况非常复杂、需要运用超出了已知技术的数学知识，或者这种数学运算过于复杂、耗时大多时，可利用高速电子计算机来建立“模拟模型”并力求接近现实世界的情况。一种模拟模型可能是一种同样适用于数学模型的数学方程式。但它不是要用方程式来求得最优结果，而是用一系列的试验来模拟模型在各种不同条件下的性能。利用高速电子计算机就可能模拟很多不同的条件，并简便地选定结果最好的决策。当然，这并不能保证找到的决策是最有价值或最好的。

在任何时候，建立模型的目标都是为了预计所研究系统的某个方面的工作成效。这就是模型对于制订决策如此重要的原因。合理的决策要求能预测其工作成效。模型就提供了这两者之间的联系。

3. 生产管理中的模型

生产管理已经应用了前面讨论过的所有种类的模型。在工厂布置的研究中应用实物模型已有一段时间了。凡是可以应用数学模型的地方，就作出了很细致的三维模型，以便在新的设备布置实际安装之前详尽地研究材料流程、顶部空间、人口等因素。图像模型和图解模型一般用于研究进度的安排、人一机关系的分析，以及工作情况的其他方面。最近，数学模型和模拟模型已应用到生产资源的分配、产品生产规划、经济批量以及随机程序的分析等方面。本书第二篇“分析方法”的各章将探讨各种生产情况下的模型，据证明，这些模型是有用的分析工具。

二、模型的优点和缺点

为什么要使用模型？对这一问题最直接的回答是，预测工作成效，还没有发现比模型更好的方法。作为预测系统，模型是从科学中被我们应用的，它代表了科学的方法。要建立一个模型，无论是实物的、图形的还是数学的模型，都需要仔细考虑从现实世界中抽象的东西。当建立模型时，我们会立即深深地感到对于工作对象我们知之甚少，我们往往不知道可以用哪些资料，漏掉了哪些资料。模型在被最后确定应用时，能使我们深入了解所要解决的问题。

建立模型在于它要对现实世界中的问题做出抽象。如果我们保持模型的可用形式，它就可能过于简化了；如果我们试图使模型只反映真实的问题而避免概念化，那么这个模型就可能过于繁琐，而且建立和应用的费用也可能太昂贵。当然，一个模型是否有效的最后标准是在现实环境下的考验。如果它精确地预测了工作成效，它就是个好的模型；如果它不能精确地预测，那

么它的价值就仅限于使人深入地认识建立新的、更好的模型。

三、模型和决策

为什么这么强调模型？没有模型我们能做出决策吗？确切地说，我们能。但是，如果没有预测的模型，我们对决策的信心就会减少。我们就将再次落到靠掷硬币来决定采用哪种可选择方案的地步。完全靠运气的赌博是愚蠢的。一个职业的赌搏者也会研究可能发生的各种情况，这样他才能以最可靠的方式下赌注。他所做的就是制定他所加入的赌博的模型，以便能够预见工作成效。难道一个主管人员在做决策时不应该像赌徒那样精明吗？

第四节 生产职能

生产是制造产品和提供服务的过程。在工厂、办公室、医院以及超级市场中我们都可以发现生产过程。生产管理就是关于生产过程的决策制定，以使之按照规格、数量、进度和最小的成本生产出产品和服务。生产管理在实现这些目标时，是同其他两个广大领域（生产系统的设计和控制）的活动相关的。

由于多种原因，生产管理也许最经常地是同工厂管理而不是同上述更广义的定义相联系的。作为一门知识，生产管理主要在工厂中发展起来，而这是合乎逻辑的，因为生产的重大问题最早是在工厂中出现的。在工厂制度出现之前，主要由单人作业生产物品，在生产管理上只是一些无关紧要的问题。可是，随着工厂制度的出现，情况改变了，组织、布置设备、控制质量和满足进度要求等方面的问题必须得到回答。当做出答案并将之普及之时，生产管理的领域也开始发展起来。

早期的生产管理着重于控制工厂的劳动费用，这是合乎逻辑的，因为在泰罗时代，构成生产费用的主体是劳动费用。随着一直存在着向机械化和自动化进步的趋势，情况发生了急剧的变化。在工厂中，间接劳动费用相对于直接劳动费用上升很快。在现代工业经济结构的条件下，一个公司会发现自己制造产品的许多部件是不经济的，因而材料成本常常占支配地位。所以，工厂的生产管理必须在装备的设计和选择、间接劳动费用控制、生产和库存控制、以及质量控制等领域中得到发展。

但是自从泰罗时代以来，还出现了另外一些变化。尽管生产管理的重点还是工厂，但办公室工作人员的数目急剧地增加了。今天，白领工人超出蓝领工人数目达几百万人。还有其他一些活动，在二三十年以前对生产管理来说并不重要，现在已发展成大规模的单位，已无法再忽视其业务活动。例如，街道拐角处的杂货店已消失了，在它们的位置上继之而起的是大型的超级市场。在这里，设施的设计是非常重要的。商场的地址的选择、平面布置和储存具有了新的重要意义。我们都知道，医院的费用已急剧上升了。医院的主管人员比以前更加认识到经营或生产的问题。平面布置、分工、作业设计和失误控制（质量）等基本问题都不容忽视。

本书认识到了生产活动的广泛性。可是，我们在以后的材料中将以工厂作为一般的模型，然后尽量说明如何把所讨论的概念应用于其他领域。我们采用这种方法是因为在实际工作中，所有开创性的工作都是在工厂中实现的。所以，最大量的可用的例子仍旧来自工厂。在以后几年里，由于一般原则应用于其他生产活动，这种情况也会随之发生变化。

第五节 一个一般化图解的生产模型

让我们根据刚才所叙述的思想制定一个模型来说明我们所讲的生产概念。根据我们的定义，工厂、办公室、超级市场、医院等都代表着各自的特点和特殊情况，我们的生产系统存在着输入，这个输入随着情况的变化而可能代表材料、部件、文书工作形式以及顾客或病人。这些输入由一些作业以某种方式加以处理，这些作业的顺序和数量由每种输入所规定。这些作业可以从只有一个到许多个，也可能具备所要求的任何特点，它们可以是机械的、化学的，装配、检验和控制，送到下一个作业、收货、发货，像一次谈话那样的人事交往，以及文书工作。

系统的输出是完整的部件、成品、化学制品、对顾客或病人的服务、完成的文书工作等。在我们的系统中，在取得输入以后，在系统中的每个作业之间都有储存的设备。储存的时间可以从零到任何确定的时间。在系统的所有作业之间运转输入的事物。可以使用任何运行方式，包括病人和顾客的自己运转。我们的模型也有一个信息系统和一个决策人员。信息系统把所有的物质活动结合起来，提供管理部门决策的依据。这些职能给模型提供了一个近乎“神经系统”的东西。图 2—4 反映了我们的生产系统。

系统是连续出现的。例如，当成品从工厂运到仓库时，它们只是从工厂这个生产系统转到称为仓库的另一个生产系统。在这种情况下，这两个系统都被认为是一个大系统的组成部分。此外，系统可能并行出现，例如，一定数量的工厂生产同样的产品供应几个市场，在解决某些问题时，可以把这些工厂看成是一个大的生产系统。

现在让我们看一下系统输入的情况。输入在进入系统以后，就储存起来在生产过程中等待运用。在某种优先性规则的安排下，它就开始从储存进入到生产过程。这些优先性规则可能是：先进—先出，要求完成和发货的时间或日期紧迫的比其他的优先处理。于是，按照预定的顺序输入被处理了。假定这个顺序是 b, d, c, n 。它从开始的储存处到达作业 b 处并暂时停留等待处理。我们假定作业 b 处已经分配了某些工作或任务，因此，我们输入（在储存处）等待并将按照已定的优先决策规则来处理。在经过作业 b 处处理以后，又被送到 d 处储存起来，然后再根据优先性规则取出来加以处理。如此进行，其中可能会有一道作业程序是检验。运送作业发生之前可能是包装作业——为产品的发送准备。

对于大量、标准化的部件，就要按顺序来对各种作业进行安

图-4 一个一般化生产系统图

输入可按规定的作业顺序加以处理，并在各个作业之间运送，作业的数目可以从一到任何一个确定的数字。在所有作业之间都有储存，而储存的时间可从零到任何一个确定的时间。

注意：在作业 b 到 g 的所有组合中都互相联系，但只表示出了那些从 b 发出的联系，情报系统使所有活动联结起来并为管理决策提供依据。

排，并用传送装置使之联结起来。依据先进—先出的规则，储存可能发生在传送装置上。对医院来说，储存就可能发生在候诊室里或医院的病床上。按优先性的规则可以是先进—先出，急诊例外。在医院的例子中，许多工作可以按顺序完成，如当护士打针或送药时。

在超级市场上，产品运进来后储存在展示架上。实际上不把顾客的进入当成

一种作业。顾客在货架上挑选中意的东西，然后拿到计价处，并在那里等待接受唯一的一项作业——结账交款。

在生产肥皂的连续作业中，材料被送进并储存起来后，就要把它们整批地取出、溶解，并利用唧筒抽送，经过一系列的化学处理，在这些处理之间用管道运输和存储。材料在运动中经过了化学处理，运动之后出来的就是肥皂，包装后就可以运走。

在生产系统中，制造和装备定做商品的机械制造厂的情况无疑是最为复杂的一种。以导弹为例，需要制造成千上万个独立的部件，并要先装配成分装配件，然后再装配成总装配件。这些活动相互间必须衔接，综合成一个复杂的进度表，以便按照规定的时间向分装配件和总装配件提供部件。大量的部件在作业活动之间的形式和流动是如此的复杂，以致于只能用某些抽象的代表方法才能明了。同一台机器上可能有许多需要进行加工的部件，而作业在整个生产周期的不同时期发生。安排作业，使机器能够有效地利用，显然很困难。

第六节 连续生产模型和间断生产模型

在连续流程的生产中，对于程序和流程来说设备是标准化的，因为输入是标准化的。因此，可以运用一系列标准的过程和程序。在实际工作中，连续性生产模型代表的是生产线和装配线、实行标准化程序的大规模办公室作业处理形式、连续性化学作业流程等。而在间断性的生产中，或者是设备必须有足够的灵活性以便加工十分广泛的产品和型号，或者是从活动的基本性质来看必须改变输入的重要特征（改变产品设计）。在这些情况下，没有一种合适的作业顺序，所以，作业的布局必须采取一种折衷的方式，以便在综合考虑所有的输入的基础上能够安排得最好。

各项作业之间的运输设备也必须具有灵活性，才能适应各种不同的输入特征以及输入所要求的各种不同的路线。这些条件表明的一种间断生产情况一般很明确。由于这种生产的流程是间断的，所以它也是间断的。各项作业之间都需要有一定量的储存，以使每个作业都能在某种程度上独立地进行，这有利于编制时间进度以及更充分地利用人与机器。在实际工作中，间断生产常常出现在定货（或加工单）类型的机器工厂、医院、一般的事务所、成批类型的化学作业等。

如前所述，我们在图 2—4 中的一般描述模型在间断流程和连续流程两种情况中运用，但要对其中某些细节加以规定，假定在这个模型中的是间断生产流程，并且用相当一般化的词汇来解释它。这样，固定作业程序的规定，连续流程型运输设备的规定，作业之间储存的短时间，以及先进一先出的优先性决策规则等，这些都可以成为连续性流程的决定条件。然而，目前连续性流程的情况很普遍，我们一般以区分连续流程模型和间断流程模型的角度来考虑问题。

第七节 生产管理的问题

让我们根据概括的模型来概述一个生产系统中问题发生的性质。这些问题要求的决策主要有两个类型，其中一个与系统的设计有关，另一个与系统的运行和控制有关（即，长期和短期的决策）。对成本、服务，以及功能和时间两方面的可靠性等因素强调的相对程序，取决于整个企业的基本目的以及企业生产的产品和服务的一般性质。因此，一般来说，盈利性企业也许就强调成本，并同时保证质量和按期交货等。医院可能强调可靠性和服务，并同时保证成本目标的实现等。

与生产系统的设计有关的长期决策是：

1. 产品的选择与设计。产品的选择与设计同生产能力有密切的关系，反之亦然。

2. 设备和生产过程的选择。可选择的设备和生产过程通常都能满足一定的需要。生产管理部门必须制定决策，特别是在企业资本的使用及其生产设备设计的基本方针方面。

3. 加工对象的生产设计。生产成本与部件、产品、文书工作形式等的设计密切相关。设计的决策常常规定了这个系统在成本和加工方面的特性。

4. 作业设计。作业设计包括工作的基本组织和应用人类工程学的资料来作出最优的设计，因此是系统整体设计的不可分割的一个组成部分。

5. 系统的定位。在某些情况下，如果取决于市场远近和材料供给的那些成本因素的比重是关键性的，那么生产系统的地址的选择就是重要的。

6. 设备平面布置。必须做出设计生产能力、生产的基本模式、轮班制、加班的利用，以及转包等有关方面的决策。此外，布置各种作业和设备时必须考虑到它们之间的相互关系，以便最大限度地降低总体物件运送费用，或使之适应更为复杂标准的要求。后面这种要求对于变动的路线、复杂的间断性生产的模型来说是最困难的。需要综合考虑许多细节问题，才能恰当地确定生产系统的布置。这些问题包括：加热、用光，以及对其他公用事业的需求；储存面积、过道面积等的安排；以及容纳这个平面布置的建筑物的设

与生产系统的运行和控制有关的短期决策包括：

1. 库存和生产控制。必须对如何分配生产能力才能使之与需求和库存政策相符合的问题做出决策。必须制定可行的进度表，用以控制人和机器的负荷情况以及生产流程。

2. 生产系统的维持和可靠性。必须对维持系统的工作做出决策，发现设备损坏的性质，以及机器闲置不用时间将自然影响重要的成本项目，或使销售量减少。

3. 质量控制。必须制定决策，以便确定生产和发送废品或发生失误的危险，以及报废正品的危险。必须比较检验费用和由于可能错用有缺陷的材料或服务而造成的损失。

4. 劳动控制。劳动在大多数产品和服务中仍是主要的成本因素。生产计划要求对劳动的构成进行评价；所以，在对工作计量和工资制度等方面的发展上做出了很大的努力。

5. 成本控制和改进。生产主管人员必须对各种成本因素——包括劳动、材料和某些间接成本每日做出决策，加以平衡。

这些生产管理问题的相对重要程度，由于各个生产系统性质不同，而有

很大差别。可是，每个系统中都不同程度地存在着这些问题。例如，在人均资本投资很大的生产系统中，设备政策可能起主导作用，如石油工业中就是这样。另一方面，在劳动要素或材料要素占很大比重的生产系统中，设备政策的地位可能就是次要的了。生产管理艺术的一个组成部分，就是要在每一特定情况下分清这些问题的相对重要性。

本书第二篇将论述在生产管理中特别重要的一般分析方法。这些方法可以作为决策的一般模型来使用，并可予以改变以适应特殊情况。

第三章 系统概念

把复杂的管理问题统一和联系起来的一个基础正在出现，这就是系统的概念和方法，这些概念在生产系统的分析中的应用比在其他领域中更多，这些概念的价值已在管理的各个领域渗透。

系统这个词本身在一般的管理学论著中很常用，以致使人们大声疾呼，它的滥用几乎已贬低了自身的价值。然而，用系统这个词来表示管理问题中众多要素的一般相互影响的性质是极合适的，以致我们在谈到复杂的问题时不能不用“系统”这个词。实际上我们在本书中自始至终广泛地使用了这个词。我们必须学会把这个词的一般运用与它作为构造和分析问题的方式的特殊运用区别开来。

系统概念的一个巨大的好处，就是它有助于我们去处理一个非常复杂的情况，并对其进行安排和组织。它的一个主要贡献就是减低管理问题的复杂程度，使之简化为一个组织框图，用来表示影响这个问题的各种要素的相互关系和相互作用。系统概念就其目前的发展和应用状况来看，首先，它对于帮助我们深入了解问题的各个方面是最有用的；其次，系统分析有力的贡献是，它已成为求解问题的答案，并评价其后果以及设计可供选择的系统的基础。

第一节 “系统”概念

然而，我们用“系统”这个概念时，并没有给它下一个定义。虽然几乎每个人对这个术语已有个大致的了解，但给它更精确地下个定义可能还是非常有用的，韦伯斯特（Webster）把系统定义为“一群经常相互作用或相互依存的东西形成一个统一的整体。”所以，系统可能由许多部分和物体组成，但它们是为了追求某些共同的目标而联结在一起的。它们在某种程度上统一、组织或相互协作在一起。一个系统的各个组成部分都对一定的输入生产出一套输出有所贡献，这种生产是以某些适合的效率尺度来衡量的，或许是或许不是最优的或最好的。系统往往很复杂，虽然它的定义并没有规定必须是这样的。

这种说法也许是正确的，要研究某些最有趣的系统是复杂的，系统内一个变量的变化会影响到系统的许多其他变量。因此，在生产系统中，生产率的变化可能会影响库存、每周工时、加班时间、设备布置，等等。本书的一个主要目标就是搞清并预测这些变量之间复杂的相互关系。

系统概念中难以确定的方面是对专门系统的定义。对于我们希望进行研究的系统，给它下个定义并划出其界限，这一点是很重要的。这样我们就能进入到规定的系统之内看看有什么事情发生，但是，看看这个系统受到环境的影响，同样也是重要的。这样，每个系统总是可以看作是一个更大系统的一个部分。把系统的范围定得太狭窄，会产生使我们可能会看不到更广泛的含义的危险。另一方面，把系统的范围定得太广泛又有漏掉系统运行中所包含的重要细节的危险。显然，在应用系统概念时要讲究“艺术”。

第二节 开放系统和反馈系统

理解系统概念的一个关键步骤是要清楚地看到他依据构成的模件。福雷斯特（Forrester）这样描述开放系统和反馈系统：

开放系统的特点在于输出对输入作出反应，但输出却与输入相隔离并且不能影响输入。开放系统意识不到自己的工作成效。在一个开放的系统中，过去的行为不能影响将来的行为。开放系统不能看到自己的工作成果并对其作出反应。一辆汽车是一个开放系统，它本身并不被它过去所去过的地方所控制，也没有一个它将来要去的目标。一只手表本身并不能察觉它自己的不精准度并且自动地调整，因为它是一个开放的系统。

反馈系统，有时又被称为“封闭的”系统，受到它自己过去的行为的影响。反馈系统有一个封闭的回路结构，它使系统过去行动的结果返回来控制未来的行动。负反馈作为一种反馈系统，它追求达到一个目标，而当结果未能达到目标时就作出反应。正反馈是反馈系统的另一种，它的结果是增长，在其中行动产生的结果会继续导致更大的行动。

开放系统和反馈系统两者都受到环境的影响，因此这并不是它们的主要区别所在。例如，一个开放的生产系统可以完全不顾使用者的环境而确定其产品的数量和质量。它可能会忽视成品库存情况和市场实际需求而继续按既定的出产率生产。反过来，一个开放的生产系统就可能不顾市场对产品的承认程度而继续生产某一质量水平的产品。然而，正如我们所知，虽然这种系统可能对它们自己的表现不进行直接的观察和作出反应，还存在着一种更广泛意义上的第二种反馈。它将最终把这种企业驱逐出实业界，因为它们试图像开放系统那样运行，而真正适应的却是一种对环境作出反应的封闭系统。管理问题中的大多数反馈系统都是这种以控制一个过程为目标的负反馈型的。

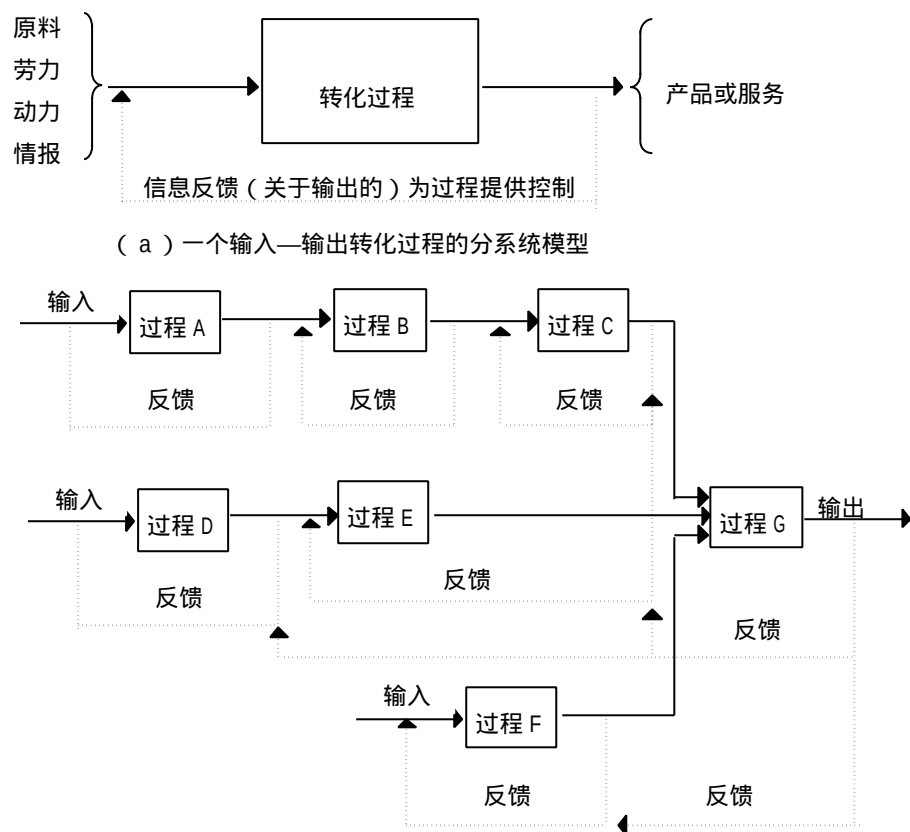
一、反馈控制的要素

图 3—1 表示了一个基本的反馈控制回路的构成要素。它假定生产系统本身有输入，经过加工而实现产品或服务的输出。为了控制系统的工作成效，对输出的各个方面（也许同时对数量和质量两个方面）进行了度量。把这些度量的结果同所要求的性能进行比较，并由控制系统解释其差异，命令操纵装置修正其工作成效。因此，一个控制系统往往包括对实际正在发生的情况的某些度量。这个信息被馈入某种数据处理系统，在这个系统中将这些度量与已定的标准进行比较。这些标准是直接或间接地根据管理政策制定出来的。

例如，银行里可能有政策规定，在窗口提供顾客这样一种服务，其平均等待时间只为 1 分钟。如果等待时间大约超过了 1 分钟的 10%，那么增加的出纳员窗口就会打开。又如，人们可能考虑一种实物量度，如对部件尺寸或化学成分的质量控制，或者被控制的量度可能是产品出产率。在这些情况下，反馈控制需要的技艺可能很高超，实际上是自动进行的；而在其他情况下，就可能需要管理干预它的控制。因此，不论自动化与否都应用同样的反馈控制的基本原则。

二、简单反馈系统的联合

图 3—2 (a) 表示一个输入—输出转化过程的简单分系统模型，它包括用于控制过程的信息反馈。这些简单模型可连续地或并列地联合在一起，如图 3—2 (b)。在图 3—2 (b) 中，我们可以看到，每个过程都有自己的控制的反馈回路；然而，各过程组成的总系统的最终输出为了进行控制，还是反过来对关键过程给予反馈。这些管理控制的要素可以用输出的质量、数量或工作成效的某些其他方面表示。



(b) 连续和并列的各个系统模型

图 3-2

三、反馈时间差距的影响

一个在信息反馈控制下的系统作出的反应，取决于许多因素。重新参看图 3—1，如果对实际工作成果与预期工作成果的差别没有时间差距就反馈回来，操纵装置命令系统立即按所观察到的差异来改变装置，而系统立即作出反应，那么这个系统的反应就是完美的，并大概地显示出完美的控制，因为任何偏差都立即被纠正了。然而，即使是完全自动化的、高工艺的过程控制系统，也达不到这种理想境地。系统对控制会做出什么反应，取决于反馈反应系统的时间差距，以及转化过程自身内部的时间差距，取决于引起多少控制活动，还取决于受控制的系统的灵敏度。

系统的灵敏度是指系统的输出对于系统的输入变化的反应程度。例如，在大多数汽车的转向机构中，前轮转动量与操纵轮一定程度的转动之间的比

率是适度的，所以人们不会转向过度（控制过度）。在相反的情况下，我们大多数人都乘坐过在娱乐园中的“碰碰车”，它的转向比率有意地弄得使操纵轮只要稍微转动一点，前轮就会转动得很大，结果是失去控制，从而产生一种娱乐。所以，一个系统的控制可以是较灵敏的或不灵敏的。采取多大控制行动要根据系统的灵敏度而定。

系统的输入对控制作出反应的另一个极为重要的因素是反馈控制系统和过程本身所固有的时间上的滞后性。如果反馈控制系统作出反应和命令调整时需要的时间很长，或者过程本身对改变控制装置的反应迟钝，那么系统的输出就会出现摆动现象。

例如，如果你试图只根据看到的后面（通过反光镜）的情况来开汽车，那么反馈给你的关于你需要转弯的信息可能在你已经开过弯道以后才知道。为了调整，你就需要转动方向盘。可是，假定它事实上是一条弯曲的路而且已转过去了，那么你现在就会发现，路接着转向另一面了。在这种情况下开车就需要有一个相当宽的路面，才能使车仍在路上走。如果你可以通过车子前面挡风玻璃看出去，你驾驶的车子就会沿直线平稳地前进，而现在则无论如何你将沿着这条路线的左右两边摆来摆去。

四、反馈和管理系统

管理控制系统受到很多不良因素的影响，如时间滞后性、灵敏度，以及控制行动的量的影响。一般说来，长期的时间滞后和低灵敏度是主要原因；但也有因灵敏过度而难以处理的情况。

设想一下，如果业务主管人员企图以报告给他的关于一个月以前零售进展的信息为依据，来确定雇员、生产和库存水平，那将会出现什么情况呢？如果他对一个月以前零售增长的记录作出反应，就可能在一个实际上销售下降的时期来增加雇员和提高生产水平。此外，零售可能出现随机波动，所以，如果业务主管人员对零售的增长作出反应（无论时间滞后期是长还是短），他可能会增加少量雇员和日产量，采取一种等等瞧的态度，即看看这种增长是持久的还是只不过是销售水平的临时波动。

第三节 企业系统内的业务职能

如先前所指出的，每一个系统都可以认为是一个更大系统的一个组成部分，一个企业中的生产职能和业务职能就是这种情况。现在，我们把业务职能连同它复杂的内部关系设想为一个更大的企业系统的一部分。虽然业务职能本身内部可能用一个如图 3—2 (b) 所示的复杂的过程网络来代表，我们将用一个具有其自己的输入和输出的简单方块来代替它。第二章的图 2—4 也描述了业务职能内部的各种活动的进行。

图 3—3 是一个基本的图解模型，它联系着企业内的各种广泛的业务职能。这个模型高度概括了流程和所执行的职能两个方面。可是它显示出流程途径的性质和发生某种变化的各关键环节。请注意，我们为系统已定了一些边界，在系统之外建立了劳动力、材料、能源、设备、外部服务和财政资源的供应渠道。这些职能是系统的一部分外部环境，在系统之外和系统本身的这些职能之间存在着一些流程。

图 3—3 业务系统的一般模型——基本图解

这个图解模型所表示的流程有六类。带小圆圈的短线代表定货的流程，从这里我们可以看到定货是从所研究系统的环境出发的。它们可能产生于外部环境而成为系统的输入，也可能是对信息的反应产生于系统内部并从系统本身发出，在销售机构主动寻求顾客的情况下就是这样。定货通过专业的和（或）服务的职能进入系统。这是模型的信息、手臂。在这个职能制订决策的基础上，进入的定货单可能或者被送到存放处，即归档，或者在经过一定改变之后，送到业务部门、仓库、投标和（或）销售部门。

如果通过招标来订货，它就被送至投标部门和（或）销售部门，而从这里以信息（短线）的形式发出一个投标。另一种情况是，如果订货是库存所不能提供的货物、服务或能源，那么就要由业务职能通过生产来满足订货要求。可是，如果制订的决策是从库存中提取订货，那么订货单就要送到存货部门。当订货单送到业务部门中去时，或是信息机构，或是专业和（或）服务的部门必须为业务部提供必要的劳动、材料、能源、装备和外部服务，并全部满足其在时间和种类上的要求（此处的劳动可能是高度专业化的，如在医院或大学中）。这样，就必须通过主管雇佣政策的部门和主管财务以及订货政策的部门发出信息，以便对各种人力物力的供应渠道发出订货。

劳动力供应渠道在收到订单以后，就把劳动力投入系统（用双线表示）。人力流程经过培训部门，在这里被处理后就被送到业务部门，也可以是专业部门。同样地，材料和能源的供应渠道把资源通过处理场所后投入系统，它们可能被送到材料库存处，也可能直接被送入业务部门。设备供应渠道把资本设备（以粗黑线表示）进入处理场所，然后送到业务部门中去。外部服务渠道，故名思义，就是提供系统本身所无法提供的服务，这是由于本系统缺乏生产能力、生产能力有限等原因造成的。

资金供应渠道代表经济生活中的银行或投资部门。这是所有的外部资金的来源。它为系统提供必要的资金，同时，也为系统储备多余的资金（以有美元符号的短线表示）。当然，由于要支付企业所供应的商品和服务，现金还从一般外部环境进入系统；基于同样的理由，现金也从系统向各供应渠道流出。要注意的是，在系统内部各个部分之间没有现金的流动，其原因自然就在于生产部门不用现金或支票来支付它从厂内材料仓库中取得的材料，而

这些相互间的联系是通过厂内的信息流程来实现的。

信息流程（以短线表示）有好几种。它可以表现为报告或备忘录，或口头形式；它可能是对追加情报的要求，也可能是命令或指示。此外，信息流程可能包括作业、库存、发货和处理停留的日常数据资料。信息流程可以显示出实物流程的所有特征，就是说，信息也能够生产、储存、转移和扩散，其流程也可以表现出惰性。

货物或能量可能首先进入专业和（或）服务部门。在这里进行情报方面的作业，并按需要被送到业务部门或库存部门。

业务职能——材料和信息流程，图 3—3 的高度概括了职能框图及其流程，可以用像图 3—4 那样的图形分解出每类流程，并根据需要确定流程的概括程度。图 3—4 图解了业务部门与其他相关部门之间的材料和信息流程。在业务职能的边界内，每一个小框图都代表一种转换（物理的、化学的或其他的），或者代表一个运输或储存等流程要素。此外，这些小框图代表流程系统的结点或关节，在对这个系统所能作的大多数分析中，这些交点是分析的着重之处。需要注意的是，这些交点是从 1 到 n 标号的。所有流程的相应图解（如图 3—4 所示）之间的相互联系，按照图 3—3 的总结构，就代表着六种流程系统的整个系统。

根据对专门的现实系统进行图解的图 3—3 和图 3—4 的一般形式建立模型的优点在于，我们可以进行严密的分析。这种分析可以采用数学的形式，因为我们现在可以写出描述各个发生的流程的特征的方程式，也可以用大型电子计算机模拟这个系统的业务流程。

第四节 控制分系统

系统的概念有助于理解广泛的控制分系统的职能与生产系统本身的关系。图 3—5 是一个表示同短横线边界之内的控制分系统相联系的块状区划图解。对于日常生产系统的管理，我们可以看到有一个控制回路，这个回路包括对系统的度量，这种度量被馈入数据处理部门，以便做出解释并与所要求的性能、日常管理职能所采取的行动相比较。由于日常自动化的度量、数据处理和效应机构的能力，已使生产系统实行日常管理的完全自动化成为可能，大部分石油炼制就是这种情况。

图 3—4 业务职能—物料流程图解

在进行日常控制的过程中，有一种应用更广泛的控制系统，它追求业务活动的最优化。这种最优控制系统的输入包括来自日常控制系统的信息（短期）、预测、计划以及政策信息，以便创造出一个范围更广的（也许是更广阔眼的）工作成果的衡量标准。这样的—个控制系统可能包括衡量工作成效的标准的改变或修正。最优控制系统还有另一种职能，但是最优化的经营不能在日常基础上进行说明。生产进度的安排就是一个例子，在这里要求一个更广的时间界限和最广的判别职能，以便为生产规划制定一个最优化的

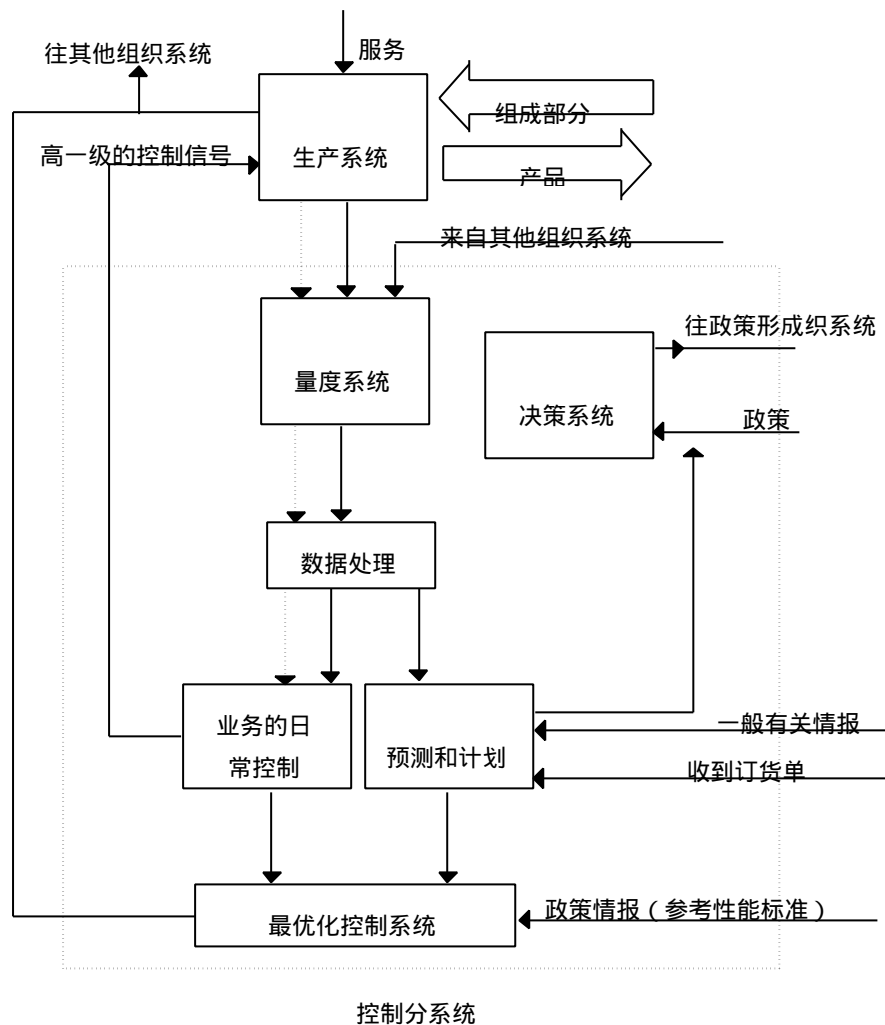


图 3-5 同控制分系统相联系的生产系统

控制系统。这些规划可以有一些复杂的模型，用以在库存费用和根据预计销售量而测算的改变生产能力的费用相比较。

它本身的日常进度安排可能不是最优的，但是，更广范围的生产规划却可能接近最优化。

第五节 大规模系统的例子

高速电子计算机的应用已经促进了大型系统的发展和运用，这些大型系统通常被用于模拟业务活动，为评价各种可选择政策和计划的效果提供了基础。由于在这些系统中的内部关系非常复杂，从而使分析可以为重要的决策提供一个基础。我们将简略地看一下两个这样的大系统：普特拉契林业公司和内陆钢铁公司。

普特拉契林业公司是美国一个大型的林业制品公司，年销售额大约为 3.35 亿美元，遍布各地的工厂有 44 个，并有 36 个销售公司，职工人数共为 12 000 人。这家公司开发了 22 个相联的以计算机为基础的模式，用以描述全部业务活动、集团以及分公司。即各事业部、集团以及分公司的投入—产出关系的总体结构图略。该图中每一个主要的方框本身都代表一个规模相当大的系统。在公司系统模拟出现以前，主管部门在估算各工厂之间的买卖来改变品种结构的财务影响时，有很大的时间滞后。但是，互相联系的计算机系统在很大程度上减少了要求评价可选择计划的努力，因为这 22 个模式的逻辑结构考虑了各事业部与集团之间的复杂的资金流动。

普特拉契林业公司的例子强调的是资金流程的连续的汇集和合并，而内陆钢铁公司的例子首先强调的是基本生产过程，最后才在标准的财务报表上把资金上的影响集中地表现出来。有了这个系统模型以后，内陆钢铁公司就能很轻松地提出以下问题：

1. 为满足生产要求需要多少原料？
2. 热金属对废品的各种比率的费用效果如何？各种假定的原料成本对于收益有什么影响？
3. 对计划的产量水平要求有多大的生产能力？

内陆钢铁公司的主管部门在 1971 年编制应急计划时使用了这个系统模型，这时公司面临着不寻常的不肯定性，其中包括一个主要的汽车行业罢工的可能性。这个系统模型也被用来作为公司每年编制 5 年计划和对各种因素进行利润灵敏度评价的基础。

第六节 系统概念对主管人员的含义

主管人员在工作中应用系统概念，首先得到的效果是，他对自己所管理的系统有了更深入的了解。通过建立系统各组成部分相互作用的影响以及系统中各种反馈控制回路的结构，他可以更清楚地看到，要拧动哪个“把手”以便使自己能控制他所管理的系统。的确，利用系统结构的认识，他就能看出为了创造最有效的反馈控制机构，他应当怎样重新构造这个系统。

随着像普特拉契林业公司和内陆钢铁公司这样的大型系统模型的运用，主管人员就能更好地估价企业中的某个事业部的变动对其他事业部和组织整体产生的影响。而且，任何一个生产经营的主管人员能更好地看出他管理的单位与企业整体相适应的方式，也能更好地理解那些上级主管部门经过权衡作出的方案，而且有时甚至这些方案对本单位是不利的。

在本书的其他部分，我们所讨论的基本的系统概念也被反复地应用。例如，反馈控制过程是第七章对自动化讨论的核心，也是第十一章人一机系统、第十四章的预测和库存控制系统、第十五章的总体计划方法、第十九章的质量控制概念的核心；输入—输出转化过程是讨论生产系统设计的整个第三篇各章的基础；而且，一般来说，贯穿全书的各种决策问题都要求权衡，权衡就是系统概念的一种反映。

系统思想的一个最重要的贡献也许是次优化概念。当一个人狭隘地看问题时，就常常发生次优化。例如，人们能够建立数学模式，以确定一次投入生产的产品或部件的数量，从而使成本最低（最优），结果会得出一个假定的最优的库存水平。然而，如果人们扩大所研究的系统的概念，不仅包括库存和再定货分系统，而且包括生产和仓库分系统，他可能发现与费用相关的库存只是对于部分问题的一个尺度。如果产品的销售具有季节性，而生产水平变动的费用可能非常大，以致有充分的理由保持更多的库存，以便使生产和雇佣状况保持稳定。在这种情况下，最低成本库存模型就是一个次优的政策。

组织的次优化，往往在一个企业的生产部门和分配部门实质上像独立的企业那样经营时发生。工厂的经理会努力使各自的成本达到最低，销售一分配部门经理也会这么做。工厂经理将面临使生产成本达到最低限度的问题，而销售一分配部门经理主要会面临库存管理、运输以及顾客服务的问题。每个分支机构如果试图独立地使各自的成本达到最低，那么它们导致的联合成本也许会比它们试图使总系统达到最优的情况下的联合成本要高得多。原因很明显，因为在使库存费用达到最低过程中，销售职能把销售额变动产生的大部分影响都直接转移给工厂，而不是通过库存的缓解来消化掉这些变动的的影响。次优化是结果。然而，如果把他们各自的努力结合起来，就会有可实现库存费用与产量变动的费用之间的某种平衡。

* * *

系统的概念和方法对于生产系统的分析和管理来说具有重要的意义，这是由于在这些系统中有许多因素之间复杂的相互作用。用“系统”这个词来描述生产状况的性质这一事实就说明了这一点。

反馈系统由于对自己过去的行为作出反应，所以极有吸引力。负反馈系统在所有的管理中都具有特别的意义，因为这种系统为管理控制提供了依据。图 3—2（a）所显示的最简单的分析系统模型为更复杂的网络的建立提

供了依据。

所有的管理系统出现的一个困难，是信息反馈经常有一个时间上的滞后性，以致当主管人员发现问题时实际情况可能已发生了改变。此外，对于主管人员来说，受控制的系统的灵敏度也是重要的。

用图解来表示的普特拉契林业公司和内陆钢铁公司那样非常大型的计划系统，为实行一种如果没有系统概念和计算能力将很难或不可能实行的计划和控制，提供了基础。

第二篇 分析方法

第四章 生产和业务管理的分析方法

应用分析方法的程度，或许就是生产和业务管理领域目前发展阶段的一个明显特征。已经应用这些分析方法建立了一套概念体系，同时也用以解决一些实际问题。早期的分析方法是通过图像和图解模型来说明生产系统各方面的情况。然而，自第二次世界大战以来，一些更为复杂的高级技术，诸如数学的、统计的和模拟模型等已被广泛应用，而且尤为强调第三章已讨论过的系统及系统的观点。表明生产和业务管理正在发展成为一门应用科学最重要的标志，就是这些分析和系统的技术的应用程度大大地提高了。

生产和业务管理中所使用的整套分析方法，本质上是遵循科学方法的基本准则，而且是基于各种不同模型的应用上，这些模型能够代表我们所研究的系统或次系统的某些部分。我们在第二章中对于模型及其在决策中的地位所进行的一般探讨，在此意义上是十分中肯的。

第一节 分析方法的结构体系

本章着重于用分析方法来研究生产和业务管理问题，并且从不同的角度，既着眼于新的分析方法，又注意到传统的分析方法。然而，无论是新的还是传统的分析方法，其基本结构都是遵循着一定的模式。在分析工作中，最重要的方面不在于所使用的技术是新的还是传统的，而在于对问题的本质及与该问题有关的实际情况来说，此种分析方法是否是最好的。常会有这样的情况：即使存在新的和更为有效的方法，但是就某种特定情况而言，传统的技术可能会更为合适。上述情况可能存在于下列情形中：或者是组织中的管理部门还只是刚刚在头脑中形成一个分析的框架，并且希望能审慎地继续发展；或者是为采用某些新的更为复杂的技术而投入成本的理由不很充分。正如我们将会看到的那样，一些传统的分析方法还没有被淘汰，而且在解决某些特定问题时仍居于主导地位，这是事实。下面所写，就分析生产和业务管理的过程作了简要的概述。

一、确定研究系统

当对各领域中诸问题进行分析时，确定所研究的系统这一步骤，或许是最为重要的，因为它限定了分析的范围。如果问题的界限被限定得很窄，那么最终的解决方案很可能在应用上受到限制，甚至在某种特定情况下或许是错误的。回忆一下前面讲过的内容便知，这就是被称为“次优”的解决方案。下面举例说明发生次优解决方案的情况。假定要制订一个季节性产品的生产计划，我们得确定问题的范围以求得最低的劳动成本。如果制订生产计划时，考虑的是整个计划期内（比如一年）各个生产阶段中所生产的产品的单位数量，那么，在这种情况下得出的生产计划，可能就是一个水平生产计划，尽管销售额会随季节而变动，但生产计划在全年都保持水平。其原因是：如果要根据销售的季节性变化而调整产品产量，那么就需要增加或解雇部分劳动力，结果就导致与水平生产相比较的额外成本。

图4—1表示的是一个生产计划，其中以水平生产来调整销售额随季节性的波动。当然，如果限定问题的范围再宽一些，可能就会包含其他成本，比如为适应销售水平波动而增加存货的成本。在此实例中，水平生产计划是一种次优解决方案。而一种既考虑劳动成本又考虑存货成本的解决方案，就必将在这两项费用中取得平衡，而不是只考虑最大限度地降低其中的一种成本，却忽视另一种成本。由此可见，有一个指导原则可以帮助我们确定问题的研究范围，即：确定哪些因素或变量可能会对所研究系统的行为产生影响。

一般来说，问题的界限或范围给定的越宽，次优化解决方案出现的可能性就越小。这种对问题的范围予以广义的界定常常被称为“系统”的观点。也就是说，我们要力求从整个系统的总体联系而不是狭隘地去观察问题。对于上面刚刚讨论过的关于制订生产计划的问题，系统的观点要求我们，把在实际生产之前所进行的原料采购及成品在市场上的分配，都作为研究系统的组成部分而加以考虑，因为生产计划的类型会影响原料采购及分配的成本。同时，我们还应当考虑消除销售水平随季节波动的其他方法，比如，在销售高峰时，将部分货源转包出去。由此可见，广义的系统的观点，改变了看似最优解决方案的性质。

然而，常常会发生这样的情况：系统观点的理想结果不易获得。其原因

或者是因为在解决实际问题时，在时间和工作上的局限，或者因为我们还没有能力掌握范围更广的问题。当所研究问题的范围界定得非常大的时候，就会不可避免地发生上述情形。我们将要探讨的某些新的分析工具，如线性规划和大型系统模拟，就已经在帮助我们提高能力以便在更广范围内分析问题。同时，在仅仅 10 年前，我们甚至都不能设想某些大型系统问题能成为实际问题，而如今快速数据处理已使这些问题得以解决。

在确定所要研究的系统时，用图像、图解及图画模型来设计系统，通常是很重要的，这有助于更形象化地表述问题。就复杂系统而言，设计一种能够表示系统流程、功能、相互联系和相互作用的总体框图，通常是十分有用的。第三章的图 3—3 和图 3—4，反映了一般生产系统的流程状况，可作为图解模型的代表。

二、确立一种用以衡量效果的尺度

这一步骤是要建立一套标准来衡量某一生产行为的各种可供选择方案的效果。这些衡量尺度可以是利润、贡献、总成本、增量成本、机器停工时间、机器利用率、劳动成本、劳动力利用率、所生产的产品数量、流程时间等等。业务系统效果的衡量，通常直接或间接地涉及到利润、成本、质量、服务或交货时间等。总而言之，效果的衡量尺度是指我们所希望的最大化或最小化这样一种概念。

三、建立一个模型，在此模型中， E （效果）可以表述为那些限定系统的各变量的函数

按照我们在第二章中所论述的观点，模型是我们借以预测所研究系统的可供选择方案成效的一种手段。正如那时我们已经指出的，模型的有效性是由它在预测性能时的精确程度来决定的。在建立模型时，我们力求区分可控变量（用 X_i 表示）和不可控变量（用 Y_i 表示），而且试图用一般公式给出 E 和各种变量之间的关系，此公式如下：

$$E = f(X_i, Y_i)$$

此公式仅仅说明 E ，即效果的衡量，是可控变量 X_i 和不可控变量 Y_i 的一个函数。而特定的函数关系还有待于进一步确立。

可控变量就是指那些在很大程度上可以依管理者的意志而调节控制的因素。例如，在前面所讨论过的制订生产计划的问题上，计划本身即各时期要生产的产品数量，就是一个可控变量。不可控变量是指那些管理者不能控制的因素，至少是不包括在所限定的问题的范围之内。

关于制订生产计划的问题，作为不可控变量的例子有：消费者需求、工资率以及存货的储备成本等。在此问题上可能会有争议，当然我们可以认为管理者能够通过广告宣传、劳动谈判等措施来影响这些变量，但是无论如何，管理者毕竟不能按照自己的意志随意地改变需求、工资以及存货成本等。一般来讲，所有这些不可控变量的变化都会在 E 中有所反映，而管理者就会相应地通过调整生产计划以使这种影响再次降到最低限度。这样，不可控变量就被赋予新的数值，此时的生产计划就是最优计划。

四、在分析的基础上制订可供选择的方案

用 E 作为衡量效果的尺度，借助模型对这些可供选择方案进行评价。分

析的目的是为解决问题奠定基础。然而，我们必须谨防成为“解决方案”的奴隶。一般情况下，某一行动存在着某种好的可供选择的途径，如果从效果角度来讲，用 E 来衡量，其中有许多种似乎是等同的。所建立的模型，应当有可能提供这样一些可供选择的解决方案：我们既可以用标准 E，也可以用其他非数量化的因素来评价这些方案。

在这个阶段上，可以设立各种能够求得最佳解决方案的假设。所设置的模型就为衡量每种假设的效果并比较其结果奠定了基础。当然，关于需要检验的逻辑假设的正式或非正式阐述，很可能在此步骤之前就已经完成了，而且，这些假设从一开始就可能已经成为进行此项研究的前提。事实上，我们正是通过这种方式，认识到了一大部分需要通过分析方法来解决的问题。也就是说，某人提出各种可供选择的方针或步骤，实际上它们就成了必须经受分析方法检验的假设。

以制订生产计划为例，几种能够满足销售额要求的可供选择方案的生产计划数据，可以计算出来，如图 4—2 所示。图中标示的三种可供选择计划的每一种，都包含有关于满足销售额要求的最有效方法的假设，如：用正常的或加班加点的生产能力、转包合同和季节性存货等方法。如表 4—1 所示，三种生产计划在增量成本上的不同效果是相当惊人的。计划 1，即水平生产计划，没有额外的劳动调整费用，也没有加班加点费用或转包费用。然而，为了满足夏季销售高峰的需要而储备季节性存货的成本却很高。计划 2，在生产水平上有些波动，但波动幅度不至于大到工厂采取加班加点都元济干事的程度，其结果是：与计划 1 相比较，季节性存货成本要小一些，而且总的增量成本每年要少 20000 美元。计划 3，试图尽可能地随销售额曲线而变动，这会导致大量地增加和解雇劳动力。而且，由于工厂生产能力所限，即使使用加班加点的方式，也还必须借助于转包方式来满足销售高峰时的要求。虽然如此，储备存货成本上的大幅度降低，依然使计划 3 成为三种计划中最经济的一个。很显然，可能会有其他的计划方案，其总的增量成本是可以计算出来的。比如，就所考虑的成本项目而言，我们可以运用一种计算机求解模型，制订出一种生产计划，其成本接近于可能的最低成本或最优成本。

五、权衡诸因素并作出决定

全面衡量各种行动路线并确定采取哪一种，是以权衡数量分析和该环境中的非数量因素为基础的。从表面上来看，模型似乎使分析进程成为没有必要的步骤。毕竟，效率的衡量是指各种可供选择方案效果的衡量。但是，它是否能完全地达到此目的呢？通常情况下，效果的衡量并不能反映实际情况的各个方面。必然还会有一些非数量因素需要加以考虑。

表—1 三种生产计划增量成本的比较

	计划 1	计划 2	计划 3
存货需求量（产品件数）	8000	6885	3691
销售高峰时需要的生产能力（计划 1=100）	100	120	165
增量成本（美元）			
季节性存货成本	318000 美元	239000 美元	47300 美元
调整劳力成本	0	48000	104000
加班加点费	0	11000	44000
转包成本	0	0	57750
	318000 美元	298000 美元	253250 美元

注：（1）储备存货成本按每件产品每年 60 美元计。

（2）对于生产率，如果每天产量有 20 件产品的变化，则需要增加或解雇 40 人，雇佣并训练一个雇员的成本是 200 美元。

（3）以额外劳动生产的产品，每件产品成本需增加 10 美元。

（4）因转包生产的产品，每件需增加额外成本 15 美元。

例如，在制订生产计划的问题中，在现代经济中必须予以着重考虑的一个因素是，所能承受的增加或减少的劳动力的数量。一个企业担负有一定的社会责任，而且承受着来自劳工、公众、社会舆论的压力。因此决策者必须权衡计划 3 的有利和不利因素。计划 3 具有比计划 1 每年节约 65000 美元的可利因素，但它同时也有因调整劳动力而带来的不利因素。再与生产水平波动比较平缓的计划 2 相比较，计划 3 有每年比计划 2 节约 45000 美元费用的优势，除此之外，它还有为满足销售额高峰要求，必须把相当大量的产品转包出去的不利因素。试想：如果由转包厂来生产，其产品质量是否能得以保障？为了确保就近控制产品质量，元论是采用计划 1 还是计划 2，其中的成本优势，是否仍具吸引力呢？

在整个分析过程中，可供选择方案的提出和评价是极为重要的，因为它给决策者以一定的灵活性。通常有这样的情况，当用 E 来衡量效果时，各种可供选择方案的差别并不大，但其中一种能以令人满意的方式处理某个非数量化的因素。数量分析中的最大陷阱就是“最优方案”这种海妖（萨若）的歌唱声。人们常常迷恋于数学上可以证明的最优方案，但是，我们必须记住，这种方案常常存在着在效果衡量方面的极大局限性。如果对于一个给定的环境，E 果真包括了一切因素，那么分析判断就没有必要进行了。但是，这种情况是极为少见的。在我们所接触的真正的大型系统中，用最优化的观点去思考问题常是不符合实际的，因为这种系统非常复杂，在此情形下，我们必须以改善现有条件为着眼点而不是以使整个系统最优化为着眼点来思考问题。

假如不考虑问题的性质或所采用的分析模型的种类，那么分析方法的整个结构体系，就大体上与图 4—3 所表示的步骤一致。在解决实际问题时，它们并不一定是彼此相互独立的。

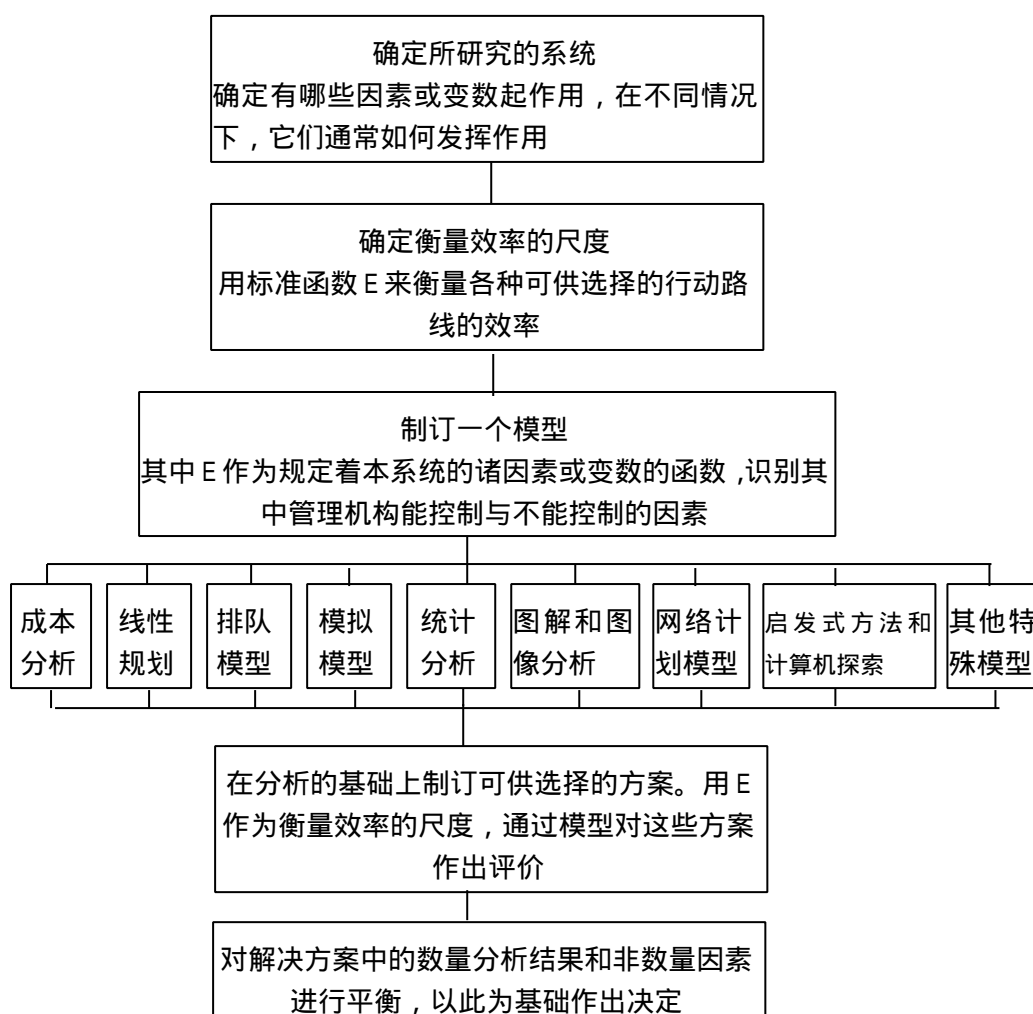
在本书的第三篇和第四篇中，研究一些出现在生产和业务管理领域中的主要问题。我们将着眼于在那里广为论述的各种分析技术的实际应用。无论是对问题进行分析还是对其进行综合，即对整个系统进行的设计，这些实际应用都是适用的。

第二节 分析方法的种类

对于在生产和业务系统中出现的一种或几种典型问题，已证明对其具有适用性的模型如图 4—3 所示。此图还列举了前面已讨论过的分析方法的整个体系。这些模型并不是一些一经应用就可获得答案的标准模型，而是一些能适用于各种具体情况的通用模型。在这一节中，我们将讨论各种模型的一般特性和用途。

一、成本分析

成本分析可能依然是一种最通用的分析方法。它是以成本因素特性的有关知识为基础的，具有多种形式。成本分析并不只是一些来源于会计数据的成本信息的简单汇集，因为许多会计数据只有在会计系



统中才有意义。我们关心的是所考虑的可供选择方案中各相关成本的实际情况。

盈亏平衡分析法在分析问题利用了这样一个事实，当经营规模发生变化时，某些成本行为也有所不同。盈亏平衡分析法有助于我们确定恰当的经营规模、分析问题以及评价某一生产过程的效果等。

增量成本分析法是最有价值的简单分析方法之一，它只研究这样一些成

本，即受各种可供选择的方针或行动影响的成本。增量成本分析法的一个实例如本章前面讨论的关于可供选择的生计划问题。请回想一下，我们并未试图通过计算各可供选择方案中总的运行成本这一方式来评价各种可供选择的成本。那样既浪费时间又繁杂无效。相反，我们仅研究那些受可供选择计划影响的成本因素，这些成本是：存货成本，调整劳动力成本，加班费用，额外的转仓合同成本。在业务系统分析的各领域，增量成本的概念实际上都是有用的，而且常见之于诸如线性规划、排队分析等正规的数学分析模型中。盈亏平衡分析和增量成本分析这两种分析方法，将在第五章中作更为详尽的论述。

如果对提供的可供选择方案中的资本资产有所考虑时，就出现了另外一种成本问题。在这种情况下，需要特别注意的是：成本发生作用的性质和特点多少有些不同。应该在什么时候更新资本资产也是一个相关的问题，因为几乎所有的生产系统都极大地依赖于资本设备的利用，这个重要题目将在第六章中讨论。

二、线性规划

线性规划是一套数学方法的代表，这套方法是由数学和经济学得来的。这种相对来说还比较新而且非常重要的通用模型的应用领域是，研究在一个组织中如何配置稀缺资源。

下面举一个关于产品分配问题的例子。假设，一种产品分别由座落在东部、西部、南部及中西部的 4 个工厂生产，市场是面向全国的，而且产品是由分散在全国的 10 个分配点通过船运发往地方市场的。现在的问题是：请观察一下从生产工厂到分配货栈的网状联系路线，哪一种分配系统是最经济合算的呢？进一步说就是，为了最大限度地降低运输成本，货物应当由哪个工厂发往哪个货栈，而且发运多少产品呢？问题的答案并不是那么显而易见的。因为问题涉及的不仅仅是寻找运输成本最低的发货路线。其原因在于，每个工厂生产的产品数量是有限的，而每个货栈的需求量是由市场决定的。这样，所要解决的问题当然是要寻找发货路线与发货批量的最经济组合，而且可能的组合方案的数量是极为庞大的。

让我们再举一个例子来进一步阐述问题的实质。这个例子类似刚才所讨论过的分配问题，但相对来讲稍微简单些。假定我们有 3 个工厂，分别座落在亚特兰大、芝加哥和底特律，同时在布法罗、辛辛那提、得梅因、密尔沃基和纽约市有 5 个分配货栈。各生产工厂和货栈之间的地理关系如图 4—4 所示。让我们假定：每个工厂的生产能力如表 4—2 最右列所示，各分配货栈的地区需要如表 4—2 的最底行所示。表中每个方格中的数字，表示以美元计量的各工厂和各分配货栈组合时所形成的发运成本。发运成本必须与所发运的产品数量成正比，或者用数学语言来表达，就是二者的关系可用线性方程来表示。表 4—2 被称为配置矩阵表。

总计的发运成本：

底特律——布法罗 $70 \times 42 = 2940$ 美元；

亚特兰大——辛辛那提 $90 \times 42 = 3780$ 美元；

亚特兰大——得梅因 $20 \times 49 = 930$ 美元；

芝加哥——得梅因 $100 \times 45 = 4500$ 美元；

芝加哥——密尔沃基 $50 \times 37 = 1850$ 美元；

亚特兰大—纽约市 $90 \times 55 = 4950$ 美元；
底特律——纽约市 $110 \times 51 = 5610$ 美元；
总计 24610 美元。

如表 4—3 所示，其中用圆圈标注的数字，表示发运的产品的数量，这是一种最佳的可能发货方式，这个解决方案是根据线性规划的分配方法得出来的。请注意，这种解决方案有诸多奇妙之处。首先，对于所有的供应和需求条件，我们只通过 7 次发货就全部满足了，这个数目比起点（工厂）加终点（货栈）的总数还要小。我们常常可以找到一个发运次数不多于这个数目的解决方案，有时可以获得发运次数更少的方案，这一点是永远也没有问题的。其次，请观察表 4—3，从中可见，最佳的解决方案并不必然只包含有成本最低的发运路线。例如。几乎一半以上发运到纽约市的产品是经由整个矩阵表中成本最高的发运路线。然而，要使总计的发运成本降低到 2.4461 万美元这个最小数字以下，再没有哪一种运输路线和成本的组合方案能达到这一要求。

当然，这个例子是一个非常简单的问题，即使不用线性规划方法，我们也可以提出一个颇为不错的解决方案。仅靠常识并利用其他的发运路线来平衡供求上的限制条件，我们也可以设计出成本尽可能低的发运方案。然而，就实际规模的问题而言，要做到这一点就不是那么容易。如果矩阵的规模扩大到 5×10 ，问题就会变得复杂难解。如果没有线性规划的方法，我们就根本不知道所提出的方案是否最优，甚至都不知道它是否很好。通过线性规划我们就可以直接求得最优方案，而且还可以证明它是可能方案中的最优者。因为有成千上万种可能的解决方案，因此，线性规划的确发挥了极有价值的作用。

尽管刚刚讨论过的配置方法可以解决一些分配问题，但是还有一些分配问题却要求用更通用的单纯形模型来解决。决定生产中最优产品结构问题，通常是用线性规划中的单纯形方法来解决的。而且我们将会列举这样一个实例来说明问题。假定：一个电气设备制造商生产两种试验设备的模型，而且意欲决定下一个月每种模型应生产多少台，假设，市场没有任何限制，也就是说，制造商能够卖出其能力范围内所生产出的各种模型的每一件产品。因此，他们就希望能够制订一个产品品种结构计划，以便从这两种产品中获得最大的总利润。两种模型的利润分配如下：第一种每台 50 美元，第二种每台 45 美元。

使用同样的设备来生产这两种产品，设备包括三个部分：主体结构、电气线路和总装。假定：所有部门的生产能力都用于生产第一种模型的产品，那么各部门生产能力有如下的限度：

第一种模型产品每月的生产能力（台数）：

主体结构 400 台；

电气线路 500 台；

总 装 600 台。

另一方面，如果各部门所有生产能力全部用于生产第二种模型的产品，则各部门生产能力有如下的限度：

第二种模型产品每月的生产能力（台数）：

主体结构 533 台；

电气线路 400 台；

总 装 800 台。

我们可以用图 4—5 来形象地表示这些生产能力的限度。图中两个坐标轴分别表示两种不同模型产品的产量。首先让我们来看一看，主体结构部门在生产这两种模型产品时生产能力的限度。如果全部生产能力都用于生产第一种模型产品，可以生产 400 台（图 4—5 中的 a 点），如果全部生产能力用于生产第二种模型产品，可生产 533 台（图 4—5 中的 b 点）。连结图中 a 点和 b 点，所得直线表示：在两种模型任意组合情况下主体结构部门的生产能力。在直线以上或直线以下的任何一点所代表的两种模型的组合，在实际上都是可行的；而在直线上的任意一点所代表的组合，就超出了全体结构部门的生产能力。在直线下方的点所代表的组合，在实际上是可行的，但没有充分利用现有生产能力。

同样地，图中 c 点和 d 点分别表示电气配线部门生产两种不同模型产品的生产能力限度，连结 c 点和 d 点的直线，则表示在两种不同模型产品的任意组合情况下电气配线部门的生产能力。最后，按同样方法则连接的 ef 直线，代表总装部门的生产能力。我们注意到，代表总装部门生产能力的线，完全处在图中的阴影部分上，因而对两种模型产品的生产没有什么限制。可是，就能够完成的具体的生产计划而言，主体结构和电气配线部门则对其施加了限制。图中 g 点代表了某一生产计划中的最大利润点。g 点代表的生产计划就是：生产第一种模型 250 台，生产第二种模型 200 台，或者是它能提供的利润是 $50 \times 250 + 45 \times 200 = 21500$ 美元。对于两种产品的最优构成问题，再没有一种生产计划能够比按上述方式在两种模型产品中分配生产能力这样一种生产计划所取得的盈利更大。对于那些极其复杂难于看清其答案的问题，线性规划的单纯形方法，能够制订出一般类型的关于品种最优构成的生产计划。

我们稍微思考并设想一下，便可以发现，有许多实际问题是这种一般分配问题的特殊情况。对于其中的一些问题，我们可以按照前面讨论过的分配问题的一般形式，借助分配方法来解决，对于另一些问题，则需要用单纯形数学方法来解决，还有一些则需要用其他种类的数学规划法来解决。

下面讨论一下适于用线性规划法来解决的一些典型问题：

1. 从一系列的起点到许多终点的产品分配采用一种方法，使每个终点的需求者得以满足，起点的供应是合适可行的，并使总的运输成本最低。

2. 与上一问题类似的是从工厂到货栈的分配，但要最大限度地降低生产和分配的总成本。如果产品在不同的销售地区有不同的收益，我们就可以使收益减去生产一分配成本的余数函数值为最大。

3. 在多个工厂位置的研究中，一批分散的工厂生产相同的产品这里，我们要对将要建立的新厂的各种可供选择的不同建厂地点作出评价。由于生产一分配成本不同，每一个不同的新厂地点，都会产生一个把产品与各工厂发运到各分配点的不同分配矩阵。最佳的新厂地点就是这样一个位置，它能使整个系统总计的生产一分配成本为最低。当然，这个位置没有必要要是生产成本似乎是最低的地方。

4. 各厂区位的组合动态这一问题与上一个问题多少有些类似，但它解决的是这样一个问题，即：为了满足给定的总体需求，哪些工厂应当在什么水平上进行生产。因为对各地点的工厂来说，其额外的生产能力可通过加班加点来获得。因为可以通过关闭某一工厂一来节约一定数量的经常费用，因而

就会出现这样的情况：尽管需要付出加班加点费，但可以通过关闭某一工厂，并靠其他工厂满足总需求的办法，来最大限度地降低成本。被关闭的工厂并不一定是生产成本最高的工厂，关闭与否取决于它在生产和分配成本方面的重要性。

5. 按照最大限度地降低运输成本的需求把空货车从其所在地再分配到所需要的地方去。

6. 为达到利润最大，同时尽可能满足市场要求的目的是对供多种产品使用的有限原材料进行分配。

7. 在可获得各种可供选择的加工路线的情况下分配生产设施。如果给定以下数据：可供选择的加工路线的单位产品的机器加工时间；按不同机器组别待补的总时数；每种产品的需求量；各种产品的单位收益。线性规划这样一种解决方案能使某些利润函数值最大，或者能使其他的经营管理目标得以实现。

8. 配料问题。例如，一家漆料制造商要生产一种油漆，这种油漆由几种成分混合而成。如油剂和稀料这些成分是按固定比例配好的商业配料，且在一定范围内是可以获得的。如果各种可能用的原料，其每加仑价钱是已知的，要研究的问题是：为获得成本最低的新的配合料，以决定每种原料的用量。另一类似的问题是：牲畜饲料配料问题，即如何配料才能以最低的成本获得最高的营养价值。

9. 最大限度地利用原料。很多时候，各种不同尺寸的原料必须按照标准尺寸进行冲压或切割。要解决的问题是：如何剪切原料，才能既满足各种规格尺寸要求量，同时使边角余料的损失最小。

10. 在需求有季节性变化的情况下制订生产计划。在这个问题上，我们的目的是把有效的生产能力分配到各个时期，以便按如下尺度生产所需产品：既要满足对全部产品的需要，同时要最大限度地降低存货和生产合计的种量成本。种量的生产成本可能包括加班加点费、增雇劳力费用和额外的转包费用。

11. 品种构成问题。这里是一个极为有意义的一般类型的问题，如果我们的生产设备可生产各种不同产品，这些产品有不同的成本、收益及市场需求，我们想知道的是：在市场需求范围内，如何最有效地将现有生产能力配置到不同的产品中。

12. 长期规划。一般的生产能力规划问题，是规划自有的、租赁的或以短期合同获得的生产能力。线性规划框架中的一个模型；可能有助于回答诸如下面的一系列问题：

- (1) 某一给定的预测性需求，对各种生产能力的规划所产生的影响；
- (2) 自有生产能力成本变化的影响；
- (3) 租赁生产能力成本变化的影响；
- (4) 各种决策和成本误差预见的灵敏度。

三、等待线或排队模型

许多生产问题以某种方式与排队的形式有关，在这些类型的问题中，存在着在随机时间内需要某种服务的人、零部件或机器，它们所要求的服务时间长短不一。在一定的到达率和服务率的条件下，就出现了排队等候问题。排队理论提供了这样一种方法，它可以预测所形成的排队的大概长度和所延

误的大概时间以及其他重要数据。掌握了上述资料，就使我们对下列问题的决策有可能更加明智。

1. 工具管理人员的职责就是要为机械工人和其他工人领取特定的工具。那么，管理一个工具库究竟要多少管理人员呢？如果工具管理人员少，他们就很忙，薪水很高的机械工人的等待线就会形成；如果管理人员多，那么，他们就会有很大部分闲暇时间，而平均的排队等候时间就会很短。这样，衡量效果的尺度，就体现工具管理人员等候时间和机械工人排队时间的合计成本。解决的方案就是要求得使管理人员和机械工人排队等候的总计时间成本为最低的管理人员数目。排队理论可为这一解决方案求出所需的极限数据来。

2. 流水作业中两个作业点之间的传送带应该多长？如果我们假定被加工对象不是硬性固定的在传送带上，那么，两作业点间可能有的在制品的最大存量就决定了传送带的长度，第一个作业点决定部件到达率，第二个作业点决定部件在该作业点被加工和传送的速率。排队理论能够决定两作业点间可能有的在制品的最大积存量，反过来又能决定所需要的传送带的长度，以容纳预期的堆存在此处的在制品的数量。

3. 一个人应该看管多少台自动化机器？在这个问题中，机器随时都需要诸如安装、加料及调整等方面的服务，自动织布机就有相同的情况。那么，人力的最优分配方案就取决于两种时间的平衡，即无人照管而损失的生产时间和操作者不需要看管机器的闲暇时间。

让我们举一个工具库管理的例子，在此例中，机械工人不时地去工具库领取特定的工具。工具管理人员按照标有机械工人姓名或号数的“工具卡”为他们领取相应的工具。假定，机械工人以平均每小时 12 次或每 5 分钟一次的速率，到工具库领取工具，工具管理人员对机械工人服务的时间是 3 分钟，且首先假定，工具管理人员对所有机械工人服务时间是不变的。表 4—4 表示了为 15 个机械工人服务的情况记录。在本例中，各次到达时间的平均间隔少于 5 分钟。从表中我们可以看出，工具管理人员的闲暇时间是 32 分钟，而各机械工人等候时间的总和是 39 分钟。

表 4-4 机械工人领工具的时间随机不定，工具管理员
每次服务时间为 3 分钟固定不变

机械工人 到达时间	工具管理员 开始服务时 间	服务完毕时 间	工具管理员 闲着的时间	机械工人等 候的时间	排队长度 (接受服务 中的机械工 人除外)
10 : 00	10 : 00	10 : 03	0	0	0
10 : 09	10 : 09	10 : 12	6	0	0
10 : 13	10 : 13	10 : 16	1	0	0
10 : 19	10 : 19	10 : 22	3	0	0
10 : 34	10 : 34	10 : 37	12	0	0
10 : 36	10 : 37	10 : 40	0	1	1
10 : 37	10 : 40	10 : 43	0	3	1
10 : 38	10 : 43	10 : 46	0	5	2
10 : 39	10 : 46	10 : 49	0	7	3
10 : 42	10 : 49	10 : 52	0	7	3
11 : 02	11 : 02	11 : 05	10	0	0
11 : 03	11 : 05	11 : 08	0	2	1
11 : 05	11 : 08	11 : 11	0	3	1
11 : 05	11 : 11	11 : 14	0	6	2
11 : 09	11 : 14	11 : 17	0	5	2

注：(1) 管理人员闲暇时间=32 分钟

(2) 机械工人等候时间=39 分钟

让我们再看一看，如果工具管理人员服务时间从 3 分钟增加到 4 分钟，情况又会是怎样的？假定机械工人来领取工具时间状况同上面一样，那么所得情况如表 4—5 所示，其结果是可以预料的。

现在，管理人员的闲暇时间减少了，证明他更忙了。但是，机械工人排队等候时间几乎为原来的两倍。由此，我们马上可以看出，由于服务时间增加这种变化，等候时间和等待线长度都急剧地增加了。从理论上讲，当机械工人的平均到达率等于其得到服务的速度时，等待线长度就会无限地增加。

现在，来让我们看看这样一种情况：机械工人领取工具的时间如上表，但工具管理人员的服务时间却是随机不定的。这样的例子，更为接近实际情况。因为一个机械工人所需要工具的数量、大小、重量及工具放置地点不同，则他们需服务的时间也不同。表—6 就是这种情况的一个记录。机械工人领取工具的时间随机不定，服务的时间也随机变化，在给定例子中，平均服务时间是 3.07 分钟。在这样的特例中，工具管理人员的闲暇时间和机械工人的等候时间，将取决于机械工人的到达时间与长短不一的服务时间匹配的效果。如果几个机械工人几乎同时到达，且所需服务的时间比较长，那么他们排队等候的时间，相对来讲就很长，工具管理人员就依旧忙个不停。如果需要长时间的服务是按特定方式分散开来，那么它们对机械工人等候时间的影响就会小些。排队理论，可以预测等候的大概时间和排队的大概长度，因而管理人员就可以决定使增量成本最小的人员和设备的最优分配方案。要达到

这一目的，我们必须知道机械工人到达时间和得到服务的时间分布的真实情况。

表 4-5 机械工人领工具的时间随机不定，工具管理员
每次服务时间为 3 分钟固定不变

机械工人 到达时间	工具管理员 开始服务时 间	服务完毕时 间	工具管理员 闲着的时间	机械工人等 候的时间	排队长度 (接受服务 中的机械工 人除外)
10 : 00	10 : 00	10 : 04	0	0	0
10 : 09	10 : 09	10 : 13	5	0	0
10 : 13	10 : 13	10 : 17	0	0	0
10 : 19	10 : 19	10 : 23	2	0	0
10 : 34	10 : 34	10 : 38	11	0	0
10 : 36	10 : 38	10 : 42	0	2	1
10 : 37	10 : 42	10 : 46	0	5	2
10 : 38	10 : 46	10 : 50	0	8	2
10 : 39	10 : 50	10 : 54	0	11	3
10 : 42	10 : 54	10 : 58	0	12	3
11 : 02	11 : 02	11 : 06	4	0	0
11 : 03	11 : 06	11 : 10	0	3	1
11 : 05	11 : 10	11 : 14	0	5	2
11 : 05	11 : 14	11 : 18	0	9	3
11 : 09	11 : 18	11 : 22	0	9	2

注：(1) 工具管理员闲暇时间=22 分钟

(2) 机械工人等候时间=64 分钟

表 4-6 机械工人领取工具的时间和工具管理员的服务都随机不定

机械工人 到达时间	工具管理员 开始服务时 间	服务完毕时 间	工具管理员 闲着的时间	机械工人等 候的时间	排队长度 (接受服务 中的机械工 人除外)
10 : 00	10 : 00	10 : 01	0	0	0
10 : 09	10 : 09	10 : 14	8	0	0
10 : 13	10 : 14	10 : 15	0	1	1
10 : 19	10 : 19	10 : 22	4	0	0
10 : 34	10 : 34	10 : 40	12	0	0
10 : 36	10 : 40	10 : 44	0	4	1
10 : 37	10 : 44	10 : 51	0	7	2
10 : 38	10 : 51	10 : 53	0	13	3
10 : 39	10 : 53	10 : 57	0	14	4
10 : 42	10 : 57	11 : 02	0	15	4
11 : 02	11 : 02	11 : 03	0	0	0
11 : 03	11 : 03	11 : 04	0	0	0
11 : 05	11 : 05	11 : 07	1	0	0
11 : 05	11 : 07	11 : 08	0	2	1
11 : 09	11 : 09	11 : 12	1	0	0

注：(1) 工具管理员闲暇时间=26 分钟

(2) 机械工人等候时间=56 分钟

根据表 4—6，让我们来作某些典型的计算。不过要明白，这个例子对于决策目的而言是大小了。

如果工具管理员的工资是每小时 2 美元，那么，他闲暇时间的成本是：
 $26 / 60 \times 2.00 \text{ 美元} = 0.87 \text{ 美元}$ 。

按 72 分钟的样例计算，每天此项成本是：

$450 / 72 \times 0.87 \text{ 美元} = 5.80 \text{ 美元}$ 。

如果机械工人的平均工资是每小时 3.5 美元，他们闲暇时间成本是：

$56 / 60 \times 3.50 \text{ 美元} = 3.27 \text{ 美元}$ 。

按样例情况计算，每天此项成本是：

$480 / 72 \times 3.27 \text{ 美元} = 21.80 \text{ 美元}$ 。

工具管理员空闲时间和机械工人等候时间每天的合计成本是：

$5.80 + 21.80 = 27.60 \text{ 美元}$ 。

现在的问题是，再增加第二位工具管理员是否经济合算？如果再增加一位工具管理员，那么机械工人等候时间将会减少，而管理员总的空闲时间和机械工人排队等候时间合计成本的净效果是负的，说明增加第二位工具管理员是合理的。

用于解决排队问题的分析方法：在表 4—4、4—5、4—6 中，我们模拟了简单的排队问题。当到达时间和服务时间的分析符合某种标准数学分布时，我们所关心的各项数据，如排队的平均长度、平均等候时间、该系统中的平

均在制品数量，就可以借助于已建立的方程式直接求得。重要的限制条件在于分布状况。如果到达时间和服务时间的实际分布能够相当好地符合标准的数学分布，要确定一个解决方案所需要做的工作量就没有多少。另一方面，如果到达时间和服务时间的分布对于标准的数学分布的符合情况不怎么好，那么要求得一个解决方案，就需要做大量的工作。在这种情况下，不管实际的分布情况如何，我们都可以用模拟模型求得解决方案。在本章中的稍后部分，我们将讨论这些方法。

泊松到达率：被称之为“泊松分布”的数学函数，通常是用来描述到达率的。图 4—6 表示了一个到达率为平均每小时 12 次的泊松分布。我们一直引用的各模拟例子，就具有以这种分布为基础的到达率。如果平均到达率是每小时 12 次，而服务率是固定不变的每小时 20 次（每个机械工人需服务的时间是 3 分钟），即如表 4—4 中我们的第一个模拟例子，那么数学答案就可以直接求出来。

平均排队长度 = 0.4 45 人的等待线（接受服务的工人除外）。

平均等候时间 = 0.0375 小时 / 人或 2.25 分钟 / 人。

根据我们例子中的有限取样，得出的平均排队长度为 0.5 人，平均等候时间为每人 39 / 15 分钟 = 2.6 分钟。如果在我们的模拟例子中，取样更大些，从而所得结果就会与按排队论公式得出的答案更接近些。

我们在前面已谈及过，当平均到达率与服务率相等时，从理论上讲，排队长度、需等候的时间就会变得无限长。我们认为，在实际情况中，因为会有许多因素阻止排队长度，因此上述结果仅从理论上讲是正确的。如果等待线中参加排队的单位是人，新到达的人就会因排队过长而没有勇气再排下去，从而离开等待线。而且，只要涉及的是人，工作时间就限制了排队长度，因为当一个工作日结束时，排队的长度就减为零了。最后，进行服务的人也会趋于通过加快服务速度来作用于所形成的等待线。但是，如果要求服务的对象是零部件或机器，那么这样的补偿作用就不会有什么影响。

泊松到达率和服务率所使用的是最为普通的分析模型，假定到达率和服务率都近似于泊松分布，这样的分布似乎很接近于如维修问题这种实际情况。凡是应用了这种假定的问题，有关的公式就适用。图 4—6 所表示的数据，就是到达率为每小时 12 次和服务率每小时 20 次的泊松分布、排队长度等，在分析方法求解基础上将有如下数据：

平均排队长度 = 0.9 人；

平均排队人数（包括接受服务的人）= 1.5 人；

每次到达的平均等候时间 = 0.075 小时 = 4.5 分钟；

在该系统中平均每次到达花费时间 = 0.125 小时 = 7.5 分钟。

根据小样本中计算出的数据，与这些数字比较接近。如果样本取得更大些，所得出的数据就会更加接近。

四、模拟模型

模拟生产管理问题是一项正在迅速发展的技术。尽管进行模拟时所依据的基本观点可以独立存在，但是，由于所要解决的实际问题要求的数学工作量太大了，以致于无法通过人工来计算，所以，模拟技术的迅速发展是由高速电子计算机的应用所推动的。这种解决问题的方法是：首先建立一项模拟实验，然后纯粹在纸（或计算机）上进行这一实验，以观察我们所关心的各

项变数对已选定的效果的衡量尺度 E 的影响。模拟模型所遵循的概念结构与我们在“分析方法结构体系”中所论述过的模型类似，只不过模型可能是实验性质的。而且模拟模型不像某些数学模型那样可以求出最优解。可以通过模拟模型来比较各种可供选择方案，但是分析者必须自己设立各种可供选择的方法。这是一种系统的用以解决复杂问题的尝试方法。

模拟模型的用途何在？可能在下面这些例子中是很有用的。

(1) 在排队问题中，到达率和加工率的实际分布不能近似地用标准分布来表示。

(2) 复杂的排队问题，例如一个作业点上有几条渠道，或者是作业点呈纵向排列，像是一条生产线上的情况。若大规模应用模拟技术时，它可用来模拟整个生产作业过程，这正是模拟技术的远大前程之所在。

请为决策者设想一下这样一种工具的效力吧！特别是当他在工作进度安排、设备、布局、方法、存货政策和工作量变化等方面，经常面对一大堆可供选择方案之时。决策者的基本目标是很明确的，他希望能作出使收益最大或使成本最低的决策。只要他能迅速而巨清楚地看到他面对的各种不同可供选择方案的结果，而不必等到付诸实施后再看其效果如何，他就能达到这一目标。对于一个决策者来说，理想的情况是，他不必首先去冒险或提用公司资金而可以试行一种想法。如果有了一个模拟模型和一台计算机，他就可以对几十种可供选择方案进行试验。而且，他还可以获取有关复杂系统中各变量之间相互依存和相互制约的大量情况。比如，他可以观察存货政策的某种变化对工厂生产能力和劳动成本的影响。通过这种方法，他就知道，应该统筹兼顾地而不是孤立分散地进行决策，从而可以避免出现次优化错误的昂贵代价。在高速电子计算机的帮助下，模拟方法终于为管理人员提供了一座可以利用的实验室。

模拟抽样：抽样方法，即通常所称的蒙特卡罗方法，是一种极有价值的模拟方法。在上一节针对标准分布而提出的排队理论中，我们讲到了那些不符合标准分布的各种分布情况，以及那些复杂的排队情况，它们在数学计算上是极为复杂的。所要求的数据，可通过模拟问题的实际情况而求解出来。

让我们假定，在有两个作业点的装配线上组装一种产品，每个作业点上都有一位操作人员。A 点是第一个作业点，A 点的作业人员大致完成组装工作的前半部分，然后把未完成的组装品放在传送带上送到作业点 B。组装品从作业点 A 被传送到 B，直到 B 作业点的操作人员可以开始工作，全部时间固定保持 0.10 分钟。然后，操作人员日完成全部组装工作。在 A 作业点，平均每件产品的组装时间为 0.52 分钟，在 B 点为 0.48 分钟。其简单布置状况如图 4—7 所示。

在此我们希望确定可以预期的组装品的平均存货量，（即组装止品排队线的平均长度）和该装配线的平均产量。通过下面的模拟油样法来做到这一点。

1. 作业点 A 和作业点 B 组装时间的分布情况必须力已知或可以求得，例如如图 4—8 和图 4—9 分别标示了各自的分布情况。对两个作业点的分布情况进行研究，结果分别求得其频率分布。在图 4—8 中，0.25 分钟这个时值出现了 3 次，0.30 分钟这个时值出现了两次等等。这两个作业点的频率分布并不必然符合标准的数学分布，但是这并不重要。

2. 图 4—10 和图 4—11 分别将作业点 A 和作业点 B 的频率分布转换成累

计的概率分布，其作法是：对于每一操作时值而言，将小于或等于它的频率加起来，然后在图上标注，将累计频率的最大值定为 100，并在坐标上定出百分度，这样累计的频率就转换为百分比图。例如，让我们看一下图 4—8 以及将其转换成图 4—10 的累计分布图。让我们从 0.25 分钟这个最小的操作时值开始，这个时值出现频率为 3，因而在与横坐标 0.25 分钟这个时值所对应的纵坐标累计频率为 3，根据横、纵坐标在图中定出此点。对于 0.30 分钟这个时值，出现频数为 2，但小于或等于 0.30 分钟这个时值的测定频率共有 5 次，因而与横坐标 0.30 这个时值所对应的纵坐标值为 5。对于 0.35 分钟这个时值，测定频率为 10 次，但小于或等于 0.35 分钟这个时值的测定频率共有 15 次。依此类推，图 4—10 就是根据图 4—8 按照这种方式转换，最终描绘所得。当全部的概率累计分布完成后，在图 4—10 右边的纵坐标上，将最大累计值 167 定为 100，然后在纵坐标上均分为 100 等份，结果就形成了累计的概率分布图。从图 4—10 中，我们就可以得知小于或等于 0.85 分钟这个时值的概率为 100%，小于等于 0.50 分钟这个时值的概率为 55.1%，等等。

3. 为了决定在装配线上模拟操作中所用的特定操作时间，需要从累计分布中随机地抽取样品。我们的做法是，随机地从 0 到 100 中选取数字（代表概率或百分比）。可以通过任意一种方法来选择这些随机数字，例如从盒子中随机地抽取标了数字的纸片。

随机数字是用来在累计分布图中确定时值的。如图 4—10 所表示的例子中，取定了随机数字 10，画一条水平线，直到它与分布曲线相交，再从该处画一条垂直线直到水平轴，这样就可求得相应于分布曲线中该交点的中点时值，对于随机数字 10 来说，此时值正好是 0.40 分钟。现在我们就明白了把原来的分布图转换为累计分布图的真正目的。这样，与给定的随机数字相对应的只有一个时值。而在原来的分布图中，因为曲线的形状是钟形的，其结果是一个给定的随机数字便有两个相对应的时值。

按照这种方式，从累计分布图中随机地抽取样品，就能以随机顺序得出在原来分布图出现的时值，就像产品被实际组装一样。表 4—7 给出了按照此种方法，从两个作业点中抽样所得的 20 个时值。

4. 对组装线的实际操作所进行的模拟。如表 4—8 所示，当然，这与我们前面使用过的排队问题的例子非常相似。表 4—7 中作业点 A 的时值，首先是用来决定待组装的半成品什么时候到达作业点 B。第一件组装品被作业点 A 的操作人员在 0.40 分钟内加工完毕，然后用 0.10 分钟被传送到 B 点，我们把这一点的时值定为 0.50 分钟。0.50 分钟以后，第二件组装品到达，依此类推。对第一件组装品而言，作业点 B 在 0 时值开始对其加工。从模拟抽样来看，第一件组装品在作业点 B 需被加工 0.60 分钟，在这一时值，对作业点 B 的操作人员来讲，他既没有空闲时间也没有积存的半组装品。第二件组装品在 0.50 这个时值到达作业点 B，但是作业点 B 的操作人员仍在加工第一件组装品，因而第二件组装品必须等候 0.10 分钟，在 0.60 时值，作业点 B 对第二件组装品进行加工。从表 4—7 中可以看到，第二件组装品在作业点 B 所需的加工操作时间是 0.50 分钟。按照这种方法，我们继续进行作业线模拟操作。

表 4-7 作业点 A 和 B 模拟抽样的确种操作时值

作业点 A		作业点 B	
随机数字	从图 4-10 中得出的 操作时值	随机数字	从图 4-11 中得出的 操作时值
10	0.40	79	0.60
22	0.40	69	0.50
24	0.45	33	0.40
42	0.50	52	0.45
37	0.45	13	0.35
77	0.60	16	0.35
99	0.85	19	0.35
96	0.75	4	0.30
89	0.65	14	0.35
85	0.65	6	0.30
28	0.45	30	0.40
63	0.55	25	0.35
9	0.40	38	0.40
10	0.40	0	0.25
7	0.35	92	0.70
51	0.50	82	0.60
2	0.30	20	0.35
1	0.25	40	0.40
52	0.50	44	0.45
7	0.35	25	0.35
总数	9.75		8.20

表 4-8 两作业点装配线的模拟作业（作业点 A 在 B 之前）

组装品到达作业点 B 时间	作业点 B 开始操作时间	作业点 B 完成操作时间	作业点 B 的空闲时间	组装品的排队等候时间	装配线上的组装品数 (在作业点 B 正加工者除外)
0.00	0.00	0.60	0	0	0
0.40	0.60	1.10	0	0.20	1
0.85	1.10	1.50	0	0.25	1
1.35	1.50	1.95	0	0.15	1
1.80	1.95	2.30	0	0.15	1
2.40	2.40	2.75	0.10	0	0
3.25	3.25	3.60	0.50	0	0
4.00	4.00	4.30	0.40	0	0
4.65	4.65	5.00	0.35	0	0
5.30	5.30	5.60	0.30	0	0
5.75	5.75	6.15	0.15	0	0
6.30	6.30	6.65	0.15	0	0
6.70	6.70	7.10	0.05	0	0
7.10	7.10	7.35	0	0	0
7.45	7.45	8.15	0.10	0	0
7.95	8.15	8.75	0	0.20	1
8.25	8.75	9.10	0	0.50	1
8.50	9.10	9.50	0	0.60	2
9.00	9.50	9.95	0	0.50	2
9.35	9.95	10.30	0	0.60	2
总 数		111.7	2.1	3.15	12

说明：作业点 B 的空闲时间 = 2.10 分钟；

组装品的排队等候时间 = 3.15 分钟；

作业点 A 与 B 之间组装品的平均积存量 = $3.15 / 9.15 = 0.34$ 件；

作业点 A 的平均生产率 = $20 \times 60 \times 9.75 = 123$ 件 / 小时；

作业点 B 操作时的平均生产率 = $20 \times 60 / 8.20 = 146$ 件 / 小时；

作业点 A 和 B 合计的平均生产率 = $20 \times 60 / 10.30 = 116.5$ 件 / 小时。

在以上计算中，20 是所完成的组装品的总件数；9.75 是作业点 A 完成 20 件组装品总计操作时间，它是从表 4—7 得来的；8.20 是作业点 B 完成 20 件组装品所需的总计操作时间（扣除空闲时间），它也是从表 4—7 得来的。

在 2.40 这一时值，第六件组装品到达作业点 B，但是作业点 B 的操作人员已在时值 2.30 等着他。因此，作业点 B 因没事干而被迫空闲 0.10 分钟。这样，20 件组装品的完成情况就可以一步步地求出来。

表 4—8 下面的小结中，列出了总计结果。它是以作业点 B 的空闲时间、

半组装品排队等候时间、两作业点之间的平均积存量以及结果到达的生产率等为依据的。从原来分布图的平均时间来看，我们会猜想：因为 A 点是两作业点中较慢的一个，因而它将会限制装配线的产量，然后，实际上装配线的生产率比 A 点所表示的还要低些，可把二者作一比较：装配线生产率为每小时 116.5 件，而 A 点单独操作时的生产率是每小时 123 件。其中的原因是，在作业点 A 和 B 的操作时间相互并不总是衔接得很好，而且，有时作业点 B 不得不等候工作。作业点 B 被迫空闲的时间，加上其总的作业时间，实际上决定了装配线上的最大生产率。

稍加思考，我们会确信，如果可能的话，使 A 点成为两个作业点中较快的一个，这样重新安排装配顺序，结果就会好一些。那么，作业点 B 因把所有的工作都做完了而需要等候的概率就减少了。表 4—9 就显示了这种情况，其办法就是简单地把作业点 A 和 B 的操作顺序颠倒一下，而所使用的抽样时间以及装配线的模拟操作都同前面的相同。伴随着较快作业点首先进行操作加工这种情况，就出现了下列结果，即装配线的生产率提高了，且接近于极限操作的生产率，同时两作业点之间的平均积存量增加了。由于两作业点之间存有较大的平均积存量，在操作顺序上排在后面的作业点几乎永远也不可能因缺乏工作而被迫空闲下来。实际上，这一结论是一个关于装配线平衡问题的一般结论，也就是说，当在操作顺序上每一道后继工序都比它前面的工序稍慢一些，那么就可以达到最佳的劳动平衡。这样就使因各工序作业时间不同而使操作者由于没事干被迫空闲的时间最大限度地减少。在实际生产中，通常要求出两作业点之间组装品的保险储备量，这样可以消除因作业时间变动而产生的影响。

表 4-9 两作业点装配线的模拟作业（作业 B 在作业点 A 之前）

组装品到达作业点 A 时间	作业点 A 开始操作时间	作业点 A 完成操作时间	作业点 A 的空闲时间	组装品的排队等候时间	装配线上的组装品数 (在作业点 A 正加工者除外)
0.00	0.00	0.40	0	0	0
0.50	0.50	0.90	0.10	0	0
0.90	0.90	1.35	0	0	0
1.35	1.35	1.85	0	0	0
1.70	1.85	2.30	0	0.15	1
2.05	2.30	2.90	0	0.25	1
2.40	2.90	3.75	0	0.40	1
2.70	3.75	4.50	0	1.05	2
3.05	4.50	5.15	0	1.45	2
3.35	5.15	5.80	0	1.80	3
3.75	5.80	6.25	0	2.05	3
4.10	6.25	6.80	0	2.30	4
4.50	6.80	7.20	0	2.45	4
4.75	7.20	7.60	0	2.15	5
5.45	7.60	7.95	0	1.90	5
6.05	7.95	8.45	0	2.05	5
6.40	8.45	8.75	0	1.95	5
6.80	8.75	9.00	0	1.75	6
7.25	9.00	9.50	0	1.90	5
7.60	9.50	9.85	0	0.60	6
0 总 数		111.7	2.1	3.15	12

注：作业点 A 的空闲时间 = 0.10 分钟；

组装品的排队等候时间 = 25.75 分钟；

作业点 A 和 B 之间组装品的平均积存量 = $25.75 / 7.60 = 3.4$ 件；

作业点 A 操作时的平均生产率 = $20 \times 60 / 9.75 = 123$ 件 / 小时；

作业点 B 的平均生产率 = $20 \times 60 / 9.85 = 122$ 件 / 小时。

我们可能要建立一个关于装配线的更为复杂的模型。简单的模型假定：加工操作时间与生产过程中的其他因素没有依存关系。而在实际生产中，当看到组装品和积存量堆积起来时，顺序中第二个作业点的操作人员就可能会倾向于加快操作速度。如果我们掌握了关于存量如何影响操作时间的情况，就可以把这种影响效果也考虑进去。

如果我们一直细心地研究这样的模拟例子，我们肯定会觉得：这种模拟方法虽然是有效的，但在解决实际问题时，却是单调乏味的。即使对于有局限性的例子，我们也可能希望模拟结论所依据的范围能更加广泛些，而且还会有其他需要试验的可供选择方案。比如说，对于在两作业点间分配装配任务的问题，或者是能考虑更多作业点的问题，就有几种可供选择的方案。

几种方案中，哪一种才会使劳动成本、存货成本等的增量成本最小呢？要求得一个解决方案需要投入过多的劳动力和时间，且工作比较复杂单调，可以应用电子计算机来解决这个问题。如果准备用电子计算机模拟装配线作业，那么我们就需把两种累计分布的数据输到计算机的存储单中，按照编定的程序，电子计算机会在作业点 A 的累计分布中随机地选取一个时值，以同样的方式在作业点 B 的累计分布中选取一个操作时值，其方式与手工操作极为类似，然后进行必要的计算，并把数据储入储存单元。如此反复进行，不断地随机抽取新的操作时值，进行加减运算，从而获得我们手工计算出的记录结果。进行人范围的模拟运算，并不比小范围模拟作更多的努力，可以用同样的方式，对各种可供选择方案，迅速而且容易地作出评价。

五、统计模型

统计学和概率论的有关知识，为我们能够按照下面的方式精确地处理数据，提供了一套方法体系。即：我们不仅能在所建立的预测模型基础上得出各种结论，而且能够估计这种预测或预见可能发生错误的风险性大小。这样，对两种影响因素，要对油漆的粘滞度和油漆的疵斑度相关性所进行的研究，可能会得到这样的结果，即：两种因素的确相关，且行动一致，但是，如果我们试图以所测定的油漆的粘滞度来预测将会产生的油漆疵斑的数目，那么可能发生的错误就会很大。同样，一张关于某项办公业务中发生差错的统计控制图，或一张关于调整劳动力的统计控制图，可能会表明我们正处于一种不正常的情况中。也就是说，在变化方面或是高于或是低于所能接受的限度，除此之外，我们还知道，如果在估计事情的进程已经失去控制的时候，发生错误的机会只有 0.27%，条件是：概率控制极限按通常方式给定。

在被称为统计推断的这一个普通领域里，现代统计学对于生产分析有极大的贡献。在这一领域里，我们发现了一套对假设进行系统验证的方法，统计学的这个领域具有极大的价值，因为它使我们能够处理这样的问题：某些可能限定系统范围的因素或变量的测定值有很大变化。而且我们还可以作出关于系统问题的结论。这些结论可能是十分精确的。这样，对某些假设进行验证就成为可能，如关于某些办公业务的新方法是使工作效率更高或者是使出差错的机会更少。或者，我们还可以去验证某些更加复杂的假设。比如有好几种造成质量低劣的因素，但是只有一种至关重要。我们就可以验证究竟哪一种因素更为关键。

例如，某种部件的产品质量遇到了麻烦。对此问题，有四台机器生产这种部件。工长坚持认为所用的台机器并不都是可靠的；而工厂管理者则指责机器操作者，其根据是近来根本招不到合格的工人；工人却说原料有时候会出毛病，特别是来自某一供货商的原料常如此。在审查质量报告时，根本就不知道机器、工人、供货商之间，究竟是哪一环节出了毛病。然而，借助于统计推断技术一方差分析法，我们有可能做这样一个简单的试验：按照预先设定的可靠程度，验证这三种因素中的每一种究竟对质量低劣造成多大的影响。

统计分析方法在生产和业务管理中有着广泛而独立的应用。比如像劳动抽样和统计质量控制技术，这二者将在第十二章和第十九章分别作更为详尽的叙述，它们就是以统计模型为基础的，然而作为分析方法的一般工具，统计原理常常有助于我们已经叙述过的其他分析方法的应用。举一个关于生产

系统全流程的模拟模型的例子来说明问题，要决定在此模型中哪些因素或变量起着举足轻重的作用。我们可能会进行一项假设验证，即：经过整个系统全流程所需时间取决于进行加工操作的作业点的数目。再举一个研究现行工资结构的例子，在比较岗位作业难度与所付工资时，我们可能希望决定其回归线。在这两个例子中，统计分析都不是所使用的中心模型。然而，在整个分析工作中，统计分析方法却是不可缺少的。

六、网络计划模型

研究和开展工作及其他大型的一次性工程项已，第二次世界大战以后在我们的经济生活中占有重要的地位，这大大地推进了特殊计划技术的发展。这些技术通常被称为计划评审法（PERT）。它用网络型的活动表示需要完成的工作，而这些活动的分布是考虑到了操作时序和阶段间的相互依存关系的。作业进度的统计数字，可以根据基本的网络模型计算出来，这就使下面的工作成为可能，即：可以决定哪些活动是必须按时完成的（这些是关键性的活动），哪些活动在作业进度上是留有余地的。由此产生了称为关键线路作业进度的概念。而各项活动的网状分布结构及作业进度统计数字，就为项目资源利用计划的制订提供了基础。在第十八章中，关于大型工程项目计划的制订，作业进度安排及对其进行控制等方面，我们将讨论网络计划方法。

七、启发式模型

有这样一件有趣的事情：管理人员在最初运用一种古老的或许是专断的被称为“经验法则”的东西时，遭到了管理学家的指责，然而，目前业务管理研究中强调的一个重点却在其中发现了十分有价值的东西。最近，在分析方法中，启发式的方法、模型和计划备受尊敬。“启发式方法”这一术语，最初是指帮助或引导发现问题，但是，就其通用的管理意义而言，它指的是一系列严格的用于决策的规则或指导原则，虽然这些规则或指导原则没有必要一定是最优的，但决策时，它一直是行之有效的，并且能够避免许多有关求解复杂问题的工作量。下面这个例子是威斯特给出的关于启发式规则的一个简单例子。

当天空不大晴朗时，上班的时候请随身带一把伞。

摆在我们面前的问题是如何使自己免于受到天气可能带来的麻烦。这一简单的启发式方法，就使我们没有必要进行像查询天气预报、打电话向气象局询问天气情况、分析气压表读数等这些复杂的解决问题的过程。对于许多这类的问题，我们没有时间或者是还不想采取彻底求解问题的步骤，那么这样一种简单的规则（不一定是绝对可靠的），就能最有效地为我们所用。

当应用某些其他种类的分析方法时，在许多管理问题中存在着这样的困难，即：管理问题本身太复杂以致于很难或几乎不可能用数学方法来解决。但是，毫无疑问问题的答案是必须要求解的，那么具有某些逻辑依据的经验法则就可能是所应用的最好的方法，然而，正如我们将会看到的那样，这并不意味着，就决策而言它是万能的，而只能说明它是一套逻辑的具有连贯性的规则，在一项大的启发式规划中，所运用的某些单个的启发式规则，可能来源于对一些较小、更易处理的问题的数学分析或其他研究。

处理许多生产和业务管理问题时，会产生一系列数目极其庞大的决策点，因而可能的各决策组合方案的数目也是非常巨大的。这种情况可由图

4—12(a)的“树式分支图”来说明。图中的每一个节点代表一个决策点，各节点的连线则表示，求得问题的某一特定解决方案所经过的各项决策的路线或顺序。当然，寻求最佳解决方案的一种途径，就是评价决策点的每一种组合方案的最终结果。这种方法我们称之为枚举法，只有当可解路线的数目相对来说比较少的时候，它才能够被实际应用。但是，即使借助于高速电子计算机，也依然不能用枚举法求解出我们讨论的这类问题。我们再看一看启发式方法，它首先是观察“树式分支图”，然后对其进行修剪，如图4—12所示。当然，在对“树式分支图”进行修剪的过程，能够导致极好的解决方案的树枝完全有可能被剪除掉，但是这却是启发式方法所包含的作为免去大量复杂工作的交换代价。启发式方法，使我们减少了大量的探索求解工作，却付出了可能删除最优解决方案的代价。

按威斯待所设计的启发式规划的简化图，它是大型一次性项目中各项活动进度安排的基础，如图4—13所示。这个启发式规划很大程度地依赖于以下三条启发式原则：

1. 及时顺序地分配资源，也就是说，从第一天开始就对所有可能的活动作出进度安排，然后对第二天所要进行的活动，以同样方式作出安排，往后依此类推。

2. 当有几项工作采用同种资源时，优先将资源配置给那些在进度上要求富裕时间最少的工作。

3. 如果有可能的活，再重新安排非关键性工作。其目的是为了给关键性（无富裕时间）工作腾出资源。

在业务管理中的下述领域中，如装配线的平衡、设备布置、车间作业进度计划、仓库位置选择、存货控制和大型一次性项目的进度安排，启发式方法已取得了成功的应用。

八、计算机探索求解法

对于某些非常复杂的问题来说，利用电子计算机探索求解的方法，已成为另一种相对来讲比较新型的求解其最优方案的方式。在过去，许多类型的业务管理问题，其复杂程度是如此之大，以致于模型设计者不得不局限于能够通过分析技术解决的简单模型上，或者不得不求助于模拟模型及可能的启发式方法。然而，在今天，电子计算机使我们有可能应用新的准分析方法和启发式方法探索技术。这些技术极大地增加了寻找复杂模型最优解的可能性。这样一种最优方案探寻技术被称作为电子计算机直接探索求解法。“直接探索法”是由一系列按顺序进行的检查所组成的，这种检查是针对某一准则函数的有限可行试解方案所进行的。一种简单的试验评定法是这样进行的：首先规定一个独立变数的值，然后评

图4-13 大型工程项目进度安排用启发式规划简图

注：图中，D日表示考虑中的某一日；工作X是指考虑中的某项工作；富裕时间是指在不延误整个工程月进度情况下，某项工作可以被推迟完成的天数；如果一项工作没有富裕时间，那么它就是关键性工作。

定准则函数并记录其结果，把每一个试验评定值与以前的最佳值进行比较。如果观察到所得数值有所改进，那么就采用试验值而摒弃原来的最佳数值。按此方法类推下去，直到再不能发现更好的值，并且已达到了预定的试验评

定次数，或是超出了电子计算机的时间限制为止。此时，电子计算机就会按工作程序把结果打印出来，即：已经求得的各个独立变量的最佳组合方案。

运用直接探索法的优点就是建立了准则函数模型。这里没有任何加于其上的诸如直线型之类的数学形式的局限。而且，到目前为止，多达 200 多个独立变量的问题，只需适量的使用电子计算机的时间就可以解决了，而且在这些问题中，似乎再增加些独立变量的数目，也是可以解决的。在业务管理中，直接探索法已被用于制订总体规划和作业进度计划，这个问题我们将在第十五章中讨论。同时，在解决资源有限的网络进度计划问题时，也在使用直接探索法。

九、图解和图像分析

图解和图像法，及辅之以增量成本的分析方法，一直是在生产系统中所应用南传统的分析模型。在这种类型的分析方法中，能够说明一项活动的顺序或时间安排的流程图是最重要的分析工具。例如，图 4—14 表示的是一个向仓库提货的流程图。通过一套标准符号，它说明了在处理四张提货单时一步一步的顺序活动。实际上，这张图是在解决仓库提货问题时整个系统的一个进度安排模型。此流程图还可用来分析职能的交叉和重叠、控制状况、流程形式的逻辑性等等。图 4—15 是一张与上图基本类似的流程图，它是一张关于材料经过一系列操作工序被顺序加工的流程图。在此，我们看到的是加工一种电位器传动轴的全过程的图解形式。同时，在这里，我们还可以用这种图来分析流程的逻辑性、工作的重复性以及功能的交错性等等。

有许多其他种类的图像和图解图形被用来分析生产系统的各方面情况，特别是用来分析劳动力的利用。生产作业进度的计划和控制以及设备布置。当我们讨论到适合采用这些分析手段的具体问题时，再对其作进一步的论述，这些分析手段将是我们讨论的一个有机组成部分，如在第十一章中讨论作业设计，第十章讨论设备布置，第十六章讨论生产作业计划和控制等问题。

* * *

在这一章中，我们试图对生产系统的分析方法作一个大概的描述，并讨论了所运用的某些重要的分析模型的特征及应用范围。大多数情况下，我们对某些具体的分析方法的讨论，是想为本书中其他章节作一介绍。本书后面的章节有的是直接地集中于对某一具体分析方法的讨论，诸如增量和资本成本分析、统计分析和线性规划等，有的是为讨论生产系统中所遇到的问题作一个引子。在后一种情况下，我们联系能够应用分析方法的具体问题，如排队模型、模拟模型和图解与图像方法，来讨论各种分析技术。全书各章节从不同角度对排队模型和模拟模型的应用作了讨论，同样，对于图解和图像分析方法，我们也是按照其应用性，阐述了所运用的具体技术。

另外，还有一些我们在本章中没有进行讨论的具体分析方法，如非常重要的库存模型，将在涉及到库存控制的章节中进行讨论。

第五章 决策的成本数据

决策成本数据这一概念为什么不简单地称作成本数据呢？它究竟有何重要性？其实，在这两个概念之间，有很重要的差别。二者的目的不同，成本数据来源于会计的职能，而决策成本的数据目的在于决策。当成本数据最终用于决策时，我们应注意到平均成本和固定管理费用成本项目的分摊，它没有反映出成本的现实特性。我们对各个可选方案的成本净影响很感兴趣，净影响标准的涵义会因问题的本质而有所不同，这一点我们将会明白的。

让我们按照图 5 — 1 的一般结构来划分一制造业企业的费用。以此力出发点来讨论。左边的劳动力和材料成本所以被认为是直接成本，因为它们可以分摊到产品上，工厂费用或工厂管理费，常看作间接费用，因为不采用随意摊配就很难将其划到一个特定的产品中去，所以它通常被看作是间接费用。管理费和销售费是一些从本质上讲更为间接的一般管理成本。有时，我们要考虑的费用不出现在会计账目中，但它们对决策却有很大的影响，如沉入成本和机会成本。本章中，我们将考察某些成本的一般本质和特性，由此将引出后续章节中特定领域中处理决策问题的这些概念。

工厂费用的典型项目有：间接劳动、公用事业、工厂用品、维修、厂房和设备折旧、保险和资产税。典型的管理费用项目有：工资、办公用品、办公财产折旧、保险、办公财产税、公司所得税和法律费用。典型的销售费用项目有：销售工资、广告费、旅行费、倒账、电话和电报及办公用品。

第一节 固定成本和可变成本

成本随产量如何变化是一个值得考虑的问题。诸如资产税、间接劳动和建筑折旧这些成本项目，我们通常以为它是不变的，或是固定的，而对于直接劳动、材料和生产过程中某些用品等，我们则认为它们是随产量而变化的。可是，这种二分法常常是危险的，因为在某些情况下，固定成本会随着产量而变化，通常认为的可变成本是不变的，许多成本项目如间接劳动只在很小的范围内是固定的，对于一定限度的工作量一个材料搬运工就足够了，但超过它，我们就需要考虑两个材料搬运工来完成。可以肯定的是，只有达到临界限度时，搬运工才能被充分利用，当多增加一个搬运工时，他们两个可能都没有充分利用。在某些决策问题中，这类成本要素的半变性质是十分重要。

第二节 盈亏平衡点分析

盈亏平衡点分析利用成本的固定性质如可变性质来确定获利所必需的产量范围。如果我们能够将全部成本划分为两类：一类随产量而变化，另一类不随产量而变化，就可以计算出给定产量的单位平均总成本。半可变成本能够分解为一固定成本和一可变成本。但是，对不同的产量平均固定成本时，单位成本的固定成本是不相同的，因而这种单位产品平均成本的概念，只对那个所计算的产量值是正确的。因此从概念上来看，将固定成本看作成本汇集总额是有益的，此汇集总额在扣除可变成本之后，必须被纯收入所补偿，这种经营才能产生利润，如果扣除可变成本之后的纯收入刚好等于固定成本的汇集总额，那么这一点或是这样的销售水平称为盈亏平衡点。精确地说，正是因为销售进程的这一点上，总的纯收入刚好补偿了总成本（包括固定成本和可变成本），低于这一点就会发生亏损，而超过这一点就会产生利润。

图 5—2 是一个简单的盈亏平衡点结构图。横轴代表产量，纵轴代表销售额或成本。假定销售额与销售量成正比，那么销售线是一条起于原点的直线。总成本线在等于固定成本的那一点与纵轴相交，且随着销售量的增加而成比例地表现为增长趋势。高于盈亏平衡点时，利润与销售额之比随每一售出的产品而增加。这是因为贡献呈一固定比率，而分摊固定成本的基础却扩大了。

贡献：

什么是贡献？如何应用贡献呢？

贡献是销售额与可变成本之间的差额，或者说它是对固定成本和利润的贡献，即：

式中：

$C = \text{贡献}$ $F = \text{不变成本}$ ；

$S = \text{销售额}$ $P = \text{利润}$ ；

$V = \text{可变成本}$ 。

S 和 V 都随产量而变化，因此 C 也随产量而变化。已知 V 占销售额 S 的百分比，就可以计算出 C 。假定有这样一个例子，可变成本占销售额的 60%，且不变成本为 3000000 美元，那么，由方程（1）可知， C 为销售额的 40%。未减去的唯一成本为不变成本，所以：

$$C = F + P$$

$$\text{或 } P = C - F$$

现在，可以计算出任一销售水平的利润。如果总销售额为 10000000 美元，那么 C 是它的 40%，即 4000000 美元，且

$$P = C - F = 4000000 - 3000000 = 1000000 \text{ (美元)}$$

如果整个销售额为 8000000 美元， C 是它的 40%，即 3200000 美元，且

$$P = C - F = \$ 3200000 - 3000000 = 200000 \text{ (美元)}$$

贡献这个概念使我们很容易计算出各销售水平上的总利润。贡献常被称为“利润探测器”。

一、盈亏平衡点图的结构

尽管盈亏平衡点图所依据的理论很简单，但是，因为固定成本和可变成本之间的界线是不明确的，因而要获得绘图时的理想数据却不那么容易。如

果我们把不经调查就随意进行的分类看作是有效的，那将是靠不住的。我们猜测某种直接劳动应该是可变的，但实际情况是这样的吗？其中很可能会含有固定因素。关键的问题在于：从成本因素中构造一精确的盈亏平衡点图来反映成本因素与产量之间关系的实际特性，需要许多的先期工作。好的盈亏平衡点图要求有好的成本会计制度。

利用成本的散布点图是解决这一问题的另一种方法。先在图中标出几年的总成本数据，这样就可以据此绘出一条平均线。假定不同年份有不同的销售量，那么与销售量相关联的总成本线就可以由此推动出来。此线与纵轴相交点即为固定成本的估计值，让我们看看下面的数据，并把其绘于图 5-3 中。

结果看起来还不错，且容易得到。但是有一个问题，我们必须提出来，即：成本与销售额的关系是不是更大程度地反映了这一时期通货膨胀的趋势，而并不是反映了成本随销售量的增加而有所增加这样一种情形呢？如果是这种情况的话，那么，为了去掉成本和价格上涨的影响，就必须将数据缩小。

还有一点也是很重要的，即：几年的数据代表的是一系列条件，诸如工艺，产品品种和成本情况等。如果在这期间发生了主要的工艺变化，我们就不能指望仅靠这几年就能提供据以绘制盈亏平衡点图的一系列稳定数据。

二、盈亏平衡点和利润为什么会变化

下面列出了一些项目，它们可能影响利润，或者对盈亏平衡点和利润都有影响。

1；销售量的变化。它对利润有直接影响，但对盈亏平衡点和贡献比率没什么影响。

2. 产品品种变化。利润、盈亏平衡点和贡献比率都会发生变化。这就要求以产品为基础来绘制盈亏平衡点图。

3. 劳动或材料利用方面的变化。利润、盈亏平衡点和贡献比率都将变化。

4. 固定成本变化。它将影响利润和盈亏平衡点，但不影响贡献比。

5. 销售价格变化。利润、盈亏平衡点和贡献比都会发生变化。

三、管理决策对盈亏平衡点的影响

下面列出了一些重要的典型的关于决策的例子。

1. 陈旧工厂和设备的更新

即使处理掉现有资产，固定成本也常常会上升。关于陈旧的最一般的原因是，可能开发出了能降低可变成本的新设备。对盈亏平衡点的纯影响有两种情况：其一可能没有任何影响；其二可能使盈亏平衡点降低，从而导致利润的增加。这是由于降低了的可变成本（总成本线的斜率较低）所致，或者是由于可变成本和盈亏平衡点都降低了的缘故。产品设计的变化是造成陈旧的另一原因，它将会引起其他形式的变化。

2. 制造以前是外购的组件

按照通常情况，如果以前没有被利用的生产能力可以发挥作用的话，那么所造成的纯影响只是针对可变成本的，而可变成本对盈亏平衡点有直接影响。如果需要添置新设备，那么固定成本就会上升，这样，可变成本变化的方面和幅度就将造成对盈亏平衡点和毛利的纯影响。

3. 购买以前是自己生产的组件

产生的影响将取决于可以卖掉的成本的实际幅度。可能卖掉一些资产，但大多数固定成本被保留下来了。可变成本可以按照增加和减少两个方向来变动，对工厂盈亏平衡点和毛利的纯影响可正也可负，这取决于卖掉的资产和增加了的可变成本的相关幅度。

4. 在季节性波动的最低点决定保留某些劳动技巧

一些可变成本已转变为固定成本。这样工厂盈亏平衡点可能上升。

5. 决定采用加班措施来增加生产能力

可变成本增加，盈亏平衡点就上升。假定产量已增加，对利润的纯影响就依赖于总成本线的斜率和实际产量的相互关系。

四、盈亏平衡点分析法的用途

对许多生产问题和全公司性的问题进行分析时，盈亏平衡点这个概念是极为重要的。可是，有一点值得注意，我们对公司盈亏平衡“点”的最佳估计，在图上实际上也只是个相当大的包括该点本身的“斑块”。这是因为要获取关于固定成本和可变成本比率的精确数据，实在是具有内在的困难，同时也由于日常管理决策常常改变盈亏平衡点。在多产品综合性的企业中，数字的意义变得粗略而模糊不清，因而所得出的关于固定成本、可变成本、产量等项目的粗略数字使许多重要细节不是那么清晰，因此出现了这样的情况：即使存在严重的问题，但是看起来，整个公司的状况还是可以接受的。例如，在计算通用汽车公司的总营业额时，必须包括汽车、冰箱、大型内燃机、货车、洗衣机、火花塞和其他许多项目。一个产品或一个部门良好的成绩掩盖了其他产品或部门的不良情况。在这里我们必须强调的一点是，对每个产品应该使用不同的盈亏平衡点图，这具有一定的意义。但是常常很难合理摊派许多成本，特别当产品品种易于发生变化时更是如此。以下这种情况最容易看清楚，即生产的产品是同类型，且产量可以用诸如件数、或单位数、吨数、加仑数、桶数等来计量。

尽管存在着这些困难，但对于形成有关预算控制、利润计划和生产过程选择的框架，盈亏平衡点分析是很重要的。它使管理部门能够获悉，产量变化或准备采取的行动路线将怎样影响盈亏平衡点和利润。

第三节 增量成本

增量成本是随着所考虑的可供选择的行动方案而变化的成本，是行动方案的“纯影响”（增量成本、边际成本、付现成本和差额成本等术语在某种程度上可以互换）。

我们应该认识到，对于一个运营中的企业来说，它在制订决策时，必须考虑实际情况。现实条件可能有利于某一可选方案，“自制与外购”决策就是一个通常的例子。假定我们现在正在考虑将一个外购项目改为自制，并判断其可能性，那么非常重要的一点是，我们是否有能力这样做，如果采用自制的方法，那么制造这个项目的增量成本将包括下列几项：劳力和材料的直接成本，动力和物质及其他实际净增量成本。机器。建筑物和进行监督管理的行政人员原来就有，如果生产这个项目，也不会因之改变。所以，我们绝不敢将平均制造成本这个会计师所运用的概念作为决策的基础，而只需考虑净增量成本。如果可利用的生产能力现在还不存在，那么净增量成本就必须包括为提供这些必须的生产能力而投资的成本。反之，如果我们计划将现在自制的某一项目改为购买，那么，我们就不能忽视这个项目的平均制造成本。建筑物和进行监督管理的行政人员并不因为将此项目改为外购而消失，因此，在通常情况下，所减少的增量成本要比平均制造成本低得多。

增量成本这个概念通常揭示了固定成本和可变成本之间的一条移动线，下面以一连续生产线上的直接劳动力成本为例来说明问题。如果该生产线停工后，工人或被遣送回家或被委以其他的工作，那么，整个生产线上所有劳动的总成本就完全可以被认为是随生产产量而变化的。另一方面，如果我们观察一下该生产线上的个别作业，我们就会发现，一般来讲劳动力成本不受管理控制的影响，似乎这些作业中的某一个可以通过采用更好的工具、更好的操作方式而加以改进。如果实施了改进，我们也许会发现：由于这一作业的速度是由整条生产线而控制的，那么作业生产线上每件产品的劳动成本并没有降低，在整个生产线上，具有可变的直接劳动成本的个别作业有“瓶颈”式限制性，只有改进了它，才能改进整个生产线上的直接劳动力成本且使之成比例地减少，但是不能超过下一个最有限限制性的作业所设置的限度。

一个组织或许有与可供选择方案一样多的成本类型。必须记住极为重要的一点是：增量成本与整个计划或可供选择的方案是联系在一起的。因此，平均成本几乎永远都不可能成为衡量决策对成本的纯影响的正确估计。下面列举几个例子用以说明在一些典型问题中，增量成本的行为特性。

案例一：

一个年销售额为 100000 美元的公司有三个雇员，该公司专门承包电镀业务，从劳务市场的一般情况来看，公司要雇到非全日的零工并不容易，且劳动负荷的变化又使这种方法并不可取。一个雇员是领班，他具有各种电镀作业所要求的基本知识和技能，周工资为 200 美元。其余两个是普通工人，周工资均为 160 美元，3 个人每周工作 40 个小时。在必须雇用第 4 个工人之前，生产可以有相当程度的提高，在只需一个领班和一个工人的情况下，生产则会有相当程度的下降。

有一项专门电镀作业，此作业需要一种特殊的设备，因此常规作法是将其送到外面去。现在，为使此项作业能在自己公司里进行，公司正在考虑购置这种特殊设备，成本数据如下：

单件外加工成本：0.50 美元；

预期第二年在特殊设备上的工作量：10000 件；

每件估计耗费工时：

领班：0.04 工时；

工人：0.075 工时；

新设备所用的动力价值，每件为 0.02 美元；

所用材料的平均价值为 0；02 美元；

每工时劳动的间接费用比率：100%。

有一间安放这一新设备的空屋，安装成本 2000 美元，这个公司应该怎么办？

在本例中，劳动力是一种固定成本，可以忽略不计。常规的间接费用比率与此无关，新的间接成本只是材料。第二年两个可供选择方案的整个增量成本如下：

外加工：5000 美元；

公司年加工：2000 美元 + 400 美元 = 2400 美元。

在这里，从经济角度来考虑，很显然在工厂年进行加工是有利的，但是，请注意，按这种方式处理设备成本项目是不恰当的，因为我们忽略了其他方面投资的机会成本，也忽略了这样的事实，即：这台设备的寿命可能超过一年。这些资本成本我们将在第六章中加以讨论。

案例二：

一个包工式的专门生产工具和铸模的工厂，基本上动用了全部的生产能力进行生产。要进行一项新的工作通常需要对其进行估计，估计过程包括分析客户的图纸和说明书以决定所要求的材料和加工步骤以及机加工类型。为了获得所需要的工时数的估计值，需参照机床加工的作业的标准工时数，将所得工时估计值乘以 6 美元，加上整个材料成本，最后再加上 15% 的利润。6 美元的劳动费，实际上由下列两项组成：工人平均每小时的工资费是 4 美元，按直接劳动时间的 50% 计算的间接费用。为反映当时的实际情况，一般来讲每 6 个月调整一次间接费用比率。它包括通常的间接费用项目：折旧费、物质消耗、加班奖金、管理和销售费等。

现在正在考虑一项新的订货。估计需要 100 美元的材料费和 1750 个工时。包括利润在内，总的标价为 13225 美元，如果客户同意这个标价和交货条件，该公司应该接受这批定货吗？

将加班奖金当作间接费用这种通常的会计作法，很适合计算利润和亏损，也适合于计算平均成本。可是，为了评估这项合同，需要用增量成本。因为工厂以全部的生产能力运行，我们可以假定工厂的经营不超过盈亏平衡点，因此所有的固定成本都已得到补偿。另一方面，可能需要加班工作。整个付现成本等于材料费加上劳动再加可变间接费用。所以，增量收入为：13 225 - 1000 - 1750 × 400 × 1.5——可变间接费用，或 1725 美元——可变间接费用。

案例三：

一个化学公司通常在生产几个最终产品时使用某一化学制品。一些最终产品是标准件，其他按照客户的订货批量生产。每月平均使用该化学制品 1000 磅。供应者就在附近，而且交货很可靠，所以公司一般一次进货 1000 磅，当库存减少到 500 时再定购，以通常的使用率和交货时间来看，在库存降到最低保险库存 200 磅之前，就会收到新的订货。

供应商现在宣布改变价格政策：以前每 100 磅价格为 10 美元，新的价格调整为如下—份数量折扣价格表：

0——499 磅：	每 100 磅	12 美元
500 — 999 磅：	每 100 磅	11 美元
1000 — 1999 磅：	每 100 磅	9.50 美元

超过 2000 磅： 每 100 磅 9.00 美元

根据这个折扣价格，此化学公司要不要改变它的定货政策呢？

这是一个仅靠现有的数据无法作出回答的复杂问题。还必须考虑所包括的其他增量成本。例如，扩大定货就会增加平均库存水平以及与库存有关的像保险费、流动资本的利息和场地等可变成本项目。另一方面，扩大定货就意味着一年所需定货次数减少，从而降低与发出定货单有关的增量成本，如填写定货的劳动和定货材料本身。使相关的总成本达到最低点的采购计划是能够使库存方面增加的成本和当大批量定货时在定货方面减少的成本达到平衡的计划。“减价”或折扣表将使问题复杂化，我们将在第十四章中更仔细地研究这个问题，在那里，关于“经济批量”的数学模型将会得到讨论，而且关于减价问题也将予以考虑。

案例四：

一家机器工厂租用了一座两层楼的工业建筑物的底层，每楼层面积大约 10000 平方英尺，工厂每月付租金 1000 美元，租期 3 年。工厂以前将大部分磨工活送到一家专门从事磨工作业的工厂。现在正考虑是否由自己来完成这样的磨工活。如果自己做，如何做最好。据估计增加两台平面磨床和一台圆柱磨床就能够做完原来送出去的绝大部分活。购买这些设备需要花 18000 美元。剩下的问题是现在还没有空闲的地面，那么在什么地方安置这些磨床呢？领班说如果挪动两台机器并从工具车间腾出一些地方，就可以有 300 平方英尺的空地，这样就可以把磨床挤放到工厂北头去。这样做将使工具车间的作业和这一地区机器的作业变得拥挤，但领班认为可以解决。

还有另一种可供选择的方案。某家公司租用了本楼的第二层，租约将要期满并准备搬走。房主提出以每月 800 美元的租金，租期两年的条件将这一层租给机器厂，这样，租期同第一层的租约同时期满。这种方法将为磨床提供宽敞的场地，为了比较这三种可供选择的方案，你将采用哪些成本项目呢？

1. 继续将磨活送出去。包括如下项目：磨工活的公司要价，可能的运输成本，与这个公司联系业务时的增量成本。

2. 把三部机器挤到现有的面积中。立即增加的成本是下面几方面引起的：由于对其他部门拥挤而引起的成本，重新安装设备的成本，操作机床的成本，拥有这些磨床的成本。占用的面积或租金按比例分摊的部分与此无关，它实际上是整个租约的沉入成本。因拥挤而引起的增量成本很难计算，它们包括搬运材料引起的增量成本、其他部门由于受到干扰和等待材料而增加的额外空闲时间，以及由于材料搬运较慢而引起的各个工序间增加在制品数量所需的存储空间。

3. 将第二层楼用于磨工作业。19200 美元的全部增量租赁成本将成为沉入成本，还包括磨床的操作成本，拥有磨床的成本，以及在两层楼之间搬运材料而增加的成本。

* * *

我们的着眼点必须经常放在“哪些成本因素会受到各种可供选择的行动途径的影响？”它要求我们认识“经营中的企”的实际情况。实际情况可能使一种方案比另一种方案更为有利，例如，闲置的生产能力能使自制比外购有利。阅读本书其余部分时必须牢记增量成本的观点。正如下章所强调说明的那样，在评价涉及资本资产的可供选择方案时，沉入成本和机会成本的概念是很重要的。

用于决策的成本数据，在职能上与普通的会计报告多少有些不同。会计制度满足税法的需要，并对一个组织的财务管理的某些方面有着重大的意义。从制订管理决策的观点来看，有一点非常重要，即为了便于判断这些数据是否会掩盖我们希望测量的对于某一决策问题的真正影响，必须了解会计

制度的结构。

盈亏平衡点分析利用了将成本分为固定和可变两种成分的二分法的优点。虽然盈亏平衡点不容易精确测定，但它在评估许多典型管理决策的有利和不利影响时，是个极有价值的概念，这些决策涉及工厂生产能力、设备更新、“自制与外购”的抉择等。正如我们将在第八章中看到的那样，边际盈亏平衡点概念在选择生产过程时具有相当的价值。而且，我们可以设想出各种关于盈亏平衡点图的概念，在这些图中，作业范围内的收入曲线或成本曲线不是线性的，或者二者都不是线性的，当我们采用降价措施来扩大销售量时，我们可能会有单位收入下降的经历。当作业接近于生产能力限度时，由于拥挤或采用低效率的方法或设备，单位成本可能增加。这样，可能出现多个盈亏平衡点。

在“增量成本”一节中所列举的每一个例子中，我们可以看到我们是如何被基于通常的成本会计概念的单位成本数字而误入歧途的。这不能责怪会计师，因为他所表示的单位成本数字，不是专门设计出来用以帮助管理部门从我们所讨论的各种选择方案中进行选择的。或许，最通常的困难之处是间接费用或间接费用比率，这是一种主观随意的分摊不变费用和间接费用的方法。由于我们所想象的成本似乎是由劳动、材料和间接成本构成的，因而有一种在一切场合下都想应用这种间接费用比率的趋势以使“每个产品公平地负担这些成本的份额”。可是这会掩盖各种可供选择方案之间的重要差异。如果我们采用的是可供选择的计划而不是单位成本作为成本单位，那就没有必要总是操心如何摊派成本，因为我们所关心的只是同这个方案相关的增量成本。

最后，我们必须认识到，增量成本分析可以采用一种适用于同类问题的一般模型方式。案例三的部分目的在于指出这样一个事实：在制定一种购买数量的政策时，我们发现相关的增量成本随着购买的数量而以一种可以预测的方式变化着，并且有一个购买数量能使这些增量成本的总额为最小。关于一次制造多少部件的问题，以按照同样的通用方式加以解决。

第六章 资本成本和投资标准

第一节 资本成本

每当决策问题涉及物质财产或支出可以提供长期的利益或报酬时，资本成本就会影响生产管理的决策问题。从会计学的观点看，原始资本支出必须通过折旧来补偿，并作为一种经营费用从收入中扣除。资产折旧的年数和每年总收入的分配体现了针对税收政策的不同策略。我们应记住，所有这些折旧方法和分配都是主观随意的，且不是按照与经营相关的决策成本数据的观点来设计的。我们关心的是资本成本数据，它帮助我们在不同生产系统、不同机械化程度和现有资产的更新等所采取的不同行动方案之间作出选择。

让我们用一种简单易懂的例子来开始我们的分析。我们刚刚安装了一个能为我们进行高度专业化作业的设备（设备价值 10000 美元）。安装工作是适应我们特殊情况的工作。因为设备的专业化性质和安装的特殊性，对别人来说这设备是没有价值的，它的残值等于零。对于许多生产设备，它的实际寿命通过维护和修理可以几乎无限期延长，所以很难说设备的寿命有多长。我们必须面对这样一个事实，即当设备变成我们的资产时，整个 10000 美元从经济上来说似乎像沉船一样沉没了。我们说这 10000 美元是“沉入成本”，只是意味着它一去不复返了，不管我们如何登记这个设备的“账面价值”。由于这 10000 美元的沉没，它与将来的任何决策已完全无关，因为将来没有什么决策可以影响它。

购买设备的成本（不同于运行和维修成本）只是 10000 美元。我们希望把这个总额在一段时期内分摊，这样对这台设备的平均占有成本不是太大，例如是 5 年，每年的平均占有成本只是 $10000 \text{ 美元} / 5 = 2000 \text{ 美元}$ ，若是 10 年，平均每年占用成本下降到 1000 美元，这种不同年数的平均每年占用的成本下降的情况如图 6—1 所示。无论我们保持这一设备的时间有多长，这个占有成本都与问题无关，因为它是一种过去的成本。我们对这设备将支付的未来成本仅仅是操作和维修的成本。一旦机器安装完毕，只有这些才是受管理控制决策影响的未来成本。

让我们假定操作这台设备需要两名工人，每人每年 4000 美元。第一年维修费用估计为 2000 美元，以后每年增加 200 美元。图 6—2 示出了全部成本与时间之间的关系。我们假定没有其他有关成本。因这台设备的原始成本已沉入，将来成本只有运行成本和维修成本，我们可以得知在什么条件下将认为这个设备已经陈旧并把它更换。一旦我们发现一个功能上相似的装置，它每年平均分摊的占有成本加上操作和维修成本的总额低于图 6—2 的成本曲线时，我们就需要更换它。我们假定当这个装置（现在我们将它称作现有装置）运行到第四年时，设计出了一种新的设备，新设备的设计较旧设备有一重要的优点。它的自动化程度高，只要一个人操作。可是，高度的自动化需要每年多支付 1000 美元的维护费用，因而第一年的运行和维护成本为 4000 美元的操作劳动费再加上 3000 美元的维护费。这笔总额为 7000 美元的费用像以前一样因为维修费用的上升而每年增加 200 美元。安装这台改进的新设备费用为 12000 美元。现在我们要看一下，这个改进的设备平均每年摊派的费用加上运行和维护费是否少于现在装置的目前年支出（第四个年头）10600 美元。首先，我们应该注意到，虽然我们可以不计现有装置的原来沉入成本

（已耗费），但对改进的设备的成本却不能这样看。它是未来的成本。我们还没有买下它，所以必须将装置成本考虑进来。

为了将问题看得更清楚，让我们在同一张图上画出改进的新设备年平均占有成本和年运行和维护成本，图 6—3 显示出了这些成本，并显示出每一年两种成本的总额。简单地通过将占有成本加上运行和维护成本就得到总成本曲线。注意：总成本在头两年期间很高，第八年达到最低值，然而又开始上升。最初几年成本较高是因为在这期间平均每年占有设备的成本较高，第八年之后，成本又缓慢地上升是因为维护成本上升的影响。现在让我们来看一看在这个已简化的例子中总成本曲线的重要性。这一年（即第四年）现有装置的总增量成本是 10600 美元，我们估计这个数额在今后还会增大。可是，提议中的装置每年总平均成本在第四个年头之后将少于 10600 美元。很明显，应该更新现有的设备。

我们上面假定的情况是很清楚的。可是，我们可能提出这样的问题：“在这里，我们使用了什么样的比较标准？”。答案是，我们所考虑的是现有装置和拟议装置两者未来可能的最佳的成本状况。现有设备的可能最佳成本是 10600 美元，这是这一年（第四年）的操作和维修成本。而拟议中设备和其使用期为八年的话，就可达到可能的最佳成本状况。在整个八年期间，平均每年的总成本为 9900 美元。只要拟议中设备的最佳性能（由总成本曲线的最低额代表）小于现有设计的最佳性能数据，这种更新在经济上就是合理的。当然，还需考虑到重要的元形价值和成本估计的精确性来作为对上述论断的补充与加强。

一、机会成本

在上面我们假定了一个相当简单、舍弃了某些因素的情况，让我们引进一些新增加的概念。假定我们讨论的是一种用途更加广泛的财产，如一种路上行驶的双轮拖车货车。让我们假定我们拥有这样一辆车，摆在我们面前的第一个问题是：“我们对这部货车的拥有再延长一年将付出多少？”这样占有成本或资本成本无法从会计报表中得出。再拥有一年的成本依赖于它现在的价值。如果这部货车能在旧货市场以 5000 美元的价格售出，那这就是它的经济价值的尺度。因为它有价值，我们有两种基本的可选方案：我们可以以 5000 美元的价格将其售出，或保留它。如果售出它，这 5000 美元可以挣来利息或在其他投资上带来报酬。如果我们保留这部货车，我们就放弃了这个报酬，于是这就成了对这部货车再延长拥有一年的一种机会成本。同样，如果我们保留这部车，从现在起一年之后它的价值将减少，所以有第二种机会成本，这是由这一年中残值的下降来量度的。

失去获得报酬的机会和这一年中残值的损失是继续拥有它的成本。它们是机会成本而不是付出的成本，可是，在与需要不同的投资量的可选方案进行比较时，它们会有现实的重要性。如果货车保留，第二年可能还有一种资本成本的组成部分——维持货车运行的可能维修或“资本增加”的成本。这里，我们不考虑一般的维修，而是考虑诸如延长其使用寿命进行的更新发动机或发动机大修这样的维修。总之，资本成本或占有这部货车的成本是：

1. 机会成本：

- （1）按年初残值计算的利息。
- （2）这一年期间残值的损失。

2. 维持这部车至少运转一年所需要的资本追加或更新。

通过假设一张残值的进度表，可以计算出一件财产逐年的资本成本，表 6—1 示出了一部原始成本 10000 美元并有进度表所示的残值的货车情况。最后结果是每一年计划的资本成本。如果我们确定了运行和维护成本随货车

表 6 — 1 在残值进度表为已定时，一部双轮拖车货车的逐年资本成本表（利率为 10 %）

年 度	年终残值 (美元)	一年中残值的 下降 (美元)	按年初残值计 算的利息 (美元)	资本成本(残值 的损失加利息) (美元)
新的	10000	—	—	—
1	8300	1700	1000	2700
2	6900	1400	830	2230
3	5700	1200	690	1890
4	4700	1000	570	1570
5	3900	800	470	1270
6	3200	700	390	1090
7	2700	500	320	820
8	2300	400	270	670
9	1950	350	230	580
10	1650	300	195	495

老化而增加的方式，就可以绘出一套年度成本曲线。联合的资本成本加上运行如维护曲线像以前一样有一最低点。这一联合成本曲线的最低值决定了该设备寿命期间最佳的成本—性能年。超过这一年，维修成本上升的影响将抵消资本成本下降而有余。注意，这种算法同图 6—3 是不同的，图 6—3 是每年平均成本而不是年度成本。

表 6 — 2 开始价值备为 10000 美元，但残值进度表不同的两部机器的资本成本比较（利率为 10 %）

机器 1				机器 2			
年终残值（美元）	一年中价值的下降（美元）	年初价值的利息按 10% 计算（美元）	资本成本（美元）	年终残值（美元）	一年中价值的下降（美元）	年初价值的利息按 10% 计算（美元）	资本成本（美元）
10000	—	—	—	10000	—	—	—
8330	1670	1000	2670	7150	2850	1000	3850
6940	1390	833	2223	5100	2050	715	2765
5780	1160	694	1854	3640	1460	510	1970
4820	960	578	1538	2600	1040	364	1404
4020	800	482	1282	1860	740	260	1000
3350	670	402	1072	1330	530	186	716
2790	560	335	895	950	380	133	513
2320	470	279	749	680	270	95	365
1930	390	232	622	485	195	68	263
1610	320	193	513	345	140	49	189

二、陈旧和经济寿命

设备陈旧对拥有和运行一部机器有什么影响呢？根据定义，当一部机器报废时，一定有一部在经济上购买和运行更合算的机器或装置。很明显，新机器的存在并没引起现有机器操作或维护成本的增加。那些成本已由现有机器的设计、安装和条件所决定。可是，新机器的存在却引起现有装置的残值下降，因而引起资本成本的增加。因此，属于工艺经常变动一类的财产，由于预计到典型的陈旧率，残值进度表下降得很快。经济寿命很短。另一方面，在革新卒相对较慢的部门，残值保持得较好。

表 6—2 比较了原始成本 10000 美元但有不同残值表的两部机器的逐年资本成本。机器 1 的价值保持得很好，机器 2 陈旧得更快，反映在它的残值进度表中。结果是开始几年机器 2 的资本成本比机器 1 为大。头五年的平均资本成本是：

机器 1 1 913 美元

机器 2 2 198 美元

所以，如果两部机器的操作费用进度表是一样的话，机器 1 似乎更为可取。可是，由于这两部机器的资本成本的变动步伐不一致，为了进行比较，较好的办法是把所有数字都调整为同它们相等的现值。

三、现值

因为货币有一种时间价值，未来的支出和机会成本对我们有不同的现值。货币的时间价值意味着什么？因为货币能赚取利息，如果现在的利率是

10%，则现在手中的 1000 美元相当于 1 年之后的 1100 美元。同样，如果我们必须等 1 年才收到现在所欠的 1000 美元，我们就会期望不是收取一年后的 1000 美元，而是收取 1100 美元。当然包括的时间延长了，适当的利息要按复利计算，其结果就会变得更大。支付和接受时间的安排可以使各种可供选择方案产生重要的差异。

在返回到上述两部机器的例子之前，我们简短而更精确地阐明这个观点。我们知道，如果一笔本金 P 以利率 i 投资，如果所有的利息都保留并计算复利，它在 N 年后将会变为总额 S 。所以，现有的 P 通过复利指数就完全等于将来的 S ，即：

$$S = P(1 + i)^n$$

其中 $(1 + i)^n$ = 年份为 n ，利率为 i 的复利指数。

同样，我们可以算出 P 来决定 n 年以后支付的一笔款项的现在价值，即：

$$P = \frac{S}{(1 + i)^n} = S \times PV_{sp}$$

其中 PV_{sp} = 利率为 i ， n 年后一次性支付的现值。因此，如果 10 年后我们收到一笔 10000 美元的付款，我们会愿意现在接受一笔较小而相当的款项，如果 10% 的利息被认为是公平合理的，那么这笔较小而相当的款项就是：

$$P = 10000 \times 0.3855 \text{ 美元} = 3855 \text{ 美元}$$

$$\text{因：} \frac{1}{(1 + 0.10)^{10}} = PV_{sp} = 0.3855 \text{ 美元}$$

现在让我们回顾一下两部机器的例子。因为有不同的残值，每部机器的资本成本有不同的进度表。如果以现在的时间作为共同的基础，将所有的未来价值调整到现值，我们就可以比较其总值，看一看哪种投资方案更为有利。表 6—3 作了这种比较，第 (2) 栏为假定的一个运行成本进度表，第 (5) 栏和第 (6) 栏中确定了运行和资本的联合成本，第 (8) 栏和第 (9) 栏列出了现值。对于机器 1 来说，整个支出和机会成本的现值为 32398 美元。这两部机器的现值净差表示于表 6—3 底部。由于这两部机器的运行成本进度表是相同的，这差额反映资本成本现值的差额。虽然，这种方法也容许有不同的运行成本进度表。

刚才描述的方法有一些困难。首先，我们假定残值的进度表是已知的，但情况往往不是这样。第二，在机器寿命的某时，用相同型号来替换将更为经济。所以，为了进行比较，应考虑一连串相同的机器，当机器的运行和资本成本刚好等于所有未来成本价值的利息的那一年，机器就被替换了。后面这一论断的要点是我们正在该年的成本（运行和资本成本）与卖掉后的机会收入（所有未来成本的现值利息）之间寻求平衡。当卖掉后的机会收入是两者中较大的那个时，就要用相同的机器来替换。绝大多数比较各种资本投资方案的标准都尝试用下列方法来解决这些问题：(1) 假定一个经济寿命；(2) 假定某个资产价值下降的标准进度表。现在我们将考虑某些标准。

表 6 — 3 表 6 — 2 中两部机器的资本成本和运行成本的现值表
(西部机器运行成本进度表相同，利率 10 %)

年度 (1)	运行成本 (美元) (2)	资本成本 (美元) (引自表 6 — 2)		资本成本和运行成本之和 (美元)		该年度的现值系数 (7)	该年度的合计成本的现值 (美元)	
		机器 1 (3)	机器 2 (4)	机器 1 (5)	机器 2 (6)		机器 1 (8)	机器 2 (9)
1	3000	2670	3850	5670	6850	0.909	5154	6227
2	32000	2223	2765	5423	5765	0.826	4479	4762
3	3400	1854	1970	5254	5370	0.751	3946	4033
4	3600	1538	1404	5138	5004	0.683	3509	3418
5	3800	1282	1000	5082	4800	0.621	3160	2981
6	1000	1072	716	5072	4716	0.565	2866	2665
7	4200	895	513	5095	4713	0.513	2614	2418
8	4400	749	365	5149	4765	0.467	2405	2225
9	4600	622	273	5222	4873	0.434	2214	2066
10	4800	513	189	5313	4989	0.386	2051	1926
合计							32398	32721

注： 机器 1：所有未来价值的现值是第 (8) 栏的总额减第 10 年的残值的现值，即 $32398 - 1610 \times 0.386 = 32398 - 621 = 31777$ 美元。
机器 2： $32721 - 345 \times 0.386 = 32721 - 133 = 32588$ 美元。

第二节 比较经济方案的常用标准

用来评价资本支出建议和比较涉及资本财产的可选方案的一些常用标准是：（1）现值；（2）平均投资额；（3）收益率；（4）回收期。

一、现值标准

比较不同方案的现值方法是将资产经济寿命中所有未来的付现支出和债数都算成现值。比较每一种可供选择方案的这一数字。

如果也涉及收入的差异，它们的现值就必须考虑进来。我们将用 PV。来代表一笔年金的现值系数。

一个例子：

假设我们正考虑一部安装成本为 15000 美元的机器。我们估计这部机器的经济寿命为 8 年，到那时残值估计大约为 3000 美元。为了简化问题，我们把每年平均的运行和维修成本算作 5000 美元。在利率为 10% 的情况下，支出和债数的现值是：

原始投资 15000 美元 $\times PV_{sp} = 15000 \times 1.000 = 15000$ 美元

每年送行和维修成本 5000 美元 $XPVa = 5000 \times 5.335 = 26675$ 美元

以上两项之和为 15000 美元 + 26675 美元 = 41675 美元

少于 8 年后收到的残值的现值的债数 $3000 \times PV_{sp} = 3000 \times 0.467 = 1401$ 美元

其差为 41675 美元 - 1401 美元 = 40274 美元

这个 40474 万美元总数净额就是这部机器 8 年的预计寿命期内支出和债数的现值。原始投资是现值，即现值系数为 1.0，每年运行和维护成本是一笔 8 年的年金，所以每年成本的整个总和以年金现值系数调整为现值。最后，减去残值的现值，在相同的 8 年期间，这个总数额可以同其他可供选择的方案中可比数字进行比较。如果估计为一种可选机器有不同的经济寿命，或许是 4 年，那么为了使二者的现值数额有可比性，可以把 4 年机器的两个周期同 8 年机器的一个周期来进行比较。如果运行和维护成本随机器的寿命而增长，那么就应当用 PV_{sp} 来分别计算出每一年支出的现值是多少。

二、平均投资标准

平均投资方法用来估计一项财产的平均每年占有成本加上运行和维护每年成本。平均每年资本成本的近似值可以用平均残值损失加上平均投资的利息（假定该财产价值的下降是以平均或直线方法来计算的）。图 6—4 表示出财产价值下降的假定结构和平均投资的计算。因此，如果一部机器成本 10

000 美元且估计有 10 年寿命，10 年后的残值有 1000 美元，则资本成本可略算出：

平均每年残值损失 $\frac{10000 - 1000}{10} = 900$ 美元

每年平均投资的利润（利息 10%）
 $\frac{(10000 + 1000) \times 0.10}{2} = 5500 \times 0.10 = 550$ 美元

平均每年资本成本 = 900 美元 + 550 美元 = 1450 美元

如果在 10 年期间，每年的运行和维护费用估计平均为 12500 美元，则用

以比较的平均每年总成本为 $1450 + 12500 = 13950$ 美元。在可供选择的方案中每年平均收入的差异可用运行成本来解释。计算方法的可比性可以为在各备选机器之间进行比较提供基础。按照严格的经济学比较，将选择每年平均成本最低的方案。

三、收益率标准

评价一个新的规划项目，或比较不同的行动路线时，一种常用的方法是计算回收率，然后判断其是否恰当。通常并不企图计算利息成本，所以得出的数字称作“未调整的”回收率，即未按利益值进行调整。其计算方法如下：

$$\text{未调整的收益率} = \frac{100(\text{经营利益净金额} - \text{摊提})}{\text{平均投资}}$$

利益净金额反映了运行和维护增量成本和收益的可能差异的代数和。如果计算出来的收益率是“税前”的，则减去摊提（ $\frac{\text{增加投资}}{\text{经济寿命}}$ ）再用平均投资除，然后乘以 100 就得到收益的百分经济寿命率。如果要计算出“税后”的回收率，应从净盈利金额中减去因这个方案引起的收入税的净增加，计算的其余部分如前。显然，如果以“税后”回收作为判据的话，一个给定的收益率是否合适，就会有很大的变化。

让我们举一个简单的例子，我们假定提出新的产品流水线装配方法，以前产品在一中央区装配，每一装配工序由一名工人完成。这种新的装配方法要求购买和安装传送带与固定设备，这将耗费 50000 美元，其中包括重新布置设备的费用。新的流水线装配方法要求将装配工人减少 5 人。加上增加的维护和动力成本，估计每年经营利益的净余额为 20000 美元，经济寿命为 5 年，“税前”未调整的收益率为：

$$\frac{20000 - \frac{50000}{5}}{\frac{50000}{2}} \times 100 = 40\%$$

“税后”回收率要求减去增加的税金。所增的应予纳税的收入是经营利益减去所增的免税折旧。假定采用直线折旧法而免税折旧期为 8 年，增加的应予纳税的收入为 20000 美元减去 50000 美元 / 8，或 20000 美元—6250 美元=13750 美元。假定收入税率为 50%，由于这个项目而增加的税金为 6875 美元，因此，“税后”回收率为：

$$\frac{20000 - 6875 - 10000}{25000} \times 100 = \frac{3125 \times 100}{25000} = 12.5\%$$

在本例中计算出的税前或税后回收率是否合适，必须联系到所谓的特殊风险和资本移作他用可能带来的收益来考虑。

四、回收期

回收期是一笔投资通过它所产生的净经营利益来“偿付自身”所需的时间，净经营利益来自于分期利益。其计算如下：

$$\text{回收期年数} = \frac{\text{净投资}}{\text{税后的每年净经营利益}}$$

前面讨论的传送带的回收期是： $\frac{50000\text{美元}}{13125\text{美元}} = 3.8\text{年}$

所谓回收期即税后净利益刚好等于投资的净总额的那段时间。可以假定，在这段时间之后，“全都是赚头”；因为投资已收回，每年利润为 13125 美元。可能会提出这样一个问题：“如果设备的经济寿命是 5 年，该项目税后回收率为 15%，其回收期应为多少”。显然，5 年的经济寿命就是一个包括资本回收和得到利益的时期，时期可能会略短一些，这取决于所要求的收益率。现在我们应注意下面一点，回收期是对于年金现值系数的另一种解释。作为一个例子，对于经济寿命力 5 年，收益率为 15%， $PV \cdot = 3.352$ 。这表明，资金将在 3.352 年回收，而相当于 15% 复利的利息是在 5.000— $3.352=1.648$ 年内产生的。因此，对于一个给定经济寿命年数和一个既定收益率来说， PVa 值表明投资回收所要求的更短的年限。或者，更简单些，它们直接提供了回收期。

正常的程序是估计经济寿命和决定适当的收益率。从现值表中，查出同这些条件相应的回收期，然后计算出该项目实际的回收期，并将它与表中标准回收期进行比较。如果计算出的回收期小于或等于标准回收期，这个方案就能满足所提出的回收期和担风险方面的要求。如果计算值大于表中值，该方案就比要求的收益率赚得更少。

* * *

在本章中，我们试图考察对投资决策有影响的一些成本概念，如沉入成本和机会成本，并试图描述现在工商业使用的最常用投资标准。所有这些方法都是对一般投资问题的近似和理想化。例如，所有方法都要求假定一个经济寿命，并假定所分析的资产价值下降的某些标准进度表，此外，还存在许多它们并未说明的较不明显的概念。

不同的标准并不都是相等的或可以互换的。现值方法最灵活，包括的假设最少。它可以通过调整来满足涉及差别很大的残值表，规划的成本型式和将来定期资本追加等特殊状况。平均投资标准基本上是现值方法变形的一种近似，它是根据与利息值相应的等价平均年成本来表达数据的。平均投资标准计算出年平均成本，这个年平均成本假定资产的残值均匀地减少，且不管支出的时间安排而按照平均投资计算利息。平均投资、收益率和回收标准都用一个平均时期来近似表达未来的运行成本。对于一台简单的机器，这可能是一个合理的假设，但对于复杂的设备和建筑物，未来的成本可能有一个同时间相联系的模型而不能用一个平均数来代表。

关于优先使用某一标准而不用另一标准，有一些合理的指导方针。如果该方案涉及较长时间并有复杂的未来支出模型，其利益数值可能使某个方案更为有利，那么就应该使用现值标准。当未来运行成本可以合理地用平均数来表示时，在平均投资、收益率和回收期之间的选择要用什么样的特殊方式来表示所需的答案，即根据投资的收益、年成本或时间来决定。

第三篇 生产系统建立的设计

第七章 生产设计和生产过程

生产一种部件或产品的可能最低成本，是由设计师最初设计的，无论生产工程师怎样聪慧，也无法改变这一事实。他只能在已有设计的限度内使生产成本最低。因而，在设计阶段显然就应开始考虑，对部件和产品应采用何种生产模式了。这种为降低制造成本所进行的设计工作叫做生产设计，以区别于功能设计。的确，设计师的首要职责，就是创造出符合要求的产品，而这一工作完成后，常常有多个满足功能要求的设计方案。哪一个方案会使生产成本最低呢？考虑功能和成本，如果两方面的要求都要满足的话，可行方案的选择范围就限定在一个构思好的设计中，而且内容也随之而定，例如砂型铸造工艺。

制造过程的规划必须在设计后进行，认真地对所要求工艺及其次序在细节上加以说明。生产设计应根据材料、公差、基本结构、各部件的联结方法等方面的任务书，初步制定可能达到的最低成本，然后，进行最后的过程规划。这一工作就是规定满足设计要求的生产工艺及次序，进而力求实现这一最低成本。这里，在制造批量小的条件下，过程规划师就要以现有设备条件为限度进行规划（见第十七章生产进度安排）。但如果生产批量大，或者产品设计长期不变，或者两种情况兼而有之，就可以考虑采用专用设备和专用的平面布置了（见第十章设备布置），过程规划师在制定生产系统的基本设计方案的同时，也就在行使着自身的职能。

第一节 生产设计

工业界早已意识到，生产设计与生产成本之间有着紧密的联系，并进行了各种各样的工作来处理这个问题。一般说来，设计产品的工程师受到的训练是其专业中的技术部分，如机械设计。电子学、热力学，而不是在于制造方法和成本方面。然而，当生产人员埋怨设计师的时候，常常彻底忽略了这样一个事实，即部件的功能要满足要求，并且要与设计任务书相符合。

为了解决这个问题，有些公司努力去训练他们各自的基本制造过程和成本工作领域内的工程师，有些公司则让生产工程师做出重要决策时，与产品设计师共同磋商；还有一些公司则让完全不同的人员来承担功能设计工作，而这些人员的本职工作是生产设计。洛克希德飞机公司就有一批成本分析人员工作在工程设计部门，但他们原来的职责却是比较分析各个设计方案，每月画出一张控制图，来表明设计决策对计划制造成本的影响情况。它表示出各种设计方案在满足功能要求的条件下，在成本上各自可能的最高和最低限度。

生产设计学科的论点是，能够满足功能要求的设计方案总是有多种。那么，对于部件或产品的不同计划产量来说，成本上将会有什么差别呢？这里，我们必须拓宽思路，因为受设计影响的成本因素很多，其可能的范围也许要比我们预想的大得多。直接劳动和材料是显著影响成本的因素，可是设备费用、工具费用、间接劳动费用，以及非生产方面的工程技术费用也有不甚明显的影响。间接成本的影响通常较隐蔽，可以设想某产品的一种设计要求有 30 个不同的部件，而另一种设计要求有 15 个即可，那么，对于每件成品来说，由于要 30 个而不是 15 个部件，就要有更多的文书工作以及订货、储存和管理费用，这样，间接成本就有了差异。图 7—1 显示出在这种设计不同的情况下，一种典型的飞机控制面成本的比较。每一设计的间接成本包括必须由文书系统处理的各种工作，如计划、工具订购、材料采购、车间和生产线的加工单的填写；材料储存；材料、工具和部件的发送、订货控制、会计、运输、检验等等。

图 7—2 是一个典型的成本分析，它表示出产品设计影响成本的各个组成部分的状况。图 7—2 中的阴影部分表示在设计工程师的直接控制下，各个成本因素的相对量，研究了洛克希德公司多年的详细成本估算后，才确定了这一阴影区域。“通过比较两个或两个以上从功能上看都可以接受的设计之间成本的不同、最低和最高成本之间的差异，来表明设计工程师对决定产品成本的影响。”同样，对数百个设计进行了分析。

第二节 生产过程

生产过程的范围包括下述全部阶段，从完全的手工劳动，到人—机系统，以至全自动化生产过程。这后一阶段人的劳动是间接的或只是监视性的。目前手工劳动仍占生产活动的很大一部分，通常有机械辅助。如何设计这些手工、机器的操作方式或生产监督方式，将在第十一章和第十二章中分别予以讨论。手工劳动或手工劳动占很大部分的人—机作业，在装配工作、办公室、超级市场、医院等岗位都是典型的工作方式。

有些生产过程要有大量的技术工艺，如金属加工工业、木材加工工业、塑料和化学工业就是这类生产过程。

加工的基本性质就是一种形式上的变化，即对工件进行某种加工，使其以某种方式发生形式上的变化。一般他说，这些变化可能是化学变化；改变基本形状和形式；可能是在装配过程中增添或减少部件；在运输作业过程中改变产品的空间位置；在办公作业中提供或改变信息系统；或在检验作业中对其他各生产过程精确性予以核查。

一、化学过程

在石油、塑料、炼钢和制铝这样一些工业中，化学过程是很普遍的。当然，在一个短时间内概括出化学过程的性质和范围是不可能的，这种过程在工业上既可能是间断批量的生产过程，也可能是连续的生产过程。钢铁工业中鼓风炉的作业就是一个成批生产过程的例子。在鼓风炉的作业中，用铁矿石、焦炭和石灰石制出了生铁。料车沿着倾斜的轨道把铁矿石、焦炭和石灰石交替地倒入炉顶料钟后，分层装入炉内。热风从炉子下部吹入，使焦炭燃烧。炉内物料逐渐下降、温度也越来越高，铁矿石中的氧被脱去而还原为铁，铁熔化后在炉子底部形成一池铁水。石灰石用来造渣，以去除某些杂质。每隔一段时间，一批铁水就注入铁水包中，然后浇成铁锭。而石油生产过程就是连续性化学过程的一个典型范例。在这种加工过程中，原料接连而有次序地经过一系列加热、加压、混合等十分复杂的加工过程。

二、改变形式、形态或成型的生产过程

在金属成型和加工业、木材加工业、以及塑料模制和成型工业中，都可见到这种类型的最普通的生产过程。在金属工业中，最初的成型作业有些可能是在轧机上进行，如轧制出钢、铝或其他金属的基本形状。这些生产过程的结果是将金属制成条、片、坯块、工字梁以及其他形状。这些形状是标准的，并能用以进一步加工。另外，有些产品可能要求从某些铸型加工过程开始，例如砂型铸造或压铸以形成其基本形状或形式，可能需要也可能不需要进一步加工。图 7—3 显示了压铸生产过程的四个重要步骤。其他的基本成型加工过程有粉末冶金、落锻、冲压。表 7—1 列出了各种不同成型加工过程之间的比较，以及各自的适用条件。

表 7-1 成型过程的比较

成型加工	保持的公差	装置或工具	运转或加工时间	精加工要求	适用的产量	其他性能
砂型铸造	不严格 1.5%/每英寸	模型, 型芯	长	要除去较大的金属	少量	灵活性大
压铸	很好, 在许多情况下无需精加工	模具价格昂贵 0.1-1 万美元	短	无需或加工量相当少	大量	一般限于低熔点合金
粉末冶金	很好约 0.5%/每英寸	模具 2000 美元以上	模型和烧结 (中等)	通常无需	>5000	很硬的部件只能用这种制造方法
落锻	良好	模具价格昂贵	中等	较少	中等到大量	强度大
冲压	良好	模具价格昂贵	短	少	大量	

基本机器加工过程包括加工圆柱面、平面、复杂曲面和孔洞, 金属机械加工就是通过这些加工完成的。这种分类看起来似乎够简单的, 但由于要加工部件的尺寸、形状不同, 粗糙度和精确度要求不同, 以及不同制造条件所要求的生产率不同, 因此, 若完成这些工作, 机床的种类数就要增加许多倍。例如, 成型机和龙门刨床两者都是用来加工平面的。然而, 对于龙门刨床来说, 是工件往复运动而不是用工具加工, 比起成型机来, 刨床台可以往复运动, 能够更好地适应大的工件。与此类似, 磨床能同车床一样加工出圆柱面, 或同铣床一样加工出平面来, 但应用不同的机床会使产品的精确度和粗糙度有着巨大差异。所以, 磨床一般用来进行精加工, 只是在其他机床完成粗切削, 形成基本尺寸后才使用。

车床可以在工件表面进行加工, 形成圆柱面、孔、螺纹、简单平面等等。但不同类型的车床适用于不同的生产率。如果生产单件或少量部件, 可以应用通用车床; 但如果要生产数千个部件, 可能就该考虑采用某种自动车床了。在这些增加的车床类型中, 还没有包括专用机床。自动车床仍然被视为一种通用机器, 因为在它的总加工性能内, 可以对各类原料和部件进行加工。在所有这些机械加工作业中, 刀具切削金属, 金属碎屑从工件上落下, 切削的完成是通过刀具相对于部件的旋转或往复运动来完成的。与此同时, 刀具或者是工件必须“进给”, 才能在整个加工面上形成一个连续的切削运动。图 7—4 表示了几种主要机床的刀具和工件运动概况。有一种把计算机指令同机床相结合的加工过程, 他使许多机械加工过程变成自动化的了。这一自动化过程叫做数控过程, 这一内容将在本章的后面部分予以详细讨论。

三、装配过程

用于装配部件和材料的一些生产工艺有熔焊、锡焊、钎焊、螺丝连接、铆钉连接和粘胶连接。在汽车工业、电气工业、用具工业和许多其他工业中，装配生产过程是十分普遍的。事实上，在所有机械—电气工业中，装配生产工艺都是极为普遍的。在一般情况下，装配作业中含有相当大一部分的手工操作，并常常附以机械辅助。一般说来，除了某些大量生产的电气装配业外，装配作业领域中的自动化还不多。随着印刷线路板的发展，电气工业已设计出自动化设备，能够将电阻和电容这样的元件装配到印刷线路板上去。分析装配作业的类型，大部分要根据对手的动作以及操作者与工具之间关系的分析。

四、运输过程

在运输过程中发生了地点的改变。经济学家的描述，就是通过运输过程，我们给予一个部件或产品以“地点效用”。无论理论怎样阐述，运输过程在绝大多数生产系统中都是极其重要的。而在生产管理的某些方面，运输过程是最受重视的，例如发送物资。在整个制造业中，材料的内部搬运是耗资最多的作业之一。在第十章我们将集中讨论按功能划分的生产和流水线生产的材料搬运的性质。

五、办公室工作过程和信息系统

机械加工过程一般是改变形状或形式，而办公室工作过程则是改变信息。办公室工作量增长速度极快，以致于美国办公室工作人员的数量超过了蓝领工人。办公室工作应用广泛多样的技术手段来进行，从完完全全的手工，到不同程度的机械化，直到高度自动化的集成的数据处理系统。

信息系统中处理的工作，其设计取决于系统本身的性质及其机械化程度。手工的办公作业，对所处理项目的设计影响甚微。而另一方面，穿孔卡片系统或以电子计算机为基础的系统，其本身要求必须使用穿孔卡片、磁带或穿孔纸带作为信息储存的基础，并且输入到系统中去。一张穿孔卡片有 80 列或 80 个字符（字母或数字）的容量。一条长 8 英寸多一点的穿孔纸带和约为 3/8 英寸的磁带可以容纳数量相同的字符。除了容量大以外，磁带输入还有速度快的优点。磁带上的数据能以每秒钟 17 万个字符的速度被读出，而卡片被读出的典型速度是每秒钟 250 个到 300 个字符，穿孔纸带被读出的速度为每秒钟 400 个字符，相比之下，人的较快阅读速度为每分钟 300 到 400 个字，阅读数字时则还要更慢些。通过将纸带书写装置与打字机和加法器等联结起来，也就使穿孔纸带系统与现在所用的显示和抄写记录装置结合起来了。现在已有了这样的模件系统，其数据记录由打字机式的装置输入，全部信息则存入计算机“在线”的外存储器中。这样，同穿孔卡片相联的一系列步骤就省略了。图 7—5 显示了这一典型应用。

图 7—6 显示了“ Able 制造公司 ”管理信息系统的总图，它是一个假设的公司，生产时新商品，它的制造工厂和批发零售机构遍布全国。这一整个系统包括一个中央信息处理机和一个全面及时的数据库，它包括关于销售、计划、控制、财务、采购、生产、仓储、分配等等方面的数据。来自企业各个部门的最新信息作为输入，不断地流向中央信息处理机，经过各种不同模型和（或）程序的计算处理，最终以定期专门报告形式输出。借助这样一个

完整严密的系统，就比较容易制出各种类型的报告，用于不同目的和不同的管理级别。例如，以各销售区的销售总金额表示的销售情况预测报告，对于销售部门或总管理部门来说，是很有价值的，但是这一报告对生产部门却是无用的，它所需要的是把这些信息转达为对产品、装配件、部件的需求量及相应的对各种设备的要求，以便采购材料和安排生产进度。

六、通用机器与专用机器

通用机器在其应用领域内有通用的功能。例如，打字机就是一种通用机器，能够打印各种文件：信函、文稿、一些图表和数字。另外，它可以制成专用于会计工作的专用打字机。会计打字机对会计工作方面的功能相当不错，但其他的通用功能却差多了。在机械工厂里，有通用的车床、钻床、铣床和刨床，它们能够加工各种不同的部件和材料，形成圆柱面、孔和平面。但是若条件允许，我们就会将这些类型的机器设计力专用于一种或一类部件的专用机器，生产就非常有效率。

举一个例子，一种专用车床是用来加工一种自动活塞特有外径的，它有专门的快速固定装置和专门的刀具，大小正好合适，有其特有的转速，可以最少的时间加工出外径面来；但它加工其他部件的能力就有限了。由于这种活塞的产量很大，因而采用这种专门化装备是经济合理的。

通用机器适用于产量低以及部件或产品设计多变、或市场需求不稳定的情形，就是说，产品或市场灵活多变时较为适用。它们的设计一般是标准化的，所以，它们的最初成本和折旧费用低于同类的专用机器。专用机器一般是从通用机器中演化出来的，以适应某一特殊部件或产品产量的增加。由于设计是专门化的，因而生产率较高。专门设计可包括专用的固定装置、自动化程度更高的装备，以及使特殊工件与机器设计更好的结合方式。

例如，要加工的工件可以自动进入机器，而不是需要操作者手持放进机器中。有时，对附属机器进行专用设计，也能促进生产率提高；虽然专用设计成本较高，但由于它在生产中所耗劳动成本要低得多，因而可以使单位产品的生产成本降低。第五章和第六章中的经济分析方法可做为根据，来决定在具体事项中采用通用还是专用机器。当然，采用这些经济分析方法的条件是假定市场与部件或产品的设计是稳定的，机器不致于因此很快陈旧而报废。

第三节 自动化

在当今如果不讲到自动化，那么对生产过程的讨论就是不完全的。虽然，自动化的原则只是最近才被应用于机械生产过程和装配生产过程，从这一点来说，自动化还是一种新事物；然而它的基本思想却是早已有之。例如，室内温度的恒温控制这种过程早已被人们了解并付诸应用了，卫生间水箱里用的普通浮动阀又是一例，它能够自动将水注满到一定程度再自动关闭，加工工业中，应用自动化原理控制化学生产过程已经有相当长时间了。

工业机械化经济学，从逻辑上认为来自于机械化适用的工作，以及手工劳动无法完成的工作。在经济发展进程中，劳动力成本较之机械加工成本来说日益昂贵，于是机械替代手工劳动的过程也就持续不断地进行着。从逻辑上讲，最早应用的不会是工艺设计最复杂的技术。早在 100 多年前人们就已经认识到了这一观点，但从经济上衡量，也不合算。因此，只有在如今劳动成本非常高的时候才有可能采用。以机器代替人类操作者的控制技术，这种趋势，最终将会发展为一个全然而一体的自动化加工工艺，从原料的输入开始到最终产品的产出为止，除了最初的设计和建造设备工作，以及在系统建成后的维护工作以外，不需要人的劳动和控制。

在实际工作中，自动化有两个主要部分。第一部分是关于我们已讨论过的过程控制，就是通过信息的反馈，将温度、压力、尺寸或化学组成等这些变量控制在预定限度以内。在这一领域内，应用的是程序控制和机床的数字控制。第二部分可能包含也可能不包含信息的反馈，它主要是部件自动地从一个作业地搬运至另一作业地，并按照指令准确地放置于下一道作业或机器所要求的位置上。将整个顺序的各个环节准确地配合起来，使各个不同作业同时结束其加工周期，所有的部件又同时进入各自的加工位置。于是我们看到的是各个单独的作业作为组成部分，组成了一台庞大的机器，各部分之间协调工作，如同一个整体。

若考虑加工的经济性及工程设计条件，就限制了这种自动化作业的种类。绝大多数金属的机械加工、检验与监督类型的过程和某些装配或连接作业一样，都结合在自动化生产过程中了。这种自动化的发展，对于像汽车这样大量生产、标准化设计的产品来说是很典型的，第一种应用反馈控制的类型为封闭式回路；第二种类型叫做开放式回路，其特点可称为累进式机械化。二者的结果都是自动化生产，因而都是自动化。首先让我们来考察反馈的性质，以便区分开放式回路和封闭式回路。

我们可以通过对比有反馈和没有反馈的简单加工情况来说明反馈和反馈控制的性质。图 7-7 是对一个作业系列中一个加工站的图解。将部件固定在传送机构上，传送机构带着部件经过切削工具，图 7-7 中所示的切削为其中的一种，其他加工可能为侧切削、开槽、感应淬火、研磨、抛光和冷压。所有这些工具，都是预先装备好了的，正如图中所示。这样便于将产品加工为所要求的尺寸。所有工具一经装置好，加工作业就自动进行。只需极少的直接劳动，用于把部件装入自动生产线，加工后，再将其从终端取下，以及启动和关闭整个加工过程等操作。有些情况下，装人和取下部件的作业也可以机械化，这就要视部件的设计情况和相对经济效益而定。包括图示的这一项，所有的作业都必须达到规定的标准。这些标准必须包括产品的尺寸、表面质量和硬度等。对于图 7-7 所示的作业来说，尺寸标准应控制在 1.000 ± 0.001

英寸。

注：把一个部件切削到 (1.000 ± 0.001) 英寸的标准尺寸开放回路装置。刀具一旦装置起来后，就在自动控制下连续生产出合乎标准的部件，除非是系统中有些因素变化了，例如刀具磨损或移出原位。当发现部件尺寸不合标准时，操作者必须查明其原因并重新调整刀具。于是这一系统将在一段时期内生产合乎标准的部件。这个系统是开放式回路，因为没有直接的手段保证最后的尺寸持续地符合标准。

自动生产线终端设有质量控制程序，中间设有检验点，借助于此，我们可得到关于过程控制状况的信息。如果部件的尺寸不合标准，机器就会停下来，查明原因后，重新装置好切削工具，或更换新的切削工具，机器又重新启动，部件又会自动生产出来。持续一定时期，直到将来又需要改变或调整，再重新装置。由于在这里没有应用直接的自动化手段来确保这个系统的产品达到所需标准，因而，我们称它为开放式回路的自动化。那么，我们怎样把这回路封闭起来呢？

图 7—8 用图解说明了应如何封闭这个回路。封闭起这个回路就叫做反馈。在一个反馈回路中需要一个传感器来度量输出（在我们这个例子中就是工件尺寸），还有进行比较的方法，把实际输出结果同所要求的输出结果进行比较。无论正负，其差值立即送至比较器，它能够转译这个发生错误的信息并命令操纵装置在相应的大小和方向上进行改正，使产品合乎标准，在我们所举的这一例中，反馈回路可以对预期的刀具磨损和其他偏离正常工作情况自动予以补偿。

电子计算机控制的生产线如前所述，自动化趋势最终的发展结果是一个全然一体的自动化生产过程，从输入原料开始直到制成最终产品，无需人们的劳动和控制。西部电气公司曾应用这种概念来进行炭质电阻的制造和控制。这种电阻如图 7—9 所示，它广泛应用于各种电气设备，应用数量极大。这些电阻必须能在极冷、极热、潮湿、震动和冲撞的条件下工作。在某些国防设备上，可以允许的损坏率为每 2 亿小时（23 000 年）的作业时间中损坏不得超过一次。这种非常高的可靠性要求，带动了自动化系统的设计和发展。在过去，曾经由手工制造或半自动化过程制造这类个别精密组件，因而导致在搬运中被玷污，并遇到人力无法克服的困难。

一、数控过程

当数字计算机控制着切削工具的位置和路线时，我们称之为数字控制（数控）。在这种情况下，反馈线路或回路是从对工具或工作台的基本位置控制发出的，这样能够决定刀具同工件的相对位置，而不是从工件本身的量度发出。反馈回路不断地将工具的实际位置与程序中规定的位置进行比较，如有误差则予以纠正。

1. 位置控制

位置控制是最容易做的，在精确的位置上钻出符合标准的孔，也许是对位置控制的最好说明。钻具在两个空间方向移动以便达到所要求的位置，然后刀具向工件进刀，就钻出了孔。图 7—10 是一部位置控制钻床的图解。这一系统通过穿孔纸带发出指令，再将指令译成电码，来指示有关的新数据块，这些数据块能确定在 X 方向和 Y 方向的位置。对于在 X 方向和 Y 方向的空间位置，纸带都读出 4 位数字，因而在图中所示的系统中，位置可确定于最接

近 0.001 英寸的地方。

让我们用 X 方向的位置作为一个例子。如果实际的读数大于所规定读数，比较器就记录一个正差，并促使 X 驱动器按正确方向转动以修正这一误差。当差值为负值时，驱动器向反方向转动。当差值为零时，驱动器就停止不动。当 X 方向和 Y 方向的位置偏差值都是零时，就发出信号给钻头，钻头开始钻孔，钻孔完毕钻头退出，再给纸带发出信号，使它读出下一个钻孔位置的数据。

2. 仿形控制

仿形控制把上述方法又推进了一步。要控制的位置是三维而不是二维的。除此之外，必须确定的不仅是空间位置，还有刀具实际要行走的路径，因为常常要设计复杂的曲线和表面，这就涉及一个更复杂的程序编制问题。这种系统，无论是可以生产的部件的形状，还是系统各个工序间的互换性，都有很大的内在灵活性。这种系统其主要优点之一就是机床在安装时不会停用很长时间，因为所有的准备时间实际上都用于编制程序了。所以，它主要适用于那些产量低的部件。

3. 编制程序系统

为数控系统编制程序的工作不断发展着，现在已能做到电子计算机本身编制大部分详细的程序。它是应用一种与 FORTRAN 相类似的专用设计语言来做出指令，这类设计语言叫做 ART——刀具控制程序自动编制系统，它包括 30 万个以上给计算机的指令，专门用于连续通路和仿形控制问题。在这种系统中，程序员根据设计任务书工作，他向计算机发出指令，其内容是所制造部件的几何尺寸和相应的切削程序。每一指令可表达为一整套计算机机器语言指令。其结果是，有经验的工件程序员应用 APT 语言可以用较少的指令编制出一个复杂部件的程序，图 7—11 显示一个例子，是加工一个“马鞍形表面”所要求的指令。

图 7—12 显示出了整个过程，根据蓝图设计任务书编制的程序指令通常称为“加工图”，如图 7—12（2）所示。这个信息在（3）通过打孔存入控制卡，又在（4）由一个高速识读器读入中央处理机（5）。数据在中央处理机中被翻译过来，并由内部储存的程序来进行处理。其结果被译为数控号码并同时印在一个高速打印机上，打印机打出一张部件程序指令表（6）；控制卡由一个读出打孔器（7）印出。这些输出的卡片记录了这一部件在整个制造中指令加工所

```
NOPOST  
CUTTER/5,25  
TOLER/001  
SOUTH=LINE/6,-6,-6,-6  
RSIOE=LINE/6,-6,6,6  
LSIOE=LINE/-6,-6,-6,6  
PSIS/(PS=OADRIC/1,-1,0,0,0,0,0,0,36,-36)  
FPOM/SETPF=POINT/12,-12,-12,5)  
CO/ON,COLFT/SOUTH,ON,LSIOE  
C=3  
O=6
```

```

SWEEP=MACRO,A,B
GORG/LSIDE
GORG/(LINE/PARLEL,SOUTH,YLARGE,A)
GOLFT/RSJDE
GOLFT/(LINE/PARLEL,SOUTH,YLARGE,B)
TERMAC
LOOPST
MAC) CAU/SWEEP,C,D
IF(11 999-D)TERM,TERM,NEXT
NEXT)C=C+6
D=D+6
JUMPTO/MAC
TERM)GODLTA/0,0,S
LOOPNO
GOTO/SETPT
FINI

```

图 7-11 加工一个“马鞍形表面”所要求的 APT 程序编制指令的例子

需的全部控制信息：若加工是由磁带控制，卡片就改为磁带。所用的磁带(8)在整个制造周期中控制着机床。

二、基本的设计方案

设计师的相当大的工作领域在于材料的选择，还常常要选择基本的加工类型。根本问题是每种材料和加工工艺类型的选择都不是单独考虑的，都要结合一定条件下的功能和制造成本的要求来考虑。制造成本受到预定产量的很大程度的影响。所以，一般来说，在产量不大的情况下，采用砂型铸造较为经济，而在产量中等或大批量生产时，则采用其他生产方法。但由于盈亏平衡点的产量取决于部件各自的特殊性，因而我们不能给定所生产的部件数目，这个数目代表任何材料与加工过程之间的盈亏平衡点产量。

因此，一批产量只为 1000 件的部件，如果部件十分简单，而压铸的结果使表面的粗糙度和公差都合适，那么采用压铸较之采用砂型铸造来说可能更合适，因为它的一般加工和精加工成本可能要低于砂型铸造所需的成本。另一方面，对于一个较复杂的部件，由于其压铸成本很高，可能会使盈亏平衡点产量猛增至 10000 件。重要的是，对于每一种设计情况，供选择的各种功能方案必须遵循经济分析时讨论的原则（第五章和第六章），在增量成本的基础上予以比较。下述例子把设计和成本进行比较，表明能够影响部件的基本设计差别的各个因素。

1. 过程和材料

图 7—13 显示出一个威斯汀豪斯电动机的托座设计方案对比图。原来它是用铸件加工出来的。而从功能和经济上的分析可以表明，它可以分作三个部分来制造（如图所示），这样做更坚固、更轻、制造更经济。设计方案为由薄钢板压制出托座身和托座轴，托座边则冲压制出。这种托架的产量需求证明，这一冲压设计的费用是合算的，而且功能也更优越。

图 7—14 列出了一种凸轮式开关组件的两种设计。右边的设计由一个黄铜铸件和装配在它上面的其他部件组成。左边的设计是挤压加工的，同装配式设计在功能上是一样的。挤压式设计避免了绝大部分的机械加工，也降低了材料消耗。两种设计的净差值是显著的，挤压式设计的制造成本只是装配式设计制造成本的 55%。

2. 部件的连接

把部件连接在一起的方法不同，造成成本上的巨大差别。图 7—15 对一个电阻管的不同设计进行了对比。左边的设计是把支架点焊起来，成本大大降低，图 7—16 也是同样，对一种铣槽外套的不同设计进行了对比。铆钉式设计需要在外套上开洞，以便装铆钉和铣槽。销钉式设计避免了开洞，而且在速度上销钉作业也要比铆钉作业快得多。

3. 公差

设计工程师常常受到埋怨，把公差规定得太小。无疑，这种情形是存在的。很明显，要求 ± 0.001 英寸的公差比 ± 0.0010 英寸的公差耗资更大，因为它需要更高的技术、更好的设备、切下更多的废屑。而且可能还要增加一些作业，如抛光等。不过，有时较小的公差在部件组装时可以节省调整和装配的时间。图 7—17 就表示出这样一种情况。这里所显示的装配，要求在三个接触臂末端上的洞要成一条直线，公差为 ± 0.005 英寸。这些接触臂安装在一个钢

图 7—16 无论是铆钉式设计还是销钉式设计，其铣槽外套都能满足功能上的要求，但销钉式免去了开洞，也不用装铆钉和铣槽，总的来说；销钉式设计成本要低

芯胶木棒上，并由销钉固定起来。这方形胶木棒的公差不能小于 0.012 英寸。其结果就是这些接触臂常常安装得不是太松就是太紧，必须要进行调整。如果将其公差规定减小为 ± 0.002 ，则可免除调整作业。这根棒可以被浇铸得稍大些，然后再拉削到更小的公差。可以应用一种特殊的装配夹具，而使这种拉削作为装配作业的一部分来完成。

4. 简化的设计

当两个或两个以上的部件最终稳固地装配在一起时，就出现了这样的问题，是否可把这两个装配元件设计成一个整件。当单一的部件能满足部件全部表面和截面的机能要求时，这一问题的回答常常是肯定的，图 7—18 举出了一个断路器接触臂的例子。左边的设计是由两个部件组成的，一个铸件和一个穿孔件，对这两个部件分别进行机械加工，然后再用两个螺丝将二者连接在一起。右边是一个整体设计，只是一个精密铸件，除精密机械加工以外，所有加工都可省略。整件设计的机械加工时间只要原设计的 74%，装配时间只要 50%，材料成本也显著降低。由于生产批量非常大这种整件设计在两年半时间内节省了 5 万美元的费用。

图 7-17 更加严密的公差要求避免耗资的调整作业，从而降低了总的生产成本

图 7—18 右边的简化设计只有一个精密铸件，对比左边的设计，它的机械加工时间只是其 74%，装配时间只是其 50%，材料成本大大

减少

5. 减少机械加工

图 7—19 显示了一种限制开关的凸轮分段装配的不同设计的对比。二者的差异在于加工原料作了替换。原设计的轴是由一根实心圆棒加工制出的。轴的直径最大处中间部分穿过弹簧的中心，从而将两个凸轮分开。两边的方形台，是铣削出的，用来销上凸轮的方形孔。而新的设计采用方棒作原料，其大小与原设计铣削出的方形尺寸正好相同，再用一个套筒来隔开在方轴上打滑的凸轮。这样就省去了铣削作业，同时也大大减少了要切削掉的材料量；节约的成本弥补新的套筒制造成本绰绰有余。

* * *

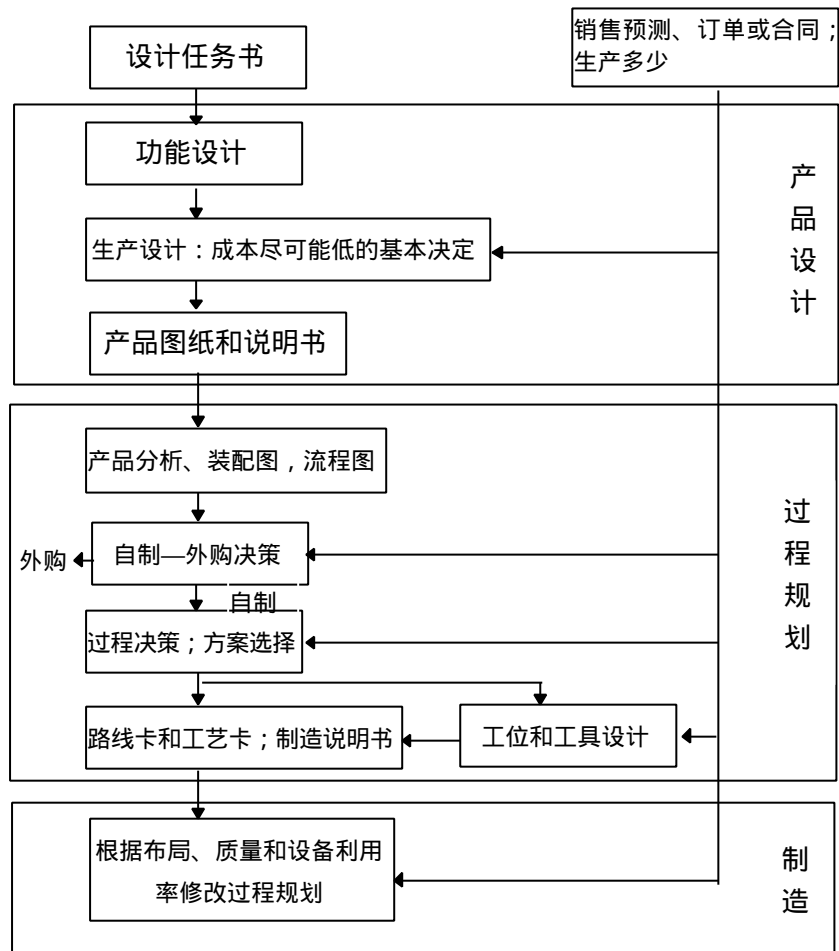
实际上，产品设计师限制了生产系统设计师的工作范围。有关生产过程方面的广泛知识以及他们的工作能力，为合理考虑各种基本选择方案提供了根据。这些生产过程包含所有类型的变化，如物理变化、化学变化、空间位置变化、信息内容的变化等。生产过程还包括从纯手工的到自动化的所有类型的执行方式。

第八章 过程规划

生产设计结束于何处？产品规划与工艺过程选择（下称过程规划）又始于何处？我们已经说过，基本的过程规划活动必须在产品设计阶段就开始进行，在这一阶段中，需选择所用的材料和初步加工形式，如铸造、锻压及压铸等。制图结束是公认的生产设计的终点，所完成的图纸对将要生产什么产品作出了确切的概括说明。过程规划即从这点开始，完成对零部件或产品制造计划的制定，它包括一系列对设计阶段提出的各种生产过程中有关问题的基本决策。

另一个有必要一提的问题是过程规划与设备平面布置之间的关系，过程规划必须同物料与设备的平面布置结合起来。有些过程规划活动需在生产系统设计的平面布置阶段进行，有时为了适应物料与设备的限制，充分利用可用空间，或者为了改进制造方法与加工工序，可以对原先的过程规划予以修改。过程规划与平面布置之间的区别表现在路线卡和工艺卡这些技术文件中（它们概述了规定工序、优选工序、规定的辅助器具、估算的工序时间等）。我们可以将过程规划看作是平面布置的输入信息。图 8—1 以图解形式表示了过程规划的总体框架。

完成过程规划所需要的输入信息，主要包括以下内容：首先是图纸和设计任务书，表明要制造什么；然后是产品的批量估计和定货合同。这些信息需结合在一起，来确定所进行的加工过程的范围。如果产品较为复杂，须经装配完成，那么需要花些功夫将其分解为一些零部件的组合。各部件间的关系、剖面模型、装配方式等可用专门的图纸表示出来。这时就可以初步确定哪些部件自制，哪些部件外购，以及大概的加工成本是多少。然后，即可为每个部件



制定出详细的加工路线。在此，有关工艺、机床等技术方面的知识是必不可少的，而有关经济方面的知识也同样重要，关于这一点，我们曾在第五章和第六章中讨论过。通常，可供选择的工艺方案有很多种，须根据产品的总产量和设计预期的稳定性等因素加以选择。在这一决策过程中，产品盈亏平衡点产量这一概念对于比较各可选方案起着重要的作用。

第一节 产品设计

现在我们举一个例子来讨论有关过程规划的问题。待生产的产品是一种由 12 个零件组成的电容器（如图 8—2 所示），我们来看看需要准备哪些技术文件。

首先，是装配图。它使人们对结构较为复杂的产品，能够较容易地看清楚物料的流动过程以及部件之间的相互关系：它们从何处流入装配过程，哪些零件组成局部配件，以及外购部件在装配顺序中的安排。图 8—3 是电容器的装配图。请注意，图中十分清楚地表示出了各部件之间的相互关系，装配的顺序以及哪些零件组成局部配件。实质上，这种图解式的装配图表示出了整个的制造过程。对电容器这样的简单产品而言，装配图实际上可以省略，因为上述信息在下面介绍的作业流程图中都能反映出来。然而，对于像飞机或导弹这样极其复杂的产品，如果没有一份装配图就很难弄清楚全部的制造过程。装配图对于初步制定部件装配方式（通常有各种方案可供选择，例如，盖子的部件装配就可以分开来进行）和制造方法是很有用的。例如，对工厂设备的平面布置来说，按产品专业化布置方式和按工艺专业化布置方式各适用于什么样的场合？最终的决策还取决于对多种因素的综合考虑（参见第十章）。

第二种技术文件是作业流程图。假定产品已经设计好，其各零部件的规格、尺寸、公差和所用的材料从设计图纸上都完全可以确定了，我们就可以根据设计任务书的要求和合同的规定，制定出一个如何制造该产品的计划。此时必须作出决策，哪些零部件需外购，哪些零部件由本厂自制。产品的设计图纸规定出了零部件的钻孔位置、尺寸和公差以及要进行精加工的表面等。有了这些产品数量和制造过程方面的信息，就可以确定出最经济的设备配置方式和工艺流程。

上述工作的结果是一份规定如何制造零配件的说明书，通常称为作业流程图，它为每个需要制造的零部件规定了优选工艺流程、需使用的设备、专用刀具、卡具和量规等，通常还附有准备时间和加工时间的估计值。所有这些信息都可以概括为作业流程图的

形式。图 8—4 给出的是电容器的作业流程图，它实质上是制造电容器所要求的全部工序的总结。其中采用了以下符号来代表一项工序：大圆圈○代表一项加工工序，而正方形□代表一项检验工序，所有的这些信息都可以概括在作业流程图中，它使我们能够清楚地看出零部件从一台机器到下一台机器的基本流程，以及零部件的一部分装配环节与总装配间的关系。

作业流程图在制定平面布置图时很有用。它清楚地显示出所要采取的工艺类型、工序顺序和使用的设备。在后面将要讨论的平面布置问题中，有时需要探究一下某些工序是否必需，以及把各个工序合并起来或重新安排其顺序（其目的是改进物料流程）是否可能。

我们上面所讨论的是对于一种新产品如何制定出加工计划，从而得到作业流程图。除此之外，作业流程图也可用于对现有的工序进行分析。随着时间的推移，产品的加工计划也会逐渐发生变化，其原因是产品设计的更新、数量的增减以及加工工艺的改进等。

有时候为了满足临时的紧急需要，增加了一些工序，但当这种需要不复存在时，增加的工序可能并没有被取消，而是成为永久性的了。对现存的工

序进行详细的考察，就可以消除这些重复和不合逻辑的流程。首先把总的制造过程分解为单项工序，并考察作业流程图的逻辑结构，就可以对各项工序是否合理以及工序间的关系问题作出答复了。

第三种技术文件是产品流程图。产品流程图在概念上与路线图有相似之处，但是它增加了更多的细节，而且其使用范围也略有不同。产品流程图在作业流程图已有信息的基础上又增加了运输和存储工作的内容。可见，作业流程图的着眼点主要是生产活动，而产品流程图还考虑到非生产活动。

在一般的产品制造过程中，物料从一个工序到另一工序的运输以及在各工序上的存储（等待操作者和设备对其加工）活动所占用的时间实际上是产品整个制造周期中的很大一部分。这些非生产活动需要占用劳动力和运输、装卸设备，需要花费货物存储费用，所以，生产管理人员应对其给予足够的重视，以尽量降低它们的费用从而降低总的生产成本。很明显，通过大幅度削减产品的批量可以降低生产线中的库存量，但这可能会导致更高的单位物料搬运费以及闲置在机器上的直接劳动。一般而言，作业流程图的应用较为广泛，其范围可能涉及到整个复杂的产品，而产品流程图一般仅用于产品的一个部分。

产品流程图中要用到更多的符号，以便把非生产活动反映进去，图中采用数字还是字母实际上是无关紧要的。有的生产管理人员把存储划分为暂时存储和长期存储，分别采用不同的符号予以表示；运输的符号也相应有所差异。所用的一些符号如下所示：

○ ■ ⇒

下面我们再举一个实例来看一下产品流程图的应用。图 8—5 所示为空气断路器的主体框架。跟随该产品的各个零件依次实地经过各机械加工工序，搜集实际的信息，即可得到最终的产品流程图如图 8—6 所示。请注意，图中每个倒三角形清楚地代表着存储，而每个圆圈代表机械加工，运输时的移动距离以及加工所需的时间也在图上表示出来。

把产品流程图叠加在工作区的平面布置图上，就可以更加清楚地看出空间关系，这对于产品流程图来说是一个很好的补充，所得到的结果称为生产流程图。

这里，有必要对各工序的每一细节都加以研究，首先是为了完全去除那些无存在必要的工序，其次是为了把有关工序合并在一起。下面我们就来具体研究一下如图 8—5 所示的空气断路器的产品流程图，看看能提出什么问题来。

首先，注意到 0—1 要求拉直（并磨光），再看一看图 8—7（a），对这个拉直工序进行研究，看看是否可以采用浇铸的方法以避免这根加强肋弯曲。如果浇铸方法可行的话，那么就可以将拉直工序去除。其次，再看看图 8—6（b），可以看到，铸件在 0—8 被清洗，以便为后面的油漆工序做准备。接下去便是 0—9 的研磨与抛光工序。难道工序 0—9 不会产生一些研磨细屑而弄脏铸件吗？

第三，在图 8—6（c）中，我们可以看到，在用了填充物以及用黑瓷漆喷射以后，都要花相当多的时间来烘干。所用的填充物和油漆都应予以检查。也许有一种可用的填充物并不需要进行烘干处理，那么这种风干方式的填充物究竟能令人满意吗？

第四，在图 8—6（d）中，我们看到铸件三次进入铣削工序，现在就可

以提出这样的问题：是否可以调整一下工序的顺序，让铸件在一个铣削工位上完成所有的铣削加工从而免除铸件的往返搬运呢？

还可以提出其他问题，例如，需在三个地方进行钻孔加工，那么是否可以将这几个工序一次完成？（实际上，可能摇臂钻床能够解决这个问题）。最后，注意到 0—1 和 0—9 是在同一表面上进行研磨，前者进行粗磨，而后者进行精磨，那么，第一项工序能不能推迟到 0—9 进行？如果这样做可行的话，就能减少一次搬运工序和一次储存工序。

以上这些问题（以及其他的问题）是工程师们在分析空气断路器的制造工艺时提出来的。我们这里的意思并不是说所有的铣削作业都应当同时进行，或是应当永远使用风干型瓷漆，如此等等。可是，如果不采用上述各项方案，应当有充分的理由，因为实际所用的方案与建议应用的方案对产品成本的影响有着很大的差异。

当所有不必要的工序被消除，所有适于合并的工序都完成了调整从而取得相应的经济效益之后，我们所面临的最后一个问题是，所有必需的加工、运输、存储等各个工序是以所知的最佳方式完成的吗？

由此我们到了下一步的分析，我们考察问题的着眼点现在成了单项的工序。在这里，在一项工序中所要完成的工作包括任何涉及人的活动，既可以是运送物料或存储物料的活动，也可以是在产品制造中的直接加工过程，还可以是在产品的流程中有着辅助作用的任何间接劳动。我们把这样的研究称作“人一机分析”。

第二节 自制与外购决策

产品、零部件、原材料等是运用自身的设备和技术力量自制还是直接外购，是每个企业不可避免地所要回答的问题。每个企业所涉及到的产品、零部件、原材料的范围极为广泛，所幸的是，对其中的很大一部分实际上无需考虑去制造生产。象纸夹、铅笔和橡皮这样的文具，由于已实现了生产专业化，所以除它们的专门生产厂家，对于别的企业来说，再去制造它们是不经济的。

产品设计完成后，关于其详细的说明都已概括在蓝图或图纸中了，从上面我们可以看出，产品可能是由几个、几十个或者成千上万个零部件组成的。例如，一架大型运输机是由 5 万多个零件组成的，其中哪些自制，哪些外购？在对此作出决策时，应采取什么样有效可行的标准来进行衡量呢？

绝大多数的生产管理者都会把成本作为制定自制与外购决策的主要标准。如果一个部件外购比自制便宜，那就直接购买好了。可是，当需要真正进行成本比较时，问题却并不像想象的那样简单，因为实际上并不存在一种适用于各种不同情况的成本比较方法。对每一种情况，都需要对所涉及的增量成本进行分析，而对不同的情况，这种成本在性质上都有很大的差异（请回忆一下我们在第五章中关于增量成本的讨论，那里所举的许多例子都是关于自制与外购决策问题的）。对自制与外购问题进行经济分析的唯一准则是增量成本分析原则。我们必须弄明白，对某种零部件我们不去自制而是外购，我们到底能节省下来什么成本，而这些成本的减少是否大于外购该部件所花费的成本？如果是这样的话，我们就应当外购；相反的情况，如果我们现在采取的方式是外购而不是自制，那么改为自制时实际上会有什么增加？它是否小于我们停止外购这些部件所可能减少的成本？如果是这样，我们就应采取自制方案。

这些原则听起来很简单，但在实际中还需根据不同的情况灵活运用。例如，如果必要设备的生产能力有闲置的成分，那么自制方式的成本应当更具有吸引力，因为我们没有理由把原有的设备投资、占地空间和监督管理等间接成本再分摊到新产品上去。但另一方面，如果上述间接成本是必须再追加的，则这一事实在分析时也应予以考虑。相反地，如果我们考虑以每件 2 元的价格外购某项产品，而其当前的平均制造成本为每件 2.25 元，那么我们最好先分析一下制造成本中所包含间接成本的比重，有可能购买这一产品实际上只减少了很少的间接成本，而设备投资、占地空间和一般的管理费用则仍将持续作为成本保留下来。这样，在考虑了增量成本之后，再与每件 2 元的外购成本相比较，该产品的制造成本有可能看作为每件 1.5 元。由此可见，当工厂具有闲置的设备、厂房建筑以及生产能力时，可以考虑产品自制而不去外购。

有可能对自制与外购决策产品影响的成本类型较多，有些成本还通常会被人们忽视掉。例如，一家企业发现他们在外购材料时没有计人材料搬运费这一额外成本，而该种材料较为庞大笨重，搬运成本就显得十分重要了。可见，外购零部件的单件价格并不能真正地反映出增量成本的大小，而增量成本是进行自制与外购决策应考虑的重要因素，另有一家工厂在采用自制方案时未考虑到所需增加的日常文件管理的费用。以前他们只需买一件装配好的部件存储起来，等待装配时进入最终产品，而现在采用自制方案后，他们必

须购买几个组成部件以及所需的原材料，填写工作单，管理几种部件的库存并填写装配单，等等。结果表明，这些成本中有一些是可以度量的，它们显著地大于购买这一部件所需的成本。所以，在进行成本分析时，必须具体的情况具体分析。

到目前为止，我们在讨论自制与外购决策问题时所针对的对象是原有的零部件或产品，那么，对于新的零部件或产品而言，情况是否仍与前面所讨论的一样呢？实际上并没有什么不同，因为我们所面临的是同样复杂的因素，这些因素使我们无法用假定的传统制造成本与购买价格进行比较。单纯的购买价格实际上并不能确切地反映外购的比较成本。同样，我们可能拥有一批能够完成制造工作的闲置设备，这就可以使制造的增量成本主要由直接成本组成。对于自制与外购决策，也许最好的指导性意见是，我们必须始终记住所讨论的是一个运营中的企业。一个运营中的企业具有一些自身所独有的条件，它有建筑物、设备、技术以及监督和管理人员。现在我们对某一部件采取外购方案而不是自制方案，那么这一运营中的企业会怎样变化呢？然后将上述决定反过来，这样做是否需要增添新设备、占地空间和监督管理人员？对于有些运营中的企业来说可能不需要，而对于其他一些运营中的企业来说则可能需要，据此可以作出正确的自制与外购决策。

除了经济因素之外，在作出自制与外购决策时还应考虑以下因素：质量保证、供应的可靠性、专利、营业秘密的控制、灵活性以及生产的专业化程度等，此外，政府的某些规定，在一定程度上也会影响企业的自制与外购决策。

在影响自制与外购决策的诸多因素中，大多数企业都希望把经济因素放在首位，除非他们认为是出现了极限情况，例如当质量、供应或是专利方面的矛盾特别突出时，他们才会改变这种策略。在这种情况下，非经济的限制因素就会被自觉或不自觉地看作是成本上的不利因素。虽然在制定自制与外购决策时常常选择外出采购大量的标准化产品，如螺母、螺栓、开关、阀门等，但这种决策也会随总的设备负荷状态的变化而变化。在具备了制造某些零部件的生产能力时，一般都选择自制方案；但是当设备要求加班运行时，经济分析的结果就会发生相当大的变化，原来自制的零部件就不得不改为由外购获得，这是因为加班奖金会对成本产生影响，而且为了完成生产进度还需要增加有效的生产能力。

企业在制定自制与外购决策时，有时需要比较“现实”些的原则。例如企业常在可以自制时还实行外购，并非是出于我们在上面所讨论过的原因，而是为了保持与一个重要的供应厂的良好关系，以及其他与客户间的互惠安排。而一般情况下，对于加工装配类企业，生产的专业化程度越高，外购或外协零部件的数量就越多。

综上所述，企业生产管理人员在进行自制与外购决策时所采用的决策准则是基于多方面的因素的。各种影响因素可以分为两大类，一类是经济利益因素，这是自制与外购决策的主要影响因素；另一类是非经济的和难以确定的因素，这些因素也是不可忽视的重要因素，正是这些因素，往往促使企业作出非经济上的最佳选择。从总体上看，自制与外购决策问题涉及企业的纵向一体化政策。正确的选择是企业保持长期成功的关键。

第三节 工艺过程选择

工艺过程选择包括以下一系列的决策：产品制造技术的选择。生产设备的选用、产品工艺流程的选择等，在这里我们举例予以说明。有一个部件需要进行车削加工，这一作业可以在普通车床、六角车床或自动车床上完成，这是从功能上的选择方案。最为经济的选择方案则取决于我们所考虑部件的产量以及每种方案增量成本的相对量。要确定最经济的方案，我们必须估算出装置费和工具费，以及三种方案的可变成本。对劳动成本进行估算可以利用标准数据（参考同样产品过去的成本）和有经验估算人员的技术作为基础。

目前，人们在累积工时研究资料的基础上已制定出了各种机械类别的标准数据。一个对机器较为熟悉的估算人员，是能够据此对装置和作业时间作出较好的估算的。我们将在后面的第十二章中探讨有关制定工时标准的基本原理和方法。图 8—9 给出了一个铸铁件在自动车床上进行加工的作业时间估算，该估算是将标准工时数据计算相加而得到的。很显然，这里我们需要对部件自身进行仔细的分析，以确定出所要求的切削以及切削的顺序。如果需要的标准要素中并不包含手工作业，则其工时价值可通过工时定额测定法的动作标准数据合成获得（参见第十二章中的有关内容）。

应用上述方法可估算出劳动成本。刀具成本、动力成本以及其他有关的增量成本也可以估算出来。在表 8—1 中，我们给出了一种部件的说明，该部件的加工可由普通车床、六角车床或自动车床完成。

当然，对于不同的部件而言，当不变成本要素和可变成本要素发生变化时，其中任何两种机器间的盈亏平衡点也会发生变动。

现在，适用的决策准则已一目了然了：如果部件的生产批量少于 278，则普通车床的增量成本最小；如果批量在 278 到 1000 之间，则六角车床的成本最小；如果批量在 1000 以上，则自动车床的成本为最小，请注意，这里的分析结果是以假定企业拥有全部这三种车床为前提的，所以资本成本问题没有予以考虑。如果自动车床需要另行购置，则分析中必须加以考虑。

表 8—1 在三种机器上加工一个部件的
增量不变成本和增量可变成本

机 器	不变成本，装置劳动加 装备工具	可变成本，每件产品的 劳动、供应品、动力等
普通车床	5.00 美元	0.19 美元
六角车床	30.00	0.10
自动车床	70.00	0.06

在进行设备选择决策时，除要考虑严格的经济因素之外，有时还需考虑其他因素，即使所有的备选方案都满足功能上的要求，也有可能选出能使加工结果达到较小公差的机器来完成那些较为“棘手”的加工。对于定做零部件的间断性生产类型企业来说，机器的适用性是至关重要的因素。在实际中，最经济的机器有可能正在被别的工作占用或出了故障，这时应启用第二种最经济的机器，以避免定单长期等待。由此可见，在选择机器设备时，虽然经济因素最为重要，但同时便利、质量、功能等方面的因素也应给予充分的考

虑。

下面我们来看一下研究工艺流程时所用到的生产管理工具——作业流程卡和作业卡。每个零部件在各个加工阶段都必须予以分析，以确定所应完成的加工作业，并选择和规定完成这些作业所要求的设备，这样就确定了加工的工艺路线，并通常用作业流程卡的形式概括出来。作业流程卡一般包括以下内容：（1）显示所要求的作业以及所推荐采用的这些作业的顺序；（2）规定所用的机器和设备；（3）提供估计的装置时间和每件的制造时间。当某一部件是标准化部件，而且周期地制造或再制造来满足需要时，标准的路线卡就作为认可的制造方法而保持下来。关于制造方法的更详细说明，常用作业卡的形式来确定，它更详细地说明怎样完成这些作业，即提供一个标准的方法。

作业流程卡，连同作业卡一起，规定怎样制造零部件或产品。这些文件对于制造企业来说是基本的。在设计一个生产系统时，它们所起的作用正如蓝图和图纸在零部件或产品设计中的作用一样。图纸说明做什么，而作业流程卡和作业卡则说明怎样做，在连续型的生产企业中，一旦完成了工艺过程的规划选择并建立了生产系统之后，作业流程卡就没有什么用处了。因为，作业流程或者是标准化的，或者是遵循机械路径，所以作业顺序是不成问题的。同样，尽管作业卡还常常存在，但它们只是作为加工条件和方法的记录被保存着；只是在需要用以对新人员进行工作标准化程序训练时，才有可能去参阅它们。一般只要求对标准的工艺流程作定期的更新，以反映产品设计的改变或生产工艺利用的进步。

第四节 大型项目的网络计划

第二次世界大战以后,人们逐渐地认识到一次性的大型工程项目作为一个管理问题在经济中的重要性。导弹工程和空间计划规模庞大,结构复杂,需要有特殊的方法来完成工程规划和进度安排与控制,因而出现了网络计划技术,其主要形式有关键线路法(CPM)和计划评审技术(EPRT)。这些发展所带来的技术上的成果,为各种以大型工程作为中心的活动(如在建筑业、研究和开发活动、新产品引进的计划与实施、新工厂的开办,以及现有工厂的重新配置等方面)提供了一套全新的重要方法。我们将在第十八章中详细讨论这些网络计划方法。

第五节 非制造系统的规划与设计

非制造业活动的过程规划，通常不像在制造业中那样复杂，但是仍然遵循着类似的概念框架。自制与外购决策仍对一些非制造系统产生影响。例如，企业可以采用租赁方式，利用数据处理中心来编制工资单和库存记录等，这代表着不同于用内部手工或半机械化方案的一种新方案。又如，一家建筑承包商必须决定整个建筑物的哪些部分将转包出去，而哪些部分则由自己的人员来完成。

同样，所制定的过程、方法及其顺序对许多非制造业活动的成本也会产生重要影响。例如，在房屋建筑中，作业顺序对确定成本极为重要，假如直到房子已经搭起来并盖上了房顶时，还没进行管道工程的初步工作，那就只好在已建成的楼板和墙壁上打洞，并被迫在极其不便的位置上工作，以便装上管道。另外，房子一旦建成了一部分，一般就不大可能再将平整土地的设备装到屋内去使用了。

在本章中，我们已了解了所采用的生产过程在实现可能的最小生产成本中的重要性。从组织意义上而言；过程规划是指利用一整套部件和产品的图纸和说明书来规定如何制造它的其他细节。在进行这些活动时，必须作出是自制还是外购的决策。对于自制的部件，必须制定其所需的作业及其顺序。有关的说明通常概括在作业流程卡中，作业卡对其予以补充，它详尽地指出每项作业如何进行。

从本章起，我们开始涉及生产系统的设计，在以后的第九章到第十二章中，我们将继续讨论系统的组成部分。在第十一章中，我们将重点论述人的因素和为人而进行的工作设计；在第十二章中，我们将讨论生产定额和劳动测定。

第九章 建厂地区规划

一个生产系统的设计取决于它的建厂位置，因为所选择的厂区所形成的物质因素直接影响着平面布置，还因为厂址选择部分决定着运行成本和资本成本。从工厂设计的纯物质因素来看，建厂地点可以决定是否需要购买动力装备；决定对供热和通风程度的要求；决定制造部件所必需的生产能力（这取决于可以利用的当地转包人的生产能力大小）；决定所需的原料存储空间大小（这取决于供应的可靠性）；决定货物运出和运进的运输工具的类型，等等。从运行成本和资本成本的观点来看，装运原料和成品的方便程度，劳动成本、税金、土地，以及燃料——所有这些及其他因素，处于复杂的相互关系之中——都影响着一个企业的总体的竞争力大小。

对于多个分厂情况的建厂地点的分析特别令人感兴趣，因为其性质是动态的。增加一个新的分厂，并不是一种独立于现存工厂地点之外的单独决定建厂地点的问题。所考虑的每一个建厂地点，都涉及一个对市场区域供应能力的重新安排问题。所以，从经济观点来看一个解决办法就是，使工厂网络的联合生产和分配成本最小化，而不只是使新增加的分厂成本最小化。另外，在多个分厂的情况下，地点因素继续影响着每一个分厂用以满足需求的生产能力，并在需求下降时帮助人们决定哪个工厂继续运行，哪个工厂关闭。

一个工人一的建厂地点有多大的重要性？要获得有利的建厂地点的压力总是存在的，特别是在多分厂经营的情况下更是这样。例如，曾经有过工业的大批迁移，如美国的纺织工业，为获得廉价劳动成本的利益而大批迁往南部地区。近年来美国南部的工业化，就是部分地建立在这一优势的基础上的，近来美国许多产品的生产者考虑在国外建厂，以便抗衡来自日本和欧洲的制造商的竞争。欧洲共同市场的形成，将参加国的 2 亿人口联在一起而成为一个自由贸易区。许多美国生产者认为，他们在美国国内和国外市场能够与共同市场的厂商进行竞争的唯一途径，是在共同市场地区建厂。

必须认识到，在美国国内工业内部分散化，这意味着对每一种工业都存在着许多良好的建厂地点。没有任何一个地点是独一元二，明显优于其他地点的。例如，在新英格兰、大西洋沿岸中部各州、中西部的各个部分、南部和远西都可以找到电视和无线电厂。而塑料原料工厂则建于马萨诸塞、纽约、新泽西、宾夕法尼亚、俄亥俄、密执安和田纳西诸州。塑料制品成形工厂则分布遍及美国工业区。在北卡罗来纳、纽约、伊利诺斯、印第安纳、弗吉尼亚、宾夕法尼亚、加利福尼亚、密执安、俄亥俄、马萨诸塞、威斯康星、得克萨斯和其他一些州都有家具制造工厂。钢铁工业是我们趋向于看作集中化的工业，但其制造生铁的工厂也分布于 18 个州，制造钢锭的工厂分布于 27 个州，而制造热轧制品的工厂则分布于 28 个州。

建厂地点规划的动态性质我们趋向认为建厂地点问题只是偶尔发生，从管理人员的感觉上考虑，它可能的确如此。我们都可以举出例子，有些企业座落在某一城市，并在此维持了 25 年到 50 年，甚至更长的时间。但这并不意味着在这段期间内，特别是企业扩充时没有考虑自身的位置问题。是迁移还是留在原处的选择问题是始终存在的，但是在考虑扩充时，这个问题就更加重要了。通常存在着下列不同的选择方案：

1. 通过扩大转包工作规模来代替扩大物质设备，以达到总体扩充的目的；

- 2.如果可能就对现存工厂进行扩充；
- 3.保留现存工厂，并在另一地方建立第二个工厂；
- 4.舍弃旧的工厂，并将各种设备重新安排在另一个新厂中。

在一个地方维持多年不动的企业，总是存在着这些选择，继而它们或者选择扩大现存工厂，或者扩大转包工作规模以满足对其产品的需求。

一个开始时还不错的工厂位置，经过若干年后就不一定仍旧是好的了。市场区域的重心可能发生急剧的变化。工业价格政策变动时（例如当钢铁工业从基点价格制度转变为工厂离岸价格制度时），可能要抛弃旧的工厂位置。有些工厂曾经进行过迁址以便离开他们认为不理想的劳动环境。

第一节 客观因素和主观因素

在建厂地点的分析中，企业家们的目标是使受建厂地点影响的所有成本总额达到最小。他们认识到，在各种建厂位置的比较分析中，某些成本项目，如运费，可能在地区 1 更高些，而在地区 2 更低些。同时，动力成本等则可能显示出相反的情况。他们在寻求使成本总体来说达到最小化的建厂地点。然而，他所考虑的不只是当前的成本，还有长期的成本。因此，他会对一些可能影响未来成本的不定因素感兴趣“例如，像市政官员和中民对于一个企业在他们的市镇上建厂的态度这样的因素，可能会预示他们在未来要征收的税额。较差的当地运输设施，可能意味着企业未来将需要投入用以弥补这一不利条件的费用。劳动供应的短缺，可能会导致工资标准将上升至超过地区调查时的标准。当前可用的劳动类型可能预示着未来的培训费用。所以，虽然对各个位置的比较成本的分析，可能指向在某一地区建厂；但是，对不定因素的评价却可能成为做出另一个选择的基础。

这种情况显示在图 9—1 中，它表示了一个公司对九个不同建厂地点的研究结果。若只考虑比较成本，则 E 城最可取，与第二个成本最低的 D 城相比，它每年的运转费用要少 15 万美元。然后，在图 9—1 (b) 中，对各个城市的七个不定因素进行了评比。这些城

(a) 在各个不同城市中经营一个有 1000 名雇工的工厂的全年成本费

(b) 其它影响厂址选择的因素比较

因素	E 城	D 城	A 城	C 城	G 城	H 城	F 城	B 城	J 城
劳动	中等	中等	充裕	充裕	中等	中等	充裕	充裕	充裕
供应									
劳动	好	好	极好	极好	极好	极好	极好	极好	极好
力类型									
工会	显著	显著	消极	消极	中等	显著	显著	中等	活跃
活动									
态度	好	好	很好	很好	好	好	很好	很好	好
外观	尚好	尚好	好	好	极好	尚好	好	好	好
运输	好	好	很好	好	很好	好	很好	很好	很好
文娱	好	很好	很好	很好	很好	好	很好	很好	很好
生活									

图 9 — 1 X 公司对九个可供选择厂址的研究总况

市的每个因素分别被评定为极好，充裕，很好，中等，尚好（只有工会活动这个因素的评定等级为：积极的，显著的，中等的，消极的）。在这些方面，A 城和 C 城都比 E 城好。这是不是意味着 E 城目前在成本方面的优势在将来会消失呢？这是一个由个别管理部门要判断的问题。还要注意到在图 9 — 1 (a) 中，E 城的不动产税比其他城市要低些。这一事实提出一个问题：这个条件可能会继续成为一个优点吗？

表 9—1 进一步显示了这九个城市的总体的和具体的资料。请注意 E 城

的每人平均公债债务是 A 城的 5 倍多，而 C 城则没有公债债务，这可能预示着未来的税务负担。E 城没有航空港，C 城也没有。这是否对未来的税务负担和企业管理人员业务交通的便利情况这两方面有影响呢？对这些不定因素的权衡还可以继续下去，但是，以上所提出的一些问题是有代表性的。

第二节 厂址选择

虽然总体位置选择是最重要的方面，但从客观和主观两方面因素来看，厂址的选择也同样重要。所选定的地区必须包含一个工业用的厂址区域，这一区域能以合理的开发成本满足企业的最低要求。

要选择一个能满足最低要求的厂址，必须对建筑物的占地空间面积要求作出一个初步的估计。所以要选定的厂一址一定要足够宽敞，以便能适应目前的占地空间要求，以备扩展空间、职工停车场所、运进和运出材料的运输设施、等待装卸的货车和有轨车的额外场地等方面的需要。至少要有 5 倍于实际考虑的厂房面积，才能容纳下所有的这一切，包括将来的扩展。如果有可能的话，邻接于厂址的露天空地可用作将来扩展之用。

- (1) 以假定的工厂计算总税额
- (2) 每月 20 万千瓦小时 (1500 千瓦的电力，指数为 85%)
- (3) 每月 300 万加仑 (4000 万立方英尺) 的水费
- (4) 按最低费用每 1 000 立方英尺计算 (每立方英尺 1000 英热量单位)
- (5) 按已送达的每吨煤计算
- (6) 按已送达的每加仑二号燃料油计算
- (7) 雇用 1000 人或 1000 人以上

*男女劳动力同样工资

**为便于阅读，续表仍列出了城市名

选定的厂址还应该为必要的运输设备、公用事业设施、污水处理系统提供条件。土壤结构必须足以承受建筑物基础的负荷，所有这些因素在决定址的开发成本方面是很重要的。

工业区通常是一个极好的解决办法，因为它们是为工厂厂址开发而精心设计的。必需的公用设施通常已经提供，而且不存在划定范围或与附近居民的纠纷等问题。

显然，如果很恰当地为一个工厂选定一个地区并最终确定厂址，必须要进行认真的研究，必须获得大量的资料并将其结合起来考虑，才能对一个复杂的问题有所了解。

第三节 资本开支—产量的影响

在选择各个厂区中的另一个重要的可变因素，是用于土地、建筑物，以及可能的运输费上的必需的资本开支。这些固定投资成本可能差别极大，这取决于当地的建筑和土地费用，以及所选择的特殊厂址的差异，例如到厂房的铁路支线的可利用程度以及动力和煤气线路的供应充足与否。所以，盈亏平衡点分析的概念可以用来比较各个厂区的客观成本因素。图 9—2 显示出在图 9-1 中分析过的该企业各个建厂地区的成本和假定的资本开支额之间的比较情况。当然，这样一个盈亏平衡点分析只有在实际产量接近于设计的工作能力时才是正确的，因为产量上的巨大变动会导致资本投资上的差异，以及可能的可变成本上的差异。请注意，虽然 J 城提供了极具吸引力的不变成本，但其运行成本在考虑产量时却是最高。从这种观点来看，D 城是最经济的建厂地区。

第四节 多个分厂的位置选择

如我们前面提到过的，多个分厂的位置受到工厂当前位置以及我们已讨论过的各种经济因素的影响。每个供选择的建厂地区，必须从与现存工厂和市场区域相关的经济观点出发来考虑，目的是选择一个使总的生产一分配成本最小的新的建厂地区。这个目标在某种程度上与分析单独一个厂的建厂地区有所不同，因为每一个不同的厂区都要求几个工厂对市场的生产能力有一个不同的配置，以便使总的成本最小。这一问题可置于一个线性规划结构之内，并在一个分配矩阵内予以解决。

让我们来考察一下美国“良履制鞋公司”的案例。这家公司在底特律和芝加哥的两个工厂，制造各种一般档次的女鞋，而产品分别由以下五个主要分配中心完成：密尔沃基、克利夫兰、辛辛那提、布法罗和亚特兰大，再从这些中心运至零售店。第五个分配中心——亚特兰大是最近增设的，目的是为公司正在努力扩大销售的东南地区服务。为了满足增加的需求，公司决定建造一个新工厂，每周能生产 25000 双鞋子。经过总体的考察，已经把选择范围缩小到三个建厂地区：辛辛那提、克利夫兰和亚特兰大（如图 9—3）。生产和分配成本，以及工厂生产能力和分配需求均见表 9—2。建议新设的工厂每周 25000 双鞋子的生产能力反映了几个市场区域的平均预测需求，并允许有些预计的销售扩展余地。分配成本包括运费、装卸和仓储费用。如所预料的那样，与其他两个建厂地区相比，亚特兰大的生产成本较低，但分配成本较高。现在的重要问题是：联系现存工厂和分配中心来考虑，哪一个建厂地区能为企业提供最低成本？为了能明确回答这一问题，我们来解三个分配矩阵，每个组合一个矩阵，生产能力和需求是已知的，每一单元的成本是每一个工厂—分配中心组合的生产加分配成本。图 9—4 显示了结果得出的三个最优矩阵以及每个矩阵的总成本。

形式的线性规划问题的解答，显示出在可变成本方面亚特兰大的建厂地区略显优势。亚特兰大还有个好条件，就是较低的地势和建筑成本。最后，如果我们考虑到将来可能在南部扩展市场，不讨论其他不定因素的话，那么亚特兰大在目前成本和未来成本两方面似乎都占优势。问题的解答如所示那样，是相当简单的，可是，也可能附加上其他的限制条件，如各个建厂区的库存水平以及未来分配中心的位置。

表 9-2 良履制鞋公司的生产成本、分配成本、工厂生产能力和市场需求

	每双鞋子的分配成本、装卸、仓储和运费					预计每周 市场要求 (双数)
	现有工厂		建议的建厂地址			
	底特律	芝加哥	辛辛那提	克利夫兰	亚特兰大	
米尔沃基	0.42	0.32	0.46	0.44	0.48	10000
克利夫兰	0.36	0.44	0.37	0.30	0.45	15000
辛辛那提	0.41	0.42	0.30	0.37	0.43	16000
布法罗	0.38	0.48	0.42	0.38	0.46	19000
亚特兰大	0.50	0.49	0.43	0.45	0.27	12000
正常的每 周工厂生 产能力 (双数)	270000	20000	25000	25000	25000	
单位生产 成本	2.70	2.68	2.64	2.69	2.62	

下面我们讨论动态的多个分厂位置规划问题。建造亚特兰大工厂的决策是建立在分析目前成本、需求分类和对未来的估计基础之上的，但假设这些因素的平衡发生了变化，那么就要改变对市场的生产能力的配置，以便产生一个对任何现有条件都是最低的总成本。所以，时建厂地区进行分析是持续而必要的。

例如，假设在建造了亚特兰大工厂以后，由于进口了低成本的意大利产品，竞争增强，因而我们制鞋公司的产品的市场需求下降了。如果不是如我们所希望和计划的那样总需求为每周 72000 双，而是只有 56000 双的需求分配于下列各市场区：米尔沃基 9000，克利夫兰 13000，辛辛那提 11000，布法罗 15000，亚特兰大 8000。

亚特兰大和底特律两个分厂只要加班工作，就能够满足这个需求而无需芝加哥分厂，事实上，这三个分厂中的任何两个如果采用加班都可以满足这个需求。所以，我们有这些可供选择的方案，同时也有另一个选择方案，即继续让三个分厂同时运转，只利用其部分生产能力。哪一个方案最好呢？其差别有多大呢？要获得明确答案，除已有资料以外，我们必须知道每个分厂的加班成本，通过加班能够增加的生产能力，以及关闭一个工厂可降低的成本，各个工厂的这些数据如下：

	底特律	芝加哥	亚特兰大
加班时间的生产成本	3.37 美元/每双	3.3 美元/每双	3.27 美元/每双
增加的加班生产能力（件）	7000/每周	5000/每周	6000/每周
不变成本： 当开工时	12000 美元/每周	9000 美元/每周	13000 美元/每周
当关闭时	5000 美元/每周	4000 美元/每周	6000 美元/每周

我们现在可以为这四种方案中的每一种建立一个分配矩阵，并确定每种方案的总成本，以及相应的不变成本。完成这些以后，建立的矩阵及每一方案的最优分配答案，包括相应的不变成本，如图 9—5 所示。请注意，为了使这一问题在线性规划结构内，我们把加班生产能力看作为一个单独的供应来源。而在实际发货时，不必把加班时间生产的产品分开。结果很明显，最有利的做法是关闭芝加哥分厂，而依靠底特律和亚特兰大两个分厂来生产，并在亚特兰大每周加班生产 4000 双。这种方案较其次的最佳方案每周要节省 1500 美元，而比最差的方案每周节省 2250 美元。

如果情况更严重些，我们可能不得不考虑卖掉一个分厂。可以做出同样的分析来决定卖掉哪一个分厂。在这种情况下，所放弃分厂的全部不变成本都可免除，而因出卖所收回的资本则应估算在内。

第五节 仓库位置选择

建厂地区规划常常掺杂了厂主和经理的个人偏好因素，特别是当厂区决定他们的居住地点时更是如此，但仓库的区位通常较大幅度地服从于合理的分析。近年来，对这一问题采用了很多研究方法，其中包括线性规划、模拟法、启发式程序法、分枝和定解技术。

即使只有一个单独的制造厂，仓库区位这一问题也并不简单，因为它涉及了整个分配系统的设计。如果提议该组织设置在生产工厂的所在地，那么就涉及一个将工厂和市场联系起来的分配系统的设计问题。其中一些有待解决的问题是：

1. 是否要使用现场仓库，如果用的话，要建造多少，建造在哪里？
2. 用什么运输方式？
3. 经营这一系统需要什么库存，这一系统是否包括在工厂中的、运送途中的、以及在仓库中的部门？

如果市场是集成的，那么仓库的设置都趋于确定在主要的集中点或靠近集中点的地方。仓库供货区域之间的界限，理论上是这样确定的：从任何一个仓库到界限上的分配成本都是相等的。但实际上，常常以自然界限（如河流、山脉、行政区划界限等）为界。

当有多个分厂生产多种产品，并供应多个仓库时，实际需要解决的问题就急剧增多了。几个分厂生产的产品品种可能有重复或完全无关。每个分厂应该直接供应顾客（或仓库）吗？或者有些分厂不生产的产品是否应该在各个分厂之间交叉运送，使一些定货单能成为一个整套来发货呢？对于由不止一个分厂来生产的产品，怎样确定一个生产这种产品的某一分厂的供货地区？对于由一个以上的分厂生产的产品，生产进度表应该怎样互相衔接才能供应整个市场？而真正的问题是建厂地区规划、生产系统设计、库存控制、生产进度安排，等等。

第六节 国外建厂位置选择

作为潜在的建厂位置，外国的诱惑力在第二次世界大战以后变得越来越强。这一诱惑的一部分是源于各国制造商对日益强大的外国制造商的竞争的恐惧。下面以美国为例来讨论这个问题。几乎每天，在美国报纸上和杂志上都有显露这一忧虑并发出警告的文章。例如，报纸上有篇标题为“外国竞争对安全的威胁”的文章，讲述了一个大城市的水电部门购买一组大型涡轮发电机的故事。这一商品的最低标价是一位海外供货商提出的，这一价格比美国投标者的最低价格还低近 300 万美元，或者说，几乎便宜 38%。文章认为，造成价格上这一差异的原因是欧洲工人的工资大约只相当于美国同样技术水平工人工资的 1/3。

工资上的优势常常被引证为国外竞争占优势的原因。然而，若经过仔细分析建厂地区，就不会认为低工资是其原因，也不会把在国外建厂作为灵丹妙药了。

对于某一制造商来说，一个重要的问题是：他在国外建厂有净收益吗？有很多重大理由说明其实可能并没有。表面上，在国外建厂进行制造活动的巨大吸引力是低工资，但实际上，工资水平本身不是什么重要的参数，而劳动成本，却是决定国外建厂地区是否有利的因素。其实，美国制造商可能比别人更懂得，高工资的同时，劳动成本却是低的。使之平衡的因素是劳动生产率。美国工人的每小时工资高得多，但是由于在其背后有相当巨大的资本投资，劳动工具、机械化和自动化将他的劳动扩大了许多倍。所以，工资问题在于劳动成本的差异，而不在于每小时的工资。

一个制造商在国外能不能像在国内那样，使用相同水平的机械化和和管理实践手段，而兼得低工资和高生产率两方面的益处呢？也许可能，但是我们必须注意到国内和国外在生产经济基本概念上的差异。由于在国外劳动力比起设备来要便宜，制造商可能发现，多用劳动力而少用昂贵的机器是明智的，这样的结果是和他的外国同行一致的，生产率较低而最后的劳动成本较高。最经济的制造方法和技术不一定总是意味着最高程度的机械化，而是那些在既定情况下，在劳动成本和机器成本之间进行权衡，而最终得到的适用的、经济的制造方法和技术。

劳动成本上的纯利，能不能被其他成本方面的纯亏所抵消？我们可以暂时假定，某一位制造商通过在国外进行生产而得到在劳动成本上的净收益，那么其他几项成本，如材料、燃料动力、装备和信贷，会不会部分或全部地抵消劳动成本上的收益呢？无疑，对不同的企业和不同的生产线来说，答案是不会相同的。不存在一个统一的答案。在不同的生产线中，劳动力、材料和资本方面的构成有很大差别。在石油工业中，劳动成本较低，大概只占 5%，但材料和资本却占相当大的比重。而在本节开始的一段提到的涡轮发电机，在其制造中，劳动成本在总成本中占的比例无疑很高，因为这种设备都是按要求的规格定做的。

关于从全部成本来看是否有利的这一讨论结果表明，一个公司向国外的低工资地区扩展，除非低工资转化为他们的产品的低劳动成本，而且这一劳动成本优势又不会被更高的材料、能源和设备成本所抵消，否则可能会导致损失惨重。另一方面，有些公司从分配成本方面来看适于在国外建厂，如果他们不到境外从事生产则很可能错过了真正的好机会。

1. 工资水平比较

在同外同进行工资水平比较时，重要的一点是要注意，在许多欧洲国家中付给工人的工资常常大大少于雇主为每一小时工作所付的费用。原因是，所谓的社会费用（社会保障、工人补偿金、假期等）所占的比例要大于美国的一般水平。特别是在德国、法国、和意大利等国，社会费用是很大的，分别为 41%，42%，和 64%。

2. 实际劳动成本

由于各种显而易见的原因，很难得到有关劳动成本的合适的数字。可是，劳动生产率的相对数字可以从专门研究材料中获得。图 9—6 显示了加拿大、西欧各国和美国的制造业的劳动生产率，它们全都表示成美国劳动生产率数字的百分比。图 9—7 显示了美国、加拿大和一些西欧国家每小时工作的相对成本的对比。虽然我们必须下结论说，在其他国家的劳动成本总的来说还是比较低的，但其差别并不如以每小时的工资率表示的那么大。的确，平均说来，法国和意大利的劳动成本与美国相比，可能差别并不大。只盯住一个国家平均数字的说明是危险的。因为在这些国家之间各自的劳动生产率和工资都有相当大的差异。

3. 其他制造成本

在产品的最终成本中，材料常常是另一个直接而重要的成本因素。美国全国工业会议理事会对那些在国内和国外都从事生产的公司做了一个专门研究。

该研究通过提问表的方式获得了数据资料，提问的内容是将产品的单位总成本在劳动、材料和间接费用这几项中作分解，这些产品在国内和在国外生产基本相同。应用这些数据，加上单位总成本的比率，就可以列出成本在这三类项目中的比较数表。现在我们的兴趣在于那个研究中的材料成本一项。它表明，在国外只有 29.9% 的所报告的产品其材料成本比美国低，而 70.1% 的产品不是与美国相等便是高于美国。这表明一种与劳动成本相反的状况。所以，属于那种劳动成本要素比重较大而材料成本要素比重较小的工业部门的公司，可能发现在国外生产的成本较为有利。另一方面，对于材料成本较大的公司则情况相反，即在国外生产不利。在外国，材料成本不仅平均水平较高，而且，对于表中所列的每一类工业在海外的工厂，都越来越多地报道说材料成本较高。

在间接成本的一般类别中，项目种类太繁多而实在难以概括。相比于美国工厂的典型情况，有些成本可能较低，而有些则较高些。我们可以期望，间接成本中的劳动要素总体来说低一些，以适应于一般较低的工资率。欧洲的资本成本比美国要高些，燃料和其他工业能源，对有些工业来说是重要的成本，由此又可看出外国的成本没什么诱惑力。

4. 生产总成本

在已知单位总成本比率的产品中，44.2% 低于美国成本，36.5% 高于美国成本。当考虑到全部成本时，就无法确定在国外的成本一般是高于还是低于美国。而另一方面，却显示出各自间相当大的不同，外国成本相当于美国国内成本的百分比，从不到 55% 直至超过 145%（如图 9—8）。显然，有些产品、工业或企业得益于外国的成本结构，而对于其他一些，则这一条件并无益处。那些劳动内容相对较低的工业，其产品在“单位成本较高”一栏中占了绝大部分。同样，那些在劳动和材料成本上情况相反的工业，即化学工业、

金属加工工业和机械工业，绝大多数在“单位成本较低”一栏中。

* * *

在建厂位置上有一种分散化的趋势。这种分散化的趋势在全国范围内和工业地区中都在发展着。许多过去从来不曾有过的小工业区也都提供了好条件，例如减税、低成本，甚至免费的土地和建筑物，来吸引工业到这些地区。在大工业区内，分散化使工业进入郊区，那里有廉价的土地和经济实用的平房。这些市郊的厂区提供了工厂扩展的空间和停车的地方，还有为设计出建筑结构美观的厂房提供的机会，这种厂房与当地的风景区相协调，使职工为自己工作于其中而自豪。

建厂位置很重要，因为它决定了工厂总体设计的一些物质因素。除此之外，建厂位置决定了投资的规模和许多经营费用的水平。虽然这些因素都是重要的，但我们必须记住，通常存在许多良好的建厂地区。虽然一定有可能误选了不好的地区，但通过认真的分析和规划，一般都能再发现好的建厂地区的。在建厂地区规划中，个人偏好是个重要因素。企业主常常出于喜欢住在某一地区而选中或继续保持那里作为建厂地区。这一点也是顺应多个建厂地区可行这一理论的，这是因为，虽然有许多企业的建厂地区是完全由其业主的个人偏好决定的，但它们还是存在了很长时间。

第十章 物质设备布置

工厂的平面布置是生产系统设计的综合阶段。平面布置的基本目的是设计出一个生产系统，使其以最经济的方式满足产品的生产能力和质量要求。这里，有关生产什么（图纸及说明书），怎样生产（作业流程卡和作业卡），以及生产多少（预估、定单或合同）的详细说明，是制定一个完整的生产系统的基础。上述完整的生产系统必须能够提供满足生产能力要求的机器、工作场所和存储空间，以便制定出针对不同的零部件和产品的可行的生产进度计划，以及整个系统中产品和部件的运送方式，和辅助生产设施（如工具房和修理车间）、生活服务设施（如医疗设施和饮食点）。

由于经济运行是波动的，所以这里讲到的生产系统的设计应保持一定的灵活性，以便适应将来在生产设计、产品数量上的变化和生产技术上的改进。在生产场所和厂房两方面也应使生产扩展时能够与现有的生产活动相衔接。在设备布置中常会遇到资金和物质上的限制。物质上的限制包括场地问题：其大小、形状及其位置与公路、铁路和公用设施之间的关系等。此外，各地法律所规定的建筑限制和安全措施也是不可避免的限制因素。在对工厂的有关设施进行重新设计或重新布置时，现存的建筑也会构成严重的限制。

由以上的概要分析，我们可以对工厂布置问题的复杂性略见一斑。实际上，与这一问题有关的所有因素之间几乎都是相互影响的。例如，实现生产系统的灵活性势必会影响工艺过程的方式和生产能力的大小，从而进一步影响到产品的短期与长期成本。又如，物料运输方式不仅影响运输成本，而且与机器间和工作场所内的搬运量密切相关。工厂布置和车间布置的方式对于确定运输成本和直接劳动成本具有重要的作用，而仓库位置和库存能力则影响到运输成本和物料停留时间。

下面，我们把影响工厂布置问题各种因素间的相互影响关系暂时放下不谈，转而来看一看对这样一个系统的最优化设计问题，可以说，在很大程度上，它是一种艺术。对于解决一个较大系统中各个组成部分的局部最优化问题，我们已经有了各种原则、规则以及经验指导，它们已被证明是行之有效的。例如，排队论可以为生产辅助与服务部门（如工具车间、维修车间）工作能力的优化设计提供理论基础；人体的工程数据可用以进行工作场所的最优化设计；而生产经济学的有关原理则有助于选择最经济的工艺过程、设计和运输系统等。

然而，并不存在着一种万能的理论，可以在综合的最优设计问题中，把多个相互影响的因素都联系在一起。实际上，一个恰当的工厂布置方案是对一系列问题作出重大决策的结果。这些问题包括：厂址选择、生产能力确定和生产类型的选择。作出这些决策后，还需对一些影响力小一些但也仍很重要的问题进一步作出决策，它们包括：设备选择与布置，车间场地安排，基本流程的类型等。关于工厂设计的一些问题，如生产工艺设计，作业与方法设计和厂址选择等，我们将单独予以讨论，一方面因为对其已积累了一些具体的知识，另一方面因为它们是十分重要的。但在实际中，在进行工厂规划时，它们与工厂布置的工作往往是结合在一起的。

第一节 生产能力的核定

在完成一个新厂的设计或对现有的生产系统进行重新设计或扩展时，需要对生产能力作出正确的决策。仅仅着眼于各类产品的年销售量是不够的，因为销售情况可能会反映出季节性的波动。我们究竟是按销售量的高峰值还是其平均水平来确定生产能力呢？如果打算按照销售曲线来确定，则会使库存积压的风险减至最小，在这种情况下，工厂的劳动力数量应是可变的，除高峰期以外，工厂的生产能力部分被闲置起来。如果我们把生产能力确定为中等水平，则劳动力数量趋于稳定，工厂设备的利用趋于合理，但为了应付销售高峰就应注意积累库存。到底哪种方式能使库存成本、工厂投资和劳动力周转的综合成本达到最低呢？在这里，关键的问题是进行经济分析。这可以归结为一个规划问题，即将生产能力按各个经营时期进行规划，以使上述综合成本最低，综合成本中的投资费用可用一个关于生产能力的非线性函数来近似地表示出来。

这样就产生了销售预测的问题。我们究竟是制定一个适应目前销售情况的生产能力计划呢，还是制定一个适应于预测的1年、5年或10年后销售水平的计划呢？为了获得超过目前需要的生产能力，我们在经济上是否能负担得起呢？值得一提的是，一定量后续生产能力的耗费与当前耗费并不是相等的。而且，一般的情况是，在任何规模的生产能力水平上，实际上都有些设备处于闲置状态。因此，在改变生产能力时，其实无需购置那些已具有闲置能力的设备。在制定生产能力规划时，即使考虑到未来的预期市场需求。也只需购进目前需要的设备，同时在建筑物和平面布置规划中为将来需购进的设备预留出适当的空间，这样，在对原有的生产能力进行扩充时，就不必再重新进行工厂布置了，只需把新添机器放置到原有系统中去就行了。

由此可见，问题实际上可以归结为预留额外空间以满足未来的预期需求。考虑到后续的扩建空间单位成本要大一些（因为原先的墙壁须打破，还需开出新门来），所以这种预先留空间的方式是合理的。更为重要的是，事后扩建方式除所增空间本身的费用需要考虑之外，还需考虑由其产生的平面重新布置费用。如果所增空间并不是与已有系统有机地结合在一起，则还将还需支付物资的运输成本这一额外费用。综上所述，在核定生产能力规模时，必须把扩增新空间所耗的额外成本，与现在预留空间的成本及其维持到需用时的费用加以权衡比较。

下面我们来谈一下外协生产及多班工作制对生产能力的影响。生产能力问题的另一个方面是如何满足所需的生产能力。投资与生产能力的比值随外协生产规模及设备利用率（是实行单班制、两班制还是三班制）的不同而异。在需投入用于购置新设备的资金时，进行经济分析，从而决定零部件是自制还是外购就显得十分重要，所以在核定未来的生产能力时，有必要首先对自制与外购作出决策。

为一个企业确定合适的班次数目，也不是一个简单的问题。例如，我们用两班制代替单班制，并不会使投资成本减少一半，因为，正像我们在前面所指出的那样，追加投资额并不与生产能力的增加量绝对成比例，通常还要牵涉到其他许多费用。对第二班来说，一般要有10%—15%的工资增加额，对多班制而言，还常需增加监督管理费用。班次制定问题也没有一个唯一的答案，因为对于不同的工业部门，厂房、设备和劳动力的成本所占的份额是

不一样的，需针对具体的情况进行经济分析。一般而言，对于厂房和设备的人均投资额较大的工业部门，如钢铁、化学、石油加工等，采用多班制较为经济；而人均投资额为中等或较低水平的部门，由于多班制所导致的工资增加额超过了它所节省的投资，所以从经济角度来看并不合算。

最后我们来看一下生产能力的核算问题。生产能力的含义究竟是什么呢？提到生产能力，在钢铁业中，人们想到的是每天、每周或每月生产钢铁的吨数，而在汽车制造业中，人们想到的是一定时间内所生产出汽车的数量。但是，对一个承揽不同的加工业务的机械加工厂来说，情况又是怎样的呢？由于它的产品是千差万别的，所以用成品数量来表示生产能力实际上是没有意义的。在这种情况下，有必要用更有普遍性的方式来核算生产能力。通常，生产能力的一般衡量尺度取为不同类型机器在一定时间内（如每天、每周或每月）的可利用小时数。之所以说它是个较好的衡量尺度，是因为我们能够比较容易地将物质生产能力相应地换算为所需机器的数量，而这个数量，正是以后进行平面布置时所不可缺少的。进行生产能力核算时，即可把其他所有表示方式都换算为这一数量。考虑到工厂的生产效率和废品率会影响设备的利用率，在实际制定这一数量的计划时应留有余地。

工厂的生产效率表示出，由于调度延误、机械故障和预防性维修等原因，设备的可利用时数的一部分实际上是无法利用的。工厂的生产效率因厂而异，一般为 0.50 到 0.95。这样，如果每周生产 100 台马达的生产能力换算成每周所需的铣床工作时数为 550（由作业流程卡、时间研究等估算获得），那么，若假定工厂的生产效率为 0.80，则实际上我们所需的等价铣床工作时数为 $550 / 0.80 = 688$ ，也就是说，我们预计约有 138 个工作时数是无法利用的。

废品率这一因素表示出，任何实际的生产过程都不可避免地生产出一定量的废品。仍以上面提到的马达生产为例，我们所称的每周 100 台马达显然指的是没有缺陷的合格马达。但实际上，设备的一部分工作时数会耗费在若干废品的生产上，这一因素必须予以考虑，假定废品率为 3%，那么就必须再把 688 个可用工作时数增加到 $688 / 0.97 = 709$ 小时。这样，如我们预计在两班制下每台铣床每周可工作 75 小时，则需要 $709 / 75 = 9.45$ 台铣床，由于机床需整件购进，所以我们应提供 9 台或是 10 台铣床。如我们最后决定使用 10 台铣床，那么预计将会有些闲置生产能力；如果我们将铣床数量压缩至 9 台来勉强维持，则生产中不可避免地会出现瓶颈现象，对此，我们可以靠加班工作的办法来加以解决。这样，100 台马达的生产能力即被等价地换算为 9 台或 10 台铣床的工作量。

综上所述，生产能力问题涉及一系列重要决策，这些决策将决定着工厂的总投资和经营成本。概括起来，这些决策包括：与不同时期销售水平有关的生产规模大小；决定几班制最为经济；决定工厂预留多大的剩余生产能力是经济的。在一定时期内，企业的财政状况常常限制了最理想生产能力的获得。一个资金有限的公司，必须经常对可用资金的投向作出正确抉择：是用于广告促销，还是用于产品发展或是设备更新。

第二节 设备布置的几种基本类型

究竟采取什么样的布置方式才是合适的呢？对于像汽车装配这样的流水生产线的布置，要满足什么先决条件呢？在进行新工厂的设计过程中，这些基本决策问题困扰着生产管理人员。的确，在这些问题上多花些功夫是完全必要的，因为他们此时所作出的决策直接关系到企业将来的命运，是成功还是失败？一幢外观崭新的厂房，如果采用了不合适的平面布置方式，势必会导致制造成本的增加，而恰当的布置方式会使企业的生产过程处于高效率运行状态。

一般而言，工厂平面布置可分为工艺专业化布置和产品专业化布置两种类型。在按工艺专业化布置的生产单位里，集中着同样类型的设备，例如，所有的车床和铣床各放在一起，检验工序和装配工序也都分别安排在一起，如图 10—1 所示。与此相应，图 10—2 显示的是按产品专业化原则布置的典型方式。产品专业化布置又称为对象原则，即平面布置的基本组织是由部件或产品决定的，机器设备按产品工艺路线的先后顺序排列。在图 10—2 中，即使制造部件 A 和 B 所需的机器设备是相同的，也都在不同的生产单位予以重复安排，这样可能会导致设备对任一个部件都不能充分利用。

注：机器按其功能集中安排。零部件按其设计要求采取不同的工艺路线。图中显示的 A、B 两个部件成组地从一项工序转入另一项工序，等待加工时它们暂时存储于各工序的生产单位。

工艺专业化布置也常被称为按功能的布置或按工作地点的布置。这种布置方式常常用于同样的设备必须用来制造和装配各种不同的部件，或零部件和产品的的设计没有稳定下来的情形。通常，每一种零部件的产量较低，即使总产量很大（如在飞机的零部件组装中），也无法实现可以适应许多种零部件的作业顺序。上述这些因素就是采用工艺专业化布置方式的一般条件，其主要的要求是灵活性：工艺路线的灵活性、零部件设计的灵活性以及产量的灵活性。

关于工厂的平面布置问题，存在着一些误解。有些人认为，工艺专业化布置方式是低效率的生产者才使用的，而产品专业化布置方式是高效率生产者对采用的，这种看法是与事实不符的。如果考虑得不好，可能两种布置方式都会是低效率的；同样，两种布置方式又都可能是高效率的。问题的关键在于，所采取的布置方式是否与生产实际相适应？事实上，如果生产条件与上一段中所述的类似，那么工艺专业化布置方式就会比生产专业化布置更经济一些，这是因为按工艺专业化布置使设备具有较大的灵活性，从而可用于生产各种不同的零部件，这样设备的利用率就很高而设备的总投资却很低。在这种情况下，如果我们试图采用产品专业化布置的方式，那么用于制造特定零部件的专用设备只有很低的利用率，而且设备投资也需要很高，才能满足生产能力的要求。在工艺专业化布置方式中，如果一部机器出了故障，受到影响的仅是它所在的那项作业；然而在产品专业化布置中，故障会影响整个作业顺序，从而影响总的设备利用率。所以，如果产品的设计改变了，那么原有的布置方式也就应当重新予以考虑了。

如果产品专业化布置方式所要求的条件能够得以满足，那么采用这一方式同样可以降低制造成本，这些条件概括如下：

- 1.产量足够大，使设备具有合理的使用率；
- 2.较为稳定的产品需求；
- 3.产品的标准化；
- 4.零部件具有较好的互换性；
- 5.原料可以连续供应。

使用产品专业化布置方式时，上述条件的每一条都应满足。关于其中的第一条，产量达到多少算“足够大”并无统一标准，确定某一产品或零部件生产布置方式的盈亏平衡点产量需通过经济分析获得。合理的设备利用率是同高产量紧密相联系的，稳定的需求与产品标准也是相互联系的。产品的设计工艺改变时，可以靠调整生产线来与之适应（如汽车制造业），但不能过于频繁。要求零部件必须具有良好的互换性，才能使生产线无需做特殊的改装或调整。如果装配时零部件不具有互换性，工作流程就会出现被迫中断的现象。以上几项条件满足后，原料的连续供应就成为关键了，任何一项零部件或原材料缺乏供应时，都很可能会使整个生产过程陷于停顿。

产品的装配过程与制造过程比较而言，采用产品专业化布置方式的情形多些，稍加考虑就可以明白其原因。通常，机床在进行切削加工时是有固定的加工周期的，这使相继的各工序间不易做到协调一致，从而使设备的利用率较低而制造成本相对较高。而在手工装配工序中，由于整个工作可以分解为若干个较小的单元进行，因而易于取得协调。举例来说，如果工序 10 太短而工序 16 又太长，那么工序 16 的一部分（可能是拧紧一个螺丝）可以转到工序 10 去做。由于每一道工序中只用到很少的设备，因而设备的利用率问题可能就并不显得特别重要了。

有时候，采用产品专业化布置的方式并不成熟：采取这种布置方式时，制造生产的盈亏平衡点产量的高低分布范围比装配生产要大得多。这里有个例子，一家工厂采用产品专业化布置方式来加工一个重要零件。但是，当用随机抽样法分析设备的利用率时，其结果令人惊讶地显示出仅为 21%，这是明显地误用了布置方式，后来该工厂采取措施对工厂进行了重新布置。

当产品专业化布置所要求的条件能够得以满足时，采用这种方式能获得显著的经济效益。由于加工对象是连续运动的，这样就加快了生产节奏；由于很少需要手工搬运，这样物料的运输成本就较低；由于物料不是整批运输，而且产品的制造周期缩短了，这样各工序上的存储量就较少，所以按产品专业化布置方式所需要的存储空间通常要比相当生产规模下按工艺专业化布置方式小一些，即使所需的设备数量多些，情况往往也还是如此。最后一点，采用产品专业化布置方式时，可以使管理工作大为简化，各生产单位在其所生产的产品品种的分工上非常明确而且稳定，因此，计算各生产单位的生产任务和协调各单位的生产工作方面都相对简单。

在实际中，纯粹只用工艺专业化布置或产品专业化布置方式是很少见的。最常见的是把两种方式结合在一起应用。我们常可以发现，在按工艺专业化布置的工厂里，条件允许的地方往往零散地存在着产品专业化布置。通常，装配工作是由按产品专业化布置的生产单位完成的，除非装配产品的重量和体积很大，例如机车、飞机和船舶，对于这些产品，一般采用固定位置组装的方式。对于一种产品需要制造出不同规格的情形，可以考虑采用混合型布置方式。由于作业顺序是相同的，故可以把机器按其功能分组，就像

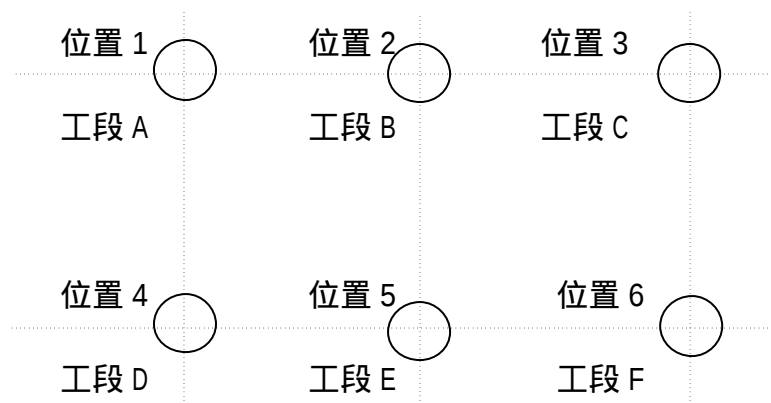
按工艺专业化布置方式那样进行安排，然后再把分组后的机器按照与产

品规格和型号相适应的方式和顺序加以布置。

第三节 工艺专业化布置方式

在工艺专业化布置方式中，关键的问题是如何按最为经济的方式合理安排各工序生产单位间的相对位置。除非对于特别简单的情形，这种合理的安排往往不是一件显而易见的事情，这从下面的例子中就可以看出。

如图 10—3 所示，需在简单的网络中安排六个工段。由数学知识可知，可能的安排方式有 $6! (6 \text{ 的阶乘}) = 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 720$ 种。幸运的是，在考虑了对理想化物料运输成本的影响后，这 720 种排法中实质上仅有 90 种是真正不同的。实际上，排列组合方式的数目是随工序数量的增加而急剧增多的。



我们首先来考虑一下要达到的目标。考查一种安排方式的主要标准是看物料运输费用，我们所需要得到的是这样一种安排方式，它的各工段相互位置的安排能使所有零部件的物料运输费用最低。现在我们来考察图 10—3 可以发现，工段 A 与 C 之间所需的物料运输工作要比 A 与 B 之间繁重，因此我们也许会考虑把工段 B 同 C 的位置调换一下。但是，在对调换是否有利这一问题作出结论之前，我们有必要首先考虑一下这样做的益处是否会被 DB 和 DC 间的物料运输量增加抵消掉。我们可以把工段间的距离与一定时期内必须运送的产品重量之积，作为衡量物料运输费用的一种尺度。这样，对于每一种不同的安排方式，我们可以把所有工段间的重量与距离之和简单地加在一起，使其和值最小的组合就是我们所要寻求的安排方式。上述方法可以用下面公式加以表示出来，安排方式的有效度 E 为：

$$E = \sum_i \sum_j A_{ij} X_{ij} = \text{最小值 其中：}$$

A_{ij} = 在工段 i 与工段 j 之间每周、每月或一固定时期内所需运输的重量

X_{ij} = i 段与 j 段之间的距离

上述有效度与物料运输费十分接近。每项物料搬运作业都要求在一定的时间内拿起物件，然后将其放置在要求的位置上等。这些费用主要取决于劳动力成本，它们对于大的零部件和小的零部件大致相同，所以费用的大小变化主要取决于距离。

一、工序顺序分析

如上所述，在进行工艺专业化布置时，我们需要知道各工序间的物料运输量，这可由操作路线卡和图纸中查出。路线卡中给出了工序顺序，而从零件图和生产节奏可以确定一次运送的零部件数，从而确定出运输量。表 10—

1 表示的是一个典型的小型工厂各工序间每月搬运量的概况。

在设计的最初阶段，我们可以把问题理想化为一个类似于图 10—3 的结构，用圆圈来表示按功能分类的设备的集合。我们把相邻的工段（如 A 与 B）或互成对角线的工段（如 A 与 E）看成是邻近的工段。非邻近的位置是指那些水平、垂直或对角线方向上相互距离多于一个小方格的工段，例如图 10—3 中的 AC，AF，DC 和 DF。现在我们可以看到，对于理想化后的布置来说，有效度可以归结为使非邻近工段之间的搬运总量（单位距离 × 搬运量）最小化。对于规模适度的问题，非邻近工段间搬运总量的最小值，可用图解法较容易地得出。

从	到										
工 段	运进 1	储存 2	锯床 3	普通 车床 4	六角 车床 5	钻床 6	铣床 7	磨床 8	装配 9	成品 10	运出 11
运进 1		600									
储存 2			400	100			100				
锯床 3				350	50						
普通车床 4						100	450				
六角车床 5											
钻床 6				100					150	100	
铣床 7						50		450	100		
磨床 8						200			250		
装配 9										500	
成品 10											600
运出 11											

下面我们就来看一下上面那个问题的图解方法。把表 10—1 所包含的搬运量数据，放入到一个相应的图解示意图中去，其中的圆圈代表生产单位（按功能分类的机器集合），标有数字的连接线表示各生产单位间的搬运量。

10—4 是所得到的第一个位置示意图，其获得方式是把生产单位按照表 10—1 放入网格中，画出连接线并标出数字。对于该图，我们可以试着改变各圆圈的相互位置，如果获得了有利的效果，就可以把示意图加以修改。例如，在图 10—4 中，我们可以发现，生产单位 4 与其他非邻近的生产单位之间的搬运量为 300，如果把 4 移到 2 与 6 中间，那么它们与 4 就都处于邻近位置了，进一步的考查显示出，6 与 8 之间的非邻近搬运量为 200，对此，可以把 9 移至下方，而把 8 移到 9 原来的位置，则非邻近搬运量就从 200 减少到 100。图 10—5 给出的是经上述调整后得到的示意图。

对图 10—5 再进行进一步的考查，发现已经不能再找到更为有利的调整方案了，这样，我们就将图 10—5 作为理想的布置示意图，图上有一个值为 200 的搬运量。对于规模更大些的问题而言，网格的距离就成为影响有效度的不可忽视的问题了，因为各生产单位可能会被 2 个、3 个或 4 个格子所隔

开。图 10—5 从数学意义上并不能被证明是最优的解答，因为我们并没有进行最优化分析。至此，我们可以把所获得的理想示意图作为制定工厂平面布置的基础了，各生产单位的位置已被确定。

二、块状区划作图法

我们现在已经了解了应当如何安排各个生产单位，以得到理想的平面布置方式。其结果可进一步用于块状区划作图的依据。在块状区划图中，各生产单位所占据的相对位置与理想示意图中相同，而其所占面积则可由所需机器数量及各类机器所需的面积估算出来。一般来说，将机器所占用的面积乘以 3 或 4，即可得到总面积的估算值或称初始近似值，其中包括操作者的工作空间、物料储存面积以及通道面积。

在理想布置图中，用估算面积取代小圆圈，就可以得到块状区划图。作为设计的第一步，可利用块状区划来获得一种既适合于理想示意图的流程，又满足各生产单位不同面积要求的初始布置方式，如图 10—6 所示。可以看到，理想布置示意图的本质特征都予以保留下来了。但是，图 10—6 显然还并不是最终的实际解决方案。对块状区划稍作调整，就可以得到最终的块状区划图，如图 10—7 所示。该图既反映了厂房的矩形轮廓，又考虑了由厂址或现有厂房（对于重布置的情形）对面积和轮廓的限制。

注：其中考虑了厂房的矩形轮廓以及由厂址因素导致的形状和面积方面的限制，各生产单位所需面积的近似大小及理想的流程模式仍可体现出来。

块状区划图标志着总体的、全面的平面布置的完成。块状区划图为进一步制定布置详图提供了参考框架。至此，各生产单位都已处在最经济的位置上了，然后就可以再进行通道布置、生产服务和生活服务区的设计、专用物料搬运设备的选择等项工作了。

有必要一提的是，我们在这里所举的例子是非常简单的，在解决实际问题时往往会遇到更多的非邻近搬运量，因而，理想布置示意图的获得不会像这个例子中这么容易。

无疑，在布置详图阶段还需在场地安排和形状方面做些细微的调整。关于这一点，本章后面所讨论的模板布置法和模型布置法将会使布置详图形象化。而有关机器之间的最小距离、用于各种不同用途的通道宽度，以及厂房立柱距离的标准，都可以从有关手册查出。各工序的存储面积和仓库面积，以及物料搬运系统的设计则取决于问题的具体条件。

三、用电子计算机处理设备布置问题

上面所讨论的有关确定各生产单位相对位置的图解方法存在着明显的局限性，布置示意图的优劣取决于个别分析者的眼力。而随着生产单位数目的增多，这种方法很快就变得无能为力了。实际中所遇到的工厂平面布置问题常常涉及 20 多个甚至更多的生产单位，不幸的是，这已超出了作业顺序分析技术的极限。为了克服这种局限性，已有人研究出“电子计算机设备布置规划法”（CRAFT），这一技术不仅可以很容易地处理多至 40 个生产单位的布置问题，而且还具有图解法所无法比拟的一些优势。在具体说明该 CRAFT 程序的结构和操作之前，我们先来看一下对这类程序的基本要求：

1. 它必须考虑到工艺流程的广泛性和多样性；
2. 对不同的材料和零部件，它必须考虑使用不同的物料搬运系统，每个

系统可能具有与搬运距离成比例的不同成本；

3. 它必须考虑各生产单位或部门占有的不同面积；

4. 它必须满足下述要求，即有的生产单位需要占有某一个固定位置，不能变动；

5. 它必须具有严密的算法，可以使整套零部件和产品在生产系统内搬运的总费用为最少。

现在，管理人员们还逐渐认识到组成“小型的生产单位集合”的必要性。一个新的布置方式对此应予以考虑，应当弄清楚需要花费多少额外的物料搬运费用用于使两个或更多的小组之间或其他别的运行部门之间保持密切的物质流动关系。反之，由于噪音、振动、灰尘、烟气等需要隔绝开的因素，有时也可能要求把两个或更多的部门分离开来。如果能获得反映这些要求的有关数据，就能作出合理的决定。

考虑到布置方案的多样性，所以实际上有可能有几个可行的方式，这当中可能有一种方式既能满足上面所提到的特殊要求和约束条件，而且从使物料搬运费用最低的观点来看也是最优的。现在我们所需要的是这样一种技术，它可以制定出相当数量的可供选择的布置方案并对其加以评价，同时，又无需花费大量的时间和费用。

解决这个问题可并不容易。即使待考虑的生产单位只有 20 个，其可能的布置方式数目就会超过 6080000000000000。因此，实际上不可能通过对所有可能的组合方式计算物料搬运成本的方法来获得最佳方案，即使使用快速数据处理设备也是如此。下面将要介绍的 CRAFT 程序基于一种严密的启发式算法，它可以为这一问题提供较为出色的解决方案。

现在我们就来对 CRAFT 程序加以具体的介绍。该程序基于一些与其他求最优解程序类似的基本概念，所得出的答案并不是数学上可证明的唯一的最优解，正如线性规划问题的答案那样，但是，这种答案是不易于再加以改进的。CRAFT 程序把各生产单位之间的流程关系和物料搬运费用，连同一个个块状区划布置图作为输入数据，输入的块状区划布置可以是实际存在的布置方式，也可以是任一个在筹建新厂时的初始布置方式。数据输入后，程序便开始计算与输入布置对应的物料搬运费用。基于启发式算法，该程序会向用户提出以下问题：如果两个生产单位的位置互相交换，则物料搬运费用将会如何变化？应答后计算机即重新计算两个生产单位对调后的物料搬运费用，所得的结果可能是增加，也可能是减少，其差值由计算机记录在存储器中。然后计算机再就另外一对生产单位提出同样的问题，并计算和记录交换位置后物料搬运成本的差值。计算机就是按这种方式继续处理全部可能的生产单位组合。若生产单位的数目为 20，则需计算的生产单位组合对数为 190。

相对而言，对计算机来说这是个小数目。当所有搭配情况下的差值都计算出来之后，计算机即挑选出能使成本降低最多的位置交换，在块状区划图上予以完成，并打印出新的块状区划图、新获得的物料搬运费用总额、该次位置交换所降低的成本额以及位置交换所涉及的生产单位。这一步骤重新进行下去，依次产生第二个、第三个……改进过的块状区划布置图，最后，当不能再找出能使物料搬运成本降低的位置交换时，程序即予以显示出来，并把最终获得的块状区划布置图打印出来，作为进一步制定工厂平面布置模板详图的基础。

目前已开发出的计算机程序，具有处理 40 个生产单位的能力。如果有些

生产单位的位置是固定的，那么只要在指令中指明它们不参与位置交换就行了。这在实际工作中有很大的重要性，因为现存的布置方式不可能再全部重新安排。当设备十分昂贵，或物料出入单位的位置受公路或铁路的位置决定时，就需要利用上述功能了。最后，如前所述，有些生产单位也往往希望在布置中将位置固定，以组成关系较为紧密的“小集合”。

虽然前面在阐述计算机处理平面布置问题的步骤时是以两个生产单位互相交换位置为例的，但在目前已编制出的有关程序中，实际上可以同时考虑三个生产单位的位置交换，在这种情况下，每次重复所需完成的计算次数为1140。其实，采用每次交换两个还是三个生产单位并不重要，因为无论哪一种方式，计算机都只需要很短的时间。从某种意义上来说，采用一次交换三个位置的程序比采用一次交换两个位置的程序效率更高些，而如将两类程序同时使用则效率更高些。

下面我们来看一下用计算机解决平面布置问题的实例。计算机在机械加工业和建筑业等部门已广泛使用。本例中即用到上面所述的有关程序功能。有一家航天工业中生产一种精密零件的企业，占地42 000平方英尺，拥有一批通用机床，工厂订货大部分为小批量的精密零件，因此绝大部分的物料搬运工作是由机械加工工人自己完成的，他们把工件放在搬运盘中，送到中央收管和调度区（生产单位K），工件的取出也通过该区。现用的布置方式是以收管和调度区居于中央，其余生产单位沿四周环绕分布。工厂管理部门希望能够予以回答的重要问题，除包括现行的布置方式是否合理外，重点在于，物料流程通过中央收管区，究竟是否合理？固然，对这样一个小厂来说，中央收管和调度区的采用具有加强管理的优点，但是很明显，物料进出通过收管区无疑造成了物料搬运的增加成本。针对这一问题，改进方案自然是，应用一信息系统作为管理和协调单位，使加工件直接从一个生产单位送到另一个生产单位。

除此之外，管理部门还想知道，该厂由机械加工工人来完成各生产单位间的大部分物料搬运工作，是否合理？起初，当工厂的规模还小时，让机械加工工人来完成这一工作是考虑到搬运距离很短，这段距离的步行能使他们从日常的例行工作中得到一点休息。然而，随着时间的推移，工厂规模日益扩大，管理部门开始考虑是不是应用使用专门的物料搬运人员了。

概括起来，该厂希望通过寻求最优布置方式（及与此相应的最低物料搬运费用）来对本厂的当前情况和未来设想作出优劣评价，它们包括：

1. 当前情况：物料流程经过生产单位K——搬运由机械加工工人完成；
2. 物料流程经过生产单位K——设置物料搬运人员；
3. 应用信息系统完成调度——搬运由机械加工工人完成；
4. 应用信息系统完成调度——搬运由专门的物料搬运人员完成。

为了进行分析，把22个厂区指定为生产单位，表10—2给出了这些单位的名称、代号以及各单位需占用的大致面积。为方便起见，我们在讨论中将用字母来代表各个生产单位。请注意，U和V是仅有的两个需固定位置的生产单位。生产单位U（清洗间）不参与位置交换是因为重新安置水管不方便；单位V实际上是虚拟的，被程序用以凑成矩形轮廓。

根据前面的分析，程序需要输入以下三类数据：

1. 一定的时间单位（一周、一个月或其他单位）内各生产单位间的物流量；

2. 每一距离单位间，运送每一单位搬运量的物料搬运费用；
3. 一个初始的块状区划布置。

表 10-2 各生产单位的代号及所需面积

字母代号	部门名称	面积，平方英尺
A	电气维修	1200
B	钻压机	1800
C	除去油脂	500
D	铣床	3960
E	六角车床和自动切丝机	2000
F	坐标镗床	1900
G	镗床	800
H	哈廷格式和手转切丝机	400
I	车床	1500
J	扁钢坯轧机	600
K	中央收管和调度	1700
L	磨床	2000
M	锯床	100
N	滚齿机	1700

字母代号	部门名称	面积，平方英尺
O	工具房	7500
P	数控计算机胶片光读出输入装置的坐标 镗床	1400
Q	数控机床	600
R	除毛刺	600
S	缩图部	1400
T	检验	3000
U	清洗间（固定位置）	2400
V	没有建筑的空地（固定位置）	5000
	总面积	42000

为确定各生产单位之间的物流量，需要对工厂的近 1600 份工作单（大约为 8 个星期的取样数）进行统计，它们指出了生产零部件所需完成的工序。幸运的是，在穿孔卡片上存有这些可用的数据，可用其较为简单地组成一个矩阵，用来显示各个部门组合之间的搬运数。该矩阵与表 10—1 中用于分析操作顺序中的搬运量情况是类似的（尽管并不完全相同）。

现在我们可以建立一个相似的矩阵，表示存在物流关系的部门组合间每运送 100 米的物料搬运费用（用元表示）。现存的工厂块状区划布置图被加以缩小以便以图 10—8 所示的形式输入计算机中去，图 10—8 的比例是每个

字母代表 10 米。因为矩阵有 15 行 28 列，所以它所代表的面积为 150X280 平方米。我们来看一下左上角的部门 T，它在现存的布置方案中被分配给 50 × 60 即 3000 平方米的面积，相当于 300 个字母代表的面积。计算机的输出结果给出了每一部门所占面积的轮廓，以便予以识别。每一部门都用与此相同的办法加以表示，这样由程序计算可以得出，在现行的布置方式下，模拟的全部 8 周的物料搬运费用为 3294.98 元，这一结果显示在图 10—8 的底部。

图 10—8 一个小型的航天精密件制造厂的现有块状区划布置图

程序按照上述方式进行下去，发现首次最佳的位置交换发生在部门 P 和部门 S 之间，该次交换使物料搬运费用降低 168.74 元。在本例所给出的条件下，程序又执行了 14 次迭代运算，最终得到如图 10—9 所示的块状区划布置图，它代表了在可选方案 1（即目前所采用的做法）的限制条件下的最佳布置。在由程序打出的图 10—9 中，可以发现已不可能对各部门的位置再作任何的改进了。请注意，在最后一次迭代运算中，程序使部门 R 和 S 互相交换位置，从而使物料搬运费用降低到最低值，为 2645.08 元，显示于图 10—9 的底部。

作为比较，我们来看一下程序运行后得到的四种可供选择方案的结果，每 8 周中的全部搬运费用如表 10—3 所示，表中最右边一列表示每种方案与现存布置方式相比成本降低的百分比。用程序计算每一个方案只需要不到一分钟的时间。第四种选择方案（用信息系统来调度，并使用专业化的物料搬运人员）的结果是令人吃惊的，成本降低了 73%。如把这 8 周的数字以年为基础进行换算时，则成本降低的潜在值约为 15500 元。如果该企业将其 10% 作为再投资，并将资本的回收期限定为 3 年，则它有能力花费 38000 元以上来进行重新布置。在此，不必做任一种方案的详细样板布置，而由计算机程序即可直接得到潜在的改进值。一旦从中选定了布置方案，就可以对相应的块状区划布置进行详细的样板布置了。

表 10-3 五种布置的物料运输成本

可供选择的方案	全部八周的物料运输成本	从现有布置降低的百分比
现有布置—现行政策	3294.98 美元	—
下列条件下最佳布置的成本：		
1. 现行实际工作：物料流程经过总门 K—用机械工人来运输	2645.08 美元	20%
2. 物料流程经过部门—用物料运输人员	2402.97 美元	27%
3. 用信息系统调度—用机械工人运输	1186.89 美元	64%
4. 用信息系统调度—用专业的物料运输人员	900.93 美元	73%

CRAFT 程序不仅可用于主要生产活动的总体布置，而且也可用于各种生产活动中更详细的部门间的布置。例如，航天工业中的某一大型建筑群，其内部的各项生产活动在一个较长的时期中逐渐扩充，CRAFT 程序可以帮助确

定各种主要的生产活动之间的最佳相对位置，从而完成对该建筑群的平面布置。

与此类似，CRAFT 程序还可以帮助确定一个大型的电影摄制厂中各主要活动之间的最佳相对位置。虽然人们通常想不到这样做，但实际上电影摄制厂的确可以看作一个很大的加工车间，而每部影片就是一个定做项目，这里，“一批物资”的搬运费用要比在一般的机械工厂里要昂贵得多，因此确定各主要活动中心的相对位置是一件极其重要的事情。

CRAFT 程序还可以广泛用于其他许多非制造业中，例如医院的设计和仓库的定位，以及其他一些制造成本会随系统内部组成位置的不同而变化的装备设计问题。

四、设备按工艺专业化布置时的物料搬运

设备按工艺专业化原则布置时，对所用物料搬运方法的首要要求是其应具有灵活性，运输路线、物料的尺寸、重量、形状等都应具有灵活性。一般来说，符合灵活性要求的物料搬运设备主要有机动货车、牵引列车和起重机。

高效率物料搬运设备的一个重要特点，是其终端时间少，即装卸一种物料所占用的时间少。所以，快速的装卸系统一般都以搁架或搁板为中心。工人直接把物料装到搁架或者搁板上去，这样就完成了对物料的搬运操作。一部活动小架车、搁板车或叉车可以很快地装起运输物并将其送至目的地，因此在设计布置详图时，应着重考虑使高效率的物料搬运设备易于到达所有的作业点上。叉车是专门用于堆放运输物的，可以尽可能高效地利用存货面积。搁架和搁板采用适当的装载方式可以堆放 4 层或 5 层；高空起重机用于在一个固定的范围内运送和堆放大型的笨重物件。在工作场地还常需要辅助的起重机，用来把笨重的物件运送到机器处或将其从机器处运走。

在按工艺专业化布置方式中，高空轮传送装置虽然不是经常使用，但当物料是小型部件的时候可以用其来运送。这种传送装置运行在各工位之间，能够完成任意两个工位间的搬运量。装着部件的盘子或箱子可以放在链形传送装置的输送架上，上面用代号表明搬运的目的工位。物料运抵目的地时，即由指定的工作人员将其取下来，并送到预定的工位上。如果某一部件到达了目的地之后仍未被取下来，那么它将在传输系统中继续周转下去。采用较高的机械化水平，将会更加容易地将运送的物料从传送带上自动取下来。在这种物料搬运系统中，制定总体平面布置时所强调的（距离）×（搬运量）最小的问题，即转化为使传送装置的总长度最短的问题。

那么所需物料搬运设备的数量应如何确定呢？在按工艺专业化原则的布置方式中这总是一个困难的问题，因为对运输能力的需求量是随机的，即所需完成的物料搬运任务是随时间而变化的。甚至常常还会出现下面的情形，一方面物料运送装置在相当一部分的时间内处于闲置状态，而另一方面却又听到工人们抱怨说该运走的物料总是运不走。研究表明，这是个一般性的问题，它具有排队论问题的全部特点。为解决该问题，我们可以对运输服务的需求加以分析并制定有关到达速率或者说到达时间的等价分布。服务时间或搬运时间应定义为：从一个搬运装置被指定去搬运某一装载物这一时刻开始，直到它可以用于被指定搬运另一装载物为止的这段时间，这些服务或搬运时间就可以形成一种分布。

如果这一分布符合正态分布，（这种分布已经建立了如第四章所讨论的

数学模型)，那么就可以得出一个直接的数学解答。如果这种分布不符合正态分布，则常可以通过模拟方法来解答。经济分析中所用的逻辑是，使物料搬运能力达到这样一种程度，即物料的搬运能力的成本和增量的作业成本二者之和为最小。这些增量作业成本的一般类型有三种。第一，如果我们加大搬运能力，那么我们就要增加与之相应的工作人员，即物料搬运人员。除此之外，增加的搬运能力又会减少延误和延误成本。这种延误和延误成本有两种类型：工序之间的存货，以及在机器上和工作场所的闲置劳动。增大的搬运能力可以取得因延误减少而产生的节约。要得到的最优化能力是能够使得上述成本之和为最小的那种搬运能力。最优化解答无疑将规定适当的物料搬运设备闲置时间，以便把延误成本减小至合理的水平。表 10—4 显示了一辆运货卡车的延误时间与闲置时间之间的关系，以及所采用的关于分布的假设。允许延误时间保持在平均 15 分钟，运货卡车则需闲置 50% 的时间。

表 10 — 4 不同运输量时一种运输设备的延误时间和闲置时间

运输时间的百分比 (每 15 分钟请求)	汽车闲置时间的平均 百分比	运送货物的平均延误时间 (小时)
0.1	90	0.30
0.5	50	0.25
0.8	20	1.0
0.9	10	2.25
0.95	5	4.75
0.99	1	24.75
1.00	0	无限长

本表是建立在泊松呼叫频率和服务时间有负指数的假设条件基础上的。

第四节 产品专业化布置方式

在设计一条生产线或装配线时，工序间的平衡是需要考虑的中心问题，这并不是说可以忽略其他问题，例如设备的位置、物料搬运装置、专门工具的设计和工作场所的布置等问题，因为在很多情况下，这些问题的解决会有助于生产线的平衡。所谓平衡指的是各个相继工序产量相等。如果它们全部相等，我们就说生产线有着完好的平衡状态并预计能够实现流程畅通。如果它们不相等，我们知道生产线可能的最大产量将由生产序列中最慢的工序（作业）来决定。试一最慢的工序常被称为瓶颈工序，它限制着生产线中部件的流动，在很大程度上就像一个半关着的阀门限制着水的流动，即使在这一系统中管子能够容下两倍体积的水，情况也是如此。所以，当生产线中存在着不平衡时，我们在所有的工序上（除了瓶颈工序以外），都存在着被浪费的生产能力。

一、平衡技术

我们首先要考虑装配作业线平衡的步骤。而后我们将会看到制造生产线与此有什么差别。为实现最佳平衡状态，我们需要了解可能的最小完整单位（如紧一个螺丝或焊一个接头）操作的作业时间，我们还必须了解这些工作或操作在工作顺序中的可变性。当然，工作的顺序会有一些限制。例如，必须放上垫圈后才能上螺帽，必须先联好电线后才能进行焊接，必须先钻孔才能进行铰扩，而只有在铰扩以后才能进行攻丝，而另一方面，作业顺序也有可能是互元关联的，例如，拧上一组螺帽的次序就是如此。这种顺序上的可变性是很重要的，它能帮助我们来规定那些能够使生产线达到最佳平衡状态的作业或工段要素的组合。

让我们通过一个例子来看看这个问题的性质。图 10—10 显示了一个典型的小型空气压缩机的汽缸局部装配件，每个部件都标上了名称和号码。通过考察这一装配件，我们立即可以看出必须遵守装配次序上的限制。当把汽缸头装配到汽缸上去的时候，必须首先装上汽缸头垫圈（8 号部件）。同样，当装配排气阀组件时，必须先装排气阀本身（3 号部件），然后装阀门弹簧（6 号部件），最后装上排气阀门接头（4 号部件）。对于吸气阀门组件的装配，必须采取相同的步骤，但是装上阀门和弹簧的顺序要颠倒过来。以上这些就是必须遵守的次序，因为汽缸的局部装配件不能再用其他方法正确地装配了。另一方面，是先把阀门组件装到缸头上，还是先把汽缸头装到汽缸上，没有什么差别。同样地，哪一个阀门组件先装配也没有什么关系。汽缸头是用 4 个螺丝固定在汽缸上的，这 4 个螺丝不必都在同一时间装配，对于它们的装配次序是没有什么要求。

这些作业次序上的限制已概括于表 10—5 中，我们可以利用这一结果。表 10—5 中所列的装配作业，总的来说，已分解成为最小的完整动作。例如，要注意先把螺丝和阀门接头装上并使螺纹啮合，所以，拧紧螺丝的作业可以分别去做，也可以作为下一工作或一些相继工作的一部分。还有，对于每一作业，我们应注意到表中最右一栏中所列的必须在它之前完成。所以，作业 a、e、i 可以采用任何次序，因为没有什么作业需要在它前面完成。但是作业 b（把汽缸头装在汽缸上），却必须在作业 a（把汽缸头垫圈放在汽缸上）完成之后才可以进行。作业 C—1 必须在作业 a 和 b 之后进行。不必重复写上

a，因为我们已知 b 必须在 a 之后进行。应用这些材料，加上表 10—5 中所提供的每项作业的时间，我们就能够画出如图 10—11 的图解。

表 10-5 图 10-11 中汽缸局部装配件的装配作业项序次制和作业时间表

作业	作业时间 (秒)	作业说明	必须在其前完成的作业
a	1.5	把汽缸垫圈 (8 号) 装在汽缸 (1 号) 上	—
b	2.0	把汽缸头 (2 号) 装在汽缸 (1 号) 上	a
c—1	3.2	把汽缸头螺丝 (7 号) 放入孔中，并使螺纹啮合	b
c—2	3.2	同上	b
c—3	3.2	同上	b
c—4	3.2	同上	b
d—1	1.5	拧紧汽缸头螺丝	c
d—2	1.5	同上	c
d—3	1.5	同上	c
d—4	1.5	同上	c
e	3.7	把阀门 (3 号) 放在排气孔的底部	—
f	2.6	把阀门弹簧 (6 号) 放在排气孔的顶部	e
g	3.2	把排气阀门接头 (4 号) 放入孔中并使螺纹啮合	f
h	2.0	拧紧排气阀门接头	g
i	3.1	把第 2 个阀门弹簧 (6 号) 放入吸气孔底部	—
j	3.7	把第 2 个阀门 (3 号) 放在吸气孔弹簧顶部	i
k	3.2	把吸气阀门接头 (5 号) 放入孔中，并使螺纹啮合	j
l	2.0	拧紧吸气阀门接头	

图 10—11 只是以图解方式反映了我们所确定的次序要求。为方便起见，在每一作业旁边标注了它的操作时间。现在，我们可以将这些作业组合起来，以取得平衡。但是，平衡的程度如何呢？我们生产线的生产能力有多大呢？这是很重要的一点，它使平衡问题变得困难。如果没有生产能力上的限制，问题就会变得很简单了。我们可以用最小公倍数方法来解决。例如，如果我们有三个作业，所需要的时间分别是 3.2、2.0 和 4.0 分钟，我们就可以给第一个提供 8 个工作位置，给第二个提供 5 个工作位置，给第三个提供 10 个工作位置。这样，生产线的工作能力将为每种作业每小时生产 150 个元件，它们全都圆满地取得了平衡。可是，在这里生产能力就是由平衡来决定的，而不是由我们以前讨论过的因素来决定的。

我们必须把生产线的生产能力作为既定因素，并在这一限制下取得较好的平衡。为说明清楚起见，让我们先假设我们必须以 10 秒钟的周期使生产线取得平衡。每 10 秒钟生产线就要生产出一个完整的元件。为了满足这一生产能力上的要求，任何一个工位所安排的作业 (如图 10—11 的图解所示) 都不得多于 10 秒钟。接着，我们将各个作业组合为各个工位的任务。全部作业时

间是 45.8 秒钟。因此，以 10 秒钟作为一个周期，至少需要 5 个工位。任何要求多于 5 个工位的解决方案都需要增加直接劳动成本。图 10—12 显示了提供 5 个工位的一种解答。虽然这是一个简单的例子，但它说明了生产线平衡的概念。

现在我们来看看实际的平衡方法。我们在前面讨论的生产线平衡的一般概念，它已经通过一些实际方法在工业中应用于解决大型问题。这些方法包括线性规划模型、动态规划、启发式方法以及以计算机为基础的偏置取样技术。

启发式方法的核心内容是用特定的方式制定出一份前趋图解，它表明把作业从一项移到另一项以获得满意的平衡的灵活性大小。启发式方法的规则是很简单的，但若得到较好的解决方案，还需要动不少脑筋。启发式方法在美国曾经应用于有 45 项和 133 项作业的电视机装配线问题，并取得令人满意的结果。

在生产管理中，除了上面提到的方法以外，还常使用一些辅助平衡技术。在设计阶段和作业阶段，有些方法都可用来取得平衡。如果一个工位需要的工作时间比其他工位要多，对动作以及作业的心理和生理方面进行仔细的研究可能会使时间缩短。在第十一章中所讨论的材料将会是适用的。为降低不平衡的程度，可以采用指派速度快的操作者到滞后的作业去的方法。当一些完成得很快的工作不能联结在一个工位中时（如在机器作业中可能会出现），则需要在这些快速作业之前或之后把物料储存起来。这些快速作业在一天中可能只花费一小部分时间。机器或操作者就可以节省下来用于其他目的。

作为比较，最后我们来研究一下加工作业生产线的平衡问题。在概念上，对于装配作业线和加工作业生产线来说，平衡程序没有什么不同。然而，在加工作业中形成的固定的机器加工周期，却大大地限制了取得平衡的自由。通常不能把一项机器作业分解为两个或更多的小作业以使每一工位的时间平均化。这种情况在一定程度上反映了这一事实，即加工作业生产线一般只有在产量很大时才是经济的，因为只有产量很大时才有可能取得良好的平衡状态。否则，生产设备的利用率就会很低。如果我们试图用闲置的生产能力去加工其他部件，物料运输成本又会增加，因为设备是按生产线产品的运输费用最低化的要求布置的。在这种条件下，采用按工艺的布置（它使全部运输成本最低化）通常要更经济些。

二、设备按产品专业化布置时的物料搬运

在产品专业化布置方式中，物料搬运方法和设备往往是有专门用途的。在传送带和生产线布置的关系上常常存在着相当多的混乱情况。只有传送带并不能构成一个按产品专业化的布置，也不能保证这一布置中任何一个工序的效率。可是，按生产线布置的性质确实要求在各个作业之间有直接的运输手段。在有些情况下，可以这样简单地安排流程以进行作业间运输：每个操作者都把工件放到下一个操作者可以拿到的位置上。当产品的性质允许时，可以有效地利用重力滑道。最后，当这些廉价手段不能应用时，可以考虑大批地应用适应于各种尺寸、形状和重量的部件的传送带。

尽管标准尺寸和型号的传送设备可以大批应用，但通常它们仍需要相当规模的专门设计工作使它们适合于按生产线布置的高效率总体设计的要求。

最佳的生产线内部搬运系统把运输功能与加工、储存的功能结合起来，因而无需在生产线上进行多余的往复搬运。这意味着需要对各个阶段的工件储存量有个严格的规定。许多工序，例如上漆和干燥，可以在材料移动时进行。按产品专业化布置设计所具有的专用性质，使得设计一种专用搬运设备是可行的，这一设备与加工工序有机地结合起来使得整个生产线像一台集成化的机器一样运转，工业生产中大多数实际应用的物料搬运是作为生产作业的一部分来进行的，例如将部件拿上机器或从机器上取下。当集成化的物料搬运系统设计好了以后，类似的物料搬运工作大部分都可以去掉。

第五节 服务设施

一、生产服务

许多生产服务设施必须适应于总体布置。而这些服务活动中有许多并不是企业直接生产活动的一部分，这常常容易使人认为，不管给它们留下什么样的空间也就足够了。实际上，有些服务活动，例如收货、运货和仓储是在直接的物资流程之内的，并且也像生产部门一样对产品进行处理。其他活动，例如维修保养设施和工具库，不对产品进行加工，但它们会影响生产成本，因此，它们的实际位置和容量是值得仔细考虑的。物料流程的总体模式应是决定收货、运货和仓储区域的主要因素。我们进行按工艺专业化布置的作业顺序分析时，涉及到这些功能区方面的问题。对于按产品专业化的布置来说，物料流程的地位就更加明显，因而这些服务区域的适当位置需慎重予以确定。

收货区域的容量问题没有一个显而易见的答案。总的来说，问题在于我们无法控制物料的运进速率。因为接收供货者运来的货物在某种程度上是随机性的，一个设计合理的容量应能够满足运货卡车和火车运输场合理预期的运输高峰以及装卸工人、物料临时堆放地等方面的要求。在此，排队论又可以为确定应有容量提供指导。当然，还有许多其他因素影响收货区域的详细布置，如气候、安全规则、装卸设备、站场高度以及容纳各种车辆的必需条件等。

工具库的位置也是很重要的，因为机械工人进出这一区域需要花费时间。所以，应通过对使用频率的研究（它是与生产区的平面布置相联系的）来确定一个或几个合适的位置。工具存储问题与材料和部件的存储问题一样，既要求取用物品又快捷又方便，同时，又要求有效地利用空间。工具库所需服务人员的数量又是一个排队论问题，正如第四章中所指出的那样。

维修保养设施通常是服务于建筑物、工地、工厂设施、机器和设备的。对机器和设备进行维修的能力牵涉到下面的问题，即维修工人的闲置时间与生产工人的闲置时间及产量损失之间的权衡问题。通常，设备和人员上保持相当规模的闲置能力是合理的，正如这类问题的排队论模型所反映出的那样。

二、职工生活服务

当今的个人生活服务，包括的范围很广，例如停车场、餐饮处、医疗所、信用社、储藏室、洗手间和浴室，以及娱乐场所等。显然，提供这些服务会带来布局上的问题。在很多情况下，这些服务设施的地点不会影响生产成本，因为这些服务是用于工余时间的。在这些情况下，布置问题考虑的就是提供空间，满足所需的服务数量。必须对这些活动进行研究，以便确定必须要做什么并相应地提供什么设备。

那些在工作时间使用的服务设施，如医疗设施、盥洗设施和饮水处，其大小和相对于使用者的位置是十分重要的。应对往返于这些服务设施的距离进行研究，以便确定合理的位置。在职工的排队等候时间和服务能力的成本之间进行权衡时，又要用到排队论模型。在一家提供广泛医疗服务的大公司中，有关在医务人员中是否有必要再增设一个医生的问题，就是应用对排队等候时间的研究来解答的。研究的结果表明，在 8 小时工作时间内，平均有

15 个职工在候诊室等候，如果每个职工一年的工作时间是 2000 小时，而每小时的平均工资是 2 美元，那么就可以换算出一年中候诊时间耗费 60 000 美元。根据这一研究结果，可以考虑采用医疗服务设施的扩大和分散化措施。

第六节 厂房建筑

随着工厂布置设计的进行，许多对厂房建筑规格和特性的设计也需同时进行。例如，设备的位置决定了最小的地板负荷，对配电系统的要求及对管道工程的要求等等。建筑物的大小和形状是布置设计产生的结果。支撑屋顶的柱子的位置和间隔必须在布置阶段就加以确定，以免后面的建筑设计会导致布置工作前功尽弃。现在，工厂的建筑设计趋向于强调建筑的美感和风景的迷人，使职工由此感受到在这种工厂中工作是一种骄傲。

一、平房与楼房的对比

近年来的工厂建筑设计的趋势是倾向于采用平房。原因有很多，平房的建筑成本较低只是部分原因。楼房的实际可用面积比平房要小得多，因为柱子、楼梯、电梯也需要占据面积，所以，按单位可用面积计算，平房的建筑成本实际上要便宜得多。不过，在土地价格十分昂贵的中央工业区，二者权衡后还是楼房较为有利。

除了通常的建筑成本方面的优势以外，平房可以提供宽阔的没有阻碍的跨距，这使布置能够自由进行，并使最初的布置和以后的重新布置有更大的灵活性。地板负荷不受限制，也更容易通风。还有，最大的好处是可以通过锯齿形屋顶的设计获得自然采光。平房在生产操作上的优点可能是所有优点中最重要的。大部分产品的物料搬运成本在水平方向的要比在垂直方向的更低些。可是也有例外情况。例如，在肉制品包装工作中，楼房可能会带来搬运成本上的好处，因为在对产品进行加工时，可用下降滑板将产品从一个工区移到另一个工区，或从一层楼运到另一层楼。

二、建筑物形状和屋顶设计

建筑物的基本形状是矩形，而矩形组合的合理形状是很多的。在这些类型中有一些形状看起来像印刷体字母 I，C，U，F，E 和 H。

屋顶类型的选择取决于所需跨距的大小以及操作所需的上方空间。在布置阶段，将根据这些标准做出决定，这些决定将成为建筑物自身的规格。当然，较宽的柱距比较小的柱距要花费更高的建筑成本，但应将其与布置的灵活性和设想的（但是很难度量）操作成本上的优势进行权衡。

第七节 设备布置的样板法

利用二维和三维的样板设计的布置图和模型，被广泛地应用于新工厂的设计规划，也同样适用于现存工厂的重新布置，这种重新布置是一个不断地适应产品、工艺方法和制造技术变化的过程。这些样板可以使工厂的平面布置形象化。这样得出的布置结果，表达了设计师对于所有设备、仓储区、过道区、公用设施等等的位置所做的规定，以及对机器和工段之间的相互关系所做的规定。然而，不能误以为在布置图上准备样板和放置样板的活动是更广泛的工厂布置活动，这一点是很重要的。样板本身只是工具。在这里我们来讨论一下可用于做样板和布置板的材料的种类。

二维平面样板是最常用的样板。它们能成功地表现一个布置的平面图，并能够相当好地显示平面面积的利用情况。图 10—13 显示了两种样板。“块形”样板表明了一部机器最大投影面积的轮廓，就是说，如果放料盘或其他部件运动时，这一轮廓显示其水平面内的最大运动范围。二维平面样板则补充了细节，显示出机器本身的轮廓，图中以虚线表示放料盘的最大运动。

这种样板的重要特点就是尺寸精确而且运用灵活。运用上的灵活性意味着样板可以固定得十分牢固，不会因振动或风吹而移动，但又不是永久地固定起来，因为将来可能要作改动。各种不同的材料能在不同程度上满足这些要求。有些最令人满意的材料是塑料样板，这种样板的背部具有粘性，与作为背面材料的印格塑料板一起使用。这些格子提供了量度尺寸，因而极少需要再进行实际测量。这种类型的样板可以购买来，实际上可用于代表所有标准的机器和多种辅助设备。彩色胶带可用来代表墙壁、通道等。

三维立体样板这种样板或比例模型又增添了一分真实因素，对形象地表示出高度具有相当重要的意义，或者对布置工作不熟悉的人要对布置结果作出判断，这些情况下使用这种样板是合理的。能够帮助这些人看清楚建议所做的任何努力而花去的费用，都是值得的，虽然这些模型可以在木工车间制作出来达到所要求的规格，但在实践中很少这样做，特别是对于标准机器更是如此，因为实际上所有的标准设备都可以应用买到的压铸模型。这些模型做得十分细致，如果用木料或硬纸板来复制就很昂贵。实际上各种物品都有这种模型，如柱子、墙壁、废料桶、搁架、搁板等等。通常用一块带格的重塑料板来作为底板，它能够提供尺度使测量工作量减为最小。

第八节 非制造业中的布置

在非制造业中也相应存在着我们讨论过的布置的一些主要类型。在餐饮业和许多大型办公室中采用相当于生产线的布置。按工艺的布置常用于办公室，但部门划分的基础很少像制造业那样围绕着设备的类型进行，而是更多地见到按职能的分工，如单据、应收账款目、应付账目这样的职能部门来进行处理这些职能的工作。

与制造业不同，非制造业中的布置不需要计算物料搬运成本。例如，将一些文件从一个地点拿到相邻地点的搬运费用常常是微不足道的，特别是应用了办公室间文件传递系统时更是这样。但是如果有高薪雇佣的人员固定地传送重要文件时，这一费用就变得重要了。在办公室，布置中的一个主要考虑因素是，提供工作条件和适当的活动间隔，使职员能够高效又精确地完成他们的工作，行使好职能。一个超级市场的布置，要设计得使顾客能看见尽可能多的货物，意在提示他们购买，并且避免通道上讨厌的拥挤，而把降低搬运商品到货架上的成本降为其次的考虑因素。

* * *

在讨论布置时，我们将下列资料作为输入：有关要加工什么产品，预计要加工多少产品，以及我们怎样进行加工。在制造业生产活动中，这些资料采取下列形式：产品图纸；表明制造数量的预测、合同或订货；表明适当工艺及其顺序的操作流程卡和作业卡。布置还要求对一系列问题做出重大决定，即有关生产能力、布置类型、装备、建筑类型、跨距宽度等问题，布置的困难在于，问题的不同方面是相互影响的，而且没有一个统一的理论结构，能够使人们看清楚所有变动因素共同作用产生的动态影响。布置为放置物质设备的建筑物提供了一个基本规定格局；它还体现了生产系统设计中某些方面问题的结合。在这里，我们在以前分别研究过的问题，以及将在第十一章、第十二章中将要研究的问题结合为一个统一的设计。

第十一章 作业设计与人一机系统

第十章中有关厂内布置的内容，为生产系统的总体设计奠定了基础。在完成布置的过程中，需对所完成工作的基本组织方式作出重要决策，例如，该系统是按工艺专业化的原则布置，还是按产品专业化的原则布置，这将对确定工作的内容产生极大的影响。不同的布置方式将造成不同的工作划分方法。

除非对工作总体组织的各种可能方式予以认真的考虑，否则，工作内容只能根据生产工艺、现有的加工设计、厂内布置方式以及时间要求等因素来确定，或者循规蹈矩地按经验办事。

较为典型的情况是，我们需对复杂的装配过程予以通盘考虑，然后将其细分为一系列的工序，从而在连续的生产线上获得最终的产品。这种装配线通常按一定的生产能力要求设计，例如要求的产量为：每班 8 小时生产 480 件（每分钟生产 1 件）。因此，产量直接决定着每一工序（通常所用时间不超过 1 分钟）的工作量。除此之外，对装配生产还需对各工序的顺序加以确定，工序 1 以 1 分钟或更少的时间做完第一项工作；工序 2 也是用 1 分钟的时间完成第二项工作，等等。当然，这里所说的顺序是具有灵活性的，通过重新安排工序顺序我们可以使各个工序的工作内容最为合理（参见第十章中所讨论的生产线平衡法）。

在另外的情况下，生产工艺、机器、厂内布置方式或者其他因素，可能会对确定工作内容起着主导作用，为了获得最优的工作设计方案，本章将给出一些方法和资料来把每项工序作为一个单独的人—机系统进行分析。但现在的问题是，用这种设计方法所获得的工作内容与别的基本方案相比，其有效性究竟怎样？因为我们知道，如果把各项工作内容的可能方案全部开列出来的话，其数目是足以使人望而生畏的。遗憾的是，在这方面只有很少的资料可以为我们提供指导，以致于我们在实际中往往根据机器、厂内布置方式和生产定额等因素来决定工作的内容。

第一节 工作设计效果的衡量

从亚当·斯密时代以后，确定工作内容的主要原则一直是劳动分工，现在，这一思想仍几乎被我们全部接受。实际上，亚当·斯密并未对分工的具体程度给出任何限定，而这一原则一直被用作取得作业设计最大效果的唯一手段。现在，工作已被分解得过于细碎，致使很多情况下，工人对其所要完成的工作毫无兴趣，因此近年来已出现反对把工作分得过细的趋势。一些研究人员发现，将一些工序合并起来，扩大工作的范围可以使工人重新获得兴趣，经调查，采用这种做法使生产率、产品质量等都得到了提高。但是遗憾的是，尽管用这种方法克服了分工过细所带来的一些缺点，但目前尚未有人提出指导性的原则来防止走向另一个极端——工作合并过分。尽管如此，采用这种方法毕竟会使人们认识到，衡量工作设计是否成功的主要标准是工人对其所从事的工作是否满意。劳动分工问题的最终答案在于，通过深入的研究，寻找出那些对于构成一项工作的最优作业组合起决定作用的因素，这种研究称为工作设计。

到目前为止，经济标准一直被普遍作为确定工作内容的主导因素，而其他的标准只有在能满足主要经济要求的情况下才被认为有效。因此，如果作业设计既能提高产品质量又能提高生产率，则这通常会归功于经济标准而不是质量标准。通常，减少工作中使人疲劳的因素可以提高生产率；消除工作中的危险因素可以在降低保险赔偿率的同时提高生产率；同样，使工人兴趣提高的工作设计，也常能够获得较高的生产率。

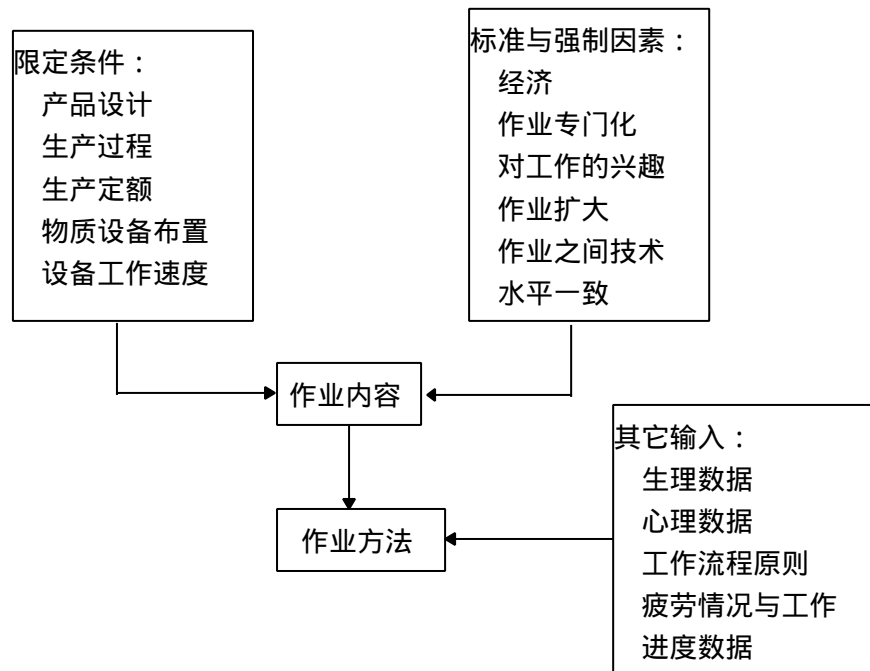
但是，各种标准与经济标准不一致的情况当然也是存在的。为获得更高的产品质量，常常需要增加成本，而由废品减少所创造的价值可能抵消不了增加的成本。工人对工作的兴趣并不一定会降低成本。将事故的发生率降低到极低的水平可能耗资极大。

现在，非经济标准逐渐受到人们的重视。工作内容的制定及修改常是为了满足非经济标准的要求。的确，经济标准是居于主导地位的，制定或修改工作设计需考虑对成本的影响作用。最常用的方法是，将经济标准作为“定量”的尺度，而把非经济标准当作“无形的”优势或劣势。图 11-1 以图解的形式表示出在确定工作内容时，限定条件、各种标准以及其他强制因素之间的关系。用于确定工作方法的输入信息，以及许多其他与人-机系统有关的输入信息，构成了工作的内容。

下面我们转入到对另一个问题的讨论，即谁来进行工作设计？在工业企业中，作业和工作方法的专职设计人员是工业工程师。但在许多不太正规的企业里，该项工作是由领导和各级管理人员来承担的。在大多数非制造业的企业内，管理和监督人员负责确定工作内容和工作方法的设计。这类单位数目繁多，而负责设计的人员水平参差不齐，使得积累这方面的有关经验成为一个较为困难的问题，因为，对这些人中的大部分来说，工作设计只是他们职责范围中的一部分，他们更愿意依赖现有的标准工作场所进行设计，根据基本的设备情况（如办公桌、打字机、工作台和通用机床等）来确定许多工作的性质，而工作方法的许多细节则常留给工人自己去完成，实际上，工人参与工作设计已实行了一段时期。

在下面进一步讨论工作设计时，我们将把注意力集中到人-机系统上，侧重于探讨工作设计中的工作方法部分。我们将会看到，人的最大潜能根本

不在于机械地重复动作，而在于能在需要的时候完成应变、推理和判断。从个人的角度来看，可以说我们一直在误用人的能力。当今，劳动力的价格较为昂贵，所以从经济的观点来看，显然我们还是在误用人的能力。



第二节 人—机系统研究

计算机和自动化技术的飞速发展已使有关人在生产系统中职能的基本概念发生了改变。虽然在目前的工业生产中仍存在着大量的手工劳动成分，但对大多数的工作而言，它们都至少包含着某些机器的辅助工作，因此，这里所讨论的人—机系统的基本概念适用于所有包含有人的操作的工作环境。

即使是自动化系统，也需由工人来执行监督工作。在这种情况下，操作员可能是坐在控制板前，监视着上面不断显示的有关生产工艺过程的信息。这里很重要的一点是，在设计显示板时，应使其传递过程信息的差错率为最小。

同样，大多数的手工作业中也都包含着人与机器的某种结合。对于多数使用机床的加工过程，它们大都存在着固定的机器周期，机器与操作者的关系如何设计极其重要。控制部分的位置及设计、工作台高度、信息显示、工作流程、安全特性以及一个周期中人与机器的使用，都直接决定着质量、生产率和工人对工作环境的接受程度。

有不少工作严格说来是手工劳动，例如装配、维修保养、重体力劳动等，在这些情况下，使用辅助的机器或工具是很普遍的，所以应当从使用者的角度出发来设计这些工具。除此之外，我们需要、以考虑的因素还有：工作场所的平面布置、工作流程，以及由实环境引起的工人生理疲劳和心理疲劳。在有些情况下，有些环境因素如温度、湿度、噪音、危险性等，会严重影响人的疲劳程度、生产率、质量、工人身体健康以及工人对工作的接受程度。因此，在研究人—机系统时我们假定工作的内容问题已解决得很好，而把重点放在详细的工作设计上。

一、人与机器的比较

人具有一定的生理、心理和社会特征，这些特征既决定了他的能力，同时也决定了他在所处工作环境中的局限性。这些特征并不是一成不变的，而且因人而异。但是，这并不是说我们不能对人的行为作出预测，而是说人类行为的预测模型一定会反映这种差异。现在我们来举个例子：男子臂力的分布情况表明的是能够发出一定力量的男性占男性总人口的百分比是多少。这一分布情况同时也表明了对臂力要求的限度。一般男子的右手拉力可达 120 磅。如果我们设计这样的一种机器操纵杆，它要求操作者使用 120 磅的力量，那么就将有 half 左右的男子不能操纵它。另一方面，臂力的分布情况还表示出，大约有 95% 的男子其右手拉力可达到 52 磅。考虑到这一事实后，就可以设计出适应于大部分男性人口的操纵杆来了。

在工作中，人的作用可归纳为三大类：

1. 通过视觉、听觉、触觉等各种感觉来接收信息；
2. 根据所接收的信息和个人记忆中存储的信息进行判断；
3. 根据判断采取相应的行动。在有些情况下，作出判断实际上是自动进行的，因为人的习惯性反应就如同做高度重复性工作时一样。在另外的情形中，判断中要包含一系列的推理，其结果可能是很复杂的。

请注意，封闭回路自动化系统的总体结构与人的作用是类似的（参见第七章图 7—9），那么区别又在哪里呢？自动化机器像人一样吗？不错，在某些重要的方面的确是相似的，都有感觉器官、存储的信息、比较仪、判定元

件、效应器和反馈回路。两者的区别在于，人的能力范围极大，同时人的心理状态以及社会的各方面因素都会对人产生限制作用。而机器所能完成的工作，其种类和范围要更专门化。机器可以很忠实地工作，它主要对物质因素作出反应。例如，轴承磨损是由于周围环境中存在尘土。相反地，人既对物质环境因素也对自身心理和社会的环境作出反应。后面的这一点要求，衡量工作设计效果的标准之一应当是工人对工作的接受和满意程度。

虽然，在对根据非经济因素来给工人和机器分配工作时，真正客观的准则还很少，但一般认为，人在以下方面的能力胜过机器：

1. 察觉微量的光和声；
2. 接受并组织各种声、光的型式；
3. 随机应变，采取灵活的程序；
4. 长期存储大量信息，并在适当的时刻回忆起相关的事实；
5. 进行演绎推理；
6. 进行判断；
7. 形成概念，创造方法。

相应地，机器在以下方面的能力胜过人：

1. 对控制信号作出快速反应；
2. 平稳而准确地运用巨大的力量；
3. 进行重复和常规的工作；
4. 短暂地存储信息，然后全部予以清除；
5. 执行快速运算；
6. 同时执行一系列各不相同的功能。

上述所列各项向我们提出这样一个问题，为什么各工商企业和政府机关并不根据上述原则来使用人和机器呢？相反我们已经发现，人被广泛地用来做上面列出的适用于机器做的工作。答案在于，在一定的情况下，必须对成本进行权衡。使用劳动力和机器都是要消耗资金的，当成本核算的结果显示使用机器较有利时，通常要进行换算，在一些国家中，劳动力成本相对于资本成本来说极其便宜，这就需要作出经济决策，是否在不适于人做的工作中使用人工劳动。

二、人一机系统的概念

如前所述，尽管人与机器各有所长，但在工作中两者却起着相同的作用。图 11—2 显示了它们所行使的功能。总的说来，可以把这些功能与第七章中图 7—9 所示的封闭回路反馈相比。四种基本的功能是：感受、信息存储、信息处理和行动。信息存储与其余三种功能相互作用，而感受、信息处理和行动则是按次序进行的。

感受功能指的是信息的接受。人的感受是通过各种感觉器官如眼睛、耳朵等来进行的。与此相似，机器的感受功能是通过电子或机械装置进行的。但是，从性质上来看，机器的感受功能是具体的、专一的，而人的感受能力则是广泛的。

对人而言，信息存储是凭借记忆或记录完成的。而机器的信息存储则是利用磁带、磁鼓、穿孔卡片、凸轮、模板等进行的。

信息处理（类似于人的判断）功能指的是通过一些或是简单或是复杂的过程，利用感受到的或存储的信息作出判断。信息处理过程可能会很简单，

例如根据输入数据在两个方案中选择其一，也可

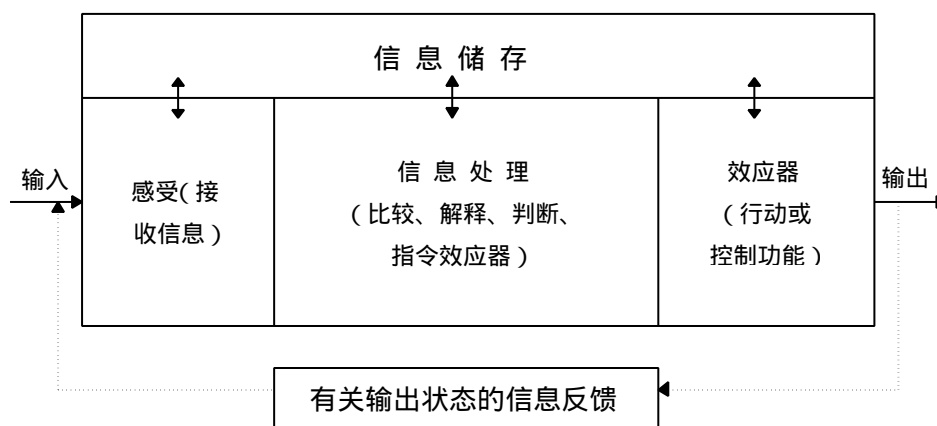


图 11-2 人—机系统中人或机器行使的功能

能会非常复杂，这包括用演绎、分析或计算等手段作出判断，并且向效应器发出指令。

行动功能（由效应器行使）是判断和指令的结果，它可以是由人或机器触发控制机构，或是由传送决定的。控制机构导致有关的物体运动，如通过移动手臂开动马达，从而增加或减少刀具的切削深度等等。

输入和输出是与原料及加工的工件相联系的。输出反应了输入的一些变化，这与第七章中所讨论的过程一致。这些过程本身可能是任何类型的，如化学、改变形状或形式、装配、运输、办公室工作等方面的过程。

有关输出状态的信息反馈是系统功能的重要组成部分，因为它为控制提供了依据。对人来说，反馈通过感觉和神经系统来控制最简单的手的动作。对机器而言，反馈力机器的调整提供了依据。像我们在第七章中讨论的那样，自动化机器直接应用反馈信息进行自动的调整（封闭回路的自动系统）。如果根据信息反馈所作的机器调整是间断性的，则回路封闭但不连续了。

三、人—机系统的类型

下面我们将运用图 11—2 所示的功能行使方式讨论三种典型系统的基本结构：手工操作系统、半自动化系统和自动化系统，如图 11—3 所示。

手工操作系统包括人、辅助机械以及手工工具。在这种系统中，人提供所需的动力，并作为生产过程的控制者；工具和辅助机械则可使人的力量增大。图 11—2 的基本模式描述了人直接把输入转变为输出的功能，如图 11—3 (a) 所示。另外，我们可以想到手工系统仅是在某些工作环境下操作的，这种环境会影响人和输出。

在半自动化系统中，人主要是作为生产过程的控制者发挥作用，如图 11—3 (b) 所示。他和机器相互作用，感知有关生产过程的信息，并对其进行解释，应用一套控制机构来启动或关闭机器，并可能做一些中间调整。动力一般由机器提供。当然，还存在着手工操作与半自动化系统相结合的情况，这时，人仍然提供这一系统一部分动力，例如机器在生产周期中运转时给机器上料或做其他工作。在机械工业中普遍使用的车床，就是半自动化系统最常见的实例。

自动化系统按照设想是并不需要人的，因为所有的感受功能、信息处理

和判断功能以及行动等功能都由机器来行使。这种系统应该能够对所有可能的意外事件充分感知并据此作出相应的反应行动。但这种高水平的自动化系统即使能够设计出来，在经济上也是不合算的。因此，在图 11—3 (c) 表示出在自动化系统中人仍起着监视作用，协助控制生产过程。具体他说，就是人根据显示器所显示的生产过程的重要参数，来间断地或连续地监视生产过程。

在本章稍后将讨论的人—机系统的分析和平衡设计中，我们将讨论以下几个方面的内容：信息输入（特别着重于视觉显示）；人对人一机系统的控制（包括人的运动神经的活动、人对系统的控制，人一机关系，手的动作分析，实用人体测量学和人与人—机循环的分析）；以及工作环境及其对输出的影响。在全部讨论中，我们

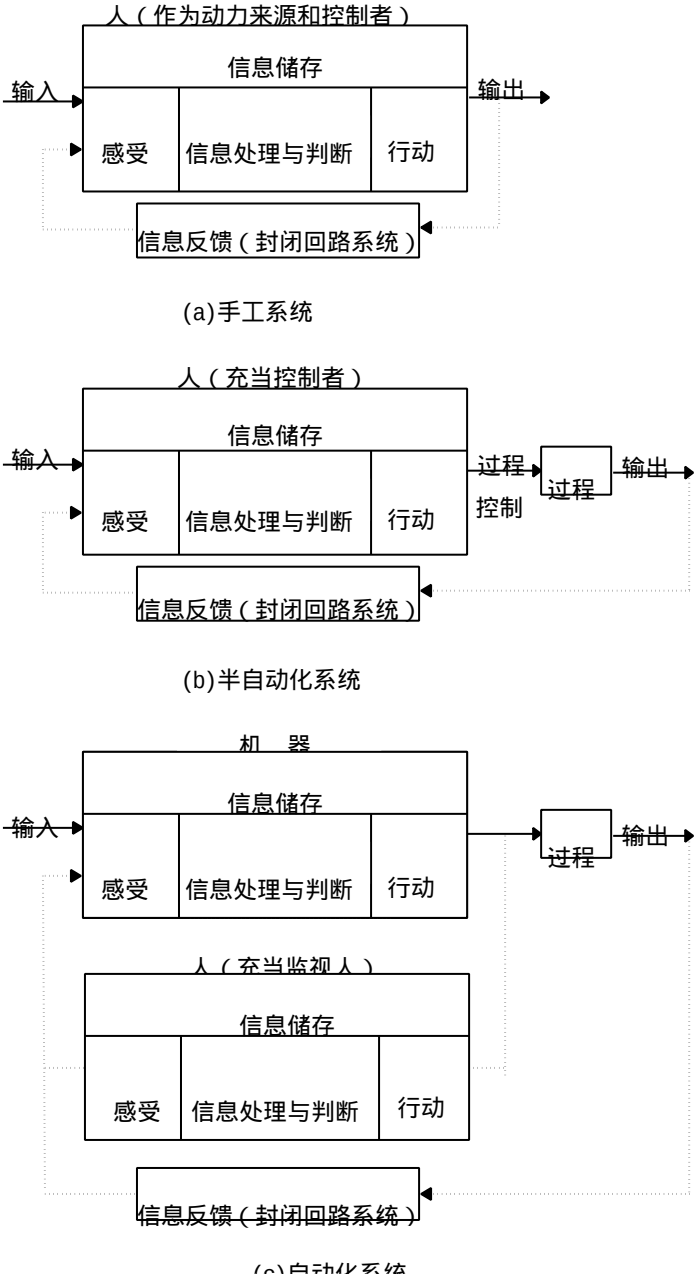


图 11-3 三种类型的系统中人与机器的功能图解

图 11—4 半自动化作业的人—机系统简化模型

图 11—4 说明了半自动化系统中一般的工作循环过程，它包含了我们要研究的所有相互关系，因而具有极其重要的价值。在图 11—4 中，一个工人正在接受和判断来自显示器上的有关生产过程的信息，而且还操纵着控制生产过程的机构。他还对生产过程进行着总体的监视，机器对这些控制活动作出反应，将输入转化为输出。这样，我们便将人在三种类型的系统中的所有功能（如刚刚讨论过的）反映出来了。例如，手工操作活动代表了手工系统的主要特点；信息输入、感受和控制工作代表了半自动化和自动化系统二者的主要特征；而信息输入与总体监视或监督活动则代表着自动化系统的主要特征。当然，环境因素的影响以及人和工作流程、工作场所布置的关系，是适用于所有人—机系统的。

第三节 信息输入

有些人所不能直接感知或至少不能直接确切地感知的有关生产过程中的重要信息，现代技术却已经有可能将其表现出来。图 11—5 表示了信息由来源传至人们感觉器官的涂释。

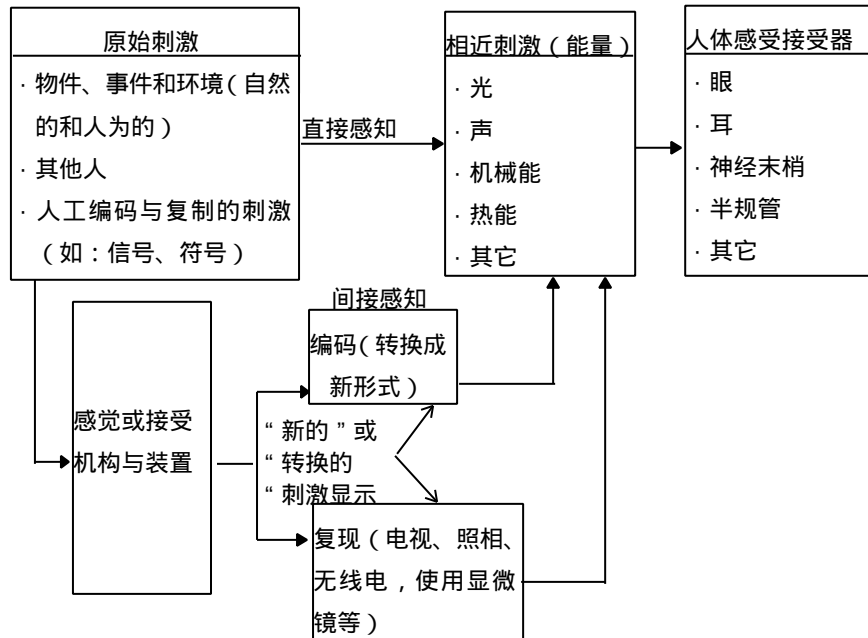


图 11-5 从最初来源到感觉接受器的信息传递途径图解

图 11—5 直接表示出人与机器在间接感知过程中的某种关联，间接感知包含着一个中间感知阶段，即只有通过机器编制代码或其变型而成为某种新形式后，信息才能够表出并被人感知。因此，在人—机系统中，人的感知方式可以是直接的，但间接感知越来越多，已将重点集中在编码和信息显示系统上。如果想要使操作有效进行，那么这些将信息传递给人的信息显示系统的设计是十分重要的。

图 11—5 表明了人所可能具有的全部感觉接受器。工业生产中最普遍应用的是眼、耳和神经末梢，按这一顺序，视觉显示至今仍应用得最为普遍。

一、视觉显示

战后实验心理学家的工作很多都是致力于改进视觉显示问题上。他们提出了如下一些问题：哪一种刻度表的形状最有利于识读？应使用什么刻度单位，又怎样将其标在刻度表上？是否存在某种偏爱的数字类型来影响人们识别刻度表？数字和字母的哪些特性使之易于识读？白底黑字是否优于黑底白字？字母和数字的大小应该如何、线条粗细、高底和宽窄的比例怎样才最佳？应如何布置刻度表系统？对这些问题以及许多其他问题人们已经进行过实验。

斯莱特(Sleight)对刻度表的形状进行过实验。他为五种类型的刻度表设计了一次测试，他让 60 个被测人从每一刻度表上按随意的顺序识读 17 种标记，图 11—6 显示了所记录的实验结果，即读错的百分比。斯莱特的实验是典型的，这种研究重复进行了多次，以下是查帕尼斯(Chapanis)、加纳(Garner)和摩尔根(Morgan)总结出的有关刻度表设计的一般原则：

1. 如果我们辨读的距离是 30 英寸或不到 30 英寸, 那么直径为 2.75 英寸或 3 英寸左右的刻度表可能是适用范围最广的。

2. 刻度的位置应该在 0, 5, 10, 15, 20 等 (或 0, 50, 100, 150, 200 等等) 位置上。在 0, 10, 20..... (或 0, 100, 200.....) 位置上的刻度应该长于在 5, 15, 25..... (或 50, 150, 250.....) 位置上的刻度。只有在 0, 10, 20..... 位置上的刻度才应标上数字。

3. 数字刻度之间的距离应该像刻度表圆周上的刻度那样, 大约半英寸。

4. 刻度表上刻度之间的距离应全部相等。

5. 始末刻度之间应该有间隔。

6. 标度值应按顺时针方向增加。

如有一组刻度表要识读时, 将它们的正常读数拨至时钟 9 点或 12 点的位置上有助于表的刻度定位。这样就可以一眼识别出这一组中有不正常读数, 而不用逐个识读。事实上, 我们经常发现操作人员面对着太多的信息。他可以根本不必去识读刻度表, 可能只需要认明读数是否在正常运转范围之内。他的真正需要也许只是了解一下某种设备是否仍在运行。在这种情况下, 只需有开关的信号灯就足够用的了。

用于视觉显示的字母和数字也有些问题值得考虑。研究表明, 当笔划的宽度与高度之比在 1:6 和 1:8 之间, 而字的总体高度与宽度之比约为 3:2 时, 大写字母和数字的认读最准确。

二、听觉和触觉显示

虽然听觉显示不像视觉显示使用得那么普遍, 但在作为警告或提醒注意的装置时却有着特殊的价值。当然, 还有其他的情形应用听觉, 例如, 当视觉受到损害, 或者在夜里, 或是在摄影暗室内等情况下, 视觉无法使用, 一些常用的听觉装置是铃、蜂鸣器、喇叭、汽笛、钟和哨子等。

在工业生产中, 触觉显示更不及听觉显示应用得那样普遍。但是当不能使用视觉时也有运用触觉的时候, 例如在摄影暗室或控制按钮按形状编码时, 可以用触觉进行识别 (以下将要讨论)。

第四节 人—机系统中人的控制作用

操作人员可以对用直接或间接手段输入的某种信息作出反应，反应的方式是进行体力工作。他可以装配物件，操纵控制器，总之是按照系统的目标，应用他的身体完成所需的工作。因而，关于手和身体动作的分析以及如何运用它们进行有效操作的分析是很重要的。

对使用控制器的操作动作已经进行过比较深入的研究，研究结果可以用来设计有效率的系统。

最后，可以根据人体测量学的知识来进行工作场所的布置，以便使操作动作能在规定的范围内进行，桌椅的高度也应适合于人的身体尺寸。

一、操作活动分析

表 11—1 总结了各种不同操作活动分析方法的应用范围。在应用这里说明的任何一种分析方法以前，应通过对生产一个部件或处理一份报表时所应完成操作的顺序及相互关系进行总体研究，确定出究竟是否需要进行这种分析。

表 11 — 1 各种人和人—机分析方法的应用范围概况

操作性质	分析方法
重复性的短周期工作	操作图或附以动作时间
低等到中等水平的产量	标准数据的操作图
重复性的短周期工作	小动作分析图，动作时间
高产量	标准数据
重复性的长周期工作	工人活动程序图，操作图
包含一班人员和（或）机器的重复性工作	操作图
工作间隔不规则的作业	操作分类法

操作图适用于工作周期比较短，而生产量为小批量或中等批量的情况。操作图将左右手的动作分解为：伸、抓、送、放、安装等，并将两手的动作分别列入两个并列的栏目内，因而很容易看出两只手是怎样一起活动的。如图 11—7 所示，有时还增加一些符号，通常用大圆圈表示操作动作，用小圆圈表示伸手和送材料，还有用简单的连线表示手处于空闲状态。图 11—7 便是应用这些符号来表示的一个完整的操作图，说明装配一个螺栓和三个垫圈的过程。

有时操作图的数据与时间表列在一块，以便能够估算动作的相对时间值。这些时间数据来自动作时间的标准值，（如伸、抓、送、放等），或者取自对所分析的操作进行的详细的时间研究。动作时间标准的数据（将在下章讨论）可能特别有助于对欲行的操作变更的预期结果进行估算。

二、动作的经济原则

几年来，工业工程师们提出了一套称为动作的经济原则的研究结果。这些原则关系到工作安排、人的手与身体的运用，以及工具的设计和使用。这些作业设计的原则具有普遍的适用性，同时，本章稍后将讨论的对运动神经

活动的速度和准确性的一些研究可对这一原则加以补充，并在某些情况下加以确证。

三、微细动作分析

这种分析将一个操作动作分解为基本的单元，即基本元素，它代表了比操作图上的动作要素更细的动作。分析结果并列在一张时间表上，以便能够检验两手一齐操作的确切的的同时性。得到的图由于表示出了这种关系，因而通常被称为“齐动图”。这种图上的数据是借助于拍摄一个熟练的操作人员的动作而获取的。

由于使用微细动作分析法需要额外的时间和费用，因此它的使用范围一般局限在由许多工人进行的相同的重复性工作内。这样，虽然成本下降的百分比可能会相当小，但节约的总量会很大。人们还发现在设计和开发新的专用设备方面，微细动作分析法也是很有应用价值的。动作分析人员和机器设计人员协同工作，常常会做出优秀的设计来。

1. 工人活动程序图

工人活动程序图通常用来分析长周期工作，在这种工作过程中，工人来回移动相当频繁。这种分析应用的方法与产品流程程序图（见第七章“产品分析”）的一般方法相同，不同之处是工人活动程序图的分析人员研究的对象是工人，而不是部件，并且将工人的工作按顺序分为操作、运输（走动以及运送材料）、存储（闲暇）和检验。对得出的程序图的分析类似于产品流程程序图，分析的目的是看哪些动作可以（1）取消，（2）合并，（3）改进顺序，等等。班组活动程序图是用于研究班组人员的活动的，用一系列符号代表其中的每个人。

2. 工作图

工作图是用来分析作业，计算出完成主要手工或机器操作各部分所需的时间，并将其绘制在时间表上。这样，我们就可以考察人与机器之间、班组成员之间的关系了。让我们以在托架上铣狭槽为例。图 11—8 显示了托架及铣狭槽的工作图。这里人和机器的重复性工作的主要组成部分已被并列地标在时间表旁边。在该例中，时间采用十进制的小时数。这种分析主要的目标通常是提高人和机器的利用率。这里，我们看到机器的利用率为 100%，因为它总是在装料、卸料或进行实际切削，没有空闲时间。但是，如果改进手工装卸的方法，机器的效率是可以提高的，从而机器的单位时间产量也就得以提高，要做到这一点，需要借助于前述的操作图等手段，对手工操作进行详细研究。另一方面，工人在等候铣床完成切削时，闲置了一个周期时间的 73%。这种情形在多种机器和加工作业中都是很普遍的。

问题是，在这种情况下怎样利用工人的空闲时间？也许首先考虑的是，操作者是否真正空闲：有些种类的机器操作需要操作人员在机器运转周期内注意监督机器，如果想要利用这段时间则会起反作用。但通常的情形是，这段时间的确空闲。当这种情况出现在大量生产的重复性作业中时，可以让工人操作两台或更多的机器。在铣削托架狭槽的操作中，操作者可以同时操作三部机器进行同样的操作，而不出现机器空闲。超过三部机器，就会出现机器空闲时间，这时就需要从经济上进行研究，是让人空闲还是机器空闲更有利些。

在上述问题中的作业量不适用于采用多机床时，对那一部分的作业程序

图进行检查，可能会发现在那段空闲时间内可以做其他工作。例如，在铣托架狭槽之后的作业是铣手柄。图 11—9 是铣手柄的操作图。图 11—10 是铣狭槽和手柄的综合作业图。请注意，这时人的空闲时间已减至整个周期的大约 40%，但是用这样的方式来组织作业，在铣手柄的作业中就出现了空闲时间，大约是整個周期的 45%。这时出现的问题又是让人还是让机器空闲更有利些。请注意，如果铣床的生产能力大于需求，那么分别进行这两项工作就会增加劳动成本。相反，如果对铣床产量的需求相当于或超过铣床的生产能力，那么就会出现相当于机器新的空闲时间的额外需求，还有增量劳动成本，它等于按加班费计算的工资。但是由于这两项操作都是在铣狭槽的劳动时间内完成的，因而将两项操作结合起来还是可以产生净收益的。

当不能把两项或更多的机器操作结合起来的时候，可以进行其它工作来减少空闲时间，例如，可以清除机器加工产生的废屑，或者堆放好混乱的零件，以便在下道工序中使用方便。当然，在这空闲时间内完成的任何有用的工作都不会增加劳动成本。

有时，会有技术工人反对一人同时看管几部机器。但是有时空闲时间长，工人常常会厌烦，就愿意把工作量安排得更紧凑些。一般说来，其他工人在整个工作日内的的工作负荷相当稳定，例如检查员、装配工和许多不操纵有自动或半自动周期机器的工人。

班组作业对观察者来说常常是复杂的，但若借助于工作图就简单多了。由于在观察的同时进行的操作很困难，摄影机便成了收集基本数据的极好工具。图 11—11 就是这种工作图的一个例子。这是 3 位女工在包装一包八品脱冰淇淋时的工作图。机器按固定速度供给她们工作。这个例子说明局部的改进工作只能增加操作人员的空闲时间，除非可以完全减少一个操作人员。

3. 不规则间隔时的作业分析

当作业（通常很多种类）以不规则的间隔时间进行时，操作分类法常常为工作分析提供有价值的数。分析的第一步是确定几项操作中的每一项所花费的平均时间比例。有两个重要手段可以用来搜集各个操作类别的有关数据：工作取样法和慢速影片拍摄技术。

工作取样法是对动作进行随机取样，以便能够估计每一动作所耗时间的比例，这一问题将在有关时间定额和劳动测定的章节内进行详细的讨论。慢速影片摄影机也可用来获取相同的数据。这种摄影机以低于常速一秒或更低的慢速间隔来拍摄工作现场。摄影机由同步电机带动，使每个电影镜头代表一个确定的时间单位。由于拍摄速度缓慢，有可能只花费相当少的胶片便获取半天或全天的记录。

第五节 控制活动的分析

控制和控制系统的设计对人—机系统的效率有着重要的影响。了解人能够产生多大的力量是很重要的，可以在某些系统中使控制器的设计不超过这一能力范围。在操纵控制器时一般都需要有定位动作，有时还要进行控制器编码，这一点很重要，它可以使控制器不致混乱。

一、人体活动的力量大小

对于设计不需要超常力量操作者的机器和工具来说，了解绝大多数劳动者的体力数据是很重要的。已经详细普查测量过以下项目的体力数据：臂力（向各个方向及从不同的起点）、握力、扭力（如扭转门手柄）、肘力、肩力、背力和腿力。

这种数据的典型例子是美国莱特空中发展中心为美国空军所测定的坐姿臂力数据。测试的项目有从各种不同的角度位置所测得的最大推力、拉力、向上及向下的力。见图 11—12。表 11—12 总结了受测组第五个百分级的人所发出的最大臂力测定结果。因而，这些数据表示的是几乎所有男性都能达到或超过的力量。凡设计为不超过这些数值的工作几乎可以招收任何男性工人。从表 11—12 我们可以看出，一般来说，左手的力量总是小于右手，手臂处于

注：数据见表 11—2。（a）表示上臂在各个角度的测试侧视图。在每一位置测量（b）所示的拉、推、上、下运动的最大力量值。（b）为（a）所示手臂每一位置向内外运动的俯视图。

侧面下方时推力和拉力都较弱。可是当手臂处于侧面下方时，其向上和向下的运动的力量都较大。拉力略大于推力，向下的力量大于向上的力量，而向内的力量则大于向外的力量。

表 11-2 上臂在不同角度位置各个方向的臂力（单位：磅）

臂的角度	第五百分位			
	左 右		左 右	
	拉		推	
180	50	52	42	50
150	42	56	30	42
120	34	42	26	36
90	32	37	22	36
60	26	24	22	34
	向	上	向	下
180	9	14	13	17

150	15	18	18	20
120	17	24	21	26
90	17	20	21	26
60	15	20	18	20
	向	内	向	外
180	13	20	8	14
150	15	20	8	15
120	20	22	10	15
90	16	18	10	16
60	17	20	12	17

二、运动神经反应速度和准确程度

运动神经反应是指身体的运动或对身体各部分的控制。它是一种肌肉活动。由于人手是完成体力工作的最重要的器官，我们发现大多数应用的数据都与手有关。因此，举例说来，在包含定位元素的工作设计中，了解工作区域中何处能够最准确地完成工作，会对劳动场所的布置产生影响。

三、定位因素

人们已经在进行实验来确定各种不同类型的元素怎样才能安排得最好。已经发现了一些有趣的结果，其中有些是已经预料到的，有些则是始料不及的。例如，巴恩斯（Barnes）证明，需要视觉控制的定位因素，相比于应用某种机械寻向或止动来确定身体某部分或手的准确的最终理想位置来说，需要的完成时间较长（大约 17%）。这一事实的意义在于，它确定了一种观念即任何东西都要有固定的、确定的位置。触觉系统能够实现快速的打字速度，部分根据就在于这一事实，因为按键的位置都是固定的。从概念上说，就像是这样一种区别，即从有详细索引并妥善保存的文卷内找东西和从乱纸堆里找东西的区别。

布里格斯（Briggs）做过一组以速度和精确度为标准的定位试验。其做法是要求被测人拿着一根金属触针来回运动于一个蜂鸣器和一个纸制标盘之间。当金属触针触到一个 3 英寸的方块和圆块时，蜂鸣器就发出鸣音。然后把触针移动 14 英寸触到纸制标盘，标盘即被穿透，测量的尺度是两秒钟内标盘上的穿孔数，标盘的大小与蜂鸣器的角度位置是变动的，如图 11—13 所示。在第二次试验中，将蜂鸣器的位置与标盘的位置互换，这样蜂鸣器紧挨于被测人之前，而标盘则放于不同角度的位置上。图 11—13 显示了这一状况。对于第二次试验，当标盘远离被测人的时候，速度和精确度一直较高。不仅如此，而且在大约 60° 的角度位置数值最高。在第三次试验中，运动的距离也变动了，并且从被测人左右两侧的角度进行了试验，一般说来，向右运动的成绩优于向左运动，短距离优于长距离。

当左右手同时对称地操作时，巴恩斯和蒙戴尔（Mundel）指出，这时被测人双手直接在其身前活动的定位准确度最高。

四、用刻度盘、曲柄和手轮定位

调整刻度盘、旋钮、曲柄和手轮的位置，是操作人员控制生产和机器的常用方法。已经进行过一些研究来确定使这些工具设计最优化的因素。例如，查帕尼斯（Chapanis）证明，无视觉控制的旋钮定位，在刻度盘“12点钟”的位置时，其定位平均误差为最小，詹金斯（Jenkins）和康纳（Connor）则证明，进行定位所需的时间是有很大的差别的，它取决于旋钮的转动与刻度盘上指针移动的比率。比值低会减少最后调整的时间，但将指针定在近似位置的时间相当长。比值高时则情况相反。最优的比值是旋钮每转一圈指针移动约2英寸，如图11—14所示，系统的摩擦加大会增加移动的时间，但是对最终调整时间没有影响。

注：时间分为两部分：使指针移至目标附近的时间，以及调整指针使之准确地指向目标的时间。请注意，旋钮转动一周指针移动约2英寸为最优值。

戴维斯（Davis）进行了一组试验，用来确定在摩擦力矩、位置、高度各不相同的条件下，曲柄和手轮的最优尺寸。这种曲柄和手轮常用来将机床拖板的切割刀具移至适当的位置。戴维斯测量了各种条件下定位所需的时间。他发现在摩擦力矩为零或很小的时候，小手轮和曲柄（直径为3至6英寸）为最佳。但是，在需要克服一些摩擦力来转动曲柄时，更大的直径要好些（10到16英寸），曲柄则优于手轮。戴维斯改变了手轮离地的高度及其角度位置，因为在实践中这类机械是可以置于各种相对位置处的。试验的结果很有趣，总的来说就是在零负荷或小负荷的条件下，位置并不是一个重要的因素；但是当遇到很大的摩擦负荷时， -45° 和 $+45^\circ$ 的位置就明显优于水平或垂直位置。

五、控制器编码

在应用许多控制器的复杂操作中，按照颜色、尺寸、形状或位置编码有助于区分它们，减少差错。亨特（Hunt）发现，较小的圆形按钮其大小为较大旋钮的 $5/6$ 时，可以分辨它们，控制器的位置也可用来区分它们。例如，汽车离合器、制动器和加速器踏板，使用时无须去看它们在哪儿。这里，亨特的研究再次提供了基本的资料。他发现，若开关垂直排为一列时，不用眼看地触摸开关，其错误率要低于开关按水平方向排为一行时。对开关的垂直排列，亨特的研究表明，位置间5英寸的距离较为理想；但若水平排列，则8英寸的间距为宜。

亨特还对仅凭触觉来辨认的按钮形状也进行了研究。他把按钮的类型分为三种：多倍旋转按钮、部分旋转按钮、卡销定位按钮（即按钮的位置是临界的，例如电视频道选择按钮，每次定位都“咔嚓”一声）。图11—15列出了16种按钮类型。

六、工作区域界限

许多工作，例如安装工作、操纵各种机器以及许多文牍工作，都是坐着进行，或站在桌案边进行的。图11—16显示了根据人的实际身材而确定的最大和一般的工作区域。活动若超过了最大工作区域则需要移动身体。对于重复性的工作来说，这样重复地移动身体是很疲劳的。对于垂直工作面也进行过相同的测量，并指出了在长、宽、高三个方向放置材料、供应品、工具和控制器的原则。

七、桌椅高度

由于手工劳动和文牍工作很多，桌、椅的高度就十分重要了。这两者是密切关联的。桌子的高度通常是相对于肘的高度而设计的，所以无论是调整桌子或椅子的离地高度都可以使工作人员极为舒适。埃利斯(Ellis)的研究证实了巴恩斯的早先估计，即工作面的高度应低于肘下约 3 英寸。因而实际工作用的桌椅高度取决于是坐站两用还是专供坐用。

第六节 工作环境

工作环境包括温度、湿度、声音和照明等因素，它会显著地影响生产率、差错率、质量水平、职工对工作的接受性以及身体健康等。因此，如果不了解作业设计将处于的工作环境就不能计量作业设计的效果。工作环境是整个工作系统的一部分。

一、温度、湿度和通风

可能大家都感受过下面的实际情况，我们感觉到舒适，不仅仅由于温度计所指出的温度。如果有阵凉风吹来，尽管温度没有变化，但我们仍会感到凉爽些。在一个闷热的天气，我们总能听到议论说：“这不是因为热，而是因为潮湿引起的。”人们对冷热的感觉就是受着这些因素中每一个的影响，这些因素综合起来形成一种单独的心理尺度，叫做“有效温度”。有效温度是静止的饱和（湿度为 100%）空气的温度，它是在气温、湿度和通风等因素的各种不同组合条件下使人们产生相同的冷热感觉时的温度。美国空调工程协会（ASHRAE）实验室做过许多实验得出了有效温度的标准。有一个因素是有效温度的标准未加考虑的，这就是环境中某些物体的温度，这些物体能直接向工人辐射热量，例如火炉。

人体有一套自动的热量调节机制，在某一有效温度以内能够

图 11—15 凭触觉很少弄混的三种按钮类型

对环境进行补偿。当然，这种补偿还取决于工人的活动程度。因此，在较低的有效温度下，活动量大的人 would 感到舒适。

1. 温度和湿度对工作的影响

大气状况对脑力劳动和体力劳动都有着很大的影响。图 11—17 以概括的形式显示了不同水平的有效温度对接收摩尔斯电码和举重的影响，图 11—17（a）表明，当有效温度上升到华氏 90° 以上时，接收摩尔斯电码的平均错误数急剧上升。而图 11—17（b）则表明，对于重体力劳动如举重，当有效温度在华氏 80° 以上时，以英尺—磅计算的完成工作总量开始迅速下降。

2. 气温的控制

在杜邦公司工作的 L·A·布劳哈（Brouha）博士，曾经对必须在极高气温下（如靠近工业锅炉）作业的工人的防护服进行过实验。他发现简单的防护服实际上会增加热压，但是，通风的防护服则不断有流动的空气透过，极大地减少了热压。

对于靠近高温区的工人，例如在锅炉附近，主要是受热辐射的作用，可以用遮盖和隔绝热源的办法来控制温度。一般控制温度的手段是空调，但这一方法没有普遍实行。在美国的大部分地区，除了夏季中炎热的几天以外，其气候和工作温度条件都是在生理补偿的有效范围以内。目前，最经常使用空调的地点是办公室，其目的是为了提供宜人的工作环境，并有助于减少热天时的办公差错。当然，冬天的取暖对工商业的室内作业来说，早已被认为是必需的了。

二、噪音

不需要的声音通常称为噪音。越来越多的证据表明，噪音能够产生破坏性的影响，特别是对长期在噪音下工作的工人，更是如此，包括噪音在内的

各种声音，包含类似气压的变化，即像水的波纹一样以波的形式传播。气体压力的这种变化叫做声压。我们用分贝（db）来度量声音，但是这种量度不是声压的量度，而只是相关于声源声压和参考声压的比例。由于通常应用的参考声压不止一个，因而很可能产生相当大的混乱。图 11—18 用来辅助将典型的噪音水平用分贝等级来表示。有关噪音的量度还有一点应当注意，我们必须知道声能在音程或频率上的分布情况，以便了解它们对于人的影响。所以，通常要指出在不同频率范围内的分贝水平。

1. 噪音导致的失聪

美国加利福尼亚州洛杉矶市研究中心所属的工业噪声委员会，最近在这一领域中，做了一些研究工作。图 11—19 显示了一个集装箱制造厂和典型工业噪音污染的比较数据，还有一组数据，是有关一般居民和一组不受噪音污染的非暴露居民，称其为非暴露是因为他们所处典型环境的噪音水平很低。由此我们看到失聪是普通居民甚至是非暴露组的特征。但失聪的严重程度取决于暴露的强度。

2. 噪音对工作的影响

自然，工业界是关心高噪音水准对产量、错误率和质量水平等工作量度所可能产生的直接影响的。在这一问题上，有一些研究表明，一般来说，如果进入环境中的噪音有什么不良影响的话，这些影响只是暂时的。应该指出，在这种条件下，设计出好的实验是困难的，因为实验通常要进行一段时期，因而难于了解实验的结果是归因于噪音的影响还是由于在这相同的一段时间内可能已产生的其他变化。一个肯定的反应是，较高的噪音是令人讨厌的，不过人

注：零为平均正常听力的参考依据。读数为达到平均听力水平所需的声音强度。读数是在 2000 周（语言范围）时统计的。

类似乎对此还能够适应。

3. 噪音的控制

根据问题的性质，可以用不同的方法进行噪音控制。声学工程师们常常从声源着手控制噪音，即重新设计产生噪音的部件，或应用减震装置，或应用适当的隔音结构，使透过隔音结构的噪音量随之减少。在后一种方法中，有关声音传播的物理知识是很重要的。错误的隔音设计会使噪音的传播减小很少，或者没有减少，甚至可能加强。

其他的控制方式是使用隔音板、吸音器、隔音涂料。将吸音器安装在噪音源的附近或上方能够有助于降低噪音水平。隔音涂料用在室内的墙壁上，可以减少回声，减少声波在室内来回反射，从而降低室内的噪音水平。当然，这些墙壁涂料对从声源发生的原始声波并不能产生影响。

在噪音严重的情况下，采用适当的耳塞是有效的。应用耳塞产生的可能的最大衰减在 50 分贝以内，因为还有另一条传播途径就是通过骨骼传导至耳鼓。应用耳塞最普遍的情况，预计可衰减噪音 20 到 30 分贝。

三、照明

视觉条件是工作环境的重要问题。虽然，有许多来自各方面的推荐标准，但实际上并没有一个普遍接受的照明标准。照明度的实验数据同一些已知的标准相比似乎表明，许多推荐的标准是基于这种观点，即“如果 50 英尺烛光很好，那么 100 英尺烛光的照明会更好。”（英尺烛光为照度单位——译者

注) 在这一事实中，问题的一部分在于人们应用了各种不同的判断标准，诸如视觉的敏锐程度、眨眼率、偏重的等级和临界照明的标准。从工业界的观点来看，临界照明的标准是最有意义的，因为它是标准的实际应用类型。对于一个既定的工作来说，其临界照明度的标准是实用中的最高点，超过它的照明度并不能使工作效果提高。因此，增加照明强度使其超过临界照明度并没有价值。M·A·廷克(Tinker)列了一张表，根据临界水平标准对各种不同工作提出了推荐的照明标准。表 11—3 总结了他的建议。

表 11 — 3 廷克根据临界水平的标准而提出的建议或被接受的照明度水平

工作或所处环境	建议或被接受的照明度水平（英尺烛光）
过道和楼梯	5
接待室和盥洗室	10
阅读印在优质纸上的大小合适（9 至于 1 点）的字体	10-15
学校教室、商店和办公室	15
典型的家务劳动	15
阅读新闻印刷品	15-20
阅读手写体及相当的工作	20-30
学校的缝纫室和制图室	25

工作或所处环境	建议或被接受的照明度水平（英尺烛光）
一般办公室工作、私人办公室工作和邮政室	25
家中很费视力的工作	25-30
相当于辨认 6 点型铅字的工作	30-40
在工作中遇到的很费视的情况	40-50
会计、簿计和制图	50

1. 照明对工作的影响

曾经有许多实验研究了照明水平对工作结果的影响。一般说来，随着照明增加到临界照明水平，工作效果便随之迅速提高，在这一临界点上，工作效果是稳定的，如照明度增加到这一临界水平以上，则工作效果改善甚微或者根本没有改善。

在许多照明水平已提高了的实际工作环境中，改变前后的记录表明，产量和质量都有显著的改善。一些研究报告说，产量可上升 4% 到 35%。但是，我们必须谨慎地看待这类数据。工业环境中的条件较为复杂，除了照明水平外，其他可变因素可能已经发生了相当大的变化，例如工作方法、产品设计、控制程序、监督、气候和心理状况等因素。举例说来，在美国西部电气公司霍桑工厂进行的著名的霍桑研究中，在一个实验工作组将照明值提高，工作效果也随之提高，有人想用降低照明度的办法来检验上述结果。工人再次予以配合，结果如所预料，工作效果随之下降。但是，当照明度实际上已经降

低却告诉工人说已经提高亮度时，工作效果却还是提高，因而，对实验结果的乐观判断也跟着消失，后来才认识到这是工人对心理条件的反应。这些工人是实验对象，是从“普通”工人中挑选出来的，他们下意识地与那些“善良的实验家们”简单地合作。认识到了这种情况之后，研究的方向就转为对精神因素的估价，很少听到有关照明问题的研究了。

2. 强光的影响

强光会降低照明的效果。强光是视野之内的某个亮点产生的，如一束亮光或光亮表面上反射的光线，它会使人感到不舒服，也会降低视觉效果。图11—20表明了视觉效果下降的程度。该图表明根据实验结果，当强光光源靠近视线时，强光的影响就变得严重。

如果可能的话，可以通过移动光源来降低强光的影响。如果不能移动光源，则可以使其漫射，或提高周围的照明水平，以降低强光光源与周围亮度的对比程度。工作场所的反光面有时是可以移动的，或者设法使其变为漫射面。

3. 照明环境的标准

毋庸置疑，提供至少是一般的照明临界水平是值得的。虽然没有什么证据说明超过了这个水平会引起工作上的变化，但是这个水平是可以超过而又不会引起任何所知的不良后果，这样就为可能的错误留下一定的余地。这种想法似乎代表了现今实用哲学的观点。因而，一般的照明水平都超过了必要程度，照明标准问题被忘却了。然而，也经常忽视了一些细致的工作对特定光线的需要以及需要消除强光。

四、工作环境中的污染和事故

大量的烟、尘埃、废气、废液和废物已被证明对工人是有害的。这些东西，加上由于机器运转、材料的来回运送、物体的下落等造成的一般机械事故，形成了工作环境的一个组成部分。

1. 有毒物质

工业毒物的数量是巨大的。但幸运的是，在多数情况下，只存在少数的几种有潜在危险。工业医学是一个专门的领域，其本身包含着毒物诊断、治疗和控制。对于多数这类毒物，已经确定了将其最大允许浓度（MAC）作为合理控制毒物的依据。

2. 控制办法

因为可能出现的污染物质种类及其性质各不相同，所以控制污染的办法也有极大差别。总的来说，在生产过程中控制这些污染物质的扩散成了重要的工程问题。为了保护工人就需要利用排气系统来收集尘埃、废气和蒸汽，以便使污染物质浓度低于其最大允许浓度。而个人防护用具如防气面具、防尘口罩则用来辅助排气系统。其他防护衣物如橡胶围裙、外套、手套、靴子和风镜等，可用于各种作业，这些作业包括化学制品的手工作业，以及雇工们的皮肤未受保护而易受伤害的场合。此外，通过详细讲解安全操作规程及防护措施来进行防范也是常见的措施。

* * *

人和机器在完成工作中的基本功能是相同的，然而，在各自所能胜任的工作性质上，其能力有着显著差别。人的最大优势在于其本质上的灵活性，而机器则能持续稳定地进行工作。总之，人一机系统中人的作用主要分为三

类：在手工劳动系统中作为动力源泉和控制者；在半自动化系统中作为控制者；在自动化系统中作为监控者。

图 11—4 是一张极好的人—机循环系统的总体示意图，它表示了信息输入、数据处理和决策、手工操作、控制职能和控制行动，这些又全部包含于工作环境之中。实验家们积累了大量有关设计人—机系统有价值的人机关系数据。这些数据和分析方法成为作业设计中作业方法阶段的重要输入。

第十二章 生产标准与劳动测定

一天中的合理劳动量到底是多少呢？生产标准可以对这个问题作出解答，而在劳动测定方面的研究则为确定一大的合理工作量提供了方法和原理。生产标准规定每分钟、每小时或者每天应当制造出多少零部件。这个标准的表示方法，既可以是单位时间的生产量也可以是单位产品的生产时间，当其用时间单位来表示时，常被称作“时间标准”。虽然制定生产标准是用于规定工人完成的劳动量，但其范围并不仅仅局限于劳动本身。实际上，生产标准时间还包括休息宽放时间、作为工作的一部分的延迟宽放时间、工人个人需要的时间以及利于繁重劳动的疲劳宽放时间。由此可见，劳动测定以及制定适用于各种类型工作的生产标准并非一件易事。那么，为什么还要不厌其烦去制定生产标准呢？生产标准有什么重要性呢？我们就来讨论一下。

第一节 生产标准

一、主产标准所提供的信息资料

生产标准可以为生产中的许多决策提供基本的资料。生产标准的重要性源于劳动成本这个生产中至关重要的因素，这个因素影响到许多决策的制定。举例来说，产品的自制与外购、设备是否需要更新，以及选择某一特定生产过程的决策，都需要估算出劳动成本（以及其他成本），即对每单位时间的产量进行估算。

生产标准还可以为企业的日常经营过程提供基本的数据资料。例如，如欲设定机器的日程或者负荷，就需要了解各类定单的计划时间。对应于这种情况，我们需要向可能的顾客提供报价和交货日期，报价是在劳动成本、原材料成本以及间接费用等预期成本的基础上加上利润而得到的，其中，劳动成本往往是最大的组成部分，而为了获得劳动成本，就需要估算出各项劳动作业所占用的时间。

最后一点，劳动标准还可以应用于劳动成本控制。通过将工人的工作与生产标准进行比较，就可以得出单个工人、整个部门、分厂甚至整个工厂的有关参数，利用这些参数可以对类型完全不同的各类工作进行绩效比较，标准的劳动—成本系统和工资奖励体系就是以生产标准为基础的。正因为生产标准在整个生产的设计、运行和控制等方面有如此广泛的应用范围，所以我们不应忽视这些基本的资料。

二、非正式标准

很容易发现，每个单位都有各种各样的生产标准。即使这些标准并不以正式的形式存在，企业的管理人员也往往基于他们的知识和经验在头脑里对不同的工作设定标准。虽然这些标准形式上是非正式的，但是只要将它们变成文字上的东西，并且承认它们就是预定的工作标准，则它们也就成为正式的标准了。然而，这种基于猜测和过去的经验数据得到的标准是有缺陷的。首先，几乎对所有的这种情况而言，劳动方法都不是标准化的，这样，根据过去记录的资料很难说明究竟什么样的生产效率是合理的，因为过去的工作可能采用的是不同的方法。事实上，生产效率在很大程度上取决于所采用的工作方法，以过去记录的资料确定的生产标准当然就有可能不那么可靠。这种方法的第二方面的缺陷在于，其制定的生产标准受记录时期中单个工人工作速度的影响很大，究竟是选择效率高的工人还是效率低的工人来确定生产标准呢？

三、劳动测定的核心

我们所希望得到的生产标准是应当适用于广泛的生产者而不仅仅是其中的某几个人。从某种意义上来说，我们所研究的设定生产标准的问题可以比喻为设计一个适合于人们能力的具有一定机械效能的杠杆，但这种杠杆并非对所有的人都适合，大约有 95%—99% 的人能拉动它，这样，大部分来干这项工作的人都会具有所需的臂力。如果这个杠杆需要人们都具有超常的力量，那么我们将不得不去寻找那些有限的能胜任这项工作的人。关于这一点，可参见第十一章中有关身体运动力量的那部分内容。

我们在制定生产标准时，实际上需要对全体工人从事某项工作所需时间的统计分布有所了解。假如我们有 500 个工人做某种特定的工作，就需对他们所有的人进行分别研究，并观察和记录数值。研究的结果如图 12—1 所示，其分布显示出，平均的操作时间从每件 0.28 分钟到 0.63 分钟不等。显然，如果我们过去的记录只是从 500 个样本的总体中随机地选取一个或几个数据并以其作为基础来设立标准，则这种标准可能不会很好地适用于总体。另一方面，如果我们知道了整个分布，如图 12—1 所示，我们就可能设定一个大致使每个人都能大体适合的生产标准。为做到这一点，可以采取下述的方法，即采用与利用人体测量资料进行工作设计相类似的程序，设定一个适合于 95% 的人的标准。对图 12—1 来说，0.48 分钟是一个 95% 的人都能超过的工作标准，如果我们把标准设定在这个水平，则我们就可以期望所有从事这项工作的工人几乎都能达到或超过这个标准。

有些生产管理者认为，采用最低生产标准其实是不合适的，因为这将导致相对较差的工作表现也被予以认可。他们更愿意将生产标准定为统计分布的平均值（如图 12—1 中所示的 0.395 分钟），并期望大多数的工人将能够完成这个标准，而一小部分人或许低于这个标准，而另外一小部分人或许高于这个标准。

上面所述的两种制定生产标准的方法都在实际中被采用，但在实践中，采用最小认可值比采用平均值更普遍些。

到目前为止，我们还只是讨论了工作时间问题。图 12—1 中的统计分布显示的是平均定义上完成工作所需的时间。在使用最低认可值作为我们的工作标准时，这个水平上的实际工作时间称为正常时间。由图 12—1 中的数据得知正常时间为 0.48 分钟，故全部标准时间为：

标准时间=正常时间+个人需求的宽放时间+测得工作正常延误的宽放时间+疲劳宽放时间

我们将在后面讨论上式中几个宽放时间的概念，而现在我们来讨论这样一个问题：在通常的只有一个或几个工人从事一项工作的情况下，如何确定正常时间？实际上，众多的工人从事同一工作的情况是不多见的，所以我们通常也就无法得到一个统计分布。没有关于分布的资料，我们怎样能找出 95% 的工人都能达到或超过的工作水平（也就是所说的正常时间）呢？用于解决这一问题的方法称为工作评定。

四、工作评定

工作评定是任何正式的劳动测定方法的重要组成部分，正确的评定要求足够的经验。评定时首先选取一个工作速度作为标准，观测后与其他速度相比较，并试着用标准速度的百分比来表示其他的速度水准。如图 12—1 所示，我们称 0.48 分钟为“正常时间”，与这个时间相适应的生产速度或产出率就是正常速度。如工作速度提高了 25%，则每个周期所需要的时间按比例地减为 $0.48 / 1.25 = 0.381$ 分钟。如果一个熟练的观测人员观测图 12—1 所示的工作，评定出工作速度为正常速度的 125%，并同时测算出实际的平均操作时间为 0.381 分钟，他将观察的时间增加 25%，以便获知正常的工作时间。在这个例子中，按照我们所掌握的分布，他的完成的工作评定是合适的，因为 $0.381 \times 1.25 = 0.48$ 。其他的关于评定与实际观测时间的适当组合还可以是：150% 对应于 0.32 分钟，175% 对应于 0.274 分钟，90% 对应于 0.533 分钟等。

当然，在实际进行劳动测定时，分析人员不可能事先知道答案。所以，他需要观察工作的实际时间并同时进行工作评定。正常时间可按下式计算：

$$\text{正常时间} = \text{实际观测时间} \times \frac{\text{评定测度}}{100}$$

所有正规的劳动测定体系都包括工作评价、工作测度及某些类似的程序。在以后章节中我们将介绍有关实际测时及确定正常时间的其他方法。

1. 作为一个劳动测定系统的工作评价

为了测定某些事物的特性，无论是测量一条线段的长度、容器的内部压力还是一个人的工作速度，我们究竟需要知道些什么呢？这是一个非常简单的问题。我们基本上需要知道两样东西：

(1) 公认的比较标准；

(2) 测度的单位或尺度。

使用了这些测量体系是否还需要人为的判断呢？是的，即使使用最精确的测量工具也需要进行人为的判断。例如，在使用千分尺时，一个人必须对调节轴的松紧度作出判断。这种“感觉”的重要性是不容忽视的。

现在让我们从总体的角度来考虑工作评定问题，是否存在着公认的基本参考标准呢？确实如此，针对许多不同的岗位我们有操作动作影片来显示这些工作的“正常速度”，以及较快和较慢的速度，由管理发展协会制作的一系列影片包括了对 24 项工厂和办公室作业的记录，并由来自全国的数以千计的经验丰富的时间研究专家对这些工作进行评定。每小时走 3 英里被定作“正常速度”。许多的企业也都有以影片形式表现的适用于各个岗位的各种作业的标准。它们展示了正常的“工作速度”和其他工作速度。这些影片所反映的标准虽不像重量和长度等物理标准那么被广泛公认，却也是实实在在地存在着。分析人员可以使用它们来修正自己的判断，并训练有关人员进行工作评定。

现在我们来考虑尺度问题。不幸的是，同时存在着三种通用的尺度，这往往导致了一些混乱。图 12—2 显示了这些尺度与每小时走 3 英里这一基本标准的关系。尺度 A 是最常用的，这就是我们全书提到工作标准时所指的那种尺度，它以 100% 作为“正常速度”，尺度 B 把一种更高的工作水准作为 100%。这造成了很大混乱。但当我们认识到 125% 的尺度 A 与 100% 的尺度 B 代表同样的工作水准，我们就能很容易地把这两种尺度进行换算。尺度 B 是那些希望把定额订在更高水准上的企业所应用的。尺度 C 是用点数代替百分比，它经常被叫作多克斯尺度。在该尺度中，60 点等价于尺度 A 中 100% 的工作水准。

2. 工作评定有多大的精确性

在实际的工作测定中，有必要将我们头脑中的“正常工作”与实际观察相比较，并记录我们的工作评定。这种评定将作为一个要素参与到生产标准的判定中去，并且这种评定与最终的标准同样准确。有经验者的评定有多大的准确度呢？普遍接受的数字是 5%，在利用影片进行评价的受控研究中会有 7%—10% 的标准差。换句话说，有经验的人大约在 68% 的时间内保持这个限额。因此，判断的要素在近期工作测定中的影响是应加以考虑的。这一事实对我们在本章开始时所讨论的工作标准的运用是十分重要的。一般而言，通过测定（包括评价）而得的标准比基于过去的记录而得的标准要好，因为它们给定了一个特定的工作方法并且它们校正了工人的工作速度。而基

于过去记录的标准可能由于前面提到的原因极易发生 200%—300%的误差。相比较而言，±7%~10%的误差已经是很适度的了。

第二节 劳动测定系统

所有实际的劳动测定系统包括：

- (1) 对实际观测所得的时间的测定；
- (2) 运用工作评定的方法对实际观测所得的时间进行修正所得到的“正常工作时间”。我们今后还将讨论运用一些不同的方法综合使用这些因素的其他测定系统。

一、秒表测时法

到目前为止最常运用的工作测定的方法是同时利用秒表测时和工作评定来确定正常工作时间。总的程序如下：

- (1) 使工作方法标准化。也就是制订标准的工作方法，安排工作平面布置、工具及工作要素的次序等。并记录标准化的结果；
- (2) 为进行研究选择操作者，用标准的方法去培养和训练他们；
- (3) 为测时的目的设定工作的要素结构。这包括将工作分解为若干要素。并将每个周期都发生的要素与定期或随机发生的要素分离开。例如，每100个周期可能需要重新消磨工具以确保质量标准，而机器的调整则可能在随机的时间间隔里发生；
- (4) 观察和记录每一个工作要素所需要的实际时间，并同时进行了速度评定；
- (5) 确定观察数目，以第4步所取得的样本数据为基础求得符合预期精确度的结果，在需要时也可选取更多的数据；
- (6) 计算正常时间：

$$\text{正常时间} = \text{平均的观测实际时间} \times \frac{\text{平均速度评定值}}{100}$$

- (7) 确定个人需求、工作延迟以及疲劳的宽放时间；
- (8) 确定标准时间：

标准时间=各要素的正常时间+宽放时间

1. 要素划分

在实践中，更常用的作法是将整个工作过程划分成各个要素，而不是将整个过程作为一个整体来考察。这样做有如下几个原因：

- (1) 要素划分在研究中有更细致地观察工作过程，并指明工作中各步骤的光后程序。
- (2) 取得更多的信息，这些信息对于不同工作的相似要素的时间比较，以及对制定一本各种工作的共同要素所适用的标准时间数据手册是十分有价值的。有了要素的标准时间，就无需进行更多的研究而直接预测出工作的周期时间。
- (3) 在一个周期的不同阶段工人的工作水准可能有所不同，有了要素划分，便可在一个周期长得足够可以对其分别进行评定的情况卜将不同的工作评定值赋于不同的要素。

在进行要素划分时，通常的做法是将要素划分成一个周期的逻辑的组合。正如图2—3所示，要素1“拿起工件并置于夹具中”是一个性质趋同的工作。再看要素4“1/4英寸的孔”，这是一个机器要素。通常要将机器时间与操作时间划分开来。最后，也要把稳定的要素与那些因尺寸，重量和其他

一些特性而变化的要素划分开来。

2. 获取和记录数据

图 12—3 是一个用连续法对 20 个周期进行计时的样本研究。这里的做法是，让秒表一直走下去，在每个要求的划分点读出读数，并通过连续做减法得出每个要素所需的时间。重复法或叫“返回法”，也是使用秒表的常用方法。在重复计时时，观察者在每个要素结束时读出读数并将指针归零。这样就可以不用做减法而每次都能读出实际需要的时间。

请注意图 12—3 上显示出的有关部件、操作名称、操作者、材料和其他的信息，以及时间研究的校定数据、完成的数量。“被选取的时间”是要素时间的平均值。周期的“被选取的时间”指的是要素平均时间的叠加，我们把它评定为 100%，另加 5% 的宽放时间，从而得到每件 1.17 分钟的标准时间。

3. 适度的取样规模

从统计的角度考虑工作测定问题，我们试图以观察到的样本时间及工作评定来估测工作的正常时间。首要的问题是要确定需要做多少观测。例如，如果我们要期望一个基于抽样的结果在 $\pm 5\%$ 以内，且可信度水平达到 95%，我们将依据我们抽样数据的均值和标准差的数据计算所需的样本规模。如果我们想要取得更高的可信度和更精确的结果，样本规模就需要扩大。

图 12—4 是一张估算结果在 $\pm 15\%$ 以内，可信度水平为 95% 和 99% 所需样本规模的图表示意。用这张表，我们可以计算抽样数据的均值 $\bar{x}$ 和标准差。“离散系数”只是误差的百分比 $100(S_x / \bar{x})$ 。计算出离散系数，从该系数及所期望的可信度水平即可在图上找出相应的取样规模。在工作测定中最常用的可信度水平是 95%。

让我们来测试一下图 12—4 所示研究的样本取样规模的适度性。首先， $n=20$ 的取样规模对结果在 $\pm 5\%$ 之间，可信度水平达到 95% 的周期时间的估算是否合适？表 12—1 显示周期离散系数大约为周期时间的 5%，也就是周期均值 1.12 分钟的 5%，即 0.057 分钟。从图 12—4 中，我们看到样本规模 $n=4$ 对于将修正的周期均值时间的结果保持在 $\pm 5\%$ 以内，以及 95% 的可信度水平是适当的。 $n=10$ 的取样规模对保持 99% 的可信度水平是适当的。我们实际抽样规模取为 20 个显然是太多了。

为什么较小的取样规模就已适当了呢？其原因是很容易理解的。读数的变化相对于周期均值是较小的。所以可以只通过少数几个观测就可以对周期时间作出很好的估计。另外，对于主要由机器操作组成的生产活动来说，这一论断是普遍正确的。在这个例子中，实际的钻孔时间几乎是全部周期时间的一半，而机器加工时间是不会有太大变化的。

如果我们想要的只是估算周期时间，我们就可以到此为止。然而，假设我们还想估算出要素平均时间以为将来作为标准数据使用，那么，是不是 $n=20$ 的取样规模对于每一个这样的要素都是适合的呢？让我们以要素 1 为例，该要素的均值为 $\bar{x}=0.121$ 分钟，标准差为 $s=0.0097$ 分钟，离散系数为 8%，从图 12—4 中，我们可以看出，当取样规模为 10 时，可以达到 95% 的可信度水平， $n=20$ 时达到 99% 的可信度水平。为什么要素 1 需要比整个周期更大的取样规模呢？原因是要素 1 比整个周期更易于变化（要素 1 的离散系数为 8% 而周期的离散系数为 5%），所以，如果想取得每个要素的数据，从图 12—4 中得到的那个需要最大样本规模的要素即决定了这项研究的最小

样本规模。即这样做可以保证这个界定性要素所要求的精度和可信度，并使所有其他的要素取得更好的结果。

表 12-1 从图 12-3 得出的周期时间，从图 12-4 算出的平均值、标准差、离散系数和所要求的样本大小

周期	周期 时间 (分)	周期 时间 (平方)	周期 号码	周期 时间 (分)	周期 时间 (平方)
1	1.18	1.395	11	1.13	1.280
2	1.09	1.190	12	1.11	1.235
3	1.14	1.300	13	1.12	1.255
4	1.13	1.280	14	1.07	1.145
5	1.13	1.280	15	1.14	1.300
6	1.13	1.280	16	1.09	1.190
7	1.09	1.190	17	1.10	1.215
8	1.11	1.235	18	1.11	1.235
9	1.20	1.440	19	1.11	1.235
10	1.12	1.255	20	1.10	1.215
			总数	22.40	12.150

平均数 $\bar{x} = \frac{22.40}{20} = 1.12$

标准差 $s = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}} = \sqrt{\frac{25.150 - \frac{(22.40)^2}{20}}{19}} = 0.057$

离散系数 $= \frac{0.057 \times 100}{1.12} = 5.09\%$

从图 12-4：n ≈ 4a95% 可靠程度水平
n ≈ 10a99% 可靠程度水平

4. 保持样本数据的一致性

一次单独的研究常会遗留下这么一个问题：“这些数据能代表通常的操作条件吗？”如果在一周中的其他日子或一天中的其他时间做相似的研究。结果是否会有所不同？这一问题建议我们可以将总样本划分为随机时间抽取的子样本，然后根据最初取样来设置控制界限，从而确定连续取样所得的数据前后是否一致。也就是，这些数据是否来自同样的一个总体。

这个过程与质量控制很类似，如果散点落在 ± 3S（正负 3 个标准差）的界限以外，我们就知道存在误差因素的可能性是很大的。我们就是根据明显过高或过低的散点读数来做出这一判断的。这些原因可能是对生产时间产生影响的任何因素，如材料差异、工具的不同、工作地或工作方法的变化、工作环境的改变等。正如在质量控制中一样，我们将试图确定导致差异的原因的性质，并消除那些已得到解释的非正常数据。

总体程序如下：

(1) 如同先前所述，进行工作方式的标准化，选定操作者，确定要素划分；

(2) 作一个最初的样本研究，计算得出 $\bar{x}$ 和 s 的初始估值，依据图 12—4 确定所需的总体样本规模，为了进行研究，依据 $\bar{x}$ 和 s 的初始估计值确定控制界限；

(3) 设计并实施该项研究，以样本总体除以子样本规模从而得到子样本数，子样本规模通常为 4 到 5 个，可利用随机数表使子样本的选取随机化，在随机情况下，获取子样本读数并将其标在控制图上，如果散点落于控制线外，立即查明其原因，如果这些数据的原因是可以查明的，在计算生产标准时要将它们排除掉，在研究完成以后，需做最终检查以保证结果的精度和可信度至少达到预期的水平；

(4) 如同前面所述的一样，计算正常时间、确定宽放时间和标准时间。

二、工作抽样法

工作抽样法的独特之处在于它可以不用秒表而获得其结果。虽然这种表述并未在任何意义上反映出工作抽样法的优缺点，它却表明了工作抽样法确实有不同之处。

工作抽样法早在 1934 年就开始进入到工业生产中，但直至 1950 年才得以普遍采用。我们可以用一个简单的例子来说明工作抽样法的基本思想。假设我们要估算一个工人或一组工人用于工作与非工作的时间比例。我们可以通过长期的秒表研究来测定工作时间或是空闲时间或是两者都测定，这大概要用一天或更长的时间。而且在测定以后，我们也还不能确定我们为了研究工作状态或是空闲状态而选取的时期是否具有代表性。

相反地，假设我们进行大量的随机观察，同时简单地记录工人是工作还是空闲着，并将结果汇总（如图 12—5 所示）。在“工作”和“空闲”两栏中记录的加总结果的百分比就作为对工人实际工作或空闲时间的估算，工作抽样法基于一个基本的统计原理：观察到的（工作或空闲）的次数与工人用于工作和空闲的时间成比例。估计的准确度依赖于观察的次数。我们可以事先设定精度标准和可信度水平。

1. 需要的观测次数

工作抽样的统计方法基于比例的分布，正如质量控制中的控制图和计数抽样一样，我们可以回想一下下述两个公式：

$$\bar{p} = \frac{x}{n} = \frac{\text{分类的观测数}}{\text{观测总数}} \text{ 和 } S_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

当观察按随机时间进行时，其百分比就是估计工人处于工作状态和空闲状态的时间百分比，估计的准确度随观察的次数而增加

从这些简单的公式，我们可以求出比例的均值和标准差，我们所制作的图表可以直接告诉我们在给定 P 值、精度界限和 95% 的可信度水平下所要求的观测次数，我们可以从图 12—6 中作一个关于抽样规模的估算。

我们注意到所需要的观测数目是相当大的。举个例子来看，在 95% 的可信度水平下，要保持对了值的估算精度维持在 $\pm 1.0\%$ 的幅度内，如果 $\bar{p}$ 值在 50% 左右，要有 95% 的概率相信估算的 $P=50$ 在 49% 和 51% 之间，就需要 10000 次观测。如果估算 $P=10\%$ 在 9% 和 11% 之间，就需要 3600 次观测，即较低的

精度要求只要较少的抽样。虽然，该观测的数目看起来是很大的，但是我们要记住，观测的目的就是为了确定工人是否在工作，或者在可能的情况下，对工人的空闲时间分别进行原因归类。

2. 延误时间和宽放时间的测定

工作抽样的一个通常的用途是用来测定工人实际用于个人需要的时间和延迟时间的百分比。这部分时间也是工作时间的一部分。所得出的信息资料可以作为设定宽放时间百分比的基础，这部分宽放时间也是要计入标准时间的。

让我们考虑一个在机械厂车床加工部门的延迟时间和个人需求宽放时间的测定的例子。共包括 10 个工人，我们所说的工作延迟也是工作的一部分。如停工待料、等待指令、机械清理、质量检验、变换工作、机械的微小故障。我们希望测定工作延迟程度以及工作花费多少时间用于个人需求。我们的程序如下：

(1) 设计工作抽样研究

基于过去的经验、分析和预测，以及先前的工作研究，对用于工作、延迟和个人需求的时间的比例作出初始估算。这些初始的估算对于确定数据收集时间是必要的。基于过去的经验和预测人员的预测，我们所作的最佳估计是：工作时间 85%；延迟时间 10%；个人需求时间 5%。

确定估算的精度要求。我们决定我们对延误时间的估算在 95% 的可信度水平上保持在 $\pm 1.0\%$ 的幅度里。因此，如果延迟的估算是 10% 的话，那么我们有 95% 的概率相信延迟比例不少于 9%，不多于 11%，而其最可能的值为 10%。

从图 12 — 6 中估计读数的总数。对于 $P+10\%$ ，为了保证误差在 $\pm 1.0\%$ ，需要作 3600 次观测。从图 12 — 6 中我们可以看出 5% 的个人需求时间的精度比 $\pm 1.0\%$ 要好一些，而对于工作时间精度则比 $\pm 1.0\%$ 要差一些。

设计在研究期间全部读数的数目。我们决定在两周中（10 个工作日）选取分散在整个代表期间中的 3600 个读数。我们期望每天能获取 $3600 / 10 = 360$ 次观测。因为研究包括 10 个工人，每次抽样我们将获取 10 个观测值，所以我们只需设计每天 $360 / 10 = 36$ 次随机抽样。那么在 10 天中就能获取 3600 个读数。而选取 36 个随机抽样的时间的最简单方法是利用一张随机数表。

计划研究的实际方面的有关内容。这包括一张适当的数据表，以及决定实际的行为路线、观测点等，从而使得结果不致因为工人看到观测者的到来而相应地改变其活动而导致工作差错。

表 12-3 车床部门劳动取样调查研究数据概要

日期		工作			延误		个人生活时间	
		观察总数	观察次数	百分率	观察次数	百分率	观察次数	百分率
10-2	上午	190	152	80.0	24	12.6	14	7.4
	下午	170	145	85.3	14	8.2	11	6.5
10-3	上午	160	144	90.0	10	6.3	6	3.7
	下午	200	158	79.0	19	9.5	23	11.5
10-4	上午	150	127	84.7	15	10.0	8	5.3
	下午	210	182	86.6	23	11.0	5	2.4
10-5	上午	180	142	78.9	24	13.3	14	7.8
	下午	180	148	82.2	20	11.1	12	6.7
10-6	上午	220	189	85.9	24	10.9	7	3.2
	下午	140	114	81.4	17	12.1	9	6.5
10-9	上午	210	185	88.2	14	6.6	11	5.2
	下午	150	135	90.0	9	6.0	6	4.0
10-10	上午	190	155	81.6	25	13.2	10	5.2
	下午	170	146	85.9	14	8.2	10	5.9
10-11	上午	200	166	83.0	22	11.0	12	6.0
	下午	160	136	85.0	14	8.8	10	6.2
10-12	上午	140	118	84.3	15	10.7	7	5.0
	下午	220	185	84.1	25	11.4	10	4.5
10-13	上午	210	181	86.2	19	9.1	10	4.7
	下午	150	130	86.7	12	8.0	8	5.3
		3600	3038	84.4	359	9.97	203	5.63

（2）依据计划选取数据

表 12—2 显示了在这个例子中分上、下午进行观测的全部实际数据，以及对全部抽样中“工作”、“延迟”、“个人需求”各部分所进行的每半天一次的时间百分比的计算。

（3）重新检验结果的精度和数据的一致性

最终测得延迟的百分比为 9.97%，这表明选取的读数对保持士 1.0% 的延迟时间精度是适当的，还可以利用一张比例控制图，看是否有子样本散点落于控制线外来检测数据的一致性。比较上午与下午观测的其他统计方法也可以采用。

基于工作抽样研究，我们可以下结论说这个车床部门的延迟时间部分为 10%。我们有 95% 的概率相信抽样误差不超过 $\pm 1\%$ ，甚至可能更少。基于实际的时间比例大致等同于抽样时间比例，我们对这个为期两周的研究得出了以上的这个结论，个人需求时间为 5.6%，与实际标准 5% 相比要稍微大一点，但是，也还是在可能的误差范围以内。

（4）确定生产标准

上面的这个例子告诉我们可以利用工作抽样来确定非周期性要素，如延迟和个人需求的宽放时间的百分比。为什么不把这个思想再推进一步，并通

过对单位工作时间的观测从而建立生产标准？这需要增加哪些新的资料呢？如果我们知道：（1）在整个研究期间内共生产多少产品；（2）每个观测工作时间的评比绩效；我们就可以计算正常时间如下：

$$\text{正常时间} = \frac{\text{以分钟计的总体研究时间} \times \text{以分数表示的工作评比绩效}}{\text{生产的产品总数}}$$
$$\frac{\text{抽样中的工作时间} \times \text{以分数表示的工作评比绩效}}{\text{生产的产品总数}}$$

标准时间的计算同前。

标准时间=正常时间 + 延迟、疲劳及个人需求的宽放时间

我们已经看到如何利用工作抽样来确定延迟和个人需求的宽放时间，这里我们看到不使用精确的计时装置也能确定生产标准。而所需的全部材料不过是一张普通的日历，通过它我们可以计算全部的可用时间。

虽然用工作抽样方法来进行工作测定可以用于大多数的情况，但其应用效果最佳的领域是对非周期类型的工作进行工作测定，这类工作包括很多不同的任务并且没有固定的周期模式和规律性。其中任务的发生频率基于一个随机的需求函数。举个例子，一个仓库管理员可能要填写取料单、拆除包装拿出存货、把物料发往生产部门、清理货仓等。这些任务出现的频率和所需的时间取决于仓库管理员所无法控制的外界因素。利用秒表研究方式来确定生产标准将是很困难的或是不可能的。而工作抽样法则特别适用于这种情况，因为通过随机抽样的过程，可以得到对这些随机发生的任务及其所需时间作出一个可靠的估计。

（5）一个实例

作为一个实例，让我们考虑依斯特曼·柯达公司的乔治·H·加斯泰特所报道的威尔豪斯搬运组是怎样设定工作标准的。在这个例子中，30个人从事以下9项活动：即包装、发送、收货、小量定货、重新处理（为了检验的目的打开并重新包装等）、分类和堆放、存储、等待装备、个人需求和浪费的时间。

表 12-3 仓库搬运组两个劳动抽样调查
研究结果的概要（包括 14 天和 6610 次观测）

作 业	观测次数	占总数的百分比
包装	2223	33.7
发送	1141	17.3
收货	912	13.8
小量订货	462	7.0
重新处理	213	3.2
分类和堆放	361	5.5
存储	246	3.7
等待装备	194	2.9
个人需求和浪费的时间	849	12.9
	6601	100

分别进行两个工作抽样研究，观测者利用 IBM 卡片和标记感应器以便能

在卡片制表仪上进行计算。从而对工人的活动进行归类 and 评定绩效，这些研究结果综合起来就是表 12—3 所示的 6601 个观测结果。从这里我们可以看到 30 个工人所花费时间的分布。图 12—7 和图 12—8 显示了包装活动的数据和相应于这一活动的控制图。这两者都是基于两个抽样研究中的第二个得到的。图 12—9 显示了包装活动的标准时间的抽样计算（宽放时间加上所有活动的时间）

包装作业概要			
日期	观察总数	观察包装总数	每日百分率 P
星期一	450	142	31
星期二	467	152	32
星期三	477	125	26
星期四	470	160	34
星期五	470	177	38
星期一	464	155	33
星期二	465	159	34
星期三	475	142	30
星期四	470	153	33
星期五	466	169	36
	4674	1534	327

平均取子样规模=4674 ÷ 10=467 $\bar{P}=33\%$

图 12-7 包装作业每日抽样数据的概要

三、秒表研究和工作抽样的比较

或许最后要提出的问题是：“秒表研究和工作抽样是否可以互换呢？”就最终结果的一般准确性而言，显然是可以的。图 12—10 显示了用秒表法和工作抽样法对 14 项不同的活动进行正常时间估算的结果的比较。这两种方法的差异都在比率误差的范围以内。但这并不意味着两者有相同的应用领域。当然，对于工作抽样不使用秒表这一优势我们怎样评价也是不过分的。使用秒表对人的心理作用从来没有测定过，但很多人认为其影响是很大的。如果除此以外没有其他原因的话，显然工作抽样的实际应用范围将会增大。

四、工作测定的标准数据系统

我们在讲述工作设计和过程规划的时候已经讨论过标准数据系统。目前应用中有两种标准数据系统：一种是基于动作要素的通用数据（经常被叫作微观的数据），一种是工作系列的标准数据（经常叫作宏观的数据或要素标准数据）。

1. 通用的标准数据

通用的标准数据给出了基本动作类型的时间数值。所以，完整的周期时间可以通过对这项任务所需的动作加以分析，然后叠加起来就可得到。这些基本的时间数值可以像建筑材料一样组合起来以预测作用始终重要的时间标准。但这要求所提供的时间数据的收集量是恰当的，并且对任务本身所需要的工作要素的分析是合理的。泰勒制定了一些与此相类似的东西，管理咨询

专家也提出了许多可选择的方案。他们提供的服务包括：提供基于它们的数据而建立的系统，以及培训人员来使用这些数据。这些可供选择的时间数值系统包括：方法—时间—测定（MTM）、工作因素和基本动作时间研究。

综合这些标准所得到的结果只是对工作的正常时间的估测。要计算标准时间就得像以前一样再加上延迟、疲劳和个人需求的宽放时间，那么在这些利用通用数据所得到的工作标准中是否考虑了工作评价呢？并非对每个工作标准都考虑工作评价，这是因为分析员只是简单地利用表上针对某一特定动作而给出的时间数值而未经过调整修正。但是，表中时间数值的制定还是利用了工作评价。所以，系统中也包含了评价的因素，但并不是在任何情况下都对数据进行了修正。

许多人感到利用通用标准数据更能保持标准的一致性，因为这样做并不要求分析员为了制定标准面对工作速度作出判断。但这并不意味着在使用通用标准数据系统时无需判断。相反，在对生产过程进行分析时要选择适应的动作分类。而这要求做出大量的判断，一个没有经验的人在判定生产标准时是无法作出准确的选择的。

这些标准时间系统究竟有什么用处呢？它能直接显示出我们的研究样本所指明的那些差异吗？举个例子来看，在第十一章中所讨论的戴维斯所提出的关于曲柄和手轮的研究中，标准时间数值是否能告诉我们在阻力很大的情况下，曲柄和手轮在 $+45^\circ$ 和 -45° 的位置是最佳的呢？标准数据系统能否告诉我们曲柄一般比手轮更快一些呢？答案是否定的。这些差别对于目前所建立的标准数据系统来说是太细微了。在进行工作设计时应当把实际研究的数据作为基础材料，据此来选择某些特定的机械（如选择比手轮更合适的曲柄），并判断所需的臂力，以确定固定点和导向，以及安排工作场所，从而使每个要素都处于最佳位置，换句话说，就是把动作的经济性作为指导原则，标准数据系统虽不能代替所有这一切，但是它可以比较和判定工作设计者使用不同的方法而产生的明显的差异。这些差异的比较可能是人力与不同机械化程度的比较、不同机械的比较、单手操作和双手操作的比较等等。可是，这种能够辨别的差异程度大得惊人，特别是对于受过训练的人来说更是如此。或许只有在良好的试验设计和技术的基础之上，一个精心计划的标准数据系统才能够基于目前的研究结果分辨一些更为细微的差异。

虽然我们曾讨论过标准数据系统作为一种手段帮助进行工作设计，这种系统还能帮助预测工人工作时的预期产量。这种预测被认为是很重要的。工业管理人员对特定工作的劳动内涵一直很感兴趣，所以，希望能有对工作标准的估测，然而，这些工作标准通常都包括了工作时间、休息时间、延迟和个人需求的宽放时间，而所讨论的标准数据系统则只对工作时间作出了估测。

2. 工作系列标准数据

工作系列标准数据对工作的主要要素给出了正常的时间数值（宏观标准数据），而且，也给出了机器安置和各种手工要素的时间数值。所以，对于一项新工作，我们可以通过对其进行总体分析，看其需要哪些特殊材料，要作怎样的切削，怎样把工件固定在机器上等等，从而计算出它需要的正常时间，但是，与先前讨论的通用标准数据不同，这些重要的时间数值是在工作系列中先前的实际秒表研究和其他工作测量的基础上得到的。

在以前的研究中，生产过程被划分为通用要素，直至最终得到一个数据

系统，它能显示“正常要素时间”怎样随工件尺寸、切削深度、所用材料、工件在机器上的装夹方式而发生变化。在这种程度上，就可以无需对每个不同的部分分别作实际的研究，而利用上述数据本身来对生产标准进行估测。再有，虽然在运用标准数据时并没有进行个别的工作评价，但当初在制定这些数据时是使用了工作评价的。如前所述，从标准数据得到的正常周期时间加上延迟疲劳和个人需求时间，就能得到最终的生产标准。

宏观数据的应用十分普遍，特别是对有着划分工作系列传统的机械行业更是如此。但这并不意味着这种标准数据的应用仅限于机械行业。在任何可以进行工作系列划分或产品、部件有着多种型号和尺寸的行业都可以运用。宏观数据在产品或部件的小批量订货的情况下也有广泛的应用。在小批量定货的情况下，如果我们试图通过实际测量制定工作标准，那么在依制定出的时间和工作标准完成这批定货以后，除非再有相同的定货，否则这些标准将不再具有价值。

第三节 生产标准中的宽放时间

正如以前我们所讲的，计算出的正常时间往往要加上延迟、疲劳和个人需求的宽放时间。延迟和疲劳的宽放时间取决于生产的性质，有些生产活动并不存在宽放时间，通常的作法是将宽放时间表示为总体时间的百分比。所以，8 小时（480 分钟）工作日的 10% 的宽放时间是 48 分钟。

延迟宽放时间：延迟宽放时间要基于对延迟时间的实际测量。虽然秒表研究也可以应用，但工作抽样法是获取准确数据的更有效的办法，原因在于延迟常常是随机发生的。工作抽样可以直接用总体时间的百分比来表示延迟宽放时间。

疲劳和个人需求宽放时间：对于一些非常繁重的劳动。一个人可以劳动 20 分钟，然后休息 20 分钟。某著名汽车制造厂“分摊”铁铸件的工作就是这样的例子。这是一项连续性的工作。它需要工人打开含有已经凝固的但非常热的铸件的铁制模箱。这项工作在一个振动栅上进行，这样模砂可以掉落到下面的传送带上，铸件则传送到下一道清洗工序。工人然后把模箱的上半部分挂到头顶链式传动带的钩子上，下半部分挂在另一个钩子上，模箱每半个部分重达 50 磅。这项工作是在高温、多尘砂和高噪音的条件下进行的。工作 20 分钟休息 20 分钟的安排或许并不宽裕，这种繁重的劳动现今已不太普遍了。但还是经常发生以至于人们仍很有兴趣研究疲劳和休息的宽放时间。

一、休息的生理依据

最近的研究表明，生理学的测量方法在测量劳动强度和最优环境设计中是相当有用的。生理学方法的一个应用是德国的 E·A·穆勒（Muller）把它用于长期存在的疲劳宽放时间的研究。

基于他的研究，穆勒提出了每分钟 4 大卡（千卡）能量消耗是普遍人能连续工作而无需休息的最大界限（这是穆勒所制定的每分钟 1 千卡的基本代谢率以上的一种能量消耗）。他把这种能量消耗水平叫做耐力界限。如果劳动的能量消耗超过了耐力界限，人就得动用他的能量储备，穆勒提出人的标准能量储备为 24 千卡。所以，他必须休息以使肌肉疲劳得到恢复。那么在 24 千卡的能量储备消耗完后，人们就需要在工作后有休息和恢复的时间。穆勒进一步把工作时间和休息、恢复时间结合起来，说明如果疲劳的后果不积累的话，那么劳动时间加上休息时间的平均能量消耗不能超过 4 千卡 / 分钟。举个例子，一项每分钟消耗 6 千卡的工作需要每小时 20 分钟的休息时间，或者说疲劳宽放时间为全部工作时间加上休息时间的 33.33%。

图 12-11 显示了不同的能量消耗水平是怎样计算的，在消耗率为 4 千卡 / 小时的情况下，一个人可以无需恢复疲劳的休息时间而连续地工作。然而，在消耗率为 6 千卡 / 小时的情况下，一个人最多可工作 12 分钟，这时候他已经消耗掉了他的 24 千卡的能量储备，为了能连续工作，穆勒建议他至少休息 6 分钟，以便工作加上休息时间（12 + 6 = 18 分钟）的平均能量消耗不超过平均 4 千卡 / 分钟（72 千卡 ÷ 18 = 4 千卡 / 分钟）。

图 12-11 显示了其他的能量消耗水平。例如，按照穆勒的标准，一个人在 12 千卡 / 分钟的消耗率下最多工作 3 分钟。因为这时他已经消耗了他全部的能量储备，为了使能量消耗率不超过 4 千卡 / 分钟，那么他要在 12 千卡 / 分钟的消耗率下工作 3 分钟再休息 6 分钟，这种工作 3 分钟，休息 6 分钟

的工作模式正是消耗能量高的繁重工作所需要的。

生理学家对大量不同的工作做了能量消耗的测定。其中很多是工业上的工作。表 12 — 4 显示了运用穆勒的概念列出了几项工作的能量消耗和疲劳宽放时间（休息时间用占总体时间的百分比表示）。这个表并不意味着建议工业的其他类似工作也设定宽放时间。因为各个工厂的工作条件和任务都不相同。但是，它告诉我们穆勒的标准怎样运用于各种不同的广为人知的工作类型。从表

表 12 — 4 各种作业的能力损耗和疲劳外加时间

活 动	能力损耗 千卡/分在	疲劳外加时间（百
	基本水平以上	分比）
男性的活动：		0
各种办公室工作，坐着	0.6	0
各种办公室工作，站着	0.8	0
绕电容器板	1.2	0
轻的装配工作	0.8	0
中等的装配线工作	1.7	0
薄钢片工人	2.0	0
轻的机械加工工作	1.4	0
机械工人	2.1	0
塑料造型	2.3	0
工具房工人	2.9	0
把化学制品装入混料箱	5.0	20.0
铲 8 公斤重物，铲高 1 公尺，每 3 分钟表 2 次	6.5	38.5
推手推车，57 公斤重，每小时 4.5 公里	4.0	0
砌转	3.0	0
搅拌水泥	3.7	0
钉灰泥板条	2.1	0
在墙上拌灰泥	3.1	0
煤矿工作：		
采掘	6.0	33.3
装煤	6.1	34.4
支撑	4.7	14.9
钻孔	4.8	16.7
推矿车	7.0	42.8
女性的活动：		
机器缝纫，脚踩	0.43	0
打字，电动式，每分钟 40 字	0.31	0
打字，机械式，每分钟 40 字	0.48	0
工具安装	2.4	0
测量	3.0	0
一般工业劳动	4.1	2.4

从手册数字所规定的每一等级中减去 1 千卡/分，就调整为基本水平以上的能力损耗，以便同穆勒的表述相适应。

12 — 4 我们看出表中所列的大多数的活动并不需要疲劳宽放时间。但这并不意味着这些活动不需要任何形式的个人休息宽放时间。它只是意味着并不需要休息宽放时间以恢复生理疲劳。但是由于厌倦和工作单调使得休息宽放时间也是人们所需要的。

能量消耗超过耐力界限的工作需要休息宽放时间以恢复体力疲劳，由此，按照穆勒的标准，我们看到像挖土、各种采煤工作，以及一般工业劳动这些工作都需要疲劳宽放时间。然而，所有的办公室工作、轻松的装配工作和轻松的机械加工工作则不需要疲劳宽放时间。

当今，疲劳宽放时间的测定并非依据所讨论的穆勒研究中的对于能量消耗的测定。这是由于还没有存在适用于实际工业中的测量工具。部分是由于穆勒和其他人关于疲劳问题的观念还未被接受。

个人需求的宽放时间提供了工人能够离开工作的最低时限。个人需求时间允许工人从工作包含的身体和心理压力中解脱一下。所以，在这种意义上说，这是一个最低的疲劳宽放时间。最低的宽放时间是总体时间的 5%。

二、生产标准中宽放时间的应用

对于宽放时间百分比的通常解释是它们在总体时间中所占的比例。在一个正常 8 小时工作日中，5% 比例的个人需求宽放时间可换算为 $0.05 \times 480 = 24$ 分钟。如果每件产品的正常时间测定为 1.20 分钟，那么个人需求时间应通过计算每件标准时间按比例分摊进正常时间。

$$\begin{aligned}\text{标准时间} &= \text{正常时间} \times \frac{100}{100 - \text{宽放时间百分比}} \\ &= 1.20 \times \frac{100}{95} \\ &= 1.263 \text{ 分钟 / 每件}\end{aligned}$$

如果所有的延迟、疲劳和个人需求宽放时间都表示为总体时第十二章生产标准与劳动测定间的百分比，则它们可以汇总起来得出一个总的疲劳宽放百分比。然后就可以用上面的公式通过一个简单的计算从正常时间中得到标准时间。

第四节 在非制造业中的应用

当今劳动测定能推广于许多的非制造业活动。巴纳尔斯（Barnes）报道了在农业、教育、医疗和仓储运输中应用的例子。并且在较大的办公机构也已广泛应用。事实上，已经建立了一套针对办公室工作的通用标准时间系统。在需要对工作内涵进行评价的任何场合，工作测定都可以应用。工作抽样使工作测定在原来难以实施的很多场合变得可能了。

* * *

劳动测定是制定产出标准和工作标准的基础。这些标准在生产系统的设计和运行过程中都是十分重要的。在设计阶段，劳动测定标准对估测产品的劳动成本和其他比较方案的成本，以及估计所需的产出能力方面是相当重要的。在生产系统的运行和控制阶段，劳动测定标准对安排计划生产、评价劳动过程、控制成本以及帮助比较众多的决策方案（如外购或自制、设备更新等）都是必不可少的。

我们必须考虑这样的一个问题：即工作标准最终所可能获得的精确度。当一个训练有素的人进行工作评定时，我们认为其精度也不会比 $\pm 15\%$ 更好。当涉及到繁重的体力劳动时，精度范围可能要更大一些。因为目前还不存在实际的对重体力劳动所需的疲劳宽放时间的测定方法。认识劳动测定的精度局限并不是否定这种方法，而只是指出这种局限的存在。

第四篇 生产系统运行的计划和控制

第十三章 生产—储存系统

第三篇考虑了生产系统的设计问题。一个生产系统的设计完成后，就可以认为已经有了产品或所要生产的东西的详细说明和有关生产过程的性质和顺序的说明，以及把生产过程联系为统一的物质系统的技术设计方案或布置方案。作为系统的一部分，要对各工位的工作进行设计，以适应生产过程和 workflows 的需要；同时也要考虑该系统的选址问题。

现在，为了使系统运转起来，我们将讨论信息系统、方针政策和控制程序的设计。因此第四篇将考虑下列问题：在确定基本生产率时，应遵循什么程序和政策？是否应该雇用和解雇员工以及雇用和解雇的人数应为多少？什么时候利用加班替代增加劳动力数量是合理的？什么时候要冒增加季节性库存的风险，以利于稳定雇员人数？用以维持生产—销售过程的库存应多大？适合于库存控制和原材料再订货的政策和程序是什么？为了有效地进行经营，在人力和机器的安排上应采用怎样的政策和程序？人力和机器是应该最大限度地利用，还是应有适当的闲置？为了保证生产的质量和数量，应怎样维护生产系统的可靠性？什么时候合理地使用预防性维护政策？为了控制劳动力成本和其他成本，有什么有效的政策和程序？能够控制成本吗？还是真正需要控制的是经营活动？

上述问题以及其他重要问题是第四篇要重点讨论的。在有些例子中，例如总体计划和安排、库存、维护和质量控制等问题，有严格的模型帮助我们作出决定和制定政策。在另外一些例子中，例如劳动力和成本控制等，政策和程序虽然有一定的体系，但直到现在即使是利用一些较新颖的分析方法也还不能有效地处理它们。

在进行讨论之前，我们还要认识到在大多数生产系统的经营和控制中，存在着另外的一些非常重要的问题，他们与人的价值准则、人员监督、人员挑选和组织行为有关。这些问题在本书中没有包括。虽然我们意识到这些有关人的行为的问题的存在，但在本书中我们只是对经营问题作一个有限的阐述。

第一节 系统的观点

图 13—1 所示的是经营系统一般模型的基本纲要图解，让我们回到这里开始对经营问题的分析。图 13—1 与第三章中的图 3—3 是一样的，在这里有必要对在前面有关章节中进行的讨论做概括性的回顾。图 13—1 表示出了经营管理职能与六个关键流程的基本关系，这六个流程分别与信息、订货、原材料或能源、现金、人员以及资本设备有关。我们重新研究图 13—1 的主要目的，是为了在“系统”的大环境下开始对经营问题的讨论。我们将在第十四章至十九章中分别讨论几个主要题目，了解它们之间的某些关系也是很重要的。

一、职能间的相互依存

虽然企业组织的经营管理活动是我们的主题，我们也应该从系统的观点出发去看待经营职能与其他职能之间的相互依存关系，这些职能包括销售、财务、人事、采购、专业或服务。可以注意到在图 13—1 中存在着人力、原材料和能源、设备、外部服务和资金等供应源。这些供应源存在于社会大环境中，我们的企业和与我们的企业有竞争关系的企业在获取这些资源时，必将相互影响。

当我们试图阐述经营管理问题时，现实要求我们不仅要考虑经营职能内部各种因素之间复杂的相互作用关系，而且在适当的时候要考虑经营职能与其他职能以及它们与环境系统之间的相互作用。因此，在为下一阶段生产确定生产率和雇用员工人数时，需要用一个模型来说明这些“分系统之间”的相互作用，用来得出生产率计划、劳动力规模、加班的使用计划和库存量计划（通称总体计划和安排）。首先，也许是最明显的环境因素就是我们与其他企业存在直接竞争的顾客需求。总体计划模型中既要包括实际订货流程的信息反馈，也一定要有预测部分。有关生产率和雇用员工人数的决策，因为可能需要雇用或解雇员工，所以依赖于同劳动力供应源的相互作用；又因为这些决策可能使库存增加或减少，必须考虑资金供应源；为了便于作出生产率决策，还要依靠原材料和设备供应源的情况。其他职能分系统与经营职能的协调关系是平行的，即销售部门处理预测问题，采购部门处理设备和原材料问题，人事部门处理劳动力问题，财务部门处理库存、工资和购货问题。

系统分析能够给出表示一个系统中许多元素间相互作用关系的结构模型。例如，为了建立一个有效的总体计划模型，我们不必作出所有相关分支职能的详细模型。只要能够表示出相互作用的结果就可以了。所以，不必仅仅因为需要雇用或解雇工人，就建立一个关于人事—人力资源的详细模型来复杂地反映它在总体计划中的影响。我们只需抽取与当前问题有关的部分加以考虑。例如，因为存在联合会协议，解雇人数可能被限制在一定人数上或占劳动力的一定比例上。或者由于争夺劳动力资源的竞争，工资水平可能会上涨。因为总体计划模型将试图协调某些成本，上述事实需要反映在模型中。如果我们要考虑企业组织内的各种职能之间的相互依存关系，就一定要应用一种真正的系统观点。在处理复杂的企业组织问题时，保持这种观点是很困难的，重要的是尽最大可能地这样做。

如果可能的话，我们希望能够按照图 13—1 的框架建立一个经营系统的模型，它将能够对任何生产系统的经营活动进行预测，并且给出系统和各种

相关分系统的特性。在经营系统分析的当前发展阶段，这一点是做不到的。目前，我们只能满足于说明一小部分问题的模型。保持系统的观点有助于使次优化的影响降到最小。次优化就是从分支系统出发得到的最佳方案，从整个系统的观点来看并不是最好的。总的来说，现在的技术手段还不允许严格地坚持这种系统的观点。为了尽量接近它，我们将努力遵循这样的原则：经营模型所代表的范围应该尽可能地大，在现有技术水平允许的情况下考虑各种分支系统的相互作用。当这个模型被证明是行之有效的，并且得出的增值利润大于增值成本，我们就可以认为系统的观点已经得到了应用。

二、次优化

因为次优化的概念比较重要，需要对它进行说明。在很多情况下都可能发生次优化。为了追求短时期的最大利润或从组织内部的局部利益出发处理问题，都会容易产生次优化。短期效应可能导致生产经营者按照销售曲线的升降来安排生产。如果把眼光放远些，他也许会发现需求的变化趋势和季节性波动，并制定出适应长期需求情况的生产计划。后一种情况可以稳定生产水平，产生较高的库存成本，但是却可以大大降低雇用和解雇工人的成本。从短期效应的观点出发处理问题就是次优化，它只注意到了工资成本，却忽略了长期的影响和生产波动的费用以及库存费用。

当生产职能和销售职能基本上是分开经营时，企业组织的次优化是很常见的。工厂将试图独自地使成本降到最低，销售和分配职能部门也将做类似的事情。因此，销售和分配部门主要面临的问题将是库存管理、货物发运和为用户提供服务，它将尽力使相关成本降到最低。另一方面，工厂面临的问题是使生产成本降到最低点。每个分支组织都独自进行优化，产生的总成本很可能比把系统作为一个整体来进行优化而得到的总成本高。原因是很明显的。为了使库存成本最低，销售部门将把销售波动的主要部分直接转嫁给工厂，而不是利用保险库存来承受这些波动，结果就会产生次优化。不过通过协调两者的计划和工作，是可以在库存成本和生产波动成本之间找到一些折衷方案的。

第二节 系统控制

图 13—2 表示的是控制生产系统的各种因素。其中可能考虑了经营的许多不同方面，但不管哪一个因素被控制，一般的控制过程都是相同的。图 13—2 中概括了计量系统、数据处理、日常控制、预测和计划等方面。图 13—2 从结构上进行了归纳，下面从库存控制的角度来讨论这个问题。

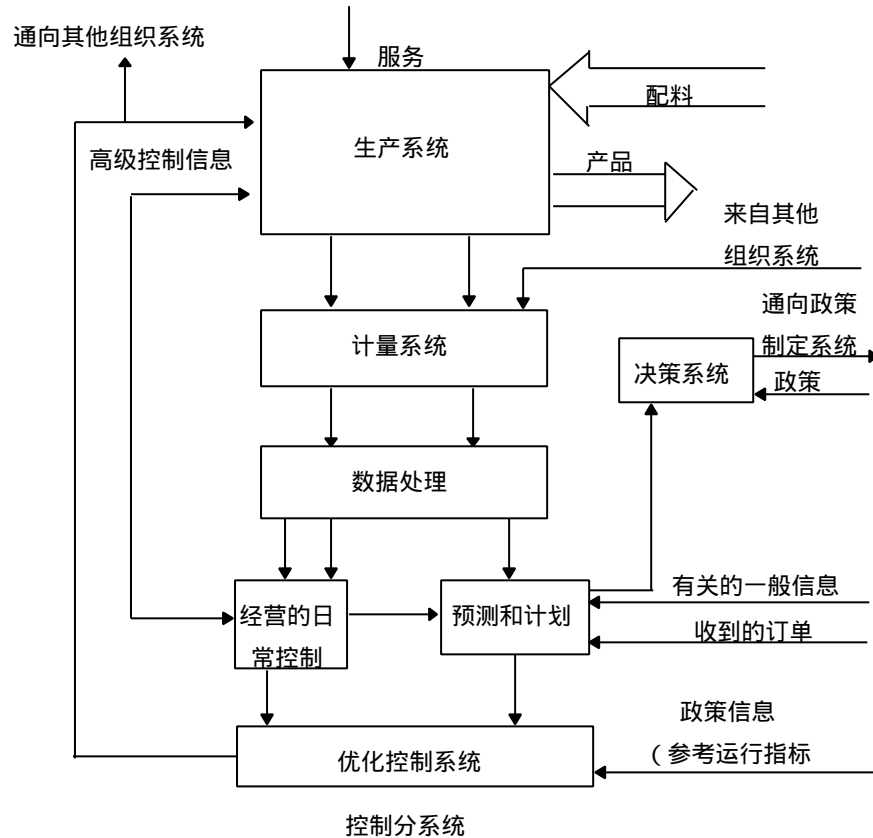


图 13-2 与生产系统有关的控制系统的总结构

我们的研究内容是控制成品库存的数量，为此我们要制定库存水平标准和维持库存的程序。图 13-2 中“经营的日常控制”模块代表了这项内容。这些控制库存水平的标准包括一些模型，这些模型与再订货或补充程序、相关成本和为顾客提供服务的政策、即在脱销方面冒多大风险的相关政策有关。库存的控制模型将在第十四章讨论。日常控制以计量结果为基础，这些有关库存实际水平的数据在数据处理模块进行相应的计算或变换，并与模型的标准进行对比。根据实际需求情况和其他因素，模型就会计算出每一阶段订货的总量；或者如果库存降到预定点以下后，模型中的标准将给出再订货的标准数量。这样我们就有了一个可以再调整库存的基本日常反馈控制回路。

在较长的一段时间上，“预测和计划”模块将对需求的变动水平进行估计，以决定是否改变控制标准。根据有关需求的新信息，订货规范可能要改变，储备库存量或安全储备库存量也可能要改变。日常控制模型和从预测和计划中得来的新信息被输入到“优化控制系统”模块中，然后优化控制系统对日常需求和需求的长期变动会自动作出反应。其他一些政策信息也可能与优化控制系统的调整有关。例如，希望保持劳动力规模稳定的政策将会允许

在需求淡季出现较大的库存积累，而在需求旺季库存量接近最低水平。对系统中其他方面的控制遵循着同样方式。总的来说，我们感兴趣的是与下述方面有关的控制，生产总量或数量控制、质量控制和成本控制。

一、数量控制

生产数量的控制并不是简单地通过确定生产率来完成。实际需求和它的预测方式、生产率以及劳动力规模之间存在着复杂的相互作用，在下一个计划时期内的生产总量取决于一定生产能力的合理组合，这里的生产能力包括现有库存、正规生产、加班生产以及由于增加工人人数而进行的额外生产等，相当于与计划时期内有相近需求的一段参考时期的等量生产能力。如果我们在进度计划中预见到了季节性的需求淡季，就要权衡在淡季解雇工人的费用和维持过量库存的费用。根据使这些成本总和最小的等量生产能力的组合，决定生产率和作出解雇决策。同样情况，如果我们在进度计划中预见到了季节性的需求旺季，就要权衡增加雇用工人和使用加班的费用与延期交货和损失销路之间的利害关系。有关生产率和雇用工人的决策根据使这些成本最低的生产能力的组合而作出。基本生产率和雇用人数决策是很重要的，我们将在第十五章中详细讨论。系统中的库存当然对生产率和雇用决策存在影响，库存模型和政策将是第十四章的讨论内容。

生产的基本总体计划的有效完成很大程度上取决于在实际工作中如何使用人力和机器，也就是这些资源如何被安排和控制，在连续生产系统中，总体计划中基本生产率和雇用人数的变化要求对设备和生产线重新调整，以适应新的雇用水平和新的产品输出率。在间断生产系统中，由于原材料批量地通过设备进行处理，详细进度计划问题比较复杂。在间断系统中常常使用通用设备，许多不同的订货都要使用这种设备。因此对于每批或每次订货，机器都要进行特定的调整，指派专人操作。除了进度计划问题以外，为了控制作业过程必须建立一个信息系统，用来反馈订货完成情况的最新信息。对于大型工程项目作业过程也许要以活动网络的形式加以计划、安排和控制。这些进度安排和控制问题将在第十六、十七和十八章中讨论。

最后，从数量控制的角度来说，维护和质量控制程序的设计也是很重要的。因为两者与维持物质系统的可靠性有关，对产品输出的控制都有影响。如果设备不是维持在良好的工作状态下，就会妨碍计划生产定额的完成。如果机器出现故障，将会产生窝工损失，有时会涉及整个生产线。因此，预防性的维护措施经常是经济合算的。质量控制措施也会对生产定额的完成产生影响。计划生产定额当然指的是符合质量标准的产品的数量，而不是废品的数量。关于质量控制的特定问题将在第十九章中讨论。

二、质量控制

在工序设计和设备选型时就已经涉及质量控制了。系统必须被设计成具有基本质量能力。具备了基本质量能力以后，还必须对某些方面加以控制才能获得要求的质量水平，包括人员的挑选和培训、工厂设施和仪器的维护、进厂原材料质量的控制以及每道工序的成品和整个系统的成品的质量特性的控制，数量控制中曾讨论过，机器故障对进度安排和窝工损失有很大影响。造成机器出现故障的原因，同样会使生产不能按照特定的质量标准进行下去，因此质量控制和数量控制都涉及系统可靠性的维护。

质量控制技术主要是指验收方法和统计控制方法。统计控制方法广泛应用了概率控制，受到人们普遍重视。统计方法包括两大类，验收取样和过程控制。验收取样可以根据一个子样的情况而确定整批材料符合质量标准的概率。过程控制包括对一个工序的成品进行连续的或阶段性的取样，以检查质量水平是否在限度内。以概率为基础确定控制界线。当一个子样的质量水平超出控制界线时，产品质量出现问题的概率很大，需要采取相应措施。相反地，当子样的质量水平在控制界线内时，产生可观数量的废品的概率将会很低。过程控制是真正按照例外原则来管理的。在第十九章将讨论质量控制，并着重讨论验收取样和过程控制。

三、成本控制

正如我们先前说过的，“成本控制”一词现在经常被不恰当地使用。成本是相关活动的结果和函数。如果这些活动被正确地控制，成本也就被控制了。关于这一点的一个简单原因，就是本书所讨论的大部分管理系统模型中都存在与成本相关的准则函数。根据这些准则函数对生产活动进行控制，就控制了成本。尽管如此，“成本控制”一词还是有特殊含义的，是指定期产生重要的成本数据并对其进行处理，为许多重要决策提供依据，以控制相关生产活动以至于控制成本。

第三节 生产—储存系统的分类

从某种角度来说，对生产—储存系统进行概括性的分类，要比继续对它进行一般性的讨论更有价值。希望区别特定生产—储存系统的原因是由于最重要的经营问题的性质对于不同的系统有很大区别。我们将按两种分类标准对其进行分类：（1）连续与间断系统；（2）可储存产品生产系统与不可储存产品生产系统。

一、连续与间断系统

在第二章讨论生产系统模型时曾经使用过连续—间断分类法，典型的连续生产系统包括生产线、连续的化学处理过程以及生产我们的社会中最常见的大批量标准化产品的企业的生产系统。“连续”一词的含义是指生产中原材料的物质流程是连续的或近似连续的运动。另一方面，间断生产系统是指设备具有一定灵活性可以生产不同种类和型号的产品的生产系统，或是生产活动的基本性质可以根据产品设计的不同而随时变化的系统。在这种情况下，没有单独的一种工序安排次序是合适的，生产活动的布置一定是适于生产全部产品的最佳折衷方案。重点强调的是生产设计、工序安排和通过系统的流程等的灵活性。系统被称为“间断的”是因为物流是间断的。典型的间断生产系统包括包工订货的机械加工车间，成排生产的化学过程，一般办公室和大型一次性工程等等。

连续—间断分类方法的基础是生产系统的设备布置的基本特性。我们现在希望扩大系统的组成，在生产系统的初始端包括原材料的供应，在输出端包括制成品的销售。扩展后的包括库存的系统将使用“生产—库存系统”一词，并且引出了第二种分类方法。

二、可储存产品系统与不可储存产品系统

图 13—3 是一个可储存产品的生产—库存系统的简图。它强调了整个系统中广泛的物流特性。在图 13—3 中，生产过程既可以是连续的也可以是间断的。当然，许多间断生产系统生产的成品都有库存。这种工厂的设备布置和内部进度安排可能与加工车间类似。最常见的情况就是大型汽车公司中的机械加工车间。这种车间不接受企业外部的加工订货，可能循环生产一组产品。许多产品共用相同的设备，这些产品是按标准设计的并且存在可预见的市场，生产完成后入库储存。因为这种间断加工车间不接受加工订货，又被称为封闭加工车间。

因而，属于可储存产品系统的生产—库存系统的生产结构可能是连续型的也可能是间断型的。再次观察图 13—3，会发现在产品分配的途径中有一类常见的专业化的企业。这类企业专门从事产品的分配，被简称为“批发商”。在图 13—3 中，分配系统在管理控制下的部分主要集中在库存上。这类企业的经营活动主要包括库存补充，库存水平的控制和发运货物。为顾客提供服务的质量通过产品脱销的频率和用库存来满足需求的能力来衡量。从经营管理的观点来看，销售系统接近纯粹的库存系统，之所以对它感兴趣是因为这种系统在社会中很常见。在第十四章中将讨论库存和库存模型。因此，生产可储存产品的生产—库存系统既包括连续生产系统，又包括间断生产系统，还包括只涉及库存的系统。把涉及可储存产品的系统划为一类很有意义，如

在第十五章将讨论的，我们可以在总体计划和规划中有效地使用库存。

进行订货生产和服务的生产—库存系统没有制成品库存。它们仍然可以用生产—库存系统的特性来描述，因为它们有需要一定程度的控制的原材料库存和工序间库存，开放订货加工车间和大型一次性工程是最显著的例子。开放加工车间为加工订货或合同组织生产。订货或合同很少重复，因此对生产的灵活性的要求处于决定性的位置。经营管理的注意力主要集中在如何安排和利用人力和机器以满足要求的数量和质量标准上。在我们的分类标准中，开放加工车间和大型工程的区别主要是指规模和复杂程度的不同。两者问没有明显的界线，如果一个合同很大而且非常复杂，适于用在第十八章中讨论的特殊的统筹方法的计划和安排技术处理时，它就被称为大型项目。

三、不同分类法的比较

综合上述内容，根据连续间断的分类方法得到的结果如卜：

连续系统	间断系统
大批量标准化产品的生产—库存系统 销售系统	加工车间（开放的和封闭的） 大型工程项目

这种分类方法有利于机器设备布置的设计，而且容易指出人员和设备详细进度计划的性质。

根据产品的储存性进行分类的结果如下：

可储存产品系统	不可储存产品系统
连续生产的大批量标准化产品的生产系统 产品的生产系统 封闭加工车间系统 销售系统	开放加工车间系统 大型工程项目

这种分类方法对于确定合适的总体计划和规划的性质最为有利。生产—储存系统的概念还有利于我们把系统作为一个整体来看待，避免出现前面提过的组织次优化。当用综合的观点看待物质流程时，可能会对哪一个组织企业职能的方案最有效看得比较清楚。

第四节 物资流通一体化的组织

描述出直接或间接影响系统总成本的物资和信息的全部流程常常是困难的。在大多数情况下，系统中至少包括原材料的直接供应商，把系统范围向直接供应商之前扩展是完全可行的。供应商的销售模型可能对我们考虑的整个系统的成本影响很大。也可以如图 13—3 中所示，整个系统向生产过程之后扩展，包括制成品的销售。这种整体的系统的观点可能涉及许多分立的组织机构。虽然这种大型系统的计算机模拟已经取得很大的进展，但是可以毫无疑问地肯定，用这种非常复杂的系统进行全面的整体的分析来处理日常经营活动仍然是不现实的。

在第十一章中讨论作业设计时提出过作业专业化的长远趋势问题，在整个企业组织中都存在类似情况。随着企业的发展壮大，许多需要行使的职能将趋向于分裂成不同的分部、部门和组。这种分化将使企业迫切需要专家。每个专家都试图承担起自己的责任，并在本职工作上变得更熟练。企业越大专业化程度越高，集中力量加强自身职能的趋势越大，同时忽视整个企业的目标的趋势也越大。专家的作用受视野的限制，他们通过次优化来达到目的。例如，从他们所处位置考虑问题，使本部门的成本降到最低。因为它们的工作业绩是以在所处的位置上发挥的作用来评判的，所以他们总是尽可能地影响政策和有关活动，使自己所处的单位的成绩更好。他们用这种方式对环境作出反应，并不是由于个人精神上的缺点，而是组织结构限制了他们。关键的一点就是要用全面的系统观点来消除这种影响。它将对部门间的利与弊进行权衡，找出系统最优化方案。也许整体的系统分析方法还不能处理这种问题，但是可以通过设计组织结构使次优化降到最低限度。下面是有关一个研究对象的简单说明，用来解释通过重新组织企业结构获得了更好的总体控制。

在进行重组企业结构以获得更多整体控制的研究之前，普里克斯公司（Purex Corporation）的基本组织结构如图 13—4 所示。物资流通职能被划分为很多部分，责任由几个主要部门分担。在旧的组织结构中，货运经理负责安排从主要生产工厂到仓库和其他销售点的输出产品的运输。由销售、制造和财务等方面人员组成的常务委员会来行使生产计划职能。入库职能和库存控制职能由销售部门掌握。一些小厂的经理向财务部门报告。

这些分布各地的工厂生产液体漂白剂，并且处理其他主要生产工厂的制成品的人库储存。由工厂经理负责把制成品从这些工厂运出，这些职能的管理权最后汇集到财务副总经理身上。有些职能的权力由货运经理行使，因为他有权发出起运单和规定运费。由于销售部门负责库存控制和维持区域公共仓库的库存量，它对从这些仓库向外运货也进行控制。采购部门负责所有原材料和供应品的采购的控制，当然订货处理是财务部门的职责。物资流通过程没有实行整体控制。

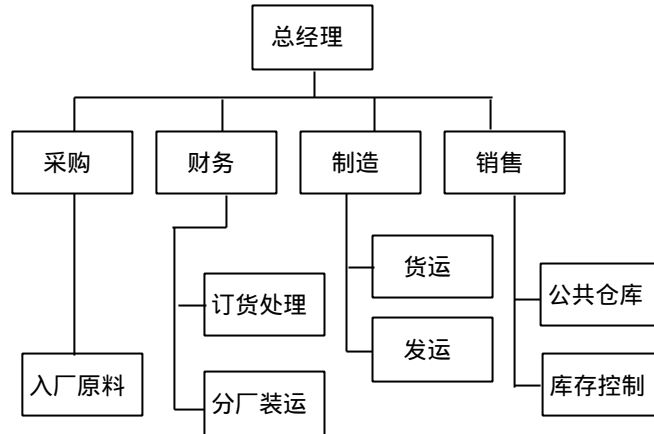


图 13-4 采用一体化物流概念前的
普里克斯公司的组织结构

对企业经营活动和职能的重新组织如图 13—5 中的结构所示。很多重要的物资流通职能被置于销售和物资流通经理的管辖下。他直接管理着货运、总体生产计划、库存控制和销售服务。地区货运经理直接向他报告，另外，他还对各个分厂的销售部门进行职能控制，这些分厂现在直接向生产经理报告，后者再向主管制造和研究的副总经理报告。这种职能权力结构是直线型的，销售和物资流通经理可以在分厂的级别上对影响物资流通的经营活动进行充分的控制。对库存控制的直接领导使他有足够的权力去管理全国范围的公共仓库的入库和出库活动。虽然图 13—5 中没有表示出来，销售和物资流通经理同采购经理也存在着密切的工作关系，他也控制原材料和供应品的人厂货运。

有关报告指出，新的组织结构给公司带来巨大收益，估计降低

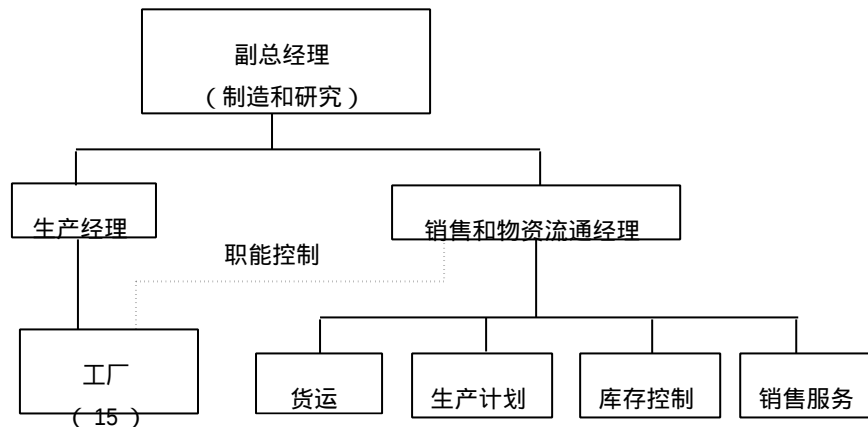


图 13-5 采用一体化概念后普里克斯
公司物资流通控制的组织结构

成本数十万美元。公共仓库数量从 65 个减少到 35 个。在库存和生产计划中实行了许多有效的管理控制措施，同时实施了与流通过程有关的许多职能的总体管理。

把不同类型的企业的物资流通过程进行对比，也许是很有趣的。普里克斯公司主要考虑的是制成品的出厂问题。涉及把 200 多种制成品从几个工厂和仓库分配给遍布全国的批发商和零售商。进厂的原材料种类很少，主要包

括大量的化学原料和石油等。与此情况相反的是包含复杂的装配生产，却只有少数顾客的企业，例如波音飞机公司（Boeing Airplane Company）。在波音公司中，主要关心的问题是生产每架飞机所需的超过 10 万种的不同部件和原材料的进货和内部流通。进厂的原材料和部件的来源几乎涉及全国的每个州，一般情况下，每次运货的数量是很小的。最终产品——飞机通常由顾客驾驶出厂。销售活动通常是指为有限的航空公司和军事组织提供备用部件。波音公司总的来说是重视生产的，当然销售也是重要的经营活动。在生产起着重要作用的同时，普里克斯公司被认为是注重销售的。

两个公司的经营重点正好相反。在普里克斯公司中，运输费用每年花费 800 多万美元，几乎占销售额的 10%。另一方面，在波音公司中运输成本不到销售额的 1%。运输和销售在普里克斯公司中极其重要，而在波音公司中运输只是次要的角色。尽管如此，总体物资控制问题在两个企业中都是很复杂的。在两个例子中，如果组织结构的建立容纳了从原材料供应商到最终顾客的物资流通的总体观点，将有利于系统优化。

* * *

“生产—储存系统”一词强调的是这样一个事实：我们正在研究的是整个供应—生产—销售系统，而不只是实际生产系统。必须考虑企业组织内各部门间的依赖关系，例如生产、销售、财务和采购等部门间的相互作用。总体物资流通过程中的时间延迟强调了系统的动态特性。我们最容易理解的可能是物资的流通过程，图 13—1 中给出了六种不同的重要的流通过程。在对质量、数量和成本进行管理控制时，信息流通起着重要的作用。

我们建立了两种对生产—储存系统进行分类的方法：

（1）连续与间断系统；（2）生产有库存产品的系统与生产无库存产品的系统。在考虑设备的布置和生产活动的详细计划时，连续—间断分类方法是最有用的；当考虑总体计划和规划问题时，可储存—不可储存产品的分类方法最有用。

从经营管理的观点看问题，要求我们不仅要看到生产过程中的库存和物资流通过程，而且要注意从原材料供应商经过制造和销售到最终送货达到顾客手中的整个系统的流通过程，当大系统没有被当作一个整体对待时，就造成企业内部的组织分立，每个部门制定的政策和实行的措施对于整个系统来说并不是最好的。有关普里克斯公司的研究表明，系统一体化的观点可以应用于基本组织结构中。“物资流通一体化管理”的概念要求我们，不能只是独立地处理生产过程或产品的销售过程，而是应该研究生产—销售系统的有效组合。这样处理问题的目的是为了使整个系统的成本最低，而不只是单独地降低某种成本。

第十四章 预测和库存

怎样的生产计划能够满足销售的需求？这个计划对库存水平有什么影响？对劳动力规模有什么影响？对生产力水平有什么影响？应该向顾客提供怎样的销售服务？是否可以使产品脱销？应该具备怎样的库存脱销保护水平？应该怎样控制这些库存？在购买原材料时，是现用现买还是大批量进货？制造的批量应该多大，即一次生产的产品数应该为 10、50、100 还是 1 000 个？在生产的总体计划已确定的情况下，当实际销售情况与预测存在偏差时，应该怎样调整生产水平？对各部门和机器进行怎样的详细计划安排？我们是否能够通过安排达到对人力和机器的最佳利用而避免出现成吨工序间库存的情况？怎样安排生产系统及时处理订货？在间断型和连续型生产系统中，上述问题的答案是否相同？一个企业如果较好地解决了上述这些问题，也许就可以有效地计划和控制库存和生产了。

存在着几种层次上的生产计划，我们需要花些时间区分它们，具有最强的概括性的生产计划处理整个系统的最初设计。它为工厂的选址和生产的总体模型以及更详细加工方法、设备和布置确定多年的基本模式。我们在第三篇中曾经讨论过这些问题，并把这部分内容称为“生产系统的设计”，以区别于针对目前或短期的目标和对象的每日、每月甚至每年的生产计划。我们将使用“计划”一词来指系统经营的有关活动，当然，对系统要进行定期的更新设计，以适应生产技术和生产设计与产品构成的变化。

在生产计划的范围内，我们可以作出涉及如何选用设备的相对长期的计划。这些计划以预测需求为基础，可能包括将来需要的额外生产能力。在较短的计划期内，需要计划的是主要的生产安排和库存水平。在最短的计划期内，要对每个部件和产品所需的原材料进行计划，确定每个产品的加工过程，为所有部件和产品安排设备和人力，即所需要的人力、原材料和机器能够及时到位。

第一节 库存

一、库存的作用

从某种意义上说，有了库存才可能有合理的生产系统，没有库存就不能组织通畅的生产过程，不能合理地使用机器，不能得到经济的物资处理费用，也不能使用被称为“存货”的成百的产品为顾客提供满意的服务。在制造和销售的每个阶段，库存都起着重要作用，它把从原材料开始到制造过程和制成品储存以及仓库和零售店的一系列处理过程中的不同经营活动隔离开来，在上述过程中的每两个经营活动之间，库存为双方的经营提供了足够的独立性，以便获得低的经营成本。订购原材料时，订购的批量必须使订货过程和运货到厂所花的实际费用合理。当发出生产部件和产品的订单时，也要力图控制批量使办理订货和调整机器进行作业的成本合理。否则，办理订货和调整机器的成本将会使生产变得不经济。部件批量地通过系统可以对部件进行成组的处理，也可以降低处理费用。同样情况，在把制成品分配到仓库和其他储存点的过程中，如果大批量运货将使运费和处理费用降低。库存不仅仅是需要的，它对低成本生产也是至关重要的。

在处理订货加工时上述优点将会部分地丧失。生产的批量由顾客的订单决定，而且订货可能从不重复，不能冒险生产多余产品。订货批量的办理订货、原材料装卸和机器调整的费用就是经济批量的费用。同样地，当向顾客运送订货产品时，也不能享受批量运货的低廉运费。如果用户订货只是一个部件，所有费用都会加在这个部件上。因此，为什么少量的特殊订货价格昂贵就容易理解

库存作为生产系统经营中要解决的问题，关键在于它不是一个单方面的问题。如果没有一个力争达到的最优水平，就不会存在问题。人们可能会追随一个简单的规律：“使库存尽可能地大。”库存使投资资本积压，因此存在与库存价值相联系的合理的机会成本。不仅如此，库存还需要宝贵的空间和负担保险费和税务费用。如果要把 25% 的投资资本积压在库存上，对于一个制造商来说一般是不能接受的。表 14—1 表示的是一些公司的情况，其中库存占总资本比例最低的是州际面包公司（Interstate Bakeries）为 9%，库存占总资本比例最高的是皮尔斯伯里面粉公司（Pillsbury Mills）为 55%。

库存问题的重要性可以通过伊思曼—柯达克（Eastman Kodak）公司和美国钢铁（V.S. Steel）公司在 1966 年和 1970 年间库存的变化表现出来。柯达克公司 1966 年库存价值占总资本 25%，而 1970 年则降低到 19%，节约维护费用 20%，相当于 3600 万美元。同一时期内，美国钢铁公司库存价值占总资本比例从 23% 上升到 27%，如果维护费用按库存价值的 20% 计算，增加维护费用近 2600 万美元。

因此，存在着两种不同的成本，一种成本与原材料采购和产品订货的批量相关，另一种成本随着库存的增加而增加。由于前一种成本的存在使经营活动倾向于使用大的采购和生产批量，以降低办理订货和调整设备的单位成本到合理的水平。后一种成本则使经营活动倾向于使用小的订货批量，以维持库存成本在合理的水平。我们要处理的问题是：为了实现有效的管理，必须找到合适的政策，对上述讨论中考虑的系统内各种不同的相互矛盾的成本进行权衡。

二、库存的种类

看一看库存的不同种类也许会对以后的分析有帮助。以图 14—1 所示的简单的工厂—仓库系统为例。这个工厂生产多种产品，但我们只考虑其中一种。对于在仓库中的这种产品的平均需求为每周 200 单位，正常的仓库供货程序为：当仓库的库存量降到被称为“订货点”的临界水平时，准备向工厂发订货单。准备订单、获得批准并邮出，最后被工厂收到，整个过程需要一周时间。工厂接到订单后，装货、运输、卸货入库又需要两周时间。

表 14 — 1 几家公司的库存量同总资产的关系

公 司	日 期	总资产（美元）	库存（美元）	库存占总 资产的百 分比
艾伯特制药公司	12,31,1969	345382000	77540000	23
联合超级市场	6,28,1969	221313276	61062034	28
伊思曼—柯达克公司	12,27,1970	3042793000	577514000	19
州际面包公司	12,27,1969	78203372	7263890	9
洛克希德飞机公司	12,29,1968	936783000	285707000	31
默克公司	12,31,1970	634378334	92376367	15
皮尔斯伯里面粉公司	5,31,1969	139117657	76079744	55
美国钢铁公司	12,31,1970	3450149776	923458156	27
约翰—威利出版公司	4,30,1971	29549028	12201665	41

1. 在途存货

仓库即使在库存最小时也应该保持足够的存货，以应付在产品运输期间的需求。图 14 — 2 所示的是从工厂向仓库运货期间仓库中库存变化的理想曲线。平均运货量是运输时间和需求率的乘积，即 $2 \times 200 = 400$ 单位。任何时候都会有 400 单位在从工厂到仓库的途中，仓库在保有库存时必须考虑到这个事实。一周的订货时间延迟对运货时间也有影响，仓库也必须保持库存以满足这段时间内的需求。这种情况是很普遍的。系统中的任何时间延迟都需要相应的库存以保证供应的连续性。在生产系统中被称为工序间库存。

2. 批量或“周期”库存

让我们再看一看前面的例子。卡车在工厂和仓库之间往返运货，随之产生的问题是：每次运货的数量是多少呢？无论如何运输过程中都会产生许多费用，并且存在订货费和其他有关的办公费用。我们将不回答这个例子中运货批量的问题，但后面将对一般情况进行讨论。假设订货数量为一次运货 800 单位，相当于仓库中四周的需求量。图 14—3 表示的是当使用上述运货批量时，仓库中库存量变化的理想曲线。这时仓库中的平均库存必然增加。

3. 保险库存

当然，图 13—3 所示的情况是不现实的，因为其中假设了需求率、运输时间和订货时间都是不变的。上述这些因素事实上并不是固定不变的，为了预防需求和供货时间的不可预测的变动，需要有起保护作用的保险库存。图 14—4 表示的是：当在供货的 3 周中出现每周 300 单位的最大需求时，仓库

中的库存水平与正常情况的对比。为了不出现脱销的情况，需要 300 单位的保险库存。以后我们将看到，处理不确定因素的技术在库存模型中具有重要意义。

4. 隔离性库存

前文中曾提到过库存的隔离作用。库存使各种经营活动获得足够的独立性，以实现低成本经营。例如，由于库存的存在，图 14—1 中的人库过程可以相对独立于制造过程。同样情况下，零售业务也有可能相对独立地进行，只需定期订货补充库存。为了起到隔离作用，在我们曾讨论过的各种库存之外，并不需要增加新的库

图 14—4 为满足平均需求和最大需求所需要的理想库存水平的对比

注：其中的差额 300 单位，代表防止由于需求的随机波动而出现缺货现象所需的最小库存或“保险库”。

存。库存的存在为经营活动提供了必要的独立性。

5. 季节性库存

许多产品的需求在一年中有可预测的季节性趋势。当存在这种情况时，管理部门就要选择是利用改变一年中的生产率来应付需求的波动，还是利用库存吸收这种波动全部或部分，如果我们试图根据随季节而变的需求曲线改变生产率，系统必须有足够的投入资本以提供峰值生产能力，而且还要负担雇用工人、训练工人和解雇工人的费用，以及加班费用。利用库存常常可以较合理地协调这些成本。处理这种季节问题的概念和方法将在第十五章中讨论。

在考虑有关库存控制的模型和方法学之前，我们先讨论预测的问题。为了确定对库存的投资是否合适，我们必须对需求进行估计。

第二节 预测

在生产和经营管理中，需求预测是一些最重要的决策模型的一项关键性输入，特别是对于那些与库存、总体计划和安排以及生产控制有关的模型。当然，预测对于生产系统设计来说也是一项重要的输入，因为在确定涉及产品、工序、设备、工具、生产能力和设备布置的最经济生产设计方案时，预测是一项直接的决定因素。

一、预测的时间限度

一般在下列三种不同的时间范围内作预测：为最近时期内的当前经营计划提供预测，为今后三五年间的生产能力调整计划作预测，为有关工厂和仓库选址、生产能力和产品系列或服务的构成变化的长期计划提供预测。中期和长期预测涉及对顾客的爱好的流行趋势、经济情况和技术的发展水平和趋势的研究。

我们关心的是对当前经营活动和今后一段合理的时间期限的计划进行预测，这个合理的时间期限的长短，决定于增加阶段的预测信息的价值。如果需求有季节性的特点，合理的计划时间期限一般将包括整个季节。

二、预测的方法学

我们将要讨论的预测方法学适合指导生产可储存产品的当前经营活动，对当前经营活动的指导不仅与库存问题紧密联系，而且与第十五、十六和十七章讨论的生产的计划和安排有关。

需求的表现方式对于特定的产品或服务也许存在很大程度的不同，总的来说可以概括为五种：平均需求、平均需求的趋势、季节性影响、周期性影响和随机变动。图 14—5 表示的是韦雷弗尔（wearever）公司生产的炊事用具月销售记录的一部分。此图表示了至少有五种需求形式中的四种同时起作用的一般情况（周期性变化不在我们的考虑范围内）。我们应能够在考虑到四种需求形式——平均需求、需求的趋势、季节性影响和随机变动的情况下，对未来一段时期的需求进行预测。

1. 平均需求

当我们观察图 14—5 所示的实际需求（浅色线）时会发现：由于需求的变化趋势是一个重要的因素，三年半的平均需求变得毫无意义。因此，需要用一些着重于近期情况的移动平均线法来估计趋势的影响。而且对未来阶段的需求的估计必须考虑到预计的季节性变化。最后，我们在对未来阶段需求进行估计时，希望不受需求中随机变动的影响；如果能够根据随机因素的预计值得出在可能变动范围内的预期随机需求就更理想了。

图 14—5 韦雷弗尔（Wearever）公司的炊具的实际销售量和指数修匀预测

修匀需求中随机变动影响的一般办法是用一些移动平均法来估计平均需求。表 14—2 是从图 14—5 的实际销售情况的前 11 个阶段中得到的一些取样需求数据。注意观察图 14—5 和表 14—2 可以看出，实际需求变动很大。然而三个月的移动平均值要稳定得多，因为任何一个月需求只是 $1/3$ 的加权量。极值被修匀了，如果它们是需求中简单的随机变动，当我们用三个月的移动平均值估计需求时，就不会受随机因素严重影响。对较长的时间内的数

值进行平均处理，会得到更好的修匀效果，如表 14 — 2 中五个月的移动平均值。由于每个阶段的需求只是移动平均值中 1 / 5 的加权量，极值被更大幅度地修匀。

表 14 — 2 实际需求以及 3 个月和 5 个月的移动平均值
(数据选自图 14 — 5 中炊具的需求量)

时间	实际需求	3 个月的移动平均值	5 个月的移动平均值
42	2000	—	—
43	1350	1767	—
44	1950	1758	2075
45	1975	2342	2025
46	3100	2275	2065
47	1750	2133	1935
48	1550	1533	1980
49	1300	1683	1915
50	2200	2092	2035
51	2775	2442	—
52	2350	—	—

简单的移动平均法有修匀随机变化的作用，但我们对近期的需求数据更加关心，希望在需求估计中更加重视它的影响。加权平均法可以做到这一点。“指数加权移动平均法”就是一种能够进行不同加权和修匀的简便易用的方法。

估计下一阶段平均预测需求 $\bar{F}_t$ 的最简单的指数修匀模型是：用前一个预测平均值 $\bar{F}_{t-1}$ 加上或减去系数 α 与当前实际需求同 $\bar{F}_{t-1}$ 的差值的乘积。新的预测平均值 $\bar{F}_t$ 可表示为：

新的修匀值=旧的平均值 + α (最新需求—旧的平均值) 或用符号表示为：

$$\bar{F}_t = \bar{F}_{t-1} + \alpha(D_t - \bar{F}_{t-1}) \quad (1)$$

修匀常数 α 的值在 0 和 1 之间，一般取 0.01 到 0.30 之间的值。等式 (1) 可以被变换成更方便、也可能更容易理解的形式，结果如下：

新的修匀值= α (最新需求) + (1 — α) (旧的平均值) 或用符号表示为：

$$\bar{F}_t = \alpha D_t + (1 - \alpha) \bar{F}_{t-1} \quad (2)$$

如果取 $\alpha=0.10$ ，等式 (2) 表示：下一阶段的预测平均值 $\bar{F}_t$ 由最新实际需求信息 D_t 的 10% 加上前一个预测平均值 $\bar{F}_{t-1}$ 的 90% 得到。因为最新需求数据 D_t 中包括可能的随机变化，我们修匀了这种变化的 90%。显然可以看出， α 取小值比 α 取大值有更大的修匀作用。相反情况，大的 α 值对实际需求中的真实变化（包括随机变化）反应更快。一般通过判断来选择 α 值，通过研究可以得到经济上最好或接近最好的 α 值。

正确地确定 $\bar{F}_t$ 、 D_t 和 $\bar{F}_{t-1}$ 的时间限度是很重要的、而且必须认识到被称为新的预测平均值的 $\bar{F}_t$ 不是已知需求数据的外推。而是应该把它看成用来帮助指导当前经营活动的最新移动平均值。从某种意义上说，它不是预测而是对当前需求情况的描述。以一个类似情况为例，考虑在驾驭一辆车时以下述

三种方式控制汽车行驶方向：（1）通过挡风玻璃向外观察；（2）挡风玻璃被遮住，通过驾驶室侧窗向外观察；（3）挡风玻璃和侧窗都被遮住，利用后视镜通过后车窗向外观察，我们现在的情况大概同能够通过侧窗向外观察实际位置的情况相似。因为在搜集实际需求 D_t 的信息时存在时间滞后，我们实际上是通过后面的侧窗向外看。但是不包括猜想、推测和外推。每个最新数据只是根据加权的旧的实际需求数据得到，其中强调了最新需求情况的作用。

2. 推断和预测

因为在模型中不考虑需求趋势和季节性因素，所以可以直接从 $\bar{F}_t$ 推出预测值。因此计算得到的值 $\bar{F}_t$ 可以直接作为下一阶段的预测值 $\bar{F}_{t-1}$ （星号*代表推断和预测值）。虽然不太明显公式（2）实际上对所有旧的实际需求数据进行了加权。这一点可以从产生每阶段的预测平均值的一系列周期性计算中看出。例如，在公式（2）中 $\bar{F}_{t-1}$ 显然是从下式中得到的：

$$\bar{F}_{t-1} = aD_{t-1} + (1-a)\bar{F}_{t-2}$$

上式中包括了前一阶段的实际需求 D_{t-1} 。同样情况，计算 $\bar{F}_{t-2}$ 的公式包括了 D_{t-2} ，一直可以回溯到最开始阶段。因此，预测是以描述了先前所有实际需求一系列过程为依据的。

3. 需求趋势影响

如果需求趋势在数据中有所表现，公式（2）将会作出反应，只是存在时间滞后。每个阶段的明显的趋势变化可以用前两个预测平均值的差 $\bar{F}_t - \bar{F}_{t-1}$ 来表示。这些差值代表另外一组数列，它也可以象平均需求一样用指数加权平均法进行估计和修匀。

如果有许多种产品要预测，可以把整个过程用计算机处理，其中要为每种产品分配低限度的计算机存贮空间，提供给计算机程序的每个阶段的新数据只需要当前实际需求 D_t 就够了。

4. 季节性调整

在包括了季节性调整的指数修匀预测模型中，首先要建立一个代表季节周期的基本需求序列。然后计算出每个阶段中实际需求与基本序列的比值。这些比值被修匀并且根据趋势影响进行校正，得到预计的需求比率。最后，预计的需求 $E(D_t)$ 可以通过把每阶段的实际 D_t 乘以修匀的比率得到，由此产生包括了需求趋势和季节性影响的最后预测需求。

对当前经营活动的需求预测来说，指数修匀法是一种合适的、有效的方法。图 14—5 中的预测曲线（深色线）是韦雷弗尔公司预测的炊具销售量记录。由指数修匀预测法得到的曲线跟踪了平均需求、需求趋势和季节性影响的变化情况，却修匀了由于简单随机影响而产生的最极端的需求情况。

当然，存在着完全等同的统计方法，涉及普通移动平均法以及用回归分析进行趋势估计等等。但是在数学计算方面的工作量较大，而且由于需要为每种进行预测的产品分配相当多的计算存贮空间，也不适合于用计算机处理。

第三节 采购和生产订货的批量

一、采购订货的数量

各种不同的与库存相关的费用对企业降低成本的目标有着相互矛盾的影响，需要找到能够协调这些费用的政策和措施。通过观察批量变化对成本的影响方式，可以使每次买多少单位这个老问题概念化。

首先，让我们假设一个将要研究的系统，图 14—6 表示的是某个特定产品的库存水平情况。假设每年需求量为 $R=2400$ 单位，或每月需求量为 200 单位，如果订货批量为 $Q=200$ 单位，库存水平将按图 14—6 中 (a) 波动。如图所示的理想情况下的平均库存水平为一次订货量的一半，或 $Q/2=100$ 单位。如果如图 14—6 中 (b) 所示增加订货次数、减少订货量，可以看到库存水平将随着每次订货产品数量的减少成比例地下降。库存水平当然影响维持库存的成本，因此可以说实际上维护库存各项费用与批量 Q ——次订货数量成比例。从图 14—6 中还可以看出，随着一次订货数量的减少，全年总的订货费用将增加。上述讨论中我们孤立了两种增值费用，它们是衡量我们正在研究的系统的效率的尺度。与库存相关的费用叫维持费用，与订货数量有关的叫准备费用。

为了更清楚地表示我们正在研究的系统，让我们作一条曲线表示批量 Q 与曾经被孤立考虑的增值费用之间的一般关系。由图 14—6 可知，如果 Q 增加 1 倍，平均库存水平也会增加 1 倍。维持一单位库存每年可能花费 $CH=0.60$ 美元（包括利息成本、保险和税务等）。因为平均库存水平为 $Q/2$ ，而且每年单位库存成本为 $CH=0.60$ 美元，则每年与库存有关的增值费用为：

$$\frac{Q}{2}C_H = \frac{Q}{2}(0.60) = 0.30Q \quad (6) \quad (\text{公式}(3)(4)(5) \text{略})$$

使用不同的 Q 值代入上式，可以得到如图 14—7 中曲线 (a) 所示的结果。

也可以用同样方法画出订货费用曲线。用符号 C_p 代表准备和处理一次订货的费用，计算订货次数的公式为 $R/Q = 2400/Q$ 。如果每次订货的准备费用 $C_p = 20$ 美元，则每年与订货相关的总增值费用为：

$$\frac{R}{Q}C_p = \frac{2400 \times 20}{Q} = \frac{48000}{Q} \quad (7)$$

因此，当 Q 增加时，每年与订货相关的总的增值费减少。这一点很容易理解，因为 Q 增加使订货准备的次数减少，相关的增值费用自然减少。在上式中用不同的 Q 值计算，将会得到图 14—7 中的曲线 (b)。

叠加上述两条曲线，则得到图 14—7 中的曲线 (c)，它表示的是总增值费用曲线。这样就得到了一个有关效率 E 的模型，其中把效率 E 表示为描述这个系统的变量的函数，把描述两种单独费用的等式相加就可以得到描述总费用曲线的等式，因此得

$$E = \frac{Q}{2}C_H + \frac{R}{Q}C_p \quad (8)$$

总增值费用 = 平均库存 × 每年单位库存成本 + 每年订货数 × 每次订货费用

看到上式我们不禁要问，哪些变量是可以控制的，哪些变量是不能控制的？可控制变量是指那些可以由管理部门随意控制的变量。在我们的例子中

可控制变量是 Q (订货批量)。不可控制变量是指管理部门不能控制的变量,至少不在讨论的范围内。例如,顾客需求、税务和保险费等都属于此类情况。在我们的例子中,不可控制的变量有 CH (单位库存成本)、 R (需求) 和 C (订货准备费用)。管理部门可以通过施加影响而使税务和保险费降低,达到改变 CH 的目的。然而管理部门不能随意改变税务和保险费。一般来说,税率的变化将影响 E , 管理部门要作出反应,即调整 Q 使 E 再次达到最低点。对于新的税率来说,新的政策是最好的政策。

1. 通用解法

对于我们的简化的库存模型来说,可以用在图 14—7 中曲线 (C) ——总增值费用曲线上查找最低点的办法来得到最小总增值费用。当 $Q=400$ 单位时达到最低点 (符号 Q 表示 Q 的最优值)。这是解决给定了 C_H 、 R 和 C_p 的值的特定问题的一种方法,对于这个模型来说,重要的是找到一种通用解法,可以在 CH 、 R 和 C_p 取任何值时直接找到最低点。对总增值费用进行微分,可以得到求解曲线上最低点的公式。此模型通用解法的公式为:

$$Q_0 = \sqrt{2RC_p / C_H} \quad (9)$$

这个公式直接给出了 Q_0 的值,即产生模型的最小总增值费用的订货批量。把例子中的数值代入可得:

$$Q_0 = \sqrt{\frac{2 \times 2400 \times 20}{0.60}} = \sqrt{160000} = 400(\text{单位})$$

使用上式时,如果各种经济参数的单位是美元,需求也必须以美元为单位来表示。如果需求是指每月需求量,库存费用也必须按月计算,在实际应用中,单位的改变将导致公式形式的明显变化,虽然最后结果 (即订货批量) 是相同的。事实上,此公式并不常常被使用,用来计算最低费用的工具通常是由此公式引申得到图表、示意图和表格。

2. 批量订货价格折扣的影响

在基本的经济订货批量公式中假定了一个固定的采购价格,考虑到批量订货的价格折扣后,则需要另外的简单公式来确定怎样获得最佳利益。举例来说,假设制造商对某种产品的需求为每年 2000 单位。订货批量在 1000 单位以下时,每单位价格为 2 美元;订货批量在 1000 单位以上时,每单位价格为 1.9 美元。每次订货的办理费用为 20 美元,每年每单位的库存维持费用为平均库存价值的 16%,或当每单位价格为 2 美元时每年每单位为 0.32 美元。确定经济订货批量的公式为:

$$Q_0 = \sqrt{\frac{2 \times 2000 \times 20}{0.32}} = \sqrt{250000} = 500(\text{单位})$$

如果用 1000 单位的批量采购,每年可以在采购价格上节约 200 美元,又因为只需两次订货就可以满足全年需要,在订货费用上也可以节约 40 美元。如果此时价格折扣是更吸引人的,上面谈到的每年 240 美元的节约费用就一定要多于随之产生的额外库存费用。当订货批量为 500 单位时,平均库存为 250 单位,库存维护费用为 $250 \times 2.0 \times 0.16 = 80$ 美元。当订货批量为 1000 单位时,库存费用为 $500 \times 1.9 \times 0.16 = 152$ 美元。两者相比较,后者的净收益为 $240 - (152 - 80) = 168$ 美元。如果卖主在订货批量为 2000 单位以上时出价为每单位 1.86 美元,与上面类似的分析表明,增加的库存费用将超过由于价格折扣和订货次数减少而节约的费用,所以采购批量为 2000 单位是不经济

的。表 14—3 概括了三种情况的计算结果。从前面的分析中可以明显地看出，采购批量问题没有通用解决，每个具体事例都需要进行与前面讨论相类似的增值费用分析。

表 14 — 3 考虑价格折扣的增值费用分析

	订货批量 为 500 单位 每单位价格 2 美元	订货批量 为 1000 单位 每单位价格 1.90 美元	订货批量 为 2000 单位 每单位价格 1.86 美元
供一年使用的采购量 (2000 单位)	\$4000	\$3800	\$3720
订货费用	80	40	20
库存费用 (平均库存 × 每单位 调整价格 × 0.16)			
总计	80	152	298
	\$4160	\$3992	\$4038

二、生产订货批量

生产订货批量问题与采购订货批量问题有相同的一般概念，也可以使用公式 (9) (此时的准备费用为机器调整费用和填写生产订单与控制订单在车间内流通的增值办公费用，库存费用力维持工序间库存的费用。) 当然，在制造过程中假设一批产品被一次订货或同时送入仓库经常是不符合实际的。图 14 — 8 中 (J 表示的是一般库存模式的基本公式，订货批量 Q 一次入库储存。库存随后按使用率下降，为了使下一次到货时间与零库存 (或最低限度库存) 一致，订货单必须提前足够的一段时间发出。

在许多制造单位中，产品的生产需要经过一段时间才能完成总的订货量 Q，并且随着生产的连续进行，部件不是大批量而是小批量地入库储存，这种库存模式的结果同图 14—8 中 (b) 所示的情况相似。最大和平均库存水平降低了。最低成本生产批量的计算公式变为：

$$Q_p = \sqrt{\frac{2RC_p}{C_H(1-\frac{r}{p})}} \quad (10)$$

其中：

- r=需求或使用率 (短期的，可能是每日或每周的)
- P = 生产率 (与 r 的时间单位相同)
- C_p = 订货和设备调整费用

C_H = 单位库存费用

Q_p = 最小成本生产订货批量

R = 年度需求

最终结果 Q_p 当然比基本公式中的结果大。对于给定的 Q_p ，这时的平均库存较小，因此只有当订货批量 Q_p 取较大值时，才能得到好的准备费用与库存费用的协调方案，用 Q_p 去除全年需求量，可以得到我们一年中将要生产的部件和产品的生产周期数。

多种部件和产品的生产活动

更一般的问题不是确定单个部件或产品的经济生产周期，而是组织占用相同设备的一组产品的生产活动。如果独立地确定每种部件或产品的生产活动，除非生产水平低于设计生产能力或设备有相当多的空闲时间，否则在设备需求方面将出现许多矛盾。多产品问题在形式上同单一产品问题相类似，只是目标是使全部产品的准备和库存费用达到最低水平。

三、需求的变化

在前面的讨论中，为了得到优化批量的形式上的解法，我们在现实的合理范围内对库存问题的结构进行了理想化。我们假设了固定的需求。固定的订货和交货间隔时间，固定的生产率。这些假设当然都不是实际情况的真实描述。虽然每年的平均需求可能为 2500 单位，但是日常需求可能与每工作日 $2500 / 250 = 10$ 单位相去甚远。可能今天没有订货，但是明天可能有 100 单位的订货，然后下一周没有订货，而随后三天的订货分别为 20, 50, 5 单位。

顾客的需求控制着这个变化率，任何人也不能指示顾客应该什么时候填写订单。供货时间同样是不确定的。可能由于机器故障、劳资纠纷或许多其他延误而造成供应商的产品脱销，使他的供货时间比正常时间长。从供应商处运货的时间也是可变的。因此，真实的系统不能按图 14—6 和图 14—8 所示的库存结构制定计划。

1. 安全库存

需求和供货时间变化的问题一般通过设置安全保险库存的方法来解决。这种计划内的额外库存的数量决定于需求和供货的稳定性以及企业关于产品脱销的政策。如果我们的政策是尽可能不出现产品脱销，这种计划内的最小库存量将很大。如果服务政策允许出现库存脱销和延期交货，则可以把安全库存控制在适度的范围。图 14—9 表示的是一个固定订货量系统的库存余额的一般结构。其中设置了安全库存，如果在订货和交货之间的间隔时间内出现最大需求，库存余额将降到零点附近。

其中的安全库存可抵消要求的波动和供应时的波动，安全存货量是依据在可能的最大消费速率的情况下在定货期间库存将降到零点

在确定安全库存时要考虑两方面的情况，既要研究在订货到交货这段时间内需求的分布情况，也要考虑在库存脱销方面我们能够接受的风险有多大。图 14—10 所示的需求分布示意图可以帮助说明这个问题，月平均需求量大约为 460 单位（与图 14—10 中 50% 的位置对应）。如果在正常情况下，这种产品从订货到交货所用的时间为一个月，并且希望有 90% 的把握不出现库存脱销现象，在补充订货时就必须有 620 单位的库存。则安全库存为 $620 - 460 = 160$ 单位。如果希望有 95% 的把握不出现脱销，安全库存就必须为

670—460 = 210 单位。从需求曲线的形状可以容易看出，为了使出现脱销的可能性更小，安全库存将会显著地增加，维持这批库存的费用也将增加。

2. 确定安全库存的具体方法

在实际应用中，我们讨论过的确定安全库存的一般方法过于麻烦。如果想要得到图 14—10 所示的某种产品的需求分布必须收集许多数据，为了取代这项工作，经过研究找到了有效地表示全部产品的需求分布的数学形式。如果我们能够证明需求分布符合一些特殊的数学公式如正态，泊松或负指数分布，计算过程就会大大简化。这三种分布被证实在供应—生产—销售系统的不同阶段的许多场合都有应用价值。例如，正态分布被证实足够用来描述工厂级别的许多需求函数，泊松分布在零售级别上适用，负指数分布在批发和零售级别都适用所有分布的一般程序都是相同的。

(1) 在正态分布，泊松分布和负指数分布中进行选择，用来表示订货至到货期间的需求情况；

(2) 根据管理政策或对成本来衡的估计制定服务标准；

(3) 由合适的分布公式和服务标准得到订货至到货期间的最大需求 $D_{\max}$ 。例如，如果服务标准为有 5% 的可能性出现库存脱销，由图 14—10 可以得到最大需求量为 670 单位。

(4) 由公式 $I_{\min} = D_{\max} - \bar{D}$ 计算需要的安全库存量，公式中的 $D_{\max}$ 和 $\bar{D}$ 可以根据订货至到货期间的需求分布确定。

3. 处理需求变化的基本控制系统

为了控制库存符合要求，可以依据针对需求情况的经常性调查和调查中所使用的信息反馈方法来操纵补充订货的批量和次数。

固定订货量系统的库存变化情况如图 14—9 所示。在此系统中，再订货点的选择原则是：如果订货至到货期间对库存的需求为平均需求率，补充订货到货时库存应降到安全库存水平。补充订货的数量为预先规定的固定值（经济批量或其他一些固定值），并被规定在到货时间入库。最大库存水平为订货量 Q 的平均值加上安全库存 $I_{\min}$ 。平均库存量为 $I_{\min} + Q/2$ 。对需求率进行定期的调查，根据调查结果可能要改变订货量和安全库存水平。

对一种产品的需求有时来自随后将要进行的生产或经营活动。例如，这种产品是几种最终产品中将要使用的标准件螺丝钉，装配车间将根据其生产需要发出订购螺丝钉的信息，而对这几种最终产品的需求来自仓库的订货，再向后追溯可能是销售商处来自实际用户的订货。一系列库存点的存在反映了这种需求链，每个库存点都保持一定库存并且不断补充订货。固定订货量系统经常用于价格低的产品，例如螺母和螺栓。此时库存水平处于管理者不间断的监视之下，当再订货库存点到达时能够被及时发现。

固定再订货周期系统的操作方式是按固定的时间间隔补充订货。订货的数量根据需求的变化而改变，最大库货量被保持在一个给定的范围内，对使用率的定期调查将决定库存水平并且用来确定一次订货平均数量。同固定订货量系统相比，由于需求的变化直接反应在每次补充订货上，并且补充订货的次数较多，所以定期订货系统对库存的控制更严格。这种系统经常应用于价格高的产品或从单一货源定期订购大批量产品的情况。这种多产品订货可以在一起分组运货，以获得较低的货运成本。

如同可以从固定订货量系统中得到最优订货数量一样，也可以从固定再订货周期系统中得到最优再订货周期，因为固定再订货周期系统的主要目标

是一次订货全部（或一组）产品，在实际中一般不进行单个产品最优订货周期的计算。也许可行的方法是：计算单个产品的最优订货周期，然后对它进行分组。其中的一个组可能每周调查一次需求情况，另一个组可能是两周调查一次，而第三个组可能是每月调查一次，等等。

基础库存系统是固定订货量系统和固定再订货周期系统的折衷方案。在此系统所使用的信息反馈系统中，每个库存点所得到的需求信息是直接来自顾客订货的信息，而不是经过了一系列经营过程和库存点而得到的需求信息，在基础库存系统中，定期对库存水平进行检查，只有当库存量降到预先设定的“再订货点”时才发出订单。订货单将使库存补充到“基础库存”水平，即相当于安全库存加上计算得到的用来满足当前需求的固定数量的库存。基础库存水平可以根据对当前需求率的定期调查而进行上下调整。基础库存系统具有类似于固定再订货周期系统的闭环控制的优点，使维持最小安全库存成为可能。另一方面，因为只有当库存量降到再订货点时才发出补充订货单，一般说来这种情况下订货次数较少，所以订货费用与固定订货量系统相近。

图 14—11 表示的是不同信息反馈系统的对比。图 14—11 中（a）所示的是链式信息流道系统，虽然实际用户的订货可能是次数多、数量小的，但在传递链中的经营过程的补充订货有数量变大、次数变少的趋势，这是该系统的缺点。库存点：处的需求变化在库存点 3 反映出来时将被放大，固此为了预防脱销必须增加安全库存。（参考图 14—10，并且注意在给定服务标准下，需求分布中变化幅度的增大对安全库存量的影响。）图 14—11 中（b）所示的一般结构图中，生产链中的每一个环节都依据顾客需求进行工作，所以不会放大需求变化。由于所有库存点都按顾客的需要组织库存，不会出现放大需求变化的情况下，最大需求的极端情况不会发生，因而安全库存可以被大幅度减少。另外，生产波动的费用（雇用、解雇和训练的费用）也将降低，因为生产被动的大小是与所有的信息反馈系统相联系的。

* * *

在我们前面讨论的库存控制问题中，似乎库存控制可以独立于生产系统和有关效率的推断准则或衡量标准（在这些准则或标准中没有反映库存对生产计划和生产综合水平控制的影响），因为这些问题是相互作用的，上述情况是不真实的。库存政策一定要符合能够产生最小综合经营成本的计划，而不是单单使库存成本最低。较大的库存量可能会降低雇用、训练和解雇员工的费用，同样也可能降低工厂建设和购买设备的费用。有时使用高工资的加班生产代替增加库存来满足需求也许是经济的。在下面有关控制方案的计划和生产与雇佣水平的控制的章节中，我们将讨论这些问题。

第十五章 总体计划和方案

大多数管理者都希望绕过单个产品的详细生产计划和设备与人力的细节安排，而对经营活动进行宏观上的计划和控制。管理部门关心的是与资源使用方案有关的基本决策，通过审查计划中的雇佣水平和转包合同水平以及设定生产率来作出这些决策，其中生产率在给定的雇佣水平下可以通过改变工作时间（加班或减少工时）来改变。计划期内下一阶段的基本决策作出之后，详细的规划就可以在这些总体计划的约束下由较低的计划水平中产生。最后，在认识到生产水平的改变对生产成本和库存费用可能带来的影响后，需要对生产水平作最后的修改。

总体计划中首先需要的是确定一些度量销售和输出情况的通常通用单位，例如，油漆行业中的加仑，啤酒行业中的桶（表示一种不计包装形式的容积单位）以及某些机械行业中的当量机器小时。其次，在这些总体计划中管理部门一定要对未来的一段合理计划时期（也许是一年）进行预测。最后，管理部门一定要分离和度量本章中我们将要讨论的相关费用，并且依靠所使用的方法以一种模型的形式重新组织这些费用。这种模型可以对计划期内连续的各计划阶段作出接近最优的决策。应该时刻注意的是决策的连续性质。一个针对下一阶段的雇佣水平和生产率的决策不能简单地用对或错、好或坏来评价，根据不久前作出的决策，有关销售的实际情况的信息以及对计划期内其余阶段的预测，也可以得出有关后面两个阶段的决策。所有决策的正确与否只有根据一段时间的综合结果才能确定。

我们讨论的大多数问题都是生产可储存产品的系统，由于成品库存的存在，就有可能用库存费用替代生产水平改变的费用。不过，在本章的后面部分，我们也将讨论不可储存产品的总体计划。

为了便于进行下面的讨论，让我们列出依据计划时期长短进行分类而得到的不同生产计划。图 15—1 中列出了五类计划。计划期最短的当前计划的执行必须是在已经制定的公司的总体计划的约束之下，这个问题将是第十六、十六章中讨论的内容，图 15—1 中所示的中长期计划涉及到企业的长远战略规划。有关下一阶段和不久将来时期的计划和决策被我们称为总体计划和安排。

当前时期—执行已制定的公司计划	下一阶段公司计划	不久将来时期的暂定计划	产品和生产能力的中期计划	产品、市场、生产能力的长期计划
利用现有劳动力和设备的详细计划和进度安排。	根据对本期和未来需求的预温暖而作出目前所需生产能力的计划。可能包括雇用或解雇人员，确定生产率，规划加班的利用库存的计划。	劳动力规模、生产率、分包合同、加班、库存。	产品品种构成的变动，规划中生产能力对设备和人力的需要。	研究市场和它们的位置。研究工厂的大小规模及其分布。

图 15-1 不同的计划之间的关系

第一节 总体计划的性质

总体计划增大了管理部门必须考虑的生产能力使用的可选方案的范围。“总体计划”一词包括了方案的规划、“总体计划”和“总体计划和安排”两个词几乎可以互相替换使用。这些概念的经济意义非常重要。这些概念涉及这样一些宏观上的基本问题：针对今后 6 到 12 个月内需求的波动问题应该如何组织库存？为什么不简单地改变劳动力规模来处理这种波动问题？为什么不维持相当稳定的劳动力规模，通过改变工作时间来改变生产率以达到解决这种波动问题的目的？为什么不维持相当稳定的劳动力规模和生产率而让转包商处理订货率波动问题？在大多数情况下，上述这些策略中的任何一个显然都不如折衷方案有效。每种策略都有与之相联系的费用，因此我们要找到一个精明的组合方案。

如果使用库存来应付需求季节性变化，则资本利息和商品过时损失以及与储存、保险和处理相关的费用都将增加。不考虑季节性因素的问题，与维持生产过程所必须的理想或最小库存相比，用来应付短期需求波动的库存也会使上述费用增加。当库存量降到理想或最低水平之下后，库存脱销费用以及所有与产品短缺有关的费用都将增加。

劳动力规模的变化影响人力调整的总费用。当雇用新工人时，将会产生挑选和训练费用以及出现较低的生产效率。解雇工人将承担解雇补偿费和其他解雇费用，以及对公共关系和公众形象产生无形的影响。劳动力规模大的变动可能意味着增加或减少一个班次，增值费用将包括班次奖金以及增加的管理费用和其它费用。

如果需求波动问题利用生产率的变化来处理，当需求增加时就会出现加班奖金费用，当需求减少时则会出现劳动力窝工费用（即单位产品较高的劳动力成本）。管理者通常利用把工时降到正常水平之下的方法来维持不变的平均劳动力成本。当执行降低工时方案时，劳动力调整费用和附属费用将会增加。

受总体计划和安排决策影响的许多费用是很难度量的，也不能从统计记录中分离出来。一些费用如库存投资的利息是可选择的机会费用。另外一些费用，例如与公共关系和公众形象有关的费用，是不能直接测量的。然而，所有的费用都是真实存在的并且与总体计划决策有关。

第二节 问题结构

总体计划问题的最简单结构是图 15—2 所示的单阶段系统。在图 15—2 中计划期只包括一个阶段，所以我们称图 15—2 为单阶段系统。系统在上阶段末的状态（用来作为下一阶段的初始状态）由 W_0 、 P_0 和 I_0 来定义，分别代表总体劳动力规模、生产率和库存水平。首先要对下一阶段的需求作预测，然后经过一些决策过程，作出确定下一阶段劳动力规模和生产率的决策。计划中最终库存 I_1 由前阶段剩余的库存与本阶段生产输出的和再减去本阶段的预测销售量来确定，即 $I_1 = I_0 + P_1 - F_1$ ，其中 F_1 为预测销售量。

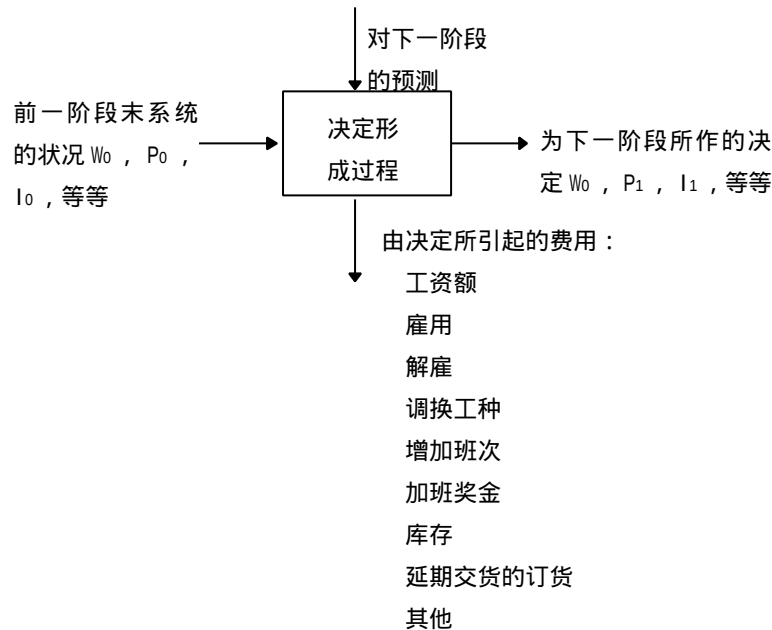


图 15-2 单一阶段总体计划决策系统

注：此处计划期只有一个阶段。W = 劳动力规模，P = 生产率，I = 库存水平

上面作出的决策可能导致雇用或解雇员工，因此将扩大或减小生产系统的有效生产能力。有关本阶段的劳动力规模和生产率的决策将确定所需要的加班时间总数、库存水平或延期交货的数量以及是否一定要增加或减少一个班次和经营过程中其他的可能变化。由有关劳动力规模和生产率的不同可选决策方案得到的费用之间的对比，对于确定这些决策以及决策过程是否有效是非常重要的。一系列这种可选决策之间的费用对比对于评价单阶段模型的适用性也是很重要的。

假设我们根据图 15—2 中单阶段模型的结构作出了一系列决策。假设对前四个阶段中每阶段的需求预测逐渐减少。我们的对策是采取减少劳动力与降低生产率的某种组合方案，将会产生解雇费用和人员调整费用。然后，在随后的第五到第十阶段我们发现每阶段的需求预测逐渐增加，每个阶段的决策过程都要求雇用员工和提高生产率，将产生雇用费用和更多的调整费用。在单阶段计划期内得到的每一个独立的决策从自身角度来看是合理的，然而却会出现在头一个阶段解雇工人又在随后阶段再次雇用他们的现象，使企业负担解雇和雇用费用以及为了改变生产率而进行的调整的费用。

如果我们能够根据一个合适的决策过程提前考虑到几个阶段的情况，在

作出决策时至少可以在某种程度上稳定劳动力规模，利用其他方式处理需求的波动问题，可能单独用加班和减少工时即改变生产率的方法来解决，或者利用在需求处于低谷阶段保持额外的库存的方法来解决。加长计划期可以明显地改善总体计划系统的效率，将要讨论的大多数决策过程都反映了这种多阶段形式。

第三节 总体计划的决策过程

给出了问题的多阶段结构后，我们现在将考虑的是决策过程。已经使用过的决策过程有哪些？哪些决策过程适于实际应用呢？决策过程有几种方法，它们可以分为作图法、数学法、直接推断法和计算机优选法。我们还可以把它们按静态与动态或者单阶段与多阶段模型进行分类，我们将要讨论的有作图法、数学法和计算机优选法。

一、作图法

表 15—1 给出了某种产品每月预期的生产需求预测和所需要的安全库存量。虽然预计的每月季节性变动范围为 $13000 / 3000 = 4.33$ （需求峰值在 9 月份为 13000 单位；需求低谷在 3 月份为 3000 单位），但是由于工厂在 7 月份因假期而关闭两周，根据实际的生产日可以推知，为了跟上销售情况的变化必须有更高的生产率。对每个生产日产量要求的变动范围为从 3 月份的每天 143 单位到 7 月份的每天 917 单位，或比率为 $917 / 143 = 6.41$ 。图 15—3 中的虚线是按每生产日产量表示的预计产量要求，由于 7 月份生产时间少的原因，峰值出现在 7 月份而不是 9 月份。

月份	预期的产量要求	需求的安全存货量	生产日	累计生产日
1 月	6000	3000	22	22
2 月	4000	2500	19	41
3 月	3000	2100	21	62
4 月	4000	2500	21	83
5 月	6000	3000	22	105
6 月	9000	3500	20	125
7 月	11000	4000	12	137
8 月	12000	4200	22	159
9 月	13000	4400	20	179
10 月	12000	4200	23	202
11 月	11000	4000	19	221
12 月	9000	3500	21	242
	100000	40900		

$$\text{平均安全存货量} = \frac{40900}{12} = 3400$$

正常的生产能力为每天 500 单位，依靠加班（此时生产的产品每单位增加成本 10 美元）每天可以生产 600 单位。如果希望每天的产量超过 600 单位，则需要转包生产，与厂内正常生产相比此时每单位增加成本 15 美元。

图 15—3 中表示的是可以满足产量要求的三种生产方案，第一种方案为均匀不变的生产，因为雇佣水平稳定此方案在许多方面都是最简单的。由于每天 413 单位的生产率在工厂正常的生产能力之下，不需要加班生产和转包生产。当然，此方案的库存费用很高。每单位库存维持费用为 40 美元，平均季节库存为 9600 单位，它将花费 384000 美元。当出现季节销售高峰时需要季节库存，此时需求超过了生产总量，对于特定的生产方案，季节库存可以

简单地表示为每月的总库存减去当月的安全库存。

表 15—2 概括了三种方案的对比结果。

	第一个方案	第二个方案	第三个方案
平均季节性库存	9600	1150	2275
平均保险储备量	3400	3400	3400
平均总库存	13000	4550	5675
所需最高生产能力 (以计划 1 为 100 计算)	100	181	133
增值费用：			
季节性库存费用	384000 美元	46000 美元	91000 美元
劳动力调整费用	○	164300	164300
加班奖金	○	60000	52820
额外转包合同	○	60000	○
总数	384000 美元	330300 美元	3081120 美元

储存和保管费用，每年每单位为 40 美元。

假设每日生产率方面变动 35 单位需要雇进或解雇 100 个工人，而雇用和培训一个职工，需用 230 美元。

加班生产费每单位 10 美元。

分包合同每单位额外费用 15 美元。

第二种方案试图利用紧随需求曲线安排生产的方法来使库存量降到最小。此方案在这一点上完成得很好，平均季节库存为 1150 单位，每年的库存维护费用只有 46000 美元，每年节约 338000 美元。然而，劳动力调整的费用很高，为了实现每天 250 单位到每天 500 单位的生产率的改变，工厂的员工几乎要增加一倍。这种调整费用估计每年为 164300 美元（没有雇用超出工厂正常生产能力的额外劳动力）（见表 15—2）。另外，为了应付需求高峰，我们还要考虑加班和转包生产。加班费用为 60000 美元，额外的转包费用也是 60000 美元。总的增值费用为 330300 美元，虽然劳动力调整费用和超负荷生产费用很高，但与第一种方案相比有一定改进。

第三个方案是介于前两个方案之间的折衷方案，为了减少额外的转包生产，它使劳动力规模在较长的一段时间内稳定不变。这将产生比第二个方案大的库存量，但是却可以减少 60000 美元额外转包费用。劳动力调整费用同第二种方案一样，因为在两种情况下劳动力的调整都是依据相同的生产率波动，即从每天 250 单位的最低水平到每天 500 单位的最高水平（正常的工厂生产能力）（此时也没有雇用超出工厂正常生产能力的额外劳动力）。第三个方案的总增值费用为 3081120 美元，是三个方案中最低的。

另外一个问题就是第二和第三种方案是否可以接受。它们都涉及大的劳动力波动（大约 713 个员工）。如果这些工人有比较高的技术并且不容易被招到，这两种方案可能就是不现实的，而且对与雇员和社会的关系方面的影响也是不好的。也可以从同样的角度考虑那些劳动力波动不严重的方案。

图 15—3 已经很清楚地表示出了生产率变化影响，但是也许图 15—4 中

的累积曲线有时更容易理解。作图的过程是首先画出累计产量要求曲线。然后把前面的曲线与每阶段所需的安全库存简单相加，得到累计最大需求曲线。最大需求的累计曲线图可以用来产生可选方案。如果一个方案能够满足需求并且能够提供要求的安全库存保护，从图上看它的累计曲线全部在最大需求的累计曲线之上，此方案从某种意义上说就是可行的。建议方案的累计曲线与最大需求累计曲线的垂直距离代表此方案的季节库存积累。

作图法比较简单，并且可以形象地表示出选择方案在较长一段计划期内的情况，作图法的缺点在于图解模型的静态特性，并且它的处理过程不是优化过程。另外，作图法本身不能产生好的方案，只是把已有的方案进行对比。

二、数学优化方法

我们将讨论三种数学优化方法：最优反应率法、线性判定法和线性规划法。三种方法都是为了优化所研究的模型而发展起来的，我们的主要兴趣在于评价三种方法能够在怎样程度上反映现实情况。

1. 最优反应率法

图 15—4 产量需求和可选方案的累计曲线图

这种方法是由玛吉 (Magee) 提出的，此方法中的管理控制主要集中在两个重要变量上：调整生产水平的频率和针对下一阶段预测的销售变化所作的调整反应率。

生产水平调整反应率决定了对于给定的需求波动应该作出多大调整。如果我们按预测销售变化的总数来调整计划生产水平，就是 100% 的反应率，销售情况的变化将直接传给生产来负担。100% 的反应率将在员工雇用、训练和解雇方面产生最严重的问题，将出现由于生产的不稳定而必须负担的附属费用。如果我们按需求波动量的一半来调整生产水平，则是 50% 的反应率。显然，反应率可以取 0 到 100% 之间的任何值。低的反应率可以使生产水平稳定却会产生大的库存量，高反应率的结果正好相反。

调整的频率也是影响因素之一。对于确定的反应率，调整周期短可以使生产波动和库存量变小。图 15—5 所示的是控制系数 (反应率 / 100) 和调整周期与生产波动幅度和储备 (或安全) 库存的关系。

对于一个具体事例，通过协调库存维护费用与生产波动费用之间的关系，确定反应率和调整周期。一种数学分析方法将对具体事例作出优化组合。一般来说，高的反应率和长的调整周期趋向于过量控制。

由于销售需求波动的很大部分是随机因素产生的，所以不必过快作出反应。低的反应率和短的调整周期能够使我们对生产水平作出经常性的小规模调整，这时所持的是一种“等一等、看一看”的观点。实质上，延迟行动是为了观察销售波动是否真正增加或减少了，还是只是随机现象。这种观望策略要求有较大的库存，但可以使生产调整费用降低。控制的最优值将使两种费用的总数最低，而不是使一种费用最低，另一种费用却很高。

2. 一个比较的例子

玛吉叙述了一个假设的例子，他把生产和库存控制不同的基本系统的经营和费用作了对比。例子中所讨论的公司每年生产并且以 100 美元的价格卖出 5000 台小机器。工厂向分布于全国主要地区的四个仓库供货，这些仓库再供货给顾客。我们将给出三种可选控制系统的计算结果：经济订货量系统、两周固定再订货周期系统和反应率为 5%、调整周期为一周的基础库存量系

统。表 15—3 概括了三个系统中增值费用的对比，图 15—6 用图形表示了对生产水平的典型影响。我们不能认为在所有的企业中都能得出这种准确的对比结果，因为在不同的公司中产量波动和库存的成本特性是不同的。我们可以从对比结果中看出，经济订货数量的想法从企业整体角度考虑是不合理的，因为它没有考虑生产波动的费用，只是一个次优化的解决办法。在我们讨论的例子中，生产波动的费用是极其重要的。在其他情况下他们也许不太重要，但是在设计生产和库存控制系统时它们总是被考虑的因素。

反应率法是一种动态的、容易使用的自动判定方法，但是像作图法一样，它把劳动力规模和生产率两个相对独立的决策并入了一个单独变量——生产水平之中。确定了生产水平之后，我们还要考虑完成生产目标的最佳方案，是雇用工人还是解雇工人，是加班还是减少工时以及基本生产率等问题都要考虑。另外，此模型预先考虑了一个阶段的情况，只是一个单阶段模型。因此它不能像我们将要讨论的其他方法一样处理季节性影响。

3. 线性判定法

线性判定法（LDR）是在 1955 年作为制定总体雇用政策和生产率决策的二次规划法，由霍尔特（Holt）、莫迪格利亚尼（Modigliani）、马思（Muth）和西蒙（Simon）提出的。LDR 法以我们所讨论的公司的各种成本的二次成本函数为基础。这些成本包括：（1）正常工资；（2）雇用和解雇费用；（3）加班费；（4）库存保管费、延期交货和机器调整费用。用这个二次成本函数可以导出两个线性决策准则，根据对预定计划期内总体销售情况的预测，可以用这两个准则计算劳动力规模和生产率。” 乞们可以对模型进行优化。

表 15-3 三种库存控制系统的增值费用对比

	经济订货量系统	固定重新订货周期为两周的系统	5%反应率的基础库存系统
库存费用：			
工厂	\$1750	\$515	\$648
4 个分销处	2340	2020	2300
重新订体贴费用：			
工厂	350	350	350
4 个分销处	990	1980	2081
生产波动费用	8500	2250	256
总的增值费用	\$13930	\$7115	\$5635

图 15—7 表示的是成本函数四个组成部分的形式。在模型中劳动力规模每阶段调整一次，并且工厂许诺在此期间付给工人正常工资。这一点表示在图 15—7 中（a）。雇用和解雇费用如图 15—7 中（B）所示，在 LDR 模型中这些费用被近似为如图所示的二次函数。如果在所讨论的阶段保持劳动力规模不变，只有利用加班或减少工时的方法来改变生产率。减少工时将会产生在正常工资水平上的劳动力空闲损失费用。加班费取决于劳动力规模 w 和总体生产率 P 。

加班二减少工时费用与生产率之间函数关系如图 15—7 中（c）所示，可近似认为二次函数。一个决策是否会产生加班或减少

图 15—7 线性判定注模式所用的近似的线性成本函数和二次成本函数

注：黑线代表假定的实际成本函数，虚线代表线性判定法的近似函数
工时费用取决于计划期内各种费用的协调。例如，为了达到增大输出的目的，需要对雇用和训练工人费用与加班费用进行协调；或者在相反情况下，为了减小生产率需要对解雇费用与减少工时费用进行协调。

图 15—7 中 (d) 所示的是纯库存费用曲线的一般形状。当库存偏离理想水平时，如果库存水平太高就要承担额外的库存费用，如果库存水平太低则要承担延期交货或失去销路的损失费用。在 LDR 模型中这些费用也近似为二次函数。

对于具体例子，总的增值成本函数为四个组成成本函数的简单相加。需要解决的数学问题是使计划期（包括 N 个阶段）内每月的组合成本函数最低。这个数学问题的结果将确定两个线性决策准则，它们被用来计算下一阶段总体的劳动力规模和生产率。这两个准则要求输入上千阶段的劳动力规模和库存水平以及在总的计划期内对每阶段的预测，一旦这两个判定准则形成了特定的操作过程，按照模型给出的、用来产生决策的方法计算，人工操作只需要 10 ~ 15 分钟。

例子，在一个油漆公司中使用 LDR 模型，所用数据为公司六年的已知决策的记录。输入中使用了两种预测方法：完全预测和移动平均法预测。实际订货情况变化很大，包括了 1949 年的经济衰退和朝鲜战争。图 15—8 和图 15—9 为工厂的实际经营情况与 LDR 法模拟经营情况的对比，其中对生产率和劳动力水平进行了对比。加班时间，库存和延期交货等图解结果可以参看其他文献。重新计算了六年期间的实际经营活动的费用，并且根据从油漆公司数据得到的非二次成本结构的决策准则估算了费用。公司的实际经营情况与 LDR 法的模拟结果相对比，使用移动平均预测的 LDR 法每年节约 173000 美元。

线性判定法（LDR 法）有许多优点。首先，此模型的计算过程是优化过程，它的两个决策准则一经导出就很容易使用。另外，此模型是动态的，并且是典型的多阶段系统，多阶段系统是我们讨论的主要对象。另一方面，二次成本结构存在严重的局限性，不能代表所有企业的成本结构。而且，由于在劳动力规模、加班时间、库存和资本方面没有限制，得出的决策可能从某些角度上看是不可行的。

4. 线性规划法

线性规划的单纯形模型和分配模型都已被用来研究总体计划问题。鲍曼（Booman）建议用线性规划的分配模型作为总体计划的一种模式。为了在现有生产能力的条件下满足销售需求，并且使生产和储存费用最低，这个模型的主要目的是合理分配生产能力单元。一方面要满足销售需求，另一方面要考虑初期库存、正常生产能力和加班生产能力对生产能力的限制，这些约束构成了分配矩阵中的边界条件。在为计划期内 N 个阶段编制的程序中，初始库存和结束库存必须确定。矩阵元素是费用值。

需要最小化的准则函数是正常生产、加班生产和库存的组合费用。处理过程的输出是一个用来确定计划期内每阶段正常生产和加班生产总数的计划。基本矩阵可以扩展到多种产品，只要在每个阶段为每种产品建立各自的系列就可以了。

在应用于总体计划问题的过程中，线性规划的分配方法存在严重的局限

性。首先，分配模型没有考虑生产调整费用，例如雇用员工和解雇员工的费用，也没有考虑由于延期交货和失去销路而损失的费用。因此，最终得到的计划可能在一个阶段要求用扩大劳动力规模的办法来改变生产水平，而在未来某些阶段却要解雇这些工人。而且，线性要求经常过于严格。

线性规划的单纯形法有可能使模型中包括生产水平调整费用和库存短缺损失费用。汉斯曼（Hassmann）和赫斯（Hess）提出了一种单纯形模型，从把劳动力规模和生产率作为独立决策变量使用的角度来说，或从成本模型的组成和包括预先规定的计划期的角度来说，这个模型与线性决策法完全相似。汉斯曼—赫斯（Hass-mann—Hess）线性规划模型与 LDR 法的主要区别在于前者的所有成本函数必须是线性的而不是二次的，并且线性规划被作为解题方式。因而，汉斯曼—赫斯模型的优缺点大体上与 LDR 法相同。在具体应用中对两个模型进行选择时，取决于成本模型是线性的还是二次的。

利用线性规划处理总体计划问题的工业应用例子有艾森曼（Fiserman）和杨（Young）〔6〕写的一个纺织厂的研究报告，费边（Fabian）〔7〕的一个高炉生产的研究报告以及格林（Greene）、查特托（Chatto）、希克斯（Hicks）和考克斯（Cox）的关于包装行业的研究报告。

三、搜索决策法（SDR）

可以使用一个计算机优化—搜索程序在试验点上对成本准则函数进行有组织的评估。在这个过程中希望最终找到一个最优值，但不是完全肯定的。在计算机优选的直接搜索法中，在一个点上对成本准则函数进行估计，结果与前一个试验点的结果相对比，根据一组推断准则确定下一步行动。然后在新的一点上进行估计，程序重复进行上述过程，直到没有更好的函数值出现或者超过了预先定好的计算机时间限制。陶伯特（Taubort）选择了胡克—基夫斯（Hookc-Jeeves）型搜索程序作为研究总体计划和规划问题的工具。为检验这个程序的可行性，他选择了前面研究 LDR 法时使用过的油漆公司的例子。

总的来说成本准则函数代表了计划期内需要最小化的费用，它可以被表示成计划期内每阶段的生产率和劳动力水平的函数。因此，在计划期的每阶段中都要增加准则函数的两维坐标，一个是生产率，另一个是劳动力水平。在陶伯特关于油漆公司的分析中，计划期被规定为 10 个月，因此所使用的特定型式的搜索程序需要能够处理有 20 个独立变量的问题。每当目标成本函数的减少量少于 0.5×10^{-6} 美元时，搜索程序结束运行。

表 15—4 给出了油漆公司工厂经营情况第一个月的计算机输出结果。计算结果给出了第一个月决策计划，同时也给出了 10 个月计划期的全部计划。在表的下半部分中给出了计划内的整个计划期的工资、雇用和解雇、加班和库存等的费用，以及这些分立的费用的总数。因此，一个生产管理者不仅可以得到下一个月的即期决策，而且根据对计划期内每月的预测和每月决策的经济收益还可以得到较长远的规划决策。

表 15-4 第一个月工厂经营情况的搜索决策法结果

A. SDR 判定和预测				
月份	销售量（加仑）	产量（加仑）	库存（加仑）	劳动力（人数）
0			263.00	81.00
1	430	471.89	304.89	77.60
2	447	444.85	302.74	74.10
3	440	416.79	279.54	70.60
4	316	380.90	344.44	67.32
5	397	374.64	322.08	64.51
6	375	363.67	310.75	62.07
7	292	348.79	367.54	60.22
8	458	358.63	268.17	58.68
9	400	329.83	198.00	57.05
10	350	270.60	118.60	55.75

B. 判定和预测的成本分析（美元）					
月份	工资	雇进和解雇	加班	库存	总数
1	26384.04	743.25	2558.82	18.33	29704.94
2	25195.60	785.62	2074.76	24.57	28080.54
3	24004.00	789.79	1555.68	135.06	26484.53
4	22888.86	691.69	585.21	49.27	24215.03
5	21932.79	508.43	1070.48	0.36	23512.06
6	21102.86	383.13	1206.90	7.06	22699.93
7	20473.22	220.51	948.13	186.43	21828.29
8	19950.99	151.70	2007.33	221.64	22331.66
9	19395.30	171.76	865.74	1227.99	21660.79
10	18954.76	107.95	-1396.80	3346.46	21012.37
					241530.14

研究者把由 SDR 法得到的 24 个月的结果同由 LDR 法的两个优选决策准则得到的同期结果进行了逐月对比，每月的决策虽然不是完全一样，但彼此非常接近，前 24 个月的生产总量的差别只有 2 加仑。由 SDR 法得到的总费用只比 LDR 法的总费用多 806 美元或 0.11%。这种差别也可能与两种方法的计划期不同有关，SDR 法的计划期为 10 个月，而 LDR 法的计划期为 20 个月。

在油漆公司的例子中 SDR 法和 LDR 法两者得到的结果非常接近，因此决定在更多的实例中对 SDR 法进行检验。在下述三种完全不同的场合建立实验模型：（1）实验公司。假设的一个包括非常复杂的成本模型的企业，在需要的时候有可能使用第二个班次；（2）实验工厂。建立的依据是美国一个主要的联合钢厂的伪装数据；（3）探索实验室。假设为一个大型空间探索和发展实验室的一个分部。这三个研究对象扩大了研究范围，并且包括非常复杂的成本模型和其他因素，这对于搜索决策法来说是一个考验，我们将选择搜索

实验室模型作为进行下述讨论的对象，因为它涉及最变化多端的成本组成，而且不包括制造过程，这可以证实总体计划概念的普遍性。

陶伯特在 1968 年提出了一个探索实验室的总体计划成本模型。此实验室设在一座 100000 平方英尺的建筑中，有 400 个成员。大约有 300 个成员是直接从事技术研究的雇员，其余的是为实验室服务的间接行政辅助人员。

实验室的科技人员和设施向外界提供了一种创造能力，大幅度的雇员波动将严重损害这种能力。实验室的研究项目由政府和公司两方面资助，它的经营环境中的重要部分包括政府销售情况的大幅度变动和技术的飞速进步。因此，它的经营计划问题可以表述为一方面需要雇员的稳定，另一方面又存在着政府销售情况的大幅度波动。

具体地说，经营计划问题主要集中在每月领导者确定技术人员和管理人员的编制的决策以及如何分配科技人员从事政府合同项目和合作探索项目的研究等问题上，同时领导者也要考虑实验室的一般管理事务。当科学家们没有合同或合作研究项目时就会出现一般管理费用。这笔费用是正常间接管理费用之外的开销。事实上，一般管理费是用来应付科技人员需求波动的保险费用。总体计划模型中包含的独立决策变量如下：

1. 科技人员的编制：

- (1) WSt，从事政府合同研究的人员；
- (2) WRt，从事合作研究项目研究的人员；
- (3) 空闲人员；

2. WIt，行政辅助人员的编制。

图 15—10 所示的是构成探索实验室的成本模型的 12 个组成部分的成本关系曲线，可以看到其中的数学关系的多样性，例如包括线性、分段线性、约束和非线性等形式。陶伯特还在模型中建立了一整套代表一般管理费用的成本结构，用来计算任何一组给定决策变量的一般管理费。然后，用它的结果来计算每月政府销售情况，后者再与累计销售目标对比。决策系统的输入是对每月从事合同研究人员、从事合作研究人员和空闲人员的编制预测，以及一个代表实验室经济计划的累计销售目标。人力预测的总数必须准确，领导者的经营计划问题的一部分就是确定决策变量的最佳组合以实现工作目标。如果对人力需求的预测不准确将使成本增加，这种影响也会带进成本模型中去。

陶伯特利用实验室 5 年半时间的财政记录来验证这个成本模型。在验证过程中，决策系统针对 5 年半试验期中的每个月都作出了相应决策。以 6 个月为一个计划期，需要 SDR 法对一个 24 维的决策进行优化（6 个月计划期中的每个月有 4 个决策）。针对波动的人力安排预测，SDR 法的反应决策比实际管理决策的波动小。

由 SDR 法得出的决策与实际管理决策的费用对比表明：使用 SDR 法将节约开支。在 5 年半的试验期中，由 SDR 法得到的收益最高时达 19.7%，最低时为 5.2%，整个试验期内平均为 11.9%。SDR 决策降低了空闲人员比率，并且使直接工资、研究项目人员组成费用、销售任务奖罚费用和直接雇佣费用显著降低。SDR 决策通过广泛使用加班生产来达到上述目的。

在探索实验室的总体计划问题中成功地应用了 SDR 法以后，陶伯特随后把决策变量分配到六个部门的技术人员编制中。事实上，每个部门都可以被看成一个小实验室，它有自己的合同、研究人员编制预测以及累积销售目

标。因此、六个部门中的每一个都要进行科学技术人员的分配。当需要在部门间进行人员调整时，这种人事调动将受到某种限制。一般来说，科学家是不可互换的，不能够仅仅由于人员需求波动就把他们从一个部门调到另一个部门或从某种技术专长转变为另一种技术专长。剩余的部门人事调整问题只能够利用雇用和解雇的方法来解决。在处理这些问题时，再次证实 SDR 法能够产生合理的、现实的决策。SDR 法可以根据预测作出波动不大的决策，当预测中的人力需求下降时，可以短时间内利用空闲人员编制维持科学技术人员队伍的稳定。

第四节 加工车间和大型工程项目的总体计划

生产不可储存产品的系统的总体计划不需考虑维持库存的风险，但是同时也使库存不能够作为管理中的一个自由度来使用，即再不能用库存维持费用来替代生产波动费用。我们曾经把生产不可储存产品的系统分为两类，即订货加工车间和大型一次性工程项目。

一、加工车间

如果我们生产某种订货产品或提供某种预订服务，我们怎样才能预知和计划雇佣和经营水平？首先对某种特殊产品的需求进行预测看来是不可能的，但是需求一定与整个经济环境或我们特定行业中的某些因素有联系。有一点是常见的，订货车间并不是对所有加工订货都开放，它只是从事某一领域的生产，例如宇航工业，或者只是在当地进行经营。因此，需求可能与此行业的需求有关，例如与宇航生产合同的总值有关，或者与本社区的雇用水平有关，总而言之，需求预测很可能不像我们第十四章中讨论的指数预测模型那样简单。对需求的预测是能够作出的，它一定要根据具体情况而定。

在订货加工企业中，对产品设计的灵活性的需求，一般来说表现为技术水平较高的员工的需求。例如，订货加工车间和样品车间等地方需要技术水平最高的机械工人。这种水平的工人非常缺乏，工资水平高，而且在行业协会里组织得很好。由于这种人员难以雇到，有必要在车间订货量下降时支付一笔额外费用以留住一个优秀雇员。事实上，我们可以认为订货加工企业保持的不是产品库存而是生产能力和技术库存，这种库存可以在需要的时候进行生产。根据我们曾经讨论过的各种原因可以得知，在订货加工企业中雇佣和解雇费用是比较高的，因此要求雇用员工的编制比较稳定。我们必须认识到保持企业“经营良好”的形象的机会成本也是劳动力调整的高成本的一部分。如果企业解雇了过多的员工，它将不再被认为是经营良好的企业，对其产品的需求也将严重减少。

那些优秀的订货加工企业的管理者对于能够维持雇用水平相对稳定的因素非常重视，甚至于在销售不景气时期利用改变价格政策的办法来维持企业的完整。在企业困难时期以成本或低于成本的价位为产品价格，用来保持企业员工任务饱满或（和）解决出现怠工成本问题，这种作法对于管理者来说是不常见的。总的来说，订货加工企业的经营者趋向于利用雇用或解雇少量员工的方法来解决需求波动问题。维持相对于平均需求来说规模较小的员工编制，利用改变工作时间的办法来解决需求波动问题，即在需求增加时加班生产而在需求减少时减少工时或调整价格政策。值得注意的是订货加工车间把带奖金的加班生产作为其雇用政策的正常组成部分。

二、大型工程项目

我们前面讨论的有关订货加工车间的总体计划的许多内容也都适用于大型一次性工程系统。不过两者之间也有着实质性的区别，大型项目的管理者可以对工作量进行预测，由于工程的规模很大也只是对近期的任务进行预测。从某种意义上说，方案的计划和规划就是总体计划和规划。整个方案和所有有关工作同时进行计划。这种规划可能会预先给出一到两年预计工作量。这些工作量不是来自于对需求的预测而出自合同任务的实际需要。

网络进度安排中修匀工作量的技术将在第十八章中有关“资源的调度”问题中讨论，事实上这种技术试图减少工作量波动对成本的影响，或减少我们在本章所讨论的总体计划模型中生产波动的费用。

* * *

因为管理者是通过总体计划和规划来实现根据自己的指令对主要的资源进行调度，所以总体计划和规划对于生产和经营管理来说是最重要的。企业的资源可能被有效地分配调度，也可能被不合理使用。最高层管理者的兴趣主要集中在这种调度过程的最重要方面，例如雇用水平、生产率和库存水平等。一旦根据这方面的决策制定出基本计划，也就提出了经营的约束条件，详细的经营计划和安排则可以随后逐步得出。

我们已经讨论了总体计划问题的结构和一些进行总体计划时所需的决策过程。在这一点上作图法也许是用得最多的。被人们大力研究的数学和计算机搜索法对传统方法有所改进，它使决策过程成为动态的、优化搜索过程，并且可以反映问题的正常的多阶段性质。几种有价值的模型主要作为能够更精确地反映现实的更有用的模型的基础，其中最重要的一种模型无疑是线性判定法（LDR）。目前，由于计算机搜索法在反映企业中真实存在的各种费用时有较大的灵活性，因此被认为是最有前途的。虽然一些数学方法可以得到最优结果，但我们必须认识到优化的是模型。只有当数学模型精确地反映现实时，模型的现实世界的副本——现实系统才能被优化。计算机搜索法利用自身特点进行优化搜索，在模型中不需要坚持严格的数学形式，因此成本模型更接近于现实情况。说到底我们希望优化的是现实世界的系统而不是模型。

在生产和经营管理领域的一般性发展中，SDR 法在探索实验室这样的非制造业系统上的推广应用是令人鼓舞的。在探索实验室中成本模型的高度复杂性和把独立决策变量扩大到 19 个都表现了计算机搜索法在反映真实管理情况方面的潜力。

第十六章 大量生产系统的进度安排和控制

从表面上看，一旦有了大量连续生产系统的总体计划，系统的进度安排也就已经完成了。生产线和连续化学过程是典型的连续生产系统，它们的生产率已经确定，各个操作的先后次序和相互关系在系统设计阶段就已经被严格地确定下来。系统像一个巨大的机器一样运转着。如果确定了生产率，在系统设计中就已经考虑到了操作间的配合和次序。系统设计是否已经完成了详细进度安排问题？从某种意义上说这是对的。但是，由总体计划决策确定雇用水平和生产率之后，余下的问题仍然是很重要的。

首先，我们如何确定每种产品的生产总数？总体计划中已经确定了总的生产率，但是事实上，这个总产量必须分配到各种规格和型号的产品上去。其次，总体计划可能要求改变劳动力规模。人力方面的变化将使一组工人中的工作安排发生变化，同时需要重新调整设备。因此，当总体计划给出了劳动力规模的改变数量之后。仍然有这些改变工作有待完成，从某种角度上讲这些工作更有意义。换句话说，将涉及哪些工人和哪些技术工种？如果总体计划要求减少工人人数，可能会利用与工会的协议确定哪些人将被解雇。再次，有关劳动力规模和生产率的决策组合确定了加班时间和减少工时的总数。在不同产品之间和人力方面如何分配加班和减少工时？最后，从建议的产品详细进度计划中得到的预计库存水平是否符合总体计划的要求和单个产品的生产决策和程序？

第一节 生产—销售系统的性质

为了认清大量连续生产系统的进度安排和控制问题的性质，我们必须清楚系统的总体流通，懂得系统库存的重要性，明白系统的动态特性。应该记住的一个非常重要的因素是工厂输出的规划很大程度上取决于处于流通链下游的批发商和零售商的行为，而系统的这些组成部分一般来说是在管理控制之外的。

让我们从图 16—1 所示的生产—销售系统开始讨论。假设此系统生产和销售一种小用具。图 16—1 表示的是这种用具的生产和销售过程的主要职能，从原材料的采购开始，再到制造过程，然后通过一系列分配过程直到最终用户。其中有 500 个独立的零售商、50 个独立的批发商和一个工厂。每个分配环节都涉及一个成品储存点。因此，从工厂出发考虑此系统的一种方法就是把他假设为多阶段库存系统。

图 16—1 中也表示出了每阶段成品库存补充订货程序的基本要点。每个零售商的补充订货周期内包括对需求和自身库存情况的调查、向供应商批发商发出订单以及由批发商装运订购货品等内容。与上述情况类似，每个批发商也有类似的补充订货周期，其中涉及来自零售商的需求情况估计、发给工厂仓库的订单以及订货的装运等内容。工厂仓库从工厂订货和工厂从供应商处订购原材料都有类似的订货周期。

我们感兴趣的是这些步骤中的某些方面，需要记住的是我们的主要目的是安排工厂进行生产。在考虑工厂的进度安排之前，让我们做些粗略的计算以便对系统正常运转所需库存情况有些了解。

第二节 系统的库存

回顾一下第十四章中讨论的库存的几种作用。一些库存的作用只是为了充满系统的流通渠道，另一些库存是考虑到订货循环的周期特性而建立的，而第三种库存的作用则是为了吸收需求的波动。根据工厂进度安排决策的性质，也可能需要额外的季节性库存。

一、在途库存

如果系统平均流动量为每周 2000 单位，从工厂运货到工厂仓库的时间为一天，则在任何时候都会有 $2000 \times 1/7$ 单位的产品在运输途中。如果工厂仓库处理订货的时间为五天，由于这段时间延迟任何时候都会有 $2000 \times 5/7$ 的积压产品。表 16—1 概述了整个系统中成品在途库存的情况，表明为了充满流通渠道至少需要 7144 单位。除非运输时间、停留和处理时间减少，否则这些库存不能被减少。这种库存与系统的产量和物资流通时间成比例。如果系统的产量增加，为了保持流通渠道充满和系统的正常运行这种库存也要增加。

表 16-1 成品在途存货需要量计算表（系统平均流量为每周 2000 单位）

	平均传送和停留时间（日数）	平均在途存货（日数/7） $\times$ 2000
由工厂至工厂仓库	1	286
由工厂仓库停留	5	1429
由工厂仓库至批发商	10	2857
在批发商处停留	2	571
由批发商至零售商	5	1429
在零售商处停留	1	286
由零售商至消费者	1	286
总计	25	7144

二、周期库存

我们假设工厂仓库、批发商和零售商的库存补充订货使用固定订货周期系统。平均订货数量由每阶段的订货频率决定。例如，根据销售情况零售商平均每两周订货一次。因此，一个零售商的订货量必须是满足平均需求的两周供应量。平均每个零售商每周卖出 $200/500 = 4$ 单位产品，或在两周订货周期内为 8 单位产品。因此，他必须保有不少于 8 单位的产品以满足补充订货期间的销售需要，用于这个目的的平均库存为此数量的一半或 4 单位。则整个系统的 500 个零售商的周期库存为 $4 \times 500 = 2000$ 单位。表 16—2 给出了系统的周期库存需求，由于订货的周期特性需要 12000 单位的平均库存。

表 16-2 成品周期库存需要量的计算（系统平均流动量是每周 2000 单位）

	重新订货周期	平均周期库存
	（周）	（单位）
500 个零售商	2	2000
50 个批发商	4	4000
工厂成品库	6	6000
合计		12000

三、保险库存

回顾一下我们在第十四章中曾经讨论过的用来吸收需求中的随机变化的缓冲库存，缓冲库存的数量取决于需求分布特性和我们希望为用户提供的服务水平。表 16—3 表示的是系统保险库存的计算。例如，每个零售商所需的保险库存为 17 天（调查和供应时间）的估计最大需求与平均需求的差，或 $18 - 9.7 = 8.3$ 单位。则 500 个零售商的平均系统保险库存为 $8.3 \times 500 = 4150$ 单位。整个系统需要的保险库存为 13864 单位。

表 16-3 成品保险库存需要量的计算（系统平均流动量为 2000 单位）

	每周平均需求	供货时间（日）	供货期内的平均要求	供货期内的最大要求	保险系统平均库存
500 个零售商	4	17	9.7	18	4150
50 个批发商	40	35	200.0	300	5000
工厂仓库	2000	36	10285.7	15000	4714
总计					13864

概括上述结论可知，系统中必需包括下列三个部分：

在途库存	7144
周期库存	12000
保险库存	13864
总计	33008

这些库存的设立是由于系统结构、订货规则和服务水平的需要。这些库存是系统正常运行所必需的最小可能数量。如果控制的效率不高或者考虑到系统的季节性库存，总的库存量可能比这个最小值更大。

当我们注意到管理部门只能控制大约这些库存的 $1/3$ ，其余库存掌握在批发商和零售商手中，并且管理部门不能控制批发商和零售商的订货政策和程序，库存对工厂进度安排问题的影响就变得突出了。

第三节 进度计划和总体计划

图 16—2 所示的是多阶段生产—销售系统的进度安排过程与总体计划过程之间关系的一般情况。在图 16—2 中“管理控制下的公司系统”范围内，我们可以找到与进度安排有关的活动。

根据零售商—顾客一级的销售信息而作出的需求预测和工厂仓库处的订货频率被输入到预测模型中。预测模型得出总体计划过程所需的计划期内的阶段预测，然后由总体计划过程产生下一阶段有关生产率和劳动力规模的基本决策。从由总体计划过程得出的基本决策出发，我们可以计算出所需的加班时间和转包工作量以及预计的阶段末期库存；或者根据我们所使用的总体计划模型，把这些数据作为总体计划过程输出的一部分输出。由这些总体计划得到详细的工作计划将是我们下面要做的工作。

一、产品品种组合问题

总体计划决策对雇用水平和生产率的影响表现为对系统下一阶段有效生产能力的调整。换言之，生产能力的限制已经确定，在制定详细进度计划时必须考虑到一系列生产能力方面的约束。因而有限的生产能力在不同类型和规格的产品之间的分配成为一个重要的经济问题。

产品品种组合问题可能在化学工业中是最复杂的，例如炼油工业，这时生产中的各种不同产品在数量上有相互依赖关系。如果一种产品（例如航空汽油）的产量增加，由炼油过程的特点可知，其他一些产品的产量将要下降。不同产品的利润可能是不同的，而且每种产品的市场需求也是有限的。因此确定最佳产品品种组合就变成了一个复杂的规划问题。炼油工业中总是存在着相互依赖关系，例如，由于基本原材料——原油可以加工出许多不同产品，一种产品产量的增加或减少总是意味着其他一些产品的产量将要发生变化。

在机械行业中不同产品之间的依赖关系一般来说仅仅起源于由总体计划决策确定的有限生产能力，有些情况下是用来生产不同类型和规格的产品的通用设备限制了生产能力。在任何情况下，我们都需要解决如何最有效地使用有限的生产能力的问题。这些产品组合问题我们曾经在第四章中利用线性规划作过探讨。在目前的实际工作中，经常忽视这种分配问题，只是根据销售百分比数据和由个人判断作出的调整来确定产品品种组合。

总而言之，如图 16—2 所示，不同规格和类型的产品品种组合方案为详细的进度安排、雇用和解雇工人决策和原材料采购计划提供了基本信息。详细进度计划涉及特定类型和规格的产品的生产率确定和人力安排，由于生产能力在人力方面或设备方面的局限，在制定详细进度计划时可能会发生冲突。

在为特定类型和规格的产品确定生产率和安排人力时，由于生产系统的设计和过程的性质不同，计划人员所面对的问题可能存在非常严格的约束，也可能存在适当的灵活性。生产线的自身特点决定了它在这方面的严格限制，一旦生产线被设计出来并被安装好后，所有的操作过程都将按预定的小时生产率调整，因此生产线将以非常固定的小时生产率装配产品。为了达到每周或每月生产率的某种目标，计划人员可以灵活掌握的因素有哪些呢？一般来说它可以有两种选择。他可以安排生产线上的工人增加工作时间（包括加班生产）或减少工作时间；或者为了得到某个较高或较低的小时生产率

或输出率，他可以重新调整整个生产线。显然，因为后一种方法涉及雇用和解雇工人，只有对生产率作较大改变时才会使用这种方法；除非必须安排加班生产，简单地改变加班生产是比较经济的。当然，计划人员必须遵照总体计划的基本指导方针进行计划，总体计划中大概已经考虑了利用改变工作时间、使用加班生产和重新调整生产线（雇用和解雇工人）来改变生产率的相对费用。

总体计划确定了计划人员必须遵守的约束条件。因此，装配线调整问题不仅与生产系统的最初设计有关，而且与随后的生产经营有关，因为计划人员通过生产线的再调整来改变系统的基本小时生产率。例如，在汽车装配线上经常使用重新调整的方法来实现不同的小时生产率。

如果生产线的各个工序被设计成非常严格的形式，只能按照固定的生产率机械地运行，计划人员只能通过改变每阶段机械系统运行的小时数来改变该阶段的总输出。当然，设计严格的系统也是经常使用的。

二、详细进度计划过程

在制定总体计划时就已经对系统作了广义的基本优化，详细进度计划的主要问题是设计出尽可能符合总体计划的生产过程。根据配给不同类型和规格的产品综合生产能力的情况，通过一个重复过程制定一个初步计划，用来检查计划的细节是否符合总体计划的约束和其他可能的公司政策。

图 16—3 所示的示意图中涉及的第一个问题是关于总体计划要求的雇用水平的可能变化。这些改变将要对人力和设备进行重新调整。在复杂的装配线的情况下可以使用第十章中的方法和过程。根据前面的研究可知，在许多情况下生产能力的不同产出率都可能存在着人员编制的改变计划。在任何情况下，重新调整的过程中都将雇用和解雇具有特殊技能的员工，以确定处理结果是否符合总体计划。在为了反映生产能力和人力之间关系而仔细建立起来的总体计划模型中，可能需要对人力分配在计划的限制内进行调整。回顾一下我们关于生产线调整的研究，调整计划一定要针对全体员工，以使生产能力和费用的增加或减少阶梯式变化而不是随着人力变化而连续变化。

当利用重新调整人力的方案回答了雇用—解雇问题以后，这些信息将作为初步的设备的产品详细生产计划的输入。根据总体计划，由重新调整方案得出的新的基本生产率、生产力因素和公司与工会的工作条例以及对现行维修方案的认识，计划人员制定出一个以生产日计算的有关设备使用方面的产品详细分配方案，如果需要的话还包括对转包商的任务分配。然后重新检查处理结果，以确定加班时间、转包任务和库存水平是否符合总体计划的要求和公司—工会工作条例以及其他约束条件（例如维护方案）。结果将产生一个可行的详细进度计划，它将在最后确定的方案中增加额外的一段计划时间，也许是一周时间（见图 16—3）。

同时，根据由实际销售与预测销售对比得到的新信息，审查已经存在的确定方案，如果需要可能要对其进行修改。然后，增加最新信息并且去掉最近一周或最近阶段计划以更新保证产量的进度计划。

根据综合信息，计划人员可以制定出如图 16—3 最下端所示的两个或三个时间范围内的完整进度计划。在某些特定公司的例子中，上述处理过程的大部分都可以用计算机完成。我们还假设我们的技术水平在某些方面达到了把总体计划和详细进度计划组合成一个“优化搜索”模型，也许第十五章中

讨论的 SDR 法可以做到这一点。

第四节 系统的动态特性

现在让我们了解生产—分配系统下游活动对工厂经营方案的影响。为此让我们再次以图 16—2 所示的多阶段系统为例。虽然此图在许多方面对系统做了高度的理想化和简化，用这个模型来表示所讨论系统的一些重要的物资和信息流通过程仍是有效的。

对于补充仓库和填充销售渠道的产品供应的时间滞后特点，我们早已经非常熟悉。现在，更仔细地研究系统中的这种行为并且讨论它对于工厂进度安排的重要性，将是非常有价值的。系统的一般行为取决于对库存需求的阶段性调查和向上传递的下一阶段补充订单的准备和送达过程。

现在假设顾客需求比先前减少 10%。在下一次库存需求调查时，零售商利用发送给批发商的补充订单反映了这种减少趋势，但是需要 10 天时间，同样情况，批发商在发送给工厂仓库的下一个补充订单中反映了这种减少趋势，但是还要再过 20 天工厂仓库才能得知这一情况。因此，把信息系统中的所有时间延迟加在一起，工厂直到 35 天以后才能得知需求减少 10% 的情况。同时，工厂已经生产了新的顾客需求的 $1000 / 0.90$ 倍或 111% 的产品。在各个库存点每天将增加 11% 的额外库存量。系统库存将增加相当于正常日供应量的 $11\% \times 35 = 385\%$ 。

针对这种变化，零售商、批发商和工厂仓库将减少订货量，考虑到额外库存，工厂的减产量将大大超过 10%。现在我们可以看到，系统中时间延迟的影响是放大了顾客一级最初的 10% 改变，对于简单地减少了 10% 的顾客需求，在生产一级将发生较大变化，同时库存没有减少反而增加。显然，如果更直接地传递这种需求变化信息将会减小放大作用。

图 16—4 与图 16—1 说明的是同一系统，只是在系统结构中增加了更直接的信息反馈环，用来估计实际需求和预测下一阶段需求情况。收集实际需求和预测信息只需要 10 天，使总的时间延迟减少了 25 天。在这个系统中，销售减少 10% 的情况在工厂得知这一变化之前只会比正常水平增加 $11\% \times 10 = 110\%$ 的额外库存。显然，如图 16—3 所示预测与总体进度计划系统相结合将使结果更稳定。

一、动态模拟

我们可以通过动态研究的途径形象地说明时间延迟和系统结构变化的动态影响。图 16—5 表示的是与图 16—1 相似的生产—分配系统的结构，只是其中成品和信息流通的时间值与图 16—1 不同。其中实线代表物资流通，带小回圈的线代表信息流通。福莱斯特 (Forrester) 提出了一个关于此系统的动态计算机模拟模型，用它可以检验参数和系统组织结构的各种变化。我们将观察零售额增加 10% 时系统内各储存点库存水平和工厂产出量的情况。图 16—6 表明此模型的结果与我们对图 16—1 讨论得到的结果相似，库存和生产水平的反应不是简单地改变 10%。注意到系统内每阶段对需求变化的放大作用，经过了五个月的时间延迟后，工厂的实际产量达到峰值，与初始产量相比增加了 45%。这种放大和振荡现象是由于信息系统的时间延迟造成的。

如果我们能够利用施行更有效的程序或改变系统结构的方法来减少这些时间延迟将会发生什么情况呢？图 16—7 表示的是取消了整个批发商阶层后得到的结果。可以注意到系统反应与前面的情况相似，但是最大库存量明显

减少。工厂产量的最大增加量只有 26% 而不是 45%。（为了进行对比，图 16—7 中也包括了图 16—6 所示的旧的销售系统的工厂产量曲线。）

福莱斯特还研究了简单地改进信息在系统中的处理速度对最终结果的影响，他是把采购时间减少到原来值的 $1/3$ 来进行研究的。不过，这种影响是很小的。这表明系统结构的改进（如图 166 和图 16—7 中讨论的情况）比在原有结构上简单提高运行速度更能产生好的效果。

二、进度安排的系统动态特性

在工厂制定进度计划时利用零售一级的反馈信息，使系统能够在零售—顾客的级别上跟随销售情况的变化，这样做是非常必要的。它将简化多阶段生产—销售系统所固有的时间延迟信息系统。图 16—6 中所示的福莱斯特的研究表明，正是这种跟踪和信息反馈明显地稳定了系统中的振荡现象，其次，根据对需求变化的修匀和预先考虑而作出的预测对于稳定福莱斯特系统具有非常重要的影响。最后，如图 16—2 所示，一些总体计划系统与可能的修匀预测的结合将包括为了跟踪销售情况而提供信息反馈的全部特征，还包括一个修匀的预测，也将对预测和较长期的计划起到稳定作用。

第五节 生产控制

给出了由图 16—3 所示的计划过程得到的进度计划以后，设计一个信息系统为管理人员快速、准确地反馈与计划相对照的实际产量相对来说比较简单。当实际产量严重偏离计划时，管理人员通过对工作时间的日常调整来作出反应。如果实际情况与计划偏离较大，一般不能在短期完成调整，将以过大或过小的库存的形式作为下一个总体计划阶段的输入。

* * *

经营的计划和控制主要讨论最短的计划阶段内的问题。计划总产量在个别产品上如何分配？为满足产量要求应该如何分配人力和设备资源？如何安排单个工人的任务？

连续生产系统的总体计划是最直接和最简单的，为了执行改变劳动力规模的决策和满足新的生产率决策的要求，详细进度计划过程将对设备的人员配置进行重新调整。详细计划过程是在总体计划限制下的实验性解决办法。先在总体计划水平上进行优化，再在总体计划的约束下制定详细进度计划，这种两阶段计划过程存在次优化问题，从目前的研究状况出发，有希望建立可以使总体计划更详细的总体计划模型。

大量连续生产系统的进度计划问题需要把系统作为一个整体来考虑，并且它需要被设计成系统信息流通的一部分。福莱斯特指出需求变化对工厂的生产的影响最大，因为工厂处于系统的最上游，而且当需求变化的影响在系统中向上游传递时被不断放大。然而在生产工厂处的经营活动变化的费用是最贵的，涉及雇用、训练和解雇员工的大量费用。因此，为了稳定系统中的振荡现象，简化了正常的需求信息链的信息反馈环路是必不可少的。为了尽量避免出现需求变化后才作出反应的局面，需要对需求的季节性和趋势影响进行预测，这一工作也要在预测和总体计划中完成。

连续生产系统的经营控制相对简单，通过把实际产量的反馈信息与计划进行比较来控制。在给定的阶段内，控制行为只能使产量改变很小，较大的产量改变将留到下一个计划阶段内解决。

第十七章 间断生产系统的进度计划和控制

第十三章曾讲过，间断生产系统一般表现为三种形式：生产可储存产品的封闭加工车间，生产用户定货项目的开放加工车间，以及大型的一次性工程项目。因为两种加工车间在实物流动和管理方面的情况是相同的，所以，可以把它们详细的进度计划和作业管理合在一起考虑。至于有关大型工程项目的计划、进度安排和控制等专题，将在下一章内单独论述。

加工车间的进度计划问题，往往被认为是现存的进度计划中最复杂的问题。它的复杂性是由于，系统的特征要求实际的每件事都具有灵活性这样一个事实产生的，如部件和产品设计、经过系统的路线、采用的加工方法、加工时间等等。我们只有当把系统看作具有排队性质的网络，每件工作都依据概率分布的规定到达和离开某一个工作中心时，才能在对系统性质的认识上取得进步。然而，系统通常是很复杂的，以致于排队论的分析方法也会失效。因此，虽然在第四章描述的排队论分析的概念对于理解加工车间生产流程的特征非常有用，但是公式本身却不能提出解决问题的办法。可是，由于应用了大型电子计算机可以对一个复杂的排队网络进行模拟，第四章所讨论的蒙特卡罗（Monte Carlo）模拟法的一般原理是适用的，模拟法是研究加工车间进度计划的主要传统方法。

下面来详细讨论订货控制问题。

每张订单都被当作一个单位分别处理，所以加工车间的进度计划和控制系統常被称为“订单控制系统”。问题就在于要订出适应情况的计划、进度计划和管理手续，使车间内每张订单在某一时刻的加工次序、加工时间以及完工时间互不矛盾。为了控制一个订单控制系统中工作的流程，必须制订一些详细的计划，安排订单的进度，并按照某些决策规则把它分配给各个业务部门，最后要跟踪订单的进程，以保证进度计划的实现。

一、计划和车间单据

对于过去没有接触过的部件和产品的新订单，必须进行分析研究，以确定生产计划是什么，就是说，要做哪些工序，按照什么工序顺序，需要哪些专门的工具，以及设计的方法。在第七、八、十、十一和十二章中，这些活动的具体调节已讲到过。如果部件或产品是以前做过的，就可以重新利用标准的加工路线单。但这仅是所需要做的一部分准备工作。我们经常要作出车间订单、领料单、零件图纸、车间转移单、零件票鉴、工具单、移动票、退料票、工票和加工工作过程卡等各种单据。图 17—1 表示了这些计划和车间单据的流程。

二、订单进度计划

每张订单所需要的产品都可能不一样，但是由于部件和零件设计的标准化，却往往可以把不同产品的相同零件和组装件的订单合并在一起来实现，从而实现经济效益。交叉分类表、“戈津托（Gozinto）表”（组装表）和数学的技术方法都可以把这些零件和部件的结构划分出来。表 17—1 是一个交叉分类表，它表明进入组装线和最终产品的部件和组装件的数目。根据它就能计算出所有最终产品所需要的部件和组装件，从而取得由制造和采购的经济批量所带来的经济利益。

在编制某一个装配产品的装配进度计划时，必须按照进度表的一般原理，从最终产品要求的完成日期向前安排。进度表的基本结构是组装、装配、零件制造、材料采购等，并与时间相联系。图 17—2 是安排一个组装产品的进度计划图表的例子。进度表表明，在开始接到顾客的订单以后，在计划安排、材料准备、零件制造、组装和总装配等各个阶段必须完成的时间进度，这样能够按预定日期将最终产品装运出厂。

表 17-1 交叉分类表，它显示在组装和最后装配中，通用的零件和组装件的数量

零件或组 装件号码	组装号码								装配号码							
	SA-	SA-	SA-	SA-	SA-	SA-	SA-	SA-	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8
	1	2	3	4	5	6	7	8								
1	1	1			1				1							
2	1		1							1						
3				1			1	1				1				
4			4							1						
5	1		1		1								1		2	
SA-1									1	1					1	
SA-2										1						
SA-3											2					
SA-4												1				
SA-5												1				
SA-6									1			1			1	
SA-7												1				
SA-8											1		1			

对于一个复杂的产品来说，如飞机、导弹或复杂的电子元器件，运用这种图表是非常必要的。对于复杂的工程产品来说，完成工程设计也必须有一定时间。确定了最后组装产品所需的时间，我们就能确定装配的完成时间。确定了装配的时间以后，就能依次确定购买和生产部件的完成日期。在每一个阶段上，确定这种所需的时间时，必须计算加工时间、移动时间和工序间的间隔时间。这些同工艺顺序相反的估算时间要求，就决定为了按期完工，必须在什么时候开始生产，在什么时候提出外购材料和零部件的订单。实际的部件、装配和最终产品的进度计划，就是每一个阶段上的生产和组装的完成日期。

甘特图及其后来发展的相应图有助于安排有关生产进度。这些图表根据进度表检查生产进度、各部门和各机台的工作负荷以及设备和人力可用的有效程度。计划及与计划相应的实际进度的时间都在表上标明。

可供利用的甘特图表有好几种。图 17—3 是一个“甘特工程项目计划图表”。它可以用于制定详细的计划，用以实现最终目标。图 17—3 代表了一个生产一种组装产品的计划，为的是使装配所需要的部件完全符合图 17—2 所示的时间要求。需要注意的是，最后的组装被安排在 3 月 26 日那一周里开始，而这期间各个装配的单位还没有被完成。此后，装配一经完成就被送到总装的车间中去。可见，如果与装配有关的部件制造也采用同样的平行交叉

方法，那么，总装的进度时间无疑地会缩短更多。

这个工程的总体进度安排，在一定程度上取决于人、机器以及材料的使用情况。因此，甘特图表的基本原理，也可以用于处理这方面的问题。图 17—4 是某些机器的一个甘特负荷表，这些机器可以生产出组装需用各种零部件。这个表表明这些机器各月的计划总负荷量，以及未完成的累计工作量。从图 17—5 可看到更详尽的细节，它显示出每台机器上订单的进度计划，以及每个订单所规定的时间。这被称为“甘特布置图表”或“甘特机器时间保留计划图表”，可以一目了然地看到每个订单的工作过程，也可以制订出材料或工人类似的图表。

必须对这些图表加以维持，以使它们成为计划、进度安排和控制有效的工具，如果采用纸和铅笔来绘制如图 17—3、17—4、17—5 那样的图表，那么，对它们进行维持的工作量是非常大的。例如，为了应付一个新的急件订货而修改甘特布置图，全部程序可能就得重新安排。这就是为什么机械图板能够发展起来的一个原因。它们可以通过移动木钉或卡片夹迅速地修改。

就算使用了机械图板，维持的问题也还是存在的，尤其在大型复杂的装置中更是如此，结果常常使我们不再尝试用图表进行严密的控制。电子计算机和现代化的计划方法在将来的作用会非常大。如果用手工的方法编制由图表代表的最好的进度计划，那么，往往可以选择数目非常多的计划，而选择最优的进度计划是一个不断尝试的过程。装置一台高速电子计算机，可以迅速地进行试验。

是否有必要保持负荷记录，取决于我们进行的加工接近充分负荷的程度。在工作负荷不足时，通常忽视了负荷记录，因为在系统里，毕竟还有很多空闲时间。只要与总进度计划保持同步，就不会遇到大的困难。在这些情况下，订单的进度计划就可以通过简单地定出动工日期和完工日期来制订。当然，这种作法并不能完全避免某些机器由于简单的发生事件而超额安排。

通常要对关键机器或被称为“瓶颈”工序的负荷做记录，但并不记录全部机器的负荷。它是基于这样一种假定的：如果关键机器或瓶颈的负荷限额是合适的话，任何进度计划对于其他机器的安排，也就可能不会出什么问题。

三、调度工作的判定规则

要使工件及时完成交货的生产主管人员常常把每一工序的开始日期和结束日期当作一种简单的优先判定规则。每个加工班组的工作负荷是由排队等候的加工号数量或车间订单号数量来表示的。如果按照最早交货日期最先开工的优先规则，那么，就必须不断地变动和重新安排某些加工号的顺序，来调整安插刚从其他工作中心转移过来而具有更早交货日期的订单。这样做并不是非常困难，但是人们却可能有很多牢骚。难道这些优先决策规则比起其他某些规则来说会更有效吗？“先来先做”是不是所有最简单的规则中一种比较好的呢？

我们可能说明加工车间经营管理中总的问题，即在制品库存成本、人工成本、厂房设备所需资本成本，以及为了符合特定的订单完工日期而支出的有关成本之间进行平衡的问题。如果要高度利用人工和机器，就必须要有大量的订单，才能使人工和设备闲置较少。结果就使较高的在制品库存在库存中所占比例较多而不好安排工作进度。

如果我们要不遗余力地去实现订单交货日期的要求，就要有大量的设备

和劳动力，这样才能在一般情况下使订单都无需等待。这样做会降低在制品库存费用，但是另一方面机器和劳动力的利用率却很差。在一个复杂的系统中，要平衡这些费用是一个极为困难的问题。因而，系统模拟作为一个测试可选择决策规则的方法，已越来越受到了人们的重视。在工厂中测试各种优先决策规则，是很费时的一种活动，而且也会由于经常地从一个决策规则转移到另一个决策规则而使工厂的业务活动遭到破坏。

早期对调度工作的判定规则进行模拟的，是罗（Rowe）在通用电气公司里拟订出来的。利用了罗的工作成果，国际商用机器公司开发出了一个概括的模拟程序，他们把它称为“加工车间模拟装置”。这个程序模拟系统的输入特征方面来说，是灵活的，它已在通用电气公司、休斯飞机公司、威斯汀豪斯电气公司和其他一些公司中运用得颇有成效。图 17—6 表示了加工车间模拟装置的一般特征。

“休斯飞机公司”在该公司的埃尔·塞很多工厂的经营管理中运用了国际商用机器公司的加工车间模拟装置，并做了某些修改。这些修改使它有可能直接从随机取数档案中得到订单的输入数据，连同其他供模拟装置使用的输入数据一起，转换为符合模拟要求的形式。勒格朗德用埃尔·塞很多加工车间模拟方法对六种调度工作的判定规则进行了研究测试。根据六种判定规则的每一种来轮流对这个模拟车间进行管理，并按照我们将提出讨论的某些评价标准来对它们的结果进行衡量，可以评价六种不同规则的效果的优劣。研究中运用如下规则：

1. “每工序加工时间最少”或称“工时最短”原则（Shortest Operation Time）：这个规则是在机组前排队等候的加工工作中，选择加工时间最少的那一件（准备时间和加工时间）作为下一个加工工件。

2. “工序的闲置时间最少”，或称为待加工工序动态富余时间（ D_s / RD ）原则：要进行加工的下一个订单，取决于该订单总的剩余时间（即交货日期减去目前日期），减去该订单的待加工时间，再除以待加工的工序数。最后得到的时间最少的这个订单，就是下一个加工工件。

3. “先来先做（FCFS）”原则：这个规则按照订单到达机组的先后顺序把订单排列起来，根据这一顺序中的前一个订货确定要加工的下一个订单。



图 17-6 加工车间模拟装置的一般特征

4. “计划动工最早（MINSD）”原则，根据这个规则，下一个订单是当前工序中计划动工时间最早的订单。这是理论上的工序开始时间，它已由进度

计划程序事先计算出来。

5. “订单到期日期最早”原则：或称“先到期先做（FISFS）”：这个规则的根据是按订单到期日期排队，计划交货日期最早的，就最先做。

6. “随机选择（RAND）原则：这个规则并没有什么特别的优先权。下一个要加工的订单要从全部在机组前排队等待的订单中随机地选取。

在对各种不同模拟类型进行评价时，采用如下的标准：

1. 完成的订单数；
2. 延迟完成的订单所占的百分比；
3. 订单完成额分布的平均数；
4. 订单完成额分布的标准偏差；
5. 在车间中等待加工的订单的平均数；
6. 订单的平均等待时间；
7. 订单排队的每年成本负担；
8. 等待期间库存占用的费用与加工时间库存占用费用的比例；
9. 工时利用率；
10. 机器生产能力利用率。

图 17—7 表示在六种判定规则下订单完成额的分布。用同一个标准来衡量，“工时最短”的规则（sOT）得到的结果最好。正如勒格朗德所指出的，由于加权不同，例如如果重点在于订单的如期交货方面，那么，情况将表明“待加工工序动态富余时间最少”的规则（DS / RO）作为判断规则是较好的。如果管理部门强调的是如期完工，那么那些以交货期为重点的规则，就将取得显著的效果。卡罗尔 [5] 测试了这六个规则，他按照等待时间的成本 C 与工序加工时间 t 之比（即 C / t，或称 COV — EPT）的大小顺序把订单排列

调度规则	计划动 工最早	先来先做	先到期先做	动态富余 时间最少	随机选择	工时最短
提前完成百分比	54	57	63	68	65	71
如期完成百分比	6	5	5	12	5	5
延迟完成百分比	44	38	32	20	30	24
完成额的平均数 （日数）	3.0	3.6	4.2	4.2	5.2	6.6
标准偏差（日数）	9.2	10	8.2	8.2	10.4	9.9
完成订单总数	3118	3190	3484	3217	3117	3708

下来，以 C / t 最大者作为规则。与经过试验的其他的五个规则相比，这个 COV — ERT 规则在促进如期完工方面极为有效，图 17—8 中说明了这一点。

四、追踪订单的进程

遗憾的是，我们不可能预测到原来计划中存在的缺陷。机器可能会出现故障，工作可能堆积在某些关键机器的后面，许多其他生产中的难题可能会不被预料地发生，这些都会干扰原先的进度计划的实现。一个车间，当前有着数百件乃至数千件的订单，确保订单最终符合进度计划要求的唯一方法，就是提供信息反馈，而且构建能弥补延误的纠正措施系统。交回的工票、转

移通知和检查报告等的填报都能提供正式信息，并与进度计划相比较。然而，这种信息流动必须迅速，以便根据最新的报表采取措施，这样才能使其真正有价值。公司一般的通讯系统流动速度太慢，不能适应生产控制系统的要求。所以，一般都采用专门的通讯系统，如特种邮件、内部通讯联络系统、与公司总部直接联系的电传打字电报机、气动管道传递系统。以及与自动计算机系统直接联系的远距离数据收集中心。利用这些系统与快速数据处理方法，就能编制出各种进度报告，根据这些报告分配工作和重新安排订单进度。

五、计算机化的计划、进度计划和控制系统

如前所述，由于加工车间计划工作、进度计划安排以及控制的复杂性，也由于维持像甘特图这样图表方法的困难性，使以电子计算机为基础的系统得以运用。装置在休斯飞机公司里的这样一个系统是有其特殊意义的，因为它把车间负荷的预测、每日进度的模拟、遥远资料的收集，以及一系列的报表，在一个以计算机为基础的系统里都包含了。

1. 休斯加工车间控制系统

配备了这个系统的休斯工厂有大约 1000 台(个)机器和(或)工作中心，划分为 120 个(台)工作中心或职能机器。这些工作中心分配有 400 个直接工人。在任何时间，都大约有二三千份订单正在加工，每个订单平均要经过七道工序。每个订单平均总共要加工两个半小时，一个订单平均周期时间是三到四周。

系统的总体情况如图 17—9 所示。根据工程设计拟订出加工过程规划，并得到要进行的加工作业的主要数据、工时定额和车间内部流动时间标准。把这些数据资料存放在计算机的磁盘存储器里。当一份制造要求通知单从产品装配的一个部门送来时，就把一份制造订单传送给数据加工部门，从这个部门开始准备填写车间制造订单，并在已开工订单的主存储器内给出一个加工订单，还建立一组加工件主卡片，他们与订单一起经过车间。这些单据然后都被送到一个控制制造订单的前期分发中心，从这里订单被分送到加工车间。然后，在各个机组上一起使用加工件主卡片就和塑料的工件位置卡，来配合远程数据收集装置，一天结束以后，一条纸带电传条，录有当天所进行的订单的全部行动，可以修订当天订单的进度，并在已开工订单的主存储器内注明已完成的工序。主存储器修正的数据并以此为基础记录加工订单的所有信息。这就是系统的核心，它产生三个文件：每周车间负荷预测、每天订单进度报告，以及临时订单观察日报。

每天定单进度报告和临时订单观察日报是由加工车间模拟调度员填报的。车间工长和派工员在车间的机组根据这些报告安排每天的订单顺序。模拟调度员要模拟车间里的一个班的活动，并制订两种日报的一项单独的日常工作业务。要运用与富余时间有关的优先调度规则安排模拟调度进度。

有关休斯系统的工作成效报告表明，以计算机为基础的整体化系统已有了关键性的进步。例如，在运行的最初 6 个月里，按期完工的订单数目增长了 10%。订单周转时间平均缩短了一周，这样就显著地减少了在制品库存，并提高了劳力和机器的利用率。新系统由于用在监督工人上的工作量已减轻了 60%，所以似乎解除了我们所说的组织上的紧迫感和压力。临时订单的完成需要加快，这时为了保证对加工的每一个阶段都能给予特别的重视，要指定专门人员来处理。

2. 西方电气公司的相互作用系统

运用分时计算机能力的显著发展，使加工车间进度计划问题的解决有了光明的前景。戈丁和琼斯研究发展了相互作用的进度计划系统，它运用电传打字电报机，或使用终端机，把生产主管人员或程序进度员安排在一个用计算机程序的回路中。调度员利用计算机程序制订和（或）改变某个进度计划。从许多决策规则中做出选择，由此产生各进度计划，这些规则包括接受或拒绝订单的规则，安排订单先后顺序的规则，决定加班时间的规则，等等。进度计划就是在测试各种可能性的组合效果基础上，模拟各种供选择的安排法及其效果而制订出来的。

戈丁和琼斯在西方电气公司一个绕线车间小范围地运用了相互作用的进度计划的原理。在制造出的 200 种不同类型的线圈中，约有 65 种是在所有时候都要加工的，每种类型通常都有三四个不同的订单在同时生产着。第一种类型的绕线机有 20 部，第二种类型的绕线机有两部，工人数有 20 到 35 名，每天两班或三班倒换，根据车间负荷量大小来决定。

由于技巧上存在差距，并不是所有的工作人员都能绕制各种类型的线圈，不同的操作人员和线圈类型的组合，使以一定标准衡量的工作成效差别相当大。同样地，有些机器不能用来绕制某些类型的线圈。生产主管人员必须把按时交货的要求与有利于促进生产效率的其他因素进行权衡，以便使分配给工人和机器的任务彼此相协调。

这个系统由一个主要的程序和 23 个子程序组成。为了通过电传打字机终端与程序保持联系，设计了一种简便的沟通语言。按下某个键就表示了一段完整的指示。例如，当按下带有“负荷”字样的键时，计算机就把它理解为一种把绕线车间的工作负荷量打印出来的要求。

在对进度计划进行安排时，生产主管人员一般要考虑七个方面的因素：

- （1）工人的技术熟练水平；
- （2）产品的技术要求；
- （3）机器的生产能力；
- （4）可用的工人、机器和材料；
- （5）数量；
- （6）完工日期；
- （7）机器的现有准备时间。

计算机程序能够模拟车间进度计划，使主管人员能够检测各种可选择的分配任务的方案，并且尽量地预测将来可能出现的情况，我们随时可以得到关于系统运行状况的各种报告，诸如车间现状、工人和机器的工作情况记录、按定额工时计算的负荷量，等等。

* * *

作业的进度计划和控制，重点在于最短的计划工作时期。例如，应当怎样将计划的总生产额分配给各个产品？应当怎样调度人力和机器资源以适合要求？每个工作所分配的任务应该怎样确定？

间断生产系统的作业进度计划和控制非常复杂，因为每个订单都必须经过一系列的单个作业。交叉分类表、进度计划图表和甘特图表都是能帮助我们吧非常复杂的编制进度计划的问题形象化和简单化的工具。

排列订单顺序一直是工作中心的一个需要进行大量研究的问题；确定某些管理目标以后，就可以具体规定调度工作的优先判定规则。勒格朗德对于

调度工作的优先判定规则的研究表明，由于对不同评价标准的着重不同，会产生很大的影响，在这种情况下，判定规则是特别重要的。当着重于按期交货的评价标准时，某些以到期日期为考虑出发点的判定规则，就发挥了很大的作用。

建立在计算机基础之上的计划、进度计划及控制的综合系统，如休斯系统，使大型加工车间有可能进行有效的管理。然而，以计算机为基础的系统在较小的加工车间中也有所发展，因为小型车间问题的性质和复杂性，就其所需的信息、进度计划和控制系统而言，似乎和较大车间的问题几乎难分伯仲。小型车间和大型车间对这种系统能力的要求，其差别之外似乎主要在于所需系统的规模方面。最后，计算机的分时操作，以及类似于西方电气公司的相互作用进度计划系统的理论的发展，似乎适合于小型车间也很理想。

第十八章 大规模工程项目的计划、进度安排和控制

人们对宇宙空间和建筑业的研究日益深入，对它们大型的一次性工程项目也越来越重视，这就使第八章中所讲的计划方法不完全适用了。虽然装配图和作业过程卡对于详细具体的研究工作仍不失为一种有效的工具，它能明确地指出我们正从事研究的、许多需要详细分析细节的项目。但是对大型工程项目来说，则需要具有完全不同形式的计划方法。例如，第八章图 8—4 电容器作业过程卡所表示的整个制造过程，可概述为以下问题：“必须在什么时候这些电容器与制造计算机部件的装配相衔接？”或者电容器的生产完全在另一个问题中概括，即：“必须在什么时候进行引导计算机的试验，并作为一个整体装入制导系统？”在这个问题中根本不予考虑电容器部件的制造，因为很可能通过制订分包合同而将其制造的详细计划交给其他单位去做。

整个项目的核心在于，用大的框图来计划重大的活动，并密切注视它们的必要的衔接，以便实现整体最终目标。必须在其他活动结束后才能进行哪些活动？能够相对独立的进行哪些活动，或者同其他活动并行？我们将会发现，这些计划重点在于安排所需的基本顺序和前后进度。

必须在计划时把“必须做什么”和进度计划两者结合在一起进行。这是这种一次性大型工程项目的固有性质的要求。这两者是相互依存的，大型工程项目的计划包括了整个项目的资源配置计划。为了实现这个计划，我们必须确定所需要的活动、各项活动的完成时间和相互联系，必须拟定人力和其他资源的进度计划的方案，也要确定上述各项对按期完成整个项目的进度的结合。通常，项目完成日期是合同的一部分，将惩罚误期。因此，工程项目的复杂性和一次性，就要求有计划协调，它包括所需的活动、进度计划和资源分配。这种工程项目的高度复杂性要求使用专门的方法；网络计划技术就是适应这一需要而发展起来的。

网络计划技术的术语一直不统一。最早的两个说法是：计划评审法（PERT）和关键线路法（CPM）。后来演变出很多不同的名称，但指的都是同样的基本方法。采用的其他名称有：关键线路进度表（CPS），最低费用估算和进度表（LES），微计划评审法（Micro—PERT），一次性计划评审法（1—time—PERT），PERT / 费用及 PEP。

PERT / CPM 技术沿用了如此众多的名称，至少足以说明计划评审法或关键线路法（PERT / CPM）已经受到了一定程度的重视。

第一节 网络计划的起源

网络计划技术似乎是在两个独立的不同部门发展起来的。关键线路法（CPM）作为杜邦公司的一种内部计划方法，曾用于化工厂维修工程的计划与管理，进而被广泛应用于工程工作的许多方面。几乎与此同时，美国海军也努力寻找一种计划和控制北极星导弹的方法。试想要对约 3000 个订立合同的单位进行计划和控制，工作量该会有多么巨大！其结果是出现了计划评审法（PERT）。由下列事情可以说明关键线路法和计划评审法的直接效果。在路易斯维尔工厂，杜邦公司由于应用它们的方法于维修工程项目，结果使维修时间从 125 小时减少为 78 小时；计划评审法之所以享有盛名，是由于它把原先估计的完成北极星导弹的工程和研制规划缩短了两年时间。

计划评审法和关键路线法尽管在细节上有些区别，但它们所采用的原理大体相同。首先，如最早发展的那样，计划评审法根据的原理是：通过获得的活动网络（如图 18—1 所示）用概率方法产生出概率活动时间和概率的项目完成时间。而关键线路法则假定活动时间是确定的。实际上，不论是概率的还是肯定的模型，在上述两种方法中都同样地适用。事实上，目前大多数计划评审法在应用时都已减少了概率的活动时间的使用，而采用较简单的肯定的估计时间。这两种方法的第二个差别在于制定箭头图的一些细节方面。在下面的讨论中，我们将更清楚地指出概率——肯定型的不同点以及箭头图的不同点。

在下面章节中，我们将首先讲述计划评审法，然后再说明它和关键线路法的区别。

第二节 PERT 计划方法

在计划评审法中，计划工作的重点是以制定一种各项必要活动的网络表示法为基础，如图 18—1 中 (b) 所示。在 18—1 的 (b) 中，用箭头表示所需的活动，用字母来编号，并估计出执行时间，标在箭头附近。在网络计划中，箭头的长度一般没有意义（其理由在以后再讲）。编了号码的圆圈表示活动的开始点和终点，称为“事件”或“节点”。箭头的方向指出流向，如节点 2 标出活动 A 结束和活动 B、C 与 D 开始；节点 3 表示活动 B 结束。于是网络也就表示出所有活动之间的优先关系，例如，活动 B、C 与 D 要等到活动 A 结束之后才能开始，但活动 B、C 与 D 可以同时并行。

图 18—1 (a)，18—1 (b) 和 18—1 (c) 都是表示同一个计划。毫无疑问，图 18—1 (a) 的指示图容易较形象化地表示出固定的时间关系，但这种指示图表实际上并没表示出有关优先顺序的所有重要的信息。这种指示图表确实可以表示出每个活动开始和结束的最早时间，但是却不能表示出每个活动开始和结束的最迟时间，这个最迟时间是保证该活动的完成不致延误后续活动的及时开始所必需的时间。

然而，需要注意的是，图 18—1 (c) 中“有时间依据的网络”表示了这种信息。图中，实线的长度代表预计的活动时间，虚线代表进度计划中的时差。例如，可以看到：活动 S 需要一个单位时间，它早在 $t=9$ 时就可开始，但为了保证按规定的最后时间 $t=11$ 时完成，它的开始时间不必要早于 $t=10$ 。如果活动 S 在 $t=10$ 和 $t=11$ 之间的任何时间内都能完成，它的后续活动 V 就可以按时开始；也可以看到：活动 V 取决于 S 和 T 两个活动的完成。其起始时时差。但要注意的是：其他一些活动也可以利用一些或全部的时间。例如，如果活动 J 延迟了一个单位时间，实际它并未造成严重的后果，因为活动 N、Q 和 U 都可以向后推迟一个单位时间，这样就利用了活动 U 所有的一个单位的时差。但是如果其中某一项活动利用了三个单位的时差，那么其后继活动就成为关键；也就是说，他们都必须按照它们的最迟事件时间开始和结束，否则整个项目就要停止，同时也不能保证项目按期完工。

现在，我们集中精力看一下图 18—1 (c) 所表示的以时间为根据的网络中活动 A—C—I—M—P—T—V—W 的顺序。这些活动由实线连接，标示为“关键线路”。在进度安排中，这些活动中的任一个活动都没有时差，它们也不能像 J、N 和 Q 利用 U 的部分或全部时差那样可以去借用其他活动的时差。这组活动形成了一条贯穿网络的关键线路。这条关键线路上的每一项活动都必须按时开始和结束，这样才能使整个项目按规定时间在 $t=14$ 时完成。关键线路是贯穿整个网络中，时间最长的那条线路。

网络计划以简明的形式包容了大量的信息，包括：所需的各项活动，它们之间的先后关系以及进度安排中的时差。根据这个基本的网络计划，我们就能方便地计算出关于最早和最晚的完成时间、活动进度安排中的可利用的时差以及关键线路等方面的重要信息。一般他说，多数网络计划是如图 18—1 (b) 表示的那样，而不是以时间为根据的网络计划。道理很简单，整个系统是以计算机为基础的，如果各项活动和它们的优先关系是已定的，计算机的标准程序就能够为每个活动提供安排进度的信息（最早的和最迟的开始时间和结束时间，以及可利用的时差），并算出在关键线路上有哪些活动。因此，正如我们在前面所讲的那样，网络计划中箭头的长度并不需要有什么意

义，因为网络本身对于计算其他重要的进度安排数据来说，只是输入的一种数据而已。当然，如果感到有必要用图示方法表明进度安排，也可以用计算机输出的资料制订有时间进度的网络。

我们再一次提请大家注意的是，一组活动的相互依存性、项目完成日期的重要性，以及项目的一次性，所有这些要求必须紧密地把计划规定应该做哪些活动和它们的进度安排结合在一起。有关人力和其他资源使用的计划，我们将在充分讨论了网络计划方法以后，在下面章节再加以讨论，这一方面也有同等重要的意义。

在讨论完计划评审法（PERT）的概论后，我们举一个较简单的例子——造房子，来进一步讨论对一个项目应用网络表示的方法。绘制网络图的阶段一般可以分为三个阶段：活动的分析；绘制箭头图；节点的标号。

1. 活动的分析

这一阶段在职能上可以比拟为一个生产工程师或生产计划人员在为所制零部件和产品规定工序、工作方法以及工夹具时所做的工作。但是，对于大型工程项目来说，由于项目的组成部分和所需的活动数目非常多，使这项工作极其复杂，以致可能造成对某些活动的忽视。因此，在使用专职计划人员的同时，还往往要召集包括管理和经营人员参加的讨论会，在会议上讨论和产生出部分活动项目表。整个进程的结果是得出一张如表 18—1 那样的活动表，表明建造一栋房子需要的基本活动。

2. 绘制箭头图

这项工作需要确定各项活动之间的优先关系，而且必须要以一张完整的、经过审核和批准的活动表为依据。箭头图所需要的主要信息，可以从以下三个问题中得到：

- （1）在每一项已定的活动开始之前，必须先完成哪些活动？
- （2）可以同时进行哪些活动？
- （3）在其他已定活动之后要立即进行哪些活动？

方法很简单，就是按照活动表向前倒推，如表 18—1 中建造房子的工程项目表示的那样，为每一项活动推出其紧前的作业。在表中还标示了每项活动预期所用的正常时间，其实在这一工作中还不需要使用这一资料。这样，箭头图就可以绘制出来了，可以表示出表 18—1 中所表明的逻辑的优先顺序。

表 18-1 指明活动顺序和所需时间的程序卡

作业号	作业内容	前道作业	时间 (天)
a	开始		0
b	开挖和砌筑地基	a	4
c	灌注混凝土基地	b	2
d	架设木架包括粗作屋面	c	4
e	砌砖	d	6
f	铺设排水管和管道	e	1
g	灌筑地面	f	2
h	粗作管道	f	3
i	接暗线	d	2
j	安装取暖与通风设备	d,g	4
k	贴灰泥板与粉刷 (包括干燥)	i,j,h	10
l	铺设加工好的地板	k	3
m	安装厨房设施	l	1
n	完成管道安装	l	2
o	完成木工	l	3
p	完成屋面加工与作泛水	e	2
q	固定天沟与落水管	p	1
r	铺设暴雨排水管	c	1
s	砂平地板和油漆	o,t	2
t	油漆	m,n	3
u	完成电工作业	t	1
v	完成土地平整	q,r	2
w	铺走道和庭园布置	v	5
x	完工	s,u,w	0

3. 虚活动

在应用箭头图正确地表示实际优先顺序时，要特别注意。例如，请看一下紧前活动 S (平地板和油漆) 和活动 U (完成电工作业) 的前道作业。活动 S 有两个紧前作业 o (完成木工作业) 和 t (油漆)，而活动 u 的紧前作业只有一个 t。但是在图 18—2 (a) 中并没有正确地体现出上述情况代表的关系，因为它表示的 u 的开始要取决于 o 与 t 两道作业，而这是不对的。为了正确地表示这种情况，我们必须借助于完工时间为零的“虚”活动。图 18—2 中 (b) 反映的就是这种情况。完成电工作业 u，现在仅仅取决于油漆作业 t 的完成。但是，利用虚活动时，活动 S (砂平地板和油漆) 必须在完成木工和油漆两道作业之后才能展开。这一虚活动提供了逻辑上的先后顺序，但是由于它的完成时间为零，所以它并不会改变任何进度安排上的关系，这一点以后还会提到。

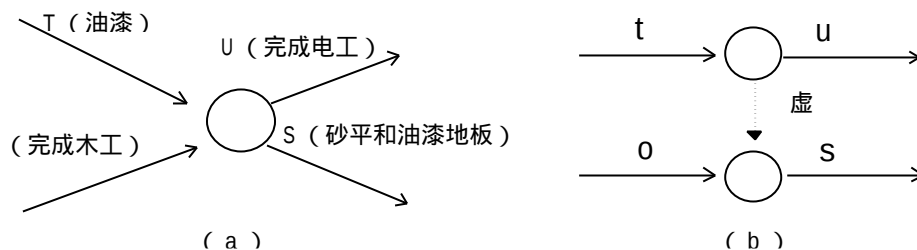


图 18-2 (a)图没有正确地反映优先关系，因为实际上仅取决于 t 的 u 作业，在这里似乎取决于 t 和 o 两道作业的完成。

(b)以虚活动构成了两个节点，从而为活动 s 与 u 两者都提供了恰当的前道作业。

应用虚活动的另一方面，是给那些不容混淆的活动提供一个明确而独立的开始或结束的事件或节点。例如，分析表 18—1 中活动 l 、 m 和 n 、 t 之间的相互关系。活动 l (铺设加工好的地板) 必须在活动 m (安装厨房设施) 和活动 n (完成管道安装) 之前完成。但是一活动 m 和 n 又是活动 t (油漆作业) 的前道作业。因此，图 18—3 中 (a) 表示了它们之间有效的正确关系。但是，运用图 18—3 中 (a) 不可能用先行和后继作业来识别每项活动，因为活动 m 和 n 都是以同样的节点号码开始和结束的。这一点对于应用计算机程序来做出网络图表的大规模网络来说，是非常重要的。编制程序的计算机总是应用一对节点号码来识别每项活动，运用如图 18—3 中 (b) 表示的虚活动来解决问题，因为虚活动要求的时间为零，活动之间职能上的关系保持不变，但是现在 m 和 n 两项活动都用不同节点号码的组合来表示。

图 18—4 表示了房屋建造工程项目的完整的箭头图。各项活动都标有用天表示的完成所需时间，所有的节点都编上了号，并且标示出关键线路。当然，在这里还用不上活动时间，在构造图表时不一定要用；我们还没有解释怎样去确定关键线路。但是，活动的时间对于产生进度安排的数据、确定关键线路以及拟订资源分配的各种可选择方案，具有十分重要的意义。

4. 节点编号

图 18—4 中节点的编号是用一种特殊的方法来做出的。如果我们用其尾号 (i) 和首号 (j) 来分析每一项活动，那么我们为每项活动制订的编号都必须使 i 始终小于 j ，即 $i < j$ 。每个箭头的编号都是累加的，在网络中不允许出现反向。这种有关节点编号的规定，在计算机程序中可以有效地发展逻辑网络关系并避免出现循环或者闭环。

如果某项活动在时间上出现反向，那么就会产生闭环现象。这在图 18—5 中表示出来，图 18—5 只是简单地把图 18—3 (b) 中 n 活动的走向反过来。这种循环现象会由于简单的错误引起；或者是由于在制订活动计划时企图在进入下一活动之前使某一活动重复地进行而产生。重复进行一项活动必须用另外的单独的活动来表示。在一个闭环中如果计算机程序不能用专门程序内在地检查和识别循环，那么它就会产生无穷尽的循环。因此，构造正确的网络图的特点之一就是：它必须是非循环的。

一、关键线路的安排

有了一个正确的箭头图，为每项活动和整个项目进度表确定重要数据，

就变得简单了。对我们来说有兴趣的数据是：所有活动

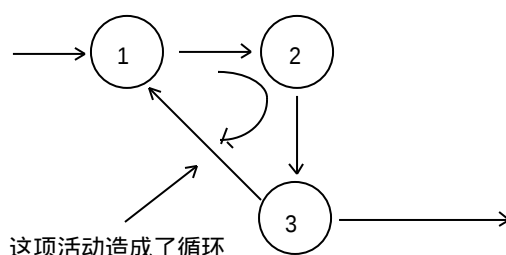


图 18-5 网络图中闭环或循环的例子

的最早和最迟的开始和结束时间，可利用的时差，以及整个网络的关键线路。

最早的开始和结束时间——如果我们把整个项目的开始时间设定为零，那么每一个活动相对于项目的开始时间都有一个最早的开始时间（ES）。它是假定在所有的前道工作都在它们的最早开始时间开始时，某项活动开始的最早可能时间。这样，对于这项活动来说，它的最早结束时间（EF）就是简单地等于最早开始时间加上活动时间。

最迟的开始和结束时间——现在，让我们假定有一个完成工程项目的目标时间，以建造房屋为例，是最早结束时间之后的 3 天，或 37 天。这就是项目的最迟结束时间（LF），也就是最后一项活动 X 的最迟结束时间。最迟开始时间就是为了保证目标和进度计划的完成前提下，某项活动开始的最迟时间。因此，最后一项活动 X 的最迟开始时间就等于最迟结束时间减去活动时间。由于最后一项活动所需的活动时间为零，所以， $LS = LF$ 。

可以用现存的计算机程序自动地计算这些进度数据，需要输入的数据是：各项活动，它们执行所需的时间，以及由箭头头尾的 ij 编号所建立起来的优先关系。计算机的输出就像表 18—2 那样，它表明了所有活动的进度统计资料，在全工程项目的完成时间中允许有 3 天的时差。需要注意的是，所有标有“*”号的关键活动，它们的进度安排中有 3 天的时差。其他的各项活动的时差更多。

表 18-2 计算机输出进度统计资料和建造房屋主要路线

主要 路线	顺 i	序 j	活动内容摘要	活动时 间(天)	开始 最早最迟	结束 最早最迟	时 差		
*	1	2	a 开始	0	0	3	0	3	
*	2	3	b 开挖和筑基脚	4	0	3	4	7	3
*	3	4	c 灌混凝土基础	2	0	7	6	9	3
*	4	5	d 架木架, 包括粗作屋面	4	4	9	10	13	3
	5	6	e 砌砖	6	6	21	16	27	3
	4	7	f 敷设排水管与管道	1	10	10	7	11	11
	7	8	g 灌筑地面	2	6	11	9	13	4
	7	9	h 粗作管道	3	7	14	10	17	4
	5	9	i 接暗线	2	7	15	12	17	7
*	5	8	虚活动 I	0	10	13	10	13	5
*	8	9	j 安装取暖与通风设施	4	10	13	14	17	3
*	9	10	k 贴灰泥板与粉刷(包括干燥)	10	14	17	24	27	3
*	10	11	l 铺设加工好的地板	3	24	27	27	30	3
	11	12	m 安装厨房设施	1	27	31	28	32	4
	12	13	虚活动 II	0	28	32	28	32	4
*	11	13	n 安装室内管道	2	27	30	29	32	3
	11	17	o 完成木工	3	27	32	30	35	5
	6	15	p 最后加工屋面与作泛水	2	16	27	18	29	11
	15	16	q 固定天沟与落水管	1	18	29	19	30	11
	4	16	r 敷设暴雨排水管	1	6	29	7	30	23
*	14	17	虚活动 III	0	32	35	32	35	3
*	17	19	s 砂平地板和油漆	2	32	35	34	37	3
*	13	14	t 油漆	3	29	32	32	35	3
	14	19	u 完成电工作业	1	32	36	33	37	4
	16	18	v 最后平整土地	2	19	30	21	32	11
	18	19	w 铺走道和庭园布置	5	21	32	26	37	11
*	19	20	x 完工	0	34	37	34	37	3

注：示例工程项目和各项主要活动的时差为 3 天

在关键线路上存在虚活动 和 ，因为它们的活动时间为零，它们的作用只是形成正确的优先关系，进度安排中时差很简单，就是计算得出的最早和最迟的开始时间之差（LS—ES），或者等于最早与最迟的结束时间之差（LF—EF）。

实际上，在整个网络中从起始到结束贯通的线路有 22 条。最短的线路是 a—6—C—r—v—w—X，需要 14 天，最长的线路是 a—b—c—d—j—k—l—n—t—s—x，需要 34 天。在这个小问题中，我们可以计算出各种可选择的线路，以便找出最长的线路。但是，由于关键线路可以方便地从它自身有用的进度统计资料中得出，所以这样做是无益的。

进度资料的手工运算这对于小型网络来说是个恰当的方法，有助于表现出进度统计的意义。根据图 18—6，我们可以按以下的做法来手工计算 ES 和

EF :

1. 把 ES 和 EF 所表示的项目开始时间值标在接近起始活动箭头的地方。见图 18—6 所示。我们假定一些相对值, 就像在表 18—2 中计算机输出所做的那样, 于是 0 被置于起始活动的 ES 和 EF 处。(要注意的是: 在 PERT 中不需要包括活动时间为 0 的起始活动。它却包括在图 18—8 表示的用对应的 CPM 方法对上述相应的一系列活动构成的例子中, 在 CPM 方法中, 往往都需要起始和结束的活动。)

2. 考虑其他新的未标注的活动(这项活动的前道活动均已标好 ES 和 EF), 在这道新活动的 ES 处标上紧前活动 EF 位置上的最大数字。这个数字就是这项新活动的 ES 时间。对图 18—6 中的 b 活动而言, 由于它的前道活动 EF 时间为 0, 所以其 ES 时间也等于 0。

3. 在 ES 值上加上该项活动的活动时间, 这一结果即 EF 时间, 将其标在相应的地方。对活动 b 来说, 就是: $ES + 4 = 4$ 。

4. 依此类推, 直至“结束”活动。如表 18—2 所示, 关键线路的时间是 34 天, 所以对结束活动来说, $ES = EF = 34$ 。

为了计算 LS 和 LF, 我们需要从结束活动开始, 沿着网络向前倒推。我们已经说过, 项目的计划完工时间是 EF 时间以后的 3 天, 或者说是 37 天。因此, 如果整个项目的计划完成时间没有延迟的话, 结束活动的 LF 就等于 37 天。同样地, 结束活动的 LS 时间等于 LF 减去活动时间。由于结束活动的活动时间为 0, 所以 $LS = LF$ 。根据图 18—7, 我们可以按如下步骤来计算 LS 和 LF:

1. 根据图 18—6 所提供的信息, 在结束活动附近的相应位置分别标上 LS 和 LF 的值。

2. 考虑其他未标示的新活动(该活动的后继活动都已经确定), 在该项新活动的 LF 位置上标上其最近的后继活动的最小 LS 时间。换句话说, 一项活动的 LF 时间等于该项活动紧前活动的最早 LS 时间。

3. 从这个数字中减去活动时间就得到 LS 时间。

4. 在图中继续由后往前推算, 直到得出整个网络图中所有的 LS 与 LF 时间。图 18—7 表示出计算的过程, 从终结活动开始向前推算了若干个活动。

如前所述, 一项活动进度计划中的时差就是在保证不延迟整个项目完工时间的前提下, 可以超出 ES 的最大延迟时间。由于关键活动是那些处在关键线路上的活动, 所以这些活动的时差必定最少。如果项目完工日期与等于结束活动的 LF 时间, 那么所有的关键活动的时差都为 0。可是, 如果项目完工日期比结束活动的 EF 时间要晚, 如建造房屋这项工程中为 3 天, 那么所有的关键活动都具有与此时间相位差数相等的时差。手工计算时差很简单, 它等于 LS 减 ES , 或 LF 减 EF 。

二、PERT / CPM——箭头图的差别

我们一直在用 PERT 箭头图来说明网络的方法。关键线路法所构成的网络系统比较简便, 它用节点表示活动, 箭头只表示项目中各项活动的顺序。关键的优点在于, 在正确地反映各项活动的先后顺序时, 不需要引入虚活动。图 18—8 表示了房屋建造工程的关键线路法网络, 可以同图 18—4 所示的相应的 PERT 网络相比较。确定最早和最迟的开始与结束时间和时差的分析方法, 与上述方法一致。这两种系统的最后结果, 就是计算所得的进度统计资

料。由于这些数据资料都是可得的，并且由于两种方法的整个过程一般都可计算机化，所以对这两种方法的选择的标准就可能是现有计算机程序的可靠性和适用性，或者仅仅是各人爱好不同而

第三节 概率的网络方法

既然估计的活动时间都被假定为某个期望值，所以我们至今所讨论的网络方法都可以看作肯定型的。但这一事实并没有被承认，即：平均的或预期的活动时间是可能发生值分布的平均值。肯定性的方法假定，期望的时间实际就是所用的时间。

概率的网络方法的假定却正相反，更实际，在这里活动的时间都用概率的分布来表示。有了这样一种活动网络的基本模型，就有可能得到对管理决策非常重要的其他数据。这些数据有助于评价有关下述问题的计划决策：例如，活动 A 可能在 1 月 10 日以后完成的概率是多少？活动转化为关键活动并对工程完工期产生影响的概率是多少？按已定的完工日期实现工程项目的概率是多少？不实现合同日期而付经济赔偿的风险有多大？以这些问题为基础作出的计划决策本身，会包括为获得较满意的计划需将人力或其他资源在各项活动间进行分配和再分配。因此，一个具有额外保证的“突击”进度计划，被证实能够确保某些活动的按时完成。这种所需的额外资源往往从非关键活动或那些转化为关键活动的概率比较小的活动中取得。

虽然概率方法原来是作为计划评审法的一部分发展起来的，但下面讨论的内容同样适用于计划评审法的或关键线路法的基本模型。活动时间的概率分布是以每项活动的三项时间估计为依据的。

1. 乐观时间

乐观时间 a ，是指在顺利情况下完成一项活动的最短可能时间。它是这样的假设为依据的：完成该项活动的时间比乐观时间更短的可能性不超过 1%。

2. 保守时间

保守时间 b ，是指在不顺利情况下（除非受到自然力的影响）完成一项活动的最长时间。它是这样的假设为依据的：完成该项活动的时间比保守时间更长的可能性不超过 1%。

3. 最可能时间

最可能时间 m ，是活动时间分布的模型值。

图 18—9 表示了这三种时间估测与一项活动完成时间分布的关系。用计算方法把这三种时间估测简化为取平均值或期望值 t_e ，使它在实际的计算程序中得到了应用。期望值也用于肯定型中计算进度资料。图 18—9 中例子的分布只说明了一种情况。实际上，时间分布可以是对称的，也可以向左倾斜或向右倾斜。

常用模型假定 t_e ，是 B 分布的平均值。平均值的估算和分布的方差可计算如下：

$$\bar{X} = \frac{1}{6}[A + 4M + B]$$

$$S^2 = \left[\frac{1}{6}(B - A)\right]^2$$

这里 A、B 和 M 分别是 a 、 b 和 m 的估计值， $\bar{X}$ 和 S^2 则是平均值（ t_e ）和方差（ σ^2 ）的估计值。

有了概率模型，我们可以看到，一项看来似乎非关键的活动有可能成为关键活动。这种情况可能由于所讨论的某项活动执行时间上的拖延、也可能

由于那些已处于关键线路上的执行时间短的活动而发生。这是原订进度计划要改变的预示。当得到实际工作进展情况的数据资料以后，就有必要改变资料的分配，以适应最近安排的关键活动。所以，一个有效的进度计划需要有快速的信息反馈，并能快速地重新在计划的执行和控制过程中加以修订。

第四节 资源的分配

已知了活动网络、关键线路和计算进度表的统计资料，我们就有了一个工程项目的计划。但是，这是不是个好计划呢？我们可以从数据中，抽取出一些关于需用较早的资源情况的其他数据。利用某些活动的时差和项目完成日期上的时差为我们提供的计划进度上的灵活性，我们能找到不同的进度计划方案，然后把重要的资源与负荷平衡情况相比较。

对计划草案的评价也可以从活动费用的角度进行。要注意的是，最初估计的活动时间是以资源分配的某种负荷水平为依据的。那么能否通过投入更多资源或更少资源来改变活动时间呢？用这种方法可以直接地影响一些活动的活动时间。例如，增加工匠通常会缩短建造房屋的时间，在我们的那个建造房屋的例子中，这是一项关键的活动。把更多的人力投入到架木架上，并对有 11 天时差的非关键的砌砖工作减少其资源分配，这样做值得吗？不同方案其费用有何不同？缩短关键线路是否有利呢？应用“最低费用法”来检查这些是有意义的。

最后，在有些时候，我们会遇到供应上受限制的关键资源的需求问题。如果在计划进度安排上把唯一的挖土机同时分配给两个地方使用，那这个计划草案实际上不可行。因此，必须从切实安排有限资源这一角度来审查计划方案，并利用存在的时差，为了确保计划的切实可行而不得不延长工程项目。

一、负荷平衡

为什么要进行负荷平衡，在一个已实行的进度计划中不作负荷平衡的代价是什么？在以下一个炼油厂的大修工程项目的例子中，存在着我们所涉及问题的某些因素。在拟订了原始计划之后，运行一系列的计算机来检查炼油厂工程项目的人力需要。经首次运行中，发现计划安排上在开始的 4 小时需要 50 个锅炉工，接下来的 6 小时需要 35 个锅炉工，再接下来的时间内需要 35 个锅炉工。同样，其他工种的需要量也各不相同。把这种不均衡用工折成费用，首先是总工的损失。

例如，炼油厂工程项目的开始 10 小时内，50 名锅炉工可能的生产时间是 $50 \times 4 \text{ 小时} + 20 \times 6 \text{ 小时} = 320 \text{ 小时}$ 。同样，很难给剩下的 30 名锅炉工安排 8 小时工作日中空闲的工时，因此，项目的开始 10 个小时中支付工资 $50 \times 8 + 20 \times 2 = 440 \text{ 小时}$ ，其中总工工时为 120 个，图 18—10 表示出平衡后的人力分配；我们可以看到仍然多少遗留着这类问题。与不均衡用工有关的其他费用还包括周期较长的工程项目发生的雇用和解雇费用。负荷平衡的目的在于减少总工费用、雇工和解雇费用，以及任何其他资源的费用如设备租赁费用，这些都是由于需求不均衡而引起的。

对于大型和复杂的工程项目来说，需要以计算机为基础的负荷平衡模型。一般运用模拟的方法来寻找问题的解决方案。最初的解决方案可以是最早开始的进度表；并且，第一次的试平衡可以使所涉及的资源的最大需用量低于原订计划的最高值。应按箭头图来进行模拟程序，全部活动都从节点：开始，注意始终掌握住已占用的与可供使用的资源。随着日程的推进和活动的完成，资源逐渐返回“备用库”；当开始新活动时，再从“备用库”中提取资源。模拟活动一直进行，直到一项活动所需的资源全部被占用。在模拟者的决策准则下，活动可以延迟，甚至超过其最迟的开始时间，一直要等到

资源可用。其他的决策准则是“冲击”非关键活动和给那些已达到最迟开始时间的被延误的工作重新分配资源。通过这种模拟程序而不断降低所受资源的限制，平衡一直进行，直到资源合理分配为止，这就是平衡的效果。戴维斯(Davis)在他的著作中概述了工程项目网络模型中的各种严密的资源分配方法；德威特(De-witte)、利维(Levy)、汤普森(Thompson)和威特斯(Wiest)对各种专门的资源平衡模型有所发展。

二、最低费用法

最低费用法的概念是以图 18—11 的费用与活动时间曲线为根据的。不同的活动由于资源分配上的变化产生的反应不同，也有些活动可能对资源的变化没有任何反应。图 18—11 中(a)适用于我们前面讨论过的类似构架房屋的活动，在这里，费用从赶进度、正常进度到进度缓慢依次递减。类似于图 18—11 中(b)的曲线，其缓慢的进度要比正常进度费用更高，这种情况一般发生在使用贫乏的资源、进度放慢时导致采用低效率的方法。这种费用上的权衡可能部分地是由于不同活动具有不同的费用—时间特性。富尔克森(Fulkerson)和凯利(Kelly)已创立的最低费用法已成形，它采用的是线性规划模型，假设赶进度和正常进度两点间为一直线从而使费用—时间函数理想化。整个的工程费用是作为线性活动费用函数之和；通过线性规划的计算方法来使这一整体工程费用函数达到最低的。

三、有限资源

威斯特(Wiest)已经创立了一个称为 SPAR(资源分配进度程序)的有限资源的模型。

SPAR 是一种有限资源的开发式进度模型，主要用于处理一个具有 1200 个单项资源活动、500 个事件、12 个工厂、历时 300 天的工程项目。这种模型集中于可利用的资源、把这些资源按计划时期依次分配给按最早开始时间顺序排列的各项活动。其中最关键的工作排在最前面的可能性最大，具有资源保证的许多作业也优先安排入进度表。如果某项活动在某一时期内没有被安排入进度表，那么就要设法将其安排在下一时期。到最后，所有被延迟了的作业都成为关键的作业，并且逐渐在有效活动进度表中向前面排。

第五节 网络方法在应用上的困难

威斯特把 SPAR 程序应用于一项需要大量工程活动、包括 5 种不同专业的工程技术人员和 300 项活动的空间飞船工程项目。图 18—12 表示该计划的全部人员负荷卡。图中的无限制资源线取自于常用的计划评审法（PERT）进度表，所有活动在这个进度表中都按最早开始时间排。图中的有限制资源线则取自于 SPAR 进度表，在这个进度表中对人员负荷的需求大大减少了。工程项目的整体时间缩短了 5 个月，雇用人员减少了 30%，这都是由于采用了 SPAR 进度表。

网络方法在管理上的应用还存在着一些困难。首先，在三种时间的估测方面，常常出现这种情况：乐观时间和保守时间只是一种猜测或者是随便地从最大可能时间加减而得到的。这么做的结果就是使国防部在大多数合约中不再使用概率方法。

其他的困难就很明显了，由于时间上常常出现滞后现象，使报告活动的进展状况和重新安排最近的进展表变得困难。其结果必然是由于主管人员丧失信心而不重视现有的进展表。最终解决这种问题，要应用以计算机为基础的报告和控制系统。

* * *

网络计划技术采用了一种很特别的形式，特别是关键线路的概念。负荷平衡、最低费用法和有限资源的安排，这些相互联系的概念给工程项目的管理提供了合理的依据，使之建立在安排周密、考虑全面的计划上。这种计划的产生可以说是从几个典型方案中分析得出来的，它们的基础是计算机，因而可用于庞大的系统，而且仍具有灵活性，因此可以适应实际情况的改变。

有趣的是，PERT 和关键线路法是在两种不同的环境下各自独立发展起来的，得到的方法却基本相同，但它们的产生却有着各自不同的背景。关键线路法是在维修工作中发展起来的，这些工作应用了大量的实际经验，而其活动时间相对来说也是已知的。因此关键线路法是作为一种肯定的模型发展起来的。而 PERT 是在一种研究和探索的环境中发展起来的，在这里活动时间具有很大的不肯定性。结果就产生了不肯定性（概率性）的模型。

第十九章 质量控制

“质量”是什么意思？对于一个制造商来说，质量是指一种特定的性质。所以，质量的确立、保持和控制，就要涉及质量的标准以及对于保持和实现既定标准来说必须的衡量和控制。这些标准可以是特定的尺度，原材料的化学组成，硬度，强度，表面光洁度等，或者一些更主观的因素，如油漆面的皱裂、产品的伤痕和其他可能影响产品外观的缺点等。既定的标准最好是为低质量商品确立的标准。

第一节 质量控制的四个阶段

质量控制包括：确定满足市场要求的的质量的政策制订阶段；制定实现预期销售目标的各个质量规格的工程设计阶段；生产阶段，控制原材料的采购和生产，这对于实现既定的政策和设计规格来说是必要的；使用阶段，凡是产品的安装会影响其成品质量的地方，或者对产品的质量和性能要作出有效保证的地方，都要进行控制。图 19—1 是表示这四个阶段及其存在的相互关系的示意图。

一、产品政策和质量

有关质量的基本政策必须要由企业中的高层主管部门来决定，因为它们与企业的关于目的、方针以及重点的最基本的决策紧密相联，这些政策的决定一定要建立在对市场的估计和不同质量水平的产品在市场销售潜力基础之上。这些政策关系到消费者怎样衡量产品质量的问题。是以产品的外观和艺术造型来衡量的？还是从产品的耐用性、可靠性和寿命等方面来衡量的，生产费用和所需的设备投资对于某一特定产品的这些质量指标的反应如何？因此，在市场潜力的前提下，能从所生产的各种质量水平上预期得到多少“投资收益”？在某一特定的行业中，不同质量水平的竞争情况如何？这些以及其他一些考虑可能会决定一个企业的目标市场。不论如何，企业的目标在产品中要作为设计质量水平基本点，在生产系统中要作为设计生产能力的基础。

二、质量和产品设计

生产产品的详细规格都由产品设计者制定，他们决定所要使用的原材料，以及他们的规格、尺寸、公差、产品生产能力和维修条件。当然，在这里，设计什么样的规格、生产什么样的产品和生产成本如何，这三者是相互影响的。因而，正如图 19—1 所示，质量设计、产品生产设计和生产系统本身的设计所形成复杂的过程，各个方面都程度不同地相互影响（参看第七章中有关“产品设计”的论述）。这些标准就成为在生产和分配阶段进行质量控制的基础。

三、制造过程的质量控制

实际上，制造过程的质量控制就是大多数人们所知道的“质量控制”。其实，制造过程的质量控制可以描述为三个重要的阶段。这三个阶段主要指：（1）购入原材料质量的检验和控制；（2）制造中的产品检验和控制；（3）对产品性能的检验和测试。在这三个阶段中，一些广为人知的检验和统计质量控制技术得到了最大程度的应用。我们将在以后的章节中详细地论述这些技术方法。

然而，在这里我们要认识到，制造过程的质量控制的目标在于通过测量原材料、部件和成品的特性并把测量结果与规定的标准相比较，以达到质量标准的要求，这样，我们就能：（1）决定接收或拒绝；（2）根据反馈信息改进操作。这样，采用的方法可以通过成品验收和抽样检验，找出那些不符合或接近不符合标准的部分。另一方面，通过工序控制来判断进行测量的工序在什么时候有可能失去控制，以便在废品损失非常高之前及时地提出应该

采取的改进措施。最后，可以从各种检验和生产作业中得到反馈信息，如图

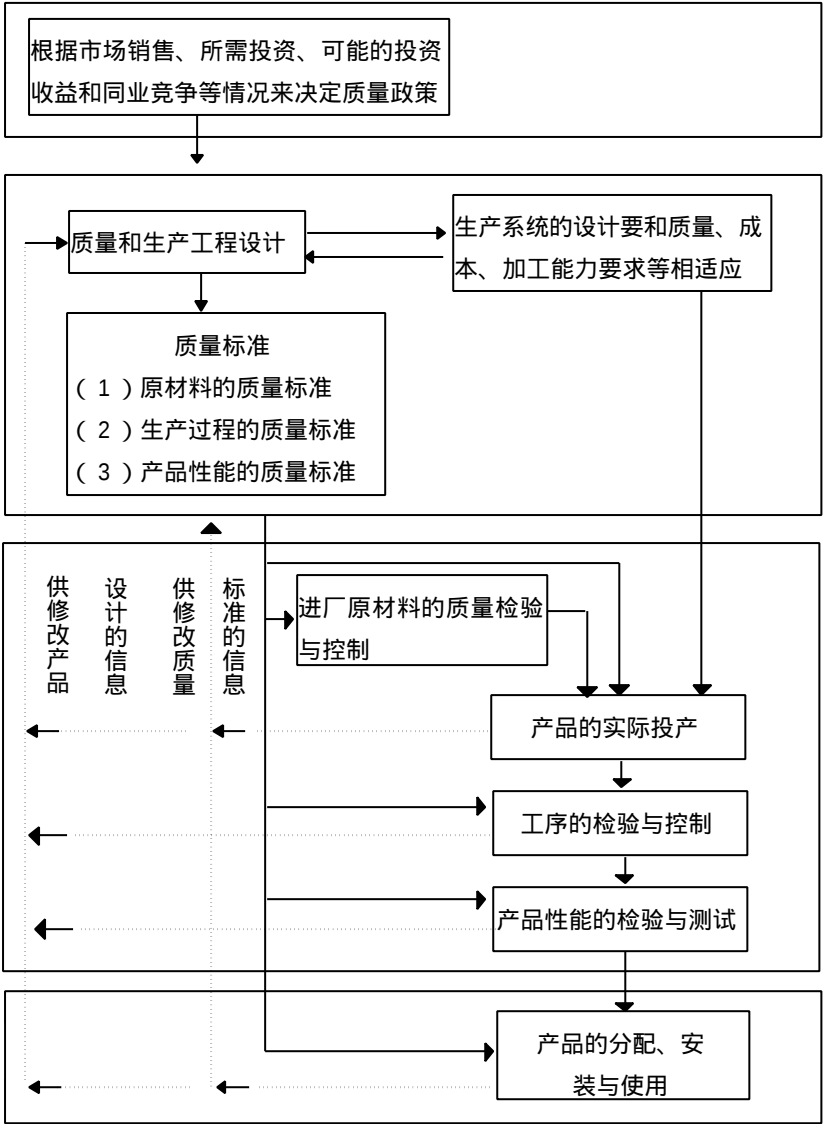


图 19-1 在产品计划、生产和分配全过程中质量控制的作用示意图

19—1 所示，为修订质量标准和修订产品设计提供数据资料。

四、分配、安装和使用中的质量控制

在一个企业中，质量控制的整体概念，不只停留于拟定政策方针、设计产品质量标准的工程或为制造过程建立控制。质量控制必须要深入到分配、安装和使用的各个环节。对于最后消费者来说，质量不是政策指导，也不是由工程师怎么设计，它只是手上的这种产品的总体性能。一个设计完好、设计精良的产品在运输中可能会受到一些损害，也可能安装得不好，从而对质量造成影响，所以，对于大多数产品来说，控制的过程要深入到这些相关的环节，并应当把这些环节看成是生产过程的一个组成部分。

实际上，我们如果采用广义的作业控制的观点，就一定要把分配、安装等这些“生产之后”的过程当作质量管理的总程序的一部分。最后，即便是

最理想的设计，最优控制的生产工序，也会放过一些不合格品。所以，归根到底，只有实施保证质量的政策，才能确定最终消费者是否对产品的质量表示满意。

五、组织起来，保证质量

至今我们的讨论说明了一个事实：“保证质量，人人有责”，这句常说的口号，确实是有道理的。无论如何，一个企业的各级部门都与产品的质量有关，不管是从政策的制定、产品设计概念、生产系统的设计、产品本身来说，还是从分配上来说，都是如此。图 19—1 用图解方式表示质量管理几个主要部分的相互关系，目的在使人们注意质量管理职能作用的普遍性。显然，要想组织起来，提高质量，就必须有某一个自上而下的全面协调的质量计划。一个企业应该有专门人员对质量问题负全面责任，以便协调图 19—1 所示的、也是我们一直所说的各个环节的质量目标。这就意味着这个负责的人员在企业的组织结构中应该占有相当高的地位。但由于在不同的企业、不同的产品中，质量管理这一职能的重要性不同，所以，负责质量人员在组织结构中的确切地位、权力和作用就必然由于企业的不同而不同。

然而，对于所有企业，质量管理职能的全面观点可能都是重要的。在一个质量起决定性作用的企业中，我们会发现质量控制的负责人员要向副总经理汇报工作。而在有些组织中，由于产品、市场、行业等方面的特点，质量控制的重要性不大，那么也许把协调质量的任务交付给某一直线组织的主管人员。但是，在企业经营目标和政策范围内，为了对质量进行有效的控制，在上述两种情况下，不论怎样，都应充分认识质量管理职能的全面概念。

第二节 生产中的质量管理

我们必须区分检验与质量管理的不同，检验包括规定测量质量特性的方法，并比较测得的数值和质量标准。显然，用这种方法可以区分合格品和不合格品，但是它不采取任何纠正措施。质量管理则要经常提出这样的问题：什么时候检验，检验多少次，每次检验多少个等。一旦发现废品，质量管理就要查明原因，并采取纠正措施，以便防止产生更多的废品。概率论在质量管理中非常重要，一方面是根据它来制订控制出厂质量的抽样验收方案，另一方面是用它来编制经常监视关键机床或工序的控制图。

一、判断因素

在生产领域中，变化不仅仅是一种例外现象，而且是测量量度的特征。现在我们必须认识到的是：我们实际观察到的某些变化，有些是测量的误差，而 EG，主观判断在测量过程中起着主要的作用。人们为了证实这种现象，曾经用过许多方法，作过多种试验，例如，有一家公司，为了考察检验员的检验一致性，预先在一堆已知的合格品中掺入了 50 个已知的不合格品，然后依照正常的送检程序送去检验。不知底细的检验员只查出了 39 个不合格品。把含有其他 11 件不合格品的产品堆再送到检验员那里检验，结果又只发现了 9 件不合格品。第 3 次查出了 1 个，以后连续检验多次，但始终没有查出最后 1 个。最终由顾客找出来了。

既然检验人员具有高质量的精密量具，而且都受过使用这些量具的训练。怎么还会出现这种现象呢？原因在于：在使用这些精密量具的时候，运用了某些主观判断，特别当遇到一些难以确定的情况时，就更是如此。熟练的技工把使用精密千分尺和量规时的判断因素称为“感觉”。例如，用精密千分尺测量一个工件，旋转测量轴使轴的端面和工作接触，而密接的程度却要靠“感觉”决定。“感觉”不一样，读数也不一样，两者差别很大。

劳什（Lawshe）和蒂芬（Tiffin）为了把这种判断因素的重要作用记录下来，进行了有 245 名有经验的检验员参加的有安排的测量表演测验。规定每人用他自己平时所用的量具，测量一件已知尺寸大小的标准零件，每个使用的量具都规定有测量精确度。例如，用：英寸游标千分尺测量时可能有 ± 0.0001 英寸的误差。图 19—2 是使用量具达不到规定标准的检验人员的百分比图。测验的结果很让人吃惊。从全部测量的平均水平来看，绝大多数检验员使用量具达不到量具的精度标准。对个别量具来说，结果更差劲。看来，读数的精确性同年龄的大小、在公司中工作经验的多少和从事检验工作时间的长短等都没太大关系。显然，这类测量所要求的判断量比一般想象的还要大。

二、控制的种类

一般来说，质量控制的方式有两种：首先，控制加工零件的实际生产过程，即在生产进行中，一有需要就立即调整或纠正，其目的在于防止大量的废品的产生。当然，这种方法是统计控制图的一种直接应用。

其次，从检验的角度控制出厂产品的质量，以保证不放过平均在某个百分比以上的废品出厂。这一方法假设在部件和成品都已制造出来之后，要建立一定程序和决策规则以保证出厂质量水平

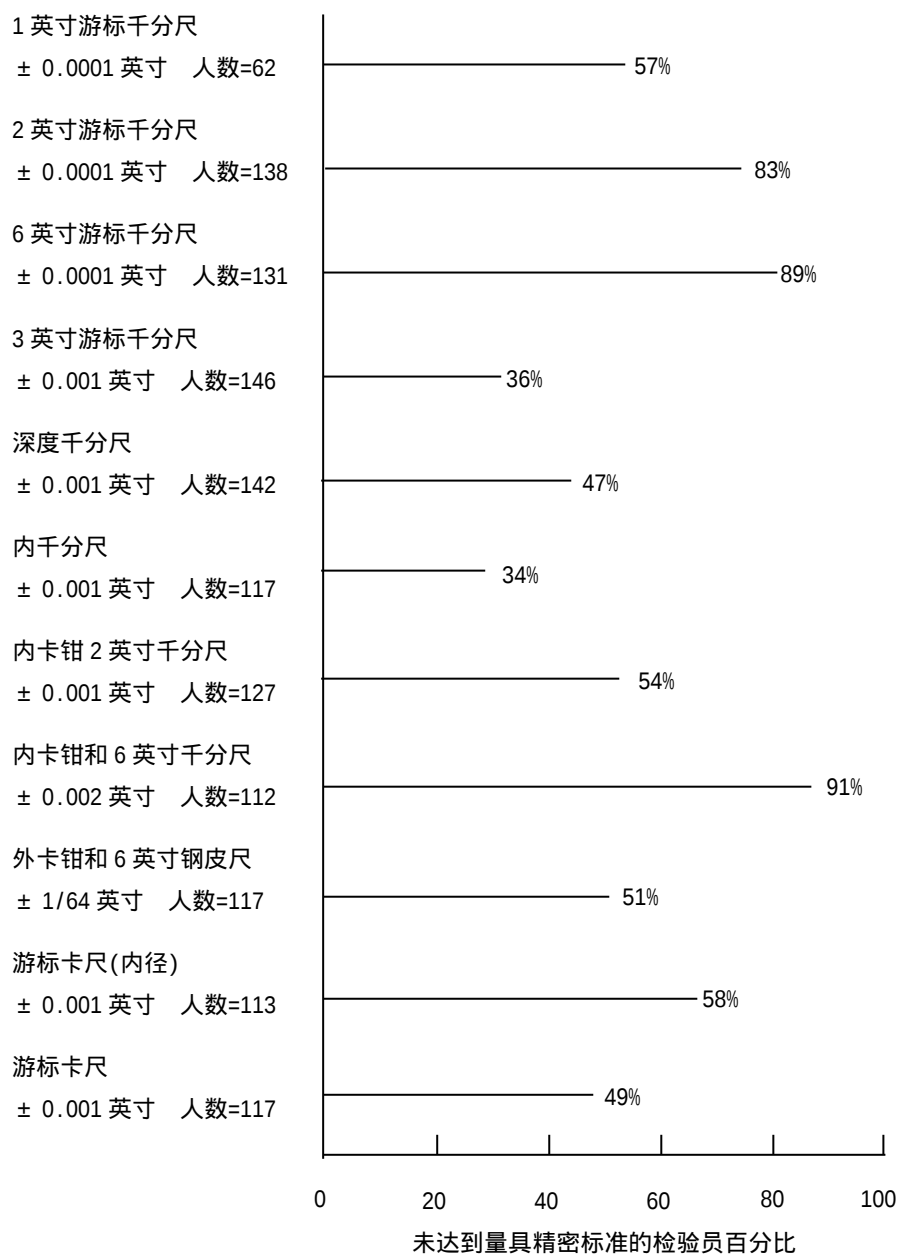


图 19-2 精密测量的精确度研究结果

符合于、或高于规定的要求。这样的一整套方法被称为“抽样验收”。

抽样验收的最简单的作法是，从整批产品 N 件中随机抽取数量为 n 的样本，然后根据这个样本决定接收整批产品与否。如果样本表明需要不接收整批产品，那么就或者要进行 100% 的检验，把不合格品找出来，或者就把整批产品退回给原供应者（卖方或本企业的另一个部门）。这种抽样验收方法在下述情况下应用较合适：一是要求我们只是把合格品和不合格品区分开来（计数型抽样验收）；一是要求进行某种实际测量，以表示产品的合格程度（计量型抽样验收）。

控制图的目的是控制生产过程的质量。抽样验收的目的则是控制产品生产出来后质量能否达到一定检验标准。

一般来说，抽样验收在下列情况中很适用：

1. 放过不合格品不会造成太大的损失，而检验却需较高的费用。在这种情况下，可酌情采用抽样验收。

2. 检验对产品可能造成破坏。例如，必须把产品拉断，才能定出产品强度。在这种情况下，就有必要运用抽样检验的方法来决定是否接收整批产品了。

3. 任何进一步的翻动，都可能产生不合格品，或者是在精神上的疲乏或在体力上的疲劳成为检验工作中的重要因素时。在这两种情况下，用抽样检验的方法实际上可能比全部检验放过的不合格品还少，而且费用更小。

第三节 计数型抽样验收

计数型抽样验收的检验过程，可概括为对合格品和不合格品的简单区分。如果要检验的是长、宽、高等尺寸，就常常使用如图 19—3 所示的具有“能否通过”特性的测量内外径或长度的块规或塞规。如果要检验的是油漆涂面或其他一些外观属性，也要采取两分法，即也把它们分成合格品和不合格品。在这些情况下，计数型抽样验收都运用某些规则把产品分为合格品和不合格品两类。使用的统计方法以二项分布 (the binomial distribution) 或普拉松 (Poisson) 分布为基础 (这些分布和其他分布在特定情况下的适用性，超过了本书讨论的范围)。

一、抽检特征 (OC) 曲线

为了使一个特定的抽样方案具体化，我们就要定出随机样本数 n 和样本中允许的不合格品数 C ，即超过此数时该整批产品就被拒收的不合格品数 (即合格判定数)。以 n 和 c 的一定组合而形成的 OC 曲线，就表示这个方案对区分整批的合格和不合格的判定能力的大小。图 19—4 是一个抽样方案的 OC 曲线，样本数 $n = 50$ ，合格判定数 $C = 1$ 。这个图表示的是按一批产品的各种不同数值的不合格率，这批产品能被接收的概率。例如，如果产品实际质量是 2%，则 $n = 50$ 的样本，使整批接收的概率是 73%，整批拒收的概率是 27%，换言之，从随机抽取样本中发现零或一个不合格品的概率为 73%，而发现超过一个不合格品的概率只有 27%。但要注意，如果实际的整批产品质量的不合格率比 2% 还要高，比如说是 5%，则整批产品的接收概率急剧下降到约 27%，这也是我们在制订抽样方案时想要得到的情况。如果实际质量好，接收概率就应该高；如果实际质量差，接收概率就应该低。因此，OC 曲线表示一个已定方案的判别能力。

正如我们想象的那样，一个抽样方案判别力的大小，主要取决于样本的规模。图 19—5 表示样本数为 100、200、300 的 OC 曲线图，合格判定数与样本数保证同样的比例。要注意的是，随着样本数目增多，这三条 OC 线一条比一条陡峭。如果比较图中三个抽样方案所表示的判别力，我们会看到，当不合格率为 0.7% 左右时，三个方案的整批接收概率都是 83% 左右 (即三条曲线的近似交叉点)。可是，如果实际质量下降到不合格率为 3%，那么 $n = 100$ 的方案接收概率约为 20%； $n = 200$ ，约为 6%； $n = 300$ ，则小于 1%。可见，样本数目大的方案，判别力肯定比较有效。

1. 如果只有合格判定数 c 变动

OC 曲线会发生什么变动呢？图 19—6 表示一个样本 $n = 50$ ，合格判定数 $c = 0、1、2、3$ 的 OC 曲线图。要注意，结果基本是改变 OC 曲线的水平。合格判定数变小，使方案更加“严格”，也就是说，提高了出厂产品的质量水平。

一个能够完全区分合格品和不合格品的抽样方案的 OC 曲线就是一条垂直线，就像图 19—5 的虚线那样。不合格品率在虚线以左的所有各批的接收概率都是 100%；不合格品率在虚线以右的各批的接收概率都是 0。令人遗憾的是，具有这样判断力的方案只有一个，那就是全数检验的方案。因此，采用抽样验收的合理性的关键就在于检验费用和放过不合格品所带来的可能费用二者之间的权衡。

通过使抽样方案具有更大的差别力（增大样本数目），或者使方案更加严格（减少合格判定数），我们就能达到我们所要的任何出厂质量水平，但代价是检验费用的增加。而增加的检验量，又会使放过不合格品的可能费用减少；在某一个点上，这两方面的费用之和增加量达到最小值。这个最小值点在一定情况下确定了最经济的抽检方案点。

简单他说，为了证实全数检验是合理的，那么由于放过不合格品而造成的可能损失就要大于检验费用，甚至会造成解除合同或失掉主顾。另一方面，要证实不进行任何检验是合理的，那么检验费用就会大大高于放过不合格品所遭受的损失。最经常的情况是介于这两个极端之间。而在这些情况下，就会出现本来是合格的批量，应该接收而被拒绝的风险和本来是不合格的批量、不该接收而被接收了的风险。前者被称为生产者风险，后者被称为消费者风险。

2. 生产者和消费者的风险

我们根据一个典型的 OC 曲线就能弄清楚生产者的风险和消费者的风险。图 19—7 以图表形式说明下面四个定义：

（1）AQL = 合格质量水平，在这一质量水平上的各批产品都被认为是合格的。我们希望能有一个高的合格率。

（2） α = 生产者的风险，就是质量水平为 AQL 的各批产品不被接收的概率。通常， $\alpha = 5\%$ 。

（3）LTPD = 批量容许的不合格品率，就是合格品和不合格品的分界线。这种质量水平的各批产品被认为不合格，我们希望对这种质量的产品有个低的接收概率。

（4） β = 消费者的风险，就是质量水平为 LTPD 的各批产品能够被接收的概率。通常 $\beta = 10\%$ 。

确定以上四个数值的大小之后，我们就能在图 19—7 的 OC 曲线上确定两个期望的关键点 a 点和 b 点。

3. 抽检方案的具体规格

要制定一个满足 AQL、 α 、LTPD、 β 条件的方案，就必须用通过图 19—7 中 a、b 两点的 OC 曲线来找出 n 和 C 的适当组合。可以通过一些标准数值表、计算图或公式求出某个合适的方案。它们都可以求出能近似地满足 AQL、 α 、LTPD、 β 条件的样本数和与合格接收数相结合的规格。

二、平均出厂质量（AOQ）曲线

如果我们假设，一个抽检方案不接收某批产品时，就必须对这批产品进行全面检验，那么这个方案就肯定能保证出厂质量不超

注：通过 a、b 两点的 OC 曲线满足了 AQL、LTPD 的条件，因而就可以定出给定 n 和 c 的抽样方案。（AQL = 合格质量水平；LTPD = 批量允许的不合格品率）

出一定的限度。现在，我们可以画出每一个抽检方案的任何送检质量水平的平均出厂质量曲线，也就是 AOQ 曲线。具体做法是：先假设实际送检质量的各种不同数值，从方案的 OC 曲线上定出相应的接收概率 P，然后将这些数值代入一个公式，算出 AOQ 值。这些数值在计算 AOQ 的公式中能够被替代。每一个不同的出厂质量水平的计算值在 AOQ 曲线上都有一个确定的点，就像图 19—8 表示的那样。图 19—8 的 AOQ 曲线是以 $n = 50$ ， $C = 1$ ， $N = 1000$ 以及

图 19—4 表示的 OC 曲线为依据的。

请注意 AOQ 曲线的有趣特点。首先，它有一个平均能够通过的质量最大值或质量界限，曲线的峰点被称为平均出厂质量界限（AOQL）。每一个依据方案特征的抽检方案都有一个 AOQL。我们可以探究一下 AOQ 曲线是图上表示的那个样子的原因。如果把质量高的产品提供给抽检方案，假如说，不合格品率只有 0—3%，那么接收的概率就相对较高，这样将放过大多数的不合格品，但是，如果送检质量低，假如不合格品率超过 3%，那么接收的概率将会下降。因此，全数检验的概率就增高，就要剔除较大一部分的不合格品。这说明了这样一个事实：送检的质量变低时，出厂质量就会改善。

图 19—8 中的 AOQ 曲线所代表的抽检方案特征的本质只是说不论送检质量水平怎么样，平均出厂质量从来不会超过 1.6% 或其近似值。送检质量不同，所需的检验次数将自动调整，以保证达到质量标准。如果送检质量非常低劣，不合格品率大约为 10%，那么抽检方案将使更多的产品批量被拒收，而必须进行全数检验，这时平均出厂质量大约为 0.3%。另一方面，如果送检质量很好，不合格品率大约为 4%，则抽检方案将放过更多的批数，而必须检验的次数或数量也大大减少。检验人员通常总是把时间用于剔除质量差的批量，而不把时间消耗在检验质量好的批量上。

在已知的情况下对 AOQL 水平的选择，取决于对送检质量差的抽样检验结果。如果随后的检验能继续挑出不合格品，而又没有达到打乱生产的地步，那么 AOQL 就可以相当宽松。这些对出厂质量的概率控制是很理想的。特别是由于我们能够根据技术上和经济上的要求先规定质量水平，而后又定出能保证所需的一般性能水平的控制方法，即对整批质量低的多检验，对整批质量高的少检验。

三、多次抽样验收

在多次抽样验收中，首先抽取初始样本进行检验，把发现的不合格品数和两个合格判定数 C_1 和 C_2 进行比较。如果不合格品数小于 C_1 ，那么接收这批产品。如果它大于较大的合格判定数 C_2 ，就不接收这批产品并进行全数检验。可是，如果不合格品数介于 C_1 和 C_2 之间，就要再抽取一个样本检验。如果两次样本合计的不合格品总数大于 C_2 ，就不接收这批产品，并进行全数检验；小于 C_2 ，就接收这批产品。

多次抽样的优点在于所要求的检验工作总量的可能减少。这是由于多次抽样方案的初始抽样量比一次抽样的方案所要求的抽样量小，如果根据初始样本接收整批产品，就会节省用于全部检验的费用。在每批的数量大和在送检的质量相当好的情况下，这种方式节省的开支最大。

对于一般非专业的人员来说，使用多次抽检方案可能会使他们认为这是“又给了一次机会”。实际上，这种心理上想象的好处是不实际的。任何一种方案的接收概率都取决于它的 OC 曲线，一次抽检方案也能够设计得比多次抽检方案更容易判定整批产品的合格与否。多次抽检方案的缺点在于，检验的工作量变化太大。如前所述，方案是由 AQL、 A 、LTPD 和 β 四个条件来决定的。然后利用统计数值表图和公式的计算，制定出一个有适当 OC 曲线的多次方案。

四、序列抽样验收方案

对于某一已定的质量水平来说，多次抽样验收具有检验费用低的优点，而它是用较小的初始抽样来判定是否接收整批产品，否则再做第二次抽样。那么，为什么不可以更进一步地运用这一思想呢？序列抽样验收方案差不多是这样产生的。它的抽样和前面所说的其他方案一样，也是随机的。所不同的是，在检验了每一个样本之后，要分析累积的结果，然后决定：（1）整批接收；（2）整批拒收；（3）继续抽样。序列抽样的样本数量可以减少到 $N = 1$ 。

图 19—9 表示了一个序列抽样方案的图表结构。序列抽样验收的主要优点是：与多次抽样相比，在同样能保证质量水平的前提下，能够减少更多的检验的工作量。对于图 19—9 的方案，要判定是否接收整批产品，至少要检验 15 件。如果拒收数升高，图上的点落于或高于上线，那么整批产品被拒收。如果点落于或低于下线，那么就接收整批产品。这种抽样一直要进行到出现接收或拒收的情况为止。序列抽样的缺点和多次抽样一样，就是检验的工作量变化太大，序列方案与一次和多次方案一样，也要符合 AQL、A、LTPD 和 β 四个条件的要求。反过来，四个条件又决定了符合其功能要求的序列方案的 OC 曲线*

第四节 计量型抽样验收

在计量抽样验收中，我们要实际测量和记录其量值，而不只是像计数型抽样验收那样只是区分产品为合格或不合格，这样抽检程序上的不同改变了制定一个满足合格质量、生产者风险、最低合格质量和消费者风险四项要求的计量型抽样方案的具体内容。因为计量型抽样验收使用的适当统计分布是正态分布，而不是按百分率比例值的分布。此外，检验方法必须改变。但是，从概念上说，一定要保证出厂质量的基本思想却是不变的。一个方案的判别力也是用 OC 曲线来表示，即 OC 曲线表示一个方案对实际的不同质量的接收概率。制定一个保证一定质量水平的方案的步骤和方法，也基本上是一样的。

在测量零件的尺寸、化学成分等时，一般要确定公差上下限，这也是计量型抽样方案规格的一部分。在这些情况下，计量型抽样方案必须提供防止不合格品发生的双方保证，因为测量的数值如果大于或小于它的应有数值，都不算是合格品。所以一个计量型抽检方案要确定样本的数量，平均合格上限和平均合格下限。

和计数型抽样方案一样，计量型抽样方案虽然也要进行实际测量，但接收的规则也可以用不合格品率来表示。这只要换算一下方案中的单位就行，此外，多次抽样，可以用于计数型抽样验收，也可以用于计量型抽样验收。

显然，每单位检验、记录及计算费用一般要比计数型抽样验收方案的高。既如此，为什么还要用计量型抽样检验方案呢？其最重要的原因就是，在保证一定质量的前提下，计量型抽检方案比计数型抽检方案需要较小的样本和较少的检验工作量。从经济的角度来看，当选取较小样本的费用比用于检验、记录和计算的费用还合算时，应该采用计量型抽样。除了可能取得的经济利益以外，由计量型抽样产生的数据（平均数和标准偏差）还能为控制生产过程提供更有价值的诊断依据。

第五节 控制图表

一般来说，在工业生产过程中发生的变化，大致可以分为两大类：“偶然性”变化和由于系统性原因产生的变化。偶然性变化是由一些细小的实际的原因相互作用而发生的变化，每个原因对变化的发生都不起主导作用，结果是这些变化的发生都处于一种随机的状态，对这些变化我们很难掌握，即使了解了全部程序也是如此。另一方面，由系统性原因引起的变化相对来说较大，是能够追踪改进的。一般来说，系统性原因是指：

1. 工人之间的差别；
2. 机器之间的差别；
3. 材料之间的差别；
4. 上述任何两种或三种因素之间相互作用所产生的差别。

当生产过程处于系统控制之下时，在不合格品数量、尺寸大小、化学成分和重量等方面变化的发生，都只归因于偶然性原因。有了控制图，我们就能对这些偶然性原因引起的变化规定出预期的正常变化的标准。这样，当同时有一个或几个系统性原因的时候，这些变化就十分明显地告诉我们有些根本情况已经发生了改变。通常把 $\bar{X} \pm 3S$ 作为一个工序的自然公差。

一、计数型控制图——P—图

不合格率控制图（即 P—图）的发生是以二项分布为根据的。我们已经知道：

$$\bar{P} = \frac{x}{n} = \frac{\text{不合格品数}}{\text{观测总数}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{\bar{P}(1 - \bar{P})}{n}}$$

设 N = 小样本的数量。

如果按照控制图的一般含义，控制界限一般应定为该工序的平均不合格品数加减三个标准偏差，即 $\bar{P} \pm 3S_p$ 。

表 19 — 1 不合格品数和不合格品率表 样本数 $n = 200$

工作日	不合格品数	不合格品率	工作日	不合格品数	次品率
1	10	0.05	14	14	0.07
2	5	0.025	15	4	0.02
3	10	0.05	16	10	0.05
4	12	0.06	17	11	0.055
5	11	0.055	18	11	0.055
6	9	0.045	19	26	0.13

工作日	不合格品数	不合格品率	工作日	不合格品数	次品率
7	22	0.11	20	13	0.065
8	4	0.02	21	10	0.05
9	12	0.06	22	9	0.045
10	24	0.12	23	11	0.055
11	21	0.105	24	12	0.06
12	15	0.075	总计	294	
13	8	0.04			

$$\bar{P} = \frac{294}{24 \times 200} = 0.061 \quad 3S_p = 0.051$$

$$S_p = \sqrt{\frac{0.061 \times 0.939}{200}} = 0.017$$

$$UCL = \bar{P} + 3S_p = 0.061 + 0.051 = 0.112$$

$$LCL = \bar{P} - 3S_p = 0.061 - 0.051 = 0.010$$

表 19—1 是一组连续 24 个工作日、每日抽检数量为 200 的样本中的不合格品数据表。我们首先要确定这组数据是不是显示了统计控制并建立一个控制图表。每日不合格品率是由每日不合格品数除以样本数 $N = 200$ 得出的。平均不合格品率 $\bar{P}$ 、标准偏差 S_p ，以及控制上限 UCL 和下限 LCL 的初步数值在表 19—1 中也都已计算出来了。利用这此些初步数值来确定这一系列数据是否处于控制状态。图 19—10 表示了绘制的每日废品率同初步控制界限之间的关系。有两个点落在界限之外，另有 7 天的点几乎落在上限以外。调查研究表明，第一个点，即第 7 天的点，当天没有发生意外情况，第二个点落在界限之外，是由于当天有三个生手上工所造成的，这个解释较合理。工头认为，这天的后一天情况，也由于来了三个生手的原故而不太好。对于最后一个点的解释是，那天金属模具已经磨损并最终裂开了。

图 19—10 用于检查过去数据和定出初步界限和修改后的界限的 P —图

为了使正常的变化标准化，我们从初始数据组中减去有系统性原因影响的那两天的数值（即第 10 天和第 19 天的数值），重新计算 $\bar{P}$ ， UCL ， LCL 如下：

$$\bar{P} = \frac{294}{200 \times 22} = 0.055$$

$$UCL = 0.055 + 3\sqrt{\frac{0.055 \times 0.945}{200}} = 0.104$$

$$LCL = 0.055 - 3\sqrt{\frac{0.055 \times 0.945}{200}} = 0.008$$

这些修改过的数值反映了偶然性原因所产生的变化。现在，用它们来判断未来样本的不合格率，如果每一个未来的样本都落在控制界限之外，我们的第一反应就是，不合格品率之所以出现意外的预测值，极有可能是由系统性原因造成的。然后就设法找出这些原因，并在更多的不合格品产生之前采取改进措施。

当 P—图以全数检验为依据时，我们就会预料到检验的总数每天部在变化。因此，控制图上的每个连续点的控制界限都不同。在此种情况下，尽管仍可用同样的生产工序的平均不合格品率来计算控制界限，但由于每天的 N 值不同，SP 也不同，所以使控制界限的计算结果亦各不相同。

另一种计数控制图是以每单位产品的不合格品为依据的。在一个油漆表面，这可能就是根据漆面上的皱裂或流挂等。质量的衡量就是单位样本的疵点数或样本的单位面积疵点数。建立在这一基础上的控制图被称为 C—图。

二、计量型控制图

对每个测量都可建立控制图。可是，一般都采用样本的平均数而不用单个值。对此一个重要原因就是：虽然母体的分布和正态分布相差很大，但是当随机抽取的样本数足够大时，样本平均数的分布是近似于正态分布的。这一定理十分重要，因为它为我们应用结合 3S 界限的概率分析提供了保证。图 19—11 表明，即使正态分布的偏差可能很大，但是样本数小到 $N = 5$ 的平均数分布，也十分接近于正态分布。

图 19—12 是某厂加工一种轴的单值数据的分布图。如果从这组数据中抽取 $N = 4$ 的样本，并算出每次抽样的平均数，就会得到另一个新的分布。我们把每一次抽样平均数看作观测值；如果绘出抽样平均数的频数分布图，则这个频数分布有它自己的平均值和方差。这个分布被称为样本数 $N = 4$ 的平均分布。我们用符号 $\bar{\bar{x}}$ 表示样本分布的平均数，而用符号 $S_{\bar{x}}$ 表示标准偏差，以区别于单值分布中的统计量。可见， $\bar{\bar{x}}$ 和 $\bar{x}$ 将极为近似，而且随着小样本数的增加，二者的界限值将趋于一致。可是，由于差异在每个样本平均之后随着减少，因而，样本分布平均数的方差和标准差也变得很小。图 19-12 表示了加工轴数据的两种分布的关系。两种分布的 S 和 $S_{\bar{x}}$ 的关系式实际上就是：

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}$$

其中， $N =$ 小样本的数量。

现在，要绘制平均数的控制图（即 $\bar{x}$ -图），首先需要根据我们想要控制的任何一种正常情况，制定 $\bar{\bar{x}}$ 和 $S_{\bar{x}}$ 的标准值。上、下控制界限要按 $\bar{\bar{x}} + 3S_{\bar{x}}$ 计算。然后，标出连续抽取的样本平均数。如果样本平均数处于控制界限之外，就要采取新措施。

样本平均数落在控制界限之外的原因自然与进行控制的生产工序的技术条件有关。例如，如果在一台车床上加工一种零件，由于车床刀具的不断磨损，加工出来的零件尺寸就会逐渐偏大。这种一般性质的变化就会在样本分布的变化上反映出来。可是，如果车床中心轴的轴承发生了磨损，那么这种变化就会在样本分布变异性的增大上表现出来，我们就会期望点落在控制界限之外。控制图能显示出实际生产的平均数的变化，方差、标准差或极差的变化，以及平均数变化和变异性变化相结合的现象。当一组预测数据有变异性的变化特别重要时，就可作出一个测量变异性的专用控制图。

在做出平均数控制图时，我们使用了样本平均数的分布，并且以平均数为主要统计量来计算控制界限。我们也可以把如方差的变异性的某些测量值作为统计量。对于每一个样本数为 N 的样本，我们可以计算出样本方差 S^2 。如果用方差数值画出频数分布，这个分布一定是近似正态分布的。这个样本

方差的分布本身就会有一个平均数和标准差。因此，我们可以利用样本方差的分布来做出一个控制图，它能告诉我们控制对象的变异超过或低于正态分布是什么时候。

在质量控制的过程中，通常选用是极差而不是方差作为统计量，因为对于连续的样本来说，计算极差比较简便。对每个样本来说，在一个控制图上把它的最大测量值和最小测量值相减，得到的差值就是极差值。极差控制图反映了一个样本数为 N 的样本极差分布。这种分布有自己的平均数 $\bar{x}$ 和标准差 S_R ， $3S_R$ 界限像以前论述的那样，具有同样重要的意义。样本极差处于界限之外的概率仅为 0.27%（如果样本是从原母体中抽取的话）。因此，当样本极差处于控制界限之外时，我们就能推断已发生了某些使变异性比预期要大的情况，简便的图表的存在，使 $3S_R$ 的控制界限能够很容易地计算出来。

* * *

一个企业的质量管理需要有一个广泛的人人对质量负责的观点，而不应只局限于人厂原材料质量水平的控制和生产过程的控制。企业的政策，工程设计的决策，生产统计的设计，以及经营管理的各个阶段、包括分配和使用阶段的控制等一系列活动，都需要紧密地配合和相互协调，才能实现整个企业对质量管理的目标。

工业中概率控制的应用，在质量方面已达到了极点。抽样验收方法控制着对送检质量水平的检验数量，如果送检质量不合格的概率很高，就要求进行全数检验。另一方面，如果样本表明，送检质量合格的概率很高，那么就整批接收而无需进一步检验。控制图方法试图控制生产过程中的质量并防止低劣的质量。当不合格品产生越来越可能时，它就首先指出存在着某种产生不合格品的系统性因素。在危险情况将要发生时，就马上发出紧急的信号，用这种方法能防止更多的废品继续产生，同时，还节约了随后的剔除不合格品而进行检验费用的开支。

虽然抽样验收和统计控制的概念是在工业质量管理中提出来的，但我们应认识到，这些思想的应用范围很广。各个职能领域中的决策一般都是以样本的数据为根据的。为什么不能也像抽样验收所做的那样来估计这种决策可能存在的风险呢？现在，统计控制的概念在制造业范围以外的领域应用得越来越多。在劳动力流动、成本计算和工伤事故率等方面也早已应用控制图了。

第二十章 生产和业务管理综述

时代在变化这一特征，在生产和业务管理领域中比在其他任何领域都体现得更为突出。从不同角度来看，生产和业务管理都处于不断的变化之中。与以往相比，生产这一术语的涵义要广泛得多。它涉及任何企业的业务领域，我们可以在办公室、商店、医院以及工厂发现生产系统。在所有这些系统中，都有输入和输出，所谓输入是指某种形式的处理。生产和业务管理涉及系统的决策过程。近来，系统的废弃物及其对污染的可能影响，已经被看成是处理系统的一个组成部分，这是一个概念上的变化。

本书是按照在设计和操作生产系统时所遇到的问题而组织编排的，并给出了合适分析方法的背景。总之，就每个问题而言，讨论各种不同生产系统的特殊条件究竟如何影响这些问题。作为总结的基础，现在让我们按照各主要系统来综合一下我们的知识，这些系统包括：分销系统、大批量地生产一分销系统、订货加工式工厂系统（包括封闭式及开放式）、大型工程项目。

第一节 分销系统

从本质上来讲，分销系统的管理是以对一个库存系统的管理为中心的，此类库存系统通常是多阶段的系统。设计一个物质分销系统，需要考虑这样一个问题：为了以合理的运输成本提供所需服务，库存点对于市场的位置，应做怎样的战略安排？对于是否需要中转仓库，如果需要，仓库位置应设在何处等问题，后勤学对系统的设计起着决定性的作用。

分销系统的业务问题主要是对库存的管理。需求分布如何？怎样预测需求？何时补充库存？每次库存订货量应该是多少？为了满足所需服务，应该保持多少缓冲库存？我们应该如何确定适当的供应服务水平？

尽管系统中各级问题有相似之处，但其侧重点多少有些不同。例如，对于零售商来说，决定要求分布和预测需求这个问题只是地方性的；但对于工厂仓库而言，其范围可能是全国性的，也可能是国际性的。另一方面，对工厂仓库来说，可能只需要建立这样一个数据处理系统，其中产品的尺寸、型号和式样种类比较少；而对于批发及零售商来说，涉及的商品种类可能是非常之多的。还有一点，按照各级所需库存量，服务及服务系统的概念是很具体的，然而对于零售商这一级来说，服务系统不仅要包含可获得的库存量，而且还要包括以等待线分析概念为中心的服务系统的设计。

分销型组织所遇到的主要的生产和业务管理问题有如下几个方面：

1. 确定需求分布的性质；
2. 预测需求；
3. 确定一次所需订货量；
4. 确定何时再次订货；
5. 确定服务水平及缓冲库存量的大小；
6. 设计数据处理系统。

第二节 大批量的生产—分销系统

若把生产系统加到分销系统的前端，这样就改变了系统的中心，同时也使管理问题变得尤为复杂，管理控制系统的中心是生产系统，对于某些具体的组织，它在某种程度上会延伸到分销系统，在某种情况下，可能会包括整个分销系统。生产系统和分销系统结合起来，一个极大的优点是，对于其他的吸收需求波动手段来说，存货成为一种替代方法，而且，我们在第十五章中也讨论过的总体规划模型具有相当重要的意义。

预测消费需求是非常重要的，这可以从近期和长远两种观点来看，就短期来说，预测不仅是原材料采购的基础，而且，为了以最经济的方法把生产力各要素结合起来，它也是对设备和劳动进行总体规划和作出安排的基础。而在规划总体生产能力、安排位置及平面布置，以及分销仓库的大小和位置等方面，长期预测具有极为重大的意义。

为大批量生产系统制订日常生产进度的过程，是一种限于总体规划限度内的工作，它具有对实际计划进行任意调整的灵活性。这种灵活性可能包括生产线的再平衡，存货的调整以及加班和转仓合同的充分利用等等。信息和数据处理系统的性质及设计是非常重要的，这个系统可以把实际需求的度量、预测、存货控制及生产控制结合起来。

虽然没有一个人会说，大批量的生产分配系统的设计、计划、进度安排以及控制等问题是简单的，但是与间断性系统比较起来，它多少还是要简单些。

企业在生产和分配大批量的标准化产品时，所遇到的主要的生产和业务管理问题有如下几个方面：

1. 预测需求及多阶段库存系统的行为；
2. 对物质设备进行长期的总体规划，包括工厂的生产能力、规模、位置及仓库的大小和位置；
3. 生产设施的规划；
4. 设备及劳动力的总体规划及进度安排；
5. 原材料的采购；
6. 在需求已知情况下，安排日常进度及调整生产水平；
7. 数据系统的设计。

第三节 间断性生产系统

与大批量的生产系统相比较，间断性生产系统则有所不同。为了随时满足在设计、型号和工艺技术等方面的各种要求，必须使设备和劳动力保持在一种“储备状态”，间断性生产系统要使每一件事情都与这一基本要求相一致。做包工的印刷商，必须使设备和经受过训练的人员处于准备状态，以完成各种各样的印刷业务。同样做包工的机械商，必须使设备和接受过训练的人员处于准备状态，以对各种在大小、型号和设计等方面各不相同的金属制品进行加工作业。各类企业在订货合同有所下降时，既不需出卖设备，也不需解雇他的技术工人，而他出卖的正是这种生产能力。同样，对于从事航空与航天空间以及其他的研究和发展的组织，可能会把工程及科学技术人员储备起来，这也许对企业的生存是更为必要的，因为正是这种生存能力，对于获得订货合同才是至关重要的。

尽管这种间断性生产系统同消费者的联系常常是直接的，但其内部却是非常复杂的。其复杂性是由于制造过程是按订货要求安排的，而且每一次订货或每一件产品都要求进行单独的计划并作时间安排，而且其制造程序也是独特的。在信息系统中，延误时间的典型情况有如下几种：标价和订货的程序，生产计划和进度安排方面的特殊要求以及特殊的原材料订购等。在实际的制造和组装过程中，由于物质流的间断性，相对来说，物质流程时间常常是很长的。存货问题大都是关于原材料及制造的存量，进度安排问题则更多地集中于单项设备的使用上，而不像大量生产系统那样把工厂整体加以考虑。

包工式工厂系统最复杂的形式是开放式工厂，它实际上对每个人的包工订货都是开放的。在这种情况下，我们要进行预测、设计物质设备的能力，制订总体规划，采购原材料并进行标价，这些工作都具有极大的不确定性。封闭式包工工厂某一中心公司或工厂的附属工厂，其产品在自己的产品系列内是为内部使用的。尽管这种附属工厂也可能接受内部一次性的订货，但其产品系列是可以预见的。事实上，封闭式工厂生产的一系列部件、组件及产品，在很大程度上是可以预见的，而这一点正是与开放式系统相比极不相同的一点，因为如果我们预先知道要生产的产品品种构成是什么，那么问题就会有相当不同的意义。

包工式工厂类企业所遇到的主要的生产和业务管理方面的问题可总结如下：

1. 为最大限度地降低总的搬运费用，设计和布置一种系统；
2. 预测需求；
3. 设备利用的总体规划；
4. 按照预定的交货日期而安排的生产进度；
5. 安排劳动力和设备的进度，以最大限度地降低设备安装、设备闲置、劳动力加班及空闲和在制品存货的综合成本；
6. 安排设备进度以利用最有效的工序；
7. 以最经济的批量采购原材料来满足生产进度的需求；
8. 制订标价政策和程序以这样的利润水平获取各种订单，它能使劳动和设备利用及追求利润之间保持平衡。

第四节 大型工程项目

大型工程项目的结构模型与加工式工厂模型差别不很大。不同之处在于，大型工程项目有巨大的复杂性，时间耽搁现象也较多，且在系统内要求相互协作。对于必须进行的生产活动，在制订其计划时，工程项目的极为复杂性使工艺程序具有至关重要的意义。因为，若不按工艺程序进行操作，就会造成时间延误而导致额外成本的增加。所以，以作业网络的形式来制订生产计划就成为工程项目管理控制的关键。在所要求的作业网络给定情况下，问题的第二个焦点就集中于安排作业进度及有效利用可获取的资源。对于生产进度安排和过程控制来说，如何安排关键线路的时间就成为一个重要的输入，而且可以被看作是第一张可行的进度安排表。根据某些作业可以允许有富裕时间或进度上可以滑移的知识，管理部门在制订实际进度时，具有一定的灵活性，这种灵活性也可用于平衡整个工程项目的劳动需求，也可以使这样的情形成为可能：把有限的设备用于几种作业，既不使它们相互冲突，又不致延长时间。

存货问题初一看起来既简单又明了，实际上却是一个重要的问题。一般来讲，存货成本与整个工程时间有直接的关系，如果物质运入的时间进度与作业进度能很好地统一起来，那么，就能使整个工程期间的存货投资尽可能地小。如果在项目开始时，原材料供货就能大批量运到，就可能在很长时间内，保持一大批并非必要的库存，同时也可能会产生一个实物储存的问题。反过来，如果材料被浪费或被报废掉了，以致于某一工序不能顺利完成，而这一工序恰恰是在关键线路上，那么，整个工程项目就有可能被延搁。一种相对来讲价格并不贵的材料如果没有即时订购，就可能造成劳动窝工，或者导致工程项目因不能如期交货所接受的罚款。所以决定库存量时，一个重要的问题是，首先应该是以材料订购量为中心。

大型工程项目中主要的生产和业务管理问题总结如下：

1. 制订一个作业网络，以达到所希望的最终结果；
2. 安排作业网络的进度计划，以使网络关键线路的进度能符合预期的交货日期；
3. 对设备和劳力这些有限作用的使用作适当安排，使其不致干扰关键路线的进度；
4. 按进度表采购材料，使总的存货成本最低，且能满足关键路线的需求；
5. 制定标价政策和程序，以如下利润水平获得合同，它可使储备的关键资源（工程师、科学家、技术工人、关键设备等）的使用及维持能和所要求的利润之间取得平衡。

我们所讨论的四种主要的系统类型，其分类并不是固定不变的，而实际中的科学系统则趋于包工式工厂和生产线的结合，或者是包工式工厂与项目的结合等等。然而，对于典型的生产线、分配系统、包工式工厂或者项目的概念的确立和技术的发展，上述分类已为之奠定了基础。各种分析方法是围绕着纯系统的概念而建立起来的。对于组合系统，则可以通过分析其组成及出现的结果，来加以分析研究。

第五节 新分析方法的意义

在第二次世界大战以后的时期，在数学和实践两方面，最能使传统的生产管理发生动摇的事情，莫过于生产系统和子系统的数学模型及模拟模型的快速发展，加之以快速数据处理。这些发展是认可一门新的应用科学的前奏，许多领域已开始应用形式分析。很多情况下，以前被孤立考虑的各种问题，现在却真正采用“系统”的方式对其进行分析。在高速电子计算机的配合下，系统模拟将会创造出一个原来不可能存在的生产管理实验室。对于现在和将来从事管理的人员来说，这些分析工具研究有什么重要意义呢？对于现已从事工商业管理的人们来说，如果缺乏这方面的知识，那么他们的背景知识就不够全面。如果他们不有意去获取关于新的方法和概念的基本知识，则就越来越被认为是“老保守”，而且在退休之前，就将会发现自己已经落伍了，最终也许会被推进一个极不情愿的“死胡同”里去。对于现在正在接受背景教育的男女青年来说面临着这样一种选择。是使自己充分作好准备呢？还是一直回避，直到将来碰到它再加以考虑呢？当然，没有一个人能为自己将来的40年完全作好准备，但是为了能跟上时代的步伐，他可以为自己准备好一种全面的基本教育，在飞速发展的领域里，极为重要的是一项工作能以正确的方向起步。

表 20 — 1 运筹学技术应用领域比较表（以 n 的百分比表示）

	美国管理协会 1957 年 的报告 n=631	霍威和华格纳 1958 年 的报告 n=90	许马赫和史密斯 1964 年的调查 n=65
生产	24	32	68
长期计划	23	39	55
广告、市场销售	25	14	20
存货	21	31	68
运输	15	18	41
上层管理	15	n · a	n · a
研究	14	n · a	n · a
财务	13	n · a	n · a
会计	11	11	13
采购	8	n · a	n · a
人事	8	n · a	n · a
质量控制	n · a	22	38
维修	n · a	11	24
厂区规划	n · a	10	24
设备更置	n · a	10	20
包装	n · a	9	5
资本预算	n · a	7	29
各领域平均	15	18	34

注： n · a 指没有数据；

n=参加调查的公司总数；

许马赫和史密斯的调查是对霍斯威和华格纳调查的继续。

新分析技术应用的迅速发展已成为事实，表 20—1 清楚地说明了这一点。表中总结了 1957 年、1958 年以及 1964 年相继进行的 3 次调查结果。调查的直接目的是，确定运筹学技术在表中所列的不同领域中应用的广泛程度。在生产和业务管理领域中，运筹学技术应用范围扩大的趋势是无可置疑的。在生产领域中，被调查公司应用运筹学技术的，1957 年是 24%，在 1958 年，这个比例就上升到 32%，在 1964 年就上升为 68%。在长期规划、存货及运输等领域中，也有类似的情况。比较起来，在质量控制、厂区位置规划、设备更置及资本预算等领域中，运筹学技术的应用虽然没有戏剧性的变化，但实质性的进展却是很显然的。

随着分时计算装置的新应用，决策者可以被包括在闭环之中，这就是模型所具有的一种在概念上的特征。在给定了模拟模型之后，决策者就可以提出一大堆关于其业务方面的问题，像“如果……怎样”这类问题，并且可立即得到答案，这个答案表明了设想的业务变化性能指数的重要影响。在分批处理计算机上，通过一系列的计算机运行，也可以断定这类型问题的影响结果。但是，关键性的区别在于分时系统具有相互作用的能力，且可迅速得知结果，这就会导致新问题的提出。这样，决策者就处于一种与大规模的计算能力相协调的解决问题的精神状态。这种模型已被广泛地应用于各种不同的企业。特别强调生产系统的公司有：内陆钢铁公司和波特拉契林业公司。

第六节 观点概述

在本书中，大多数的生产问题都包括这样一点，即为求得最优解决方案需对各种成本进行平衡。永远不可更改的一点是：受决策影响的成本因素可能会呈现不同的变动类型，因此最优解决方案永远都不可能以其他成本为代价来最大限度地降低某一成本因素。这就意味着，我们也许会生产一些废品，也许会有些订货误期，也许某些时候我们用尽了存货。不然的话，我们就是对一些因素控制得太紧，而且也没有按照最优方式进行作业。

必须记住，我们所研究的许多数量方法不光是简单的解决问题的技术，其最重要的作用也许是帮助我们理解正在处理的系统的特性。例如，排队理论使我们对流程问题的概率性有所体会。如果我们了解其中的某些内容，那么就能对一些活动的人员配备作极好的判断，这些活动中，其处理对象是按随机过程到达的。当我们能够理解一个为订货加工的机械车间被看作是一个排队型网络时，对于为什么一个订单通过整个系统似乎要花去那么长时间的问题，我们就可能获得更进一步的理解。

线性规划是在各种竞争性需求中分配稀缺资源的一种形式方法。但是，企业中大多数分配问题不能用形式方法加以解决。然而就各种类型的分配问题而言，问题的结构及形式问题的答案都是适用的。例如，我们知道可能有几种可供选择的最优方案，同时也有许多似乎和最优方案一样好的其他解决方案。这样的结果就是，我们有相当大的灵活性从而很容易地满足各种次要条件。

如前面所指出的，对于在生产系统中很显然地出现的许多人类行为问题，我们一直没有力图加以解决。然而，也许有一点非常重要，必须加以指出：即使像人这样的变数没有直接进入构造的模型中，但形式模型和形式分析常常会考虑到人的问题。一个很好的例子就是在第十章中已讨论过的平面布置的计算机模型 CRAFT。一位管理者可能会以为，在一个新的平面布置中，两个作业组不应被分割开。然而，在断定此结论之前，还是让我们先评价一下这一要求。有如下情形：其一，可能会存在着与这一约束条件相适应的很出色的答案；其二，此限制条件也许会花很大的费用。但是不管怎样，我们还是先分析一下，而不要在没有分析或估价情况下，就急于详细列出各种情况。

最后，我们采取的观点所包含的范围越是广阔，我们就越有可能避免次优化发生。所以，我们发现，由于库存水平部分地依赖于生产的波动，因而孤立地考虑存货问题就并不是十分有效的。随着生产管理知识的不断丰富，对于系统中各种其他变量相互作用的结果，我们将能够确定出来。我们也将能够采取一种真正“系统”的观点。

后 记

“ MBA 必修核心课程 ” 丛书共 6 种 , 书名分别为《经营战略》、《新产品开发》、《市场营销》、《生产作业》、《理财 : 资金筹措与使用》、《人力资源 : 组织和人事》。整套丛书是在欧美最权威、最通行、最具代表性的教科书的基础上编译而成的 , 主要参考著作有 : Buffa, E.S, Modern Production Management; Crawford, C.Merle, New Products Management; Don Hellgal and John W. Slocum Jr . , Organizational Behavior; Koontz, H., O' Donnell, C. and Weihrich, H., Management; Weston, J. Fred and Brigham, EugeneF., Managerial Finance ; 等等。

MBA 必修核心课程编译组
1997 年 8 月

