

1 工业工程概论

1.1 工业工程概述

工业工程 (Industrial Engineering, 简称 IE) 是在本世纪产生的一门学科。现代工业工程是一个跨学科的技术领域,是工程技术和科学管理的交叉学科。工业工程学科产生于美国,但是在许多发达国家得到了广泛的传播和应用,并在这些发达国家的工业现代化过程中发挥了重要作用。工业工程作为能够全面提高企业生产率,使生产系统获得整体效益的有效技术,适用于企业所有的生产领域。生产系统的设计与改善,计划、管理、作业方案的合理化等都离不开工业工程的思想原则与具体方法。数十年来,尽管工业技术水平有了巨大提高,但工业工程对工业发展的重要作用没有随着时间的流逝而减弱,仍然具有旺盛的生命力。

我国实行改革开放政策以来,经济发展很快,但从宏观上看,提高经济效益仍是我国经济面临的重要课题。只有致力于提高生产率和综合经济效益,使有限的财力、物力在现有的技术基础上得到充分、有效地利用,才能更快地发展生产和提高人民生活水平。因此,开展工业工程研究工作,进行工业工程教育,宣传和普及工业工程知识,在我国具有现实意义。

1.1.1 工业工程的定义

工业工程的内涵非常广泛,涉及的学科领域很多,随着工业技术的发展及生产水平的提高,其内容也不断发生变化,

因此在不同时期，不同国家及学术组织对工业工程的理解不尽相同，其定义也略有差异。

美国工业工程协会(AIIE)于1955年给工业工程下的定义一般认为是最普及的，其内容如下：工业工程涉及把人员、物质和设备组成综合系统的设计、改善及实际运用，它使用数学、物理和社会科学的专门知识和技能，并运用工程分析、设计的原理和方法对系统可能获得的成果予以确定、预测和评价。

随着现代科学技术的发展，能源和信息作为物质的一种形态，也可作为前述综合系统的要素。近年来一些学者为工业工程下了一些新定义，用以反映现代工业工程的内容和职能，其中一种定义为：工业工程是综合运用工业专业知识和系统工程的概念与方法，为把人力、物资、装备、技术和信息组成更有效和更富于生产力的综合系统所从事的规划、设计、评价和创新的活动，它也为管理提供科学依据。

从上述定义可以看出，工业工程研究的对象是生产系统或生产经营系统的人、材料和设备的设计、改善和运用等问题，它把人员、材料、设备作为一个有机统一的整体来系统地考虑。工业工程的研究方法是运用运筹学、自然科学和社会科学中的特定知识来提高生产率和降低成本。

1.1.2 现代工业工程是一门工程技术

因为工业工程具有鲜明的工程属性，国外一般把它划入工程学范畴。

工程学是将自然科学的原理应用到工农业生产部门中而形成的各学科的总称。这些学科是由把应用数学、物理学、化学、生物学等基础科学的原理，结合在科学实验及生产实践中所积累的技术经验发展而来的。这些学科发展的根本目的

在于为人类创造福利。

由工业工程的定义可知它是符合上述含义的。

如前所述，工业工程的首要任务是对人、物料、设备、能源、信息等要素组成的生产体系进行设计，其中包括系统总体如设施规划与设计，也包括生产线及物流系统等工程活动的设计。为达此目的，就必须对生产系统各组成要素及其相互关系进行详尽观察和实际分析。

在生产系统投入运行后，工业工程要对系统本身及其控制方法进行模拟、试验和分析研究，提出最佳改进方案。

正因为工业工程被看作是一门工程技术，所以在一些国家里工业工程专业设置在工学院，将学生培养成工业工程师。

1.1.3 工业工程与管理的区别

由于工业工程产生于科学管理这一历史渊源，它和管理有一种相互交叉和相互依存的关系，然而二者又是不可混同的。就其目的而言，二者都是为了实现生产系统中产品结构、生产计划、生产管理的合理化，从而降低成本，提高产品质量，提高劳动生产率，使企业生产和经营达到最佳状态。但就学科体系来说，二者却有着许多差异。

(1) 工业工程的效果是通过本身的作业来实现的，管理的效果则是通过别人的作业表现出来的。

管理是为了实现生产资料所有者的利益和意志，根据客观经济活动所进行的预测和计划、组织、指挥、协调控制、教育、鼓励、挖潜创新等行为的总称。其目的是保证生产经营活动的正常进行，以取得最大经济效益，实现工业企业的既定目标。所以管理的效果是通过组织、指挥、协调其他人的工作来实现的。

(2) 工业工程是一门工程技术，它只与生产力和社会化

大生产相联系；而管理除具有上述自然属性外，还具有社会属性，即与生产关系、社会制度相联系。

(3) 工业工程与管理的职能不同，工业工程的职能包括管理作业研究，主要是直接为管理部门提供决策依据的一些工作，如经济分析、作业测定、绩效评价等；直接与生产相关的工作，如研究加工工艺过程、物料搬运、库存控制等；直接与工程项目相关的工作，如研究工厂布置、计算机系统、信息及运输系统等。上述三项职能的每一项，都包含有规划、设计、评价和创新等内容。

管理的职能是运用行政、组织、人事、财政、金融、贸易、法律等手段来保证生产、技术开发和各项生产活动的顺利进行，从而达到提高工效和经济效益的目的。管理的职能包括决策、组织、领导、协调、控制等。

1.1.4 工业工程是系统科学在工业中的应用

工业工程把生产体系看作是人、物料、设备、能源、信息等要素组成的统一的有机的整体。这是基于系统工程的思想原则和分析方法来研究解决问题。其系统要素是人、物料、设备等，它们既是互相独立的，又是相互关连和相互制约的。工业工程的任务是适当地配置各要素及使其相互关系合理化，从而使系统处于最佳状态。

系统要具有转换的功能，必须有输入和输出，如机械制造企业系统，其构成如图 1-1 所示。

工业工程的任务是合理地设计和改善系统，使其能以较少的输入而得到相对较多的输出，也就是说使其输出与输入之比尽可能增加。对于生产系统来说，这就意味着生产率和效益的增长。

系统是相对环境而言的，工业工程的观点重视生产系统

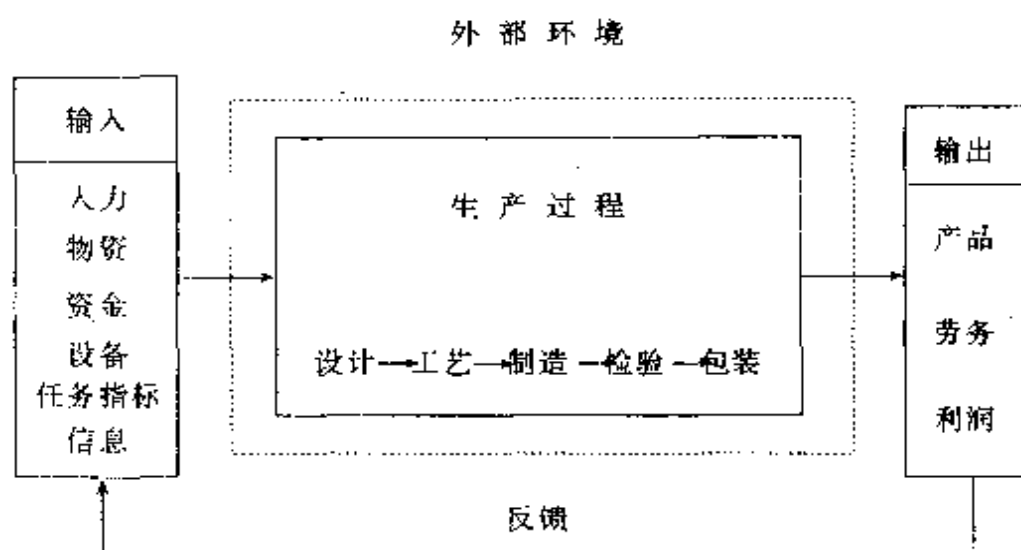


图 1-1 机械制造企业系统的构成

的内部环境和外部环境的改善，以保证生产系统能稳定、有效地运行。

1.2 工业工程发展概况

1.2.1 工业工程产生的历史背景

人类在劳动过程中总是自觉或不自觉地力图减轻劳动强度，改善劳动环境，创造更高的劳动价值。对于被雇佣的劳动者，这样做是为了得到更好的生存条件和更多的劳动报酬；对于雇佣者则着眼于财富的积累。在生产水平低下的历史时期，不论是工人的劳动技巧，或是工厂主较好的管理方法，都是一些分散的经验，难以进入科学的殿堂。

18 世纪初期蒸汽机的发明，促进了生产机械化，特别是产业革命，使技术革新项目大为增加，制造企业的规模和复杂性也大幅度增加。产业革命后在英国兴起的“互换性方式”，规定零件的公差，使零件具有互换性，这种方式促使劳

动进行专业化分工。与此同时，在德国兴起的标准化，为企业迈向大量生产之路奠定了基础。

由于制造企业的规模和复杂性大幅度增加，简单的经验和浅薄的知识已不能控制生产系统，使其有效的运行，因而具有时代性的科学管理研究应运而生了。

20 世纪初美国人泰勒 (F. W. Taylor) 在系统总结前人经验的基础上，提出了提高工作效率和生产设施效率的一些科学方法和原理。他从研究机械制造过程、改进工作方法出发创立了时间研究，并根据这些研究结果写出了一些有价值的著作，如《科学管理原理》等。与此同时，吉尔布雷斯 (F. B. Gilbreth) 创立了动作研究。由于当时生产的机械化程度不高，并存在大量的手工劳动，因此，提高操作者的作业效率是当时的重要研究课题。泰勒所著的《科学管理原理》实际上主要是以生产经验为基础，形成了比较系统的学科体系，尚缺少科学实验及定量分析。尽管如此，这部著作对以后的工业工程的发展仍产生了深远的影响。

1.2.2 传统工业工程

传统工业工程是泰勒科学管理原理的继承和发展。在科学管理以后正式出现了工业工程的名称及有关学术研究团体。传统工业工程的特点是：它运用统计、概率等数学分析方法，改造了从泰勒科学管理继承下来的各种方法和内容，使之具有定量分析的能力和更高的理论基础；并且发展了用概率原理的排队论进行生产计划和日程安排等一些新方法，使管理方法适应机械化、自动化大量生产的需要，从而使管理开始真正有了科学的依据。

此外，工业工程与工程技术相结合，使工业工程本身具有独立的专业工程性质。把专业基础知识作为工业工程的一

个核心部分，就要求工业工程从技术设施改进和技术发展方面去研究提高生产率的途径。工业工程同时把心理学、生理学等运用到工厂布置、设施设计、人一机关系、物料搬运等工程技术方面以及技术装备的设计和工作环境的改善方面，以提高操作者的劳动效率。

传统的工业工程，其内容是一个个孤立的分散的理论、方法和技术，只能处理工厂中单个工位、车间或生产线等较小系统的问题，很难在较大系统中发挥综合效益。

传统工业工程的“传统”二字，并不是说其内容已过时，而是指它的内容和方法在数十年前就已存在并得到应用。这些传统方法和技术至今仍是工业工程的重要组成部分，仍然具有重要的现实意义，并被广泛的应用着。

1.2.3 现代工业工程

现代工业工程是传统工业工程由工业技术及相关学科的发展不断注入新内容而演化的结果，特别是运筹学(OR)、系统工程(SE)、计算机科学及行为科学、人机工程学的发展，对工业工程的变化产生了重要影响。

运筹学具有比较系统的学科体系，可以用来描绘、分析和设计多种不同类型的系统，在工业工程中得到应用并取得了进展。运筹学改进了工业工程的传统方法，运筹学的系统性，可以把工业工程的各种方法综合起来加以应用，解决较大系统的问题。例如设施设计，传统工业工程主要凭借工业的专门知识和经验设计车间、仓库的位置和内部布置；而把专门知识和经验与OR相结合，用OR的排队分析和数学规划知识可以更系统、更方便、更精确地进行各种设施的设计，而且在进行更复杂、更庞大的设施设计时，可以取得理想的结果。因此，人们普遍认为应把OR作为工业工程的理论基

基础。

OR 与工业工程的结合虽然使工业工程的发展前进了一步，但 OR 的各种方法之间及 OR 方法与工业工程传统方法之间由于缺少自然联系，因此常被局部、孤立的应用，而难以取得综合效果。

系统工程的出现，使工业工程的发展大大前进了一步。

系统工程重视系统哲学思想的培养和系统分析方法的训练，包含了丰富的自然科学和社会科学知识。因此，可以把系统工程的方法论、运筹学的数学分析、工业工程的传统技术与工业专门知识有机结合起来，形成完整的学科体系，使工业工程技术的应用范围从对一个劳动岗位的分析，扩展到可以对整个工业体系的分析和设计。

现代工业工程学科体系可以比拟为图 1-2 所示的一条连续“光谱”：中间部分是工业专业知识，该部分既反映解决实

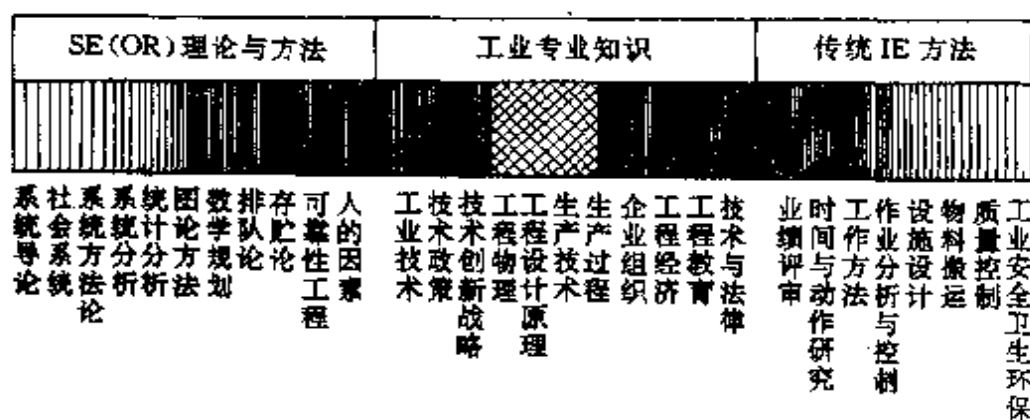


图 1-2 现代工业工程的学科体系（工业工程“光谱”）

际问题所需要的专业知识，也表示工业工程所要研究和处理的一些实际问题；左侧是工业工程的基础理论和方法；右侧表示工业工程的工艺。

如前所述，现代工业工程是在传统工业工程的基础上发

展而来，并且包含了传统工业工程的内容，它与传统工业工程相比，主要特点可归纳如下：

(1) 所处环境不同。生产技术体制从简单机械化经过 19、20 世纪自动化大生产，演进到现代的多品种小批量柔性化、计算机集成控制的系统生产技术体制，进入了信息化时代。

(2) 在传统工业工程的基础上引进了行为科学与人类工程学的成果，提高了工业工程处理问题的层次和综合程度。例如，不再是通过利用时间和动作研究向操作者提出“苛刻要求”来达到提高生产率的目的，而是应用行为科学和工效学的原理，试图从精神、物质上引导操作人员充分发挥主观能动性而提高工效，提出作业扩大化、充实化、转换化、舒适化，力求使作业系统具有身心舒适、操作方便、安全合理的特点。

(3) 由于引入了运筹学和系统工程的理论和方法，现代工业工程已从 50 年代以前的分析和设计微观工程系统的单一功能，发展到现在的分析和设计微观、宏观系统的双重功能；着重从企业整个系统的角度出发，以综合效益最佳为目标，注意研究对象的目的性、层次性和全面性，规划设计和分析完成各个局部任务可供选择的方案，择其最佳者加以实施。

1.3 现代工业工程的发展趋势

工业工程的发展历史表明，它的形成和发展是大规模工业发展的必然趋势，是人类控制和优化大规模工业生产活动所作的成功探索；广泛研究和应用工业工程是工业化的成功之路。

随着科学技术的发展，工业生产的规模不断扩大、水平

日益提高，社会需求不断变化，市场竞争愈演愈烈。客观环境要求工业工程学科应不断地发展，因此，其内容日趋革新和丰富。现代工业工程的发展趋势概括如下：

1.3.1 吸收相关学科最新成果以保持现代化水平

近年来，工业工程学科大量引进系统科学思想及系统工程理论和方法，广泛吸收计算机技术、人工智能技术和现代软科学的最新成果，从而使工业工程学科有了很大的发展。

工业工程要密切结合实际，不断地解决现代生产中各种十分复杂的实际问题，就必须融入各种现代科学技术理论和方法，如计算机技术、微电子技术、机电一体化技术、计算机集成制造系统、管理信息系统、决策支持技术、人工智能技术、计算机专家系统以及生物力学、心理学、运筹学等，从而使工业工程这门综合性学科不断充实、完善，日趋现代化。某些分支还发展成相对独立的学科领域，甚至如动作研究和时间研究等传统领域，也因为运用了现代技术如计算机模拟技术、工业电视、人工环境系统等而有了新的面貌。

1.3.2 应用范围遍及生产领域及其它领域

现代企业为了缩短生产周期，降低生产成本，提高产品质量，提高企业在市场上的竞争能力，经常要根据市场情况调整产业结构和产品结构，以至于对工厂面积的使用重作安排，对工艺设计、平面布置、物料搬运、仓储、信息系统以及各种设备、建筑设施进行分析、规划与设计，这些活动都要应用工业工程的理论与方法。因此，工业工程的研究内容遍及生产工程、物料搬运和储存管理、工厂与车间平面布置、质量保证系统、成本分析与控制、价值工程、可靠性工程、投资分析、财务分析与管理、安全工程等各个生产领域。

近年来，工业工程的应用更扩大到生产制造业以外的广

大领域，如服务行业和政府工作方面的工程项目的评价与分析、投资决策研究、设施规划与设计、人的因素研究、管理信息系统等。工业工程作为一种科学的思维与方法，扩大到工业生产以外的领域有着广阔的前景。

1.3.3 定性研究与定量研究相结合

工业工程从时间分析、动作分析的初级阶段起，就特别注意定量分析。但是，现代工业工程所要研究的对象常常是从大范围、长时期着眼的大系统，研究中强调运用数学、物理学、甚至心理学的理论，因此，这就为定量研究带来困难。如何把定性研究和定量研究有机结合起来，是现代工业工程的一个重要研究领域。应用模糊数学、电子计算机等科学手段，在收集和分析大量数据的基础上，建立科学的反映实际的数学模型，以便对复杂系统寻求整体最优结果是人们关注的问题。

1.3.4 更加强调和重视人的因素

现代工业工程对生产要素优化组合新规律的探索不断深化，其中心问题是对人和其它生产要素之间的关系的研究。在生产系统中人始终是主要角色，提高生产率的问题归根到底要以人为中心来展开研究。人、机器和设施的最佳组合，人在变速、高速系统中的适应性，环境对人的影响等这些人类工程学的课题也是工业工程的重要研究领域。

1.3.5 支持经营战略决策系统

现代企业为了生存和发展，都很重视企业的长远发展战略，因而企业经营战略研究成为引人注目的课题。为了使决策民主化和科学化，企业在决策中要对外部环境和市场变化的动态情况进行预测分析，同时又要对内部的实际状况和已有成绩进行实事求是的评价，在此基础上才能作出正确决策，

把握战略时机。

计算机管理系统和决策支持系统是不可缺少的现代化工具，工业工程的理论和方法也为建立经营战略决策系统提供了有力的支持。

2 工业工程的系统分析方法

2.1 系统分析方法概述

2.1.1 制造系统模型

根据系统工程的观点，企业是一个生产系统（或称为制造系统），是一个把生产输入转变为生产输出的系统。企业通过其生产过程，把生产要素转变成经济财富，从而产生效益。可以用图 2-1 所示的系统来表示生产输入—输出系统。

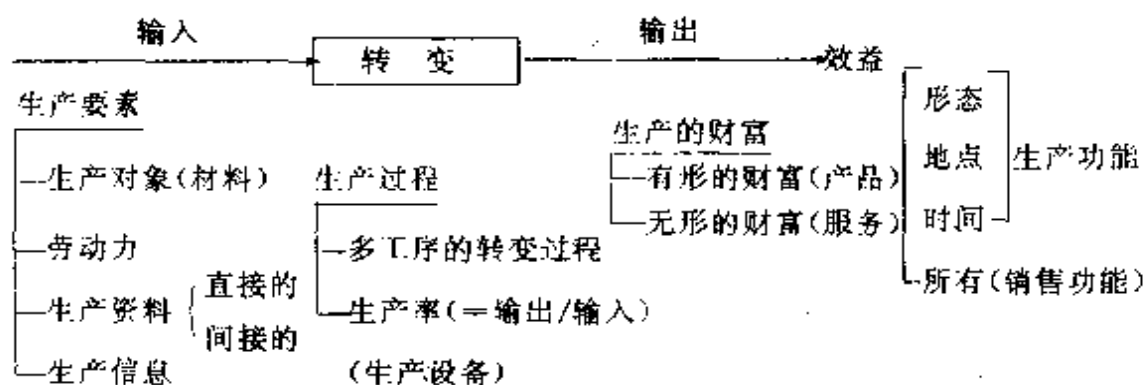


图 2-1 生产输入—输出系统

根据系统工程理论，任何一个系统都应具有下述四个属性：

(1) 集合性。集合性是指一个系统由多个可区别的单元组成，例如一个工厂就是由多个生产车间及其它部门所构成的。

(2) 相关性。指系统中的各个单元之间相互联系或相互作用。

(3) 目的性。作为一个整体，系统要完成一定的任务，达到一个或多个目的，并且力求以最高水平达到目的。制造系统就是通过把原材料有效地转变成有形财富或产品，来实现高效益的。

(4) 环境适应性。一个具体的实际系统必须能适应周围环境的变化。例如，当社会需要发生变化时，企业就应该迅速作出反应，通过改变产品来适应社会的需求变化，使企业的生产始终保持最优状态。

综上所述，制造系统由若干个相互联系的单元构成，它在一定的外界环境下，将生产输入（如原材料）经过一系列的阶段工作转变成生产输出（如产品），并力求达到最佳的经济效益和社会效益。

为了研究系统的性能，必须建立系统模型，用模型来描述系统。任何一个系统都可以用两个要素来描述：

(1) 系统的目标。

(2) 系统的约束。系统的约束分为内部约束和外部约束，由系统本身的结构和系统与外部环境之间的关系所构成。

在工业工程中，常用下述模型来研究制造系统：

(1) 实物模型。实物模型用立体方式表述系统，如工厂设计中常用样板来研究车间设备的布局。

(2) 图式模型。工业工程中常用图表、图形、表格、曲线等形式对实际情况进行描述，如设计图、流程图、工艺过程表、施工进度表（甘特图）、网络图和决策树等。这些图式模型有助于决策。

(3) 数学解析模型。指用数学表达式来描述系统，包括目标函数和约束条件。典型的系统数学模型如下：

目标函数：

$$\min f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

或 $\max f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

约束条件:

$$g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0$$

或者 $g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0$

或者 $h_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$

上述式中, $j=1, 2, \dots, l, i=1, 2, \dots, m, l$ 和 m 分别表示不等式约束和等式约束的条件数, 而变量 x_1, x_2, \dots, x_n 为系统的基本参数。这样, 从系统优化的观点来看, 系统优化就是在满足约束条件的前提下, 确定变量 x_1, x_2, \dots, x_n 的数值, 使目标函数取得最大或最小值。

2.1.2 工业工程常用的系统分析方法

由于工业工程是研究企业管理科学, 因此, 它所处理的各种问题大多具有很强的系统性, 需要统筹规划和综合治理。在工业工程的发展过程中, 许多系统分析方法和理论应运而生, 并发展成为新学科。

工业工程的系统分析方法繁多, 可以分为传统工业工程方法和系统工程与运筹学方法两种。

A 传统工业工程方法

工业工程发展了许多颇具特色的研究方法, 包括时间与动作研究、工作研究与测定、生产计划与控制等。这些方法广泛应用系统图表分析问题, 至今仍是工业工程人员必须掌握和使用的主要方法。

图表是直观形象地表述问题、吸引注意力和快速启迪思维的有效工具。图表的外观反映事物或问题的概貌和特征, 而其内在则体现设计者观察问题的洞察力、理解力和艺术表达力。因此, 设计图表是一种创造性工作。在系统分析作业中,

常用活动规划图表和问题分析图表。

(1) 活动规划图表。活动规划图表是系统分析活动中用来规划各项工作的图表，包括流程图、层次投入—过程—产出图、工作分配表和工作进度表等。

1) 流程图，包括系统流程图和程序流程图，分别用来系统地规划工作阶段（如工艺流程图）和思维程序（如程序框图）。流程图一般用标准符号来绘制。

2) 层次投入—过程—产出图，用来对工程系统进行层次分析和规划各项活动的投入项目、过程项目和产出项目。

3) 工作分配表，用来把计划中的工作项目分配给适当人选。工作分配的意义：一是要明确责任，二是要平衡工作负荷。

4) 工作进度表，用来给各项工作项目分配时间和确定时间先后顺序，如甘特图（表）和计划评审网络图。

(2) 问题分析图表。问题分析图表用来分析和表达各种问题中的构成因素或要素及其因果关系，主要有点阵图及矩阵图、关系树图及三角阵图、成组因素交叉关系矩阵和成组因素综合关系图等。这些图表是在系统分析过程中弄清问题的有效工具。

B 系统工程与运筹学方法

系统工程与运筹学已经成为现代工业工程的理论基础，特别是数学规划、网络技术、排队理论、系统模拟、库存理论等已成为工业工程进行系统分析时不可缺少的方法。

(1) 数学规划方法。人们在生产实践中，常遇到如何运用现有的资源（如人力、设备、原材料等）安排生产，使产值最大或利润最高的问题；或者对于给定的任务，如何合理安排以使用最少的资源消耗去完成的问题。规划理论（Pro-

programming Theory)就是研究如何有效的利用有限的资源,合理分配生产任务,选择最佳的生产布置以及合理安排物资调运方案,以求得最优效益的理论。

数学规划方法包括线性规划、非线性规划和动态规划等。

1) 线性规划。在安排生产计划时,常要确定产品产量、物资调运量或工作任务分配量等,所有这些称为决策变量;通过选择决策变量值的大小,来取得最优效益——目标函数;而生产中相关因素很多,决策变量的选择受很多方面的制约,如受劳动力、原材料、机器设备、能源、资金等资源和生产能力、市场需求等各方面的限制——约束条件。线性规划就是通过求解所建立起来的数学模型以解决上述问题的方法。决策变量以一次幂形式出现在目标函数和约束条件中。这种问题可以通过有限次迭代求得最优解。

2) 非线性规划:在上述问题中,当目标函数和约束条件是决策变量的非线性函数时,则称为非线性规划。非线性关系的复杂性使得非线性规划求解比较困难,一般采用搜索法。

3) 动态规划:若一个总体的决策可以划分成多阶段决策时,某阶段决策又会影响后续决策,决策变量在各个阶段(或时期)中是相互联系和制约的。动态规划就是研究这种多阶段决策问题的数学规划方法。动态规划在研究和确定某一阶段(或时期)的最优决策时,应该考虑包含这一阶段(或时期)在内的以前所有阶段(或时期)的最优决策,以实现总体最优决策。因此,动态规划用递推方法求解。

(2) 网络分析理论。在生产加工、运输管理和工程建设中,需要解决诸如各种工艺路线的安排、厂区及货场的布局、管道路线的铺设及设备更新之类的问题。这些问题都可以通过构造成网络模型来加以解决。网络分析理论(Net-Work

Analysis Theory) 就是通过把研究的问题构造成网络模型, 然后再加以数学分析, 以获得最优决策效果的理论。

在工程项目管理中, 网络分析理论应用最为广泛, 常用方法有关键路线法 (CPM) 和计划评审技术 (PERT)。

除数学规划、网络分析理论外, 运筹学还研究在保证生产或经销活动能够连续进行的前提下, 使原材料等各种物资的库存总费用达到最小的库存理论; 研究在适当时机更新设备而使设备投资费用最少的设备更新理论; 研究如何安排加工顺序而使总的加工时间最短的排序理论; 以及质量控制理论、决策理论、对策理论、预测理论和计算机模拟技术等。

总之, 工业工程的基本原理和运筹学等数学方法以及计算机技术相结合, 构成了现代制造系统的基本内容。

2.2 线 性 规 划

2.2.1 资源调配问题

在生产中常遇到这样两类问题, 一类是已有一定数量的人力、物力资源, 研究如何充分并合理地使用这些资源, 才能使所完成的任务量最大; 另一类是已确定了一项任务, 研究怎样合理安排, 才能使完成此项任务所消耗的资源量最小。

例1 某工厂生产 A 和 B 两种产品。为了生产一件 A 和 B 产品, 需要钢材分别为 2 吨和 3 吨, 需要工时分别为 4 天和 2 天。现在可以应用的钢材为 100 吨, 工时为 120 天, 每生产一件 A 和 B 产品分别可获利润 6 万元和 4 万元, 应当如何安排生产才能获得最大利润?

设该厂应生产 A、B 产品分别为 x_1 和 x_2 , 则获得的利润为最大值:

$$z = 6x_1 + 4x_2 \rightarrow \max$$

且 x_1 和 x_2 应满足约束条件:

原材料: $2x_1 + 3x_2 \leq 100$

工 时: $4x_1 + 2x_2 \leq 120$

非负限制: $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$

这个问题需要求出 x_1, x_2 , 既要满足约束条件又要使目标函数值 z 最大, 是一个最优化问题。因为目标函数和约束条件都是线性函数, 因此上述问题是一个线性规划问题。

把上述问题写成线性规划数学模型形式:

$$\begin{aligned} \max \quad & z = 6x_1 + 4x_2 \\ \text{s. t.} \quad & \begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \leq 100 \\ 4x_1 + 2x_2 \leq 120 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (2-1)$$

例 2 要做 100 套钢架, 每套由长为 2.9 米、2.1 米和 1.5 米的圆钢各一根组成, 已知原料长为 7.4 米, 应如何下料, 才能使使用的原料最少?

如果在每根原料上截取 2.9 米、2.1 米和 1.5 米的棒料各一根, 这样每根原料剩余的料头长度为 $7.4 - 2.9 - 2.1 - 1.5 = 0.9$ 米, 所以做 100 套钢架需要 100 根原料, 料头总长为 90 米。那么, 有没有其它的下料方案可以节省原料呢? 答案是肯定的, 可以采用不同的套裁方案达到节省原料的目的。表 2-1 为可以采用的套裁方案。

表 2-1 原料套裁方案

下料根数 长度(米)	方案	I	II	III	IV	V
2.9		1	2		1	
2.1				2	2	1
1.5		3	1	2		3
合计		7.4	7.3	7.2	7.1	6.6
料头		0	0.1	0.2	0.3	0.8

为了达到省料的目的，需要混合使用各种下料方案。设采用第 I 至 V 种方案的根数分别为 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 和 x_5 时，总的料头长度最小，即目标函数

$$z = 0 \times x_1 + 0.1x_2 + 0.2x_3 + 0.3x_4 + 0.8x_5 \rightarrow \min$$

由于每种棒料的根数应为 100 根，即下料的约束条件为

$$1 \times x_1 + 2 \times x_2 + 0 \times x_3 + 1 \times x_4 + 0 \times x_5 = 100$$

$$0 \times x_1 + 0 \times x_2 + 2 \times x_3 + 2 \times x_4 + 1 \times x_5 = 100$$

$$3 \times x_1 + 1 \times x_2 + 2 \times x_3 + 0 \times x_4 + 3 \times x_5 = 100$$

且 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0$ 。

写成线性规划数学模型：

$$\begin{aligned} \min \quad & z = 0.1x_2 + 0.2x_3 + 0.3x_4 + 0.8x_5 \\ \text{s. t.} \quad & \begin{cases} x_1 + 2x_2 + x_4 = 100 \\ 2x_3 + 2x_4 + x_5 = 100 \\ 3x_1 + x_2 + 2x_3 + 3x_5 = 100 \\ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (2-2)$$

由上述实例可以看出，线性规划问题具有以下共同特征：

(1) 每一个问题都用一组未知数 (x_1, x_2, \dots, x_n) 表示某一方案，这组未知数的一组值代表一种方案，通常要求这些未知数是非负的，未知数的个数 n 为线性规划的维数。

(2) 存在一定的限制条件，这些条件可以用一组未知数的线性等式或不等式来表达，称为约束方程组，约束方程组中方程的个数 m 称为线性规划的阶数。

(3) 都有一个要求取最大或最小值的线性目标函数。

一般地，可以把这类问题归纳为如下数学模型：

$$\max (\min) \quad z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

式 (2-3) 为线性规划的一般形式, 这种形式可以简记为

目标函数系数 c_j ($j=1, 2, \dots, n$) 称为价值系数。

2.2.2 二变量线性规划问题的求解方法

首先，用 2.2.1 中的例 1 来初步探讨线性规划问题的求解方法。

A 图解法

在例 1 中，有两个不等式约束方程：

改写成等式形式:

$$\begin{array}{rcl} 2x_1 + 3x_2 & = & 100 \\ 4x_1 + 2x_2 & = & 120 \end{array}$$

则上述二式为 x_1Ox_2 平面直角坐标系 (见图 2-2) 中的直线方程, 直线 NC 和 MA 分别对应于上述方程。设 NC 与 MA 相交于 B 点, 那么可以看出, 满足例 1 约束条件的所有的 x_1 、 x_2 的值应位于外凸多边形 $OABC$ (图中阴影部分) 之内。外凸多边形 $OABC$ 称为 x_1 、 x_2 的可行域, 处于 $OABC$ 之内的任意

一对 x_1 、 x_2 的值都满足例 1 线性规划问题的约束条件。因此，满足约束条件的 x_1 、 x_2 的值有无数对。在所有可行的 x_1 和 x_2 的值之中，必须找出使目标函数取得最大值的那一对 x_1 、 x_2 的值。

在 x_1Ox_2 平面坐标系上引入第三个坐标 z 来表示目标函数值，这样就形成了空

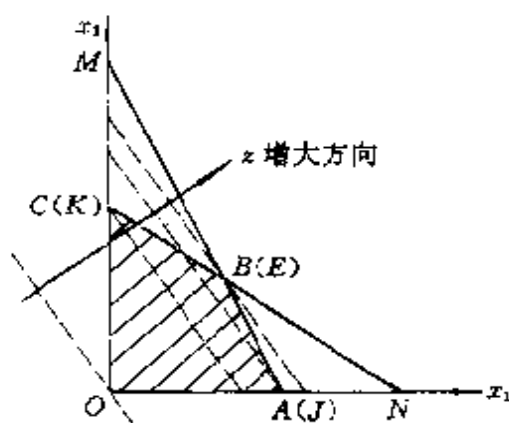


图 2-2 x_1 、 x_2 的可行域

间直角坐标系。由目标函数表达式可知，目标函数为一空间平面，即平面 OGH ，如图 2-3 所示。在图 2-3 中， x_1 和 x_2 的可行域可以引伸为一个凸棱柱体，即棱柱体 $OABC-IDEF$ 。由

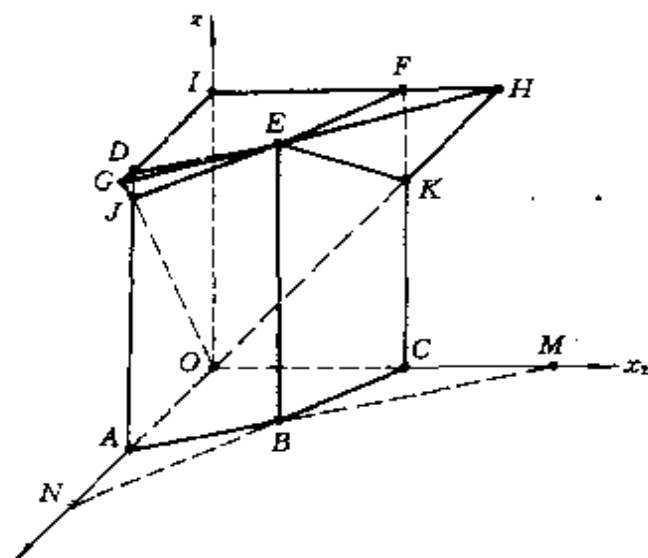


图 2-3 目标函数平面 OGH

于 $OABC-IDEF$ 是外凸棱柱体，因此，目标函数平面 OGH 与 $OABC-IDEF$ 的交线是一组折线，如图 2-3 中的 $OJEKO$ 。也就是说，目标函数在折线的交点处可能取得极值。

既然目标函数最大值出现在交点 O 、 J 、 E 、 K 中，那么可通过这些点做水平截面，水

平截面的高度就是目标函数值。对于本例来说，目标函数值 z 分别等于 0、180、200、133.3，最大值为 200，即 E 点所对

应的 x_1 和 x_2 的值为例 1 的解。

为了简化上述求解过程，可以把水平截面与目标函数平面的交线投影到 x_1Ox_2 平面上。这些交线的投影是一组平行线，如图 2-2 所示，且沿箭头所指方向 z 值在增大。也就是说， B 点（ E 点的投影）所对应的目标函数值 $z=200$ 最大，所对应的 x_1 和 x_2 可以用直线 NC 和 MA 的方程求出，有 $x_1=20$ 、 $x_2=20$ 。

综上所述，对二变量线性规划问题，用图解法求解的步骤如下：

(1) 将所有约束条件转化为等式直线方程，并绘制到坐标平面上；

(2) 确定可行域多边形边界，计算各顶点的坐标；

(3) 任选一顶点，设为 (x_{10}, x_{20}) ，计算其所对应的目标函数值 $z_0=c_1x_{10}+c_2x_{20}$ ，过该顶点作目标函数的等值线即直线 $z_0=c_1x_1+c_2x_2$ ；

(4) 确定目标函数增大（最大值情况）或减小（最小值情况）的方向，沿此方向平行移动目标函数等值线，直至可行域边界，则此目标函数等值线所通过的可行域边界顶点就是线性规划问题的最优点，最优点的坐标 x_1^* 、 x_2^* 的值就是线性规划问题的最优解。

B 线性规划问题的解的特殊情况

下面利用图解法来说明线性规划问题的解的几种特殊情况。

(1) 无穷多个最优解。如果把例 1 中的目标函数改为

$$\max \quad z=4x_1+6x_2$$

而约束条件不变，则从图 2-4 中可以看出，目标函数等值线与

可行域边界的一边 BC 平行。随着目标函数值 z 的增大, 目标函数等值线最终与直线 BC 重合, 那么线段 BC 上任意一点都是最优点, 因此, 该线性规划问题有无穷多个最优解。

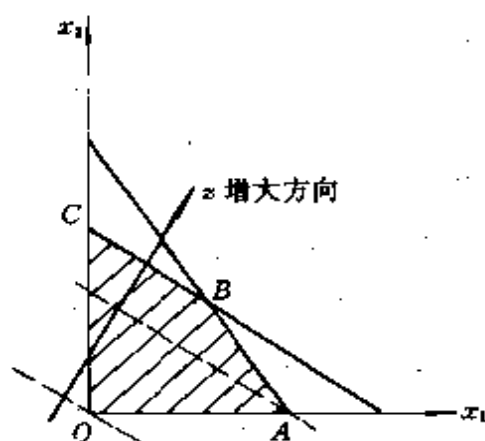


图 2-4 无穷多个解的情况

(2) 非封闭可行域。

设某线性规划问题为

$$\begin{aligned} \max \quad & z = x_1 + x_2 \\ \text{s. t.} \quad & \begin{cases} 3x_1 + x_2 \geq 6 \\ x_1 - x_2 \leq 2 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

利用图解法可得到如图 2-5 所示的可行域。该可行域是不封闭的, 即沿目标函数增大方向, 目标函数等值线可以无限移动下去。该线性规划问题的目标函数无上界。

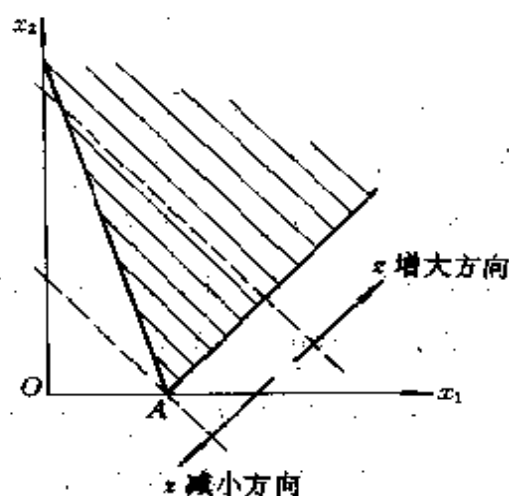


图 2-5 非封闭可行域

但如果这个线性规划问题是求目标函数的最小值, 则可求得 A 点为最优点, 即在 A 点处目标函数有最小值 $z=2$ 。

(3) 约束条件无可行域。当线性规划问题中的约束条件出现矛盾时, 就会出现无可行域的情况。例如, 线性规划问

题。

$$\begin{aligned} \max \quad & z = x_1 + 3x_2 \\ \text{s. t.} \quad & \begin{cases} x_1 + x_2 \leq 10 \\ 2x_1 + x_2 \geq 30 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

就不存在可行域,也就是说,任何一组 x_1 、 x_2 的值都不能满足约束条件。因此,在这种情况下,线性规划问题无解。

C 二变量线性规划问题的单纯形解法

图解法虽然直观、简便,但只能求解二变量线性规划问题,而不适合求解三变量以上的线性规划问题。为此,这里通过求解二变量线性规划问题,引出更通用的线性规划问题的求解方法——单纯形法。

现仍以例 1 为例,来讨论单纯形法求解线性规划问题的基本思路。

为了应用单纯形法,首先必须把式 (2-1) 中不等式约束条件转化成等式。设 x_3 为完成生产计划后剩余原料数量, x_4 为完成生产计划后剩余工时数量,并称 x_3 、 x_4 为松弛变量。则式 (2-1) 变成

$$\begin{aligned} \max \quad & z = 6x_1 + 4x_2 + 0 \times x_3 + 0 \times x_4 \\ \text{s. t.} \quad & \begin{cases} 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 0 \times x_4 = 100 \\ 4x_1 + 2x_2 + 0 \times x_3 + x_4 = 120 \\ x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (2-5)$$

在式 (2-5) 的目标函数中, x_3 、 x_4 项的系数为 0,说明剩余原料和工时并不产生利润。

将求最大值问题转化为求最小值问题,则式 (2-6) 变成

$$\min \quad z = -6x_1 - 4x_2 - 0 \times x_3 - 0 \times x_4$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} 2x_1 + 3x_2 + x_3 + 0 \times x_4 = 100 \\ 4x_1 + 2x_2 + 0 \times x_3 + x_4 = 120 \\ x_j \geq 0 \quad j=1, 2, 3, 4 \end{cases} \quad (2-6)$$

引入向量和矩阵表示形式, 则

$$C = \{c_j | j=1, 2, 3, 4\} = (-6 \quad -4 \quad 0 \quad 0)$$

$$A = \{a_{ij} | i=1, 2; j=1, 2, 3, 4\} = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 1 & 0 \\ 4 & 2 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$B = \{b_i | i=1, 2\} = \begin{pmatrix} 100 \\ 120 \end{pmatrix}$$

其中, c_j 为目标函数中的系数, a_{ij} 为约束方程组的系数, b_i 为约束方程组的常数项。

应用单纯形法求解式 (2-6) 需按照下列步骤进行。

第一步, 构造一个基本可行解。

在系数矩阵

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 1 & 0 \\ 4 & 2 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

中存在一个 2 阶单位矩阵

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

称 E 为基, 对应的变量 x_3, x_4 为基变量, 由式 (2-6) 可以把 x_3, x_4 表示为

$$\begin{cases} x_3 = b_1 - a_{11}x_1 - a_{12}x_2 = 100 - 2x_1 - 3x_2 \\ x_4 = b_2 - a_{21}x_1 - a_{22}x_2 = 120 - 4x_1 - 2x_2 \end{cases} \quad (2-7)$$

其中, x_1, x_2 称为非基变量。令非基变量 $x_1 = x_2 = 0$, 则得到式 (2-6) 的一个可行解, 称为基本可行解, 即 $x_1 = 0, x_2 = 0, x_3 = 100, x_4 = 120$ 。用向量形式表示, 基本可行解为

$$X^{(1)} = \{x_j | j=1, 2, 3, 4\}^T = (0, 0, 100, 120)^T$$

对应的目标函数值 $z=0$ 。

第二步, 检验 $X^{(1)}$ 是否是最优解, 若不是最优解, 则确定换入变量。

将式 (2-7) 代入式 (2-6) 的目标函数中, 得到

$$z = -6x_1 - 4x_2 \quad (2-8)$$

即消去目标函数中的基变量, 则 z 表示为非基变量 x_1 、 x_2 的函数。此时, 目标函数中的系数向量为

$$C = (-6, -4, 0, 0)$$

其中, 与非基变量 x_1 、 x_2 对应的系数 $c_1 = -6$ 、 $c_2 = -4$ 均小于 0, 说明非基变量 x_1 、 x_2 中的任何一个由零变成正值都会使目标函数值减小; 而与基变量 x_3 、 x_4 对应的系数 $c_3 = c_4 = 0$, 就是说, 这些基变量数值改变不影响目标函数值。因此, 可以把某一非基变量转换为基变量, 使目标函数值下降。 x_1 、 x_2 均可转换为基变量, 需要采取一定的措施选择其中一个转换为基变量, 并称该变量为换入变量。

若 x_1 、 x_2 分别增大一个单位, 即 $x_1 = x_2 = 1$, 此时目标函数分别变化 $c_1 = -6$ 、 $c_2 = -4$, 也就是说, 若选 x_1 为换入变量, 则目标函数值下降更快。因此, 选择换入变量的原则是

$$C_q = \min \{c_j < 0 \mid j = 1, 2, 3, 4\}$$

即小于零的 c_j 中, 最小的系数 C_q 所对应的变量 X_q 为换入变量。对于本例来说, $q=1$, 即 x_1 为换入变量。

第三步, 确定换出变量。

由于只有 2 个约束方程, 因此基变量也只能有 2 个。换入 1 个变量后, 就必须将某个基变量转换为非基变量, 这个变量称为换出变量。

确定换出变量时, 必须保证其他基变量的值仍为非负的。观察式 (2-7), 仍令非基变量 $x_2 = 0$, 则

$$\begin{cases} x_3 = b_1 - a_{11}x_1 \\ x_4 = b_2 - a_{21}x_1 \end{cases}$$

因此有 $x_1 = \frac{b_1}{a_{11}} - \frac{x_3}{a_{11}}$

或者 $x_1 = \frac{b_2}{a_{21}} - \frac{x_4}{a_{21}}$

若取 $x_3 = 0$, $x_1 = \frac{b_1}{a_{11}}$, 则

$$x_4 = b_2 - a_{21} \times \frac{b_1}{a_{11}}$$

若要求 $x_4 \geq 0$, 即

$$0 \leq b_2 - a_{21} \times \frac{b_1}{a_{11}}$$

也就是 $\frac{b_1}{a_{11}} \leq \frac{b_2}{a_{21}} \quad a_{21} > 0$

或者 $\frac{b_1}{a_{11}} \geq \frac{b_2}{a_{21}} \quad a_{21} < 0$

由于 $x_1 = \frac{b_1}{a_{11}} \geq 0$, 若 $a_{21} \leq 0$, 则 $x_4 \geq 0$, 因此只考虑 $a_{21} > 0$ 的情况。

若 x_3 为换出变量, 则条件是

$$\frac{b_1}{a_{11}} \leq \frac{b_2}{a_{21}}$$

否则, x_4 为换出变量。

确定换出变量的原则是某行 p 满足下式:

$$\frac{b_p}{a_{pq}} = \min \left\{ \frac{b_i}{a_{iq}} \mid a_{iq} > 0, i = 1, 2 \right\}$$

对于本例来说, $\frac{b_1}{a_{11}} = \frac{100}{2} = 50$, $\frac{b_2}{a_{21}} = \frac{120}{4} = 30$, 即 $p = 2$,

因此换出变量为 x_4 , 称 $a_{pq} = a_{21}$ 为主元。

第四步, 换基, 进行旋转变换。

对于式 (2-6) 中的约束方程组的增广矩阵

$$F = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & b_2 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 1 & 0 & 100 \\ 4 & 2 & 0 & 1 & 120 \end{bmatrix}$$

进行初等变换, 将主元所在列的其它元素变换到 0, 将主元变换为 1。具体步骤如下:

(1) 主元所在行变换:

$$a_{pj} \leftarrow a_{pj} / a_{pq} \quad j=1, 2, 3, 4 \text{ 且 } j \neq q \\ a_{pq} = 1$$

其中, $p=2, q=4$ 。

(2) 消去主元所在列:

$$a_{ij} \leftarrow a_{ij} - a_{iq} a_{pj}$$

其中, $i=1, 2$ 且 $i \neq p, j=1, 2, 3, 4$ 。

经过上述初等变换, 增广矩阵转化成如下形式:

$$F' = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 1 & -\frac{1}{2} & 40 \\ 1 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{4} & 30 \end{bmatrix}$$

此时基变量为 x_1, x_3 , 非基变量为 x_2 和 x_4 。令非基变量 $x_2 = x_4 = 0$, 则新的基本可行解为

$$X^{(2)} = (30, 0, 40, 0)^T$$

对应的目标函数值 $z = -180$ 。

以后从基本可行解 $X^{(2)}$ 出发, 重复第二至第四步, 直至求得最优解。具体步骤如下:

(1) 由 F' 所表示的约束方程组导出基变量表达式

$$x_1 = 30 - \frac{1}{2} \times 2 - \frac{1}{4} \times 4$$

和
$$x_3 = 40 - 2x_2 + \frac{1}{2}x_4$$

代入目标函数表达式，消去基变量 x_1 和 x_3 ，有

$$\begin{aligned} z &= -6x_1 - 4x_2 \\ &= -180 - x_2 + \frac{3}{2}x_4 \end{aligned}$$

由上式可知，新的目标函数系数向量为

$$C = \left(0 \quad -1 \quad 0 \quad \frac{3}{2} \right)$$

由于 c_j 中存在负的系数 $c_2 = -1$ ，根据换入变量选择原则，则换入变量选为 x_2 ，即 $q=2$ 。

(2) 根据换出变量选择原则则有

$$\frac{b_p}{a_{pq}} = \min \left\{ \frac{40}{2}, \frac{\frac{30}{1}}{\frac{1}{2}} \right\} = 20$$

且 $p=1$ ，则换出变量为 x_3 ，主元为 $a_{pq} = a_{12}$ 。

(3) 对约束方程组增广矩阵进行初等变换：

$$F^* = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{4} & 20 \\ 1 & 0 & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{8} & 20 \end{bmatrix}$$

此时非基变量为 $x_3 = x_4 = 0$ ，基变量 $x_1 = 20$ 、 $x_2 = 20$ ，新的基本可行解为

$$X^{(3)} = (20, 20, 0, 0)^T$$

(4) 新的基变量表达式为

$$x_1 = 20 + \frac{1}{4}x_3 + \frac{1}{8}x_4$$

和
$$x_2 = 20 - \frac{1}{2}x_3 + \frac{1}{4}x_4$$

代入目标函数表达式，则

$$\begin{aligned} z &= -180 - x_2 + \frac{3}{2}x_4 \\ &= -200 + \frac{1}{2}x_3 + \frac{5}{4}x_4 \end{aligned}$$

其系数向量

$$C = \left(0, \quad 0, \quad \frac{1}{2}, \quad \frac{5}{4} \right)$$

非基变量对应的系数均为非负值, 因此已求得例 1 的最优解:

$$X^* = X^{(3)} = (20, \quad 20, \quad 0, \quad 0)^T$$

对应的目标函数值 $z = -200$ 。

从而求得例 1 中 A 和 B 产品产量应分别为 20 和 20, 获得的最大利润为 200 万元, 此时原材料利用了 100 吨, 即全部用完, 工时利用了 120 天, 也已全部用完。

下面归纳例 1 的求解步骤:

- (1) 改造线性规划的表示形式, 从中得出初始基本可行解;
- (2) 根据目标函数中系数的正负, 判断基本可行解是否最优; 如果是最优的, 自然结束, 否则确定换入变量;
- (3) 确定换出变量;
- (4) 换基, 进行旋转变换, 求出使目标函数值进一步下降的新的基本可行解, 重复 (2) 到 (4)。

上述规律具有一般性, 以下将讨论线性规划问题的一般解法。

2.2.3 单纯形法

通过以上例题, 可得求解线性规划问题的单纯形法的基本步骤。

第一步, 确定初始基本可行解。

首先, 把线性规划问题的数学模型转化成标准形式: 一

其中, $i=1, 2, \dots, m$ 。

代入式 (2-9) 目标函数表达式中, 得

$$\begin{aligned} z &= \sum_{i=1}^m c_i x_i + \sum_{j=m+1}^n c_j x_j \\ &= \sum_{i=1}^m c_i (b_i - \sum_{j=m+1}^n a_{ij} x_j) + \sum_{j=m+1}^n c_j x_j \\ &= \sum_{i=1}^m c_i b_i + \sum_{j=m+1}^n (c_j - \sum_{i=1}^m c_i a_{ij}) x_j \end{aligned}$$

令

$$t_j = c_j - \sum_{i=1}^m c_i a_{ij} \quad (2-12)$$

其中, $j=m+1, \dots, n$, 则

$$z = \sum_{i=1}^m c_i b_i + \sum_{j=m+1}^n t_j x_j \quad (2-13)$$

式 (2-13) 中, $\sum_{i=1}^m c_i b_i$ 是常数, 是对应当前基本可行解的目标函数值。 t_j 称作检验数, 对于基变量 x_1, x_2, \dots, x_m 对应的检验数 t_j , 有

$$\begin{aligned} t_j &= c_j - \sum_{i=1}^m c_i a_{ij} \\ &= c_j - (c_1 a_{1j} + c_2 a_{2j} + \dots + c_j a_{jj} + \dots + c_m a_{mj}) \\ &= c_j - (0 + 0 + \dots + c_j \cdot 1 + \dots + 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

即 $j=1, 2, \dots, m$ 时, $t_j=0$ 。

若第 i 个约束方程中的基变量为 x_{B_i} , 且 $B_i=1$ 或 2 或... 或 n , 则检验数

$$t_j = c_j - \sum_{i=1}^m c_{B_i} a_{B_i j} \quad (2-14)$$

关于检验数与线性规划问题的解之间的关系有如下结论:

(1) 如果所有的检验数都大于等于 0, 即对于 $j=1, 2, \dots$,

n 都有 $t_j \geq 0$, 则基本可行解是线性规划问题的最优解。

事实上, 对于任一基本可行解 $(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 都有 $x_j \geq 0$ ($j=1, 2, \dots, n$), 因此, 目标函数值

$$z = \sum_{i=1}^m c_i b_i + \sum_{j=m+1}^n t_j x_j \geq \sum_{i=1}^m c_i b_i$$

而对于基本可行解 $x^{(1)} = (b_1, b_2, \dots, b_m, 0, \dots, 0)^T$ 来说, 使得 $z = \sum_{i=1}^m c_i b_i$, 即目标函数取得极小值, 因此 $x^{(1)}$ 是最优解。

(2) 如果存在某个检验数 $t_j < 0$, 且对应的变量 x_j 的系数全部小于或等于 0, 即 $a_{ij} \leq 0, i=1, 2, \dots, m$, 则线性规划问题无解。

(3) 除上述两种情况外, 当某些检验数 $t_j < 0$ 时, x_j 由 0 变为正数可使目标函数值减小, 因此, 要将某个非基变量 x_j 转换为基变量, 这个变量称为换入变量。一般取

$$t_k = \min \{t_j | t_j < 0, j=1, 2, \dots, n\}$$

即 $t_j < 0$ 中最小的 t_k 所对应的变量 x_k 为换入变量。

第三步, 确定换出变量。确定换入变量后, 必须从原来的基变量中选取一个变量转换为非基变量, 这个变量称为换出变量。

设 x_k 为换入变量, 而其它非基变量仍是非基变量, 保持为 0 不变, 则由式 (2-11) 可得

$$x_i = b_i - a_{ik} x_k$$

其中, $i=1, 2, \dots, m$ 。如果取某一个 x_i 为非基变量, 令 $x_i = 0$, 且 $a_{ik} > 0$, 则得

$$x_k = \frac{b_i}{a_{ik}}$$

则对于其它的基变量有

$$x_i = b_i - a_{ik} \times \frac{b_i}{a_{ik}}$$

如果 $a_{ik} \leq 0$, 则 $x_i \geq 0$; 如果 $a_{ik} > 0$, 则只有当 $\frac{b_i}{a_{ik}} \geq \frac{b_s}{a_{sk}}$ 时, 才能保证 $x_i \geq 0$, 也就是说, $\frac{b_s}{a_{sk}}$ 是 $\frac{b_i}{a_{ik}}, i=1, 2, \dots, m$ 中的最小值, 即令

$$\theta = \min \left\{ \frac{b_i}{a_{ik}} \mid a_{ik} > 0 \right\} = \frac{b_s}{a_{sk}} \quad (2-15)$$

利用上式确定 s 值, 称为 θ 准则。 x_s 为换出变量, a_{sk} 为主元。

第四步, 换基, 以 a_{sk} 为主元作旋转变换。

首先, 利用初等变换, 将 s 行约束方程主元变为 1, 即变换后的约束方程系数为

$$\begin{cases} a'_{ij} \leftarrow a_{ij}/a_{sk} & j=1, 2, \dots, m, \text{ 且 } j \neq k \\ b'_i \leftarrow b_i/a_{sk} \\ a'_{sk} \leftarrow 1 \end{cases} \quad (2-16)$$

然后, 对其它行约束方程系数进行如下初等变换:

$$\begin{cases} a'_{ij} \leftarrow a_{ij} - \frac{a_{sj}}{a_{sk}} \times a_{ik} \\ b'_i \leftarrow b_i - \frac{b_s}{a_{sk}} \times a_{ik} \end{cases} \quad (2-17)$$

其中, $i=1, 2, \dots, m$, 且 $i \neq s$ 。

第五步, 求出新的基本可行解

$$x_{b_i} = b_i \quad i=1, 2, \dots, m \quad (2-18)$$

其中, x_{b_i} 为第 i 行约束方程中的基变量。

第六步, 求新的检验数

$$t'_j \leftarrow t_j - \frac{a_{sj}}{a_{sk}} \quad j=1, 2, \dots, n \quad (2-19)$$

第七步, 重复第二至第七步。

从一个基本可行解出发, 应用上述方法就可以求出线性规划问题的最优解。

2.2.4 极大化线性规划问题

前面讨论了极小化线性规划问题最优解的一般求法；而对于极大化线性规划问题，通过将其目标函数转化成求最小值，就可以利用极小化线性规划问题最优解的单纯形法进行求解。

对于极大化线性规划问题

$$\begin{aligned} \max \quad & z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s. t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leqslant (=, \geqslant) b_i & i=1, 2, \dots, m \\ x_j \geqslant 0 & j=1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (2-20)$$

只要将目标函数中的所有系数均同时改变符号，就可以转化成极小值线性规划问题

$$\begin{aligned} \min \quad & z = \sum_{j=1}^n (-c_j) x_j \\ \text{s. t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leqslant (=, \geqslant) b_i & i=1, 2, \dots, m \\ x_j \geqslant 0 & j=1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned} \quad (2-21)$$

求得式(2-21)极小化线性规划问题的最优解就是式(2-20)极大化线性规划问题的最优解。

2.2.5 初始基本可行解的确定

对于一般的线性规划问题，约束条件往往存在不等约束方程，不妨假设有 l 个小于等于约束方程、 e 个等于约束方程和 g 个大于等于约束方程。为了不失一般性，假设前 l 个约束方程为小于等于约束方程，中间 e 个约束方程为等于约束方程，后面 g 个约束方程为大于等于约束方程，如下所示：

$$\min \quad z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^v a_{ij}x_j \leq b_i & i=1, 2, \dots, l \\ \sum_{j=1}^v a_{ij}x_j = b_i & i=l+1, l+2, \dots, l+e \\ \sum_{j=1}^v a_{ij}x_j \geq b_i & i=l+e+1, \dots, l+e+g=m \\ x_j \geq 0 & j=1, 2, \dots, v \end{cases} \quad (2-22)$$

式 (2-22) 中, 设变量数为 v 个。

为了求解式 (2-22), 必须把不等约束方程转化成等式约束方程。

(1) 引入剩余变量, 把大于等于约束方程转化为等式约束方程:

$$\sum_{j=1}^v a_{ij}x_j - x_{v+1+i-(l+e)} = b_i \quad i=l+e+1, \dots, m$$

剩余变量对应的目标函数系数 $c_{v+1}, c_{v+2}, \dots, c_{v+g}$ 均为 0。

(2) 引入松弛变量, 把小于等于约束方程转化为等式约束方程:

$$\sum_{j=1}^v a_{ij}x_j + x_{v+g+i} = b_i \quad i=1, 2, \dots, l$$

松弛变量对应的目标函数系数 $c_{v+g+1}, c_{v+g+2}, \dots, c_{v+g+l}$ 均为 0。

经过上述处理, 式 (2-22) 转化成式 (2-23):

$$\begin{aligned} \min \quad z &= \sum_{j=1}^v c_j x_j + \sum_{j=v+1}^{v+g+l} 0 \times x_j \\ \text{s. t.} \quad &\begin{cases} \sum_{j=1}^v a_{ij}x_j + \sum_{j=v+1}^{v+g} 0 \times x_j + x_{v+g+i} = b_i & i=1, 2, \dots, l \\ \sum_{j=1}^v a_{ij}x_j + \sum_{j=v+1}^{v+g} 0 \times x_j + \sum_{j=v+g+1}^{v+g+l} 0 \times x_j = b_i & i=l+1, \dots, l+e \\ \sum_{j=1}^v a_{ij}x_j - x_{v+1+i-(l+e)} + \sum_{j=v+g+1}^{v+g+l} 0 \times x_j = b_i & i=l+e+1, \dots, m \\ x_j \geq 0 & j=1, 2, \dots, v, v+1, \dots, v+g+l \end{cases} \end{aligned} \quad (2-23)$$

(3) 添加人工变量。由式 (2-23) 可以看出, 前 l 个约束

方程中存在 l 个松弛变量 $x_{v+g+1}, x_{v+g+2}, \dots, x_{v+g+l}$ 可以作为基变量, 不足的基变量可以通过在约束方程组的后 $(e+g)$ 个方程中添加人工变量 $x_{v+g+l+1}, x_{v+g+l+2}, \dots, x_{v+g+l+e+g} = x_{v+g+m}$ 构成, 从而式 (2-23) 中的约束条件变成

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^v a_{1j}x_j & + x_{v+g+1} & = b_1 \\ \dots\dots\dots & \ddots & \\ \sum_{j=1}^v a_{lj}x_j & + x_{v+g+l} & = b_l \\ \sum_{j=1}^v a_{l+1,j}x_j & & + x_{v+g+l+1} & = b_{l+1} \\ \dots\dots\dots & \ddots & \\ \sum_{j=1}^v a_{l+e,j}x_j & & + x_{v+g+l+e} & = b_{l+e} \\ \sum_{j=1}^v a_{l+e+1,j}x_j - x_{v+1} & & + x_{v+g+l+e+1} & = b_{l+e+1} \\ \dots\dots\dots & \ddots & \\ \sum_{j=1}^v a_{mj}x_j & - x_{v+g} & + x_{v+g+m} & = b_m \\ x_j \geq 0 & j=1, 2, \dots, n \end{cases}$$

其中, n 为变量总数, 则 $n=v+l+e+2g$ 。

添加的人工变量是人为加到原约束方程组中的变量, 必须将它们从基变量逐步地转换为非基变量。如果经过基变换, 基变量中不再包含人工变量, 这表示原问题有解, 否则原问题无可行解。

求解加入人工变量的线性规划问题有两种方法, 一是大 M 法, 二是两阶段法。这里只介绍大 M 法。

所谓大 M 法, 就是在目标函数中, 把人工变量的系数规定为一个很大的正数 M (如 $M=1000$), 这样, 只要基变量中还有人工变量, 目标函数就不可能取最小值。经过多次迭代, 将人工变量逐步由基变量转换为非基变量, 最后求得原问题

的最优解。

经过上述处理，就得到了基变量 $x_{v+g+1}, x_{v+g+2}, \dots, x_{v+g+m}$ 。令非基变量 $x_1=0, x_2=0, \dots, x_{v+g}=0$ ，则得初始可行解：

$$x^{(1)} = \{0, \dots, 0, b_1, b_2, \dots, b_m\}$$

此时，线性规划数学模型为

$$\begin{aligned} \min \quad & z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s. t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^{v+g} a_{ij} x_j + x_{v+g+i} = b_i & i=1, 2, \dots, m \\ x_j \geq 0 & j=1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned}$$

用向量和矩阵表示上述线性规划问题：

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1v} & 0 & \dots & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ a_{l1} & a_{l2} & \dots & a_{lv} & 0 & \dots & 0 & 1 \\ a_{l+11} & a_{l+12} & \dots & a_{l+1v} & 0 & \dots & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ a_{l+e1} & a_{l+e2} & \dots & a_{l+ev} & 0 & \dots & 0 & 1 \\ a_{l+e+11} & a_{l+e+12} & \dots & a_{l+e+1v} & -1 & \dots & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mv} & -1 & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T$$

$$C = (c_1, c_2, \dots, c_v, 0, \dots, 0, 0, \dots, 0, M, \dots, M)$$

其中， $c_j=0, j=v+1, v+2, \dots, v+g+l$ ；

$$c_j=M, j=v+g+l+1, v+g+l+2, \dots, v+g+m。$$

由初始基本可行解出发，应用前述线性规划问题的单纯形法，经过数次迭代，就可以求出原线性规划问题的最优解（或判定无解）。

2.2.6 单纯形法求解线性规划问题的计算机程序

根据前述单纯形法求解线性规划问题的原理,应用 Turbo-C 语言,编制出线性规划求解程序 LP.C。该程序主要由如下函数构成:

(1) stdformat () 该函数从原始数据文件中读取线性规划问题的定义数据,包括原变量数、约束条件数、小于等于约束条件数、等式约束条件数、大于等于约束条件数、极大或极小问题标志、目标函数系数数组、约束方程组系数矩阵及常数数组等,然后根据约束条件性质引入剩余变量、松弛变量和人工变量,求得新的系数矩阵,常数数组及目标函数系数数组,同时求出初始可行解。

(2) slp () 该函数采用大 M 法完成线性规划问题的求解过程:

(3) print-stable () 该函数采用单纯形表的形式打印求解过程和最后结果。

(4) result () 该函数根据求解过程出现的错误类型,实现数据文件错、线性规划无解等信息显示。

程序 LP.C 如下:

```
/* 程序名称: LP.C */
/* 程序功能: 求解各种线性规划问题 */
/* 程序算法: 大 M 法单纯形法 */
/* 程序执行方法: (1) 直接键入 LP, 执行 LP.EXE
                  */
/*                  (2) 显示“请输入数据文件名:”
                  */
/*                  (3) 输入线性规划问题原始数据文件
                  */
```



```

/* 线性规划问题原始数据文件格式：          */
/* 第一行：原始定义变量数 v 约束方程数 m ≤ 方程数 l
           = 方程数 e ≥ 方程数 g 极大或极小值问题
           mf (Max: -1, Min: +1)          */
/* 第二行：目标函数系数: C1 C1 ..... Cv Z0
                                           */
/* 第三行：约束方程系数: A11 A12 ..... A1v B1
                                           */
/* 第四行：                A21 A22 ..... A2v B2
                                           */
/*                .....          */
/* 第 M+2 行：            Am1Am2 ... Amv Bm
                                           */

```

```

#include" stdio. h"

```

```

#include" stdlib. h"

```

```

#define LM 1000

```

```

#define LN 10

```

```

int v;

```

```

int m;

```

```

int l;

```

```

int e;

```

```

int g;

```

```

int n;

```

```

int fmax;

```

```

float *a;
float *b;
float *c;
float *x;
int *xb;
float *t;

float gf ()
{
    int j;
    float sum=c [n];
    for (j=0; j<n; j++) {
        sum+=x [j] *c [j];
    }
    return fmax *sum;
}

void pas ()
{
    static int cn=0;
    int i, j;
    float *as;
    float *cs;
    as=a;
    cs=c;
    printf (" \n      单纯形表%-4d", cn+1);
    printf (" \n%10s%10.3f", " Cj:", * (cs+n));
    for (j=0; j<n; j++) {

```

```

    if ( (j%LN) == 0 && j! = 0) printf (" \n%-20s", "");
    printf ("%10.3f", *cs);
    cs++;
}

printf (" \n%-20s", "    Cbi    Xbi    bi");
for (j=0; j<n; j++) {
    if ( (j%LN) == 0 && j! = 0) printf (" \n%-20s", "");
    printf ("%6s%-4d", " x", j+1);
}

for (i=0; i<m; i++) {
    printf (" \n%-8.3f X%-2d%-8.3f", c [xb [i]], xb
[i] +1, b [i]);
    for (j=0; j<n; j++) {
        if ( (j%LN) == 0 && j! = 0) printf (" \n%-20s", "");
        printf ("%10.3f", *as);
        as++;
    }
}

printf (" \n%-12s%-8.3f", " tj", gf ());
for (j=0; j<n; j++) {
    if ( (j%LN) == 0 && j! = 0) printf (" \n%-20s", "");
    printf ("%10.3f", t [j]);
    cs++;
}

```

```

printf (" \nGF: %10. 3f %7s", gf (), " X {...}");
for (j=0; j<n, j++) {
    if ((j%LN) == 0 && j != 0) printf (" \n %10. 3f", "");
    printf (" %10. 3f", x [j]);
}
printf (" \n");
cn++;
int stdformat (FILE *fp, float **ap, float **bp,
float **cp,
float **xp, int **xbp, float **
tp)
{
    int i, j;
    float *as, *asp;
    float *bs, *bsp;
    float *cs, *csp, c;
    float *xs;
    int *xbs;
    float *ts;
    fscanf (fp, "%d%d%d%d%d%d", &v, &m, &l, &e, &g,
&fmax);
    if (m != (l+e+g)) return -2;

    n=v+g+m;
    if ((asp= (float *) malloc (sizeof (float) *n*m))
==NULL) return -3;

```

```

as=asp;
if ( (bsp= (float *) malloc (sizeof (float) * m)) =
=NULL) return -3;
bs=bsp;
if ( (csp= (float *) malloc (sizeof (float) * n+1)))
=NULL) return -3;
cs=csp;
for (j=0; j<v; j++) {
    fscanf (fp, "%f", &c);
    *cs=fmax * c;
    cs++;
}
cs=csp+n;
fscanf (fp, "%f", &c);
*cs=c;

cs=csp+v;
for (j=0; j<g+1; j++) {
    *cs=0;
    cs++;
}
cs=csp+v+g+1
for (j=0; j<e+g; j++) {
    *cs=LM;
    cs++;
}

```

```

for (i=0; i<m; i++) {
    as=asp+i*n;
    for (j=0; j<v; j++) {
        fscanf (fp, "%f", as);
        as++;
    }
    fscanf (fp, "%f", bs);
    bs++;
}
for (i=0; i<m; i++) {
    as=asp+i*n+v;
    for (j=0; j<g; j++) {
        if ( (i>=1+e)&& (j== (i-1-e))) *as=-1;
        else *as=0;
        as++;
    }
}
for (i=0; i<m; i++) {
    as=asp+i*n+v+g;
    for (j=0; j<m; j++) {
        if (j==i) *as=1;
        else *as=0;
        as++;
    }
}
*ap=asp;
*bp=bsp;

```

```

    *cp=csp;
    if ( (*xp= (float *) malloc (sizeof (float) *n)) =
= NULL) return-3;
    if ( (*xbp= (int *) malloc (sizeof (int) *m)) =
= NULL) return-3;
    xs= *xp;
    for (j=0; j<v+g; j++) {
        *xs=0; xs++
    }
    xbs= *xbp
    bs=bsp;
    for (j=0; j<m; j++) {
        *xs= *bs, *xbs=j+v+g;
        xs++; xbs++; bs++;
    }
    if ( (*tp= (float *) malloc (sizeof (float) *n)) =
= NULL) return-3;
    ts= *tp;
    for (j=0; j<n; j++) {
        *ts=0;
        ts++;
    }
    return 0;
}

int slp (float *a, float *b, float *c, float *x, int
*xb, float *t)
{

```

```

int i, j, k, s, f;
float ask;
float sum;

for (j=0; j<n; j++) {
    sum=0;
    for (i=0; i<m; i++) {
        sum+=c [xb [i]] *a [i*n+j];
    }
    t [j] =c [j] -sum;
}

while (1) {
    pas ();
    sum=t [0]; k=0;
    for (j=1; j<n; j++) {
        if (sum>t [j]) {
            sum=t [j];
            k=j;
        }
    }
    if (sum>=0) return 0;

    f=0;
    for (i=0; i<m; i++) {
        if (a [i*n+k] >0) {
            if (f==0) {
                f=1;

```



```

    sum=b [i] /a [i*n+k];
    s=i;
} else {
    if (sum> (b [i] /a [i*n+k])) {
        sum=b [i] /a [i*n+k];
        s=i;
    }
}
}
}
if (f==0) return -1;
ask=a [s*n+k];
for (j=0; j<n; j++) {
    a [s*n+j] /=ask;
}
b [s] /=ask;
for (i=0; i<m; i++) {
    if (i!=s) {
        sum=a [i*n+k];
        for (j=0; j<n; j++) {
            a [i*n+j] -=a [s*n+j] *sum;
        }
        b [i] -=b [s] *sum;
    }
}
xb [s] =k;
sum=t [k];

```

```

for (j=0; j<n; j++) {
    t [j] -= a [s*n+j] *sum;
}
for (j=0; j<n; j++) x [j] =0
for (i=0; i<m; i++) {
    x [xb [i]] =b [i];
}
}

static char *Ms [] = {
    " 线性规划问题无解!  \n",
    " 数据文件数据错: m! =vl+e+g! \n",
    " 没有足够的内存! \n",
    " 数据文件不存在! \n",
};

void result (int er)
{
    if (er==0) return;
    printf (Ms [-er-1]);
    exit (er);
}

main ()
{
    int j;
    FILE *fp;
    char fn [80];

```

```

printf (" 请输入数据文件名:");
scanf ("%s", fn);
if ( (fp=fopen (fn," r")) ==NULL).result
(-4);
result (stdformat (fp,&a,&b,&c,&x,&xb,&t));
fclose (fp);
result (slp (a, b, c, x, xb, t));
free (a);
free (b);
free (c);
free (x);
free (xb);
free (t);
}

```

2.2.7 线性规划在工业工程中的应用

A 资源利用问题

2.2.1 中的例 1 和例 2 都是生产中常常遇到的资源利用问题。

例 2 可以用 2.2.6 中的计算程序 LP 进行求解。首先按程序要求建立原始数据文件 LP2.DAT 如下:

```

5 3 0 3 0 1
0 0.1 0.2 0.3 0.8 0
1 2 0 1 0 100
0 0 2 2 1 100
3 1 2 0 3 100

```

然后运行求解程序 LP, 输入数据文件名 LP2.DAT, 具体求解过程详见表 2-2。最终结果表明, 为了节省材料, 减少料头长度, 应采用第 I、II、IV 方案套裁下料, 下料根数分别为 40、30 和 20 根, 料头长度等于 16 米, 为最小值。

表 2-2 例 2 求解过程

单纯形表 1

Cj:	0.000	0.000	0.100	0.200	0.300	0.800	1000.000	1000.000	1000.000
Cbi Xbi	bi	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
1000.000X6	100.000	1.000	2.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000
1000.000X7	100.000	0.000	0.000	2.000	2.000	1.000	0.000	1.000	0.000
1000.000X8	100.000	3.000	1.000	2.000	0.000	3.000	0.000	0.000	1.000
tj	300000.000	-4000.000	-2999.900	-3999.800	-2999.700	-3999.200	0.000	0.000	0.000
GF: 300000.000X{...}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	100.000	100.000	100.000

单纯形表 2

Cj:	0.000	0.000	0.100	0.200	0.300	0.800	1000.000	1000.000	1000.000
Cbi Xbi	bi	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
1000.000X6	66.667	0.000	1.667	-0.667	1.000	-1.000	1.0000	0.000	-0.333
1000.000X7	100.000	0.000	0.000	2.000	2.000	1.000	0.000	1.000	0.000
0.000X1	33.333	1.000	0.333	0.667	0.000	1.000	0.000	0.000	0.333
tj	166666.672	0.000	-1666.567	-1333.133	-2999.700	0.800	0.000	0.000	1333.333
GF: 166666.672X{...}		33.333	0.000	0.000	0.000	0.000	66.667	100.000	0.000

续表 2-2

单纯形表 3

Cj:	0.000	0.000	0.100	0.200	0.300	0.800	1000.000	1000.000	1000.000	1000.000
Cbi Xbi	bi	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	
1000.000X6	16.667	0.000	1.667	-1.667	0.000	-1.500	1.000	-0.500	-0.333	
0.300X4	50.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.500	0.000	0.500	0.000	
0.000X1	33.333	1.000	0.333	0.667	0.000	1.000	0.000	0.000	0.333	
tj	16681.672	0.000	-1666.567	1666.567	0.000	1500.650	0.000	1499.850	1333.333	
GF, 16681.672 X{...}		33.333	0.000	0.000	50.000	0.000	16.667	0.000	0.000	

单纯形表 4

Cj:	0.000	0.000	0.100	0.200	0.300	0.800	1000.000	1000.000	1000.000	
Cbi Xbi	bi	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	
0.100 X2	10.000	0.000	1.000	-1.000	0.000	-0.900	0.500	-0.300	-0.200	
0.300 X4	50.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.500	0.000	0.500	0.000	
0.000 X1	30.000	1.000	0.000	1.000	0.000	1.300	-0.200	0.100	0.400	
tj	16.000	0.000	0.000	-0.000	0.000	0.740	999.940	999.880	1000.020	
GF, 16.000 X{...}		30.000	10.000	0.000	50.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

续表 2-2

单纯形表 5

C_j	0.000	0.000	0.100	0.200	0.300	0.800	1000.000	1000.000	1000.000	1000.000
C_b X_b	b_i	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	
0.100X2	40.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.400	0.400	-0.200	0.200	
0.300X4	20.000	-1.00	0.000	0.000	1.000	-0.800	0.200	0.400	-0.400	
0.200X3	30.000	1.00	0.000	1.000	0.000	1.300	-0.200	0.10	0.400	
t_j	16.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.740	999.940	999.880	1000.020	
GF:16.000	$X\{\dots\}$	0.000	40.000	30.000	20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

B 运输问题

运输问题是一类特殊的线性规划问题，这类问题就是制订最佳的运输方案，使一些发货点的货物运送到一些收货点时，总的运费（或吨公里）最少。这类问题存在专门的简单解法，这里不作讨论，只介绍如何应用单纯形法来求解这类问题。

例 3 甲、乙两地分别有货物 80 吨和 100 吨，要运送到 A、B、C 三个地方，数量分别是 70、60、50 吨，各收、发地之间的距离如表 2-3 所示。

表 2-3 各收、发地之间的距离及收、发货数量

距离(公里) 发点 \ 收点	收点			发货量 (吨)
	A	B	C	
甲	5	4	8	80
乙	3	6	2	100
收货量(吨)	70	60	50	180

现在要制订出最佳运输方案，使总的吨·公里最少。

为了解决这个问题，首先要建立数学模型。假设从甲地运往 A、B、C 处的货物分别为 x_1 、 x_2 、 x_3 ，从乙地运往 A、B、C 处的货物分别为 x_4 、 x_5 、 x_6 。问题是：求 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 的值，在满足条件

$$x_1 + x_2 + x_3 = 80$$

$$x_4 + x_5 + x_6 = 100$$

$$x_1 + x_4 = 70$$

$$x_2 + x_5 = 60$$

$$x_3 + x_6 = 50$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1, 2, 3, 4, 5, 6$$

的情况下, 使总的吨·公里

$$z = 5x_1 + 4x_2 + 8x_3 + 3x_4 + 6x_5 + 2x_6$$

最少。整理得线性规划数学模型:

$$\begin{aligned} \min \quad & Z = 5x_1 + 4x_2 + 8x_3 + 3x_4 + 6x_5 + 2x_6 \\ \text{s. t.} \quad & \begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 = 80 \\ x_4 + x_5 + x_6 = 100 \\ x_1 + x_4 = 70 \\ x_2 + x_5 = 60 \\ x_3 + x_6 = 50 \\ x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \end{cases} \end{aligned} \quad (2-24)$$

下面应用 2.2.6 中的程序 LP 求解式 (2-24)。原始数据文件内容如下:

$$\begin{array}{ccccccc} 6 & 5 & 0 & 5 & 0 & 1 & \\ 5 & 4 & 8 & 3 & 6 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 80 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 100 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 70 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 60 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 50 \end{array}$$

求解过程略去。该问题的最优解为甲地向 A、B、C 运送的货物分别为 20、60 和 0 吨, 乙地向 A、B、C 运送的货物分别为 50、0、50 吨, 这样总的货运负担最小, 为 590 吨·公里。

C 生产调度问题

生产调度问题是另一类特殊的线性规划问题, 用来求解最佳生产任务分派方案, 使总效益最高。

例 4 某厂有四个车间 B_1 、 B_2 、 B_3 和 B_4 ，每个车间都可以生产 A_1 、 A_2 和 A_3 这三种产品，各车间加工这三种产品的生产率见表 2-4，利润率见表 2-5。

表 2-4 各车间加工每种产品的生产率

生产率(件/小时) 产品 \ 车间	B_1	B_2	B_3	B_4
A_1	8	2	4	9
A_2	7	6	6	3
A_3	4	8	5	2

表 2-5 各车间加工每种产品的利润率

利润率(元/小时) 产品 \ 车间	B_1	B_2	B_3	B_4
A_1	5	6	4	3
A_2	5	4	5	4
A_3	6	7	2	8

在一个生产周期内，各产品计划生产量分别为 700、500 和 400 件，而四个车间可利用工时最多分别为 90、75、90 和 85 小时。如何安排各车间的生产，才能获得最大利润？

设 x_j 为某车间加工某种产品的工时数，则该车间生产的该产品的数量为 $x_j/\text{单件工时}$ ， x_j 的定义见表 2-6。

表 2-6 各车间工时分配表

工时(小时) 产品 \ 车间	B_1	B_2	B_3	B_4
A_1	x_1	x_2	x_3	x_4
A_2	x_5	x_6	x_7	x_8
A_3	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}

写成线性规划数学模型：

$$\begin{aligned}
 \max \quad & z = 5x_1 + 6x_2 + 4x_3 + 3x_4 + 5x_5 + 4x_6 \\
 & + 5x_7 + 4x_8 + 6x_9 + 7x_{10} + 2x_{11} + 8x_{12} \\
 \text{s. t.} \quad & \begin{cases} 8x_1 + 2x_2 + 4x_3 + 9x_4 = 700 \\ 7x_5 + 6x_6 + 6x_7 + 3x_8 = 500 \\ 4x_9 + 8x_{10} + 5x_{11} + 2x_{12} = 400 \\ x_1 + x_5 + x_9 \leq 90 \\ x_2 + x_6 + x_{10} \leq 75 \\ x_3 + x_7 + x_{11} \leq 90 \\ x_4 + x_8 + x_{12} \leq 85 \\ x_j \geq 0 \quad j=1, 2, \dots, 12 \end{cases} \quad (2-25)
 \end{aligned}$$

建立原始数据文件：

12	7	4	3	0	-1								
5	6	4	3	5	4	5	4	6	7	2	8	0	
1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	90	
0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	75	
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	90	
0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	85	
8	2	4	9	0	0	0	0	0	0	0	0	700	
0	0	0	0	7	6	6	3	0	0	0	0	500	
0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	5	2	400	

利用 2.2.6 中单纯形法的计算机程序求解（具体求解过程略去），最优的生产调度方案为车间 B_1 加工产品 A_1 、 A_2 、 A_3 的工时分别为 70、12、0、19.88 小时；车间 B_2 生产产品 A_1 、 A_2 、 A_3 的工时分别为 56.19、0、18.81 小时，车间 B_3 生产产品 A_1 、 A_2 和 A_3 所用工时分别为 6.67、83.33 和 0 小时，车间 B_4 生产 A_1 、 A_2 、 A_3 的工时分别为 0、0、85 小时；此时，总利润达到最高，为 2062.2 元。

2.3 动态规划

动态规划是一种解决多阶段决策最优化问题的方法，基本思想是：把一个复杂的问题分解成多个阶段，一般从最后的阶段出发，逐次回退求出各阶段的每个状态的最佳目标函数值，最后求出第一阶段的最佳目标函数值，这样便得到了问题的最优解。

2.3.1 最短路径问题与回推法

例 1 某厂需要由 A 地出发把产品运到 E 地，中间可经过 B_1 、 B_2 、 C_1 、 C_2 、 C_3 、 D_1 、 D_2 七个地方，两地之间的可行路线和距离如图 2-6 所示。试求一条最佳路线，使由 A 地到 E 地的总距离最短。

例 1 是动态规划中这类问题的范例，现在用动态规划的基本方法——回推法，求其最短路线。

第一步，将问题分为多个阶段。从 A 到 B_1 或 B_2 为第一阶段， B_1 、 B_2 到 C_1 、 C_2 或 C_3 为第二阶段， C_1 、 C_2 、 C_3 到 D_1 或 D_2 为第三阶段， D_1 、 D_2 到 E 为第四阶段，如图 2-7 所示。

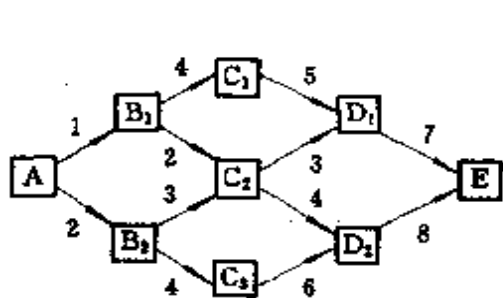


图 2-6 最短路径问题

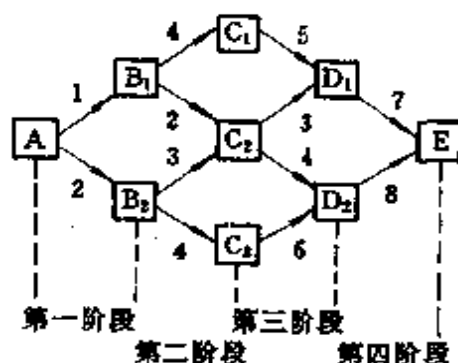


图 2-7 阶段划分

第二步，用回推法求最短路线。

所谓回推法，就是从最后阶段开始，逐渐推向第一阶段，

依次求出各阶段起点至终点的最短路线，最后即得起点到终点的最短路线。

例 1 的求解过程如下：

第四阶段，有两个起点 D_1 和 D_2 ，分别用 $f_4(D_1)$ 和 $f_4(D_2)$ 表示第四阶段起点 D_1 和 D_2 到终点 E 的距离；当由某一起点到终点存在多条路线时，用 f^* 来表示其中的最短距离，即 $f^*(D_1)$ 、 $f^*(D_2)$ 分别表示 D_1 、 D_2 到 E 的最短距离。显然

$$f_4^*(D_1) = f_4(D_1) = 7$$

$$f_4^*(D_2) = f_4(D_2) = 8$$

第三阶段，有三个起点 C_1 、 C_2 、 C_3 用 C 表示，该阶段终点 D_1 、 D_2 用 D 表示；用 $f_3^*(C)$ 表示由 C 至 E 的最短距离， $r_3(C, D)$ 表示第三阶段由 C 到 D 的距离。则有计算公式

$$f_3^*(C) = \min\{r_3(C, D) + f_4^*(D)\}$$

于是得

$$f_3^*(C_1) = r_3(C_1, D_1) + f_4^*(D_1) = 5 + 7 = 12$$

$$f_3^*(C_2) = \min \begin{cases} r_3(C_2, D_1) + f_4^*(D_1) = 3 + 7 = 10 \\ r_3(C_2, D_2) + f_4^*(D_2) = 4 + 8 = 12 \end{cases} = 10$$

即由 C_2 到 E 的最短路线是 C_2-D_1-E 。

$$f_3^*(C_3) = r_3(C_3, D_2) + f_4^*(D_2) = 6 + 8 = 14$$

第二阶段，两个起点 B_1 、 B_2 用 B 表示，经该阶段终点 C_1 、 C_2 、 C_3 至 E 有路线

$$B_1: B_1-C_1-E \text{ 和 } B_1-C_2-E$$

$$B_2: B_2-C_2-E \text{ 和 } B_2-C_3-E$$

用 $f_2^*(B)$ 表示第二阶段起点 B 至 E 的最短距离， $r_2(B, C)$ 表示第二阶段中起点 B 与终点 C 的距离，则 B 到 E 的最

短距离为:

$$f_2^*(B) = \min \{r_2(B, C) + f_3^*(C)\}.$$

因此

$$\begin{aligned} f_2^*(B_1) &= \min \begin{cases} r_2(B_1, C_1) + f_3^*(C_1) = 4 + 12 = 16 \\ r_2(B_1, C_2) + f_3^*(C_2) = 2 + 10 = 12 \end{cases} \\ &= 12 \end{aligned}$$

即 B_1 至 E 的最短路线为 $B_1-C_2-D_1-E$ 。

$$\begin{aligned} f_2^*(B_2) &= \min \begin{cases} r_2(B_2, C_2) + f_3^*(C_2) = 3 + 10 = 13 \\ r_2(B_2, C_3) + f_3^*(C_3) = 4 + 14 = 18 \end{cases} \\ &= 13 \end{aligned}$$

即 B_2 至 E 的最短路线为 $B_2-C_2-D_1-E$ 。

第一阶段: 起点为 A, 用 $f_1^*(A)$ 表示 A 至 E 的最短距离, $r_1(A, B)$ 表示该阶段起点 A 与 B 的距离, 则计算公式为

$$f_1^*(A) = \min \{r_1(A, B) + f_2^*(B)\}$$

得

$$\begin{aligned} f_1^*(A) &= \min \begin{cases} r_1(A, B_1) + f_2^*(B_1) = 1 + 12 = 13 \\ r_1(A, B_2) + f_2^*(B_2) = 2 + 13 = 15 \end{cases} \\ &= 13 \end{aligned}$$

则由 $f_1^*(A) = 13$ 可知, 所求 A 至 E 的最短路线是 $A-B_1-C_2-D_1-E$, 最小距离为 13。

以上作法是从最后阶段开始, 推算到第一阶段, 因此称为回推法或逆序法。

2.3.2 动态规划的基本结构

从 2.3.1 的内容可以看出, 动态规划是一种多级决策理论, 其解决问题的方法是将给定的问题分段解决, 首先解决

问题的一小部分，找出最优解，然后在此基础上再将问题逐步扩大，并加以解决，最后得出整个问题的最优解。

A 最优化原则

动态规划的基础是最优化原则，即一个最优策略集是由最优子策略组成的，它表明最优策略的特性是，无论初始状态和初始决策如何，必须按照第一个决策所形成的状态来形成其余决策的最优策略。

B 阶段

动态规划都包含着相互联系的几个部分，而每一部分称为一个阶段。在具体问题中，阶段表示时间、距离、生产单位、生产项目等，问题不同阶段的含义也不同。求解动态规划最优方案时，必须首先把问题分解为有次序的 n ($n \geq 2$) 个阶段，阶段的顺序号用 j 表示 ($j=1, 2, \dots, n$)。如例 1 最短路径问题，共分 4 个阶段，而阶段表示距离。

C 状态

每个阶段的出发位置（起点）称为该阶段的状态。1 个阶段可有 1 个或多个状态。如在例 1 中，第一、二、三、四阶段的状态分别是：A (1 个状态)， B_1 、 B_2 (2 个状态)， C_1 、 C_2 、 C_3 (3 个状态)， D_1 、 D_2 (2 个状态)，E (1 个状态) 等。在例 1 中状态是起点，在其它问题中状态可以是投资额、产量、设备数量等。

各阶段中的状态用 S_i ($i=1, 2, \dots$) 表示，称 S_i 为状态变量，与 S_i 相连接的支路终点用 Z_{i0} ($i_0=1, 2, \dots$) 表示。

动态规划问题的基本条件是，除了可以分为 n 个有序的阶段以外，还必须满足“无后效性”，即某个阶段的状态确定以后，该阶段以后的过程不受前面各阶段状态的影响。

D 目标函数

规划中要求达到最大或最小值的函数叫做目标函数，如例 1 要求所求的路线必须使起点 A 到终点 E 的距离最短，因此距离是该问题的目标函数。

在用回推法求解动态规划问题的过程中，从最后阶段起，必须求出各阶段的每个状态的目标函数，从中再求出最大或最小的目标函数值。

动态规划中，第 j 阶段第 i 个状态 S_i 的目标函数一般用 $f_j(S_i)$ 表示，而其中最大或最小的目标函数值用 $f_j^*(S_i)$ 表示。

E 最优方案

在每个阶段中选择一种系统的状态称为决策，只有状态变量的当前值与这一决策有关。在多阶段决策过程中，决策的一种可能的顺序叫做策略或方案，能使目标函数取最大或最小值的那个策略（方案）称为最优策略或最优方案，而第 j 阶段第 i 状态 S_i 的最大（最小）目标函数值 $f_j^*(S_i)$ 所对应的策略（或称为解），称为第 j 阶段第 i 个状态 S_i 的最优方案。

由于动态规划是分阶段逐次回推求解最优方案的，所以每个阶段的每个状态 S_i 都要求出一个最优方案，最后回推到起点的最优方案就是整个规划的最优方案。

如例 1 中，第三阶段状态 $C_2=S_2$ 的最优方案（ C_2 至 E 的最短路线）为 C_2-D_1-E ；第一阶段 $A=S_1$ 的最优方案为 $A-B_1-C_2-D_1-E$ ，该方案就是整个规划的最优方案。

对于一般的动态规划问题，用 $r_j(S_i, Z_{i_0})$ 表示第 j 阶段第 i 个状态 S_i 到它的某条支路终点 Z_{i_0} 的目标值（如距离、成本等），而 $f_{j+1}^*(Z_{i_0})$ 为第 $(j+1)$ 阶段状态 $Z_{i_0}=S_{i_0}$ 至问题终点的最优（最大或最小）目标函数值，则第 j 阶段状态 S_i

的最优目标函数为

$$f_j^*(S_i) = \max \{r_i(S_i, Z_{i_0}) + f_{j+1}^*(Z_{i_0})\} \quad (2-26)$$

或
$$f_j^*(S_i) = \min \{r_i(S_i, Z_{i_0}) + f_{j+1}^*(Z_{i_0})\} \quad (2-27)$$

合并写作

$$f_j^*(S_i) = \text{opt} \{r_i(S_i, Z_{i_0}) + f_{j+1}^*(Z_{i_0})\} \quad (2-28)$$

其中 opt 表示最优，包括最大、最小两种情况。式 (2-26) 或式 (2-27)、式 (2-28) 就是动态规划的回推公式。

动态规划问题的最优解（最优方案）就是在使回推公式为最大或最小值的过程中逐步求得的。

2.3.3 动态规划的应用

在企业生产管理过程中，可以用动态规划方法解决最佳工艺路线、最优项目投资、生产与储存优化以及设备更新等多种问题。下面以求解最佳工艺路线为例来介绍动态规划在工业工程中的应用。

图 2-8 为箱体零件生产由原材料制成产成品的几种可供选择的工艺路线。整个工艺路线可以分成四个工序，第

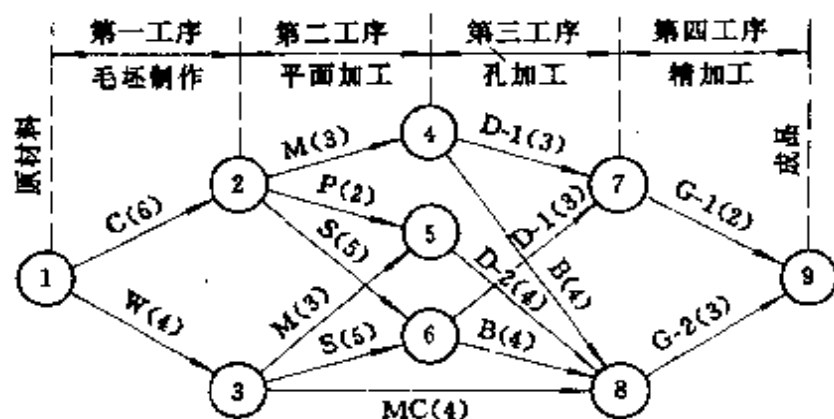


图 2-8 多种工艺路线网络表示图

一工序是毛坯制作工序，第二工序是平面加工工序，第三工序是孔加工工序，第四工序为精加工工序。各个工序均有数种工艺方案供选择，图中用箭线表示具有一定工作内容（用字母表示，如 B、G 等）和工序时间（用括号内数字表示）的工序。从表示“原材料”的起点 1 到代表“产品”的终点 9，中间排列的箭线形成了一条条从原材料到制成品的工艺路线，选择一条具有最短加工时间的工艺路线即最优工艺路线进行分析。

表 2-7 表示由原材料制成产品的工艺路线的替代方案。

表 2-7 箱体加工工艺路线替代方案

序号	第一工序 毛坯制作	第二工序 平面加工	第三工序 孔加工	第四工序 精加工
1	铸造 C (6)	铣床 M (3)	钻床 D-1 (3)	磨床 G-1 (2)
2			镗床 B (4)	磨床 G-2 (3)
3		龙门铣床 P (2)	钻床 D-2 (4)	
4		牛头刨床 S (5)	镗床 B (4)	
5			钻床 D-1 (3)	磨床 G-1 (2)
6	镗床 B (4)			
7	焊接 W (4)	铣床 M (3)	钻床 D-2 (4)	磨床 G-2 (3)
8		加工中心 MC (4)		
9				

注：表中括号内数字为该工序加工所需的工时数，单位为小时。

选择最佳的工艺路线的基本准则有：

(1) 最大效率（最小时间）准则：单位时间内制造的产品数量最多，这是力求提高生产率的准则；

(2) 最小费用准则：单位产品需要的生产费用最小，这是力求降低生产成本的准则；

(3) 最大利润准则：以达到最大利润为目标，这是综合性准则。

根据图 2-8 这种情况，采用最大效率准则选择最佳工艺路线（从原材料出发直到制成产品所需要的时间最短的工艺路线就是最佳工艺路线）。解决这个问题可以采用穷举法，就是将表 2-7 所列的所有可能的 9 条工艺路线的加工时间全部计算出来，然后选择最少时间所对应的工艺路线即为最佳工艺路线。穷举法对当前这种小型问题是可行的，但当问题规范加大后，计算量将按指数规律迅速增加，穷举法将变成不可行的，采用前述的动态规划的回推法来求解较好。求解过程如下：

第一步，将问题分成四个阶段，按工序划分为第一至第四阶段。第一阶段为 1—2、1—3，第二阶段为 2—4、2—5、2—6、3—5、3—6，第三阶段为 4—7、4—8、5—8、6—7、6—8，第四阶段为 7—9、8—9。此外，3—4 同时跨过第二、第三阶段。

第二步，用回推法求最短工时路线。

第四阶段，起点为 7 和 8，有

$$f_4^*(7) = f_4(7) = 2$$

$$f_4^*(8) = f_4(8) = 3$$

第三阶段，起点为 4、5 和 6，有

$$f_3^*(4) = \min \begin{cases} r_3(4, 7) + f_4^*(7) = 3 + 2 = 5 \\ r_3(4, 8) + f_4^*(8) = 4 + 3 = 7 \end{cases} = 5$$

$$f_3^*(5) = r_3(5, 8) + f_4^*(8) = 4 + 3 = 7$$

$$f_3^*(6) = \min \begin{cases} r_3(6, 7) + f_4^*(7) = 3 + 2 = 5 \\ r_3(6, 8) + f_4^*(8) = 4 + 3 = 7 \end{cases} = 5$$

第二阶段，起点为 2、3，有

$$f_2^* (2) = \min \begin{cases} r_2 (2, 4) + f_3^* (4) = 3 + 5 = 8 \\ r_2 (2, 5) + f_3^* (5) = 2 + 7 = 9 \\ r_2 (2, 6) + f_3^* (6) = 5 + 5 = 10 \end{cases} = 8$$

$$f_2^* (3) = \min \begin{cases} r_2 (3, 5) + f_3^* (5) = 3 + 7 = 10 \\ r_2 (3, 6) + f_3^* (6) = 5 + 5 = 10 \\ r_2 (3, 8) + f_4^* (8) = 4 + 3 = 7 \end{cases} = 7$$

第一阶段，起点为 1，有

$$f_1^* (1) = \min \begin{cases} r_1 (1, 2) + f_2^* (2) = 6 + 8 = 14 \\ r_1 (1, 3) + f_2^* (3) = 4 + 7 = 11 \end{cases} = 11$$

从而可得，由 1—3—8—9 构成最佳工艺路线，总生产时间为 11 小时。

2.4 网络分析方法

2.4.1 概述

任何一项大型工程项目能否成功，与该项工程的各阶段的计划、调度和控制的质量密切相关。工程负责人和计划人员能否清楚地掌握整个工程的进度，预见可能发生的问题，协调和控制各项活动，对整个工程顺利按期完成是至关重要的。

工程项目常分解成许多或并行或顺序进行的活动，其中某些活动的进展会直接影响整个工程项目的完成情况。找出这些活动，并采取措施加以改进，将会确保工程的如期完成。

对于企业来说，每种产品的生产都要经历一整套复杂的工艺流程，每套工艺流程都可以分解成许多道相互关联、或并行或顺序或交叉的工序。有些工序完工时间早，需要的人力、设备、能源、原材料少；而有些工序需要大量的人力、物力和时间，这些工序决定着产品的生产周期。因此，找出这

些关键工序，解决关键工序中存在的问题，就会提高整个企业的生产效率。

由于工程项目与企业生产的复杂性，必须采用网络图来表示工程项目的进展与企业的生产情况。利用计划评审技术（Program Evaluation and Review Technique，缩写成PERT）分析工程计划，可以找出工程计划中的关键活动，调整人力、材料、设备和时间安排，编制出如期完工的计划；或者利用关键路线法（Critical Path Method，缩写成CPM），找出生产过程中的薄弱环节，针对相关工序，通过作业研究加以改进，就可以达到提高整个企业生产效率的目的。

计划评审技术和关键路线法是网络分析中常用的方法。计划评审技术和关键路线法并没有本质区别，主要差别在于后者把工程中各活动完工时间看成是确定的，而前者看成是随机变动的。

网络分析方法的中心思想就是运用最优化原理，科学地安排某项任务（如工程项目、产品生产、活动等）各具体阶段的工作（如工序、作业、活动等），运用网络图表示任务的进度计划，通过对网络图进行分析调整，使计划达到最优。所谓计划最优就是消耗时间最少即工期最短，同时，相对达到资源消耗最少、作业流程最好、成本最低。

网络分析的基本步骤如下：

（1）确定任务中的各项作业，分析作业之间的先后逻辑关系和时间消耗；

（2）编制网络计划，绘制网络图，并找出关键路线和关键作业；

（3）重点针对关键路线上的关键作业，调整时间安排、资源分配及流程和费用等，对网络计划进行优化，调整网络图，

使网络计划达到最优；

(4) 在计划实施中，根据具体情况动态维护、改进网络图，使网络计划始终保持最优状态。

网络分析方法是一种科学的计划管理方法，是运筹学的一个组成部分，又是系统工程的一种重要方法，广泛而有效地应用于生产、施工、科研等领域。

2.4.2 网络图的绘制

网络计划图简称网络图 (Net Work Chart)，一般自左向右表示一项工程从开工到完工的整个计划，直观地反映组成工程的各项活动及其相互间的内在关系。

网络图有箭线式网络图和节点式网络图两种形式，常用的是箭线式网络图。

A 箭线式网络图

所谓工程是对生产、科研及各种复杂的工作任务的统称。根据工艺技术和组织管理上的需要，将工程划分为按一定顺序执行而又相对独立的若干项活动，这些活动称为作业或工序。

一项工程的各作业之间的相互关系可以用图 2-9 所示的箭线式网络图表示。图中，网络由节点(Node)

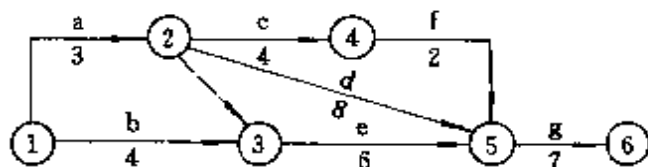


图 2-9 箭线式网络图

及箭线 (Arrow) 组成，箭线表示作业，节点表示作业的开始和完成。箭线尾部的节点表示某作业的开始，而箭线前端的节点表示该作业的结束。节点称为事件 (Event)，事件表示所有进入节点的作业都已完成，而所有离开节点的作业刚刚开始。事件并不需要时间和资源，只表示某些作业开始和另

一些作业结束的时刻。网络图上的事件用注有编号的圆圈表示，若箭线尾端及前端节点编号分别为 i 、 j ，则箭线所表示的作业可以记为 (i, j) ，即 i 表示作业 (i, j) 的开始事件， j 表示作业 (i, j) 完成的事件。

工程中的各项活动（作业或工序）需要花费一定的时间，消耗一定的人力和各种资源。网络图上相邻作业完成的时间有其先后顺序要求，在某个作业开始前必须完成的作业称为该作业的紧前作业或先导（先行）作业，而必须在该作业完成之后才能开始的工序称为该作业的紧后作业或后续作业。在图 2-9 中，箭线上方的字母表示作业的代号，下方数字表示作业需要的时间。如作业 a 需要 3 个单位的时间才能完成；作业 g 的先行作业为作业 d 、 e 和 f ；而作业 c 和 d 为作业 a 的后续。

根据上述基本概念，在编制工程计划时，必须通过分析研究，把一项工程分解为若干道作业，确定出各作业之间的先后顺序及相互关系，同时确定出各作业所需要的工作时间。工作时间可以是单一时间也可以是三点时间，详细情况本节后面将加以论述。分析的结果汇总成作业（工序）关系时间表，如表 2-8 所示。根据作业关系时间表绘制网络图。

表 2-8 设备维修作业关系时间表

作 业 代 号	作 业 内 容	需 要 时 间	紧 前 作 业
A	拆洗	2	
B	修第一部分	5	A
C	修第二部分	3	A
D	修第三部分	5	A
E	装第一、第二部分	0.5	B, C
F	装第三部分	0.5	D, E
G	试验	1	F

绘制箭线式网络图应遵循如下基本规则：

(1) 每一作业用前后两个节点及一条箭线组成，节点序号代表事件。作业 (i, j) 表示作业在事件 i 开始，而在事件 j 结束。作业 (i, j) 可用某一符号（如 A、B 等）表示。表示作业的箭线由开始事件节点指向结束事件节点。

(2) 一般对每一作业 (i, j) 来说， $i < j$ 。

(3) 对于某一定值 j 来说，在 j 事件发生以前，所有 $i < j$ 的作业 (i, j) 都已完成。

(4) 每个作业 (i, j) 必须是唯一的，也就是说，如果有 2 个或 2 个以上作业（称为平行作业）由事件 i 开始到事件 j 结束，要引入虚作业。如图 2-10 中，工序 a、b 都开始于节点 3，而工作时间都是 3，那么 a、

b 是平行作业，为此引入节点 6 及虚作业 $(6, 7)$ 。虚作业用虚线箭线表示。有时为了表示某些作业的先后顺序，也

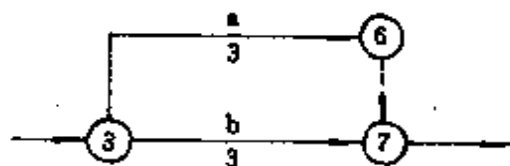


图 2-10 虚作业

引入虚作业，如图 2-9 中的虚作业 $(2, 3)$ ，表示作业 e 必须在作业 a 、 b 确已完成后才能开始。

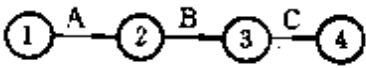
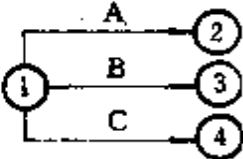
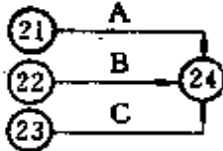
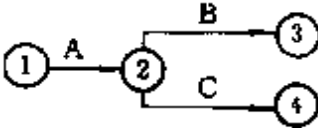
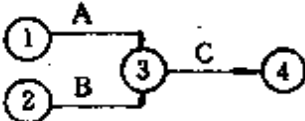
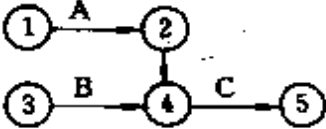
(5) 一个工程项目的完整网络图只能有一个开始节点 1 和一个结束节点 M ，所有作业都必须直接或间接地与开始节点和结束节点联系起来。如图 2-9 中，开始节点为 1，结束节点为 $M=6$ 。

此外，若某作业允许与其它作业交叉进行，即该作业进行到一定时间可以进行后续作业，这种情况叫做交叉作业（工序），可以将该作业分为前后两个子作业，后面的子作业与后续作业并行进行。

工程项目的各种作业间的关系是复杂的，表 2-9 给出了

各种关系的表达方式，表 2-10 给出了绘制网络图的基本规则。

表 2-9 作业关系表达方式

序号	作业名称 或代号	作业之间的逻辑关系	表 达 方 式
1	A、B、C	三个作业依次完成	
2	A、B、C	三个作业同时开始	
3	A、B、C	三个作业同时结束	
4	A、B、C	A 完成后，B、C 开始， B、C 是独立的	
5	A、B、C	A、B 完成后，C 开始	
6	A、B、C	A、B 完成后，C 开始， C 直接受控于 B	

续表 2-9

序号	作业名称 或代号	作业之间的逻辑关系	表 达 方 式
7	A、B、C、D	A 与 B 均完成后, C、D 开始, 但不一定同时开始	
8	A、B、 C、D	A 完成后, C 开始; A、 B 均完成后, D 开始	
9	A、B、 C、D	A 完成后 B 开始; B、D 均完成后, C 开始; A、D 同时开始	
10	A、B、C、 D、E	A 完成后, B、C、D 同 时开始, 平行进行; B、C、 D 均完成后, E 开始	
11	A、B、C、 D、E	A、B、C 均完成后, D 开始; B、C 完成后, E 开 始	

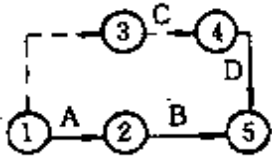
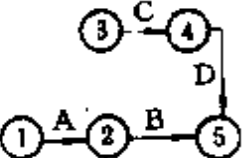
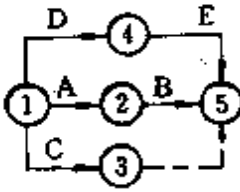
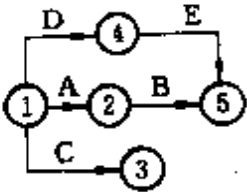
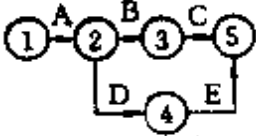

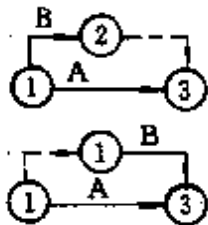
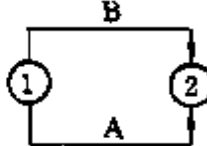
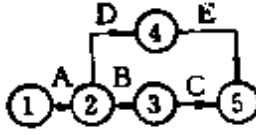
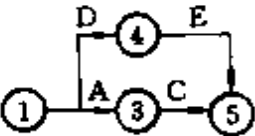
续表 2-9

序号	作业名称 或代号	作业之间的逻辑关系	表 达 方 式
12	A、B、C、 D、E、F	A、B 均完成后，D 开始； A、B、C 均完成后，E 开始， E 直接受控于 C； E、D 均完成后，F 开始， F 直接受控于 D	
13	A、B	A 可分解为 A_1 、 A_2 、 A_3 ， 顺序连续进行；B 可分解为 B_1 、 B_2 、 B_3 ， 顺序连续进行，A、B 平行交叉进行	
14	A、B、C、D	A 可分解为 A_1 、 A_2 、 A_3 ， 三段相等；A 完成 1/3 后，B 开始； A 完成 2/3 后，C 开始；A、C 完成后， D 开始，D 直接受控于 A	

表 2-10 绘制网络图的基本规则

序号	规 则	说 明	正确画法	错误画法
1	方向从左向右	网络图有方向， 箭头方向从左向右		

续表 2-10

序号	规则	说明	正确画法	错误画法
2	只能有一个始点 (始点事项)	除了始点事项外, 不能出现没有前导作业的事项		
3	只能有一个终点 (终点事项)	除了终点事项外, 不能出现没有后续作业的事项		
4	不能出现闭合回路	图中箭头不能从某事项出发, 最后又回到该事项		
5	两个相邻事项不能出现编号相同的事项 (结点) 之间只能有一条箭线 (表示一个作业)	两个相邻事项 (结点) 之间只能有一条箭线 (表示一个作业)		
6	不能从箭线中间画箭线	箭线 (作业) 只能从一个事项开始, 到另一个事项结束		

续表 2-10

序号	规则	说明	正确画法	错误画法
7	箭尾事项编号小于箭头事项编号	为便于检查回路和计算,各事项从左到右,按由小到大编号		
8	虚箭线和实箭线不能混淆	虚箭线不表示作业,只表示作业间逻辑关系		

根据上述基本原则,绘制的表 2-8 所示的设备维修项目的网络计划图如图 2-11 所示。特别应该注意的是,作业 B 和 C 是平行作业,因此引入虚作业 (3, 4)。

B 节点式网络图

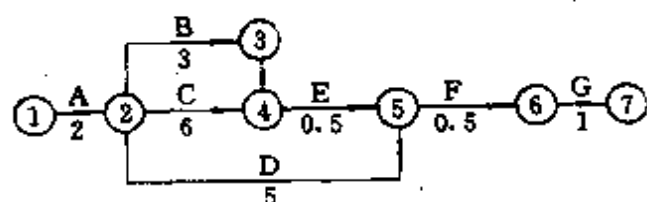


图 2-11 设备维修网络图

由于箭线式网络图用箭线表示作业,因此常常需要设置虚作业,比较麻烦,为克服这一缺点,可以采用节点式网络图。节点式网络图用节点表示作业,节点内标注作业号及作业时间,用箭线表示作业之间的前后关系,即箭线指向后续作业。图 2-9 箭线式网络图可以转化成图 2-12 所示的节点式网络图。

图 2-9 箭线式网络图可以转化成图 2-12 所示的节点式网络图。

2. 4. 3 作业时间的计算

为了寻找网络图上的关键路线及掌握工程进度,需要把作业时间估算出来,或列在作业关系

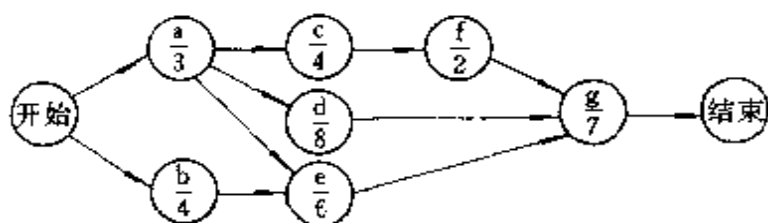


图 2-12 节点式网络图

时间表上或标注在网络图上,以便管理人员合理组织生产,有效地调配及控制资源,保证工程的顺利进行。

A 作业时间的估计

(1) 单一时间估计法。在具备工时定额的情况下,可以根据这些定额资料确定作业的完成时间。这时对每一作业只确定一个定值,它是完成该作业所需要的最大可能时间,称为期望值。在概率上这是肯定型问题,相应的网络图称为肯定型网络图,如图 2-9、图 2-11 所示。

(2) 三点时间估计法。由于每项作业的完工时间都受一些随机因素的影响,因而难以确定出一个单一的确值。为了能够在计划阶段对工程进度进行控制,需要应用概率论的知识对每项作业的完工时间进行估计,一般采用三时估计法:

1) 乐观时间 a : 在一切顺利的情况下,完成该作业的最短时间;

2) 最可能时间 m : 在正常情况下,完成该作业所需要的时间;

3) 悲观时间 b : 在最坏情况下,完成该作业所需要的最长时间。

正因为这样,每项作业的完工时间是不确定的。这在概

率上属于非肯定型问题,对应的网络图称为非肯定型网络图。

根据上述三个估计值 a 、 m 、 b , 通过加权平均可估计出该项作业的平均完成时间:

$$t = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (2-29)$$

由于作业完工时间的随机性, t 实际上是作业完成时间的期望值的近似值。为了估计 t 的代表性, 则需要估计其方差和均方差:

$$\sigma^2 = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2 \quad (2-30)$$

及
$$\sigma = \frac{b-a}{6} \quad (2-31)$$

若均方差 σ 越大, 则 t 的代表性越小; 反之, σ 越小, t 的代表性越大。

若网络图的某条路线上有 l 道作业, 则这条路线上所有作业的完工时间的期望值估计为

$$T = \sum_{i=1}^l t_i = \sum_{i=1}^l \frac{a_i + 4m_i + b_i}{6} \quad (2-32)$$

其均方差估计为

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^l \sigma_i^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^l \left(\frac{b_i - a_i}{6}\right)^2} \quad (2-33)$$

例如, 某一生产任务由八项作业构成, 各作业时间及相互关系如表 2-11 所示, 绘制成网络图如图 2-13 所示, 则求得的各项作业时间的期望值、方差和均方差如表 2-12 所示。

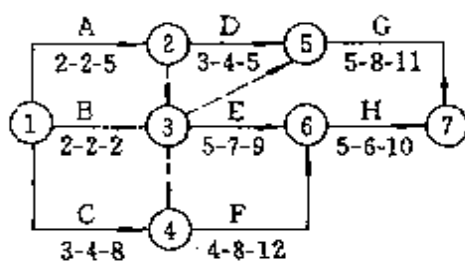


图 2-13 非肯定型网络图

图 2-13 中, 路线 C—F—H 的总平均完工时间为 19, 方差为 3.167, 均方差为 1.8。

B 事件时间参数

事件的时间参数是计算作业的时间参数的基础, 包括事件最早开始时间和最迟结束时间。

表 2-11 作业时间及相互关系表

作业代号	乐观时间 a	最可能时间 m	悲观时间 b	紧前工序
A	2	2	5	
B	2	2	2	
C	3	4	8	
D	3	4	5	A
E	5	7	9	A, B
F	4	8	12	B, C
G	5	8	11	B, D
H	5	6	10	E, F

表 2-12 作业时间期望值、方差和均方差

作业代号	作业平均完工时间 (期望值)	均方差 ($\sigma = \frac{b-a}{6}$)	方差 ($\sigma^2 = (\frac{b-a}{6})^2$)
A	2.5	0.5	0.25
B	2	0	0
C	4.5	0.833	0.694
D	4	0.333	0.111
E	7	0.667	0.445
F	8	1.333	1.778
G	8	1	1
H	6.5	0.833	0.694

(1) 事件最早开始时间。事件最早开始时间是指从该事件开始的各项作业最早可能开始的时刻, 它也是该事件的所有先导作业的最早可能结束时间。

设网络图的开始节点为 1, 则开始节点的最早开始时间为

$$t_E(1) = 0 \quad (2-34)$$

对于任一节点 j 来说, 最早开始时间为

$$t_E(j) = \max \{t_E(i) + t(i, j)\} \quad (2-35)$$

其中, $i < j$, $2 \leq j \leq M$, $t(i, j)$ 表示作业 (i, j) 的完成时间, \max 表示在所有结束于节点 j 的作业计算值中取最大值, M 为网络图结束节点号。

(2) 事件最迟结束时间。事件最迟结束时间是指以该事件为结束事件的所有作业为了不影响后续作业而最迟必须结束的时刻。对于任一事件 i , 最迟结束时间为

$$t_L(i) = \min \{t_L(j) - t(i, j)\} \quad (2-36)$$

$$t_L(M) = t_E(M) \text{ 或 } t_L(M) = \text{规定工期} \quad (2-37)$$

其中, $i < j$, $1 \leq i \leq (M-1)$, M 为网络图结束节点, \min 表示从该事件出发的所有各作业计算值中取最小值。

式 (2-37) 表明, 终点事件的最迟结束时间等于最早开始时间或规定的总工期。

(3) 事件时间参数计算的顺序。网络图中任何事件的最早开始时间的计算是从网络图的始点事件开始、沿箭线方向从左至右逐个事件进行的, 而任何事件的最迟结束时间的计算是从网络图终点事件开始、沿箭线的反方向从右向左逐个事件进行的。

对于非肯定型网络图, 进行时间计算时, 取 $t(i, j)$ 等于作业平均完成时间 (期望值)。例如, 图 2-13 中各事件的最

早开始时间和最迟结束时间的计算过程如下：

图 2-13 中共有七个事件、八项作业，各作业平均完成时间已在表 2-12 中列出。

1) 计算各事件的最早开始时间。

$$t_E(1) = 0$$

$$\begin{aligned} t_E(2) &= \max \{t_E(1) + t(1, 2)\} \\ &= \max \{t_E(1) + t(A)\} = 2.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_E(3) &= \max \left\{ \begin{array}{l} t_E(1) + t(1, 3) \\ t_E(2) + t(2, 3) \end{array} \right\} \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} t_E(1) + t(B) \\ t_E(2) + 0 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0 + 2 = 2 \\ 2.5 \end{array} \right\} = 2.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_E(4) &= \max \left\{ \begin{array}{l} t_E(1) + t(1, 4) \\ t_E(3) + t(3, 4) \end{array} \right\} \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} t_E(1) + t(C) \\ t_E(3) + 0 \end{array} \right\} \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} 0 + 4.5 = 4.5 \\ 2.5 \end{array} \right\} = 4.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_E(5) &= \max \left\{ \begin{array}{l} t_E(2) + t(2, 5) \\ t_E(3) + t(3, 5) \end{array} \right\} \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} t_E(2) + t(D) \\ t_E(3) + 0 \end{array} \right\} \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} 2.5 + 4 = 6.5 \\ 2.5 \end{array} \right\} = 6.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_E(6) &= \max \left\{ \begin{array}{l} t_E(3) + t(3, 6) \\ t_E(4) + t(4, 6) \end{array} \right\} \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} t_E(3) + t(E) \\ t_E(4) + t(F) \end{array} \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \max \begin{Bmatrix} 2.5 + 7 = 9.5 \\ 4.5 + 8 = 12.5 \end{Bmatrix} = 12.5 \\
t_E(7) &= \max \begin{Bmatrix} t_E(5) + t(5, 7) \\ t_E(6) + t(6, 7) \end{Bmatrix} \\
&= \max \begin{Bmatrix} t_E(5) + t(G) \\ t_E(6) + t(H) \end{Bmatrix} \\
&= \max \begin{Bmatrix} 6.5 + 8 = 14.5 \\ 12.5 + 6.5 = 19 \end{Bmatrix} = 19
\end{aligned}$$

由上述结果可知终点事件的最早开始时间为 19, 也就是说, 网络图的最短工期为 19。

2) 计算各事件的最迟结束时间。

$$\begin{aligned}
t_L(7) &= t_E(7) = 19 \\
t_L(6) &= \min \{t_L(7) - t(6, 7)\} \\
&= \min \{t_L(7) - t(H)\} = 19 - 6.5 = 12.5 \\
t_L(5) &= \min \{t_L(7) - t(5, 7)\} \\
&= \min \{t_L(7) - t(G)\} = 19 - 8 = 11 \\
t_L(4) &= \min \{t_L(6) - t(4, 6)\} \\
&= \min \{t_L(6) - t(F)\} = 12.5 - 8 = 4.5 \\
t_L(3) &= \min \begin{Bmatrix} t_L(6) - t(3, 6) \\ t_L(5) - t(3, 5) \\ t_L(4) - t(3, 4) \end{Bmatrix} \\
&= \min \begin{Bmatrix} t_L(6) - t(E) \\ t_L(5) - 0 \\ t_L(4) - 0 \end{Bmatrix} \\
&= \min \begin{Bmatrix} 12.5 - 7 = 4.5 \\ 11 - 0 = 11 \\ 4.5 - 0 = 4.5 \end{Bmatrix} = 4.5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_L(2) &= \min \begin{cases} t_L(5) - t(2, 5) \\ t_L(3) - t(2, 3) \end{cases} \\
&= \min \begin{cases} t_L(5) - t(D) \\ t_L(3) - 0 \end{cases} \\
&= \min \begin{cases} 11 - 4 = 7 \\ 4.5 - 0 = 4.5 \end{cases} = 4.5 \\
t_L(1) &= \min \begin{cases} t_L(4) - t(1, 4) \\ t_L(3) - t(1, 3) \\ t_L(2) - t(1, 2) \end{cases} \\
&= \min \begin{cases} t_L(4) - t(C) \\ t_L(3) - t(B) \\ t_L(2) - t(A) \end{cases} \\
&= \min \begin{cases} 4.5 - 4.5 = 0 \\ 4.5 - 2 = 2.5 \\ 4.5 - 2.5 = 2 \end{cases} \\
&= 0
\end{aligned}$$

将上述计算结果整理成表 2-13。

表 2-13 事件最早开始时间和最迟结束时间

事 件	1	2	3	4	5	6	7
最早开始时间	0	2.5	2.5	4.5	6.5	12.5	19
最迟结束时间	0	4.5	4.5	4.5	11	12.5	19
$t_L - t_E$	0	2	2	0	4.5	0	0

从上表看出，事件 1、4、6、7 的最早开始时间等于各自的最迟结束时间，且经过这些节点的作业 C、F、H 工期最长，是关键线路。

C 作业时间参数

计算作业的时间参数是编制网络计划，实现工程或任务

完成时间最佳控制的重要工作,主要包括作业最早开始时间、最早结束时间、最迟开始时间、最迟结束时间。

(1) 作业最早开始时间。作业最早开始时间是指它的所有紧前作业全部结束、该项作业可以开始的最早时刻,实际上也是该项作业的箭尾事件的最早开始时间。

设作业 (i, j) 最早开始时间为

$$t_{ES}(i, j) = t_E(i), i < j \quad (2-38)$$

$$\text{或 } t_{ES}(i, j) = \max \{t_{ES}(g, i) + t(g, i)\}, i < j \quad (2-39)$$

网络图上作业最早开始时间的计算,应从始点事件开始,沿箭线方向从左到右逐项作业进行递推计算,直到终点事件为止。

(2) 作业最早结束时间。

作业最早结束时间等于其最早开始时间与完成时间之和,即

$$t_{EF}(i, j) = t_{ES}(i, j) + t(i, j), i < j \quad (2-40)$$

网络图上作业最早结束时间的计算步骤与最早开始时间的计算步骤相同。

(3) 作业最迟结束时间。作业最迟结束时间是指为了不影响后续作业的开始而该项作业最迟必须结束的时刻,它实际上就是该项作业的箭头事件的最迟结束时间。从而有作业最迟结束时间

$$t_{LF}(i, j) = t_L(j), i < j \quad (2-41)$$

$$\text{或 } t_{LF}(i, j) = \min \{t_{LF}(j, k) - t(j, k)\} \quad (2-42)$$

其中, $i < j < k$ 。

网络图上作业最迟结束时间的计算从终点事件开始,沿箭线的反方向,从右到左逐项作业递推计算,直到始点事件

为止。

(4) 作业最迟开始时间。作业的最迟开始时间是指为了保证后续作业按时开始, 该作业最迟必须开始的时间, 它等于最迟开始时间减去完成时间, 即

$$t_{LS}(i, j) = t_{LF}(i, j) - t(i, j), i < j \quad (2-43)$$

作业最迟开始时间的计算步骤与最迟结束时间的计算步骤相同。

D 机动时间与关键线路的确定

每项任务或工程的任何一项作业, 只有到了最早开始时间才具备开始的条件, 在此之前不可能开始; 然后它也只有最迟开始时间之前开始进行时, 才不会影响后续作业的开始和整个任务的完成周期。因此, 作业的实际开始时间可以在最早与最迟开始时间之间浮动, 也就是存在一个机动时间段。所谓时差, 就是指这样的机动时间段。从作业的最早开始时间起, 该项作业只要在最大机动时间段范围内开始, 就不会影响后续作业和整个工程的进度。某项作业或某条线路的时差越大, 可以利用的机动时间就越多, 安排或调整计划的余地也就越大。

(1) 时差。时差分事件时差和作业时差, 作业时差又分为总时差和局部时差, 时差还包括线路时差。

1) 作业的总时差。作业的总时差是指在不影响整个任务完成周期的前提下, 该项作业的开始时间可以推迟的最大时间范围:

$$\begin{aligned} \text{作业的总时差} &= \text{最迟开始时间} - \text{最早开始时间} \\ &= \text{最迟结束时间} - \text{最早结束时间} \end{aligned}$$

设作业 (i, j) 的总时差为 $t_R(i, j)$, 则

$$t_R(i, j) = t_{LS}(i, j) - t_{ES}(i, j) \quad (2-44)$$

$$\text{或} \quad t_R(i, j) = t_{LF}(i, j) - t_{EF}(i, j) \quad (2-45)$$

一条线路的总时差等于该线路上各作业总时差中的最大值。

2) 作业的局部时差。作业的局部时差是指在不影响后续作业最早开始的前提下, 该项作业最早结束时间可以向后推迟的时间范围, 故作业的局部时差是作业的机动时间。

设作业 (i, j) 的局部时差为 $t_r(i, j)$, 后续作业为 (j, k) , 则

$$t_r(i, j) = t_{ES}(j, k) - t_{EF}(i, j) \quad (2-46)$$

3) 事件时差。事件时差是指不影响下一事件最早开始时间或整个任务完成周期的前提下, 该事件的最大机动时间。

设事件 i 的时差为 $t_S(i)$, 则

$$t_S(i) = t_L(i) - t_E(i) \quad (2-47)$$

事件时差的计算可以代替作业时差的计算。

(2) 关键线路。在网络图中, 从始点事件沿箭线方向到达终点事件存在若干条线路, 每条线路的持续时间是该线路上所有作业的完成时间之和, 称为路长。关键线路是指路长最大的线路。因为关键线路的路长是完成整个任务或工程所需的时间即工程的周期, 所以寻找关键线路是制订计划, 实现计划的优化、控制和压缩工期的关键。

若关键线路上各项作业的时差和事件的时差都等于零, 则关键线路的时差为零, 其它线路时差等于关键线路路长与该线路路长之差。

在网络图上确定关键线路有两种方法:

1) 计算所有线路路长确定关键线路。

2) 计算时差确定关键线路。这种方法首先计算网络图上所有作业或事件的时差, 然后顺序连接所有时差为零的作业

或事件就得到了关键线路。如表 2-13 中, $(t_L - t_E)$ 就是事件的时差, 则关键线路为 1—4—6—7, 即 C—F—H。

E 网络计划按期完工的概率分析

在一网络图上, 设关键线路上有 n 个关键作业, 关键线路的路长也就是总工期为 T_E , 则由式 (2-32) 可知:

$$T_E = \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n \frac{a_i + 4m_i + b_i}{6} \quad (2-48)$$

显然 T_E 也是一个加权平均值, 其均方差为

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{b_i - a_i}{6}\right)^2} \quad (2-49)$$

均方差 σ 的大小表示总工期的均值, T_E 代表任务完成的好坏程度。

这样就存在一个问题: 对于一个非肯定型的生产任务或工程项目, 究竟在它的总工期均值 (T_E) 内完成的可能性有多大? 可不可以增加或减少一些时间?

通过大量的实际应用和统计分析, 一个非肯定型问题的完成时间符合以总工期 T_E 为均值、以 σ 为均方差的正态分布规律。因此, 可以利用正态分布表 2-14 求出一个非肯定问题在某个时间内完成的概率。

设规定任务在 T_K 时间完成, 则有某一数值 λ 使

$$T_K = T_E + \lambda\sigma \quad (2-50)$$

其实现的概率 $P(\lambda)$ 可以从正态分布表中查出。反之, 若给定完成时间的概率, 也可以从正态分布表中查出 λ , 然后求出完成时间。例如, 图 2-13 所示的网络计划问题, $T_E = 19$, $\sigma = 1.8$, 若取 $\lambda = 0$, 即 $T_K = T_E + \lambda\sigma = 19$, 查表 2-14 可知 $P(\lambda) = P(0) = 0.5 = 50\%$, 即任务在总工期均值 $T_E = 19$ 内完成的可能性为 50%。若要求任务完成的概率在 90% 以上,

即取 $P(\lambda) = 0.9$ ，由表 2-14 查得 $\lambda = 1.3$ ，则这时完成时间为

$$T_K = T_E + \lambda\sigma = 19 + 1.3 \times 1.8 = 21.34。$$

表 2-14 正态分布数值表

λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$
0.00	0.500000	0.50	0.691463	1.00	0.841345	1.50	0.933193	2.00	0.977250	2.50	0.993790
0.05	0.519939	0.55	0.708840	1.05	0.853141	1.55	0.939429	2.05	0.979818	2.55	0.994614
0.10	0.539823	0.60	0.725747	1.10	0.864334	1.60	0.945201	2.10	0.982136	2.60	0.995339
0.15	0.559613	0.65	0.742154	1.15	0.874928	1.65	0.950528	2.15	0.984222	2.65	0.995975
0.20	0.579260	0.70	0.758036	1.20	0.884930	1.70	0.955434	2.20	0.986097	2.70	0.996533
0.25	0.598706	0.75	0.773373	1.25	0.894350	1.75	0.959941	2.25	0.987776	2.75	0.997020
0.30	0.617911	0.80	0.788145	1.30	0.903200	1.80	0.964070	2.30	0.989276	2.80	0.997445
0.35	0.636831	0.85	0.802338	1.35	0.911492	1.85	0.967843	2.35	0.990613	2.85	0.997814
0.40	0.655422	0.90	0.815940	1.40	0.919243	1.90	0.971283	2.40	0.991802	2.90	0.998134
0.45	0.673645	0.95	0.828944	1.45	0.926471	1.95	0.974412	2.45	0.992857	2.95	0.998411
										3.00	0.998650

注： $P(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lambda} e^{-\frac{1}{2}t^2} dt$ ，若 $\lambda < 0$ ，则 $P(\lambda) = 1 - P(-\lambda)$ 。

2. 4. 4 网络计划的优化

计划评审技术或关键线路法的根本思想就是通过分析，找出影响整个工程工期的关键线路，调配非关键线路上的资源——人力、设备、原材料等——去支援关键线路，以达到在不增加资源投入的前提下缩短总工期的目的。

对于大的工程项目，由于作业多，作业之间关系复杂，消耗资源和费用多，制订的网络计划往往存在矛盾和缺点，应当进一步进行优化。除资源调配外，优化方法还包括时间优化、流程优化和费用优化。

时间优化的目的是为了缩短工期，当然重点是优化关键线路上各作业的时间。一般可以采取的措施有：改变作业的逻辑关系，如将串联作业改为平行或交叉作业，改变作业先后顺序；调整资源分配，支援关键线路，缩短关键线路工期等。

作业流程优化就是对作业次序无严格要求的网络计划问题，进行作业次序优化，以使完成任务所需的总时间最少。

资源优化就是利用非关键线路上作业的机动时间，用适当推迟开工时间来平衡资源需求，支援关键线路。

费用优化就是通过确定合理的工期，使完成工程任务的总费用最低。

3 方法研究

3.1 方法研究概述

3.1.1 方法研究及其目的

方法研究是指对现有的或拟议中的工作方法进行系统严格的考查和科学分析,以便开发出更简便、更有效的工作方法,从而达到提高生产率和降低成本的目的。

方法研究是由动作研究发展起来的。基本动作研究着眼于改进细微动作,这对于重复性的劳动具有十分重要的意义,因为动作的重复可能有成千上万次,若能简化或删除不必要的动作,累计节约的时间十分可观。但动作研究的应用有局限性,所分析的动作很具体,一旦生产流程或作业有所改变,则已进行的动作研究就会失去意义,因此近几十年来,人们从整个生产系统工艺流程入手,进行系统的分析和改进,形成了方法研究。

方法研究一是以物为对象的研究,主要是指对产品生产过程和零部件加工工艺过程以及对管理业务流程的研究;二是以人为对象的研究,主要是对操作者操作活动的研究。

方法研究的目的在于改进生产工艺及管理流程,减少或消除工作中不合理和不必要的环节,改善材料、设备和人员的使用状况,以获得投资少、产出多的效果;改进工厂、车间或工作场地的平面布置,缩短工艺路线及运输路线,减轻工人劳动强度,节省人力,改善工作环境及劳动条件等。

关于研究对象的选择原则，一般包括以下各项：

(1) 选择生产过程中的“瓶颈”环节或工序，因为解决这些“瓶颈”问题可以均衡生产，提高工厂的综合生产能力。例如某无线电厂的收音机装配流水线，工序时间极不均衡，19道工序中最短的一道工序时间为56.6秒，而第12道工序时间最长，约为246.9秒，这两道工序时间约差4倍。流水线平均工序时间是105.43秒，因此第12道工序是决定流水线生产能力的“瓶颈”工序。通过调整工序内容和进行动作研究，对其中6项操作加以改进，使工序时间降至157.4秒。由于均衡了生产，该厂收音机日产量由102台提高到204台。

(2) 选择生产中成本高的工序为研究对象，以达到降低成本的目的。

(3) 选择生产中质量不稳定的工序为研究对象，以提高产品质量。例如日本丰田汽车公司针对某汽车零件存在着质量不稳定、成本偏高等问题进行方法研究，并确认降低成本、提高质量的关键是改进制造工艺，经过改进，效果极为明显：从降低成本方面来看，每月节约173.8万日元；从产品质量上看，气孔、硬粒等缺陷大大减少，外径合格率显著增加。

(4) 选择生产工艺中劳动强度大、工作环境恶劣、易发生事故的工序为研究对象，以改善劳动条件，提高生产率。

3. 1. 2 方法研究的分析技术

方法研究主要包括流程分析、作业分析和动作分析三大技术（见图3-1）。流程分析是首要的研究内容。经过流程分析，若有一项作业可以剔除，则该项作业就没有必要再进行作业分析及动作分析。

各项技术分析的特点，将分别在以后有关章节中加以论述。

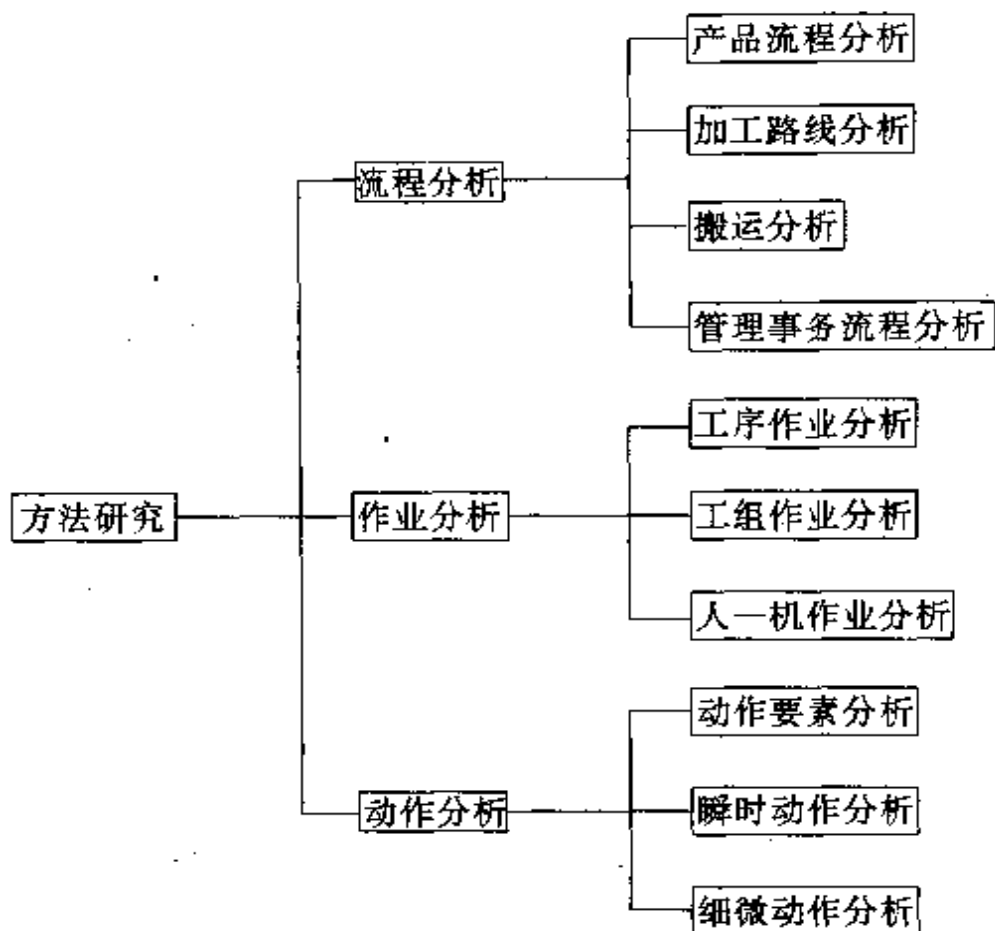


图 3-1 方法研究的内容

3. 1. 3 方法研究的一般程序

不管是解决工厂的布局问题，还是解决操作者的重复性劳动问题，都可以采用方法研究的各种分析技术。方法研究的程序如下：

程序 1，确定研究对象。

首先，选择研究改进的对象，弄清问题所在。关于选择研究对象的原则，3. 1. 1 中已有叙述。

然后制定实施计划，包括确定调查研究日程、参加人员、使用的工具等。

确定研究对象时要考虑经济因素、技术因素及人的因素，

三方面缺一不可。

程序Ⅱ，进行分析前的准备工作。

收集有关资料及与之有关的信息，包括现在的实施情况、以前达到的实际成绩以及将来的计划等有关资料，与相关因素有关的最新资料等。

调查准备工作包括人员、用具、纸张等的准备，同时要统一调查人员的认识，制定调查表及设施布置图（参见表 3-1、表 3-2 和图 3-2）。调查表的格式合理与否，对调查、研究工作有较大的影响。因此，应给予足够的重视。

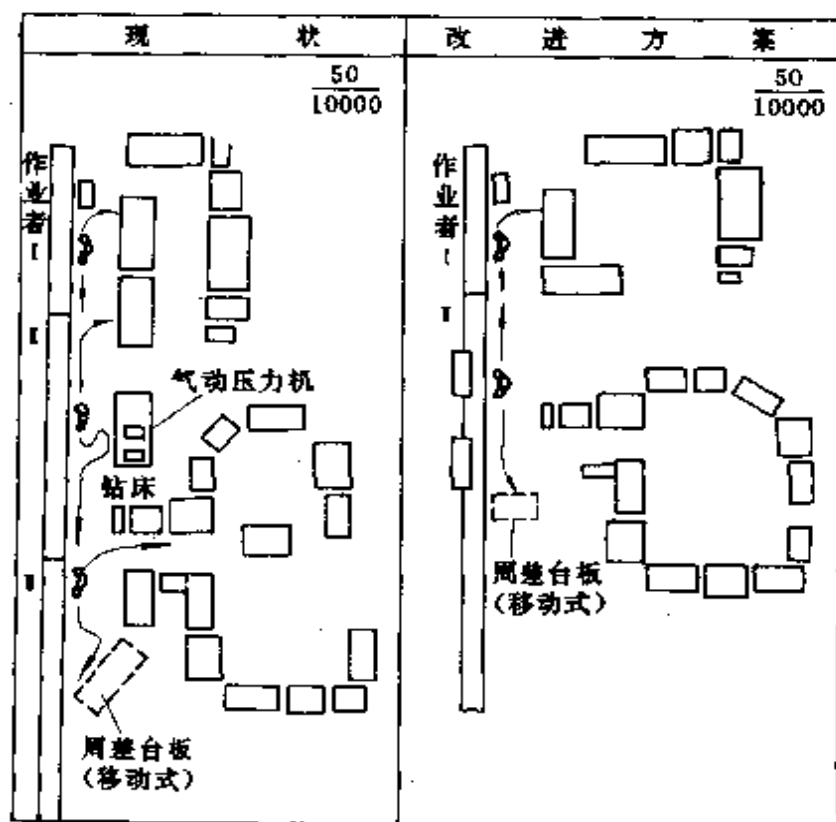


图 3-2 设施布置图

表 3-1 分析记录表

动作分析表				分析 No.		批准	检查	制表
动作划分		现在 (左/右)	改进 (左/右)	节省 (左/右)	制品	品名	产品号 图号	
基本元素	第一类				车间	工	车间	
	第二类				对象	基本元素、两手动作		
	第三类				范围	~		
两手	作业/ 搬运				调查日	年 月 日	AM PM	~
计					备 考			

No.	要素作业	左手动作内容	基本元素记号			右手动作内容	备 考
			左	目	右		
合 计							

表 3-2 流程工序分析汇总表

零件 编号	零件名	加工工序		搬运工序			停滞工序		检 查 工序表
		工序数	总工时	工序数	总距离	总时间	工序数	总时间	

调查表一般按以下原则设计：

(1) 调查结果容易记录，例如，按调查顺序排列，用定量的、直观的记录方式；

(2) 纵横栏的划分要易于进行累积统计；

(3) 在表格中应设有记录存在问题及改进意见的栏目;

(4) 可在表格中加上备考栏, 作为已有栏目的补充。

程序Ⅲ, 进行调查。

对现场有经验的人员进行询问, 用实测的方法或通过资料进行调查, 把调查结果准确无误地总结记录在调查表中, 并绘制成相应的图表。

程序Ⅳ, 进行分析研究。

通过调查分析明确存在的问题, 根据改进原则提出简便易行的改进方案, 对所提出的改进方案进行评价及选择。

程序Ⅴ, 确定实施方案。

首先从经济、安全、易于管理等方面进行综合分析评价, 最后制订实施方案。

程序Ⅵ, 试行实施方案。

实施新方案前要做好准备工作, 并在实施新方案过程中不断对新方案加以修正。

程序Ⅶ, 实施和进度管理。

针对存在的问题按确定的方案进行调整或修正, 确认最终效果。

3. 2 流程分析

3. 2. 1 生产流程分析

A 概述

生产流程分析是以产品制造过程为研究改进对象的一种分析技术。它把产品(包括零部件或设备)从原材料到制成品的一系列流程划分成加工、检验、运输、贮存等要素加以控制, 按照各要素的顺序具体而定量的进行记录, 然后通过对整个生产过程的分析研究, 针对生产性活动及非生产性活

动（停放、运输、延迟等）中存在的问题，提出改进意见，使生产流程更加合理。

生产流程分析通常包括两方面，一方面是加工工艺和作业方法的改进，也就是采取取消、合并一些工序或调整、改进加工工艺和作业的方法达到提高生产率的目的；另一方面则是改进生产过程管理，减少停放时间和缩短运输路程等。

在生产流程分析过程中，可用规定的工序符号将生产现状的调查资料绘制成流程分析图表，并使用该图表开展分析研究工作。

B 流程工序分析用符号

为了简化记录及分析流程过程，有必要规定一些专用符号。美国和日本分别于1947年、1960年颁布了工序与流程图表标准，随后我国也颁布了相应的符号标准。










1947年美国机械工程师学会（ASME）颁布了工序与流程图表标准，其中规定了工艺流程中各种生产活动的图形符号，共6项，有加工、运输、检验、停滞、贮存、组装等（见表3-3）。

表 3-3 ASME 工序图符号

符号名称	符号	代 表 内 容
加工	○	改变工件的几何形状或物理化学性质的工作，包括加工的准备和清理等
检验	□	对产品质量、产量与标准进行核对的操作
运输	◇	产品位置的变动
暂时存储	⊐	移进和取出不需要请示的产品储存
控制存储	▽	产品的存储、收货、发货有必要的手续
组合作业组装	■	作业和检查同时或由作业者在同一作业域进行

日本于 1960 年在日本工业标准 JISZ8206 中规定了工序图符号（见表 3-4）。标准规定的工序图号分为两类：一类是基本符号，包含生产过程中的全部基本要素，从加工、搬运、检查以及停滞四方面进行分类；另一类是辅助符号，包含划分管理范围、工序图省略、废却等。









表 3-4 工序图符号

工 序		符号	内 容
加工			原料、材料、零件或制品，根据作业的目的发生物理或化学变化的情形，或者为了给下一道工序做准备而进行的作业
搬运			原料、材料、零件或制品，从某一位置向另一位置发生移动的状态。符号的大小相当于加工符号直径的 1/2~1/3。跟加工符号容易混淆的情况下，也可使用下面的符号
			
停滞			原料、材料、零件或制品，不处于加工或检查，而处于停止或贮藏状态。有必要区分停止和贮藏时，可用下面的符号表示停止
			
检查			对原料、材料、零件或制品用任何方式进行测量，把测量的结果同基准比较，以判定其是否合格。包含与这些活动同时发生的不属于直接生产的准备、整理等作业
辅助符号	区分主管部门		在区分管辖部门的场合下，用加波浪线符号图表示
	省略工序图		省略工序系列的一部分时，将工序线像左图那样断开来表示
	废却		在生产工序中原料、材料、零件或制品废却的情况

我国根据美国机械工程师学会 ASME 颁布的标准，结合

我国具体情况，也制定了工序流程图表所用的图形符号标准（见表 3-5）。

表 3-5 工艺流程图表用图形符号

编号	符号名称	符号	符 号 含 意
1	加 工		表示对生产对象进行加工、装配、合成、分解、包装、处理等
2	搬 运		表示对生产对象进行搬运、运输、输送等；或作业人员作业位置的变化
3	检 验		
	数量检验		表示对生产对象进行数量检验
	质量检验		表示对生产对象进行质量检验
4	停 放		表示生产对象在工作地附近的临时停放
5	储 存		表示生产对象在保管场地有计划的存放
6	流 程 线	|	表示工艺流程图表中工序间的顺序连接
7	分 区		表示在工艺流程图中对管理区域的划分
8	省 略		表示对工艺流程图作部分省略

从表 3-3 至表 3-5 可以清楚地看出，3 个国家制订的标准符号大体相同。这些工序图形符号对于许多工业活动都能适用，其划分的活动和应用范围如下：

（1）加工（操作）。这一工序通常要求有作业人员，或者还需要有设备、工具等。它是唯一增加产品使用价值的环节，即该活动能改变工件形状或性能。

（2）数量检查。该工序需要操作者，同时也可能需要设备仪器；起控制作用。

（3）质量检查。该工序需要操作者、设备及工具，起控制作用。

（4）运输。需要操作者和设备。

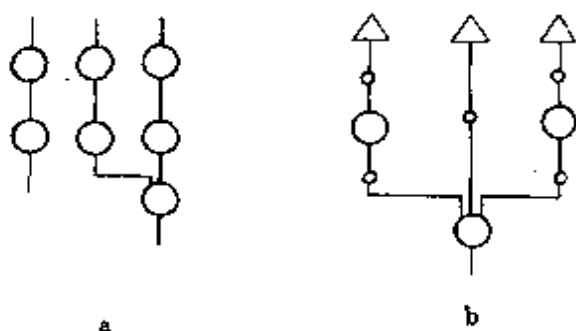
(5) 暂时储存。由于工序程序设计或车间布置所造成的半成品或成品需要暂时储存，要求有一定的空间来增加储存量。

(6) 控制储存。要求有空间位置和操作者。

(7) 联合作业。作业和检查同时或由同一个操作者在同一工作地进行。

C 流程工序分析图示的规则

(1) 工序的连接：为了表示生产流程，用一条实线把各工序符号连接起来。在同一图面上若同时表示几条工序系列时，则应将作为研究对象的工序系列用粗实线表示，其余工序系列仍用细实线表示，见图 3-3a。



(2) 工序的集合：在装配作业中，将若干个零件装配成部件，或将部件组装成机器，其表示规则如图 3-3b 所示，即将几个工序系列汇总在同一加工工序（装配）的符号上。

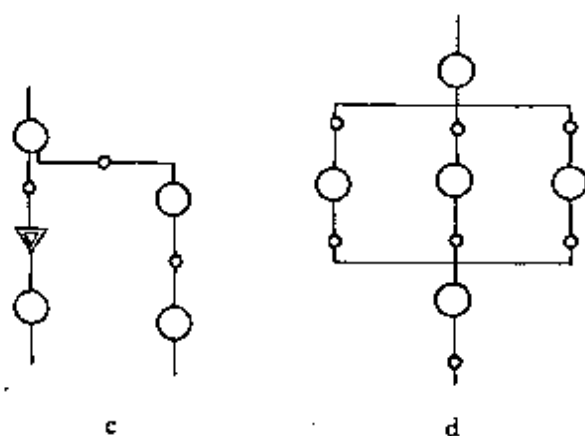


图 3-3 工序连接图

a—工序的连接；b—工序的集合；
c—工序的分离；d—工序的并行

(3) 工序的分离：在检修机器时，先将机器拆成部件，再将各部件拆成零件即为分解作业。工序分离的表示方法如图 3-3c 所示，即从加工工序（拆卸机器）符号的

下端引出各工序系列。

(4) 工序的并行：相同的工序同时进行，把所表示的工序系列并排画出，然后在并行工序的上面或下面集中起来。这种表示方法为工序并列，见图 3-3d。

(5) 记录时间值：加工、检验或运输等所需的时间，可按下列形式记录：

$$\frac{\text{单件时间} \times \text{批（件）数}}{\text{总时间}}, \text{例如：} \frac{3 \text{ 分} \times 60}{180 \text{ 分}}。$$

(6) 记录搬运距离：搬运距离可目测或步测，其记录形式如下：

$$\frac{\text{搬运一次的距离} \times \text{搬运次数}}{\text{总搬运距离}}, \text{例如：} \frac{6 \text{ 米} \times 3}{18 \text{ 米}}$$

D 工序分析的调查项目

调查的目的不同，调查的内容也不完全一样。表 3-6 比较全面地列出了调查项目，实际使用时，可以从表中选择适当的内容进行调查。通常可用调查分析图或表格来记录调查结果。

表 3-6 工序分析的调查项目

符号	数 量	距 离	时 间	作 业 容	作业者	机 械	工 夹 模 具 检 验 器 具	容 器 放 置 法	方 法	费 用
○ 加工	加工数量 次品率 合格率		加工时间 标准时间 熟练率	作业名 (工序名)	职 务、 特 长、 人 员、 经 验、 工 资 率	台 数、 名 称、 型 号、 能 力、 精 度、 折 旧 费	名 称、 型 号、 能 力、 精 度、 折 旧 费	名 称、 容 积、 放 置 法 (活性)	作业部位 作业方法 作业条件 环境条件	加 工 费

续表 3-6

符号	数 量	距 离	时 间	作 业 容 内	作 业 者	机 械	工 夹 模 具 检 验 器 具	容 器 放 置 法	方 法	费 用
□ 检查	检查数量 次品率 合格率		检查时间 标准时间 熟练率	检查名称 检查项目	职务、 人员、 技能、 经验、 工资率	台 数、 名称、 型号、 能力、 精度、 折旧费	名称、型 号、能 力、精 度、折 旧费	名 称、 容 积、 放置法 (活性)	检查部位 检查方法 检查条件 环境条件 检查基准	检 查 费
○ 搬运	搬运数量 重量、体 积 搬运不良	距 离 次数	搬运时间 搬运间隔	搬运区间	搬运专 门工职 务、人 员、技 能、经 验、工 资率	台 数、 名称、 型号、 能力、 折旧费		名 称、 容 积、 放置法 (活性)	搬运方法 (经路) 通路条件	搬 运 费
▽ 停滞	停滞数量 重量、体 积、变色、 色质(不良)、丢失、破损		停滞日数 平均停滞 日数、停 滞时间	停滞场所 保管场所	保管责 任者、 职务、 人员、 技能、 经验、 工资率			名称、 容积、 放置 法(活 性)、棚	保管方法 停滞方法 环境条件	保 管 费

调查分析图(见图 3-4)是按生产流程将各工序记录下来,在其右侧简要的记录已规定的作业条件,再在左侧记录加工、检验、搬运等所需的时间、搬运距离等。

采用表格形式记录时,在图表中应将加工对象的加工工序、生产设备、物料搬运和停放的时间、地点、距离等情况记录清楚,以便进行分析研究(见表 3-7)。

不管采用哪种形式记录调查结果,都应在记录结束后检查一下是否有遗漏;若有遗漏,还应进一步检查,是属于调查中的遗漏,还是属于记录时的遗漏。

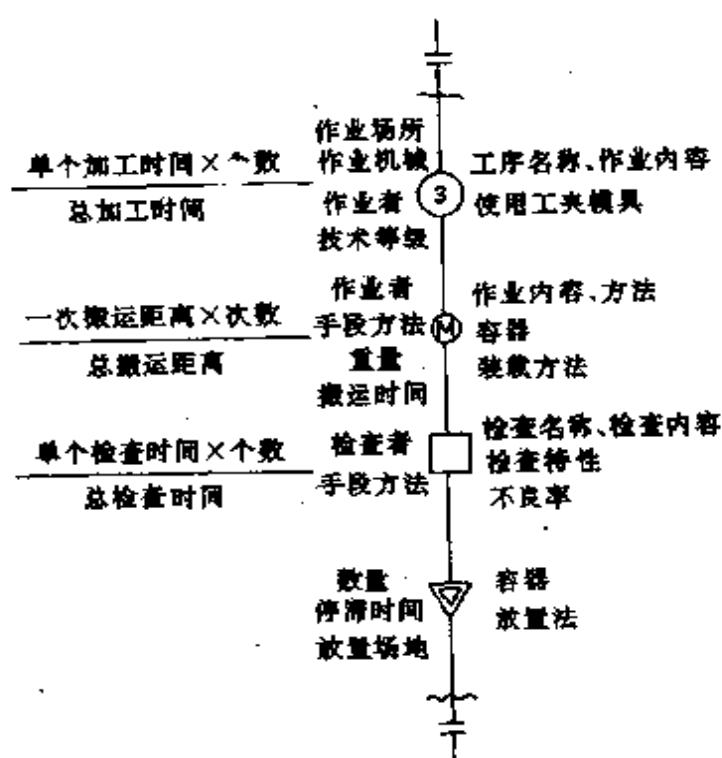


图 3-4 流程工序分析调查事项的表示要领

E 分析研究

在调查现状的基础上，将工序流程图进行整理，对各工序的数量、时间及距离加以汇总，并填写汇总表（见表 3-2），最后根据汇总表进行分析研究。分析研究应着重考虑以下几个问题：

- (1) 所有活动事项的的目的是什么？能否采取措施排除不必要的活动？
- (2) 作业地点、时间是否合适，能否变动？
- (3) 作业人员是否可以变动，或合并由 1 人操作？
- (4) 各加工工序使用的工夹模具情况如何？有无实现机械化、自动化的可能性？

表 3-7 工序分析的调查分析表

作业名称 _____		分析人员 _____						
图号 _____		分析日期 ____年__月__日						
产品号 _____								
车间 _____		审查日期 ____年__月__日						
现行方法								
数量 单位	符号	说明	移动 距离 (米)	加工 时间 (小时)	搬运 时间 (小时)	检查 时间 (小时)	停滞 时间 (小时)	贮藏 时间 (小时)
1 根	①	向搬运车抬材料(2人)	3	.0002				
20 根	②	搬向 301* 机床	70		.0032			
1 根	③	放在机床旁	3	.0002				
	④	等待加工					4.00	
1 个	⑤	钻孔、攻丝、切断等	2	.0550				
	⑥	等待搬运					4.00	
300 个	⑦	运向修整车间	100		.0011			
	⑧	等待作业					1.50	
1 个	⑨	去毛刺	2	.0075				
	⑩	等待搬运					2.00	
300 个	⑪	搬往机加工车间钻床旁	105		.0011			
	⑫	等待加工					2.00	
1 个	⑬	钻孔及埋头孔		.0480				
	⑭	等待搬运					4.00	
300 个	⑮	运往检查处	30		.0001			
	⑯	等待检查					1.50	
1 个	⑰	检验与测量	2			.0085		
	⑱	等待搬运					2.00	
300 个	⑲	向第二仓库	1000		.0030			
	㉑	精加工前的保管						48.0
300 个	㉒	搬向研磨机	850		.0025			
	㉓	等待加工					1.50	
1 个	㉔	研磨配合面	2	.1700				
	㉕	等待搬运					2.00	
100 个	㉖	运往喷漆工段	130		.0004			
	㉗	等待喷漆					4.00	
1 个	㉘	喷漆、干燥	3	.0350				
100 个	㉙	运往包装工段	40		.0001			
	㉚	等待作业					3.00	
1 个	㉛	装箱	4	.0100				
1箱25个	㉜	运向仓库	100					
	㉝	出库前保管						60.0

(5) 工序划分是否合理，能否简化或改善作业方法、合并作业工序？

(6) 是否可以变更操作或检查顺序从而获得更高效率？

(7) 运输路线是否合理？能否改进？

总之，要从作业目的、时间、地点、人员及作业方法等方面进行改善，而改善的着眼点应放在“排除、结合、交换、简化”四个方面。也就是说，要首先根据作业的目的，明确此项活动是否需要排除；如果决定排除，则对该项活动其它方面的考查就没有必要进行了；对地点、时间、人员进行考查，其改进的方向应是结合或交换（重新组合）；对作业方法进行考查，其改进方向应是简化。

F 流程分析举例

因为分析对象不同，生产流程分析图表也略有区别，下面举例说明生产流程的分析方法。

国外某机械厂对阀体加工的工序流程进行了分析与改进。原有的工艺路线（见表 3-7）工序划分过细，运输及等待时间较长，因此改进后的流程合并了部分加工工序，如将第 7 道（抹遮盖物、喷漆、干燥等）工序与第 8 道（装箱）工序合并，并减少作业及检查等的次数，缩短了时间及运输距离，从而大大降低了成本。改进后的工序流程见表 3-8。从表中可见运输距离缩短了 1791 米，单件成本降低 220 元。

3. 2. 2 加工路线分析

加工路线分析的主要内容是通过对厂区布局及车间设备布置状况的调查，研究原材料和在制品的运输路线。其目的在于缩短加工路线和运输路线，以便缩短生产周期。

加工路线分析是在产品流程分析的基础上进行的一个分析环节。

表 3-8 某机械厂改进后的工序流程

年节约额—直接劳务费 2.2 万元	现行方法		改善方法		差异			
	单位成本直接工资	30.0	27.8	2.20				
设备改进费 1.5 万元	移动距离(米)	2446	655	1791				
	No.	合计时间(小时)	No.	合计时间(小时)	No.	合计时间(小时)		
初步估计节约费 2.05 万元	○ 作业	8 .3259	7 .3084	1 .0175				
	◇ 搬运	9 .0085	6 .00222	3 .00628				
	□ 检查	2 .0085	1	.0025				
	▢ 停滞	12 31.5	8 25.5	4 6.0				
	▽ 贮藏	2 108.0	1 60.0	1 48.0				
改善方法								
数量 单位	符号	说明	移动 距离 (米)	加工 时间 (小时)	搬运 时间 (小时)	检查 时间 (小时)	停滞 时间 (小时)	贮藏 时间 (小时)
1 根	①◇▢▽	向搬运车抬材料(2 人)	3	.0002				
20 根	②◇▢▽	搬向 301# 机床	70		.0002			
1 根	③◇▢▽	放在机床旁	3	.0002				
	④◇▢▽	等待加工					4.00	
1 个	⑤◇▢▽	钻孔、攻丝、切断等	2	.0550				
	⑥◇▢▽	钻孔作业者停工待料					2.00	
100 个	⑦◇▢▽	作业者将工件搬向钻床	6		.00062			
1 个	⑧◇▢▽	钻孔 8 个孔	2	.0350				
	⑨◇▢▽	等待搬运					2.00	
300 个	⑩◇▢▽	运向修整车间	100		.0011			
	⑪◇▢▽	等待作业					1.50	
1 个	⑫◇▢▽	去毛刺	2	.0100				
	⑬◇▢▽	等待搬运					2.00	
300 个	⑭◇▢▽	搬往机加工车间钻床旁	180		.0005			
	⑮◇▢▽	等待加工					6.00	
1 个	⑯◇▢▽	钻孔及埋头孔、检验与测量	2	.1700				
	⑰◇▢▽	等待搬运					2.00	
100 个	⑱◇▢▽	运往喷漆工段	130		.0004			
	⑲◇▢▽	等待喷漆					6.00	
1 个	⑳◇▢▽	喷漆、干燥、装箱	5	.0380				
1 箱 25 个	㉑◇▢▽	运往包装工段	150					
	㉒◇▢▽	等待作业						60.0

A 分析方法

(1) 首先用 1/50~1/100 缩尺画出厂区或车间面积, 画出其它固定设施、机械设备、货架等, 然后按作业对象的运动过程、发生顺序在图面上用线段与工序的图示符号连接起来, 见图 3-5、图 3-6。图 3-5 为平面流程线图。产品加工若不在同一楼层或同一平面内, 需要画出立体流程图, 图 3-6 就

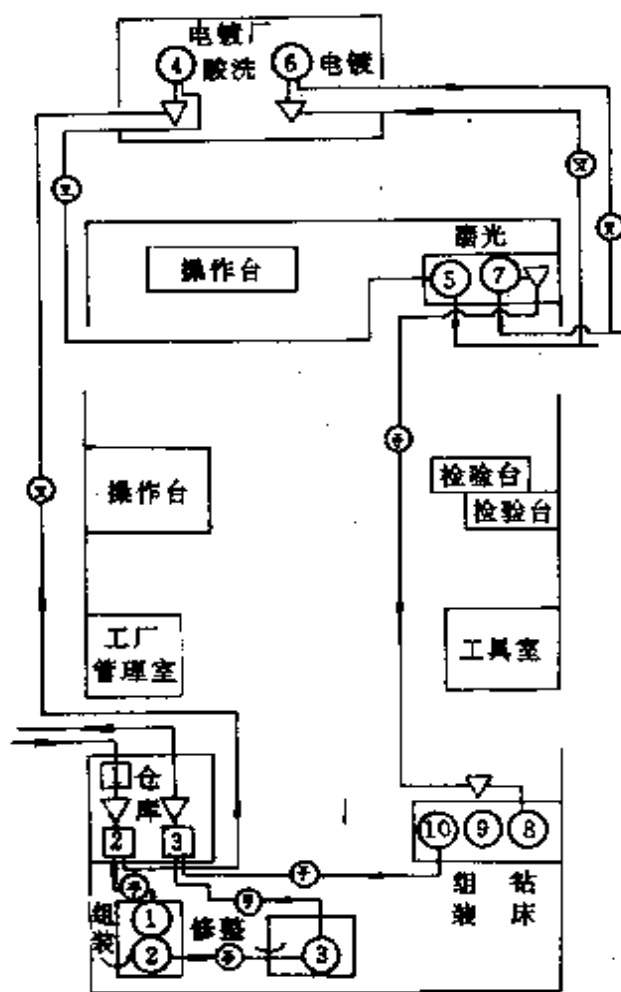


图 3-5 平面流程线图

注：⊗为叉车，⊙为手推车。

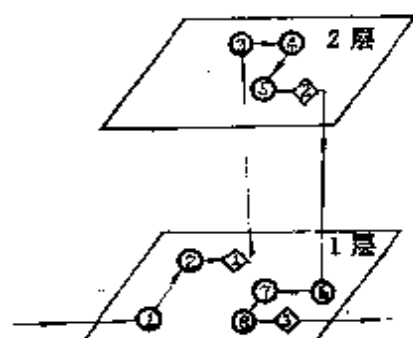


图 3-6 立体流程线图

是立体流程线图。

进行平面流程分析时，也可用引线流程图，就是在平面流程图的作业点按上图钉，然后引出一条线绳并将其拉紧，该线绳代替流程图中的实线，用以表示生产流程。为了区分加工、检验、运输等不同工序及不同工序系列，图钉和线绳可以采用不同的颜色。

进行立体流程分析时，可以采用上下移动线图来代替立体流程图，作图方法如下：根据立体分析结果进行汇总，然后在坐标纸上画出纵轴和横轴，纵轴表示上下移动的距离，横轴表示水平移动的距离，再按工序顺序用工序图符号表示水平及上下移动的位置（必要时附以简单的说明），最后把水平及上下移动的距离按工序顺序加以汇总，参见图 3-7。

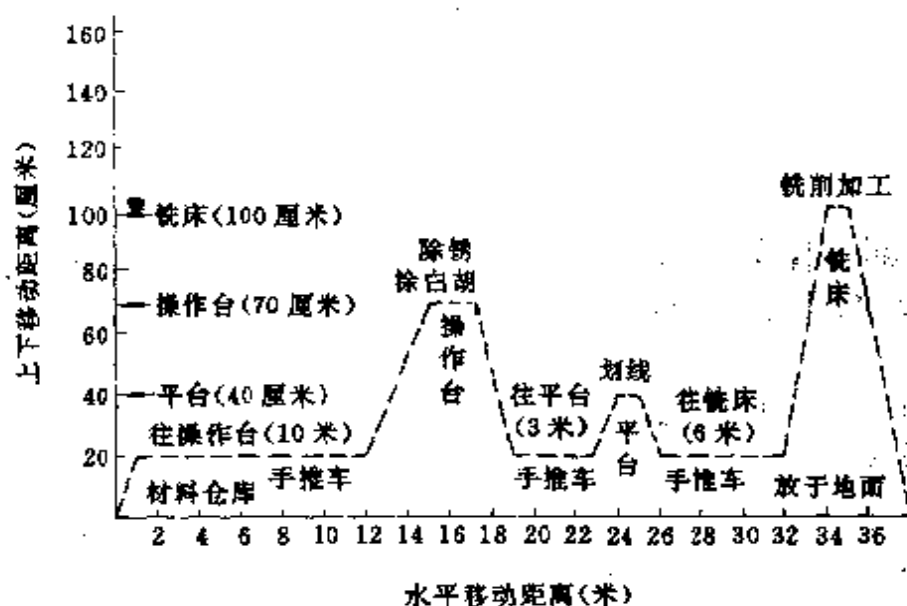


图 3-7 上下移动线图

(2) 按流程分析的改进要点提出改进方案，具体改进要点如下：

对平面移动的研究要点包括：移动距离可否缩短？移动路线是否直线或成“コ”形？零件的流程有无逆行情况？

对于上下移动的研究要点包括：上下移动的高度能否降低？上下移动的次数能否减少？上下移动能否用吊车或其它搬运工具？

此外，还有对设备及建筑物配置的研究要点，如设备布置采用何种方式（按机群还是按流水线等）？通道吊车的布置是否适当？通路宽度是否合适？车间办公室、检查场地位置是否合理？等等。

B 加工路线分析实例

某洗衣机电机厂生产电机轴加工路线如图 3-8 所示。从生产流程图中可以看出，机械加工车间原有设备布置很不合理。主要问题有工件运输路线过长，且交叉、逆行现象严重，

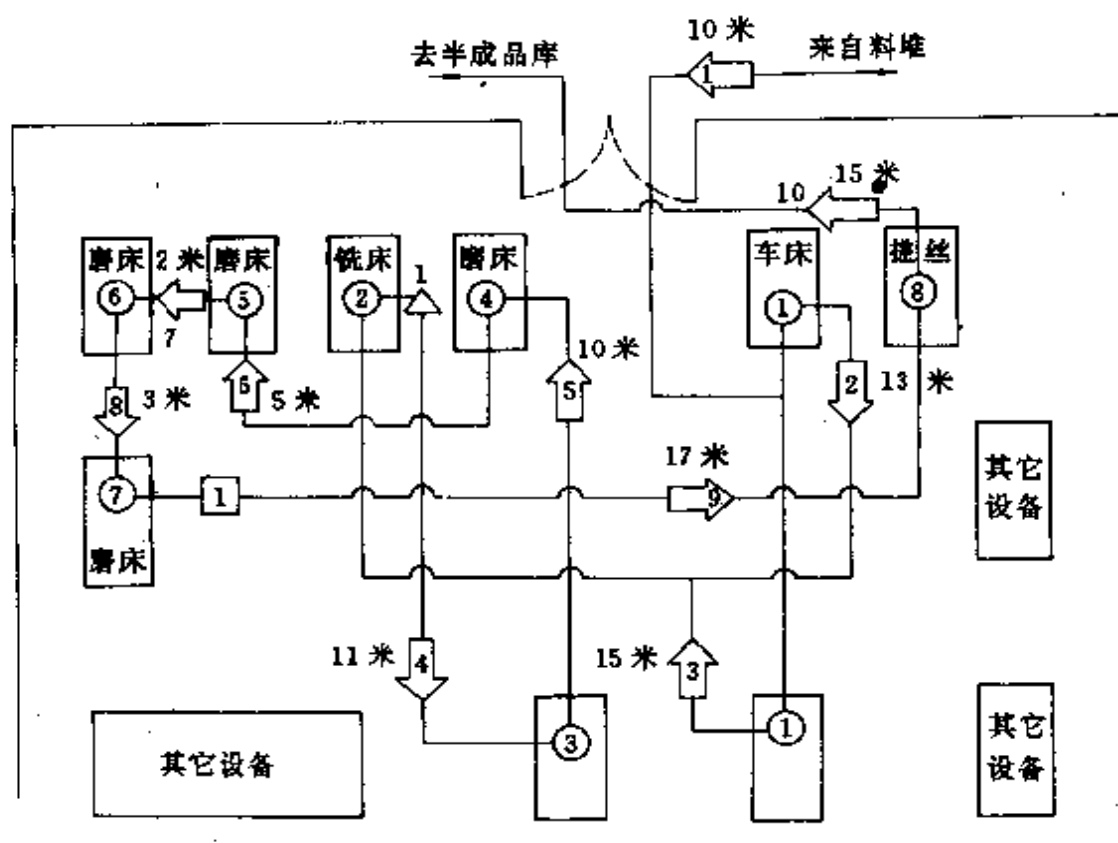


图 3-8 洗衣机电机主轴生产流程图（改进前）

通道堵塞，在整个生产过程中重复搬运 10 次，运输路线 91 米。根据存在的问题，提出如图 3-9 所示的改进方案，设备按工艺路线排列，消除了运输路线迂回曲折的现象。调整后的路线全长 39 米，运输距离缩短了 57%。对比图 3-8、图 3-9 可以发现，调整后的设备布置比较紧凑，可以节省生产面积近 40 平方米，占原有厂房面积的 20% 左右。

3. 3 作业分析

作业分析是指在生产流程中以人为主体，对作业者进行一系列行为的分析。

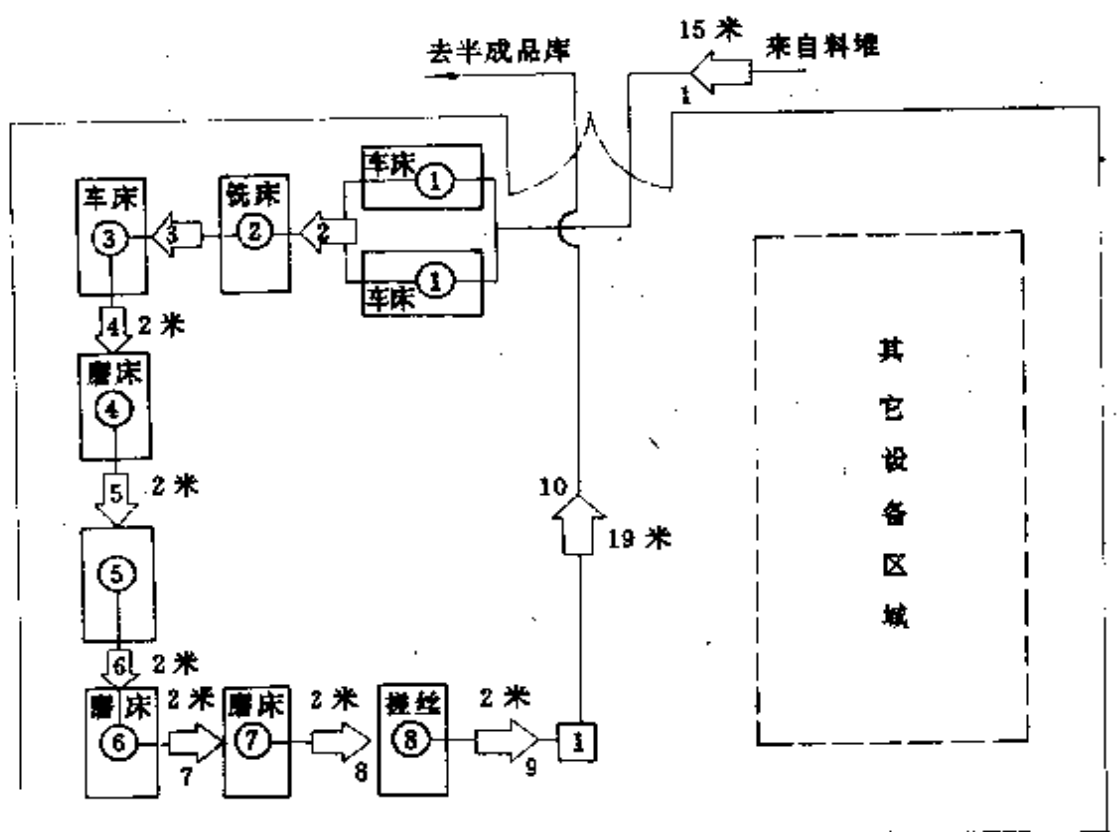


图 3-9 洗衣机电机主轴生产流程图（改进后）

作业分析有作业者操作分析、联合作业分析（组作业分析、人一机作业分析）。作业分析通过作业分析改进操作方法，取消不必要的和笨拙的动作，协调人和机器的配合或作业组中多名操作人员之间的配合，从而达到减轻工人劳动强度和提高工效的目的。

作业分析的图示符号与前述工序图形符号基本相同，只是在作业分析中很少使用贮存“▽”这一符号。

作业分析的步骤与方法和对每个操作事项的逻辑提问，都与流程分析相同，只是各项分析技术由于观察研究对象和改进重点的不同而有所区别。

3. 3. 1 操作者作业分析

操作者作业分析是对一名操作者所承担的作业的全部操作活动进行详细调查、记录和分析的技术。它通过改进操作方法或操作路线,达到减轻劳动强度、充分利用设备等目的。

操作者或是在固定位置完成工作任务,或是往返于若干工作位置之间完成作业任务。对于在某一固定位置操作的作业者来说,作业分析只限于操作方法方面;而对于往返若干工作位置的作业者而言,除了对操作方法进行分析改进以外,还要进行操作路线的分析和改进。

A 操作者在固定地点完成作业任务

图 3-10 所示为一操作者在固定工作地完成作业任务的实例,工作任务是将弹簧垫圈、钢垫圈和橡胶垫圈与螺栓装成组件(见图 3-11b)。原来的操作方

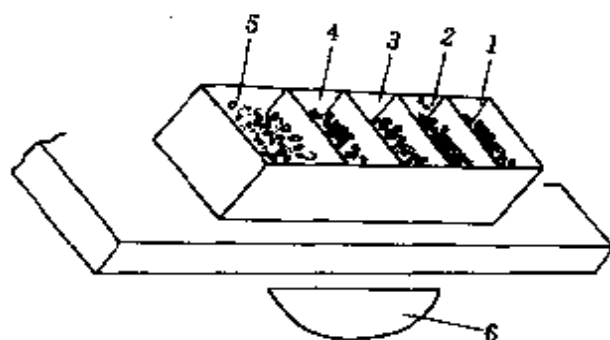


图 3-10 螺栓组件装配工作地布置(旧)
1—橡胶垫圈; 2—钢制垫圈; 3—弹簧垫圈;
4—螺栓; 5—螺栓组件; 6—操作者位置

法是在工作台上摆放 5 个容器(见图 3-10),容器中分别装有橡胶垫圈、钢制垫圈、弹簧垫圈、螺栓和螺栓组装件;用左手从一个容器中取出螺栓,然后用右手按顺序从其它 3 个容器中依次取出橡胶垫圈、钢制垫圈及弹簧垫圈装在螺栓上;最后左手将装好的组件放入盛组装件的容器中。若仔细分析就会发现,操作者的左手主要起夹持作用,右手完成主要操作任务,如果能设计一台夹具代替左手的作用,将左手从夹持工件的状态中解脱出来,就可以使左、右手同时完成串垫圈等操作,这样将会大大提高工效。为此作如下改进(见图 3-11b):设

计一台带双孔的胎具装在工作台上，工作台两侧设有投放成品的方孔，其下有成品箱；此外，盛放零件的容器摆成扇形，两边对称。由于工作地布置的变化及增加了胎具，作业者可以双手操作。

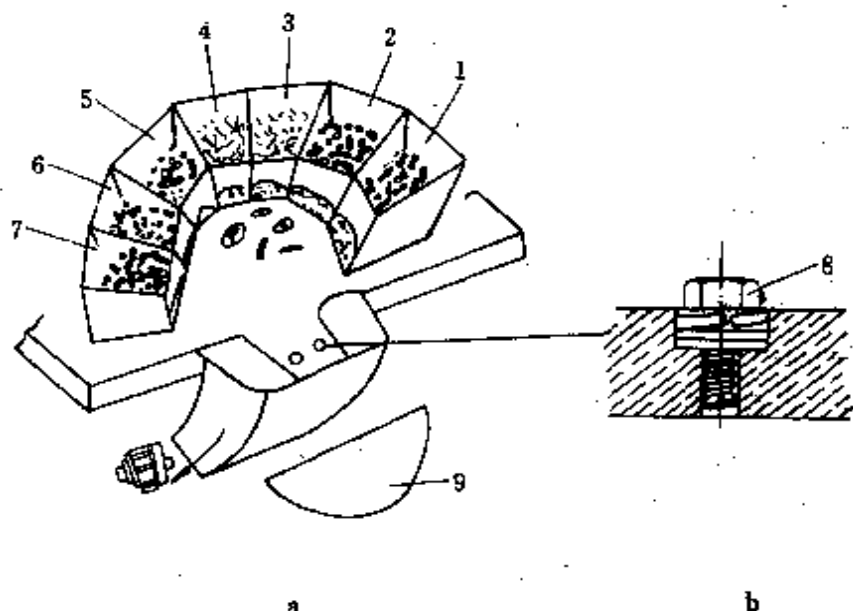


图 3-11 螺栓组件装配工作地布置（新）

a—带双孔胎具的工作台；b—组装孔示意图

1、7—橡胶垫圈；2、6—钢制垫圈；3、5—弹簧垫圈；

4—螺栓；8—螺栓组件；9—操作者位置

操作时操作者首先用双手分别从容器中取出橡胶垫圈放入工作台两个组装孔中，然后依次从另外的容器中取出钢制垫圈、弹簧垫圈也放入孔内，最后从盛放螺栓的容器中取出螺栓，插入垫圈孔内，装完后将组件取出投入两侧的方孔中。不难看出，由于双手同时操作，消除了左、右手的等待时间，提高工效近一倍。

操作分析采用专门的表格。由于操作活动时间很短，为便于记录，在记录表的有关栏目中事先将操作活动符号写好，表 3-9 就是上述作业的分析表。

表 3-9 作业分析图表

左手操作活动	活动符号				序号	活动符号				右手操作活动
	○	→	▽	D		○	→	▽	○	
伸向容器		●			1		●			同左手操作
取出橡胶垫圈	●				2	●				同左手操作
移至作业位置		●			3		●			同左手操作
将橡胶垫圈放入组装孔	●				4	●				同左手操作
伸向容器		●			5		●			同左手操作
取出钢垫圈	●				6	●				同左手操作
移至作业位置		●			7		●			同左手操作
将钢垫圈放入组装孔	●				8	●				同左手操作
伸向容器		●			9		●			同左手操作
取出弹簧垫圈	●				10	●				同左手操作
移至作业位置		●			11		●			同左手操作
将弹簧垫圈放入组装孔	●				12	●				同左手操作
伸向容器		●			13		●			同左手操作
取出螺钉	●				14	●				同左手操作
移至作业位置		●			15		●			同左手操作
将螺钉插入组装孔	●				16	●				同左手操作
取出螺栓组件	●				17	●				同左手操作
将组件放入组件入口	●				18	●				同左手操作

作业者固定在一个位置工作的作业分析重点是考查作业者的操作方法、步骤是否合理，左右手分工如何，是否存在多余或笨拙动作，工作地物料摆放是否科学等。

B 操作者往返若干工作位置完成作业任务

当操作者需要往返若干工作位置方能完成全部作业任务时，应重点进行操作路线分析，分析方法可采用 3.2.1 中介绍的流程分析方法。

例如某厂电线检验员负责对 6 台拉线机生产的铜线质量进行检验，其操作路线如图 3-12 所示。假设操作者从已检验

的 2 号机组 C_2 出发, 到 3 号机组的卷筒 B_3 处取铜线, 再到检验台 E 进行检验, 合格品将送回 3 号机组的“已检”卷筒架 C_3 上, 不合格铜线则送到废品筒 D 中。这仅仅是一个工作循

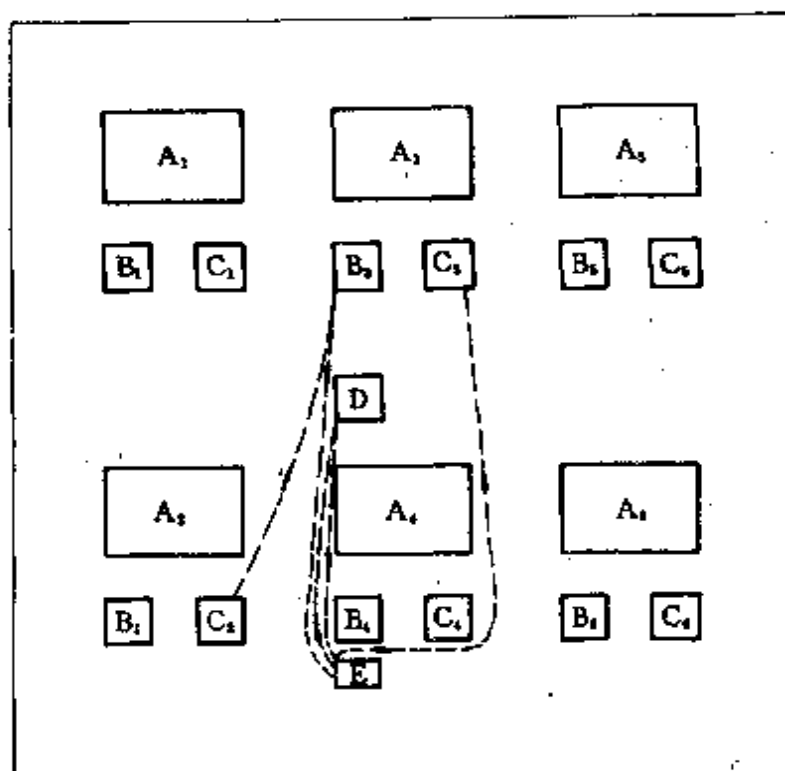


图 3-12 原方法检验铜线操作路线图

A—15 吨拉线机; B—成品卷筒架;

C—已检卷筒架; D—部门废品筒; E—检验台

环, 检验员要在 6 台拉线机间走来走去对铜线的质量进行检查。在对该作业分析前, 分析人员应对实际作业进行调查, 并绘制工艺流程图, 见表 3-10。此表只有 3 个基本栏目: “距离”、“符号”及“说明”。若需要记录每一工序的时间, 则可增加一项“时间”栏。操作路线图可看作是工艺流程图的补充附件, 并作为分析问题时的参考资料。

表 3-10 质量检验流程工序调查分析表

作业名称: 检验铜线		制图:
部门:		日期:
距离	符号	说明
7.32 米	○	到下一成品卷筒
	○	拿卷筒
7.32 米	○	到检验台
	○	将卷筒放到台上
	○	剥切外层最易损坏处
4.57 米	○	到废品容器
	○	处理废品
4.57 米	○	到检验台
	○	从末端切 0.6 米从 0.6 米上取 5 厘米样品
	◇	用测微计检验
	○	拿起卷筒
7.32 米	○	到机器“已检”架
	○	放好卷筒

根据分析发现,由于检验台及废品桶摆放位置不合理,造成操作者走动路线过长,此外切断铜线的工序是多余的。因此,采用以下几项革新措施:

- (1) 剔除不必要的切断铜线工序;
- (2) 将废品桶放在检验员坐位附近,甚至可以把它和检验台放在一起,以免在剔除每段废品时多走一段路程;
- (3) 将检验用具改为便携式,也可将工作台装上轮子,随检验员一起移动。

改进以后的方案如图 3-13 所示,其工艺流程图见表 3-

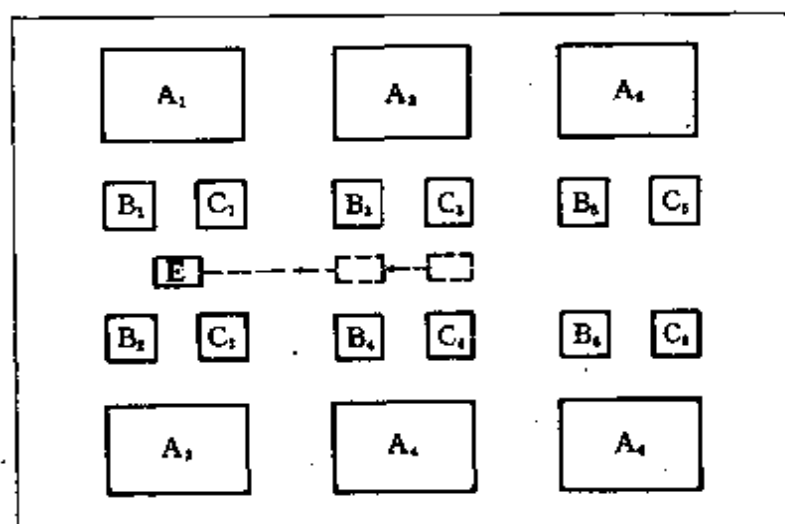


图 3-13 新法检验时的操作路线

A—15 吨拉线机；B—成品卷筒架；C—已检卷筒架；

D—部门废品桶；E—检验台

表 3-11 改进后的质量检验流程工序调查分析表

作业名称, 检验铜线		制图:
部门:		日期:
距离	符号	说明
6.1 米	○	到下一成品卷筒
	○	拿卷筒
	○	放在工作台上
	○	剥切和取样
	○	处理废件放入台旁容器
	◇	用测微计检验
1.22 米	○	放到“已检”架上
	○	拿起卷筒
	○	放好卷筒

11. 根据表 3-11 和图 3-13 进行分析所得的结论列于表 3-12 中。改进后搬运路程缩短 32% 以上, 工序数减少 14% 以上。因此, 不仅缩短了工作周期, 而且减轻了操作人员的劳动强度。

表 3-12 汇总表

	原方案	新方案	节约
加工 ○	7	6	1
数量检查 □	0	0	0
质量检验 ◇	1	1	0
搬运 ○	5	2	3
储存 ▽	0	0	0
平均距离 (米)	7.32	31.09	23.77

3. 3. 2 联合作业分析

当有多数作业者在一起作业或单个作业者操作 1 台或数台设备进行作业时, 容易发生人和设备因等待而造成的时间上的浪费。为了使相互关联的作业既协调, 又不发生浪费现象, 有必要进行联合作业分析。

联合作业分析是对操作者之间的相互关系, 或操作者与机器的作业内容及等待作业时间等之间的相互关系所进行的分析。联合作业分析包括: 组作业分析、人一机作业分析和组一机械分析。

联合作业分析多用图解法, 也可用解析法。本节所介绍的人一机时间图等均属于图解法。图解法用于描绘 1 名操作者和 1 台机器或几名操作者使用或不使用机器执行作业所用的时间 (该项作业可分为若干工步), 同时这种方法能够表示

出各操作者之间的协调关系。利用此种方法能使作业组中每一成员的工作量得到均衡。

A 人一机分析图

人一机分析图是将由人和机器完成的一连串的作业内容及人和机器相互间的关系在同一图面上直观的定量的表示出来的图，这种图也叫人一机时间图。

(1) 人一机分析图的主要用途：

1) 用于发现影响联合作业效率的原因。人用机器进行作业时，如果人与机器的相互关系不协调，会产生无效时间，用人一机分析图可以发现产生无效时间的原因。

2) 用于判断操作者能够同时操作的机器台数，即确定 1 名操作者可能操作几台机器。如果 1 名操作者原来只操作 1 台机器，为了充分利用时间，再增加 1 台，可以用人一机分析图来判断其可能性。

3) 可用来判定操作者和机器两方面哪一方对提高工效更为有利。

4) 用于进行安全性研究。因过分提高机器的运转速度和设备的利用率而使操作者的安全受到危害时，应如何保证操作者的安全问题。

5) 用于设备改造、实现自动化及改善作业区的布置。从提高联合作业效率的观点出发，有效进行设备改造，提高设备的运转速度，重点是实现自动化及合理改善作业区的布置。

(2) 分析的顺序：

1) 准备好人一机分析表、观测板、秒表等计时用具；

2) 记录研究对象的名称、工序名称、使用的设备、作业人员及调查人员姓名、调查日期等；

3) 作图表示设备、操作者和对象物的位置关系；

4) 观察操作者的作业顺序及机器的动作顺序;

5) 用秒表等观测随着时间的推移,操作者和机器的作业状态的变化,并记录在记录表中,特别要观测、记录机器停止工作状态下操作者的作业内容,并正确掌握人和机器的相互关系;

6) 观测终了后,计算周期、有效时间、空闲时间,并求出空闲率;

7) 研究各种改善方案。

(3) 人一机时间分析事例:对塑料成型作业的改进。图 3-14 表示改善前后作业区的布置状况。

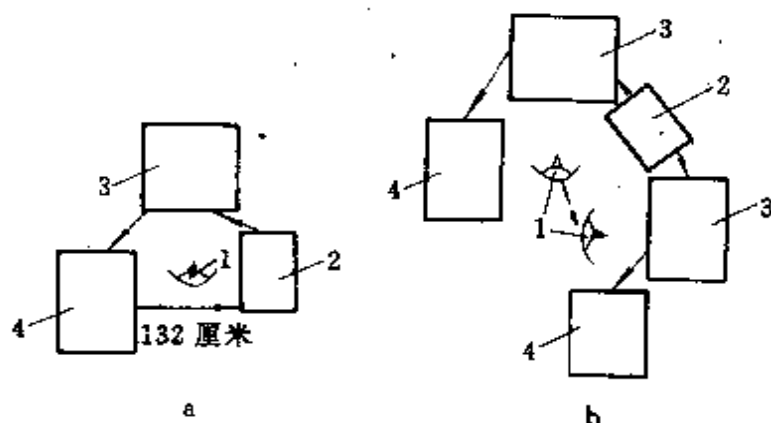


图 3-14 成型作业区布置图

a—原作业区布置; b—改进后的作业区布置

1—操作者; 2—材料; 3—成型机; 4—成品



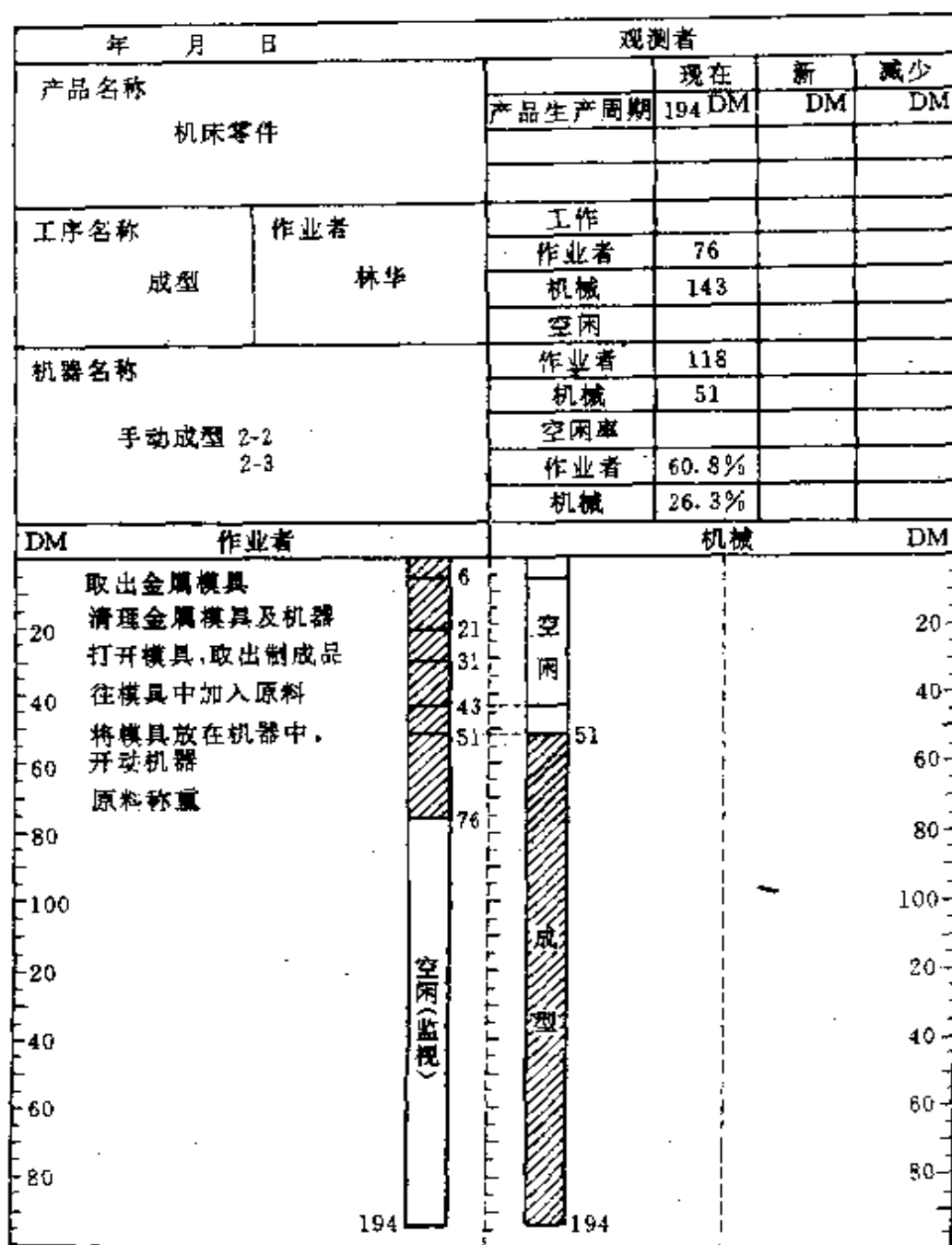
表 3-13 和表 3-14 中分别给出了改进前后成型作业的人—机时间图。表中符号“”表示机器压制成型时间和操作者从金属型中取成品及往金属型中投放下一批原料; 符号“”表示操作者从金属型中取出成品到机器下一次开动前的空闲时间、停机时间和机器工作时操作者监视机器等不进行操作的时间。

表 3-13 成型作业人一机分析表 (旧)



从表 3-13 中发现, 原有方法操作者空闲时间多, 在机器运转时操作者处于等待状态; 而操作者进行作业时, 机器处于停机状态。为了减少空闲时间, 采用由 1 名操作者管理

表 3-14 成型作业人一机分析表 (新)

年 月 日		观测者			
产品名称 机床零件			现在	新	减少
		产品生产周期	194 DM	194 DM	DM
工序名称 成型	作业者 林华	工作			
		作业者	76	162	
		机械	143	143	
		空闲			
机器名称 手动成型 2-2 2-3		作业者	118	16(32/2)	102
		机械	51	51	
		空闲率			
		作业者	60.8%	8.3%	
		机械	26.3%	26.3%	
DM 作业者		机械		DM	
20	机械 I 的作业 1	6	机械 I	机械 II	20
40	机械 I 的作业 2~4	43	空闲		40
60	机械 I 的作业 5	51	51		60
80	机械 I 移动	56			80
100	机械 I 的作业 1	62		56	100
20	机械 I 的作业 2~4	99		空闲	20
40	机械 II 的作业 5	107			40
60	机械 I 的作业 6	132		107	60
80	向机械 I 移动	137		成型	80
	机械 I 的作业 5	162		成型	
	(监视)	194	194		

2 台机器的改进方案, 因而大大减少了由于操作者等待造成的时间损失。从表 3-14 可知, 第 1 台机器工作时, 从第 2 台

机器中取出成品并向金属型中投放下一批原料，然后开始工作。由于这个时间比机器的成型时间短，将 2 台机器的成型周期错开，1 个人完全可以同时操作 2 台机器。采用改进后的方案，操作者空闲率由 60.8% 下降到 8.3%，因此生产效率大幅度提高。

B 组作业分析图

组作业时间图是数名作业者相互配合共同完成一项工作时，记录其相互关系状态的时间图。

当数名操作者协作完成一项工作时，容易出现只有 1 名特定的操作者忙碌，而其他人员无事可做的情况，这时要想提高该特定操作者的效率是很困难的，必须使作业组成员配合工作，这种情况用组作业时间图进行分析研究非常方便。例如，按一定的比例对工作进行重新分配，使各操作者的工作量尽量平衡。组作业时间图还可用来发现和改善耗时最长的作业。

进行组作业分析时，必须正确了解各个作业所花费时间的相互关系。为此，使用时间坐标相同的组作业时间图，对每名操作者的作业时间、各作业间隔时间依次按时间坐标作记录，并注明作业内容。

现以离心分离机的检修作业为例说明组作业的分析方法。

离心分离机是一种连续运转的装置，在离心机上部装有自动取出脱水物的抓取装置。一般情况下，在拆卸、维修离心机时，首先拆掉抓取装置，然后拆掉回转笼，再检查机架中的轴承，经过检查修理后再进行组装，这样一个周期需要 345 分。等待时间最少的钳工 A 的时间损耗率是 42.0%，而钳工 C（吊装工）则为 81.2%（见表 3-15）。

表 3-15 修理离心机组作业分析表 (旧)

年 月 日			观测者					
作业名称 修理离心机			产品生产周期		现在	新	减少	
					345 M	292 M	53 M	
工序名称 修理抓取装置	作业者	钳工 A 钳工 B 钳工 C 钳工 D	工作	钳工 A	200	200		
				钳工 B	137	137		
机器名称				空闲	钳工 C	65	65	
					钳工 D	70	70	
		钳工 A	145		92	53		
		钳工 B	208		155	53		
		空闲率	钳工 C	280	227	53		
			钳工 D	275	222	53		
				钳工 A	42.0%	31.5%		
				钳工 B	60.3%	53.1%		
				钳工 C	81.2%	77.7%		
				钳工 D	79.7%	76.0%		
钳工 A			钳工 B		钳工 C		钳工 D	
拆卸 抓取装置			松开回 转笼螺栓		套钢丝 吊起			
1	53	吊起	52 62 77	52 62 77				
在钳工车间 拆装修理								
2	140							
			转回转笼		降落			
3		拧回转笼 螺栓	162 187	147 162 187				
					检查轴承 更换润滑油			
4	232		232				77	
安装 抓取装置								
5	292		292	292			147	
							292	
6								

为了提高工作效率,减少等待时间,经作业分析后提出了改进方案,把离心机换成大型的,操作者可以同时作业(见表 3-16)。钳工 A 拆卸抓取装置的同时, B 即可松开旋转

笼的螺栓，并把笼子吊起，此时 C 担负吊装任务，而 B 起配合作用。笼子吊起后 D 检查轴承，更换润滑油脂，然后再组装好。

表 3-16 修理离心机组作业分析表（新）

年 月 日		观测者					
作业名称				现在	新	减少	
修理离心机		产品生产周期		345M			
工序名称	作业者	钳工 A 钳工 B 钳工 C 钳工 D	工作	钳工 A	200M		
				钳工 B	137		
				钳工 C	65		
				钳工 D	70		
修理抓取装置			空闲	钳工 A	145		
				钳工 B	208		
				钳工 C	280		
				钳工 D	275		
机械名称				空闲率	钳工 A	42.0%	
		钳工 B	60.3%				
		钳工 C	81.2%				
		钳工 D	79.7%				

钳工 A		钳工 B		钳工 C		钳工 D	
拆卸抓取装置		松开回转笼螺栓		套钢丝绳吊起		检查轴承 更换润滑脂	
1	53	1	53	1	105		
在钳工车间拆装修理		吊起		2	115		
2	140		105 115 130	2	115 130		
3		转回转笼		3			
		拧回转笼螺栓		降落			
4			215 240	4	200 215 240		
5	285		285	5			
安装抓取装置				6			
6	345		345		345		130 200 345

从表 3-16 中可见, 由于负责装配的钳工 A、B 同时开始作业, 所以缩短了等待时间, A 的时间损失率 (空闲率) 从 42.0% 减少到 31.5%, B 的时间损失率从 60.3% 降至 53.1%。

上述新方案只改变了 A、B 的作业关系, 而 C 和 D 的工作状态无变化。如果从培养多面手出发, C、D 的空闲时间可以去干其它工作, 或 C、D 的工作可以分别由 A、B 承担, 这样就可以减少操作人员。

C 组—机械作业分析图

组一机械作业分析图是人—机械作业分析图和组作业分析图的组合。

在人—机分析中, 主要是以设备的机能为前题; 组作业分析仅仅考虑作业者的相互关系。为了提高联合作业效率, 要着眼于作业之间的相互协调性, 进行工作的再分配。在组—机械作业分析中必须综合考虑操作者之间及操作者与设备之间的关系。下面举例说明组—机械作业的分析方法。

图 3-15 为木材切断作业区的平面布置图, 作业内容是把

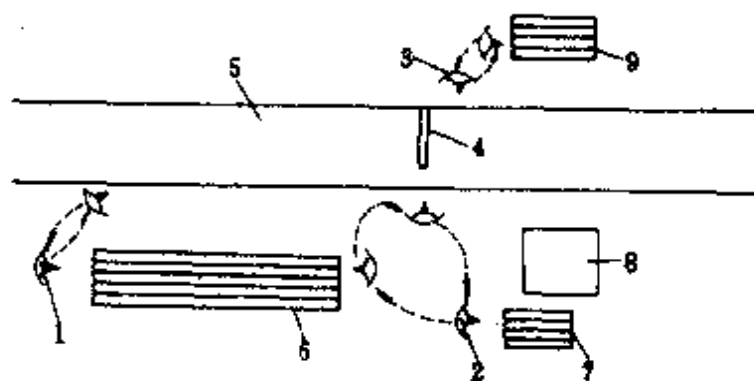


图 3-15 木材切断作业区平面布置 (旧)

1—推者 A; 2—拉者 B; 3—取者 C; 4—锯片; 5—锯床工作台;
6—原材料堆放处; 7—短料堆放处; 8—端头箱; 9—成品堆放处

长木料锯成一定尺寸的短木料。该作业原来由 3 名操作者用锯床进行，操作者 A 在 B 的协助下，将长木料抬到锯床工作台上，由 A 推木料，B 控制方向，将木料端面切成垂直面；然后 C 把切好的木料放在成品台上，不符合尺寸要求的长木料放在靠近操作者 B 身边的堆放台上，小的料头放在端头箱中，同时 B 和 C 将成品放在成品运送车上。

为了表示各工序所需的时间，在进行作业分析前，还应绘制组一机械时间图，见表 3-17。

根据分析发现一些不合理的地方，决定作如下的改进：革新原有设施，使原材料堆放台和成品堆放台的台面高度分别与锯床工作台等高，并与工作台之间用角铁联接起来。这样做的目的是，使长木料搬向锯床工作台及成品木料从锯床工作台搬向堆放台时，不需要抬起（或搬下），只要分别由 1 人推拉即可完成；同时，减轻操作者的劳动强度。

从表 3-17 中可以看出操作者的工作安排不平衡，因此有必要重新安排作业组中各成员的作业内容。由负责锯切的操作者 B 代替 A 将短料放在短料车上，负责从工作台上取成品的 C 兼管取短木料。这样，木材切断作业只需 2 人操作就可以了（见图 3-16）。

在锯床工作台上设计安装一条推拉线，自动将木料推向锯片另一侧的定尺处，代替操作者 A 人工推木材的操作。改进以后的作业区平面布置图及组一机械时间图分别见图 3-16 和表 3-18。改进后的作业周期由原来的 4 分钟降至 2 分钟；A、B、C 3 人的工作时间分别占 85%、85% 和 70%；可见 3 人的作业时间大体相同；机床运转率由原来 15% 提高到 30%。

表 3-17 木材切断组—机械时间分析表 (旧)

126

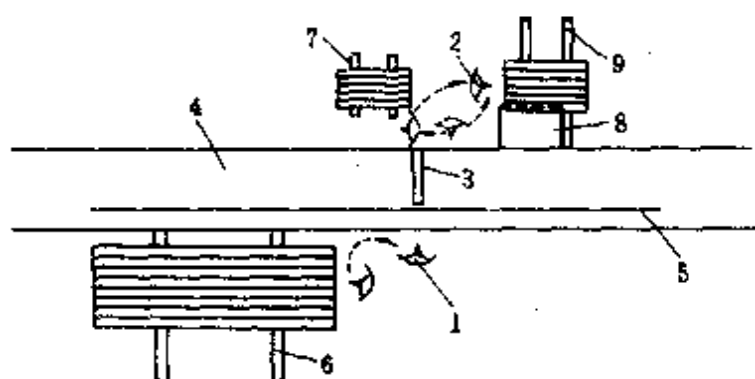


图 3-16 木材切断作业区平面布置 (新)

1—拉者 B; 2—取者 C; 3—锯片; 4—锯床工作台; 5—导向线;
6—原来堆放台; 7—短料堆放台; 8—端头箱; 9—成品堆放台

D 联合作业分析结果的研究与改善

(1) 人一机作业分析结果改善的主要内容:

随着作业和加工顺序的变化,人或机器的有效时间是否可以增加,或者由于使用新设备、新的工夹量具,设备空闲时间率是否可以降低?能否减少工件的装夹次数?

操作者在监视机器运转状况的同时,能否准备下面的工作?

操作者的动作能否减少,作业域的布置能否改变?

在机床的速度、切削深度等工艺条件不变的条件下,能否进行均衡良好的联合作业?

能否增加操作者操作机器的台数来实现降低空闲率的目的?

(2) 组作业分析结果研究与改善的主要内容:

能否变化工作的组合和顺序?

组作业中操作者之间的工作量是否均衡?

采用作业组的重新编排(分散、结合),联合效率能否提高?

表 3-18 木材切断组—机械时间分析表 (新)

年 月 日		观测者				
作业名称		产品生产周期		现在	新	减少
切断		306 DM		254 DM	52 DM	
工序名称	作业者	工作	推者 A	141		141
			拉者 B	267	254	
空闲	取者 C		49	77		
	锯床		140	140		
	推者 A	165		165		
	拉者 B	39	0	39		
空闲率	取者 C	257	177	80		
	锯床	166	114	52		
	推者 A	53.9%				
	拉者 B	12.7%	0			
机械名称		取者 C	84.0%	69.7%		
圆锯		锯床	54.2%	44.9%		
DM	推者 A	拉者 B	DM	取者 C	锯床	
20			放端头	28		
40						
60		拉				
80		拉向锯片				
100		放端头	100	107	切端头	
		推向锯片	向端头箱	112	107	
		切断			切断	
		推向锯片				
		切断	放成品	156	156	
		推向锯片		178	170	
		切断			切断	
200		推向锯片	200	205	205	
		切断	放成品	227	219	
				254	254	
300			300			

实现机械化，操作者的保持动作及搬运次数是否可以减少？

3. 4 动作分析

3. 4. 1 动作分析的概念、意义和目的

动作分析是分析作业中人的身体动作，对人的动作进行细微的分析，简化或消除工作中不必要的动作，找出合理的动作，设定较好的动作顺序或组合方法，使作业科学、经济、有效和标准化。

操作者不论进行何种作业，其身体的某个器官或几个器官都会产生不同的动作。这些动作有的科学合理，有的不一定科学合理，有的纯属徒劳。科学合理的动作产生最佳的生产效率；不太科学合理的动作，既降低生产效率，又浪费劳动力。工业工程中的动作分析恰恰是通过分析一项作业的操作或一个周期性的操作，排除不科学、不合理甚至无用的动作，确立起科学合理、效率最佳的动作系列。这种技术方法主要适用于大量生产且作业的重复性很高的短周期作业。

动作分析的目的：

(1) 设计、改进能减轻疲劳而又安全的高效率的作业系统，省去不合理的动作和多余的动作。

(2) 分析作业的内容，抽出基本动作并将其组合，以组成更容易的动作。

(3) 为实行容易而准确的动作，对机器和工艺装备进行选择和改进，使其与人的动作相适应，取得改进或设计的资料。

(4) 取得作业标准和标准时间的基础资料。

3. 4. 2 动作分析的方法

动作分析的方法有：目视动作分析、影像动作分析、细微动作分析等。

A 目视动作分析

目视动作分析是由观测人员用眼睛对操作者左、右手的动作进行观察，并运用一定的符号按动作顺序如实地记录下来，然后进行分析，提出改进操作的意见。这种方法比较简单，有时由于动作速度太快，观察起来比较困难。

B 影像动作分析

影像动作分析是用电影摄影设备或录像设备，把操作者的动作拍摄下来，然后进行分析，提出改进意见。由于电影摄影成本高，这种方法不易普及。随着电视录像的普及，影片分析将被录像分析所代替，并会得到广泛的应用。

(1) 影像分析的用途：

1) 记录作业者的动作。用摄像机将作业者的动作录制下来，用慢镜头或静止镜头来分析动作要素，发现不合理或多余的动作要素，提出改进方案。

2) 观察作业者动作的录像，用秒表测定各动作要素的作业时间，为核定标准作业时间和设计流水线提供数据。

3) 用于众多人员观察分析同一作业者的作业状态。

4) 推广新的作业方法。将作业录像放给原作业人员看，使他们看到自己作业中的缺陷，提高其改进作业的自觉性。

5) 将作业方法录像后存档，便于随时借阅研究。

(2) 影像分析的优点与缺点：

影像分析的优点是：由于录像带能反复使用，又能供众多人员使用，故经济实用；

使请他人特别是请专家帮助分析成为可能；易于保密；能够防止因现场观测而造成作业者出现虚假动作，提高动作分

析或时间测定的真实性；

由于采用监控器，能对记录内容等进行研究，录像几乎不会失败。

影像分析的缺点是：一次性投资太高。

(3) 影像分析的方法：

准备摄像器材；制定摄像计划，包括准备摄取的镜头、每个镜头的内容、摄像时间、被摄像的作业者、摄像记录磁带等；向被摄像单位负责人和作业者作出解释和加以说明，希望得到他们的协助；准确摄像，摄像时尽量少说话，最好不要引起作业者的注意，被摄入的镜头尽量清晰、准确，必要时要有同步录音；召集有关人员观看录像并进行分析，找出问题并归类；针对存在的问题提出改善方案，并付诸实施；将录像带编号保存，如属长期保存资料，则应立卷归档，便于今后查阅。

C 细微动作分析

细微动作分析是将人在作业中的动作分解为最小的动作单位——动作要素，进行观察、分析，再对这些动作要素单独的或对各动作要素间的关系加以分析，以确定较高效率的工作方法。









(1) 动作要素符号。将毕生精力贡献给工作效率研究的美国工程师吉尔布雷斯夫妇 (Lillian M. & Frank B. Gilbreth)，从分解动作着手，研究改善动作，将操作方法研究发展成为动作研究。他们首先把工人的操作拍摄成电影，然后通过慢速度放映，分析各项基本动作，择取最佳动作。经过大量分析，他们把人体动作分成 17 种基本动作要素，并将其命名为 Therblig (即 “Gilbreth” 倒排所组成的词)。其理论根据是：人体的动作虽然有千万种，但如果加以分析、归

纳，不外乎 17 种基本动作。由于其中的“发现”和“寻找”或“选择”几乎是同时发生的，故予以省略。17 种动作要素是：伸手、握取、搬运、组装、使用、拆卸、放手、检查、定位、寻找、选择、思考、准备、保持、休息、不可避免的迟延、可以避免的迟延等，如表 3-19 所示。

表 3-19 动作要素及其符号

类别	动作要素名称	文字符号	形象符号	定 义	例
第 一 类	伸手 (Reach)	RE	∪	什么也不拿，空手接近或离开目的物的动作	手伸向铅笔
	握取 (Grasp)	G	∩	用手抓住对象物的动作，包括抓、握、按、支撑状态	抓铅笔
	搬运 (Move)	M	⊙	保持对象物由某位置移至另一位置的动作，如搬、推、拉、滚、转、滑动物体	把铅笔拿过来
	组装 (Assemble)	A	⊞	将多个对象物装成一体	把钢笔插入笔帽
	使用 (Use)	U	U	凭借器具或设备作用于对象物，达到使用目的	写字
	拆卸 (Disassemble)	DA	⊞	把按一定关系装成一体的若干对象物加以分解	大修时分解自行车
	放手 (Release)	RL	⊙	放下对象物的动作，如撒开、扔下、抛出	
	检查 (Inspect)	I	0	对对象物的数量和质量进行测定或判定	研究字写得好坏及完成情况
第 二 类	定位 (Position)	P	9	为较方便地使用对象物而校正位置的动作	将铅笔尖放在特定位置

续表 3-19

类别	动作要素名称	文字符号	形象符号	定 义	例
第二类	寻找 (Search)	SH		用视觉等感官确定对象物的位置的行动,如用眼找、用手探寻	用眼寻找铅笔
	选择 (Select)	ST		从众多的物件中选择对象物	从工具箱中选某一规格的钻头
	考虑 (Plan)	PN		对下一步行为进行思考和决定的心理动作,如判断、理解、看图等	考虑写哪个字
	准备 (Preposition)	PP		用手握取对象物后调整到最好的方向或姿势	把铅笔握成容易写字的姿势
第三类	保持 (Hold)	H		把对象物放到一定位置静止不动	握住铅笔不动
	休息 (Rest)	R		停止作业,坐或立的动作	因疲劳而休息
	不可避免的迟延 (Unavoidable Delay)	UD		不含有用的动作,作业者不能控制、没有责任	机器自动送进时手的停顿
	可以避免的迟延 (Avoidable Delay)	AD		不含有用的动作而作业者本身可以控制的迟延	工作中闲谈、打闹等




从改进动作的观点出发,将表 3-19 中的 17 种动作要素分成三类:

第一类,进行工作的要素,通过改变这些要素的顺序和组合,能够改进工作。

第二类,阻碍第一类工作要素的进行,在进行工作方面作为辅助性的要素。

第三类,对工作无益的要素。

为达到提高生产率的目的，应改进第一类动作要素，减少第二类动作要素，消除第三类动作要素。例如，不要在进入操作时发生寻找、选择、定位、思考等现象。这就是说，动作都要力求经济合理，要在所有操作中排除各种不经济、不合理的动作，使操作符合动作合理的原则。

(2) 动作要素符号图示规则：两个动作要素在一个动作中执行时，把作为主体的动作要素符号和另一个动作要素符号用“+”号连接起来，如“+9”；在“保持”这种动作长时间继续的情况下，开始时填“”记号，到终点为止的整个过程用箭头表示，如；项目栏中只记载在作业标准中规定的并且明确地作为主体动作的作业，例如拿着螺丝刀去卸小螺钉时，作为“伸手”进行分析。

(3) 动作要素的分析方法：首先通过几个周期的观察，把动作的顺序和内容基本上确定下来，然后进行动作分析：以要素作业为单位；从哪一个要素作业开始都可以，但最好是先右手再左手，而且以容易分析的地方作为起点；以要素作业之物右手的“伸手”为始点，把“动作要素”和“说明”按照动作的顺序记录下来；某要素作业的右手分析完，再分析与其配合的左手的动作；另外，关于改进的提示也可以记在栏外的备忘录中。细微动作分析表如表 3-20 所示。

细微动作分析的顺序如下：

- (1) 将 1 个周期作业区分成几部分（区分成动作要素）；
- (2) 将各动作要素给以适当的名称（按 17 个基本动作要素名称）；
- (3) 区分后的各动作要素从作业者首先动作的那只手

(如左手)开始,按顺序用基本动作要素符号表示出来,记入表中;

表 3-20 细微动作分析表

顺序	要素作业	左手动作 要素说明	符 号			右手动作 要素说明	备考
			左手	眼	右手		
1	拿起软线	左手伸向软线 用手抓住软线 拿起软线	)( ( 6+0				
2	拿起盖子 穿进软线	继续拿着软线	D		)( ( 6+9 H 0 0 放下盖子	空手伸向盖子 抓住盖子 软线的一端向着盖子 软线的一端穿入盖子里 软线通过盖子	
3	把软线 拿可来	放下软线 空手 等待	0) 9 .		)( ( 6+9 H 0 0) (0+0	空手伸向止动螺栓 抓住螺栓 拿起螺栓 把螺栓放入软线孔 放下螺栓 去取软线和螺栓 抓住软线和螺栓 拿起软线和螺栓	
4	拿起主体 把螺栓的前 端对准安装 孔	空手伸向主体 抓住主体 搬动主体 保持	)( ( 6+9 D		H 0 — D	保持 螺栓前端向着装配孔 把螺栓的前端对准装配孔	

(4) 准确掌握另一只手(如右手)协助左手动作的时刻,并且与左手动作符号并排地把其基本动作符号记录在分析表中(左右手如果同时做不同的工作,记录方法与前同)。

(5) 将分析结果汇集、制表：用汇总表进行必要事项的汇集、整理，还可根据需要绘制出与联合作业分析一样的图。

3. 4. 3 动作经济原则

动作经济原则最先是由吉尔布雷斯夫妇提出来的“动作经济与效率法则”(Rules for motion economy and efficiency)。他们通过对人体的动作能力的研究，创立了实现容易、迅速而又减少疲劳的作业动作法则，在此基础上，又有一些学者加以研究使其日趋完善，并由美国加州大学巴恩斯整理综合，称为动作经济原则(Principles of motion economy)。动作经济原则的宗旨是：尽可能减少作业人员的疲劳，为充分发挥人的能力而制定较好的工作方法，以及配备适当的工夹具、设备和进行合理的作业区布置等。它包括以下三大原则：

(1) 关于身体的使用原则：

1) 双手的动作应同时开始，同时終了。

2) 在休息时间外，双手不应同时空闲。

3) 双臂应同时、反向、对称运动：

4) 只要能达到完成作业的目的，手的动作越简单越好，即手的动作应尽可能设计成只用手指或手腕即可完成的动作。

5) 尽可能利用物理的力(惯性、重力等)使物体运动，但如果因用人力而使运动停止时，应将物理的力减至最小程度。

6) 排除不必要的动作，动作距离要最短。

7) 取消急剧转换方向的直线动作，成为连续曲线运动。连续曲线运动能充分利用运动时身体的柔韧效果，使运动变得顺利。

8) 弹道式的运动，移动的距离似乎长了，但途中的速度

并不降低，结果时间反而短了，比受控制或受限制的运动更轻快。

9) 恰当地确定动作速度，使之具有一定的节奏，在心理上产生旋律感、节拍感，以减轻疲劳。

(2) 关于作业区的原则：

1) 工具和材料应放在固定位置。

2) 工具和材料应按使用顺序放置，保证拿取方便。

3) 工具、材料及设备等应尽可能布置在作业者的前面或附近。动作最短距离进行，在水平作业区或垂直作业区均可。如图 3-17 所示。

4) 作业区应有亮度适当的照明设备，光源来自左前方。

5) 零件、材料的供应和搬运应利用重力，滑道设在作业点的下方，可以减少许多多余的动作。

6) 尽可能广泛地应用重力。

7) 工作台和椅子的高度要适当，应使作业人员坐或立均适宜。

8) 工作椅的式样及高度应以使作业人员保持良好姿势为宜，为此用能倾斜的椅子，并采取有依靠感的浅坐的方式。

(3) 关于工具、设备的设计原则：

1) 操作时尽量采取除手之外的方式，而用夹具或脚踩工具。

2) 尽可能将两个以上的工具合并成一个，以减少工具的品种、规格，如用锤子也可以起钉子。

3) 工具、材料应尽可能预先放置在一定的地方，拿取方便。

4) 手指分别工作时，要按照其本能分配负荷，右、左手和每个指头的能力均不相同。

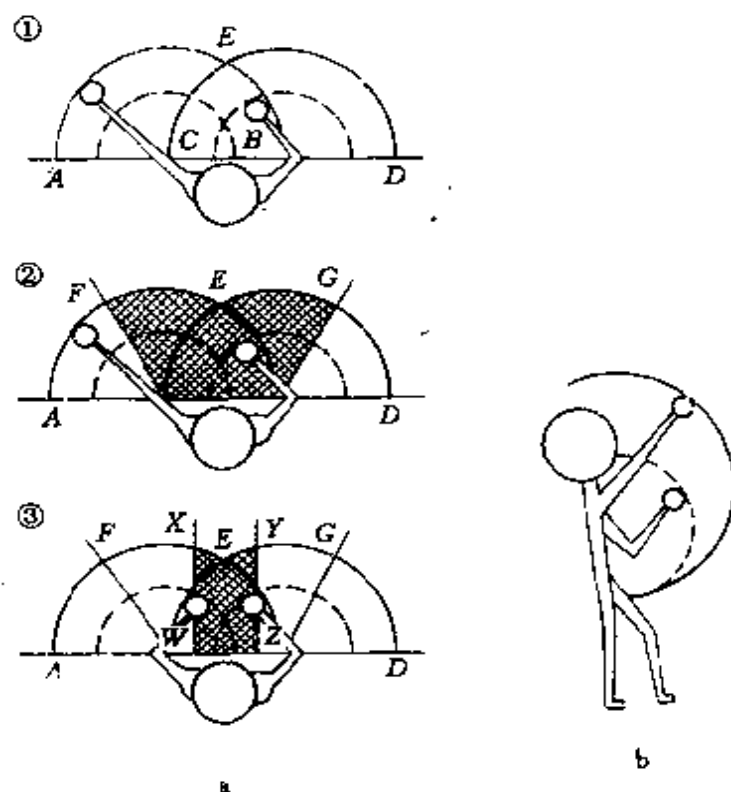


图 3-17 作业区

a—水平作业区；b—垂直作业区

注：图①表示把左手和右手伸开能工作的最大范围（最大作业区），超过上述范围就必须使肩运动；虚线部分表示以弯曲的肘为支点，能用两手作业的范围（正常作业区）。

图②中在阴影表示的范围内，能比较容易地抓住小的目的物。

图③中在阴影表示的范围内，在眼睛不左右转动的情况下，两手容易同时活动。

图④表示在垂直方向手能伸出的最大范围（最大作业区）以及用肘作支点进行作业的范围（正常作业区）。

5) 在设计设备和工具的手柄时要考虑其功能，尽可能使手柄与手掌的接触面积大些。

6) 机器上的杠杆、手轮等操作部件的位置，应使作业人

员较少变动其姿势，不必弯腰、不必转身就能操作，而且能够利用机械的最大能力。

7) 利用重力、惯性等使已加工好的零件沿滑道自动落入容器。

8) 利用靠模、胎具、导向工具等使被加工工件自动定位校正。

综上所述，动作经济原则的核心是省劲、省时、省事、提高效率。

所谓省劲，就是在达到作业目的的前提下，想方设法将身体的动能最大限度地利用起来，通过调动身体各个器官的功能，而减少某个器官的疲劳，以提高工作效率。

充分发挥双手和脚的作用，作业者会感到省劲，还能提高工作效率。

能省去的动作尽量省去，能用最适宜、最低次的身体部位工作时尽量不要用高次的身体部位去工作。如能用手指和手腕动作完成的工作，就不要用肘和肩的动作去完成。动作能用物理力（如惯性、重力等）时，就尽可能加以利用。

省时，是作业者进行任何作业都需要一定的时间，如果在达到作业目的的前提下，想方设法减少作业时间，不仅省力而且又能提高工作效率。

工具和材料应放在固定位置，也就是目前我国企业实施的定置管理。

建立规律作业区。作业区的范围为身体不动时，伸开手臂能够得着的地方；身体活动时，不用迈步就能够得着的地方。如果只要迈一步、弯腰就能够得着，就不要把工具等放在迈两步、弯腰才能够得着的地方。材料和工具要放在规律作业区内，并且按动作要素分析的程序定出合适的放置地点

所谓省事，是指生产中即使是最简单的作业，也要由许多动作要素组成。假如通过机械设备、工装模具、夹具的改进，使诸多的动作要素合并并且减少到最低限度，则会有效地提高生产效率。

尽可能设计小夹具，将零部件的单个装配改为多个一次性装配。从表面上看，单个装配的动作要素可能比用夹具装配的动作要素要少。实质上，单个装配的动作要素要比用夹具装配的动作要素多。如果机床电器厂生产中间继电器弯接点，单个装配时，装一个弯接点的动作要素为 10 个，一台产品上需装 8 个弯接点，那么就需要重复 8 次。如为减少重复动作设计了一个装弯接点的挤压夹具，只要将弯接点码放到挤压胎具上，一次就可将 8 个弯接点挤到中间继电器的外壳上。仅此一项就省去 32 个动作要素，节约时间 25DM (1 分 = 100DM)。如果日产 1000 台，即可节约时间 25000DM，生产效率提高 10%。

尽可能将有两个以上功能的工具、机械、夹具等组合起来。在一些周期作业中，有时需要频繁地更换使用多种工具，如果能将那些具有不同用途的工具组合到一起，那么就可以把那些时拿时放，甚至寻找工具的一些无用动作省去。根据这个原则，某厂在生产空气开关过程中，对灭弧罩的工序进行改进，将用锤子砸灭弧罩和用夹具固定灭弧罩两种动作合并为一，制作了一台灭弧罩铆合机，使动作要素减少 30%，每铆一个灭弧罩节省时间 18DM，日产量 1850 个，共节省时间 333 分，每日可增产 260 个。

3. 4. 4 动作分析的应用

动作分析对各种操作，特别是对手工操作的作业是很适用的。任何一种作业都有操作快慢之分，有的操作方法先进，

有的操作方法落后。因此操作者就有快手、慢手之分。这就可以通过动作分析，总结和推广先进的操作经验，以达到改进操作方法，提高生产效率的目的。

4 作业测定

作业测定与方法研究统称为工作研究。由于工作研究只需要很少的投资，甚至不需要投资就能增加效益，因此它是目前国内外普遍重视的一门管理技术。

方法研究与作业测定技术密切联系、不可分割。前者主要用于改进现有的工作方法，后者用来衡量改进后的实施效果，而工作方法的合理化与标准化又是进行作业测定的基础。

4. 1 作业测定概述

4. 1. 1 作业测定的概念及作用

作业测定是指把作业分成适当的作业单位（作业要素），以时间作为尺度进行测定、评价、设计及改善。

作业测定是科学管理的创始人泰勒（F. W. Taylor）为了设定“公正的一天工作量”而最早提出来的，起初是用秒表测时，对作业活动进行研究。由于使用秒表测定作业有一定的局限性，所以后来开发了以时间为单位对作业进行测定、评价的各种方法，这些方法统称为时间研究。对于“时间研究”一词，有的学者认为其含义较窄，所以推荐用“作业测定”这一用语代替“时间研究”，而事实上两者虽有差别，但很难区分。因此，一般把时间研究和作业测定看作同一概念。

进行作业测定的直接目的是制订和贯彻先进合理的劳动定额。劳动定额是企业管理的基础数据，作业测定则是企业工业工程活动中一项重要的基础工作，其主要作用体现在如下几方面：

(1)作业测定是正确设计和合理改善作业系统的依据。如某项作业若有两种以上的作业方法，可以通过作业测定来判断作业方法的优劣，从而选择一种较好的作业方法。此外，通过对某项作业及其各组成要素所需要的时间及所存在的问题等进行分析，可以排除或减少无效时间，进一步降低工时消耗和提高劳动生产率。

(2)作业测定用于管理工作，可以正确核算企业生产工作量，作为编制计划、合理安排生产进度、计算操作人员的需要量、调整劳动组织等的依据；可以正确计算劳动消耗，作为计算产品成本和计件工资等的重要依据。

总之，作业测定用科学方法制订先进合理的时间定额，对加强企业经营管理，提高劳动生产率，提高经济效益具有不容忽视的作用。

4. 1. 2 作业测定的主要方法及其特点

作业测定的方法较多，各种方法适用于不同的场合和条件。作业测定技术不只限于用来制定时间定额，而且可用于企业诊断，分析企业生产能力，调整生产、劳动组织等许多方面，表 4-1 列举了作业测定的主要方法。

(1)直接测定法：是指在作业现场进行观察和测定，直接取得工时资料，制定工序时间定额的方法。

(2)利用报告和过去已求出时间值的方法（间接测定法）：该方法不是从作业现场取得工时资料，而是利用间接工时资料进行作业测定和制定定额。

在选用测定方法时应考虑使用目的、作业对象的性质及观测者的具体情况等。

4. 2 秒表法

用秒表进行工时测定、分析，可以说是一种简单而原始

表 4-1 作业测定的主要方法

分类	目 的	方法名称	说 明
直接测定作业的方法	为了进行有规律的作业的时间研究	秒表法	有代表性的时间研究法,预先分成作业要素之后再测定
		影像时间考查法	使用 VTR 的新方法。通过小组评价,可提高精度
	为了进行不规则作业的时间研究(作业周期长的情形较多)	记录动作研究	在胶片上慢速摄影,计算小间隔数。可连续记录大约 1 小时
		影像记录动作研究	使 VTR 用慢速进行录像、分析,连续记录时间约为 10~80 小时
		带评价的工作抽样法	观测每一瞬间并进行评价。这种方法是有效率的,但在评价的精度上还存在问题
		秒表法	一面把与规则作业时不同的作业因素加以分类,一面进行测定
	为了对微细的作业进行时间研究	微细动作研究	在影片上用一般的速度记录并进行分析。通常连续记录时间约为 3 分钟
		微细动作影像	在 VTR 和影像盘上以每秒 30 间隔或 60 间隔的通常速度记录并分析
	为了掌握工作效率	连续观测工作分析、(终日分析、实际情况调查)	终日观测被测对象,并记录工作状态。观测效率差,难于测定自然状态
		工作抽样(迅速读出)	在随机时间观测作业内容,由观测频数求时间比率。可同时观测许多对象
		影像工作抽样	用 VTR 自动进行取样。可以进行长时间无人取样

续表 4-1

分类	目 的	方法名称	说 明
利用报告和过去求出的时间值的方法	为了推断包含许多同类作业因素的作业时间	标准时间的数学设定法	由报告书和作业日报等进行数学推断,使用最小二乘法(重回归分析)、线性规划法、实验回归分析等
		标准资料法	汇总并整理过去求得的标准时间值,用于类似或同类作业
	为了设定短周期作业的标准时间	PTS 法	对于每个要素动作使用预先规定的适用的时间值,如 MTM 和 WF 等
	作业内容不确定等不适合时间研究的作业	经验估计法	具有渊博知识和经验的人凭经验进行估计的方法。精度不很高,用于单件生产等情况

的作业测定方法。秒表法是作业测定中最基本的方法,掌握了该方法,对理解其它作业测定方法很有益处。

4. 2. 1 用秒表进行时间测定的方法

(1) 秒表测时的方法:用秒表测时的方法有连续计时法、反复计时法和循环计时法等。

连续计时法采取流水方式计时。计时开始时首先启动秒表的指针,为避免指针回零时所产生的时间累计误差,在整个时间测定过程中,秒表要持续工作;观测者将上下作业要素的分界点(上一作业要素的结束点,也是下一作业要素的开始点)的时刻读取并记录下来,待观测终了后,用减法分别求出各个作业要素的时间值。

反复计时法也叫迅速复原法,是在每一作业要素终了时,按动上弦钮使指针回零的一种方法。这种计时方法不需要进行减法运算就可直接得到时间值。但是,如果观测者测量技

术不熟练,使指针回零的动作或快或慢,易产生读数误差。对长周期作业要素测定时,该误差影响不大;对短周期作业要素测定时,则误差相对值过大,因而不能忽略。

循环计时法只在测定作业时间很短的工序时采用,因为在这种场合下要按单个作业要素计时非常困难。这种方法的特点是,每次依次去掉一个作业要素,将其它作业要素合并计时,最后通过运算求出每个作业要素的延续时间。

例如,某工序划分为a、b、c、d四个作业要素,每次只记录3个作业要素的时间值,因而得到:

第一次计时, $A=a+b+c=17\text{DM}$;

第二次计时, $B=b+c+d=19\text{DM}$;

第三次计时, $C=a+c+d=18\text{DM}$;

第四次计时, $D=a+b+d=12\text{DM}$ 。

$A+B+C+D=3(a+b+c+d)=66\text{DM}$,

$X=a+b+c+d=22\text{DM}$ 。

所以,各作业要素的时间值为:

$a=X-B=22-19=3\text{ (DM)}$

$b=X-C=22-18=4\text{ (DM)}$

$c=X-D=22-12=10\text{ (DM)}$

$d=X-A=22-17=5\text{ (DM)}$

(2) 测时资料的整理与分析:

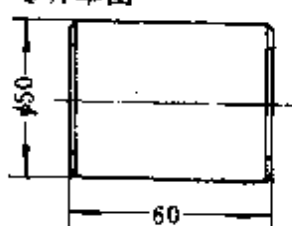
1) 采用连续计时法时,从秒表上读取的时间值记录在表4-2中用“R”表示的一行内;观测后需要通过减法运算求出各作业要素的延续时间,记录在表格的“T”栏中;然后检验测时数列的稳定性。由于同一项作业要进行多次重复测定,因此工序的每一作业要素都获得了一系列的时间值,称为“测时数列”。测时数列中各个时间值是波动的,当波动超出一定

限度时应视为不正常。衡量测时数列的稳定性的方法有许多种，用标准稳定系数进行检验的方法较为简便。标准稳定系数列于表 4-3 中。实际稳定系数计算公式如下：

表 4-2 测时记录表

企业名称		加 工 零 件		加 工 设 备	
车间		零件名称		名称	
班组		件号		型号规格	
操作工人		材料		功率	
姓名		机械性能		编号	
工种		工序		技术状况	
技术等级		工作等级		工具	
工龄		批量		夹具	
		定额			

零件草图



工作地布置简图



观 测 者

姓名				
职称				
开始时间	年	月	日	时
结束时间	年	月	日	时
备注：				

作业者	序号	操 作 容	定时点	观测次数与时间 (单位: 0.01min×100)												合计	平均	
				次 时 间	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			12
A	1	取零件 装在心 轴上	手离搬手	T	10	7	11	5	11	12	4	7	8	7				
				R	10	25	40	55	78	99	122	64	05	4				
	2	开动机 床	零件开转	T	8	4	10	12	9	9	7	6	7	7				
				R	18	29	50	67	87	108	193	247	61					

续表 4-2

作业者	序号	操 内 容	作 容	定时点	观测次数与时间 (单位: 0.01min×100)												合计	平均
					次 时 间	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			12
A	1			T	7	8	6	12	7	6	10	8	13	7		166	8.3	
				R	7	20	32	52	63	80	95	9	26	38				
	2			T	5	6	8	4	11	5	6	4	5	6		139	7.0	
				R	12	26	40	56	74	85	101	13	31	44				
B	1			T	5	12	7	4	5	6	6	11	6	13				
				R	5	23	35	44	55	70	82	98	11	33				
	2			T	6	5	5	6	9	6	5	7	9	4				
				R	11	28	40	50	64	76	87	105	20	37				
B	1			T	7	6	11	8	6	5	10	12	8	9		157	7.9	
				R	7	17	35	49	61	71	88	106	21	35				
	2			T	4	7	6	6	5	7	6	7	5	9		124	6.2	
				R	11	24	41	55	66	78	94	13	26	44				

表 4-3 测时观测次数和标准稳定性系数表

生产类型	作业要素的时间 (秒)	稳定系数		工序作业时间 (分) 的观察次数							
		机动工作	手动工作	1	2	5	10	20	30	40	
大量和 流水生产	6 以下	1.5	2.0	30	25	20	15				
	6~18	1.3	1.7	25	20	15	13				
	18 以上	1.2	1.5	20	16	14	12				
大批生产	6 以下	1.8	2.5	25	20	15	13	10			
	6~18	1.5	2.0	20	15	12	10	8			
	18 以上	1.3	1.7	15	13	10	9	7			
成批生产		1.7	2.5		15	13	12	10	8	6	
小批生产		2.0	3.0			10	8	7	6	5	

$$W = \frac{x_{\max}}{x_{\min}}$$

式中 x_{\max} 、 x_{\min} 分别代表测时数列中的最大值和最小值。

当实际稳定系数大于标准稳定系数时，应该重新测定。

2) 在检验核实全部测时资料的基础上，计算各作业要素的延续时间及整个工序的实测时间。

4. 2. 2 作业要素的分解

将作业分解成作业要素很有必要。某项作业的标准时间确定后，只对该项作业是合适的，一旦作业方法改变，标准时间也要变化；如果把作业细化，分解成几个要素进行观测和记录，即使以后作业方法改变或省略某些要素，或加入新的要素等，这些记录还可作为参考。

作业分解的细化程度，主要根据作业的性质决定。一般按以下原则进行分解：

(1) 各作业要素有明显的区分界限。各个发出声音的时刻、手和腕等部位动作方向发生变化的时刻以及物品移动等容易分辨的动作，这些动作的终了时刻应记录下来。

(2) 以不降低观测精度为限度，也就是达到正确观测的最短作业时间。测定时是边观测作业，边看秒表，边记录，所以最短作业时间一般不少于 4DM，最大的时间单位通常不超过 33DM。

(3) 作业要素要由同一目的的一系列动作构成。各要素一般由伸手、抓取、搬运等基础动作群构成。同一要素不包含两个目的的动作，而是由具有相同目的的动作群构成。例如，伸手、抓取目的物、运到工作台上进行安装等一贯到底的动作，应该划分为一个作业要素，不要再分解。

(4) 区分手工作业和机械作业。例如用车床加工圆柱体

零件时，工件以一定速度转动，车刀以一定的进给量自动送进，机动时间可以通过计算求出，而手工作业受操作者自身速度的制约，所以只考虑手工作业的定额和宽裕率。

(5) 区分常数要素和变动要素。常数要素在若干周期内，其作业方法和时间大体是一定的；而变动要素的作业时间随着材料、设备性质的变化（如大小、重量等）而变化。

4. 2. 3 秒表观测法举例

表 4-2 所列数据是某机械加工车间的两名操作者车削销轴的工时测定数据。由于各操作者的操作动作不完全相同，所以作业时间不等。A 在两个作业要素中所用的平均时间值为 8.3DM，B 在同种作业要素中所用的平均时间为 7.9DM。若将所测得的数据绘制成频数分布表（表 4-4）则可发现，作业要素 1 的时间分布状态 A、B 两人均为山形，即中间高、两侧低；作业要素 2 也大体如此。用表中数据与标准时间进行比较，不仅可找出问题，而且可提出改进措施。

表 4-4 频数分布表

观测 时间值(DM)	作业要素 1		作业要素 2	
	A	B	A	B
3				
4	/	/	//	/
5	/	//	//	//
6	//	//	//	//
7	//	//	//	//
8	//	/	//	//
9		/	/	//
10	/	/	/	
11	/	/	/	
12	/	/	/	
13	/	/		
14				
平均值	8.3	7.9	7.0	6.2
最大值	7	6	6	6

4. 3 工作抽样法

4. 3. 1 工作抽样法概述

A 工作抽样法的概念

工作抽样法 (Work Sampling, 简称 WS 法) 是指对操作者和机械设备的工作状态进行瞬时观测, 调查各种作业活动事项的发生次数, 根据观测结果, 用统计方法推断各观测项目的构成及其推移状况的方法。

工作抽样法是英国统计学者梯皮特 (L. H. C. Tippett) 于 1934 年提出的, 最初叫作快速读取 (Snap Reading) 法, 属于瞬时观测法, 与连续观测法相比有较大差异。连续观测法需用秒表或计时器进行长时间的工时测定, 是一种耗费人力和财力的方法; 而且在对操作者进行观测时, 被观测对象往往精神紧张, 因而得不到准确的数据。工作抽样法则不需要秒表等测量工具, 只要瞬时地观测人和设备的作业情况即可。因此, 该方法不仅经济, 而且能获得比较可靠的数据。因为这种方法采用统计理论随机观测现场的工作状态, 所以后来改名为工作抽样法。

B 工作抽样法的原理

工作抽样法的原理极为简单, 例如对某车间经过数日随机抽样观测 1000 次, 发现只有 765 次处于工作状态, 据此可以推断该车间的工作率为 76.5%。对该车间 4 名操作者 (A、B、C、D) 进行连续观测, 其工作状态如图 4-1 所示。图 4-1a 中斜线部分表示正在工作, 空白部分表示处于非工作状态, 可以推算出斜线部分的面积占 63.75%。而采用工作抽样法, 可以选择任意时刻对被观测对象进行观测。图 4-1a 右侧箭头表示观测次数是 10 次, 同时观测 4 名操作者, 所以总观测次数

为 $10 \times 4 = 40$ 次。如果将统计结果列成表格, 则如图 4-1b 所示。从表中可见, 作业次数为 25 次, 非作业状态为 15 次, 因此作业率 $p = \frac{25}{40} = 62.5\%$, 前述连续观测得到的真实作业率

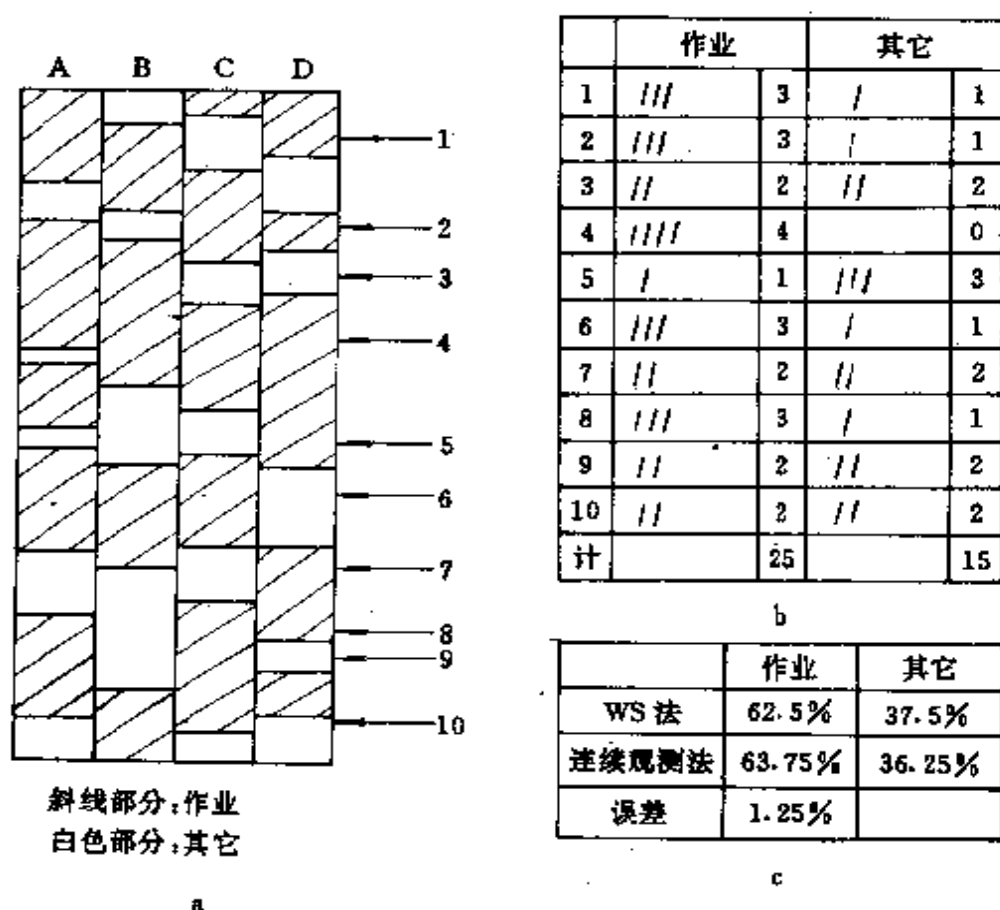


图 4-1 4 名作业者工作状况

是 63.75%, 两者仅差 1.25% (见图 4-1c), 该差值就是工作抽样法的误差值。实践证明, 观测次数愈多, 误差值愈小。

由上例可知, 工作抽样法的原理与产品质量管理中抽样检查的原理一样, 只是在样本数量方面工作抽样较大, 这是因为抽样次数愈多, 观测精度愈高, 观测次数多在 500 次以上。由于观测次数多, 所以被观测活动事项处于工作状态的

概率，近似为正态分布。

C 工作抽样法的特征

与连续观测法相比，工作抽样法特点如表 4-5 所示。

表 4-5 工作抽样法特点

项 目	工作抽样	连续观测法
测定方法	对观测对象的状态进行瞬时观测	对观测对象的状态进行连续地测定
测定工具	目视	秒表或计时器
观测者的疲劳程度	不太疲劳；可以在工作的空闲时间进行观测	相当疲劳；观测时必须专心
被观测者的感情	不怎么紧张	非常紧张
观测对象	1 名观测者可以观测多名对象；可以同时观测作业者和设备	1 名观测者只能观测 1 名对象；同时观测作业者和设备有困难
观测时间	根据观测目的可自由决定	实际上不能长时间观测
总结整理	快	慢
观测结果	得到的是工作率	直接得到时间值
所需费用	低	高

从表 4-5 中可见，工作抽样法具有测定效率高、经济性好、方法简便、易于掌握、测量精度能满足使用要求，并能适用于多种作业等优点。

4. 3. 2 工作抽样法的观测数及精度

工作抽样法是统计抽样在工时调查中的具体应用。为了保证工作抽样法的可靠性，要有足够的抽样次数，以利于提高观测精度，减少抽样误差。但增加抽样次数，又有调查时

间长、费用高等缺陷。从经济的观点出发，决定抽样次数应考虑的原则是：在满足观测精度的前提下，确定合理的抽样次数。具体地说，观测数根据观测目的和所要求的精度来确定。观测数的计算方法有理论公式法和图表法。

A 理论公式法

由绝对误差 e 求观测数：

$$n = \frac{u^2}{e^2} p (1-p) \quad (4-1)$$

式中 n ——观测数；

u ——置信系数；

e ——绝对误差；

p ——工作率。

由相对误差 l 求观测数：

$$n = \frac{u^2}{l^2} \times \frac{1-p}{p} \quad (4-2)$$

式中 l ——相对误差。

计算时，工作率 p 值是根据资料、经验或通过一天左右的调查来确定，绝对误差值一般取 $e=2\%\sim 3\%$ ，相对误差值一般取 $l=5\%\sim 10\%$ 。

例如，根据已有资料估计某生产线作业率 $p=30\%$ ，置信度为 95% ，绝对误差 e 取 $\pm 3\%$ ，求观测数 n 。

根据式 (4-1)，置信度为 95% 时，由正态分布表查得置信系数 $u=1.96$ 。

$$\begin{aligned} n &= (1.96/0.03)^2 \times 0.3 \times (1-0.3) \\ &= 896 \text{ 次} \end{aligned}$$

B 图表法

利用表 4-6 和表 4-7 可以在作业发生率已定的条件下，

根据观测目的、观测误差（相对误差或绝对误差）确定观测数。

表 4-6 观测误差和观测数的目标

观测目的	发生率 p (%)	绝对误差 e (%)	相对误差 t (%)	观测数 (n)
预备调查(为了确定该观测的观测数和观测项目,推断发生率)				200~400
管理问题点的调查(停止、闲着、搬运等的比率)	15 30	± 3 ± 3	± 20 ± 10	600 约 900
改进作业	30	± 2	± 6.7	2100
确定宽裕率	10	± 2	± 10	900
	20	± 2	± 5	1600
	10	± 0.5	± 5	14400
	20	± 1	± 5	6400
纯作业时间的决定	80	± 1.6	± 2	2500
决定要素作业的纯时间	10	± 0.5	± 5	14400

表 4-7 与 p 值相对应的 n 值 (置信度 95%)

p %	n				p (%)	n			
	绝对误差 (%)		相对误差 (%)			绝对误差 (%)		相对误差 (%)	
	5	1	1	5		5	1	1	5
1	16	396	3960000	158400	14	193	4816	245714	9829
2	32	784	1960000	78400	15	205	5100	226667	9067
3	47	1164	1293000	51720	16	216	5376	210000	8400
4	62	1536	960000	38400	17	226	5644	195294	7812
5	76	1900	760000	30400	18	236	5904	182222	7289
6	92	2256	626667	25067	19	246	6156	170526	6821
7	102	2604	531429	21257	20	256	6400	160000	6400
8	118	2944	460000	18400	21	266	6636	150476	6019
9	131	3276	404444	16178	22	275	6864	141818	5673
10	144	3600	360000	14400	23	284	7084	133913	5357
11	157	3916	323636	12945	24	292	7296	126667	5067
12	169	4224	293333	11733	25	300	7500	120000	4800
13	181	4524	267692	10708	26	308	7696	113846	4554

续表 4-7

P %	n				P (%)	n			
	绝对误差 (%)		相对误差 (%)			绝对误差 (%)		相对误差 (%)	
	5	1	1	5		5	1	1	5
27	316	7884	108148	4326	64	369	9216	22500	900
28	323	8064	102857	4114	65	365	9100	21538	862
29	330	8236	97931	3917	66	360	8976	20606	824
30	337	8400	93333	3733	67	354	8844	19701	788
31	343	8556	89032	3561	68	349	8704	18824	753
32	349	8704	85000	3400	69	343	8556	17971	719
33	354	8844	81212	3249	70	337	8440	17143	686
34	360	8976	77647	3106	71	330	8236	16338	654
35	365	9100	74286	2971	72	323	8064	15556	622
36	369	9216	71111	2844	73	316	7884	14795	592
37	373	9324	68108	2724	74	308	7696	14054	562
38	377	9424	65263	2611	75	300	7500	13333	533
39	381	9516	62564	2503	76	292	7296	12632	505
40	384	9600	60000	2400	77	284	7084	11948	478
41	387	9676	57561	2302	78	275	6864	11282	451
42	300	9744	55238	2210	79	266	6636	10633	425
43	392	9804	53023	2121	80	256	6400	10000	400
44	395	9856	50909	2036	81	246	6156	9383	375
45	397	9900	48889	1956	82	236	5904	8780	351
46	398	9936	46957	1878	83	226	5644	8193	328
47	399	9964	45106	1804	84	216	5376	7619	305
48	400	9984	43333	1733	85	208	5100	7059	282
49	400	9996	41633	1665	86	193	4816	6512	261
50	400	10000	40000	1600	87	181	4524	5977	239
51	400	9996	38431	1537	88	169	4224	5455	218
52	400	9984	36923	1477	89	157	3916	4944	198
53	399	9964	35472	1419	90	144	3600	4444	178
54	398	9936	34074	1363	91	131	3276	3956	158
55	397	9900	32727	1309	92	118	2944	3478	139
56	395	9856	31429	1257	93	102	2604	3011	120
57	392	9804	30175	1207	94	92	2256	2553	102
58	390	9744	28966	1159	95	76	1900	2105	84
59	387	9676	27797	1112	96	62	1516	1667	67
60	384	9600	26667	1067	97	47	1164	1237	50
61	381	9516	25574	1023	98	32	784	816	33
62	377	9424	24516	981	99	16	396	404	16
63	373	9324	23492	940					

此外，也可以采用图 4-2 “绝对误差计算图”和图 4-3 “相对误差计算图”（两图置信度均为 95%）确定观测数。

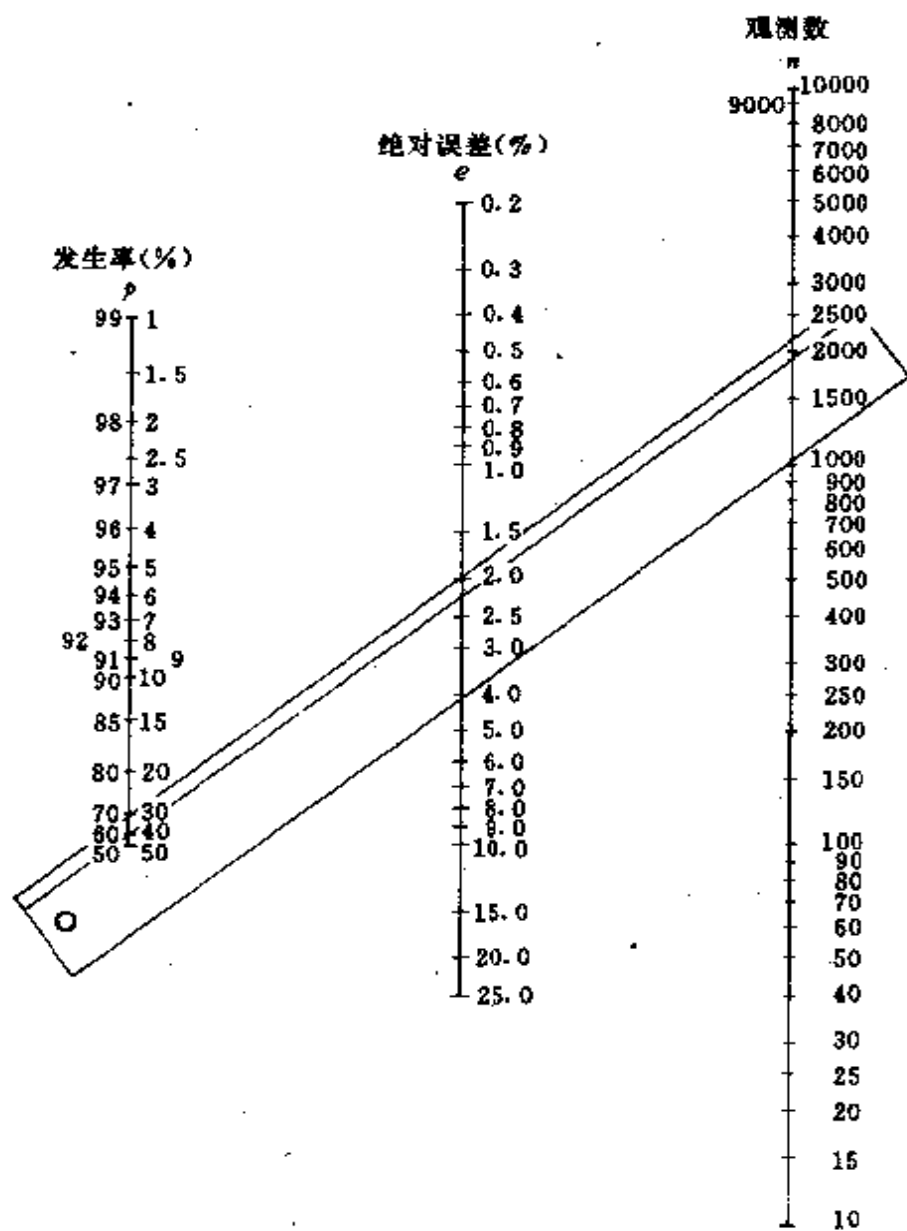


图 4-2 绝对误差计算图

注：（例）当 $p=30\%$ ， $e=2.0\%$ 时， $n=2200$ 。

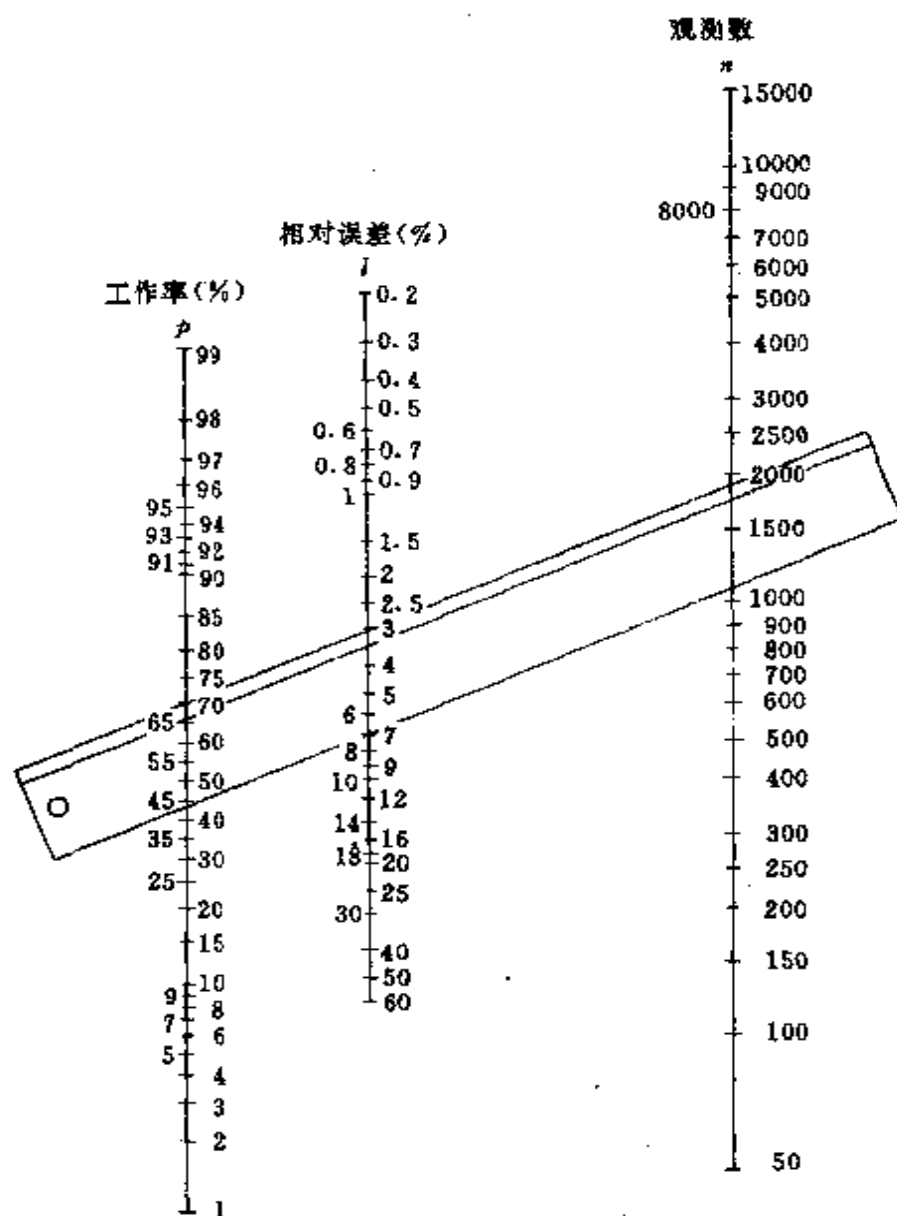


图 4-3 相对误差计算图

注：(例) 当 $p=70\%$ ， $l=3.0\%$ 时， $n=1900$ 。

采用图表法求观测数，不仅简单方便，而且能保证足够的精度。

确定观测数时应考虑以下几点：

(1) 观测数的大小，主要根据精度要求来决定；为保证足够的精度，观测次数应尽可能多。

(2) 因为同时观测的各个项目发生率不同, 所以观测数和观测结果的误差值也不同, 此时应根据重点项目的精度要求确定观测数。

(3) 观测数通常为观测对象的数目与观测次数的乘积。这里需要注意的是, 有些观测对象不是独立的。例如, 10 个人相互独立地进行作业, 如果观测 20 次, 则观测数 $n=20 \times 10=200$ 次; 可是, 当他们互相联系、协同作业时, 观测一次可得到 10 个参数, 由于不是相互独立的, 就不能把观测数看作是 200。

(4) 工作抽样中一般是根据抽样目的, 并从技术观点出发决定观测数, 绝对误差一般取 3%, 相对误差取 5%。

C 一天的观测次数及观测期间的确定

一天的观测次数及观测期间根据目的、要求精度、工作量及工作内容的变化来决定, 应该反映实际工作状态。一般把一天的观测次数定为相同值, 具体考虑以下几点:

(1) 以找出问题进行改善和推断作业率为目标的场合, 若工作稳定, 每天观测 10~20 次, 连续观测一周; 而工作内容在一天中有较大变化时, 应取发生种种变化的时刻。

(2) 如果作业的变化具有周期性, 决定观测时刻必须取变化周期的整数倍, 或取与最小、最大周期相同的时刻。

(3) 在观测短周期作业时, 观测期间要短些。其中, 非周期性作业每天的观测次数应增多, 观测期间也应相应延长。

(4) 研究宽裕率或作业内容变动大的场合, 最好观测期间稍长些 (约两周左右)。

(5) 观测期间应避开非正常作业时期。

4. 3. 3 观测时刻的确定方法

A 观测时刻的确定方法

(1) 随机抽样法。观测时刻选择恰当与否,对观测精度影响很大。选择不当,只能观测到某些特殊的作业情况,而不能全面、真实地反映作业状况。采用随机抽样法,运用乱数表和随机时刻表来确定观测时刻,是一种简单易行的理想方法。

(2) 等时间间隔取样法。这是一种在相等的时间间隔中进行观测的方法。为了掌握机械设备的开动率或停机率等,如果设备的运转没有周期性,或虽有周期性但与取样间隔不一致,采用等时间间隔取样的方法确定观测数较好。

(3) 重点(或高精度)观测只发生在某时间带(如作业开始或作业终止时刻)的活动事项时,可以把该时间带与其它时间带分开,分别确定各个时间带的观测时刻。

B 随机时刻表的使用方法

随机时刻表(见表4-8)适用于一天最多观测40次的观测活动,表中共20列,每列有左、右两组数,左侧列1~40是顺序号,右侧列表示时刻,单位是分,具体用法如下例。

例如某单位日工作8小时,当中休息45分钟,因此,需要在8小时45分的区间内进行观测。若取观测数为20次,其观测时刻可按表4-8选取。

表4-8 用以决定观测时刻的随机时刻表(用于10小时40次之例)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
90.11 20	0.00 18	0.08 40	0.14 3	0.02 12	0.02 19	0.37 27	0.26 36	0.04 31	0.00
24 20 31	05 8	29 16	19 11	14 37	09 22	46 39	47 6	39 18	15
39 1.04 34	24 14	1.15 25	34 28	37 33	17 4	1.06 23	59 71	1.15 40	35
34 13 18	29 17	20 2	54 24	58 22	31 31	14 4	1.27 31	22 29	52
11 22 16	34 12	32 6	1.17 5	1.13 7	38 33	25 29	43 30	31 16	1.04
8 37 1	1.23 36	40 1	26 26	30 11	43 11	34 5	52 15	41 7	15
23 47 15	42 28	59 34	31 22	56 5	55 34	45 11	58 34	48 15	26
32 2.01 12	52 13	2.16 36	38 25	2.05 23	1.04 18	55 38	2.18 33	2.14 5	33

续表 4-8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									
38	44	282.04	16	27	21	48	18	29	30	09	12.41	40	35.5	2637	45			
5	58	19	18	383.01	262.07	8	46	19	15	20	53	6	4417	3439	52			
43.07	7	31	7	06	11	17	353.04	1	45	23	59	133.12	18	41322.19				
13	16	32	40	32	17	29	32	1	22	28	53	273.06	33	2635	5430	35		
27	22	3	49	30	35	15	43	6	35	82.25	21	16	7	40263.18	35	55		
20	41	143.14	24	54	9	48	30	49	34	35	10	43	154.02	229	30283.00			
224.00	30	37	254.02	14	58	144.23	29	41	30	51	35	0824	4236	05				
15	17	37	44	29	17	353.05	37	28	16	56	16	58	28	29234.09	4	12		
10	31	54.02	40	27	7	12	27	48	173.07	74.06	15.17	25	44	6	31			
1	40	33	17	9	37	5	18	23	59	24	10	28	33	32	2222	4912	40	
18	50	9	29	22	47	3	40	155.04	9	25	8	38	24	3414	5527	45		
405.10	11	41	115.26	32	45	2	09	24.01	39	44	3	40325.09	94.00					
12	19	355.07	20	49	194.19	31	18	13	33	13	54	26	4710	1917	05			
21	27	24	14	56.06	30	25	12	25	45.08	355.09	196.13	2	2824	15				
25	49	2	23	37	12	20	36	19	35	6	17	25	35	31	27	8	3622	42
26.42	8	32	4	28	27	45	13	43	15	43	96.05	21	38	1	44	15.08		
37	59	10	57	33	39	85.07	39	48	39	57	14	12	127.06	40	54	8	25	
177.04	216.06	26	51	4	20	46.15	216.02	38	17	9	16396.13	20	39					
29	13	23	13	3	57	28	41	16	20	14	13	3	53	17	2321	21346.22		
36	20	17	29	357.25	246.00	10	36	20	38	157.09	2	3813	3014	27				
31	34	39	58	39	35	17	11	29	54	25	44	12	24	22	43117.05	337.27		
16	39	407.06	31	50	12	19	207.34	18	52	36	43	37	5227	1323	44			
7	46	4	11	1	59	39	42	17	47	107.03	26	51	88.22	12	2725	51		
68.07	27	33	158.31	22	59	328.08	27	21	178.03	14	30168.13	108.00						
26	19	22	43	27	42	337.04	21	13	38	28	24	18	25	4428	23	2	18	
30	26	36	52	23	48	38	57	9	24	38.03	37	25	34	53	4	3621	24	
3	34	258.04	34	53	108.06	36	49	36	35	2	32	209.00	38	5138	40			
33	45	38	23	199.01	18	41	33	58	40	48	29	40	18	25199.02	11	51		
199.06	13	36	21	09	319.06	79.04	359.09	6	53	30	3037	12199.04						
35	26	26	52	10	15	13	15	40	36	32	17	329.07	10	38	9	3026	28	
28	38	299.25	2	37	37	33	38	45	31	29	40	30	36	4220	41	3	39	
14	52	6	56	6	47	23	56	34	51	26	35	5	45	16	57	3	4613	45
70.10	400.05	260.23	310.04	190.19	140.17	110.28	80.00	300.03	160.04									
8	18	23	14	9	35	5	16	13	57	18	24	30	34	3	12	8	2615	11
4	23	34	26	7	48	40	24	21.16	30	34	22	47	36	2810	43	9	22	
31	42	21	46	361.04	22	36	28	27	20	50	241.16	21	4727	5619	34			
281.04	331.04	35	26	21	55	23	32	31.00	21	48	7	54	91.04	2	43			
37	13	32	21	40	38	181.09	6	48	26	17	10	54	121.10	25	1218	51		

续表 4-8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	18	31	27	16	46	33	16	25	2.10
19	35	17	51	15	54	29	55	38	28
21	41	25	59	2	2.03	1	2.05	20	33
30	54	6	2.04	22	13	27	22	11	41
34	2.01	19	22	29	48	17	29	3	47
17	51	3	27	18	3.18	16	44	15	52
12	3.03	39	41	1	23	3	3.02	30	3.01
20	20	36	47	17	28	30	08	37	33
3	26	28	3.18	11	44	12	40	5	38
11	41	14	31	10	57	24	4.08	9	55
24	50	5	36	8	4.06	37	19	4	4.02
29	4.08	29	4.02	6	30	25	29	40	49
16	29	8	21	21	36	26	5.15	17	54
38	45	11	5.03	32	56	19	20	18	59
23	52	24	43	23	5.03	36	47	32	5.05
13	5.06	30	6.00	20	24	13	6.09	16	10
36	11	26	20	25	35	14	19	21	15
9	25	7	37	38	42	20	26	24	24
2	53	12	45	37	56	7	44	12	31
40	6.09	37	7.05	28	6.12	4	49	39	51
39	31	1	15	30	24	15	7.06	27	6.12
18	45	4	24	39	47	38	22	35	29
33	7.01	13	32	19	7.02	28	32	22	45
22	07	9	46	5	13	2	39	33	59
25	39	18	51	12	24	6	44	26	7.13
6	44	20	8.16	34	29	39	8.11	14	22
35	52	22	21	27	51	9	25	1	35
26	8.21	38	32	31	8.04	23	30	8	44
27	36	10	45	3	24	35	35	10	8.04
1	58	25	51	33	29	34	53	31	11
14	9.04	2	9.13	4	48	32	9.08	34	53
32	14	16	23	13	9.06	8	31	29	9.08
10	26	27	44	24	16	11	40	36	20
15	58	15	50	14	57	10	55	7	45
29	14	9	20	22	24	20	56	1	43
31	33	31	2.03	28	51	22	1.04	17	19
11	16	1	16	12	04	40	17	30	54
30	40	15	10	26	23	29	29	36	51
15	55	13	20	29	29	36	25	21	36
33	44	34	3.18	31	44	34	1.83	1	44
28	44	28	4.02	16	43	27	49	38	2.03
28	53	34	09	20	51	38	2.03	11	41
5	5.05	2	14	29	4.02	17	13	30	56
19	25	35	37	10	31	30	30	57	57
23	39	6	11	39	6.11	39	6.16	3	4.04
5	21	12	22	14	14	40	40	38	10
24	40	40	38	10	33	23	7.04	23	52
23	52	21	58	36	42	32	59	11	7.05
18	22	32	11	22	32	11	22	32	11
5	23	5	23	5	23	5	23	5	22
10	47	6	36	7	6.37	26	52	3	42
1	8.10	38	3.00	4	7.23	38	3.00	4	7.23
4	17	14	37	13	33	27	17	9.11	5
35	35	33	22	23	8.11	35	35	33	22
54	19	37	54	19	37	54	19	37	54
31	42	1	8.10	38	3.00	4	7.23	38	3.00
17	49	4	17	14	37	13	33	27	17
29	27	17	9.11	5	50	14	9.04	2	9.13
35	35	33	22	23	8.11	35	35	33	22
43	37	15	37	54	19	37	54	19	37
34	14	9.01	31	42	1	9.10	15	58	15
48	13	36	23	51	87	27			

第一步,从 20 个列号中任选一列。设取第 8 列(表 4-8)。

第二步,作业开始时若为7点30分,可将第8列的第1行规定为7点25分,第4行则为8点13分,第10行是10点27分,依此类推,最后一行便是16点02分(参见图4-4)。

11 7.25	19 36	7 0.2	14 14.32
⑧ 34	30 48	36 0.7	32 49
② 52	② 10.02	35 21	⑩ 15.05
30 8.13	28 15	21 29	38 25
⑩ 23	① 35	25 41	② 45
④ 30	30 11.03	⑬ 13.15	30 57
⑮ 34	⑪ 16	⑫ 29	⑩ 16.02
30 37	⑫ 20	37 35	33 21
30 58	⑬ 35	⑤ 41	34 20
⑨ 9.27	31 42	⑥ 55	3 24

图4-4 随机时刻选择图

第三步,消去作业以外的时间。由于开始作业的时间是7点30分,所以7点30分以前的时刻消去;中午12点至12点45分休息,所以应将此区间的时刻消去;16点16分下班,其后的时刻也应消去。

第四步,在剩余的时刻中,左侧列的符号按从小到大的顺序排列,选择前20个时刻。图4-4中划“○”者为选中的时刻。

4.3.4 观测记录及数据处理

A 观测记录表的格式

观测记录表的格式对取样的好坏影响很大,一般根据观测目的、观测项目及便于记录和累计等来决定格式。

表4-9主要用于了解作业内容与作业者(或设备)的关系,而不需要了解一天中各项作业的时间变化情况。如果把一天分为早、中、晚3个班用3张表记录,并且分别用不同颜色的笔,可以得到相当多的信息量。

表 4-9 WS 观测记录表和记录要领之一

作业分类		S ₁	S ₁	S ₁	S ₁	S ₂	S ₂	S ₂		A	A	A	A	A	A
姓名或机械号	作业内容	接线	换线	支援他人	监视	扫工作台	清扫轱辘	清扫板		步行中	扫除	闲谈	休息	不在	计
1		///	/	/	///						/				15
2		///	/	/	///	/					/				15
3		///	/		///	/	/	/		/					15
4		///	/		///		/			/					15
5		///	/	/	///	/		/		/			/	/	15
6		///	/		///		/			/	/	/			15
7		///	/	/	///			/			/				15
8		///	///		///						/				15
9		/	/				///	///	/		/		/		15
10															15
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
合计		26	19	4	35	3	7	9		4	5	2	2	1	135
		观测者													
观测时刻		5.41	6.00	6.24	7.47	8.06	8.54	10.15		10.51	11.01	12.35			

B 观测数据的整理

(1) 绘制 p 管理图(见图 4-5), 管理界限按公式(4-3)计算。

$$UCL = \bar{p} \pm u \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (4-3)$$

设式中 $u=3$ 较为合理。

当某点超出管理界线时, 表示有不容忽视的异常原因存在。因此, 应查明并消除异常原因。

每天观测的数据要逐项进行累计平均, 绘制如图 4-6 所示的累计 p 管理图。当累计平均值处于稳定状态时, 可以停止观测。

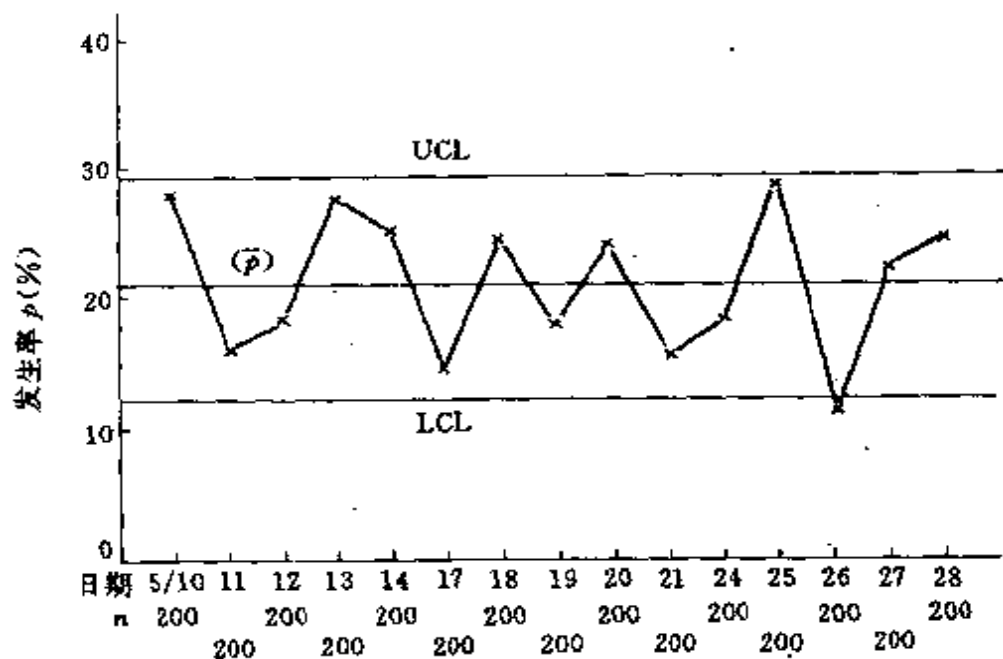


图 4-5 一日的观测次数为 200 的工作抽样 p 管理图

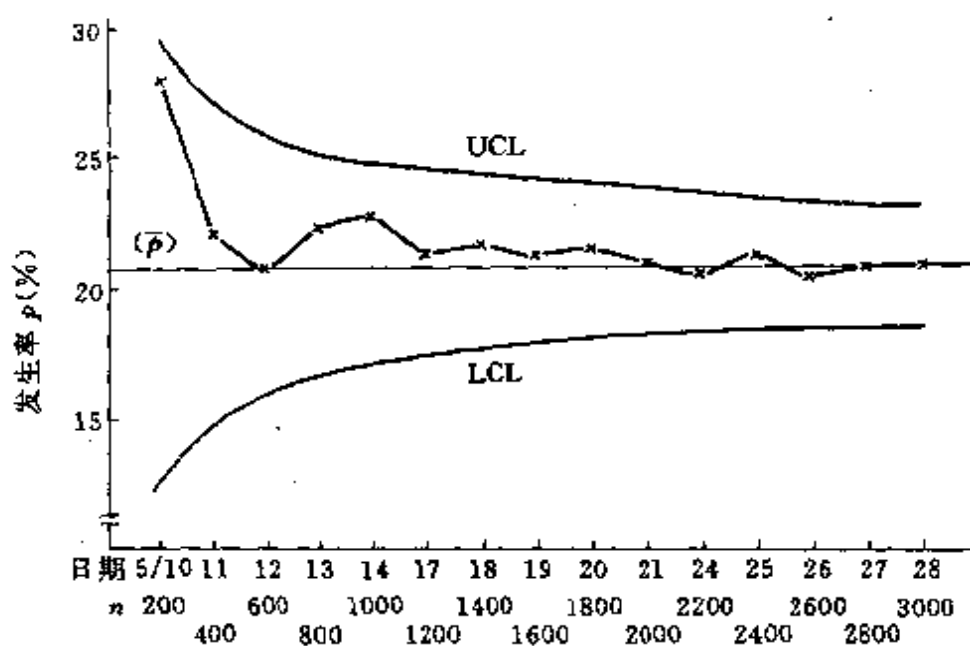


图 4-6 工作抽样累计 p 管理图

$$e=u\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (4-4)$$

(2)对每一观测项目都按公式(4-4)求误差,也可以按图(4-2)求出误差。如果观测结果不在误差范围内,要根据情况进行追加观测,直到累计 p 管理图曲线变化趋势稳定时停止。

4.3.5 工作抽样法应用举例

运用 WS 法决定洗涤过滤器的标准时间和标准作业量。

由 1 名观测者观测 6 名操作人员,每天观测 20 次,共计观测 10 天。

观测后的分析结果见表 4-10。

表 4-10 过滤器 WS 分析表

项目 作业内容	频 数	百分比(%)	定 额
更换过滤器	376	31.3	1.15
洗涤过滤器	506	42.2	0.97
搬 运	80	6.7	1.06
准备(作业宽裕)	72	6.0	
等待(车间宽裕)	102	8.5	
人的宽裕	64	5.0	
合计	1200	100	

10 天洗涤处理的过滤器数为 135 套,10 天中 6 名作业者所用的总时间为 $450 \text{ 分} \times 10 \times 6 = 27000 \text{ 分}$ (每天工作 7.5 小时)。更换过滤器的净时间(实际工作时间)如下:

$$\begin{aligned} \text{净时间} &= \frac{\text{总工作时间} \times \text{作业率} \times \text{定额}}{\text{产品总数量}} \\ &= \frac{27000 \times 0.313 \times 1.15}{135} = 72 (\text{分/套}) \end{aligned}$$

在该作业中,准备和等待时间对净时间的百分率分别确

定为 5%、10%，所以总时间为

$$72 \times (1 + 0.05 + 0.10) = 82.8 (\text{分})$$

洗涤过滤器的时间：

$$\text{净时间} = \frac{27000 \times 0.422 \times 0.97}{135} = 81.9 (\text{分/套})$$

在该作业中，准备和等待时间对净时间的百分率分别确
定为 8%、0，所以总时间值为

$$81.9 \times (1 + 0.08) = 88.5 (\text{分})$$

用于搬运的时间(未把宽裕率估算在内)：

$$\frac{27000 \times 0.067 \times 1.06}{135} = 14.2 (\text{分})$$

人的宽裕如果定为全部作业时间的 5%，则洗涤过滤器的
的全部时间(标准时间)是：

$$\text{标准时间} = (82.8 + 88.5 + 14.2) \times \frac{1}{1 - 0.05} = 195.3 (\text{分})$$

$$1 \text{ 人 } 1 \text{ 天的标准作业量} = 450 / 195.3 = 2.30 (\text{套})$$

如果 2 人 1 组洗涤过滤器，则洗 1 套的标准时间可定为

$$195.3 / 2 = 97.7 (\text{分})$$

1 天的标准作业量为

$$450 / 97.7 = 4.60 (\text{套})$$

工作抽样法的应用范围非常广泛，除上述列举的实例外，
还可应用于设备停机率的调查、作业方法标准化、生产管理和
改善成果的确认、商店运输、医院管理等等。

4.4 预定动作时间标准法

4.4.1 概述

A 概念

预定动作时间标准法(Predetermined Time Standard, 简

称 PTS 法),是将人所进行的全部作业分解成几个基本动作(如伸手、抓取等等),对各基本动作按其性质和条件,代换成预先规定的时间值,以此来确定标准时间的方法。PTS 法的使用范围相当广泛。除了因在作业中使用机械设备而使作业时间受机器的制约,以及需要细心判断作业时间的场合外,均可应用 PTS 法进行作业研究。

B PTS 法的特点及种类

PTS 法的产生,弥补了用秒表直接进行时间研究的不足之处,它的主要特点有:

(1)不需要定额;

(2)分析阶段可以同时对该项作业的时间值和作业方法进行分析研究;

(3)可以正确地掌握作业方法,还可以预先设计最佳的作业方法;

(4)基本不用秒表,各工厂、车间制定的标准易保持一致。

PTS 法从 1920 年开始到现在已经创造了许多新的方法。

1926 年西格(A. B. Segar)开发了动作时间分析法(Motion Time Analysis,简称 MTA)。西格在对残疾人进行职业训练时,通过对电影胶片的记录分析,发现接受训练的人,当他们做同一动作时,所需的时间值大体相同(一般约差 10%左右)。因此,若将作业细分成几个基本动作要素,则各基本动作要素所需要的时间值基本相同,只要通过对实例的分析计算,求出各基本要素的时间值,就可以算出整个作业时间;或者首先确定基本动作要素所需要的时间,然后按规定的动作程序进行操作,就可以求出完成该项作业的纯工作时间值。基于这种推想,西格提出了 MTA 法。这种方法不用通过对实际

操作的测量,只要对作业进行分析,分解成与作业内容有关的作业单元,经过查表和计算,便可确定作业所需的时间值。因此,当作业方案确定后,可以很容易求出作业者操作的标准时间。

1934 年魁克(J. H. Quick)等人开发了工作因数法(Work Factor,简称 WF 法)。它将操作分解为移动、抓取、放下、定向、装配、使用、拆卸及精神作用等 8 种动作要素,并制定了各动作要素的时间标准。WF 法的特点是在进行作业分析时,对每个动作要素只考虑 4 个变动因素:动作的使用部位,移动的距离,负荷大小,动作由谁来控制。

1948 年梅纳特(H. B. Maynard)等人开发了时间衡量法(Methods Time Measurement,简称 MTM 法)。该方法把作业分解为伸手、搬运、抓取、旋摆、旋转、加压、对准、放手、拉开等动作要素,并且预先排列成表,来决定完成每种基本动作所需的时间。

上述方法目前在欧美、日本应用较为广泛,但是这些方法受到各种条件的限制,一般人难以掌握。这些技术要求观测人员有较高的知识水平或经过严格的训练。例如日本要求有关人员在正式使用 MTM 法之前,要参加日本 MTM 协会的培训,并获得应用 MTM 法的资格。

1966 年哈依德(G. C. Heyde)在长期研究各种 PTS 法的基础上,进一步结合人机工程学方面的研究成果,开发了简单、实用,而且精度不低于 MTM、WF 等方法的模特排时法(Modulor Arrangement of Predetermined Time Standards,简称 MODAPTS 或 MOST 法)。这种方法能在计算出时间值的同时,根据动作经济原则进行动作研究,其中有以身体动作为中心的基本模特排时法、以库存运输为中心的能从身体能

量消耗计算出作业负荷量的运输模特排时法等。

PTS法的主要用途是：用于确定标准时间，改善作业方法；进行产品设计；选择和设计机械设备和工夹具等。

4.4.2 时间衡量法

A 时间衡量法的时间值

时间衡量法的时间单位是 TMU (Time Measurement Unit), $1\text{TMU} = 0.00001 \text{ 小时} = 0.036 \text{ 秒}$ 。

1TMU 相当于普通照像机 $1/30$ 或 $1/25$ 秒的快门速度。此外，伸右手抓取在桌上距离 30 厘米远处的橡皮，再移动到距离为 30 厘米的左手上，这一动作的时间是 27.5TMU，大体相当于 1 秒钟，这种直观感觉很容易体会到 1TMU 的含义。

因为时间衡量法的时间值是在详细分析影片记录的基础上设定的，所以不包含宽裕时间，而是指具有中等水平的作业者在通常状态下以一般的努力程度进行操作所需要的时间值。

B 时间衡量法的基本动作

采用时间衡量法确定作业时间，要根据作业来决定基本动作，然后测定基本动作的大小（如距离等），最后识别动作的基本性质。作业基本动作的分类如表 4-11 所示。

(1) 伸手(R)。伸手动作的时间值随着手或手指移动的距离、伸手动作的类型和伸手动作的状态而变化。

1) 手或手指移动距离的测定方法。当手（或手指）移动的轨迹不是直线时，要用卷尺等量具沿移动轨迹把实际移动的距离准确测出。一般在移动手腕时，以人的食指根部从移动前的位置到终点的距离作为计量基准是比较方便的。例如投掷石子，开始时手的状态是手腕弯曲，而投掷终了的瞬间手腕伸

表 4-11 时间衡量法的基本要素

基本要素名称	符 号	说 明
伸 手	R	把手或指移动到目标场所或区域
运 送	M	把物运到目标场所或区域的动作
旋 转	T	以前臂中心线为轴,旋转手腕及前臂的动作
压	AP	加力的动作
抓	G	手或指控制目标物体的动作
定 置	P	把两个目标物体合在一起的动作
放	RL	停止手或指的控制动作
拉 开	D	用力拉开两个合在一起的物体的动作
移动眼睛	ET	把眼睛的视线从一处移到另一处的动作
注 目	EF	把眼睛的视线集中在一个物体上的动作

直,在测量移动距离时,则应把手腕弯成与开始投掷的状态相同,这样测量的距离才准确。

像这种在主要动作中有辅助动作的场合,规定手的状态在始点和终点必须是一致的,也就是说要考虑辅助动作,加以修正。

2)伸手动作的类型。伸手动作有 A、B、C、D、E5 种,而时间值有 4 种(C 和 D 规定为同一时间值)。

A 完全不需要用眼睛确定对象物的位置和伸手方向,而是习惯性的移动手的位置;或者说是向固定位置或另一只手上面的对象物伸手的动作。

B 是在一般的作业中发生最多的伸手动作,例如伸手取桌子上的零件或工具、伸手向办公桌上取橡皮等,由于每次都稍稍变换位置,所以必须用眼睛观察并及时调整手的移动方向和位置;或者说伸手 B 是向无固定位置的物体伸手的动作。例如伸手从桌上取螺钉,移动距离是 6 厘米,应记作 R6B。

C 是向堆放成杂乱无章的对象物伸手的动作,如向很乱

的零件箱中伸手的动作等,此时需要寻找、选择。因此,这是最需要时间的动作,这类动作如若反复进行,必须加以改善。

D 是向图钉、薄玻璃片、鹌鹑蛋等危险易碎的物体或仁丹大小(断面直径在 3 毫米以下)的对象物伸手的动作。要抓取这类东西,需要格外小心。

E 是向身体的自然位置伸手,如前面列举的投石終了(始点)到自然位置(终点),也就是放下手的动作。因为这类动作对整体作业时间没有影响,所以一般可以忽略。

3)伸手动作的状态。伸手动作的状态有 3 种,如图 4-7 所示,分为 I 型、I 型和 II 型。

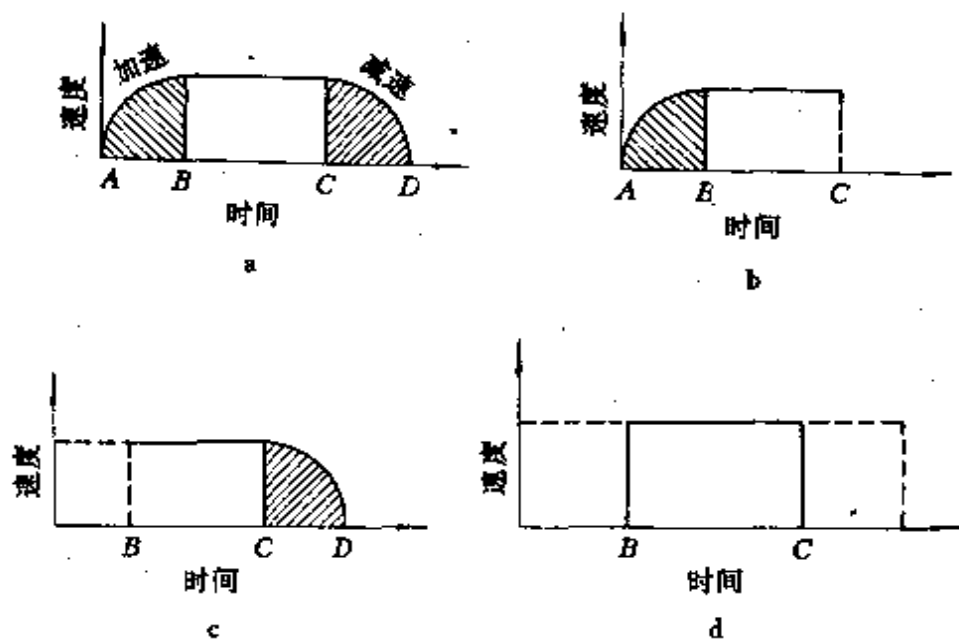


图 4-7 伸手动作的状态

a—状态 I ; b、c—状态 II ; d—状态 III

状态 I 是最一般的伸手动作,开始和终止均为静止状态,所以从伸手到终止的速度按加速—等速—减速的过程变化(见图 4-7a)。表 4-12 中的时间值,就是这种状态下的时间值。

表 4-12 伸手 R(reach)

距离 (厘米)	时间值 (TMU)				手移动时 (m)		情况说明
	A	B	C、D	E	A	B	
2 以下	2.0	2.0	2.0	2.0	1.6	1.6	A 把手伸到指定的位置; 把手伸到另一只手中的目的物; 把手伸向另一只手中的目的物
4	3.4	3.4	5.1	3.2	3.0	2.4	
6	4.5	4.5	6.5	4.4	3.9	3.1	
8	5.5	5.5	7.5	5.5	4.6	3.7	
10	6.1	6.3	8.4	6.8	4.9	4.3	
12	6.4	7.4	9.1	7.3	5.2	4.8	B 把手伸向每重复操作一次位置便移动变化的目的物
14	6.8	8.2	9.7	7.8	5.5	5.4	
16	7.1	8.8	10.3	8.2	5.8	5.9	
18	7.5	9.4	10.8	8.7	6.1	6.5	
20	7.8	10.0	11.4	9.2	6.5	7.1	
22	8.1	10.5	11.9	9.7	6.8	7.7	C 把手伸向杂乱放置着的目的物
24	8.5	11.1	12.5	10.2	7.1	8.2	
26	8.8	11.7	13.0	10.7	7.4	8.8	
28	9.2	12.2	13.6	11.2	7.7	9.4	
30	9.5	12.8	14.1	11.7	8.0	9.9	
35	10.4	14.2	15.5	12.9	8.8	11.4	D 把手伸向非常小,又需要牢固夹紧的目的物
40	11.3	15.6	16.8	14.1	9.6	12.8	
45	12.1	17.0	18.2	15.3	10.4	14.2	
50	13.0	18.4	19.6	16.5	11.2	15.7	
55	13.9	19.8	20.9	17.8	12.0	17.1	
60	14.7	21.2	22.3	19.0	12.8	18.5	E 把手放回自然位置或放到下个动作要移动的位置上;或为了移到侧面,把手伸到大概位置上
65	15.6	22.6	23.6	20.2	13.5	19.9	
70	16.5	24.1	25.0	21.4	14.3	21.8	
75	17.3	25.5	26.4	22.6	15.1	22.4	
80	18.2	26.9	27.7	23.9	15.9	24.2	

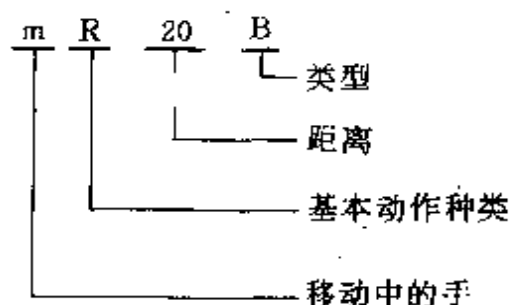
状态Ⅱ是指始点和终点速度不变的状态(见图 4-7b、c)。如伸手取零件的途中,把装配好的成品放入成品盘中,放成品的瞬间(起始点)若速度不减,而且仍以原有速度伸手取下一个零件,此时的速度时间曲线如图 4-7c 所示。显而易见,与状态Ⅰ相比,状态Ⅱ的操作时间可以缩短,所以在生产中,如果

有可能,应尽量把伸手动作从状态 I 改为状态 II。

状态 II 是指在伸手动作中速度不变,例如把烘干的细长物连续从炉中向上提取的动作。从下述实例可以看出,该状态的伸手动作的时间值最短,应成为改善伸手动作的目标。

状态 I、II 的时间值可以从表 4-12 中查出,而状态 II 要通过计算求时间值。

下面举例说明伸手动作的时间值求法。如某作业人员装好一个小产品后,伸手取零件准备装配下一个产品,在伸手取零件途中顺便将手中产品丢在成品盘中,这样从将成品放手到取零件的移动距离是 20 厘米。因为伸手开始时是移动状态,所以符号应记作



从表 4-12 中可以查出, **mR20B** 表示状态 II, 其时间值为 7.1TMU; 符号为 **R20B** 则表示状态 I, 时间值是 10.0TMU; 差值 $10.0 - 7.1 = 2.9$ TMU 是加速或减速时延误的时间; 状态 II 的时间值等于状态 I 的时间值减去状态 I 和状态 II 时间值之差的 2 倍, 即

$$10.0 - (10.0 - 7.1) \times 2 = 4.2 \text{TMU}$$

(2) 运送(M)。用手把对象物移动至规定的位置或区域的基本动作称为运送。

发生运送动作时手或手指移动的距离与发生伸手动作时

手或手指移动的距离的测量方法相同。

运送的种类有 3 种：A 类是把对象物运送到另一只手中，或到另一只手处停止；或借助于“机械的导向”运动（如拧螺钉、打开合页等），完全不需要控制的动作。B 类是把对象物送到某一大概位置。C 类是把对象物运送到精确位置；这类运送动作之后，多接定置动作。

例如将钢笔插入笔套中，运动距离是 8 厘米，这一动作属于 C 类，用符号表示时，应记作 M8C。把钢笔放在桌上，运送距离若为 14 厘米，则属于 B 类，所以记作 M14B。

运送状态和伸手状态相同。状态 B 的运送符号是 mM—B 或 M—Bm，其中“—”表示运送距离。

当运送重量或阻力在 1 千克以下时不予考虑。当考虑运送重量时，如用一只手从货车上搬下 6 千克重的货物，移动距离是 30 厘米，应以 M30B—6 表示；双手运送 20 千克货物时，则用 M30B—20/2 表示。

求运送的时间值时，先从表 4-13 中查出有关数据，然后通过计算即可求得。如 M30B—6 表示移动距离是 30 厘米、B 类运送，查表得时间值 13.3TMU；还应考虑运送重量是 6 千克，修正系数为 1.12，常数值为 4.3，因此所需时间为 $(13.3 \times 1.12) + 4.3 = 19.2\text{TMU}$ 。

此外，若仔细分析表 4-13 的数据会发现，运送距离小于 35 厘米时 A 类的时间值小于 B 类的时间值，大于 40 厘米时刚好相反。因此，在设计和改善动作和作业域时，应注意到这个转折点。

(3) 旋摆运动(C)。是指为了使对象物做圆周运动，操作者所做的以肘为轴心的摆动动作。例如操作机床上的手轮或“十”字杆的动作等。

表 4-13 运送 M(move)

距离 (厘米)	时间值(TMU)				按重量修正			情况说明
	A	B	C	移动中的手 B(m)	重量 (千克)	系数	常数	
2 以下	2.0	2.0	2.0	1.7	1	1.00	0.0	A 把目的物送到另一只手中或到另一只手处停止
4	3.1	4.0	4.5	2.8	2	1.04	1.6	
6	4.1	5.0	5.8	3.1				
8	5.1	5.9	6.9	3.7				
10	6.0	6.8	7.9	4.3	4	1.07	2.8	
12	6.9	7.7	8.8	4.9	6	1.12	4.3	B 把目的物送到适当位置
14	7.7	8.5	9.8	5.4				
16	8.3	9.2	10.5	6.0				
18	9.0	9.8	11.1	6.5	8	1.17	5.8	
20	9.6	10.5	11.7	7.1				
22	10.2	11.2	12.4	7.6	10	1.22	7.3	C 把目的物送到正确位置
24	10.8	11.8	13.0	8.2				
26	11.5	12.3	13.7	8.7				
28	12.1	12.8	14.4	9.3	12	1.27	8.8	
30	12.7	13.3	15.1	9.8				
35	14.3	14.5	16.8	11.2	14	1.32	10.4	
40	15.8	15.6	18.5	12.6	16	1.36	11.9	
45	17.4	16.8	20.1	14.0				
50	19.0	18.0	21.8	15.4				
55	20.5	19.2	23.5	16.8	18	1.41	13.4	
60	22.1	20.4	25.2	18.2				
65	23.6	21.6	26.9	19.5	20	1.46	14.9	
70	25.2	22.8	28.6	20.9				
75	26.7	24.0	30.3	22.3	22	1.51	16.4	
80	28.3	25.3	32.0	23.7				

影响旋摆运动时间值的因素有:

1) 旋摆运动直径,是指手或手指抓住部位的回转直径。如果做椭圆运动,规定按平均直径计算。

2) 运动时的抗力或重量,和运送动作一样,在 1 千克以下

不予考虑。

3)运动类型,有连续和断续两种。

连续旋摆运动的时间值的计算公式如下:

$$\text{时间值} = [(NT + 5.2) \times R] + K \quad (4-5)$$

式中 N ——回转次数;

T ——根据直径确定的时间值(见表 4-14);

R ——阻力系数(与运送动作相同);

K ——阻力常数(与运送动作相同)。

断续旋摆运动的时间值按下式计算:

$$\text{时间值} = [(T + 5.2) \times R + K] \times N \quad (4-6)$$

例如操作机床手轮的动作,旋摆直径为 20 厘米,阻力系数为 7 千克,连续旋摆 4 次时,符号为 4C20—7,其时间值根据式(4-5)计算。从表 4-14 中查出时间值 $T = 13.6\text{TMU}$,从表 4-13 中查出重量修正系数 $R = 1.17$,常数 $K = 5.8$,所以 4C20—7 的时间值为 $[(4 \times 13.6 + 5.2) \times 1.17] + 5.6 = 75.3\text{TMU}$ 。

表 4-14 旋摆 C(Cranking)

直 径 (cm)	时间值 (TMU)	直 径 (cm)	时间值 (TMU)	直 径 (cm)	时间值 (TMU)
4	9.2	16	12.8	28	14.8
6	10.0	18	13.2	30	15.0
8	10.7	20	13.6	35	15.5
10	11.3	22	13.9	40	15.9
12	11.9	24	14.2	45	16.3
14	12.4	26	14.5	50	16.7

旋摆 $1/2$ 周以下时按搬运分析。如果旋摆 $3\frac{1}{2}$ 周(直径为 30 厘米),其符号为 $3\frac{1}{2}C30$,时间值为 $3.5 \times 15.0 + 5.2 = 57.7\text{TMU}$ 。

(4)旋转(T)。旋转是指以前臂长度方向的中心线为轴心的手或手指的旋转动作,如拧螺丝刀的动作。

旋转动作受两个因素的影响:

1)回转角度。测量拇指、食指、小指的第一关节所得的角度。

2)重量或阻力。重量和阻力可用弹簧秤衡量,分为三级:0~1 千克为 S 级,1.1~5 千克为 M,5.1~16 千克为 L。例如把门敞开转 120° ,要克服 3 千克的阻力,用符号表示应记作 T120M。

旋转动作的时间值见表 4-15。

表 4-15 旋转 T(turn)和加压 AP(apply pressure)

重量(千克)	对应于旋转角的时间值(TMU)										
	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
小(S):0~1	2.8	3.5	4.1	4.8	5.4	6.1	6.8	7.4	8.1	8.7	9.4
中(M):1.1~5	4.4	5.5	6.5	7.5	8.5	9.6	10.6	11.6	12.7	13.7	14.8
大(L):5.1~16	8.4	10.5	12.3	14.4	16.2	18.3	20.4	22.2	24.3	26.1	28.2

加压:AP1,16.2TMU;AP2,10.6TMU

(5)加压(AP)。为了克服阻力所附加的力量,称为加压。例如按电铃的动作等。

加压对初学者来说,在分析动作时是最容易被遗漏的动

作,而在实际操作中,这个动作非常多。如何判断这一动作呢?要抓住前、后动作的些微中断或一瞬间的踌躇状态来判别,也可以根据力的大小来判别。

加压动作分为两类:

类型 I (AP1),是指为了强压而在实际加压之前,身体部位需要稍加预备调整(可看作是“踌躇”或“中断”),因此时间值较大。

类型 II (AP2),与 AP1 不同之处是轻微加压,因此身体部位不做预备调整。

加压时间按表 4-15 确定。

(6)抓取(G)。指用手或手指充分控制一个或数个对象物的基本动作(用镊子或钳子抓取零件的动作叫运送,不叫抓取)。抓取动作的时间值受抓取类型和抓取状态两者组合的影响。

抓取类型有 G1、G2、G3、G4、G5 五种,其中 G1 包括 G1A、G1B、G1C。

G1A 是指抓取没有障碍的对象物,容易抓取,而且手指闭合的距离在 20 毫米以下。

G1B 是指抓取小的对象物,例如抓取桌上摆放的硬币(5分)、薄工具一类的物品等。

G1C 是指抓取并列摆放的圆柱形物体(如粉笔等)中的一个,其底面和侧面有障碍物。

G2 是指需要重抓才能控制目的物的动作。

G3 是指以一般的努力程度,从一只手将对象物转到另一只手的抓取。

G4 是 R 或 C 的继续动作,伴随有探索和选择,也可解释为从零乱的同种或不同种的对象物中抓取的动作,如从盛放

多种零件的容器内抓取某零件的动作。以对象物的大小分为三级,即 G4A 为 $26 \times 26 \times 26$ 毫米以上, G4B 为 $6 \times 6 \times 3 \sim 25 \times 25 \times 25$ 毫米, G4C 为 $5 \times 5 \times 2$ 毫米以下。

G5 是指包括“接触”、“滑动”、“钩着抓”的抓取。该动作的时间值为零,为了表示作业方法也需要记录。

抓取动作时间值查表 4-16。

表 4-16 抓取 G(grasp)

情况	时间值 (TMU)	说 明
1A	2.0	直接抓小、中或大的目的物,容易抓时
1B	3.5	抓极小的目的物或紧紧贴在平面上放置的物体时
1C ₁	7.3	抓圆柱形目的物(底部或单侧有障碍物)时,直径 12mm 以上
1C ₂	8.7	抓圆筒形目的物(底部或单侧有障碍物)时,直径 6~12mm
1C ₃	10.8	抓圆筒形目的物(底部或单侧有障碍物)时,直径 6~12mm 以下
2	5.6	矫正抓法
3	5.6	换到另一只手去拿着
4A	7.3	抓杂乱放着的目的物(需寻找或选择),大于 $25 \times 25 \times 25$ mm
4B	9.1	抓杂乱放着的目的物(需寻找或选择),小于 $25 \times 25 \times 25$ mm,大于 $6 \times 6 \times 3$ mm
4C	12.9	抓杂乱放着的目的物(需寻找或选择),小于 $6 \times 6 \times 3$ mm
5	0	接触、挂上

(7)定置(P)。指将某一对象物与另一对象物对准,例如将钢笔对准笔套的移动动作等。

定置动作包含插入深度在 2 厘米以下的动作。

定置动作的时间值随着配合的松紧程度、对称性、操作的

难易程度等因素而变动。

配合的松紧程度分为3级:1级(P1),是指配合程度很松,不需要加力,依靠物体重量自行套入;2级(P2),是指配合程度稍紧,稍稍加一点力就可将对象物套入;3级(P3),是指配合程度紧密,需用较大的力将对象物压入。

判断松紧程度的标准是:套入物体时几乎感觉不到用力者为P1,用力很明显时为P3,介于两者之间的为P2。

对称性是影响定置时间的重要因素。可以根据对象物以其结合后的轴线为中心,相对旋转一周的配合位置来判定对称性的类型。对称性有以下三类:对称(S),例如两个圆柱形物体任意位置均可配合;半对称性(SS),如两个正方形物体的配合情况,即为半对称性,也指配合位置有两个以上者;非对称性(NS),如两个梯形物体的配合情况,配合位置只有1个。

操作的难易程度分为操作容易和操作困难两种情况。操作容易(E)是指操作的物体坚固,配合程度松弛,不必有G2的动作。

操作困难(D)是指操作的物体柔软或细小,配合位置远以及必须有G2的动作。

由上述可知,套钢笔套的动作可记作P2SE,把缝线穿入针眼中的动作应记作P3SD。

作为定置动作的特殊类型有点(或线)的重合。如在出库单上写字、把两物品的位置合在一起等,是不带有插入动作的定置动作。点(或线)的重合,一般按以下原则确定类别:

在边长为13毫米的正方形面积上的点重合时为MC,在边长为6~12毫米的正方形面积上的点重合时为P1S,边长为0.5~5毫米的正方形面积上的点重合时为P2S。

线重合的情况是,线长在 7 厘米以下的重合为 P2S;线长为 8 厘米以上的重合,一般发生 2 次,记为 P2SE。

定值的时间值查表 4-17。

表 4-17 定量 P(Position)

配合程度		对称性	容易处理(E) (TMU)	难处理(D) (TMU)
松的	不必压	对称(S)	5.6	11.2
		半对称(SS)	9.1	14.7
		非对称(NS)	10.4	16.0
紧的	轻压	对称(S)	16.2	21.8
		半对称(SS)	19.7	25.3
		非对称(NS)	21.0	26.6
极紧的	重压	对称(S)	43.0	48.6
		半对称(SS)	46.5	52.1
		非对称(NS)	47.8	53.4

(8)放手(RL)。解除手或手控制的对象物的基本动作叫放手。放手的类型有两种:RL1,只是松开手指释放对象物的动作,手指移动的距离在 2 厘米以下;RL2,是与接触抓取(G5)相反的动作,松开用手或手指接触并控制的对象物,虽然该动作的时间值是零,但在分析动作时仍应加以记录。

放手动作的时间值见表 4-18。

表 4-18 放开 RL(release)

情 况	时间值(TMU)	说 明
1	2.0	张开手指放松
2	0	放开接触的手

(9)拉开(D)。拉开两个相互啮合(或配合)的物体时,有反作用力发生的动作叫拉开。如将钢笔套拔开的动作。影响拉开时间值的因素有配合程度和操作的难易程度。

根据拉开时所需要的力的大小,配合程度可分为以下三种类型:类型Ⅰ(D1),阻力小,反向作用不明显;类型Ⅱ(D2),在10~13厘米以下的范围内,存在反向作用力,当手的动作停止时,对象物有自动向反方向运动的趋势,要有一定的力才能保持现状;类型Ⅲ(D3),两物体结合非常牢固,需要很大的力,反向作用的范围为13~15厘米,甚至达到30厘米。

操作的难易程度分为操作容易和操作困难两种情况。操作容易(E)是指拿好对象物,只需少许控制力就能一下子拉开的操作。操作困难(D)是指需要有抓取(G2)动作的拉开操作,施加控制力比较困难,如拉开时有障碍物存在等。

拉开动作的符号,如拉开钢笔套的动作是D1E。拉开动作的时间值根据表4-19查出。

表 4-19 拉开 D (disengage)

配合的程度	容易处理(E)	不易处理(D)
1. 松的:用极小的力,一直到下一个动作为止	4.0	5.7
2. 紧的:用一般的力,稍有反作用力	7.5	11.8
3. 极紧的:用很大的力,手上明显感到反作用力	22.9	34.7

(10)眼睛移动的时间值(ET)。所有的动作几乎都需要眼睛的配合。当眼睛的移动和动作同时发生时,若眼睛移动时间小于其它动作的时间,只计算其它动作的时间值就可以了;相反,若眼睛移动的时间值超过其它动作的时间值,或独立出现,则必须加以考虑。

视线从一点移至另一点的时间值,取决于下列因素:视线移动的距离(T);眼睛对视线移动轨迹的垂直距离(D)(见图 4-8)。

眼睛的正常视野范围为距离 40 厘米处,直径为 10 厘米范围。在正常视野范围内可辨清对象物。目视距离与直径成正比关系,如 $T=60$ 厘米时, $D=15$ 厘米。

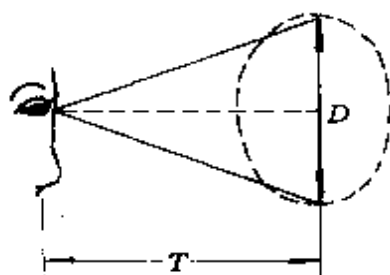


图 4-8 眼睛的聚焦

眼睛的时间值有视线移动时间 ET 和眼睛的聚焦时间 EF 。

$$ET = 15.2 \times \frac{T}{D} \text{ TUM}$$

眼睛的聚焦时间是指眼睛不动,把视线集中到对象物上聚焦的时间,或对准视觉点所需要的时间。对准视觉焦点所需时间为 7.3 TMU 。

(11) 全身动作。腿或身体的动作(手、臂、眼睛的动作除外)称为全身动作,它包括以下几类动作:

脚部动作 FM,指以踝为支点的脚部动作,如踩缝纫机的动作,其时间值为 8.5 TMU (是动作距离 5~10 厘米的平均值)。当脚部需要用力动作时,符号为 FMP。

腿部动作 LM,指移动脚时的腿部动作,如开汽车时脚踩离合器的动作等。

横侧移步动作,有以下两类:SS— C_1 ,向侧移一步即可着手工作;SS— C_2 ;向侧移两步才能着手工作。

转变身体方向 TB,种类有: TBC_1 与 SS— C_1 的基本定义相同; TBC_2 与 SS— C_2 的基本定义相同。

弯腰与起身 B、AB,指以腰部为支点向前弯腰,手的位置在膝盖之下的动作。

屈膝与起身 S、AS,指弯曲膝盖使手在膝盖之下的动作。

单膝跪地与起身 KOK、AKOK,单膝跪地所需要的时间与 B、S 相同。

双膝跪地与起身 KBK、AKBK,双膝跪地比 KOK 需要的时间长。

坐下与站起来 SIS、STD。

步行 W,指两腿交叉移动,使身体前进或后退的动作。步行 3 米时,以 W3m 表示。若有障碍物或凹凸不平的路面上走两步,且需要小心行走时,以 W2p 表示。

全身动作的时间值见表 4-20。

(12)联合动作。两种或两种以上的动作同时在同一身体部位发生时,称为联合动作。如 G2 或 T 等动作与 R 或 M 等动作同时发生。

仅用某一特定的身体部位进行作业是极不合理的,通常需用两个以上的身体部位才能有效地进行作业。

联合动作的状态可分为:连续动作、结合动作、同时动作和复合动作。

联合动作时间值的求法为:当两个以上动作同时进行时,用具有最大时间值的动作所需要的时间值作为联合动作的时间值,因为该动作时间值包含了其它同时动作的时间值。

连续动作时,由于各动作一个接一个不间断的连续进行,而且各个动作独立存在,所以把从 MTM 数据表上查出的各动作的时间值加起来,就是连续动作的时间值。

表 4-20 身体、脚和腿的动作 (body, leg, foot motions)

说 明	符号	距离	时间值 (TMU)
脚的动作(以脚腕为支点)	FM	到 10cm	8.5
脚的动作(用脚跟蹬的动作)	FMP		19.1
腿或下肢的动作	LM	到 15cm	7.1
		每增加 1cm	0.5
横进一步,情况 1:迈出的一只脚 在接触地的同时,手也动作时	SS-C ₁	30cm 以下	用于伸手或 运送的时间
		30cm	17.0
横进一步,情况 2:不把后脚拉到 跟前,就不能使手工作时	SS-C ₂	每增加 1cm	0.2
		30cm	34.1
		每增加 1cm	0.4
弯腰屈膝,单膝支撑起立	B.S, KOK		29.0
两膝支撑在地面上起立	AB.AS, AKOK		31.9
	KBK		69.4
	AKBK		76.7
坐下	SIT		34.7
从坐着的姿势站起来转体 (45°~90°)	STD		43.4
情况 1:迈出的脚支撑地面的同 时能使手工作时	TBC ₁		18.6
情况 2:后脚不拉到跟前,就不能 使手工作时	TBC ₂		37.2
步行	W-M	1 米左右	17.4
步行	W-P	1 步左右	15.0
步行(有障碍)	W-PO	1 步左右	17.0

结合动作是指同一身体部位同时进行两个以上的动作。下面举例说明其时间值的求法。例如在运送动作当中进行重抓取(或旋转)时,其时间值为

$$\begin{array}{r} \text{M20B} \quad 10.5 \\ \text{G2} \quad \text{—} \\ \hline 10.5\text{TMU} \end{array}$$

式中 M20B 是把对象物向距离 20 厘米处的某适当位置运送, G2 表示需要重抓对象物。由于 G2 的时间值小于 M20B 的时间值,所以计算中用斜线把该项动作消去;在时间值一栏中,只记录时间值大的一个,画斜线被消掉的动作在记录表中只划一条短横线;计算时间值时,只是把记录数据的各项相加。

同时动作是指用身体的各部位在同一时间内进行两个以上的动作。当这些动作的时间值不相同,把时间值小的动作作“○”符号圈上,在时间值一栏中只记录大的时间值。如:

$$\text{R20B} \quad 11.2 \quad \text{M22B}$$

当各个动作或时间值完全相同时,就不再使用符号“○”。

复合动作是指同时动作与结合动作一起进行时的动作,其时间值的求法如下:

$$\text{M22B} \quad 11.2$$



设计、改善同时动作时可参考图 4-9。将该图的纵、横两方向分别假设成右手和左手,例如用右手进行 R—D 动作时,用左手进行哪种动作最合理,或用两手同时进行 M—B 动作时是否有可能等等。使用该图对作业方法进行设计与分析检验十分方便。

在正常视野内可同时识别两个以上对象物,所以同时动

伸手		搬运			抓			定置			拉开		情况	动作
A, E	B, C, D	A, Bm	B	C	G1A, G2, G5	G1B, G1C	G4	P1S, P2S	P1SS, P2SS	P1NS, P2NS	D1E, D1D	D2		
	*W	*W	*W	*W		*W	*W	*E	*E	*E		*E		
													A, E	伸手
													B	
													C, D	
													A, Bm	搬运
													B	
													C	
													G1A, G2, G5	抓
													G1B, G1C	
													G4	
													P1S	定置
													P1SS, P2S	
													P1NS, P2SS, P2NS	
													D1E, D1D	拉开
													D2	

容易同时动作
 由于熟练可以同时动作
 即使熟练也难同时动作

图 4-9 同时动作

注：* W—正常视野内；O—正常视野外；* * E—操作容易；D—操作困难。

本图所述之外的动作：

旋转(T)—需要注意的“旋转”或“拉开”不和其它动作同时进行，都是容易的。

压(AP)—就各自情形的分析。

定置(P)—配合程度为 3 级时，往往是困难的。

拉开(D)—配合程度为 3 级时，一般是困难的。

离开(RL)—容易。

拉开(D)—操作时不使目标物损坏，对各种配合程度都是困难的。

作很容易。设计同时动作的作业域时，零件堆放处和成品堆放处的选择应按这个原则进行。

C 时间衡量法的分析程序

时间衡量法对尚未进行的作业和已经进行的作业均适用,分析程序与动作研究的程序相同。

程序 I,明确作业方法。对现有作业进行分析时,要仔细观察,以便对其有充分的了解。

程序 II,收集关于质量、作业的顺序和各项作业的内容及作业场所等的有关资料。

程序 III,将作业分解成基本要素。分解时通常是按照可以用秒表进行时间测定的细化程度,画图表示作业域的配置。此外,还应区分常量和变量要素。最后,确认细分后的作业要素的正确顺序,并加以记录。记录时,将各作业要素的详细说明填写在表中(见表 4-21),注意脚、腿、身体的动作记入“右手”栏中。

4.4.3 模特排时法

A 模特排时法的特点

(1)应用范围广泛,使用方法简便。若仔细观察人的动作会发现,如果将手指的平均动作时间作为基本单位,身体其它部位的动作时间是手指动作时间的整数倍。如手指的一次移动动作大约为 2.5 厘米的距离,平均动作所需时间定为 1MOD(Modular 的前三个字母),手的动作时间值是手指的 2 倍,即 2MOD。因为各部位动作有一定的联系,所以这种方法应用起来简单方便,应用范围广泛。

(2)不需要任何测量仪器,例如秒表等。

(3)大幅度减少工时分析的工作量,节省了人力和时间,因此可以大大降低成本。

模特排时法可用于生产、设计、管理及供销等部门,因此具有很强的实用性。

B 模特排时法的动作分类及其标记

表 4-21 MTM 分析记录表和记录要领

零件名称: <u>燃料油罐盖</u>				分析代号: <u>2401</u>		
作业名称: <u>压力机冲孔</u>						
操作者: _____				分析者: _____		
分析日期: _____						
左手动作说明	次数	动作	TMU	动作	次数	右手动作说明
1. 把杂乱地放在作业台上的盖装到冲床上			18.2	R45C		把手伸到盖上
			7.3	G4AC		抓一个盖
			13.7	/ M26		送到台上
				\ T60		
			25.3	P2SSD		放在台上
			0.0	RL2		离开
与右手相同		R26A	9.5	R30A		手回到安全装置处
与右手相同		AP2	10.6	AP2		按安全按钮
		合计	84.6			
2. 冲压周期			50.7	MT		机械时间
3. 把加工完的盖放进成品箱			14.1	R30C		向着台上的零件
			2.0	G1A		抓
			16.8	M45B		放进加工完的零件箱
			2.0	PL1		放
		合计	34.9			

模特排时法将动作分为上肢基本动作、下肢和腰部基本动作及附加动作三大类、21 种基本动作。图 4-10 为模特排时法的基本图, 图上 21 个方框表示 21 个动作分类, 上半部 11 个动作是作业者进行操作时经常遇到的动作。这 11 个动作中有 5 个动作是手臂、手、手指等上肢部位的移动动作, 其标

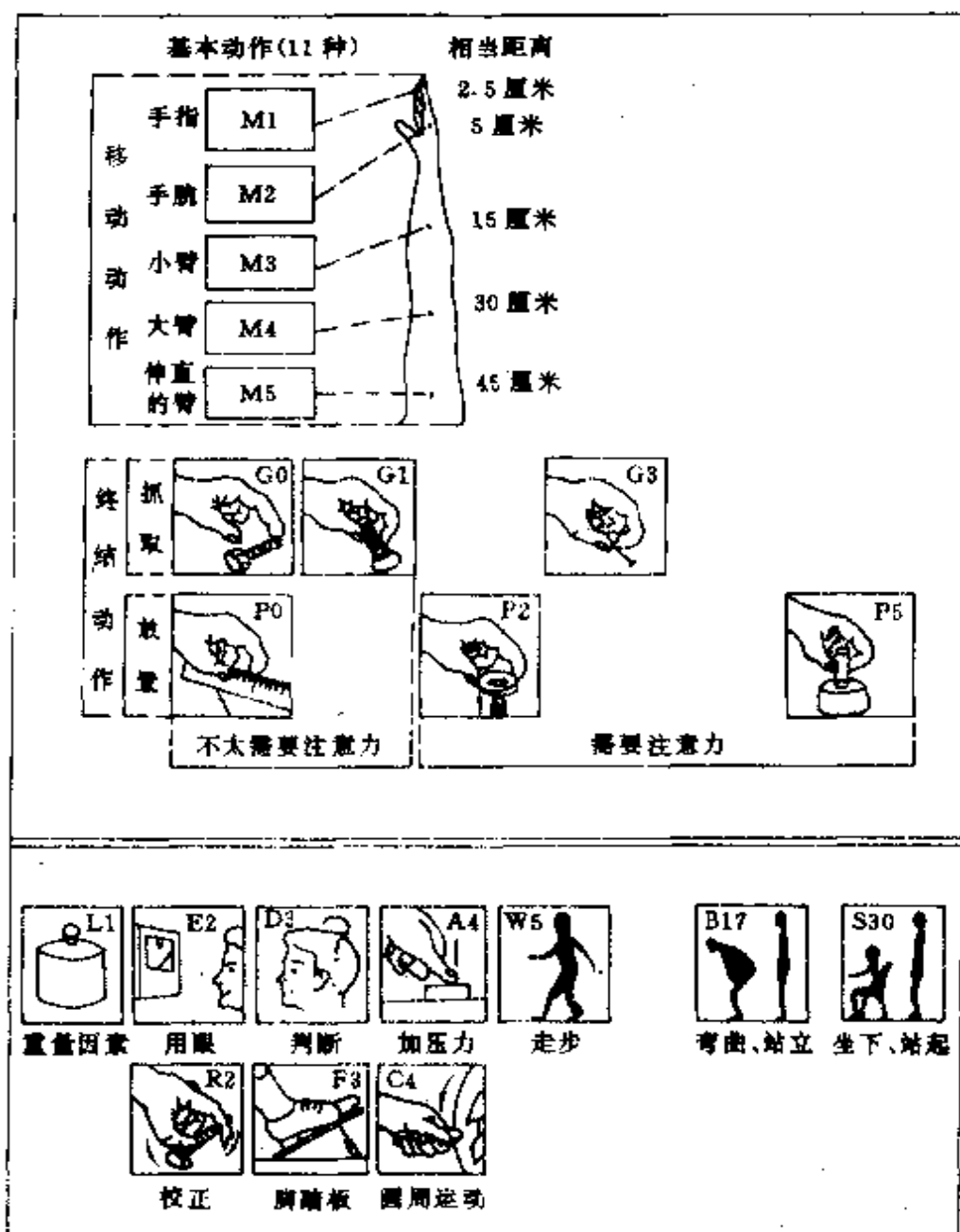


图 4-10 模特排时法动作分类图

记不仅反映动作的种类,而且也反映动作的时间值;另外 6 个动作是终结动作(抓、放)。图中下半部 10 个动作表示躯体及其它附加动作,图中也表示了时间值。

模特排时法的符号标记由拉丁字母和数字组合而成(见

图 4-11), 但是允许各国采用自己的语言文字作为动作符号, 例如“M3”在我国可以用“手 3”表示。

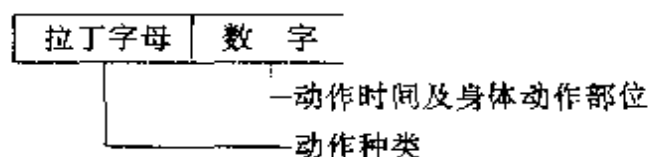


图 4-11 模特排时法符号标记

图 4-12 列举了模特排时法的动作分类及各种动作的符号。图中标有“(注)”的部分表示需要集中注意力的动作。

模特排时法根据作业时所使用的不同身体部位, 如手或手指来确定时间值。把手指的动作时间值规定为 1, 其它部位的动作时间值则为手指动作时间值的整数倍, 如小臂的移动动作时间值为手指动作时间值的 3 倍, 而手的动作时间值是手指动作时间值的 2 倍。

(1) 上肢基本动作

1) 移动动作的含义及符号。移动动作是手、手指或臂活动的动作。如装配过程中, 为了拿取工具或零件, 需要将手伸向其所在位置, 抓住工件或零件并拿走, 此时需要上肢动作。另外若将螺母拧在螺栓上, 还需要手指移动动作和终结动作的反复进行。

由于移动动作所使用的身体部位不同, 移动距离不等, 因此时间值也不一样。在模特排时法中根据使用的不同身体部位, 将时间值分为五等。

手指的动作 M1, 是指用手指第三关节以前的部位所进

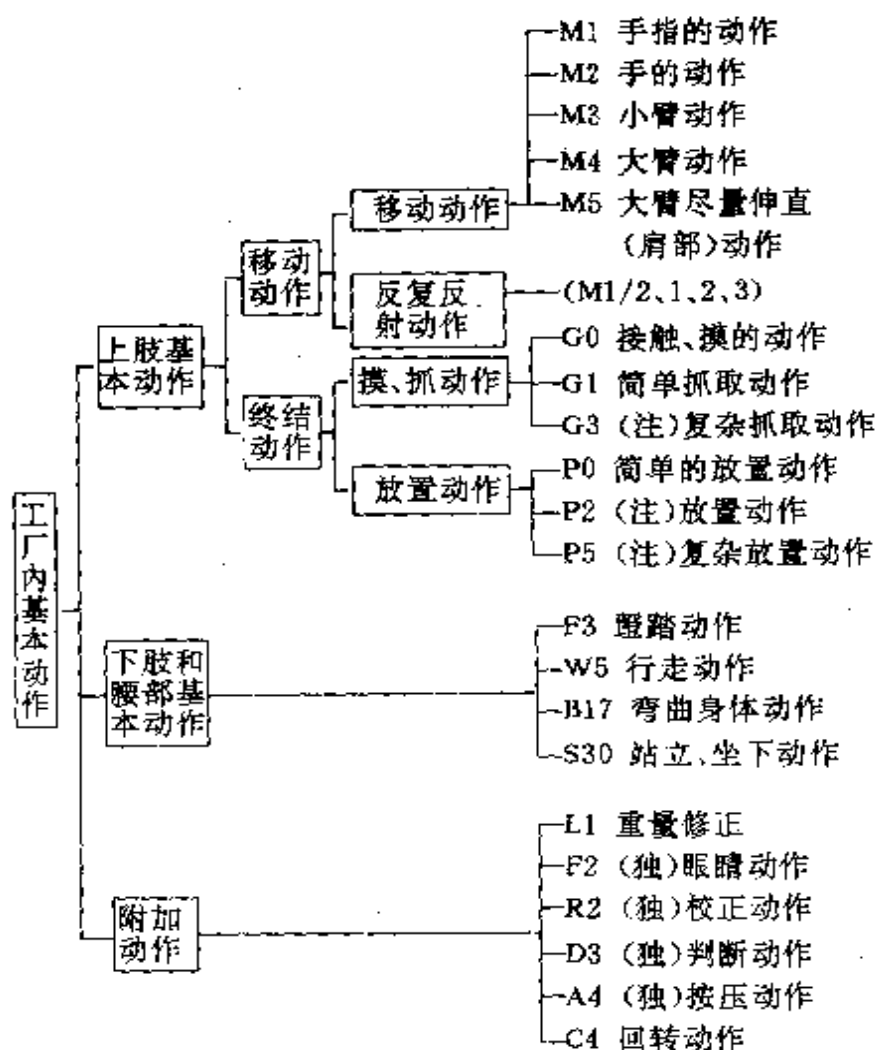


图 4-12 模特排时法的分类及标记

行的动作，如把开关拨到“on”或“Off”位置、用手指拧螺母及旋转小旋钮等动作。

手的动作 M2，指用腕关节以前的部位进行的动作。依靠手腕的动作不仅能做横向移动，也可做上下移动、左右移动、斜向及圆弧状动作。作业中往往伴随手的动作，小臂也会出现不大的动作，但这些动作中主要是手的动作，小臂则是辅助动作。例如将电阻插入印刷电路板上的动作，翻阅书本、转

动门轴等动作都属于手的动作。

小臂的动作 M3, 指以肘关节为支点进行操作时, 肘以下部位的动作为小臂 (包括手、手指) 的动作。由于手和小臂的动作方向有时需要变化, 所以肘关节需要相应的移动, 肘关节此时的移动应看作是 M3 的辅助动作。例如在钳工台上组装部件或机器, 作业中需要移动零件的位置或改变作业位置, 这种动作一般认为是 M3。

在 M3 的移动作业范围内, 将可能的作业区域叫正常作业范围 (见图 4-13)。为了减少作业时间及减轻劳动强度, 设计作业区时, 应尽可能将作业区缩小; 设计生产设备的操作部分时, 应尽量使操作者以 M3 的移动动作来进行操作。

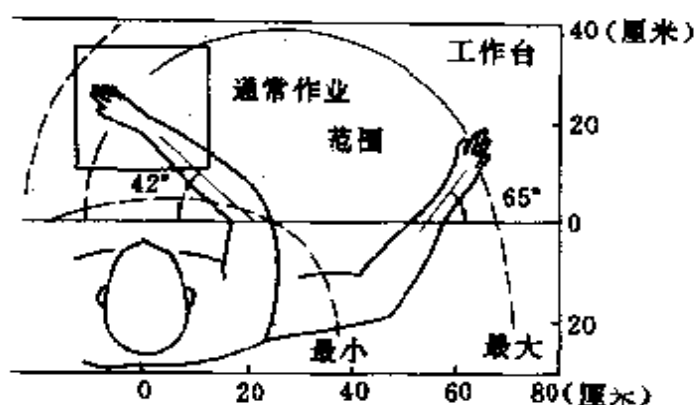


图 4-13 正常作业范围示意图

大臂的动作 M4, 指随着肘的移动, 大臂和小臂作为一个整体处于自然状态下的伸出动作。在手臂充分伸展时, 往往伴有前倾的辅助动作, 此时的时间值不变。如把手伸向放在桌子前方的零件 (或工具), 或把手伸向略高于头部位置的物等动作, 均属大臂动作 M4。

大臂尽量伸直的动作 M5, 指在胳膊自然伸直的基础上,

再进一步伸直的动作。此外，将整个胳膊从自己身体正面向相反的侧向伸出的动作属于 M5。例如尽量伸直胳膊取高架上的东西，或坐在椅子上拾取地面上的东西等动作。

从生理角度看，连续做 M5 动作容易引起疲劳，所以应尽量减少 M5 动作。

移动动作的特例——反射动作是指手持工具反复进行操作的动作，进行该动作时不要求每次动作都特别注意。例如用棍棒敲击桌子，用橡皮擦掉错字，盖邮戳等。

2) 终结动作的含义及符号。终结动作是指移动动作进行到最后，要达到的动作。如触及或抓取物体，将物体移到目的地、放入、装配等动作。终结动作的分类主要根据动作的难易程度，有触及（或抓取）及放置两大类，前者用符号 G 表示，后者用符号 P 表示。

触及（或抓取）动作又分为：触及动作 G0、简单抓取动作 G1、复杂抓取动作 G3。

触及动作 G0，是用手指或手支配对象物的最简单的动作，如触摸、推等。

抓取动作 G1，是用手指或手简单地抓取物体的动作。如某对象物周围没有障碍物，毫不迟疑地非常自然地去抓取。

抓取动作 G3，是复杂的抓取动作，需要集中注意力。如抓取放在零件箱内一批螺钉中的一个，此时需要用手将周围其它零件拨开，才能抓住所要抓取的螺钉。轻轻地抓取易变形的零件等动作也属于抓取动作 G3。

放置动作分为放置动作 P0、放置动作 P2 及放置动作 P5。

放置动作 P0，是将手中的物体送到目的地后直接放下。

该动作不需要注意力非常集中,对放置的场所没有特殊要求。如将手中的斧头放在地上,将传送带上的零件放在自己面前等待装配等。

放置动作 P2,是将对象物放在所要求的位置上,此时需要集中注意力。如将垫圈套在螺栓上,或把用过的电烙铁放在支架上等。

放置动作 P5,是将物体准确地放在规定的地方或装配的动作,自始至终都需要集中注意力。P1 需要伴随一次修正动作,而 P5 需要伴随 2 次以上的修正动作,所以时间值较长。如将螺母套在螺栓上略拧一下,将插头或将齿轮分别插在插座或轴上等。

一般情况下,无论什么动作,如移动动作,其后必定伴随着终结动作。例如使用螺丝刀的动作,包含有移动动作 M3 和终结动作 G1,其符号标记为 M3G1。

反射动作与其它动作的分析不同,一般可省略终结动作符号。因此,其分析符号用反射动作符号和反复次数来表示,即

反射动作符号×动作次数

例如,用锤子敲打墙上的钉子,若敲 4 次则为 M2×8。

3) 移动动作和终结动作的时间值。手指动作 M1 的时间值,根据试验及统计学原理规定为 $1\text{MOD}=0.129$ 秒(移动距离为 2.5 厘米)。大量的试验数据的统计结果证明,能量消耗与手指移动速度之间的关系如图 4-

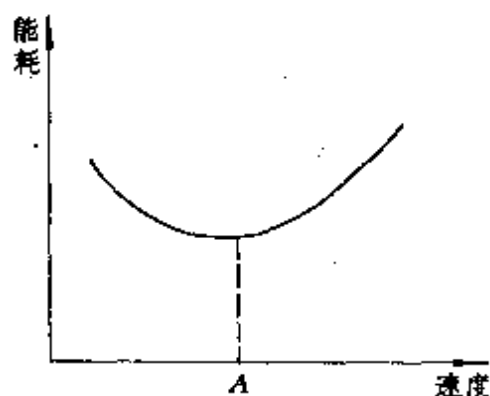


图 4-14 能量消耗与速度关系图

14 所示。从图上的曲线可以看出, 存在一个能量消耗最低的最佳速度值, 该值对于绝大多数操作对象来说基本一致。该图还显示它符合正态分布规律。

手、小臂、大臂等动作时间值分别为 $M2=2MOD$ (移动距离 5 厘米)、 $M3=3MOD$ (移动距离 15 厘米)、 $M4=4MOD$ 、 $M5=5MOD$ 。

反射动作的时间值, 由于是反复操作, 所以比通常的移动动作时间值要小。

手指的反射动作: $\frac{1}{2}MOD$, $M \frac{1}{2}$;

手的反射动作: $1MOD$, $M1$;

小臂的反射动作: $2MOD$, $M2$;

大臂的反射动作: $3MOD$, $M3$ 。

动作 $M5$ 一般不发生反射动作, 即使出现这种动作的反射动作, 也需要改进。

触及动作的时间值为零。

抓取动作 $G1$ 的时间值为 $1MOD$;

抓取动作 $G3$ 的时间值为 $3MOD$ 。

上述动作分析举例如下。

例 1 求用双手抓工具和工件的时间值。左手抓工件为 $M4G1$, 右手抓锉刀为 $M3G1$, 两手同时动作。由于左手抓工件所用时间是 $5MOD$, 而右手动作时间只有 $4MOD$, 所以可以省略不计, 双手抓工具和工件的时间值为 $5MOD$ 。

例 2 需要拧紧某部件上的一个螺钉, 该螺钉处于狭窄的缝隙处 (周围有障碍物), 动作是首先移动小臂抓取工作台上的螺丝刀, 然后将螺丝刀移向部件, 并对准螺钉头, 转动螺丝刀 (反复若干次, 直到拧紧), 装配完毕后将螺丝刀放回

原处。详细分析情况见表 4-22。

表 4-22 在狭窄场地使用螺丝刀动作举例表

年 月 日					
机械名称					
工序名称					
作业名称	在狭窄场地拧螺丝刀				

设抓螺丝刀的移动动作为 M3

No	左手动作	右手动作	标记符号	次数	MOD
1	什么也不做 BD	抓螺丝刀 M3G1	M3G1		4
2		BD把螺丝刀送到机壳上 M3P0	M3P0		3
3		BD把刀头放到螺钉头内 M2P5	M2P5		7
4		BD旋转 3 次螺钉 (M1G0, M1P0) × 3	(M1G0, M1P0)	3	6
5		BD把螺丝刀放回原处 M3P0	M3P0		3

有效时间	秒 分	23MOD 2.967 秒 0.049 分	合计 2.967 秒 0.049 分
------	--------	--------------------------	-----------------------

注: 螺丝刀、引线等放在加工零件附近, 因有障碍物存在, 如果动作需顿时

停止，不能转到下一个动作时，P0 或 P2 就要同移动动作一齐发生。

4) 同时动作。用不同的身体部位，同时进行两个或两个以上相同或不相同的动作叫同时动作。例如工作台上有两个零件箱，A 箱放螺钉，B 箱放垫圈，两手同时伸出，左手取螺钉 (G3)，右手取垫圈 (G3)，然后同时拿到安装位置。

需要指出的是，由于终结动作中，有的动作不需要集中注意力 (G0、G1、P0)，而有的动作则需要集中注意力 (G3、P2、P5)，因此，不是所有的动作都能同时进行，见表 4-23。

表 4-23 同时动作的可能性

情况	同时动作	一只手的终结动作			另一只手的终结动作		
1	可能	G0	P0	G1	G0	P0	G1
2	可能	G0	P0	G1	P2	G3	P5
3	不可能	P2	G3	P5	P2	G3	P5

从表中可见，当两只手的终结动作不需要集中注意力，或只有一只手需要集中注意力时，可以同时动作；若两只手的终结动作都需要集中注意力，则不可能同时动作。

两只手同时动作时，其中动作时间值大的动作叫时限动作。计算时间值时，只记入时限动作的时间值。例如拧螺丝前，左手抓取零件的动作为 M4G1，其时间值为 5MOD；右手抓取螺丝刀的动作为 M3G1，时间值为 4MOD。所以，左手动作为时限动作，右手动作比左手动作的时间值小，故称为被时限动作。该例的时间值是 5MOD。

左右两手同时动作的时间值相同时，根据动作的主次或哪只手方便来确定时限动作。

(2) 下肢和腰的基本动作。

1) 脚踏动作 F3, 指脚后跟着地, 足颈所进行的动作。例如踩脚踏板动作等。从脚踝关节到脚尖的一次动作记作 F3, 时间值是 3MOD, 再抬起、返回的动作又是 F3。

2) 步行动作 W5 (身体水平移动), 凡是挪动脚步的动作均属于步行动作, 每一步用 W5 表示, 时间值是 5MOD。走路、转身都需要挪动脚步, 所以属步行动作。

如果在抓取工作台上的工具时, 在伸手动作的同时, 一只脚需要向前跨一步, 这种动作虽属于为保持身体平衡而加的辅助动作, 仍应判定为 W5。

另外, 在搬运重物时, 由于负重, 步幅可能时大时小, 行走的步数与空载返回时不一样。此时, 搬运重物时的步行动作需要根据搬运的重量大小加以修正。

3) 身体弯曲动作 B17, 从站立的姿势开始, 上身前倾, 蹲下, 单膝跪地, 然而恢复站立状态的整个过程用 B17 表示, 其时间值是 17MOD。

4) 坐下、站起的动作 S30, 坐在椅子上再站起, 整个周期动作符号 S30 表示, 时间值为 30MOD。该动作时间值包含站起时两手将椅子往后推及坐下时把椅子向前拉的动作的时间值。

(3) 附加动作。

1) 搬运动作的重量修正 L1。用手搬运重物时, 需要对搬运动作的时间值加以修正; 搬运物体的重量及搬运状态不同, 修正值大小不等。从表 4-24 中可见, L1 表示重量因子, L1 的时间值是 1MOD。

搬运动作由抓取、运送、放置等连续动作构成, 只对终

结动作 (P0、P2、P5) 的时间值进行重量修正。

表 4-24 重量修正表

单手有效重量 (千克)	修正情况
<2	不修正
2~6	L1
6~10	L1×2
10~14	L1×3

注：进行重量修正时，单手每增加 4 千克，则加算 1 个 L1。劳动环境不允许用手搬非常重的物体。如搬运重物，则表明需要改善作业方法，应考虑用搬运工具。

2) 眼睛的动作 E2 (独立动作)。眼睛可以对人的动作起导向作用。用手取物体时，有时在一瞬间需要看一下对象物的位置，以控制手的移动速度和方向。这种眼睛的动作通常是在动作之前或动作中进行的瞬时动作，所以不计时间。只有眼睛独立动作才计时间，如观测仪表指针的读数、观察工件表面质量等。眼睛的动作包含移动视线和调整眼睛的聚焦这两种动作，都用 E2 表示，时间值为 2MOD。一般作业单独使用眼睛的情况不多，该动作多与其它动作同时进行。因此，计算时间值需要认真分析。

此外，在正常视野范围内，眼睛动作的时间值可以省略。

3) 矫正动作 R2 (独立动作)。将物体用手指送入手掌握住，或把握住的东西改为手指控制，像这类复杂的手指和手的连续动作称为矫正动作。如抓垫圈并握在手中，以及把在手中的几个螺钉一个一个送到手指等都属于矫正动作。

例如，某作业者用一只手抓二极管，然后送到眼前，仔

细看清二极管的极性,再改变二极管的方向。这些动作的符号为 M3G3→M3P0→E2D2→R2。

4) 判断动作 D3。指动作与动作之间出现的瞬时判断。例如,流水线生产中的检验,只有经过判断得出结论,才认为发生了判断动作,其时间值记为 D3。

若眼睛从看说明书移向看仪表的指针,判断产品是否合格,应分析为 3 个动作,记作 E2D3。

5) 加压动作 A4 (独立动作)。在操作动作中,需要推力或压力的动作用符号 A4 表示,时间值为 4MOD。当压力在 2 千克以上并且其它动作停止时,才应记作 A4。

例如,铆接作业的过程是,抓铆钉 M3G3→把铆钉移到需要连接的铁板 M3P2→加压 A4。

6) 旋转动作 C4。指以手腕或肘关节为圆心,按图形轨道迹回转的动作。旋转一周的动作用 C4 表示。旋转 $\frac{1}{2}$ 周以上的动作是旋转动作,旋转不到 $\frac{1}{2}$ 周的动作叫移动动作。

带有 2 千克以上负荷的旋转动作的时间值应按有效时间计算,这是因为负荷大小不同,时间值也不等。

C 动作分析的记录方法

(1) 补充符号。延时 BD,表示一只手进行动作时,另一只手不工作即为停止状态,此时不计入时间值。

保持 H,表示用手拿住物体处于不动状态。有时为防止零件倾倒,使用夹具固定也用 H 表示。

有效时间 VT,是指除了人的动作之外,机械或其它所固有的加工时间。有效时间通过实际测定来确定。

作业中希望 BD 和 H 出现越少越好,以便充分利用时间,提高工作效率。

(2) 分析记录表的填写方法。模特排时分析表见表 4-22。填写时, 应按顺序号进行 (“次数” 一栏中, 若动作为一次也可以不填), 时间单位的换算通常按 1MOD 等于 0.1 秒或 0.129 秒, 或根据具体情况确定。此外, 在记录表的下方要画出作业图, 以供改进动作时参考。

(3) 动作的改进趋向。不断改进作业动作, 是合理使用时间, 提高效率, 提高经济效益的有效途径。

基本动作的改进趋向可参考表 4-25 进行。从表格中的箭头指向可以看出, 改进的方向由左至右, 也就是基本动作越简单越好; 而动作类型的改进方向是自下而上, 即尽量减少辅助动作和判断动作。表中两条斜线之间的区域是最佳动作区。

表 4-25 动作改进趋向表

		——同类型动作改进方向									
不同 类型 动作 改进 方向	基本 动作	模抓					(G3)		G1	G0	
		放置			(P5)			P2		P0	
		加压				A4					
		移动			M5	M4	M3	M2	M1		
		回转				C4					
	辅助 动作	蹶膝					F3				
		行走			W5						
		弯腰		B17							
		坐站	S30								
		重物搬运			L1×5		L1×3	L1×2	L1		
	判断 动作	需要 注意力									
		放置						P2			
		校正						R2			
		眼睛						E2			
		抓					G3				
		检查					D3				
											的 动作 首先 改进

D 模特排时法应用举例

近年来，模特排时法在我国不少工厂得到了应用，特别是在电子管厂或无线电厂的应用取得了明显的经济效益。

如某厂有一生产线，该生产线基本上是手工作业，各工位的作业时间如图 4-15 所示。第 5 工位作业时间最长，为 90MOD，而第 11 工位作业时间只有 50MOD。有 7 个工位的工时是 70MOD，经分析，这些工位的工作量基本平衡。另外，第 1、8、12 工位是关键工位，它们的作业时间均在 70MOD 以上。若能将某些工位的作业时间降低到低于 70MOD，则产量可望提高 32%。

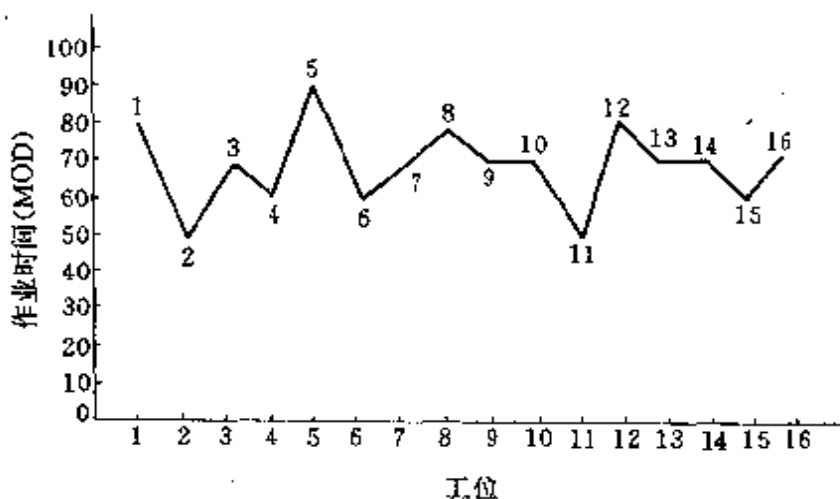


图 4-15 改进前工位作业时间分布图

在上述分析的基础上，首先决定将第 5 工位的作业时间缩短。据分析，该工位操作者是用单手操作，即左手持工件，右手操作。为将左手解脱出来，实现双手操作，设计了一种专用夹具。因此，作业时间由 90MOD 降到 68MOD。此外，对作业时间超过 70MOD 的第 1、8、12 工位进行分析，发现作业区布置不合理。从图 4-16a 可见，第 3、4、5 号操作者距离

模具存放区较远，操作时易感疲劳。因此，通过改变作业区布置（图 4-16b），使 3 个工位的作业时间分别降到 65MOD、

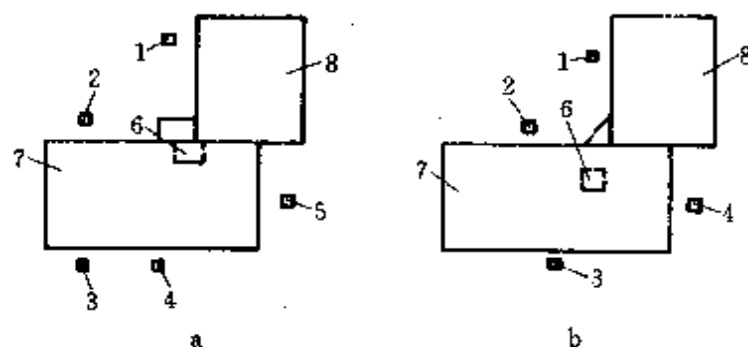


图 4-16 装配作业区布置图

a—改进前的作业区布置；b—改进后的作业区布置

1~5—第 1~5 号操作者；6—模具存放区；7—工作台；8—烧枪台

60MOD、70MOD。流水生产线改进后，各工位的工作量趋于平衡，生产量提高 32%。

上述模特排时法的数据运算可用手工进行，也可用计算机进行。用计算机进行运算，不仅可以提高运算准确性，也可以大大提高工作效率。

利用计算机辅助模特排时法制定标准时间，编制计算机软件时可参考图 4-17 至图 4-19 所示的框图。

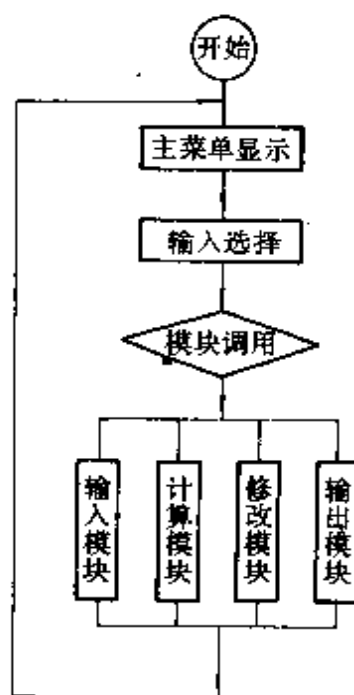


图 4-17 主控模块程序框图

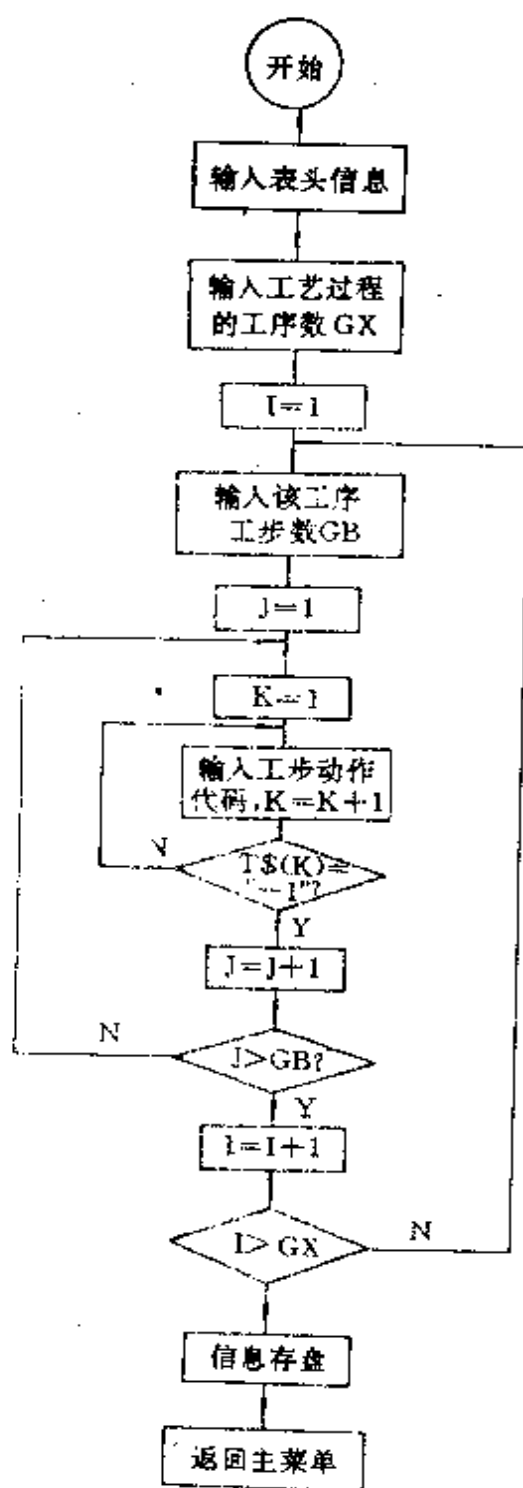


图 4-18 输入模块程序框图

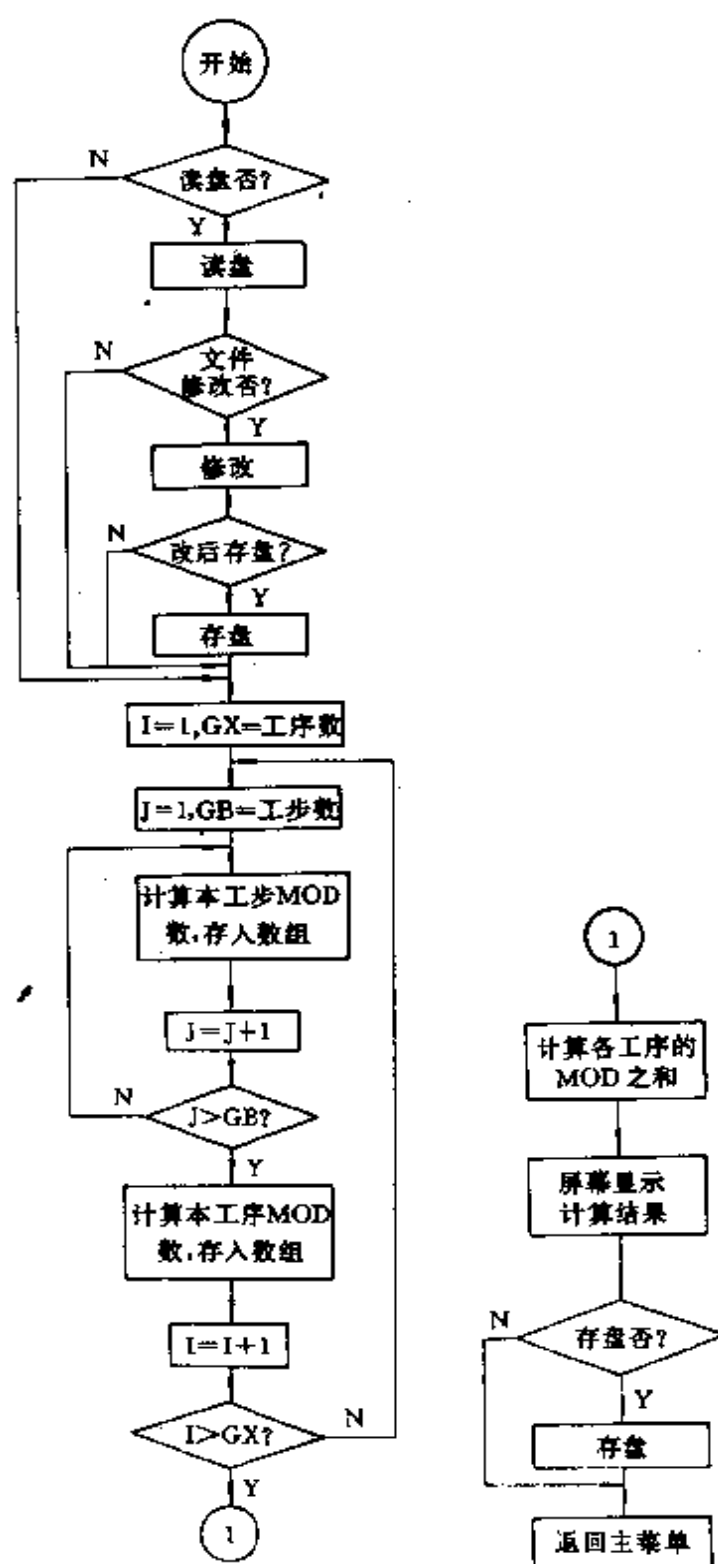


图 4-19 计算模块程序框图

4.5 标准时间

4.5.1 概述

A 标准时间的概念

标准时间的概念来自泰勒的“公平的一天工作量”。当时，工人对工资制度不满，消极怠工，严重影响生产。针对这一情况，泰勒提出以“最好的工作方法”、“平均的作业者”、“正常的速度”为前题的“公平的一天工作量”，作为工作量的客观评定标准，并基于这种想法，形成了标准时间的概念。

所谓标准时间，是指通过标准的努力，完成某项特定条件下的工作所必须的时间。定义中所说的“标准的努力”是由经济因素和社会环境所决定的，但是在研究标准时间时，可以设定初步基准。定义中所述的“特定条件”，是指能熟练从事此项工作的操作者在特定的工作环境中，按规定的作业条件使用规定的设备，在正常的宽裕状态及适当督促下持续工作而不感到疲劳，以规定的方法完成规定数量和质量的工作所需要的时间。

标准时间可作为考查作业者责任的手段，但是从作业中无效时间产生的原因看，大部分无效时间是由管理不善造成的。例如，由于原材料供应不足引起停工待料、因设备不足或维修不及时造成设备不能正常运转而引起的无效时间等。因此，在设定标准时间时，要考虑管理不善所带来的影响。

标准时间是衡量管理水平的基本尺度，应予以充分重视。标准时间不应该凭设定者的主观臆断或经营者的意图随意制定，而应该科学的、客观的加以确定。

B 标准时间的构成

标准时间由净时间（正常操作时间）和宽裕时间构成。所

谓净时间，是根据定额对观测时间进行修定后的时间值，即

$$\text{净时间} = \text{观测时间} \times \text{定额系数} / \text{正常速度}$$

式中正常速度通常规定为 100，所以也可将标准时间看作是由以下三部分构成的：观测时间、按定额修正部分以及宽裕时间（见图 4-20）。若完成某作业需要 8 分钟（观测时间），净时间是 10 分钟，则定额系数一定是 125；同一作业若以 12.5 分钟慢速完成，定额系数是 80，则净时间 仍为 10 分钟（见图 4-21），计算方法如下：

$$\text{净时间} = 12.5 \times 80 / 100 = 10 \text{ 分}$$

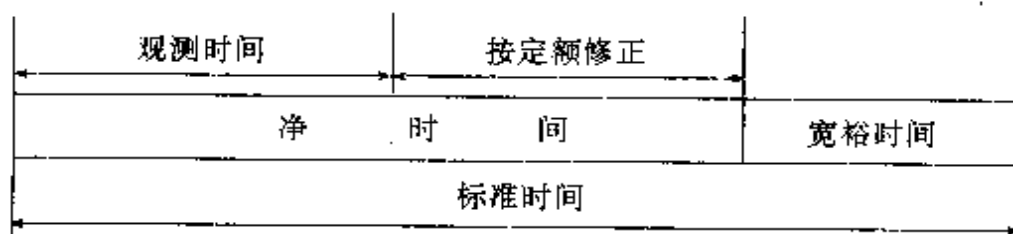


图 4-20 标准时间的构成

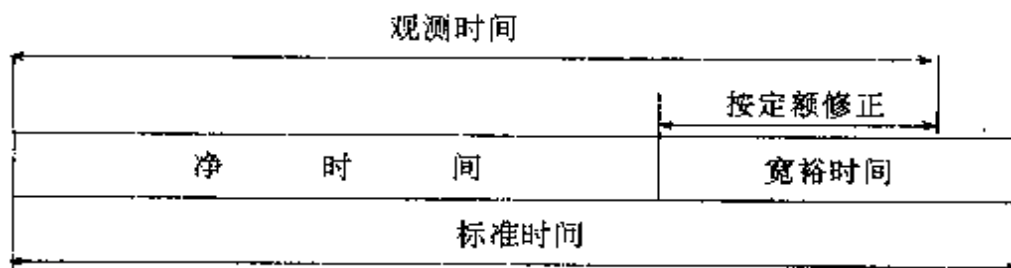


图 4-21 以比标准慢的速度进行工作

宽裕时间以时间值的形式给出，也可以比率的形式给出，两种形式的计算结果相同。当以比率形式给出时，标准时间的计算公式为

$$\text{标准时间} = \text{净时间} \times (1 + \text{宽裕率})$$

定额系数及宽裕时间的确定方法将在后面叙述。

C 制定标准时间的程序和方法

(1) 制定标准时间的程序。首先，使作业标准化。由于标准时间是在特定条件下确定的作业时间，因此，在制定作业标准时间前，首先对作业内容，包括动作、工序和有关设备及加工工艺等进行广泛的研究，对不合理的部分，能立即进行改善的要加以改善，以便实现作业的标准化。

制定标准时间前的准备工作是根据作业的周期时间、产量、生产方式、作业内容、达到的精度、预计的费用及所制定的速度等，选择制定标准时间的方法；方法确定后应选择观测对象，并向其说明测定的有关事项。测定准备阶段还应把对标准时间有影响的一些有关条件全部记录下来。

其次，确定净时间。一般情况下，对每一周期或几个周期有规律地出现的作业确定净时间，而对无规律地出现的作业则不确定净时间，只是作为宽裕时间对待。

最后，确定标准时间。净时间确定之后，只要将宽裕时间求出就可以确定标准时间。宽裕时间可直接测定，也可通过分析已掌握的资料来求出。

(2) 制定标准时间的方法。标准时间是根据作业的性质和使用目的，用最适当的方法设定的。作业性质主要包括作业的周期时间、作业的种类和重复性、作业标准化程度等。标准时间的使用目的主要包括：用途、要求的精度、制定标准时间的费用等。近年来，由于对多品种、少批量生产制定标准时间的要求增多，产品更新换代加快，标准时间的制定方法向高级化、简易化方向发展。常用的方法见表 4-26。

表 4-26 标准时间制定方法及特征

方 法	特 点	适合的作业	精 度	作为确定 宽 裕 率 的 方法	其 它
秒表法	使用秒表。 容易实施	全体周期作业，月 产量 100 以上。循 环期在 50DM 以 下时，PTS 法或微 细动作研究法有 时也适用	中等精度。几乎 被定额的精度 所左右	不经常用	普及率最 高
工作抽 样法	把工作 抽样法和组 合法组合起来，求 净时间。制 定效率高	非周期作业、小 组作业、周期长的 作业、间接作业	不太高。虽然 被定额精度所 左右，但与秒表 法相比，定额更 困难	不经常用	如果容 易制定定 额，这是 一种很实 用的方法
PTS 法（定 额时间 标准体 系）	不必定 额，但在分 析时需要 时间	在短周期作业 中重复多的作业， 50DM 以下的作 业	精度和稳定 性高。根据对象 作业也有精度 不高的时候	不使用	作业开 始前能估 计标准时 间
简单 PTS 法	容易学， 分析效率 高，不必定 额	所有周期作业。 但是，周期短、同 一作业要素重复 多次时不适用	虽然不太高， 但在作业要素 出现的种类多 时较好	不使用	现场自 行分析时 也适用
影像 法的微 细动作 研究法	记录在 录音磁带 或胶片上，根据 记录进行分 析	短周期作业，重 复多的作业	时间值的测 定精度极高。有 必要通过小组 定额来提高定 额精度	不使用	分析时 耗时间
数学方 法	如果能 收集好数 据，则是迅 速而经济 的方法。有 多重回归、 LP、实验 逐渐逼近 法等，各有 所长	作业条件变化 多的作业，事务工 作，作业场地不固 定的作业	由于一般使 用没定额的数 据，所以精度不 很高	往往包括 宽 裕 率	由于计 算机的发 展，容易 得到数 据，今后 普及程 度会提 高。无 论用哪 种方法， 结合群 众经验 很重要

4.5.2 定额

所谓定额，是指把经过训练的观测者在头脑中形成的标准作业速度与被测对象的实际作业速度进行比较与评价，把观测的时间值修正成速度的时间值。

此处所指的作业速度是与作业完成度有关的作业速度，不是只考虑身体动作的物理速度。因为即使每一动作要素的速度快，而动作的路径长，从一个动作向另一个动作转换不灵活，或动作失误多等等，也会使作业完成度小。在研究作业完成度时，必须考虑作业的难易程度、作业者注意力集中程度、使用的身体部位、担负的重量等因素对作业速度的影响。

定额是制定标准时间不可缺少的步骤。假如以高度熟练的操作者为对象进行观测，所得到的作业速度值相当高，据此制定的标准时间对大多数操作者不适用，因为用这样的时间完成作业是困难的；相反，以不熟练的操作者的作业速度为基准，将会大大降低工效。因此，应将作业时间修正成既适宜全体操作者，又不降低工效的正常生产率的时间值。

A 定额系数与正常速度

所谓定额系数，是指表示定额的指数。对用同一种方法进行同一作业要素来说，定额系数与观测时间成反比关系，如：

同一作业观测值 \times 定额系数/正常速度=净时间

$$2.4 \text{ 分} \times 100/100 = 2.4 \text{ 分}$$

$$2.0 \text{ 分} \times 120/100 = 2.4 \text{ 分}$$

$$3.0 \text{ 分} \times 80/100 = 2.4 \text{ 分}$$

总之，对同一作业要素来说，不管完成时间长短，理想

的定额系数应使得到的净时间值相同。

所谓正常速度，是指由熟练程度、对作业的适应性、工作情绪及其它各方面的处于平均水平的操作者，在正常的作业条件下，用标准的作业方法，通过一般的努力进行作业的速度。

同一种作业，如果作业条件 and 环境不同，则标准时间也不一样，但正常速度应是相同的。在短期内是不变化的。

为了进行定额，在定额前，观测者应充分体验正常速度的概念。正常速度的世界性基准是：

(1) 成年人不拿重物，在平坦的道路上每小时走 4.8 千米的速度（步长 63 厘米）。

(2) 把 52 张扑克牌分发给图 4-22 所示的图形中的①、②、③、④四个位置，并且以 0.5 分的速度将牌分配完时手的动作速度。

(3) 将 30 根木制插头随便堆放在容器中，用两只手同时取两根插入图 4-23 所示的方盘上的孔中，全部插完的正常速度是 0.41 分。

以上三个例子相当于作业速度的“米原尺”（原始标准之意）。

对每个人来讲，通常有各自的动作速度，而在工业生产中的动作速度有图 4-24 所示的规律。因此，定额时取 100（%）为正常速度，奖励速度通常取 125（%）~130（%）。

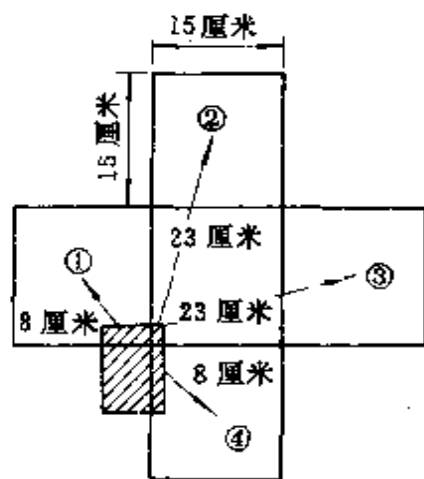


图 4-22 扑克牌分配图

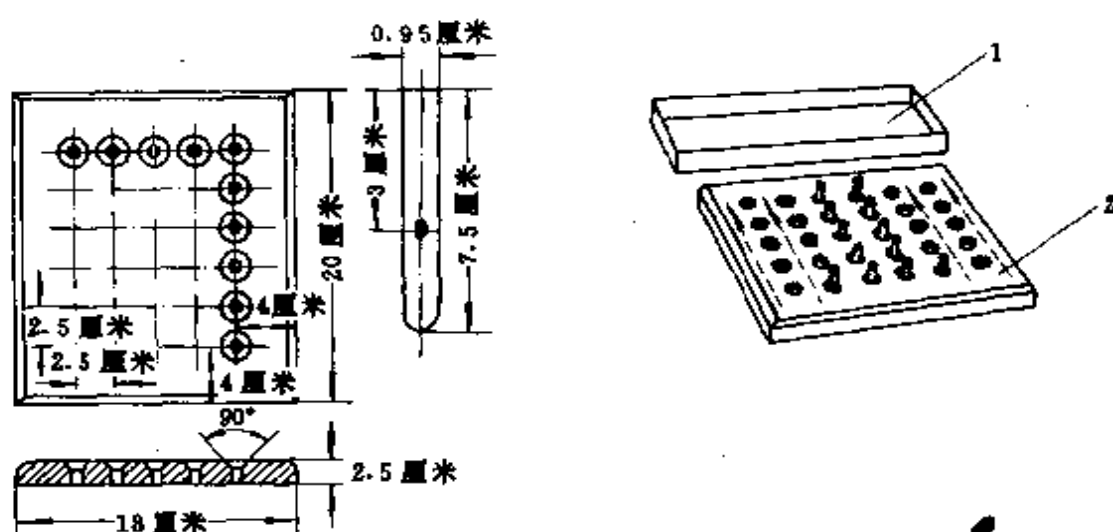


图 4-23 插入木插头法

1—容器；2—方盘

B 定额的方法

定额的方法有若干种，如平准化法、努力评定法、客观评比法、综合水平

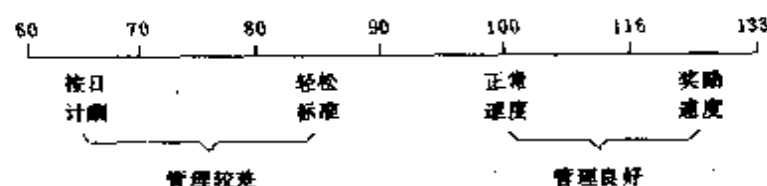


图 4-24 工业生产中的动作速度规律

法等。评定定额方法好坏的标准是“结论的准确性”，即不论评定几次或由谁来评定，要保证结论的一致性。一种好的定额方法通常要求要简单，而且必须提出判断标准。

(1) 平准化法。影响作业速度的因素有熟练程度、努力程度、作业条件和一贯性（作业变动的的时间）等四项，每项评比因素又划分成六级，每级对应一定的平准化系数。确定某项作业的平准化系数时，首先选定熟练、努力、作业条件

和一贯性的级别，然后按表 4-27 查出各项平准化系数，最后将各因素的系数相加（代数和），即可求出平准化系数。

表 4-27 平准化系数

因素 等 级	熟 练		努 力		作业条件		一 贯 性	
	高明度、正确性		工作热情		光、热、换气		时间的变动	
特优	A1	+0.15	A1	+0.13	A	+0.06	A	+0.04
	A2	+0.13	A2	+0.12				
优	B1	+0.11	B1	+0.10	B	+0.04	B	+0.03
	B2	+0.08	B2	+0.08				
良	C1	+0.05	C1	+0.05	C	+0.02	C	+0.01
	C2	+0.03	C2	+0.02				
平均	D	0.00	D	0.00	D	0.00	D	0.00
可	E1	-0.05	E1	-0.04	E	-0.03	E	-0.02
	E2	-0.10	E2	-0.03				
劣	F1	-0.16	F1	-0.12	F	-0.07	F	-0.04
	F2	-0.22	F2	-0.17				

例如某项作业，经过判断情况如下：

因素	程度	系数
熟练	C2	+0.03
努力	C1	+0.05
工作环境	E	-0.03
一致性	E	-0.02

合计 +0.03

平准化系数 = 1.03 = 103% (正常速度 = 1.00)，设用秒表观测时间是 0.2 分，则净时间为

$$0.2 \text{ 分} \times 103\% = 0.206 \text{ 分}$$

(2) 综合水平法。这种方法排除了主观判断的因素。作业

的种类不管有多少变化,它们一定有共同的反复发生的动作要素,将这些要素选出后加以细致的分析研究,按一定的比例给出基准时间值(通常用 WF、MTM 等 PTS 法),然后进行实际观测,并算出各动作要素的实测时间值与给定的基准时间值的比率,再计算平均比率。各要素实测时间值之和乘以平均比率,就是作业的净时间。例如:

作业要素	用 MTM 法确定的标准时间	实际观测值	比率
A	0.3 分(500TUM)	0.25 分	$0.3/0.25=1.20$
B	0.15 分(250TUM)	0.12 分	$0.15/0.12=1.25$
C		0.15 分	
D		0.20 分	
<hr/>			
合计		0.72 分	1.23(平均)
净时间 = $0.72 \text{ 分} \times 1.23 = 0.89 \text{ 分}$ 。			

4.5.3 宽裕时间

A 宽裕时间的概念

所谓宽裕时间,是在完成作业时,因各种原因造成的延迟现象所需补偿的时间。具体地说,有时偶然发生的作业的时间不适宜并入净时间的作业时间,或操作者按照人体一般的生理需要所必须的时间,若仅靠正常时间休息不能解除疲劳,则靠减少工作量所多花的时间要加在净时间中。

总之,宽裕时间是在作业过程中必然发生的某些动作而需附加的时间。例如,用机床加工零件时需要清除切屑、调整机床、向机床注油等,这些动作是不可避免的,但与净作业无关,所以按宽裕时间来处理。

各要素所花的时间及要素种类随工厂或车间的特定条件而变化,千差万别,所以拘泥于设定标准的宽裕率、标准宽裕项目是不切实际的。例如“每日清扫机床、注油”这样的要素所

需的时间,要根据工厂的大小、机床种类等具体条件来确定。在专用生产线上进行成批大量生产的场合,由于有保全工负责,所以机床操作者基本不做这些辅助工作,因此这方面的宽裕时间可以忽略。但在某些车间,直接操作者兼管种种维修或服务性工作,所以需要某种程度的宽裕时间。宽裕时间可以通过查表来确定,表格通常根据连续分析和抽样工作法制成。

B 宽裕时间的求法

(1)宽裕时间的组成。宽裕时间由作业宽裕时间、车间宽裕时间、人的宽裕时间和疲劳宽裕时间与其它宽裕时间等组成。

作业宽裕时间和车间宽裕时间。在设定作业宽裕和车间宽裕时间时应考虑到在作业过程中往往有无效要素需加以改善,因此在设定这两项宽裕时间之前,要首先改善无效作业,并在此基础上进行作业方法和动作的标准化,然后把在现有条件下不可能解决的不能避免的延迟作为宽裕时间来确定。

人的宽裕时间,也叫生理需要宽裕时间,就是与作业本身无关的、是人们心理和生理要求的宽裕时间,如上厕所、喝水、擦汗等需要的时间。它不是作为净时间的百分之几加在净时间中,而只能以 1 天工作时间的百分比加在宽裕时间中。

疲劳宽裕时间。作业时由于疲劳会使作业速度降低,所以需要给予疲劳宽裕时间。可以把作业者能量的消耗量用基础代谢量的倍率来表示,但是在定额时,如采用难度系数,考虑了疲劳因素,就不需再给出疲劳宽裕时间。

其它宽裕时间,指作业者初学或在熟练过程中的宽裕时间、机械的影响和作业不均衡的宽裕时间、季节等环境变化的宽裕时间等。

(2)宽裕率的计算方法。判断要素是属于净作业要素还是属于宽裕要素的主要原则是,看该要素是否有规律的发生。如果是有规律的发生,则属于净作业要素。例如在4个周期中有规律地出现一次不规则的要素,应将该要素时间值的1/4分摊在每一周期中作为净时间的一部分。而对那些不规则的非周期要素的时间值,则不能纳入净时间中。但这些要素的存在使作业不可避免的中断,因此应作为宽裕要素,其时间值按宽裕时间处理。例如不定期地清理切屑、向机床注油、更换刀具及调整机床等等,都是宽裕要素,要给出宽裕时间。

求标准时间时,宽裕时间一般不给出具体时间值,而是以比率的形式表示。下面介绍两种求宽裕率的方法。

1)净时间的百分比:

$$\text{宽裕率} = \frac{\text{宽裕时间}}{\text{净时间}} \times 100\%$$

计算标准时间的外乘法:

$$\begin{aligned}\text{标准时间} &= \text{净时间} + \text{宽裕时间} \\ &= \text{净时间} \times (1 + \text{宽裕率})\end{aligned}$$

2)在一天的工作时间内,宽裕时间占全部标准时间的百分比:

$$\text{宽裕率} = \frac{\text{宽裕时间}}{\text{净时间} + \text{宽裕时间}} \times 100\%$$

标准时间用内乘法计算:

$$\text{标准时间} = \text{净时间} \times \frac{1}{1 - \text{宽裕率}}$$

(3)宽裕率的参考值。一般工厂的宽裕率如表4-28所示。

表 4-28 一般工厂的宽裕率

宽裕种类及宽裕率		说 明
不可避免的宽裕	作业宽裕 3%~5% (普通 3%)	在作业中更换不良工具、加油、清扫等没有规律,而且是不可避免的延迟的宽裕。但准备作业例外
	疲劳宽裕 特重作业 30%以上 重作业 20%~30% 中作业 10%~20% 轻作业 5%~10% 特轻作业 0~5%	因疲劳而使作业时间延迟,及为消除疲劳所需休息的宽裕
	生理宽裕 2%~5% (一般取 3%)	上厕所、擦汗、饮水等生理需要的宽裕
可避免的宽裕	管理宽裕 3%~5% (一般取 3%)	等待材料及搬运的宽裕。若设备维护较好,管理得到改善,则此项宽裕可避免

表中关于疲劳宽裕有特重作业、重作业、轻作业宽裕之分。特重作业是指作业速度快、精神和肉体疲劳严重、作业环境恶劣等条件下的作业。重作业是指大件作业,处理重物、环境不好(如汽焊等)时的作业。轻作业是指处理小物件或小件机加工等作业。中作业的疲劳程度介于重作业和轻作业之间。特轻作业是手提轻物等易于消除疲劳的作业。

管理良好的单位一般将总的宽裕时间推荐为实际工作时间的 15%、净时间的 17.6% (约 18%)。也就是说,若实际工作 8 小时,则宽裕时间是 72 分。

下面举例说明宽裕率及标准时间的求法。

例如,使用机床加工某一零件,其作业时间为:主体作业(加工工件的突起部)所用的时间是 4.20 分/个,附加作

业所用的时间:

项目	发生次数	时间	单个时间
更换刀具	1 次/100 个	2.50 分	0.025 分/个
测量尺寸	25 次/100 个	0.50 分	0.020 分/个
更换容器	100 次/100 个	1.50 分	0.015 分/个
合 计			0.06 分/个

每个零件的作业时间 = $4.20 + 0.06 = 4.26$ 分/个

宽裕时间包括作业宽裕时间、车间宽裕时间、人的宽裕时间及疲劳宽裕时间。

作业宽裕时间:

借还工具时间	10.0 分/日
清扫机床与加油	5.0 分/日
浇注切削液	5.0 分/日
合 计	20.0 分/日

车间宽裕时间:

班组长布置任务	5.0 分/日
因调整机床、停电造成的中断	9.0 分/日
合计	10.0 分/日

人的宽裕及疲劳宽裕时间: 3.8 分/日。

宽裕时间合计 72.0 分/日。

宽裕率的计算方法:

1 日作业时间	480.0 分/日 (8 小时)
—宽裕时间	72.0 分/日
纯作业时间	408.0 分/日

用外乘法求宽裕率: $\text{宽裕率} = 72.0 / 408.0 \times 100\%$
 $= 17.6\%$

用内乘法求宽裕率: 宽裕率 = $72.0/480.0 \times 100\%$
 $= 15.0\%$

标准时间 = $4.26 \times (1 + 17.6\%) = 5$ 分/个

或 标准时间 = $4.26 \times \frac{1}{1 - 15.0\%} = 5$ 分/个

用两种方法计算的标准时间是一样的。

4.6 通过资料确定时间

4.6.1 学习曲线

A 学习曲线的意义

在制造业中,若重复生产同一种产品,随着重复次数的增多,单件产品的加工工时往往呈下降趋势,而且这种趋势有一定的规律性。例如制造某一产品,第1件工时是100分,第2件工时只需80分,第4件工时更少,只需64分。这种加工时间的递减现象是由于学习(熟练)所致。

第1件与第2件
 累计平均工时为

$$\frac{100 + 80}{2} = 90 \text{ 分,}$$

第1件至第4件累计
 平均工时为

$$\frac{1 \sim 4 \text{ 件工时之和}}{4}$$

= 81 分。

若将单件产品的
 工时与累计产量之
 间的关系用图表示,则如

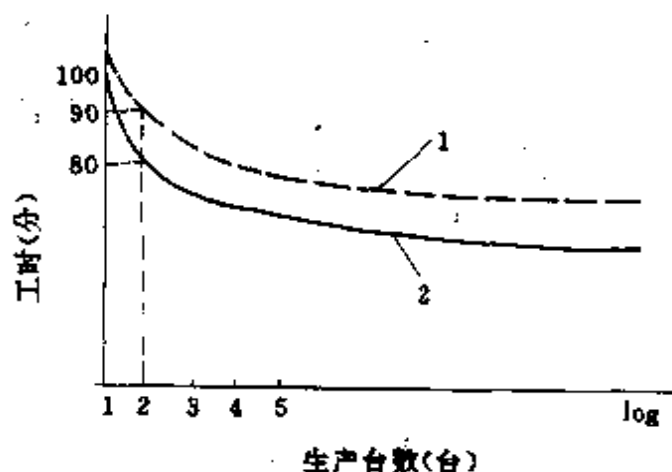


图 4-25 某产品加工时间的递减倾向
 1—累计平均工时; 2—单件实际工时

图 4-25 所示,横坐标表示累计产量,纵坐标表示单件产品的工时,在坐标图上所描绘的是一条工时递减曲线。这种用来表

示单件产品工时和累计产量之间函数关系的曲线叫做学习曲线。图 4-25 中虚线表示累计平均工时与累计产量之间的关系。因为第 1、2 件的累计平均工时为第 1 件工时的 90%，所以说有 90% 的学习率。将学习曲线描绘在双对数坐标纸上，则成为直线，见图 4-26。该直线的斜率叫做学习系数。学习率为 90% 时，学习系数为 0.152。学习率一定，则学习系数是一个定值。

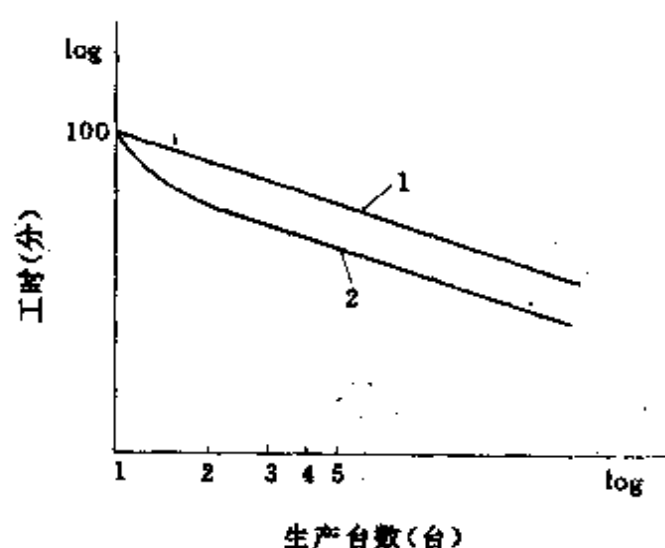


图 4-26 加工时间递减图

1—累计平均工时；2—单件实际工时

B 学习曲线的对数分析

如果把累计平均工时和累计产量的关系用函数关系式来表示，则为

$$A_c = \frac{t_1}{x^n} \quad \text{或} \quad A_c x^n = t_1 \quad (4-7)$$

式中 A_c ——累计平均工时；

t_1 ——第 1 件工时；

x ——生产件数；

n ——学习系数。

对式(4-7)两边取对数：

$$\log A_c = -n \log x + \log t_1 \quad (4-8)$$

式(4-8)在双对数坐标图上为直线，如图 4-27 所示，直线 1 叫累计平均学习曲线，直线 2 为单件学习曲线，其公式为

$$T_x \approx t_1(1-n)/x^n \quad (4-9)$$

图中直线 3 叫总计学习曲线,其表达式为

$$T_c = t_1 x^{1-n} \quad (4-10)$$

从该学习曲线上可以找出加工到任意件产品的总工时。

C 学习率与学习系数的关系

(1) 学习率的范围。学习率的上限是 100%，它表示没有学习现象发生。如在高度自动化的设备上加工零件,不需要手工作业配合,加工第 1 件产品到最后 1 件产品的工时相同。学习率的下限是 50%。假设加工某种

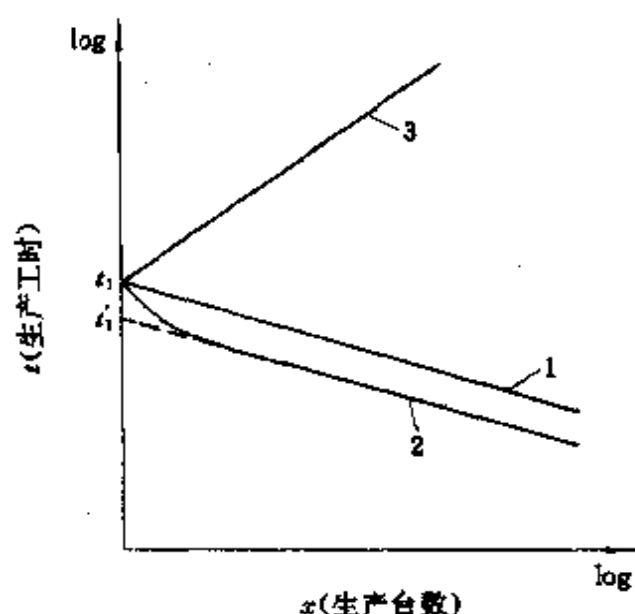


图 4-27 学习曲线

1—累计平均学习曲线;2—单件学习曲线;

3—总计学习曲线

产品,加工到第 5 件时累计平均工时为 1000 小时;加工到第 10 件时,累计平均工时减到 500 小时(学习率为 50%)。第 1 到第 5 件总工时为 $1000 \times 5 = 5000$ 小时,第 1 到第 10 件总工时为 $500 \times 10 = 5000$ 小时,可见加工 5 件的总工时和加工 10 件的总工时相等,这就意味着加工第 6 到第 10 件产品的总工时为零,这显然是不合理的。因此,学习率应在 50%至 100%之间。

通常手工作业所占的比例愈大,则工时递减速度愈快,学习率愈小。

(2)学习率与学习系数的关系。学习率和学习系数只是表现形式不同,二者具有一一对应关系,并可用下式表示:

$$m = \frac{1}{2^n} \quad (4-11)$$

式中 m ——学习率。

n ——学习系数。

具体数值如表 4-29 所示。

表 4-29 学习率与学习系数的关系

学习率 (%)	学习 系数	学习率 (%)	学习 系数	学习率 (%)	学习 系数	学习率 (%)	学习 系数	学习率 (%)	学习 系数
51	0.971	61	0.713	71	0.494	81	0.304	91	0.136
52	0.943	62	0.690	72	0.474	82	0.287	92	0.121
53	0.916	63	0.667	73	0.454	83	0.269	93	0.105
54	0.889	64	0.644	74	0.435	84	0.252	94	0.090
55	0.862	65	0.622	75	0.415	85	0.235	95	0.074
56	0.837	66	0.600	76	0.396	86	0.218	96	0.059
57	0.811	67	0.578	77	0.377	87	0.201	97	0.044
58	0.786	68	0.557	78	0.359	88	0.185	98	0.030
59	0.761	69	0.536	79	0.340	89	0.169	99	0.015
60	0.737	70	0.515	80	0.322	90	0.152		

D 学习曲线的应用

学习曲线在工业工程中应用较为广泛,可用于制定标准时间,考察系统的稳定性,预测产品的台份工时及作为新产品报价的依据,也可作为考核工人操作技术熟练程度的依据。

现以制定多品种、小批量生产的标准时间为例,说明学习曲线的应用方法。

表 4-30 是利用 WF 法分析得到的某作业的有关数据。该

零件的定货量是 150 件,现要求计算孔加工作业的标准时间。
已知该作业学习率为 84%,加工第 1 个零件的工时 $t_1=205.8$ 秒。

表 4-30 孔加工作业的 WF 分析

左 手					右 手				
No	动作要素	符号	WFU	累计	累计	WFU	符号	动作要素	No
1		A5D	43	43	43	43	A5D		1
2		1/2F1W	12	55	55	12	1/2F1W		2
3		A10SD	78	129	129	78	A10SD		3
4		1/2F1	8	137	137	8	1/2F1		4
5		A1D	26	163	163	26	A1D		5
6		GtGr		163	163		GtGr		6
7		A4	26	189	189	26	A4		7
8		GtR1		189	189		GtR1		8
9		A1	18	207	232	43	A5D		9
10					240	8	1/2F1		10
11					282	42	A10		11
12					290	8	1/2F1		12
13					333	43	A5D		13
40		W	308	7575	7575	8	1/2F1		40
41		A7D	51	7626	7626	51	A70		41
42		1/2F1	8	7634	7634	8	1/2F1		42
43		A10D	61	7695	7695	61	A10D		43
44		1/2F1	8	7703	7703	8	1/2F1		44
45		W	400	8103	8103	400	M. T		45

注:1WFU= $\frac{1}{10000}$ 分。

表中给定的数据 8103WFU 是完成第 w 个零件的工时,首先应求出 w 的值。已知完成第 w 个零件的工时 $t_w=8103WFU=48.618$ 秒,根据学习率 84%从表 4-28 中查得学习系数 $n=0.252$ 。

$$w = A \cdot t_1 \log \left\{ \frac{\log t_1 - \log t_w}{n} \right\}$$

$$= A_n t_i \log \left\{ \frac{\log 205.8 - \log 48.6}{0.252} \right\}$$

$$\approx 300$$

实施周期为 $150/300=0.5$

然后从周期系数表(见表 4-31)中,根据学习率和实施周期查出周期系数,即 ${}_{84}C_{0.5}=1.1905$,所以 150 台的标准时间是

$$48.6 \times 1.1905 \approx 57.8 \text{ 秒}$$

表 4-31 周期系数表

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
51	9.3633	4.7753	3.2206	2.4354	1.9608	1.6425	1.4141	1.2421	1.1078
52	8.7784	4.5648	3.1138	2.3737	1.9231	1.6192	1.4000	1.2343	1.1045
53	8.2402	4.3673	3.0125	2.3147	1.8868	1.5966	1.3864	1.2268	1.1013
54	7.7441	4.1818	2.9162	2.2582	1.8519	1.5748	1.3731	1.2194	1.0982
55	7.2861	4.0074	2.8248	2.2041	1.8182	1.5536	1.3602	1.2122	1.0951
56	6.8628	3.8432	2.7377	2.1522	1.7857	1.5331	1.3476	1.2052	1.0921
57	6.4709	3.6884	2.6548	2.1024	1.7544	1.5133	1.3354	1.1982	1.0892
58	6.1077	3.5424	2.5758	2.0546	1.7241	1.4940	1.3235	1.1917	1.0863
59	5.7705	3.4046	2.5005	2.0087	1.6949	1.4753	1.3119	1.1851	1.0835
60	5.4571	3.2743	2.4285	1.9646	1.6667	1.4571	1.3006	1.1787	1.0807
61	5.1656	3.1510	2.3598	1.9221	1.6393	1.4395	1.2896	1.1725	1.0780
62	4.8940	3.0343	2.2941	1.8812	1.6129	1.4223	1.2789	1.1664	1.0754
63	4.6406	2.9236	2.2312	1.8419	1.5873	1.4057	1.2684	1.1604	1.0728
64	4.4041	2.8186	2.2710	1.8039	1.5625	1.3894	1.2582	1.1545	1.0702
65	4.1830	2.7190	2.1133	1.7673	1.5385	1.3737	1.2482	1.1488	1.0677
66	3.9761	2.6243	2.0580	1.7320	1.5152	1.3583	1.2384	1.1431	1.0652
67	3.7824	2.5342	2.0049	1.6979	1.4925	1.3433	1.2288	1.1376	1.0628
68	3.6008	2.4485	1.9540	1.6650	1.4706	1.3287	1.2195	1.1322	1.0604
69	3.4303	2.3669	1.9051	1.6332	1.4493	1.3145	1.2104	1.1269	1.0580
70	3.2702	2.2891	1.8581	1.6024	1.4286	1.3006	1.2015	1.1217	1.0557
71	3.1197	2.2150	1.8128	1.5726	1.4085	1.2871	1.1927	1.1166	1.0534
72	2.9780	2.1442	1.7693	1.5438	1.3889	1.2739	1.1842	1.1115	1.0512
73	2.8447	2.0766	1.7274	1.5159	1.3699	1.2610	1.1758	1.1066	1.0490
74	2.7190	2.0120	1.6871	1.4889	1.3514	1.2485	1.1676	1.1018	1.0468
75	2.6004	1.9503	1.6482	1.4627	1.3333	1.2362	1.1596	1.0970	1.0447
76	2.4884	1.8912	1.6107	1.4373	1.3158	1.2242	1.1517	1.0924	1.0426
77	2.3827	1.8347	1.5746	1.4127	1.2987	1.2124	1.1440	1.0878	1.0405
78	2.2827	1.7805	1.5397	1.3888	1.2821	1.2009	1.1364	1.0833	1.0385
79	2.1881	1.7286	1.5060	1.3656	1.2658	1.1897	1.1290	1.0788	1.0365
80	2.0985	1.6789	1.4734	1.3431	1.2500	1.1787	1.1217	1.0745	1.0345

续表 4-31

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
81	2.0138	1.6311	1.4420	1.3212	1.2346	1.1680	1.1145	1.0702	1.0325
82	1.9333	1.5853	1.4116	1.3000	1.2195	1.1575	1.1075	1.0660	1.0306
83	1.8570	1.5413	1.3822	1.2793	1.2048	1.1472	1.1006	1.0618	1.0287
84	1.7846	1.4991	1.3537	1.2592	1.1905	1.1371	1.0939	1.0577	1.0269
85	1.7158	1.4584	1.3262	1.2397	1.1765	1.1272	1.0872	1.0537	1.0250
86	1.6504	1.4194	1.2995	1.2206	1.1628	1.1176	1.0807	1.0498	1.0232
87	1.5882	1.3818	1.2737	1.2021	1.1494	1.1081	1.0743	1.0459	1.0214
88	1.5291	1.3456	1.2486	1.1841	1.1364	1.0988	1.0680	1.0420	1.0196
89	1.4727	1.3107	1.2244	1.1665	1.1236	1.0897	1.0618	1.0382	1.0179
90	1.4191	1.2772	1.2008	1.1494	1.1111	1.0807	1.0557	1.0345	1.0161
91	1.3679	1.2448	1.1780	1.1328	1.0989	1.0720	1.0497	1.0308	1.0144
92	1.3192	1.2136	1.1558	1.1165	1.0870	1.0634	1.0438	1.0272	1.0128
93	1.2726	1.1835	1.1343	1.1007	1.0753	1.0549	1.0380	1.0236	1.0111
94	1.2282	1.1545	1.1135	1.0852	1.0638	1.0467	1.0324	1.0201	1.0094
95	1.1856	1.1265	1.0932	1.0702	1.0526	1.0385	1.0267	1.0166	1.0078
96	1.1452	1.0994	1.0735	1.0554	1.0417	1.0305	1.0212	1.0132	1.0062
97	1.1065	1.0733	1.0543	1.0411	1.0309	1.0227	1.0158	1.0099	1.0046
98	1.0694	1.0480	1.0357	1.0271	1.0204	1.0150	1.0104	1.0065	1.0031
99	1.0340	1.0236	1.0175	1.0134	1.0101	1.0074	1.0052	1.0032	1.0015

4.6.2 实际资料统计法

在多品种、小批量生产中,重复作业很少,每更换一次产品,作业内容就要发生变化。因此,在确定标准时间时,直接用秒表或 PTS 法进行作业测定比较困难,所以采用实际资料统计法较为方便。它不需要直接观测作业,而是通过从相关部门收集到的作业日报表或月报表一类的资料,掌握总作业时间和生产量,然后运用数理统计方法计算标准时间。

用来统计资料的数学方法有最小二乘法、线性规划法、实验回归分析法等。

A 实际资料法的数据与模型

实际资料中的数据可归纳成表 4-32 的形式。其数学模型为:

表 4-32 数据表

时间(或作业组)	所需总时间	各项生产数量(或各业务处理件数)					
1	Y_1	x_{11}	x_{21}	...	x_{j1}	...	x_{K1}
2	Y_2	x_{12}	x_{22}	...	x_{j2}	...	x_{K2}
3	Y_3	x_{13}	x_{23}	...	x_{j3}	...	x_{K3}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots		\vdots
i	Y_i	x_{1i}	x_{2i}	...	x_{ji}	...	x_{Ki}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots		\vdots
N	Y_N	x_{1N}	x_{2N}	...	x_{jN}	...	x_{KN}

$$Y_i = a_0 + a_1 x_{1i} + a_2 x_{2i} + \cdots + a_K x_{Ki} + \epsilon_i \quad (4-12)$$

B 统计实际资料的数学方法

(1) 用最小二乘法计算标准时间。当误差呈独立的正态分布时, 用最小二乘法计算是最佳方案。

假设为式(4-12), 则

$$L = \sum_{i=1}^N \epsilon_i^2$$

$$= \sum_{i=1}^N (Y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - \cdots - a_K x_{Ki})^2 \quad (4-13)$$

$$\frac{\partial L}{\partial a_0} = \sum_{i=1}^N Y_i - Na_0 - a_1 \sum_{i=1}^N x_{1i} - a_2 \sum_{i=1}^N x_{2i} - \cdots - a_K \sum_{i=1}^N x_{Ki} =$$

0

$$\frac{\partial L}{\partial a_1} = \sum_{i=1}^N Y_i x_{1i} - a_0 \sum_{i=1}^N x_{1i} - a_1 \sum_{i=1}^N x_{1i}^2 - a_2 \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{2i} - \cdots -$$

$$a_K \sum_{i=1}^N x_{1i} \times x_{Ki} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial a_2} = \sum_{i=1}^N Y_i x_{2i} - a_0 \sum_{i=1}^N x_{2i} - a_1 \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{2i} - a_2 \sum_{i=1}^N x_{2i}^2 - \cdots -$$

$$a_K \sum_{i=1}^N x_{2i} x_{Ki} = 0$$

.....

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial a_K} \sum_{i=1}^N = & Y_i x_{Ki} - a_0 \sum_{i=1}^N x_{Ki} - a_1 \sum_{i=1}^N x_{1i} x_{Ki} - a_2 \sum_{i=1}^N x_{2i} x_{Ki} - \cdots \\ & - a_K \sum_{i=1}^N x_{Ki}^2 = 0 \end{aligned} \quad (4-14)$$

用最小二乘法求标准时间时应注意以下两条假设是否成立：一是误差 ϵ_i 是否独立的呈正态分布 $(0, \sigma^2)$ ，二是说明变量 x 是否独立。由于实际观测的作业时间误差中包含作业宽裕时间、车间宽裕时间，其误差往往不是独立的，也不呈正态分布。此外，说明变量之间也很可能保持相关关系。所以，要充分研究作业性质或类型是否满足假设条件，不能简单的套用公式。

计算中若出现系数 a_0 为负值，说明推算精度过低，应另选其它方法。

(2) 用线性规划法计算标准时间。用线性规划法计算标准时间的公式为

$$\begin{aligned} a_0 + a_1 x_{1i} + a_2 x_{2i} + \cdots + a_K x_{Ki} + s_i - s'_i \\ s_i \geq 0 \quad s'_i \geq 0 \quad (i=1, 2, \cdots, N) \end{aligned} \quad (4-15)$$

$$\text{则 } p = \sum_{i=1}^N (s_i - s'_i) \quad (p \text{ 值最好取小值})$$

因线性规划中，对偏差和最小法附加误差为非负的条件，即只考虑正值部分，所以可设想误差呈指数分布。指数分布与宽裕（作业宽裕、车间宽裕）时间的实际分布相近。

因公式(4-15)中的残差项 ϵ_i 不取负值，则可变为：

$$a_0 + a_1 x_{1i} + a_2 x_{2i} + \cdots + a_K x_{Ki} + s_i = Y_i \quad (4-16)$$

$$s_i \geq 0, \text{ 则 } p = \sum_{i=1}^N s_i$$

又因残差项 ϵ_i 中包含了宽裕时间, 所以公式(4-16)中的 a_0 可删除。

(3) 用实验回归分析法计算标准时间。实验回归分析法在反复模拟的同时, 用逐次逼近法求未知数。由于应用了实验计划法, 计算时间可大大缩短。

采用这种方法应注意在设定标准时间范围时, 尽量使其与所感觉到的实际作业速度一致。为了缩小标准时间的幅度, 应将显著性检验和修改各作业项目时间范围交替进行, 逐项逼近到精确的标准时间值。同时还应

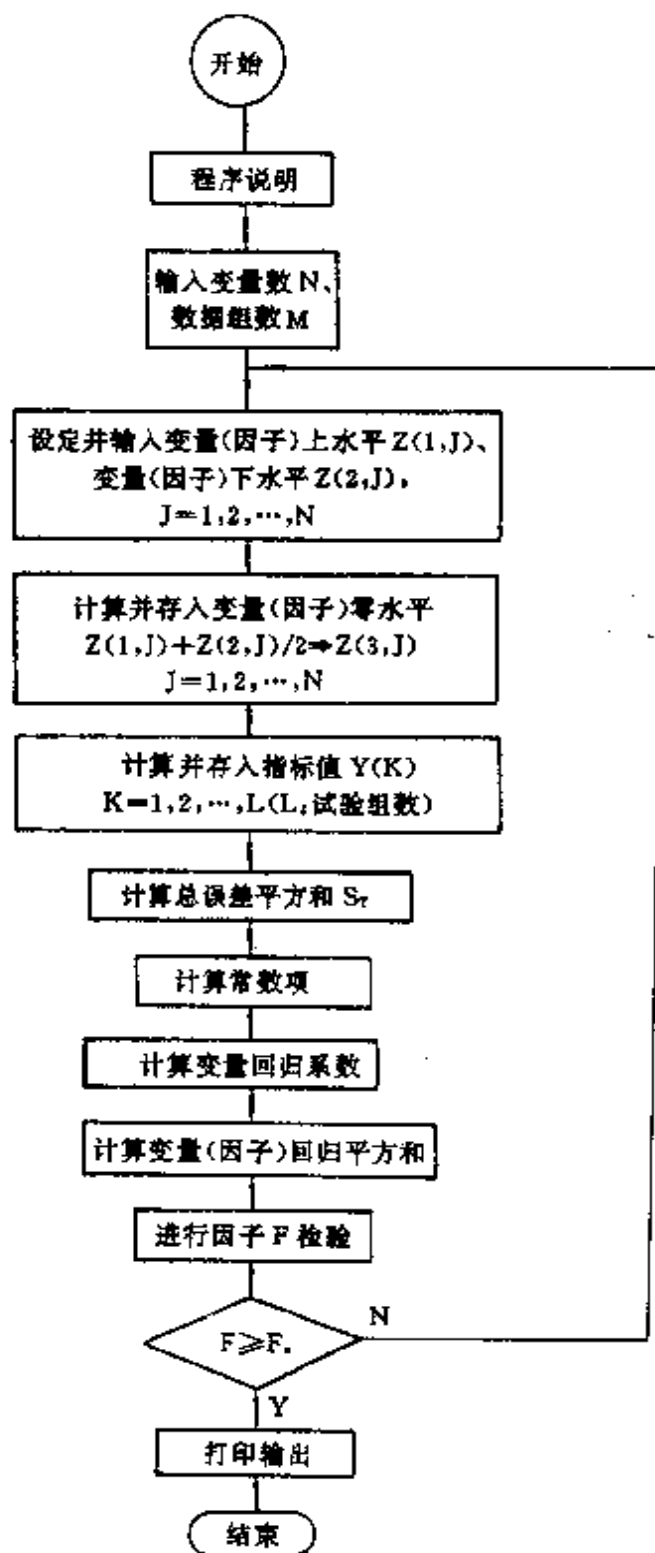


图 4-28 计算程序框图

重视熟悉该项作业的工程技术人员或操作者的意见,以便在缩小各项时间范围的基础上,决定出合理的标准时间值。

实验回归分析的程序如下:

1)确定函数式

$$Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+\cdots+a_Kx_K+\varepsilon \quad (4-17)$$

2)确定未知数范围。设定每一作业项目标准时间值的大概范围,例如各作业项目的件数范围及单件的作业时间值。

3)设计正交表。根据正交表分配未知数,并计算误差总和 T 及波动 S 。

4)对回归方程进行显著性检验。

5)根据检验结果,重新确定未知数范围(确定正交表的新水平)。

6)重新按 3)~5)的程序进行计算,如此反复直至达到要求的精度为止。

计算程序框图见图 4-28。

5 成组技术与计算机辅助 工艺规程设计

5.1 成组技术

5.1.1 概述

成组技术 (Group Technology, 简称 GT), 最初是在机械加工中形成并得到发展的。在机械加工中, 当产品的生产量很大即大批大量生产时, 如汽车、自行车及常规枪炮的生产, 大多数工作地点经常重复进行某些零件的加工或某种产品的装配, 因此它可以采用先进工艺、高效设备和专用工具装备, 不断提高机械化和自动化水平, 从而大大提高生产率并降低成本。当产品的生产量小即单件小批生产时, 如重型机床的生产和新产品的试制, 按传统的生产组织方法, 只能采用通用机床和通用夹具以及比较落后的工艺方法; 又由于零件和产品的频繁更换使得机床和工具装备调整、更换频繁, 生产准备时间长, 从而导致生产率下降、成本上升。上述情况说明了生产批量、工艺方法与生产效率之间的客观规律——批量法则。

半个世纪以来, 在批量法则指导下, 不同生产类型的制造技术的发展很不平衡。大批量生产在 30 年代就开始了大规模的技术改造, 到 50 年代已卓见成效, 生产率几倍、几十倍的增长, 生产周期和生产成本大大下降, 而中小批量生产技术仍处于落后状态。然而, 多品种、小批量的生产要求则是客观存在的, 特别是随着科学技术的发展和市场竞争的日益

激烈以及社会需求的多样化,机械产品的生产种类越来越多,而每种产品的需要量却越来越少。这就引起了现代机械工业生产结构的变化,多品种、小批量生产企业所占的比重逐渐增加。

如何突破批量法则的约束,提高多品种、小批量生产企业的生产效率呢?从加工工艺的角度来看,这些批量小的多种不同零件是有共性的。长期的生产实践促使人们试图把某些结构、功能不同而加工工序相同的零件集中到一起,应用相同的机床并采用较先进的高效工具装备进行加工,并取得了十分满意的经济效果。这说明突破传统的批量概念,用经过集中而产生的较大的工序批量来代替原来较小的零件批量,同样可以采用较先进的工艺手段来获得良好的经济效果。于是,人们就有意识地对多种产品的不同零件进行工艺分析和分类编组,并把具有相同工艺特点(一个或几个工序相同)的零件分别组织在一起,使用相应的机床和工具装备进行加工。这就是成组技术最初的概念——成组加工,如图 5-1 所示。

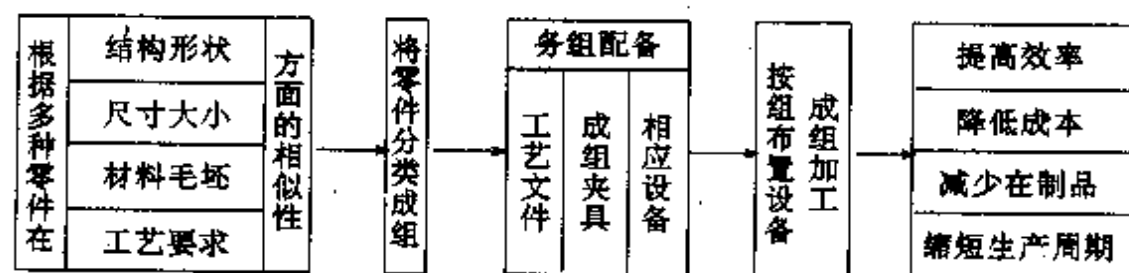


图 5-1 成组加工示意图

因此,在成组技术发展的初期,它主要作为一种科学的工艺原理应用于机械加工领域。随着科学技术的发展,成组加工这个机械制造领域的概念有了很大的发展。一方面,它

的应用范围扩大了，不再局限于金属切削加工，在机械加工的其它领域，如冲压、装配、产品和零件设计、工厂设计、工艺设计以及劳动量测定、生产管理乃至工资管理领域等也得到了应用。另一方面，成组技术已成为一种综合性的技术组织措施被应用到企业产品生产的全过程，即应用成组技术从系统工程的角度来研究、解决产品生产全过程中的问题，使企业的各个环节（产品设计、制造工艺和生产管理）运行更协调、更合理、更有效益。因此，也有人把成组技术称为机械制造系统工程学。它已发展成为包括工程技术学和生产管理学在内的一门综合性技术，成为工业工程的组成部分。其应用概况如图 5-2 所示。

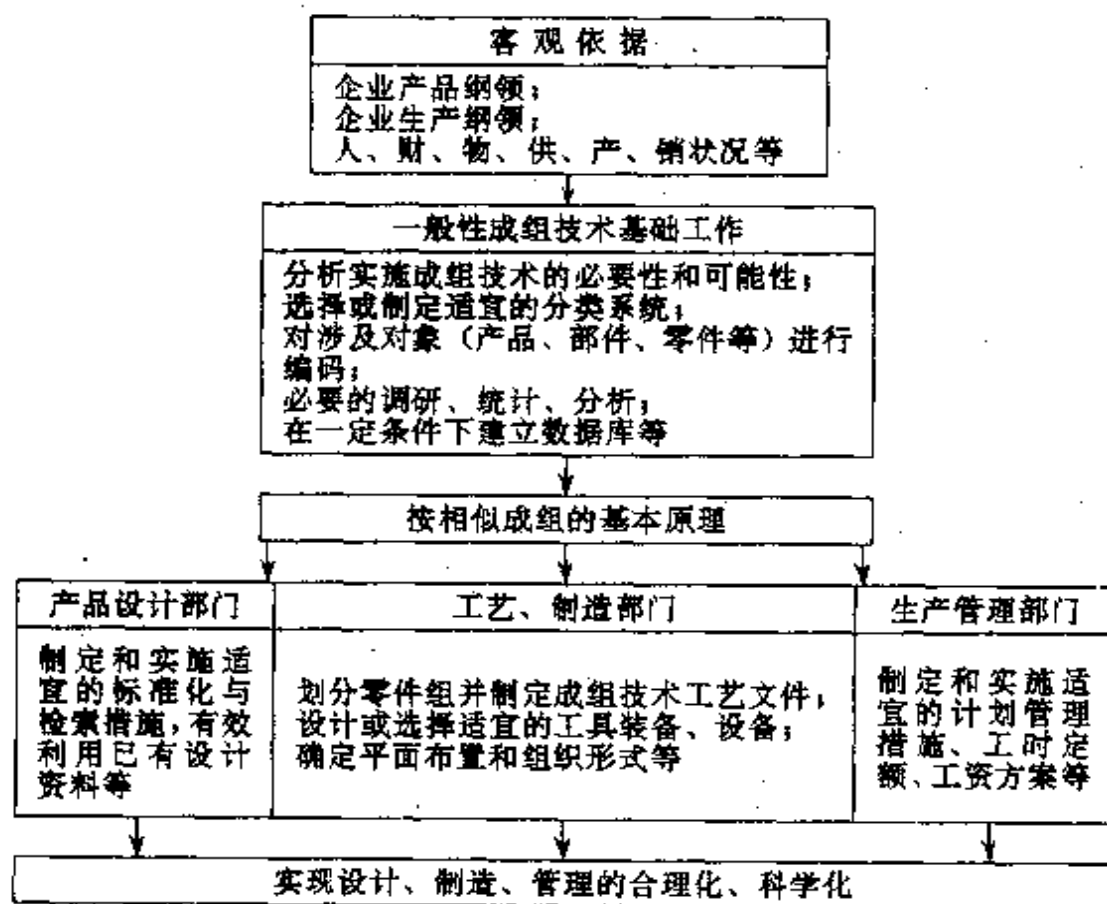


图 5-2 成组技术应用概况示意图

随着科学技术的进一步发展,特别是计算机技术在生产、管理中的应用,成组技术的应用范围更加广泛,近20余年来也不再局限于机械制造领域,它的定义也更加具有普遍意义:“将具有相似特征或信息的多种事物,按照一定的准则分类成组,使若干事物能够采用同一处理方法,以达到节省精力、时间和费用的目的。”

实际上,成组技术并不是一个全新的概念,而是来源于实践的朴实哲理。长期以来,人们已从实践经验中认识到把相似的事物集中起来加以处理可以减少重复劳动、提高效益。然而,人们在具体工作中深入、自觉地建立和应用这一概念,并使之科学化、系统化和形成一项体系完整而又行之有效的技术,则是近30年来的事情。

5.1.2 分类系统

实施成组技术的第一步,是把企业中与生产活动有关的事物如产品、零件、工序、设备等,按照特定的规则或依据,进行规律性描述和分类归组。这也是实施成组技术的核心和基础。对研究对象进行标识或描述的特定规则或依据称为分类系统。由于实施成组技术的目的、范畴和手段不同,各种分类系统的结构形式、描述对象和繁简程度差别很大。本节以最有代表性的机械零件的分类系统为例加以说明。

A 分类系统的种类

在成组技术发展的初期,为了对零件进行成组加工,仅按零件的工艺相似性进行分组,通常由工艺人员通过观察零件图、实物或照片来完成。这种方法对零件只分组而不具体编码,因此称作无编码分类系统。无编码分类系统的优点是简单易行、费用低;缺点是应用面窄,多具有专用性,不能获得其它方面如设计、管理等方面的成效。

随着成组技术应用范围的扩大，上述分类系统显然不能满足使用要求，取而代之的是编码分类系统。采用这种分类系统必须对每个分类对象进行单独编码，即用多位字符来表示对象的详细特征。其最大优点是可以借助电子计算机进行数据处理，不但使零件的编码、分组速度大大加快，并且可将其直接与计算机辅助设计、计算机辅助工艺规程设计及计算机辅助制造相联接。随着计算机应用的普及，目前国内外大多应用编码分类系统，下面将作较详细的介绍。

B 编码分类系统的结构

由于使用的范围和要求不同，不同的国家、部门、企业的成组技术编码分类系统有着多种多样的结构形式，可以从各种角度对其进行归纳分类。一个完整的成组技术编码分类系统通常由系统说明和一套结构严谨、含义明确的分类图表及编码示例、使用说明等部分组成，犹如一种特殊的工程语言。所谓对某研究对象的编码，就是将其有关特征或信息进行代码（字符）化处理，即用顺序排列的一个字符串对其进行描述和标识。图 5-3 是用 JCBM-1 编码分类系统对 Y38 滚齿机接盘进行编码的实例。

系统中用来标识、描述有关事物（或信息）的字符常为阿拉伯数字（0~9）和英语字母（A~Z，汉语拼音字母与此同）。为了表示某些特殊的含义，也可增加一些特定的字符如“*”、“-”等。

利用上述字符来描述零件信息时，可以将信息原样（或其缩写）直接放在对象的编码中，谓之直接表达式。如零件的名称或其缩写、零件图号、尺寸等均可用这种方式。也可规定用某一字符来代表零件的某特定的特征或信息如形状、尺寸、精度、材料等，这种方式叫做间接表达式。如图 5-3 中，

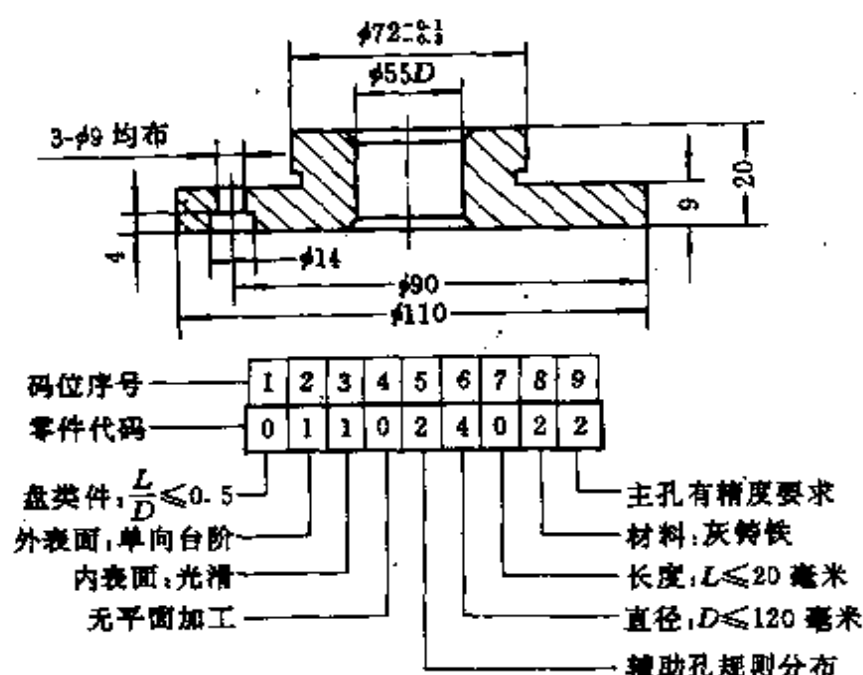


图 5-3 接盘 (Y38) 的 JCBM-1 代码

第一位数字“0”代表 $L/D \leq 0.5$ 的盘类零件, 第二位数字“1”代表该零件外圆面为单向台阶等。

系统的字长即码位数差别极大, 少的仅 2 位, 多的达 80 位。码位太少, 虽然简单、好记, 但其描述粗略, 常不能满足使用要求。码位太多, 虽描述精细但应用不便, 特别是在人工使用时较为困难。码位多少主要取决于实施成组技术的目标、要求以及实施手段 (全人工、半人工或自动化数据处理)。通常使用计算机进行数据处理的分类系统的字长可加大, 而用人工处理数据的分类系统其码位以不超过 10 位为宜。

系统中各类信息的排列顺序主要取决于系统的用途及目的, 同时要符合识别事物的一般规律。常用的排列规则为: “先主后次”、“先粗后细”、“先宏观后微观”、“先外形后内部”, 同时要尽量符合工艺过程。图 5-4a 为奥匹兹分类系统的

信息排列顺序，图 5-4b 为 KK-3 系统的信息排列顺序。前者用于设计检索和成组加工，后者的用途是设计、工艺、管理三者并重。

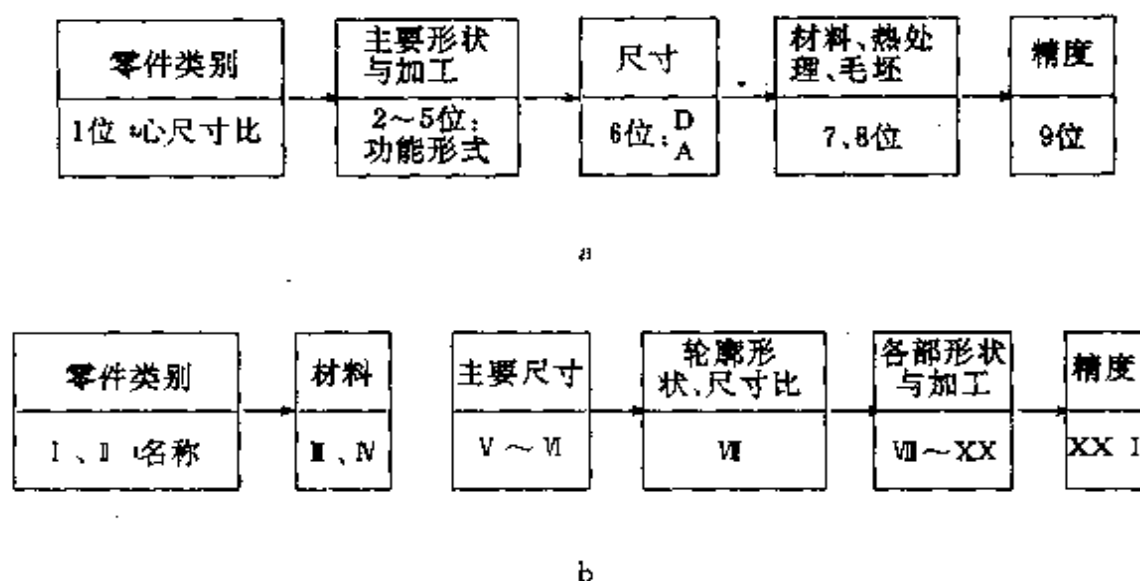


图 5-4 奥匹兹、KK-3 系统的信息排列顺序

a—奥匹兹系统各类信息的排序；b—KK-3 系统各类信息的排序

编码分类系统描述零件特征信息的结构形式即系统的结构形式，可根据相邻码位之间的关系分为两种：一种是后面的码位隶属于前面的码位，即第 $(N+1)$ 位码的具体含义取决于第 N 位码，是第 N 位码的进一步说明和补充。这种码位间保持隶属关系的系统结构形式称为树式结构。

另一种是码位之间为并列（平行）关系，即第 $(N+1)$ 位码不受第 N 位码的管辖与制约，它有自己的含意。这种结构形式称为链式结构。

这两种结构形式各有特点。树式结构信息容量大，且能逐级细化地描述研究对象，但各码位无固定含义，使用、记忆均不方便。而链式结构则正好与其相反，容量小但使用方便。在实际使用中常根据信息特点和使用需要采用两者兼而

有之的结构形式,叫做混合式。图 5-5 为三种结构形式的示意图(设有三个码位、三类信息)。

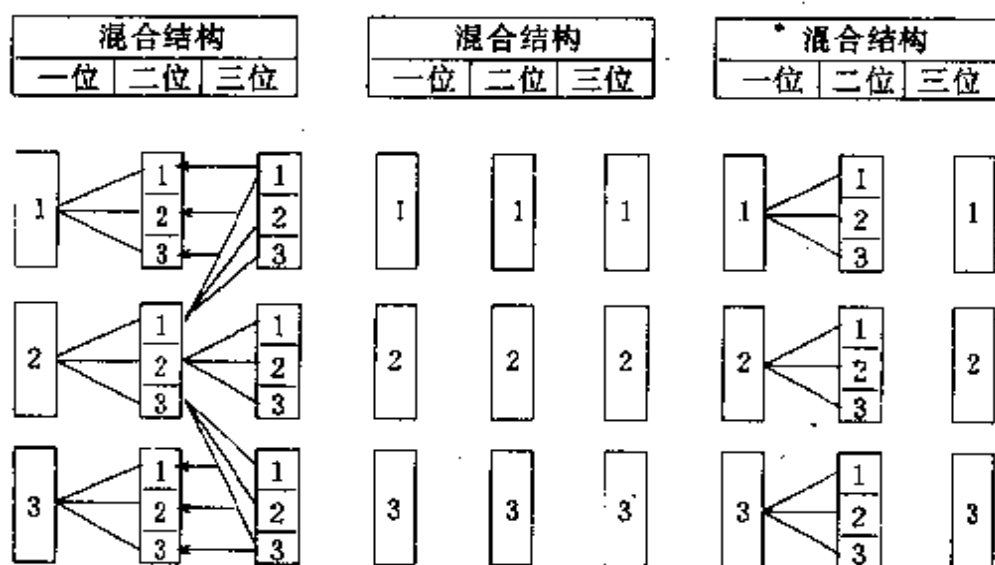


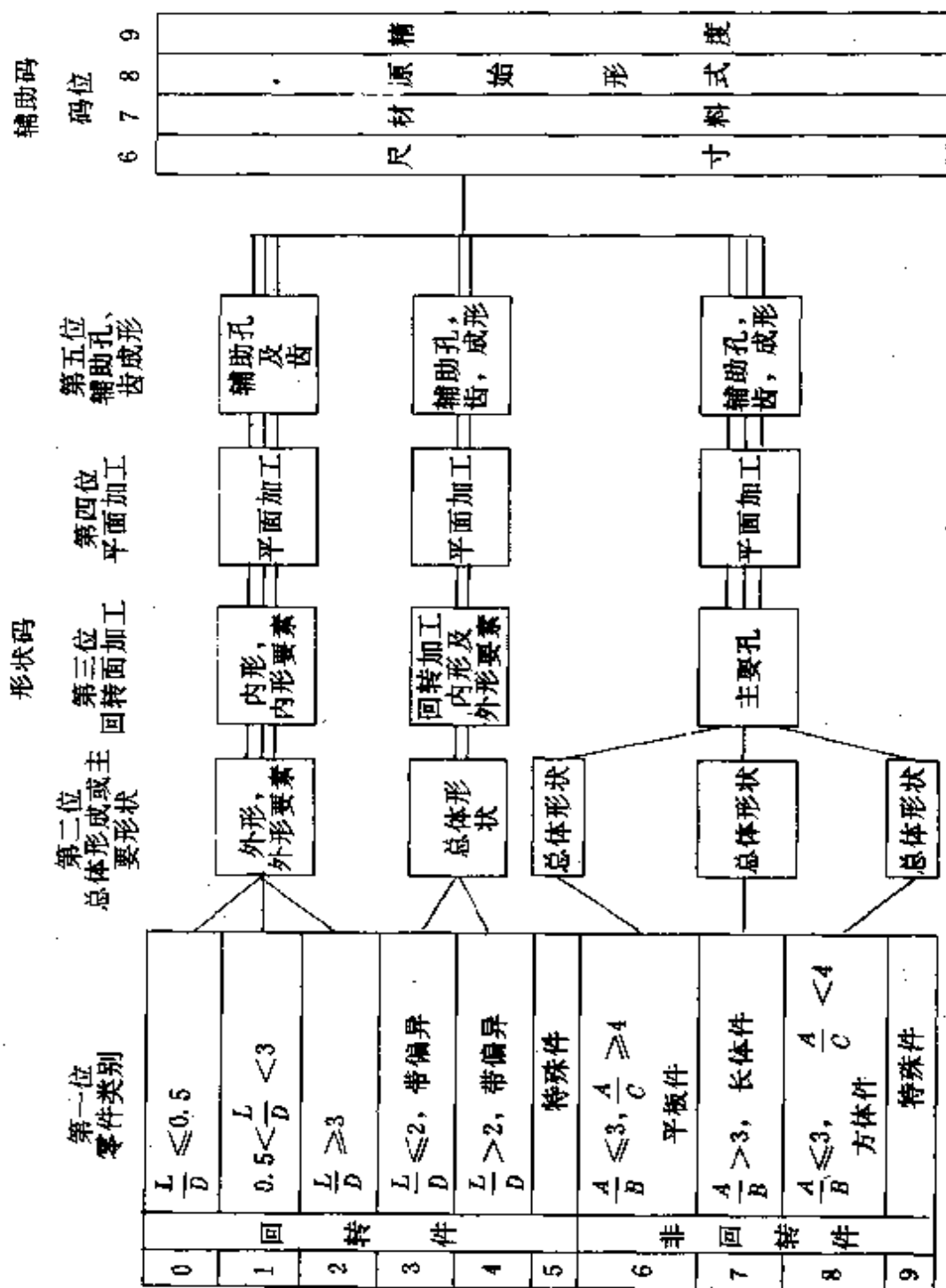
图 5-5 编码分类系统的三种结构形式

目前世界各国已制定了众多的编码分类系统,应用较广、比较著名的亦有二三十种之多。下面介绍三种常用的编码分类系统:奥匹兹系统、KK-3 系统和 JLBM-1 系统。

C 奥匹兹编码分类系统

奥匹兹 (Opitz) 编码分类系统是由德国阿亨工业大学 Opitz 教授开发的。这个系统简单且使用方便,已被很多公司采用。该系统中每个零件用九位数字来描述:前五位数字用以描述零件的几何形状,称为形状代码;后四位数字则用来描述零件的尺寸、材料、毛坯以及加工精度,称为辅助代码。形状代码中的第一位数字把零件的形状区分为两大类:一类为回转体零件,另一类为非回转体零件。图 5-6 为 Opitz 编码分类系统的结构图。

图中第一位码对回转体零件用不同数字来表示零件不同



的长径比, 其中 L 为零件的最大长度, D 为零件的最大直径, 图 5-7 为其示意图; 对非回转体零件, 图中的符号 A 、 B 、 C 的规定见图 5-8。

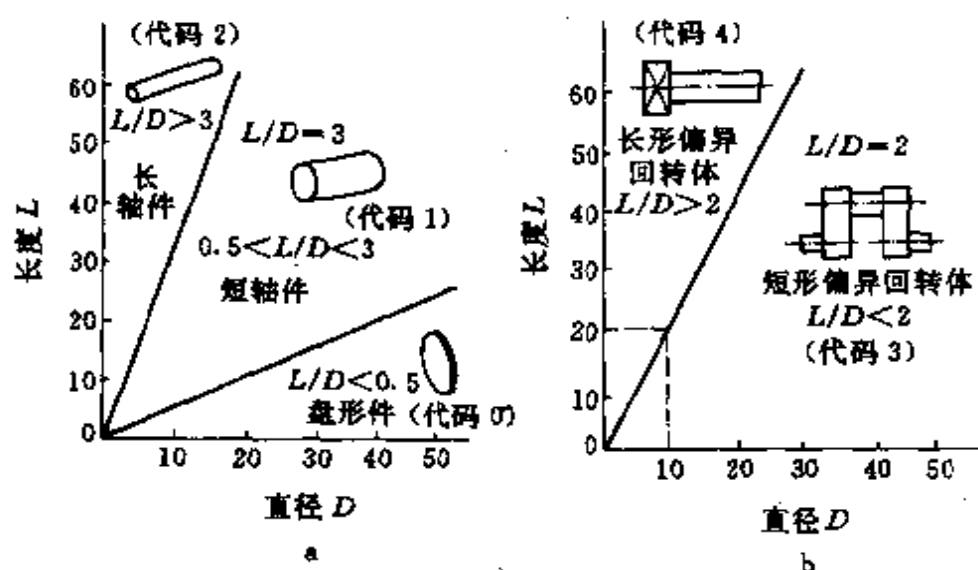


图 5-7 回转体零件按长径比分类示意图

a—不带偏异; b—带偏异

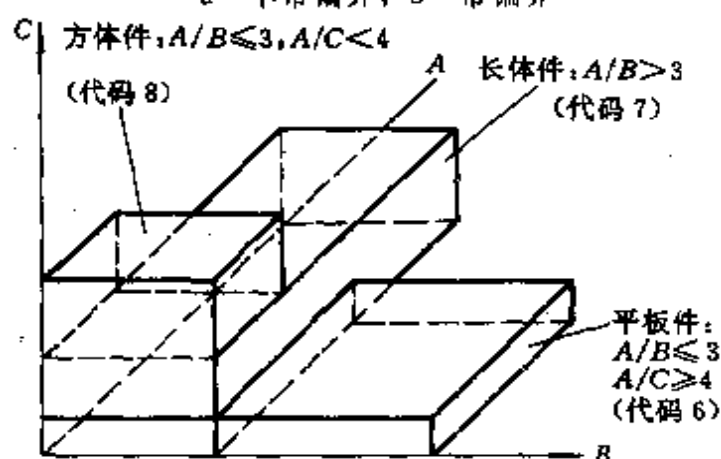


图 5-8 非回转体零件按长、宽、高之比分类

第一位码仅是将零件大致分类, 还必须使用后四位形状代码来对零件作进一步的描述。第六位~第九位数字作为辅助码对零件的尺寸、材料和加工精度等方面进行描述, 详见表 5-1 (Opitz 系统的部分形状代码)。

表 5-1 OPITZ 系统部分形状码

第一位		第二位		第三位		第四位		第五位	
项	零件类别	项	外形, 外形要素	项	内形, 内形要素	项	平面加工	项	辅助孔及齿
0	$\frac{L}{D} \leq 0.5$	0	光滑, 无形状要素	0	无通孔 无盲孔	0	无平面加工	0	无辅助孔
1	$0.5 < \frac{L}{D} < 3$	1	无形状要素	1	无形状要素	1	外部的: 平面和(或)单向 弯曲的面	1	轴向孔, 无节距关系
2	$\frac{L}{D} \geq 3$	2	带螺纹	2	带螺纹	2	外部的平面, 沿圆 周相成分度关系	2	轴向孔, 有节距关系
		3	带功能槽	3	带功能槽	3	外部的: 槽和(或)缝	3	径向孔, 无节距关系
		4	无形状要素	4	无形状要素	4	外部的: 花键和(或)多边形	4	轴向和(或)径向 和(或)其它方向的 孔, 无节距关系
		5	带螺纹	5	带螺纹	5	外部的: 平面(和)或缝和 (或)槽, 花键	5	轴向和(或)径向 和(或)其它方向的 孔, 有节距关系
		6	带功能槽	6	带功能槽	6	内部的: 平面和(或)槽	6	圆柱齿轮的齿
		7	功能锥度	7	功能锥度	7	内部的: 花键和(或)多边形	7	锥齿轮的齿
		8	传动螺纹	8	传动螺纹	8	外部及内部的: 花键和(或)隙 和(或)槽	8	其它齿
		9	其它 (大于10个功 能直径)	9	其它 (大于10个功 能直径)	9	其它	9	其它

续表 5-1
第五位

项	辅助孔, 成形, 齿
0	无辅助孔, 齿及成形
1	仅在一个方向钻孔
2	在多个方向钻孔
3	仅在一个方向钻孔
4	在多个方向钻孔
5	成形, 无辅助孔
6	成形, 有辅助孔
7	齿, 无辅助孔
8	齿, 有辅助孔
9	其它

第四位

项	平面加工
0	无平面加工
1	功能性的倒角 (例如: 焊缝的坡口)
2	一个平面
3	台阶平面
4	成直角的、倾斜的和 (或) 相对的台阶平面
5	槽和 (或) 缝
6	槽和 (或) 缝及项 4
7	曲面
8	导轨面
9	其它

第三位

项	主要孔, 回转面加工
0	无回转加工或无孔
1	一个主要孔, 光滑
2	一个主要孔, 单向或双向台阶
3	一个主要孔, 有形状要素
4	二个主要孔, 平行
5	几个主要孔, 平行
6	几个主要孔, 不平行
7	加工的环形面、环形槽
8	项 7 + 主要孔
9	其它

第二位

项	总体形状
0	矩形
1	矩形, 带一处偏角 (缺角或三角形)
2	矩形, 带一个以上的偏角
3	矩形, 有圆弧形偏角
4	项 0~3 以外的其它扁平形状
5	扁平件, 矩形或有角而带接成或由铸造造成的小偏角
6	扁平件, 圆的或除项 5 外的任何形状
7	扁平件, 规则拱形或碟形
8	扁平件, 不规则拱形或碟形
9	其它

第一位

项	零件类别
6	平板件 $\frac{A}{B} \leq 3, \frac{A}{C} \geq 4$

图 5-9 为某回转体零件及用 Opitz 系统对其进行编码的结果，图 5-10 为某非回转体零件及用 Opitz 系统对其进行编码的结果。

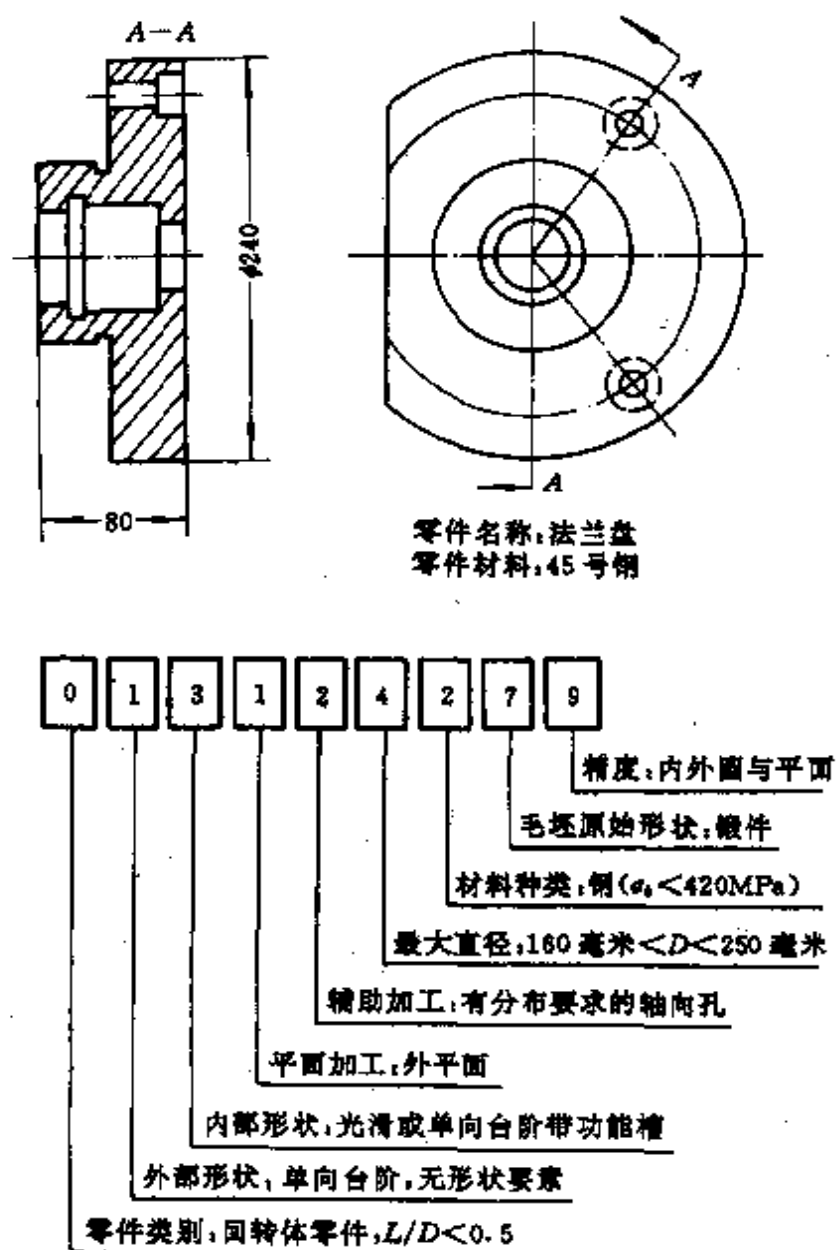
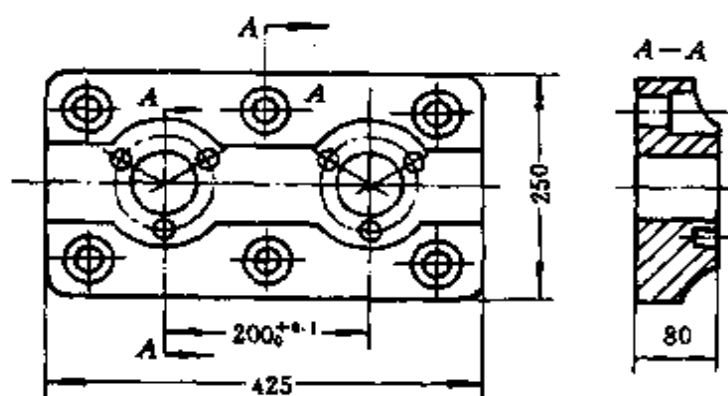


图 5-9 回转体零件编码实例



零件名称: 支承板
零件材料: HT15-32

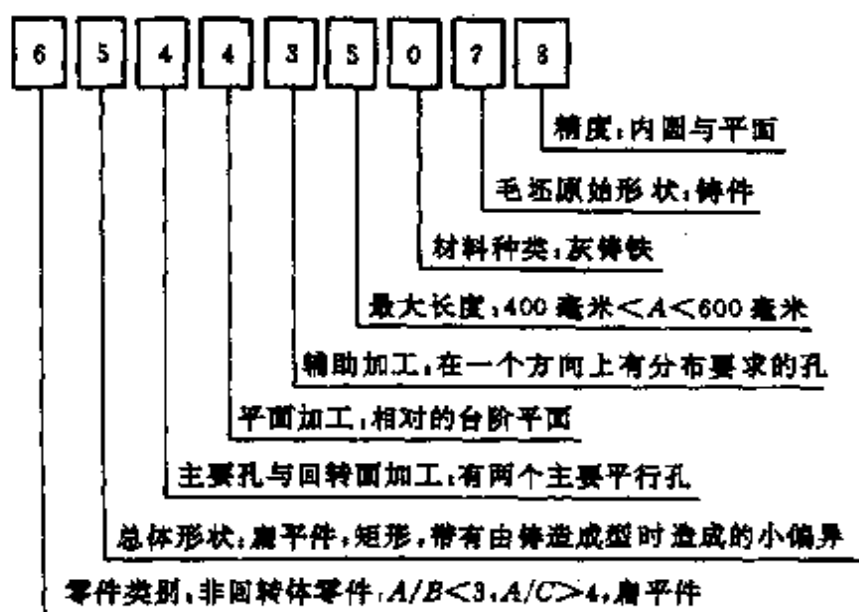


图 5-10 非回转体零件编码实例

D KK-3 系统

KK-3 编码分类系统是由日本机械振兴协会和机械技术研究所开发的, 是机械加工零件通用的分类编码系统, 主要用于金属切削及磨削零件的分类。它采用 21 位 10 进制混合结构代码 (见表 5-2)。图 5-11 为用 KK-3 编码系统对图 5-9、

图 5-10 中两个零件进行编码的结果。

表 5-2 KK-3 零件分类编码系统基本构成 (回转体)

码位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
分类项目	零件名称 (功能)		材料		主要尺寸		各部分形状及加工要求														
	大 类	细 类	大 类	细 类	长 度 L	直 径 D	基本形状及主要尺寸比	外表面					内表面			端 面	非同轴孔		非切削加工	精 度	
								基本外形	同心螺 纹	功 能 槽	不 规 则 形 状	成 形 表 面	周 期 性 表 面	基 本 内 形	特 殊 内 形		内平面和周期性表面	规划排列的孔			特殊孔

KK-3 零件分类编码系统基本构成 (非回转体)

码位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
分类项目	零件名称 (功能)		材料		主要尺寸		基本形状及主要尺寸比	各部分形状及加工要求													
	大 类	细 类	大 类	细 类	长 度 A	直 径 B		弯曲成形		外表面		主要孔		除 主要孔外的内表面	辅助孔		非 切 削 加 工	精 度			
								弯 曲 方 向	弯 曲 角	外 平 面	外 曲 面	主 成 形 表 面	周 期 面 及 辅 助 形 面		方 向 和 台 阶	螺 纹 及 成 形 表 面			方 向	形 状	特 殊 孔

E JLBM-1 系统

JLBM-1 编码分类系统是我国机械工业部颁发的机械零件编码分类系统。该系统适用于产品设计、工艺设计、加工制造和生产管理等。该系统具有十五个码位，每个码位用数字 0~9 来表示不同的特征项号，其基本结构如图 5-12 所示。第一、二码位为名称类别矩阵，第三~九码位为形状与加工

零件功能: 非回转体类、支承件	零件功能: 回转体类零件、支承件
零件名称: 垫块	零件名称: 法兰盘
材料: 低强度灰铸铁	材料: 普碳钢($\sigma_b < 240\text{MPa}$)不热处理
毛坯原始形状: 铸件	毛坯原始形状: 热锻件
主要外形尺寸: 300毫米 $< A < 600$ 毫米	主要外形尺寸: 50毫米 $< L < 100$ 毫米
主要外形尺寸: 240毫米 $< B < 360$ 毫米	主要外形尺寸: 160毫米 $< D < 240$ 毫米
基本形状与尺寸比: $A/B < 3; A/C > 4$, 板状	基本形状和主要尺寸比: $L/D < 0.5$
弯曲方向: 无	基本外形: 单向台阶
弯曲角度: 无	同心螺纹: 无
外形平面: 两侧台阶平行平面	功能槽: 无
外形曲面: 无	不规则形状: 无
主成平面: 无	平面: 切口
周期面与辅助成形面: 无	周期表面: 无
主孔: 两个平行光滑主孔	基本内形: 台阶通孔、有功能槽
内螺纹与内成形面: 无	特殊内形: 无
主孔以外内表面: 无	内平面与内周期表面: 无
辅助方向: 单侧单向排列孔	端面: 平整
辅助孔形状: 台阶孔	辅助孔排列位置: 轴向孔
特殊孔: 无	辅助孔孔型: 头孔
非切削加工: 无	非切削加工: 无
精度: 孔与平面	精度: 内外圆与平面

图 5-11 按 KK-3 系统编码

a—回转体类零件; b—非回转体类零件

码位, 第十一至十五码位为辅助码位。名称类别矩阵 (见表 5-

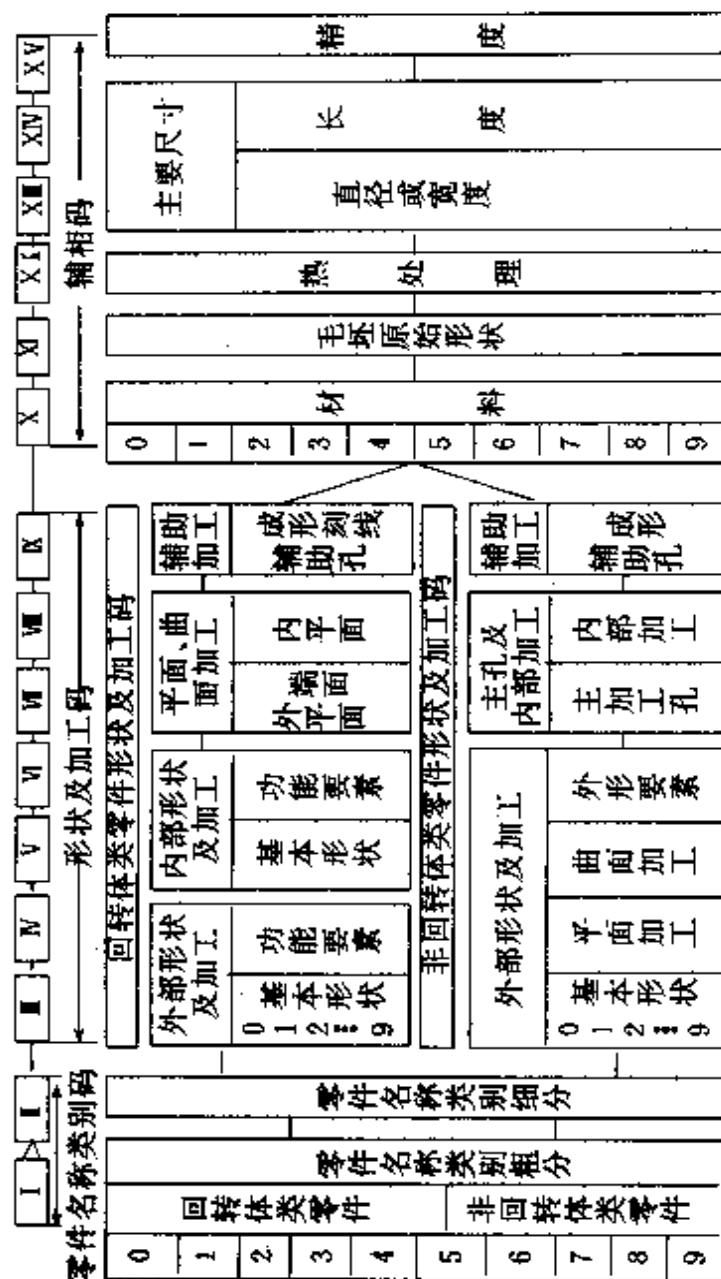


图 5-12 JLBK-编码分类系统的基本结构

3) 中, 第一位为名称类别粗分类, 第二位为名称类别细分类, 用以描述零件的主要特征和功能。利用名称类别矩阵可以方便地进行设计检索和分类分组。

表 5-3 名称类别矩阵表 (第一、第二码位)

第一位 \ 第二位		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0 回转类零件	轮盘类	盘、盖	防护盖	法兰盘	带轮	手轮 捏手	离合器体	分度盘 刻度盘 环	滚轮	活塞	其它	0
	环套类	垫圈片	环、套	螺母	衬套 轴套	外螺纹 套、直 管接头	法兰套	半联轴 节	油缸 气缸		其它	1
	销杆 轴类	销堵 短圆柱	圆杆 圆管	螺杆 螺柱 螺钉	阀杆 阀蕊 活塞杆	短轴	长轴	蜗杆 丝杆	手把 手柄 操纵杆		其它	2
	齿轮 类	圆柱 外齿轮	圆柱 内齿轮	锥齿轮	蜗轮	链轮 棘轮	螺旋 锥齿轮	复合 齿轮	圆柱 齿条		其它	3
	异形 件	异形 盘套	弯管接 头弯头	偏心件	扇形件 弓形件	叉形接 头叉轴	凸轮 凸轮轴	阀体			其它	4
	专用 件										其它	5
	杆条 类	杆、条	杠杆 摆杆	连杆	撑杆 拉杆	扳手	键锁 (压条)	梁	齿条	拨叉	其它	6
	板块 类	板、块	防护板 盖板、 门板	支承板 垫板	压板 连接板	定位块 棘爪	异面 块板 滑块板	阀块 分油器	凸轮板		其它	7
	座架 类	轴承座	支座	弯板	底座 机架	支架					其它	8
9	箱壳 体类	罩、盖	容器	壳体	箱体	立柱	机身	工作台			其它	9

第三~九码位: 对于回转体零件, 第三、四码位为外部形状及加工, 第五、六码位为内部形状及加工, 第三、五位码为零件的基本形状, 第四、六位码为功能要素; 第七、八

位码为平面及曲面加工, 第九位码位为辅助加工, 详见表 5-4。

表 5-4 回转类零件形状加工 (第三~九) 码位分类表

码位	三	四	五	六	七	八	九
特征项目	外部形状及加工		内部形状及加工		平面、曲面加工		辅助加工(非同孔、成形、刻线)
	基本形状	功能要素	基本形状	功能要素	外(端)面	内面	
0	光滑	0 无	0 无轴孔	0 无	0 无	0 无	0 无
1	单向台阶	1 环槽	1 非加工孔	1 环槽	1 单一平面、不等分平面	1 单一平面、不等分平面	1 均布孔 轴向
2	双向台阶	2 螺纹	2 光滑单向台阶	2 螺纹	2 单一平面、等分平面	2 单一平面、等分平面	2 均布孔 径向
3	球、曲面	3 1+2	3 通孔双向台阶	3 1+2	3 槽、键槽	3 槽、键槽	3 非均布孔 轴向
4	正多边形	4 锥面	4 通孔单侧	4 锥面	4 花键	4 花键	4 非均布孔 径向
5	非圆对称截面	5 1+4	5 双侧	5 1+4	5 形齿	5 齿形	5 倾斜孔
6	扇形或弓以外	6 2+4	6 球、曲面	6 2+4	6 2+5	6 3+5	6 各种孔组合
7	平行轴	7 1+2+4	7 深孔	7 1+2+4	7 3+5 或 4+5	7 4+5	7 成形
8	多线弯曲、相交轴	8 传动螺纹	8 相交孔平行孔	8 传动螺纹	8 曲面	8 曲面	8 机械刻线
9	其它	9 其它	9 其它	9 其它	9 其它	9 其它	9 其它

对于非回转体零件, 第三位码用以描述总体形状, 第四位码均按加工特征描述, 详见表 5-5。

第十~十二码位为材料、毛坯及热处理码位, 见表 5-6。

第十三~十四码位为主要尺寸码位, 如表 5-7 所示。第十三码位为零件的最大回转直径 D 或宽度 B (非回转体零件)。第十四码位表示零件的最大长度 L (回转体) 或 A (非回转体), 对同一零件应 $A > B$ 。主要尺寸分为三档, 分别适合于重

表 5-5 非回转类零件形状与加工(第三~九)码位分类表

三		四		五		六		七		八		九	
外部形状及加工		外部形状及加工		外部形状及加工		外部形状及加工		主孔、内部形状及加工		主孔、内部形状及加工		辅助加工(辅助孔、成形)	
总体形状	平面加工	曲面加工	外形要素加工	主孔及要素加工	主孔及要素加工	主孔及要素加工	主孔及要素加工	主孔及要素加工	主孔及要素加工	主孔及要素加工	主孔及要素加工	主孔及要素加工	主孔及要素加工
0 轮廓边缘由直线组成	0 无	0 无	0 无	0 无	0 无	0 无	0 无	0 无	0 无	0 无	0 无	0 无	0 无
1 轮廓边缘由直线和曲线组成	1 一侧平面	1 回转面加工	1 一般沟槽	1 单一台阶	1 光滑单一台阶	1 单一轴向沟槽	1 单一轴向沟槽	1 单一轴向沟槽	1 单一轴向沟槽	1 单一轴向沟槽	1 单一轴向沟槽	1 单一轴向沟槽	1 单一轴向沟槽
2 板或条与圆柱体组成	2 两侧平行平面及台阶平面	2 回转定位槽	2 定向直线槽	2 双向台阶	2 光滑双向台阶	2 多个轴向沟槽	2 多个轴向沟槽	2 多个轴向沟槽	2 多个轴向沟槽	2 多个轴向沟槽	2 多个轴向沟槽	2 多个轴向沟槽	2 多个轴向沟槽
3 轮廓边缘由直线组成	3 直交面	3 一般曲线沟槽	3 定向直线凸起	3 无螺旋线	3 平行轴线	3 内花键	3 内花键	3 内花键	3 内花键	3 内花键	3 内花键	3 内花键	3 内花键
4 板或条与圆柱体组成	4 斜交面	4 简单曲面	4 1+2	4 有螺旋线	4 垂直或相交轴线	4 内等分平面	4 内等分平面	4 内等分平面	4 内等分平面	4 内等分平面	4 内等分平面	4 内等分平面	4 内等分平面
5 块状	5 两个两侧平行平面(即四面需加工)	5 复合曲面	5 2+3	5 有螺旋线	5 单一轴线	5 1+3	5 1+3	5 1+3	5 1+3	5 1+3	5 1+3	5 1+3	5 1+3
6 有分离面	6 2+3或3+5	6 1+4	6 1+3或1+2+3	6 有螺旋线	6 多轴线	6 2+3	6 2+3	6 2+3	6 2+3	6 2+3	6 2+3	6 2+3	6 2+3
7 矩形体组合	7 六个平面需加工	7 2+4	7 齿形纹	7 有其它要素(功能槽、球面等)	7 单一轴线	7 异形孔	7 异形孔	7 异形孔	7 异形孔	7 异形孔	7 异形孔	7 异形孔	7 异形孔
8 矩形体与圆柱体组合	8 斜交面	8 3+4	8 刻线	8 有其它要素(功能槽、球面等)	8 多轴线	8 内腔平面及窗口平面加工	8 内腔平面及窗口平面加工	8 内腔平面及窗口平面加工	8 内腔平面及窗口平面加工	8 内腔平面及窗口平面加工	8 内腔平面及窗口平面加工	8 内腔平面及窗口平面加工	8 内腔平面及窗口平面加工
9 其它	9 其它	9 其它	9 其它	9 其它	9 其它	9 其它	9 其它	9 其它	9 其它	9 其它	9 其它	9 其它	9 其它

型、通用及仪表行业。

表 5-6 材料、毛坯及热处理(第十~十二)码位分类表

代 码	十	十一	十二
项 目	材料	毛坯原始形状	热处理
0	灰铸铁	棒材	无
1	特殊铸钢	冷拉材	法兰
2	普碳钢	管材(异形管)	退火、正火及时效
3	优质碳钢	型材	调质
4	合金钢	板材	淬火
5	铜和铜合金	铸件	高、中、工频淬火
6	铝和铝合金	锻件	渗碳+4 或 5
7	其它有色金属及其合金	铆焊件	氮化处理
8	非金属	铸造成型件	电镀
9	其它	其它	其它

第十五码位为零件的精度码位,如表 5-7 所示。该码位将特征项号分为四级:0 代表低精度,1~3 代表中等精度,4~8 代表高精度,9 表示超高精度。低精度是指零件的公差等级在 IT12 及以下或表面粗糙度为 $R_a 1.25$ 及以上。中等精度和高精度是指零件在机械加工后达到表 5-8 所列出的要求。超高精度指零件有研磨等特殊超高精度加工的精度要求,且公差等级在 IT5 以上、表面粗糙度在 $R_a 0.1$ 以下、位置公差小于 0.02。对于齿轮亦有相应的规定,详见表 5-8。

表 5-7 主要尺寸、零件精度(第十三~十五)码位分类表

十三				十四			十五	
项 目	主 要 尺 寸						项 目	精 度
	直径或宽度 (D 或 B,毫米)			长 度 (L 或 A,毫米)				
	大型	中型	小型	大型	中型	小型		
0	≤14	≤8	≤3	≤50	≤18	≤10	0	低精度
1	>14~20	>8~14	>3~6	>50~120	>18~30	>10~16	1	中等精度 内外回转面加工 平面加工 1+2
2	>20~58	>4~20	>6~10	>120~250	>30~50	>16~25	2	
3	>58~90	>20~30	>10~18	>250~500	>50~120	>25~40	3	
4	>90~160	>30~58	>18~30	>500~800	>120~250	>40~60	4	高精度 外回端面加工 内回端面加工 4+5 平面加工 4 或 5 或 6 加 7 超高精度
5	>160~400	>58~90	>30~45	>800~1250	>250~500	>60~85	5	
6	>400~630	>90~160	>45~65	>1250~2000	>500~800	>85~120	6	
7	>630~1000	>160~440	>65~90	>2000~3150	>800~1250	>120~160	7	
8	>1000~1600	>440~630	>90~120	>3150~5000	>1250~2000	>160~200	8	
9	>1600	630	>120	>5000	>2000	>200	9	

表 5-8 精度要求分类

中等精度的精度要求

项 目	公差等级	表面粗糙度
外回端面加工	IT8(旧 3 级)~IT12(旧 7 级)	$R_a 6.3 \sim R_a 1.6 (\nabla 4 \sim \nabla 6)$
内回端面及平面加工	IT8(旧 4 级)~IT12(旧 7 级)	$R_a 6.3 \sim R_a 1.6 (\nabla 4 \sim \nabla 6)$

高精度的精度要求

项 目	公差等级	表面粗糙度
外回端面加工	IT6(旧 2 级)及以上	$R_a 0.8 \sim R_a 0.2 (\nabla 7 \sim \nabla 9)$
内回端面及平面加工	IT7(旧 2 级)及以上	$R_a 0.8 \sim R_a 0.2 (\nabla 7 \sim \nabla 9)$

续表 5-8

齿轮加工精度的特征项号		
精 度 项	JB179—83 齿轮精度标准	JB179—81 旧齿轮精度标准
超高精度	1~2 级	6 级及 6 级以上
高精度	3~5 级	7 级
中等精度	6~8 级	8 级
低精度	9~12 级	9 级及 9 级以上

图 5-13 为用 JLB M-1 系统对图 5-9、图 5-10 中两零件进行编码的结果。

5.1.3 成组技术的应用

将研究对象编码以后,可根据其编码将它们分类成组,并对同一组内的事物采取同一处理方法,以节省人力、时间,并因此而获得效益。

成组技术的应用领域很多,目前成组技术应用比较广泛且具有代表性的领域为机械产品设计、工艺设计和生产管理。

A 成组技术在产品(零件)设计中的应用

产品(零件)设计时,若不采用成组技术,往往会出现这样的情况,即每当一个新产品上马时,就得从头开始设计一套图纸,设计人员很难从过去设计的图纸中找到相似或相同的零件图,然后经必要的修改后成为新零件的图纸,因此不能重复使用结构合理、经过实践检验的一般性非标准零件,把精力消耗在大量的重复劳动上。其主要原因是,目前使用的零件图纸的编号是根据零件在产品中的序号来确定的,带着随意性,没有任何规律,也不反映零件的结构和工艺特征,不便于设计人员检索使用。

采用成组技术,尤其是在计算机辅助下,可把历次设计的产品图纸信息及其编码按组存入计算机。在设计新零件时,

名称类别粗分: 非回转体、板块类	7	2	1	2	0	0	3	0	2	0	5	0	7	5	3
名称类别细分: 支承板															
外部总体形状: 由直线与曲线组成轮廓															
外部平面加工: 侧平行平面															
外部曲面加工: 无															
外部形状要素: 无															
主孔加工: 无螺纹、多轴线孔															
内部加工: 无															
辅助加工: 其它															
材料: 灰铸铁															
毛坯原始形状: 铸铁															
热处理: 无															
主要尺寸(宽度): $B > 160 \sim 440$ 毫米															
主要尺寸(长度): $L > 250 \sim 500$ 毫米															
精度: 内孔与平面															

名称类别粗分: 回转体类、轮盘类	0	2	1	0	5	1	1	0	1	2	6	0	5	1	3
名称类别细分: 法兰盘															
外部基本形状: 单向台阶															
外部功能要素: 无															
内部基本形状: 双向台阶通孔															
内部功能要素: 有环槽															
外平面与端面: 单平面															
内平面: 无															
非同轴孔线: 均布轴向孔															
材料: 普通钢															
毛坯原始形状: 锻件															
热处理: 无															
主要尺寸(直径): $D > 160 \sim 400$ 毫米															
主要尺寸(长度): $L > 50 \sim 120$ 毫米															
精度: 内外圆与平面															

图 5-13 按 JLBM-1 系统编码

a—回转体类零件; b—非回转体类零件

先把拟设计的零件的结构形状和尺寸大小的构思转化为相应的分类编码; 计算机根据这个代码在已有的零件中检索出与拟设计零件同组的相同或相似的零件并在屏幕上显示出来,

经必要的修改后便可由绘图仪输出新零件的图纸,并把此零件的图纸信息存入计算机,为原零件组增添一个新成员;如经检索无此零件组,则重新设计此零件并将其图形信息存入计算机,开发出一个新的零件组。如果没有计算机,则上述过程全部由人工完成。

根据国外资料报导,采用成组技术进行新产品设计时,约有 75% 以上的新产品(零件)可重复利用原有的老产品图纸,仅有 25% 左右的新产品(零件)需要重新设计。这样不仅大大减少了设计劳动量和缩短了设计周期,而且把设计人员从一般重复性劳动中解放出来,使他们有更多的精力从事产品性能的改进与提高等工作。

B 成组技术在工艺规程设计中的应用

工艺规程是组织生产和生产管理的基本依据,是指导生产的主要技术文件。因此,工艺规程自身的优劣对产品质量、成本、生产率以及生产系统的运行有着极大的影响。工艺规程设计周期的长短则直接影响生产准备时间的长短。

传统的工艺规程设计由工艺人员手工编制。这种方法除设计周期长外,由于工艺规程设计人员之间存在个体差异,经验、观点等不同,编制出的工艺规程的一致性差,即对同一零件,不同的工艺人员编制出的工艺规程亦不相同,有的甚至差别很大。显然,用这样的工艺规程来指导生产会直接影响产品质量和生产组织工作,不利于生产系统的有序运行。

利用计算机辅助工艺规程设计可有效地避免上述弊端,使生产系统运行更协调、畅通,更有效益。

C 成组技术在生产管理中的应用

生产管理是企业管理(计划、生产、质量、设备、物资及财务管理等)的重要环节。国内外的实践证明,只有将传统的经

验管理方法转变为科学管理方法,使生产管理适应成组技术的要求,才能充分发挥成组技术的巨大作用,取得显著效果。如何改善现有生产管理使其与成组加工等相协调,是当前国内外普遍重视且尚未圆满解决的问题。

实施成组技术后的成组生产的特点是由零件的“成组”引起的,如果没有零件的成组就和普通生产没有什么区别。由于零件成组一方面引起了一系列其它的成组:零件成组→工艺成组→工具装备成组→机床成组→工人成组;另一方面,如前所述,零件加工的工序批量代替了零件的批量,使加工生产的类型发生变化。这就给生产组织管理带来了一系列的变化,如过去的以产品封闭车间组织生产改变成以零件封闭单元组织生产,传统的以零件与产品(装配)的纵向联系组织生产改变成以零件的横向联系组织生产。因此,在生产的组织、管理中也必须实施成组技术才能与之相适应,主要反映在以下几个方面:

(1)在生产布置设计时,在加工作业范围内采用成组流水线和成组单元加工,设备也作相应的布置而不再按机群布置。

(2)在确定生产计划时,应根据成组技术的原理来选择相似的产品。产品相似就容易形成零件组,从而扩大成组加工批量,获得更好的经济效益。零件展开以后即用计算机为其编码、分类,根据零件的编码即可决定零件的内外加工工艺。零件编码后许多其它方面的工作亦可由计算机完成。图 5-14 为生产准备的计算机处理示意图。

(3)在确定生产过程的时间组织的形式时,亦要根据成组批量来选择。成组后批量增大,有利于选择平行移动和平行顺序移动方式,这对缩短加工周期十分有利。

(4)在计算确定期量标准时,生产批量应用成组批量,同

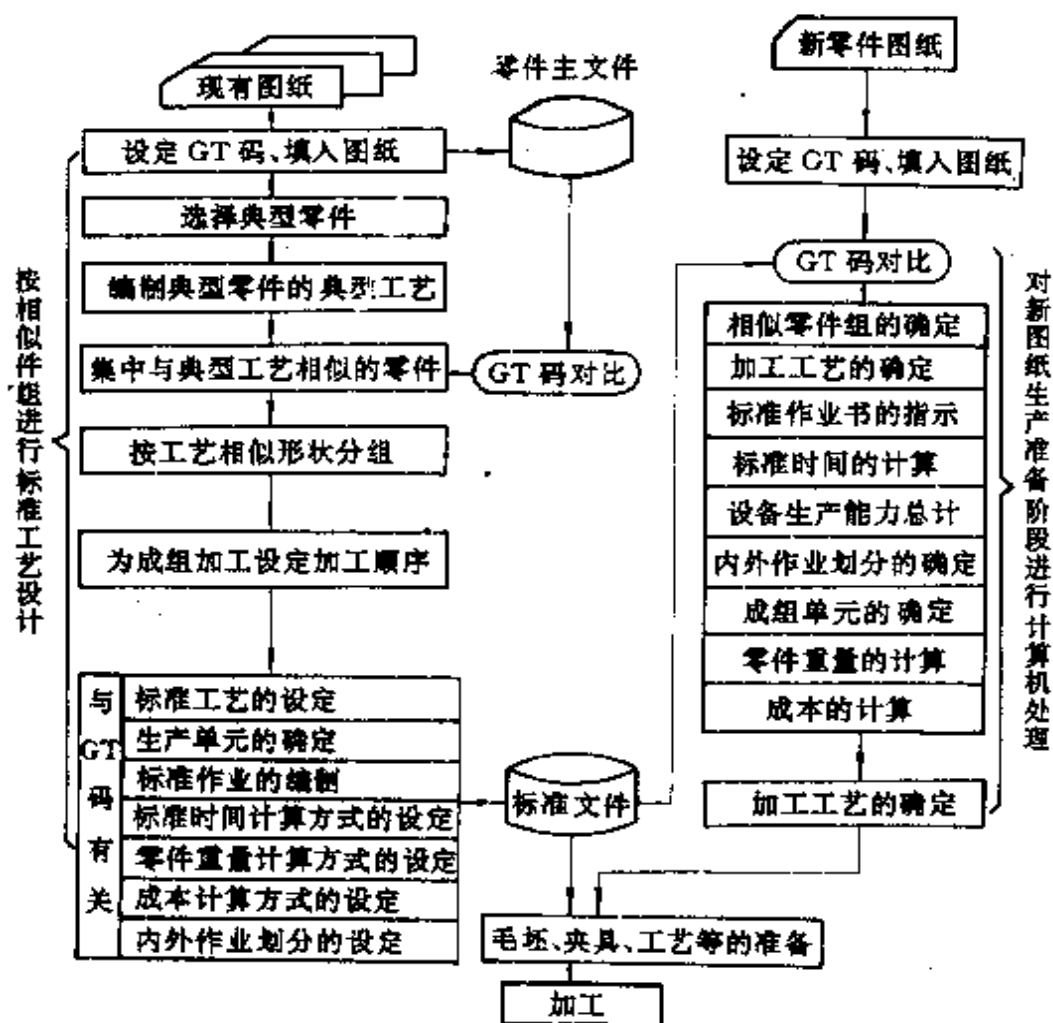


图 5-14 生产准备的计算机处理

时机床调整时间应增加更换组内零件时对机床作的小调整的时间。

(5)在确定作业计划时,应按成组生产来确定,即编制成组作业计划。编制时要确定零件组之间的加工顺序以及组内零件的加工顺序。确定顺序的原则为:一台生产设备的成组作业计划,如分别按成组加工时间和各零件加工时间小的顺序决定组加工顺序和零件加工顺序,则零件的平均加工时间为最小。

在生产管理中,实施成组技术还应注意培训管理人员、加强生产部门工作、加强信息反馈以及有关部门密切配合等。

5.2 派生式计算机辅助工艺规程设计

计算机辅助工艺规程设计(Computer Aided Process Planning, 简称 CAPP),根据其工作原理可分为三种:派生式、生成式及综合式。

派生式(Variant)工艺规程设计系统以成组技术为基础,即利用零件之间工艺过程的相似性。一个新零件的工艺过程是通过检索出该零件所在零件组的综合工艺过程(或称标准工艺过程)后经修改编辑而成的,故得名“派生式”,也称“检索式”或“变异式”。

成组技术采用某种编码分类系统对零件进行编码,再将编码相似或相同的零件集成零件组(或称零件族)。每个零件组都有一个通用的制造过程,这个制造过程即为综合工艺过程。综合工艺过程以零件组的组号关键字存储在数据库中以供检索。它包括的内容及其详细程度根据生产需要而定,但至少应包括制造一个零件的工序步骤,即工艺路线。

使用派生式工艺规程设计系统包括两个阶段:系统的设计阶段和生产使用阶段。

5.2.1 派生式 CAPP 系统的设计方法

(1)选择零件的编码分类系统。应选择比较成熟的、适合于本企业的系统。如果已有的系统不能满足本企业的使用要求,可对其作局部修改,即对少量码位重新定义。

(2)用选定的编码系统对现有的零件进行编码分类并把它们划分成零件组。这里说的“现有的零件”可以是全厂的,也可以是一个车间的,也可以是一部分零件。一般来说,先从部

分零件开始,从容易的开始。将零件组内每个零件的编码转化为特征矩阵,再将它们叠加起来形成零件组的特征矩阵,然后存入数据库。

(3)编制零件组的综合工艺过程。一个零件组的综合工艺过程是代表该零件组的,不是组内某个零件的工艺过程。可以这样设想:存在这样一个综合零件,它具有组内零件所有的工艺特征,综合工艺过程就是按照这个综合零件设计出来的。综合零件通常是虚构的。显然,对于一个零件组只有一个综合工艺过程。

(4)把综合工艺过程数字化后存入数据库,并将其它有关的工艺资料、术语等也存入数据库。

(5)选择计算机语言、设计软件并调试。

图 5-15 为派生式 CAPP 系统设计方法示意图。

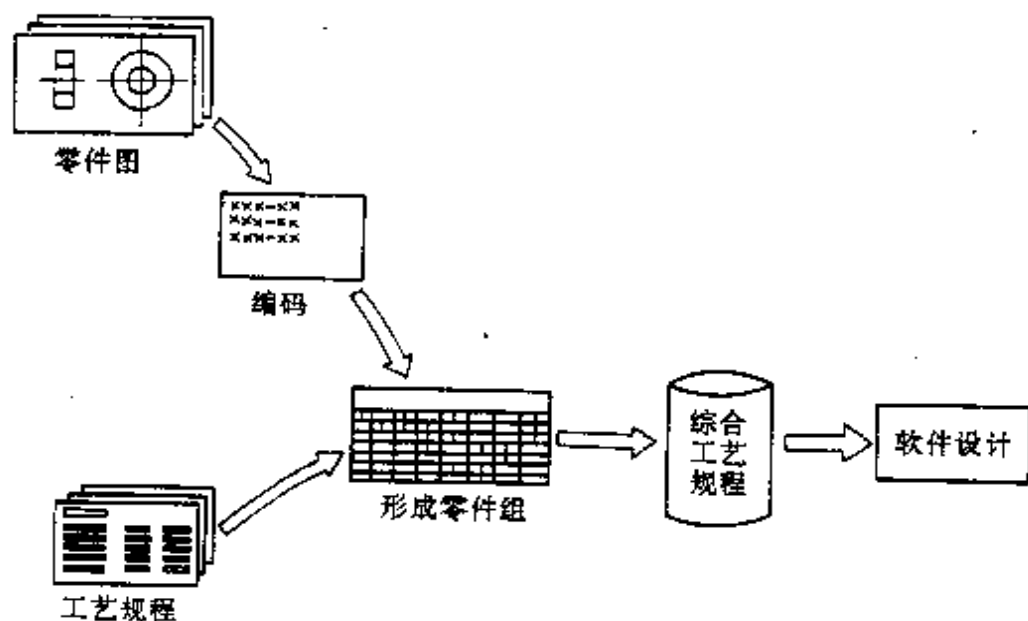


图 5-15 派生式 CAPP 系统的设计过程

5.2.2 派生式 CAPP 系统的生产使用阶段

系统设计完成后便可投入生产使用,为新零件设计工艺规程。使用过程如下:

(1)按照已选定的零件编码分类系统为待编工艺过程的新零件编码。

(2)起动软件,将待编零件的代码输入计算机,系统即判定待编零件是否包括在已准备的零件组内。如果未包括在内,则将此结果在屏幕上显示出来。

(3)通过人机交互,用户对检索出的综合工艺过程进行编辑、增删或修改。

(4)将编辑好的工艺过程按指定格式输出工艺规程,并存盘备用。

图 5-16 为使用过程示意图。

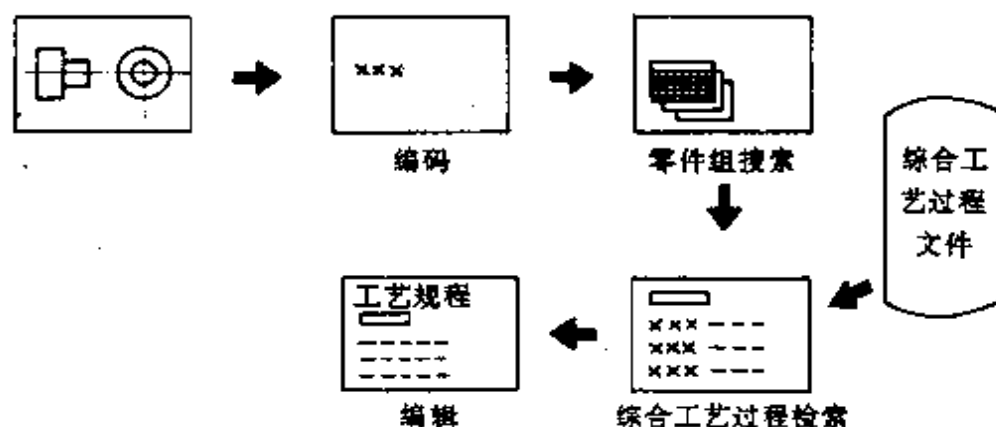


图 5-16 派生式 CAPP 系统的使用过程

5.2.3 设计实例

下面举例说明派生式 CAPP 系统的设计过程。

为了便于说明问题,仅选择 10 个零件并采用一个简化了的编码分类系统,见表 5-9。这个编码分类系统是专门为本例

服务的,把它称为 S-CODE(Simple Code)。用 S-CODE 设计的 CAPP 系统称为 S-CAPP,它适用于生产各种小零件的机械加工车间。下面按下列顺序讨论 S-CAPP 系统的结构及其设计过程:

- (1)零件组的形成;
- (2)数据库及其结构;
- (3)软件设计。

表 5-9 简单编码系统

	码位 1 主要形状	码位 2 次要形状	码位 3 辅助形状	码位 4 原始状态
0	$\frac{L}{D} \leq 0.05$	无形状要素	无形状要素	圆棒料
1 回转体	$0.05 < \frac{L}{D} < 3$	无形状要素	无形状要素	六角棒料
2 体	$\frac{L}{D} \geq 3$	带螺纹	带螺纹	方棒料
3	$\frac{L}{D} \leq 2$, 带偏异	带功能槽	带功能槽	板料
4	$\frac{L}{D} > 2$, 带偏异	回转横截面	钻模钻孔	平板与块料
5 非回转体	平板件	直角横截面	2 个以上(2~4)	铸件和锻件
6	长体件	带倒角的直角横截面	台阶平面	焊接组合件
7	方体件	六角棒料	曲面	预加工过

A 零件组的形成

零件编码后,可根据代码的相似性把它们集成零件组。但由于零件组的定义不严密,因此没有严格的规则可用来划分零件组,用户必须自己定义自己的零件组。形成零件组的一

条通用规则是组内所有的零件必须具有相似性；对于工艺过程设计来说，组内零件必须具有相似的工艺过程。对这个工艺过程的“相似程度”要进行适度控制。相似程度要求很高，只须对综合工艺过程作少量的修改，组内零件即可使用，但进入这个零件组的零件就会很少而零件组数会增加很多。若对相似性要求太低，则进入该组的零件数增多，使用时要对综合工艺过程作大量的修改，使用不便。

在分组开始以前，必须从现有的零件和工艺过程文件中收集所有与这些零件的设计和工艺过程有关的信息。每个零件用 S-CODE 进行编码，而相应的工艺过程则用一系列有序的工序名称来表示。每个工序名称所包含的工步是事先根据对现有零件的工艺规程分析后确定下来的。如“钻 01”表示钻工序，它包含钻孔与铰孔两个工步。表 5-10 为所选 10 个零件的分类编码和工艺过程。

表 5-10 零件代码与工艺过程

零件	代码	工艺过程
A-112	1110	下料 01, 车 02, 磨 05, 检验 06
A-115	6514	铣 02, 钻 01, 检验 03
A-120	2110	下料 01, 车 02, 磨 05, 检验 06
A-123	2010	下料 01, 车 01, 检验 06
A-131	2110	下料 01, 车 02
A-212	7605	铣 05, 检验 03
A-230	6604	铣 05, 检验 03
A-432	2120	下料 01, 车 02, 检验 06
A-451	2130	下料 01, 车 02, 检验 06
A-510	7654	铣 05, 钻 01, 磨 06, 检验 06

通常用以下两种方法把零件归并成组：

(1) 观察法。观察零件代码及其工艺过程，由观察者凭经验主观决定零件的分组。这种方法一方面受人为因素的影响，另一方面当零件数量多时就难以执行。

(2) 生产流程分析法(PFA)。PFA 应用一系列的算法将零件分类。首先要建造一个大的关联矩阵，这个矩阵中每一行代表一道工序，每一列代表一个零件。为了简便起见，矩阵中省去了检验工序。这个矩阵定义为 M_{ij} ，这里 i 表示行序号， j 表示列序号。如果零件 j 在 i 行有此工序则 $M_{ij}=1$ ，否则 $M_{ij}=0$ 。图 5-17 为表 5-10 中 10 个零件组成的关联矩阵。

		A-112	A-115	A-120	A-123	A-131	A-212	A-230	A-432	A-451	A-510	
0												$j=1$
下料 01		1		1	1	1			1	1		
车 01												
车 02		1		1		1			1	1		
钻 01			1								1	
铣 02			1									
铣 05							1	1			1	
磨 05		1		1								
磨 06											1	
$i=8$												

图 5-17 PFA 矩阵

下面即用金氏排序聚类分析算法来确定零件组，这种算

法十分简单,步骤如下:

第一步,对 $\forall j$,计算 W_j 列的总权:

$$W_j = \sum_{\forall i} 2^i M_{ij}$$

符号“ \forall ”为全称量词,表示“所有的”。这一步是计算所有各列 $\forall j$ 的总权, $j=1,2,\dots,10$ 。设第 i 行的权为 2^i , j 列的总权为列内各行权与 M_{ij} 的乘积之和。如图 5-17 中第一列的总权为:

$$\begin{aligned} W_1 &= 2^1 \times 1 + 2^2 \times 0 + 2^3 \times 1 + 2^4 \times 0 + 2^5 \times 0 + \\ &\quad + 2^6 \times 0 + 2^7 \times 1 + 2^8 \times 0 = 138 \end{aligned}$$

第二步,如果计算出各列的总权 W_1, W_2, \dots, W_{10} 的排列呈升序状态则进入第三步,否则调整各列位置,使其呈升序状态后进入第三步。

第三步,对 $\forall i$,计算 W_i 行的总权:

$$W_i = \sum_{\forall j} 2^j M_{ij} \quad i=1,2,\dots,8$$

j 列的权为 2^j , i 行内各列的权与 M_{ij} 的乘积之和是 i 行的总权。

第四步,如果所得各行的总权 W_1, W_2, \dots, W_8 的排序呈升序则结束,否则调整各行位置,使排列呈升序并转入第五步。

第五步,转向第一步,再次计算各列的总权之和,并使各列总权排列呈升序。再转入第三步,直至各列各行总权排列都呈升序为止。图 5-18 为图 5-17 的 PFA 矩阵经调整排序后的矩阵图。

由图 5-18 可清楚地看出,零件 A-123、A-120、A-131、A-432、A-451 和 A-112 形成了一个要求有锯料 01、车 01、车 02 以及磨 05 工序的零件组;A-115、A-212、A-230 和 A-510 则

	0	A-123	A-120	A-131	A-432	A-451	A-112	A-115	A-212	A-230	A-510	W_j
车 01												2
磨 05												66
车 02												124
锯料 01												126
铣 02												128
磨 06												1024
钻 01												1152
铣 05												1792
W_i		18	24	24	24	24	28	160	256	256	448	

图 5-18 排序后的 PFA 矩阵

形成了另一个零件组,要求的工艺过程由铣 02、铣 05、钻 01、磨 06 等工序组成。这样就完成了零件的分组,及将各组工艺过程所需的工序按加工先后有序排列即各组的综合工艺过程。

零件编码分类以后,为了便于计算机检索,须把它们转化为零件族特征矩阵,方法如下:

以表 5-10 中的第四个零件为例,该零件的代码为 2010。第一步把此一维数组转变为二维数组。二维数组中的第一位数字即为代码中各个数位上的数,第二位数字即为原代码数字的码位数,见表 5-11。根据这个二维数组可建立一个矩阵,见图 5-19a。把零件组内各零件的矩阵叠加在一起便成为该零件组的特征矩阵,见图 5-20b。这个转换过程可以由计算机

完成。

表 5-11 零件 A-112 的代码转换法

代码一维数组	2	0	1	0
代码二维数组	(2,1)	(0,2)	(1,3)	(0,4)

	1	2	3	4
0	0	1	0	1
1	0	0	1	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0

a

	1	2	3	4
0	0	1	0	1
1	1	1	1	0
2	1	0	1	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0

b

图 5-19 零件及零件组的特征矩阵

a—零件 A-112 的特征矩阵；b—零件组 1 的特征矩阵

零件组特征矩阵的行数即是每一个码位可能取的数值，本例中为 0~7；列数则是代码的长度，本例中为 4。

B 数据库及其结构

派生式 CAPP 系统工作时需要检索大量的工艺信息，这些信息都以数字或字符的形式存储在数据库中。

数据库是数据文件，建立数据库的方法有三种：层次式、

网状式和关系式。S-CAPP 系统设计中采用层次式数据库。派生式 CAPP 系统中需要如下数据文件：零件组矩阵文件、综合工艺过程文件、工序工步文件、工艺数据文件、汉字库等。

(1) 零件组矩阵文件。零件组名和组矩阵作为一条记录存在文件内，用向前的指针连接下一个记录并用另一指针来确定相应的综合工艺过程在工艺过程文件中的位置。本例中该条记录的长度为 36 个字长。其中，两个字长分配给零件族名，一个字长分配给指向综合工艺过程的指针，一个字长分配给指向下一个零件组记录的指针，32 个字长分配给零件组矩阵 ($I \times J = 8 \times 4 = 32$)。图 5-20 为其结构示意图。一个 CAPP 系统中有 n 个零件组，则在零件组矩阵文件中就有 n 条记录。

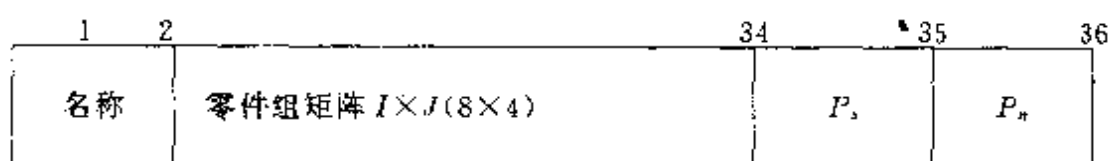


图 5-20 零件组矩阵记录

P_i —指向相应综合工艺过程文件的指针；

P_n —指向下一条记录位置的指针

(2) 综合工艺过程文件。为了便于修改和维护文件，工艺过程文件是以数字的形式而不是以汉字的形式存储的。因此，首先要将已确定的零件组的综合工艺过程数字化，即用数字代码来代表工艺过程中的汉字及词组，表 5-12 为零件组 1 的综合工艺过程。这个工艺过程可以用一个数字组成的矩阵来代替，这个矩阵即为综合工艺矩阵，见图 5-21。图 5-21a 为零件组 1 的综合工艺矩阵，b 为该矩阵各列含义的解释。

表 5-12 零件组 1 的综合工艺过程

工序号	工步号	工序名称	工步内容	设备
01		下料		锯床
02		车 1		C6132 车床
	1		车端面	
	2		车外圆	
	3		车螺纹	
	4		切断	
	5		车端面	
03		车 2		C6132 车床
	1		车端面	
	2		钻孔	
	3		铰孔	
	4		车外圆	
	5		车槽	
	6		倒角	
	7		切断	
	8		车端面	
04		磨 5		无心磨床
	1		磨外圆	
05		检验		

1	0	12	201	
2	0	20	202	
2	1	22		
2	2	23		
2	3	26		
2	4	30		
2	5	22		
3	0	21	202	
3	1	22		
3	2	40		
3	3	42		
3	4	23		
3	5	26		
3	6	31		
3	7	30		
3	8	22		
4	0	51	210	
4	1	53		
5	0	80		

a

1	2	3	4
工序号	工步号	工序名称及工步名称	机床、工具装备

b

图 5-21 零件组综合工艺过程矩阵

下一步用同样的方法,用一个矩阵文件来描述工序中各工步的有关内容,如刀具、切削用量等。图 5-22 为该矩阵文件各列的内容,每一行为一个工步的有关记录。矩阵中的工步名称代码即是与综合工艺过程矩阵文件相连接的指针,其它代码如第三、六列则是指向其它有关数据文件的指针。

第一列	第二列	第三列	第四列	第五列	第六列	第七列
工步序号	工步名称代码	刀具代码	进给量	切削深度	用据于的计公式切代削码数	工步所属工序

图 5-22 工步内容矩阵

系统还需要一个汉字库(或称名称文件),以便把检到的

全部代码转化成汉字,并以某种格式显示在屏幕上,以供用户编辑、修改。字库以文件的形式存在数据库内,其结构见图 5-23。汉字库是共享的,这样的数据结构使代码文件便于维护和修改。

图 5-24 为 S-CAPP 系统的数据库结构示意图。

代码	汉字
⋮	⋮
12	下料
⋮	⋮
20	车 1
21	车 2
22	车端面
23	车外圆
⋮	⋮
30	切断
31	倒角
⋮	⋮
53	磨外圆
⋮	⋮
201	锯床

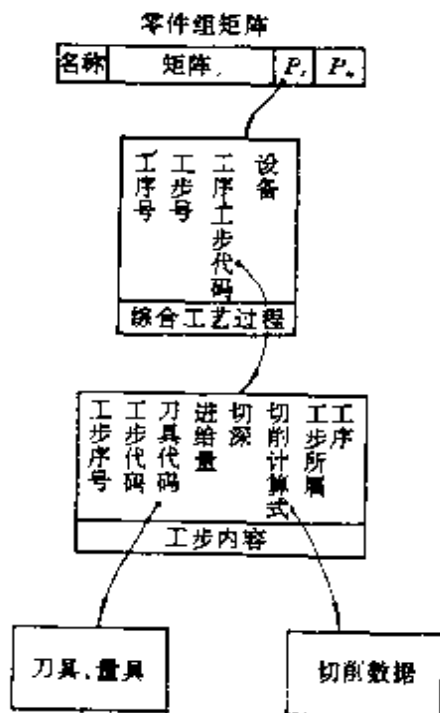


图 5-23 汉字库矩阵文件

图 5-24 S-CAPP 系统数据库结构

C 软件设计

把所需的数据文件全部准备好后,便可着手设计软件。所编制的软件应具备以下功能:

(1)搜索功能。根据待编零件的代码搜索出零件所在零件组的矩阵文件;根据零件组矩阵提供的指针搜索到该零件组的综合工艺过程文件,并将它调入计算机内存;根据工艺过程中的工步代码搜索到该工步的工步内容矩阵;再进一步搜索

该工步的切削用量、刀具及辅具等。其过程如图 5-24 箭头所示。

(2)编辑功能。将搜索到的所有的信息编辑成完整的工艺过程。

(3)屏幕显示功能。将该工艺过程以某种格式在屏幕上显示出来,以供用户再次编辑修改。

(4)屏幕编辑修改功能。用户对屏幕的工艺过程可进行屏幕修改、增加以及删除移位等。这个功能越强,操作越方便,系统的可操作性越强。

(5)存储功能。最后定稿的工艺过程应能存盘,以备后用。

(6)打印输出功能。系统应能按照用户要求的格式打印输出工艺规程。

派生式 CAPP 系统软件的搜索功能是其主要内容,这里介绍对零件组矩阵的搜索过程及搜索算法。

对一个零件组矩阵的搜索即是把该零件组矩阵与待编零件的代码相匹配的过程。搜索前要把零件组矩阵文件调入内存并存入某($i \times j$)数组。搜索算法如下:

设: C_j ——为待编零件代码中 j 码位的值;

P_x^l ——是零件组矩阵 l 的指针,指向下一个零件组矩阵;

P_s^l ——是零件组矩阵 l 的指针,指向零件组复合工艺过程;

P_o^l ——为零件组 l 的零件组矩阵。

搜索过程如下:

第一步,对零件族矩阵 l 做第二步,做完停。

第二步,对 $j=1$ 到 j 做第三步,做完转第五步。

第三步,令 $i=C_j$,若 $P_{ij}^l \neq 0$,则结束步骤,否则进行下一步。

第四步,使 $l=P_n^l$,转向第二步。

第五步,以 P_i^l 为指针搜索该零件组的综合工艺过程。

下面以表 5-10 中的 A115 零件为例来说明其搜索过程。
该零件的代码是 6514。搜索过程如下:

步骤一	$l=1$	搜索第一个零件组矩阵
二	$j=1$	
三	$i=C_1=6$	
	$P_{61}^1=0$	说明此零件不属于该零件组
四	$l=P_n^l=2$	搜索第二个零件组矩阵
二	$j=1$	重复第二步
三	$i=C_1=6, P_{61}^2=1$	
二	$j=2$	
三	$i=C_2=5, P_{52}^2=1$	
二	$j=3$	
三	$i=C_3=1, P_{13}^2=1$	
二	$j=4$	
三	$i=C_4=4, P_{44}^2=1$	
		至此可知该零件属于第二个零件组
五	$P_i^2=2$	
		据此可以调出第二个零件组的综合工艺过程文件

以后的搜索过程比较简单,不再赘述。

根据上述的搜索算法就可编程,来实际完成搜索过程。

5.3 生成式与综合式计算机辅助工艺规程设计

5.3.1 生成式 CAPP 系统的基本原理

生成式(Generative,或译成创成式)工艺过程设计系统的基本原理与派生式是不相同的。它不是通过修订零件组综合工艺过程而派生生成新零件的工艺过程,而是根据输入的待编零件的尺寸、形状以及加工表面的精度要求等信息,由该系统内的一整套决策逻辑和制造工程数据生成新的工艺过程。零件无须编码分类,也不存在零件组矩阵及综合工艺过程。生成式系统所需要的信息主要是各种加工方法的加工能力、各种机床的适用范围等一系列基本工艺知识,一般以数据文件或数据库形式提供。决策逻辑可编制在程序中,也可以决策规则的形式存入相对独立的工艺知识库供主控程序调用。待编零件可以由 CAD 数据库直接提供,也可由人工输入。系统在获得零件信息、经过一系列的判断决策、提取有关数据后便可自动输出该零件的工艺规程。工艺规程的详细程度可由用户确定。与派生式系统相比,生成式系统的发展还很不成熟,到目前为止还没有一种生成式系统能包括所有的工艺决策,也没有一种系统能完全自动化。也就是说,由于工艺过程设计的复杂性,功能完全、自动化程度高的生成式系统目前还未开发出来,而且在短期内也不一定能实现。因此,在目前开发的系统中将“生成”的概念放宽了,只要系统包括重要的决策逻辑或一部份决策逻辑就认为属于这一类系统。也有人把这样的系统称为“半生成式”或“综合式”系统。

尽管如此,由于生成式 CAPP 系统有许多优点,如无须对零件编码分类、运行过程中不需要操作人员进行干预、降低了对操作人员的要求,可以把专家们丰富的设计经验以决策

逻辑的形式存储起来,因此被大多数人认为是有前途的方法,需要大力开展有关的研究与开发工作。

5.3.2 生成式 CAPP 系统的设计方法

生成式 CAPP 系统的设计过程大致可分为两个阶段:准备阶段和软件设计阶段。

A 准备阶段

准备阶段要完成详细的技术方案设计以及大量的制造工程数据及知识的准备。这个阶段的工作可以说是基础工作,需要进行大量的调查研究和仔细的分析归纳。通常有以下几个方面的工作:

(1)明确所开发的系统的设计对象,即本系统将适用于哪一类型的零件。生成式 CAPP 系统虽然不需要像派生式那样要对零件进行编码分类,但仍要按成组技术原理根据加工过程的相似性把零件分类,明确设计对象的类别。也就是说,开发的 CAPP 系统必须有一个明确的、限定的使用范围。如设计对象是轴类零件还是箱体类零件;如是箱体类,是何种箱体,是机床主轴箱体还是减速箱体。这是因为不同的产品其表面类型不同;不同的表面类型,甚至于相同的表面类型位于不同类型的零件上,其加工方法也不相同。只有当对象明确以后,才能进行下面的工作。

(2)确定零件信息的描述方法。在生成式 CAPP 系统中,零件的信息一是从 CAD 系统读取,一是采用表面元素法由人工输入。如零件无 CAD 设计系统,就只能采用后一种方法,这时就要确定各加工型面的代码及输入方法。

(3)对本类零件进行工艺分析。即分析该类零件共有哪些加工表面,精度要求如何,这些表面用哪些加工方法可以完成。

(4)准备和建立各种加工方法的加工能力和经济加工精度等数据文件。这些数据可在各种制造工程手册中查到,也可根据本企业的具体情况来给定。

(5)归纳和建立各种工艺决策逻辑或决策方法,并用一定的形式把它们表达出来。最常用的方式是判定表(决策表)和判定树(决策树)。

B 软件设计

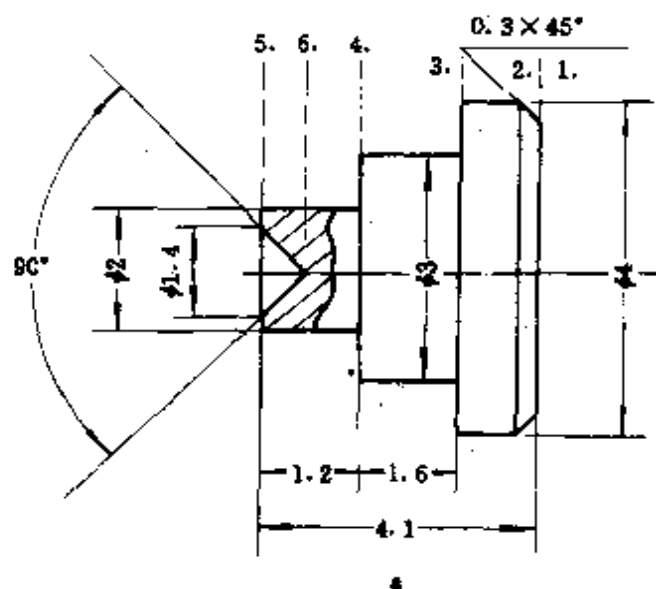
生成式 CAPP 系统软件设计的核心工作是各种工艺设计决策的模型化和算法化,但这方面的研究还很不充分,需要做大量的工作。

5.3.3 零件信息的描述和输入

在派生式 CAPP 系统设计中,零件的信息是以代码的形式输入的,即用代码来表示零件的特征。但这些代码只能达到分类的目的,一个零件究竟有多少表面组成,这些表面自身的尺寸及位置尺寸,表面的精度要求等,分类编码系统都无法表述。生成式 CAPP 系统必须根据零件的详细信息如各表面的尺寸、精度、表面粗糙度等,才能根据决策逻辑生成工艺过程。在无 CAD 系统的情况下,生成式 CAPP 系统中必须详细输入零件的信息。零件表面元素描述法就是适应这种要求而提出的。

任何机器零件都是由一个或若干个表面元素组成的,这些表面元素可以是平面、圆柱面、锥面、螺纹面等。图 5-25(a)所示为一自动车床上加工的零件,该零件有五个表面元素组成:外倒角、外圆柱面、外圆柱面、外圆柱面及划窝。可以用事先约定好的数字代码来代表这些表面元素,即使表面元素数字化。表面元素数字代码的规则由用户根据对设计对象的分析自己定义编定。

为了将零件的轴向尺寸输入并能加以识别,需要将零件的端面加以编号。约定编号的顺序为:先外表面后内表面,外表面由右向左,内表面由左向右。这样就可将图 5-25a 所示的零件用图 5-25b 那样的信息矩阵描述出来并将其输入计算机。



表面元素	代码	轴向尺寸	直径尺寸	起止端面	备注
WD(外倒角)	2	0.3	4	2 1	
WY(外圆)	1	4.1	4	1 5	
WY(外圆)	1	1.6	3	3 4	
WY(外圆)	1	1.2	2	4 5	
HW(划窝)	15	0	1.4	5 6	-90°

b

图 5-25 圆柱零件及其代码信息矩阵

a—零件图, b—零件代码信息矩阵

5.3.4 判定表与判定树

生成式 CAPP 系统的软件设计,其核心内容是各种决策

逻辑的表达和实现。尽管工艺过程设计的决策逻辑很复杂且包括各种性质的决策,但表达方式却有许多共同之处,可以用一定形式的软件设计工具(方式)来表达和实现,判定表和判定树则是最常用的两种方式。

A 判定表与判定树的基本概念

判定表与判定树是传统的系统分析及系统设计的方法,用它们来表达按一定条件选择的方案或规定相关联的动作十分直观、有效。随着计算机技术的发展,判定表和判定树已成为软件设计的基本技术工具。

判定表与判定树的概念可通过下列工艺决策的简单例子来说明。例如,孔的加工方法的决策用文字可表达为:

(1)如待加工的孔的精度(包括自身精度与位置精度)要求低,则选择钻孔方法。

(2)如待加工的孔本身精度要求高而孔的位置精度要求也高,则可选择钻—镗两步加工方法。

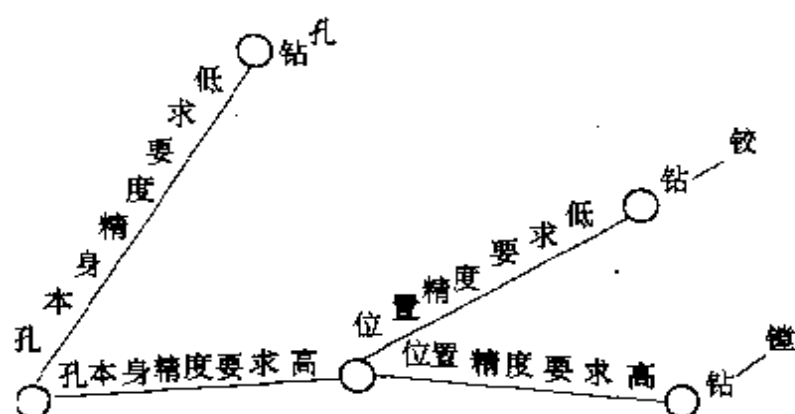
(3)如果孔的自身精度要求高但位置精度要求不高,则可选择钻—铰两步加工方法。

图 5-26a、b 分别为表达上述决策逻辑的判定表和判定树。a 中双横线以上部分代表条件,如某条件得到满足则取其值为“T(真)”或“Y(是)”,如不满足则取其值为“F(假)”或“N(否)”;双横线以下部分则代表结果。双竖线的左侧为项目,右侧每一列就是一条决策规则。b 中条件规定在树的分支上,当沿着分支引向某一结果途中的所有分支都为“真”时,才采取终点的这个动作。

比较上述三种方式可以看出,用判定表与判定树表示决策逻辑清晰、简练而直观,显然是软件设计很好的工具。

孔本身精度要求高	F	T	T
孔位置精度要求高		F	
钻孔	×		T
钻—铰		×	
钻—镗			×

a



b

图 5-26 判定表、判定树示例

a—判定表; b—判定树

B 判定树及判定表的实现

由图 5-26b 可清楚地看出,判定树很容易与“IF(如果)……THEN(则)……”这种直观的决策逻辑相呼应,因此很容易直接转换成逻辑流程图(框图)和程序代码。转换时条件(IF……)放在树的分支上,预定动作(THEN……)则放在结点。图 5-27 为孔加工方法的判定树及其流程图。

判定表也很容易在计算机上实现,它可以由判定表直接转化为程序框图;也可以先将判定表转化为判定树,然后再转化为计算机程序流程图及程序代码。

图 5-28 为某厂钣金件弯曲方法的判定表及由此转化成

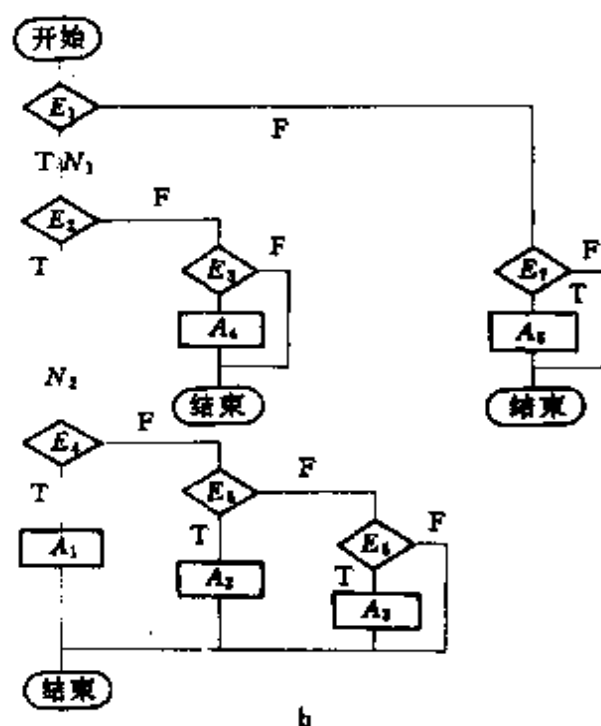
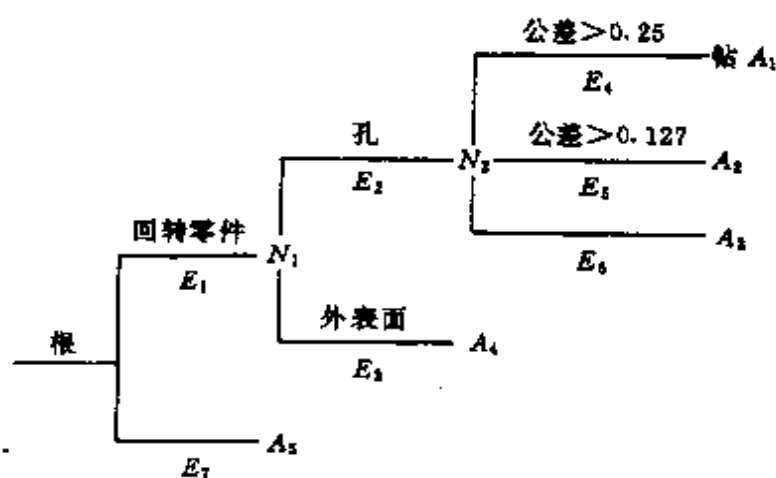
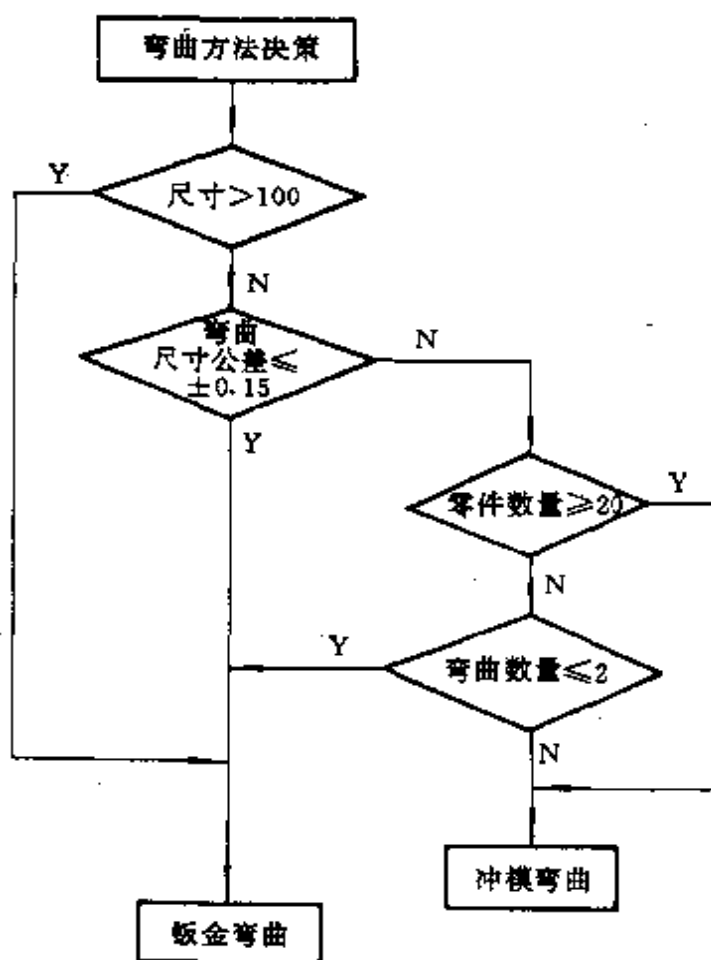


图 5-27 判定树在程序中的实现
 E —表示一个表达式或一系列动作; A —表示一个动作
 a—判定树;b—流程图

的程序框图。

轮廓尺寸 >100	T	F	F	F	F
弯曲后尺寸公差 $\leq \pm 0.15$		F	T	T	T
批量 ≥ 20			T	F	F
弯曲数量 ≤ 2				T	F
钣金弯曲	×	×		×	
冲模弯曲			×		×

a



b

图 5-28 钣金件弯曲方法的判定表及其实现
a—判定表, b—流程图

5.3.5 综合式 CAPP 系统

前面介绍了派生式和生成式两种工作原理不同的 CAPP 系统。当零件间相似性强、每个零件组所含的零件数多而组数少的时候,采用派生式系统来设计工艺过程十分有效,但零件的编码、分组等准备工作量很大。生成式系统从其原理上看优点甚多,但由于影响工艺过程设计的因素较多、较复杂,实施起来难度很大。在这种情况下产生了把两种方法结合起来的综合式 CAPP 系统,或称作半生成式 CAPP 系统。这种系统集中了派生式和生成式系统的优点,在工艺规程设计中便于检索的则检索,便于生成的则生成,完全根据设计对象的具体情况而定。从目前情况看,这是一种实用性好的 CAPP 系统,便于在企业中推广。下面以北京科技大学与北京地质仪器厂合作开发的 BDYBW CAPP 系统为例来说明综合式 CAPP 系统。

BDYBW CAPP 系统的设计对象是地质仪器中的钣金类零件,它们大多为仪器中的基础零件,形状各异且不规则,相互间的相似性很差。生产类型为单件小批生产。加工过程中钣金加工常与机械加工、冲压加工交替进行。经过对其加工工艺过程的分析知道,钣金加工的影响因素虽然较多,但影响几个主要工序的因素的规律性较强,易总结出决策逻辑。采用的机械加工方法种类较少,使用的机床种类也少。因此,对这类零件宜采用“生成”和“检索”相结合的综合式来设计 CAPP 系统。

BDYBW CAPP 系统以生成为主,而配合必要的检索。使用中无须对零件编码分类,系统中也不存在零件组矩阵以及零件组综合工艺过程。下面从三个方面介绍该系统。

A 零件信息的输入

钣金件的工艺信息可分为两类:(1)零件的几何及机械加工型面信息;(2)钣金加工信息。

钣金件上机械加工型面的种类较多,为使操作方便,设计了按由外至内的顺序在计算机屏幕上依次显示型面的“菜单”,型面的顺序号即是该型面的代码,操作者只要将图纸上存在的型面的“菜单”序号输入计算机即可。所有的型面输完后,屏幕会提问各型面的有关信息。图 5-29 为“菜单”的例子。

请输入异型孔信息		
11. 方孔	12. 长方孔	13. 特形孔
14. 长孔	15. 插头孔	16. 通风孔
17. 百页孔		
请逐个输入所需加工面的顺序号		
型面顺序号=?		

图 5-29 输入型面信息的菜单

有关钣金加工的信息采用人机对话的方法输入。计算机提问的问题十分明确,操作者只要按要求回答即可。

B 工艺过程的生成

各种型面的加工方法包括钣金加工、冲压加工和机械加工,大多是根据输入的零件信息以及各自的决策逻辑分别生成。图 5-28a 为弯曲方法判定表,表 5-13 为异形孔加工方法判定表。根据判定的加工方法即可“生成”工序。有的工序是“依附”于某道工序的,如采用钣金加工方法下料,则必有“铣四周”工序存在,不必再另行判定是否需要。

表 5-13 异形孔加工方法判定表

为标准异形孔	T	T	T	F	F	F
零件批量 ≥ 20	T	F	F	T	F	T
同类异形孔数量 ≥ 10		F	T	T		F
铣加工		×			×	×
冲压加工	×		×	×		

由于加工余量和机床的变化较小,故采用检索的方法。可根据加工尺寸检索出工序余量及工序公差,再计算出工序尺寸。根据工序指针可检索出机床。

“生成”的工序按一定的规则排列成工艺过程。表 5-14 为弯曲工序是排在机械加工之前还是之后的判定表。

生成的工艺过程由屏幕显示出来,供工艺人员审核。

C 工艺过程的修改

影响钣金件加工工艺过程的因素很多,而所有的决策逻辑都应把各种情况全部包括进去。为了弥补这一欠缺,在系统中增设了工艺过程修改模块。使用该模块可对生成的工艺过程进行工序增加、删除、移位以及修改工序尺寸、更换机床和工具装备型号、种类等。这样系统的柔性增加了,实用性更好。

表 5-14 弯曲先后判定表

图纸标注弯后尺寸		T	F
弯后影响后序加工	T	F	F
先弯		×	
后弯	×		×

图 5-30 是 BDYBW CAPP 系统的工作流程图。

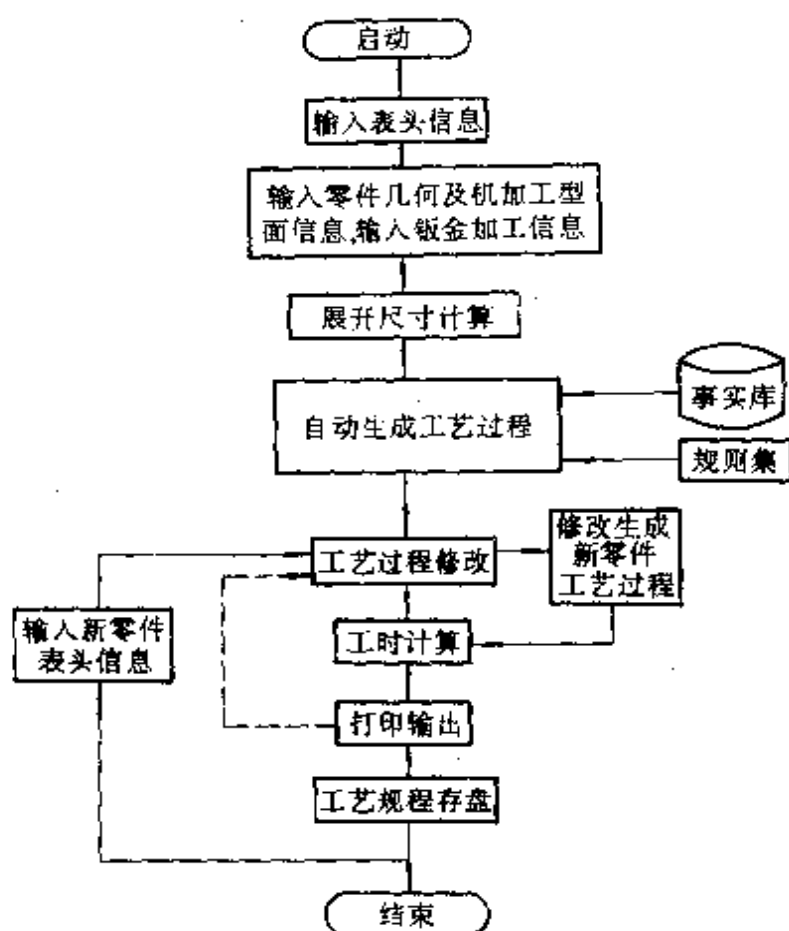


图 5-30 BDYBW CAPP 系统流程图

设计综合式 CAPP 系统的关键是, 根据设计对象的具体情况来决定那些工艺过程该检索, 那些工艺过程可生成, 而不是盲目地去追求某种形式。

6 系统布置设计

工厂设计 (Plant Design) 是工业工程的一个重要研究领域。近年来, 工厂设计对象向非工业设施如医院、商场等延伸, 因此工厂设计逐步采用含义更广泛的名称——设施规划与设计。在制造业中, 工厂设计中的工厂布置主要是确定工厂的生产部门、辅助服务部门和管理部门的位置。合理和有效的工厂布置对提高企业的生产效益、降低成本起着重要的作用。由于影响因素很多, 设计目标不明确, 长期以来工厂布置主要是依赖设计人员的经验和主观判断, 近年来才逐步形成了一些先进的设计方法, 其中具有代表性的是缪瑟 (R. Muther) 提出的系统布置设计法。该方法提出了作业单位相互关系的密级表示法, 使工厂布置设计由定性阶段发展到定量阶段。

6.1 工厂布置概述

传统观点认为, 降低生产成本的主要着眼点在于产品设计和加工工艺的改进。但是, 据资料统计分析表明, 产品制造费用的 20%~50% 是用作物料搬运的, 而物料搬运直接与工厂布局及设备布置情况有关, 有效的设施布置大约能减少搬运费用的 30%。因此, 工厂设施布置的优劣不仅直接影响着整个生产系统的运转情况, 而且也是决定产品成本高低的关键因素之一。

6.1.1 工厂设计的研究范围

设施规划与设计是一种对企业的设备、物料以及人员所

需的空间进行合理分配和有效组合的技术，其研究对象相当广泛，不仅涉及到工矿企业，还包括学校、医院、商店等。就工厂设计而言，主要包括厂址选择、工厂平面布置、物料搬运与仓储、能源管理和办公室布置等研究内容。

(1) 厂址选择。新建与扩建工厂时，首先要对未来的厂址进行选择，一是要确定工厂座落的地区，二是要确定工厂在该地区的具体位置。

关于地区的选择，一般要受当地的工业布局的限制，受社会宏观经济的约束。

影响工厂位置的因素很多，可分为定量的成本因素和定性的非成本因素。重要的成本因素包括：

- 1) 运输成本；
- 2) 原材料的供应成本；
- 3) 动力能源和水的供应量及其成本；
- 4) 土地成本和建筑成本；
- 5) 劳动力资源的供应量、素质及其成本；
- 6) 其它各类社会服务成本等。

定性的非成本因素包括当地的气候、地理环境、政策法规、社会因素及科技发展水平等。

建设新厂时，工厂的位置应适应工厂未来发展的需要。改、扩建工厂应充分利用原有厂房。

(2) 工厂布置。工厂布置主要包括工厂总平面布置和车间布置两个方面。

工厂总平面布置要对工厂的生产车间、物料储运部门、管理部门和生产服务部门的建筑物、场地和道路等，按照各部门之间的相互关系的密切程度作合理的安排。车间布置主要是考虑工艺过程、物流量等因素，对机器设备、运输通道等

作合理的布局。

工厂布置是工厂设计的核心内容。

(3) 物料搬运。工厂内的物料搬运涉及到全厂的工艺流程、搬运作业、仓库管理、信息系统等各个方面。现代物料搬运的重要特征是，把物料搬运过程中的所有环节（包括运输、装卸、储存、加工、装配和包装等）当作一个整体的物流系统来考虑，并与工厂布置密切结合，使工厂物料流动与转移更趋合理，减少物料和能源消耗，缩短物料流动周期，提高产品质量，节省劳动力，最终实现系统总体效益最优化。

6.1.2 工厂布置的基本原则

在根据当地规划要求确定适当的厂址位置的前提下，应按下列原则进行工厂布置。

A 工厂总平面布置原则

(1) 满足生产要求，工艺流程合理。工厂总体布局应满足生产要求，符合工艺流程，减少物流量，同时重视各部门之间的关系密切程度。具体布置方法有两种：

1) 按功能划分厂区，即将工厂的各部门按生产性质、卫生、防火与运输要求的相似性，将工厂划分为若干功能区段。如大中型机械工厂的厂区划分为加工装配区、备料（热加工）区、动力区、仓库设施区及厂前区等。这种布置方法的优点是各区域功能明确，相互干扰少，环境条件好。但是，这种布置方法难以完全满足工艺流程和物流合理化的要求。

2) 系统布置设计法，即按各部门之间物流与非物流相互关系的密切程度进行系统布置。这种布置方法可以避免物料搬运的往返交叉，节省搬运时间与费用。

(2) 适应工厂内外运输要求，线路短捷，顺直。工厂总平面布置要与工厂内部运输方式相适应。根据生产产品产量

特点，可以采用铁路运输、公路运输、带式运输或管道运输等。根据选定的运输方式、运输设备及技术要求等，合理地确定运输线路及与之有关的部门的位置。

厂内道路承担着物料运输、人流输送、消防通行的任务，还具有划分厂区的功能。道路系统的布局对厂区绿化美化、排水设施布置、工程管线铺设也有重大影响。

工厂内部运输方式、道路布局等应与厂外运输方式相适应，这也是工厂总平面布置应予以重视的问题。

(3) 合理用地。节约用地是我国的一项基本国策。工业企业建设中，在确保生产和安全的前提下，应尽量合理地节约建设用地。在工厂总平面布置时可以采取如下措施：

1) 根据运输、防火、安全、卫生、绿化等要求，合理确定通道宽度以及各部门建筑物之间的距离，力求总体布局紧凑合理。

2) 在满足生产工艺要求的前提下，将联系密切的生产厂房合并，建成联合厂房。此外，采用多层建筑形式或适宜的建筑物外形。

3) 适当预留发展用地。

(4) 充分注意防火、防爆、防振与防噪声。安全生产是工厂布局首先要考虑的问题。在某些危险部门之间应留出适当的防火、防爆间距。

振动会影响精密作业车间的生产，因此精密车间必须远离振源或采用必要的隔振措施。如机械厂的精加工车间及计量部门应远离锻造车间或冲压车间。

噪声不仅影响工作，而且摧残人的身体健康。因此，在工厂总平面布置时要考虑防噪声问题。一是采取隔音措施，降低噪声源发出的噪声级；二是使人员多的部门远离噪声源。

(5) 利用风向、日照等自然条件，减小环境污染。生产中产生的有害烟雾和粉尘会严重影响工作人员的身心健康，并会造成环境污染。进行工厂总平面布置前，必须了解当地全年各季节风向的变化转换规律，绘制成风象图，找出全年占优势的盛行风向及最小风频风向。如我国北方大部分地区春、夏季盛行东南风，秋、冬季盛行西北风，散发有害烟雾或粉尘的车间应分布在两盛行风向间的最小风频风向的上风侧，如图 6-1 所示。

建筑物的朝向也是工厂总平面布置时应注意的问题，特别是对日照、采光和自然通风要求较高的建筑物，更应注意这个问题。

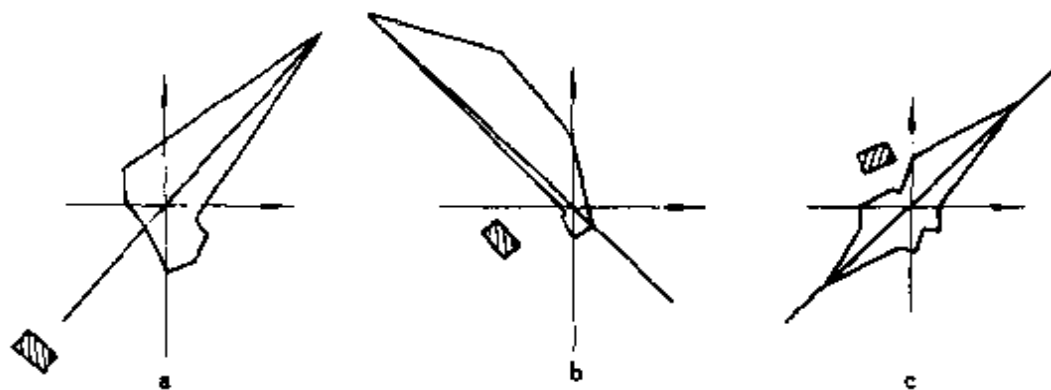


图 6-1 风向与污染建筑物的位置关系

此外，还应充分利用地形、地貌、地质条件，考虑建筑群体的空间组织和造型，注意美学效果，考虑建筑施工的便利条件。

上述设计原则涉及面非常广，往往存在相互矛盾的情况，应该结合具体条件，加以分别考虑。

B 车间布置原则

(1) 确定设备布置形式。根据车间的生产纲领,分析产品—产量关系,确定生产类型(是大量生产、成批生产,还是单件生产),由此决定车间设备布置形式(是流水线式、成组单元式,还是机群式)。

(2) 满足工艺流程要求。车间布置应保证工艺流程顺畅、物料搬运方便,减少或避免往返交叉物流现象。

(3) 实行定置管理,确保工作环境整洁、安全。车间布置时,除给主要生产设备安装适当位置外,还需给其它所有组成部分(包括在制品暂存地、废品废料存放地、检验试验用地、工人工作地、通道、辅助设施如办公室、生活卫生设施等)安排出合理的位置,确保工作环境整洁及生产安全。

(4) 选择适当的建筑形式。根据工艺流程的要求及产品的特点,配备适当等级的起重运输设备,进一步确定建筑物的高度、跨度、柱距及形状。

此外,还应注意采光、照明、通风、采暖、防尘、防噪声等要求,并使布置具有适当的柔性,以适应生产的变化。

6.1.3 设施布置的必要性和意义

出现下列情况时,要对生产系统进行设计和调整平面布置:

(1) 新建与扩建企业。

(2) 产品需求发生变化。当产品需求量远远超过现有生产系统的生产能力时,就需要新建或扩建厂房;而产品需求量变小时,会使得原有生产系统出现不平衡现象。因此,需要对生产系统进行调整。

(3) 产品更新与新产品开发。新产品投入生产后,原有生产系统的平衡被打破,而且新产品往往需要添置新设备或建立新的生产线,因此需要对布置作出调整。

(4) 引入新技术、新工艺。新技术、新工艺的引入往往改变原有的生产工艺过程,进而影响物流系统的工作状态,此时要对生产系统进行改进乃至重新布置。

(5) 生产系统出现薄弱环节,或物流系统显著不合理,也有必要进行局部的平面布置调整。

此外,诸如安全因素、环境因素等都可能要求对生产系统进行重新布置。

合理的平面布置能够充分发挥生产系统的生产能力。若一个不合理的平面布置投入使用,就需要经常改建和调整,给生产造成混乱,阻碍生产效率的提高,因而增加生产成本。

最佳生产系统布局可以带来以下效果:

(1) 提高生产率。各台生产设备保持有机联系的布置,可以减少浪费与不合理现象,便于提高生产率。

(2) 减少在制品。由于物流均衡,减少了生产线上停留的在制品,因而减少了生产中间的库存。

(3) 提高生产设备的开工率。由于生产设备能力和负荷均衡,便于提高设备利用率。

(4) 减少搬运作业量。减少生产线上在制品的数量、停留时间及搬运交叉现象,可以减少搬运作业量,并能确保安全。

(5) 提高生产的柔性。对于多品种小批量生产,采用适当的设备布置形式,有利于生产的扩大与设备的补充,具有一定的柔性。

6.1.4 工厂布置的方法

由于工厂布置需要考虑的因素很多,而很多因素不能用定量的方法表示;且工厂布置的目标存在着多个目标,往往存在相互矛盾的要求,因此许多布置都依赖于设计人员的经

验，无法确保布置的合理性。而良好的布置设计与拙劣的布置设计之间的实际施工费用相差无几，但两者日后生产作业的效率、质量、成本与安全却有极大的不同。如何确保工厂布置合理、延长布置方案的使用寿命周期，是工厂布置设计人员长期以来一直探索的课题。

美国缪瑟提出的系统布置设计(SLP)法提供了一整套具有清晰条理性和严密逻辑性的分析方法。该法采用作业单位间的关系密级与相互关系表、图来研究各种因素对布置设计的影响，使布置设计由定性阶段发展到了定量阶段，很受广大设计人员的青睐，在许多领域得到了广泛的应用。

6.2 系统布置设计法

6.2.1 系统布置设计的基本要素

一般说来，工厂布置设计就是在根据社会需要确定出某些待生产的产品及其产量的前提下完成下列任务：

- (1) 确定厂址；
- (2) 工厂总平面布置；
- (3) 车间布置；
- (4) 建厂、实施布置方案。

厂址的确定主要是由经营决策人员根据某些社会因素、经济因素及自然条件来作出决策，建厂工作则主要是由土建施工人员来完成，与设施布置设计人员直接相关的是任务(2)和(3)。

如图6-2所示，为了完成工厂总平面布置和车间布置，需要从产品 P 及产量 Q 出发，首先对产品组成进行分析，确定各零部件的生产类型，制定出各个零部件的加工、装配工艺过程；根据工艺流程的各阶段的特点划分生产车间，并根据

生产需要，设置必要的职能管理部门及附属生产与生活服务部门。整个工厂就是由生产车间、职能管理部门、附属生产及生活服务部门和为使生产连续进行而设置的仓储部门这几类作业单位所构成。然后，由设施布置设计人员来完成工厂总平面布置及车间布置的设计。

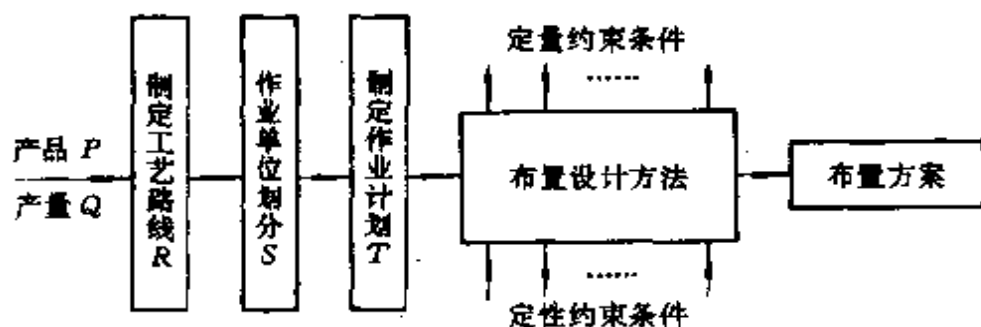


图 6-2 工厂设计过程

在图 6-2 所示的工厂设计过程中,基本给定条件(要素)为产品 P 及产量 Q ,涉及到除平面布置设计以外的制定加工、装配工艺过程等多种专业技术问题,要求多种专业技术人员配合、协作来完成。

为了突出平面布置设计,把平面布置前各段工作的结果作为给定要素来处理,包括工艺路线 R 、辅助服务部门 S 及生产时间安排 T ,这样就形成了单纯的工厂布置模型,如图 6-3 所示。

(1) 产品 P 。产品 P 是指待布置工厂将要生产的商品、加工的零件和成品等。这些资料由生产纲领和产品设计提供, 包括项目、品种类型、材料、产品特性等。产品这一要素影响着生产系统的组成及其各作业单位间的相互关系、生产设备类型、物料搬运方式等。

(2) 产量 Q 。产量指所生产的产品数量, 也由生产纲领

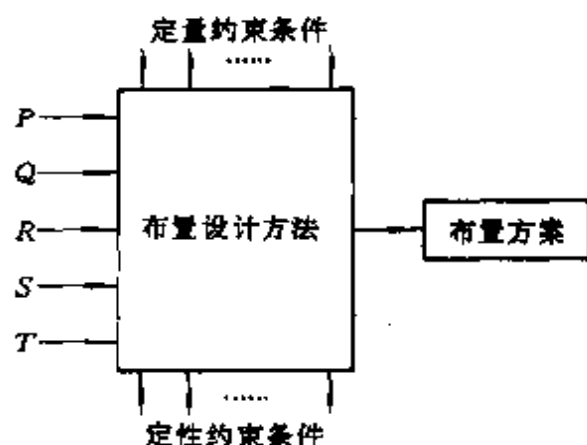


图 6-3 工厂布置模型

和产品设计提供，可以用件数、重量、体积等来表示。产量 Q 这一要素影响着生产系统的规模、设备的数量、运输量、建筑物面积的大小等。

(3) 生产路线 R 。为了完成产品的加工，必须制定加工工艺过程，形成生产路线。生产路线可以用工艺过程卡、工艺流程图、设备表等表示。它影响着各作业单位之间的关系、物料搬运路线、仓库及堆放地的位置等。

(4) 辅助服务部门 S 。在实施系统布置工作以前，必须就生产系统的组成情况有一个总体的规划。可以大体上分为生产车间、职能管理部门、辅助生产部门、生活服务部门及仓储部门等；也可以把除生产车间以外的所有作业单位统称为辅助服务部门 S ，包括工具、维修、动力、收货、发运、铁路专用线、办公室、食堂等，由这些作业单位构成生产系统的生产支持系统，在某种意义上加强了生产能力。有时，辅助服务部门的占地总面积接近甚至大于生产车间的占地面积，所以布置设计时应给予足够的重视。

(5) 时间 T 。时间要素是指在什么时候、用多少时间生产出产品，包括各工序的操作时间、更换批量的次数。在工艺过程设计中，根据时间因素确定生产所需要的各类设备的数量、占地面积的大小和操作人员数量，来平衡各工序的生产时间。

6.2.2 系统布置设计的方法

任何一种系统设计过程都是反复迭代、逐步细化的寻求最优解的过程，工厂布置设计更是这样。设计步骤的正确与否往往是工厂布置设计能否成功的关键。系统布置设计是一种逻辑性强、条理清楚的布置设计方法，分为确定位置、总体规划、详细布置及安装四个阶段。

阶段 I，确定位置。

在新建、扩建或改建工厂或车间时，首先应确定新厂房座落的地区位置。在这个阶段中，要明确待建工厂的产品、计划生产能力，参考同类工厂的情况确定待建工厂的规模，从待选的新地区或旧有厂房中确定可供利用的厂址。

阶段 II，总体区划。

总体区划又叫区域划分，就是在已确定的厂址上规划出一个总体布局。在这个阶段中，应明确各生产车间、职能管理部门、辅助服务部门及仓储部门等作业单位的工作任务与功能，确定其总体占地面积及外形尺寸。在确定了各作业单位之间的相互关系后，把基本物流模式和区域划分结合起来进行布置设计。

阶段 III，详细布置。

详细布置一般是指一个作业单位内部机器及设备的布置。在详细布置阶段，要根据每台设备、生产单元及公用，服务单元的相互关系确定其各自的位置。

阶段Ⅳ，安装。

在完成详细布置设计、经上级批准后，可以进行施工设计。需绘制大量的详细安装图和编制搬迁、安装计划，必须按计划进行机器、设备及辅助装置的搬迁、安装施工工作。

在系统布置设计过程中，上述四个阶段按图 6-4 所示的顺序交叉进行。在确定位置阶段就必须大体确定各主要部门的外形尺寸，以便确定工厂的总体形状和占地面积；在总体区划阶段就有必要对某些影响重大的作业单位进行较详细的布置设计。在整个设计过程中，随着每一阶段的推进，数据资料逐步齐全，从而能发现前期设计中存在的问题，再通过调整修正，逐步细化完善设计。

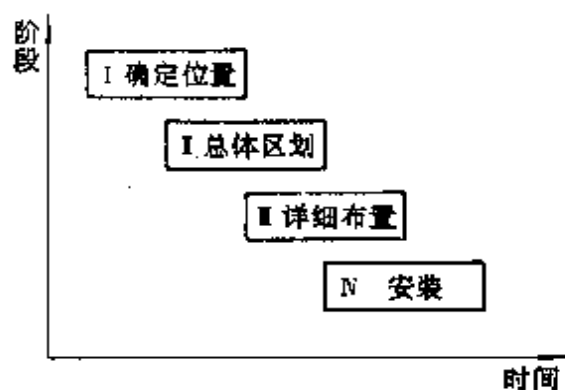


图 6-4 工厂布置阶段

在系统布置设计的四个阶段中，阶段Ⅰ与阶段Ⅳ由其他专业人员负责，系统布置设计人员应积极参与；阶段Ⅰ和阶段Ⅱ由系统布置设计人员来完成。阶段Ⅱ和阶段Ⅲ采用相同的设计步骤——系统布置设计程序，如图 6-5 所示。

系统布置设计程序一般包括下列步骤：

(1) 准备原始资料。在系统布置设计开始时，首先必须

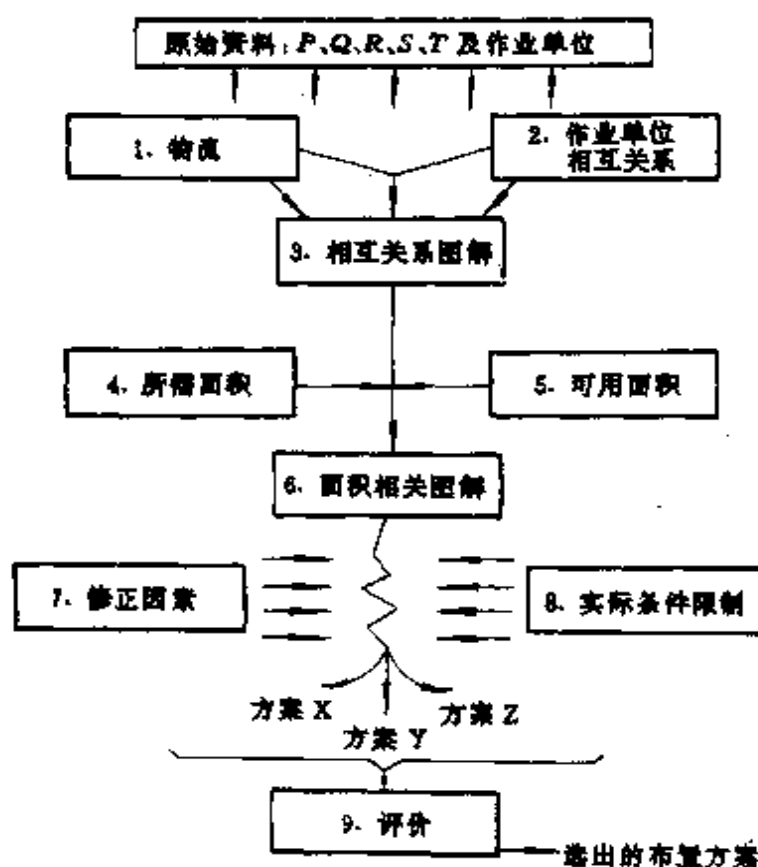


图 6-5 系统布置设计程序模式

明确给出基本要素——产品 P 、产量 Q 、生产工艺过程 R 、辅助服务部门 S 及时间安排 T 等这些原始资料；同时，对作业单位的划分情况进行分析，通过分解与合并得到最佳的作业单位划分状况。所有这些均作为系统布置设计的原始资料。

(2) 物流分析与作业单位相互关系分析。对某些以生产流程为主的工厂来说，物料移动是工艺过程的主要部分，如一般的机械制造厂，物流分析是布置设计中最重要方面；对某些辅助服务部门或某些物流量小的工厂来说，各作业单位之间的相互关系（非物流联系）对布置设计就显得更重要了；介于上述两者之间的情况，则需要综合考虑作业单位之间物

流与非物流的相互关系。

物流分析的结果可以用物流强度等级及物流相关表来表示。非物流作业单位间的相互关系可以用关系密级及相互关系表来表示。在需要综合考虑作业单位间物流与非物流的相互关系时，可以采用简单加权的方法将物流相关表及作业单位间相互关系表综合成综合相互关系表。

(3) 绘制作业单位位置相关图。根据物流相关表与作业单位相互关系表，考虑每对作业单位间相互关系等级的高低，决定两作业单位相对位置的远近，得出各作业单位之间的相对位置关系（有些资料上也称为拓朴关系）。这时并未考虑各作业单位具体的占地面积，得到的仅是作业单位位置相关图。

(4) 计算作业单位的占地面积。各作业单位所需的占地面积与设备、人员、通道及辅助装置等有关，计算出的面积应与可用面积相适应。

(5) 绘制作业单位面积相关图。把各作业单位占地面积附加到作业单位位置相关图上，就形成了作业单位面积相关图。

(6) 修正。作业单位面积相关图只是一个原始布置图，还需要根据其它因素进行调整与修正。此时需要考虑的修正因素包括物料搬运方式、操作方式、储存周期等，同时还需要考虑实际限制条件如成本、安全和职工倾向等是否允许。

考虑了各种修正因素与实际限制条件以后，对面积图进行调整，可以得出数个有价值的可行方案。

(7) 方案评价与择优。针对得到的数个方案，需要进行费用及其它因素评价。通过对各方案进行比较评价，选出或修正设计方案，得到布置方案图。

6.3 基本要素分析

6.3.1 产品—产量分析

企业生产的产品的品种的多少、每种产品的产量的高低决定了工厂的生产类型,进而影响着工厂设备的布置形式,如表 6-1 所示。表中列出了大量生产、成批生产及单件生产情况下的生产特点及设备布置类型。

表 6-1 生产类型特点

生产类型 条件		大量生产 (流水线生产)	成批生产	单件生产
需求条件	品种	品种较少,产品的品种、规格一般由企业自己决定	品种较多,产品品种、规格由企业或用户决定	品种繁多,产品品种、规格多由用户决定,产品功能有某些特殊要求
	质量	质量变动少,要求有互换性	质量要求稳定,但每批质量可以改进	每种产品都要求有自己的规格和质量标准
	产量	产量大,可以根据国家计划或市场要求预测,预先确定销售(出产)量	产量较小,可以分批轮番生产,可以根据市场预测和订货确定出产量	产量小,由顾客订货时确定产量
技术特点	设备	多采用专用设备	部分采用专用设备	采用通用设备
	工艺装备	专用工艺装备	部分专用工艺装备	通用工艺装备
	工序能力	通过更换程序能够生产多种规格产品,各工序能力要平衡	通过更换程序,能够生产许多品种,主要工序能力要平衡	通过更换程序,能够生产许多品种,各工序能力不需要平衡
	运输	使用传送带	使用卡车、吊车	使用吊车、手推车
	零件互换性	互换选配	部分钳工修配	钳工修配
	标准化	原材料、零件工序和操作要求标准化	对规格化、通用化零件要求标准化	对规格化、通用化零件要求标准化

续表 6-1

生产类型 条件	大量生产 (流水线生产)	成批生产	单件生产
设备布置	对象原则	混合原则	工艺原则
劳动分工	分工较细	一定分工	粗略分工
工人技术水平	专业操作	专业操作多工序	多面手
计划安排	精确	比较细致	粗略, 临时派工
库存	用库存成品调节产量	用在制品调节生产	用库存原材料、零部件调节生产
维修、保养	采用强制的或预防修理保养制度	采用预防修理保养制度	关键设备采用计划维修制, 一般设备可采用事故维修
生产周期	短	较短	长
劳动生产率	高	较高	低
成本	低	中	高
生产适应性	差	较差	强

一般说来,机械制造业设备布置的基本形式(如图 6-6 所示)按产品在制造过程中的位置是否变化分为产品移动式和

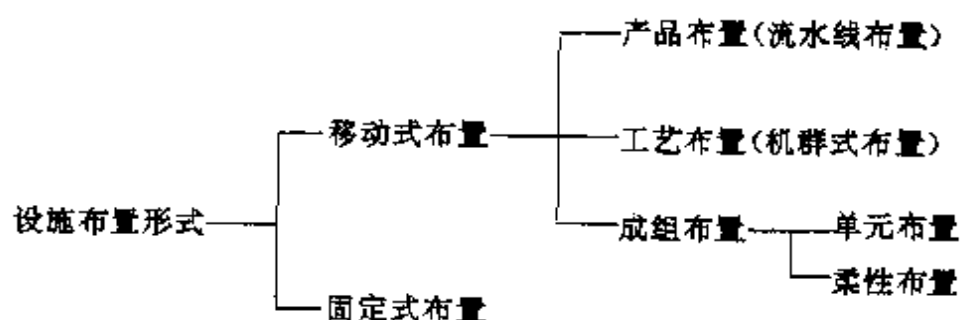


图 6-6 设备布置的基本形式

产品固定式两大类。产品移动式布置又可分为产品原则布置、工艺原则布置及成组原则布置三种形式。

每种设备布置形式各有特点,分别适应不同的生产类型。

(1) 产品原则布置 (Product Layout)。产品原则布置也称为流水线布置或对象原则布置。当产品品种很少而生产数量又很大时,应按产品的加工工艺流程顺序配置设备,形成流水生产线,这是大量生产中典型的设备布置方式。由于产品原则布置按产品的加工、装配工艺流程顺序配置各道工序所需要的设备、人员及物料因此能最大限度地满足固定品种的产品的生产过程对空间和时间的客观要求,生产效率非常高,单件产品生产成本低,但生产适应性即柔性差。适用于少品种大量生产。

(2) 工艺原则布置 (Process Layout)。工艺原则布置也称为机群式布置。这种布置形式的特点就是把同种类型的设备和人员集中布置在一个地方,如车床工段、铣床工段、刨床工段与磨床工段分别把车床、铣床、刨床和磨床各自集中布置在一个地方。这种布置方式便于调整设备和人员,容易适应产品的变化,生产系统的柔性大大增加。但是,当工件需要经过多种设备进行加工时,工件就不得不往返于各工序之间,增加了产品的搬运次数与搬运距离,常常带来物料交叉搬运与逆向流动问题。这种布置形式通常适用于单件生产。

(3) 成组原则布置 (Group Technology Layout)。成组原则布置又称为混合原则布置。在产品品种较多、每种产品的产量又是中等程度的情况下,将工件按其外形与加工工艺的相似性进行编码分组,同组零件用相近的工艺过程进行加工;同时将设备成组布置,即把使用频率高的机器群按工艺流程顺序布置组合成成组制造单元,整个生产系统由数个成组制

造单元构成。这种布置方式既有流水线的生产效率又有机群式布置的柔性，可以提高设备开动率，减少物流量及加工时间。成组原则布置适用于多品种、中小批量的生产类型。

现代成组原则布置包括柔性制造单元（FMC）和柔性制造系统（FMS）两种方式。

（4）固定式布置（Fixed Position Layout）。产品固定式布置适用于大型设备如飞机、轮船的制造过程，产品固定在一个固定位置上，所需设备、人员、物料均围绕产品布置。这种布置方式在一般场合很少应用。

综上所述，产品品种的多少、产量的高低直接决定了设备布置的形式。图 6-7 直观反映了产品—产量与设备布置形式的关系。因此，只有对产品—产量关系进行深入分析，才能得出恰当的设备布置形式。

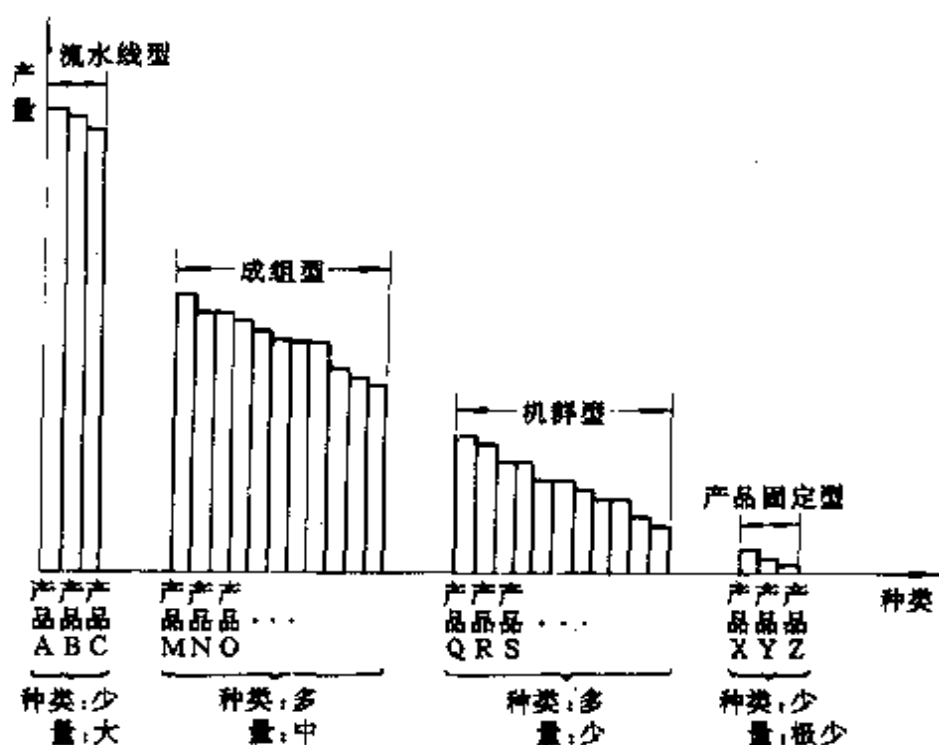


图 6-7 产品—产量与设备布置关系

随着科学技术的发展和社会的进步，社会需求正朝着多样化方向发展。因此，工厂的生产类型都逐渐转变为多品种、中小批量生产，只生产单一品种产品的工厂不再有竞争力。对于一个工厂来说，不同产品的生产也是不均衡的，往往 30% 的产品品种占去 70% 的产量，而 30% 的产量却分散在 70% 的产品品种中。

准确地把握产品—产量的关系是工厂布置的基础。一般说来，产品—产量分析分为两个步骤：①将各种产品、材料或有关生产项目分组归类；②统计或计算每一组或类的产品的数量。需要说明的是，产量的计算单位应该反映出生产过程的重复性，如件数、重量或体积等。

在产品—产量分析过程中，将产品—产量关系绘制成 $P-Q$ 曲线，如图 6-8 所示。绘制曲线时，按产量递减顺序排

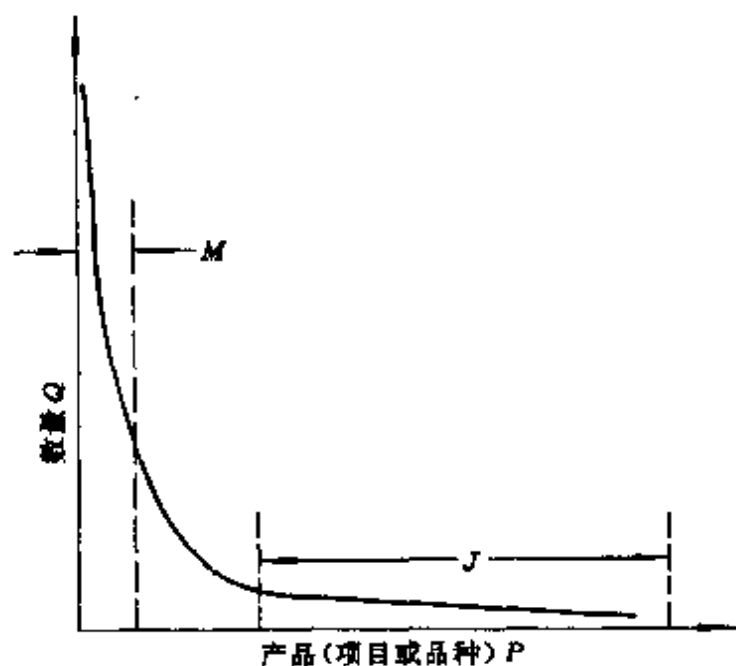


图 6-8 $P-Q$ 曲线

列所有产品。图中 M 区的产品适用大量生产类型， J 区的产品适用单件小批生产类型，而介于 M 区与 J 区之间的产品的生产类型为成批生产。

对于不同类型的产品，其生产类型的划分是有区别的。表 6-2 列出了不同类型产品的生产类型的分类数据，可供参考。

表 6-2 生产类型的分类数据

产品类型	年产量 (件/年)				
	大量生产	成批生产			单件生产
		大批	中批	小批	
重型零件	>1000	300~1000	100~300	5~100	<5
中型零件	>5000	500~5000	200~500	10~200	<10
轻型零件	>50000	5000~50000	500~5000	100~500	<100

6.3.2 工艺流程分析

如前所述，不同的生产类型应采取不同的设备布置形式。大量生产、多采用专用设备及专用工具装备，按工艺过程顺序排列设备，形成高效的流水生产线；对于单件小批生产来说，设备按其类型及功能集中布置，以获得高的适应性，工厂的生产车间的划分也是在此基础上实现的；对于成批生产特别是按成组方式组织生产的情况来说，设备布置相当复杂，与产品生产的工艺过程——零部件加工、装配工艺过程密切相关。此外，工厂生产的产品多数情况下都是经网络状的多条工艺过程制造出来的，各条工艺过程往往互不相干，因此常由不同的生产车间来完成。也就是说，工艺过程决定了生产车间的划分状况，其它辅助服务部门的设置也大多受生产工艺过程的影响。

产品的工艺过程是由产品的组成、零件的形状与加工精

度要求、装配要求、现有加工设备与加工方法等因素决定的，必须在深入了解产品组成、各部分加工要求后，才能制定出切实可行的加工工艺过程。

A 产品组成分析

在机械制造业中，产品大多是机器设备，这样的产品组成是很复杂的，一般由多个零、部件构成一个产品，因此产品生产的工艺过程也是因其组成的不同而千变万化。

每一种产品都应由产品装配图出发，按加工、装配过程的相反顺序，对其进行分解。完整的产品可以按其功能结构分解成数个部件（或组件），每个部（组）件又是由多个零件组合而成的，有些零件可能需要自制，而另一些零件甚至部件可能直接从外购得到，只有需要自制的零、部件才需要编制加工、装配工艺过程。

以某厂生产的电瓶叉车为例，来说明产品组成的分析过程。图 6-9 表示叉车的构成。为了以后分析起来方便，这里给出叉车各个组成部分的重量。

经过产品组成分析，填写零件明细表。如果工厂生产类型为多品种成批生产，应根据零件外形、尺寸的相似性及加工工艺的相似性，对不同产品的零件进行分组归类。

B 工艺过程设计

产品生产的工艺过程与产品的类型密切相关，不同的产品其工艺过程存在着极大的差别，因此工艺过程的设计需要由专业技术人员来完成。以机械制造业为例，一种产品由不同的零部件组成，不同种的零件加工工艺过程是不一样的。如轴类零件往往采用锻—粗车—精车—磨的加工工艺过程；齿轮类零件往往采用锻—车—制齿—磨齿的工艺过程；箱体类零件一般采用铸造或焊接—铣或刨—镗孔等加工工艺。在

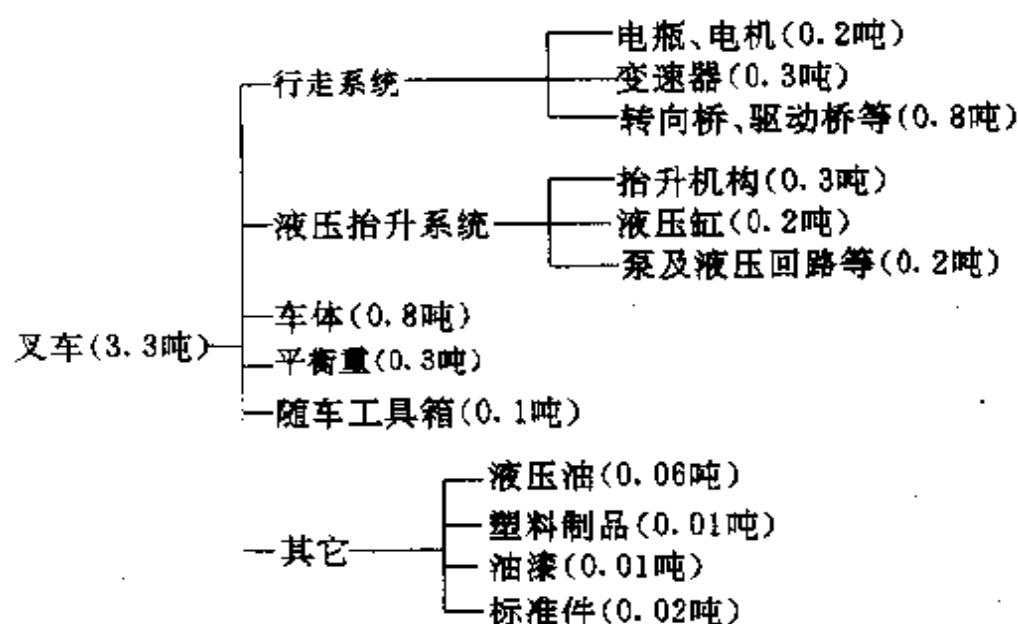


图 6-9 叉车组成

各类零件的加工过程中，还需要适时安排时效处理、热处理及检验等工序。一般说来，零件的加工工艺过程设计需要考虑零件类型、使用场合、尺寸大小、形位公差、尺寸精度、表面粗糙度要求等因素以及现有的加工设备与可行的加工方法。

C 设备选择

在制定工艺过程时，必须选择加工设备。设备的类型及功能对工艺过程又有很大影响，如加工中心可以将分散在多台普通机床上的加工工序集中在一起，这样就大大简化了工艺过程。选择设备是建厂工作中极其重要的一个组成部分，而且设备又是企业的一项长期投资，因而普遍受到企业的重视。选择设备一般应考虑以下因素：

(1) 可行性。所选择的设备必须满足生产需要。根据工艺过程设计，可以确定工厂所需设备的加工范围、加工精度

等级及生产能力要求，这些都是选择设备的基本要求。在满足这些基本要求的前提下，适当考虑生产发展的需要，选定设备型号规格。

(2) 经济性。在满足生产需要的前提下，经济性又是选择设备的一个重要因素，应适当考虑技术发展趋势，以较低的资金投入购买一定性能的设备，以减少设备投资。

(3) 可维护性。企业使用的设备应具有较低的故障率，但若一旦出了故障，应能尽快发现故障原因，加以维修。另外，设备的生产厂家应能提供完善的技术服务。

设备类型确定后，应按下式计算所需设备的数量：

$$\text{设备数量} = \frac{\text{计划产量}}{\text{生产率} \times \text{成品率} \times (1 - \text{故障率}) \times \frac{\text{工作时间}}{\text{单件工时}}}$$

在上式中，计划产量为计划周期内的产量，如件/班或件/日等；单件工时为设备生产一件工件所需要的时间；工作时间是计划周期内的开机时间。考虑生产率、成品率及故障率后计算出所需设备的数量，将所有采用同一设备完成的工序所需设备的数量累加后得出实际所需设备的数量。

6.3.3 作业单位的划分

任何一个企业都是由多个生产车间、职能管理部门、仓储部门及其它辅助服务部门组成的。企业的各级组成部分统称为作业单位。每一个作业单位又可以细分成更小一级的作业单位（或称为作业单元），如生产车间可以细分成若干个工段，每个工段又由几个加工中心或生产单元构成。在进行工厂总平面布置时，作业单位是指车间、科室一级的部门。

一个好的企业应该有一个良好的组成结构。每个作业单位承担着明确的任務，作业单位之间既相互独立又相互联系，

共同为企业整体利益服务。

(1) 生产车间。生产车间也称为生产部门，直接承担着企业的加工、装配任务，是将原材料转化为产品的部门。生产部门是企业的基本组成部分。

一般地，根据产品的制造工艺过程的各个阶段划分生产车间。例如，机械制造厂往往设置备料车间、机加工车间和总装车间。一般还把机加工车间按工件种类及加工工艺流程的相似性分解成某些零件加工车间，如箱体车间、轴加工车间、齿轮加工车间等，这些车间分别担负一类零件的加工任务，这些零件一般可以采用相似的工艺及相同的设备进行加工。装配车间可以分为部件装配和总装两部分，负责把零、部件组装成产品。此外，根据生产性质的不同，将热处理、铸造、锻造、焊接等热加工部门划分为独立的热处理车间、铸造车间、锻造车间和焊接车间。

(2) 仓储部门。仓储部门包括原材料仓库、标准件与外购件库、半成品中间仓库及成品库等，是企业生产连续进行的保证。由于库存不但占用企业的空间，而且更重要的是占用企业大量的流动资金，现代企业都把减小库存作为经营管理所追求的目标。

(3) 辅助服务部门。辅助服务部门一般可分为辅助生产部门如工具机修车间、生活服务部门如食堂及其它服务部门如车库、传达室等。

(4) 职能管理部门。职能管理部门包括生产、技术、质检、人事、供销等各个部门，负责生产协调与控制等工作。对于大中型企业来说，职能管理机构常常是非常庞大的。一般工厂的办公室都集中安排在同个多层办公楼内，这样有利于减小占地面积，且方便人员联系。

6.4 物流分析

工厂布置的优劣不仅直接影响着整个生产系统的运转,而且通过对物料搬运成本的影响,成为决定产品生产成本高低的关键因素之一。这就是说,在满足生产工艺流程要求的前提下,减少物料搬运工作量是工厂布置设计中最为重要的目标之一。因此,在实现工厂布置之前,必须对生产系统各作业单位之间的物流状态作深入的分析。

6.4.1 物流分析的内容与方法

物流分析包括确定物料在生产过程中每个必要的工序之间移动的最有效顺序及其移动的强度或数量。一个有效的工艺流程是指物料在工艺过程内按顺序一直不断地向前移动直至完成,中间没有过多的迂回或倒流。

当物料移动成为工艺过程的主要部分时,物流分析就是工厂布置设计的核心问题。

对不同的生产类型,应采用不同的物流分析方法:

(1) 工艺流程图。在大批量生产中,产品品种很少,用标准符号绘制的工艺流程图能直观地反映出工厂生产的详细情况,此时,进行物流分析只需在工艺流程图上注明各道工序之间的物流量,就可以清楚地表现出工厂生产过程中的物料搬运情况。另外,对于某些规模较小的工厂,不论产量如何,只要产品比较单一,都可以用工艺流程图进行物流分析。

(2) 多种产品工艺流程表。在多品种且批量较大的情况下,如产品品种为10种左右,将各产品的生产工艺流程汇总在一张表上,就形成了多种产品工艺流程表。在这张表上,各产品工艺路线并列绘出,可以反映出各个产品的物流途径(见表6-3)。

表 6-3 多种产品工艺流程表

工序		轴		凸轮		法兰盘		弹簧套	
序号	名称	流程	D_{jk}	流程	D_{jk}	流程	D_{jk}	流程	D_{jk}
1	锯床	①		①	1	①	1	②	
2	钻床	②	2	②		③	1	①	1
3	车床	③	2	③	1	②	-1	③	-1
4	卧铣	④	1	④		④		④	1
5	立铣	⑤		⑤	2	⑤	1	⑤	
6	热处理	⑥	2	⑥	1			⑥	2
7	外圆磨		1	⑦	1			⑦	2
8	内圆磨	⑥		⑧	-1			⑧	2
9	检验			⑨		⑤		⑨	

(3) 成组方法。当产品品种达到数十种时,若生产类型为中、小批量生产,进行物流分析时,就有必要采用成组方法、按产品结构与工艺过程的相似性进行归类分组,然后对每一类产品采用工艺流程图进行物流分析;或者采用多种产品工艺流程表表示各组产品的生产工艺流程,再做进一步的物流分析。

(4) 从一至表。当产品品种很多、产量很小且零件、物料数量又很大时,可以用一张方阵表来表示各作业单位之间的物料移动方向和物流量。表中方阵的行表示物料移动的源,称为从;列表示物料移动的目的地,称为至;行列交叉点标明由源到目的地的物流量。这样一张表就是从一至表,从中

可以看出各作业单位之间的物流状况（见表 6-4）。

表 6-4 从一至表

生产部门：杂件车间													共 1 页
主要产品：①轴②拨叉③套筒④盘													第 1 页
作业单位 或工序至		序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合 计
作业单位 或工序从		名 称	毛 坯 库	铣 床	车 床	钻 床	镗 床	磨 床	冲 床	内 圆 磨 床	锯 床	检 验 台	
序号	名												
1	毛坯库			2	8		1		4		2		17
2	铣床				1	2		1			1	1	6
3	车床			3		6		1				3	13
4	钻床				1				2	1		4	8
5	镗床				1								1
6	磨床				1							2	3
7	冲床											6	6
8	内圆磨床											1	1
9	锯床			1	1			1					3
10	检验台												
合 计			0	6	13	8	1	3	6	1	3	17	58
编制（日期）		审核（日期）											

6. 4. 2 工艺流程图

在工厂设计中，应该按图 6-10 所示的图例绘制工艺流程图。

工艺流程图可以用来详细描述产品生产过程中各道工序之间的关系，也可以用来描述全厂各部门之间的工艺流程。在

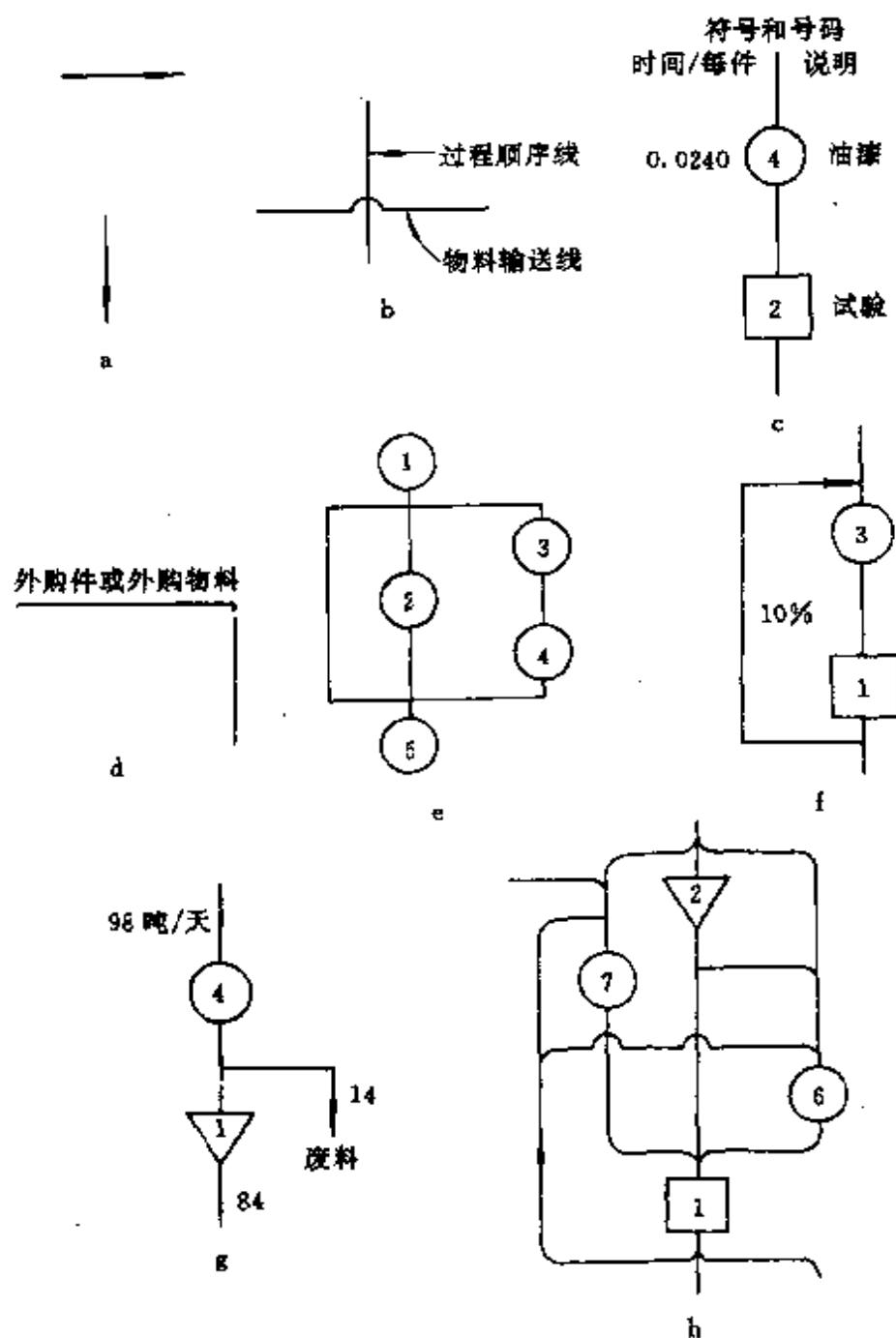


图 6-10 工艺流程图绘制图例

a—水平线表示物料送入工艺过程，垂直线表示工艺过程的先后顺序；
b—路线交叉时，水平线让路；c—典型工艺过程图解；d—绘装配图时，
以最大的部件或操作最多的部件从图纸的右上角开始绘制；e—表示分开和
重新合并的交错路线；f—物料返回进行再加工；g—包括实产、
损耗或废料的物料流程；h—用箭头及曲线的转角来表示复杂图表

描述全厂各部门之间的产品工艺流程时，用操作符号表示加工与装配等生产车间，用贮存符号表示仓储部门，用检验符号表示检验、试车部门。

生产图 6-9 所示的叉车的总装厂占地 12 万平方米，厂区东西长约 500 米，南北宽约 280 米，年产各种叉车约 3000 台，该厂主要设置表 6-5 所示的作业单位，分别负责完成重点零、部件的加工及总装工作，主要包括变速器的加工与组装、抬升液压缸的加工、随车工具的制作、本身的加工及叉车总装等工作。其它部件如转向桥、驱动桥、液压回路及平衡重由协作厂负责制造，并存放在标准件及半成品库中。

叉车总的生产工艺流程为零、部件加工阶段—总装阶段—试车阶段—成品储存阶段。零、部件加工阶段分为多条加工工艺路线：

表 6-5 叉车总装厂作业单位建筑物汇总表

序号	作业单位名称	用途	建筑面积 (平方米)	结构型式	备注
1	原材料库	存贮原材料	72×36	跨距 12 米	
2	油料库	存贮油漆、油料	36×36	跨距 12 米	
3	标准件、外购件库	存贮标准件、半成品	48×36	跨距 12 米	
4	机加工车间	零件切削加工	72×36	跨距 18 米	
5	热处理车间	零件热处理	90×30	跨距 30 米	
6	焊接车间	焊接车身	90×30	跨距 30 米	
7	变速器车间	组装变速器	72×36	跨距 18 米	
8	总装车间	总装	180×96	跨距 24 米	
9	工具车间	制造随车工具箱	60×24	跨距 12 米	
10	油漆车间	车身喷漆	48×30	跨距 30 米	
11	试车车间	试车	48×48	跨距 24 米	
12	成品库	存贮叉车成品	100×50		露天
13	办公服务楼	办公室、生活服务	300×60		露天
14	车库	车库、停车场	80×60		

(1) 变速器的加工与组装。变速器由箱体、轴类零件、齿轮类零件及其它杂件和标准件等组成。变速器的制作工艺过程分为零件制作、组装两个阶段。轴类及齿轮类零件经过备料、退火、粗加工、热处理、精加工等工序；箱体毛坯由协作厂制作，经机加工车间加工送变速器组装车间；杂件的制作分备料、机加工两个阶段。整个变速器成品重 0.3 吨，其中标准件 0.01 吨，箱体、齿轮、轴及杂件总重 0.29 吨。加工过程中金属利用率为 60%，即毛坯总重为 $0.29/0.60 \approx 0.49$ 吨，其中需经退火处理的毛坯重量为 0.19 吨，机加工中需返回热处理车间再进行热处理的为 0.1 吨。整个机加工过程的金属切除率为 40%，即产生的铁屑等废料重约 0.19 吨。

(2) 随车工具箱的加工。随车工具箱共重 0.1 吨，其中一部分经备料、退火、粗加工、热处理、精加工等工序完成加工，而另一部分只进行简单的冲压加工即可。

(3) 车体加工。车体为焊接件，经备料、焊接、喷漆工序完成加工。

(4) 液压缸加工。液压缸经备料、退火、粗加工、热处理、精加工等工序完成加工。

将上述机加工阶段与总装、试车、成品贮存阶段的工艺流程绘制在一起，就得到了叉车总装厂全厂工艺流程图，如图 6-11 所示。该图清楚地表现了叉车生产的全过程及各作业单位之间的物流情况，为进一步进行深入的物流分析奠定了基础。

6. 4. 3 物流强度与物流相关表

A 物流强度

如果通过工艺流程分析能够正确地安排各工序或作业单位之间的相互关系（前后顺序），那么各条路线上的物料移动

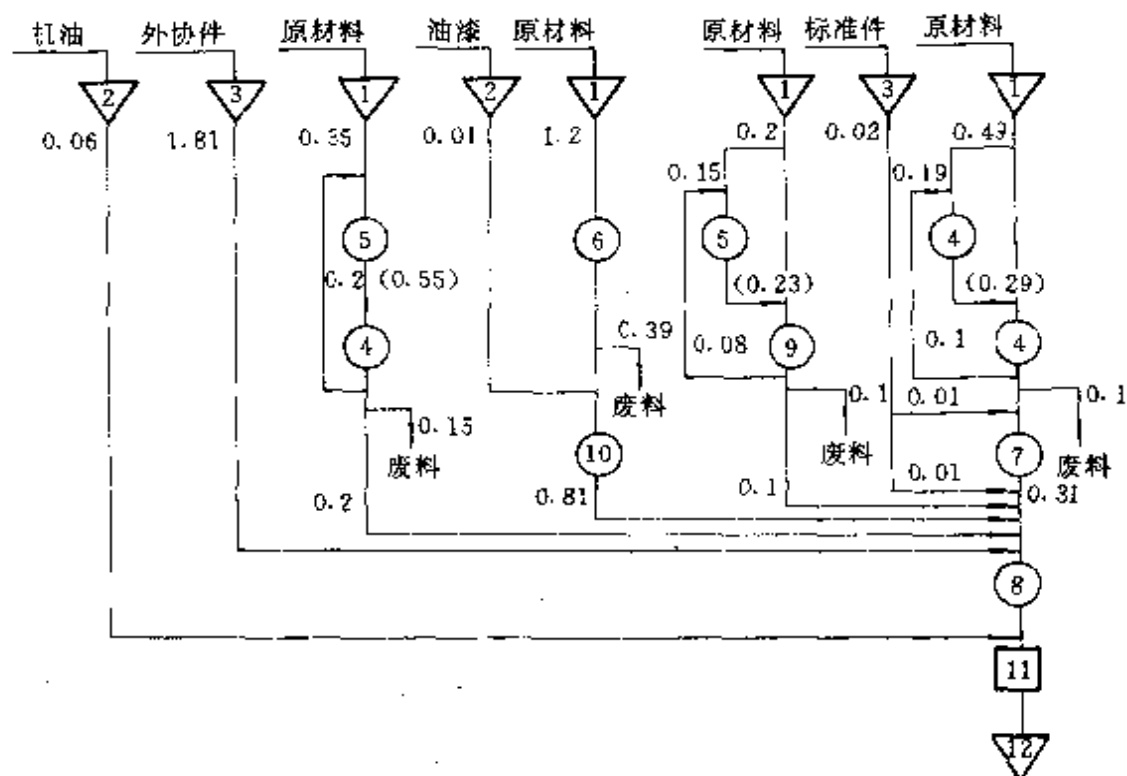


图 6-11 叉车生产工艺流程图 (单位: 吨)

量就是反映工序或作业单位之间相互关系密切程度的基本衡量标准。一定时间周期内的物料移动量称为物流强度。对于相似的物料, 可以用重量、体积、托盘或货箱作为计量单位。当比较不同性质的物料的搬运状况时, 各种物料的物流强度大小应酌情考虑物料搬运的困难程度。

由于直接分析大量物流数据比较困难且没有必要, 系统布置设计中将物流强度分成五个等级, 分别用符号 A、E、I、O、U 来表示, 其物流强度逐渐减小, 分别对应于超高物流强度, 特高物流强度、较大物流强度、一般物流强度和可忽略搬运五种物流状况。作业单位对 (或称为物流路线) 的物流强度等级应按物流路线比例或其所承担的物流量比例来确定 (可参考表 6-6)。

表 6-6 物流强度等级划分表

物流强度等级	符号	物流路线比例 (%)	承担的物流量比例 (%)
超高物流强度	A	10	40
特高物流强度	E	20	30
较大物流强度	I	30	20
一般物流强度	O	40	10
可忽略搬运	U		

下面以前述叉车总装厂为实例来讨论物流强度等级划分的具体步骤。首先,根据工艺流程图 6-11 利用表 6-7 来统计存在物料搬运的各作业单位对之间的物流量,注意必须采用

表 6-7 叉车总装厂物流强度汇总表

序号	作业单位对 (物流路线)	物流强度
1	1—4	0.3
2	1—5	0.69
3	1—6	1.2
4	2—10	0.01
5	2—11	0.06
6	3—7	0.01
7	3—8	1.82
8	4—5	1.14
9	4—7	0.3
10	4—8	0.2
11	5—9	0.31
12	6—10	0.8
13	7—8	0.31
14	8—9	0.1
15	8—10	0.81
16	8—11	3.24
17	11—12	3.3

统一的计量单位。然后,将表 6-7 中各作业单位对按物流强度

大小排序绘制成表 6-8 所示的物流强度分析表，进行物流分析，划分出物流强度等级。表 6-7 和表 6-8 中未出现的作业单位对不存在固定的物流，因此物流强度等级为 U 级。

表 6-8 叉车总装厂物流强度分析表

序号	作业单位对 (物流路线)	物 流 强 度					物流强度 等 级
		1	2	3	4	5	
1	11—12	_____					A
2	8—11	_____					A
3	3—8	_____					E
4	1—6	_____					E
5	4—5	_____					E
6	8—10	_____					E
7	6—10	_____					E
8	1—5	_____					E
9	5—9	_____					I
10	7—8	_____					I
11	1—4	_____					I
12	4—7	_____					I
13	4—8	_____					O
14	8—9	_____					O
15	2—11	_____					O
16	2—10	_____					O
17	3—7	_____					O

B 物流相关表

为了能够简单明了地表示所有作业单位之间的物流关

系，可以仿照从一至表结构构造一种作业单位物流相互关系表，称为原始物流相关表，如表 6-9 所示。在这个表中，不区分物料移动的起始与终止作业单位，在行与列的相交方格中填入行作业单位与列作业单位间的物流强度等级。因为行作

表 6-9 叉车总装厂原始物流相关表

作业单位序号	作业单位序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	作业单位名称	原材料库	油料库	标准件、外购件库	机加工车间	热处理车间	焊接车间	变速器车间	总装车间	工具车间	油漆车间	试车车间	成品库	办公服务楼	车库
1	原材料库		U	U	I	E	E	U	U	U	U	U	U	U	U
2	油料库	U		U	U	U	U	U	U	U	O	O	U	U	U
3	标准件、外购件库	U	U		U	U	U	O	E	U	U	U	U	U	U
4	机加工车间	I	U	U		E	U	I	O	U	U	U	U	U	U
5	热处理车间	E	U	U	E		U	U	U	I	U	U	U	U	U
6	焊接车间	E	U	U	U	U		U	U	U	E	U	U	U	U
7	变速器车间	U	U	O	I	U	U		I	U	U	U	U	U	U
8	总装车间	U	U	E	O	U	U	I		O	E	A	U	U	U
9	工具车间	U	U	U	U	I	U	U	O		U	U	U	U	U
10	油漆车间	U	O	U	U	U	E	U	E	U		U	U	U	U
11	试车车间	U	O	U	U	U	U	U	A	U	U		A	U	U
12	成品库	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	A		U	U
13	办公服务楼	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U		U
14	车库	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	

业单位与列作业单位排列顺序相同，所以得到的是右上三角

矩阵表格与左下三角矩阵表格对称的方阵表格。舍掉多余的左下三角矩阵表格，将右上三角矩阵表格变形，就得到了系统布置设计中著名的物流相关表，如表 6-10 所示。

表 6-10 叉车总装厂作业单位物流相关表

序号	作业单位名称													
1	原材料库													
2	油料库	U												
3	标准件、外购件库	U	U	I										
4	机加工车间	U	U	U	E									
5	热处理车间	E	U	U	U	U								
6	焊接车间	U	U	I	O	U	U							
7	变速器车间	U	U	U	U	U	O	U						
8	总装车间	I	U	U	U	U	U	U	U					
9	工具车间	O	U	E	U	U	U	U	U	U				
10	油漆车间	U	U	A	U	U	U	U	U	U				
11	试车车间	U	U	U	U	U	U	U	U	U				
12	成品库	A	U	U	U	U	U	U	U	U				
13	办公服务楼	U	U	U	U	U	U	U	U	U				
14	车库	U	U	U	U	U	U	U	U	U				

进行工厂布置时，物流相关表中物流强度等级高的作业单位之间的距离应尽量减小即相互接近。

6. 5 作业单位相互关系分析

当物流对企业的生产有重大影响时，物流分析就是工厂布置的重要依据，但是也不能忽视非物流因素的影响，尤其是当物流对生产影响不大或没有固定的物流时，工厂布置就不能依赖于物流分析，而应当考虑其它因素对各作业单位间相互关系的影响。

6. 5. 1 作业单位相互关系的影响因素及相互关系等级的划分

在系统布置设计中，P、Q 和 S 是作业单位相互关系分析的基础，同时 T 对作业单位相互关系分析也有影响。

作业单位相互关系的影响因素与企业的性质有很大关系。不同的企业，作业单位的设置是不一样的，作业单位间的相互关系的影响因素也是不一样的。作业单位间相互关系密切程度的典型影响因素，一般包括以下几方面。

- (1) 物流；
- (2) 工艺流程；
- (3) 作业性质相似；
- (4) 使用相同的设备；
- (5) 使用同一场所；
- (6) 使用相同的文件档案；
- (7) 使用相同的公用设施；
- (8) 使用同一组人员；
- (9) 工作联系的频繁程度；
- (10) 监督和管理方便；

(11) 噪声、振动、烟尘、易燃易爆危险品的影响；

(12) 服务的频繁和紧急程度。

缪瑟建议，每个项目重点考虑的影响因素不应超过 8~10 个。

确定了作业单位相互关系密切程度的影响因素以后，就可以给出作业单位相互关系等级。在系统布置设计中，作业单位相互关系等级划分为 A、E、I、O、U、X，其含义及比例见表 6-11。

表 6-11 作业单位相互关系等级

符 号	含 义	说 明	比 例 (%)
A	绝对重要		2~5
E	特别重要		3~10
I	重要		5~15
O	一般密切程度		10~25
U	不重要		45~80
X	负的密切程度	不希望接近	酌情而定

6. 5. 2 作业单位相互关系表

作业单位相互关系的评价，可以由布置设计人员根据物流计算、个人经验或与有关作业单位负责人讨论后进行判断，也可以把相互关系统计表格发给各作业单位负责人填写；或者由有关负责人开会讨论决定，由布置设计人员记录汇总。作业单位相互关系的分析结果最后要经主管人员批准。

在评价作业单位相互关系时，首先应制定出一套基准相互关系，作业单位之间的相互关系通过对照基准相互关系来确定。表 6-12 给出的基准相互关系可供参考。

表 6-12 基准相互关系

字母	一对作业单位	关系密切程度的理由
A	钢材库和剪切区域 最后检查和包装 清理和油漆	搬运物料的数量 类似的搬运问题 损坏没有包装的物品 包装完毕以前检查单不明确 使用相同的人员、公用设施、管理方式和相同型式的建筑物
E	接待和参观者停车处 金属精加工和焊接 维修和部件装配	方便、安全 搬运物料的数量和形状 服务的频繁和紧急程度
I	剪切区和冲压机 部件装配和总装配 保管室和财会部门	搬运物料的数量 搬运物料的体积，共用相同的人员 报表运送，安全、方便
O	维修和接收 废品回收和工具室 收发室和厂办公室	产品的运送 共用相同的设备 联系频繁程度
U	维修和自助食堂 焊接和外购件仓库 技术部门和发运	辅助服务不重要 接触不多 不常联系
X	焊接和油漆 焚化炉和主要办公室 冲压车间和工具车间	灰尘、火灾 烟尘、臭味、灰尘 外观、振动

确定了作业单位相互关系等级以后，利用与物流相关表相同的表格形式建立作业单位相互关系表。表中的每一个菱形框格填入相应的两个作业单位之间的相互关系等级，上半部用相互关系等级符号标志关系的密切程度，下半部用数字

表示确定相互关系等级的理由。

表 6-13 为前述叉车总装厂作业单位相互关系的影响因素，表 6-14 为其作业单位非物流相互关系表。

表 6-13 叉车总装厂作业单位相互关系等级理由

编 码	关系等级的理由
1	工作流程的连续性
2	生产服务
3	物料搬运
4	管理方便
5	安全与污染
6	共用设备及辅助动力源
7	振动
8	人员联系

6. 5. 3 作业单位综合相互关系表

在大多数工厂中，作业单位之间既有物流联系也有非物流的联系。两作业单位之间的相互关系应包括物流关系与非物流关系，因此在系统布置设计中，要将作业单位间物流的相互关系与非物流的相互关系进行合并，求出合成的相互关系——综合相互关系，然后从作业单位间的综合相互关系出发，实现各作业单位的合理布置。一般按照下列步骤求得作业单位综合相互关系表：

(1) 进行物流分析，求得作业单位物流相关表。

(2) 确定作业单位非物流相互关系的影响因素及等级，求得作业单位相互关系表。

(3) 确定物流与非物流相互关系的相对重要性。一般说来，物流与非物流的相互关系的相对重要性的比值 $m:n$ 不应超过 $1:3 \sim 3:1$ 。当比值小于 $1:3$ 时，说明物流对生产的影响非常小，工厂布置时只需考虑非物流的相互关系；当比

: 2、1 : 3, $m : n$ 称为加权值。

(4) 量化物流强度等级和作业单位相互关系等级, 一般取 $A=4$ 、 $E=3$ 、 $I=2$ 、 $O=1$ 、 $U=0$ 、 $X=-1$ 。

(5) 计算量化的作业单位综合相互关系。设任意两个作业单位分别为 A_i 和 A_j , 其物流强度等级为 MR_{ij} , 非物流的相互关系等级为 NR_{ij} , 则作业单位 A_i 与 A_j 之间的综合相互关系密切程度为

$$TR_{ij} = mMR_{ij} + nNR_{ij}$$

(6) 划分综合相互关系等级。 TR_{ij} 是一个量值, 只有经过等级划分, 才能建立与物流相关表相似的符号化的作业单位综合相互关系表。综合相互关系的等级划分为 A、E、I、O、U、X, 各级别 TR_{ij} 值逐渐递增, 且各级别的作业单位对数应符合一定的比例。表 6-15 给出了综合相互关系等级及划分比例。

表 6-15 综合相互关系等级与划分比例

关系等级	符 号	作业单位对比例 (%)
绝对必要靠近	A	1~3
特别重要靠近	E	2~5
重要	I	3~8
一般	O	5~15
不重要	U	20~85
不希望靠近	X	9~10

需要说明的是, 将物流与非物流相互关系进行合并时, 应注意 X 级关系的处理。任何一级物流相互关系与 X 级非物流相互关系合并时, 其关系等级不应超过 O 级; 对于某些极

不希望靠近的作业单位之间的相互关系，可以定为 XX 级。

(7) 经过调整，建立综合相互关系表。

下面仍以前述叉车总装厂为例，来说明如何建立作业单位综合相互关系表。

表 6-10 和表 6-14 给出的叉车总装厂作业单位物流相关表与作业单位非物流相互关系表并不一致。为了确定各作业单位之间的综合相互关系的密切程度，需要将两表合并。

(1) 选取加权值。加权值的大小反映工厂布置时考虑的侧重点。对于叉车总装厂来说，物流影响并不明显大于其它因素的影响，因此取加权值 $m:n=1:1$ 。

(2) 计算综合相互关系的量化值。根据各作业单位对之间的物流与非物流关系等级进行量化及加权求和，求出综合相互关系的量化值，详见表 6-16。

表 6-16 叉车总装厂作业单位综合相互关系计算表

作业单位对	关 系 密 切 程 度				综 合 关 系	
	物流关系(加权值:1)		非物流关系(加权值:1)			
	等 级	分 数	等 级	分 数	分 数	等 级
1—2	U	0	E	3	3	I
1—3	U	0	E	3	3	I
1—4	I	2	I	2	4	E
1—5	E	3	I	2	5	E
1—6	E	3	E	3	6	E
1—7	U	0	U	0	0	U
1—8	U	0	U	0	0	U
1—9	U	0	I	2	2	I

续表 6-16

作业单位对	关 系 密 切 程 度				综 合 关 系	
	物流关系(加权值:1)		非物流关系(加权值:1)			
	等 级	分 数	等 级	分 数	分 数	等 级
1—10	U	0	U	0	0	U
1—11	U	0	U	0	0	U
1—12	U	0	U	0	0	U
1—13	U	0	U	0	0	U
1—14	U	0	I	2	2	I
2—3	U	0	E	3	3	I
2—4	U	0	U	0	0	U
2—5	U	0	X	-1	-1	X
2—6	U	0	X	-1	-1	X
2—7	U	0	U	0	0	U
2—8	U	0	U	0	0	U
2—9	U	0	U	0	0	U
2—10	O	1	E	3	4	E
2—11	O	1	U	0	1	O
2—12	U	0	U	0	0	U
2—13	U	0	X	-1	-1	X
2—14	U	0	I	2	2	I
3—4	U	0	U	0	0	U
3—5	U	0	U	0	0	U
3—6	U	0	U	0	0	U

续表 6-16

作业单位对	关 系 密 切 程 度				综 合 关 系	
	物流关系(加权值:1)		非物流关系(加权值:1)			
	等 级	分 数	等 级	分 数	分 数	等 级
3—7	O	1	I	2	3	I
3—8	E	3	I	2	5	E
3—9	U	0	U	0	0	U
3—10	U	0	U	0	0	U
3—11	U	0	U	0	0	U
3—12	U	0	U	0	0	U
3—13	U	0	U	0	0	U
3—14	U	0	I	2	2	I
4—5	E	3	A	4	7	A
4—6	U	0	O	1	1	O
4—7	I	2	A	4	6	E
4—8	O	1	I	2	3	I
4—9	U	0	E	3	3	I
4—10	U	0	U	0	0	U
4—11	U	0	O	1	1	O
4—12	U	0	U	0	0	U
4—13	U	0	I	2	2	I
4—14	U	0	U	0	0	U
5—6	U	0	U	0	0	U
5—7	U	0	U	0	0	U
5—8	U	0	U	0	0	U

续表 6-16

作业单位对	关 系 密 切 程 度				综 合 关 系	
	物流关系(加权值:1)		非物流关系(加权值:1)			
	等 级	分 数	等 级	分 数	分 数	等 级
5—9	I	2	E	3	5	E
5—10	U	0	X	-1	-1	X
5—11	U	0	U	0	0	U
5—12	U	0	U	0	0	U
5—13	U	0	X	-1	-1	X
5—14	U	0	U	0	0	U
6—7	U	0	U	0	0	U
6—8	U	0	U	0	0	U
6—9	U	0	U	0	0	U
6—10*	E	3	X	-1	2	U
6—11	U	0	U	0	0	U
6—12	U	0	U	0	0	U
6—13	U	0	X	-1	-1	X
6—14	U	0	O	1	1	O
7—8	I	2	E	3	5	E
7—9	U	0	U	0	0	U
7—10	U	0	U	0	0	U
7—11	U	0	I	2	2	I
7—12	U	0	U	0	0	U
7—13	U	0	I	2	2	I
7—14	U	0	O	1	1	O
8—9	O	1	I	2	3	I

续表 6-16

作业单位对	关 系 密 切 程 度				综 合 关 系	
	物流关系(加权值:1)		非物流关系(加权值:1)			
	等 级	分 数	等 级	分 数	分 数	等 级
8—10	E	3	I	2	5	E
8—11	A	4	E	3	7	A
8—12	U	0	U	0	0	U
8—13	U	0	E	3	3	I
8—14	U	0	I	2	2	I
9—10	U	0	U	0	0	U
9—11	U	0	U	0	0	U
9—12	U	0	U	0	0	U
9—13	U	0	O	1	1	O
9—14	U	0	U	0	0	U
10—11	U	0	U	0	0	U
10—12	U	0	U	0	0	U
10—13	U	0	X	-1	-1	X
10—14	U	0	U	0	0	U
11—12	A	4	A	4	8	A
11—13	U	0	O	1	1	O
11—14	U	0	U	0	0	U
12—13	U	0	O	1	1	O
12—14	U	0	E	3	3	I
13—14	U	0	I	2	2	I

当作业单位数目为 N 时,总的作业单位对数 P 可用下式计算:

$$P = \frac{N \times (N-1)}{2}$$

对于本例来说, $N=14$, 则 $P=91$ 。因此,表 6-16 中共有 91 个作业单位对即 91 个相互关系。

(3)划分关系等级。在表 6-16 中,综合相互关系的量化值取值范围为 $-1 \sim 8$,按表 6-17 统计出各段作业单位对的比例,参考表 6-15 划分综合相互关系等级。

应该注意,综合相互关系应该是合理的。表中 * 所注的作业单位 6 与 10 之间的物流关系为 E 级,而非物流关系为 X 级,计算结果为 I 级。也就是说,出现了重要的关系等级,这显然是不合理的,最后调整为 U 级。

表 6-17 综合相互关系等级划分

总 分	关系等级	作业单位对数	百分比(%)
7~8	A	3	3.3
4~6	E	9	9.9
2~3	I	18	19.8
1	O	8	8.8
0	U	46	50.5
-1	X	7	7.7
合 计		91	100

(4)建立作业单位综合相互关系表。给出综合相互关系等级,绘制作业单位综合相互关系表,如表 6-18 所示。

6.6 工厂总平面布置

6.6.1 工厂总平面布置的一般步骤

工厂总平面布置就是要对生产车间、管理部门、仓储部门、生产与生活服务部门的建筑物、道路和场地等,按照相互关系的密切程度做出合理的布局。采用系统布置设计法进行工厂总平面布置的首要工作就是对各作业单位之间的相互关系作出分析,包括物流的和非物流的相互关系,经过综合,得到作业单位综合相互关系表;然后,根据综合相互关系表中各作业单位之间相互关系密切程度的高或低,决定各作业单位之间距离的近或远,安排各作业单位的位置,绘制作业单位位置相关图;将各作业单位实际占地面积与作业单位位置相关图结合起来,形成作业单位面积相关图;通过作业单位面积相关图的修正和调整,得到数个可行的布置设计方案;最后通过评价择优,选出某个设计方案作为工厂总平面布置图。

6.6.2 作业单位位置相关图

在系统布置设计中,工厂总平面布置并不直接考虑各作业单位的占地面积和几何形状,而是从各作业单位间相互关系的密切程度出发,安排各作业单位之间的相对位置。关系密切程度高的作业单位之间的距离近,关系密切程度低的作业单位之间的距离远,并由此形成作业单位位置相关图。

当作业单位较多时,作业单位之间的相互关系非常多,为作业单位数量的平方量级。即使只考虑 A 级关系,也有可能同时出现很多个,这就给绘制作业单位位置相关图造成了困难。为了解决这个问题,引入综合接近程度的概念。某一作业单位的综合接近程度,等于该作业单位与其它所有作业单位相互关系量化后的关系等级的总和。这个值的高低,决定了该

作业单位在布置图上应该处于中心位置还是应该处于边缘位置。为了计算各作业单位的综合接近程度,把作业单位综合相互关系表变换成右上三角矩阵与左下三角矩阵对称的方阵表格,然后量化关系等级,并按行或列累加关系等级,其结果就是作业单位的综合接近程度。叉车总装厂作业单位综合接近程度见表 6-21。

综合接近程度越高,说明该作业单位越应该靠近布置图的中心位置;越低,说明该作业单位越应该处于布置图的边缘位置。因此,布置设计应该按综合接近程度高低的顺序为作业单位排序(见表 6-19)。

表 6-19 叉车总装厂综合接近程度排序表






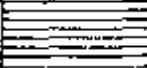


作业单位代号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1		$\frac{I}{2}$	$\frac{I}{2}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{I}{2}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{I}{2}$
2	$\frac{I}{2}$		$\frac{I}{2}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{O}{1}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{I}{2}$
3	$\frac{I}{2}$	$\frac{I}{2}$		$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{I}{2}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{I}{2}$
4	$\frac{E}{3}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$		$\frac{A}{4}$	$\frac{O}{1}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{I}{2}$	$\frac{I}{2}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{O}{1}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{I}{2}$	$\frac{U}{0}$
5	$\frac{E}{3}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{A}{4}$		$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{U}{0}$
6	$\frac{E}{3}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{O}{1}$	$\frac{U}{0}$		$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{O}{1}$
7	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{I}{2}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$		$\frac{E}{3}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{I}{2}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{I}{2}$	$\frac{O}{1}$
8	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{I}{2}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{E}{3}$		$\frac{I}{2}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{A}{4}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{I}{2}$	$\frac{I}{2}$
9	$\frac{I}{2}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{I}{2}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{I}{2}$		$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{O}{1}$	$\frac{U}{0}$

续表 6-19

作业单位代号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10	$\frac{U}{0}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{E}{3}$	$\frac{U}{0}$		$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{U}{0}$
11	$\frac{U}{0}$	$\frac{O}{1}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{O}{1}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{A}{4}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$		$\frac{A}{4}$	$\frac{O}{1}$	$\frac{U}{0}$
12	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{A}{4}$		$\frac{O}{1}$	$\frac{1}{2}$
13	$\frac{U}{0}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{O}{1}$	$\frac{X}{-1}$	$\frac{O}{1}$	$\frac{O}{1}$		$\frac{1}{2}$
14	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{O}{1}$	$\frac{O}{1}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{U}{0}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	
综合接近程度	17	7	11	18	7	3	13	21	10	4	13	7	7	14
排 序	3	12	7	2	11	14	5	1	8	13	6	10	9	4







在作业单位位置相关图中,用号码来代表作业单位,用如表 6-20 所示的符号来表示作业单位的工作性质与功能。作业

表 6-20 作业单位工作性质符号

工艺过程图表符号及作用	说明作业单位区域的扩充符号	颜色区别	黑白图纹
○ 操作	○ 成形或处理加工区	绿	
	○ 装配、部件装配拆卸	红	
⇒ 运输	⇒ 与运输有关的作业单位/区域	桔黄	
▽ 储存	▽ 储存作业单位/区域	桔黄	
D 停滞	D 停放或暂存或区域	桔黄	
□ 检验	□ 检验、测试、检查区域	蓝	
	○ 服务及辅助作业单位/区域	蓝	
	⌂ 办公室或规划面积,建筑特征	棕(灰)	

单位之间的相互关系用相互之间的连线类型来表示(如表 6-21 所示),也可以利用表 6-21 中推荐的颜色来表示作业单位的工作性质与关系等级,以使图形更直观。有时,为了绘图简便,往往采用“○”内标注号码来表示作业单位而不严格区分作业单位的性质。当然,可以用虚线来代替波折线表示 X 级关系等级。

表 6-21 作业单位关系等级表示方式

元音字母	系数值	线条数	密切程度等级	颜色规范
A	4		绝对必要	红
E	3		特别重要	桔黄
I	2		重要	绿
O	1		一般	蓝
U	0		不重要	不着色
X	-1		不希望	棕
XX	-2, -3, -4, ?		极不希望	黑

绘制作业单位位置相关图的过程是一个逐步求精的过程,整个过程要条理清楚、系统性强。一般按下列步骤进行:

(1)从作业单位综合相互关系表出发,求出各作业单位的综合接近程度,并按其高低顺序给作业单位排序。

(2)按图幅大小选择单位距离长度,并规定:关系等级为 A 级的作业单位对之间的距离为一个单位距离长度, E 级为两个单位距离长度,其它关系等级以此类推。

(3)从作业单位综合相互关系表中取出关系等级为 A 级的作业单位对,并将所涉及到的作业单位按综合接近程度的

高低排序,得到作业单位序列 $A_{k_1}, A_{k_2}, \dots, A_{k_n}$, 其下标为综合接近程度排序序号, 且 $k_1 < k_2 < \dots < k_n$ 。

(4) 将综合接近程度最高的作业单位 A_{k_1} 布置在布置图的中心位置。

(5) 按 $A_{k_2}, A_{k_3}, \dots, A_{k_n}$ 顺序依次把这些作业单位布置到图中。布置时, 应随时检查待布置作业单位与图中已布置的作业单位之间的关系等级, 并选择适当位置进行布置; 如出现矛盾, 应修改原有布置; 用不同的连线类型表示图上各作业单位之间的关系等级。

(6) 按 E、I、O、U、X、XX 关系等级顺序选择当前处理的关系等级 F 。

(7) 从作业单位综合相互关系表中取出当前处理的关系等级 F 涉及到的作业单位对, 并将所涉及到的作业单位按综合接近程度高低排序, 得到作业单位序列 $A_{k_1}, A_{k_2}, \dots, A_{k_n}$ 。

(8) 检查 $A_{k_1}, A_{k_2}, \dots, A_{k_n}$ 是否已在布置图中出现; 若出现, 则要进一步查看作业单位位置是否合理; 若不合理, 则需要修改原有布置。然后, 从序列中筛除已出现的作业单位, 得到需要布置的作业单位序列 $A'_{k_1}, A'_{k_2}, \dots, A'_{k_n}$ 。

(9) 按 $A'_{k_1}, A'_{k_2}, \dots, A'_{k_n}$ 顺序依次把作业单位布置到图中。布置时, 应随时检查待布置作业单位与图中已布置的作业单位之间的关系等级, 选择适当的位置进行布置; 出现矛盾时, 应修改原有布置; 注意用不同类型的连线表示图上各作业单位之间的关系等级。

(10) 若 F 为 XX, 则布置完毕, 得到了作业单位位置相关图; 否则, 取 F 为下一个关系等级, 重复步骤(7)~(10)。

在绘制作业单位位置相关图时, 设计者一般要绘制 6~8 次图, 每次不断增加作业单位和修改其布置, 最后才能达到满

意的布置。

按上述步骤绘制的叉车总装厂作业单位位置相关图如图 6-12 所示。

6.6.3 作业单位面积相关图

A 作业单位占地面积与外形

作业单位的基本占地面积由设备占地面积与人员活动场地等因素决定,在 6.3.3 中已有论述。这里重点讨论与作业单位建筑物实际占地面积与外形密切相关的建筑物结构形式与物料流动模式。

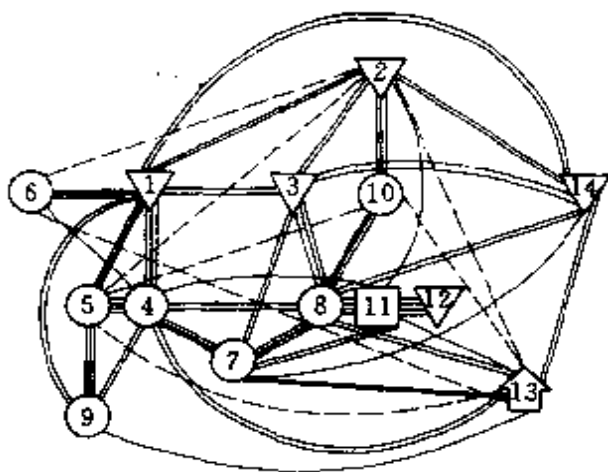


图 6-12 叉车总装厂作业单位位置相关图

工厂建筑物一般都采用标准化设计与施工,建筑物的柱、梁都是标准的。因此,建筑物的柱距、跨距值都是标准序列值。一般柱距为 6 米,而跨距为 6 米、12 米、15 米、18 米、24 米和 30 米。若柱数为 m ,跨数为 n ,跨距为 w ,则建筑物的长度外形尺寸为 $[6 \times (m-1) + \text{柱长}]$,建筑物的宽度外形尺寸为 $(w \times n + \text{柱宽})$ 。

对生产、贮运部门来说,物料一般沿通道流动,而设备一般也是沿通道布置的。通道的形式决定了物料、人员的流动模式。

选择车间内部流动模式的一个重要因素是车间入口和出口的位置。常常由于外部运输条件或原有布置的限制,需要按照给定的入、出口位置来规划流动模式。此外,流动模式还受

生产工艺流程、生产线长度、场地、建筑物外形、物料搬运方式与设备、贮存要求等的影响。基本流动模式如图 6-13 所示, 有 5 种。

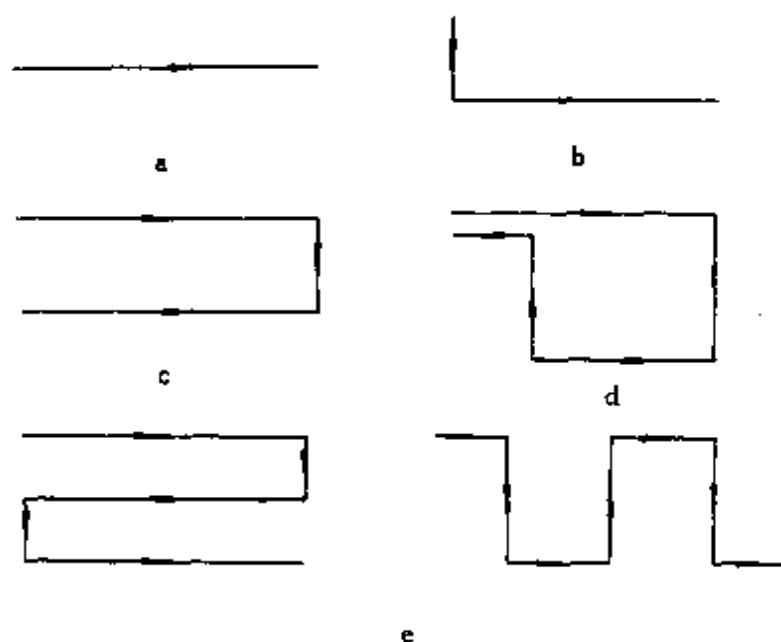


图 6-13 基本流动模式

a—直线形; b—“L”形; c—“U”形; d—环形; e—“S”形

(1) 直线形。直线形是最简单的一种流动模式, 入口与出口位置相对, 建筑物仅有一跨, 外形为长方形, 设备沿通道两侧布置。

(2) “L”形。适用于现有设施或建筑物不允许直线流动的情况, 设备布置与直线形相似, 入口与出口分别处于建筑物两相邻侧面。

(3) “U”形。适用于入口与出口在建筑物同一侧面的情况, 生产线长度基本上相当于建筑物长度的两倍, 一般建筑物为两跨, 外形近似于正方形。

(4) 环形。适用于要求物料返回到起点的情况。

(5) “S”形。在一固定面积上, 可以安排较长的生产线。

实际流动模式常常是由 5 种基本流动模式组合而成的。

新建工厂时,可以根据生产流程要求及各作业单位之间的物流关系选择流动模式,进而确定建筑物的外形尺寸。

B 作业单位面积相关图的绘制

有了作业单位建筑物的占地面积与外形后,可在坐标纸上绘制作业单位面积相关图。

(1)选择适当的绘图比例。一般比例为 1:100、1:500、1:1000、1:2000、1:5000,绘图单位为毫米或米。

(2)将作业单位位置相关图放大到坐标纸上,各作业单位符号之间应留出尽可能大的空间,以便安排作业单位建筑物。为了图面简洁,只需绘出重要的关系如 A、E 及 X 级连线。

(3)按综合接近程度的高低的顺序,由大到小依次把各作业单位布置到图上。绘图时,以作业单位符号为中心绘制作业单位建筑物外形。作业单位建筑物一般都是矩形的,可以通过外形旋转角度获得不同的布置方案。当预留空间不足时,需要调整作业单位位置,但必须保证调整后的位置符合作业单位位置相关图的要求。

(4)经过数次调整与重绘,得到作业单位面积相关图。图 6-14 为叉车总装厂作业单位面积相关图。

6.6.4 作业单位面积相关图的调整

作业单位面积相关图是直接从位置相关图演化而来的,只能代表一个理论的、理想的布置方案,必须通过调整、修正才能得到可行的布置方案。在这里必须从 6.1.2 中的工厂总平面布置原则出发,考虑其它因素对布置方案的影响。这些因素可以分为修正因素与实际条件限制因素两类。

A 修正因素

(1)物料搬运方法。物料搬运方法对布置方案的影响主要包括搬运设备种类特点、搬运系统基本模式以及运输单元

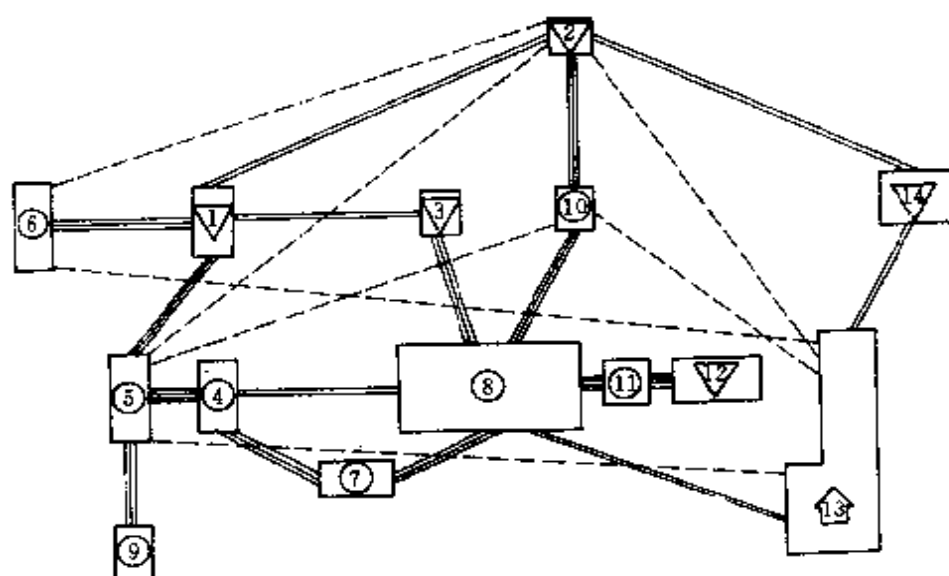


图 6-14 叉车总装厂作业单位面积相关图

(箱、盘等)。

面积相关图能够反映出作业单位之间的直线距离,而由于道路位置、建筑物的规范形式的限制,实际上并不总能按直线距离进行搬运。物料搬运系统有三种基本类型,即直线道路的直线型、按规定道路搬运的渠道型以及采用集中分配区的中心型,如图 6-15 所示。

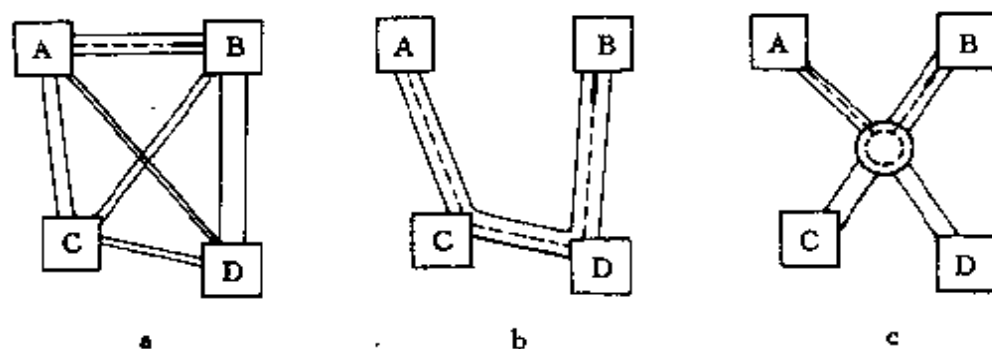


图 6-15 物料搬运系统的基本类型
a—直线型;b—渠道型;c—中心型

对于每一种类型的搬运系统来说,都有与之相适应的搬运方法。

(2)建筑特征。作业单位的建筑物应采用定形设计,即应保证道路的直线性与整齐性、建筑物的整齐规范以及公用管线的条理性。

(3)道路。厂区内的道路不但承担着物料运输的任务,还起到分隔作业单位、防火、隔振等作用。厂区内道路按功能分为主干道路、次干道路、辅助道路及车间引道。不同道路的宽度是不一样的。一般说来,主干道路宽为9米,次干道路宽为6米,车间之间、车间与围墙之间的消防通道一般为3~4.5米,车间引道为3米。

另外,道路与建筑物之间应留有一定面积的土地,供绿化等使用。

(4)场地条件与环境。厂区内外的自然地理环境、公共交通情况、环境污染等都会影响布置方案。

为便于与外界联系,常常把所有职能部门甚至生活服务部门集中起来,布置在厂门周围,形成厂前区。而厂门应尽可能便于厂内外运输,便于实现厂内道路与厂外公路的衔接。

当存在烟尘、异味等污染问题时,应注意全年风向主要是盛行风向的影响,避免厂前区等人员密集部门位于盛行风向的下方。

除了上述因素以外,人员、公共管线、作业单位外形的变化、工艺流程及管理 etc 都会对布置方案产生影响。

B 实际条件限制因素

前述修正因素是布置设计中应考虑的事项;而对布置设计有约束作用的因素叫做实际条件限制因素,包括成本费用、

现有条件(建筑物)的利用、政策法规等。

通过考虑多种因素的影响与限制,形成了众多的布置方案;抛弃所有不切实际的方案,保留 2~5 个可行布置方案供选择。

图 6-16 为叉车总装厂的一种布置方案图。

6.6.5 方案的评价与选择

通过对作业单位面积相关图的调整,已经得到了数个可行方案。应对每个方案进行评价,选择出最佳方案,作为最终的工厂总平面布置方案。

一般常用的布置方案的评价方法有加权因素法与费用对比法。

A 加权因素法

工厂布置设计是多目标优化设计某个可行的布置方案可能在某一目标因素方面非常优越,在另一目标因素方面并不突出,而其它布置方案可能正好相反。也就是说,各种布置方案各有优缺点,需要进行综合评价,从中选出最优的布置方案。

加权因素法就是把布置设计的目标分解成若干个因素,并对每个因素的相对重要性评定一个优先级(加权值),然后分别就每个因素评价各个方案的相对优劣等级,最后加权求和求出各方案的得分,得分最高的方案就是最佳方案。

采用加权因素法进行方案评价的一般步骤如下:

(1)列出所有对选择布置方案有重要影响的因素。一般应该考虑的因素有:物流效率与方便性、空间利用率、辅助服务部门的综合效率、工作环境安全与舒适性、管理的方便性、布置方案的可扩展性、产品质量及其它相关因素等。用 f_i 表示第 i 个因素,其中, $i=1,2,\dots$

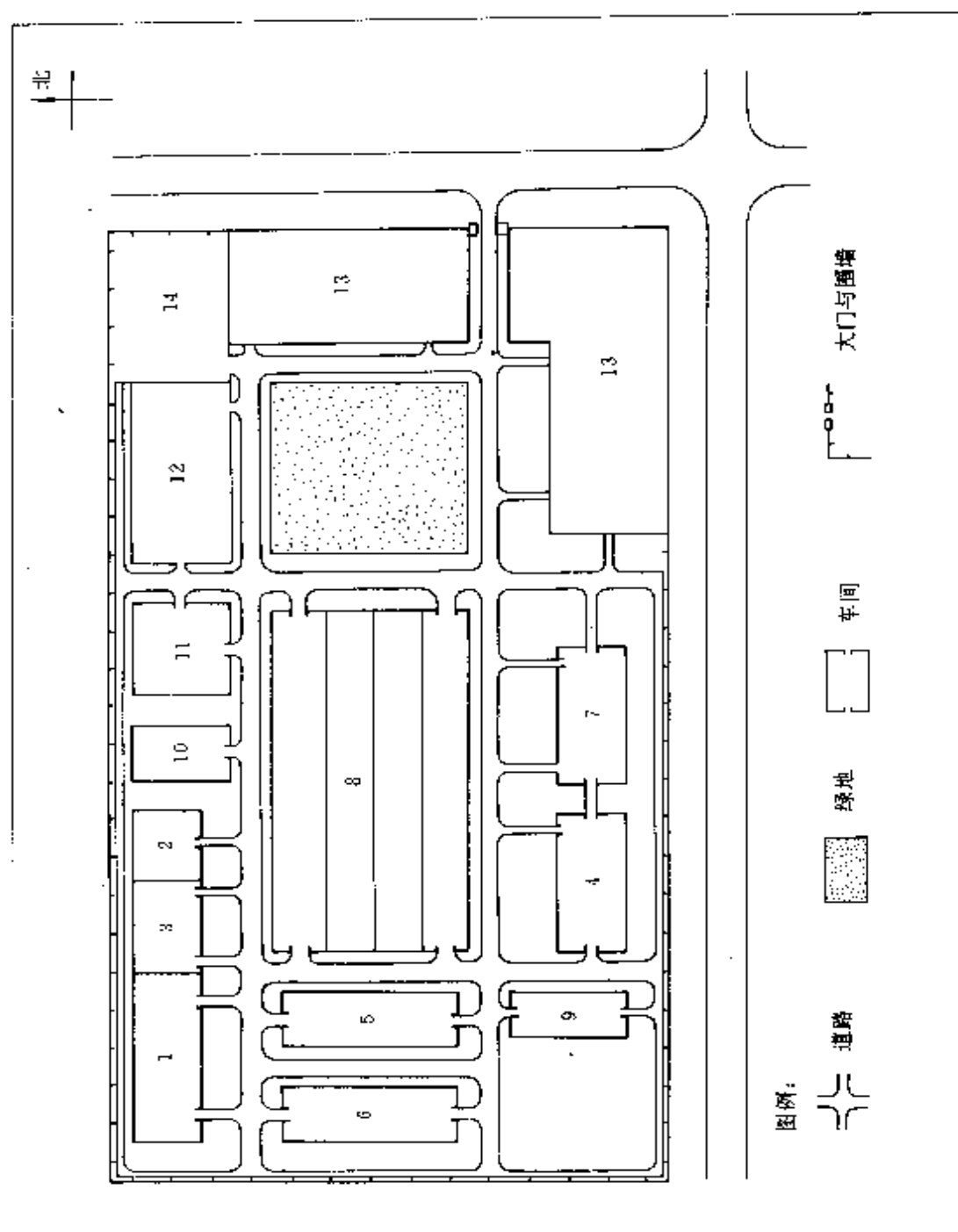


图 6-16 叉车总装厂总平面布置图

(2)评出每个因素的相对重要性——加权值 α_i , 其中, $i = 1, 2, \dots$

(3)划分布置方案优劣等级。由于布置方案的优劣得分难以准确给出, 且没有必要给出准确得分, 因此, 通过优劣等级评定来给出某个方案在某项因素方面的优劣分数。等级可以分为非常优秀、很优秀、优秀、一般和基本可行五个等级, 并规定等级符号分别为 A(4)、E(3)、I(2)、O(1)、U(0), 括号中数字为各等级的相对分数。

(4)评价每个方案在各项因素方面的分数。用 d_{ij} 表示第 j 个方案第 i 项因素的得分, 其中, $i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots$

(5)求出各方案的总分。设 T_j 表示第 j 个方案的总分, 则

$$T_j = \sum_{i=1}^n \alpha_i d_{ij}$$

其中, n 为因素数目。

(6)取 $T_{\max} = \text{MAX}\{T_j | j = 1, 2, \dots\}$, 即 T_{\max} 为最高总分, 那么获得最高总分的方案就是最佳方案。

上述评价过程应由各方面的专家独立进行, 以保证评价结果的可靠性。

B 费用对比法

费用对比法一般是在各个方案都已证明是合理可行的情况下, 从经济角度对方案进行比较择优。利用该法对方案进行评价时, 可以着重考虑布置方案的物流费用、基建费用等, 费用最低的方案就是最佳方案。

7 生产管理系统

7.1 生产管理概述

7.1.1 生产管理的概念

生产管理一般是指企业对生产活动的计划、组织和控制,是和产品制造有关的各项管理工作的总称。

生产管理的基本任务是企业在生产活动中,运用组织、计划、控制等管理职能,解决企业的生产活动与企业内部的人力、材料、资金等资源之间的动态平衡问题,使投入生产过程的各种生产要素有效地结合起来,形成有机的整体,并生产出满足社会需要的产品。

7.1.2 生产管理系统的组成

生产管理系统要根据经营决策系统所确定的经营方针、目标、战略、计划及具体任务,组织生产活动,并保证其实现。与生产管理系统密切相关、相互作用的,还有技术开发系统和销售服务系统。技术开发系统为生产管理系统提供先进的产品设计图纸和工艺规程;销售服务系统能及时向生产管理部门提供可靠的市场信息。

生产管理系统可分为若干子系统。从纵向看,可分为工厂、车间、工段、小组等层次,它们在厂部统一指挥下,相互协作,共同完成产品的制造。从横向看,可分为计划系统、生产技术准备系统、制造系统、物资供应系统、劳动管理系统等,它们围绕生产任务这个中心开展生产活动。

7.2 生产作业计划

7.2.1 概述

企业的一切生产活动都是依据生产计划进行的。生产计划是编制其它各项计划的重要依据,它对企业的生产任务和进度作出全面统筹安排,规定着企业在计划期内生产的产品品种、质量、数量和进度等一系列生产指标。生产计划分为中长期生产计划、年度生产计划和生产作业计划(短期生产计划)。

中长期生产计划一般是指3年、5年、10年或更长时间的计划,它是编制年度生产计划的依据。年度生产计划是企业年度经营计划的核心,一般称生产大纲,它也是编制短期生产作业计划的依据。生产作业计划的任务是把年度生产计划中规定的全厂生产任务分解,分配到各车间、工段、班组、直至各操作者,把全年的生产任务细化,规定它们在每季、每月、每周、每天以至每个工作班的任务,保证各个生产环节在空间和时间上的衔接与平衡;同时对各个生产环节的生产任务完成情况,进行日常指导、检查、分析和调整。生产作业计划可分为三个层次:产品生产进度计划、零部件生产进度计划和基层单位生产日程计划。

7.2.2 年度生产计划

企业年度生产计划是企业年度经营计划的重要组成部分,它符合企业经营目标的要求,遵循以销定产的原则。年度生产计划的内容是通过产品品种、质量、产量、产值(总产值、商品产值、净产值)和产品的生产期等指标来反映的。确定产品指标是编制年度生产计划的首要问题。产品品种指标的确定过程是品种安排决策的过程,用户的订货合同以及市场预

测分析都是确定产品品种的重要依据。企业在制定年度生产计划时,应运用产品系列平衡法、销售收入与利润分析法、产品生命周期分析等,进行综合分析并作出选定品种的决策。

在企业产品品种方案大体已定的条件下,应确定各产品的产量,形成计划期的产品生产大纲。在确定年度产品产量计划时,既要满足市场需要,又要有设备、原材料、能源、劳动力等条件的保证,还应注意使企业的生产经营活动能取得良好的经济效益。确定产品的产量有各种方法,如盈亏平衡点法和线性规划法等。

A 盈亏平衡点法

盈亏平衡点法就是根据盈亏界线来确定最低产量水平的一种决策方法。所谓盈亏平衡点,就是当产量达到一定数量界线时,产品生产的固定成本和变动成本才能为销售收入所抵偿,如果低于这一界线就要亏本,高于这一界线才能有盈利,这个界线所对应的产品数量(点)就叫盈亏平衡点,如图 7-1 所示。

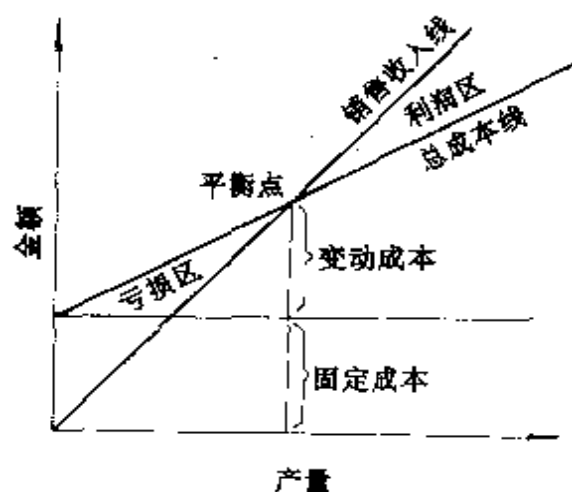


图 7-1 盈亏平衡点

从图中可以看出,产量越大,销售收入线与总成本线之间的距离越大,企业获得的盈利也就越大。因此,企业必须根据市场形势,尽量扩大销路,增加产量,使产品的产量超过盈亏平衡点的产量界线,提高企业的经济效益。

上述关系用公式表示为

$$\text{盈亏平衡产量} = \frac{\text{固定成本}}{\text{单位产品销售价格} - \text{单位产品变动成本}}$$

例如,某企业计划生产某种产品,销售单价为 56.66 元,单位产品的变动成本为 50 元,总的固定成本为 100 万元,则

$$\text{盈亏平衡产量} = \frac{1000000}{56.66 - 50} = 150000 (\text{件})$$

计算表明,该产品的产量只有超过 150000 件时,企业才会有盈利。在制定生产计划、确定产量指标时,应清醒地注意到这一点。

这种方法只适用于单一品种生产条件,而较难应用于多品种生产条件。

B 线性规划法

产品品种、产量和生产条件的平衡过程往往受很多因素如设备、劳动力、原材料、资金、时间等的限制或约束。在这种情况下,如何在生产中搭配产品品种,收到好的经济效果?运用线性规划法可以帮助从众多的生产方案中选择最优生产方案。

例如,某家用产品制造厂利用金属薄板生产四种产品,它的生产系统有五个车间:冲压、钻孔、装配、喷漆车间和包装车间。它们的生产数据如表 7-1 所示,产品成本、市场价格和销

售趋势 如表 7-2 所示。

表 7-1 生产数据

车间	单位产品的工时定额(时/件)				可利用工时 (时/月)
	产品 I	产品 II	产品 III	产品 IV	
冲压	0.03	0.15	0.05	0.10	400
钻孔	0.06	0.12		0.10	400
装配	0.05	0.10	0.05	0.12	500
喷漆	0.04	0.20	0.03	0.12	450
包装	0.02	0.06	0.02	0.05	400

表 7-2 产品成本、价格和销售趋势

产 品	单位产品价格 (元/件)	单位产品成本 (元/件)	销售趋势(件)	
			最 小	最 大
I	10	6	1000	5000
II	25	15		500
III	16	11	500	3000
IV	20	14	100	1000

已知下月制造产品 III 和 IV 的金属薄板的最大供应量为 2000 米², 产品 II 每个需要 2 米², 产品 IV 每个需要 1.2 米²。拟制定下月实现最大利润的产品生产计划。

设 x_1, x_2, x_3, x_4 分别为下月产品 I、II、III、IV 的生产数量, 则它的数学模型满足

$$\begin{cases}
0.03x_1 + 0.15x_2 + 0.05x_3 + 0.10x_4 \leq 400 \\
0.06x_1 + 0.12x_2 + 0.10x_4 \leq 400 \\
0.05x_1 + 0.10x_2 + 0.05x_3 + 0.12x_4 \leq 500 \\
0.04x_1 + 0.20x_2 + 0.03x_3 + 0.12x_4 \leq 450 \\
0.02x_1 + 0.06x_2 + 0.02x_3 + 0.05x_4 \leq 400 \\
2x_2 + 1.2x_4 \leq 2000 \\
x_1 \geq 1000 \\
x_1 \leq 6000 \\
x_2 \leq 500 \\
x_3 \geq 500 \\
x_3 \leq 3000 \\
x_4 \geq 100 \\
x_4 \leq 1000 \\
x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0
\end{cases}$$

使得 $\max F = (10-6)x_1 + (25-15)x_2 + (16-11)x_3 + (20-14)x_4$
 $= 4x_1 + 10x_2 + 5x_3 + 6x_4$

用单纯形法求得 $x_1=5500, x_2=500, x_3=3000, x_4=100$, $\max F=42600$, 即此计划问题的最优安排方案是第一种产品生产 5500 件, 第二种产品生产 500 件, 第三种产品生产 3000 件, 第四种产品生产 100 件, 实现的最大利润为 42600 元。

当产品品种和约束条件较多时, 这类问题的数学模型比较复杂, 需要借助于电子计算机求解。

企业在确定年度生产计划指标过程中, 必须围绕着生产任务, 进行全面的综合平衡。应着重做好以下几方面的平衡工作: 生产任务与生产能力的平衡; 生产任务与劳动力的平衡; 生产任务与各类物资供应之间的平衡; 生产任务与生产技

术准备之间的平衡;生产任务与对外生产协作的平衡;生产任务与资金占用的平衡等。

上述这些平衡关系,可以归结为社会对产品的需要与企业生产这些产品的可能性之间的平衡。企业在进行各方面平衡的过程中,必然会遇到各种矛盾,这就要按照生产计划工作的指导原则,正确处理这些矛盾,求得总体上的大致相对平衡,使企业的生产经营活动取得较好的经济效益。

7.2.3 厂级生产作业计划

编制厂级生产作业计划,主要是编制分车间的生产作业计划,确定各车间的月度生产任务和生产进度。

确定车间生产任务的方法主要取决于车间的生产组织形式和生产类型。对于以产品为对象建立的专业化车间,厂级生产作业计划基本上按各车间既定的产品专业分工、生产能力和各种具体的生产条件来直接安排生产任务。对于按工艺专业化原则组织的车间各车间之间存在着依次提供半成品关系,厂级生产作业计划就要为每个车间规定产品品种、产量和出产期限,按照工艺过程的反方向顺序进行生产安排,解决各车间之间在生产数量和生产时间上的衔接问题,其具体方法又因生产类型不同而有所区别。常用的方法有:

A 在制品定额法

这种方法适用于生产稳定的大量大批生产企业,是以预先制定的在制品数量标准为主要依据来规定车间生产任务的方法。采用这种方法,按产品反工艺顺序确定各车间的计划投入量和出产量,计算公式如下:

$$\text{某车间出产量} = \frac{\text{后车间投入量}}{\text{投入量}} + \frac{\text{本车间半成品外销量}}{\text{品外销量}} - \frac{\text{车间之间仓库半成品储备定额}}{\text{半成品储备定额}}$$

$$\text{某车间投入量} = \frac{\text{一期初预计半成品库存量}}{\text{本车间出产量}} + \frac{\text{本车间计划允许发生的废品数}}{\text{本车间期末在制品定额}} + \frac{\text{本车间期初在制品预计数}}{\text{本车间期末在制品定额}}$$

上述公式中,期初在制品与半成品数量,通常可以根据盘存数或帐面数字进行预计;期末在制品与半成品定额可用计划期平均日产量乘以生产周期来确定;车间计划允许的废品数则按计划规定的废品率来计算。

应用上述公式计算各车间投入量与出产量之后,即可按照各车间月份投入与生产的零件名称和任务数量编制各车间的月度作业计划,如表 7-3 所示。

表 7-3 各车间×月份投入量与出产量计算表

产 品 名 称			C650 车床	
商 品 产 量			10000 台	
零 件 编 号			01-051	02-034
零 件 名 称			轴	齿轮
每 台 件 数			1	4
装 配 车 间	1	出产量	10000	40000
	2	废品		
	3	在制品占用量定额	1000	5000
	4	期初预计在制品占用量	600	3500
	5	投入量(1+2+3-4)	10400	41500
零 件 库	6	半成品外销量		2000
	7	半成品占用量定额	800	6000
	8	期初预计半成品占用量	1000	7100

续表 7-3

机械加工车间	9	出产量(5+6+7-8)	10200	42400
	10	废 品	100	1400
	11	在制品占用量定额	1800	4500
	12	期初预计在制品占用量	600	3400
	13	投入量(9+10+11-12)	11500	44900
毛坯库	14	半成品外销量	500	6100
	15	半成品占用量定额	2000	10000
	16	期初预计半成品占用量	3000	10000
准备车间	17	出产量(13+14+15-16)	11000	51000
	18	废品	800	
	19	在制品占用量定额	400	2500
	20	期初预计在制品占用量	300	1500
	21	投入量(17+18+19-20)	11900	52000

表 7-3 就是用在制品定额法计算的各车间月份投入、出产任务量。根据各车间月份投入与出产任务量,可分车间归纳出本车间月份投入与生产的零件名称及数量,编成分车间月度作业计划草案,经车间讨论后定案。机械加工车间月度作业计划如表 7-4 所示。

表 7-4 ×月份机械加工车间投入与出产任务计划

序号	件号及名称	每台件数	装配投入需要量	库存定额差	外销量	出产量	投入量
1	01-051 轴	1	10 400	-200		10 200	11 500
2	02-034 齿轮	4	41 500	-1 100	2 000	42 400	44 900
3	...	...	...	...	...	...	...

车间月度作业计划制定以后,还应根据全月总的生产任务按日分配,编制出月进度计划,如表 7-5 所示。表 7-5 为车间日历进度计划的一般形式,也可用来统计实际完成进度情况。

表 7-5 ×月份机械加工车间日历进度计划

零件件号及 名 称	计划出产 量 (件)	计划投入 量 (件)	项目	日 历 进 度					
				1	2	3	4	...	31
01-051 轴	10 200	11 500	计划投入	460	460	460	460	...	460
			计划出产	408	408	408	408	...	408
			实际出产						
			累计出产						
02-034 齿轮	42 400	44 900	计划投入	1 796	1 796	1 796	1 796	...	1 796
			计划出产	1 696	1 696	1 696	1 696	...	1 696
			实际出产						
			累计出产						
其 他	...	...	计划投入						
			计划出产						
			实际出产						
			累计出产						

注: 1. 扣除假日, 全月按 25 个工作日安排;

2. 本例为按日平均投入和出产。

B 生产周期法

生产周期法适用于单件小批生产类型。单件小批生产类型的生产特点是: 品种多、产量小, 经常是一次性生产或不定期重复生产; 在生产过程中, 不需要留有周转用在制品; 零部件投入数量与成品数量基本一致; 车间之间在生产数量上的衔接关系比较简单; 编制生产作业计划主要是使每项订货在各车间的投入和出产在时间上协调、衔接, 合理搭配, 使各车间达到均衡负荷, 最大限度地缩短生产周期, 保证及时成套地完成任任务。

生产周期法根据每项订货或生产任务编制生产周期图表,按预订的交货期要求,用反工艺顺序的方法依次确定产品、部件、主要零件在各工艺阶段投入和生产的时间。生产周期法的步骤如下:

(1)根据各项定货合同规定的交货日期,以及事先编制好的生产周期标准,制订各种产品的生产周期表(见表 7-6)。

表 7-6 某产品生产周期表

工艺阶段	阶段周期 (天)	阶段生产周期及提前期(天)					
		180	150	120	90	60	30
铸 造	30						
毛 坯 库	5						
油 漆	20						
毛 坯 库	5						
冷 作	(60)						
加 工	60						
零 件 库	10						
齿轮加工	(60)						
六角件加工	60						
装 配	43						
油 漆	5						
包 装	2						
合计	180	←———产品生产周期——→					

(2)根据各种产品的生产周期表,编制全厂各种产品投入生产综合进度计划(见表 7-7)。

表 7-7 各种产品投入出产综合进度计划表

序号	定货号	产品	订货单位	数量	完工期限	一月			二月			三月			四月		
						上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
11	7721	A	××	10	3月末	—	—	MM	—	—	—	—	MM	.....		
12	7725	B	××	8	5月中			—	—	—	—	—	—	—	—	MM	...
13	7810	C	××	1	4月中				—	MM	—	—	—	MM	...	...
14	7814	D	××	1	4月中					—	MM	—	MM	.....	...	...

注：—毛坯准备；—机加工；.....装配；MM 保险期。

(3)把每项定货的安排都集中到这一综合进度计划表内，可以协调各种产品的生产进度和平衡车间的生产能力。通过编制综合进度计划，把各种产品在各个加工阶段的投入、出产日期确定后，即可据此运用生产周期表，确定各部件的投入生产日期。在安排车间生产任务时，只要在综合进度计划中摘录属于该车间的当月应该投入和生产的任务，再加上上月结转的任务和临时承担的任务，就可得出当月各车间的生产任务。

C 订货点法

订货点法适用于安排某些自制的标准件和通用件的生产计划。此类产品一般具有使用范围广、适用多品种的特点，而且在各个时期的需要量不能确定；加工工作量不大，价值小，占用资金有限，有可能采取集中生产方式进行生产以简化生产作业计划的编制工作；一批产品生产完工后交给仓库，企业用产品的库存量来满足用户的需要量。当库存储备下降到规定水平时，可由仓库提出订货，并由车间组织生产以补充库存，这个储备量水平就叫作订货点。从提出订货到产品完成入库的一段时间内，仓库仍有足够数量的存货来满足用户的需

要。这种按照产品库存定额来安排生产任务及投产时间的计划方法,就叫作订货点法。

采用这种方法的关键在于确定一个合适的订货点。比较理想的状态是,当一批新的订货到达时,库存为零。因为从提出订货到实际到货要经过一个制造周期,这就需要根据平均每日领用量乘以制造周期来确定订货点。另外,还应根据经验或统计资料确定保险库存量。订货点的计算公式如下:

$$\text{订货点量} = \text{平均每日需要量} \times \text{制造周期} + \text{保险库存量}$$

7.2.4 车间内部生产作业计划

车间内部生产作业计划的编制是厂级生产作业计划编制的最终环节。在厂级生产作业计划的指导下,车间将生产任务具体落实到工段、小组、工作地直至每个人,使每名操作者都有具体明确的工作任务与目标。

车间内部生产作业计划的编制工作,主要包括两部分内容:一是编制分工段(小组)的月 and 旬(周)作业计划,并下达给各工段(小组);二是编制工段(小组)分工作地的月 and 旬(周)作业计划及昼夜、工作班计划,并下达给各工作地。编制方法基本上和厂部规定车间任务的方法相同,根据工段或小组的专业化形式及其相互关系的特点,以及不同生产类型和生产的稳定程度,分别选择相应的方法,在平衡负荷和考虑生产准备工作的情况下,分配各工段或小组的生产任务。

7.3 库存管理

7.3.1 库存管理概述

对库存物资数量和金额的大小进行控制的技术称库存控

制技术,简称库存管理。必要的库存是保证生产的稳定性、连续性和销售活动正常开展不可缺少的条件。但库存的存在又带来以下的问题:占用流动资金,占用场地和设施,消耗保管费用及在保管中发生损耗等。研究库存管理的目的是,在保证生产和销售活动正常开展的前提下,尽可能将库存控制在最低水平。

库存管理一般包括:物资入库、出库的运输;物资入库、出库的清点和验收;库存物资的数量清点、合理布局、保养维护、统计分析、计划和控制;积压物资的处理与回收利用。影响库存管理的因素有:

(1)营业因素。包括订货量及其变动情况;市场预测的精度及预测的可能性;企业政策——如果不允许缺料,则需要较多的库存量;销售途径——销售渠道愈多,所需的库存量愈大。

(2)生产因素。成批大量生产方式的库存管理一般比单件生产方式简单;加工批量大,在制品数量多,将增加库存费用;生产周期长,库存量要增加。

(3)前置期间因素。从订购到交货的前置期间是影响库存量的重要因素。前置期间愈长,所需的库存量将愈大。

(4)运输因素。以全局观点制定运费最小的运输路线(起点与终点)和运量。

(5)费用因素。库存费用包括生产、采购费用,保管费,缺料的损失费,其它有关费用。

库存管理的类型有:

(1)流动库存。流动库存可用公式表示为

$$I=ST \quad (7-1)$$

式中 I ——流动库存量；

S ——销售速度(数量/时间)；

T ——流动所需时间。

例如,每周销售产品 100 个,流动所需的时间为 2 周,则为避免缺货所需要的流动库存量为 $100 \text{ 个/周} \times 2 \text{ 周} = 200$ 个。

由此可知,距离与流动库存量成正比关系,流动速度与流动库存量成反比关系。

流动的地点愈多,流动库存量也将愈多,即: $I = S_1T_1 + S_2T_2 + \cdots + S_nT_n$ 。

(2)加工库存(在制品库存)。工厂加工的在制品数量与加工过程有关。因此,加工品数量增多或生产速度缓慢,将使加工库存量增多。

(3)批量库存。在批量生产方式中必然发生的库存,称为批量库存。另外,为降低采购成本而以批量单位采购时,也发生批量库存。

(4)缓冲库存。为防止因顾客的需求量变化所发生的缺货,或为适应加工过程中需要量的变化所准备的库存。

(5)计划库存。计划库存根据其性质分成两种,即适应季节变化的储备库存和适应价格变化的库存。

库存管理的过程有:

(1)订货过程。是从决定订货、进行订货决策并办理有关手续,直到订货成交为止的一段过程。订货手续完成后,账面上的库存量升高,这种帐面上的库存量又称名义库存量。

(2)进货过程。把订得的货物从供方所在地运进自己仓库的过程。进货在实体上增加了库存量,这时的库存量称为实际库存量。

(3)保管过程。是从物资入库起,直到物资销出时为止。此过程需分析仓库的面积、保管的注意事项、质量劣化、搬运问题、保管量、保管期间的库存状况等。

(4)出库过程(销售过程)。即库存量逐渐减少的过程。由于一般需求量很不稳定,因此管理上很困难。如能掌握出库特点,即可对出库量进行预算,从而可以减少库存量。

库存费用。为了评价采购、保管、缺货等问题,必须计算采购和保管的费用以及由缺货引起的预估损失金额(缺货损失)。这是设计及评价库存管理制度的重要标准。

7.3.2 经济订货量的计算

经济订货量是指从经济的观点出发,在各种库存情况下,使得订购费用与保管费用之和为最小,即库存总费用最省、最经济的订货量。

一般最常见的经济订货量公式为

$$Q_* = \sqrt{\frac{2BY}{aI}} \quad (7-2)$$

式中 Q_* ——经济订货量;

a ——单价;

I ——1年库存费用对平均库存金额的比率,或每单位货物年保管费对单价之比率;

B ——1次订购费用;

Y ——1年的预估使用量。

经济订货量公式的推导过程如下:

库存总费用为订货费与保管费之和,如图 7-2 所示。随订

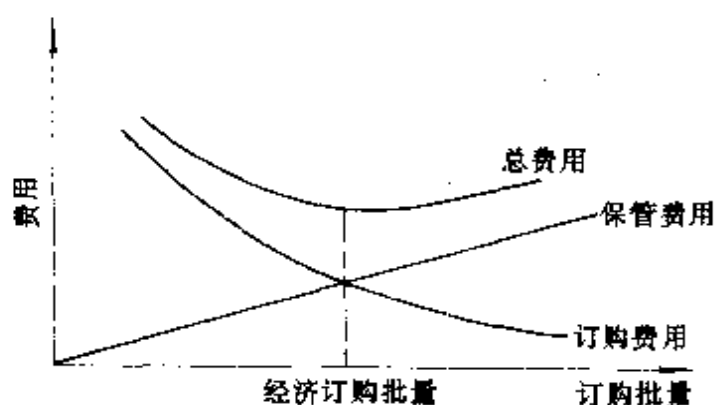


图 7-2 经济订货量

货批量的增大,订货次数减少,保管费上升,而订货费下降;相反,随订货批量的减小,订货次数增多,保管费下降,而订货费上升。当 1 年订货费用和 1 年库存费用相等(即两曲线相交)时,总费用最低,此时相应的订货批量即为经济订货量。

订货费与保管费相等,其数学表达式为

$$\frac{BY}{Q_u} = \frac{aIQ_u}{2} \quad (7-3)$$

式中 Y/Q_u ——1 年的订购次数 N 乘以每次订购费用 B ,即为 1 年的订购费用;

$Q_u/2$ ——平均库存量乘以单价 a 即为平均周转库存金额;再乘以 1 年库存费用率 I ,即为 1 年库存费用。

式(7-3)经过推演可得式(7-2)。

如果每月平均使用量为 \bar{X} ,则 $Y=12\bar{X}$,由式(7-2)可得

$$Q_u = \sqrt{\frac{24B\bar{X}}{aI}}$$

库存费用率 I 通常为 0.2~0.4,而 1 次订购费用 B 由下式计算:

$$B = \frac{\text{每月订购变动费用}}{\text{每月适当的订购次数}}$$

例如,设某仓库某种物资的销售是均匀稳定的,年销售量为 365 吨,每次订货费为 100 元,每吨货物每天保管费为 2 元,如不允许缺货,求经济订购量。

由 $Q_s = \sqrt{\frac{2BY}{aI}}$ 知: $B = 100$ 元, $Y = 365$ 吨, $a = 2$ 元/吨·天, $aI = 2$ 元/吨·天 $\times 365$ 天/年 $= 730$ 元/吨·年。因此

$$Q_s = \sqrt{\frac{2 \times 100 \times 365}{730 \times 1}} = 10 \text{ 吨}$$

7.3.3 安全库存量

如果每月的需求量不变,则不需要考虑安全库存量。然而,一般情况下,买方的需求量均有变动,因此需要考虑安全库存量,以免发生缺货。

安全库存量 = 前置期间的最高需求量 - 该期间的平均需求量

需求量的变动,可用统计方法求出。通常假设需求量的变动成正态分布。因此,缺货率与安全库存量的关系如图 7-3 所示。

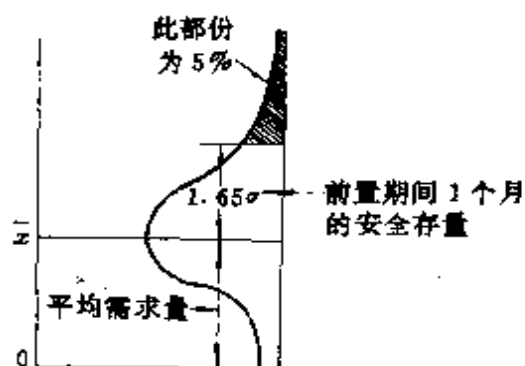
安全库存量的基本公式为

$$SS = \alpha \sigma \sqrt{Y}$$

式中 SS ——安全库存量; 图 7-3 缺货率与安全库存量的关系

α ——安全系数;

σ ——标准偏差;



Y——前置期间。

安全系数 α 与缺货率的关系如表 7-8 所示。

表 7-8 安全系数 α 与缺货率的关系

α	缺货率	α	缺货率
1.28	0.10	1.88	0.03
1.65	0.05	2.05	0.02
1.75	0.04		

标准偏差的期望值为：

$$\sigma = E\left(\frac{R}{d_2}\right)$$

式中, R = 最大需求量 - 最小需求量。 d_2 的值如表 7-9 所示。

表 7-9 d_2 值

n	d_2	n	d_2	n	d_2
2	1.128	5	2.326	8	2.847
3	1.693	6	2.534	9	2.970
4	2.059	7	2.704	10	3.078

7.3.4 库存管理的方法

A 库存重点管理法——ABC 分析法

仓库中的物资品种很多,价格高低不一。比较好的库存管理方法是重点管理法,它对不同的物资实行不同的管理,既保证重点,又照顾一般。ABC 分析法是具有代表性的物资管理方法,该方法由巴雷特法派生而来,将物资分为 A、B、C 三类。A 类物资属于数量少而销售金额大的物资,可实行重点管理,采用定期(半月或 1 个月)订购方式。C 类物资属于品种多而

销售金额小的物资,可实行一般管理,采用二箱法或定量订购方式。其余的物资为 B 类,根据情况可实行重点管理,也可实行一般管理,采用定量订购方式;但对采购时间较长,或需求量有季节变动趋势的物资采用定期订购方式。

(1)A、B、C 类物资的管理方式:

A 类物资的管理方式要求尽可能正确地预测需求量;希望零件生产与装配能很好地配合;尽可能缩短前置期间;少量采购,并尽可能使库存量减少,但不能影响生产的进度;每月盘货一次,并把降低成本作为管理的重点;采购须经高级主管核准等。

B 类物资的管理方式要求进行中量采购,每 3 个月盘货一次,采购须经中级主管核准等。

C 类物资的管理方式要求简化库存管理的手续,废除料帐、出库单及订购单等单据;大量采购,在价格上可获得优待;可交给生产现场保管使用;每 6 个月盘货一次;采购时仅须经基层主管核准等。

(2)ABC 分析法的步骤:

1)做 ABC 分析卡,填写单价 a ,1 年使用量 b ,及 1 年使用金额 $A_i=ab$ (见表 7-10)。

表 7-10 ABC 分析卡

品名代号:205			
单价 a :335 元		一年预估使用量 b :	1680 个
$\sqrt{A_i}$:	772	一年使用金额 $A_i=ab$:	596400 元

2)将 ABC 分析卡依 A_i 由大到小的顺序排列。

3)将 A_i 按由大到小的顺序转记在 ABC 分析表中(见表 7-11)。

表 7-11 ABC 分析表

	品 名			单价 a	一年预 估用 量 b	一年使用金额			VE 系数		
	序号	占 %	品号			A_i	A_i 累计	占 %	$\sqrt{A_i}$	$\sqrt{A_i}$ 累计	占 %
A	1	5.6	205	355.0	1680	596400	596400	66.4	772	772	33
	2	11.1	203	150.0	780	117000	713400	79.5	342	1114	48
B	3	16.7	211	210.0	324	68040	781440	87.0	261	1375	59
	4	22.2	204	250.0	240	55200	836640	93.2	235	1610	69
C	5	27.8	283	30.0	780	23400	860040	95.8	153	1763	75
	6	33.4	294	30.5	480	14640	874680	97.0	121	1884	80
<hr/>											
	18	100.0	232	0.25	180	45	897585	100.0	7	2343	100

4) 计算并填写累计 1 年的使用金额。

5) 计算每种物资 1 年使用金额所占的百分比。

例如, 对表 7-11 中的品号 205, 有: $\frac{596400}{897585} \times 100\% = 66.4\%$ 。

6) 计算品名点数的百分比。利用顺序号较方便, 例如对表 7-11 中的品号 205, 有: $\frac{1}{18} \times 100\% = 5.6\%$ 。

7) 计算表示物资管理的综合值的 VE (value effect) 系数 $\sqrt{A_i}$ 。例如, 对表 7-11 中的品号 205, 有: $\sqrt{A_i} = \sqrt{596400} = 772$ 。

8) $\sqrt{A_i}$ 累计。

9) 计算 $\sqrt{A_i}$ 所占累计的百分比。例如, 对表 7-11 中的品号 205, 有: $\frac{772}{2343} \times 100\% = 33\%$ 。

10) 将 $\sqrt{A_i}$ 的累计值作成 3 等分, 即分成 1/3, 2/3。例如,

对表 7-11,有

$$2343 \times \frac{1}{3} = 781, \text{即 A—B 类的区分点(理论值);}$$

$$2343 \times \frac{2}{3} = 1562, \text{即 B—C 类的区分点(理论值).}$$

11) 用接近于理论值的 $\sqrt{A_i}$, 划分 A—B 及 B—C。

12) 作 ABC 分析图(如图 7-4 所示)。

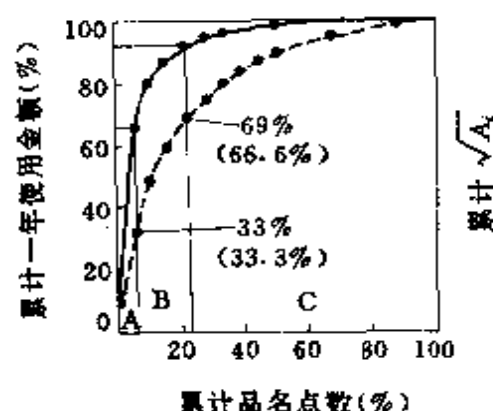


图 7-4 ABC 分析图

13) 以虚线表示 $\sqrt{A_i}$ 累计百分比曲线, 在分析表上的 33.3%、66.6% 处(或附近)区分 A—B—C。

对各种物资所作的 ABC 分析的结果, 各类物资的品种与金额所占的比例应符合表 7-12 所示的范围, 这样才能保证有好的管理效果。

表 7-12 ABC 分析的结果

项 目 类 别	对全品种的百分比	对总金额的百分比
	(%)	(%)
A 类	10~20	75~80
B 类	20~25	10~15
C 类	60~65	5~10

B 订货策略

订货是库存管理的重要活动。订货方式根据订货量与订货期而分成定量订货(订货点)方式与定期订货方式。

(1)定量订货(订货点)方式。当库存量减少到一定的标准时,即应补充一定量的库存。这种方式适用于需求量变化较为稳定的B类物资的管理。每次订货不需要计算订货量,但是需要确定订货点、订货批量及安全库存量。

订货点为补充库存量的标准,由前置期间的平均需求量决定,如图7-5所示。最初有经济订货量 Q_e ,其前置期间的平均需求量为 $\bar{X}Y$ 。当库存量或有效数量逐渐降到订货点(量) P_R 时,即应订购一定的经济订货量。经过前置期间 Y 个月后,以前所订购的经济订货量 Q_e 即运来库存,以免造成缺货使供应中断。因此,出库量与订购次数有正比的关系。订货点 P_R 为

$$P_R = \bar{X}Y + SS$$

式中, SS 为安全库存量。

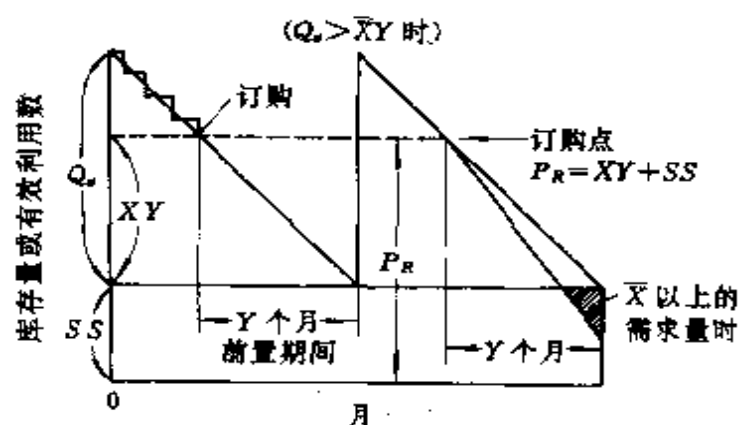


图 7-5 定量订货方式

(2)定期订货方式。每过一定时期(1个月或3个月)即预测需求量,并调查该时点的库存量以及已订未交货量,进而计算订货量。此方式适用于A类物资的管理。因此,必须定期预测需求量,调查库存量以及计算订货量。因订货周期与库存量有正比关系,故当订货周期大时,将增加库存量。订货周期 M 为

$$M = \frac{Q_n}{\bar{X}}$$

式中 Q_n ——经济订货量;

\bar{X} ——每月平均需求量。

订货量依 M 个月的订货周期计算(参考图 7-6):

$$\text{订货量} = (F + SS) - (O + S)$$

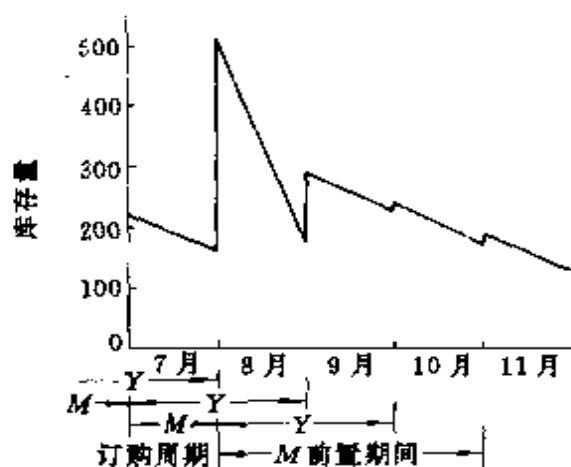


图 7-6 定期订货方式

式中 F —— $(M+Y)$ 中的推定需求量;

SS ——安全库存量;

O——已订未交量；

S——库存量。

简便的库存管理方式有二箱法,适用于C类材料的管理。二箱法即把整个库存物资(包括周转库存量和安全库存量)分为2箱(形式上或实际上均可)。首先卖第一箱里的货物,当第一箱卖完,开始卖第二箱时,就发出订货,订同样大小的一箱。实际上,这时第二箱起着订货点库存量(包含了安全库存量)的作用,第二箱还没卖完,新订的第一箱就会到货。到货之后,仍继续卖第二箱;等第二箱卖完,打开新订的一箱开始卖时,又发出订货,订同样的一箱。这样循环往复,将整个库存量用两个箱子装载和周转,因此叫二箱法。二箱法省去了随时检查库存的工作,简化和方便了包装、装卸和运输工作,实施起来简单方便。

例如,设每月需求量 \bar{X} 为100个,每次订货量 Q_u 为3个月的需求量, $Q_u=100 \times 3=300$ 个,前置期间为1个月,可由表7-13得订货量 $P_R=1.55 \times 100$ 个=155个。

表 7-13 订货点 P_R 表 单位: $\times 100$ 个

每次订购量 Q_u 前置期间 y	2个月 需求量	3个月 需求量	4个月 需求量	6个月 需求量	12个月 需求量
0.1个月(3天)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
0.25个月(7天)	0.45	0.33	0.3	0.3	0.3
0.5个月(15天)	0.9	0.75	0.65	0.56	0.56
0.75个月(22天)	1.3	1.2	1.0	0.9	0.9
1.0个月(30天)	1.7	1.55	1.4	1.2	1.2
1.5个月(45天)	2.5	2.3	2.1	1.8	1.8
2.0个月(60天)	3.2	3.0	2.8	2.5	2.2

7.4 质量控制

7.4.1 质量与质量管理

质量是产品满足用户使用要求的程度,即适用性。国标 GB6583.1—86 为质量下的定义为:质量是“产品、过程或服务满足规定要求的特征和特性总和。”这里对质量的定义是广义的,不仅指产品质量,也包括过程质量、服务质量。过程是指产品质量的形成过程,包括设计、制造、检验、包装等。服务是指以服务为目的的工作,如售前、售后服务等。质量一般可分为产品质量、工序质量和工作质量。产品质量,即使用价值,是指产品适合一定用途、满足社会和人们一定需要所具备的自然属性或特性。工序质量是指生产中人、机器、材料、方法、测量以及环境综合作用的结果,也是各部门工作质量在生产现场的反映。工作质量是指为保证和提高产品质量的工作水平,其高低可通过各部门在保证和提高产品质量过程中所表现出来的工作效率、工作成果来评价,并可用品级率、废品率、返修率等指标来综合地反映工作质量。产品质量、工序质量、工作质量是相互联系的,因此必须对这三者实行全面管理。

质量的狭义概念即是指产品质量。由于工业产品的种类繁多,质量特性各不相同,概括起来可包括:性能、寿命、可靠性、安全性、经济性等五个方面。

提高经济效益是企业必须追求的目标,在诸多与经济效益相关的因素中质量起着主导作用。质量的提高不仅意味着降低消耗、增加效益,而且可促使企业产品适销对路,避免产品滞销积压及资金损失。为了保证和提高产品质量,除了采用先进的设计和制造技术外,抓好质量管理是至关重要的。

国标 GB6583.1 给质量管理下的定义为:“对确定和达到

质量要求所必需的职能和活动的管理。包括质量方针的制定及所有产品、过程或服务方面的质量保证和质量控制的组织和实施。”其中,质量职能就是为使产品具有一定的适用性而进行的全部活动的总称;质量管理就是要把这些广泛、分散的质量职能有机地结合起来,使之互相协调配合。通俗地说,质量管理即是计划以最经济的方法生产消费者能够满意的产品,以及达成此项计划的所有活动。因此,质量管理是企业重要的经营工具。

7.4.2 全面质量管理

A 全面质量管理的特点

全面质量管理是一种新型的质量管理方式。它是指在全体职工参与下,把思想教育、经营管理、专业技术和数理统计有机地结合起来,建立起从产品的研究设计、生产制造到售后服务等一整套保证和提高产品质量的管理工作体系,用最经济的手段生产出用户满意的产品或向用户提供劳务。全面质量管理即是全员、全过程、全面质量的管理。具体说来,有以下四个特点:

(1)全员性的质量管理。产品质量一方面与企业中每个员工的工作质量有关,提高产品质量需要依靠全体员工的共同努力;另一方面与其它各项管理如技术、生产、劳动、物资、财务等各个方面存在着辩证关系。全面质量管理要求在企业的集中统一领导下,把企业的质量目标层层落实到各部门、各环节直到每个员工,并且通过各项技术标准、工作标准使全体员工都能为实现具体的质量目标而努力。此外,质量管理小组(QC小组)的建立使质量管理有了坚实的群众基础。

(2)全面的质量管理。全面质量管理是指广义的质量管理,即不仅要管产品本身的质量,而且要管工作质量;通过提

高工作质量来减少不合格品,降低成本;做到价格便宜、供货及时、服务周到,以全面的高质量来满足用户各方面的使用要求。

(3)全过程的质量管理。全面质量管理要管理从生产、流通到消费的全过程,即包括产品设计、试制、制造、使用等在内的整个过程的质量管理,涉及产品市场调查、设计试验、生产准备、生产制造及用户服务等各个环节。要求企业把质量管理的重点从生产后的质量检验转移到生产过程的质量控制上来,消除产生不合格产品的各种隐患,做到防患于未然。

(4)综合性的质量管理。综合性是指质量管理采用的方法是全面的、多种多样的,它是由多种管理技术与科学方法组成的综合性的方法体系。全面质量管理在质量分析和质量控制上都要以数据为科学依据,广泛应用数理统计、运筹学、正交试验等手段,有效地控制生产过程质量。

B 全面质量管理的内容

全面质量管理的具体内容可概括为四个方面:设计试制过程的质量管理、制造过程的质量管理、辅助过程的质量管理和使用过程的质量管理。

(1)设计试制过程的质量管理。设计试制过程包括市场调查、试验研究、产品设计、工艺设计、新产品试制和鉴定等环节,是产品正式投入批量生产前的全部技术准备过程。这一过程对产品质量起着决定性的作用。设计试制过程的质量管理是全面质量管理的起点,是带动其它过程质量管理的首要环节,应把它作为全面质量管理的重点来抓。

在这一阶段要进行产品质量的经济分析,着重从产品质量的变化与费用、价格、成本的变化关系上进行经济分析。一般情况下,产品质量等级越高,质量成本越大,产品价格也

相应提高。当产品价格高到一定水平时,产品会受到市场购买力的限制而难以被消费者所接受。因此,应确定一个价格与质量成本差额最大的最佳点。显然,产品质量定在这一点上,对提高企业经济效益最有利。

(2)制造过程的质量管理。对制造过程实行质量控制,是全面质量管理的中心环节,它的任务是保证形成一个能生产合格品、优良品的生产系统。主要应做好以下几方面的工作:

1)严格执行工艺要求,组织文明生产。要求作业者不断提高操作水平,遵守工艺纪律,并且要控制影响工艺的各种因素。

2)加强质量检验工作,合理选择检验方式,以及加强对不合格品的管理。

3)掌握质量动态,进行质量分析。对制造过程中出现返修、报废、次品等现象进行分析,找出原因,采取措施加以解决,使生产系统成为保证产品质量的稳定的系统。

4)运用统计质量控制法进行工序控制。全面质量管理要求在废品产生以前就能发现问题,以防止质量事故的发生。工序控制运用数理统计方法,在生产过程中抽检部分产品,经过分析便可发现产生废品的预兆,以达到保证工序质量的目的。

(3)辅助过程的质量管理。辅助过程包括物资供应、工具准备、设备维修、仓库保管、运输服务等。它们都为生产第一线服务,直接影响着制造过程质量。质量管理部门必须重视这一过程的质量管理,促进各个环节提高工作质量,以保证生产系统的稳定。

(4)使用过程的质量管理。产品的质量特性是根据使用要求设计的,必须经过使用过程才能作出正确的评价。因此,全面质量管理必然要延伸到使用过程。其间主要完成两方面的

任务:开展技术服务;调查、收集产品的使用效果情况和改进产品的要求。

7.4.3 质量管理的统计方法

为了掌握质量情况,在大批量生产或连续生产(如纺织、化工产品生产)中,不可能对产品进行逐个全数检验;只能采用统计检验的方法,即从整个检验对象中客观地取出一部分,对它们进行测定,取得一批数据,加以科学整理、计算后制成各种统计图表,应用统计推理方法来预测、推断总体的质量情况,从而把包含在数据中的规律性揭示出来。常用的统计方法有排列图法、因果分析图法、直方图法、控制图法、散布图法等。下面分别对它们作一介绍。

A 排列图法

排列图又称巴雷特图或主次因素排列图。该图能够从影响产品质量的许多因素中,找出主要因素和主要问题。

把排列图应用于质量管理工作中,在质量分析时发现,尽管影响产品质量最关键的因素往往只是少数几项,但是由它们造成的不合格产品却占总数的绝大部分。因此,排列图成为查找影响产品质量关键因素的重要工具。

排列图由两个纵坐标、一个横坐标、几个长方形图和一条折线组成,如图 7-7 所示。左边的纵坐标表示频数(金额、件数、时间等),右边的纵坐标表示频率(用百分率表示)。横坐标表示影响质量的各种因素,按影响程度的大小,从左向右依次排列。折线表示各因素大小的累计百分数,由左向右逐步上升,此曲线称为巴雷特曲线。在排列图上,通常将曲线的累计百分数分为三类:0~80%为 A 类因素,这一区间内影响产品质量的因素是主要影响因素或关键因素;80%~90%为 B 类因素,这一区间内影响产品质量的因素是次要因素;90%~

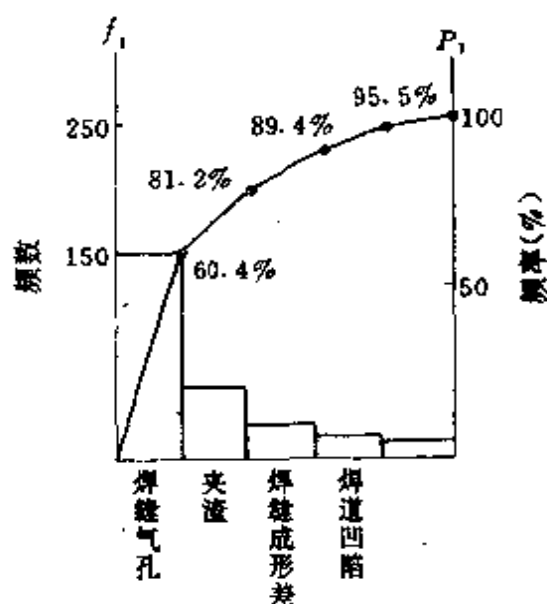


图 7-7 排列图(巴雷特图)

100%为C类因素,这一区间内的因素是影响产品质量的一般因素。排列图明确了关键的少数问题,就可以集中力量加以解决。在排列图的下方应注明排列图的名称、绘制时间、绘图人等。

B 因果分析图法

因果分析图又称特性要因图、树枝图、鱼刺图等。它是表示质量特性与有关的质量因素之间关系的图。

因果分析图由质量问题和影响因素两部分组成。图中主干线箭头所指的是质量问题,主干上的大枝表示大原因,中枝表示中原因、小枝、细枝表示小原因。

所分析的各层次原因之间的关系必须是因果关系。分析原因直到能采取措施为止,然后找出影响质量的关键因素,用方框框起来作为制订质量改进措施的重点。

因果分析图的具体形式如图 7-8 所示。

C 直方图法

直方图又称质量分布图、频数图,是通过整理抽查的质量

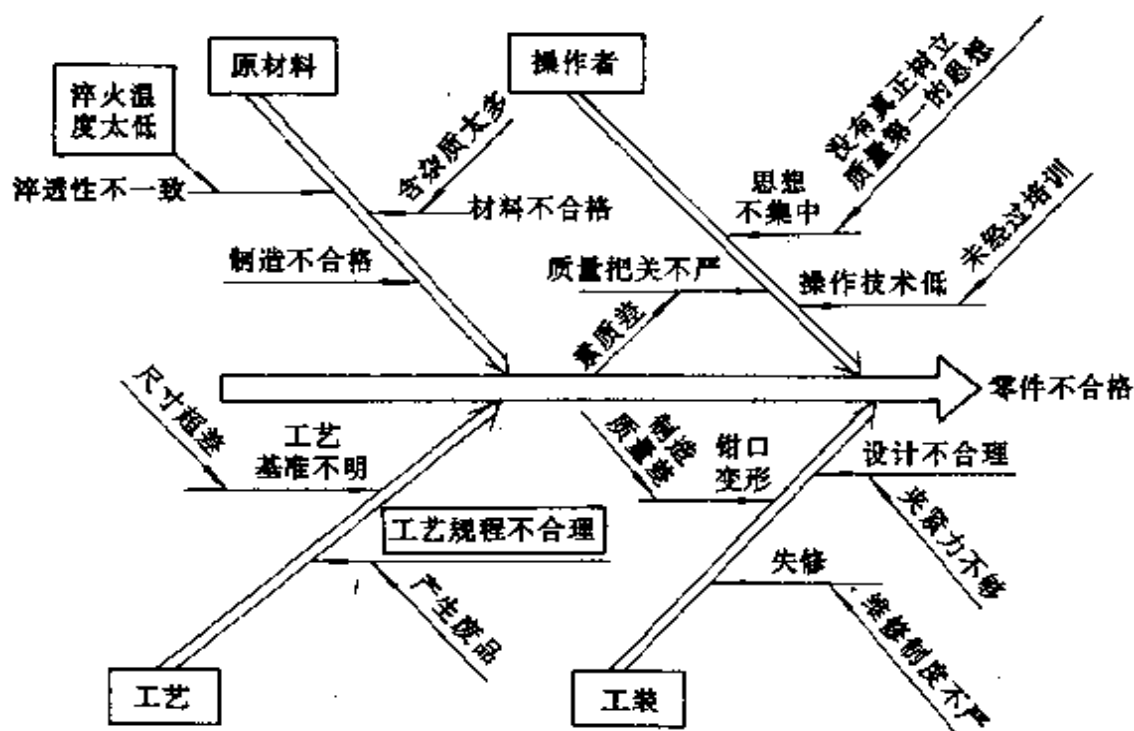


图 7-8 某零件工序质量因果分析图

数据,反映质量分布状态的统计图表。

(1)直方图的绘制:

1)采集数据。随机抽取的样本数与加工总数有关,常用的样本为 50~250 个。

2)确定分组数 K 和组间距 h 。分组数 K 与抽取的样本数有关,可按表 7-14 选取,本例取 $K=10$ 。

表 7-14 样本数与分组数

样本数 N	分组数 K	常用组数
50~100	6~10	10
100~250	7~12	
250 以上	10~20	

组距 h 按下式计算
$$h = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{K}$$

式中 X_{\max} 、 X_{\min} 分别为样本尺寸的最大值及最小值。

3) 计算各组组界及组中值。为了避免出现样本数据值与组的边界值相等,造成频数计算困难,组的边界值单位应取测量精度的 $1/2$ 。

4) 计算各组的频数。频数即是落在各组内的样本数据数。根据上述数据可得频数分布表(见表 7-15)。

表 7-15 频数分布表

组号	组距	组中值	频数统计	f_1 ①	v_1 ②	$f_1 v_1$ ③= ①×②	$f_1 v_1^2$ ④= ②×③
1	7.9115~7.9145	7.913	|||	2	-4	-8	32
2	7.9145~7.9175	7.916	|||	2	-3	-6	18
3	7.9175~7.9205	7.919	|||||	16	-2	-32	64
4	7.9205~7.9235	7.922	|||||	18	-1	-18	18
5	7.9235~7.9265	7.925	|||||	23	0	0	0
6	7.9265~7.9295	7.928	|||||	17	1	17	17
7	7.9295~7.9325	7.931	|||||	15	2	30	60
8	7.9325~7.9355	7.934	||	3	3	9	27
9	7.9355~7.9385	7.937	||	4	4	16	64
合 计				100 Σf_1 ⑤		8 $\Sigma f_1 v_1$ ⑥	300 $\Sigma f_1 v_1^2$ ⑦

5) 绘制直方图。根据上述有关数可绘制出直方图(见图 7-9)。

直方图横坐标为质量特性值,即测量的样本数据值;纵坐标为频数;以组界为底,各组的频数为直方图的高。

(2) 直方图的观察与分析:

1) 直方图的形状分析。直方图的形状代表了质量的分布状况。正常的直方图应是中央有一顶峰,左右大致对称,这说明生产过程处于稳定状态。如画出的直方图出现异常,说明生

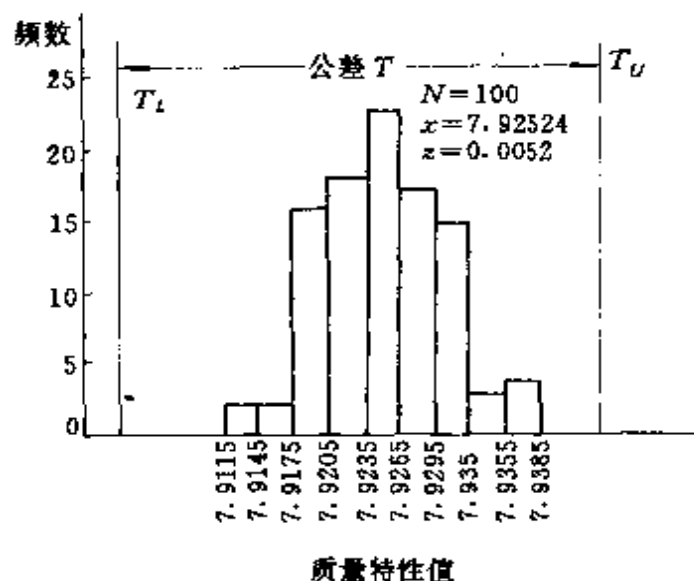


图 7-9 直方图

产过程存在异常因素,就要分析并找到原因,采取措施,以防止产生废品。常见的非正常的直方图形状有:锯齿形,通常是由于分组过多或检测数据不准而造成的;孤岛型,是由于人、机器、材料、方法、测量、环境等因素突变而造成的;偏向型,是由于习惯加工(加工的孔直径偏小而轴直径偏大)、返修或剔除废品而造成的;双峰型,是由于把两次调整所生产的产品混在一起而造成的;平顶型,是由于生产过程中某个缓慢因素如工具磨损、操作者疲劳等所引起的(见图 7-10)。

2)与质量标准(公差)相对比的分析。实际尺寸分布范围 B 落在公差范围内,且直方图形状正常,说明质量稳定。如 B 超出公差范围,就会出现废品。

D 控制图法

控制图又称点图、管理图,是绘有质量控制界限的一种图表,用于对生产过程中的产品质量进行监测控制。

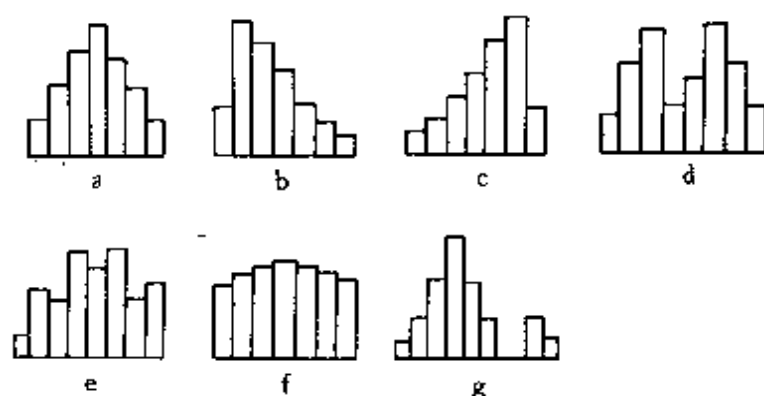


图 7-10 直方图的形状

a—正常型;b—偏向型(左);c—偏向型(右);
d—双峰型;e—锯齿型;f—平顶型;g—孤岛型

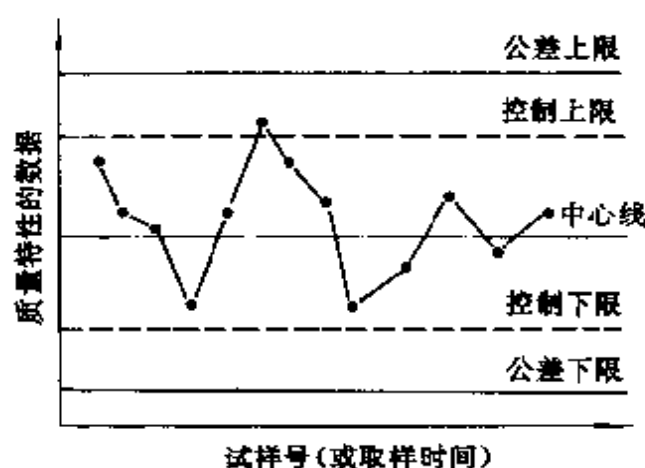


图 7-11 控制图的基本形式

图 7-11 为一控制图,图中的虚线即是上下控制界限。在生产中每间隔一定时间抽检一定数量的样本,并将测得的质量数据在控制图上描出一个点。这样经多次检测后,在控制图

上就会得到若干点。若发现点超出了控制线,说明生产过程出现了异常,应及时采取措施使生产过程恢复正常。

(1)控制图的种类。控制图可分为计量值控制图和计数值控制图两种,适用于不同的质量特性值。表 7-16 给出了控制图的种类、名称、控制界限及用途。下面介绍使用最广泛的 $\bar{X}-R$ 控制图(平均尺寸—极差控制图)。

表 7-16 控制图的种类及主要用途

种类	名 称	表 示 符 号	控 制 界 限		主 要 用 途
			中心线	控制界限	
计 量 值 控 制 图	平均值— 极差控制 图	$\bar{X}-R$	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{X} \pm A_2 \bar{R}$ $D_4 \bar{R}, D_3 \bar{R}$	适用于长度、重量、强度等计量值数据控制,如零部件尺寸、薄板强度、硫铵含氮量、布匹耐磨性、原材料消耗、成本等
	中位数— 极差控制 图	$\tilde{X}-R$	$\bar{\tilde{X}}$	$\bar{X} \pm m_3 A_2 \bar{R}$ $D_4 \bar{R}, D_3 \bar{R}$	适用范围同上,是现场工人常用的图,但检出能力不如 $\bar{X}-R$ 图
	单值控制 图	\bar{X}	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{X} \pm 3s$	适用于检验时间远比加工时间短的场合,如车床加工轴等
	单值—移 动极差控 制图	$\bar{X}-R_i$	$\bar{\bar{X}}, \bar{R}_i$	$\bar{X} \pm 2.66 \bar{R}_i$ $UCL=3.27 \bar{R}_i$ LCL 不考虑	适用于在一定时间里只能获取 1 个数据的场合,如 1 次化学反应的收率、1 炉钢的成分等,均质的产品而无需抽取多个试样

续表 7-16

种类	名称	表示符号	控制界限		主要用途
			中心线	控制界限	
计 数 值 控 制 图	不良品率控制图	P	\bar{p}	$\bar{p} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	适用于关键零部件需全数检查的场合
	不良品数控制图	P_n	\bar{p}_n	$\bar{p}_n \pm \sqrt{\bar{p}_n(1-\bar{p}_n)}$	适用于一般半成品或零部件,要求每次检测的产品个数即样本大小 n 必须一定
	单位缺陷数控制图	u	\bar{u}	$\bar{u} \pm 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	用来控制每单位缺陷数需全数检验的场合,如喷漆加工表面的气泡数、收音机线路板的焊接不良点数、针剂或化学药品中的杂粒数
	缺陷数控制图	C	\bar{C}	$\bar{C} \pm 3 \sqrt{\bar{C}}$	适用于控制一般缺陷数的场合,要求每次检测的样本大小 n 必须一定

(2) $\bar{X}-R$ 控制图。图 7-12 为某厂精镗孔工序的 $\bar{X}-R$ 图。它由控制样本测量值的平均值 \bar{X} 图和控制样本极差(最大值与最小值之差)的 R 图联合组成。 \bar{X} 图用来控制质量值的分散中心的变化, R 图则用来控制质量值的分散范围的变化。两者联合使用便可用于大批量生产中的工序质量控制。

$\bar{X}-R$ 图在生产中使用时,每间隔一定时间按加工顺序依次取出 n 个样本(通常 $n < 10$,抽检的比例为 5%~10%),并求出它们的测量值的平均值 \bar{X} 及极差 R ,在 $\bar{X}-R$ 图上描出两个点。若点超出了控制线,说明可能已产生废品,应立即停止生产,对机器进行检查,调整后再进行加工。工序质量亦

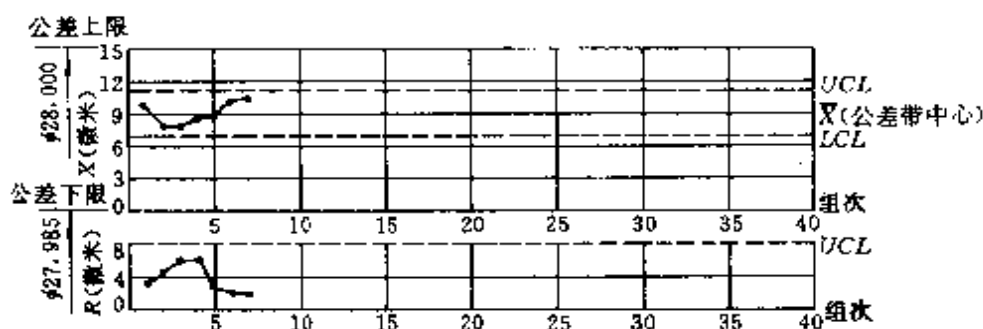


图 7-12 某厂精镗孔工序 $\bar{X}-R$ 图

由此得到保证。

实际生产中使用的 $\bar{X}-R$ 图是事先在专用的表格上绘制好的。其关键问题是要确定控制线的位置。为此要对生产过程进行工艺验证。工艺验证包括两方面，一是判断工艺过程是否稳定，二是确定该工序的工艺能力。

E 散布图法

散布图法是观察两种因素的关系的方法。将两种有关的数据列出，并用点描在坐标纸上，以便观察两种因素的关系，这种图称为散布图或相关图。例如，在热处理中要找出淬火温度和钢件硬度的关系，在加工零件时要了解切削用量与加工质量的关系等，都要用到这种分析方法。图 7-13 就是表明淬火温度与硬度关系的散布图。

图中 x 、 y 两种因素所决定的数据点在图上近似一直线，这表明硬度和淬火温度近似相关，可用直线方程 $Y=a+bx$ 表示两种因素的关系。明确这一关系后，就可以根据硬度要求掌握淬火温度。从图中可知，淬火温度升高，硬度也相应地增高，这种情况说明两个因素的关系是正相关。如果图中 X 变大时， Y 反而相应地变小，这种关系为负相关。如果 X 变大或

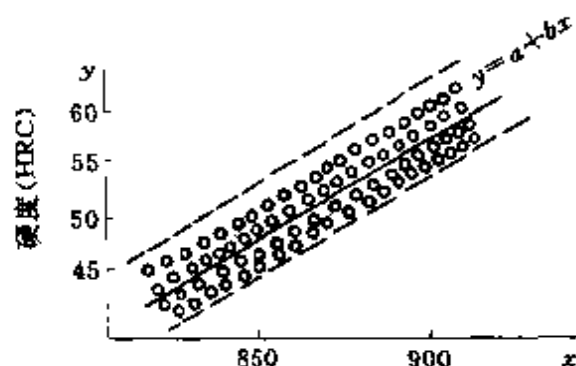


图 7-13 散布图

变小, Y 并不随其变化而变化, 说明两者没有相关关系。掌握了两种因素的关系, 就可以在质量管理上采取相应地措施。若影响 Y 的因素不止一个而是若干个 (X_1, X_2, \dots, X_k) , 则可以分别绘制 $Y-X_1$ 、 $Y-X_2$ 、 \dots 、 $Y-X_k$ 的散布图, 确定相关关系, 并找出影响 Y 的主要因素。

7.4.4 质量保证体系

A 建立质量保证体系的必要性

如前所述, 全面质量管理是全员的、全过程的、综合性的质量管理, 因此各过程、各环节、各部门的质量管理应互相协调、衔接、配合而自成系统。在这个系统里, 有关质量的信息能畅通无阻地传递给有关部门并能及时地得到反馈。否则, 全面质量管理是无法深入持久下去的, 当然也无法适应市场对产品质量的要求及市场竞争的需要。因此, 要使全面质量管理能有效的在企业生产、经营活动中发挥作用, 必须应用系统工程的概念和方法, 把企业各部门、各环节的生产经营活动严密地组织起来, 规定它们在质量管理上的职责、

任务和权限，并建立起组织、协调这些活动的机构，从而形成一个质量管理的有机整体，这样的有机整体称作质量保证体系。

B 建立质量保证体系的基本措施

建立完整的质量保证体系的基本措施主要有以下几方面：

(1) 强化质量意识。任何保证质量的措施都要通过人来执行，因此企业的全体员工必须有强烈的质量意识。为此，企业要对全体员工加强质量教育，真正做到质量第一，把质量看作是企业的生命。

(2) 要有明确的质量方针、目标和计划，贯彻质量责任制。企业既要有总的质量方针及目标，又要制订出切实可行的在某段时间（年、季、月）内应达到的具体的质量目标（应有具体数字）；同时要贯彻责任制，使质量管理的各机构、各环节直到每个员工都要明确质量工作的具体任务，以确保质量目标的实现。

(3) 建立质量管理的信息反馈系统。质量管理的本质是质量信息的流动，而信息的流动是通过信息的反馈来实现的。质量信息的反馈一方面来自厂外，即用户对产品质量信息的反馈以及其它质量情报；另一方面来自厂内各部门、各环节间的质量信息的传递与流动，如制造部门对设计、质检部门的信息反馈等。为了及时地收集、整理质量信息，并把它们传递到各有关部门，必须建立信息反馈系统，如建立信息接收站、信息反馈中心等来完成信息的分类、传递、储存以及分析处理等任务。

(4) 不断完善质量管理的基础工作。质量管理的基础工作包括标准化工作、计量工作、质量情报工作以及质量责任

制等。它们是开展全面质量管理活动所必须具备的基本条件、手段和制度，应不断地加以完善，以确保质量保证体系的有效运转。

7. 5 设备管理

7. 5. 1 设备与设备管理

设备是指企业固定资产中，与形成产品的工艺过程直接有关的那些物质技术手段，如各种机器、电子装置、车辆等等。设备在生产过程中改变了产品的形状、性质和位置，参与了从原材料到成品的运动过程。而固定资产中的另一部分，如厂房、仓库、道路、办公设施等，虽然也是物质技术手段，却与工艺过程的状况无直接关系，不属于设备的范畴。

设备属于生产工具的范畴，但它不包括全部的生产工具，它是固定资产中直接参与形成产品的形状和性质的一切机器、装置、器材和工具。

设备的性质具有两重性：一方面作为工具来说，它具有使用性；另一方面作为固定资产来说，它具有价值性。设备的使用性是设备技术管理的核心，技术管理关心的是设备功能的规划、设计、制作、使用、维护、磨损、返修和报废等一系列技术问题。设备的价值性是设备财务管理的灵魂，财务管理关心的是设备的投资，折旧、更新、改造和报废等一系列价值问题。设备管理贯穿于企业生产和经营管理的全过程之中。

设备管理是企业管理的一个重要组成部分，对企业当前生产和长远发展起着重要的保证作用。具体地说，设备管理要充分发挥现有设备的作用，并结合科学技术的发展进行维修、改造与更新，提高老设备的性能，延长其寿命，保证企

业创造出更高的经济效益。

7. 5. 2 设备综合管理的特点 和内容

高度自动化的设备综合了机械、电气、电子、化学等各种技术。因此,仅仅依靠机械、电气、电子、化学等纵向分工的专门技术人员负责设备的计划、设计、运行、维修等任务,显然是不够的,还必须有把这些专门技术在横向上联系起来的边缘性工程技术,这就是设备综合管理。设备综合管理具有以下特点:

(1) 设备的全过程管理。设备综合管理是系统工程的方法论在设备管理中的具体应用。设备管理的全过程可看成是一个系统。设备也有它产生、发展和衰亡的过程。设备的规划研究和设计制造阶段,是它一生的前期;而安装使用、维护修理和改造、报废阶段,则是设备一生的后期。按照社会分工,设备的前半生在制造厂家度过,而后半生则在使用它的企业里度过。这个由规划、设计、试制、生产、销售、安装、试车、使用、维修、改造、报废、更新等组成的全过程,称为设备的寿命周期。设备寿命周期中的各个阶段可看成是各个子系统。根据系統工程的观点,局部最优不一定全局最优,只有全系统最优才是合理的。因此,设备管理人员必须兼有工程技术、财务经济和组织管理三个方面的知识,才能进行设备的综合管理。

(2) 把设备寿命周期费用的经济性作为研究的目的。管好设备全过程的目标,就是要使设备寿命周期费用保持最经济的状态。到目前为止,多数企业尚未认真考虑设备一生的总费用。一般说来,企业往往把设备的购置工作和购入以后的运行维护管理工作割裂开来,由不同部门分别负责,以致于负责购买设备的部门往往只考虑选购价格最便宜的设备,

而不考虑购入以后所发生的一系列其它费用。事实上，尽管购入价格低廉，如果在使用中动力费、维修费、劳务费等费用很高，致使寿命周期费用迅速增加，仍然是不经济的。仅仅按照价格便宜来选购设备，往往从开始使用时就引起事故和发生公害，这样反而需要花费大量的设备改造费用。因此，购置设备时，事前的充分审查，真正按照设备一生的总费用来评定设备购置计划是十分必要的。

另外，还有一个综合效率问题。它指的是产量、质量、成本、交货期、安全环境和人机匹配。只有综合效率高，寿命周期费用低，才能取得好的经济效益。这个问题要在设备规划工作中认真衡量分析，然后才能作出决策。

(3) 重视设备的可靠性与维修性。设备的可靠性与维修性是设备综合管理的重要内容，是影响寿命周期费用的关键因素。在设备工程中，设备的可靠性是指设备运转准确、安全、可靠、无故障；设备的维修性是指设备发生故障后便于维修，而且能很快修好。近年来，由于在设备的故障机理和可靠性理论方面进行了大量的研究，设备综合管理有了新的发展。

(4) 专业管理与群众管理相结合。设备综合管理是一种全员参与的群众性管理。设备由操作工人直接掌握使用，他们对设备的日常维护负有具体责任。设备的群众管理和专业管理相辅相成。

(5) 强调信息反馈的作用。设备使用情况的信息反馈，可以推动制造厂改进设计、提高设备性能、改善售后服务；而对于用户，则可以减少停机、灾害损失，防止污染环境减少设备维修保养人员、器材和费用。

设备综合管理的内容主要有：

(1) 根据设备的生产效率、设备的投资效果、产品质量的保证程度、能源和原材料的消耗、生产的安全性、设备的成套性和灵活性、设备对环境的影响和维修的难易程度等,正确选择技术上先进、经济上合理的设备。

(2) 根据设备的性能和工艺要求,正确合理地使用设备。制止违章操作和超负荷使用,防止非正常磨损,杜绝设备意外事故,保持设备的良好性能和应有的精度,从而发挥设备正常的生产效率。

(3) 做好设备的日常维护保养工作,使设备处于良好的润滑状态和完好状态,以减轻磨损,延长机器设备的使用寿命。

(4) 做好设备的检查、保养与修理工作。

(5) 做好设备的更新和技术改造工作。依据企业发展规划有计划、有重点地对现有设备进行技术改造和更新,包括编制设备更新和改造的规划、方案、筹措更新和改造的资金,选择、评价新设备、新工艺,合理处理老设备。

(6) 做好设备的日常管理工作,包括设备的分类、登记、编号、调拨、事故处理、清查、报废等日常管理内容。

7. 5. 3 设备的合理使用与维修

A 设备的合理使用

设备只有在使用中才能发挥其作为生产力要素的作用,而对设备的使用是否合理又直接影响着设备的使用寿命、精度和性能,从而影响着企业生产的产品的数量、质量和企业的经济效益。合理使用设备,需要做好以下几方面的工作:

(1) 要根据企业本身的生产特点和工艺过程,合理配备各种类型的设备。随着企业产品品种和工艺技术的变化,企业在配备设备时,要充分考虑这些变化的要求,及时调整设

备之间的比例关系，使其与生产任务相适应。另外，要结合各个生产单位不同的生产组织形式，合理、经济地为各个单位配备好各种类型的设备。

(2) 要根据设备的性能、结构、精度和使用范围，恰当安排其工作任务和工作负荷。不同的设备是根据不同的原理设计制造的，要根据不同设备的技术条件来安排其工作任务，避免“大机小用”、“精机粗用”和设备的超负荷运转。

(3) 合理配备操作人员。为了充分发挥设备的性能，使机器设备在最佳状态下运转，操作人员要熟悉并掌握设备的性能、结构、加工范围和维护保养技术。

(4) 制定有关的规定章程，建立责任制度。设备使用和维护方面的规章制度，是指导操作者操作、维护和检修设备的技术法规。正确地制定和贯彻执行这些规章制度是合理使用设备的重要保证。

(5) 为设备提供良好的工作环境。要根据设备使用和维护的要求，安装必要的防潮、防尘、防震、保温、降温装置，配备必要的测量、保险用仪器装置等。贵重精密设备要单设工作间。

B 设备维修

(1) 设备维修的意义。设备维修的目的是为了能够最有效地使用设备，从而提高企业的生产效率。

随着设备自动化、加工连续化的发展，以及设备性能的不断f提高，产品的质量，数量以及交货期和成本等愈来愈明显地依赖于生产设备。设备维修不再局限于维持单机设备的性能，而与整个生产系统的活动息息相关。因此，设备维修要包含下述所有工作，即设备维修工程的设计、改善和研究，设备的经营和管理，对设备维修的结果进行测定和评价等。

(2) 设备维修的组织工作。设备维修的组织工作，应根据企业的生产规模、生产类型、生产结构、企业拥有设备的数量、修理的复杂程度和设备的特性等因素来考虑。

组织设备维修工作有下列几种基本形式：

1) 集中维修。按照这种形式组织设备维修工作，所有的维修工作和维修人员均由 1 名负责人来统一领导，维修部门掌握维修保养技术，确保机械、电气、动力等方面的维修机能，并进行维修管理。

2) 区域维修。在组织工作上与集中维修相同，只是维修人员是按产品、制造部门或区域分散配置的。

3) 部门维修。维修人员分散配置到各制造部门，并在各部门负责人领导下进行维修工作。

4) 混合维修。将设备维修工作进行分工，机修车间负责大修与备件制作工作，生产车间负责设备维护保养工作。这种设备维修组织形式兼有集中、区域、部门维修的优点。

(3) 设备维修的方式。设备维修方式含有维修策略的意思。在确定设备维修方式时，要区别各类设备在生产中所处的地位和对生产的影响程度，不能简单地采用某一种维修方式，一个企业内可以同时存在定期维修、状态监测维修和事后维修等几种方式。

1) 定期维修。这是一种以时间为基础的预防维修，它具有周期性的特点，所需资源可以预计，并可作长期安排，其内容是为了保持或恢复设备完成规定功能的能力而采取的技术措施。由于修理的间隔期、类别和工作量都是事先规定的，因此应按开动时数进行预定的修理。这种方式适用于已经掌握了设备磨损规律和平时难以停机进行维修的流程生产、动态生产、自动线生产、可统计开动时数或产量的大量生产中

的主要设备。

2) 状态监测维修。这是一种以设备状态为基础的预防维修,它根据状态监测和诊断技术提供的信息,在设备故障发生前进行适当的维修。这种维修方式由于时机掌握及时,设备零件在寿命周期内可得到充分利用,所以最为合理。由于进行状态监测要花一定的费用,所以它适用于利用率较高的重要设备,包括“大”、“精”、“稀”设备和流程生产的主要设备。

3) 事后维修。它是设备发生故障或性能降到合格水平以下时采取的非计划性维修,适用于非重点设备、简单设备、低值设备、利用率低的设备、代用设备以及即使停机也不影响生产的设备。

4) 无维修。从社会需要来看,某些设备要求无维修,目前有两种极端情况:一是生产批量很大的家用机电产品,如电视机、电冰箱、录音录像设备的传动部分,要求无需日常润滑和维护;二是要求故障率趋近于零的可靠性特高的设备,如航天器等。至于其它的生产制造设备,主要是流水线生产的关键设备,以及因故障停机和工件报废而损失很大的精密设备,才有发展无维修设计的趋势。

(4) 设备的计划检修。

1) 重点设备。在企业中,不同的设备对生产的影响是不一样的,一般根据生产、质量、成本、安全、维修等因素,给设备评分,选出10%左右的高分值设备作为A类设备即重点设备,并根据企业的特点定出B类和C类设备所占的百分比。A类设备为重点设备,是重点管理和维修的对象,应严格执行预防维修;B类设备为实施预防维修的设备;C类设备为一般设备,可实行事后维修。

2) 计划检修的范围。实施计划检修是企业设备管理部门的主要任务之一。合理的检修计划有利于合理地安排人力、物力和财力，并能缩短因修理而停机的时间，减少维修费用和停机损失。

设备检修计划可以采用网络技术进行编制。设备检修计划应包括修理、定期检查、定期维护等，并通过统筹安排，避免检修工作出现重叠或疏漏现象，以取得最好的维修效果。

3) 修理工作的类别。修理工作的类别是按维修工作量的大小、维修内容和要求进行划分的，包括大修、中修、小修、项修、设备改造和计划外修理等。

参考文献

- [1]藤田彰久,IE 的基础,第 17 刷发行,建帛株式会社,平成 2 年。
- [2]机电部科技司等,工业工程与综合治理,机械工业出版社,1991。
- [3]千住镇雄等著,李春田译,作业研究,北京科技出版社,1986。
- [4]M. E. 蒙代尔著,董靖译,动作与时间研究,机械工业出版社,1983。
- [5]陈文哲,工业工程与管理,中兴管理顾问公司,1978。
- [6]赵中俊等,模特排时法,电子工业出版社,1988。
- [7]日科技速 IE 研究会,初等 IE テキスト,第 15 刷发行,日科技速出版社,1983。
- [8]荷役研究所,運搬マニエアル,1962。
- [9]中国机械工程学会,第二次工业工程学术会议论文集,1991。
- [10]赵新泽,最佳管理数学方法,西南交通大学出版社,1988。
- [11]罗伯特·吉·瑟罗夫著,薛华成等译,运筹学入门,清华大学出版社,1984。
- [12]王子若等,优化计算方法,机械工业出版社,1989。
- [13]周承高等,优化方法及其程序设计,中国铁道出版社,1989。
- [14]人見胜人著,陈榕林等译,制造系统工程,中国农业机械出版社,1983。
- [15]理查德·缪瑟著,柳惠庆等译,系统布置设计,机械工业出版社,1988。
- [16]姜文炳,王志博,成组技术的原理及应用,北京工业学院,1985。
- [17]E. A. 阿思,成组技术,中国农业机械出版社,1982。
- [18]Mikell P. Groover, Emory W. Zimmer, CAD/CAM Computer-Aided Design and Manufacturing, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984。
- [19]杜斐,黄乃康,计算机辅助工艺规程设计原理,北京航空航天大学出版社,1990。
- [20]包善斐等,机械制造工艺学,第二版,吉林科学技术出版社,1992。
- [21]斯·帕·米特洛凡诺夫,机械制造中的成组技术,北京市机械工业局技术开发研究所,1983。

- [22]井生瑞,总图设计,冶金工业出版社,1989。
- [23]徐金梧等,Turboc 使用大全,科海培训中心,1990。
- [24]中国工业企业管理教育研究会《工业企业管理》编写组,工业企业管理—生产管理,辽宁大学出版社,1991。
- [25]于春田等,现代工业企业生产管理,科学出版社,1993。
- [26]刘慧罗,质量管理学,西北工业大学出版社,1992。
- [27]金广林,全面质量管理实用方法,科学普及出版社,1990。
- [28]李连芝,工业企业生产管理,机械工业出版社,1993。
- [29]朱明道,设备管理工程,水力电力出版社,1990。
- [30]徐扬光,设备综合工程学概论,国防工业出版社,1988。
- [31]高克勤等,设备管理与维修,机械工业出版社,1987。
- [32]James A. Tompkins, John A. White, Facilities Planning, John Wiley & sons, New York, 1984。