

工业工程学

杨永德 齐二石 主编

天津科学技术出版社

95
F2
62
2

前 言

随着我国社会主义市场经济的蓬勃发展,如何进一步提高企业的效率和效益,是当前十分迫切的问题。美国、西欧、日本、台湾等发达国家与地区的经验表明,当国民经济与生产力发展到一定水平,必须大力推广工业工程,依靠工业工程来提高自身的生产力与国际竞争能力。工业工程是国际上广泛采用的提高效率与效益的应用型工程技术。同时,国家的经济建设急需大量的懂管理并掌握技术的复合型的工业工程人才,要求他们既能够从事经营管理和生产系统的分析、诊断与设计,又能够从事该系统的改造、创新、评价、控制和管理,从而达到提高效率和效益的目的。在我国工业工程是一门新兴的学科,为培养这方面的人才,普及这方面的知识而编写了这本书。

本书结合国情与环境,借鉴国外工业工程理论和方法,系统地介绍了工业工程的总体概念、基本知识、基本技术及应用技能。在编写上注重定性分析与定量分析相结合,理论性与实用性相结合。全书共分十二章,包括总论、设施规划与设计、物流系统分析与设计、人机系统控制、工作研究、工作评价与人事考核、生产组织设计、柔性制造系统与计算机集成制造系统、生产计划与控制、工程经济分析、质量控制、成本控制。参加本书编写的有崔克讷(第一、六章)、黄兆骧(第二章、第八章的第一至第五节、第九章的第三节)、杨永德(第十一章)、王恒毅(第四章)、齐二石(第三章、第八章的第六节)、宋国防(第十章)、董昆林(第五章)、孔坚(第十二章)、何桢与李崇斌合作编写第七章和第九章的第一、二、四节。杨永德和齐二石担任主编,杨永德负责全书的统稿和定稿。

本书可作为高等理工科院校管理工程专业,尤其是工业工程及理工科技术专业本科生、研究生的教材,亦可作为具有大专以上文化水平的企业领导人员、工业工程人员、生产管理人员,以及从事这方面工作的有关人员的培训和参考的实用教材。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和欠妥之处,恳请广大读者批评和指正。

编者

1993. 9

目 录

第一章 总论	(1)
第一节 工业工程的涵义	(1)
第二节 工业工程的目的、职能和特点	(1)
第三节 工业工程的简史与发展趋势	(5)
第四节 工业工程的应用	(11)
第二章 设施规划与设计	(16)
第一节 场址选择	(16)
第二节 工厂布置	(22)
第三节 车间设备布置	(33)
第三章 物流系统分析与设计	(39)
第一节 基本概念	(39)
第二节 物流系统分析与设计	(43)
第三节 物料搬运系统	(55)
第四章 人机系统控制	(59)
第一节 概述	(59)
第二节 人的感知特性	(61)
第三节 人对刺激信号的反应时间	(63)
第四节 人的形体参数与肢体力量	(64)
第五节 作业能力与作业疲劳	(67)
第六节 微气候	(72)
第七节 环境照明	(75)
第八节 环境噪声	(76)
第九节 空气污染	(79)
第十节 人机系统	(81)
第五章 工作研究	(85)
第一节 概述	(85)
第二节 方法研究	(88)
第三节 时间研究	(95)
第六章 工作评价与人事考核	(108)
第一节 概述	(108)
第二节 工作分析与工作分类	(111)

第三节	工作评价	(117)
第四节	人事考核的理论与方法	(122)
第七章	生产组织设计	(126)
第一节	流水生产组织	(126)
第二节	成批生产组织与单件生产组织	(136)
第三节	成组技术	(144)
第八章	柔性制造系统与计算机集成制造系统	(151)
第一节	柔性制造系统产生与发展的原因	(151)
第二节	柔性制造系统的发展现状	(152)
第三节	柔性制造系统的概念、组成、分类和作用	(152)
第四节	柔性制造系统与其它学科的关系	(157)
第五节	柔性制造系统的发展趋势	(158)
第六节	计算机集成制造系统	(159)
第九章	生产计划与控制	(163)
第一节	企业生产计划与生产能力	(163)
第二节	车间之间作业计划的编制	(169)
第三节	物料需求计划	(177)
第四节	生产控制	(185)
第十章	工程经济分析	(192)
第一节	概述	(192)
第二节	资金的时间价值	(194)
第三节	投资方案评价的基本方法	(200)
第四节	敏感性分析	(207)
第五节	设备更新的经济分析	(209)
第十一章	质量控制	(216)
第一节	质量控制与质量管理	(216)
第二节	工序控制	(217)
第三节	抽样检验	(234)
第四节	质量成本控制	(247)
第十二章	成本控制	(251)
第一节	成本核算	(251)
第二节	成本控制	(253)

第一章 总 论

第一节 工业工程的涵义

早在 1911 年,科学管理学家已在美国使用工业工程(Industrial Engineering 简称 I. E.)一词。由于工业工程在世界上传播很广、发展很快,各工业发达国家在工业企业里应用的范围不同,因此现在工业工程有很多定义,而且各个定义的范围也不同。下面介绍几种具有代表性的定义。

美国工程师学会的定义:“工业工程是对有关人员、材料、设备、能源和信息等组成整体系统进行设计、改进和实施的一门学科。它从数学、自然科学与社会科学中吸取有关的专业知识,并运用工程设计与分析的原理与方法,以阐述、预测及评价上述系统所得到的成果。”

日本工业工程协会的定义:“工业工程是从事把人、原材料、设备作为一个整体去发挥其功能的科学;是进行经营管理系统方面的设计、改善与设置工作的。为了规定、预测、评价经营管理系统的成果,运用数学、自然科学、社会科学中的特定知识,同时使用技术分析 with 归纳的原理与方法。”

英国工业工程视察团的定义:“工业工程是将基础科学、工业知识和一些方法,在工业企业与其它领域中应用的技术。为了提高生产效率,为了研究某项政策对其它政策的经济有利性,要对工具准备建立适当的程序。为达到上述目的,必须经常将成果和成本结合起来考虑。因此,工业工程是经营技术部门的活动,应注意处理下列有关问题:决定产品品种、设计产品、标准化、成本分析、生产方式、生产管理、选择机械、设备配置、运输管理、工具设计、设备管理、动作与时间研究、奖励工资、合理化建议及人与人的关系等。”

根据上述日美英工业工程协会、视察团学者对工业工程所下的几种定义,其内容虽不完全相同,但具有下列一些共同点:

- (1) 工业工程是一门科学。
- (2) 工业工程研究的对象是生产管理系统或经营管理系统的人员、材料、设备、能源、资金及信息等组成整体系统。
- (3) 系统观点,它把生产、销售、建设、服务等作为一个系统来考察与分析。
- (4) 工业工程研究的方法是运用数学、自然科学和社会科学中的特定知识,并使用技术分析 with 归纳的原理和方法。
- (5) 工业工程的目的在于阐述、预测、评价从这一整体中获取的成果。

第二节 工业工程的目的、职能和特点

一、工业工程的目的

由于各国对工业工程研究与应用的范围不同,其目的因而也就不同。英国与美国工业工程是

以生产管理系统为研究的范围，而日本工业工程则扩展到经营管理系统范围。

以生产管理系统为研究范围，工业工程的最终目的是要提高生产率。生产率是由投资量和生产量的比率决定的。以经营管理系统为研究范围，其目的则为取得最大的经济效益。

$$\text{生产率} = \frac{\text{生产量}}{\text{投资量}} = \frac{\text{生产量}}{\text{生产要素 (劳动力、设备、原材料)}}$$

投资：以最少费用为原则

生产量：以最大效果为原则

二、工业工程的职能

工业工程的基本职能是人员、材料、设备、能源和信息组成更加有效的整体系统所从事的规划、设计、评价和创新的工程活动。分述如下：

1. 规划

规划是确定一个组织在未来一定时期内进行生产或服务所应采取的特定行动的预备性活动。它包括总体目标、政策、战略和战术的特定、分期实施计划的制定。规划的技术内容十分丰富，它的制定是一种工程。

2. 设计

设计是实现某一种既定目标而创建具体实施系统的前期工程。工业工程设计侧重于工程系统的总体设计，包括系统的概念设计和具体工程项目设计。

3. 评价

评价是对现存的各种系统、各种规划和计划方案，以及组织和个人的业绩作出是否符合既定目标或准则的评定活动。

4. 创新

创新是对各种系统的改进和提出崭新的富于创造性和建设性见解的活动。没有创新，一个系统不论其为一种产品、一台机器、一条生产线、一个企业，还是一个产业部门，都将随着时间而耗损、老化、无序、僵化，乃至失效消亡。工业工程的创新要从系统的整体目标和效益出发，把各种相关的广泛条件加以考虑，进行综合权衡后求得最优选择，来确定创新的目标和策略，选出创新的项目和内容。

关于工业工程基本职能，还有其他观点予以组合分类，形式颇多，其中一种较好的分类法是把工业工程工作分为下列三大类：

(1) 管理运筹研究 (Operations Research for Management) —— 直接为管理部门提供决策依据的工业工程工作和方法，包括各种规划、经济分析、工作研究、工作评价、工资奖励等。

(2) 生产工程 (Production Engineering) —— 直接与生产相关的工业工程工作和方法，包括制造工艺过程、物料搬运、质量控制及库存控制等。

(3) 设施设计 (Facility Design) —— 直接与工程项目总体设计相关的工业工程工作和方法，包括厂址选择、工厂布置等。设施一词有着广泛的含意，不限于机器设备和工厂车间，而且可以包含计算机系统、信息系统、运输系统及各种大型工程系统。

由于工业工程学科体系的系统性，任何一种分类法，都难以把工业工程全部职能截然划分为若干完全独立部分。不论以任何观点划分，所划分的各个部分都有相互关联或重叠的成分。最明显的是，任何一种工业工程分类法，实际上都包含着“规划、设计、评价和创新”的基本职能内

容,形成矩阵式的职能结构。总之,人们要用系统的观念来看待工业工程的各项职能,并从系统整体性出发运用它们。

三、工业工程的内容

工业工程的内容有狭义与广义的区别。狭义的工业工程,是指以工作研究为主的分析方法。这就是传统的工业工程或称基础工业工程。广义的工业工程又叫现代工业工程。它们内容包括:工作研究、设施设计、物流系统与分析、计划协调技术、计划与控制、工作评价与人事考核、质量控制、工程经济、成组技术、价值工程、运筹学、人机工程学、生产组织设计、成本控制、柔性制造系统与计算机集成制造系统等等。

四、现代工业工程的特点

工业工程的定义本身就表明工业工程是一个发展变化的领域,具有鲜明的时代特征。近半个世纪来,科学技术飞跃发展,对工业工程的发展带来深刻的影响。其中最重要的是计算机、运筹学和系统工程的发展和应用,使工业工程进入了新时期。从学科角度看,现代工业工程具有如下几点基本特征。

(一) 现代工业工程是一门工程学

就这门学科分类而言,国外一般把工业工程划入工程学范畴,这是因为它具有鲜明的工程属性。所谓工程,是有判断地运用从研究、经验和实践中所获得的数学与自然科学知识,创造经济地利用自然资源和力量的方法去为人类谋福利的专门技术。

从工业工程含义和内容可以看出,工业工程完全符合工程的定义,具备工程学所应有的特征。和其他工程学科如机械工程、化学工程等一样,工业工程具有利用自然科学知识和其他技术进行观察、实验、分析、研究、设计等职能。

因此,工业工程是一门工程学,在一些发达国家的大学里,工业工程专业设置在工学院里,工业工程专业学生要学习大量的工程技术和数学方面课程,被培养为工业工程师。

(二) 现代工业工程是一个跨学科的技术领域

从工业工程的含义可以看到它是一门边缘科学,它涉及的范围极广。例如,经济、技术、数学、计算机、心理学、生理学、社会科学等。随着科学的迅速发展,工业工程的范围也不断地扩大,内容也不断地丰富。

工业工程包括多种学科知识的综合应用技术领域。从它的学科范畴,即其知识和技术内容来看,现代工业工程的知识,很难给出一个精确的范畴,美国标准学会(ANSI)将现代工业工程包括以下17个分支:生物力学、成本工程、数据处理与系统设计、销售与市场、工程经济、设施规划、材料加工、应用数学、组织规划与理论、生产计划与控制、实用心理学、工作研究、人的因素、人体测量、安全、工资管理、职业卫生与医学。

显然,这是一个很大的领域,其中许多分支本身就是独立的学科,如生物力学、心理学、工程经济学。这充分体现出现代工业工程是与多种学科交叉的应用技术领域。值得注意的是,不应把工业工程看作是已有学科的简单集合,实质是综合运用这些知识的技术体系。

(三) 现代工业工程与管理密切关系

工业工程不是单纯的工程学科,由于它产生于科学管理这一历史渊源,它和管理有着不可分割的依存关系,在很大程度上表现出管理的特征。

工业工程通常被称作管理型工程技术，为管理决策提供依据和手段。它是工程技术和管理的结合的应用技术。它包括质量控制、人类工程学、人力资源控制与管理的方法学，都表现工业工程不同于其它工程学的特点。

我国一般把工业工程纳入管理范畴，忽略了其工程技术的性质，因而严重地影响它作为一门独特技术学科的发展。

(四) 现代工业工程是系统设计和优化技术

系统设计和优化技术是现代工业工程作为一个学科的重要特征和实质，也是与传统工业工程和其它纯技术的主要区别。现代工业工程强调的是系统性和优化。这里的优化是整个系统的优化，不是某个局部的优化；并且系统运行是一个动态过程，具有随机性。现代工业工程不是寻求一时的优化，而是不断在新的条件下实现优化，即追求更高的生产率和效益。这是一个始终发展的过程，体现在对系统不断进行新的设计和改善。

现代工业工程之所以具备这样的性质，是因为它以运筹学和系统工程为理论基础。工业工程的历史发展表明，只有运筹学、系统工程和计算机等现代科学技术的应用，才使工业工程得以发展成为一个学科。

运筹学是一种关于组织系统决策的科学方法，用科学的数量化方法来研究系统的最优化管理问题的学科，着眼于发挥现有系统的效能。事物永远处在发展变化之中，现代工业工程一个重要思想是把研究对象作为一个动态的过程看待，要利用科学技术最新成就不断改善生产经营系统的更好方法。运筹学和计算机的应用，正是为他们提供了进行系统模拟和优化分析的原理和手段。现代工业工程以运筹学为理论基础，几乎无处不用到它，从系统整体到某个子系统或局部的模拟和优化方案选择都离不开运筹学，只有用它，才能求得在限制的资源和约束条件下效益最高或成本最低的方案，实现工业工程的目标。

系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造和使用的科学方法。

由于系统工程的应用，现代工业工程把生产经营作为系统来研究，而不是孤立地研究某个环节；从系统整体的目标出来处理各个部分、各种要素之间的关系。

五、工业工程与企业管理

前面已叙述泰勒是工业工程的奠基人，而他也是科学管理的创始人。泰勒论述《科学管理原理》时，工业工程的内容只是科学管理的一部分。直到1911年，科学管理学家才开始用工业工程(IE)一词。1917年美国成立了工业工程协会。不少企业设立工业工程部门负责研究工作。此后，工业工程逐渐由科学管理分离出来。所以，工业工程与企业管理无疑有着非常密切的关系。从其发展历程来说，工业工程的前身是泰勒的科学管理，二者一脉相承，渊源流长。从其职能来说，工业工程是沟通技术与管理的桥梁。工业工程的各项工作成果是企业管理的决策依据。自七十年代以来，工业工程引入工业宏观系统的研究领域，与政府部门的工业管理也发生了关系。

工业工程的职能是把人力、物资、装备、技术和信息组成更加有效的和更富于生产力的综合系统所从事的规划、设计、评价和创新的工程活动。它也为管理提供科学的决策依据。

管理的标志是“权力”，具有决策、组织、领导、协调、控制等职能，应用生产技术与工业工程进行生产经营活动，追求生产效率与经济效益。工业工程的标志是“工程”，它具有技术职能，追求生产效率的提高。

工业工程与企业管理的性质有相同点有不同之处。企业管理具有二重性，它既有同生产力、社

会化大生产相联系的自然属性，又有同生产关系、社会制度相联系的社会属性。社会主义企业管理也具有二重性，因为一方面社会主义企业管理同样是组织共同劳动、合理组织生产力的要求，具有同生产力、社会化大生产相联系的自然属性。另一方面，社会主义企业管理仍然具有生产关系相联系的社会属性。

工业工程是一门技术，一门管理技术。它与生产力、社会大生产相联系。它只具有自然属性，而不具有二重性。

工业工程与企业管理所培养的人员不同。工业工程所培养的工业工程师是一种专家型、工程师型人才。他给管理者提供咨询、建议、设计和各种可行方案，可在管理者领导下，解决生产经营中各种问题；而管理者是在专家顾问工程师参谋下，进行决策、组织、领导及控制全体人员，进行生产经营活动。

第三节 工业工程的简史与发展趋势

一、工业工程简史

科学技术史学者们对工业工程的开端，存在着不同看法。十八世纪已有人在著作中讲到与工业工程有关系的若干概念。其中最早的是亚当·斯密斯（Adam·Smith）的《原富》，出版于1776年。他提出的劳动分工概念，是推动当时即将到来的工业革命的一个重要力量。他和同时代人马尔萨斯、李嘉图的著作，是工厂制度所产生的工业革命发展史上的里程碑。

关于工业工程的历史，很难说清楚它是什么时候开始的。为了说明工业工程历史发展的过程，将工业工程历史的发展分为下列四个阶段（见图1-1）：

第一期从产业革命到十九世纪末叶，叫摇篮期。产业革命后，18世纪家美国威特雷（E·Whitney）提倡“互换性方式”规定各零件的公差，促进零件可以互换的性质。这种方式就奠定了合理化、专业化、机械化、简单化及标准化的基础，因而能向大量生产发展。

对工业工程先驱者发生直接影响的是巴比奇（C·W·Babbage）。他是英国剑桥大学教授。1832年发表《论机器和创造业的经济》一书。根据他对制造工厂的考察，对许多问题剖析入微，无疑给读过该书的工业工程先驱者留下深刻的印象。该书论述专业分工、工作方法、机器与工具的使用、成本管理等，是管理学上一个重要文献，较泰勒的《科学管理原理》早约80年。他进一步发展了亚当·斯密斯关于劳动分工的思想。他还论述调换工作与节约时间的关系，更换工具对工时的影响，重复做一项工作的好处等。在十九世纪早期提出这些思想是革命的，确实超出了传统的概念。

巴比奇对工业工程另一重大贡献，是试图制造他称之为“分析计算的机器”——计算机。虽然他的尝试没有成功，但是他的基本概念（设计和制造一种能够完成各种数学运算的机器）确实是一个伟大的远见，远远走在时代的前面。一百年以后才有了可供实用的计算机。

第二期叫奠基期，从十九世纪末到第一次世界大战期间，在这个时期里，泰勒（F·W·Taylor）和吉尔布雷斯（Frank B·Gilbreth）分别开创了时间研究和动作研究的技术，奠定工业工程的基础。

泰勒（1856—1915）出身于费城的一个小康之家，曾以优良的成绩考进哈佛大学，但因眼疾

被迫休学。十八岁时他在某机器厂学徒。1978年他22岁进入密德卫尔钢铁厂工作，初为普通工人，后来升为车工、工头及机器房领班，31岁时成为该厂的总工程师。泰勒进密德卫尔厂后，夜晚攻读，1883年获得史蒂芬学院机械工程博士学位。

当泰勒为工头和领班时，已开始对每件事总想寻求最适当的方法，指导工人执行。他也注意改进工作条件，使工人工作顺利，并规定每一工作所需的时间标准，规定在标准时间内完工的工人，除正常工资外，可以得到奖金。

1898年泰勒在美国伯利恒钢铁公司工作，他研究装卸工人铲煤和铲砂工作，发现工人不愿使用公司提供的铁锹，用公司铁锹装卸矿砂时，每锹重达38磅，而装卸煤时，每锹仅重3.5磅，两者装卸效率都不高。经过现场测定研究，发现每锹重21.5磅时，装卸效率最高。因此，泰勒为公司设计八种规格的铁锹，要求工人装卸比重大的材料时用小学，装卸比重小的材料时用大锹。结果该公司过去需用400~600人所做的工作，减少到140人即可完成，而使铲煤铁的成本，每吨由7~8美分降到了3~4美分。

另外，泰勒又用秒表对该公司搬运铁块作业进行时间研究。他选择第一等工人作为对象，同时把这一搬运作业分解为五个要素：

- (1) 从铁块堆中取铁块放在肩上；
- (2) 搬运铁块平地走到跳板处；
- (3) 上跳板走到车厢；
- (4) 将铁块从肩上卸下，放在车厢里；
- (5) 空手走回铁块堆处。

如此周而复始，循环不已，时间研究员分析记录每个要素的时间。经过对若干个第一等工人多次的观察与记录时间，然后求得平均数。由于泰勒研究改进了工作方法，结果效率提高了3.5~4倍，从原来每人每天搬运12~13吨增加到45~48吨。与此同时，还规定了每个装卸工人每天的定额。凡达到工作定额的，增发60%奖金，达不到定额的只发原工资。经过这样改进，过去400~600人的工作，后来只需140人即可完成。材料搬运费用从每吨7~8美分，降低到3~4美分，公司每年可节约费用7万美元。

泰勒在1895和1903年分别发表有了“计件工资制”与“工场管理”两篇论文，对于工业工程的发展影响较大。1911年，泰勒发表《科学管理原理》一书，泰勒把19世纪在英美两国产生、发表起来的东两加以综合而成的一整套思想。他使一系列无条理的首创事物和实验有了一个哲学的体系，称之为“科学管理”。泰勒认为必须用科学方法对工人的操作、工具、机器设备、劳动和休息的时间及工作环境进行分析与改进，以替代旧式的经验方法。应以科学方法选择工人，然后给予指导、训练、提高，以替代过去由工人自己所用的方法。

韦纳尔(R·Viner)研究泰勒管理理论，总结成六个原理：时间研究原理、按件计酬原理、计划与作业分离原理、作业的科学方法原理、经营控制原理及职能管理原理。这些原理都是工业工程的重要内容。他和吉尔布雷斯是工业工程的两大奠基人。

吉尔布雷斯夫妇(Frank B·and Lillian M·Gilbreth)共同致力于动作研究，提出有名的“动作定律”和动作经济原则。他们是动作研究的创始者。吉尔布雷斯受雇于一家营造商。他发现工人砌砖方法各不相同，效率差别也很大。他便开始观察研究，以寻求最佳工作方法。结果经改进后的操作方法使每砌一块砖的动作由18个减至4.5个，由于减少了无效劳动，使每小时砌砖数由120块增加到350块，工作效率提高了近200%。

吉尔布雷斯的动作研究的着眼点与泰勒不同。他重视每一细微动作，认为极细微动作的不当，成千上万次重复，造成的浪费是惊人的。他把人的动作划分为17个基本动作（即动素）。这些动素至今仍然是进行动作分析的标准。

1912年，吉尔布雷斯夫妇在美国机械工程师学会上首次发表《细微动作研究》。这一研究是利用电影机及计时器，将某一操作的基本单元拍摄下来，使计时器在影片上准确显示动作与动作的时间间隔，因而可以从影片上分析其基本动作，并可确定每个动作所消耗的时间。1916年他的夫人著《管理心理学》，1919年合著《疲劳研究》。

吉氏夫妇关心工作中人的因素，强调在应用科学原理时，必须首先看到工人，了解他的性格，需要，这对后来行为科学发展有一定影响。吉尔布雷斯的研究工作得到他妻子的热忱合作，组成一个非常出色的班子。他的夫人是一位心理学家，能够配合丈夫在研究“人”的问题上作出贡献。工业工程区别于其它工程学科的唯一特点是对于人的价值、作用以及人对工作和环境的反应的重视。他俩的研究工作影响深远，推动了动作研究的发展。

除动作研究外，他俩在技能研究、疲劳研究及时间研究等方面的成就也著称于世。

哈尔西（F·A·Halsey）是哈尔西奖金计划的创始人。他的计划中包含这样概念，提高生产率的得益，应当按他建议的公式分一部分给创造收益的工人。这是以节省时间为计算基础的奖金计划。这个计划可以保障工人的最低工资，如其工作效率超过标准时，则照其所节省的时间，给予奖金以资鼓励。

摩金生（Mogenson）首先提出工作简化理论，主张直接向工人讲授工作分析的基本知识，以便导致工人改进工作方法。由于他的努力宣传，使美国在提高工业企业的生产率方面起到不可估量的作用。

美国汽车大王亨利·福特（H·Ford）也是卓越的工业工程专家。福特汽车公司建立的生产线同步化系统，为现代工业大量生产树立了楷模。

此外，亨利·甘特（H·Gantt）创造“计划控制图”，为生产管理做出很大的贡献。艾马逊（H·Emerson）的“奖金计划”和“提高个人效率十二原则”也是贡献不小。以上所述这些先驱者都是指出今天工业工程方向的有功学者。

1917年成立了工业工程协会和泰勒协会。

第三期是成熟期，从二十世纪二十年代到第二次世界大战期间。这时期的特征是注重运用心理学、社会学方法研究人的行为，同时引进数学、统计学方法的计量化，作经济性的研究。

此时成本管理发生问题，为克服第一次世界大战的危机，采取的对策之一是制定标准成本。1922年马肯莪著《预算控制》，1924年著《会计管理》。

1924—1932年美国梅约（G·F·Mayo）教授在西方电汽公司霍桑工厂所做的工作环境实验，证明“照明和工作效率有正比关系”的假设不能成立，而发现士气和效率则有密切的关系，从而使人们认识到在企业里实施人事管理的重要性。

1924年休哈特（W·A·Shewhart）首创管制图，著有《统计质量管理》，开始在工业生产上用统计方法解决质量控制问题。根据统计学的抽样理论提出一种统计的质量管理方法。从此统计学成为工业工程研究的一项有利武器，它不仅用于质量管理，而且可用于库存、市场、财务及会计等方面的管理。

在美国，十九世纪三十年代以前，动作研究和时间研究的学者二派是对立的。时间研究学者批评动作研究要用各种设备，过于浪费；而动作研究学者则认为时间研究太不精确。直到1930～

1932年,两派才认识二者必须相辅相成,不可分割,因而动作研究与时间研究开始一元化。

在第二次世界大战期间,普遍采用了MTM法。工作研究、工作简化、质量管理、人事管理、工厂布置、生产计划与控制、材料管理等已成为工业企业中工业工程业务的主要内容。

随着机械化的迅速发展,费希(J·Fish)首创“工程经济”,研究机器设备的经济性问题。

1940年开始使用运筹学(Operation Research简称O·R·)。

由于战争的需要,运筹学在二次大战中得到高度的发展。专家们运用运筹学为战役决策者提供可行性方案,对战争的胜利起了不小的作用。管理学者有见于此,将运筹学用于工业工程与管理中。例如,企业决定产品生产方向、销售分配方案都和战役的安排有相似之处,都有如何在各种复杂的条件下求“优化”问题。这些问题都可以利用运筹学中的线性规划、非线性规划、动态规划、排队论等方法来解决。

第四期是革新期。1945年公布了WF法。1987年米鲁兹(L·D·Mills)在通用电气公司创立“价值工程”(Value Engineering)技术。他在1949年发表《价值分析计划》论文,总结一套保证同样前提下,降低成本的科学方法。价值工程的核心是产品或作业功能的分析。

二次世界大战后,随着自动化、电子化的进一步发展,人的因素在生产中影响更为明显,人与机器关系进一步扩展为人与环境的关系。1949年第一个专门研究人机工程学会成立。1961年在斯德哥尔摩召开第一次人机工程学会会议。

运筹学作为学科名词最早出现于1938年。在第二次世界大战中,英国运筹学小组应用运筹学在海军作战方面作出了贡献。战后,运筹小组将在战时研究“以有限资源去获得最大效果”的经验和方法移植到治愈英国的战争创伤和经济恢复上。后来在工业部门推广应用运筹学的方法进展较快。

运筹学的应用在美国后于英国。1947年丹捷格(G·B·Dantzig)在研究美国空军资源配置时,提出求解线性规划问题的一般方法。在20世纪50年代初用电子计算机求解线性规划问题获得成功,到50年代末,美国大企业在经营管理中已有不少应用运筹学。随着电子计算机不断地发展,使运筹学在发达的工业国家中大多数企业、政府、军事等部门广泛地运用。美国1952年成立了全国性运筹学会。1957年英国牛津大学召开了第一届国际运筹学会议。1959年成立了国际运筹学会。

系统工程(Systems Engineering)是在运筹学、控制论、现代管理学等学科的基础上相互渗透而发展起来的一门跨学科的边缘科学。系统工程方法是应用运筹学、控制论、现代管理科学和计算机技术来实现系统的模型化和最优化,把定性分析和定量分析紧密结合,进行系统分析和系统设计。

系统工程作为一门学科形成于20世纪50年代中期。20世纪40年代美国等工业发达国家为完成规模巨大的复杂工程和科研生产任务,开始运用系统思想和系统方法建立复杂的通讯系统和彩色电视系统。这些社会实践的成果,为系统工程理论体系的形成准备了条件。40年代运筹学的运用与发展以及控制论的创立和广泛应用,为系统工程奠定了重要的理论基础。电子计算机的出现,为系统工程提供了强有力的运算工具和信息处理手段,成为系统工程的重要物质基础。80年代以来,系统工程的研究范围已由传统工程领域扩大到农业、交通运输、能源等部门等技术、经济和社会领域。

1957年美国兰德公司和杜邦公司联合提出关键线路法(Critical Path Method简称CPM),用来计划和控制所属化工厂的维修工作。杜邦公司将CPM用于维修工程,使化工厂的维修停工时间,从原计划的125小时减少到78小时,节约了100万美元。

1958 年美国海军武器局特别规划室研究了计划协调技术 (Program Evaluation and Review Technique 简称 PERT), 并用于建造北极星导弹。该项计划主要承包商达 200 多家, 转包的厂商近万家。采用 PERT 后, 该项工程由原计划十年缩减为八年, 保证了工程质量。到了 1966 年, 这一技术又有了新的突破。美国在阿波罗登月空间系统的计划中, 又提出随机网络模拟技术 (GERT), 从而解决阿波罗登月空间系统计算和安排问题。

PERT 与 CPM 虽然名称不同, 但二者都采用网络图进行计划控制, 都要确定每道工序所需时间, 都考虑时间均衡与费用的减少问题。作为工程项目的计划管理来说, 二者没有根本的区别。目前国外文献将二者统称 PERT 系统。

计划协调技术目前应用很广, 因为它是科学的、有效的, 能带来良好的经济效果。

二、现代工业工程发展趋势

现代工业工程被认为是工程学科发展最快的一个领域。随着科学技术高速发展, 它吸收了越来越多的新学科和新技术, 进一步丰富和扩大其内容, 在应用方面发展更加迅速。现代工业工程的应用领域, 已扩大到制造业以外的广大服务性与农业领域, 如运输业、农场管理、商店、航线管理、超级市场、医院、银行、邮局、公安、军事及政府部门。美国现在有一半以上工业工程师在服务性领域工作。并且应用的对象是远比过去复杂和庞大的系统。下面着重综述工业工程发展趋势的主要特点。

1. 广泛采用计算机

现在工业生产处于瞬息变化的国际经济和商业贸易竞争环境之中, 信息成为一种重要资源。同时, 生产系统本身的组织结构和运行机制也发生很大的变化。正如一位工业工程专家指出: 在泰勒时代, 我们把产品生产看作原材料的一系列物理转换, 而现在我们则进入了这样一个时代, 产品生产是由一系列信息变换完成的。

2. 重点转向集成制造 (IM)

随着计算机科学和自动化与机器人等高科技的迅速发展, 在制造业方面, 传统的制造系统正在经历着根本性的变革, 出现了单元制造 (CM)、柔性制造系统和单元 (FMS, FMC) 以及计算机集成制造系统 (CIMS) 等新的方式。面对制造技术和生产组织结构的重大的变化, 工业工程的重点也相应转移, 研究在这种新的环境中如何对各种生产资源 (人、设备、物料、信息等) 协调、控制等一系列问题, 达到提高生产率的目标。因而产生了象生产资源规划 (MRP I)、准时生产 (JIT) 那样新的管理技术。现在, 处于工业工程前沿的就是这些新技术的应用。一些工业发达国家竞相推行现代工业工程新技术, 并获得很大的成功, 从而把工业工程这门提高生产率技术推向新的水平与高度。

3. 突出研究生产率和质量

提高生产率是工业工程永无止境的目标。现代工业工程把生产率和质量放在十分突出的位置研究, 产生了专门研究生产率理论和方法的新领域——生产率管理。生产率已经不仅是作为衡量生产系统和工业工程效果的指标, 而且作为一个促进工业工程应用, 建立提高生产率良性循环的能动因素。

近年来, 许多工业工程学术会议都是以提高生产率和质量为主题, 探讨现代化生产技术与生产率、质量的关系。例如, 生产率与柔性; MRP I 和 JIT 环境中的生产率等, 集中反映出这一特点。

4. 加强探索新理论

为适应上述发展变化的要求,现代工业工程必须研究当今社会中生产系统的要素之间关系,探索新规律,为创造新的工业工程技术寻求理论根据。其中最重要的是人和其它要素之间的关系,对人——机关系进行综合研究,要解决在技术复杂高效自动化生产设施环境中,人的适应能力和安全、疲劳、健康等与提高生产率问题。例如,研究在复杂的计算机控制多机器系统环境中人的各种因素,通过模拟实验和定量测试,寻求建立人——机关系原理,人类因素数据,为设计高度自动化机器与生产系统提供资料。所以,人类工程学的应用和发展正在进一步深入。北美一些大学正开展这方面的实验研究。此外,据预测工业工程下一个主要发展领域可能是生物学和生命科学的应用。

5. 广泛的国际交流和多学科协同发展

现代工业工程学在世界上广泛传播与交流,不断得到丰富。例如,日本从美国引进工业工程,而日本创造的 JIT 很快在美国和其它国家盛行起来。同时,多种学科之间的合作对工业工程发展起着很大的推动作用。例如,IE 除自身学术活动外,还参与协同世界生产率科学联合会、国际生产工程研究会、国际人类工程会、美国制造工程师学会等举办经常性的学术活动,促进了工业工程的发展。

6. 成组技术在生产中广泛的应用

愈来愈多的多品种、小批量制造企业正感兴趣于成组技术;该技术特别能应用于成批类型的制造领域。成组技术也已被认为是,以应用零件族的概念而成为成功开发和实施计算机辅助制造的基础中一个必要的组成部分。

成组技术大大简化了生产进度计划与作业进度计划,在编制生产进度计划中,恰当应用成组技术原理,可以减少调整时间和成本;可以得到最优的作业的顺序;允许用流水线生产;使成组布置最优化;增加总的经济效益。

在 MRP 最简单的形式中,它将每种最终产品分解成基本零件,同时利用该种最终产品需要量的预测,而把每种基本零件所需数量分配给一规定的时间周期。把 MRP 和成组技术的作业计划结合起来使用,就为有效地控制生产提供一种可行的系统。

新的趋势企业将成组技术应用于成批生产的作业计划、劳动定额以及物料需求计划等工作,因为这将导致如下各方面工作的改善:简化生产计划管理、减少库存与外购件、优化投产顺序和负荷、减少工艺装备调整时间、缩短生产周期、有效利用贵重机床及简化成批生产的劳动定额工作等。

总之,由于工业工程具有跨学科性质和应用的广泛性,随着现代科学和技术的高度发展,社会生产日新月异,现代工业工程在多方面取得巨大的发展,无论技术内容还是应用领域,都在向新的深度和广度发展。

第四节 工业工程的应用

从应用领域看,现代工业工程发展十分迅速。二次世界大战以前,工业工程主要用于制造业,以研究生产方法改进、制定劳动定额、生产计划与控制、产品质量控制、成本控制、工作评价、制订工资激励制度、工厂设计以及人事管理等。二次世界大战以后,随着科学技术迅速发展,工业工程吸收了越来越多新学科和新技术,尤其是系统科学、信息科学、运筹学、计算机科学以

及人机工程等，成为一个庞大的领域。因此，现代工业工程的科学的范围不断地扩大。

一、工业工程在美国的应用

现代工业工程首先在美国、加拿大得到广泛的应用，很快在世界上其他国家和英国、法国、前苏联、德国、日本、澳大利亚等国家相继采用。70年代中，一些发展中国家如墨西哥、秘鲁、哥伦比亚等国家也都开始采用工业工程。在亚洲新加坡、南朝鲜和香港等地较早应用工业工程。印度于1975年前后开始建立工业工程教育与应用体制。

工业工程的应用与学会活动有密切关系。随着工业工程作为一门科学迅速向世界传播和交流，美国工业工程学会已经发展成为一个国际性的组织即工业工程师学会。总部设在美国亚特兰市。工业工程师学会按学科和应用领域分为21个专业学会：航空与航天、计算机与信息系统、电子工业、能源管理、工程经济、人类工程、设施规划与设计、金融业务、政府管理、工业与劳务关系、管理、运筹学、加工工业、生产与库存管理、质量控制与可靠性工程、零售商业、卫生系统、运输与销售、公用事业、工作研究及制造系统。由此可见，工业工程的应用领域多么庞大。

工业工程师学会还发行工厂设计、经济分析、生产系统规划、调度与库存控制、项目管理、专家系统、统计质量控制等工业工程技术著作与软件。

工业工程师学报内容为工业工程最新发展和应用。例如复杂人机系统、生产经营、信息系统、时间与动作研究、全面质量和生产率管理、模拟技术、制造系统的评价与改善、准时生产(JIT)技术的应用、计算机集成(CIM)与实际环境等。它对工业工程的普及应用和发展起到很大的促进作用。

二、工业工程在日本的应用

在日本首先引进工业工程的是钢铁工业。这对其它行业产生了很大的影响。各行各业也相继引进、消化和应用工业工程，并取得显著的效果。

从50年代开始，自美国引进质量管理、工作研究等工业工程的先进经验。日本企业引进时，很注意联系本国的实际，并与自己的经验相结合，发展成自己的东西。开始，他们通过出国考察、聘请专家等多种渠道引进；然后组织研究会、学会消化传授，逐步普及推广。

日本大、中、小型企业广泛应用工业工程技术。由于企业的规模、生产方式方法、管理水平的不同，开展工业工程活动时，其组织机构与内容也不相同。许多企业，尤其是大批生产企业，都设置专门工业工程部门，主要内容是：产品设计、工夹具与机器设备设计、工作研究、新产品生产技术准备、制定计划、工作评价与人事考核、奖励制度、健全建议制度、工业工程部门与其他部门协作等等。

日本企业应用工业工程的特点：

(1) 是以工作研究为核心，除工作研究外，还研究工作与车间的平面布置、物流与搬运分析、安排计划、价值分析及经济分析等。

(2) 重视综合系统理论，把工业工程涉及到的要素包括人员、材料、设备、能源、信息等作为一个有机体，结合进行研究。最终目的是提高生产率，降低成本。只有对系统条件，构成要素加以综合分析、设计、改善，才能得到明显的效果。

(3) 工业工程与质量控制相结合，由于现在质量竞争在国际市场中更趋激烈，因此产品必须向高性能、多样化、高档化发展，企业各部门相互协调配合。其中应用最普遍的，就是将工业工

程方法和质量控制相结合。

(4) 培养企业精神。企业在应用与推行工业工程过程中,重视发挥“服务”精神,考虑“公平”和“尊重人的因素”的精神。

三、工业工程在我国的应用与推行

建国以来,我国应用与推行工业工程可以分为两个阶段。第一个阶段是1949~1979年,全国工业企业学习苏联的技术定额制定、工厂设计、生产计划与作业计划、组织设计、质量管理、材料管理及技术管理等,在推动我生产的发展起了一定的作用。

第二个阶段是自十一届三中全会后到现在,党中央决定把党的工作重点转移到经济建设上来,坚决执行“一个中心,两个基本点”的基本路线。因此,在全国企业与高等院校管理专业掀起引进与学习现代管理科学的高潮。全国高等院校管理专业先后将工业工程中的全面质量管理、工作研究、价值工程、运筹学、管理信息系统、计划协调技术、人机工程学等列为正式课程。同时,全国工业企业普遍地实行全面质量管理,而价值工程、计划协调技术、工程经济(即技术经济)、工作研究、系统工程、决策与预测、电子计算机辅助管理等工业工程技术在很多工业企业中得到广泛地应用,并取得较好的效果。

(一) 我国推行与应用工业工程存在的问题

建国40多年来,我国学习、应用前苏联与西方发达国家以及日本的工业工程,虽然取得较好的效果,但也存在不少的问题,略述如下:

1. 组织设计

工业企业学习前苏联,大多数企业组织机构是单一的直线参谋制的组织形式。当时在建立企业正常生产秩序,促进生产的发展等方面发挥一定的作用。但是从当前形势来看,已经不能适应经济发展的需要。首先随着生产技术不断提高,企业规模不断扩大,大企业不断出现,按直线参谋制设置的组织机构,已不能适应这种发展的要求。其次,企业单纯组织生产与行政性的管理组织机构,也不能适应社会主义市场经济的需要。再次,企业组织机构模式单一,管理幅度太大,层次过多,协调困难,缺乏弹性,违背了设置组织机构的基本原则,影响工作效率,增加了人员与管理费用。

2. 劳动定额(工作研究)

我国劳动定额也是学习前苏联,取得了一定的成果。改革开放后,又引进西方的工作研究,已在我企业与高等院校扎根、开花。但是,目前劳动定额仍存在下列问题:

(1) 劳动定额水平低 大多数企业均比较低,直接导致企业经济效益下降,影响国家的积累,对我国经济建设十分不利。

(2) 制定劳动定额的方法落后 目前多数企业应用经验估工法与统计分析法制定定额。很少采用工作研究,劳动定额工作缺乏方法研究。

(3) 劳动定额组织机构不健全,一般企业在劳资科内设立定额组,忽略定额工作的重要性与复杂性。

(4) 劳动定额人员的素质与地位问题 定额人员素质不高,缺乏工作研究的理论知识和定额工作的实际经验。定额人员的职称问题长期得不到解决,多数人不安心本职工作。

3. 物流设计

解放后,我国学习苏联的工厂设计,忽略了生产系统的合理性。因此,工厂物流较乱,突出