

张树武 主编

工业工程导论



中国标准出版社

工业工程导论

张树武 主编

中国标准出版社

(京)新登字 023 号

图书在版编目 (CIP) 数据

工业工程导论/张树武主编. -北京:中国标准出版社
1994

ISBN 7-5066-1072-8

I. 工… II. 张… III. 工业工程-概论 IV. F402

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 15695 号

中国标准出版社出版

北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

电 话:8522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

版权专有 不得翻印

*

开本 850×1168 1/32 印张 10 $\frac{1}{4}$ 字数 318 千字

1995 年 4 月第一版 1995 年 4 月第一次印刷

*

印数 1—4 000 定价 15.00 元

前 言

随着进一步改革开放,我国社会主义市场经济体制逐步建立,广大企业都不可避免地要参与国际国内日趋激烈的市场竞争。如何提高生产效率和效益是企业能否获得竞争优势,求得生存和发展的关键。

工业工程(IE)就是一门旨在提高效率和效益的工程技术。它是一门技术和管理相结合的交叉学科,其任务是研究生产经营系统及其管理方法的设计、建立和改善;方法是综合地运用自然科学、社会科学(含经济和管理)和工程技术知识,进行科学的规划、设计、评价和革新,把各种生产要素(人、物资、设施、信息等)组成更富有生产力和有效运行的整体系统,从而不断降低成本、确保质量、提高生产率。IE的突出特点是着眼于系统整体,追求最佳整体效益;着手于系统的各个组成部分和环节,将技术和管理有机地结合起来,不断地改善,以求系统整体优化。这正是我国广大企业改变效率低、效益差、质量不稳、浪费大的状况所迫切需要的实用技术,也是企业挖掘潜力、增强实力和竞争力的有效工具。

IE起源于美国,已有近百年历史。许多国家都把IE作为专门学科和职业来发展和应用,有力地推动了经济增长。在我国,虽然一些企业已经不同程度地应用了某些IE方法,并取得明显效果,但应用的系统性、深度和广度还远远不够,因为IE作为独立专业来发展还是近几年的事,人们对它感到陌生。现在,天津大学、西安交通大学等校已开设IE专业,机械部机械工程师进修学院也承办了全国高等教育自学考试IE专业本科段,为培养IE人才创造了条件。我国IE应用和发展必将出现新局面,有力地推动我国经济发展。

读者将会看到,IE是一个涉及多种学科知识的庞大体系,应用领域十分广泛。为适应企业有关人员学习和应用IE知识的需要,本书作为IE入门读物,针对制造工业的特点,着重介绍IE的基本概念和常用

的知识与方法。值得指出的是,学习 IE 方法和技术是必要的,更重要的是要掌握 IE 本质,树立 IE 意识,善于运用 IE 原理和方法去考察、分析和解决各种实际问题。从这个意义上讲,本书主要是为读者学习和应用 IE 提供指南。为便于自学,每章后面都有思考题。

全书共十章,第一章、第二章、第四章由张树武编写;第三章由张贵贤、左志诚编写;第五章由王家善编写;第六章由擅彩莲编写;第七章由张剑军编写;第八章由卢忱编写;第九章由徐弘山编写;第十章由刘振兴编写。全书由张树武统稿、主编。

本书曾经作为全国工业工程(IE)电视讲座教材,内部编印发行。为满足广大读者学习 IE 的需要,在中国标准出版社的热情支持下,经过修改补充,得以正式出版。并且,在编写过程中得到北京理工大学姜文炳教授等专家很大帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于 IE 在我国尚属新开专业,加之编者水平有限,书中不足之处在所难免,热忱欢迎广大读者指正。

编 者

1994 年 11 月

目 录

第一章 工业工程概述	
第一节 什么是工业工程	1
第二节 工业工程的发展简史	5
第三节 工业工程学科的范畴与特点	12
第四节 工业工程的应用	18
第五节 企业中的工业工程活动	25
第六节 我国工业工程应用与发展	31
第二章 生产率概述	
第一节 什么是生产率	35
第二节 生产率测定	39
第三节 提高生产率的途径	49
第四节 生产率管理	55
第三章 工作研究与工效学	
第一节 概述	58
第二节 方法研究	65
第三节 工作衡量	82
第四节 工效学	93
第四章 工程经济	
第一节 概述	98
第二节 盈亏平衡分析	101
第三节 成本控制与降低成本	103
第四节 资本投资分析	105
第五节 资本投资分析方法	116
第六节 工程项目可行性研究	124
第五章 设施规划与设计	
第一节 概述	128
第二节 工厂布置设计	133

第三节	物流系统设计	141
第六章	组织设计与人力资源管理	
第一节	组织理论	157
第二节	组织设计	165
第三节	激励	175
第四节	人力资源管理	186
第七章	生产计划与控制	
第一节	概述	196
第二节	生产计划的编制	199
第三节	库存管理	207
第四节	准时制生产	209
第五节	物料需求计划(MRP)	212
第六节	最优生产技术(OPT)	220
第七节	生产作业控制	223
第八章	质量管理与可靠性	
第一节	基本概念	228
第二节	质量体系	245
第三节	GB/T 19000-ISO 9000 系列标准	250
第四节	全面质量管理	255
第五节	统计方法的应用	258
第六节	可靠性	261
第九章	现代制造技术	
第一节	概述	275
第二节	成组技术	280
第三节	数控技术	285
第四节	自动化技术	289
第五节	计算机集成制造(CIM)	296
第十章	管理信息系统	
第一节	概述	305
第二节	管理信息系统的结构和功能	317
第三节	管理信息系统案例	326
	主要参考文献	333

第一章 工业工程概述

第一节 什么是工业工程

一、生产的概念

一般认为,生产就是制造产品(这是有形物的生产),但广义的生产还包括各种服务活动(即无形生产,诸如运输、销售、邮电、通讯等等)。人们只有通过各种类型的生产,创造物质和经济财富才能满足人类生存和发展的日益增长的需要,推动社会前进。所以,生产是人类最基本、最重要的一项活动。

无论哪种生产,都是把自然和社会资源(即生产要素,包括作为生产对象的材料、作为生产手段的机器和设施、为生产活动提供劳力的人员以及生产技术、信息等)转变成经济财富(产品和服务),从而增加附加值的过程。换句话说,生产就是一种转换功能。所以,我们可以把它简化为生产要素投入经过转换(生产过程)而得到产出物的一个投入—产出系统,如图 1-1 所示。

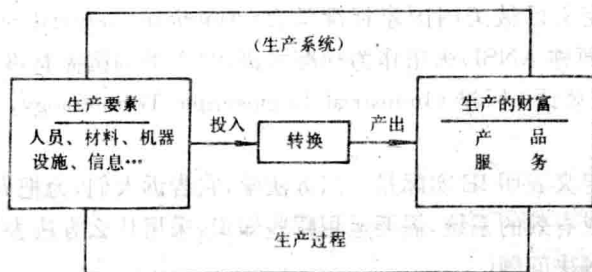


图 1-1 生产的概念

经济学上,用生产率(Productivity)来衡量生产系统的这种转换功能,表示生产要素的使用效率(生产率=产出/投入,其含义详见本书第二章生产率概述)。如果能用较少的资源投入得到更多的产出,则生产

率提高了,也就是具有更高的经济效益,可获得更大的利润。因此,生产率成为生产活动中最为人们关心的一个指标。任何企业,事实上都以为社会提供产品和服务,不断追求更高的生产率和利润为目标。

显然,生产率的提高主要取决于生产过程中如何充分有效地发挥生产要素的作用,提高效率,人们为提高生产率所做的努力集中表现为改进生产技术和管埋两个方面,不断发明新技术、新工艺,创造新工具、新机器和科学的管埋方法。正如人们常说的,技术和管埋是生产和经济发展所依靠的两个轮子。然而,实践证明,在工业化生产中,技术和管埋只有很好地结合起来才能获得理想的效果。

二、工业工程的定义

工业工程的发展迄今将近一个世纪了。由于它涉及范围广泛,内容不断充实和深化,所以,在其形成和发展的过程中,不同时期、不同国家、不同组织和学者下过许多定义。在各种 IE 定义中,最具有权威性和今天仍被广泛采用的是美国工业工程师学会(AIIE)于 1955 年正式提出、后经修订的定义,表述如下:

“工业工程是对人员、物料、设备、能源和信息^①所组成的集成系统,进行设计、改善和设置的一门学科。它综合运用数学、物理学和社会科学方面的专门知识和技术,以及工程分析和设计的原理与方法,对该系统所取得的成果进行确定、预测和评价。”

该定义已被美国国家标准学会(American National Standards Institute,简称 ANSI)采用作为标准术语,收入美国国家标准 Z94,即《工业工程术语》标准(Industrial Engineering Terminology, ANSI Z94, 1982)。

该定义表明 IE 实际是一门方法学,它告诉人们,为把人员、物资和设施组成有效的系统,需要运用哪些知识,采用什么方法去研究问题以及如何解决问题。

三、工业工程的目标

任何一门工程学科都有其特定的对象和目标,机械工程的目标是

^① “能源和信息”是 AIIE 后来修订时增加的。

研究设计各种优质、高效的机器和车辆等机械性质的系统；电气工程的目标是设计电气装置等；化学工程的目标是研究开发新型化工产品（如塑料）和流程；建筑工程设计各种建筑物（如房屋和桥梁）……，工业工程的目标是什么呢？

《美国大百科全书》（1982年版）对IE的解释是：“工业工程是对一个组织中人、物料和设备的使用及其费用作详细分析研究，这种工作由工业工程师完成，目的是使组织能够提高生产率、利润率和效率。”

著名的工业工程专家P·希克斯（Philip E. Hicks）博士指出：“工业工程的目标就是设计一个生产系统及该系统的控制方法，使它以最低的成本生产具有特定质量水平的某种或几种产品，并且这种生产必须是在保证工人和最终用户的健康和安全的条件下进行。”

上述定义和解释表明，工业工程的目标就是使生产系统投入的要素得到有效利用，降低成本，保证质量和安全、提高生产率，获得最佳效益。具体地讲，就是通过研究、分析和评估，对人机系统的每个组成部分都进行设计（包括再设计即改善），再将各个组成部分恰当地综合起来，设计出系统整体，以实现生产要素合理配置，优化运行，保证以低成本、低消耗、安全、优质、准时、高效地完成生产任务（机器制造、桥梁建设、化工生产……），从而达到上述目标。

四、工业工程的功能

如IE定义所表明的IE的基本功能是：“研究人员、物料、设备、能源、信息所组成的集成系统，进行设计、改善和设置”。针对一个企业这样的系统，IE的功能具体表现为规划、设计、评价和创新等四个方面，如图1-2所示，并列出了各类专业活动。

1. 规划

确定一个组织在未来一定时期内从事生产所应采取的特定行动的预备活动，包括总体目标、方针政策、战略和战术的制定，也包括分期（短期、中期、长期）实施计划的制定。它是协调资源利用，以获得最佳效用的重要工具。IE从事的规划侧重于技术发展规划。

2. 设计

实现某一既定目标而创建具体实施系统的前期工作，包括技术准

则、规范、标准的拟订,最优方案选择和蓝图绘制。IE 的设计不同于一般的机器设计,而是侧重于工程系统设计,包括系统总体设计和部分设计;概念设计和具体工程项目设计等。

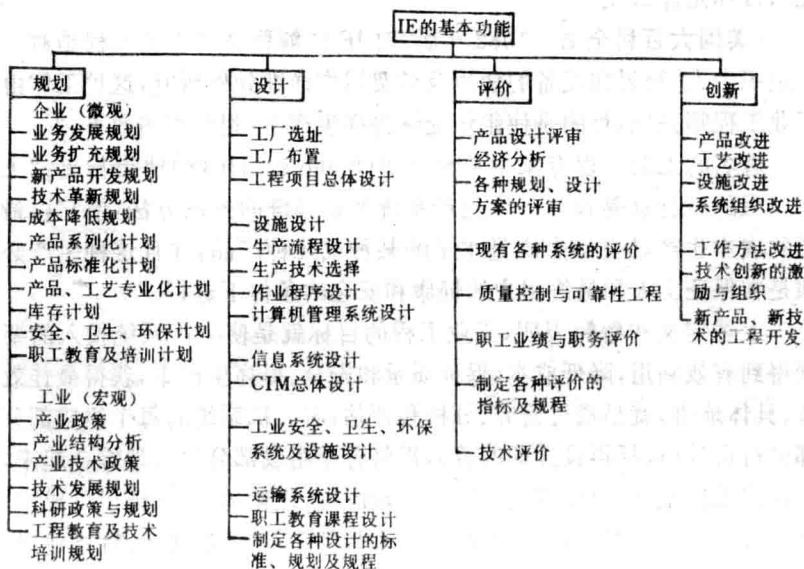


图 1-2 IE 的基本功能

3. 评价

对现存的各种系统、各种规划和计划方案以及个人与组织的业绩作出是否符合既定目标或准则的评审与鉴定活动,包括各种评价指标和规程的制订及评价工作的实施。IE 评价是为高层管理者的决策提供科学依据、避免决策失误的重要手段。

4. 创新

对现存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。任何一个系统,不论是一种产品、一条生产线、一个企业,还是一个产业部门,都将随着时间推移而耗损、老化,乃至失效衰亡,只有通过创新使其获得新的生命力。所以,创新是系统维护和发展的的重要途径。

第二节 工业工程的发展简史

一、工业工程的起源

人类在从事生产活动的过程中,运用数学、物理学、化学、生物学等基础科学原理,结合在生产实践中所积累的经验而发展的、用于改造自然为人类服务的各种专门知识称为工程学,如土木工程、机械工程、化学工程等。

各种工程学科都是从实践中总结经验而发展起来的,最初阶段都是从解决某些具体问题开始,实际工作者从自己或前人的成功经验中找到解决某个问题的方法,然后加以归纳提炼升华,逐步形成理论。随着研究工作的深入,人们对客观规律认识也逐步深入,科学理论就逐步形成专门学科。工业工程也不例外,也是从实践中总结经验开始的。

工业工程是工业化生产的产物,一般认为是本世纪初起源于美国,并且是从泰勒(F. W. Taylor, 1856~1915)等人创立的科学管理发展起来的。南北战争(1861~1865)以后,美国工业尤其是制造工业迅速发展。1900年前后,制造业产值已超过农业。但是,当时的工业生产和今天的方式大不相同,那时很少有生产计划和组织,生产一线的管理人员对工人作业只是口头上的指导,工人通常所受到的训练也很差,工作方法缺乏科学性和系统性,主要凭经验办事。作业方法的改进一般都来源于工人自己为找到更容易和更简便的方法完成所承担的任务而自发的努力,完全是一种各自分散的个人行动,几乎没有人注意一个工厂或一个工艺过程的改进和总体协调。因而效率低、浪费大。以泰勒为代表的一大批科学管理先驱者为改变这种状况,提高工作效率、降低成本进行了卓有成效的工作,开创了科学管理,为工业工程的产生奠定了基础,开辟了道路。

泰勒是一位工程师和效率专家,是“科学管理”的创始人,并且也是一位发明家,一生中获得超过一百多项专利。1874年他考取哈佛大学法学院,由于视力不好,而被迫失学,进费城水泵制造公司当模型工学徒。1878年到米德维尔(Midvale)钢铁公司工作,当过普通工人、技工、工

长、总技师、以及总工程师等职。这期间，他还上夜校攻读，并于1883年获得史蒂芬工学院机械工程学位。这一经历使他对当时生产管理和劳动组织中的问题比较清楚，他认为管理没有采用科学方法，工人缺乏训练，没有正确的操作方法和程序，大大影响了效率。他相信通过对工作的分析，总可以找到改进的方法，设计出效率更高的工作程序，并致力于研究。他系统地研究了工场作业和衡量方法，创立了“时间研究”(Time study)，改进操作方法，科学地制定劳动定额，采用标准化，极大地提高了效率，降低了成本。例如，1898~1901年在伯利恒(Bethlehem)钢铁公司咨询期间，他研究了铲煤和矿砂的工作，通过试验和测定发现，每铲21磅时，装卸效率最高。泰罗采用科学方法对工人进行训练，结果使搬运量由原来每人每天12.5吨增加到48吨，搬运效率提高近4倍。经过这样改进，减少了所需的搬运工人数，使搬运费由每吨8美分降低到4美分。

他提出了一系列科学管理原理和方法，主要著作有：《计件工资》(1895年)、《工场管理》(1903年)以及《科学管理原理》(1911年)，这是系统阐述他的研究成果和科学管理思想的代表作，对现代管理发展作出重大贡献，并被公认为工业工程的开端。所以，泰罗在美国管理史上被称作“科学管理之父”，也被称作“工业工程之父”。

吉尔布雷斯(Frank B. Gilbreth, 1868~1924)是和泰罗差不多同一时期的另一位工业工程奠基人，他也是一名工程师，其夫人是心理学家，他们的主要贡献是创造了与时间研究密切相关的“动作研究”(Motion Study)，就是对人在从事生产作业中的动作进行分解，确定基本的动作要素(称为“动素”)，然后科学分析，建立起省工、省时、效率最高和最满意的操作顺序。例如，当时按照他的方法培训的砌砖工人平均作业效率由每小时120块提高到350块。1912年吉尔布雷斯夫妇进一步改进动作研究方法，把工人操作时的动作拍成影片，创造了影片分析法，对动作进行更细微的研究。1921年他们又创造了工序图，为分析和建立良好的作业顺序提供了工具。他们还在技能研究、疲劳研究和时间研究等方面有卓越的成就，尤其重视研究生产中人的价值、作用及其对工作的环境的反应等。

甘特(Henry L. Gantt)也是工业工程先驱者之一,他的重大贡献是发明了著名的“甘特图”(Gantt Chart),这是一种预先计划和安排作业活动、检查进度以及更新计划的系统图表方法,为工作计划、进度控制和检查提供了十分有用的方法和工具,直到今天它仍然被广泛地用于生产计划与控制这一工业工程主要领域。

还有许多科学家和工程师对科学管理和早期工业工程的发展做出了贡献,如 1776 年英国经济学家亚当·史密斯(Adam Smith)在其《原富》一书中提出劳动分工概念;李嘉图(Ricardo)的《政治经济学及赋税原理》(1817 年);穆勒(Stuart Mill)的《政治经济学原理》(1848 年)等,应该说都对 IE 先驱者产生过影响,这里就不一一列举了。

二、工业工程发展历程

工业工程形成和发展演变过程,实际上就是各种用于提高效率、降低成本的知识、原理和方法产生和应用的历史。

工业工程的发展历程可用图 1-3 所示的 IE 发展年表概括说明。该图横坐标表示在 IE 发展历程中,一些重大事件(原理和方法)产生的时间。在大多数情况下,只表明事件的开始,而不是结束。例如“时间研究”至今仍是 IE 的基本工具。

从科学管理开始,IE 发展经历了如图上方标明的四个相互交叉的时期,它突出表明不同时期 IE 的重大发展。

1. 科学管理时代(本世纪初~30 年代中期) 这是 IE 萌芽和奠基的时期,以劳动专业化分工、时间研究、动作研究、标准化等方法的出现为主要内容。1908 年,美国宾夕法尼亚州立大学根据泰勒的建议,首次开设工业工程课程,成为第一所设立 IE 专业的大学。这时期是在制造业(尤其是机械制造企业)中,采用以动作研究和时间研究为主要内容的科学管理方法,提高工人作业效率。并且,主要是针对操作者和作业现场较小范围,建立在经验基础上的研究。1917 年,美国成立了工业工程师协会(Society of Industrial Engineers),这是最早的独立 IE 组织,1936 年它与“泰勒协会”合并为“管理促进协会”。

2. 工业工程时代(20 年代后期~现在) IE 作为一门专业正式出现并不断充实内容。继宾州州立大学之后,到 30 年代美国有更多的大

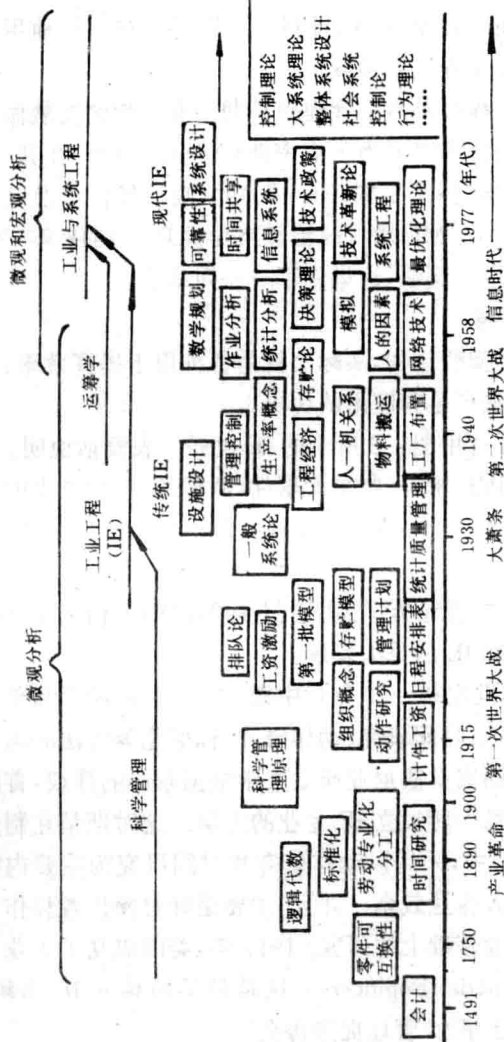


图 1-3 IE 发展年表

学设立 IE 系或专业；工厂出现了专门从事 IE 的职业；吸收数学和统计学知识，创立了一系列 IE 原理和方法，如休哈特(W. A. Shewhart)博士 1924 年建立了“统计质量控制”，为 IE 实际应用提供了科学基础，是一项重要发展。还有进度图、库存模型、人的激励、组织理论、工程经济、工厂布置、物料搬运等方法的产生和应用，使管理有了真正的科学依据，不再只是凭经验的一种艺术。二次世界大战以后，IE 取得实质性进展，表现为以下两个时期的重大变化。

3. 运筹学(Operations Research, OR)发生影响的时期(40 年代中期~70 年代) 是 IE 进入成熟的时期。长期以来，IE 一直苦于缺少理论基础，直到二次世界大战以后，计算机和运筹学的出现才改变这一状况。为解决战争中的军事方案选择问题而研究出的 OR 是一个新领域，主要包括数学规划、优化理论、博弈论、排队论、存贮论等理论和方法，可以用来描述、分析和设计多种不同类型的运行系统，寻求最优结果。用于产品和市场决策，可实现降低成本、提高效率的目标。同时，计算机为处理数据和对大系统进行数学模拟提供了有力的手段。因此 IE 得到重大发展，OR 成为 IE 的理论基础。

1948 年美国工业工程师学会(American Institute of Industrial Engineers, 简称 AIIE)正式成立(现在已发展成国际性的学术组织，称为 IIE)，并于 1955 年制定出 IE 的正式定义。50 年代是 IE 奠定较完善科学基础、发展最快的 10 年，经过 60 年代和 70 年代，其知识基础则更加充实，开始进入现代 IE 的新时期。到 1975 年，美国已有 150 所大学提供 IE 教育。

4. 工业与系统工程(System Engineering, SE)时期(70 年代~现在和未来) 从 70 年代开始，系统工程原理和方法用于 IE，使它具备更加完善的科学基础与分析方法，得到进一步发展和更广泛的应用。这时期出现的主要技术有：系统分析与设计、信息系统、决策理论、控制理论等。IE 与 SE 结合后具有以下特征：从系统整体优化的目标出发，研究各生产要素和子系统的协调配合，强调综合应用各种知识和方法的整体性；应用范围从微观系统扩大到宏观大系统的分析设计，从工业和制造部门扩大到服务业及政府部门等各种组织。

工业工程正是由于不断吸收现代科技成就,尤其是计算机科学,OR、SE及相关的学科知识,有了理论基础和科学手段,才得以由经验为主发展到以定量分析为主;以研究生产局部或小系统的改善到研究大系统整体优化和生产率提高,成为一门独立的学科。不但在美国得到广泛的发展和应用,而且很快向世界其他许多工业化国家传播,如西欧(英国、德国、法国等)、日本、原苏联、澳大利亚和其他一些国家和地区,从50年代前后相继开始采用IE。70年代中,一些发展中国家,如墨西哥、秘鲁、哥伦比亚等,随着工业化发展,也都开始采用IE,在大学设置正规IE专业。在亚洲,新加坡、韩国和我国的香港、台湾地区,都较早建立IE教育并完全采用美国的IE体制。印度也于1975年前后开始建立IE教育与应用体制。

三、现代工业工程发展趋势

工业工程的发展具有鲜明的时代特征。现代IE就是在现代科学技术和生产力条件下研究生产(工作)系统提高生产率和竞争力的学科。由于现代科学技术和生产力高度发展,尤其是高新技术的出现和应用,今天的生产经营环境和条件与过去相比,发生了很大的变化,主要表现在:① 市场需要多样化、变化快,产品生命周期大大缩短,竞争激烈,要求不断开发新产品。② 系统、成套产品和服务的市场不断扩大,用户越来越多地需要优质、可靠、系统的服务,如交钥匙工程。③ 严格保证交货期,提供周到、及时的售后服务。④ 现代制造技术(如NC、CNC、CAD/CAM、GT、机器人、FMC、FMS、CAPP、MRP、MRPII、JIT、CIM等)、组合技术(如机电一体化、光-机-电技术)迅速发展,为高速、高效、高精度和优质生产提供了条件。⑤ 信息技术的发展为生产经营决策科学化 and 增强应变能力提供了手段等等。

为了适应这些变化和要求,现代IE吸收了越来越多的新学科和高新技术,如信息科学和自动化技术,模拟技术和优化理论等(见图1-3右边部分)。

现代工业工程的发展具有如下几个显著特征:

1. 研究对象和应用范围扩大到系统整体

IE发展史表明,在泰勒时代,主要研究各个作业和改进现场管理;