

# 基础工业工程

JICHU GONGYE GONGCHENG

■ 主 编 韩雅丽 马如宏

# 基础工业工程

JICHU GONGYE GONGCHENG

主 编

韩雅丽 马如宏

副主编

王建林 董晓慧

 江苏大学出版社  
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

## 图书在版编目(CIP)数据

基础工业工程 / 韩雅丽, 马如宏主编. — 镇江 :  
江苏大学出版社, 2015.12  
ISBN 978-7-5684-0124-1

I. ①基… II. ①韩… ②马… III. ①工业工程  
IV. ①F402

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 312429 号

### 基础工业工程

---

主 编/韩雅丽 马如宏  
责任编辑/吴昌兴  
出版发行/江苏大学出版社  
地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)  
电 话/0511-84446464(传真)  
网 址/http://press.ujs.edu.cn  
排 版/镇江华翔票证印务有限公司  
印 刷/虎彩印艺股份有限公司  
经 销/江苏省新华书店  
开 本/787 mm×1 092 mm 1/16  
印 张/16.5  
字 数/402 千字  
版 次/2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷  
书 号/ISBN 978-7-5684-0124-1  
定 价/38.00 元

---

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

# 前 言

工业工程是将人、设备、物料、信息和环境等生产系统要素进行优化配置,对工业等生产过程进行系统规划与设计、评价与创新,从而提高工业生产率和社会经济效益的专门化的综合学科,且内容日益广泛。工业工程既具有鲜明的工程属性,又具有显著的管理特征,是一门工程技术与组织管理等有机结合的交叉学科。

基础工业工程是工业工程专业的基础课程,主要让学生系统了解与认识工业工程的基本内容及特点、基本方法及应用等,从而为后续专业课程的学习与实践打下良好基础。本书力求系统、全面地介绍工业工程的体系和基础知识,反映当今最新学科前沿,力求达到整合描述性分析和规范性分析。本书特点是内容新颖,体系完整,表述通俗易懂。

本书由盐城工学院韩雅丽、马如宏主编。具体编写分工如下:韩雅丽老师负责统稿并编写第一、第二、第三章内容;马如宏老师负责编写第四、第七、第十章内容;王建林老师负责编写第八、第九、第十一章内容;董晓慧老师负责编写第五、第六、第十二章内容。

鉴于工业工程专业在我国建立与发展的时间并不长,工业工程学科发展快、创新多,且编者水平所限,时间仓促,书中难免有疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 10 月



# 目 录

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第一章 绪 论 .....              | 1   |
| 第一节 工业工程概述 .....           | 1   |
| 第二节 现代工业工程 .....           | 11  |
| 第三节 工业工程在我国各类企业的应用前景 ..... | 16  |
| 第二章 生产率管理 .....            | 19  |
| 第一节 生产率概述 .....            | 19  |
| 第二节 生产率管理与测定 .....         | 22  |
| 第三章 程序分析 .....             | 31  |
| 第一节 方法研究概述 .....           | 31  |
| 第二节 程序分析概述 .....           | 34  |
| 第三节 工艺程序分析 .....           | 38  |
| 第四节 流程程序分析 .....           | 44  |
| 第五节 布置和经路分析 .....          | 53  |
| 第六节 管理事务分析 .....           | 62  |
| 第四章 操作分析 .....             | 69  |
| 第一节 操作分析概述 .....           | 69  |
| 第二节 人-机操作分析 .....          | 70  |
| 第三节 联合操作分析 .....           | 78  |
| 第四节 双手操作分析 .....           | 83  |
| 第五章 动作分析 .....             | 90  |
| 第一节 动作分析概述 .....           | 90  |
| 第二节 动素分析 .....             | 92  |
| 第三节 影像分析 .....             | 102 |
| 第四节 动作经济原则 .....           | 105 |
| 第五节 动作经济原则的应用 .....        | 107 |



|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第六章 作业测定 .....              | 117 |
| 第一节 作业测定概述 .....            | 117 |
| 第二节 作业测定的方法和程序 .....        | 119 |
| 第三节 工时消耗分类与标准时间构成 .....     | 123 |
| 第七章 秒表时间研究 .....            | 128 |
| 第一节 秒表时间研究的含义、特点及适用对象 ..... | 128 |
| 第二节 秒表时间研究的工具 .....         | 129 |
| 第三节 秒表时间研究的步骤 .....         | 132 |
| 第四节 常用的几种评定方法 .....         | 149 |
| 第五节 作业评定的培训及应用案例 .....      | 158 |
| 第八章 工作抽样 .....              | 163 |
| 第一节 工作抽样的原理 .....           | 163 |
| 第二节 工作抽样的实施步骤 .....         | 168 |
| 第九章 预定动作时间标准法 .....         | 179 |
| 第一节 预定动作时间标准法概述 .....       | 179 |
| 第二节 模特排时法 .....             | 182 |
| 第十章 学习曲线与标准时间制定 .....       | 201 |
| 第一节 学习曲线 .....              | 201 |
| 第二节 标准时间制定 .....            | 205 |
| 第十一章 生产线平衡 .....            | 214 |
| 第一节 生产线的定义与特点 .....         | 214 |
| 第二节 生产线平衡的原则和主要方法 .....     | 218 |
| 第十二章 现场管理方法 .....           | 224 |
| 第一节 现场管理概述 .....            | 224 |
| 第二节 5S 管理 .....             | 229 |
| 第三节 定置管理 .....              | 240 |
| 第四节 目视管理 .....              | 248 |
| 参考文献 .....                  | 255 |



## 第一章

# 绪 论



## 第一节 工业工程概述

### 一、工业工程的概念

一般认为泰勒(Frederick W. Taylor)和吉尔布雷斯(Frank B. Gilbreth)是IE的开山鼻祖。19世纪80年代,泰勒和吉尔布雷斯分别通过自己的实践,仔细观察工人的作业方式,寻找效率最高的作业方法,并且设定标准时间进行效率评估。结果不仅使生产效率得以提高,工人的收入也得以增加,从而开创了工业工程(Industrial Engineering,简称IE)研究的先河。

工业工程的发展迄今已一个多世纪了,由于它涉及范围广泛、内容不断充实和深化,在其形成和发展的过程中,不同时期对工业工程的概念曾有不同的阐述,其中,最权威性的解释是美国工业工程师学会(AIIE)于1955年提出,后又经过修订的定义,即“工业工程是对由人员、物料、设备、能源和信息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鉴定、预测和评价”。该定义已被美国国家标准学会(ANSI)用来作为标准术语,收入美国国家标准Z94,即《工业工程术语》标准(Industrial Engineering Terminology, ANSI—Z94, 1982)。日本工业工程协会也基本上采用了这样的定义。

《美国大百科全书》(1982年版)对工业工程的解释是“工业工程是对一个组织中人、物料和设备的使用及费用详细分析研究,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、利润和效率”。

著名的工业工程专家希克斯(P. E. Hicks)(1988年)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与安全的条件下进行的。”

在日本,工业工程称为经营工学或经营管理,被认为是一门以工程专业如机械工程、电子工程、化学工程、建筑工程等为基础的管理技术学科。1959年日本工业工程协会(JIIE)成立时对IE的定义是在美国工业工程师协会1955年定义的基础上略加修改而制定的。随着IE长期在日本的广泛应用和取得的成果,其理论和方法都取得了很大发展。日本工业工程师协会深感过去的定义已不适用于现代生产的要求,故对IE重新定义如

下:“IE 是这样一种活动,它以科学的方法,有效地利用人、财、物、信息、时间等经营资源,优质、廉价并及时地提供市场所需要的商品和服务,同时探求各种方法给从事这些工作的人们带来满足和幸福。”该定义简明、通俗、易懂,不仅清楚地说明了 IE 的性质、目的和方法,而且还特别把对人的关怀写入定义中,体现了“以人为本”的思想。这也正是 IE 与其他工程学科的不同之处。

对于 IE 的定义,有人甚至简化成一句话“IE 是质量和生产率的技术和人文状态”,或者可以这样说“IE 是用软科学的方法获得最高的效率和效益”。

1989 年 8 月,中国机械工程学会在北京主办的首次工业工程座谈会上,提出了具有中国特色的工业工程(Chinese Industrial Engineering,简称 CIE)概念,简而言之,工业工程就是一门涉及人、物料、设备、信息、能源等要素的集成规划、设计、改善、控制和创新的工程学科,它应用自然科学、数学、社会科学,特别是工程技术的理论与方法,为实现生产制造、管理和服务系统的低成本、高效率和高效益的管理目标提供有力的技术支持。

上述各定义是随着时间的推移和科学技术与生产力的发展而变化的,但其本质内容是一致的,这些定义都表明:

(1) 工业工程是一门工程类科学技术,而且是主要解决管理问题的工程技术;

(2) 工业工程所研究的对象是由人、物料、设备、能源、信息等生产要素所构成的各种生产及经营管理系统,且不限于工业生产领域;

(3) 工业工程所采用和依托的理论与方法均来自于数学、自然科学、社会科学中的专门知识和工程学中的分析、规划、设计等理论与技术,特别和系统工程的理论与方法及计算机系统技术具有日益密切的关系;

(4) 工业工程的任务和目标是研究如何将人、物料、设备、能源、信息等要素进行有效、合理的组合与配置,并不断改善,实现更有效的运行,为管理活动提供技术上的支持与保证,其目的是达到系统效益与生产率的实现与提高。

## 二、工业工程的发展历程

### (一) 工业工程的起源

工业工程是工业化生产的产物,一般认为是 20 世纪初起源于美国,并且是从泰勒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,这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,一生中获得过 100 多项专利。1874 年他考取哈佛大学法学院,由于视力不好,被迫失学,进费城水泵制造公司学徒当模型工。1878 年他到米德维尔(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。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,大大影响了生产效率。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。他系统地研究了工厂作业和衡量方法,创立“时间研究”(Time Study),改进操作方法,科学地制订劳动定额,采用标准化,这极大地提高了效率、降低了成本。例如,1898—1901年在伯利恒(Bethlehem)钢铁公司工作期间,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。泰勒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12.5t增加到48t,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)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,对现代管理发展做出重大贡献,并被公认为工业工程的开端。所以,泰勒在美国管理史上被称作“科学管理之父”。

吉尔布雷斯(Frank B. Gilbreth, 1868—1924)是和泰勒差不多同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),即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。他们在技能研究、疲劳研究和时间研究等方面也有卓越的成就,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应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,应该说这些都对IE先驱者产生了影响,详见表1-1。

表 1-1 工业工程的发展简史

| 年份      | 概念或方法           | 创始者(发展者)            | 国别  |
|---------|-----------------|---------------------|-----|
| 1370年   | 机械时钟            | 维克(Wyek)            | 法国  |
| 1430年左右 | 威尼斯兵工厂的船只外装备装配线 | 威尼斯船厂               | 意大利 |
| 1776年   | 劳动分工的经济利益       | 亚当·史密斯(Adam Smith)  | 英国  |
| 1798年   | 互换件             | 爱立·维脱耐(Eli Whitney) | 美国  |

续表

| 年份          | 概念或方法                   | 创始者(发展者)                                | 国别        |
|-------------|-------------------------|-----------------------------------------|-----------|
| 1832 年      | 按技能高低付酬;工时研究的一般概念       | 查理·倍倍奇(Charles Babbage)                 | 英国        |
| 1911 年      | 科学管理原理;正式的时间研究概念        | 泰勒(Frederick W. Taylor)                 | 美国        |
| 1911 年      | 动作研究;工业心理学的基本概念         | 吉尔布雷斯夫妇<br>(Frank and Lillian Gilbreth) | 美国        |
| 1913 年      | 移动的装配线                  | 亨利·福特(Henry Ford)                       | 美国        |
| 1914 年      | 工作进度图表                  | 亨利·甘特(Henry L. Gantt)                   | 美国        |
| 1917 年      | 应用经济批量方法控制存贮            | F·W·哈利斯(F. W. Harris)                   | 美国        |
| 1931 年      | 质量控制的抽样检查和统计表           | 瓦脱·休哈特等<br>(Walter Shewhart etc.)       | 美国        |
| 1927—1933 年 | 霍桑研究对工人积极性的新见解          | 爱尔顿·梅耶(Elton Mayo)                      | 美国        |
| 1934 年      | 工作活动的抽样调查               | L·H·C·铁佩特(L. H. C. Tippet)              | 英国        |
| 1940 年      | 解决复杂系统问题所用的协作方法         | 运筹学小组                                   | 英国        |
| 1947 年      | 线性规划的单纯形法               | G·B·但泽(G. B. Dantzig)                   | 美国        |
| 1949 年      | 人的因素的研究                 | 人机工程学会                                  |           |
| 1950 年      | 模拟、决策理论数学规划、计算机技术的应用和发展 |                                         | 美国和<br>西欧 |
| 1970 年后     | 完善的工业工程理论和技术,研制出的相应软件包  |                                         |           |

(二) 工业工程的发展历程

工业工程形成和发展的演变过程,实际上就是各种用于提高效率、降低成本的知识、原理和方法产生与应用的历史,工业工程技术随着社会和科学技术的发展不断充实新的内容。

工业工程的发展历程可用图 1-1 所示的 IE 发展年表概括说明。该图的年代轴线表示在 IE 的发展历程中,一些重大事件(原理和方法)产生的时间,在大多数情况下,只表明事件出现的始端,而不是结束的年代。例如,“时间研究”至今仍然是 IE 的基本工具。

从科学管理开始,IE 发展经历了图 1-1 标明的四个相互交叉的时期,它们突出表明了不同时期 IE 的重大发展及特点。

1. 科学管理时期(20 世纪初—20 世纪 20 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。这时期的 IE 是在制造业(尤其是机械制造企业)中应用,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,该研究主要是针对操作者和作业现场等较小范围,建立在经验基础上的研究。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。1917 年,美国成立了工业工程师学会(Society of Industry Engineers),这是最早的独立的 IE 组织,1936 年它与“泰勒协会”合并为“管理促进协会”。

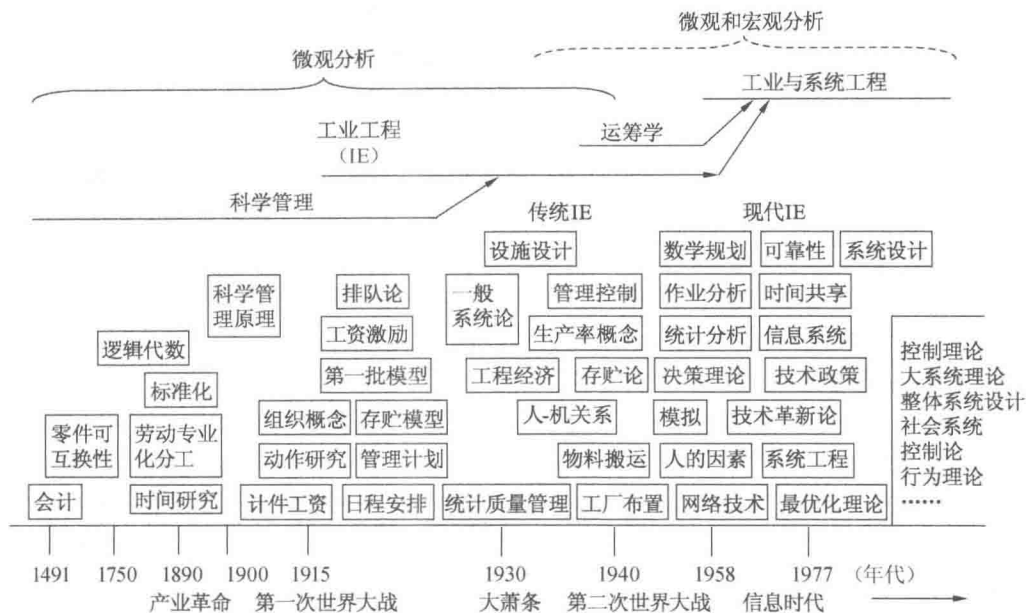


图 1-1 IE 发展年表

## 2. 工业工程时期(20 世纪 20 年代后期—现在)

这个时期又分为三个阶段,第一阶段发展的内容称为传统 IE 或经典 IE,第二和第三阶段发展的 IE 内容称为现代 IE。各阶段的发展特点分别如下:

### (1) 传统 IE 或者经典 IE(20 年代后期—40 年代中期)

这是泰勒的科学管理原理和吉尔布雷斯的动作研究的继承和发展。如休哈特博士 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。进度图、库存模型、人的激励、组织理论、工程经济、工厂布置、物料搬运等理论和方法的产生与应用,使管理有了真正的科学依据。

这一时期,IE 作为一门专业正式出现并不断充实发展,继宾夕法尼亚州立大学首次设立 IE 专业之后,到 20 世纪 30 年代美国有更多的大学设立 IE 系或专业。

由于这一时期重视与工程技术相结合,使 IE 本身具有独立的工程专业性质,IE 不同于管理的概念和职能得到确立,并成为一种在技术和管理之间起着桥梁作用的新型工程技术。

### (2) IE 与运筹学(Operation Research, 简称 OR)结合(40 年代中期—70 年代中期)

这是 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了这一状况。运筹学是为解决战争中的军事方案选择问题而拓展出的一个新的学科领域,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。由于企业生产决策与战役决策有非常相似之处,因此很多学者将 OR 运用到 IE 中。同时,计算机为处理数据和数学模拟大系统提供了有力的手段。因此,运筹学成为 IE 的理论基础,IE 取得重大发展。

1948 年美国工程师学会(American Institute of Industrial Engineers,简称 AIIE)正式成立(现在已发展成为国际性的学术组织,简称 IIE),并于 1955 年制定出 IE 的正式定义。20 世纪

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 多所大学提供 IE 教育。

(3) IE 与系统工程(Systems Engineering, 简称 SE)结合并共同发展(70 年代中后期—现在)

20 世纪 70 年代开始,系统工程的原理和方法用于 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。这一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;应用范围从微观小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农业、服务业和政府部门等各种组织。

工业工程正是由于不断地吸收现代科技成就,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,并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。它不但在美国得到广泛的应用和发展,而且很快向世界其他许多工业化国家传播,如西欧多国(英国、德国、法国等)、日本、苏联、澳大利亚和其他一些国家和地区,从 20 世纪 50 年代前后相继开始采用 IE。70 年代中期,一些发展中国家,如墨西哥、秘鲁、哥伦比亚等,随着工业化的发展,也都开始采用 IE,在大学设置正规的 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 教育并基本采用美国的 IE 体制。印度也于 1975 年后开始建立了 IE 教育与应用体制。

### 三、现代工业工程的发展趋势

#### (一) 认知工作设计

现代制造环境中,由于计算机技术、自动控制技术和人工智能技术的广泛应用,人在制造系统中的体力劳动已大大减少,人的作用正从直接参与加工操作逐渐演化为对机器、设备等的监督、控制、维护等。制造系统中人的工作性质的变化,要求人们更加重视信息的接收、处理和决策过程。因此,随着工作环境及人们工作性质的变化,工作研究的重点应该从体力工作研究逐步转移到工作设计的认知方面,并充分考虑认知性任务的需要和工人的认知特性。人类的认知过程可以看作是一个信息加工的过程,其主要包括信息的输入、筛选、译码、存储、提取和应用过程。所谓认知工作设计是指研究人的认知过程,在工作设计时充分考虑人的认知特性和认知规律,以提高工作的效率和有效性。下面主要从一般信息的组织设计以及人-计算机交互中软、硬件的设计等方面,粗略地介绍有关认知工作的设计。

##### 1. 信息的组织设计

随着机器及设备自动化、智能化水平的提高,工人的工作主要转向对其进行监控。因此,人们在工作过程中必然要接收大量不同的信息(如速度、温度、压力等),并要求能对其进行快速、有效地判断、反馈。为了保证操作的有效性,就要求设计者能够充分考虑操作者或使用者的认知特性,选择容易被认知的信息组织方式。在进行信息设计时,一般可以从以下几个方面考虑:

(1) 信息的种类,包括静态和动态两种方式。

(2) 信息的显示模式,主要有视、听、触、味、嗅五种。根据人们的认知习惯,使用最频繁

的是视和听两种方式。在嘈杂的环境下,要表达的信息长而复杂时,一般采用听的方式;而当要表达的信息短而简单,或表示警告时,一般采用视的方式。

(3) 信息的维度选择。例如,当使用声音作为信息显示模式时,其维度可以包括音量、音调、变音等;当使用光作为信息显示模式时,其维度可以包括亮度、颜色和脉动的频率等。

(4) 信息的表示形式符合人们的认知习惯,如红色一般表示危险或停止。

(5) 信息的一致性原则,即基于人们的认知习惯,同一性质的信息其表示方法应该一致。例如:黄色表示警告,在系统中一般采用黄色统一表示警告的意思。

## 2. 人-计算机交互设计

随着科学技术的发展,尤其是信息技术的发展,计算机已经成为人们进行信息处理时最主要、最普遍的工具。因此,基于认知特性的人与计算机交互的设计也变得尤为重要。人-计算机交互设计主要包括交互中硬件及软件的设计。

人-机交互硬件设计主要有键盘、鼠标、显示屏等的设计。键盘设计中,根据人们的使用习惯,对键进行了合理的分布;在键的大小以及键之间的距离方面,考虑了与人手指大小的匹配,以便提高速度和减少错误;考虑到人们工作的合理性和舒适性,键盘与水平面也成一定的角度。另外,根据人们工作性质的不同,也可以设计功能不同的键盘。鼠标的出现为人们的工作提供了不少的方便,并且根据人们手的使用习惯设有特定的功能。显示屏是现代计算机最主要的输出设备,其大小一般根据人们注意力集中的视觉范围和舒适程度决定;根据个人的需要,可以自我调整与显示屏的距离。

根据需要,除了键盘、鼠标外,人们还发明了触屏、操纵杆等比较快速的设备。随着技术的发展,本着以人为中心的原则,人们试图研究“能听、能说、能理解人类语言的计算机”,使计算机能够用自然语言与人类进行交互。

在计算机的软件设计方面,软件开发者在设计时就充分考虑用户的特性,软件界面以人类认知为设计准则,并力求简单化,努力提高软件的可用性和有效性。

以上只是从微观的角度探讨了认知工作的设计。随着环境的变化,人在系统中的作用变得越来越重要。在整个系统的设计和规划中充分考虑人的认知特性,对于人在系统中的作用发挥具有重要的意义。因此,现代认知工作的设计还应该提高到工作设计的宏观层次上来,充分发挥人的作用,提高系统的效率。

## (二) 过程工程

过程的重要性在于变化总是存在于过程中;85%以上的过程问题是由过程变化引起的;过程的决策必须依赖正确的数据(Smith,1998)。过程工程指的是对制造过程的研究、开发、规划、设计、实施、控制与管理的工程学。它是根据我国改革开放成功的经验和世界先进制造企业的实践,为增强竞争力的新需求提出的新观念。诚然,企业的竞争力提高首先要重视新产品的生产和上市,但从我国和世界多数企业的实际看,不是每个企业都有创新产品的实力,更多的企业只是对已有产品作不断改进,引进创新产品的生产,或从先进企业引进产品乃至成套生产设备或生产线。改革开放30余年的历史证明,凡是那些重视和实施过程工程的企业,就能较快地完成斜升并迅速推出新产品上市,取得市场优势;凡是那些在过程工程方面着力的力度不足或疏于认真实施的企业,虽拥有先进的产品和配套的先进生产装备,却长期达不到国外同类企业水平,甚至达不到设备比之落后的企业的运行水平,其 $T$ (交货期)、 $Q$ (质量)、 $C$ (成本)长期处于较低的水平。事实是,产品和制造系统可以引进,但过程

技术、过程控制、过程管理和过程方法是很难引进或不可能买到的。工业调查证明,我国某些企业,至今未实施统计过程控制(SPC),过程质量难于保证,达不到国际先进企业的60%或更高的质量水平;有的过程损耗是国外先进企业的5~10倍;有的刀具寿命是国外先进企业的50%或更低;交货期常常成为瓶颈。

过程工程是现代制造过程理论,如过程质量、制造系统斜升效应、设备性能劣化与控制、并行工程、计算机辅助工艺设计(CAPP)、系统集成、DFX、P/OM(生产与运作管理)、误差流理论、约束理论(TOC)、过程控制和质量工程及CAFD等的综合利用和全寿命、全过程的控制和管理的集成。从本质上讲,过程工程是建立在现代科学技术、计算机技术、经济、管理与人文社会科学融合基础上的现代工艺学,它是构成企业实力的根本要素。

在市场经济条件下,企业只有不断开发出适合市场需求的新产品,才能在竞争中立于不败之地。经济全球化的今天,企业所面临的市场竞争更加激烈,迫使企业的产品朝着个性化、多样化的方向发展。信息技术、制造技术和管理技术的发展,使生产和经营活动的节奏加快,从产品策划、设计开发到投放市场的时间不断缩短。因而,产品的市场竞争力不仅体现在质量和成本,而且还要求设计与投产周期缩短、市场响应速度加快。传统的产品设计模式已不能适应企业发展的需要,因此,要研究新的产品开发管理模式。工业工程是一门新兴的交叉学科,其发展应该吸取相关学科的研究成果。随着认知科学的发展及其在各领域重要性的增强,工业工程与认知科学的结合是一种必然的发展趋势。工作设计研究是工业工程研究领域的一项重要内容,在工作设计中应用认知科学的研究成果,充分考虑人类的认知特性,是工业工程学科发展的需要。

#### 四、工业工程的学科特点与内容体系

##### (一) 工业工程的学科特点

IE是实践性很强的应用学科,国外IE应用与发展情况表明,各国都根据自己的国情(如社会文化传统,技术与管理的体制和水平等)形成富有自己特色的IE体系,甚至名称也不尽相同。例如,日本从美国引进IE,经过半个多世纪发展,形成了富有日本特色的IE,即把IE与管理实践紧密结合,强调现场管理优化,而美国则更强调IE的工程性。然而,无论哪个国家的IE,尽管特色不同,其本质是一致的。所以,认清IE的本质,对于建立符合我国国情的IE学科体系具有重要意义。

综合分析IE的定义、内容(范畴)和目标,反映现代IE本质的基本特点,可概括为以下几个方面:

##### 1. IE的核心是降低成本,提高质量和生产率

如前所述,“IE的目的是提高生产率、利润和效率”。因此,可以说IE实质上是一门提高生产率的学问。《工业工程手册》指出,如果要用一句话来表明工业工程师的抱负的话,那就是提高生产率。换句话说,提高生产率是IE的出发点和最终目标,是工业工程师的第一使命。

把降低成本、提高质量和生产率联系起来综合研究,追求生产系统的最佳整体效益,是反映IE实质的一个重要特点。

##### 2. IE是综合性的应用知识体系

IE定义的内容清楚地表明,IE是一个包括多种学科知识和技术的庞大体系,因此,人们

很容易产生这样的疑惑——究竟什么是 IE? 这个问题恰好需要通过 IE 的综合性和整体性来回答。

知识范围大是 IE 的一个明显特点,然而,这只有其外在特征,它的本质还在于综合地运用这些知识的技术,而且特别体现在应用的整体性上,这是由 IE 的目标——提高生产率所决定的。因为生产率不仅体现各生产要素的使用效果,尤其取决于各个要素之间、系统的各部分(如各部门、车间)之间的协调配合。

一个企业要提高其经济效益,必须运用 IE 全面研究,解决生产和经营中的各种问题,既有技术问题又有管理问题;既有物的问题,又有人人的问题。因而,必然涉及包括自然科学、工程技术、社会科学及人文科学在内的各种活动。这些领域的知识和技术不应是孤立地运用,而要围绕研究的整个系统(如一条生产线、一个车间、整个企业等)的生产率提高有选择地、综合地运用,这就是整体性。

IE 的综合性集中体现在技术和管理的结合上。通常,人们习惯于把技术称作硬件,把管理称作软件,两者由于性质和功能不同,容易形成分离的局面。IE 从提高生产率的目标出发,不仅要研究和发展硬件部分,即制造技术、工具和程序,而且要提高软件水平,即改善各种管理与控制,使人和其他各种要素(技术、机器、信息等)有机地协调,使硬件部分发挥最佳效用。所以,简单地说,IE 实际是把技术与管理有机地结合起来的学科。

### 3. 注重人的因素是 IE 区别于其他工程学科的特点之一

生产系统的各组成要素之中,人是最活跃的和不确定性最大的因素,IE 为实现其目标,在进行系统设计,实施控制和改善的过程中,都必须充分考虑人和其他要素之间的关系和相互作用,并以人为中心进行设计。从操作方式、工作站设计、岗位和职务设计直到整个系统的组织设计,IE 都十分重视研究人的因素,包括人机关系,环境对人的影响(生理和心理等方面),人的工作主动性、积极性和创造性,激励方法等,寻求合理配置人和其他因素,建立适合人的生理和心理特点的机器和环境系统,使人能够充分发挥能动作用,达到在生产过程中提高效率,安全、健康、舒适地工作,并能最好地发挥各生产要素的作用。

### 4. IE 的重点是面向微观管理

为了达到减少浪费,降低成本的目的,IE 重点面向微观管理,解决各环节管理问题,从制定作业标准和劳动定额,现场管理优化直至各职能之间的协调和管理改善,都需要 IE 发挥作用。

### 5. IE 是系统优化技术

IE 所强调的优化是系统整体的优化,不单是某个生产要素(人、物料、设备……)或某个局部(工序、产生线、车间……)的优化,后者是以前者为前提的优化,并为前者服务,最终追求的是系统整体效益最佳(少投入、多产出)。所以,IE 从提高系统总生产率的目标出发,对各种生产资源和环节做具体的研究、统筹分析、合理的配置;对各种方案做定量化的分析比较,寻求最佳的设计和改善方案,这样才能充分发挥各要素和各子系统的功能,协调有效地运行。

## (二) 工业工程的认识

所谓 IE 意识就是 IE 实践的产物,是对 IE 应用有指导作用的思想方法。主要包括以下几个方面:

### 1. 成本和效率意识

IE 追求最佳整体效益(即以提高总生产率为目标),必须树立成本和效率意识。一切工作从大处着眼,从总目标出发;从小处着手,力求节约,杜绝浪费,寻求以成本更低、效率更高的方式方法完成。

### 2. 问题和改革意识

IE 追求合理性,使各生产要素达到有效地结合,形成一个有机整体系统,它包括从操作方法,生产流程直至组织管理各项业务及各个系统的合理化。工业工程师有一个基本信念,即做任何工作都会找到更好的方法,改善无止境。为使工作方法更趋合理,所要做的就是坚持改善、再改善。

### 3. 工作简化和标准化意识

IE 追求高效和优质统一。IE 产生以来推行工作简化(Simplification)、专门化(Specialization)和标准化(Standardization),即所谓“3S”,它对降低成本、提高效率起到重要作用。尽管现代企业面对变化多端的市场需求,必须经常开发新产品、新工艺,更新技术,以多品种、小批量为主要方式生产,但是,工作简化和标准化依然是保证高效率和优质生产的基本条件。每一次生产技术改进的成果以标准化形式确定下来并加以贯彻,此为 IE 的重要手法。

### 4. 全局整体意识

现代 IE 追求系统整体优化,生产要素和子系统效率的提高,必须从全局和整体需要出发。针对研究对象的具体情况选择适当的 IE 方法,并注重应用的综合性和整体性,才能取得良好效果。

### 5. 以人为中心的意识

人是生产经营活动中最重要的一个要素,其他要素都要通过人的参与才能发挥作用。必须坚持以人为中心来研究生产系统的设计、管理。革新和发展,使每个人都关心和参加改进工作,提高效率。

IE 涉及知识范围很广,方法很多,而且发展很快,新的方法不断被创造出来。因此,对于工业工程师来说,掌握方法与技术(如作业测定、方法研究、物料搬运、经济评估、信息技术等)是必要的,但更重要的是掌握 IE 本质,树立 IE 意识,学会运用 IE 考察、分析和解决问题的思想方法,这样才能以不变(IE 实质)应万变(各种具体事物),从研究对象的实际情况出发,选择适当的知识和技术处理问题。只有这样才能使 IE 的应用取得理想的成果,有效地实现 IE 目标。

## (三) 工业工程的内容体系

### 1. 工业工程的范畴

工业工程是美国工程学科中一个大学科,据美国工程教育协会(ASEE)的报告,美国工程中的十大学科是:机械工程、电机工程、土木工程、化学工程、工业工程、计算机科学与工程、材料科学与工程、航空工程、环境工程、生物医学工程。工业工程属于第五大工程学科。

对于 IE 学科范畴,有多种不同的表述方法。迄今为止,较正规和有代表性的是美国国家标准 ANSI—Z94(1982 年修订)分类方法,此方法从学科角度将 IE 知识领域分为 17 个分支,即:① 生物力学;② 成本管理;③ 数据处理与系统设计;④ 销售与市场;⑤ 工程经济;⑥ 设施规划(含工厂设计、维修保养、物料搬运等);⑦ 材料加工(含工具设计、工艺研究、自动化等);⑧ 应用数学(含运筹学、管理科学、统计质量控制、统计和数学应用等);⑨ 组织规划

与理论;⑩ 生产计划与控制(含库存管理、运输路线、调度、发货等);⑪ 实用心理学(含心理学、社会学、工作评价、人事实务等);⑫ 方法研究和作业测定;⑬ 人的因素;⑭ 工资管理;⑮ 人体测量;⑯ 安全;⑰ 职业卫生与医学。

还有其他一些分类方法,例如日本从应用角度将 IE 技术分为 20 类 113 种,包括方法研究与作业测定、质量管理、标准化、工厂设计、能力开发等。事实上,凡是符合 IE 定义的学科和技术,都可以说属于其范畴,这正是 IE 是一个始终发展领域的原因。

## 2. 工业工程的应用重点

从 IE 首先在制造业中产生和应用至今一个多世纪已经过去了,其应用领域逐步扩大到制造业以外的其他领域,如建筑业、交通运输、销售、航空、金融、医院、公共卫生、军事后勤、政府部门(主要是行业管理与规划)及其他各种服务行业,范围极其广泛。

尽管现代 IE 的应用领域如此广泛,但是制造业仍然是最主要和最有代表性的一个领域。美国 G·萨尔文迪主编的《工业工程手册》根据哈里斯(Neville Harris)对英国 667 家公司应用 IE 的实际情况调查统计,常用的方法和技术有 32 种。按应用普及程度大小次序排列是:① 方法研究;② 作业测定(直接劳动);③ 奖励;④ 工厂布置;⑤ 表格设计;⑥ 物料搬运;⑦ 信息系统开发;⑧ 成本与利润分析;⑨ 作业测定(间接劳动);⑩ 物料搬运设备选用;⑪ 组织研究;⑫ 职务评估;⑬ 办公设备选择;⑭ 管理的发展;⑮ 系统分析;⑯ 库存控制与分析;⑰ 计算机编程;⑱ 项目网络技术;⑲ 计划网络技术;⑳ 办公室工作测定;㉑ 动作研究的经济发展;㉒ 目标管理;㉓ 价值分析;㉔ 资源分配网络技术;㉕ 工效学;㉖ 成组技术(GT);㉗ 事故与可操作性分析;㉘ 模拟技术;㉙ 影片摄制;㉚ 线性规划;㉛ 排队论;㉜ 投资风险分析。

我国目前常用的 IE 知识和技术是:① 工作研究;② 设施规划与设计;③ 生产计划与控制;④ 工程经济;⑤ 价值工程;⑥ 质量管理与可靠性技术;⑦ 人机工程;⑧ 组织行为学;⑨ 管理信息系统;⑩ 现代制造系统。

## 第二节 现代工业工程

### 一、现代工业工程的特点

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的高度发展,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,产品生产周期大大缩短,竞争激烈,要求不断开发新产品。

② 系统的、成套产品的服务和市场不断扩大,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,包括 NC/CNC(数据技术)、CAD/CAM(计算机辅助设计与制造)、CT(成组技术)、FMC/FMS(柔性制造单元和系统)、CAPP(计算机辅助工艺设计)、MRP(物料需