



工业工程系列教材

G O N G Y E G O N G C H E N G

上海汽车工业教育基金会 组编

工业工程

——原理、方法与应用

● 胡宗武 编著



上海交通大学出版社

上海汽车工业教育基金会资助
工业工程系列教材

工业工程

——原理、方法与应用

胡宗武 编著

上海汽车工业教育基金会 组编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书讲述工业工程的原理、方法与应用,全书共分三个部分。第一部分是生产管理总论,包括工业工程学科的形成和发展,生产力和经济分析,产品和生产方式的决策(第1章~第4章)。第二部分是生产运作管理的原理和方法,包括设施规划和供应链管理,工作研究,质量管理,项目管理,库存管理(第5章~第9章)。第三部分是生产计划管理,包括综合生产计划,主生产计划,物料需求计划,车间作业计划(第10章~第13章)。第14章概略地介绍当前工业工程发展的几个重要方面。本书可作为工程技术类专业本科生的生产管理课程的教材,也可作为企业培训技术管理干部的教本。

图书在版编目(CIP)数据

工业工程:原理、方法与应用/胡宗武编著. —上海:
上海交通大学出版社, 2003
ISBN 7-313-03208-0

I.工… II.胡… III.工业工程 IV.TB

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 085785 号

工业工程

——原理、方法与应用

胡宗武 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

常熟市华通印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:14.75 字数:275千字

2003年2月第1版 2003年2月第1次印刷

印数:1~2050

ISBN 7-313-03208-0/TB·061 定价:18.50元

版权所有 侵权必究

工业工程系列教材编委会

主任： 翁史烈

委员：（以姓氏笔画为序）

宋国防 胡宗武 徐克林 钱省三

诸葛镇 秦鹏飞 韩正之

总 序

作为市场经济产物的工业工程学科,在美国的发展已有 100 年的历史,它在西方国家的工业化进程中和改善经营管理、提高生产率等方面都发挥了很大的作用。近 10 多年来,随着商业竞争的加剧,国际市场和全球化制造态势的形成,企业和商家纷纷寻求进一步改善经营管理的方法,试图建立自己的核心竞争力,以便在剧烈的竞争中取胜。企业和商家的这些努力是与管理专家的研究结合在一起的,这样就大大地推动、丰富了工业工程和管理学科的发展和内容的更新。

虽然在上世纪三四十年代,交通大学等一些大学曾设立过与工业工程类似的学科,但解放后随着计划经济的实施,这个学科也就取消了。这样,这个学科在我国的研究和应用就停滞了 30 多年。改革开放后,在原机械工业部的积极推动下,我国从 1989 年开始引进工业工程的管理方法,并在一些企业试行,取得了明显的经济效果。西安交通大学、天津大学等高校率先于 1992 年开始招收工业工程专业的本科生。随后,我国一些大学陆续设立这个专业,至今全国已有 70 多所高等学校设有这个专业;这个专业的硕士和博士生也在培养之中。但是,正由于我们起步较晚,无论在工业工程的应用还是人才培养等方面都落在先进国家的后面。

上海汽车工业(集团)总公司是一个现代化的大型企业集团,集团公司所属的许多生产厂不但拥有现代化的设备,而且也努力推行现代的管理方法。在实践中,他们深感缺乏既懂工程又懂管理的复合型人才。为了广泛普及现代的管理方法,公司的高层领导把员工的教育和培训摆到了重要的地位。他们除经常举办短期训练班普及现代管理知识外,还委托上海交通大学连续举办了几届“工业工程”专业工程硕士班。为了解决硕士班的教材,他们引进了部分国外最新教材,供上课老师使用。

为了支持工业工程专业人才的培养,解决工业工程专业的教材问题,由上汽集团及所属企业捐资组建的“上海汽车工业教育基金会”,从 2000 年起就开始研究资助这个专业教材的编写和出版问题。经上海汽车工业教育基金会与上海交通大学出版社共同策划,并先后与上海交通大学、同济大学、东华大学、复旦大学、上海大学和上海理工大学等校工业工程系老师座谈、讨论,于 2001 年 8 月正式成立了“工业工程系列教材编委会”,制订了系列教材编写和出版计划。按照这个计划,系列教材共计 14 种,由 2002 年起分 3 年出版。基金会拨出专款资助

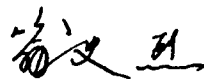
系列教材的编写和出版。我们对上海汽车工业教育基金会给予工业工程专业教育的支持表示感谢。

在确定系列教材的选题时,我们主要考虑了以下原则:一是特色,要有工业工程学科的特色,选题应确属工业工程学科的课程,对一些可与其他学科共用的教材则不再列入;二是精选,编写内容应精选该学科公认的、经典的基本原理和方法,以及先进的管理理念,对一些尚有争论的观点则不予论述;三是实践,遴选的编著者应对该课程有丰富的教学实践经验,并在教材中尽可能地反映企业解决工业工程问题的实际案例。经过认真研究,我们确定了下列选题:工业工程——原理、方法与应用,生产计划与控制,物流工程与管理,现代制造企业管理信息系统,以上为第一批;人因工程,质量管理,决策支持系统,复杂系统解析,工程管理的模糊分析,制造系统建模与仿真,以上为第二批;工程经济学,工作研究,项目管理,工业工程计算方法(暂定名),以上为第三批。

参加这套系列教材编写的是上面提到的这几所大学的老师们,他们都是相应课程的任课教师。他们根据自己教学过程中反复修改过的讲稿,又参考了国内外的相关文献,在较短的时间内完成了教材的编写。他们精选教材内容,配以实例讲解,使学生易于掌握;同时,他们也力图将最近几年工业工程的最新研究成果做简要的介绍,以使学生接触本专业的前沿。但是,由于编写时间比较仓促,编写者们的经验又各不相同,本系列教材的质量和水平一定是参差不齐的,也一定会存在一些缺点,希望能得到读者的批评和指正。特别要说明的是,在我们筹划这套系列教材的时候,“高等院校工业工程专业教材编审委员会”组编的7种教材尚未出版,当我们的编者拿到这7种教材时,我们的第一批4本书稿已形成初稿,但编者们仍然会从中得到启迪。

在工业工程系列教材第一批教材正式出版之际,我们深感欣慰,并对辛勤工作的老师们表示感谢。祝愿工业工程学科在教育界、工程界同仁的关怀下茁壮成长。

工业工程系列教材编委会主任
中国工程院院士



2002年8月

前 言

本书讲述工业工程的原理、方法与应用,可作为工程技术类专业本科生的生产管理课程的教材,也可作为企业培训技术管理干部的教本。全书主要有三个部分。第一部分是生产管理总论,包括工业工程学科的形成和发展,生产力和经济分析,产品和生产方式的决策(第1章~第4章)。第二部分是生产运作管理的原理和方法,包括设施规划和供应链管理,工作研究,质量管理,项目管理,库存管理(第5章~第9章)。第三部分是生产计划管理,包括综合生产计划,主生产计划,物料需求计划,车间作业计划(第10章~第13章)。第14章概略地介绍当前工业工程发展的几个重要方面。

近几年,作者给上海交通大学机械工程系的本科生讲授“工业工程导论”课程。在该系的本科教学中,安排了两门有关管理的课程:一门是“管理学原理”,讲述管理的一般原理;另一门就是“工业工程导论”,这门课主要讲述企业内部的生产和运作管理方法。国内已经出版了几本生产与运作管理的中、英文书籍,内容都很好,各有优点,但篇幅过大。作者为了36学时的教学的需要,曾参考10多本中、英文书籍,编写了讲义和幻灯片,每年根据教学新体会作局部修改,这就是本书的蓝本。

上海汽车工业教育基金会大力推进“工业工程”教育,历年来组织上海汽车工业(集团)总公司内部技术人员在职培训,还委托上海交通大学举办“工业工程”工程硕士班。他们为了推动“工业工程”教育,拨出专款资助教材出版。正是在这种背景下,本书才得以出版。在此特向他们表示衷心的感谢。作者十分感谢上海交通大学出版社的同人,他们对本书的初稿进行了仔细的校正,改正了原稿的一些文字错误。本书引用了有关书籍中许多好的理念和方法,主要参考文献附在书末,除直接引用的数据和插图在文中作了说明外,一般不作特别说明。作者对这些文献的编著者表示感谢。

作者

2002年7月

目 录

第 1 章 工业工程学科形成和发展	1
1.1 工业工程学科形成和发展的四个阶段	3
1.2 工业工程在工业先进国家的应用	7
1.3 工业工程引进我国后的迅速发展	8
1.4 工业工程学科定义和工业工程师的职能范畴	10
1.5 工业工程在我国各类企业应用的前景	13
1.6 管理学的一般原理	16
第 2 章 生产率和竞争力	23
2.1 生产率的含义	25
2.2 提高生产率	26
2.3 生产率与质量	27
2.4 生产率与就业	27
2.5 工业企业的竞争力	28
第 3 章 工程经济学分析方法	31
3.1 会计	33
3.2 成本分析与成本会计	34
3.3 货币的时间值	36
3.4 投资方案分析	37
3.5 投资回收率	38
第 4 章 产品决策和生产方式	41
4.1 产品需求预测	43
4.2 产品决策	47
4.3 产品设计	49
4.4 生产组织形式的选择	52

第 5 章 设施规划与供应链管理	59
5.1 企业选址考虑的因素和步骤	61
5.2 企业选址的定量方法	62
5.3 工厂布置的目标和原则	67
5.4 工厂布置方法	71
5.5 供应链管理	74
第 6 章 工作研究与工作设计	79
6.1 工作研究	81
6.2 动作研究	81
6.3 时间研究	84
6.4 学习曲线	87
6.5 工作设计	88
第 7 章 质量管理	91
7.1 质量的定义与意义	93
7.2 质量管理内容、体系和组织	96
7.3 统计过程控制	101
7.4 质量改进活动及其常用工具	106
7.5 验收抽样检验	111
7.6 顾客满意度	114
7.7 质量管理的国际标准和质量奖	116
第 8 章 项目管理	119
8.1 项目和项目管理的概念	121
8.2 项目生命周期四个阶段的任务	122
8.3 项目组织结构	124
8.4 项目计划的制订	127
8.5 计划的网络图示法	129
8.6 网络计划的修改和优化	134
8.7 项目的控制	137
第 9 章 库存管理	139
9.1 独立需求和相关需求	141

9.2	库存的功能和类型	141
9.3	库存成本	142
9.4	库存管理的 ABC 分析和非成本分析法	142
9.5	经济订货模型	143
9.6	边使用边进货模型	145
9.7	在随机需求下的库存模型	146
第 10 章	综合生产计划	149
10.1	综合生产计划概述	151
10.2	综合生产成本的手工计算	153
10.3	计算综合生产计划的线性规划法	154
第 11 章	主生产计划	159
11.1	主生产计划的功能	161
11.2	主生产计划的对象	162
11.3	主生产计划考虑的生产模式	162
11.4	主生产计划的时变性和相对稳定性	162
11.5	主生产计划毛需求量的计算方法	164
11.6	主生产计划的编制	165
11.7	主生产计划优先级的确定	165
第 12 章	物料需求计划	169
12.1	从 MRP 到 MRP II 再到 ERP	171
12.2	MRP 的基本构成	176
12.3	库存信息	177
12.4	物料清单(BOM)	178
12.5	产品的分解	178
12.6	BOM 的计算	181
12.7	能力需求计划(CRP)	181
第 13 章	车间作业计划	187
13.1	车间作业控制的基本内容	189
13.2	制造装配型生产的车间作业控制一般程序	190
13.3	作业排序	193

第 14 章 当前工业工程的发展	197
14.1 21 世纪制造业面临的新挑战	199
14.2 敏捷制造	200
14.3 虚拟企业	201
14.4 目前已提出的其他制造新模式	203
14.5 支持现代制造系统模式的若干关键技术	205
附录	209
附录 A 正态分布的累计积分表(从 $-\infty$ 到 z)	211
附录 B 英汉专业名词对照表	212
附录 C 英汉人名对照表	219
参考文献	221

第 1 章 工业工程学科形成和发展

工业工程(industrial engineering, IE)学科已有 100 年的发展历史。它起源于泰勒的科学管理理论;“二战”前后,由于运筹学的兴起,使该专业的发展找到了理论基础,应用更为广泛,这时,IE 已发展成为成熟和独立的学科。计算机的普及为 IE 的学科研究和实践提供了量化和精确化的条件;网络技术的完善使 IE 的研究进入了全球化范围。IE 的基本任务是:将一个组织的各种资源集成为系统,并对这样的系统进行规划、设计、实施和改善,使得它能高质量、高效率地运行。本章概述 IE 发展历程、学科定义、学科的基础及学科的基本职能;概述它在发展中国家各个领域内的应用,在我国的初步实践及其在各类组织中应用的前景。关于管理的一般职能,特别是关于在管理中如何考虑人的因素问题,本书没有专门章节讨论,故只在本章最后一节予以简要的介绍。

1.1 工业工程学科形成和发展的四个阶段

工业工程从19世纪末、20世纪初在美国诞生起,已经有100年的发展历史。总结一下它的发展历程,大致可以分为四个时期,现简述如下。

1.1.1 科学管理时期

科学管理时期既是“工业工程”也是“工商管理”的孕育和形成时期。管理的这两个重要学科虽然来自大学的不同系科:“工业工程”(industrial engineering, 简称 IE)来自工学院,“工商管理”(business administration, 简称 BA)来自商学院,但他们诞生于同一母体——泰勒的科学管理。图1.1是美国两个学会发展变化的历程。从图中可以看出,在二战之前,这两个专业的成员来自大学的不同系科,却在同一学会活动,时合时分,一直延续到二战结束,美国各大学普遍成立 IE 系后,IE 才与 BA 分开而各自发展。

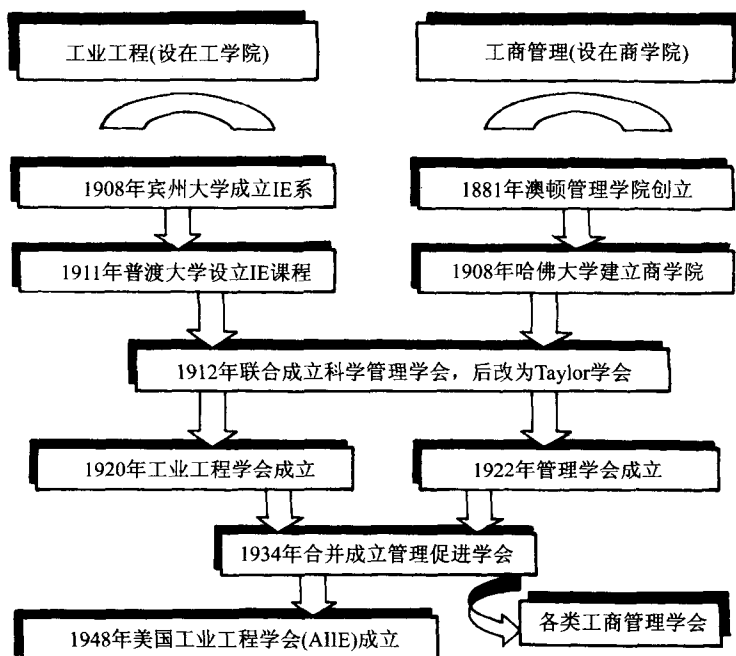


图 1.1 美国工业工程与工商管理的发展历程

科学管理时期的特征是,先驱者们开始有意识地总结人们在生产活动中积累的经验,并把它们标准化,以此指导和训练操作者,使他们能更有效地工作;同时更注意劳动群体的组织、协调和计划。这个时期的代表人物是泰勒(F W

Taylor), 他在 1911 年出版了《科学管理原理》, 该书反映了这一时期具有代表性的理论, 其基本观点可以概括为如下几点:

- (1) 科学管理的核心是提高工作效率;
- (2) 挑选最合适的工人, 按科学的方法训练他们, 让他们掌握科学、合理的“标准的工作方法”, 以此作为制订劳动定额的依据;
- (3) 实行刺激性的工资报酬制度, 激励员工努力工作;
- (4) 应将计划控制职能与执行操作的职能分开。

可以看出, 泰勒科学管理的基本思想是: 训练、计划、管理, 目标是提高劳动生产率。

动作研究和时间研究是这一时期主要的研究活动。吉尔布雷斯(F B Gilbreth)是这一方面的杰出代表。他在泰勒的影响下, 与他的妻子共同开创了动作研究, 把工人的操作细分成许多“动素”, 为动作研究提供了基本方法。1933 年, 美国把 IE 学科的第一位博士学位授予动作研究和时间研究的学者巴恩斯(R M Barnes), 他后来出版的《动作与时间研究》至今仍是这一方面的经典。稍后, 莫根森(A G Mogenson)提出的“工作简化”(work simplification)方法, 进一步发展了动作研究。动作研究和时间研究为车间作业标准化和工时定额的制订奠定了基础, 这对提高工作质量和提高工作效率具有重大意义。虽然动作研究和时间研究被认为是传统工业工程所从事的基本工作内容, 但它仍是现在的 IE 工程师所经常从事的工作。

在这一时期管理理论创建者的代表人物中, 还应该提到的是法国的法约尔(H Fayol), 他提出了 14 条管理原则; 另一位是韦伯(M Weber), 他认为行政组织体系是最理想的组织形态。两位被认为是行政管理理论的创始人。

1.1.2 运筹学时期

在 IE 发展过程中, 一直在寻求理论的支持, 但在二战前, 不管是社会科学还是自然科学(数学)都还没有哪个分支已经成熟到可以支持 IE 的程度。二战期间, 英美两国为了解决战争中物资的调度和充分利用, 曾针对一些具体问题, 组织各个有关领域的专家组成专门小组, 用严格的科学方法建立数学模型, 选择最优的解决方案。最典型的例子, 如伦敦的防空系统的布局, 太平洋海域的布雷。另一方面, 在经济领域, 由于电话和通信事业的发展, 开始并推进了排队论的研究; 为了解决经济冲突和协调问题, 推进了对策论的研究; 经济的发展促进了宏观经济优化和控制模型的研究, 等等。战后这类研究更加活跃, 无论在理论还是实践的研究上都取得了突破性的进展。这些数学方法包括线性规划、整数规划、排队论、存储论、对策论、资源分配、运输问题和网络理论等。这些数学方法具有一定的共性, 即用搜索或其他的方法寻求实际问题的最优(或满意)解。人们把

这些数学方法统称为“运筹学”(operations research, OR)。运筹学一诞生就为IE研究人员所注意并加以应用。从此,IE中的许多问题(如存储管理、物料的调配和运输、工厂选址、设施规划、项目管理等)有了定量分析的数学工具。从理论上说,不管是工业企业还是银行、医院、学校的管理,有了运筹学这一数学工具,就可以进行建模和分析了。实际上,运筹学可以用来确认、规定和描述各种类型的系统,它是一种抽象的、通用的建模和分析工具,为设计更新、更复杂的系统提供了理论基础。至此,IE分析研究进入了量化的阶段。

运筹学的产生和发展是与大型系统的规划和优化相关联的,如战争中的物资调度和规划,煤炭和港口运输的规划,关系国计民生的水、电、气、煤等公共事业的规划等。随着资本主义国家私有化进程的加速,生产中的反政府控制、反计划倾向日益增长;复杂多变的市场使得预测和计划愈来愈显得无力,管理更倾向于扁平化结构,控制方式已逐步从集中转向基层;新的管理理论,如学习型组织、虚拟企业、核心竞争力等不断出现并在实践中取得成效,这使得运筹学应用的比例和地位逐年下降。另一方面,后来的运筹学研究也存在只重视模型和算法的精巧性,忽视实际管理问题的复杂性等倾向,因此,进入20世纪90年代,运筹学研究和应用出现衰退。许多运筹学工作者经过反思,认为企业中有大量问题需要利用运筹手段解决,只要运筹学工作者走向实际,开拓新的应用领域,在生产、经营和解决社会问题等方面仍大有可为。特别在我国,经济处在高速发展阶段,经济的规划和宏观控制更显得重要,因此,运筹学是十分有用的工具。近年来,在许多理论和实际工作者的努力下,运筹学发展得更为柔性,可以融入决策者的偏好和判断,因而解决的管理类问题就更多。

在讨论IE分析研究的量化问题时,应特别提到美国贝尔实验室休哈特(W Shewhart)的统计质量控制。他在1931年出版的《制造工业产品质量的经济控制》一书,就提出了用抽样检验原理对产品的质量进行控制的方法,但一直到二战前后才引起了广泛的注意,并导致了整个制造业的质量管理普遍而广泛地开展。在这一时期,概率论和数理统计方法也在IE研究中得到了应用。

战后,随着生产的飞速发展和学科理论基础的确立,工业工程得到了迅速的发展,1948年美国工业工程学会(AIIE)正式成立,紧接着在11所大学成立了分会。1949年6月,AIIE的会刊《工业工程杂志》出版(后来,1969年,该刊分成两种杂志:一种是《工业工程》月刊,主要刊登工业工程实践经验的文章;另一种是《美国工业工程学会学报》,主要刊登该专业的研究性学术论文)。至此,IE学科已经发展成熟。在美国,通常把工业工程与机械工程、电气工程、土木工程、化学工程并列为五大工程。

1.1.3 定量和精细化时期

运筹学的诞生为 IE 学科的发展奠定了理论基础。从理论上说,任何系统的规划问题都可以用运筹学方法进行建模和分析。但是,由于用手工解运筹学问题,计算量太大,以至于对实际问题,运筹学无能为力。20 世纪的 60 年代、70 年代数字计算机开始逐步普及,这为利用运筹学解决实际管理问题提供了现实可能的条件。有人举了这样的例子:假设有 70 条船向 70 个港口运货,要制订一个运输费用最低的方案,如果用枚举法计算,计算方案有 $70! \geq 10^{100}$ 个,这样的问题不要说用人工求解,就是用当今最高速的计算机求解也是不可想象的;但是,借助计算机用线性规划的单纯形法求解,只需几秒钟时间。这说明,运筹学与计算机的结合具有巨大的威力。目前,已经有一些运筹学软件(包括微软的 Excel)可供各种实际问题使用,效率比较高,这为 IE 问题求解的定量化和精细化提供了有力的工具。

在管理定量化和精细化方面,要提到的还有计划管理方面。从 20 世纪 60 年代开始,在美国企业中实施的物料需求计划(MRP),发展到现在的制造资源计划(MRP II)和企业资源计划(ERP),企业的计划工作的数量化和精细化方面已有了质的飞跃。像汽车、计算机、航天器这样的产品,其组成零部件数多到几万、几十万甚至上百万,采用人工编制包括原材料、零部件的采购、制造,以及机器装配的生产计划,需要几个月甚至更长的时间;而在市场信息千变万化的今天,生产计划的变动期已经缩短到周甚至到天。为了满足市场的需求,国际上的知名软件厂商开发了多种运行质量可靠的 MRP II 和 ERP 软件,为现代企业生产计划的数量化和精细化提供了有力的工具。

如前所述,由于经济的全球化发展,市场瞬息万变,计划和预测变得软弱无力,管理的精确化也遇到了空前的挑战。

1.1.4 经济全球化和网络化时期

20 世纪 90 年代以来,经济进入了全球化时代。全球化经济包括全球化制造、全球化市场和全球化服务。由于信息和网络技术的飞跃发展,地域之间的距离只存在于实物的运输方面。经济发达国家可以方便地将他们的技术和管理转移到国外,充分利用发展中国家的廉价劳动力和原料,在国外设厂生产,然后将产品就地或就近销售。有的则利用全球不同地区的不同优势,生产不同的部件,再送到第三地装配。这就是全球化制造。这对我国也不失为一种机遇。全球化制造迫使制造企业把注意力转向企业外部,因为这时企业仅依靠过去的单层和单纯的采购和销售网络已经不够了,供应商和客户都是多层的,而且制造商与多层供应商和客户只有建立了利益共享、信息共享、风险共担的合作关系,才能取