普通高等教育规划教材

工业工程专业

工业工程导论

Introduction to Industrial Engineering

罗振璧　朱立强　编著

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育规划教材　工业工程专业

工业工程导论

罗振璧　朱立强　编著
朱耀祥　主审

机械工业出版社

本书是以 G.Salvendy 为首的工业工程专家与教授组成的教材编审委员会组织编写的工业工程专业系列教材之一，采用了 2001 年第 3 版《工业工程手册》提出的现代工业工程最新的理论框架，结合中国的实际情况，综合利用作者 10 年来教学实践和科研成果编写而成。本书在引入创造和发挥组织“全潜力/全潜能”概念和目标的基础上，系统地介绍了工业工程基础、业绩改进的管理、管理规划与控制、制造战略等内容。本书可作为工业工程专业本科生、研究生教材，也可供工程技术人员和各级管理人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

工业工程导论/罗振璧，朱立强编著．—北京：机械工业出版社，2003.7

普通高等教育规划教材　工业工程专业

ISBN 7-111-12337-9

Ⅰ.工…　Ⅱ.①罗…②朱…　Ⅲ.工业工程-高等学校-教材　Ⅳ.F402

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 044919 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）

策划编辑：曹俊玲

责任编辑：张敬柱　版式设计：张世琴　责任校对：魏俊云

责任印制：路　琳

高等教育出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 6 月第 1 版·第 2 次印刷

1000mm×1400mm B5·11 印张·409 千字

定价：27.00 元

普通高等教育工业工程专业
教材编审委员会

主任委员：

Gavriel Salvendy 博士，Purdue 大学工业工程学院教授，清华大学工业工程系主任，美国国家工程科学院院士，国际著名人因学与人类工程学（工效学）专家，中国科学院荣誉博士，1991 年荣获俄罗斯科学院罗曼诺索夫奖章。

副主任委员：

Way Kuo 博士，美国 Texas A&T 大学工业工程系教授、系主任，美国国家工程科学院院士（an elected member of the National Academy of Engineering），可靠性工程专家，Wisenbaker 工程革新主席，Texas A&T 大学系统工程学院副院长，国际质量科学院（IAQ）科学家，IIE、IEEE 与美国质量学会（ASQ）高级会员（Fellow）。

K.L.Mak 博士，香港大学工业与制造系统工程系主任、教授，主要从事生产与运作管理、制造系统设计与控制、产品开发和物流工程与供应链管理等方面的研究，有多年在英国与香港企业工作的经历。

R.H.Hollier 博士，曼彻斯特科学技术大学管理学院教授，服务于 IProdE 委员会与 IEE 出版委员会，物流工程专家，国际运作与生产管理杂志主编。

委员（按姓氏笔画排序）：

王恩亮　王仁康　孙义敏　伍乃骐　许卓年　朱立强　朱耀祥
李泰国　吴清一　吴爱华　杨伟恒　张　宇　张书桥　罗　平
罗振璧　林益耀　郑壮利　胡宗武　顾培亮　莫汝虎　唐伟国
梅绍祖　颜秉常

前　言

工业工程一百年的发展史是一部推动制造创新、企业进步、国家经济发展和国力增强的历史。她孕育于15世纪以来工业革命的环境，产生于工业化高潮中的美国，已经成为对所有的工程师和经理们有价值的一门主要的工程与管理学科，可以有效地利用它提高生产率、工作与服务质量，改善工作环境，为提高我们的生活标准作出贡献。新世纪之初，当许多人正在思考或猜测21世纪的工业工程是什么样的时候，G.Salvendy教授主编的《工业工程手册》第3版为我们提供了答案，即："把工业工程的工作重心扩展到包括信息时代和全球经济要求的领域。工业工程可以利用扩展的工具箱帮助公司成功地抓住比过去更大的商机"。今天，可以把工业工程理解为，关于创造和发挥各类组织全潜力/全潜能的系统设计与运作优化综合工程学。正如20世纪50年代美国工业工程与质量管理专家J.M.Juran讲的那样："美国在世界上值得夸耀的东西就是工业工程。美国有打赢一战、二战的力量，就是因为美国有工业工程。"中国的工业工程也将成为推动中华民族伟大复兴的重要工程学科，它必将为"全面建设小康社会"的奋斗目标作出自己的贡献。企业和各类组织，特别是大型复杂企业与组织，可以从工业工程中找到应对新历史时期各种挑战的启示、目标与定位、战略，以及实现组织目标的规划、设计、实施、测评与管理的方法与工具。

由于多种历史原因中国的工业工程专业到20世纪90年代才完成重建。10年来，我们为清华大学工业工程专业的工学硕士、工程硕士、高年级本科生与其他各专业攻读二学位的本科生与进修的研究生开设了工业工程导论/概论课程，深受欢迎。许多学生学习本

课程后都反映“打开了眼界，扩展了解决问题的思路和方法”，有的学生凭着从本课程中学到的知识、原理和基本的方法与工具在生产实习中帮助工厂搞管理与技术革新，破例地获得了工厂的表彰和奖励。有的学生边学习本课程、边运用工业工程知识为企业进行市场需求分析和市场定位研究。一些在职的管理人员、技术人员经过工业工程的学习，已经成为本行业的新一代工业工程专家或领导人员，在多个领域发挥了重要的作用。这些示例说明，中国众多的民族企业、公司与各类组织迫切需要现代工业工程，工业工程应该在中国这片古老文明的大地上生根、开花和结果。

根据中国工业化和现代工业工程发展的要求，在机械工业出版社的鼎立支持下，本书得以公开出版面世。根据G. Salvendy教授的建议，本书全面地刷新了课程体系，采用了第3版《工业工程手册》提出的现代工业工程最新理论框架，结合中国的实际，综合利用我们十年来教学与科学研究成果和资料编写而成。本书的重点在于如何帮助工业工程专业的学生，及其他有志于学习与运用工业工程的各专业学生、各领域的工程师和管理人员尽快适应经济全球化和信息技术快速发展的要求。本书编写的主要目标是：①建立完整的现代工业工程概念，掌握工业工程的基础理论与基本原理，树立工业工程意识；②掌握工业工程的基础知识、基本方法和基本工具；③为工业工程概论或工业工程导论课程的教学提供基本教学内容，为学生进一步学习其他工业工程课程与拓展工业工程知识提供必要的基础知识、理论、方法和工具。

本书可作为工业工程专业高年级本科生、研究生教材，也可供相关专业高年级本科生、研究生、各类在职工程技术人员和各级管理人员学习使用。作为一门专业基础课程应该通过教学方法的改进，采取灵活多样的教学方式使学生能主动参与教学过程，提高学习质量和学习效果。根据我们的经验，利用课堂试验（Simulation）、课外调查或专题研究活动配合课堂教学，可以收到良好的教学效果。例如：利用课堂试验可以帮助学生深刻地理解搜集信息的重要性与困难，理解拉式与推式生产方式的本质；通过社会调查可以帮助学生掌握调查问卷的设计等。

本书由清华大学工业工程系罗振璧教授和香港工业工程师学会

原会长、香港大学工业与制造系统工程系朱立强博士合作编著。本书承朱耀祥教授精心审定，并经他本人同意选用了他撰写的“设施规划与物料搬运”一章。有关本书的不足、错误和不妥之处欢迎批评指正！

在此，谨对朱耀祥教授、莫汝虎会长、杨伟恒博士和孙义敏教授的大力支持和帮助表示衷心的感谢！对家人的支持、理解和协助表示谢意！

本书所涉及的研究成果得到国家863项目（编号：2001AA412160）、国家自然科学基金重点项目（批准号：59735100）、清华大学21世纪研究院重大软课题《中国制造》等项目的资助和香港工业工程师学会IIE（HK）的大力支持，谨在此一并表示真诚的谢意！

编 者

目　　录

第一篇

工业工程基础

第一章

工业工程概论

工业工程，英文原文为 Industrial Engineering，缩写为 IE。作为一门学科，它起源于 20 世纪初的美国，是由美国工程师 F.W.Taylor 及其同时代的一批志同道合的工程师一起创立的。他们大多是机械制造或建筑部门的一线技术人员。以 Taylor 为代表的这些工业工程先驱们在当时的制造模式（大量生产）下，以企业系统内部运作活动科学化为宗旨，改进与创新了运作系统和作业，创造了一批至今仍在运用的工业工程方法与模型。这些方法与模型首先在机械制造、冶金与建筑行业推广和应用。1927 年由 AT&T 公司开始把工业工程引入电气行业，以后又向其他产业部门、政府与各类组织拓展，逐步形成了包括制造企业/公司的所有各类组织的系统设计与优化运作的科学，并成为与机械工程、建筑工程、电气工程和化学工程齐名的美国五大工程之一（见图 1－1）。

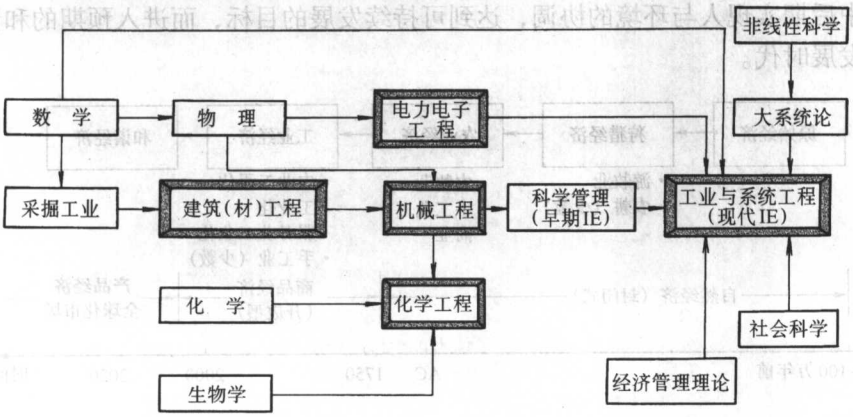

图 1－1 美国的五大工程学科

工业工程历经一个世纪的发展，在今天已经成为渗透各门工程学科和管理学科的一门主要的工程与管理学科。它对所有的工程师和管理人员都是有价值的，无论他们从事盈利还是非盈利领域的工作。

第一节 产业的发展及有关概念

一、产业的发展

物质资料的生产是人类赖以生存和发展的客观基础条件。生产与生活资料制造的历史可以追溯到新石器时代。生产工具的制造是人类文明的标志。人类生产的产业发展状况如图 1－2 所示。面对五光十色、眼花缭乱的今天和明天，永远不要忘记，社会要生存，就要消耗物质资料。所以，物质资料的生产行业——农业、工业以及服务业都是为社会生存与发展服务的。从图 1－2 可知，人类的生产可能始于 50～100 万年前。在历经原始经济、狩猎经济和农业经济后，从 1750 年第一次工业革命后出现了以开放式商品经济为特征的工业经济。经过 250 余年的发展，先进国家完成了工业化而进入后工业社会。200 多年的发展把人类的经济、科学技术、生产和文明水平提高到空前高度。但是，工业化给世界带来了“三高（高物耗、高能耗与高污染）”的后遗症，人们渴望消除“三高”影响，探索人与环境协调、可持续发展的发展道路。这种渴望与追求可以从二次世界大战前后世界经济不同发展阶段的特点看出，如表 1－1 所示。表 1－1 说明，从二战前后的数量经济阶段，经过 20 世纪 60～80 年代的质量阶段进入多样化经济时代。当前它的主要特征是经济全球化和信息技术（含：计算机技术、通信技术和基于微电子学的传感技术）的飞速发展，强有力地推动了各国经济、市场、科技、制造的发展。人们的渴望和追求在 21 世纪中后期实现人与环境的协调，达到可持续发展的目标，而进入预期的和谐经济发展时代。

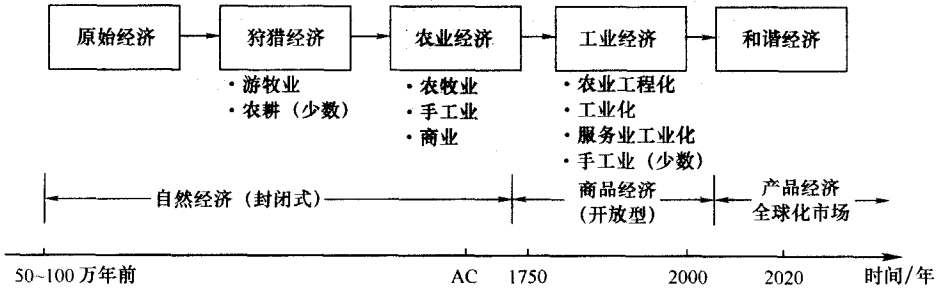

图 1－2 产业的发展

表 1－1　二战后世界经济发展的不同阶段

发展阶段	数量时代（二战前后）	质量时代（1960～1980 年）	多样化时代（1980～2000 年）	和谐时代（21 世纪初开始）
驱动力	计划/市场驱动			顾客驱动/TSS
市场需求与顾客期望	是否买得起，追求价格低	是否愿买，追求质量好	追求是否及时买到多样化的商品	个性化。通过网络把生产者与消费者联系起来，消费者参与产品设计、制造装配过程，逐步形成生产者与消费者间的融合关系
价值取向、目标战略、策略	●以数量求价值 ●规模经济型 ●降低单件成本 ●环境服从生产 ●尽快发展解决温饱与短缺问题	●以质量求价值 ●速度型经济 ●关心环境，减少污染 ●提高舒适性与满足感 ●生产与发展并重，争取富裕水平	●以方便、快速反应的一体化协作求价值 ●便宜快捷经济 ●恢复生态环境，创造好的生活环境 ●提高舒适性，关心可持续发展	●以顾客的个别需求与品味满足为目标的订货化取代大量生产单一品种，实施多品种变批量制造 ●适应、利用和改变需求变化与合理制造 ●产业间协调和谐地发展 ●虚拟商场，中间商消失，生产者与消费者直接联系 ●是可持续发展的绿色制造
管理和组织	机械自动化流水线生产方式 ●等级（层次）式生产方式组织管理 ●体力劳动型劳动者为主	基于 NC 的程序控制自动化 ●班组式塔形组织管理 ●注意提高质量与市场反馈 ●按 JIT（丰田）方式或 LP（精良生产）方式运行	●由 JIT 与 LP 向灵捷制造过渡 ●网络管理，Team 组织形式 ●注意多样化与及时供货	●模块化组合式的高级灵捷制造方式，如 RMS 与 NGM ●国际/全球化网络、可快速聚散的动态联盟组织，网络资源配置与合作，采取 TOC 与 DBD 管理 ●脑力劳动型劳动者为主，企业成为扁平式少层次组织，互联或内部网络，以知识和创新为核心的高附加价值产品生产与服务
人力资源管理与要求	●分解技术，细化分工，加强控制 ●较低素质的人力 ●人劳动的强化，侧重某一方面	●大量裁员 ●职业培训，提高素质 ●组织重新就业	●技术与管理创新 ●高素质人才 ●组织创新，强化培训与继续教育	●在新技术发展和网络的迅速扩展冲击下，使人的生活环境与内容彻底改变 ●要求提高素质，通过培训培养多面手，终身教育 ●强调“以人为中心”和知识的管理

纵观从第一次工业革命至今250余年的历史和对未来制造的预测说明：制造始终是创造社会财富的最基本手段；是国家经济运转的强大支柱；是增强国家综合实力和防务能力及提高人民物质文化生活水平的保证；“一个国家要生活得好，必须生产得好”（美国国家研究委员会NRC；1998，美国先进制造通报；1997，（日）人见胜人教授；1996，美国麻省理工学院工业生产率委员会；1986，以及［1］与［3～5］）。因此，为了中华民族的伟大复兴，我国必须发展制造业，特别是先进的制造业，把我国建成世界制造工厂”。

制造，作为一个广义的术语，是指创造、开发、支持和提供产品与服务所要求的过程和组织实体。作为产业，制造业经常是指：钢铁、化工、汽车、半导体与计算机及超级电子产品（或称信息技术产品）、民用飞机、家电、纺织与服装、食品、饮料、烟草、机床与运输设备等工业部门，是国家第二产业的主体。现代制造还包括：软件、生物技术和某些农业综合企业等。换言之，制造的概念在今天已经极大地扩展了，它仍然是现代工业工程研究和应用的重要领域。工业工程之所以重视在制造领域的研究和应用，这是因为：

（1）它是工业工程孕育与发展的源泉。在20世纪以制造业为中心的工业化进程中，工业工程起着独特和不可替代的作用。在今天与明天制造业依然是工业工程研究和发挥作用的“传统领地”。

（2）制造业是世界最大的产品市场，因而它也是世界许多实业公司的竞争场所。为了夺取竞争的胜利，很多公司处在应用新技术创造与开发新产品市场、提高劳动生产率和企业业绩的前沿。他们的革新和创造经常是前沿的先进产品、制造系统和商务运作实践的反映，当然也可能是某种应对挑战的战略与策略的实践。这些实践无论是成功还是失败都是研究现代市场变化和竞争的重要案例和可以借鉴的实践经验。因此，工业工程对制造业的研究结果可以上升为指导工业和经济发展的规律性认识，可以引导工业和经济战胜困难不断前进。1988年美国里海大学工业工程系与通用汽车公司合作研究开发的灵捷制造（Agile Manufacturing）战略，成为引导美国经济摆脱困境走上连续八年经济发展的战略因素，就是现代工业工程通过制造业的研究推动传统制造业的振兴，使国家经济复苏与发展的典型事例。正是由于工业工程首先抓住了制造战略转变这一关键[6]，推动了相关学科对战略和决策的研究和应用，所以，现代制造业与经济发展都离不开工业工程的推动。

（3）科学、技术和制造是发展国家经济的三大必保主题。

（4）制造业对国家经济的直接贡献率是国家工业化的标志。例如：从1953年到2000年我国制造业在国内生产总值（GDP）中的比重从13.07%发展到35.6%～37.6%，它标志着我国工业化程度已经达到中等水平。在后工业时代，制造业在GDP中的比重将因服务业的发展而下降。即使如此，制造

业仍将是一个重要的行业。例如：最发达的美国至今制造业对 GDP 的贡献率仍维持在 20%左右，是不可忽视的行业。更重要的是，许多服务企业或公司的商务活动必须依赖制造公司提供的产品和服务。所以，美国在 20 世纪 20～30 年代和 70～80 年的两次经济困境都能通过制造业的发展而摆脱。由此可见，制造业对国家经济的特殊作用。

综上所述，无论是传统的工业工程还是现代的工业工程，都以制造业，特别是制造业的创新为己任。工业工程 100 年的发展历史证明，工业工程学最核心的特征是：坚持“科学化”和为国家经济发展与企业的革新服务，不断地将社会的需求同经济、技术和管理融合、匹配与集成，不断革新自身，忠实地为企业的业绩创新或改进服务。

二、企业与管理的概念

一般讲，企业是经济的组织，特别是商务的组织和活动的单位。换言之，它是为社会提供某些满足顾客需求和期望的产品与/或服务而组织起来，进行系统的工业或商务活动的有组织的经济单位。但是，由于每个企业都是一个复杂、有生命力和连续变化的“社会—技术”系统，所以是难以简单定义的。经常有人试图用组织结构和占据关键地位的行政主管人员定义企业，但这类定义只描述了企业的局部图像。因此，为了解企业的概念应该从以下五方面进行描述：

（一）企业是一个复杂而有生命的系统

企业是一个复杂的运作系统，作为一个整体，它有许多交互作用的职能和功能。一个企业组织系统的组织结构包括：它所赖以生存的经济与社会环境，所面对的顾客，设定的目标、战略和为实现该目标同其他企业或组织的合作关系和沟通，根据企业目标设定的战略和为识别顾客需求与期望的要求而设计的流程（Process），以及采购与获取保证企业运作达到使顾客满意的资源。因此，要定义一个企业就必须定义其内部的运作系统。

同时，企业是一个有生命、连续变化、“今天和昨天不一样”的大系统，具有时变的动态特征。一个企业的成功取决于其与内、外部的交互作用和沟通联系，即：企业组织、内部流程与运作间的耦合及与外部经济代理人或事（Agents）和其他盈利与非盈利组织间的耦合交互。

（二）全球商务环境的影响

近些年，经济全球化趋势迅速地改变了企业的经济与社会环境，信息技术的快速发展建立的通信优势铺平了企业进行全球高效运作的道路，运输配送业（又称物流业）的发展为企业实施全球运作提供了有力的支持，使企业可以通过公司并购、跨国投资、联盟和研发与生产能力转移等方式向全球扩展。这些正是我国建立世界工厂可以利用的有利条件和基础。