



姚福生 郭重庆 吴锡英 刘培权 编著

先进制造技术



清华大学出版社



暨南大学出版社

(京)新登字 158 号

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/姚福生等编著. —北京:清华大学出版社;广州:暨南大学出版社,2002

(院士科普书系/路甬祥主编)

ISBN 7-302-05324-3

I. 先… II. 姚… III. 机械制造工艺-普及读物 IV. TH16-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 013535 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

暨南大学出版社(广州天河,邮编 510630)

<http://www.jnu.edu.cn>

责任编辑: 宋成斌

印 刷 者: 北京鑫丰华彩印有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 850×1168 1/32 印张: 7 字数: 134 千字

版 次: 2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-05324-3/G·258

印 数: 0001~5000

定 价: 15.00 元

《院士科普书系》编委会(第二届)

编委会名誉主任 周光召 宋 健 朱光亚

编委会主任 路甬祥

编委会委员 (两院各学部主任、副主任)

陈佳洱	杨 乐	闵乃本	陈建生	周 恒
王佛松	白春礼	刘元方	朱道本	何鸣元
梁栋材	卢永根	陈可冀	匡廷云	朱作言
孙 枢	安芷生	李廷栋	汪品先	陈 顼
王大中	戴汝为	周炳琨	刘广均	杨叔子
钟万勰	关 桥	吴有生	刘大响	顾国彪
陆建勋	龚惠兴	吴 澄	李大东	汪旭光
陆钟武	王思敬	朱建士	郑健超	胡见义
陈厚群	陈肇元	崔俊芝	张锦秋	刘鸿亮
方智远	旭日干	周国泰	王正国	赵 铠
钟南山	桑国卫			

编委会执行委员 郭传杰 常 平 钱文藻 罗荣兴

编委会办公室主任 罗荣兴(科学时报社)

副主任 周先路(中国科学院学部联合办公室)

白玉良(中国工程院学部工作部)

蔡鸿程(清华大学出版社)

周继武(暨南大学出版社)

总 策 划 罗荣兴 周继武 蔡鸿程

总 责 任 编 辑 周继武 蔡鸿程 宋成斌

提高全民族的科学素质

——序《院士科普书系》

人类走到了又一个千年之交。

人类的文明进程至少已有 6000 余年。地球上各个民族共同创造了人类文明的灿烂之花。中华文明同古埃及文明、古巴比伦文明、古印度文明、古希腊文明等一起,是人类文明的发源地。

15 世纪之前,以中华文明为代表的东方文明曾遥遥领先于当时的西方文明。从汉代到明代初期,中国的科学技术在世界上一直领先长达 14 个世纪以上。在那个时期,影响世界文明进程的重要发明中,相当部分是中华民族的贡献。

后来,中国逐渐落后了。中国为什么落后?近代从林则徐以来许多志士仁人就不断提出和思索这个历史课题。但都没有找到正确的答案。以毛泽东同志、邓小平同志为代表的中国共产党人作出了唯一正确的回答:中国落后,是由于生产力的落后和社会政治的腐朽。西方列强对中国的欺凌,更加剧了中国经济的落后和国家的衰败。而落后就要挨打。所以要进行革命,通过革命从根本上改变旧的生产关系和政

治上层建筑,为解放和发展生产力开辟道路。于是,就有了 80 多年前孙中山先生领导的辛亥革命,就有了 50 年前我们党领导的新民主主义革命的胜利,以及随后进行的社会主义革命的成功。无论是革命还是我们正在进行的社会主义改革,都是为了解放和发展生产力。

邓小平同志提出的“科学技术是第一生产力”的著名论断,使我们对科学技术在经济和社会发展中的地位与作用的认识,有了新的飞跃。我们应该运用这一真理性的认识,深刻总结以往科学技术发展的历史经验,把我国科技事业更好地推向前进。中国古代科技有过辉煌的成果,但也有不足,主要是没有形成实验科学传统和完整的学科体系,科学技术没有取得应有的社会地位,更缺乏通过科技促进社会生产力发展的动力和机制。为什么近代科学技术首先在文艺复兴后的欧洲出现,而未能在中国出现,这可能是原因之一吧。而且,我国历史上虽然有着伟大而丰富的文明成果和优良的文化传统,但相对说来,全社会的科学精神不足也是一个缺陷。鉴往开来,继承以往的优秀文化,弥补历史的不足,是当代中国人的社会责任。

在新的世纪中,中华民族将实现伟大的复兴。在一个占世界人口五分之一的發展中大國里,再用 50 年的时间基本实现现代化,这又是一项惊天动地的伟业。为实现这个光辉

的目标,我们应该充分发挥社会主义制度的优越性,坚持不懈地实施科教兴国战略。

科教兴国,全社会都要参与,科学家和教育家更应奋勇当先,在全社会带头弘扬科学精神,传播科学思想,倡导科学方法,普及科学知识。科教兴国也要抓好基本建设。编辑出版高质量的科普图书,就是一项基本建设,对于提高全民族的科学素质,是很有意义的。在《院士科普书系》出版之际,写了上面这些话,是为序。

A handwritten signature in black ink, reading '江泽民' (Jiang Zemin), written in a cursive style.

1999 年 12 月 23 日

人民交给的课题

——写在《院士科普书系》出版之际

世界正在发生深刻的变化。这一变化是 20 世纪以来科学技术革命不断深入的必然结果。从马克思主义的观点看来,生产力的发展是人类社会发展与文明进步的根本动力;而“科学技术是第一生产力”,因此,科学技术是推动社会发展与文明进步的革命性力量。从生产力发展的阶段看,人类走过了农业经济时代、工业经济时代,正在进入知识经济时代。

知识经济时代,知识取代土地或资本成为生产力构成的第一要素。知识不同于土地或资本,不仅仅是一种物质的形态,知识同时还是一种精神的形态。知识,首先是科学技术知识,将不仅渗透到生产过程、流通过程等经济领域,同时还将渗透到政治、法律、外交、军事、教育、文化和社会生活等一切领域。可以说,在新的历史时期,一个国家、一个民族能否掌握当代最先进的科技知识以及这些科技知识在国民中普及的程度将决定其国力的强弱与社会文明程度的高低。科技创新与科普工作是关系到一个国家、一个民族兴衰的

大事。

对于我们科技工作者来说,我们的工作应当包含两个方面:发展科技与普及科技;或者说应当贯穿于知识的生产、传播及应用的全过程。我们所说的科普工作,不仅是普及科学知识,更应包括普及科学精神和科学方法。

我们的党和政府历来都十分重视科普工作。党的十五大更是把树立科学精神、掌握科学方法、普及科技知识作为实施科教兴国战略和社会主义文化建设的一项重要任务提到了全党、全国人民和全体科学工作者的面前。

正是在这样的背景下,1998年春由科学时报社(当时叫“中国科学报社”)提出创意,暨南大学出版社和清华大学出版社积极筹划,会同中国科学院学部联合办公室和中国工程院学部工作部,共同发起《院士科普书系》这一重大科普工程。

1998年6月,中国科学院与中国工程院“两院”院士大会改选各学部领导班子,《院士科普书系》编委会正式成立,各学部主任均为编委会委员。编委会办公室在广泛征求意见的基础上拟出150个“提议书目”,在“两院”院士大会上向1000多名院士发出题为《请科学家为21世纪写科普书》的“约稿信”,得到了院士们的热烈响应。在此后的半年多时间里,有176名院士同编委会办公室和出版社签订了175本书的写作出版协议,开始了《院士科普书系》艰辛的创作过程。

《院士科普书系》的定位是结合当代学科前沿和我国经济建设与社会发展的热点问题,普及科技知识、科学方法。科学性、知识性、实用性和趣味性是编写的总要求。

编写科普书对我国大多数院士来说是一个新课题。他们惯于撰写学术论文。如何把专业的知识和方法写成生动、有趣、有文采的科普读物,于科技知识中融入人文教育,不是一件容易的事。不少院士反映:写科普书比写学术专著还难。但院士们还是以感人的精神完成自己的书稿。在此过程中,科学时报社和中国科学院学部联合办公室、中国工程院学部工作部以及清华大学出版社、暨南大学出版社也付出了辛勤的劳动。

《院士科普书系》首辑终于出版了。这是人民交给科学家课题,科学家向人民交出答卷。江泽民总书记专门为《院士科普书系》撰写了序言,指出科普是科教兴国的基础工程,勉励科学家、教育家“在全社会带头弘扬科学精神,传播科学思想,倡导科学方法,普及科学知识”,充分表达了党的第三代领导集体对科普的重视,对提高全民族科技素质的殷殷期望。

《院士科普书系》将采取滚动出版的模式。一方面随着院士们的创作进程,成熟一批出版一批;另一方面随着科学技术的进步和创新,不断有新的题材由新的院士作者撰写。因此,《院士科普书系》将是一个长期的、系统的科普工程。

这一庞大的工程,不但需要院士们积极投入,还需要各界人士和广大读者的支持——对我们的选题和内容提出修订、完善的建议,帮助我们不断提高《院士科普书系》的水平与质量,使之成为国民科技素质教育的系统而经典的读本。在科学家群体撰写科普书方面,我们也要以此为起点为开端,参与国际竞争与合作,勇攀世界科普创作的高峰。

中国科学院院长
《院士科普书系》编委会主任

路甬祥

2000年1月8日

本书前言

“先进制造技术”一词是舶来品，源于美国。美国制造业在第二次世界大战及稍后时期，在当时的国际环境背景下得到了空前的发展，并形成了一支强大的研究开发力量，成为当时世界制造业的霸主。战后国际环境发生了很大的变化，军事对峙和显示实力刺激制造业发展的背景减弱了。与此同时，美国仍长期受杜鲁门总统科学顾问、麻省理工学院(MIT)校长布什(Bush)观点的影响。布什认为：“科学——没有止境的前沿”，主张国力取决于科学的发展，强调基础科学研究的重要性，忽视制造技术的发展。至20世纪70年代，随着日、德经济的恢复，美国制造业遇到了强有力的挑战，汽车业、家用电器业、机床业、半导体业、应用电子业、钢铁业的霸主地位相继逊位，连奉为至宝的航天、航空业也遇到了强有力的竞争，出口产品的竞争力大大落后于日、德，对外贸易逆差与日俱增，美国经济滞胀，发展缓慢。而日本在过去几十年内不断主动地采用制造新技术，已使其成为制造业公认的世界领袖。

20世纪80年代初，美国一批有识之士相继发表言论，如麻省理工学院一批学者集体撰文《夺回生产优势——美国制造业的衰退及对策》，反思了制造技术同国民经济、技术与国力的至关重要的相互依赖关系，强调了制造技术的重要性。

在此背景下克林顿政府上台后,相继提出了两个颇有号召力的口号(“为了美国的利益发展技术”和“技术是经济的发动机”),强调了具有明确的社会经济目标的关键技术的重要性,制定了国家关键技术计划,并对其技术政策作了重大调整。先进制造技术也就是在这样一个社会经济背景下出台了。由此,近年美国经济很快扭转了颓势,美国重新成为世界上最具竞争力的国家。

回顾这段历史性的转变,不能不归功于制造技术的作用和对企业经营管理的重视,在此背景下产生了“轿车 2mm 工程”。麻省理工学院在深入总结日本汽车工业经验基础上发表了《改变了世界的机器》的著名研究报告,并提出了以改革生产管理为中心的精益生产(LP)模式,这些都是美国重新重视制造技术和企业管理的有力例证。

先进制造技术至今还没有一个严格的定义,但却是国际上形成广泛共识的一个概念和已被公认的一个技术术语。这一广泛共识是:传统制造技术不断地汲取计算机、信息、自动化、新材料和现代系统管理技术,并将其综合应用于产品的研究与开发、设计、生产、管理和市场开拓、售后服务,从而取得显著社会经济效益的综合技术,统称为先进制造技术。

先进制造技术的范畴一般包括以下四个部分:

- ① 现代设计技术;
- ② 先进制造工艺技术;
- ③ 制造系统综合自动化技术;
- ④ 现代生产经营和管理技术。

先进制造技术的特征在于:

① 先进制造技术不是一项具体的技术,而是一项综合系统的技术;

② 先进制造技术的先进性是建立在不断地汲取其他相关领域新技术的基础上的,是动态的、相对的;

③ 创新是先进制造技术的灵魂,并贯穿于制造全过程(产品创新、生产工艺过程创新、生产手段创新、管理创新、组织创新及市场创新);

④ 技术与管理的结合是先进制造技术的一个突破,新的制造模式的层出不穷是人类生产活动的一大进步;

⑤ 市场和工业界的需求是先进制造技术的出发点与归宿,是先进制造技术的动力和目标。先进制造技术成果的成敗取决于市场检验,企业是先进制造技术的创新主体。

制造业是我国国民经济的支柱产业,其增加值约占我国国内生产总值(GDP)的40%。振兴制造业是启动我国经济新高潮的杠杆,日本和美国的成功经验可资借鉴,而先进制造技术是制造业的系统工程中的一个重要组成部分。

在市场全球化,竞争全球化的今天,消费者对产品的性能和质量要求更为挑剔、更具多样性,产品的寿命周期更短。在要求对市场需求作出快速响应的背景下,先进制造应运而生是有其客观基础的。先进制造技术是在新的市场环境下,增强企业市场竞争力、促进国家经济繁荣、提高国家综合实力的手段。

为普及先进制造技术知识,增强制造业的创新意识,我们编写了这本科普读物。编写工作是在中国工程院机械与运载工程学部主任姚福生院士的指导下,并在东南大学吴锡

英及刘培权教授的支持下进行的。由于先进制造技术涉及知识面较广,加之我们自身学识的局限性,谬误在所难免,敬请读者指正。在本书的策划、组织、协调工作中,中国工程院李仁涵同志付出了很多精力,谨此致谢。

姚福生 郭重庆

2000 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 现代制造业面临的时代背景	1
1.2 先进制造技术的定义	2
1.3 先进制造技术的内涵与范畴	3
1.4 我国先进制造技术的发展概况	11
 第 2 章 现代设计技术	15
2.1 概述	15
2.2 CAD 的初级阶段 ——交互式图形系统的产生	17
2.3 几何造型	18
2.4 计算机辅助绘图	24
2.5 CAD 应用系统	25
2.6 彩色图像和有限元分析	28
2.7 动画仿真技术	31
2.8 产品设计的拟实技术	33
2.9 基于并行工程的产品设计——并行设计	36
2.10 反求工程	41
2.11 健壮设计	46

2.12	质量功能配置	49
2.13	绿色产品设计	53
第 3 章	先进制造工艺技术	56
3.1	超高速切削技术	57
3.2	少无切削加工技术	62
3.3	非切削加工制造技术	69
3.4	快速原型制造技术	82
3.5	精密、超精密及纳米加工技术	90
3.6	再生工程	99
3.7	工艺过程设计自动化技术	106
3.8	拟实制造技术	118
第 4 章	制造系统综合自动化技术	124
4.1	分布式数控系统	125
4.2	柔性制造系统	127
4.3	计算机集成制造系统	134
4.4	智能制造系统	145
4.5	拟实制造系统	148
第 5 章	现代生产经营和管理技术	151
5.1	制造资源计划	152
5.2	企业资源计划	163
5.3	准时生产	165

5.4	精益生产	168
5.5	敏捷制造	172
5.6	全球化制造	177
5.7	可持续制造及其相关技术	182
第6章	我国先进制造技术的发展战略	186
6.1	在我国推进应用先进制造技术时需要 解决的几个认识问题	187
6.2	我国先进制造技术发展战略的一点思考	193
参考文献		196