



自然科学向导丛书

机械制造

(机械卷)

JIXIE ZHIZAO

总主编 王修智

主 编 冯显英



山东科学技术出版社

本书编写人员

主 编 冯显英
副主编 贾秀杰
参 编 李 慧 岳明君 李沛刚
 黄燕云 胡 滨 葛荣雨
主 审 艾 兴 李春阳



科学技术的发展、新技术的不断涌现，必将引起新的产业革命，对我国这样的发展中国家来说，既是挑战，也是机遇。而能否抓住发展机遇，关键在于提高全民族的科学文化水平，造就一支具有科学精神、懂得科学方法、具有知识创新和技术创新能力的高素质劳动者队伍。所以，发展教育和普及科学知识、弘扬科学精神、提倡科学方法是我们应对世纪挑战的首要策略。

本书本着普及科技知识的目的，以通俗易懂的语言较为系统地介绍了机械制造学科的基础知识和先进制造技术。从机械制造的发展历史谈起，介绍了机械制造方面的基础理论和知识、传统的机械加工设备和方法，还介绍了先进的机械加工设备和方法、机械制造自动化、先进的制造技术和制造系统等。在21世纪，世界机械工业的发展进入了前所未有的高速阶段，与其他行业相比，机械工业的发展具有地位化、规模化、全球化和高技术化的特点。21世纪初机械制造业发展的总趋势表现为全球化、网络化、虚拟化、柔性化、敏捷化、信息化、智能化以及与环境协调的可持续发展的绿色化等，所以本书内容不但包括了机械制造方面的经典理论和方法，还结合现代化建设的需要，与机械制造业的发展接轨，详细介绍了当今机械制造业中的一些高新技术原理、特点、重要地位、应用及产业化的现状与发展前景，如机器人技术、纳米技术、精益生产、敏捷制造、绿色制造等先进制造技术。

为了充分调动读者的兴趣，使本书内容更容易理解，在内容的选择上，我们注重理论和实践的结合，做到知识性、科

学性与通俗性、可读性及趣味性的统一，并充分体现科学思想和科学精神对开拓创新的重要作用；在写作上力求深入浅出，图文并茂，使广大青少年读者能够深入其中，充分领会机械制造学科的基础知识和基本概念，对机械制造科学及其在现代社会发展中的重要地位和作用有一个全面而充分的了解。

现代科技发展的日新月异，日益显现出科普工作的艰巨性和科技普及的重要性。所以，在科技进步和创新的同时，我们应该大力加强全社会的科学普及工作，努力提高全民族的科学文化素质。这项工作做好了，就可以为科技进步和创新提供广泛的群众基础。科技知识的普及关乎全民族科学文化素质的提高，尤其是机械制造在现代科技发展和社会进步中又占有重要的地位，关系着一个国家综合国力的加强、技术的进步和工业的发展，那么，普及机械制造学科知识，培养广大青少年对机械制造科学的兴趣和爱好，更显得意义重大。

我们相信，本书的编写，对于普及机械制造科学知识和科学方法，宣传科学思想，弘扬科学精神，正确地理解和掌握科学，提高全民族的科学文化素质必将起到积极的作用。

机械制造涉及的知识面十分广泛，又跨多种学科，限于编写者的水平，书中难免有欠妥之处，恳请广大读者不吝指正。

1961年,我国社会生活中发生了一件令人难忘的事——大型科普读物《十万个为什么》出版发行。此后,这套书又多次修订再版,累计印数超过1亿册,成为家喻户晓的小百科全书式的科普读物。

《十万个为什么》初版的时候,我正在上中学,同学们争相阅读的生动场面,至今历历在目。这套书提供的科技知识,深深印在小读者的脑海里,使大家终生受益。不少人就是从读这套书开始对科学技术产生浓厚兴趣,并选择考理工类大学、走科学技术之路的。每每回忆起这些往事,我便深切感到,科技的力量是多么巨大,科普工作是多么重要!

然而,科普工作的春天,是随着改革开放的脚步一同来到神州大地的。上世纪80年代以来,“发展经济靠科技,科技进步靠人才,人才培养靠教育”逐步成为人们的共识;“科教兴国”战略、“人才强国”战略深入人心;“学科学,用科学”的社会风气日渐浓厚。各级各行各业、广大干部群众迫切要求加快科学技术普及的步伐。

进入21世纪,我国的科普工作发展到了一个新阶段。2002年6月29日,第九届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议通过《中华人民共和国科学技术普及法》。2005年,《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》出台。2006年2月,国务院颁布《全民科学素质行动计划纲要(2006—2010—2020年)》。这三件大事,标志着提高全民科学技术素质已经摆上我国经济社会发展的重要日程,科普工作已经纳入法制的轨道。面对这样一种新形势,所有热心科普工作的人们无不感到振奋和激动。

在所有热心科普工作的人们当中,我算是比较热心的一个。1991年11月到1997年12月,我在山东省济宁市担任主要领导职务。这个市被评为1997年度全国“科教兴市”先进市,我被评为全国“科教兴市”先进个人。2000年12月到2005年7月,我担任中共山东省委副书记,积极推动市县两级“三馆”(博物馆、科技馆、图书馆)建设,为科学技术普及做了一点工作,被授予中国科技馆发展基金会第六届启明奖。实践使我深深体会到,科普工作是发展先进生产力和先进文化、弘扬民族精神和提高全民族科学文化素质的重要手段,是每一位领导干部义不容辞的责任。

科普创作是科普工作的基石。加强科普工作,必须大力繁荣科普创作。40年前,《十万个为什么》应运而生,难道今天不应该产生一种新的科普读物?于是,我便产生了编一套这类读物的想法。就像当年哥伦布发现新大陆一样,我的这种想法常使我激动不已,有时甚至夜不能寐。

在所有热心科普工作的人们当中,还有一个很有战斗力的群体,这就是山东省科学技术协会。我关于编一套新的科普读物的想法,首先得到他们的热烈响应和积极支持。山东省科协是省委领导的人民团体之一,其主要任务,一是加强学术交流和学术思想创新,促进科技创新,推动科技成果向现实生产力转化,加快产业化进程;二是大力普及科学技术知识,提高全民科学文化素质;三是搞好科学技术队伍的自身建设,维护科技工作者的合法权益。山东省科协联系的科技人员超过100万人。省科协所属的山东省老科技工作者协会,联系离退休的科技工作者有65万多人。这是我省科技工作的主力军。

在省委、省政府的领导下,省科协这些年的工作搞得有声有色、富有成效。特别是大刀阔斧地开展城乡科普工作,有效地提高了全民科学文化素质,有力地保证了经济社会发展的需要。他们在财政部门的支持下,主要通过市场化运作,在短短

两年时间里,实现了全省科普宣传栏“村村通”,受到农村广大干部群众的热烈欢迎和高度评价。

编写大型科普读物这件事,很快就列入省科协2005年的工作计划。管华诗、陆巽生、孙培峰、燕翔、林兆谦等同志积极策划并具体操作,同时,成立了由朱明同志具体负责的专门办事机构,筹措了部分经费,从而使这样一项浩繁的工程正式启动起来。

大家一致认为,这套丛书应当是一套自然科学技术普及读物。它应当站在新世纪新起点上,适应新形势新任务的要求,具备以下四个特点:第一,系统性。尽量体现自然科学原理的完整体系,避免零打碎敲。第二,实践性。尽量涉及自然科学应用的各个领域,避免挂一漏万。第三,先进性。尽量采用科学研究和技术进步的最新成果,电子信息、生物工程、新材料等高新技术要占较大篇幅。第四,可读性。尽量做到深入浅出,通俗易懂。

根据上述四点要求,丛书设计了三大部分,共35卷。第一部分,自然科学原理,共6卷:数学、物理、化学、天文、地理、生物。第二部分,自然科学的应用,共24卷:涉及第一产业、第二产业、第三产业,从生产到生活,几乎全面覆盖。第三部分,综合,共5卷:自然科学发展大事年鉴、古今中外科技名人、科学箴言、通俗科技发展史、探索自然奥秘。

丛书共1 000余万字。从酝酿到出版,共用了不到两年的时间。

在如此短的时间内,完成如此浩繁又如此高标准严要求的编写工作,必须举全省之力,加强领导,精心组织,周到安排,通力合作,精益求精。主编是总指挥,负总责。常务副主编是具体指挥,具体负责。编委会办公室处理日常事务。各承编单位调整工作计划,抽调精兵强将,集中时间进行编写。近几年,我主持编写了《齐鲁历史文化丛书》、《山东革命文化丛书》、《山东当代文化丛书》、《社会科学与您同行》、《诚信山东》等多套

大型丛书，积累了一定的经验。《自然科学向导丛书》的编写工作，借鉴了前几套丛书编写的经验，达到了一个新的水平。

这套丛书的成功，还得益于中国科协的关怀鼓励，得益于艾兴、蒋民华等专家的指导帮助，得益于省委宣传部、省财政厅、省新闻出版局、山东出版集团、山东科学技术出版社的大力支持。在此，一并表示感谢。

由于我们水平有限，缺点错误在所难免，望广大读者不吝指教。

知识的无限性与人的智力的有限性，是一对无法克服的矛盾。经过上下数千年全人类的共同努力，我们对自然科学、社会科学和人体自身的认识，仍然处于一个初级阶段，离自由王国的境界仍然相当遥远。但是我坚信，经过一代又一代人的不懈努力，我们离那个境界肯定会越来越近。而科普工作，就是接近那个境界的路、桥、船。

王修智

2007年1月

第一章 机械制造概说

- 一、机械制造与制造业 / 1
 - 机械制造的含义 / 1
 - 机械制造生产过程 / 2
 - 机械制造生产类型 / 3
 - 机械制造的学科分支 / 4
- 二、国计民生需要机械制造 / 4
- 三、国防现代化需要机械制造业 / 6
- 四、太空探索、大自然改造需要机械制造业 / 10
 - 机械制造业与太空探索 / 10
 - 机械制造业与改造大自然 / 13
- 五、全球经济一体化——中国扮演了“世界加工厂”角色 / 13
- 六、机械制造技术的发展历史 / 16
 - 机械制造业的形成 / 16
 - 中国机械发展简史 / 18
- 七、机械制造技术的未来 / 25
 - 制造技术的信息化 / 25
 - 制造技术的服务化 / 27
 - 制造技术的高技术化 / 27

第二章 机械制造工程基础

- 一、互换性 / 29
 - 互换性是什么 / 29
 - 加工误差与加工精度 / 30
 - 表面粗糙度 / 31
 - 公差与配合 / 31
- 二、机械原理和机械零件 / 32
 - 机构与机构学的概念 / 32

常用的机械传动机构 /38

联接、支撑、制动与密封 /52

第三章 机械制造工艺与设备

一、热加工 /60

铸造 /60

焊接 /63

锻造 /69

冲压 /72

二、冷加工 /74

切削加工 /75

机床与刀具 /82

机床夹具 /89

三、特种加工 /91

特种加工概述 /91

电火花加工 /93

超声波加工 /94

电解加工 /96

水射流加工 /98

四、制造中的测量与检验技术 /99

常用的计量工具 /100

传感器 /103

三坐标测量机 /108

现代测量技术的发展 /112

五、机械制造中的装配技术 /113

装配与装配方法 /113

装配工艺规程的制订 /115

第四章 机械制造自动化技术

一、刚性自动化技术 /118

二、柔性自动化技术 /119

可编程控制器 (PLC) /119

计算机数控 (CNC) /122

数控机床与加工中心 /125

三、物流自动化技术 /128

自动线的传送带 /128

- 有轨小车 (RGV) /131
- 自动导向车 (AGV) /131
- 机器人在自动化制造系统的应用 /133
- 自动化立体仓库 /134
- 四、CAD/CAPP/CAM 一体化技术 /136
 - CAD 技术 /136
 - CAPP 技术 /136
 - CAM 技术 /139
 - CAD/CAM 技术 /139
- 五、工业机器人及其应用 /142
 - 什么是工业机器人 /142
 - 工业机器人的应用 /143

第五章 先进制造技术

- 一、先进制造技术概说 /152
 - 先进制造技术的涵义 /152
 - 先进制造技术的特点 /153
 - 先进制造技术的分类 /153
 - 先进制造技术的技术前沿 /155
- 二、典型先进加工技术 /156
 - 激光加工技术 /156
 - 高能束流加工技术 /164
 - 高速加工技术 /175
 - 超精密加工技术 /181
 - 微型机械加工技术 /186
 - 纳米加工技术 /195
 - 快速成形制造技术 /203
- 三、典型先进制造系统 /211
 - 虚拟制造系统 (VM) /211
 - 精益生产系统 (LP) /215
 - 敏捷制造系统 (AM) /218
 - 并行制造工程 (CE) /222
 - 柔性制造系统 (FMS) /225
 - 网络化制造系统 (NM) /229
 - 智能制造系统 (IM) /233

绿色制造系统 (GM) /236

计算机集成制造系统 (CIMS) /241

第六章 制造业信息化技术

制造业信息化概述 /247

制造企业生产计划与管理 /252

产品数据管理系统 (PDM) /259

产品全生命周期 (PLM) /261

第七章 制造业的未来

参考文献

总主编 副总主编名单

总 主 编 王修智
副总主编 管华诗 陆巽生

编委会名单

主 任 王修智
副主任 管华诗 陆巽生
委 员 (以姓氏笔画为序)

马来平	王天瑞	王玉玺	王兆成	王金宝	王家利
王琪珑	王裕荣	尹传瑜	艾 兴	朱 明	仲崇高
刘元林	汤少泉	许素海	孙志恒	孙培峰	李士江
李天军	李云云	李宝洪	李宪利	杨焕彩	邹仲琛
张 波	张 波	张金声	张祖陆	陈光华	陈 青
陈爱国	陈德展	邵新贵	林兆谦	周忠祥	庞敦之
赵书平	赵龙群	赵传香	赵国群	赵彦修	赵宣生
钟永诚	钟泽圣	袁慎庆	高树理	高挺先	唐 波
展 涛	董海洲	蒋民华	程 林	温孚江	解士杰
潘克厚	燕 翔				

编委会办公室名单

主 任 燕 翔
副主任 孙培峰 林兆谦
成 员 (以姓氏笔画为序)

王 晶	王 强	尹传瑜	朱 明	刘利印	李冰冰
杨冠楠	陈爱国	邵新贵	胥蔚蔚	袁慎庆	褚新民



第一章

机械制造概说

一、机械制造与制造业

机械制造的含义

机械是现代社会进行生产和服务的六大要素(即人、资金、能量、信息、材料和机械)之一,并且能量和材料的生产还必须有机械的直接参与。机械就是机器设备和工具的总称,它贯穿现代社会各行各业、各个角落,任何现代产业和工程领域都需要应用机械。例如农民种地要靠农业工具和农机,纺纱需要纺织机械,压缩饼干、面包等食品需要食品机械,炼钢需要炼钢设备,发电需要发电机械,交通运输业需要各种车辆、船舶、飞机等;各种商品的计量、包装、存储、装卸需要各种相应的工作机械。就连人们的日常生活,也离不开各种各样的机械,如汽车、手机、照相机、电冰箱、钟表、洗衣机、吸尘器、多功能按摩器、跑步机、电视机、计算机等等。总之,现代社会进行生产和服务的各行各业都需要各种各样不同功能的机械,人们与机械须臾不可分离。

大家都知道,而且也都能够体会到上述各行各业的各种不同机械和工具的重要性。但这些机械是哪里来的?当然不是从天上掉下来的,而是依靠人们的聪明才智制造生产出来的。“机械制造”也就是“制造机械”,这就是制造的最根本的任务。因此,广义的机械制造涵义就是围绕机械的产出所涉及的一切活动,即利用



制造资源(设计方法、工艺、设备、工具和人力等)将材料“转变”成具有一定功能的、能够为人类服务的有用物品的全过程和一切活动。显然,“机械制造”是一个很大的概念,是一门内容广泛的知识学科和技术。而传统的机械制造则泛指机械零件和零件毛坯的金属切削加工(车、铣、刨、磨、钻、镗、线切割等加工)、无切削加工(铸造、锻压、焊接、热处理、冲压成形、挤压成形、激光加工、超声波加工、电化学加工等)和零件的装配成机。

制造业是将制造资源(物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息、人力等)通过一定的制造方法和生产过程,转化为可供人们使用和利用的工业品与生活消费品的行业,是国民经济和综合国力的支柱产业。

制造系统是制造业的基本组成实体,是制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员组成的一个将制造资源转变为产品的有机整体。

机械是制造出来的,由于各行各业的机械设备不同、种类繁多,因此机械制造的涉及面非常广,冶金、建筑、水利、机械、电子、信息、运载和农业等各个行业都要有制造业的支持,冶金行业需要冶炼、轧制设备,建筑行业需要塔吊、挖掘机和推土机等工程机械。制造业在我国一直占据重要地位。在上世纪50年代,机械工业就分为通用、核能、航空、电子、兵器、船舶、航天和农业等8个部门。进入21世纪,世界正在发生极其广泛和深刻的变化,随之牵动的机械制造业也发生了翻天覆地的变化。但是,不管世界如何变化,机械制造业一直是国民经济的基础产业,它的发展直接影响到国民经济各部门的发展。

机械制造生产过程

在机械制造厂,产品由原材料到成品之间的全部劳动过程称为生产过程。它包括原材料的运输和存储、生产准备工作、毛坯的制造、零件的加工与热处理、部件和整机的装配、机器的检验调试以及油漆和包装等。一个工厂的生产过程,又可分为各个车间的生产过程。一个车间生产的成品,往往又是另一车间的原材料。例如铸造车间的成品(铸件)就是机械加工车间的“毛坯”,而机械



加工车间的成品又是装配车间的原材料。

机器的生产过程中,直接改变毛坯的形状、尺寸和材料性能使其成为成品或半成品的过程称为工艺过程。它包括毛坯的制造、热处理、机械加工和产品的装配。把工艺过程的有关内容用文字以表格的形式写成工艺文件,称为机械加工工艺规程,简称为工艺规程。

由原材料经浇铸、锻造、冲压或焊接而成为铸件、锻件、冲压件或焊接件的过程,分别称为铸造、锻造、冲压或焊接工艺过程。将铸、锻件毛坯或钢材经机械加工方法,改变它们的形状、尺寸、表面质量,使其成为合格零件的过程,称为机械加工工艺过程。在热处理车间,对机器零件的半成品通过各种热处理方法,直接改变它们的材料性质的过程,称为热处理工艺过程。最后,将合格的机器零件和外购件、标准件装配成组件、部件和机器的过程,则称为装配工艺过程。

其中,制定机械加工工艺规程在整个生产过程中非常重要。工艺规程不仅是指导生产的主要技术文件,而且是生产、组织、和管理工作的基本依据,在新建或扩建工厂或车间时,工艺规程是基本的资料。在制订工艺规程时,需具备产品图纸、生产纲领、现场加工设备及生产条件等这些原始资料,并由生产纲领确定了生产类型和生产组织形式之后,才可着手机械加工工艺规程的制订,其内容和顺序如下:① 分析被加工零件。② 选择毛坯:制造机械零件的毛坯一般有铸件、锻件、型材、焊接件等。③ 设计工艺过程:包括划分工艺过程的组成、方法、安排加工顺序和组合工序等;选择定位基准、选择零件表面的加工。④ 工序设计:包括选择机床和工艺装备、确定加工余量、计算工序尺寸及其公差、确定切削用量及计算工时定额等。⑤ 编制工艺文件。

机械制造生产类型

在制造过程之前,须根据生产车间的具体情况将零件在计划期间分批投入进行生产。一次投入或生产同一产品(或零件)的数量称为批量。

按年生产专业化程度的不同,又可分为单件生产、成批生产和



大量生产 3 种类型。在成批生产中,又可按批量的大小和产品特征分为小批生产、中批生产和大批生产 3 种。

若生产类型不同,则无论是在生产组织、生产管理、车间机床布置,还是在毛坯制造方法、机床种类、工具、加工或装配方法和工人技术要求等方面均有所不同。为此,制订机器零件的机械加工工艺流程和机械加工工艺的装配工艺流程,以及选用机床设备和设计工艺装备,都必须考虑不同生产类型的工艺特征,以取得最大经济效益。

机械制造的学科分支

现代社会中任何领域都需要应用机械,机械贯穿于现代社会各行各业、各个角落,其形貌不一,种类繁多,按不同的要求可以有不同的分类方法,如:按功能可分为动力机械、物料搬运机械、包装机械、罐装机械、粉碎机械、金属切削加工机械等;按服务的产业可分为用于农业、林业、畜牧业和渔业的机械,用于矿山、冶金、重工业、轻工业的机械,用于纺织、医疗、环保、化工、建筑、交通运输业的机械以及供家庭与日常生活使用的机械,如洗衣机、钟表、运动器械、食品机械,用于军事国防及航空航天工业的机械等;按工作原理可分为热力机械、流体机械、仿生机械、液压与气动机械等。另外,全部机械的整个制造过程都要经过研究、开发、设计、制造、检测、装配、运用等几个工作性质不同的阶段。因此相应的机械制造可有多种分支学科体系和分支系统,且有的分支学科系统间互相联系、互相重叠与交叉。分析这种复杂关系,研究机械制造最合理的学科体系划分,有一定的知识意义,但并无大的实用价值。对机械制造的学科划分按其服务的产业较为明朗,但不论哪个行业的机械制造,其共性是主流的,依据行业不同的特点及要求,也有其不同的个性地方。本书涉及的都是机械制造学科的共性知识。

二、国计民生需要机械制造

制造业在众多国家尤其是发达国家的国民经济中占有十分重要的位置,是国民经济的支柱产业。美国 68% 的财富来源于制造