

国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材

机械制造技术基础

主 编 袁绩乾 李文贵
参 编 刘 英 杜全兴 严兴春 董胜龙 张 毅
主 审 杨治国

机械工业出版社

本书的知识结构体系除涵盖原有的“金属切削原理与刀具”、“金属切削机床”、“机械制造工艺学”、“机床夹具设计”和“公差与技术测量”等课程的基本内容外,还增加了一些新内容。全书共 11 章,包括:绪论、机械零件加工表面的形成、金属切削基本知识、外圆表面加工、平面加工、孔及孔系加工、机械加工工艺规程的制订、典型零件加工工艺、机械装配工艺规程的制订、机械制造系统自动化、精密超精密加工与特种加工。

本书适用于机械类本科所有专业,也可用于机械类专科,还可供自学考试、电大、网络大学、职大和高职等机械类各专业作教材,亦可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造技术基础/袁绩乾等主编. —北京:机械工业出版社, 2001. 8

国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材

ISBN 7-111-09116-7

I. 机… II. 袁… III. 机械制造工艺—高等学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 049261 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王霄飞 版式设计:冉晓华 责任校对:魏俊云

封面设计:鞠 杨 责任印制:郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·13 印张·503 千字

0 001—5 000 册

定价:32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

国家工科基础课程教学基地机械基础系列 教材编审委员会

主任：唐一科

副主任：刘昌明 何玉林 黄茂林

顾问：杨叔子

编写人员：丁 一 祖业发 黄茂林 龙振宇 刘天模 袁绩乾
赵月望 陈国聪 何玉林 吕仲文 杨学元 秦 伟

审稿人员：谢泗淮 西南交通大学
刘荣光 西北工业大学
张 策 天津大学
吴鹿鸣 西南交通大学
杨治国 四川大学
李建保 清华大学
林萍华 东南大学
张春林 北京理工大学
何援军 上海交通大学
谭建荣 浙江大学
(排名不分先后)

策划单位：机械工业出版社 重庆大学

序

为了适应 21 世纪我国现代化建设的需要，培养高质量的工程科学技术人才，教育部从 1996 年开始实施了《面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划》，接着又决定建设国家工科基础课程教学基地，这些措施推动了教育改革的深入发展，形成了一批有特色的课程体系和系列教材。由重庆大学国家工科基础课程机械基础教学基地组织编写，机械工业出版社出版的“国家工科基础课程教学基地机械基础系列教材”就是其中之一。这套系列教材是国内众多资深教授的支持、指导和数十位长期从事教学和教学改革的教师辛勤劳动的结果，能够满足机械类专业人才培养的要求。

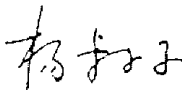
这套系列教材紧密结合“机械类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”、“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两个面向 21 世纪重大教学改革项目和国家工科基础课程机械基础教学基地建设，集中反映了重庆大学围绕人才培养，在改革机械基础课程体系和教学内容方面所取得的成果。

这套系列教材的特色在于将机械基础系列课程分为设计基础和制造基础两类课群，以拓宽基础，培养学生综合应用机械基础理论与现代设计分析方法进行机械设计和创新为宗旨，遵循认知规律，明确课程定位，突破各课程自身的传统体系，基本上实现了系列课程的整体优化。通过《机械认识实践》的实践教学，帮助学生建立起对机械的感性认识。制造基础课群则对原机械制造的冷、热加工专业课程进行了整合和改造，建立了适合宽口径大机械专业的三个知识点——“机械制造技术基础”、“材料成形工艺基础”和“工程材料”。在设计基础课群对传统的“机械设计”及“机械原理”进行了大胆的尝试性整合，展示了在“机械创新设计”思维的引导下，运用“计算机图形学”、“机械 CAD/CAE 技术基础”等现代设计方法和手段进行机械设计的主线。

这套系列教材较好地体现了面向 21 世纪机械类专业人才培养模式改革的思路，对机械类专业机械基础系列课程体系及教学内容的改革进行了富有成效的探索与实践。机械工业出版社出版这套教材，实为一件很有意义的事，并将为全国机械基础课程体系的教改与教学提供一套很有特色的教材。

当然,这套系列教材还需要在教学改革和教学实践中经受检验、不断完善,以结出我国教育改革的硕果。

中国科学院院士
重庆大学机械传动国家重点实验室学术委员会主任
华中科技大学教授



2001年6月16日

前 言

为了适应新世纪培养高素质、创造型机械科技人才的需要，重庆大学国家工科基础课程机械基础教学基地组织编写了机械基础系列教材。这套教材编写的整个过程就是我们完成教育部面向 21 世纪高等教育教学内容和课程体系改革计划中“机械类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践”、“工程制图与机械基础系列课程教学内容和课程体系改革的研究与实践”两个项目的过程。我们按照新世纪机械专业人才应该具备的能力、素质和知识结构，研究制定了机械类专业人才培养方案及教学内容体系和与之相适应的机械基础系列课程体系及教学内容，并在 1997、1998、1999 级本科教学中经过实践，所以这套教材反映了我们进行教学改革的成果。

这套系列教材的特色在于将机械基础系列课程分为设计基础和制造基础两类课群，对原机械制造工艺、金属切削机床、金属切削刀具、夹具、铸造、锻压等专业课程进行了整合和改造，编写了适合宽口径机械专业的《机械制造技术基础》、《材料成形工艺基础》和《工程材料》；增设了以参观和实践为主的《机械认识实践》课程；《现代机械制图》把投影制图和计算机绘图作为重点，并将其贯穿于全书；以设计为主线，重新规划了机械设计基础的体系结构，把齿轮机构的原理与设计有机融合，放在《机械设计》教材中，将《机械原理》的重点定位于机构的运动学、动力学和机械系统运动方案的分析与设计，并将《机械设计》安排在《机械原理》之前开出；增加了《计算机图形学》、《机械 CAD/CAE 应用技术基础》等计算机应用技术基础教材，反映了现代科学技术的新发展，引导学生应用现代设计方法和手段进行机械设计；增加了《机械创新设计》，介绍创新方法、启发创新思维。

按照教学改革的要求，应实现“机械制造技术基础”课程体系的整体优化，构建融会贯通、紧密配合、有机联系的课程体系；精选整合教学内容，改变课程内容庞杂陈旧、分割过细，避免简单拼凑、脱节和不必要的重复；加强理论联系工程实际，改进教学方法，培养学生自主学习和独立思考等等。因此，将“机械加工工艺基础”、“金属切削原理与刀具”、“金属切削机床”、“机械制造工艺学”、“机床夹具设计”和“公差与技术测量”等课程合并形成“机械制造技术基础”课程。本书是将上述原有课程的最基础内容精选出来，适当新增一些知识要点，加以整合，精心编写而成的。按照新的课程体系，本课程应放在“工程图学”、“工程材料”与“材料成型技术基础”课程之后，“机械设计”和“机械原理”课程之

前开。并在学习本课程之后,要进行为期1周的计算机辅助机械加工工艺规程(CAPP)课程设计,目的是使学生进一步融会贯通。为此,本书对一些重要的基础知识给予了详细的叙述,注重了突出要点和概念,注重了联系工程实际,讲授时还可以采用多媒体等实感性较强的教学手段,还需要设置相关的课程实验,学生应采用反复阅读、前后借鉴的学习方法。

从结构与内容顺序上分析,本教材可大致划分为五大部分:第一部分(第一、二章)是从宏观整体出发,让学生了解制造业、制造系统和制造技术,了解其发展历史、当今国内外的状况与前景,明确制造业在科技与社会经济发展中的重要地位和作用。接着让学生具体了解获得机械零件加工表面形状的方法和加工条件,如表面加工成型的方法、成形运动、切削要素、切削机床类型、零件表面尺寸形位公差,以及加工时零件的定位与夹紧等。第二部分(第三章)进一步让学生深入了解零件加工的基本原理和规律。对加工过程中的现象、影响因素、控制方法进行了较深入的分析;对影响加工过程最重要的方面,如切削刀具的结构、刀具几何参数作了较全面的介绍;再通过对磨削加工方法和加工过程特点的分析,让学生学会怎样去分析除车削、磨削以外的其它各种加工方法(铣削、刨削、钻削、拉削、镗削、珩磨、研磨等)的特点。这部分内容为学生进一步全面学习制造技术的知识打下了较坚实的基础。第三部分(第四、五、六章)把学生的思路引导到解决机械零件表面加工的问题上。主要介绍机械零件基本形状要素(外圆、平面、内孔)的加工方法、加工机床及其切削加工过程的特点。各章有不同的重点内容:在外圆加工一章中,重点是介绍卧式车床和外圆磨床的结构与传动系统,以此讲解金属切削机床结构与传动方面的主要基本知识,而对其它类型的机床(在其它章节里)仅作简单介绍,只要求了解机床的基本功能和基本组成,学会如何正确选用;在平面加工一章中,重点对铣削加工方法及其铣削过程特点进行了分析,由此进一步扩大和加深对切削加工规律的认识;在孔及孔系加工一章中,主要介绍了孔加工的各种方法和刀具。通过这一部分的学习,应对常用的各种加工方法、各类机床、各种加工刀具都有较全面的了解和认知,能够合理选用。第四部分(第七、八、九章)进一步引导学生从零件外形的加工提高到从机械零件的整体出发考虑,如何制订合理的机械加工工艺规程,还对影响零件加工质量的原因和控制方法进行了分析,并具体介绍了几种典型零件的机械加工工艺规程;再进一步从机械零部件出发考虑,如何制订合理的机械装配工艺规程。这就使学生对机械制造系统和机械制造技术的基本知识有了比较具体全面的理解。第五部分(第十、十一章)较全面介绍了目前国内外发展的各种先进制造系统、先进制造技术、精密超精密加工和特种加工方法。其中对数控加工基本知识作了较多的介绍,让学生对机械制造业的发展方向有了初步认识。总之,本教材是在学习了金属切削基本理论,讲述了金属切削机床基本知识,了解了公差与配合知识要点,分析

了机械零件定位原理后，再依次叙述机械零件的特征表面及其加工方法与加工精度；之后，研究制订机械加工工艺流程和机械装配工艺流程的问题；最后，再了解自动化加工、数控加工、特种加工和先进制造技术的概念性知识。这就是本课程的教学主线。

本书的编写是在重庆大学国家工科机械基础课程教学基地的组织下进行的，本书的第一章和第八章由重庆大学袁绩乾（其中，第八章的第一节由董胜龙编写，第八章的第二节由李文贵编写）编写；第二章、第五章和第六章由重庆大学李文贵编写；第三章由重庆大学严兴春编写；第四章由重庆大学董胜龙编写；第七章由重庆大学刘英（其中，第三节部分内容袁绩乾编写）编写；第九章由重庆大学张毅编写；第十章和第十一章由西南交通大学杜全兴编写。本书由四川大学杨治国教授主审。

在此，向参加本书编写、审稿和出版工作，以及在编写过程中给予帮助和支持的各位同仁，致以最诚挚的谢意！由于编者水平有限，本书尚有许多不足之处，诚望读者提出宝贵意见^①。

编者 2001 年 3 月
于重庆大学机械工程学院

① 主编的 E-mail: yuanjiqian@netease.com; Tel: 023-65103837; Fax: 023-65105634。

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 机械制造业的作用与现状	1
第二节 学习本课程的目的	9
第二章 机械零件加工表面的形成	10
第一节 机械零件加工表面的形成过程	10
第二节 金属切削机床基本知识	17
第三节 机械零件的公差与配合	23
第四节 工件的定位和夹紧	51
第三章 金属切削基本知识	70
第一节 刀具切削部分几何参数	70
第二节 金属切削过程的基本规律	78
第三节 选择合理的切削条件	103
第四节 磨削	115
第四章 外圆表面加工	127
第一节 外圆车削	127
第二节 外圆磨削	160
第五章 平面加工	171
第一节 常用的平面加工方法	171
第二节 平面的铣削加工	173
第三节 平面的刨削加工	181
第四节 平面磨削及平面磨床	183
第六章 孔及孔系加工	186
第一节 同轴孔及孔系的精度要求	186
第二节 孔的常规加工方法	187
第三节 孔加工典型装备	204
第七章 机械加工工艺规程的制订	214
第一节 机械加工过程基本概念	214
第二节 工艺路线的拟订	225
第三节 工序具体内容的确定	235
第四节 机械加工质量	252

第八章	典型零件加工工艺	273
第一节	轴套类零件加工工艺	273
第二节	箱体类零件的加工工艺	297
第三节	渐开线圆柱齿轮加工	308
第四节	螺纹加工	323
第九章	机械装配工艺规程的制订	330
第一节	机械装配生产过程	330
第二节	机械装配工艺规程的制订	338
第十章	机械制造系统自动化	343
第一节	机械制造系统自动化的基本概念	343
第二节	数控机床与加工中心	367
第十一章	精密超精密加工与特种加工	383
第一节	精密加工与超精密加工技术	383
第二节	超精密磨料加工	386
第三节	超声加工	388
第四节	电化学加工	390
第五节	电火花加工与线切割加工	391
第六节	电子束加工与离子束加工	393
第七节	激光加工	395
第八节	快速成形制造技术及微机械制造技术	397
参考文献	401

第一章 绪 论

第一章和第二章是本书的第一部分。这一部分是从宏观整体出发，首先让学生了解制造业、制造系统和制造技术，了解其发展历史、当今国内外的的发展状况与前景，明确制造业在科技与社会经济发展中的重要地位和作用。接着让学生具体了解获得机械零件加工表面形状的方法和加工条件，如表面加工成形的方法、成形运动、切削要素、切削机床类型、零件表面尺寸形位公差，以及加工时零件的定位与夹紧等。

第一节 机械制造业的作用与现状

一、制造业、制造系统与制造技术

制造业是将可用资源、能源与信息通过制造过程，转化为可供人们使用或利用的工业品或生活消费品的行业。人类的生产工具、消费产品、科研设备、武器装备等等，没有哪一样能离开制造业，没有哪一样的进步能离开制造业的进步，这些产品都是由制造业提供的，可以说制造业是国民经济的装备部，是国民经济产业的核心，是工业的心脏，是国民经济和综合国力的支柱产业。制造过程是制造业的基本行为，是将制造资源转变为有形财富或产品的过程。制造过程涉及到国民经济的大量行业，如机械、电子、轻工、化工、食品、军工、航天等。因此，制造业对国民经济有较显著的带动作用。

制造系统是制造业的基本组成实体。制造系统是由制造过程及其所涉及的硬件、软件和制造信息等组成的一个具有特定功能的有机整体，其中的硬件包括人员、生产设备、材料、能源和各种辅助装置，软件包括制造理论和制造技术，而制造技术又包括制造工艺和制造方法等。

广义而言，制造技术是按照人们所需目的，运用主观掌握的知识和技能，操纵可以利用的客观物质工具和采用有效的方法，使原材料转化为物质产品的过程所施行的手段的总和，是生产力的主要体现。制造技术与投资和熟练劳动力一起将创造新的企业、新的市场和新的就业。制造技术是制造业的支柱，而制造业又是工业的基石，因之，可以说制造技术是一个国家经济持续增长的根本动力。

二、机械制造业在国民经济中的作用

机械制造业的主要任务就是完成机械产品的决策、设计、制造、装配、销售、售后服务及后续处理等，其中包括对半成品零件的加工技术、加工工艺的研究及

其工艺装备的设计制造。机械制造业担负着为国民经济建设提供生产装备的重任，为国民经济各行业提供各种生产手段，其带动性强，波及面广，产业技术水平的高低决定着国民经济其它产业竞争力的强弱，以及今后运行的质量和效益；机械制造业也是国防安全的重要基础，为国防提供所需武器装备，世界军事强国，无一不是装备制造业的强国；机械制造业还是高科技产业的重要基础。作为基础的高科技可以认为有五大领域，即信息科技、先进制造科技、材料科技、生命科技和集成科技，机械制造业为高科技的发展提供各种研究和生产设备，世界高科技强国，无一不是装备制造业的强国。世界机械制造业占工业的比重，从1980年以来，已上升至超过1/3。机械制造业的发展不仅影响和制约着国民经济与各行业的发展，而且还直接影响和制约着国防工业和高科技的发展，进而影响到国家的安全和综合国力，对此应有足够清醒的认识。然而，第二次世界大战后，美国却出现了“制造业是夕阳产业”的观点，忽视了对制造业的重视和投入，以至工业生产下滑，出口锐减，工业品进口陡增，第二、第三产业的比例严重失调，经济空前滑坡，物质生产基础遭到严重削弱。严重的后果在各方面都有体现：汽车生产从过去的大量出口转变为大量（比例达31%）进口，1967~1987年的20年间，汽车的贸易逆差达600亿美元；微电子工业是美国首创的，但到1987年，美国的半导体生产只占世界总产量的40%；家用电器也是美国首先发展起来的，但美国的家电市场已经被日本等国外产品所占有；美国过去曾经是一个机床出口大国，但到1986年，美国有50%的机床依靠进口，机床产量仅为高峰期的一半；1987年美国贸易赤字高达1610亿美元，主要赤字来自工业。这一严峻形势迫使美国政府和企业界不得不重新审视美国的科学技术政策和产业政策，重新认识和评价制造业在国民经济中的地位和作用。20世纪80年代初，美国关于工业竞争的总统委员会的报告指出“美国在重要而又高速增长的技术市场中失利的一个重要原因是没有把自己的技术应用到制造业上”。美国麻省理工学院MIT的16位教授对美国工业的衰退问题进行了系统调查研究，调查了汽车、民用飞机、半导体和计算机、家用电器、机床等8个工业部门，经多年研究写成了《美国制造业的衰退及对策——夺回生产优势》一书，指出“振兴美国经济的出路在于振兴美国的制造业”，认为“经济的竞争归根到底仍然是制造技术和制造能力的竞争”，主张必须重视和发展机械制造业。美国在中东战争后提出的应当给予扶持的“对于国家繁荣与国家安全至关重要”的22项关键技术中，就有材料加工、计算机一体化制造技术、智能加工设备和纳米制造技术等4项直接与机械制造业有关的关键技术。近几年，美国、日本、德国等工业发达国家都把发展先进制造技术列为工业、科技的重点发展技术。美国政府历来认为，生产制造是工业界的事，政府不必介入。但经过10年反思，美国政府已经意识到，政府不能不介入工业技术的发展，自20世纪80年代中期，美国制订了一系列民用技术开发计划并切实加以实施。由于给予了重视，

近年来美国的机械制造业有所振兴，汽车、机床、微电子工业又获得了较大发展。可见，机械制造业是国民经济赖以发展的基础，是国家经济实力和科技水平的综合体现，是每一个大国任何时候都不能掉以轻心的关键行业。

三、机械制造业的发展过程

1. 历史回顾

机械制造有着悠久的历史，我国秦朝的铜车马已有带锥度的铜轴和铜轴承，说明在公元 210 年以前就可能有了磨削加工。河北满城一号汉墓出土的五铢钱，其外圆有车削痕迹；同墓出土的还有铁锉、三棱形青铜钻、经渗碳处理的铁剑和书刀、青铜弩机和青铜箭头等。其中，青铜弩机的结构相当复杂，而且加工精度高，表面细滑，说明当时切削加工已达到一定水平。1668 年我国已有了马拉铣床和脚踏砂轮机。另外，我国在公元前两千年左右就制成了纺织机械。公元 260~270 年前后，创制了木制齿轮，应用了轮系原理，成功地研制出了以水为动力的机械用于谷物加工。

从 1775 年英国 J. Wilkinson 为了加工瓦特蒸汽机的气缸，研制成功镗床开始，到 1860 年，经历了漫长岁月后，车、铣、刨、插、齿轮加工等机床相继出现了。1898 年发明了高速钢，使切削速度提高了 2~4 倍，1927 年德国首先研制出硬质合金刀具，切削速度比高速钢刀具又提高了 2~5 倍。为了适应硬质合金刀具高速切削的需求，金属切削机床的结构发生了较明显的改进，从带传动改为齿轮传动，机床的速度、功率和刚度也随之提高。至今，仍然广泛使用着各种各样的齿轮传动的金属切削机床，但在结构、传动方式等方面，尤其在控制方面有了极大的改进。

加工精度可以反映机械制造技术的发展状况。1910 年时的加工精度大致是 $10\mu\text{m}$ （一般加工），1930 年提高到 $1\mu\text{m}$ （精密加工），1950 年提高到 $0.1\mu\text{m}$ （超精密加工），1970 年提高到 $0.01\mu\text{m}$ ，而目前已提高到 $0.001\mu\text{m}$ （纳米加工）。

2. 近代发展状况

20 世纪 80 年代末期，美国为提高制造业的竞争力和促进国家的经济增长，首先提出了先进制造技术（Advanced Manufacturing Technology, AMT）的概念，并得到欧洲各国、日本以及一些新兴工业化国家的响应。在 AMT 提出的初期，主要发展集中在与计算机和信息技术直接相关的技术领域方面，该领域成为世界各国制造工业的研究热点，取得了迅猛的发展和应用。这方面的主要成就有：

(1) 计算机辅助设计技术（Computer Aided Design, CAD）可完成产品设计、材料选择、制造要求分析、优化产品性能以及完成通用零部件、工艺装备和机械设备的设计与仿真等工作。

(2) 计算机辅助制造技术（Computer Aided Manufacturing, CAM）以计算机数控机床（Computer Numeric Control, CNC）、加工中心（Machining Center,

MC)、柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System, FMS) 为基础, 借助计算机辅助工艺规程设计 (Computer Aided Process Planning, CAPP)、成组技术 (Group Technology, GT) 和自动化编程技术 (Automatically Programmed Tool, APT) 而形成, 可实现零件加工的柔性自动化。

(3) 计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS) 把工厂生产的全部活动, 包括市场信息、产品开发、生产准备、组织管理以及产品的制造、装配、检验和产品的销售等等, 都用计算机系统有机地集成为一个整体。

在实践中, 人们逐渐认识到制造技术各方面必须协调发展, 如果仅仅局限于系统技术和软件设计, 忽视对制造工艺等主体技术的研究, 脱离实际地强调无人化生产, 必将导致制造技术各领域发展的严重失衡, 以至不能充分发挥效益。1994年, 美国联邦科学工程和技术协调委员会 (FCCSET) 下属的工业和技术委员会先进制造技术工作组, 系统说明了 AMT 的技术群内容:

- 1) 主体技术群, 包括面向制造的设计技术群和制造工艺技术群。
- 2) 支撑技术群。
- 3) 制造基础设施 (制造技术环境)。

设计技术群包括产品设计、工艺过程设计和工厂设计等, 采用的先进技术有计算机辅助设计、工艺过程仿真、系统工程及其集成, 以及近年得到迅速发展的快速成形技术和并行工程技术等, 还包括近年受到各国重视的面向制造的设计技术 (Manufacturing Design)。面向制造的设计技术强调设计应充分考虑产品的可加工性、可回收性和再利用性, 应考虑生产过程产生的废物率, 重视新产品上市周期, 强调设计时就要考虑产品的制造、销售、使用、回收过程, 以及对环境的影响, 要求从有利于产品制造、有利于产品使用和有利于环境保护的角度出发, 进行产品设计。

制造工艺技术群主要涉及产品制造与装配工艺过程及其工艺装备。此技术群主要包括材料和毛坯的生产工艺、零件的加工工艺、结构的连接工艺、产品的装配工艺, 以及在制品和成品的测试与检验, 还要考虑环保、安全、维修等问题。在制造工艺中, 高性能刀具和模具材料的合理应用, 以高速切削和高速磨削为代表的高效加工技术的推广, 以及超精密加工技术和抗疲劳制造技术的研究发展, 促使传统的制造工艺和装配技术发生了质的变化, 使产品质量、生产周期和制造成本都有较大改进。

支撑技术群主要包括理论、标准、信息、机床、工具、检测、传感与控制等各方面的技术, 这些都是基础技术, 其作用是保证和改善主体技术, 使主体技术能协调运行。目前最活跃的是信息技术, 包括接口与通信、数据库、集成框架、软件工程、人工智能、专家系统和神经网络系统以及决策支持系统等。

制造基础设施（或称制造技术环境），是指为管理上述技术群的开发并激励推广应用而采取的各种方案与机制，其要素主要是工人、工程技术人员和管理人员的培训与教育。制造技术基础设施是使先进制造技术与企业管理体制和使用技术的人员协调工作的系统工程。

值得重视的一点是，起源于 1959 年并发展迅速的纳米加工技术，这种技术并不仅仅是使传统的显微加工精度提高到纳米数量级这样一个含义，而是要从加工方法上进行根本性的转变，采用从小到大的堆砌或生长的方法，而不是从大到小的传统的去除材料的方法，亦即，纳米技术就是力图在纳米尺度，精确地操纵原子或分子来制造产品。例如，基于电子扫描隧道显微镜，利用原子操纵技术，在超薄膜上覆盖分子，形成 $0.5\sim 1\text{nm}$ 的隆起，用隆起与凹下状态存储数据，由此研制分子存储器。一个分子存储器的存储量等于 100 万张光盘的容量。进一步，还可直接操纵原子，通过原子的拔出与堆叠状态存储数据，由此研制原子存储器。一个原子存储器可以存储人类的全部知识。

3. 我国的机械制造业^①

现在，我国的机械制造业已经具有了相当雄厚的实力，为国民经济、国防和高科技提供了有力的支持，我国的机械制造业为汽车、火车、飞机、农业机械、火箭、宇宙飞船、电站、造船、计算机、家用电器、电子及通信设备等行业提供了生产装备。机械制造业是我国实现经济腾飞，提升高科技与国防实力的重要基础，2000 年的统计表明，我国机械制造业的主要经济指标占全国工业的比重约为 $1/5\sim 1/4$ ，出口额占全国外贸总额的 25.46% ，从业人数占工业总人数的 21.91% 。从机床生产能力可看出一个国家的机械制造业水平。我国能自主设计、生产各种普通机床、小型仪表机床、重型机床以及各种精密的、高度自动化的、高效率的和数字控制的机床，产品品种较齐全，大部分达到 20 世纪 90 年代国际水平，部分达到国际先进水平。当前，国际数控机床发展的趋势是高速化、高精度化、复合化、智能化，并且要求高度安全和与环境友好。我国目前生产的数控机床与此趋势基本一致，国产数控机床在质量和品种上都取得了较大的进步，市场占有率也得到迅速提高。例如：我国生产的 DIGIT165 型高速铣削中心，工作台面积 $900\text{mm}\times 1400\text{mm}$ ，主轴转速 $4000\sim 40000\text{r}/\text{min}$ ，进给速度可达 $30\text{m}/\text{min}$ ，定位精度 $8\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $5\mu\text{m}$ ，可实现 5 轴联动；PV4-C 型高速立式加工中心，工作台面积 $760\text{mm}\times 630\text{mm}$ ，主轴转速 $100\sim 10000\text{r}/\text{min}$ ，定位精度 $\pm 2\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $\pm 1\mu\text{m}$ ；XHSF-2420 型高速仿形定梁龙门镗铣加工中心，工作台面积 $4000\text{mm}\times 2000\text{mm}$ ，X、Y、Z 三向行程分别为 4300mm 、 3800mm 和 850mm ，快

① 有关的、具体的、动态的数据请查阅《中国机床工具》报，其网址：<http://www.cmtba.org.cn>；

E-mail: cmtba@bj.col.com.cn

速移动速度 15m/min, 数控万能铣头主轴转速 6000r/min, 设有容量为 24 把刀的刀库, 在一次装夹下, 可实现工件的五面加工; 我国生产的具有国际水平的 SHZ1044 型双立柱立式车削加工中心, 相当于一条大直径盘类零件立式车削加工自动线, 一次上料, 可自动完成工件的正、反面的车、镗、钻等加工, 具有如此功能的加工中心, 国际上也不多见。但是, 在高技术机床方面, 我国与发达国家之间, 还存在相当差距, 因而, 20 世纪 90 年代中期以来, 随着我国机械工业的发展, 相继进口了较多的数控机床, 致使我国成为了机床的进口大国。

当前, 世界经济正向全球化发展, 正在进行着国际间的以知识经济为目标的产业结构大调整, 工业发达国家正加速发展高科技产业, 而将装备制造业等第二产业逐步向发展中国家转移。我国由于自身巨大的市场需求以及在人才、制造资源等方面的优势, 将成为这种产业转移的主要受益者。我国的机械制造业应该利用好这个难得的机遇, 实现全行业的调整与振兴, 将我国建设成为世界机械制造业的一个重要基地。我国机械制造业目前面临的主要任务是, 必须平稳地完成从计划经济向市场经济的过渡, 以及从粗放型经营向集约型经营的过渡, 并在科技水平、管理水平上有显著提高, 逐步接近并最终达到发达国家水平。

半个世纪以来, 我国的机械工程学科得到了很大的发展, 已经建立了较完善的学科体系, 在学科前沿、技术创新和工程应用等方面取得了突出成就。在机械工程科学与信息科学、生命科学、管理科学相结合方面所取得的成就, 使得机械工程体系得到了很大的扩展。在智能结构、智能机械系统、快速成型制造、仿生机械以及仿生制造等方面, 也取得了较显著的成就, 形成了新的研究方向和研究群体。我国确定的在机械工程学科方面“十五”优先领域中与机械制造技术有关的内容有:

1) 纳米加工、纳米测量及纳米机械。要着重解决纳米溯源、传递、定位、对准的理论和技術问题, 以及纳米尺度加工的新工艺和新方法问题。

2) 微型机电系统的设计、制造理论和技术。要在微结构的设计、兼容性和实现集成方面, 及其制造技术(刻蚀技术、特种加工等)方面深入进行研究。

3) 仿生机构与仿生制造。主要的研究内容有: 生物活体组织的工程化制造、仿生设计与仿生制造系统、仿生微型机械及其生物制造工艺、生物遗传制造等。

4) 智能机械结构及其制造系统。例如智能机器人、智能制造系统等。

5) 数字化制造, 包括虚拟制造、网络制造、模拟仿真和虚拟测试等。

6) 可重构制造系统。主要研究方向是柔性制造单元与可重构制造系统结构的优化设计理论与随机动态规划、在可重构制造系统内机械零件的制造工艺与装备等。

7) 高效、精密及低成本加工方法。要着重研究解决并联机床关键技术、超高

速切削和磨削机理、新型刀具和磨具材料与结构的基本理论、超精密加工技术以及基于环境意识的加工制造技术等问题。

8) 产品的绿色设计和制造。这方面的研究内容主要有：建立绿色产品、绿色制造系统的模型，建立绿色产品的评价体系、机械设备和国防装备再制造中的关键技术，以及电磁污染问题的解决途径等。

四、机械制造业的展望

近 20 年来，随着科学技术的发展和社会与环境因素的改变，世界制造业已进入了一个巨大变革时期，这一变革的主要特点是：

1) 先进技术的出现正急剧地改变着现代制造业的产业结构和生产过程。

2) 传统的相对稳定的市场已经变成了动态的多变的市场，产品周期缩短，更新快，品种增多，批量缩小。目前市场对产品的需求不仅是价廉物美，而且还要交货期短，售后服务好，乃至还要求具有深刻的文化内涵和良好的环境适应性。

3) 传统的管理、劳动方式、组织结构和决策准则都在经历着新的变革。

4) 包括资本与信息在内的生产能力在世界范围内迅速提高和扩散，形成了全球性的激烈竞争格局，市场经济化的潮流正在将越来越多的国家带进世界经济一体化之中。随着生产力的国际扩散，产业间和产业内的国际分工已成为一股不可抗拒的发展潮流。

21 世纪是知识经济来临的世纪。所谓知识经济，是一种以知识（而不是以物质资源作为其主要支柱的经济。知识经济的发展，在极大程度上依赖于知识的创造、传输和利用。近 30 年来，美国蓝领工人的人数从占劳动人口的 33% 下降到 17%，即产生了劳动力从工业向信息业和服务业的转移。世界各发达国家都在加速发展教育，尤其是高等教育和职业教育。在这样的大趋势下，可以预见，制造业需要加以调整和改造。其主要发展趋势是：

1. 现代制造业的信息化趋势

物质、能量和信息是构成制造系统的三大要素。前两者在历史上曾经占据主导地位，受到重视、研究、开发和利用。随着知识经济的到来，信息这一要素正在迅速上升成为制造系统的主导因素，并对制造业产生实质性的影响。现代产品是在其制造过程中所投入的知识和信息的物化与集成，这些知识和信息被物化在产品中，影响着产品的生产成本。产品信息的质（内容）规范该产品的使用价值，而产品信息的量则量度其交换价值。另外，信息技术的水平对于制造业的组织结构和运行模式有着决定性的影响。机械制造业从手工模式，发展到泰勒模式，直到现代模式，而制约与促进这一发展的基本因素是信息技术的水平。适应知识经济条件下的信息技术水平的制造业的组织结构和运行模式一定会在探索中形成。

2. 现代制造业的服务化趋势

今天的制造业正在演变为某种意义上的服务业。工业经济时代大批量生产条