



上海出版资金项目
Shanghai Publishing Funds



创新应用型数字交互规划教材
机械工程

机械制造技术基础

李蓓智 主 编
王庆霞 项 前 副主编
庞静珠 闫如忠 参 编



上海科学技术出版社

国家一级出版社
全国百佳图书出版单位

内 容 提 要

本书共分6章,以切削理论为基础,以机械制造工艺与装备为主线,以质量、效率、成本、敏捷和绿色为目标,以可制造性和设计要求协同优化为方法,系统地阐明机械制造现状及其重要性、机械加工方法、工具与机床、切削原理、工件安装原理与典型夹具、机械制造工艺及其规程设计、机械加工质量分析与控制方法。本书依托增强现实(AR)技术,将视频、动画等数字资源与纸质教材交互,为读者带来更丰富有效的阅读体验。

本书可作为普通高等院校机械工程及自动化专业学生、机械工程研究生和其他相关专业本科生的教材,也可作为装备制造企业工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础 / 李蓓智主编. —上海:上海科学技术出版社,2017.9

创新应用型数字交互规划教材. 机械工程

ISBN 978-7-5478-3692-7

I. ①机… II. ①李… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第202663号

机械制造技术基础

李蓓智 主编

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路71号 邮政编码200235 www.sstp.cn)

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 13.25

字数: 310千字

2017年9月第1版 2017年9月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-3692-7/TH·72

定价: 45.00元

本书如有缺页、错装或环损等严重质量问题,
请向工厂联系调换

编审委员会

主任 李郝林 陈关龙

副主任 钱 炜

委员 (以姓氏笔画为序)

王小静 李峥嵘 张慧敏 陈 浩

陈军华 徐 洋 惠 虎

顾问 曹自强

编写委员会

(以姓氏笔画为序)

丁晓红 马淑梅 王岩松 朱文峰

任 彬 李 晏 李郝林 李蓓智

张东民 张而耕 荆学东 黄迪山

支持单位

(按首字拼音排序)

德玛吉森精机公司

东华大学

ETA(Engineering Technology Associates, Inc.)中国分公司

华东理工大学

雷尼绍(上海)贸易有限公司

青岛海尔模具有限公司

瑞士奇石乐(中国)有限公司

上海大学

上海电气集团上海锅炉厂有限公司

上海电气集团上海机床厂有限公司

上海高罗输送装备有限公司技术中心

上海工程技术大学

上海理工大学

上海麦迅惯性航仪技术有限公司

上海麦迅机床工具技术有限公司

上海师范大学

上海新松机器人自动化有限公司

上海应用技术大学

上海紫江集团

上汽大众汽车有限公司

同济大学

西门子工业软件(上海)研发中心

浙江大学

中国航天科技集团公司上海航天设备制造总厂

丛书序

在“中国制造 2025”国家战略指引下,在“深化教育领域综合改革,加快现代职业教育体系建设,深化产教融合、校企合作,培养高素质劳动者和技能型人才”的形势下,我国高教人才培养领域也正在经历又一重大改革,制造强国建设对工程科技人才培养提出了新的要求,需要更多的高素质应用型人才,同时随着人才培养与互联网技术的深度融合,尽早推出适合创新型人才培养模式的出版项目势在必行。

教科书是人才培养过程中受教育者获得系统知识、进行学习的主要材料和载体,教材在提高人才培养质量中起着基础性作用。目前市场上专业知识领域的教材建设,普遍存在建设主体是高校,而缺乏企业参与编写的问题,致使专业教学教材内容陈旧,无法反映行业技术的新发展。本套教材的出版是深化教学改革,践行产教融合、校企合作的一次尝试,尤其是吸收了较多长期活跃在教学和企业技术一线的专业技术人员参与教材编写,有助于改善在传统机械工程向智能制造转变的过程中,“机械工程”这一专业传统教科书中内容陈旧、无法适应技术和行业发展需要的问题。

另外,传统教科书形式单一,一般形式为纸媒或者是纸媒配光盘的形式。互联网技术的发展,为教材的数字化资源建设提供了新手段。本丛书利用增强现实(AR)技术,将诸如智能制造虚拟场景、实验实训操作视频、机械工程材料性能及智能机器人技术演示动画、国内外名企案例展示等在传统媒体形态中无法或很少涉及的数字资源,与纸质产品交互,为读者带来更丰富有效的体验,不失为一种增强教学效果、提高人才培养的有效途径。


本套教材是在上海市机械专业教学指导委员会和上海市机械工程学会先进制造技术专业委员会的牵头、指导下,立足国内相关领域产学研发展的整体情况,来自上海交通大学、上海理工大学、同济大学、上海大学、上海应用技术大学、上海工程技术大学等近 10 所院校制造业学科的专家学者,以及来自江浙沪制造业名企及部分国际制造业名企的专家和工程师等一并参与的内容创作。本套创新教材的推出,是智能制造专业人才培养的融合出版创新探索,一方面体现和保持了人才培养的创新性,促使受教育者学会思考、与社会融为一体;另一方面也凸显了新闻出版、文化发展对于人才培养的价值和必要性。

中国工程院院士

本书配套数字交互资源使用说明

针对本书配套数字资源的使用方式和资源分布,特做如下说明:

1. 用户(或读者)可持安卓移动设备(系统要求安卓 4.0 及以上),打开移动端扫码软件(本书仅限于手机二维码、手机 qq),扫描教材封底二维码,下载安装本书配套 APP,即可阅读识别、交互使用。

2. 小节等各层次标题后及插图等对应有加“”标识的,提供视频、动画、彩色放大图片等数字资源,进行识别、交互。具体扫描对象位置和数字资源对应关系参见下列附表。

扫描对象位置	数字资源类型	数字资源名称
图 1-1	彩色图片	五轴数控机床
1.2.2 节下第(4)项	视频	五轴数控机床及加工过程
2.2.1 节下层次 3)标题处	动画	前角和后角、主偏角和副偏角、刃倾角
2.2.3 节下层次 3)标题处	视频	Sandvik 钻、铰刀具
2.3.1.1 节标题处	视频	瑞士托纳斯机床加工
2.3.2 节下层次 2)标题处	视频	镗削
3.2.2 节下层次 1)标题处	视频	铣削力测试
图 3-9	彩色图片	压电式测力仪传感器
3.3.2 节下层次 2)标题处	视频	采用红外热像仪的温度场测试
图 4-22	彩色图片	对刀仪法示例
图 4-35	彩色图片	汽车柔性生产装配线用的随行夹具
图 4-36	彩色图片	卡盘/托板式夹具
4.6.3 节下层次 1)标题处	视频	面向挠性接头细颈的智能制造单元
5.5.3 节下层次 1)标题处	视频	阶梯面装配功能介绍
5.5.3 节下层次 2)标题处	视频	六面装配功能介绍
6.4.4 节标题处	视频	在位/在线监控方法

丛书前言

进入 21 世纪以来,在全球新一轮科技革命和产业变革中,世界各国纷纷将发展制造业作为抢占未来竞争制高点的重要战略,把人才作为实施制造业发展战略的重要支撑,改革创新教育与培训体系。我国深入实施人才强国战略,并加快从教育大国向教育强国、从人力资源大国向人力资源强国迈进。

《中国制造 2025》是国务院于 2015 年部署的全面推进实施制造强国战略文件,实现“中国制造 2025”的宏伟目标是一个复杂的系统工程,但是最重要的是创新型人才培养。当前随着先进制造业的迅猛发展,迫切需要一大批具有坚实基础理论和专业技能的制造业高素质人才,这些都对现代工程教育提出了新的要求。经济发展方式转变、产业结构转型升级急需应用技术类创新型、复合型人才。借鉴国外尤其是德国等制造业发达国家人才培养模式,校企合作人才培养成为学校培养高素质高技能人才的一种有效途径,同时借助于互联网技术,尽早推出适合创新应用型人才培养模式的出版项目势在必行。

为此,在充分调研的基础上,根据机械工程的专业和行业特点,在上海市机械专业教学指导委员会和上海市机械工程学会先进制造技术专业委员会的牵头、指导下,上海科学技术出版社组织成立教材编审委员会和编写委员会,联络国内本科院校及一些国内外大型名企等支持单位,搭建校企交流平台,启动了“创新应用型数字交互规划教材 | 机械工程”的组织编写工作。本套教材编写特色如下:

1. 创新模式、多维教学。教材依托增强现实(AR)技术,尽可能多地融入数字资源内容(如动画、视频、模型等),突破传统教材模式,创新内容和形式,帮助学生提高学习兴趣,突出教学交互效果,促进学习方式的变革,进行智能制造领域的融合出版创新探索。

2. 行业融合、校企合作。与传统教材主要由任课教师编写不同,本套教材突破性地引入企业参与编写,校企联合,突出应用实践特色,旨在推进高校与行业企业联合培养人才模式改革,创新教学模式,以期达到与应用型人才培养目标的高度契合。

3. 教师、专家共同参与。主要参与创作人员是活跃在教学和企业技术一线的人员,并充分吸取专家意见,突出专业特色和应用特色。在内容编写上实行主编负责下的民主集中制,按照应用型人才培养的具体要求确定教材内容和形式,促进教材与人才培养目标和质量的接轨。

4. 优化实践环节。本套教材以上海地区院校为主,并立足江浙沪地区产业发展的整体情况。参与企业整体发展情况在全国行业中处于技术水平比较领先的位置。增加、植入这些企业中当下的生产工艺、操作流程、技术方案等,可以确保教材在内容上具有技术先进、工艺领

先、案例新颖的特色,将在同类教材中起到一定的引领作用。

5. 增设与国际工程教育认证接轨的“学习成果达成要求”。即本套教材在每章开始,明确说明本章教学内容对学生应达成的能力要求。

本套教材“创新、数字交互、应用、规划”的特色,对避免培养目标脱离实际的现象将起到较好作用。

丛书编委会先后于上海交通大学、上海理工大学召开 5 次研讨会,分别开展了选题论证、选题启动、大纲审定、统稿定稿、出版统筹等工作。目前确定先行出版 10 种专业基础课程教材,具体包括《机械工程测试技术基础》《机械装备结构设计》《机械制造技术基础》《互换性与技术测量》《机械 CAD/CAM》《工业机器人技术》《机械工程材料》《机械动力学》《液压与气动技术》《机电传动与控制》。教材编审委员会主要由参加编写的高校教学负责人、教学指导委员会专家和行业学会专家组成,亦吸收了多家国际名企如瑞士奇石乐(中国)有限公司和江浙沪地区大型企业的参与。

本丛书项目拟于 2017 年 12 月底前完成全部纸质教材与数字交互的融合出版。该套教材在内容和形式上进行了创新性的尝试,希望高校师生和广大读者不吝指正。

上海市机械专业教学指导委员会

前 言

20 世纪后期以来,面向个性化的多品种小批量、全球一体化制造模式等已成为世界制造业的主流,对产品质量、绿色制造、生产效率、响应速度、制造成本等的综合目标要求愈来愈高,面对日益激烈的竞争形势,美、德、中、英、日、韩等国家先后发布了先进制造计划。“中国制造 2025”是中国政府实施制造强国战略的第一个十年行动纲领,强调了必须坚持“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本”的基本方针。“大业欲成,人才为重”。新工业革命的加速进行使我国新工科建设势在必行。“中国制造以品质为生命”,中国大学育人也必须把质量放在第一位。

为此,本书对传统《机械制造技术基础》教材做了与时俱进的内容增删和结构调整,融入当前快速发展的、与机械制造技术基础密切相关的先进制造工艺、机床,以及柔性自动化加工过程中的检测、监测与主动控制技术。采用精炼文字、突出概念和知识点、强调知识点间关联性的做法,通过示例、重要提醒、思考与讨论等写作方式,使知识点及其典型例子、相关知识点及其综合应用案例具有整体性和连贯性。加强了相关知识点、案例、作业与机械制图、互换性与技术测量等专业基础课程的联系,使学生持续关注不同课程间相关知识的联系与综合应用技术,关注相关准则在不同情况的灵活应用,并掌握通过相互协调、获取实际工程问题最优解决方案的方法与技术,为培养创新应用型卓越工程师人才、适应和融入先进机械制造技术主流奠定理论和工程实践基础。

本书共分 6 章,主要创新内容和特色在于:

第 1 章通过列举东芝事件、国际高端数控装备、中国制造的重大装备,强调了装备制造业是国民经济和国防建设的重要基础,强调了发展高端装备制造是中国成为制造强国的重中之重,突出了学习本课程的必要性和重要性;通过概括零件成形方法及相关课程的分工、装备的基本组成及相关定义等,强调了现代制造的达成目标及其对现代制造工艺的要求及其关联性,使读者明确要掌握的重要内容;通过强调主要知识单元及其关联性、理论学习与工程实践要点,使读者掌握本课程的学习要领和进行综合应用的学习方法。

第 2 章在描述零件工艺特征成形方法时,强调了刀具形状、成形轨迹和机床运动的综合作用;突出了数控机床、工艺装备与工艺之间的内在联系;增加了钛合金、工程陶瓷等难加工材料所对应的 CBN、金刚石等新型刀具材料的相关内容。

第 3 章基于塑性材料的切屑形成及切削变形过程,解释了切削力、切削热和刀具磨损等物理现象;强调了主要物理量的影响因素和作用规律;增加了高速切削和磨削机理,强调了高速

条件下的特殊规律及其对高质量、高效率加工的促进作用。

第4章给出了组合定位方案的理性分析方法,通过先后主次比较增加定位元件前后的工件被约束情况,准确分析和理解相关定位元件的作用;强调了通过修正工序调刀尺寸可避免定位销等元件制造误差对定位精度的影响,以客观评价定位精度、工序精度和设计精度的合理性;增加了多工序精准定位与高效安装夹具,可适用各种批量的生产模式、遵守多工序基准统一原则,也是实现信息物理系统和智能制造的重要工具之一。

第5章通过知识点与典型示例的紧密结合,阐明了工艺规程设计原则、设计方法与设计步骤;强调了装配工艺规程设计,以保证零部件、机器制造技术内容的完整性;强调了典型工艺尺寸链和装配尺寸链的规范计算方法;增加了计算机辅助复杂空间尺寸链装配精度设计方法,可有效进行装配精度的合理分配或精度设计的合理性校验。

第6章增加了在线、在位检测方法,这是满足单件小批、精密与超精密、复杂高性能关键件加工及其制造目标的方法之一,也是实现智能制造的基本手段之一;增加了目前国际上公认的表面完整性的概念,强调了显微结构变化、显微裂纹、合金贫化等表面层冶金质量对极端工作环境下高性能关键件的可靠性和工作寿命具有重要影响。

本书由东华大学李蓓智教授任主编,王庆霞副教授、项前副教授任副主编。具体编写分工如下:李蓓智编写第1、4章,庞静珠编写第2章,王庆霞编写第3章,项前编写第5章,闫如忠编写第6章。全书由李蓓智教授统稿。

感谢中国航天科技集团公司上海航天设备制造总厂、上海电气集团上海机床厂有限公司、上海麦迅机床工具技术有限公司、上海麦迅惯性航仪技术有限公司、德玛吉森精机公司、ETA (Engineering Technology Associates, Inc.)中国分公司、雷尼绍(上海)贸易有限公司在校企合作、校外实习基地、校内实验室建设等方面的大力支持。感谢为本书提供相关资料和视频的相关公司、工程师和网站,尤其要感谢的是,德玛吉董道师先生(第1章)、优酷影视库(第2章、第6章)、托纳斯贸易(上海)有限公司黄欣春先生(第3章)、雷尼绍(上海)贸易有限公司孙常健先生(第4章)、ETA 赵磊先生(第5章)。

编者

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	机械制造业的地位及其发展	1
1.2	机械制造技术基础课程概述	4
1.3	机械制造技术基础课程的知识单元与学习方法	7
第 2 章	机械加工方法与机床	9
2.1	零件特征表面的成形方法	9
2.2	切削刀具的基础知识	12
2.3	加工方法与机床	22
2.4	数控机床及其功能部件	33
第 3 章	切削与磨削原理	42
3.1	切削过程	42
3.2	切削力	45
3.3	切削热与切削温度	48
3.4	刀具磨损与耐用度	52
3.5	切削条件的合理选择	56
3.6	高速切削与磨削原理	60
第 4 章	工件安装原理与机床夹具	71
4.1	基准的概念与定义	71
4.2	定位原理及其分析要点	72
4.3	定位误差计算方法及其案例分析	78
4.4	工件的夹紧装置及相关分析计算	84
4.5	典型的机床夹具及应用	87

4.6	新型夹具及智能制造	97
第5章	工艺规程设计	107
5.1	制造过程基本概念	107
5.2	机械加工工艺过程设计	111
5.3	工艺尺寸链	133
5.4	装配工艺规程设计	136
5.5	计算机辅助精度设计方法	150
第6章	机械制造质量分析与控制	164
6.1	机械加工精度	164
6.2	工艺系统几何误差	166
6.3	工艺系统受力、受热和内应力变形引起的误差	171
6.4	加工误差的分析与控制	179
6.5	机械加工表面质量	188
	参考文献	196

第 1 章

绪 论

◎ 学习成果达成要求

绪论是本课程学习目的、学习内容、学习方法及学习要求的总引导,是课程学习的基础和前提。

学生应达成的能力要求包括:

1. 充分理解学习本课程的目的意义,尤其是发展高端装备是“中国制造 2025”重中之重的重要意义。
2. 了解贯穿本课程主要章节的相关概念与定义,以及制造工艺与制造达成目标的关系。
3. 了解本课程的主要知识单元及其关联性、理论学习与工程实践要点,以及本课程的学习要领和进行综合应用的学习方法。

《《《

制造业是国民经济的基础和支柱,它通过为国民经济各行各业、国计民生和国防建设提供技术装备和支撑,影响和制约着国民经济的发展。机械制造业的发展对增强一个国家的综合实力、建设强大国防、改善国计民生和发展高科技都具有举足轻重的作用。自第一次工业革命以来,大批量制造过程已逐步实现了机械化、电气化、自动化,并向多品种小批量制造需求的柔性化、柔性自动化和智能化方向发展。本章重点要解决的问题是,设置和学习本课程的必要性、要学习的主要内容和可以解决的问题,以及掌握要领和综合应用的学习方法。

1.1 机械制造业的地位及其发展

1.1.1 机械制造业是国民经济的支柱产业

制造业是生产工业品和消费品企业群体的总称。据统计,工业化国家 70%~80% 的物质财富来自制造业。制造业的内容十分广泛,包括衣食住行用的各种产品、各行各业的生产设备、军事装备等,涉及机械、电子、轻工、冶金、石化、纺织、医药、食品、军工等行业。

机械制造业是制造业的重要组成部分。由中国海关给出的 2014—2016 年我国货物贸易、机电产品进出口的统计数据(表 1-1),从一个侧面说明了机械制造业在国民经济中的重要地位。

1.1.2 机械制造业是国民经济和国防建设的重要基础

1.1.2.1 装备制造业

装备制造业方面有重大基础机械、重要机械电子基础件、科技与国防重大成套技术装备的制造企业。数控机床是典型的重大基础机械,是制造装备的装备;重要的机械、电子基础件包

表 1-1 中国海关关于我国货物贸易、机电产品进出口的统计数据

年份	外贸产品(万亿元)			机电产品(万亿元)			机电产品占外贸比例(%)		
	总值	进口	出口	总值	进口	出口	总值	进口	出口
2014	26.43	12.04	14.39	13.33	5.28	8.05	50.44	43.85	55.94
2015	24.59	10.45	14.14	13.13	4.98	8.15	53.40	47.66	57.64
2016	24.33	10.49	13.84	12.27	4.29	7.98	50.43	40.90	57.66

括先进的液压、气动、轴承、密封、模具、刀具、低压电器、微电子和电力电子器件、仪器仪表及自动化控制系统等；重大成套技术装备指的是支撑农业、能源、交通、原材料、医疗卫生、环保等国民经济发展的、重要行业用的重大成套装备，如矿产资源开采设备。另外还有大型火电、水电、核电成套设备，超高压交直流输变电成套设备，石油化工、煤化工、盐化工成套设备，黑色、有色金属冶炼轧制成套设备，民用飞机、高速铁路、地铁及城市轨道交通、汽车、船舶等先进交通运输设备，污水、垃圾及大型烟道气净化处理等大型环保设备，大江大河治理、隧道挖掘和盾构等设备，大型输水输气工程用的成套设备，先进适用的农业机械及现代设施农业成套设备，大型科学仪器和医疗设备，先进大型的军事装备，通信、航管及航空航天装备，先进的印刷设备等。

1.1.2.2 高端数控机床

高端数控装备在装备制造业中具有重要意义。20世纪50年代末，美国首先发展了超精密切削的单点金刚石车刀技术(single point diamond turning)，发展了空气轴承主轴的超精密机床。美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室(Lawrence Livermore National Laboratory)研制的迄今为止仍代表超精密加工设备的最高水平的两台机床：

(1) DTM-3型大型超精密金刚石车床。1983年诞生，采用金刚石刀具，可加工直径2100mm、质量4500kg的激光核聚变用的各种金属反射镜、红外装置用零件、大型天体望远镜(包括X射线天体望远镜)等，尺寸精度为56nm，圆度和平面度为12.5nm，表面粗糙度为Ra4.2nm。

(2) LODTM大型光学金刚石车床。1984年诞生，可加工直径1625mm、质量1360kg的非球面工件，加工精度可达25nm，Ra4.5nm。

它们为美国航天等尖端技术发展提供了高端零部件制造。

英国Cranfield精密工程研究所研制的车磨复合机床OAGM-2500加工中心，工件形状精度<100nm，Ra10nm。

1.1.2.3 东芝机床事件

先进的机械加工技术对国防建设具有极其重要的意义。东芝机床事件就是一个典型的案例。20世纪80年代初，美国攻击型核潜艇的跟踪距离为20nmile，而苏联的跟踪距离为200nmile，经对噪声的测试分析结论是螺旋桨制造精度低所致。1983年，苏联购买了日本东芝公司若干台五轴联动数控铣床，并用于核潜艇推进螺旋桨的制造，由此提高了核潜艇推进螺旋桨的加工精度，使螺旋桨在水中转动时的噪声显著下降，核潜艇的被跟踪距离缩短到20nmile，核潜艇可以很好地在海底隐藏而不被美国声呐系统监听到其任何动向，且保持至今。这是数控机床发展为苏联的装备制造业和国防事业做出巨大贡献的典型案列。

1.1.2.4 中国制造的重大装备

我国装备制造业增加值占规模以上工业增加值的30%左右，装备制造业总量规模位居世

界前列,重大技术装备自主化水平有了显著提高。典型案例包括:

(1) 神舟载人飞船。2003年10月15日9时,我国自行研制的“神舟”五号载人飞船在中国酒泉卫星发射中心发射升空,9 min 50 s后,“神舟”五号准确进入预定轨道,实现了中国首次载人航天飞行。经过21 h 23 min、60万 km的太空行程后,在内蒙古成功着陆返回。从此,中国成为第三个掌握载人航天技术的国家。

(2) 航空母舰。2017年4月26日,我国第二艘航空母舰在拖曳牵引下缓缓移出船坞,停靠码头。与辽宁舰相比,新型航母的滑跃坡度为 12° ,以缩短滑跃起飞距离,节省飞机燃料。通过免除一些设备、缩小舰岛等,可多搭载6~8架歼-15战机。这不仅标志着中国军事实力的重大进步,也彰显着中国制造业的强势崛起。

(3) C919大飞机。2017年5月5日,首架国产大飞机C919在上海浦东国际机场4号跑道成功起飞。首飞时间90 min,试飞共有15个实验点,试飞员将首次评述飞机的操稳特性、起飞着陆性能、动力装置和驾驶设备等工作情况。

(4) 高速列车。2008年8月1日,我国第一条具有自主知识产权、国际一流水平的高速城际铁路——京津城际铁路正式通车运营。这标志着我国高速铁路技术进入世界先进行列。

(5) 蛟龙号作业型载人潜水器。2012年6月30日,我国第一艘作业型载人潜水器研制成功,其最大下潜深度达7 062 m,说明中国已具备在全球99.8%海域的潜航能力。

(6) 超级计算机。2014年11月17日公布的全球超级计算机500强榜单中,中国“天河二号”连续第四次获得冠军,比第二名的美国“泰坦”快近1倍的速度;2016年6月20日,全球超级计算机500强榜单公布,使用中国自主芯片制造的“神威太湖之光”取代“天河二号”登上榜首,中国超算上榜总数量首次超过美国名列第一。

1.1.3 高端装备制造是中国制造的重中之重

“中国制造2025”是中国政府实施制造强国战略第一个十年的行动纲领。

(1) 基本方针。坚持“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本”。

(2) 基本原则。坚持“市场主导、政府引导,立足当前、着眼长远,整体推进、重点突破,自主发展、开放合作”。

(3) 战略目标及重要时间点。实现制造强国的“三步走”战略目标:2025年迈入制造强国行列;2035年中国制造业整体达到世界制造强国阵营中等水平;2049年(新中国成立100周年)综合实力进入世界制造强国前列。

(4) 重点发展的十大领域。新一代信息技术产业、高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车电力装备、农业装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械。

(5) 优势领域。与国际强国水平比较接近的领域,如通信设备、轨道交通装备、电力装备、航天装备、船舶领域。

(6) 战略必争领域。与国民经济、国防建设、科技进步和人民生活息息相关的领域,如集成电路及专用装备、高档数控机床和机器人、航空装备、节能与新能源汽车、农机装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械领域。

(7) 重中之重领域。新一代信息技术是技术革命和产业变革的引领者;高档数控机床和机器人、航空航天装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农机装备是支撑国民经济和国家安全的脊梁,属于高端装备;新材料是国民经济的基础;医药及器械是人民健康的保证。显然,高端装备是重中之重,高档数控机床和机器人是

发展高端装备的重要基础与核心。

1.2 机械制造技术基础课程概述

(1) 课程性质。面向通用装备和专业装备机械制造的专业技术课程。

(2) 主要内容。机械制造工艺、切削刀具、机床夹具和金属切削机床等相关理论、方法与技术,以及控制机械制造质量、效率、成本等的方法与对策等。

(3) 新的主流制造模式。多品种小批量生产模式、柔性自动化制造、网络化异地制造、智能制造等。世界各国先后发布的先进制造计划,如美国先进制造业战略计划(2012年)、德国工业4.0(2013年)、中国制造2025(2015年)等。

(4) 新工科概念。针对高校工程教育与先进制造业在人才供给和需求之间的“错配”现象或在科技革命、产业变革、新经济及新起点背景下提出的新概念(尚未确切定义)。

(5) 新工科的“五新”特点。工程教育的新理念、学科专业的新结构、人才培养的新模式、教育教学的新质量、分类发展的新体系。

(6) 新的课程体系。以机械制造工艺与装备为主线,质量、效率、成本、敏捷和绿色为目标,可制造性和设计要求协同优化为方法,从系统工程的角度,根据学以致用用的教学质量标准构建新的课程体系。

(7) 新的教学内容。①增加了新的制造模式、新的制造技术与装备的相关内容;②加强多品种小批量生产工艺和夹具的相关内容及其对比分析;③将相应的先进制造技术融入相关章节,如柔性自动化智能夹具,其不仅适用于多品种小批量生产、实现多工序基准统一,而且可以基于射频识别技术,实现物流与信息系统的集成,其涉及多章节内容和多个研究领域;④介绍了实现复杂产品及其零部件精度设计的现代优化设计手段及软件。

(8) 新的教学方法。对相关章节内容进行有机结合,并强化综合应用,为培养创新、应用型卓越工程师人才,适应和融入机械制造主流奠定理论和工程实践基础;明确相关知识点及其典型示例,加强知识点间的关联性,以及典型应用案例的连贯性和综合性。

1.2.1 零件加工成形方法的分类及课程分工

(1) 传统的分类方法。热加工和冷加工两大类零件加工成形方法。在金属学中,称高于金属再结晶温度的加工为热加工。热加工可分为金属铸造、热轧、锻造、焊接和金属热处理等工艺。冷加工为金属的切削加工,即采用刀具、磨具和磨料等工具去除毛坯或工件上多余的材料,使工件获得规定的几何形状、尺寸和表面质量的加工方法。任何切削加工都具备切削工具、工件和切削运动三个基本条件。

(2) 新的分类方法。基于材料成形前后的材料变化规律进行分类的方法。定义 ΔM 为成形后的零件材料总量减零件成形前的材料总量的差值,称 $\Delta M = 0$ 的为热加工, $\Delta M < 0$ 的为冷加工, $\Delta M > 0$ 的为快速成形(3D打印等快速成形技术)。切削加工的适应范围很广,且能达到很高的加工精度和表面完整性,因此切削加工是机械制造中最主要的加工方法,在机械制造工艺中占有重要地位。

(3) 相关课程的分工。冷加工也称为机械加工,属于机械制造技术基础范畴;热加工属于机械制造基础课程范畴;将快速成形技术纳入先进制造技术课程范畴。

1.2.2 机器(装备)的基本组成及相关定义

(1) 机器(装备)的定义。由若干零部件组成的实体,消耗能源,可运转或运动、做功,用来代替

人的劳动,通过能量变换、信息处理,产生有用功,贯穿人类历史全过程,“机器”是在西方工业革命后逐步发明出来的。具有明确的功能要求、精度和工作参数等技术要求。

五轴数控铣床的五轴通常包括三个移动轴(X、Y、Z)、两个转轴(C和B或C和A),其中B轴为主轴摆动轴、C轴为工作台的回转轴、A轴为工作台的摆动轴,如图1-1所示。图1-2给出了驱动刀具的电主轴,包括了定子铁芯、定子绕组、转子铁芯、永磁铁等主要零件。

(2) 部件的定义。按功能或工艺要求划分的装配单元,由若干零件组成,零件间具有确定的相对位置。典型的机床功能部件及类型包括电主轴、联轴器、立柱和床身等,它们分别属于传动部件、连接部件和支撑部件。具有明确的功能要求、精度和工作参数等技术要求。

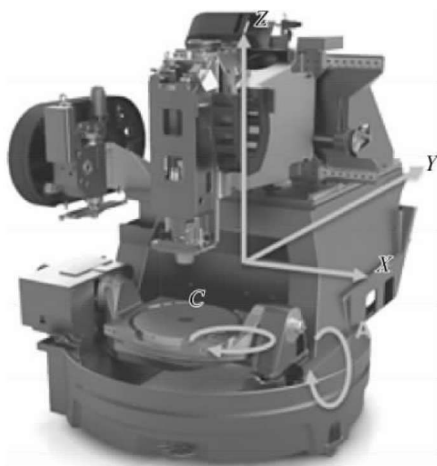


图 1-1 五轴数控机床

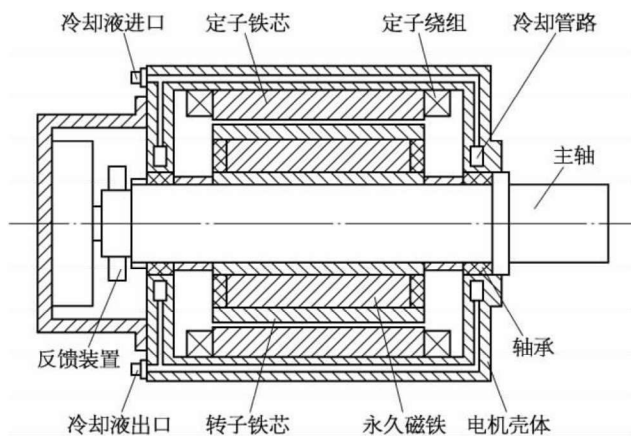


图 1-2 驱动刀具的电主轴

(3) 零件的定义。组成机器的最基本单元体,具有确定的形状和尺寸等几何要求,以及加工精度和表面质量技术要求。

(4) 五轴数控机床及其加工示例。通过观看视频,了解五轴数控机床的基本类型、主要功能部件及其自动化加工过程。尤其是加工具有复杂形状和位置关系的零件。

1.2.3 制造工艺与达成目标的关系

(1) 达成目标。零部件经过机械制造后应该达到或实现相关指标。如质量、效率和成本,这是最基本的机械制造的达成目标。随着工业革命、社会进步和科学技术的不断发展,及其引发的进一步需求和制造业所导致的一些负面影响等,机械制造的达成目标也在不断发展。如当前,在质量、效率和成本的基础上,增加了自动、敏捷、绿色环保、柔性、智能等达成目标;在传统微米级甚至几十微米的精度基础上,实现了亚微米,甚至精密和超精密的加工精度;在表面粗糙度为主的表面质量基础上,国际上提出了表面完整性要求;在追求大批量生产效率的基础上,提出了多品种单件柔性生产效率,或大规模定制效益;在单机自动化、流水作业过程自动化的基础上,提出了柔性自动化,甚至智能制造目标。

(2) 制造工艺与达成目标的关系。通常实现不同零部件和机器的精度、表面完整性、功能和数量等要求需要不同的制造工艺,而不同的制造工艺具有不同的生产效率、制造成本等。因