

普通高等教育机电工程类应用型本科规划教材

机械制造技术基础

李永刚 主 编
李从权 副主编
张福润 主 审

清华大学出版社

普通高等教育机电工程类应用型本科规划教材

机械制造技术基础

李永刚 主 编

李从权 副主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书根据普通高等学校应用型本科教育教材规划的目标和要求,贯彻将理论知识和实践知识有机结合的改革思路,综合了金属切削原理及刀具、金属切削机床设计、机械制造工艺学的基本内容,对机械制造技术的基础知识、基本理论、基本方法等有机整合后,撰写而成。

该书涉及的知识面较广,内容充实,图文并茂,宜教宜学,结合生产实际,是一本可读性较强的实用教材。全书除绪论外共分8章,包括:金属切削基础知识、金属切削过程及其控制、金属切削机床及其基本知识、工件夹紧及机床夹具、机械加工质量分析与控制、机械加工工艺规程的设计、典型零件加工工艺的设计、特种加工与先进制造技术。在每章首页均写有内容提要、本章要点及难点,供大家学习时参考。每章后均附有习题与思考题。

本书可作为高等工科院校机械、机电类或其他相关专业的本科、专科教材或教学参考书,也可作为高等职业技术学院、成人高校等机械类相关专业的教材或参考书,也可供机械制造技术人员参考使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/李永刚主编.--北京:清华大学出版社,2014

普通高等教育机电工程类应用型本科规划教材

ISBN 978-7-302-37695-8

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(2014)第 186380 号

责任编辑:孙 坚 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:王淑云

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:22.75 字 数:553 千字

版 次:2014 年 12 月第 1 版 印 次:2014 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:45.00 元

产品编号:047958-01

普通高等教育机电工程类应用型 本科规划教材编委会

主 任：吴昌林

副主任（以姓氏首字母排序）：

陈小圻	李元科	容一鸣
孙立鹏	余世浩	

编 委（以姓氏首字母排序）：

常万顺	陈晓岑	胡正前
李从权	李 硕	齐洪方
石从继	王晓进	杨家军

序

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应科学技术的发展,满足人才市场的需求,高等工程教育必须适时地进行调整和变化。专业的知识体系、教学内容在社会发展和科技进步的驱使下不断地伸展扩充,这是专业或课程边界变化的客观规律,而知识体系内容边界的再设计则是这种调整和变化的主观体现。为此,教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会与中国机械工程学会、清华大学出版社合作出版了《中国机械工程学科教程》(2008年出版),规划机械专业知识体系结构乃至相关课程的内容,为我们提供了一个平台,帮助我们持续、有效地开展专业的课程体系内容的改革。本套教材的编写出版就是在上述背景下为适应机电类应用型本科教育而进行的尝试。

本套教材在遵循机械专业知识体系基本要求的前提下,力求做到知识的系统性和实用性相结合,满足应用型人才培养的需要。

在组织编写时,我们根据《中国机械工程学科教程》的相关规范,按知识体系结构将知识单元模块化,并对应到各个课程及相关教材中。教材内容根据本专业对知识和技能的设置分成多个模块,既明确教材应包含的基本知识模块,又允许在满足基本知识模块的基础上增加特色模块,以求既满足基本要求又满足个性培养的需要。

教材的编写,坚持定位于培养应用型本科人才,立足于使学生既具有一定的理论水平,又具有较强的动手能力。

本套教材编写人员新老结合,在华中科技大学、武汉大学、武汉理工大学、江汉大学等学校老教师指导下,一批具有教学经验的年轻教师积极参与,分工协作,共同完成。

本套教材形成了以下特色:

(1) 理论与实践相结合,注重学生对知识的理解和应用。在理论知识讲授的同时,适当安排实践动手环节,培养学生的实践能力,帮助学生在理论知识和实际操作方面都得到很好的锻炼。

(2) 整合知识体系,由浅入深。对传统知识体系进行适当整合,从便于学生学习理解的角度入手,编排教材结构。

(3) 图文并茂,生动形象。图形语言作为机电行业的通用语言,在描述机械电气结构方面有其不可替代的优势,教材编写充分发挥这些优势,用图形说话,帮助学生掌握相应知识。

(4) 配套全面。在现代化教学手段不断发展的今天,多媒体技术已经广泛应用到教学中,本套教材编写过程中,也尽可能为教学提供方便,大部分教材有配套多媒体教学资源,以期构建立体化、全方位的教学体验。

本套教材以应用型本科教育为基本定位,同时适用于独立学院机电类专业教学。

作为机电类专业应用型本科教学的一种尝试,本套教材难免存在一些不足之处,衷心希望读者在使用过程中,提出宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。



2012 年 6 月

前言

为了适应我国制造业的高速发展以及对高级专业技术人才培养的需要,我国高等教育事业正进行着一场重大变革。就人才培养而言,应力求造就一代知识面广、具有一定实践经验和动手能力、适应性强的宽厚型、复合型、开放型的新型人才。

本着此宗旨,按照机械设计及制造类专业的教学要求,高等工科院校的教学计划对机械制造系列课程及其学时进行了相应的调整。为了适应新的教学体系和制造业的发展趋势,本书将原机械设计与机械制造专业的三门主干专业课(金属切削原理及刀具、金属切削机床设计、机械制造工艺学)的基本内容加以提炼、充实和更新,在着重讲清基本概念、基本原理的基础上,按照少而精的原则浓缩内容,用尽量少的文字反映国内外先进制造技术水平,为机械工程类专业培养通用型人才奠定一定的专业基础知识。

本书在内容安排上侧重机械制造方面冷加工领域的基本知识、基本原理和基本方法,突出了专业基础内容;在章节次序的安排上,既考虑了专业知识本身的内在联系,又遵循了专业基础前后贯通的原则。本书集基础性、传统性、应用性、学以致用等特点于一身。

该书内容包括金属切削加工、磨削过程中的物理现象及其规律,金属切削刀具的功用、性能和常用金属切削机床的传动、特点,以及有关制造过程中的加工质量、加工精度、工装夹具、加工工艺规程和装配工艺规程、特种加工(非常规加工)等方面的必备知识。

全书内容所涉及的知识面较广,分析透彻,重点突出。其特点是在每个知识点上都配有图例说明,讲解由浅入深,使学生宜懂、老师宜教,真正做到了事半功倍的效果。同时对于从事机械制造专业的工程技术人员、管理人员,本书也是必不可少的专业参考书。

本书作者曾长期在机械制造企业的生产第一线从事技术工作,之后因工作需要到高校从事本专业的教学工作,有着丰富的实践和教学经验。该书由华中科技大学文华学院李永刚任主编,具体分工为:绪论、第1章、第2章、第4~8章由华中科技大学文华学院李永刚编写,第3章由江汉大学文理学院李从权编写。

全书由华中科技大学张福润教授主审,张教授认真仔细地审阅了全书,提出了极为宝贵的修改和指导意见,对提高本书的质量给予了重要帮助,作者在此谨致以衷心的感谢。

本书在编写过程中得到了华中科技大学吴昌林教授、华中科技大学文华学院李元科教授、华中科技大学文华学院朱传军副教授等专家学者的热情帮助与大力支持,并对书稿内容和教材体系提出了宝贵的意见和具体建议,编者在此表示诚挚的谢意,本

书在编写过程中,参考了许多学者和专家的文献和著作,作者特别感谢他们的学术贡献。

由于本书内容较多,融入个人的想法也较多,加之精力有限、时间仓促,以及编者水平的不足,书中难免有欠妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2014 年 11 月

目录

绪论	1
0.1 制造业和机械制造技术	1
0.2 先进制造技术的特点及发展趋势	2
0.3 课程的学习要求和学习方法	4
习题与思考题	5
第1章 金属切削基础知识	6
1.1 切削运动与切削用量	6
1.1.1 切削运动	6
1.1.2 切削用量三要素	7
1.2 刀具切削部分的几何参数	9
1.2.1 刀具切削部分的结构要素	9
1.2.2 刀具标注角度参考系	10
1.2.3 刀具的标注角度	11
1.2.4 刀具的工作角度	13
1.2.5 切削方式	15
1.3 常用刀具材料及其选用	16
1.3.1 刀具材料应具备的性能	16
1.3.2 常用刀具材料的介绍及分类	17
1.3.3 高速钢	18
1.3.4 硬质合金	18
1.3.5 其他刀具材料	20
1.4 刀具材料和几何参数的选择	22
1.4.1 刀具材料的选择	22
1.4.2 刀具几何参数的选择	23
1.4.3 刀具几何参数的选择实例	27
1.5 常用金属切削刀具与砂轮	28

1.5.1	车削与车刀	29
1.5.2	孔加工刀具	32
1.5.3	铣削与铣刀	37
1.5.4	拉削与拉刀	41
1.5.5	齿形切削与齿轮刀具	44
1.5.6	磨削与砂轮	46
	习题与思考题	51

第2章 金属切削过程及其控制 53

2.1	金属切削过程的变形	53
2.1.1	切削变形区的划分	53
2.1.2	切屑形成过程及切削变形程度	55
2.1.3	前刀面与切屑间的摩擦	58
2.1.4	积屑瘤的形成及其对切削过程的影响	59
2.1.5	切屑的类型及控制	61
2.1.6	加工表面的形成与加工硬化	65
2.2	切削力	66
2.2.1	切削力的来源、切削合力及分力、切削功率	66
2.2.2	切削力的计算及经验公式	68
2.2.3	影响切削力的主要因素	71
2.3	切削热与切削温度	73
2.3.1	切削热的产生和传导	74
2.3.2	切削温度的分布及其对切削过程的影响	74
2.3.3	影响切削温度的因素	76
2.4	刀具磨损与刀具耐用度	78
2.4.1	刀具的磨损形式	78
2.4.2	刀具的磨损原因	79
2.4.3	刀具的磨损过程及磨钝标准	81
2.4.4	刀具耐用度概念及其影响因素	82
2.4.5	刀具耐用度的合理选择	85
2.4.6	刀具的破损	86
2.5	切削用量的合理选择	87
2.5.1	选择切削用量时考虑的因素及选用原则	87
2.5.2	合理切削用量的选择方法	88
2.5.3	提高切削用量的途径	91
2.6	切削液的合理选用	91
2.6.1	切削液的作用	92
2.6.2	切削液和添加剂的分类及选用	92
2.6.3	切削液的使用方法	94

2.7 磨削过程及磨削特征	95
2.7.1 磨粒特征	95
2.7.2 磨屑的形成过程	95
2.7.3 磨削力和磨削用量	96
2.7.4 磨削阶段	97
2.7.5 磨削热和磨削温度	98
2.7.6 砂轮磨损与耐用度	98
习题与思考题	99
第3章 金属切削机床及其基本知识	101
3.1 金属切削机床的基本知识	101
3.1.1 机床分类及型号	101
3.1.2 机床运动	103
3.1.3 机床传动	106
3.2 车床	110
3.2.1 CA6140 型卧式车床的组成和主要技术参数	110
3.2.2 传动系统: 主运动传动链、传动路线表达式	111
3.3 磨床	113
3.3.1 M1432A 型万能外圆磨床的组成和主要技术参数	113
3.3.2 传动系统、传动路线表达式	115
3.3.3 几种典型的加工方式	117
3.3.4 平面磨床	117
3.4 铣床	117
3.5 镗床	119
3.6 钻床	121
习题与思考题	122
第4章 工件夹紧及机床夹具	123
4.1 概述	123
4.1.1 装夹的概念	123
4.1.2 基准的概念及其分类	124
4.1.3 夹紧装置的组成及基本要求	126
4.2 夹紧力的确定	128
4.2.1 夹紧力作用方向的选择	128
4.2.2 夹紧力作用点的选择	129
4.2.3 夹紧力的计算	130
4.3 机床夹具的分类	131
4.3.1 按夹具的使用特点分类	131
4.3.2 按使用机床分类	133

4.3.3	按夹紧的动力源分类	133
4.4	工件定位的基本原理	133
4.4.1	工件在夹具中的定位	133
4.4.2	完全定位与不完全定位	137
4.4.3	欠定位与过定位	138
4.5	定位方式与定位元件的选择	140
4.5.1	工件以平面定位时的定位元件	140
4.5.2	工件以内孔定位时的定位元件	142
4.5.3	工件以外圆柱面定位时的定位元件	146
4.5.4	工件以组合表面定位	148
4.6	定位误差分析	149
4.6.1	定位误差及其产生原因	149
4.6.2	定位误差的计算	151
4.7	典型夹紧机构	151
4.7.1	斜楔夹紧机构	151
4.7.2	螺旋夹紧机构	153
4.7.3	圆偏心夹紧机构	155
4.7.4	定心夹紧机构	157
4.7.5	联动夹紧机构	158
	习题与思考题	159
第5章	机械加工质量分析与控制	163
5.1	机械加工精度概述	163
5.1.1	机械加工精度的基本概念	163
5.1.2	获得机械加工精度的方法	164
5.1.3	机械加工过程中的原始误差	168
5.2	原理误差与工艺系统几何误差对加工精度的影响	168
5.2.1	加工原理误差	168
5.2.2	工艺系统几何误差	169
5.3	工艺系统受力变形对加工精度的影响	176
5.3.1	基本概念	176
5.3.2	工艺系统刚度的计算	177
5.3.3	工艺系统刚度对加工精度的影响	177
5.3.4	减小工艺系统受力变形的措施	183
5.3.5	工件残余应力重新分布引起的变形	186
5.4	工艺系统的热变形对加工精度的影响	188
5.4.1	工艺系统的热源	189
5.4.2	机床热变形对加工精度的影响	190
5.4.3	工件热变形对加工精度的影响	190

5.4.4	刀具热变形对加工精度的影响	192
5.4.5	减少工艺系统热变形对加工精度影响的措施	193
5.5	提高和保证加工精度的途径	196
5.6	机械加工表面质量	199
5.6.1	机械加工表面质量的概述	199
5.6.2	机械加工表面的含义	199
5.6.3	表面质量对零件使用性能的影响	201
5.6.4	表面完整性	203
5.7	表面粗糙度及其影响因素	204
5.7.1	切削加工中影响表面粗糙度的因素	204
5.7.2	磨削加工中影响表面粗糙度的因素	206
5.8	表面层物理机械性能的影响因素	207
5.8.1	加工表面的冷作硬化	207
5.8.2	加工表面层残余应力	208
5.8.3	表面层金相组织变化——磨削烧伤	209
5.9	提高表面质量的加工方法	211
5.9.1	采用光整加工方法降低表面粗糙度值	211
5.9.2	表面强化工艺改善物理力学性能	213
	习题与思考题	215
第6章	机械加工工艺规程的设计	217
6.1	基本概念	217
6.1.1	生产过程和机械加工工艺过程	217
6.1.2	机械加工工艺过程的组成	218
6.1.3	生产纲领和生产类型	220
6.1.4	机械加工工艺规程	222
6.1.5	机械加工工艺规程设计的原始资料	225
6.1.6	设计机械加工工艺规程的原则和步骤	225
6.2	零件的工艺性分析	227
6.2.1	分析和检查产品的装配图和零件图	227
6.2.2	分析零件的结构工艺性	228
6.3	毛坯的确定	232
6.3.1	毛坯的类型	232
6.3.2	毛坯的选择	238
6.4	定位基准的选择	238
6.4.1	粗基准的选择	239
6.4.2	精基准的选择	241
6.5	机械加工工艺路线的拟定	244
6.5.1	表面加工方法的选择	244

6.5.2	加工阶段的划分	251
6.5.3	工序的集中与分散	252
6.5.4	工序的排列	253
6.6	机床设备及切削用量的选择	256
6.7	工艺过程的生产率与技术经济分析	258
6.7.1	时间定额及其组成	258
6.7.2	提高劳动生产率的工艺措施	259
6.7.3	工艺过程方案的技术经济分析	262
6.8	零件加工工艺尺寸链	264
6.8.1	尺寸链的定义和组成	264
6.8.2	尺寸链的特征及分类	266
6.8.3	工艺尺寸链的基本计算方法	267
6.8.4	尺寸链的基本计算公式	267
6.8.5	加工工艺尺寸链计算示例	270
6.9	机械产品的装配质量	276
6.9.1	装配的概念	276
6.9.2	装配工作的基本内容	276
6.9.3	机械装配精度	277
6.9.4	装配精度与零件精度的关系	278
6.9.5	保证装配精度的方法及选择	279
	习题与思考题	284

第7章 典型零件加工工艺的设计 289

7.1	轴类零件加工	289
7.1.1	概述	289
7.1.2	轴类零件的毛坯、材料及热处理	291
7.1.3	轴类零件外圆表面的加工方法	293
7.1.4	轴类零件加工工艺设计实例	296
7.2	套筒类零件的加工	300
7.2.1	概述	300
7.2.2	套筒类零件的材料、毛坯及热处理	301
7.2.3	套筒类零件内孔表面的普通加工方法	303
7.2.4	轴承套的加工工艺设计实例	307
7.3	箱体类零件的加工	310
7.3.1	概述	310
7.3.2	箱体类零件加工工艺分析	313
7.3.3	箱体零件加工工艺设计实例	317
	习题与思考题	318

第 8 章 特种加工与先进制造技术	320
8.1 电火花加工	321
8.1.1 电火花加工原理	321
8.1.2 电火花加工的特点及应用	322
8.1.3 电火花线切割加工	322
8.2 电解加工	324
8.2.1 电解加工的基本原理	324
8.2.2 电解加工的工艺特点和应用	325
8.2.3 电解加工精度和表面质量	325
8.3 激光加工	326
8.3.1 激光加工原理	326
8.3.2 激光加工的工艺特点及应用	327
8.4 超声波加工	328
8.4.1 超声波加工的工作原理	328
8.4.2 超声波加工的工艺特点及应用	329
8.5 电子束加工	330
8.5.1 电子束加工原理	330
8.5.2 电子束加工特点及应用	330
8.6 离子束加工	331
8.6.1 离子束加工原理	331
8.6.2 离子束加工的特点与应用	332
8.7 先进制造技术	333
8.7.1 微细制造技术	333
8.7.2 超精密加工	336
8.7.3 柔性制造自动化技术与系统	338
8.7.4 先进制造生产模式	342
习题与思考题	347
参考文献	348



绪 论

0.1 制造业和机械制造技术

1. 制造业和机械制造技术的概念

所谓制造,是指人类运用自己掌握的知识和技能,通过手工或工具,采用有效的方法,按照所需的目的,将原材料加工成具有使用价值的物质产品并投放市场的过程。随着社会的进步和制造活动的发展,制造的内涵也在不断地深化和扩展,因此制造的概念是不断发展进化的。

机械制造是指各种机械、仪器、仪表制造过程的总称,也就是说,要获得一个合格的零件和产品,必然要经过一系列从原材料到成品的制造过程,这种制造过程称为机械制造。

所谓制造业是所有与制造有关的行业的总称,制造业是将各种原材料加工制造成可使用的工业制成品的工业,制造业不仅为广大消费者直接提供商品,满足人民群众日益增长的物质需求,还担负着为国民经济各部门以及科技、国防等提供各种技术装备的重任。

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和物质基础,是国家综合竞争力的重要标志和社会进步的象征,是国家安全的基本保证。据报道,美国 68% 的财富来源于制造业,日本国民总产值的 49% 是由制造业提供的。中国的制造业在国民生产总值中也占有 40% 的比例。另外,中国的制造业还创造了一半的财政收入、吸引了一半的城市就业人口和农村剩余劳动力,创造了接近 3/4 的外汇收入。可以说,没有发达的制造业就不可能有国家真正的繁荣和富强。

机械制造技术是机械制造过程中所涉及的各种技术的总称,是完成机械制造活动所施行的一切手段的总和,是国民经济得以发展的基础,也是制造业本身赖以生存的关键技术。

2. 机械制造技术的发展历史

人类文明的发展与制造业的进步密切相关。早在石器时代,人类就开始利用天然石料制作工具,用其猎取自然资源为生。到了青铜器和铁器时代,人们开始采矿、冶金、铸锻工具,并开始制作纺织机械、水力机械、运输车辆等,以满足以农业为主的自然经济的需要。那时,采用的是作坊式的以手工劳动为主的生产方式。

机械制造作为一门系统的科学和技术,主要还是近 200 多年的事。18 世纪中叶,随着

蒸汽机的发明和以瓦特改进蒸汽机及其大量的应用,机械和蒸汽动力技术相结合,出现了以动力驱动为特征的制造方式,引发了第一次工业革命。1775年,英国人约翰·威尔金森(J. Wilkinson)为加工瓦特蒸汽机的汽缸,研制成功了第一台卧式镗床。到1860年,车、铣、刨、插以及齿轮和螺纹加工机床相继出现,形成了较为完整的金属切削机床产品系列,为机械制造技术的发展提供了有利条件。

19世纪中叶,电磁场理论的建立为发电机和电动机的产生奠定了基础,从而迎来了以电气化为特征的第二次工业革命。以电能作为新的动力源,不仅改变了机器的结构,而且提高了生产效率。与此同时,互换性原理和公差配合制度应运而生,所有这些使机械制造业发生了重大变革,从而使机械制造技术进入了快速发展时期。

随着冶金技术的发展,钢铁及其合金材料得到大量使用,对切削加工的精度和效率的要求则越来越高。1898年美国机械工程师泰勒(F. W. Taylor)和冶金工程师怀特(M. White)发明了高速钢刀具,使切削速度提高了3~5倍,1927年德国人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3~5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、刚度和精度也随之提高。后来又出现了陶瓷、立方氮化硼、金刚石等超硬(现代)刀具材料,这些新型刀具材料的优越性能,促进了加工方法的改进与工艺的进步,也再次推动了机床的改进与发展,使机床的性能,尤其是在控制方面,有了极大的改进和提高。

20世纪初,内燃机的发明使汽车开始进入欧美家庭,引发了机械制造业的又一次革命。制造业进入了以汽车制造为代表的流水式、大批量生产模式的时代,相继出现了流水生产线、装配线、自动化机床与自动生产线。制造业追求的目标是大批量、高效率、低成本。同时,随着科学管理理论体系的不断建立和完善,发展成了制造技术的过细分工和制造系统的功能细化。

第二次世界大战后,电子计算机和集成电路的出现,以及运筹学、现代控制论、系统工程等软科学的产生和发展,使机械制造业产生了一次新的飞跃。传统的大批量生产方式难以满足市场多变的需要,多品种、中小批量生产逐渐成为制造业的主流生产方式。传统的自动化生产方式只有在大批量生产的条件下才能实现,而数控机床的出现使中、小批量生产自动化成为可能。科学技术的高速发展,促进了生产力的进一步提高。

0.2 先进制造技术的特点及发展趋势

1. 先进制造技术的特点

随着以信息技术为代表的高新技术的不断发展,个性化和多样化将是未来制造业发展的显著特征,与此相适应,先进制造技术的主要特点可归纳为以下6个方面。

(1) 先进制造技术贯穿了从产品设计、加工制造到产品销售及使用维修等全过程,成为“市场—产品设计—制造—市场”的大系统,而传统制造工程一般单指加工过程。

(2) 先进制造技术充分应用计算机技术、传感技术、自动化技术、新材料技术、管理技术等最新成果,与其他学科不断交叉、融合,相互之间的界限逐渐淡化甚至消失。

(3) 先进制造技术是技术、组织与管理的有机集成,特别重视制造过程组织和管理体制