



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



面向21世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

普通高等学校机械设计制造及其自动化专业新编系列教材

机械制造技术基础

(第2版)



主编 吕 明
主审 庞思勤



武汉理工大学出版社

WUTP

Wuhan University of Technology Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通高等学校机械设计制造及其自动化专业新编系列教材

机械制造技术基础

(第2版)

武汉理工大学出版社

· 武汉 ·

内容简介

本教材为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本教材在保持第1版(高等教育面向21世纪课程教材)体系基本不变的前提下,淘汰了相对陈旧的内容,增加了有关新工艺和新技术的内容;采用了新的国家标准,更新了大部分图表;使用计算机三维视图,更直观地展示了夹具结构;增加了新的习题和思考题。本次修订使教材的特色更加鲜明,内容更加新颖精炼,工程实践训练更加全面,编排体系更加符合人们的认知规律,更好地体现了教材的教学功能。

本教材以切削理论为基础,以制造工艺为主线,以产品质量、加工效率与经济性三者之间的协调为优化目标,系统介绍了金属切削原理与刀具、金属切削机床、机械制造工艺知识、机床夹具设计原理、机械加工精度、机械加工表面质量、机械装配工艺等理论和知识,最后简介了其他机械制造技术。

本书可以作为普通高等学校机械设计制造及其自动化、机械工程及其自动化及其他机械类和近机械类专业教材,也可以供从事机械制造的工程技术人员、管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/吕明主编. —2版—武汉:武汉理工大学出版社,2010.8

高等学校…新的教材

ISBN 978-7-5629-3168-3

I. 机… II. 吕… III. 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(2010)第 107078 号

出版者:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编:430070)

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

印刷者:安陆市鼎鑫印务有限责任公司

发行者:各地新华书店

开 本:880×1230 1/16

印 张:20.25

字 数:660 千字

版 次:2001 年 7 月第 1 版 2010 年 8 月第 2 版

印 次:2010 年 8 月第 14 次印刷

印 数:55001~58000 册

定 价:36.00 元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

出版说明

高等学校的教材建设向来是学科建设和教学改革的重要内容,其对教学过程和教学效果的重要影响是教育界所公认的。但教材建设与教学需要之间的矛盾永远存在也是一个客观的事实。正因为如此,教材建设才具有永恒的意义。特别是在这世纪交替的时期,中国的高等教育所面临的两个重大变革——高等学校本科专业目录调整和高等学校管理体制及布局结构调整,都对高校的教材建设提出了更高的要求。随着专业的合并,新专业的专业面拓宽,原有老专业的教材明显不能适应新专业的教学要求;调整后高校规模扩大,招生人数增加,对教材的需求也随之激增。在新的专业目录中,机械设计制造及其自动化专业与原有专业目录有了较大的变化,涵盖了原有的9个专业。相应的专业业务培养目标、教学要求、课程设置、学时数要求、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。为适应新专业的培养目标和教学要求,武汉理工大学出版社在经过全面、细致和深入调研的基础上,组织编写了这套面向全国普通高等院校的新的系列教材。

本套教材面向全国普通高等学校,在保证内容要反映国内外机械学科最新发展的基础上,以满足一般院校的本科专业教学要求,实现专业的业务培养目标为基本原则。遵照全国高校机械工程类专业教学指导委员会制订的专业培养方案和教学计划设置课程体系,突出“系列”的特色,首批编写、出版的21种教材可基本满足一般院校本科教学需要。编写中强调各门课程之间的联系和衔接,强调教材整体风格的统一和协调,力求在加强基础、协调内容、适当降低难度、努力拓宽知识面向、适应科技发展、更新内容并大力引入多媒体教学手段等方面取得进展,以形成特色,更好地满足不同学校的教学需求。

本套教材集中了全国30多所著名大学的专家、教授和中青年教学骨干,分别担任系列教材的主编、主审和参编,组成了一个阵容强大、结构合理的编审委员会。特别是第二届全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员杨叔子院士欣然出任编审委员会名誉主任,更增加了编审委员会的权威性。正是由于编委会成员务实、高效的工作,全体编审人员高度的责任心和严谨的治学精神,本套教材才能有这样短的时间内完成编写、出版的任务。杨叔子院士亲自为系列教材作序,更使全套教材光彩倍增!但我们深知,院士为一套教材作序,在国内是十分少见的,这充分体现了杨院士对教学改革及教材建设的热切关注和积极支持。这既是杨院士对编委会此前工作的鼓励和肯定,同时也是对编委会今后工作的指导和鞭策。我们一定不会辜负杨院士以及全国众多院校师生的期望。本套教材首期21种出齐后,一方面我们将在使用教材的广大师生提出意见和建议的基础上不断修订和完善,同时还将根据学校教学改革和课程设置的需要及时增补新的教材,使这套教材真正成为既能满足学校当前教学需要,又能起到推动专业教学内容和课程体系改革作用的一套精品教材。

武汉理工大学出版社

2001.6

序

20 世纪,人类文明达到了前所未有的高度。由于相对论、量子论、基因论、信息论等科学技术成就的取得,现在人类在物质领域已深入到基本粒子世界,在生命科学领域已深入到分子水平,在思维科学领域则主要是数学和脑科学的巨大进步。科学技术的迅猛发展,促使科学技术综合化、整体化以及人文和科技相互渗透、相互融合的趋势加速。

近 20 年来,我们在经济战线上坚持市场取向的改革,实行以公有制为主体、多种所有制经济共同发展的基本经济制度,进行经济结构的战略性调整,推动两个根本性转变以及全方位、多层次、宽领域的对外开放,致使我国的经济体制也发生了巨大的变革。随着社会主义市场经济体制的建立和不断完善,社会对人才需求的多样性、适应性要求不断增强。

在人类即将跨入 21 世纪的时候,我国高等教育战线在教育要“面向现代化,面向世界,面向未来”的思想指引下,开展了起点高、立意新、系统性强、有组织、有计划、有步骤的教学改革工程。伴随着教学改革的不断深入,素质教育的观念、大工程的观念、终身教育以及回归工程的观念日益深入人心,人们对拓宽本科教育口径、加强和扩展本科教育共同基础的要求日益强烈。

1998 年 8 月,教育部正式颁布了新的普通高等学校本科专业目录,专业总数由原来的 500 多种减少至 249 种。新专业目录的颁布,突破了传统的、狭隘的专业教育观念,拓宽了人才培养工作的视野,为人才培养能较好地适应科学技术和社会进步的需要创造了条件。许多学校也都以专业调整、改造和重组为契机,大力调整人才知识、能力和素质结构,拓宽基础,整合课程,构建新的专业平台,柔性设置专业方向,不断深化人才培养模式的改革。

教材建设是学校的最基本建设之一。教学改革的深入发展必然要求有相适应的教材。为适应新的专业培养目标和教学要求,组织编写出版供“机械设计制造及其自动化”新专业的教学用书,特别是系列教材就显得十分迫切和重要了。武汉理工大学出版社的领导和编辑们为改变目前国内已出版的机械类专业教材普遍存在的内容偏深、知识面偏窄的倾向,决定面向全国普通高等学校机械工程类专业的学生出版一套系列教材,这是一个非常好的决策。他们的这一决定也得到了全国几十所院校机械工程系的领导和众多专家、教授的积极响应和大力支持,并提出了许多建设性的意见,其中一些教授如合肥工业大学校长陈心昭教授、燕山大学校长王益群教授、江苏理工大学校长蔡兰教授、西安交通大学副校长束鹏程教授、西北工业大学常务副校长杨海成教授等还非常乐意地承担了该系列教材的主编、主审及编审委员会工作。

编写教材除了应该具有针对性外,还应努力编出特色。根据武汉理工大学出版社

和教材编审委员会的决定,该系列教材将完全按照第二届全国高校机械工程类专业教学指导委员会提出的机械设计制造及其自动化宽口径专业培养方案中所设置的课程来编写,这就保证了该套教材可以具有课程体系新、专业口径宽、改革力度大的特点,并可以满足不同院校办出各自专业特色的需要。

按照教材编审委员会的规划,该套教材首批将推出 21 种,包括机械工程概论、画法几何及机械制图、画法几何及机械制图习题集、机械原理、机械设计、理论力学、材料力学、工程热力学、工程材料、机械制造技术基础、材料成型基础、工程测试、数控技术、机械工程控制基础、液压与气压传动、机械 CAD/CAM、机械工程项目管理、机电系统设计、现代设计方法、精密与特种加工、机械工程专业英语等,涵盖了机械设计制造及其自动化专业的主要专业基础课和部分专业选修课而形成系列,因而可以较好地满足该专业的教学需要。也正是由于是系列教材,各门课程之间的联系和衔接在教材的策划、组织和编写过程中,都可开展充分的讨论和进行仔细的协调,因此有利于保证整套教材风格统一,内容分配合理,既相互呼应,又避免不必要的重复。

我殷切地希望,这套教材在加强基础、协调内容、适当降低难度、努力拓宽知识面向、适应科技发展、更新内容和大力引入多媒体等现代教育技术手段上取得进展,真正成为能满足普通高等学校本科生需要的优秀教学用书,在众多的机械类专业教材中,争芳斗艳,别具特色。

按照武汉理工大学出版社的计划,这套系列教材首批将在 2001 年秋季全部出齐。金无足赤,人无完人,书无完书。我相信,在读者的关心与帮助下,随着这套教材的不断发行、应用与改进,必将促进机械设计制造及其自动化专业教学用书质量的进一步提高,推动机械类专业教学内容和课程体系改革的进一步深入。

只木独秀难成林,千紫万红才是春!

面向 21 世纪,希望无限,谨为之序。

中国科学院院士、华中科技大学教授
全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员

杨叔子

2000 年 11 月 18 日

第 1 版前言

为适应新世纪科技、经济与社会的飞速发展和日趋激烈的竞争,适应高等教育改革形势和宽口径机械专业人才培养模式及建立新的课程体系的需求,按普通高等学校机械设计制造及其自动化专业新编系列教材编审委员会的统一规划,我们在总结了近年来教学改革探索与实践经验的基础上编写了这本教材。

《机械制造技术基础》是现代机械制造业高级专业技术人才和高级管理人才必修的一门主干专业基础课。它包含了机械制造技术的基本知识、基本理论和基本技能。本书以“重基础、低重心、广知识、少学时、精内容、宽适应”作为编写的指导思想,对原金属切削原理与刀具、金属切削机床设计、机械制造工艺与夹具设计等课程内容进行整合、优化。全书以切削理论为基础,以制造工艺为主线,兼顾工艺装备知识的掌握,增加了非传统加工技术与现代制造技术等内容并注意反映本学科理论与技术的新发展。

为便于教学,本书编写时力求做到内容深入浅出,文字准确简洁。为便于知识点的掌握,在每章开头均有提要,末尾则附有习题或思考题。

本教材建议课堂教学学时数为 62 学时。另有 8 学时的选用章节(目录中标注“*”的章节)可由各校根据教学需要进行取舍,或供学生自学、参考之用。各章教学学时分配建议如下:绪论,1 学时;第一章,3 学时;第二章,12 学时;第三章,14 学时;第四章,2 学时;第五章,12 学时;第六章,8 学时;第七章,4 学时;第八章,4 学时;第九章,4 学时;第十章,2 学时;第十一章,4 学时。本书除可用作高等学校本科机械设计制造及其自动化专业或机械工程及其自动化专业和近机类专业教材外,也可供从事机械制造的工程技术人员、管理人员学习参考。

按照编审委员会的规划与安排,本书由华南理工大学曾志新、太原理工大学吕明主编,华中科技大学张福润主审。具体编写分工如下:华南理工大学曾志新,绪论、第五章;陈秉均,第一、二章;刘旺玉,第六、九章;太原理工大学轧钢、吕明,第三、四章;湛江海洋大学韩荣德,第七章;梁榕辉,第八章;西南工学院尹显明,第十、十一章。参加统稿的工作人员是华南理工大学陈秉均、傅加礼、许纪、刘旺玉、李伟光、李勇等。

在本书的编审及出版过程中,得到编审委员会,武汉理工大学出版社、华南理工大学教务处、华南理工大学机电工程系的领导和同志们的指导与支持;参加编审及统稿的各位老师为本书的编写付出了大量卓有成效的劳动;谨此表示诚挚的敬意和谢意!各位编者在编写过程中,参阅引用了大量的文献资料及教材,无法在此一一列出,谨此一并向原作者表示衷心的感谢!

限于编者的水平和时间,本书难免错漏及不当之处,诚恳希望各位读者给予批评指正。(E-mail: mezzxeng@scut.edu.cn)

编 者

2001 年 2 月

第2版前言

2001年,为适应高等教育厚基础、宽口径的机械工程专业人才培养模式及建立新的课程体系的需求,按照武汉理工大学出版社和普通高等学校机械设计制造及其自动化专业新编系列教材编审委员会的统一规划,由华南理工大学和太原理工大学等高校的教师,在总结了多年教学改革与实践经验的基础上,编著了教育部高等教育面向21世纪课程教材《机械制造技术基础》。全书贯穿“重基础,低重心,广知识,少学时,精内容,宽适应”的指导思想,以切削理论为基础,以制造工艺为主线,兼顾工艺装备知识的掌握,简单介绍了非传统加工技术与现代制造技术等内容,并注重反映本学科理论与技术的新进展。自2001年出版发行以来,国内30余所本科院校选用作为教材,先后12次印刷,发行量达50000余册,具有较大的学生受益面,取得了良好的辐射效果。

2006年以来,在国家高等教育“质量工程”建设的背景下,人才培养模式的改革进一步深化,国际高等工程教育质量认证已逐步在国内展开,课程设置、课程体系和教学内容正在与国际工程教育规范接轨。面向工程实际、面向国际,加强学生工程实践能力的培养已成为我国高等工程教育发展的必然趋势。精品课程的建设成果应该体现在教材中,同时在教材的使用过程中,各有关高校的教师对原教材的某些内容提出了建议和修改意见,因此,太原理工大学顺势编写《机械制造技术基础》(第2版)。在保持第1版体系基本不变的前提下,淘汰了相对陈旧的内容,增加了新工艺、新技术的发展等内容;采用了新的国家标准;更新了大部分图表,用计算机三维视图展示夹具结构;选用了新的习题或思考题;编写力求做到内容深入浅出,文字准确简洁。该书被教育部列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本教材建议课堂教学总学时数为72学时,其中有6学时的选用章节(目录中标注“*”的章节)可由各校根据教学需要进行取舍,或供学生自学、参考之用。各章教学学时数分配建议如下:绪论,1学时;第1章,5学时;第2章,10学时;第3章,14学时;第4章,2学时;第5章,14学时;第6章,10学时;第7章,4学时;第8章,4学时;第9章,4学时;第10章,4学时。本书可以作为高等学校机械设计制造及其自动化专业或机械工程及其自动化专业及其他机械类和近机械类专业的本科教材,也可供从事机械制造的工程技术人员、管理人员学习参考。

本书由太原理工大学吕明任主编、轧刚任副主编,北京理工大学庞思勤主审。具体编写分工如下:太原理工大学吕明、轧刚,绪论、第5章;刘润爱,第1章、第3章(3.6~3.8);王晓玲,第2章;丁艳红,第3章(3.1~3.5)、第4章;姚新改,第6章、第10章;张杰,第7章、第8章;王时英,第9章。

本书在编审过程中,全国20多所高校的同行提出了宝贵的意见和建议,得到了武汉理工大学出版社、太原理工大学教务处、太原理工大学机械工程学院的领导和教职工的指导与支持,谨此表示诚挚的谢意!本书参阅引用了大量的国内外文献资料及教材,在此对原作者一并表示衷心的感谢!

限于编者的水平,书中错误或不足在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2010年1月

目 录

绪 论	(1)
1 制造业在国民经济中的地位	(1)
2 先进制造技术的发展趋势	(1)
3 如何学好本课程	(2)
1 金属切削过程的基础知识	(3)
1.1 基本定义	(3)
1.2 刀具材料	(15)
2 金属切削过程的基本规律及其应用	(22)
2.1 金属切削的变形过程	(22)
2.2 切削力	(31)
2.3 切削热与切削温度	(42)
2.4 刀具磨损与刀具耐用度	(45)
2.5 切削用量的合理选择	(52)
2.6 刀具几何参数的合理选择	(54)
2.7 工件材料的切削加工性	(58)
2.8 切削液	(60)
2.9 先进切削技术简介	(63)
3 金属切削机床与刀具	(69)
3.1 金属切削机床的分类、型号与机床的主要技术参数	(69)
3.2 工件表面成形方法与机床运动分析	(75)
3.3 车床与车刀	(78)
3.4 孔加工机床与刀具	(102)
3.5 刨床与插床	(110)
3.6 铣床与铣刀	(111)
3.7 磨床与砂轮	(115)
3.8 齿轮加工机床与齿轮刀具	(122)
* 4 组合机床与自动线简介	(137)
4.1 组合机床的组成及工艺特点	(137)
4.2 组合机床的工艺范围及配置形式	(138)
4.3 组合机床的通用部件	(140)
4.4 组合机床自动线	(145)
5 机械加工工艺规程的制定	(149)
5.1 零件制造的工艺过程	(149)
5.2 工艺规程的作用及设计步骤	(152)
5.3 定位基准的选择	(157)
5.4 工艺路线的拟定	(162)
5.5 加工余量的确定	(167)
5.6 尺寸链	(170)
5.7 工序尺寸的确定	(180)
5.8 时间定额及经济分析	(185)

6 机床夹具设计原理	(191)
6.1 机床夹具概述	(191)
6.2 工件的定位	(195)
6.3 工件的夹紧	(213)
6.4 机床夹具的基本要求和设计步骤	(225)
7 机械加工精度	(231)
7.1 机械加工精度的基本概念	(231)
7.2 影响加工精度的因素	(233)
7.3 加工误差的统计分析	(243)
7.4 提高加工精度的途径	(249)
8 机械加工表面质量	(255)
8.1 机械加工后的表面质量	(255)
8.2 机械加工后的表面粗糙度	(257)
8.3 机械加工后的表面层物理机械性能	(259)
8.4 控制加工表面质量的工艺途径	(262)
9 机械装配工艺	(267)
9.1 机械装配基本问题概述	(267)
9.2 保证装配精度的方法	(268)
9.3 装配工艺规程的制订	(281)
* 10 其他机械制造技术简介	(286)
10.1 特种加工技术	(286)
10.2 快速成形制造技术	(291)
10.3 制造自动化技术和柔性制造系统	(293)
10.4 先进制造生产模式	(299)
参考文献	(309)

绪 论

1 制造业在国民经济中的地位

制造是人类科学理念物化的过程。物质生产始终是人类社会生存发展的基础。制造业是国民经济的支柱产业,是国家创造力、竞争力和综合国力的重要体现。它不仅为现代工业社会提供物质基础,为信息与知识社会提供先进装备和技术平台,也是实现中国特色军事变革和国防安全的基础。而制造技术是支持制造业健康发展的关键,先进制造技术更是使一个国家的制造业具有竞争力和可持续发展的源泉。

装备制造业是指为国民经济各部门进行简单再生产和扩大再生产提供技术装备的各类制造业的总称。机械制造业是装备制造业的核心,涉及的范围广、门类多、品种杂、技术精、面向宽。国民经济各个部门的生产水平和经济效益在很大程度上取决于机械制造业所提供的装备和系统的技术水平、工作性能、整体质量和可靠性。国家经济实力在很大程度上取决于机械制造业技术水平的高低和发展速度的快慢。

从 20 世纪 50 年代以来,我国已经逐步建立了自己独立的、门类齐全的工业体系,电工电器、机床制造、汽车、机车车辆、冶金机械、采矿机械、船舶、航空航天工业等技术难度较大的机械制造工业得到快速发展,取得了举世瞩目的成就。目前,中国已经形成了拥有规模以上企业 6 万多家,资产总额 4.54 万亿元,从业人员 1230 多万的机械工业体系。我国已崛起成为全球第二制造大国。

总体上,中国已成为机械装备制造大国,已具备朝着装备制造业强国迈进的基础条件。但是,与先进工业国家相比,我国机械装备制造业的竞争能力还不够强,突出反映在:科技创新能力较弱,尤其在核心技术和关键环节上落后于国际先进水平,某些基础元件和软件仍没有摆脱受制于人的局面;产品结构总体上处于全球机械装备产业链的中低端,缺乏品牌效应;企业结构的规模小、效率低,与全球同行业一流企业相比,各方面都有较大差距;经济增长方式粗犷,生产表现为人力消耗和物力消耗多。另外,生产经营过于看重增长速度,大多数企业仍处在注重固定资产投资阶段,着力于增长生产能力的硬件设施投入,在科研能力、知识产权、品牌效应和企业文化建设等无形资产方面的投资比重还比较少。

2 先进制造技术的发展趋势

当前先进制造技术的发展趋势主要体现在以下几个方面。

(1) 信息技术对先进制造技术的发展起着越来越重要的作用

信息化是当今社会的发展趋势,信息技术正在向制造技术注入和融合。信息技术促使着设计技术的现代化,加工制造技术的精密化、快速化,自动技术的柔性化、智能化,整个制造过程的网络化、全球化。

(2) 设计技术的不断现代化

产品设计是制造业的灵魂,现代设计技术的主要发展趋势是:设计手段的计算机化;新的设计思想和方法(如并行设计、优化设计、反求工程技术等)不断出现;全寿命周期设计理论的发展;设计过程由单纯考虑技术因素转向综合考虑技术、经济和社会因素。

(3) 加工制造技术向超精密、超高速以及发展新一代制造装备的方向发展

目前在超精密加工中,加工精度达到 $0.025\mu\text{m}$,表面粗糙度值小于 $0.0045\mu\text{m}$,实现了纳米级加工;超高速切削铝合金材料的切削速度已超过 $1600\text{m}/\text{min}$ (约 $26.67\text{m}/\text{s}$),铸铁为 $1500\text{m}/\text{min}$ ($25\text{m}/\text{s}$),钛合金为 $200\text{m}/\text{min}$ (约 $3.33\text{m}/\text{s}$);市场竞争和新产品、新技术、新材料的发展推动着新型制造装备的研发。

(4) 绿色制造将成为 21 世纪制造业的主要特征

日趋严格的环境要求与资源的约束,使绿色制造显得越来越重要。绿色制造指在保证产品的功能、质量、成本的前提下,综合考虑环境影响和资源效率的现代制造模式。它使产品从设计、制造、使用到报废整个

产品生命周期中不产生环境污染或使环境污染程度最轻,符合环境保护要求;使资源利用率最高,能源消耗最低,并使企业经济效益和社会生态效益协调达到最优化。绿色制造体现了现代制造科学“大制造、全过程、学科大交叉”的特点。总的来说,绿色制造的内涵包括节约能源与资源、减少污染与废弃物、全生命周期循环三个方面,以及绿色设计、绿色生产、绿色使用、绿色回收等环节。

3 如何学好本课程

机械制造技术基础是机械类各专业的核心专业基础课程。通过本课程的教学,学生应了解和掌握机械制造技术的基本理论、基本知识和基本技能,为后续课程学习打下良好的基础。

对本课程学习的基本要求是:

①以金属切削理论为基础,掌握金属切削的基本理论和基本知识,并具有根据具体情况合理选择加工方法(机床、刀具、切削用量、切削液等)的初步能力。

②以制造工艺为主线,以产品质量、加工效率与经济性三者的优化为目标,了解和掌握机械加工工艺过程、机械加工精度和质量以及装配过程的基本原理和基本知识,具有设计工艺规程的初步能力。

③了解和能够选用常用工艺装备(主要指通用机床、刀具、夹具),并具有初步设计工艺装备(主要指夹具)的能力。具备应用机械制造基本知识分析和计算实际工程问题的能力。

④对先进制造技术的发展趋势有一定了解。

1 金属切削过程的基础知识

本章提要

目前,绝大多数零件的机械加工都要通过金属切削过程来完成。金属切削过程就是刀具从工件上切除多余的金属,使工件获得规定的加工精度与表面质量。因此,要进行优质、高效与低成本的生产,必须重视金属切削过程的研究。

本章主要介绍金属切削过程的基础知识,分为两大部分:

一、基本定义——介绍金属切削过程方面的一些基本概念,包括切削运动、切削用量、参考系(基面、切削平面、主剖面)、刀具标注角度、切削层参数等。

二、刀具材料——介绍刀具材料应具备的性能(硬度、耐磨性、强度、韧性、耐热性、工艺性、经济性),两种常用的刀具材料(高速钢、硬质合金)和其他刀具材料(陶瓷、金刚石、立方氮化硼)。

1.1 基本定义

目前绝大多数零件的机械加工都要通过金属切削过程来完成。金属切削过程是工件和刀具相互作用的过程。刀具从工件上切除多余的金属,并在高生产率和低成本的前提下,使工件得到符合技术要求的形状、位置、尺寸精度和表面质量。为实现这一过程,工件与刀具之间要有相对运动,即切削运动,它由金属切削机床来完成。机床、夹具、刀具和工件构成一个机械加工工艺系统,切削过程的各种现象和规律都要在这个系统的运动状态中去研究。

1.1.1 切削运动与切削用量

在金属切削中,为了要从工件中切去一部分金属,刀具与工件之间必须完成一定的切削运动。如外圆车削时,工件作旋转运动,刀具做连续纵向直线运动,形成了工件的外圆柱表面。在新的表面的形成过程中,工件上有三个不断变化的表面(图 1.1)。

①待加工表面:即将被切去金属层的表面,随着切削过程的进行,它将逐渐减小,直至全部切去。

②已加工表面:已经切去一部分金属形成的新表面,并随着切削的继续进行而逐渐扩大。

③加工表面:切削刃正在切削着的表面,它总是处在待加工表面和已加工表面之间,它在下一切削行程(如刨削)、刀具或工件的下一转里(如单刃镗削或车削)将被切除,或者由下一切削刃(如铣削)切除。

这些定义也适用于其他切削。图 1.2(a)、(b)、(c)分别表示了刨削、钻削、铣削时的切削运动。

1.1.1.1 切削运动

在切削过程中,刀具和工件之间必须有相对运动,这些运动是由金属切削机床完成的。金属切削机床的基本运动有直线运动和回转运动。但是,按切削时工件与刀具相对运动所起的作用可分为主运动和进给运动,如图 1.1 所示。

(1) 主运动

主运动是切下金属所必需的最主要的运动。它使刀具切

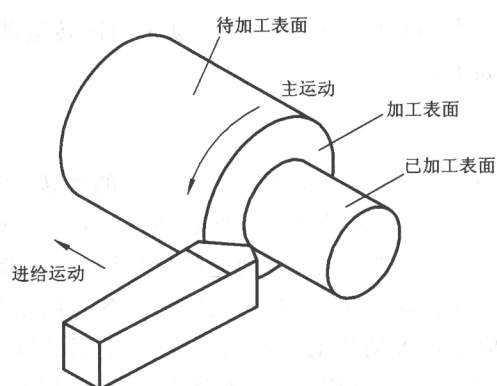


图 1.1 车削时的切削运动

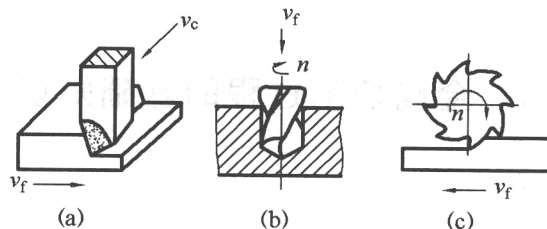


图 1.2 刨削、钻削、铣削时的切削运动

切削刃及其邻近的刀具表面切入工件材料,使切削层转变为切屑。通常它的速度最高,消耗机床功率最多。任何切削过程必须有一个,也只有一个主运动。主运动可以是旋转运动,也可以是直线运动。例如,车削加工时工件的旋转运动,钻削和铣削加工时刀具的旋转运动,牛头刨床刨削时刀具的直线往复运动等都是主运动。主运动可以由工件完成(如车削、龙门刨削等),也可以由刀具完成(如钻削、铣削、牛头刨床上刨削及磨削加工等)。

(2) 进给运动

进给运动是使新的金属不断投入切削,配合主运动加工出完整表面所需的运动。它保证切削工作连续或反复进行,从而切除切削层形成已加工表面。一般情况下,进给运动的速度较低,功率消耗也较少。机床的进给运动可以是一个,如钻削时钻头的轴向进给;也可以是多个,如外圆磨削时的轴向进给、圆周进给和径向进给;甚至没有进给运动(如拉削加工)。进给运动可以是连续运动,如钻孔、车外圆、铣平面等;也可以是间歇运动,如刨平面、车外圆的横向进给等。进给运动可由工件完成,如刨削、磨削等;也可以由刀具完成,如车削、钻削等。

主运动和进给运动可由刀具和工件分别完成,也可由刀具单独完成。

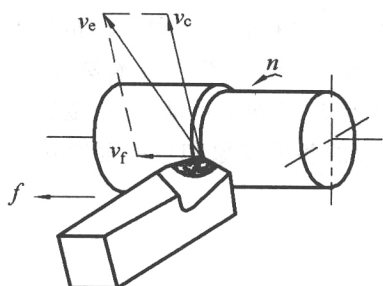


图 1.3 切削时合成切削速度

(3) 合成运动与合成切削速度

主运动和进给运动可以同时进行(车削、铣削等),也可交替进行(刨削等)。当主运动与进给运动同时进行,刀具切削刃上某一点相对工件的运动称为合成切削运动,大小与方向用合成速度向量 v_e 表示。如图 1.3 所示,合成速度向量等于主运动速度与进给运动速度的向量和,即

$$v_e = v_c + v_f \quad (1.1)$$

由于通常进给速度 v_f 比主运动速度 v_c 小得多,故常将主运动看成是合成切削运动,即一般认为 $v_e \approx v_c$ 。

1.1.1.2 切削用量三要素

在切削加工过程中,需要针对不同的工件材料、刀具材料和其他技术经济要求来选定适宜的切削速度 v_c 、进给量 f 或进给速度 v_f 值,还要选定适宜的背吃刀量 a_p 值。其中 v_c 、 f 、 a_p 称为切削用量三要素。切削用量是调整机床,计算切削力、切削功率、工时定额及核算工序成本等所必需的参数。

(1) 切削速度

大多数切削加工的主运动采用回转运动。回旋体(刀具或工件)上外圆或内孔某一点的切削速度计算公式如下:

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad \text{m/s 或 m/min} \quad (1.2)$$

式中 d ——工件或刀具上某一点的回转直径(mm);

n ——工件或刀具的转速(r/s 或 r/min)。

在当前生产中,磨削速度单位用 m/s(米/秒),其他加工的切削速度单位习惯用 m/min(米/分)。

在转速 n 值一定时,切削刃上各点的切削速度不同。考虑到刀具的磨损和已加工表面质量等因素,计算时应取最大的切削速度,如外圆车削时计算待加工表面上的速度(用 d_w 代入公式),内孔车削时计算已加工表面上的速度(用 d_m 代入公式),钻削时计算钻头外径处的速度。

若主运动为往复直线运动(如刨削、插削等),则常以其平均速度为切削速度,即

$$v_c = \frac{2Ln_r}{1000 \times 60} \text{ m/s} \quad (1.3)$$

式中 L ——工件或刀具作往复直线运动的行程长度(mm);

n_r ——主运动每分钟往复次数(str/min)。

(2)进给速度、进给量和每齿进给量

进给速度 v_f 是单位时间的进给量,单位是 mm/s(mm/min)。

进给量 f 是工件或刀具每回转一周时两者沿进给运动方向的相对位移,单位是 mm/r。

对于刨削、插削等主运动为往复直线运动的加工,虽然可以不规定进给速度,却需要规定间歇进给的进给量,其单位为 mm/(d · str)(毫米/双行程)。

对于铣刀、铰刀、拉刀、齿轮滚刀等多刃切削工具,在它们进行工作时,还应规定每一个刀齿的进给量 f_z ,即后一个刀齿相对于前一个刀齿的进给量,单位是 mm/Z(毫米/齿)。

显而易见

$$v_f = f \cdot n = f_z \cdot Z \cdot n \text{ mm/s 或 mm/min} \quad (1.4)$$

(3)背吃刀量

对于车削和刨削加工来说,背吃刀量 a_p 为工件上已加工表面和待加工表面间的垂直距离,单位为 mm。车削圆柱面时的背吃刀量为该次的切削余量的一半;刨削平面的背吃刀量等于该次的切削余量。

外圆柱表面车削的背吃刀量可用下式计算:

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \text{ mm} \quad (1.5)$$

对于钻孔工作

$$a_p = \frac{d_m}{2} \text{ mm} \quad (1.6)$$

上两式中 d_m ——已加工表面直径(mm);

d_w ——待加工表面直径(mm)。

1.1.2 刀具切削部分的基本定义

1.1.2.1 刀具切削部分的构造要素

金属切削刀具的种类虽然很多,形状各异,但它们的切削部分的几何形状与参数都有着共性,即不论刀具构造如何复杂,它们的切削部分都可以看做是以外圆车刀切削部分为基本形状的演变和组合。各种多刃刀具或复杂刀具,就其一个刀齿而言,都可近似为一把车刀的刀头。因此,外圆车刀是最基本、最典型的切削刀具。

外圆车刀由刀头和刀体两部分组成。刀头是车刀的切削部分(用于承担切削工作),刀体是夹持部分(用来安装刀片或与机床连接)。国际标准化组织(ISO)在确定金属切削刀具的切削部分几何形状的一般术语时,就是以车刀切削部分为基础的。普通外圆车刀切削部分由“三面两刃一尖”(前刀面、主后刀面、副后刀面、主切削刃、副切削刃、刀尖)组成,各部分定义和说明如下(图 1.4)。

(1)前刀面

前刀面 A_f 是刀具上切屑流过的表面。

(2)后刀面

后刀面分为主后刀面与副后刀面。

主后刀面 A_s 是指与工件加工表面相对的刀具表面;副后刀面 A'_s 是指与工件已加工表面相对的刀具表面。

(3)切削刃

切削刃是前刀面上直接进行切削的锋边,有主切削刃和副切削刃之分。主切削刃指前刀面与主后刀面相交的锋边,完成主要

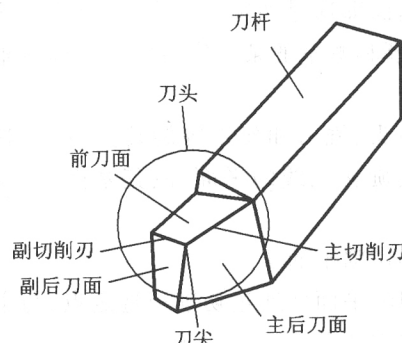


图 1.4 典型外圆车刀切削部分的构成

的切削工作；副切削刃指前刀面与副后刀面相交的锋边，它配合主切削刃完成切削工作，并最终形成已加工表面。

(4) 刀尖

刀尖可以是主、副切削刃的实际交点(图 1.5)，也可以是把主、副两条切削刃连接起来的一小段切削刃，它可以是圆弧，也可以是直线，通常都称为过渡刃。

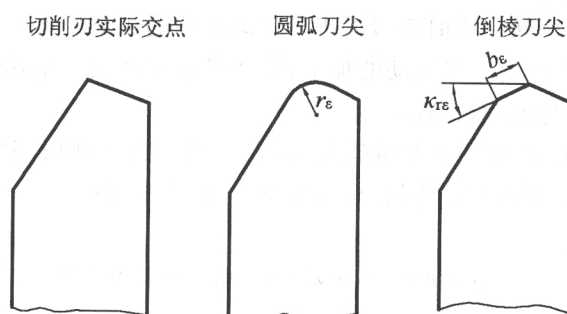


图 1.5 刀尖形状

1.1.2.2 刀具标注角度的参考系

为了确定刀具前刀面、后刀面及切削刃在空间的方位，首先应建立参考系。此参考系是一组用于定义和规定刀具角度的各基准坐标平面。这样就可以用刀具前刀面、后刀面和切削刃相对各基准平面的夹角来表示它们在空间的位置，这些夹角就是刀具切削部分的几何角度。

用来确定刀具几何角度的参考系有两类：一类称为刀具静止参考系，又称刀具标注角度参考系，是指刀具在设计、制造、刃磨、测量时用于定义刀具几何参数的参考系。另一类称为刀具工作角度参考系，又称动态参考系，它是确定刀具在切削运动中有效工作角度的基准。刀具工作角度参考系与标注角度参考系的区别在于，它在确定参考平面时考虑了进给运动及实际安装情况的影响。

标注角度参考系实质上是在假定条件下的工作角度。因此，在确定刀具标注角度参考系时作了两个假定。

①假定运动条件：首先给出刀具的假定主运动方向和假定进给运动方向；其次假定进给速度值很小，可以用主运动向量 v_c 近似代替合成速度向量 v_s ；然后再用平行和垂直于主运动方向的坐标平面构成参考系。

②假定安装条件：假定标注角度参考系的诸平面平行或垂直于刀具上便于制造、刃磨和测量时定位与调整的平面或轴线(如车刀底面，车刀刀杆轴线，铣刀、钻头的轴线等)。反之也可以说，假定刀具的安装位置恰好使其底面或轴线与参考系的平面平行或垂直。

这样一来，刀具位置是标准的，切削运动是简化的，参考系便很容易确定。而所谓的“静止系”本质上并不是静止的，它仍然是把刀具同工件和运动联系起来的一种特定的参考系。

刀具标注角度的参考系由下列诸平面构成。

①基面 P_r

基面即通过切削刃选定点，垂直于假定主运动方向的平面。通常，基面应平行或垂直于刀具上便于制造、刃磨和测量的某一安装定位平面或轴线。例如，图 1.6 所示为普通车刀、刨刀的基面 P_r ，它平行于刀具底面。

钻头、铣刀和丝锥等旋转类刀具，其切削刃各点的旋转运动(即主运动)方向都垂直于通过该点并包含刀具旋转轴线的平面，故其基面 P_r 就是刀具的轴向剖面。例如，图 1.7 所示为钻头切削刃上选定点的基面。

②切削平面 P_s

切削平面即通过切削刃选定点，与主切削刃相切，并垂直于基面 P_r 的平面，也就是主切削刃与切削速度方向构成的平面(图 1.8)。

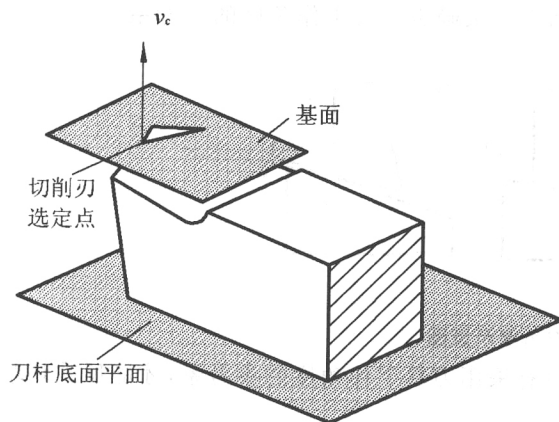


图 1.6 普通车刀的基面

基面和切削平面十分重要。这两个平面加上以下所述的任一剖面,便构成各种不同的刀具标注角度参考系。可以说,不懂得基面和切削平面就不懂得刀具。

③主剖面 P_r 和主剖面参考系

主剖面 P_r 是通过切削刃选定点,同时垂直于基面 P_r 和切削平面 P_s 的平面。由此可知,主剖面垂直于主切削刃在基面上的投影。图 1.8 表示由 P_r - P_s - P_r 组成的一个正交的主剖面参考系。这是目前生产中最常用的刀具标注角度参考系。

④法剖面 P_n 和法剖面参考系

法剖面 P_n 是通过切削刃选定点,垂直于切削刃的平面。图 1.8 所示是由 P_r - P_s - P_n 组成的一个法剖面参考系。该图把两个参考系画在一起,在实际使用时一般是分别使用某一个参考系。由该图可知,两个参考系的基面和切削平面相同,再加上不同的剖面就构成不同的参考系。

⑤进给剖面 P_f 和背平面 P_p 及其组成的进给、背平面参考系

进给剖面 P_f 是通过切削刃选定点,平行于进给运动方向并垂直于基面 P_r 的平面。通常,它也平行或垂直于刀具上便于制造、刃磨和测量的某一安装定位平面或轴线。例如,普通车刀和刨刀的 P_f 垂直于刀杆轴线;钻头、拉刀、端面车刀、切断刀等的 P_f 平行于刀具轴线;铣刀的 P_f 则垂直于铣刀轴线。

背平面 P_p 是通过切削刃选定点,同时垂直于 P_r 和 P_f 的平面。

由 P_r - P_f - P_p 组成的进给、背平面参考系如图 1.9 所示。

1.1.2.3 刀具工作角度的参考系

上述刀具标注角度参考系,在定义基面时,都只考虑主运动,不考虑进给运动,即在假定运动条件下确定的参考系。但刀具在实际使用时,这样的参考系所确定的刀具角度往往不能确切地反映切削加工的真实情形。只有用合成切削运动方向 v_c 来确定参考系,才符合切削加工的实际情况。例如,图 1.10 所示三把刀具的标注角度完全相同,但由于合成切削运动方向不同,后刀面与加工表面之间的接触和摩擦的实际情形有很大的不同:图 1.10(a)刀具后刀面同工件已加工表面之间有适宜的间隙,切削情况正常;图 1.10(b)中两个表面全面接触,摩擦严重;图 1.10(c)刀具的背棱顶在已加工表面上,切削刃无法切入,切削条件被破坏。可见,在这种场合下,只考虑主运动的假定条件是不合适的,还必须

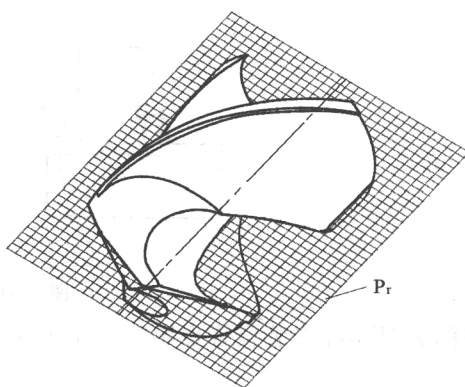


图 1.7 钻头的基面

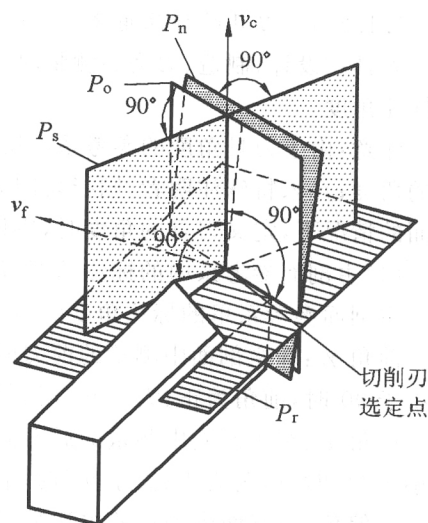


图 1.8 主剖面和法剖面参考系

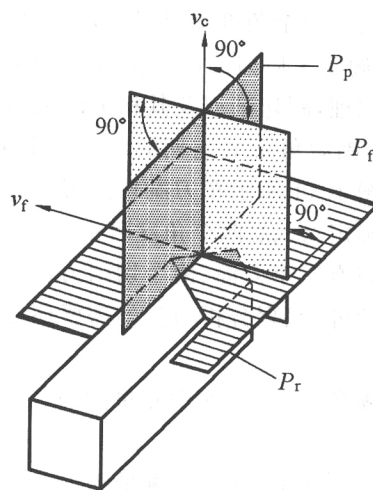


图 1.9 进给、背平面参考系