



普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等教育机电类规划教材

机械制造技术

李益民 金卫东 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等教育机电类规划教材

机械制造技术

主 编	李益民	金卫东	
副主编	杜官将	黄景飞	陈杰来
参 编	周建华	孙俊兰	李鹭扬
	任 皓	倪厚强	
主 审	黄鹤汀		



机械工业出版社

本书内容包括金属切削基本原理、机械加工方法与装备、机械制造工艺与夹具设计原理、制造技术新发展等。为适应培养生产一线应用型机械专业人员的需要,本书强调应用性和能力培养,注重突出知识要点和基本概念,加强理论联系工程实际。通过引用典型实例进行分析,用图、表来表达叙述性的内容,使读者能加深对所述内容的理解,较好地掌握机械制造技术的基本理论,培养读者分析和解决生产实际问题的能力。

本书可作为一般院校“机械制造技术”课程教材,也可供从事机械制造等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术/李益民,金卫东主编. —北京:机械工业出版社,2012.12
普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等教育机电类规划教材
ISBN 978-7-111-39783-0

I. ①机… II. ①李… ②金… 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(2012)第220577号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:余 皞 责任编辑:余 皞 冯 钺

版式设计:霍永明 责任校对:肖 琳

封面设计:张 静 责任印制:李 妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2013年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·25.75印张·636千字

标准书号:ISBN 978-7-111-39783-0

定价:45.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

社服务中心:(010) 88361066

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育机电类规划教材编审委员会

主 任：邱坤荣

副主任：黄鹤汀 左健民

高文龙 章 跃

王晓天 周建方

沈世德

秘 书：周骥平

委 员：（排名不分先后）

周骥平 徐文宽

唐国兴 邓海平

戴国洪 李纪明

蒋同洋 鲁屏宇

葛士恩 赵连生

芮延年 王 萍

乔 斌 李建启

葛友华

序

20 世纪末、21 世纪初，在社会主义经济建设、社会进步和科技飞速发展的推动下，在经济全球化、科技创新国际化、人才争夺白炽化的挑战下，我国高等教育迅猛发展，跨入了高等教育大众化阶段，使高等教育理念、定位、目标和思路等发生了革命性变化，正在逐步形成以科学发展观和终身教育思想为指导的新的高等教育体系和人才培养工作体系。在这个过程中，一大批应用型本科院校和高等职业技术学院异军突起，超常发展，1999 年已见端倪。当时我们敏锐地感到，这批应用型本科院校的崛起，必须有相应的应用型本科教材来满足教学需求，否则就有可能回到老本科院校所走过的学术型办学路子。2000 年下半年，我们就和机械工业出版社、扬州大学工学院、南京工程学院、河海大学常州校区、淮海工学院、南通工学院、盐城工学院、淮阴工学院、常州工学院、江南大学等 12 所高校在南京工程学院开会，讨论策划编写出版机电类应用型本科系列教材问题。规划出版 38 种，并进行了分工，提出了明确的规范要求，得到江苏省各方面的支持和配合。2001 年 5 月开始出书，到 2004 年 7 月已出齐 38 种，还增加了 3 种急需的教材，总册数已达 45 万册。每种至少有 2 次以上印刷，最多的印刷了 5 次、发行量达 2.5 万册。据调查，用户反映良好，并反映这个系列教材基本上体现了我在序言中提出的四个特点，符合地方应用型工科本科院校的教学实际，较好地满足了一般应用型工科本科院校的教学需要。用户的评价使我们很高兴，但更是对我们的鞭策和鼓励。实际上，这一轮机电类教材存在的问题还不少，需要改进的地方还很多。我们应当为过去取得的进步和成绩而高兴，同时，我们更应当为今后这些进步和成绩的进一步发展而正视自己。我们并不需要刻意去忧患，但确实存在值得忧患的现实而不去忧患就很难有更美好的明天。今后怎么办？这是大家最关注的问题，也是我们亟待研讨和解决的问题。我们应该以对国家对人民对社会对受教育者高度负责的精神重新审视这一问题，以寻求更好的解决方案。我们认为，必须在总结前一阶段经验教训的新起点上，坚持以国家新时期教育方针和科学发展观为指导，坚持高标准、严要求，坚持“质量第一、多样发展、打造精品、服务教学”的方针，把下一轮机电类教材修订、编写、出版工作做大、做优、做精、做强，为建设有中国特色的高水平的地方工科应用型本科院校作出新的更大贡献。

一、坚持用科学发展观指导教材修订、编写和出版工作

应用型本科院校是我国高等教育在推进大众化过程中崛起的一种新的办学类型，它除应恪守大学教育的一般办学基准外，还应有自己的个性和特色，就是要在培养具有创新精神、创业意识和创造能力的工程、生产、管理、服务一线需要的高级技术应用型人才方面办出自己的特色和水平。应用型本科人才的培养既不能简单“克隆”现有的本科院校，也不能是原有专科培养体系的相似放大。应用型人才的培养，重点仍要思考如何与社会需求的对接。既要从学生的角度考虑，以人为本，以素质教育的思想贯穿教育教学的每一个环节，实现人的全面发展；又要从经济建设的实际需求考虑，多类型、多样

化地培养人才。但最根本的一条还是坚持面向工程实际,面向岗位实务,按照“本科学历+岗位技术”的双重标准,有针对性地进行人才培养。根据这样的要求,“强化理论基础,提升实践能力,突出创新精神,优化综合素质”应当是工作在一线的本科应用人才的基本特征,也是本科应用型人才的总体质量要求。

培养应用型人才的关键在于建立应用型人才的培养模式。而培养模式的核心是课程体系与教学内容。应用型的人才培养必须依靠应用型的课程和内容,用学科型的教材难以保证培养目标的实现。课程体系与教学内容要与应用型的人才的知识、能力、素质结构相适应。在知识结构上,科学文化基础知识、专业基础知识、专业知识、相关学科知识等四类知识在纵向上应向应用前沿拓展,在横向上应注重知识的交叉、联系和衔接。在能力结构上,要强化学生运用专业理论解决实际问题的实践能力、组织管理能力和社会活动能力,还要注重思维能力和创造能力的培养,使学生思路清晰、条理分明,有条不紊地处理头绪纷繁的各项工作,创造性地工作。能力培养要贯彻到教学的整个过程之中。如何引导学生去发现问题、分析问题和解决问题应成为我们应用型本科教学的根本。

探讨课程体系、教学内容和培养方法,还必须服从和服务于大学生全面素质的培养。要通过形成新的知识体系和能力延伸以促进学生思想道德素质、文化素质、专业素质和身体心理素质的全面提高。因此,要在素质教育的思想指导下,对原有的教学计划和课程设置进行新的调整和组合,使学生能够适应社会主义现代化建设的需要。我们强调培养“三创”人才,就应当用“三创教育”、人文教育与科学教育的融合等适应时代的教育理念,选择一些新的课程内容和新的教学形式来实现。

研究课程体系,必须看到经济全球化与我国加入世界贸易组织以及高等教育的国际化对人才培养的影响。如果我们的课程内容缺乏国际性,那么我们所培养的人才就不可能具备参与国际事务、国际交流和国际竞争的能力。应当研究课程的国际性问题,增设具有国际意义的课程,加快与国外同类院校的课程接轨。要努力借鉴国外同类应用型本科院校的办学理念和培养模式、做法来优化我们的教学。

在教材编、修、审全过程中,必须始终坚持以人的全面发展为本,紧紧围绕培养目标和基本规格进行活生生的“人”的教育。一所大学使得师生获得自由的范围和程度,往往是这所大学成功和水平的标志。同样,我们修订和编写教材,提供教学用书,最终是为了把知识转化为能力和智慧,使学生获得谋生的手段和发展的能力。因此,在修订、编写教材过程中,必须始终把师生的需要和追求放在首位,努力提供教的方便和学的便捷,努力为教师和学生留下充分展示自己教和学的风格和特色的发展空间,使他们游刃有余,得心应手,还能激发他们的科学精神和创造热情,为教和学的持续发展服务。教师是课堂教学的组织者、合作者、引导者、参与者,而不应是教学的权威。教学过程是教师引导学生,和学生共同学习、共同发展的双向互促过程。因此,修订、编写教材对于主编和参加编写的教师来说,也是一个重新学习和思想水平、学术水平不断提高的过程,决不能丢失自我,决不能将“枷锁”移嫁别人,这里“关键在自己战胜自己”,关键在自己的理念、学识、经验和水平。

二、坚持质量第一,努力打造精品教材

教材是教学之本。大学教材不同于学术专著,它既是学术专著,又是教学经验之理

性总结,必须经得起实践和时间的考验。学术专著的错误充其量只会贻笑大方,而教材之错误则会遗害一代青年学子。有人说:“时间是真理之母”。时间是对我们所编写教材的最严厉的考官。目前,我们的教材才使用了几年,还很难说就是好教材。因为前一阶段主要是解决有无问题,用户还没有来得及去总结和反思,所以有的问题可能还没有来得及暴露。我们必须清醒地看到这一点。今后,更要坚持高标准、严要求,用航天人员“一丝不苟”、“一秒不差”的精神严格要求自己,确保教材质量和特色。为此,必须采取以下措施:第一、高等教育的核心资源是一支优秀的教师队伍,必须重新明确主编和参加编写教师的标准和要求,实行主编招标和负责制,把好质量第一关;第二,教材要从一般工科本科应用型院校实际出发,强调实际、实用、实践,加强技能培养,突出工程实践,内容适度简练,跟踪科技前沿,合理反映时代要求,这就要求我们必须严格把好教材编写或修订计划的评审关,择优而用;第三、加强教材编写或修订的规范管理,确保参编、主编、主审以及交付出版社等各个环节的质量和要求的,实行环节负责制和责任追究制;第四、确保出版质量;第五、建立教材评价制度,奖优罚劣。对经过实践使用、用户反映好的教材要进行修订再版,切实培育一批名师编写的精品教材。出版的精品教材必须和多媒体课件配套,并逐步建立在线学习网站。

三、坚持“立足江苏、面向全国、服务教学”的原则,努力扩大教材使用范围,不断提高社会效益

下一轮教材编写和修订工作,必须加快吸收有条件有积极性的外省市同类院校、民办本科院校、独立学院和有关企业参加,以集中更多的力量,建设好应用型本科教材。同时,要相应调整编审委员会的人员组成,特别要注意充实省内外的优秀的“双师型”教师和相关企业专家。

四、建立健全用户评价制度

要在使用这套教材的省市有关高校建立教材使用质量跟踪调查,并建立网站,以便快速、便捷、实时地听取各方面的意见,不断修改、充实和完善我们的教材编写和出版工作,实实在在地为教师和学生提供精品服务,实实在在地为培养高质量的应用型本科人才服务。同时也努力为造就一批工科应用型本科院校高素质高水平的教师提供优质服务。

本套教材的编审和出版一直得到机械工业出版社、江苏省教育厅和各主编、主审以及参加编写高校的大力支持和配合,在此,一并表示衷心感谢。今后,我们应一如既往地更加紧密地合作,共同为工科应用型本科院校教材建设作出新的贡献,为培养高质量的应用型本科人才作出新的贡献,为建设有中国特色社会主义的应用型本科教育作出新的努力。

**普通高等教育机械工程及自动化专业
机电类规划教材编审委员会
主任 教授 邱坤荣**

前 言

“机械制造技术”是机械设计制造及其自动化专业的一门主要专业基础课程。本教材为适应应用型本科机械专业人才培养目标的需要，在总结近几年的教学改革实践经验和兄弟院校对本课程内容设置提出的意见和建议，按照加强基础、拓宽面向、突出应用、更新知识的改革思路编写了本书。

本书内容包括金属切削基本原理、机械加工方法与装备、机械制造工艺与夹具设计原理、制造技术新发展等。为适应培养生产一线应用型机械专业人才的需要，本书强调应用性和能力培养，注重突出知识要点和基本概念，加强理论联系工程实际。通过引用典型实例进行分析，用图、表来表达叙述性的内容，使学生能加深对所述内容的理解，较好地掌握机械制造技术的基本理论，培养学生分析和解决生产实际问题的能力。

本书由李益民、金卫东任主编，杜官将、黄景飞、陈杰来任副主编，其中绪论由李益民编写、第一章由孙俊兰编写，第二章由黄景飞编写，第三章由李益民、李鹭扬编写，第四章由周建华、任皓、倪厚强编写，第五章由杜官将、陈杰来编写，第六章由陈杰来编写，第七章由金卫东编写。全书由李益民统稿。全书由扬州大学黄鹤汀教授主审，同时，扬州大学周骥平教授对本书内容的选择提出了许多建设性的意见，在此一并表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中难免有错漏及不当之处，恳请广大读者多提宝贵意见。

编 者

目 录

序	
前言	
绪论	1
第一章 金属切削过程及其控制	5
第一节 金属切削基本知识	5
第二节 刀具材料	14
第三节 金属切削过程的变形	18
第四节 切削力	28
第五节 切削热和切削温度	34
第六节 刀具磨损与刀具使用寿命	38
第七节 切削加工条件的合理选择	44
第八节 磨削	55
第二章 机械加工方法及装备	62
第一节 金属切削机床概述	62
第二节 车削与车床	71
第三节 其他加工方法与机床	84
第三章 机床夹具设计原理	122
第一节 机床夹具概述	122
第二节 工件在夹具中的定位	124
第三节 工件在夹具中的夹紧	141
第四节 典型机床夹具	149
第五节 机床夹具设计方法	155
第四章 机械加工质量及控制	160
第一节 机械加工精度概述	160
第二节 工艺系统的几何误差对加工精度的影响	163
第三节 工艺系统受力变形引起的误差	169
第四节 工件残余应力引起的加工误差	177
第五节 工艺系统热变形引起的加工误差	179
第六节 加工误差的统计分析	183
第七节 提高加工精度的工艺措施	192
第八节 机械加工表面质量	194
第九节 机械加工中的振动	202
第五章 工艺规程设计	214
第一节 工艺规程概述	214
第二节 机械加工工艺规程设计	221
第三节 工艺尺寸链	244
第四节 数控加工工艺设计	257
第五节 计算机辅助工艺规程设计	268
第六节 机器装配工艺规程设计	282
第六章 典型零件加工	313
第一节 轴类零件加工	313
第二节 箱体类零件加工	321
第三节 圆柱齿轮加工	332
第七章 制造技术新发展	340
第一节 新制造技术概述	340
第二节 超精密加工技术	342
第三节 特种加工技术	363
第四节 快速原型制造技术	393
参考文献	401

绪 论

一、制造业与制造技术

制造业是将各种原材料加工制造成可使用的工业品或生活消费品的行业。制造业的先进与否是一个国家经济发展的重要标志。制造业在多数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。据统计，工业化国家中以各种形式从事制造活动的人员约占全国从业人数的四分之一。我国的制造业在工业总产值中占了 40%。可以说，制造业是国家的立国之本，没有发达的制造业，就不可能有国家的真正繁荣和富强。

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。制造技术是制造企业的技术支柱，是制造企业持续发展的根本动力。实践证明，忽视制造技术的发展，就可能导致经济发展走入歧途。例如，在 20 世纪 70 年代到 80 年代间，美国一度受所谓制造业已成为“夕阳工业”的思潮影响，忽视制造技术的提高与发展，致使制造业急剧滑坡，在汽车、家电等方面受到了日本的有力挑战，丧失了许多市场，导致了 90 年代初的经济衰退。这一严重局面使得美国决策层重新审视自己的产业政策，于 20 世纪 80 年代中期，制订了一系列民用技术开发计划并切实加以实施，特别是将 1994 年确定为美国的先进制造技术年，作为当年重点扶植的唯一领域，使先进制造技术得到长足的发展，促进了美国经济的全面复苏，夺回了许多原先失去的市场。1998 年爆发的东南亚经济危机，从另一个侧面反映了一个国家发展制造业的重要。一个国家，如果把经济的基础放在旅游、金融、房地产、服务业上，而无自己的制造业，这个国家的经济就容易形成泡沫经济，一有风吹草动就会发生经济危机。这也进一步表明制造业是一个国家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，是每一个国家任何时候都不能掉以轻心的关键行业。

机械制造业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的行业，其中包括对零件的加工技术、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。因此，机械制造业是国家工业体系的重要基础和国民经济的重要组成部分，机械制造业水平的提高与进步将对国民经济的发展和科技、国防实力产生直接的作用和影响，是衡量一个国家科技水平的重要标志之一，在综合国力竞争中具有重要的地位。

二、机械制造技术的现状与发展前景

改革开放三十年来，我国制造业有了显著的发展，无论是总量还是技术水平，都有了很大的提高，在产品研发、技术装备和加工能力等方面都取得了很大的进步，为国民经济、国防和科技的发展提供了有力的支持。工业制成品在出口商品总额中的比重不断提高，我国正由初级产品出口国发展为制成品大国，通过国际贸易，逐步融入全球国际分工体系之中，成

为其中不可分割的一个部分。统计表明,到2006年,工业制成品占我国出口比重为94.5%(机电占56.7%),且高新技术产品的比重已占出口总额的29%。到2010年,中国制造业产值高达1.955万亿美元,占全球制造业总产值的19.8%。

尽管我国制造业的综合技术水平有了大幅度提高,但与工业发达国家相比,我国制造业依然是大而不强,劳动生产率及工业增加值低,低水平生产能力过剩,高水平生产能力不足,技术创新能力相对薄弱,产品技术含量和附加价值较低。同时,我国制造业的结构不尽合理,装备制造业薄弱,制造企业的规模普遍偏小,不能形成规模效应,产品缺乏国际竞争力。

随着科技、经济、社会的日益进步和快速发展,日趋激烈的国际竞争及不断提高的人民生活水平对机械产品在性能、价格、质量、服务、环保及多样性、可靠性等多方面提出的要求越来越高,对先进的生产技术装备、科技与国防装备的需求越来越大,机械制造业面临着新的发展机遇和挑战。

微电子技术、信息技术和计算机技术,以及材料科学、生命科学和宇航科学等交叉学科的迅猛发展,为现代制造技术的诞生和发展提供了足够的技术支撑。现代制造技术的发展趋势可以归结为机电产品要“精”、“极”、“文”,制造过程要“绿”、“快”、“省”、“效”,制造方法要“数”、“自”、“集”、“网”、“智”,这12个方面的发展趋势将彼此渗透,相互依赖,相互促进,并形成有机整体服务于现代制造技术。

“精”是指“精密化”,一方面是指对产品、零件的精度要求越来越高,另一方面是指对产品、零件的加工精度要求越来越高。有了前者,才要求有后者;有了后者,才促使前者得以发展。“精密化”是发展的关键,涉及精密与超精密加工、微细加工和纳米加工等。

“极”是“极端化”,是指对产品有极端要求或指能在极端条件下工作。例如,一般高科技产品或者在高温、高压、高湿、强磁场、强腐蚀条件下工作,或者有高硬度、大弹性要求,或者在几何形体上有极大、极小、极厚、极薄、异形等要求。

“文”是指“人文化”。这是指在人类文明高度发展的今天,机电产品不仅是一个工业产品,只解决“实用”的问题,满足物质层面上的需要,还应该是一个艺术产品,人文文化含量高,真正解决“物美”问题,满足精神层面上的需要,能同环境协调,能供欣赏,能悦人心,经得起“看”,经得起“想”。

“绿”是指“绿色化”,这是从环境保护和资源合理利用角度提出的发展要求。要求现代机电产品从方案构思,到结构设计与生产制造,再到销售与服务、使用与回收的各个阶段都必须充分考虑到环境保护,并努力发展绿色制造技术。所谓绿色制造技术,是指不仅要保护自然环境,还要保护生产环境,不仅要保护社会环境,还要保护生产者的身心健康。

“快”是指“快速化”,即指对产品市场的快速响应,以及对生产资源的快速重组,这两个“快”必然要求生产模式要有高度的柔性及敏捷性。适应快速多变的机电产品市场需求,发展快速响应制造技术,是当代市场经济走向“买方市场”、“多变市场”、“顾客是上帝”、企业满足“客户化”的必然结果。

“省”是指“节省化”。任何一种经济行为都要核算成本,都要力求资源的合理配置和有效利用。因此,立足于市场经济、低碳经济和循环经济的发展,以及环保节约型社会建设的需要,机电产品的制造过程必须力求节省、节约、节俭。

“效”是指“高效化”,主要是指“高生产率”,即指单位时间内生产的产品数量多。

这也是市场经济行为对机电产品生产制造的根本要求，否则无法保证产品的市场竞争力和企业的可持续发展。

“数”是指“数字化”。“数字化”在现代制造业中的应用包括设计、制造、控制和管理等诸多领域。“数字化”是机械制造企业信息化的基础，计算机辅助设计与制造技术和数字测控技术在机电装备和机电一体化产品中的应用是大势所需，各种管理信息系统也是机械制造企业提升加工质量和生产效率的必由之路。

“自”是指“自动化”，它是指用于强化、延伸甚至取代人的有关劳动的重要技术与手段。以保证加工质量和提高生产效率为重要技术指标的现代机电产品必然是自动化技术的载体。自动化技术的广泛应用不仅可以大大减轻操作人员的劳动强度，而且极大地规避了人为因素在制造和使用中大量可能的故障或失误。特别是自动化技术和信息技术的有机集成，还可部分地解放设计与使用人员的脑力劳动。

“集”是指“集成化”。“集成化”包括技术的集成，管理的集成，技术与管理的集成三个层面，最终目标是要努力形成人员、技术、管理和信息的四维集成，其本质是知识的集成，亦即知识表现形式的集成，根本目标是实现总体效益的最大化。

“网”是指“网络化”。随着科学技术的发展，制造业必将走向整体化、有序化。因此，“网络化”将是现代制造技术的发展方向和必由之路。这是因为随着机电产品的复杂程度和技术水平的提高，在全球化的市场竞争环境下，必将导致机械制造企业的分工协作和专业化生产。机械制造企业要想获得可持续发展，一方面于内部要在设计制造和流程管理上充分利用网络化技术来合理配置和有效利用各种制造资源，一方面于外部要通过网络化技术来加强协同研究和合作生产，从而使企业自身专注于核心竞争力的维持和发展上。

“智”是指“智能化”。现代制造系统正在由原先的能量驱动型逐步转变为信息驱动型，这就要求制造系统不但要具备柔性，而且还要能实现某些智能，以应对大量复杂信息的处理。智能化的最终目标将是形成具备某种特定功能的全智能制造模式，主要特点将包括：人一机一环境的整体最优，具有自组织和超柔性，具备自学习和自维护功能，基于网络技术实现专家指导和协同制造，并能借助计算机信息处理技术实现人类专家的某些智能活动。

三、本课程的目的、要求和特点

通过本课程的学习，要求学生能从技术与经济紧密结合的角度出发，围绕加工质量和交货期，掌握整个制造系统的规划设计，选择优化和运作监控的基本知识，能在宏观上和全局上对生产活动和生产组织有清楚的认识，而不能仅仅局限于单个工序及其优化的知识。要求掌握机械制造过程中包括传统和现代的各种常用加工方法和制造工艺，以及与之有关的切削机理、加工原理、切削参数的选用、加工质量的分析与控制方法等。具体要求为：

1) 掌握金属切削的基本规律，具有根据加工条件合理选择刀具种类、刀具材料、刀具几何参数、切削用量及切削液的能力。

2) 掌握常用机械加工方法和常用机床的用途、工艺范围以及机床夹具的设计原理，能够合理地选择加工方法、机床和夹具，具有通用机床传动链分析与调整能力。

3) 掌握拟订机械加工工艺规程（含数控加工）和机器装配工艺规程的基本知识及有关计算方法，具有拟订中等复杂程度零件机械加工工艺规程的能力。

4) 掌握机械加工精度和表面质量的基本理论和基本知识，初步具备分析解决现场工艺

问题的能力。

5) 对机械制造技术的新发展有一定的了解。

本课程的特点是涉及面广，综合性高、实践性强，对初学者来说，会有一定的难度。生产原理与管理模式，没有足够的实践基础也很难准确地把握与理解。因此，在学习本课程时，应理论联系实际、重视实践性教学环节，通过生产实习、课程实验、课程设计、现场教学及工厂调研等来更好地体会和加深理解所学内容，并在理论与实际的结合中，培养分析和解决实际问题的能力。

第一章 金属切削过程及其控制

金属切削加工就是在机床上利用金属切削刀具切去工件上多余的（或预留的）金属层（加工余量），以获得具有一定表面精度（尺寸、形状和位置精度）和表面质量的机械零件的加工方法。

金属切削过程是工件和刀具相互作用的过程。伴随切削过程，会产生切削变形、切削力、切削热和刀具磨损等一系列现象。本章在介绍金属切削基本知识的基础上，对切削过程中的上述现象进行研究，揭示它们的产生机理和相互之间的内在联系。深入研究金属切削基本理论和规律，对控制切削过程、保证加工质量、提高生产效率和降低生产成本具有重要意义。

第一节 金属切削基本知识

一、切削运动与切削参数

（一）切削运动

在金属切削中，为了切除工件上多余的金属，形成所需要的表面，刀具和工件之间必须有一定的相对运动。刀具与工件间的相对运动称为切削运动。切削运动可分为主运动和进给运动。

1. 主运动

主运动是刀具和工件间主要的相对运动，它使刀具切削刃及其邻近的刀具表面切入工件材料，使被切削层转变为切屑，从而形成工件新表面的运动。在切削运动中，主运动速度最高、消耗功率最大，是切下切屑所必需的基本运动。主运动可以由工件完成，也可以由刀具完成，如车削时工件的旋转运动和牛头刨床刨削时刀具的直线运动。切削加工中主运动只有一个。主运动速度是矢量，有大小和方向，如图 1-1 所示。主运动速度称为切削速度，用符号 v_c 表示。

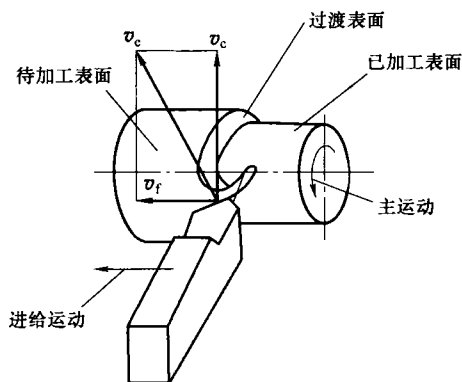


图 1-1 外圆车削时的切削运动

2. 进给运动

进给运动是使新的金属不断投入切削的运动，它保证切削工作连续或反复进行，从而切除切削层形成所需工件表面。

进给运动速度较低，消耗功率也小。进给运动可由刀具完成（如车削），也可由工件完成（如铣削）；进给运动可以是一个，也可以是几个；进给运动可以是连续运动，也可以是间隙运动；进给运动速度是矢量，有大小和方向（图 1-1）。进给运动的速度称为进给速度，

用符号 v_f 表示。

3. 合成切削运动

主运动和进给运动可以同时进行（如车削、铣削），也可交替进行（如刨削）。当主运动和进给运动同时进行时，刀具切削刃上某一点相对工件的运动称为合成切削运动。合成切削运动的速度称为合成切削速度，用符号 v_c 表示。图 1-1 给出了车刀进行普通外圆车削时的切削运动，图中表示了合成切削速度 v_c 、切削速度 v_c 和进给速度 v_f 之间的关系。

各种切削加工的切削运动如图 1-2 所示。

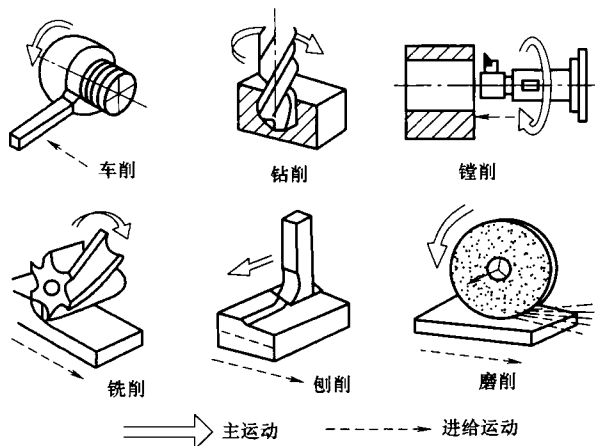


图 1-2 各种切削加工方法及运动形式

（二）加工表面

在切削过程中，工件上通常存在着三个不断变化的切削表面（图 1-1）。

- 1) 待加工表面——工件上即将被切除的表面。
- 2) 已加工表面——工件上已切去切削层而形成的新表面。
- 3) 过渡表面（又称加工表面）——工件上正被刀具切削着的表面，介于已加工表面和待加工表面之间。

（三）切削要素

切削要素主要指切削过程中的切削用量和切削层参数。

1. 切削用量

(1) 切削速度 v 。刀具切削刃上选定点相对于工件主运动的速度，单位为 m/s （或 m/min ）。主运动是旋转运动时，切削速度计算公式为

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad (1-1)$$

式中 d ——工件（或刀具）切削处的最大直径（ mm ）；

n ——工件（或刀具）的转速（ r/s 或 r/min ）。

在生产中，磨削加工速度的单位为米/秒（ m/s ），其他加工的切削速度单位为米/分（ m/min ）。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), 内孔镗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。

(2) 进给量 f 工件或刀具每转一转 (或每往复一次), 两者在进给运动方向上的相对位移量, 称为进给量, 单位为 mm/r (或 mm/行程)。对于铣刀、铰刀等多齿刀具, 还规定每刀齿进给量 f_z , 单位为 mm/z 。

进给速度 v_f 、进给量 f 和每齿进给量 f_z 三者之间的关系为

$$v_f = nf = nzf_z \quad (1-2)$$

式中 v_f ——进给速度 (mm/min);

n ——刀具的转速 (r/min);

f ——进给量 (mm/r);

z ——刀齿齿数;

f_z ——每刀齿进给量 (mm/z)。

(3) 背吃刀量 (切削深度) a_p 在垂直于主运动方向和进给运动方向组成的工作平面内测量的刀具主切削刃与工件切削表面的接触长度。对于外圆车削, 背吃刀量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 。即

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-3)$$

式中 a_p ——背吃刀量 (mm);

d_w ——工件加工前 (待加工表面) 的直径 (mm);

d_m ——工件加工后 (已加工表面) 的直径 (mm)。

v_c 、 f 、 a_p 构成了普通外圆车削的切削用量三要素。在金属切削过程中, 切削用量三要素选配的大小, 将影响切削效率的高低, 通常用切削用量三要素乘积作为衡量指标, 称为材料切除率, 用 Q_z 表示, 其单位为 mm^3/min 。即

$$Q_z = 1000v_c f a_p \quad (1-4)$$

2. 切削层参数

在切削过程中, 由刀具切削刃在一个单动作 (或指刀具切削刃走过工件的一个单程, 或指只产生一圈过渡表面的动作) 中所切除的工件材料层, 称为切削层。切削层的大小和形状直接决定了刀具切削部分所受载荷的大小及切下切屑的形状和尺寸。为了简化计算工作, 切削层的表面形状和尺寸, 通常都在垂直于切削速度 v_c 的平面内观察和度量, 如图 1-3 所示。切削层参数有切削厚度 h_D 、切削宽度 b_D 和切削面积 A_D 。

(1) 切削厚度 h_D 在过渡表面法线方向上测量的切削层尺寸, 即相邻两过渡表面之间的距离。 h_D 反映了切削刃单位长度上的切削载荷。由图 1-3 得

$$h_D = f \sin \kappa_r \quad (1-5)$$

式中 h_D ——切削厚度 (mm);

f ——进给量 (mm/r);

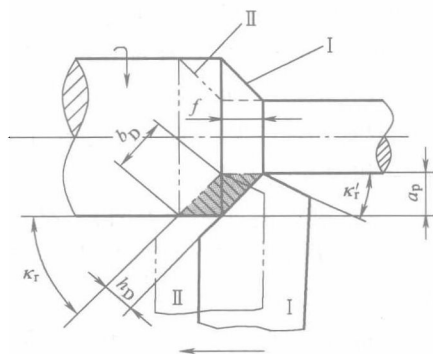


图 1-3 外圆纵车时切削层的参数

κ_r ——车刀主偏角 ($^\circ$)。

(2) 切削宽度 b_D 沿过渡表面测量的切削层尺寸。 b_D 反映了切削刃参加切削的工作长度。由图 1-3 得

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (1-6)$$

式中 b_D ——切削宽度 (mm)；

a_p ——背吃刀量 (mm)。

可见，在 f 、 a_p 一定的条件下，主偏角 κ_r 越大，切削厚度 h_D 也就越大，但切削宽度 b_D 越小；同样，在主偏角 κ_r 越小时，切削厚度 h_D 越小，切削宽度 b_D 越大；当 $\kappa_r = 90^\circ$ 时， $h_D = f$ ， $b_D = a_p$ 。

(3) 切削面积 A_D 切削厚度与切削宽度的乘积。由图 1-3 得

$$A_D = h_D b_D = f a_p \quad (1-7)$$

式中 A_D ——切削面积 (mm^2)。

切削面积 A_D 只是名义上的切削面积。实际切削面积等于名义切削面积减去残留面积。

残留面积是指刀具副偏角 $\kappa'_r \neq 0$ 时，经过刀具切削后，残留在已加工表面上的不平部分的剖面面积。残留面积影响零件表面粗糙度。

二、刀具角度

(一) 刀具切削部分的组成

切削刀具的种类繁多，结构各异，但是它们的基本功能都是在切削过程中用切削刃从工件上切下多余的金属，因此它们的切削部分都具有共同的特征。外圆车刀是最基本、最典型的切削刀具，故通常以外圆车刀为代表来说明刀具切削部分的组成。如图 1-4 所示，车刀由切削部分（刀头）和夹持部分（刀体）构成。刀具上承担切削工作的部分称为刀具的切削部分。外圆车刀切削部分的结构要素及其定义如下：

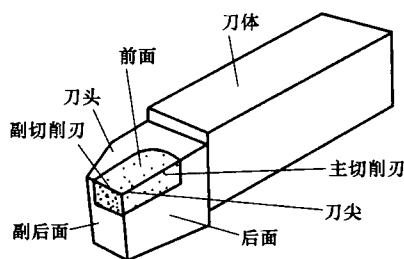


图 1-4 刀具切削部分的组成

1) 前面（前刀面）。刀具上切屑流过的表面。

2) 后面（后刀面）。是指与工件上过渡表面相互作用和相对着的刀面。

3) 副后面（副后刀面）。是指与工件上已加工表面相互作用和相对着的刀面。

4) 主切削刃。指前面与后面相交的交线，它完成主要的切削工作。

5) 副切削刃。指前面与副后面相交的交线，它配合主切削刃完成切削工作，并最终形成已加工表面。

6) 刀尖。刀尖是主、副切削刃连接处的一段切削刃。为了强化刀尖，许多刀具都在刀尖处磨出直线或圆弧形过渡刃，如图 1-5 所示。

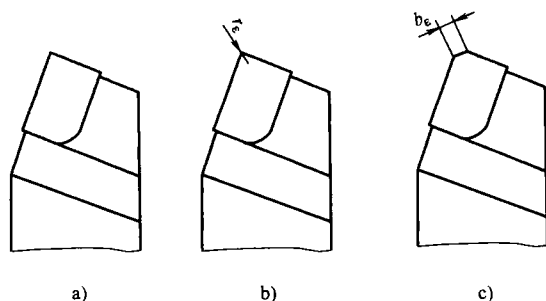


图 1-5 刀尖的类型