

高职高专机电工程类规划教材

金属切削加工及装备

吴 拓 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机械工业出版社

金属切削加工及装备

第二版

机械工业出版社

高职高专机电工程类规划教材

金属切削加工及装备

主编 吴 拓

参编 方琼珊 朱派龙



机械工业出版社

本书是为适应高等职业教育和高等专科教育的机械制造专业教学体系改革,满足数控加工、模具制造、机电一体化等专业方向教学的需要,将“金属工艺学”、“金属切削原理与刀具”、“金属切削机床概论”等几门机械专业课程中的核心内容有机地结合起来,从培养技术应用能力和加强素质教育出发,以机械加工的基本原理为主线,进行综合编写而成的一门系统的机械制造专业基础课教材。全书共8章,主要内容有:金属切削加工的基本知识、刀具材料、金属切削过程及其基本规律、金属切削基本理论的应用、典型金属切削加工方法及刀具、金属切削机床概论、典型表面加工等。本书注重实际应用,突出基本概念,内容简明精炼。本书可供高等职业教育和高等专科教育院校机械制造专业作为教材使用,也可供普通高等院校师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属切削加工及装备/吴拓主编. —北京:机械工业出版社,2006.2
高职高专机电工程类规划教材
ISBN 7-111-18388-6

I. 金... II. 吴... III. ①金属切削—加工工艺—高等学校:技术学校—教材②金属切削—设备—高等学校:技术学校—教材 IV. TG5

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第003928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:王海峰 责任编辑:王海峰 版式设计:霍永明
责任校对:李秋荣 封面设计:马精明 责任印制:杨 曦
北京机工印刷厂印刷
2006年2月第1版第1次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·11.25印张·275千字
0 001—4 000册
定价:17.00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)68326294
封面无防伪标均为盗版

前 言

广东省教育厅和机械工业出版社为了适应高等职业教育的需要,于1999年联合组织编写了一套高职高专规划教材,《机械制造工程》是其中的一本。该教材自2001年出版以来,受到了高职高专各院校的普遍欢迎,得到了较为广泛的使用。但近年来,各院校通过使用该教材的使用,也发现了一些问题,例如机械制造、数控加工、模具加工、机电一体化等专业,需要对金属切削加工以及机械制造工艺等加强教学,一是感到教学内容不够充实;二是将金属切削加工及装备、机械制造工艺与夹具作为两门课程,感到教学安排不太方便。因此,在2004年6月广东省教育厅和机械工业出版社召集的主编工作会议上,部分高职院校提出了将《机械制造工程》教材按二合一版本编写的建议。为此,一些以机械制造专业为骨干的院校决定,部分专业方向继续使用修订后的《机械制造工程》一书,而部分专业方向如机械制造、数控加工、模具加工、机电一体化等则组织编写二合一版本教材,共由三册组成,即《金属切削加工及装备》、《机械制造工艺与机床夹具》、《机械制造工艺与机床夹具课程设计指导》,以使其更加符合部分高职专业教学的需要,并使新编教材更加完善、准确。

《金属切削加工及装备》一书是将“金属工艺学”、“金属切削原理与刀具”、“金属切削机床概论”等几门机械专业课程中的核心内容有机地结合起来,从培养技术应用能力和加强素质教育出发,以机械加工的基本原理为主线,进行综合编写而成的一门系统的机械制造专业基础课教材。全书共8章,主要内容有:金属切削加工的基本知识、刀具材料、金属切削过程及其基本规律、金属切削基本理论的应用、典型金属切削加工方法及刀具、金属切削机床概论、典型表面加工等。

本书由吴拓主编,方琼珊、朱派龙参编。编写分工为:第一、二、三、五章由方琼珊编写,第四、六、七章由吴拓编写,第八章由朱派龙编写。全书由吴拓统稿。

本书注重实际应用,突出基本概念,内容简明精炼。本书可供高等专科教育和高等职业教育院校机械制造专业作为教材使用,也可供普通高等院校师生及有关工程技术人员参考。

在编写过程中,本书得到了有关院校的领导和同行们的大力支持,书中引用了兄弟院校有关编著的珍贵资料,所用参考文献均已列于书后。在此,对所有本书的支持者、有关出版社和作者表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,恳请各位同仁及读者不吝批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 金属切削加工技术发展概况	1
第二节 金属切削机床在国民经济中的地位 及其发展简史	2
第三节 本课程的内容与学习方法	3
第二章 金属切削加工的基本知识	5
第一节 切削运动和工件表面	5
第二节 切削要素	7
第三节 刀具几何参数	8
思考题与习题	12
第三章 刀具材料	14
第一节 刀具材料应具备的性能	14
第二节 高速钢	15
第三节 硬质合金	17
第四节 其他刀具材料	20
思考题与习题	22
第四章 金属切削过程及其基本 规律	23
第一节 金属切削的变形过程	23
第二节 切削力与切削功率	30
第三节 切削热与切削温度	34
第四节 刀具磨损与刀具耐用度	37
思考题与习题	42
第五章 金属切削基本理论的应用	43
第一节 切屑控制	43
第二节 工件材料的切削加工性	48
第三节 切削液及其选用	51
第四节 刀具几何参数的合理选择	54

第五节 切削用量的合理选择	57
第六节 超高速切削与超精密切削简介	60
思考题与习题	64
第六章 典型金属切削加工方法及 刀具	65
第一节 车削加工及车刀	65
第二节 铣削加工及铣刀	71
第三节 钻镗加工及钻头、镗刀	76
第四节 刨削、插削和拉削加工及其 刀具	81
第五节 齿轮加工及切齿刀具	85
第六节 磨削加工及砂轮	90
第七节 自动化生产及其刀具	98
第八节 光整加工方法综述	100
思考题与习题	104
第七章 金属切削机床概论	106
第一节 金属切削机床概述	106
第二节 车床	113
第三节 磨床	120
第四节 齿轮加工机床	127
第五节 其他机床	132
思考题与习题	151
第八章 典型表面加工	153
第一节 外圆加工	153
第二节 孔(内圆)加工	158
第三节 平面加工	166
第四节 曲(异型)面加工	168
思考题与习题	172
参考文献	174

第一章 绪 论

第一节 金属切削加工技术发展概况

金属切削加工是利用金属切削刀具，在工件表面切除多余金属，使工件达到规定的几何形状、尺寸精度和表面质量的一种机械加工方法。它是机械制造业中最基本的加工方法，在国民经济中占有十分重要的地位。

我国在金属切削技术方面有着光辉的成就。公元前二千多年青铜器时代就已出现金属切削加工的萌芽。当时青铜刀、锯、锉等刀具已经类似于现代的切削刀具。公元 1668 年制造直径 2m 的天文仪器铜环，其内孔、外圆、端面及刻度的加工精度和表面粗糙度均达到相当高的水平。当时采用畜力带动铣刀进行铣削，用磨石进行磨削；刀片磨钝后用脚踏刃磨机刃磨。在长期的生产实践中，古人已非常注意总结刀具的经验，强调刀刃的作用，正确阐明了刀刃利与坚的关系，对切削原理进行了朴素的唯物辩证的论述。

近代历史中，由于封建制度的腐败和帝国主义的侵略，我国机械工业一直处于落后状态。1915 年上海荣昌泰机器厂造出了国产第一台车床。19 世纪中叶起才开始有少量机械工厂。直到 1947 年，民用机械工业只有 3 千多个企业，拥有机床两万多台。当时使用碳素工具钢刀具，切削速度仅能在 $16\text{m}/\text{min}$ 以内，切削效率很低。

新中国成立后，我国切削加工技术得到了飞速发展。20 世纪 50 年代起开始广泛使用硬质合金，推广高速切削、强力切削、多刀多刃切削，兴起了改革刀具的热潮。先进刀具、先进切削工艺、新型刀具材料不断涌现，切削机理得到了更加深入的研究。许多高等院校、研究所、工具刀具厂在切削加工技术和切削刀具的研究方面都取得了十分丰硕的成果。

20 世纪 80 年代后，机械行业注意从国外引进先进技术，在与国际学术组织、专家学者的交流活动中，我国的切削加工技术水平又得到了进一步的提高，并正在努力赶上国际先进水平。

当今需要切削的材料十分广泛，除传统的金属材料之外，非金属材料也愈来愈多。从软的橡胶、塑料到坚硬的花岗岩石；从普通的钢材到高强度钢、耐热钢、钛合金、冷硬铸铁、淬硬钢等。切削技术不仅能够解决各种硬、韧、脆、粘等难加工材料，而且能够解决各种高精度、特长、特深、特薄、特小等特形零件的加工。

随着计算机在切削研究、刀具设计与机械制造中得到广泛应用，一批我国自行开发的刀具 CAD、CAPP、CAI、切削数据库软件也相继问世。新的刀具标准参照 ISO 也作了修订，已基本完成了与国际接轨。我国的切削加工技术在不久的将来一定能赶上发达国家的水平，并能同步增长。

随着科学技术和现代工业日新月异的快速发展，切削加工技术也正朝着高精度、高效率、自动化、柔性化和智能化的方向发展，主要体现在以下三方面：

1) 加工设备朝着数控技术、精密和超精密、高速和超高速方向发展。据预测，到 21 世纪初，数控技术、精密和超精密加工技术将进一步普及和应用。普通加工、精密加工和超精

密加工的精度可分别达到 $1\mu\text{m}$ 、 $0.01\mu\text{m}$ 和 $0.001\mu\text{m}$ (毫微米, 即纳米), 向原子级加工逼近。

2) 刀具材料朝超硬刀具材料方向发展。目前我国常用刀具材料是高速钢和硬质合金, 预计 21 世纪是超硬刀具材料的应用时代, 陶瓷、聚晶金刚石 (PCD) 和聚晶立方氮化硼 (PCBN) 等超硬材料将被普遍应用于切削刀具, 使切削速度可高达数千米每分钟。

3) 生产规模由目前的小批量和单品种大批量向多品种变批量的方向发展, 生产方式由目前的手工操作、机械化、单机自动化、刚性流水线自动化向柔性自动化和智能自动化方向发展。

21 世纪的切削加工技术必将面临未来自动化制造环境的一系列新的挑战, 它必然要与计算机、自动化、系统论、控制论及人工智能、计算机辅助设计与制造、计算机集成制造系统等高新技术及理论相融合, 向着精密化、柔性化和智能化方向发展, 并由此推动其他各新兴学科在切削理论和技术中的应用。

第二节 金属切削机床在国民经济中的地位及其发展简史

一、金属切削机床及其在国民经济中的地位

金属切削机床是用切削的方法将金属毛坯加工成机器零件的机器, 也可以说是制造机器的机器, 所以又称为“工作母机”或“工具机”, 在我国习惯上简称为机床。在机械制造业中, 尤其是在加工精密零件时, 目前主要是依靠切削加工来达到所需的加工精度和表面粗糙度。所以, 金属切削机床是加工机器零件的主要设备, 它所担负的工作量, 在一般情况下约占机器的总制造工作量的 $40\% \sim 60\%$, 它的技术性能和先进程度直接影响到机器制造的产品质量和劳动生产率, 进而决定着国民经济的发展水平。

一个国家要繁荣富强, 需要一个强大的机械制造业为国民经济各部门提供各种现代化的先进技术装备, 然而一个现代化的机械制造业必须要有一个现代化的机床制造业作后盾。机床工业是机械制造业的“装备部”、“总工艺师”。机床的拥有量、产量、品种和质量, 是衡量一个国家工业水平的重要标志之一。因此, 机床工业在国民经济中占有极其重要的地位。机床工业可以生产出各种各样的基础机械产品、专用设备和机电一体化的产品, 为能源、交通、农业、轻纺、石油化工、冶金、电子、兵器、航空航天和矿山工程等各种行业部门提供先进的制造技术与优质高效的工艺装备, 从而推动这些行业的发展。机床工业对国民经济和社会进步起着重大的作用。因此, 许多国家都十分重视本国机床工业的发展和机床技术水平的提高, 使本国国民经济的发展建立在坚实的基础上。

二、机床的发展概况和我国机床工业的现状

机床是人类在长期生产实践中, 不断改进生产工具的基础上产生的, 并随着社会生产的发展和科学技术的进步而渐趋完善。最原始的机床是木制的, 所有运动都由人力或畜力驱动, 主要用于加工木料、石料等, 它们实际上并不是一种完整的机器。现代意义上的加工金属机械零件的机床, 是在 18 世纪中叶才开始发展起来的。1797 年发明的带有机动刀架的车床, 开创了用机械代替人手控制刀具运动的先河, 而且使机床的加工精度和工作效率发生了一个飞跃。到 19 世纪末, 车床、钻床、镗床、刨床、拉床、铣床、磨床、齿轮加工机床等

基本类型的机床已先后形成。

20 世纪初以来, 由于高速钢和硬质合金等新型刀具材料的相继出现, 使刀具的切削性能不断提高, 促使机床沿着提高主轴转速、加大驱动功率和增强结构刚度的方向发展。同时, 由于电动机、齿轮、轴承、电气和液压等技术有了很大的发展, 使机床的传动、结构和控制等方面也得到了相应的改进, 加工精度和生产率也随之有了明显的提高。到了 20 世纪 50 年代, 在综合应用电子技术、检测技术、计算机技术、自动控制和机床设计等各个领域最新成就的基础上发展起来的数控机床, 使得机床自动化进入了一个崭新的时代。

纵观机床发展历史, 它总是随着机械工业的扩大和科学技术的进步而发展, 并始终围绕着不断提高生产效率、加工精度、自动化程度和扩大产品品种而进行的。现代机床总的趋势仍将继续沿着这一方向发展。

我国的机床工业是在新中国成立后建立起来的。在旧中国, 基本上没有机床制造工业。直至解放前夕, 全国只有少数几个机械修配厂生产少量结构简单的机床。解放以来, 我国机床工业获得了高速发展。目前我国已形成了布局比较合理、相对完整的机床工业体系。机床的产量与质量不断上升, 机床产品除满足国内建设的需要外, 还有一部分已远销国外。我国已制定了完整的机床系列型谱。生产的机床品种也日趋齐全, 能生产上千个品种。现在已经具备了成套装备现代化工厂的能力。目前我国已能生产从小型仪表机床到重型机床的各种机床, 也能生产出各种精密的、高度自动化的以及高效率的机床和自动线。我国机床的性能也在逐步提高, 有些机床已经接近世界先进水平。我国数控技术近年也有较快的发展, 目前已能生产上百种数控机床。

我国机床工业已经取得了很大成就, 但与世界发达国家相比, 还有较大差距。主要表现在机床产品的精度、质量稳定性、自动化程度以及基础理论研究等方面。为了适应我国四个现代化的需要, 为了提高机床产品在国际市场的竞争能力, 必须深入开展机床基础理论研究, 加强工艺试验研究, 大力开发精密、重型和数控机床, 使我国的机床工业尽早跻身于世界先进行列。

第三节 本课程的内容与学习方法

一、本课程的教学内容

本课程是金属切削原理与刀具、金属切削机床和金属工艺学三部分基本理论和基础知识的有机结合, 是研究金属切削加工的基本原理和基本规律、金属切削机床的结构和工作原理、机械加工工艺的基本知识及其在机械制造工程中应用的一门学科。其主要任务是: 使学生具备所必需的机械加工技术的基本知识和基本技能, 培养学生的创新意识和解决机械加工方面一般技术问题的能力。它是机械制造专业、数控技术与应用专业、模具设计制造专业、计算机辅助设计专业与机电类各专业的重要课程之一。

本课程的主要内容包括: ①金属切削加工的基本概念; 金属切削过程的基本规律及其应用; 常用刀具材料的性能和应用范围; 各种常用刀具的特点及其几何参数的选择方法。②典型金属切削加工方法及其刀具。③常用金属切削机床的工作原理、结构与工艺范围; 机床运动与传动路线的分析方法。④典型表面的切削加工方法。这些知识将为今后机械制造工艺课

程的学习和课程设计以及毕业设计做好必要的准备。

二、本课程的学习方法

本课程是一门综合性和实践性很强的学科，涉及知识面很广。因此，学习本课程时不但要注意系统地学好本课程的基础理论知识，而且要密切联系生产实际，重视金工实习、生产实习，通过实验、实训及工厂调研来加深对课程内容的理解，将知识转化为技术应用能力。同时还要注意沟通与基础学科和相关学科知识间的联系，培养综合运用知识分析问题、解决问题的能力，善于发现生产实际中提高加工质量、提高生产效率的有效工艺措施和客观规律。通过本课程及后续课程的学习，逐步掌握机械加工的理论与实践知识，为毕业后参加社会实践、投身四化建设打下坚实的基础。

第二章 金属切削加工的基本知识

一般情况下，通过铸造、锻造、焊接和各种轧制的型材毛坯精度低和表面粗糙度值大，不能满足零件的使用性能要求，必须进行切削加工才能成为零件。

金属切削加工是通过刀具与工件之间的相对运动，从毛坯上切除多余的金属，从而获得合格零件的一种机械加工方法。

金属切削加工通常通过各种金属切削机床对工件进行切削、加工。切削加工的基本形式有车削、铣削、钻削、镗削、刨削、拉削、磨削等。钳工也属于金属切削加工，它是使用手工切削工具在钳台上对工件进行加工的，其基本形式有錾削、锉削、锯削、刮削以及钻孔、铰孔、攻螺纹（加工内螺纹）、套螺纹（加工外螺纹）等。

第一节 切削运动和工件表面

一、切削运动

在金属切削加工中，刀具和工件间必须完成一定的切削运动，才能从工件上切去一部分多余的金属层。切削运动是为了形成工件表面，所必需的刀具与工件之间的相对运动。切削运动按其作用不同，分为主运动和进给运动，如图 2-1 所示。

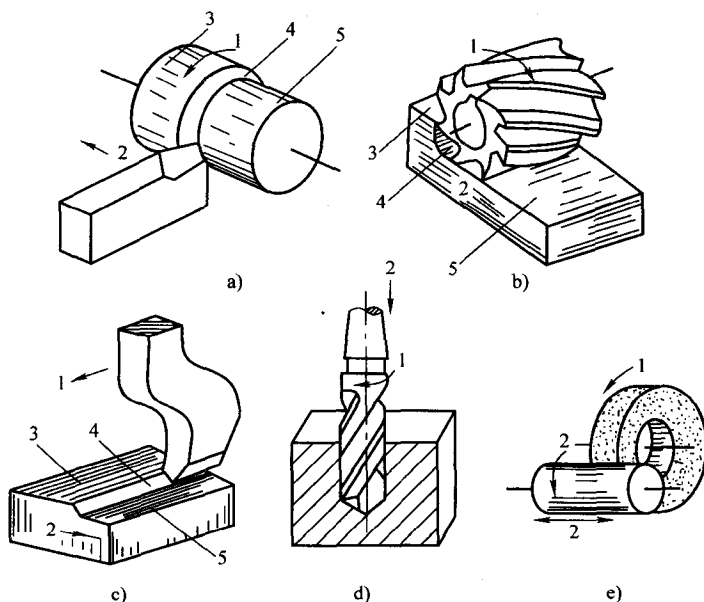


图 2-1 切削运动和加工表面

a) 车削 b) 铣削 c) 刨削 d) 钻削 e) 磨削

1—主运动 2—进给运动 3—待加工表面 4—过渡表面 5—已加工表面

1. 主运动

主运动是指切除多余金属所需要的刀具与工件之间最主要、最基本的相对运动。切削过程中，必须有且只有一个主运动，它的速度最高，消耗的功率最大。主运动可以是直线运动，也可以是旋转运动。车削的主运动是工件的旋转运动；铣削和钻削的主运动是刀具的旋转运动；磨削的主运动是砂轮的旋转运动；刨削的主运动是刀具（牛头刨床）或工件（龙门刨床）的往复直线运动等。

刀具切削刃上选取点相对于工件的主运动的瞬时速度称为切削速度，用矢量 v_c 表示。

2. 进给运动

进给运动是指使新的切削层金属不断地投入切削，从而切出整个工件表面的运动。进给运动可以是连续运动，也可以是间断运动；可以是直线运动，也可以是旋转运动。车削的进给运动是刀具的移动；铣削的进给运动是工件的移动；钻削的进给运动是钻头沿其轴线方向的移动；内、外圆磨削的进给运动是工件的旋转运动和移动等。进给运动可以是一个或者多个，切削过程中有时也可以没有单独的进给运动。它的速度较小，消耗的功率也较小。

切削刃上选取点相对于工件的进给运动的瞬时速度称为进给速度，用矢量 v_f 表示。

切削加工过程中，为了实现机械化和自动化，提高生产效率，一些机床除切削运动外，还需要辅助运动，例如切入运动、空程运动、分度转位运动、送夹料运动以及机床控制运动等。

3. 合成切削运动

主运动和进给运动的合成运动称为合成切削运动。合成切削运动的瞬时速度用矢量 v_c 表示， $v_c = v_c + v_f$ 。

v_c 和 v_f 所在的平面称为工作平面，以 p_{fc} 表示。

在工作平面内，同一瞬时主运动方向与合成切削运动方向之间的夹角称为合成切削速度角，以 η 表示。如图 2-2 所示。

由 η 角的定义可知

$$\tan \eta = \frac{v_f}{v_c} = \frac{f}{\pi d} \quad (2-1)$$

式中 d ——随着车刀进给而不断变化着的切削刃选定点处工件的旋转直径。

二、工件上的表面

切削过程中，工件上始终存在着三个不断变化的表面，如图 2-1 所示，即

待加工表面：工件上有待切除的表面。

已加工表面：工件上由刀具切削后产生的新表面。

过渡表面：在待加工表面和已加工表面之间由切削刃在工件上正在形成的那个表面。它将在下一次切削过程中被切除。

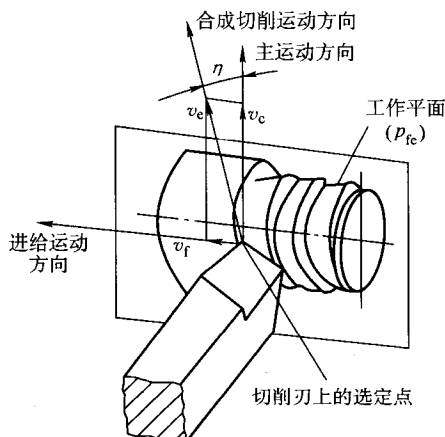


图 2-2 合成切削运动速度角

第二节 切削要素

切削要素包括切削用量和切削层横截面要素

一、切削用量

切削用量是指切削加工过程中切削速度、进给量和背吃刀量（切削深度）三个要素的总称。它表示主运动和进给运动量，用于调整机床的工艺参数。

1. 切削速度

切削速度 v_c 是指切削刃上选定点相对于工件的主运动的瞬时线速度，单位为 m/s 或 m/min 。主运动是旋转运动时，切削速度的计算公式如下：

$$v_c = \frac{\pi dn}{1000} \quad (2-2)$$

式中 d ——完成主运动的刀具或工件的最大直径，单位为 mm ；

n ——主运动的转速，单位为 r/s 或 r/min 。

在生产中，磨削速度用 m/s ，其他加工的切削速度习惯用 m/min 。

2. 进给量

进给量 f 是指工件或刀具的主运动每转或每一行程刀具与工件两者在进给运动方向上的相对位移量，单位是 mm/r 或 mm/r （行程）。

主运动是往复直线运动时为每往复一次的进给量。

进给速度 v_f 是指刀具切削刃上选定点相对于工件进给运动的瞬时速度。进给量 f 与进给速度 v_f 之间的关系为

$$v_f = fn \quad (2-3)$$

3. 背吃刀量

背吃刀量 a_p 也写作 a_{sp} ，是指工件已加工表面和待加工表面之间的垂直距离，单位是 mm 。

外圆车削背吃刀量 a_p 为

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (2-4)$$

钻孔背吃刀量 a_p 为

$$a_p = \frac{d_m}{2} \quad (2-5)$$

式中 d_m ——已加工表面直径，单位为 mm ；

d_w ——待加工表面直径，单位为 mm 。

二、切削层横截面要素

切削层是指在切削过程中刀具的刀刃在一次走刀中所切除的工件材料层。切削层的轴向剖面称为切削层横截面，如图 2-3 所示。

切削层的横截面要素是指切削层的横截面尺寸，包括切削层公称宽度 b_D 、切削层公称

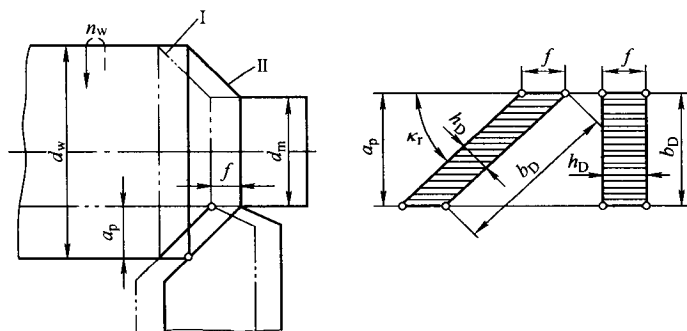


图 2-3 纵车外圆时的切削层要素

厚度 h_D 和切削层公称横截面积 A_D 三个要素。

(1) 切削层公称宽度 b_D 切削层公称宽度是指刀具主切削刃与工件的接触长度，单位是 mm。车削时，设车刀主切削刃与工件轴线之间的夹角即主偏角为 κ_r ，则

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (2-6)$$

(2) 切削层公称厚度 h_D 切削层公称厚度是指刀具或工件每移动一个进给量 f 时，刀具主切削刃相邻的两个位置之间的垂直距离，单位是 mm。车外圆时：

$$h_D = f \sin \kappa_r \quad (2-7)$$

(3) 切削层公称横截面积 A_D 切削层公称横截面积即切削层横截面的面积，单位是 mm^2 ，可以表示为

$$A_D \approx b_D h_D = a_p f \quad (2-8)$$

第三节 刀具几何参数

一、刀具切削部分的结构要素

金属切削刀具的种类很多，但任何刀具都由切削部分和夹持部分组成，虽然刀具形态各异，但其切削部分（楔部）都有一定的共性，切削部分总是近似地以外圆车刀的切削部分为基本形态，其他各类刀具都可看成是它的演变和组合，故以普通车刀为例，对刀具切削部分的结构要素作出定义，现以图 2-4 所示说明如下：

(1) 前面 A_f 前面是切下的切屑流过的刀面。如果前面是由几个相互倾斜的表面组成的，则可从切削刃开始，依次把它们称为第一前刀面（有时称为倒棱）、第二前刀面等。

(2) 后面 A_a 后面是与工件上新形成的过渡表面相对的刀面。也可以分为第一后刀面（有时称刃带）、第二后刀面等。

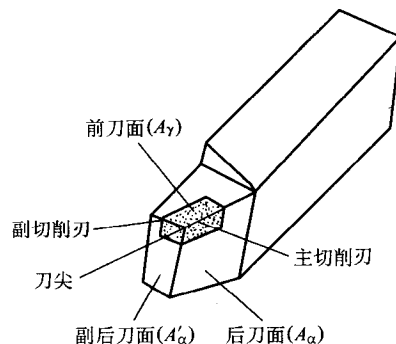


图 2-4 车刀切削部分的结构要素

(3) 副后面 A_s' 与副切削刃毗邻、与工件上已加工表面相对的刀面。同样，也可以分为第一副后刀面、第二副后刀面等。

(4) 主切削刃 S 前面与后面相交而得到的切削边锋。主切削刃在切削过程中，承担主要的切削任务，完成金属切除工作。

(5) 副切削刃 S' 前面与副后面相交而得到的切削边锋。它协同主切削刃完成金属切除工作，以最终形成工件的已加工表面。

(6) 刀尖 刀尖是指主切削刃和副切削刃的连接处相当短的一部分切削刃。常用的刀尖有三种形式：交点（点状）刀尖、圆弧（修圆）刀尖和倒棱（倒角）刀尖，如图 2-5 所示。

二、刀具角度的参考系

刀具要从工件上切下金属，就必须使刀具切削部分具有合理的几何形状。为了确定和测量刀具各表面和各刀刃在空间的相对位置，必须建立用以度量各刀刃、各刀面空间位置的参考系。

建立参考系，必须与切削运动相联系，应反映刀具角度对切削过程的影响。参考系平面与刀具安装平面应平行或垂直，以便于测量。

用来确定刀具几何角度的参考系有两类：一类称为刀具标注角度参考系，即静止参考系，在刀具设计图上所标注的角度，刀具在制造、测量和刃磨时，均以它为准；另一类称为刀具工作角度参考系，它是确定刀具在切削运动中有效工作角度的参考系。它们的区别在于：前者由主运动方向确定，而后者则由合成切削运动方向确定。由于通常情况下进给速度远小于主运动速度，所以，刀具工作角度近似地等于刀具标注角度。

为了方便理解，我们以车刀为例建立静止参考系。

1. 建立车刀静止参考系的假设

为了方便理解，我们不妨对刀具和切削状态作出如下假设：

- 1) 不考虑进给运动的影响。
- 2) 车刀安装绝对正确，即刀尖与工件中心等高，刀杆轴线垂直工件轴线。
- 3) 刀刃平直，刀刃选定点的切削速度方向与刀刃各处平行。

2. 建立正交平面参考系

刀具设计、刃磨、测量角度，最常用的是正交平面参考系。建立一个如图 2-6 所示的正交平面参考系。

正交平面参考系由以下三个两两互相垂直的平面组成：

(1) 主切削平面 p_s 。主切削平面是指通过刀刃上选定点，包含该点假定主运动方向和刀刃的平面，即切于工件过渡表面的平面。

(2) 基面 p_r 。基面是指通过刀刃上选定点，垂直于该点假定主运动速度方向的平面。由假设可知，它平行于安装底面和刀杆轴线。

(3) p_o-p_o 平面（又称为正交平面）它是过主切削刃上选定点，同时垂直于基面和切

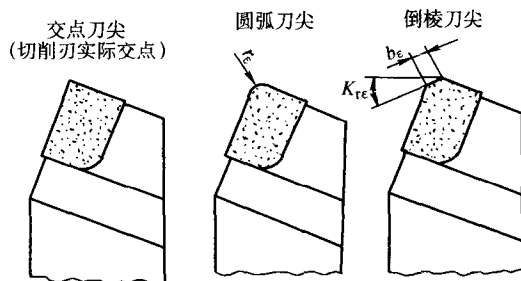


图 2-5 刀尖的形状

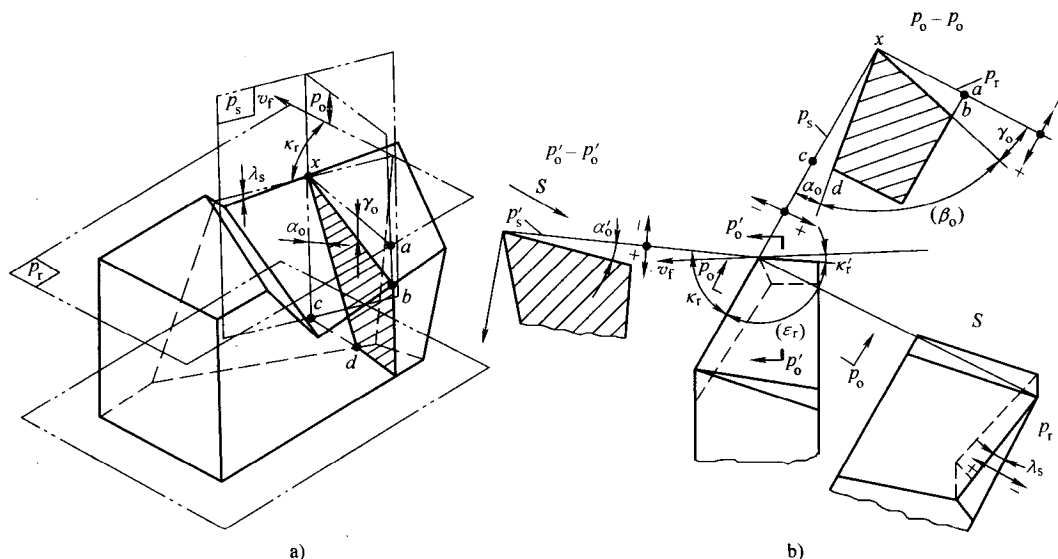


图 2-6 正交平面参考系与刀具角度

削平面的平面。

在图 2-6 中, 由 p_s 、 p_r 、 p_o-p_o 组成一个正交平面参考系。这是目前生产中最常用的刀具标注角度参考系。

三、刀具的标注角度

刀具在设计、制造、刃磨和测量时, 都是用刀具标注角度参考系中的角度来标明切削刃和刀面的空间位置的, 故这些角度称为刀具的标注角度。

由于刀具角度的参考系沿切削刃上各点可能是变化的, 因此所定义的角度均应指切削刃选定点处的角度; 凡未指明者, 则一般是指切削刃上与刀尖毗邻的那一点的角度。

下面通过普通外圆车刀给各标注角度下定义, 并加以说明, 如图 2-6 所示。这些定义具有普遍性, 也可以用于其他类型的刀具。

1. 在基面中测量的角度

(1) 主偏角 κ_r : 主切削刃在基面上的投影与进给运动方向之间的夹角。

(2) 副偏角 κ'_r : 副切削刃在基面上投影与进给运动反方向之间的夹角。

(3) 刀尖角 ϵ_r : 主切削刃、副切削刃在基面上投影的夹角。

由上可知: $\kappa_r + \kappa'_r + \epsilon_r = 180^\circ$

2. 在 p_o-p_o 截面中测量的角度

(1) 前角 γ_o : 基面与前刀面之间的夹角。它有正、负之分, 当前刀面低于基面时, 前角为正, 即 $\gamma_o > 0$; 前刀面高于基面时, 前角为负, 即 $\gamma_o < 0$, 如图 2-6 所示。

(2) 主后角 α_o : 后刀面与切削平面之间的夹角。加工过程中, 一般不允许 $\alpha_o < 0$ 。

(3) 楔角 β_o : 后刀面与前刀面之间的夹角。

由上可知: $\beta_o = 90^\circ - (\alpha_o + \gamma_o)$

3. 在主切削平面中测量的角度

刃倾角 λ_s : 主切削刃与基面之间的夹角。刃倾角有正、负之分, 如图 2-6 所示, 当刀尖处在切削刃上最高位置时, 取正号; 若刀尖处于切削刃上最低位置时, 取负号; 当主切削刃与基面平行时, 刃倾角为零。

4. 在副 p_o - p_o 截面中测量的角度

(1) 副前角 γ'_o : 副基面与副前刀面之间的夹角。

(2) 副后角 α'_o : 副后刀面与副切削平面之间的夹角。该角度影响表面粗糙度及振动。加工过程中, 一般也不允许 $\alpha'_o < 0$ 。

5. 在副切削平面中测量的角度

刃倾角 λ'_s : 副切削刃与副基面之间的夹角。

四、刀具工作角度

以上所讲的刀具标注角度, 是在假定运动条件和假定安装条件下的标注角度。如果考虑合成运动和实际安装情况, 则刀具的参考系将发生变化, 刀具角度也发生了变化。按照刀具工作中的实际情况, 在刀具工作角度参考系确定的角度, 称为刀具工作角度。

由于通常进给运动在合成切削运动中所起的作用很小, 所以, 在一般安装条件下, 可用标注角度代替工作角度。这样, 在大多数场合下, 不必进行工作角度的计算。只有在进给运动和刀具安装对工作角度产生较大影响时, 才需计算工作角度。

1. 进给运动对工作角度的影响

以横向进给切断工件为例, 如图 2-7 所示。切削刃相对于工件的运动轨迹为阿基米德螺旋线, 工作切削平面 p_{sc} 为过切削刃而切于螺旋线的平面, 而工作基面 p_{re} 又恒与之垂直, 因而就引起了实际切削时前、后角的变化, 分别称为工作前角 γ_{oe} 和工作后角 α_{oe} , 其大小为

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \eta \quad (2-9)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \eta \quad (2-10)$$

由式 (2-1) 可以看出, 工件直径减小或进给量增大都将使 η 值增大, 工作后角减小。在一般情况下 (如普通车削、镗削、端铣), η 增值很小, 故可略去不计。但在车螺纹或丝杠、铲背时, η 增值很大, 它是不可忽略的。

同理, 纵车时刀具角度也有类似的变化, 不过一般车削外圆时, 可以忽略不计, 但车螺纹时则必须考虑, 如图 2-8 所示。

2. 刀具安装情况对工作角度的影响

(1) 刀具安装高度对工作角度的影响 图 2-9 所示为车刀车外圆, 当刀尖安装得高于工件中心线时, 则切削平面变为 p_{sc} , 基面变为 p_{re} , 刀具角度也随之变为工作前角 γ_{oe} 和工作后角 α_{oe} , 在背平面内这两个角度的变化值 θ_p 为

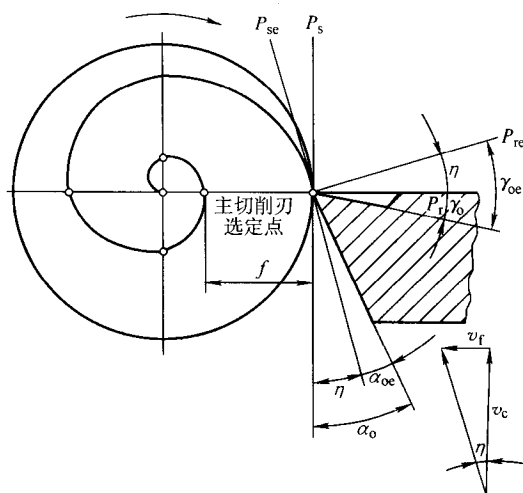


图 2-7 横向进给对工作角度的影响