

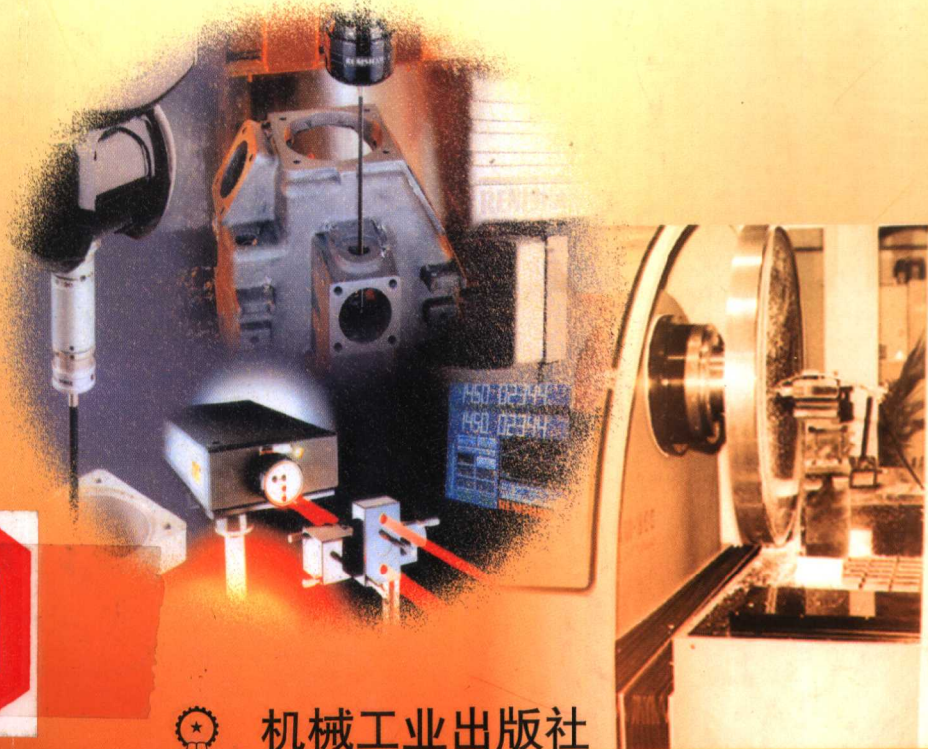


中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

数控加工技术

(数控技术应用专业)

田春霞 主编



机械工业出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

数 控 加 工 技 术

(数控技术应用专业)

主 编 田春霞
副 主 编 徐 衡
参 编 王 兵 张黔成 庞建跃
责任主审 张世昌
审 稿 梁锦文 邓广敏



机 械 工 业 出 版 社

本书是根据机械工业部中等职业学校专业教学指导委员会 2000 年制订的“数控技术应用专业教学计划与大纲”编写,并被确定为国家面向 21 世纪中等职业技术教育数控技术应用专业的规划教材。

全书共分七章,内容包括:数控加工基本知识、数控切削加工方法、特种加工、数控机床夹具应用、数控加工工艺、数控加工技术与机械加工自动化的发展、机械加工质量。

全书以数控加工工艺为主线,从工艺实施的生产实际出发,将切削加工基本理论和知识;各种常用加工方法;常规机械加工工艺和数控加工工艺;常用的刀具、夹具和辅具等内容有机地结合为一体,教材注重理论知识的实际应用和学生实践能力的培养,从学生的认知规律出发,以适应培养生产一线技术应用型人员的需求。教材内容丰富,详简得当,实用性强。既有理论又有实例,内容体系符合教学规律。各章均附有习题,供教学参考。

本书可作为中等职业学校数控技术应用专业和机电技术应用专业的教学用书,可供三年或四年制教学使用,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术:数控技术应用专业/田春霞主编. —北京:机械工业出版社, 2002.1

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-111-09788-2

I. 数… II. 田… III. 数控机床-加工-专业学校-教材

IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 001568 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:冯 铨 版式设计:冉晓华 责任校对:刘志文

封面设计:姚 毅 责任印制:郭景龙

北京交通印务实业公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·13.5 印张·329 千字

0 001—5 000 册

定价:16.00 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) 68993821、68326677-2527

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

本书是根据机械工业部中等职业学校专业教学指导委员会 2000 年制订的“数控技术应用专业教学计划与大纲”编写，并被确定为国家面向 21 世纪中等职业技术教育数控技术应用专业的规划教材，同时也是配合专业教学改革的系列教材之一。

本书可作为中等职业学校数控技术应用专业的主干专业课教材，可供三年制或四年制教学使用，也可供数控机床加工技术、机电技术应用等专业课作为教学用书，同时可供有关工程技术人员参考。

本书以突出职业教育为特色，以增强实用性和加强能力与素质培养为指导，根据工程实践的要求，对传统的教学内容和课程体系进行了重组和调整。本书以数控加工工艺为主线，从工艺实施的生产实际出发，将切削加工基本理论和知识，各种常用加工方法，常规机械加工工艺和数控加工工艺，常用的刀具、夹具和辅具等内容有机地结合为一体，注重理论知识的应用和学生实践能力的培养，从学生的认知规律出发，以适应培养生产一线技术应用型人员的需求。教材内容丰富，详简得当，实用性强。既有理论又有实例，内容体系符合教学规律。各章均附有习题，供教学参考。教材中打“*”号的章节，作为选修内容，供各校根据教学需要选用。

全书由大连职业技术学院田春霞任主编，沈阳市机电工业学校徐衡任副主编。参加编写的有：田春霞（绪论、第一章第一、二、三、四节、第二章第四节、第六章）、王兵（第一章第五、六、七节、第四章第三节）、张黔成（第二章第一、二、三节）、庞建跃（第三章、第七章）、徐衡（第五章、第四章第一、二节）。

本书由西安仪表工业学校关雄飞担任主审。参加审稿的还有康新龙同志。另外，在本书编写过程中，得到了李登万、朱志宏、李向东等同志的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。

限于编者水平和经验有限，编写时间又较紧迫，书中难免存在缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编 者
2001 年

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 数控加工基本知识	3
第一节 切削运动与切削要素	3
第二节 刀具切削部分的几何角度	6
第三节 刀具材料	10
第四节 金属切削过程及控制	14
第五节 机床夹具概述	33
第六节 工件的定位	36
第七节 工件的夹紧	47
习题一	51
第二章 数控切削加工方法	54
第一节 数控车削加工	54
第二节 数控铣削加工	67
第三节 数控加工中心加工	80
第四节 磨削加工	98
习题二	103
第三章 特种加工	104
第一节 概述	104
第二节 电火花加工	105
第三节 电解加工	110
第四节 超声波加工	111
第五节 激光加工	113
习题三	115
第四章 数控机床夹具应用	116
第一节 数控加工常用夹具	116
第二节 组合夹具	121
* 第三节 专用夹具设计简介	126
习题四	130
第五章 数控加工工艺	131
第一节 机械加工工艺规程概述	131
第二节 制订机械加工工艺规程 的准备性工作	134
第三节 定位基准的选择	138
第四节 机械加工工艺路线的拟定	140
第五节 机床加工工序设计与实施	144
第六节 数控加工工艺设计与实施	152
第七节 加工工艺过程的生产率	160
第八节 机械加工工艺规程与数控加 工工艺设计实例	161
习题五	174
第六章 数控加工技术与机械制造 自动化的发展	177
第一节 数控加工技术的发展	177
* 第二节 成组技术	178
* 第三节 计算机辅助制造和计算机 辅助工艺设计	183
* 第四节 柔性制造系统及计算机集成 制造系统	186
习题六	191
第七章 机械加工质量	192
第一节 概述	192
第二节 机械加工精度	194
第三节 机械加工表面质量	202
习题七	206
参考文献	208

绪 论

一、机械制造业在国民经济中的地位、作用和发展概况

机械制造业是国民经济的基础产业，它为国民经济各部门的发展提供所需的机器、仪器、工具等机械装备。据统计，美国 68% 的社会财富来源于制造业，日本国民总产值的 49% 是由制造业提供的，中国的制造业在工业总产值中也占有 40% 的比例。可以说，没有发达的制造业，就不可能有国家的真正繁荣和富强。而机械制造业的发展规模和水平，则是反映国民经济实力和科学技术水平的重要标志之一。

经过建国以来 50 多年的发展，我国的机械制造业已有了相当的实力，逐步形成了一个具有相当规模和一定技术基础的机械工业体系。改革开放 20 多年来，我国制造业充分利用国内外两方面的技术资源，有计划地推进企业的技术改造，引导企业走依靠科技进步的道路，使制造技术、产品质量和水平及经济效益发生了显著变化，为繁荣国内市场、扩大出口创汇、推动国民经济的发展作出了很大贡献。

我国的机械制造业虽已取得了很大成绩，但与工业发达国家相比，无论在生产能力、技术水平、管理水平和劳动生产率等方面都还有很大的差距。这些问题的主要原因，在于机械制造技术水平的落后。因此，大力发展制造技术，已成为机械工业的当务之急。

随着科学技术的发展，尤其是计算机技术的发展，促使常规机械制造技术与精密检测技术、数控技术等相互结合。机械产品的结构越来越合理，其性能、精度和效率日趋提高，更新换代频繁，生产类型由大批大量生产向多品种小批量生产变化。这些变化对机械制造技术提出了更高的要求，使机械制造技术不断向着高柔性、高度自动化、高精度和高速高效率的趋势发展。

(1) 机械制造向高柔性、高度自动化方向发展 计算机技术在机床中的应用，使计算机数字控制 (CNC) 机床、加工中心 (MC)、柔性制造系统 (FMS) 及计算机集成制造系统 (CIMS) 等自动化制造设备的应用比例迅速增加，使得机械制造过程逐步柔性化，适应了生产类型由大批大量生产向多品种小批量生产及产品更新换代快的方向转变，缩短了生产周期。

(2) 机械制造向高精度方向发展 精密与超精密加工技术是一个国家制造技术水平的重要标志之一。目前人们正积极从事超精密加工和超微细加工的研究，其精度可达 $0.005 \sim 0.01 \mu\text{m}$ 。另外，不少工业国家已开始向纳米级 ($1\text{nm} = 0.001 \mu\text{m}$) 加工精度发展，可望在不远的将来，机械制造业将能实现分子级或原子级的加工精度。

(3) 机械制造向高速高效率方向发展 由于机床结构设计与制造水平的提高和新型刀具材料的应用，使切削加工速度提高至每分钟数百米甚至每分钟一千多米，从而促使切削效率显著提高。

二、数控加工技术在机械制造业中的地位、作用和发展状况

现代机械制造要求产品品种多样化，更新换代加速，从而使多品种小批量生产的比重明显增加。在传统的机械制造中，单件小批量生产一般都采用通用机床加工，当产品改变时，

机床与工艺装备均需作相应的变换和调整,而且通用机床的自动化程度不高,基本上由人工操作,难以提高生产效率和保证产品质量。特别是一些曲线、曲面轮廓组成的复杂零件,只能借助靠模和仿形机床加工,加工精度和生产效率受到很大的限制。

为了解决多品种、小批量及复杂零件机械加工自动化的需要,数控加工技术应运而生。由于数控技术综合应用了计算机、自动控制、精密检测等方面的技术成果,具有高柔性、高精度与高度自动化的特点,因此,采用数控加工手段,解决了机械制造中常规加工技术难以解决甚至无法解决的单件小批量,特别是复杂型面零件加工的自动化问题。应用数控加工技术是机械制造业的一次技术革命,使机械制造业的发展进入了一个新的阶段,提高了机械制造业的制造水平,为社会提供了高质量、多品种及高可靠性的机械产品。

我国的数控技术发展过程可分为四个阶段:第一阶段是1958~1965年,开始研究数控铣床(电子管控制、步进电动机和液力放大器拖动的开环系统),处于试制、试用阶段。第二阶段是从1965年开始,研制晶体管数控系统,直到60年代末和70年代初。这一阶段的特点是,虽然数控机床的数量和品种不多,但在少数复杂零件的加工中,已开始从试验阶段进入生产试用阶段。第三阶段为1972~1979年,是数控技术的生产和试用阶段。例如,研制成功集成电路数控系统;数控技术在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、电加工领域开始研究或应用;数控加工中心机床研制成功;数控线切割机床也取得了较大的发展等。1980年以后为第四阶段,是稳定发展阶段。通过研究和引进国外的先进技术,我国的数控技术水平发展很快,已自行研制开发了三轴、四轴和五轴联动的数控系统,研制了具有工艺处理能力的加工中心等,数控机床的品种已超过500种,其中金属切削机床品种的数控化率已达20%以上。虽然我国数控技术水平有了较大的提高,但与发达国家相比,还存在较大的差距,需要我们继续探索和研究,以提高数控技术的应用水平。

三、本课程的性质、任务及内容

“数控加工技术”是数控技术应用专业和机电类专业的主干专业课之一,是一门实践性、综合性、灵活性较强的专业技术课程。它的任务主要是以机械制造中的工艺基本理论为基础,结合数控加工的特点,综合运用多方面的知识解决数控加工中的工艺问题,以达到学生能规范、正确地实施典型零件的机械加工工艺,能规范、正确地执行数控加工工序的工艺要求,能拟出简单零件的机械加工工艺规程和数控加工工艺规程。

“数控加工技术”内容包括:金属切削加工的基本理论和工件定位、装夹等基础知识;各种常用数控切削加工方法(数控车削加工、数控铣削加工、数控加工中心加工和数控磨削加工)切削参数的确定,工件装夹,常用的刀具、夹具和辅具选用等;特种加工简介;常规机械加工工艺和数控加工工艺;数控加工与机械加工自动化的发展;加工精度和表面质量等内容。

数控加工技术课程实践性较强,其理论源于生产实际,是长期生产实践的总结。学习本课程必须注重理论同生产实践的结合,多深入生产实际,根据不同的现场条件灵活运用理论知识,以获得解决生产实践问题的最佳方案。通过本课程的学习,应基本掌握数控加工中的基本知识和基本理论,初步具有制订简单零件的数控加工工艺规程和分析解决生产中一般工艺问题的能力。

第一章 数控加工基本知识

第一节 切削运动与切削要素

一、切削运动

金属切削加工就是用金属切削刀具切除工件上多余的金属材料，使其形状、尺寸精度及表面质量达到预定要求的一种机械加工方法。在金属切削加工过程中，刀具和工件必须有相对运动，这种相对运动就称为切削运动。按切削运动在切削加工中的功用不同，可将其分为主运动和进给运动两种。

1. 主运动

主运动是由机床提供的主要运动，它促使刀具和工件之间产生相对运动，从而使刀具前面接近工件并切除切削层。如图 1-1 所示，车削时工件的旋转运动，钻削和铣削时刀具的旋转运动，磨削时砂轮的旋转，刨削时工件或刀具的往复运动等，都是主运动。可见，主运动的特点为切削速度最高，消耗功率最大。通常主运动只有一个。

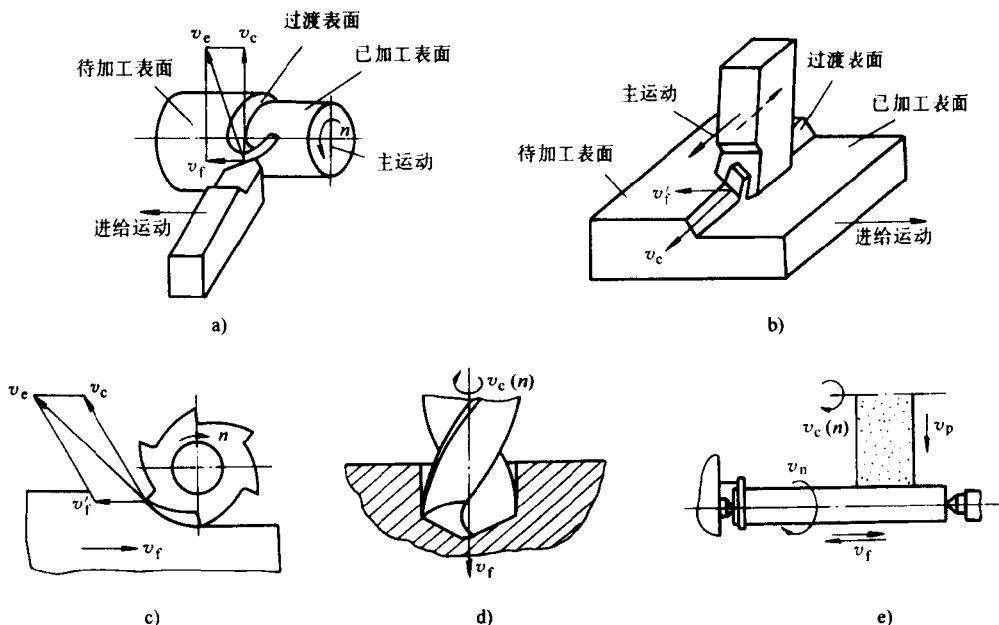


图 1-1 几种常见加工方法的切削运动

a) 车削 b) 刨削平面 c) 铣削平面 d) 钻削 e) 磨削

v_c —主运动速度 v_f —纵向进给运动速度 v_n —圆周进给运动速度 v_p —径向进给运动速度

v_c —合成切削运动速度 v_f' —横向进给运动速度

2. 进给运动

由机床或人力提供的运动，它使刀具与工件之间产生附加的相对运动，加上主运动，即

可不断地或连续地切除多余金属,并得出具有所需几何特性的已加工表面。进给运动可以是连续的运动,如车削外圆时车刀平行于工件轴线的纵向运动;也可以是间断运动,如刨削时刀具的横向移动进给,如图 1-1 所示。可见进给运动速度较低,消耗功率也较小。通常进给运动可有一个(钻削)或几个(磨削),也可以没有(如拉削)。

切削运动可由刀具或刀具与工件同时完成。当主运动和进给运动同时进行,可合成为合成切削运动。刀具切削刃上选定点相对工件的瞬时合成切削运动方向称为合成切削运动方向,其速度称合成切削运动速度。合成切削运动速度等于主运动速度与进给运动速度的矢量和。即

$$v_c = v_c + v_f \quad (1-1)$$

二、工件的表面

在切削过程中,工件上多余的材料不断地被刀具切除而转变为切屑,因此工件在切削过程中形成了三个不断变化着的表面(图 1-1)。

待加工表面 工件上有待切除的表面。

已加工表面 工件上经刀具切削后产生的表面。

过渡表面 工件上由切削刃形成的那部分表面,它在切削过程中不断变化,但总是处于待加工表面与已加工表面之间。

三、切削要素

1. 切削用量

切削用量是表示主运动及进给运动参数的数量,是切削速度 v_c 、进给量 f 和背吃刀量 a_p 三者的总称,即切削用量三要素。切削时用它们调整机床,以进行切削加工。

(1) 切削速度 v_c 切削刃上选定点相对于工件的主运动的瞬时速度,单位为 m/s 。当主运动为旋转运动时,其计算公式为

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad (1-2)$$

式中 d ——切削刃上选定点所对应的工件或刀具的直径,单位为 mm ;

n ——主运动的转速,单位为 r/s 。

显然,当转速 n 一定时,选定点不同,切削速度不同。实际生产中考虑刀具的磨损和切削功率等原因,确定切削速度 v_c 时一律以刀具或工件进入切削状态的最大直径作为计算依据。

(2) 进给量 f 刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量,可用刀具或工件每转(主运动为旋转运动时)或每行程(主运动为直线运动时)的位移量来表达和测量(图 1-2),单位为 mm/r 或 $mm/行程$ 。

对于多齿刀具(如钻头、铣刀),每转或每行程中每齿相对于工件在进给运动方向上的位移量称为每齿进给量 f_z ,单位为 mm/z 。显然

$$f_z = \frac{f}{z} \quad (1-3)$$

式中 z ——刀齿数。

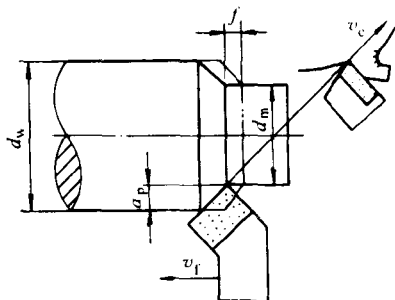


图 1-2 切削用量三要素

切削刃上选定点相对工件的进给运动的瞬时速度称为进给速度 v_f ，单位为 mm/s。它与进给量之间的关系为

$$v_f = nf = nf_z z \quad (1-4)$$

(3) 背吃刀量 a_p 是在与主运动和进给运动方向相垂直的方向上测量的已加工表面与待加工表面之间的距离，单位为 mm。根据定义，外圆车削时，其背吃刀量 a_p 可由下式计算

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-5)$$

式中 d_w ——工件待加工表面直径，单位为 mm；

d_m ——工件已加工表面直径，单位为 mm。

2. 切削层参数

切削层是指刀具工作时，切削部分的一个单一动作（或指切削部分切过工件的一个单程，或指只产生一圈过渡表面的动作）所切除的工件材料层。切削层的尺寸称为切削层参数。为简化计算，切削层的剖面形状和尺寸，在垂直于切削速度 v_c 的基面上测量。

(1) 切削层公称横截面积 A_D 是指在给定瞬间，切削层在切削层尺寸平面里的实际横截面积，单位为 mm^2 。在车削加工时，如图 1-3 所示，即指车刀正在切削着的 ABCD 这一层金属。实际上，由于刀具副偏角的存在，经切削加工后的已加工表面上常留下有规则的刀纹，这些刀纹在切削层尺寸平面里的横截面积 ABE 称为残留面积。如图 1-4 所示，残留面积 ΔA_D 未被刀具切除，仍残留在已加工表面上。残留面积的高度 R_y 直接影响已加工表面的表面粗糙度。

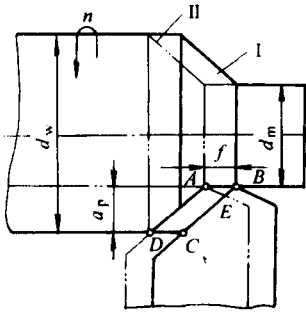


图 1-3 外圆车削的切削层参数

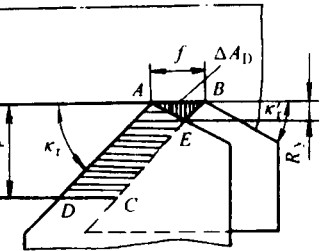
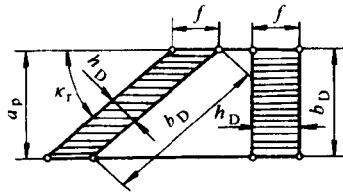


图 1-4 残留面积及其高度

(2) 切削层公称宽度 b_D 是指沿切削刃方向测量的切削层截面尺寸，单位为 mm。它大致反映了主切削刃参加切削工作的长度。

(3) 切削层公称厚度 h_D 是指垂直于切削刃方向上测量的切削层截面尺寸，单位为 mm。

当主切削刃为直线且刀尖圆弧半径很小时，由图 1-3 可见

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \quad (1-6)$$

$$h_D = f \sin \kappa_r \quad (1-7)$$

$$A_D = b_D h_D = a_p f \quad (1-8)$$

分析上述公式可知，切削层公称厚度与切削层公称宽度随主偏角 κ_r 值的改变而变化；切削层公称横截面积只由切削用量中 f 和 a_p 决定，不受主偏角变化的影响，但切削层公称

横截面积的形状则与主偏角、刀尖圆弧半径的大小有关。由于主偏角 κ_r 和副偏角 κ'_r 的不同, 引起切削层公称厚度与切削层公称宽度的很大变化, 从而对切削过程的切削机理产生了较大的影响。

第二节 刀具切削部分的几何角度

金属切削加工所用刀具种类繁多, 形状各异, 但是它们参加切削的部分在几何特征上都有相同之处。外圆车刀的切削部分可作为其他各类刀具切削部分的基本形态, 其他各类刀具就其切削部分而言, 都可以看成是外圆车刀切削部分的演变。因此, 通常以外圆车刀切削部分为例, 来确定刀具几何参数的有关定义。

一、刀具切削部分的组成

普通外圆车刀的构造如图 1-5 所示, 其组成包括刀柄和刀头(切削部分)两部分。刀柄是车刀在车床上定位和夹持的部分。切削部分的组成要素如下:

- (1) 前面 A_f 刀具上切屑流过的表面。
- (2) 主后面 A_a 刀具上与工件过渡表面相对的表面。
- (3) 副后面 A'_a 刀具上与工件已加工表面相对的表面。
- (4) 主切削刃 S 前面与主后面相交而得到的刃边(或棱边), 用于切出工件上的过渡表面, 完成主要的金属切除工作。

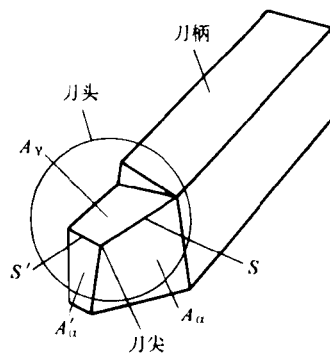


图 1-5 车刀的组成

- (5) 副切削刃 S' 前面与副后面相交而得到的刃边, 它配合主切削刃完成切削工作, 最终形成工件已加工表面。

- (6) 刀尖 是指主切削刃与副切削刃的连接处相当少的一部分切削刃。如图 1-6 所示, 它可以是近似的点(图 a)、圆弧(图 b)或倒角(图 c)。

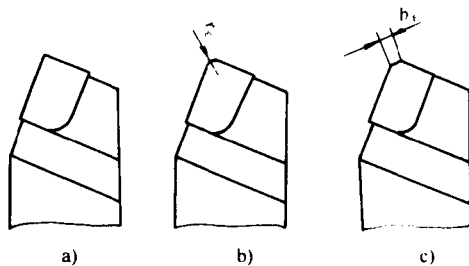


图 1-6 刀尖的类型

二、刀具切削部分的几何角度

为确定刀具切削部分的几何角度, 必须建立一定的空间参考坐标系和参考坐标平面。刀具角度的参考系有两种: 静止参考系和工作参考系。刀具静止参考系是用来定义刀具设计、制造、刃磨和测量

时几何参数的参考系。静止参考系的确定有两个假定条件: 一是不考虑进给运动的大小, 只考虑其方向, 这时合成切削运动方向就是主运动方向; 二是刀具的安装定位基准与主运动方向平行或垂直, 刀柄的轴线与进给运动方向平行或垂直。下面主要介绍刀具静止参考系中常用的正交平面参考系。

1. 正交平面参考系(图 1-7)

(1) 基面 p_r 通过切削刃选定点垂直于主运动方向的平面。由于刀具静止参考系是在假定条件下建立的, 因此, 对车刀、刨刀来说, 其基面平行于刀具的底面, 对钻头、铣刀等旋转刀具来说, 则为通过切削刃某选定点包含刀具轴线的平面。基面是刀具制造、刃磨及测量时的定位基准。

(2) 切削平面 p_s 。通过切削刃选定点与主切削刃相切并垂直于基面的平面。当切削刃为直线刃时，过切削刃选定点的切削平面即是包含切削刃并垂直于基面的平面。

(3) 正交平面 p_o 。通过切削刃选定点并同时垂直于基面和切削平面的平面。也可认为，正交平面是过切削刃选定点垂直于主切削刃在基面上的投影所作的平面。

由 $p_r - p_s - p_o$ 组成一个正交平面参考系。

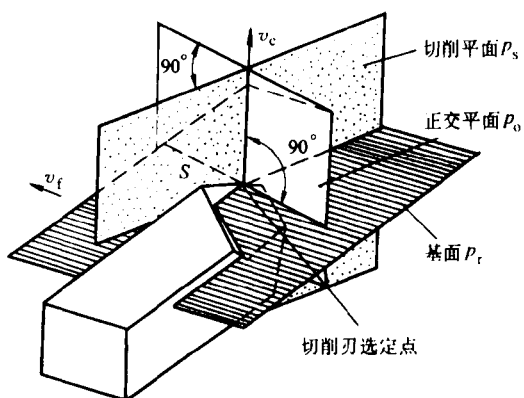


图 1-7 正交平面参考系

2. 刀具的标注角度

在刀具静止参考系中定义的角度称为刀具标注角度（图 1-8）。

(1) 在基面内测量的角度

1) 主偏角 κ_r 。主切削刃在基面上的投影与假定进给运动方向之间的夹角。它总是为正值。

2) 副偏角 κ'_r 。副切削刃在基面上的投影与假定进给运动反方向之间的夹角。

3) 刀尖角 ϵ_r 。主、副切削刃在基面投影之间的夹角。

在基面内，主偏角 κ_r 和副偏角 κ'_r 分别决定了主切削刃和副切削刃的位置，刀尖角 ϵ_r 可由主偏角和副偏角派生得到，即

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-9)$$

(2) 在切削平面内测量的角度

刃倾角 λ_s 。主切削刃与基面之间的夹角。当刀尖是主切削刃的最高点时刃倾角为正值；当刀尖是主切削刃的最低点时，刃倾角为负值；当主切削刃与基面重合时，刃倾角为零度。

(3) 在正交平面内测量的角度

1) 前角 γ_o 。前面与基面之间的夹角。前角有正、负和零度之分：当前面与切削平面夹角小于 90° 时前角为正值；大于 90° 时前角为负值；前面与基面重合时为零度前角。

2) 后角 α_o 。后面与切削平面之间的夹角。当后面与基面夹角小于 90° 时后角为正值。为减小刀具和加工表面之间的摩擦等，后角一般不能为零度，更不能为负值。

3) 楔角 β_o 。前面与后面之间的夹角。此角为派生角度。

在正交平面内，前角 γ_o 和后角 α_o 分别决定了前面和后面的位置，楔角 β_o 可由前角和后角派生得到，即

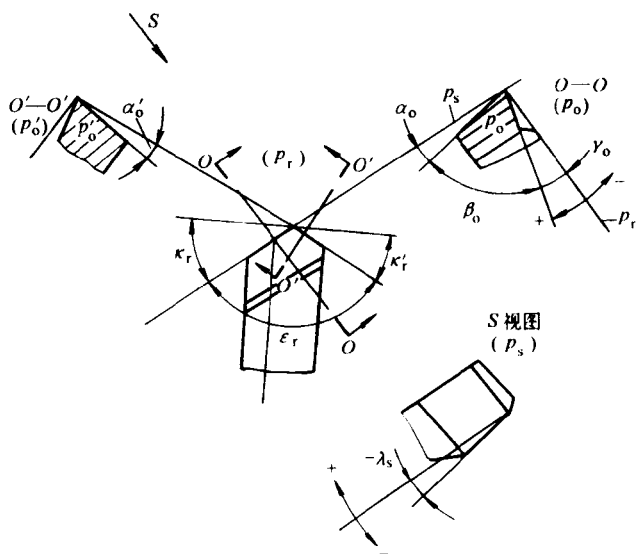


图 1-8 正交平面参考系内的刀具标注角度

$$\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o) \quad (1-10)$$

(4) 在副切削刃的正交平面内测量的角度 参照主切削刃的研究方法, 可过副切削刃选点垂直于副切削刃在基面上的投影作出副切削刃的正交平面 (用 p'_o 表示)。在副切削刃的正交平面内, 可同样测量副后角 α'_o (副后面与副切削刃切削平面之间的夹角)。副后角决定了副后面的位置。

三、刀具的工作角度

刀具的工作角度是刀具在工作时的实际切削角度, 即在考虑刀具的具体安装情况和运动影响的条件下而确定的刀具角度。在大多数情况下, 普通车削、镗孔、端面铣削等, 由于进给速度远小于主运动速度, 刀具工作角度与标注角度相差无几, 两者差别可不予考虑。但当切削大螺距丝杠和螺纹、铲背、切断以及钻孔分析钻头附近的切削条件或刀具特殊安装时, 需要计算刀具的工作角度, 其目的是使刀具的工作角度得到最合理值, 据此换算出刀具的标注角度, 以便于制造或刃磨。刀具的工作参考系是依据合成切削运动方向来确定的。

1. 刀具工作参考系平面

(1) 工作基面 p_{re} 通过切削刃选定点并与合成切削速度方向相垂直的平面。

(2) 工作切削平面 p_{sc} 通过切削刃选定点与切削刃相切并垂直于工作基面的平面。

2. 进给量对工作角度的影响

以切断车刀加工为例, 设切断刀主偏角 $\kappa_r = 90^\circ$, 前角 $\gamma_o > 0^\circ$, 后角 $\alpha_o > 0^\circ$, 安装时刀尖对准工件的中心高。

不考虑进给运动时, 前角 γ_o 和后角 α_o 为标注角度。当考虑横向进给运动后, 刀刃上选定点相对于工件的运动轨迹, 是主运动和横向进给运动的合成运动轨迹, 为阿基米德螺旋线, 如图 1-9 所示。其合成运动方向 v_c 为过该点的阿基米德螺旋线的切线方向。因此, 工作基面 p_{re} 和工作切削平面 p_{sc} 相对 p_r 和 p_s 相应地转动了一个 μ 角, 结果引起切断刀的角度的变化, 其值为

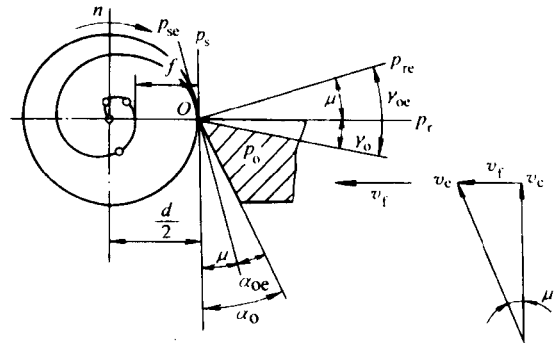


图 1-9 横向进给运动对工作角度影响

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu \quad (1-11)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \mu \quad (1-12)$$

$$\tan \mu = \frac{v_f}{v_c} = \frac{f}{\pi d} \quad (1-13)$$

式中 f ——工件每转一转刀具的横向进给量, 单位为 mm/r;

d ——工件切削刃选定点处的瞬时过渡表面直径, 单位为 mm。

由式可知, 在横向进给切削或切断工件时, 随着进给量 f 值的增加和加工直径 d 的减小, μ 值不断增大, 工作后角不断减小, 刀尖接近工件中心位置时, 工作后角的减小特别严重, 很容易因后面和工件过渡表面剧烈摩擦使刀刃崩碎或工件被挤断, 切削中应引起充分重视。因此, 切断工件时不宜选用过大的进给量 f , 或在切断接近结束时, 应适当减小进给量

或适当加大标注后角。

在数控车床横向切削时,可利用主轴的恒线速度切削功能,保证不同直径下的切削速度一样,保证切削过程稳定。

对纵向外圆车削,同样随着进给量 f 值的增加和加工直径 d 的减小, μ 值增大,工作前角增大,工作后角减小。但纵向外圆车削过程中,工件直径基本不变,进给量又较小,故一般可忽略不计,不必进行工作角度的计算。但当进给量很大时,如车螺纹时,尤其是大导程或多线螺纹时,工作角度与标注角度相差很大,必须进行工作角度计算。

3. 刀具安装位置对工作角度的影响

(1) 刀具安装高低的影响 在外圆横车时,忽略进给运动的影响,并假定 $\kappa_r = 90^\circ$, $\lambda_s = 0^\circ$,当刀尖安装高于工件中心时,工作切削平面和工作基面将转过 θ 角,使工作前角增大、工作后角减小,如图 1-10 所示。工作角度与标注角度的换算关系如下

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \theta \quad (1-14)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \theta \quad (1-15)$$

$$\tan \theta \approx \frac{2h}{d} \quad (1-16)$$

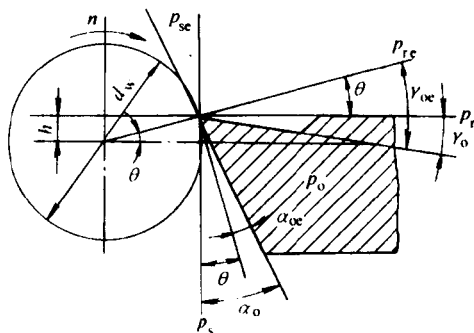


图 1-10 刀具安装高于工件中心的影响

式中 h ——切削刃高于工件中心的距离,单位为 mm;

d ——工件上选定点的直径,单位为 mm。

当刀尖安装低于工件中心时,刀具工作角度的变化则相反。内孔镗削时的角度变化情况恰好与外圆车削时的情况相反。

(2) 刀杆轴线与进给运动方向不垂直的影响 如图 1-11 所示,当刀杆的轴线与进给运动方向不垂直时,如果刀杆右斜,使工作主偏角 κ_{re} 增大,工作副偏角 κ'_{re} 减小,如果刀杆左斜,使工作主偏角 κ_{re} 减小,工作副偏角 κ'_{re} 增大。车削锥面时,进给方向与工件轴线不平行,也会使实际的主偏角和副偏角发生变化。它们之间的关系为

$$\kappa_{re} = \kappa_r \pm G \quad (1-17)$$

$$\kappa'_{re} = \kappa'_r \mp G \quad (1-18)$$

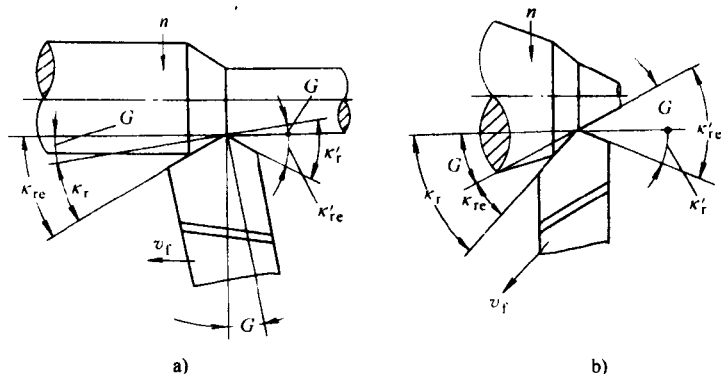


图 1-11 刀杆轴线与进给运动方向不垂直对工作角度的影响

第三节 刀具材料

刀具材料主要是指刀具切削部分的材料。在切削加工过程中, 刀具的切削部分直接承担切削工作, 刀具使用寿命的长短和生产率的高低, 首先取决于刀具材料性能的优劣, 其次取决于刀具切削部分的结构是否合理。刀具材料的性能是影响加工表面质量、切削效率、刀具寿命的基本因素, 刀具切削部分材料的工艺性对制造刀具和刃磨刀具质量也有显著的影响。

一、刀具材料应具备的性能

刀具在切削加工中, 要承受很大的切削力作用, 在加工余量不均匀或断续切削时, 刀具还要承受冲击载荷和振动, 切削层金属与刀具相互接触、相对运动, 刀具受到剧烈的摩擦作用, 并产生大量的热量, 使刀具受到热冲击、热应力, 尤其是切削刃及紧邻的前面和后面, 长期处在切削高温环境中工作。为了适应如此繁重的切削负荷和恶劣的工作条件, 刀具材料必须具备相应的物理、化学和力学性能。

从切削加工的使用实际出发, 刀具材料应具备如下性能:

(1) 高硬度和耐磨性 要实现切削加工, 刀具材料必须具有比工件材料高的硬度。因此, 高硬度是刀具材料的最基本性能, 硬度的高低在一定程度上决定了刀具材料的应用范围。在金属切削加工中, 刀具材料的硬度应在 60HRC 以上, 工件材料的硬度越高, 要求刀具材料的硬度相应提高。

耐磨性是刀具材料抵抗摩擦和磨损的能力, 它是刀具材料应具备的主要条件之一, 是决定刀具耐用度的主要因素。一般来说, 材料的硬度越高, 耐磨性越好。材料组织中含有耐磨性好的碳化物颗粒越多, 晶粒越细, 分布越均匀, 耐磨性也越好。

(2) 足够的强度和韧性 要使刀具在切削力作用下不致产生破坏, 就必须具有足够的强度。同时还要具备足够的韧性, 以承受各种应力、冲击载荷和振动的作用。通常用材料的抗弯强度和冲击韧度表示。

(3) 良好的耐热性和导热性 切削过程中一般都会产生很高的温度, 刀具材料必须具有一定的耐热性, 以保证在高温下仍然具有所要求硬度的性能。可用热硬性或高温硬度表示。

刀具材料的导热性越好, 切削时产生的热量越容易传出去, 从而降低切削部分的温度, 减轻刀具的磨损。

(4) 良好的工艺性 为了便于制造, 刀具切削部分材料应具有良好的锻造、焊接、热处理和磨削加工等性能。

(5) 经济性 应结合本国的资源, 尽可能降低材料的成本。

二、刀具材料的种类与选用

刀具切削部分材料主要有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金、陶瓷和超硬刀具材料等。各种刀具材料的物理力学性能如表 1-1 所示, 其中生产中使用最多的是高速钢和硬质合金。

1. 高速钢

高速钢是在合金工具钢中加入了较多的钨、铬、钼、钒等合金元素的高合金工具钢。高速钢具有较高的硬度(热处理硬度可达 63~66HRC)和耐热性(600~650℃), 切削中碳钢的速度一般不高于 50~60m/min; 具有高的强度(抗弯强度为一般硬质合金的 2~3 倍)和

表 1-1 各种刀具材料的物理力学性能

材料种类	硬度	密度/ (g/cm ³)	抗弯强度/ GPa	冲击韧度/ (kJ/m ²)	热导率/ (W/(m·K))	耐热性/ °C
碳素工具钢	63~65HRC	7.6~7.8	2.2	—	41.8	200~250
合金工具钢	63~66HRC	7.7~7.9	2.4	—	41.8	300~400
高速钢	63~70HRC	8.0~8.8	1.96~5.88	98~588	16.7~25.1	600~700
硬质合金	89~94HRA	8.0~15	0.9~2.45	29~59	16.7~87.9	800~1000
陶瓷	91~95HRA	3.6~4.7	0.45~0.8	5~12	19.2~38.2	1200
立方氮化硼	8000~9000HV	3.44~3.49	0.45~0.8	—	19.2~38.2	1200
金刚石	10000HV	3.47~3.56	0.21~0.48	—	19.2~38.2	1200

韧性，能抵抗一定的冲击振动；具有较好的工艺性，可以制造刃形复杂的刀具，如钻头、丝锥、成形刀具、拉刀和齿轮刀具等。高速钢刀具可加工从碳钢到合金钢，从有色金属到铸铁等多种材料。

高速钢按用途不同可分为通用型高速钢和高性能高速钢；按制造工艺方法不同可分为熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。

(1) 通用型高速钢 通用型高速钢工艺性能好，能满足通用工程材料的切削加工要求。常用的种类有：

1) 钨系高速钢。最常用的为 W18Cr4V，具有较好的综合性能，可制造各种复杂刀具和精加工刀具，在我国应用较普遍。

2) 钼系高速钢。最常用的牌号是 W6Mo5Cr4V2，其抗弯强度和冲击韧度都高于钨系高速钢，并具有较好的热塑性和磨削性能，但热稳定性低于钨系高速钢，适合制作抵抗冲击的刀具及各种热轧刀具。

(2) 高性能高速钢 高性能高速钢是在普通型高速钢中加入钴、钒、铝等合金元素，以进一步提高其耐磨性和耐热性等。

常见高速钢的力学性能和应用范围如表 1-2 所示。

(3) 粉末冶金高速钢 粉末冶金高速钢是用高压氩气或氮气使熔融的高速钢水雾化成细小的粉末，然后在高温高压下压制成细密的钢坯，最后将钢坯轧制成高速钢材料。它的主要优点是韧性、硬度较高，耐磨性好，材质均匀，热处理变形小，质量稳定可靠，可加工各种难加工材料，特别适宜制造精密刀具和复杂刀具。

2. 硬质合金

硬质合金是用粉末冶金的方法制成的。它是由硬度和熔点很高的金属碳化物（碳化钨 WC、碳化钛 TiC、碳化钽 TaC、碳化铌 NbC 等）的微粉和金属粘结剂（钴 Co、镍 Ni、钼 Mo 等）以粉末冶金法烧结而成。硬质合金的硬度高达 78~82HRC，耐磨性很好，能耐 800~1000℃ 的高温，具有良好的耐磨性，允许的切削速度比高速钢高 4~10 倍，切削速度可达 100m/min 以上，能加工包括淬火钢在内的多种材料，因此获得广泛应用。但硬质合金抗弯强度低、冲击韧性差，制造工艺性差，不易做成形状复杂的整体刀具。在实际使用中，一般将硬质合金刀片焊接或机械夹固在刀体上使用。

国际标准化组织（ISO513-1975（E））规定，将切削加工用硬质合金分为三大类，分别用 K、P、M 表示。

K 类适用于加工短切屑的黑色金属、有色金属和非金属材料，相当于我国的 YG 类硬质