



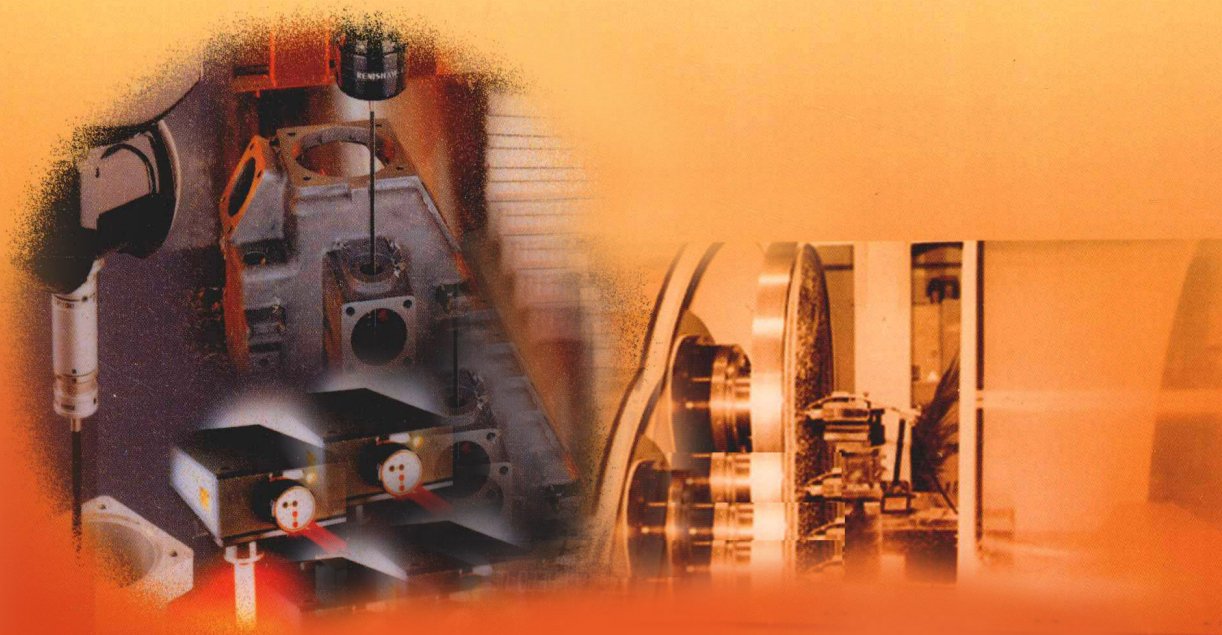
中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

数控加工技术

(数控技术应用专业)

第2版

田春霞 主编



机械工业出版社





教育部高等职业教育教材
教育部高职高专机械类专业教学指导委员会

数控加工技术

(数控技术应用专业)

第2版

机械工业出版社



机械工业出版社



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

第 2 版

(数控技术应用专业)

主 编 田春霞
副主编 徐 衡
参 编 张黔成 陈 莉
主 审 陈文俊

机 械 工 业 出 版 社

本书是根据教育部中等职业学校数控技术应用专业教学计划与大纲,并结合现阶段教学改革实际情况而编写的国家规划教材。

全书共分五章,内容包括:数控加工的基本知识、数控切削加工方法、数控机床夹具应用、数控加工的工艺基础、机械加工质量。

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,根据工程实践对制造技术知识和能力的要求,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。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。本书内容丰富,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,也可作为职工大学、业余大学相关专业的教材,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/田春霞编著. —2版. —北京:机械工业出版社, 2010.8
中等职业教育国家规划教材
ISBN 978-7-111-31545-2

I. ①数… II. ①田… III. ①数控机床-加工-专业学校-教材
IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第155847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:汪光灿 责任编辑:汪光灿

责任校对:程俊巧 封面设计:姚毅

责任印制:乔宇

北京汇林印务有限公司印刷

2011年1月第2版·第1次印刷

184mm×260mm·12.5印张·309千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-31545-2

定价:22.00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

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

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

第2版前言

《数控加工技术》自出版以来已多次重印，经全国部分院校使用的教学实践表明，本书深受广大教师和学生的好评，同时，在使用过程中，他们也提出了宝贵的意见和修订要求。为使本书更能适应职业教育的改革，更能体现职业教育的特色，编者按照“必需、实用、够用”的教学原则，按知识经济时代对职业教育的新要求，对原书进行了修订，力求做到突出应用，多举实例，简明易懂，以便于教学与自学，并注重对学生素质的全面培养。修订版教材主要有以下几个特点：

1. 在教材整体结构、体系上做了相应调整。如将特种加工内容并入到数控切削加工方法一章中，使加工内容更完整，也便于对机械加工与特种加工的异同进行分析与对比。

2. 删去了应用性不强及较繁杂的发展、论述及设计内容，如删除了原书第六章数控加工技术与机械制造自动化的发展内容，删除刀具几何参数中刀面的设计与选择等内容，使教学内容更实用。

3. 精选与更新书中的案例和图表，降低难度。如将原书复杂的车床夹具设计案例，修改为简单、易懂的钻床夹具设计案例，并作为选讲内容，供学有余力的学生自学，使教材内容更灵活。

4. 增强实用性与应用性。如原书车床主轴加工工艺案例，难度偏大，实用性不强，修订版则采用了一般难度的小轴为例，阐述轴类、套类件加工的工艺问题，实用性强，可操作性强，对学生操作数控车床有指导作用。同时修改了原书中普通机床的夹具案例，增加了数控机床夹具案例等内容。

本书除作为中等职业学校、职工大学数控技术应用和机电技术应用等专业教学用书外，还可供有关工程技术人员参考。书中带“*”号章节为选讲内容，若增加该章节亦可作为5年制、3年制高职相关专业教学用书。

参加本次修订工作的具体分工如下：大连职业技术学院田春霞编写绪论、第一章、第五章，沈阳职业技术学院徐衡编写第三章、第四章，贵州省机械工业学校张黔成编写第二章，大连职业技术学院陈莉编写绪论。全书由田春霞任主编，徐衡任副主编，道依茨一汽（大连）柴油机有限公司陈文俊担任主审。

本书在修订过程中得到了四川工程职业技术学院、湖南工业职业技术学院、西安理工大学高等职业技术学院和机械工业出版社等单位的大力支持，谨致诚挚的谢意。衷心希望广大教师和学生在使用中提出宝贵意见，以便再次修订时改进，使之日臻完善。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，对修订版的不当之处，敬请赐教。

编者

第1版前言

本书是根据教育部中等职业学校数控技术应用专业教学计划与大纲编写的，并被确定为中等职业教育国家规划教材。

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
2010年

目 录

第2版前言	
第1版前言	
绪论	1
第一章 数控加工的基本知识	3
【导读】	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	31
第六节 工件的定位	35
第七节 工件的夹紧	45
习题一	50
第二章 数控切削加工方法	53
【导读】	53
第一节 数控车削加工	53
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 数控磨削加工	98
*第五节 特种加工	103
习题二	114
第三章 数控机床夹具应用	115
【导读】	115
第一节 数控加工常用夹具	115
第二节 组合夹具	120
*第三节 专用夹具设计简介	124
习题三	128
第四章 数控加工的工艺基础	129
【导读】	129
第一节 机械加工工艺规程概述	129
第二节 零件的工艺分析	134
第三节 毛坯的选择	136
第四节 定位基准的选择	137
第五节 机械加工工艺路线的拟定	141
第六节 机床加工工序设计与实施	145
第七节 工艺尺寸链	150
第八节 数控加工工序实施	154
第九节 加工工艺过程的生产率	159
第十节 零件加工工艺与数控加工工序实例	162
习题四	176
第五章 机械加工质量	178
第一节 概述	178
*第二节 机械加工精度	180
*第三节 机械加工表面质量	188
习题五	192
参考文献	194

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。

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

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；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 数控加工的基本知识



【导读】本章主要介绍金属切削加工中的基本知识（如切削运动、切削用量、刀具材料、刀具几何角度等）；金属切削过程中各种物理现象（如切削变形、切削力、切削热与切削温度、刀具磨损与刀具寿命等）的产生与控制；机床夹具的基本知识（如夹具的分类、基准等）；工件的定位与夹紧方法等内容。

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。

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。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时，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，其速度称为合成切削运动速度。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

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

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（见图 1-1）。

(1) 待加工表面 工件上有待切除的表面。

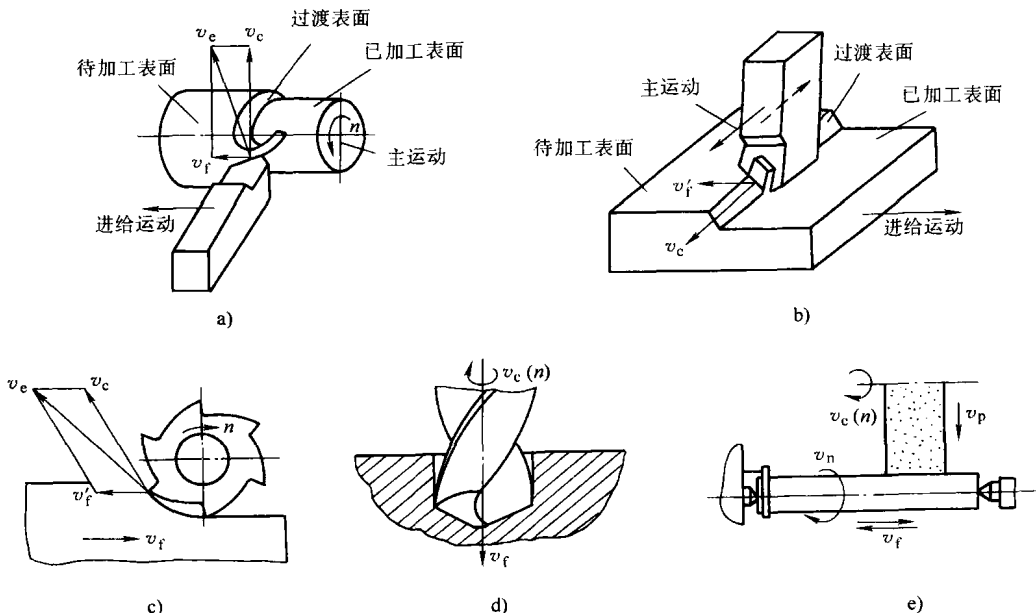


图 1-1 几种常见加工方法的切削运动

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_e —合成切削运动速度 v_f' —横向进给运动速度

(2) 已加工表面 工件上经刀具切削后产生的表面。

(3) 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

$$v_c = \frac{\pi dn}{1000} \tag{1-2}$$

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（见图 1-2），单位为 mm/r 或 $mm/行程$ 。

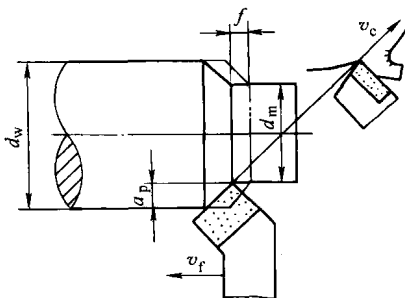


图 1-2 切削用量三要素

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。

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

切削层是指在切削过程中，刀具的切削刃在一次进给中在工件待加工表面上所切除的材料层。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

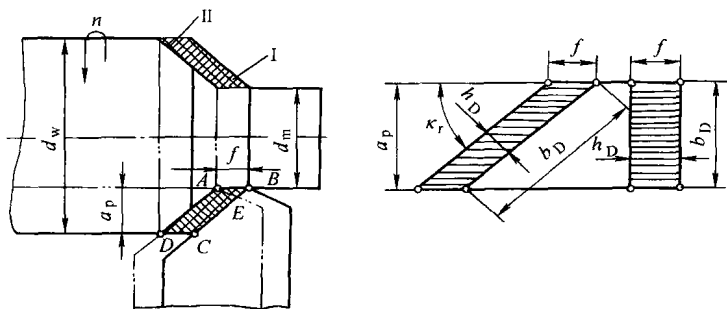


图1-3 外圆车削的切削层参数

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 A_{BE} 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。

(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

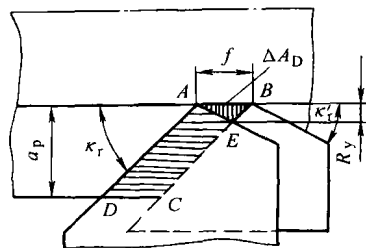


图1-4 残留面积及其高度

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_γ 刀具上切屑流过的表面。
- (2) 主后面 A_α 刀具上与工件过渡表面相对的表面，简称后面。
- (3) 副后面 A'_α 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。
- (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（见图 a）、圆弧（见图 b）或倒角（见图 c）。

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

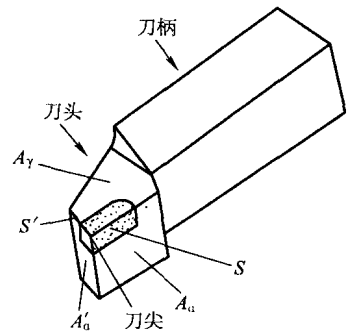


图 1-5 车刀的组成

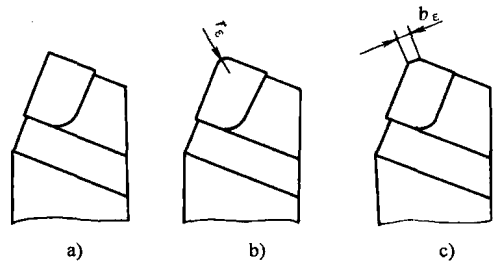


图 1-6 刀尖的类型

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（见图 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。

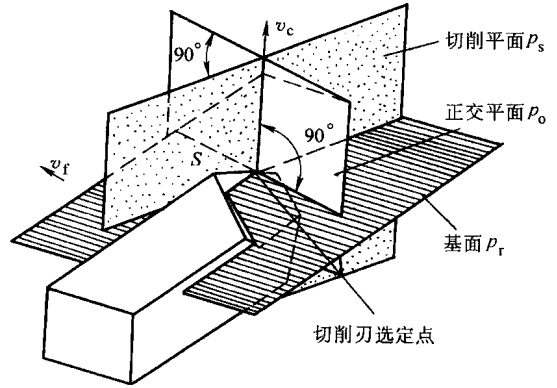


图 1-7 正交平面参考系

(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。

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（见图 1-8）。

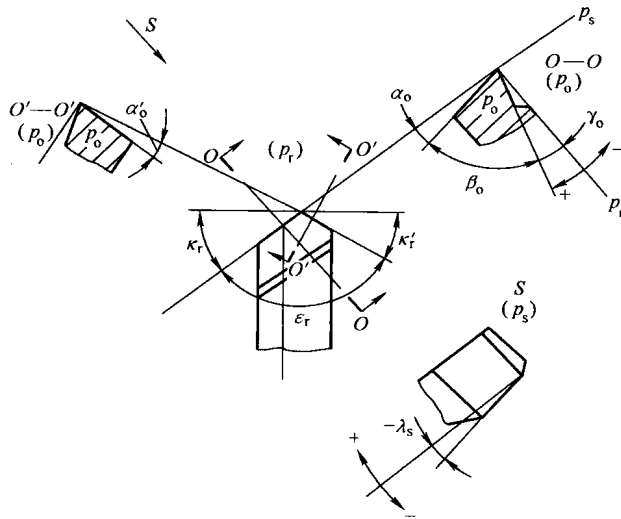


图 1-8 正交平面参考系内的刀具标注角度

(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。

(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。

(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，可过副切削刃选定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' 。（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。

此外，为了比较切削刃、刀尖的强度，刀具上还定义了两个角度，他们属于派生角度，即：

楔角 β_o 。正交平面中测量的刀具前面与后面之间的夹角。

$$\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o) \quad (1-9)$$

刀尖角 ε_r 。基面投影中主、副切削刃间的夹角。

$$\varepsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-10)$$

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心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_{se} 。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，切削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_e 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_{se} 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变化，其值为

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

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

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

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，很容易因刀具后面和工件过渡表面剧烈摩擦使切削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，尤其是车削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

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

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

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

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

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

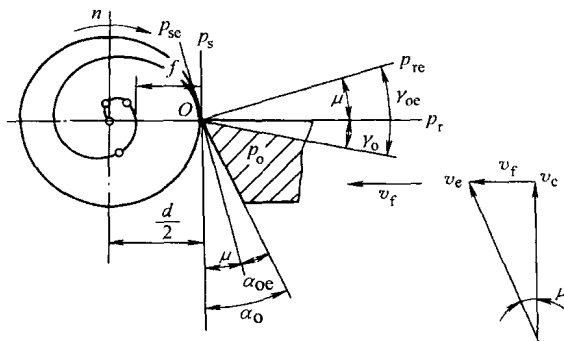


图 1-9 横向进给运动对工作角度影响

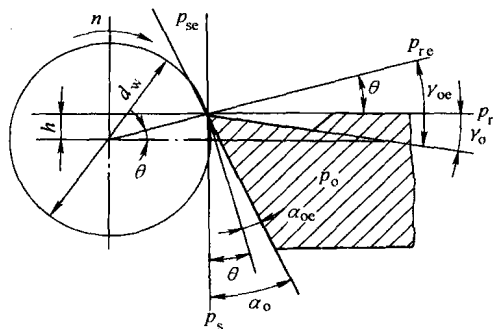


图 1-10 刀具安装高于工件中心的影响