



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

(高职高专教材)

机械制造工艺与装备

JIXIE ZHIZAO GONGYI YU ZHUANGBEI

第二版

倪森寿 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

(高职高专教材)

机械制造工艺与装备

第二版

倪森寿 主编

ISBN 7-122-09888-8

本书可作为机械类、材料类、能源动力类等专业的教材，也可供从事机械制造的工程技术人员参考。

本书可作为机械类、材料类、能源动力类等专业的教材，也可供从事机械制造的工程技术人员参考。

本书可作为机械类、材料类、能源动力类等专业的教材，也可供从事机械制造的工程技术人员参考。

责任编辑：倪森寿

封面设计：倪森寿

化学工业出版社



化学工业出版社

北京

本教材是以“机械加工工艺规程的制定和实施”为主线有机融合相关课程内容而编写的综合性课程教材。在选取和重组教材内容时,以生产实际中典型的轴类零件、套筒类零件和箱体类零件引出外圆表面、内孔表面、平面的加工方案和机械加工工艺规程制定方法,介绍典型表面加工常用刀具选择和常用夹具设计的方法;介绍圆柱齿轮加工工艺及常用工艺装备、现代加工工艺及工艺装备、常用机械装配方法及装配尺寸链的计算。

本教材可作为高职高专机类、机电复合类专业及近机类专业的教学用书,也可作为工程技术人员参考资料。

机械加工工艺规程制定

第二版

倪森寿 主编

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺与装备/倪森寿主编. —2版. —北京:
化学工业出版社, 2009.1

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专教材

ISBN 978-7-122-04318-4

I. 机… II. 倪… III. 机械制造工艺-高等学校:
技术学院-教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 195275 号

责任编辑: 高 钰
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 闫 敏
装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京市白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 20 $\frac{3}{4}$ 字数 530 千字 2009 年 3 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)文中提出:“课程建设与改革是提高教学质量的核心,也是教学改革的重点和难点。高等职业院校要积极与行业企业合作开发课程,根据技术领域和职业岗位(群)的任职要求,参照相关的职业资格标准,改革课程体系和教学内容。建立突出职业能力培养的课程标准,规范课程教学的基本要求,提高课程教学质量。”

本教材在2002年出版时即提出“以职业岗位能力培养为目标,确立课程主线,以主线为纲,有机地融合其他课程内容,建立适合高职教学的新课程体系”的观点,并依据此观点确立“机械加工工艺规程的制定和实施”为课程的主线。教材编写中,紧紧抓住课程主线,选择和重组课程内容;以应用实例引出基本概念和应用方法。此次教材的重版,保留了原教材中体现课程主线的原则。更借此次教材重版的机会,为贯彻教育部“教高[2006]16号”文件精神,邀请了行业企业的专家,对课程建设和教材编写提出了许多有益的建议。并聘请了企业中有丰富实践经验的工程技术人员参与了教材的编写。使教材更好地体现了“应用”为主旨的原则。

为更好地使用本教材,建议改革教学方法和手段,融“教、学、做”为一体,让学生在“做中学、学中做”,强化学生能力的培养。

本教材为适合于机类、机电复合类专业及近机类专业的一门综合性课程的专业教材。

本教材的第三、八章由郑州铁路职业技术学院宁广庆编写,第一、七章由无锡工艺职业技术学院徐小东编写,第五章由湖南工业职业技术学院李力夫编写,第六章由无锡威孚集团高级工程师曹幼莺编写,第四章由中国一汽无锡柴油机厂高级工程师吴志福编写,第二、九章由无锡职业技术学院倪森寿编写。全书由倪森寿任主编,宁广庆、徐小东任副主编。由吴丙中任主审。

本教材在编写过程中得到各级领导和兄弟院校的帮助和支持,谨表衷心感谢。

由于本教材的编写是教学改革的一次探索,更限于编者的水平,书中的缺点恳请读者批评指正。

编者

2008年10月

第一版前言

《教育部关于加强高职高专人才培养工作的意见》中指出：“课程和教学内容体系改革是高职高专教学改革的重点和难点。”以“应用”为主旨和特征构建高职高专课程和教学内容体系是解决这一重点和难点的指导思想。而课程综合化是解决这一重点和难点的重要途径之一。本教材是把传统的《机械制造工艺学》、《金属切削原理与刀具》、《机床夹具》三门课程内容进行重新组合和改造而成的一门综合性课程教材。

为体现以“应用”为主旨，在进行课程综合时遵循以下原则：以岗位能力培养为目标，确立课程主线，以主线为纲，有机地融合其他课程内容，建立适合高职高专教学的全新课程体系。根据这一原则，本教材编写体现以下几个特点。

1. 摒弃以往把几门课程的内容浓缩后仍作为独立的课程体系合在一本教材中的方法。确立以“机械加工工艺规程的制定和实施”为课程的主线，把金属切削原理与刀具、机床夹具的相关知识有机地融合在机械加工工艺规程的制定和实施中。自始至终以“机械加工工艺规程的制定和实施”为主线、岗位能力培养为目标，逐步深入地进行分析和说明。体现本教材鲜明的综合性。

2. 删去繁琐的理论推导，避免原各门课程中内容的重复，增加实用的例题、手册和图表的应用，使内容更趋于简洁、实用。体现本教材的应用性。

3. 增加新工艺、新技术的应用及现代制造技术等机械制造业中前沿学科的内容，使学员除能掌握传统的机械加工工艺知识外，也了解现代制造技术的发展方向。体现本教材的先进性。

本教材是机类、机电复合类专业及近机类专业的一门综合性课程的专业教材。

本教材总学时数为 120 学时，各章学时分参见下表。

章次	学时	章次	学时
第一章	8	第七章	12
第二章	10	第八章	14
第三章	28	第九章	6
第四章	6	第十章	8
第五章	4	第十一章	6
第六章	12	机动	6

本教材的第四、五、十章由郑州铁路职业技术学院宁广庆编写，第七章由湖南工业职业技术学院李力夫编写，第二、六章由盐城中等专业学校高职处李立尧编写，第八章由无锡职教中心校高职处唐东编写，第九、十一章由无锡职业技术学院孙丽青编写，第一、三章由无锡职业技术学院倪森寿编写。全书由无锡职业技术学院倪森寿任主编，郑州铁路职业技术学院宁广庆任副主编，由吴丙中任主审。参加审稿的还有苏州高级工业学校高职处曹建东，苏州市机械学校高职处杨亚琴。

本教材在编写过程中得到各级领导和兄弟院校的帮助和支持，谨表衷心感谢。

由于本教材的编写是教学改革的一次探索，更限于编者的水平，书中的缺点和错误恳请读者批评指正。

编者

2002年8月

目 录

第一章 金属切削加工基本知识	1
第一节 金属切削加工基本定义	1
一、切削运动和切削用量	1
二、刀具角度参考系和刀具角度	3
三、切削层公称横截面要素和切削方式	9
第二节 金属切削中的物理现象及影响因素	11
一、切削变形及其主要影响因素	11
二、切削力及其主要影响因素	15
三、切削温度及其主要影响因素	17
四、刀具磨损、刀具耐用度及其主要影响因素	18
第三节 金属切削基本规律的应用	20
一、工件材料切削加工性的改善	20
二、刀具材料的合理选择	21
三、切削液的合理选择	26
四、合理刀具几何参数的选择	27
五、合理切削用量的选择	29
习题	32
第二章 机械加工工艺基本知识	34
第一节 概述	34
一、生产过程和工艺过程	34
二、机械加工工艺过程的组成	35
三、工件的夹紧	37
四、机械加工生产类型及特点	38
第二节 机械加工工艺规程及工艺文件	40
一、机械加工工艺规程	40
二、工艺规程制订的原则	41
三、制订工艺规程时的原始资料	41
四、制订工艺规程的步骤	41
五、工艺文件格式	45
第三节 零件的工艺性分析	45
一、分析研究产品的零件图样和装配图样	45
二、结构工艺性分析	46
三、技术要求分析	49
第四节 毛坯选择	49
一、常见的毛坯种类	49
二、毛坯的选择原则	51
三、毛坯的形状和尺寸	51
第五节 基准与工件定位	53
一、基准的概念及其分类	53
二、工件定位的概念及定位的要求	54
三、工件定位的方法	56
第六节 六点定位原则及定位基准的选择	58
一、六点定位原则	58
二、由工件加工要求确定工件应限制的自由度数	61
三、定位基准的选择	62
第七节 常用定位元件	64
一、对定位元件的基本要求	65
二、工件以平面定位时的定位元件	65
三、工件以圆孔定位时的定位元件	67
四、工件以外圆柱面定位时的定位元件	70
第八节 定位误差分析	73
一、定位误差产生的原因及计算	73
二、定位误差计算实例	76
三、工件以一面两孔组合定位时的定位误差计算	78
第九节 工艺路线的拟订	82
一、表面加工方法的选择	82
二、加工阶段的划分	85
三、加工顺序的安排	86
四、工序集中和工序分散	87
第十节 加工余量的确定	88
一、加工余量的概念	88
二、影响加工余量的因素	90
三、确定加工余量的方法	90
第十一节 工序尺寸及公差的确	91
一、工艺尺寸链的概念及计算公式	91
二、工序尺寸及公差的确	95
第十二节 机械加工生产率和技术经济分析	100
一、机械加工生产率分析	101
二、工艺过程的技术经济分析	104
习题	106
第三章 机械加工质量分析	115
第一节 机械加工误差	115

一、机械加工误差的概念	115	三、铰孔	168
二、机械加工误差产生的原因	115	四、镗孔、车孔	170
三、减少加工误差的措施	118	五、拉孔	173
第二节 加工误差的综合分析	120	六、磨孔	175
一、加工误差的性质	120	七、孔的精密加工	175
二、加工误差的统计分析法	121	八、孔加工方案及其选择	178
第三节 机械加工表面质量	127	第三节 孔加工常用工艺装备	179
一、加工表面的几何特征	127	一、孔加工用刀具	179
二、加工表面层的物理力学性能	128	二、钻夹具	189
第四节 机械加工振动简介	129	第四节 典型套筒类零件加工工艺分析	199
一、机械加工中的受迫振动	130	一、套筒类零件的结构特点及工艺	199
二、机械加工中的自激振动	130	分析	199
习题	132	二、套筒类零件加工中的主要工艺	201
第四章 轴类零件加工工艺及常用工艺		问题	205
装备	134	习题	205
第一节 概述	134	第六章 箱体类零件加工工艺及常用工艺	
一、轴类零件的功用与结构特点	134	装备	207
二、轴类零件的技术要求、材料和		第一节 概述	207
毛坯	134	一、箱体类零件的功用及结构特点	207
第二节 外圆表面的加工方法和加工		二、箱体类零件的主要技术要求、材料和	
方案	135	毛坯	208
一、外圆表面的车削加工	135	第二节 平面加工方法和平面加工方案	210
二、外圆表面的磨削加工	135	一、刨削	210
三、外圆表面的精密加工	138	二、铣削	211
四、外圆表面加工方案的选择	140	三、磨削	216
第三节 外圆表面加工常用工艺装备	140	四、平面的光整加工	217
一、焊接式车刀和可转位车刀	140	五、平面加工方案及其选择	218
二、砂轮	146	第三节 铣削加工常用工艺装备	218
三、车床夹具	150	一、铣削刀具	218
四、螺旋夹紧机构	155	二、铣床夹具	223
第四节 典型轴类零件加工工艺分析	157	第四节 箱体孔系加工及常用工艺装备	230
一、阶梯轴加工工艺过程分析	157	一、箱体零件孔系加工	230
二、带轮轴加工工艺过程分析	160	二、箱体孔系加工精度分析	235
三、细长轴加工工艺特点及反向走刀车		三、镗夹具(镗模)	238
削法	162	四、联动夹紧机构	246
习题	163	第五节 典型箱体零件加工工艺分析	249
第五章 套筒类零件加工工艺及常用工艺		一、主轴箱加工工艺过程及其分析	249
装备	165	二、分离式齿轮箱体加工工艺过程及其	
第一节 概述	165	分析	252
一、套筒类零件的功用与结构特点	165	习题	254
二、套筒类零件的技术要求、材料和		第七章 圆柱齿轮加工工艺及常用工艺	
毛坯	165	装备	256
第二节 内孔表面加工方法和加工方案	166	第一节 概述	256
一、钻孔	166	一、齿轮的功用与结构特点	256
二、扩孔	167	二、齿轮的技术要求	257

三、齿轮的材料、热处理和毛坯·····	257	四、成组工艺过程设计·····	295
四、齿坯加工·····	258	五、成组生产组织形式·····	296
第二节 圆柱齿轮齿形加工方法和加工		第四节 计算机辅助工艺规程设计·····	297
方案·····	259	一、概述·····	297
一、滚齿·····	260	二、修订式(派生式)CAPP系统·····	297
二、插齿·····	263	三、创成式CAPP系统·····	299
三、剃齿·····	265	第五节 现代制造技术·····	300
四、珩齿·····	266	一、制造技术的演进·····	300
五、磨齿·····	267	二、现代制造技术的提出·····	301
六、齿轮加工方案选择·····	269	三、现代制造技术的内涵及特点·····	301
第三节 典型齿轮零件加工工艺分析·····	269	四、计算机集成制造系统(CIMS)·····	302
一、普通精度齿轮加工工艺分析·····	269	习题·····	304
二、高精度齿轮加工工艺特点·····	272	第九章 机械装配工艺基础 ·····	305
第四节 齿轮刀具简介·····	273	第一节 概述·····	305
一、盘形齿轮铣刀·····	273	一、装配的概念·····	305
二、齿轮滚刀·····	274	二、装配精度·····	307
三、插齿刀·····	277	第二节 装配尺寸链·····	308
习题·····	279	一、基本概念·····	308
第八章 现代加工工艺及工艺装备 ·····	281	二、装配尺寸链的建立——线性尺寸链	
第一节 特种加工·····	281	(直线尺寸链)·····	308
一、概述·····	281	三、装配尺寸链的计算·····	308
二、电火花加工·····	281	第三节 装配方法及其选择·····	310
三、电解加工·····	285	一、互换装配法·····	310
第二节 现代机床夹具简介·····	286	二、选配装配法·····	312
一、可调夹具·····	286	三、修配装配法·····	314
二、组合夹具·····	287	四、调整装配法·····	316
三、数控机床夹具·····	287	第四节 装配工作法与典型部件的装配·····	317
第三节 成组技术及其在工艺中的应用·····	289	一、装配工作法·····	317
一、成组技术的基本概念·····	289	二、典型部件的装配·····	318
二、成组技术中的零件编码·····	290	习题·····	321
三、零件分类成组的方法·····	293	参考文献 ·····	323

第一章 金属切削加工基本知识

主要内容

金属切削加工是使用金属切削刀具从工件上切除多余的金属，从而获得形状精度、尺寸精度、位置精度及表面质量都合乎技术要求的零件的一种加工方法。为提高加工质量和生产率，掌握金属切削的基本知识是必要的。因此本章主要内容为：①三个切削参数（切削速度、进给量、背吃刀量）；②四个切削现象（切削变形、切削力、切削温度、刀具磨损）；③五个实际应用（改善工件材料的切削加工性、合理选择刀具材料、合理选择切削液、合理选择刀具几何参数、合理选择切削用量）。

教学目标

熟悉切削用量三要素的定义；了解切削层三参数的定义；掌握切削用量三要素选择的原则；掌握刀具静止角度的标注方法；了解刀具工作角度的变化；了解切削变形、切削力、切削温度、刀具磨损的基本概念及主要影响因素；了解改善工件材料切削加工性的途径；了解切削液的种类和作用机理；具有合理选择刀具材料的能力；具有合理选择切削液的能力；具有选择合理刀具几何参数的能力；具有选择合理切削用量的能力。

第一节 金属切削加工基本定义

一、切削运动和切削用量

使用金属切削刀具从工件上切除多余（或预留）的金属（使之成为切屑），从而获得形状精度、尺寸精度、位置精度及表面质量都合乎技术要求的零件的一种加工方法，称为金属切削加工。

1. 切削运动

在切削加工中刀具与工件的相对运动，称为切削运动。按其功用分为主运动和进给运动。如图 1-1 所示。

(1) 主运动 由机床或人力提供的主要运动，它促使刀具和工件之间产生相对运动，从而使刀具前刀面接近工件，从工件上直接切除金属，它具有切削速度最高，消耗功率最大的特点。如车削时工件的旋转运动，刨削时工件或刀具的往复运动，铣削时铣刀的旋转运动等。在切削中必须有一个主运动、且只能有

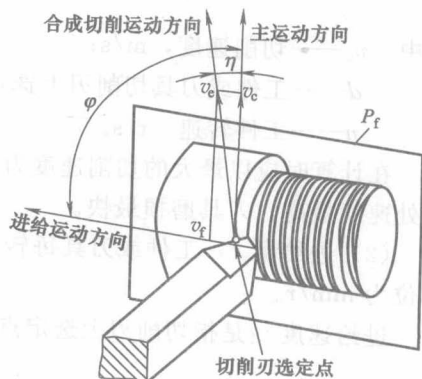


图 1-1 刀具和工件的运动——车削

一个主运动。

(2) 进给运动 由机床或人力提供的运动, 它使刀具和工件之间产生附加的相对运动, 使主运动能够继续切除工件上多余金属, 以便形成所需几何特性的已加工表面。进给运动可以是连续的, 如车削外圆时车刀平行于工件轴线的纵向运动; 也可以是步进的, 如刨削时工件或刀具的横向移动等。在切削中可以有一个或多个进给运动, 也可以不存在进给运动。

由主运动和进给运动合成的运动, 称为合成切削运动。刀具切削刃上选定点相对工件的瞬时合成运动方向称为该点的合成切削运动方向, 其速度称为合成切削速度 v_c 。如图 1-2 所示。

2. 工件上的加工表面

切削加工时在工件上产生的表面如图 1-3 所示。

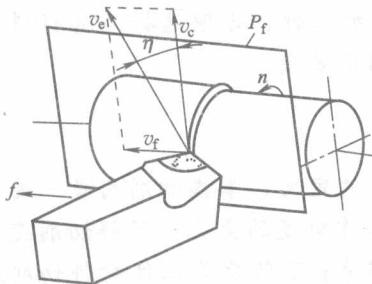


图 1-2 切削时的合成运动

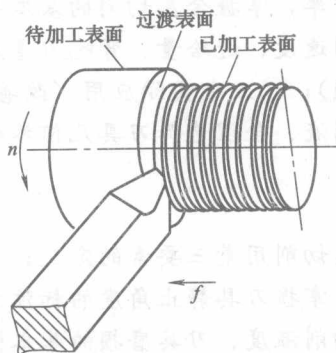


图 1-3 工件上的加工表面

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 工件上由刀具切削刃形成的正在切削的那一部分表面, 它在下一切削行程, 刀具或工件的下一转里被切除, 或由下一切削刃切除。

3. 切削用量

切削用量是指切削速度 v_c 、进给量 f (或进给速度 v_f)、背吃刀量 a_p 三者的总称, 也称为切削用量三要素。它是调整刀具与工件间相对运动速度和相对位置所需的工艺参数。它们的定义如下。

(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。计算公式如下

$$v_c = (\pi d n) / 1000 \quad (1-1)$$

式中 v_c ——切削速度, m/s;

d ——工件或刀具切削刃上选定点的回转直径, mm;

n ——工件转速, r/s。

在计算时应以最大的切削速度为准, 如车削时以待加工表面直径的数值进行计算, 因为此处速度最高, 刀具磨损最快。

(2) 进给量 f 工件或刀具每转一周时, 刀具与工件在进给运动方向上的相对位移量。单位为 mm/r。

进给速度 v_f 是指切削刃上选定点相对工件进给运动的瞬时速度, 单位为 mm/s。

$$v_f = f n \quad (1-2)$$

式中 v_f ——进给速度, mm/s;

n ——主轴转速, r/s;

f ——进给量, mm/r。

(3) 背吃刀量 a_p 通过切削刃基点并垂直于工作平面的方向上测量的吃刀量, 单位为 mm。根据此定义, 如在纵向车外圆时, 其背吃刀量可按下式计算:

$$a_p = (d_w - d_m) / 2 \quad (1-3)$$

式中 d_w ——工件待加工表面直径, mm;

d_m ——工件已加工表面直径, mm。

二、刀具角度参考系和刀具角度

金属切削刀具的种类虽然很多, 但它们切削部分的几何形状与参数却有着共性的内容。不论刀具构造如何复杂, 它们的切削部分总是近似地以外圆车刀切削部分为基本形态。如图 1-4 所示, 各种复杂刀具或多齿刀具, 拿出其中一个刀齿, 它的几何形状都相当于一把车刀的刀头。现代刀具引入“不重磨”概念后, 刀具切削部分的统一性获得了新的发展。许多结构迥异的切削刀具, 其切削部分不过是一个或几个“不重磨式刀片”, 见图 1-5。

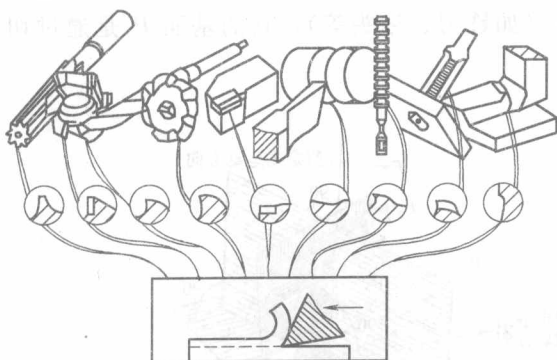


图 1-4 各种刀具切削部分的形状

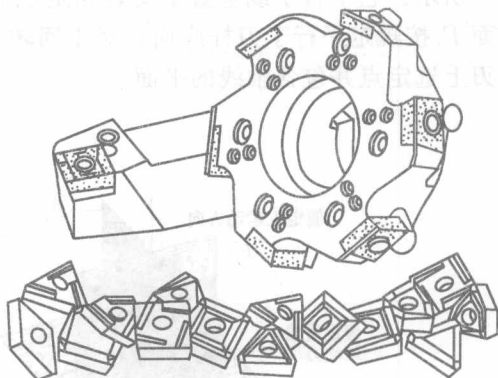


图 1-5 不重磨式刀具的切削部分

为此确立刀具一般性的基本定义时, 通常以普通外圆车刀为基础, 进行讨论和研究。

车刀由刀头和刀柄组成, 如图 1-6 所示。刀柄是刀具上夹持部位。刀头则用于切削, 是刀具的切削部分。刀具的切削部分包括以下几个部分。

- ① 前刀面 A_γ ——切下的金属沿其流出的刀面。
- ② 主后刀面 A_α ——与工件上过过渡表面相对的刀面。
- ③ 副后刀面 A'_α ——与工件上已加工表面相对的刀面。
- ④ 主切削刃 S ——前刀面与主后刀面汇交的边锋, 用以形成工件上的过渡表面, 担负着大部分金属的切除工作。
- ⑤ 副切削刃 S' ——前刀面与副后刀面汇交的边锋, 协同主切削刃完成金属的切除工作, 用以最终形成工件的已加工表面。
- ⑥ 刀尖——主切削刃和副切削刃汇交处的一小段切削刃。

1. 刀具静止角度参考系及其坐标平面

刀具的切削部分其实是由前、后刀面、切削刃、刀尖组成的一空间几何体。为了要确定刀具切削部分的各几何要素的空间位置, 就需要建立相应的参考系。为此目的设立的参考系一般有两类: 一是刀具静止角度参

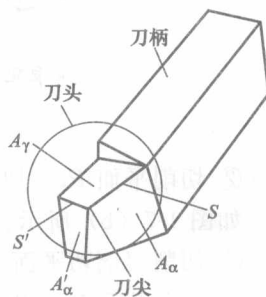


图 1-6 典型外圆车刀切削部分的构成

考系；二是刀具工作角度参考系。

(1) 刀具静止角度参考系 刀具静止角度参考系是指用于定义设计、制造、刃磨和测量刀具切削部分几何参数的参考系。它是在假定条件下建立的参考系。假定条件是指假定运动条件和假定安装条件。

① 假定运动条件 在建立参考系时，暂不考虑进给运动，即用主运动向量近似代替切削刃与工件之间相对运动的合成速度向量。

② 假定安装条件 假定刀具的刃磨和安装基准面垂直或平行于参考系的平面，同时假定刀杆中心线与进给运动方向垂直。例如对于车刀来说，规定刀尖安装在工件中心高度上，刀杆中心线垂直于进给运动方向等。

由此可见，刀具静止角度参考系是简化了切削运动和设定刀具标准位置下建立的一种参考系。

(2) 刀具静止参考系的坐标平面 在静止参考系中，坐标平面有三个：基面 (P_r)、切削平面 (P_s) 和刃剖面 (可由需要而任意选择的切削刃剖面)。

① 基面 P_r 基面是通过切削刃上选定点，垂直于假定主运动方向的平面。如图 1-7 (b) 所示。它平行于或垂直于安装和定位的平面或轴线。例如，对于车刀和刨刀等，它的基面 P_r 按规定平行于刀杆底面；对于回转刀具 (如铣刀、钻头 etc)，它的基面 P_r 是通过切削刃上选定点并包含轴线的平面。

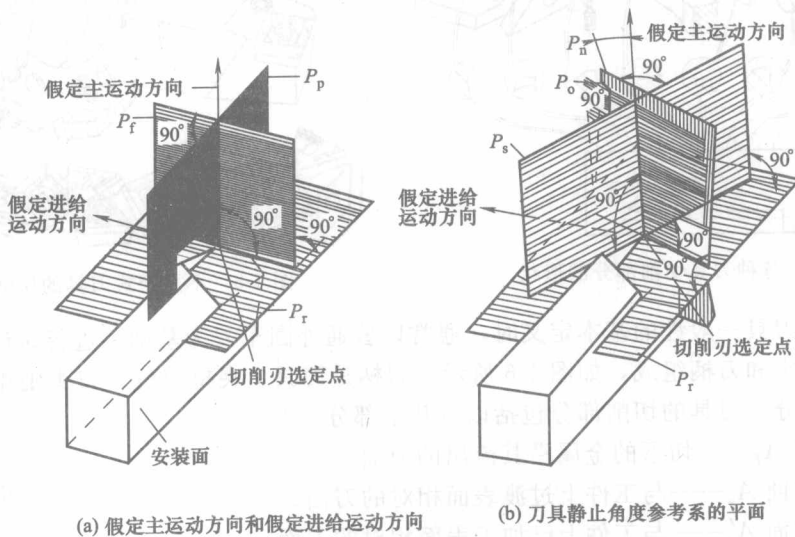


图 1-7 假定运动条件和静止角度参考系

② 切削平面 P_s 切削平面是指通过切削刃上选定点与主切削刃相切并垂直于基面的平面。如图 1-7 (b) 所示。在无特殊情况下切削平面即指主切削平面。

③ 切削刃剖切平面 (刃剖面) 常用的刃剖面有以下四个。

a. 正交平面 P_o (也称主剖面)。正交平面是通过切削刃上选定点，并同时垂直于基面和切削平面的平面。也可认为，正交平面是通过切削刃上选定点垂直于主切削刃在基面上的投影的平面。如图 1-7 (b) 所示。

b. 法平面 P_n (也称法剖面)。法平面是通过切削刃上选定点垂直于切削刃的平面。如图 1-7 (b) 所示。

c. 假定工作平面 P_f (也称进给剖面)。假定工作平面是通过切削刃上选定点平行于假定进给运动方向并垂直于基面的平面。如图 1-7 (a) 所示。

d. 背平面 P_p (也称切深剖面)。背平面是指通过切削刃上选定点, 垂直于假定工作平面和基面的平面。如图 1-7 (a) 所示。

以上四个刃剖面可根据需要任选一个, 然后与另两个坐标平面 (基面 P_r 和切削平面 P_s) 共同组成相应的参考系。如由正交平面 P_o 、基面 P_r 和切削平面 P_s 组成的参考系称为正交平面参考系 (P_r - P_s - P_o), 或称为主剖面参考系; 由法平面 P_n 、基面 P_r 和切削平面 P_s 组成的参考系称为法平面参考系, 或称为法剖面参考系 (P_r - P_s - P_n); 由假定工作平面 P_f 、基面 P_r 和切削平面 P_s 组成的参考系称为假定工作平面参考系, 也称为进给剖面参考系 (P_r - P_s - P_f); 由背平面 P_p 、基面 P_r 和切削平面 P_s 组成的参考系称为背平面参考系, 或称为切深剖面参考系 (P_r - P_s - P_p)。

对于副切削刃的静止参考系, 也有同样的上述的坐标平面。为区分起见, 在相应符号上方加“'”。如 P'_o 为副切削刃的正交平面, 其余类同。

(3) 刀具静止角度的标注 在刀具静止参考系中标注或测量的几何角度称为刀具静止角度, 或刀具标注角度。刀具静止角度标注的基本方法为“一刃四角法”。所谓“一刃四角法”是指刀具上每一条切削刃, 必须且只需四个基本角度, 就能唯一地确定其在空间的位置。

一把刀具可能有若干条切削刃, 这时应先找出刀具的主切削刃, 对主切削刃应一个不漏地完整地标出四个角度, 然后逐条地分析其他的切削刃。

下面将在不同的刃剖面参考系中, 说明“一刃四角法”在刀具几何角度标注中的应用。

① 正交平面参考系 (P_r - P_s - P_o) 如图 1-8 为正交平面参考系。图 1-9 为外圆车刀在正交平面参考系中静止角度的标注。

该车刀由主切削刃和副切削刃两条切削刃组成。根据“一刃四角法”的原则, 应先抓住主切削刃, 完整地标出四个基本角度。根据切削平面的定义, 主切削刃应在切削平面内, 因此要确定主切削刃的位置, 应先确定切削平面的位置及主切削刃在切削平面内的位置, 这两个位置分别由主偏角和刃倾角来确定。

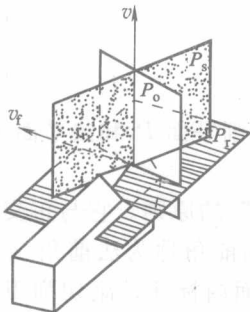


图 1-8 正交平面参考系

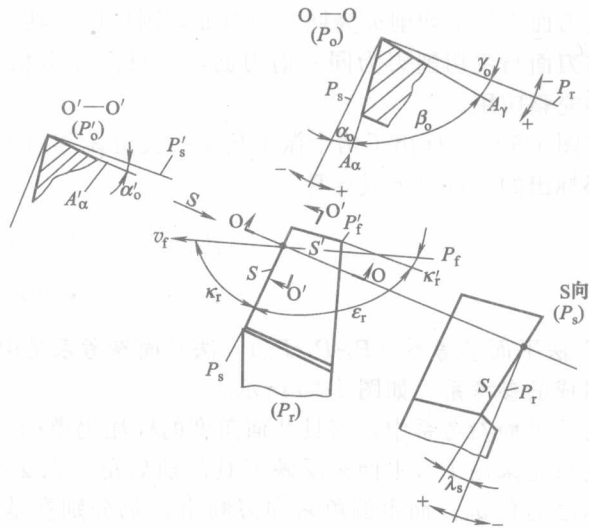


图 1-9 外圆车刀正交平面参考系静止角度

a. 主偏角 κ_r 。是在基面内度量的切削平面 P_s 和假定工作平面 P_f 之间的夹角。也是主切削刃在基面上的投影与进给运动方向之间的夹角。应标注在基面内。

b. 刃倾角 λ_s 。是切削平面内度量的主切削刃 S 与基面之间的夹角。它是确定主切削刃在切削平面 P_s 内的位置的角度。应标注在切削平面的方向视图内。

当刀尖在切削刃上为最高点时，刃倾角 λ_s 为正值；当刀尖在主切削刃上为最低点时，刃倾角 λ_s 为负值；当主切削刃在基面内时，刃倾角 λ_s 为零。

在主切削刃的位置确定之后，形成这条切削刃的前、后刀面的位置，就可任意选用一个刃剖面来反映。在正交平面参考系中即选用正交平面，在此平面内前刀面与基面、后刀面与切削平面对应的角度即为前角 γ_o 和后角 α_o 。

c. 前角 γ_o 。在正交平面内度量的前刀面 A_f 与基面 P_r 之间的夹角。当切削刃上选定点的基面 P_r 在剖视图中处于刀具体体之外时，前角 γ_o 为正值；当基面 P_r 处于刀具体体之内时，前角 γ_o 为负值；当前刀面与基面重合时，前角 γ_o 为零。

d. 后角 α_o 。在正交平面内度量的后刀面与切削平面 P_s 之间的夹角。当切削刃上选定点的切削平面 P_s 在剖视图中处于刀具体体之外时，后角 α_o 为正值；当切削平面 P_s 在刀具体体之内时，后角 α_o 为负值；当后刀面与切削平面 P_s 重合时，后角 α_o 为零。

由此可得出结论，对于一条切削刃应该标注的四个角度为：主偏角 κ_r 、刃倾角 λ_s 、前角 γ_o 和后角 α_o 。

同理，副切削刃也由副偏角 κ'_r 、副刃倾角 λ'_s 、副前角 γ'_o 和副后角 α'_o 确定。但刀具主切削刃与副切削刃在同一个前刀面上时，标出主切削刃的四个角度后，前刀面的空间位置也已确定，因此副切削刃的副前角和副刃倾角也随之确定，它们已不是独立的角度。此时，副切削刃只需标出另两个角度，即副偏角 κ'_r 和副后角 α'_o 。

副偏角 κ'_r ：在副切削刃上选定点的基面 P'_r （平行于 P_r ）内度量的副切削平面与假定工作平面之间的夹角。

副后角 α'_o ：在副切削刃上选定点的正交平面内度量的副后刀面与副切削平面之间的夹角。

综上所述，在分析或标注一把刀具切削部分几何角度时，先找出该刀具切削部分的主切削刃，分别在三个视图内完整地标出四个基本角度；然后逐条分析其他切削刃，如某条切削刃的前刀面不与主切削刃为同一前刀面，则也应对其完整地标出四个基本角度；如某条切削刃的前刀面与主切削刃为同一前刀面，则只需标出相应的偏角和后角。这就是“一刃四角法”的完整应用。

在图 1-9 中还标出了两个派生角度：楔角 β_o 和刀尖角 ϵ_r 。但这两个角度在刀具工作图中是不必标出的。可以下式计算：

$$\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o) \quad (1-4)$$

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-5)$$

② 法平面参考系 (P_r - P_s - P_n) 法平面参考系是由基面 P_r 、切削平面 P_s 和法平面 P_n 三个平面组成的参考系。如图 1-10 所示。

在法平面参考系中，刀具几何角度的标注仍遵循“一刃四角法”的原则。它与正交平面不同的只是采用了法平面来反映刀具的前后角。在法平面内度量的前角称为法前角 γ_n 、后角称为法后角 α_n 。而主偏角 κ_r 和刃倾角 λ_s 仍分别在基面和切削平面内标注。副切削刃的标注仍如前所述。图 1-11 所示为外圆车刀在法平面参考系中静止角度的标注。

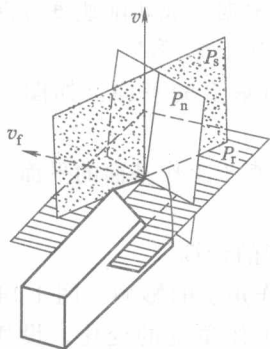


图 1-10 法平面参考系

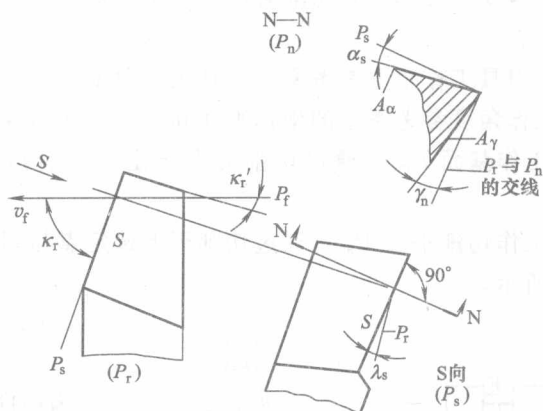


图 1-11 车刀法平面参考系静止角度

③ 假定工作平面参考系 (P_r - P_s - P_f) 和背平面参考系 (P_r - P_s - P_p) 假定工作平面参考系由基面 P_r 、切削平面 P_s 和假定工作平面 P_f 三平面组成。如图 1-12 所示。

背平面参考系由基面 P_r 、切削平面 P_s 和背平面 P_p 三平面组成。如图 1-12 所示。

它们与正交平面参考系的不同也只是采用不同的刃剖面反映刀具的前、后角。

在假定工作平面内标注的前、后角称为侧前角 γ_f (进给前角)、侧后角 α_f (进给后角)；在背平面内标注的前、后角称为背前角 γ_p (切深前角)、背后角 α_p (切深后角)。而主偏角 κ_r 和刃倾角 λ_s 仍分别在基面和切削平面内标注。图 1-13 为车刀假定工作平面参考系、背平面参考系中刀具静止角度的标注。

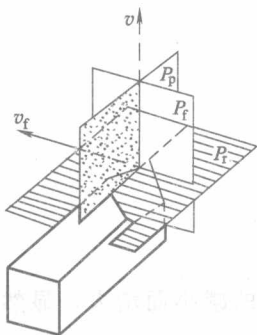


图 1-12 假定工作平面、背平面参考系

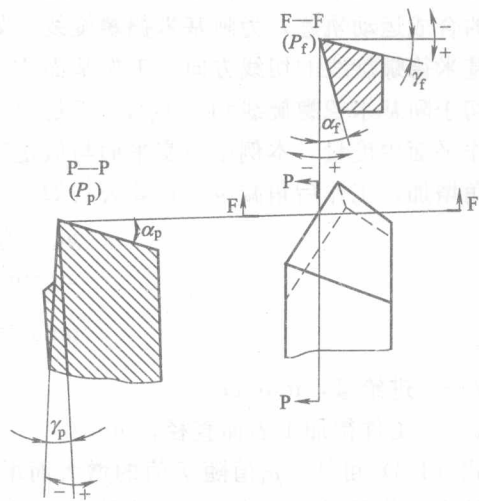


图 1-13 假定工作平面、背平面参考系的静止角度

设计刀具时，刀具几何角度是主要参数，是加工和刃磨刀具时进行工艺调整的依据。在制造和刃磨刀具时，常需对不同参考系内的静止角度进行换算。各静止参考系中角度的换算，其实是不同刃剖面内前、后角的换算。可参考相关的技术资料，本节不作介绍。

2. 刀具工作角度参考系和刀具工作角度

刀具在切削工作时，由于进给运动及刀具安装方式的影响，使刀具工作时反映的角度不

等于静止角度。刀具实际切削时反映的角度称为刀具工作角度，它应该在刀具工作角度参考系中讨论。

(1) 刀具工作角度参考系 刀具工作角度参考系的坐标平面应根据合成切削速度方向来确定。工作角度参考系中的坐标平面和刀具几何角度，其符号应加注下标“e”。

① 工作基面 P_{re} 通过切削刃上选定点与合成切削速度方向垂直的平面。如图 1-14 所示。

② 工作切削平面 P_{se} 通过切削刃上选定点与切削刃相切并垂直于工作基面的平面。如图 1-14 所示。

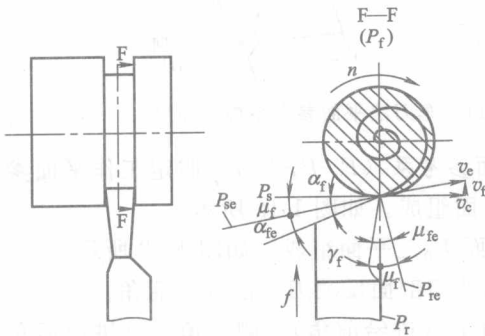


图 1-14 横向进给时的刀具工作角度

(2) 刀具工作角度的计算

① 进给运动对工作角度的影响 图 1-14 所示为横向进给时刀具工作角度的变化。设切断刀主偏角 $\kappa_r = 90^\circ$ ，前角 $\gamma_o > 0^\circ$ ，后角 $\alpha_o > 0^\circ$ ，左、右副偏角相等 $\kappa'_{rL} = \kappa'_{rR}$ ，左、右副后角相等 $\alpha'_{oL} = \alpha'_{oR}$ ，刃倾角 $\lambda_s = 0^\circ$ ，安装时刀刃对准工件中心。

当不考虑进给运动时，刀具主切削刃上选定点相对于工件运动轨迹为一圆周，主运动方向为过该点的圆周切线方向，此时，切削平面 P_s 为过该点切于圆周的平面，基面 P_r 是通过切削刃上该点垂直于切削平面同时又平行于刀杆底面的平面。

γ_f 、 α_f 为静止前、后角。

当考虑横向进给运动后，主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 1-14 所示，其合成运动方向 v_e ，是过该点的阿基米德螺旋线的切线方向。工作基面 P_{re} 应垂直于 v_e ，工作切削平面 P_{se} 过切削刃上该点并切于阿基米德螺旋线和 v_e 重合，于是 P_{re} 和 P_{se} 相对 P_r 和 P_s 相应地转动一个 μ_f 角（在假定工作平面中测量，本例中正交平面与假定工作平面重合，即 $\mu_f = \mu_o$ ），结果使切削刃的工作前角增加，工作后角减少。计算公式如下

$$\mu_{fe} = \gamma_f + \mu_f \quad (1-6)$$

$$\alpha_{fe} = \alpha_f - \mu_f \quad (1-7)$$

$$\tan \mu_f = \frac{f}{\pi d_w} \quad (1-8)$$

式中 f ——进给量，mm/r；

d_w ——工件待加工表面直径，mm。

由式 (1-8) 可知， μ_f 值随 f 值的增大而增大，随工件直径的减小而增大，显然切断刀接近工件中心位置时， α_{fe} 非常小，常使刀刃崩刃或工件被挤断。

当外圆车刀纵向进给时，工作前角和工作后角同样发生变化。这在车削大导程的丝杠或多头螺纹时必须加以注意和考虑。

② 刀具安装高低对工作角度的影响 如图 1-15 为切断刀具安装高低对刀具工作角度的影响，其中，图 (a) 是刀尖对准工件中心安装，此时基面与车刀底面平行，切削平面与车刀底面垂直，刀具静止角度与工作角度相等；图 (b) 将刀尖安装高于工件中心，则工作基面 P_{re} 平面和工作切削平面 P_{se} 与静止参考系中的基面 P_r 和切削平面 P_s 发生倾斜，使工作前角 γ_{oe} 增大，工作后角 α_{oe} 减小；图 (c) 是将刀尖安装得低于工件中心，则工作前角 γ_{oe} 减小，工作后角 α_{oe} 增大。

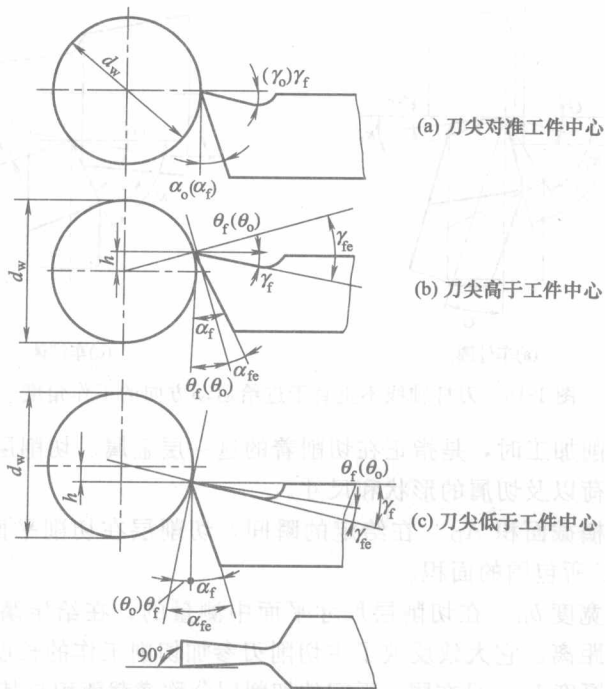


图 1-15 切断刀具安装高度对刀具工作角度的影响

小，工作后角 α_{oe} 增大。工作角度与静止角度换算关系如下：

$$\gamma_{oe} = \gamma_o \pm \theta_o \tag{1-9}$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o \mp \theta_o \tag{1-10}$$

- 式中 γ_{oe} ——正交平面内的工作前角；
- α_{oe} ——正交平面内的工作后角；
- θ_o ——正交平面内 P_r 和 P_{re} 的转角。

由图 1-15 可知：

$$\sin \theta_o = \frac{2h}{d_w} \tag{1-11}$$

- 式中 h ——刀尖高于或低于工件中心线的灵敏值，mm；
- d_w ——工件待加工表面直径，mm。

③ 刀杆轴线偏装后对刀具工作角度的影响 图 1-16 所示，车刀刀杆轴线与进给方向不垂直，工作主偏角 κ_{re} 和工作副偏角 κ'_{re} 将发生变化：

$$\kappa_{re} = \kappa_r \pm G \tag{1-12}$$

$$\kappa'_{re} = \kappa_r \mp G \tag{1-13}$$

式中 G ——假定工作平面 P_f 与工作平面 P_{fe} 之间的夹角，在基面内测量。

在生产实际中，根据工作需要可以在安装时可以调整主偏角和副偏角的数值。

三、切削层公称横截面要素和切削方式

1. 切削层横截面要素

切削层是指切削部分的一个单一动作所切除的工件材料层。它的形状和尺寸规定在刀具