



教育部高职高专规划教材

机械制造工艺 与装备

● 倪森寿 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

机电类专业基础课

机械制图及计算机绘图	刘兴国	主编
机械制图及计算机绘图习题集	刘兴国	主编
工程材料及成型工艺	侯旭明	主编
机械设计技术基础 (配光盘)	蒋荣基	主编
机械制造技术	刘越	主编
机械制造工艺与装备	倪森寿	主编
机电工程专业英语	宋瑞苓 赵继永	主编

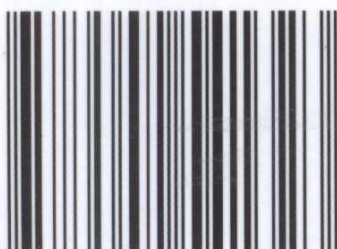
模具专业

冲压模具设计与制造	徐政坤	主编
型腔模具设计与制造	章飞	主编
数控加工技术	明兴祖	主编
模具CAD/CAM	刘建超	主编
模具设计与制造实训教程	李学锋	主编

数控加工技术专业

自动检测技术	林金泉	主编
机床电器自动控制	廖兆荣	主编
数控原理与数控机床	张柱银 陈思义	主编
数控加工工艺与编程	晏初宏	主编
机械CAD/CAM	明兴祖 姚建民	主编
数控设备故障诊断与维修技术	武友德	主编
数控加工实训教程	熊熙	主编

ISBN 7-5025-4132-2



9 787502 541323 >

ISBN 7-5025-4132-2/G · 1095 定价: 35.00元

918

7H16-45

IV 3/2

教育部高职高专规划教材

机械制造工艺与装备

倪森寿 主编

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造工艺与装备/倪森寿主编. —北京: 化学工业出版社, 2002.12

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-4132-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 085128 号

教育部高职高专规划教材

机械制造工艺与装备

倪森寿 主编

责任编辑: 高 钰

文字编辑: 张燕文

责任校对: 陈 静

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 毫米 × 1092 毫米 1/16 印张 23½ 字数 579 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4132-2/G·1095

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来，在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下，各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看，具有高职高专教育特色的教材极其匮乏，不少院校尚在借用本科或中专教材，教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此，1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》（以下简称《基本要求》）和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》（以下简称《培养规格》），通过推荐、招标及遴选，组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师，成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍，并在有关出版社的积极配合下，推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种，用5年左右时间完成。这500种教材中，专门课（专业基础课、专业理论与专业能力课）教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求，在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上，充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特性和能力本位，调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础，突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下，专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间，在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上，充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验，解决新形势下高职高专教育教材的有无问题；然后再用2~3年的时间，在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上，通过研究、改革和建设，推出一大批教育部高职高专规划教材，从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材，并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作，不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

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

目 录

第一章 金属切削加工基本定义	
第一节 概述	1
一、切削运动	1
二、工件上的加工表面	1
三、切削用量	2
第二节 刀具静止角度参考系和刀具静止角度的标注	3
一、车刀的组成	3
二、刀具静止角度参考系及其坐标平面	3
三、刀具静止角度的标注	5
第三节 刀具工作角度参考系和刀具工作角度	10
一、刀具工作角度参考系	10
二、刀具工作角度的计算	10
第四节 切削层公称横截面要素和切削方式	12
一、切削层横截面要素	12
二、金属切除率	12
三、切削方式	13
习题	14
第二章 金属切削中的物理现象及基本规律	15
第一节 金属切削中的物理现象及其影响因素	15
一、金属切削中的变形及其主要影响因素	15
二、切削力及其主要影响因素	20
三、切削温度及其主要影响因素	28
四、刀具磨损、刀具耐用度及其主要影响因素	31
第二节 金属切削基本规律的应用	34
一、工件材料切削加工性的改善	34
二、刀具材料的合理选择	35
三、切削液的合理选择	41
四、刀具几何参数的合理选择	42
五、切削用量的合理选择	46
习题	52
第三章 机械加工工艺基本知识	55
第一节 概述	55
一、生产过程和工艺过程	55
二、机械加工工艺过程的组成	55
三、工件的夹紧	57
四、机械加工生产类型和特点	59
第二节 机械加工工艺规程和工艺文件	60
一、机械加工工艺规程	60
二、制定工艺规程的原则	61
三、制定工艺规程的原始资料	61
四、制定工艺规程的步骤	65
五、工艺文件格式	65
第三节 零件的工艺性分析	65
一、分析研究产品的零件图样和装配图样	65
二、结构工艺性分析	66
三、技术要求分析	69
第四节 毛坯选择	70
一、常见的毛坯种类	70
二、毛坯的选择原则	71
三、毛坯的形状及尺寸	72
第五节 基准与工件定位	73
一、基准的概念和分类	74
二、工件定位的概念和定位的要求	75
三、工件定位的方法	77
第六节 六点定位原则和定位基准的选择	79
一、六点定位原则	79
二、由工件加工要求确定工件应限制的自由度数	82
三、定位基准的选择	83
第七节 常用定位元件	85
一、对定位元件的基本要求	85
二、工件以平面定位时的定位元件	86
三、工件以圆孔定位时的定位元件	89
四、工件以外圆柱面定位时的定位元件	92

第八节 定位误差分析	95	二、加工误差的统计分析法	155
一、定位误差产生的原因和计算	95	第六节 减少加工误差的措施	162
二、定位误差计算实例	98	一、直接减少原始误差法	162
三、工件以一面两孔组合定位时的定位 误差计算	100	二、误差补偿法	162
第九节 工艺路线的拟定	104	三、误差转移法	162
一、表面加工方法的选择	104	四、误差分组法	163
二、加工阶段的划分	107	五、就地加工法	163
三、加工顺序的安排	108	六、误差平均法	164
四、工序集中和工序分散	109	习题	164
第十节 加工余量的确定	110	第五章 机械加工表面质量	165
一、加工余量的概念	110	第一节 概述	165
二、加工余量的影响因素和确定方法	112	一、机械加工表面质量的含义	165
第十一节 工序尺寸和公差确定	113	二、表面完整性	166
一、工艺尺寸链的概念和计算公式	113	第二节 影响加工表面粗糙度的因素及 改善措施	166
二、工序尺寸及公差的确定	116	一、切削加工中影响表面粗糙度的因素	166
第十二节 机械加工生产率和技术 经济分析	122	二、降低表面粗糙度的工艺措施	167
一、机械加工生产率分析	122	三、磨削加工中降低表面粗糙度的 工艺措施	168
二、工艺过程的技术经济分析	125	第三节 影响加工表面物理力学性能 的因素	169
习题	127	一、表面层的冷作硬化	169
第四章 机械加工误差分析	136	二、表面层的金相组织变化	170
第一节 概述	136	三、表面层的残余应力	171
一、机械加工误差的概念	136	第四节 机械加工振动简介	171
二、加工误差的产生	136	一、振动对机械加工过程的影响	171
第二节 工艺系统的几何误差对加工误差 的影响	137	二、机械加工中的受迫振动	172
一、机床的几何误差	137	三、机械加工中的自激振动	172
二、工艺系统的其他几何误差	141	习题	176
第三节 工艺系统受力变形对加工误差 的影响	142	第六章 轴类零件加工工艺和常用 工艺装备	177
一、基本概念	142	第一节 概述	177
二、工艺系统受力变形引起的加工误差	143	一、轴类零件的功用和结构特点	177
三、减少工艺系统受力变形的措施	147	二、轴类零件的技术要求、材料和毛坯	177
四、工件内应力引起的加工误差	148	第二节 外圆表面的加工方法和加工方案	178
第四节 工艺系统热变形对加工误差 的影响	150	一、外圆表面的车削加工	178
一、基本概念	150	二、外圆表面的磨削加工	178
二、机床热变形引起的加工误差	151	三、外圆表面的精密加工	180
三、工件热变形引起的加工误差	151	四、外圆表面加工方案的选择	182
四、刀具热变形引起的加工误差	153	第三节 外圆表面加工常用工艺装备	183
五、减少工艺系统热变形的途径	153	一、焊接式车刀和可转位车刀	183
第五节 加工误差的综合分析	154	二、砂轮	189
一、加工误差的性质	154		

第一章 金属切削加工基本定义

第一节 概 述

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、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。

一、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。

3. 合成切削运动

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。

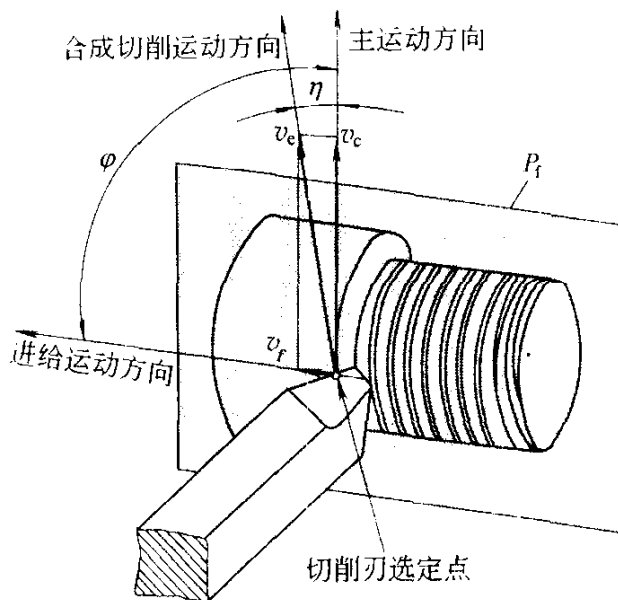


图 1-1 刀具和工件的运动——车刀

二、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。

- ① 待加工表面是工件上有待切除的表面。
- ② 已加工表面是工件上经刀具切削后产生的表面。

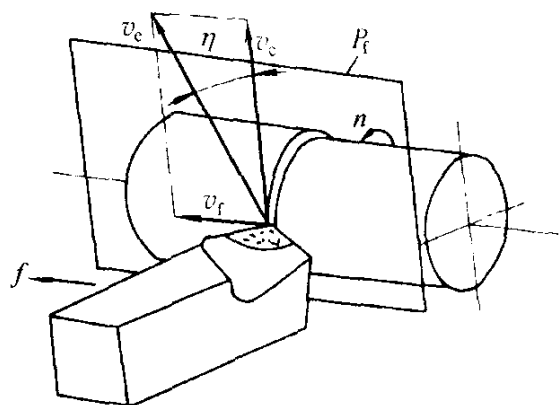


图 1-2 切削时合成切削速度

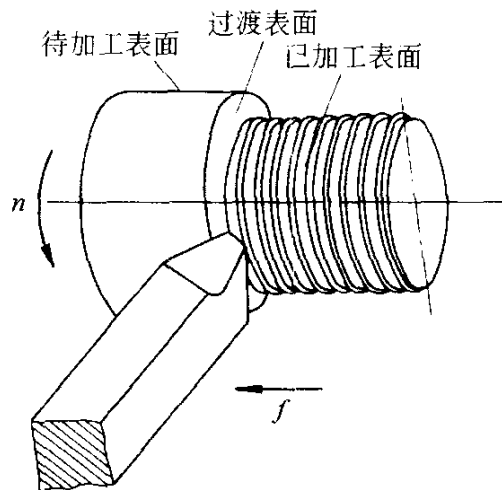


图 1-3 工件上的加工表面

③ 过渡表面是工件上由刀具切削刃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。

三、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。

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。

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

式中 v_c —— 切削速度，m/s；
 d_w —— 工件待加工表面直径，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。

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。

$$v_f = fn \quad (1-2)$$

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。根据此定义，如在纵向车外圆时，其背吃刀量可按下式计算

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

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。

第二节 刀具静止角度参考系和刀具静止角度的标注

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的。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”，如图 1-5 所示。

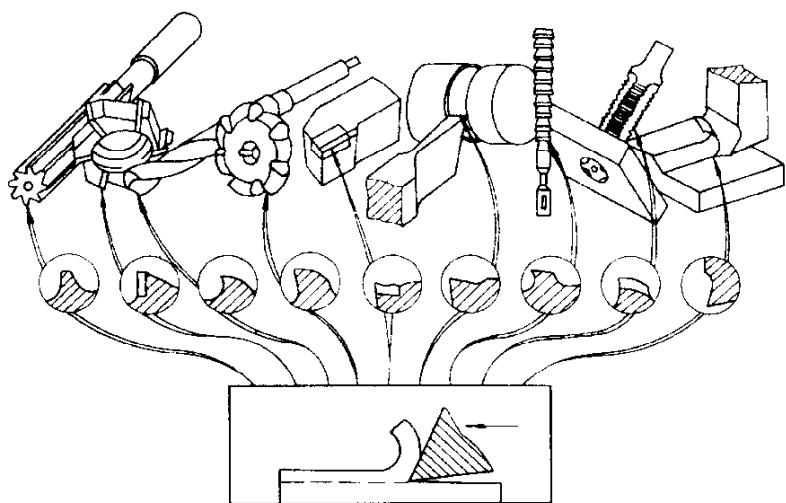


图 1-4 各种刀具切削部分的形状

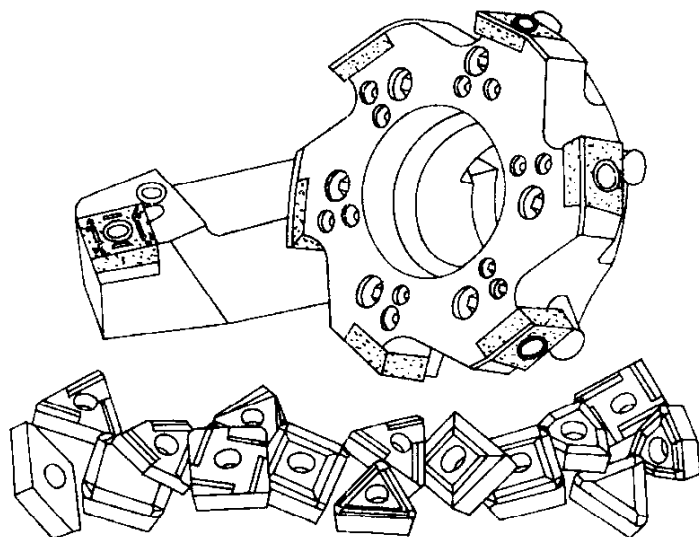


图 1-5 不重磨式刀具的切削部分

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。

一、车刀的组成

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 是切下的金属沿其流出的刀面。
- ② 主后刀面 A_α 是与工件上过渡表面相对的刀面。
- ③ 副后刀面 A_α' 是与工件上已加工表面相对的刀面。
- ④ 主切削刃 S 是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' 是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 刀尖是主切削刃和副切削刃的汇交处相当少的一部分切削刃。

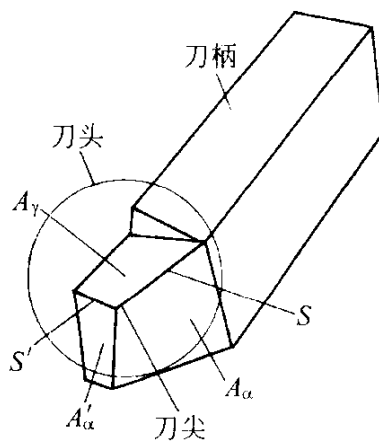


图 1-6 典型外圆车刀切削部分的构成

二、刀具静止角度参考系及其坐标平面

刀具的切削部分是由前、后刀面，切削刃，刀尖组成的一空间几何体。为了确定刀具切削部分各几何要素的空间位置，就需要建立相应的参考系。为此设立的参考系一般有两类：一是刀具静止角度参考系；二是刀具工作角度参考系。对刀具静止角度参考系及其坐标平面分述如下。

(一) 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) 假定运动条件是在建立参考系时，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) 假定安装条件是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在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。

(二) 刀具静止角度参考系的坐标平面

作为一个空间参考系，它必须有确定的坐标平面。在静止角度参考系中，这样的坐标平面有三个：基面、切削平面和刃剖面（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。它平行于或垂直于刀具在制造、刃磨和测量时适合于安装和定位的一个平面或轴线。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），它的基面 P_r 是通过切削刃上选定点并包含轴线的平面。

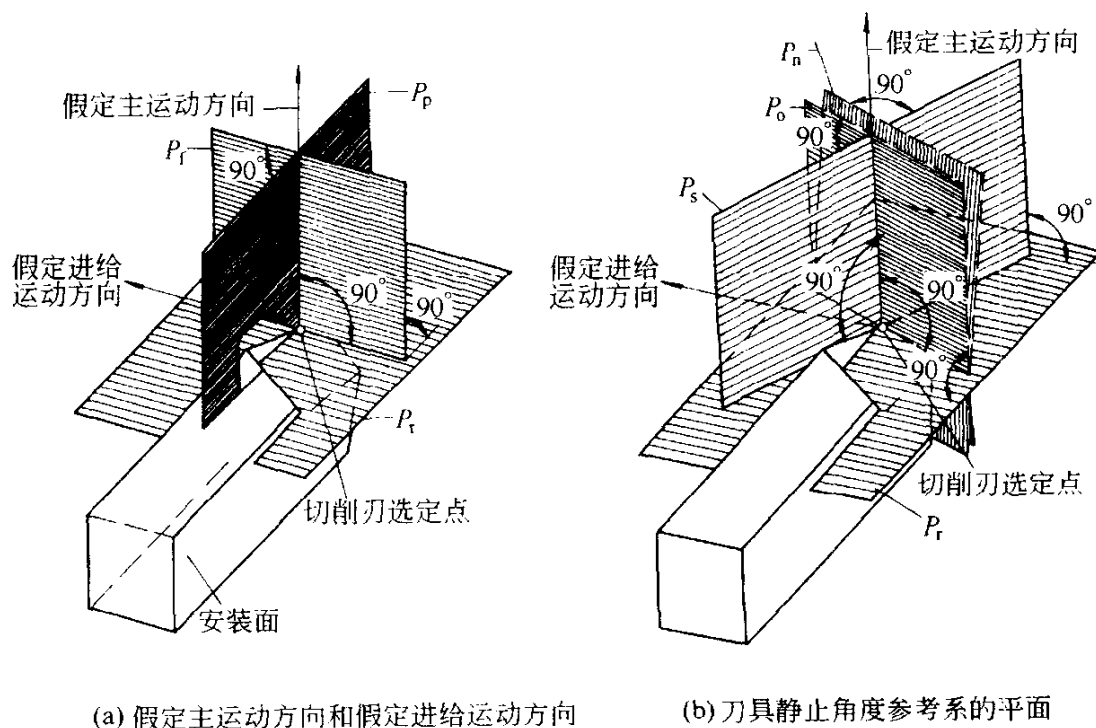


图 1-7 假定运动条件和静止角度参考系

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。一般情况下切削平面即指主切削平面。

3. 刃剖面（切削刃剖切平面）

常用的刃剖面有四个，分述如下。

① 正交平面（主剖面） P_o 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。

② 法平面（法剖面） P_n 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。

③ 假定工作平面（进给剖面） P_f 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。

④ 背平面（切深剖面） P_p 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 ）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，或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，也有上述同样的坐标平面。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。

三、刀具静止角度的标注

在刀具静止角度参考系中标注或测量的几何角度称为刀具静止角度，或称刀具标注角度。刀具静止角度标注的基本方法为“一刀四角法”。所谓“一刀四角法”是指刀具上每一条切削刃，必须且只需四个基本角度，就能惟一地确定其在空间的位置。

如前所述，刀具切削部分是由若干个刀尖，切削刃，前、后刀面组成的空间几何体，为确定这些几何要素的空间位置，应抓住其关键要素，其关键要素即为切削刃。只要把切削刃的空间位置确定后，其他几何要素的空间位置也就确定了。

当然，一把刀具可能有若干条切削刃，这时应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切削刃，这样整个刀具切削部分的几何角度也就标注清楚了。

下面将在不同的刃剖面参考系中，说明“一刀四角法”在刀具几何角度标注中的应用。

（一）正交平面参考系（ P_r - P_s - P_o ）

图1-8所示为正交平面参考系。图1-9所示为普通外圆车刀在正交平面参考系中静止角度的标注。

外圆车刀，系由主切削刃和副切削刃两条切削刃组成。根据“一刀四角法”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。

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。

刃倾角 λ_s 是在切削平面内度量的主切削刃 S 与基面 P_r 之间的夹角。它是确定主切削刃在切削平面 P_s 内位置的角度。应标注在切削平面的方向视图内。当刀尖在主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

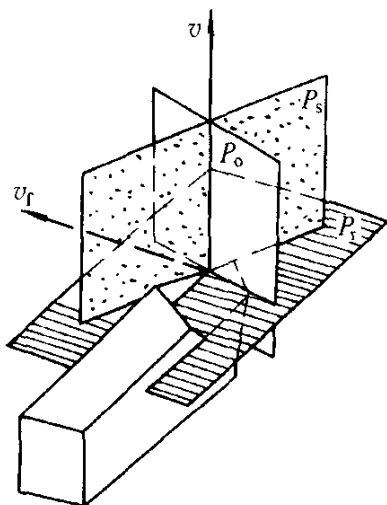


图 1-8 正交平面参考系

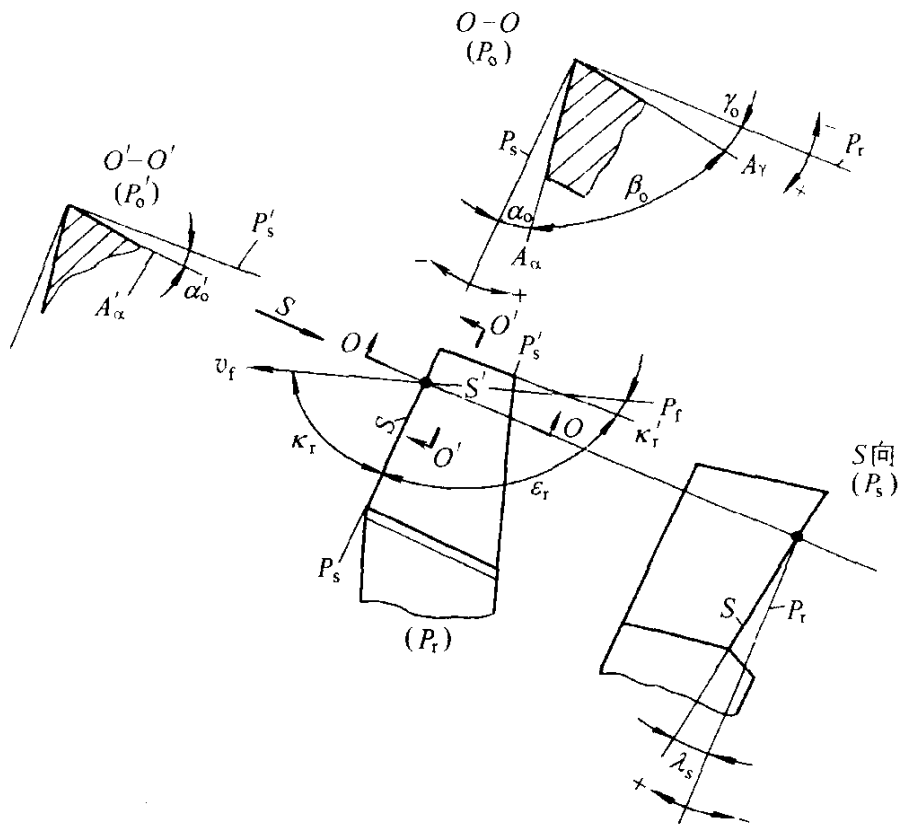


图 1-9 外圆车刀正交平面参考系的静止角度

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，可任意选用一个刃剖面来反映。在正交平面参考系中，正交平面内前刀面与基面对应的角度为前角 γ_o ，主后刀面与切削平面对应的角度为后角 α_o 。

前角 γ_o 是在正交平面内度量的前刀面 A_γ 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实体之外时，前角 γ_o 为正值；当基面 P_r 处于刀具实体之内时，前角 γ_o 为负值；当前刀面与基面重合时，前角 γ_o 为零。

后角 α_o 是在正交平面内度量的主后刀面 A_α 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实体之外时，后角 α_o 为正值；当切削平面 P_s 在刀具实体之内时，后角 α_o 为负值；当主后刀面与切削平面重合时，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 。而这四个角度标注的方法应该是：主偏角 κ_r 标注在基面内，刃倾角 λ_s 标注在切削平面的方向视图内，前角 γ_o 和后角 α_o 标注在刃剖面内。这就是“一刃四角法”中四个角的内容。

在解决了主切削刃这个关键要素后，再逐条分析其他切削刃。图 1-9 所示的外圆车刀还有一条副切削刃。根据“一刃四角法”的原则，它也应完整无缺地标出四个角度，即副偏角 κ_r' 、副刃倾角 λ_s' 、副前角 γ_o' 和副后角 α_o' 。但由于该刀具主切削刃与副切削刃在同一个前刀面上，在完整无缺地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。因此，对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' 是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' 是在副切削刃上选定点的正交平面 P_o' 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“一刀四角法”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

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

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

(二) 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“一刀四角法”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。

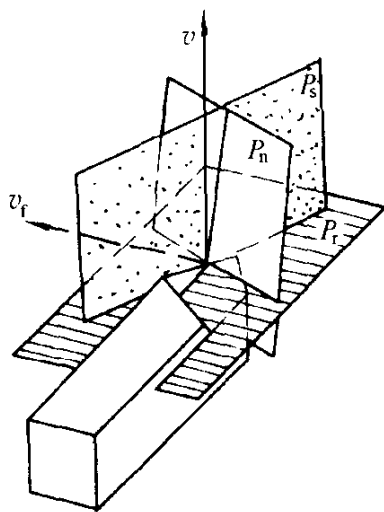


图 1-10 法平面参考系

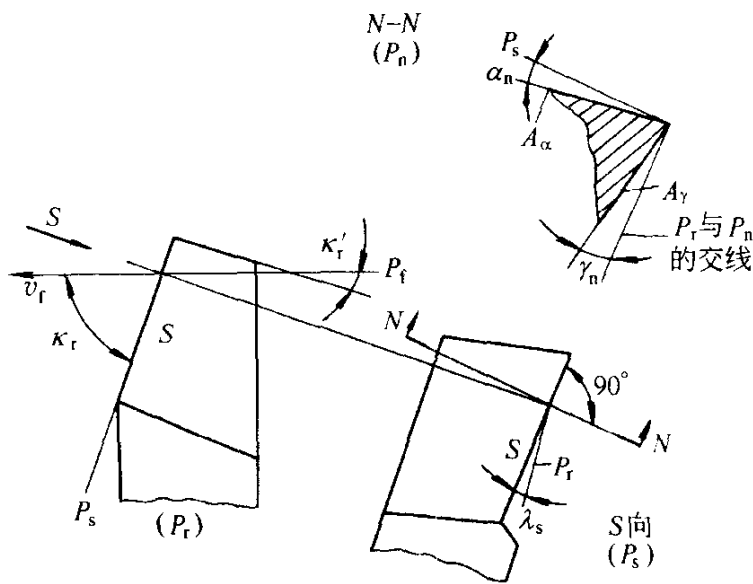


图 1-11 车刀法平面参考系的静止角度

(三) 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 三个平面组成；背平面参考系由基面 P_r 、切削平面 P_s 和背平面 P_p 三个平面组成，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 所示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。

(四) 各种刀具静止角度参考系间几何角度的换算

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

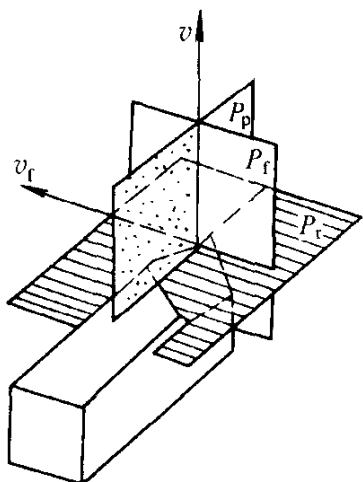


图 1-12 假定工作平面、背平面参考系

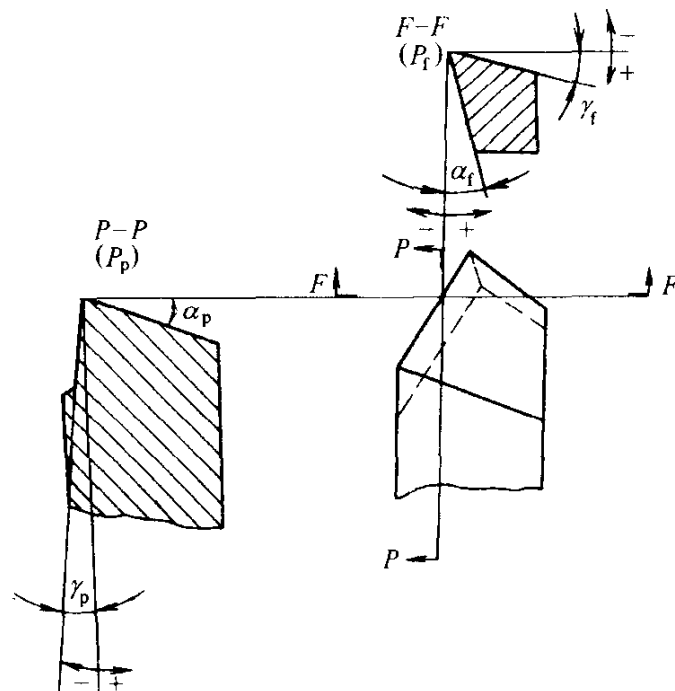


图 1-13 背平面、假定工作平面参考系的静止角度

算，其实是不同刃剖面内前、后角的换算。

1. 正交平面参考系和法平面参考系间角度的换算

正交平面参考系能较好反映刀具的切削性能，是刀具中使用较多的一种参考系。但法平面参考系能较好地反映螺旋切削刃、大刀倾角刀具的切削性能。因此常需在它们之间进行角

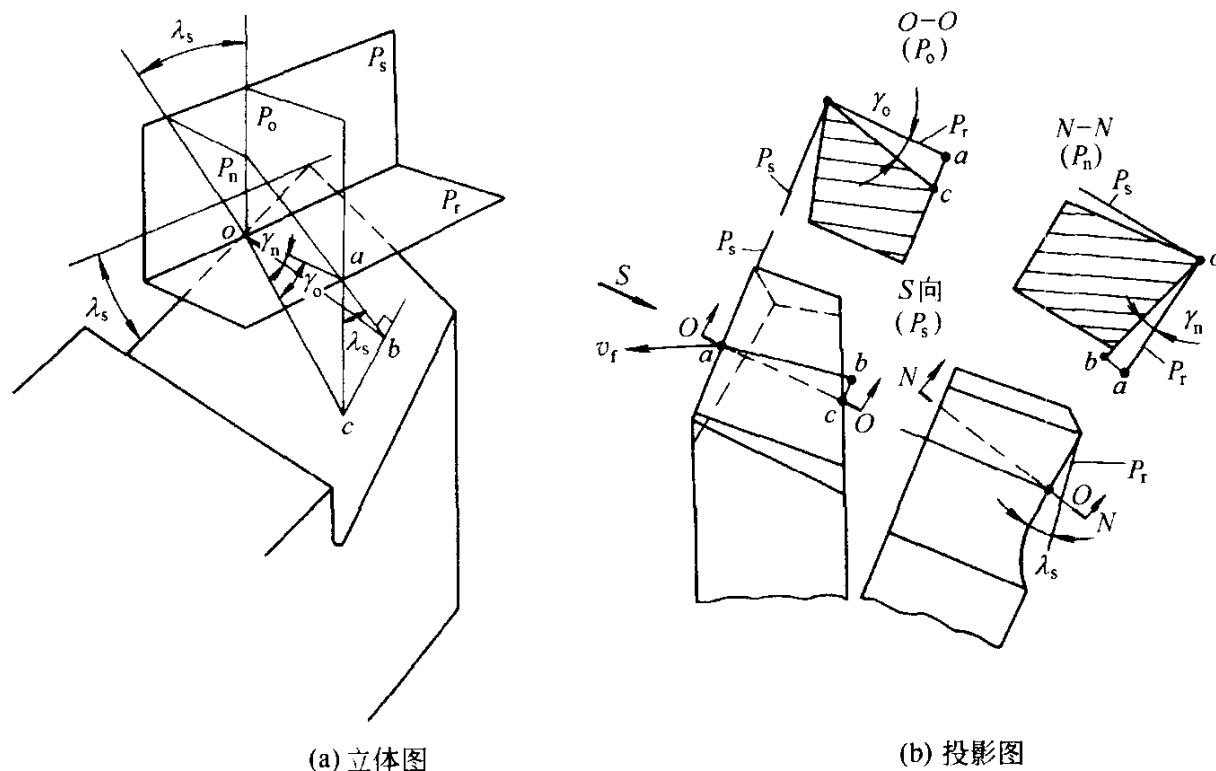


图 1-14 γ_o 与 γ_n 的关系

度的换算。图 1-14 所示为正交平面参考系与法平面参考系中前角 γ_o 与 γ_n 间的几何关系。图中刃倾角为正值，经推导，计算公式如下

$$\tan \gamma_n = \tan \gamma_o \cos \lambda_s \tag{1-6}$$

- 式中 γ_n ——法前角；
- γ_o ——主前角；
- λ_s ——刃倾角。

当 $\lambda_s=0$ 时, 正交平面与法平面重合, $\gamma_o = \gamma_n$; 当 $\lambda_s \neq 0$ 时, $\gamma_o > \gamma_n$ 。
 将式 (1-6) 中的 γ_o, γ_n 换成 α_n, α_o , 即得法后角 α_n 和后角 α_o 的关系

$$\cot \alpha_n = \cot \alpha_o \cos \lambda_s \quad (1-7)$$

2. 正交平面参考系与假定工作平面参考系、背平面参考系间角度的换算

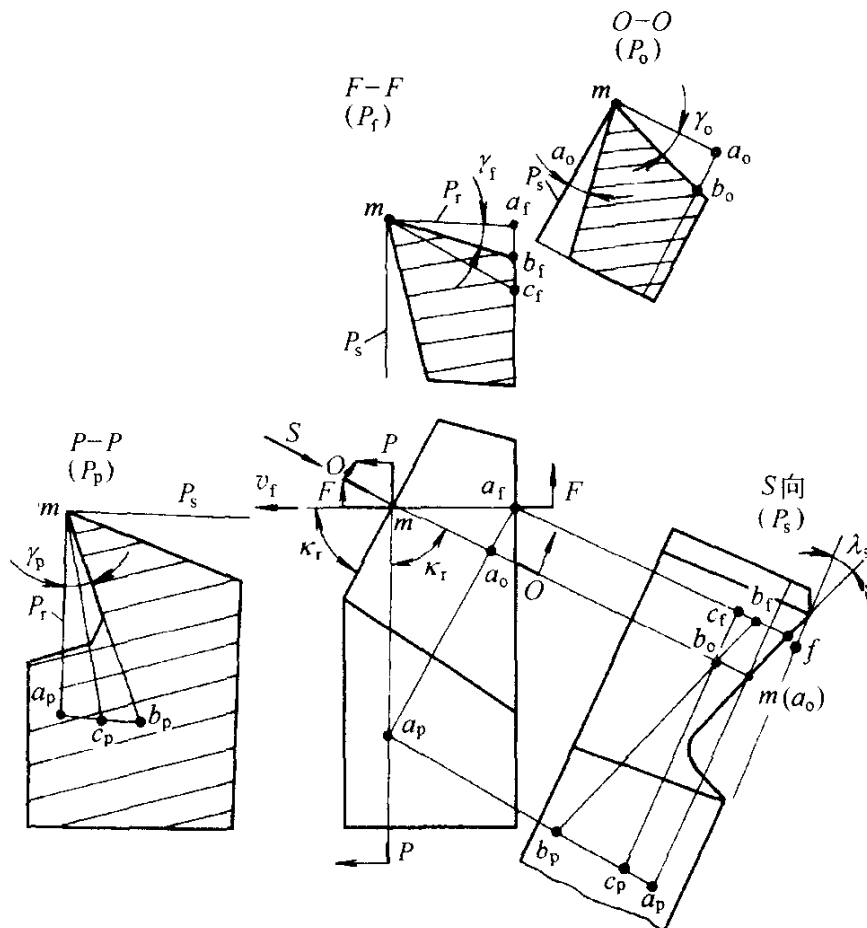


图 1-15 正交平面与假定工作平面、背平面的角度换算

在刃磨刀具或加工刀槽的调整计算时, 常需要知道 P_o, P_f 和 P_p 之间刀具角度的关系。图 1-15 所示为正交平面、假定工作平面、背平面间刀具角度的换算关系, 经推导, 计算公式如下

$$\tan \gamma_f = \tan \gamma_o \sin \kappa_r - \tan \lambda_s \cos \kappa_r \quad (1-8)$$

$$\tan \gamma_p = \tan \gamma_o \cos \kappa_r + \tan \lambda_s \sin \kappa_r \quad (1-9)$$

式中 γ_f ——侧前角;
 γ_p ——背前角。

将侧前角 γ_f 和背前角 γ_p 换成侧后角 α_f 和背后角 α_p , 得 α_f, α_p 的计算公式

$$\cot \alpha_f = \cot \alpha_o \sin \kappa_r - \tan \lambda_s \cos \kappa_r \quad (1-10)$$

$$\cot \alpha_p = \cot \alpha_o \cos \kappa_r + \tan \lambda_s \sin \kappa_r \quad (1-11)$$

3. 副前角 γ_o' 和副刃倾角 λ_s' 的计算

用“一刀四角法”原理标注刀具几何角度时, 当副切削刃与主切削刃在同一前刀面上时, 副前角和副刃倾为派生角度, 可以通过计算得到, 因此不必在刀具图中标出, 其计算公式如下

$$\tan \lambda_s' = \tan \gamma_o \sin(\kappa_r + \kappa_r') - \tan \lambda_s \cos(\kappa_r + \kappa_r') \quad (1-12)$$

$$\tan \gamma_o' = \tan \gamma_o \cos(\kappa_r + \kappa_r') + \tan \lambda_s \sin(\kappa_r + \kappa_r') \quad (1-13)$$

式中 λ_s' ——副刃倾角;