

技师学院机械类专业教材 机械类专业技师培训教材

JISHI XUEYUAN JIXIELEI ZHUANYE JIAOCAI

JIXIELEI ZHUANYE JISHI PEIXUN JIAOCAI



车工工艺 与技能训练

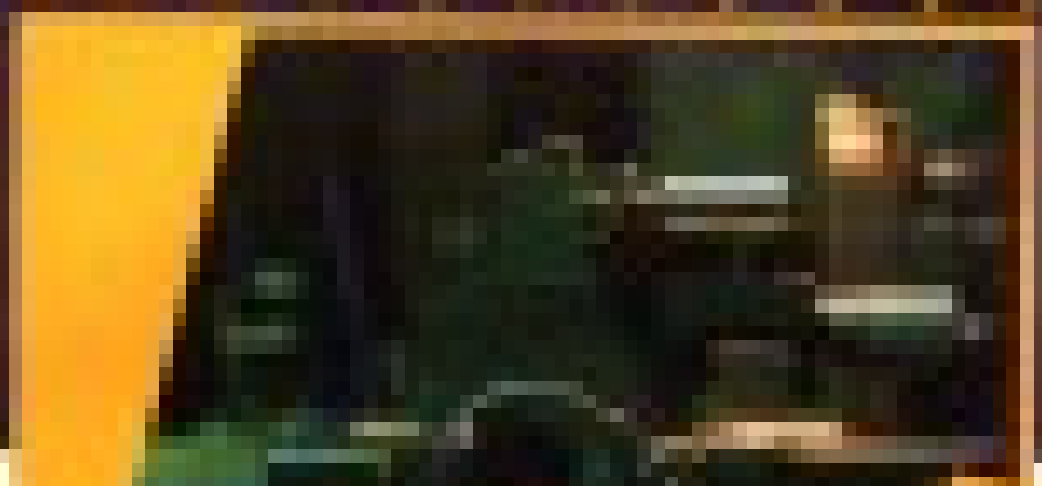
CHEGONG GONGYI

YU JINENG XUNLIAN



中国劳动社会保障出版社

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
CHICAGO, ILLINOIS 60607
1995



车工记

与技能训练

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

© 1995 THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

技师学院机械类专业教材
机械类专业技师培训教材

车工工艺与技能训练

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

车工工艺与技能训练/徐平田主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2005
ISBN 7-5045-4860-X

I. 车… II. 徐… III. 车削-工艺 IV. TG51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第013311 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

北京北苑印刷有限责任公司印刷、装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24 印张 597 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

印数: 4000 册

定价: 38.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前 言

进入 21 世纪以来,我国作为制造业大国的地位和当前生产一线劳动者素质偏低及技能人才,尤其是高级技工、技师人才匮乏之间的矛盾越来越突出,已成为制约我国制造业升级的突出问题。为了解决这一矛盾,2005 年国务院颁发了《关于大力发展职业教育的决定》,确立了“力争用 5 年时间,在全国新培养 190 万名技师和高级技师,新培养 700 万名高级技工,并带动中级和初级技能劳动者队伍梯次发展”的目标。正是在这样的新形势下,为了推进我国职业教育建设,加强各类高素质高技能专门人才的培养,我们组织编写了这套机械类专业技师教材,初步完成的有《车工工艺与技能训练》《钳工工艺与技能训练》和《焊工工艺与技能训练》3 种,之后我们还将陆续开发其他技师教材。

在这套教材的编写过程中,我们始终坚持了以下基本原则:

一是从生产实际出发,合理安排教材的知识和技能结构,突出技能性培养,摒弃“繁难偏旧”的理论知识。二是以国家相关职业标准为依据,确保在知识内容和技能水平上符合国家职业鉴定技师标准。三是引入新技术、新工艺内容,反映行业的新标准、新趋势,淘汰陈旧过时的技术,拓宽专业技术人员的知识眼界。四是在结构安排和表达方式上,强调由浅入深,循序渐进,力求做到图文并茂。

此外,本套教材还编写了相应国家技师职业鉴定的模拟理论试题及其答案。

本套教材可作为技师学院机械类专业教材,也可作为机械类技师培训教材。

本套教材的编写工作得到了辽宁、湖南、山东、江苏等省有关学校的支持和帮助,在此我们表示衷心的感谢。

《车工工艺与技能训练》的主要内容包括：金属切削基本理论及其应用，车床，编制工艺规程，机械加工质量，机床夹具，车削细长轴和薄壁套，车削成形面，车削特种螺纹及蜗杆，车削复杂、畸形工件，深孔及小孔加工，车削难加工材料，扩大车床的加工范围，精密加工与特种加工技术、数控车床编程与操作等。

本书由徐平田、李延军、王宏、丁甲峰、赵明鑫、姜永奇、单秉文编写，徐平田主编；陈望审稿。

劳动和社会保障部教材办公室

2006年1月

目 录

第一章 金属切削基本理论及其应用	(1)
第一节 车刀	(1)
第二节 切削过程中的不利因素及其控制措施	(20)
第三节 切屑控制	(30)
第四节 切削液	(34)
思考练习题	(36)
第二章 车床	(37)
第一节 机床型号	(37)
第二节 CA6140 型卧式车床	(42)
第三节 车床精度检验	(63)
第四节 其他车床简介	(74)
思考练习题	(79)
第三章 编制工艺规程	(80)
第一节 生产过程的基本概念	(80)
第二节 工艺路线的拟定	(82)
第三节 工序内容的拟定	(90)
第四节 工艺规程编制实例	(99)
思考练习题	(104)
第四章 机械加工质量	(105)
第一节 机械加工精度	(105)
第二节 机械加工表面质量	(110)
思考练习题	(117)
第五章 机床夹具	(119)
第一节 概述	(119)
第二节 工件的定位	(121)

第三节 工件的夹紧·····	(141)
第四节 专用夹具设计简介·····	(145)
思考练习题·····	(146)
第六章 车削细长轴和薄壁套 ·····	(148)
第一节 车削细长轴·····	(148)
第二节 车削薄壁套·····	(159)
思考练习题·····	(166)
第七章 车削成形面 ·····	(167)
第一节 用靠模车削成形面·····	(167)
第二节 用成形刀加工成形面·····	(176)
思考练习题·····	(189)
第八章 车削特种螺纹及蜗杆 ·····	(190)
第一节 螺纹车刀的刃磨与安装要求·····	(190)
第二节 车削特种螺纹·····	(192)
第三节 车削蜗杆·····	(197)
思考练习题·····	(207)
第九章 车削复杂、畸形工件 ·····	(209)
第一节 车削多孔零件·····	(209)
第二节 车削偏心工件·····	(220)
第三节 车削曲轴·····	(227)
第四节 车削组合件·····	(237)
思考练习题·····	(242)
第十章 深孔及小孔加工 ·····	(243)
第一节 深孔加工·····	(243)
第二节 小孔及微孔加工·····	(252)
思考练习题·····	(262)
第十一章 车削难加工材料 ·····	(263)
第一节 工件材料的切削加工性·····	(263)
第二节 影响材料切削加工性的因素·····	(268)
第三节 难加工材料的车削加工·····	(270)
思考练习题·····	(279)

第十二章 扩大车床的加工范围	(281)
第一节 扩大车床加工范围的基本思路.....	(281)
第二节 扩大车床加工范围实例.....	(284)
思考练习题.....	(300)
第十三章 精密加工与特种加工技术	(301)
第一节 精密加工简介.....	(301)
第二节 特种加工简介.....	(304)
思考练习题.....	(312)
第十四章 数控车床编程与操作	(313)
第一节 编程指令.....	(313)
第二节 操作面板.....	(329)
第三节 对刀及刀位偏差的补偿.....	(334)
第四节 数控车床维护与修理.....	(338)
第五节 编程及加工实例.....	(348)
思考练习题.....	(361)
模拟试卷 (一)	(363)
模拟试卷 (二)	(366)
模拟试卷 (三)	(369)

第一章

金属切削基本理论及其应用

第一节 车 刀

一、车刀角度及其选择

刀具几何角度是确定刀具切削部分几何形状与切削性能的重要参数。它是由刀面和切削刃相对参考系的基准坐标平面间的夹角所构成的。用来定义刀具几何角度的参考系有两大类：

一类称为刀具静止参考系，它是刀具设计、绘图标注、制造刃磨及测量时用来确定切削刃、刀面空间几何角度的定位基准，用它定义的角度称为刀具的标注角度（静态角度）。

另一类称为刀具工作参考系，它是确定刀具切削刃、刀面在切削过程中相对于工件的几何位置的基准，用它定义的角度称为刀具的工作角度。

1. 刀具静止参考系与标注角度

从实质上来说，刀具的标注角度是在假定条件下的工作角度。确定标注角度的基准坐标平面有：基面、正交平面、法平面、假定工作平面、主切削平面、副切削平面及背平面。

下面以外圆车刀为例来说明刀具静止参考系及刀具标注角度的定义。

(1) 刀具静止参考系 各基准坐标平面根据 GB/T 12204—1990 的规定，刀具静止参考系各基准坐标平面的定义如下，如图 1—1 所示。

1) 基面 P_r 通过切削刃选定点的平面，它平行或垂直于刀具在制造、刃磨及测量时适合于安装或定位的一个平面或轴线。一般来说，其方位要垂直于假定的主运动方向。

2) 假定工作平面 P_f 通过切削刃选定点并垂直于基面，它平行或垂直于刀具在制造、刃磨及测量时适合于安装或定位的一个平面或轴线。一般来说，其方位要平行于假定的进给运动方向。

3) 背平面 P_p 通过切削刃选定点并垂直于基面和假定工作平面的平面。

4) 切削平面 通过切削刃选定点与切削刃相切并垂直于基面的平面。切削平面分主切削平面和副切削平面。

①主切削平面 P_s 通过主切削刃选定点与主切削刃相切并垂直于基面的平面。

②副切削平面 P'_s 通过副切削刃选定点与副切削刃相切并垂直于基面的平面。

5) 法平面 P_n 通过切削刃选定点并垂直于切削刃的平面。

6) 正交平面 通过切削刃选定点并同时垂直于基面和切削平面的平面。正交平面分主正交平面和副正交平面。

①主正交平面 P_o 通过主切削刃选定点并同时垂直于基面和主切削平面的平面。

②副正交平面 P' 。通过副切削刃选定点并同时垂直于基面和副切削平面的平面。

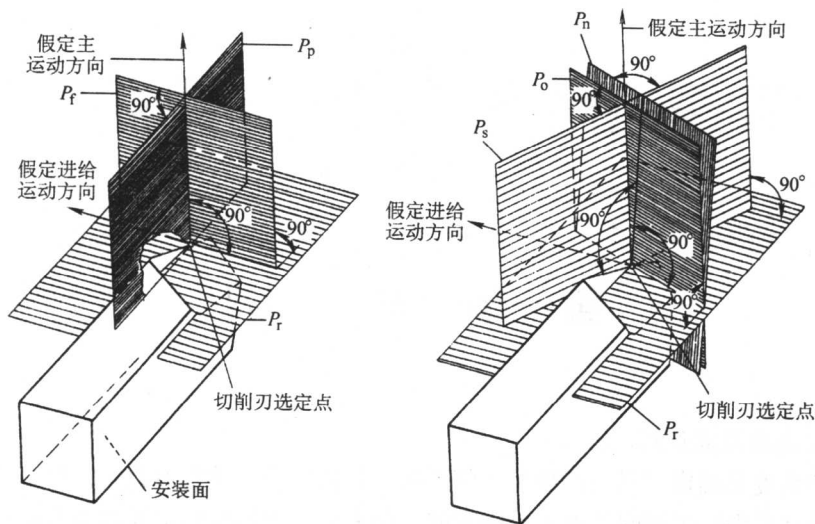


图 1—1 刀具静止参考系

(2) 车刀的几何角度 车刀切削部分共有 6 个独立的角：前角 (γ_o)、主后角 (α_o)、副后角 (α'_o)、主偏角 (κ_r)、副偏角 (κ'_r) 和刃倾角 (λ_s)。两个派生角：楔角 (β_o) 和刀尖角 (ϵ_r)。如图 1—2 所示。

1) 前角 (γ_o) 在正交平面内测量的前刀面与基面间的夹角。

前角影响刃口的锋利程度和强度，影响切削变形和切削力。前角增大能使车刀刃口锋利，减少切削变形，切削轻快，并使切屑顺利排出，负前角能增加切削刃强度并耐冲击。

2) 后角 后刀面与切削平面间的夹角。在主正交平面中测量的是主后角 α_o ；在副正交平面中测量的是副后角 α'_o 。

后角的作用是减少后刀面与工件之间的摩擦，同时影响刀头强度。

3) 主偏角 (κ_r) 在基面中测量的主切削平面与假定工作平面间的夹角。主偏角的主要作用是改变主切削刃和刀头的受力及散热情况。

4) 副偏角 (κ'_r) 在基面中测量的副切削平面与假定工作平面间的夹角。副偏角的主要作用是减少副切削刃与工件已加工表面的摩擦。

5) 刃倾角 (λ_s) 在切削平面中测量的主切削刃与基面间的夹角。刃倾角的主要作用是控制排屑方向，当刃倾角为负值时，可增加刀头的强度，在车刀受冲击时保护刀尖。

6) 楔角 (β_o) 在正交平面中测量的前刀面与主后刀面间的夹角，它影响刀头的强度。

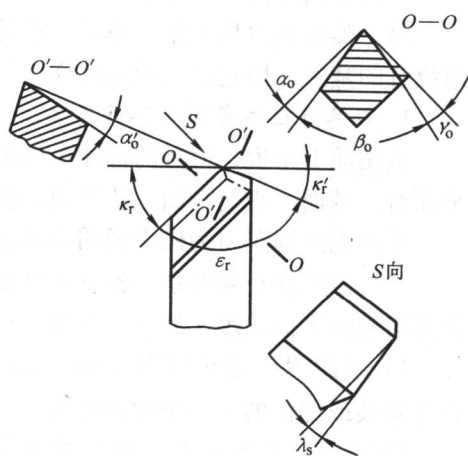


图 1—2 车刀的标注角度

楔角可用下式计算：

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

7) 刀尖角 (ϵ_r) 在基面中测量的主切削平面与副切削平面间的夹角。它影响刀尖强度和散热性能。刀尖角可用下式计算：

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-2)$$

2. 刀具工作参考系与工作角度

在实际切削过程中，由于装刀位置和切削运动的影响，这些标注角度将会发生变化，因此研究切削过程中的刀具角度，必须以刀具与工件的相对位置、相对运动为基础建立参考系，这种参考系称为工作参考系。用工作参考系定义的刀具角度称为工作角度。

根据 GB/T 12204—1990 的规定，刀具工作参考系的平面如图 1—3 所示，其部分基准坐标平面定义如下：

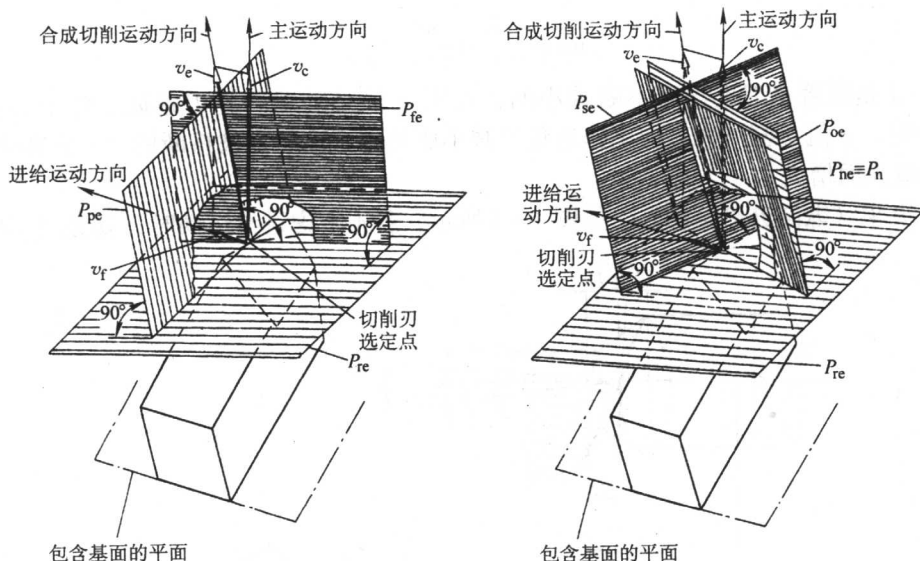


图 1—3 刀具工作参考系

(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。该平面包含合成切削速度方向。

(3) 工作正交平面 P_{oe} 通过切削刃选定点并同时与工作切削平面和工作基面相垂直的平面。

刀具工作角度的定义与标注角度类似，它是前、后刀面与工作参考系平面的夹角。工作角度的标注符号分别是： γ_{oe} 、 α_{oe} 、 α'_{oe} 、 κ_{re} 、 κ'_{re} 、 λ_{se} 。

3. 进给运动对刀具工作角度的影响

(1) 横车（横向进给运动） 如图 1—4 所示，切断

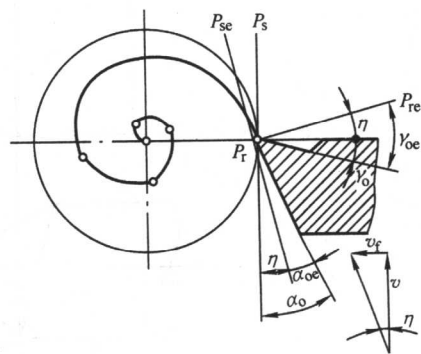


图 1—4 横向进给运动对刀具工作角度的影响

车刀在不考虑进给运动时, 车刀主切削刃选定点 (该点与工件中心等高) 相对于工件的运动轨迹为一圆周, 其切削平面 P_s 为通过切削刃上该点并切于圆周的平面, 基面 P_r 为平行于刀杆底面同时垂直于 P_s 的平面, γ_o 和 α_o 为标注前角和后角。当考虑横向进给运动后, 切削刃选定点相对于工件运动轨迹为一平面阿基米德螺旋线, 切削平面由 P_s 变为通过切削刃选定点并切于螺旋面的平面 P_{se} , 基面也相应倾斜为 P_{re} , 角度变化值为 η 。工作正交平面 P_{oe} 仍为平面。此时, 在工作参考系的平面 $P_{re} - P_{se} - P_{oe}$ 内的工作角度 γ_{oe} 和 α_{oe} 为:

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \eta \quad (1-3)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \eta \quad (1-4)$$

式中 η ——合成切削速度角, ($^\circ$)。

合成切削速度角是主运动与合成切削速度方向之间的夹角, 在车刀工作进给平面内度量。由 η 角定义可知:

$$\tan \eta = \frac{v_f}{v} = \frac{nf}{\pi nd} = \frac{f}{\pi d} \quad (1-5)$$

式中 d 是随着车刀进给而不断减小的, 说明 η 值是随着切削刃趋近工件中心而增大, 靠近中心时, η 值急剧增大。而工作后角则减小成负值, 工件是被挤断的。 η 值亦会随着进给量 f 的增大而增大。

(2) 纵车 (纵向进给运动) 如图 1—5 所示, 若不考虑进给运动时, 切削平面 P_s 垂

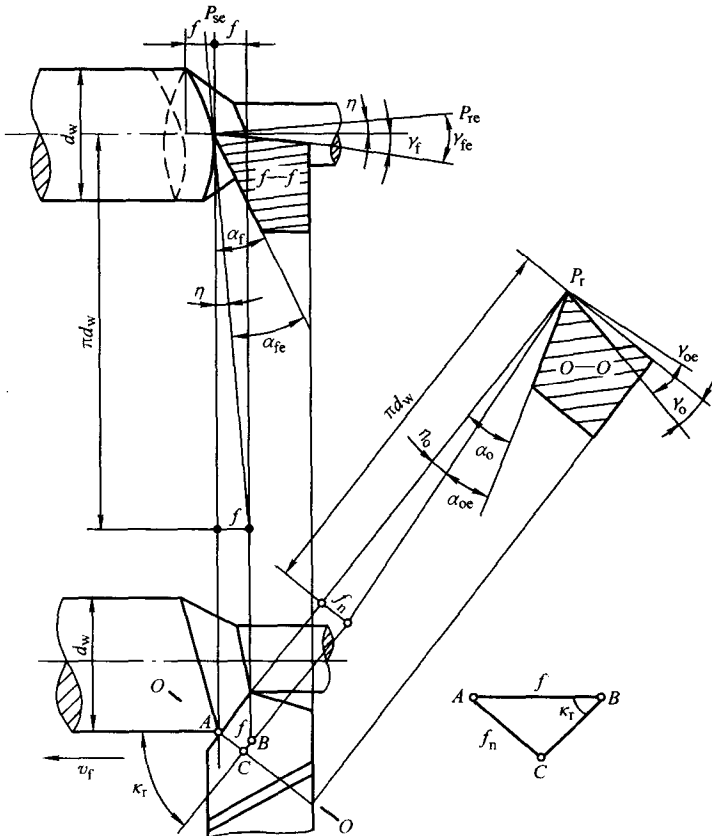


图 1—5 纵向进给运动对刀具工作角度的影响

直于刀杆底面（切削刃选定点与工件中心等高），基面 P_r 平行于刀杆底面，标注角度为 γ_o 、 α_o ；若考虑进给运动后，工作切削平面 P_{sc} 为切于螺旋面的平面，刀具工作角度的参考系（ P_{sc} 、 P_{re} ）倾斜了一个 η 角，则工作进给平面（为假定进给平面）内的工作角度为：

$$\gamma_{fe} = \gamma_f + \eta \quad (1-6)$$

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

而合成切削速度角 η 为
$$\tan \eta = \frac{f}{\pi d_w} \quad (1-8)$$

式中 d_w ——切削刃选定点处工件直径，mm。

上述角度换算至正交平面内：

$$\tan \eta_o = \tan \eta \cdot \sin \kappa_r \quad (1-9)$$

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \eta_o \quad (1-10)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \eta_o \quad (1-11)$$

由上式可知， η 值不仅与进给量 f 有关，也与工件的直径 d_w 有关， d_w 越小，角度变化值越大。实际上一般外圆车削的 η 值小于 $30' \sim 40'$ ，因此可以忽略不计，但在车削螺纹，尤其是多线螺纹时， η 值很大，必须进行工作角度的计算。

4. 刀具安装位置对工作角度的影响

(1) 纵车（纵向进给运动） 当刀尖高于工件中心线时，工作切削平面为 P_{sc} ，工作基面为 P_{re} ，如图 1—6 所示。从图中可知工作角度 γ_{pe} 增大， α_{pe} 减小，在工作背平面（ $P-P$ 为假定背平面）的角度变换值为 θ_p ，可用下式计算：

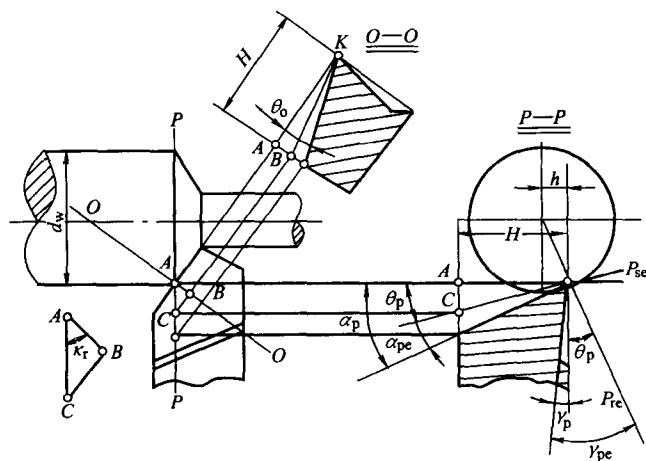


图 1—6 车刀高于工件中心对工作角度的影响

$$\sin \theta_p = \frac{2h}{d_w} \quad (1-12)$$

式中 h ——刀尖高于工件中心线的数值，mm。

则工作角度为：

$$\gamma_{pe} = \gamma_p + \theta_p \quad (1-13)$$

$$\alpha_{pe} = \alpha_p - \theta_p \quad (1-14)$$

当车刀选定点低于工件中心线时, 上述计算公式的符号相反。

将上述角度换算到工作正交平面内, 则:

$$\sin \theta_o = \tan \theta_p \cos \kappa_r \quad (1-15)$$

(2) 横车 (横向进给运动) 如图 1-7 所示, 当刀尖安装高于工件的中心线时, 车刀工作前、后角为:

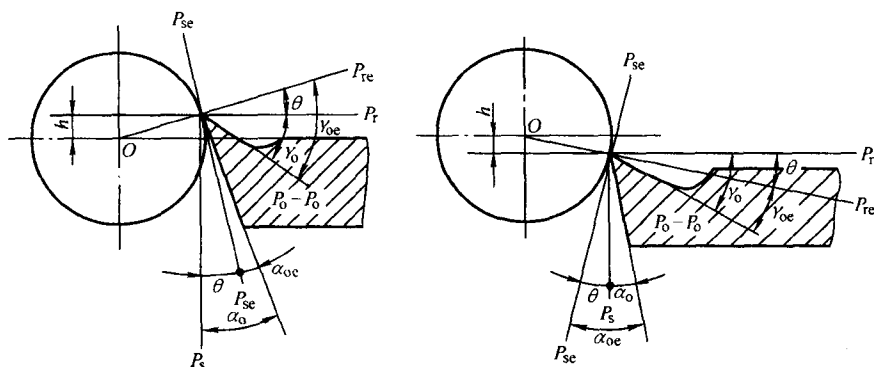


图 1-7 刀尖安装高低对前、后角的影响 ($P_o - P_o$)

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \theta \quad (1-16)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \theta \quad (1-17)$$

当刀尖安装低于工件的中心线时, 车刀工作前、后角为:

$$\gamma_{oe} = \gamma_o - \theta \quad (1-18)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o + \theta \quad (1-19)$$

(3) 刀杆中心线与进给方向不垂直时工作角度的变化 如图 1-8 所示, 车刀刀杆与进给方向不垂直, 工作主偏角 κ_{re} 和工作副偏角 κ_{re}' 都发生了变化。其变化值为:

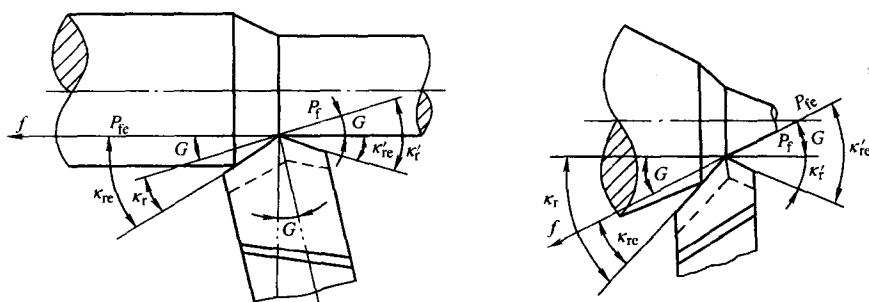


图 1-8 刀杆中心线不垂直于进给方向

$$\kappa_{re} = \kappa_r \pm G \quad (1-20)$$

$$\kappa_{re}' = \kappa_r' \mp G \quad (1-21)$$

式中 G ——假定进给平面 P_f 与工作进给平面 P_{fe} 之间的夹角 (在基面 P_r 内测量的), 也就是进给运动方向的垂直线和刀杆中心线间的夹角, ($^\circ$)。

5. 刀具几何参数的合理选用

刀具几何参数主要包括: 刀具角度、刀刃与刃口形状、前面与后面形式等。刀具合理几

何参数是指在保证加工质量和刀具寿命的前提下能达到提高生产效率，降低生产成本的刀具几何参数。在生产中由于切削条件的差别，决定了刀具几何参数的效果也不相同，因此，在掌握选择原则和方法基础上所确定的几何参数，必须经过生产实践认可或作进一步改进。

(1) 前角和前面形式选择

1) 前角 γ 。选择 增大前角，切削刃锋利，切削变形小，切削力小，切削轻快，切削温度低，刀具磨损小，加工表面质量高。但前角过大，刀具切削部分和切削刃刚度和强度差，刀具易磨损，刀具寿命低。因此前角有一最佳数值。

选择前角的原则是，在达到刀具寿命要求条件下，应选取较大前角。具体考虑以下几个方面因素：

①根据加工工件材料选择 加工塑性金属材料，前角较大；加工脆性材料，前角较小。材料的强度和硬度越高，前角越小；材料的塑性越大，前角越大。

②根据刀具材料选择 高速钢刀具材料的抗弯强度、抗冲击韧度高，可选取较大前角；硬质合金材料的抗弯强度较高速钢低，故前角较小；陶瓷刀具材料的抗弯强度是高速钢的 $1/3 \sim 1/2$ ，故选择前角应更小些。

③根据加工要求选择 粗加工时选择较小的前角；精加工时选择较大的前角；加工成形表面的刀具，选择较小的前角，这是由于前角接近 0° ，能减少刀具的刃形误差，提高工件的加工精度。

刀具前角值见表 1—1、表 1—2，供选择时参考。

表 1—1 硬质合金刀具前角值

工件材料	碳钢 σ_b /GPa				40Cr	调质 40Cr	不锈钢	高锰钢	钛和钛合金		
	≤ 0.445	≤ 0.558	≤ 0.784	≤ 0.98							
前角	20° ~ 25°	15° ~ 20°	10° ~ 15°	10°	10° ~ 20°	10° ~ 15°	15° ~ 20°	3° ~ - 3°	5° ~ 10°		
工件材料	淬硬钢					灰铸铁		铜			铝及铝合金
	38 ~ 41 HRC	44 ~ 47 HRC	50 ~ 52 HRC	54 ~ 58 HRC	60 ~ 65 HRC	≤ 220 HBS	> 220 HBS	紫铜	黄铜	青铜	
前角	0°	- 3°	- 5°	- 7°	- 10°	12°	8°	25° ~ 30°	15° ~ 25°	5° ~ 15°	25° ~ 30°

表 1—2 不同刀具材料加工钢时前角值

刀具材料 碳钢 σ_b/CPa	高速钢	硬质合金	陶瓷
≤ 0.784	25°	$12^\circ \sim 15^\circ$	10°
> 0.784	20°	10°	5°

2) 前面形式选择 虽然前角和前刀面的作用各不相同，但它们之间有着密切的关系。图 1—9 为生产中常用的几种前面形式。

①正前角平面型（图 1—9a） 形状简单，便于刃磨，能获得锋利刃口，并且重磨方便，廓形精度高，但切削刃强度较差，散热较差，主要用于精加工的车刀、加工脆性材料和有色金属材料的刀具和形状复杂成形刀具。

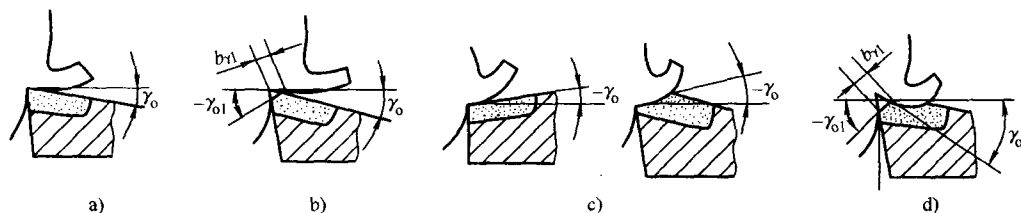


图 1—9 前面形式

a) 正前角平面型 b) 正前角带倒棱型 c) 负前角型 d) 曲面型

②正前角带倒棱型(图 1—9b) 在切削刃上磨出正或负的倒棱,倒棱宽 $b_{\gamma l}$ 、倒棱前角 γ_{ol} 。有了倒棱可提高切削刃强度、改善散热条件。由于倒棱宽度 $b_{\gamma l}$ 较小,故不影响正前角切削作用。

通常在用陶瓷刀具、硬质合金刀具进行粗加工和半精加工时,以及磨断屑槽的车刀上常磨制正或负倒棱,其参数范围为: $b_{\gamma l} = 0.1 \sim 0.6 \text{ mm}$ 。 $\gamma_{ol} = -5^\circ \sim -25^\circ$ 。

③负前角型(图 1—9c) 负前角型可制成单面型和双面型两种,负前角单面型的切削刃强度高,受力后切削刃产生压应力,切削时产生挤压作用,切削力大,易产生振动,常用于受冲击载荷刀具和高强度材料刀具。负前角双面型的刀片磨损量少,适用于前、后刀面同时磨损的刀具。

④曲面型(图 1—9d) 在前刀面上磨出一定的曲面断屑槽,起到了增大前角,改善切削条件,卷屑和断屑的目的。

(2) 后角和后刀面选择 后角的主要作用是减少后刀面与工件之间的摩擦。由于切削刃钝圆半径和切屑形成过程中的弹性、塑性变形作用,在加工表面上有一个弹性恢复层。后角越小,后刀面与工件间的摩擦加剧,使刀具磨损加大,零件表面质量变差、冷硬程度增加,尤其在切削厚度 a_c 较小时更加突出。但减小后角可使刀具强度提高,散热条件好。此外在后刀面磨损量 VB_c 相同条件下,减小后角,刀具重磨后材料损耗率小(图 1—10a、b)。后角的选择原则是:

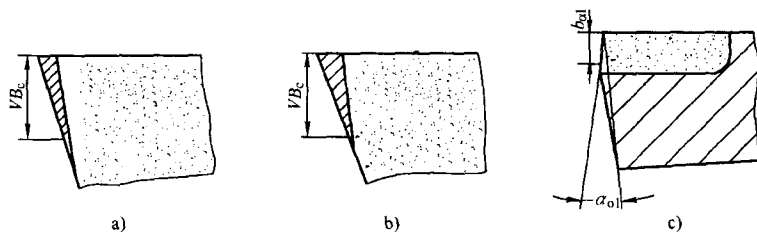


图 1—10 后角与后刀面的作用

a) α_0 小时 b) α_0 大时 c) 消振棱面

1) 粗加工时以确保刀具强度为主, $\alpha_0 = 4^\circ \sim 6^\circ$; 精加工时,以保证表面质量为主, $\alpha_0 = 8^\circ \sim 12^\circ$ 。

2) 工件材料硬度、强度较高时,为保证刀刃强度,后角应小些;工件材料塑性较大、材质较软或容易产生加工硬化时,后角应大些。

3) 尺寸精度要求较高时,为减小重磨后刀具尺寸变化,宜取较小后角。

4) 工艺系统刚性差,容易产生振动,应适当减小后角。