



国家示范性高等职业院校建设计划资助项目

机械零件加工

姜银华 张桂荣 编著



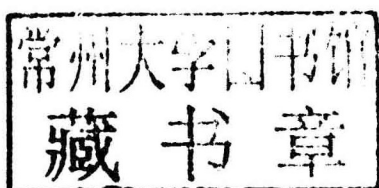
黄河出版传媒集团
阳光出版社



国家示范性高等职业院校建设计划资助项目

机械零件加工

姜银华 张桂荣 编著



图书在版编目 (CIP) 数据

机械零件加工 / 姜银华, 张桂荣编著. —银川:
阳光出版社, 2011.1 (2013.8 重印)
ISBN 978-7-80620-771-0

I. ①机… II. ①姜… ②张… III. ①机械元件
—加工—教材 IV. ①TH16
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 015048 号

机械零件加工

姜银华 张桂荣 编著

责任编辑 李媛媛
封面设计 狄多强
责任印制 郭迅生



黄河出版传媒集团 出版发行
阳光出版社

地 址 银川市北京东路 139 号出版大厦 (750001)
网 址 www.yrpubm.com
网上书店 www.hh-book.com
电子信箱 yangguang@yrpubm.com
邮购电话 0951-5044614
经 销 全国新华书店
印刷装订 宁夏捷诚彩色印务有限公司
印刷委托书号 (宁) 0015530

开 本	787mm × 1092mm	1/16	印 张	21
字 数	410 千		版 次	2011 年 1 月第 1 版
印 次	2013 年 8 月第 2 次印刷			
书 号	ISBN 978-7-80620-771-0/T·3			

定 价 39.00 元

版权所有 翻印必究

**宁夏职业技术学院国家示范性
高职院校建设项目教材编写委员会**

主 任

张怀斌 撒承贤

副主任

孔 斌

委 员

任全录 赵晓瑞 任 杰 李慧云 马锦才

詹发荣 冷晓红 徐 军 张 敏 殷正行

编委会办公室主任

孔 斌

编委会办公室副主任

任全录 吴轶勤 李 强



前言

宁夏职业技术学院于 2007 年被国家教育部、财政部确定为国家一百所示范性高等职业院校立项建设单位。项目实施以来,学院以专业建设为龙头,围绕自治区经济发展战略定位。按照“专业对接市场、课程对接能力、质量对接需求”的理念,有针对性地设置和调整专业。积极实践工学结合、校企合作人才培养模式改革和课程体系改革。以“开放、合作、包容、共赢”为原则,与区域内近二百家企业实施校企合作、人才共育。在工作过程系统化的课程体系建构和工学结合专业课程建设中,以设备、工作对象、案例、典型产品等为载体,组织教学内容,实施教学,取得了一批标志性成果。为了推广在课程建设中取得的成效,决定编辑出版部分教材和实训指导书。

特别感谢合作企业给予学校的大力支持。由于编者水平所限和时间仓促,书中难免有不妥之处,恳请业内专家和广大读者指正。

宁夏职业技术学院国家示范性
高职院校建设项目教材编写委员会
2010 年 3 月 18 日

目录

模块一 轴类零件加工	1
任务一 刀具的安装	1
任务二 工件的安装	18
任务三 阶梯轴的车削加工	55
任务四 阶梯轴的铣削加工	110
任务五 阶梯轴的磨削加工	136
任务六 普通车床主轴的加工	159
模块二 盘套类零件加工	186
任务一 套类零件加工	186
任务二 盘类零件加工	210
任务三 零件工序尺寸分析	231
模块三 箱体类零件加工	249
任务一 减速箱体的加工	249
任务二 表面质量控制	282
模块四 装配工艺分析	296
任务一 减速器装配工艺规程	296
任务二 减速器装配精度分析	310
参考文献	328
后记	329

模块一 轴类零件加工

任务一 刀具的安装

【知识点】

- 1.常用刀具材料选用。
- 2.刀具材料应具备的性能。
- 3.刀面、刀刃、参考平面、刀具几何角度。
- 4.刀具工作参考系、工作角度。
- 5.车刀的刃磨方法。
- 6.刀具几何参数的选择。

【技能点】

- 1.能够根据加工实际选用刀具材料。
- 2.刀具几何角度的识别。
- 3.熟悉车刀的装夹方法。
- 4.熟悉车刀刃磨方法。

【任务导入】

金属切削加工是指利用切削刀具从工件上切除多余材料的加工方法，其目的是使工件的加工精度和表面质量达到图样规定的技术要求。本次任务就来学习金属切削刀具材料的选用、刀具的组成及其几何参数、车刀的安装及刃磨等知识。

任何零件表面的切削加工都离不开刀具，根据其加工要求不同，需选用不同的刀具材料及刀具类型，那么，具体的刀具材料及刀具类型都有哪些呢？它们又分别应用于何种切削加工场合呢？

【任务实施】

在切削加工中，刀具直接承担着切除加工余量，形成零件表面的任务。刀具切削部分的材料不仅对加工表面质量有影响，而且对刀具寿命、切削效率和加工成本均有直接影响。在选择刀具材料时，需要考虑的因素主要包括：被加工零件的材料、切削速度和切削加工阶段，如粗加工、半精加工和精加工等，由于加工要求不同，在选用具体刀具牌号时，也应有所不同；另外，需要指出的是切削速度在很大程度上决定着刀具材料的选用。

一、刀具材料选用

(一)刀具材料应具备的性能

金属切削刀具是在极其恶劣的条件下工作的，刀具在切削过程中通常要承受较大的切削力、较高的切削温度、剧烈的摩擦及冲击振动，所以很容易造成磨损或损坏。要胜任切削加工任务，刀具材料必须具备相应的性能。

1. 足够的硬度和耐磨性

刀具材料的硬度必须高于被加工材料的硬度才能切下金属，这是刀具材料必须具备的基本性能，通常要求常温下刀具材料硬度在60HRC以上。刀具材料越硬，其耐磨性越好，但由于切削条件较复杂，材料的耐磨性还决定于它的化学成分和金相组织的稳定性。

2. 足够的强度和冲击韧性

强度是指刀具抵抗切削力的作用而不至于刀刃崩碎或刀杆折断所应具备的性能，一般用抗弯强度来表示。冲击韧性是指刀具材料在间断切削或有冲击的工作条件下保证不崩刃的能力。一般来说，硬度越高，冲击韧性越低，材料越脆。硬度和韧性是一对矛盾，也是刀具材料所应克服的一个关键问题。

3. 高的耐热性

耐热性又称红硬性，是指刀具材料在高温下保持硬度、耐磨性、强度、抗氧化、抗黏结和抗扩散的能力。耐热性是衡量刀具材料切削性能的主要指标。刀具材料的耐热性越好，高温硬度越高，允许的切削速度就越高。

常用刀具材料的耐热温度范围如下：碳素工具钢200℃～250℃，合金工具钢300℃～400℃，普通高速钢600℃～700℃，硬质合金800℃～1000℃。

4. 工艺性和经济性

为了便于刀具的制造，刀具材料还应具有良好的工艺性，如锻造、热处理及磨削加工性能等，当然在选用刀具材料时还应综合考虑经济性。目前，超硬材料及涂层刀具材料费用较高，不过其使用寿命很长，在成批生产中，分摊到

每个零件中的费用反而有所降低。因此，在选用时一定要综合考虑。

(二)常用刀具材料的选用

1. 低速切削时的刀具材料

低速切削时，选择工具钢作为刀具材料较为适宜，部分刀具常用工具钢见表1-1。

表 1-1 部分刀具常用工具钢

刀具种类	碳素工具钢	合金工具钢	高速钢
车刀、镗刀	—	—	W18Cr4V, W6Mo5Cr4V2
成形车刀	—	—	W18Cr4V, W6Mo5Cr4V2
麻花钻	—	—	W18Cr4V, W6Mo5Cr4V2
机用铰刀	—	—	W18Cr4V, W6Mo5Cr4V2
手用铰刀	T12A	9SiCr	—
拉刀	—	CrWMn	W18Cr4V
圆板牙	T12A、T10A	9SiCr	—

由表 1-1 不难看出，碳素工具钢和合金工具钢仅适合于制作手用铰刀、圆板牙等手用刀具，而手用刀具工作时的切削速度一般不会高于 10m/min。所以，在工具钢中高速钢才是机加工工具的主要材料。高速钢刀具能加工碳素结构钢、合金结构钢、铸铁等常用金属，不过，由于受材料耐热温度（普通高速钢为 600℃~700℃）的制约，对于像 W18Cr4V 和 W6Mo5Cr4V2 这样的普通高速钢，在使用时仍然必须注意切削速度的限制。切削中碳钢时，切削速度一般不能大于 30m/min。需要强调的是，由于高速钢具有良好的综合性能，目前在形状复杂刀具，如标准麻花钻、丝锥、铰刀、拉刀、成形车刀、成形铣刀、齿轮刀具的制造中，仍占有主要地位。

高速钢是一种加入了较多的钨、铬、钒、钼等合金元素的高合金工具钢，因其强度和韧性在现有刀具材料中最高，并且制造工艺简单，容易刃磨出锋利的切削刃，锻造、热处理变形小，所以有着良好的综合性能。高速钢按其用途和切削性能，可分为普通高速钢和高性能高速钢。高性能高速钢是在普通高速钢成分中添加碳、钒、钴、铝等合金元素而成，由于进一步提高了材料的耐热性，其使用寿命为普通高速钢的 1.5~3 倍，并能用于切削加工不锈钢、耐热钢、钛合金及高强度钢等难加工材料。随着粉末冶金高速钢的出现，清除了碳化物的偏析现象，大大改善了高速钢的物理、力学性能和工艺性能，特别适用于制造切削难加工材料的形状复杂的刀具。另外，高速钢的表面处理与涂层技术的采用，大大提高了刀具的耐磨性和使用寿命。

2. 高速切削时的刀具材料

高速度、高精度一直是切削加工的追求目标。硬质合金刀具材料因其具有较高的耐热性（耐热温度高达 $800^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ），较高的切削速度（为高速钢的 4~10 倍，切削中碳钢时可达 $100\text{m}/\text{min}$ 以上），在生产中得到了普遍的应用，已成为主要的刀具材料。常见的硬质合金分为 3 类，其牌号和用途见表 1-2。

表 1-2 常用硬质合金的牌号及用途

种类	牌号	相近旧牌号	主要用途
P 类 (钨钛钴类)	P30	YT5	粗加工钢料
	P10	YT15	半精加工钢料
	P01	YT30	精加工钢料
K 类 (钨钴类)	K30	YG8	粗加工铸铁、有色金属及其合金
	K20	YG6	半精加工铸铁、有色金属及其合金
	K10	YG3	精加工铸铁、有色金属及其合金
M 类 (钨钛钽钴类)	M10	YW1	半精加工、精加工难加工材料
	M20	YW2	粗加工、断续切削难加工材料

硬质合金是将高硬度、高熔点的金属碳化物粉末，用钴等金属作为黏结剂在高温下压制、烧结而成的粉末冶金制品。硬质合金的性能取决于碳化物（也称硬质相）和黏结剂（也称黏结相）的比例，碳化物的多少决定了硬质合金的硬度和耐磨性，黏结剂的多少决定了硬质合金的强度。含碳化物多，适用于精加工，含黏结剂多，适用于粗加工。

(1) P 类硬质合金

相当于我国原钨钛钴类（YT）硬质合金，主要成分为 $\text{WC}+\text{TiC}+\text{Co}$ 。常用牌号有 P01、P10、P20、P30、P40。P 类硬质合金具有较高的耐热性、较好的抗黏性、抗氧化能力，主要用于加工长切屑的黑色金属，用蓝色做标志。其中，P01 适合精加工，P10、P20 适合半精加工，P30、P40 适合粗加工。特别需要指出的是，P 类硬质合金不适宜切削含 Ti 元素的不锈钢，这是因为刀具和工件中的 Ti 元素之间的亲和作用会加剧刀具磨损。

各类硬质合金牌号中的数字越大，Co 的含量越多，韧性越好，适用于粗加工；如果碳化物的含量越多，则热硬性越高，韧性越差，适用于精加工。

(2) K 类硬质合金

相当于我国原钨钴类(YG)硬质合金, 主要成分为 WC+Co。常用牌号有 K01、K10、K20、K30、K40 等。K 类硬质合金主要用于加工短切屑的黑色金属、有色金属和非金属材料, 以及含 Ti 元素的不锈钢, 用红色做标志。

如果要求以 50m/min 的切削速度粗加工一铸铁件, 试选择恰当的刀具牌号。一般情况下, 加工铸铁零件可以选用普通高速钢或硬质合金中的 K 类作为刀具材料, 但是, 由于切削速度高于 30m/min , 故不适宜采用普通高速钢作为刀具材料, 选择硬质合金刀具材料较为合适。又因为是粗加工, 考虑到粗加工对刀具强度要求较高, 所以最终选择牌号为 K30 的硬质合金作为刀具材料。

(3) M 类硬质合金

相当于我国原钨钛钽(铌)钴类(YW)硬质合金, 主要成分为 WC+TiC+TaC(NbC)+Co。常用牌号有 M10、M20、M30、M40。M 类硬质合金主要用于加工黑色金属和有色金属, 用黄色做标志。其中, 粗加工可用 M10、半精加工可用 M20、精加工可用 M30。

(三) 其他刀具材料

随着科学技术的发展, 新的刀具材料层出不穷, 应充分重视新型刀具材料的应用。这些材料包括陶瓷、人造金刚石、立方氮化硼等。

1. 陶瓷

陶瓷是一种快速发展的刀具材料, 主要应用于高硬度材料工件的半精车、精车, 或用于低硬度、高韧性材料工件的加工。由于陶瓷材料刀具的抗弯强度和冲击韧性差, 对冲击非常敏感, 故不适用于断续切削和重切削加工。

2. 人造金刚石

人造金刚石又称为聚晶金刚石, 金刚石刀具是目前高速切削($2500 \sim 5000\text{m/min}$)铝合金较理想的刀具材料, 但由于碳对铁的亲和作用, 特别是在高温下, 金刚石能与铁发生化学反应, 因此它不适宜于切削铁及其合金工件。金刚石刀具主要适合于非铁合金的高精度加工, 现已广泛应用于制造加工高硬度、高耐磨的机械密封件的精密磨削用砂轮。近年来研制成的复合人造金刚石刀片, 则是在硬质合金基体上烧结上一层约 0.5mm 的金刚石制作而成的, 更是金刚石刀具的一种发展方向。

3. 立方氮化硼(CBN)

立方氮化硼有很高的硬度(仅次于金刚石)和耐热性($1300^\circ\text{C} \sim 1500^\circ\text{C}$), 优良的化学稳定性(远优于金刚石)、导热性和低的摩擦系数。CBN 与铁族元素亲和性很低, 所以它是高速切削黑色金属、加工淬硬钢及高温合金等难加工材料较理想的刀具材料。

二、车刀的组成及其主要角度

(一)车刀的组成

车刀由切削部分和刀柄两部分组成，如图 1-1 所示。

外圆车刀切削部分由三个刀面，两条切削刃和一个刀尖组成。

(1)前刀面：刀具上切屑流过的表面 (A_r)。

(2)后刀面：刀具上与过渡表面相对的是主后刀面 (A_α)。与已加工表面相对的是副后刀面 (A'_α)。

(3)切削刃：前刀面与主后刀面相交形成的交线称为主切削刃 (S)，它完成主要的切削工作。前刀面与副后刀面相交形成的是副切削刃 (S')，它完成部分的切削工作，并最终形成已加工表面。

(4)刀尖：主、副切削刃的连接部位。

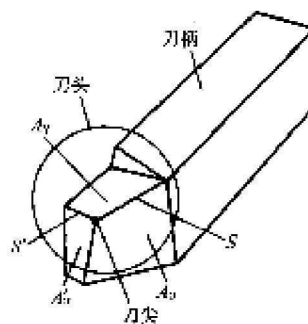


图 1-1 车刀的组成

(二)坐标平面与参考系

车刀切削部分各表面在空间倾斜相交，为了标注车刀的角度，必须建立由三个坐标平面组成的参考系。

1. 正交平面参考系

正交平面参考系的三个坐标平面为基面 P_r 、切削平面 P_s 、正交平面 P_o 。(见图 1-2)。

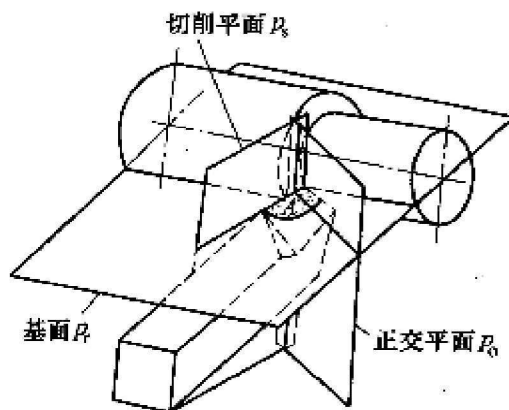


图 1-2 基面、切削平面、正交平面

(1)基面 P_r ：通过切削刃选定点的平面，它平行刀具安装的一个平面，其方位要垂直于主运动方向。

(2)切削平面 P_s ：通过切削刃上选定点，与切削刃相切并垂直于基面的平面。对于直线切削刃，它包含在切削平面中。

(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。

2. 法平面参考系

法平面参考系由基面 P_r 、切削平面 P_s 和法平面 P_n 组成。法平面 P_n 为通过切削刃上选定点垂直于切削刃的平面。法平面 P_n 与正交平面 P_o 之间的夹角为刃倾角 λ_s (见图 1-3)。

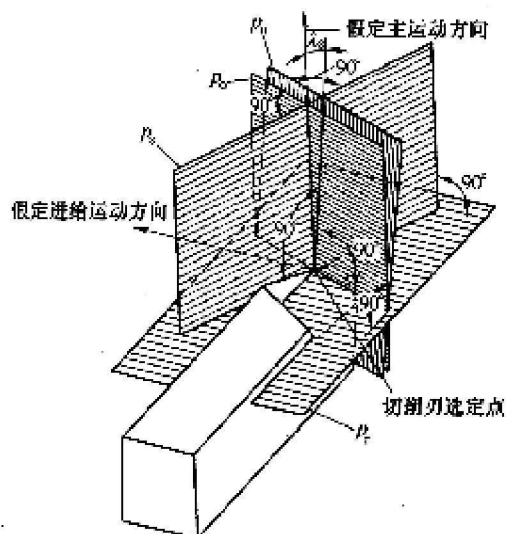


图 1-3 法平面参考系和正交平面参考系

3. 假定工作平面参考系

假定工作平面参考系由基面 P_r 、假定工作平面 P_f 和背平面 P_b 组成, 如图 1-4 所示。

(1) 假定工作平面 P_f 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 P_r 的平面。

(2) 背平面 P_b 通过切削刃上选定点垂直于假定工作平面 P_f 又垂直于基面 P_r 的平面。

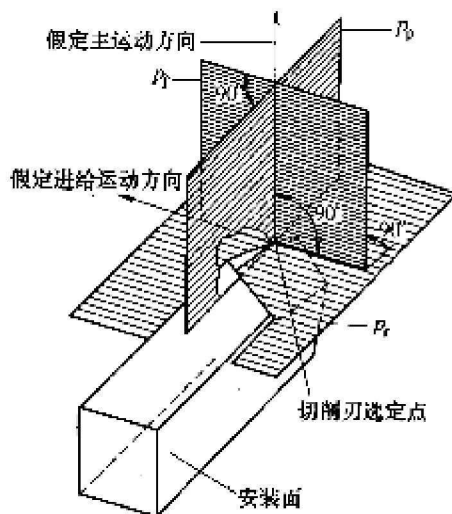


图 1-4 假定工作平面参考系的坐标平面

(三)车刀的几何角度

正交平面参考系车刀的标注角度有以下几个：

1. 前角 γ_0

γ_0 是在正交平面中测量的前面与基面之间的夹角，如图 1-5a 所示。前面与基面重合或平行时，前角为零；前面与切削平面之间夹角小于 90° 时，前角为正；大于 90° 时，前角为负。

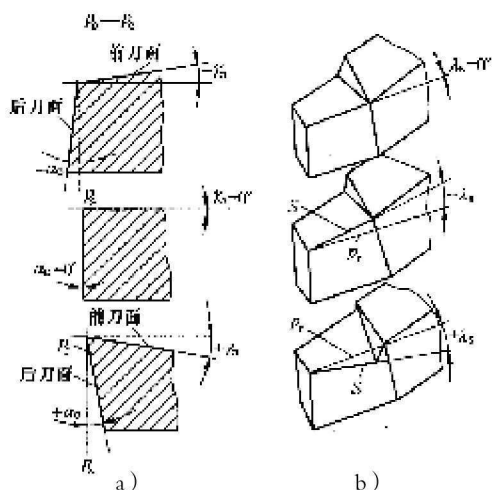


图 1-5 车刀前后角和刃倾角正、负的规定

a) 前、后角 b) 刃倾角

2. 后角 α_0

α_0 是在正交平面中测量的后面与切削平面之间的夹角（见图 1-5a）。后面与切削平面重合时，后角为零；后面与基面之间夹角小于 90° 时，后角为正；大于 90° 时，后角为负。

3. 主偏角 K_r

K_r 是在基面中测量的切削平面与假定工作平面之间的夹角（见图 1-6）。它总是正值。

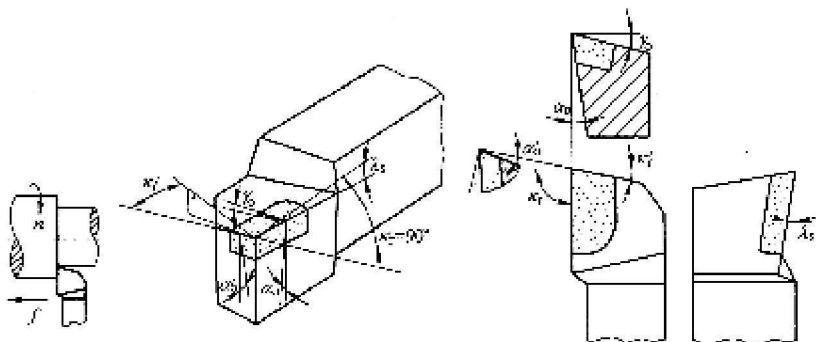


图 1-6 切外圆时偏刀的标注角度

4. 刃倾角 λ_s

λ_s 是在切削平面中测量的主切削刃与基面之间的夹角, (见图 1-5b)。主切削刃与基面重合或平行时, 刃倾角为零; 刀尖相对于车刀底面处于最高点时, 刃倾角为正; 处于最低点时, 刃倾角为负。

上述四个角度确定了车刀主切削刃及其前面、后面的方位。其中前角 γ_0 和刃倾角 λ_s 确定了前面的方位, 主偏角 K_r 和后角 α_0 确定了后面的方位, 而主偏角 K_r 和刃倾角 λ_s 确定了主切削刃的方位。这个规律简称为“一刀二面四角”。即一条切削刃由二个面 (前面和后面) 完全确定, 由四个角度 (γ_0 、 λ_s 、 K_r 、 α_0) 完全确定。

5. 副偏角 K_r'

K_r' 是在基面中测量的副切削平面 P_s' 与假定工作平面 P_f 之间的夹角, 如图 1-6 所示, 它总是正值。

6. 副后角 α_0'

α_0' 是在副正交平面中测量的副后面与副切削平面之间的夹角 (见图 1-6)。

由于车刀上主、副切削刃共用一个前刀面, 当主切削刃上的四个基本角度确定后, 副切削刃上的前角 γ_0' 、刃倾角 λ_s' 也随之确定。因此, 由主、副两条切削刃和前面、主后面以及副后面三个刀面所组成的刀具, 共有六个基本角度。

三、车刀的工作角度

(一) 工作参考系和工作角度

刀具在工作时的实际角度称为刀具的工作角度。它是用工作参考系定义的刀具角度, 而工作参考系是建立在刀具与工件相对位置、相对运动基础上的参考系。

在工作参考系中, 假定参考平面的定义类似于标注参考系, 只不过工作基面、工作切削平面等的方位发生了变化, 进而造成工作角度与标注角度的不同。刀具工作角度的定义与标注角度类似, 它是刀面、刀刃与工作参考系平面的夹角。刀具工作角度的符号是在标注角度的基础上加一个下标字母 e 。

(二) 工作角度的影响因素

1. 刀具安装误差的影响

在实际加工中, 由于安装误差的存在, 即假定安装条件不满足, 必将引起刀具角度的变化。其中, 刀尖在高度方向的安装误差将主要引起前角、后角的变化; 刀杆中心在水平面内的偏斜将主要引起主偏角、副偏角的变化。

(1) 刀尖与工件中心线不等高时

当刀尖与工件中心线等高时，切削平面与车刀底面垂直，基面与车刀底面平行。否则，将引起基面方位的变化，即工作基面（ P_{re} ）不平行于车刀底面。

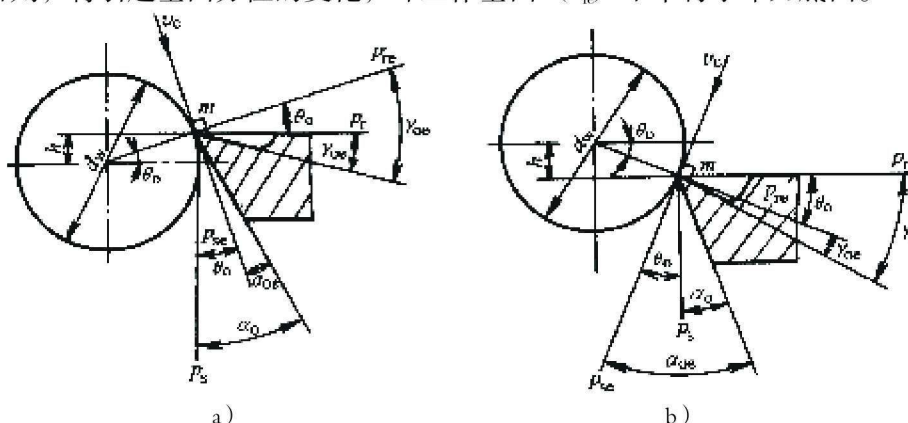


图 1-7 刀尖安装高、低时的工作角度

a) 刀尖安装高时 b) 刀尖安装低时

如图 1-7 所示，在车削外表面时当刀尖高于工件中心时，工作前角增大，工作后角减小；当刀尖低于工件中心时，工作前角减小，工作后角增大。

车削内表面时，情况与车削外表面相反。

工件直径越小，高度安装误差对工作角度的影响越明显，由 $\sin \theta_0 = 2h/d_w$ 可以看出，当刀尖高于工件中心的距离 h 较大或者工件直径 d_w 较小时（如切断工件时，切断刀接近中心时的直径），角度变化值 θ_0 较大。车刀的后角一般磨成 $6^\circ \sim 12^\circ$ ，在刀尖装高于工件中心并出现上述情况时，实际工作后角可能会变成负值。负后角车刀是不能切削的，这也是切断工件时切断刀装高而崩刃的主要原因。当然，如果刀尖低于工件中心，则将会产生振动，或者产生“扎刀”现象。

在实际生产中，也有应用这一影响（车刀装高或装低）来改变车刀实际角度的情况。例如，车削细长轴类工件时，车刀刀尖应略高于工件中心 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ ，这时刀具的工作后角稍有减小，并且当后刀面上有轻微磨损时，有一小段后角等于零的磨损面与工件接触，这样能防止振动。

(2) 车刀中心线与走刀方向不垂直时

刀具装偏，即刀具中心不垂直于工件中心，将造成主偏角和副偏角的变化。车刀中心向右偏斜，工作主偏角增大，工作副偏角减小（见图 1-8a）；车刀中心向左偏斜，工作主偏角减小，工作副偏角增大（见图 1-8c）。

车刀刀杆的装偏，改变了主偏角和副偏角的大小。对一般车削来说，少许装偏影响不是很大。但对切断加工来说，因切断刀安装不正，切断过程中就会产生轴向分力，使刀头偏向一侧，轻者会使切断面出现凹或凸形，重者会使切断刀折断，必须引起充分的重视。

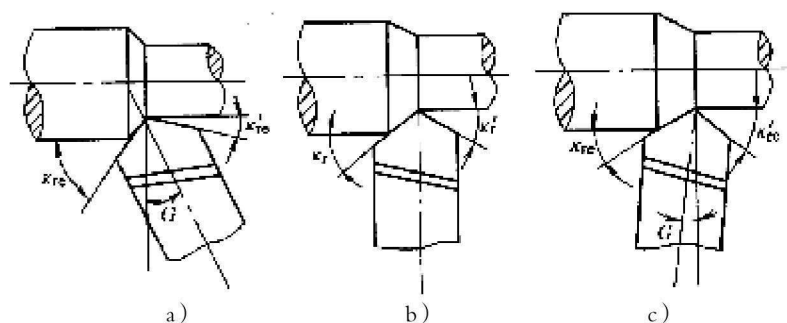


图 1-8 刀具装偏对主、副偏角的影响

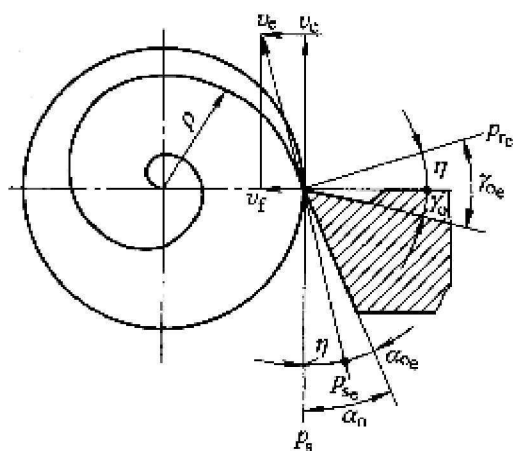


图 1-9 进给运动对工作角度的影响

2. 走刀运动的影响

由于走刀运动时车刀刀刃所形成的加工表面为阿基米德螺旋面，而切削刃上的选定点相对于工件的运动轨迹为阿基米德螺旋线，使切削平面和基面发生了倾斜，造成工作前角增大、工作后角减小，如图 1-9 所示，其角度变化值称为合成切削速度角，用符号 η 表示。

一般车削时进给量较小，进给运动引起的 η 值很小，不超过 $30' \sim 1^\circ$ ，故可忽略不计。但在进给量较大，如车削大螺距螺纹，尤其是多线螺纹时， η 值很大，可大到 15° 左右，故在设计刀具时，必须考虑 η 对工作角度的影响，从而给以适当的弥补。

无论是横车（如切断、切槽、车端面等），还是纵车（如车削外圆），车刀都会发生上述变化。

需要说明的是，横车时，由于工件直径 d 不断变小，所以工作后角急剧下降，