



高职高专机电类专业“十二五”规划教材

机械加工方法与设备

徐勇 主 编 游震洲 副主编
封士彩 主 审

AGONG
FANGFA YU SHEBEI



化学工业出版社

高职高专机电类专业“十二五”规划教材

机械加工方法与设备

徐 勇 主 编

游震洲 副主编

封士彩 主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书共分十一章,内容包括金属切削刀具基础、金属切削过程的基本规律、金属切削过程中的物理现象、金属切削理论的应用、金属切削机床的基本知识、车削加工、铣削加工、钻削和镗削加工、磨削加工、刨削、插削和拉削加工、齿轮加工等。每个章节中编排了大量的生产实践案例,淡化理论,强调实践教学,培养学生务实严谨的专业品质和职业能力。

本书供高等职业学院机械类和近机类专业师生作为教材,也可供工厂企业、科研机构的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械加工方法与设备/徐勇主编. —北京:化学工业出版社, 2013. 6

高职高专机电类专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-17160-3

I. ①机… II. ①徐… III. ①金属切削-高等职业教育-教材②金属切削-机械设备-高等职业教育-教材
IV. ①TG506②TG502

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第085787号

责任编辑:高钰

文字编辑:吴开亮

责任校对:蒋宇

装帧设计:刘丽华

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张13½ 字数334千字 2013年8月北京第1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: 26.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是根据教育部《关于以就业为导向，深化高等职业教育改革的若干意见》的精神以及高职“机械加工方法与设备”的教学计划编写的。

本书有以下几方面的特点：

先进性：随着高等职业教育的快速发展，国家出台了一系列的法律法规，推动了高等职业教育健康有序的发展。在高等职业教育大发展的同时，各个学校不断进行教学改革，重视和加强专业的内涵建设，积极鼓励和扶持具有特色、符合高职教改要求的教材建设。

实践性：本教材根据高等职业教育的改革精神，重新编排机械加工方法与设备课程的内容体系，强化实践性，突出应用性，更好地为区域经济服务。

模块化：课程体系按照模块独立成章编写，每个章节为独立的模块，不同专业可以根据具体学时选择合适的章节来进行教学。

案例化：在章节内容上，删减了复杂的理论阐述和公式推导，以知识点为主，介绍其概念、特点及用途，对一些实践性强的知识点，安排了大量的案例供课堂教学。

本书由徐勇副教授主编，游震洲副教授任副主编，宋荣讲师参编。徐勇编写第一、二、三、四、六、七、八、十一章和全部复习思考题；游震洲编写第五、九章；宋荣编写第十章。全书由常熟理工学院封士彩教授主审。

在编写过程中，得到了温州职业技术学院阀门教研室和机制教研室的大力协助，在此一并感谢。

限于编者的水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2013 年 2 月

目 录

绪论	1	第七章 铣削加工	107
第一章 金属切削刀具基础	3	第一节 铣削加工概述	107
第一节 金属切削加工的基本概念	3	第二节 铣削加工设备	111
第二节 刀具的结构和几何角度	7	第三节 X6132 型万能升降台铣床的传动系统	113
第三节 刀具的材料	11	第四节 X6132 型万能升降台铣床的典型结构	115
思考题	13	第五节 万能分度头及分度方法	118
第二章 金属切削过程的基本规律	14	第六节 铣刀种类和几何角度	124
第一节 切屑的形成过程	14	第七节 常用尖齿铣刀的结构	126
第二节 切削变形程度	15	第八节 可转位面铣刀	130
第三节 前刀面上的摩擦和积屑瘤	16	思考题	133
第四节 切屑的类型及控制	17	第八章 钻削和镗削加工	134
思考题	18	第一节 钻削加工	134
第三章 金属切削过程中的物理现象	19	第二节 镗削加工	138
第一节 切削力和切削功率	19	第三节 麻花钻	144
第二节 铣削力和铣削功率	23	第四节 深孔钻	149
第三节 钻削力和钻削功率	25	第五节 其他孔加工刀具	152
第四节 切削热和切削温度	26	思考题	155
第五节 刀具的磨损和寿命	27	第九章 磨削加工	156
第六节 铣刀和钻头的磨损	30	第一节 磨削加工概述	156
思考题	32	第二节 M1432A 型万能外圆磨床	157
第四章 金属切削理论的应用	34	第三节 其他磨床	166
第一节 工件材料的切削加工性	34	第四节 磨削砂轮	169
第二节 刀具几何参数的选择	37	第五节 磨削过程	172
第三节 切削用量的选择	37	思考题	174
第四节 铣削和钻削用量的选择	42	第十章 刨削、插削和拉削加工	175
第五节 切削液的选择	43	第一节 刨削加工	175
思考题	45	第二节 插削加工	179
第五章 金属切削机床的基本知识	47	第三节 拉削加工	180
第一节 机床的分类、型号和技术参数	47	第四节 刨削和插削刀具	183
第二节 零件表面的成形方法	63	第五节 拉削刀具	183
第三节 表面成形运动和传动链	65	思考题	187
第四节 机床的传动原理图和传动系统	67	第十一章 齿轮加工	188
思考题	70	第一节 齿轮加工概述	188
第六章 车削加工	71	第二节 滚齿加工	189
第一节 CA6140 卧式车床概述	71	第三节 插齿加工	198
第二节 CA6140 卧式车床的传动系统	73	第四节 其他齿轮加工方法	199
第三节 CA6140 卧式车床的主要机构	80	第五节 齿轮加工刀具	202
第四节 车床附件	88	思考题	207
第五节 车刀及其选用	91	参考文献	209
第六节 车削加工方法	103		
思考题	106		

绪 论

教学要求

了解金属切削加工技术发展概况。

了解金属切削加工技术的地位和作用。

掌握课程的性质、内容和学习方法。

一、金属切削加工技术概况

金属切削加工是机械制造业的主要加工方法，它是利用金属切削刀具切除被加工零件上的多余材料，使切削加工后的零件获得规定的尺寸精度和表面质量。

人类早期的活动可以追溯到新石器时代，当时人们利用石器作为工具，制造处于萌芽状态。我国在公元前的青铜器时代已经出现了金属切削的萌芽，当时的青铜刀、锯、锉等就很类似现代的金属切削刀具。春秋中晚期时，工程技术著作《考工记》中记载了木工、金工等多种专业技术知识，书中指出“材美工巧”是制成良器的必要条件。从出土文物和文献可以推测，在唐代已经有了原始车床。公元 1668 年，明代出现了畜力带动的铣磨机和脚踏刃磨机（图 0-1、图 0-2），已经能够加工直径为 2m 的天文仪器铜环，其精度和表面粗糙度均达到相当高的水平。

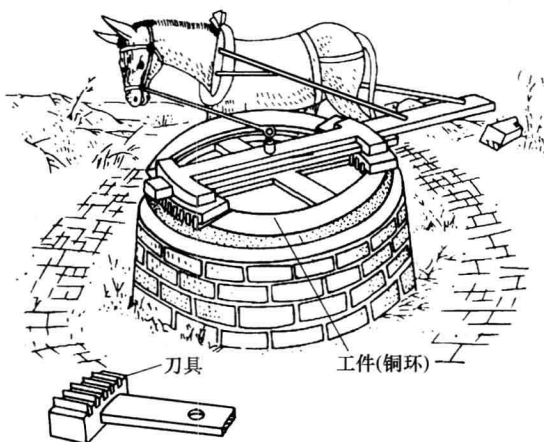


图 0-1 畜力铣磨机

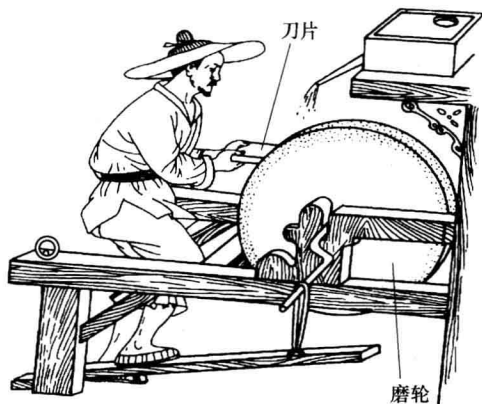


图 0-2 脚踏刃磨机磨刀片

18 世纪 60 年代，英国的 James Watt 发明了蒸汽机；1755 年 J Wilkinson 研制成加工蒸汽机汽缸的镗床；1818 年，美国的 Eli Whitney 发明了铣床。1865 年前后，各式车床、镗床、插床、齿轮机床和螺纹机床相继出现。这个阶段是机械技术和蒸汽技术的结合，产生了第一次工业革命，机械制造业开始使用机械加工机床。

社会生产力的发展对刀具的要求也越来越高，新型刀具材料不断涌现。1780~1898 年

间,碳素钢和合金工具钢作为主要的刀具材料,切削速度约为 $6\sim 12\text{m/min}$ 。1898年,美国的F W Taylor和White发明了高速合金工具钢,切削速度比工具钢提高了 $2\sim 3$ 倍。1923年,德国人研制了WC-Co硬质合金,切削速度比高速合金工具钢提高了 $2\sim 4$ 倍。1960年以后,由于高强度和高难度材料的出现,又促使许多新型刀具材料不断出现,如万能硬质合金、陶瓷、人造金刚石和立方氮化硼等。20世纪70年代,随着CVD、PVD等气相沉积涂层技术的日臻成熟,刀具材料发生了重大变革,刀具性能得到了大大提高。

自1949年新中国成立以来,我国机械加工设备和金属切削加工技术得到了飞速发展。我国能够自行研制五轴联动数控机床,发明了一些先进刀具,如群钻、玉米铣刀、高速螺纹刀等。

20世纪60年代,制造业生产方式由大批量生产开始向多品种、小批量生产方式转变,与此同时,先进制造技术不断产生,如CAD、CAM、CAPP、CAE、CE、LP、AM、RPM。

进入21世纪,金属切削加工技术正朝着高精度、高效率、自动化、柔性化和智能化的方向发展。未来的金属切削加工技术必将面临制造环境的一系列新的挑战,它将与信息技术、自动化技术、控制技术、管理技术等高新技术和理论融合,并由此推动上述技术和理论在金属切削加工技术中应用和发展。

二、金属切削加工在国民经济中的地位

在各种加工方法中,金属切削加工在机械制造业中所占比重最大,金属切削加工技术的发展水平直接影响着制造业的发达程度,更是表征一个国家综合国力的标志。金属切削机床是加工机器零件的主要设备,是加工机器的机器,又称为“工作母机”或“工具机”。目前机械制造中所用工具机中的 $80\%\sim 90\%$ 仍为金属切削机床,机械制造业中约 $40\%\sim 60\%$ 的工作量由机床完成。因此,金属切削机床是机械加工中的主要设备。

刀具是金属切削加工的执行者,没有刀具,切削就无法进行。“工欲善其事,必先利其器”说明了刀具在金属切削加工中的重要地位。

三、课程的性质、内容和学习方法

“机械加工方法与设备”是机械类专业的必修专业课,本课程主要研究金属切削加工的基本规律、金属切削加工设备的结构和工作原理、金属切削刀具的特点及选用等内容。通过学习,使学生掌握金属切削加工技术的基本知识和基本技能,培养学生解决机械加工中实际问题的能力。

课程内容包括金属切削加工基本规律、切削加工中的物理现象、金属切削理论的应用、金属切削机床的基本知识、车削加工、铣削加工、钻削和镗削加工、磨削加工、刨削和拉削加工、齿轮加工等。

“机械加工方法和设备”是一门综合性和实践性很强的课程,因此,对初学者会有一定的难度。因此,在学习过程中,不但要掌握好金属切削的基本知识和规律,而且还要密切联系生产实践,培养分析问题和解决问题的能力。

第一章 金属切削刀具基础

教学要求

掌握切削运动、切削用量和切削层参数的概念。

掌握刀具切削部分的构造和刀具角度的定义。

掌握常用刀具材料的种类和特点。

掌握选择常用刀具材料的原则和方法。

第一节 金属切削加工的基本概念

一、切削运动与工件表面

用金属切削刀具从工件上切除多余的金属,从而获得在形状、尺寸精度及表面质量上都合乎预定要求的加工称为金属切削加工。在切削加工过程中,切削运动就是工件与刀具之间的相对运动,它由金属切削机床来完成。各种切削运动都是由一些简单的直线运动和旋转运动组合而成的。切削运动按其作用可分为主运动和进给运动两种(图 1-1)。

1. 主运动

使工件与刀具产生相对运动以进行切削的基本运动。主运动的速度最高,消耗的功率最大,在切削运动中,主运动只有一个。它可以由工件完成,也可以由刀具完成;可以是旋转运动,也可以是直线运动。如车削外圆时工件的旋转运动,刨削时刨刀的直线往复运动等。主运动的速度称为切削速度,用 v_c 表示。

2. 进给运动

不断地把切削层投入切削的运动,称为进给运动。进给运动一般速度较低,消耗的功率较少,可由一个或多个运动组成。它可以是连续的,也可以是间断的。进给速度用 v_f 表示。

在主运动和进给运动同时进行的情况下,刀具切削刃上某一点相对于工件的运动称为合成运动,可用合成速度 v_e 来表示。以外圆车削为例,切削运动的合成速度 v_e 等于主运动速度 v_c 与进给速度 v_f 之和(图 1-1)。

3. 工件表面(图 1-1)

- (1) 待加工表面 工件上即将被切除的表面。
- (2) 已加工表面 工件上经刀具切削后形成的新表面。
- (3) 过渡表面 工件上正在被切削刃切削的表面。

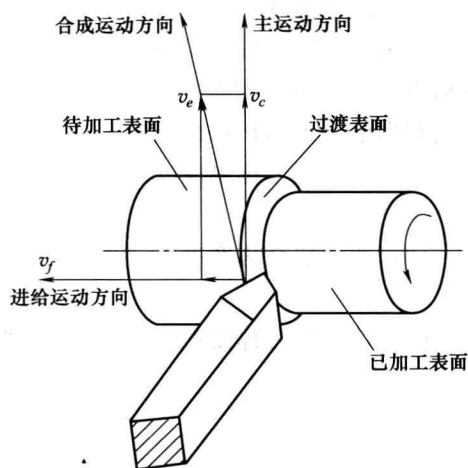


图 1-1 切削运动与工件表面

二、切削用量与切削层参数

1. 切削用量

(1) 切削速度 v_c 切削刃相对于工件的主运动速度。计算切削速度时, 应选取切削刃上速度最高的点进行计算。主运动为旋转运动时, 切削速度公式为

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000}$$

式中 d ——工件或刀具的最大直径, mm;

n ——工件或刀具的转速, r/s、r/min;

v_c ——工件或刀具的切削速度, m/s、m/min。

(2) 进给量 f 指工件或刀具每回转一周 (或往复运动一次), 二者沿进给方向上的相对位移量, 单位为 mm/r 或 mm/st。对于多齿的刀具, 用每齿进给量 f_z (mm/齿) 表示。进给运动的速度称为进给速度, 以 v_f 表示, 单位为 mm/s 或 mm/min。

$$v_f = f n = (f_z z) n$$

(3) 背吃刀量 a_p 指待加工表面和已加工表面之间的垂直距离。车外圆时

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2}$$

式中 d_w 、 d_m ——工件待加工表面和已加工表面的直径, mm。

2. 切削层参数

切削层是指工件上正在被切削刃切削的一层金属, 如图 1-2 所示。切削层参数是在与主运动方向垂直的平面内度量的截面尺寸参数。切削层参数包括切削层公称厚度、切削层公称宽度和切削层公称横截面积。

(1) 切削层公称厚度 h_D 垂直于过渡表面度量的切削层尺寸, 简称为切削厚度。

$$h_D = f \sin \kappa_r (\kappa_r \text{ 为主偏角})$$

(2) 切削层公称宽度 b_D 沿过渡表面度量的切削层尺寸, 简称为切削宽度。

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r$$

(3) 切削层公称横截面积 A_D 在切削层参数平面内度量的横截面面积。

$$A_D = h_D b_D = a_p f$$

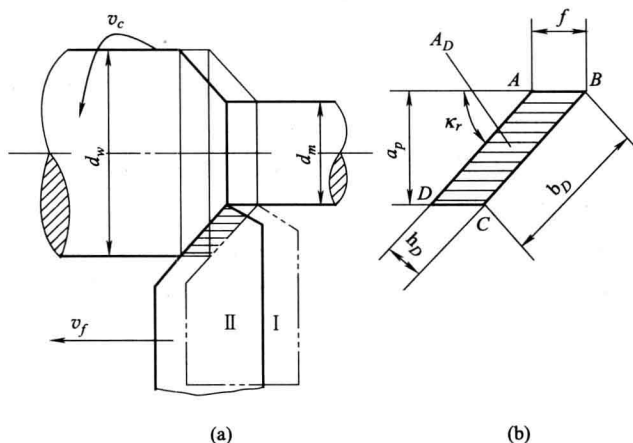


图 1-2 切削用量和切削层参数

三、铣削用量和铣削层参数

1. 铣削用量

铣削速度、进给量、背吃刀量和侧吃刀量称为铣削用量四要素（图 1-3）。

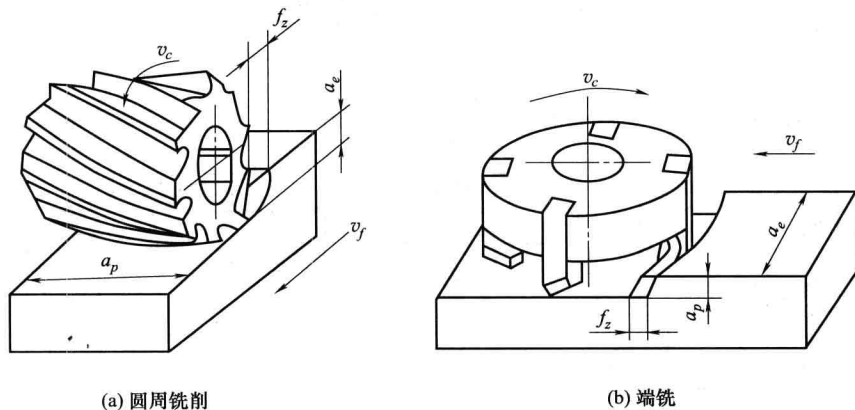


图 1-3 铣削用量要素

(1) 铣削速度 v_c 指切削刃上选定点相对工件的线速度，单位为 m/min 。铣削速度与铣刀转速之间的关系如下

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000}$$

式中 d ——铣刀直径， mm ；

n ——铣刀转速， r/min 。

铣削时，参照工艺手册，先根据工件材料、刀具材料、加工要求等因素确定铣削速度，再根据公式计算出主轴转速并选择合适的主轴转速值。

(2) 进给量

① 每齿进给量 f_z 铣刀每转过一个刀齿相对工件在进给方向上的距离，单位为 mm/齿 。

② 每转进给量 f 铣刀每旋转一转相对工件在进给方向上的距离，单位为 mm/r 。

③ 进给速度 v_f 工件在进给方向上，每分钟相对铣刀所移动的距离，单位为 mm/min 。

$$v_f = f n = f_z z n$$

(3) 背吃刀量 a_p 是在平行于铣刀轴线方向测得的被切削层尺寸。

(4) 侧吃刀量 a_e 是在垂直于铣刀轴线方向测得的被切削层尺寸。

常用铣刀的背吃刀量和侧吃刀量如图 1-4 所示。

【案例】在铣床上加工平面，已知端铣刀直径为 80mm ，铣削速度为 20m/min ，问主轴转速应调整到多少？

【解】根据公式，可得

$$n = 1000 v_c / \pi d = 1000 \times 20 / (80\pi) = 79.62 \text{ r/min}$$

查铣床主轴转速铭牌，选转速为 75 r/min 。

【案例】用直径为 $d = 20\text{mm}$ 、齿数为 $z = 3$ 的立铣刀进行铣削加工，已知 $f_z = 0.04\text{mm/齿}$ ， $v_c = 20\text{m/min}$ ，求铣床的转速 n 和进给速度 v_f 。

【解】根据题中条件和公式，可得 $n = 1000 v_c / \pi d = 1000 \times 20 / (20\pi) = 318.47 \text{ r/min}$ 。查铣床铭牌，取转速值为 300 r/min 。

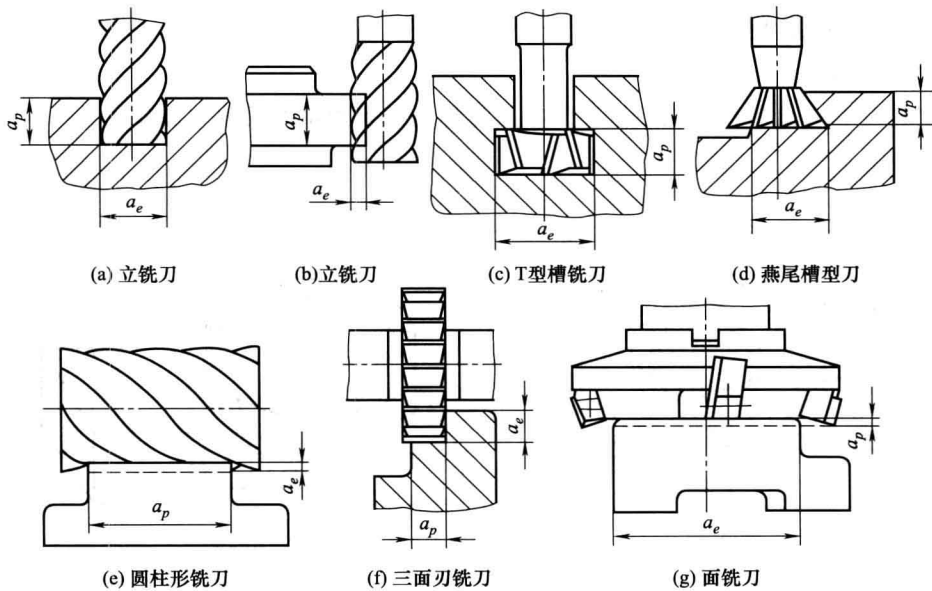


图 1-4 铣刀的背吃刀量和侧吃刀量

根据进给速度公式 $v_f = fn = f_z zn = 0.04 \times 3 \times 300 = 36 \text{ mm/min}$, 查铣床铭牌, 可取进给速度为 37.5 mm/min 。

2. 铣削层参数 (图 1-5)

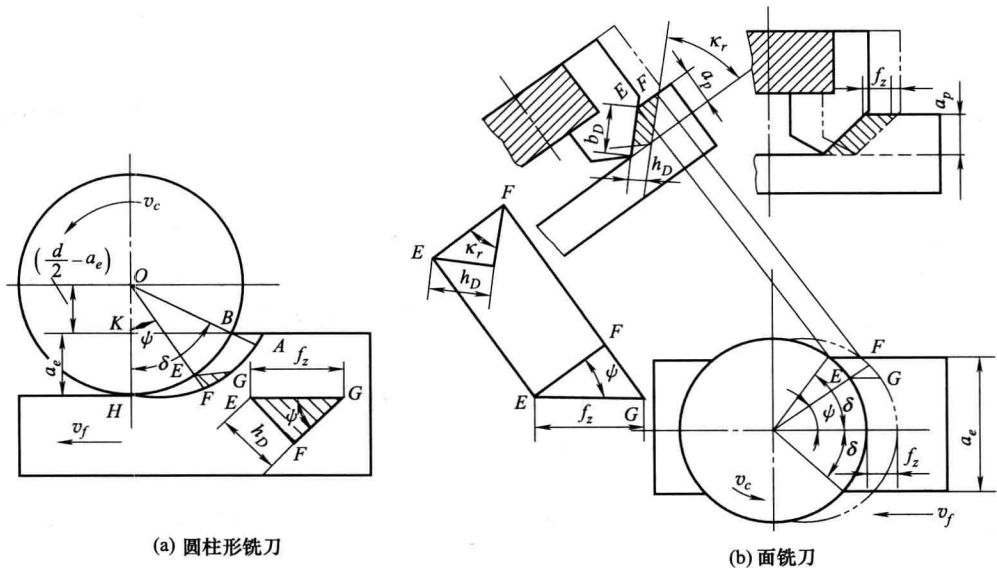


图 1-5 铣削层参数

(1) 铣削层公称厚度 (铣削厚度) h_D 指铣削时相邻两刀齿所形成的过渡表面间的垂直距离, 沿铣刀半径方向测量。周铣和端铣 h_D 是随时变化的。

直齿圆柱铣刀的切削厚度 $h_D = f_z \sin \phi$ (ϕ 为瞬时接触角); 面铣刀刀齿在任意位置时的切削厚度 $h_D = EF \cdot \sin \kappa_r = f_z \cdot \cos \phi \cdot \sin \kappa_r$ 。

(2) 铣削层公称宽度 (铣削宽度) b_D 指主铣削刃参加工作的长度。直齿圆柱铣刀的铣削宽度就等于背吃刀量, 即 $b_D = a_p$; 端铣时铣削宽度保持不变, 其值为

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r$$

(3) 总铣削层公称面积 (铣削面积) A_D 指铣刀同时参与铣削的各刀齿的铣削面积之和。铣刀每一个刀齿的铣削面积 $A_D = h_D b_D$, 铣刀的总铣削面积等于同时工作的各刀齿铣削面积之和, 由于同时工作齿数和铣削厚度、铣削宽度都在随时变化, 因此总铣削面积也是随时变化的。铣削时平均总铣削面积为

$$A_{Dav} = \frac{a_p a_e f_z z}{\pi d}$$

四、钻削用量和钻削层参数

1. 钻削用量 (图 1-6)

(1) 背吃刀量 a_p (mm)

$$a_p = \frac{d}{2}$$

(2) 钻削速度 v (m/min)

$$v = \frac{\pi d n}{1000}$$

(3) 进给速度和每刃进给量 f_z (mm/齿)

$$v_f = f n, f_z = \frac{f}{2}$$

2. 钻削层参数 (图 1-6)

(1) 钻削厚度 (mm)

$$h_D = \frac{1}{2} f \sin \phi$$

(2) 钻削宽度 (mm)

$$b_D = \frac{d}{2 \sin \phi}$$

(3) 每刃钻削层公称面积 (mm^2)

$$A_D = \frac{d f}{4}$$

(4) 材料切除率 (mm^3/min)

$$Q = \frac{\pi d^2 f n}{4}$$

【案例】 使用高速钢钻头在厚度为 50mm 的铸铁件上钻一个 $\phi 20\text{mm}$ 的通孔, 已知 $v = 0.45\text{m/s}$, $v_f = 174\text{mm/min}$, 计算钻床主轴转速 n 和进给量 f 。

【解】 根据公式 $v = \frac{\pi d n}{1000}$, 得 $n = \frac{1000 v}{\pi d} = \frac{1000 \times 0.45}{3.14 \times 20} = 7.17\text{r/s}$ 。又根据公式 $v_f = f n$, 得 $f = v_f / n = 174 / (60 \times 7.17) = 0.40\text{mm/r}$ 。

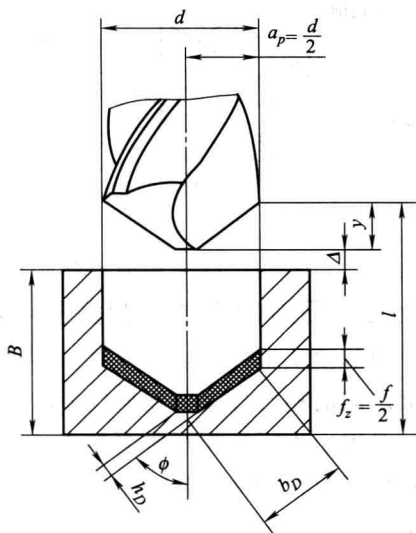


图 1-6 钻削用量与钻削层参数

第二节 刀具的结构和几何角度

一、刀具切削部分的组成

切削刀具的种类很多, 形状各异, 但它们切削部分的几何形状与几何参数具有共同的特

征——切削部分的基本形状为楔形。车刀是典型的代表，其他刀具可以视为由车刀演变或组合而成，多刃刀具的每个刀齿都相当于一把车刀。

刀具上承担切削工作的部分称为刀具的切削部分，它由六个基本结构要素组成（图 1-7）。

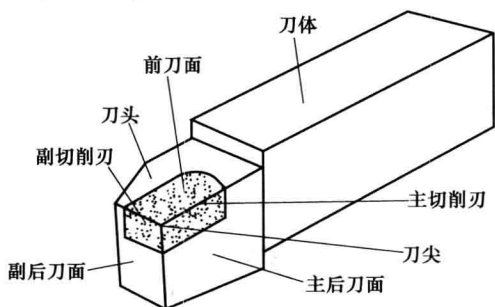


图 1-7 外圆车刀的切削部分

(1) 前刀面 刀具上切屑沿其流出的表面。

(2) 主后刀面 刀具上与工件过渡表面相对的表面。

(3) 副后刀面 刀具上与工件已加工表面相对的表面。

(4) 主切削刃 前刀面与主后刀面的交线，承担主要的切削任务。

(5) 副切削刃 前刀面与副后刀面的交线，配合主切削刃完成切削工作。

(6) 刀尖 连接主切削刃和副切削刃的一段刀刃，它可以是一段小的圆弧或直线。

二、刀具标注角度的参考平面

刀具要从工件上切除金属，必须具有一定的切削角度。切削角度决定了刀具切削部分各表面之间的相对位置。要确定和测量刀具角度，必须引入三个相互垂直的参考平面组成刀具标注角度的参考系。参考系中各平面定义如下（图 1-8）。

(1) 基面 P_r 通过主切削刃上某一点并与该点切削速度方向垂直的平面。

(2) 切削平面 P_s 通过主切削刃上某一点，与主切削刃相切并垂直于基面的平面。

(3) 正交平面 P_o 通过主切削刃上某一点，同时垂直于基面和切削平面的平面。

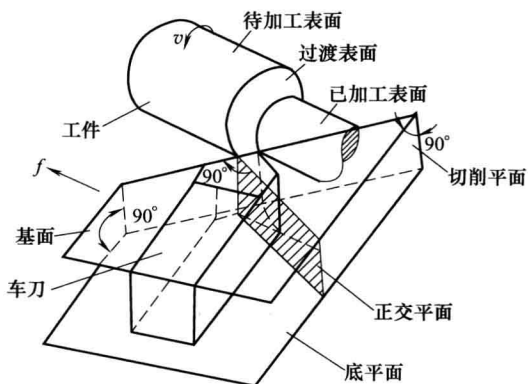


图 1-8 车刀标注角度的参考系

基面、切削平面和正交平面共同组成标注刀具角度的正交平面参考系。除此之外，

常用的刀具标注角度的参考系还有法平面参考系、背平面参考系和假定工作平面参考系。

三、刀具的标注角度

刀具的标注角度是在刀具设计图中标注的，是用于刀具制造、刃磨和测量的角度。刀具的主要标注角度有以下六个，分别定义如下（图 1-9）。

(1) 前角 γ_o 在正交平面内测量的前刀面和基面的夹角。前角表示前刀面的倾斜程度，有正、负之分，正、负规定如图所示。

(2) 后角 α_o 在正交平面内测量的主后刀面和切削平面的夹角。后角一般为正值。

(3) 主偏角 κ_r 在基面内测量的主切削刃在基面上的投影与进给运动方向的夹角。

(4) 副偏角 κ'_r 在基面内测量的副切削刃在基面上的投影与进给运动反方向的夹角。

(5) 刃倾角 λ_s 在切削平面内测量的主切削刃和基面间的夹角。有正、负之分，正、负规定如图所示。

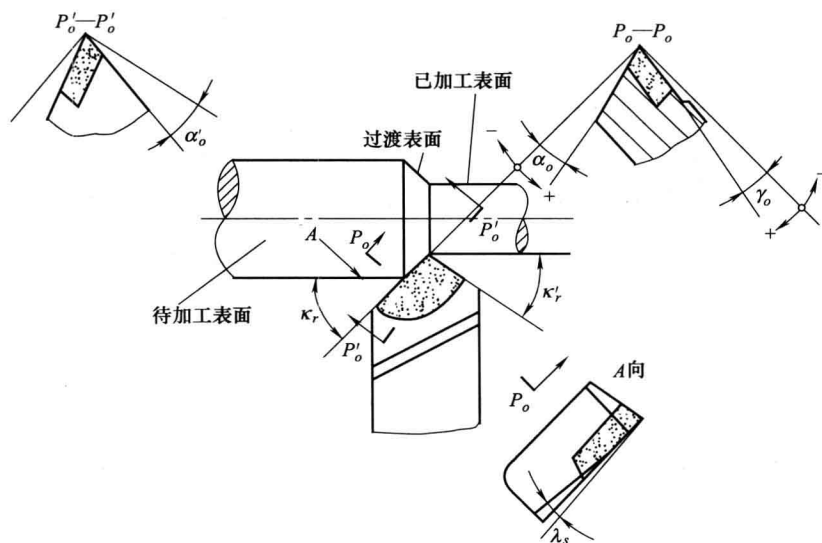


图 1-9 车刀在正交平面内的标注角度

(6) 副后角 α'_o 副后刀面与切削平面间的夹角。它确定副后刀面的空间位置。

车刀的上述六个角度是相互独立的，它们的大小会直接影响切削过程，其余角度均是派生的。各角度的推荐值可查阅相关手册。

四、刀具的工作角度

刀具的标注角度是在假设的运动条件和安装条件下确定的。如果考虑进给运动和刀具实际安装的影响，参考平面的位置应按合成切削运动方向来确定，这时的参考系称为刀具工作角度参考系。在工作角度参考系中确定的刀具角度称为刀具的工作角度，又称刀具的实际角度。刀具的工作角度反映了刀具的实际工作状态，受进给运动和安装位置的影响。

1. 刀柄偏斜对工作角度的影响

如图 1-10 所示，当刀具随刀架逆时针转动 θ 角后，工作主偏角增大，工作副偏角减小。

$$\kappa_{re} = \kappa_r + \theta, \kappa'_{re} = \kappa'_r - \theta$$

2. 刀具安装高度对工作角度的影响

车削时，刀具的安装常会出现刀刃安装高于或低于工件回转中心的情况，此时工作基面、工作切削平面相对于标注参考系产生 θ 角偏转，将引起工作前角和工作后角的变化，如图 1-11 所示。

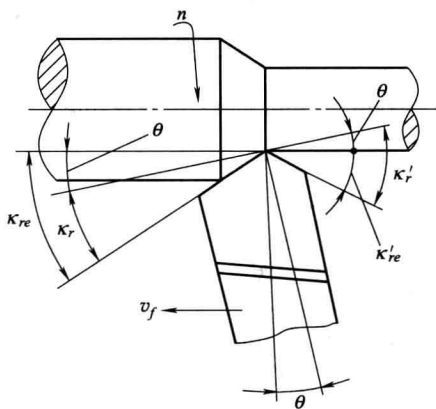


图 1-10 刀柄偏斜对工作主、副偏角的影响

$$\gamma_{oe} = \gamma_o \pm \theta, \alpha_{oe} = \alpha_o \mp \theta$$

$$\sin \theta = 2h/d_w$$

3. 刀具横向进给对工作角度的影响

车端面或切断时，车刀切削的运动轨迹为阿基米德螺线，此时的工作基面和工作切削平

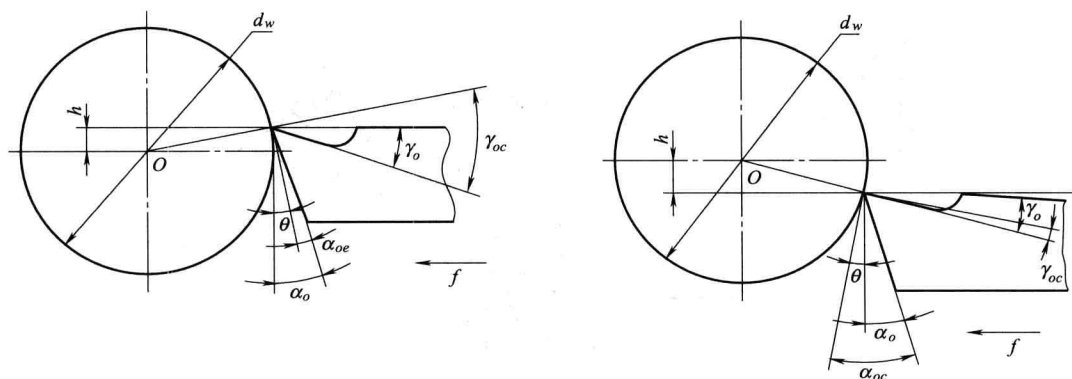


图 1-11 刀具安装高度对工作前、后角的影响

面相对于标注参考系偏转了 μ 角度，从而使车刀的工作前角和工作后角发生变化，如图 1-12 所示。

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu, \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu$$

$$\tan \mu = \frac{v_f}{v_c} = \frac{f}{\pi d_w}$$

4. 纵向进给运动对工作角度的影响

纵向进给车外圆或车螺纹时，合成运动方向与主运动方向之间的夹角为 μ_f ，这时工作基面和工作切削平面相对于标注参考系都要偏转一个附加的角度 μ ，使车刀的工作前角增大、工作后角减小，如图 1-13 所示。

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu, \alpha_{oe} = \alpha_o - \mu$$

$$\tan \mu = \tan \mu_f \sin \kappa_r = \frac{f}{\pi d_w} \sin \kappa_r$$

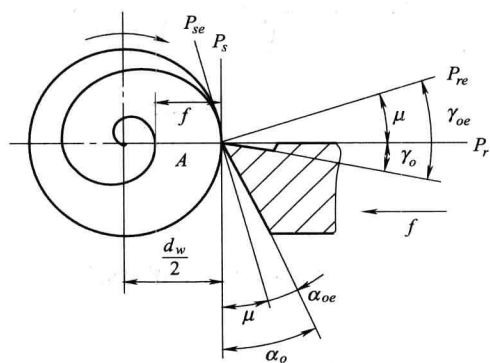


图 1-12 横向进给运动对工作前、后角的影响

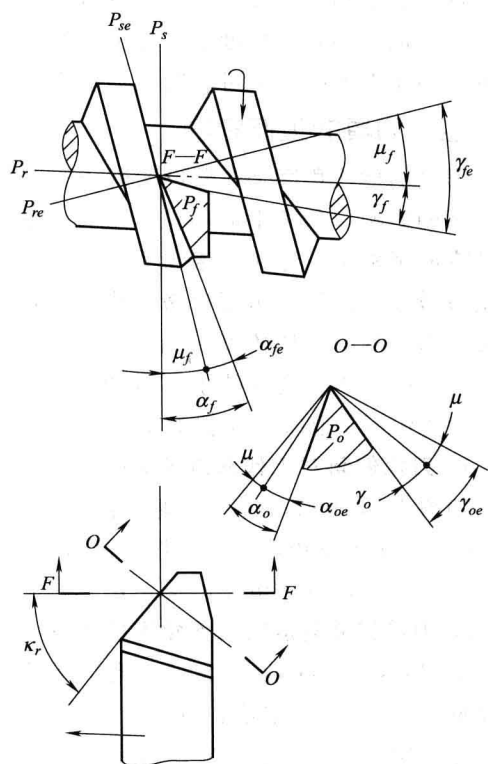


图 1-13 纵向进给运动对工作前、后角的影响

以上讨论的刀具工作角度是只考虑一个因素的影响，实际工作中刀具既有安装偏斜和高低的问题，又有进给运动的影响。此时，应综合考虑各种因素的影响，将各项按要求叠加。

第三节 刀具的材料

一、刀具材料应具备的性能

刀具切削性能的优劣取决于刀具材料、切削部分几何形状和刀具的结构。刀具材料的选择对刀具寿命、加工质量和生产效率影响极大，刀具材料应满足以下基本要求。

(1) 高硬度和高耐磨性 刀具材料的硬度必须高于工件材料的硬度，常温下刀具材料的硬度一般在 60HRC 以上。耐磨性是指材料抵抗磨损的能力，一般情况下，刀具材料的硬度越高，耐磨性越好。

(2) 足够的强度和韧性 刀具材料要承受切削时的振动，不产生崩刃和冲击，必须具有足够的强度和韧性。

(3) 高的耐热性 刀具材料在高温作用下应具有足够的硬度、耐磨性、强度和韧性。

(4) 良好的工艺性 刀具材料应具有良好的锻造性能、热处理性能和切削加工性能等，以便于刀具的制造和刃磨。

(5) 良好的经济性 经济性也是评价刀具材料切削性能的重要指标。

刀具材料的性能要求有些是相互制约的，在实际工作中应根据具体的切削对象和条件选择合适的刀具材料。

二、常用刀具材料

1. 碳素工具钢

碳素工具钢是含碳量较高的优质钢，如 T10A。碳素工具钢淬火后具有较高的硬度，价格低廉，但耐热性差，当温度高于 200℃ 时即失去原有的硬度，并且淬火时容易变形和开裂，只能用于制作一般温度下工作的工量具和模具等，如冲头、锯条、丝锥、量规、锉刀等。

2. 合金工具钢

合金工具钢是在碳素工具钢中加入少量的 Cr、W、Mn、Si 等合金元素形成的刀具材料，如 9SiCr 等。与碳素工具钢相比，其热处理变形减小，耐热性有所提高，常用于制造低速刀具，如锉刀、锯条和铰刀等。

表 1-1 常用高速钢牌号及应用范围

种类	牌号	常温硬度 HRC	抗弯强度 /GPa	冲击韧度 /(MJ·m ⁻²)	高温硬度 HRC(600℃)	主要性能和 应用范围
普通 型高 速钢	W18Cr4V (W18)	63~66	3.0~3.4	0.18~0.32	48.5	综合性能好,用于制造精加工刀具和复杂刀具,如钻头、成形车刀、拉刀和齿轮刀具等
	W6Mo5Cr4V2 (M2)	63~66	3.5~4.0	0.30~0.40	47~48	强度和韧性高于 W18,热塑性好,用于制造热成形刀具及承受冲击的刀具
高性 能高 速钢	W2Mo9Cr4VCo8 (M42)	67~69	2.7~3.8	0.23~0.30	55	硬度高,可磨性好,用于制造复杂刀具等,但价格贵
	W6Mo5Cr4V2Al (501)	67~69	2.9~3.9	0.23~0.30	55	用于制造复杂刀具,切削难加工材料

3. 高速钢

高速钢是含有较多合金元素的高合金工具钢，如 W18Cr4V 等。高速钢又称锋钢或风钢，耐热性较好，在 600℃ 仍能正常切削，许用切削速度为 30~50m/min，是碳素工具钢的 5~6 倍。高速钢的强度、韧性、工艺性都很好，广泛应用于制造中速切削及形状复杂的刀具，如麻花钻、铣刀、拉刀和齿轮刀具。常用高速钢牌号及应用范围见表 1-1。

4. 硬质合金

硬质合金是以高硬度、高熔点的金属碳化物为基体，添加 Co、Ni 等黏结剂，在高温条件下烧结而成的粉末冶金制品。硬质合金的硬度、耐磨性、耐热性都很高，切削速度远高于高速钢，能切削淬火钢等硬材料。但硬质合金抗弯强度低、脆性大，抗振动和冲击性能较差。硬质合金被广泛用于制作各种刀具，如车刀、端铣刀、深孔钻等。我国硬质合金种类主要有以下几种。

(1) 钨钴类硬质合金（YG 类） 由 WC 和 Co 组成。这类合金韧性好，适用于加工铸铁、青铜等脆性材料。常用牌号有 YG3、YG6、YG8 等，其中数字表示 Co 的质量分数。Co 的质量分数增加，硬度和耐磨性下降，抗弯强度和韧性增加。

(2) 钨钛钴类硬质合金（YT 类） 由 WC、TiC 和 Co 组成。这类合金主要用于加工钢料。常用牌号有 YT5、YT15、YT30 等，其中数字表示 TiC 的质量分数。TiC 的质量分数增加，硬度和耐磨性增加，抗弯强度和韧性下降。

(3) 通用硬质合金（YW 类） 是在 WC、TiC、Co 的基础上加入 TaC、NbC 组成的硬质合金。常用牌号有 YW1、YW2。这类合金既能加工铸铁和有色金属，又可以加工钢料，还可以加工高温合金和不锈钢等难加工材料，又称万能硬质合金。表 1-2 列出了几种常用硬质合金的牌号、性能及适用范围。

表 1-2 常用硬质合金的牌号、性能及应用范围

类型	牌号	硬度 HRA	抗弯 强度 /GPa	耐磨 性能	耐冲 击性	耐热 性能	材料	加工性质	相当的 ISO 牌号
K 类	YG3	91	1.08	↑	↓	↑	铸铁;有色金属	连续切削时的精加工和半精加工	K05
	YG6X	91	1.37				铸铁;耐热合金	精加工和半精加工	K10
	YG6	89.5	1.42				铸铁;有色金属	连续切削粗加工;间断切削半精加工	K20
	YG8	89	1.47				铸铁;有色金属	间断切削粗加工	K30
P 类	YT5	89.5	1.37	↓	↑	↓	钢	粗加工	P30
	YT14	90.5	1.25				钢	间断切削半精加工	P20
	YT15	91	1.13				钢	连续切削粗加工;间断切削半精加工	P10
M 类	YW1	92	1.28		较好	较好	难加工钢材	精加工和半精加工	M10
	YW2	91	1.47		好		难加工钢材	半精加工和粗加工	M20

国际标准化组织 ISO 把切削用硬质合金分为三类：P 类、K 类和 M 类。P 类相当于我国的 YT 类，K 类相当于我国的 YG 类、M 类相当于我国的 YW 类。

三、其他刀具材料

1. 陶瓷

用于制作刀具的陶瓷材料主要有两类：氧化铝基陶瓷和氮化硅基陶瓷。陶瓷材料比硬质