

21 世纪普通高等院校规划教材——机械类

# 机械制造 技术基础

JIXIE ZHIZAO  
JISHU JICHU

主 编 张良栋  
副主编 廖映华 赵 虎 姜 明  
主 审 张 捷

JIXIE LEI



西南交通大学出版社  
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪普通高等院校规划教材——机械类

# 机械制造技术基础

主 编 张良栋  
副主编 廖映华 赵 虎 姜 明  
主 审 张 捷

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

## 内 容 简 介

本书是在重基础、少学时、低重心、宽面向的改革思路指导下,通过对金属切削原理与刀具、金属切削机床、机床夹具设计和机械制造工艺学等课程的基本理论和基本知识的整合而编写的。全书主要内容包括:金属切削加工基本知识及基本理论、常规机械加工方法及设备、机械加工质量分析与控制、机械加工工艺规程编制、机床夹具设计和装配等内容。每章后均附有思考题与习题。

本书适合作为机械设计制造及其自动化专业或相关机械专业学生学习、掌握和了解常规机械制造基础知识的教学用书,也可作为近机类专业学生及从事机械设计制造的工程技术人员学习参考用书。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础 / 张良栋主编. —成都:西南交通大学出版社, 2009.9

21世纪普通高等院校规划教材. 机械类  
ISBN 978-7-5643-0422-5

I. 机… II. 张… III. 机械制造工艺—高等学校—教材  
IV. TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第156858号

---

21世纪普通高等院校规划教材——机械类

### 机械制造技术基础

主编 张良栋

\*

责任编辑 李芳芳

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

(成都市二环路北一段111号 邮政编码:610031 发行部电话:028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

\*

成品尺寸:185 mm×260 mm 印张:20.75

字数:518千字 印数:1—3 000册

2009年9月第1版 2009年9月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-0422-5

定价:34.50元

图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562



# 西南交通大学出版社

西南交通大学出版社是 1985 年 8 月成立的大学出版社，同时拥有图书、音像制品和电子出版物的出版权。

西南交通大学出版社始终遵循党的出版方针，把握正确的出版导向，坚持“诚信、质量、创新、服务”的办社理念，以传播科技信息、促进学术交流、推广科技成果、普及科学知识为己任，面向全国各类本科院校、高职高专、中等职业学校及全社会，出版以工、理、管、经、文、农为主的各种教材、教学参考书、学术专著、科普读物及国外先进科学技术译著等。同时还配合本版图书，出版音像制品和电子出版物。

西南交通大学是教育部直属的具有 110 余年历史的全国重点大学，为我国的交通运输事业培养了数十万计的工程建设人才。长期以来，西南交通大学出版社依托学校在交通运输工程、土木工程、铁道工程、电气工程、机械工程、信息与通信工程、材料科学与工程、环境科学与工程、地质资源与地质工程、超导磁浮、经济管理、人文社会科学等领域的学科优势、人才优势以及教育资源优势，将这些优势转化成出版资源，形成了我社图书以理工类见长的特色。特别是结合我们的专业优势以及国民经济建设和发展的重点而组织出版的一系列学术著作，被列入“十五”、“十一五”国家级重点图书，几十种教材被教育部列入“十一五”国家级规划教材。已形成规模的重点本科、应用型本科、高职高专、中等职业教育系列教材根据课程改革和新的专业设置正在不断地补充和完善。

建社 20 余年来，我社有 500 多种图书获全国、铁道部、教育部、西南地区、四川省的优秀图书奖，并有多种图书被评为全国优秀畅销书。

西南交通大学出版社向社会承诺“诚信为本，质量为先”，一次真诚的合作，将成为永远的朋友！

地址：四川省成都市二环路北一段 111 号

发行科联系电话：028-87600533 87600564 87600502 (FAX)

总编室联系电话：028-87600562

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: [swjtucbsfx@163.com](mailto:swjtucbsfx@163.com)

[Cbsxx@swjtu.edu.cn](mailto:Cbsxx@swjtu.edu.cn)

书名	定价	作者	书号
<b>国家示范性高等职业院校核心课程“十一五”规划教材——机械工程类</b>			
数控设备调试与维护	18.00	何 龙	978-7-81104-379-3
数控加工技术	25.00	颜 伟	978-7-81104-509-3
机械制造基础	34.50	颜 伟	978-7-81104-873-5
数控编程与加工	26.00	颜 伟	978-7-81104-883-4
数控加工实训教程	30.00	廖慧勇	978-7-81104-510-9
数控车编程与操作	38.00	缪开个	978-7-5643-0288-7
Mastercam X 基础及实例教程	28.00	李世蓉	978-7-81104-990-9
机械加工基础	24.00	胡兆国	978-7-81104-556-7
机械设计基础	29.80	王 健	978-7-81104-507-9
机械设计基础实训	22.00	陈思义	978-7-81104-593-2
液压与气压传动	25.00	袁晓东	978-7-81104-971-8

### 21 世纪高等职业技术教育规划教材——机电类

机车新技术概论	19.80	李晓村	7-81104-316-5
机械设计基础	35.00	徐汇音	7-81104-352-1
机械制图与计算机绘图	29.80	邵剑平	7-81104-353-X
机械制图习题集	16.00	邵剑平	7-81104-366-1
光电技术基础	24.00	唐剑兵	7-81104-349-1
机械制造基础	28.00	李雪芳	978-7-81104-522-2
机械制造技术	33.00	连苏宁	978-7-81104-456-0
机械制造技术基础	28.00	郭晋荣	978-7-81057-706-9
液压与气动技术	29.80	郭晋荣	978-7-81104-524-6
检测及传感技术	22.00	赵建英	978-7-81104-525-3
机电设备控制技术	28.00	李益民	978-7-81104-526-0
实用电工电子技术（机械工程类）	29.80	徐生明	978-7-81104-902-2
机械设计基础	18.00	陈 岚	978-7-81104-488-1
机械设计基础习题集	12.00	郑立新	978-7-81104-631-1
机械制图	29.80	梁国高	978-7-81104-640-3
机械制图习题集	19.80	梁国高	978-7-81104-641-0

### 21 世纪中等职业教育“2+1”模式规划教材

工程力学	18.00	李培虎	978-7-81104-802-5
金属工艺学	19.80	李雪芳	978-7-5643-0002-9
机械基础	20.00	祖国庆	978-7-81104-856-8
机械制造技术基础	19.20	郭晋荣	978-7-81057-706-9
电子技术基础	13.00	丁卫民	978-7-5643-0026-5
电工技术基础	14.50	丁卫民	978-7-5643-0028-9
机械制图	22.00	高伟卫	978-7-81104-865-0
机械制图习题集	16.00	高伟卫	978-7-5643-0027-2
实用语文	28.80	刘雪梅	978-7-81104-898-8

# 前 言

“机械制造技术基础”是在全国高等教育专业目录合并以后，全国机械类专业教学指导委员会于1998年在黄山会议上制订的新的指导性专业培养计划中所推荐的工科机械类各专业必修的一门专业技术基础课程。它由“金属切削原理及刀具”、“金属切削机床”、“机械制造工艺学”、“机床夹具设计”四门课程整合而成。整合后，其总学时由300左右大幅缩减到60~80学时。

本书将机械类专业所需的金属切削原理及刀具、机床概论、机床夹具设计、机械制造工艺学等专业知识有机地结合起来，以一种新的体系进行编写，使之更适应现代机械类专业的需求。将机械制造中的一些相关内容（如精密与特种加工及先进制造技术等）纳入其他相关课程中进行讲述，并对内容进行了相应的精简。在整个教材编写过程中，尽力发挥教育理论与教育思想的指导作用，将编者的教学经验和教学成果，以及其他高校的教学改革思想和成果融入该教材的编写之中，在课程内容方面进行优化，既贯彻了“必需、够用”的原则，满足加强实践环节的教学、压缩理论教学学时的要求，又突出了“淡化理论、够用为度、培养技能、重在应用”的特点，还要适应培养综合性技术人才、拓展就业门路的需要，教材内容安排上必须既精简又全面，既适合教学又方便自学，使教师可根据机械类不同专业的培养目标灵活选择讲授内容，同时也可培养锻炼学生的自学能力。

本教材建议理论教学为60~80学时，使用院校可根据具体情况增减。书中部分内容可供学生自学。为了便于教学，每章后均附有思考题与习题。

本书由四川理工学院张良栋、廖映华、赵虎、姜明、李志荣、赵献丹和孙祥国等编写。其中，第1、2章由廖映华编写；第3章由张良栋、赵献丹编写；第4章由张良栋编写；第5章由赵虎、孙祥国编写；第6章由姜明编写；第7章由李志荣编写。本书由张良栋任主编，廖映华、赵虎和姜明任副主编。全书由张良栋、廖映华负责统稿，四川理工学院张捷担任主审。

本书为高等院校机械类各专业本科教材，除可供本专业师生使用外，还可供近机类专业师生使用，也可作为相关技术人员、工人的学习参考用书。

在本书编写过程中，得到了西南交通大学、四川理工学院相关部门的大力支持，在此表示感谢！由于编者水平有限，书中疏漏和不足在所难免，敬请广大读者和专家批评指正。

编 者

2009年8月

# 目 录

<b>第 1 章 金属切削加工的基础知识</b> .....	1
1.1 工件表面的形成方法及所需的成形运动 .....	1
1.2 切削运动与切削用量 .....	3
1.3 刀具材料及刀具角度 .....	5
1.4 切削层参数 .....	16
1.5 切削方式 .....	17
思考题与习题 .....	18
<b>第 2 章 金属切削过程</b> .....	19
2.1 金属切削过程的基本规律 .....	19
2.2 金属切削过程的控制 .....	46
2.3 磨削原理 .....	63
思考题与习题 .....	65
<b>第 3 章 金属切削机床与刀具</b> .....	67
3.1 金属切削机床的分类与型号编制 .....	67
3.2 机床的传动 .....	70
3.3 车床及车刀 .....	73
3.4 孔加工机床及刀具 .....	85
3.5 刨床与插床 .....	94
3.6 铣床与铣刀 .....	97
3.7 磨床与砂轮 .....	103
3.8 齿轮加工机床及齿轮刀具 .....	114
3.9 组合机床、数控机床简介 .....	126
思考题与习题 .....	130
<b>第 4 章 机械加工质量及控制</b> .....	132
4.1 机械加工精度 .....	132
4.2 机械加工表面质量 .....	162
思考题与习题 .....	174

<b>第 5 章 机械加工工艺规程的制订</b> .....	175
5.1 机械加工工艺过程概述 .....	175
5.2 零件的结构工艺性分析及毛坯的选择 .....	181
5.3 机械加工工艺路线的制订 .....	185
5.4 加工余量、工序尺寸及其公差的确 定 .....	200
5.5 计算机辅助工艺规程设计 .....	214
5.6 生产率与经济性分析 .....	217
思考题与习题 .....	223
<b>第 6 章 机床夹具设计基础</b> .....	227
6.1 机床夹具概述 .....	227
6.2 工件在夹具中的定位 .....	232
6.3 定位误差的分析和计算 .....	250
6.4 工件在夹具中的夹紧 .....	258
6.5 机床夹具设计 .....	275
思考题与习题 .....	292
<b>第 7 章 装配工艺规程的制订</b> .....	295
7.1 装配工艺规程概述 .....	295
7.2 装配尺寸链 .....	297
7.3 保证装配精度的方法 .....	307
7.4 装配工艺规程制订 .....	321
思考题与习题 .....	325
<b>参考文献</b> .....	326



# 第1章 金属切削加工的基础知识

金属切削加工是指通过金属切削刀具和工件之间有规律的相对运动，由金属切削刀具将工件上多余（或预留）的金属切除下来，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。在金属切削加工过程中有两个基本要素：表面成形运动和刀具。表面成形运动即刀具与工件之间的相对运动，又称为切削运动，它一般由金属切削机床来完成。

常用的金属切削加工方法有：车削、铣削、刨削、磨削、钻削、镗削、拉削等。

## 1.1 工件表面的形成方法及所需的成形运动

任何零件的表面都可以看做由若干个基本表面按照一定的关系组合而成。如图 1.1 所示，机器零件上常用的典型表面有：平面、圆柱面、圆锥面和各种成形表面。

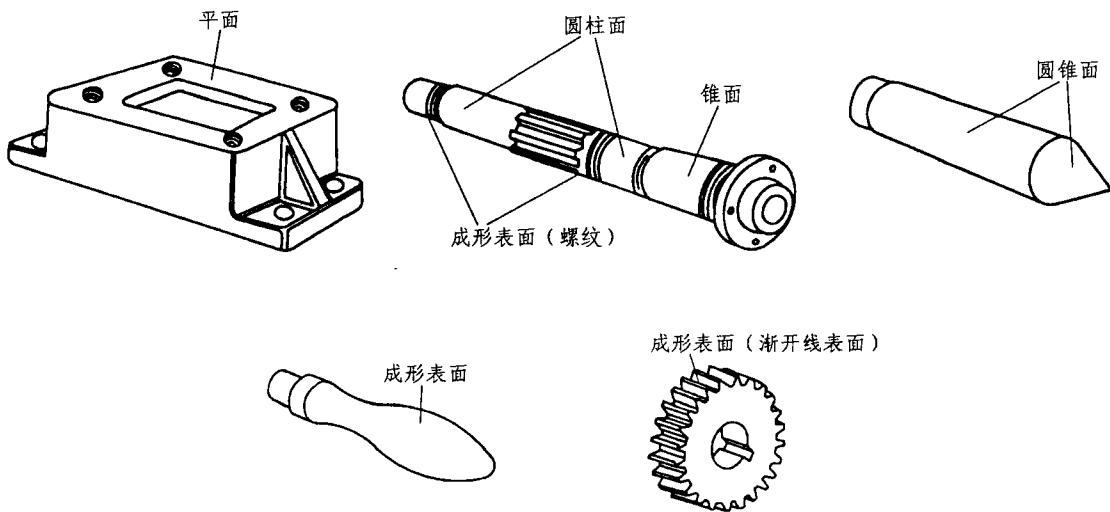


图 1.1 机器零件上常用的典型表面

各种典型表面都可以看做是一条线（母线）沿着一条线（导线）运动而成，母线和导线统称为发生线。一些典型表面的形成过程如图 1.2 所示。

切削加工中发生线是由刀具的切削刃与工件的相对运动得到的。根据刀具切削刃形状和采用方法的不同，发生线形成的方法成形法、轨迹法、展成法和相切法，如图 1.3 所示。

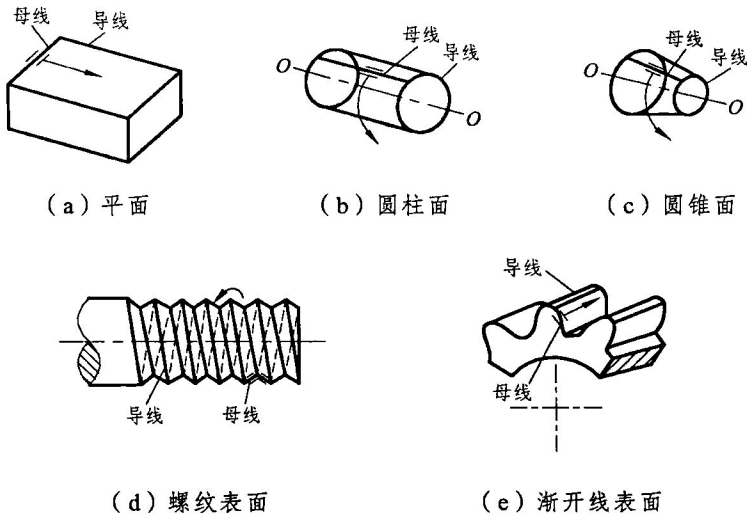


图 1.2 常用典型表面的成形过程

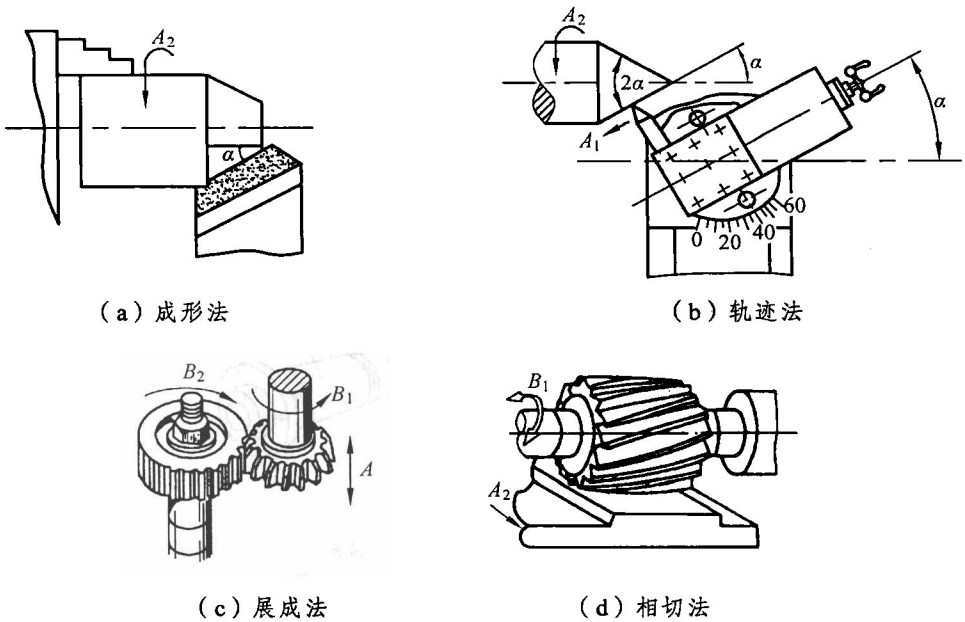


图 1.3 形成发生线的方法

1) 成形法

在采用成形刀具对工件进行加工时，发生线由刀具切削刃直接形成，而不需成形运动，这种发生线形成方法称为成形法。如图 1.3 (a) 所示，采用宽刀法车削外圆锥面时，母线是由成形车刀的切削刃直接形成，而圆导线通过工件的旋转运动  $A_2$  由轨迹法形成。

2) 轨迹法

利用刀具对工件进行加工时，发生线由刀具切削刃与被加工工件加工表面间的接触点，按给定的规律作轨迹运动形成，这种发生线形成方法称为轨迹法。如图 1.3 (b) 所示，采用

小刀架转位法车削外圆表面时,母线是由车刀切削刃与加工表面的接触点,沿  $A_1$  方向的直线运动轨迹形成,而导线是由沿  $A_2$  方向的旋转运动轨迹形成的。

### 3) 展成法

在插齿、滚齿加工时,发生线由刀具和工件作展成运动(即刀具和工件之间的无滑动的纯滚动)来形成,这种发生线形成方法称为展成法。如图 1.3 (c) 所示,采用插齿法加工直齿圆柱齿轮,插齿刀沿  $A$  方向的直线运动轨迹形成母线,而由插齿刀的旋转运动  $B_1$  和工件的旋转运动  $B_2$  共同完成的展成运动形成所需渐开线导线。

注意:构成展成运动的两个成形运动之间必须有严格的速比关系,即必须保证刀具与工件之间作纯滚动。

### 4) 相切法

采用铣刀、砂轮等旋转刀具对工件进行加工时,发生线由刀具边旋转边作轨迹运动形成,这种发生线形成方法称为相切法。如图 1.3 (d) 所示,采用圆柱铣刀铣削平面时,在刀具的端剖面上,切削刃为旋转刀具上的切削点,该点绕刀具轴线作旋转运动  $B_1$ ,同时工件按  $A_2$  方向运动,这时切削点运动轨迹的包络线即为所需的发生线。采用相切法形成发生线时,需要两个相对独立的成形运动,即刀具的旋转运动和工件的直线规律运动。

母线和导线是形成零件表面的两条发生线,它们的形成方法可以不同。形成表面所需的成形运动,是形成其母线及导线所需的成形运动的总和。机床必须具备这些成形运动,才能加工出所需的零件表面。

## 1.2 切削运动与切削用量

### 1.2.1 切削运动

切削运动是指为实现切削加工所必需的切削刀具与工件之间的相对运动,即形成表面所需的成形运动。根据在切削过程中所起的作用不同,切削运动可分为主运动和进给运动两种。

#### 1) 主运动

主运动是指机床或人力提供的刀具和工件之间产生的最主要的相对运动。它促使刀具切削刃及与其毗邻的刀面切入工件材料,使切削层金属变成切屑,从而形成新鲜表面。在切削加工中,通常主运动消耗机床功率最多,速度较高,并且主运动只能有一个。

#### 2) 进给运动

由机床或人力提供的,使主运动能够继续切除工件上多余材料,以形成所需几何特性的已加工表面的运动称为进给运动。在切削加工中,进给运动消耗机床功率少,速度较低,且进给运动可以有一个或多个。

由图 1.4 可知,主运动和进给运动可以是直线运动,也可以是旋转运动;可以由刀具提供,也可以由工件提供。

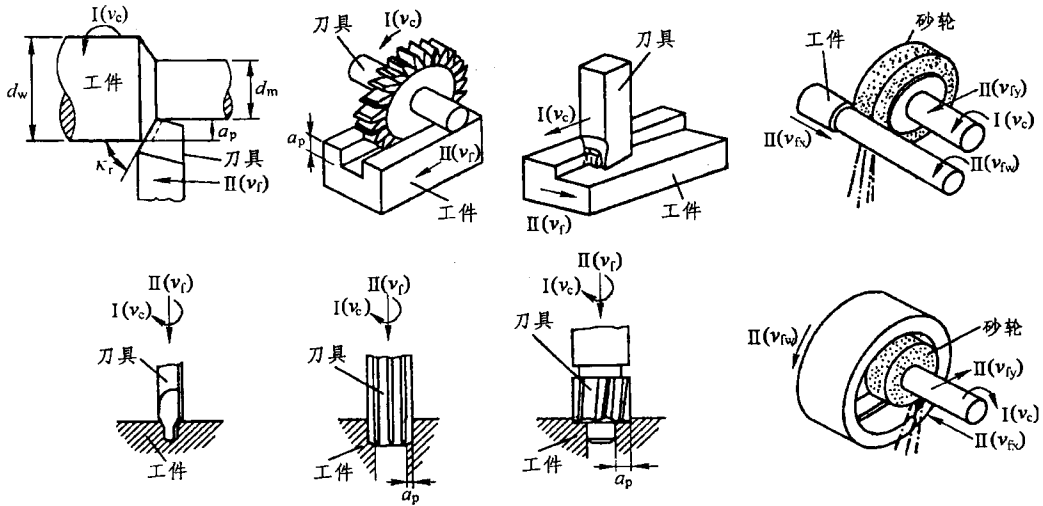


图 1.4 各种加工方法的切削运动及切削用量

## 1.2.2 切削用量

切削用量是指切削过程中的切削速度  $v_c$ 、进给量  $f$  (进给速度  $v_f$ )、背吃刀量  $a_p$ ，俗称切削用量三要素。切削用量的大小与生产力、加工质量及经济性有密切关系。

### 1. 切削速度 $v_c$

切削速度是指切削刃选定点相对于工件的主运动的瞬时速度，单位为  $\text{m/s}$ 。

当主运动为旋转运动 (如铣削、车削) 时，切削速度为刀具或工件最大直径处的线速度，即

$$v_c = \frac{\pi d_w n}{60 \times 1000} \quad (\text{m/s}) \quad (1.1)$$

式中  $d_w$ ——完成主运动的刀具或者工件的最大直径 ( $\text{mm}$ )；

$n$ ——主运动的转速 ( $\text{r/min}$ )。

当主运动为往复运动 (如刨削) 时，则切削速度为往复运动的平均速度，即

$$v_c = \frac{2Ln_f}{60 \times 1000} \quad (\text{m/s}) \quad (1.2)$$

式中  $L$ ——往复运动的行程长度 ( $\text{mm}$ )；

$n_f$ ——主运动每分钟的往复次数 ( $\text{次/min}$ )。

### 2. 进给量 $f$

表示进给运动速度大小的方法有三种，即进给速度  $v_f$ 、进给量  $f$ 、每齿进给量  $f_z$ 。

进给速度  $v_f$  是指切削刃上选定点相对于工件的瞬时进给运动速度，单位为  $\text{mm/s}$ 。

进给量  $f$  是指主运动每转一转，或一个双行程，工件或刀具在进给运动方向上的相对位移量，单位为  $\text{mm/r}$  或  $\text{mm/双行程}$ 。

每齿进给量  $f_z$  是指多齿刀具每转一齿，工件和刀具在进给运动方向上的相对位移量，单位为 mm/z 或 mm/齿。

### 3. 背吃刀量 $a_p$

切削过程中，通常会在工件上形成三个表面，如图 1.5 所示。

① 待加工表面：工件上即将被切除的表面。在切削过程中它的面积不断减少，直至全部切去。

② 已加工表面：工件上刀具切削后形成的新鲜表面。在切削过程中它的面积逐渐扩大。

③ 过渡表面：工件上由切削刃形成的那部分表面，又称加工表面。它在主运动的下一转里被切除，或者由下一切削刃切除（多齿刀具）。

背吃刀量  $a_p$  是指已加工表面和待加工表面之间的垂直距离，单位为 mm。

各种机械加工方法的切削速度  $v_c$ 、进给量  $f$ （进给速度  $v_f$ ）、背吃刀量  $a_p$ ，如图 1.4 所示。

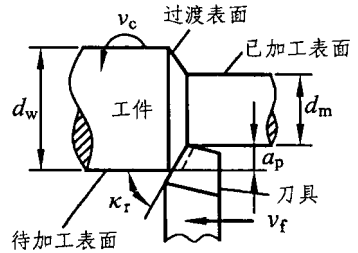


图 1.5 工件的加工表面和背吃刀量

## 1.3 刀具材料及刀具角度

### 1.3.1 刀具材料

#### 1. 刀具材料应具备的性能

通常讲的刀具材料是指刀具切削部分的材料。在切削加工过程中，刀具切削部分在高温下承受着很大的切削力与剧烈的摩擦。在断续切削时，还伴随着冲击和振动，引起切削温度的波动，因此刀具材料应具备如下基本性能：

① 高的硬度和耐磨性。刀具材料的硬度必须大大高于工件材料的硬度，一般刀具材料在室温下应具有 60 HRC 以上的硬度。耐磨性是指刀具材料抵抗磨损的能力。一般刀具材料硬度越高，耐磨性越好。

② 足够的强度和韧性。刀具材料要承受很大的切削力，断续切削时还要承受冲击载荷，所以刀具材料必须具备足够的强度和韧性。一般来说，刀具材料的硬度越高，强度就越低，就越脆。刀具材料的强度常用抗弯强度  $\sigma_{bb}$  表示，韧性以冲击韧性  $a_k$  表示。

③ 高的耐热性。耐热性是指刀具材料在高温下保持其硬度、耐磨性、强度和韧性的能力。它是衡量刀具材料性能的主要指标。耐热性越高，刀具允许的切削速度越高。

除此之外，考虑到刀具的制造和刃磨，要求刀具具有良好的工艺性；为了降低成本，提高效益，要考虑到刀具材料的经济性。

#### 2. 常用的刀具材料

常用的刀具材料有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金和超硬材料（如陶瓷、人造金刚石、立方氮化硼等）。目前应用最多的刀具材料仍是高速钢和硬质合金。

### 1) 高速钢

高速钢是加入了较多的钨 (W)、钼 (Mo)、铬 (Cr)、钒 (V) 等合金元素的高合金工具钢。高速钢热处理后硬度可达 62~66 HRC, 抗弯强度  $\sigma_{bb}$  约为 3.4 GPa, 耐热性为 550 °C~630 °C。高速钢适合制作各种形状复杂的刀具, 如成形刀具、各种孔加工刀具、铣刀、拉刀和齿轮刀具等。

高速钢按其性能不同, 可分为普通高速钢和高性能高速钢。按照制造方法不同, 可分为熔炼高速钢和粉末冶金高速钢。常用高速钢的种类、牌号及主要性能见表 1.1。

表 1.1 常用高速钢的种类、牌号及主要性能

种 类		牌 号	常温硬度/ HRC	高温硬度/ HRC (600 °C)	抗弯强度/ GPa	冲击韧性/ MJ · m <sup>-2</sup>
普通 高速 钢	钨系高速钢	W18Cr4V	63~66	48.5	2.94~3.33	0.176~0.314
	钨钼系高速钢	W6Mo5Cr4V2 (M2)	64~66	47~48	3.43~3.92	0.294~0.392
		W9Mo3Cr4V (W9)	65~66.5	—	4~4.5	0.343~0.392
高性 能高 速钢	钴高速钢	W2Mo9Cr4VCo8 (M42)	67~70	35	2.65~3.72	0.225~0.294
	铝高速钢	W6Mo5Cr4V2Al (501)	67~69	54~55	2.84~3.82	0.225~0.294

#### (1) 普通高速钢

普通高速钢含碳量为 0.7%~0.9%, 热稳定性为 615 °C~620 °C, 综合性能好, 广泛用于制造各种形状复杂的刀具, 占高速钢产量的 75%~80%。按照其基本化学成分的不同, 普通高速钢分为钨系高速钢和钨钼系高速钢两大类。

① 钨系高速钢。钨系高速钢的典型牌号是 W18Cr4V。这种高速钢有较好的综合性能, 可制造各种复杂刀具, 如拉刀、成形车刀等。但钨系高速钢碳化物分布不均匀, 不宜制造大截面的刀具; 热塑性较差, 不宜制造热成形刀具。由于钨价格高, 目前国内外都较少使用。

② 钨钼系高速钢。钨钼系高速钢的典型牌号是 W6Mo5Cr4V2 和 W9Mo3Cr4V。W6Mo5Cr4V2 是国内外普遍使用的牌号, 简称 M2。它最初是一些国家为解决缺钨而研制的, 用 1%的钼代替 2%的钨, 其抗弯强度和冲击韧性均超过 W18Cr4V, 且由于钼的存在, 其热塑性较好, 主要用于制造热轧刀具。W9Mo3Cr4V 简称 W9, 它是根据我国资源研制的牌号, 其抗弯强度与韧性均比 M2 好。高温热塑性好, 而且淬火过热、脱碳敏感性小, 有良好的切削性能。

#### (2) 高性能高速钢

高性能高速钢是在普通高速钢中增加碳 (C)、钒 (V), 添加一些其他合金元素 (如钴、铝等) 获得的新型高速钢。其常温硬度可达 67~70 HRC, 耐磨性和耐热性有显著提高, 主要用于切削不锈钢、耐热钢、高温合金和超强度钢等难加工材料。高性能高速钢典型的牌号有 W2Mo9Cr4VCo8 和 W6Mo5Cr4V2Al。W2Mo9Cr4VCo8 简称 M42, 具有优良的综合性能, 但因钴含量高, 故价格昂贵。W6Mo5Cr4V2Al 简称 501, 它是在 M2 钢中加入 1%的铝制成的, 是我国独创的新钢种, 由表 1.1 可知, 其性能接近国外的钴高速钢 M42。

#### (3) 粉末冶金高速钢

普通高速钢都是熔炼高速钢。粉末冶金高速钢是指将熔融的高速钢钢水用高压稀有气体

或高压水雾化成细小的高速钢粉末，然后将粉末在高温下压制成钢坯，最后将钢坯锻轧成钢材或刀具形状。粉末冶金高速钢既可用于加工普通钢，也可用于加工不锈钢、耐热钢和其他特殊钢，但其造价昂贵。

## 2) 硬质合金

硬质合金是由硬度很高的难熔金属碳化物 (WC、TiC、TaC、NbC 等) 和金属黏结剂 (Co、Ni、Mo 等) 用粉末冶金方法制成的。表 1.2 列出了常用硬质合金的牌号和性能。比较表 1.1 和表 1.2 可知，硬质合金的硬度高，耐磨性好，热稳定性好。常温硬度高达 89~93 HRA，耐热度为 800 °C~1 000 °C，它比高速钢硬度高、耐磨、耐热。因此，硬质合金刀具允许的切削速度比高速钢刀具要高 5~10 倍。但是其抗弯强度和冲击韧性都比高速钢低。

表 1.2 常用硬质合金牌号与性能

YS/T 400—1994		化学成分 / %					物理力学性能				GB/T 18376.1—2001			使用性能				
类型	牌号	WC	TiC	TaC /NbC	Co	其他	密度/ g·cm <sup>-3</sup>	热导率/ [W/ (m·K)]	硬度/ HRA	抗弯强 度/GPa	代号	牌号	颜色	耐 磨 性	韧 性	切 削 速 度	进 给 量	加工材料 类型
钨 钴 类	YG3	97	—	—	3	—	14.9~15.3	87	91	1.2	K 类	K01	红	↑	↓	↑	↓	短切屑的 黑色金属、有 色金属及非 金属材料
	YG6X	93.5	—	0.5	6	—	14.6~15.0	75.55	91	1.4		K10						
	YG6	94	—	—	6	—	14.6~15.0	75.55	89.5	1.42		K20						
	YG8	92	—	—	8	—	14.5~14.9	75.36	89	1.5		K30						
	YG8C	92	—	—	8	—	14.5~14.9	75.36	88	1.75								
钨 钛 钴 类	YT30	66	30	—	4	—	9.3~9.7	20.93	92.5	0.9	P 类	P01	蓝	↑	↓	↑	↓	长切屑的 黑色金属
	YT15	79	15	—	6	—	11~11.7	33.49	91	1.15		P10						
	YT14	78	14	—	8	—	11.2~12.0	—	90.5	1.2		P20						
	YT5	85	5	—	10	—	12.5~13.2	—	89	1.4		P30						
添 加 钽 钨 类	YG6A	91	—	3	6	—	14.6~15.0	—	91.5	1.4	K 类	K10	红	—	—	—	长、短切屑 的黑色金属	
	YG8N	91	—	1	8	—	14.5~14.9	—	89.5	1.5		K20						
	YW1	84	6	4	6	—	12.8~13.3	—	91.5	1.2	M 类	M10						黄
	YW2	82	6	4	8	—	12.6~13.0	—	90.5	1.35		M20						
钛 基 类	YN05	—	79	—	—	Ni7 Mo14	5.56	—	93.3	0.9	P 类	P01	蓝	—	—	—	长切屑的 黑色金属	
	YN10	15	62	1	—	Ni12 Mo10	6.3	—	92	1.1								

注：Y—硬质合金；G—碳化钨钴类中的钴；T—WC，碳化钨钴类合金中的 TiC；W—万能合金，即钨、钛钨钴类合金；N—不含钴的镍相作黏结剂的合金；N（数字后的）—加碳化钨的合金；A—加碳化钽的合金；X—细颗粒合金；C—粗颗粒合金；数字—钴含量，碳化钨含量或顺序号。

根据硬质相及金属黏结剂的不同，硬质合金可分为钨基硬质合金、钛基硬质合金、钢结硬质合金。

### (1) 钨基硬质合金

钨基硬质合金以 WC 为主要硬质相，以 Co 作黏结剂，统称为 WC 基硬质合金。根据 GB/T

18376.1—2001《硬质合金牌号》的规定，切削加工用硬质合金可分为以下三大类：

① K类(WC+Co)硬质合金。K类硬质合金相当于冶金工业部标准YG类，主要用于加工铸铁、青铜等脆性材料及有冲击载荷的表面。这类硬质合金常用的牌号有YG3、YG6、YG8等，数字表示金属黏结剂含Co量的百分比(如YG8表示含Co量为8%)。含钴量越高，则冲击韧性就越高。因此YG8适用于粗加工；YG3适用于精加工；YG6适用于半精加工。

② P类(WC+TiC+Co)硬质合金。P类硬质合金相当于冶金工业部标准YT类。适用于加工塑性较高的材料，如钢材。这类硬质合金常用的牌号有YT5、YT15、YT30等。字母后的数字表示TiC含量的百分比。TiC含量越高，则其硬度、耐磨性、耐热性越好，而强度和韧性越差，所以YT30适用于钢料的精加工；YT5适用于粗加工；YT15适用于半精加工。

③ M类[W<sub>2</sub>C+TiC+TaC(或NbC)+Co]硬质合金。M类硬质合金相当于冶金工业部标准YW类。它属于通用型硬质合金，既可加工脆性材料，又可加工塑性材料，但主要用于加工耐热钢、高锰钢、不锈钢等难加工材料。这类硬质合金常用的牌号有YW1、YW2。

### (2) 钛基硬质合金

钛基硬质合金以TiC(N)为硬质相，以Ni、Mo作黏结剂。常用的牌号有YN05、YN10等。YN05适用于低、中碳钢，铸钢和合金铸铁的精加工；YN10适用于碳钢、合金钢、工具钢及淬硬钢的连续面的精加工。

钛基硬质合金的性能介于陶瓷和WC基硬质合金之间，其切削速度可填补钨基硬质合金和陶瓷材料之间的一段空白，可用于高速切削各类钢材，尤其适于钢材的精加工和半精加工。据国外切削专家预测，今后在钢的切削方面，TiC基和Ti(C,N)基硬质合金所占比重将达到可转位刀片总需求量的50%，并将成为铣削钢材的最佳刀具材料。

### (3) 钢结硬质合金

这类硬质合金以WC和TiC为硬质相，高速钢作黏结剂，通过粉末冶金工艺制成。其代号为YE，性能接近于以Ni、Mo及Co等作黏结剂的硬质合金，且由于钢结硬质合金采用高速钢作黏结剂，成本较低，故常用于制造大尺寸及结构复杂的刀具，如拉刀、铣刀、麻花钻等。

## 3) 陶瓷

陶瓷刀具是以氧化铝( $Al_2O_3$ )或氮化硅( $Si_3N_4$ )为基体再添加少量金属，在高温下烧结而成的一种刀具材料。它具有很高的硬度，仅次于金刚石、立方氮化硼和碳化硼，具有良好的耐磨性、耐热性、化学稳定性和耐热冲击性，但抗弯强度低，冲击韧性小。因此，陶瓷刀具多用于精车及半精车，也可用于粗车及铣削、刨削等间断切削，以提高生产率。陶瓷是一种很有发展前途的刀具材料。

陶瓷分为氧化铝基陶瓷和氮化硅基陶瓷。氧化铝基陶瓷是以纯氧化铝或在氧化铝中添加一定量的金属元素或碳化物，在高温下烧结而成的，主要包括纯氧化铝陶瓷、氧化铝-金属系陶瓷、氧化铝-碳化物系陶瓷、氧化铝-碳化物-金属系陶瓷等。氮化硅基陶瓷是以高纯度的 $Si_3N_4$ 为原料，添加MgO、 $Al_2O_3$ 、 $Y_2O_3$ 等为助烧结剂，通过热压成形烧结而成。氮化硅基陶瓷是20世纪80年代发展起来的刀具材料，其性能在很多方面超过了氧化铝基陶瓷，硬度93~94HRA，抗弯强度700~1100MPa，牌号有SM、HS73、HS80、F85、ST4、SC3等。氮化硅基陶瓷在高速粗切及精切铸铁、淬硬钢、耐热合金时，效果较理想。



#### 4) 超硬刀具材料

超硬刀具材料是指与天然金刚石的硬度、性能相近的人造金刚石和立方氮化硼 (CBN)。由于天然金刚石价格比较昂贵,所以生产上大多采用人造聚晶金刚石 (PCD)、聚晶立方氮化硼 (PCBN),以及它们的复合材料。

① 金刚石。金刚石是碳的同素异形体,其显微硬度可达 10 000 HV,是刀具材料中最硬的材料。金刚石材料有三种:天然金刚石、人造聚晶金刚石 (PCD) 及金刚石复合刀片。天然金刚石虽然切削性能优良,但由于价格比较昂贵,故很少使用。人造聚晶金刚石是在高温高压下由金刚石微粒烧结而成,其硬度比天然金刚石稍低,但抗弯强度大幅度提高,其价格较低。金刚石复合刀片是在硬质合金刀片基体上烧结一层约 0.5 mm 厚的聚晶金刚石而得到的涂层刀片,它的强度高,材质稳定,能承受冲击载荷,是金刚石刀具的发展方向。

金刚石具有极高的硬度和耐磨性,同时它的摩擦系数小,与非铁金属无亲和力,切屑易流出,热导率高,切削时不易产生积屑瘤,加工表面质量好;能有效地加工非铁金属材料和非金属材料,如铜、铝等有色金属及其合金、陶瓷、粉末烧结的硬质合金、各种纤维和颗粒加强的复合材料、塑料、橡胶、石墨、玻璃和各种耐磨的木材 (尤其是实心木和胶合板等复合材料)。但金刚石的韧性差,热稳定性低,700 °C~800 °C 时容易碳化,故不适于加工钢铁材料。因为在高温下铁原子容易与碳原子作用而使其转化为石墨结构。此外,用它切削镍基合金时,同样也会迅速磨损。

② 立方氮化硼 (CBN)。立方氮化硼是由立方氮化硼 (白石墨) 在高温高压下转化而成的,是 20 世纪 70 年代发展起来的新型刀具材料,其硬度仅次于金刚石,具有很高的耐磨性,且耐热温度高达 1 400 °C~1 500 °C,与铁系金属在 1 200 °C~1 300 °C 时不容易起化学反应。抗黏结能力强,与钢的摩擦系数小,约为 0.2~0.3,且用金刚石砂轮即可磨削开刃,故最适合切削各种淬硬钢,包括碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、轴承钢、模具钢等;各种冷硬铸铁和耐磨铸铁;各种铁基、镍基、钴基和其他热喷涂 (焊) 零件。但在高温下与水易发生化学反应,故一般用于钢和铸铁的干切削。

在选择刀具材料时,加工一般材料应选用普通高速钢或硬质合金刀具;只有加工难切削材料时,才考虑选用新牌号或高性能高速钢;在加工高硬度材料或精密加工时,才选用超硬材料。

#### 5) 涂层刀具材料

涂层刀具是在强度和韧性较好的硬质合金或高速钢 (HSS) 基体表面上,利用气相沉积方法涂覆一薄层耐磨性好的难熔金属或非金属化合物 (也可涂覆在陶瓷、金刚石和立方氮化硼等超硬材料刀片上) 而获得的。涂层作为一个化学屏障和热屏障,减少了刀具与工件间的扩散和化学反应,从而减少了月牙槽磨损。涂层刀具具有表面硬度高、耐磨性好、化学性能稳定、耐热抗氧化、摩擦系数小和热导率低等特性,切削时可比未涂层刀具提高刀具寿命 3~5 倍,提高切削速度 20%~70%,提高加工精度 0.5~1 级,降低刀具消耗费用 20%~50%。因此,涂层刀具已成为现代切削刀具的标志,在刀具中的使用比例已超过 50%。目前,切削加工中使用的各种刀具,包括车刀、镗刀、钻头、铰刀、拉刀、丝锥、螺纹梳刀、滚压头、铣刀、成形刀具、齿轮滚刀和插齿刀等都可采用涂层工艺来提高它们的使用性能。

涂层刀具具有四种:涂层高速钢刀具、涂层硬质合金刀具,以及在陶瓷和超硬材料 (金刚