

机械制造技术基础

JIXIE ZHIZAO JISHU JICHU

主编 张捷 副主编 李先民 赵虎



西南交通大学出版社
<http://press.swjtu.edu.cn>

机械制造技术基础

主 编 张 捷

副主编 李先民 赵 虎

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是为适应机械类专业教学体系改革的需要而编写的专业基础教材,内容涉及公差配合与测量、金属切削原理及刀具、金属切削机床、机械制造工艺及机床夹具设计等。

全书共分八章:第一章为金属切削加工基础知识;第二章为常见表面的加工及其机床;第三章为公差配合与测量;第四章为机床夹具设计基础知识;第五章为机械加工质量;第六章为机械加工工艺规程的制订;第七章为机器的装配基础;第八章为现代制造技术。此外,每章还附有习题。

本书为高等学校机械类各专业本科教材,除可供本专业学生使用外,还可供近机类专业学生使用,亦可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础 / 张捷主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2006.2
ISBN 7-81104-228-2

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(2006)第012760号

机械制造技术基础

主 编 张 捷

*

责任编辑 黄淑文

责任校对 韩松云

封面设计 王 可

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

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

E-mail: cbsxx@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: 21.875

字数: 545千字 印数: 1—3 000册

2006年2月第1版 2006年2月第1次印刷

ISBN 7-81104-228-2/TH·056

定价: 34.80元

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

前 言

《机械制造技术基础》是机械设计制造及其自动化本科专业主要技术基础课之一。为了适应我国社会主义市场经济体制和继续扩大改革开放的需要,更好地适应现代社会、经济、科技、文化及教育的发展趋势,为我国实现“十一五规划”的宏伟目标培养知识面更广的技术人才,我们根据教育部1998年颁布的《普通高等学校本科专业目录》,针对机械类本科专业的调整情况和课程要求编写了本教材。

本书把机械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。在编写过程中,尽力发挥教育理论与教育思想的指导作用,将四川理工学院以及其他高校教学改革思想和成果融入该教材;同时根据人才培养计划中对学生知识和能力的要求,对相关专业知识的教学内容进行整合,不过分强调原有这些课程的系统性和完整性,重在实现相关知识够用基础上的整体优化;在编写该教材时明确本课程属于专业基础课,和相关专业课程正确划分内容,理顺与相关专业基础课程之间的关系;增强对相关领域最新科学技术成果的介绍,使学生了解科学技术发展前沿的状况;在编写内容上既考虑教学课堂内容的精选,又编写了部分内容供教师选定为自学,这样既可以使教师根据机械类不同专业培养目标的差异来灵活选择上课内容,又可以培养锻炼学生的自学能力。

本教材建议理论教学为70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,每章后还附有习题。

本书编写分工如下:绪论及第八章由张捷编写;第一章由张良栋、廖映华编写;第二、三章由李先民编写;第四章由赵虎编写;第五、七章由张良栋编写;第六章由田建平编写。本书由张捷任主编,李先民、赵虎任副主编。全书由张捷负责统稿。

本书为高等学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,亦可作为有关工程技术人员的学习参考书。

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,书中缺点错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2005年12月

目 录

绪 论	1
第一章 金属切削加工基础知识	3
第一节 切削加工及切削用量	4
一、加工表面的形成	4
二、切削运动	6
三、加工中工件表面不断变化的表面	7
四、切削用量三要素	7
第二节 刀具材料及刀具切削部分的结构	8
一、刀具材料	8
二、刀具切削部分的结构及几何角度	12
三、切削层、材料切除率及切削方式	18
第三节 金属切削过程	20
一、切屑的形成	20
二、变形区的划分	20
三、切削变形	20
四、切屑的类型	21
第四节 切削过程中的物理现象	23
一、积屑瘤	23
二、鳞 刺	25
三、切削力	25
四、切削热和切削温度	31
五、刀具的磨损和磨钝标准	35
六、刀具的耐用度及其影响因素	38
第五节 磨削过程	39
一、磨削机理	39
二、磨削力、磨削热及磨削温度	40
第六节 切削液	42
一、切削液的种类	42
二、切削液中的添加剂	43
三、切削液的作用机理	44
四、切削液的选用	45

五、切削液的使用方法	45
习 题	46
第二章 机械加工方法及机床	47
第一节 金属切削机床的基本知识	47
一、机床的分类	47
二、机床型号的编制方法	48
三、机床的传动	51
四、机床的传动联系和传动原理图	54
第二节 车削加工及车床	56
一、车削的工艺特点	56
二、车削的应用	56
三、车 床	57
第三节 钻削、镗削加工及机床	69
一、钻 孔	69
二、扩 孔	73
三、铰 孔	73
四、镗 孔	74
第四节 刨削、拉削加工及机床	76
一、刨削加工及刨床	76
二、拉削加工及拉床	79
第五节 铣削加工及机床	81
一、铣削的工艺特点	81
二、铣削方式	81
三、铣削的应用	83
四、铣 床	84
第六节 磨削加工及机床	86
一、砂 轮	86
二、磨削工艺特点	89
三、磨削的应用	89
四、磨 床	92
第七节 齿轮加工及机床	95
一、铣 齿	95
二、插齿和滚齿	98
三、齿轮精加工简介	101
第八节 光整加工	104
一、研 磨	104
二、珩 磨	105
三、超精加工	105

四、抛 光.....	106
习 题.....	106
第三章 公差配合与测量	109
第一节 光滑圆柱结合的公差与配合	109
一、公差与配合的基本术语及定义	109
二、公差与配合标准	111
三、公差与配合的选用	115
四、工件的检验.....	117
第二节 形状和位置公差	123
一、形位公差的研究对象	123
二、形位公差带.....	124
三、公差原则.....	125
四、形位公差的选用	129
五、形位误差的检测	129
第三节 表面粗糙度.....	132
一、主要术语及定义	132
二、表面粗糙度的评定参数	133
三、表面粗糙度参数值的选择	135
四、表面粗糙度的标注	135
五、表面粗糙度的测量	136
习 题.....	137
第四章 机床夹具设计基础	139
第一节 机床夹具概述	139
一、装夹的概念.....	139
二、机床夹具的分类	139
三、夹具的组成.....	142
四、夹具装夹的误差	143
五、夹具的作用.....	144
六、机床夹具的发展趋势	145
第二节 工件在夹具中的定位	145
一、工件定位原理	146
二、工件的定位要求	146
三、定位方式及定位元件的选择	152
四、定位元件的基本要求	162
第三节 定位误差的分析和计算	162
一、定位误差的概念及产生的原因	162
二、定位误差的组成及其计算方法	164

三、提高工件在夹具中定位精度的主要措施	166
第四节 工件在夹具中的夹紧	168
一、夹紧装置的组成及设计要求	168
二、夹紧力的确定	169
三、常用的夹紧装置	174
第五节 机床夹具的设计	186
一、夹具设计的基本要求	186
二、夹具设计的步骤	187
三、夹具设计实例	189
习 题	193
第五章 机械加工质量	197
第一节 机械加工精度	197
一、概 述	197
二、影响机械加工精度的因素	198
三、加工误差的综合分析	212
四、提高加工精度的方法	214
第二节 机械加工表面质量	217
一、概 述	217
二、机械加工后的表面粗糙度	218
三、机械加工后的表面物理机械性能	221
四、机械加工表面质量对机器使用性能的影响	221
五、控制加工表面质量的途径	223
六、机械加工的振动及其控制措施	224
习 题	228
第六章 机械加工工艺规程的制订	230
第一节 机械加工工艺过程基本概念	230
一、概 述	230
二、机械加工工艺规程的作用	230
三、机械加工工艺规程的制订程序	231
四、机械加工工艺规程的内容及格式	231
五、生产纲领与生产类型	231
第二节 零件的工艺性分析及毛坯的选择	232
一、零件的工艺性分析	232
二、毛坯的选择	234
第三节 机械加工工艺过程设计	235
一、机械加工工艺过程的组成	235
二、定位基准的选择	237

三、零件表面加工方法的选择	240
四、机械加工工艺路线的确定	242
第四节 工序设计	244
一、加工设备及工装的选择	244
二、确定各工序的加工余量	245
三、工序尺寸及其公差确定	248
第五节 机械加工的生产率与经济性分析	261
一、时间定额的估算	261
二、提高劳动生产率的途径	262
三、工艺方案的技术经济分析	264
第六节 制订机械加工工艺规程的方法	267
一、对零件图进行工艺分析	267
二、选择毛坯	268
三、工艺过程设计	268
四、工序设计	270
五、填写工艺文件	270
习 题	273
第七章 机器的装配基础	277
第一节 概 述	277
第二节 装配尺寸链	278
一、装配尺寸链的概念	278
二、装配尺寸链的种类及建立步骤	278
三、装配尺寸链的计算方法	282
第三节 保证装配精度的工艺方法	287
一、互换法	287
二、选配法	289
三、修配法	290
四、调整法	292
第四节 机器的装配工艺性	298
一、机器结构应能分解成多个独立的装配单元	298
二、机器结构应具有正确的装配基准	298
三、减少装配的修配工作量和机械加工量	299
四、机器结构要便于装配和拆卸	299
第五节 装配工艺规程的制订	300
一、制订装配工艺的基本原则	300
二、制订装配工艺规程的方法与步骤	301
习 题	303

第八章 现代制造技术	304
第一节 概 述	304
第二节 特种加工技术	304
一、电火花加工	305
二、电解加工	306
三、高能束加工	308
四、复合加工	312
第三节 精密与超精密加工技术	313
一、精密与超精密切削	313
二、精密与超精密磨削研磨	314
三、精密与超精密加工技术的发展趋势	315
第四节 机械制造系统的自动化技术	315
一、成组技术	315
二、计算机辅助工艺设计 (CAPP)	321
三、数控技术	324
四、柔性制造系统	330
五、计算机集成制造系统 (CIMS)	333
第五节 制造技术的未来展望	335
一、并行工程技术	335
二、精良生产	336
三、敏捷制造	336
四、智能制造	336
五、纳米技术与微型机械	336
六、快速出样技术	336
七、零件表面改性、覆层技术	337
八、极限条件下的加工技术	337
九、利用太阳能加工	337
十、传统加工工艺及其设备的改造与革新	337
习 题	337
参考文献	339

绪 论

一、机械制造业在国民经济中的地位

制造业是将制造资源（物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力）通过制造过程转化为可供人们使用与利用的工业品和生活消费品的行业。机械制造业就是制造具有一定形状和尺寸的零件或产品，并把它们装配成机械装备的行业。

机械制造业的产品既可以直接供人们使用，也可以为其他行业的生产提供装备，这些行业的产品再被人们所使用。社会的各行各业使用的各式各样的机器、机械、仪器和工具等都是机械制造业的产品。我们的日常生活中，从身上穿的、戴的，到吃的、用的都离不开机械制造业。因此，机械制造业在国民经济中占有重要地位，是一个国家和地区发展的重要基础及有力支柱，尤其是在发达国家，它创造了 $1/4 \sim 1/3$ 的国民收入。在我国，工业（主体是制造业）占国民经济比重的 45%，是我国经济的战略重点。从某种意义上讲，机械制造水平的高低是衡量一个国家国民经济综合实力和科学技术水平的重要指标。

二、机械制造技术状况

20 世纪 60 年代以后，电子技术、信息技术和计算机技术的高速发展，有力地推动了机械制造技术的发展。同时，由于金属零件的无屑和切削加工利用了材料技术和过程控制技术的最新成就，使得加工方法进一步合理化。数控技术的发展和应用使得以机床、工业机器人为代表的机械制造装备的结构发生了一系列变化。70 年代末，柔性制造系统（FMS）和计算机集成制造系统（CIMS）得到开发和应用，通过计算机集成制造系统，把一个企业的所有有关加工制造的生产部门相互联系起来，使得制造过程可以从全局考虑进行优化，从而可以降低成本和缩短加工周期，同时还使其产品的质量和生产率得以提高。自 20 世纪 80 年代发展到 90 年代末乃至 21 世纪初，制造技术，特别是自动化制造技术向着柔性化、集成化、智能化方向发展；在超精密加工技术方面，其加工精度已进入纳米级（ $0.001 \mu\text{m}$ ），表面粗糙度已成功地小于 $0.0005 \mu\text{m}$ ；在切削速度方面，国外车削钢最高已达 915 m/min ；对于不断出现的难加工材料、复杂型面、型腔以及微小深孔，通过特种加工方法逐渐得以解决。

我国的机械制造业经过 50 多年，特别是近 20 多年的发展，已形成了品种繁多、门类齐全、布局合理的机械制造工业体系。许多科研院所、大专院校和企业研制出了一大批成套技术装备和多种高精尖产品，有些已接近或达到国际先进水平。通过对这些产品的研发，我国已建立起了自己的人才培养和软件控制技术开发基地以及高精加工设备生产基地，从而使我国的国民经济综合实力和科学技术水平迅速提高。国防尖端武器的生产、“神州六号”载人飞船的成功发射与回收、人们生活用品的质量提高，有力地说明了我国机械制造业的发展状况。

三、学习本课程的目的、主要内容及学习方法

本课程是机械类专业的一门重要技术基础课。学生通过学习本课程，可以了解产品的制造过程，学会分析和初步掌握解决机械制造过程中各类问题的方法。本课程的主要内容包括：

- ① 金属切削加工基础知识；
- ② 常见表面的加工及其机床；
- ③ 公差配合与测量；
- ④ 机床夹具设计基础知识；
- ⑤ 机械加工质量；
- ⑥ 机械加工工艺规程的制订；
- ⑦ 机器的装配基础；
- ⑧ 现代制造技术。

本课程的综合性和实践性较强，涉及知识面较广。因此，学生在学习本课程时，既要注意掌握其中的基本概念、基本理论，又应注重实践性环节的学习。只有将以前在各类实践性环节中学到的感性知识以及前续课程中的相关知识与本教材中的理论知识有机结合，才能学好本课程。

第一章 金属切削加工基础知识

金属切削加工是指在金属切削机床上，使用金属切削刀具相对于工件作适当的运动，由金属切削刀具切除工件上预留的余量，从而形成零件所需要的尺寸精度、形状精度及其表面质量的过程。在金属加工过程中有两个基本要素：切削运动和刀具。

金属切削加工的种类很多，有车削、铣削、刨削、磨削、钻削、镗削、拉削等，如图 1.1 所示。

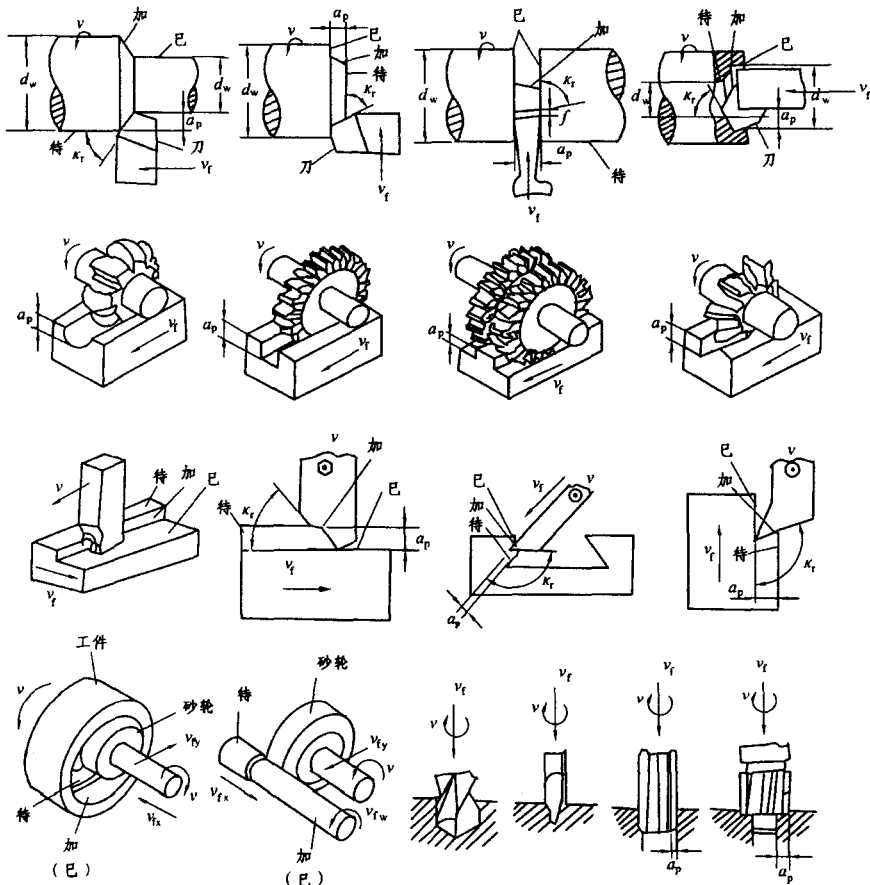


图 1.1 各种切削加工的切削运动和加工表面

虽然切削加工的种类很多，但是它们的基本切削原理是相同的，都可以通过各种不同的切削运动与各种不同的刀刃形状的组合，形成所需要的各种不同形状的工件表面。

由于其他多齿刀具都是由车刀演化而来的，所以本章以外圆车刀车削外圆为例，重点阐

明切削运动、刀具几何角度和切削层参数的基本定义，以及进给量和刀具安装对刀具工作角度的影响。

第一节 切削加工及切削用量

一、加工表面的形成

任何零件的表面形状都是由一些基本表面组合而成的，所以零件的切削加工过程就是表面成形过程。

1. 零件的表面形状

机械零件的表面形状虽然多种多样，但它都是由一些基本的表面组合而成的。如图 1.2 所示，常见的基本表面有：平面、成形表面、圆柱面、圆锥面、球面、圆环面、螺旋面等。

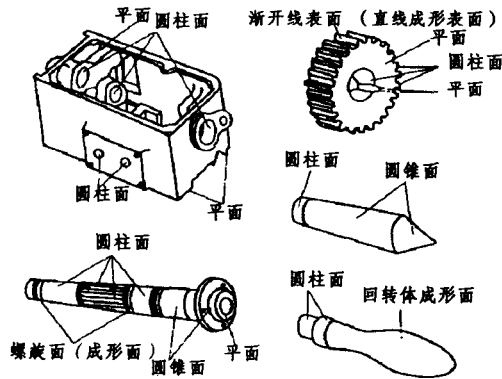


图 1.2 机器零件上常见的各种典型表面

2. 表面的形成方法

上述的基本表面都可以看成是由一条母线沿着导线运动而形成，母线和导线统称为形成表面的发生线。图 1.3 示出了一些基本表面的形成过程。

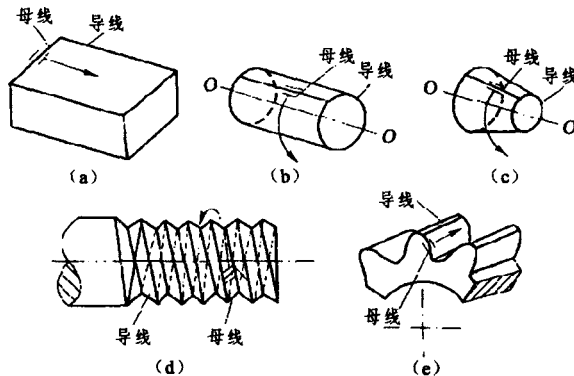


图 1.3 几种典型表面的形成过程

在零件表面形成过程中有两点值得注意：

① 有些表面的发生线完全相同，只因母线的原始位置不同，也可以形成不同的表面。

图 1.4 所示为母线原始位置对表面形成的影响。

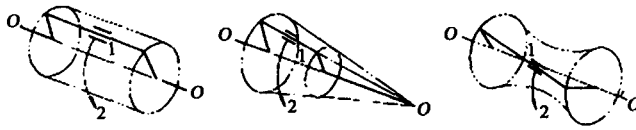


图 1.4 母线原始位置对表面形成的影响

② 母线和导线有时候可以互换，如图 1.3 (a)、(b) 所示的平面和圆柱面的形成过程，母线和导线可以互换；有时候不可以互换，如图 1.3 (c)、(d)、(e) 所示。

3. 发生线的形成方法及所需的运动

在实际的切削加工中，发生线是由刀具的切削刃与工件间的相对运动得到的。生产中使用的刀具切削刃形状和采取的加工方法不同，形成发生线的方法也不同，具体可归纳为 4 种，即成形法、展成法、轨迹法和相切法。如图 1.5 所示。

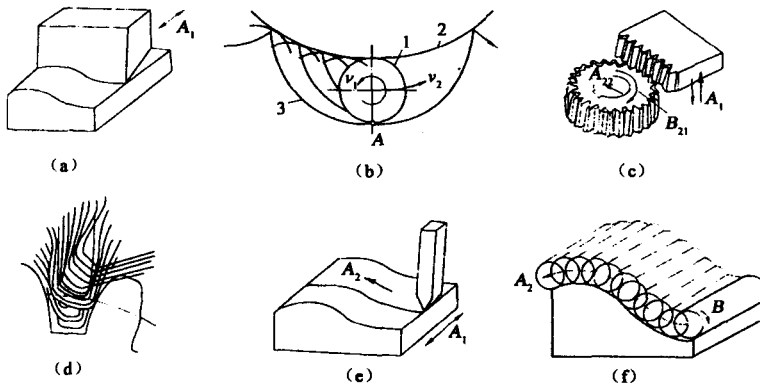


图 1.5 发生线的形成方法

(1) 成形法

成形法是利用成形刀具对工件进行加工的方法。采用该方法时，刀具的切削刃与所需形成的母线完全吻合。如图 1.5 (a) 所示，曲线形的母线由刀具的切削刃直接形成，导线则由刀具的轨迹形成。

(2) 展成法（亦称共轭法或包络法）

展成法是利用工件和刀具作展成切削运动进行加工的方法。采用该方法时，刀具的切削线与所需形成的发生线形状不吻合，它们之间作无滑动的纯滚动（即展成运动，在实际加工中一般是由刀具和工件共同完成复合的纯滚动，也可以由刀具沿着工件作纯滚动），发生线由切削刃在切削过程中连续位置的包络线形成，如图 1.5 (b) 所示。展成运动是一个成形运动，通过它形成发生线。图 1.5 (c) 是展成法加工渐开线圆柱齿轮的一个典型的例子，通过工件直线运动 A_{22} 和旋转运动 B_{21} ，使刀具不断地对工件进行切削，其切削刃的一系列瞬时位置的包络线，便是所需的渐开线导线，如图 1.5 (d) 所示；刀具按 A_1 方向作直线运动形成母线。

(3) 轨迹法

轨迹法是利用刀具作一定规律的轨迹运动来对工件进行加工的方法。采用该方法时，切削刃与被加工表面为点接触，发生线为接触点的轨迹线。如图 1.5 (e) 所示，刨刀沿 A_1 方向作直线运动，形成直线型母线；刨刀沿 A_2 方向作曲线运动，形成曲线型导线。

(4) 相切法

相切法是利用刀具边旋转边作轨迹运动来对工件进行加工的方法。如图 1.5 (f) 所示，采用铣刀、砂轮等旋转工具加工时，刀具作旋转运动 B ，同时刀具轴线沿发生线的等距线作轨迹运动 A_2 ，切削刃运动轨迹的包络线形成母线；刀具与工件的接触线或者工件的 A_1 运动形成导线。

二、切削运动

机床的运动分为切削运动和辅助运动。切削运动是指为了切除工件上多余的金属，以获得形状、尺寸精度和表面质量都符合要求的工件的运动。它必须使用切削刀具，并且刀具与工件之间必须具有相对运动。辅助运动是指为了保证加工的正常进行所需要的运动，如开停机床、变速、换向、对刀换刀和快进快退等。切削运动包括主运动和进给运动。

1. 主运动

在切削加工时，直接切除工件上多余金属层，使之转变为切屑，以形成工件新鲜表面的运动，称为主运动。通常主运动的速度较高，消耗的机床功率也较大，且具有唯一性（即各种加工方法都只有一个主运动）。

如图 1.1 所示，主运动可以由工件完成，也可以由刀具完成；可以是旋转运动，也可以是直线运动。比如，车削时工件的旋转运动是主运动；牛头刨床刨削时，刀具的直线运动是主运动。

主运动的方向，是指切削刃上选定点相对于工件的瞬时主运动方向，如图 1.6 所示。

主运动的速度 v_c ，是指切削刃上选定点相对于工件的主运动的瞬时速度，一般称为切削速度，如图 1.6 所示。

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金属以形成工件表面所需的运动称为进给运动。进给运动可以用进给速度 v_f 或进给量 f 、 f_z 、 a_f 来表示。

进给运动的特点是速度低，消耗的机床功率少，各种切削加工方法可以有一个或多个进给运动，一般不唯一。

如图 1.1 所示，进给运动可能是连续的（例如，在车床上车削圆柱表面时，刀架带动车刀作连续纵向运动），也可能是间歇的（例如，在牛头刨床上加工平面时，刨刀作往复运动，进给运动为工作台带动工件作的横向间歇移动）。进给运动可以由刀具完成，也可以由工件完

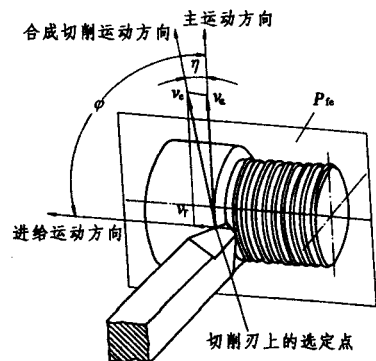


图 1.6 刀具和工件的运动图

成；可以是直线运动，也可以是旋转运动。

进给运动的方向，是指切削刃上选定点相对于工件的瞬时进给运动的方向，如图 1.6 所示。

进给速度 v_f ，是指切削刃上选定点相对于工件的进给运动的瞬时速度，如图 1.6 所示。

3. 合成切削运动

由同时进行的主运动和进给运动合成的运动，称为合成切削运动。切削刃上任一点相对于工件的合成切削运动的瞬时速度称为合成切削速度，用 v_c 表示（见图 1.6）。它是同一选定点的主运动速度 v_c 与进给运动速度 v_f 的矢量和，即：

$$v_c = v_c + v_f \quad (1.1)$$

合成切削运动方向与主运动方向的夹角称为合成切削速度角，用 η 表示（见图 1.6）。

在一些间歇进给的机床上，主运动就是合成切削运动。但在大多数情况下， v_f 与 v_c 相比是很小的，可略去不计，则在大小上近似认为：

$$v_c = v_c \quad (1.2)$$

三、加工中工件表面不断变化的表面

在切削过程中，工件表面的被切金属层不断地被切削而转变为切屑，从而加工出所需要的工件新表面。在新表面形成的过程中，工件上有 3 个不断变化着的表面（见图 1.7）：

- ① 待加工表面：加工时即将被切除金属层的表面。
- ② 过渡表面（或称切削表面）：加工时由切削刃在工件上正在形成的那个表面。
- ③ 已加工表面：已被切除多余金属而形成的符合要求的工件新表面。

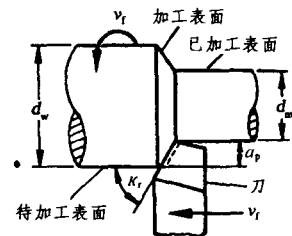


图 1.7 工件的加工表面及背吃刀量

四、切削用量三要素

切削加工时，应根据不同的工件材料、刀具材料和其他技术经济要求，来选择适宜的切削用量。切削用量的大小，反映了单位时间内金属切除量的多少，它是衡量生产率的重要参数之一。所谓切削用量，是指切削速度 v_c 、进给量 f （或进给速度 v_f ）和背吃刀量 a_{sp} ，也常称为切削用量三要素。

1. 切削速度 v_c

切削速度即主运动的速度。大多数主运动属于回转运动，其切削速度是指回转体（刀具或工件）上外圆或内孔某一点的切削速度。主运动为直线运动时，其切削速度 v_c 用 m/s 或 m/min 表示；主运动为旋转运动时，其切削速度 v_c 为刀具或工件最大直径处的线速度，计算公式如下：