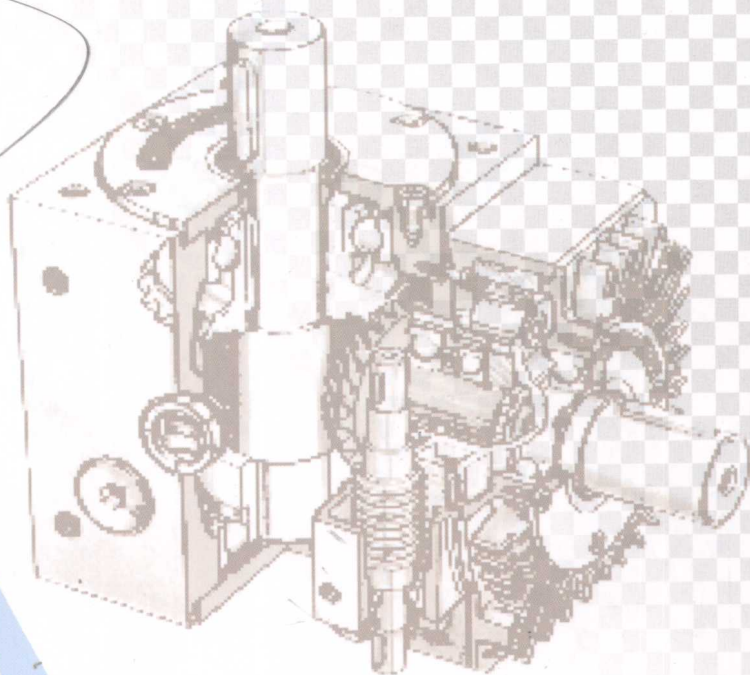




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 机械制造技术基础

张茂 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



TH16/201

2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 机械制造技术基础

主 编 张 茂

副主编 陈 明 邱亚玲

参 编 韩传军 肖晓华 李蓓智 何 畏

主 审 殷国富 王金诺

机械工业出版社

本书以“基础知识—基本理论—知识应用”为主线组织教材内容,旨在使学生掌握机械制造的基础理论和基础知识,了解机械制造领域的先进技术、先进生产制造模式,培养学生的创新意识、创新精神和创新能力。本书体系合理,内容充实,深浅适当,结合实际,是一本改革力度较大的实用教材。全书分为五篇十八章,包括:金属切削加工原理、金属切削加工方法与设备、机械零件加工的精度标准、机械零件加工工艺设计、现代加工制造技术。每章后附有思考与练习题,全书还配有多媒体光盘,供读者选用。

本书可作为高等工科院校机械、机电类或其他相关专业的本科、专科教材或教学参考书,也可供机械制造技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/张茂主编. —北京:机械工业出版社,2007.11

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-22822-6

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(2007)第177656号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘小慧

责任编辑:张敬柱 版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

三河市国英印务有限公司印刷

2008年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·20.75印张·515千字

标准书号:ISBN 978-7-111-22822-6

定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379712

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

长期以来,我国为机械类专业开设的制造类课程包括《金属工艺学》、《互换性与技术测量》、《金属切削原理及刀具》、《金属切削机床概论》、《机械制造工艺学》等课程,不仅内容重复,而且总学时偏多,新技术新工艺知识偏少,不能适应当前高等教育改革与发展的需要。本书是在四川省精品课程《机械制造基础》建设成果及编者多年教学改革实践成果的基础上,紧紧围绕机械工程及自动化专业人才培养目标,从培养学生的工程实践能力出发,按照改革整合后的课程体系编写的,以“基础知识—基本理论—知识应用”为主线组织教材内容,旨在使学生掌握机械制造的基础理论和基础知识,了解机械制造领域的先进技术、先进生产制造模式,培养学生的创新意识、创新精神和创新能力。该教材体系合理,内容充实,深浅适当,结合实际,是一本改革力度较大的实用教材。

本书的主要特点是:①教材内容整合力度较大,充分反映教改成果,体现了综合性和整合性的特点,信息量大,各部分内容衔接配套、系统性强,书中引用的国家标准全部为最新标准。整合后的课程内容覆盖了现代制造技术的主要知识点,注意避免内容的重复和重要知识的遗漏,能够保证工程基本训练要求,强调了能力的培养。②较好地处理了基础性与先进性、经典与现代的关系,精选保留现代生产中仍广泛应用的传统工艺方法,新技术、新工艺则精选技术上比较成熟、应用范围广,有发展前景的内容。

全书由西南石油大学张茂教授担任主编,北华航天工业学院陈明、西南石油大学邱亚玲任副主编。参加编写的还有西南石油大学韩传军、肖晓华、何畏,东华大学李蓓智。全书编写分工如下:绪论、第四章、第五章和第十二章由张茂编写;第一章、第二章、第三章和第十三章由邱亚玲编写;第六章、第九章和第十七章由陈明编写;第七章、第八章由韩传军编写;第十章和第十一章由肖晓华编写,第十四章和第十八章由李蓓智编写;第十五章、第十六章由何畏编写。西南石油大学杨德胜、陈丽霞等参与了本书文本的编写和图稿的绘制等工作。

本书由四川大学殷国富教授、西南交通大学王金诺教授主审。两位教授认真仔细地审阅了全书,提出了极为宝贵的修改意见,对提高本书质量给予了重要的帮助,作者在此谨致衷心的感谢。

本书在编写过程中得到了机械工业出版社、西南石油大学教务处、西南石油大学机电工程学院等单位及有关专家的热情帮助与大力支持,编者在此表示诚挚的谢意。本书在编写过程中,参考了许多学者和专家的文献和著作,作者特别感谢他们的学术贡献。

特别说明的是,本书主编张茂教授(博导)由于长期辛苦工作,劳累过度,在本书

即将出版之际，却英年早逝，离开了我们，在此我们全体编写人员向张茂教授表示深切的哀悼。

由于本书改革力度比较大，加之时间仓促，编者水平有限，书中难免有欠妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

前言		
绪论	1	
<b>第一篇 金属切削加工原理</b>		
第一章 金属切削基本知识	3	
第一节 切削加工概述	3	
第二节 机床的切削运动与切削用量	7	
第三节 刀具几何参数	10	
第四节 切削层参数与切削方式	18	
思考与练习题	20	
第二章 金属切削过程	22	
第一节 金属切削过程概述	22	
第二节 切削力与切削功率	28	
第三节 切削热与切削温度	34	
第四节 刀具磨损与刀具寿命	38	
思考与练习题	43	
第三章 金属切削条件的合理选择	45	
第一节 切削加工技术经济指标	45	
第二节 刀具的选择	46	
第三节 切削用量的选择	58	
第四节 切削液的选用	65	
第五节 工件材料的切削加工性	69	
思考与练习题	71	
<b>第二篇 金属切削加工方法与设备</b>		
第四章 金属切削机床基本知识	72	
第一节 金属切削机床的分类与编号	72	
第二节 机床运动分析	77	
第三节 机床运动的调整计算	79	
思考与练习题	80	
第五章 车削加工	82	
第一节 车削加工概述	82	
第二节 车削加工的刀具	84	
第三节 卧式车床的传动系统	85	
第四节 卧式车床的主要结构	91	
第五节 其他类型车床及工艺范围	97	
思考与练习题	101	
第六章 铣削加工	102	
第一节 铣削加工概述	102	
第二节 铣削加工的刀具	106	
第三节 铣削加工机床	108	
思考与练习题	112	
第七章 钻削与镗削加工	113	
第一节 钻镗加工的刀具	113	
第二节 钻床和镗床	117	
第三节 钻镗加工的工艺特点	121	
思考与练习题	122	
第八章 磨削加工	123	
第一节 砂轮的特性及选择	123	
第二节 磨削过程与磨削运动	125	
第三节 磨削加工机床	128	
第四节 光整加工与超精加工	136	
思考与练习题	139	
第九章 齿轮齿形加工	140	
第一节 齿形加工概述	140	
第二节 滚齿加工	142	
第三节 插齿加工	149	
第四节 齿面精加工	151	
思考与练习题	154	
<b>第三篇 机械零件加工的精度标准</b>		
第十章 孔轴的极限与配合	156	
第一节 极限与配合的基本术语	156	
第二节 极限与配合的国家标准	162	
第三节 极限与配合的选用	168	
思考与练习题	177	

<b>第十一章 形状和位置公差</b> .....	179	第一节 工件的安装	269
第一节 形位公差种类与标注	179	第二节 工件的定位	271
第二节 形状和位置公差带	185	第三节 工件的夹紧	281
第三节 形位公差选用	194	第四节 典型机床夹具	285
思考与练习题	197	思考与练习题	287
<b>第十二章 表面粗糙度</b> .....	200	<b>第十六章 零件的结构工艺性</b> .....	289
第一节 表面粗糙度的评定	200	第一节 基本概念	289
第二节 表面粗糙度的标注	202	第二节 零件切削加工的结构工艺性	289
第三节 表面粗糙度的选用	203	第三节 零部件装配的结构工艺性	294
思考与练习题	205	思考与练习题	297
<b>第十三章 典型零件的公差与配合</b> .....	206	<b>第五篇 现代加工制造技术</b>	
第一节 滚动轴承的公差与配合	206	<b>第十七章 特种加工技术</b> .....	298
第二节 普通螺纹的公差与配合	213	第一节 电火花加工	298
第三节 圆柱齿轮的公差与配合	221	第二节 电解加工和电解磨削	300
思考与练习题	240	第三节 超声波加工	302
<b>第四篇 机械零件加工 工艺设计</b>		第四节 激光加工	303
<b>第十四章 机械加工工艺规程设计</b> .....	242	第五节 电子束加工与离子束加工	306
第一节 基本概念	242	思考与练习题	309
第二节 定位基准及选择	248	<b>第十八章 先进制造技术</b> .....	310
第三节 工艺路线的拟定	250	第一节 柔性自动化加工技术	310
第四节 工序内容的确定	257	第二节 现代集成制造系统 CIMS	315
第五节 工艺尺寸链	261	第三节 快速原型制造技术	317
第六节 工艺方案的技术经济分析	264	第四节 先进制造模式	321
思考与练习题	267	思考与练习题	324
<b>第十五章 工件的安装与夹具</b> .....	269	<b>参考文献</b> .....	325

# 绪 论

随着国民经济的不断发展, 各行业都需要大量的机器、设备和交通运输工具等机械产品, 它们的品种、数量和性能极大地影响着这些行业的生产能力、质量水平及经济效益。这些机器、设备和工具统称为机械装备, 它们的大部分构件都是一些具有一定形状和尺寸的金属零件。能够生产这些零件并将其装配成机械装备的工业, 称之为机械制造业。显然, 机械制造业的主要任务, 就是向国民经济的各行各业提供先进的机械产品和装备。因此, 机械制造业是国家工业体系的重要基础, 是国民经济的重要组成部分。机械制造规模和水平是衡量一个国家经济实力和科学技术水平的重要标志之一。

近年来, 随着科学技术和现代工业的飞速发展, 特别是微电子技术、计算机技术和信息技术、材料新技术和新能源技术的迅猛发展, 与制造技术的相互交叉、相互融合, 已使机械制造业的各方面正在发生着深刻的变革, 产生了许多先进制造技术, 并从单工序的研究发展到整个制造系统的研究。当前, 在全球范围内, 制造技术正朝着自动化、敏捷化、精密化、柔性化和可持续方向发展。

随着国际市场竞争越来越激烈, 机电产品的更新周期越来越短, 多品种的中小批生产将成为今后的一种主要生产类型。如何解决中小批生产的自动化问题是摆在我们面前的一个突出问题。因此, 以解决中小批生产自动化为主要目标的柔性制造技术越来越受到重视, 如计算机数控技术 (CNC)、计算机辅助工艺设计 (CAPP)、柔性制造系统 (FMS)、计算机集成制造系统 (CIMS) 等的应用越来越广泛, 使整个生产过程在计算机控制下, 不仅实现自动化, 而且实现柔性化、智能化、集成化, 使产品质量和生产效率大大提高, 生产周期缩短, 产生了很好的经济效益。

另一方面, 快速原型制造技术 (RPM)、虚拟制造技术 (VM) 等, 使产品开发周期大大缩短。而精益生产 (LP)、敏捷制造 (AM)、并行工程 (CE) 等先进制造生产管理模式, 进一步提高了生产的效率和对市场的反应速度。

加工制造正在向超精密加工的方向进一步发展。在现代高科技领域中, 产品的精度要求越来越高, 有的尖端产品其加工精度达到  $0.001\mu\text{m}$ , 即纳米 (nm) 级, 促使加工精度由亚微米级向纳米级发展。掌握超精密加工技术, 在未来的科技竞争中具有重要意义, 也是一个国家制造水平的重要标志。要实现超精密加工, 必须具有与之相适应的加工设备、工具、仪器以及加工环境与检测技术。

发展高速切削、强力切削, 提高切削加工效率, 也是机械加工制造技术发展的一种趋势。而要实现高速切削与强力切削的关键是要具有与之相适应的机床和切削工具。而切削速度由于像陶瓷、聚晶金刚石 (PCD)、聚晶立方氮化硼 (PCBN) 等超硬刀具材料的普及应用, 也将达到每分钟数千米。目前数控机床主轴转速已达  $32000\text{r}/\text{min}$ , 铣削加工中心主轴转速已超过  $60000\text{r}/\text{min}$ , 磨削速度普遍已达  $80\sim 120\text{m}/\text{s}$ , 高的已达  $200\sim 250\text{m}/\text{s}$ 。

近年来, 我国的制造业不断采用先进制造技术, 但与工业发达国家相比, 仍然存在一个阶段性的整体上的差距。在管理方面, 工业发达国家广泛采用计算机管理, 重视组织和管理



体制、生产模式的更新发展,推出了准时生产(JIT)、敏捷制造(AM)、精益生产(LP)、并行工程(CE)等新的管理思想和技术;我国只有少数大型企业局部采用了计算机辅助管理,多数小型企业仍处于经验管理阶段。在设计方面,工业发达国家不断更新设计数据和准则,采用新的设计方法,广泛采用计算机辅助设计技术(CAD/CAM),大型企业开始无图样的设计和生产;我国采用CAD/CAM技术的比例较低。在制造工艺方面,工业发达国家较广泛的采用高精密加工、精细加工、微细加工、微型机械和微米/纳米技术、激光加工技术、电磁加工技术、超塑加工技术以及复合加工技术等新型加工方法;我国普及率不高,尚在开发、掌握之中。在自动化技术方面,工业发达国家普遍采用数控机床、加工中心及柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS),实现了柔性自动化、知识智能化、集成化;我国尚处在单机自动化、刚性自动化阶段,柔性制造单元和系统仅在少数企业使用。

我们虽然已经取得了很大成绩,但也应看到,当前我国机械产品的质量、劳动生产率、技术水平、经济效益和管理水平等方面与其他工业先进的国家相比,尚有较大差距,不能适应国民经济发展的需要。特别是我国加入WTO后,经济的全球化和贸易的自由化使国际经济竞争愈来愈激烈。因此,我们必须重视机械制造工程技术的学习和掌握,为提高我国的机械制造技术水平作出积极贡献。

本课程是机械类专业的一门主干技术基础课。其研究的对象主要包括:机械加工过程中机械零件的切削过程,机械加工的工艺装备、工艺方法,零件加工几何精度的公差标准以及现代加工技术等。其基本内容包括:

- (1) 金属切削过程的基本理论、基本规律及金属切削刀具的基本知识。
- (2) 金属切削机床的分类、编号,典型通用机床的工作原理、传动分析、结构特点及工艺范围。
- (3) 机械加工后零件的几何公差标准。
- (4) 机械制造工艺规程制定的基本理论和基本知识。
- (5) 机床夹具的基本知识。
- (6) 机械加工中零件的结构工艺性。
- (7) 特种加工技术的基本原理和应用。
- (8) 数控加工技术、柔性制造系统等先进制造技术简介。

本课程的特点是实践性、综合性强,灵活性大,如金属切削理论和机械制造工艺知识等均具有很强的实践性。因此,学习本课程时,必须重视实践环节,即通过实验、实习、设计及工厂调研来更好地体会和加深理解。

通过本课程的学习,要求学生获得机械制造最基本的专业知识和技能,掌握金属切削的基本原理和基本知识,掌握机械加工的基本知识,能选择加工方法、机床、刀具、夹具及加工参数,正确掌握零件几何尺寸精度的国家标准和表面粗糙度标准及选用,具备制定机械加工工艺规程的基本能力,了解特种加工技术和先进制造技术的发展概况。

# 第一篇 金属切削加工原理

金属切削加工是机械制造业中的一种基本加工方法，其目的是使被加工工件获得规定的加工精度以及表面质量。金属切削过程是用刀具从工件表面上切去多余的金属，形成预期加工表面的过程。本篇讲授了金属切削原理及刀具的基本知识，对切削过程中产生的一系列物理现象进行了研究，揭示了它们产生的机理和相互之间的内在联系及对切削加工的影响规律，并在此基础上讨论如何合理地选择金属切削条件。掌握这些基本理论和基本规律对控制切削过程、保证加工质量、提高生产效率、降低加工成本和促进切削加工技术的发展具有十分重要的意义。

## 第一章 金属切削基本知识

金属切削加工过程始终贯穿着刀具与工件之间的相互运动、相互作用，切削加工时必须利用具有一定切削角度的刀具与工件作相对运动从而切除工件上多余的或预留的金属，形成已加工表面。本章主要讲述了金属切削加工的基本知识，包括零件表面成形方法及成形运动、机床的切削运动与切削用量、刀具的几何角度以及切削层参数与切削方式等。

### 第一节 切削加工概述

#### 一、切削加工的特点

金属切削加工是用刀具从毛坯（或型材）上切去一部分多余的材料，将毛坯加工成符合图样要求的尺寸精度、形状精度和表面质量的零件的加工过程。在现代机械制造业中，凡精度要求较高的机械零件，除少数采用精密铸造、精密锻造以及粉末冶金和工程塑料压制成形等方法直接获得外，绝大多数零件要靠切削加工成形，以保证精度和表面质量要求。因此，在机械制造业中，切削加工占有十分重要的地位，是必不可少的。目前，切削加工占机械制造业总工作量的40%~60%。切削加工多用于金属材料的加工，也可用于某些非金属材料的加工，一般不受零件的形状和尺寸的限制，可加工内外圆柱面、锥面、平面、螺纹、齿形及空间曲面等各种型面。加工零件的尺寸公差等级一般为IT12~IT3，表面粗糙度 $R_a$ 值为25~0.008 $\mu\text{m}$ 。传统的切削加工方法有车削、铣削、刨削、钻削和磨削等，它们是在相应的车床、铣床、刨床和磨床上进行的，加工时工件和刀具都安装在机床上。切削加工必须具备三个条件：刀具与工件之间要有相对运动；刀具具有适当的几何参数，即切削角度；刀具材料具有一定的切削性能。

近些年已逐步发展起来许多新的切削加工技术，如高速与超高速切削技术、硬态切削技

术、干式（绿色）切削技术、振动切削与磨削技术、加热辅助切削与低温切削技术、特殊切削加工方法（磁化切削、真空中切削、惰性气体保护切削、绝缘切削等）、复合加工技术以及射流加工技术等，而电火花、电解、超声波、激光、电子束、离子束加工等特种加工方法，已完全突破传统的依靠机械能进行切削加工的范围，可以加工各种难以加工的材料、复杂的型面和某些具有细微结构的零件。

## 二、零件表面的切削加工成形方法

零件的表面形状不外乎是几种基本形状的表面：平面、圆柱面、圆锥面以及各种成形面。机械零件的任何表面都可看作是一条线（称为母线）沿着另一条线（称为导线）运动的轨迹。如图 1-1 所示，平面是由一条直线（母线）沿着另一条直线（导线）运动而形成的（见图 1-1a）；圆柱面和圆锥面是由一条直线（母线）沿着一圆（导线）运动而形成（见图 1-1b、c）；普通螺纹的螺旋面是由“Λ”形线（母线）沿螺旋线（导线）运动而形成（见图 1-1d）；直齿圆柱齿轮的渐开线齿廓表面是由渐开线（母线）沿直线（导线）运动而形成（见图 1-1e）。形成表面的母线和导线统称为发生线。

由图 1-1 可以看出，有些表面，其母线和导线可以互换，如：平面、圆柱面和直齿圆柱齿轮的渐开线齿廓表面等，称为可逆表面；而另一些表面，其母线和导线不可互换，如：圆锥面、螺旋面等，称为不可逆表面。

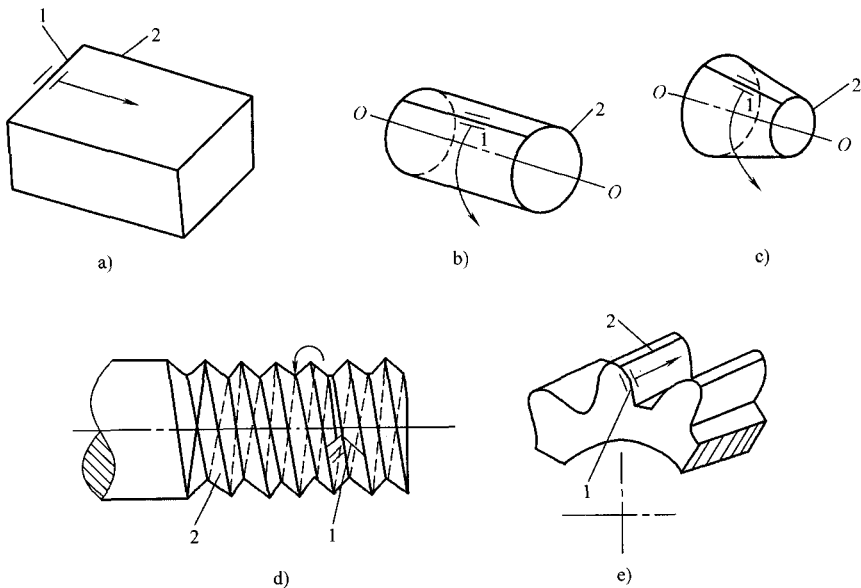


图 1-1 零件表面的成形

1—母线 2—导线

在机床上，为了要获得所需的工件表面形状，必须形成一定形状的发生线（母线和导线）。在通常情况下，切削加工中发生线是由刀具的切削刃和工件的相对运动得到的。这种相对运动称为表面成形运动。由于使用的刀具切削刃形状和采取的加工方法不同，形成发生线的方法可归纳为以下 4 种：

### 1. 轨迹法

它是利用刀具作一定规律的轨迹运动对工件进行加工的方法。切削刃与被加工表面为点接触，发生线为接触点的轨迹线。图 1-2a 中母线  $A_1$ （直线）和导线  $A_2$ （曲线）均由刨刀的轨迹运动形成。采用轨迹法形成发生线需要一个成形运动。

### 2. 成形法

它是利用成形刀具对工件进行加工的方法。刀具切削刃的形状和长度与所需形成的发生线（母线）完全重合。图 1-2b 中，曲线形母线由成形刨刀的切削刃直接形成，直线形的导线则由轨迹法形成。采用成形法形成发生线不需要成形运动。

### 3. 相切法

它是利用刀具边旋转边作轨迹运动对工件进行加工的方法。在图 1-2c 中，采用铣刀、砂轮等旋转刀具加工时，在垂直于刀具旋转轴线的截面内，切削刃可看作是点，当切削点绕着刀具轴线作旋转运动  $B_1$ ，同时刀具轴线沿着发生线的等距线作轨迹运动  $A_2$  时，切削点运动轨迹的包络线，便是所需的发生线。为了用相切法得到发生线，需要 2 个成形运动，即刀具的旋转运动和刀具中心按一定规律的轨迹运动。

### 4. 展成法

它是利用工件和刀具作展成切削运动进行加工的方法。切削加工时，刀具与工件按确定的运动关系作相对运动（展成运动或称范成运动），切削刃与被加工表面相切（点接触），切削刃各瞬时位置的包络线，便是所需的发生线。用齿条形插齿刀加工圆柱齿轮，刀具沿  $A_1$  方向所作的直线运动，形成直线形母线（轨迹法），而工件的旋转运动  $B_{21}$  和直线运动  $B_{22}$ ，使刀具能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，便是所需要渐开线形导线，如图 1-2d 所示。用展成法形成发生线需要一个成形运动（展成运动）。

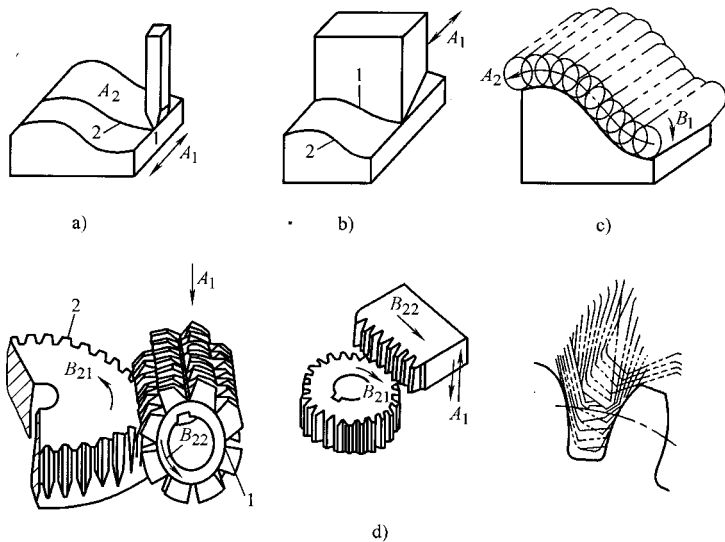


图 1-2 形成发生线的方法

## 三、表面成形运动

由上述可知，除成形法外，发生线的形成都是靠刀具和工件作相对运动，即表面成形运动实现的。表面成形运动按其组成情况不同，可分为简单成形运动和复合成形运动两种。

### 1. 简单成形运动

如果一个独立的成形运动，是由单独的旋转运动或直线运动构成的，则此成形运动称为

简单成形运动。通常用符号  $A$  表示直线运动，用符号  $B$  表示旋转运动，用下标表示成形运动的序号。例如，用尖头车刀车削外圆柱面时（见图 1-3a），工件的旋转运动  $B_1$  和刀具的直线移动  $A_2$  就是两个简单运动；用砂轮磨削圆柱面时（见图 1-3b），砂轮和工件的旋转运动  $B_1$ 、 $B_2$ ，以及工件的直线移动  $A_3$ ，也都是简单运动。

## 2. 复合成形运动

如果一个独立的成形运动，是由两个或两个以上的旋转运动或（和）直线运动，按照某种确定的运动关系组合而成，则称此成形运动为复合成形运动。例如，车削螺纹时（见图 1-3c），为简化机床结构和较易保证精度，通常将形成螺旋形发生线所需的刀具和工件之间的相对螺旋轨迹运动，

分解为工件的等速旋转运动  $B_{11}$  和刀具的等速直线移动  $A_{12}$ 。 $B_{11}$  和  $A_{12}$  不能彼此独立，它们之间必须保持严格的运动关系，即工件每转 1 转时，刀具直线移动的距离应等于螺纹的导程，从而  $B_{11}$  和  $A_{12}$  这两个单元运动组成一个复合运动。用轨迹法车回转体成形面时（见图 1-3d），尖头车刀的曲线轨迹运动，通常由相互垂直坐标方向上的、有严格速比关系的两个直线运动  $A_{21}$  和  $A_{22}$  来实现。 $A_{21}$  和  $A_{22}$  也组成一个复合运动。上述复合运动组成部分符号中的下标，第一位数字表示成形运动的序号，第二位数字表示同一个复合运动中单元运动的序号。

复合成形运动也可以分解为 3 个甚至更多个部分。如车削圆锥螺纹时，刀具相对于工件的运动轨迹为圆锥螺旋线，形成该圆锥螺旋线的运动可分解为 3 个部分：工件的旋转运动  $B_{11}$ 、刀具纵向直线移动  $A_{12}$  和刀具横向直线移动  $A_{13}$ 。为了保证一定的螺纹导程， $B_{11}$  和  $A_{12}$  之间必须保持严格的相对运动关系；为了保证一定的锥度， $A_{12}$  和  $A_{13}$  之间也必须保持严格的相对运动关系。

随着现代数控技术的发展，多轴联动数控机床的出现，可分解为更多个部分的复合成形运动已在机床上实现。每个部分就是机床的一个坐标轴。复合成形运动虽然可以分解成几个部分，每个部分是一个旋转或直线运动，但这些部分之间保持着严格的相对运动关系，是相互依存，而不是独立的。所以复合成形运动是一个运动，而不是两个或两个以上的简单运动。

## 四、辅助运动

机床上除表面成形运动外，还需要辅助运动，以实现机床的各种辅助动作。辅助运动的种类很多，主要包括以下几方面。

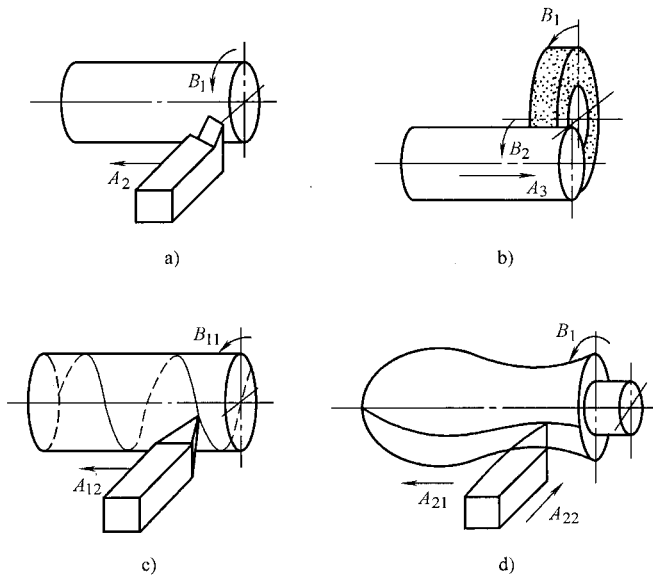


图 1-3 成形运动的组成

a) 车外圆 b) 磨外圆 c) 车螺纹 d) 车成形面

### 1. 各种空行程运动

空行程运动是指进给前后的快速运动和各种调位运动。例如,装卸工件时为便于操作且避免刀具碰伤操作者,刀具与工件应离得较远。在进给开始之前快速引进,使刀具与工件接近;进给结束后,应快退。例如,车床的刀架或铣床的工作台在进给前后的快进或快退运动。调位运动是调整机床的过程中把机床的有关部件移到要求的位置,如摇臂钻床上为使钻头对准被加工孔的中心,主轴箱与工作台间的相对调位运动;龙门刨床、龙门铣床的横梁,为适应工件不同厚度的升降运动等。

### 2. 切入运动

切入运动使刀具相对工件切入一定深度,以保证被加工表面获得所需要的尺寸。

### 3. 分度运动

当加工若干个完全相同的均匀分布的表面时,为使表面成形运动得以周期性地连续进行的运动称为分度运动。例如,车削多头螺纹,在车完一条螺纹后,工件相对于刀具要回转 $1/K$ 转( $K$ ——螺纹头数)才能车削另一条螺纹表面,这个工件相对于刀具的旋转运动就是分度运动。多工位机床的多工位工作台或多工位刀架也需分度运动。这时,分度运动是由工作台或刀架完成的。

### 4. 操纵及控制运动

它包括起动、停止、变速、换向、部件与工件的夹紧和松开、转位以及自动换刀、自动测量、自动补偿等操纵控制运动。

## 第二节 机床的切削运动与切削用量

### 一、切削运动

在机床上,为了要获得所需的工件表面形状,必须形成一定形状的发生线(母线和导线)。通常情况下,切削加工中发生线是由刀具的切削刃和工件的相对运动得到的。这种相对运动称为表面成形运动。

如上所述,在机床上加工各种表面时,刀具与工件之间必须要有适当的相对运动,即成形运动,而各种成形运动是由机床来实现的,因此,又称为机床的切削运动。表面成形运动中各单元运动(即切削运动),按其在切削加工中所起的作用不同,可分为主运动和进给运动。

#### 1. 主运动

主运动是切下切屑所需要的最基本的运动。它使刀具切削刃及其邻近的刀具表面切入工件材料,使被切削层转变为切屑。一般情况下,它是切削运动中速度最高、消耗功率最大的运动。任何切削过程必须有一个,也只有一个主运动。它可以是旋转运动,也可以是直线运动。例如,车削加工时工件的旋转运动,钻削和铣削加工时刀具的旋转运动,牛头刨床刨削时刀具的直线往复运动等都是主运动。主运动可以由工件完成(如车削、龙门刨削等);也可以由刀具完成(如钻削、铣削、牛头刨床上刨削及磨削加工等)。

#### 2. 进给运动

进给运动是使金属层不断投入切削,配合主运动以加工出完整表面所需的运动。一般情况下,进给运动的速度较低,功率消耗也较少。其数量可以是一个,如钻削时钻头轴向进

给；也可以是多个，如外圆磨削时的轴向进给、圆周进给和径向进给；甚至没有进给运动（如拉削加工）。进给运动可以是连续进行的，如钻孔、车外圆、铣平面等；也可以是断续进行的，如刨平面、车外圆时的横向进给等。进给运动可以由工件完成，如铣削、磨削等；也可以由刀具完成，如车削、钻削等。

主运动和进给运动可由刀具和工件分别完成，也可由刀具单独完成。

各种切削加工机床是为实现某些表面的加工而设计的，因此都有自己特定的切削运动。常见加工方法的切削运动如图 1-4 所示。

图 1-4a 表示钻床上钻孔。钻头的旋转运动是其主运动；钻头沿其轴线的直线运动是其进给运动；由这两个运动的合成切出了工件新表面。

图 1-4b 表示外圆车削。车床主轴带动工件旋转实现主运动；车刀的直线运动为进给运动。

图 1-4c 表示刨床上刨平面。刨刀在水平方向上作往复直线运动，实现主运动；工件随工作台间歇性的横向进给运动；由这两个运动配合形成了工件新表面。

图 1-4d 表示铣床上铣平面。铣削加工的主运动是铣刀的旋转运动；进给运动是工件的直线移动；两者合成铣出工件新表面。

图 1-4e 表示在外圆磨床上磨削工件外圆。它一共有四个运动：砂轮的旋转运动为主运动；砂轮横向切入工件的运动称为径向进给运动；工件相对于砂轮的轴向运动称为轴向进给运动；工件的旋转运动称为圆周进给运动。

图 1-4f 表示拉床上拉削圆孔。拉削运动只有一个，即拉刀的直线运动，是其主运动。由于拉刀上有许多刀齿，且后一刀齿的齿高略微高于前一刀齿，当拉刀作直线运动时，便能依次地从工件上切下很薄的金属。故拉削不再需要进给运动，进给运动的功能已被刀齿的逐齿升高量取代。

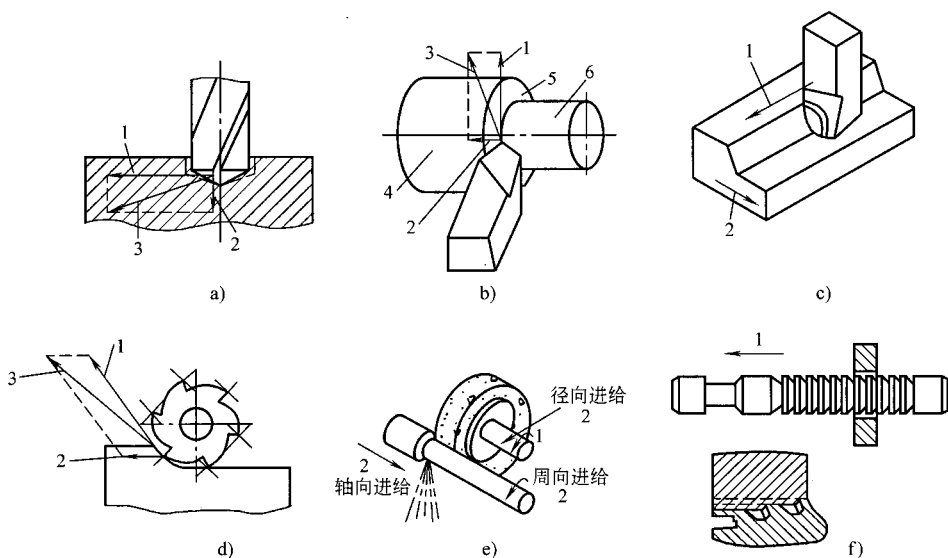


图 1-4 各种切削加工的切削运动

1—主运动 2—进给运动 3—合成运动 4—待加工表面  
5—过渡表面 6—已加工表面

### 3. 合成切削运动

加工时工件新表面的形成是靠刀具与工件之间的切削运动实现的。在大多数的切削加工中，主运动与进给运动是同时进行的，当进给运动连续进行时，主运动和进给运动的合成运动，称为合成切削运动。切削刃选定点相对于工件的合成切削运动的瞬时速度即合成切削速度  $v_c$ ，如图 1-5 所示。车削外圆时的合成切削速度为

$$v_c = v_c + v_f$$

由于通常进给速度  $v_f$  比主运动速度  $v_c$  小得多，故常将主运动看成是合成切削运动。即一般认为  $v_c \approx v_c$ 。

## 二、加工中的工件表面

以车削为例，工件在车削过程中有三个不断变化着的表面（见图 1-5）：

(1) 待加工表面，即将被切除金属层的表面，随着切削过程的进行，它将逐减小，直至全部切去。

(2) 已加工表面，即已经切去一部分金属而形成的新表面，随着切削过程的进行，它将逐渐扩大。

(3) 过渡表面，即切削刃正在切削的表面，它总是处在待加工表面和已加工表面之间。

上述这些定义也适用于其他类型的切削加工。

## 三、切削用量

切削用量是指切削速度、进给量和背吃刀量三者的总称。这三者又称切削用量三要素。切削用量是调整机床、计算切削力、切削功率、工时定额及核算工序成本等所必需的参数。

### 1. 切削速度 ( $v_c$ )

切削刃选定点相对于工件的主运动的瞬时速度称为切削速度，单位为 m/s。若主运动为旋转运动（如车、钻、镗、铣、磨），切削速度为其最大的线速度（见图 1-6）。

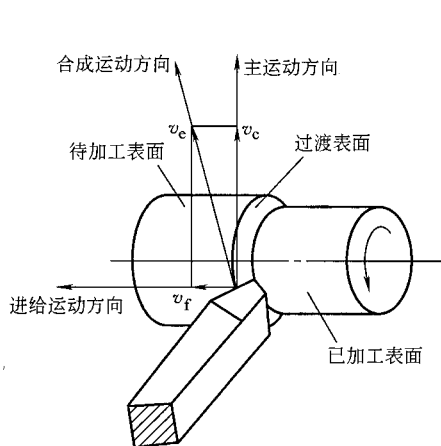


图 1-5 外圆车削运动、工件表面及合成速度

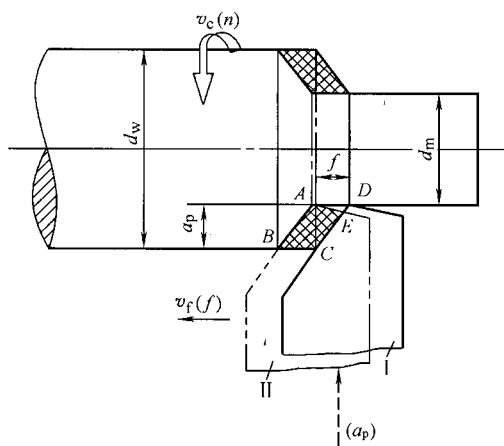


图 1-6 切削用量三要素



$$v_c = \frac{\pi d n}{1000 \times 60} \quad (1-1)$$

式中  $d$ ——完成主运动的工件或刀具在切削处的最大直径 (mm);

$n$ ——主运动的转速 (r/min)。

若主运动为往复直线运动 (如刨削、插削等), 则常以其平均速度为切削速度, 即

$$v_c = \frac{2L n_r}{1000 \times 60} \quad (1-2)$$

式中  $L$ ——刀具或工件作往复直线运动的行程长度 (mm);

$n_r$ ——主运动每分钟往复次数 (Str/min)。

## 2. 进给量 ( $f$ )

进给量是指在主运动的一个循环内, 刀具在进给运动方向相对工件的位移量, 可用刀具或工件每转或每行程的位移量来表述和度量, 其单位是 mm/r 或 mm/str。如车削外圆时, 进给量  $f$  是指工件每转一转时车刀相对于工件在进给运动方向上的位移量, 其单位为 mm/r; 而在牛头刨床上刨削平面时, 则进给量  $f$  是指刨刀往复一次, 工件在进给运动方向上相对于刨刀的位移量, 其单位为 mm/str。

对于铰刀、铣刀等多齿刀具, 常要规定出每齿进给量  $f_z$ , 其含义为多齿刀具每转或每行程中每个刀齿相对于工件在进给运动方向上的位移量。

进给量  $f$  的大小反映了进给速度  $v_f$  的大小。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, 若进给运动为直线运动, 则进给速度在切削刃上各点是相同的。即

$$v_f = n f = n z f_z \quad (1-3)$$

式中  $z$ ——刀具刀齿数。

## 3. 背吃刀量 ( $a_p$ )

背吃刀量是指在通过切削刃基点并垂直于工作平面的方向上测量的吃刀量。在一般情况下, 也就是工件上待加工表面与已加工表面之间的垂直距离, 单位为 mm。车削圆柱面时的背吃刀量为该次的切削余量的一半; 刨削平面的背吃刀量等于该次的切削余量。外圆车削时, 背吃刀量  $a_p$  的计算如下

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-4)$$

式中  $d_w$ ——工件待加工表面直径 (mm);

$d_m$ ——工件已加工表面直径 (mm)。

如为镗孔, 则式中的  $d_w$  与  $d_m$  需互换一下位置。

## 第三节 刀具几何参数

切削刀具的种类虽然很多, 形状各异, 但它们切削部分的结构要素和几何角度有着许多共同的特征, 都可以看作是以外圆车刀切削部分为基本形状的演变和组合。如图 1-7 所示, 各种多齿刀具或复杂刀具, 就其一个刀齿而言, 都相当于一把车刀的刀头。外圆车刀是最基本、最典型的切削刀具。下面从普通外圆车刀入手, 对刀具几何参数进行分