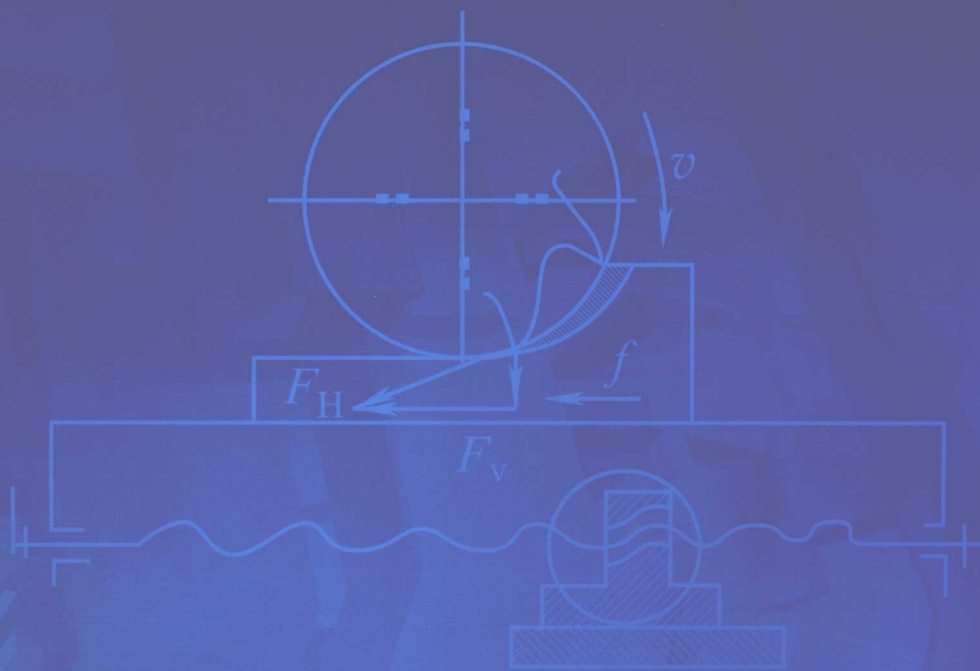


普通高等教育“十一五”规划教材

# 机械制造 技术基础

林艳华 主编

JIXIE  
ZHIZAO  
JISHU  
JICHU



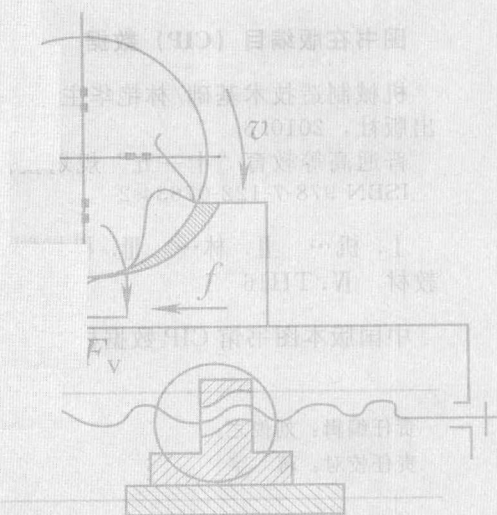
化学工业出版社

普通高等教育“十一五”规划教材

# 机械制造 技术基础

林艳华 主编

JIXIE  
ZHIZAO  
JISHU  
JICHU



化学工业出版社

· 北京 ·

本书阐述了机械制造业中所必需的基础知识、基本理论和基本方法。具体内容共七章，包括：机械加工方法、金属切削原理、机床、刀具、夹具；制造质量分析与控制；工艺规程设计以及超高速加工、超精密加工、绿色制造、精益生产、智能制造、微型机械及微细加工。每章后附有思考与练习题。

本书可作为普通高等院校机械类专业本科和专科的教材，培养目标为面向生产一线的人才。还可供近机械类专业及有关工程技术人员参考，也可作为相关领域的培训教材。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造技术基础/林艳华主编.  
出版社, 2010.3  
普通高等教育“十一五”规划教材  
ISBN 978-7-122-07634-2

I. 机… II. 林… 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 (2010) 第 010827 号

---

责任编辑：刘俊之  
责任校对：蒋 宇

文字编辑：闫 敏  
装帧设计：史利平

---

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 刷：北京永鑫印刷有限责任公司  
装 订：三河市万龙印装有限公司  
787mm×1092mm 1/16 印张 11½ 字数 291 千字 2010 年 3 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：25.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

“机械制造技术基础”是机械设计制造及其自动化专业的一门主干专业技术基础课。本书为适应 21 世纪培养高素质、创造型机械科技人才的需要,适应机械专业宽口径人才培养模式的需求,总结了各高等学校近年来教学改革的探索与实践经验,贯彻重基础、少学时、低重心、新知识、宽面向的改革思路,将既有内容整合成一门以机械制造工艺过程和加工质量及其控制为主线,由“制造基本知识”、“制造技术基础知识”、“制造专业技术”及“制造技术应用与发展”四个层次组成的综合化课程。本书集金属切削原理与刀具、机床概论、机床夹具、机械制造工艺学及先进制造技术五门课程的主体性知识于一身,在课程体系和内容上均有较大力度的整合和较深程度的融合,使课程充分体现出“结构的科学性和综合性、内容组织的条理性及层次性、职业技能的应用性和指导性、专业面向的针对性和适应性、涉及领域的时代性及先进性”。本书将原有课程的最基础内容精选出来,适当新增一些知识要点,加以整合后,精心编写而成。

为适应培养生产一线应用型机械专业人才的需要,本书强调应用性和能力的培养,剔除边缘性内容,删去过高要求的、陈旧的、纯理论性与纯学科性的内容和简单易懂的介绍性内容,突出知识的实用性、针对性;内容侧重机械制造技术方面的基本知识、基本原理和基本方法,包括金属切削过程的物理现象及其规律,切削刀具的功用、性能和常用加工设备的传动、构造以及有关加工质量、工艺装备、工艺规程等方面的必备知识,增加了典型零件的加工方法与工艺分析、夹具设计的基础知识等内容。本书注重工艺原理的实际应用,力求理论联系实际,尽可能多地引用典型实例进行分析,以加深读者对所述内容的理解;同时尽量多用图、表来表达叙述性的内容,力求以较少的篇幅完成对所需内容的介绍。本书还介绍了先进制造技术的基本理念与发展趋势,以扩大视野,开阔思路。

本书为高等学校机械类专业的教材及大专院校机械学科的教学用书,也可供从事机械设计、机械加工、工艺设计、加工控制的人员及有关工程管理人员作参考。

本书在编写过程中参考并引用了大量文献资料和相关教材,谨此向原作者表示衷心感谢。

本书力求知识系统、结构紧凑、深入浅出、简单易学。由于编者水平有限,书中不当之处在所难免,恳请读者不吝指正。

编者

2009 年 10 月

# 目录

<b>1 机械制造技术基础概述</b> .....	1
1.1 制造业和机械制造技术 .....	1
1.2 零件成形方法 .....	2
1.3 机械制造中的加工方法 .....	2
1.3.1 车削 .....	3
1.3.2 铣削 .....	3
1.3.3 钻削 .....	5
1.3.4 镗孔 .....	5
1.3.5 刨削 .....	6
1.3.6 磨削 .....	6
1.3.7 齿轮加工 .....	7
1.4 生产过程与组织 .....	8
1.4.1 生产过程和工艺过程 .....	8
1.4.2 生产类型 .....	8
1.4.3 组织生产 .....	8
1.5 课程的主要内容及学习要求 .....	9
1.6 课程特点及学习方法 .....	10
思考与练习题 .....	10
<b>2 金属切削原理与刀具</b> .....	11
2.1 金属切削基础知识 .....	11
2.1.1 切削运动 .....	11
2.1.2 工件上的切削表面 .....	11
2.1.3 切削用量 .....	12
2.1.4 切削层参数 .....	12
2.2 刀具的结构 .....	13
2.2.1 刀具的组成 .....	13
2.2.2 确定刀具角度的参考平面 .....	13
2.2.3 刀具标注角度 .....	14
2.2.4 刀具工作角度 .....	14
2.3 刀具的材料 .....	16
2.3.1 刀具材料应具有的性能 .....	16
2.3.2 常用刀具材料及其合理选用 .....	16
2.4 金属切削过程及切削参数的选择 .....	18
2.4.1 切屑的形成 .....	19

2.4.2	切屑的类型 .....	19
2.4.3	积屑瘤 .....	20
2.4.4	切削力和切削功率 .....	21
2.4.5	切削热和切削温度 .....	24
2.5	刀具的主要种类及应用 .....	25
2.5.1	车刀 .....	26
2.5.2	孔加工刀具 .....	26
2.5.3	铣刀 .....	28
2.5.4	螺纹刀具 .....	29
2.5.5	齿轮刀具 .....	30
2.6	影响金属切削加工的主要因素及其控制 .....	31
2.6.1	工件材料的切削加工性 .....	31
2.6.2	刀具几何参数的选择 .....	32
2.6.3	切削用量的选择原则 .....	34
2.6.4	切削液 .....	34
	思考与练习题 .....	35
<b>3</b>	<b>金属切削机床</b> .....	<b>36</b>
3.1	金属切削机床基本知识 .....	36
3.1.1	机床分类 .....	36
3.1.2	机床型号编制 .....	36
3.1.3	机床的运动 .....	40
3.1.4	机床的传动 .....	42
3.1.5	机床的技术性能 .....	44
3.2	金属切削机床主要结构组成 .....	48
3.2.1	主轴部件 .....	48
3.2.2	机床支承部件 .....	55
3.2.3	机床导轨 .....	60
3.3	常见的金属切削机床 .....	64
3.3.1	车床 .....	64
3.3.2	钻床 .....	66
3.3.3	镗床 .....	67
3.3.4	铣床 .....	69
3.3.5	磨床 .....	70
3.3.6	加工中心 .....	72
	思考与练习题 .....	73
<b>4</b>	<b>机床夹具与设计</b> .....	<b>74</b>
4.1	机床夹具概述 .....	74
4.1.1	夹具的分类 .....	74
4.1.2	夹具的组成 .....	74
4.1.3	夹具的作用 .....	75
4.2	工件定位 .....	76
4.2.1	完全定位与不完全定位 .....	76

4.2.2	欠定位和过定位 .....	76
4.2.3	常见定位方式及其定位元件的选择 .....	77
4.2.4	定位误差的分析计算 .....	82
4.3	工件夹紧 .....	84
4.3.1	夹紧装置的组成 .....	84
4.3.2	夹紧装置的基本要求 .....	84
4.3.3	夹紧力的确定 .....	85
4.3.4	基本夹紧机构 .....	87
4.4	机床夹具的设计步骤 .....	89
4.5	各类机床夹具 .....	90
4.5.1	钻床夹具 .....	90
4.5.2	车床夹具 .....	92
4.5.3	铣床夹具 .....	93
	思考与练习题 .....	95
<b>5</b>	<b>机械零件加工质量分析与控制</b> .....	<b>97</b>
5.1	机械加工精度 .....	97
5.1.1	基本概念 .....	97
5.1.2	工艺系统的几何误差 .....	98
5.1.3	工艺系统受力变形产生的误差 .....	103
5.1.4	工艺系统受热变形引起的误差 .....	109
5.1.5	内应力重新分布引起的误差 .....	111
5.1.6	提高加工精度的措施 .....	113
5.2	加工误差的统计分析 .....	115
5.2.1	加工误差的性质 .....	115
5.2.2	加工误差的分布图分析法 .....	115
5.2.3	工艺过程的点图分析 .....	122
5.3	机械加工表面质量 .....	124
5.3.1	机械加工表面质量的含义 .....	124
5.3.2	机械加工表面质量对零件使用性能的影响 .....	125
5.3.3	影响表面粗糙度的因素 .....	126
5.3.4	影响加工表面物理力学性能的因素 .....	127
5.3.5	提高机械加工表面质量的措施 .....	129
5.4	机械加工过程中的振动及其控制 .....	130
5.4.1	自由振动 .....	130
5.4.2	强迫振动 .....	130
5.4.3	自激振动 .....	131
	思考与练习题 .....	131
<b>6</b>	<b>机械加工工艺规程</b> .....	<b>133</b>
6.1	概述 .....	133
6.1.1	机械加工工艺流程 .....	133
6.1.2	机械加工工艺流程的组成 .....	133
6.1.3	生产类型的工艺特征 .....	134

6.2	机械加工工艺规程设计	135
6.2.1	机械加工工艺规程的格式	135
6.2.2	制订机械加工工艺规程的原则	137
6.2.3	制订机械加工工艺规程所需资料	137
6.2.4	制订机械加工工艺规程的步骤	138
6.3	工艺路线的拟定	138
6.3.1	定位基准的选择	138
6.3.2	工件表面加工方法的选择	139
6.3.3	加工阶段的划分	141
6.3.4	确定工序数目和内容	142
6.3.5	加工顺序的安排	142
6.3.6	时间定额的确定	143
6.3.7	工艺方案的技术经济分析	144
6.4	加工余量及工序尺寸	146
6.4.1	加工余量	146
6.4.2	工序尺寸及其公差	148
6.4.3	工艺尺寸链	149
6.5	机械装配工艺规程设计	153
6.5.1	装配工作的基本内容	153
6.5.2	装配精度	154
6.5.3	保证装配精度的工艺方法	154
6.5.4	装配工艺规程的制定	159
	思考与练习题	160
<b>7</b>	<b>先进制造技术简介</b>	<b>163</b>
7.1	超高速切削技术	163
7.1.1	超高速加工的特点	163
7.1.2	超高速切削的应用领域	164
7.1.3	超高速切削技术的新趋势	164
7.2	超精密加工技术	165
7.2.1	超精密加工的特点	165
7.2.2	超精密加工方法	165
7.2.3	超精密加工的支撑环境	166
7.3	现代制造模式的新发展	166
7.3.1	绿色制造	166
7.3.2	精益生产	168
7.3.3	智能制造	168
7.4	微型机械与微细加工	169
7.4.1	微型机械	169
7.4.2	微细加工	170
	思考与练习题	172
	<b>参考文献</b>	<b>173</b>



## 1.1 制造业和机械制造技术

“制造”是指从市场分析、产品开发、产品生产技术准备到产品生产、产品生产组织与计划管理、产品质量保证以及产品包装和运输等的全部活动和过程。

“制造业”是将各种原材料加工制造成可使用的工业制成品的工业。其整体能力和发展水平标志着一个国家的经济实力、国防实力、科技水平和生活水准，也决定着一个国家，特别是发展中国家实现现代化的进程。制造业是一个国家的支柱产业，是为国家创造财富的重要产业，没有强大的制造业，一个国家将无法实现经济快速、健康、稳定的发展，人民的生活水平也难以提高。

“制造技术”（manufacturing technology）就是按照人们的要求，运用知识和技能，利用客观物质工具，使原材料转变为产品的技术总称。制造技术的水平和实力反映一个国家制造业的生产力水平，制造技术是国际间产品革新、生产发展、经济竞争的重要手段，该领域也是最为活跃的领域。特别是计算机的大量普及与应用，使机械制造业已经并正在继续发生着质的飞跃，经历着由主要依靠人工和技术人员经验技艺型的传统制造技术向多品种、变批量生产方式转变；制造业的资源配置由劳动密集、设备密集向信息密集、知识密集方向发展；制造技术由机械化、刚性自动线向柔性自动线、智能自动化方向跨进。

“机械制造技术”是指在机械制造领域中机械设计、机械加工工艺、基础设施及其相关技术的技术水准。机械加工工艺是机械制造技术的核心，它是指利用工具或能量通过变形、去除、连接或增加材料等方法将原材料或半成品制成满足一定设计要求的产品的的方法和过程。机械制造技术支撑着机械制造业的发展，机械制造技术水平的提高与进步不仅决定了相关产业的质量、效率和竞争力的高低，而且成为传统产业借以实现产业升级的基础和根本手段，对整个国民经济的发展以及科技、国防实力的提高有着直接的重要的影响，是衡量一个国家科技水平和综合国力的重要标志之一。

中华人民共和国成立以来，我国的制造业和制造技术得到了长足的发展，一个具有相当规模和一定技术基础的机械工业体系已经形成。尤其是改革开放 30 年来，我国机械制造业通过引进国外先进技术，有计划地推进国内企业制造技术的科学改造，已经成为一个规模宏大、门类齐全和具有一定技术基础的产业部门，产品质量和水平及经济效益发生了显著变化，使得中国成为世界瞩目的机械制造业大国。我国生产的小型仪表机床、重型机床，各种精密的、高度自动化的、高效率的机床，其性能已接近世界先进水平，中国制造正在世界范围内重新崛起，中国品牌已经走向世界。许多经济学家预测，中国将成为继英国、美国和日本之后的又一个“世界工厂”。据统计，2000 年我国的制造业总产值占世界制造业总产值的约 5% 左右，成为世界第四大生产国。

但是，我们应该看到，我国的机械制造业与工业发达国家相比，还存在很大的差距，主要表现在机械制造业能耗和物耗高，每万元产品能耗是发达国家的 5 倍，主要产品物耗比发

达国家高 40%；制造业总体规模小，仅相当于美国的 1/5，日本的 1/4；制造业的人均劳动生产率低下，平均只相当于发达国家的 1/5~1/20；自主开发和技术创新能力还比较薄弱，拥有自主知识产权的产品较少。

针对目前“中国制造”和“世界制造”的现状，我国的机械制造业正沿着 3 条主线发展：①传统的切削加工技术不断发展，特种加工技术不断拓展，使机械制造工艺方法进一步完善与开拓；②加工技术向高精度方向发展，使“精密工程”和“纳米技术”逐步走向实用化和生产化；③加工技术向自动化方向发展，继续沿着 NC—CNC—FMS—CIMS 的台阶向上发展。力争 2015 年总产值成为世界第二大，建成名副其实的“世界工厂”；力争 2030 年总产值成为世界第一大国；力争 2050 年在制造业的带动下，服务业高度发达，研究设计达到发达国家水平。

### 1.2 零件成形方法

任何机械产品都是由许多单个零件装配而成的。所以，零件制造是机械制造的基础。零件制造的任务是通过一定成形方法使毛坯变成有确定的外形和一定性能及功能的三维实体（即零件）。

成形方法广泛应用于机械制造、首饰工艺品加工、陶瓷生产等许多领域。根据现代成形学的观点，从物质的组织方式上（不包括生物的发育生长），按照由原材料或毛坯制造成为零件的过程中其质量  $M$  的变化，可把成形方法分为以下三类。

①  $\Delta M < 0$  的去除成形法 它是应用分离的办法，把一部分材料（裕量材料）有序地从毛坯基体分离出去而成形的方法。 $\Delta M < 0$  主要指切削加工，这是本书重点内容，切削过程中工件由夹具安装在机床上，机床带动刀具或工件或两者同时进行运动，通过工件和刀具之间的相对运动和相互作用实现加工，加工过程中力、热、变形、振动、磨损等现象直接影响了最终获得零件的几何形状和表面质量。

②  $\Delta M = 0$  的受迫成形法 是指锻造、铸造及模具成形（注射模、压铸模、冲裁模、拉伸模、吹塑模等）中应用材料的可成形性，在特定的外围约束下塑形不变质量而成形的方法。据统计，机电产品 40%~50% 的零件是由模具成形的。

③  $\Delta M > 0$  的堆积成形法 它是应用合并与连接的办法，把材料（气、液、固相）有序地堆积、累加、合并起来而成形的方法。20 世纪 80 年代出现的材料累加法制造（Material Incess Manufacturing）属于  $\Delta M > 0$  的情况，制造过程中，零件是通过材料累加逐渐生长出来的，它可以成形任意复杂形状的零件，而无需刀具、夹具等的生产准备。

这类加工方法包括电镀、化学镀、喷涂等沉积加工，以及快速原型制造等。快速成形（Rapid Prototyping, RP）技术是在零件三维 CAD 模型建立之后，输入到快速成形系统，由系统控制成形机进行零件的制造，快速制造出来的原型可作为设计评估、投标或展示的样件，有些甚至可以用于样机试验。

目前应用的 RP 加工方法有光固化法（Stereo Lithography, SL）、叠层制造法（Laminated Object Manufacturing, LOM）、激光选区烧结法（Selected Laser Sintering, SLS）和熔积法（Fused Deposition Modeling, FDM）等。具体内容可参考另一门技术基础课“材料成形技术”或专业课“快速原型制造技术”。

### 1.3 机械制造中的加工方法

机械零件的结构形状千差万别，但不论零件结构简单或复杂，都可以把它们看成由外

圆、内孔、平面等基本的几何表面组成。机械加工方法获得零件形状时，同一种表面，可选用加工精度、生产率和加工成本各不相同的加工方法进行加工，工程技术人员的任务就是要根据具体的生产条件（生产规模、设备状况、生产工人的技术水平等）选用最适当的加工方法，加工出满足图样要求的零件，并获得最好的经济效益。根据机床运动的不同、刀具的不同，可将去除零件毛坯多余材料的切削加工分为很多方法。本节对这些主要方法逐一介绍。

### 1.3.1 车削

车削时，工件装夹在车床主轴上作回转主运动，刀具作直线或曲线进给运动，可以获得不同的工件形状。如图 1-1，车削加工的范围十分广泛，如内外圆柱面、端面、螺旋面、锥面、椭圆面、球面等，车削效率较高，切削过程平稳，刀具简单。

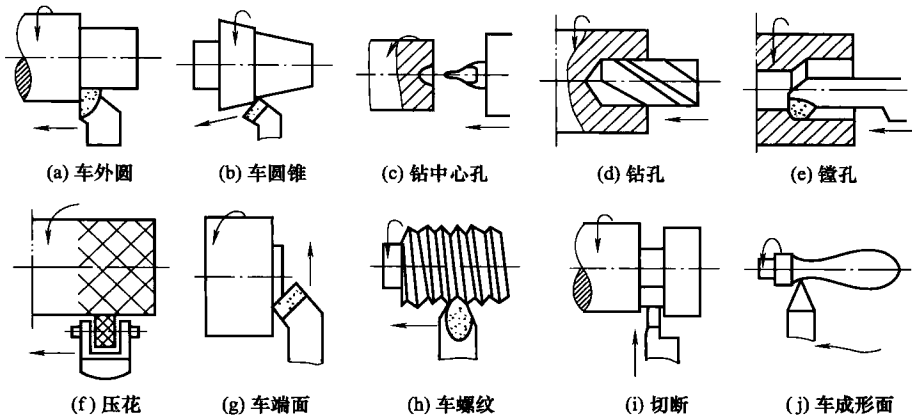


图 1-1 车削加工的范围

车削外圆可分为粗车、半精车、精车和精细车四个阶段。单件、小批生产中常用普通车床，成批大量生产时多采用多刀半自动车床、液压仿形车床或数控车床等。

粗车时加工精度一般为 IT12~IT10，表面粗糙度为  $Ra50\sim12.5\mu\text{m}$ ；精车时加工精度可达 IT8~IT6，表面粗糙度  $Ra$  值为  $1.6\sim0.8\mu\text{m}$ 。

### 1.3.2 铣削

铣削加工在铣床上进行，铣刀的旋转运动是切削主运动，工件装夹在铣床工作台上，作进给运动。铣刀是多刃刀具，结构复杂，形状和类型多种多样。铣削主要用来加工平面（水平面、垂直面和斜面）、台阶面、沟槽（键槽、T形槽、燕尾槽等）、分齿零件（齿轮、链轮、棘轮、花键轴等）、螺旋形表面（螺纹、螺旋槽及各种曲面等）、成形面和切断等，加工范围广泛。

铣削可分为周铣法和端铣法。如图 1-2 (a) 所示，利用分布在铣刀圆周上的刀刃进行铣削的，称为周铣或卧铣；1-2 (b) 是利用分布在铣刀端面上的刀刃进行铣削，称为端铣或立铣。

周铣分为顺铣和逆铣两种。铣削力的水平分力与工件的进给方向相同的称为顺铣；而逆铣时二者方向相反。端铣又分为对称铣和不对称铣。

#### (1) 顺铣

如图 1-3 (a) 所示，顺铣时，刀齿的切削厚度从最大逐渐减至零，后刀面与工件无挤压、摩擦现象，加工表面质量较好；工件在法向切削力作用下始终被压向工作台，工件不会向上抬起，切削过程较平稳，刀具耐用度较高；顺铣时，铣削力的水平分力与工件的进给方

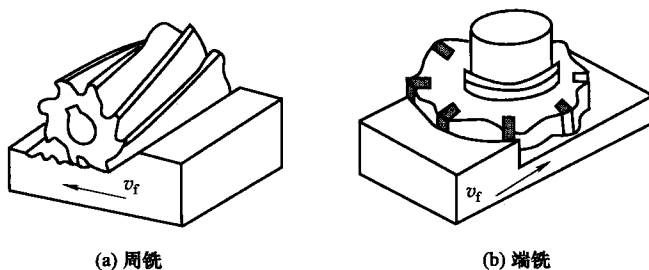


图 1-2 铣削

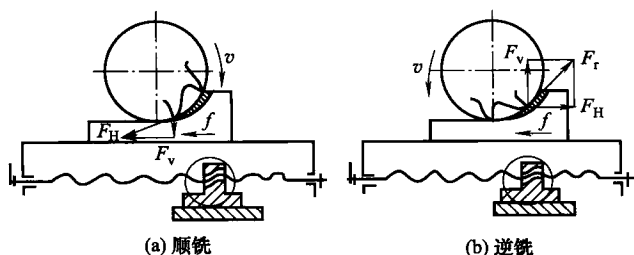


图 1-3 顺铣和逆铣

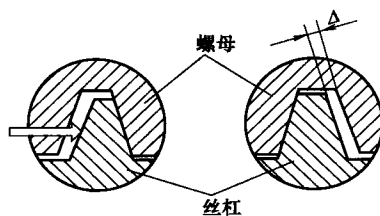


图 1-4 螺母丝杆间隙

向相同，当工作台进给丝杆与螺母之间有间隙时，该力容易引起工件和工作台一起向前窜动，使进给突然增大，易打刀，如图 1-4 所示；若工件表面有硬皮，刀齿切入工件时，加剧了刀具的磨损，因此适合于加工表面无硬皮的工件。

(2) 逆铣

图 1-3 (b) 为铣刀逆铣示意图，工件在法向切削力作用下有被抬起的趋势，易引起振动，因此需要较大的夹紧力；切削厚度从零逐渐增大，切削力也逐渐增大，避免了刀齿因冲击而破损，但切削刃也经历了一段在切削硬化的已加工表面上挤压滑行的阶段，从而加剧了刀具的磨损，影响工件表面质量。

(3) 对称铣

如图 1-5 (a) 所示，铣刀位于工件加工表面的对称线上，切削层厚度均匀的铣削称为对称铣。对称铣削时刀具寿命高，常用于淬硬钢或机床导轨的铣削，能获得较高的表面质量。

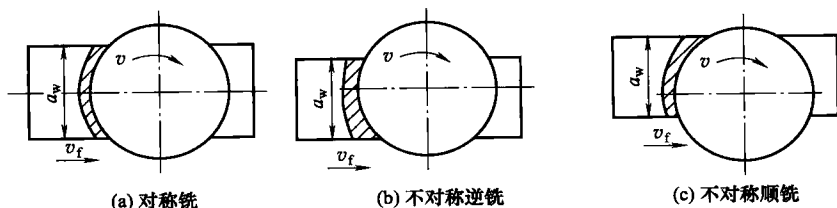


图 1-5 对称铣与不对称铣

(4) 不对称铣

铣削时，铣刀轴线与工件铣削宽度对称中心线不重合的铣削方式，称为不对称铣。

铣刀以最大切削厚度切入工件，以最小切削厚度切出工件时，为不对称逆铣，如图 1-5 (b) 所示，虽然有一定冲击力，但金属粘刀量小，适合铣削冷硬性材料、不锈钢、耐热合金等；铣刀以最小切削厚度切入工件，以最大切削厚度切出工件的称为不对称顺铣，如图 1-5 (c) 所示，此时，冲击力小，切削平稳，对提高刀具耐用度有利，适合于铣削碳钢、铸铁等。

### 1.3.3 钻削

钻削是用钻头在实心材料上加工孔的方法。钻孔有两种方式，一是钻头旋转并作直线进给，工件不动，如图 1-6 (a) 在钻床上钻孔，由于钻头切削刃不对称或钻头偏斜，易导致被加工孔的轴线偏斜，但孔径无明显变化；另一种是工件旋转，钻头不动只作直线进给，如图 1-6 (b) 在车床上钻孔，钻头引偏，孔的轴线无明显变化，与其回转轴线一致，但会引起孔径变化，形成锥形或腰鼓形孔，造成圆柱度误差。

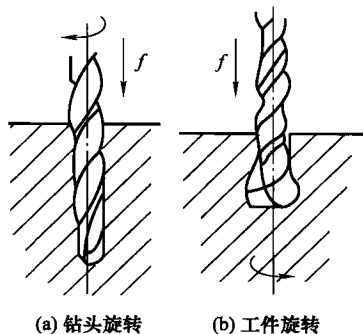


图 1-6 钻孔方式

为了减小钻孔的加工误差，在成批大量生产时常用钻套引导钻头，避免钻头切入时的引偏；单件小批生产时，可用小顶角短而粗的麻花钻头预钻锥形孔后，再用所需的钻头钻孔。

钻孔操作简单，适应性强，应用广泛。但钻头是在实体材料包围着的半封闭环境中工作，排屑和散热较困难，致使钻削的加工精度较低，一般只能达到 IT13~IT11，表面粗糙度  $R_a$  为 12.5~6.3 $\mu\text{m}$ 。钻孔直径一般在 0.1~80mm 范围内，对于精度要求不高的孔，如螺栓或螺钉的贯穿孔、油孔及各种铰、镗、拉的底孔等，可采用钻孔。钻孔直径小于 12mm 的可在台式钻床上加工，中小型工件上较大的孔 ( $D < 50\text{mm}$ )，常用立式钻床加工，大中型工件上的孔用摇臂钻床加工。

若孔的精度和表面质量要求很高，可以在钻孔后采用扩孔和铰孔来进行半精加工和精加工。扩孔采用扩孔钻头，铰孔采用铰刀进行加工。扩孔精度一般为 IT11~IT10，表面粗糙度  $R_a$  为 6.3~3.2 $\mu\text{m}$ ，扩孔一般用于  $\phi 100\text{mm}$  以下孔的加工；铰孔精度一般为 IT8~IT6，表面粗糙度  $R_a$  为 1.6~0.2 $\mu\text{m}$ ，扩孔和铰孔均在原底孔的基础上进行加工，因此无法提高孔轴线的位置精度及直线度。

### 1.3.4 镗孔

镗孔是用镗刀对已钻孔或毛坯孔作进一步的加工，分为粗镗、半精镗、精镗和精细镗（金刚镗）。粗镗的加工精度可达 IT13~IT12，表面粗糙度  $R_a$  为 20~5 $\mu\text{m}$ ；半精镗加工精度可达 IT11~IT10，表面粗糙度  $R_a$  为 10~2.5 $\mu\text{m}$ ；精镗的加工精度为 IT9~IT7，表面粗糙度  $R_a$  为 5~0.63 $\mu\text{m}$ ；精细镗加工精度为 IT7~IT5，表面粗糙度  $R_a$  为 1.25~0.16 $\mu\text{m}$ 。

镗孔时，镗刀安装在镗杆上深入内孔进行切削，镗孔后的轴线是由镗杆回转轴线决定的，因此，可以校正原底孔轴线的位置精度。镗孔可在镗床或车床上进行，如图 1-7 所示。在车床上镗孔时，三爪卡盘夹持工件回转，溜板带动镗刀作进给运动，如图 1-7 (a) 所示，加工后孔轴心线与工件的回转中心一致，孔轴心的直线度好，一次装夹完成外圆和内孔的加工，同轴度易保证。

在镗床上镗孔时，镗刀与车刀结构基本相同，镗刀随镗杆一起转动，工作台带动工件作进给运动，工件孔与孔、孔与平面的位置精度容易保证，镗杆的变形对孔的轴向形状精度无

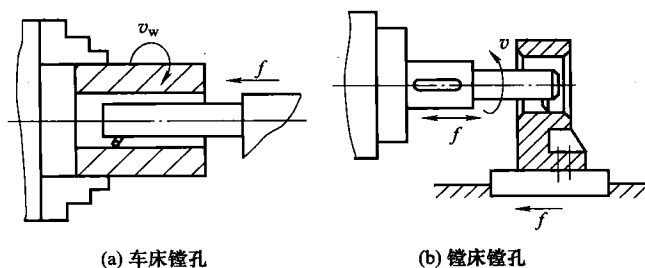


图 1-7 镗孔

影响，工作台进给方向的偏斜或不直会使孔轴线产生位置误差；镗床上镗孔时，工件也可以不动，镗刀旋转并作进给运动，随着镗杆伸出长度的增加，镗杆变形会增大，造成孔的形状误差，这种方法只适合于加工较短的孔，如图 1-7 (b) 所示。

### 1.3.5 刨削

刨削是利用刨刀与工件的相对直线运动进行切削的加工方法。刨削可加工水平面、垂直面、斜面、直沟槽、V形槽、T形槽、燕尾槽、直线形曲面等。

常用的刨削设备有卧式和立式之分。牛头刨床和龙门刨床为卧式，牛头刨床刨削时，刨刀的往复直线运动是主运动，工件在垂直于刨刀运动方向上作直线进给，龙门刨床则相反，如图 1-8 所示。牛头刨床一般只用于单件生产，加工中小型工件；龙门刨床主要用来加工大型工件，加工精度和生产率都高于牛头刨床。刨床的滑枕垂直设置时为插床，属立式设备，主要用来加工键槽等内表面。

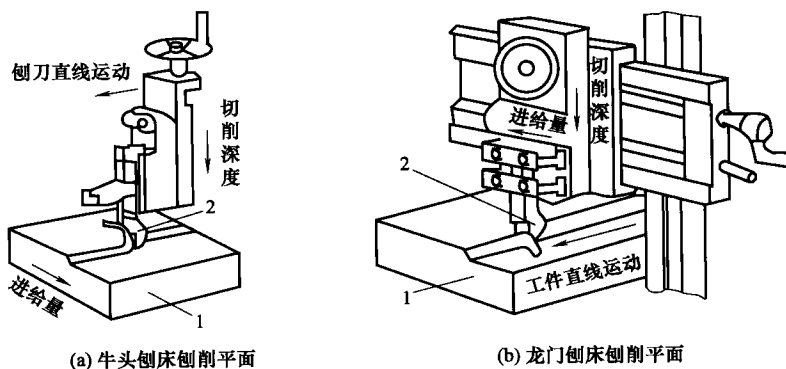


图 1-8 刨削加工

1—工件；2—刨刀

刨削时的往复直线运动，存在空行程和冲击，使加工速度不可能太高，故生产效率低。刨削加工精度一般可达 IT8~IT7，表面粗糙度为  $Ra6.3\sim 1.6\mu\text{m}$ ，精刨平面度可达  $0.02/1000$ ，表面粗糙度为  $Ra0.8\sim 0.4\mu\text{m}$ ，具有较高的直线度，特别适合加工狭长的平面（如机床导轨、箱体平面等）。刨削加工调整方便，工件在一次装夹中能同时加工处于不同位置上的平面。

### 1.3.6 磨削

磨削是用砂轮等磨具以较高的线速度对工件进行加工的方法，如图 1-9 所示。磨具上的每一个磨粒都相当于一个微小刀齿，加工平稳，磨削精度可达 IT6~IT4，表面粗糙度  $Ra$

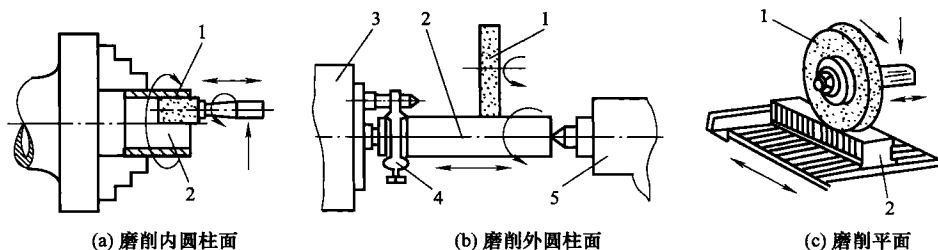


图 1-9 磨削加工

1—砂轮；2—工件；3—头架；4—鸡心夹头；5—尾架

可达  $1.25 \sim 0.01 \mu\text{m}$ ，直线度可达  $0.01 \sim 0.03 \text{mm/m}$ ，平行度可达  $0.01 \sim 0.03 \text{mm}$ ，可以得到较高的加工精度和表面质量。

磨削是机械零件精加工的主要手段，往往作为最终加工工序。磨削加工范围广，可以加工各种几何形状的工作表面，如内外圆柱面、内外圆锥面、螺纹、槽、平面、成形表面、齿轮齿面等，尤其适合于淬硬和高硬度金属材料的加工。磨削加工时需选用适当的切削液进行冷却，以避免磨削烧伤降低表面质量。

### 1.3.7 齿轮加工

齿轮加工是金属切削的一个重要门类，齿轮加工的关键是齿面加工。按齿面形成原理的不同，齿面加工分为成形法和展成法两类。

#### (1) 成形法

成形法是用与被切齿轮齿槽形状一致的成形刀具实现齿面加工的方法。这种方法一般在铣床上用模数盘状铣刀或模数指形铣刀铣削齿轮，如图 1-10 所示。也可以用成形砂轮磨齿或用成形拉刀拉齿，由于砂轮及拉刀制造、刃磨较为困难，故应用较少。

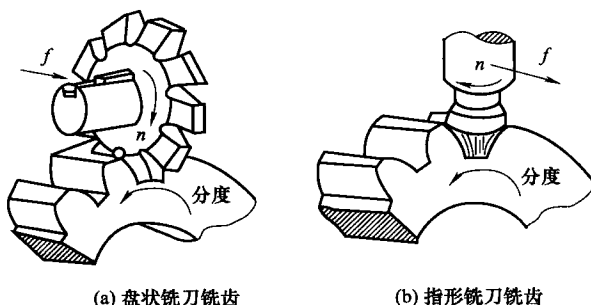


图 1-10 成形法加工齿轮

铣齿是采用单齿廓成形分齿法，即铣刀旋转加工完一个齿，铣刀退回，工件分度，再加工下一个齿，因此生产效率较低。模数铣刀数量有限，每一种模数通常只配备八把刀具，各自适应一定的齿数范围，因此加工出的齿形是近似的，加工精度较低。适用于单件小批生产及加工精度要求不高时。

#### (2) 展成法

展成法是利用齿轮啮合原理进行齿面加工的，又称为范成法或包络法。其切削过程模拟齿轮副的啮合过程，把其中一个做成刀具，被切齿轮齿形是由刀具在展成运动中切削刃的位置连续变化包络形成的。展成法使用的齿轮刀具通用性好，只要模数和压力角相同，同一把刀具可以加工任意齿数的齿轮，加工精度和生产效率都比较高，在齿轮加工中应用最为广泛。

常用的展成法加工齿轮有滚齿、插齿、剃齿、磨齿等。

以上介绍的是利用机械能对工件进行加工的传统切削方法。随着科学技术的发展，具有高硬度、高强度、高脆性或高熔点的各种难加工材料的使用，如硬质合金、钛合金、淬火工具钢、陶瓷、玻璃等；具有低刚度或复杂曲面形状的特殊零件的使用，如薄壁工件、弹性元

件、复杂曲面磨具、叶轮叶片、喷丝头等；使特种加工迅速发展起来。特种加工是利用化学、电、声、光、热、磁、电化学等方法去除工件材料的加工方法，如电火花加工、激光束加工、电化学加工、超声波加工、等离子体加工、磨料流加工等。

## 1.4 生产过程与组织

### 1.4.1 生产过程和工艺过程

生产过程是将原材料转变为成品的全过程。生产过程中改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和物理、力学性能等，使其成为成品或半成品的过程称为工艺过程。机械产品的工艺过程是指零件的机械加工和产品装配过程，分为铸造、锻造、焊接、冲压、机械加工、热处理、表面处理、装配等。生产过程的其他环节，诸如工具的供应、设备的维修、包装、运输、保管等，为产品制造中的辅助过程。

### 1.4.2 生产类型

机械制造工艺过程的安排取决于生产类型，生产类型的划分依据是产品或零件的年生产纲领。产品的年生产纲领就是产品的年生产量：

$$N = Qn(1 + \alpha)(1 + \beta)$$

式中  $N$ ——零件年生产纲领，件/年；  
 $Q$ ——产品年产量，台/年；  
 $n$ ——每台产品中该零件的数量，件/台；  
 $\alpha$ ——零件备品率；  
 $\beta$ ——零件废品率。

根据年生产纲领及产品的大小和结构的复杂性确定零件的生产类型，分为单件生产、成批生产、大量生产，它们之间的关系见表 1-1。

表 1-1 生产类型与生产纲领的关系

生产类型	零件年生产纲领/(件/年)		
	重型零件	中型零件	轻型零件
单件生产	≤5	≤10	≤100
成批生产	小批生产	5~100	10~200
	中批生产	100~300	200~500
	大批生产	300~1000	500~5000
大量生产	≥1000	≥5000	≥50000

### 1.4.3 组织生产

产品的生产类型不同，生产组织形式及相应的工艺过程也大不相同。单件生产可以使用通用设备和工艺装备，如车、钻、磨、铣、刨床及三爪卡盘、四爪卡盘、虎钳、分度头等，依靠工人的技术或技艺来生产和保证加工质量。

成批生产时，可以采用数控机床、加工中心、柔性制造单元或专用设备和专用工艺装备，生产过程中加工零件的精度较多地采用自动控制尺寸的方法，某些零件的制造过程甚至可以组织流水线生产，因而对工人的操作技术水平的要求可以降低。

在大量生产中广泛采用高效的专用机床和自动机床，按流水线排列或采用自动线进行生



产,生产过程的自动化程度最高,工人的技术水平要求较低。但更换刀具和调整机床仍需技术熟练的工人。大量生产可以大大地降低产品成本,提高质量和增加产品在市场上的竞争能力。

企业组织生产可以有多种形式:

- ① 生产全部零部件、组装机器;
- ② 生产一部分关键的零部件,其余的由外协厂供应;
- ③ 完全不生产零部件,只负责设计及销售。

第一种模式,企业必须拥有加工所有零件、完成所有工序的设备,形成大而全、小而全的工厂。这种模式,适应市场能力差,不容易实现产品转型。

第二种模式适合于产品复杂的大工业生产,如汽车制造业。美国的三大汽车公司周围密布着数以千计的中小型企业,承担汽车零配件、专用模具、专用设备的供应,形成了一个繁荣的产业;日本的汽车工业也是如此。日本电装、丰田工机、美国的 TRW、德尔福都是专门生产汽车零部件的巨型企业,它们向多家汽车生产厂供货,汽车生产厂家只控制整车、车身和发动机的设计和生产。

第三种模式被称为“两头在内,中间在外”,具有占地面积小、固定设备投入少、转产容易等优点,适宜市场变化快的产品生产。是一种将制造业由资金密集型向知识密集型过渡的模式,更显示出知识在现代制造业中的突出作用和地位。但这种模式自己不能掌握核心技术和工艺,也不能从大批量生产中附加值较大的零部件中获得利益。

第二和第三种模式中,零部件的质量是最为关键的环节。主机厂必须有一套完善的质量检测手段,对供应的零件进行全检或按数理统计方法进行抽检。另一种措施是可以向两个供货商订货,形成一种竞争机制,以便有选择和补救的余地。

## 1.5 课程的主要内容及学习要求

本课程主要介绍机械产品的生产过程及生产活动的组织,机械加工过程及其系统,内容包括:机械制造技术基础概述,金属切削过程及其基本规律,机床、刀具、夹具的基本知识,机械加工中精度及表面质量的概念及其控制方法,机械加工和装配工艺规程的设计,先进制造技术简介等。

机械制造技术既是一门科学,有其系统性和内在规律,又是一门技术,凝聚了大量实践经验的结晶。本课程既是一门技术基础课,为其他专业课的学习打下良好基础,又是一门专业课,其知识在机械制造专业领域内可直接应用于生产,指导实践。制造实际上不仅局限于机械制造,也应包括汽车、电子、仪器仪表、医疗器械、轻工乃至信息产业产品的制造。本书以机械制造为主,将部分内容拓宽至适应其他制造业,即向大制造内容扩展,开阔学生的视野,使学生既有较强的机械制造技术的知识基础,又有较强的就业适应能力。

通过学习本课程,要求学生能对制造活动有一个总体的、全面的了解与把握,掌握金属切削过程的基本规律并能合理选择相关参数;熟悉常用机械加工方法的工作原理、工艺特点和应用范围并能正确选用机床、刀具、夹具及加工参数;掌握机械制造工艺的基本理论,具备制订机械加工工艺规程和装配工艺规程的能力;掌握机械加工精度和表面质量分析的基本理论和基本知识,学会分析机械加工过程中产生误差的原因,初步具备分析解决现场工艺问题的能力;了解当今先进制造技术的发展概况,初步具备对制造单元以及制造系统选择决策的能力。