

中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 机械加工技术

(机械加工技术专业)

主	编	王明耀	张兆隆
参	编	李格平	王增春
		刘淑敏	李玉兰
		章学愚	孙建莉
责任主审		罗圣国	
审	稿	韩蕴秋	张世荣

机械工业出版社

本书是中等职业教育国家规划教材，是根据机械加工技术专业整体改革方案及机械加工技术课程教学大纲的基本要求编写的。

本书从技术应用出发，以机械加工工艺为主线，将金属切削机床、金属切削原理及刀具、机床夹具设计、机械制造工艺学等知识有机地结合起来，形成了新的知识构架和内容体系，注重培养学生的全面素质和综合职业能力。本书的内容包括机械加工的基本概念、金属切削的基本知识、机械加工工艺系统、机械加工工艺规程、典型零件的加工、装配工艺基础、设备的维护、先进加工方法简介等。

本书是机械加工技术专业主干课程的规划教材，也可供从事机械制造的工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机械加工技术/王明耀, 张兆隆主编.-北京:机械工业出版社, 2002.7  
中等职业教育国家规划教材  
ISBN 7-111-10221-5

. 机... . 王... 张... . 机械加工—专业  
学校—教材 . TG5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 026687 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
责任编辑: 郑丹 版式设计: 霍永明 责任校对: 张莉娟  
封面设计: 姚毅 责任印制: 何全君  
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行  
2002 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷  
787mm×1092mm<sup>1/16</sup>·15.5 印张·379 千字  
0 001—3 000 册  
定价: 18.50 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527  
封面无防伪标均为盗版

## 中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教育基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

# 前 言

随着科学技术的迅速发展, 21 世纪中职人才的培养目标是使学生成为面向基层、面向生产和服务于第一线的既懂技术又能操作的高素质劳动者和中高级专门人才。中等职业教育教材模式必须进行改革, 打破旧有的学科性的课程内容结构, 建立新型的综合课程模式, 这对全面提高劳动者的综合素质, 将有深远的意义。职业教育的课程目标要从侧重工艺技术、纯专业能力向着培养综合职业能力和全面素质的方向转变。培养具有综合素质人才要通过课程的综合化来实现。实践证明, 课程综合化是使学生的知识全面发展的有效途径, 可以增强职业教育在人的发展和社会进步中的活力。《机械加工技术》一书是按上述指导思想, 根据教育部审批通过的面向 21 世纪中等职业教育重点专业, 机械加工技术专业教学改革整体方案和机械加工技术课程教学大纲编写的, 是由机械职业教育机械制造专业教学指导委员会组织编审的国家规划教材。

本教材依据 21 世纪对中等职业人才的知识 and 能力结构要求, 以能力为本位, 以培养学生的创新精神和实践能力为核心, 以综合职业能力为基点, 融汇金属切削机床、金属切削原理及刀具、机床夹具设计、机械制造工艺学等知识为一体, 建立了机械加工技术专业教材新体系。教材本着“实际、实用、实效”的原则, 突出基本概念、基本原理、基本方法和基本训练, 力求做到结构合理、内容充实、文字精炼、深入浅出。

本书编写的指导思想是: 注重学生的能力提高和素质培养; 在教材体系上, 打破学科界限, 将相关知识有机地综合; 精选内容, 保证重点, 剔除与职业能力联系不大的、陈旧的、重复的、过深的理论知识, 从而节约课时用于增加新知识与加强实践环节。

本书的编写特点如下:

(1) 突出应用 不强调理论的系统性、完整性与学科性, 避开有关的公式推导, 重视理论的实际应用, 使学生所学的知识和技能紧贴职业岗位。

(2) 注重时代性 本教材注重了新工艺、新技术、新标准的应用, 介绍了先进加工技术、特种加工、精密和超精密加工等。

(3) 综合性强 本教材以典型零件的工艺为主线, 将机床、刀具、夹具、工件等进行了有机的综合。

(4) 注重学生创新能力的培养 本教材在部分章节编写了综合训练课题, 课题灵活, 其目的之一就是通过训练潜移默化地培养学生的创新意识和创新能力。

(5) 适应性强 本教材特别重视不同层次中等职业教育培养目标的需要, 教

材内容综合性强、伸缩性大。

(6) 直观性强 本教材图文并茂，简洁明了。

本教材共分八章，第一章主要介绍机械加工的概念；第二章主要介绍金属切削的基本知识；第三章介绍机械加工工艺系统的有关知识；第四章介绍机械加工工艺规程；第五章介绍典型零件加工；第六章介绍装配的基础知识；第七章介绍设备的维护知识；第八章介绍先进机械加工方法等。教材第三、五、六章后编写了综合训练。

本教材适用于3年制，教学时数为160学时。本书由王明耀、张兆隆担任主编。参加编写的有李格平、王增春、刘淑敏、李玉兰、章学愚、孙建莉。本书由福建职业技术学院周宏甫副教授担任主审。

参加审稿的有吴国华、张普礼、华坚、权月华、彭跃湘、张远平、孙燕华、马丽霞、张武荣等并提出了许多好的建议，在此我们表示衷心感谢！

由于水平有限，书中错误和缺点在所难免，恳请读者提出宝贵意见，以便修改。

编者

2001.11

# 目 录

前言		
绪论	1	
第一章 机械加工的概念	3	
第一节 基本概念	3	
第二节 基准	6	
第三节 机械加工的生产率	7	
复习思考题	10	
第二章 金属切削基础知识	11	
第一节 切削运动与切削要素	11	
第二节 刀具切削部分的基本定义	13	
第三节 切削过程及其物理现象	15	
第四节 切削液	20	
复习思考题	21	
第三章 机械加工工艺系统	22	
第一节 机床	22	
第二节 刀具	63	
第三节 夹具	68	
第四节 工件	83	
第五节 机械加工工艺系统综合训练	87	
复习思考题	88	
第四章 机械加工工艺流程	91	
第一节 机械加工工艺流程概述	91	
第二节 零件的工艺分析	95	
第三节 毛坯选择	97	
第四节 定位基准的选择	99	
第五节 工艺路线的拟定	102	
第六节 加工余量和工序尺寸的确定	105	
第七节 机床与工艺装备的选择	111	
第八节 切削用量与工时定额的确定	112	
复习思考题	112	
第五章 典型零件的加工	114	
第一节 轴类零件加工	114	
第二节 套类零件加工	125	
第三节 箱体零件加工	139	
第四节 齿轮加工	160	
复习思考题	171	
第六章 机械装配工艺基础	174	
第一节 概述	174	
第二节 装配尺寸链	176	
第三节 保证产品装配精度的方法	178	
第四节 典型零部件的装配	181	
第五节 装配工艺基础综合训练	184	
复习思考题	185	
第七章 设备的维护	186	
第一节 设备的使用和维护保养制度	186	
第二节 设备操作维护规程与完好标准	189	
第三节 设备维修的修理类别	193	
第四节 设备维修工艺基础	196	
第五节 判断、分析和排除设备常见故障的方法	206	
复习思考题	210	
第八章 先进加工方法简介	211	
第一节 精密加工方法	211	
第二节 特种加工方法	218	
第三节 成组工艺和 CAPP	229	
第四节 柔性自动化加工	233	
复习思考题	238	
参考文献	239	

# 绪 论

## 一、本课程的性质和任务

“机械加工技术”是机械加工技术专业的一门主干课程，它是以机械加工工艺为主线，有机地将金属切削机床、金属切削原理与刀具、机床夹具设计、机械制造工艺学等几门机制专业传统的课程融为一体，注重技术应用能力培养的新型课程体系。

机械加工的生产实际是以工艺过程为基础的，而其他方面的内容是为了保证工艺过程的实现。旧课程体系是分门独立的，各门课程是各行其职，分头讲述，并未完全按照生产实践当中的设备、工艺装备去实施教学。这样既浪费了时间，又与生产实践相脱节，不利于学生综合能力的培养。本课程在内容体系安排上，克服了旧有的学科性课程体系的弊端，通过典型轴、套、箱体、齿轮等工件的加工，将工艺、机床、夹具、刀具有机地结合在一起，从而加强了综合职业能力的培养。

## 二、课程的特点

1) 实践性强、灵活性大是本课程的重要特点。学习本课程时，要重视实践性教学环节，如实验、实训、实习等。生产中的实际问题是千差万别的，生产的产品不同，生产类型不同，现场条件不同，其加工方法也不一样。学习本课程时，关键是要掌握本课程的基本理论和基本知识，并灵活运用去处理优质、高效、低消耗这三者的关系。

2) 综合性强是本课程的又一重要特点。本教材在机械加工工艺系统、典型工件加工、装配工艺基础等章节编写了综合训练课题。综合训练是以学生自主学习为目的、直接体验的、研究探索的学习基本方式。其指导思想是注意引导学生热爱学习，参与社会，走进科学，让学生在自主活动中、在实践中综合地运用所学的知识 and 自己的经验，学会和掌握发现问题、解决问题的基本技能，培养学生的创新精神及与他人合作、为他人服务的意识。教师在实施中给予学生具体的指导并逐渐放手，让学生自主地去完成课程任务。

## 三、机械加工技术的发展趋势

加工技术是当代科学技术发展的重要领域之一，是产品更新、生产发展、市场竞争的重要手段，各发达国家纷纷把先进加工技术列为国家的高新关键技术和优先发展项目，给予了极大的关注。在国际国内的激烈竞争中，具有适应市场要求的快速响应能力并能为市场提供优质的产品，对于增强市场竞争能力是非常重要的因素，而快速响应能力和产品质量的提高，主要是取决于加工水平。机械加工技术的发展趋势表现在以下三个方面：

(1) 向高柔性化和自动化方向发展 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生产的一种主要类型。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，以解决中小批生产的自动化为主要目标的柔性制造技术越来越受到重视，如 CNC（计算机数控）、CAD/CAM（计算机辅助设计/计算机辅助制造）、FMS（柔性制造系统）的应用越来越广泛，目前，正在大力发展 CIMS（计算机集成制造系统），使整个生产过程在计算机控制下，不仅实现了自动化，而且实现了柔性化、智能化、集成化，使产品质量和生产率大大提高，生产周期缩短，产生了很好的经济效益。

(2) 向精密加工和超精密加工方向发展 在现代高科技领域中, 产品的精度越来越高, 有的尖端产品其加工精度达到  $0.001\ \mu\text{m}$ , 即纳米 (nm) 级, 促使加工精度由微米级向亚微米级和纳米级发展。精密、超精密以及纳米级加工技术涉及到加工设备、工艺、刀具、检测计量等手段, 是一个机械加工的系统工程。

(3) 向高速切削、强力切削方向发展 目前数控车床主轴转速已达  $5000\text{r}/\text{min}$ , 加工中心主轴转速已达  $20000\text{r}/\text{min}$  以上, 磨削速度普遍已达  $40\sim 60\text{m}/\text{s}$ , 高的已达  $80\sim 120\text{m}/\text{s}$ 。

#### 四、学习本课程的目的和要求

本课程的学习使学生具备高素质劳动者和中初级专门人才所必需的机械加工技术的基本知识和基本技能, 为提高全面素质和综合职业能力, 创新精神与实践能力和实践能力, 增强适应职业变化能力和继续学习打下一定的基础。为实现这一目的, 本课程的学习要求主要有以下几方面:

- 1) 掌握金属切削的基本原理及一般机械加工方法。
- 2) 掌握金属切削机床的结构特点及应用范围等基本知识。
- 3) 具有实施一般零件机械加工工艺规程的能力, 初步具有分析、解决机械加工中质量问题的能力。
- 4) 具有选择、使用、调试、维护一般机床和工艺装备的能力。

# 第一章 机械加工的概念

## 第一节 基本概念

### 一、生产过程和工艺过程

#### 1. 生产过程

产品的生产过程是指把原材料转变为成品的各互相关联的劳动过程的总和。它包括：

(1) 生产技术准备过程 包括产品投产前的市场调查、预测，新产品开发鉴定、产品设计、标准化审查等。

(2) 生产工艺过程 是指直接制造产品毛坯和零件的机械加工、热处理、检验、装配、调试、涂装等生产活动。

(3) 辅助生产过程 为了保证基本生产过程的正常进行所必需的辅助生产活动，如工艺装备的制造、能源供应、设备维修等。

(4) 生产服务过程 是指原材料的组织、运输、保管、储存、供应及产品包装、销售等过程。

为了便于组织生产和提高劳动生产率，取得更好的经济效益，现代工业趋向于专业化协作，即将一种产品的若干个零部件分散到若干专业化厂家进行生产，总装厂只生产主要零部件及总装调试。如汽车、摩托车行业大都采用这种模式进行生产。

#### 2. 工艺过程

工艺过程是指生产过程中直接改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等，使之成为成品或半成品的过程。如毛坯制造、机械加工、热处理、表面处理及装配等，它是生产过程的主体。

### 二、工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一个或若干个顺序排列的工序组成，而工序又可分为安装、工位、工步和走刀。

(1) 工序 一个或一组工人，在一个工作地或一台机床上对一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分工艺过程称为工序。划分工序的依据是工作地点是否变化和工作是否连续。如图 1-1 所示的阶梯轴，当加工数量较少时，其工序划分如表 1-1 所示；当加工数量较大时，其工序划分如表 1-2 所示。

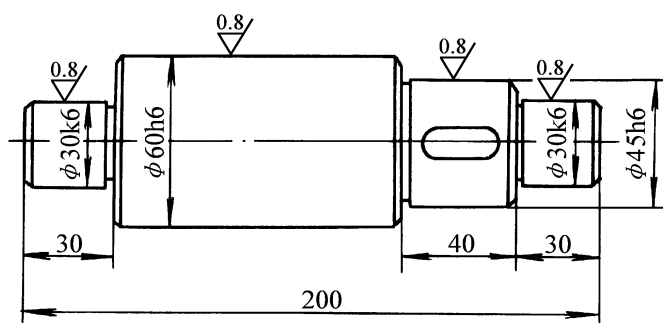


图 1-1 阶梯轴简图

在表 1-1 的工序 2 中，先车一个工件的一端，然后调头装夹，再车另一端。如果先车好一批工件的一端，然后调头再车这批工件的另一端，这时对每个工件来说，两端的加工已不连续，所以即使在同一台车床加工也应算作两道工序。

表 1-1 阶梯轴工艺过程(单件小批生产类型)

工序号	工 序 内 容	设 备
1	车一端面, 钻中心孔; 调头, 车另一端面, 钻中心孔	车 床
2	车外圆, 车槽和倒角	车 床
3	铣键槽, 去毛刺	铣 床
4	磨外圆	磨 床

表 1-2 阶梯轴工艺过程(大批生产类型)

工序号	工 序 内 容	设 备
1	两端同时铣端面, 钻中心孔	铣端面、钻中心孔机床
2	车一端外圆, 车槽和倒角	车 床
3	车另一端外圆, 车槽和倒角	车 床
4	铣键槽	铣 床
5	去毛刺	钳工台
6	磨外圆	磨 床

(2) 安装 工件在机床上或夹具中完成定位并夹紧的整个过程叫做安装, 也称为装夹。在一道工序中, 工件可能被装夹一次或多次, 才能完成加工。如表 1-1 所示的工序 1 要进行两次装夹: 先装夹工件的一端, 为安装 1, 用以完成车端面、钻中心孔; 再调头装夹, 为安装 2, 以完成车另一端面、钻中心孔。

(3) 工位 为了减少工件的装夹次数, 常采用各种回转工作台、回转夹具或移动夹具, 使工件在一次装夹中, 先后处于几个不同的位置进行加工。工件相对于机床或刀具每占据一个加工位置所完成的那部分工艺过程, 称为工位。如表 1-2 中工序 1 铣端面、钻中心孔, 就有两个工位。工件装夹后, 先在工位 1 铣端面, 然后移动到工位 2 钻中心孔, 如图 1-2 所示。

(4) 工步 在加工表面、切削刀具和切削用量 (仅指机床主轴转速和进给量) 都不变的情况下, 所连续完成的那一部分工序。如图 1-3 所示中, 在工件上钻 4 个  $\phi 15$  的孔, 用一个钻头顺次进行加工, 则可算作一个工步。

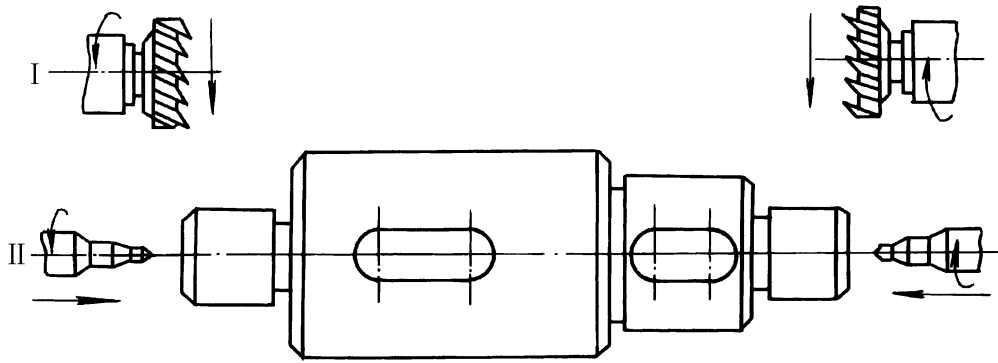


图 1-2 铣端面钻中心孔

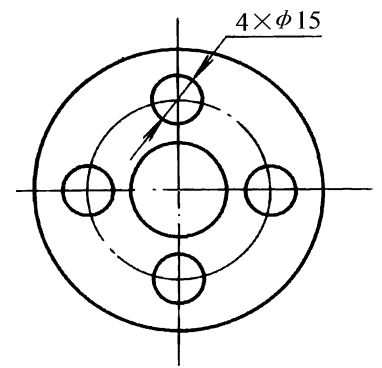


图 1-3 钻四个相同孔的工步

为了提高生产率, 用几把刀具同时加工几个表面的工步, 称为复合工步。也可看作一个工步, 如图 1-4 所示。

(5) 走刀 有些工步由于加工余量较大或其他原因, 需要用同一把刀具对同一表面进行多次切削。这样, 刀具对工件的每一次切削就称为一次走刀。

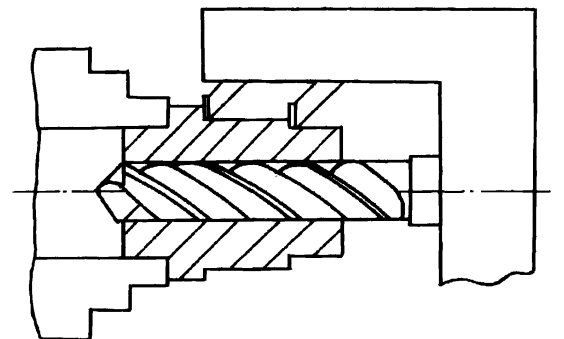


图 1-4 复合工步

### 三、生产类型及工艺特征

#### 1. 生产纲领

生产纲领是企业计划在计划期内应生产的产品产量。零件生产纲领是指企业根据产品生产量在计划期内生产的零件数量。其计算公式为:

$$N = Qn(1 + \dots)(1 + \dots)$$

式中 N——零件的生产纲领;  
 Q——产品的生产纲领;  
 n——每台产品中该零件的数量;  
 ——备品的百分率;  
 ——废品的百分率。

## 2. 生产类型

生产类型是企业（或车间、工段等）生产专业化程度的分类。企业的生产类型取决于生产纲领。生产类型对工艺过程的规划与制定有较大的影响。根据生产的特点，企业的生产可分为三种基本类型：大量生产、成批生产和单件生产。

(1) 大量生产 大量生产是指产品数量很大，大多数工作地点长期地按一定节律进行某一个零件的某一个工序的加工。如汽车、轴承及标准件等通常是以大量生产的方式进行。

(2) 成批生产 成批生产是指一年中分批轮流地制造几种不同的产品，每种产品都有一定的数量，工作地点的加工对象周期性地重复。其在产量较大时接近于大量生产；在产量较小时接近于单件生产。如机床、电动机等生产。

(3) 单件生产 单件生产是指产品品种多，而每一品种的结构、尺寸不同且产量很少，各个工作地的加工对象经常改变且很少重复的生产类型。如各种试制产品、机修零件、专用工夹具等均属于这一生产类型。

在一个企业中，生产纲领决定了生产类型。但不同的产品大小和结构复杂程度对生产类型也有影响。表 1-3 是不同类型产品的生产类型与生产纲领的关系；表 1-4 是不同机械产品的零件质量型别。

表 1-3 生产类型与生产纲领的关系

生产类型	生产纲领/(台/年或件/年)		
	小型机械或轻型零件	中型机械或中型零件	重型机械或重型零件
单件生产	100	10	5
小批生产	100~500	10~150	5~100
中批生产	500~5000	150~500	100~300
大批生产	5000~50000	500~5000	300~1000
大量生产	>50000	>5000	>1000

注：小型机械、中型机械和重型机械可分别以缝纫机、机床和轧钢机为代表。

表 1-4 不同机械产品的零件质量型别

机械产品类型	零件的质量/kg		
	轻型零件	中型零件	重型零件
小型机械	4	4~30	>30
中型机械	15	15~50	>50
重型机械	100	100~2000	>2000

## 3. 工艺特征

生产类型不同，产品和零件的加工工艺、所用设备及工艺装备、采取的技术措施、达到的技术经济效果也不一样。各种生产类型的工艺特征可归纳成表 1-5 所示。工艺过程的制定必须结合现有生产条件、生产类型等各方面的因素全面考虑，才能在保证产品质量的前提下，制定出技术上先进、经济上合理的工艺方案。

表 1-5 各种生产类型的工艺特征

工艺特征	生产类型		
	单件、小批生产	中批生产	大批、大量生产
零件的互换性	用修配法，钳工修配，缺乏互换性	大部分具有互换性。装配精度要求高时，灵活应用分组装配法和调整法，同时还保留某些修配法	具有广泛的互换性。少数装配精度要求较高处，采用分组装配法和调整法

工艺特征	生产类型		
	单件、小批生产	中批生产	大批、大量生产
毛坯的制造方法与加工余量	木模手工造型或自由锻造。毛坯精度低,加工余量大	部分采用金属模铸造或模锻。毛坯精度和加工余量中等	广泛采用金属模机器造型、模锻或其他高效方法。毛坯精度高,加工余量小
机床设备及其布置形式	通用机床。按机床类别采用机群式布置	部分通用机床和高效机床。按工件类别分工段排列设备	广泛采用高效机床及自动机床。按流水线和自动线排列设备
工艺装备	大多采用通用夹具、标准附件、通用刀具和万能量具。靠划线和试切达到精度要求	广泛采用夹具,部分靠找正装夹达到精度要求。较多采用专用刀具和量具	广泛采用专用夹具、复合刀具、专用量具或自动检验装置。靠调整法达到精度要求
对工人技术要求	需技术水平较高的工人	需一定技术水平的工人	对调整工人的技术水平要求高,对操作工人技术水平要求较低
工艺文件	有工艺过程卡,关键工序要求有工序卡	有工艺过程卡,关键零件要求有工序卡	有工艺过程卡和工序卡,关键工序要调整卡和检验卡
成本	较高	中等	较低

随着科学技术的发展和生产技术的进步,产品更新换代周期越来越短,品种规格不断增加,多品种小批量的生产类型将会越来越多。

## 第二节 基 准

### 一、基准的概念

基准的广义含义就是“依据”的意思。机械加工中所说的基准是指用来确定生产对象上几何要素间的几何关系所依据的那些点、线、面。

### 二、基准的分类

根据作用和应用场合不同,基准可分为设计基准和工艺基准两大类,工艺基准又可分为:工序基准、定位基准、测量基准和装配基准。

#### 1. 设计基准

零件图上用以确定零件上某些点、线、面位置所依据的点、线、面,称为设计基准。图 1-5a 所示零件,对于尺寸 20mm 而言,A、B 面互为设计基准;图 1-5b 所示零件,50mm 的轴心线是 30mm 轴心线同轴度的设计基准;图 1-5c 所示零件,圆柱面下素线 D 是槽底面 C 的设计基准。图 1-5d 所示主轴箱箱体,顶面 F 的设计基准是底面 D,孔 和孔 的轴线的基准是底面 D 和侧面 E,孔 轴线的基准是孔 和孔 的轴心线。

#### 2. 工艺基准

零件加工与装配过程中所采用的基准称为工艺基准,它包括以下几种:

(1) 工序基准 工序图上用来标注本工序加工的尺寸和形位公差的基准。就其实质来说,与设计基准有相似之处,只不过是工序图的基准。工序基准大多与设计基准重合。有时为了加工方便,也有与设计基准不重合而与定位基准重合的。

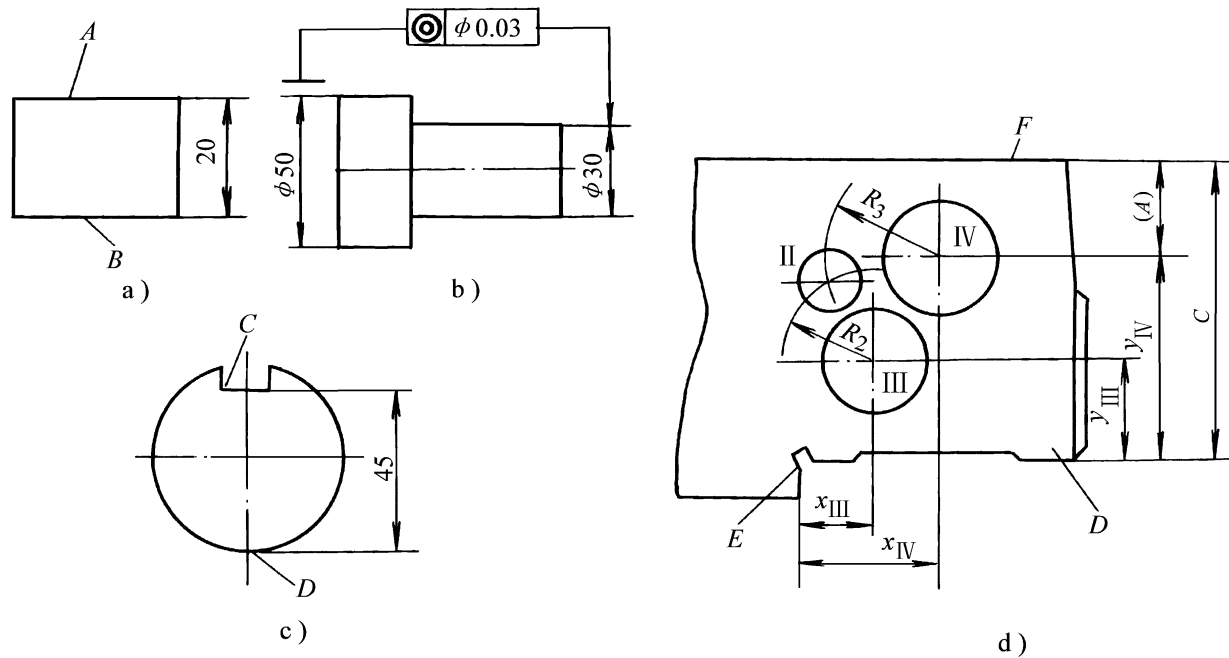


图 1-5 基准实例

(2) 定位基准 加工中，使工件在机床上或夹具中占据正确位置所依据的基准。如用直接找正法装夹工件，找正面是定位基准；用划线找正法装夹，所划的线为定位基准；用夹具装夹工件，工件上与定位元件相接触的面是定位基面。作为定位基准的点、线、面，可能是工件上的某些表面，也可能是工件上看不见摸不着的中心线、中心平面、球心等。定位基准往往需要通过工件某些定位表面来体现，这些表面称为定位基面。例如用三爪自定心卡盘夹持工件外圆，体现以轴心线为定位基准，外圆表面为定位基面。

(3) 测量基准 工件在加工中或加工后测量时所用的基准。

(4) 装配基准 装配时，用以确定零件在部件或产品中的相对位置所采用的基准。如图 1-5 所示床头箱箱体的 D 面和 E 面，就是确定箱体在床身上相对位置的装配基准。

### 第三节 机械加工的生产率

劳动生产率是指工人在单位时间内制造出合格产品的数量，或者是指用于制造单件产品所消耗的劳动时间。

#### 一、时间定额

工艺设计中的一个重要的内容是确定劳动定额，它是劳动生产率的指标。劳动定额可表现为时间定额和产量定额两种基本形式。时间定额，又称为工时定额，是在一定生产技术组织条件下，规定生产一件产品或完成一道工序所需的时间。产量定额是在一定生产技术组织条件下，规定在单位时间内生产合格产品数量的标准。目前，多数企业采用时间定额这一劳动定额形式。

时间定额是安排生产计划、计算产品成本和企业经济核算的主要依据，也是新设计或扩建工厂时决定设备、人员数量和车间布置的依据。制定合理的时间定额，能促进工人生产技术的不断提高，发挥他们的积极性和创造性，从而促进生产发展。

在机械加工中，完成一个工件的一道工序所需的时间，称为单件时间  $t_d$ ，它由下述部分组成：

(1) 基本时间  $t_j$  基本时间是直接改变生产对象的尺寸、形状、相对位置、表面状态或材

料性质等工艺过程所消耗的时间。对机械加工而言，就是直接切除工序余量所消耗的时间（包括刀具的切入和切出时间）。基本时间可由计算公式求出。例如，车削时的基本时间  $t_j$  为：

$$t_j = \frac{L_{\text{计}} Z}{n f a_p}$$

式中  $t_j$ ——基本时间 (min)；

$L_{\text{计}}$ ——工件行程的计算长度，包括加工表面的长度，刀具切入和切出长度 (mm)；

$Z$ ——工序余量 (mm)；

$n$ ——工件的旋转速度 (r/min)；

$f$ ——刀具的进给量 (mm/r)；

$a_p$ ——背吃刀量 (mm)。

(2) 辅助时间  $t_r$  辅助时间是为了保证完成基本工作而执行的各种辅助动作所需要的时间。它包括：装卸工件的时间、开动和停止机床的时间、机床工作中变换刀具（如刀架转位）的时间，改变加工规范（如改变切削用量）的时间、试切和测量工件等所消耗的时间。

辅助时间的确定方法随生产类型而异。大批大量生产时，为使辅助时间规定得合理，需将辅助动作进行分解，再分别确定各分解动作的时间，最后予以综合；中批生产则可根据以往的统计资料来确定；单件小批生产则常用基本时间的百分比进行估算。

(3) 布置工作地时间  $t_b$  是指在工作进行期内消耗在照看工作地的时间，一般包括：更换刀具、润滑机床、清理切屑、收拾工具等。一般按作业时间的 2% ~ 7% 估算。

(4) 休息和生理需要时间  $t_x$  休息和生理需要时间是指工人在工作班内恢复体力和满足生理上的需要所消耗的时间，对机床操作工人，一般按作业时间的 2% 估算。

以上四部分时间的总和即为单件时间，即

$$t_d = t_j + t_r + t_b + t_x$$

在成批生产中，每加工一批工件的开始和终了时，工人需做以下工作：开始时，工人需熟悉工艺文件，领取毛坯、材料，领取和安装刀具和夹具，调整机床及其他工艺装备等；终了时，工人要拆下和归还工艺装备，送交成品等。工人为了生产一批产品和零、部件，进行准备和结束工作所消耗的时间为  $t_z/N$ ，将这部分时间加到单件时间上去，即为成批生产的单件核算时间  $t_h$ ：

$$t_h = t_d + t_z/N$$

大批大量生产时，每个工作地始终完成某一固定工序，故不考虑准备终结时间，即

$$t_h = t_d$$

## 二、提高机械加工生产率的工艺措施

提高劳动生产率不单纯是一个工艺技术问题，而是一个综合性问题，涉及到产品设计、制造工艺和生产组织管理等方面的问题。这里仅就通过缩短单件时间来提高机械加工生产率的工艺途径作一简要说明。

### 1. 缩短基本时间

大批大量生产中，基本时间在单件时间中占有较大比重。缩短基本时间的主要途径有以下几种：

(1) 提高切削用量 增大切削速度、进给量和背吃刀量都可缩短基本时间，但切削用量的提高，受到刀具耐用度和机床刚度的制约，随着新型刀具材料的出现，切削速度得到了迅

速的提高。目前硬质合金刀具的切削速度可达  $200\text{m}/\text{min}$ ，近年来出现的聚晶人造金刚石和聚晶立方氮化硼新型刀具材料，其切削速度可达  $900\text{m}/\text{min}$ 。

采用高速磨削和强力磨削可大大提高磨削生产率，目前，国内生产的高速磨削磨床的砂轮磨削速度已达  $67\text{m}/\text{s}$ ，国外已达  $90\sim 120\text{m}/\text{s}$ 。强力切削的切入深度可达  $6\text{mm}$  以上。

(2) 减少或重合切削行程长度 减少切削行程长度也可以缩减基本时间。例如，用几把刀同时加工同一表面或几个表面，或采用切入法加工，如图 1-6 所示。若采用切入法加工时，要求工艺系统具有足够的刚性和抗振性，横向进给量要适当减少以防止振动，同时要求增大主电动机的功率。

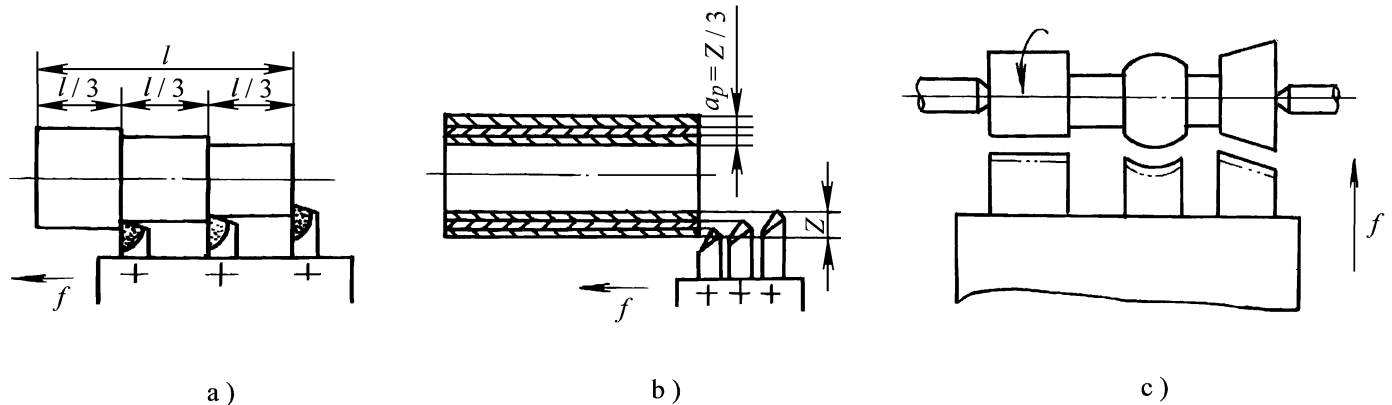


图 1-6 减少或重合切削长度的方法

a) 合并工步 b) 多刀车削 c) 横向切入法车削

(3) 采用多件加工 这种方法是通过减少刀具的切入、切出时间或使基本时间重合，从而缩短每个零件加工的基本时间，来提高生产率，如图 1-7 所示。其中图 1-7a 为多件顺序加工；图 1-7b 为多件平行加工；图 1-7c 为平行顺序加工。

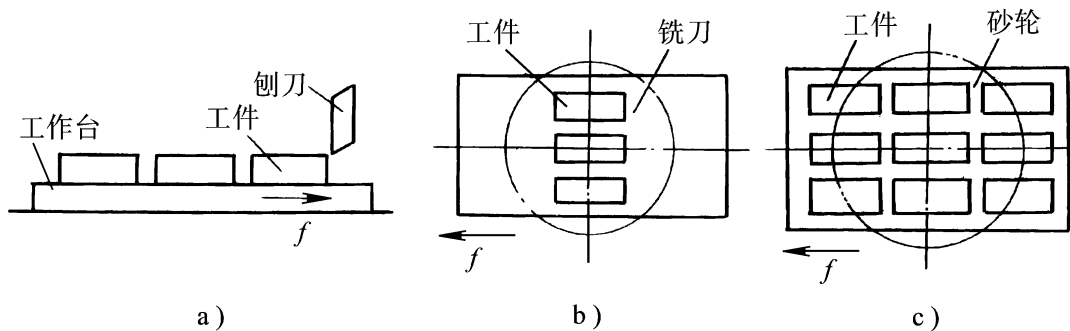


图 1-7 多件加工示意图

## 2. 缩减辅助时间

随着基本时间的减少，辅助时间在单件时间中所占比重就越来越高，此时提高切削用量，对提高生产率就不会产生显著的效果。因此必须从缩减辅助时间着手。

(1) 直接缩减辅助时间 采用先进的高效夹具，不仅减轻了工人的劳动强度，而且大大地减少了工件的装夹时间。

采用主动检验法可减少加工中的测量时间。主动检验装置能在加工过程中测量工件加工表面的实际尺寸，并根据测量结果控制机床进行自动调整。目前在磨床上应用较普遍。

另外在各类机床上配备数字显示装置，它是以光栅等为检测元件能够直观地反映出在加工过程中刀具的位移变化情况，节省了停机测量的辅助时间。

(2) 间接缩短辅助时间 间接缩短辅助时间，即使辅助时间与基本时间重合，从而减少辅助时间。例如图 1-8 所示采用多工位连续加工，工件的装卸时间完全与基本时间相重合。

又如采用转位夹具或转位工作台以及几根心轴（夹具）等，可在加工时间内对另一工件进行装卸。这样可使辅助时间中的装卸工件时间与基本时间相重合。前面提到的主动检验或数字显示装置也能起到同样的作用。

(3) 缩减工作地服务时间 缩减工作地服务时间的主要方向是：缩减刀具调整和每次更换刀具的时间；提高刀具或砂轮的耐用度。目的是使在一次刃磨和修整中可以加工更多的零件。

采用各种快换刀夹、自动换刀装置、刀具微调装置、专用对刀样板或刀块等，减少刀具的调整、装卸、定位和夹紧等工作所需的时间。

采用高耐磨性的不重磨硬质合金刀片，可以大大地缩短刀片的装卸、对刀及刃磨时间。

(4) 缩减准备终结时间 成批生产中，除设法缩减安装刀具、调整机床等的时间外，应尽量扩大制造零件的批量，减少分摊到每个零件上的准备终结时间。中、小批生产中，由于批量小、品种多，准备终结时间在单件时间中占有较大比重，使生产率受到限制。因此，应设法使零件通用化和标准化，以增加工件的批量，或采用成组技术。

提高机械加工生产率的工艺措施还很多，如在大批量生产中广泛采用的组合机床和组合机床自动线，在单件小批生产中广泛采用的各种数控和柔性制造系统等，都可以缩短单件时间，有效地提高劳动生产率。

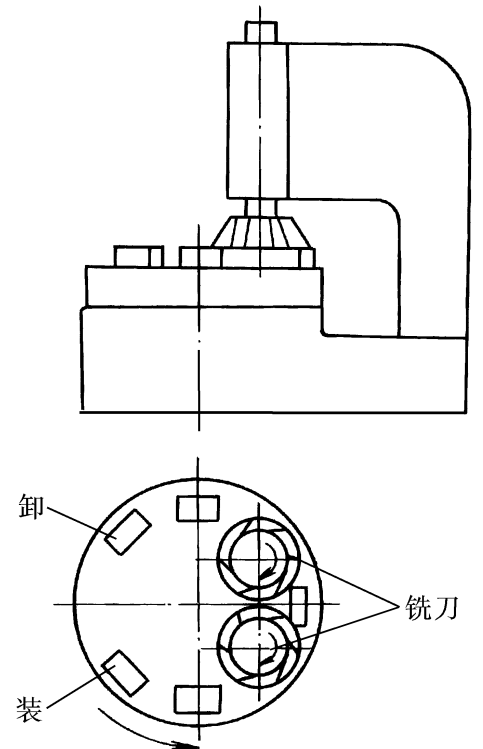


图 1-8 连续加工

## 复习思考题

- 1-1 什么是生产过程和工艺过程？
- 1-2 什么是工序、安装、工位及工步？怎样区分加工内容是否属于同一工序？
- 1-3 有哪几种生产类型？根据什么确定产品的生产类型？各种生产类型的主要工艺特征是什么？
- 1-4 什么是基准？按其作用如何分类？什么是工序基准？什么是定位基准？
- 1-5 试述成批生产中，工序单件时间定额的组成和各项含义？
- 1-6 提高机械加工生产率的工艺措施有哪些？

## 第二章 金属切削基础知识

金属切削加工是指用刀具从工件上切除多余金属材料的加工方法。常用的刀具有车刀、铣刀、刨刀、钻头、齿轮刀具等，常见的切削加工方法有车削、铣削、刨削、钻削、齿轮加工等。切削加工虽有多种不同的方式，但它们在很多方面（如切削时的运动、切削刀具以及切削过程的实质等）都有着共同的规律。

### 第一节 切削运动与切削要素

#### 一、切削运动

##### 1. 切削运动的基本概念

切削运动是指切削加工时，刀具和工件之间的相对运动。如图 2-1 所示，车削时工件的旋转运动是切除多余金属的基本运动。车刀平行于工件轴线的直线运动，保证了切削连续进行。由这两个运动组成的切削运动，完成了工件外圆表面的加工。一般，按运动在切削加工中所起作用不同分为：主运动和进给运动两大类。

##### 2. 主运动和进给运动

(1) 主运动 主运动是由机床或人力提供的主要运动，是使刀具和工件之间产生相对运动，从而切下切屑所必需的最基本的运动。也是切削加工中速度最高、消耗功率最多的运动。如图 2-2 所示，车削时工件的旋转运动，钻削时刀具的旋转运动，刨削时刀具的往复直线运动，铣削时刀具的旋转运动，磨削时砂轮的旋转运动等都是主运动。

(2) 进给运动 进给运动是由机床或人力提供的运动，它使刀具与工件之间产生附加的相对运动，连续切下切屑，得到所需的已加工表面。一般进给运动是切削加工中速度较低、消耗功率较少的运动。如图 2-2 所示，车削时刀具的直线运动，钻削时刀具的轴向运动，刨削时工件的间歇直线运动，铣削时工件的直线运动，磨削时工件的旋转运动及其往复直线运动等都是进给运动。

各种切削加工，都具有特定的切削运动。切削运动的形式有旋转的、直线的、连续的、间歇的等。一般主运动只有一个，进给运动可有一个或几个。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。

#### 二、切削用量和切削层参数

##### 1. 切削过程中工件上的表面

如图 2-1 所示在切削运动的作用下，工件上产生了三个不断变化的表面：

待加工表面——加工时即将切除的工件表面。

已加工表面——已被切去多余金属而形成的工件新表面。

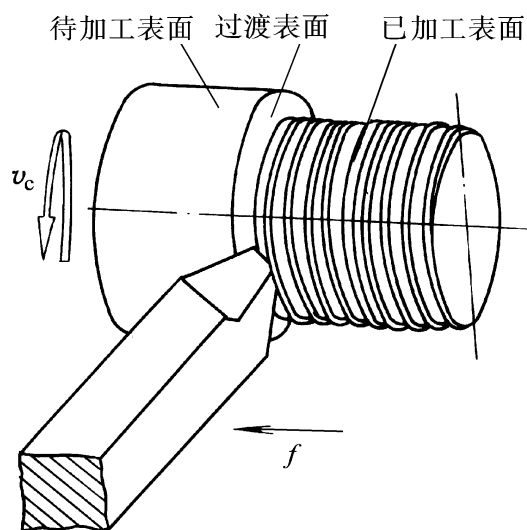


图 2-1 车削运动