# 机械制造工艺学

主编　汪芳　吴修玉



华中科技大学出版社

应用型本科机电类专业“十二五”规划精品教材

# 机械制造工艺学


**主　编**　汪　芳　吴修玉
**副主编**　张　玉　尉晓娟
**参　编**　齐洪方　谈　剑　李喜梅　张玉平
**主　审**　容一鸣



华中科技大学出版社
中国·武汉

**图书在版编目(CIP)数据**

机械制造工艺学/汪芳,吴修玉主编.—武汉：华中科技大学出版社,2014.1
ISBN 978-7-5609-9691-2

Ⅰ.①机… Ⅱ.①汪… ②吴… Ⅲ.①机械制造工艺-高等学校-教材 Ⅳ.①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 017496 号

**机械制造工艺学** 汪 芳 吴修玉 主编

策划编辑：袁 冲
责任编辑：胡凤娇
封面设计：李 嫚
责任校对：李 琴
责任监印：张正林
出版发行：华中科技大学出版社(中国·武汉)
武昌喻家山 邮编：430074 电话：(027)81321915
录 排：华中科技大学惠友文印中心
印 刷：华中理工大学印刷厂
开 本：787mm×1092mm 1/16
印 张：16
字 数：408 千字
版 次：2014 年 4 月第 1 版第 1 次印刷
定 价：32.00 元

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线：400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

# 前言

机械制造工艺学是机械制造及其自动化专业的专业课程之一。本课程的主要任务是使学生掌握机械制造的基础知识，掌握影响加工精度的主要因素及改善措施，掌握影响加工表面质量的主要因素及改善措施，掌握制定机械零件加工工艺规程的原理、方法和步骤，掌握机床夹具设计的基本方法，了解机器装配工艺规程，为学习后续专业课程打下基础。

本教材共分为6章，内容包括：机械制造工艺的基本概念，机械加工精度，机械加工表面质量，机械加工工艺规程的制定，机器装配工艺基础和夹具设计等。

在本教材的编写过程中，编者吸收了同类教材的编写经验和最新的教学科研成果，融入了编者的教学心得和体会。在编写过程中，力求贯彻少而精、理论与实践相结合的原则，适当淡化纯理论分析，侧重对工程技术应用能力的培养，加强了学生分析问题、解决问题的能力和创新意识的培养。

本教材适用于普通应用型工科院校机械类各专业的学生使用，也适用于高职高专、各类成人高校、自学考试等机械类各专业的学生使用，还可供从事机械制造的工程技术人员参考。

本教材由武汉理工大学华夏学院的汪芳、华中科技大学武昌分校的吴修玉担任主编，武汉科技大学城市学院机电工程学部的张玉、大连工业大学艺术与信息学院尉晓娟担任副主编，武汉理工大学华夏学院齐洪方、谈剑、李喜梅、张玉平担任参编；全书由汪芳负责统稿。武汉理工大学容一鸣教授担任主审，并提出了修改建议，特此致谢。

鉴于编者水平和经验所限，书中难免存在错误和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

**编　者**

2013年11月于武汉东湖新技术开发区

# 目录

**第 1 章　机械制造工艺的基本概念** …… (1)
1.1　生产过程、工艺过程与工艺系统 …… (1)
1.2　生产纲领、生产类型与工艺特点 …… (5)
1.3　基准 …… (7)
1.4　工件的装夹 …… (10)
思考复习题 1 …… (20)
**第 2 章　机械加工精度** …… (23)
2.1　机械加工精度概述 …… (23)
2.2　工艺系统的几何精度对加工精度的影响 …… (27)
2.3　工艺系统力效应对加工精度的影响 …… (36)
2.4　工艺系统的热变形对加工精度的影响 …… (47)
2.5　加工误差的统计分析 …… (52)
2.6　加工误差的综合分析 …… (68)
2.7　保证和提高加工精度的途径 …… (73)
思考复习题 2 …… (79)
**第 3 章　机械加工表面质量** …… (83)
3.1　加工表面质量及其对使用性能的影响 …… (83)
3.2　影响表面粗糙度的工艺因素及其改进措施 …… (87)
3.3　表层物理性能、力学性能及其改善措施 …… (94)
3.4　机械加工中的振动 …… (104)
思考复习题 3 …… (116)
**第 4 章　机械加工工艺规程的制定** …… (118)
4.1　机械加工工艺规程的原始资料与制定步骤 …… (118)
4.2　制定机械加工工艺规程的主要问题 …… (121)
4.3　工艺尺寸链 …… (135)
4.4　工艺过程的技术经济分析与工艺文件 …… (141)
思考复习题 4 …… (146)
**第 5 章　机器装配工艺基础** …… (149)
5.1　概述 …… (149)
5.2　建立装配尺寸链的方法 …… (152)
5.3　保证装配精度的装配方法 …… (159)

5.4 装配工艺规程的制定 …… (176)
思考复习题 5 …… (181)
**第 6 章 夹具设计** …… (184)
6.1 机床夹具的基本组成和类型 …… (184)
6.2 工件的定位和夹具的定位设计 …… (186)
6.3 工件的夹紧和夹具的夹紧设计 …… (204)
6.4 夹具的其他装置 …… (219)
6.5 各类机床夹具的设计要点 …… (229)
6.6 机床夹具的总体设计步骤和方法 …… (241)
思考复习题 6 …… (245)
**参考文献** …… (249)

# 第1章　机械制造工艺的基本概念

机械制造工艺是将各种原材料、半成品加工成机械产品的方法和过程，是机械工业的基础技术之一。本章主要阐述机械制造工艺的基本概念和基本知识。

## 1.1　生产过程、工艺过程与工艺系统

### 1.1.1　机械产品的生产过程

机械产品的生产过程是指把原材料转变为成品的各互相关联劳动过程的总和。它包括以下内容。

(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、喷涂油漆等生产活动。

(3)辅助生产过程是指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，总装厂只负责主要零部件的生产及总装调试。如汽车、摩托车行业大都采用这种模式进行生产。图 1-1 所示为机械产品制造工艺流程。

### 1.1.2　机械加工工艺过程的概念

机械制造加工工艺的内涵十分广泛和丰富，可以按多种特征进行分类。机器的生产过程中，改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等使其成为成品或半成品的过程称为工艺过程。以工艺文件的形式确定下来的工艺过程称为工艺规程。

由原材料经铸造、锻造、冲压或焊接等材料成型方法而成为铸件、锻件、冲压件或焊接件的过程，分别称为铸造、锻造、冲压或焊接工艺过程。将铸件、锻件毛坯或钢材经过机械加工方法，改变它们的形状、尺寸、表面质量，使其成为合格零件的过程，称为机械加工工艺过程。

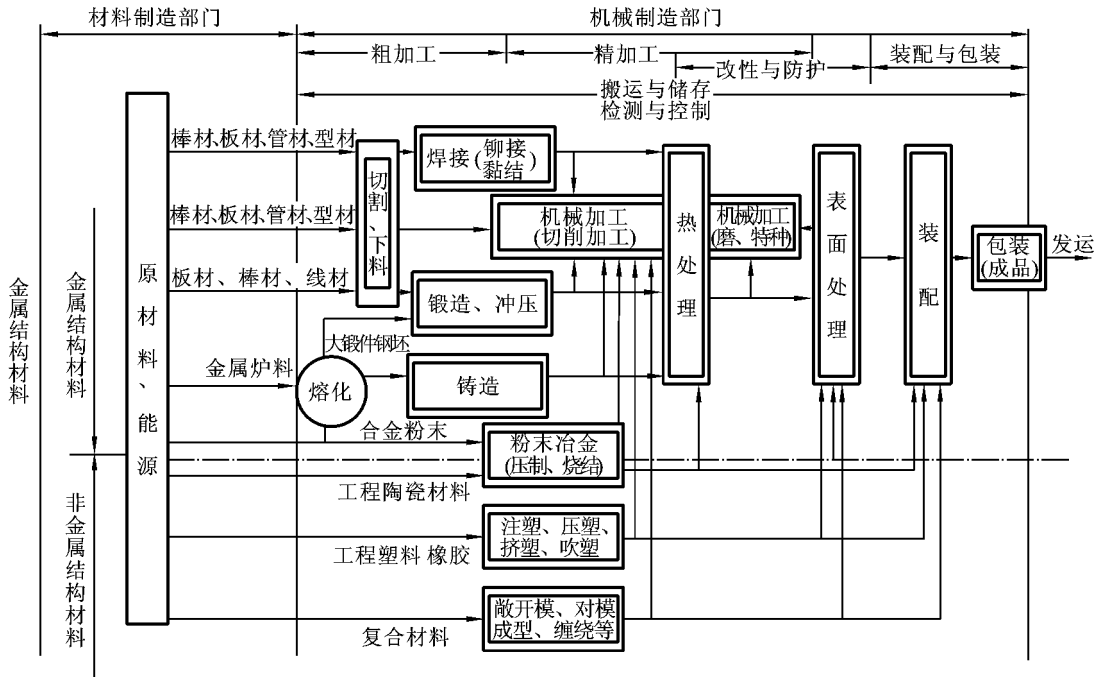



**图 1-1　机械产品制造工艺流程**

在热处理车间,对机器零件的半成品通过各种热处理方法,直接改变它们的材料性质的过程,称为热处理工艺过程。最后,将合格的机器零件和外购件、标准件装配成组件、部件和机器的过程,则称为装配工艺过程。

机械加工工艺过程可概括为:机械加工工艺过程是机械产品生产过程的主要部分,是对机械产品中的零件采用各种加工方法,如切削加工、磨削加工、电加工、超声加工、电子束加工及离子束加工等,直接用于改变毛坯的形状、尺寸、表面粗糙度以及力学性能,使之成为合格零件的全部劳动过程。

## 1.1.3　机械加工工艺过程的组成

为了便于组织生产,合理使用设备和劳动力,以确保产品质量和提高生产效率,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、工步、走刀和工位。

**1. 工序**

工序是组成工艺过程的基本单元。一个或一组工人,在一个工作地点或一台机床上,对同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是否变动和工作是否连续。以图 1-2 所示的阶梯轴的加工为例,若阶梯轴的精度和表面粗糙度要求不高,则在车床上加工这根阶梯轴的工艺过程将包含下列加工内容:①切一端面;②打中心孔;③切另一端面;④打中心孔;⑤车大外圆;⑥大外圆倒角;⑦车小外圆;⑧小外圆倒角;⑨铣键槽;⑩去毛刺。当加工批量较少时,其工序划分如表 1-1 所示;当加工批量较大时,其工序划分如表 1-2 所示。

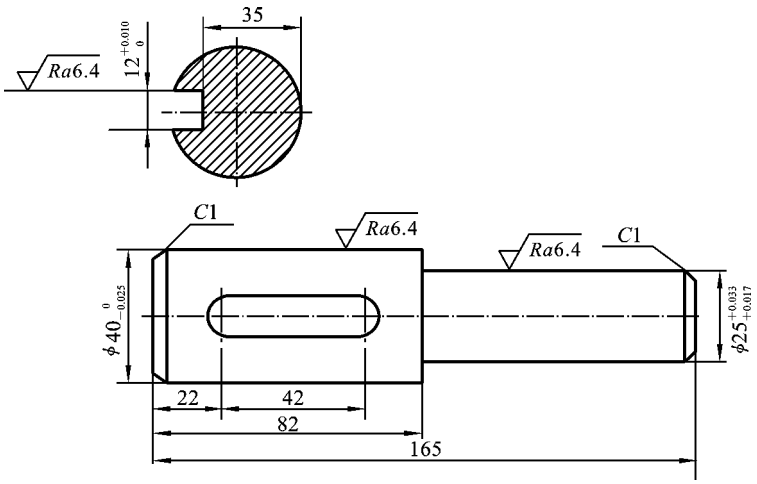



图 1-2　阶梯轴零件

表 1-1　阶梯轴第一种工序安排方案

| 工序号 | 工 序 内 容 | 设　　备 |
|---|---|---|
| 1 | 加工小端面，对小端面钻中心孔，粗车小端外圆，对小端倒角；加工大端面，对大端面钻中心孔，粗车大端外圆，对大端倒角；精车外圆 | 车床 |
| 2 | 铣键槽，手工去毛刺 | 铣床 |

表 1-2　阶梯轴第二种工序安排方案

| 工序号 | 工 序 内 容 | 设　　备 |
|---|---|---|
| 1 | 加工小端面，对小端钻中心孔；粗车小端外圆，对小端倒角 | 车床 |
| 2 | 加工大端面，对大端钻中心孔；粗车大端外圆，对大端倒角 | 车床 |
| 3 | 精车外圆 | 车床 |
| 4 | 铣键槽，手工去毛刺 | 铣床 |

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

**2. 安装**

工件在加工前，先要保证工件与刀具有准确的位置关系。确定工件在机床上或夹具中占有正确位置的过程称为定位。工件定位后将其固定，使其在加工过程中保持定位位置不变的操作称为夹紧。将工件在机床上或夹具中定位、夹紧的过程称为装夹。

如果在一个工序中需要对工件进行几次装夹，则每次装夹下完成的那部分工序的内容称为一个安装。如表 1-3 所示，工序 1 在一次装夹后尚需要有 3 次调头装夹才能完成全部工序内容，因此工序 1 共有 4 个安装；工序 2 是在一次装夹下完成全部工序内容，故只有 1 个安装。

表 1-3　工序和安装

| 工序号 | 安装号 | 安 装 内 容 | 设　　备 |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 车小端面，钻小端中心孔；粗车小端外圆，倒角 | 车床 |
| | 2 | 车大端面，钻大端中心孔；粗车大端外圆，倒角 | |
| | 3 | 精车大端外圆 | |
| | 4 | 精车小端外圆 | |
| 2 | 1 | 铣键槽，手工去毛刺 | 铣床 |

**3. 工步**

工步是在加工表面不变、加工工具不变和切削用量都不变的条件下，所连续完成的那一部分工序。例如，在一个工件上，用一个钻头顺序加工几个直径相同的孔，可算作一个工步。

为了提高生产率，用几把刀具同时加工几个表面，这也可以算作一个工步，称为复合工步。

**4. 走刀**

有些工步由于加工余量较大或其他原因，需要同一把刀具及同一切削用量对同一表面进行多次切削。这样，刀具对工件该表面的每一次切削就称为一次走刀。走刀是刀具在加工表面上切削一次所完成的工步部分。

整个工艺过程由若干个工序组成。每个工序可包括一个工步或几个工步。每一个工步通常包括一个走刀，也可以包括几个走刀。当需要切除的金属层很厚，不能在一次走刀下切完时，则需分几次走刀。走刀次数又称为行程次数。

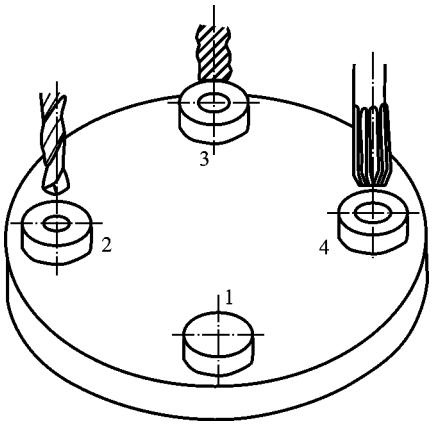



图 1-3　多工位加工

1—装卸工位；2—钻孔工位；
3—扩孔工位；4—铰孔工位

**5. 工位**

为了减少工件的装夹次数，常采用回转工作台、转鼓、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。

为了完成一定的工序部分，一次装夹工件后，工件与夹具或设备的可动部分一起相对刀具或设备的固定部分所占据的每一个位置，称为工位。如图 1-3 所示，通过回转工作台使工件变换加工位置。在此例中，共有 4 个工位，依次为装卸工件、钻孔、扩孔和铰孔，实现了在一次装夹中同时进行装卸、钻孔、扩孔和铰孔加工。

## 1.1.4　机械加工工艺系统

对零件进行机械加工时，必须具备一定的条件，即要有一个系统来支持，称之为机械制造工艺系统。通常，一个系统是由物质分系统、能量分系统和信息分系统所组成。

机械制造工艺系统的物质分系统是由工件、机床、工具和夹具所组成。工件是被加工对象；机床是加工设备，如车床、铣床、磨床等，也包括钳工台等钳工设备；工具是各种刀具、磨

具、检具，如车刀、铣刀、砂轮等；夹具是指机床夹具，如果加工时是将工件直接装夹在机床工作台上，也可以不要夹具。因此，一般情况下，工件、机床和工具是必不可少的，而夹具是可有可无的。由工件、机床、工具和夹具所组成的工艺物质分系统是保证零件加工精度和表面质量的基础。

在用一般的通用机床加工时，多为手工操作，未涉及信息技术，而现代的数控机床、加工中心、柔性制造系统和自动生产线，则和信息技术关系密切，因此有了信息分系统。信息分系统是为实现生产自动化，提高生产率服务的，同时也能提高零件的加工精度和表面质量。

能量分系统是指动力供应系统。

机械制造工艺系统可以是单台机床，如自动机床、数控机床和加工中心等，也可以是多台机床组成的生产线。

## 1.2　生产纲领、生产类型与工艺特点

### 1.2.1　生产纲领和生产批量

机械产品在计划期内应当生产的产品产量和进度计划称为该产品的生产纲领。机械产品中某零件的生产纲领除了该产品在计划期内的产量以外，还包括一定的备品率和平均废品率。机械零件的生产纲领可按下式计算，即

$$N = Qn(1 + \alpha\% + \beta\%) \tag{1-1}$$

式中：$N$ 为零件的生产纲领，单位为件/年；$Q$ 为机械产品在计划期内的产量，单位为台/年；$n$ 为每台机械产品中该零件的数量，单位为件/台；$\alpha\%$ 为备品率；$\beta\%$ 为平均废品率。

生产纲领是设计或修改工艺规程的重要依据，是车间、工段设计的基本文件。

生产纲领确定后，还需根据生产车间的具体情况将零件在计划期间分批投入生产。生产批量是指一次投入或产出的同一产品或零件的数量。零件生产批量可按下式计算，即

$$n' = \frac{NA}{F} \tag{1-2}$$

式中：$n'$ 为每批产品中生产的零件数量；$N$ 为零件的生产纲领规定的零件数量；$A$ 为零件应该储备的天数；$F$ 为一年中工作日天数。

确定生产批量的大小是一个相当复杂的问题，主要考虑以下几个方面的因素。

(1)市场需求及趋势分析。保证市场的供销量，还应保证装配和销售有必要的库存。

(2)便于生产的组织与安排。保证多品种产品的均衡生产。

(3)产品的制造工作量。对于大型产品，其制造工作量较大，批量应小些，而对中小型产品的批量则可大些。

(4)生产资金的投入。批量小，批数多，投入的资金就少，有利于资金的周转。

(5)生产率和制造成本。批量大，可采用一些先进的专用高效设备和工具，有利于提高生产率和降低成本。

### 1.2.2 生产类型及其工艺特点

按生产专业化程度的不同，可将生产过程分为单件生产、成批生产和大量生产三种生产类型。其中，成批生产又可分为小批生产、中批生产和大批生产三种。表 1-4 所示为各种生产类型划分的依据。

**表 1-4 生产类型划分的依据**

| 生产类型 | 生产纲领(台数或件数) | | | 每月工作地担负的工序数 |
|---|---|---|---|---|
| | 小型机械或轻型零件 | 中型机械或零件 | 重型机械或零件 | |
| 单件 | ≤100 | ≤10 | ≤5 | — |
| 小批 | >100～500 | >10～150 | >5～100 | >20～40 |
| 中批 | >500～5 000 | >150～500 | >100～300 | >10～20 |
| 大批 | >5 000～50 000 | >500～5 000 | >300～1 000 | >1～10 |
| 大量 | >50 000 | >5 000 | >1 000 | 1 |

生产类型不同，则无论是在生产组织、生产管理、车间机床布置还是在选用毛坯制造方法、机床种类、工具、加工或装配方法及工人技术要求等方面均有所不同。为此，制定机器零件的机械加工工艺过程和机器产品的装配工艺过程时，都必须考虑不同生产类型的特点，以取得最大的经济效益。表 1-5 所示为各种生产类型的特点和要求。显然，生产类型不同，其工艺特点将有很大差异。

**表 1-5 各种生产类型的特点和要求**

| 生产类型 | 单件、小批生产 | 中批生产 | 大批、大量生产 |
|---|---|---|---|
| 产品数量 | 少 | 中等 | 大量 |
| 加工对象 | 经常变换 | 周期性变换 | 固定不变 |
| 机床设备和布置 | 采用万能设备，按机群布置 | 采用万能和专用设备，按工艺路线布置成流水生产线 | 广泛采用专用设备和自动生产线 |
| 工夹具 | 非必要时不采用专用夹具和特种工具 | 广泛使用专用夹具和特种工具 | 广泛使用高效专用夹具和特种工具 |
| 刀具和量具 | 一般刀具和量具 | 专用刀具和量具 | 高效专用刀具和量具 |
| 装夹方法 | 找正装夹 | 找正装夹或夹具装夹 | 夹具装夹 |
| 加工方法 | 用试切法加工 | 用调整法加工，有时还可组织成组加工 | 使用调整法自动化加工 |
| 装配方法 | 钳工试配 | 普遍应用互换装配，同时保留某些钳工试配 | 全部互换装配，某些精度较高的配合件用配磨、配研、选择装配，不需钳工试配 |

续表

| 生产类型 | 单件、小批生产 | 中批生产 | 大批、大量生产 |
|---|---|---|---|
| 毛坯制造 | 木模造型和自由锻造 | 金属模造型和模锻 | 采用金属模机器造型、模锻、压力铸造等 |
| 工人技术要求 | 高 | 中等 | 一般 |
| 工艺过程的要求 | 只编制简单的工艺过程 | 除有较详细的工艺过程外，对重要零件的关键工序需有详细说明的工序操作 | 详细编制工艺过程和各种工艺文件 |
| 生产率 | 低 | 中 | 高 |
| 成本 | 高 | 中 | 低 |

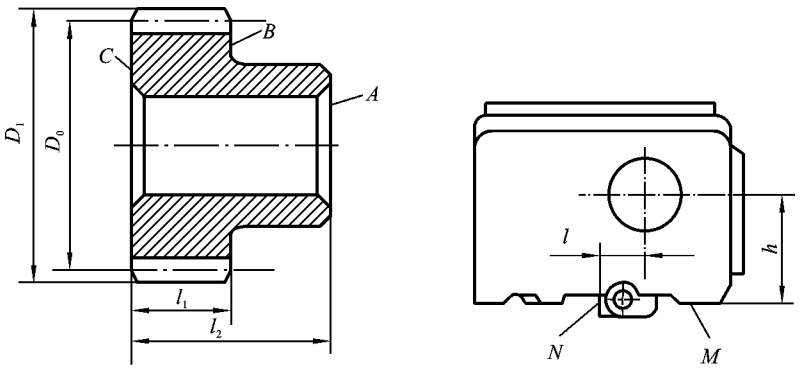
## 1.3　基准

基准是用来确定生产对象上几何要素之间几何关系所依据的那些点、线、面。在机器零件的设计和加工过程中，按不同要求选择哪些点、线、面作为基准，直接影响零件加工工艺性和各表面间尺寸、位置精度。

根据不同的作用，基准可分为设计基准和工艺基准两大类。

### 1.3.1　设计基准

零件设计图样上所采用的基准，称为设计基准。这是设计人员根据零件的工作条件、性能要求，适当考虑加工工艺性而选定的。一个机器零件，在零件图上可以有一个也可以有多个设计基准。如图 1-4(a)所示，齿轮的齿顶圆和分度圆的设计基准是齿轮内孔的中心线，而表面 $A$、$B$ 的设计基准是表面 $C$；如图 1-4(b)所示，车床主轴箱体中，主轴孔的设计基准是箱体的底面 $M$ 及小侧面 $N$。




(a)齿轮　　(b)车床主轴箱体

图 1-4　零件图中的设计基准

## 1.3.2 工艺基准

零件在工艺过程中所采用的基准，称为工艺基准。工艺基准包括工序基准、定位基准、测量基准和装配基准，现分述如下。

**1. 工序基准**

在工序图上，用来确定本工序所加工表面加工后的尺寸、位置的基准，称为工序基准。

如图 1-5 所示，工件的加工表面有 $\phi D$ 孔，要求其中心线垂直于底面 $A$，并与两侧 $C$ 面和 $B$ 面保持距离尺寸为 $L_1$ 和 $L_2$，因此表面 $A$、$B$、$C$ 均为本工序的工序基准。工序基准除采用工件上实际表面或表面上的线以外，还可以是工件表面的几何中心、对称面或对称线等。如图 1-6 所示，要求键槽两侧面对称，且底面平行于轴线，工序基准既有凸肩面 $A$ 和外圆下母线 $B$，又有外圆表面的轴向对称面 $D$。

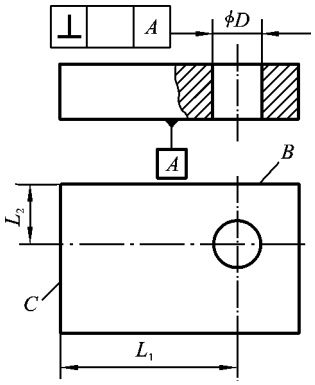



图 1-5 工序基准

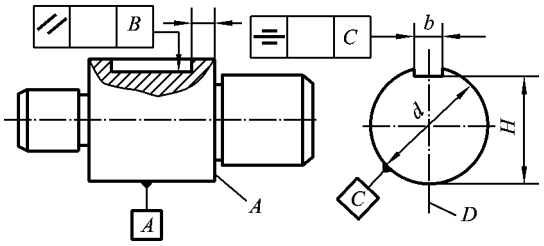



图 1-6 小轴键槽的工序基准

**2. 定位基准**

工件在机床上或夹具中进行加工时，用做定位的基准称为定位基准。用夹具装夹时，定位基准就是工件上直接与夹具的定位元件相接触的点、线、面。

图 1-7(a)所示的车床刀架座零件，在平面磨床上磨顶面，则与平面磨床磁力工作台相接触的表面为该道工序的定位基准；图 1-7(b)所示的齿坯拉孔加工工序，被加工内孔在拉削

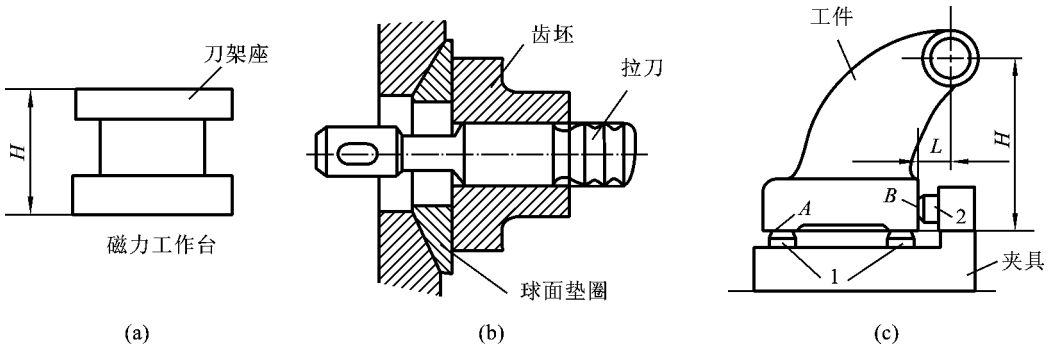



图 1-7 工件在加工时的定位基准

时的位置是由齿坯拉孔前的内孔中心线确定的，故拉孔前的内孔中心线为拉孔加工工序的定位基准。图 1-7(c)所示的零件在加工内孔时，其位置是由与夹具上定位元件 1、2 相接触的底面 $A$ 和侧面 $B$ 确定的，故 $A$、$B$ 面为该工序的定位基准。

**3. 测量基准**

在测量时所采用的基准，称为测量基准。

图 1-8(a)所示为根据不同工序要求测量已加工平面位置时所使用的两个不同的测量基准，一个测量基准为小圆柱的上母线，另一个测量基准为大圆柱的下母线。图 1-8(b)所示为车床主轴箱体零件，为测量加工后主轴孔的轴线 $O$—$O$ 对底面 $M$ 的平行度，以 $M$ 面为测量基准。通过标准垫铁、标准平台、心棒和百分表对平行度进行间接测量。

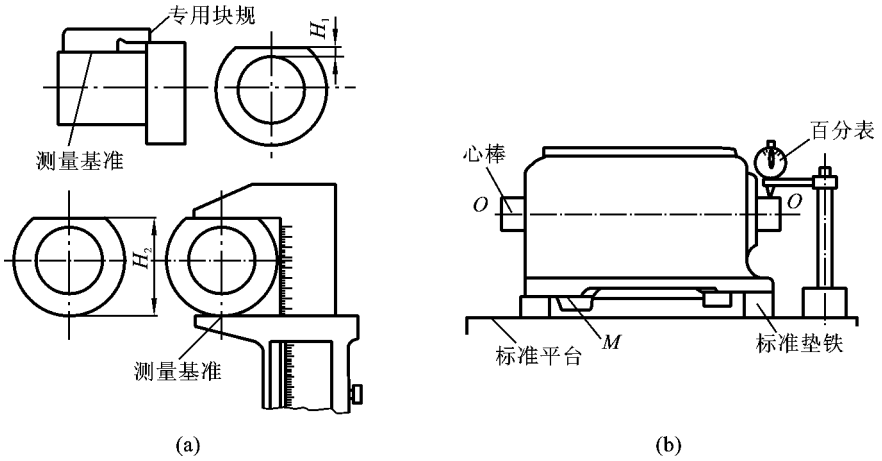



图 1-8　工件上已加工表面的测量基准

**4. 装配基准**

在机器装配时，用来确定零件或部件在产品中的相对位置所采用的基准，称为装配基准。

如图 1-9(a)所示，齿轮是以其内孔及一端面装配到与其配合的轴上，故齿轮内孔 $A$ 及端面 $B$ 即为装配基准。如图 1-9(b)所示的主轴箱部件，装配时是以其底面 $M$ 及小侧面 $N$ 与床身的相应面接触，从而确定主轴箱部件在车床上的相对位置，故底面 $M$ 及小侧面 $N$ 为主轴箱部件的装配基准。

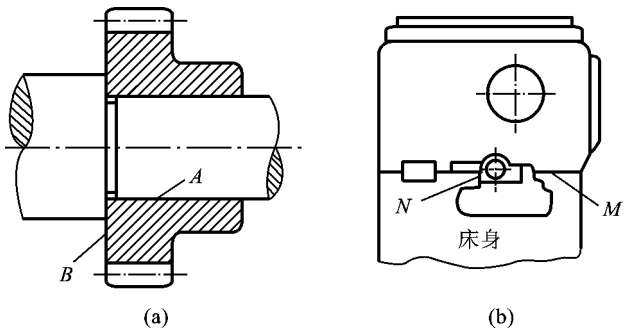



图 1-9　机器零部件装配时的装配基准

## 1.4 工件的装夹

人们在长期的生产实践中，创造出许多机械加工方法，如试切法、调整法、定尺寸刀具法和自动控制加工法等。这些方法的目的是使工件获得一定的尺寸精度、形状精度、位置精度和表面质量。为此，首先必须把工件装夹到机床上。

### 1.4.1 装夹的概念

为了保证一个工件加工表面的精度，以及使一批工件的加工表面的精度一致，那么，一个工件放到机床上或夹具中，首先必须占有某一相对刀具及切削成型运动（通常由机床所提供）的正确位置，且逐次加工的一批工件都应占有相同的正确位置，这称之为定位。为了在加工中使工件在切削力、重力、离心力和惯性力等力的作用下，能保持定位时已获得的正确位置不变，必须把零件压紧、夹牢，这称之为夹紧。

将工件在机床上或夹具中定位、夹紧的过程称为装夹。

工件的装夹，可根据工件加工的不同技术要求，采取先定位后夹紧或在夹紧过程中同时实现定位这两种方式，其目的都是为了保证工件在加工时相对刀具及成型运动具有正确的位置。

必须指出，定位和夹紧是两个完全不同的概念，不能混淆。

### 1.4.2 装夹的方法

工件的位置要求取决于工件的装夹（定位和夹紧）方式及其精度要求。工件的装夹方式有如下几种。

**1. 直接装夹**

直接装夹是利用机床上的装夹面来对工件直接定位的，工件的定位基准面只要靠紧在机床的装夹面上并密切贴合，不需找正即可完成定位。然后，夹紧工件，使其在整个加工过程中不脱离这一位置，就能得到工件相对刀具及成型运动的正确位置。如图 1-10 所示，图

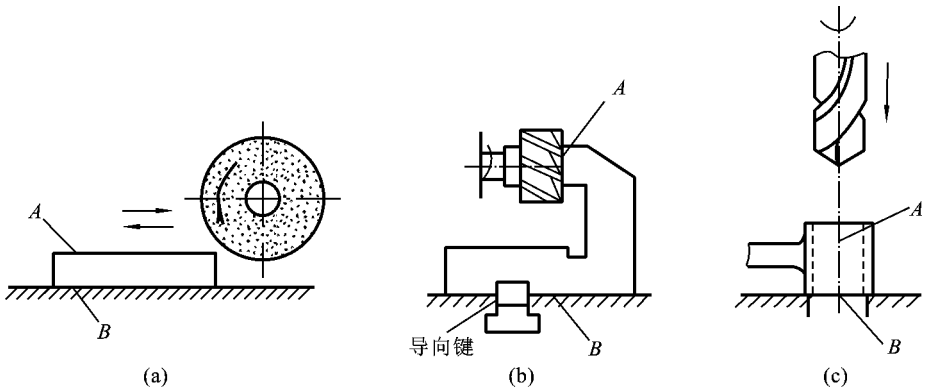



图 1-10 直接装夹

1-10(a)中工件的加工面 $A$ 要求与工件的底面 $B$ 平行，装夹时将工件的定位基准面 $B$ 靠紧并吸牢在磁力工作台上即可；图 1-10(b)中工件为一夹具底座，加工面 $A$ 要求与底面 $B$ 垂直并与底部已装好的导向键的侧面平行，装夹时除将底面靠紧在工作台面上之外，还需使导向键侧面与工作台上的 T 形槽侧面靠紧；图 1-10(c)中工件上的孔 $A$ 只要求与工件定位基准面 $B$ 垂直，装夹时将工件的定位基准面紧靠在钻床工作台面上即可。

**2. 找正装夹**

由操作工人在机床上利用百分表、千分表、划线盘等工具进行工件的定位，俗称找正，然后夹紧工件。图 1-11(a)所示为在内圆磨床上用四爪单动卡盘装夹套筒磨内孔，先用百分表找正工件外圆再夹紧，以保证磨削后套筒的内孔与外圆柱面的同轴度精度。图 1-11(b)所示为在车床上加工一个与外圆表面具有偏心量为 $e$ 的内孔，采用四爪单动卡盘和百分表调整工件的位置，使其外圆表面轴线与主轴回转轴线恰好相距一个偏心量 $e$，然后再夹紧工件加工即可。

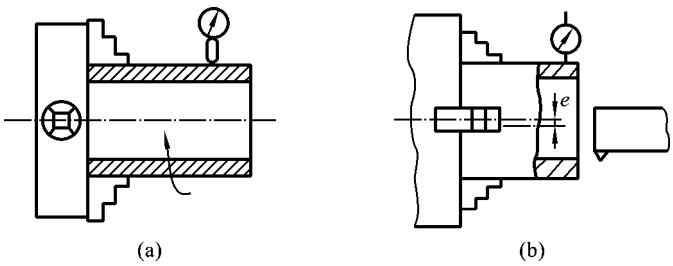



**图 1-11　直接找正装夹**

直接找正装夹方法由于其装夹效率较低，大多用于单件、小批生产中。当加工精度要求非常高，用夹具也很难保证其定位精度时，直接找正装夹是唯一的可行方案，这取决于操作工人的技术水平。

对于形状复杂，尺寸、质量均较大的铸锻件毛坯，若其精度较低不能按其表面找正，则可预先在毛坯上将待加工面的轮廓线划出，然后再按所划的线找正其位置，称为划线找正装夹。事先在工件上划出位置线、找正线和加工线，找正线和加工线通常相距 5 mm，装夹时按找正线进行找正，即为定位，然后再进行夹紧。图 1-12 所示为一个工件在四爪单动卡盘上，在工件缓慢旋转过程中划针头与工件的找正线不重合说明未安装好，需调整卡爪位置，直至划针头与找正线重合为止。

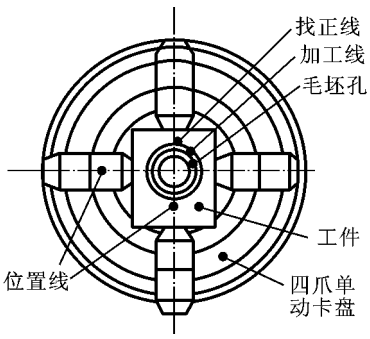



**图 1-12　划线找正装夹**

划线找正装夹所需设备比较简单，适应性强，但精度和生产效率均较低，通常划线精度为 0.1 mm 左右，多适用于单件、小批生产中的辅助铸件或铸件精度要求较低的粗加工工序。

**3. 夹具装夹**

夹具是根据工件加工某一工序的具体加工要求设计的，其上备有专用的定位元件和夹紧装置，被加工工件可以迅速而准确地装夹在夹具中。采用夹具装夹，是在机床上先安装好