



高等学校教材  
武汉水运工程学院  
船机工艺教研室编



(船机制造与修理专业用)

上册

修订版

# 船舶机械制造与修理工艺学

人民交通出版社

268143

高 等 学 校 教 材

# 船舶机械制造与修理工艺学

Chuanbo jixie zhizao yu xiuli gongyixue

上 册

(船机制造与修理专业用)

修 订 版

武汉水运工程学院  
船机工艺教研室 编

人 民 交 通 出 版 社

高等学校教材  
船舶机械制造与修理工艺学  
上册

(船机制造与修理专业用)

修订版

武汉水运工程学院  
船机工艺教研室 编

责任编辑：高珂

封面设计：王炬

技术设计：张义华

插图设计：陈竞

责任校对：高琳

人民交通出版社出版  
新华书店北京发行所发行  
各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$  印张：19 字数：448千

1987年6月第1版

1987年6月第1版第1次印刷

印数：0001—3,500册 定价：3.15元

## 内 容 提 要

本书共五篇，分上下两册。

上册详细阐述了船机制造工艺基本原理及夹具设计，并着重介绍了船用中型柴油机的制造和装配工艺，对大型柴油机的装配工艺亦作了概要的论述。

下册按船机修理的拆卸、检查、修理、安装、试验等过程，详细阐述了船机零件的损伤原因、探伤方法、基本修复方法，船机拆验及其主要件修理和主机、轴系、舵系在船上的安装工艺、船舶试车等问题。

本书为高等院校“船机制造与修理”专业教材，亦可作为船机其它专业的教学参考书，还可供修造船厂、柴油机厂和其它从事船机工艺的技术人员、管理干部和工人以及轮机管理人员阅读。

0197/58



# 前 言

自第一版发行以来，由于近几年来船舶机械制造与修理工艺的发展，以及教学实践经验的丰富，我们对本书作了较大的修改与补充。

与第一版相比，本书对基本概念和基础理论有所加强，着重介绍了新工艺，并删去了与其它课程相重复的内容。因此，章节上有所变动：第一版的第六章至第十四章删去，第二篇夹具设计并入第一篇，成为其中的第六章；新增了计算机辅助制造（第五章），摩擦、磨损和减少磨损的方法（第十七章），金属热喷涂（第二十三章）；对机械加工中误差的综合分析，振动，轴系校中等作了较多的补充。其它各章也都作了删改补充。

本书由武汉水运工程学院牛求煌、王亭山、朱国宝、唐育民、孙秉章、吴宗荣、金志鸿分章负责编写、修订。全书由牛求煌统稿。新增的插图由杨和庭绘制。

全书由武汉河运专科学校陈霖霖教授审阅。

由于我们的水平有限，本书中还会有不妥和不足之处，希望广大读者批评指正。

编 者

一九八六年九月

# 目 录

## 第一篇 船机制造工艺基础

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第一章 工艺过程基本概念</b> .....    | 1   |
| §1-1 生产过程和工艺过程.....          | 1   |
| §1-2 机械加工工艺过程的组成.....        | 1   |
| §1-3 生产类型.....               | 3   |
| <b>第二章 机械加工精度</b> .....      | 4   |
| §2-1 加工精度的基本概念.....          | 4   |
| §2-2 影响加工精度的各种因素.....        | 6   |
| §2-3 机械加工的经济精度.....          | 26  |
| §2-4 加工误差的综合分析.....          | 27  |
| <b>第三章 机械加工表面质量</b> .....    | 38  |
| §3-1 表面质量对零件使用性能的影响.....     | 38  |
| §3-2 影响表面质量的工艺因素及其控制方法.....  | 40  |
| §3-3 机械加工中的振动.....           | 45  |
| <b>第四章 机械加工工艺规程的制订</b> ..... | 55  |
| §4-1 概述.....                 | 55  |
| §4-2 定位基准的选择.....            | 57  |
| §4-3 工艺路线的拟定.....            | 59  |
| §4-4 加工余量及工序尺寸的制定.....       | 65  |
| §4-5 生产率和时间定额.....           | 69  |
| §4-6 工艺方案的技术经济分析.....        | 70  |
| <b>第五章 计算机辅助制造</b> .....     | 71  |
| §5-1 CAM系统的基础——成组技术.....     | 71  |
| §5-2 数控机床的程序编制.....          | 81  |
| §5-3 计算机辅助制造系统.....          | 91  |
| <b>第六章 机床夹具</b> .....        | 94  |
| §6-1 概述.....                 | 94  |
| §6-2 工件的定位.....              | 95  |
| §6-3 定位元件和工件在夹具中的定位误差.....   | 98  |
| §6-4 工件的夹紧和夹紧机构.....         | 108 |
| §6-5 各类机床夹具.....             | 123 |
| §6-6 组合夹具和成组夹具.....          | 133 |
| §6-7 夹具设计步骤.....             | 136 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| §6-8 夹具技术要求的制订和尺寸公差的标注 | 140 |
| §6-9 现代机床夹具发展方向        | 141 |

## 第二篇 船机主要零件制造和装配工艺

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| <b>第七章 机座制造</b>       | 142 |
| §7-1 机座加工的技术要求和材料     | 142 |
| §7-2 机座机械加工工艺流程       | 143 |
| §7-3 机座加工主要工序分析       | 146 |
| §7-4 机座成品的检验          | 148 |
| <b>第八章 曲轴制造</b>       | 149 |
| §8-1 曲轴的材料、毛坯和加工技术要求  | 149 |
| §8-2 曲轴加工工艺特点分析       | 152 |
| §8-3 整体式曲轴制造          | 153 |
| §8-4 组合式曲轴制造          | 159 |
| §8-5 曲轴成品的检验          | 162 |
| <b>第九章 气缸套制造</b>      | 165 |
| §9-1 气缸套的材料、毛坯和加工技术要求 | 165 |
| §9-2 气缸套的机械加工工艺       | 167 |
| §9-3 气缸套的表面处理         | 174 |
| <b>第十章 活塞环制造</b>      | 176 |
| §10-1 活塞环的主要技术要求和检验方法 | 176 |
| §10-2 活塞环的成形方法        | 178 |
| §10-3 活塞环的表面处理        | 182 |
| <b>第十一章 活塞制造</b>      | 184 |
| §11-1 活塞的材料、毛坯和加工技术要求 | 184 |
| §11-2 筒形整体式活塞机械加工艺    | 188 |
| §11-3 组合式活塞的加工特点      | 194 |
| §11-4 活塞的表面处理         | 195 |
| <b>第十二章 连杆制造</b>      | 196 |
| §12-1 连杆的材料、毛坯和加工技术要求 | 196 |
| §12-2 筒形活塞柴油机连杆的加工    | 199 |
| §12-3 连杆成品的检验         | 205 |
| <b>第十三章 轴瓦制造</b>      | 206 |
| §13-1 概述              | 206 |
| §13-2 轴瓦的材料           | 207 |
| §13-3 轴瓦加工技术要求        | 210 |
| §13-4 轴瓦制造工艺过程        | 211 |
| <b>第十四章 喷油泵柱塞偶件制造</b> | 215 |
| §14-1 概述              | 215 |

|             |                       |            |
|-------------|-----------------------|------------|
| §14-2       | 喷油泵套筒的机械加工工艺 .....    | 216        |
| §14-3       | 喷油泵柱塞的机械加工工艺 .....    | 219        |
| §14-4       | 喷油泵柱塞偶件的检验 .....      | 224        |
| <b>第十五章</b> | <b>螺旋桨制造</b> .....    | <b>227</b> |
| §15-1       | 螺旋桨的材料和毛坯 .....       | 227        |
| §15-2       | 螺旋桨加工 .....           | 232        |
| §15-3       | 螺旋桨成品检验 .....         | 238        |
| <b>第十六章</b> | <b>船舶柴油机的装配</b> ..... | <b>241</b> |
| §16-1       | 装配工艺基础 .....          | 242        |
| §16-2       | 筒形活塞柴油机装配工艺过程 .....   | 250        |
| §16-3       | 大型低速柴油机的装配特点 .....    | 276        |
| <b>参考文献</b> | .....                 | <b>293</b> |

# 第一篇 船机制造工艺基础

## 第一章 工艺过程基本概念

### §1-1 生产过程和工艺过程

船舶机器或机械制造时，从原材料到制成品的全部劳动过程称为生产过程。其中包括原材料的运输、保管和生产准备；毛坯制造；零件的机械加工和热处理；部件的装配和机器或机械的总装；产品的检验和试车；成品的油漆和包装等。

工厂的生产过程又可分为若干车间的生产过程。某一车间所用的原材料（或半成品）可能是另一车间的成品，而它的成品又可能是其它车间的原材料（或半成品）。例如，机械加工车间的毛坯是铸造车间的成品，而机械加工车间的成品又是装配车间的半成品。

一台船舶机器或机械的生产过程，往往是由许多工厂分工协作完成的。例如 300 型船用柴油机的生产，并不是由一个工厂单独完成的，而是由多个专业厂分别生产活塞环、活塞、气缸套、轴瓦、燃油设备以及仪表等零部件，通过协作来完成的。这样做有利于专业化生产，可以提高生产质量，提高劳动生产率和降低生产成本。所以柴油机制造的整个生产过程是柴油机厂和有关专业厂生产过程的总和。

工艺过程是生产过程中最主要的一部分。它是与改变材料（毛坯）或零件的尺寸、形状、表面位置 and 材料性能直接有关的那部分生产过程，如铸造、锻造、热处理、机械加工和装配工艺过程等。

工艺过程不包括工件的运输、包装和储存、生产准备、机床设备维修等辅助工作。

### §1-2 机械加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程一般分为工序、安装、工位、工步、走刀等部分。

**工序** 是工艺过程的基本单元。指由一个（或一组）工人在一个工作地点上，对一个（或同时几个）工件所连续完成的那一部分加工过程。

**安装** 指在同一道工序中，工件在加工位置上装夹一次所完成的那一部分加工过程。例如，在单件小批生产条件下，车削活塞外圆面和活塞环槽的工序中，一次装夹后，车裙部外圆和端面，称为安装 I；调头装夹后，车顶部外圆和切活塞环槽，称为安装 II。所以在这道工序中包含了两次安装。

**工位** 当工件安装在转位（或移位）工作台，或转位夹具上进行加工时，在一次安装中工件（或刀具）相对于机床有几个不同位置。对某一工件而言，在每个位置上所完成的那一部分加工过程，就是一个工位。图 1-1 所示为工件在五轴组合钻床上钻、扩、铰孔加工的情况。工件安装在回转工作台上，这时工件与刀具的相对位置每改变五次，一个零件便完成了该工序的工作（工位 1 为工件的装卸工位），所以此情况为六个工位。在单轴立式专用镗床上镗气

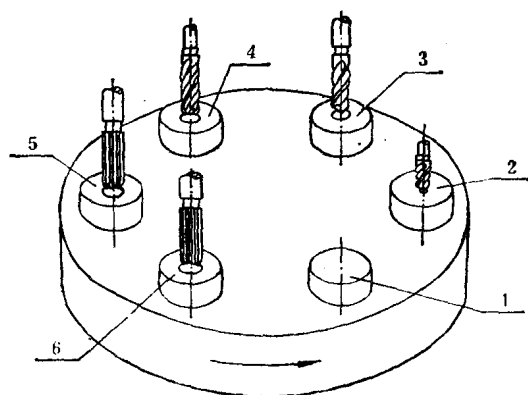


图1-1 六工位五轴钻

1-装卸工位；2-预钻孔；3-钻孔；4-扩孔；5-粗铰；6-精铰

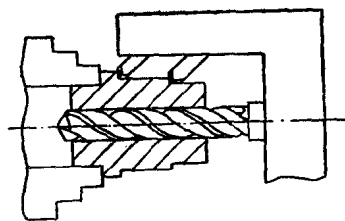


图1-2 复合工步

缸体的气缸孔时，每镗一个孔，利用移位工作台使机体移动一段等于两气缸间轴线的距离，工作台每一位置上的加工都称为一个工位。

**工步** 指工件在一次安装中（一个工位上），对一个表面用一种刀具、一种切削用量（指转速和进给量）进行的那一部分加工过程。例如在一次安装中车削活塞外圆和切活塞环槽时，车活塞外圆和切环槽分别属不同的工步，因为两者加工表面、切削用量和刀具都不同。

在生产中经常把几个待加工表面用几把刀具同时加工，也作为一个工步，称为复合工步。图1-2所示的是在车床上用两把车刀和一个钻头同时加工两级外圆和内孔的情形。

**走刀** 当加工余量较大时，同一刀具必须在转速和进给量不变的情况下进行多次的切削，每一次切削即称为一次走刀。

**例：**图1-3所示轴件在成批生产时的机械加工工艺过程。

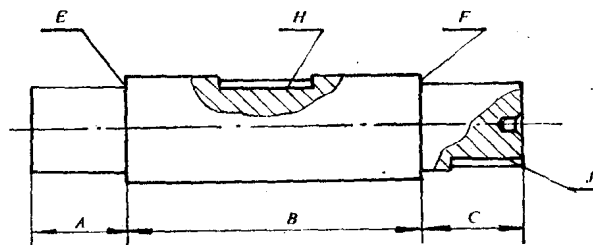


图1-3 轴加工的工艺过程

工序1 在双面铣床上铣两端面。

工序2 在中心孔钻床上打两端的顶尖孔（在一次安装中完成）。

工序3 在车床上粗车A、B、C段各级外圆和台肩面E、F。

安装(1) 粗车B、C段外圆，台肩面F（工件用前后顶尖定位，卡盘夹紧A段毛坯外圆）。

工步① 车B段外圆（几次走刀）。

工步② 车C段外圆（几次走刀）。

工步③ 车台肩面F（几次走刀）。

安装(2) 粗车A段外圆及台肩面E（工件用前后顶尖定位，卡盘夹持C段外圆）。

工步① 车A段外圆（几次走刀）。

工步② 车台肩面E（几次走刀）。

工序4 在另一台车床上精车A、B、C段各级外圆及台肩面E、F。其安装、工步及走刀数同粗加工。

工序5 在铣床上铣 $H$ 、 $J$ 键槽（工件在一次安装中，利用分度头转 $180^\circ$ 来加工第二个键槽）。

工位(1) 铣键槽 $H$ （几次走刀）。

工位(2) 铣键槽 $J$ （几次走刀）。

## §1-3 生产类型

### 一、生产类型与批量法则

#### 1. 生产类型

在机器制造业中，根据产品年产量（生产纲领）的不同，一般可分为三种生产类型（生产规模），即单件生产、成批生产和大量生产。

1) 单件生产：指一次生产一台或几台机器。大多数工作地点的加工对象是经常改变的。造船厂的大型低速柴油机制造车间是属于这种生产类型。

2) 成批生产：是指产品的年产量以十（大型机械）或百（中型机械）计算。大多数工作地点的加工对象是一批一批地定期转换。成批生产类型的工厂有船用中速或高速柴油机厂。

3) 大量生产：是指产品的数量很大，大多数工作地点重复地进行一种零件的某一工序。一些中、小型柴油机制造厂和柴油机某些零、部件专业化制造厂（如活塞厂、活塞环厂、轴瓦厂、油泵油嘴厂等）均属于这种生产类型。

各种不同生产类型的工艺特点

表1-1

| 项 目        | 单 件 生 产                         | 成 批 生 产                                         | 大 量 生 产                               |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 毛坯制造方法     | 木模手工造型和自由锻造                     | 部分用金属模和模锻                                       | 广泛使用金属模和机器造型、模锻、压铸等高生产率毛坯制造方法         |
| 零件的互换性     | 将相配合的零件成对地进行配对制造，没有互换性，广泛采用钳工修配 | 大部分零件有互换性，少数零作用钳工修配                             | 全部零件有互换性，某些精度较高的零件配合采用分组选择装配          |
| 机床设备及其组织形式 | 采用万能机床，按机床类别和规格大小以“机群式”排列布置     | 部分万能机床和部分高生产率专用机床及万能数控机床等。机床设备按加工零件的类别分“工段”排列布置 | 广泛采用高生产率的专用机床和多功能数控机床及自动机床。设备按流水线形式排列 |
| 夹 具        | 很少采用夹具，按划线及试切法达到尺寸要求            | 广泛采用夹具，部分靠划线进行加工                                | 广泛采用高生产率夹具和采用调整法达到尺寸要求                |
| 工具及量具      | 采用标准刀具和万能量具                     | 广泛采用专用刀具和量具                                     | 广泛采用高生产率的刀具和量具                        |
| 先进工艺的采用    | 较少采用                            | 采用投资不大、调整简单的先进工艺                                | 广泛采用高效先进工艺                            |
| 对工艺文件的要求   | 通常只有简单的工艺过程卡                    | 除有较详细的工艺过程卡外，对重要零件的关键工序有详细说明的工序操作卡              | 有详细的工艺文件                              |
| 对操作工人的要求   | 需要技术熟练的操作工人                     | 各种工种需要一定熟练程度的操作工人                               | 对专用机床调整工技术要求较高，对一般操作工人要求不高            |

生产类型的不同，无论在生产组织、生产管理、车间布置、毛坯生产方法、设备、工夹具、加工方法和对工人技术熟练程度的要求等方面均有所不同。拟订工艺规程时，必须与生

产类型相适应，以取得最大的经济效果。

表1-1所列为各种不同生产类型的工艺特点比较。

## 2. 批量法则

它表示生产批量、工艺方法和生产效率之间的相互关系。批量大小直接影响着加工方法、工装和设备的选择。若批量大就可以采用先进工艺、高效设备和专用工装，以不断提高机械化自动化水平，组织高生产率的流水线和自动线，从而大大提高生产效率和降低生产成本；若批量小，按传统的生产组织方法，则只能采用常规的工艺方法，采用通用机床和万能工装，从而导致生产效率低、零件加工成本较高。

这种传统的生产组织方法和传统的批量概念严重地束缚了多品种中小批生产。为了适应生产发展的需要，一定要突破这种陈旧的概念。

## 二、多品种中、小批生产的现代化

随着生产的发展，产品的品种、规格将不断增多，而生产批量将逐渐减少。就连大量生产的汽车制造业也正在向着增加品种和减少批量方面发展。

据统计，在小批生产中，若把工件在车间内停留的时间作为100%，则工件在机床上的时间仅占5%，而工件的运输和等待所消耗的时间却占95%。小批生产的生产周期长、效率低、成本高、管理工作复杂的主要原因在于：多种工件相互交叉，穿梭往返于各班组之间，对于每台机床，为了加工多品种、差别大、数量少的各种零件，势必造成调整和更换工装频繁，设备利用率低等。所以提高多品种中、小批生产水平应从减少工件在车间内的运输和等待时间着手，采用高效率的工装和设备，或实现适合于这种生产的自动化以及使用合理的切削参数，以提高生产效率。实践证明，采用成组批量为基础的成组技术是最有成效的。

**成组批量** 它是按照若干产品的零件结构和加工相似性来组织生产。这样尽管工厂生产的每种产品的需要量不多，但产品的品种较多，各品种在结构上和工艺上相似的零件数量就比较多，把这些具有相似性的零件组织在一起就形成成组批量。这种批量的扩大就相当于把中、小批生产的性质改变为大批甚至大量生产的性质，因而许多在大批量生产中行之有效的各种先进工艺，就可用于中、小批生产。

以成组批量为基础而组织的生产单元、成组流水线、自动线以至现代最先进的柔性制造系统，为中、小批生产广泛采用高效设备和工装提供了工艺基础，从而大大提高了生产率，还为多品种中、小批生产的高度自动化开辟了现实而又广阔的前景。

## 第二章 机械加工精度

### §2-1 加工精度的基本概念

#### 一、加工精度和加工误差

优质、高产、低消耗，这是对每一个机械制造企业的基本要求。不断地提高产品的质量，最大限度地消灭废品，降低次品率以及最大限度地节约材料和人力的消耗，是机械制造业必须遵循的原则。任何机械产品都是由许多互相关联的零件装配而成的，机器的最终制造

质量和零件的加工质量紧密相关。机器零件的加工质量是整台机器质量的基础。

机器零件的加工质量指标有两大类：一是加工精度；二是表面质量。本章研究的是机械加工精度问题。

加工精度是指零件在加工以后的几何参数（尺寸、形状和位置）与理想零件的几何参数相符合的程度。符合程度愈高，加工精度也愈高。所谓理想零件，对表面形状而言，就是绝对正确的圆柱面、平面、锥面等；对表面位置而言，就是绝对的平行、垂直、同轴和一定的角度等；对于尺寸而言，就是零件尺寸的公差带中心。

在生产实践中，任何加工方法，都不可能将零件加工得绝对精确，与理想零件完全相符，总会产生一些偏离。这种偏离，就是加工误差。从保证机器工作性能来讲，也没有必要将零件的尺寸、形状、位置加工得绝对精确。只要能保证零件在机器中的功用，加工时是允许零件的几何参数在规定的极限范围内有一定的加工误差的。所以，国家给机械工业规定了公差等级标准。只要零件的加工误差不超过零件图上按零件的设计要求和公差标准所规定的偏差，就算保证了零件加工精度的要求。由此可见，“加工精度”和“加工误差”这两个概念都是用来评定零件几何参数的。加工精度的低和高是通过加工误差的大和小来表示的。所谓保证和提高加工精度的问题，实际上也就是限制和减小加工误差的问题。

## 二、获得加工精度的方法

对于规定的加工精度，可以用下列方法来达到：

### 1. 零件的尺寸精度

通常获得零件的尺寸精度有下列几种方法：

1) 试切法。这种方法是通过试切、度量、调整、再试切的反复过程获得精度的。例如，在车床上加工外圆或内孔时，首先在工件端部的一小段上加工、测量，经多次试切，直到满足要求时再车出整个表面来。这种方法能达到较高的加工精度，但它取决于工人的技术水平和测量仪器的精度。要花很多时间进行试切和度量，辅助时间较多，生产率低。此法常用于单件小批生产。

2) 尺寸刀具加工法。这种方法是用具有一定尺寸和形状的刀具进行加工，加工后即达到所要求的尺寸和形状。例如，用钻头、铰刀、拉刀、镗刀块加工孔；用丝锥、板牙加工螺纹等，其加工精度主要由刀具本身的精度来保证。由于刀具制造精度可以提高，因此用尺寸刀具可以达到相当高的加工精度，而又避免了试切过程，生产效率比试切法要高。其主要缺点是刀具耗费较大；使用的尺寸范围受到一定的限制。此法适用于各种生产规模。

3) 调整法。这种方法需预先按工件规定的尺寸要求来调整好刀具与机床、夹具以及工件的相对位置，然后进行加工，从而保证在加工过程中自动获得工件的尺寸。工件加工精度取决于调整精度，调整工作事先由专门的调整工来完成。在加工过程中，还必须对机床作定期的补充调整。此法的优点是能自动保证加工精度，大大地缩短了加工所需的辅助时间，生产率高，对操作工人的技术水平要求较低。但调整机床麻烦，调整一次所耗费的时间较长，且要有专门的调整工。此法适用于成批和大量生产。

4) 自动控制法。这种方法是自动化了的试切法或调整法。它是把测量、调整和切削等机构组成一个自动化系统。在工件加工完毕或加工过程中，由自动测量装置测量工件的加工尺寸，并与所要求的尺寸进行比较后发出信号。此信号通过转换和放大后发送到机床相应部分，操纵机床或继续工作，或进行自动调整，或停车。

图2-1所示为在内圆磨床上用自动控制法磨孔。砂轮座带动砂轮每往复走刀一次，塞规5借弹簧6之力测量孔径一次。孔的尺寸若不到位，塞规插不进孔内，这时没有信号发出，机床则继续工作。待孔的尺寸磨到公差范围以内时，塞规5插进孔内，这时触杆1向右运动，推动信号开关，发出改变磨削用量的信号，机床进入精磨过程。当塞规4也能插入孔内时，触杆2向右运动而推动信号开关，发出停车信号，机床即停车。推杆7、8是用来保证磨头不与塞规接触的装置。

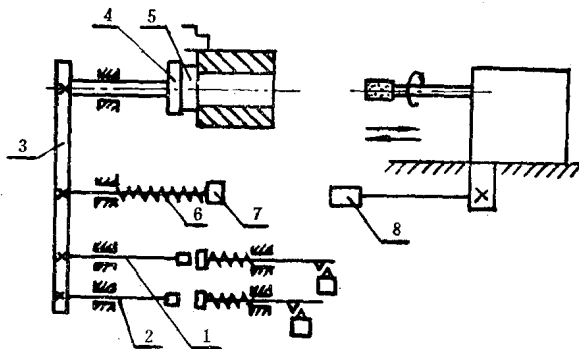


图2-1 内圆磨床的自动控制示意图

1、2-触杆；3-连接杆；4、5-塞规；6-弹簧；7、8-推杆

## 2. 零件的形状精度

在机械加工中，工件的表面形状主要依靠刀具和工件作相对的成形运动来获得。其方法有：轨迹法（利用刀尖运动轨迹获得表面形状）、成形法（利用成形刀具获得表面形状）和展成法（一定形状的刀具与工件按规定的运动关系获得表面形状）。

为了保证达到零件的形状精度，必须保证各成形运动本身及其相互关系的准确性。所谓各成形运动的相互关系，是指成形运动轨迹的相对位置关系（运动关系）。对于大多数简单几何形状，如圆柱面、圆锥面、平面等，只需保证几何关系就可以了；对于复杂表面，如螺旋面及各种用创成法加工的表面（如齿轮的轮齿等），则需同时保证几何关系和运动关系。

机床精度或刀具精度对零件的形状精度有决定性的影响。例如，在车床上加工轴类零件的外圆柱面时，其圆柱度主要取决于车床主轴轴线与导轨的平行度以及导轨的扭曲等。车床两顶针在水平面上的同轴度误差，也将引起工件圆柱度误差。此外，刀具的磨损也会引起工件圆柱度误差。当用成形刀具加工时，零件的形状精度取决于刀具的精度。

## 3. 零件的位置精度

零件的位置精度主要与机床精度、夹具精度及刚度、刀具的刚度及磨损和工件与夹具的安装精度等因素有关。例如，在平面上钻孔时，孔轴线对平面的垂直度误差取决于钻头进给方向与工作台或夹具定位面的垂直度。在车床上车端面时，端面对轴线的垂直度误差取决于车床横向溜板进给方向与主轴轴线的垂直度。在铣床上用b平面定位铣削与之平行的a

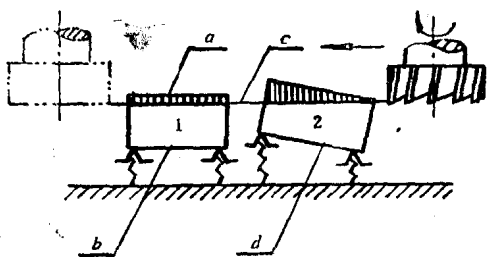


图2-2 工件的安装对位置精度的影响

a-加工面；b、d-基准面；c-机床的切削成形面

平面时，a、b两平面的平行度误差取决于工件在铣床上的安装精度，如图2-2所示。

综上所述，规定的加工精度与机床、夹具、刀具等的制造误差，工件安装误差、度量误差和调整误差等一系列因素有关。

## §2-2 影响加工精度的各种因素

在机械加工中，工件的尺寸、形状和表面相互位置不可避免地会存在着误差，而引起这

些误差的原因很多。根据生产实践和试验总结，其主要原因有：加工原理误差；机床的制造误差和磨损；夹具的制造误差和磨损；刀具的制造误差和磨损；工件的安装误差；工艺系统受力变形所引起的误差；工艺系统受热变形所引起的误差；工件残余内应力所引起的误差；度量误差和调整误差等。

上述误差，不是在任何情况下都会同时出现，在不同情况下，各因素对工件加工精度的影响程度是不同的，必须具体问题具体分析。下面分别讨论各种误差的性质、特点及其对加工精度的影响。

### 一、加工原理误差

加工原理误差亦称加工方法误差，是指在加工过程中采用了近似的刀刃形状或成形运动代替理论的刀刃形状或成形运动而产生的。

例如用模数铣刀铣齿。由于模数相同而齿数不同的渐开线齿轮，其基圆半径不同，因而齿形也不相同。这样，理论上讲就要求为同一模数的每一种齿数的齿轮都准备一把专用刀具，这是很不经济也不现实的。为了精简刀具数量，就只能为每一种模数的齿轮设计一套（8~26把）模数铣刀，其中每一把模数铣刀可用于加工某一齿数范围的齿轮。用这种刀具进行加工，就会在轮齿上产生齿形的原理误差。如图2-3所示。

在生产中，采用近似加工方法，对于简化机床和刀具的设计与制造，降低加工成本，往往是十分必要的。因此不能认为凡有加工原理误差的方法都不能成为一种完善的加工方法。只要使加工误差控制在公差带内，满足了工件的加工精度要求，采用近似加工方法是完全合理和可行的。

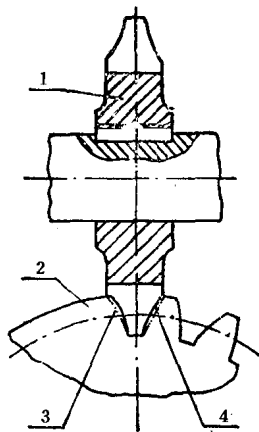


图2-3 用模数铣刀铣齿轮时所产生的齿形误差  
1-模数铣刀；2-被加工齿轮；3-切削后得的实际齿形；4-理论齿形

### 二、机床的制造误差和磨损

机床的制造精度，是影响被加工工件精度的重要因素。通常，一定精度的机床只能加工出相应精度的工件。机床经长期使用后会磨损，其精度降低，因而被加工工件的精度亦随之降低。各类机床的制造精度在国家标准和机床说明书中有规定。

影响加工精度的机床误差主要有如下几个方面：

- 1) 机床主轴的误差；
- 2) 机床导轨的误差；
- 3) 主轴轴线与导轨的平行度误差；
- 4) 机床传动链误差。

下面分别进行分析。

#### 1. 机床主轴的误差

机床主轴是工件或刀具的位置基准和运动基准，它的误差直接影响着工件的加工精度。对于主轴的要求，集中到一点，就是在运转的情况下保持轴线的位置稳定不变，即保证回转精度。主轴的回转精度不但和主轴部件的制造精度有关，而且与受力和受热的变形有关。因

此随着主轴转速的增加,需解决主轴轴承的散热问题。

主轴部件的制造精度是主轴回转精度的基础。在主轴部件中,由于存在着主轴轴颈的圆度误差、轴颈的同轴度误差、轴承本身的各种误差、轴承之间的同轴度误差、主轴的挠度和支承端面对轴颈轴线的垂直度误差等,主轴在每一瞬时回转轴线的空间位置都是变动的。也就是说,存在着回转误差。

主轴的回转误差可以分为三种基本型式:纯径向跳动、纯角度摆动和纯轴向窜动,如图2-4所示。不同型式的主轴回转误差对加工精度的影响不同,同一型式的回转误差在不同的加工方式(例如车削和镗削)中对加工精度的影响也不一样。图2-5所示为一镗孔时的特例,镗杆旋转,工件不转。设由于主轴纯径向跳动而使主轴轴线在 $Y$ 坐标方向上作简谐直线运动,其频率与主轴每秒钟的转数相同,振幅为 $A$ ;再设主轴轴线偏移最大(等于 $A$ )时,镗刀尖正好通过水平位置1。则当镗刀再转过一个 $\varphi$ 角时(位置1'),刀尖轨迹的水平分量和垂直分量各为;

$$Y = A \cos \varphi + R \cos \varphi = (A + R) \cos \varphi$$

$$Z = R \sin \varphi$$

$$\frac{Y^2}{(R + A)^2} + \frac{Z^2}{R^2} = 1$$

上式为椭圆方程,即镗出的孔成椭圆形,如图2-5中虚线所示。

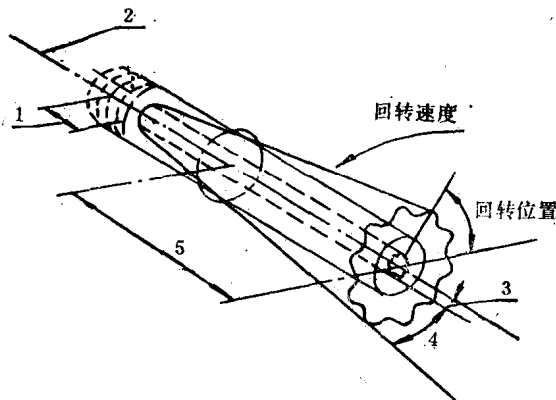


图2-4 主轴回转误差的基本形式

1-轴向窜动; 2-回转轴线; 3-纯径向跳动; 4-纯角度摆动; 5-支承距离

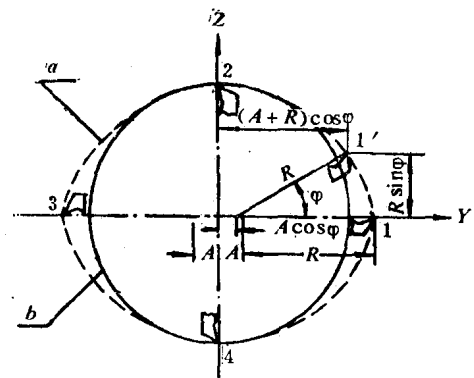


图2-5 纯径向跳动对镗孔圆度的影响

a-镗孔实际形状; b-理想形状

车削时主轴纯径向跳动对工件的圆度影响很小。如图2-6所示,假定主轴轴线沿着 $Y$ 坐标作简谐直线运动,见图中a),则在工件1处(主轴轴线偏移最大处)切出的半径要比在2、4处切出的半径小一个振幅值 $A$ ;而在工件3处切出的半径则刚好相反,比2、4处切出的半径大一个振幅值 $A$ 。由此可见,所车出的工件表面接近于一个真圆。

当主轴纯径向跳动沿着 $Z$ 坐标时,见图2-6中b),车出的工件直径只有二次小的误差。

主轴的纯轴向窜动对于孔加工和外圆加工没有影响,但在加工端面时却使端面与内外圆轴线不垂直。主轴每转一周,就要沿轴向窜动一次。向前窜动的半周中形成了右螺旋面,向后窜动的半周中形成了左螺旋面,最后切出了如同端面凸轮一样的形状,而在端面中心附近出现一个凸台。在这种情况下车削螺纹,必然会产生单个螺距内的周期误差。

当主轴具有纯角度摆动时,车削加工仍然能够得到一个圆的工件,但轴线有偏斜;而在镗削加工时,镗出的孔则将是椭圆形的,如图2-7所示。

下面结合上述三种纯误差来分析机床主轴部件制造误差对加工精度的影响。

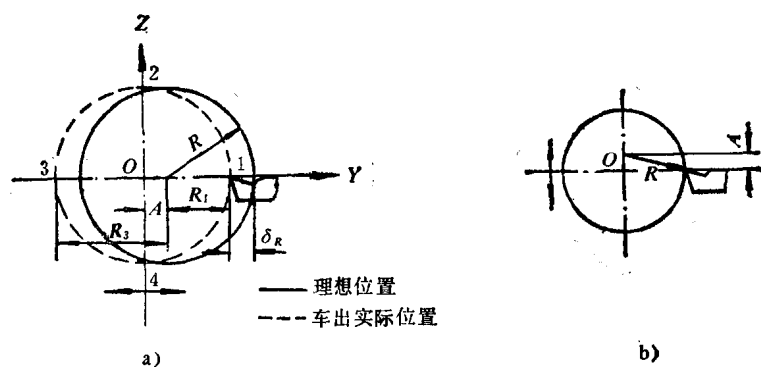


图2-6 纯径向跳动对车削圆度的影响

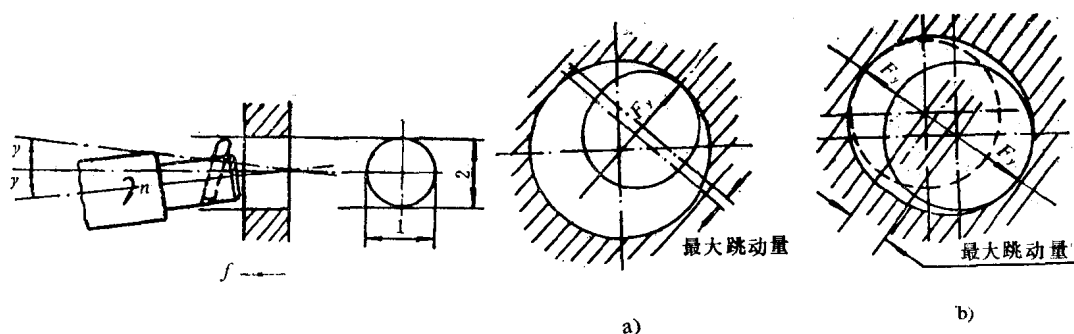


图2-7 主轴纯角度摆动对镗孔的影响  
1-长径; 2-短径

图2-8 轴颈与轴承孔圆度误差对加工精度的影响

在主轴用滑动轴承的结构中, 主轴是以轴颈在轴套内旋转的。在车床一类机床上主轴的受力方向不变, 主轴轴颈始终压向轴承表面的一定部位。这时主轴轴颈的圆度误差将传给工件, 如图2-8a)所示, 而轴承孔的误差则对加工精度的影响较小。在镗床一类机床上, 作用在主轴上的切削力是随镗刀而旋转的, 因此轴承孔的圆度误差将传给工件, 而与轴颈圆度误差的关系不大, 如图2-8b)所示。

在主轴用滚动轴承的结构中, 主轴的回转精度不但取决于滚动轴承本身的精度, 而且还在很大程度上和配合件 (对内环而言是主轴轴颈, 对外环而言是箱体上的轴座孔) 的精度有关。滚动轴承本身的回转精度取决于: 内外环滚道的圆度误差; 内环的壁厚差以及滚动体的尺寸差和圆度误差, 如图2-9所示。这些误差综合起来造成了主轴轴线的跳动和漂移。所谓漂

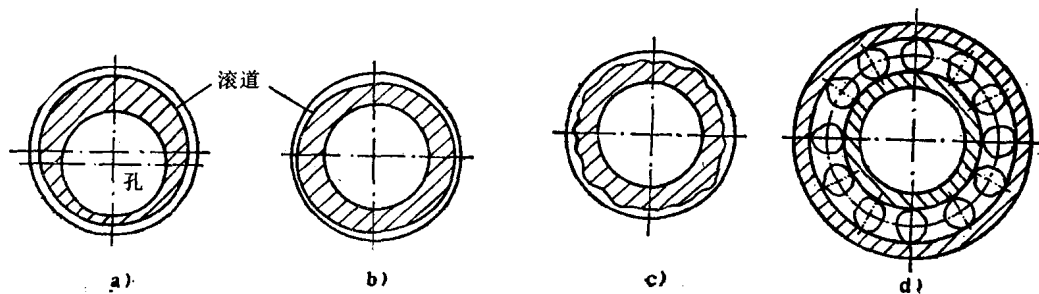


图2-9 滚动轴承内外环及滚动体的误差  
a)孔与滚道不同轴; b)滚道不圆; c)滚道有坡度; d)滚动体的尺寸误差与圆度误差