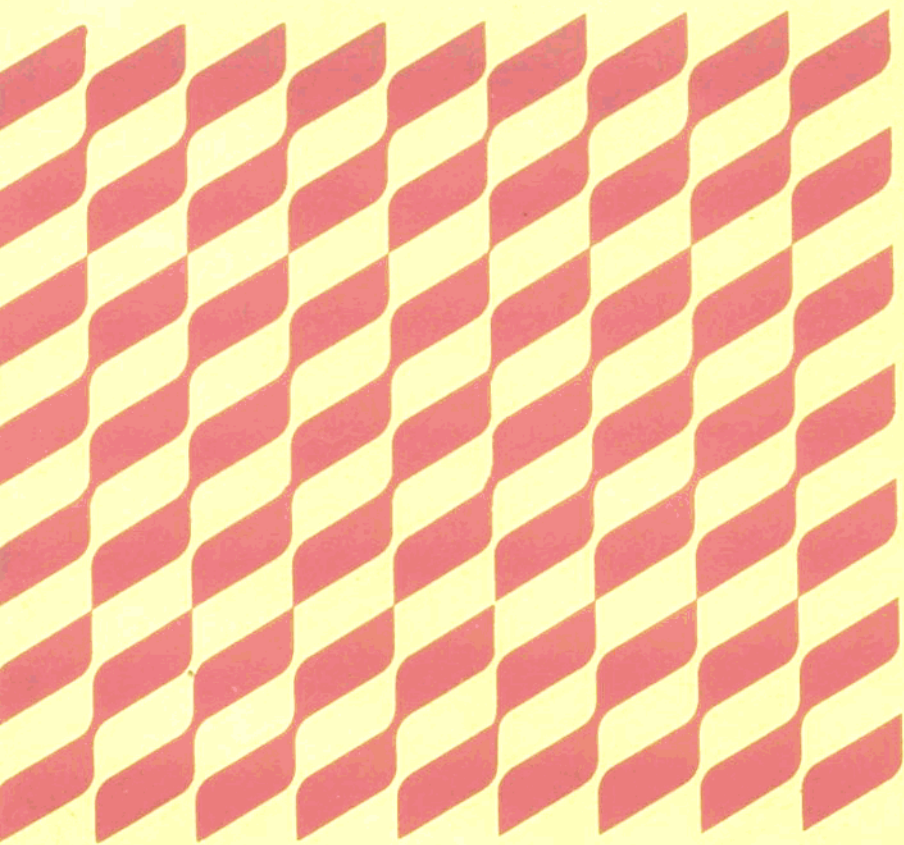


王亭山 肖元德 等编

高等学校教材

# 船舶柴油机制造工艺学

(船舶动力工程专业用)



大连海运学院出版社



U6c...  
118...

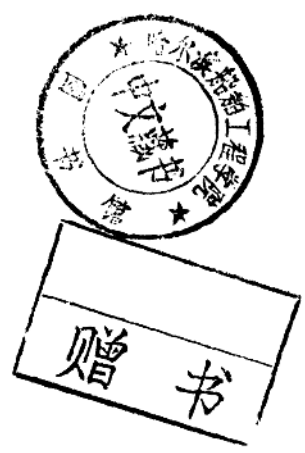
425510

高等学校教材

# 船舶柴油机制造工艺学

(船舶动力工程专业用)

王亭山 肖元德 等编



00425348

大连海运学院出版社

田家荣

(辽)新登字 11 号

内 容 提 要

本书系统地阐述了柴油机制造工艺学的基本理论知识。着重介绍了船舶柴油机制造工艺基础, 夹具设计, 高效加工及自动化加工技术, 柴油机主要零件制造工艺, 柴油机装配等部分。全书共十四章。

本书重视联系国内外生产实际, 基本反映了国内外的先进工艺。本书除作为船舶内燃机专业教材外, 也可供机电类专业学生、教师及有关技术人员自学参改。

船舶柴油机制造工艺学

(船舶动力工程专业用)

王亭山 肖元德 等编

邬佐明 主审

责任编辑: 赵兴贤 封面设计: 王 艳

大连海运学院出版社出版

大连海运学院出版社发行

大连海运学院出版社印刷厂印装

开本: 787×1092 1/16 印张: 14.75 字数: 368 千

1992年6月第1版 1992年6月第1次印刷

印数: 0001~1500 定价: 3.85元

ISBN 7-5632-0363-X/U·57

## 前 言

本书原版是按照高等院校船舶动力类专业教材编审组 1982 年 4 月在武昌召开的“船舶柴油机制造工艺学”统编教材评审会制定的教材编写大纲编写的。课时为 60 学时。出版后,经武汉水运工程学院、华中理工大学、华南理工大学、上海交通大学和广州柴油机厂多次使用,反映良好。此次教材修订是根据 1989 年 12 月在广州召开的教材评审会议精神,结合高校多年教学情况,重新修订了教材大纲,并经教材编审组审定后编写出版。课时不变。

本教材为内燃机专业专业教材,通过专业教学培养学生的理解与分析能力,并能灵活运用所学工艺理论,正确处理产品设计和现场有关问题。

本书共十四章,从柴油机制造工艺基础、夹具设计、高效加工与自动化加工技术、柴油机主要零件制造、柴油机装配等方面系统的论述了船舶柴油机制造工艺。其主要特点是:

1. 本书的体系是紧密围绕基本工艺理论,典型零件制造和装配工艺三部分,既做到系统而深入地阐述了基本工艺理论,又可密切联系生产实际,使学生在融会贯通教材内容的基础上,获得较丰富的理论和实际两方面知识。

2. 教材内容紧密联系专业实际,具有典型性。论述工艺对象是以中型中速柴油机为主,兼顾中型高速和大型低速柴油机。在工艺上以成批生产为主,也有单件和小批生产以及大量生产的工艺内容。这些内容的选择均符合企业实际生产情况,并在工艺、设备、工艺装备、新技术等方面进一步丰富了教材内容。

3. 力求有较高的科学性。书中所述基本概念、理论、公式数据、准确可靠,不仅使学生能建立具体量的概念,而且可供工作时的参考。

在基本工艺理论、零件制造装配和工艺中反映出本门学科国内外相应的理论水平与生产实际水平。

4. 根据编者多年的教学经验和长期工作实践,对教材大纲要求的基本概念、理论学习难点和实际应用等各方面做了深入地分析,做到精选内容,各部分详略适宜,便于教学。本书文字简练,语言流畅,也可供有关科技与生产工作人员自学参考。

参加本书编写工作的同志:武汉水运工程学院王亭山(第九章、第十章、第十二章、第十三章、第十四章),肖元德(第一章、第三章、第四章、第五章),马经球(第七章),武汉河运专科学校陈震霖(第二章、第八章),上海交通大学王珣(第六章),华中理工大学何齐渔(第十一章)。

第一章至第六章由肖元德统稿,第七章至第十四章由王亭山统稿。

本书由上海交通大学内燃机教研室邬佐明副教授主审、高等学校船舶动力类专业教材编审组钱耀南教授审定。主审对本书进行了全面深入地审阅,并提出了宝贵意见,经编者认真修改定稿。

书中插图第六章由上海交通大学的同志描绘,其余由武汉水运工程学院杨和庭、王斌描绘。在编写过程中得到了上海船厂,沪东船厂,上海柴油机厂,无锡柴油机厂,上海内燃机研究所等单位的大力支持和帮助,编者在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中错误在所难免,诚恳地欢迎使用本书的师生和广大读者批评指正,以便再版时订正。

编 者

1991 年 9 月

# 目 录

第一章 工艺过程基本概念.....	(1)
§ 1-1 生产过程和工艺过程.....	(1)
§ 1-2 工艺过程的组成.....	(1)
§ 1-3 生产纲领和生产类型.....	(2)
第二章 机械加工精度.....	(5)
§ 2-1 加工精度的基本概念.....	(5)
§ 2-2 影响加工精度的各种因素.....	(7)
§ 2-3 机械加工的经济精度.....	(22)
§ 2-4 加工误差的综合分析.....	(23)
第三章 机械加工表面质量.....	(32)
§ 3-1 表面质量对零件使用性能的影响.....	(32)
§ 3-2 影响表面质量的工艺因素及其控制方法.....	(33)
§ 3-3 机械加工中的振动.....	(38)
§ 3-4 冷压光加工.....	(41)
第四章 柴油机的结构工艺性.....	(43)
§ 4-1 铸件的结构工艺性.....	(43)
§ 4-2 锻件的结构工艺性.....	(45)
§ 4-3 焊接件的结构工艺性.....	(45)
§ 4-4 零件机械加工的结构工艺性.....	(46)
§ 4-5 零、部件装配的结构工艺性.....	(49)
第五章 机械加工工艺规程的制定.....	(51)
§ 5-1 概述.....	(51)
§ 5-2 零件的工艺分析.....	(52)
§ 5-3 工件的装夹.....	(52)
§ 5-4 基准和定位基准的选择.....	(53)
§ 5-5 工艺路线的拟订.....	(55)
§ 5-6 加工余量.....	(60)
§ 5-7 工艺尺寸的计算.....	(62)
§ 5-8 时间定额.....	(67)
§ 5-9 制定工艺规程的实例.....	(68)
第六章 机床夹具.....	(73)
§ 6-1 概述.....	(73)
§ 6-2 定位原理.....	(74)
§ 6-3 定位元件和工件在夹具中的定位误差.....	(77)
§ 6-4 工件的夹紧和夹紧机构.....	(85)
§ 6-5 各类机床夹具.....	(93)
§ 6-6 夹具设计方法.....	(97)
第七章 高效加工与自动化加工技术.....	(103)

§ 7-1	概述	(103)
§ 7-2	组合机床流水线和自动线	(103)
§ 7-3	成组技术	(109)
§ 7-4	计算机辅助制造	(119)
第八章	曲轴制造	(126)
§ 8-1	曲轴的技术要求、材料和毛坯	(126)
§ 8-2	曲轴加工工艺特点分析	(129)
§ 8-3	整体曲轴制造	(130)
§ 8-4	高速柴油机曲轴加工的特点	(135)
§ 8-5	组合曲轴的制造	(136)
§ 8-6	曲轴成品的检验	(138)
第九章	凸轮轴制造	(141)
§ 9-1	概述	(141)
§ 9-2	材料、毛坯、技术要求和检验	(141)
§ 9-3	凸轮轴机械加工工艺	(143)
§ 9-4	凸轮轮廓磨削质量分析与磨削新技术	(147)
第十章	气缸套制造	(151)
§ 10-1	气缸套的材料、毛坯和机械加工技术要求	(151)
§ 10-2	气缸套的机械加工工艺	(153)
§ 10-3	气缸套的表面处理	(157)
第十一章	活塞制造	(159)
§ 11-1	活塞的材料和毛坯	(159)
§ 11-2	活塞加工的技术要求	(160)
§ 11-3	整体式活塞机械加工工艺	(162)
§ 11-4	组合式活塞的加工特点	(168)
第十二章	活塞环制造	(170)
§ 12-1	活塞环的主要技术要求和检验方法	(170)
§ 12-2	活塞环的成形方法	(172)
§ 12-3	活塞环的表面处理	(175)
第十三章	喷油泵柱塞偶件制造	(177)
§ 13-1	概述	(177)
§ 13-2	喷油泵套筒的机械加工工艺	(177)
§ 13-3	喷油泵柱塞的机械加工工艺	(180)
§ 13-4	喷油泵柱塞偶件的检验	(186)
第十四章	船舶柴油机的装配	(189)
§ 14-1	装配工艺基础	(189)
§ 14-2	筒形活塞柴油机装配工艺	(196)
§ 14-3	大型低速柴油机的装配工艺特点	(217)
参考文献		(227)

# 第一章 工艺过程基本概念

## § 1-1 生产过程和工艺过程

在柴油机制造时,将原材料转变为成品的全过程称为生产过程。其中包括原材料的运输和保管、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,机械加工车间的成品又是装配车间的半成品。柴油机就是通过总装车间进行的部件装配、总装和调整试验才达到要求的性能指标。

目前,一台柴油机的生产过程,往往由许多工厂分工协作完成的。例如,300型船用柴油机的活塞环、活塞、气缸套、轴瓦、燃油设备以及仪表等零部件,是分别由各专业厂生产的。这样做有利于专业化生产,提高产品质量和劳动生产率,降低生产成本。

工艺过程是生产过程中最主要的一部分。它是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。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 工艺过程的组成

构成工艺过程的工艺要素有序、安装、工步、工位等。

**工序** 一个或一组工人,在一个工作地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。

**安装** 工件(或装配单元)经一次装夹后所完成的那一部分工序。

**工步** 在加工表面(或装配时的连接表面)和加工(或装配)工具不变的情况下,所连续完成的那一部分工序。

**工位** 为了完成一定的工序部分,一次装夹工件后,工件(或装配单元)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。

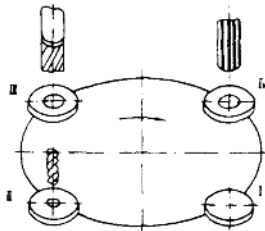


图 1-1 四工位三轴钻

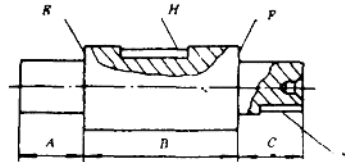


图 1-2 轴加工的工艺过程

如图 1-1 所示为工件在三轴组合钻床上钻、扩、铰孔加工的情况。工件装夹在回转工作台上,这时工件与回转工作台一起相对刀具的位置每改变四次,一个工件便完成了该工序的工作

(工位 1 为工件的装卸工位),所以此种情况为四个工位。又如,在单轴立式镗床上镗机体的气缸孔时,每镗一个孔,机体与机床工作台一起移动一个气缸轴线距离后的位置就是一个工位。

图 1-2 示出轴件在成批生产时的工艺过程:

工序 1 在双面铣床上铣两端面。

工序 2 在中心钻床上打两端的中心孔(在一次装夹中完成)。

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(工件用两中心孔定位,夹头夹持 A 段毛坯外圆。工步 1:车 B 段外圆;工步 2:车 C 段外圆;工步 3:车台肩面 F。

安装 2 粗车 A 段外圆及台肩面 E(工件用两中心孔定位,夹头夹持 C 段外圆)。工步 1:车 A 段外圆;工步 2:车台肩面 E。

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(安装、工步同粗加工)。

工序 5 在铣床上铣 H、J 键槽(工件在一次装夹中,利用分度头转 180°来加工第二个键槽)。工步 1:铣键槽 H(在工位 1 上);工步 2:铣键槽 J(在工位 2 上)。

### § 1-3 生产纲领和生产类型

**生产纲领** 企业在计划期内应当生产的产品产量。

生产纲领应计入备品和废品的数量。产品的生产纲领确定后,就可根据各零件在产品中的数量来确定零件的生产纲领。

某零件的年生产纲领  $N$  按下式计算:

$$N=Q \cdot n(1+\alpha\%)(1+\beta\%)$$

式中: $Q$ ——产品的年产量(台/年);

$n$ ——每台产品中该零件的数量(件/台);

$\alpha\%$ ——备品的百分率;

$\beta\%$ ——废品的百分率

在批量生产中,若零件年生产纲领确定后,可根据车间具体情况,按一定期限分批投产。

**生产批量** 一次投入或产出同一产品(或零件)的数量。

**生产类型** 企业(或车间、工段、班组、工作地)生产专业化程度的分类。一般分为大量生产、成批生产和单件生产三种类型。

**大量生产** 指连续不断地进行生产。它要求每一个工作地重复地进行一种零件的某一工序。一些中、小柴油机制造厂和柴油机某些零、部件(活塞、活塞环、轴瓦、油泵油嘴等)专业化制造厂是属于这种生产类型。

**成批生产** 指周期地成批地进行产品生产。一个工作地点的加工对象是一批一批地定期转换。一些船用中速或高速柴油机厂是属于这种生产类型。

**单件生产** 每一种产品只做一个或数个。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。

表 1-1 列出各种不同生产类型的工艺特点的比较。从中可以看出,生产批量与工艺方法和生产效率之间的关系。若批量大,可通过采用先进工艺、高效设备和专用工装,来提高机械化和自动化水平,从而大大提高生产率和降低生产成本;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,即采用通用机床和万能工装,从而导致生产效率低,零件加工成本高。



表 1-1

各种不同生产类型的工艺特点

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	较多采用配对制造(配制配合)和修配法装配	大部分零件有互换性,少数零件用钳工修配	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

为了适应不断增多的产品的品种、规格和生产批量逐渐减少的生产发展趋势,则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,将那些具有相似性的零件组织在一起所形成成组批量。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。另外,电子计算机在机械加工中愈来愈广泛的应用(从数控机床到柔性制造系统),为多品种中、小批生产的自动化开辟了广阔的前景。

## 思考与作业题

1. 何谓生产过程？何谓工艺过程？
2. 何谓工序、安装、工步和工位？
3. 何谓生产纲领？如何计算零件的年生产纲领？
4. 何谓生产类型？生产类型对工艺过程有何影响？
5. 图 1-2 所示轴件，在单件生产时，其加工顺序如下，试划分出工序、安装、工步及所在工位：
  - 1) 在车床上车一端面，打中心孔；调头车另一端面，取总长，打中心孔；
  - 2) 在同一车床上粗车  $A$ 、 $B$ 、 $C$  段各级外圆和台肩面  $E$ 、 $F$ 。
  - 3) 在同一车床上精车  $A$ 、 $B$ 、 $C$  段各级外圆及台肩面  $E$ 、 $F$ ；
  - 4) 在铣床上铣  $H$ 、 $J$  键槽（利用分度头转  $180^\circ$ ）。

## 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、高效益是机械制造业必须遵循的原则。任何机械产品都是由许多相互关联的零件装配而成的，机器的最终制造质量与零件的加工质量紧密相关。因此，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分两大类：一是机械加工精度；二是机械加工表面质量。本章专门研究机械加工精度问题。

加工精度是指零件加工后的实际几何参数(尺寸、形状和位置)与理想几何参数符合的程度。这种相符合的程度越高，加工精度也愈高；反之，则加工精度愈低。所谓理想参数，对于尺寸而言，就是零件的公差带中心；对于表面形状而言，就是具有几何学意义的圆柱面、平面、圆锥面等；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。

在生产实践中，任何一种加工方法，都不可能将零件的每一个几何参数加工得绝对精确。零件加工后的实际几何参数对理想几何参数的偏离程度，就是加工误差。从保证机器的工作性能来讲，也没有必要将零件的尺寸、形状和位置加工得绝对精确。只要能保证零件在机器中的功用，则加工时是允许零件的几何参数存在一定的加工误差。只要零件的加工误差不超出零件图上按零件的设计要求所规定的公差带，就算保证了零件加工精度的要求。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。所以，保证和提高加工精度问题，实际上就是限制和减小加工误差问题。

#### 二、获得加工精度的方法

加工精度可以分为：

- (1)尺寸精度 例如直径、长度、宽度、厚度、深度的公差等；
- (2)形状精度 例如圆度、圆柱度、直线度、平面度等；
- (3)位置精度 例如平行度、垂直度、同轴度等。

下面介绍获得规定的加工精度的几种方法：

##### 1. 零件的尺寸精度

获得零件的尺寸精度通常有下列几种方法：

1)试切法 这种方法是通过试切——测量——调整——再试切，反复进行到被加工尺寸达到要求为止的加工方法。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，直到尺寸达到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，并要花费很多时间进行试切和测量，辅助时间较多，生产率低。此法常用于单件小批生产。

2)定尺寸刀具法 这种方法是用刀具的相应尺寸来保证被加工部位尺寸的方法。例如，用钻头、铰刀、拉刀、镗刀块加工孔；其加工精度主要由刀具本身的精度来保证。由于可以提高刀具制造精度，因此用尺寸刀具加工能达到相当高的加工精度，同时又避免了试切过程，则生产

率比试切法高。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 这种方法是先调整好刀具和工件在机床上的相对位置,并在一批零件的加工过程中保持这个位置不变,以保证工件的加工尺寸的方法。工件的加工精度取决于调整精度,调整工作是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。这种方法的优点是能自动保证加工精度,大大缩短了加工所需的辅助时间,生产率高,对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。在工件加工过程中或加工完毕时,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,操纵机床继续工作,或进行自动调整,或停车。此法适用于成批和大量生产。

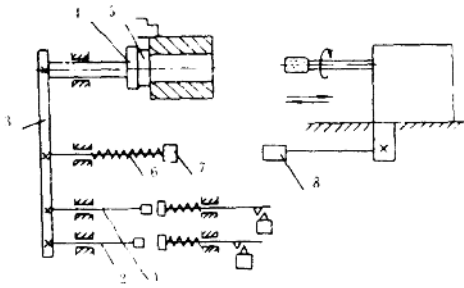


图 2-1 内圆磨床的自动控制示意图

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。其具体方法有: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;对于复杂平面,如螺旋面及各种用刨成法加工的表面(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在垂直面内的平行度等;车床两顶针的同轴度误差,也将引起工件的圆柱度误差。此外,刀具的磨损也会引起工件的圆柱度误差。当用成形刀具加工时,零件的形状精度取决于刀具的形状精度。

## 3. 零件的位置精度

零件的位置精度主要与机床精度、夹具精度与刚度、刀具的刚度及磨损和工件与夹具的装夹精度等因素有关。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

图 2-1 示出在内圆磨床上用自动控制法磨孔的示意图。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 插入孔内,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 向右运动而推开信号开关,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。

向溜板进给方向与主轴轴线的垂直度。在铣床上用  $b$  平面定位铣削与之相平行的  $a$  平面时,  $a, b$  两平面的平行度误差取决于工件在铣床上的装夹精度,如图 2-2 所示。

综上所述,零件规定的加工精度与机床、夹具、刀具等的制造误差,工件装夹误差、测量误差和调整误差等等一系列因素有关。

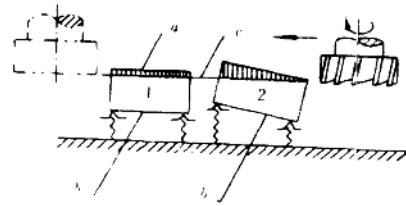


图 2-2 工件的装夹对位置精度的影响  
a-加工面; b-基准面; c-机床的切削成形面

## § 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都不可避免地会出现误差,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;工件的装夹误差;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;测量误差和调整误差等等。

必须指出,上述诸多误差,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,必须具体问题作具体分析。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。

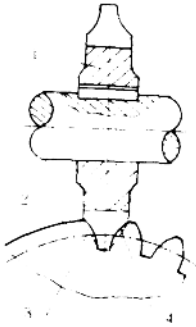


图 2-3 用模数铣刀铣齿轮时的齿形误差

1-模数铣刀; 2-被加工齿面;

3-切削后的实际齿形; 4-理论齿形

有包络造形误差,这是为了获得切削刃口而在滚刀基本蜗杆上开出若干容屑槽所造成的,因而切削不连续,包络而成的实际齿形不是一根光滑的渐开线,而是一根折线,所以齿形就有误差,如图 2-4 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,能满足工件的加工精度要求,

又如齿轮滚刀,既有近似造形误差(指采用便于制造的阿基米德或法向直廓基本蜗杆来代替理论上要求的渐开线基本蜗杆)又



图 2-4 齿形的加工原理误差

1-实际齿形; 2-理论齿形

采用近似加工方法是完全合理和可行的。

## 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。影响加工精度的机床误差主要有以下几个方面:机床的主轴误差(径向圆跳动等);机床的导轨误差(直线度和平行度);主轴轴线与床身导轨的平行度误差;机床传动链误差。下面分别进行简要的分析:

### 1. 机床的主轴误差

机床主轴是工件或刀具的位置基准和运动基准,其误差直接影响工件的加工精度。最主要的要求是主轴在运转条件下保持其轴线的位置稳定不变,也就是保证主轴的回转精度。主轴的回转精度不仅同主轴部件的制造精度有关,而且与受力和受热的变形有关。

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,所以主轴在每一瞬时回转轴线的空间位置都是变动的,亦即存在着回转误差。

主轴的回转误差可分为纯径向跳动、纯角度摆动和轴向窜动等三种基本形式,如图2-5所示。不同形式的主轴回转误差对加工精度的影响不同,同一形式的回转误差在不同的加工方式(如车削和镗削)中对加工精度的影响也有所不同。

在车削圆柱形工件时,车床主轴存在径向跳动。当工件回转时,其瞬时回转中心与车刀刀尖之间将存在径向位移的变化,引起切削深度的变化,致使工件出现圆度误差。对于镗孔,由于主轴的径向跳动,则在镗杆(刀具)回转时,使刀具瞬时回转中心与工件孔表面之间存在径向位移的变化,结果造成孔的圆度误差。

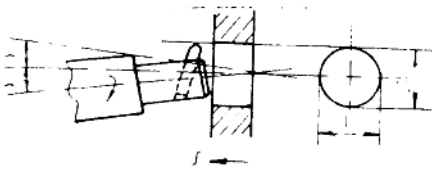


图2-6 主轴纯角度摆动对镗孔精度的影响

1-长径;2-短径

当主轴存在轴向窜动时,对于加工外圆和孔没有影响,但当加工端面时却会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,向后窜动的半周中则形成了左螺旋面,最后端面切成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。若在主

轴轴向窜动的情况下车削螺纹时,必须会产生单个螺距内的周期误差。

当主轴具有纯角度摆动时,车削加工外圆时仍然能得到一个圆的工件,但轴线有偏斜;而在镗孔时,镗出的孔则将是椭圆形的,如图2-6所示。

下面举几个实例说明机床主轴部件的制造误差对加工精度的影响。

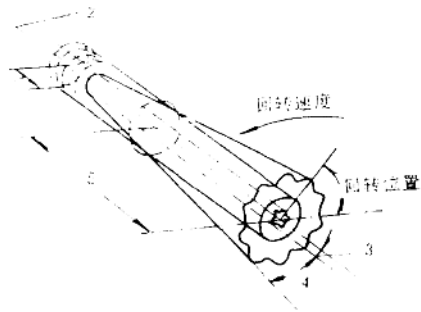


图2-5 主轴回转误差的基本形式

1-轴向窜动;2-回转轴线;3-纯径向跳动;

4-纯角度摆动;5-两支承距离

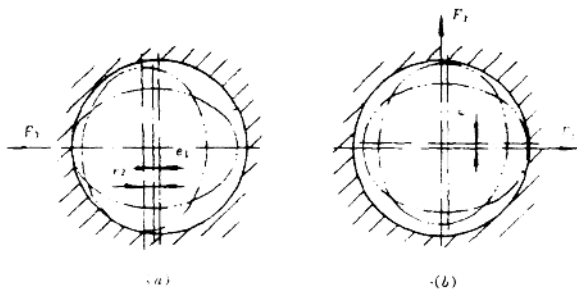


图 2-7 机床主轴和轴承孔圆度误差对加工精度的影响

出现有规律的变动,变动量为  $e_1$  和  $e_2$ 。因此工件每旋转一周就有两次离开刀尖和两次趋近刀尖,结果被加工工件就形成椭圆形表面。而这时轴承孔的圆度误差则对加工精度的影响较小。在镗床一类机床上镗孔时,镗杆带着镗刀旋转,作用在主轴上的切削力  $F_t$  是随镗刀旋转的,而主轴颈在径向切削力作用下,则始终以某一根母线压向轴承表面的每一个不同部位,所以轴承孔的圆度误差将传给工件,而与主轴轴颈圆度误差的关系不大,如图中(b)所示。

在主轴采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,而且还很大程度上和配合件(主轴轴颈和轴承座孔)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等。这些误差综合造成主轴轴线的跳动和飘移。所谓飘移指主轴每一转的跳动方向和跳动量都是变化的一种现象。

滚动轴承滚道的圆度误差和波度会使主轴回转轴线产生径向跳动,如图 2-8 所示。这种误差将部分地反映到被加工工件表面上,这是因为滚道在载荷作用下所产生的弹性变形,部分地抵偿了滚道圆度误差和波度的影响作用。

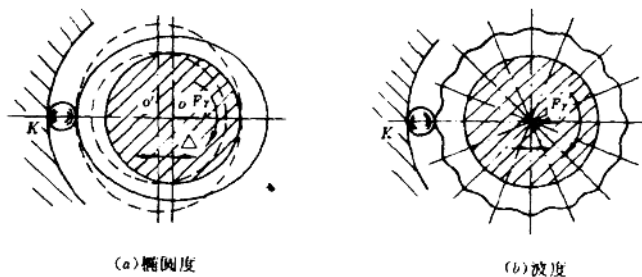


图 2-8 轴承滚道圆度误差和波度对主轴回转精度的影响

在车、磨床上加工时,切削力  $F_t$  在轴承外环上的作用点和方向基本不变,外环滚道误差对回转精度的影响很小;而内环滚道上的每一点都要通过承载区,因此它的形状误差将部分反映到被加工工件表面上。对于在镗床上加工时,因镗刀与内环一起转动,切削力在内环上的作用点不变,而外环滚道上每一点都可能成为承载区,因此外环滚道的误差将部分地反映到被加工工件表面上。

## 2. 机床导轨的误差

导轨是确定机床主要部件相对位置的基准,也是运动的基准,它的各项误差将直接影响被加工工件的精度。

根据机床标准,对车床和磨床的床身导轨,规定了三个方面的制造精度要求,这三个项目

是：在水平面内的直线度误差(弯曲)；在垂直面内的直线度误差(弯曲)和前后导轨在垂直面内的平行度误差(扭曲)。

现以车床为例，阐述导轨误差对工件加工精度的影响。

导轨的直线度误差将影响刀尖运动轨迹的变化，使工件产生圆柱度误差。当导轨在水平面内有直线度误差(弯曲)时，在纵向切削过程中，刀尖的运动轨迹相对于工件轴线之间就不能保持平行。当导轨向后(对操作者而言)凸出时，工件上将产生鞍形加工误差；而当导轨向前凸出时，将产生鼓形加工误差。

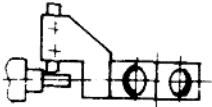


图 2-9 在六角车床上刀具的装夹

导轨在垂直面内有直线度误差(弯曲)时，同样会使刀尖运动轨迹产生变化。但由于这时刀尖运动轨迹的位移是发生在被加工面的切线方向上，所以对于加工精度的影响很小，可以忽略不计。然而在六角车床上加工时，如图 2-9 所示。刀具往往垂直装夹，这时导轨在垂直面内的误差将直接影响到

工件的直径尺寸。由此可见，刀尖与工件间的相对位移，若是发生在被加工面的法线方向，则对工件加工精度就有直接的影响。

当前后导轨在垂直面内存在平行度误差(扭曲)时，将使车床纵向溜板沿导轨移动时刀架与工件之间的相对位置发生变化，使刀尖的运动轨迹变成一条空间曲线，结果就引起了工件的形状误差，如图 2-10 所示。设车床中心高为  $H$ ，两导轨宽度为  $B$ ，前后导轨在垂直面内的平行度误差为  $\delta$ ，刀尖相对于工件的水平位移为  $Y$ ，由几何关系可知：

$$Y : H \approx \delta : B$$

则 
$$Y \approx \delta \frac{H}{B}$$

一般车床  $H = \frac{2}{3}B$ ；外圆磨床  $H \approx B$ 。因此这项误差对加工精度的影响很大，不可忽视。

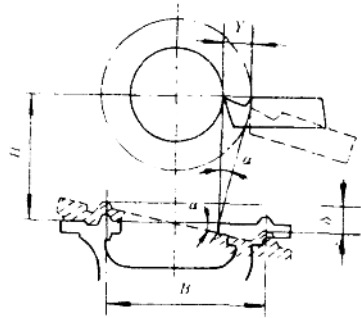


图 2-10 车床导轨扭曲对工件加工精度的影响

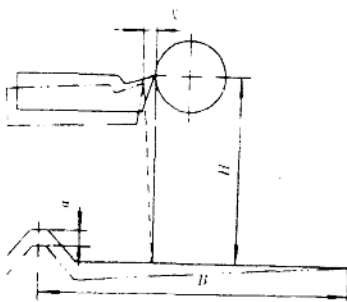


图 2-11 车床导轨磨损对形状精度的影响

除导轨本身的制造误差外，导轨不均匀磨损，对工件形状精度也有很大的影响。例如，车床导轨磨损，将使溜板在水平面内产生偏斜，因前导轨承受的切削力大，磨损较快，若前导轨面某一部分因磨损而下陷  $a$ ，则当溜板移到这一部位时，刀尖在水平面内相对于工件将产生  $X$  值的位移，如图 2-11 所示。显然由几何关系，可知  $X \approx a \cdot \frac{H}{B}$ ，这时工件的直径将增大  $2X$ ，造成圆柱度误差。

机床导轨的几何精度，不仅与其制造精度和磨损情况有关，而且还同机床的安装情况有关。在生产中，安装机床这项工作称为“安装水平的调整”。安装水平调整不良，将会破坏导轨的制造精度，影响导轨在机床工作时所起的基准作用。所以无论是新机床出厂检验，还是使用厂将机床安装后投产前，都必须按照机床标准或机床说明书中



的规定,认真检验安装水平。尤其是长度较长的龙门刨床,龙门铣床及导轨磨床等。其床身导轨是一种细长的结构,刚性较差,在其自重作用下容易变形,若安装得不正确或地基不好,都会使床身弯曲,影响加工精度。例如,顶针距为1000mm的普通车床,由于安装不正确而引起的导轨在垂直面内的平行度误差可达0.44mm;大型龙门刨床和龙门铣床由于自重引起的下沉量可达0.25~1mm。

为了减少机床导轨误差对工件形状精度的影响,必须提高床身材料的稳定性和耐磨性,保持机床的原始精度,加强定期维修保养,改善摩擦润滑条件,以延长导轨的使用寿命。对于精密及大型机床,在使用期间必须定期复校并调整其导轨的直线度和平行度。

### 3. 主轴轴线与床身导轨的平行度误差

在车床上加工外圆表面时,若主轴的回转轴线与导轨不平行,则被加工工件将产生圆柱度误差。当主轴回转轴线与导轨在水平面内不平行时,加工表面将形成圆锥体;当主轴回转轴线与导轨在垂直面内不平行时,则加工表面将形成双曲面体,如图2-12中(a)所示。图中(b)的OX为工件(主轴)回转轴线,AC为刀尖运动轨迹,则加工表面即是AC线绕轴线OX回转而成的双曲面体。通过双曲面上任一点C'与轴线OX作平面同双曲面的交线为双曲线。由图可知,在△ABC中, $\text{tg}\beta = \frac{b}{L}$ ,b为主轴回转轴线在垂直面内长度L上的误差。若设X=0时,工件的半径为 $r_0$ ,取任意位置时工件的半径为 $r_x$ 。

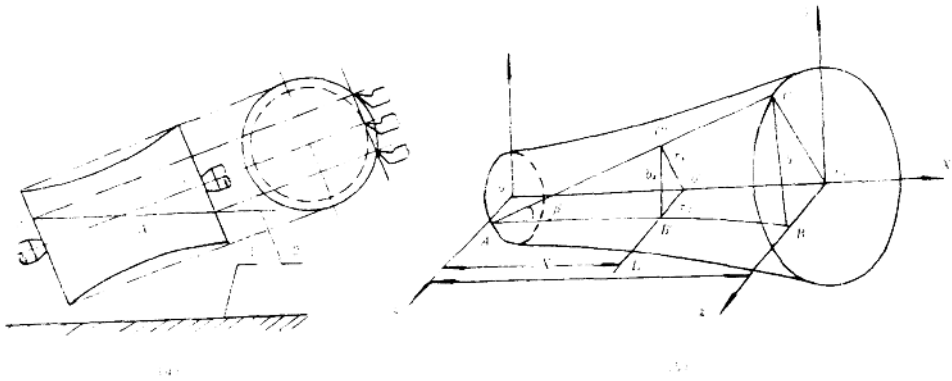


图2-12 车床主轴回转轴线与导轨在垂直面内不平行时的加工误差

1-导轨面;2-刀尖的运动轨迹

$$\text{在}\triangle AB'C'\text{中:}\text{tg}\beta = \frac{B'C'}{AB'} = \frac{b_x}{X}$$

$$b_x = X\text{tg}\beta$$

式中: $b_x$ ——在垂直面内长度X上主轴回转轴线对导轨的平行度误差

$$\text{在}\triangle B'O'C'\text{中:}r_x^2 = r_0^2 + b_x^2$$

$$r_x^2 = r_0^2 + X^2\text{tg}^2\beta$$

将 $\text{tg}\beta$ 代入,得:

$$r_x^2 = r_0^2 + \frac{x^2 b^2}{L^2}$$