

高等学校试用教材

船舶柴油机制造工艺学

(船舶动力工程专业用)

武汉水运工程学院 王亭山、肖元德 等编

人民交通出版社

193217

高等学校试用教材

Chuanbo Chaiyouji Zhizao Gongyixue

船舶柴油机制造工艺学

(船舶动力工程专业用)

武汉水运工程学院 王亭山、肖元德 等编



人民交通出版社

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和知识,着重介绍了船舶柴油机制造工艺基础、夹具设计、柴油机主要零件制造工艺、柴油机装配等部分。全书共十三章。

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,主要用作船舶内燃机专业教材,也可供机电类专业学生、教师及技术人员参考。

高等学校试用教材

船舶柴油机制造工艺学

(船舶动力工程专业用)

武汉水运工程学院 王亭山、肖元德 等编

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: 13.25 字数: 322 千

1984年5月 第1版

1984年5月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4,400 册 定价: 1.40元

前 言

本书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”统编教材评审会上制订的教材编写大纲编写的。课时为60学时。

为了培养“船舶内燃机”专业学生的理论分析能力，在编写中加强了基本工艺理论及装配工艺理论的论述。同时贯彻了理论联系实际的原则。柴油机典型零件制造工艺部分，通过理论教学和实习等教学环节，可以培养同学综合分析能力。为了使本专业学生从工艺方面提高内燃机设计质量，紧密联系专业实际阐述工艺问题，并对柴油机结构工艺性作了介绍。

本书从柴油机制造工艺基础、夹具设计、柴油机主要零件制造，柴油机装配等方面，系统地论述了船舶柴油机制造工艺。反映了国内、外的生产实际情况。同时对国内、外在船舶柴油机制造工艺方面的新技术、新工艺及其发展动向作了若干阐述。

参加本书编写工作的同志：王亭山（第八章，第九章，第十章，第十一章，第十二章，第十三章），肖元德（第一章，第三章，第五章，第六章），上海交通大学王珣（第四章），陈震霖（第二章，第七章）。全书由王亭山同志统稿。

本书由华中工学院船舶内燃机教研室吴殿信同志主审，高等院校船舶动力类专业教材编审组周軼尘副教授审定。参加审稿的还有哈尔滨船舶工程学院船舶内燃机教研室苏文地同志（第七章），华中工学院船舶内燃机教研室何齐渔等同志。

参加审稿的同志对本书进行了详细审阅，并提出了宝贵意见。

武汉水运工程学院公差教研室罗镜冰同志，船舶机械教研室牛求煌副教授，佟树善副教授对本书也提出了宝贵意见。书中第四章插图由交通大学的同志描绘，其余均由武汉水运工程学院船舶机械教研室杨和庭同志描绘。在编写过程中还得到上海船厂、沪东船厂、上海柴油机厂、广州柴油机厂、无锡柴油机厂、上海内燃机研究所及有关厂、所的大力支持和帮助，编者在此深表感谢。

由于编写时间仓促，编者水平有限，如有不妥之处，诚恳地欢迎使用本书的师生及广大读者批评指正，以便再版时订正。

编 者

1982年12月

目 录

第一章	工艺过程基本概念	1
第二章	机械加工精度	6
第三章	机械加工表面质量	30
第四章	机床夹具	41
第五章	柴油机的结构工艺性	71
第六章	机械加工工艺规程的制订	80
第七章	曲轴制造	100
第八章	连杆制造	118
第九章	气缸套制造	128
第十章	活塞制造	135
第十一章	活塞环制造	150
第十二章	喷油泵柱塞偶件制造	157
第十三章	船舶柴油机的装配	169

第一章 工艺过程基本概念

§1-1 生产过程和工艺过程

柴油机制造时，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；在总装车间进行部件装配和总装成一台柴油机，最后经过调整试验达到要求的性能指标。除了直接生产车间外，还有生产准备和为生产服务的有关部门，如铸铁、型材等的原材料及半成品供应、质量检验、工夹具的制造、管理和准备、设备维修等部门。

目前，一台柴油机的生产过程，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，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，通过协作完成。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、位置 and 材料性能直至成为零件并将零件装配成部件和总装为柴油机直接有关系的那部分生产过程，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，在单件小批量生产条件下，车削活塞外圆面和活塞环槽的工序中，一次装夹后，车削部外圆和端面，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 当工件安装在转塔加工机床，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。

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。工件安装在回转工作

台上，这时工件与刀具的相对位置每改变四次，一个零件便完成了该工序的工作（工位 I 为工件的装卸工位），所以此情况为四个工位。

在转塔车床及自动车床上，转塔刀架每转一个位置，就变换了刀具和加工表面，即为一个工位；在多轴自动机床或带有回转工作台的组合机床上，工件每转一个位置，则是一个工位；在钻床或铣床上应用转位夹具加工，夹具每转一个位置，也是一个工位。

在单轴立式专用镗床上镗机体的气缸孔时，每镗一个孔，利用移位工作台使机体移动一个气缸轴线距离，每一工作台位置上的加工都称为一个工位。

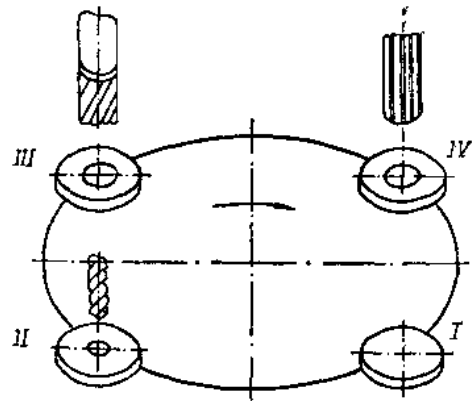


图1-1 四工位三轴钻

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。如图 1-2 所示，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。

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。

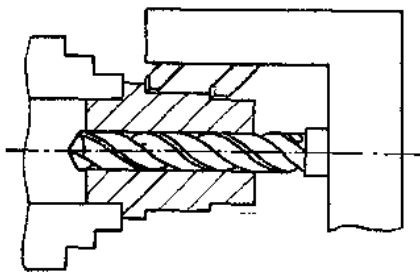


图1-2 复合工步

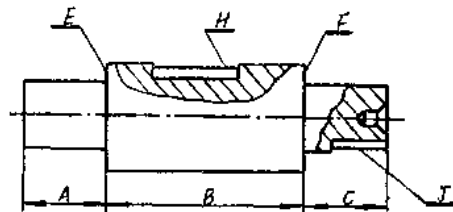


图1-3 轴加工的工艺过程

图 1-3 所示的轴件在成批生产时的机械加工工艺过程：

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顶针孔（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°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 生产类型对工艺过程的影响和 柴油机制造工艺过程的特点

在机器制造业中，根据产品的年产量（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。

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。

成批生产 在成批生产中，产品的年产量是以十（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。

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（活塞厂、活塞环厂、轴瓦厂、油泵油嘴厂等）是属于这种生产类型。

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

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

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的比较。

§1-4 工件的安装和基准的概念

一、工件的安装

工件加工时，首先放置在机床上，使它相对于机床和刀具有一个正确的位置。只有处在这一位置上进行加工，才能保证加工表面对其它表面的位置精度，这叫做定位。为了使工件在加工过程中，在切削力或其它力的作用下，始终能保持定位时所得到的正确位置，必须把它牢夹在夹具或工作台上，这叫做夹紧。工件从定位到夹紧的这一过程称为安装。随着生产批量、加工精度、尺寸大小的不同，工件的安装方法也不相同。

二、工件的安装方式

工件加工时的安装方式有以下三种：

1. 直接找正安装

对于形状简单的工件可以采取直接找正安装的方法，即用划针、角尺、百分表等确定工件在机床上的位置并夹紧。图 1-4 所示为在车床上用四爪卡盘安装加工凸缘孔时，直接找正安装的例子。工件初步夹到卡盘上以后，用划针检查凸缘盘的端面 *A* 和外圆 *B*，边找正边调整卡爪与工件。使工件端面 *A* 和外圆 *B* 的轴线分别与车床主轴旋转轴线垂直和同轴，然后将它夹紧。用划针找正可达到的精度为 0.5mm。精度不高，又费时，一般用于工件生产批量小，采用夹具不经济时。如单件小批量生产的加工车间，修理、试制、工具车间等。此外，对工件定位精度要求特别高（如小于 0.01~0.005mm），采用夹具不能保证时，只能用精密量具直接找正安装。

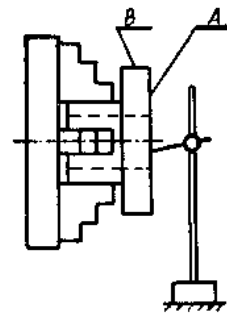


图1-4 直接找正安装

2. 按划线找正安装

事先根据零件图纸在毛坯上将待加工表面的轮廓、轴线等划出，然后用划针等工具按照所划的线在机床上找正安装进行粗加工。这种方法称为按划线找正安装。如中型柴油机曲轴、机体等用划线找正安装进行粗加工。这种方法定位精度一般只能达到 0.2~0.5 mm，需要增加一道划线工序。对于形状复杂的工件往往需要几次划线，因此生产效率不高。此种方法的优点是：不需要专用夹具；在单件小批生产中，形状复杂的铸件的精度不高，利用划线安装，能保证工件各待加工面上都有足够的加工余量；还能使不需加工的表面与加工面之间的相互位置不致有太大的偏差。

此法适用于批量不大、形状复杂、尺寸很大和相当笨重的工件。例如，柴油机的机座、机体、大型曲轴等。

3. 用夹具安装

夹具是根据工件的某一加工工序的具体情况设计的，其上备有专用的定位和夹紧元件，工件可以正确地迅速地安装在夹具中，保证工件对机床和刀具有正确的相对位置，因此，用夹具安装是一种高效率，精度又高的方法。在成批生产中广泛使用。由于夹具成本较高，在

单件小批生产中较少采用，但对那些结构复杂、精度要求又高的工件如柴油机的曲轴、连杆、精密偶件的加工也常采用专用夹具。

三、基准概念

基准就是在设计和制造中用来决定零件上的点、线或面的位置时所依据的那些几何要素。按照基准的不同作用可以将基准分为两类，即设计基准和工艺基准。

1. 设计基准 指零件图上标注尺寸所依据的几何要素。

如图 1-5 所示，零件上的 E 、 F 平面的位置是根据平面 D 所决定的，其距离分别是 $3.5h_{12}$ 和 $14.5h_{12}$ ，所以 D 平面是 E 、 F 平面的设计基准。外圆 $\phi 16d_{11}$ 、 $\phi 12h_{12}$ ，内孔 $\phi 6H_6$ 的设计基准是出油阀座的轴线。

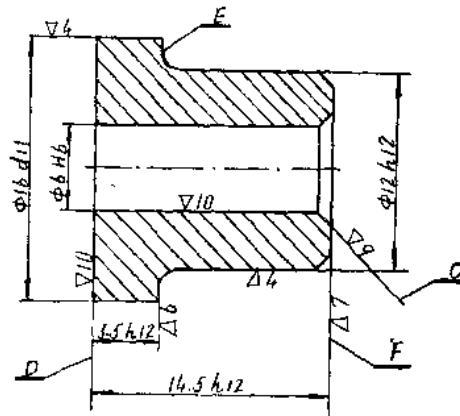


图 1-5 出油阀座的设计基准

2. 工艺基准 指工件机械加工及机器装配中所用的基准。按工艺过程中的用途不同又可分为定位基准、度量基准、装配基准、校验基准。

1) 定位基准 工件安装过程中，决定它在夹具或机床工作台上的位置所用的基准称为定位基准，亦即工件上与夹具定位元件或机床工作台相接触的几何要素。

在定位基准中，未加工过的毛坯面称为粗基准；已加工过的面称为精基准。

辅助精基准 它是专为定位目的加工出来的表面，除作定位基准外，在装配和使用中都不用它。如轴类零件的顶针孔，筒状活塞的下端面及止口。

2) 度量基准 测量已加工表面的位置或尺寸时所用的基准称为度量基准。一般应该用设计基准作为度量基准。但有时用设计基准作度量基准不方便，甚至不可能，不得不改用其它表面作度量基准。

3) 装配基准 在装配时用来确定零部件在机器上位置的一些零件的几何要素称为装配基准。

4) 校验基准 在单件生产中，工件找正安装时，用于校正工件在机床上的正确位置所依据的一些几何要素，实质上是属于定位基准（一般称为校验基准）。如图 1-4 中凸缘毛坯端面 A 和外圆 B 就是校验基准。

第二章 机械加工精度

§2-1 加工精度的基本概念

加工精度是指零件机械加工的精确程度，即零件经机械加工后的尺寸、形状和位置三个几何参数的实际数值与其理想数值相符合的程度。这种相符合的程度愈高，则加工精度愈高；反之，则加工精度愈低。

在生产实践中，无论采用哪一种高精度的加工方法，都不可能将零件每一个规定参数加工得绝对准确，也就是说零件的实际尺寸往往比理想尺寸偏大或偏小一些，形状和位置等参数也会有所差异。从保证机器工作性能来讲，也没有必要使零件的尺寸或形状做得绝对准确，只要使成品零件装成机器后能满足运转性能要求即可。也就是说，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。加工误差愈小加工精度就愈高。所以，保证和提高加工精度问题，实际上就是限制或减小加工误差问题。

加工精度可分为：

- 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 例如平面与平面、轴线与平面、轴线与轴线间的平行度和垂直度，外圆与外圆、外圆与孔或孔与孔轴线的位置度、径向圆跳动等。

必须指出，零件加工精度的上述三个方面参数是既有区别，但在很多情况下又有联系的。没有一定的形状精度，也就谈不上尺寸精度和位置精度。例如，不圆（具有圆度和圆柱度误差）的表面就没有确定的直径，不平的表面，其直线度和平面度误差将反映到位置误差（平行度或垂直度）中去。通常形状精度应高于尺寸精度和位置精度，而位置精度在多数情况下也应高于相应的尺寸精度。

在生产中，希望获得尽可能多的合格产品，但由于加工中很多因素影响加工精度，不可避免地会出现各种加工误差，因而可能出现一些废品。这就要求善于分析影响加工精度的各种因素，分析产生加工误差的原因，并能采取相应的有效措施，消除或减少这些影响，以保证达到规定的加工精度要求。

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。在单件小批生产中常用这种方法。例如，在车床上加工外圆、内孔时，首先在工件端部一小段上边加工边测量，经多次试切，直到尺寸达到极限尺寸范围时再车出整个表面。这种方法能达到较高的加工精度，它取决于工人的技术水平和测量精度。但要花很多时间进行试切和度量，辅助时间也多，生产效率低。

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，同时避免了试切过程，因而生产效率比试切法要高。其主要缺点是刀具耗费比较大，并且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。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才发出信号。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。

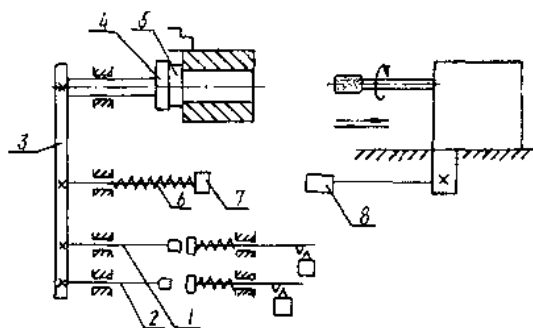


图 2-1 内圆磨床的自动控制示意图
1、2-触杆；3-连接杆；4、5-塞规；6-弹簧；7、8-推杆

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。其具体的方法有: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;车床两顶尖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等。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、夹具精度与刚度、刀具的刚度与磨损和工件及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 平面时， a 、 b 两平面的平行度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等一系列因素有关。

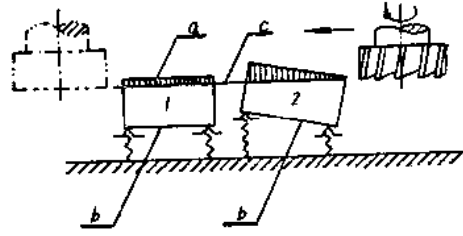


图2-2 工件的安装对位置精度的影响
a-加工面；b-基准面；c-机床的切削成形面

§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不可避免地存在着误差，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等。

上述误差，并不是在任何情况下都会同时出现，在不同情况下，其影响工件加工精度的程度是不同的，必须对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轮齿。这就会在轮齿上产生齿形的原理误差。

又如齿轮滚刀，既有近似造形误差，即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；又有包络造形误差，这是为了获得切削刃口面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，包络面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 2-3 所示。

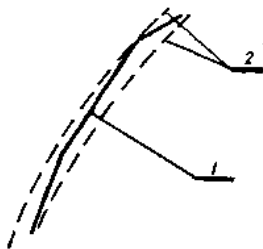


图2-3 齿形的加工原理误差
1-实际齿形；2-理论齿形

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，不影响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。

二、机床的制造误差和磨损

机床的制造精度，是决定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) 主轴的径向圆跳动、轴向窜动；
- 2) 床身导轨的直线度和平行度；
- 3) 主轴轴线与床身导轨的平行度（或垂直度）；
- 4) 机床传动链误差。

下面简要进行分析。

1. 机床主轴的误差

在车、镗床等机床中，主轴的回转精度在很大程度上决定着工件加工表面的形状精度。例如，当车削圆柱形工件时，由于车床主轴存在径向圆跳动，工件回转时，其瞬时回转中心与刀具刀尖之间将存在径向位移的变化，引起切削深度的变化，结果造成工件圆度误差。当镗孔时，由于主轴的径向圆跳动，镗杆（刀具）回转时，刀具瞬时回转中心与工件孔表面之间将存在径向位移的变化，结果影响孔的圆度。

下面举两个实例说明机床主轴轴颈和轴承的制造误差对加工精度的影响。

对于车床，若主轴轴颈有圆度误差（椭圆形）时，将会反映到被加工工件上去。切削时，由于径向切削力 F_y 的作用，主轴轴颈始终被压向轴承（滑动轴承）表面的一定部位（切削力的方向不改变），如图2-4a所示。当主轴在轴承中连续运转时，其轴心将出现有规律的变动，变动量为 e_1 和 e_2 。因此工件每旋转一转就有两次离开刀尖，两次趋近刀尖，结果被加工工件就形成椭圆形表面。这时轴承孔的圆度误差对加工精度没有直接影响。

在镗床上镗孔时，镗杆带着镗刀旋转，这时对机床来说切削力的方向时刻在改变，而主轴轴颈在径向切削力 F_y 的作用下，则始终以某一根母线压向滑动轴承表面的每一个不同部位，所以这时轴承的误

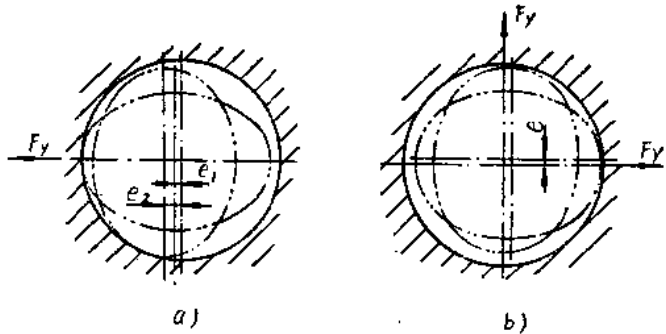


图2-4 机床主轴或轴承制造误差对加工精度的影响

差将反映到工件上去，而主轴轴颈的圆度误差对加工精度没有直接的影响，如图2-4b所示。

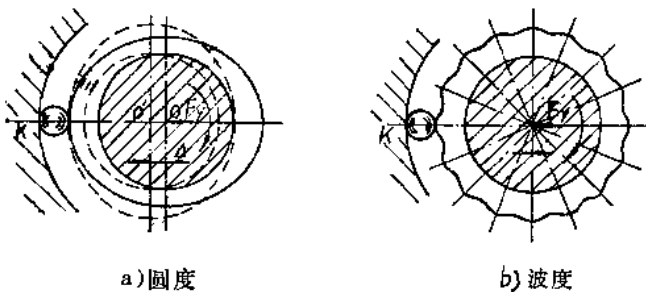


图2-5 轴承滚道形状误差对主轴回转精度的影响

滚动轴承滚道的形状误差（圆度、波度）会使主轴回转轴线产生径向圆跳动，如图2-5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，部分抵偿了滚

道形状误差的影响作用。

对于车、磨床等，由于切削力 F_y 在外环上的作用点和方向基本不变，因此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。对于镗床，因镗刀与内环一起转动，切削刀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反映到被加工工件表面上。

在机床精度标准中，规定了各种机床主轴的径向圆跳动值。例如，精密车床或内圆磨床主轴定心轴颈的径向圆跳动一般为 $5 \sim 8 \mu$ ；近代精密机床主轴的径向圆跳动在 $1 \sim 2 \mu$ 范围内。随着精密加工技术的发展，对机床主轴回转精度必须有更高的要求。

轴承滚道的端面跳动会造成主轴的轴向窜动，这是影响加工精度的一项重要因素。在车床上加工端面时，由于主轴有轴向窜动量存在，加工所得到的端面是螺旋面。当主轴向前窜动时将得到右螺旋面；主轴向后窜动时则得到左螺旋面，如图2-6a所示。一般车床主轴轴向窜动量约为 $5 \sim 10 \mu$ ，因此特殊精密的工件不应装在卡盘上同时加工孔及端面，因为这样加工出来的端面与孔是不垂直的。应该先把孔镗好后，再装上心轴在磨床上磨端面，就可避免主轴轴向窜动的影响，如图2-6b所示。

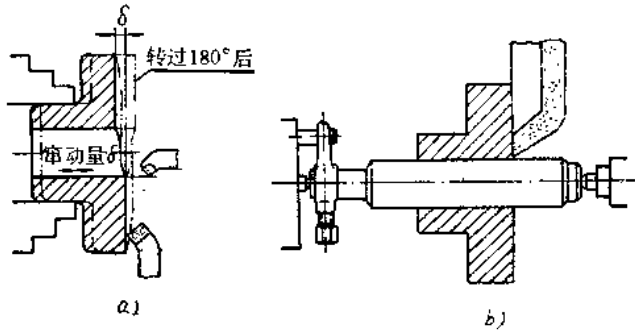


图2-6 主轴轴向窜动对工件端面垂直度的影响

若在有主轴轴向窜动情况下车螺纹时，则必然会有螺距周期误差的产生。

2. 机床导轨的误差

导轨是机床的主要部件，既是装配基准，又是运动基准。例如，刀具与工件之间位置精度就依靠导轨来保持。因此，机床导轨误差对加工精度有直接的影响。

根据部颁标准，对机床导轨的制造精度规定了三个方面的要求，即在水平面内的直线度（弯曲）、在垂直面内的直线度（弯曲）和前后导轨的平行度（扭曲）等。

现以车床为例，说明导轨误差对工件形状精度的影响。

导轨的直线度将影响刀尖运动轨迹的变化，使工件产生圆柱度的误差。当导轨在水平面内存在直线度误差时，将使刀尖产生水平位移，即在被加工面的法线方向上的位移，因而误差直接反映到加工面上，结果被加工工件表面形成鼓形或鞍形等圆柱度误差。当导轨在垂直面内存在直线度误差时，同样使刀尖运动轨迹产生位移，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，所以对于加工形状的影响很小，可以忽略不计。

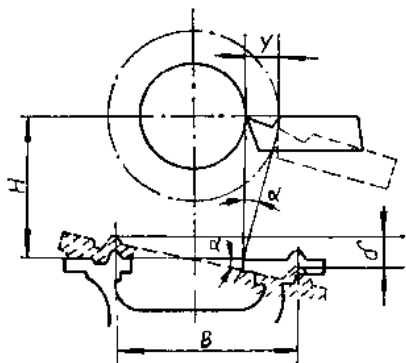


图2-7 车床导轨扭曲对工件形状精度的影响

当车床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产生偏斜，从而引起刀架偏斜，使刀尖的成形运动轨迹变成一条空间曲线，这就造成工件的圆柱度误差，如图2-7所示。设车床中心高为 H ，两导轨间宽度为 B ，垂直于

纵向走刀的任意截面内前后导轨的平行度误差为 δ ，刀尖相对于工件的水平位移为 Y ，则可得：

$$Y = \delta \frac{H}{B}$$

因此将会引起工件直径的变化，其变化量为 $2Y$ 。一般车床， $H/B \approx \frac{2}{3}$ ；外圆磨床 $H \approx B$ ，所以 δ 对加工形状误差的影响不容忽视。

从上述分析可知，机床导轨制造误差对工件形状精度有直接的影响，但对加工表面的尺寸精度无直接影响，因尺寸精度取决于刀具安装及其他因素。

除导轨本身的制造误差外，导轨的不均匀磨损，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，因前导轨承受切削力大，磨损较快，若前导轨面某一部位因磨损而下陷 a ，则当溜板移动到这个部位时，刀尖在水平面内相对于工件将产生 x 值的位移，如图 2-8 所示。显然 $x = a \cdot \frac{H}{B}$ ，这时工件的直径将增大 $2x$ ，造成

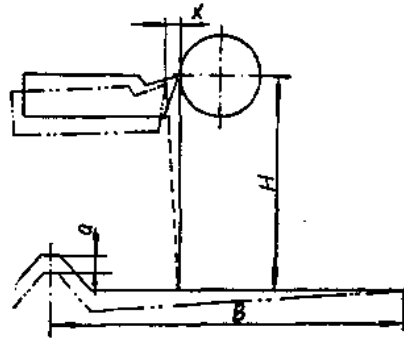


图2-8 车床导轨磨损对形状精度的影响

圆柱度误差。

机床安装不正确或地基下沉，对导轨精度的影响也是很大的。例如，顶针距为 1000 mm 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 $\pm 0.22\text{mm}$ ；大型龙门刨床和龙门铣床由于自重引起下沉量可达 $0.25 \sim 1\text{mm}$ 。

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，以延长机床导轨的使用寿命。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

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 2-9a 所示。图 2-9b 的 OX 为工件（主轴）回转轴心线， AC 为刀尖运动轨迹，则加工表面即是 AC 线绕轴线 OX 回转面成的双曲面体。通过双曲面体上任一点 C' 与轴线 OX 作平面与双曲面体的交线为双曲线，由图可知：

在 $\triangle ABC$ 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 r_x ，

因为在 $\triangle AB'C'$ 中：

$$\text{tg}\beta = \frac{B'C'}{AB'} = \frac{b_x}{x}$$

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

式中： b_x ——主轴回转轴线在垂直面内长度 x 上的误差。

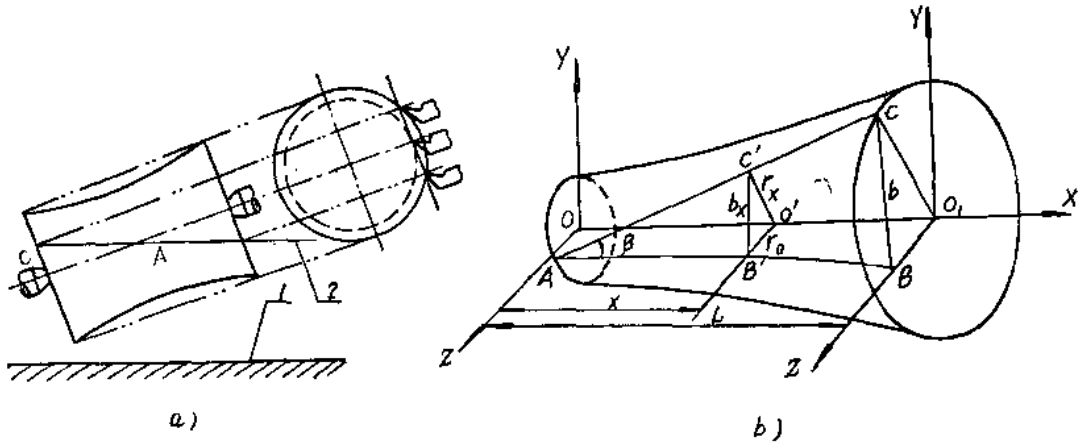


图2-9 车床主轴回转轴线与导轨在垂直面内不平行时的加工误差
1-导轨面；2-刀尖运动轨迹

在 $\triangle B'O'C'$ 中： $r_1^2 = r_0^2 + b^2$

所以

$$r_2^2 = r_0^2 + x^2 \tan^2 \beta$$

将 $\tan \beta$ 代入，得：

$$r_2^2 = r_0^2 + \frac{x^2 b^2}{L^2}$$

亦即

$$\frac{r_2^2}{r_0^2} - \frac{x^2 b^2}{r_0^2 L^2} = 1$$

上式是平面上的双曲线方程，由此可知， C' 点是过该点和轴线 OX 所作的平面上的双曲线上的一点。

若主轴回转轴线与导轨在垂直面和水平面内同时存在平行度误差时，则加工表面也将形成双曲面体。

三、夹具的制造误差和磨损

夹具的制造误差和磨损也会影响工件的加工精度。例如，用钻模在工件上钻相距一定距离的两个孔时，两孔轴线之间的位置精度就决定于钻模上两个钻套之间的距离精度。钻套与钻头间的间隙过大或钻套磨损，也将影响钻出的两孔轴线间的距离精度，或引起钻头偏斜，使钻出的孔的轴线与工件的主要定位基准不垂直。又如，用镗模夹具加工箱体零件上的孔或镗机座主轴承孔、凸轮轴轴承孔，镗杆的位置完全由镗模来决定，因此工件各孔和孔系的位置精度就取决于镗模的精度。

所以在设计和制造夹具时，凡影响加工精度的夹具元件，应严格规定和控制其制造误差。同时，容易磨损的元件除应选用耐磨材料外，如钻套、镗套、定位块等还应做成可拆式的。当这些易损元件磨损到一定程度时，以便及时更换（详见第四章机床夹具有关部分）。

四、刀具的制造误差和磨损

刀具的制造误差对加工精度的影响，普通单刃刀和定尺寸刀具是不同的。

在下述三种情况下将直接影响工件的加工精度：