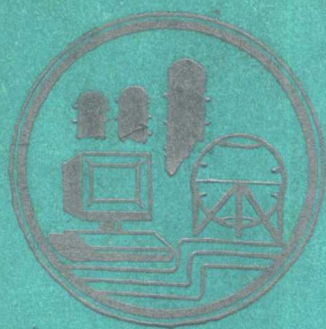




高等学校教材

化工机械制造

姚慧珠 合编 赵正修 审定
郑海泉



化学工业出版社

高 等 学 校 教 材

化 工 机 械 制 造

姚慧珠 合编
郑海泉

赵正修 审定

化 学 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书分机器制造工艺与设备制造工艺两大部分。全书共分十章,包括机械加工质量、工艺规程制订、典型零件加工、装配精度及装配尺寸链、结构工艺性基础、设备主要零件制造工艺、设备的组对与装配、熔化焊的基本问题、设备的焊接技术、设备的质量检验等。

本书结合化工机械的特点阐述机器制造与设备制造中的基本问题,可作为高等院校化工专业的化工制造课程教材,也可供有关工程技术人员学习参考。

高等学校教材 化 工 机 械 制 造

姚慧珠 合编
郑海泉
赵正修 审定

责任编辑:孙世斌
封面设计:郑小红

化学工业出版社出版
(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 $16^{3/4}$ 字数423千字
1990年6月第1版1990年6月北京第1次印刷

印 数 1—9,200

ISBN 7-5025-0719-1/G·198 (课)

定 价 3.55 元

前 言

本教材为全国高等学校化工机械专业教学指导委员会组织编写的化机专业教材之一，是按编、审双方共同商定并经过指导委员会审定通过的编写大纲编写的。为了满足生产实习的需要，书中适当包括部分现场教学内容。

编写本教材以“加强基础、拓宽知识面、重在能力的培养”为原则。精选内容时，考虑到化工机械专业的特点，既阐述机器制造与设备制造中的共性问题，又反映出化工机械制造中的特殊性。为培养学生的自学与独立分析问题的能力，除在书中的内容安排和阐述上给予考虑外，还在每章或每节末提供一些理论联系实际练习题和思考题，以帮助学生灵活应用所学知识。

学习本教材时，要对《金属工艺学》、《金属材料学》等关系十分紧密的先行课程有较好的掌握，并与化机厂的生产实习和有关专业课的学习紧密配合。

本书由南京化工学院姚慧珠副教授、北京化工学院郑海泉副教授合编，姚慧珠编写第一篇，郑海泉编写第二篇，石油大学赵正修教授主审全书。第一篇书稿还经石油大学齐国光副教授帮助审核，提出了不少宝贵意见，特此致谢。

书中错误与不足之处，恳请广大读者批评指正，以求不断修改与完善。

编 者

1988年12月

目 录

第一篇 机器制造工艺

第一章 机械加工质量 1	
第一节 机械加工精度..... 1	
第二节 影响加工精度的因素分析..... 4	
第三节 加工误差的统计分析法与机械加工经济精度.....22	
第四节 机械加工表面质量.....31	
第五节 影响表面粗糙度的因素及降低表面粗糙度的工艺措施.....33	
第六节 表面强化工艺.....39	
第七节 成组技术概述.....40	
第二章 机械加工工艺规程的制订46	
第一节 机械加工工艺过程.....46	
第二节 工件在机械加工中的安装.....48	
第三节 定位基准及其选择.....55	
第四节 工艺尺寸链.....61	
第五节 机械加工工艺规程的制订.....66	
第三章 典型零件的加工83	
第一节 轴类零件的加工.....83	
第二节 轮盘类零件的加工.....89	
第三节 杠杆类零件的加工.....96	
第四节 箱体类零件的加工..... 101	
第四章 装配精度及装配尺寸链 108	
第一节 装配精度与装配尺寸链的关系..... 108	
第二节 装配尺寸链的解法..... 113	
第三节 保证装配精度的几种方法..... 116	
第五章 结构工艺性基础 123	
第一节 结构工艺性的基本概念..... 123	
第二节 化工机器的系列化、通用化、标准化..... 124	
第三节 技术要求的合理性..... 124	
第四节 毛坯的结构工艺性..... 125	
第五节 零件机械加工的工艺性..... 132	

第六节 装配的结构工艺性..... 140	
-----------------------	--

第二篇 化工设备制造工艺

第六章 设备零件的主要制造工序 143	
第一节 原材料的准备..... 143	
第二节 划线..... 147	
第三节 切割..... 153	
第四节 弯曲..... 159	
第五节 成型..... 167	
第六节 边缘加工..... 172	
第七章 设备的组对与装配 174	
第一节 组对工艺的重要性..... 174	
第二节 基本工序及工具..... 175	
第三节 列管式换热器的组对..... 178	
第八章 熔化焊的基本问题 181	
第一节 焊缝的化学成分..... 181	
第二节 焊接接头的金相组织..... 186	
第三节 焊接残余变形和残余应力..... 190	
第四节 焊接裂纹..... 199	
第九章 化工设备的焊接技术 209	
第一节 化工设备焊接技术的一般考虑..... 209	
第二节 碳素结构钢的焊接..... 215	
第三节 合金结构钢的焊接..... 220	
第四节 奥氏体不锈钢的焊接..... 228	
第五节 有色金属设备的焊接..... 237	
第十章 化工设备的制造质量检验 240	
第一节 概述..... 240	
第二节 射线探伤..... 241	
第三节 超声波探伤..... 245	
第四节 表面缺陷的探测..... 251	
主要参考书..... 253	
附录 254	
一、化工机械制造常用的技术标准..... 254	
二、部分习题参考答案..... 254	

第一篇 机器制造工艺

第一章 机械加工质量

机械加工质量包括机械加工精度和机械加工表面质量两个方面。机械加工质量的高低将直接影响到整台机器和零件的使用性能和寿命。

第一节 机械加工精度

一、加工精度的基本概念

加工精度是指零件在加工以后的实际几何参数（包括尺寸、形状和表面相互位置三个方面）与图纸规定的理想零件几何参数相符合的程度。符合程度愈高，也就是加工误差愈小，则加工精度愈高；反之，则加工精度愈低。

生产实践表明，任何一种加工方法不可能将零件的尺寸、形状和表面相互位置做得绝对准确，总是存在一定的加工误差；从机器使用要求来看，也没有必要把零件做得绝对准确，允许有一定的误差存在。因此，设计人员可根据机器的使用要求给出零件的精度等级，加工后的零件只要达到给定的精度，就可以完成预定的任务。

二、获得规定加工精度的方法

（一）获得尺寸精度的方法

工件在加工时有四种获得尺寸精度的方法。

1. 试切法 即通过试切—测量—调整刀具—再试切的反复过程来获得尺寸精度。试切法能达到较高的尺寸精度，但与操作工人的技术水平有关，且生产效率较低。一般用于单件小批生产。采用试切法时，影响尺寸精度的因素有试切尺寸的测量精度和机床微量进给机构的准确性。

图1-1所示的阶梯轴，要求车到 ϕd_{add} ，加工时先试切一段，量其直径为 d_1 ，根据 d_1 与 d 的差值调整刀具位置，再试切、测量，如此反复，直到试切的尺寸合格为止。

2. 调整法 加工前调整刀具与工件的相对位置，在加工一批工件时，要保持刀具与工件在需保证尺寸精度方向上的相对位置不变。调整法生产效率较高，多用于六角车床、多刀半自动车床、以及自动车床的加工。影响尺寸精度的因素有调整精度和定位基准与设计基准不重合时产生的基准不重合误差等。

如图1-2所示，六角刀架的纵向位置是用事先调整好位置的档块配合机械机构来控制，以保证工件的轴向尺寸。

3. 定尺寸刀具法 加工孔时，常用定尺寸刀具来保证工件尺寸。例如用镗刀块镗孔，或用三面刃铣刀的刀宽来保证槽的宽度。

采用定尺寸刀具法生产效率较高，尺寸精度较稳定。影响尺寸精度的因素有刀具本身的尺寸精度、磨损量和刀具的安装误差及热变形等。

4. 自动控制法 加工过程中的测量、补偿、调整 and 试切等一系列工作自动完成，是自

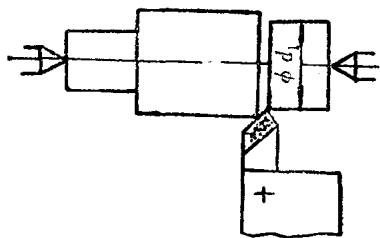


图 1-1 用试切法获得尺寸

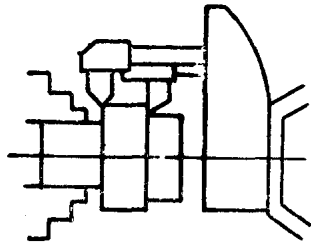


图 1-2 用调整法获得尺寸

动化了的试切法和调整法。一般用在数控机床上加工精度较高、形状较复杂的零件，适用于单件、小批和中批生产。

(二) 获得表面形状精度的方法

在机械加工中，工件的表面形状主要依靠刀具与工件作相对的成形运动来获得。为了保证形状精度，必须首先保证成形运动本身和其相互关系的准确性。各成形运动的相互关系是指工件与刀具运动轨迹的相对位置关系（几何关系）和成形运动速度之间的相互关系（运动关系）。对于大多数加工表面（如圆柱面、圆锥面、平面）只需保证成形运动轨迹之间的相对位置即可；而对于一些复杂表面（如螺旋面）和各种用展成法加工的表面（如轮齿等）则需同时保证成形运动之间的位置关系和速度关系。

工件在加工时获得形状精度的方式有下列三种。

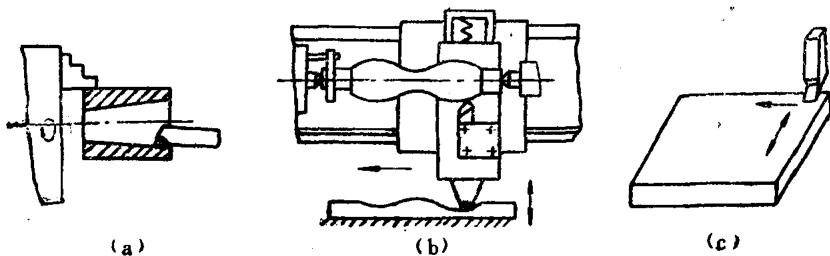


图 1-3 用轨迹法获得工件形状

1. 轨迹法 这种方法是依靠非成形刀具刀尖的运动轨迹来获得所要求的表面形状。

例如如图1-3 a 用工件的回转和车刀的直线运动来车削圆锥面；图1-3 b 用工件的回转和车刀按靠模所作的曲线运动来车削成形表面；图1-3 c 用刨刀的直线运动和工件的进给运动来刨削平面。这时影响形状精度的因素主要是成形运动的精度。

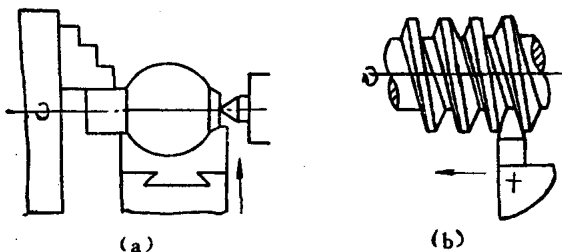


图 1-4 用成形法获得工件形状

2. 成形法 成形法加工是用成形刀具来加工成形面，以简化机床的成形运动。例如如图1-4 a 用成形车刀车曲面；图 b 用车刀车削螺纹，螺纹的牙型决定于车刀的形状，其牙型半角等于车刀的牙型半角。用成形法加工时，成形面的形状精度取决于成形运动的精度、成形刀

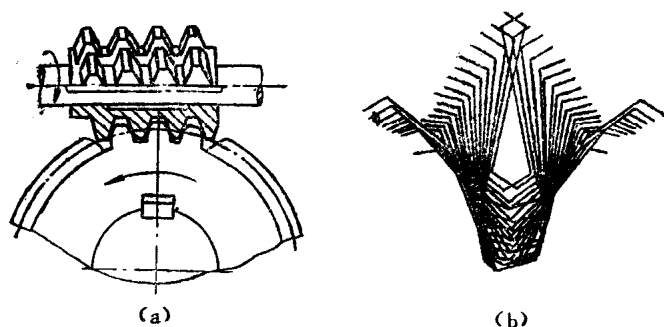


图 1-5 用展成法获得工件形状

具刀刃的形状精度和安装精度。

3. 展成法 如滚齿加工，刀具与工件作啮合运动，工件的齿形是由一系列刀具的包络线所形成的。图1-5 a 是滚铣齿形，图 b 是齿形包络线。用展成法加工时，成形面的形状精度取决于刀刃的形状精度、各成形运动精度和成形运动之间的传动比精度。

(三) 获得位置精度的方法

获得位置精度的方法有三种。一是按照工件加工过的表面进行找正的方法；二是用夹具安装工件，工件的位置精度由夹具来保证；三是划线法，根据工件上所划线来找正。

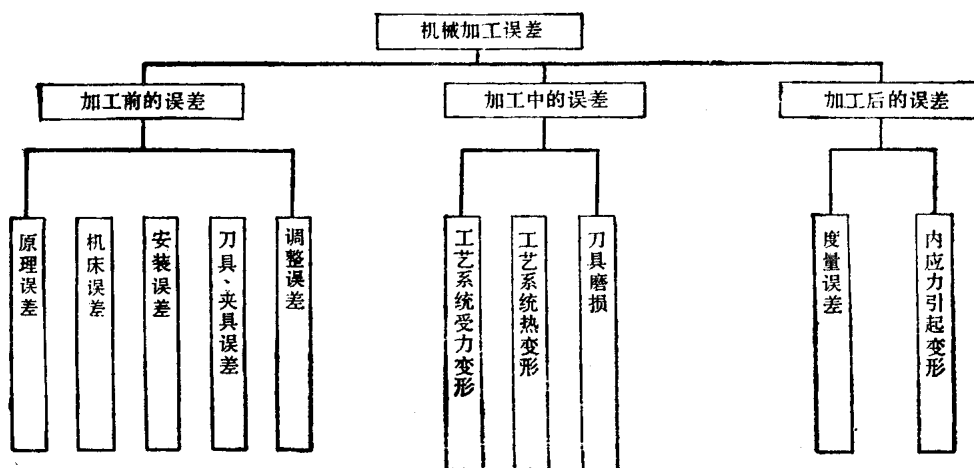
三、影响加工精度的因素

机械加工时，刀具与工件之间在切削运动过程中的相对移动形成所需要的加工表面。如车削时，工件夹持在夹具上，随车床主轴作旋转运动；刀具装夹在刀架上，相对于工件作横向或纵向移动。因此，机床、夹具、刀具和工件构成一个完整的系统，称之为工艺系统。

构成工艺系统的各组成部分本身存在着一定的误差；加工过程中产生的切削力、切削热、摩擦等因素使工艺系统产生受力变形、热变形、刀具磨损等，上述因素均会引起加工误差。除了上述主要因素外，尚有原理误差、测量误差和被加工零件由于内应力重新分布引起的变形等。

按机械加工过程可以将误差分为加工前、加工中、加工后产生的误差，如表1-1所示。

表 1-1 误差的种类



加工过程中,上述各种误差并不是在任何情况下都会出现,在不同情况下,它们的影响程度不同。在分析生产中存在的具体问题时,必须分清主次。下面将逐一地来说明各种误差的性质、出现的规律,对加工精度的影响和提高精度的措施。

第二节 影响加工精度的因素分析

一、原理误差 (或理论误差)

加工过程中,由于采用了近似的加工运动或近似的刀具形状而产生的加工误差称为原理误差或理论误差。

有时采用完全正确的加工原理会使机床结构复杂,刀具种类繁多,造成制造上的困难;或者由于传动元件过多,增加了机构运动中的误差,反而得不到高的加工精度。而采用近似的加工运动或近似的刀具形状可以使加工误差限制在允许的范围内,有利于提高生产率或降低成本。

下面通过几个实例进行分析

例 1 在车床上车削蜗杆。

图1-6表示车削蜗杆时的传动关系。设该工件为单头蜗杆,其轴向齿距 $t = \pi m$, 其中 $\pi = 3.14159\cdots$, m = 模数, 机床丝杆转速 $n_{丝}$ 与工件转速 n_1 之传动比 i 的计算式为

$$i = \frac{n_{丝}}{n_1} = \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4} = \frac{\pi m}{T}$$

式中 t —— 工件轴向齿距;

T —— 丝杆螺距。

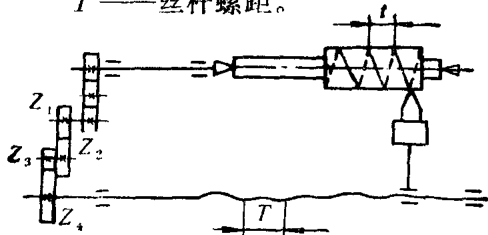


图 1-6 车蜗杆时的传动关系

由于蜗杆的轴向齿距 $t = \pi m$, 而 π 是无理数, 在选用 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 和 Z_4 等齿轮齿数时, 只能按小数后四位或五位近似值计算 π , 使被加工蜗杆轴向齿距因引入近似值而带来了加工误差。

例 2 在铣床上用模数铣刀加工渐开线齿轮。

理论上, 渐开线齿形与基圆大小有关。基圆小, 渐开线曲率半径小, 即渐开线弯一些; 齿条的基圆趋于无限大, 其渐开线齿形变成直线。因此, 同一模数的齿轮, 齿数不同时, 渐开线齿形不同。加工每一种模数的齿轮必须备有大量不同规格的齿轮铣刀, 这样既不经济又不可能。实际生产中, 同一模数的齿轮按其齿数 (由12到135以上) 分成8组 (精确的是15组), 每组只用一把铣刀来加工。为保证加工出来的齿轮在啮合时不会卡住, 各组铣刀的齿形都按该组内最小齿数的齿形制造。对组内其它齿数的齿轮来说, 其齿形就会出现加工原理误差。

例3 用齿轮滚刀滚切齿轮。

滚刀具有原理误差。一是为了便于制造滚刀, 用阿基米德基本蜗杆或法向直廓基本蜗杆来代替渐开线基本蜗杆; 二是滚刀刀刃数有限, 使所切得的齿形是一条折线而不是光滑的渐开线。因此, 滚切齿轮是一种近似的加工方法。

二、机床的几何误差

机床的几何误差包括机床的制造误差、磨损和安装误差。

机床几何误差中对加工精度影响较大的是主轴回转误差、导轨误差和传动链误差。为此,《机床专业标准》规定了机床在出厂前需通过机床精度检验。检验内容是主要零部件本身的形状和位置误差不允许超过规定的数值。以车床为例,检验项目有:

1. 床身导轨在垂直面和水平面内的直线度和平行度;
2. 主轴轴线对床身导轨的平行度;
3. 主轴的回转精度;
4. 主轴到丝杆间传动链精度;
5. 刀架各溜板移动时,对主轴轴线的平行度和垂直度。

(一) 导轨的误差

导轨是机床中确定主要部件相对位置的基准,也是尾架、溜板箱等部件移动的基准。导轨误差直接影响到工件的加工精度。

导轨表面主要由若干个平面组成,导轨面一般比较狭长,其形状误差是指垂直面或水平面内的直线度误差。导轨面本身的直线度误差和导轨面之间的平行度误差对工件的加工精度都会有影响。下面以车床导轨为例进行分析。

图1-7、图1-8分别表示导轨在垂直面内和水平面内的直线度误差引起的加工误差。

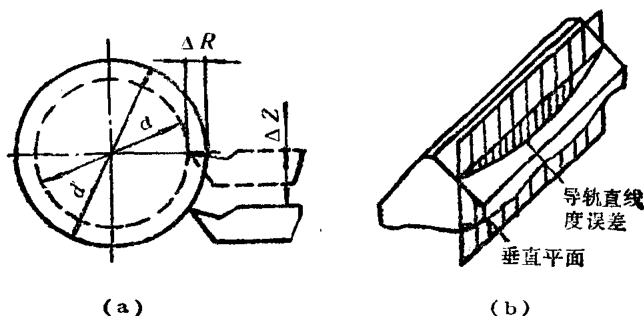


图 1-7 导轨在垂直面内的直线度误差

由图1-7 a 可知,导轨在垂直面内的直线度误差使刀尖在垂直面内的位移量为 ΔZ ,引起工件的半径误差为 ΔR 。由图可知

$$(R + \Delta R)^2 = \Delta Z^2 + R^2$$

忽略 ΔR^2 项,得

$$\Delta R \approx \frac{\Delta Z^2}{2R}$$

即工件上的直径误差为

$$\Delta D \approx \frac{\Delta Z^2}{R}$$

由图1-8 b 可知,导轨在水平面内的直线度误差使刀尖在水平面内的位移量为 ΔY ,引起工件的半径误差为 $\Delta R'$ 。

$$\Delta R' = \Delta Y$$

所以

$$\Delta D' = 2\Delta Y$$

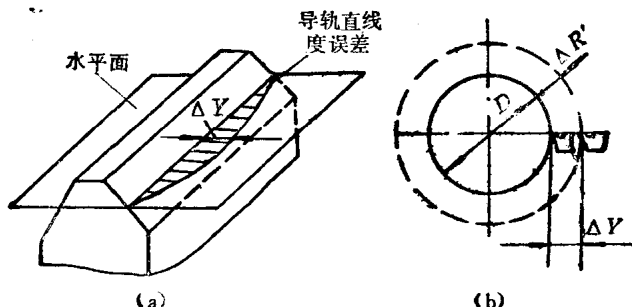


图 1-8 导轨在水平面内的直线度误差

设 $\Delta Y = \Delta Z = 0.05\text{mm}$, $D = 40\text{mm}$, 则有

$$\Delta D \approx \frac{\Delta Z^2}{R} = \frac{0.05^2}{20} = 0.000125\text{mm}$$

$$\Delta D' = 2\Delta Y = 2 \times 0.05 = 0.1\text{mm} = 800\Delta D$$

可见, $\Delta D'$ 是 ΔD 的 800 倍, 也就是对车床导轨来说, 导轨在垂直面内的直线度误差对加工精度的影响很小, 可以忽略不计。导轨在水平面内的直线度误差将直接影响到加工精度, 不能忽视。

上述结论不是对所有机床导轨都是适用的, 应根据不同情况作具体分析, 得出符合实际的结论。

由图 1-9 可知, 在六角车床上加工时, 往往把刀具垂直安装。在这种情况下, 导轨在垂直面内的直线度误差直接影响到工件的直径尺寸, 而导轨在水平面内的直线度误差对工件加工精度的影响则可以忽略不计。

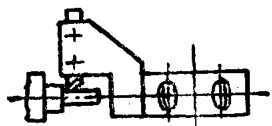


图 1-9 六角车床加工

由上面分析可知, 机床导轨误差所引起的刀刃与工件间的相对位移, 如果产生在加工表面的法线方向, 则对加工精度有直接的影响; 如果产生在切线方向, 就可以忽略不计。这个概念很重要, 在分析加工精度时经常要用到它。

床身导轨之间的平行度误差会引起刀架与工件之间相对位置的变化, 产生工件的形状误差。因此, 也需要控制导轨之间的平行度误差。

机床导轨的几何精度还与机床的安装情况有很大关系。机床安装不良引起的导轨误差往往大于制造误差, 例如顶尖距 1000mm 的 CB140 车床, 安装不良引起的导轨扭曲可达 0.2mm/300mm 以上; 某些重型龙门刨床由于基础不良, 因自重引起基础下沉而造成导轨严重弯曲变形达 2~3mm。因此, 机床安装时要有良好的基础, 并严格进行测量和校正, 而且在使用期间还应定期复校和调整。导轨磨损是造成导轨误差的另一重要原因。由于使用程度不同、受力不等, 机床使用一段时间后, 不仅导轨全长上各段的磨损量不等, 在同一横截面上各导轨面的磨损量也不等。导轨磨损会引起有关部件在水平面和垂直面内发生位移, 且有倾斜。因此, 为保证加工精度应按期维修机床导轨。

(二) 主轴的回转误差

1. 主轴的回转误差 从理想状态来看, 主轴在回转时, 其轴线在空间的位置应是唯一的,

即其轴线固定不动。实际上,由于各种因素影响的结果,主轴回转时的实际轴线相对其理想的回转轴线发生偏移,这个偏移量称为主轴的回转误差。

影响主轴回转误差的因素较多。机床主轴部件结构有滑动轴承与滚动轴承两大类,下面分别从这两方面来分析其影响因素。

在主轴用滑动轴承结构中,主轴以主轴颈在轴承内回转。对于工件回转类机床,切削力方向基本不变,主轴的受力方向基本上是稳定的。这时,主轴轴颈不同部位被压向轴承表面的某个部位。因此,主轴轴颈误差将直接传给工件,造成工件的圆度误差;而轴承孔误差则对加工精度的影响较小,如图1-10 a所示。对于刀具回转类机床,主轴所受切削力的方向随刀具旋转而变化。这时,轴承孔的圆度误差将传给工件,而轴颈的误差则影响不大,如图1-10 b所示。因此,在设计与制造时,应根据具体结构要求,分别对主轴颈与轴承孔提出相应的圆度公差以及两者之间的配合间隙要求。

在主轴用滚动轴承的结构中,主轴的回转精度不仅取决于滚动轴承的精度,在很大程度上还和轴承配合件(主轴轴颈、箱体上的孔)的精度有关。

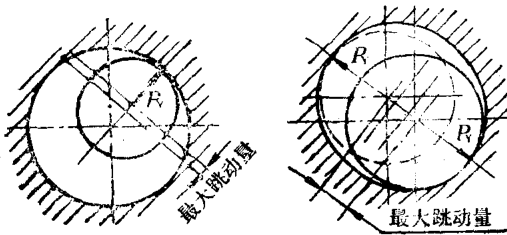


图 1-10 主轴颈和轴承孔圆度误差引起的加工误差

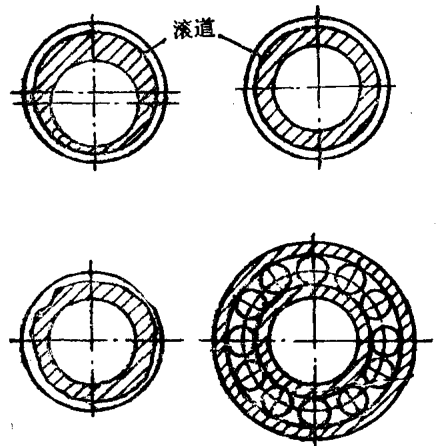


图 1-11 滚动轴承的几何形状误差

在切削过程中,主轴与滚动轴承内环一起转动,主轴的回转精度与滚动轴承内、外环滚道的圆度误差、内环壁厚差及滚动体的尺寸差和圆度误差等因素有关(见图1-11)。因为滚动轴承内、外环是薄壁零件,如果与之相配合的主轴颈、轴承孔有圆度误差,则它们与内、外环装配后,会引起内、外环滚道的变形,破坏了滚动轴承原有精度,导致主轴回转精度降低。

2. 提高主轴回转精度的途径

(1) 设计和制造高回转精度的主轴部件。设计和制造高回转精度的主轴部件是降低圆度误差的主要方法,而其关键是提高轴承精度。精密坐标镗床、高精度车床、精密磨床都具有回转误差很小的精密主轴部件。用滚动轴承支承的车床主轴,加工工件的圆度误差最精密的达到 $0.6\mu\text{m}$ 。目前国内外广泛使用静压滑动轴承作为主轴轴承,其加工工件的圆度误差可以为 $0.5\mu\text{m}$ 。

(2) 使回转精度不依赖于机床主轴。其典型例子是在外圆磨床上采用死顶尖磨削外圆。这时主轴不转动,工件支承在不动的前后死顶尖上,由拨销带动工件转动。工件的回转轴线由两个死顶尖决定,理论上讲回转轴线将是固定不变的。实际上,由于两中心孔存在形

状误差,或两中心孔有同轴度误差,都会使顶尖与中心孔接触不良,引起工件回转轴线变动。造成加工面的形状误差。只要提高中心孔质量,保证其形状精度和两中心孔同轴度精度,就可以提高被磨表面的形状精度。这种用死顶尖的方法适用于磨削高精度的外圆。

(三) 传动链误差

1. 传动链误差 在某些情况下传动链误差是影响加工精度的主要因素。例如滚切齿轮时,需要保持滚刀与工件之间严格的运动关系,即要求滚刀的转速与工件转速之比恒定不变。

上述刀具与工件之间严格的传动比都是由一定的传动链保证的。如所用滚刀为单头,工件齿数为40,则滚刀旋转一转,工作台转过1/40转。此传动比是靠一系列齿轮副的传动得到的。如果传动过程中能保持准确的传动比,则传动精度高。传动精度的高低与传动链中各元件的制造精度和安装精度有关。各传动元件在传动链中的位置不同,对传动链的传动精度影响也不同。

如图1-12所示,设被加工齿轮分度圆直径为100mm,最末分齿挂轮*d*的分度圆直径为200mm,分度蜗轮副的速比为1/96,如果分齿挂轮*d*的周节累积误差达125μm(相当于9级齿轮精度),则加工时这一误差可使蜗杆产生转角误差为 $0.125 \div \frac{200}{2}$ rad;蜗轮相应的转角

误差为 $0.125 \div \frac{200}{2} \times \frac{1}{96}$ rad,而工件的周节累积误差则为 $0.125 \div \frac{200}{2} \times \frac{1}{96} \times \frac{100}{2} \times 10^3 = 0.65\mu\text{m}$ 。分齿挂轮*d*的周节累积误差经过1/96大降速比的蜗轮副以后,对工件误差的影响已大大减少。但最末环节蜗轮的周节累积误差将直接反映到工件上。如其误差为10μm(相当于齿轮磨床的母蜗轮精度),分度圆直径384mm,则反映到工件上的周节累积误差为 $10 \times \frac{100}{384} \approx 2.6\mu\text{m}$ 。

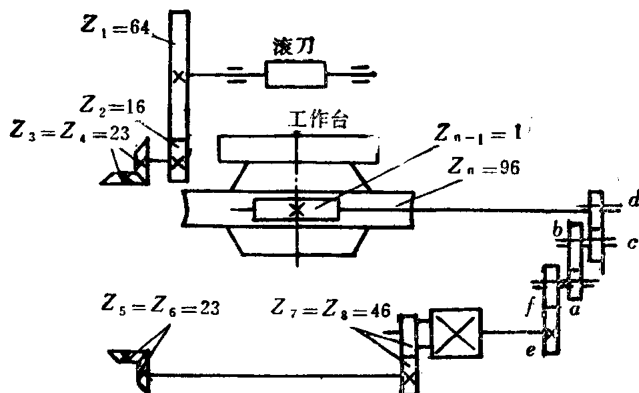


图 1-12 滚齿机传动链

2. 减少传动链误差的途径

(1) 减少传动链中传动元件的数目,以减少误差来源。如加工高精度分度蜗轮的蜗轮母机与一般的精密滚齿机相比,其分齿传动链要短得多。

(2) 提高传动元件 特别是末端传动元件(对降速传动而言)的制造精度和装配精度。

(3) 末端传动副的降速比取得愈大,则传动链中其余各传动元件的误差影响愈小。同

时,各传动副传动比的分配按降速比递增的原则,即愈接近末端的传动副降速比也应愈大,有利于减小传动链误差。

(4) 消除传动链中齿轮副存在的间隙。这些间隙的存在同样会影响末端元件的瞬时速度不均匀,速比不稳定。

(5) 采用校正装置。校正装置的实质是在原传动链中人为地加入一个误差,其大小与传动链本身的误差相等而方向相反,从而使误差相互抵消。

三、刀具与夹具误差

(一) 刀具误差

刀具种类不同,刀具误差对加工精度的影响也不同。

单刃刀具(如车刀、刨刀、单刃镗刀等)一般说来对加工精度没有直接影响。

用定尺寸刀具(如键槽铣刀、三面刃盘铣刀、钻头、铰刀等)加工时,加工面的尺寸精度不仅与刀具本身的尺寸精度有关,还与刀具的工作条件有关。如钻头两刀刃相对于尾柄轴线刃磨得不对称,造成钻削时两侧刀刃受力不均匀,引起径向跳动,使加工的孔径扩大。

用成形刀具(如成形铣刀、成形车刀、成形砂轮等)加工时,刀具本身的形状精度直接影响到加工面的形状精度。

用展成法刀具(如滚齿刀、插齿刀等)加工时,刀具切削刃的形状误差以及刃磨、安装、调整不正确,同样也会影响加工表面的形状精度。

刀具磨损后,除了使切削性能变坏以外,还改变了刀刃与工件的相对位置。在用调整法加工一批工件时,将使加工尺寸不断发生改变,出现尺寸分散现象。这时,刀具磨损对加工精度的影响比较突出。

(二) 夹具误差

夹具的制造误差、安装误差以及使用后的磨损也会影响到工件的加工精度。

夹具用来安装工件,而夹具本身还需在机床上正确安装。为了能简便而准确地夹具安装在机床工作台上,如铣、镗夹具体底部装一导向键,使该键与机床工作台上的T形槽一侧靠紧,然后将夹具固定在工作台上(见图1-13)。在夹具上安装工件时,先将工件的定位基准与夹具定位元件的定位面靠紧,然后夹紧工件,使工件在切削过程中仍能保持正确定位。下面通过实例来分析夹具误差对加工精度的影响。

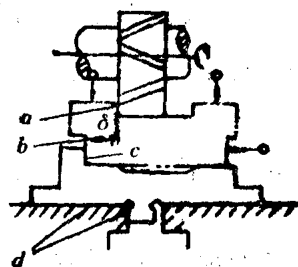


图 1-13 夹具

图1-13中,用双点划线表示工件, a 表示被加工面, b 表示工件上定位基准, c 表示夹具上定位元件的定位面(b 面与 c 面接触) d 表示夹具的安装基准,用来确定夹具在机床上的位置。

图1-13为铣床夹具。用三面刃铣刀加工沟槽两侧面与其底平面。其加工要求除了保证沟槽本身的尺寸精度以外,还要求保证沟槽左侧面到定位基准 b 面之间的距离 δ 以及 a 、 b 两面之间的平行度要求。

由图1-13可知,有几个因素会影响到 a 面与 b 面的距离 δ 以及两者之间的平行度。它们是:夹具上定位元件定位面 c 和安装基准 d 之间的平行度误差与垂直度误差,定位元件定位

面 c 与铣刀左刀刃之间的距离误差; 导向键左侧面与 T 形槽左侧面是否紧密贴合; 铣床工作台纵向送进方向与定位元件定位面 c 之间的平行度误差。

由上面的例子可以知道, 夹具误差包括定位元件、刀具引导元件 (如钻模套)、分度机构以及夹具体等零件的制造误差、定位元件之间的相互位置误差、定位元件定位面与夹具安装基准之间的相互位置误差以及其它有关的夹具制造、安装误差等。夹具在使用过程中的磨损同样会影响到零件的加工精度。

四、调整误差

在机械加工的每一道工序中, 总要进行各种调整工作。例如在机床上安装夹具, 按要求调整刀具至加工尺寸; 在固定刀具与夹具的位置后检查调整精度 (包括试切工件) 等等。由于调整不准确带来的误差称为调整误差。

造成调整误差的原因很多, 例如调整所用的刻度盘、定程机构 (行程挡块、凸轮、靠模等) 的精度以及与它们配合使用的离合器、电气开关、控制阀等元件的灵敏度; 测量样板、仪表本身的误差和使用误差; 在调整机床时只是测量有限几个试件而不能准确判断全部零件的尺寸分布造成的误差等等。

五、工艺系统受力变形引起的加工误差

(一) 基本概念

在切削加工过程中, 工艺系统受力变形的现象是可以观察到的。例如在车床上加工细长轴时, 在纵向走刀过程中, 切屑厚度发生变化, 愈到中间, 切屑愈薄。其结果使工件形成两头细中间粗的形状误差。又如精磨细长轴外圆时, 在最后几个行程中, 砂轮并没有径向进给, 但仍可磨出火花并逐渐减少。这就是用多次无进给行程来减少由工艺系统受力变形而引起的加工误差, 保证工件的加工精度。

工艺系统受力变形是指在切削过程中, 由机床-夹具-刀具-工件组成的工艺系统, 在切削力、惯性力、传动力、重力、夹紧力等作用下引起的工艺系统的变形。变形包括弹性变形与塑性变形两种。塑性变形主要是零件连接面处的接触变形。

工艺系统在静载荷作用下会产生静变形, 载荷愈大, 变形愈大, 对加工精度的影响愈大。我们把静力 P 与静力作用下产生的变形 Δy 的比值称为工艺系统静刚度 j_k , 即 $j_k = \frac{P}{\Delta y}$ N/mm。

由上式可知, 静刚度 j_k 就是产生单位变形所需要的静力。

车削工件时, 在切削力作用下, 使工件与刀尖间在作用力方向产生相对位移 Δy 。由于径向切削分力 P_y 对加工精度的影响最大, 因此本节重点研究工艺系统在 y 方向的刚度, 即

$$j_k = \frac{P_y}{\Delta y}$$

必须注意, 这里所指的变形量 Δy 不仅是由 P_y 所引起, 而是由总切削力 P 所产生的。

从动力学的观点出发, 工艺系统应看作是一个具有一定质量、弹性和阻尼所组成的多自由度机械振动系统。当系统受到变化的载荷时, 特别是周期性的干扰力 (例如在断续切削中周期性变动的切削力; 在连续切削中, 由于材质不均或刀瘤、断屑、振动等因素引起切削力的变动以及不平衡的惯性力等等) 作用时, 系统就会振动。其受力和变形大小与载荷的频率有关。我们可以把在某段频率范围内产生单位振幅所需的激振力称为该频率下的动刚度, 若工艺系统动刚度不好, 加工时刀具与工件之间会产生强烈的振动, 使切削过程的稳定性受到

破坏, 从而影响加工过程的进行和加工表面的质量。

工艺系统的静、动刚度特性, 对加工精度的影响很大。

这里只讨论工艺系统的静刚度问题。

(二) 工艺系统刚度

工艺系统刚度包括机床刚度、工件刚度、刀具刚度和夹具刚度。其中刀具和工件一般来说都是简单的构件, 可以用计算法确定其刚度。机床部件的刚度问题较为复杂, 为此重点讨论机床部件的静刚度问题。

1. 工件刚度 工件刚度与工件在机床上的装夹方式有关, 应用材料力学知识可以计算出来。

例 1 当工件一端夹紧在车床卡盘中时, 如图1-14所示, 可以用悬臂梁公式来计算工件的变形及其刚度。

$$\Delta y = \frac{P_y L^3}{3EI} \text{ mm}$$

所以

$$j_1 = \frac{P_y}{\Delta y} = \frac{3EI}{L^3} \text{ N/mm}$$

式中 L ——工件悬臂长度, mm;

E ——工件材料的弹性模数, N/mm²; 钢料 $E = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$;

I ——工件断面的惯性矩, mm⁴, 圆棒料 $I = \frac{\pi d^4}{64}$;

$$j_1 = \frac{3EI}{L^3} = \frac{3 \times 2 \times 10^5 \times \pi d^4}{64 L^3} \approx 3 \times 10^4 \frac{d^4}{L^3} \text{ N/mm}$$

例 2 图1-15表示在两顶尖间加工轴时的受力变形情况。这时, 当刀尖在中间位置时, 产生的变形最大, 可近似用下式计算。

$$\Delta y = \frac{P_y L^3}{48EI} \text{ mm}$$

对于圆钢棒料 $j_1 = \frac{48EI}{L^3} = \frac{48 \times 2 \times 10^5 \times \pi d^4}{64 L^3} \approx 4.8 \times 10^5 \frac{d^4}{L^3} \text{ N/mm}$

由此可见, 细长轴采用前后顶尖支持, 可以大大提高其刚度, 减少加工时的受力变形。

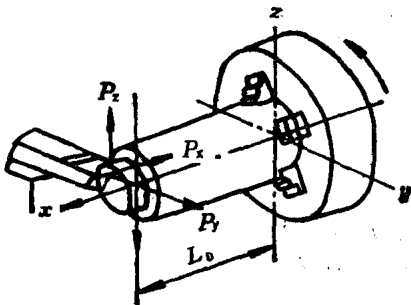


图 1-14 工件悬臂夹紧在卡盘中加工

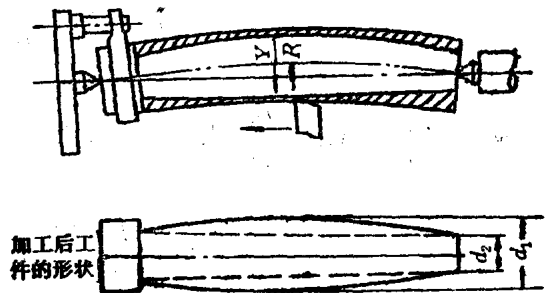


图 1-15 在顶尖间加工轴的变形

2. 机床部件刚度 机床部件由许多零件按一定要求装配而成, 其刚度问题较为复杂, 目前尚无公式作近似计算。需要用实验方法来确定机床部件刚度。测量原理比较简单, 只需

测得施加的静力和相应的变形量,即可确定各机床部件的刚度。

影响机床部件刚度的因素是复杂的,即使同一个机床部件的刚度也不是恒定的数值。一个部件的变形与组成部件的各个零件本身的变形有关,还与零件连接面的接触变形和其它因素有关。

提高连接面的形状精度、降低表面粗糙度和增大部件中薄弱零件的刚度都能增强部件刚度。据实验资料介绍,常见的车床刀架,将楔铁收紧比之楔铁在放松情况下刚度几乎要增加一倍。

3. 机床刚度和工艺系统刚度 机床刚度由机床各个部件刚度所决定,而工艺系统刚度则与机床刚度、夹具刚度、刀具刚度和工件刚度有关。

现以车床为例,说明机床刚度和工艺系统刚度的计算方法。如图1-16所示,将光轴安装在两顶尖间,假定工件短而粗,刚度很高,工件在受力后的变形与机床、夹具、刀具的变形相比可以忽略不计。这时工艺系统的总位移完全取决于机床头架、尾架(包括顶尖)和刀架

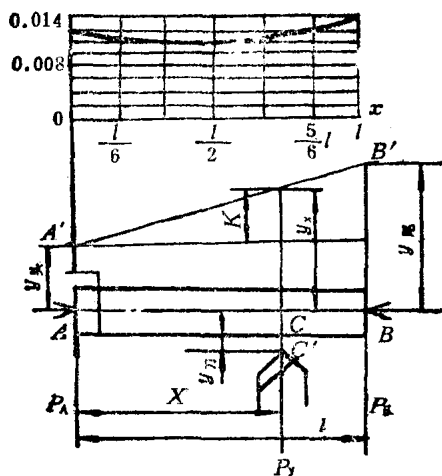


图 1-16 在车床上加工轴时的位移

(包括刀具)的位移。当车刀移动到图示位置,即离开头架距离为 x 时,在切削力作用下,头架由 A 位移动到 A' ,尾架由 B 位移动到 B' ,刀架由 C 位移动到 C' 。它们的位移分别为 $y_{\text{头}}$ 、 $y_{\text{尾}}$ 、 $y_{\text{刀架}}$,而工件的轴线由 AB 位移动到 $A'B'$,在切削点处的位移 y_x 为

$$y_x = y_{\text{头}} + k$$

其中

$$k = (y_{\text{尾}} - y_{\text{头}}) \frac{x}{L}$$

所以

$$y_x = y_{\text{头}} + (y_{\text{尾}} - y_{\text{头}}) \frac{x}{L}$$

设 P_y 在头架、尾架处引起的作用力分别为 P_A 、 P_B ,则

$$P_A = P_y \frac{L - x}{L}, \quad P_B = P_y \frac{x}{L}$$

把 $y_{\text{头}} = \frac{P_A}{j_{\text{头}}}$, $y_{\text{尾}} = \frac{P_B}{j_{\text{尾}}}$ 代入上式得到

$$y_x = \frac{P_y}{j_{\text{头}}} \left(\frac{L - x}{L} \right)^2 + \frac{P_y}{j_{\text{尾}}} \left(\frac{x}{L} \right)^2$$

又因

$$y_{\text{刀架}} = \frac{P_y}{j_{\text{刀架}}}$$

故机床总位移 $y_{\text{机}}$

$$y_{\text{机}} = y_x + y_{\text{刀架}}$$