

21 世纪普通高等院校规划教材——机械类

机械 制造工艺学

JIXIE ZHIZAO GONGYIXUE

主 编 周光万
副主编 唐克岩 高红莲

JIXIE LEI



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪普通高等院校规划教材——机械类

机械制造工艺学

主 编 周光万

副主编 唐克岩 高红莲

主 审 董仲良

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

全书共分八章,内容包括机械加工精度、机床夹具设计原理、机械加工工艺规程的制定、机械加工表面质量及其控制、机器装配工艺基础、精密加工和光整加工、典型零件加工工艺及先进制造技术。

本书主要作为高等院校机械工程及自动化、机械设计与制造专业的教材,还可作为自学考试、职工大学、函授大学、技工学院的教材,同时也可供工程机械技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺学 / 周光万主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2010.1

21 世纪普通高等院校规划教材. 机械类
ISBN 978-7-5643-0555-0

I. ①机… II. ①周… 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 (2010) 第 013426 号

21 世纪普通高等院校规划教材——机械类 机械制造工艺学

主编 周光万

*

责任编辑 李芳芳

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 17.125

字数: 428 千字 印数: 1—3 000 册

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0555-0

定价: 29.80 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本教材是机械各专业的主干技术基础课教材。它是为了适应机械设计与制造专业教学改革的需要,以培养新型的应用型人才为目标,结合教师多年的教学实践和厂矿工作经验,以及参考有关院校的“机制工艺学”而编写的。在60~70学时的教学内容上,把“工件装夹及夹具设计”和“典型零件加工”收编在一起。因此该教材既适合机械本科教学,也适合大专教学,更适合独立院校机械各专业教学。

本书在编写过程中,在保证基本知识、基本理论、基本技能的“三基”知识教学的基础上,力求深广适度,坚持少而精的原则。

第一章机械加工精度,主要介绍影响机械加工精度的因素,加工误差分析和计算及提高机械加工精度的措施。

第二章机床夹具设计原理,主要介绍工件安装及夹紧对工件加工精度的影响,夹具的设计,工件在夹具中的安装定位和夹紧力的计算。

第三章机械加工工艺规程的制定,主要以机械零件为研究对象,通过合理安排其加工工艺过程来实现优质、高效和低消耗的制造过程。

第四章机械加工表面质量及其控制,主要以零件的加工表面为研究对象,分析研究控制零件加工表面粗糙度和物理、力学性能等问题,进而保证零件的使用性能和寿命。

第五章机器装配工艺基础,主要以整台机器为研究对象,分析研究保证机器的装配精度、提高装配效率及装配自动化等问题。

第六章精密加工与光整加工,主要介绍精密制造和光整加工技术,包括精车、精镗、精刨、镜面磨削、珩磨等。

第七章典型零件加工工艺,主要介绍各种典型零件的加工,包括机床主轴、曲轴、螺纹、丝杠、箱体、床身、齿轮、连杆和凸轮的加工工艺。

第八章先进制造技术,简单介绍了一些现代先进的制造技术,包括成组技术、计算机辅助工艺过程设计CAPP和快速原型制造技术。

全书由周光万负责统稿并担任主编,由董仲良教授担任主审。各章节的编写工作如下:前言、第一章、第二章由周光万编写;第三章、第四章、第五章由唐克岩编写;第六章、第七章、第八章由高红莲编写。本书在编写过程中,得到了张伯奋、郑菲等老师的热情关心、支持和帮助,在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009年11月

目 录

第一章 机械加工精度	1
第一节 概述	1
第二节 获得机械加工精度的方法	3
第三节 工艺系统的热变形对加工精度的影响	30
第四节 加工误差的综合分析	36
第五节 提高加工精度的措施	47
思考题与习题	50
第二章 机床夹具设计原理	54
第一节 工件的安装	54
第二节 工件的定位	56
第三节 夹具的概述	62
第四节 工件在夹具中的定位	63
第五节 工件在夹具中的夹紧	71
第六节 专用夹具设计的一般步骤与方法	78
思考题与习题	81
第三章 机械加工工艺规程的制定	83
第一节 概述	83
第二节 零件的结构工艺性分析和毛坯的选择	90
第三节 定位基准的选择	94
第四节 机械加工工艺路线的拟定	102
第五节 机械加工的工序设计	108
第六节 工艺尺寸链	113
第七节 工艺过程的生产率及经济性分析	123
思考题与习题	132
第四章 机械加工表面质量及其控制	136
第一节 加工表面质量及其对使用性能的影响	136
第二节 影响加工表面质量的因素及其改善措施	140
第三节 机械加工中的振动	152
思考题与习题	159

第五章 机器装配工艺基础	161
第一节 概述	161
第二节 装配尺寸链	169
第三节 保证装配精度的方法	173
第四节 装配工艺规程的编制	181
第五节 装配自动化	187
思考题与习题	191
第六章 精密加工与光整加工	193
第一节 概述	193
第二节 精密加工	194
第三节 光整加工	195
思考题与习题	198
第七章 典型零件加工工艺	199
第一节 轴类零件加工工艺	199
第二节 丝杠与螺纹加工	207
第三节 机床主轴加工	211
第四节 箱体类零件加工工艺	217
第五节 床身加工	231
第六节 圆柱齿轮加工工艺	234
第七节 连杆加工	246
第八节 凸轮加工	249
思考题与习题	254
第八章 先进制造技术	255
第一节 成组技术	255
第二节 计算机辅助工艺过程设计	260
第三节 快速原型制造技术	262
思考题与习题	266
参考文献	267

第一章 机械加工精度

第一节 概 述

一、机械加工精度的概念和分类

1. 机械加工精度的概念

机器和仪器的工作性能与使用寿命取决于零件的加工质量，为了确保它们的性能和使用寿命，必须对其组成零件提出若干方面的质量要求。标志零件加工质量的主要方面是加工精度和表面质量。零件的加工精度是指零件加工以后，其尺寸、形状、各表面相互位置等参数的实际数值与理想数值的符合程度。符合程度越高，加工精度就越高，反之加工精度就越低。

2. 机械加工精度的分类

(1) 尺寸精度：指加工后零件的实际尺寸与理想尺寸的符合程度。这里所指的理想尺寸是指零件图上所标注的有关尺寸。

(2) 形状精度：指加工零件表面的实际几何形状与理想几何形状（如绝对平面、绝对圆柱面、绝对渐开面、绝对螺旋面等）的符合程度。这里所指的理想表面形状是指绝对准确的表面和形状。

(3) 位置精度：指加工后零件的有关表面之间的实际位置与理想位置（如绝对的平行、垂直、同轴等）的符合程度。

对任何一个零件来说，零件加工后的尺寸、形状、位置三个方面的精度指标都是相互关联的。在零件图上所规定的公差范围内，能够满足尺寸、形状和位置误差要求的，即为合格品。若任何一项超出公差要求范围，都为不合格品。

二、机械加工误差的概念和分类

实践证明，不论用何种方法加工，任何一个零件的尺寸都不可能加工得绝对准确。零件加工后的实际几何参数对理想几何参数的偏离程度，称为加工误差。加工精度和加工误差是从不同角度来评定零件几何参数准确的程度。零件加工精度的低和高是用加工误差的大和小来描述的。为了保证和提高加工精度，就必须采取措施消除或减少加工误差，把加工误差最终控制在允许的公差范围内。

由机床、夹具、刀具、量具和工件所组成的机械加工工艺系统，在完成零件加工的任何

一道工序的加工过程中有很多误差因素在起作用,会以不同的程度反映为零件的加工误差,这些造成误差的因素称为原始误差。

如图 1.1 所示,刀具车削零件时,在工件法向 (y 向) 上产生位移误差 Δy ,则工件的直径 D 将产生误差 ΔD_y ,即

$$\Delta D_y = 2\Delta y$$

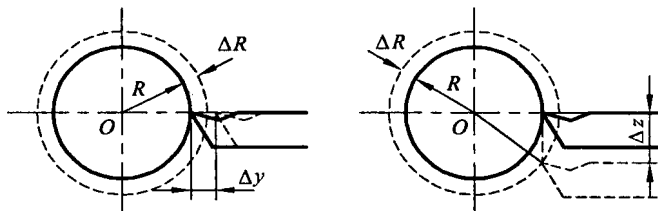


图 1.1 刀具相对工件在不同方面的位移量对加工精度的影响

在工件装夹中因某种原因使刀具低于轴心线时,在工件切向 (z 向) 产生位移误差 Δz 时,工件直径 D 将产生误差 ΔD_z ,其相互关系为

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

简化并略去 $(\Delta R)^2$, 得

$$\Delta D_z \approx \frac{2(\Delta z)^2}{D} \quad (1.1)$$

设 $D = 100 \text{ mm}$, $\Delta y = \Delta z = 0.1 \text{ mm}$

$\Delta D_y = 0.2 \text{ mm}$, $\Delta D_z = 0.000 2 \text{ mm}$

即 $\Delta D_y = 1\,000 \Delta D_z$

可见, ΔD_y 对工件尺寸的影响很大, ΔD_z 很小,可以忽略不计。通常把加工误差最大的方向,即加工表面的法向称为误差敏感方向。

根据误差的来源不同,原始误差可分为:

(1) 几何误差。工件在加工前,加工方法本身存在加工原理误差或由机床、夹具、刀具与工件组成的工艺系统本身存在着某些误差因素,这些误差因素将以不同程度、不同形式反映到被加工的零件上,造成的加工误差称为几何误差。

(2) 过程误差。过程误差是与切削过程有关的误差。在加工过程中,力、热和磨损等因素,将破坏工艺系统的原有精度,使加工出的零件精度产生新的附加原始误差,称之为过程误差。

根据出现误差的规律不同,可分为:

(1) 系统误差。

① 常值系统误差,在相同的工艺条件下,加工一批零件所产生的大小和方向不变的误差。例如,机床本身的制造误差、夹具和刀具的磨损造成的误差、调整以及在恒定力的作用下变形所产生的误差,一般都是常值误差,它的大小和方向是不变的。

② 变值系统误差, 由机床、夹具和刀具在热平衡前的变形, 加工过程中刀具的磨损等造成的误差, 它的大小和方向按一定规律变化, 称为变值误差。

(2) 随机误差。

误差值的大小和方向没有一定规律的变化, 称为随机误差。例如, 毛坯硬度的差异、加工余量的不均匀、夹紧变形、工件残余应力等。

第二节 获得机械加工精度的方法

一、尺寸精度的获得方法

在机械加工中, 获得尺寸精度的方法主要有以下四种:

1. 试切法

试切法是获得零件尺寸精度最早采用的加工方法, 通过试切—测量—调整—再试切, 反复多次直至被加工零件达到图纸要求为止。

试切法能达到很高的精度, 但调整、试切、测量所需时间较长, 因此只适用于小批生产。

2. 调整法

调整法是预先用样板、样件或根据试切工件来调整好刀具和工件在机床上的相对位置, 然后对一批工件进行加工, 这批工件在加工中不再调整, 也不试切, 即可达到工件的尺寸要求。调整法是在成批生产条件下采用的一种加工方法。

3. 定尺寸刀具法

在加工过程中, 采用刀具(或组合刀具)的相应尺寸来保证工件被加工部位尺寸的方法, 称为定尺寸刀具法。

定尺寸刀具法的加工精度, 取决于刀具的制造精度和磨损程度, 与操作人员技术水平的高低无关, 该方法生产率较高。例如, 定尺寸拉削、钻、扩、铰或用镗刀块加工内孔等。

4. 自动获得尺寸法

在加工过程中, 通过尺寸测量装置、进给装置和控制机构组成一个自动控制系统, 使加工过程中对尺寸测量、刀具的补偿调整和切削加工等一系列工作自动完成, 从而获得所需尺寸要求精度的一种加工方法。例如, 在无心磨床上磨削轴承外圈时, 就是利用测量装置控制导轮架进行微量的补偿进给, 以保证工件的尺寸精度; 另外, 在数控机床上, 通过数控装置、测量装置及伺服电机驱动机构, 控制刀具在加工时应具有的准确位置, 来保证零件的尺寸精度。

二、形状精度的获得方法

1. 轨迹法

这种方法是依靠刀尖与工件的相对运动轨迹来获得所要求零件的表面几何形状。刀尖的运动轨迹精度取决于刀具和工件的相对运动精度。如图 1.2 所示的圆锥面就是用轨迹法加工获得的。

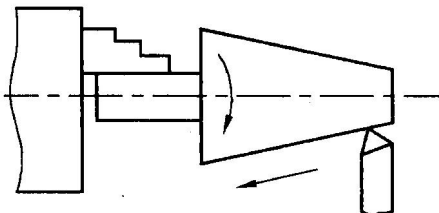


图 1.2 轨迹法加工圆锥面

2. 成形法

利用成形刀具对工件进行加工的方法称为成形法。如图 1.3 所示是利用成形车刀加工球面。用成形法获得的形状精度主要取决于刀具刀刃的形状精度和刀具与工件相对运动的轨迹。成形法不仅生产率较高，而且可以简化机床结构。

3. 展成法

利用工件和刀具的相互啮合运动，也就是展成运动，来包络出整个工件的形狀的加工方法，称为展成法，如滚齿、插齿等。这种方法加工出来的工件形状精度较高，生产率也较高。如图 1.4 所示为展成法加工齿轮时的齿形包络误差。

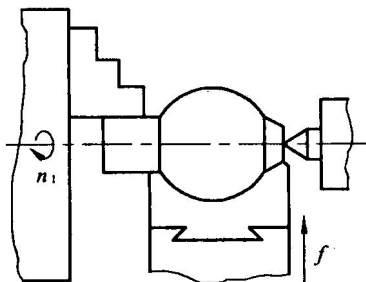


图 1.3 成形法加工球面

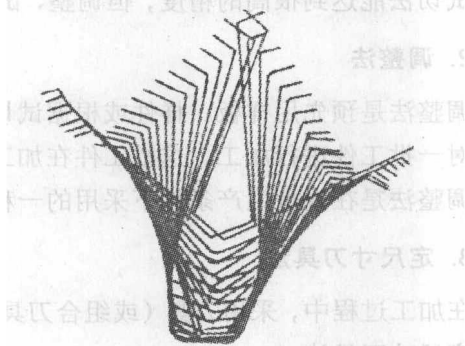


图 1.4 展成法加工齿轮时齿形包络误差

三、位置精度的获得方法

1. 一次安装法

有位置精度要求的零件，应在一次安装中加工出来，以保证其位置精度。一次安装法精度的高低取决于机床本身的运动精度，如盘形齿轮坯的内孔与端面的垂直度，轴类零件的外圆表面与端面的垂直度，箱体孔系加工中各孔之间的同轴度、平行度和垂直度等。

2. 多次安装法

零件在加工中要经过多次安装才能完成加工，其有关表面的位置精度是由加工表面与工件定位基准面之间的位置精度来保证的。（请参考本书第二章夹具设计中的有关论述。）

多次安装涉及工件找正的问题,根据工件安装方式不同,可分为:

(1) 直接安装找正法。例如,在车床上加工外形不规则的内孔时,应该用四爪卡盘安装工件,用百分表找正工件位置,如图 1.5 所示。这种方法精度较高,但对工人的操作水平要求也较高,只适用于单件小批生产。

(2) 划线找正法。划线找正这种方法是在毛坯上先划出中心线、对称线及待加工表面的加工线,然后按照加工线找正工件在机床上的相对位置,再夹紧加工。这种方法精度不高,主要适用于形状不复杂的单件小批量生产。

(3) 夹具安装法。夹具安装法是在夹具中定位并夹紧,从而保证加工表面与定位基准面之间的位置精度。这种方法定位迅速准确,精度高,适用于成批大量生产。

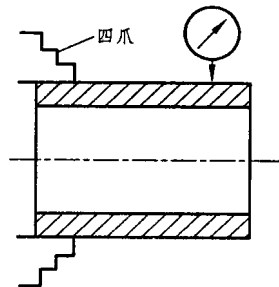


图 1.5 直接找正定位安装

四、加工经济精度与加工方法的选择

1. 加工经济精度

不同的加工方法所获得的加工精度是不同的,即使是同一种加工方法,由于加工条件不同,所能达到的加工精度也有所不同。如果是手工操作,加工精度在很大程度上取决于工人的技术水平。例如,精车一般可达到 IT7~IT8 级,若由技师加工可达 IT6~IT7 级,但是,加工的成本也提高了,如技师的工资等。

生产中工件的加工精度是用可以控制的加工误差的大小来表示的。加工误差小,加工精度高;加工误差大,则加工精度低。统计资料表明,任何一种加工方法,加工误差 Δ 与加工成本 Q 之间的关系如图 1.6 所示,该曲线可分为三部分:

AB 段。加工误差小、精度高,但成本太高,不经济。

CD 段。曲线几乎与横坐标平行,说明零件的精度低、成本低,但是任何一种加工方法不能无限制地降低成本,它必须有一个最低成本,才能保证加工质量,过分强调降低成本只能造成不经济,成本降低了,质量没有了,结果反而是成本提高了。

BC 段。对同一种加工方法来说,加工误差小到一定程度后(如图中 B 点的左侧),加工成本再提高很多,但加工误差却降低很少;加工误差大到一定程度后(如图中 C 点的右侧),即使加工误差再大,加工成本也降低不了多少。这就说明,一种加工方法在 A 点的左侧或 B 点的右侧的应用都是不经济的。

加工经济精度是指在正常的加工条件(采用符合质量标准的设备、工艺装备和标准技术等级的工人以及不延长加工时间)下所能保证的加工精度和表面粗糙度。

2. 加工方法的选择

加工经济精度是通过几种不同加工方法相互比较的结果。如图 1.7 所示为车、磨外圆两种方法的比较。显然,当零件的公差小于 Δ_4 时,采用磨削比较经济;当零件的公差大于 Δ_4 时,采用车削比较经济。 Δ_4 是磨削加工经济精度的下限,也是车削加工经济精度的上限。当然还要看其工件的材料,有色金属如果采用磨削加工来提高精度和表面质量就不可行,就目前而言,车削加工是提高有色金属零件加工精度和表面质量的唯一方法。

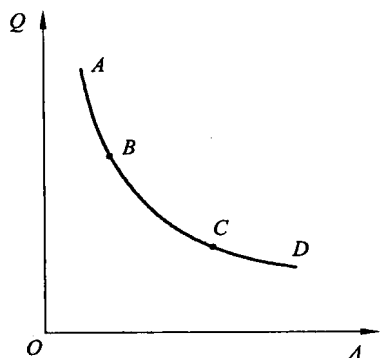


图 1.6 加工成本与加工误差的关系

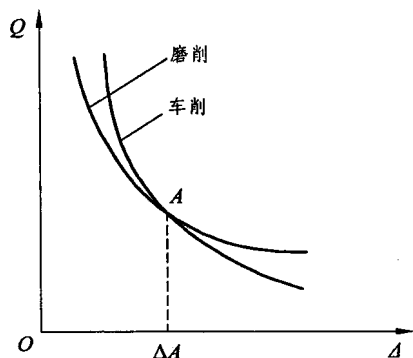


图 1.7 车削、磨削外圆加工成本的比较

应当指出,加工经济精度是变化的,它随着工艺技术的发展,设备、工装的改进而改变。各种加工方法的加工经济精度和表面粗糙度的参考数据如表 1.1 所示。

表 1.1 各种加工方法的加工经济精度和表面粗糙度

被加工表面	加工方法	经济精度 (IT)	表面粗糙度 R_a (μm)
外圆和端面	粗 车	11 ~ 13	12.5
	半精车	8 ~ 11	1.60 ~ 12.5
	精 车	7 ~ 8	0.80 ~ 1.60
	粗 磨	8 ~ 11	1.60 ~ 12.5
	精 磨	6 ~ 8	0.40 ~ 1.60
	研 磨	5	0.20
	超精加工	5	0.20
	精细车 (金刚车)	5 ~ 6	0.20 ~ 0.40
孔	钻 孔	11 ~ 13	12.5
	铸锻孔的粗扩 (镗)	11 ~ 13	12.5
	精 扩	9 ~ 11	3.20 ~ 12.5
	粗 铰	8 ~ 9	1.60 ~ 3.20
	精 铰	6 ~ 7	0.40 ~ 0.80
	半精镗	9 ~ 11	3.20 ~ 12.5
	精镗 (浮动镗)	7 ~ 9	0.80 ~ 3.20
	精细镗 (金刚镗)	6 ~ 7	0.40 ~ 0.80
	粗 磨	9 ~ 11	3.20 ~ 12.5
	精 磨	7 ~ 9	0.80 ~ 3.20
	研 磨	6	0.40
	珩 磨	6 ~ 7	0.40 ~ 0.80
	拉 孔	7 ~ 9	0.80 ~ 3.20
	粗刨、粗铣	11 ~ 13	12.5
平 面	半精刨、半精铣	8 ~ 11	1.60 ~ 12.5
	精刨、精铣	6 ~ 8	0.40 ~ 1.60
	拉 削	7 ~ 8	0.80 ~ 1.60
	粗 磨	8 ~ 11	1.60 ~ 12.5
	精 磨	6 ~ 8	0.40 ~ 1.60
	研 磨	5 ~ 6	0.20 ~ 0.40

五、影响加工精度的因素

在零件的加工过程中可能会出现各种不同类型的原始误差，它们会引起系统各环节相互位置关系的变化。图 1.8 为活塞销孔精镗工序的示意图，活塞如果装夹、调整不当，就会引起活塞镗削误差。

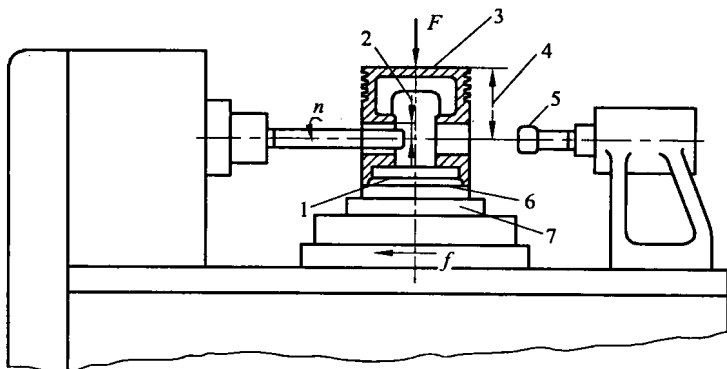


图 1.8 活塞销孔精镗工序示意图

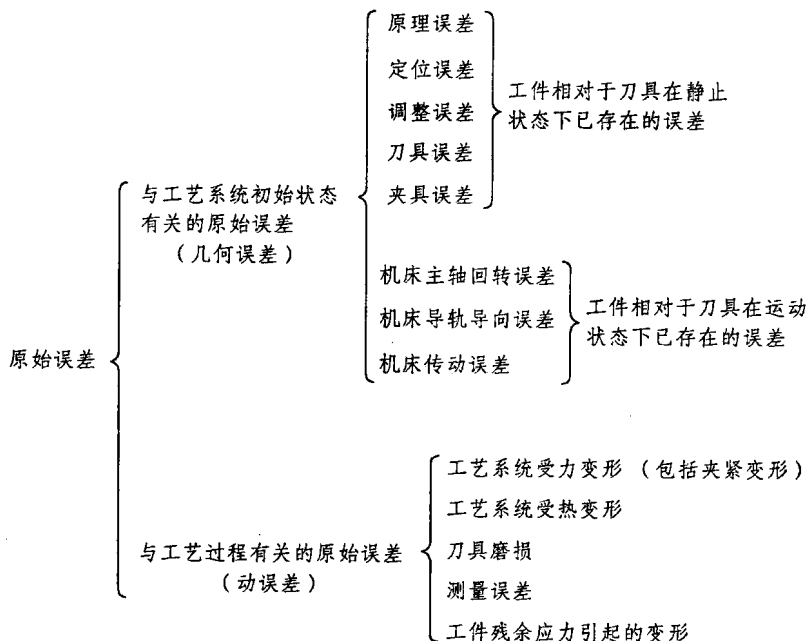
1—定位止口；2—对刀尺寸；3—设计基准；4—设计尺寸；5—定位用菱形销
6—定位基准；7—夹具

(1) 装夹误差。在卧式镗床上镗活塞的销孔，采用的装夹方法是，以活塞止口和端面为定位基准，在夹具中定位，并用菱形销插入经半精镗过的销孔中作调整定位。夹紧力作用在活塞的顶部，这就会由设计基准 3 与定位基准 6 不重合，以及定位止口 1 与夹具上的定位凸台，菱形销孔与配合间隙不恰当而产生定位误差，同时还存在因夹紧力 F 过大导致设计基准变形，引起夹紧误差。这两种误差统称为工件夹紧误差。

(2) 调整误差。工件装夹前后，必须对机床、刀具和夹具进行调整，并进行试切，再进行微量精确调整，才能使工件和刀具之间保持相对的正确位置。同样以活塞加工为例，装夹前需要对夹具在工作台上的位置、菱形销与主轴的同轴度进行调整，以及对刀调整（刀块伸出长度必须保证销孔的直径）。因为调整不可能绝对精确，这就会产生调整误差。另外，机床、刀具、夹具本身就存在着制造误差，这类原始误差在加工前就已经存在了，称为工艺系统的几何误差。

(3) 加工误差。由于在加工过程中要产生切削力、切削热和摩擦，它们会引起工艺系统的受力变形、受热变形和磨损，这些都会引起在调整时已获得的工件与刀具的相对位置发生变化，造成各种加工误差。这类在加工过程中产生的原始误差称为工艺系统的动误差。

除此之外，工件在毛坯制造（铸、锻、焊、轧制）、切削加工和热处理时，在力和热的作用下产生的应力，将会引起工件变形而产生加工误差。现在在加工过程中可能出现的各种原始误差归纳如下：



(一) 影响尺寸精度的主要因素

1. 尺寸测量精度

零件尺寸精度的获得，首先受到测量仪器精度的限制。零件的加工尺寸就目前的加工方法来讲，可以获得非常精确的尺寸，但是，由于尺寸的测量精度不高而无法分辨。过去钢球加工采用滚磨和滚研的方法，可以获得很高的精度，但没有相应的测量工具就不能进行精确尺寸的测量和尺寸分组，因此只能测量出尺寸精度为 $0.5\ \mu\text{m}$ 的钢球，现在可以制造出尺寸精度为 $0.1\ \mu\text{m}$ 或者精度更高的钢球。从生产工艺上来看方法没有什么变化，只是尺寸的测量仪器精度有了相应提高，测量方法采用了光波干涉原理，将被测尺寸与激光波长相比较，其测量精度可达到 $0.01\ \mu\text{m}$ 。不过这种方法主要用于实体基准——精密量块和精密刻度尺的测量。对于一般机器零件的测量，主要还是采用万能量具量仪进行测量。

机械加工中尺寸的测量方法有：

(1) 绝对测量和直接测量。测量示值直接表示出被测尺寸的实际值，这类量具有游标卡尺、百分尺、百分表和测量仪。

(2) 相对测量。测量示值只反映被测尺寸相对于某个定值基准的差值，而被测尺寸的实际值等于基准与偏差值的代数和。

(3) 间接测量。测量示值是与被测尺寸有关的一些尺寸或几何参数，测出后还必须再按它们之间的函数关系计算出被测零件的尺寸。例如，采用百分尺测量螺纹中径，采用弓高弦长规测量非整圆样板或大尺寸圆弧直径等。

2. 影响尺寸测量精度的主要因素

(1) 测量工具本身精度的影响。

对零件尺寸进行测量时，选用的测量工具存在一定的制造误差，因而其本身的精度必然

会对被测量零件尺寸的测量精度产生直接影响。测量工具精度主要由示值误差、示值稳定性、回程误差和灵敏度四个方面综合起来对被测零件造成测量误差。

(2) 测量过程中测量部位目测或估计不准的影响。

如图 1.9 (a) 所示, 当用外径百分尺测量轴颈 d 时, 通过几何关系, 我们可以推算出测量误差 Δd 为

$$\Delta d = d - d' = 2\Delta r = 2r(1 - \cos \varphi) = 4r \sin^2 \left(\frac{\varphi}{2} \right)$$

因角 φ 很小, 可近似为 $\sin \left(\frac{\varphi}{2} \right) \approx \frac{\varphi}{2}$, 故

$$\Delta d \approx 4r \left(\frac{\varphi}{2} \right)^2 = r\varphi^2$$

如图 1.9 (b) 所示, 当测量孔径 D 时, 可以通过几何关系计算出其测量误差 ΔD 为

$$\begin{aligned} \Delta D &= D' - D = \sqrt{D^2 + D^2 \tan^2 \varphi} - D = D\sqrt{1 + \tan^2 \varphi} - D \\ &= D \left(\frac{1}{\cos \varphi} - 1 \right) = D \left(\frac{1 - \cos \varphi}{\cos \varphi} \right) = \frac{2D \sin^2 \left(\frac{\varphi}{2} \right)}{\cos \varphi} \end{aligned}$$

因角 φ 很小, 可近似为 $\sin \left(\frac{\varphi}{2} \right) \approx \frac{\varphi}{2}$, $\cos \varphi \approx 1$, 故

$$\Delta D \approx \frac{D}{2} \varphi^2$$

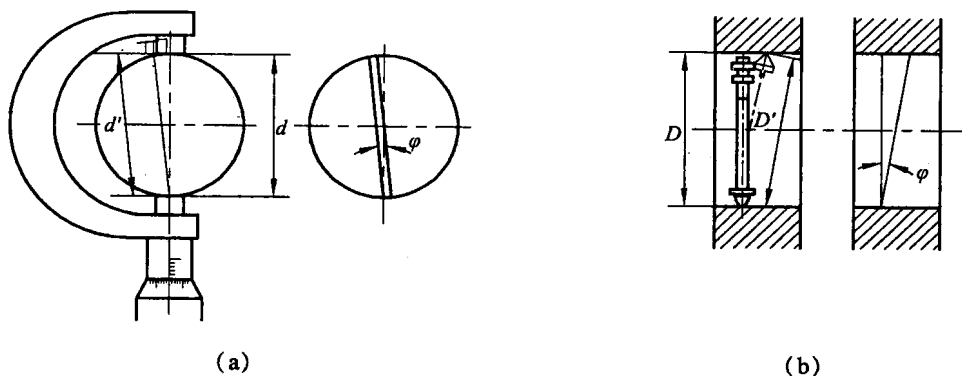


图 1.9 测量部位不准确的影响

由上述分析可知, 当 φ 角一定时, 被测工件的尺寸越大, 造成的测量误差就越大。因此测量时, 应注意保持正确的测量部分, 也可以多次测量取平均值。

目测刻度尺寸时, 如果观测方向和目视方向不垂直, 即斜视, 就会造成目测误差。

(3) 量具的正确使用、保养及维修。

从市场和厂家买来的量具, 由于运输、材质、制造等多方面的原因, 造成量具的刻度对

零性不准,引起测量不准确;经过长期使用,由于磨损保管不当造成测量不准;由于量程精度等级与被测件不相适应,造成测量不准而产生测量误差。因此量具的正确使用、保养与维修也是确保降低测量误差的一个重要方面。厂家必须有自己的二级计量站或挂靠单位,并与省级计量站保持紧密联系,制定出量具的使用期限及合理的使用维修规程。

量具正确使用、保养及维修的一般规程如下:

- ① 从市场、厂家购置的量具必须经过二级检测站检测合格后登记入库再行使用。
 - ② 规定各量具安全使用期限,任何人和部门不得使用过期的量具。
 - ③ 合理选择量具,选择量具时必须保证量具的精度要与被测工件的精度相适应,也就是说不能用高精度的量具去测低精度、表面粗糙的工件。否则,久而久之就降低了量具的精度等级;也不能用低精度的量具去测高精度的工件,因为这样测不出工件精度的真实性。同时,量具的量程也要和被测工件相适应,不能用大量程去测小尺寸的工件,也不能用小量程去测大尺寸的工件。违背了上述规程都会造成测量误差。
- 同时,在操作时,对百分表类的量仪,最好使用其线点系数较好的标准段对零件进行测量,精度等级最好选大于等于被测零件尺寸公差两倍的量仪进行测量。
- ④ 测量地点和时间。由于测量地点和时间不合适也会造成很大的测量误差,也就是说被测件必须在不受力状态、冷却后才能进行测量,绝对不允许在机床上进行测量。因为在机床上测量时,由于受夹紧力和切削热的影响,测不出真实的尺寸。
 - ⑤ 首检制度。批量生产首检制度是保证工件质量的重要措施,同时还要经常抽检进行质量跟踪。
 - ⑥ 多次反复测量。对被测工件进行反复测量,然后进行数据处理得到较为接近零件的真实值。

3. 微量进给精度

产生微量进给精度的主要原因是:一方面进给机构中各相互运动的零件表面之间存在摩擦力,即机床导轨与工作台之间存在摩擦力,这些摩擦力促使进给机构产生相应的弹性变形,转动进给手轮时,就会阻止工作台移动,使工作台的移动量与手轮转动的格数不对应;另一方面是丝杠与螺母存在着传动间隙,传递力不能使工作台在一开始就移动,使工作台移动的距离与手轮转动的格数不相符,从而造成误差。

提高微量进给精度的方法是:

- (1) 提高进给机构的传动刚度,降低弹性变形,消除丝杠与螺母的传动间隙,缩短传动链,都能有效地减少微量进给造成的误差。
- (2) 减少进给机构各传动副之间的摩擦力和静、动摩擦因数的差值。例如,采用滚动丝杠螺母、滚动导轨或静压螺母、静压导轨;变滑动摩擦为滚动摩擦,因滚动摩擦因数很小,且几乎不随速度的提高而下降,故可以显著提高微量进给精度。

除此之外,还可以选择理想的润滑油,其张力小、吸附力强,能在相对滑动面上形成一层不易被刮掉的薄油膜层;采用新型导轨材料(如聚四氟乙烯)。

(二) 影响形状精度的主要因素

在机械加工中,获得零件加工表面形状精度的基本方法是成形运动法,如果零件的形状精度要求超过现有机床设备的成形运动精度时,还可以采取非成形运动来获得零件的形状精度。

虽然组成零件几何形面的种类繁多,但就其加工时所采用的成形运动而言,不外乎由回转运动和直线运动这两种基本形式所组成。例如,圆柱面和锥面是由一个回转运动和一个直线运动形成;球面是由两个回转运动形成;平面是由两个直线运动形成;渐开线是由两个回转运动和一个直线运动形成等。要想获得准确的表面,就要求各成形运动以及它们之间的关系均匀准确。例如,加工圆柱面必须首先要保证回转运动和直线运动本身的准确性,同时还应当保证它们之间相互位置关系的准确性,也就是说必须保证回转运动的轴线与刀具直线运动相平行,否则加工后不是一个圆柱面,而是一个锥面。采用成形刀具加工时还必须保证刀具的制造安装精度,因此影响形状精度的主要因素有:

- ① 各成形运动本身的运动精度。
- ② 各成形运动之间相互位置关系的精度。
- ③ 各成形运动之间速度关系的精度。
- ④ 成形刀具的制造安装精度。

1. 主轴回转运动的精度对零件形状精度的影响

(1) 主轴回转精度。主轴是机床的关键部件,它既传递转矩又承受切削力。主轴回转精度的高低直接影响到被加工零件形状精度的高低。

所谓回转精度是指主轴实际回转轴线的位置与理想回转轴线的位置的符合程度。理想的情况是主轴回转位置是稳定不变的。如图 1.10 (a) 所示,中心 O 点的速度始终为零,把 O 点称为理想的回转中心。理想的回转中心是不存在的,由于主轴箱、轴承、箱体的制造装配误差以及加工时受力、受热产生的变形和磨损等原因,实际上主轴的回转轴线随时都在变化,如图 1.10 (b) 中的 O_1 所示,此时的中心称为瞬时回转中心。通常把实际回转轴线作误差运动时的对称中心线称为回转轴线的平均线。

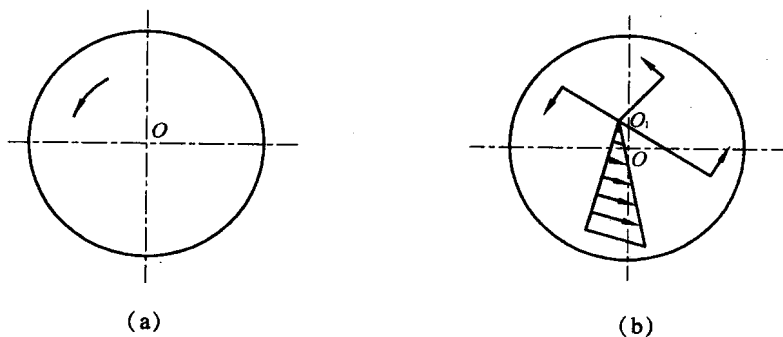


图 1.10 主轴回转中心与主轴回转精度

主轴回转误差是指主轴的实际回转轴线与平均回转轴线在加工误差敏感方向上的最大变动量。主轴回转运动的误差可分解为如图 1.11 所示的三种基本形式:径向跳动、轴向窜动、角度摆动。