

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

机电一体化系列

机械制造工艺学

JIXIE ZHIZAO GONGYIXUE

张福润 严晓光

华中理工大学出版社



TH16
Z130

442314

机电一体化系列

机械制造工艺学

张福润 严晓光

华中理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺学/张福润,严晓光
武汉:华中理工大学出版社, 1998年7月
ISBN 7-5609-1788-7

I. 机…
II. ①张… ②严…
III. 机械加工理论-工艺设计-教材
IV. TH161

机电一体化系列
机械制造工艺学
张福润 严晓光
责任编辑:钟小珉

*

华中理工大学出版社出版发行
(武昌喻家山 邮编:430074)
新华书店湖北发行所经销
华中理工大学出版社照排室排版
武汉市汉桥印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:13.5 字数:328 000
1998年7月第1版 1998年7月第1次印刷
印数:1-3 000

ISBN 7-5609-1788-7/TH·92

定价:12.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是《机械制造基础》(黄奇葵、钟华珍、张福润合编)一书的配套教材,出版的目的是为高等工科院校机械制造类专业学生进一步学习机械制造工艺知识提供一本合适的教科书。全书共分四章,第一章机械加工精度,第二章机械加工表面质量,第三章机械装配工艺规程,第四章现代机械制造技术。

本书可用作高等工科院校机械制造与机电一体化专业,以及函授大学、电视大学和职工大学的有关专业机械制造工艺学课程的教学用书,也可供从事机械设计与制造工作的工程技术人员参考。

DY65/35 28

代 序

机械工业是重要的基础工业,是国民经济发展的先导部门。历史的实践已一再证明:先进的技术装备与先进的制造技术在国民经济发展中,起着何等重要的作用;而先进的装备与先进的制造技术则正是由先进的机械工业来提供的。马克思讲得何等的深刻:“大工业必须掌握它特有的生产资料,即机器的本身,必须用机器生产机器,这样,大工业才建立起与自己适应的技术基础,才得以自立。”过去是这样,现在是这样,将来也还是这样。

当然,由于现代科学技术的迅猛发展,特别是由于微电子技术、电子计算机技术的迅猛发展,机械工业已发生了而且还在继续发生极为深刻的变化:机械技术与微电子技术的紧密结合,特别是与微计算机技术的紧密结合,现代机械技术所拥有的技术较以往远为高,远为新,远为广,远为复杂而先进;机电一体化技术与产品是十分突出的表现之一。这一深刻的变化是一股强大的潮流与一个严重的挑战,而且这一股潮流与这一个挑战是不应抗拒的,也是不可抗拒的。“顺之者昌,逆之者亡”,这是无法改变的现实。

这一深刻的变化反映在:机械工程、机械工业的面貌与内容发生了根本性的变化。过去,理论上主要以力学作为基础,实践上主要以经验作为基础,现在,作为基础的理论远不限于力学,还有系统论、控制论、信息论、传感理论、信号处理理论、电子学、计算机学等等,作为实践的基础远不限于经验,而且还涉及各有关的学科,同时,本身也在形成自己的学科体系——制造理论、工艺理论。机械产品的性质也在发生重大的变化,新的机械产品在不同程度上都同微电子技术、微计算机技术相结合,取代、延伸、加强与扩大人脑的部分作用。机械产品的种类与品种正日新月异,老的正在脱胎换骨,新的不断问世,几乎“无所不包”、“无孔不入”,大有令人瞠目结舌之势。与此相适应,机械制造技术正在彻底改造,广泛采用各种高新技术,特别是微电子技术与电子计算机技术,从数控化走向柔性化、集成化、智能化,成为现代科技前沿热点之一。与此相适应,企业的管理也在发生根本性的变化,从以产品为主的管理发展到以面向市场的信息为主的管理。

在这一深刻变化与严重挑战面前,谁胜谁负,谁兴谁衰,人才是关键。中共中央负责同志今年4月24日同部分学部委员座谈时就强调指出:要振兴经济,首先要振兴科技;要振兴科技,首先是培养人才。要发展机电一体化技术与产品,要实现机械工业的根本改造,没有高层次的科技人才是不行的。为了培养机械技术与电子技术紧密结合的高层次科技人才,有关各国都在探索其最优道路。我国采取果断措施,在大量减少专业种类的情况下,设立了“机电控制与自动化专业”,为进一步高质量地快速地培养这方面的人才创造更好的条件。事实上,我国不少高等

院校已在这一工作上作了多年的探索,试办了诸如机电一体化试点班,试点专业之类,华中理工大学也是其中的一员。创办这一方面的专业,也是一项改革,也是一项艰难的事业。鲁迅先生讲得好:“愈艰难,就愈要做。改革,是向来没有一帆风顺的。”正因为如此,我们必须继续迎着艰难去探索。

众所周知,教材,是人才培养中的重要一环,教材建设是一个学校最基本的建设之一。为此,华中理工大学有关教师在以往试点工作的基础上,总结了自己的经验,学习了兄弟学校的经验,有组织有计划地编写了这一方面的成套教材。这样,一方面可以适应目前形势发展的急需,另一方面也是进一步的继续探索。

《诗经》讲得好:“嘤其鸣矣,求其友声。”由于编者业务水平的有限,探索经验的不足,编写时间的紧迫,这套教材中的错误、不妥与缺陷在所难免,敬希专家与读者拨冗指教,我们将不胜感谢。

教授、中国科学院院士

杨叔子

1992.4.30

前 言

机械制造工艺学是机械制造类专业的一门主要专业课,它是研究如何科学地最优地生产各种机械装备的一门技术学科,也就是研究在机械制造中优质、高产、低消耗地生产机械装备的原理和方法的学科。

人们通过对世界各国工业发展的分析,并在长期的机械制造实践中深刻认识到“机械制造,工艺为本”。尽管当今世界科学技术有了长足的进步,然而工艺是机械制造之本的地位不仅没有动摇,反而更为世人所肯定。因此,一切从事机械设计与制造的工程技术人员都应当学习机械制造工艺的基本知识,都应具备较强的分析和解决实际工艺问题的能力。

本书是《机械制造基础》(黄奇葵、钟华珍、张福润合编)一书的配套教材。全书共分四章,由浅入深地分别介绍了机械加工精度、机械加工表面质量、机械装配工艺规程以及现代机械制造技术等内容。

本教材具有以下特点:

(1)教材内容贯穿了以质量、生产率及经济性为主线,以质量为重点的指导思想,在阐明基本概念和基本理论的前提下,力求内容少而精。

(2)既研究大批大量生产中加工和装配的质量、效率及成本问题,也介绍多品种、小批量生产的工艺特点,强调生产柔性化的观念。

(3)注意内容的实用性,并充分反映现代机械制造技术的新进展。

(4)采用最新国家标准。

(5)为便于教学,各章末均附有习题与思考题。

本书第一章、第四章由张福润编写,第二章、第三章由严晓光编写。全书由张福润统稿和定稿,由黄奇葵审阅。

由于编者水平有限,书中缺点、错误在所难免,恳请读者批评指正。

作者

1997年5月

目 录

第一章 机械加工精度	(1)
§ 1-1 概述	(1)
§ 1-2 工艺系统的原有误差对加工精度的影响	(5)
§ 1-3 工艺系统的受力变形对加工精度的影响	(24)
§ 1-4 工艺系统的热变形对加工精度的影响	(38)
§ 1-5 加工误差的统计分析	(45)
§ 1-6 保证和提高加工精度的途径	(60)
§ 1-7 加工误差综合分析实例	(65)
习题与思考题	(70)
第二章 机械加工表面质量	(74)
§ 2-1 加工表面质量概述	(74)
§ 2-2 加工表面粗糙度的影响因素	(77)
§ 2-3 表面层物理机械性能的影响因素	(79)
§ 2-4 提高表面质量的加工方法	(84)
§ 2-5 机械振动的基本概念	(89)
§ 2-6 强迫振动	(97)
§ 2-7 自激振动	(106)
习题与思考题	(121)
第三章 机械装配工艺规程	(123)
§ 3-1 概述	(123)
§ 3-2 装配几何精度与装配尺寸链	(127)
§ 3-3 装配工艺规程的制订	(139)
§ 3-4 典型部件的装配	(143)
§ 3-5 转子的平衡	(151)
习题与思考题	(154)
第四章 现代机械制造技术	(156)
§ 4-1 成组技术	(156)
§ 4-2 计算机辅助编制工艺规程(CAPP)	(167)
§ 4-3 现代机械制造系统	(171)
§ 4-4 超精密加工	(179)
§ 4-5 特种加工	(186)
§ 4-6 快速成型技术	(193)
习题与思考题	(197)
附录	(199)
参考文献	(206)

第一章 机械加工精度

§ 1-1 概 述

零件的加工质量是保证机械产品质量的基础。零件的加工质量包括零件的机械加工精度和加工表面质量两大方面。本章将讨论零件的机械加工精度问题,它是机械制造工艺学的主要研究问题之一。

一、机械加工精度

机械加工精度是指零件加工后的实际几何参数(尺寸、形状和表面间的相互位置)与理想几何参数的符合程度。符合程度越高,加工精度就越高。在机械加工过程中,由于各种因素的影响,使得加工出的零件,不可能与理想的要求完全符合。

加工误差是指加工后零件的实际几何参数(尺寸、形状和表面间的相互位置)对理想几何参数的偏离程度。从保证产品的使用性能分析,没有必要把每个零件都加工得绝对精确,允许有一定的加工误差:

加工精度和加工误差是从两个不同的角度来评定加工零件的几何参数的。加工精度的低和高就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问题,实际上就是限制和降低加工误差问题。

零件的加工精度包含三方面的内容:尺寸精度、形状精度和位置精度。这三者之间是有联系的。通常,形状公差应限制在位置公差之内,而位置误差又要限制在尺寸公差之内。当尺寸精度要求高时,相应的位置精度、形状精度也要求高。但形状精度要求高时,相应的位置精度和尺寸精度有时不一定要求高,这要根据零件的功能要求来决定。

一般情况下,零件的加工精度越高,则相对地加工成本也越高,生产效率也越低。因此,设计人员应根据零件的使用要求,合理地规定零件的加工精度;工艺人员则应根据设计要求、生产条件等采取适当的工艺方法,以保证加工误差不超过容许范围,并在此前提下尽量提高生产率和降低成本。

在机械加工中,零件的尺寸、几何形状和表面间相对位置的形成,归结到一点:就是取决于工件和刀具在切削运动过程中相互位置的关系;而工件和刀具,又安装在夹具和机床上,并受到夹具和机床的约束。因此,在机械加工时,机床、夹具、刀具和工件就构成了一个完整的系统,称之为工艺系统。加工精度问题也就牵涉到整个工艺系统的精度问题。工艺系统中的种种误差,就在不同的具体条件下,以不同的程度反映为加工误差。工艺系统的误差是“因”,是根源;加工误差是“果”,是表现。因此,把工艺系统的误差称之为原始误差。

研究加工精度的目的,就是要弄清各种原始误差的物理、力学本质,以及它们对加工精度影响的规律,掌握控制加工误差的方法,以期获得预期的加工精度,需要时应能找出进一步提高加工精度的途径。

二、获得机械加工精度的方法

机械加工中获得尺寸精度的方法有试切法、调整法、定尺寸刀具法和自动控制法四种。有关这部分内容已在《机械制造基础》一书中介绍,这里不再重复。

1. 获得形状精度的方法

在机械加工中,获得形状精度的方法主要有以下三种:

(1) 轨迹法 它是指依靠刀具与工件的相对运动轨迹获得加工表面形状的方法。如车削加工时,工件作旋转运动,刀具沿工件旋转轴线方向作直线运动,则刀尖在工件加工表面上形成的螺旋线轨迹就是外圆或内孔。

用轨迹法加工所获得的形状精度主要取决于刀具与工件的相对运动(成形运动)精度。

(2) 成形法 这是利用成形刀具对工件进行加工来获得加工表面形状的方法。如用曲面成形车刀加工回转曲面、用模数铣刀铣削齿轮、用花键拉刀拉花键槽等就是生产中最常见的成形法加工实例。

用成形法加工所获得的形状精度主要取决于刀刃的形状精度和成形运动精度。

(3) 展成法 这是利用工件和刀具作展成切削运动来获得加工表面形状的方法。如在滚齿机或插齿机上加工齿轮就是最典型、最常见的展成法加工实例。

用展成法获得成形表面时,刀刃必须是被加工成形表面的共轭曲线,而作为成形运动的展成运动,则必须保持确定的速比关系。

2. 获得位置精度的方法

在机械加工中,获得位置精度的方法主要有下面两种:

(1) 一次装夹获得法 它是指零件有关表面间的位置精度是在工件的同一次装夹中,由各有关刀具相对工件的成形运动之间的位置关系保证的。如轴类零件外圆与端面的垂直度,箱体孔系加工中各孔之间的同轴度、平行度和垂直度等,均可采用一次装夹获得法来保证。此时影响工件加工表面间位置精度的主要因素是所使用机床(及夹具)的几何精度,而与工件的定位精度无关。

(2) 多次装夹获得法 它是指零件有关表面间的位置精度是由刀具相对工件的成形运动与工件定位基面(是工件在前几次装夹时的加工面)之间的位置关系保证的。如轴类零件上键槽对外圆表面的对称度,箱体平面与平面之间的平行度、垂直度,箱体孔与平面之间的平行度和垂直度等,均可采用多次装夹获得法保证。

多次装夹获得法又可根据工件装夹方式的不同,划分为直接装夹法、找正装夹法和夹具装夹法三类。

直接装夹法是通过在机床上直接装夹工件来保证加工表面与定位基准面之间位置精度的方法。例如,在车床上加工一个与外圆同轴的内孔表面时,就可采用三爪卡盘直接夹持工件的外圆面来进行。显然,此时影响加工表面与定位基准面之间位置精度的主要因素亦是机床的几何精度。

找正装夹法是通过找正工件相对刀具切削刃口成形运动之间的准确位置,来保证加工表面与定位基准面之间位置精度的方法。例如,在车床上加工一个与外圆同轴度精度要求很高的内孔时,可采用四爪卡盘夹持工件的外圆,并利用千分表找正工件的位置,使其外圆表面与车床主轴回转轴线同轴后再进行加工。此时零件各有关表面之间的位置精度已不再与机床的几何精度有关,而主要取决于工件装夹时的找正精度。

夹具装夹法是通过夹具来确定工件与刀具切削刃口成形运动之间的准确位置,从而保证加工表面与定位基准面之间位置精度的方法。由于装夹工件时使用了夹具,故此时影响零件加工表面与定位基准面之间位置精度的主要因素,除了机床的几何精度以外,还与夹具的制造和安装精度有关。

三、影响机械加工精度的因素

零件的加工过程中可能出现种种的原始误差,它们会引起工艺系统各环节相互位置关系的变化而造成加工误差。下面以活塞加工中精镗销孔工序的加工过程为例,分析影响工件和刀具间相互位置的种种因素,以使我们了解对工艺系统的各种原始误差有一个初步的了解。

(1)装夹 活塞以止口及其端面为定位基准,在夹具中定位,并用菱形销插入经半精镗的销孔中作周向定位。固定活塞的夹紧力 F 作用在活塞的顶部(图1-1)。这时就产生了由于设计基准(顶面)与定位基准(止口端面)不重合,以及定位止口与夹具上凸台、菱形销与销孔的配合间隙而引起的定位误差;还存在由于夹紧力过大而引起的夹紧误差。这两项原始误差统称为工件装夹误差。

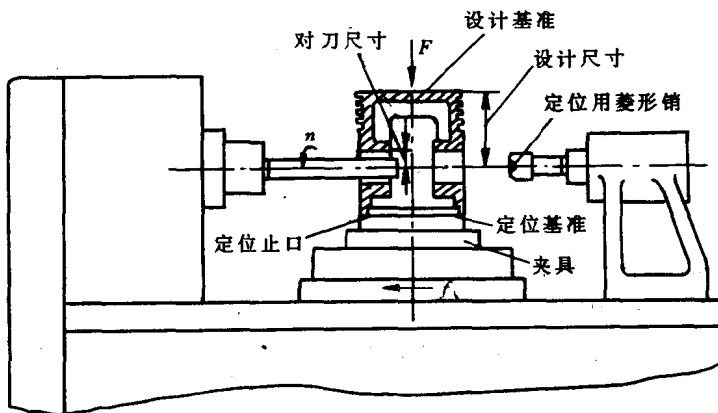


图 1-1 活塞销孔精镗工序示意图

(2)调整 装夹工件前后,必须对机床、刀具和夹具进行调整,并在试切几个工件后再进行精确微调,才能使工件和刀具之间保持正确的相对位置。例如,本例需进行夹具在工作台上的位置调整,菱形销与主轴同轴度的调整,以及对刀调整(调整镗刀刀刃的伸出长度,以保证镗孔直径)等。由于调整不可能绝对精确,因而就会产生调整误差。另外,机床、刀具、夹具本身的制造误差在加工前就已经存在了,这类原始误差称为工艺系统的几何误差。

(3)加工 由于在加工过程中产生了切削力、切削热和摩擦,它们将引起工艺系统的受力变形、热变形和磨损。这些都会影响在调整时所获得的工件与刀具之间的相对位置,造成种种加工误差。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。

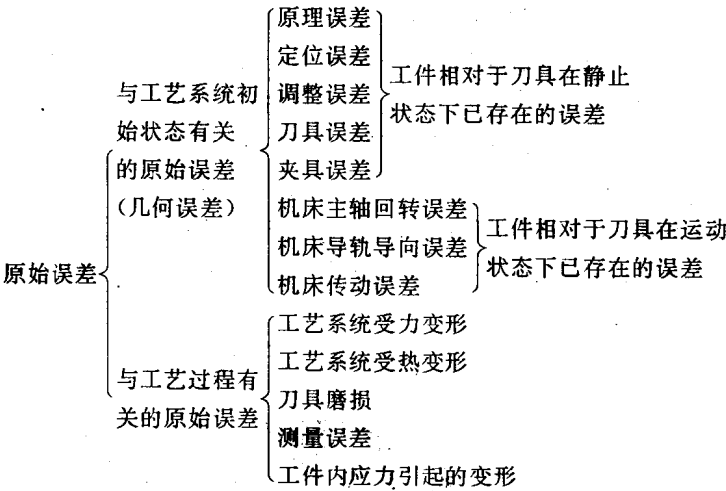
在加工过程中,还必须对工件进行测量,以确定加工是否合格,工艺系统是否需要重新调整。任何测量方法以及量具和量仪也不可能绝对准确,因此测量误差也是一项不容忽视的原始误差。

此外,工件在毛坯制造(铸、锻、焊、轧制)、切削加工和热处理时的力和热的作用下产生的内应力(残余应力),将会引起工件变形而产生加工误差。有时由于采用了近似的成形方法进行加工,还会造成加工原理误差。因此,工件内应力引起的变形及原理误差也是原始误差。

综上所述,可以将工艺系统的原始误差分为两大类:第一类是与工艺系统初始状态有关的

原始误差,属于这一类的有工件相对于刀具处于静止状态下就已存在的原理误差、工件定位误差、调整误差、夹具误差、刀具误差等,以及刀具相对工件在运动状态下就已存在的机床主轴回转误差、机床导轨导向误差、机床传动链的传动误差等;第二类是与工艺过程有关的原始误差,属于这一类的有工艺系统受力变形、工艺系统受热变形、加工过程中刀具磨损、测量误差及可能出现的因内应力而引起的变形等。

最后,为清晰起见,可将加工过程中可能出现的种种原始误差归纳分类如下:



四、误差的敏感方向

切削加工过程中,由于各种原始误差的影响,会使刀具和工件间的正确几何关系遭到破坏,引起加工误差。通常,各种原始误差的大小和方向是各不相同的,而加工误差则必须在工序尺寸方向度量。因此,不同的原始误差对加工精度有不同的影响。当原始误差的方向与工序尺寸方向一致时,其对加工精度的影响就最大。下面以外圆车削为例来进行说明。

如图 1-2 所示,车削时工件的回转轴线是 O ,刀尖正确位置在 A 。设某一瞬时由于各种原始误差的影响,使刀尖位移到 A' , $\overline{AA'}$ 即为原始误差 δ ,它与 $\overline{OA}$ 间夹角为 ϕ ,由此引起工件加工后的半径由 $R_0 = \overline{OA}$ 变为 $R = \overline{OA'}$,故半径上(即工序尺寸方向上)的加工误差为

$$\Delta R = \overline{OA'} - \overline{OA} = \sqrt{R_0^2 + \delta^2 + 2R_0\delta\cos\phi} - R_0 \approx \delta\cos\phi + \frac{\delta^2\sin^2\phi}{2(R_0 + \delta\cos\phi)}$$

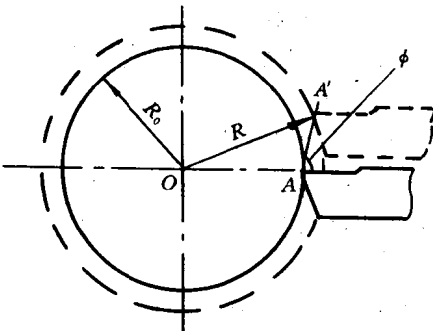


图 1-2 误差的敏感方向

可以看出:当原始误差的方向恰为加工表面法线方向时($\phi=0$),引起的加工误差 $\Delta R_{\phi=0} = \delta$ 为最大;当原始误差的方向恰为加工表面的切线方向时($\phi=90^\circ$),引起的加工误差 $\Delta R_{\phi=90^\circ} = \frac{\delta^2}{2R_0}$ 为最小,通常可以忽略不计。为了便于分析原始误差对加工精度的影响,我们把对加工精度影响最大的那个方向(即通过刀刃的加工表面的法向)称为误差的敏感方向;而把对加工精度影响最小的那个方向(即通过刀刃的加工表面的切向)称为误差不敏感方向。

五、研究加工精度的方法

研究加工精度的方法有两种：

(1)单因素分析法 即研究某一确定因素对加工精度的影响。为简单起见,研究时一般不考虑其它因素的作用。通过分析计算,或测试、试验,得出该因素与加工误差间的关系。

(2)统计分析法 以生产中一批工件的实测结果为基础,运用数理统计方法进行数据处理,用以控制工艺过程的正常进行。当发生质量问题时,可以从中判断误差的性质,找出误差出现的规律,以指导我们解决有关的加工精度问题。统计分析法只适用于批量生产。

在实际生产中,这两种方法常常结合起来应用。一般,先用统计分析法寻找误差的出现规律,初步判断产生加工误差的可能原因;然后运用单因素分析法进行分析、试验,以便迅速有效地找出影响加工精度的主要原因。本章将分别对它们进行讨论。

§ 1-2 工艺系统的原有误差对加工精度的影响

一、加工原理误差

加工原理误差是指采用了近似的成形运动或近似的刀刃轮廓进行加工而产生的误差。例如,在三坐标数控铣床上铣削复杂型面零件时,通常要用球头刀并采用“行切法”加工。所谓行切法,就是球头刀与零件轮廓的切点轨迹是一行一行的,而行间的距离 s 是按零件加工精度要求确定的。究其实质,这种方法是将空间立体型面视为众多的平面截线的集合,每次走刀加工出其中的一条截线。每两次走刀之间的行间距 s 可以按下式确定(见图 1-3):

$$s = \sqrt{8Rh}$$

式中, R 为球头刀半径;

h 为允许的表面不平度。

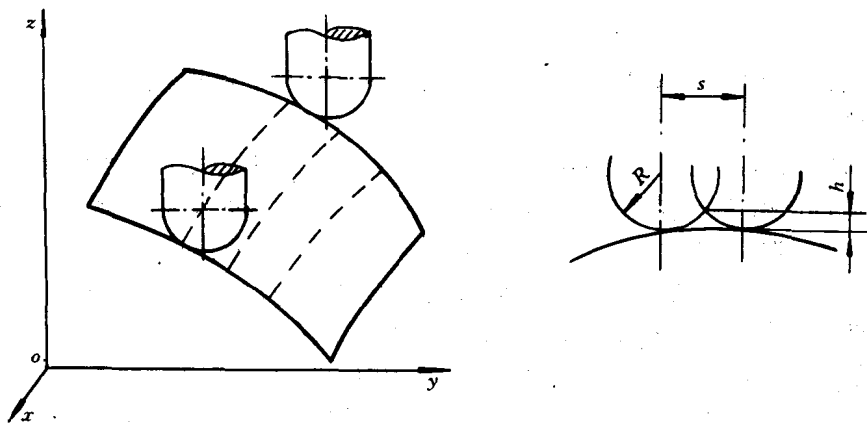


图 1-3 空间复杂曲面的数控加工

由于数控铣床一般只具有空间直线插补功能,所以即使是加工一条平面曲线,也必须用许多很短的折线段去逼近它。当刀具连续地将这些小线段加工出来时,便得到所需的曲线形状。逼近的精度可由每条线段的长度来控制。因此,就整张曲面而言,在三坐标联动的数控铣床上加工,实际上是以一段一段的空间直线逼近空间曲面,或者说,整张曲面就是由大量加工出的

小直线段来逼近的(见图 1-4)。这说明,在曲线或曲面的数控加工中,刀具相对于工件的成形运动是近似的。

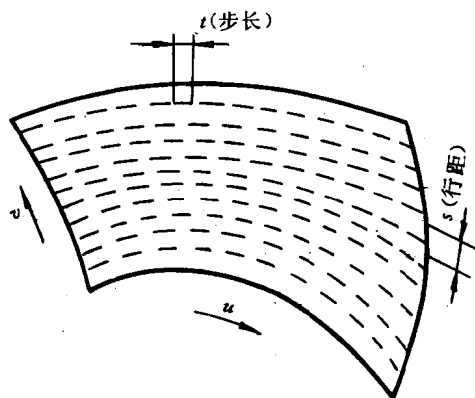


图 1-4 曲面数控加工的实质

又如滚齿用的齿轮滚刀,就有两种误差:一是为了制造方便,采用阿基米德基本蜗杆或法向直廓基本蜗杆代替渐开线基本蜗杆而产生的刀刃齿廓近似造形误差;二是由于滚刀刀齿有限,实际上加工出的齿形是一条由微小折线段组成的曲线,和理论上的光滑渐开线有差异。这些都会产生加工原理误差。再用模数铣刀成形铣削齿轮时,由于也采用近似刀刃齿廓,所以同样会产生加工原理误差。

采用近似的成形运动或近似的刀刃轮廓,虽然会带来加工原理误差,但往往或可简化机床结构或刀具形状,或可提高生产效率,有时甚至能得到高的加工精度。因此,只要其误差不超过规定的精度要求(一般,原理误差应小于工件公差值的 10%~15%),在生产中仍能得到广泛的应用。

二、调整误差

在机械加工的每一个工序中,总是要对工艺系统进行这样或那样的调整工作。由于调整不可能绝对地准确,因而产生调整误差。

工艺系统的调整有两种基本方式,不同的调整方式有不同的误差来源。

1. 试切法

单件、小批量生产中普遍采用试切法加工,加工时先在工件上试切,根据测得的尺寸与要求尺寸的差值,用进给机构调整刀具与工件的相对位置,然后再进行试切、测量、调整,直至符合规定的尺寸要求时,再正式切削出整个待加工表面。显然,这时引起调整误差的因素是:

(1)测量误差 它是指量具本身的精度、测量方法或使用条件下的误差(如温度影响、操作者的细心程度)等,它们都影响调整精度,因而产生加工误差。

(2)机床进给机构的位移误差 当试切最后一刀时,往往要按刻度盘的显示值来微量调整刀架的进给量,这时常会出现进给机构的“爬行”现象,结果使刀具的实际位移与刻度盘显示值不一致,造成加工误差。

(3)试切时与正式切削时切削层厚度不同的影响 不同材料的刀具的刀口半径是不同的,也就是说,切削加工中刀刃所能切除的最小切削层厚度是有一定限度的。切削厚度过小时,刀刃就会在切削表面上打滑,切不下金属。精加工时,试切的最后一刀往往很薄,而正式切削时的切深一般要大于试切部分,所以与试切时的最后一刀相比,刀刃不容易打滑,实际切深就大一

些,因此工件尺寸就与试切部分的不同;粗加工时,试切的最后一刀切削层厚度还较大,刀刃不会打滑,但正式切削时切深更大,受力变形也大得多,因此正式切削时切除的金属层厚度就会比试切部分的小一些,故同样引起工件的尺寸误差。

2. 调整法

在成批、大量生产中,广泛采用试切法或样件(或样板)预先调整好刀具与工件的相对位置,并在一批零件的加工过程中保持这种相对位置不变来获得所要求的零件尺寸。与采用样件(或样板)调整相比,采用试切调整比较符合实际加工情况,故可得到较高的加工精度,但调整费时。因此,实际使用时可先根据样件(或样板)进行初调,然后试切若干个工件,再作精确微调。这样既缩短了调整时间,又可得到较高的加工精度。

由于采用调整法对工艺系统进行调整时,也要以试切为依据,因此上述影响试切法调整精度的因素,同样也对调整法有影响。此外,影响调整精度的因素还有:

(1)定程机构误差 在大批大量生产中广泛采用行程挡块、靠模、凸轮等机构保证加工尺寸。这时,这些定程机构的制造精度和调整,以及与它们配合使用的离合器、电气开关、控制阀等的灵敏度就成为调整误差的主要来源。

(2)样件或样板的误差 它包括样件或样板的制造误差、安装误差和对刀误差。这些也是影响调整精度的重要因素。

(3)测量有限试件造成的误差 工艺系统初调好以后,一般都要试切几个工件,并以其平均尺寸作为判断调整是否准确的依据。由于试切加工的工件数(称为抽样件数)不可能太多,因此不能把整批工件切削过程中各种随机误差完全反映出来。故试切加工几个工件的平均尺寸与总体尺寸不可能完全符合,因而造成误差(参阅本章§1-5加工误差的统计分析)。

三、机床误差

引起机床误差的原因是机床的制造误差、安装误差和磨损。机床误差的项目很多,这里着重分析对工件加工精度影响较大的导轨导向误差、主轴回转误差和传动链的传动误差。

(一)机床导轨导向误差

1. 导轨导向精度及其对加工精度的影响

导轨导向精度是指机床导轨副的运动件实际运动方向与理想运动方向的符合程度。这两者之间的偏差值称为导向误差。

导轨是机床中确定主要部件相对位置的基准,也是运动的基准。它的各项误差直接影响被加工工件的精度。在机床的精度标准中,直线导轨的导向精度一般包括下列主要内容:

- (1)导轨在水平面内的直线度 Δy (弯曲)(见图 1-5);
- (2)导轨在垂直面内的直线度 Δz (弯曲)(见图 1-5);
- (3)前后导轨的平行度 δ (扭曲)(见图 1-6);
- (4)导轨对主轴回转轴线的平行度(或垂直度)。

导轨导向误差对不同的加工方法和加工对象,将会产生不同的加工误差。在分析导轨导向误差对加工精度的影响时,主要应考虑导轨误差引起刀具与工件在误差敏感方向的相对位移。

例如在车床上车削圆柱面时,误差的敏感方向在水平方向。如果床身导轨在水平面内存在导向误差 Δy ,在垂直面内存在导向误差 Δz ,则在加工工件直径为 D 时(见图 1-7),由 Δy 引起的加工半径误差 ΔR_y 和加工表面圆柱度误差 $\Delta R_{\max}$ 分别为

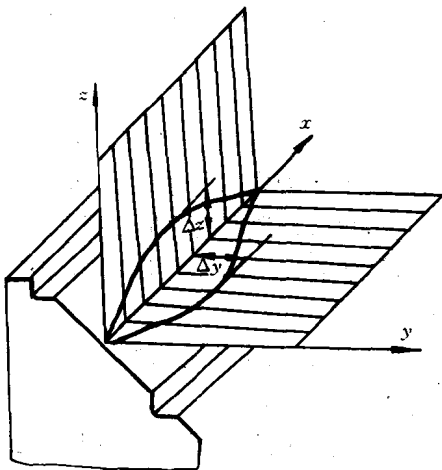


图 1-5 导轨的直线度

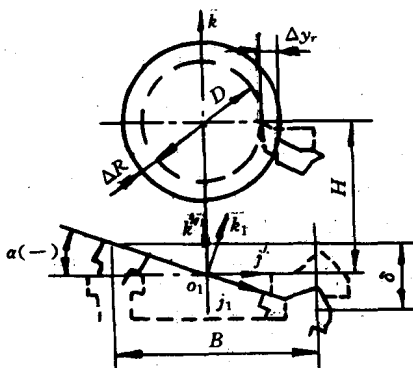
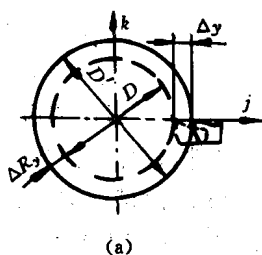
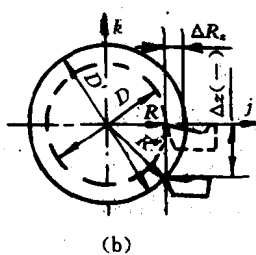


图 1-6 导轨扭曲引起的加工误差



(a)



(b)

图 1-7 导向误差对车削圆柱面精度的影响

$$\begin{cases} \Delta R_y = \Delta y \\ \Delta R_{\max} = \Delta y_{\max} - \Delta y_{\min} \end{cases} \quad (1-1)$$

式中, $\Delta y_{\max}$ 和 $\Delta y_{\min}$ 分别为工件全长范围内, 刀尖与工件在水平面内相对位移的最大值和最小值。

由 Δz 引起的加工半径误差 ΔR_z 则为

$$\Delta R_z = (\Delta z)^2 / D \quad (1-2)$$

由于 Δz 在误差的非敏感方向上, ΔR_z 为 Δz 的二次方误差, 数值很小, 可以忽略, 故只需考虑 Δy 引起的加工误差。

如果前后导轨不平行(扭曲), 则加工半径误差(见图 1-6)为

$$\Delta R = \Delta y_r = \alpha H \approx \delta H / B \quad (1-3)$$

式中, H 为车床中心高;

B 为导轨宽度;

α 为导轨倾斜角;

δ 为前后导轨的扭曲量。

一般, 车床 $H/B \approx 2/3$, 外圆磨床 $H \approx B$; 因此导轨扭曲量 δ 引起的加工误差不可忽略。

刨床的误差敏感方向为垂直方向。因此, 床身导轨在垂直面内的直线度误差影响较大。它引起加工表面的直线度及平面度误差(见图 1-8)。

镗床的误差敏感方向是随主轴回转而变化的, 故导轨在水平面及垂直面内的直线度误差

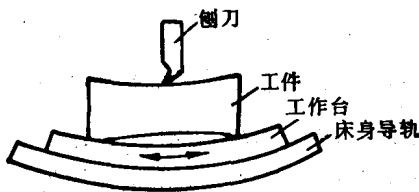


图 1-8 刨床导轨在垂直面内的直线度误差引起的加工误差

均直接影响加工精度。在普通镗床上镗孔时,如果工作台进给,那么导轨不直或扭曲,都会引起所加工孔的轴线不直。当导轨与主轴回转轴线不平行时,则镗出的孔呈椭圆形。图 1-9 表示二者的夹角为 α ,则椭圆短、长轴之比为

$$a/b = \cos \alpha$$

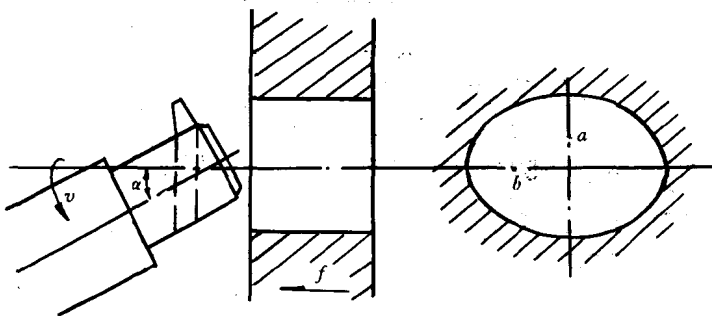


图 1-9 镗床镗出椭圆孔

当 α 角很小时,该误差并不显著(如 $\alpha=30'$, $a/b=0.99996$)。如果以镗刀杆为进给方式进行镗削,那么导轨不直、扭曲或者与镗杆轴线不平行等误差,都会引起所镗出的孔与其基准的相互位置误差,而不会产生孔的形状误差。

机床安装不良引起的导轨误差,往往远大于制造误差。特别是床身长度较长的龙门刨床、龙门铣床和导轨磨床等,它们的床身导轨是一种细长的结构,刚性较差,在本身自重的作用下,就容易变形。如果安装不正确,或者地基下沉,都会造成导轨弯曲变形(严重的可达 $2\sim 3\text{mm}$),因此,机床在安装时应有良好的地基,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。由于使用程度不同及受力不均,机床使用一段时间后,导轨沿全长上各段的磨损量不相等,并且在同一横截面上各导轨面的磨损量也不相等。导轨磨损会引起溜板在水平面和垂直面内发生位移,且有倾斜,从而造成刀刃位置误差。

机床导轨副的磨损与工作的连续性、负荷特性、工作条件、导轨的材质和结构等有关。一般普通车床,两班制使用 1 年后,前导轨(三角形导轨)磨损量可达 $0.04\sim 0.05\text{mm}$;粗加工条件下,磨损量可达 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ 。经常车削铸铁件时,导轨磨损更大。

影响导轨导向精度的因素,还有加工过程中的切削力和切削热等。

为了减小导向误差对加工精度的影响,机床设计与制造时,应从结构、材料、润滑、防护装置等方面采取措施以提高导向精度;机床安装时,应校正好水平和保证地基质量;使用时,要注意调整导轨中的配合间隙,同时保证良好的润滑和维护。

2. 导轨导向误差的理论分析方法

滑板在床身或立柱的导轨上作直线运动时,有 5 个自由度被导轨约束,即 2 个方向的平移