



普通高等教育“十一五”规划教材

机械制造工艺学

袁夫彩 编 著
陆念力 赵长发 主 审



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”规划教材

机械制造工艺学

袁夫彩 编著

陆念力 赵长发 主审

科学出版社

北 京

内 容 简 介

全书共分7章,主要内容包括:绪论、机械加工精度及其控制、机械加工表面质量及其改善措施、机械加工工艺规程的设计、机器装配工艺、机床夹具设计和先进制造技术。各章后附有习题与思考题,便于读者自学。

全书以机械加工工艺为主线,将制造工艺、装配工艺、加工质量和机床夹具等有机地统一起来,体系完整,简明精炼。本书在内容安排上由浅入深,在体系结构上符合认知规律;注重采用新的国家标准,融入机械制造的新技术;强调对基本概念和基础知识的理解和掌握,突出实际应用,融入计算机应用技术,注重对实际问题的分析和解决,具有一定的科学性和先进性。

本书可作为高等工科院校“机械设计制造及其自动化”专业及相关专业的本科教材,也可作为高职高专学校、职工大学、电视大学、业余大学等学生的教材或参考书,同时还可供从事机械制造的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺学/袁夫彩编著. —北京:科学出版社,2008

(普通高等教育“十一五”规划教材)

ISBN 978-7-03-022032-5

I. 机… II. 袁… III. 机械制造工艺 IV. TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第104546号

责任编辑:马长芳 毛 莹 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008年9月第一次印刷 印张:13

印数:1—3 500 字数:242 000

定价:22.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

前 言

“机械制造工艺学”是高等工科院校机械类、近机械类各专业机械设计制造及自动化课程体系的一门重要专业课程。随着科学技术的迅猛发展,传统的机械制造技术的内涵正在不断发生变化;由于各院校机械设计制造及自动化课程体系改革的不断展开、深入及对外交流的日益增加,该学科正面临着新的挑战。为了更好地适应机械制造业发展,满足人才培养的需要,本书按照“机械设计制造及其自动化”专业教学指导委员会推荐的指导性教学计划,结合作者多年来的教学实践,并在参考了大量国内外相关文献的基础上编写而成。本书具有如下特点:

(1) 在名词术语、符号代号、单位量纲等方面,全书始终贯彻执行新的国家标准,描述规范、科学统一。

(2) 将机械加工质量分析和控制、制造工艺、装配工艺和机床夹具等方面理论和知识有机统一,由浅入深介绍,形成了机械制造工艺学知识体系,奠定了制造技术的基础,符合认知规律。

(3) 注重对基本概念和基本知识的理解和掌握,突出原理的应用,注重实际问题的分析和解决,贴近生产工艺。

参加本书编写的有袁夫彩(第1~5章、第7章)、王晓霞(第6章)。全书由袁夫彩统稿。哈尔滨工业大学陆念力教授和哈尔滨工程大学赵长发教授担任主审。

教材编写是一项艰巨而又细致的工作。在本书的编写过程中,作者不仅得到了哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、哈尔滨商业大学、佳木斯大学和科学出版社等单位有关方面的大力支持和帮助,还得到了中国博士后基金的资助(资助编号:20070410257),对此表示衷心的感谢!本书参考了大量的国内外相关文献资料,凝结了众多师长、朋友和亲人的心血,在此向为本书的正式出版提供过无私帮助与支持的各位,表示最真诚的谢意!哈尔滨工业大学陆念力教授和哈尔滨工程大学赵长发教授对本书的编写提出了许多建设性的意见,给予了精心的指导和审阅,在此谨向两位老师表达崇高的敬意!

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者批评指正(联系方式: yuanfucai@hrbeu.edu.cn)。

编著者

2008年5月于哈尔滨

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 机械制造业的现状与发展	1
1.2 课程导引	1
1.2.1 课程的特点	1
1.2.2 主要内容和要求	2
1.2.3 学习方法	2
习题与思考题	2
第 2 章 机械加工精度及其控制	3
2.1 概述	3
2.1.1 机械加工精度	3
2.1.2 影响加工精度的因素	4
2.1.3 误差的敏感方向	4
2.1.4 研究加工精度的方法	5
2.2 工艺系统的几何误差对加工精度的影响	6
2.2.1 加工原理误差	6
2.2.2 调整误差	6
2.2.3 机床误差的影响	7
2.2.4 刀具的误差	13
2.2.5 夹具的误差	14
2.3 工艺系统的受力变形	15
2.3.1 工艺系统刚度	16
2.3.2 工艺系统刚度对加工精度的影响	17
2.3.3 减小工艺系统受力变形对加工精度影响的措施	19
2.4 工艺系统的热变形	20
2.4.1 工艺系统的热源及温度场	20
2.4.2 机床热变形	21
2.4.3 工件热变形	23
2.4.4 刀具热变形	23
2.4.5 减少工艺系统热变形的措施	24

2.5 加工误差的统计分析	26
2.5.1 加工误差的性质	26
2.5.2 分布曲线法	26
2.5.3 点图分析法	31
2.6 保证和提高加工精度的措施	33
2.6.1 减小或消除原始误差	33
2.6.2 补偿或抵消原始误差	34
2.6.3 转移原始误差	34
2.6.4 分化或均化原始误差	35
习题与思考题	36
第3章 机械加工表面质量及其改善措施	39
3.1 概述	39
3.1.1 表面质量的概念	39
3.1.2 表面质量对机器使用性能的影响	40
3.2 加工表面粗糙度及其改善措施	42
3.2.1 切削加工后的表面	42
3.2.2 磨削加工后的表面	44
3.3 表面物理力学性能的影响及改进措施	45
3.3.1 表面层的冷作硬化	46
3.3.2 表面层的金相组织变化	49
3.3.3 表面层的残余应力	52
3.3.4 表面强化工艺	55
3.4 机械加工中的振动	57
3.4.1 机械加工中的强迫振动	57
3.4.2 机械加工中的自激振动	58
3.4.3 机械加工中振动的控制	61
习题与思考题	63
第4章 机械加工工艺规程的设计	64
4.1 机械加工的基础知识	64
4.1.1 生产过程、工艺过程与工艺系统	64
4.1.2 生产纲领和生产类型	66
4.1.3 工件的基准	68
4.2 机械加工的工艺规程	69
4.2.1 机械加工工艺规程及其作用	69
4.2.2 工艺规程的格式	70

4.2.3 工艺规程设计的内容及步骤	72
4.3 工艺审查和毛坯选择	72
4.3.1 零件的工艺性分析	72
4.3.2 毛坯的选择	74
4.4 机械加工工艺路线的制订	75
4.4.1 定位基准的选择	75
4.4.2 零件表面加工方法的选择	78
4.4.3 加工阶段的划分	81
4.4.4 加工顺序的安排	81
4.4.5 工序的集中与分散	83
4.5 机械加工的工序设计	83
4.5.1 机床及工艺装备选择	84
4.5.2 加工余量的确定	84
4.5.3 工序尺寸及公差确定	86
4.6 工艺尺寸链	87
4.6.1 工艺尺寸链的计算方法	87
4.6.2 工艺尺寸链的应用	89
4.7 时间定额及提高生产率的工艺途径	94
4.7.1 时间定额	94
4.7.2 提高生产率的工艺途径	95
4.8 工艺方案的比较与技术经济分析	96
4.8.1 机械加工工艺成本	96
4.8.2 工艺方案的经济性分析	97
4.9 计算机辅助工艺设计技术	98
4.9.1 概述	98
4.9.2 CAPP 系统的类型及应用	101
习题与思考题	103
第 5 章 机器装配工艺	106
5.1 概述	106
5.1.1 装配工作的基本内容	106
5.1.2 装配的组织形式	107
5.1.3 装配精度	108
5.2 装配方法	110
5.2.1 互换装配法	110
5.2.2 选择装配法	112

5.2.3 修配装配法	114
5.2.4 调整装配法	117
5.3 装配工艺规程的制定	119
5.3.1 制定装配工艺规程的原则及准备	119
5.3.2 制定步骤及内容	120
5.3.3 绘制装配单元系统图	121
习题与思考题	123
第6章 机床夹具设计	124
6.1 概述	124
6.1.1 夹具的组成	124
6.1.2 夹具的作用	125
6.1.3 夹具的分类	125
6.1.4 在夹具上加工的工件加工误差组成	126
6.2 工件的定位	127
6.2.1 工件定位的基本原理	127
6.2.2 定位元件的选择与设计	129
6.2.3 定位误差的分析与计算	137
6.2.4 提高工件在夹具中定位精度的主要措施	145
6.3 工件的夹紧	146
6.3.1 夹紧装置的组成及要求	146
6.3.2 夹紧力的确定	146
6.3.3 夹紧机构设计	149
6.3.4 夹紧机构动力装置	155
6.4 夹具在机床上的定位、对刀和分度	156
6.4.1 夹具在机床上的定位	156
6.4.2 夹具在机床上的对刀	157
6.4.3 夹具的分度装置	160
6.5 专用机床夹具的设计要求及设计方法	162
6.5.1 典型机床夹具设计要求	162
6.5.2 专用夹具设计方法及步骤	165
6.6 计算机辅助夹具设计	168
6.6.1 概述	168
6.6.2 CAFD的设计内容及方法	169
6.6.3 CAFD的典型系统	172
习题与思考题	173

第 7 章 先进制造技术	175
7.1 现代制造技术的发展	175
7.1.1 先进制造技术的形成和特征	175
7.1.2 先进制造技术分类	177
7.2 现代制造工艺技术	178
7.2.1 特种加工技术	178
7.2.2 快速成形技术	179
7.2.3 超精密加工技术	181
7.2.4 超高速加工技术	181
7.2.5 微纳技术	182
7.2.6 虚拟制造技术	183
7.3 先进生产模式	184
7.3.1 计算机集成制造系统	184
7.3.2 精良生产	186
7.3.3 敏捷制造	189
7.3.4 并行工程	192
习题与思考题	196
参考文献	197

第 1 章 绪 论

1.1 机械制造业的现状与发展

起初,制造主要由手工、畜力或极简单的机械来完成,加工方法和工具都比较简单,制造的手段和水平也比较低,主要为个体和小作坊生产方式。

由于经济发展、市场需求,以及科学技术的进步,制造手段和水平有了很大的提高,形成了大工业生产方式。生产发展与社会进步使制造产生了大分工,首先是设计与工艺的分工,单元技术的急速发展又形成了设计、装配、加工、监测、试验、供销、维修、设备、工具和工装等直接生产部门和间接生产部门,加工方法多种多样,除传统加工方法(如车削、钻、刨削、铣削和磨削等)之外,非传统加工方法(如电加工、超声波加工、电子束加工、离子束加工、激光束加工等)也有了很大的发展。同时,出现了以零件为对象的加工流水线和自动生产线,以部件或产品为对象的装配流水线和自动装配线,适应了大批大量生产的需求。

随着人类生活水平不断的提高和科学技术日新月异的发展,产品更新换代的速度不断加快,因此快速响应多品种单件小批生产的市场需求成为一个尖锐的矛盾。要快速响应市场需求,进行高效地单件小批生产,可借助于信息技术、计算机技术、网络技术,采用集成制造、并行工程、计算机仿真、虚拟制造、动态联盟、协同制造、电子商务等举措,将设计与制造高度结合,进行计算机辅助设计、计算机辅助工艺设计和数控加工,使产品在设计阶段就能预见在制造中可能出现的问题,进行协同解决。同时,可集全世界的制造资源来进行全世界范围内的合作生产,缩短了上市时间,提高了产品质量。

当前我国已是一个制造大国,世界制造中心将可能要转移到中国,这对我国制造业是一个机遇和挑战。要成为世界制造中心就必须掌握先进制造技术,控制核心技术,达到极高的制造技术水平,这样才能不受制于人,才能从制造大国转变为制造强国。要想做到这一点,就要把握时机,迎接挑战,变被动为主动,使我国成为真正具有国际水准的制造中心。

1.2 课程导引

1.2.1 课程的特点

机械制造工艺学课程是机械设计制造及其自动化专业的一门重要的专业基础

课程。课程设置的目的是为学生在机械制造技术方面奠定最基本的知识和技能基础。

该课程是一门实践性很强的课程,需有相应的实践性教学环节与之配合。

1.2.2 主要内容和要求

机械制造工艺学课程的主要内容和要求包括以下几个方面:

(1) 掌握机械制造工艺的基本理论、工艺过程设计和工序设计的知识,具备制定机械加工工艺规程的能力。

(2) 掌握夹具设计中的定位原理、典型定位方式和定位元件、定位误差的分析与计算;以及常用的夹紧机构和动力装置;了解机床夹具设计要求、设计方法和具体的设计步骤。

(3) 理解加工精度的基本概念,掌握影响加工精度的各种原始误差因素及加工误差的统计分析方法,了解保证和提高加工精度的各种工艺措施。

(4) 了解机械加工表面质量的含义及其对机械使用性能的影响,掌握加工表面几何形状特征及其改善措施,掌握表面物理力学性能变化及其改善措施,了解机械加工中的振动及其控制方法。

(5) 掌握装配的基本概念、装配精度和影响装配精度的主要因素,学会建立装配尺寸链的方法,了解装配工艺规程的制定内容。

(6) 了解机械制造技术的新发展。

1.2.3 学习方法

结合实践环节,按照生产环节的要求理解、学习理论知识。

“优质、高效、低成本”是指导机械制造技术工作的基本原则。机械制造人员的任务就是要在给定的生产条件下,按照预定的供货日期要求,最经济地制造出具有规定质量要求的机器。学习过程中应以此为主线联系各部分内容。

习题与思考题

- 1-1 简述我国制造业的发展现状。
- 1-2 简述制造业的发展趋势。
- 1-3 机械制造工艺学的研究对象有哪些?

第2章 机械加工精度及其控制

2.1 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加工精度和加工表面质量两大方面,本章的任务是研究机械加工精度及其控制问题,它是机械制造工艺学的主要研究内容之一。

2.1.1 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、形状和表面间相互位置)与理想几何参数之间的符合程度。符合程度越高,加工精度越高。在机械加工过程中,由于各种因素的影响,加工出来的零件不可能与理想的要求完全符合。

加工误差是加工后零件的实际几何参数(尺寸、形状和表面间相互位置)与理想几何参数之间的偏离程度。从保证产品的使用性能分析,没有必要将每个零件都加工得绝对精确,可以有一定的加工误差。

加工精度和加工误差是从两个不同的角度来评价加工零件的几何参数,加工精度的高低是通过加工误差的大小来体现的。所谓保证和提高加工精度,实际上就是限制和降低加工误差。

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,这三者是有机关联的,通常当尺寸精度要求高时,其几何形状精度和相互位置精度也相应地要求高。

一般情况下,零件的加工精度越高,加工成本相对地越高,生产效率则相应地降低。这要求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。工艺人员应根据设计要求、生产条件等采取适当的工艺方法,在保证加工误差不超过公差允许范围的前提下,尽量地提高生产效率和降低生产成本。

在机械加工中,零件尺寸、几何形状和表面间相互位置的形成,归结到一点,就是取决于工件和刀具在切削运动过程中的相互位置关系,而工件和刀具又安装在夹具和机床上,并受到机床和夹具的约束,因此在机械加工过程中,机床、夹具、刀具和工件构成了一个完整的系统,称为工艺系统。加工精度的问题涉及整个工艺系统问题。工艺系统中的各种误差,在不同的具体条件下,以不同的方式和程度反映为加工误差。工艺系统误差是“因”,加工误差是“果”,因此,将工艺系统的误差

称为原始误差。

研究加工精度的目的,就是要分析原始误差的物理、力学本质,以及它们对加工精度的影响规律,设法控制加工误差,以获得预期的加工精度,需要时找出进一步提高加工精度的措施。

2.1.2 影响加工精度的因素

影响加工精度的因素,也就是影响工件和刀具相互位置的各种原因,在加工过程中,一般可将它们分为如下几种过程中的误差:

(1) 装夹误差。在装夹过程中,工件需在机床和夹具中正确定位,由于定位不可能绝对准确,则有可能产生定位误差,包括基准不重合误差和基准本身误差;另外,还可能产生因夹紧力过大而引起的夹紧变形误差。这些都是在装夹过程中可能产生的误差,称为装夹误差。

(2) 调整误差。在装夹工件后,需要对刀具进行调整,才能使工件和刀具之间保持正确的相对位置。由于调整不可能绝对准确,因而产生了调整误差(对刀误差)。

装夹误差、调整误差以及机床、刀具、夹具本身的制造误差在加工前已经存在。这类原始误差以及后面将要讲的原理误差统称为工艺系统的几何误差(静态误差)。

(3) 加工误差。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、受热变形和刀具的磨损,这些都将会影响在调整时已获得的工件和刀具之间的相对位置,造成各种加工误差,这类在加工过程中产生的原始误差,称为工艺系统的动态误差。

在加工过程中,必须要对工件进行测量,才能确定加工是否合格,工艺系统是否需要重新调整。任何测量方法和量具、量仪也不可能绝对准确。因此,测量误差也是引起加工误差的一种,由于它在加工过程中产生,故把它归为动态误差。

工件在毛坯制造、切削加工和热处理阶段力和热的作用下产生内应力,这将会引起工件的变形而产生加工误差。此外,由于采用了近似的成形加工方法加工,还将产生加工原理误差。

常见的各种原始误差如图 2-1 所示。

2.1.3 误差的敏感方向

切削过程中,由于各种原始误差的影响,刀具和工件的正确几何关系会遭到破坏,从而引起加工误差。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相同时,其对加工精度的影响最大。

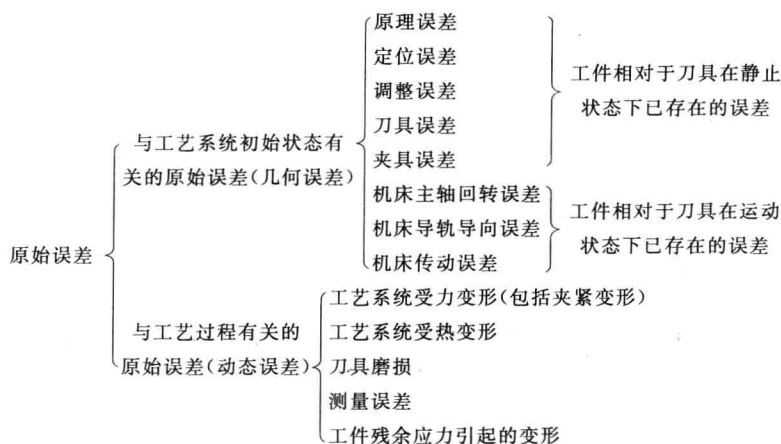


图 2-1 原始误差分类图

如图 2-2 所示车削外圆时，车削工件的回转轴心是 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，刀尖位移到 A' ， AA' 即为原始误差 δ ，它与 OA 的夹角为 ϕ ，由此引起工件加工后的半径由 $R_0 = OA$ 变为 $R = OA'$ ，故半径上（工序尺寸方向上）的加工误差

$$\begin{aligned}\Delta R &= OA' - OA \\ &= \sqrt{R_0^2 + \delta^2 + 2R_0\delta\cos\phi} - R_0 \\ &\approx \delta\cos\phi + \frac{\delta^2}{2R_0}\end{aligned}$$

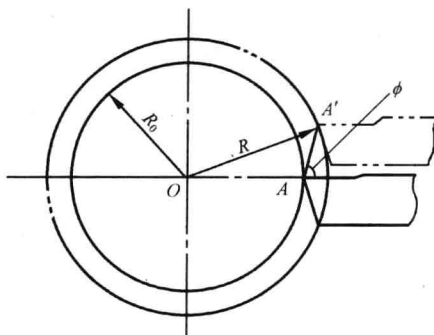


图 2-2 误差敏感方向示意图

可见，当原始误差的方向为加工表面法线方向时，引起的加工误差最大；当原始误差的方向为加工表面切线方向时，引起的加工误差最小。为了便于分析原始误差对加工精度的影响，将对加工精度影响最大的那个方向（通过刀刃的加工表面的法线方向）称为误差敏感方向。

2.1.4 研究加工精度的方法

研究加工精度的方法有两种：

(1) 单因素法。分析研究某一因素对加工精度的影响，为简单起见，分析时一般不考虑其他因素的同时作用。通过分析和实验，可得出它们的因果关系。

(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。从统计结果的各种图形中，分析判断误差的性质，找出误差规律，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使用。一般先用统计分析法找出误差的规律,初步判断产生误差的可能原因,然后用单因素法进行分析、实验,以确认或排除。

2.2 工艺系统的几何误差对加工精度的影响

2.2.1 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代替理论的成形运动或刀刃形状进行加工而产生的误差。

例如,用齿轮滚齿就具有两种原理误差。一种是为了滚刀制造方便,采用阿基米德蜗杆或法向直廓蜗杆代替渐开线蜗杆而产生的刀刃齿廓近似形状误差;另一种是拟合误差,即由于滚刀刀齿数有限,实际上加工出来的齿形是一条由微小折线段组成的曲线,而不是一条光滑的渐开线。

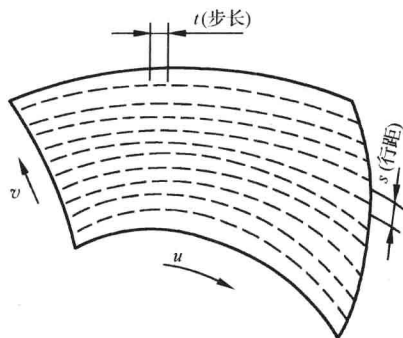


图 2-3 曲面数控加工示意图

再如在曲线或曲面的数控加工中,实际上是刀具连续地将一些小线段加工出来,以一段一段的空间直线去逼近理想空间曲线或曲面,如图 2-3 所示。这说明刀具相对于工件的成形运动是近似的。

采用近似的加工方法或近似的刀刃轮廓,虽然会带来加工原理误差,但往往可以简化工艺过程,简化机床和刀具的设计与制造,提高生产率,降低成本,但由此带来的原理误差必须控制在允许范围之内。

2.2.2 调整误差

工艺系统的调整有两种基本方法,不同的调整方法会引起不同的误差。

1. 试切法调整

单件小批生产中普遍采用试切法加工。加工时先在工件上试切,根据测得尺寸与要求尺寸的差值,由进给机构调整刀具与工件之间的相对位置,进行试切、测量、调整,直至符合规定的尺寸要求,再正式切削出整个待加工表面。这时引起的调整误差为:

(1) 测量误差。指量具本身的精度和测量方法、使用条件、测量者的主观因素等造成的误差,它们都影响调整精度,因而产生加工误差。

(2) 微量进给误差。加工时刀具与工件的相对位置,是由进给机构来调整的。由于进给机构的传动误差和微量进给时的爬行现象,进给机构产生位移误差,从而造成工件的加工误差。

2. 调整法加工

用调整法加工时,若调整过程本身是以试切法为依据,则上述影响试切法调整精度的因素对调整法加工同样有影响。此外,还有下列调整误差:

(1) 定程机构的相关误差。大批量生产中,广泛应用定程机构如行程挡块、靠模凸轮等来保证刀具与工件之间的相对位置,故定程机构的制造和调整误差,以及它们的受力变形和与它们配合使用的电、液、气动元件的灵敏度等,都将成为调整误差的来源。

(2) 样件或样板的误差。若采用样件或样板来决定刀具与工件之间的相对位置,则它们的制造误差、安装误差和对刀误差,以及它们的磨损等都对调整精度有影响。

(3) 测量有限试件造成的误差。工艺系统调整好以后,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的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,因而造成加工误差。

2.2.3 机床误差的影响

机床的制造误差、安装误差以及使用中的磨损,都直接影响工件的加工精度,其中主要是机床主轴回转运动、机床导轨直线运动和机床传动链的误差。

1. 机床主轴的回转运动误差

1) 主轴回转运动误差的概念及分类

机床主轴的回转运动误差,直接影响被加工工件的加工精度,尤其是在精加工时,机床主轴的回转误差往往是影响工件圆度误差的主要因素,如坐标镗床、精密车床和精密磨床,都要求主轴有较高的回转精度。

机床主轴做回转运动时,主轴的各个截面必然有它的回转中心。在主轴的任一截面上,主轴回转时若只有一点速度始终为零,则这一点即为理想回转中心。但在主轴的实际回转过程中,理想的回转中心是不存在的,而存在一个其位置时刻变动的回转中心,此中心称为瞬时回转中心,主轴各截面瞬时回转中心的连线称为瞬时回转轴线。主轴的回转运动误差,是指主轴的瞬时回转轴线相对其平均回转轴线(瞬时回转轴线的对称中心),在规定测量平面内的变动量。变动量越小,主轴回转精度越高;反之越低。

主轴的回转运动误差可分为端面圆跳动、径向圆跳动、角度摆动三种基本形

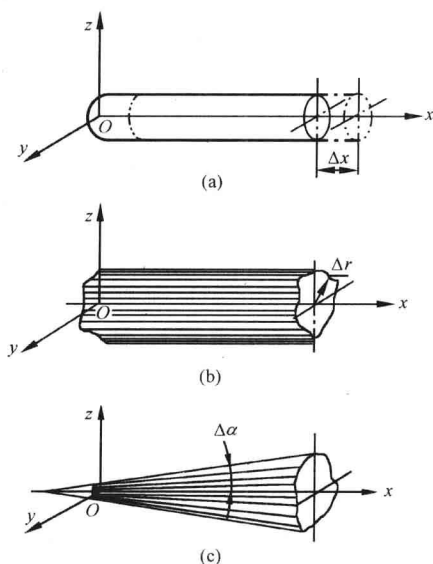


图 2-4 主轴回转误差示意图

(a) 端面圆跳动; (b) 径向圆跳动; (c) 角度摆动

式: ①端面圆跳动, 是指瞬时回转轴线沿平均回转轴线方向的轴向运动, 如图 2-4(a) 所示。它主要影响端面形状和轴向尺寸精度。②径向圆跳动, 是指瞬时回转轴线始终平行于平均回转轴线方向的径向运动, 如图 2-4(b) 所示。它主要影响圆柱面的精度。③角度摆动, 是指瞬时回转轴线与平均回转轴线成一倾斜角度, 但其交点位置固定不变的运动, 如图 2-4(c) 所示。在不同横截面内, 轴心运动误差轨迹相似, 它影响圆柱面与端面加工精度。上述是指单纯的主轴回转运动误差, 实际中误差常是上述几种运动的合成运动误差。

2) 主轴回转运动误差的影响因素分析

影响主轴回转运动误差的主要因素, 包括主轴的误差、轴承的误差、轴承的间隙、与轴承配合零件的误差、主轴系统的径向不等刚度和热变形等。对于不同类型的机床, 其影响因素也各不相同。对于工件回转类机床(如车床、外圆磨床), 因切削力的方向不变, 主轴回转时作用在支承上的作用力方向也不变化。此时, 主轴支承轴颈的圆度误差影响较大, 而轴承孔圆度误差影响较小, 如图 2-5(a) 所示。对于刀具回转类机床(如钻床、铣床、镗床), 切削力方向随旋转方向而改变。此时, 主轴支承轴颈的圆度误差影响较小, 而轴承孔的圆度误差影响较大。图 2-5(b) 所示为轴颈回转到不同位置时与轴承孔接触的情况。

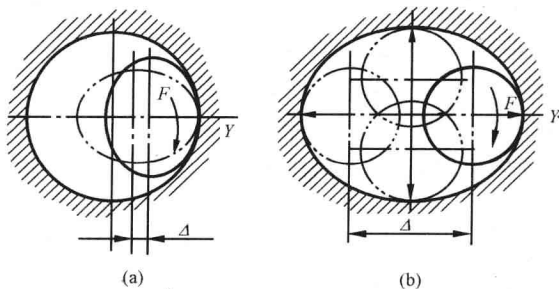


图 2-5 两类主轴回转误差影响示意图

(a) 工件回转类; (b) 刀具回转类