



卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

机械精度设计与检测

主 编 齐文春

副主编 华同曙 汪 彬 蒋全胜



科学出版社

卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

机械精度设计与检测

主 编 齐文春

副主编 华同曙 汪 彬 蒋全胜

编 委 刘鑫培 李晓燕 王玉勤

郭丽华 黄 静

科 学 出 版 社

北 京

版权所有 侵权必究

内 容 简 介

本书为了满足培养工程技术人才的需求,适应教育部2010年启动的“卓越工程师教育培养计划”,采用“卓越工程师培养机械类创新系列规划教材”的编写理念和模式而编写。

本书内容共分10章,包括绪论、测量技术基础、尺寸精度设计与检测、几何精度设计与检测、表面粗糙度与检测、量规设计基础、典型件结合的精度设计与检测、渐开线圆柱齿轮的精度设计与检测、尺寸链的精度设计、机械精度设计综合工程实例。本书编写时全部采用最新国家标准。

为使学生能较好地巩固和理解所学内容,除本书每章设置有思考题以外,还出版了便于学生解题和教师批阅的与本书配套使用的《机械精度设计与检测习题册》。

本书可为使用本书及配套习题册的任课教师提供多媒体课件及习题册参考答案。

本书可作为高等院校机械类或近机械类专业的相应教材,也可供相关工程技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计与检测/齐文春主编. —北京:科学出版社,2016.6

卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材

ISBN 978-7-03-046842-0

I. ①机… II. ①齐… III. ①机械-精度-设计-教材②机械元件-检测-教材
IV. ①TH122②TG801

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第001448号

责任编辑:邓 静 张丽花 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:霍 兵 / 封面设计:迷底书装

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>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016年6月第一次印刷 印张:20

字数:505 000

定价:48.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

版权所有,违者必究!未经本社许可,数字图书馆不得使用

举报电话:010-64034315; 010-64010630(传真)

《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》

组织委员会

主 任：芮延年 胡华强

委 员：（以姓名首字母为序）

陈 炜 冯志华 郭兰中 花国然 匡 敏 刘春节 刘 忠
秦永法 石怀荣 唐文献 王广勋 王树臣 谢志余 郁汉琪
曾亿山 张秋菊 朱 伟 周 海 左晓明

编写委员会

顾 问：闻邦椿（院士）

主 任：芮延年 陈 炜 张秋菊

副主任：（以姓名首字母为序）

郭兰中 刘会霞 刘 忠 秦永法 唐文献 谢志余 曾亿山
朱瑞富 左晓明

委 员：（以姓名首字母为序）

戴立玲 封士彩 高征兵 龚俊杰 顾 锋 顾 荣 管图华
何高清 侯永涛 华同曙 化春键 黄 娟 刘道标 刘 新
刘征宇 马伟民 毛卫平 倪俊芳 平雪良 齐文春 钱 钧
盛小明 宋昌才 孙 进 唐火红 田玉冬 王德山 王汉成
王建胜 卫瑞元 吴朝阳 解乃军 薛云娜 杨 莉 姚辉学
袁 浩 张 洪 张洪丽 张建梅 张兴国 仲高艳 周建华
朱益民 竺志大
秘 书：邓 静

总 序

“卓越工程师教育培养计划”是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》和《国家中长期人才发展规划纲要(2010—2020年)》的重大改革项目，也是促进我国由工程教育大国迈向工程教育强国的重大举措。旨在培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才，为国家走新型工业化发展道路、建设创新型国家和人才强国战略服务，对促进高等教育面向社会需求培养人才，全面提高工程教育、人才培养质量具有十分重要的示范和引导作用。

科学出版社以教育部“卓越工程师教育培养计划”为准则，以面向工业、面向世界、面向未来，培养造就具有工程创新能力强、适应经济社会发展需要的卓越工程技术人才为培养目标，组织有关专家、学者、教授编写了该套《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》。

该系列教材力求体现的最大特点是，在每本教材的编写过程中，根据授课内容，引入许多相关工程实践案例，这些工程实践案例具有知识性、典型性、启发性、真实性等特点，它可以弥补传统教材森严乏味的局限性，充分调动学生学习的积极性和创造性，引导学生拓宽视野、重视工程实践、培养解决实际问题的能力。通过编者精心收集组织的实际工程案例让学生明白为什么学习、学成能做什么，从而激发学生学习的内在动力和热情，使学生感到学有所用。

该系列教材除了主教材之外，还配套有多媒体课件，以后还将逐步完善建设配套的学习指导书、教师参考书，最终形成立体化教学资源网，方便教师教学，同时有助于学生更好地学习。

我们相信《卓越工程师教育培养机械类创新系列规划教材》的出版，将对我国普通高等教育的发展起到创新探索的推动作用，对机械工程人才的培养以及机械工业的发展产生积极有效的促进作用。

中国科学院院士、东北大学教授 闻邦椿

2015年4月28日

前 言

“机械精度设计与检测”课程即“互换性与测量技术基础”课程，是高等院校机械类、仪器仪表类和机电结合类各专业必修的主干技术基础课程，它是与机械工业发展紧密相连的基础学科。在教学中，本课程起着联系基础课及其他技术基础课与专业课的桥梁作用，也起着联系设计类课程与制造工艺类课程的纽带作用。它不仅将标准化领域的有关部分结合在一起，而且涉及机械设计、机械制造、质量控制、生产组织管理等许多方面。

为了满足培养工程技术人才的需求，适应教育部 2010 年启动的“卓越工程师教育培养计划”，本书采用“卓越工程师培养机械类创新系列规划教材”的编写理念和模式，旨在弥补传统教材的局限性，充分调动学生学习的积极性和创新性，激发学生学习的内在动机和热情，使学生感到学有所用，从而提高学生的实践能力和创新能力，培养具有国际竞争力的工程技术人才。

本书的编写理念和模式具有以下特点：

- (1) 在每章开始，用工程实例作为引子，提高学生的学习兴趣。
- (2) 在正文中设置工程案例，辅助学生理解抽象的理论知识。
- (3) 在主要章中都安排有一节，用工程案例综合本章的知识点，使学生能够学会运用理论知识解决实际问题。
- (4) 在最后一章中，用典型系统教会学生综合运用本书所学知识，以达到让学生“会运用”的最终目的。

为满足教学需求，作者在总结多年教学、科研和生产实践的基础上，吸取同类教材的优点及本学科国内外最新的教学和科研成果，精心编写了本书。

本书的内容特点如下：

- (1) 本书以精度设计与检测为主线贯穿各章节，注重知识的科学性和系统性，强调传授知识和设计能力培养的紧密结合。
- (2) 根据国家标准实时性很强的特点，本书全部采用最新国家标准。
- (3) 在内容安排上，本书包含了传统教材的基本教学内容，但各章内容相对独立，适用面广，既可用于多学时教学，也可用于少学时教学，便于教师根据专业的不同教学要求进行选用。
- (4) 本书为突出重点、理顺难点，使学生能够较好地巩固和理解所学内容，除每章末设置有思考题外，还出版了便于学生解题和教师批阅的与本书配套使用的《机械精度设计与检测习题册》。

为更好地配合本书的课程教学，作者还制作了本书的多媒体课件及习题册参考答案，可为使用本书的任课教师提供必要的教学资源。

本书由苏州科技大学齐文春(第1、4、7、10章)、常州大学华同曙(第2、3章)、常州大学李晓燕(第5章)、苏州大学汪彬(第6章)、苏州科技大学蒋全胜和巢湖学院王玉勤(第8章)、苏州大学刘鑫培(第9章)、苏州科技大学郭丽华(第10章)及西门子(苏州)公司黄静(提供部分工程案例及编写工作)共同编写。本书由齐文春担任主编,华同曙、汪彬、蒋全胜担任副主编,由齐文春负责统稿。

本书在编写过程中,苏州科技大学机械工程学院李华教授、王广勋院长给予了热情的指导和帮助,在此一并表示感谢!

限于作者的水平,书中难免有不足之处,恳请广大读者批评和指正。

作 者

2015年12月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.5 测量误差的数据处理	25
1.1 机械产品质量与精度设计	2	2.5.1 测量列中随机误差的处理	25
1.1.1 机械产品质量	2	2.5.2 测量列中系统误差的处理	29
1.1.2 机械精度设计	3	2.5.3 测量列中粗大误差的处理	30
1.2 互换性与几何量公差	5	2.5.4 测量误差的合成	30
1.2.1 互换性与公差的含义	5	2.6 测量误差的数据处理题	
1.2.2 互换性分类	6	示例	31
1.2.3 互换性原则的技术意义	7	思考题	34
1.2.4 保证互换性生产的三大技术措施	7	第 3 章 尺寸精度设计与检测	35
1.3 标准化与优先数系	8	3.1 极限与配合概述	36
1.3.1 标准和标准化	8	3.2 极限与配合的基本术语与定义	37
1.3.2 优先数和优先数系	9	3.2.1 尺寸方面的术语与定义	37
1.4 检测技术及其发展概述	10	3.2.2 偏差、公差方面的术语与定义	38
1.4.1 检测技术	10	3.2.3 配合方面的术语与定义	40
1.4.2 检测技术的发展概述	11	3.3 极限与配合标准的基本规定	43
思考题	12	3.3.1 配合制	43
第 2 章 测量技术基础	13	3.3.2 标准公差系列	44
2.1 测量的基本概念	14	3.3.3 基本偏差系列	46
2.2 长度、角度量值的传递	15	3.3.4 公差带与配合的标准化	54
2.2.1 长度基准	15	3.4 极限与配合标准的应用	57
2.2.2 长度量值传递系统	15	3.4.1 配合制的选用	57
2.2.3 量块	16	3.4.2 标准公差等级的选用	60
2.2.4 角度量值传递系统	19	3.4.3 配合种类的选用	62
2.3 测量方法与测量器具	19	3.4.4 未注公差尺寸的一般公差	64
2.3.1 计量器具的分类	19	3.5 尺寸精度设计示例	65
2.3.2 计量器具的基本技术性能指标	20	3.5.1 尺寸精度设计的基本步骤及应注意的问题	65
2.3.3 测量方法的分类	21	3.5.2 尺寸精度设计的案例求解	66
2.4 测量误差	22	3.6 光滑工件尺寸检验	68
2.4.1 测量误差的基本概念	22	3.6.1 检验的必要性	68
2.4.2 测量误差的来源	23	3.6.2 验收原则、安全裕度与验收极限的确定	69
2.4.3 测量误差的分类	23	3.6.3 计量器具的选择	71
2.4.4 测量精度的分类	24	思考题	74

第4章 几何精度设计与检测	75
4.1 几何公差概述	76
4.1.1 几何误差的产生及影响	76
4.1.2 几何公差的相关国家标准	77
4.1.3 几何公差的研究对象	77
4.1.4 几何公差和几何公差带的概念	79
4.2 几何公差的标注方法	81
4.2.1 几何公差标注代号	81
4.2.2 被测要素的标注方法	83
4.2.3 基准要素的标注方法	85
4.2.4 附加符号的标注方法	86
4.3 几何公差及其公差带特征	88
4.3.1 形状公差及其公差带特征	88
4.3.2 方向公差及其公差带特征	90
4.3.3 定位公差及其公差带特征	98
4.3.4 跳动公差及其公差带特征	102
4.3.5 线轮廓度公差和面轮廓度公差	105
4.4 公差原则	107
4.4.1 有关术语及定义	107
4.4.2 独立原则	109
4.4.3 包容要求(ER)	110
4.4.4 最大实体要求(MMR)	111
4.4.5 最小实体要求(LMR)	115
4.4.6 可逆要求(RR)	117
4.5 几何误差及检测	120
4.5.1 形状误差及其评定	120
4.5.2 位置误差及其评定	126
4.5.3 跳动误差及其评定	131
4.5.4 几何误差的检测原则	131
4.6 几何精度设计	133
4.6.1 几何公差项目的选择	134
4.6.2 公差原则的选择	135
4.6.3 基准的选择	136
4.6.4 几何公差值的选用	136
4.6.5 几何公差设计应用实例	142
思考题	143
第5章 表面粗糙度与检测	144
5.1 表面粗糙度概述	145
5.1.1 表面粗糙度的概念	145
5.1.2 表面粗糙度对机械零件性能的影响	145
5.2 表面粗糙度的评定	146
5.2.1 术语、定义	146
5.2.2 评定基准	147
5.2.3 评定参数	149
5.2.4 参数数值	151
5.3 表面粗糙度的标注	152
5.3.1 表面粗糙度的符号	153
5.3.2 表面粗糙度的代号及其标注方法	155
5.3.3 表面粗糙度设计标注示例	158
5.4 表面粗糙度的选用	159
5.4.1 评定参数的选用	159
5.4.2 参数值的选用	161
5.4.3 取样长度的选用	162
5.5 表面粗糙度的测量	162
5.5.1 比较法	163
5.5.2 光切法	163
5.5.3 针描法	164
5.5.4 干涉法	165
5.5.5 印模法	166
5.5.6 激光反射法	166
5.5.7 激光全息法	166
5.5.8 三维几何表面测量法	166
思考题	166
第6章 量规设计基础	167
6.1 光滑极限量规设计	168
6.1.1 光滑极限量规的应用和分类	168
6.1.2 极限尺寸判断原则(泰勒原则)	169
6.1.3 光滑极限量规的检验原理与结构形式	170
6.1.4 光滑极限量规的公差	171
6.1.5 光滑极限量规设计	172
6.2 功能量规设计	176
6.2.1 功能量规概述	176
6.2.2 功能量规设计	179
思考题	186

第 7 章 典型件结合的精度设计与

检测 187

7.1 滚动轴承配合的精度设计 188

7.1.1 滚动轴承概述 188

7.1.2 滚动轴承的精度等级及其 应用 191

7.1.3 滚动轴承和与其配合的 公差带 191

7.1.4 滚动轴承与孔、轴结合的精度 设计 194

7.2 键连接的精度设计与检测 199

7.2.1 键连接概述 199

7.2.2 平键连接的精度设计与 检测 201

7.2.3 矩形花键连接的精度设计与 检验 204

7.3 螺纹连接的精度设计与检测 208

7.3.1 螺纹的种类及使用要求 208

7.3.2 普通螺纹的基本牙型和主要 几何参数 209

7.3.3 普通螺纹几何参数误差对 互换性的影响 211

7.3.4 普通螺纹的精度设计 214

7.3.5 普通螺纹精度的检测 219

7.3.6 梯形螺纹公差 221

7.4 圆锥配合的精度设计与检测 227

7.4.1 圆锥配合概述 227

7.4.2 圆锥配合误差分析 229

7.4.3 圆锥公差与配合的选用 231

7.4.4 锥度与圆锥角的检测 239

思考题 240

第 8 章 渐开线圆柱齿轮的精度设计与

检测 241

8.1 齿轮概述 242

8.1.1 齿轮传动的主要使用要求 242

8.1.2 齿轮误差的主要来源 244

8.1.3 齿轮加工误差的分类 245

8.2 渐开线圆柱齿轮的精度检验

项目 246

8.2.1 轮齿同侧齿面偏差 246

8.2.2 径向综合偏差与径向跳动 249

8.2.3 齿厚偏差与公法线平均长度 偏差 250

8.3 渐开线圆柱齿轮精度标准 251

8.3.1 齿轮的精度等级 251

8.3.2 各项偏差允许值 252

8.4 齿轮副的精度检验项目和 公差 258

8.4.1 齿轮副精度 258

8.4.2 齿轮副侧隙及其确定 260

8.4.3 齿厚极限偏差的计算 260

8.5 齿轮坯的精度 263

8.5.1 确定基准轴线 263

8.5.2 齿坯公差的选择 264

8.5.3 齿轮齿面表面粗糙度 265

8.5.4 齿轮精度在图纸上的标注 266

8.6 圆柱齿轮的精度设计及示例 266

8.6.1 齿轮精度设计方法及步骤 266

8.6.2 齿轮精度设计示例 269

8.7 齿轮精度检测 272

8.7.1 齿圈径向跳动的测量 272

8.7.2 齿距的测量 272

8.7.3 齿廓偏差的测量 274

8.7.4 齿向和螺旋线偏差的测量 275

8.7.5 公法线长度的测量 275

8.7.6 齿厚的测量 276

8.7.7 单面啮合综合测量 277

8.7.8 双面啮合综合测量 277

思考题 278

第 9 章 尺寸链的精度设计 279

9.1 尺寸链的基本概念 280

9.1.1 尺寸链的有关术语 281

9.1.2 尺寸链的分类 282

9.2 尺寸链的建立 283

9.2.1 确定封闭环 284

9.2.2 查找组成环 284

9.2.3 画尺寸链图、判断增减环 285

9.3 尺寸链的计算 285

9.4 用完全互换法计算尺寸链 287

9.4.1 用完全互换法计算尺寸链的

基本方法 287

9.4.2 用完全互换法计算尺寸链的工程应用案例·····	287	10.1.1 装配图中确定极限与配合的方法及原则·····	296
9.5 用大数互换法计算尺寸链·····	290	10.1.2 精度设计中的误差影响因素·····	297
9.5.1 用大数互换法计算尺寸链的基本方法·····	290	10.1.3 装配图精度设计实例·····	298
9.5.2 用大数互换法计算尺寸链的工程应用案例·····	292	10.2 零件图中的精度设计·····	302
9.6 计算装配尺寸链的其他方法·····	293	10.2.1 零件图中精度确定的方法及原则·····	302
思考题·····	294	10.2.2 零件图精度设计实例·····	303
第 10 章 机械精度设计综合工程实例·····	295	思考题·····	309
10.1 装配图中的精度设计·····	296	参考文献·····	310

第1章 绪 论

机械产品主要是由具有一定几何形状的零、部件装配而成的。由于零、部件在加工、装配过程中存在加工误差和装配误差,这种误差就是产品的实际几何参数与设计给定的理想几何参数之间的偏离程度,可以用“公差”来控制这种偏离程度,即通过合理设计产品的精度来控制误差的大小,通常误差的大小与产品质量的高低及制造成本密切相关。因此,在设计机械产品时,不仅需要进行总体方案设计,运动设计,结构设计,强度、刚度计算,还要进行精度设计。研究机器的精度时,要处理好机器的使用要求与制造工艺的矛盾。解决的方法是规定合理的公差,并用检测手段保证其贯彻实施。由此可见,“公差”在生产中是非常重要的。

图 1-1 所示为单级圆柱齿轮减速器,它由箱体、箱盖、轴承盖、轴承、高速轴、低速轴、挡油环、大齿轮、小齿轮、油塞、定位销、调整垫片和各种螺栓等许多零部件组成,这些零部件是由不同的工厂和车间制造的。在产品结构设计完成以后,就要进行精度设计计算,确定并标注与精度有关的减速器装配技术要求,确定并标注与精度有关的零件技术要求,画出相应的工程图纸。制造厂按零件图纸技术要求进行加工制造并检验合格,装配时,将这些零件按图纸装配技术要求安装连接在一起,达到规定的功能要求,就构成一台减速器。在进行精度设计时,如果精度要求定得过高,减速器的制造成本将会很高;精度要求定得过低,减速器将达不到规定的功能要求。

小思考 1-1

在设计减速器时,结构设计完成以后,为什么要进行机械精度设计?机械精度设计包括哪些内容?

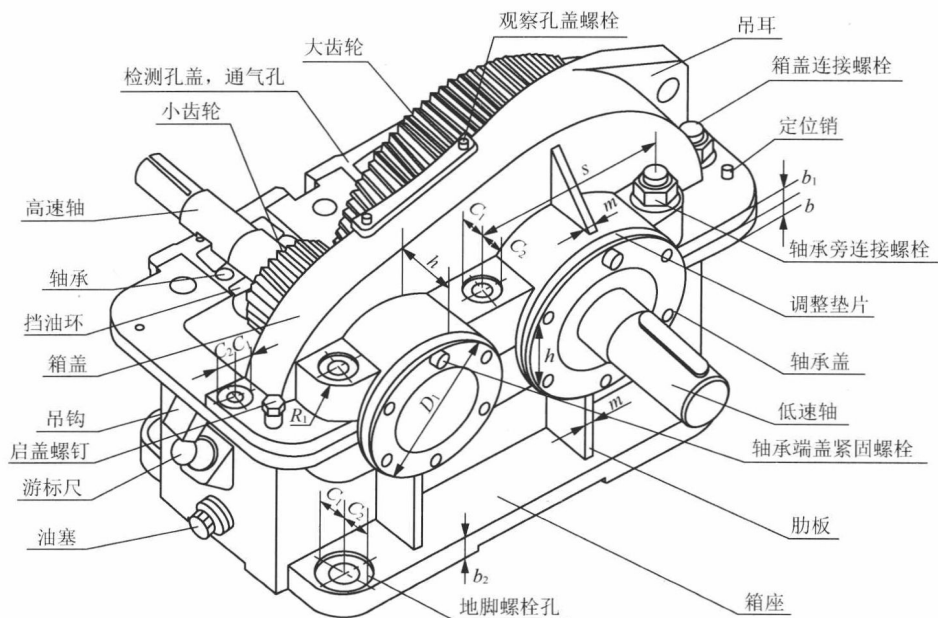


图 1-1 单级圆柱齿轮减速器

机械产品质量与精度设计是什么样的关系？机械精度设计包括哪些内容？机械精度设计的原则是什么？机械精度设计与互换性又是一种什么样的关系？互换性是一个什么样的概念？互换性在机械制造中有什么作用？如何检测产品的制造精度？答案就在本章。

本章知识要点 >>

- (1) 掌握机械精度设计的基本概念及机械产品精度设计的原则。
- (2) 掌握互换性的概念，了解互换性在机械制造中的重大意义。
- (3) 掌握优先数系及其构成的特点。
- (4) 了解标准化的意义及标准化与互换性的关系。
- (5) 了解质量保证和检测技术的发展概况。

兴趣实践 >>

观察产品装配或修配过程中(如自行车更换内外胎)，如何选用零件，及相同规格不同零件对产品装配质量的影响效果。

探索思考 >>

如机床设计生产过程中，为什么同样传动方案和结构设计的机床，会有精密机床与普通机床之分？它与机床的机械精度设计存在什么样的内在关系？

预习准备 >>

请预先复习以前学过的投影几何与机械制图、金属材料以及其他工程材料的物理力学性能、金属切削加工的基本知识、机械原理与机械设计等基础知识。

1.1 机械产品质量与精度设计

1.1.1 机械产品质量

现代机电产品的质量特性指标包括功能、性能、工作精度、耐用性、可靠性、效率等。机械精度是衡量机电产品性能最重要的指标之一，也是评价机电产品质量的主要技术参数。

机械产品质量是指机械产品满足明确和隐含要求的能力和特性的总和，包括三个方面：

(1) 最终产品质量，即成品质量。是实体质量状态与产品设计技术性能指标的符合程度以及是否满足设计要求的具体表现。

(2) 过程质量，即半成品质量。它反映了生产系统的技术状态水平与生产图样、技术文件等的一致性。

(3) 质量体系运行质量。它是一项保证最终产品质量和过程质量的重要质量活动，是改善和提高最终产品质量和过程质量的有效手段。

产品质量是通过制造过程实现的,制造质量控制是机电产品质量保证的重要环节,其主要任务是将机电产品零部件的加工误差控制在允许的范围内,而允许范围的确定则是机械精度设计的任务。

机械制造质量包含几何参数方面的质量和物理、力学等参数方面的质量。物理、力学等参数方面的质量是指机械加工表面因塑性变形引起的冷作硬化、因切削热引起的金相组织变化和残余应力等。机械加工表面质量(表面结构)是指表面层物理力学性能参数及表面层微观几何形状误差。

几何参数方面的质量即几何量精度,通常包括构成机械零件几何形体的尺寸精度、几何形状精度、相对位置精度和表面粗糙度。几何量精度是指零件经过加工后几何参数的实际值与设计要求的理论值相符合的程度,而它们之间的偏离程度则称为加工误差。加工精度在数值上通常用加工误差的大小来反映和衡量。零件的几何形体一定时,误差越小则精度越高,误差越大则精度越低。

1.1.2 机械精度设计

1. 机械产品设计的过程

任何机械产品从有市场需求开始到使用报废的全生命周期过程是:市场需求→概念设计→工程设计→生产制造→使用维修→报废。

根据市场使用需求在进行机械产品的概念设计之后,转入产品的工程设计阶段,进行产品的系统设计、参数设计和精度设计。

(1)系统设计:主要是根据产品的功能和性能要求确定机械产品的基本工作原理和总体布局,以保证总体方案的合理性与先进性。机械系统的系统设计主要是运动学设计,如传动系统、位移、速度、加速度等,故又称为运动设计,主要由机械原理课程研究。

(2)参数设计:主要是根据产品的功能和性能要求确定机构各零件的几何结构和几何尺寸,即产品几何形体的几何要素结构参数标称值(或公称值),故又称结构设计。结构设计的主要依据是保证系统的能量转换和工作寿命,如零件结构、强度、刚度、寿命等,由机械设计课程研究。

(3)精度设计:主要是根据产品的使用性能要求和加工制造误差确定机械各零件几何要素的允许误差,因为允许误差称为公差,所以精度设计也称公差设计。精度设计的主要依据是产品性能对机械的静态和动态精度的要求及制造的经济性。因为任何加工方法都不可能没有误差,而零件几何要素的误差都会影响其功能要求的实现和性能的好坏,允许误差的大小又与生产的经济性和产品的无故障使用寿命密切相关,因此,精度设计是机械设计不可分割的重要组成部分,是机械工程永恒的主题。本书的基本内容便是研究机械产品的几何精度设计。

2. 机械精度设计的任务

机械精度设计的主要任务如下。



案例 1-1

对一台数控精密机床进行测绘仿制时,在进行了大量的分析解剖工作以后,终于制造出工作原理相同、机械结构相同、主要零部件的材料也相同的仿制样机,但其能达到的加工精度却与原型机有较大的差距。

问题:

(1)为什么仿制样机的加工精度与原型机有较大的差距?

(2)仿制样机在机械精度设计方面可能存在哪些问题?

(1) 确定并标注与精度有关的产品或部件装配技术要求。在机械产品的总装配图上和部件图上, 确定各零件配合部位的配合代号和其他技术要求, 并将配合代号和相关技术要求标注在装配图上。

(2) 确定并标注与精度有关的零件技术要求。确定组成产品的各零件上各处尺寸公差、形状和位置公差、表面粗糙度以及典型表面(如键、圆锥、螺纹、齿轮)公差要求等内容, 并在零件图样上进行正确标注。

3. 机械精度设计的基本原则

机械精度设计的基本原则是经济地满足功能需求。精度设计时, 应考虑使用功能、精度储备、经济性、互换性、协调匹配等主要因素。

1) 满足使用功能要求

机械零件上的几何要素基本上可以分为结合要素、传动要素、导引要素、支承要素和结构要素等几类。不同几何要素具有不同的功能要求, 例如, 结合要素要求实现一定的配合功能, 应根据不同松紧的功能要求选择配合精度; 传动要素要求实现一定的传递与运动和载荷功能, 一般有较高的几何精度和粗糙度要求; 导引要素要求实现一定的运动功能, 其工作表面一般有形状精度要求; 支承要素主要是实现承载功能, 一般有平面度和粗糙度要求; 结构要素是构成零件外形的要素, 精度要求一般较低。

在进行零件的几何量精度设计时, 首先要对构成零件的几何要素的性质和功能进行分析, 然后对各要素给出不同类型和大小的公差, 保证功能要求的满足。

2) 足够的精度储备

零件的几何量精度越低, 其工作寿命也相应越短, 因此, 在评价精度设计的经济性时, 必须考虑产品的无故障工作时间, 适当提高零件的几何量精度, 以获得必要的精度储备。

3) 良好的经济性

在进行几何精度设计时, 首先要保证产品的使用要求, 在此前提下, 还要考虑产品的经济性, 即要经济地满足使用要求, 也称为经济性原则。从精度的角度来说, 设计时应选用满足使用要求的最低精度等级, 以使生产过程中有关几何参数具有较大的制造公差, 从而达到降低制造难度和制造成本的目的。

4) 满足互换性要求

满足互换性要求是现代化工业生产的一个基本原则, 也是现代化生产中一项普遍遵守的重要技术经济原则, 称为互换性原则。目前, 互换性原则已经在各个行业被广泛采用。在机械制造中, 遵循互换性原则, 大量使用具有互换性的零部件, 不仅能有效保证产品质量, 而且还能提高劳动生产率, 降低制造成本。

5) 精度匹配

在机械总体精度设计的基础上进行结构精度设计, 需要解决总体精度要求的恰当和合理分配问题, 也称为匹配性原则。精度匹配就是根据各个组成环节的不同功能和性能要求, 分别规定不同的精度要求, 分配不同的精度, 并且保证相互衔接和适应。

4. 机械精度设计的方法

几何精度设计的方法主要有类比法、计算法和试验法三种。

1) 类比法

类比法就是与经过实际使用证明合理的类似产品上的相应要素相比较, 确定所设计零件

几何要素的精度。

采用类比法进行精度设计时,必须正确选择类比产品,分析它与所设计产品在使用条件和功能要求等方面的异同,并考虑到实际生产条件、制造技术的发展、市场供求信息等多种因素。

采用类比法进行精度设计的基础是资料的收集、分析与整理。

类比法是大多数零件几何要素精度设计采用的方法。类比法亦称经验法。

2) 计算法

计算法就是根据由某种理论建立起来的功能要求与几何要素公差之间的定量关系,计算确定零件要素的精度。

例如,根据液体润滑理论计算确定滑动轴承的最小间隙;根据弹性变形理论计算确定圆柱结合的过盈;根据机构精度理论和概率设计方法计算确定传动系统中各传动件的精度等。

目前,用计算法确定零件几何要素的精度,只适用于某些特定的场合。而且,用计算法得到的公差,往往还需要根据多种因素进行调整。

3) 试验法

试验法就是先根据一定条件,初步确定零件要素的精度,并按此进行试制。再将试制产品在规定的使用条件下运转,同时,对其各项技术性能指标进行监测,并与预定的功能要求相比较,根据比较结果再对原设计进行确认或修改。经过反复试验和修改,就可以最终确定满足功能要求的合理设计。

试验法的设计周期较长且费用较高,因此主要用于新产品设计中个别重要因素的精度设计。

迄今为止,几何精度设计仍处于以经验设计为主的阶段。大多数要素的几何精度都是采用类比的方法凭实际工作经验确定的。

计算机科学的兴起与发展为机械设计提供了先进的手段和工具。但是,在计算机辅助设计(CAD)的领域中,计算机辅助公差设计(CAT)的研究才刚刚开始。其中,不仅需要建立和完善精度设计的理论与精度设计的方法,而且要建立具有实用价值和先进水平的数据库以及相应的软件系统。只有这样才可能使计算机辅助公差设计进入实用化的阶段。

案例 1-1 分析

(1) 仿制样机能达到的加工精度主要取决于该样机主要零部件的机械设计制造精度,各零部件之间的精度匹配性,通常机械精度的合理确定涉及的因素较为复杂,有时需要做大量的实验,由于缺少必要的技术支撑,通常仿制样机不容易达到原型机的精度要求。

(2) 仿制样机在机械精度设计方面可能存在的问题主要有:主要零部件的尺寸精度设计是否合理?形状与位置精度设计是否合理?装配尺寸精度设计是否合理?表面粗糙度设计是否合理?

1.2 互换性与几何量公差

1.2.1 互换性与公差的含义

1. 互换性的含义

互换性是指在同一规格的一批零件或部件中任取一件,不经任何选择、修配或调整,就能装在机器或仪器上并满足原定使用功能要求的特性。例如,机器或仪器上掉了一个螺钉,

找相同的规格买一个装上就行了；电灯泡坏了，买一个相同规格的安上即可；计算机、自行车、缝纫机、手表、汽车、拖拉机及机床中某个机件磨损了，换上一个新的就行。上述这些零件或部件就具有互换性。若零部件具有互换性，则应同时满足两个条件：

- (1) 不需任何选择、修配或调整便能进行装配或维修更换。
- (2) 装配或更换后能满足原定的使用性能要求。

2. 公差的含义

在加工零件的过程中，由于各种因素的影响，零件各部分的尺寸、形状、方向和位置以及表面粗糙程度等几何量难以达到理想状态，总是有大或小的误差。而从零件的使用功能看，不必要求零件几何量制造得绝对准确，只要求零件的几何量在某一规定的范围内变动，即保证同一规格零部件彼此接近。通常把这个允许几何量变动的范围称为几何量公差。几何量公差主要是指机械零件的尺寸、几何形状、方向、相互位置公差以及表面粗糙度。

为了保证零件的互换性，要用公差来控制误差。由于零件在加工时不可避免会产生误差，因此设计时要按标准规定公差，将公差标注在图样上，把加工完成的零件误差控制在规定的公差范围之内，这样就可以使零件具有互换性。设计者的任务就是要正确地确定公差，并把它在图样上明确地表示出来。公差是机械精度设计的具体数值体现，是互换性的保证。在满足功能要求的前提下，公差应尽量规定得大些，以获得最佳的技术经济效益。

1.2.2 互换性分类

1. 功能互换性和几何参数互换性

按照使用要求，互换性可分为功能互换性与几何参数互换性。

1) 功能互换性

功能互换性是指产品在力学性能、物理性能、化学性能等方面的互换性，如强度、刚度、硬度、使用寿命、抗腐蚀性、导电性等，又称广义互换性。产品功能性能不仅取决于几何参数互换性，而且还取决于其物理、化学和力学性能等参数的一致性。功能互换性往往着重于保证除尺寸配合要求以外的其他功能和性能要求。

2) 几何参数互换性

几何参数互换性是指机电产品的同种零部件在几何参数(包括尺寸、几何形状、方向、相互位置和表面粗糙度)方面能够彼此互相替换的性能，属于狭义互换性。

机械制造领域的互换性通常包括产品及其零部件几何参数的互换性和功能互换性，本课程仅研究几何参数的互换性。

通常，把仅满足可装配性要求的互换性称为装配互换性，而把满足各种使用功能要求的互换性称为功能互换性。

2. 完全互换与不完全互换

按照互换程度和范围，互换性分为完全互换和不完全互换。

1) 完全互换(绝对互换)

完全互换是指同一规格的零部件，在装配或更换时，既不需要选择，也不需要任何辅助加工与修配，装配后就能满足预定的使用功能及性能要求。完全互换常用于厂际协作及批量生产。螺钉、螺母、键、销等标准件的装配大都属于完全互换。

2) 不完全互换(有限互换)

不完全互换允许零部件在装配前可以有附加选择，如预先分组挑选，或者在装配过程中