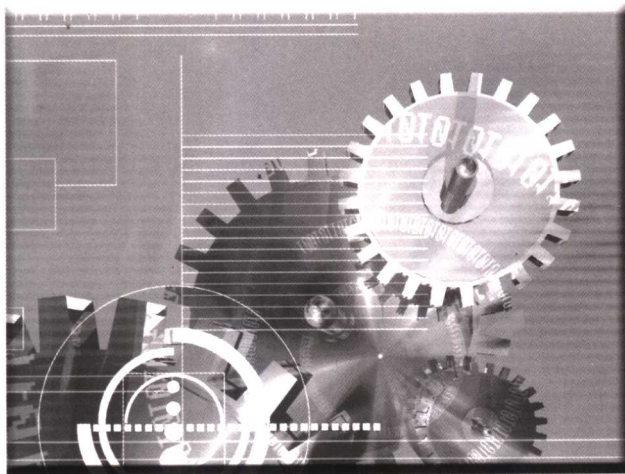




中国机械工程学会
机械工程师继续教育丛书

机械精度设计与检测

何永熹 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

中国机械工程学会
机械工程师继续教育丛书

机械精度设计与检测

何永熹 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计与检测 / 何永熹编著. —北京:国防工业出版社, 2006. 3

(机械工程师继续教育丛书)

ISBN 7-118-04293-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 161042 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 23 字数 409 千字

2006 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 35.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

序

本世纪前 20 年是我国经济社会发展的重要战略机遇期。在这样一个关键历史时期,制造业扮演着重要的角色。制造业作为国民经济和国家安全的物质主体和支柱产业,是科学技术的基本载体,是国民经济高速增长的发动机,是国家竞争力的重要体现。

针对制造业全球化挑战和制造科学与技术的发展趋势以及我国制造业存在的技术创新能力不强、制造技术基础薄弱、技术创新体系尚未形成的问题,我国制定了制造业必须依靠科技进步,开拓出一条资源消耗少、环境污染轻、技术含量高的制造业发展道路,从制造大国走向制造强国的发展目标。为实现这一目标,成为制造强国、接纳国际产业转移,需要大批高水平的科技人才,需要大批熟悉国际国内市场、具有现代管理知识和能力的企业家,需要大批能熟练掌握先进技术、工艺和技能的高级技能人才。为此,中国机械工程学会制定了制造业工程技术人员继续教育规划和继续教育科目指南,开展机械工程师技术资格认证并着手启动了机械工程师国际互认工作,得到了社会的认可和支持。

中国机械工程学会和教育部考试中心合作,成功地在全国开展了机械工程师综合素质和技能考试,现在又同国防工业出版社合作,组织编写了《机械工程师继续教育丛书》。本丛书主要是根据中国机械工程学会制定的《继续教育科目指南》以及《机械工程师水平资格考试大纲》(试行)的要求编写,结合相关领域的技术发展特点,突显“实用技术”,注重学习能力、协同能力、创新意识与能力和职业技能培养。以期更好的为广大工程技术人员服务。

中国机械工程学会副理事长兼秘书长



2005 年 2 月 1 日

前 言

随着我国机械工业的迅速发展,工程技术人员所具备的机械产品几何精度设计、制造和检验等方面的知识及经验已经成为制约我国机械产品设计能力、制造质量及技术水平进一步提高的关键因素。工程技术人员了解国际相关领域的发展状况,理解先进的机械几何精度理论知识,掌握正确的机械几何精度设计、制造和检验方法,对吸收引进先进技术,提高机械产品质量和技术水平,增强产品市场竞争能力是至关重要的。

随着科学技术的发展和生产水平的提高,对机械产品功能和性能提出了越来越高的要求,机械产品几何精度对机械产品技术水平和质量水平的影响越来越突出。机械产品几何精度研究和设计、制造、检验实践逐渐发展成为一门独立的学科。近十年来,机械几何精度方面的基础理论和实践都得到了迅速的发展,需要工程技术人员及时更新信息,掌握新的标准和方法。

近几年来,在机械产品几何精度规范、几何量检测等方面,我国在引进和采用国际先进理论、标准的同时,结合本国的生产实践,制定和颁布了许多标准和指导性技术文件,从而形成了比较完整的、与国际标准相应的国家标准体系。尽管现在还存在部分缺陷和矛盾,但是为我国的机械工业提高质量和技术水平奠定了坚实的基础。全面贯彻国家标准,使之在生产实践中得到正确、合理、灵活的应用已成为当务之急。

本书以培训提高机械工程技术人员从事几何精度设计、制造、检验和标准化等工作的能力为编写目的,以机械几何精度设计和检验的系统理论为主线,以机械工程技术人员应该掌握的知识和方法为内容,从设计理论、应用方法和标准规范等主要方面系统地介绍了机械几何精度的专业知识和方法。

本书从生产和工程技术人员工作的实际出发,在名词概念、标注规范、数值引用、设计方法及标准应用等部分内容上与国家标准或指导性技术文件存在差异,如线性尺寸精度、角度尺寸精度、尺寸链计算、螺纹精度、光滑极限量规和功能量规设计等。部分差异是对标准存在的缺陷或矛盾的修正,部分差异是对标准的灵活应用,部分差异是对标准的变通理解,部分差异是对标准的补充,还有

部分差异是因为采用旧标准造成的,其原因是标准间不协调配套,在生产实际中新标准无法使用而继续采用旧标准。读者在阅读这些内容时可以参考相关的国家标准或指导性技术文件。

本书是在作者长期从事几何精度设计与几何量检测教学、工程技术人员培训考核、标准宣贯等工作的基础上编著而成的。希望本书能对从事机械产品设计、制造、检验和标准化工作的工程技术人员,以及将来从事机械工程技术工作的高等学校学生有所帮助,并热忱欢迎读者的批评指教。

何永熹

2006年1月

目 录

第一章 几何精度基础	1
1.1 几何精度的基本概念	1
1.1.1 几何精度的作用	1
1.1.2 几何精度设计的基本原则	4
1.1.3 几何精度设计的主要方法	6
1.1.4 几何精度的表达	7
1.1.5 几何精度的标注	8
1.1.6 几何精度的实现与检测	8
1.2 互换性与标准化的基本原理	9
1.2.1 互换性	9
1.2.2 优先数系	11
1.2.3 标准化	13
1.3 几何规范	15
1.3.1 几何要素	15
1.3.2 基本几何精度	20
1.3.3 几何技术规范	21
第二章 表面精度	23
2.1 表面缺陷	23
2.1.1 表面缺陷的特点	23
2.1.2 表面缺陷的分类	24
2.1.3 表面评定区域和基准面	25
2.1.4 表面缺陷的参数	25
2.2 表面粗糙度	26
2.2.1 表面粗糙度的特点	26
2.2.2 基本术语	27
2.2.3 表面粗糙度评定参数	29
2.2.4 表面粗糙度图样表示	31
2.2.5 表面粗糙度的设计	32

2.2.6	新国家标准与现行国家标准的差异	35
2.3	表面波纹度	36
2.3.1	表面波纹度特征	36
2.3.2	表面波纹度参数	36
第三章	尺寸精度	38
3.1	线性尺寸精度	38
3.1.1	尺寸	38
3.1.2	尺寸偏差	40
3.1.3	尺寸公差和尺寸公差带	41
3.1.4	统计尺寸公差	42
3.2	极限制(孔、轴公差)	42
3.2.1	标准公差	42
3.2.2	基本偏差	43
3.2.3	公差带代号与标注	44
3.2.4	优先、常用和一般公差带	45
3.2.5	一般公差	46
3.3	角度尺寸精度	47
3.3.1	角度尺寸	47
3.3.2	角度公差	47
3.3.3	一般公差	48
3.4	圆锥公差	49
3.4.1	基本术语	49
3.4.2	圆锥公差的表示	51
第四章	形状与位置精度	55
4.1	概述	55
4.1.1	形位误差	55
4.1.2	形位公差	55
4.1.3	形位公差带	57
4.2	形位公差的图样表示	59
4.2.1	形位公差框格	59
4.2.2	被测要素的标注	60
4.2.3	基准要素的标注	62
4.3	形位公差与公差带定义	65
4.3.1	形状公差	65
4.3.2	任意形状要素的形位公差	68

4.3.3	定向公差	70
4.3.4	定位公差	76
4.3.5	综合公差(跳动公差)	79
4.4	延伸公差带	82
4.5	形位公差数值	83
4.6	形位公差设计	83
第五章	公差原则	85
5.1	基本术语	85
5.1.1	作用尺寸	85
5.1.2	实效状态	88
5.1.3	边界	90
5.2	独立原则	91
5.3	相关要求	91
5.3.1	包容要求	91
5.3.2	最大实体要求	93
5.3.3	最小实体要求	96
5.3.4	可逆要求	98
第六章	光滑结合精度	101
6.1	孔、轴结合	101
6.1.1	基本概念	102
6.1.2	配合制	108
6.1.3	配合精度设计	111
6.2	滚动轴承结合	119
6.2.1	滚动轴承配合尺寸的公差	119
6.2.2	滚动轴承配合件的公差	120
6.2.3	滚动轴承与配合件的配合	121
6.2.4	滚动轴承与配合件配合的表示	123
6.3	圆锥结合	123
6.3.1	圆锥配合的术语	123
6.3.2	圆锥配合的一般规定	126
6.3.3	结合圆锥公差注法	127
第七章	螺纹精度	129
7.1	普通螺纹精度	129
7.1.1	螺纹参数术语	129
7.1.2	影响螺纹结合的几何参数	131

7.1.3	作用中径及螺纹的旋合条件	132
7.1.4	螺纹精度	133
7.1.5	合格条件	134
7.1.6	螺纹精度选用	135
7.1.7	普通螺纹标记	136
7.2	螺旋传动精度	137
7.2.1	几何特征	137
7.2.2	功能要求	138
7.2.3	精度规范	139
7.2.4	丝杠标记	141
第八章	齿轮精度	143
8.1	概述	143
8.1.1	齿轮与齿轮传动	143
8.1.2	齿轮传动的功能要求	144
8.1.3	齿轮精度要求	145
8.2	齿轮精度	145
8.2.1	齿廓精度	146
8.2.2	齿距精度	147
8.2.3	齿向精度	149
8.2.4	综合精度	150
8.3	齿轮配合精度	153
8.3.1	侧隙	153
8.3.2	齿厚	154
8.3.3	公法线	155
8.4	齿轮安装精度	156
8.5	接触斑点	157
8.6	齿轮精度规范	158
8.6.1	精度项目	158
8.6.2	精度等级及公差值	161
8.7	齿轮精度设计	161
8.7.1	精度等级的选用	161
8.7.2	精度项目的选用	163
8.7.3	配合的选用	164
8.7.4	标注示例	165
8.8	齿坯精度	166

第九章 尺寸链	168
9.1 基本概念	168
9.1.1 尺寸链	168
9.1.2 环	170
9.2 建立尺寸链	170
9.3 尺寸链关系	172
9.3.1 尺寸关系	172
9.3.2 精度关系	173
9.4 尺寸链计算	176
9.4.1 校核计算	177
9.4.2 中间计算	180
9.4.3 设计计算	182
第十章 几何检测基础	186
10.1 检测过程	186
10.1.1 检验	186
10.1.2 测量	186
10.1.3 质量认证	188
10.2 测量基准	189
10.2.1 长度单位定义和基准	189
10.2.2 量值传递与溯源性	190
10.2.3 量块	191
10.2.4 线纹尺	194
10.2.5 多面棱体与角度量块	195
10.3 测量方法	197
10.3.1 测量法	197
10.3.2 测量器具	199
10.3.3 测量器具的主要技术性能指标	200
10.4 测量误差	202
10.4.1 测量误差的来源	202
10.4.2 测量误差的性质	205
10.4.3 测量不确定度	207
10.5 测量结果	210
10.6 测量结果合格性判断	210
10.7 基本测量原则	211
第十一章 测量检验	213

11.1	测量检验方法	213
11.1.1	仪器检测	213
11.1.2	平台检测	213
11.1.3	两坐标检测	218
11.1.4	三坐标检测	220
11.2	表面粗糙度检测	223
11.2.1	一般规则	223
11.2.2	测量方法	224
11.3	长度尺寸检测	228
11.3.1	一般规则	228
11.3.2	测量方法	230
11.4	角度和锥度检测	234
11.4.1	比较测量	234
11.4.2	绝对测量	234
11.4.3	间接测量	237
11.5	形状和位置误差检测	240
11.5.1	一般规则	240
11.5.2	检测方法	248
11.5.3	误差评定	253
11.6	螺纹检测	260
11.6.1	中径测量	260
11.6.2	螺距测量	263
11.6.3	牙型半角测量	264
11.7	圆柱齿轮检测	265
11.7.1	单项测量	265
11.7.2	综合测量	272
11.7.3	齿轮整体误差测量	273
第十二章	量规检验	278
12.1	概论	278
12.1.1	量规设计的一般准则	279
12.1.2	量规通用技术要求	279
12.1.3	量规分类	279
12.1.4	量规精度设计原则	280
12.1.5	量规使用	281
12.2	高度、深度量规	281

12.2.1	量规用途	281
12.2.2	量规结构	282
12.2.3	量规公差	283
12.2.4	量规设计示例	283
12.3	光滑极限量规	284
12.3.1	量规用途	284
12.3.2	量规原理	285
12.3.3	量规结构	285
12.3.4	量规公差	287
12.3.5	量规设计示例	288
12.4	角度量规	293
12.4.1	量规用途	293
12.4.2	量规原理	293
12.4.3	量规结构	294
12.4.4	量规公差	295
12.5	一般锥度量规	295
12.5.1	量规结构	295
12.5.2	量规原理	296
12.5.3	量规参数和公差	296
12.6	功能量规	298
12.6.1	量规用途	298
12.6.2	量规结构	299
12.6.3	量规参数	301
12.6.4	量规公差	302
12.6.5	量规设计示例	302
12.7	螺纹量规	307
12.7.1	量规用途	307
12.7.2	量规牙型	308
12.7.3	量规结构	310
12.7.4	量规公差	310
附表		312

第一章 几何精度基础

1.1 几何精度的基本概念

1.1.1 几何精度的作用

众所周知,机械产品主要是由具有一定几何形状的零部件安装组成。

生产者制造、装配的相同型号机械产品的零部件几何结构、形状、大小基本相同,但是具有相当不同的外观感觉、使用性能、无故障工作时间和使用寿命,其主要原因是产品的零部件在制造、装配过程中的误差大小不同(即几何精度差异)所造成的。

测绘仿制的机械产品的性能和使用寿命无法达到原型产品的性能和使用寿命,其关键原因也是在测绘仿制过程中,虽然能够得到原型产品的原理、结构等信息,但是无法得到原型产品的精度设计信息所致。

不同的生产者使用相同的设计图样制造的同类机械产品的性能和使用寿命也不尽相同,其主要原因就是虽然零部件的设计要求相同,但是其制造误差不同、产品测量和品质检验不同,造成产品在性能和使用寿命上有所区别。

不同的生产者用相同来源的零部件组装的机械产品的性能和使用寿命也不尽相同,其根本原因是安装误差(即安装精度)的差别,造成安装后的产品性能和使用寿命不同。

国家和企业的机械工业水平,除去原材料质量以外,关键体现在其高精度制造能力上,也就是体现在几何精度的设计、生产和检测等方面。

机械产品在市场上的占有率、利润率取决于产品的性能、无故障使用寿命等因素,即取决于产品的质量,特别是产品零部件的几何精度高低。

从上述的现象可以看出,在机械产品的设计、生产和使用过程中,零部件的几何精度设计和保障是非常重要的工作。

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。

1) 几何精度设计

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 系统设计是根据使用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和先进。机械系统的系统设计主要是原理设计,包括产品运动学的设计,如传动系统原理、位移、速度、加速度等。例如,实现由旋转运动转变为往复直线运动,可以选用曲柄—连杆—滑块机构(图 1-1)。再根据使用功能对滑块直线往复运动的行程、速度和加速度的要求,确定曲柄与连杆的长度(r 与 l)以及曲柄的回转速度(ω)。

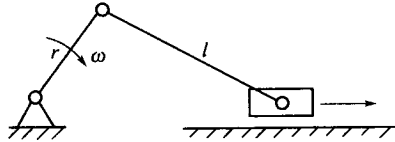


图 1-1 曲柄—连杆—滑块机构

(2) 参数设计 参数设计是根据产品的使用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标称值(或公称值)。参数设计主要是结构设计,必须按照静力学、动力学、摩擦磨损、可靠性等原理,采用优化、有限元等方法进行设计计算,选择合适的形状、尺寸、材料及处理方式。例如,在上述曲柄连杆机构设计中,要根据载荷、速度和工作寿命,确定输入功率,从而计算各转轴的直径、曲柄与连杆的截面形状与尺寸、滑块尺寸以及机体的外观尺寸等,并选择适当的材料及其热处理工艺。

(3) 精度设计 精度设计是根据产品的使用性能要求和加工制造误差确定机械零部件几何要素允许的加工和装配误差——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零部件的静态与动态精度要求,以及产品生产和维护的经济性。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经济性、产品的无故障使用寿命密切相关。

一般地说,零件上任何一个几何要素的误差都会以不同的方式影响其功能。例如,图 1-2 所示的法兰盘,直径 d_1 尺寸的变动受到零件重量、装配空间和直径 D 及螺孔直径 D_1 的制约;螺孔直径 D_1 的变动受螺母直径和螺母压力的制约;孔径 D_2 的变动受相配轴径及配合松紧的制约;圆角半径 r 的变动受螺母尺寸和疲劳强度的制约等等。此外,法兰盘装配端面的平面度误差、孔轴线对端面的垂直度误差、均布螺孔的位置误差等也将影响其装配和使用功能。

由此可见,对零件每个几何要素的各类误差都应给出公差。正确合理地给定零件几何要素的公差是设计工程技术人员的重要任务。精度设计在机械产品

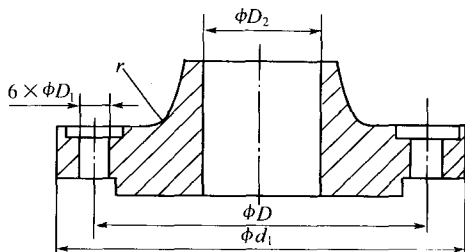


图 1-2 法兰盘

的设计过程中具有十分重要的意义。

2) 几何精度制造

机械产品在设计后需要经过加工和装配调试才能够得到产品制成品。在加工和装配时,由于存在加工误差和装配误差,最终制成品与设计的理想产品一定存在差别。

由于加工过程的实际状态偏离其理想状态,形成加工误差。加工过程的主要误差源有机床、刀具、卡具、工艺、环境和人员等因素。

(1) 机床因素 机床为加工过程提供刀具与工件间的相对运动和实现切除材料所需的能源。刀具与工件间不准确的相对运动使工件的几何要素产生形状误差,如平面度误差、圆柱度误差等;刀具与工件间不准确的相对位置使工件各几何要素间产生位置误差,如孔距误差、分度误差、同轴度误差等,也将使工件的尺寸产生变动,即尺寸误差。

(2) 刀具因素 作为切除材料的主要工具,刀具的形状与尺寸将直接复现在已加工表面上,它将与各种切削用量(如切削深度、进给量、切削速度等)一起,共同影响工件的表面精度、尺寸和形状,形成表面粗糙度、波纹度、形状误差和尺寸误差。生产过程中刀具的磨损是导致尺寸误差的主要原因。

(3) 卡具因素 卡具的作用是确定工件在机床上的位置。卡具的制造和安装误差将直接影响工件的正确定位,从而造成工件与刀具相对运动和相对位置的不准确,形成工件几何要素的方向和位置误差,如垂直度误差、同轴度误差和位置度误差等。特别是工艺基准与设计基准的不一致或工艺基准的改变,都将造成显著的位置误差。

(4) 工艺因素 工艺因素主要有切削用量、切削力及热处理工艺。它们将直接影响加工表面质量,产生受力变形和温度变形,形成表面粗糙度和形状误差。

(5) 环境因素 环境因素主要是切削热导致的工件与刀具的变形和温度变动产生的加工系统的变形。它们主要影响大尺寸工件的尺寸误差和形状误差。

(6) 人员因素 在试切法的加工过程中,操作人员的技术水平和责任心,直接影响工件尺寸误差的大小。采用调整法、数控自动或半自动加工方法,可以减少以至消除操作人员对加工误差的影响。

(7) 其他因素 此外,原材料和毛坯的内应力和尺寸稳定性,也将影响完工工件的几何精度及其持久性。

分析加工误差的来源,采取减小误差、提高精度的措施,是制造工程技术人员的重要任务。

3) 几何精度检验

根据设计时给出的机械零件各几何要素的精度要求,采用相应的制造方法制造出产品后,需要使用几何量检测方法进行测量,检验制成品的几何要素是否满足设计给定的要求。

产品检测过程中存在测量误差,不同的测量方法存在不同大小的测量误差。测量误差过大,导致因为测量原因引起的产品“误收”和“误废”增加,直接影响产品的质量和功能,也将增加产品的生产成本。测量误差过小,将直接增大产品检测成本和检测时间,影响产品的性价比和投放市场周期。

因此,设计正确的检测方案、确定合理的验收合格条件、选择适当的检测准确度,对于保证产品质量和降低成本是十分重要的。

4) 几何精度维持

产品在使用过程中,由于摩擦磨损等原因,导致产品性能下降或失效,需要进行维修维护,确保其正常使用。产品的几何精度高,精度储备足,则能够延长无故障工作时间,降低维修维护成本。

在产品使用维护阶段,需要根据产品零部件的磨损、失效等情况对产品进行维修,如调整装配、更换零部件、重新加工零部件等。

当相互运动的零件由于摩擦磨损的原因,导致零件之间的配合间隙变大,影响使用性能的时候,可以通过调整装配位置、更换新的零件等方法,使零件之间的配合重新满足使用性能的要求。

当失效零件是具有互换性的零件时,可以采用同一规格的合格零件替换。当失效零件是选配零件,不具备完全互换性时,需要对配合零件进行测量后然后配做新零件替换;当失效的配合可以通过装配调整配合量(如锥配合、张紧装置等)时,也可以通过调整配合位置改变配合量。

1.1.2 几何精度设计的基本原则

一般说来,机械产品几何精度设计的基本原则是经济地满足功能要求。

任何机械产品都是为满足人们生活、生产或科学研究的某种特定的需要而