



普通高等教育“十五”国家级规划教材

高等学校机械基础课程系列教材

几何精度规范字

主编 潘淑清



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育“十五”国家级规划教材

高等学校机械基础课程系列教材

几何精度规范学

潘淑清 主编

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

本书分为几何精度规范及几何精度检测两大部分。第1~5章介绍几何精度设计及精度规范的基本概念;表面、尺寸、形状和位置等基本几何精度的规范;基本几何精度的相关关系分析;以及圆柱、圆锥、螺纹、花键等结合要素和齿轮、螺旋等传动要素的精度规范。第6、7章介绍几何精度检测原理、误差评定和检测规范。书末附有习题和供教学用的数据表格。

本书以现行最新国家标准和国际标准为依据,按照功能要求论述几何精度规范及其应用,并结合检测规范介绍几何误差评定原则与方法,强调对学生掌握精度规范与检测技术及其应用能力培养,建立了精度规范学的新教学体系。

本书是普通高等学校机械工程学科学生的基本教材,也可供机械工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

几何精度规范学/潘淑清主编. —北京:北京理工大学出版社, 2003.8

机械基础系列课程教材. 高等学校教材

ISBN 7-5640-0103-8

I. 几… II. 潘… III. ①互换性-理论-高等学校-教材②机械-测量-高等学校-教材 IV. TG8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 104336 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68912824(发行部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefedit@bitpress.com.cn

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 16.75

字 数 / 397 千字

版 次 / 2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1~4000 册

定 价 / 25.00 元

责任校对 / 郑兴玉

责任印制 / 刘京凤

图书出现印装质量问题,本社负责调换

序

自工业革命以来,机械工业在世界各国的工业化进程中发挥了重要的作用。但是,在20世纪80年代中叶,随着信息技术的迅猛发展,某些发达国家的经济学家提出了所谓“第三次浪潮”的观念,把传统的机械工业比喻为“夕阳工业”,并以多样化和个性化否定标准化,使不少人对信息化产生了曲解。特别对刚刚开始实施改革开放的我国经济造成了错误的舆论导向和观念的扭曲。加上因经济结构调整过程中出现的暂时现象,更使人们对机械工业的作用产生了怀疑。

现实教育了人们。进入20世纪90年代以后,人们终于认识到机械工业是实现现代化的基础,也是先进科学技术转化为规模生产力的载体,更是实现富国强民理想的支柱产业。在科学技术高度发达的美国,机械工业对其国民生产总值的直接贡献率始终大于20%。据美国机械工程学会预测,从1996年开始的10年间,美国机械工程师总体将增加3.5万人。在经济全球化的今天,我国正在成为世界制造中心,但产品多数不具备自主知识产权,原始设计和研究开发能力依旧薄弱。世界先进企业依靠技术标准控制市场,要求我们更加重视标准所体现的无形资产。因此,迅速提升自主创新的能力,已成为我国机械工业发展中的迫切任务。

在机械产品(包括任何其他产品的机械部分)的设计中,除了必须实现特定的运动、动力功能和规定的工作寿命以外,最重要的是应该具有一定的动态和静态几何精度。没有足够的几何精度,运载火箭不能将人造卫星送入预定的轨道,远程导弹不能击中目标,钟表不能准确地计时,机床不能加工出合格的零件,医疗器件将导致医疗事故,汽车的尾气排放不能满足环境保护的要求等等。而且,机械产品往往由于其精度的丧失而报废。机械产品的周期性检修,实质上就是其精度的检定和修复。因此,没有足够的精度,机械产品就失去了使用价值。

进入20世纪以来,特别是在第二次世界大战以后的半个多世纪里,随着机械产品的功能要求和制造、检测技术水平的不断提高,几何精度已经逐渐成为一门独立的工程技术学科,并越来越受到工程科学与技术界有识之士的高度重视。美、德、日等国的著名汽车、船舶、航空、电器、仪器公司,已与学术界共同对机械产品的几何精度理论及其应用进行了大量的研究与实践,取得了积极的进展。正确、合理地进行机械零件的几何精度设计,并有效地应用各种精度规范,从而保证机械产品的动态和静态几何精度,已经成为各类产品提高技术性能、增加技术含量、增强市场竞争能力的重要技术诀窍(know-how)。

机械产品的运动、动力和寿命等性能的设计已经建立了较为完整的理论体系和实用数据,以及较为合理的数学模型,从而可以利用相应的计算机软件进行较

为精确的设计。然而,迄今为止,精度设计仍处于经验设计的阶段。要全面实现计算机辅助设计,还有许多工作要做。所以,关于精度规范及其应用的研究尚属于具有探索性的前沿工程技术科学的范畴。

由于种种历史和认识上的原因,半个多世纪以来,我国的机械工程高等教育,始终没有把精度规范这一工程技术科学的基础理论及其应用作为培养目标的重要组成部分。在20世纪五六十年代,由于受当时苏联高等工程教育思想和我国标准化工作迅猛发展的影响,只强调对学生进行互换性及技术标准知识的教育。特别是自70年代末期起,由于国家标准体系开始由苏联标准(GOST)向国际标准(ISO)转变,修订了大量基础公差标准,并相应地进行了大量的宣传和贯彻活动,从而使高等学校原设的公差课的教材逐步演变成简化和浓缩的国家标准讲解资料,完全忽略了对学生创新能力的培养,背离了高等工程科学技术人才的基本培养目标。在随之而来的教育体制改革中,原公差课的上述弊端,被作为一种借口,在多数高校机械类学科的教学计划中,以不适应信息社会的高新技术为由而被取消。甚至散布“公差课只是学学查表”的谬论。从而在相当一部分公差教师中产生了危机感,陷入了队伍流失、设备老化、教材匮乏、水平下降的困境。

此外,由于历史的原因,多数高校均以“互换性”作为公差课的核心内容,但是,北京理工大学资深人士在1992年即指出:“从理论上讲,在设计工作中,应该对机械零件的各种性能指标都规定相应的公差,以全面满足各方面的使用要求。但本课程讨论的只限于机械零件几何量的公差。由于无论何种生产类型、何种使用要求的机械零件,都应该规定其几何量公差,才能满足性能要求,因此,规定公差是无条件的,差别在于公差的大小应与零件的精度要求相适应。目前,相当多的同类教材取名为《互换性与技术测量》。编者以为,互换性是在特定生产、使用条件下的要求,它是与标准化密切相关的。广义地说,相同的零件就可以互换。要求互换就是要求‘相同’。技术要求不同,‘相同’的要求也各异,公差大小也不同。标准化的对象是重复性的事物,只有重复生产的零件才有互换的要求。而无论是否要求互换,公差都是必须规定的。”并将课程及教材定名为《几何量公差》。

自1995年起,北京理工大学在实施“面向21世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划”过程中,进行机械基础课群改革的研究与实践,以培养学生综合能力为主线,不仅坚持设立公差课,而且以精度设计与检测能力培养为目标,建立全新的课程体系。并在1999年编写了《几何精度设计与检测基础》新教材,被教育部批准为“面向21世纪高等工程教育教材。”

1996年6月,国际标准化组织“产品几何技术规范与评定技术委员会”(ISO/TC 213)的成立,标志着几何精度规范的研究与标准化进入了一个新的历史时期,从组织上保证了关于尺寸、表面结构、形状、位置及其相互关系的精度与评定方法与器具的规范化研究的协调与统一。

国家教育部在 2001 年提出的普通高等教育“十五”国家级教材规划中,将“互换性与测量技术基础”课程教材作为机械类专业的专业主干课教材列入申报指南,从而重新确立了本课在教学计划中应有的地位。它又一次证明了本课的基本内容对机械工程科学技术人才的必要性和重要性。本课程的几度撤消又几度恢复是我国半个世纪的高等教育发展进程中一段不能忘却的历史。

北京理工大学结合教学实践,适应国家科技发展的新动向,于 2002 年初即开始着手编写以《几何精度规范学》命名的新教材,并经申报批准列入了“十五”国家级规划教材。

本书是编者在长期教学与科研实践的基础上,根据当前我国经济发展对高等工程科学技术人才的需要,以国内、外精度规范研究的最新成果为素材编写的。它从产品几何精度规范的基本概念出发,以培养学生精度设计和检测能力为目的,兼顾精度规范应用能力的培养,建立了课程的新体系。

全书分为精度和检测两大部分。精度部分包括:精度概论,尺寸精度,表面结构精度,形状和位置精度,各精度间的独立和相关关系,圆柱、圆锥、螺旋、花键等结合要素精度,齿轮、螺旋等传动要素精度等。检测部分包括:检测基准、测量方法、测量器具和测量原则等基本检测原理,以及长度、角度、表面结构、形状和位置、螺纹、齿轮等要素的检测原理及方法。

必须指出,新学科和新教学体系的建立和完善需要有一个不断实践和提高的过程。我们希望,随着精度规范理论研究水平的不断提高和高等工程教育改革的深入发展,《几何精度规范学》这一新兴的前沿工程技术学科将日趋完善,并将为我国高等机械工程科学技术人才的培养发挥更大的作用。

刘巽尔

前 言

经国家教育部批准,由北京理工大学负责“十五”教材建设规划中,机械类专业主干课程《互换性与测量技术基础》的国家级规划教材的编写工作。

根据几何精度技术规范的研究与实践的现状,考虑到新世纪对高等工程学科技术人才的需要,北京理工大学在总结数十年教学与科研实践经验的基础上,编写了具有崭新体系和内容的教材,并定名为《几何精度规范学》。全书共分精度规范和检测规范两大部分。前者包括:概论、基本几何精度、精度关系、结合要素精度和传动要素精度等五章;后者包括:检测原理和检测规范两章。

本书提出了全新的课程教学体系,既强调精度规范的基本概念与理论基础,又突出精度规范的应用原则和方法。全书附有必要的数据表格和习题,可为学生建立精度概念、掌握应用原则打下坚实的基础。本教学体系已经过数年教学实践,并已取得良好的教学效果,深受师生的欢迎。

本书第一、二、三章由何永熹执笔;第四、五章由刘巽尔执笔;第六、七章由潘淑清执笔。全书由刘巽尔统稿。北京工业大学卓兴仁研究员审阅,谨表谢意。

编者诚挚地希望得到读者的批评与指正。

编 者

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 几何精度	(1)
1.1.1 机械设计的基本过程	(1)
1.1.2 加工过程和加工误差	(2)
1.1.3 几何精度设计的基本原则	(2)
1.1.4 几何精度设计的主要方法	(3)
1.1.5 几何精度的表达	(4)
1.1.6 几何精度的实现	(5)
1.2 互换性与标准化	(5)
1.2.1 互换性	(5)
1.2.2 标准化	(6)
1.2.3 优先数系	(8)
1.3 几何规范	(9)
1.3.1 几何要素	(9)
1.3.2 几何技术规范	(12)
第二章 基本几何精度	(14)
2.1 概述	(14)
2.2 表面精度	(15)
2.2.1 表面缺陷	(15)
2.2.2 表面粗糙度	(18)
2.2.3 表面波纹度	(22)
2.3 线性尺寸精度	(23)
2.3.1 线性尺寸	(23)
2.3.2 尺寸偏差和公差	(25)
2.3.3 极限制	(26)
2.3.4 一般公差	(28)
2.4 角度尺寸精度	(28)
2.4.1 角度尺寸	(28)
2.4.2 角度公差	(29)
2.4.3 一般公差	(29)
2.5 形状和位置精度	(30)
2.5.1 概述	(30)
2.5.2 形位公差的图样表示	(32)
2.5.3 形位公差与公差带定义	(35)

2.5.4 形位公差的选择	(47)
第三章 精度关系	(48)
3.1 独立原则	(48)
3.2 相关要求的基本术语	(48)
3.3 相关要求设计	(52)
3.3.1 形位公差与尺寸公差的相关要求	(53)
3.3.2 尺寸链分析	(59)
第四章 结合要素精度	(71)
4.1 概述	(71)
4.2 圆柱结合	(72)
4.2.1 配合的概念	(72)
4.2.2 配合规范	(77)
4.2.3 配合选用	(79)
4.2.4 滚动轴承配合规范	(89)
4.3 圆锥结合	(94)
4.3.1 特点	(94)
4.3.2 圆锥配合	(95)
4.3.3 公差标注	(97)
4.4 螺旋结合	(100)
4.4.1 特点	(100)
4.4.2 配合规范	(101)
4.4.3 配合选用	(103)
4.4.4 普通螺纹的标记	(104)
4.5 花键结合	(104)
4.5.1 特点	(104)
4.5.2 矩形花键的配合规范	(105)
4.5.3 渐开线花键的配合规范	(107)
第五章 传动要素精度	(111)
5.1 概述	(111)
5.2 齿轮传动	(111)
5.2.1 特点	(111)
5.2.2 齿轮精度	(112)
5.2.3 齿轮配合	(117)
5.2.4 齿轮安装精度	(119)
5.2.5 齿轮精度规范及其应用	(119)
5.2.6 齿坯精度	(127)
5.2.7 应用示例	(128)
5.3 螺旋传动	(130)
5.3.1 特点	(130)

5.3.2 机床梯形螺纹丝杠、螺母的精度规范	(132)
第六章 检测原理	(136)
6.1 概述	(136)
6.2 测量基准	(138)
6.2.1 基准的建立	(138)
6.2.2 量值传递与溯源性	(139)
6.2.3 量块	(140)
6.2.4 线纹尺	(141)
6.2.5 多面棱体与角度量块	(143)
6.3 测量方法与测量器具	(144)
6.3.1 测量方法	(144)
6.3.2 测量器具	(145)
6.4 测量器具的主要技术性能指标	(148)
6.5 测量数据处理	(150)
6.5.1 测量误差的性质及其种类	(151)
6.5.2 测量误差的来源	(152)
6.5.3 测量不确定度的评定	(154)
6.6 基本测量原则	(157)
6.7 合格性判断	(158)
第七章 检测规范	(160)
7.1 长度基准检定	(160)
7.1.1 量块检定	(160)
7.1.2 线纹尺检定	(161)
7.2 长度尺寸检测	(162)
7.2.1 孔、轴直径的检测	(162)
7.2.2 计量器具的选择	(163)
7.2.3 光滑极限量规	(165)
7.3 角度和锥度检测	(169)
7.3.1 相对测量法	(169)
7.3.2 直接测量法	(170)
7.3.3 间接测量法	(171)
7.4 形状和位置误差检测	(173)
7.4.1 形位误差的检测原则	(173)
7.4.2 形状误差及其误差值	(174)
7.4.3 基准的建立和体现	(178)
7.4.4 定向误差及其误差值	(181)
7.4.5 定位误差及其误差值	(182)
7.4.6 跳动	(182)
7.4.7 功能量规	(183)

7.4.8 形位误差测量仪	(184)
7.5 表面粗糙度检测	(185)
7.6 螺纹检测	(188)
7.6.1 单项测量	(188)
7.6.2 综合检验	(192)
7.6.3 螺距偏差测量的数据处理	(192)
7.7 圆柱齿轮检测	(194)
7.7.1 单项测量	(194)
7.7.2 综合测量	(198)
7.7.3 齿轮动态整体误差测量	(200)
7.8 三坐标测量机	(201)
习题	(206)
附表	(216)
参考文献	(255)

第一章 概 论

1.1 几何精度

1.1.1 机械设计的基本过程

机械设计过程通常可以分为三个阶段:系统设计、参数设计和精度设计。

系统设计亦称一次设计。它是确定机械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。机械系统的一次设计主要是运动学的设计,如传动系统、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(如图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)。

参数设计亦称二次设计。它是确定机构各零件几何要素的标称值(或公称值)。参数设计的主要依据是保证系统的能量转换和工作寿命。为此,必须按照静力学与动力学的原理,采用优化、有限元等方法进行计算,并按照摩擦学和概率理论,进行可靠性设计。

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。

精度设计亦称三次设计。它是确定机械各零件几何要素的允许误差——公差,所以也称公差设计。精度设计的主要依据是对机械的静态和动态精度要求。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,允许误差的大小又与生产经济性和产品的使用寿命密切相关。因此,精度设计具有十分重要的意义。

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任务。

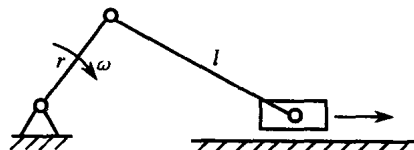


图1-1 曲柄-连杆-滑块机构

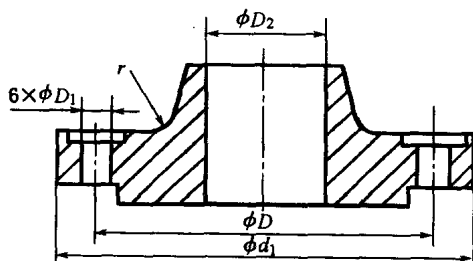


图1-2 法兰盘

1.1.2 加工过程和加工误差

迄今为止,绝大多数机械零件都是将由铸、锻、轧等工艺方法获得的毛坯,经过各种切削加工实现设计要求的。因此,组成切削过程的各环节的不完善都会导致零件的实际几何要素偏离其理想状态,形成加工误差。切削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。

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。刀具与工件相对运动的不准确,会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;刀具与工件相对位置的不准确,会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,也将使一批工件的尺寸产生变动,即尺寸误差。

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和尺寸,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。

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和工艺基准的改变,都将造成显著的位置误差。

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。

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。

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。采用调整法和自动或半自动加工方法,可以大大减少以至消除操作人员对加工误差的影响。

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。

1.1.3 几何精度设计的基本原则

一般说来,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了满足人们生活、生产或科学研究的某种特定的需要。这种需要表现为机械产品可以实现的某种功能。因此,机械精度设计首先必须满足产品的功能要求。机械产品功能要求的实现,在相当程度上依赖于组成该产品的各零件的几何精度。因此,零件几何精度的设计是实现产品功能要求的基础。

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。结合要素要求实现一定的配合功能。如轴颈与轴承的圆柱结合、键与键槽的平行平面结合、螺钉与螺母的螺旋结合等,它们都有各自不同松紧的功能要求,或为联结可靠而应较紧,或为装配方便和可以相对运动而应较松。传动要素要求实现一定的传递运动和动力的功能。如齿轮传动、蜗杆传动、丝杠传动等,它们都有传递运动的精度要求和为保证动力传递可靠的传动平稳和承载能力的要求。导引要素要求实现一定的运动功能。如直线导轨、各种凸轮等,它们的工作表面都有形状精度的要求。支承要素多为形成固定连接的表面,如机座

底面、机身与箱盖连接的平面、垫圈端面、机床工作台面等,它们都应具有一定的平面度和表面粗糙度要求。结构要素是指构成零件外形的要素。结构要素的尺寸主要取决于强度和毛坯制造工艺,其精度要求一般较低,如机壳外形、倒圆、倒角等。

由此可见,在进行零件的几何精度设计时,首先要对构成零件的几何要素的性质和功能要求进行分析,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。

考虑到绝大多数零件都是由多个几何要素构成的,而机构又是由各种零件组成的,因此,在必要时还应对零件各要素的精度和组成机构的有关零件的精度进行综合设计与计算,以确保机械的总体精度的满足。对精度进行综合设计与计算通常采用相关要求的方法。

在满足功能要求的前提下,精度设计还必须充分考虑到经济性的要求。高精度(小公差)固然可以实现高功能的要求,但必须要求高投入,即提高生产成本。实践表明,公差与相对生产成本的关系曲线如图 1-3 所示。由图可见,虽然公差减小(精度提高)一定会导致相对生产成本的增加,但是当公差较小时,相对生产成本随公差减小而增加的速度远远高于公差较大时的速度。因此,在对具有重要功能要求的几何要素进行精度设计时,特别要注意生产经济性,应该在满足功能要求的前提下,选用尽可能低的精度(较大的公差),从而提高产品的性能价格比。

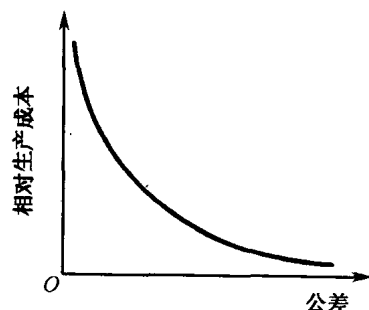


图 1-3 公差与相对生产成本关系曲线

当然,精度要求与生产成本的关系是相对的。随着科学技术和生产水平的提高,以及更为先进的工艺方法的应用,人们可以在不断降低生产成本的条件下提高产品的精度。因此,满足经济性要求的精度设计主要是一个实践的问题。

随着工作时间的增加,运动零件的磨损,将使机械精度逐渐降低,直至报废。零件的几何精度越低,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精度,以获得必要的精度储备,往往可以大幅度地增加平均无故障工作时间,从而减少停机时间和维修费用,提高产品的综合经济效益。

1.1.4 几何精度设计的主要方法

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、市场供应信息等多种因素。

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等。

目前,用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、费用较高,因此主要用于新产品设计中个别重要要素的精度设计。

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由设计人员根据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)的研究还刚刚开始。其中,不仅需要建立和完善精度设计的理论与精确设计的方法,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。

1.1.5 几何精度的表达

在确定了零件要素的几何精度以后,必须用适当的方法在零件的设计图样上予以表达,即进行公差标注,作为制造、检测和验收的依据。

零件几何精度的表达主要有两种方法:单独标注和采用“一般公差”。

一般公差就是各种加工设备在正常条件下能够保证的公差,亦称常用精度或经济精度。由于零件的多数要素采用一般公差就可以满足其功能要求,因此,对于采用一般公差的精度要求不需要在零件设计图样上逐一单独标注,只需要在图样或技术文件中以适当的方式作出统一规定。所以一般公差又通称“未注公差”。采用一般公差来表示要素的几何精度,具有设计省时、图样简明和重点明确等优点。而且由于一般公差是在正常情况下可以保证达到的精度,因此,只要在供需合同中明确列出,通常都不需检验。如果实际要素的误差超出规定的一般公差的要求,那么,只有当它对零件的功能要求有不利影响时,才给予拒收。所以采用一般公差还可以减少检验费用和供需双方不必要的争议。当然,采用一般公差的前提是生产部门必须对所有加工设备的正常精度进行实际测定,并定期进行抽样检查和维修,以确保其精度得到维持。我国已对线性尺寸、角度尺寸、形状和位置公差的一般公差制订了相应的国家标准,可供设计时选用。

当要素的功能要求高于一般公差的精度时,应在零件设计图样上以适当的方式逐一进行单独标注,通称“注出公差”。例如在基本尺寸后面加注上、下偏差或公差带代号,用框格形式标注形位公差等。

当要素的功能要求低于一般公差的精度时,通常也不需要单独标注,除非其较大的公差对零件的加工具有显著的经济效益,才采用单独标注的方法,由此可见,一般公差的要求不是任何情况下都要满足的。

1.1.6 几何精度的实现

根据经济地满足功能要求的基本原则,给出机械零件各几何要素的公差,并按标准规定的方法在设计图样上进行标注以后,还需要采用相应的制造和检测方法予以实现。

按设计要求规定的材料和毛坯的提供方法,通常都需对毛坯进行有屑加工,才能全面实现设计图样的要求。为此,必须进行工艺设计,包括机床、刀具、卡具和工艺过程的选用与设计,以及检测方式和测量器具的选用、验收和仲裁标准的制订等。工艺设计的依据是设计图样,所以必须正确理解设计图样所表达的精度要求,即所谓“读懂图样”。因为几何精度的表现形式种类繁多,如尺寸精度、表面精度、形状精度、定向精度、定位精度、运动精度等等;机械零件的几何要素又多种多样,如直线、平面、圆、圆柱面、圆锥面、螺旋面、渐开线面等等;几何精度的表达又主要有评定参数的数值控制和几何区域控制两种不同的方法。因此,必须根据要素的特点,正确理解其精度的表达形式和要求,才能合理地选择制造与检测方法。特别是在一定测量条件下,对测量数据的处理和合格性的判断,与对设计图样精度要求的理解正确与否的关系尤为密切。

制造与检测方法的选择应遵循经济地满足设计要求的原则。所用制造方法应在确保产品精度要求的前提下,尽可能降低生产成本,满足市场需要。这就不仅需要分析零件的精度要求,而且要考虑生产批量和规模、协作的可能性、工艺装备的折旧与更新,以及技术开发与储备等诸多因素。对于检测方法的选择,特别重要的是分析测量误差及其对检验结果的影响。因为测量误差将导致误判,或将合格品判为不合格而误废,或将不合格品判为合格而误收。误废将增加生产成本,误收则影响产品的功能要求。检测准确度的高低直接影响到误判的概率,又与检测费用密切相关。而验收条件与验收极限将影响误收和误废在误判概率中所占的比重。因此,检测准确度的选择和验收条件的确定,对于保证产品质量和降低生产成本是十分重要的。

1.2 互换性与标准化

1.2.1 互换性

如上所述,由零件图样表达的设计要求,需要通过实际生产来实现,而不同的生产力水平,要求有与之相适应的生产方式。

在当前全球化大生产的条件下,按照专业协作的原则进行生产,是提高产品质量,降低生产成本,从而提高经济效益的必由之路。

在生产水平低下的情况下,社会的主要经济形态是自然经济。一家一户或一个手工业工场,就可以完成某些产品的全部生产过程。但是,随着生产力的发展和对产品质量要求与复杂程度的提高,科学技术的进步,大量生产的出现,特别是商品经济的发展,就不可能也不应该只由一个工厂来完成某一产品的全部生产过程,必须组织专业化的协作生产。

例如在汽车制造业中,汽车上的成千上万个零件是分别由几百家工厂生产的。汽车制造厂只负责生产若干主要的零件,并与其他工厂生产的零件一起装配成汽车。为了顺利地实现这种专业化的协作生产,各工厂生产的零件或部件都应该有适当的、统一的技术要求。否则,

就可能在汽车厂装配时发生困难,或者不能满足对产品功能的要求。

这种在不同工厂、不同车间、由不同工人生产的相同规格的零件或部件,可以不经选择、修配或调整,就能装配成满足预定使用功能要求的机器或仪器,则零件或部件所具有的这种性能就称为互换性。能够保证产品具有互换性的生产,就称为遵循互换原则的生产。

由此可见,互换性表现为对产品零、部件在装配过程中三个不同阶段的要求:装配前,不需选择;装配时,不需修配和调整;装配后,可以满足预定的功能要求。

显然,为了使零、部件具有互换性,首先应对其几何要素提出适当的、统一的要求,因为只有保证了对零、部件几何要素的要求,才能实现其可装配性和装配后满足与几何要素(尺寸、形状等)有关的功能要求。这就是零件或部件的几何要素的互换性。

但是,要全面满足对产品的使用功能的要求,仅仅保证零、部件具有几何要素的互换性是不够的,还需要从零、部件的物理性能、化学性能、机械性能等各方面提出要求。这些在更广泛意义上的互换性,可称为广义互换性。

有时,常常把仅满足可装配性要求的互换称为装配互换;把满足各种使用功能要求的互换称为功能互换。

当前,互换的原则已经成为组成现代化生产的一项重要的技术经济原则。它已经在各个行业被普遍地、广泛地采用。从手表、缝纫机、自行车到机床、汽车、电视机、计算机以及各种军工产品的生产,都无不在极大的规模和极高的程度上,按照互换的原则进行生产。

互换的要求首先是从使用上提出来的。在 19 世纪,为了在战争中争取时间赢得胜利,要求能迅速更换发热的枪管,以保证连续进行射击,这就产生了互换的萌芽。随着生产的发展,对生产和生活中使用的各类产品的互换要求也越来越广泛。具有互换性的产品可以在使用过程中迅速更换易损零、部件,从而保持其连续可靠地运转,给使用者带来极大的方便,获得充分的经济效益。

互换程度的提高同时也给制造过程带来极大的方便。例如,迅速更换磨损了的刀具以保证加工过程的持续性,自动和半自动机床上原材料装夹的稳定与可靠,设备维修中易损零部件的更换等等,都是以具有互换的特性为前提的。所以,互换性也大大提高了制造过程的经济效益。

然而,对于不同的产品和某种产品的不同生产阶段,应该在何种范围内和何种程度上具有互换性,还需进行具体的分析。例如滚动轴承,作为由专业化工厂生产的高精度标准部件,它与其他零件具有装配关系的各尺寸应该具有完全的互换性。但其内、外圈和滚子等零件相互装配的尺寸,由于精度要求极高,如果也要求具有完全的互换性,就会给制造带来极大的困难,所以往往只有不完全的互换性,即采取选择装配的方法,才能取得较好的经济效果,又不影响整个轴承的使用。

由此可见,互换性是对重复生产零件的要求。只要按照统一的设计进行重复生产,就可以获得具有互换性的零件。所以精度设计(公差设计)和互换性是两个完全不同的概念,对于精度设计的要求是“合理”,而实现互换的方法则是“统一”。无论是否要求互换,零件的精度设计必须合理,即经济地满足功能要求。而只有重复生产、分散制造、集中装配的零件才要求互换。

1.2.2 标准化

标准化的含义是在经济、技术、科学及管理等社会实践中,对重复性事物和概念通过制定、