



面向 21 世纪 课程 教材
Textbook Series for 21st Century



北京高等教育精品教材
BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI



普通高等教育“十一五”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

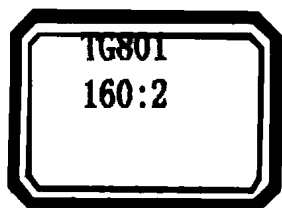
(第 2 版)

主编 何永熹 武充沛
主审 刘巽尔



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



普. “一五”国家级规划教材
面向 21 世纪课程教材
北京高等教育精品教材
高等学校机械基础课程系列教材

几何精度规范学

(第 2 版)

何永熹 武充沛 主编

刘巽尔 主审

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书分为几何精度设计及几何精度检测两大部分。上篇第1~7章分别介绍几何精度设计基础;尺寸、表面、形状和位置等基本几何精度设计;几何精度综合设计以及圆柱、圆锥、螺纹、键等结合要素和齿轮、螺旋等传动要素的精度设计。下篇第8~10章分别介绍几何精度检测原理、误差评定、检测技术和量规检测。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,按照专业理论知识体系论述几何精度规范及其设计应用,并结合检测规范介绍几何误差检测理论与方法,强调对学生掌握精度设计与检测技术基础理论知识及其应用能力的培养,建立了几何精度规范学的新教学体系。

本书是普通高等学校机械工程专业学生的基础教材,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/何永熹,武充沛主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社,2006.8(2008.5重印)

(高等学校机械基础课程系列教材)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 北京高等教育精品教材

ISBN 978-7-5640-0103-2

I. 几… II. ①何…②武… III. 机械加工-几何误差-高等学校-教材 IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 090421 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) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 19

字 数 / 451 千字

版 次 / 2006 年 8 月第 2 版 2008 年 5 月第 3 次印刷

印 数 / 8001 ~ 11000 册

定 价 / 34.00 元

责任校对 / 郑兴玉

责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换

序

机械工业是国民经济的基础。一切物质和精神产品的创造,都离不开机械工业的发展和进步。从广义的概念出发,机械工业可以涵盖航空、航天、汽车、建筑、仪器、仪表、电子、医疗、材料、生物、食品、船舶、卫生、环境、贸易等诸多领域。它们无不与机械工业密切相关。

在固态物质产品的生产中,其几何特性的精度对产品的使用功能具有非常重要的影响。对机械产品的品质评价,除了整机系统和基本参数以外,特别重要的就是其精度指标。不断提高机械产品的精度,是增强国际市场竞争能力的重要手段之一。

目前,机械工程科学技术人才又重新受到了人们的重视。因此,大量培养适合科学技术发展需要,具有创新精神的机械工程科学技术队伍,是我国高等学校责无旁贷的历史任务。

机械产品精度的获得大致可以分为三个阶段:设计、制造和验收。在设计阶段,从产品功能要求出发,对组成整机的固态零部件的几何要素逐一进行分析,以确定其几何精度的评定项目。进而根据相应的几何精度技术规范或标准,完成精度设计,并按规定在图样上正确表达。在制造阶段,根据设计图样进行工艺设计,完成零部件及整机的加工、装配和调试。在验收阶段,根据设计图样拟订并实施检测方案,对测量结果进行误差评定,并按由设计要求确定的验收条件进行合格性判断。显然,验收工作将贯穿于产品制造的全过程。固态产品的精度设计与检测就是本课程的主要内容。

我国从 20 世纪 50 年代初期起,直接引进原苏联高等工业院校的教学计划与课程体系。以苏联的《公差与技术测量》作为主要教学参考书,通过短期培训班培养了一批青年教师,形成了我国高校在本学科领域的基本骨干队伍。随着 1959 年我国首批机械行业国家标准的发布,开始了本学科建设、标准化研究与教学改革阶段。

近 50 年以来,随着我国政治、经济形势的变化,本课程的发展历经了许多坎坷与曲折。在恢复高校招生以后的 20 多年里,各高校编写的教材如雨后春笋般地涌现,呈现了一片欣欣向荣的景象。但是,多数教材仍囿于原苏联教材的系统与标准宣贯的模式。

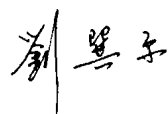
北京理工大学在本学科教学与科研实践的基础上,坚持改革创新的主导思想,对本学科的教学目标、教学体系、教学方法和教材建设进行了持续几十年的探索与实践。从 20 世纪 50 年代开始,北京理工大学先后编著本课程的相关教材及参考书达 30 余种,首先为中央广播电视大学开设向全国播出的录像课程,编写的专业教材被众多兄弟院校的本科教学所采用。1998 年作为教育部“面向 21 世纪课程教材”出版了《几何精度设计及检测基础》。2003 年又作为普通高等教育“十五”国家级规划教材出版了《几何精度规范学》。现在,作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材的《几何精度规范学》第 2 版又与读者见面了。新版教材在继承原版教材的基本精神的基础上,对有关内容进行了新的编排,以学科基础理论为主线,融合现行最新标准规范,注重培养学生为解决精度设计实际问题时正确、灵活应用标准规范的能力。

鉴于目前固态产品的几何精度设计仍处于经验设计阶段,评定指标与产品功能特性的关系尚难作定量的表述,因此现代信息技术的应用、实现计算机辅助精度设计尚无实现的可能

性。近年来,几何精度标准规范的研究已从经典几何学转向以数理为理论基础的新体系的建立。但是,众多“先进”评价指标与产品功能影响的定量关系的实验研究却无人问津,造成理论与生产实践的严重脱离,现行的各种几何精度标准规范之间的冲突矛盾和新标准与生产实际不协调的现象就是最有力的证明。毫无疑问,几何精度设计需要进行理论与探讨,但是作为一门直接为生产实际服务的工程学科,研究方向与成果对生产的促进是不容忽视的。

被广泛接受而成为标准规范的技术内容一定不是最先进的,对待标准规范,应该为了生产的正常进行而贯彻执行,不能够盲目迷信。本书贯彻以科学和发展的态度对待一切标准规范的理念,较好地处理了这些问题,显示了有别于其他同类教材的重要特色,这种指导思想对于培养具有创新精神的高级工程技术人才是十分必要的。

希望本书能对我们机械工程科学技术人才的培养和本学科水平的提高发挥应有的积极作用。愿我国机械学科的科学研究、高等教育、工程技术人员与国际同行们为学科发展和机械工业水平的提高共同努力,取得新的进展。



2006 年初夏于北京

前 言

经教育部批准,由北京理工大学负责高等教育机械类专业主干课程《几何精度规范学》的“十一五”国家级规划教材的编写工作。

本教材曾被列入国家面向 21 世纪高等教育教学内容与课程改革计划教材、高等教育“十五”国家级规划教材,获北京市高等教育精品教材奖和北京理工大学教材一等奖。被众多高等院校使用,受到了学生和任课教师的好评。

2003 年,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,北京理工大学总结数十年教学与科研实践经验,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》。

2006 年,《几何精度规范学》第 2 版在继承以往教材优点的基础上,又提出了全新的课程教学体系。按照专业的理论知识体系、实践经验、学科发展等因素组织内容,不拘泥于专业规范的介绍和应用,将最新规范的内容融合在专业基础理论知识中,将标准规范的应用融合在解决实际问题的过程中,着重强调规范的正确、合理、灵活应用。使学生在掌握专业基础理论知识的同时,培养分析、解决实际问题的能力。本教学体系经过数年的教学实践,已取得良好的教学效果。

全书共分几何精度设计和几何精度检测两大部分。前者包括:概论、尺寸精度、表面精度、形位精度、综合精度、结合要素精度和传动要素精度等七章;后者包括:几何检测技术概论、几何检测技术和量规检测三章。本书附有必要的表格、思考题和习题。

本书第 1、2、3、5、10 章由北京理工大学何永熹执笔,第 4、7、9 章由河南科技大学武充沛执笔,第 6 章由河南科技大学张发玉执笔,第 8 章由北京理工大学何永熹、赵立阳执笔。全书由何永熹统稿。

在编写过程中,得到了本学科的前辈、北京理工大学刘巽尔教授的大力支持和悉心指导。刘巽尔教授以他深厚的学术造诣和严谨的治学精神,不仅鼓励我们大胆探索创新,还对本书进行了仔细审阅和修改,在此谨表衷心的感谢。

编者诚挚地希望得到读者的批评与指正。

编 者
2006 年初夏

目 录

上篇 几何精度设计

第 1 章 几何精度设计概论	(1)
1.1 几何误差基础知识	(1)
1.2 几何精度基础知识	(4)
1.3 几何精度规范	(10)
第 2 章 尺寸精度	(20)
2.1 尺寸精度基础	(20)
2.2 线性尺寸精度(极限制)	(23)
2.3 角度尺寸精度	(28)
2.4 一般尺寸公差	(28)
2.5 光滑孔、轴配合	(29)
2.6 线性尺寸精度设计	(37)
第 3 章 表面精度	(45)
3.1 表面结构	(45)
3.2 表面缺陷	(48)
3.3 表面轮廓	(49)
3.4 表面粗糙度	(53)
第 4 章 形状与位置精度	(62)
4.1 概述	(62)
4.2 形位公差的图样表示	(65)
4.3 形位公差及其公差带	(70)
4.4 形位精度设计	(84)
第 5 章 综合精度	(94)
5.1 独立原则	(94)
5.2 相关要求	(97)
5.3 尺寸链	(108)
第 6 章 典型结合的精度	(122)
6.1 滚动轴承结合	(122)
6.2 圆锥结合	(127)
6.3 键结合	(134)
6.4 螺纹结合	(141)
第 7 章 典型传动的精度	(147)

7.1 圆柱齿轮传动	(147)
7.2 螺旋传动	(164)

下篇 几何精度检测

第8章 几何检测概论	(169)
8.1 测量过程	(169)
8.2 测量对象	(171)
8.3 测量基准	(171)
8.4 测量方法	(176)
8.5 测量误差	(180)
8.6 测量结果和合格性判断	(187)
第9章 几何检测技术	(190)
9.1 概述	(190)
9.2 表面粗糙度检测	(197)
9.3 长度尺寸检测	(199)
9.4 角度和锥度检测	(201)
9.5 形位误差检测	(204)
9.6 螺纹检测	(216)
9.7 圆柱齿轮检测	(219)
第10章 量规检验	(226)
10.1 概述	(226)
10.2 极限尺寸量规	(229)
10.3 边界量规	(234)
习题	(249)
附表	(265)
参考文献	(294)

上篇 几何精度设计

第1章 几何精度设计概论

1.1 几何误差基础知识

1.1.1 几何误差

众所周知,机械产品是固态产品,主要是由具有一定几何形状的零、部件安装组成。

固态产品就是具有几何特性的产品。固态产品包括传统的机械产品、木工制品等,也包括采用现代技术的机电一体化产品、电工电子产品、仪器仪表、计算机、航空航天、生物工程产品等。

固态产品的特点是具有特定的几何外形,而且几何外形的特性对其使用功能具有直接的影响。

固态产品在设计后需要经过加工和装配调试才能形成成品。由于在加工和装配过程中,存在加工误差和装配误差,成品与设计的理想产品在几何特性上一定存在差异。几何误差就是指制成产品的实际几何参数(表面结构、几何尺寸、几何形状和相互位置等)与设计给定的理想几何参数之间偏离的程度。

1.1.2 几何误差产生的原因

几何误差是由于加工和装配过程的实际状态偏离其理想状态所形成的。几何误差的产生原因主要有:加工原理误差、工艺系统的几何误差、工艺系统受力变形引起的误差、工艺系统受热变形引起的误差、工件内应力引起的加工误差和测量误差等。

产生几何误差的主要因素有机床、刀具、夹具、工艺、环境、材料和人员等。

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。

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。生产过程中刀具的位置调整和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或工艺基准的改变,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。

材料特性也是产生几何误差的关键因素。由于材料的内应力、材料的腐蚀、弹性和塑性变形等因素,直接导致产品几何特性产生变化。原材料和毛坯的内应力和尺寸稳定性,将影响完工工件的几何精度及其持久性。

在试切法的加工过程中,操作人员的技术水平和责任心,直接影响工件的尺寸误差。采用调整法、数控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。

分析加工误差的来源,采取限制减小误差、提高精度的措施,是工程技术人员的重要任务。

1.1.3 几何误差对使用功能的影响

在相同型号的一批产品中,零部件的几何特性设计是相同的,但是其成品在外观感觉、使用功能、无故障工作时间和使用寿命等方面都各不相同,这是由于产品零部件在制造、装配过程中存在的几何误差所造成的。不同的生产者根据相同的设计图样制造同类产品时,虽然设计要求相同,但是其制造误差不同、产品测量和品质检验误差不同,造成产品在性能和使用寿命上有所差别。不同的生产者用相同来源的零部件组装产品时,由于安装误差(即安装精度)的差别,也造成产品的性能和使用寿命的不同。

测绘仿制产品无法具备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(几何误差允许范围)。

几何误差的大小体现了国家和企业的工业水平。除去原材料性能和品质以外,机械工业的能力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、生产和检测等方面的水平上。

机械产品的市场占有率、利润率取决于产品的性能、无故障工作时间和使用寿命等因素,即取决于产品的质量,特别是产品零部件的几何精度。

从上述的现象可以看出,零、部件的几何误差对于机械产品的使用功能和使用寿命具有直接的影响,合理限制几何误差是产品设计和制造过程的关键工作之一。

不同几何特性的误差对产品的使用功能的影响有所不同。表面误差主要影响外观、摩擦磨损、腐蚀、噪音等使用功能,尺寸和形状误差主要影响零、部件的空间相互位置,直接影响运动传递、载荷传递等性能。

如图 1-1 所示的内燃机,它由一个活塞杆和曲轴相连,工作过程从活塞在顶部开始,进气阀打开,活塞往下运动,吸入油气混合气,然后活塞往顶部运动,压缩油气混合气;当活塞到达顶部时,火花塞放出火花来点燃油气混合气,爆炸使得活塞再次向下运动到达底部,排气阀打开;活塞再次往上运动,将尾气从汽缸的排气管排出。活塞的往复直线运动经曲轴转化为连续

旋转运动。

其中,凸轮轴控制进气阀和排气阀的开闭,凸轮形状误差会导致进气阀和排气阀的开闭时机出现偏差,直接影响发动机的功率。进、出气阀分别在适当的时候打开以吸入油气混合气和排出尾气。在压缩和燃烧时,这两个阀都是关闭的,以保证燃烧室的密封。阀门的几何误差影响其与缸体之间的密封状况。活塞环在气缸壁和活塞之间起到密封作用,防止在压缩和燃烧时油气混合气和尾气泄漏进润滑油箱,也防止润滑油进入汽缸内燃烧。活塞环的几何误差会导致密封失效,引起尾气管冒青烟等现象。活塞杆连接活塞和曲轴,使得活塞和曲轴维持各自的运动,它们的几何误差会直接影响其运动副的配合性能。

产品在使用过程中,由于摩擦磨损等原因,导致其性能下降或失效,需要进行维修维护,以确保其正常使用。产品的几何精度高,精度储备充分,就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。

当相对运动的零件由于摩擦磨损等原因,使配合间隙变大,影响使用功能时,可以通过调整装配位置、更换新的零件等方法,使配合重新满足要求。

当失效零件具有互换性时,可以采用同一规格的合格零件替换。当失效零件是选配件而不具完全互换性时,需要对相配零件进行测量后配做新零件替换;当失效的配合具有可调整结构(如锥配合、张紧装置等)时,也可以通过配合位置的调整获得要求的间隙或过盈。

1.1.4 几何误差与成本的关系

几何误差与制造成本、检测成本和维修成本之间存在密切的关系。

为获得较小的制造几何误差,必然需要采用相对复杂的工艺过程,使用相对精密的工艺设备,由技术水平较高的操作人员操作,所以相对生产成本较高。实践表明,几何误差与相对生产成本的关系曲线如图 1-2 所示。由图可见,几何误差减小一定会导致相对生产成本的增加,特别是当几何误差较小时,相对生产成本随几何误差减小而增加的速度远远高于几何误差较大时的速度。

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。零件的几何误差越大,工作寿命就越短,维修成本也相应增加。适当提高零件的几何精度,获得必要的精度储备,往往可

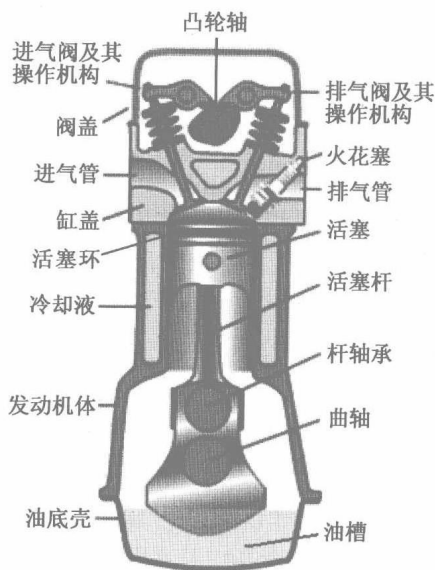


图 1-1 发动机示意图

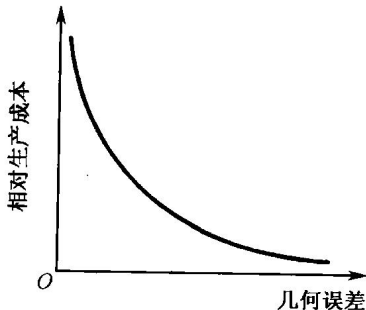


图 1-2 几何误差与相对成本的关系

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。

制成产品的几何误差是否满足使用功能要求,是否符合设计要求,需要对其几何量进行检测。检测过程中存在的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品而误收。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概率的大小,又与检测费用密切相关。

1.1.5 几何误差的特性

几何误差是在一定的加工条件下诸多因素综合作用的结果。批量生产时,零件的几何误差呈现出一定的统计规律。几何误差的大小、分布都与具体的生产条件密切相关,并直接影响使用功能。

由于各种几何误差产生的机制不尽相同,也就使得它们的大小和分布规律也各不相同。因此,当对几何误差进行分析和综合时,必须考虑到误差的分布规律,使分析更接近实际情况。

可以用统计学方法来描述几何误差的分布规律。在概率统计学里,常用概率密度函数 $p(x)$ 来描述随机变量的分布特性:

$$p(x) = \int_{-\infty}^x p(x) dx$$

各种加工工艺产生的几何误差的分布特性不尽相同,如图 1-3 所示。例如在一般情况下,由于尺寸加工误差的各种影响因素的作用均不显著,因此尺寸误差多为正态分布。当采用数控机床加工时,尺寸误差多为均匀分布。当采用试切法人工操作调整加工时,由于心理因素起主导作用,尺寸误差多为偏态分布。

在大批量生产时,大多数几何误差的分布特性与正态分布近似,可以按正态分布进行描述和分析处理。

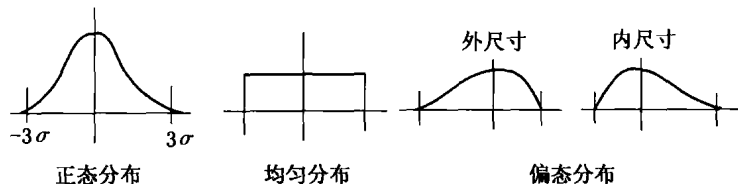


图 1-3 几何误差的分布

1.2 几何精度基础知识

1.2.1 几何精度

几何精度就是零、部件允许的几何误差,也称为几何公差,简称公差。几何精度是根据产品的使用功能要求和加工工艺确定的。

几何精度设计的主要依据是产品功能对零部件的静态与动态精度要求,以及产品生产和使用维护的经济性。

根据市场需求在进行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。

系统设计是根据使用功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(如图1-4)。再根据使用功能

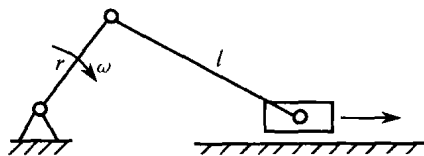


图 1-4 曲柄-连杆-滑块机构

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)。

参数设计是根据产品的使用功能要求确定机构各零件的结构和尺寸,即产品几何形体各要素的标称值(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。

精度设计是根据产品的使用功能要求和制造条件确定机械零部件几何要素允许的加工和装配误差。一般来说,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1-5所示的曲柄-连杆-滑块机构中的连杆长度尺寸 l 的误差,将导致滑块的位置和位移误差,从而影响其使用功能。

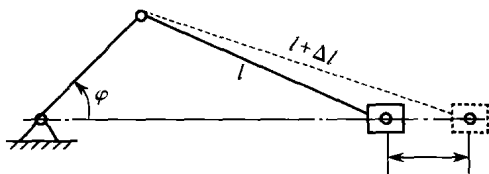


图 1-5 尺寸误差的影响

由此可见,对零件每个要素的各类误差都应给出精度要求。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。几何精度设计在机械产品的设计过程中具有十分重要的意义。

1.2.2 几何精度设计的基本原则

产品几何精度设计的基本原则是经济地满足功能要求。精度设计时,应该考虑使用功能、精度储备、经济性、互换性、协调匹配等主要因素。

1. 使用功能

任何产品都是为满足人们生活、生产或科学研究的某种特定需要而设计制造的,这种需要表现为产品可以实现的功能。因此,几何精度设计首先必须满足产品的功能要求。固态产品功能要求的实现,在相当程度上依赖于组成该产品的零、部件的几何精度。因此,零、部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按照其使用功能分类,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。

结合要素主要实现配合功能,以完成连接或支承。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,它们均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。

传动要素主要实现传递运动和载荷的功能。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。

导引要素主要实现一定的运动导引功能。如直线导轨、各种凸轮等,它们的工作表面均有形状精度和表面结构的要求。

支承要素主要实现承载功能,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,然后对各类要素给出不同类型和大小的公差,保证满足其使用功能要求。

2. 精度储备

在许多情况下,固态产品的失效不是由于产品损坏所导致,而是由于产品在使用过程中,因为摩擦磨损、形变等原因,使其精度逐渐降低,使用功能逐渐丧失所致。

在进行几何精度设计时,考虑到设计结果的不确定性和产品使用过程中的摩擦磨损等因素,为了保持产品长期、稳定的良好工作性能,延长使用寿命,提高使用价值,就需要在设计时考虑精度储备。如同产品强度设计的“安全系数”概念一样,精度储备可用精度储备系数表示:

$$\text{精度储备系数} = \frac{\text{功能允许误差}}{\text{设计给定公差}}$$

显然精度储备系数应该大于1,一般情况下取2。设计给定公差比产品使用功能所允许的误差更小,以弥补产品在使用过程中的磨损、变形等精度消耗。

3. 经济性

在满足功能要求的前提下,几何精度设计还必须充分考虑到经济性的要求。综合考虑产品的经济性时,主要考虑产品制造成本、检测成本、使用成本和维修成本。

高精度(小公差)固然要求在制造和检测时的高投入,即高生产成本,但适当提高零件的几何精度,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,延长产品使用寿命,从而减少停机时间和维修费用,降低产品平均使用成本,提高产品的综合经济效益。因此,在对具有重要功能要求的要素进行精度设计时,除了要注意生产经济性,还应该注意使用和维护经济性,从而提高产品的性能价格比。

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。

4. 互换性

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,就能装配成为满足预定使用功能要求的机械产品,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(表面、尺寸、形状等)有关的功能要求。

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织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,互换性也提高了制造过程的经济效益。

对于不同的产品或不同生产阶段,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。

在追求个性化的时代,如果产品不是批量或大批量生产,而是单件或少批量生产时,产品零部件可以不需要具有互换性,采用配制的方法制造。

如果产品的性能要求非常严格,相应的配合精度要求非常高,采用通用批量生产的设备和加工方法无法保证时,一般采用配制的方法进行生产,这样的零、部件则不具备互换性。

5. 协调匹配

产品几何精度是由众多零、部件的几何精度综合构成的,零件的几何精度是由组成零件的各个要素的几何精度综合构成的,要素的几何精度则是由各种不同几何特性的精度要求综合构成的。在精度设计时,应该根据使用状态和制造工艺,使这些精度要求相互和谐匹配,提高经济效益,降低加工和保障成本。

在对产品整机进行精度设计时,根据产品中各个零、部件对产品精度影响程度的不同,分别对各个零、部件提出不同的精度要求。提高影响使用功能的关键精度要求,降低无关的精度要求,达到既保障优质使用功能、又降低产品成本的目的。例如,一般机械中,运动链中各零、部件要求精度比较高,应使这些环节保持足够的精度,而对于其他零、部件则应根据不同的要求分配适当的精度。

相互结合的零件的精度、零件上的各个要素的精度、要素的各种精度之间,应该相互协调和匹配。如果单项精度过高,不仅不能够提高整体的精度,反而会增加产品成本。而单项精度

要求过低,会造成其他精度的损失,从而使整体精度降低。

1.2.3 几何精度设计的主要方法

几何精度设计的原始依据是产品的技术要求。因此,首先应调查、分析、提出产品的技术要求。在明确产品的使用功能、性能、结构、材料、使用环境、批量、生产率等因素后,方能开始几何精度设计。

精度设计时,首先需要确定产品整机的精度,随后确定部件的精度要求,最后确定零件的精度。

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(亦称经验法)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、市场供应信息等诸多因素。

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所采用的方法。

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精度之间的定量关系,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。

必要时,应对零件各要素的精度和组成部件的相关零件的精度进行综合设计与计算,以确保产品的总体精度的满足。

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。计算机辅助几何精度设计不仅需要建立和完善精度设计的理论与精确设计的方法,而且需要建立具有实用价值和先进水平的各种技术信息数据库以及相应的软件系统,只有这样才能使计算机辅助公差设计进入实用化的阶段。

1.2.4 几何精度的体现

几何精度通常采用几何公差项目来体现。各种几何公差项目表达对零件的精度要求,可以有以下几种不同的方式:

1. 规定极限值方式

有些公差项目,如线性尺寸公差、角度尺寸公差等,可以规定其最大极限值和最小极限值,完工零件的被测项目(如实际尺寸、实际角度)应不超出规定的极限值。

2. 规定公差带(区域)方式

有些公差项目,如形状公差、位置公差等,可以规定实际要素允许变动的区域,即形状和位置公差带,完工零件的实际要素应不超出规定的区域。根据不同的实际情况,公差带可以是平面区域,也可以是空间区域。无论哪种区域,都应从区域的形状、大小、方向和位置等四个方面进行限定。

3. 规定评定参数方式

有些公差项目,如表面粗糙度要求,可以根据被测对象的不同特性设定不同的评定参数,并规定相应的极限值。实际要素的被测参数(如参数值 R_a)应不超出规定的极限。通常只给出评定参数的最大极限值或最小极限值,必要时也可以同时给出最大和最小极限值。

1.2.5 几何精度的标注

在确定了要素的精度以后,必须用适当的方法在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。

零件上各个要素的尺寸、形状或各要素之间的位置等都有一定的功能要求。无功能要求的要素是不存在的。而要素的尺寸、形状和要素间的位置都一定会有制造误差,因此,在图样上表达的所有要素都应给出一定的公差。

几何精度的表达主要有两种方法:一般公差和注出公差。

1. 一般公差(未注公差)

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公差项目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做出统一规定,所以一般公差又通称“未注公差”。

一般公差是在车间普通工艺条件下,机床设备一般加工能力可以保证的公差。在正常维护和操作情况下,一般公差代表经济加工精度。

一般公差可应用于线性(长度)尺寸、角度尺寸、形状和位置等要求。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要求,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。

采用一般公差表示零件的几何精度,具有以下好处:

- (1) 简化制图,使图样清晰易读;
- (2) 节省设计时间,技术人员只需要熟悉和应用一般公差的规定,无须逐一考虑公差值;
- (3) 明确了哪些要素可由一般工艺水平保证,可简化对这些要素的检验要求而有助于质