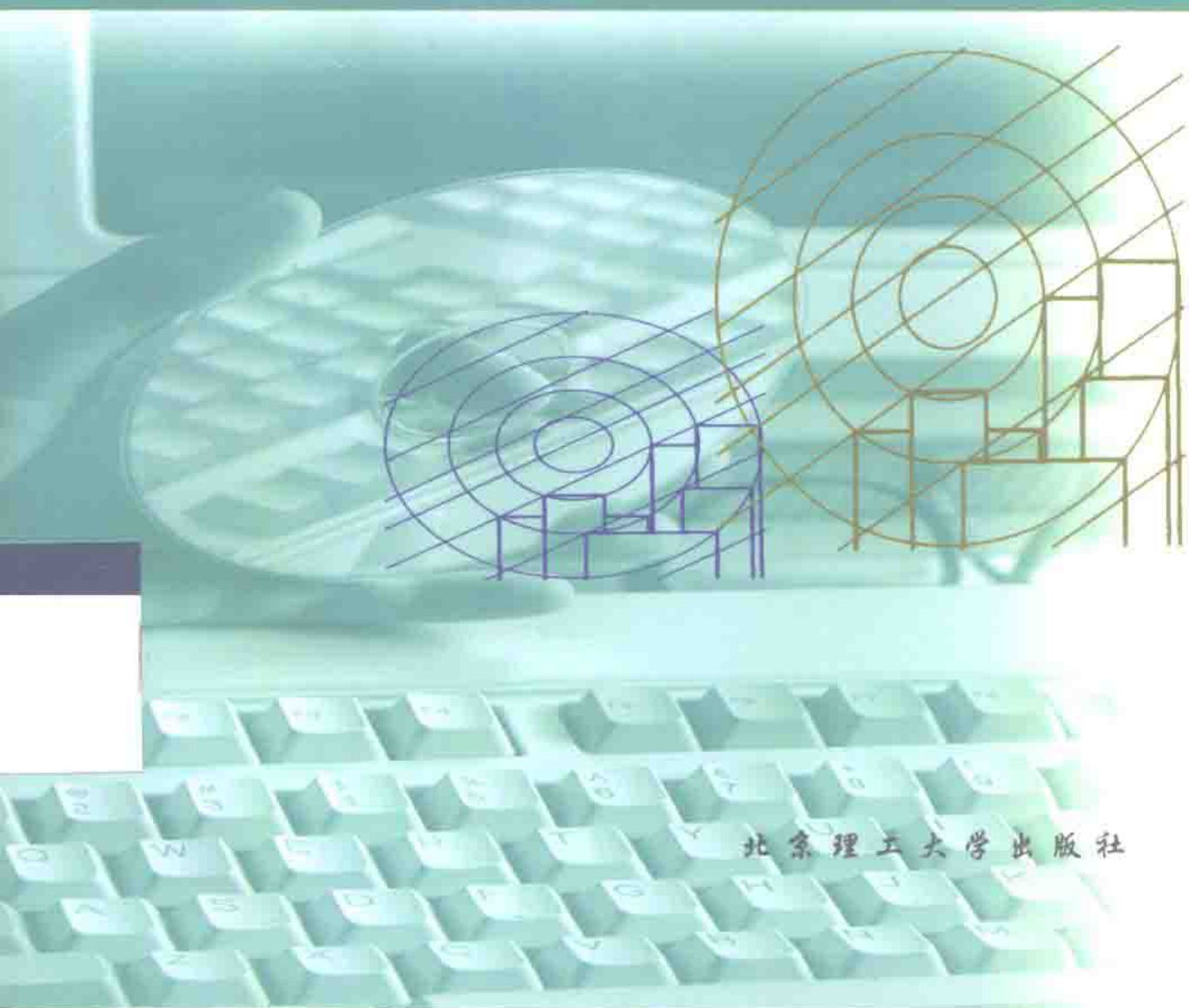


几何精度设计 与检测基础

齐宝玲 主编 刘巽尔 主审



北京理工大学出版社

几何精度设计与检测基础

齐宝玲 主编

刘巽尔 主审

北京理工大学出版社

内 容 简 介

全书分上、下两篇。上篇为几何精度设计基础,包括:基本原则、主要方法、精度的表达;基本的几何精度(尺寸精度、表面精度、形状精度、位置精度、综合精度)设计;结合要素和传动要素(圆柱面、圆锥面及渐开线齿面、螺旋面等结合和传动要素)的几何精度设计。下篇为几何精度检测基础,包括基础知识和检测原理。

该书是为实施北京理工大学“面向 21 世纪高等教育教学内容和课程体系改革计划”而编写的。与以往同类教材相比,突出了对学生几何精度设计能力的培养,进行了建立新的几何精度设计学科体系的尝试。是高等学校机械类专业的基础教材,也可供从事几何精度设计方面的工程技术人员的参考。

图书在版编目(CIP)数据

几何精度设计与检测基础/齐宝玲主编. —北京:北京理工大学出版社,1999. 8

ISBN 7-81045-611-3

I. 几… II. 齐… III. 几何误差 IV. TB92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 30730 号

责任印制:王 军 责任校对:陈玉梅

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路 7 号)

邮政编码 100081 电话 (010)68912824

各地新华书店经售

北京国马印刷厂印刷

*

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 339 千字

1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:20.00 元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

序

机械产品,包括任何其他产品中的机械部分,除了必须实现特定的运动和动力功能以外,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,远程导弹不能击中预定的目标,钟表不能准确地计时,机床不能加工出合格的零件,医疗器械将导致医疗事故,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,没有足够的几何精度,机械产品就失去了使用价值。

进入 20 世纪以来,特别是第二次世界大战以后的半个多世纪间,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,几何精度已经逐渐形成一门独立的技术学科,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,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)。

20 世纪中叶,我国的机械工业尚处于修配与仿制阶段,只能完成进口产品的维修与来图加工。从而培养和造就了一批能工巧匠和制造工艺技术人材。修配的技术水平有赖于长期的实践与经验的积累;而完成来图加工,则首先要正确理解图样上表达的设计要求(读懂图样),并学会技术标准的查阅。否则是无法进行加工和检测的。

由于种种历史和认识上的原因,半个世纪以来,我国的机械工程高等教育,始终没有把几何精度设计能力的培养作为一项重要任务。在五六十年代,由于受到当时苏联高等工程教育的影响和标准化工作的开展,开始强调对学生加强有关互换性的教育。特别是自 80 年代起,随着我国国家标准体系开始转向与国际标准接轨,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逐步演变成简化和浓缩的标准讲解资料,完全忽略了对学生创新能力的培养,背离了高等工程教育的培养目标。

理论上,无论何种生产类型、无论何种功能要求,都应该在设计中对零件的几何要素提出精度要求,即规定公差。因此,规定公差的要求是无条件的、普遍的。但公差的大小却是可以而且应该根据不同的功能要求和生产条件作出合理的选择。互换性只是在特定的生产和使用条件下对公差设计的要求。它是与标准化的程度和水平密切相关的。广义地说,相同的零件就可以互换,要求互换就是要求“相同”。功能要求不同,“相同”程度的要求也各异,公差大小(精度高低)也不相同。标准化的对象是重复性的事物。只有重复生产的零件才可能有标准化和互换的要求。而无论是否要求互换,公差是必须规定的。因此,互换性是不同于精度设计的另一种要求。可以说,首先要进行合理的精度设计,再根据具体条件确定是否需要按照标准化的原则,满足互换的要求。

几十年来的教学改革实践,既发现了公差课程的教学思想和教学内容中存在的问题,又被生产实践一次又一次地证明其基本内容对于机械工程科学技术人材的必要性,从而经历了几度撤消又几度恢复的曲折过程。这是我国高等机械工程教育发展过程中不能忘却的历史。

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,以培养学生综合设计能力为主线,设立了《几何精度设计与检测基础》课。本教材就是编者在长期教学与科研实践的基础上,根据当前国民经济发展对高等工程科学技术人材的需要编写的。它以培养学生几何精度设计能力为主要目的,兼顾对精度要求和检测的理解能力的培养,设计制订了课程的新体系,反映了精度理论与标准的最新成果。本书既是编者长期教学与科研实践的总结,又是新形势下教学改革探索与尝试。它打破了几十年来介绍基础公差标准及其构成原理为主的旧格局,建立了几何精度学科的新的教学体系。同时,从工程实际需要出发,原则说明有关国家标准的规定及其应用。从而确立了本课程在高等机械工程教育中的地位与作用。

诚然,新的学科与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。可以相信随着几何精度设计理论的发展和教学经验的积累,本教材一定会在现有的基础上不断补充、完善和提高,为我国机械工程科学技术人材的培养作出应有的贡献。

刘巽尔

1999 年 4 月

前 言

经原国家教委批准,北京理工大学在“面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划”中,进行机械基础课群改革的研究与实践。在机械基础课群改革的规划中,明确指出以培养学生综合设计能力为主线,并设立《几何精度设计与检测基础》课程。本教材就是为了满足机械基础课群改革、培养学生综合设计能力的需要而编写的。

全书共分几何精度设计基础和几何精度检测基础两大部分。前者主要论述几何精度设计的基本概念,尺寸精度、表面精度、形状精度、位置精度、综合精度等基本几何精度的设计,以及结合要素和传动要素的精度设计;后者主要论述几何精度检测的基础知识和原理,并与教学实验相配合。全书力图从几何精度设计的实际需要出发,正确处理科学性与实用性的矛盾,实现对学生设计思想和设计能力的培养。

本书由齐宝玲主编,第一、五章由刘巽尔执笔,第二章由何永熹执笔,第三、四章由齐宝玲执笔,第六章由潘淑清执笔。全书由刘巽尔教授、何镜民教授审阅。刘巽尔教授主审。谨表谢意。

编者诚挚地希望得到读者的批评与指正。

编 者

1999 年 4 月

目 录

上篇 几何精度设计基础

第一章 基本概念	(1)
1.1 机械设计的基本过程	(1)
1.2 加工过程和加工误差	(2)
1.3 几何精度设计的基本原则	(2)
1.4 几何精度设计的主要方法	(3)
1.5 零件几何精度的表达方法	(4)
1.6 零件几何精度要求的实现	(5)
1.7 互换性	(5)
1.8 标准化与优先数系	(7)
第二章 基本几何精度设计	(9)
2.1 概述	(9)
2.2 表面精度.....	(11)
2.3 线性尺寸精度.....	(17)
2.4 角度尺寸精度.....	(22)
2.5 形状和位置精度.....	(24)
2.6 公差原则——独立原则与相关要求.....	(43)
2.7 尺寸链.....	(53)
第三章 结合要素的精度设计	(65)
3.1 圆柱结合.....	(65)
3.2 滚动轴承与轴、外壳孔的结合	(78)
3.3 圆锥结合.....	(83)
3.4 螺纹结合.....	(89)
3.5 渐开线花键结合.....	(96)
第四章 传动要素的精度设计	(101)
4.1 齿轮传动	(101)
4.2 螺旋传动	(125)

下篇 几何精度检测基础

第五章 基础知识	(129)
5.1 概 述	(129)
5.2 测量基准	(131)
5.3 测量方法	(135)
5.4 测量器具的类别及其主要技术性能指标	(136)
5.5 测量数据处理	(139)

5.6 基本测量原则	(145)
第六章 检测原理	(147)
6.1 长度尺寸检测	(147)
6.2 角度和锥度检测	(153)
6.3 形状和位置误差检测	(157)
6.4 表面粗糙度检测	(168)
6.5 螺纹检测	(171)
6.6 圆柱齿轮检测	(175)
习 题	(182)
附 表	(192)
参考资料	(219)

上 篇 几何精度设计基础

第一章 基本概念

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（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满足，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要求。例如，图

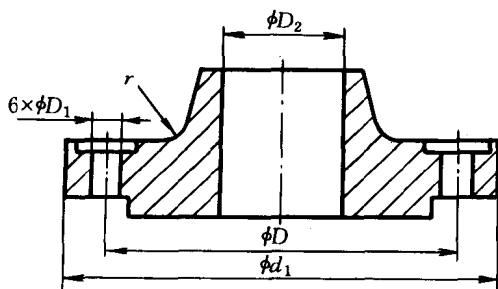


图 1-2

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。

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。

1.3 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、螺钉与螺母的螺纹结合等,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。引导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,如机壳外形尺寸、倒圆半径、倒角尺寸等。

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,然后对不同的要素给出不同大小的公差,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尺寸链的方法。

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的要求,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。

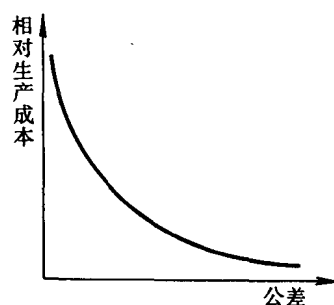


图 1-3

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。

1.4 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。但在,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。

1.5 零件几何精度的表达方法

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加以表达,即进行公差标注,作为制造、检测和验收的依据。

零件几何精度在图样上的标注主要有两种方法: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,只要在图样或技术文件中以适当的方式作出统一规定即可。所以一般公差又通称“未注公差”。采用一般公差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。而且,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都已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。

1.6 零件几何精度要求的实现

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允许误差,并按标准规定的方法在设计图样上进行标注以后,还需要采取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,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,或则将合格品判为不合格而误废,或则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。

1.7 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,特别是商品市场的发展,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的技术性能的要求。

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,可以满足预定的使用功能的要求。

显然,为了使零、部件具有互换性,首先应对某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,可以迅速更换磨损了的刀具,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。

1.8 标准化与优先数系

为了在更加广泛的范围内和更加高级的程度上实现互换性生产,还需要在不断总结生产实践经验和充分理论分析的基础上进行各种标准化的工作。标准化就是对重复性的事物进行科学的简化、选优、协调和统一。所有工程技术上的各种标准都是在一定生产条件下,使用要求与生产经济性的暂时的相对的统一。它们可以在一定条件下,以尽可能少的规定,满足尽可能多的不同需要。因此,标准化程度的提高,可以大大有利于设计工作量的减少和设计质量的提高。现在,标准化对于实现互换性生产、促进科学技术水平提高的作用,已经被越来越多的人所认识。

技术标准可以按标准化对象的特性分为基础标准、产品标准、方法标准以及安全和环境保护标准等四类。也可按适用范围分为国际标准、国家标准、行业标准和企业标准等级别。

我国已按“积极采用国际标准和国际先进标准”的原则,制订了一万多项国家标准。其中有关机械零件几何精度的推荐性国家标准都是等同或等效采用了相应的国际标准(ISO)。如《极限与配合》、《表面粗糙度》、《形状和位置公差》、《普通螺纹 公差与配合》、《光滑极限量规》、《光滑工件尺寸的检验》、《渐开线花键公差》、《渐开线圆柱齿轮 精度》等等都与相应的国际标准基本统一,从而有利于国际合作与交流。

在标准化的范畴内,各种技术参数值的简化和统一,是标准化的基础。因为任一产品的技术参数都会以各种不同的形式和规律向有关产品传播。例如,胶卷的尺寸会影响相机、冲扩设备的设计,录音、录像磁带的规格又与录音机、录像机有关。优先数和优先数系就是对技术参数的数值进行简化和统一的科学的数值制度。

国家标准 GB321—80 规定的优先数系是由公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 或 $\sqrt[80]{10}$, 且项值中含有 10 的整数幂的等比数列导出的一组近似等比的数列。根据公比的不同,各数列分别用 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示,并相应称为 R5 系列、R10 系列、R20 系列、R40 系列和 R80 系列。优先数系中的任一个项值均为优先数。五种系列中,R80 为补充系列,其余 4 种为基本系列。各系列的公比 q 如下:

$$R5: q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$$

$$R10: q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$$

$$R20: q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$$

$$R40: q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$$

$$R80: q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$$

各基本系列中优先数的常用值列于附表 1-1。

实际实用时,应按 R5、R10、R20、R40 的顺序优先选用。当基本系列不能满足要求时,才采用补充系列 R80。

由附表 1-1 可见,优先数系国家标准具有简单易记、可向数值增大和减少两个方向延伸的特点。而且,在同一系列中,任两项优先数的积或商,任一项的整数幂,仍为优先数。特别是相邻两项优先数的相对差相同, $(q^{n+1} - q^n) / q^n = q - 1$ 。

此外,由于 R10 系列的公比 $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx \sqrt[3]{2}$, 所以在 R10 系列中,每隔三项,优先数就增

大一倍。如 1、2、4、8……。相应地，R20 系列的优先数，每隔六项增大一倍，R40 系列的优先数每隔十二项增大一倍。

又因 R10 系列中的优先数 3.15 近似等于 π ，所以，如果圆的直径是优先数，则其周长、面积，以至圆周速度、切削速度、圆柱面积和体积、球面积和体积等也都可以优先数表示。

在基本系列的基础上，还可以获得派生系列。派生系列是取其基本系列中每二、三或四项之值所得到的系列。派生系列用基本系列代号之后加一斜线和表示项数的数字(2、3、4)来表示。

例如：

R5/2: 1、2.5、6.3、16、40、100……

R10/3: 1、2、4、8、16、31.5、63……

如果限定系列范围，则代号应包含被考虑的限定项值。例如：

R5/2(1…1 000 000)——以项值 1 和 1 000 000 所限定的系列，且包括该两项值。

R40/5(…60)——项值上限为 60(含)的系列。

R20/4(112…)——项值下限为 112(含)的系列。

由于优先数的上述优点，现已被国际标准化组织采纳为统一的标准数值制。

第二章 基本几何精度设计

2.1 概 述

任何机械零件都是由若干几何要素构成的实体。设计和规定机械零件几何精度要求的主要任务就是给构成机械零件的几何要素规定相应的精度要求,通称几何公差设计。

2.1.1 几何要素

几何要素是指构成零件实体的几何特征:点、线、面,简称要素。例如图 2-1 所示的零件上有:球心、锥顶(点);圆柱面和圆锥面的素线、轴线(线);球面、圆锥面、圆柱面、端面(面)等。

按照不同的定义和用途,几何要素可以有不同的分类:

1. 点、线、面要素

点要素有顶点、中心点、交点等;线要素中常见的有直线、圆弧(圆)及任意形状的曲线;面要素常见的有平面、圆柱面、圆锥面、球面及任意形状的曲面。

2. 理想要素和实际要素

具有几何学意义的要素称为理想要素,它们是没有误差的理想几何图形。

零件上实际存在的要素称为实际要素。在实际工作中,允许以测量所得到的要素(测得要素)代替实际要素。

3. 轮廓要素和中心要素

由一个或几个表面形成的要素,称为轮廓要素。如图 2-1 中的锥顶、圆柱面、圆锥面、圆柱面与端平面的交线等。

对称轮廓要素的中心点、线、面或回转表面的轴线,均称为中心要素。如图 2-1 中的轴线、球心等。

中心要素是由相应的轮廓要素导出的,中心要素依存于决定它的轮廓要素。如轴线依存于回转表面,它是由回转表面导出的。

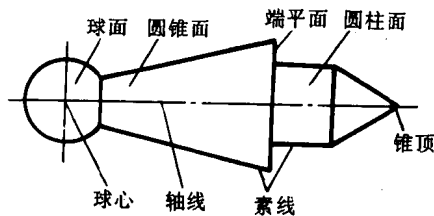


图 2-1

4. 被测要素和基准要素

在零件设计时给出了几何精度要求的要素,也就是需要经过测量确定其几何精度的要素,称为被测要素。如图 2-2 中的上表面和下表面都给出了平面度(平行度)精度要求,所以都是被测要素。

在零件设计时,用来确定理想被测要素的方向或(和)位置的要素,称为基准要素。理想的基准要素简称为基准。通常,基准要素由设计者在设计图样上用规定的方法标明。如图 2-2 中所示零件的下表面,它是确定理想上表面的方向(平行)的要素,所以是上表面的基准要素。

5. 单一要素和关联要素

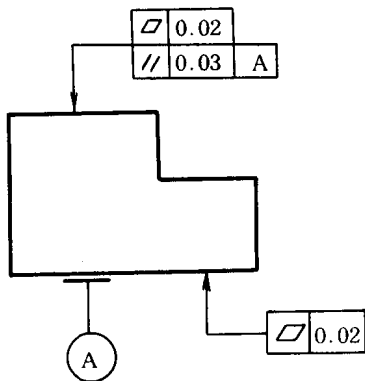


图 2-2