

高等学校创新型人才培养规划教材

互换性与 测量技术基础

(第二版)

主编 邵晓荣 张艳



 中国标准出版社

高等学校创新型人才培养规划教材

互换性与测量技术基础

(第二版)

主编 邵晓荣 张 艳

主审 鄂峻峤

中国标准出版社

北 京

内容简介

本书为高等院校机械类、仪器仪表类及机电结合类各专业适用教材,也可供机械制造及仪器仪表等各专业的工程技术人员参考。全书分四个部分共十章:基础部分(绪论,几何量的加工误差和公差,几何公差与尺寸公差的关系),典型件部分(孔与轴类零件精度设计基础,键联结的互换性,渐开线圆柱齿轮的互换性,螺纹联接的互换性),多尺寸部分(尺寸链)和检测部分(测量技术基础,光滑极限量规和功能量规)。

本书整个体系在阐述互换性原则的同时,强调精度要求;理论与实践密切联系,符合认识和讲授规律;章节结构脉络清晰,内容少而精,适用于不同专业和不同学时。

图书在版编目(CIP)数据

互换性测量技术基础/邵晓荣主编.—2版—北京:
中国标准出版社,2011
高等学校创新型人才培养规划教材
ISBN 978-7-5066-6435-6

I. ①互… II. ①邵… III. ①零部件-互换性-高等学校-教材②零部件-测量技术-高等学校-教材Ⅳ.
①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 169269 号

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街 16 号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 11 字数 260 千字
2011 年 8 月第二版 2011 年 8 月第五次印刷

*

定价 25.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

第二版前言

《互换性与测量技术基础》课程是高等院校机械类、仪器仪表及机电结合类各专业必修的一门重要的技术基础课。是由互换性和检测技术这两个密切联系的部分组成。在教学中,本门课程起着联系基础课及其它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课程的纽带作用。通过本门课程的讲授,可使学生获得互换性、标准化、测量技术及精度设计的基本知识和基本技能,为学生毕业后从事机电产品的设计、开发和科研工作打下坚实的基础。

本书于2001年8月由机械工业出版社出版,2007年8月由中国标准出版社出版。经过多年的教学实践,编者广泛收集并吸取了使用过本教材的广大师生的意见,在第一版的基础上进行了修订。全书突出体现以下几点:

1. 紧密结合教学大纲,精简内容,加强基础。反映国内、外最新成就,将有关的国际标准(ISO)和最新国家标准贯穿于教学中,如尺寸公差、几何公差、表面粗糙度、渐开线圆柱齿轮精度等。

2. 为适应基于CDIO的教学改革的需要,以培养学生的综合设计能力为主线,在体系上,仍保持第一版的特点,打破以往教材按国家标准划分章节和内容以宣贯国家标准为主的旧体系,以互换性和精度要求为主线贯穿全部内容。在内容上,注重基础知识和实践应用,在阐述互换性原则的同时,强调精度要求,各章均从使用要求、研究加工误差出发展开讨论,再给出具体的控制误差项目及其选择与应用。从理论到实践,从简单到复杂,符合认识和讲授规律。

3. 教材的脉络清晰、内容紧凑、难点分析细腻、重点加强应用、系统性强,即便于教师授课,也便于学生自学。考虑到许多院校最后进行实验和部分专业不讲授量规设计,因而将检测部分列在最后两章,便于在讲授不同专业、不同学时课程时可方便地舍去各章节而不破坏教材的系统性。

本书是根据全国高等工科院校本课程的教学大纲和教学基本要求,结合作者几十年的教学经验编写。本书即可作为高等工科学院(包括职业院校)各有关专业的教材,又可作为工矿企业有关技术人员的参考资料;即可用于重型机械设备大尺寸,又可用于精密仪器的小尺寸。

本书编者为(按姓氏笔划):艾佳、包耳、邵晓荣、张艳、段福来、曾焕浪、姜乃厚。主编为邵晓荣、张艳。主审为鄂峻峤。

限于作者的水平,书中难免有谬误,敬请读者批评指正。

编者

2011年6月

前 言

《互换性与测量技术基础》是高等院校机械类、仪器仪表类及机电结合类各专业一门重要的技术基础课,由互换性和检测技术这两个密切联系的部分组成。通过本门课程的讲授,可使学生获得互换性、标准化、测量技术及精度设计的基本知识和基本技能,为学生毕业后从事机电产品的设计、开发和科研工作打下坚实的基础。

本教材打破了以往教材按国家标准化分章节和内容以宣贯国家标准为主的旧体系,以互换性和精度要求为主线贯穿全部内容。在结构上,划分为基础部分、典型件部分、多尺寸部分和检测部分四大部分;在内容上,注重基础知识和实践应用。在阐述互换性原则的同时,强调精度要求,各章均从使用要求、研究加工误差出发展开讨论,再给出具体的控制误差项目及其选择与应用。从理论到实践,从简单到复杂,符合认识和讲授规律。教材的脉络清晰、内容紧凑、难点分析细腻、重点加强应用、系统性强,并全部采用目前最新的国家标准。考虑到许多院校最后进行实验和部分专业不讲测量规设计,因而将检测部分列在最后两章,便于在讲授不同专业、不同学时的课程时可方便地舍去各章节而不破坏教材的系统性。

本书是根据全国高等工科院校本课程的教学大纲和教学基本要求,结合作者几十年的教学经验编写。本书既可作为高等工科学院(包括职业院校)各有关专业教材,又可作为工矿企业有关技术人员的参考资料;既可用于重型机械设备大尺寸,又可用于精密仪器的小尺寸;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、标准化、计量测试、质量控制、生产组织管理的许多方面。

本书编者为(按姓氏笔划):艾佳、包耳、曲恩、邵晓荣、段福来、曾焕浪、姜乃厚。主编为邵晓荣、曲恩。主审为鄂峻峤。

限于作者的水平,书中难免有谬误,敬请读者批评指正。

编 者

2007年6月

目 录

基 础 部 分

第一章 绪论	1
第一节 互换性概述	1
第二节 精度要求与加工误差的评定	3
第三节 标准化与优先数系	4
第四节 本课程的性质与任务	7
第五节 本课程的特点及学习方法	8
第二章 几何量的加工误差和公差	9
第一节 几何量的加工误差	9
第二节 极限与配合的基本术语及定义	10
第三节 极限与配合的国家标准	19
第四节 几何公差及其公差带	28
第五节 表面粗糙度	41
第三章 几何公差与尺寸公差的关系	48
第一节 基本概念	48
第二节 公差原则	52

典 型 件 部 分

第四章 孔与轴类零件精度设计基础	62
第一节 孔与轴类零件的使用要求	62
第二节 尺寸公差与配合的选用	63
第三节 几何公差的选用	77
第四节 表面粗糙度的选用	80
第五节 滚动轴承的公差与配合	82
第五章 键联结的互换性	90
第一节 概述	90
第二节 平键的公差与配合	91
第三节 矩形花键的公差与配合	94
第六章 渐开线圆柱齿轮的互换性	99
第一节 齿轮传动的使用要求	99

第二节	影响传递运动准确性的误差及其评定参数	100
第三节	影响齿轮传动平稳性的误差及其评定参数	103
第四节	影响齿轮载荷分布均匀性的误差及其评定参数	105
第五节	影响齿轮传动侧隙的误差及其评定参数	107
第六节	评定齿轮精度的其它检测参数	109
第七节	圆柱齿轮精度标准及其应用	111
第七章	螺纹联接的互换性	123
第一节	螺纹联接的使用要求和基本牙型	123
第二节	影响互换性的几何参数误差	125
第三节	作用中径及其合格条件	126
第四节	普通螺纹的公差与配合	128

多 尺 寸 部 分

第八章	尺寸链	132
第一节	尺寸链的基本概念	132
第二节	尺寸链的分析与计算	134
第三节	保证装配精度的其他工艺措施	139

检 测 部 分

第九章	测量技术基础	143
第一节	测量单位和量值传递	143
第二节	测量器具和测量方法	146
第三节	测量误差与数据处理	148
第四节	测量器具的选择	152
第十章	光滑极限量规和功能量规	155
第一节	光滑极限量规的设计与计算	155
第二节	功能量规设计	160
习题与思考题		163
参考文献		169

基 础 部 分

第一章 绪 论

现代化工业生产的显著特点是专业化协作的高度社会化的大生产。在生产过程中,要求在保证产品质量的同时,大力提高产品的精度和生产率,以满足飞速发展的科学技术及人们日益增长的物质方面的需求。实现社会化大生产的技术措施是产品应具有互换性及广泛的标准化。这就要求设计者除具备设计能力外,还必须具备互换性、标准化、检测技术等诸方面的知识,本书将系统地介绍与此有关的一些基本概念、基本知识及其实际应用。

第一节 互换性概述

任何机器和产品都是由大小不同、形状各异的零部件组成的。当这些零部件经过一定的机械加工装配在一起时能否顺利组装,装配后是否满足预定的使用性能要求,都与这些产品的互换性有关。因此,产品的互换性要求是基本要求之一。

一、互换性的涵义

产品的互换性(interchangeability)是指按同一规格标准制成的合格零部件在尺寸上和功能上具有相互替换的性能。且为产品设计与制造的原则。

设计时,产品应按同一规格标准要求;制造时,零部件可分别在不同地区、不同工厂、不同时间完成;装配时,不需要挑选或附加修配,任选其一就能顺利组装,装配后,能满足预定的使用性能要求。这样的生产方式称为互换性生产,生产出来的零部件就称为具有互换性的零部件。因而,互换性生产原则能满足专业化协作生产的要求。

机械制造业中的互换性通常包括几何参数(如尺寸)、力学性能(如硬度、强度)及理化性能(如化学性能)的互换,本课程仅讨论几何参数(几何量)的互换。

零部件应具有互换性不仅是使用者的要求,也是生产制造者的要求。

互换性在现代化工业生产中起着十分重要的作用。遵循互换性原则进行设计工作,可以最大限度地采用标准化和通用化的零部件,从而大大减少计算和绘图工作量,加快设计进度,同时也有助于采用现代的计算机辅助设计。按照互换性原则设计的零件,在加工过程当中,可将一部机器中的所有零部件分散到不同工厂、不同车间进行专业化生产,然后再集中到一个工厂进行装配。另外,加工中还可以采用高效率的专用设备,进而实现生产过程的自动化,既可促进自动化生产的发展,也有利于降低加工成本,提高产品质量。

在装配过程中,零部件具有互换性要求后,就可在装配时从按同一标准制成的合格零件中任取其一,不挑、不选就能顺利组装,使装配过程能够连续而顺利地进行,从而大大缩

短了装配周期。也可以采用流水作业方式,使装配生产率大大提高(如汽车的总装线)。

在使用维修时,产品具有互换性后,某些易损的零部件一旦损坏,可以方便地用同一规格的配件更换,而不致影响整部机器的使用。例如,我们日常生活中使用的自行车、手表,机械产品中的齿轮、滚动轴承,其他的产品如汽车、拖拉机、农业机械等,当它们之中的某些零部件损坏时,可以用新的迅速更换,将会大大缩短维修时间,节约修理费用,保证了机器工作的连续性和持久性。尤其在修理影响范围大的重要设备(如大型发电设备),零部件具有互换性的意义就更加明显了。

既然互换性是现代化生产的生产原则,就应该在设计时切实遵循。不但在大批量生产时要求互换性,而且在单件,小批生产时也必须遵循互换性原则。总之,互换性已成为现代化工业生产广泛遵守的一项原则,在保证产品质量、增加经济效益方面具有十分重要的意义。

二、互换性的种类

根据零部件互换性程度与范围不同,可以分为完全互换和不完全互换。

1. 完全互换

按同一规格标准设计的零件加工后,装配或更换时不需要挑选、调整或附加修配,装配后能保证预定的使用性能要求。这样的零件具有完全互换性,如齿轮、轴、端盖、螺钉、螺母等。

完全互换性有利于组织专业化协作生产,并可实现加工和装配过程的机械化、自动化,大大提高劳动生产率,降低生产成本,同时也有利于维修。但是,当装配精度要求很高时,采用完全互换将使各零件的尺寸变动范围很小,造成加工困难,甚至于无法加工。因此,可采用不完全互换法。

2. 不完全互换

在有限的范围内可以互换(又称有限互换)。通常采用分组装配法、调整法、修配法等工艺措施来实现。

分组装配法是将相配合的两个零件,按现场加工的经济性规定合适的尺寸变动范围。加工后,经精确测量将零件按实际尺寸的大小分组(通常分为 2~4 组),装配时采用按对应组大配大、小配小的措施,使装配后的配合精度达到很高的要求。这样,既可以保证装配精度的要求,又可解决加工困难的问题,使生产成本大大降低。采用分组装配法时,对应组内的零件可以互换,非对应组之间不能互换,所以称为不完全互换或有限互换。例如,滚动轴承中的滚动体与滚道,发动机活塞与活塞销之间的装配等,都是分组装配法的实例。

调整法也是一种保证装配精度的工艺措施。它是指在装配时,预先设置某个可以补偿误差的特殊零件,通过调整它的尺寸,达到装配精度的要求。这种特殊零件一般称为补偿件或调整件。调整法在实际生产中应用很广。例如:一般减速器中经常采用不同厚度的垫片作为调整件,来调整齿轮副或蜗杆副正确的啮合位置;用螺钉改变轴承外圈的位置来调整轴承的游隙;机床中常用镶条、锥套、调节螺旋副等作为调整件,来保证其装配精度。由于调整件的尺寸是按装配时各零件的实际尺寸综合进行调整的,装配后如欲更换任一零件时,均需重新调整或更换调整件,所以调整法属于不完全互换。

修配法是另一种工艺措施。它是在装配地点对某一零件的指定部位进行辅助加工,以达到装配精度的要求。由于按修配法装配后,如欲更换某个零件时,可能要对修配件重新修配,所以修配法属于不完全互换。

综上所述,完全互换性通常简称互换性,它是以零、部件在装配或更换时不需要挑选或修配为条件的,区别于不完全互换。一般而言,对于厂际协作适宜选择完全互换,而不完全互换仅限于厂内的生产装配。无论是采用完全互换还是不完全互换,都应根据具体情况,在设计时事先确定。

第二节 精度要求与加工误差的评定

机械产品除具有互换性要求外,还有精度要求,这项要求同样是机械产品的基本要求之一。

一、精度及精度要求

在机械产品中,几何精度通常简称为精度(accuracy),它是指零部件的实际几何形体与理想几何形体相接近的程度,包括尺寸、形状及相互位置的精度。

零件的几何形体是通过加工后得到的。在实际生产中,任何加工方法都无法将零件制造得绝对准确,总是存在加工误差。精度要求得越高,则加工误差应越小。

各类机械产品对精度的要求是不同的。例如车间用的精度最低的 $630\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ 的划线平台,工作面的平面度误差要求不大于 0.07 mm ;而 0 级千分尺测砧平面的平面度误差则要求不大于 $0.6\text{ }\mu\text{m}$;直径为 $\phi 100\text{ mm}$ 的轴,按中等精度要求,尺寸误差不大于 0.035 mm ,高精度要求时,尺寸误差不大于 0.015 mm 。

随着科学技术的发展和生产水平的提高,对产品几何精度的要求也越来越高。例如用于精密配合的 $\phi 100\text{ mm}$ 的轴,尺寸误差不大于 0.006 mm ;而 10 mm 的 00 级量块的尺寸误差则不大于 0.00012 mm ;大规模集成电路,要在 1 mm^2 的硅片上集成数以万计的元件,其上的线条宽度约为 $1\text{ }\mu\text{m}$,允许的形状和位置误差仅为 $0.05\text{ }\mu\text{m}$ 。

由此可见,要保证零部件及产品的精度要求,必须将加工误差限制在一定的范围内,并应在零件加工后给予正确的评定。

二、加工误差的限制与评定

机械加工的零件总是存在有各种误差(error),由于产品的精度要求不同,允许其误差的大小也不同。同时,为了满足互换性的要求,也应使同一规格的零部件的几何参数接近一致。零件的几何参数误差,对机器和仪器的性能有很大影响,且零件的制造误差与零件的制造成本密切相关;制造误差越小,制造成本越高。因此在设计机械产品的过程中,应按照经济地满足产品使用性能要求的原则,对机械产品中的各个零件进行几何精度设计,即对每个零件规定适宜的公差,用以限制加工误差的大小。对于加工误差的限制与评定,主要从以下两方面进行。

1. 公差(tolerance)

允许零件几何参数的变动范围称为公差。公差是限定零件加工误差范围的几何量,

是保证互换性生产的一项基本的技术措施。因此,对有互换性和精度要求的零件,就可以用公差来控制其加工误差,以满足互换性和精度的要求。另外,零件的尺寸大小一定时,给定的公差值越小,精度就越高,但随之而来的是加工越困难。所以设计者不能任意规定公差值,必须按国家标准选取公差数值。

2. 检测(inspection and measurement)

即检验和测量,是将被测几何参数与单位量值进行比较或判断的过程,由此确定被测几何参数是否在给定的极限范围之内。零件在加工中或加工后是否达到了要求,其误差是否在给定的公差范围内,这些都需要按一定的标准进行正确的检验和测量,因此检测是保证互换性生产的又一基本措施。因为检测本身也有误差,导致将合格品误判为废品,或将废品误判为合格品,所以应从保证产品质量和考虑经济性这两方面综合加以解决,并制定和贯彻统一的检测标准。

第三节 标准化与优先数系

标准化是指制定标准和贯彻标准以促进经济全面发展的全部活动过程。要实现互换性生产,就要求广泛的标准化。一切标准都是标准化活动的结果,而标准化的目的,又是通过制定标准来体现的,所以制定标准和修订标准是标准化的基本任务。

一、标准

国家标准 GB/T 20000.1—2002 对“标准”的定义为:为了在一定的范围内获得最佳秩序,经协商一致制定并由公认机构批准,共同使用的和重复使用的一种规范性文件。

标准(standard)是指对重复性事物和概念所做的统一规定。它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础,经有关部门协调一致,由主管部门批准,以特定的形式发布,作为共同遵守的准则和依据。我国现已颁布实施的《标准化法》规定,作为强制性的各级标准,一经发布必须遵守,否则就是违法。

根据不同的适用范围,我国的标准分为国家标准、行业标准、地方标准、企业标准四个层次。

国家标准(代号 GB 或 GB/T)是由国务院标准化行政主管部门制定,在全国范围内统一的技术要求。主要包括:有关通用的名词术语、公差配合等基础标准;基本原料、材料标准;通用的零部件、元器件、构件、配件和工具、量具标准;通用的试验方法和检验方法的标准;有关安全、卫生 and 环境保护的标准等几方面。

行业标准是对那些没有国家标准而又需要在全国某个行业范围内统一的技术要求所制定的标准。如机械标准(代号 JB)、冶金标准(代号 YB)、石油标准(代号 SY)、轻工标准(代号 QB)、电力标准(代号 DL)等。在公布国家标准之后,该行业标准即行废止。

地方标准(代号 DB)是对没有国家标准和行业标准而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的工业产品的安全、卫生要求等所制定的标准。在公布了相应的国家标准或行业标准之后,该项地方标准即行废止。

企业标准是对没有国家标准和行业标准的产品,可制定企业标准,作为组织生产的依据。对已有国家标准或行业标准的,国家鼓励企业制定严于国家标准或行业标准的企业标准,在企业内部适用,有利于提高产品质量。

二、标准化

标准化(standardization)是指在经济、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、发布和实施标准,达到统一,以获得最佳秩序和社会效益的有组织的活动过程。

标准与标准化虽然是两个不同的概念,但又有着不可分割的联系。没有标准,也就没有标准化;反之没有标准化,标准也就失去了存在的意义。

标准化是组织现代化生产的重要手段之一,是实现专业化协作生产的前提,是科学管理的重要组成部分。标准化也是联系科研、设计、生产、流通和使用等环节的纽带,是整个社会经济活动合理化的技术基础。标准化又是发展对外贸易,搞好国际间的技术交流,提高产品在国际市场上的竞争力的技术保证。因此,做好标准化工作,对于节约原材料,减少浪费,提高产品质量,搞好环境保护,保证安全生产等诸多方面都有重要意义。

世界各国的经济发展过程表明,标准化是实现国民经济现代化的一个重要的手段,也是反映现代化水平的一种重要标志。现代化的程度越高,对标准化的要求也越高。近20多年来,国际标准化工作有了重大进展,其最大特点就是标准的国际化。国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)所制定的标准的数量增加很快,质量也有了很大的提高。大部分国际标准集中了许多国家的经验和科学技术的最新成果。所以,国际标准一般被认为是代表先进技术水平国际协议。为了便于国际贸易和国际间的技术交流并从中得到益处,许多国家参照国际标准来制定本国的国家标准,有些国家则完全采用国际标准。我国标准化“十二五”发展规划要求积极采用国际标准和国外先进标准,目标是到2010年,相关国际标准的采标率达到85%。

在机械制造业中,为了实现互换性生产,必须使分散的、局部的生产部门和生产环节之间在技术上保证必要的统一,以形成统一的整体。而标准化正是现代化生产中建立这种关系的重要技术手段,因此标准化是实现互换性生产的技术基础。

目前标准化已渗透到社会的各个方面,通过制定、发布和实施的手段,使标准达到统一,可以获得最佳秩序(如最佳的生产秩序、工作秩序等)和最佳社会效益(如最大限度地减少不必要的劳动消耗,增加社会生产力)。显然,标准化的意义在于积极地推动社会的进步和生产的发展,其作用是很重要的。

三、优先数和优先数系

优先数系(series of preferred numbers)是国际上统一的数值分级制度,是一个重要的基础标准。我国也采用这种制度,国家标准为GB/T 321《优先数和优先数系》。

在生产中,为了满足用户不同的需求,产品必然出现不同的规格,有时,同一产品的同一参数也要从小到大取不同的数值。另外,当选定一个数值作为某个产品的参数指标之后,这个数值就会按照一定的规律,向一切有关的制品、材料和工程项目中有关指标传播、扩散。例如,当螺栓的尺寸一旦确定,与之相配合的螺母尺寸,加工用的丝锥和扳牙,检验用的塞规和环规的尺寸也就随之而定,继而又传向垫圈、扳手空间尺寸,再进一步传向攻丝前的钻孔直径和钻头的尺寸等。如果这些技术参数取值不合理,必将给生产的组织管理、协作配套和设备维修等带来很大困难,直接影响到加工过程中的刀具、卡具、量具等的

规格数量。为了便于组织互换性生产和协作、配套及维修,合理解决要求产品多样化的用户同只生产单一品种的生产者之间的矛盾,就需要对各种技术参数的数值进行简化和优选,最后统一为合理的标准数系,以便使设计者优先选用数系中的数值,使设计工作从一开始就纳入标准化的轨道。这个标准的数系就是优先数系。它可以使工程上采用的各项参数指标分档合理,并能使生产部门以较少的品种和规格,经济合理地满足用户对各种规格产品的需求。

优先数系是一种十进制的等比数列。十进制是要求在数系中包括 $1, 10, 100, \dots, 10^n$ 和 $0.1, 0.01, \dots, 10^{-n}$ (n 为整数)。等比是按一定的公比形成的数列,每后一项的数值相对于前一项数值增长率(后项减前项的差值与前项之比的百分比)是相等的,它符合分级均匀的需要。数列中 $1 \sim 10, 10 \sim 100, 100 \sim 1000$ 等称为十进段。每个十进段中的项数都是相等的,相邻段对应项值只是扩大或缩小 10 倍。这种性质有利于简化工程设计。

在现行国家标准中优先数系有五个系列,它们分别是:

- R5 系列 公比为 $\sqrt[5]{10} \approx 1.6$;
 R10 系列 公比为 $\sqrt[10]{10} \approx 1.25$;
 R20 系列 公比为 $\sqrt[20]{10} \approx 1.12$;
 R40 系列 公比为 $\sqrt[40]{10} \approx 1.06$;
 R80 系列 公比为 $\sqrt[80]{10} \approx 1.03$ 。

在 $1 \sim 10$ 这个十进段中,R5 数系除 1 以外包括 5 个优先数:1.6,2.5,4.0,6,3,10; R10 数系包括 10 个优先数,它们是按 1.25 的比例中项插入 R5 的 5 个数值之中。其余类推。其中 R5、R10、R20、R40 为基本系列,其常用值列于表 1-1。R80 为补充系列。

表 1-1 优先数系的基本系列

R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40
1.00	1.00	1.00	1.00			2.24	2.24		5.00	5.00	5.00
			1.06				2.36				5.30
		1.12	1.12	2.50	2.50	2.50	2.50			5.60	5.60
			1.18				2.65				6.00
	1.25	1.25	1.25			2.80	2.80	6.30	6.30	6.30	6.30
			1.32				3.00				6.70
		1.40	1.40		3.15	3.15	3.15			7.10	7.10
			1.50				3.35				7.50
1.60	1.60	1.60	1.60			3.55	3.55		8.00	8.00	8.00
			1.70				3.75				8.50
		1.80	1.80	4.00	4.00	4.00	4.00			9.00	9.00
			1.90				4.25	10.00	10.00	10.00	10.00
	2.00	2.00	2.00			4.50	4.50				
			2.12				4.75				

在设计任何产品时,对主要尺寸及参数都应采用优先数。通常,一般机械的主要参数按 R5 或 R10 系列;专用工具的主要参数尺寸按 R10 系列;通用型材、零件、工具的尺寸及壁厚尺寸等按 R20 系列。

第四节 本课程的性质与任务

本课程是机械类、仪器仪表类、机电结合类各专业的一门重要的技术基础课,是联系设计类课程和机械制造工艺类课程的纽带,也是从基础课及其他技术基础课向专业课过渡的桥梁。通过本门课程的学习,可以获得互换性、标准化及检测技术方面的基本知识,初步掌握精度设计的基本技能,为今后从事机电产品的设计、开发和科研工作打下坚实的基础。

在设计机器及其零部件时,通常要进行运动分析和强度、刚度计算。同时,为了保证机械产品的质量,还应该进行精度分析与计算。由于有加工误差的存在,对加工后的零件就必须进行检验或测量,以便确定完工后的零件是否符合设计时所规定的精度要求,由于零部件的几何参数误差将直接影响机器的使用性能,所以在进行精度设计时,必须对零部件规定正确合理的几何参数公差,保证使设计的机器达到预定的使用性能。另外,只有将经过检验或测量后判定为合格的零部件组装成机器,才会使机器具有设计时所规定的使用性能。由此可见,精度设计和测量技术是保证产品质量的两个重要的技术环节。本课程的任务就是研究机器中零部件精度设计的原则和方法,以及作为产品质量技术保证的测量技术。

随着科学技术的迅速发展和生活水平的不断提高,人们对机电产品的质量提出了越来越高的要求。自 20 世纪 70 年代以来,机械制造业随着计算机技术的迅速发展和广泛应用而发生了根本性的变化,已出现了诸如计算机集成制造系统(CIMS)等现代先进制造系统。目前,CIMA 和 CAD/CAM 已取得了重大的突破和引人注目的成就,但是作为机械产品设计和制造过程中的一项重要内容,机械零件的公差设计和工序公差设计在国内基本上还是依靠设计人员的经验或图表,采用类比的方法进行人工或半人工设计。因此公差设计的现状无法与目前 CAD/CAM 集成、CIMS 发展相适应,已成为制约它们进一步发展的一大关键问题,故进行计算机辅助公差设计(简称 CAT)技术的研究已成为迫切的需要。

20 世纪 80 年代中期以来,并行工程(concurrent engineering)作为一种新的产品开发方法在工程界出现,立刻引起了强烈的反响。并行工程与 CIMS 的结合,为 CIMS 的发展提供了新的内容。在并行工程环境中 CAD、CAPP、CAM 的集成化,不仅仅要求在整个系统内数据的共享与交换,还要求相互评价、相互协调以实现并行设计,因此就需要各种分析与评价手段。设计公差与工序公差并行设计以及公差分析技术是 CAD、CAPP、CAM 集成中的重要内容,又是它们相互评价和协调的手段。公差的设计结果不仅影响产品的精度,也影响到产品的加工成本。为了以尽可能少的资金投入,生产出更多的高质量机械产品,以适应加速我国国民经济现代化进程的需要,学习、研究并掌握这些互换性与测量技术中的最新成果,是工程技术人员和机械类、仪器仪表类学生的任务。在学完本课程后应达到以下要求:

- (1) 掌握互换性、标准化、检测技术方面的基本概念、基本术语和定义;
- (2) 掌握本课程中几何量公差的主要内容和应用原则;
- (3) 初步学会根据机器的不同功能要求进行精度设计;

- (4) 能够将各项公差要求正确标注在图样上;
- (5) 初步掌握测量器具和常用几何量的检测。

第五节 本课程的特点及学习方法

本课程是由互换性与检测技术两个密切相关的部分组成。互换性部分主要是介绍有关的公差标准和如何进行精度设计,这些内容主要通过课堂的讲授和学习来掌握;而检测技术主要是介绍各种测量器具及检测方法,属于计量学范畴,这部分内容主要通过实验来掌握。

本课程的特点是:术语代号多,具体规定多;各类标准多,查表选择多;叙述性的内容多;实践性强、实用性强。对于刚刚学完数学和力学等系统性和理论性较强的基础理论课,习惯逻辑推导而缺乏实践经验的同学们来说,往往感到内容多,难记忆,容易听懂,却不会应用,遇到设计中的实际问题时,总觉得无从下手。这就要求在学习过程中,紧紧抓住精度和互换性这条贯穿全课程的主线,及时归纳总结、分析比较,掌握众多术语、定义之间的区别与联系,起到举一反三的作用。要认真地独立完成作业,巩固并加深对所学内容的认识与理解,学习选择公差、配合的原则和方法,掌握各类公差与配合的正确标注方法。同时,要重视实验课,自觉加强基本技能的训练,培养理论联系实际,踏实刻苦的良好学风。

尽管本课程涉及的公差标准、基本概念、基本术语很多,但这些内容都是紧紧围绕解决机械产品中各种零部件的几何精度设计的问题。因此,对每一位设计者来说,要想搞好零部件的精度设计,除了掌握各级公差的应用情况,各种配合的性质、特点和应用条件,能够正确分析零件的几何参数误差对机械产品使用性能的影响之外,还必须对所设计的机械产品的使用要求、零部件在该机械产品中的地位和作用有比较透彻的了解,掌握足够的成功的精度设计的图样、资料,清楚地了解制造与装配零部件所应采用的工艺装备、工艺方法以及检测零件几何参数误差的器具及手段等。所以,经济合理的精度设计过程是设计者综合运用诸多方面知识的过程。要求仅仅学完本课程的学生就能正确地进行零件的精度设计是不切实际的,学生还需要继续学习设计类和工艺类课程,并在后继课程的学习中,特别是在机械零件课程设计、专业课程设计和毕业设计中,加深对本课程学习内容的理解。而正确运用本课程所学知识、熟练地进行零件的精度设计,还需要经过毕业后实际工作的锻炼。

第二章 几何量的加工误差和公差

机械产品通常是由许多经过机械加工的零部件组成的。因此,在加工、测量和装配过程中都不可避免会产生各种误差。为了满足产品的互换性和精度要求,就必须控制这些误差,特别是加工误差。本章将讨论加工中出现的各种误差,着重介绍控制这些误差的公差项目及国家标准中的有关内容,为以后各章奠定基础。

第一节 几何量的加工误差

任何机械零件都是由尺寸不同、形状各异的若干个表面所形成的几何体,是经过各种机械加工后形成的。加工中,由于种种原因,使得几何量会产生各种误差,通常分为尺寸误差、形状误差、相互位置误差和表面微观几何形状误差(表面粗糙度)。

一、尺寸误差

1. 尺寸误差的性质

尺寸误差(size error)是指零件的实际尺寸与其理想尺寸的差异。包括直线尺寸误差、中心距误差及角度误差,是最基本的误差形式(见图 2-1 中的 A)。加工时,对同一零件的尺寸,一般都可以采用不同的方法及加工工艺来制造,因此尺寸误差的变动也不一样。一批零件的尺寸误差大小和方向不变或有规律地变化,称为系统误差,可以设法消除或减小;尺寸误差大小和方向均变化不定,即数值分散,称为随机误差,无法消除或减小,但这种数值分散往往具有统计性,一般按正态规律分布。

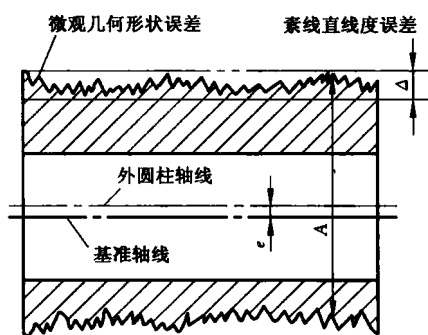


图 2-1 各种加工误差

系统误差的产生主要是由加工时刀具的定值误差、机床—夹具的定值系统误差及测量时测量器具的刻度误差等引起的。随机误差的产生原因较多,例如加工时温度的波动变化、材料不均匀、工艺系统的振动、工件的装夹,测量时周围条件的变化等各种因素。无论哪种因素对随机误差的大小都不起决定性作用。

2. 尺寸误差对零件功能的影响

尺寸误差的大小直接反映了零件尺寸精度的高低,对零件功能的影响主要是:影响两个配合件(如孔和轴)之间的松紧程度(即配合性质),尺寸误差过大,会使配合性质发生变化;影响两个配合件之间的顺利组装,如尺寸误差使螺孔小于螺栓,则难以顺利旋入;影响零件的其他功能,如量块的尺寸误差直接影响其所体现的标准尺寸大小,拉丝模孔径的尺寸误差直接影响拉出丝的直径尺寸精度等。因此对尺寸误差应给予控制。

二、形状误差和位置误差

1. 形状误差和位置误差的性质

形状误差(form error)和位置误差(position error)是指构成零件的几何形体的实际形状对其理想形状、几何形体的实际位置对其理想位置的变动量(见图 2-1 中的 Δ 、 e)。简称形位误差。

形位误差的产生主要是由机床—夹具—刀具—零件组成的工艺系统的误差所致,另外,在加工过程中出现的载荷及受力变形、热变形、振动、磨损等各种干扰,也会使被加工的零件产生形位误差。

2. 形位误差对机器使用性能的影响

形位误差的大小是反映零件精度的一项很重要的指标,对机器使用性能的影响主要是:影响两个相配合零件的配合性质,如轴的尺寸符合要求,但形状弯曲了则不能保证与孔的配合性质;影响两个配合件的顺利组装,如与花键孔相配合的花键轴,加工后的外径、内径和键宽尺寸均符合要求,但由于各键的相互位置误差过大,则难以顺利装配;影响机器的其他功能要求,如印刷机的滚筒形状误差过大直接影响印刷质量,测量用的平台平面度误差过大直接影响测量精度,活塞的形状误差过大直接影响其工作性能和密封性。总之,形位误差对机床、仪器、刀具、量具等各种机械产品的安装精度、工作性能、联接强度、密封性、耐磨性以及工作平稳性都有很大的影响。特别是对精密机械、精密仪器以及经常在高温、高速、重载条件下工作的机械,其影响更为严重,因此对形位误差必须给予控制,在 GB/T 1182—2008 中,将控制形位误差的形位公差又称为几何公差。有关几何公差的内容,将在第四节中讲授。

三、表面微观几何形状误差(表面粗糙度)

1. 表面粗糙度的性质

表面粗糙度(surface roughness)是指加工表面上具有较小的间距和峰谷所形成的微观几何形状误差。通常它的波距在 1 mm 以下(见图 2-1)。

表面粗糙度误差的产生主要是由于切削过程中切屑分离时工件表面金属的塑性变形、撕裂、机床的振动、摩擦等多种因素引起的。

2. 表面粗糙度对零件使用性能的影响

表面粗糙度数值的大小是零件表面质量高低的重要指标,对零件的使用性能及寿命影响很大,尤其对在高温、高压、高速、重载等条件下工作的零件更为重要。主要影响零件的耐磨性、工作性能、配合性质、疲劳强度、密封性、抗腐蚀性等。另外,也影响检测精度和外形的美观。因此,对粗糙度也必须给予控制。

第二节 极限与配合的基本术语及定义

一、有关尺寸的术语及定义

本节涉及有关尺寸的定义和概念对掌握后续内容以及正确理解相关国家标准是必不可少的,下面具体举例说明。