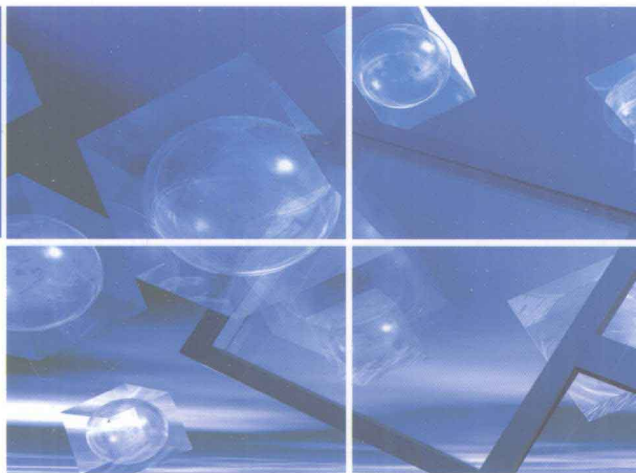


普通高等教育“十二五”规划教材



几何量精度 设计与检测

金嘉琦 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

几何量精度设计与检测

主 编 金嘉琦

副主编 张幼军 段振云

参 编 金映丽 孙兴伟 张 悦 韩 立

赵文辉 张 凯 姜 彤

主 审 付景顺 赵福令



机械工业出版社

本书根据高等教育教学内容和课程体系改革的要求和科技发展的需要,结合编者多年教学、科研实践经验编写而成。本书以几何量精度设计与检测为主线,遵循“加强基础、精选内容、调整体系、重在应用”的编写原则,采用最新的国家标准,阐述了本学科的基本理论和基本知识。全书分为四个部分:第一部分为几何量精度设计基础,包括绪论、尺寸精度、几何精度、表面粗糙度和尺寸链;第二部分为典型件几何量精度设计,包括滚动轴承、圆柱螺纹、键和花键、渐开线圆柱齿轮;第三部分为几何量精度检测,包括几何量测量基础、孔及轴尺寸的检测和检测综述;第四部分为几何量精度综合设计与综合实验。本书附录中有各章思考题和习题、相关公差表格及常用术语的汉英对照。

本书配有电子课件,使用本书的老师请到机械工业出版社教材服务网(www.cmpedu.com)注册、下载。

本书可作为高等院校机械类专业本、专科生的教材,也可供从事机械设计、机械制造、标准化和计量测试等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

几何量精度设计与检测/金嘉琦主编. —北京:机械工业出版社, 2012. 6

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 38506 - 6

I. ①几… II. ①金… III. ①几何量 - 精度 - 设计 - 高等学校 - 教材 ②几何量 - 精度 - 检测 - 高等学校 - 教材 IV. ①TG806

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第106441号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:刘小慧 章承林 余 皞

版式设计:霍永明 责任校对:肖 琳

封面设计:张 静 责任印制:乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17印张·418千字

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 38506 - 6

定价:33.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

社服务中心:(010) 88361066

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

前 言

机械产品的设计过程包括总体设计、运动设计、结构设计和几何量精度设计,几何量精度设计是整个设计中不可缺少的重要组成部分,是决定产品技术性能和市场竞争能力的综合技术。“几何量精度设计与检测”课程是高等工科院校中机械类和近机类专业的一门必修的专业技术基础课,从课程体系上讲,是联系机械设计类和机械制造类课程的纽带,是从基础课过渡到专业课的桥梁,在本科专业培养方案中具有重要地位。

高等院校开设“几何量精度设计与检测”类课程已有几十年的历史,本课程曾用名有:“公差与配合”、“互换性与技术测量”、“几何量公差与检测”、“机械精度设计”等。课程名称的变更反映不同时期人们对课程内涵的认识、课程内容的侧重点与特色的差异。互换性在产品设计、制造、使用和维修过程中发挥着巨大作用,已成为现代制造业中一个普遍运用的原则。互换性要靠公差来保证,公差则需要统一的标准,标准化是互换性生产的基础。互换性和精度设计都是在满足零件的功能要求的前提下对互换性标准的选择与应用,以解决零件的使用要求与制造工艺之间的矛盾。但几何量的互换性给定公差强调的是统一;几何量的精度设计给定公差强调的则是合理,无论零件是否要求互换,必须规定一定的公差,以追求最佳的技术经济效益。因此从精度设计的角度理解互换性与标准化,在产品更新换代速度与日俱增的当今时代更具现实意义。

“几何量精度设计与检测”课程关注最新国家标准(GB)和现代精度设计方法,遵守和贯彻国家标准是本课程教学的基本任务。近10年来,我国制定和发布的各项相关标准逐步与国际接轨,特别是2009年发布了30多个产品几何技术规范与论证(GPS)标准,涉及本课程中一半以上的内容,尤其对孔、轴的极限与配合和几何公差影响很大。国内现有版本的教材更新速度已严重滞后于发展。因此为适应科学技术的进步和教学改革的需要,帮助学生更好地掌握精度设计的基础知识和基本技能,编写本书供各高等院校“几何量精度设计与检测”、“互换性与技术测量”、“几何量公差与检测”、“机械精度设计”等课程使用。本书也可供工程技术人员在进行机械设计、机械制造、标准化和计量测试等工作时参考。

本书主编金嘉琦教授为全国高校互换性与测量技术研究会常务理事兼副秘书长、东北分会秘书长,在30余年的教学及科研实践中积累了丰富的教学经验,并将其融入到本书内容中。本书以几何量精度设计与检测为主线,遵循“加强基础、精选内容、调整体系、重在应用”的编写原则,依据全国高校本课程的教学基本要求,采用我国最新的国家标准,阐述了本学科的基本理论和基本知识。全书分为四个部分:第一部分为几何量精度设计基础,包括绪论、尺寸精度、几何精度、表面粗糙度和尺寸链,构成了较为完整的几何量精度基础体系;第二部分为典型件几何量精度设计,包括滚动轴承、圆柱螺纹、键和花键、渐开线圆柱齿轮,不仅是第一部分内容的贯彻应用,而且又揭示了典型件的特殊性;第三部分为几何量精度检测,包括几何量测量基础、孔及轴尺寸的检测和检测综述,讲述了几何量精度检测的基本知识和基本方法,其中,检测综述既介绍了对零部件的检测方法,又介绍了常用的几何量测量仪器原理与测量方法,可作为实验指导书使用;第四部分为几何量精度综合设计与



综合实验，构成本书的一个特点。本书在附录中给出了常用术语的汉英对照，有助于师生阅读相关英文文献，附录中还包括各章的思考题和习题及各种相关的标准表格。

本书配有电子课件，请使用本书的老师请到机械工业出版社教材服务网（www.cmpedu.com）注册、下载。

本书共分 13 章，其中第 1 章、第 9 章、第 10 章和第 13 章由金嘉琦、张悦编写，第 2 章、第 5 章、第 11 章由段振云、金映丽编写，第 3 章、第 4 章和部分附录由张幼军、孙兴伟编写，第 6 章、第 7 章由赵文辉编写，第 8 章由张凯编写，第 12 章由韩立、姜彤编写。全书由张幼军统稿。

本书由赵福令教授和付景顺教授主审。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 几何量精度	1
1.2 互换性	1
1.3 标准与标准化	3
1.4 优先数系与优先数	4
1.5 几何量检测概述	6
1.6 本课程的任务	6
第 2 章 孔、轴配合的尺寸精度设计	7
2.1 基本术语和定义	7
2.2 标准公差系列——尺寸公差带大小的 标准化	14
2.3 基本偏差系列——尺寸公差带位置的 标准化	17
2.4 尺寸精度设计——公差与配合的 选择	25
第 3 章 几何精度设计	36
3.1 零件几何要素和几何公差的特征 项目	36
3.2 几何公差在图样上的标注方法	40
3.3 几何公差带	45
3.4 公差原则	61
3.5 几何误差	75
3.6 几何精度的设计	78
第 4 章 表面粗糙度	86
4.1 表面粗糙度的基本概念	86
4.2 表面粗糙度的评定	87
4.3 表面粗糙度的技术要求	90
4.4 表面粗糙度技术要求在零 件图上的标注	93
第 5 章 尺寸链	100
5.1 尺寸链的基本概念	100
5.2 尺寸链的计算	102
第 6 章 滚动轴承结合的精度设计	111
6.1 滚动轴承的互换性与使用要求	111
6.2 滚动轴承与孔、轴配合的精度设计	112

第 7 章 螺纹结合的精度设计	118
7.1 概述	118
7.2 普通螺纹几何精度分析	119
7.3 普通螺纹结合的精度设计	123
第 8 章 平键、矩形花键联接的精 度设计	128
8.1 普通平键联接的精度设计	128
8.2 矩形花键联接的精度设计	131
第 9 章 渐开线圆柱齿轮传动的精 度设计	136
9.1 齿轮传动的使用要求	136
9.2 传动准确性的精度分析及评定 指标	138
9.3 传动平稳性的精度分析及评定 指标	143
9.4 载荷分布均匀性的精度分析及 评定指标	146
9.5 齿侧间隙的精度分析及评定指标	147
9.6 齿轮副安装时的精度指标	149
9.7 渐开线圆柱齿轮精度设计	150
第 10 章 测量技术基础	161
10.1 概述	161
10.2 长度和角度计量单位与量值传递	162
10.3 计量器具与测量方法	166
10.4 测量误差	169
10.5 测量误差与测量数据的处理	172
第 11 章 孔、轴尺寸的检测	182
11.1 孔、轴尺寸的检测方式	182
11.2 孔、轴尺寸的验收极限	183
11.3 计量器具的选择	185
11.4 光滑极限量规设计	187
第 12 章 检测综述	193
12.1 长度尺寸测量	193
12.2 几何误差检测	198
12.3 表面粗糙度的检测	203
12.4 螺纹误差检测	205

12.5 圆柱齿轮误差检测	208	13.5 举例	216
第 13 章 几何量精度综合设计与综合		附录	221
实验	214	附录 A 思考题与习题	221
13.1 实验目的	214	附录 B 公差表格	232
13.2 实验内容	214	附录 C 常用术语汉英对照	257
13.3 实验要求	214	参考文献	261
13.4 综合设计与综合实验报告书写		读者信息反馈表	
内容	215		

第1章 绪 论

1.1 几何量精度

机械产品的几何量是指构成零件特征的点、线、面所组成的尺寸、形状与相互位置关系。几何量精度则是指上述要素构成的零件的实际几何形体与设计要求的理想几何形体相接近的程度，包括尺寸精度、形状精度（宏观的和微观的）以及相互位置精度。

零件的几何形体是通过加工后得到的。在零件的制造过程中，由于存在着加工误差，其实际几何形体很难与理想几何形体相同，当然，其接近程度越好，几何量的精度就越高。几何量精度设计的任务就是把这种接近程度控制在一定的范围内。

机械产品的设计一般要经历方案设计、结构设计和精度设计三个过程。精度设计是产品满足功能要求，即满足使用要求、保证质量的必要环节，也是产品设计的一个重要环节。

精度设计有产品的整体精度设计和零件的精度设计。因为整体是由零（部）件组成的，所以，零件的精度设计是保证整体精度设计的基础。影响零件精度的因素很多，如结构因素、材料因素、加工因素等，但最基本的是几何因素的影响，即几何量精度直接影响产品的工作性能和质量。

几何量精度设计不仅要满足产品的使用要求，保证产品的质量，而且还要考虑制造产品的成本。并不是产品的几何量精度越高越好，因为精度越高，对产品在进行加工、制造及检测过程中的要求越高，加工与检测的难度就越大，成本就越高。因此，几何量精度设计的总体原则是：在满足产品使用要求的前提下，选用合理的几何量精度，以保证获得最佳的技术经济效益。

机械产品的几何量精度设计遵守的最重要的原则是互换性原则，为了保证互换性原则的实现，还要遵守标准化原则和优化原则。

1.2 互换性

1.2.1 互换性的含义

自行车、钟表、缝纫机、汽车、拖拉机、机床等的某个零部件损坏，都可以迅速更换上一个相同规格的新零部件，并且在更换与装配后，能很好地满足机器的使用要求。之所以这样方便，是因为零部件具有互换性。

要使零件具有互换性，首先要保证零件在制造中按同一规格加工。但是，制造过程中的误差是不可避免的，不可能将零件制造的绝对准确。从满足零件的互换性要求和机器的使用性能出发，也不必要将零件制造的绝对准确，只需将零件的几何参数误差控制在一定的范围

之内就可以了。这种零件几何参数的允许变动范围称为几何量公差。

机械制造中的互换性,是指按规定的几何、物理和力学性能等参数的要求,分别制造零部件,在装配成机器或更换零部件时,不经选择、调整或修配,就能装到机器上去并能满足机器的使用要求,零部件的这种性能称为互换性。

1.2.2 互换性的分类

零部件的互换性既包括几何参数的互换,又包括其功能,即物理、力学性能参数的互换。

① 几何参数互换:是指规定零件的尺寸以及形状和位置等几何参数,保证零件的几何参数在允许的变动范围(公差)内,以达到互换性。

② 功能互换(物理、力学性能参数互换):是指规定的功能参数应满足互换性,要求零件在更换前后,其强度、硬度和刚度等物理、力学性能应保持一致。

例如,螺栓与螺母联接的更换,保证其可旋合性属于几何参数互换,保证其联接强度属于物理、力学性能互换(功能互换)。

本课程研究的就是在满足产品使用要求的基础上实现零部件的几何参数互换。

按互换性程度,可将互换性分为完全互换和不完全互换。

完全互换:也称为绝对互换,是指按同一规格标准制造(不分加工场地及加工批量大小)的零部件,在装配或更换时,不需任何的选择、调整或附加修配,就能装到机器上去,并且能满足机器的预定使用要求,这样的零部件具有完全互换性。如常用的螺栓、螺母、齿轮、键、轴承等。

不完全互换:也称为有限互换,是指按同一规格标准制造的零部件,在装配时,需要适当地选择、调整或分组,装配以后分别满足机器的使用要求,这样的零部件具有不完全互换性。通常,在装配精度要求较高时,若采用完全互换,将使零件的制造公差很小,加工困难,成本很高,甚至无法加工;而采用不完全互换,可将零件的制造公差适当地放大,便于加工。零件加工完毕后,再用测量器具将零件按实际尺寸的大小分成若干组,使同组零件的尺寸差别减小,分组进行装配。如尺寸较大组的孔与尺寸较大组的轴相配,尺寸较小组的孔与尺寸较小组的轴相配。这样,既可保证装配精度和使用要求,又可解决加工困难,降低成本。此时,仅组内零件可以互换,组与组之间零件不能互换,故称为不完全互换。如轴承内、外圈滚道与滚动体的装配采用的就是不完全互换。

通常把完全互换简称为互换性,完全互换是以零部件在装配或更换时不需要挑选或修配为条件,区别于不完全互换。一般而言,对于厂际协作应采用完全互换;而不完全互换仅限于厂内的生产装配。

总之,无论是采用完全互换,还是采用不完全互换,都要根据具体情况,在设计时事先加以确定。

1.2.3 互换性的作用

互换性在现代工业生产中起着十分重要的作用。

在产品的设计过程中,遵循互换性原则可以最大限度地采用标准化和通用化的零部件,有助于采用CAD技术,大大减少计算和绘图工作量,缩短设计周期。

在产品的制造过程中,按照互换性要求设计的零件,可分散在不同的专业工厂、专业车间,进行高效、自动化生产,有助于 CAM/CAPP 技术的应用等。

在产品的装配过程中,对相同规格的零部件无需挑选和辅助修配,既能大幅度地提高装配效率,又能实现装配过程的机械化和自动化。

在产品的使用与维修过程中,由于有了互换性,使更换零部件、维修机器更快捷、有效。例如发电厂的发电设备、手术台上的医疗设备、战场上的武器装备等发生故障,都需要立即维修,继续使用。在这些场合,实现互换性显得极为重要。

总之,互换性已成为现代化工业生产中广泛遵守的一项原则。它在保证产品质量,降低产品成本,提高生产率,增加经济效益等方面具有十分重要的意义。

1.3 标准与标准化

现代工业生产的特点是品种多,规模大,分工细,协作单位多,互换性要求高。为了适应这一特点,实现互换性生产,需要有一种手段使分散的、局部的生产部门和生产环节保持协调及必要的技术统一,成为一个有机的整体。标准与标准化正是解决这种关系的主要手段和途径,是实现互换性生产的基础。

1.3.1 标准

标准是指对重复性事物(如产品、零部件等)和概念(术语、定义、方法、代号、量值等)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,以促进最佳社会效益为目的,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与依据。根据我国现已颁布实施的《中华人民共和国标准化法》的规定,作为强制性的各级标准一经发布,必须遵守,否则就是违法。

标准是标准化的基础与核心。通常把标准分为技术标准、管理标准和工作标准三大类。目前,世界各国标准化的重点领域是工业生产。

技术标准是指对需要协调统一的技术事项所制定的标准。它包括基础标准、零部件标准、产品标准、原材料及毛坯标准、工艺及工艺装备标准、检测试验方法标准、安全标准、卫生标准、环境保护标准等。基础标准是指在一定范围内作为其他标准的基础,被普遍使用,且具有广泛指导意义的标准。如计量单位、优先数系、机械制图、公差与配合、几何公差、表面粗糙度等标准。

按标准的管辖范围分为国际标准(代号为 ISO)和国家标准。中国国家标准的代号及含义见表 1-1。

表 1-1 国家标准代号及含义

代 号	含 义
GB	中华人民共和国强制性国家标准
GB/T	中华人民共和国推荐性国家标准
GB/Z	中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

我国按标准的使用范围将其分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

1.3.2 标准化

标准化是指在经济、技术、科学和管理等社会实践中,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。

可见,标准化包括制定、发布、贯彻实施以及不断修订标准的全部活动过程。其中,贯彻实施标准是核心内容。

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,也是科学生产的重要组成部分。世界各国经济发展过程表明,现代化的程度越高,对标准化的要求越高,而且标准化促进社会进步和生产发展的意义就越重大。因此,标准化是反映现代化水平的一项重要标志。

对机械零件进行几何量精度设计,保证互换性,就要认真研究相关标准的构成及其应用,这是本课程研究的主要内容之一。

1.4 优先数系与优先数

在产品的设计和制造过程中,需要确定许多技术参数。当选定一个数值作为产品的参数指标时,这个参数就会按一定规律向一切相关的材料和制品的相应技术参数传播与扩散,制约着这些技术参数。例如,当螺纹孔的尺寸一经确定,则与之相应的加工螺纹的丝锥和检验内螺纹的螺纹塞规尺寸、攻螺纹前钻孔所用钻头的尺寸就相应确定,同时与该内螺纹相联接的外螺纹、垫圈等尺寸也随之确定。为了满足不同需要,产品必然出现不同的规格。产品参数的数值即使只有微小的差别,经过反复扩散传播,也将造成许多相应产品的尺寸规格繁多杂乱,给生产的组织管理、协作配套和设备的使用维修带来许多困难。

因此,在现代化工业生产中,为追求最佳的技术经济效益,必须应用统一的数值制度对产品各种技术参数的数值进行合理的简化和统一,即实施标准化。

标准化要求各种技术参数系列化和简化,需要将参数值合理地分级分档,使其有适当间隔,便于管理和应用。标准化要求使用统一的数系来协调各个部门的生产,优先数系就是这样一种科学的数值制度。优先数系与优先数是标准化的理论基础。

优先数系是技术经济工作中统一、简化和协调产品技术参数的基础。国家标准 GB/T 321—2005《优先数和优先数系》中规定优先数系采用十进等比数列,并规定了五个系列。

所谓十进,要求数系中含有 1 、 10 、 100 、 $\dots$ 、 10^n 和 0.1 、 0.01 、 $\dots$ 、 10^{-n} 等数 (n 为整数)。数列中 $0.1 \sim 1$ 、 $1 \sim 10$ 、 $10 \sim 100$ 等称为十进段。每个十进段中所含的项数是相同的,并且相邻段中的对应项的数值扩大 10 倍或缩小为前项的 $1/10$ 。优先数系的五个系列公比 q 见表 1-2。其中, $R5$ 、 $R10$ 、 $R20$ 和 $R40$ 系列是常用系列,称为基本系列; $R80$ 系列为补充系列。 R 后面的数值既表示公比 q 为 10 的整次幂,又表示一个十进段中所含的项数。如 $R5$ 系列,公比为 $10^{1/5}$,每个十进段中含 5 项数值。

表 1-2 优先数系的公比（摘自 GB/T 321—2005）

系列符号	R5	R10	R20	R40	R80
r	5	10	20	40	80
$qr = \sqrt[3]{10}$	1. 60	1. 25	1. 12	1. 06	1. 02

优先数系的 5 个系列中任一项值均称优先数。按照公比计算得到的优先数的理论值，除 10 的整次幂外，都是无理数，这在工程上不能直接应用。而实际应用的都是经过化整后的近似值：取 5 位有效数字，称为计算值，供精确计算用；取 3 位有效数字，称为常用值，即通常所称的优先数，经常使用；将基本系列中的常用值做进一步化整，取 2 位有效数字，称为化整值。

优先数系各基本系列的常用值见表 1-3。

表 1-3 优先数系各基本系列的常用值（摘自 GB/T 321—2005）

优先数系	优 先 数									
R5	1. 00	1. 60	2. 50	4. 00	6. 30					
R10	1. 00	1. 25	1. 60	2. 00	2. 50	3. 15	4. 00	5. 00	6. 30	8. 00
R20	1. 00	1. 12	1. 25	1. 40	1. 60	1. 80	2. 00	2. 24	2. 50	2. 80
	3. 15	3. 55	4. 00	4. 50	5. 00	5. 60	6. 30	7. 10	8. 00	9. 00
R40	1. 00	1. 06	1. 12	1. 18	1. 25	1. 32	1. 40	1. 50	1. 60	1. 17
	1. 18	1. 90	2. 00	2. 12	2. 24	2. 36	2. 50	2. 65	2. 80	3. 00
	3. 15	3. 35	3. 55	3. 75	4. 00	4. 25	4. 50	4. 75	5. 00	5. 30
	5. 60	6. 00	6. 30	6. 70	7. 10	7. 50	8. 00	8. 50	9. 00	9. 50

由表 1-3 可见，R5 系列的项值包含在 R10 系列之中，R10 系列含于 R20 系列中，依次类推。选用时，采用“先疏后密”的原则，先使用 R5 系列，R5 系列不够用时，再选用以下系列。补充系列 R80，仅用于分级很细的特殊场合。

为了使优先数系有更大的适应性，还可以从基本系列中每隔几项选取一个优先数，组成优先数系的派生系列。例如，派生系列 R10/2，是从 R10 系列中每逢两项（每隔一项）取出一个优先数组成的。首项选取不同，派生系列的形成也不同，见下例：

R10/2：1. 00，1. 60，2. 50，4. 00，6. 30，10. 00，…

R10/2：1. 25，2. 00，3. 15，5. 00，8. 00，12. 50，…

R10/3：1. 00，2. 00，4. 00，8. 00，16. 00，…

优先数系具有一系列的优点：相邻两项的相对差（后项减前项的差除以前项）是一常数；同一系列中任意几项的积、商以及一项的整数幂仍为该系列中的一个优先数；同时具有疏密适当，前后衔接不间断，简单易记，运算方便，数值标准化等优点。因此，这种优先数系已成为国际上统一的标准数值制度。

1.5 几何量检测概述

根据国家标准,对机械产品各零部件的几何量规定合理的公差,为保证零部件具有互换性提供了可能性,而要把这种可能变成现实,则必须进行检测,只有检测合格,才能保证零部件的互换性。几何量检测是组织互换性生产必不可少的重要措施。

检测是检验和测量的统称。检验只评定被测对象是否合格,而不能给出被测对象量值的大小;测量是通过被测对象与标准量的比较,得到被测对象具体量值。一般说来,在大批量生产条件下,检测精度要求不太高的零件时常用检验,因为检验的效率高;而高精度、单件小批生产或需要进行加工精度分析时,多数采用测量。

在机械加工中,几何量检测工作为实现零件的互换性、提高产品质量和劳动生产率提供了可靠的技术保证。但检测的目的不仅仅在于判断工件是否合格,还有其积极的一面,这就是根据检测的结果,分析产生加工误差的来源,从而采取相应的措施,改进设计,改善工艺,降低生产成本,获取良好的经济效益。

随着生产和科学技术的发展,对检测的准确度和效率提出越来越高的要求。产品质量的提高,有赖于检测准确度的提高;产品数量的增多,在一定程度上还有赖于检测效率的提高。许多科学尖端技术的突破,都是由于依靠检测技术才得以实现的。而各种新技术在几何量检测中越来越广泛的应用,使几何量检测工作在现代工业生产中显示出越来越重要的作用。

1.6 本课程的任务

本课程是高等学校机械类和近机类各专业必修的主干技术基础课,包含几何量精度设计与几何量检测两方面的内容,把标准化和计量学两个领域的有关部分有机地结合在一起,与机械设计、机械制造、质量控制等多学科密切相关,是机械工程技术人员和管理人员必备的基本知识与技能。

本课程的研究对象为几何量的互换性,即研究如何通过合理的几何量精度设计来解决机器使用要求与制造工艺等之间的矛盾,以及如何运用检测技术保证国家标准的贯彻实施。

通过本课程的学习,学生应达到下列要求:

- 1) 掌握标准化和互换性的基本概念及有关的基本术语和定义;掌握本课程中几何量精度设计的主要内容、特点和应用原则。
- 2) 能够根据机器和零件的功能要求,初步开展几何量精度设计;能够查用本课程介绍的相关标准表格,并在图样上正确标注。
- 3) 建立技术测量的基本概念,了解常用检测方法与测量器具的工作原理,初步掌握测量操作技能。

总之,本课程的任务在于使学生获得几何量精度设计与检测方面的基础理论、基本知识和基本技能,并具有结合工程实践应用、扩展的能力,再通过后续课程的学习和相关实践工作锻炼,加深理解和逐渐熟练掌握本课程的内容。

第2章 孔、轴配合的尺寸精度设计

机械零件精度包括该零件的尺寸精度、几何精度以及表面粗糙度轮廓精度等。它们是根据零件在机器中的使用要求确定的，是保证零件互换性的重要基础。为了经济、合理地满足使用要求，保证互换性，应使与孔、轴尺寸精度有机联系的公差与配合标准化，我国发布了一系列与孔、轴尺寸精度有直接联系的孔、轴公差与配合方面的国家标准。这些标准分别是：

① GB/T 1800.1—2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 第1部分：公差、偏差和配合的基础》。

② GB/T 1800.2—2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 第2部分：标准公差等级和孔、轴极限偏差表》。

③ GB/T 1801—2009《产品几何技术规范（GPS）极限与配合 公差带与配合的选择》。

④ GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性尺寸和角度尺寸的公差》。

本章内容包括上述标准中的基本概念、基本原理及其在孔、轴尺寸精度设计中的应用。

2.1 基本术语和定义

2.1.1 有关孔、轴的定义

孔是指圆柱形的内表面，也包括非圆柱形的内表面（由两平行平面或切面形成的包容面），如键槽、凹槽的宽度表面。

轴是指圆柱形的外表面，也包括非圆柱形的外表面（由两平行平面或切面形成的被包容面），如平键的宽度表面、凸槽的厚度表面。

可见孔、轴的概念是广义的，而且是由单一尺寸构成的。图2-1中由 ϕD 及单一尺寸 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 和 b 所确定的内表面均为孔。由 ϕd 及单一尺寸 d_1 、 d_2 所确定的外表面均为轴。

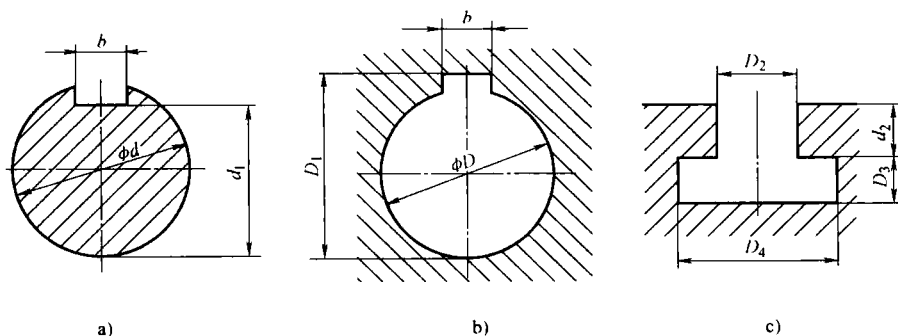


图2-1 孔和轴的定义示意图

a) 轴键槽 b) 轮毂键槽 c) T形槽

2.1.2 有关尺寸的术语及定义

尺寸通常分为线性尺寸和角度尺寸两类。线性尺寸（简称尺寸）是指两点之间的距离，如直径、半径、宽度、深度、高度和中心距等。按照 GB/T 4458.4—2003《机械制图 尺寸注法》的规定，图样上的尺寸以毫米（mm）为单位时，不需标注计量单位的符号和名称。尺寸又可分为以下几种：

1. 公称尺寸（ D, d ）

公称尺寸是设计给定的尺寸。它是根据使用要求，通过强度、刚度等计算，并考虑结构和工艺因素，参照经验或试验数据而确定的。为了减少定值刀具和定值量具的规格数量，提高经济效益，公称尺寸应尽量采用标准尺寸（见附表1）。孔和轴的公称尺寸分别用符号 D 和 d 表示。

2. 实际尺寸（ D_a, d_a ）

实际尺寸是零件加工后通过测量所得到的尺寸。由于在测量过程中不可避免地存在测量误差，因而实际尺寸并非被测尺寸的真值。用两点法测量（卡尺或千分尺测量）所得的实际尺寸又称局部实际尺寸。由于实际零件表面总是存在形状误差，所以被测表面不同部位的实际尺寸不尽相同。孔和轴的实际尺寸分别用符号 D_a 和 d_a 表示。

3. 极限尺寸（ $D_{\max}, D_{\min}; d_{\max}, d_{\min}$ ）

极限尺寸是指允许尺寸变化的两个界限值。两个界限值中较大的一个称为上极限尺寸（最大极限尺寸），较小的一个称为下极限尺寸（最小极限尺寸）。孔的上极限尺寸分别用符号 $D_{\max}$ 和 $d_{\max}$ 表示，孔的下极限尺寸分别用符号 $D_{\min}$ 和 $d_{\min}$ 表示，如图 2-2 所示。若加工后的零件实际尺寸在上、下极限尺寸之间，则该尺寸合格。

4. 理想尺寸（ D_0, d_0 ）

理想尺寸是指上极限尺寸和下极限尺寸的平均值，即

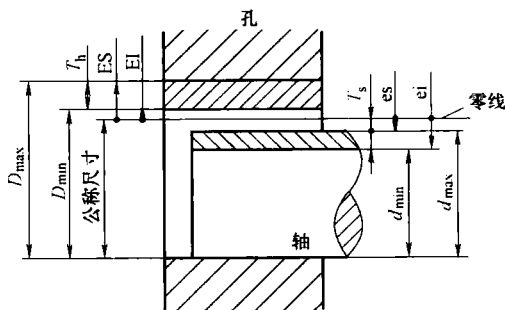


图 2-2 孔、轴尺寸与偏差

$$D_0 = (D_{\max} + D_{\min})/2 \text{ 或 } d_0 = (d_{\max} + d_{\min})/2 \quad (2-1)$$

应该注意公称尺寸和理想尺寸的区别。公称尺寸是在设计时给定的零件尺寸，它不一定位于零件上、下极限尺寸之间，因此实际尺寸等于公称尺寸的零件不一定合格。理想尺寸是在设计和加工时最希望获得的零件的理想值，其位置位于尺寸公差带的中心。在零件加工时，理想尺寸是调整刀具理论位置和编制数控程序的参考依据。一对实际尺寸等于理想尺寸的孔和轴，其配合特征是设计人员希望获得的理想配合状态。

零件图样上通常以公称尺寸进行标注，必要时可以将其转化为理想尺寸标注形式，即

$$D_0 \pm \frac{1}{2}T \text{ 或 } d_0 \pm \frac{1}{2}T$$

2.1.3 有关尺寸偏差、尺寸公差的术语及定义

1. 尺寸偏差

尺寸偏差简称偏差，是指某一尺寸减去公称尺寸所得的代数差。

1) 极限偏差可分为上极限偏差与下极限偏差。上极限偏差是指上极限尺寸减去公称尺寸所得的代数差，孔与轴的上极限偏差分别用符号 ES 与 es 表示；下极限偏差是指下极限尺寸减去公称尺寸所得的代数差，孔与轴的下极限偏差分别用符号 EI 与 ei 表示，如图 2-2 所示。

极限偏差可用下列公式表示

$$\left. \begin{aligned} ES &= D_{\max} - D & EI &= D_{\min} - D \\ es &= d_{\max} - d & ei &= d_{\min} - d \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

2) 实际偏差是指实际尺寸减去公称尺寸所得的代数差。孔与轴的实际偏差分别用符号 E_a 与 e_a 表示，即

$$\left. \begin{aligned} E_a &= D_a - D \\ e_a &= d_a - d \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

由于零件的极限尺寸、实际尺寸可能大于、小于或等于公称尺寸，因此偏差可为正值、负值或零，计算与标注时，除零外，必须带上正、负号。合格零件的实际偏差应在设计给定的极限偏差范围内。

$$\text{对于孔} \quad EI \leq E_a \leq ES \quad (2-4)$$

$$\text{对于轴} \quad ei \leq e_a \leq es \quad (2-5)$$

2. 尺寸公差

尺寸公差简称公差，是指尺寸的允许变动量。孔与轴的公差分别用符号 T_h 与 T_s 表示。公差、极限尺寸与极限偏差之间的关系如下

$$T_h = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI \quad (2-6)$$

$$T_s = d_{\max} - d_{\min} = es - ei \quad (2-7)$$

公差与偏差是两个不同的概念，不能混淆。公差是绝对值，不能为负值和零；而偏差是代数值，可为正值、负值和零。当公称尺寸一定时，公差反映了加工难易程度、表示制造精度的要求，即公差值越大，制造精度要求越低，加工越容易；而偏差表示偏离公称尺寸的多少，与加工的难易无关。公差用于限制实际尺寸的变动量；而极限偏差用于限制实际偏差，是判断零件尺寸合格与否的依据。公差与极限偏差是设计给定的，而实际偏差是零件加工后，经过测量实际尺寸计算得到的。

3. 尺寸公差带图

上述尺寸、极限偏差及公差之间的关系可用图 2-2 表示。由图可见，公称尺寸与公差、极限偏差的大小相差悬殊，无法按同一比例画出。为此，采用简单、明了的尺寸公差带图，如图 2-3 所示。尺寸公差带图由两部分组成：零线和尺寸公差带。

1) 零线是指在尺寸公差带图中，确定偏差的一条基

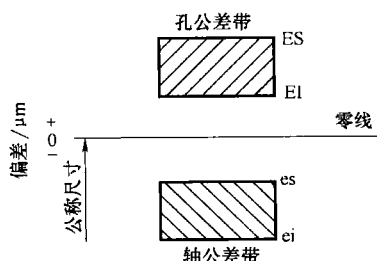


图 2-3 尺寸公差带图

准线,即零偏差线。通常,零线表示公称尺寸。零线上方的偏差值为正,零线下方的偏差值为负。在绘制公差带图时,要注意标出公称尺寸线、公称尺寸数值及符号“0”。

2) 尺寸公差带简称公差带,是指在公差带图中,由代表上、下极限偏差的两条直线段所限定的一个区域。公差带在垂直零线方向上的宽度代表公差值,沿零线方向的长度可适当选取。在公差带图中,一般公称尺寸用 mm 表示,偏差及公差用 μm 表示。

尺寸公差带具有公差带大小和公差带位置两个特性,公差带大小由标准公差确定,公差带位置由基本偏差确定。

4. 标准公差

标准公差是国家标准规定的,用以确定公差带大小的任一公差。

5. 基本偏差

基本偏差是国家标准规定的,用以确定公差带相对零线位置的上极限偏差或下极限偏差。基本偏差一般为靠近零线的那个极限偏差。

2.1.4 有关配合的术语及定义

1. 配合

配合是指公称尺寸相同,相互结合的孔与轴公差带之间的关系。孔、轴公差带之间的关系不同,便可形成不同的配合。

2. 间隙或过盈

在孔与轴的配合中,孔的尺寸减去轴的尺寸所得的代数差,此差值为正时称为间隙,用符号 X 表示;此差值为负时称为过盈,用符号 Y 表示。

3. 配合的种类

根据孔、轴公差带之间关系不同,配合分为三类,即间隙配合、过盈配合和过渡配合。

(1) 间隙配合 间隙配合是指孔的公差带位于轴的公差带上方,一定具有间隙(包括最小间隙等于零)的配合,如图 2-4 所示。由于一批孔和轴的实际尺寸是变动的,因此,实际间隙的大小将随着孔和轴的实际尺寸而变化。

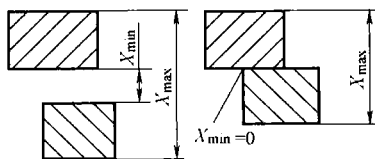


图 2-4 间隙配合

最大间隙为孔的上极限尺寸减去轴的下极限尺寸所得的代数差,用符号 $X_{\max}$ 表示,即

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (2-8)$$

最小间隙为孔的下极限尺寸减去轴的上极限尺寸所得的代数差,用符号 $X_{\min}$ 表示,即

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (2-9)$$

最大间隙与最小间隙统称为极限间隙。平均间隙为最大间隙与最小间隙的平均值,用符号 X_{av} 表示,即

$$X_{av} = (X_{\max} + X_{\min})/2 \quad (2-10)$$

例 2-1 已知孔 $\phi 25^{+0.021}_0 \text{ mm}$ 和轴 $\phi 25^{-0.007}_{-0.020} \text{ mm}$ 相配合,求该配合的极限间隙、平均间隙,并画出公差带图。

解: 依题意可知: $ES = +0.021 \text{ mm}$, $EI = 0$, $es = -0.007 \text{ mm}$, $ei = -0.020 \text{ mm}$ 。