

普通高等院校机电工程类规划教材

辽宁工程技术大学教材建设立项项目

机械几何量 精度设计与检测

赵丽娟 冷岳峰 编著

普通高等院校机电工程类规划教材

辽宁工程技术大学教材建设立项项目

机械几何量 精度设计与检测

赵丽娟 冷岳峰 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书为高等工科院校机械类和近机类各专业“互换性与测量技术基础”课程教材。全书共分9章：绪论，测量技术基础，尺寸精度设计与检测，几何精度设计与检测，表面精度设计与检测，圆柱齿轮精度设计与检测，常用标准件的精度设计与检测，其他结合结构的精度设计与检测，尺寸链。

本书系统阐述了机械产品精度设计的基本知识，各种典型零件精度设计的基本原理及最新国家标准在设计中的应用，也阐述了一些典型零件的检测原理和新的测试技术。因此，本书既可供高等工科院校机械类和近机类各专业师生在教学中使用，也可作为继续教育院校机械类各专业的教材，以及供从事机械设计、机械制造、标准化、计量测试等工作的工程技术人员参考。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械几何量精度设计与检测/赵丽娟，冷岳峰编著. --北京：清华大学出版社，2011.7
(普通高等院校机电工程类规划教材)

ISBN 978-7-302-26598-6

I. ①机… II. ①赵… ②冷… 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 174470 号

责任编辑：庄红权

责任校对：王淑云

责任印制：杨 艳

出版发行：清华大学出版社

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编：100084

社 总 机：010-62770175

邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：三河市春园印刷有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印 张：18.5 字 数：446 千字

版 次：2011 年 7 月第 1 版 印 次：2011 年 7 月第 1 次印刷

印 数：1~4000

定 价：32.00 元

产品编号：043797-01

前 言

“互换性与测量技术基础”课程是高等工科院校机械类和近机类各专业的一门重要技术基础课程,是联系机械产品设计过程与制造过程的纽带,是基础课过渡到专业课学习的桥梁,其内容涉及机械产品设计、制造、质量检测等诸多方面,是与机械工业紧密联系的一门基础学科。

本书系统阐述了机械产品精度设计的基本知识,详细介绍了圆柱齿轮、滚动轴承、键与花键、螺纹等典型机件精度设计的基本原理、方法以及检测原理、方法。在编写过程中,作者紧密结合教学大纲,以精度设计为主线精选内容,全部采用最新的国家标准,融入了编者多年的教学经验和我校的教改成果。书中引入了大量标准内容和工程实例,并且每章配有思考题和习题,使读者能够独立分析问题、解决问题,便于自学,增强了本书的实用性。

本书由赵丽娟、冷岳峰编著。由于是改革的尝试,加之水平有限,书中难免有不当和错误之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2011年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 标准与标准化	4
1.3 优先数与优先数系	7
思考题与习题	8
第 2 章 测量技术基础	9
2.1 测量技术的基本概念	9
2.2 计量器具和测量方法	11
2.3 测量误差与数据处理	14
思考题与习题	21
第 3 章 尺寸精度设计与检测	22
3.1 极限与配合的基本术语及定义	22
3.2 尺寸公差与配合的标准化	32
3.3 尺寸精度的设计	52
3.4 尺寸精度的检测	65
思考题与习题	72
第 4 章 几何精度设计与检测	75
4.1 概述	75
4.2 几何公差的图样表示	77
4.3 几何公差带	86
4.4 公差原则	105
4.5 几何公差的选择	119
4.6 几何误差及其检测	129
思考题与习题	135
第 5 章 表面精度设计与检测	138
5.1 表面粗糙度轮廓的基本概念	138
5.2 表面粗糙度轮廓的评定	140
5.3 表面粗糙度轮廓的技术要求	146
5.4 表面结构技术要求在零件图上标注的方法	149
5.5 表面结构精度的检测	157

思考题与习题·····	161
第 6 章 圆柱齿轮精度设计与检测·····	162
6.1 圆柱齿轮传动的使用要求 ·····	162
6.2 圆柱齿轮精度的评定指标 ·····	164
6.3 齿轮副精度的评定指标 ·····	170
6.4 圆柱齿轮的精度设计 ·····	174
6.5 齿轮精度的检测 ·····	188
思考题与习题·····	195
第 7 章 常用标准件的精度设计与检测·····	198
7.1 滚动轴承公差与配合 ·····	198
7.2 平键联结的公差与配合 ·····	213
7.3 矩形花键联结的公差与配合 ·····	218
7.4 圆柱直齿渐开线花键联结的公差与配合 ·····	222
思考题与习题·····	228
第 8 章 其他结合结构的精度设计与检测·····	230
8.1 螺纹结合的公差与检测概述 ·····	230
8.2 螺纹几何参数偏差对互换性的影响 ·····	234
8.3 普通螺纹公差带及其选用 ·····	237
8.4 圆柱螺纹的测量 ·····	243
8.5 圆锥公差与配合概述 ·····	245
8.6 锥度与锥角系列 ·····	246
8.7 圆锥公差 ·····	250
8.8 圆锥配合 ·····	256
8.9 圆锥公差与配合的标注 ·····	265
8.10 圆锥角的检测·····	270
思考题与习题·····	272
第 9 章 尺寸链·····	273
9.1 尺寸链的基本概念 ·····	273
9.2 尺寸链的确立与分析 ·····	276
9.3 用完全互换法求解尺寸链 ·····	279
9.4 用大数互换法求解尺寸链 ·····	283
9.5 用分组法、修配法和调整法保证装配精度·····	285
思考题与习题·····	286
主要参考文献·····	287

第1章 绪 论

1.1 概 述

1.1.1 互换性的概述

1. 互换性的定义

在日常生活中,经常遇到这样一些现象:教室里的灯管坏了,可以更换新的;使用的手机屏幕坏了,可以换块新屏;自行车坏了,可以更换新的零部件;……之所以这样方便,是因为这些合格的产品和零部件在尺寸、功能上具有能够彼此互相替换使用的性能,即它们具有互换性(interchangeability)。

GB/T 20000.1—2002 中规定,互换性是指某一产品、过程或服务代替另一产品、过程或服务并满足同样要求的能力。

在机械工业生产中,互换性是产品设计最基本的原则之一。机械产品的互换性是指构成机器(或仪器)的同一规格的零件和部件所具有的以不同的程度和不同的方式可以互相替换使用的性能。也就是说,按同一规格产品图样要求,在不同时空条件下制造出来的一批零部件,在总装时,任取一个合格品,就能完好地装在机器上,并能达到预期的使用功能要求。这样的零部件,就称为具有互换性的零部件。例如,如图 1-1 所示是一级齿轮传动减速器的装配示意图。减速器主要由箱座 1、箱盖(图中未画出)、齿轮轴(输入轴)2、输出轴 9、齿轮 11、轴承(3、10)、端盖(4、8、14、18)、键(5、12、16)、密封圈(6、15)、定位销 19 等许多零部件组成,这些零部件分别由不同工厂和车间加工而成。在装配时,在制成的同一规格零部件中任取一件,若不需要经过任何挑选或修配,便能与其他零部件安装在一起而构成一台减速器,并且能够达到规定的功能要求,则说这样的零部件具有互换性。

2. 互换性的内容

机械产品的互换性,通常包括几何量、机械性能和理化性能等方面的互换性,本课程仅讨论几何量的互换性。

所谓几何量,主要包括尺寸大小、几何形状(宏观、微观)以及相互的位置关系等。为了满足互换性的要求,最理想的情况是同规格的零部件其几何量完全一致。在我们的生产实践中,由于种种因素的影响,这是不可能实现的,也是不必要的。实际上,只要零部件的几何量在规定的范围内变动,就能满足互换的目的。这个允许变动的范围称为公差。

设计时要规定公差。因为加工时不可避免会产生误差,因此要使零件具有互换性,就应把零件的误差控制在规定的公差范围内,设计者的任务就在于正确合理地确定公差,并把它在图样上明确地表示出来。也就是说,互换性要用公差来保证。显然,在满足功能要求的条件下,公差应尽量规定得大些,以获得最佳的技术经济效益。

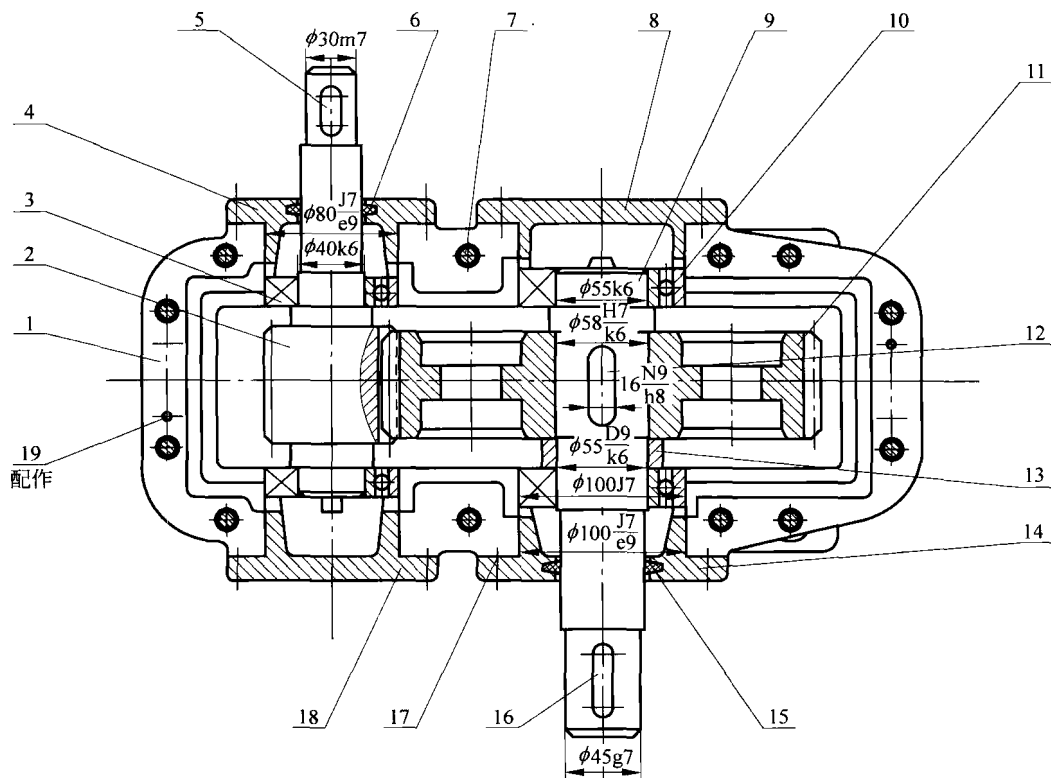


图 1-1 一级齿轮传动减速器装配示意图

1—箱体；2—输入轴；3、10—轴承；4、8、14、18—端盖；5、12、16—键；6、15—密封圈；7—螺钉；
9—输出轴；11—带孔齿轮；13—轴套；17—螺栓垫片；19—定位销

3. 互换性的分类

(1) 按互换的程度或范围,分为完全互换和不完全互换。

完全互换: 零部件不需任何辅助加工与修配,可不加挑选地进行装配或更换,就可以满足使用要求的性质。一般地,标准件采用完全互换,便于专业化生产和装配。

不完全互换: 在装配前,将零件按实际尺寸分组,按组装配(即大孔与大轴相配,小孔与小轴相配);或采用更换零件或调整位置的办法来达到装配的精度要求,前者又称为分组互换,后者又称为调整互换。

(2) 按互换的方式或应用场合,分为内互换与外互换。

内互换: 指部件或机构内部组成零件间的互换。例如,图 1-1 中滚动轴承内、外圈滚道与滚动体之间的装配。为方便起见,在使用过程中不再更换内部零件,所以内互换可采用不完全互换,且局限在厂家内部进行。

外互换: 指部件或机构与其相配件间的互换。例如,图 1-1 中滚动轴承内圈内径与轴颈的配合,外圈外径与机座孔的配合。外互换常用于厂与厂之间、部门与部门之间的协作件的配合和在使用过程中需要更换的零件以及与标准件相配合的零件,所以采用完全互换。

4. 互换性的作用

按互换性原则组织生产,不仅能大大提高产品质量和劳动生产率,而且能促进技术进步,显著提高经济效益和社会效益。其主要表现有以下几方面:

(1) 在产品的设计时,由于尽量多地采用具有互换性的通用件、标准件,将大大简化绘图、计算等设计工作量,也便于采用计算机辅助设计,缩短设计周期。

(2) 在产品制造时,同一台设备的各个零部件可以分散在多个工厂同时加工。这样,每个工厂由于产品单一、分工精细、批量较大,有利于采用高效率的专用设备或采用计算机辅助制造,容易实现优质、高产、低耗,生产周期也会显著缩短。

(3) 在产品装配时,将各专业厂分散制造的零部件集中组装,由于零部件具有互换性,可以不加挑选、随机装配,使装配作业顺利,易于实现流水作业或自动化装配,从而缩短装配周期,提高装配作业质量。

(4) 在产品使用时,容易保证其运转的连续性和持久性,从而提高设备的使用价值。若机械设备上的零部件具有互换性,一旦某一零部件损坏,就可以方便地用同规格的新部件替换,保证连续运转。

(5) 在产品管理时,无论是技术和物资供应、还是计划管理,零部件具有互换性将便于实现科学化管理。

1.1.2 机械几何量精度设计

机械设计过程通常可以分为系统设计、参数设计和精度设计三个阶段。

系统设计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性与先进性。机械系统设计主要是运动学设计,如传动系统、位移、速度、加速度等,故又称为运动设计。

参数设计是确定机构各零件几何要素的公称值,故又称结构设计。参数设计的主要依据是保证系统的能量转换和工作寿命。通常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,并按摩擦学和概率理论进行可靠性设计。

加工零件的过程中,由于种种因素的影响,零件各部分的尺寸、形状、方向和位置以及表面粗糙度等几何量难以达到理想状态,总是有或大或小的误差。但从零件的功能看,不必要求零件几何量制造得绝对准确,只要求零件几何量在某一规定范围内变动,保证同一规格零件彼此充分近似。这个允许变动的范围叫做公差。设计时要规定公差,而加工时会产生误差,因此要使零件具有互换性,就应把完工零件的误差控制在规定的公差范围内。

精度设计是确定机械各零件几何要素的允许误差,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。在满足功能要求的前提下,公差应尽量规定得大些,以获得最佳的技术经济效益。因此,精度设计是机械设计不可分割的重要组成部分。

机械产品的精度设计是极其重要的,因为没有足够的几何精度,航天飞机上不了天,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品,汽车不会有舒适性和安全性,……机械产品的报废往往就是因为其精度的丧失,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,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。

精度设计对机械产品各零部件的几何量分别规定了合理的公差,若不采取适当的检测措施,那么,规定的这些公差形同虚设,不能实现零部件的互换。因此,应按照标准和技术要求进行检测,不合格者不予接收,保证零部件的互换性。检测是检验和测量的统称。测量的结果能够获得具体的数值;检验的结果只能判断合格与否,而不能获得具体的数值。显然,检测是组织互换性生产必不可少的重要措施。但是,在检测过程中不可避免地会产生或大或小的测量误差,这将导致两种误判:一是把不合格品误认为合格品而给予接收,二是把合格品误认为废品而给予报废。这要从保证产品质量和经济性两方面加以合理解决。

必须指出,检测的目的不仅仅在于判断工件是否合格,还有其另外一面,这就是根据检测的结果,分析产生废品的原因,以便设法减少废品,进而消除废品。

随着生产和科学技术的发展,对检测的准确度和效率提出了越来越高的要求。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。

几何量检测在我国具有悠久的历史,早在秦朝,我国已统一了度量衡制度。新中国成立后,1959 年国务院发布了《关于统一计量制度的命令》,正式确定采用国际米制作为我国的长度计量单位。1977 年国务院发布了《中华人民共和国计量管理条例》,健全了各级计量机构和长度量值传递系统,保证了全国计量单位的统一,促进了产品质量的提高。1984 年国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》,在全国范围内统一实行以国际单位制为基础的法定计量单位。1985 年全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国计量法》,使我国国家计量单位制度更加统一,从而更好地促进我国社会主义现代化建设和科学技术的发展。

在建立和加强我国计量制度的同时,我国的计量器具也有了较大的发展,现在已拥有一批骨干量仪厂,生产了许多品种的量仪,如万能工具显微镜、万能渐开线检查仪等。此外,还研制成一些达到世界先进水平的量仪,如激光光电比长仪、激光丝杠动态检查仪、光栅式齿轮整体误差测量仪、无导轨大长度测量仪等。

1.2 标准与标准化

现代社会生产活动是建立在先进技术装备、严密分工、广泛协作基础上的社会化大生产。产品的互换性生产,无论从深度还是广度上,都已进入新的发展阶段,远超出了机械工业的范畴,已扩大到国民经济各个行业和领域。互换性原则已成为机械工业和其他行业生产的基本技术经济原则。标准化是实现互换性生产的前提,技术检测是实现互换性生产必不可少的技术保证。因此,标准化、技术检测和互换性三者形成了一个有机的整体。

1. 标准(standard)的概念

GB/T 20000.1—2002《标准化工作指南 第一部分：标准化和相关活动的通用词汇》中规定标准是指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。

制定标准的目的是获得国民经济最佳秩序；其依据是科学技术和生产实践经验综合成果；标准的对象是在经济技术活动中具有多样性、相关特征的重复事物；制定标准方法是通过充分协商，并由公认机构批准发布的统一规定。

2. 标准化(standardization)的概念

GB/T 20000.1—2002《标准化工作指南 第一部分：标准化和相关活动的通用词汇》中规定标准化是指为了在一定范围内获得最佳秩序，对现实问题或潜在问题制定共同使用和重复使用的条款的活动。上述活动主要包括制定、发布及实施标准的过程。

标准化的主要特征是“活动过程”，制定标准的目的在于贯彻标准，当标准在国民经济技术活动中得到贯彻，才能表现出标准化的效果。通过这一活动过程，提高了科学技术与生产水平。随着科学技术的发展，原来的标准水平落后于生产技术发展，此时要在新的基础上，修订原来标准，修订后的标准在深度、广度和水平方面皆比原来标准有所提高。如此重复循环，使标准水平不断提高，呈螺旋式上升。

3. 标准的种类

标准种类繁多、数量巨大，可从不同的角度进行分类。

1) 按作用范围分类

按作用范围，可分为国际标准、区域标准、国家标准、行业标准、地方标准、企业标准和试行标准。

国际标准(international standard)是由国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)和国际电信联盟(ITU)以及 ISO 确认并公布的其他国际组织制定的标准。

区域标准(regional standard)是由区域标准化的标准组织制定并发布的标准。

国家标准(national standard)是由国务院标准化行政主管部门制定的标准，用“GB”(guo biao)读作“国标”，例如 GB 1801—1979，编号为 1801，1979 年批准。

行业标准由国务院有关行政主管部门制定，并报国务院标准化行政主管部门备案。在公布相应的国家标准之后，该项行业标准即行废止。

地方标准(provincial standard)由省、自治区、直辖市标准化行政主管部门制定，并报国务院标准化行政主管部门和国务院有关行政主管部门备案。在公布相应的国家标准或者行业标准之后，该项地方标准即行废止。

企业生产的产品没有国家标准和行业标准的，应当制定企业标准，作为组织生产的依据，企业的产品标准须报当地标准化行政主管部门和有关行政主管部门备案；已有国家标准和行业标准的，企业还可以制定严于国家标准和行业标准的企企业标准，在企业内部使用。

试行标准是由某个标准化机构临时通过并公开发布的文件，目的是从它的应用中取得必要的经验，再据以建立正式的标准。

2) 按标准的法律属性分类

按标准的法律属性,可分为强制性标准和推荐性标准。

《中华人民共和国标准化法》中规定:“为保障人体健康,人身、财产安全的标准和法律、行政法规规定强制执行的标准是强制性标准,其他标准是推荐性标准”。强制性标准颁布后,凡从事科研、生产、经营的单位和个人,都必须严格执行。推荐性标准不具有法律的约束力,但一经被采用,或在合同中被引用,就应该严格执行并受合同法或有关经济法的约束。过去我国为适应计划经济的需要,实行单一的强制性标准。随着社会主义市场经济的发展,我国现已实行强制性和推荐性两种标准,这是标准化工作中的一项重要改革。

本课程主要涉及三十多个国家标准,它们大多是基础标准,且自 20 世纪 90 年代以后颁布的这些国家标准多为推荐性标准。

推荐性标准用标准代号“GB/T”表示;强制性标准用标准代号“GB/Q”表示。

3) 按标准化对象的特性分类

按标准化对象的特性,标准可分为基础标准、产品标准、方法标准、安全标准、卫生标准、环境保护标准等。

基础标准是生产技术活动中最基本、最具有广泛指导意义的标准。它是具有最一般的共性、通用性的标准。例如通用的名词术语、计量单位、机械制图 and 本书所涉及的极限与配合标准、形状与位置公差标准等皆为基础标准。

产品标准是指为某一类产品的型式、尺寸、主要性能参数、质量指标、试验方法、验收规则,以及包装、储存、运输、使用、维修等方面内容所制定的标准。

方法标准是指以试验、检验、分析、抽样统计等各种方法为对象制定的标准。

安全、卫生与环境保护标准是指一切属于设备和人身安全、卫生以及有关保护环境的标准。

有了标准,并且标准得到正确地贯彻实施,就可以保证产品质量,缩短生产周期,便于开发新产品和协作配套,提高国民经济计划性和企业管理水平。而标准化是组织现代化大生产的重要手段,是联系设计、生产和使用等方面的纽带,是科学管理的重要组成部分。

标准化不是当今才有的,早在人类开始创造工具时代就已出现。它是社会生产劳动的产物。在近代工业兴起和发展的过程中,标准化日益显得重要起来。在 19 世纪,标准化的应用就十分广泛,尤其在国防、造船、铁路运输等行业中的应用更为突出。20 世纪初期,一些资本主义国家相继成立全国性的标准化组织机构,推进了本国的标准化事业。以后由于生产的发展,国际交流越来越频繁,因而出现了地区性和国际性的标准化组织。1926 年成立了国际标准化协会(简称 ISA),1947 年重建国际标准化协会,改名为国际标准化组织(简称 ISO)。现在,这个世界上最大的标准化组织已成为联合国甲级咨询机构。据统计,ISO 制定了 8000 多个国际标准。

我国标准化工作在解放后得到重视。从 1958 年发布第一批 120 项国家标准起,至今已制定两万多项国家标准。目前,我国已按“积极采用国际标准和国际先进标准”的原则,制定出许多新的国家标准,其中有关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》、《几何公差》、《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,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。

总之,标准化是发展贸易、提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。搞好标准化,对于高速度发展国民经济、提高产品和工程建设质量、提高劳动生产率、搞好环境保护和安全生产、改善人民生活等都有重要作用。

1.3 优先数与优先数系

在设计机械产品和制定标准时,常常和很多数值打交道。各种产品的功能参数和几何参数都要用数值来表述,而产品参数的数值具有扩散传播性。例如,在设计减速器箱体上的螺孔时,螺孔的直径(螺纹尺寸)一旦确定,与之相配合的螺钉尺寸、加工用的丝锥尺寸、检验用的螺纹塞规尺寸,甚至攻螺纹前的钻孔尺寸和钻头尺寸,也随之而定,且由于上述螺孔直径数值的确定,又使与之相关的垫圈尺寸、轴承盖上通孔的尺寸也随之而定。由于数值如此不断关联、不断传播,常常形成牵一发而动全身的现象,这就牵涉到许多部门和领域。在现代工业生产中,专业化程度高,国民经济各部门要协调和密切配合,因此技术参数的数值是不能随意选择,而应该在一个理想的、统一的数系中选择。

优先数系就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的一种科学的数值制度。国家标准 GB/T 321—2005《优先数和优先数系》中规定,优先数系是由公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 、 $\sqrt[80]{10}$,且项值中含有10的整数幂的几何级数的常用圆整值。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。其中,前4个系列为基本系列,R80为补充系列。实际使用时,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,才用补充系列R80。各系列的公比 q 为

$$R5:q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60 \quad R10:q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25 \quad R20:q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$$

$$R40:q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06 \quad R80:q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$$

优先数系中的每一个数称为优先数。各基本系列中优先数的常用值列于表1-1。

由表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。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3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6项增大一倍;R40系列的优先数,每隔12项增大一倍。

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:

$$R5/2: 1, 2.5, 6.3, 16, 40, 100, \dots$$

$$R10/3: 1, 2, 4, 8, 16, 31.5, 63, \dots$$

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。

表 1-1 优先数基本系列

基本系列(常用值)				计算值	基本系列(常用值)				计算值
R5	R10	R20	R40		R5	R10	R20	R40	
1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000				3.35	3.3497
			1.06	1.0593			3.55	3.55	3.5481
		1.12	1.12	1.1220				3.75	3.7584
			1.18	1.1885	4.00	4.00	4.00	4.00	3.9811
	1.25	1.25	1.25	1.2589				4.25	4.2170
			1.32	1.3335			4.50	4.50	4.4668
		1.40	1.40	1.4125				4.75	4.7315
			1.50	1.4962		5.00	5.00	5.00	5.0119
1.60	1.60	1.60	1.60	1.5849				5.30	5.3088
			1.70	1.6788			5.60	5.60	5.6234
		1.80	1.80	1.7783				6.00	5.9566
			1.90	1.8836	6.30	6.30	6.30	6.30	6.3096
	2.00	2.00	2.00	1.9953				6.70	6.6834
			2.12	2.1135			7.10	7.10	7.0795
		2.24	2.24	2.2387				7.50	7.4989
			2.36	2.3714		8.00	8.00	8.00	7.9433
2.50	2.50	2.50	2.50	2.5119				8.50	8.4140
			2.65	2.6607			9.00	9.00	8.9125
		2.80	2.80	2.8184				9.50	9.4406
			3.00	2.9854	10.00	10.00	10.00	10.00	10.0000
	3.15	3.15	3.15	3.1623					

思考题与习题

- 1-1 什么是互换性？互换性在机械制造业中的作用是什么？
- 1-2 何为精度设计？精度设计的主要内容有哪些？
- 1-3 什么是标准、标准化？标准化与互换性生产有何关系？标准和标准化的作用是什么？
- 1-4 试写出 R10 优先数系从 1~100 的全部优先数(常用值)。

第 2 章 测量技术基础

2.1 测量技术的基本概念

1. 有关测量的基本概念

测量就是为确定被测对象量值而进行的实验过程,其实质就是将被测量与作为单位的标准进行比较,从而确定二者比值的过程。一个完整的测量过程应包含以下 4 个要素。

(1) 测量对象。本课程主要指几何量,即长度、角度、表面形状和位置、表面粗糙度以及螺纹、齿轮的各种几何参数。

(2) 测量单位。在长度计量中基本单位为米(m),其他常用单位有毫米(mm)、微米(μm);角度单位是弧度(rad),或以度($^{\circ}$)、分(')、秒(")为单位。

(3) 测量方法。是指在进行测量时所采用的测量原理、计量器具与测量条件的综合。

(4) 测量精度。是指测量结果与被测量真值一致的程度。任何测量总是存在误差的,由于测量误差的存在,任何测量结果都是一近似的表示。测量误差的大小反映测量精度的高低,不知道测量精度的测量结果是不完整的。

2. 长度基准和尺寸传递

长度单位“米”是国际单位制的 7 个基本单位之一。1983 年第 17 届国际计量大会通过的“米”的定义为:“米是光在真空中在 $1/299792458$ 秒的时间间隔内所经过的距离”。近年来,由于激光频率稳定技术和频率测量技术取得了重大进展,故采用激光波长作为长度基准,它具有很好的稳定性和复现性。

用光波波长作为长度基准不便于在生产中直接使用,必须把复现的长度基准量值逐级准确地传递到生产中所使用的各种测量器具直至工件上去,即建立量值传递系统,如图 2-1 所示。长度量值的传递有两种基准实物:线纹量具和端面量具(量块)。在机械制造中尤以量块的应用更为广泛。

3. 量块的基本知识

量块又称块规,是由两个相互平行的测量面之间的距离来确定其工作长度的高精度量具,在计量部门和机械制造中应用较广。它除了作为量值传递的媒介外,还可用于计量器具、夹具的调整以及工件的测量和检验。

量块是用特殊合金钢制成的,其线膨胀系数小、性能稳定、不易变形且耐磨性好。

量块的形状为长方六面体结构,6 个平面中有两个相互平行的测量面,测量面极为光滑平整,两测量面之间具有精确的尺寸。两个量块的测量面或一个量块的测量面与一个玻璃(或石英)平面的测量面之间具有相互研合的能力,称为量块测量面的研合性。

图 2-2 中所标各种符号为与量块有关的长度和偏差。

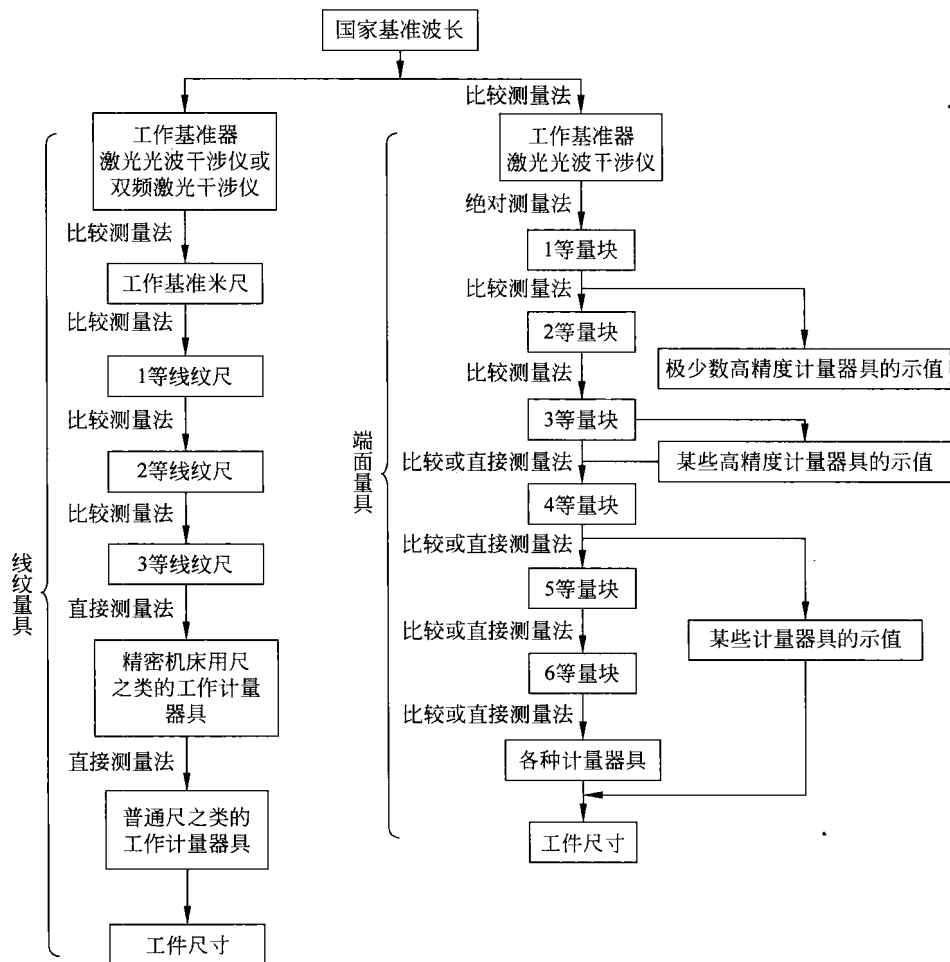


图 2-1 长度量值传递系统

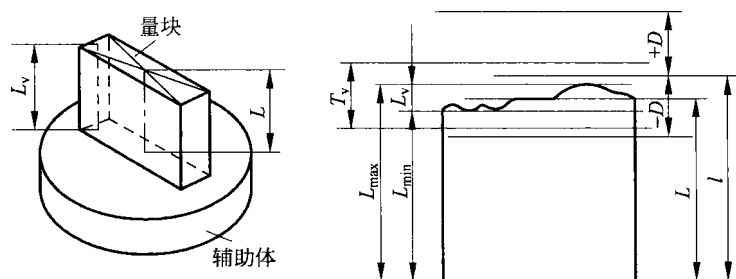


图 2-2 量块及有关量块长度和偏差的术语

有关量块长度和偏差的术语如下:

(1) 量块(测量面上任意点)的长度。量块的长度是指自测量面上任意点到与其相对的另一测量面之间的垂直距离,用符号 L_i 表示。

(2) 量块的中心长度。量块的中心长度是指量块一个测量面的中心点到与其相对的另一测量面之间的垂直距离,用符号 L 表示。

(3) 量块长度的标称值。量块长度的标称值是指刻印在量块上用以标明其与主单位(m)之间比值的量值,也称为量块长度的示值或量块的标称尺寸,用符号 l 表示。

(4) 量块长度的实测值。量块长度的实测值是指用一定的方法,对量块长度进行测量所得到的量值,如量块中心长度的实测值 L 。

(5) 量块的长度变动量。量块的长度变动量是指量块任意点长度中的最大长度 $L_{\max}$ 与最小长度 $L_{\min}$ 之差的绝对值,用符号 L_v 表示。量块长度变动量的允许值用符号 T_v 表示。

(6) 量块的长度偏差。量块的长度偏差是指量块的实测值与其标称值之差,简称为偏差。图 2-2 中的一 D 和 + D 为这一偏差的允许值(极限偏差)。

为了满足不同应用场合的需要,我国的标准对量块规定了若干精度等级。

按 GB/T 6093—2001《几何量技术规范(GPS)长度标准 量块》规定量块的制造精度分为 5 级: K、0、1、2、3 级,其中 K 级精度最高,精度依次降低,3 级精度最低。量块分“级”的主要依据是量块长度极限偏差($\pm D$)和量块长度变动量的允许值 T_v 。量块的检定精度分为 5 等: 1、2、3、4、5 等,其中 1 等的精度最高,精度依次降低,5 等的精度最低。量块分“等”的主要依据是量块测量的不确定度允许值和量块长度变动量的允许值 T_v 。量块按“级”使用时,应以量块长度的标称值作为工作尺寸,该尺寸包含了量块的制造误差。量块按“等”使用时,应以经检定后所给出的量块中心长度的实测值作为工作尺寸,该尺寸排除了量块制造误差的影响,仅包含检定时较小的测量误差。因此,量块按“等”使用的测量精度比量块按“级”使用的高。

利用量块的研合性,可以在一定的尺寸范围内,将不同尺寸的量块进行组合而形成所需的工作尺寸。量块组合时,为了减少量块组合的累积误差,应力求使用最少的块数,一般不超过 4 块。例如,为了得到工作尺寸为 38.785mm 的量块组,从 83 块一套的量块(我国生产的成套量块有 91 块、83 块、46 块、38 块等)中可分别选取 1.005mm、1.28mm、6.5mm、30mm 4 块量块。

2.2 计量器具和测量方法

1. 计量器具的分类

计量器具按其本身的结构特点可分为以下 4 类。

(1) 标准量具是指以固定形式复现量值的测量工具,包括单值量具(如量块)和多值量具(如线纹尺)两类。

(2) 极限量规是一种没有刻度的专用检验工具,用这种工具不能得到被检验工件的具体尺寸,但能确定被检验工件是否合格,如光滑极限量规、螺纹量规等。