



高等学校“十一五”规划教材

机械精度设计与检测

Jixie Jingdu Sheji Yu Jiance

主编 韩正铜 王天煜

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

TH122/823

2007

高等学校“十一五”规划教材

机械精度设计与检测

主 编 韩正铜 王天煜

副主编 顾苏军 冷岳峰 李桂莉

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了机械几何量精度设计及检测原理。全书共分 11 章:概论,孔、轴尺寸精度设计及其检测,形状与位置精度设计及其检测,表面粗糙度轮廓及其配合,滚动轴承公差与配合,圆锥公差与检测,键联结的公差与配合,圆柱螺纹公差与检测,圆柱齿轮精度设计与检测,尺寸链及计算机辅助几何量精度设计与检测。

本书主要采用 2000 年以来的最新国家标准。精度设计侧重基本概念和标准的应用,检测部分侧重测量原理和典型量仪的应用。书中增加了计算机辅助技术在本课程的应用。

本书内容简明、联系实际,每章附有思考题与习题。本书可作为高等工业院校机械类专业、测控技术及仪器专业“互换性与测量技术基础”课程的教材,也可供高等职业技术教育、成人教育学生使用及机械工程技术人員、计量检测人員参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械精度设计与检测/韩正铜,王天煜主编. —徐州:

中国矿业大学出版社,2007.8

ISBN 978 - 7 - 81107 - 678 - 3

I. 机… II. ①韩… ②王… III. ①机械—精度—设计

②机械元件—检测 IV. TH122 TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 128130 号

书 名 机械精度设计与检测

主 编 韩正铜 王天煜

责任编辑 钟 诚

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 17.75 字数 440 千字

版次/印次 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价 29.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

“互换性与测量技术基础”课程是高等工科院校机械类各专业、测控技术及仪器等专业的一门重要技术基础课,是联系机械设计类课程与制造工艺类课程的纽带。内容涉及机械设计、机械制造、质量控制等许多方面,是与机械工业紧密联系的一门综合性基础学科。

本书参考高等工业学校“互换性与测量技术基础”课程教学指导小组审定的课程教学基本要求,并根据教学改革及学科发展的需要编写而成。为突出本课程的研究主题,本教材定名为“机械精度设计与检测”。本书立足于强化学生技术标准的运用能力、综合精度设计能力以及实验动手能力的培养,精选教学内容,突出精度设计主线,提高学生综合运用本课程知识解决实际问题的能力。

全书共分十一章:概论,孔、轴尺寸精度设计与检测,形状与位置精度设计与检测,表面粗糙度轮廓及其检测,滚动轴承公差与配合,圆锥公差与配合,键联结的公差与检测,圆柱螺纹公差与检测,圆柱齿轮精度设计与检测,尺寸链及计算机辅助几何量精度设计与检测。

本书根据编者多年的教学实践经验,参考了多种版本同类教材和有关国家标准,形成如下特色:

(1) 全部采用最新颁布的国家标准,并侧重于对新标准的理解与应用,同时简介相对应的旧国家标准。这对于新国标内容的贯彻执行将起到非常积极的推动作用,同时使学生能够利用采用旧标准的技术资料。

(2) 为了突出重点、难点内容,使学生能够较好地巩固和理解所学内容,每章后均附有思考题和习题。

(3) 根据教学改革、学科发展以及生产实际的需要,对内容进行了必要的增删和整合,力求做到少而精。

(4) 为了做到理论联系实际,学以致用,本书采用了较多的结合实际选用的实例。

本书由中国矿业大学韩正铜、沈阳工程学院王天煜主编,中国矿业大学张永忠教授主审。参加本书编写的有中国矿业大学韩正铜(第一、二、十一章)、顾苏军(第三、四章),辽宁工程技术大学冷岳峰(第五、六章),沈阳工程学院王天煜(第八、九章),山东科技大学李桂莉(第七、十章)。全书由韩正铜统稿、校订。

在本书的撰写过程中,参考了大量相关文献资料,谨向文献作者表示谢意。

由于编者水平所限,书中难免存在错误和不当之处,欢迎广大读者批评指正。

编者

2007年2月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 互换性、标准化与优先数系	2
第三节 测量技术的基本概念	6
第四节 计量器具和测量方法	8
第五节 测量误差与数据处理	11
思考题与习题	19
第二章 孔、轴尺寸精度设计与检测	21
第一节 基本术语及其定义	21
第二节 尺寸公差带与配合的标准化	27
第三节 尺寸精度设计	42
第四节 孔、轴尺寸的检测	52
思考题与习题	59
第三章 形状与位置精度设计与检测	61
第一节 概述	61
第二节 形位公差的图样表示	63
第三节 形位公差带	69
第四节 公差原则	88
第五节 形位公差的选择	101
第六节 形位误差及其检测	108
思考题与习题	114
第四章 表面粗糙度轮廓及其检测	118
第一节 表面粗糙度轮廓的基本概念	118
第二节 表面粗糙度轮廓的评定	119
第三节 表面粗糙度轮廓的技术要求	123
第四节 表面粗糙度轮廓技术要求与标注方法	126
第五节 表面粗糙度轮廓的检测	129
第六节 旧国家标准 GB/T 3505—1983 表面粗糙度评定参数简介	131

思考题与习题	134
第五章 滚动轴承公差与配合	135
第一节 概述	135
第二节 滚动轴承的公差等级及应用	137
第三节 滚动轴承内、外径及相配轴颈、外壳孔的公差带	138
第四节 滚动轴承配合及选择	143
第五节 轴颈和外壳孔的形位公差与表面粗糙度	149
思考题与习题	151
第六章 圆锥公差与配合	153
第一节 概述	153
第二节 锥度与锥角系列	154
第三节 圆锥公差	158
第四节 圆锥配合	164
第五节 圆锥公差与配合的标注	174
第六节 圆锥角的检测	180
思考题与习题	182
第七章 键联结的公差与检测	183
第一节 平键联结的公差与检测	183
第二节 矩形花键联结的公差与检测	187
第三节 圆柱直齿渐开线花键联结的公差与检测	192
思考题与习题	198
第八章 圆柱螺纹公差与检测	199
第一节 螺纹的使用要求和几何参数	199
第二节 螺纹几何参数偏差对互换性的影响	203
第三节 普通螺纹公差带及其选用	205
第四节 圆柱螺纹的测量	211
思考题与习题	214
第九章 圆柱齿轮精度设计与检测	215
第一节 圆柱齿轮传动的使用要求	215
第二节 圆柱齿轮精度的评定指标	217
第三节 齿轮副精度的评定指标	223
第四节 圆柱齿轮的精度设计	226
第五节 齿轮精度检测	241
思考题与习题	248

第十章 尺寸链..... 249

 第一节 尺寸链的基本概念..... 249

 第二节 尺寸链的确立与分析..... 252

 第三节 用完全互换法求解尺寸链..... 255

 第四节 用大数互换法求解尺寸链..... 259

 第五节 用分组法、修配法和调整法保证装配精度 260

 思考题与习题..... 262

第十一章 新技术在机械精度设计与检测中的应用..... 263

 第一节 计算机辅助技术的应用..... 263

 第二节 长度计量新技术与三坐标测量机..... 270

 思考题与习题..... 275

主要参考文献..... 276

第一章 绪 论

第一节 概 述

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。而从零件的功能看,不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,规定的这些公差将形同虚设,因此,应按照标准和技术要求进行检测,不合格者不予接收,方能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,还有其积极的一面,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。

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。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,从而更好地促进了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。

第二节 互换性、标准化与优先数系

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,无论从深度或广度上,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。

一、互换性及其种类

在机械工业中,互换性是产品设计最基本的原则之一。互换性是指在同一规格的一批零部件中具有互相代换的性能,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,都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:机器或仪器上掉了一个螺钉,找相同的规格买一个装上就行了;电灯坏了,买一个相同规格的装上即可;自行车、缝纫机、手表乃至汽车、拖拉机中某个机件磨损了,换上一个新的就行。上述这些零件或部件就具有互换性。

互换性可以按以下形式进行分类:

(1) 按互换的程度或范围,分为完全互换与不完全互换。若零件在装配或更换时,不需任何选择、修配与辅助加工,则为完全互换。但当装配精度要求较高时,采用完全互换将使零件制造困难、成本很高,甚至无法加工。这时,可将零件的制造公差适当放大后进行加工,而在零件完工后,经测量按实际尺寸的大小分为若干组,使每组零件间实际尺寸的差别减小,再按相应组进行装配(即大孔与大轴相配,小孔与小轴相配),这样,既可保证装配精度要求,又能使加工难度减小而降低制造成本。但这种互换仅在同组内的零件之间可以进行,故

称为不完全互换。

(2) 按使用要求,分为几何参数互换与功能互换。几何参数互换是通过规定几何参数的公差保证成品的几何参数充分近似的互换,又称为狭义互换。保证零件使用功能的要求,不仅仅取决于几何参数的一致性,还取决于它们物理性能、化学性能、力学性能等参数的一致性。通过规定功能参数(如材料力学性能、理化性能等参数)的公差所达到的互换称为功能互换,又称为广义互换。本课程主要研究零件几何参数的互换性。

(3) 按应用场合,分为外互换与内互换。外互换是指部件或机构与其相配件间的互换性。例如,滚动轴承内圈内径与轴的配合,外圈外径与机座孔的配合。内互换是指在厂家内部生产的部件或机构内部组成零件间的互换。例如,滚动轴承内、外圈滚道与滚动体之间的装配。为方便起见,一般内互换才采用不完全互换,且局限在厂家内部进行;而外互换采用完全互换,适用于生产厂家之外广泛的范围。

遵循互换性原则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标准零部件,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、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) 产品装配时,由于其零部件具有互换性,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) 在设备使用时,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,就可以方便地用另一个新备件替换,保证连续运转。

(5) 在机械设备的管理上,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。

二、标准与标准化

为了保证机器零件几何参数的互换性,必须制定和执行统一的互换性公差标准。我国互换性公差标准包括:极限与配合、形状和位置公差、表面粗糙度以及各种典型的联结件和传动件的精度标准。这类标准是以保证一定的几何参数制造公差来保证零件的互换性和使用要求的,是机械制造中非常重要的技术基础标准。

1. 标准及其分类

标准是指在经济、技术、科学和管理等社会实践中,对重复性的事物和概念在一定范围内通过科学简化、优选和协调,经一定程序审批后所颁发的统一规定。标准是特定形式的技术法规,是评定产品质量的技术依据。标准是标准化活动的成果,是实现互换性生产的前提。

标准种类繁多、数量巨大,可从不同的角度进行分类。按一般习惯,可把标准分为技术标准、管理标准和工作标准;按作用范围,可分为国际标准、区域标准、国家标准、专业标准、地方标准和企业标准;按标准在标准系统中的地位与作用,可分为基础标准和一般标准;按标准的法律属性,可分为强制性标准和推荐性标准。

我国《标准化法》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。目前，我国已按“积极采用国际标准和国际先进标准”的原则，制定了一万多项国家标准，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》、《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，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。本课程主要涉及 30 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。

2. 标准化

为了组织专业化协作生产，各生产部门之间、各生产环节之间必须保持协调一致，保持必要的技术统一，成为一个有机的整体，有节奏地组织互换性生产。实现这种有机的统一和联系，是以标准化作为主要途径和手段的。标准化是实现互换性生产的基础，也是科学管理的重要组成部分，是组织现代化生产的重要手段，是发展贸易、提高产品在国际市场上的竞争能力的技术保证。现代化程度越高，对标准化的要求也越高。

根据国家标准 GB/T 3935.1—1996 的规定，“标准化”定义为：在一定的范围内获得最佳秩序，对实际的或潜在的问题制定共同的和重复使用的规则的活动。上述活动主要包括制定、发布及实施标准的过程。由标准化的定义可以看到：标准化不是一个孤立的概念，而是一个活动过程。这个过程包括循环往复地制定、贯彻、修订标准。在标准化的全部活动中，贯彻标准是核心环节，制定和修订标准是标准化的最基本的任务。应该肯定：标准化在发展的深度上是没有止境的，它将随着生产的发展和社会的进步向更深的层次不断发展、提高和完善。

标准化在人类活动的很多方面都起着不可忽视的作用，是组织现代化大生产的重要手段，是实现专业化协作生产的必要前提，是科学管理的重要组成部分。由于标准化不仅可以简化产品品种、促进科学技术转化为生产力，而且，在节约原材料、减少浪费、信息交流、消除贸易壁垒和提高产品质量等方面均能发挥重要作用，所以，它是整个社会经济合理化的技术基础，也是发展贸易、提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。世界各国的经济发展过程表明，标准化是反映现代化水平的一个重要标志。

目前标准化已发展到一个新的历史阶段，其显著特点是标准的国际化。国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)编制标准的数量迅速增加，质量显著提高。大部分国际标准都集中了许多国家的经验和现代科学技术的成就。为了便于国际贸易和国际间的技术交流，有些国家参照国际标准制定本国的国家标准，有些国家甚至完全采用国际标准，而不制订本国标准。我国为能迅速赶上和超过世界先进水平，也提出了采用国际标准的三大原则：坚持与国际标准统一协调的原则，坚持结合我国国情的原则以及坚持高标准、严要求和促进技术进步的原则。

三、优先数系

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,在设计变速箱时,当功率和转速的数值确定后,不仅会传播到其本身的轴、轴承、键、齿轮等一系列零部件的尺寸和材料特性参数上去,而且必然会传播到加工和检测这些零部件的刀具、夹具、量具以及专用机床的相应参数上去,也会传播到有关机器的参数上去。为了满足用户需要,产品规格当然多一些好。但规格参数间即使有很小的差别,经过反复扩散传播后,也会造成相关产品的规格参数繁多杂乱,给组织生产、协作配套以及使用维修等带来很大的困难和浪费。因此,对各种技术参数,必须从全局出发加以协调。

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—1980《优先数和优先数系》规定的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。R80为补充系列,其余4种为基本系列。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。

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	1.000 0	4.00	4.00	4.00	3.35	3.349 7
			1.06	1.059 3				3.55	3.548 1
			1.12	1.122 0				3.75	3.758 4
			1.18	1.188 5				4.00	3.981 1
			1.25	1.258 9				4.25	4.217 0
			1.32	1.333 5				4.50	4.466 8
			1.40	1.412 5				4.75	4.731 5
			1.50	1.496 2				5.00	5.011 9
			1.60	1.584 9				5.30	5.308 8
			1.70	1.678 8				5.60	5.623 4
1.60	1.60	1.60	1.80	1.778 3	6.30	6.30	6.30	6.00	5.956 6
			1.90	1.883 5				6.30	6.309 6
			2.00	1.995 3				6.70	6.683 4
			2.12	2.113 5				7.10	7.079 5
			2.24	2.238 7				7.50	7.498 9
			2.36	2.371 4				8.00	7.943 3
			2.50	2.511 9				8.50	8.541 4
			2.65	2.660 7				9.00	8.912 5
			2.80	2.8184				9.50	9.440 6
			3.00	2.985 4				10.00	10.000
2.50	2.50	2.50	3.15	3.162 3	10.00	10.00	10.00	10.00	10.000
			3.15	3.15				10.00	10.000
			3.15	3.15				10.00	10.000

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;则 R20 系列的优先数每隔 6 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,...

R10/3:1,2,4,8,16,31.5,63,...

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。

第三节 测量技术的基本概念

一、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四个要素:

(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,因此任何测量结果都是以一近似值表示。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。

二、长度基准和尺寸传递

长度单位“米”是国际单位制的七个基本单位之一。1983 年第十七届国际计量大会通过的“米”的定义为:米是光在真空中在 $1/299\,792\,458\text{ s}$ 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 1-1 所示。长度量值的传递有两种基准实体:刻线线纹尺和端面量具(量块)。在机械制造中尤以量块的应用更为广泛。

三、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。它的形状为长方六面体结构,六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

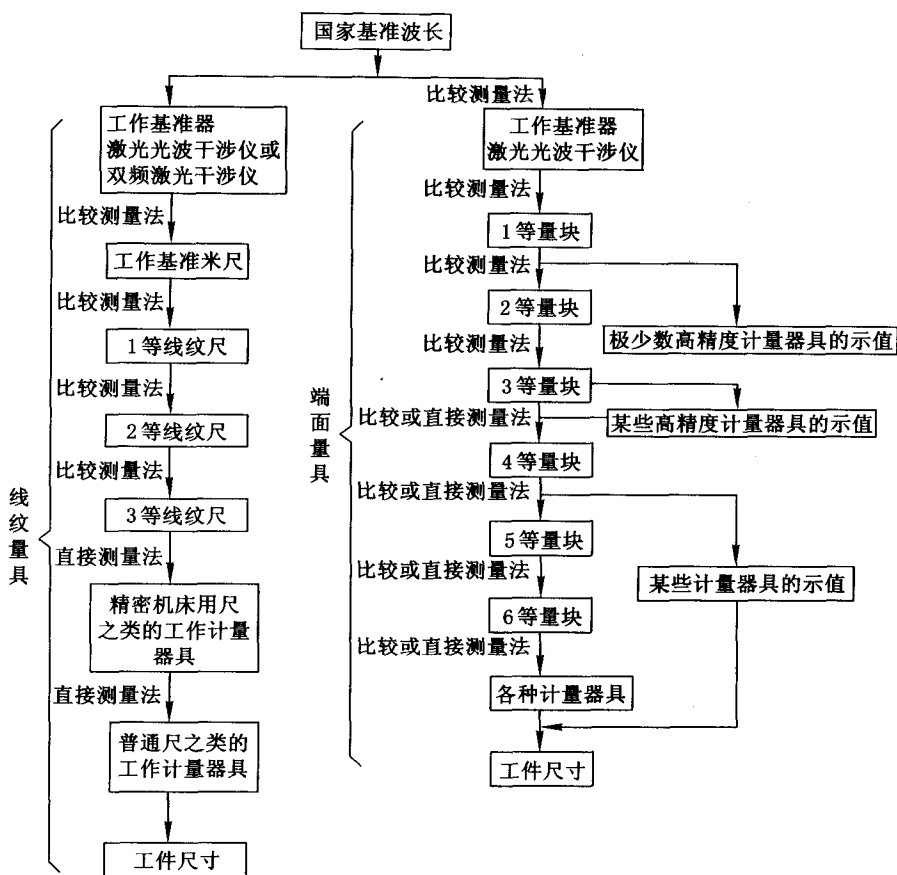


图 1-1 长度量值传递系统

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。

如图 1-2 所示,件 1 为量块,件 2 为与量块相研合的辅助体(平台等),所标各种符号为与量块有关的长度和偏差。

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

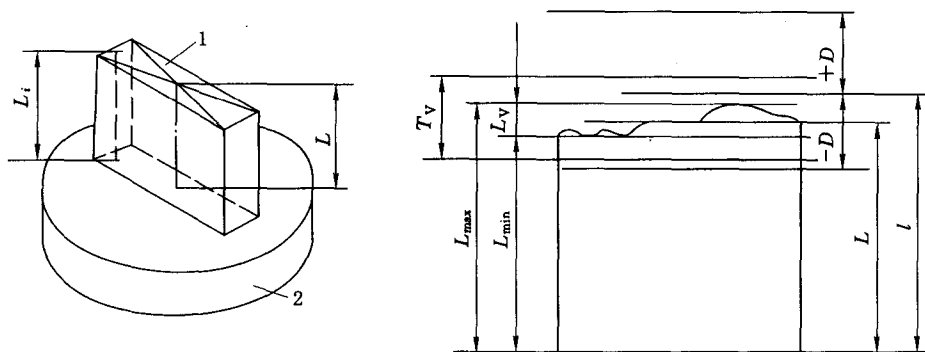


图 1-2 量块及有关量块长度和偏差的术语

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 1-2 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 JJG146—94《量块检定规程》的规定,量块的制造精度分为六级:00、0、K、1、2、3 级,其中 00 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六等:1、2、3、4、5、6 等,其中 1 等的精度最高,精度依次降低,6 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 38.785 mm 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 1.005 mm、1.28 mm、6.5 mm、30 mm 等 4 块量块。

第四节 计量器具和测量方法

一、计量器具的分类

计量器具按其本身的结构特点可分为标准量具、极限量具、计量仪器和计量装置四类。

1. 标准量具

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

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。

3. 计量仪器

将被测量转换成可直接观察的示值或等效信息的计量器具。按信号转换原理可分为以下几种:

- (1) 机械量仪,如百分表、杠杆比较仪、内径百分表等。
- (2) 电动量仪,如电感测微仪、电动轮廓仪等。
- (3) 光学量仪,如工具显微镜、光学分度头、投影仪、干涉仪等。
- (4) 气动量仪,如水柱式气动量仪、浮标式气动量仪等。

4. 计量装置

为确定被测量值所必需的计量器具和辅助设备的总体。

二、计量器具的技术性能指标

1. 刻度间隔

计量器具标尺或度盘上相邻两刻线中心的距离(一般取 0.75~2.5 mm)。

2. 分度值

标尺或度盘上相邻两刻线所代表的量值,即一个刻度间隔所代表的被测量的量值。由于分度值表示计量器具所能读出的被测量值的最小单位,所以一般地说,分度值越小,计量器具的精度越高。长度计量器具的分度值一般有 0.1 mm、0.05 mm、0.02 mm、0.01 mm、0.005 mm、0.002 mm、0.001 mm。

3. 示值范围

指计量器具标尺的指示范围,即计量器具所能显示或指示的最低值到最高值的范围。

4. 测量范围

指计量器具在允许的误差限内所能测量的被测量值的范围。

5. 灵敏度 K

指计量器具对被测量变化的反应能力。对于一般的长度计量器具,灵敏度又称放大比。对于具有等分刻度的标尺或度盘的量仪,放大比 K 等于刻度间距 c 与分度值 i 之比,即 $K=c/i$ 。一般地说,分度值越小,计量器具的灵敏度就越高。

6. 示值误差

示值误差是指计量器具上的示值与被测几何量的真值的代数差。一般来说,示值误差越小,则计量器具的精度就越高。

7. 测量不确定度

指对由于测量误差的存在而使测量结果不能肯定的程度,是一项评定测量质量的重要指标。

三、测量方法与分类

测量方法是指测量时所采用的测量原理、计量器具和测量条件的综合,它可以从不同的角度进行分类。

1. 按获得测量结果的方法分类

按获得测量结果的方法分为直接测量和间接测量。

(1) 直接测量。指无需将被测量与其他量进行函数关系的辅助计算,而直接得到被测量值的测量。例如,用游标卡尺、外径千分尺测量轴径的大小。

(2) 间接测量。直接测量的量与被测的量之间有已知函数关系,从而得到被测量值的测量。如用弓高弦长法测量圆弧的半径值。为了得到半径 R 的量值,只要测得弓高 h 和弦长 b 的量值,然后按公式 $R = \frac{b^2}{8h} + \frac{h}{2}$ 计算即可。

直接测量过程简单,其测量精度只与这一测量过程有关,而间接测量的精度不仅取决于实测几何量的测量精度,还与所依据的计算公式和计算的精度有关。

2. 按计量器具示值方式分类

按计量器具示值方式分为绝对测量和相对测量。

(1) 绝对测量:是指计量器具显示或指示的示值即是被测几何量的量值。例如,用游标卡尺、外径千分尺测量轴径的大小。

(2) 相对测量(比较测量):是指计量器具显示或指示出被测几何量相对于已知标准量的偏差。被测几何量的量值为已知标准量与该偏差值的代数和。如图 1-3 所示,用机械比较仪测量轴径,测量时先用量块调整示值零位,该比较仪指示出的示值为被测轴径相对于量块尺寸的偏差。

一般来说,相对测量的测量精度比绝对测量的高。

3. 按计量器具是否接触被测零件分类

按计量器具的测量元件与被测零件表面之间是否有机接触分为接触测量和非接触测量。

(1) 接触测量:指计量器具的测量元件与被测零件表面有机接触并有测量力存在的测量。接触测量会造成测头与被测零件的磨损和变形,从而引起测量误差,所以要控制测量力的大小和变化。

(2) 非接触测量:指计量器具的测量元件与被测零件表面没有机械接触的测量。例如光学影像法测量、光学干涉法测量、气动量仪测量孔径、磁力测厚等。因无测量力的存在,故非接触测量适用于薄壁和材料较软的零件的测量。

4. 按工件上同时被测参数的多少分类

按工件上同时被测参数的多少分为单项测量和综合测量。

(1) 单项测量:分别对工件上的每个参数进行独立测量的一种测量方法。例如,在小型工具显微镜上用投影法分别测量螺纹中径、螺距和牙型半角。

(2) 综合测量:指同时测量工件上几个相关几何量的综合指标,或将有关参数折合为一个主参数或综合误差进行测量的一种测量方法,如用螺纹量规检验螺纹零件。

5. 按测量条件是否变化分类

按测量条件在整个测量过程中是否发生变化分为等精度测量和不等精度测量。

(1) 等精度测量:是指决定测量精度的全部因素或条件都不变的测量。例如,由同一人员,使用同一台仪器,在同样的条件下,以同样的方法和测量次数,同样仔细地进行同一个量的测量。

(2) 不等精度测量:是指在测量过程中决定测量精度的全部因素或条件可能完全改变或部分改变的测量。