

几何量公差与检测

(第五版)

甘永立 主编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

《几何量公差与检测》课程即《互换性与测量技术基础》课程。

本书第五版仍遵循“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的教材编写原则,采用我国新的公差标准,进一步修改了和更新了第四版的内容,力求按教学规律阐述本门学科的基本知识,便于自学。

本书共分绪论,几何量测量基础,孔、轴公差与配合,形状和位置公差与检测,表面粗糙度及其检测,滚动轴承的公差与配合,孔与轴的检测,圆锥公差与检测,圆柱螺纹公差与检测,圆柱齿轮公差与检测,键和花键的公差与检测,尺寸链等12章。本书概念阐述清楚,内容安排紧凑,难点分析细腻,重点加强应用,以圆柱齿轮减速器主要零件各项公差的确定贯穿全书始终。各章均酌量配置了习题和讲课、解题所需的公差表格,以配合教学的需要。

本书供高等院校机械类专业师生在教学中使用,也可作为继续教育院校机械类专业教材,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。



第二届全国高等学校机电类专业优秀教材二等奖

图书在版编目(CIP)数据

几何量公差与检测/甘永立主编.—5版.—上海:
上海科学技术出版社,2001.4
ISBN 7-5323-5767-8

I.几... II.甘... III.①机械元件-互换性②机械元件-测量-技术 IV.TG801

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第11589号

上海科学技术出版社出版发行

(上海瑞金二路450号 邮政编码200020)

上海新华印刷厂印刷 新华书店上海发行所经销

2001年4月第1版 2001年4月第1次印刷

开本787×1092 1/16 印张18.75 字数440 000

印数230 301-238 300 定价:29.80元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向本社出版科联系调换

第一章 绪 论

§ 1 互换性与公差

一、互换性与公差的概念和作用

互换性的概念在日常生活中到处都能遇到。例如，灯泡坏了，可以换个新的。自行车、缝纫机、钟表的零部件坏了，也可以换个新的。其所以这样方便，是因为这些合格的产品和零部件具有在尺寸、功能上能够彼此互相替换的性能，即它们具有互换性。广义地说，互换性是指一种产品、过程或服务代替另一产品、过程或服务能满足同样要求的能力。

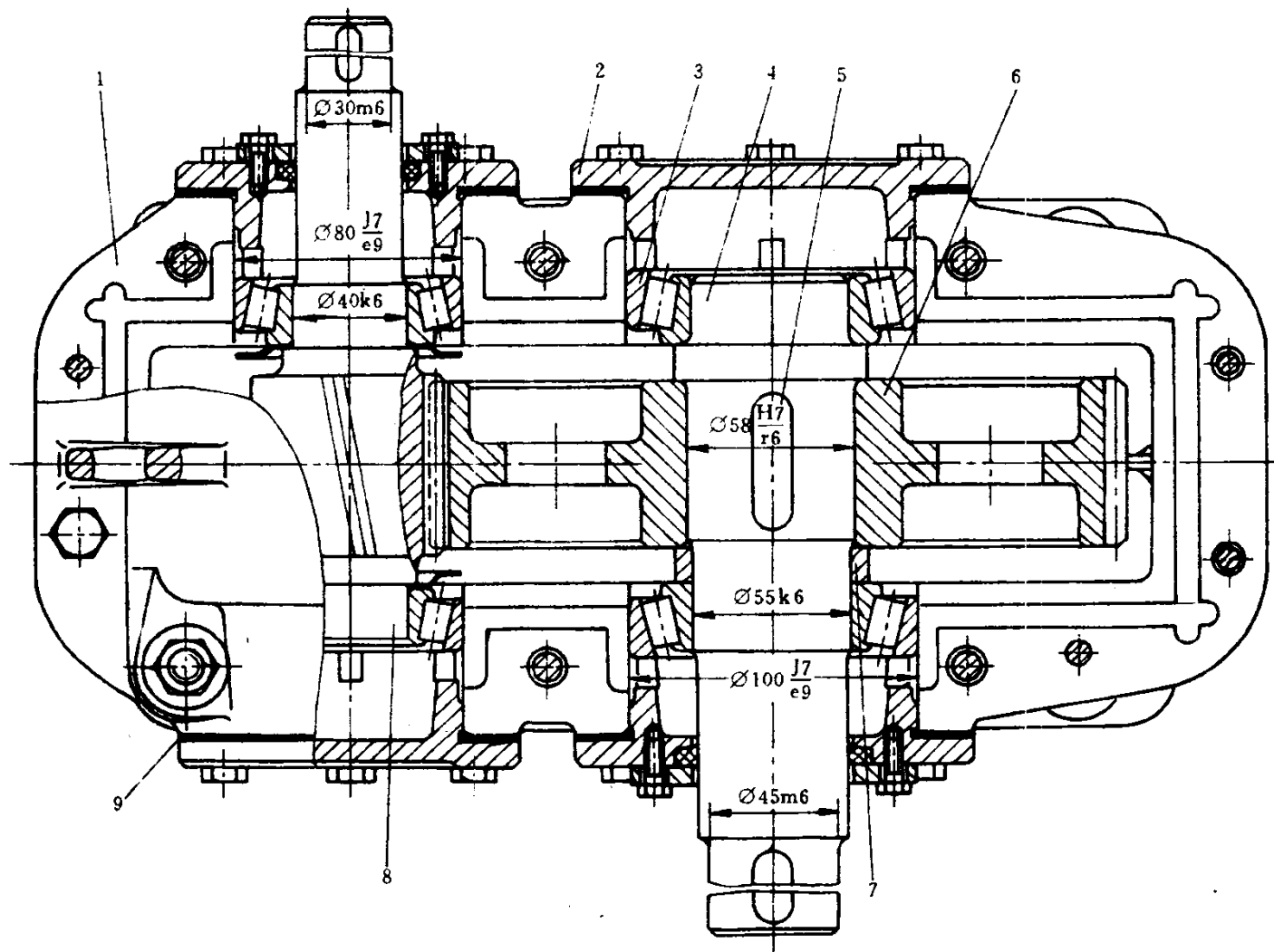


图 1-1 圆柱齿轮减速器

机械工业生产中，经常要求产品的零部件具有互换性。什么叫机械产品零部件的互换性呢？参看图 1-1 所示的圆柱齿轮减速器，它由箱体 1、端盖（轴承盖）2、滚动轴承 3、输出轴 4、键 5、齿轮 6、轴套 7、齿轮轴 8、垫片 9 和挡油环、螺钉等许多零部件组成，而这些零部件是分别由不同的工厂和车间制成的。装配减速器时，在制成的同一规格零部件中任取一件，若不

需经过任何挑选或修配,便能与其他零部件安装在一起而成一台减速器,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。零部件的互换性就是同一规格零部件按规定的技术要求制造,能够彼此相互替换使用而效果相同的性能。

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。设计者的任务就在于正确地确定公差,并把它在图样上明确表示出来。这就是说,互换性要用公差来保证。显然,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。

零部件的互换性应包括几何量、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及与之联系的几何量公差和检测。

互换性在机器制造业中有什么作用?

在设计方面,零部件具有互换性,就可以最大限度地采用标准件、通用件和标准部件,大大简化绘图和计算等工作,缩短设计周期,有利于计算机辅助设计和产品品种的多样化。

在制造方面,互换性有利于组织专业化生产,有利于采用先进工艺和高效率的专用设备,以至采用计算机辅助制造,有利于实现加工过程和装配过程机械化、自动化,从而提高劳动生产率,提高产品质量,降低生产成本。

在使用和维修方面,零部件具有互换性,可以及时更换那些已经磨损或损坏了的零部件(如减速器中的滚动轴承),因此可以减少机器的维修时间和费用,保证机器能连续而持久地运转,从而提高机器的使用价值。

总之,互换性在提高产品质量和可靠性、提高经济效益等方面均具有重大的意义。互换性原则已成为现代机器制造业中一个普遍遵守的原则。互换性生产对我国社会主义现代化建设具有十分重要的意义。但是,应当指出,互换性原则不是在任何情况都适用。有时,只有采取单个配制才符合经济原则,这时零件虽不能互换,但也存在公差与检测的要求。

二、互换性的种类

在不同的场合,零部件互换的形式和程度有所不同。因此,互换性可分为完全互换性和不完全互换性两类。

完全互换性简称互换性,完全互换性以零部件装配或更换时不需要挑选或修配为条件。例如,对一批孔和轴装配后的间隙要求控制在某一范围内,据此规定了孔和轴的尺寸允许变动范围。孔和轴加工后只要符合设计的规定,则它们就具有完全互换性。

不完全互换性也称为有限互换性,在零部件装配时允许有附加的选择或调整。不完全互换性可以用分组装配法、调整法或其他方法来实现。

分组装配法是这样一种措施:当机器上某些部位的装配精度要求很高时,例如孔与轴间的间隙装配精度要求很高,即间隙变动量要求很小时,若要求孔和轴具有完全互换性,则孔和轴的尺寸公差就要求很小,这将导致加工困难。这时,可以把孔和轴的尺寸公差适当放大,

以便于加工。将制成的孔和轴按实际尺寸的大小各分成若干组,使每组内零件(孔、轴)的尺寸差别比较小。然后,把对应组的孔和轴进行装配,即大尺寸组的孔与大尺寸组的轴装配,小尺寸组的孔与小尺寸组的轴装配,从而达到装配精度要求。采用分组装配时,对应组内的零件可以互换,而非对应组之间则不能互换,因此零件的互换范围是有限的。

调整法也是一种保证装配精度的措施。调整法的特点是在机器装配或使用过程中,对某一特定零件按所需要的尺寸进行调整,以达到装配精度要求。例如,图 1-1 所示减速器中端盖与箱体间的垫片的厚度在装配时作调整,使轴承的一端与端盖的底端之间预留适当的轴向间隙,以补偿温度变化时轴的微量伸长,避免轴在工作时弯曲。

一般说来,对于厂际协作,应采用完全互换性。至于厂内生产的零部件的装配,可以采用不完全互换法。

§ 2 标准化与优先数系

一、标准化

现代工业生产的特点是规模大、分工细、协作单位多、互换性要求高。为了适应生产中各部门的协调和各生产环节的衔接,必须有一种手段,使分散的、局部的生产部门和生产环节保持必要的技术统一,成为一个有机的整体,以实现互换性生产。标准与标准化正是联系这种关系的主要途径和手段。标准化是互换性生产的基础。

所谓标准是指为了在一定的范围内获得最佳秩序,对活动或其结果规定共同的和重复使用的规则、导则或特性的文件。该文件应以科学、技术和经验的综合成果为基础,以促进最佳社会效益为目的,还要经协商一致制定并经一个公认机构的批准。

所谓标准化是指为了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。标准化工作包括制定标准、发布标准、组织实施标准和对标准的实施进行监督的全部活动过程。这个过程是从探索标准化对象开始,经调查、实验和分析,进而起草、制定和贯彻标准,而后修订标准。因此,标准化是个不断循环而又不断提高其水平的过程。标准化的重要意义在于改进产品、过程和服务的适用性,防止贸易壁垒,并促进技术合作。

根据我国《标准化法》的规定,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。对需要在全国范围内统一的技术要求,应当制定国家标准。对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,可以制定行业标准,但在公布相应的国家标准之后,该项行业标准即行废止。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,可以制定地方标准,但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;已有国家标准或者行业标准的,企业还可以制定严于国家标准或者行业标准的企业标准,在企业内部使用。按标准的法律属性将国家标准、行业标准分为强制性标准和推荐性标准。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。

按标准的作用范围,标准分为国际标准、区域标准、国家标准、地方标准和试行标准。前四者分别为国际标准化的标准组织、区域标准化的标准组织、国家标准机构、在国家的某个地区一级所通过并发布的标准。试行标准是指由某个标准化机构临时采用并公开发布的文

件,以便在使用中获得必要作为标准依据的经验。

按标准化对象的特性,标准分为基础标准、产品标准、方法标准、安全标准、卫生标准、环境保护标准等。基础标准是指在一定范围内作为其他标准的基础并普遍使用,具有广泛指导意义的标准,如极限与配合标准、形状和位置公差标准、渐开线圆柱齿轮精度标准等。

有了标准,并且标准得到正确地贯彻实施,就可以改进产品质量,缩短生产周期,便于开发新产品和协作配套,提高社会效益,发展社会主义市场经济和对外贸易。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,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)。第二次世界大战后,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。

我国标准化工作在1949年新中国成立后得到重视。从1958年发布第一批120项国家标准起,至今已制定并发布近两万项国家标准。我国在1978年恢复为ISO成员国,业已承担ISO技术委员会秘书处工作和国际标准草案起草工作。我国在公差标准方面,从1959年开始,陆续制定并发布了公差与配合、形状和位置公差、公差原则、表面粗糙度、光滑工件尺寸的检验、光滑极限量规、位置量规、平键、矩形花键、普通螺纹、渐开线圆柱齿轮精度、尺寸链计算方法、圆柱直齿渐开线花键、极限与配合等许多公差标准。随着经济建设发展的需要,有关部门本着立足于我国国情,对国际标准进行认真研究,积极采用,区别对待,组织大批力量对原有公差标准进行修订,以国际标准为基础制定新的公差标准。1988年全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国标准化法》。它的实施对于发展社会主义商品经济,促进技术进步,改进产品质量,发展对外贸易,提高社会效益,维护国家和人民的利益,使标准化工作适应社会主义现代化建设,具有十分重要的意义。1993年全国人大常委会通过并由国家主席发布了《中华人民共和国产品质量法》,以加强产品质量监督管理,维护社会经济秩序,鼓励企业产品质量达到并且超过行业标准、国家标准和国际标准,不允许以不合格品冒充合格品。可以预计,在我国社会主义现代化建设过程中,我国标准化的水平和公差标准的水平将大大提高,对国民经济的发展必将作出更大的贡献。

二、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。当选定一个数值作为某种产品的参数指标时,这个数值就会按照一定的规律,向一切有关的制品和材料中有关指标传播。例如,需要设计减速器箱体上的螺孔,当螺孔的直径(螺纹尺寸)一旦确定,则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,甚至在孔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、端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不能随意选择,而应该在一个理想的、统一的数系中选择。

用统一的数系来协调各部门的生产,把各种技术参数分级,已成为现代工业生产的需要。经过探索和大量实践表明,采用包含项值 1 的等比数列作为统一的数系的优点很多。其中有两个突出的优点:数列中两相邻数的相对差为常数(相对差是指后项减前项的差值与前项之比的百分数);数列中各数经过乘、除、乘方等各种运算后还是数列中的数。而最能满足工业要求的等比数列是十进等比数列。所谓十进,就是数列的项值中包括:1,10,100,⋯,10ⁿ和 1,0.1,0.01,⋯,10⁻ⁿ这些数(这里 n 为正整数)。数列中的项值可按十进法向两端无限延伸。因此,十进等比数列是一种较理想的数系,可以用作优先数系。

为了满足我国工业生产的需要,国家标准 GB321—80《优先数和优先数系》规定十进等比数列为优先数系,并规定了五个系列。它们分别用系列符号 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示,称为 R_r 系列,公比 $q_r = \sqrt[r]{10}$ 。同一系列中,每隔 r 个数,数值增至 10 倍。其中前四个系列是常用的基本系列,而 R80 则作为补充系列,仅用于分级很细的特殊场合。各系列的公比为:

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

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

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

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

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

R5 中的项值包含在 R10 中,R10 中的项值包含在 R20 中,R20 中的项值包含在 R40 中,R40 中的项值包含在 R80 中。

优先数系的五个系列中任一个项值均称优先数,其理论值为 $(\sqrt[r]{10})^{N_r}$,式中 N_r 是任意整数。按照公比计算得到的优先数的理论值,除 10 的整数幂外,都是无理数,在工程技术上不能直接应用。而实际应用的数值都是经过化整后的近似值,根据取值的精确程度,数值可以分为:

- ① 计算值 取五位有效数字,供精确计算用。
- ② 常用值 即通常所称的优先数,取三位有效数字,是经常使用的。
- ③ 化整值 是将基本系列中的常用值作进一步化整后所得的数值,一般取两位有效数字。

优先数系的基本系列(优先数的常用值)见附表 1-1。

为了使优先数系有更大的适应性,可以从 R_r 系列中,每逢 p 项选取一个优先数,组成新的系列——派生系列,以符号 R_{r/p} 表示,公比 $q_{r/p} = q_r^p = (\sqrt[r]{10})^p = 10^{p/r}$ 。

例如,经常使用的派生系列 R10/3,就是从基本系列 R10 中,自 1 以后,每逢三项取一个优先数组成的,即

$$1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.0, 32.0, \dots$$

再如,首项为 1 的派生系列 R5/2,就是从基本系列 R5 中,每逢两项取一个优先数组成的,即

$$1.00, 2.50, 6.30, 16.0, 40.0, 100, \dots$$

优先数系有很广泛的应用,它适用于各种尺寸、参数的系列化和质量指标的分级,对保证各种工业产品品种、规格的合理简化分档和协调配套具有重大的意义。选用基本系列时,

应遵守先疏后密的规则,即应当按照 R5、R10、R20、R40 的顺序,优先采用公比较大的基本系列,以免规格过多。当基本系列不能满足分级要求时,可选用派生系列。选用时应优先采用公比较大和延伸项含有项值 1 的派生系列。

§ 3 几何量检测概述

一、几何量检测的重要性

制定了先进的公差标准,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,那末,规定的这些公差形同虚设,不能实现零部件的互换性。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。

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。

二、几何量检测在我国的发展

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。到了西汉,已制成铜质的卡尺。但由于我国历史上长期的封建统治,科学技术未能得到发展,检测技术和计量器具处于落后的状态,直到 1949 年新中国成立后才扭转了这种局面。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,全国量值更加准确可靠,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、半自动齿轮齿距检查仪等。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、碘稳频 612nm 激光器、无导轨大长度测量仪等。

§ 4 本课程的任务

本课程是机械类各专业的一门重要技术基础课,是教学计划中联系设计课程与工艺课

程的纽带,是从基础课学习过渡到专业课学习的桥梁。本课程由几何量公差与几何量检测两部分组成。前一部分的内容主要通过课堂教学和课外作业来完成。后一部分的内容主要通过实验课来完成。

任何一台机器的设计,除了运动分析、结构设计、强度计算和刚度计算以外,还有精度设计。机器的精度直接影响到机器的工作性能、振动、噪声、寿命和可靠性等。研究机器的精度时,要处理好机器使用要求与制造工艺的矛盾,解决的方法是规定合理的公差,并用检测手段保证精度设计的实施。学习本课程可以使学生熟悉机器零件的几何精度设计,合理确定几何量公差,以保证满足使用要求。

学生在学习本课程时,应具有一定的理论知识和生产实践知识,即能够读图,懂得图样标注法,了解机械加工的一般知识和熟悉常用机构的原理。学生在学完本课程后应达到下列要求:

- 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;
- ② 基本掌握本课程中几何量公差标准的主要内容、特点和应用原则;
- ③ 初步学会根据机器和零件的功能要求,选用几何量公差与配合;
- ④ 能够查用本课程介绍的公差表格,正确标注图样;
- ⑤ 熟悉各种典型几何量的检测方法和初步学会使用常用的计量器具。

总之,本课程的任务在于使学生获得机械工程师必须具备的几何量公差与检测方面的基本知识和技能。而后续课程的教学和毕业后的实际工作锻炼,则将使学生进一步加深理解和逐渐熟练掌握本课程的内容。

第二章 几何量测量基础

机械工业的发展离不开检测技术及其发展。机械产品和零件的设计、制造及检测都是互换性生产中的重要环节。在生产和科学实验中,为了保证机械零件的互换性和几何精度,经常需要对完工零件的几何量加以检验或测量,以判断它们是否符合设计要求。在测量过程中,应保证计量单位统一和量值准确。为了完成对完工零件几何量的测量和获得可靠的测量结果,还应正确选择计量器具和测量方法,研究测量误差和测量数据处理方法。

§ 1 概 述

几何量测量是指为确定被测几何量的量值而进行的实验过程。其实质就是将被测几何量与作为计量单位的标准量进行比较,从而确定两者比值的过程。设被测几何量为 x ,所采用的计量单位为 E ,则它们的比值为:

$$q = \frac{x}{E}$$

因此,被测几何量的量值为:

$$x = q \cdot E \quad (2-1)$$

上式表明,任何几何量的量值都由两部分组成:表征几何量的数值和该几何量的计量单位。例如,几何量量值 $x=50\text{mm}$,这里 mm 为长度计量单位,数字50为以 mm 为计量单位时该几何量的量值的数值。

显然,进行任何测量,首先要明确被测对象和确定计量单位,其次要有与被测对象相适应的测量方法,并且测量结果还要达到所要求的测量精度。因此,一个完整的测量过程应包括被测对象、计量单位、测量方法和测量精度等四个要素。

一、被测对象

本课程研究的被测对象是几何量,包括长度、角度、表面粗糙度、形状和位置误差以及螺纹、齿轮的各个几何参数等。

二、计量单位

我国法定计量单位中,几何量中长度的基本单位为米(m),长度的常用单位有毫米(mm)和微米(μm)。 $1\text{mm}=10^{-3}\text{m}$, $1\mu\text{m}=10^{-3}\text{mm}$ 。在超高精度测量中,采用纳米(nm)为单位, $1\text{nm}=10^{-3}\mu\text{m}$ 。几何量中平面角的角度单位为弧度(rad)、微弧度(μrad)及度($^\circ$)、分($'$)、秒($''$)。 $1\mu\text{rad}=10^{-6}\text{rad}$, $1^\circ=0.0174533\text{rad}$ 。度、分、秒的关系采用60等分制,即 $1^\circ=60'$, $1'=60''$ 。

三、测量方法

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。在测量过程中,

应根据被测零件的特点(如材料硬度、外形尺寸、批量大小、精度要求等)和被测对象的定义来拟定测量方案、选择计量器具和规定测量条件。

四、测量精度

测量精度是指测量结果与真值相一致的程度。由于在测量过程中总是不可避免地出现测量误差,因此,测量结果只是在一定范围内近似于真值,测量误差的大小反映测量精度的高低,测量误差大则测量精度低,测量误差小则测量精度高,不知测量精度的测量是毫无意义的测量。

§ 2 长度、角度量值的传递

一、长度基准

在生产和科学实验中测量需要标准量,而标准量所体现的量值需要由基准提供。因此,为了保证测量的准确性,就必须建立起统一、可靠的计量单位基准。在我国法定计量单位制

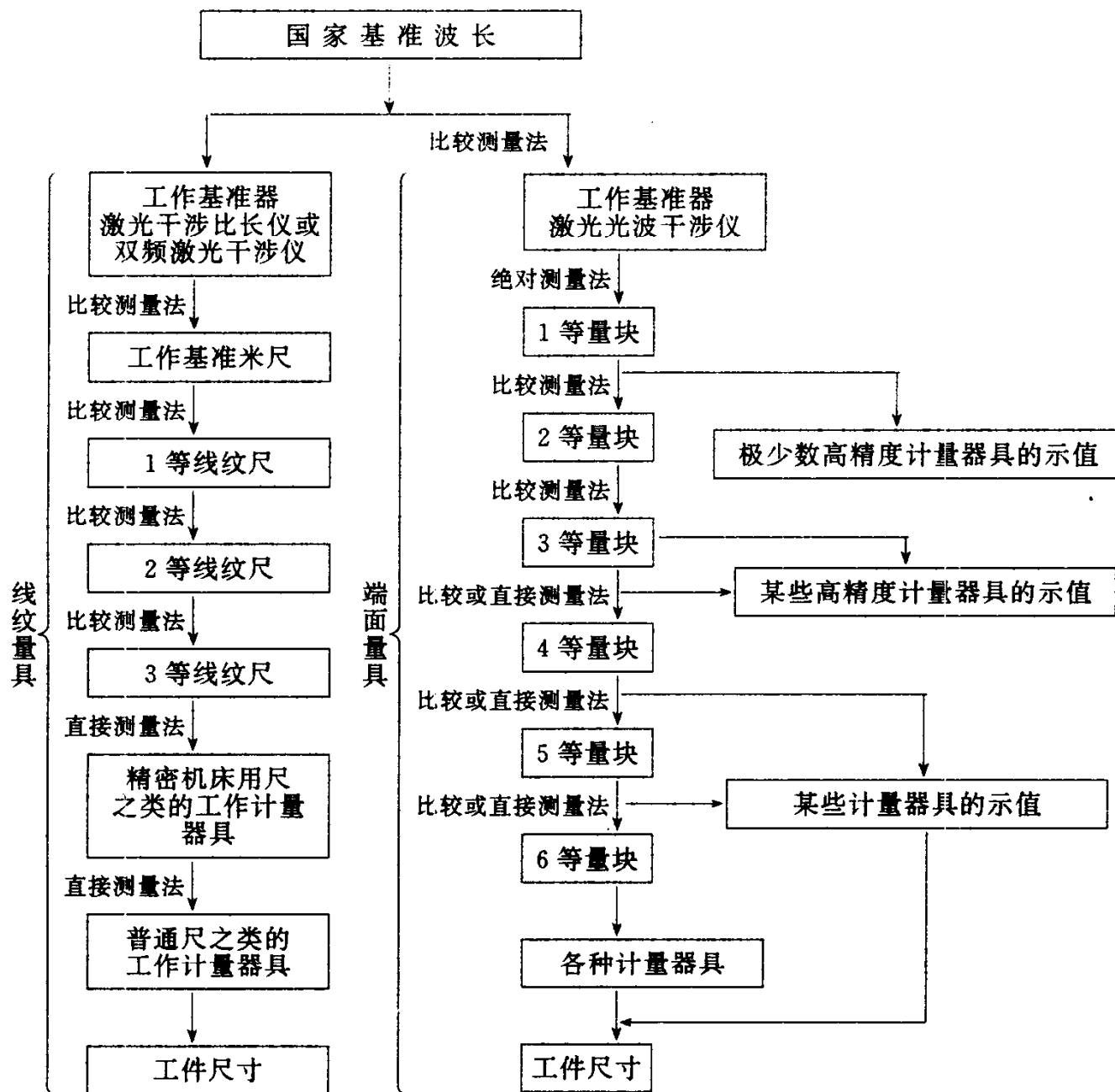


图 2-1 长度量值传递系统

中,长度的基本单位是米(m)。在1983年第十七届国际计量大会上通过的米的定义是:“1米是光在真空中于 $1/299792458$ 秒的时间间隔内所经过的距离”。

米的定义主要采用稳频激光来复现。以稳频激光的波长作为长度基准具有极好的稳定性和复现性,因此,不仅可以保证计量单位稳定、可靠和统一,而且使用方便,并且提高了测量精度。

二、长度量值传递系统

用光波波长作为长度基准,不便于生产中直接应用。为了保证长度量值的准确、统一,就必须把复现的长度基准量值逐级准确地传递到生产中所应用的计量器具和工件上去,即建立长度量值传递系统,如图2-1所示。

长度量值从国家基准波长开始,分两个平行的系统向下传递,一个是端面量具(量块)系统,另一个是线纹量具(线纹尺)系统。因此,量块和线纹尺都是量值传递媒介,其中尤以量块的应用更为广泛。

三、量块

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,它称为量块测量面的研合性。

1. 有关量块的术语

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

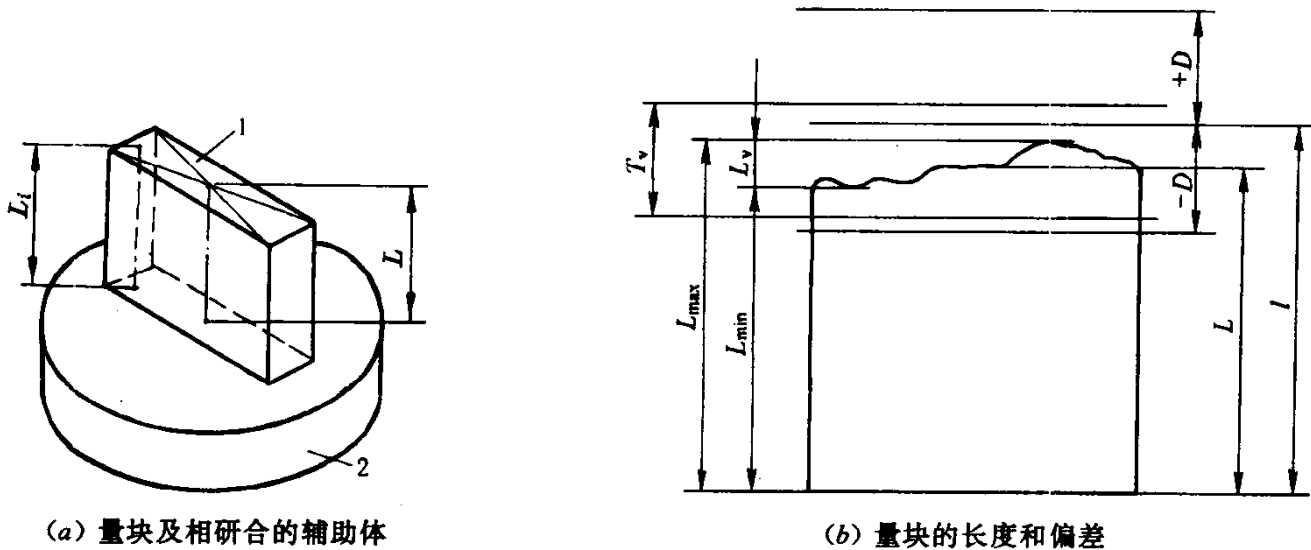


图2-2 量块及有关量块长度和偏差的术语

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)。

2. 量块的精度等级

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。

(1) 量块的分级

按《长度计量器具(量块部分)检定系统 JJG 2056—90》的规定,量块的制造精度分为六级:00、0、K、1、2、3 级,其中 00 级的精度最高,精度依次降低,3 级的精度最低。量块分“级”的主要依据是量块长度极限偏差和量块长度变动量的允许值(见附表 2-1)。

(2) 量块的分等

按《长度计量器具(量块部分)检定系统 JJG 2056—90》的规定,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和量块长度变动量的允许值(见附表 2-2)。

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。

3. 量块的组合使用

量块除具有稳定、耐磨和准确的特性外,还具有研合性。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。按 GB 6093—85《量块》的规定,我国生产的成套量块有 91 块、83 块、46 块、38 块等几种规格。表 2-1 列出了国产 83 块一套量块的尺寸构成系列。

表 2-1 83 块一套的量块组成

尺寸范围(mm)	间隔(mm)	小计(块)
1.01~1.49	0.01	49
1.5~1.9	0.1	5
2.0~9.5	0.5	16
10~100	10	10
1	—	1
0.5	—	1
1.005	—	1

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,一般不超过四块。组成量块组时,可从消去所需工作尺寸的最小尾数开始,逐一选取。例如,为了得到工作尺寸为 38.785mm 的量块组,从 83 块一套的量块中可分别选取 1.005mm、1.28mm、6.5mm、30mm 等四块量块,选取过程如下:

38.785mm	
—) 1.005mm	第一块量块
37.780mm	
—) 1.28 mm	第二块量块
36.500mm	
—) 6.5 mm	第三块量块
30.000mm	第四块量块

四、角度量值传递系统

角度量值尽管可以通过等分圆周获得任意大小的角度而无需再建立一个角度自然基准,但在实际应用中为了常用特定角度的测量方便和便于对测角仪器进行检定,仍然需要建立角度量值基准,现在最常采用的实物基准是用特殊合金钢或石英玻璃制成的多面棱体(如图 2-3 所示的正八面棱体),并由此建立起了角度量值传递系统(如图 2-4 所示)。

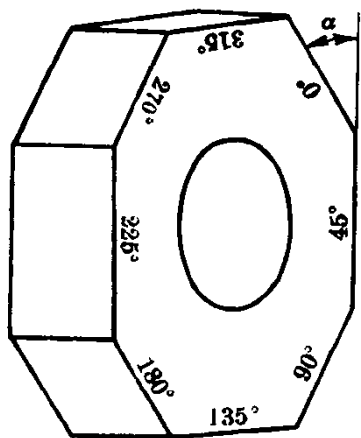


图 2-3 多面棱体

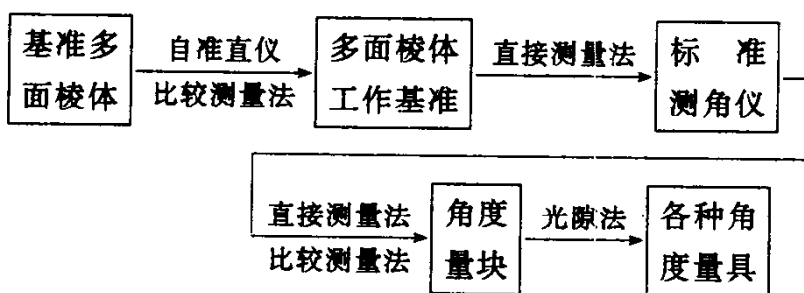


图 2-4 角度量值传递系统

§ 3 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进行分类可分为:量具、量规、计量仪器和计量装置等四类。

1. 量具

量具是指以固定形式复现量值的计量器具。它可分为单值量具和多值量具两种。单值量具是指复现几何量的单个量值的量具,如量块、直角尺等。多值量具是指复现一定范围内

的一系列不同量值的量具,如线纹尺等。

2. 量规

量规是指没有刻度的专用计量器具,用以检验零件要素实际尺寸和形位误差的综合结果。使用量规检验的结果不能得到被检验工件的具体实际尺寸和形位误差值,而只能确定被检验工件是否合格,如使用光滑极限量规、螺纹量规、位置量规等检验。

3. 计量仪器

计量仪器(简称量仪)是指能将被测几何量的量值转换成可直接观测的指示值(示值)或等效信息的计量器具。计量仪器按原始信号转换的原理可分为以下几种。

(1) 机械式量仪

机械式量仪是指用机械方法实现原始信号转换的量仪,如指示表、杠杆比较仪等。这种量仪结构简单、性能稳定、使用方便。

(2) 光学式量仪

光学式量仪是指用光学方法实现原始信号转换的量仪,如光学比较仪、测长仪、工具显微镜、光学分度头、干涉仪等。这种量仪精度高、性能稳定。

(3) 电动式量仪

电动式量仪是指将原始信号转换为电量形式的测量信号的量仪,如电感比较仪、电容比较仪、电动轮廓仪、圆度仪等。这种量仪精度高、测量信号易于与计算机接口,实现测量和数据处理的自动化。

(4) 气动式量仪

气动式量仪是指以压缩空气为介质,通过气动系统流量或压力的变化来实现原始信号转换的量仪,如水柱式气动量仪、浮标式气动量仪等。这种量仪结构简单、测量精度和效率高、操作方便,但示值范围小。

4. 计量装置

计量装置是指为确定被测几何量量值所必需的计量器具和辅助设备的总体。它能够测量同一工件上较多的几何量和形状比较复杂的工件,有助于实现检测自动化或半自动化。

二、计量器具的基本技术性能指标

计量器具的基本技术性能指标是合理选择和使用计量器具的重要依据。其中的主要指标如下。

1. 标尺刻度间距

标尺刻度间距是指计量器具标尺或度盘上相邻两刻线中心之间的距离或圆弧长度。为适于人眼观察,刻度间距一般为1~2.5mm。

2. 标尺分度值

标尺分度值是指计量器具标尺或分度盘上每一刻度间距所代表的量值。一般长度计量器具的分度值有0.1mm、0.05mm、0.02mm、0.01mm、0.005mm、0.002mm、0.001mm等几种。例如图2-5中机械比较仪的分度值为0.002mm。一般来说,分度值越小,则计量器具的精度就越高。

3. 分辨力

分辨力是指计量器具所能显示的最末一位数所代表的量值。由于在一些量仪(如数字式

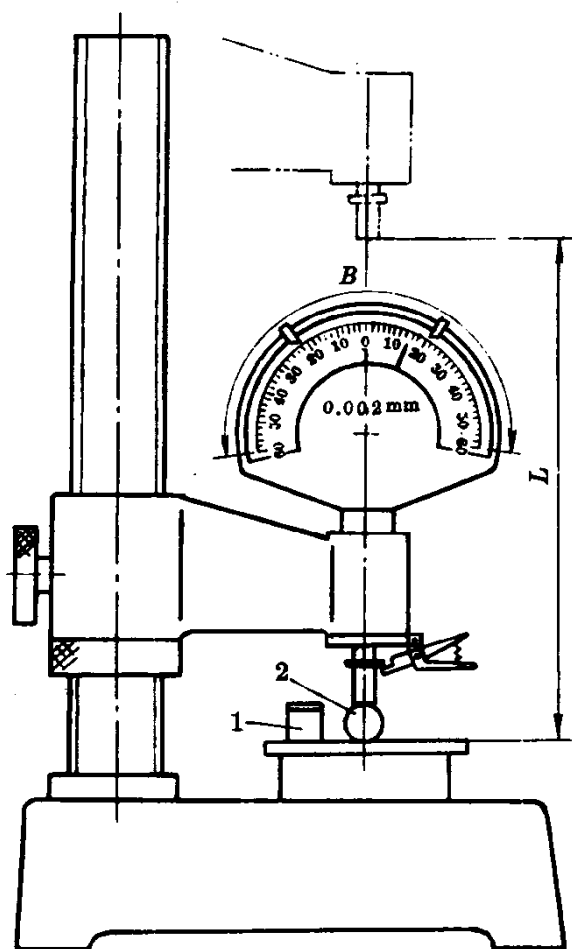


图 2-5 机械比较仪的部分技术性能指标

1—量块；2—被测工件

量仪)中,其读数采用非标尺或非分度盘显示,因此就不能使用分度值这一概念,而将其称做分辨力。例如国产 JC19 型数显式万能工具显微镜的分辨力为 $0.5\mu\text{m}$ 。

4. 标尺示值范围

标尺示值范围是指计量器具所能显示或指示的被测几何量起始值到终止值的范围。例如图 2-5 中机械比较仪的示值范围 B 为 $\pm 60\mu\text{m}$ 。

5. 计量器具测量范围

计量器具测量范围是指计量器具在允许的误差限内所能测出的被测几何量量值的下限值到上限值的范围。测量范围上限值与下限值之差称为量程。例如图 2-5 中机械比较仪的测量范围 L 为 $0\sim 180\text{mm}$, 量程为 180mm 。

6. 灵敏度

灵敏度是指计量器具对被测几何量变化的响应变化能力。若被测几何量的变化为 Δx , 该几何量引起计量器具的响应变化能力为 ΔL , 则灵敏度 S 为:

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta x}$$

当上式中分子和分母为同种量时,灵敏度也称为放大比或放大倍数。对于具有等分刻度的标尺或度盘的量仪,放大倍数 K 等于刻度间距 a 与分度值 i 之比,即

$$K = \frac{a}{i}$$

一般地说,分度值越小,则计量器具的灵敏度就越高。

7. 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。

8. 修正值

修正值是指为了消除或减少系统误差,用代数法加到未修正测量结果上的数值。其大小与示值误差的绝对值相等,而符号相反。例如,示值误差为 -0.004mm , 则修正值为 $+0.004\text{mm}$ 。

9. 测量重复性

测量重复性是指在相同的测量条件下,对同一被测几何量进行多次测量时,各测量结果之间的一致性。通常,以测量重复性误差的极限值(正、负偏差)来表示。

10. 不确定度

不确定度是指由于测量误差的存在而对被测几何量量值不能肯定的程度。

三、测量方法的分类

广义的测量方法,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。但是在