

新编计量技术初级教材

长度计量

(第二版)

李小亭 主编

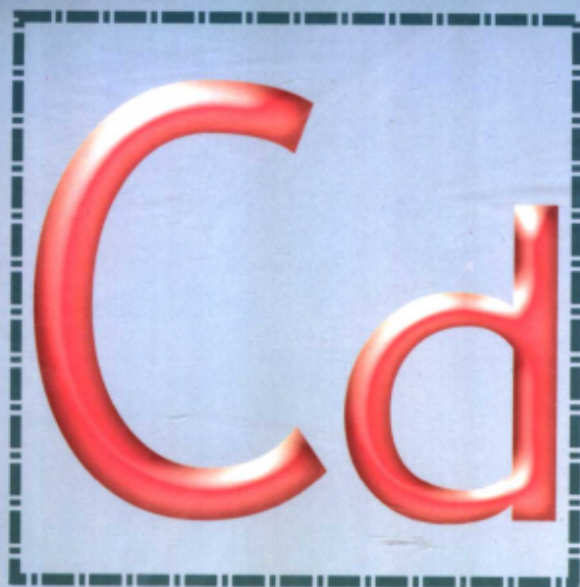
Cd



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

★ 责任编辑 王泓
★ 封面设计 任红



新编计量技术初级教材

★ 无线电计量

★ 电学计量

★ 力学计量

★ 温度计量

★ 长度计量

ISBN 7-5026-2480-5



9 787502 624804 >

ISBN 7-5026-2480-5/TB · 685

定 价：58.00 元

新编计量技术初级教材

长 度 计 量

(第二版)

李小事 主编

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

长度计量/李小亭主编. —第二版. —北京: 中国计量出版社, 2006. 10

新编计量技术初级教材

ISBN 7-5026-2480-5

I. 长… II. 李… III. 长度—计量—技术培训—教材 IV. TB921

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 080883 号

内 容 提 要

本书是为长度计量技术工作人员入门而编写的。全书共 12 章, 内容涵盖长度计量基本概念、测量原理、量具与仪器特性、量块、线纹、角度、锥度、粗糙度、形状和位置误差、螺纹、几何内外尺寸和平台检测及测量方法等, 可作为生产一线的质量检验人员、工程技术人员和计量检定人员学习培训教材, 也可作为大中专学校相关专业学生的参考书。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话(010)64275360

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

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm × 1092 mm 16 开本 印张 23 字数 531 千字

2006 年 10 月第 2 版 2006 年 10 月第 3 次印刷

*

印数 5 001—8 000 定价: 58.00 元

出版前言

为提高质量技术监督部门、技术机构和企业从事计量测试与检定工作的中青年技术人员、管理人员的专业技术水平和管理水平，中国计量出版社于20世纪80年代中期出版了由原国家计量局组织有关专家编写的一套《计量技术初级教材》，包括《长度计量》、《温度计量》、《力学计量》、《电学计量》、《无线电计量》5个分册。

该套书自出版以来，以其通俗易懂、简明扼要、实用性强等特点，受到广大读者，尤其是初、中级计量人员的欢迎，为培养一代计量测试与检定人员起到了重要的作用。

1998年，为适应形势的需要，我社组织数十位长年工作在计量测试领域第一线的、有实践经验的专家（其中多数为该套教材的原作者），重新编写了该套教材，并冠以《新编计量技术初级教材》书名。新编教材的读者对象和写作风格基本不变，注重更新技术内容和采用新的国家计量检定规程和国家标准，并缩减过多的原理阐述和繁杂的、难度较大的数学推导，进一步增强实用性，使之更加贴近基层计量工作者的实际需要。

《新编计量技术初级教材》出版至今已有8年。近年来，由于计量及相关技术快速发展，国家有关标准和检定规程的更新速度加快，该套教材中的许多内容已显陈旧，难以适应当前人员岗位培训和开展计量工作的需要。

为此，我社又组织有关专家对该套教材进行了修订。这次修订再版，主要根据新形势下基层计量人员的实际需要内容进行了调整；采用了新的计量检定规程和国家标准；增加了最新仪器、仪表介绍和相关知识等。

本套教材主要供具有中等以上文化程度的、有一定专业实际工作经验的基层计量测试与检定人员、管理人员的短期岗位培训作教材使用，目的在于使他们经过培训具备开展业务所必备的专业基础知识和基本操作技能。本套教材也可作为质量技术监督行业（相应计量工种）技术工人等级培训与考核的参考教材和相应专业的计量人员的自学用书。

虽经作者和出版社有关人员的多方努力，本套教材仍难免存在一些这样或那样的问题，望广大读者提出宝贵意见或建议。

最后，在《新编计量技术初级教材》（第二版）问世之际，对参加组织和编写原教材的同志谨致衷心的谢意，他们的辛勤劳动为本套书的出版打下了良好的基础。

中国计量出版社
2006年6月

编 者 的 话

本教材为《新编计量技术初级教材》之一。此次修订再版,主要是对原书作了更新修改,采用了新颁布的国家标准和检定规程。本教材可供中等专业学校的计量检测、质量检验及机械设计与制造等相关专业的专业课或专业基础课使用,也可作为生产第一线从事计量、质量以及工程技术人员的培训教材和参考书籍。

本教材在编写中注重实用性和完整性的结合。书中内容涵盖了生产与科研中常见的长度计量检测项目、量仪和方法,对每一检测项目着重讲述其测量原理、技术以及结果处理,有的还对测量结果进行不确定度分析。书中图文并茂,便于理解和掌握所学内容,每种仪器的工作原理、每个项目的测量原理除文字说明外均配有示意图。考虑初级教材的定位,文字叙述力求通俗易懂、循序渐进,同时略去深奥、繁杂的数学公式推导,注重的是实际操作。为便于复习巩固基本知识,在每章后面附有一定数量的习题。建议本教材讲授 100 学时,其中实验不少于 20 学时。

本教材共分十二章。包括基础知识和测量技术两部分。基础知识主要讲述长度计量单位、标准器、量值传递系统、测量基本原理以及光学基础知识,同时概要介绍了长度计量仪器的分类与结构。测量技术部分则详细介绍了长度计量基本项目,包括:量块、线纹、角度、表面粗糙度、形状与位置误差、螺纹、圆柱齿轮、长度尺寸以及平台测量等九个项目的测量原理、所用仪器、测量步骤及方法。

本教材由河北大学李小亭教授主编。由李小亭、王树彩编写一、二、三、四、五章,林世曾编写六、七、十一章,岳中琰、齐湛谊编写八、九、十、十二章。

对参考文献的作者、编者以及编写过程中给予大力支持的中国计量出版社一并表示衷心感谢。

由于时间仓促,水平有限,书中错误及不妥之处难免,恳请读者批评指正。

编 者
2006 年 1 月

目 录

第一章 长度计量概述	(1)
第一节 长度计量的任务和内容.....	(1)
第二节 长度计量的单位.....	(1)
第三节 长度计量的基准、标准、量值传递及计量检定系统表.....	(2)
第四节 长度计量器具的维护保养.....	(3)
第五节 长度计量技术的发展.....	(4)
第二章 长度测量基础	(6)
第一节 测量的基本概念.....	(6)
第二节 计量器具的基本计量特性.....	(7)
第三节 长度计量的几项基本原则.....	(8)
第四节 长度计量的一般测量程序.....	(14)
第三章 长度计量常用计量器具	(17)
第一节 计量器具分类方法.....	(17)
第二节 通用量具.....	(17)
第三节 常用光学计量仪器.....	(37)
第四节 气动量仪.....	(70)
第五节 电动量仪.....	(72)
第四章 量块	(78)
第一节 量块的基本知识.....	(78)
第二节 量块的量值传递系统及量块的检定.....	(87)
第三节 量块检定结果的处理.....	(95)
第四节 量块测量不确定度评定实例.....	(98)
第五章 线纹尺	(103)
第一节 概述.....	(103)
第二节 线纹尺的传递系统.....	(108)
第三节 线纹尺的检定.....	(109)
第六章 角度与锥度的检测	(116)
第一节 角度、锥度和角度单位.....	(116)
第二节 角度和锥度的检验.....	(117)
第三节 角度和锥度测量.....	(121)
第四节 角度块工作角检定.....	(131)
第五节 小角度测量.....	(137)
第六节 圆分度误差测量.....	(141)

第七章 表面粗糙度测量	(150)
第一节 基本知识.....	(150)
第二节 光切法测量表面粗糙度.....	(161)
第三节 干涉法测量表面粗糙度.....	(168)
第四节 针描法测量表面粗糙度.....	(174)
第五节 表面粗糙度的其他检测方法.....	(180)
第八章 形状和位置误差测量	(183)
第一节 形状误差测量.....	(183)
第二节 位置误差测量.....	(212)
第九章 螺纹测量	(241)
第一节 概述.....	(241)
第二节 圆柱螺纹的综合检验.....	(245)
第三节 圆柱普通螺纹的分项检验.....	(247)
第四节 丝杠测量.....	(272)
第十章 圆柱齿轮测量	(281)
第一节 齿轮传动的基本知识.....	(281)
第二节 圆柱齿轮的精度及检验项目.....	(286)
第三节 圆柱齿轮的单项测量.....	(291)
第四节 圆柱齿轮综合测量简介.....	(308)
第十一章 长度尺寸测量	(312)
第一节 外尺寸测量.....	(312)
第二节 内尺寸测量.....	(324)
第三节 轴孔类零件的量规测量法.....	(330)
第十二章 平台测量	(334)
第一节 平台测量的基本知识.....	(334)
第二节 角度及锥度的测量.....	(339)
第三节 圆弧半径的测量.....	(348)
第四节 孔径的测量.....	(351)
第五节 交点尺寸的测量.....	(353)
参考文献	(360)

第一章 长度计量概述

第一节 长度计量的任务和内容

长度计量（又称几何量计量）是一项历史悠久、基础性很强的技术。长度计量与人们生活、生产活动、国民经济各个部门、科学技术各个领域有着十分密切的联系。在日常生活中，做衣服要用尺子量体裁衣，盖房要丈量土地；在工业生产中，长度计量是保证加工零件的尺寸和形状符合设计要求，保证装配的零部件和整机达到质量指标的技术手段；科学的进步更离不开长度计量，许多科学实验往往是通过长度计量来获得实验结果的。如研究宏观世界，测量天体间距离；研究微观世界，测量分子结构等。

长度计量的重要任务是：研究和确定长度单位；研究建立和保存长度计量基准、标准；建立长度各项计量检定系统，组织量值传递，开展计量检定与修理，以保证量值的准确一致；研究新的长度计量测量方法和手段，确定测量准确度；应用新的科学技术理论，开拓长度计量的新领域。

长度计量按其测量对象来分，可包括以下几个方面的内容：

- (1) 长度尺寸——如端度、轴孔直径、坐标尺寸、线纹间尺寸、箱体结构尺寸等；
- (2) 角度——如平面角（斜率等）、圆分度、空间位置角（如两轴交错的夹角）、锥度等；
- (3) 表面形状和位置——平面度、直线度、圆度、垂直度、平行度等；
- (4) 表面粗糙度（微观不平度）和波度；
- (5) 齿轮、螺纹、花键及各类加工刀具等的各种工程参量。

第二节 长度计量的单位

几何量表征物体的大小、长短、形状和位置，其基本参量是长度和角度。长度的单位是“米”（m）。角度量分为平面角和立体角，其单位分别为弧度（rad）和球面度（sr）。

“米”的倍数单位和分数单位按 SI 规定，是在“米”前加十进制词头构成。如常用单位有毫米（mm）、微米（ μm ）、千米（km）等。平面角在日常应用中，保留使用以度（ $^{\circ}$ ）、[角]分（′）、[角]秒（″）为单位的 60 进制。它们与弧度的换算关系为 $1^{\circ} = (\pi/180) \text{ rad}$ ， $1' = (\pi/10800) \text{ rad}$ ， $1'' = (\pi/648000) \text{ rad}$ 。

“米”定义为：“光在真空中于 $(1/299792458) \text{ s}$ 时间间隔内所经路径的长度。”国际计量委员会推荐了三种实现这个新定义的方法，即时间法、频率法和辐射波长法。它们都是建立在真空中光速 c 为确定值（即 $c = 299792458 \text{ m/s}$ ）的基础上，而当前主要实现途径是以辐射稳定波长的激光为基准。

长度计量单位的特点:

(1)基本性 长度单位“米”在SI中被列为第一个基本单位,许多导出单位都含有长度单位因子,如:速度(m/s)、密度(kg/m^3)、磁场强度(A/m)等,因此不少导出单位计量基准的准确度在很大程度上取决于长度单位量值的准确度。

(2)多维性 物体的形状和位置都可以用坐标空间(如三维空间)中的若干点表示。但用若干点的坐标值来表示某些物体的几何特性会十分繁琐,所以,为了简化,在几何量中除了使用长度和角度两个基本参量外,还必须引入一些工程参量,如锥度、渐开线、螺旋线等。这些参量都是多维的复合参量,又称之为工程参量。

(3)广泛性 几何量是客观世界中最广泛的物质形态,绝大部分物理量(如力学、热学、电磁学的一些量等)都是以几何量信息的形式进行定量描述的。

第三节 长度计量的基准、标准、量值传递及计量检定系统表

计量工作的基本任务之一,就是保证量值的准确一致。为此,必须做好两项工作:一是建立国家基准(包括国家[计量]基准、副[计量]基准、工作[计量]基准)和计量标准,这是统一量值的物质基础;二是为了使“标准长度单位量值”能够准确地传递到生产、科研工作中去,必须在管理和技术上建立全国统一的科学的量值传递体系。

(1)长度计量基准

长度计量基准是用以复现和保存计量单位米的量值,经国家鉴定并批准,作为统一全国量值最高依据的计量器具。

在实际应用中,从激光波长基准到长度实物基准的过渡,一般使用光波干涉仪。利用光的干涉原理将距离和光波波长之间建立函数关系,从而使作为长度基准的波长的量值,通过干涉仪传递给实物标准器。

(2)长度计量标准

长度计量标准是按国家规定的准确度等级,实际用于长度检定工作的计量器具。

如端度实物标准器是量块。量块按使用要求,其精度分为1, 2, 3, 4, 5等。

线纹标准器有标准线纹米尺、200 mm短标尺等。

角度实物标准是端面角度标准——正多面棱体,角度块;

线纹角度标准——如刻线度盘、圆光栅、编码盘等;

机械分度标准——如多齿分度盘、分度台等;

电子测角标准——主要是环行激光器。

平面度的实物标准器是平面平晶。

粗糙度的实物标准器是标准单刻线样板、标准多刻线样板和磨削样板。

实际工作中,还采用了工程计量标准,如渐开线标准样板、螺旋线样板等等。

有了国家基准、计量标准这一统一量值的物质基础,我国建立了从长度基准到计量标准,最后到生产、科研中使用的各种工作计量器具、工件尺寸、形状的量值传递体系。

量值传递被定义为:通过对计量器具的检定或校准,将国家基准所复现的计量单位量值通过各等级计量标准传递到工作计量器具,以保证对被测对象所测得的量值的准确和一致。

为什么要进行量值传递呢?我们知道任何计量器具,由于加工、装配等原因,都存在不

同程度的误差。新制造的计量器具,由于设计、加工、装配等各种原因引起的误差是否在允许范围内,必须用一定等级的计量标准来检定,判断其是否合格;使用过程中的计量标准器和工作计量器具,由于使用中的磨损、环境影响或使用不当等原因,也会引起其计量参数的变化,也需要定期地采用一定等级的计量标准对其进行检定,根据检定结果作出继续使用、进行修理或报废的判断;经过修理的计量标准器或工作计量器具是否达到计量参数指标的要求,也须用相应的计量标准进行检定。否则,由于各级计量标准器不标准(不合格)、工作计量器具合格与否便无从谈起,就不能保证对被测对象所测得的量值的准确和一致,就必然造成量值传递的混乱。由此可见,建立量值传递体系是统一计量器具量值的重要手段,是保证计量结果准确可靠的基础,是保证全国量值的准确可靠而采取的具体措施和技术保证。

国家计量检定系统表(简称检定系统)被定义为:国家对计量基准到各等级的计量标准直至工作计量器具的检定程序所作的技术规定。检定系统由文字和框图构成,内容包括:基准、各等级计量标准、工作计量器具的名称、测量范围、准确度(或不确定度或允许误差)和检定的方法等。制定检定系统的根本目的,是为了保证工作计量器具具备应有的准确度。在此基础上,考虑量值传递的合理性。即制定检定系统时,各等级计量标准的准确度要求,必须从工作计量器具的准确度要求开始,由下向上地逐级确定。检定系统基本上是按各类计量器具(如:量块、线纹尺、表面粗糙度参数值样板等)分别制定的。在我国,每项国家计量基准对应一种检定系统。检定系统表例详见以后有关章节。

第四节 长度计量器具的维护保养

长度计量用的量具和仪器,大多都是精度要求高、使用条件要求严格、且价格昂贵。为了保证量值传递和计量检定、检测的准确度,除按计量检定规程定期检定外,还必须十分注意对量具和仪器的维护、保养。由于长度计量器具大部分是由金属零件和光学零件组成,所以主要应做好以下几项工作。

1. 防止锈蚀

(1)工作室(计量室)除温度要求外,要保持相应湿度,一般以50%~60%为宜。

(2)检定操作过程中,不得用手直接触摸标准器及计量器具的各工作面,应戴上细纱手套进行操作。

(3)标准器、计量器具使用后,应及时清洗。清洗后用洁净绸布擦拭干净。标准器、仪器测量附件(如量块、测量刀、三针等)如不涂油,应收入有干燥剂的密封容器里保存。短时间(一、两日)不使用的计量仪器各工作面可涂上无水变压器油;标准器、量仪如较长时间不用,应涂上纯净无水的凡士林油,油层不宜太厚。

(4)防锈油的酸碱度应符合规定要求。一般宜采用中性油脂。

2. 清洗

对标准器、计量器具必须按时地进行擦洗、保养,它是防止锈蚀、划伤、霉斑的重要措施。

清洗金属表面可使用航空汽油(1级),纯度99.5%的无水酒精或乙醚(清洗一般通用量具亦可使用工业汽油)。擦洗材料应使用脱脂棉、白细布、绸布或高级卫生纸。

清洗光学玻璃零件可使用航空汽油(1级)、无水酒精或乙醚、无水酒精与乙醚的混合

溶剂, 擦洗材料应使用脱脂长丝棉 (为防止在光学零件上沾上绒毛) 和脱脂纱布。

3. 防止划痕

由于计量室、实验室空气中不可避免地含有灰尘, 被测件被测表面缺陷 (毛刺、划痕、碰伤) 等, 被测件、标准器、量仪在使用中不小心发生碰撞等原因, 都可能导致在测量中因相对运动而产生划痕。为此, 在检测前对要使用的标准器、计量器具、被测零件进行目测检查, 在零件被测量面、标准器工作面、计量器具工作面 (台), 不得有目视可见的缺陷, 并应将测量面、被测量面擦拭干净。检测过程中要细心操作, 避免碰撞和跌落。

4. 润滑

对计量器具中的相对运动表面, 应定期加注仪表油, 以使各部分相对运动自如, 不致产生阻滞现象。

5. 预防变形

对一些大尺寸标准器 (标准线纹尺、大量块、大千分尺校对杆等)、大尺寸量具 (大卡尺等)、大尺寸待检零件 (丝杠、细长件等) 等, 要注意由于其自重且支承点位置不正确所引起的变形。为此, 计量检定前要正确确定其支承点, 在不使用时应放置在专用盒里或悬吊起来。

6. 其他

计量仪器要有相对固定位置, 不要经常搬动, 尤其是光学计量仪器或大型仪器设备; 若必须搬运时, 要严防震动; 要远离磁场、震动源、热源等; 要有严格的管理制度和定期检查制度。

第五节 长度计量技术的发展

当前, 长度计量技术总的发展趋势是由中小量程向大量程, 由一般分辨力向高分辨力, 由静态向动态, 由目测、手动、笔算向自动检测、记录、数据处理等方向发展, 计算机技术的应用又使长度计量技术朝着实时控制和人工智能化方向发展。

从工业生产的发展历史可以看出, 机械加工精度的每一步提高总是与长度测量技术的发展水平紧密相关、相辅相成的。一种新的更高准确度的计量器具, 总是伴随着工业发展的需求而产生, 而一种新的更高准确度的计量器具的产生, 也促进加工精度的进一步提高。

从游标卡尺产生的时代, 即加工精度为 0.1 mm 量级的时代, 经过了加工精度为 0.01 mm 量级 (千分尺类量具产生) 的时代、 0.001 mm 量级 (测微比较仪类产生) 的时代, 0.0001 mm ($0.1\text{ }\mu\text{m}$) (圆度仪等产生) 的时代……到目前加工精度为 $0.001\text{ }\mu\text{m}$ (高精度表面粗糙度测量仪产生) 的时代, 长度计量伴随着工业的发展在不断提高其相对测量的准确度。

从整个长度计量领域来看, 无论是对宇宙空间的星球间距离计量还是微观世界极小尺寸的计量, 都在不断探求提高其相对测量的准确度。如目前测量地球到月球表面之间的距离, 其不确定度仅为几厘米; 微观计量方面, 高度细分的光干涉和电容式测微仪已可达到 10 pm ($0.00001\text{ }\mu\text{m}$) 量级的分辨力, 比原子直径还小一个量级。

目前, 我国长度计量为提高测量准确度、检测速度, 减少误判率, 实现大量程高分辨力、动态、自动化测量, 改变以往的陈旧的测量方式, 广泛采用激光、光栅、光电、传感以及计算机控制、处理等技术改造传统仪器设备、研制新的测量仪器。

我国长度计量在建立基准、标准方面，在仪器研制和某些高精度零部件的测试方面，有些项目已达到或接近国际先进水平。

尤其在近年来，长度计量技术在许多方面有较快的发展。

(1)不断应用新技术，如光电、光栅、激光、激光干涉、全息电视图像分析等新技术。

(2)采用电子技术不断改进测量仪器的瞄准、读数及定位系统的精度。在通用量具和仪器上广泛应用了数字显示技术。

(3)采用计算机技术除采集和处理测量数据外，正在向实时控制和人工智能方向发展。如带计算机的三坐标测量机，既可模拟手动操作进行自动测量，又可根据被测零件的状况选择布置测量点的方案。

(4)实施在线测量。将加工与测量组成一个统一的系统，对加工过程中工艺参数的变化进行连续监控测量，使之保持在预定的最佳范围内。

习题

1. 联系实际谈谈长度计量在国民经济和人民生活中的作用。
2. 按测量对象区分，长度计量包括哪几方面的内容？
3. 为什么要建立量值传递体系？

第二章 长度测量基础

第一节 测量的基本概念

一、有关测量的名词

在实际工作中，人们经常会用到有关测量的名词，如测量、计量、测试、检定、检验、比对、校准等。它们有相近的含义，但又有所区别，分别适用于不同的场合，但都是计量学所表现的具体方式。

测量——以确定量值为目的的一组操作。（测量有时也称计量）

计量——实现单位统一、量值准确可靠的活动。

测试——是指具有试验性质的测量。可理解为试验和测量的全过程。

检验——是判断被测物理量是否合格（在规定范围内）的过程，通常不一定要测出具体的值。（检验的主要对象是工件）

检定——查明和确认计量器具是否符合法定要求的程序，它包括检查、加标记和（或）出具检定证书。

校准——在规定条件下，为确定测量仪器或测量系统所指示的量值，或实物量具或参考物质所代表的量值，与对应的由标准所复现的量值之间关系的一组操作。

注：（1）校准结果既可给出被测量的示值，又可确定示值的修正值；

（2）校准也可确定其他计量特性，如影响量的作用；

（3）校准结果可以记录在校准证书或校准报告中。

比对——在规定条件下，对相同准确度等级的同种计量基准、标准或工作计量器具之间的量值进行的比较。

二、测量过程

测量是为了确定被测对象的量值而进行实验（操作）过程。更具体地讲，就是将被测量与一个作为测量单位的标准量进行比较，以求其比较值的过程。测量过程可以用式（2-1）表示，即

$$L = K \cdot E \quad (2-1)$$

式中： L ——被测量；

E ——长度单位（标准量）；

K ——比值。

式（2-1）称为测量的基本方程式，它说明被测量 L 等于所采用的长度单位 E 与测量的比值 K 的乘积。例如 E 为 mm， K 为 150，则被测长度为 150 mm。

这里所指的长度是广义的,它包括长度值(线值)、角度,表面粗糙度及表面形状、位置等各种形式的几何量。

任何一个测量过程必须有被测对象和所采用的计量单位。此外还有二者是如何进行比较和比较后它的准确程度如何的问题,即测量的方法和测量的准确度问题。为此,一个完整的测量过程应由下述四部分组成,即测量过程四要素。

1. 测量对象和被测量

几何量测量的对象是多种多样的,不同的测量对象有不同的被测量。如量块被测量是中心长度和平面度、平面平行性;螺纹零件的被测量有螺距、中径、牙型半角等;孔和轴的主要被测量是直径;箱体零件的被测量有长、宽、高以及孔间距等;复杂的零件还有复合的被测量,如丝杠和滚刀的螺旋线误差等。因此对于被测对象的特性,被测参数的定义等都必须加以研究和熟悉,以便进行测量。

2. 测量单位和标准量

几何量测量常用的长度单位有米(m)、毫米(mm)、微米(μm),平面角度单位为度、[角]分、[角]秒。

在测量过程中,测量单位是以物质形式来体现的。能体现测量单位和标准量的物质形式有:光波波长、量块、线纹尺、多面棱体、圆分度盘等。

3. 测量方法

测量方法是指完成测量工作所采用的方法、计量器具以及测量条件的总和。在JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》中测量方法被定义为:“进行测量时所用的,按类别叙述的一组操作逻辑次序。”

拟定测量方法时,需要根据被测对象和被测量的特点(形状、大小、准确度要求等)确定标准量、选择量具或仪器;确定测量条件(如温度和其他环境要求等);拟定测量方案,工件定位,读数和瞄准方式等。

基本的测量方法有:直接测量和间接测量,绝对测量和相对测量,接触测量和非接触测量,单项测量和综合测量,手动测量和自动测量,工序测量和终结测量,主动测量(在线测量)和被动测量等。

4. 测量准确度

测量准确度是指测量结果与真值的一致程度。由于在测量过程中不可避免地总会存在测量误差,使测量结果的可靠程序受到一定的影响,测量误差大,则测量结果的可靠性低;测量误差小,则测量结果的可靠性高。

第二节 计量器具的基本计量特性

计量器具(测量仪器)定义为:单独地或连同辅助设备一起用以进行测量的器具。

计量器具能否适合测量目的的需要,依靠什么来评价?主要依据的是计量器具的计量特性(也有称度量学指标)。

1. 标称值

计量器具(测量仪器)上表明其特性或指导其使用的量值,该值为圆整值或近似值。

例:a)标在标准电阻上的量值:500 Ω ;

b) 标在单刻度量杯上的量值: 1 L。

2. 标称范围

计量器具(测量仪器)的操纵器件调到特定位置时可得到的示值范围。

注: (1) 标称范围通常用它的上限和下限表明, 例如 $100 \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。若下限为零, 标称范围一般只用其上限表明, 例如: $0 \sim 100\text{ V}$ 的标称范围可表示为 100 V 。

(2) 在有些知识领域中, 最大值与最小值的差称为范围。

3. 测量范围(工作范围)

计量器具(测量仪器)的误差处在规定极限内的一组被测量的值。

注: 按约定真值确定“误差”。

4. 示值

由计量器具所指示的被测量值。

注: (1) 示值用被测量的单位表示, 而与标在标尺上的单位无关。有时标尺上的值(有时称为直接示值, 直接读数或标尺值)需乘以仪器常数以得到示值。

(2) 量具的示值就是它的标称值。

(3) 示值也适用于相邻标尺标记间的内插估计值。

(4) 示值的含义有时又可以延伸到记录和测量信号。

5. 示值误差

计量器具示值与被测量(约定)真值之差。

注: (1) 由于真值不能确定, 实际上用的是约定真值。

(2) 此概念主要应用于与参考标准相比较的仪器。

(3) 就实物量具而言, 示值就是赋予它的值。

6. (显示装置的) 分辨力

显示装置能有效辨别的最小的示值差。

注: (1) 对于数字式显示装置, 这就是当变化一个末位有效数字时其示值的变化。

(2) 此概念亦适用于记录式装置。

7. 稳定性

计量器具保持其计量特性随时间恒定的能力。

8. 准确度等级

符合一定的计量要求, 使误差保持在规定极限以内的计量器具的等别、级别。

例: 一等量块、二级钢卷尺。

9. 重复性

在相同测量条件下, 重复测量同一被测量, 计量器具提供相近示值的能力。

注: 相同测量条件是指: 相同的测量程序, 相同的观测者, 相同条件下使用相同测量设备, 相同的地点, 在短时间内重复。

第三节 长度计量的几项基本原则

一、最小变形原则

长度计量中引起被測件和测量器具的变形, 主要是由于热变形和弹性变形(接触变形和自重

引起的变形)。这些变形使被测件、测量器具尺寸发生变化,而影响测量结果的准确可靠。为此,在测量过程中,应尽量做到使各种原因引起的变形为最小,这就是测量的最小变形原则。

(一) 热变形

1. 概述

热胀冷缩,这是自然现象,正是这一特性,往往导致测量结果的严重失准。

线性热变形可用公式表示为:

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (2-2)$$

式中: L ——物体尺寸, mm;

α ——线性热膨胀系数, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;

Δt ——温度变化, $^{\circ}\text{C}$ 。

例:三等标准金属线纹尺的线性热膨胀系数 $\alpha = 18.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 若温度变化 $\Delta t = 1^{\circ}\text{C}$ 时, 则 1 m 长的尺寸将变化:

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta t = 1000 \times 18.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} = 18.5 \mu\text{m}$$

对精密测量来讲, 这个数字已十分可观了。

结论: 对高精度零件、大尺寸零件检测时, 温度的影响是一项不可忽视的因素。

凡是精密测试都要规定温度条件, 尤其长度计量几乎所有的检定规程中都标明了温度要求。即在规定温度下测量可不做温度修正, 否则要进行修正。对高精度、大尺寸的被测件的测量还做出等温的要求。

2. 热变形引起的测量误差

计算公式如式 (2-3)

$$\Delta L = L [\alpha_1 (t_1 - 20) - \alpha_2 (t_2 - 20)] \quad (2-3)$$

式中: ΔL ——由于温度变化引起的测量误差, mm;

L ——工件尺寸, mm;

α_1 ——工件线性热膨胀系数, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;

α_2 ——量具材料线性热膨胀系数, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;

t_1 ——工件的温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_2 ——量具(仪)的温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

该式(2-3)应用时的几个注意问题:

(1) t_1, t_2 因测量开始和测量结束时温度是不会一致的, 那么取何值作为计算用的 t_1, t_2 ?

应取 $t_1 = \frac{t_{1\text{末}} + t_{1\text{始}}}{2}$, $t_2 = \frac{t_{2\text{末}} + t_{2\text{始}}}{2}$ 。

(2) 一般不涉及 α 和 t 自身测量精度问题, 但更高精度测量时就要考虑 α 和 t 自身测量精度问题了。

当被测件与量具(仪)材料相同时, 即 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ 时, 式(2-3)可写成:

$$\Delta L = L \cdot \alpha (t_1 - t_2) = L \cdot \alpha \Delta t \quad (2-4)$$

式(2-4)说明此时热变形产生的测量误差主要是由于被测件与量具(仪)之间的温度差造成。如果在测量前把被测件与量具(仪)放置在实验室中进行等温(等温的时间长短与温差大