



普通高等教育“十二五”规划教材

现代测试技术与系统设计

主编 丁 晖 汤晓君



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



普通高等教育“十二五”

现代测试技术与系统设计

主 编 丁 晖 汤晓君

副主编 曾翔君 刘懿莹 骆一萍



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书立足于电气工程领域常涉及的电学量、磁学量及其他物理量的测试问题,围绕测量系统性能评价问题、测量系统硬件模块的设计与组建、测量系统中常用数据处理方法设计与实现三大模块进行讲述。全书共分8章。其中,第1~3章介绍测量与计量的基础知识,测量不确定度的概念及评定方法,以及测量系统的基本特性及评定方法;第4章介绍电气工程领域涉及的电学量、磁学量和其他常见物理量的测量方法;第5章和第6章分别介绍测量系统硬件模块及信号分析设计方法;第7章涉及测量系统常用通信接口的设计;第8章介绍测量系统的抗干扰设计。

本书旨在帮助读者建立实际工程设计意识和思路,阐述测试技术相关的基础理论知识的同时,引导学生关注测试技术发展的新方向和学科前沿知识。本书涉及内容广泛,既可作为高等院校测控相关学科的本科生、研究生的测试类课程教材,同时也适合于从事测控技术与仪器、电气工程、信息工程、自动控制、机械工程等领域工作的科研工作者和工程技术人员在科研和工程设计工作中的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代测试技术与系统设计/丁晖,汤晓君主编. —西安:
西安交通大学出版社,2015.2
ISBN 978-7-5605-7080-8

I. ①现… II. ①丁…②汤… III. ①电气测量-测试技术-教材②测量系统-系统设计-教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 028975 号

书 名	现代测试技术与系统设计
主 编	丁 晖 汤晓君
责任编辑	任振国 季苏平

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路10号 邮政编码 710049)

网 址	http://www.xjtpress.com
电 话	(029)82668357 82667874(发行部)
	(029)82668315 82669096(总编办)
传 真	(029)82668280
印 刷	陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本	727mm×960mm 1/16	印张	17.375	字数	322千字
版次	2015年2月第1版	2015年2月第1次印刷			
书 号	ISBN 978-7-5605-7080-8/TM·101				
定 价	31.00元				

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

前言

测试技术是人们认知客观世界的基本技术手段,是信息技术的基础。测试技术的发展是其他科技领域发展的基本条件和重要的推动力,而其他领域科学技术的发展如新的物理、化学现象的发现、计算机技术的发展、新型材料的出现等又极大地促进了测试技术的进步。

当今时代,各个领域科学技术的迅猛发展不仅对测试技术有着越来越广泛的应用需求,同时对测试技术水平也提出了更高的要求。测试技术课程在我国高等教育中被列为重要的专业基础课程。西安交通大学是最早开设测试技术课程的高校之一,测试技术课程被列为电气类、机械类专业本科生必修的一门专业基础课程。近年来,在西安交通大学“985”项目的支持下,对原有测试技术课程内容进行了全面更新。突出了电气工程领域常涉及的电学量和磁学量的测量方法的讲解;结合大量科研实践经验,帮助读者建立实际工程设计意识和思路,加强理论知识与实践的结合;新增仪器总线、新型传感技术在电气工程领域中应用的相关理论和实践知识,在阐述测试技术相关的基础理论知识的同时,引导学生关注测试技术发展的新方向和学科前沿知识;教材内容广泛,难易层次拉开,适合不同层次的学生和工程设计人员使用。

本书立足于电气工程领域常涉及的电学量、磁学量及其他物理量的测试问题,围绕测量系统性能评价问题、测量系统硬件模块的设计与组建、测量系统中常用数据处理方法设计与实现三大模块进行讲述。本书共分为8章。第1章为测量与计量的基础知识,介绍测量和计量的基本概念,计量标准和国际单位制;第2章介绍测量不确定度的概念及评定方法;第3章讲述测量系统的基本特性,包括测量系统的静态特性的获取和参数表征,以及测量系统动态特性的基本概念和评估方法;第4章针对电气工程领域涉及的电学量、磁学量和其他常见物理量的测量方法做了详细介绍;第5章介绍了测量系统硬件模块设计方法,包括传感器常用调理电路(R 、 C 、 L 、 U 转换电路、前置放大器、量程变换电路、压频转换电路的作用和设计方法等)、数据采集系统等的设计方法;第6章围绕测量系统中常用信号处理方法(包括信号时域分析和信号频域分析方法)进行讲解,在介绍相关理论知识基础的同时,重在介绍如何应用在实际工程中解决实际问题;第7章涉及测量系统常用通信接口的设计;第8章介绍测量系统的抗干扰设计。

丁晖教授负责本书前言及第4~6章的编写;汤晓君副教授负责第1章和第8

章的编写;曾翔君副教授负责第7章的编写;刘懿莹博士负责第3章和第5章部分内容的编写;骆一萍老师负责编写第2章;全书由丁晖教授统稿,北京航空航天大学钱政教授主审。研究生李仙丽、韩春阳、孙琛为本书的绘图做了大量的工作。在此向为本书付出辛勤努力和工作的老师和学生们表示衷心的感谢。

本书涉及内容广泛,既可作为测控相关学科的本科生、研究生的测试类课程教材,同时也适合于从事测控技术与仪器、电气工程、信息工程、自动控制、机械工程等领域工作的科研工作者和工程技术人员在科研和工程设计工作中的参考书。

作者

2014年10月

目 录

第 1 章 测试与计量技术基础	(1)
1.1 测量的基本概念	(1)
1.2 计量的基本概念及其特点	(2)
1.3 基本计量单位与单位制	(3)
1.4 量值传递与溯源	(8)
1.5 计量器具	(9)
1.6 电磁学量计量器具	(11)
1.7 计量检定的基本概念	(13)
1.8 测试仪器的发展历程及未来发展趋势	(13)
第 2 章 测量不确定度的评定	(16)
2.1 测量不确定度基础	(16)
2.2 不确定度的计算	(18)
2.3 数据处理举例	(35)
2.4 微小误差准则	(40)
第 3 章 测量系统的基本特性	(42)
3.1 概述	(42)
3.2 测量系统的静态特性	(44)
3.3 测量系统的动态特性	(51)
第 4 章 电气量测量技术	(67)
4.1 概述	(67)
4.2 电阻的测量	(67)
4.3 电容和电感的测量	(72)
4.4 电力系统中交变电流的测量	(76)
4.5 电力系统中电压的测量	(83)
4.6 温度的测量	(85)
4.7 材料磁特性的测量	(109)
第 5 章 测量系统硬件模块设计	(125)
5.1 电桥	(125)

5.2	电压/频率转换	(129)
5.3	前置放大器	(131)
5.4	信号调制与解调	(143)
5.5	滤波器	(149)
5.6	数据采集	(162)
第6章	信号分析与处理	(176)
6.1	概述	(176)
6.2	信号的时域分析	(177)
6.3	信号的频域分析	(183)
6.4	线性调频 z 变换(CZT)技术	(198)
6.5	功率谱分析	(202)
第7章	现代测量系统中的数据通信技术	(205)
7.1	RS-232 串行通信接口	(206)
7.2	RS-422/485 串行通信总线	(210)
7.3	通用串行总线 USB	(214)
7.4	以太网接口	(224)
7.5	几种串行总线的比较	(234)
7.6	标准化的并行总线仪器	(235)
7.7	几种并行仪器总线的比较	(247)
第8章	干扰与抑制	(248)
8.1	引言	(248)
8.2	电磁干扰的三要素及分类	(248)
8.3	电磁干扰的传播途径(干扰与噪声的耦合方式)	(251)
8.4	屏蔽技术	(254)
8.5	接地技术	(259)
8.6	滤波技术	(264)
参考文献		(267)

第 1 章

测试与计量技术基础

1.1 测量的基本概念

1.1.1 测量的基本概念及其作用

测量是人类揭示自然界物质的运动规律、描述物质世界的重要手段,在工农业生产、经济贸易及人们日常生活中占据着非常重要的地位。著名俄国科学家门捷列夫说过,“没有测量,就没有科学”;英国科学家库克认为,“测量是技术生命的神经系统”。这些都说明测量对人们了解、认识客观世界,推动现代科学技术的发展起着重要的作用。

测量是人类对客观事物进行定量评价的一种的重要手段。具体地讲,所谓测量就是将已知量作为计量单位,利用实验手段把被测量和已知同类标准量进行比较,求得二者之间比值的一个实验过程。也就是说,任何一个测量过程必须有同类标准量的参与,否则就不为之测量。同类标准量的参与方式可以是直接的,也可以是间接的。例如,在采用天平称重量、利用电位差计测电压等测量过程中,同类标准量(法码、标准电池)是直接参与的;而在采用电流表测电流、压力表测压力的测量过程中,标准量是间接参与的,因为电流表、压力表在出厂时,已经和标准量(标准电流、标准压力)进行了比较并获得了定标与校准。

完整的测量过程包括测量单位、被测量、测量方法和测量不确定度四个部分。

- (1)测量单位为定量表示同种量的大小而约定的定义和采用的特定量;
- (2)被测量包括电学量、磁学量、热工学量、几何量等自然界的物理量;
- (3)测量方法是根据被测量的特点及测量技术发展状况而采用的测量原理、测量仪器及测量步骤;
- (4)测量不确定度是定量描述测量结果与真值的一致程度的一种数学方法。

1.1.2 测量方法及其分类

测量方法通常有以下三种分类法。

1. 按测量结果的获得方式分

- (1)直接测量。它是从仪表(仪器)的读数直接获取测量结果的方法,例如电压

表测量电压,温度表测量温度。它的特点是测量过程简单、迅速。

(2)间接测量。它是由仪表(仪器)的读数,按照一定的函数关系(公式)经计算而获取测量结果的方法,例如伏安法测量电阻,瓦秒法测量电能。它的特点是测量过程复杂费时,一般应用在直接测量不方便或没有直接测量的仪表(仪器)的情况下。

(3)组合测量。它是在测量两个或两个以上相关的未知数时,通过改变测量条件而获得一组含有测量读数和未知数的方程组,求解进而获取测量结果的方法。例如对电阻温度系数(一次、二次)的测量就属于组合测量。

2. 按测量读数的获得方式分

(1)直读测量法。从仪器的读数直接获得测量结果,特点是过程简单,仪表的准确度等级直接影响测量结果的准确度。

(2)比较测量法。把被测量与同类的标准量进行比较,根据比较的结果推算(计算)出测量读数。典型的比较测量法有差值(微差)法、零值法、替代法。比较测量法的特点是标准量直接参与,测量准确度高。电桥和电位差计就是利用比较测量法的原理设计制作的典型比较式测量设备。

3. 按测量性质分

(1)时域测量。时域测量也叫做瞬态测量,主要测量和获取被测量随时间的变化的规律。例如用示波器测量脉冲信号的上升沿、下降沿、过冲、平顶跌落、脉冲宽度等。

(2)频域测量。频域测量也叫做稳态测量,主要测量被测量随频率变化的规律。例如用频谱分析仪测量信号的频谱,函数分析仪测量单元电路的幅频特性、相频特性等。

(3)数据域测量。数据域测量也叫做逻辑量测量,它是以数字电路的逻辑状态为主要研究对象。例如用逻辑分析仪测量数字电路的逻辑状态、时序等。

1.2 计量的基本概念及其特点

1.2.1 计量的基本概念

所谓计量是为实现单位统一和量值准确可靠而进行的科技、法制和管理活动。计量学是关于测量及其应用的科学,它涵盖测量理论与实践的各个方面。

测量和计量二者是统一的、紧密相连的,只是侧重点不同。测量是单一的,其目的是获得测量结果,即量值。测量是计量的基础,而计量是为了实现测量的统一,采用国家法律、法规和行政管理紧密结合的方式,对测量起着指导、监督、保证

的作用。计量涉及国民经济、科学技术、社会发展和人民生活各个方面,是国民经济中不可缺少的技术基础,是确保社会活动正常进行的重要条件,是保护国家和人民利益的重要手段。

1.2.2 计量的特点

计量的主要特点有以下四个方面。

(1)准确性。准确性是计量的基本特点,表征了测量结果与被测量真值之间的接近程度。计量结果包括被测量的具体数值及该数值的不确定度两部分。因此,所谓数值统一是指在一定准确度范围内的统一。

(2)一致性。计量单位的统一是数值一致的重要前提。在符合计量要求的情况下,计量结果在给定的不确定度之内具有一致性,与计量过程进行的时间、地点及所采用的计量方法无关。也就是说,计量结果应是可重复、可再现(复现)、可比较的。换言之,量值是确实可靠的。计量的核心是对测量结果及其有效性、可靠性的确认。否则,计量就失去其社会意义。计量的一致性不仅限于国内,也适用于国际。

(3)溯源性。为了使计量结果一致,所有的同类数值都必须由同一个计量基准传递得出。换言之,任何一个计量结果都应该能够通过一条具有规定不确定度的连续比较链,与计量基准联系起来。这种特性使所有的同种量值,都可以按这条比较链通过校准向测量的源头追溯,也就是溯源到同一测量基准(国家基准或国际基准),从而使准确性和一致性得到技术保证。所谓“量值溯源”就是指从下而上通过不间断的校准而构成溯源体系;而“量值传递”,则是自上而下通过逐级检定而构成检定系统。

(4)法制性。量值的准确可靠不仅依赖于科学技术手段,还要有相应的法律、法规和行政管理。特别是对于国计民生有明显影响,涉及公众利益和可持续发展或需要特殊信任的领域,必须由政府主导建立起法制保障。否则,量值的准确性、一致性及溯源性就不可能实现,计量的作用也难以发挥。

由此可见,计量不同于一般的测量。测量是为确定量值而进行的全部操作,一般不具备、也不必具备计量上的四个特点。所以,计量属于测量而又严于一般的测量。科技、经济和社会愈发展,对单位统一、量值溯源的要求愈高,计量的作用也就愈显重要。

1.3 基本计量单位与单位制

1.3.1 计量单位

单位是为定量表示同种量的大小而约定的特定量,这个特定量具有名称、符号

和定义,其数值为1。例如长度单位“米”,法国政府1790年规定,沿通过巴黎的地球子午线长度的四千万分之一为1米。1983年,第17届国际计量大会将米的定义改为:米是光在真空中 $1/299\,792\,458$ 秒的时间间隔里所经过路程的长度。

选定作为单位的特定量具有以下几个特点。

(1)长期稳定、保持不变,便于复现,便于和同类量进行比较。

(2)单位的选定具有统一性和法制性。

(3)随着科学技术的进步,单位的定义在不断变化。以“米”为例,最初定义为地球子午线长度的 $1/(4\times 10^7)$,继而以米原器两刻线之间的距离定义,1960年则以氪86的光波波长定义。而现在的时间单位是用铯原子的超精细能级的跃迁频率定义的。随着人类对自然界认知水平的提高,如果未来发现了其他复现性更好的跃迁频率,时间单位的定义还有可能改变。

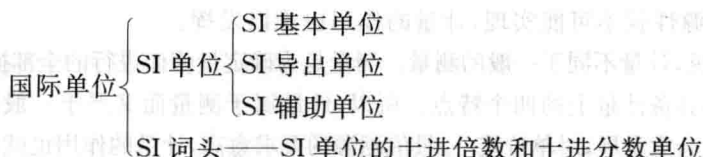
1.3.2 单位制和国际单位制

单位制是由选定的一组基本单位和由定义方程式与比例因数确定的导出单位组成的一系列完整的单位体制。由于基本单位选取的不同,组成的单位制也就不同,如市制、英制、米制、国际单位制等。

各种单位制的并存不仅对国际贸易有阻碍作用,而且也不利于各国之间的科学文化交流,因此,统一单位制已成为世界各国的共同要求。国际计量委员会在1956年将经过21个国家同意的计量单位制草案命名为国际单位制,以国际通用符号SI来表示。1960年第11届国际计量大会正式通过了国际单位制。1977年中国明确规定要逐步采用国际单位制,1984年中国颁布的《中华人民共和国法定计量单位》就是以国际单位制为基础制定的。

1. 国际单位制的构成

国际单位制的构成如下:



(1)SI基本单位。“基本量”的计量单位称为基本计量单位。基本量是量制中被约定为彼此独立的量,各基本量具有不同的量纲。基本单位是给定量制中基本量的单位,它具有以下主要特点:

①独立性。一个基本量只有一个基本单位,基本单位之间具有独立性。

②稳定和准确性。基本单位应能稳定地实现、复现,并且具有极高的准确度;

③复现基本单位的基准量应保持长久不变。

SI 单位制中包括 7 个基本单位,单位的名称、符号、定义见表 1-1。

(2)SI 导出单位。按物理量之间的关系,导出单位是用基本单位或辅助单位以代数式的乘、除数学运算所表示的单位。具有专门名称的 SI 导出单位的名称、符号、量纲表达式见表 1-2。

表 1-1 SI 基本单位的名称、符号、定义

量的名称	单位名称	单位符号	定义	
长度	米	m	米是光在真空中于 $1/299\,792\,458$ 秒时间间隔内所经过的距离	1983 年
时间	秒	s	秒是铯-133 原子基态的二超精细能级之间跃迁所对应的辐射的 $9\,192\,631\,770$ 个周期的持续时间	1967 年
质量	千克	kg	千克是质量单位,等于国际千克原器的质量	1901 年
电 流	安[培]	A	在真空中,截面积可忽略的两根相距 1 米的无限长平行直导线内流过等量恒定电流时,若导线间相互作用力在每米长度上为 2×10^{-7} 牛顿,则每根导线中的电流定义为 1A	1954 年
热力学温度	开[尔文]	K	开尔文是水三相点热力学温度的 $1/273.16$	1967 年
物质的量	摩[尔]	mol	摩尔是一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元数与 0.012 千克碳-12 的原子数目相等	1971 年
发光强度	坎[德拉]	cd	坎德拉是一光源在给定方向上的发光强度,该光源发出频率为 540×10^{12} 赫兹的单色辐射,而且在此方向上辐射强度为 $1/683$ 瓦特每球面度	1979 年

表 1-2 具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	单位名称	单位符号	用其他 SI 单位表示的表示式	用 SI 基本单位表示的表示式
频率	赫[兹]	Hz		s^{-1}
力	牛[顿]	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$

续表 1-2

量的名称	单位名称	单位符号	用其他 SI 单位表示的表示式	用 SI 基本单位表示的表示式
压力,压强,应力	帕[斯卡]	Pa	N/m ²	m ⁻¹ · kg · s ⁻²
能,功,热量	焦[耳]	J	N · m	m ² · kg · s ⁻²
功率,辐[射]通量	瓦[特]	W	J/s	m ² · kg · s ⁻²
电荷[量]	库[仑]	C		s · A
电位(电势),电位差,电压,电动势	伏[特]	V	W/A	m ² · kg · s ⁻³ · A ⁻¹
电容	法[拉]	F	C/V	m ⁻² · kg ⁻¹ · s ⁴ · A ²
电阻	殴[姆]	Ω	V/A	m ² · kg · s ⁻³ · A ⁻²
电导	西[门子]	S	A/V	m ⁻² · kg ⁻¹ · s ³ · A ²
磁通[量]	韦[伯]	Wb	V · s	m ² · kg · s ⁻² · A ⁻¹
磁通[量]密度,磁感应强度	特[斯拉]	T	Wb/m ²	kg · s ⁻² · A ⁻¹
电感	亨[利]	H	Wb/A	m ² · kg · s ⁻² · A ⁻²
摄氏温度	摄氏度	°C		K
光通[量]	流[明]	lm		cd · sr
[光]照度	勒[克斯]	lx	lm/m ²	m ⁻² · cd · sr

(3)SI 辅助单位。SI 辅助单位的名称、符号见表 1-3。辅助单位包括两个单位:弧度和球面角,是无量纲的导出单位。这两个单位的定义如下。

①弧度:一个圆内两条半径在圆周上截取的弧长与半径相等时,它们所夹的平面角的大小。

②球面角:是一个立体角,其顶点位于球心,而它在球面上所截取的面积等于以球半径为边长的正方形面积。

表 1-3 SI 辅助单位

量的名称	单位名称	单位符号	有 SI 基本单位的表示式
平面角	弧 度	rad	m · m ⁻¹ = 1
立体角	球面度	sr	m ² · m ⁻² = 1

(4)SI 词头。国际单位制规定了一套“词头”,用它和 SI 单位组合而成 SI 单位

的十进倍数单位和十进分数单位。SI 词头的定义、名称及符号见表 1-4。

表 1-4 SI 词头

倍增 因子	词头名称		词头 符号	倍增 因子	词头名称		词头 符号
	中文	英文			中文	英文	
10^{24}	尧[它]	yotta	Y	10^{-1}	分	deci	d
10^{21}	泽[它]	zetta	Z	10^{-2}	厘	centi	c
10^{18}	艾[可萨]	exa	E	10^{-3}	毫	milli	m
10^{15}	拍[它]	peta	P	10^{-6}	微	micro	μ
10^{12}	太[拉]	tera	T	10^{-9}	纳[诺]	nano	n
10^9	吉[咖]	giga	G	10^{-12}	皮[可]	pico	p
10^6	兆	mega	M	10^{-15}	飞[母托]	femto	f
10^3	千	kilo	k	10^{-18}	阿[托]	atto	a
10^2	百	hecto	h	10^{-21}	仄[普托]	zepto	z
10^1	十	deca	da	10^{-24}	幺[科托]	yocto	y

2. 我国法定的计量单位

计量学的特点是:准确性、一致性、可溯源性和法制性。准确性、一致性和可溯源性体现在测量单位的定义、复现、比对和传递,而法制性则体现在各个国家使用的计量单位均以立法进行规约。

《中华人民共和国计量法》(1985年9月6日通过,2013年修正本)规定“国际单位制计量单位和国家选定的其他计量单位,为国家法定计量单位”,国务院于1984年2月27日发布命令,明确规定我国的国家法定计量单位包括:

- (1)国际单位制单位;
- (2)国家选定的其他计量单位(见表 1-5);
- (3)由以上单位构成的组合形式的单位。

表 1-5 国家选定的非国际单位制单位

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时间	分	min	1 min=60 s
	[小]时	h	1 h=60 min=3600 s
	天[日]	d	1 d=24 h=86 400 s
	[角]秒	($''$)	1 $''$ =($\pi/648\,000$)rad (π 为圆周率)
平面角	[角]分	($'$)	1 $'$ =60 $''$ =($\pi/10\,800$)rad
	度	($^{\circ}$)	1 $^{\circ}$ =60 $'$ =($\pi/180$)rad

续表 1-5

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
旋转速度	转每秒	r/min	$1 \text{ r/min} = (1/60) \text{ rs}^{-1}$
长度	海里	nmile	$1 \text{ nmile} = 1852 \text{ m}$ (只用于航程)
速度	节	kn	$1 \text{ kn} = 1 \text{ nmile/h}$ $= (1852/3600) \text{ m/s}$ (只用于航行)
质量	吨	t	$1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$
	原子质量单位	u	$1 \text{ u} \approx 1.660\,565\,5 \times 10^{-27} \text{ kg}$
体积	升	L, (l)	$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$
能	电子伏	eV	$1 \text{ eV} \approx 1.602\,1892 \times 10^{-19} \text{ J}$
级差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	$1 \text{ tex} = 1 \text{ g/km}$

1.4 量值传递与溯源

1. 量值传递

量值传递是将国家基准所复现的计量单位,通过计量检定或校准的方法,传递给下一等级的计量标准,并依次逐级地传递到工作计量器具,以保证被测对象的量值准确一致,这一过程称之为量值传递。

量值传递由国家法制计量部门以及其他法定授权的计量组织或实验室执行。各国除设置本国执行量值传递任务的最高法制计量机构外,并根据本国的具体情况设置若干地区或部门的计量机构,以及经国家批准的实验室,负责一定范围内的量值传递工作。

中国执行量值传递的最高法制计量部门为中国计量科学研究院,由国家计量局领导。各省、市、自治区设置相应的计量机构,负责本地区的量值传递工作。简言之,所谓的“量值传递”就是自上而下通过逐级检定而构成检定系统。

2. 量值溯源

任何一个测量结果或计量标准的值,都能通过一条具有规定不确定度的连续比较链,与计量基准联系起来。这种特性使所有的同种量值,都可以按这条比较链通过校准向测量的源头追溯,也就是溯源到同一个计量基准(国家基准或国际基准),从而使准确性和一致性得到技术保证。否则,量值出于多源或多头,必然会在

技术上和管理上造成混乱。简言之,所谓“量值溯源”就是指自下而上通过不间断的校准而构成溯源体系。

例如,如何确定一块手表是否准确呢?这就需要依赖于量值溯源链。手表在出厂时,生产企业采用计量标准器具对其进行准确度标定,而这些计量标准器又要经过准确度更高一等级的计量标准器具进行校准。这些计量标准器具最终溯源到国家计量院的国家基准。

1.5 计量器具

量值的统一首先反映在计量器具准确度的一致性上。计量器具是指直接或间接测出被测对象量值的装置、仪器仪表、量具和用于统一量值的标准物质。计量器具是计量工作的物质基础,它是计量部门提供计量保证的技术基础,是量值传递和溯源计量工作中的物质基础。

计量器具按结构特点分为以下三类:

(1)量具。即用固定形式复现量值的计量器具,如量块、砝码、标准电池、标准电阻等。

(2)计量仪器仪表。即将被测量的量转换成可直接观测的数据信息的计量器具,如流量计、温度计、电流表、电压表、心电图仪等。

(3)计量装置。即为了确定被测量值所必须的计量器具和辅助设备组成的检定系统,如气体浓度检定装置、高频微波功率计校准装置等。

按计量学用途分类,计量器具也可分为:计量基准、计量标准和工作量具。

1. 计量基准

计量基准是指为了定义、实现、保存、复现量的单位,或作为量的测量标准定值依据的实物量具、测量仪器、标准物质或者测量系统。

经国际协议公认,在国际上作为对有关量其他所有基准定值依据的标准称为国际基准;经国家正式确认,在国内作为对有关量其他所有基准定值依据的标准称为国家基准。各个国家根据需要可代表国家参加国际比对,使其量值和国际基准的量值保持一致。

国家计量基准是指经国家决定承认的测量标准,在一个国家内作为有关量的其他测量标准定值的依据(JJF1001—1998 定义)。国家基准是一个国家量值传递的起始点。全国的各级计量标准、工作计量器具以及标准物质测量的定标,都必须溯源到国家计量基准。计量基准可以进行仲裁检定,所出具的数据能够作为处理计量纠纷的依据并具有法律效力。

(1)计量基准的分类。计量基准从实现方式上分为实物基准和自然基准。

实物基准是用某种特别稳定的实际物体制作完成的基本量值的实物复现。如采用物理化学稳定性极高的铂铱合金制作质量单位原器砝码,现保存在巴黎国际计量局的千克原器砝码;用含 10% 的铱与 90% 的铂的铂铱合金米尺的刻线间距离定义长度单位米等等。

自然基准是以自然现象或物理效应来定义计量基本单位。如时间单位定义为铯原子的超精细能级的跃迁频率。自然基准较实物基准的准确度一般要高几个数量级,而且自然基准不会因意外损伤而不可复现。此外,按照相同原理建立的量子基准实验装置,其复现的量值是相同的,从而避免了计量基准在多次逐级传递过程中造成的一系列问题。

计量基准按准确度分,通常分为主基准、副基准和工作基准。

国家基准即为主基准。它是一个国家量值溯源的终点,也是量值传递的起点。它具备最高计量学特性,具有最高的准确度、复现性、稳定性等。它是一个国家计量科学技术水平的体现。

副基准是通过直接或间接与国家基准比较定制,用以代替计量基准的日常使用,并经国务院计量行政部门批准的计量器具。它在全国作为复现计量单位的地位仅次于国家基准。

工作基准是指经过国务院计量行政部门批准,实际用于量值传递。一般工作基准设置在国家计量研究机构内,使用工作基准的目的是为了避免国家基准和副基准由于频繁使用而降低其计量特性。工作基准作为复现计量单位量值的地位处于主基准和副基准之下。

(2) 计量基准的特点

① 国际协议公认,是由各个国家计量部门统一规划并组织建立的,具有法律权威性;

② 计量基准的定义和建立代表当代最先进的科学技术和制造工艺;

③ 随着科学技术水平的进步,计量基准在不断发展,以准确度、稳定度更高的计量基准取代原来稳定度和准确度较低的计量基准。

2. 计量标准

计量标准是按国家规定的准确度等级实际用于检定工作的计量器具。是将计量基准量值传递到工作量具的一类计量器具,它是量值传递的中间环节,可以根据需要按不同准确度分成若干个准确度等级,为检定工作用计量器具。计量标准在国家检定系统中地位在计量基准之下。

3. 工作量具

工作量具是指一般日常工作中所用的计量器具,它可获得某给定量的计量