



高等学校仪器仪表及自动化类专业规划教材

电子测量技术

■ 主编 李希文 赵建



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

TM93/111

2008

高等学校仪器仪表及自动化类专业规划教材

电子测量技术

主 编 李希文 赵 建
参 编 郝云芳 史军刚 冯晓明
贺 华 孙中禹 尚 鸿



西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书主要讲述了电子测量的基本概念、电子测量技术的基本原理和方法,并对和电子测量技术相关的常规仪器,如示波器、信号源、计数器、频谱分析仪和逻辑分析仪等的工作原理进行了比较系统的分析。全书共分8章:第1章绪论;第2章测量误差理论与数据处理;第3章频率时间测量;第4章电压、电流测量;第5章示波测量技术;第6章测量用信号源;第7章频域测量技术;第8章数据域测试。

本书编写力求结构合理,思路清楚,概念清晰,推导严密,深入浅出,通俗易懂;注意各章节之间、本教材和相关教材之间知识体系的衔接和联系;充分反映现代电子测量理论和最新技术成果;强调电子测量的实用性,理论联系实际。

电子测量技术是在各学科专业中广泛应用的一门通用技术。本书不仅可作为高等院校理工类本科、专科的电子测量与仪器、应用电子技术、通信工程、电子工程等专业的电子测量课程教学用书,也可作为从事电类专业的广大科研和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量技术/李希文,赵建主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.3
高等学校仪器仪表及自动化类专业规划教材

ISBN 978-7-5606-1927-9

I. 电… II. 李… III. 电子测量—高等学校—教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 151957 号

策 划 云立实

责任编辑 张 媛 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2008年3月第1版 2008年3月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 19.75

字 数 465千字

印 数 1~4000册

定 价 28.00元

ISBN 978-7-5606-1927-9/TN·0392

XDUP 2219001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前言

电子测量是获取信息的重要手段,它与各个学科、各个行业有着十分密切的联系,在工农业生产、科学技术研究、国防现代化建设等各个领域应用极为广泛。例如,现代高科技中,火箭、导弹飞行轨道的控制,人造卫星飞行姿态的调整,必须有快速、精密的信息检测;现代化的大地测量、气象遥感、地质勘探等也都少不了应用电子技术手段进行测量。电子测量是一门发展快、应用面宽、实践性强的应用性学科,在现代科学技术中发挥着举足轻重的作用,占有很重要的地位。

“电子测量技术”是建立在“电路分析基础”、“信号与系统”、“模拟与数字电路”、“计算机原理与应用”等基础课程内容之上的专业基础课程,它是把电子、计算机、通信与控制等电子信息专业知识综合应用在测量科学技术之中而形成的一个独具特色的学科。国内高校的许多理工科专业,尤其是电子信息类专业,都相继把“电子测量技术”作为一门重要的技术基础课程。由于该课程综合性强、实践性突出,并且涉及到现代常用仪器的典型测量技术,因此通过本课程的学习,不仅使学生获得电子测量技术及仪器方面的基础知识,掌握一门通用技术,而且培养了学生的综合应用能力与实践能力。

为了满足教学需要,我们编写了本书。编写中,注意从电子测量原理、测量误差分析及电子测量技术的应用三个方面来阐述,三者之间的关系是:以测量原理为基础,通过测量误差的分析来提升,以实际应用为归宿。总的构思是:对测量原理的讲解力求深入浅出,通俗易懂,突出基本概念;对测量误差的分析采用定性说明和定量描述相结合的方法,必要的数学推导简明扼要,结论醒目明确,便于读者掌握;对于实际应用,讲清工作原理框图,突出典型的技术方法,不过多涉及单元内部具体电路;加强各章节之间、本教材和相关教材之间知识体系的衔接和联系,充分反映现代电子测量理论和最新技术成果。笔者长期从事电子测量技术教学与研究,对本教材的内容倾注了多年的经验和成果,在编写的过程中,认真学习和参考了国内外同行及专家学者的有关教材、专著和论文,充分吸取了他们的学术观点和成功经验,引用并充实于本书之中。

全书共分8章:第1章绪论;第2章测量误差理论与数据处理;第3章频率时间测量;第4章电压、电流测量;第5章示波测量技术;第6章测量用信号源;第7章频域测量技术;第8章数据域测试。本书不仅适合测控专业的学生作为一门入门的专业基础课教材,而且也适用于广大非测控专业的学生把本书作为了解电子测量技术原理,增强测试能力的应用技术基础课程教材。

本书的教学参考学时数为60~80学时,具体讲授内容各专业可根据实际情况加以取舍。学生在学习的过程中,应加强基本概念的理解,重视实际应用,即应用所学的基本原理和方法去解决实际中的问题。本课程具有很强的实践性、应用性,教学过程中应开设相应的实验课程,以达到理论联系实际,提高学生综合运用能力的目的。本书每章后面皆附有思

考与练习,在学习过程中,学生应完成相当数量的习题,训练运用所学的知识来解题的能力。

本书由李希文、赵建主编，参加编写的有郝云芳、史军刚、冯晓明、贺华、孙中禹、尚鸿等。在本书编写过程中，得到了西安电子科技大学测控工程与仪器系有关专家的关心与支持，也得到了责任编辑云立实同志的热情帮助，在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点或疏漏,殷切希望读者批评指正。

编者

2007 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 测量的基本概念	1
1.1.1 测量的定义	1
1.1.2 测量的意义	2
1.1.3 测量技术	3
1.2 计量的基本概念	5
1.2.1 计量	5
1.2.2 单位和单位制	6
1.2.3 计量标准	7
1.2.4 测量标准的传递	8
1.3 电子测量技术的内容、特点和方法	9
1.3.1 电子测量	9
1.3.2 电子测量的内容和特点	10
1.3.3 电子测量的一般方法	12
1.4 电子测量的基本技术	14
1.4.1 电子测量的变换技术	14
1.4.2 电子测量的放大技术	17
1.4.3 电子测量的比较技术	17
1.4.4 电子测量的处理技术	17
1.4.5 电子测量的显示技术	18
1.5 本课程的任务	22
思考与练习	23
第 2 章 测量误差理论与数据处理	24
2.1 测量误差的基本概念	24
2.1.1 有关误差的基本概念	24
2.1.2 测量误差的表示方法	25
2.2 测量误差的来源与分类	30
2.2.1 测量误差的来源	30
2.2.2 测量误差的分类	31
2.3 测量误差的分析与处理	35
2.3.1 随机误差的分析与处理	35
2.3.2 系统误差的判断及消除方法	45
2.3.3 粗大误差的分析与处理	48
2.4 测量误差的合成与分配	50
2.4.1 测量误差的合成	50

2.4.2	测量不确定度及其合成	53
2.4.3	误差分配及最佳测量方案	59
2.5	测量数据处理	61
2.5.1	有效数字的处理	61
2.5.2	测量结果的处理	63
2.5.3	最小二乘法与回归分析	67
	思考与练习	73
	附录 正态分布在对称区间的积分表	77
第3章	频率时间测量	78
3.1	概述	78
3.1.1	时间、频率的基本概念	78
3.1.2	频率测量方法概述	81
3.2	电子计数法测量频率	82
3.2.1	电子计数法测频原理	82
3.2.2	误差分析计算	84
3.2.3	测量频率范围的扩大	86
3.3	电子计数法测量周期	87
3.3.1	电子计数法测量周期的原理	87
3.3.2	误差分析计算	88
3.3.3	中界频率	91
3.4	电子计数法测量时间间隔	93
3.4.1	时间间隔测量原理	93
3.4.2	误差分析	94
3.5	减小计数器 ± 1 误差的方法	95
3.5.1	平均法	95
3.5.2	多周期同步法	96
3.5.3	模拟内插法	97
3.6	模拟法测频	99
3.6.1	直接法	99
3.6.2	比较法	102
	思考与练习	106
第4章	电压、电流测量	107
4.1	概述	107
4.1.1	电压测量的意义和特点	107
4.1.2	电压测量的方法和分类	108
4.2	直流电压的测量	109
4.2.1	普通直流电压表	109
4.2.2	直流电子电压表	111
4.2.3	直流数字电压表	112
4.3	交流电压的测量	112
4.3.1	表征交流电压的基本参量	112
4.3.2	交流电压的测量方法	115
4.4	分贝的测量	121

881	4.4.1 分贝的定义	121
009	4.4.2 分贝的测量方法	122
004	4.5 电压的数字化测量	124
803	4.5.1 数字电压表的组成与分类	124
809	4.5.2 非积分式 DVM	125
119	4.5.3 积分式 DVM	128
319	4.5.4 DVM 主要工作特性	132
319	4.5.5 数字多用表技术	137
314	4.6 电流的测量	141
819	4.6.1 电流表直接测量法	141
419	4.6.2 电流-电压转换法	142
819	4.6.3 电流-频率转换法	144
819	4.6.4 电流-磁场转换法	145
099	4.6.5 电流互感器法	146
99	思考与练习	147
	第 5 章 示波测量技术	150
99	5.1 概述	150
999	5.1.1 示波器的分类	151
099	5.1.2 示波器的主要技术指标	152
00	5.2 通用示波器	153
099	5.2.1 阴极射线示波管(CRT)	153
199	5.2.2 波形显示的基本原理	157
889	5.2.3 通用示波器的组成	162
119	5.2.4 通用示波器的垂直通道	162
819	5.2.5 通用示波器的水平通道	165
019	5.2.6 示波器的多波形显示	171
01	5.3 高速和取样示波器	173
199	5.3.1 高速示波器	174
199	5.3.2 取样示波器	174
995	5.4 记忆示波器与存储示波器	178
999	5.4.1 记忆示波器	178
009	5.4.2 数字存储示波器	180
00	5.5 示波器的基本测量技术	183
909	5.5.1 示波器的正确使用	183
989	5.5.2 用示波器测量电压	187
979	5.5.3 周期和时间测量	189
199	5.5.4 信号相位测量	191
99	思考与练习	192
	第 6 章 测量用信号源	196
99	6.1 信号源概述	196
919	6.1.1 信号源的作用	196
919	6.1.2 信号源的分类	196
979	6.1.3 信号发生器的基本组成	197

6.1.4	正弦信号发生器的性能指标	198
6.2	信号产生方法及信号发生器发展趋势	200
6.2.1	正弦信号发生器	200
6.2.2	脉冲信号发生器	204
6.2.3	函数发生器	206
6.2.4	合成信号发生器	211
6.2.5	信号发生器的发展趋势	212
6.3	频率合成技术及锁相频率合成	212
6.3.1	频率合成的原理	212
6.3.2	频率合成的分类及特点	213
6.3.3	锁相频率合成	214
6.4	直接数字频率合成技术	218
6.4.1	直接数字频率合成的基本原理	218
6.4.2	DDS 频率合成信号源	220
6.5	频率合成技术的发展	222
6.5.1	几种合成技术的比较	222
6.5.2	提高频率分辨力的方法	222
	思考与练习	227
第 7 章	频域测量技术	230
7.1	信号频谱分析及频谱分析仪	230
7.1.1	信号频谱分析	230
7.1.2	频谱分析仪的种类	231
7.1.3	频谱分析仪的原理	233
7.1.4	常见频谱分析仪简介	241
7.1.5	频谱分析仪的技术指标	245
7.1.6	频谱分析仪的发展趋势	249
7.2	信号的失真度测量	249
7.3	线性系统频率特性的测量	251
7.3.1	线性系统幅频特性的测量	251
7.3.2	扫频测量与扫频源	252
7.3.3	相频特性的测量	257
7.4	网络分析仪	260
7.4.1	网络分析的基本概念	260
7.4.2	网络特性的测量	265
7.4.3	反射参数的测量	268
7.4.4	传输参数的测量	272
7.4.5	S 参数的全面测量及误差修正	274
	思考与练习	276
第 8 章	数据域测试	277
8.1	概述	277
8.1.1	数据域测试的特点	277
8.1.2	数据域测试的重要性	278
8.1.3	数据域测试的基本理论及方法	278

8.2 数据域测试系统	283
8.2.1 系统组成	283
8.2.2 数字信号源	285
8.3 逻辑分析仪	286
8.3.1 逻辑分析仪的组成	287
8.3.2 逻辑分析仪的触发方式	287
8.3.3 逻辑分析仪的显示方式	290
8.3.4 逻辑分析仪的应用	293
8.3.5 逻辑分析仪的主要技术指标及发展趋势	298
8.4 数据域测试的应用	299
8.4.1 误码率测试	300
8.4.2 嵌入式系统测试	302
思考与练习	305
参考文献	306

第1章 绪 论

1.1 测量的基本概念

1.1.1 测量的定义

测量和我们每个人都有着密切的联系,人们或多或少对它有一定的了解。但对于“什么是测量”,并非每一个人都能给出一个明确的科学定义,也并非每一个人都能懂得它的真正含义。测量科学的前驱凯尔文说:“一个事物,你如果能够测量它,并且能用数字来表达它,你对它就有了深刻的了解;但如果你不知道如何测量它且不能用数字表达它,那么你的知识可能就是贫瘠的,是不令人满意的。”所以测量是人们认识事物、认识世界的实验过程。关于测量的科学定义,可以从狭义和广义两个方面进行阐述。

1. 狭义测量的定义

测量是为了确定被测量的量值而进行的实验过程。在此过程中,人们借助专门的设备,把被测量直接或间接地与同类已知单位进行比较,取得用数值和单位共同表示的测量结果。

为了准确理解测量的基本概念,下面先对测量定义中的量和量值术语作一说明。

量:人们把事物(现象或状态、物体或物质等)可定性区别和定量确定的属性,称之为(可测量的)量。“量”可指广义量或特定量。广义量,如长度、电阻等;特定量,如某根棒的长度,某根导线的电阻等。

量值:一般是由一个数值乘以测量单位所表示的特定量的大小,如 3.6 V , 30.2°C 等。它是一个要用数值和单位共同表示的量,即量值=数值 $\times$ 单位。

被测量:指作为测量对象(测量客体)的特定量。

测量结果:指通过测量所得到的赋予被测量的量值。

上面关于测量的定义采用了传统的、经典的表述方法,较全面地阐明了测量的内涵。它表明:

- ① 测量是通过实验过程去认识对象,说明了测量的实践性。
- ② 测量是通过比较来确定被测量的数值,测量就是比较,比较可采用直接或间接的方法进行,比较通常需要用专门的设备(测量仪器)才能实现。
- ③ 测量需要有同类已知单位作标准,某种类型的被测量必须有明确的定义,且其量值的标准在已建立的前提下,对该类量的测量才可能实施。
- ④ 测量的目的是对被测对象有一个定量的认识,测量结果包括数值(大小及符号)和单位(标准量的单位名称)。

直接比较测量和间接比较测量的狭义测量原理,可以用天平称重和弹簧秤称重的典型例子来说明。

天平称重:将被测物体的质量与同类标准(即砝码)的质量,通过天平的直接比较完成,测量结果是从所加砝码值获得的。

弹簧秤称重:被测重物与标准砝码的比较测量是间接进行的,测量结果是从度盘上获得的。弹簧秤在出厂前已经用标准砝码进行了标定和校准,弹簧秤度盘上的刻度是事先与标准量进行比较的结果。

2. 广义测量的定义

测量是为了获取被测对象的信息而进行的实践过程。在这个过程中,人们借助专门的设备去感知和识别有关的信息,取得关于被测对象的属性和量值的信息,并且以便于人们利用的形式表示出来。

所谓某事物的信息,即该事物(系统)的运动状态及其变化方式。世间万事万物无不在运动,事物运动的状态也总会随着时间和空间的推移依照某种方式发生变化。这就是说,世界随时随地产生着巨量的信息。人们要认识世界,首先必须获取事物的信息。

广义测量原理可以从信息获取过程来说明,即从信息的感知和识别两个环节来说明。信息获取的首要环节是信息的感知。信息感知的原理是通过感知系统与产生信息的源事物之间的相互作用,把源事物信息转化为某种物理量形式表现的信号。所以,感知的实质是信息载体的转换,是获取信息的必要前提。但是,仅仅感知出信息还不够,还必须有能力识别所感受到的信息是有用的还是无用的(甚至是有害的)。如果是有用信息,还要用有效的方法把这种有用信息同其他(无用或有害)的信息分离开来,再判明它属于哪一类信息;如果是有害信息,则要找到有效的方法对它进行抑制或消除。有用信息识别的基本原理是与标准样板进行比较,判断出信息的属性和数量。为了对感知的信息进行定性区分和定量确定,建立信息类别相似性的表示和信息量值的度量是信息识别的主要任务。

广义地讲,测量不仅对被测的物理量进行定量的测量,而且还包括对更广泛的被测对象进行定性、定级的测量,例如故障诊断、无损探伤、遥感遥测、矿藏勘探、地震源测定、卫星定位等。而测量结果也不仅仅是由量值和单位来表征的一维信息,还可以用二维或多维的图形、图像来显示被测对象的属性特征、空间分布、拓扑结构等。

例如,天平称重是通过天平机构来感知重物,并通过与砝码的直接比较来获取被测重物质量的量值信息。换句话说,测量的主体借助天平完成感知和识别任务。弹簧秤称重是通过弹簧来感知重物,即把重量变成弹簧的形变,最后成为指针移动。测试主体从指针的位移感知出质量,而质量的识别是通过与标准量进行间接比较来完成的。

1.1.2 测量的意义

测量技术不管是在工业、农业、航空航天,还是在生物医学、科学研究及人类生活的各个领域都有着广泛的应用。

在人们的日常生活中,买东西要称重量,做衣服要量尺寸,安排工作需要计划时间,生病了要测体温等,以及家庭中常用的水表、电表、气表、空调、洗衣机、电冰箱、电饭锅等也需要测量电压、电流、电能、温度、湿度、流量、水位等物理量。可见,人们随时随地都离不开测量。

测量科学的前驱凯尔文说：“测量是知识的起点，也是你进入科学殿堂的开端”。物理学、化学、生物学、医学是建立在实验之上的科学。为了揭示科学的奥秘，人们用实验的方法去认识客观世界。用测量的手段获取实验数据，再对测量数据进行归纳和演绎就可得到科学的理论，使感性认识上升到理论阶段。科学家为了解释一个现象或验证一个理论，往往通过大量的实验和精确的测量以及对数和量关系的分析推断，才能得出科学的结论。例如，对宇宙微弱辐射信号的测量，可以发现新的天体；对能量转移的测量，可以发现新的基本粒子。

现代化的工业生产也处处离不开测量。现代制造业是建立在标准化与互换性的基础上的，互换性的先决条件是零部件必须具有一定的精度，而精度取决于制造水平，并由测量水平来确定。测量是精细加工和生产过程自动化的基础，没有测量也就没有现代化的制造业。在产品设计和生产过程中，为了检查、监督、控制生产过程和产品质量，必须对生产过程中的各道工序和产品的各种参数进行测量，以便进行在线实时监控。生产水平越是高度发达，测量的规模就越大，需要的测量技术与测量仪器也越先进。

在航空航天领域，作为现代尖端科学技术之一的火箭发动机，从开始设计到样机试飞，中间要进行成百上千次试验。火箭发动机的地面试车台就是一套完整的综合测量系统，为了研究发动机的强度，需要有数百个应变片和测振传感器；为了研究燃料工作的情况，需要测量发动机工作时有关部位的压力、流量、温度及转速等。新型火箭的设计，需要测试火箭高速飞行时受气流冲击作用下的性能。通过风洞试验测定箭身、箭翼的受力和振动分布情况，以验证和改进设计方案，仅此一项就要用到上千块应变片和相应的测量电路及仪器。而航天飞行中需要监测的参数有飞行参数、导航参数、运载火箭及发动机参数、座舱环境参数、航天员生理参数、飞行器结构参数等七大类五千多个参数。

在生物医学领域，通过对人体基因的测定和人体血液的定量分析等，可以判断出病变的根源；对蛋白质的反应测量，可以了解胚胎生长情况；对细胞结构的测量，可以判断肌体是否发生病变。随着心电图机、CT 多层螺旋扫描仪、磁共振成像设备、动态心电血压测试系统、多普勒脑血管测量仪、超声诊断设备等现代医用诊断治疗仪的出现，可以快速、准确地测量出人体各部位的生理状态、温度分布等信息，使人类诊断疾病的效率、准确性和可靠性大大提高，增强了人类战胜疾病的能力。

俄国著名科学家门捷列夫说：“没有测量就没有科学。”一方面，测量推动了科学的进步和发展，离开测量就不会有真正的科学。有人说，没有望远镜就没有天文学，没有显微镜就没有细胞学，没有指南针就没有航海事业。新的先进的测量手段，提高了人们对客观事物认知的程度，催生了新的科学理论。测量水平越高，提供的信息就会越丰富、越准确，科学技术取得的突破性就越大。另一方面，新的科学理论又往往成为新的测量方法和手段，推进测量技术的发展并诞生新型的测量仪器。例如，光电效应的发现促进了遥感遥测技术的发展，压电效应的发现为一些非电参量的测试提供了新的途径。所以说，科学的进步同测量技术的发展是相辅相成、密切相关的。正如科学家特尔曼(F. E. Telmen)所说：“科学和技术的发展是与测量技术并行进步、相互匹配的。”

1.1.3 测量技术

测量中所采用的原理、方法和技术措施总称为测量技术。

测量原理是指测量的科学基础和技术原理。

测量方法是指在实施测量中,所采用的按类别概括说明的一组合乎逻辑的操作顺序。例如:直接测量法,间接测量法,时域、频域和数域测量法等。

被测对象不同,所采用的技术措施不同。如被测量中有电量和非电量的区别,电量中又有参数类型、幅值大小、频率范围、有源和无源、模拟与数字等不同,这些差别在测量中需要采用不同的技术措施。即使同一测量对象,一般也有多种测量技术可供选择。不同的技术措施,其测量效果不同。

在了解测量的基本含义之后,下面就现实中常用的与测量同义的有关派生术语进行说明。首先说明一下定性、定量和定级三类测量的含义。

1. 定量、定性和定级的测量

前面指出,狭义的测量是量值的测量,它应按一定准确度的要求来确定被测量的实际值。它是一种定量的测量,追求的是精确,通常要对测量结果进行误差分析,并给出不确定度的数值。

广义的测量除量值测量外,还应包括属性的测量,它是被测对象属性的判断,如测量数字电路某点逻辑电平的高低,有无故障,功能是否正常。这类测量对量值的准确度要求不高,是一种粗略的测量,一般不要求进行误差分析,即不要求给出误差的数值。因此,这类测量是一种定性测量。

此外,在实际中还有大量的等级测量,它是以技术标准、规范或检定规程为依据,分辨出被测量的量值所归属的范围带,以此来判别被测量是否合格(符合某种级别)的一种定级的测量。例如,批量生产中对电阻器、电容器数值精度等级的测量,环境保护中对空气、水质等的质量等级的测量等。

2. 测试

测试是测量和试验的总称,它包含了测量和试验的全部内容,既包括定量的测量,也包括定性的试验。

试验是为了察看某事的结果或某物的性能所从事的某种实践活动,它着眼于定性测量。例如,对于数字电路系统,测量某点是处于高电平状态还是低电平状态,只要它的电平在 $0\sim 0.8\text{ V}$ 之间,就认为是处于低电平,而不必关心它的具体数值。这样的过程,虽属于电压测量,但又和一般以定量为目的的电压测量不同。在现实中,某些被测对象只能作定性区别而无法作精确的定量确定。例如人的综合素质评定,其测评过程只能是带有一定模糊度的定性区别而不是带有精确度指标的定量确定。

包含定量测量和定性试验的“测试”一词带有广义测量的含义。一般来说,“测试”和“测量”可以看做同义词,不必严格区别。

3. 检测

检测包括检验和测量两方面的含义。

检验属于分级测量,即检查被测参量的量值是否处在某一范围带内,以此来判断被测参量是否合格或者现象是否存在。例如,机械加工中检验某零部件参数大小是否在公差带之内,并不要求准确知道其参数的具体数值。检验也含有定性检查的含义,例如检验电路板上元器件有无虚焊和漏焊,只要求发现有无虚焊和漏焊点存在等。

在自动化领域,不仅要对产品进行检验和测量,而且也要对某个生产过程或运动对象进行检查、监测和控制,并且需要时刻对各种参量的大小和变化情况进行有效的检测,使之控制在最佳工作状态。检测又是控制的基础,控制离不开检测,例如,工业生产中温度、压力、流量、物位等的检测与控制,以及航空航天等应用领域中各种技术参数的检测和控制。可见,检测和控制是密不可分的。通常,检测的对象是以各种各样的非电量为主的,对这种对象进行检测时,往往要用传感器,所以检测常与使用传感器的非电量测量、自动控制等技术联系在一起。由此可见,检测是含有检查、检验、监督等广泛意义的电量与非电量的测量。

此外,根据测量目的和对象、测量方法和手段,以及测量过程和效用等的不同,还出现了其它各种派生术语,例如感测(传感与测量,常用于非电检测)、电测(电量的测量)、监测(监督与测量的总称,如环境监测)、观测(观察和预测,如天文、气象的观测)、探测(探索和测量,如太空、宇宙探测)、勘测(勘查和测量,如地形、地质勘测)、遥测(远距离的测量,如卫星、火箭遥测、遥控)、预测(预报与测量,如气候、地震、水情的预测),此外还有测控(测量与控制)、测绘(测量与绘图)、测验(测量与验证)、测定(测量与认定)等术语。在关于测量的各种术语中,测试和检测是与测量的广义含义相类同的、使用最广泛的两个术语。

1.2 计量的基本概念

1.2.1 计量

1. 计量的定义

随着生产的发展,商品交换和国际国内交往越来越频繁,客观上要求对同一个量在不同的地方用不同的测量手段测量时,所得的结果应该是一致的。为了保证这种一致性,在不同的地方不同仪器所用的单位已知量必须严格一致。这就需要有统一的单位,以及体现这些单位的基准、标准和用这些基准和标准校准的测量器具,并用法律形式固定下来,从而形成了与测量有联系而又区别于测量的新概念,这就是计量。

计量是利用技术和法制手段实施的一种特殊形式的测量,即把被测量与国家计量部门作为基准或标准的同类单位量进行比较,以确定合格与否,并给出具有法律效力的鉴定证书。可以说计量是为了保证量值统一和准确的一种测量。它的三个主要特征是统一性、准确性和法制性。它包含了为达到量值统一和准确所进行的一切活动,如单位的统一、基准和标准的建立、量值的传递、计量监督管理、测量方法及其手段的研究等。因此,也可以说计量是研究测量、实现单位统一和量值准确可靠的科学。计量工作是国民经济中一项极为重要的技术基础工作,它在工农业生产、科学技术、国防建设以及人民生活等各个方面起着技术保障和技术监督的作用。

2. 计量和测量的关系

测量是通过测量仪器,采用一定的测量方法将被测未知量和同类已知的标准单位量进行比较的过程,这时认为被测量的真实数值是存在的,测量误差是由测量仪器和测量方法

等引起的。计量是通过计量器具用法定标准的已知量与同类的未知量(如受检仪器)进行比较的过程,这时认为标准量和体现标准量的计量器具是准确的、法定的,而测量误差是由受检仪器引起的。在测量过程中,已知量是通过所使用的测量仪器直接或间接地表现出来的,为了保证测量结果的准确性,必须定期对测量仪器进行检定和校准,这个过程就是计量。计量是保证量值统一和准确可靠的一种测量,是测量的特殊形式。所以,计量和测量是既有密切联系又有一定区别的两个概念。

计量是测量发展的客观需要,是测量数据准确可靠的保证。计量也是测量的基础和依据,没有计量,也谈不上测量。测量又是计量通向实际应用的重要途径,可以说没有测量,计量也将失去意义。计量和测量相互配合,才能在国民经济中发挥重要作用。

1.2.2 单位和单位制

任何测量都要有一个统一体现计量单位的量作为标准,这样的量称做计量标准。计量单位具有明确的定义和名称,根据定义,令系数为1的量为单位。例如长度单位1米(m),时间单位1秒(s)等。单位既是表征测量结果的重要组成部分,又是对两个同类量值进行比较的基础。

计量单位是依据严格的科学理论进行定义的,并且具有统一性、权威性和法制性。在1948年第9届国际计量大会上通过一项决议,建议国际上采用一种以实用单位为基础的统一单位制。1960年第11届国际计量大会上正式通过了这种单位制,命名为国际单位制,并规定以SI作为国际单位制的简称。我国也确立了以国际单位制为基础的法定计量单位,国家以法律形式强制使用。1984年2月国务院颁布了《中华人民共和国法定计量单位》,决定我国法定计量单位以国际单位制为基础,并包括10个我国选定的非国际单位制单位,有时间(分、时、天)、平面角(秒、分、度)、长度(海里)、质量(吨、原子质量单位)、体积(升)、面积(公顷)、转速(转每分)、速度(节)、能(电子伏)、级差(分贝)和线密度(特克斯)。

在国际单位制中,单位包括了基本单位、导出单位和辅助单位三类。基本单位是那些可以彼此独立地加以规定的物理量单位,共有7个,分别是长度单位米(m),时间单位秒(s),质量单位千克(kg),电流单位安培(A),热力学温度单位开尔文(K),发光强度单位坎德拉(cd)和物质质量单位摩尔(mol)。由基本单位按定义、定律或一定的函数关系推导出来的单位称为导出单位,如力的单位牛顿(N)定义为:使质量为1千克的物体产生加速度为1米每2次方秒的力,即 $N = kg \cdot m/s^2$ 。在电学量中,除电流外,其它物理量的单位都是导出单位,例如:频率的单位为赫兹(Hz),定义为周期为1秒的周期现象的频率,即 $Hz = 1/s$;电压的单位伏特(V),定义为在载有1安培恒定电流导线的两点间消耗1瓦的功率,即 $V = W/A$ 等。国际上把既可以作为基本单位又可以作为导出单位的单位叫做辅助单位,国际单位制中包括两个辅助单位,分别是平面角的单位弧度(rad)和立体角的单位球面角(sr)。

由基本单位、导出单位和辅助单位构成的完整体系,称为单位制。单位制随基本单位选择的不同而不同,例如:若确定厘米、克、秒为基本单位后,速度的单位为厘米每秒(cm/s),密度的单位为克每立方厘米(g/cm^3)等构成一个体系,称为厘米克秒制。国际单位制就是由7个基本单位、2个辅助单位及19个具有专门名称的导出单位构成的一种单位制。

1.2.3 计量标准

计量标准也称做计量基准,其建立是要根据严格的科学理论来定义的。计量标准(基准)是指用当代最先进的科学技术、最高的加工工艺水平,并以最高的准确度和稳定性建立起来的,专门用以规定、保持和复现物理量计量单位的特殊量具或仪器装置等,它是用作参考的实物量具、测量仪器、参考物质或测量系统。根据标准的地位、性质和用途,标准通常分为主标准、副标准和工作标准,也分别称做一级、二级和三级标准。

1. 主标准(一级标准)

主标准是用来复现和保存计量单位,具有现代科学技术所能达到的最高准确度的计量器具,经国家鉴定批准,作为统一全国计量单位量值的最高依据。因此,主标准也叫国家标准。在确立一个国家计量标准时,必须经过严格的法定手续,所以它具有最高的计量权威性,其量值的确定不必参照相同量的其它标准,是被指定的或普遍承认的标准。一个国家,体现某一测量单位量值的国家标准只有一个,因此,主标准也称做原始标准。

2. 副标准(二级标准)

通过与相同量的主标准比对,确定其量值并经国家批准的计量器具或标准称为副标准(二级标准),其地位仅次于国家标准。副标准的量值准确度由主标准确定,平时用以代替主标准向下(如省一级计量部门)传递基本测量单位的量值标准,或代替主标准参加国际比对,以确定各国主标准的准确度。这样可保证主标准不致因经常使用和搬动而降低其准确度。

3. 工作标准(三级标准)

通过与主标准或副标准比对或校准来确定其量值并经国家鉴定批准用以检定下属计量标准的计量器具或标准称为工作标准(三级标准)。它在全国作为复现计量单位的地位仅在主标准和副标准之下,用于日常校准(检定)或核查实物量具、测量仪器或标准物质。工作标准用来直接向下属标准量具进行量值传递,用以检定下属计量标准量具的准确度。设立工作标准目的是为了不使主标准和副标准由于频繁使用而丧失其准确度,因为主、副标准器具的工艺、结构一般都十分精细,价格昂贵,操作复杂,对环境条件及其稳定性也有严格要求,不宜经常使用或搬动。在实际测量中,根据工作标准还复现出各种不同等级的便于经常使用的工作计量器具或仪器,通过这些工作计量器具经常性地对日常工作仪器进行检定、标定。

需要说明的是:首先,标准(基准)本身并不一定刚好等于一个计量单位,例如铯原子频率标准所复现的时间值不是1 s而是 $(9\,192\,631\,770)^{-1}$ s,氦长度基准复现的长度单位不是1 m而是 $(1\,650\,763.73)^{-1}$ m,标准电池复现的电压值是1.0186 V而不是1 V等。其次,一个时期的测量标准只能反映当时的人类认识水平和科学水平,随着时代的前进,科学的进步,人们认识的深入以及测量水平的提高,各种测量标准会不断发生变化,不断向前发展。例如,长度标准由原器标准发展到原子标准,长度测量精确度有了长足的进步。用米尺测量长度只能精确到毫米,即1 mm是最小的长度单位。用游标卡尺测量长度时,精确度可提高到0.1 mm。在游标卡尺上配上光栅,用记录光脉冲数的办法可精确到0.01 mm。用纳米激光尺,精确度可达到纳米(10^{-9} m)。如果用精密光学仪器测量长度,其精确度可达