



普通高等教育船舶类规划教材

自动检测技术

颜本慈 主编

国防工业出版社

自动检测技术

颜本慈 主编

国防工业出版社

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

自动检测技术/颜本慈主编. —北京:国防工业出版社,
1994
ISBN 7-118-01280-7

I. 自… II. 颜… III. 自动检测 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 01090 号

自动检测技术

颜本慈 主编

*

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

北京市王史山胶印厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 15 1/4 348 千字

1994 年 10 月第 1 版 1994 年 10 月北京第 1 次印刷 印数:1—7000 册

ISBN 7-118-01280-7/TP·167

定价:8.70 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

出版说明

根据国务院国发(1978)23号文件批转试行的《关于高等学校教材编审出版若干问题的暂行规定》，中国船舶工业总公司负责全国高等学校船舶类专业教材编审、出版的组织工作。

为了做好这一工作，中国船舶工业总公司相应地成立了“船舶工程”、“船舶动力”两个教材委员会和“船电自动化”、“惯性导航及仪器”、“水声电子工程”、“液压”、“水中兵器”五个教材小组，聘请了有关院校的教授、专家60余人参加工作。船舶类专业教材委员会(小组)是有关船舶类专业教材建设的研究、指导、规划和评审方面的专家组织，其任务是做好高等学校船舶类专业教材的编审工作，为提高教材质量而努力。

在总结前三轮教材编审、出版工作的基础上，根据国家教委对“八·五”规划教材要“抓好重点教材，全面提高质量，适当发展品种，力争系统配套，完善管理体制，加强组织领导”的要求，船舶总公司于1991年又制定了《1991—1995年全国高等学校船舶类专业规划教材选题》。列入规划的选题共107种。

这批教材由各有关院校推荐，同行专家评阅，教材委员会(小组)评议，完稿后又经主审人审阅，教材委员会(小组)复审，然后分别由国防工业出版社、人民交通出版社以及有关高等学校的出版社出版。

为了不断地提高教材质量，希望使用教材的单位和广大师生提出宝贵意见。

中国船舶工业总公司教材编审室

1992年5月

前言

本教材是根据全国高等院校船舶类教材编审组织机构——中国船舶工业总公司教材编审室所辖自动化教材组 1991 年工作会议上制订《自动检测技术》教材教学基本内容和参考学时(60 学时)的要求,在编者以往授课所写讲义的基础上进行修改、充实而成,经 1992 年工作会议评选通过,推荐出版。

本书在绪论及第一、二章中对检测的基本概念、误差理论与数据处理作了扼要的叙述。随后各章阐明了一些典型物理参量(温度、压力、流量、物位、物性、机械量)的检测方法。第十章智能仪表与微机检测系统,通过典型实例概述了检测技术的发展趋向。全书内容注意理论联系实际。各章之后均附有习题。

本书的特点首先是在选取内容上注意充分考虑船舶工业中应用的广泛性,同时顾及一般工业自动化、自动控制应用以及电气技术等专业的教学基本要求。再则本着工业自动化等专业设置检测技术课程是以学习参量检测应用为最终目的,故本书对传感器仅就其一般性共同问题,专列一章(第三章)予以分析说明外,全书则以常用参量检测为主线,分章排列,依次阐明,而将典型传感器的原理与应用,有选择地穿插安排其中。同样出于应用需要的考虑,对于检测仪表除了分析其工作原理外,也适当介绍其结构与型号;其中关于最常用参量(温度、压力、流量、物位等)的检测仪表,还在有关各章的末尾,列表归纳现有各型仪表工作特性与使用范围,并对仪表选用原则提供示例,指出注意要点。此外,在本书中也写入了近几年来我们科研工作中有关检测方面的实际成果及采用的技术。书中采用的典型电路均已经过装调试验。

本书参考了近几年书刊上发表的有关检测技术的资料和兄弟院校的有关教材。为此,谨向所有在本书中被引用资料的作者深致谢意。

本书适用于高等院校工业电气自动化、自动控制应用以及电气技术等专业本科生及大专生教学。对于已具备概率论与数理统计基本知识的本科生来说,可以略去第二章。其余各章节视各专业教学需要与时数,尚可删减选用并不影响系统学习。本书也可供有关专业技术人员参考。

本书由颜本慈主编。李道根参加了第一、二、三、八章中部分内容的编写工作;陈红卫参加第十章部分内容的编写。

本书由哈尔滨船舶工程学院李文秀教授担任主审,审稿中所提出的许多宝贵意见,对于提高本书质量起了重要作用。

中船总公司船电自动化教材组的同志们与组长徐惠良教授促成了本书的出版。

本书稿在修改整理准备出版过程中,正值我自动化研究所工作任务大忙之际,整个工作得到了领导与同事们的充分支持,得到了打字室工作人员的热情帮助。

在此谨对上述诸同志和有关领导一并致以衷心感谢。限于编者水平及时间紧迫,书中不妥以至差错之处难免,诚挚地欢迎批评指正。

颜本慈

于华东船舶工业学院

一九九三年六月

内 容 简 介

本书在绪论及第一、二章中对检测的基本概念、误差理论与数据处理作了扼要的叙述。第三章介绍了传感器的一般问题。第四至第九章分别阐明了一些典型物理参量(温度、压力、流量、物位、物性、机械量)的检测方法。第十章介绍了智能仪表与微机检测系统,通过典型实例概述了检测技术的发展趋向。全书内容注意理论联系实际,重视应用问题,各章之后均附有习题。

本书适用于高等院校工业电气自动化、自动控制应用以及电气技术等专业本科生及大专生教学,也可供有关专业技术人员参考。

目 录

检测技术绪论	1
第一章 测量的基本知识	
第 1.1 节 测量的概念	2
第 1.2 节 测量方法	2
第 1.3 节 检测仪表的组成	5
第 1.4 节 检测仪表的性能指标	6
思考与练习	12
第二章 误差理论与数据处理	
第 2.1 节 测量误差的概念和测量的精确度	13
第 2.2 节 随机误差概率密度的正态分布	16
第 2.3 节 随机变量的数字特征	20
第 2.4 节 置信区间与置信概率	24
第 2.5 节 测量结果的表示方法	26
第 2.6 节 t 分布应用与测量结果的表示	27
第 2.7 节 可疑数据的舍弃	30
第 2.8 节 系统误差的消除	34
第 2.9 节 系统误差的检验与估计	35
第 2.10 节 间接测量中的误差传递	37
第 2.11 节 实验曲线的拟合方法	39
思考与练习	42
第三章 传感器概述	
第 3.1 节 传感器的一般概念	44
第 3.2 节 传感器的组成	45
第 3.3 节 传感器的种类	46
第 3.4 节 传感器一般特性	47
第 3.5 节 传感器的发展趋向	53
思考与练习	54
第四章 温度的检测	
第 4.1 节 温度及温标	55
第 4.2 节 测温方法与测温仪表分类	58
第 4.3 节 膨胀式温度计和压力式温度计	59
第 4.4 节 热电偶温度计	61
第 4.5 节 热电阻温度计	78
第 4.6 节 温度显示仪表	86
第 4.7 节 温度变送器	95

第 4.8 节 温度检测仪表的选用	99
思考与练习	102
附录 I 标准化热电偶分度表	103
附录 II 标准化热电阻分度表	106
第五章 压力的检测	
第 5.1 节 基本概念	108
第 5.2 节 液柱式压力计	112
第 5.3 节 活塞式压力计	114
第 5.4 节 弹性式压力计	116
第 5.5 节 电测式压力计	122
第 5.6 节 压力检测表的选用	135
思考与练习	139
第六章 流量的检测	
第 6.1 节 基本概念	140
第 6.2 节 节流式流量计	144
第 6.3 节 转子流量计	147
第 6.4 节 靶式流量计	150
第 6.5 节 容积式流量计	152
第 6.6 节 涡轮流量计	160
第 6.7 节 电磁流量计	163
第 6.8 节 旋涡流量计	170
第 6.9 节 超声波流量计	172
第 6.10 节 流量检测仪表的选用	175
思考与练习	179
第七章 物位的检测	
第 7.1 节 基本概念	180
第 7.2 节 浮力式液位计	181
第 7.3 节 静压式液位计	184
第 7.4 节 电容式液位计	185
第 7.5 节 超声波物位计	189
第 7.6 节 物位检测仪表的选用	193
思考与练习	196
第八章 物性参数的检测	
第 8.1 节 气体烟雾的检测	197
第 8.2 节 湿度的检测	203
第 8.3 节 酸碱度(pH 值)的检测	207
思考与练习	211
第九章 机械量的检测	
第 9.1 节 转速测量	212
第 9.2 节 厚度测量	216
第 9.3 节 力及荷重测量	217
思考与练习	222

第十章 智能仪表与微机检测系统

第 10.1 节 检测工作的智能化	224
第 10.2 节 智能油耗仪	226
第 10.3 节 单片机温度检测系统	229
思考与练习	233
参考书目	233

检测技术绪论

不论是在工农业生产、科学研究、国防建设领域中,还是在日常生活中,人们为了认识事物,必然对其予以关注,加以研究,直至进行观察测量或试验,进而发现事物演变发展的规律,掌握事物。具体地说,为了及时了解一个生产过程的情况或实验进展的情况,就必须经常测试能够表征它们特性、状态的各物理参数量:如电压、电流、温度、压力、流量、液位、成分等。对这些参数的大小、变化速度、变化方向等进行监督和控制,就能使生产过程或实验的工况处于最佳状态,做到安全、经济,最终达到预期的结果。

为了进行工况物理参数量的测量,人们就要考虑采用一定的检测方法,选择合适的测量仪表去进行测量。通常把这种工艺流程中含有检查、测量等比较广义的测量叫做检测。检测技术则是指人们为了定性了解或定量掌握自然现象或状态所从事的一系列技术措施。

检查设备的外壳是否带电、检查储气罐是否漏气都属于定性了解事物状态,而测量烘箱内的温度,测量储液缸内液位的高度等则都属于定量掌握事物状态。当然,后者对检测技术提出了更高的要求。

生产自动化是工业现代化的一个重要标志,而检测技术是自动化技术的重要组成部分。现代化检测手段所具有的可能性(灵敏度、精确度以及测量范围)在很大程度上决定了科学技术发展的水平。正是随着生产发展的需要和科学技术的发展,特别是微电子技术的长足进步和计算机技术的兴起,检测技术已发展成为一门内容广泛,并建立在多种学科发展基础上的自动化技术先行学科。

检测技术这门学科本身涉及的内容比较广泛。首先要探讨应用什么物理原理才能采集被测物理量并转换成便于传输和处理的物理量。通常被测物理量绝大部分是非电量,如热工参数中的温度、压力、流量、液位等;机械量参数中的尺寸、位移、速度、加速度等;物性参数中的酸碱度、湿度、成分含量等。这些参数都需转换成便于传输、处理的电压、电流或气体压力等信号。其次要研究信号的放大和变换,以便信号的远距离传输。根据使用的目的和要求的不同,还要研究终端信号的接收方式和显示方法。最后还要研究数据的处理方式以及相应的技术措施。

检测技术这门课程的主要内容是介绍工业生产过程中主要参数的检测原理、方法和仪表,以及为获取定量信息而进行精确测量的误差分析和数据处理方法。本课程的主要基础课有物理学、电工电子学、控制理论、计算机技术和误差理论等。学习和掌握了检测技术,就能正确地选择测量原理和方法,正确地选择所需要的技术器件和手段(如敏感元件、传感器、变换器、显示仪表、数据处理等)组成恰当的检测系统,完成检测任务。

第一章 测量的基本知识

第 1.1 节 测量的概念

测量就是借助专用的技术器具、通过实验、计算来获取表征被测对象特征的某些参数的定量信息。例如,用米尺测量棒料的长度,就是将被测棒料的长度量(被测量)与米尺的标准长度单位量(标准量)进行比较,确定其对应(平衡)点,读出其比值的过程。这个测量过程可以用数学形式描述如下:

$$L = qu \quad (1.1.1)$$

式中 L ——被测量;

u ——所选定的被测量计量的单位;

q ——在被选单位下的被测量的比值。

上式称为测量的基本方程式。由式中可见,比值 q 的大小随所选定的单位 u 而定。所选单位愈小,对给定的被测量而言,其比值 q 愈大,其精确度有可能愈高。在比值 q 的后面,必须注明所选用的单位 u ,即测量结果应是有量纲的。

由于在实际求数值比值时,只能用有限位数的数字来表示,而被测量的真实数值(真值)是难以用有限位数的数字来表示;此外,比值 q 是否可靠还取决于比较时所采用的测量方法和测量器具,也就是说,在测量过程中,由于各种原因,不可避免地存在着误差,这就要求对所求比值的可靠性作出判断。因此,在测量结果中还应包括说明测量误差大小的一项内容,以表明测量的精确度。

综上所述,从测量基本方程式可知:测量单位、测量方法(将被测量与标准量进行比较的实验方法)以及为了求取比值而使用的测量仪器量具是测量过程中的三个重要因素,它们最终影响测量结果的精度。

在测量过程中,将被测量与同种性质的标准量进行比较,以确定被测量对标准量的倍数。通常被测量能直接取来与标准量进行比较的情况并不太多,大多数的被测量和标准量都要变换成双方便于比较的某个中间量。例如,用酒精温度计测量室温时,室温(被测量)被变换成玻璃管内酒精柱面的热膨胀位移量,而温度的标准量被传递到玻璃管上的标尺分格。这时被测量和标准量都变换成同性质的中间量——线位移,然后才能进行比较。由此可见,通过变换实现了测量,或者使测量更为方便。在以后的叙述中我们会认识到,这种测量变换是整个测量技术的核心。

第 1.2 节 测量方法

从对测量过程的分析中可以看到,一个测量过程要经过比较、平衡、读数三步来完成。

针对不同的测量任务,要实现这三步并不都是容易的,必须采取不同的具体措施才能实现。进行测量所采用的具体措施就是测量方法。选择适合的测量方法对测量工作是很重要的,它关系到测量任务能否完成。

在实际工作中,为了满足各种测量对象的不同要求,可采用多种测量方法:

一、等精度测量和不等精度测量

根据测量条件的不同,测量方法可以分为等精度测量法和不等精度测量法。

1. 等精度测量法

在测量过程中,使影响测量误差的各因素(环境条件、仪器仪表、测量人员、测量方法等)保持不变,对同一被测量值进行次数相同的重复测量,这种测量方法称为等精度测量法。等精度测量所获得的测量结果,其可靠程度是相同的。

2. 不等精度测量法

在测量过程中,测量环境条件有部分不相同或全部不相同,如测量仪器精度、重复测量次数、测量环境、测量人员熟练程度等有了变化,所得测量结果的可靠程度显然不同,这种方法称为不等精度测量法。

一般来说,在科学研究、重要的精密测量或检定工作中,为了获得更可靠和精确的测量结果才采用不等精度测量法,通常工程技术中,常采用的是等精度测量法。

二、直接测量和间接测量

1. 直接测量法

用事先分度(标定)好的测量仪表、量具对被测量进行测量,可以直接获得测量结果,这种方法称为直接测量法。它的优点是测量过程简单、迅速;缺点是测量精度不容易达到很高。它是工程技术中应用最广的一种方法。

2. 间接测量法

首先用测量仪表、量具测出与被测量有确定函数关系的其他几个物理量,然后将测得的数值代入函数关系式,计算出所求的被测物理量,这种方法称为间接测量法。例如,欲求取导线电阻率 ρ ,根据关系式 $\rho = \pi d^2 R / 4l$,先直接测出 d 、 l 、 R ,然后计算出 ρ 的数值。间接测量手续多、费时间,但有时可以得到较高的测量精度,或者可解决没有相应的测量仪表、量具的困难。间接测量多用于科学研究中的实验室测量,当然,工程测量中亦有应用的。例如,测量电功率 P 便可根据关系式 $P = UI$,采用间接测量法来进行。

三、偏差测量、零位测量、微差测量

根据测量仪表在测量过程中进行平衡、比较的方式不同,测量可以区分为偏差测量、零位测量和微差测量。这三种方法都属于直接测量法。

1. 偏差测量法

用仪表指针相对于刻度尺的位移(偏差)的大小来直接表示被测量的数值,称为偏差测量法。应用偏差测量时,指针式仪表内没有标准量具,而只有事先用标准量具标定过的刻度尺。测量时,输入的被测量是与经过变换后的标准量相比较。在测量仪表中,被测量的作用为仪表中某个元件的反作用所平衡。这个反作用的大小常与指针位移量或偏转角成线性关系。被测量增大,则所需平衡的反作用也相应增大,指针的位移也按比例增大。弹簧秤称重就是一个例子。这种方法的测量过程比较简单、迅速。但是,由于刻度尺的精确度不可能做得很高,所以测量精度较低。这种方法广泛用于工程测量中。

2. 零位测量法

用仪表的指零机构来衡量被测量与标准量是否处于平衡状态。当仪表指示处于零位时,被测量的数值就等于该已知的标准量,这种方法称为零位测量法。天平称重是零位测量法的典型例子。电位差计、平衡电桥等仪表也是依据此法而工作的。图 1.2.1 是用电位差计测量未知电势的原理示意图。图中 E 为工作电池, R_s 为调节电阻,用于测量前校准工作电流 I_s ,使其达到标准值,在电位器上产生标准电压降 E_s 。测量未知电势 U_x 时,先调节电位器 R 上的动触点,使检流计 G 的示数返回零点,此时 A 、 B 两点间产生标准电压降 U_s , A 和 D 点电位相等,则有 $U_x = U_s$,从图中可知 $U_s = E_s \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$,可以量出 U_x 的数值。标准量 U_s 的大小随动触点的位置而改变,以适应测量不同被测量的需要。零位法仪表中必须有一个可变化的标准量。采用零位法测量结果的误差主要取决于标准量的误差。因此,测量的精度一般比偏差法高。仪表的检零机构愈灵敏,判断标准量 U_s 与被测量 U_x 之间是否平衡相等愈准确,愈有利于提高测量精度。零位测量法是精密仪表的发展方向,但是仪表的结构较复杂、价格较贵。

由于有调节标准量的操作过程,这种仪表就难以测量变化较快的被测量。但零位法在计量工作和工程测量中应用极广。

3. 微差测量法

这是将偏差法和零位法组合起来的一种测量方法。在测量过程中,被测量 U_x 的大部分事先与已知标准量 U_s 相抵消,剩余部分即两者的差值 $d = U_x - U_s$,再用偏差法来测量。采用微差法测量时,总是先使差值 d 很小。这样,即使对差值测量的精确度不高,但最终测量结果仍可达到较高的

精确度。差值 d 愈小,它的测量误差对总的误差的影响就愈小,所以称为微差测量。采用微差法的仪表不需可调节的标准量具,也无需平衡操作。这样,标准量的精度容易做得很高,测量过程也比较简单,所以它比较适用于工程测量。

微差法典型例子就是用不平衡电桥测量电阻。如在上述图 1.2.1 中用检流计 G 换成毫伏表,用它来测量微差值 $d = U_x - U_s$,这就由零位法换成微差法了。下面我们来分析它的测量误差。

设微差 d 是被测量 U_x 的百分之二左右,毫伏表测量 d 的相对误差为百分之一,标准量的相对误差为万分之一,由此可得:

用毫伏表测量微差 d 时,相对被测量 U_x 的误差为

$$\left| \frac{\Delta U_x}{U_x} \right| = \left| \frac{\Delta d}{d} \right| \times \frac{d}{U_x} = 0.01 \times 0.02 = 0.0002 = 0.02\%$$

相对被测量 U_x 的整个测量结果的误差为

$$\frac{\Delta U_x}{U_x} = \frac{\Delta d}{U_x} + \frac{\Delta U_s}{U_s} = 0.02\% + 0.01\% = 0.03\%$$

从数字例子可以看出,微差法虽然不能全部消除指示仪表的误差,但却能大大地减小指示仪表误差对整个测量结果的影响。采用相对误差为 1% 的毫伏表,可使整个测量结果

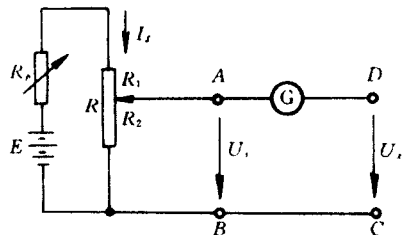


图 1.2.1 零位法示意图

达到 0.03% 的精度。微差 d 愈小, 测量结果的精度愈高。

四、静态测量和动态测量

按照被测量在测量过程中的状态不同, 可将测量分为静态测量和动态测量两种。当被测量可以认为不随时间变化时, 采用静态测量, 因此在一段时间内可以重复进行测量, 以表征被测对象的性质和状态。当被测量本身随时间快速变化时, 必须采用动态测量。动态测量的输出也是变化的信号, 它表征被测对象的状态变化过程。在动态测量中, 所采用的仪器仪表工作响应速度应能满足被测量快速变化的需要。

第 1.3 节 检测仪表的组成

检测仪表可以由许多单独的部件组成, 也可以是一个不可分的整体。前者构成的是检测系统, 属于复杂仪表, 多用于实验室; 后者是简单仪表, 应用极为广泛。不论是复杂仪表还是简单仪表, 原则上它们都是由几个环节所组成。对于简单仪表来说, 只不过各个环节的界线不大明显而已。这几个环节是: 传感器、变换器、显示器以及连接各环节的传输通道。检测仪表的组成框图, 如图 1.3.1 所示。

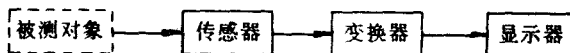


图 1.3.1 检测仪表组成框图

一、传感器

传感器是检测仪表与被测对象直接发生联系的部分。它的作用是感受被测量的变化, 直接从对象中提取被测量的信息, 并转换成一相应的输出信号。例如, 体温计端部的温泡可以认为是传感器, 它直接感受人体温度的变化, 并转换成水银柱高度的变化而输出信号。传感器的好坏, 直接影响检测仪表的质量。所以它是检测仪表的重要部件。对传感器有如下要求:

1. 准确性: 传感器的输出信号必须准确地反映其输入量, 即被测量的变化。因此, 传感器输入输出关系必须是严格的单值函数关系, 且最好是线性关系, 即只有被测量的变化对传感器有作用, 非被测量则没有作用。真正做到这点是困难的, 一般要求非被测量参数对传感器的影响很小, 可以忽略不计。
2. 稳定性: 传感器的输入、输出的单值函数关系是不随时间和温度而变化的, 且受外界其他干扰因素的影响很小, 工艺上还能准确地复现。
3. 灵敏性: 即要求有较小的输入量便可得到较大的输出信号。
4. 其他: 如经济性、耐腐蚀、低能耗等。

传感器往往也被称为敏感元件、一次仪表等。

二、变换器

变换器是检测仪表中的中间环节, 它由若干个部件组成, 它的作用是将传感器的输出信号进行变换, 实现放大、远距离传送、线性化处理或转变成规定的统一信号, 供给显示器

等。例如,压力表中的杠杆齿轮机械将弹性敏感元件的小变形转换并放大为指针在标尺上的转动;又如,单元组合仪表中的变送器将各种传感器的输出信号转换成规定的统一数值范围的电信号,使一种显示仪表能够适用于不同的被测参数。在数字式仪表和采用微型计算机的现代检测系统中,需要将信号进行模拟量和数字量之间的相互变换,这也是由变换器来完成的。

对变换器的要求是能准确稳定地传输、放大和转换信号,即受外界其他因素的干扰影响小,变换信号误差应尽量小。有的情况下还对变换器信号的速度提出了相应的要求。

三、显示器

显示器的作用是向观察者显示被测量数值的大小。它可以是瞬时量的显示、累积量的显示、越限报警等,也可以是相应的记录显示。

显示仪表常被称为二次仪表。显示方式有三种类型:指示式(模拟式显示)、数字式和屏幕式(图像显示式)三种。

四、传输通道

传输通道的作用是联系仪表的各个环节,给各环节的输入、输出信号提供通路,它可以是导线、电缆、管路(如光导纤维)以及信号所通过的空间等。信号传输通道结构比较简单、易被人们忽视。如果传输通道的布置及选择不按规定要求,则易造成信号的损失、失真及引入干扰等。例如微量成分分析检测时,如线路选择不当,会造成信号的大量损失。又如传输电信号时,如果传输导线阻抗不匹配,则可能导致仪表的灵敏度降低,电信号失真等。

第 1.4 节 检测仪表的性能指标

仪表的性能指标是评价仪表性能差异、质量优劣的主要依据,也是正确地选择仪表和使用仪表,达到准确测量目的所必需具备和了解的知识。

仪表的性能指标很多,概括起来不外乎技术、经济及使用等三方面的指标。

仪表技术方面的指标有:误差、精度等级、灵敏度、变差、量程、响应时间、漂移等。

仪表经济方面的指标有:使用寿命、功耗、价格等。当然,性能好的仪表,总是希望它的使用寿命长、功耗低、价格便宜。

仪表使用方面的指标有:操作维修是否方便,运行是否可靠安全,以及抗干扰与防护能力的强弱,重量体积的大小,自动化程度高低等。

上述仪表性能的划分显然是相对的。例如,仪表的使用寿命,既是经济方面的性能指标,而从仪表的可靠性来说,又是一项极为重要的技术指标。

下面主要介绍能够衡量仪表检测能力的技术指标。

一、量程

用仪表测出被测参数的最高值和最低值,分别称为仪表测量范围的上限和下限。测量范围的上限值和下限值的代数差即为仪表的量程 B 。例如,某温度计的测量范围是 -20°C 至 $+200^{\circ}\text{C}$,其量程即为 220°C 。上述量程的定义可记为 $B = X_{\max} - X_{\min}$ 。通常仪表刻度线的下限值 $X_{\min} = 0$,这时量程 $B = X_{\max}$ 。在整个测量范围内,由于仪表所提供被测量信息的可靠程度并不相同,所以在仪表下限值附近的测量误差较大,故不宜在该区使用。于是,更合

理的量程概念应规定为:在仪表工作量程内的相对误差 γ 应该不超过某个设定值 γ_a 。在这样定义的量程内,仪表的相对误差都能满足要求,即 $\gamma < \gamma_a$ 。

由此可见,仪表的量程问题涉及仪表的精度问题。根据仪表的测量范围,便可算出仪表的量程;反之,仅知量程则不能判定仪表的测量范围。习惯上也就常以给出测量范围的数据来描述量程了。

二、基本误差与附加误差

仪表的基本误差是指仪表在规定的工作条件(参比工作条件)下的误差。仪表的规定工作条件在仪表生产工厂的出厂规定中注明。仪表的基本误差用以下几种形式来描述。

1. 绝对误差

仪表的指示值 X 与被测量的真值 X_0 之间的代数差值称为仪表示值的绝对误差,记为 δ 。

$$\delta = x - x_0 \quad (1.4.1)$$

式中,真值 x_0 可以是被测量的公认的约定真值,即由国际计量大会规定的标准件复现出的量值,也可以是由高一级的标准仪表所得的测量值,即实际值。实际值是一个现实中可以知道并且可以应用的一个近似或相对的真值。绝对误差,说明了仪表示值偏离真值的大小,它能说明仪表的误差,是有量纲的数值。

据此,我们可以采用比较法来校准或检定仪表。对于同一被测量,可将标准仪表的示值 x_0 (真值)与被校仪表的示值 x 进行比较,其差值就是被校仪表示值的绝对误差。此时对被校仪表的示值应加以修正,修正后才可得到被测量的实际值 x_0 。

$$x_0 = x - \delta = x + c \quad (1.4.2)$$

式中,数值 c 称为修正值或校正值。

$$c = -\delta = x_0 - x \quad (1.4.3)$$

可见修正值与示值的绝对误差大小相等,但符号相反。实验室用的标准仪表常由高一级的标准仪表来校准,检定结果给出示值修正表或修正曲线 $c=f(x)$ 。

2. 相对误差

仪表指示值的绝对误差 δ 与被测量的真值 x_0 的比值称为仪表示值的相对误差,记为 γ 。 γ 常用百分数表示。

$$\gamma = \frac{\delta}{x_0} \times 100\% = \frac{x - x_0}{x_0} \times 100\% \quad (1.4.4)$$

必须引入相对误差的概念是因为绝对误差不能用来作为测量精确程度的比较尺度。我们来看三例测量结果:例1,用高压表测量1000V电压,测得值为1005V;例2,用电压表测量100V电压,测得值为105V;例3,用温度计测量200℃炉温,测得值为205℃。在例1和例2中,绝对误差相同, $\delta_1 = \delta_2 = +5V$;测量相对误差则分别为 $\gamma_1 = 0.5\%$ 和 $\gamma_2 = 5\%$,说明例1的测量比例2精确得多。在例3中,绝对误差为 $\delta_3 = +5^\circ C$ 。由于例3与例1、例2的绝对误差的量纲不同,不能进行比较,但其相对误差 $\gamma_3 = 2.5\%$,由它可以看出其测量精度介于例1与例2之间。

由相对误差可以比较大小不等的同类测量值的测量精度,也就是可以比较不同量限的同类仪表的测量精度,还可以比较不同类仪表的测量精度。

由于被测量的真实值 x_0 是不知道的,在实际测量中按式(1.4.4)计算相对误差就有

困难,因此可改用测量值 x 近似代替真值 x_0 进行计算。由于测量值与真实值很接近,因此用式(1.4.4)计算的近似程度很高,即

$$\gamma = \frac{\delta}{x_0} \times 100\% \approx \frac{\delta}{x} \times 100\% \quad (1.4.5)$$

由式(1.4.5)可以看出:对于同一台仪表来说,在其整个测量范围内,相对误差并不是一个常数,它是随被测量的大小而改变的。通常,在测量范围下限值附近,相对误差比较大;在测量范围上限值附近,相对误差比较小。因此,使用仪表时,一般不应测量靠近测量范围下限的过小的量,而多用在测量 $2/3$ 量程以上接近测量范围上限的量。

相对误差的这种变化是不利于仪表之间彼此比较的,为了解决这个问题,需要建立引用误差的概念。

3. 引用误差

仪表指示值的绝对误差 δ 与仪表量程 B (或测量范围上限值 $x_{\max}$) 的比值,称为仪表示值的引用误差,记为 q 。引用误差 q 常以百分数表示。

$$q = \frac{\delta}{B} \times 100\% \quad (1.4.6)$$

引用误差公式中分母 B 是一个规定的特定值,与测量值无关,但分子仍为绝对误差 δ ,当测量值取仪表测量范围内的各个示值即在刻度标尺各不同分格位置时,示值的绝对误差 δ 的值也是不同的,故引用误差仍与仪表的具体示值有关。为此提出引用误差的最大值,记为 $q_{\max}$ 。

$$q_{\max} = \frac{|\delta|_{\max}}{B} \times 100\% \quad (1.4.7)$$

式中的分子是一个规定的特定值,它是仪表测量范围内各示值绝对误差中的最大值。

$q_{\max}$ 称为仪表的最大引用误差。它能很好地说明仪表的测量精确度,以便进行仪表之间的比较。最大引用误差是仪表基本误差的主要形式,故也常称为仪表的基本误差。它是仪表的主要质量指标。

仪表的附加误差是指仪表未能在规定的工作条件下,使用而产生的另外增加的误差。仪表正常工作时,对于电源电压、频率、温度、湿度、振动、外界电磁场、安装位置等条件,均有一定的要求,使用时应遵循仪表生产厂的规定,以避免产生附加误差。

三、精度等级

引用误差是一种简化的和实用方便的相对误差,常常在多档仪表和连续分度的仪表中应用。在这类仪表的测量范围内,各分度点的示值和其对应的真值都不一样。这时若要计算各点示值的相对误差,其计算式中所用分母也不一样,因而计算很繁,而引用误差则计算就方便了。

仪表的最大引用误差可以描述仪表的测量精度,于是可以据此来区分仪表质量,确定仪表精度等级,以利生产检验和选择使用。仪表在出厂检验时,其示值的最大引用误差不能超过规定的允许值,此值称为允许引用误差,记为 Q 。

$$q_{\max} \leq Q \quad (1.4.8)$$

工业仪表即以允许引用误差值的大小来划分精度等级,并规定用允许引用误差去掉百分号(%)后的数字来表示精度等级。例如,精度等级为 1.5 级的仪表,其允许引用误差即为 1.5%,在正常使用这一精度的仪表时,其最大引用误差不得超过 $\pm 1.5\%$; 0.5 级仪