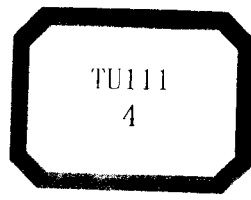


# 建筑热工

JIANZHU REGONG JI HUANJING CESHI JISHU

# 及环境测试技术

● 丁力行 屈高林 郭卉 编



# 建筑热工及环境测试技术

丁力行 屈高林 郭 卉 编



机械工业出版社

本书在介绍测量基本知识的基础上,系统而全面地阐述了建筑环境与设备、建筑节能及相关暖通空调技术应用领域的测试技术,包括温度、湿度、压力、流速、流量、物位、热量、气体成分、气体中粉尘以及环境噪声、环境放射性及建筑光环境等参量的基本测量方法、测试仪表的原理及应用,同时以附录的形式选摘了与测试有关的国家相关法规标准及条文。

本书体系明晰,体现了建筑环境设备系统与暖通空调及其测试技术相互联系而各有侧重的特点。同时,采用全国勘察设计注册工程师公用设备工程师考试大纲的叙述顺序,便于复习。

本书可作为建筑环境与设备工程专业本科教材,并可供暖通空调、建筑技术科学、制冷与低温工程等专业研究生选用,特别可用作全国勘察设计注册工程师公用设备工程师暖通空调专业考试的主要参考教材。本书也是暖通空调与建筑环境及相关领域设计、制造、安装与检测等各类从业人员的必备书籍。

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑热工及环境测试技术/丁力行,屈高林,郭卉编.—北京:机械工业出版社,2006.7

ISBN 7-111-19570-1

I.建... II.①丁...②屈...③郭... III.①建筑热工②建筑物—环境管理—测试技术 IV.①TU111②TU-856

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第078325号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:杨少彤 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷

2006年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.5印张·407千字

0 001—3 000册

定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)68327259

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

随着社会发展与技术进步,人类对建筑物理环境的要求日益提高,建筑设备系统应用与优化已成为建筑设计研究与性能评价的基本问题之一;同时,由于建筑能耗在社会总能耗中所占的重大比例,建筑节能既是世界节能潮流的主流方向和建筑技术进步的重大标志,也是建筑设备系统优化的主要目标。

测试技术作为改善建筑物理环境、实现建筑设备系统优化控制与评价建筑节能效果的技术基础,在建筑环境与节能领域得到空前的应用;原有较为成熟的测试技术体系与方法必须全面拓展,同时需要引入新的测试手段与应用领域。当前国家相继出台的系列建筑环境与节能的法规标准,迫切需要相应的测试技术予以保证。相关领域各类从业人员急剧增加,培养与继续教育任务加重,包括测试技术理论在内的各类书籍与专业教材的需求相应增长。

建筑环境与设备、建筑节能及相关暖通空调技术应用领域中,所需要测试的参数主要可分为两类:一类为通常意义上的热工参数,如温度、湿度、压力、流速、流量、液位、烟气成分等,这类参数大多都与工质的热工过程有关;另一类参数属于环境空气品质参数的范畴,如粉尘浓度、环境噪声和放射性等,原则上不属于热工参数范畴。

本书在介绍测量基本知识的基础上,系统而全面地阐述了上述领域的测试技术,包括温度、湿度、压力、流速、流量、物位、热量、气体成分、气体中粉尘以及环境噪声、环境放射性及建筑光环境等参量的基本测量方法、测试仪表的原理及应用,同时以附录的形式选摘了与测试有关的国家相关法规标准名称及部分条文。全书由12章与附录组成。

本书可作为建筑环境与设备工程专业本科教材,并可供暖通空调、建筑技术科学、制冷与低温工程等专业研究生选用,特别可用作全国勘察设计注册工程师公用设备工程师暖通空调专业考试的主要参考教材。本书也是暖通空调与建筑环境及相关领域设计、制造、安装与检测等各类从业人员的必备书籍。

本书体系明晰,体现了建筑环境设备系统与暖通空调及其测试技术相互联系而各有侧重的特点。同时,采用全国勘察设计注册工程师公用设备工程师考试大纲的叙述顺序,便于复习。本书附录全面系统地选录了国家相关法规标准名称及部分条文,可直接反映测试技术的标准基础与应用领域,提高教材学习效果。

本书第1章、第2章、第8章、第12章与附录由丁力行执笔,第3章至第7章由屈高林执笔,第9章至第11章由郭卉执笔,丁力行负责全书统稿。李越铭、于宏、鲁晓青、段国权和阮秀英为本书的完成提供了大力帮助。由于编者水平所限,本书在内容选择、体系安排和文字叙述上不可避免存在差错,敬请读者不吝指正。

编 者

2006年8月

# 目 录

前言	
<b>第 1 章 测量的基本知识</b>	1
1.1 测量的基本概念	1
1.2 测量仪表的基本知识	3
1.3 测量误差的基本知识	7
1.4 计量的基本知识	9
<b>第 2 章 温度测量</b>	12
2.1 温度测量概述	12
2.2 膨胀式温度计	15
2.3 热电偶温度计	18
2.4 电阻温度计	28
2.5 非接触测温	32
2.6 温度变送器与显示仪表	39
<b>第 3 章 湿度测量</b>	46
3.1 湿度测量概述	46
3.2 干湿球法湿度测量	46
3.3 露点法湿度测量	49
3.4 吸湿法湿度测量与毛发湿度计	51
3.5 氯化锂电阻式湿度计	51
3.6 电容式湿度计	53
3.7 饱和盐溶液湿度校正装置	56
<b>第 4 章 压力测量</b>	58
4.1 压力测量概述	58
4.2 液柱式压力计	59
4.3 弹性式压力计	62
4.4 压差的测量	65
4.5 电气式压力计及压力、压差变送器	67
4.6 压力仪表的选择、安装与校验	71
<b>第 5 章 流速测量</b>	74
5.1 机械方法测量流速	74
5.2 散热率法测量流速	75
5.3 动力测压法测量流速	78
5.4 风速仪表的校验	86
<b>第 6 章 流量测量</b>	88
6.1 流量表示方法和流量测量仪表分类	88
6.2 差压流量计	89

6.3 转子流量计 .....	98
6.4 涡轮流量计 .....	101
6.5 容积式流量计 .....	102
6.6 其他流量计 .....	104
<b>第7章 物位测量</b> .....	<b>108</b>
7.1 物位测量概述 .....	108
7.2 静压式物位测量 .....	110
7.3 浮力式液位测量 .....	113
7.4 电气式物位测量 .....	115
7.5 声学式物位测量 .....	119
7.6 射线式物位测量 .....	122
7.7 其他物位计 .....	123
<b>第8章 热量测量</b> .....	<b>125</b>
8.1 热流密度的测量 .....	125
8.2 热量及冷量的测量 .....	134
8.3 蒸汽热量的测量 .....	137
<b>第9章 气体成分分析</b> .....	<b>140</b>
9.1 一氧化碳和二氧化碳的测量 .....	140
9.2 氧量的测量 .....	144
9.3 甲醛的测量 .....	149
<b>第10章 气体中粉尘测试</b> .....	<b>162</b>
10.1 粉尘密度的测定 .....	162
10.2 环境含尘气体质量浓度和含尘量测定 .....	171
10.3 管道内含尘气体质量浓度和含尘量的测定 .....	174
10.4 洁净环境颗粒物浓度测定 .....	178
<b>第11章 环境噪声、环境放射性及建筑光环境测量</b> .....	<b>182</b>
11.1 环境噪声测量 .....	182
11.2 环境放射性测量 .....	188
11.3 建筑光环境测量 .....	190
<b>第12章 建筑节能检测方法</b> .....	<b>200</b>
12.1 建筑物节能检测项目与条件 .....	200
12.2 建筑物单位采暖耗热量 .....	202
12.3 小区单位采暖耗煤量及其计量 .....	204
12.4 室内、外温度的检测与计算 .....	207
12.5 建筑物围护结构传热系数检测 .....	209
12.6 围护结构热桥及热工缺陷 .....	212
12.7 被动太阳房的热性能测试 .....	217
<b>附录 相关法规标准及条文摘录</b> .....	<b>225</b>
<b>附录 A 法规</b> .....	<b>225</b>
A.1 中华人民共和国计量法 .....	225
A.2 中华人民共和国建筑法 .....	225
A.3 民用建筑节能管理规定 .....	225

A.4 中华人民共和国节约能源法 .....	226
<b>附录 B 设计规范</b> .....	226
B.1 采暖通风与空气调节术语标准 (GB 50155—1992) .....	226
B.2 采暖通风与空气调节设计规范 (GB 50019—2003) .....	228
B.3 建筑给水排水设计规范 (GB 50015—2003) .....	234
B.4 锅炉房设计规范 (GB 50041—1992) .....	234
B.5 人民防空地下室设计规范 (GB 50038—1994) (2003 年版) .....	238
B.6 住宅设计规范 (GB 50096—1999) .....	239
B.7 城市热力网设计规范 (CJJ 34—1990) .....	239
B.8 智能建筑设计标准 (GB/T 50314—2000) .....	240
B.9 住宅建筑技术经济评价标准 (JGJ 47—1988) .....	244
B.10 冷库设计规范 (GB/T 150072—2001) .....	244
B.11 工业设备及管道绝热工程设计规范 (GB/T 50264—1997) .....	244
B.12 洁净厂房设计规范 (GB 500073—2001) .....	244
B.13 城镇燃气设计规范 (GB 50028—1993) .....	244
<b>附录 C 防火规范</b> .....	244
C.1 建筑设计防火规范 (GBJ 16—1987) (2001 年版) .....	244
C.2 高层民用建筑设计防火规范 (GB 50045—1995) (2001 年修订版) .....	245
C.3 汽车库、修车库、停车场设计防火规范 (GB 50067—1997) .....	246
C.4 人民防空工程设计防火规范 (GB 50098—1998) .....	246
C.5 自动喷水灭火系统设计规范 (GB 50084—2001) .....	246
C.6 火灾自动报警系统设计规范 (GB 50116—1998) .....	246
<b>附录 D 热工与节能规范标准</b> .....	246
D.1 民用建筑节能设计标准 (采暖居住建筑部分) (JGJ 26—1995) .....	246
D.2 旅游旅馆建筑热工与空气调节节能设计标准 (GB 50189—1993) .....	247
D.3 民用建筑热工设计规范 (GB 50176—1993) .....	247
D.4 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准 (JGJ 134—2001) .....	247
<b>附录 E 环境及卫生标准</b> .....	247
E.1 室内空气质量标准 (GB/T 18883—2002) .....	247
E.2 工业企业噪声控制设计规范 (GBJ 87—1985) .....	249
E.3 大气污染物综合排放标准 (GB 16297—1996) .....	250
E.4 环境空气质量标准 (GB 3095—1996) .....	250
E.5 城市区域环境噪声标准 (GB 3096—1993) .....	252
E.6 锅炉大气污染物排放标准 (GWPB 3—1999) .....	252
E.7 工业企业厂界噪声标准 (GB 12348—1990) .....	253
E.8 工业企业噪声测量规范 (GBJ 122—1988) .....	253
E.9 工业企业照明设计标准 (GB 50034—1992) .....	253
E.10 混响室法吸声系数测量规范 (GBJ 47—1983) .....	253
E.11 建筑采光设计标准 (GB/T 50033—2001) .....	254
E.12 建筑隔声测量规范 (GBJ 75—1984) .....	254
E.13 建筑照明术语标准 (JGJ/T 119—1998) .....	254
E.14 厅堂混响时间测量规范 (CBJ 76—1984) .....	254

E.15	体育馆声学设计及测量规程 (JGJ/T 131—2000)	254
E.16	民用建筑隔声设计规范 (GBJ 118—1988)	254
E.17	民用建筑照明设计标准 (GBJ 133—1990)	255
E.18	驻波管法吸声系数与声阻抗率测量规范 (GBJ 88—1985)	255
<b>参考文献</b>		256



# 第 1 章 测量的基本知识

## 1.1 测量的基本概念

### 1.1.1 测量定义

测量就是用实验的方法，把被测量与同性质的标准量进行比较，确定被测量与标准量的比值，从而得到被测量的量值。欲使测量的结果有意义，测量必须满足以下要求：①用来进行比较的标准量应该是国际上或国家公认的；②进行比较所用的方法和仪器必须经过验证。

测量的定义也可以用公式来表示：

$$a = \frac{X}{U} \quad (1-1)$$

式中  $X$ ——被测量；

$U$ ——标准量（即选用的测量单位）；

$a$ ——比值（又称测量值）。

由式（1-1）可见， $a$  的大小随选用的标准量的大小而定。为了正确反映测量结果，常在测量值的后面标明标准量的单位。例如长度的被测量为  $X$ ，标准量  $U$  的单位采用国际单位制——m，测量值的读数为  $a\text{m}$ 。

测量过程中的关键在于被测量和标准量的比较。有些被测量与标准量是能直接比较而得到被测量的量值，例如用天平测量物体的重量。但被测量和标准量能直接比较的情况并不多。大多数被测量和标准量都需要变换到双方都便于比较的某一个中间量，才能进行比较，例如用水银温度计测量水温时，水温被变换成玻璃管内水银柱的高度，而温度的标准量被变换成玻璃管上的刻度，两者的比较被变换成为玻璃管内水银柱的长度的比较。这种变换并不是唯一的，例如用热电阻测量水温时，水温被变换成电阻值，而温度的标准量被变换为电阻的刻度值，温度的比较变换成电阻值的比较。由此可见，通过变换可以实现测量，一种新的变换往往对应着一种新的测量元件、一种新的测量仪表、一种新的测量方法的产生。在现代测量技术中，往往要求把热工参数和环境空气品质参数这些非电量变换成某种电量（如电流、电压、电阻、电容、电感频率等）来测量（这就叫非电量的电测技术）。从这个意义上说，变换是实现测量的核心。

### 1.1.2 测量方法

一个物理量的测量，可以通过不同的方法实现。所谓测量方法就是实现被测量与标准量比较的方法。

测量方法的分类形式有很多种，一般分为直接测量、间接测量和组合测量三类。这种分类方法有利于研究测量误差。

1. 直接测量 它是指直接从测量仪表的读数上获取测量值的方法，被测量直接与标准

量比较, 或者用预先标定好的测量仪器(表)进行测量, 比如用压力表测量管道的水压, 用欧姆表测量电阻的阻值等。直接测量的特点是不需要对被测量与其他实测的量进行函数关系的辅助运算, 因此测量过程简单迅速, 是工程测量中广泛应用的测量方法。

2. 间接测量 它是指利用直接测量的量与被测量之间的函数关系(可以是公式、曲线或表格等)间接得到被测量的量值的测量方法。例如需要测量电阻  $R$  上消耗的直流功率  $P$ , 可以通过直接测量电压  $U$ 、电流  $I$ , 而后根据函数关系  $P = UI$ , 经过计算, 间接得到功率  $P$ 。

间接测量费时费事, 常在下列情况下使用: 直接测量不方便, 或间接测量较直接测量准确, 或缺少直接测量仪表等。

3. 组合测量 当某项测量结果需用多个未知参数表达时, 可通过改变测量条件进行多次测量, 根据测量量与未知参数间的函数关系列出方程组并求解, 进而得到未知量, 这种测量方法称为组合测量。一个典型的例子是铂电阻温度传感器温度系数的测量。已知铂电阻阻值  $R_\theta$  与温度  $\theta$  之间的关系是

$$R_\theta = R_0(1 + a\theta + b\theta^2) \quad (1-2)$$

式中  $R_\theta$ ——温度为  $\theta$  ( $^\circ\text{C}$ ) 时铂电阻电阻值 ( $\Omega$ );

$R_0$ ——温度为  $0^\circ\text{C}$  时铂电阻电阻值 ( $\Omega$ ) (一般为已知量);

$a, b$ ——铂电阻温度系数, 单位分别为  $^\circ\text{C}^{-1}, ^\circ\text{C}^{-2}$ 。

为了获得  $a, b$  值, 可以在两个不同温度  $\theta_1, \theta_2$  下 ( $\theta_1, \theta_2$  可由温度计直接测得) 测得相应的两个电阻值  $R_{\theta_1}, R_{\theta_2}$ , 代入式 (1-2) 中得到联立方程:

$$\begin{cases} R_{\theta_1} = R_0(1 + a\theta_1 + b\theta_1^2) \\ R_{\theta_2} = R_0(1 + a\theta_2 + b\theta_2^2) \end{cases} \quad (1-3)$$

求解联立方程 (1-3), 就可得到温度系数  $a, b$  的值。

除此之外, 测量方法还有其他分类方法。例如, 按对测量精度的要求, 可分为精密测量和工程测量; 按照测量者对测量过程的干预程度分为自动测量和非自动测量; 按照被测量与测量结果获取地点的关系分为本地(原位)测量和远地测量(遥测), 接触测量和非接触测量; 按照被测量属性分为电测量和非电测量; 按照测量条件(指测量者水平、仪器仪表精度等级、测量方法、环境条件等)是否改变分为等精度测量与非等精度测量; 按照测量比较方式的不同分为偏差式测量、零位式测量和微差式测量; 按照被测量在测量过程中是否变化分为静态测量和动态测量。凡在测量过程中, 被测量不随时间而变化, 或者变化很缓慢, 称为静态测量。若被测量随时间而具有明显的变化, 则称为动态测量。例如人工气候室在升温或降温过程中的温度测量, 属动态测量, 但在恒温状态的温度测量则属于静态测量。相对于静态测量, 动态测量更为困难。这时测量仪器仪表特性对测量结果的影响是复杂的。

### 1.1.3 测量方法的选择原则

在选择测量方法时, 要综合考虑下列主要因素: ①被测量本身的特征; ②所要求的测量精度; ③测量环境; ④现有测量设备等。在此基础上, 选择合适的测量仪器和正确的测量方法。不应简单地认为, 只有使用精密的测量仪表, 才能获得准确的测量结果。实际上, 有时选择一种好的、正确的测量方法, 即使用极为普通的设备, 也同样可以得到相当令人满意的

测量结果。在设计采用热电阻作为敏感元件的温度测量仪表中，对上述问题一定要特别加以注意。

## 1.2 测量仪表的基本知识

测量仪表是将被测量转换成可供直接观察的指示值或其他等效信息的器具，包括各类指示仪器，比较仪器、记录仪器、传感器和变送器。利用电子技术对各种待测量进行测量的设备，统称为电子测量仪表。热工测量仪表是指用来测量各种热工参数（如温度、湿度、压力、流速、流量、液位等）的仪表，它属于工业自动化仪表范畴，国际电工委员会统称其为过程检测控制仪表。

为了正确地选择测量仪表，评价测量结果，本节将对测量仪表的基本组成、基本功能、基本性能指标和基本分类做一简单介绍。

### 1.2.1 测量仪表的基本组成

测量仪表（或系统）一般是由传感器、变换器（或变送器）、传输通道和显示装置组成，图 1-1 是测量仪表（或系统）的组成框图：



图 1-1 测量仪表（或系统）的基本组成框图

### 1.2.2 测量仪表的基本功能

1. 传感器 传感器又称敏感元件，因它是与被测对象直接发生联系的部分，故现场又称为一次仪表。它是一种将被测量（包括物理量、化学量、生物量等）按一定规律转换成便于处理和传输的另一种物理量（一般多为电量）的元件或装置。

传感器是测量仪表中最重要的组成环节。它直接从被测对象中检出被测量的信息。对传感器的基本要求：①转换的准确性高，即它的输出与输入（即被测量）之间应有单值函数关系；②工作的稳定性高，即指它的转换关系不随时间和外界条件变化而变化；③转换的灵敏性高，即指它的输入量小时，而输出量要大；④负载效应小，即指它从被测对象吸收的能量要小，对被测对象的干扰要小。十全十美的传感器是没有的。

2. 变换器与变送器 它是将传感器输出的信号变换成显示装置易于接受的部件。

在多数情况下，传感器输出的信号在性质上、信号强度上总是与显示装置所能接受的信号有所差异。通过变换器将传感器输出的信号进行变换，以便显示装置能接受。注意，此种变换可能是物理性质的变换，如通过测量电桥将电阻信号变成电压信号；也可能是将同性质的物理量加以放大。如在弹簧管压力表中，通过机械连杆机构将弹簧管微小位移量变成了放大的位移量，以带动显示装置的指针。

变送器是指将传感器转换来的信号变换到标准信号的变换器。在现代自动指示、记录与调节仪表中，为了标准化，仪表各环节之间，仪表和仪表之间用标准信号连接（如在 DDZ—II 型自动化仪表中，标准信号是 0 ~ 10mA.DC，在 DDZ—III 型自动化仪表中，标准信号是 4

~ 20 mA.DC, 在 QDZ 气动仪表中, 标准信号是 0.02 ~ 0.1MPa 等)。

3. 显示装置 它是与观察者直接发生联系的部分, 又称显示仪表。

显示仪表有模拟式、数字式和屏幕式三种。模拟式仪表就是指指针指示仪表, 它以指针在仪表刻度盘上的位置指示测量结果。数字式仪表通过荧光数码管、LED 发光二极管或 LCD 液晶显示器以数字显示测量结果。屏幕式显示仪表是阴极射线管 CRT 或液晶显示屏作显示器, 是电视技术在测量仪表中的应用, 它即可以按模拟方式给出曲线, 也可以给出数字, 或者两者同时显示, 具有形象性和易于读数的优点。

4. 传输通道 尽管框图中是把传输通道画在变换器和显示装置两个环节之间, 但它是指标表各环节之间输入、输出信号的连接部分。在电子仪表中, 它以电线电缆、光纤光缆作传输信号介质, 在气动仪表中, 它以管道气路作信号传输介质, 在遥测遥控中可能还要用天线电磁波作传输测量信号的载体。不管是采用有线的还是无线的方式, 传输过程中造成的信号失真和外界干扰等问题都会存在。因此, 现代测量技术和测量仪表必须认真对待测量信息的传输问题。

归纳测量仪表各基本环节的作用, 可以看出, 测量仪表一般都具有信号的检出变换、信号的传输和测量结果的显示等三种最基本的功能。

### 1.2.3 测量仪表的基本性能

测量仪表的基本技术性能指标是衡量仪表质量好坏和选择仪表的依据。

测量仪表的基本性能指标一般是指测量范围、精度、灵敏度、分辨率和变差等指标。

1. 测量范围 (量程) 仪表能够测量的最大被测量与最小被测量之间的范围称作仪表的量程范围, 简称量程。在数值上等于仪表上限值  $L_{\text{上}}$  减去仪表的下限值  $L_{\text{下}}$ , 用  $L_{\text{m}}$  表示。

$$L_{\text{m}} = L_{\text{上}} - L_{\text{下}} \quad (1-4)$$

选用仪表时, 首先应对被测量的大小有一初步估计, 务必使被测量的值都落在仪表的量程之内, 最好是落在量程的  $\frac{1}{3}$  以上至  $\frac{2}{3}$  左右, 这样可以减少测量的相对误差, 又不发生打表等损坏仪表的事故。

2. 仪表精度 用任何仪表进行测量其测量结果都存在测量误差。

仪表精度等级可以用来估计仪表测量误差的大小, 即所得测量值接近真实值的准确程度。

(1) 仪表的测量误差  $\Delta$ 。若被测量的真实值 (简称真值) 用  $X_0$  表示, 仪表的显示值 (简称示值) 用  $X$  表示, 仪表的测量绝对误差 (简称测量误差或误差) 用  $\Delta$  表示, 相对误差用  $\delta$  表示, 则

$$\Delta = X - X_0 \quad (1-5)$$

$$\delta = \frac{\Delta}{X_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

在仪表的整个量程范围内, 各点的测量绝对误差大小一般是不相同的, 多数是两头大中间小。

(2) 仪表的基本误差  $\delta_j$ 。仪表测量值中的最大示值绝对误差  $\Delta_{\text{m}}$  与仪表量程  $L_{\text{m}}$  之比, 称为仪表的基本误差。

$$\delta_j = \frac{\Delta_m}{L_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

(3) 仪表的允许误差  $\delta_j$ 。仪表厂商根据质量不同, 要求某一类仪表的基本误差不超过某一规定值, 这一规定的不允许超过的基本误差  $\delta_j$  就是这一仪表的允许误差, 用  $\delta_j$  表示。一块特定的仪表, 其基本误差  $\delta_j$  和允许误差  $\delta_j$  在数量上是一致的。

仪表工业规定, 用这一允许误差去掉“%”的数值表示仪表的精度等级, 简称精度。

我国仪表工业目前采用的精度等级序列为: 0.005、0.01、0.02、0.04、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0、5.0。其中工业用仪表的精度等级一般为 0.5 级以下。通常用专用符号 (如  $\Delta$ 、 $\diamond$  等, 并把精度等级标在特殊符号中) 表示在仪表的面板上。

在理解仪表精度等级概念的时候, 有两点值得注意:

1) 在测量中使用同一精度等级、量程又相同的仪表, 那么所引起的仪表测量误差相同, 与被测量大小无关。例如, 某一温度表的精度为 1.0 级、量程为 50 ~ 100℃, 那么用这一温度表来测量温度, 不管测得温度是 60℃、70℃、90℃, 仪表测量误差都是  $\Delta = \pm L_m \delta_j = \pm L_m \delta_j = (100 - 50) \times 1.0\% = \pm 0.5\text{℃}$ 。

2) 对同一精度等级的仪表, 如果量程不同, 测量同一个量则在测量中产生的测量误差是不同的。量程越大, 测量误差越大。所以在满足量程要求的前提下, 应尽量选量程小的。例如, 有两个准确度为 1.0 级的温度计, 一个量程为 0 ~ 50℃, 而另一个为 0 ~ 100℃。用这两个温度计测量同一温度, 则可能产生的仪表测量误差分别为  $\Delta_1 = \pm (50 - 0) \times 1.0\% = \pm 0.5\text{℃}$  和  $\Delta_2 = \pm (100 - 0) \times 1.0\% = \pm 1\text{℃}$ 。

3. 变差 在外界条件不变的情况下, 使用同一仪表对同一被测量进行正反行程 (即逐渐由小到大再由大逐渐到小) 测量时, 同一仪表的两次指示值却不相同, 这是因为仪表存在变差 (见图 1-2) 造成的。在整个量程范围内, 其中所产生的最大差值  $\Delta L'_m$  与仪表量程  $L_m$  之比称为仪表的变差, 用  $\epsilon$  表示, 即

$$\epsilon = \frac{\Delta L'_m}{L_m} \times 100\% \quad (1-8)$$

仪表产生变差的原因很多, 例如仪表运动系统的摩擦间隙; 弹性元件的弹性滞后以及电磁元件的磁滞影响等都是仪表变差的来源。

一般要求, 变差指标  $\epsilon \leq \delta_j$  的为变差指标合格。

4. 稳定度 稳定度也称稳定误差, 是指在规定的时间内、区间和其他外界条件恒定不变的情况下, 仪表示值变化的大小。造成这种示值变化的原因主要是仪表内部各元器件的特性、参数不稳定和老化等因素。

稳定度可用示值绝对变化量与时间一起表示。例如某数字温度表的稳定度为  $(0.008\% T_m + 0.003 T_x) / (8\text{h})$ , 其含义是在 8h 内, 测量同一温度, 在外界条件维持不变的情况下, 温度表的示值可能在  $0.008\% T_m + 0.003 T_x$  的上下波动, 其中  $T_m$  为该温度计的量程,  $T_x$  为示值。

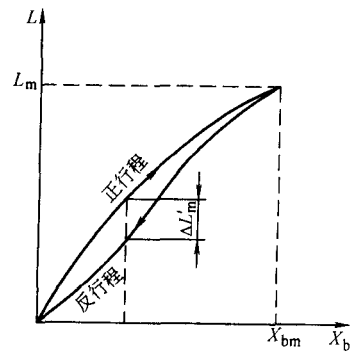


图 1-2 测量仪表的变差

5. 线性度 线性度是测量仪表输入输出特性之一, 表示仪表的输出量(示值)随输入量(被测量)变化的规律。若仪表的输出为  $y$ , 输入为  $x$ , 两者关系用函数  $y = f(x)$  表示, 如果  $y = f(x)$  为  $x - y$  平面上过原点的直线, 则称仪表是线性刻度特性, 否则称为非线性刻度特性。

6. 灵敏度和灵敏限(分辨率) 灵敏度表示测量仪表对被测量变化的敏感程度, 一般定义为, 在稳定情况下, 仪表输出变化量(指针的直线位移或角位移)  $\Delta L$  与引起此变化的输入量(被测量)的变化量  $\Delta X_b$  之比为仪表的灵敏度, 用  $S$  表示, 即

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta X_b} \quad (1-9)$$

对线性刻度仪表而言, 其灵敏度是一个常数。

一般灵敏度高, 仪表的精度也相应较高。但必须指出, 仪表的精度主要取决于仪表本身的基本误差, 而不能单纯地靠提高灵敏度来达到提高精度的目的。为了防止虚假灵敏度, 常规定仪表读数标尺的分格值, 不能小于仪表允许误差的绝对值  $\Delta_m$ 。

仪表的灵敏限是指能够引起测量仪表动作的被测量的最小变化量, 故又称仪表的分辨率或仪表死区。一般, 仪表的灵敏限应不大于仪表测量值中最大绝对误差  $\Delta_m$  的一半。

7. 动态特性 以上定义的都是仪表的静态性能指标。

测量仪表的动态特性表示仪表的输出响应随输入变化的能力。例如模拟电压表由于动圈式表头指针惯性、轴承摩擦、空气阻尼等因素的作用, 使得仪表的指针不能瞬间稳定在固定值上。

最后指出, 上述测量仪表的几个特性, 是就一般而论, 而且主要是针对指针指示仪表而言的, 并非所有仪表都用上述特性加以考核。

#### 1.2.4 测量仪表的分类

测量仪表由于用途、原理及结构不同, 常有如下几种分类方法。

1. 按被测参数分类 有温度、湿度、压力、流量、液位等仪表。

2. 按显示形式及功能分类 有模拟式、数字式和智能式三大类。

按显示功能不同又可分为指示与记录仪表两大类。

记录仪表又可分为模拟式图式记录仪表与数字打印式记录仪表等。一个仪表也可同时具有多种显示功能, 例如指示记录仪同时具有指示与记录两种功能。

3. 按工作原理分类 有机械式、电子式、气动式、液动式仪表等。

4. 其他分类 按用途分有标准仪表、实验室用仪表和工程用仪表。

按装置地点分有就地安装和盘用仪表。

按使用方式分有便携式和固定式仪表等。

按仪表内部各环节之间信号的联系方式分有开环型结构和闭环型结构两大类。

#### 1.2.5 测量仪表的选用原则

在选用测量仪表时, 要综合考虑下列因素: ①被测量大小: 务必使被测量落在仪表量程范围内, 一般最好是落在仪表量程的  $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$  左右; ②测量误差要求: 在满足测量误差要求的

前提下，尽量选精度低的；③是否有特殊要求：例如有记录要求的要选择带记录功能的仪表。一般可按先选量程，再选精度等级，然后再考虑其他要求的顺序来进行选择。

**【例 1-1】** 某设备温度为 450℃，现有两种温度计可供选购。第一种量程为 0~600℃，精度 2.5 级；第二种量程为 0~1000℃，精度为 1.5 级，问选购那种温度计好，为什么？

**【解】** 首先从量程上看，被测量均落在两种仪表量程的  $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$  左右，所以两种温度计量程均符合要求。

再看测量误差，第一种温度计测量误差

$$\Delta_1 = \pm (600 - 0) \times 2.5\% = \pm 15^\circ\text{C}$$

第二种温度计测量误差

$$\Delta_2 = \pm (1000 - 0) \times 1.5\% = \pm 15^\circ\text{C}$$

两种温度计产生的测量误差相同。

因为两种温度计均满足量程要求，测量误差又相同，因此可考虑选量程小，精度低的，即选购第一种温度计好。因为它精度低，价格一定低，而测量精度是一样的。

## 1.3 测量误差的基本知识

### 1.3.1 测量误差的概念

测量值与被测量真值之差称为测量的绝对误差，或简称测量误差，用下式表示

$$\Delta = x - x_0 \quad (1-10)$$

式中  $\Delta$ ——绝对误差；

$x$ ——测量值；

$x_0$ ——被测量真值。

绝对误差，是或大或小，可正可负的，而且是有量纲的。

应该指出，测量过程中测量误差的存在是不可避免的，任何测量值都只能近似地反映被测量的真值。

人们进行测量的目的，通常是为了获得尽可能接近真值的测量结果，如果测量误差超出一定限度，由测量结果得出的结论将失去意义，错误的测量结果还会使研究工作误入歧途。因此，人们不得不认真对待测量误差，研究误差产生的原因、误差的性质、减小误差的方法及对测量结果的处理等。

### 1.3.2 测量误差的来源

测量误差来源，主要有四个方面：

1. 仪器误差 它是由于测量仪器（包括测量仪表、器件、引线、传感器以及提供检定用的标准器具等）本身的不完善（如结构设计不合理、存在摩擦等）而产生的误差。因此，不管选用的仪表的精度多高，仪表本身的基本测量误差总是存在的。

此外，随着仪表使用时间的增长，还会因仪表零部件的磨损、元件的老化或变质等产生仪表的附加误差。

减少仪器误差的主要途径是正确地选择测量仪表、正确地使用测量仪表、定期地校验仪表、在规定条件下进行操作。

2. 环境误差 周围环境温度、湿度、压力、振动及电源电压等各种干扰因素，均会使测量值变化，而产生误差。

3. 人员误差 测量人员分辨能力、测量经验和习惯，影响测量误差的大小。

4. 方法误差 测量方法不当引入的误差。如实验设计不合理、经验公式形式选择不当以及运算过程中过多地舍入而积累的误差等。

### 1.3.3 测量误差的分类

按测量误差的性质、特点和规律不同，测量误差可分为三类：系统误差、随机误差和粗大误差。

1. 系统误差 在相同测量条件下，对同一被测量进行多次测量，误差的绝对值和符号保持不变，或按一定规律变化，这种性质的误差称为系统误差，简称系差。前者称恒值系差，后者称变值系差。

系统误差是有规律的误差，其产生的原因往往也是可知的。例如，由于仪表使用不当或测量时外界条件变化等因素。因此可以通过试验的方法加以消除，也可以通过引入修正值的方法加以修正。

2. 随机误差 在相同测量条件下，对同一被测量进行多次测量、每次测量误差均不相同，时大时小，时正时负，不可预定，无确定规律。这种性质的误差称为随机误差，也称偶然误差。

随机误差是没有规律的误差，其产生的原因是众多因素的微小波动，这些影响既难发现又难排除，是伴随整个测量过程不能消除的误差。但随机误差具有随机变量的一切特性，大体上服从统计学规律，多数情况下接近正态分布。

随机误差的特点是，在多数测量中误差绝对值的波动有一定的界限，即具有有界性；正负误差出现的机会几乎相同，即具有对称性；同时随机误差的算术平均值趋于零，即具有抵偿性。由于随机误差的上述特点，可以通过多次测量取平均值的办法，来减小随机误差对测量结果的影响，或者用其他数理统计的方法对随机误差加以处理。

3. 粗大误差 使测量值明显异常的误差称为粗大误差，简称粗差。大多是由测量者粗心大意造成的，例如读数错误、记录和运算错误以及测量过程中的失误等。

含有“粗大误差”的测量值称为“坏值”，因此，一经发现，必须将坏值从测量数据中剔除。

### 1.3.4 测量精度

测量精度包括以下三个方面的内容，它们与误差大小相对应。

1. 准确度 它反映系统误差影响程度。系统误差小，测量准确度高；系统误差大，测量准确度低。准确度反映测量值偏离被测量真值的远近程度，故称准确度。

2. 精密度 它反映随机误差影响的程度。随机误差小，测量的精密度高；随机误差大，测量的精密度低。

精密度反映多次测量中，测量值重复一致的程度，或者说测量值分布密集的程度，故称



精密度。

3. 精确度 它反映系统误差和随机误差综合影响的程度，又称精度。

对于具体测量，精密度高的，准确度不一定高；准确度高的，精密度也不一定高；但精确度高的，则精密度和准确度都高。

需要说明的是，目前关于测量精度概念比较笼统，且三方面的内容的名称都不统一。

## 1.4 计量的基本知识

### 1.4.1 计量的基本概念

计量和测量是相互联系又有区别的两个概念。

计量是利用技术和法制手段实现测量单位统一和测量值准确可靠的一种特殊测量。

一般测量过程中所使用的器具和仪器是直接或间接体现了“标准量”的，所谓测量就是把被测量与器具和仪器上体现的“同性质标准量”进行比较。测量结果的准确与否，与所采用的测量方法、实际操作和作为比较标准的同性质标准量的准确程度都有着密切的关系。因此，体现标准量在测量过程中作为比较标准的各类量具、仪器仪表，必须定期进行检验和校准，以保证测量结果的准确性、可靠性和统一性，这个过程，称为计量。由此可见，计量又是测量的基础和依据。

计量工作是国民经济中一项极为重要的技术基础工作，在工农业生产、科学技术、国防建设、国内外贸易以及人民生活等各方面起着技术保证和技术监督作用。

计量学是研究测量、保证测量统一和准确的科学，它研究的主要内容包括：计量和测量的方法、技术、量具及仪器设备等一般理论；计量单位的定义和转换；量值的传递和保证量值统一所必须采取的措施、规程和法制等。

### 1.4.2 计量单位制

任何测量都要有一个统一的体现计量单位的量作为标准，这样的量称作计量标准。计量单位是有明确定义和名称并令其数值为1的固定的量，例如长度单位是1米(m)，时间单位是1秒(s)等。计量单位必须以严格的科学理论为依据进行定义。法定计量单位是国家以法令形式规定使用的计量单位，是统一计量单位制和单位量值的依据和基础，因而具有统一性、权威性和法制性。1984年2月27日国务院在发布《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》时指出：我国的计量单位一律采用《中华人民共和国法定计量单位》。命令发布后，国家技术监督局迅速于1986年公布了据此制订的国家标准《量和单位》(GB 3100~3102—1986)，并于1993年更新了这一标准(GB 3100~3102—1993)。我国法定计量单位以国际单位制(SI)为基础，并包括10个我国国家选定的非国际单位制单位，如时间(分、时、天)，平面角(秒、分、度)，长度(海里)，质量(吨)和体积(升)等。

在国际单位制中，又分为基本单位、导出单位和辅助单位。基本单位共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)。辅助单位2个，分别是平面角单位弧度(rad)和立体角的单位球面角(sr)。导出单位19个，例如力的单位牛顿