



高校建筑学与城市规划专业教材

THE ARCHITECTURE & URBAN PLANNING SERIES

# 建筑物理实验

西安建筑科技大学  
刘加平 戴天兴 编著

中国建筑工业出版社



TU11  
1=3C

A+U 高校建筑学与城市规划专业教材

# 建筑物理实验

西安建筑科技大学  
刘加平 戴天兴 编著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

建筑物理实验/刘加平, 戴天兴编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2006

A+U 高校建筑学与城市规划专业教材

ISBN 7-112-08087-8

I. 建... II. ①刘... ②戴... III. 建筑学: 物理学-实验-高等学校-教材 IV. TU11-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 152175 号

本书为《建筑物理》的配套教学用书, 共 10 章, 内容包括: 测量基本知识、测量误差与数据处理、温度测量、其他热工参数测量、建筑节能检测、建筑光学测量、建筑声学测量、建筑热环境实验、建筑光环境实验、建筑声环境实验。

本书可供高等学校建筑学、城市规划、风景园林、建筑技术等专业的师生之用, 也可作为广大专业人士工程实践和学术交流之用。

责任编辑: 陈 桦

责任设计: 崔兰萍

责任校对: 刘 梅 张 虹

A+U 高校建筑学与城市规划专业教材

### 建筑物理实验

西安建筑科技大学

刘加平 戴天兴 编著

\*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京富生印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13¼ 字数: 319 千字

2006 年 3 月第一版 2006 年 3 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 19.00 元

ISBN 7-112-08087-8

(14041)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

## 前 言

《建筑物理实验》是与《建筑物理》统编教材配合使用又可独立成书的一本教材。本书是在总结国内建筑院校多年来建筑物理实验教学经验，参考全国建筑学专业指导委员会制订的建筑学专业教学大纲，依据我校多年建筑物理实验教学的体会编写而成的。本书可作为建筑学、城市规划及相关专业的本科教材，也可作为建筑技术科学及相关专业硕士研究生的教学参考书。

建筑物理环境实验教学是建筑学专业技术教育的重要环节。与一般工科专业实验教学相比较，建筑物理环境实验教学的主要目的在于，通过亲自操作建筑热环境、光环境和声环境的测试和模拟实验，让学生感受并理解建筑物理环境与建筑的形式、空间和构造设计之间的关系，以加深建筑物理学知识与建筑设计理念和技巧的融合并自觉地用于建筑设计创作之中。同时，通过建筑物理学原理的运用和实验与测试数据的整理和分析，强化建筑学学生的逻辑思维能力。

全书分为10章。第1和第2章介绍了实验测试和数据处理的基础知识，对于建筑学专业来说，属于了解的内容。教学中，可以作为学生的预习资料。第3章至第7章介绍了建筑热工学、建筑光学和建筑声学设计中常用基本参数的测量方法和仪器，包括温度、湿度、气流速度、太阳辐射、热流密度、照度、亮度、声级等。考虑到建筑节能日益受到重视，第5章专门介绍了建筑节能测试的基本原理和常用方法。教学中可以根据需要，简要地介绍，让学生有一个基本的了解。第8章至第10章详细介绍了建筑学专业可以设置的建筑热环境、光环境和声环境实验教学项目。综合各校以往的情况，书中共列出了25个实验项目。根据仪器设备拥有状况，可以有选择地安排实验项目，其中有些项目可以合并进行，如室内热环境参数测定和室外气象参数测定可以作为一个实验项目。

在本书编写过程中，建筑物理学界前辈、武汉工业大学教授武止戈先生给予了极大支持，并提供了他在1989年编著出版的《建筑环境物理测试》。书中的许多构思和内容对提高本书的编写质量起到了重要的作用。北京工业大学建筑学院杨红副教授提供了积累多年的建筑物理实验报告书。编写中，还参考了华南理工大学、重庆大学、天津大学和内蒙古工业大学等校自编的建筑物理实验指导书，谨表诚挚谢意。

本书由西安建筑科技大学建筑物理环境与节能实验中心主任刘加平教授和副主任戴天兴副教授编写。其中前言和第2、5、8章编者为刘加平，第1、3、4、6、7、9、10章编者为戴天兴，全书大部分插图由戴靓华同学所绘，全文由刘加平做了校阅。

刘加平

2005岁末于西安建筑科技大学

# 目 录

<b>1 测量基本知识</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 测量系统 .....	4
1.3 测量仪表的基本特性 .....	6
1.4 计量的基本概念 .....	8
<b>2 测量误差与数据处理</b> .....	11
2.1 测量误差 .....	11
2.2 测量误差产生原因与分类 .....	12
2.3 随机误差分析 .....	14
2.4 系统误差分析 .....	18
2.5 测量数据处理 .....	20
<b>3 温度测量</b> .....	24
3.1 温度测量原理 .....	24
3.2 测温仪表分类与选择 .....	27
3.3 膨胀式温度计 .....	28
3.4 热电偶温度计 .....	32
3.5 热电阻测温计 .....	40
3.6 非接触测温 .....	44
3.7 红外热像仪测温技术 .....	46
3.8 用全息干涉技术测量温度场 .....	49
<b>4 其他热工参数测量</b> .....	51
4.1 湿度测量 .....	51
4.2 气流速度测量 .....	59
4.3 热量的测量 .....	62
4.4 太阳辐射的测定 .....	66
<b>5 建筑节能(热工)检测</b> .....	69
5.1 用热源法测定采暖耗煤量指标的基本原理 .....	69
5.2 用建筑热工法测定建筑物耗热量指标的基本原理 .....	70
5.3 建筑耗能基本参数的测定方法 .....	70
<b>6 建筑光学测量</b> .....	82
6.1 建筑光学测量概述 .....	82
6.2 照度的测量 .....	85
6.3 亮度的测量 .....	90

<b>7 建筑声学测量</b> .....	94
7.1 建筑声学测量系统.....	94
7.2 声级计及其分类.....	100
7.3 声强测量.....	105
7.4 振动测量仪器.....	107
7.5 噪声测量.....	107
<b>8 建筑热环境实验</b> .....	110
8.1 室内热环境参数测定.....	110
8.2 室外热环境参数测定.....	118
8.3 多层平壁稳定传热测定.....	120
8.4 导热系数测量实验.....	122
8.5 建筑日照实验.....	127
8.6 太阳辐射测量实验.....	129
8.7 热箱法测试构件总传热系数.....	134
<b>9 建筑光环境实验</b> .....	136
9.1 采光测量实验.....	136
9.2 人工天穹采光试验.....	141
9.3 室内表面反射系数的测量.....	144
9.4 透光系数测量.....	146
9.5 室内照明测量.....	146
9.6 道路照明测量.....	150
9.7 光源光通量测量.....	158
9.8 灯具配光曲线的测定.....	163
9.9 照明模型实验.....	166
<b>10 建筑声环境实验</b> .....	169
10.1 城市区域环境噪声的测量.....	169
10.2 城市交通噪声测量.....	172
10.3 环境噪声监测实验.....	174
10.4 建筑施工场界噪声测量.....	175
10.5 混响时间测定.....	176
10.6 吸声系数的测量.....	182
10.7 建筑隔声测量.....	189
10.8 楼板撞击声隔声测量.....	195
10.9 声源声功率测量.....	198

# 1 测量基本知识

## 1.1 概 述

人们不断探索和揭示客观世界的规律性，其方法有二：一是理论分析的方法；二是实验的方法。严格地讲，这两种方法都离不开测量。人们通过对客观事物大量的观察和测量（观察也是一种测量过程），形成了定性和定量的认识，通过归纳、整理建立起各种定理和定律。而后还要通过测量来验证这些认识、定理和定律是否符合客观实际，经过如此反复，逐步认识事物的客观规律。实验测量不仅能定性地验证理论分析的正确性，而且能够定量地验证理论结果的正确性和可靠性，并且能够精确地测量出许多理论公式中的待定常数。俄国科学家门捷列夫说：“科学始于测量”。英国科学家库克认为：“测量是技术生命的神经系统”。人类的历史也证明：科学的进步，生产的发展，与测量理论、技术、手段的发展和进步是相互依赖、相互促进的。测量技术水平是一个历史时期、一个国家的科学技术水平的一面镜子。有位科学家讲：“评价一个国家的科技状态，最快捷的方法就是审视那里所进行的测量，以及由测量所积累的数据是如何被利用的。”同样，建筑物理测量技术水平也是建筑技术水平的一面镜子。

### 1.1.1 测量

测量是从客观事物中提取有关信息的认识过程，是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。测量要运用专门的工具，选择合理的实验方法，按照一定的程序，以同性质的被测量与标准量比较，确定被测量与标准量的倍数，其全部操作过程称为测量，把具有试验性质的测量称为测试。测量的定义也可公式来表示：

$$L = X/U \quad (1-1)$$

式中  $L$ ——比值，即测量值；

$X$ ——被测量；

$U$ ——标准值（测量单位）。

一个较完整的测量应包括五要素：1 测量对象；2 测量仪器与测量方法；3 测量结果；4 测量单位；5 测量条件。

测量对象，就是被测物体或被测现象，是测量过程中首先应确定的。

测量仪器与设备，是在测量过程中，为了取得比值而使用的必要的技术工具。

测量方法（实验方法），它是将被测量与其单位进行比较的方法，测量方法是根据被测量的物理、化学、生物特性和原理而选择的。

测量结果，测量的直接结果一般由两部分组成，前一部分为测量得到的数值，后一部分为被测量的单位。

测量单位，它是由人定义的，起初规定带有任意性，因此，同种测量曾经有许多单位，这给使用和交流带来许多不便。现在，采用国际单位制（SI），单位的统一基本得到实现。

测量条件，应包括被测量、测量仪器、测量环境等。

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够直接进行比较而得到被测量的量值。例如用米尺测量物体的长度，用天平测量物体的重量。但被测量与标准量是能够直接进行比较的情况并不多。大多数被测量和标准量都需要变换到一个双方都便于比较的中间量，才能进行比较，而这种变换并不是惟一的。通过变换可以实现原来无法进行的测量，所以变换也是实现测量的核心。一个新的变换对应着一个新的测量方法、一个新的测量元件的产生。

### 1.1.2 测量方法

一个测量过程，可以通过不同的方法实现。测量方法的选择正确与否，直接关系到测量结果的可信程度，也关系测量工作的经济性和可行性。采用不当或错误的测量方法，就得不到正确的测量结果，还可能损坏测量仪器。而有了先进精密的测量仪器设备，并不一定能得到准确的测量结果。必须根据不同的测量对象、测量要求及测量条件，选择正确的测量方法、合适的测量仪器及构造测量系统，进行正确操作，才能得到理想的测量结果。

测量方法的分类有许多种，下面是几种常见的分类方法。

#### (1) 按测量方式分类

##### 1) 偏差式测量法

在测量过程中，用仪器仪表指针的位移（偏差）表示被测量大小的测量方法，称为偏差式测量法。例如用热球式风速仪测量风速，用水银温度计测量温度等。由于是从仪表刻度上直接读取被测量，包括大小和单位，因此这种方法也叫作直读法。用这种方法测量时，作为计量标准的实物，并不安装在仪表内直接参与测量，而是事先用标准量具对仪表读数、刻度进行校准，实际测量时根据指针偏转大小确定被测量量值。

这种方法的优点是简单方便，在建筑物理实验测量中被广泛采用。

##### 2) 零位式测量法

零位式测量法也称为零示法或平衡式测量法。它是通过仪器仪表的测量机构，比较被测量与已知标准量两者差值信号的大小与相位，调节已知标准量的大小，使两者完全平衡，此时测量系统对差值信号的指示为零，则已知标准量的数值就是被测量的测量值。例如，用天平称物体的质量，用电位差计测电势等。

零位式测量法的测量精度很高，消除干扰能力强，只要仪表的灵敏度足够高，其测量准确度几乎等于标准量的准确度，这是它的主要优点，是实验室作为精密测量的一种方法。但由于测量过程中为了获得平衡状态，需要进行反复调节，即使采用一些自动平衡技术，测量速度仍较慢。另外，零位式测量法的仪器结构复杂，价格较偏差式测量仪器为贵，这是不足之处。



### 3) 微差式测量法

微差式测量法是通过仪表的测量机构，用被测值取代另一已知标准值（接近测量值）后，读出其剩余差值及方向，从而得到被测量值。它是零位测量法与非零测量法的结合，测量较迅速，无需经常调整量程，所测的读数范围小，因而可提高测量精度。例如，测量压力的 U 型管等。

微差式测量法的准确度基本上取决于标准量的准确度。而和零位式测量法相比，它又可以省去反复调节标准量大小以求平衡的步骤。因此，它兼有偏差式测量法的测量速度快和零位式测量法测量准确度高的优点，在实验室和生产过程中用作精密测量。

#### (2) 按传感器与被测对象的接触情况分类

##### 1) 接触式测量法

接触式测量法是测量仪表的传感器与被测对象直接接触，承受被测对象的直接作用，感受其变化，并输出其信号大小。例如，用体温表测体温，用水银温度计测空气温度等。其优点是简单易行，缺点是对被测对象有干扰。

##### 2) 非接触式测量法

非接触式测量法是测量仪表的传感器不直接与被测对象接触，而是间接承受被测对象的作用，感受其变化，从而获得信息，达到测量的目的。例如，辐射温度计。非接触式测量法有它独特的优点，它不干扰被测对象，不消耗被测对象的能量，既可对被测对象的局部“点”进行检测，又可对被测对象进行扫描，得到二维、三维和四维的信息，特别是在一些接触法测量不能胜任的场合，则发挥出它的方便、安全和准确的特点。例如，建筑物外表面温度测量。

#### (3) 按被测对象的稳定状况分类

##### 1) 静态测量法

静态测量是指被测对象处于稳定情况下的测量，此时，被测参数不随时间变化，故也称为稳态测量。

一般情况下，被测参数多数是随时间变化的，如果被测参数随时间变化很缓慢，而测量所需时间又相对很短时，被测对象可近似视为稳态，相应的测量也可认为是稳态测量。测量某点的被测量值为点参数测量，测量某个场的被测量值（多点）为场参数测量。例如，用温度计和热电偶测某点温度，只要温度变化很缓慢，就可以近似地认为是稳态测量。建筑物理实验中的测量大部分都属于稳态测量和点参数测量。

##### 2) 动态测量法

动态测量是在测量对象处于不稳定的情况下进行的测量，此时，被测参数随时间变化，因此，这种测量是瞬间完成，只有这样才能得到动态参数的结果。或者，把时间尺度扩大，以测量被测对象的变化情况，例如，用自记式温度计可以测量一天 24 小时或一周内该测点温度变化量。

#### (4) 按测量手段分类

##### 1) 直接测量法

直接测量是指无需对被测的量与其他实测的量进行函数关系的辅助运算，而

直接从测量仪表的读数获取被测量值的测量方法。例如，用米尺量物体的长度，用温度计测量温度等。直接测量多用来测量基本单位量，它简捷、迅速、明了，易保证测量精度，是实验室中广泛采用的测量方法。

### 2) 间接测量法

间接测量法是利用直接测量的量与被测量之间已知的函数关系，间接得到被测量的量值的测量方法。例如，通过测量热电偶的电势变化，计算温度变化。这种直接测量的量与被测量的函数关系运算不一定由测量者自己进行。由于电子仪表的发展，现在许多电子仪表能够利用运算线路使测量者方便地读出间接测量值；但这种测量仍属间接测量，在研究与处理其误差值时，还需逐项分析。

除了上述几种常见的分类方法外，还有其他一些分类方法。比如，按照对测量精度的要求，可以分为精密测量和工程测量、等精度测量和不等精度测量；按照测量时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）等等。

### 1.1.3 测量方法的选择

在选择测量方法时，要综合考虑以下主要因素：

- (1) 根据被测量本身的物理、化学、生物特性；
- (2) 根据所要求的测量准确度，测量准确度并非越高越好，一定要根据实际需要和经济性；
- (3) 要根据具体的测量环境来选择；
- (4) 要根据现有的测量仪表设备等。

多次测量同一参数时，按照精度是否相同，每次测量又可分等精度测量与不等精度测量。不等精度测量及计算和处理误差较麻烦，但可提高测量精度与经济性，在选择测量方法时应予以注意。

在此基础上，选择合适的测量仪器和正确的测量方法。正确可靠的测量结果的获得，要依据测量方法和测量仪器的正确选择、正确操作和测量数据的正确处理。否则，即使使用价值昂贵的精密仪器设备，也不一定能够得到准确的结果，甚至可能损坏测量仪器和被测设备。不应认为，只有使用精密的测量仪器，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。

## 1.2 测量系统

### 1.2.1 测量系统的概念

所谓系统，是指具有一定的结构、各组成成分之间相互关联，并执行一定功能的有序整体。测量系统是指为完成测量任务而组合在一起的总体。广义的测量系统作为一个整体，包括测量中所有环节及被测对象和测量者。狭义的测量系统指测量仪器设备，其构成方框图见图 1-1。

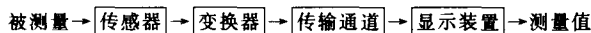


图 1-1 测量系统的组成框图

本文中，若没有特别说明，测量系统都指狭义概念，即测量仪器设备，是指在测量中使用的一切仪器设备，包括各种量具、仪表、仪器、测量装置系统及在测量过程中所需的各种元件、器件、附属设备等。

建筑物理实验中，所测参数种类繁多、范围广，测量要求、方法、精度与安装位置不同，测量仪器设备的原理、外形、结构、价格及自动化程度差别十分大。它可以是一个价格便宜的简单量具，也可以是一套价格昂贵、高精密、高度自动化的复杂测量系统；但就其测量过程所具有的功能都可分为三部分，即传感器、中间变换器与显示装置。它们之间用信号线路或信号管路联系起来。各部分可分成许多环节，也可组合在一整体中。对于简单量具与仪表，这三部分界线不可能划分得很明确，例如，水银温度计。

### 1.2.2 测量系统的类型

测量系统有模拟式与数字式两大类。所谓模拟式测量系统是对连续变化的被测物理量（模拟量）直接进行连续测量、显示或记录的仪表，例如玻璃水银温度计、电子式热电阻温度测量记录仪等，模拟式测量系统仍在被广泛应用。数字式测量系统是将被测的模拟量首先转换成数字量再对数字量进行测量的系统。它将被测的连续的物理量通过各种传感器和变送器转换成直流电压或频率信号后，再进行量化处理变成数字量，然后再进行对数字量的处理（编码、传输、显示、存储及打印）。相对于模拟式测量系统，数字式测量系统具有测量精度高、测量速度快、读数客观、易于实现自动化测量及与计算机连接等优点。由此可见，数字式测量系统具有广泛的应用领域及发展前景。

### 1.2.3 测量系统的构成与功能

各类测量系统一般都是由传感器、中间变换器和测量结果的显示装置三部分构成。

#### (1) 传感器

传感器是测量系统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大小后，输出一个相应的信号，把被测量转换为易于传送和显示的物理量。因为传感器是从被测对象提取被测量的信息，向以后各环节提供原始信号，所以它的性能直接关系着测试工作的可靠性，人们将它比作人的感觉器官或感觉器官的延伸，是测量系统极为重要的组成部分。作为一个性能良好的传感器，应具备下列条件。

1) 准确性和稳定性。输出信息与输入信息有准确的、稳定的单值函数关系，并且最好是线性的。非被测量对传感器的影响很小，可以忽略不计，若不能忽略，则应采取修正或补偿措施。线性关系易于校正与标定，动态测量时易于处理，且测量精度也高。

2) 灵敏性。即要求较小的输入量便可得到较大的输出量。

3) 负载效应小。传感器对原系统的被测参数影响愈小愈好。

4) 其他。经济性、耐腐蚀性等。

传感器也称为一次元件或发送器等。

#### (2) 中间变换器

由于传感器的输出能量很小，一般不能直接驱动显示和控制仪表，必须经过放大或再一次的能量转换，才能将传感器的微弱信号变换为能远距离输送的统一信号（对于单元仪表应该是标准信号）。所以中间变换器的作用是将传感器的输出信号进行远距离的发送、放大、线性化或转换成统一信号，供显示仪器用。变换器还可以将模拟信号转变为数字信号。

对中间变换器的要求是准确地传输、放大和转换信号，并且使信号损失最小，也就是使误差最小。变换器可以是一套复杂的电子系统，也可以是简单的导线、机械结构等。

### (3) 显示装置

显示装置也称为测量终端。它的作用是向观察者显示被测参数的数值和量值。显示可以是瞬时量指示、累积量指示、越限和极限报警等，也可以是相应的记录显示。显示的方式有指示式、数字式和屏幕式。数字显示便于观察者读数和防止主观误差，但结构复杂；模拟显示结构简单、价格低廉、易产生读数误差和估读误差；屏幕显示具有数字显示和模拟显示的优点，即易于读数和具形象性，并能同时在屏幕上显示大量数据。显示装置有时还有各种接口，以便同计算机或其他数字化装置联系，也可以与各种显性、隐性记录仪、自动化调节器、执行器联系。

## 1.3 测量仪表的基本特性

测量仪表能否完成预定的测量任务与精度要求，很大程度上取决于测量仪表的特性。

### 1.3.1 测量范围

所谓测量范围是指在允许误差限内测量仪表的被测量值的范围。测量范围的最高、最低值称为测量范围的上限值、下限值。测量范围上限值和下限值之差称作量程。

### 1.3.2 精度

精度是指测量仪表的读数或测量结果与被测量真值相一致的程度。精度不仅用来评价测量仪器的性能，也是评定测量结果最主要的基本指标。精度又可用精密密度、正确度和准确度三个指标加以表征。

#### (1) 精密密度 ( $d$ )

精密密度说明仪表指示值的分散性，表示在同一测量条件下对同一被测量进行多次测量时，得到的测量结果的分散程度。它反映了随机误差的影响。精密密度高，意味着随机误差小，测量结果的重复性好。

#### (2) 正确度 ( $e$ )

正确度说明仪表指示值与真值的接近程度。所谓真值是指待测量在特定状态下所具有的真实值的大小。正确度反映了系统误差（例如仪表中放大器的零点漂移等）的影响。正确度高则说明系统误差小。

#### (3) 准确度 ( $l$ )

准确度是精密度和正确度的综合反映。准确度高，说明精密度和正确度都高，也就意味着系统误差和随机误差都小，因而最终测量结果的可信度也高。

具体测量中，可能会出现如图 1-2 所示意的几种情况：①表示正确度低，精密密度也低，即准确度很低；②表示正确度高而精密密度差，由于精密密度差而影响准确度；③表示正确度低而精密密度高，由于正确度低而影响准确度；④表示正确度和精密密度都高，因而准确度很高。要获得这样理想的测量结果，应满足三个方面的条件：即性能优良的测量仪表、正确的测量方法和正确细心的测量操作。

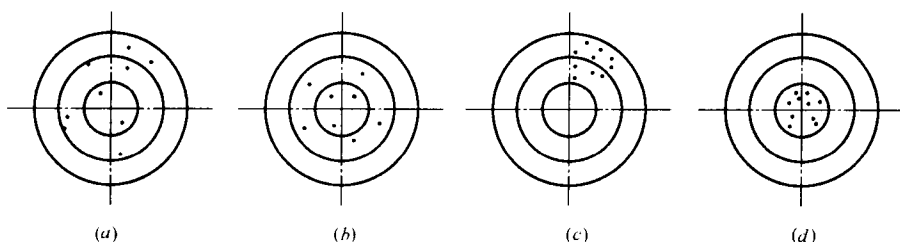


图 1-2 精密密度、准确度、精确度的关系示意图

### 1.3.3 稳定度

稳定度是指在规定的条件下，测量仪表某些性能随时间保持不变的能力。它反映了仪表接受外界环境变化及时间影响的能力，这与仪表精度所表示的重复性有所不同，重复测量时间间隔是短暂的，而较长时间差的二次测量误差则可认为是稳定性所造成的。造成这种示值变化的主要原因是仪器内部各元器件的特性、稳定性的变化和老化等因素。

### 1.3.4 灵敏度

灵敏度是表征测量仪表对被测量变化的敏感程度。一般定义为：对于给定的被测量值，测量仪表指示值（指针的偏转角度、数码的变化等）增量  $\Delta y$  与被测量增量  $\Delta x$  之比，用数学表达式为：

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-2)$$

式中  $K$ ——灵敏度；

$\Delta y$ ——仪表指示值的增量；

$\Delta x$ ——被测量的增量。

仪表的刻度与仪表的精度、灵敏度有关，但单纯提高仪表的灵敏度不一定能提高仪表的精度。例如，把一个电流表的指针接得很长，虽然可把直线位移的灵敏度提高，但其读数的精度并不一定提高；相反，可能由于平衡状况变化其精度反而下降。

灵敏阈也称为分辨率。

定义为测量仪表所能区分的被测量的最小变化量，在数字式仪表中经常使用。例如数字式温度表的分辨率为  $0.1^\circ\text{C}$ ，即这种数字式温度表能区分出最小为  $0.1^\circ\text{C}$  温度变化。分辨的值愈小，其灵敏度愈高。由于各种干扰和人的感觉器官的分辨能力等因素限制，不必要也不应该苛求仪器有过高的灵敏度。否则，将导

致测量仪器过高的成本以及实际测量操作的困难，通常规定分辨力为允许绝对误差的  $1/3$  即可。

### 1.3.5 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  $y-x$  平面上过原点的直线，则称之为线性刻度特性，否则称为非线性刻度特性。

### 1.3.6 负载效应

任何测量仪表进入被测对象后，总要与被测对象进行能量交换。它往往改变原被测系统的平衡，使测量系统受到干扰。如温度场，由于测量仪表的进入，改变了热容与热传导等情况，破坏了原热场的平衡。因此应研究与考虑仪表在测量过程中对被测参数的改变情况，即被测量受到仪表干扰而产生的偏离，这种偏离称作“负载效应”。负载效应不仅与仪表特性有关，也与设计的测量系统、测点位置有关。对于不同的测温点，由于层温现象、死区、热点和其他条件都会引起明显的差别。选择何类仪表，选择哪个测点能代表需要的信息量，有时还需与仪表结构共同来考虑。

## 1.4 计量的基本概念

### 1.4.1 计量与测量

计量和测量是相互联系又有区别的两个概念。测量是利用实验手段把待测量直接或间接地与另一个同类已知量进行比较，从而得到待测量值的过程。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已知量的准确程度都有着密切的关系。因此，体现已知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。计量是利用技术和法制手段实现单位统一和量值准确可靠的测量，可以看作是测量的特殊形式。

在计量过程中，认为所使用的量具和仪器是标准的，用它们来校准、检定受检量具和仪器设备，以衡量和保证使用受检量具仪器进行测量时所获得测量结果的可靠性。因此，计量又是测量的基础和依据。

### 1.4.2 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 1 米 (m)，时间单位 1 秒 (s) 等。计量单位是以严格的科学理论为依据进行定义的。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》。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，分为基本单位、导出单位和辅助单位。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)和物质量单位摩尔(mol)。由基本单位通过定义、定律及其他函数关系派生出来的单位称为导出单位。国际上把既可作为基本单位又可作为导出单位的单位，单独列为一类叫做辅助单位。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、辅助单位和导出单位构成的完整体系，称为单位制。单位制随基本单位的选择而不同。例如，在确定厘米、克、秒为基本单位后，速度单位为厘米每秒(cm/s)；密度单位为克每立方厘米(g/cm<sup>3</sup>)；力的单位为达因(dyn)等构成一个体系，称为厘米克秒制。而国际单位制就是由前面列举的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，国际上规定以拉丁字母SI作为国际单位制的简称。

### 1.4.3 计量基准

基准是指用当代最先进的科学技术和工艺水平，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。根据基准的地位、性质和用途，基准通常又分为主基准、副基准和工作基准，也分别称作一级、二级、三级基准。

#### (1) 主基准

主基准也称作原始基准，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。因此主基准也叫国家基准。

#### (2) 副基准

通过直接或间接与国家基准比对，确定其量值并经国家鉴定批准的计量器具。它在全国作为复现计量单位的副基准，其地位仅次于国家基准，平时用来代替国家基准使用或验证国家基准的变化。

#### (3) 工作基准

经与主基准或副基准校准或比对，并经国家鉴定批准，实际用以检定下属计量标准的计量器具。它在全国作为复现计量单位的地位仅在主基准和副基准之下。设置工作基准的目的是不使主基准或副基准因频繁使用而丧失原有的准确度。

应该指出的是：基准本身并不一定正好等于一个计量单位。

### 1.4.4 计量器具

#### (1) 计量器具的概念

复现量值或将被测量转换成可直接观测的指示值或等效信息的量具、仪器、装置。

#### (2) 计量标准器具

准确度低于计量基准，用于检定计量标准或工作计量器具的计量器具。它可

按其准确度等级分类，如1级、2级、3级、4级、5级标准砝码。标准器具按其法律地位可分为三类：

1) 社会公用计量标准指县级以上地方政府计量部门建立的、作为统一本地区量值的依据，并对社会实施计量监督具有公证作用的各项计量标准。

2) 部门使用的计量标准是省级以上政府有关主管部门组织建立的统一本部门量值依据的各项计量标准。

3) 企事业单位使用的计量标准是企业、事业单位组织建立的作为本单位量值依据的各项计量标准。

### (3) 工作计量器具

工作岗位上使用，不用于进行量值传递而是直接用来测量被测对象量值的计量器具。

### 1.4.5 量值的传递

#### (1) 比对

在规定条件下，对相同准确度等级的同类基准、标准或工作计量器具之间的量值进行比较，其目的是考核量值的一致性。

#### (2) 检定

是用高一等级准确度计量器具对低一等级的计量器具进行比较，以达到全面评定被检计量器具的计量性能是否合格的目的。一般要求计量标准的准确度为被检者的 $1/3$ 到 $1/10$ 。

#### (3) 校准

校准是指被校的计量器具与高一等级的计量标准相比较，以确定被校计量器具的示值误差（有时也包括确定被校器具的其他计量性能）的全部工作。一般而言，检定要比较校准包括更广泛的内容。

#### (4) 量值的传递与跟踪

指的是把一个物理量单位通过各级基准、标准及相应的辅助手段准确地传递到日常工作中所使用的测量仪器、量具，以保证量值统一的全过程。

测量仪器量具在制造完毕时，必须按规定等级的标准（工作标准）进行校准，该标准又要定期地用更高等级的标准进行检定，一直到国家级工作基准，如此逐级进行。同样，测量仪器量具在使用过程中也要按法定规程（包括检定方法，检定设备，检定步骤，以及对受检仪器量具给出误差的方式等），定期由上级计量部门进行检定，并发给检定合格证书。没有合格证书或证书失效（比如超过有效期）者，该仪器的精度指标及测量结果只能作为参考。



## 2 测量误差与数据处理

### 2.1 测量误差

#### 2.1.1 真值与误差

##### (1) 真值 $A_0$

被测量在一定条件下，有一个真正反映其大小的量值，这个量值是客观存在的，它就被测量的真实值，简称“真值”，记为  $A_0$ ，测量的目的就是想要得到这个真值。而在实际测量中，真值是无法测量到的。

##### (2) 误差

在实际测量过程中，受到测量器具不准确、测量手段不完善、测量环境变化、测量操作过程主观、客观因素的影响，都会导致测量结果和测量真值不同。测量值与测量真值之间的差值，称为测量误差。

#### 2.1.2 误差的表示方法

##### (1) 绝对误差

绝对误差定义为：

$$\Delta x = x - A_0 \quad (2-1)$$

式中  $\Delta x$ ——绝对误差；

$x$ ——测量值；

$A_0$ ——真值。

要想得到真值，必须利用理想的测量工具、正确的测量方法进行没有误差的测量，这种理想状态显然是无法实现的。在测量过程中的各种条件限制和各种因素的影响是无法完全消除的，所以也就无法得到真值（个别情况下，真值是人为规定的，是已知准确的，如三角形内角和等于  $180^\circ$ ）。这说明误差存在于一切实际测量中，而且也无法得到误差的准确值。在评价测量结果时，一般用“约定真值”替代公式中的真值。被认为充分接近于真值，可以替代真值的量值被称为约定真值。

$$\Delta x = x - A \quad (2-2)$$

式中  $\Delta x$ ——绝对误差；

$x$ ——测量值；

$A$ ——约定真值。

可以证明：对被测量进行多次等精度测量，并作了相应修正后的平均值是其