高 等 学 校 教 材

专 科 适 用

热工测量和仪表

上海电力学院 朱祖涛 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书讲述热工测量和仪表的基本知识。内容包括：误差理论简介、仪表质量指标；热力发电厂热工过程的各种参数，如温度、压力、流量、水位及炉烟成分的测量原理、测量方法和测量仪表；热工测量新技术、新型传感器以及微电脑在热工测量中的应用。

本书为大专院校热动和集控专业“热工测量和仪表”课程的教材，亦可供有关工程技术人员参考。

高等学校教材（专科适用）

热工测量和仪表

上海电力学院 朱祖涛 主编

*

水利电力出版社出版

（北京三里河路6号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 12.125印张 272千字

1991年5月第一版 1991年5月北京第一次印刷

印数0001—8710册

ISBN 7-120-01236-3/TP·44

定价3.20元

前　　言

本书是根据1989年10月能源部教育司制订的“1990—1992年高等院校教材编写出版计划”编写的，可作为大专院校热动和集控专业“热工测量和仪表”课程的教学用书。

本书讲述温度、压力、流量、水位、烟气成分等热工参数的测量方法和典型仪表。编者结合热力发电厂的生产实践，着重阐述了测量原理和仪表的使用；介绍了测量新技术和新型仪表以及微电脑在热工测量中的应用等；为便于学生理解和掌握，书中编进了一些例题。

全书由上海电力学院朱祖涛（主编）、吴文德编写。书稿经武汉水利电力学院陈天英副教授审阅，提出了建议和意见，在此表示深切的谢意。

由于编者水平有限，不妥及错误之处，恳请读者不吝赐教。

编　　者

1990年4月

目　　录

概　　论

一、热工测量及仪表的组成

测量是人类认识事物本质所不可缺少的手段。通过测量和试验人们将对事物进行定量和发现事物的规律性。测量是按照被测对象的特点，采用某种方法并通过某种测量系统和某些仪器获取被测量数值的全过程。因此，测量技术基本包括测量原理、测量方法和测量工具三个方面的内容。

根据被测对象、测量方法和测量参数的不同，测量的种类是很多的。因此，各行各业都有自己的测量任务与测量技术问题，热工测量只是其中的一种。

热工测量是指在热工过程中对各种热工参数，如温度、压力、流量、液位等的测量（热力发电厂中，有时把成分分析，输煤量、转速、振动测量等也列入其中）。

用来测量热工参数的工具称为热工测量仪表。热工测量仪表的种类繁多，结构多样，用途各异，有时同一类仪表在外观上可能有很大的差别；也有同样外观和几乎同样结构的仪表而其作用却完全不同。若从本质来看，取其共同点，则任何仪表都包括有下列三个必要部分：

（1）感受件（也称一次仪表）　它是测量设备的感受部分，直接与被测对象相联系（但不一定直接接触）。它的作用是感受被测参数的变化，且必须随着被测参数变化而向外界发出一个相应的信号。此信号与被测对象之间必须是单值函数关系。

（2）显示件（也称二次仪表）　感受件输出的信号最终是通过显示件向观察者反映被测参数在数量上的变化的。

（3）连接件（也称中间件）　它的作用是，将感受件输出的信号，根据显示件的要求传送给显示件，因此有的连接件只单纯起传递作用；有的可放大感受件发出的信号；还有的在感受件输出信号形式不适于显示时，把信号转换成适合显示的形式，此时仪表称为变送器。

在热力发电厂中，通过热工测量，可及时反映热力设备的运行工况，为运行人员提供操作依据，为热工自动控制准确地、及时地提供信号。因此，热工测量是保证热力设备安全、经济运行及实现自动化的必要条件。

随着现代化热力发电厂机组的日益向大容量、高参数发展，一套机组的检测项目有上百个，测点多达千余个，传统的热工测量技术和仪表已不能适应。因此，巡回检测、自动打印、微机控制的屏幕技术、智能仪表等被采用，这对在线运行中的大量热工参数的动态信息的处理、储存和智能化带来了极大好处。然而作为热工自动化的基本手段，它们应首先保证热工测量静态的准确性、可靠性以及动态的快速性，使仪表真正起到“耳目”的作用。

本课程将对电厂的主要热工参数的测量原理和方法、热工测量仪表以及测量系统作介绍。

二、测量误差

在工程技术和科学研究领域中，对于所得到的测量结果是否符合被测参数的真实数值，它的可信程度如何？应该作出正确的估计。

人们对于被测参数真实值的认识，随着实践经验的积累和科学技术的发展将愈来愈接近，但决不可能达到绝对准确的程度。因为在测量中始终存在着各种各样的影响因素，这些影响因素的不同和变化使得所测得的数值和被测参数真实值之间存在着一定差别，这一差别就是测量误差，即仪表的测量值x不能绝对准确地等于被测参数的真实值x_0，人们只是力求使x接近x_0。

实际上，被测参数的真实值x_0本身也仅仅是经过多次重复精细的测量而得到的，是认为比较可靠的数值而已。例如，在压力表校验中往往利用准确度较高的标准压力表上的指示值作为被测压力的真实值p_{x_0}，而准确度较低的工业用压力表上的指示值则认为是不大可靠的测量值p_x，压力测量的误差$\Delta p=p_x-p_{x_0}$，Δp愈小，被测压力指示值p_x的可靠程度愈高。

因此，求知测量误差的目的就在于用来判断测量结果的可靠程度。

测量误差按其性质可以分成下面三类：

1.系统误差

在同一条件下，多次测量同一被测量时，误差的绝对值和符号或者保持不变，或者在条件变化时按某种确定规律变化的误差称作系统误差。测量系统和测量条件不变时，增加重复测量次数并不能减少系统误差。

系统误差通常是由于仪表使用不当，或者测量时外界条件变化等原因引起的，例如，仪表的零位变化或者量程未调整好等。

对于有确定性规律的系统误差，可以通过对读数的修正而得到测量的实际值，即

测量实际值＝测量读数＋修正值

读数修正值是在测量之前用标准表对本测量仪表（或系统）进行比较而得到的，即

修正值＝标准表读数值－仪表读数

对于没有确定性规律的系统误差，一般只估计系统误差的误差范围和方向(正、负号)。如无法确定，可把它归为随机误差处理。

系统误差只能在改变测量条件和装置的情况下，才能由实验估计出来。在测量中应估计到一切可能产生系统误差的来源，以减小系统误差。

2.随机误差

随机误差是在相同条件之下（同一观察者，使用相同的测量器具，在相同的环境条件下，等等），多次测量同一量值时，绝对值和符号作不规律变化的误差。对于单个测量值，其随机误差的大小和方向都是不确定的，但多次重复测量结果的随机误差却有规律性。

随机误差大多数是由于测量过程中大量彼此独立的微小因素对测量的影响造成的。这些因素往往是尚未知道和难以控制的。

实践与理论证明，只要重复测量次数足够多，测定值的随机误差的概率密度服从于正态分布。同时可根据这种分布规律，从一系列重复测定值中求出被测量值的最可信值作为测量结果，并给出该结果以一定概率存在的范围，此范围称作测定值的随机不确定度。被测量的真值落在这个不确定度范围内的概率称为该不确定度的置信概率。严格地说，一个测量结果必须同时附有不确定度和相应的置信概率的说明，否则测量结果是无意义的。

随机误差概率密度的正态分布曲线如图0-1所示。曲线的横坐标为误差$\delta=x-x_0$，纵坐标为随机误差概率密度$f(\delta)$，其定义为

$$f(\delta)=\lim_{\Delta\delta\to 0}\frac{n_i}{N}\cdot\frac{1}{\Delta\delta}=\frac{1}{N}\cdot\frac{\mathrm{d}n_i}{\mathrm{d}\delta} \tag{0-1}$$

式中 N——总的测量次数；

n_i——误差在δ_i到$\delta_i+\Delta\delta$之间出现的次数。

$f(\delta)\mathrm{d}\delta$表示测定值的误差落在$\delta_i$与$\delta_i+\Delta\delta$之间的概率。随机误差概率密度的正态分布规律，即误差的概率密度$f(\delta)$与误差δ之间的关系为

$$f(\delta)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{\frac{-\delta}{2\sigma^2}} \tag{0-2}$$

其中 $\delta=x-x_0$；

上两式中 δ——测定值的误差；

x——测定值；

x_0——真值；

σ——标准误差（均方根误差），

$$\sigma=\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i-x_0)^2}}{N} \tag{0-3}$$

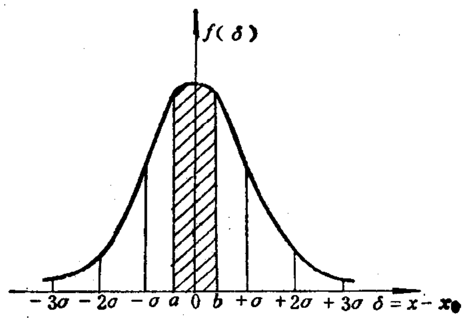

图 0-1 概率密度分布曲线

由图0-1可看出，按正态分布的随机误差有以下特性：小误差出现的次数多，而且误差愈小，其出现的次数愈多，误差越大的出现的次数越少；正误差和负误差出现的次数相等。

如$\delta=x-x_0$，并给出误差区间$[a, b]$，则随机误差δ在区间$[a, b]$内出现的概率为

$$P\ \{a<\delta<b\}=\int_a^b f(\delta)\mathrm{d}\delta \tag{0-4}$$

其数值等于图0-1中阴影部分的面积数。因为$-\infty<\delta<+\infty$是必然事件，显然有$\int_{-\infty}^{+\infty}f(\delta)\times\mathrm{d}\delta=1$。

为了表示随机误差的大小，如图0-2所示，通常把$\pm a$（即$\pm\sigma$，$\pm 2\sigma$，…，$\pm z\sigma$）作

为随机误差的一个界限，称作为置信限a，$-a\sim+a$所形成的区间称作置信区间，其中z称作为置信系数，把概率$P\{-a\leqslant\delta\leqslant+a\}$称作在$\pm a$置信区间内的置信概率；把$1-P=\alpha$称作置信水平或显著性水平；置信限和置信概率合起来称作为置信度，即可信赖的程度。

显然，置信区间愈宽，置信概率愈大；置信区间愈窄，置信概率愈小。

例如，当置信限a为σ、2σ、3σ（即置信系数z为1、2、3）时，随机误差落在该置信区间的概率为

$$\phi(1)=P\{-\sigma\leqslant\delta<+\sigma\}=\int_{-\sigma}^{+\sigma}\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}d\delta=0.6827$$

显著性水平　　$\alpha=1-\phi(1)=0.3173$

$$\phi(2)=P\{-2\sigma\leqslant\delta<+2\sigma\}=\int_{-2\sigma}^{+2\sigma}\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}d\delta=0.9545$$

显著性水平　　$\alpha=0.0455$

$$\phi(3)=P\{-3\sigma\leqslant\delta<+3\sigma\}=\int_{-3\sigma}^{+3\sigma}\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}d\delta=0.9973$$

显著性水平　　$\alpha=0.0027$

因此，对于一组重复测定值中的任一个测定值来说，随机误差超出$\pm3\sigma$的概率（即显著性水平α）仅在千分之三以下。对于概率如此小的事件，实际上可近似认为是不可能事件，所以通常以$\pm3\sigma$作为最大误差或极限误差，并把它称作该组测定值的随机不确定度，与它相应的置信概率为0.997(99.7%)。

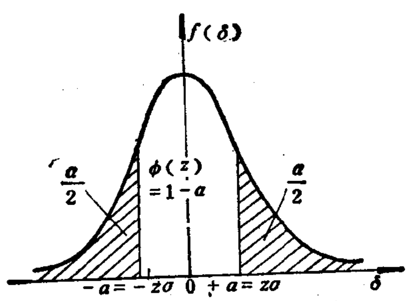

图 0-2　置信概率等在图形上的表示

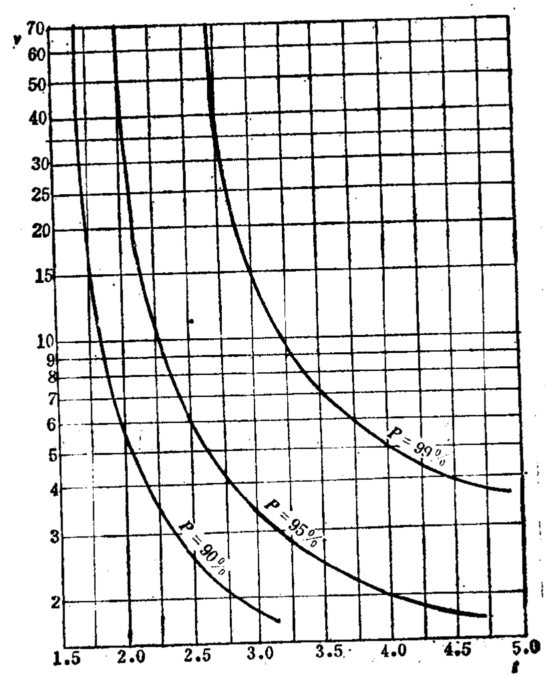

图 0-3　t 分布

在实际测量工作中被测量的真值通常是不知道的，当重复测量次数N足够多时（一般

要60次以上），可用该组测定值的算术平均值$\bar{x}$代替真值，得到的均方根误差的估计值为

$$S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^2}{N-1}} \tag{0-5}$$

应指出在实际测量工作中，重复测量的次数N不可能很多，这样使算术平均值与真值相差较大，测量系统的均方根误差与它估计值S之间有较大差别，这时测定值的随机不确定度及其置信概率可由t分布求得。

t分布又叫学生氏分布，它是一种重要的分布。当对某一参数测量许多次时，所得到的测量值的全体称为母体。在通常测量中，得到的仅是母体中的若干个测量值，称作子样。子样中测量值的数目叫做子样大小（或子样容量）。实际上测量次数是有限的，往往在20～30次以下，称小子样，子样的性质在一定程度上可反映母体的性质，所以有必要进一步研究小子样的统计性质，而t分布就是研究小子样的分布。

对于一次测量值x，其测量结果为

$$x \pm tS\text{（置信概率）} \tag{0-6}$$

其中，t系数取决于置信概率P（90%、95%或99%）和均方根误差估计值S的自由度ν，可由图0-3和表0-1查得，$\nu=N-1$（由于计算平均值时已去除一个自由度）。

表 0-1　　t 分 布

自由度ν \ 置信概率P (t值)	90%	95%	99%	自由度ν \ 置信概率P (t值)	90%	95%	99%
1	6.314	12.706	63.657	18	1.734	2.101	2.878
2	2.920	4.303	9.925	19	1.729	2.093	2.868
3	2.353	3.182	5.841	20	1.725	2.086	2.845
4	2.132	2.770	4.604	21	1.721	2.080	2.831
5	2.015	2.571	4.032	22	1.717	2.074	2.819
6	1.943	2.447	3.707	23	1.714	2.069	2.807
7	1.895	2.365	3.499	24	1.711	2.064	2.797
8	1.860	2.306	3.355	25	1.708	2.060	2.787
9	1.833	2.262	3.250	26	1.706	2.056	2.779
10	1.812	2.228	3.169	27	1.703	2.052	2.771
11	1.796	2.201	3.106	28	1.701	2.048	2.763
12	1.782	2.179	3.055	29	1.699	2.045	2.756
13	1.771	2.160	3.012	30	1.697	2.042	2.750
14	1.761	2.145	2.977	40	1.684	2.021	2.704
15	1.753	2.131	2.947	60	1.671	2.000	2.660
16	1.746	2.120	2.921	120	1.658	1.980	2.617
17	1.740	2.110	2.898	∞	1.645	1.960	2.576

对于多次重复测量，其测量结果为

$$\bar{x} \pm t\frac{S}{\sqrt{N}}\text{（置信概率）} \tag{0-7}$$

式中　$\bar{x}$——算术平均值；

N——重复测量次数。

从图0-3和表0-1中可看出当N增大时，t分布趋向于正态分布。

【例 1】 用内径千分卡8次重复测量孔板内径，测得数据为：85.652，85.643，85.598，85.661，85.579，85.677，85.701，85.597（单位为mm）。试求孔板的真实内径、不确定度及置信概率。

【解】 $N=8$

算术平均值为
$$\bar{x}=\frac{\sum_{i=1}^{N}x_i}{N}=85.639$$

均方根误差的估计值S为

$$S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^2}{N-1}}=\sqrt{\frac{\sum_{1}^{8}(x_i-85.639)^2}{8-1}}=0.04306$$

自由度$\nu=8-1=7$，取置信概率99%，从表0-1中可查得$t=3.499$，故算术平均值的不确定度为

$$\pm t\frac{S}{\sqrt{N}}=\pm 3.499\times\frac{0.04306}{\sqrt{8}}=\pm 0.0533(99\%)$$

孔板的真实内径应取：

$$\bar{x}\pm t\frac{S}{\sqrt{N}}=85.639\pm 0.0533(99\%)$$

3.疏忽误差

疏忽误差是由于在测量过程中疏忽大意、仪表的误动作等原因而造成的测量误差。例如：将数读错；充水测压仪表的管路中偶然有气泡等。

含有疏忽误差的读数称为坏值。坏值对测量是无意义的，应从读数中加以剔除。有多种准则可鉴别坏值的存在，通常是根据测量次数的多少来选择恰当的准则的。

下面介绍两种工业测量中常用的鉴别准则。

（1）格拉布斯检验准则　对某个量进行N次重复测量，得到一组为x_1，x_2，$x_3\cdots$，x_n的读数，且服从正态分布。设其中x_i为可疑数据，可用下式计算T：

$$T=\frac{|x_i-\bar{x}|}{S} \tag{0-8}$$

其中　$\bar{x}$——算术平均值；

S——均方根误差估计值。

然后根据重复测量次数N和所选的置信概率P，从表0-2中查得格拉布斯准则数T_g，如果$T\geqslant T_g$，则认为此可疑数据含有疏忽误差，应于剔除。剔除后重新计算$\bar{x}$和S，再检查可疑数据。

表 0-2　　　　　　　　　　**格拉布斯准则数 T_g**

N	T_g		N	T_g	
	P=0.95	P=0.99		P=0.95	P=0.99
3	1.15	1.16	17	2.48	2.78
4	1.46	1.49	18	2.50	2.82
5	1.67	1.75	19	2.53	2.85
6	1.82	1.94	20	2.56	2.88
7	1.94	2.10	21	2.58	2.91
8	2.03	2.22	22	2.60	2.94
9	2.11	2.32	23	2.62	2.96
10	2.18	2.41	24	2.64	2.99
11	2.23	2.48	25	2.66	3.01
12	2.28	2.55	30	2.74	3.10
13	2.33	2.61	35	2.81	3.18
14	2.37	2.66	40	2.87	3.24
15	2.41	2.70	50	2.96	3.34
16	2.44	2.75	100	3.17	3.59

置信概率不宜选得过大。如选得过大，则可能把不含疏忽误差的数据当作含疏忽误差的数据去剔除。

（2）t 分布检验准则　当重复测量的次数较少时（$N<20$），用 t 分布检验准则较为合适。得到一组N个数据，将被怀疑的数据先剔除，而后按余下的$(N-1)$个测量值来计算算术平均值和均方根误差的估计值：

$$\bar{x}=\frac{\sum_{i=1}^{N-1}x_i}{N-1} \tag{0-9}$$

$$S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1}(x_i-\bar{x})^2}{N-2}} \tag{0-10}$$

按要求的置信概率P和自由度$\nu=N-2$查表0-3，确定t分布准则数T_t。若被剔除的读数确实含有疏忽误差，它的统计量T就满足下式关系：

$$T=\frac{|x_i-\bar{x}|}{S}\geqslant T_t \tag{0-11}$$

式中　x_i——被剔除的读数；

$\bar{x}$——按余下的$(N-1)$个读数计算的算术平均值；

S——按余下的$(N-1)$个读数计算的均方根误差的估计值。

也就是说将该读数剔除是正确的；反之，若不满足式（0-11），则表明该测量值不含疏忽误差，应该重新将它收入到数据列，并重新计算误差。

【例 2】 试按 t 分布检验准则判别一组测量数据：5.29　5.30　5.31　5.30　5.32　5.29　5.28　5.27　5.31　5.28中是否有疏忽误差。

表 0-3　　　　　　　　　t 分布准则数 T_t

ν \ P	0.999	0.99	0.95	ν \ P	0.999	0.99	0.95
2	77.696	77.964	15.561	17	4.131	3.006	2.181
3	36.486	11.460	4.969	18	4.074	2.997	2.168
4	14.468	6.530	3.558	19	4.024	2.953	2.156
5	9.432	5.043	3.041	20	3.979	2.932	2.145
6	7.409	4.355	2.777	21	3.941	2.912	2.135
7	6.370	3.963	2.616	22	3.905	2.895	2.127
8	5.733	3.711	2.508	23	3.874	2.880	2.119
9	5.314	3.536	2.431	24	3.845	2.865	2.112
10	5.014	3.409	2.372	25	3.819	2.852	2.105
11	4.791	3.310	2.327	26	3.796	2.840	2.099
12	4.618	3.233	2.291	27	3.775	2.830	2.094
13	4.481	3.170	2.261	28	3.755	2.820	2.088
14	4.369	3.118	2.236	29	3.737	2.810	2.083
15	4.276	3.075	2.215	30	3.719	2.802	2.079
16	4.198	3.038	2.197	40	3.602	2.742	2.048

【解】 检验第 5 个读数5.32是否含有疏忽误差，由

$$\bar{x}=\frac{\sum_{i=1}^{N-1}x_i}{N-1}=\frac{\sum_{i=1}^{10-1}x_i}{10-1}=5.292$$

得

$$S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1}(x_i-\bar{x})^2}{N-2}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10-1}(x_i-5.292)^2}{10-2}}=1.39\times10^{-2}$$

若要求置信概率$P=0.95$，且$\nu=N-2=10-2=8$，查表0-3得$T_t=2.508$。而

$$T=\frac{|x_i-\bar{x}|}{S}=\frac{|5.32-5.292|}{1.39\times10^{-2}}=2.014$$

因$T<T_t$，所以第 5 个读数5.32并不含有疏忽误差，不应剔除。

三、热工测量仪表的质量指标

质量指标是衡量仪表质量好坏的标准，它与仪表的设计、制造质量有关，影响测量的准确度。

1.仪表的准确度（精确度）

准确度是正确度和精密度的总称。正确度表征系统误差的大小；精密度表征随机误差的大小。因此，仪表的准确度是表示测量结果与被测真值之间的综合的接近程度。

（1）绝对误差　用两只仪表（准确度较高的作为标准表、准确度较低的作为被校表）同时对同一参数进行测量，比较它们的示值（这在计量工作中称为仪表的校验或检定），被校仪表与标准仪表读数值的差称为被校表示值的绝对误差，即

$$绝对误差=x-x_0 \tag{0-12}$$

式中　x——仪表指示值（被校仪表的读数值）；

x_0——被测真值（标准仪表的读数值）。

（2）相对误差　相对误差用以下公式计算：

$$相对误差=\frac{x-x_0}{x_0}\times 100\% \qquad (0\text{-}13)$$

（3）仪表的绝对误差　在测量仪表标尺范围内，各点示值绝对误差的最大值称作仪表的绝对误差。

例如：某一测温仪表的标尺范围为0～500℃，经过校验在0、100、200、300、400、500℃时的示值绝对误差分别为0、+3、−3、−5、−2、+6℃，则仪表的绝对误差是±6℃。

（4）仪表的折合误差　仪表的绝对误差不能用于判断仪表的质量，因为两只仪表如果绝对误差相同，但量程范围不同，显然量程范围较大的那只仪表具有较高的准确度。

所以，判断仪表的质量常常不用仪表的绝对误差而用仪表的折合误差。所谓折合误差就是仪表绝对误差折合成该标尺范围的百分数，即

$$仪表的折合误差=\pm\frac{仪表的绝对误差}{标尺上限-标尺下限}\times 100\% \qquad (0\text{-}14)$$

对上面的例子来说，仪表的绝对误差是±6℃，若标尺范围是500℃，则其折合误差为±1.2%。

另有一只仪表，其最大绝对误差也是±6℃，但标尺范围是−50℃～+150℃，其折合误差为±3%。

显然，两只仪表的绝对误差虽然都是±6℃，但第一只仪表的质量比较高。

（5）仪表的基本误差和附加误差　仪表在正常工作条件下（例如：环境温度、湿度、振动、电源电压、频率等）的最大误差，用折合误差来表示。

仪表不在规定的正常工作条件下工作，由外界条件变动引起的额外误差，称为附加误差。例如，当仪表的工作温度超过规定的范围时，将引起温度附加误差。

（6）仪表的允许误差及准确度等级　某类仪表在正常工作条件下，人为规定其误差的极限值，称为仪表的允许误差。对具体某台仪表，它的基本误差可以大于或小于允许误差，所以，允许误差不能代表某台仪表的具体误差。

仪表的允许误差与国家规定的准确度等级（精确度等级或精度等级）有关。

国家准确度等级按系列化排列，…，0.02，0.04，0.05，0.1，0.2，0.35，0.5，1.0，1.5，2.5，4.0…。级数越小，准确度越高，0.5级仪表的允许误差为±0.5%；1.0级仪表的允许误差为±1%。通常在仪表指示面板上刻有 0.5 ，1.0 之类的符号，分别表示0.5级和1.0级仪表。

【例3】对某机组进行热效率试验，需用0～16MPa压力表来测量10MPa左右的主蒸汽压力，要求相对测量误差不超过±0.5%，试选择仪表的准确度等级。

【解】绝对误差$=10\times 0.5\%=\pm 0.05$MPa

$$\text{仪表的折合误差(允许)}=\frac{\pm 0.05}{16-0}\times 100\%=\pm 0.313\%$$

设该仪表的工作条件均满足，仪表的准确度等级应选为0.2级，不能误选为0.35级。

仪表的准确度等级只说明该仪表标尺上各点可能的最大绝对误差，它不能说明在标尺各点上的实际读数误差。实际读数误差需通过逐点校验得到。

对于实验室用仪表，往往将其标尺上各点的实际误差测出，然后在使用时对该仪表的读数引入一个校正数。

校正数＝标准数－读数

对于工业用仪表，由于附加误差的来源很多，作出校正曲线或表格是没有意义的。因为它的准确度等级也较低，一般只规定一个允许误差，同时规定定期校验的时间间隔，只要仪表标尺上各点的读数误差都在仪表的允许误差范围内，就不必校正读数。

2.非线性误差

对于理论上具有线性输入-输出特性曲线的仪表，由于各种因素的影响，其实际特性曲线偏离理论的特性曲线（直线），它们之间的最大偏差对量程范围的百分数称之为非线性误差，如图0-4所示。

$$\text{非线性误差}=\frac{\Delta'_{max}}{\text{标尺上限}-\text{标尺下限}}\times 100\% \qquad (0\text{-}15)$$

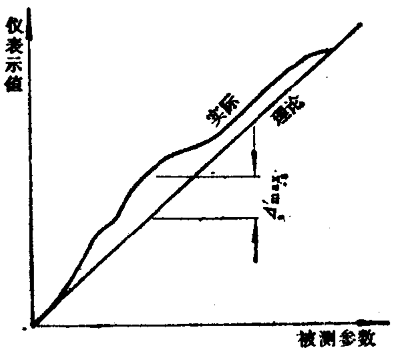

图 0-4 非线性现象

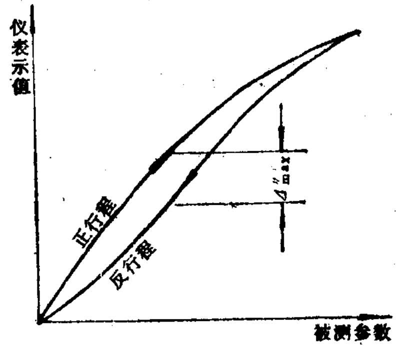

图 0-5 测量仪表的变差

3.变差（滞后误差）

在外界条件不变的情况下，仪表上、下行程时输入-输出特性曲线之间的最大偏差对量程范围的百分数称为仪表的变差，它通常是由于仪表运动系统的摩擦、间隙，弹性元件的弹性滞后等原因造成的，如图0-5所示。

$$\text{变差}=\frac{\Delta''_{max}}{\text{标尺上限}-\text{标尺下限}}\times 100\% \qquad (0\text{-}16)$$

4.重复性

同一工作条件下，按同一方向输入信号，并在全量程范围多次变化信号时，对应于同一输入值，仪表输出值的一致性称为重复性。重复性是以全量程上最大的不一致值相对于量程范围的百分数来表示的。

5. 不灵敏区

不能引起输出变化的输入信号范围，即缓慢地向增大或减小方向改变输入信号时，输出不发生变化的最大输入变化幅度相对于量程的百分数，称为不灵敏区。

仪表能响应的输入信号的最小变化称作为仪表的灵敏度限。它与不灵敏区从不同的两个角度来描述仪表的灵敏性。灵敏度是指输出与输入的比值。指示仪表的灵敏度就是指单位输入信号所引起的指针偏转量。

测量仪表的灵敏度可以用增大放大系统（机械或电子的）放大倍数的办法来提高。但是必须指出，单纯地以加大仪表灵敏度来达到更准确的读数是不合理的，这时可能出现灵敏度很高，但准确度却下降的现象。为了防止准确度下降，常规定仪表标尺上的分格值不能小于仪表允许误差的绝对值；仪表灵敏度限的数值应大于仪表允许误差绝对值的一半。

6. 漂移

在保持一定的输入信号、环境和工作条件下，经过一段时间后，输出的变化称为漂移。它是以仪表全量程上输出的最大变化量对量程的百分数表示的。

漂移通常是由于电子元件的老化，弹性元件的失效，节流元件的磨损，热电偶、热电阻元件的污染等原因引起的。