

工程检测技术

GONG CHENG JIAN CE JI SHU

中央广播电视大学电工教研室 编

学苑出版社

工程检测技术

中央广播电视大学电工教研室 编

学苑出版社出版 社址：北京西四颁赏胡同四号

沈阳六〇一所印刷厂印刷

辽宁广播电视大学发行

开本 787×1092 1/16 印张 9.75 字数 230千字

印数 1~6000

1988年12月第1版

1988年12月第1次印刷

中国标准书号：ISBN7-80060-268-0/TP·2 定价：2.70元

前 言

本书是中央广播电视大学电气工程系《工程检测技术》课程的代用教材。经主讲教师浙江大学杨世超教授亲自审阅后修改而成，本书内容与电视录像完全一致，以方便读者的学习。

全书共十一章。内容包括测量的基础知识，材料力学基础知识，力、压力、温度、流量、物位、转速与转矩、位移和振动参量的测量方法。结合各章物理量的测量，介绍应变、振弦、霍尔、热电偶、热电阻、电磁、电感、电涡流、压电等各类传感器的工作原理和特性。每章后附有思考题与习题，以方便读者的学习。

本书由中央广播电视大学电气工程系电工教研室整理编写。其中周远程同志整理第三、六、七、九章；陈炯同志整理第四、五、八、十、十一章；汪洋同志和张文翔同志整理第一、二章。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中错误和不当之处在所难免，尚请读者批评指正。

编者

一九八八年七月

目 录

第一章 绪论

- § 1—1 工程检测技术的作用..... (1)
- § 1—2 工程检测技术的基本内容..... (2)
- § 1—3 工程检测技术的教学安排..... (3)

第二章 测量的基本知识

- § 2—1 测量的概念与定义..... (4)
- § 2—2 测量方法..... (4)
- § 2—3 实现直接测量的方法..... (5)
- § 2—4 测量仪表的基本功能和基本性能..... (7)
- § 2—5 工程测试仪表的选用..... (13)
- § 2—6 测量的基准、标准及单位制 (SI制) (14)
- § 2—7 测量误差及其分类..... (19)
- § 2—8 随机误差..... (22)
- 思考题与习题..... (28)

第三章 检测仪表中的弹性元件

- § 3—1 材料力学的有关基本知识..... (30)
- § 3—2 弹性元件的基本特性..... (38)
- § 3—3 弹性敏感元件的材料与形式..... (39)
- 思考题与习题..... (44)

第四章 力的测量

- § 4—1 电阻应变片的工作原理..... (46)
- § 4—2 温度误差及其补偿..... (49)
- § 4—3 电桥原理及电阻应变片桥路..... (51)
- § 4—4 电阻应变仪的工作原理..... (53)
- § 4—5 应变式测力计..... (54)
- § 4—6 传感器特性的标准化问题..... (56)
- 思考题与习题..... (56)

第五章 压力测量

- § 5—1 压力概述..... (58)
- § 5—2 应变式压力计..... (60)
- § 5—3 振弦式压力计..... (62)
- § 5—4 霍尔式压力计..... (64)
- 思考题与习题..... (66)

第六章 温度测量

- § 6—1 温度的概念及温标..... (68)
- § 6—2 温度测量方法与测温仪表..... (70)

6—3 热电偶.....	(73)
6—4 电阻温度计.....	(80)
思考题与习题.....	(84)
第七章 流量测量	
§ 7—1 节流式流量计.....	(86)
§ 7—2 转子流量计.....	(92)
§ 7—3 靶式流量计.....	(94)
§ 7—4 电磁式流量计.....	(97)
§ 7—5 椭圆齿轮流量计.....	(99)
§ 7—6 质量流量计.....	(100)
思考题与习题.....	(102)
第八章 物位测量	
§ 8—1 物位测量的概念及分类.....	(103)
§ 8—2 电容式物位计.....	(104)
§ 8—3 超声波物位计.....	(112)
思考题与习题.....	(114)
第九章 转速和转矩的测量	
§ 9—1 转速测量.....	(115)
§ 9—2 转矩测量.....	(119)
思考题与习题.....	(121)
第十章 位移测量	
§ 10—1 电感式传感器.....	(122)
§ 10—2 差动变压器式传感器.....	(125)
§ 10—3 电涡流传感器.....	(128)
思考题与习题.....	(133)
第十一章 振动测量	
§ 11—1 机械振动的数学描述.....	(134)
11—2 振动传感器.....	(138)
§ 11—3 磁电式速度传感器.....	(143)
§ 11—4 压电式振动传感器.....	(144)
思考题与习题.....	(151)

第一章 绪 论

§ 1-1 工程检测技术的作用

工程检测技术是指反映工业过程中一些参数的测试技术，它是现代自动化生产的一个重要组成部分。自动化技术是和当前的科技发展分不开的，是现代的重要标志之一。近年来，由于检测技术、控制理论和计算机技术的迅速发展，自动化技术也随之被推进到一个新的水平。在工业生产方面，当前生产设备不断向大型化、高效化方向发展，大规模综合型的自动化系统不断建立，工业生产过程控制和企业管理调度一体化的要求，使自动化技术的发展进入一个新的阶段。

从广义上看，任何生产过程都可以看作是由“物质流程”和“信息流程”组合而成的，反映“物质流程”的数量、状态和趋向而组成的“信息流程”是管理与控制的依据。人们为了有目的的进行控制，首先必须通过测量获取有关的信息，然后才能进行分析、判断，以实现控制。所谓自动化，就是用各种技术工具与方法来完成测量、分析、判断和控制工作。

就现代工业来说，生产装置本身的各个环节是相互关联的。生产系统（生产过程）不仅需要协调动作，而且由于被控对象（工艺过程、炼铁、炼油、提取、合成……）特性复杂，参数变量很多、速度很快等等，仅依靠人直接参与控制已不可能。因此，借助于自动化装置实现自动控制已是必然趋势。

在实现自动化的过程中，信息的获取与转换是极其重要的组成环节。只有精确、及时地将被控对象的各项参数检测出来，并转换成容易传递与处理的信号，整个装置才能正常工作，过程才能正常运转。在一般情况下，大多数检测出的参数是转换为电信号，也有一些是转换为气压信号（如气动仪表等）。这是因为电信号易于传输、处理，可以送入计算机系统进行统一化的安排。再者，电信号可以放大，用来直接驱动执行机构。因此，测量与转换是自动化技术中必不可少的内容之一。

下面我们来看一个实例。图1—1是一热交换器系统图，该系统的作用是用热蒸汽把水加热到某一温度。目前简单的控温方法是测量热水出口温度，反映到仪表上，操作者根据仪表的示数调节进汽量的大小，这是一个很简单的工艺过程。但随着生产规模的提高或水流速度的加快，操作者对温度指示的反应和调节阀门的速度可能就跟不上，而且在一个大系统中不可能在每一控制点处都安排操作者。因此就需要采取改进措施，改进后的系统如图1—2所示。出口温度用测温元件测量并经变送器转换成电信号送入调节器、指示计、记录计和报警器。调节器用来代替操作者控制阀门，调节进汽量；指示计指示出口温度供观察；记录计记录出口温度的变化情况供查询；报警器在出口温度异常或系统出现故障时提醒操作人员及时处理。

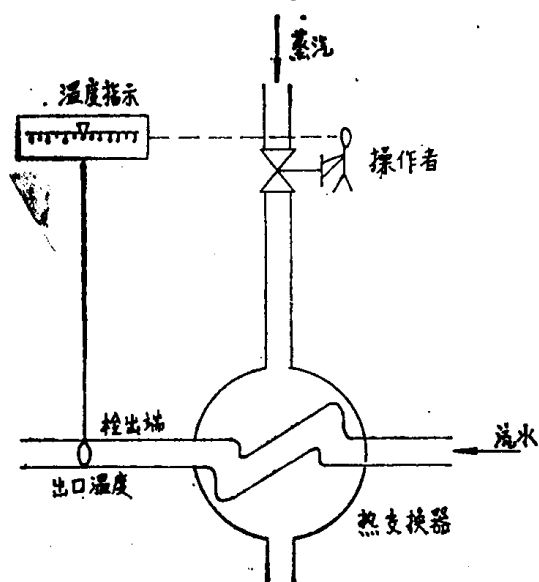


图 1-1 热交换器系统

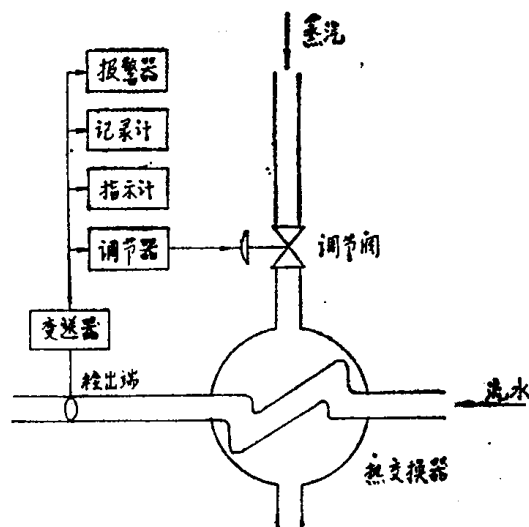


图 1-2 改进的热交换器系统

图1-3反映了一个现代化的冶金过程中各种仪表所占的比例。据统计，在一般的中等化工过程中，仪表设备部分的投资大约占总的设备投资的20%以上。因此，工程检测在自动化技术中是必不可少的，在现代工业生产中占有很重要的地位。

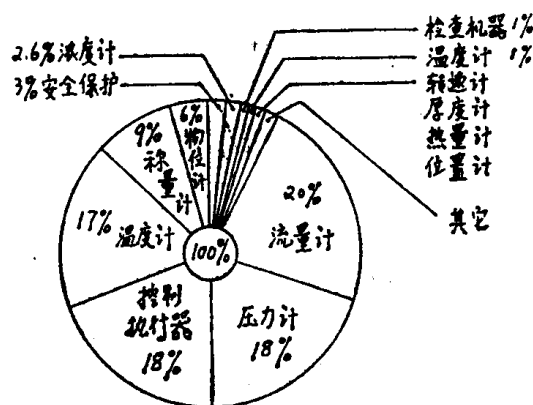


图 1-3

§ 1-2 工程检测技术的基本内容

检测这个工程术语通常是指工业过程中参数的测量，广义上的测量是人类认识自然、改造自然的重要手段。从土地丈量、时间计量到研究微观现象、分析化学成分、发现物理定律都离不开测量技术。

现在工业技术和科学实验都是和测量技术的发展相联系的，宇宙航行、海洋开发、化工、动力都需要统一和精确的测量。因此可以说，没有近代测量技术，就没有当前的科学技术。工程检测技术这门课，着重地讨论工业常用参数的检测与转换，它是描述工艺过程的主要依据，是构成自动控制系统的基础。它从被测量的对象出发，应用物理或化学原理，将被测对象所需检测的（可以表征的）某些参数如温度、流量、物位、压力等热工参数，位移、力、速度、加速度等机械量参数，通过检测仪表或传感器，转换成与被测参数有一定关系的物理量，如电压、电流，以便于显示、记录与处理。

我们这门课中所介绍的是工程检测中最常用的参数，如力、压力、温度、流量、物位、转速、位移与振动参数等，通过讨论这些参数的检测技术，使大家明确以下几个问

题:

- (1) 参数测定中基于的若干定律或原理(物理参数,物理效应,物理定律);
- (2) 检测元件的基本组成与工作特性;
- (3) 测量系统的功能,除完成检测外,尚需有相应的电路进行适配、放大、预处理,及有可能与调节器或计算机联用。

工程检测技术的发展与生产技术和科学研究的发展是分不开的,因此它是一门十分活跃的学科。生产模型、格式、管理等的发展,对检测技术不断提出新的要求,因此它们也是检测技术发展的基础。同时,检测技术在新工业领域中的应用,更为自己的进一步发展提供了可能。如:动力工业、化工部门设备的合理运行,生产率与质量的保证,设备故障的诊断,产品交换中的计量,以及环境保护、生物工程、海洋工程等,都对检测技术的发展提出新的要求。新效应、新材料的不断引入,半导体、精密陶瓷、高分子材料等敏感元件的出现,在检测技术中是正在掘起的方面军,有利于在更广泛的领域内如民用建筑、家用电器、机器人等领域中使用。

本课程所介绍的是工业生产中最常用、最基本的测量电路及最基础的检测原理,这些在庞大的检测技术中是最主要的内容。学习这些内容不仅有助于教学的进行,也有利于今后同学们应用所学的知识进行工作。

§ 1-3 工程检测技术的教学安排

本课程的主要目的是介绍实验内容、提供思考题等,使同学们懂得工程参数是怎样被测量的,为什么这类检测元件(传感器)能有这种功能,以及如何选用检测元件与合适的配套仪器构成测量系统。

计划讲课 60 学时,实验课 2~4 学时,复习课 3 学时。

主要参考书有:

- (1) 工程检测技术(上、下册) 陈守仁主编 中央广播电视大学出版社
- (2) 化工测量仪表 上海科学技术出版社
- (3) 非电量电测技术 严钟豪 谭祖根主编
- (4) 传感器原理 南京航空学院 北京航空学院编

几点说明:

1. 本课程在内容上强调非电量电测技术。因为检测参数的传送和处理是检测技术中的主要内容,在工业生产中控制是现代生产的客观要求,所以参数要转换成电量,而实现非电量电测将在全书中占一定的位置。

2. 根据教学计划的安排,在书中单列一章适当介绍一些工程力学知识和结构型敏感元件(弹性元件)的特性。

3. 本课程的相关课程有:数学、物理、化学、电子学、自动控制、计算机科学等。

第二章 测量的基本知识

§ 2-1 测量的概念与定义

测量就是借助于专用的技术工具,通过实验和计算,对被测对象收集信息的过程。

例如用尺子去度量长度、用秤来称量物体的重量、用光学仪器精确测量物体的大小以及用检测元件测量温度或压力等,都是测量的过程。

对测量结果的要求,通常是要获取被测量的大小与符号,或取得一个变量与另一个变量的相互关系。由此掌握被测对象的特性和规律,或控制某一过程,对某件事情作出决策。

对测量过程中出现的误差,应在结果中说明其大小,给出可信程度。

测量中必要的原则是同质比较,即被测量与同性质的标准量进行比较,并确定被测量是该标准量的倍数。不同性质的量比较显然是不合适的,因为只有确定了被测量是标准量的多少倍,我们才能在数值上给予被测量以大小的描述。标准量应该是国际上或国家特定机构所指定的,其性能应是足够稳定的。

根据上述原则,测量结果可以表示为

$$x = A_x \cdot A_e \quad (2-1)$$

其中 x ——被测量;

A_e ——所选被测量的单位名称;

A_x ——在所选单位下的倍数。

例如 $x = 2.5\text{m}(\text{米}) = 2500\text{mm}(\text{毫米})$

又如 $x = 1.2\text{kg}(\text{公斤}) = 1200\text{g}(\text{克})$

测量可分为狭义与广义两种。以上所说的是狭义测量。广义测量是指对被测对象进行检出、变换、分析、处理、显示和控制等的综合过程。在此系统中,有以检出元件为中心的检测部分;有以转换信号提高测量能力的变换部分;有执行信息分析处理的数据分析处理部分;有联系被测对象控制测量过程的控制部分。

§ 2-2 测量的方法

2-2-1 直接测量

直接测量是指用事先分度(标定)好的测量仪表对某被测量进行直接测量,从而得出该量的数值。

直接测量是工程技术中应用最广泛的一种测量方法。测量仪表有温度表、压力表、

电压表等等。

2-2-2 间接测量

间接测量是指不直接测量待测量 x ，而是对与待测量 x 有确切函数关系的一些物理量 $y_1, y_2, \dots, y_n$ 进行直接测量，然后通过该函数关系求出待测量 x 的值，即 $x = F(y_1, y_2, \dots, y_n)$ 。

例如测量功率时是根据 $P = IU$ 的关系，分别对 U 、 I 进行直接测量，再计算出功率 P 的，而不是直接去测量功率。

§ 2-3 实现直接测量的方法

2-3-1 偏差法

偏差法是指用测量仪表的指针相对于刻度线的位移（相对于初始点的偏差）来直接表示被测量的大小。如弹簧秤就是用的偏差法，见图2-1。

在使用偏差法的测量仪表中，被测量的作用为仪表中某个元件的反作用所平衡（如弹簧秤里的弹簧，压力表中的波登管，它们的反作用常与指针的位移或偏转角成线性关系），被测量增大，所需的反作用也要相应增大，指针的偏转也按比例地增大。

在用此种方法的测量仪表中，没有标准量具，而只有经过标准量具标定过的标尺。如弹簧秤用砝码标定，压力表用活塞式砝码标定。

偏差法的测量仪表比较通用，但其精度较低。

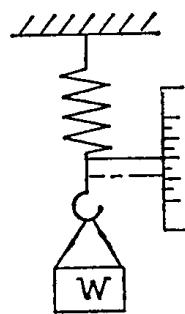


图 2-1

2-3-2 零位法

零位法的原理是使被测量 x 和某已知标准量 S 对指零机构的作用达到平衡，使两个作用的总效应减到零，由此可以肯定被测量值就等于已知标准量值。如天平就是用的这个原理，见图2-2。

由于零位法测量的误差主要来源于标准量及测量装置的误差，而这些误差都是很小的，因此零位法的测量精度较高，在计量工作中应用很广。

电位差计测量电势也是利用零位法原理，其内部线路如图2-3所示。

图中 E 为工作电池，测量前调节可变电阻 R_p ，使校准工作电流 I_s 达到标准值， I_s 在滑动变阻器 R 上产生标准压降 E_s 。测量时接上待测电压 U_x ，调节变阻器 R 上的触点，使检流计 G 示数为零。这时 AB 点产生的压降 U_i 与被测电压 U_x 相等， A 、 D 点等电位，检流计 G 支路无电流通过。由图可知， $U_i = \frac{R_2}{R} E_s$ ，所以被测电压 $U_x = \frac{R_2}{R} E_s$ 。此处 $R =$

$R_1 + R_2$ ，而 R_2 的数值可由触点位置所决定。

由此可见，采用零位法的测量仪表中都包括一个可以变化的标准量。仪表的检零机构愈灵敏，测量精度就愈高。

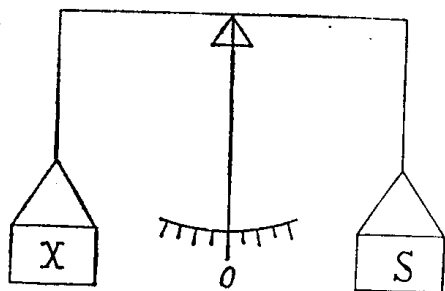


图 2—2

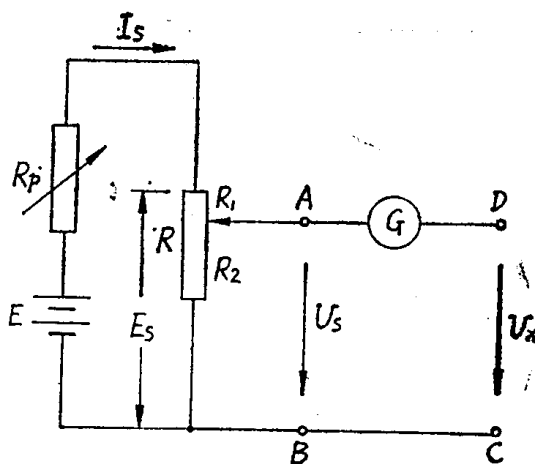


图 2—3

2-3-3 微差法

微差法是将零位法与偏差法组合起来的一种测量方法，其测量原理是将被测量 x 的大部分作用先用已知标准量 S 的作用相抵消，即先用零位法，再将剩余部分的作用 $d = x - S$ 用偏差法来测量。因为差值 d 很小，故即使差值测量的精确度不高，但由于被测量 x 的大部分是用零位法测量的，因此测量的结果仍可获得较高的精确度。

微差法测量的特点是：

1. 准确度较高；
2. 不需要微进程的可变标准量；
3. 其指零机构用一个有刻度可指示偏差量的指示机构所代替。如天平上用的是指针刻度，电位差计用的是毫伏表。

下面举两个例子来说明微差法的优点。

例1 质量测量。

用零位法测出的结果是1.28g，需用0.01g分辨率的砝码组，且测量过程较为复杂。而微差法是将被测量的大部分即1.2g用零位法测出，此时砝码分辨率只需0.1g，但其准确度在0.01g以下，剩下的0.08g用偏差法测出，虽然精度不如用零位法，但由于被测量的大部分是用零位法测量，故仍可保证较高的精度。

例2 用电位差计进行电压测量。已知用毫伏计测量差值 d 时的相对误差为1%，差值 d 是被测电压 U_x 的1%，用零位法测量电压时，标准量的相对误差是0.01%，计算此时电位差计的测量精度。

解 电位差计是用微差法原理进行测量的，其测量误差应是标准量的相对误差与差值测量中的相对误差之和，其中
标准量的相对误差

$$\left| \frac{\Delta S}{U_s} \right| = 0.01\%$$

差值测量中的相对误差

$$\left| \frac{\Delta d}{U_x} \right| = \left| \frac{\Delta d}{d} \right| \cdot \left| \frac{d}{U_x} \right| = 1\% \times 1\% = 0.01\%$$

故微差法测量的相对误差为

$$\begin{aligned} \frac{\Delta U_x}{U_x} &= \frac{\Delta d}{U_x} + \frac{\Delta S}{U_x} \\ &\approx \frac{\Delta d}{U_x} + \frac{\Delta S}{U_s} \\ &= 0.01\% + 0.01\% \\ &= 0.02\% \end{aligned}$$

（注：由于被测量 U_x 的大部分是用标准量 U_s 平衡的，故可以近似认为 $U_x \approx U_s$ 。）

由于微差法的测量过程比纯用零位法测量时简便、迅速（因零位法测量时需用标准量反复地与被测量相平衡），所以它在工程测量中得到大量的应用。

§ 2-4 测量仪表的基本功能和基本性能

2-4-1 基本功能

测量仪表的基本功能包括检出变换、标准量的保存、运算比较和操作指示四部分，这四种功能不可截然分开。

1. 检出变换

将被测量 x 从被测对象中检出，转换成输出量 y ，即找出 $y = f(x)$ 的关系。

在检出过程中，由于存在一些环境的影响，使得输出量 y 不仅是被测量 x 的函数，也是这些影响量的函数，即 $y = f(x, u_1, u_2, \dots, u_n)$ 。比如在做压力测量时，我们希望测得的是压力值，但被测介质的温度、测量环境的振动，外界电磁场的干扰都可能会对输出的压力值有影响。

因此，在测量过程中，希望仪表的检出变换功能仅对被测量 x 有反应，能抑制影响量的作用，即有选择功能。

2. 标准量的保存

标准量的保存功能是将标准量以一定的形式存入测量仪表中，以便在测量中进行比较或平衡，其保存精度直接影响到测量仪表的精度。

在模拟式的仪表中，标准量形式上保存在标尺上。在数字式的仪表中，标准量就是时基信号，即标准频率。

3. 运算比较

该功能是将被测量 x 与标准量 S 相比较并达到平衡，从而获得被测量大小的数值。

4. 显示操作

该功能是把测量结果用便于人们观察的形式表示出来。

2-4-2 基本性能

仪表的基本性能是指仪表的静态特性和动态特性。它是衡量仪表测量能力的主要指

标。但可靠性和经济性等因素也在很大程度上影响着仪表的使用。静态特性强调被测量与测量结果的关系，而动态特性强调输出（仪表示数）跟随被测量变化的能力。

2-4-2-1 静态特性

仪表的静态特性是指给定输入量和相应输出量之间的关系。将标准量作为输入并使之在一定范围内变化，相应的输出量（仪表示数）也在某一范围内变化，将这种关系用坐标平面上的曲线表示，就得到该仪表的静态特性曲线。图2—4给出了温度表的静态特性。

通过静态特性曲线，我们可以获得灵敏度、线性度、滞环等性能指标。

1. 精确度

它包括精密度、准确度和精确度三个指标。

（1）精密度：测量必然伴随有误差，也就是说被测量的真值与测量结果之间有偏差。在相同条件下，多次测量结果会出现不一致。例如，对真值为 $\phi 10.00\text{mm}$ 的物件进行多次测量，测量结果为： $\phi 10.02\text{mm}$ ， $\phi 10.05\text{mm}$ ， $\phi 9.98\text{mm}$ 。这种仪表示值的不一致程度通常用精密度表征。不一致程度越小，说明测量精度越高。如果某温度计的精密度为 0.5K ，即该表测量温度时的不一致程度不会大于 0.5K 。

仪表的精密度由两个因素决定，一个是重复性，多次测量将出现随机误差。另一个是仪表示值的有效位数。例如，用两个电压表对真值为 10mv 的电压进行多次测量。结果，第一块表的示值分别为： 10.25mv ， 10.28mv ， 10.19mv ， 10.32mv 。第二块表的示值为： 10.2mv ， 10.3mv ， 10.3mv ， 10.3mv 。我们不能据此认为第二块表的精密度很高，只是因为该表能显示的有效位数太少。能读出的有效位数愈多，仪表的精密度才能愈高。

（2）准确度（正确度）：表示仪表的示数（输出值）有规律地偏离真值大小的程度。例如某电压的真值是 10.00mv ，测量值是 10.04mv ， 10.05mv ， 10.06mv ， 10.04mv ，该表的示值偏离真值的大小为 0.06mv 。准确度反映了仪表的系统误差。

（3）精确度：它是精密度与准确度两者的总和。反映测量仪表的综合优良程度。精密度高是精确度高的必要条件，但不是充分条件。要使仪表的精确度高，还必须使其正确度才行。

（4）精确度等级：为表示仪表测量结果的可靠程度，引入仪表精确度等级的概念，用 A 表示。

精确度等级 A 就是仪表在规定的工作条件下，其最大允许误差的绝对值 Δ_{max} 相对于测量范围的百分数。

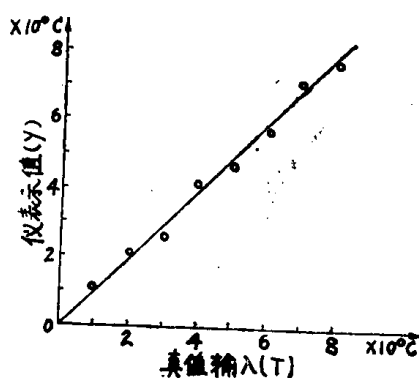


图 2—4 静态特性曲线

$$\% = \frac{\Delta_{\max}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100\% \quad (2-2)$$

式中 $x_{\max}$, $x_{\min}$ 为测量范围的上、下限。

常用一系列的标准值将计算结果纳入规定数值之内, 做为测量仪表的精度等级。如 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 1, 1.5, 2.5。如果某仪表的A%为0.03, 则它的精确度等级为 0.03 级。

2. 稳定性

稳定性是指测量仪表在规定的工作条件下, 仪表性能在规定的时间内保持不变的能力。一般用精密度的数值和观测时间长短一起来表示。例如, 某仪表24小时内示值变化幅度为1.3mv, 则该仪表稳定度为1.3mv/24小时。应注意区别稳定性和再现性。再现性是指: 在同一工作条件下, 在规定时间(一般为较长时间内), 对同一输入值从两个相反方向上重复测量的输出值之间的最大差值。

3. 影响系数

影响系数就是影响量的系数, 即由影响量引起输出的变化。为相互比较仪表性能指标, 被比较的仪表应在相同(或相近)的工作条件下运行, 以排除各种影响量的干扰。比如规定一个共同的标准工作条件(环境温度 20℃; 相对湿度 65%; 大气压力 1013 毫巴, 电源电压 220 伏等)。但在实际中很难达到这个要求, 故又规定一个参比工作条件(如温度 20℃±2℃, 相对湿度 65%±5%; 大气压力 860~1060 毫巴, 电源电压 220±3 伏等), 在这种影响量(除被测仪表外, 能导致仪表性能改变的量)变动较窄的情况下, 影响量的作用可以忽略不计, 就便于互相比较了。仪表工作的实际条件超过参比条件时, 就要用影响系数表示。它是一个比值(示变化值/影响量变化值)。如某压力表的温度影响系数为 0.02 毫巴/度。影响系数是衡量仪表性能的重要指标。

上述各种工作条件如图2-5所示

4. 仪表的静态输入—输出特性

静态输入——输出特性是静态特性中最重要的特性曲线。它说明被测量与仪表示数之间的关系, 能获得灵敏度、灵敏限、分辨率、线性度、滞环、量程等性能指标。对测量仪表作静态校准时应该保持所有影响量为恒定(或为零), 把标准量作为被测量在某个范围内变化, 以便使输出量也在一定范围内变化, 从而得到如图2-6所示的特性曲线(本例为一温度表的特性曲线)。特性曲线应平滑均匀地穿过实验点。

(1) 灵敏度: 仪表在稳态条件下, 输出增量对输入增量的比值, 用K表示, $K = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ 。

它就是静态特性曲线上相应点的斜率。K 大,

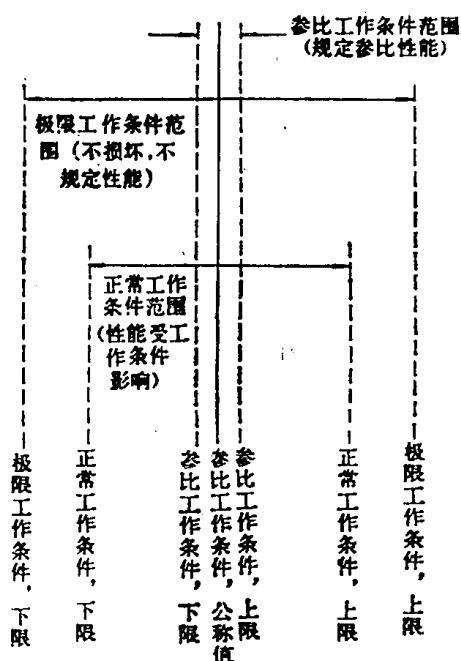


图 2-5 工作条件图

说明很小的输入就能引起较大的输出，仪表能测出被测量细微的变化，灵敏度高。如果静态特性为一直线，则 K 为一常数。如果静态特性不是直线，则 K 将随被测量的大小而变。见图2—7。在20℃和60℃处的灵敏度分别为

$$K_{20} = \frac{\Delta y_1}{\Delta x_1}$$

$$K_{60} = \frac{\Delta y_2}{\Delta x_2}$$

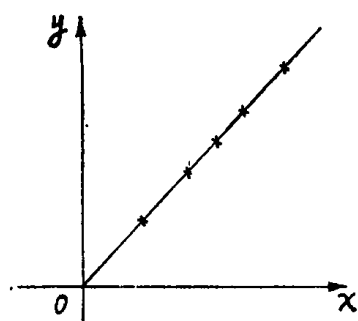


图 2—6

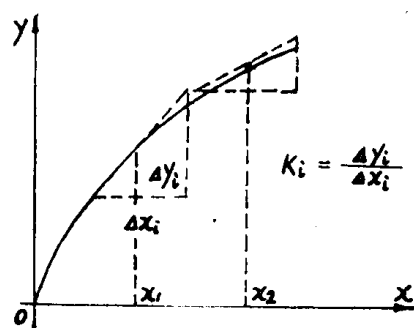


图 2—7

$$K_{20} \neq K_{60}$$

一般来说，当静态特性不是直线时， $K_i = \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \neq$ 常数。反之

$K =$ 常数，仪表输入——输出特性为线性的。

$K \neq$ 常数，仪表输入——输出特性为非线性的。

(2) 灵敏限：仪表从零位开始，改变输入量，使其缓慢地增加，直到仪表的示值发生可以察觉到的变化时，相应的输入量的最小变化量，用 Δx_s 表示。

灵敏限就是仪表在零点感受输入信号的阈值。

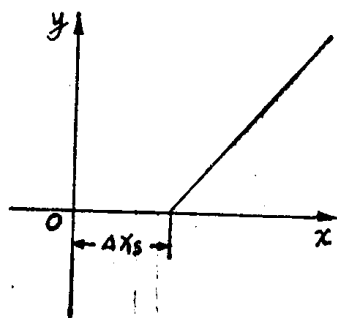


图 2—8

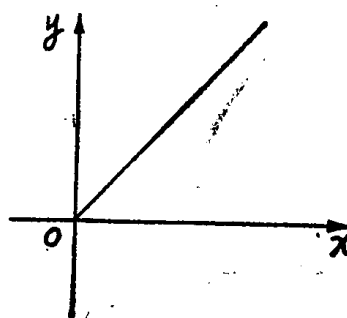


图 2—9

严格来说，示值的可察觉的极微小的变化和输入量的最小变化值因人而异，难一统一。为取得灵敏限的明确性，通常用死区来表示输入量的变化不致引起输出量有任何可察觉的变化有限区间。用输入量程的百分数表示。

(3) 分辨率：如果输入量从某个任意非零值缓慢地变化，在输入的变化量没有超过某一数值之前，仪表的示值不会发生变化。这个使示值变化的最小输入变化值叫做仪表的分辨率。

分辨率可以鉴别出两相邻增量的最小间隔。一般模拟式仪表的分辨率规定为最小刻度分格值的一半。数字式仪表的分辨率是最后一位的一个字。

(4) 线性度：指仪表的静态特性曲线对一条指定直线的吻合程度。

静态特性曲线越接近某一直线，它的线性度就越好。这条参考的拟合直线称为基准线。根据基准线的不同，分为三种线性度：独立线性度、零基线性度和端基线性度。

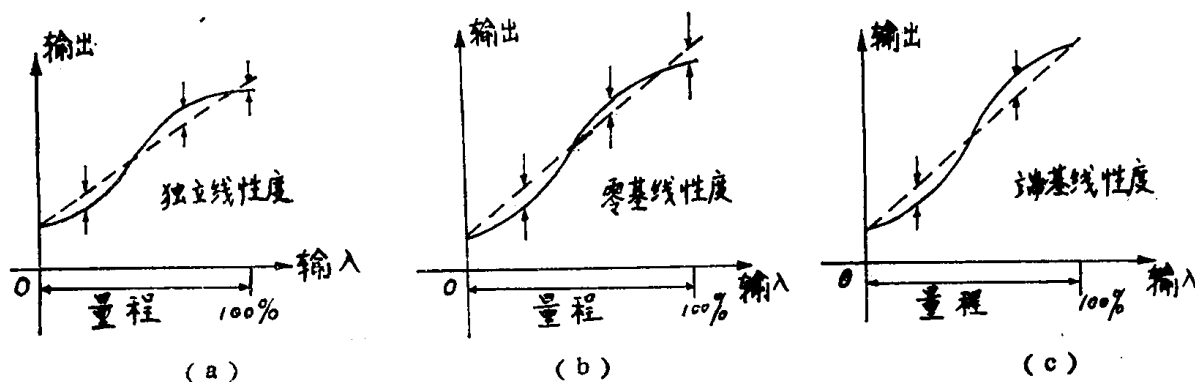


图 2-10

三种基准线的选取原则是：

独立线性度：直线与曲线在各点上的偏差最小。

零基线性度：直线与曲线的起始点重合。

端基线性度：直线过曲线的起始点和满量程点。是被广泛应用的一种。这时以曲线的非线性程度说明线性度。端基线性度 E_s 定义为

$$E_s = \frac{|y_i - y'_i|_{\max}}{y_{\max}} \quad (2-3)$$

式中 $|y_i - y'_i|_{\max}$ 为端基直线之间的最大偏差值。

(5) 滞环：说明一个仪表输入量值增大的上升段和减小的下降段所构成的仪表特性曲线不一致程度。这种现象是由于仪表元件吸收能量所引起的。例如机械仪表中有内摩擦，电磁仪表中有磁滞损耗，它不包括死区。

图 2-11 表示一个仪表有滞环的情况。输入量 x 连续增加时所读的示值为 y_c ，输入量 x 连续地减小时读得的示值为 y_d ，它们之间的差值叫滞环，用输出量程的百分数表示

$$\varepsilon_h = \frac{|y_d - y_c|}{y_{\max}} \times 100\% \quad (2-4)$$

最大滞环误差的相对值表示如下

$$E_{hm} = \frac{|y_d - y_c|_{\max}}{y_{\max}} \times 100\% \quad (2-5)$$

应该注意滞环与回差的区别，仪表的回差是指当输入量上升和下降时，同一输入的两相应输出值间的最大差值。回差包括滞环和死区。

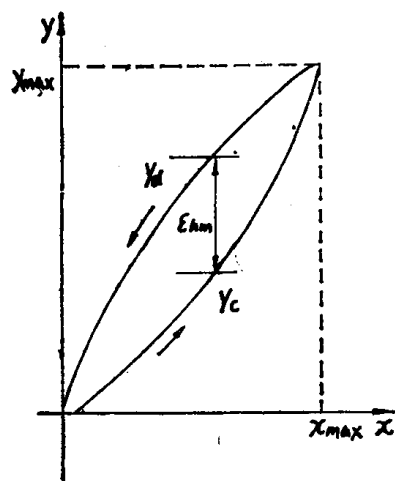


图 2-11 仪表的滞环

2-4-2-2 动态特性

动态特性是指检测元件对于随时间变化的输入量的响应能力。动态特性曲线是测量系统对于随时间变化的输入量的响应特性曲线。

动态特性与静态特性的区别，是动态特性中输出量与输入量的关系不是一个定值，而是一个函数，它随输入信号的频率而变。表征动态特性的输出量与输入量的关系称为传递函数，它包括输出量与输入量之间的幅频特性和相频特性。

在理论上，是先建立测试元件或测试系统的数学模型，通过拉普拉斯变换建立传递函数的表达式，再根据输入条件得到相应的特性，这些在自动调节理论、自动控制理论方面有细致的阐述。在检测技术中，对检测元件（系统）的响应特性通常用实验的方法得到。

对于随时间变化的输入信号，不究其物理形式，可通过三种类型函数来描述：正弦信号、阶跃信号和随机信号。

正弦信号的频率一定，幅值随时间作周期性变化。

阶跃信号为输入信号在某一时刻 t_0 有一个从零开始的跃变，以后其幅值恒定，不随时间改变。随机信号为多种频率和幅值的正弦信号叠加形成的一种信号。作为信号源加

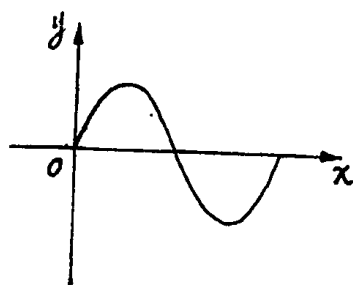


图 2-12

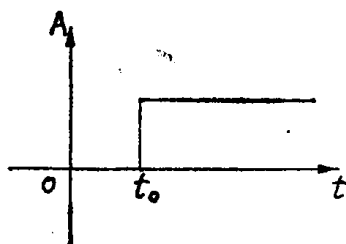


图 2-13

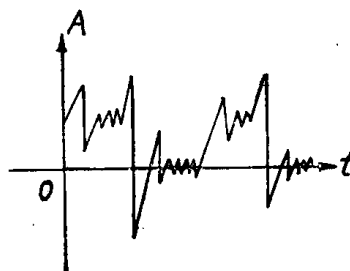


图 2-14

以检测元件，通过数据处理的方法得到传递函数。

对于正弦输入信号，动态特性就是幅频特性与相频特性，即输出和输入的幅值比与频率的关系及输出和输入幅值比的相位角与频率的关系。如

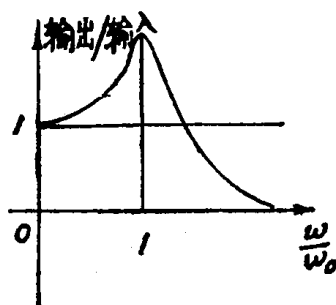


图 2-15

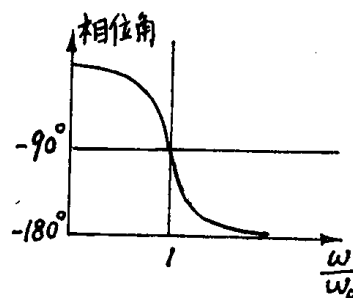


图 2-16

对于阶跃输入信号，测量仪表有以下几个重要指标。