

现代铸造测试技术

上海科学技术文献出版社

现代铸造测试技术

上海交通大学等 编

上海科学技术文献出版社

现代铸造测试技术
上海交通大学等 编

*

上海科学技术文献出版社出版
(上海市武康路2号)

新华书店上海发行所发行
吴江伟业印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 19 字数 474,000

1984年8月第1版 1984年8月第1次印刷

印数: 1—14,600

书号: 15192·316 定价: 2.33 元

《科技新书目》74-228

前 言

铸造测试技术是一门新兴的技术科学,随着铸造学科的发展和生产实际的需要,无论在生产过程的控制与铸件质量的检验中,或是在新工艺、新材料的开发过程中,都日益显示了它的重要性和必要性。

由于客观需要,在许多高等学校里正在陆续开设“铸造测试技术”这门课,使学生能具备这方面的知识和能力;另一方面,广大在职科技人员也要求以近代测试手段来管理生产,控制质量。本书的出版是为了满足教学及生产的需要。

本书的主要内容是介绍近代铸造工业中比较先进、实用的测试技术,其中包括:非电量电测的基本理论;常用传感器的基本原理;测温技术;热分析技术;铸件探伤技术;测量、显示、记录仪表的原理以及实验数据处理方法等。本书还结合具体的测试实例,较系统地介绍了测试技术的运用。

本书可作为高等院校、中等专业学校铸造专业的教学用书,也适合铸造科技人员及有关工人阅读。

参加本书编写工作的有:

第一章上海交通大学林泽冰

第二章第一节北京工业大学余杏生

第二~四节郑州工学院汪金龙

第五~八节上海交通大学林泽冰

第三章武汉工学院张家为

第四章华中工学院魏华胜

第五章太原工学院徐林

第六章河北工学院王庆方

第七章安徽工学院史慰慈

最后由林泽冰汇总整理,沈嘉猷审阅。此外,洛阳工学院莫崇庸同志为本书编写曾作过大量的组织工作,在此表示感谢。

由于编者水平所限,不当之处希望读者批评指正。

编 者

一九八三年十一月

目 录

第一章 非电量电测的基本知识	1
第一节 基本概念	1
一、测量与标准	1
二、误差及其分类	1
三、准确度和精密度	3
四、灵敏度和线性度	3
五、动态响应特性	5
第二节 电测系统的组成及信号测量	6
一、电测系统	6
二、传感器信号与测试仪器的配合	6
第三节 常用测量电路	9
一、电桥电路	9
二、放大器	13
三、调制与解调电路	13
四、相敏检波电路	17
五、滤波器	18
第四节 传感器的概述	19
一、传感器的作用	19
二、基本量与派生量	20
三、传感器的分类	20
四、对传感器的要求	22
第二章 常用传感器的变换原理	23
第一节 电阻应变式传感器	23
一、工作原理	23
二、应变片的构造与种类	24
三、应变片的工作特性	29
四、弹性元件	33
五、测量电路	35
六、温度补偿法	37
七、应用实例	38
第二节 电感式传感器	43
一、概述	43
二、电感式传感器的工作原理和结构	44
三、电感式传感器的基本测量电路	47

四、互感式传感器的工作原理和结构	48
五、互感式传感器的主要参数选择	52
六、互感式测微仪的测量电路	54
七、铸造生产中的应用实例——电感式铸造线收缩测量仪	56
第三节 电容式传感器	60
一、概述	60
二、工作原理	60
三、电容式传感器的基本类型	61
四、测量电路	63
五、应用特点	65
六、铸造生产中的应用实例——电容法快速测试型砂水分	65
第四节 涡流式电感传感器	68
一、概述	68
二、高频反射式涡流传感器	68
三、低频透射式涡流传感器	70
第五节 压电式传感器	71
一、压电效应与压电材料	71
二、有关参量和等效电路	74
三、灵敏度和频响特性	75
四、辅助电路	76
五、加速度型压电式传感器	77
第六节 电磁感应式传感器	79
一、基本原理	79
二、电磁感应式传感器的结构	80
三、测量电路	82
第七节 霍尔式传感器	82
一、霍尔片及霍尔效应	83
二、不等位电势及其补偿	84
三、温度影响及其补偿	85
四、霍尔式传感器的应用	86
第八节 光电式传感器	88
一、光电效应	88
二、光电器件	89
三、光电式传感器的应用	90
第三章 测温技术	93
第一节 概述	93
一、温度与温标	93
二、测温仪表的分类	97
第二节 热电偶测温	99

一、热电效应	99
二、基本定律及其应用	101
三、热电偶的材料和类型	103
四、冷端温度补偿	106
五、影响热电偶测温精度的因素	109
第三节 热电阻测温	115
一、基本原理	115
二、常用低温热电阻	117
三、热电阻与显示仪表的连接	117
第四节 非接触式测温仪表	118
一、辐射测温的物理基础	118
二、辐射高温计原理	120
三、亮度高温计原理	121
四、红外线测温法	125
第五节 多点测温	126
一、多点测温装置	126
二、信号的采样误差	127
三、滤波器位置问题	130
四、线性化器	131
第四章 热分析法测试技术	133
第一节 概述	133
第二节 热分析法的基本原理	133
一、冷却曲线的基本理论分析	133
二、典型的亚共晶灰铸铁冷却曲线	134
三、测试系统的方框图	135
第三节 热分析法测试装置	135
一、测温热电偶	136
二、测试样杯	136
三、二次仪表	136
第四节 热分析法在控制铸造生产质量方面的应用	137
一、快速测定铸造合金的化学成分	137
二、直接热分析法炉前快速测定球墨铸铁球化级别	141
三、相对导热性热分析法测定镁处理球墨铸铁球化率	144
四、测定铸造合金的晶粒度	147
五、测定亚共晶灰铸铁的机械性能	148
第五节 微分热分析法的原理及其应用	151
一、微分热分析法的原理	151
二、微分热分析所用的测量装置	151
三、微分热分析的应用	152

第六节 差热分析原理及其应用	155
一、差热分析的工作原理	155
二、差热分析法的应用	159
第五章 测量、显示和记录仪表	163
第一节 磁电动圈式仪表	163
一、磁电动圈式仪表的结构和工作原理	163
二、动圈测量机构	164
三、测量电路	166
四、电子调节电路	168
五、磁电动圈式指示调节仪表的特点	170
第二节 电位差计	170
一、手动电位差计	170
二、电子电位差计的组成及其工作原理	175
第三节 函数记录仪	179
一、函数记录仪(自动平衡式记录仪)的工作原理	179
二、函数记录仪的主要组成	180
三、函数记录仪性能特性	182
四、函数记录仪的应用	183
第四节 光线示波器	184
一、光线示波器的组成及其工作原理	184
二、光线示波器的光学系统和磁系统	184
三、振动子的结构及其工作原理	186
四、振动子特性	187
五、振动子的选择	194
六、振动子的阻尼和匹配	195
第五节 应变仪	196
一、应变仪的结构及其工作原理	196
二、对应变仪各主要组成的基本要求	198
三、常用的静态、动态电阻应变仪	199
四、应变仪组成电测的特点	202
第六节 数字式仪表	204
一、数模和模数转换原理	204
二、数字式仪表的工作原理及其应用	209
三、数字电压表的组成及工作原理	209
四、数字式仪表的特点和发展趋势	211
第六章 铸件无损探伤技术	214
第一节 X 射线探伤	214
一、X 射线及其发生	214

二、X 射线探伤的基本原理	217
三、X 射线探伤的几种方法	218
第二节 磁力探伤	223
一、磁力探伤的基本原理	223
二、磁力探伤的几种方法	224
三、磁化电流的选择	225
四、退磁	226
第三节 超声波探伤	226
一、超声波探伤的基本原理	226
二、超声波探伤的设备	230
三、超声波探伤对缺陷的判断	233
第四节 各种无损探伤技术的比较	236
一、涡流探伤、着色探伤与荧光探伤简介	236
二、各种无损探伤方法的相互关系及其特点	236
第七章 数据处理	237
第一节 测试数据的随机性	237
第二节 随机变量及其描述	238
一、随机变量	238
二、概率分布与概率密度	239
三、数字特征	241
四、子样	243
五、多维随机变量(随机向量)	244
第三节 随机变量分布函数的实例	244
一、正态分布	244
二、二项分布	249
三、正态分布的抽样分布	250
第四节 物理量真值的统计推断	251
第五节 次品率的推断	254
第六节 差异大小的估计与差异显著的判断	257
一、差异大小的估计	258
二、差异显著的判断	259
第七节 回归分析	260
一、一元线性回归	261
二、可化为直线的曲线回归	270
三、多元线性回归分析概述	274
四、回归分析中应注意的问题	278
第八节 数据异常的推断	278

附表	281
1. 铂铑-铂热电偶分度表	281
2. 镍铬-镍硅(镍铬-镍铝)热电偶分度表	284
3. 标准正态分布表	287
4. t 分布表	288
5. F 分布表	289
6. G 分布表	292

第一章 非电量电测的基本知识

第一节 基本概念

一、测量与标准

测量是人们认识事物本质的重要方法,通过测量和试验能使人们对事物获得定量的概念和发现事物的规律性。

测量就是用专门的设备或技术工具通过实验和必要的数学处理求得被测量的量值的过程。

测量的定义就是以同性质的标准量与被测量比较,并确定对标准量的倍数或几分之几。因此,测量总得有一个标准做参考,以便拿被测量去同这个参考标准作比较。这样的参考标准,一般可分三种类型:

1. 理论真值 A_0 (或称定义值)

如平面三角形三内角之和为 π 。又如安培作为电流计的计量标准,其定义为:若在真空中有两根截面无限小的相距 2 米的无限长平行导体,在其上流过 1 安培的恒定电流时,则在两导体间产生 10^{-7} 牛顿/米的相互作用力。

实际上,以这样的定义值作为参考标准是不可量知的,它只存在于纯理论之中。要知道它,就必须测量它,而测量它又需要某种参考作标准,这样就陷入无穷的循环之中,因此绝对的真值是不可量知的。但可以无限地逐渐逼近它。

2. 指定真值 A_s

指定真值是国际上约定的或由国家设立的各种尽可能维持不变的实物基准和标准器,指定以它的数值作为参考标准。如指定长度单位米为氪 86 原子的 $2p_{10}$ 和 $5d_5$ 能级之间跃迁所对应的辐射在真空中 1,650,763.73 个波长的长度。又如指定时间单位秒是铯 133 原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射 9,192,631,770 个周期的持续时间。

3. 实际真值 A

实际真值或者叫相对真值。高级计量标准器是相对于低级计量标准器或普通仪表而言,高级计量标准器的数值可以认为是“真值”。这里所谓高级、低级和普通的概念都是相对的,因此这种“真值”也是相对的。在实际工作中,我们总是把高级计量标准器的量值,当作真值看待的。

二、误差及其分类

1. 测量误差的基本概念

测量是一个变换、选择、放大、比较及显示等的综合过程。如果这些过程在理想的环境和条件下进行、即不受任何因素影响,那么测得的值将是十分精确的。也就是说没有误差,但实际上无论采用怎样完善的测量方法和怎样精密的测量设备,由于种种原因,被测量的示值与真值之间总是存在着差异,这个差异就是测量误差。

测量的最终目的是求得被测量的真值。但真值是无法测量到的,只能以不同的精度逼

近真值。在科学实验和生产上对技术测量的要求是：能得出与被测对象精度要求相适应的某一精确程度的测量结果。因此，问题在于要确定某一测量结果的测量误差。

要客观、科学地评定某一测量结果的误差，首先必须分析研究测量误差产生的原因及其出现的规律，然后寻找相应的消除措施，并对这些测量误差作定性分析和定量计算。

2. 误差的分类

(1) 绝对误差和相对误差

设被测量的真值为 A_0 ，测得值为 x ，则绝对误差 δ 为：

$$|\delta| = |x - A_0| \quad (1-1)$$

测量误差绝对值的大小，表明了测量的精确度，误差的绝对值愈大，则测量的精确度愈低；反之，则愈高。

很明显，绝对误差不能作为同类仪表（不同量程）以及不同类仪表之间测量精度的比较尺度。以测量温度为例，同样是 1°C 的绝对误差，测 1000°C 的温度时，就比测 100°C 温度时的精度高。为了解决这个问题，必须引入相对误差的概念。

相对误差 ε 是绝对误差 δ 与被测量真值 A_0 的比值，即：

$$\varepsilon = \frac{\delta}{A_0} \quad (1-2)$$

当真值不知道，绝对误差又比较小时，一般就采用测得值 x 代替真值 A_0 ，即：

$$\varepsilon \approx \frac{\delta}{x} \quad (1-3)$$

(2) 系统误差

在测量过程中，凡误差的数值大小和符号固定不变，或者按一定规律变化的叫系统误差（亦称确定性误差）。不变的误差又称为恒差或定值误差。变化的系统误差则称为系统变差（或变值系统误差）。系统变差按其变化规律又可分为累进性的、周期性的以及按复杂规律变化的几种。

系统误差可能是由于测试理论的近似性或测试方法的不完善所造成；也可能是由于温度、湿度、电磁场等的环境影响所造成；当然，工具、仪表等本身的不完善或安装调试不当以及测试者的分辨能力、反应速度和读刻度值的习惯倾向都有可能造成系统误差。

系统误差的出现是有规律的，多数情况下可以通过技术措施来抵偿或减弱。

(3) 随机误差

随机误差是指误差的大小、符号的每次出现都不能准确地加以预测。具体讲，在作多次重复测量时，虽然测量条件相同，但测量结果总是会出现一些无规律的随机性变化。我们将这种随机性变化称之为随机误差。

在任何一次测量中，随机误差是不可避免的。从表面上看，随机误差不象系统误差那样，有一定的变化规律。但就其总体来说，随机误差有一定的统计规律，因此应用统计学的一些方法，可以掌握随机误差的若干规律，并通过对测量数据的处理，尽可能消除随机误差对测量结果的影响。

系统误差和随机误差在一定的条件下可以互相转化。当人们的认识能力不足时，会把系统误差当作随机误差处理；但在认识能力提高以后，又可把原先当作随机误差处理的某项误差明确为系统误差，并进行适当的技术处理，使其减弱或消除。人们常常把规律过于复杂

或尚未掌握规律的系统误差当作随机误差处理，也就是说适当地改变与该项系统误差密切相关的测量条件，使该项系统误差随机化。这样在测量结果中可以抵偿或部分抵偿该项系统误差。

(4) 过失误差

这类误差的特点是误差的数值比较大，对测量结果有明显歪曲。造成这种误差的原因，主要是测量时粗心大意。如读数错误，记录错误，计算错误等造成的误差，都称之为过失误差，这些误差显然应当从测量数据中剔除。

三、准确度和精密度

准确度是指测量值与真值的接近程度。通常是以准确度来反映系统误差，并以绝对误差 δ 来表征。 δ 大，准确度就低，相反， δ 小，则准确度就高。

精密度是指对同一个量进行多次测量时所得结果彼此之间互相接近的程度，即所谓重复性。它是随机误差的反映，通常用标准偏差或称均方根误差 σ 来表征。

通常人们所指的精度往往包含精密度与准确度两种意思，即测量的优良程度。

从图 1-1 所示可看出这三个概念之间的关系。图中 A_0 表示被测量的真值，各小黑点表示测量值的位置。图(a)表示了精密度和准确度都差。图(b)表示了精密度好，但准确度差。图(c)表示了精密度和准确度都好，因而精度也好。

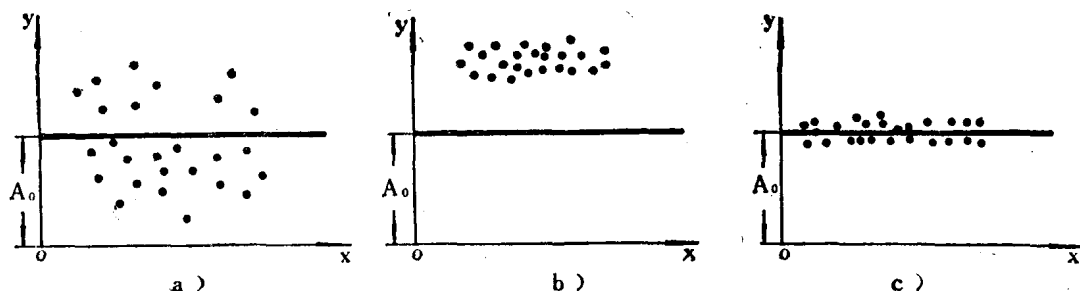


图 1-1 精密度、准确度的概念

在工程上，为了简便，引入了一个仪表精度等级的概念来表示仪表测量结果的可靠程度，这个仪表精度等级用 D 来表示，它以一系列标准百分比数值(0.001; 0.005; 0.02; 2.5; 4.0; 6 等)进行分档。这个数值通常是在仪表规定的条件下，仪表最大绝对允许误差值相对于仪表测量范围的百分数。它可以用下式表示：

$$D = \frac{\delta_{\max}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中： $\delta_{\max}$ ——仪表在全刻度范围内最大绝对允许误差；

$x_{\max}$ ——仪表刻度盘的上限值；

$x_{\min}$ ——仪表刻度盘的下限值；

D ——仪表精度等级。

四、灵敏度和线性度

1. 灵敏度

灵敏度是指传感器或测量系统在稳态下输出变化值对输入变化值的比值，用 K 表示，即

$$K = \frac{\text{输出量的变化值}}{\text{输入量的变化值}} = \frac{dy}{dx} \quad (1-5)$$

线性系统的灵敏度是常数, 就是输出线性曲线的斜率, 亦即 $K=y/x$, 见图 1-2(a)。非

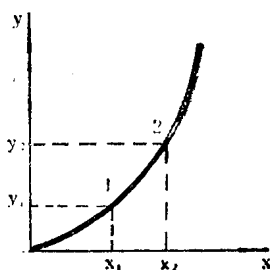
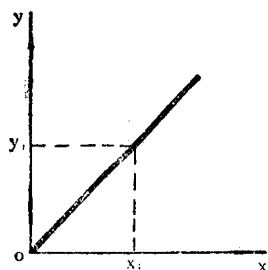


图 1-2 灵敏度定义

线性系统的灵敏度是变量。因此在表示灵敏度时须指明输入量是多少, 即:

$$K_i = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=x_i}$$

见图 1-2(b)。

2. 线性度

传感器或仪器特性曲线的线性度(非线性误差)是说明输出量与输入量的实际关系曲线与直线偏离的程度(见图 1-3)。设线性度用 S 表示, 则

$$S = \frac{|y'_i - y_i|_{\max}}{y_{\max}} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 S ——线性度(非线性误差);

$|y'_i - y_i|_{\max}$ ——特性曲线与其拟合直线之间的最大偏差;

$y_{\max}$ ——最大输出值。

设测量系统输出量为 y , 输入量为 x , 则测量系统的静态特性通常可以由下列方程来表示:

$$y = (a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n)x \quad (1-7)$$

式中 $a_0, a_1, \cdots, a_n$ 为常数。理想情况是式(1-7)的高次项都为零, 即 $y=a_0x$, 特性曲线为线性, 如图 1-4(a)所示。其次, 如果式(1-7)中只含有奇次项, 则如图 1-4(c)曲线所示, 它能提供一个对称于原点而且有足够宽的近乎线性的范围, 对应的曲线有 $y(x)=-y(-x)$ 的特性。出现偶次项是我们所不希望的, 因为它会造成严重的非线性, 如图 1-4(b)。通常情况的对应特性曲线如图 1-4(d)所示。

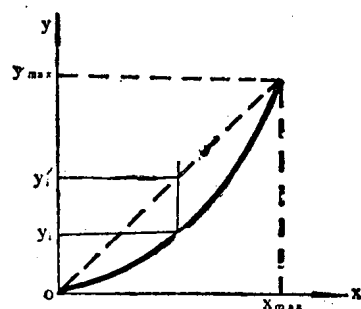


图 1-3 求线性度的示意图

在实际使用时, 如果非线性方程式 x 的幂次不高, 则在输入量变化范围不大的条件下, 可以把实际曲线的某一段用切线或割线来代替。这种做法, 称为静态特性的线性化。

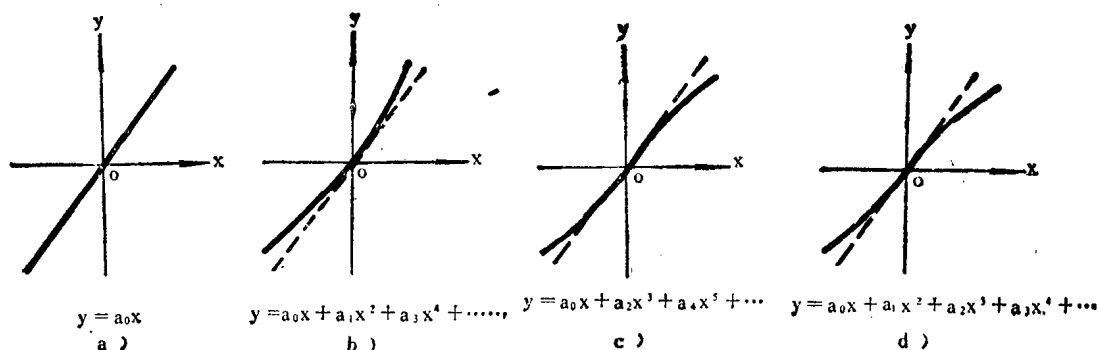


图 1-4 典型的静态特性曲线

五、动态响应特性

动态响应特性是指测量系统对动态信号的幅度、时间的响应特性。

大部分模拟式测量系统输出与输入之间的关系可以用微分方程来描述。如果这微分方程是一阶微分方程者,称为一阶测量系统;是二阶微分方程者,称为二阶测量系统;以此类推。但我们常用的测量系统多为一阶和二阶系统,或者是由若干一阶、二阶组成的系统。

用微分方程或传递函数来分析研究系统的动态特性直观性很差,也很难用实验方法求得。因此常用典型输入信号和给定初始条件下的特解来描述测量系统的动态特性。

这里仅简要介绍一阶、二阶测量系统在阶跃输入时的动态特性的描述方法。

1. 一阶测量系统的阶跃响应

图 1-5 所示为一阶系统的阶跃响应曲线,纵坐标 y 为输出值,横坐标 t 为时间。它有以下特点:

(1) 阶跃响应函数是指数曲线,初始值为零,随着时间 t 的增大,不断增大,最终趋于输入值 1。由此可以明显地看出输出、输入间的差异。输入是一阶跃曲线,而输出则是指数曲线。可见,输出不能马上达到输入值,而是需要经过一段时间才能达到输入值。这种差异就造成了动态误差。

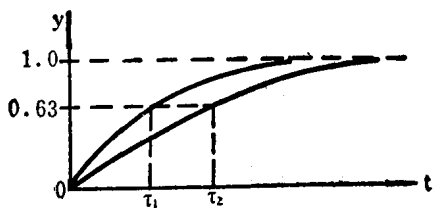


图 1-5 一阶系统的阶跃响应

(2) 指数曲线的变化率,取决于常数 τ 。从图 1-5 可看出, τ 值越大,曲线趋于 1 的时间越长,输出与输入的差异也越大; τ 值越小,曲线趋于 1 的时间越短,输出与输入的差异也越小。

τ 有决定响应速度的重要作用,定义 τ 为时间常数。在 $t=\tau$ 时, $y=0.63$,即 τ 时刻后,输出仅达到输入的 63% 左右。 4τ 时达到 98% 左右。通常用达到最终值的 98% 或 95% 所需的时间作为响应快慢的指标,它们分别对应 4τ 和 3τ 。有时也采用所谓的上升时间 τ_d 来表征响应的快慢。从最终值的 10% 增加到最终值的 90% 所经过的时间称为上升时间。

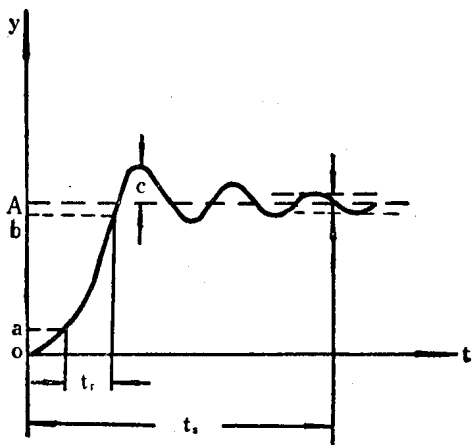


图 1-6 二阶系统阶跃响应曲线

2. 二阶测量系统的阶跃响应

二阶测量系统的动态特性常用单位阶跃信号(其初始条件为零)为输入信号时输出的变化曲线 $y(t)$ 来表示,如图 1-6 所示。通常用上升时间 t_r ; 响应时间 t_s ; 过冲量 σ 等参数来综合描述。

上升时间 t_r 是指测量系统的示值从最终值的 $a\%$ 变化到最终值的 $b\%$ 所需的时间。 $a\%$ 值通常采用 5% 或 10%; 而 $b\%$ 值通常采用 95% 或 90%。如从最终值的 5% 变化到 95% 的时间为 0.15 秒时,可写成 $t_r=0.15$ 秒(5%~95%)。

响应时间 t_s 是指输出量 y 从开始变化到示值进入最终值的规定范围内所需的时间。最终值的规定范围常取测量系统的允许误差值。它应与响应时间一起写出。如 $t_s=0.4$ 秒($\pm 5\%$)。

过冲量 σ 是指输出最大振幅与最终值之间的差值,通常以对最终值的百分数来表示。

第二节 电测系统的组成及信号测量

一、电测系统

电测系统包括从被测物理量的变换直至用数字或函数图形显示出结果的各个环节(图1-7)。

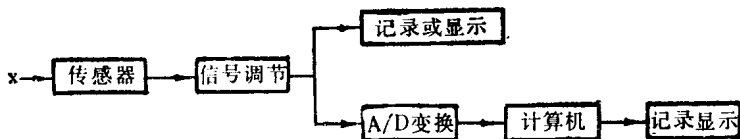


图1-7 电测系统方框图

传感器的作用是将非电量信号变为电量信号。如温度、压力、浓度、流量、位移、流速等非电量转换为电压、电流等电量信号,以便送至测试系统或计算机系统。

信号调节环节主要的作用是将传感器送来的电量信号放大或衰减,并进行阻抗变换。

显示或记录的目的是要了解被测的数值。目前常用的显示方式有三类:模拟显示,数字显示和图像显示。如毫伏表,毫安表,微安表等指示仪表是属于模拟显示,它是利用指针对标尺的相对位置来表示读数。数字显示是用数字形式来显示读数,如数字电压表、数字频率计等。图像显示是用屏幕显示读数或被测参数变化的曲线。有的测量必须了解它的变化过程,特别是动态过程的变化,这就必须采用自动记录仪器,如电子电位差计, $x-y$ 函数记录仪,光线示波器,磁带记录仪,电传打字机等。

模数(A/D)变换环节是将模拟量信号 A (电压或电流)转换为数字量信号 D ,以便送入电子计算机进行数据运算处理。

测得的信号数值有时用专门仪器进行分析和数据处理,如频谱分析仪,波形分析仪,快速傅里叶变换仪等。

测试系统一般分为手动和自动两类:手动测试系统是指测试过程中的全部或大部分操作、调整及计算工作是由测试人员直接参与并取得结果的。自动测试系统又分全自动和半自动,全自动测试系统是指所有仪器及设备都必须与计算机联机工作,整个测试过程由计算机控制,测量数据是以模拟或数字形式输出,供存贮、处理、显示或打字之用。

二、传感器信号与测试仪器的配合

从测量角度看,信号可以分为直流、交流、频率三类。频率信号属于数字量范畴,可以用数字频率计来进行测量。而直流、交流的电流、电压信号属于模拟量,它的测量要比频率量麻烦得多。本节所讨论的主要内容就是如何减少其测量误差。

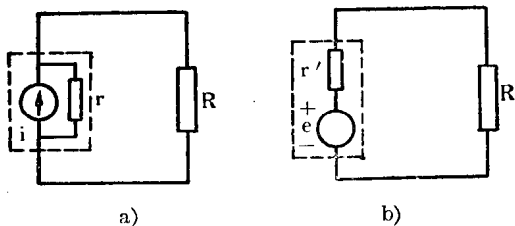


图1-8 传感器与负载的等效电路

器或仪器的输入阻抗)。由于一部分电流要流过信号源内阻抗 r ,因此流经负载的电流减少

1. 直流信号的测量

传感器分为两种:一是相当于电流源传感器,另一是相当于电压源传感器。在相当于电流源传感器中,如图1-8(a)所示,它具有内阻抗 r ,产生电流 i ,并馈电给负载 R (指示

到 $r/(R+r)$ 倍。这样就造成读数误差,该误差的大小取决于信号源内阻抗 r 与负载阻抗 R 之比值。例如测量要求误差小于 0.1% , 则 r/R 必须超过 1000。

图 1-8(b) 所示的传感器相当于一个电压源。 r' 是传感器电压源的等效内阻抗(包括信号源内阻抗和传输线阻抗), 这时跨在负载两端的电压将减少到 $R/(R+r')$ 倍。因此发生读数误差, 其大小取决于 R/r' , 如果误差要控制在 1% 以下, 那么 R/r' 之比值就要超过 100, 而误差要控制在 0.1% 以下, 则 R/r' 要大于 1000。

从这里可以看出, 要保证测量误差在要求的范围内, 就必须注意传感器内阻抗与测试或显示仪器仪表内阻抗的配合。

从上述数据可以看出, 如果要将测量数据传输到一定距离, 那么可采用电流信号的传输方法, 因为若采用电压信号传输方法, 传输线的阻抗必须加到信号源的内阻抗中去, 形成等效信号源内阻抗 r' , 而 r' 通常有几千欧, 这样如果要将读数误差控制在千分之几以下, 则负载阻抗的选择值就必须在几兆欧范围, 这在实际上是有困难的。若用电流传输方法, 则可以利用负反馈方法使电流源的内阻抗达到很高的数值。但传输电缆绝缘不良所造成的漏电会减少 r 值, 因此在使用中必须注意。根据上述理由, 长距离的测量通常采用直流电流信号的传输方法。

2. 交流传感器信号的测量

交流传感器产生的交流电压信号通常是近似于正弦波, 如果是非正弦波, 也可以看成是由一系列与基波有关的谐波所组成的。准确的交流测量通常要比准确的直流测量困难得多, 所以不存在交流电压的绝对标准, 所有的交流测量都依赖于热转换, 并以此转换量来与直流的转换量进行比较, 在这样的转换与比较中会出现一定的误差, 尽管这个误差很微小, 但总是存在的。

在测量电路中, 由于电感、电容会造成波形、频率、相位变化, 而这些因素将会影响交流的准确测量, 所以在交流测量中要达到 0.1% 的准确度是很困难的, 而在直流信号的测量中, 则是较容易达到的。

在交流测量中特别重要的是要了解所要测量信号是峰值、平均值、还是有效值(即均方根值), 因为它们之间的差别是很大的。

(1) 峰值: 在所观察的时间或一个周期内, 信号从零值到偏移的最大值称之为峰值, 通常也称振幅值。在正负对称波形条件下, 正、负极性的最大偏移值相等, 其峰峰值(双峰值)是实际峰值的两倍。

(2) 平均值: 交流电压在一个完整周期中的平均值总是为零, 因此它不能提供波形或振幅的信息。实用平均值在非电测量中定义为波形的平均系数。一个正弦波具有振幅值 A 、角频率 ω , 在半周期内的平均系数为:

$$\frac{\omega}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} A \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} A \quad (1-8)$$

所以平均系数是峰值的 $2/\pi$ 倍。

在非电测量中, 通常是通过一个线性整流电路将负极性信号先进行倒相, 如图 1-9 中的虚线(对于不对称的波形, 其平均系数不能用式 1-8 的关系来描述), 然后求出整个周期的平均值。如果被测信号是一个正弦波, 用一个反映平均值的电表仪来测量, 如磁电动圈式仪表。在没有加整流电路时该读数为零, 而在加上整流电路后, 其读数即为平均系数。由此可