

矿山通风与 安全测试技术

樊小利 郭健卿 曾宪桃 等编



西南交通大学出版社

矿山通风与安全测试技术

Modern Testing Technology of Ventilation and Safety of Mine

主 编

樊小利

Chief Editor:

Fan XiaoLi

副主编

郭健卿

曾宪桃

Associate Editor:

Guo JianQing Zeng XianTao

西南交通大学出版社

The Publishing House

of Southwest JiaoTong University

矿山通风与安全测试技术

Modern Testing Technology of Ventilation and Safety of Mine

主 编

樊小利

Chief Editor:

Fan XiaoLi

副主编

郭健卿

曾宪桃

Associate Editor:

Guo JianQing

Zeng XianTao

西南交通大学出版社

The Publishing House

of Southwest JiaoTong University

内 容 提 要

本书共分七章：测试技术基础知识、矿井空气测试技术、通风参数测试技术、矿井通风系统测试技术、矿井瓦斯测试技术、矿井井下环境参数测试技术、误差理论与数据处理。它较全面和系统地介绍了矿山通风与安全方面的各项测试技术，可供高等学校矿山通风与安全专业本、专科学生以及从事矿山通风与安全工作的工程技术人员学习、使用和参考。

矿山通风与安全测试技术

主 编 樊小利

副主编 郭健卿 曾宪桃

责任编辑 戴本文

西南交通大学出版社出版发行

(成都 二环路北一段 610031)

郫县印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：18

字数：427千字 印数：1—1000册

1997年8月第1版 1997年8月第1次印刷

ISBN 7-81057-071-4/T·236

定价：24.00元

2/30/19

前 言

采矿工业是我国国民经济发展的一个重要部门，在采矿工业生产过程中，搞好矿井通风与安全工作、保障矿山安全生产是至关重要的。编写本书的主要目的在于面向采矿工程技术人员及矿业院校师生系统地介绍矿山通风与安全方面的测试技术，期望能对现场通风与安全工作的各项测试工作有所帮助，为搞好矿山通风与安全工作服务。

本书共分七章，较为全面和系统地介绍了测试技术的基础知识。其具体内容为：矿山空气成份的测试；矿井通风压力、风量、矿井气候条件等参数的测试；矿井通风阻力与通风机性能测试技术；矿井瓦斯测试技术；矿井环境噪声、粉尘以及矿井火灾烟雾测试技术；误差理论与数据处理。本书在编写时，力求做到通俗易懂，对矿山通风与安全测试技术的基本理论、测试方法、仪器仪表及工作原理、使用方法和注意事项均作了较为详细的论述。

本书由樊小利担任主编，第一章、第三章由杨运良、樊小利共同负责，其中第一章、第三章第二节、第五节由樊小利编写，第三章的第一、三、四、六节及附录由杨运良编写；第二章由高建良编写；第四章和第五章第六、七节由郭健卿、曾宪桃负责，其中第四章第一节、第五章六、七节由郭健卿编写，第四章二、三、四节由曾宪桃编写；第五章一、二、三节由黄小广编写；第五章四、五节和第六章一、三节由张廷顺编写；第六章第二、四节由中国辐射防护研究院毋涛副研究员编写；第七章由负小有编写。

本书可做为煤炭高等院校、中专和技校采矿工程专业及矿山通风与安全工程专业的教学参考书，亦可供从事矿山通风与安全工作的工程技术人员参考。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中不妥及错误之处难免，恳请读者给予批评指教。

编者

1997年5月

2730/19

目 录

第一章 测试技术基础知识	1
第一节 测试系统的组成与作用	1
第二节 测试方法与测试技术	4
第三节 测试仪器的主要性能指标	9
第二章 矿井空气成份测试技术	16
第一节 概述	16
第二节 一氧化碳浓度测定	19
第三节 硫化氢气体浓度的测定	33
第四节 氧气浓度的测定	36
第三章 通风参数测试技术	49
第一节 压力测量	49
第二节 风流速度测量	60
第三节 温度测量	71
第四节 矿井气候条件的测定	83
第五节 测风仪器的校正	90
第六节 矿井测风资料整理	93
第四章 矿井通风系统测试技术	94
第一节 通风机装置性能测试	94
第二节 阻力系数的测定	113
第三节 矿井通风阻力测定	118
第四节 局部通风测定	135
第五章 矿井瓦斯测试技术	144
第一节 光学瓦斯检定器及其使用	144
第二节 热导式瓦斯检定器及其使用	160
第三节 热催化式瓦斯检定器及其应用	166
第四节 AQJ-7 型瓦斯指示警报器	175
第五节 瓦斯警报断电仪	178
第六节 矿井瓦斯遥测技术	184
第七节 煤与瓦斯突出参数测试技术	187
第六章 环境参数测试技术	195
第一节 噪声测试技术	195
第二节 矿井粉尘测试技术	212
第三节 烟雾测试技术	233

第四节 煤炭自燃倾向性鉴定与煤尘爆炸性鉴定.....	237
第七章 误差理论与数据处理.....	245
第一节 误差理论.....	245
第二节 权与不等精度测试.....	258
第三节 测试数据的处理.....	261
附录 1	275
附录 2	276
附录 3	278
参考文献.....	279

第一章 测试技术基础知识

在科学技术迅猛发展的今天，出现在人们面前需要进行探索的领域越来越广，需要进行研究的学科也越来越多，加之各个学科之间互相渗透，变得越来越复杂。因此，仅用现有的理论知识往往尚不能揭示出有些自然事物的内在规律，而必须更多地借助于实验的手段来加以研究。在科学实验和工业生产中，为了及时了解实验进展情况、生产工艺及生产过程的情况，还有它们的最终结果，人们都需要经常对某些反映事物本质的物理量进行测量，如电流、电压、功率、温度、压力、流量、浓度等参数。而每一个物理量参数的获得，都需要人们借助于一定的仪器、仪表，在一定的条件下依据一定的理论，使用一定的测试方法和程序进行。

现代工业技术及科学研究中测试手段十分重要，涉及面很广。人们通过测试手段来获得有关信息，了解情况，进而实现对所测参数的控制，因此，测试技术就是研究信息检测和处理的理论，也是研究物理系统工程（实）验的理论与应用科学，是人们认识自然、改造自然的重要手段。随着科学技术的发展和生产的需要，测试技术已经发展成为一门较为完整的实用技术学科。综上所述，测试技术包括了两个方面的内容：一方面是对物理现象的定性了解；如，机器设备是否带电，空气都是由哪些成份组成的等；另一方面是对物理现象的定量掌握。如：环境温度有多少度、气体压力有多大等。学习和掌握了测试技术，就能够在科学研究和生产实践中所面临的测试任务面前，正确选择测试原理和方法，正确地选择测试所需要的技术工具（如敏感元件、传感器、传输线路以及显示仪表和数据处理装置等），从而组成一个合适的测试系统，来达到所要测试的目的。

第一节 测试系统的组成与作用

一、系统组成

在现代测试技术中，人们为了获得自然界中或某一生产工艺等过程中一些物理量的数值，就要利用若干测试设备（如测量仪表、测量装置、测量元件及其辅助设备），并把它们按一定方式有机的组合起来，来达到所要测试的目的。因此，测试系统就是由若干种仪表与被测对象以一定关系组合成的整体，其工作方式是接受测试者的指令，进行数据采集、分析和处理，并给出被测试参数的特征量，完成测试或控制任务。任何一次有效的测试，都需由一个完整测试系统来完成。当然，根据所要测试的对象和测试的目的不同，需要选择不同的测试原理及测试精度，由此所构成的测试系统也会有很大的差异。它可能是仅有一个测试仪表的简单测试系统。比如：用机械式风速计来直接测量某条巷道的通过风量；也可能是一整套价格昂贵、高度自动化的安全监测系统，如以计算机为主体的可同时甲烷、一氧化碳、风速、温度、负压等多个参数进行实时监测的A—1型矿井监测系统。无论是简单的测试系统还是复

杂的测试系统，都是由有限个具有一定基本功能的测量单元所组成。所谓测量单元是指建立输入和输出二种物理量之间某种函数关系的一个基本部件。从这个意义上讲，一套完整的测试系统实际上是若干个测量单元的组合，并可看成是由许多测量单元连接成的测试链。在这个测试链中，缺少任何一个单元，都不能算是一个完整的测试系统。

一般的测试系统由四个基本测量单元所组成：① 敏感元件单元；② 变换元件单元；③ 传输元件单元；④ 显示记录单元。其组成的测试链框图如图 1—1—1。

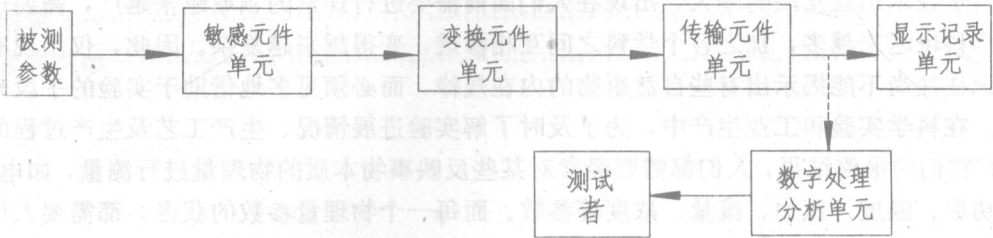


图 1—1—1 测试系统的原理结构框图

在较为自动化的测试系统中，还具有将测试数据进行处理和分析的单元，即数据分析、处理单元。

二、测量单元的功能

1. 敏感元件单元

就敏感元件本身来讲，它是整个测试系统直接与被测对象发生联系的部分，它首先能够从被测现象的物质中获得能量，然后产生出一个以某种方式输出的与被测参数有关的信号。因而整个敏感元件单元可以定义为：是从被测介质接受能量，并输出一定信息的器件。例如，热导型甲烷检测器在测量甲烷系统中，热导元件就是该测量系统的敏感元件，它感受甲烷浓度的变化，产生与浓度成正比的电压信号输出。这就是热导型甲烷测试系统中敏感元件的作用。

敏感元件是否能够快速、精确地产生出与被测参数相等效的信号，对整个系统的测试精度有着至关重要的影响。因此，一个理想的敏感元件应该满足以下三个方面的要求：

- 1) 敏感元件输入与输出之间应该具有稳定可靠的单值函数关系；
- 2) 敏感元件应该只对被测参数的变化敏感，而对其它一切可能的输入信号不反应；
- 3) 在测试过程中，敏感元件应该不干扰或少干扰被测参数的环境状态。

事实上，要做成一个理想的、完善的敏感元件几乎是不可能的。这是因为：① 要寻找一个选择性很好的敏感元件比较困难。因此，只能将对所测结果有影响的其它信号在敏感元件上的反应减少到最低限度，并用试验的方法或理论计算的方法最终把它消除掉；② 敏感元件的特性决定了它总要从被测现象（或介质）中取得能量。在绝大多数情况下，避免不了由于测试作用而对被测量的现象（或介质）有所干扰。因此，一个性能良好的敏感元件，只能是尽量减少这种效应，而不能彻底消除。

2. 变换元件单元

对于测试系统，为了实现所要求的功能，需要将敏感元件的输出量进一步变换（或转换）。这是因为敏感元件的输出信号一般是某一种物理变量，例如位移、压差、电阻、电流等。

在大部分情况下，它们在性质上、强弱上总是与传输单元和显示单元所能接收的信号有一定的差异。因此，必须通过变换单元对信号进行变换。此时的变换有两个方面的含义：一是指对信号物理性质进行变换，即将一种物理量变成性质上不同的另一种物理量；二是指对信号数值上的变换，即依据一定的规律在数据上使物理量变化，但仍保持原有的物理性质。属于前一种情况的比如精密气压计，把压力变化变换为位移量的变化，然后再将位移量变化变换成电压变化进行输出。因此这种变换方式要得到测试数据必须经过二次以上的变换（或转换）；属于后一种情况的主要是指将敏感元件的输出信号通过变换单元的电子电路进一步放大，以有利于下一个单元的工作。

在测试系统中变换元件单元，不仅要性能稳定、精确度高，而且应使信息损失最小。

3. 传输元件单元

对于有些仪器或者测试系统，实际各个功能单元被物理地分开了，要将各个单元联接起来形成一个有机体或将信息从一个位置传送到另一个位置上，完成这项功能的单元称为传输元件单元。

传输元件单元可以是比较简单的连杆、轴和轴系、一根管子、一根导线等，在用皮托管—压差计测量相对静压、相对全压或速压时，使用的传送元件为一根 $\Phi 6\sim 8\text{mm}$ 直径的橡胶管，但也可能相当复杂，如光导纤维、无线电传输等。如矿井 ABWY—2 型甲烷遥测报警继电器，是采用将敏感元件获得的甲烷浓度变化量经过载波技术处理变为频率信号，再通过井上、下电话线及其两端的低通传输到地面的接收装置和显示装置中，此处低通和电话线都是传送元件单元。

传送元件单元通常较为简单，容易被忽视。而实际上，由于传送元件选择不当或安排不周，往往会造成信号能量损失、信号波形失真，且容易引入干扰，结果导致测试精度下降。例如，导压胶管过细过长，容易使信号传递受阻，产生传输迟延，影响动态压力测量精度；导线的阻抗失配，将导致电信号的畸变等。

4. 显示元件单元

显示元件单元的作用就是向测试者显示出所测参数的数值。它也是整个测试系统直接与测试者发生联系的部分。如果被测试信号要想传输给测试者，那么就必須将所测信号变成能为人们的感官所能接受和识别的形式。而完成这种“翻译”功能的单元就称为显示元件单元。显示元件单元根据被测参数的量可以分为瞬时量指示、累积量指示、超限量或极限量指示，也可以是相应量的记录，有时还带有调节功能，以控制生产过程。根据显示的方式不同可分为模拟显示、数字显示、声光显示、屏幕动态显示等。

目前显示元件单元主要有以下几种基本形式：

1) 模拟式显示元件。最常见的结构是以指示器与标尺的相对位置来连续指示被测参数的瞬时值。一般情况是按主观方式读数，读数的最低位总是由读数者来估读，根据观察者不同存在一定差异，容易产生视差。但由于其结构简单，价格较低，仍是目前工业上常用的显示元件，记录时，则以曲线形式给出数据。

2) 数字显示元件。其显示形式以数字的方式直接给出被测参数的大小，不会产生视增长，但有量化误差。量化误差的大小取决于模—数 (A/D) 转换器的位数。记录时，可以打印输出数据。其缺点是直观形象性较差。

3) 声光显示元件。其显示形式以某种特定的声和光信号来报出所测试参数的大小。这种

显示形式主要适应于测试环境复杂,给人们一个提示性的信号。例如,在矿井的生产现场,有害气体浓度超限时,声光显示就会以一种特殊的起伏声音和交变的光束给工作人员报警,以达到安全生产的目的。该种形式的显示缺点只能是定点显示,而不能连续显示。

4) 屏幕动态显示元件。其显示的方式是利用工业荧光屏幕将被测试参数的动态变化过程连续的显示出来,是目前最先进的显示方式。它既可以按模拟方式给出曲线,也可以给出数字,或者二者同时显示。屏幕显示具有形象性和易于读数的特点,并能在屏幕上显示出大量数据,便于比较、判断。例如利用计算机或光线示波器等,一边采集数据信息,一边显示数据及其变化,还可以将信息记录下来,随时调用。

从上面分析可以知道,测试系统是一个功能繁多、结构不一的有机整体。但是应该说明,系统组成和各部分的功能并不是唯一的,尤其是关于敏感元件单元、变送元件单元,在不同的场合下使用的名称也可能不一样,但是其在整个系统的作用基本不变。

第二节 测试方法与测试技术

一、测试方法

为了达到测试的目的,人们制定了各种量的标准单位。例如千克为质量的单位;米为长度或距离的单位等等。所谓测试实质上是一个测量的过程。就是将客观存在的被测量与同种性质的标准单位量进行比较,从而确定出被测量对标准量的倍数,并用数字表示这个倍数。例如,用米尺来测量某一木棒的长度,就是将被测棒料的长度与标准长度——米尺进行比较,最后得出棒料是多少米多少厘米。

1. 测试方法的分类

对于测试方法,从不同的角度出发,有不同的分类方法。按测试过程可分为:直接测试法、间接测试法和组合测试法;按测试的方式可分为:偏差式测试法、零值式测试和微差测试法;除上述分类之外,在工程测试中,还有许多其它分类方法,例如:按测试仪表的敏感元件与所测介质是否接触,可分为接触式测试和非接触式测试;按所测参数是否为时间的函数,可分为静态测试和动态测试等等。

2. 直接测试法

在使用仪器仪表对所测参数进行测量,仪表的读数不需经过函数关系的任何运算,就能够直接得到所需要的结果,称为直接测试法。例如用液体温度计测量温度;用尺丈量长度;用电流表测量电路中的电流等,都属于直接测试法。直接测试法的优点是测量过程简单而迅速,不需函数运算,缺点是测量的精度一般不易做到很高。这种方法是工程技术中大量采用的方法。

3. 间接测试法

所谓间接测试法,与直接测试法相对应。首先,对与被测参数有确定的函数关系的几个物理量进行测量。然后,将测量值代入函数关系式(或图表、曲线等),通过数学运算才能得到所需结果的方法,称为间接测试法。例如,用皮托管—压差计法测量风速时,利用速压 h 与风速 v 的函数关系: $h = \frac{\rho}{2} v^2$,通过接受压力的皮托管和显示压差的压差计,测量出速压值,同时再测量出空气的密度 ρ ,将 h 和 ρ 代入 h 的表达式,经过计算得到最后所需要的结果 v 值。

在此测试过程中，手续较多，花费时间较长，但是，有时可以得到较高的测试精度。这种间接测试方法广泛应用于科学实验、工程技术测量等各个领域的测试工作中。

4. 组合测试法（也称联立测试）

在工程技术中，若要得到某一物理量的具体参数值，需要通过测量若干个被测参数的不同组合数据，并建立联立方程组，通过求解联立方程组，才能得到最后所需的结果，这样的测试为组合测试法。在进行组合测试时，一般需要改变测试条件，才能获得一组联立方程所需要的数据。

例如，对于电阻的温度系数测试，通过理论分析可知，电阻值与温度之间的关系为：

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2]$$

式中 R_t —— $t^\circ\text{C}$ 时电阻实际值， Ω ； R_{20} —— 20°C 时电阻实际值， Ω ； α 、 β ——电阻温度系数；其单位分别为： $1/^\circ\text{C}$ ， $1/^\circ\text{C}^2$ ； t ——电阻体周围环境温度， $^\circ\text{C}$ 。

为了测出 α 和 β 值，只有改变测试的温度条件，在三种温度 t_1 、 t_2 、 t_3 下，分别测出对应的电阻值 R_1 、 R_2 、 R_3 ，然后代入上述公式，才能得到一组联立的方程：

$$R_1 = R_{20} [1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2]$$

$$R_2 = R_{20} [1 + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2]$$

$$R_3 = R_{20} [1 + \alpha(t_3 - 20) + \beta(t_3 - 20)^2]$$

解出上述方程组后，便可求得 R_{20} 、 α 、 β 各值，从而得到最后所需的 R_t 随温度的变化规律来。

对于组合测试法，其测量过程中，操作手续较复杂，花费时间长，是一种特殊的精密测试方法。一般用于科学实验和特殊场合。

5. 偏差式测试法

在测试过程中，利用仪表指针的位移（即偏差）表示被测参数大小的测量方法，称为偏差式测试法。应用这种方法测量时，标准量具不装在仪表内，而是事先用标准量具对仪表刻度进行校准，在测量时输入被测量，按照仪表指针在标尺上的示值，决定被测量的数值。它是以间接方式实现被测参数与标准量的比较。例如压力表、磁电式电流表及电压表等就属于偏差式测试法的仪表。采用这种方法进行测试，测试过程比较简单、迅速，但是，测试的结果精度有限，在工程实际应用中较为广泛。

在偏差式测试仪表中，一般要求利用被测物理量产生某种物理效应（通常是力或力矩），在此物理效应的作用下，使仪表中的某个元件（通常是弹性元件）产生与它大小相同但方向相反的作用。这种反作用通常与某种变量（如机械位移和偏移）相对应，并可由人们的感觉器官直接观测出来。在测量过程中，此相反作用一直要增加到与被测物理量所产生的物理效应相平衡。这时指针的位移（或偏移）在标尺上对应的刻度值，就表示了被测参数的测量值。图 1—2—1 所示离心式转速表就是这类仪表的一个示例。当仪表的轴端 A 插入电机或通风机主轴中心孔借助摩擦而旋转时，质量 m 的垂锤 B_1 和 B_2 由于受到 $m\omega^2 r$ 的离心力作用，使滑块 C 向上移动（此时弹簧 D 被压缩）并通过齿轮机构 G 带动指针 H 摆动。转速越高，弹簧反作用力越大，变形位移量也越大，指针偏转就越厉害。当弹簧反作用力与离心力平衡，指针不动时，指针所在位置所对应的刻度尺上的数值，就表示所测转速的测定值。

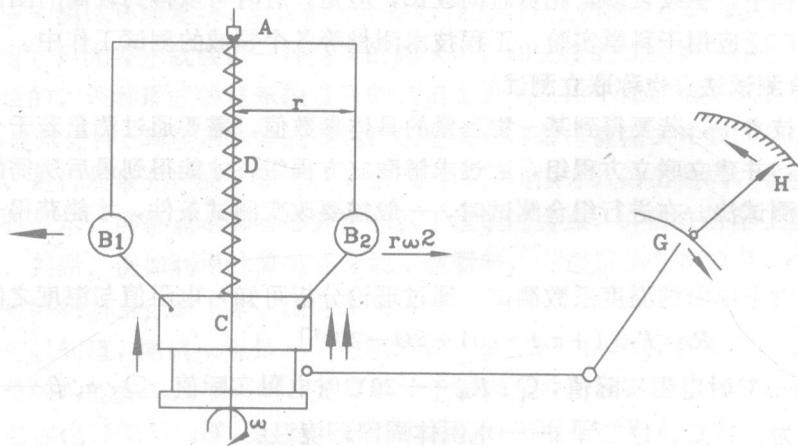


图 1-2-1 离心式转速表

6. 零值式测试法

零值式测试法是通过调整一个（或几个）与被测量有已知平衡关系的量，用指零仪表的零位指示，检测测量系统的平衡状态，在测量系统达到平衡时，用已知的平衡量来决定被测未知量的一种方法。通常又称为平衡测试法和补偿测试法。应用这种方法进行测试时，标准量具已装在仪表内，在测试过程中，标准量直接与被测量相比较；测量时，要调整标准量，即进行平衡操作，一直到被测量与标准量相等，即指零仪表回零。例如，用双臂电桥测量低电阻属于零值式测量法。图 1-2-2 是双臂电桥的原理图，图 1-2-3 为双臂电桥的线路图。

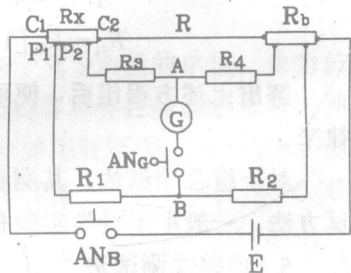


图 1-2-2 双臂电桥

测量前，拨下检流计的锁钮，使检流计的指针可以自由摆动，然后调零。仪器的面板上有两个电流接线端 C_1 、 C_2 和两个电压接线端 P_1 、 P_2 。测量时，将 C_1 、 P_1 和 C_2 、 P_2 分别用导线短接，然后将待测电阻接在 P_1 、 P_2 两端，旋转 S 相应于取不同的 R_b ，即取不同的倍率。选择适当的倍率后，同时按下检流计按钮 AN_g 和电源按钮 AN_b ，转动滑盘调至电桥平衡，即检流计指针重新调到零。此时待测电阻 R_x 由下式来得到：

$$R_x = \text{滑盘读数} \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \times \text{倍率开关读数} (R_b)$$

除了双臂电桥测量电阻的方法属于零值式测试法外，象天平称重、电位差计测量电势等等，也都属于零值式测试法。采用零

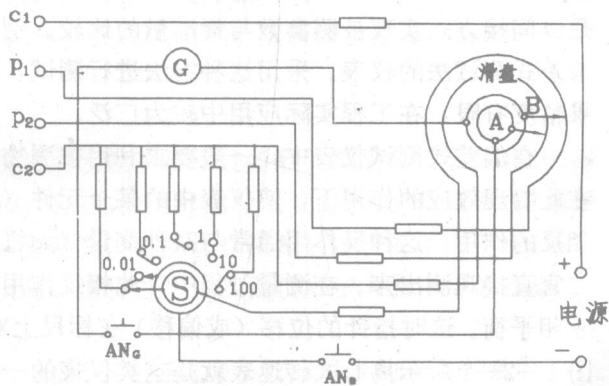


图 1-2-3 双臂电桥线路图

值式测试法进行测试时，其优点是可以获得比较高的测量精度。但是，测量过程比较复杂，在测量时，要进行平衡操作，花费时间长。若采用自动平衡操作以后，可以加快测量过程，但

它的反应速度由于受工作原理所限，也不会很高，因此，这种测试方法不适应测量变化迅速的信号，只适应于测量变化较缓慢的信号，工程实践和实验室中此种测试方法应用很普遍。

7. 微差式测试法

微差式测试法是在吸取了偏差式测试法和零值式测试法优点的前提下，而提出的测试方法。它是将被测的未知量与已知的标准量进行比较，并取得两者的增长值，然后用偏差法测得此值，此种方法在测试时，标准量具已装在仪器内，并且在测试过程中，标准量直接与未知被测量进行比较。由于二者差值比较小，故测试过程中无需调整标准量，而只需要测量二者的差值。

若标准量为 A ，被测量为 X ， Δ 为二者之差，则 $X=A+\Delta$ ，即被测量是标准量与微差值之和。

由于 A 是标准量，其误差很小，并且 $\Delta \ll A$ ，因此，可选用高灵敏度的偏差式仪表测量 Δ ，即使测量 Δ 的精度较低，但因 $\Delta \ll X$ ，故总的测试精度仍很高。

例如：用电压表测量电压值，设电压表量程 $U=10V$ ，微差值 $\Delta U=0.1V$ ，测量允许误差为 $\mu=\pm 0.02V$ ，比较测量 ΔU 和测量 U 的相对误差。

1) 直接测量 ΔU 时的相对误差：

$$\frac{U}{\Delta U} = \pm \frac{0.02V}{0.1V} \times 100\% = 20\%$$

2) 测试 U 时的相对误差：

$$\frac{U}{U+\Delta U} = \pm \frac{0.02V}{10V+0.1V} \times 100\% = 0.198\% \approx 0.2\%$$

由此可见，利用微差式测试法可以大大提高测量精度。从上例中可知，微差式测试法与直接测试法相比较，相对误差相差 100 倍，因此，微差式测试法的优点是反应速度快，测量精度高，它特别适用于线路控制参数的检测。

二、测试技术分类

目前所采用的测试技术种类非常繁多，难以确切的统一分类。根据测试方法的物理原理，大致可分为以下几大类：

1) 机械式测试技术（包括液压式）；

2) 电磁式测试技术；

3) 光学式测试技术；

4) 声学式测试技术；

5) 其它物理效应测试技术（如微波、激光、同位素等）。

早期的测试技术往往是与理论研究工作结合在一起，曾采用一些简单的机械式量具或机械式仪表进行实验。随后，由于电学、光学、声学等技术的发展，为测试技术的发展创造了条件，尤其是近几十年来，电子技术的飞速发展，对电量（电阻、电流、电压等）的量测技术水平不断提高，使灵敏度高、反应迅速、连续测量、自动记录的仪表不断涌现。但在工程技术上要测量的各种参量绝大多数为非电量，如压力、应力、速度、温度、流量等等，因而又发展了把非电量转换成电量的转换技术，以使用电测法来测量非电量，这就形成了“非电

量电测法”测试技术。目前，非电量电测法测试技术在各个科技领域和生产部门获得了广泛的应用，与此同时，光学式测试技术在实验应力分析中获得了应用和发展，声波和超声波探测技术在无损探测方面受到日益重视。由于光测法、声测法与电测法的关系非常密切，而且往往都要以电测法为辅助，所以，有人将光学式和声学式测试技术也划入非电量电测技术的范畴，而把测试技术统分为两大类：机械式和电测式。

1. 机械式测试技术

机械式测试技术是以机械式和液压式仪表为测量手段，其工作原理是基于机械传动学原理和液压传动学原理。这类仪表的特点是结构简单、使用方便、性能可靠、测读直观、无电气部分，在近距离就地观测和需防爆的矿山井下测试中应用较为普遍。

2. 电磁式测试技术

电磁式测试技术是以电磁学为基本原理，它涉及面非常广泛，除常用的电工仪表对电量的测试技术外，主要地是用于非电量的电测技术。

3. 光学测试技术

利用光学原理对各种物理量进行测量的技术为光学式测试技术，简称光测法。目前以光弹性法在模型实验中应用最广，其它光测法有云纹法、全息干涉法、激光散斑干涉法等。

4. 声学式测试技术

声学式测试技术的实质是在被测物体中，利用声波或超声波的传播速度、相位、振幅、频率等的变化规律取得数据或图象，再通过计算或按事先标定的曲线求得所需的物理参数，通称声波探测法。它属于非破损检测技术的一种。

测试技术伴随着现代科学技术的发展而发展。目前除不断提高测试仪表的性能和扩大应用范围外，总的发展趋势是：高精度高速化、微型化、集成化、非接触化、智能化等。由于以大规模集成电路为基础的微处理机应用到测试技术中来，把传统的测量仪器变成了智能仪器，从而大大扩展了功能，如自动校正功能、信息变换功能、信息处理功能和指令功能等等。

三、测试的精密度、准确度和精确度

上述各类测试技术中测试误差的存在，都是对测试参数不真实的反映。任何一次有意义的测试都需要设法减小误差对测试结果的影响。在评价测试结果与真值接近的程度时，常用精密度、准确度和精确度来衡量。

1. 精密度

在相同条件下（相同环境，同一仪表，同一操作者）对同一被测参数进行反复多次测量时各个测定值一致的程度，或者说测定分布的密集程度，称之为测试的精密度。通常用精密度来反映随机误差的影响，随机误差愈大，测定的重复性就愈差，精密度就愈低，反之则精密度就愈高。

2. 准确度

在相同的条件下，对同一被测参数进行反复多次测量，测定值与被测参数的真值相符合程度，称之为测试的准确度。准确度反映了系统误差的影响，系统误差大，意味着测量的准确度就低，反之就高。

3. 精确度 (又称精度)

精密性与准确度的综合反映,称为精确度,或称精度。习惯上用精度这一概念来综合表示测量误差的大小。

对于具体的测试,它们三者之间的关系可从定义直接得到: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,则精密度和准确度都高。上述的结论可用图 1-2-4 来说明,图中 x_0 代表被测参数的真值, \bar{x} 代表多次测量所获得的测试值的平均值,小黑点代表每次测量所得到的测试值。从图中可看出:(a)中,测试值密集于平均值 \bar{x} 周围,表明随机误差小,测量精密度高。但测试值的平均值 \bar{x} 偏离被测参数真值 x_0 较大,表明系统误差大,测试的精确度低;(b)中,测试值分布离散性较大,表明随机误差大,测试精密度低,但平均值 \bar{x} 较接近真值 x_0 ,系统误差小,准确度高;(c)中,测试值 x_k 明显地有异于其它测试值,可判定为含有过失误差因素的不可靠值,在剔除了 x_k 之后,随机误差和系统误差都较小,表明了测量的精确度,即精度高。

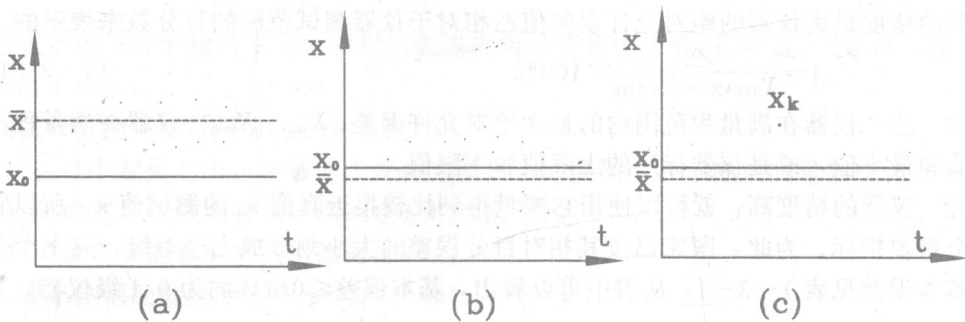


图 1-2-4 测试数据关系

应该说明,不论是精密度还是准确度,都是针对多次测量所获得的测试值的分布而言。如果仅就一次测量的测试值而言,一般很难区分其精密度与准确度。因此,在实际测试工作中,要尽可能减少各种误差,确保测试精密度与准确度都高,这样,才能得到一个精度较高的测试结果。然而,在工程具体测试中,测试系统往往是由若干仪表和环节所组成的,其测量结果的精度取决于其中精度最低的环节。故要求在满足一定的测试精度和工作环境条件下,应尽可能地选用相同精度的测试装置(或仪表)。

第三节 测试仪器的主要性能指标

测试仪器的任务就是检测被测参数,指示、记录被测参数的数值和变化的过程。在这一过程中,借助于专门的设备——检测(测试)仪表,通过合理的测试方法和必要的数学处理方法,而获得所检测对象的有关信息。在整个测试过程中,与仪器直接发生关系的则是被测参数的输入和输出。因此,输入—输出特性就是测试仪器的最基本的特性。而根据输入量的状态随时间的变化形式(静态或动态)不同,仪器所表现的输出特性也不一样。所以仪器的性能又分为静态特性和动态特性两种。

一、测试仪器的静态特性

当用测试仪器进行测试的参数不随时间变化而变化或随时间变化很缓慢、不必考虑仪器输入量与输出量之间的动态关系，而只需要考虑输入量与输出量之间的静态关系时，联系输入量与输出量之间的关系式是代数方程，不含时间变量，这就是所谓的静态特性。由于测试仪器根据所检测的对象、工作条件、技术要求等不同而呈现多样性，不同类型、不同用途的仪器在描述静态特性时各有不同的侧重面，究竟用哪一些指标来描述仪器的静态特性，目前还没有完全的统一标准。下面对一些主要的指标进行介绍。

1. 精度

测试仪器所测的参数值是否准确，通常用精度来表示。所谓精度就是表征测试某参数时，所测参数值可能达到的与真值相符合的程度。它是衡量仪器基本误差大小的标准。一台仪器生产出来以后，在使用中，只要使用条件和操作均符合说明书规定的技术要求，那么，测试中所造成的仪器误差是固定不变的，因此，它是系统误差的一种。

仪器的精度是由仪器的绝对允许误差值 Δ 相对于仪器测试范围的百分数来表示的，即：

$$A = \frac{\Delta}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100\% \quad (1-3-1)$$

式中 Δ —仪器在满量程范围内的最大绝对允许误差； X_{\max} 、 X_{\min} —仪器在满量程范围内的最大值和最小值，或是仪器标尺的上限值和下限值。

因此，仪器的精度高，就可以使用它测量得到比较接近真值 x_0 的测试值 x ，所以它是仪器的一个重要指标。为此，国家已按其相对百分误差的大小划分成七个等级，这七个等级对应于其基本误差见表1-3-1。从表中可以看出，基本误差 $\leq 0.1\%$ 的为0.1级仪器，其余类推。

表 1-3-1 仪器的精度与基本误差的关系

仪器精度 Δ	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差%	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

例如某一电流表的精度为1.0级，量程为50~100mA，如果使用这一电流表来测试电流，那么在测试中可能产生的仪器误差不超过满量程的1.0%，即为：

$$(100 - 50) \times 1.0\% = 0.5\text{mA}$$

为了更好地掌握精度这一概念，必须注意以下两点：

1) 在测试中使用同一精度等级、量程又相同的仪器，那么所引起的仪器误差（绝对误差）与被测参数的数值大小无关。如上例中，不管你所测的电流值是70mA还是90mA，其所产生的仪器误差均为0.5mA。因此，被测试的值最好落在仪器满量程的三分之二以上为宜，应尽量避免使测试值出现在满量程的三分之一以下，这样就不会导致测试过程有较大的相对误差；

2) 对于同一精度的仪器，若量程不同，则在测试中所产生的绝对误差是不同的。

例：有两个精度均为0.5级的温度表，一台量程为0~50℃，而另一台则为0~100℃，用这两台温度表来测定同一介质的温度，得到的测试结果均为40℃，则可能产生的仪器误差分别为：