

中等专业学校轻工专业试用教材

# 检测技术及仪表

邓贻云 主编

轻工业出版社

中等专业学校轻工专业试用教材

# 检测技术及仪表

邓贻云 主编

轻工业出版社

## 内 容 提 要

本书兼顾了机械参数和流程参数检测的主要内容,并按照参数测量进行分类。如:把典型的常用传感器主要集中在机械参数测量一章中介绍,力求把传感器与检测仪表整机融合为一体。编写中,从使用检测仪表的角度,阐述传感器的工作原理和结构特点,同时对测量、放大、显示电路作了必要的介绍,列举了一些典型的工业检测仪表整机实例。内容上,考虑实用性的同时,对一些新型的检测元件、集成电路和仪表整机作了适当的介绍。

全书共分七章,第一章为检测技术基础,着重介绍检测仪表的通用技术指标、误差的基本知识和测量电路基础;第二章至第七章分别介绍温度、机械量、压力、物位、流量和物性参数的主要测量方法和常用仪器。全书内容精炼、通俗易懂、实用性强;并结合了主要内容,在每章后列出了复习题目。可作为中等专业学校电气、电子、微机应用及有关专业的通用教材,也可供大专院校有关专业的师生和从事仪表与自动化工作的工程技术人员与工人参考。

### 中等专业学校轻工专业试用教材 检测技术及仪表

邓贻云 主编

轻工业出版社出版  
(北京广安门南滨河路25号)  
轻工业出版社印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行  
各地新华书店经售

787×1092毫米1/16印张: 11 字数: 240千字

1990年4月 第一版第一次印刷

印数: 1—5,000 定价: 2.35元

ISBN7-5019-0779-x/TH·022

## 前 言

本书是根据轻工部教育司1987年12月在烟台召开的全国轻工中专教材工作会议精神，按照修订后的《检测技术及仪表》教学大纲编写而成的。编写过程中，在强调实用性的同时，力求反映检测技术及仪表的现状及其发展趋势，做到选材新颖、内容精炼、编排合理；在叙述上从基本的物理现象入手，力求语言简洁、深入浅出，做到物理概念明确、教学方法简便、文字通俗易懂。

本书兼顾了机械参数和流程参数检测的主要内容，按照参数测量进行分类，以检测变换器——典型测量电路——应用举例为讲授顺序，力求把传感器与检测仪表整机融合在一起，从使用的角度出发，阐述常用传感器的工作原理和结构特点。为了加强整机概念，对测量、放大与显示电路作了相应的说明，同时列举了一些典型工业检测仪表的整机，并对其安装使用作了必要的介绍。

全书由邓贻云同志主编，参加编写的同志有周延韩、朱亮、赵瑞萍、王勇等同志，周延韩同志并对全稿作了仔细的校阅。轻工中专电专业教材编审组主持了本书的审稿工作，由马德云同志任主审。参加审稿的还有湖南大学仪表教研室的李福彬副教授和中南工业大学自动化仪表教研室的刘德溥教授。

本书可作为中等专业学校电气类专业的教材，也可供专科学校、职工大学、电视大学相近专业的学生选用，对广大从事检测仪表使用与维护的工程技术人员与工人也具有较好的参考价值。

在成稿过程中，铅印稿曾在许多兄弟学校试用，得到了各校的大力支持。西安仪表厂、上海自动化仪表一厂、上海自动化仪表三厂、天津自动化仪表八厂、武汉自动化仪表厂等单位提供了最新产品的宝贵资料。在此一并表示衷心的感谢！

编 者

1989年5月

# 目 录

绪论	( 1 )
一 检测仪表在工业生产中的地位和作用	( 1 )
二 检测仪表的组成与分类	( 1 )
三 检测仪表的发展趋势	( 3 )
四 本课程的任务与特点	( 4 )
第一章 检测技术基础	( 5 )
1-1 测量的基本概念	( 5 )
一 测量的含义	( 5 )
二 测量方法及其分类	( 5 )
三 检测仪表的主要性能指标	( 6 )
1-2 测量误差与精度	( 9 )
一 误差的概念及其分类	( 9 )
二 仪表精度与测量精度	( 12 )
1-3 基本测量电路	( 13 )
一 串联分压式测量电路	( 13 )
二 直流电桥	( 15 )
三 交流电桥	( 18 )
1-4 测量放大器	( 20 )
一 调制型直流放大器	( 20 )
二 低漂移集成运算放大器	( 24 )
1-5 模/数转换电路	( 27 )
一 模/数转换电路	( 27 )
二 模/数转换电路	( 28 )
1-6 线性化处理电路	( 32 )
一 校正曲线的求取	( 32 )
二 模拟线性化电路	( 32 )
三 数字线性化电路	( 34 )
习题	( 37 )
第二章 温度测量及仪表	( 38 )
2-1 温度测量与温标	( 38 )
一 温度测量的基本概念	( 38 )
二 温标	( 38 )
2-2 热电阻温度计	( 40 )

一、热电阻	( 40 )
二、半导体热敏电阻	( 42 )
三、热电阻温度显示仪表	( 43 )
2-3 热电偶温度计	( 47 )
一、热电效应	( 47 )
二、热电偶分类	( 48 )
三、补偿导线	( 50 )
四、冷端温度的处理	( 51 )
五、热电偶的动态误差	( 52 )
六、热电偶温度显示仪表	( 53 )
2-4 热辐射温度计	( 56 )
一、热辐射温度计的工作原理	( 56 )
二、全辐射温度计	( 58 )
2-5 温度仪表的使用	( 59 )
一、温度仪表的选择原则	( 59 )
二、安装与使用注意事项	( 59 )
习题	( 60 )
附录：常用热电阻、热电偶分度表	( 62 )
<b>第三章 机械量测量及仪表</b>	( 69 )
3-1 应变电阻传感器	( 69 )
一、电阻的应变效应	( 69 )
二、电阻应变片的结构型式	( 70 )
三、电阻应变片的使用	( 70 )
四、传感器的主要结构型式	( 72 )
五、测量电路	( 73 )
六、应变式电子料斗秤	( 74 )
3-2 电感传感器	( 75 )
一、自感式位移传感器	( 75 )
二、差动变压器位移传感器	( 77 )
三、测量电路	( 78 )
四、GDH电感测微仪	( 78 )
3-3 电容传感器	( 80 )
一、电容位移检测的工作原理	( 80 )
二、测量电路与非线性误差	( 82 )
三、电容测微仪	( 84 )
3-4 光电传感器	( 85 )
一、光电效应与光电元件	( 86 )
二、测量电路	( 88 )

三、光电变换器的组成	( 90 )
四、红外线光电测速仪	( 91 )
<b>3-5 射线传感器</b>	( 93 )
一、射线测厚的工作原理	( 93 )
二、射源	( 93 )
三、射线检测元件	( 95 )
四、射线变换器的组成	( 97 )
五、射线测厚仪	( 99 )
<b>3-6 其他常用传感器</b>	( 100 )
一、霍尔传感器	( 100 )
二、压电传感器	( 102 )
三、振弦传感器	( 103 )
习题	( 103 )
<b>第四章 压力测量及仪表</b>	( 105 )
<b>4-1 力平衡差压变送器</b>	( 107 )
一、变送器的结构原理	( 107 )
二、位移检测放大器	( 108 )
<b>4-2 电容式差压变送器</b>	( 109 )
一、变送器的结构原理	( 109 )
二、测量转换电路	( 110 )
<b>4-3 霍尔压力传感器</b>	( 111 )
<b>4-4 压力表的使用</b>	( 111 )
一、压力表的选择	( 112 )
二、压力表的安装	( 112 )
三、压力表的校验	( 113 )
习题	( 114 )
<b>第五章 物位测量及仪表</b>	( 115 )
<b>5-1 静压式液位计</b>	( 115 )
一、工作原理	( 115 )
二、差压式液位变送器	( 116 )
三、吹气式液位测量装置	( 116 )
四、静压式液位计的使用	( 117 )
<b>5-2 浮力式液位计</b>	( 118 )
一、差动变压器浮力式液位变送器的工作原理	( 118 )
二、变送器测量电路	( 119 )
<b>5-3 电容式物位计</b>	( 120 )
一、电容式物位计的工作原理	( 120 )
二、整机电路举例	( 121 )

5-4	放射性物位计	(122)
一、	放射性物位计的组成	(122)
二、	放射性物位计的电路	(123)
5-5	重锤式料位计	(124)
一、	测量机构的工作原理	(124)
二、	测量电路	(125)
三、	重锤的选择与使用注意事项	(126)
	习题	(126)
<b>第六章</b>	<b>流量测量及仪表</b>	(127)
6-1	差压式流量计	(127)
一、	工作原理与流量方程	(130)
二、	标准节流装置	(131)
三、	节流装置的压力损失与差压计的选择	(132)
四、	流量计的安装	(133)
五、	密度影响及其修正	(134)
六、	流量的校核计算	(134)
6-2	转子流量计	(136)
一、	工作原理与流量方程	(136)
二、	流体密度的影响及校正	(137)
三、	转子的选择	(138)
四、	实用转子流量计举例	(138)
五、	安装与使用	(140)
6-3	靶式流量计	(140)
一、	工作原理与流量方程	(140)
二、	电动靶式流量计	(141)
三、	电动靶式流量计的使用	(142)
6-4	电磁流量计	(144)
一、	工作原理与流量方程	(144)
二、	电磁流量计的使用	(145)
	习题	(147)
<b>第七章</b>	<b>物性测量及仪表</b>	(148)
7-1	湿度与水分的测量	(148)
一、	电阻湿度计	(149)
二、	电容湿度计	(151)
三、	红外线水分测量仪 (WHST型纸页水分仪)	(152)
7-2	浆液浓度的测量	(154)
一、	刀式浓度变送器	(154)
二、	旋转式浓度变送器	(155)



三、工业折光仪.....	( 155 )
7-3 气体成分的测量.....	( 157 )
一、热导式气体分析器.....	( 157 )
二、氧量检测仪表.....	( 159 )
三、半导体气敏元件.....	( 162 )
习题.....	( 164 )
参考书目.....	( 166 )

# 绪 论

## 一、检测仪表在工业生产中的地位和作用

在现代工业生产过程中，为了保证产品质量，提高生产效率并尽可能地降低消耗、节约能源，一方面必须对涉及生产的各种因素进行研究以获得合理的工艺方案；另一方面为了使生产过程按照预定的方式顺利进行，必须对生产过程进行监督和控制。这就要利用各种检测仪表进行测量和记录，给工程技术人员提供详实的研究资料和数据，为操作人员操作提供依据，或者形成控制信号驱动执行机构实现自动控制。因此，检测仪表是获取生产过程中各种信息从而进一步地认识、研究和控制生产过程的重要手段与工具。正因为如此，检测仪表在工业生产的各个领域中获得极其广泛地应用，成为现代工业文明生产的重要标志。

造纸生产过程就是一个明显的例子。为了得到干湿和厚薄适度的成品纸，必须对上网纸浆的流量、浓度，烘缸的蒸汽压力、温度、车速，成品纸的水分、厚度（用定量表示）等工艺参数进行检测和控制。没有适当的检测手段，现代高速纸机的生产过程是不可想象的。

## 二、检测仪表的组成与分类

### 1. 检测仪表的组成

检测仪表由于它的功能和用途不同，结构相差甚远。通常包括三个基本的组成部分。

（1）传感器 传感器由对被测参数变化比较敏感的测量变换元件和基本的测量电路组成。例如，铜导线的电阻对温度变化比较敏感，因而可以利用铜导线绕制而成的电阻测量温度变化；电容器两个板极间的间距变化时，电容量相应变化，因而根据电容器电容量的大小可以测定两个极板之间的相对位移。但是仅有信息的感受是不够的，为了把感受的信息转换成后续电路便于处理的信号，必须利用基本的测量电路把电阻、电容转换成电压、电流、频率等电气信号。因此一个实际的传感器往往包括测量变换元件和基本测量电路两部分。

（2）信号处理器 通常，由基本测量电路得到的信号比较微弱，同时混有大量的干扰信号，其输出阻抗也不一定和后续电路适配，且往往具有较严重的非线性。因而需要进一步的放大、滤波、阻抗变换和线性化处理。另外，为了满足安全防爆、集中监视、与计算机接口等要求，在有些检测仪表中还要进行电压、电流、频率的相互转换，进行模数、数模的转换，进行工程量的标度变换等等。完成信号的这类加工任务的电路，<sup>22</sup>称之为信号处理电路。

（3）显示器 为了把检测得到的信号定量地传递给操作人员，必须有一个定量显示机构。这可以是根据信号大小偏转一定角度的指针仪表，也可以是由伺服电机驱动的指示记录机构；可以是数码管的数字显示、打印机的打印数据，也可以是荧光屏上得到

的一条曲线、一张表格、或某种图形。能实现人机联系的所有这些装置都称为显示器。

因此，检测仪表的组成可由图 0-1 所

示的框图表示。

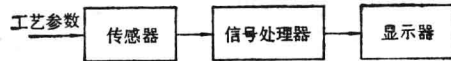


图 0-1 检测仪表组成方框图

## 2. 检测仪表的分类

可分为五大类。

(1) 根据检测仪表的组成通常可以分为：

a. 单元组合仪表 当传感器、信号处理器、显示器各自组成独立单元，相互之间以标准信号进行传递时，称为单元组合仪表。在单元组合仪表中，传感器往往包括了信号的放大、转换等一部分信号处理功能，输出标准的联络信号，这类传感器称之为变送器。一般情况下它可以和后续显示单元直接连接构成一台检测仪表整机，而信号处理单元纯粹是指能完成某种特定运算功能的单元电路。它的特点是使用灵活，维护方便。

b. 基地式仪表 有些仪表的传感器、信号处理器、显示器三者紧密地结合在一起，构成一个不可分割的统一整体，称之为基地式仪表。它具有结构比较简单、价格比较低廉、使用比较方便等特点，在中小企业中应用较多。

无论是基地式仪表还是单元组合仪表，在实际应用中敏感元件通常单独地安装在工艺设备上，称之为一次仪表，其余部分安装在仪表盘上被称作二次仪表。

(2) 根据测量元件与被测介质是否接触检测仪表分为：

a. 接触型检测仪表 这种检测仪表的测量敏感元件与被测介质直接接触，从而获得检测信号。

b. 非接触型检测仪表 这种检测仪表的测量敏感元件不与被测介质接触，而保持一定的间隔距离，敏感元件间接地感受被测介质工艺参数的变化，以获取检测信号。

由于非接触型检测仪表的敏感元件不与介质相接触，因此检测过程中不会干扰被测对象。对于一些运动对象、高温、高压、腐蚀性大、易燃易爆的危险对象，使用非接触检测仪表将有助于提高安全性和准确性，显得更加方便、可靠。

(3) 根据传感器的工作原理分类 按照测量敏感元件的物理化学基础对检测仪表分类时，品种繁多。常见的有电阻传感器、电感传感器、电容传感器、霍尔传感器、半导体传感器、压电传感器、热电传感器、光电传感器、射线传感器、力平衡传感器、谐振式传感器、电化学传感器等等，由这些传感器构成了相应的各种检测仪表。

(4) 根据检测仪表的的功能分类 这种分类方法通常按检测仪表所检测的工艺参数分类如下。

a. 机械参数检测仪表 常见的有位移、速度、加速度、振动检测仪表；力、荷重、力矩检测仪表；长度、直径、厚度、光洁度检测仪表；材质硬度、缺陷检测仪表。

b. 流程参数检测仪表 常见的有温度检测仪表；压力检测仪表；物位检测仪表；流量检测仪表；物性检测仪表。

(5) 根据信号传递过程分类 根据信号在检测仪表内部的传递情况分类检测仪表可分为开环检测仪表和闭环检测仪表。

a. 开环检测仪表 如图0-2所示，开环检测仪表只有信号的正向传递。在开环仪

表中，组成检测仪表的每一个环节的参数  $K_1$ 、 $K_2$  发生变化时都会导致测量结果  $y$  值的变化，这就破坏了测量结果唯一地由被测参数  $x$  确定的单值关系，从而造成虚假输出。为了避免上述情况的发生，要求每个环节十分稳定而精确，因此制造高精度检测仪表就比较困难。

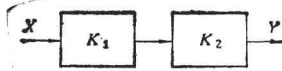


图 0-2 开环检测仪表

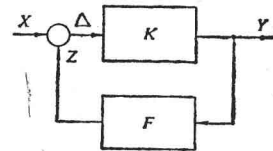


图 0-3 闭环检测仪表

b. 闭环检测仪表 如图0-3所示，闭环检测仪表将输出信号的一部分反馈到输入端，使被测量与反馈量比较，最终相互平衡时获得所需的测量结果。正因为如此，闭环检测仪表又称作平衡式检测仪表。对应地把开环检测仪表称为直接变换型检测仪表。

由图可得：

$$\begin{aligned} y &= K \cdot \Delta = K(x - z) \\ &= K(x - Fy) \end{aligned}$$

整理后可得：

$$y = \frac{K}{1 + K \cdot F} \cdot x$$

当  $K \cdot F \gg 1$  时， $y = x/F$ ，这就是讲，只要前向传递环节的增益  $K$  和反馈环节的反馈系数的乘积足够大，那么，前向传递环节增益  $K$  的稳定性、精确性对测量结果毫无影响，测量结果的精度将完全由反馈环节的反馈系数确定。这样，可以用一个精确稳定的反馈元件就可以解决检测仪表闭环内的测量元件和测量放大器不稳定而影响检测精度的问题。因此，闭环检测仪表容易获得较高的测量精度。

### 三、检测仪表的发展趋势

最初的检测仪表都是直接变换型的开环仪表。由于材料性能、加工工艺、测量技术的限制，仪表的精度不高、稳定性较差。随着自动控制理论的应用，研究了一些闭环检测仪表，精度和稳定性有了明显的提高。力平衡压力检测仪表是一个最典型的例子，它在压力测量并作为流量、液位的二次测量仪表垄断了二十多年，至今仍然是这些工艺参数的主要检测仪表之一。

随着现代科学技术的发展，仪表材料和加工工艺有了明显的改进：现代电子技术的进步，提供了各种精度高，性能稳定的测量放大电路，使微位移的精确测量成为可能。因而影响开环检测仪表性能的各种因素都得到了克服，使开环检测仪表获得了新的发展。由于开环仪表的结构简单、维护方便、体积小、重量轻，已经形成了以微小位移检测技术为基础的第三代检测变送装置。

随着现代工业生产的高度发展，需要控制的参数愈来愈多，要求也愈来愈高。不但要求测量各种静态工艺参数，同时还要测量变化较快的动态参数。这就对检测仪表精

度、速度、可靠性，提出了更高的要求。正是为了满足各个领域特别是一些新兴学科对检测仪表提出的要求，促使新型的仪表材料、测量元件、测量方法和测量装置不断涌现。

例如，微波测量装置、激光检测装置、相关测量技术就是最近运用到工业检测中的新成果。扩散硅压阻传感器则是元件、电路一体化的新型检测仪表。

现代电子技术的飞速发展、特别是大规模集成电路和微型计算机的广泛应用，大大提高了检测仪表的信号处理能力，功能显著加强。检测仪表的测量精度、响应速度、稳定性、可靠性有了进一步提高。可以说，检测仪表已经向着电子化、数字化、自动化、智能化方向迈出了一大步。在未来的工业生产中，检测和控制装置将迅速融为一体，构成现代控制系统不可分割的一个整体。

## 四、本课程的任务与特点

### 1. 本课程的任务

本课程主要讨论工业生产过程中的各种检测方法和仪表。从电气自动化专业使用检测仪表获取信息并用以完成控制任务的观点出发，介绍常用工业检测仪表的工作原理、基本结构及安装使用方法，分析典型工艺参数的检测方案及特点。要求学完本课程之后，能够根据生产工艺的具体要求提出合理的检测方案，正确选用有关检测仪表以满足生产过程的需要；对于常用的检测仪表整机，从传感器的工作原理到信号处理和显示电路应具有一定的分析、计算、阅图和维护的能力。为此，着重介绍检测传感器工作原理的同时，适当注意了实用整机电路的举例。对于电子技术中未曾涉及的典型仪表线路作了必要的说明。

### 2. 本课程的特点

检测技术及仪表是一门综合性、实用性很强的课程，它不仅涉及普通课、基础课的许多内容，同时还涉及其它专业课程和生产工艺概念。但是本课程最重要的基础是物理和电子技术。物理概念是讨论各种测量变换的基本出发点，因此，熟悉和掌握相应的物理现象、分析有关的物理效应是熟悉和掌握测量变换器工作原理和结构的重要前提。电子线路则是完成信号的转换、处理、和显示的基本手段。二者有机地结合构成了检测仪表整机。在具备相应的物理概念、熟悉有关电子线路之后，只要掌握两、三种检测仪表的工作原理和基本结构，对其它检测仪表的分析就能较好地举一反三、从而达到融会贯通的目的。

# 第一章 检测技术基础

由于被测参数不同、或者对同一参数采用不同的方法进行测量时，仪表的工作原理和结构可能相差甚远。但是它们仍然有很多共同的问题，例如：描述仪表的技术性能指标，误差的基本概念，信号通道中的主要电路环节等等。这些内容是了解和熟悉检测仪表整机工作状态的基本知识。

## 1-1 测量的基本概念

### 一、测量的含义

测量是人们用以获得数量信息的过程，是定量观察、分析、研究事物发展过程时必不可少的重要方式。所谓测量，就是建立某种单位基准之后，借助于一些专用工具将研究对象与基准单位进行比较的过程。其结果可以表示为：

$$x = K \cdot x_0 \quad (1-1)$$

式中  $x_0$ ——基准单位

$K$ ——被测对象所包含的基准单位数

很明显，基准单位确定之后，被测量 $x$ 在数值上等于对比时包含的基准单位数 $K$ 。这表明测量过程包括两个含义：确定基准单位；将被测量与基准单位比对。比对过程中使用的专门工具就是测量仪表。

有些被测对象实际上无法直接借助于通常的测量仪表进行比对，这时必须作适当变换，将它转换成有确定函数关系又可以比对的另一个物理量，这就是信息的检取。因此检测是一个更为广泛的测量概念，它包括信息转换、确定基准和比对三个方面的内容。

### 二、测量方法及其分类

按照测量结果的获得过程，检测方法可以分为直接测量和间接测量。

#### 1. 直接测量

利用预先标定的仪表对被测参数进行测量的过程，称作直接测量。这时，可以直接从显示结果获得测量参数的具体数值。根据比对方式直接测量有三种不同的方法。

(1) 偏差法 测量时仪表示值偏离零位或静态平衡位置的具体数值，反映了被测量的大小，这就是偏差法。这种仪表的分度是预先用标准仪器标定的，偏差的大小直接反映了被测量所包含的基准单位数。

指针式仪表是最为常用的一种偏差测量装置，测量时直接驱动仪表指针偏转，并通过指针与标定的刻度线重合位置确定被测量的大小。

这种方法的优点是：直观、简便、相应仪表的结构比较简单；缺点：精度较低、量程较窄。

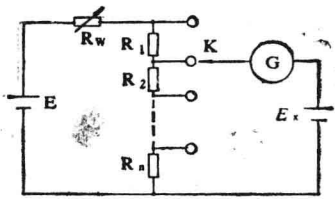


图 1-1 电位计的工作原理

高稳定的稳压电源， $R_w$ 用以调节回路中的标准工作电流， $R_1 \sim R_n$ 是标准电阻，其上的电压降，作为标准电压与被测电压比较。G是检流计，用以指示标准电压和被测电压是否相等。调节开关K使检流计指零，这意味着标准电阻上取出的电压与被测电压相等，读取标准电阻上的电压分度值，就是被测电压 $V_x$ 的值。

零位法具有很高的测量精度，但响应慢，测量时间长，不能测量快速变化的信号。

(3) 微差法 微差法是零位法和偏差法同时应用的一种组合测量方法。测量过程中将被测量的大部分用标准信号去抵消，而剩余部分采用偏差法测量。

利用不平衡电桥测量电阻的变化量，是在检测仪表中使用最多的微差法测量的最典型例子。桥路中被测电阻的基本部分（静态电阻）使电桥处于平衡，而变化的电阻将使电桥失去平衡产生相应的输出电压。这样，桥路输出电压的变化，只反映电阻的变化，被测电阻将是基本部分及由输出电压确定的电阻变化部分的和。

这种方法可以使测量精度大为提高。这是因为电阻的主要部分采用了零位法测量，具有很高的测量精度，尽管偏差法测量剩余部分时造成了一定的误差，但这部分误差相对于整个被测量而言，将是非常微小的。

例如， $R_x = 101\Omega$ ，基本部分是 $100\Omega$ ，变化部分是 $1\Omega$ ；如果变化部分用偏差法测量的误差是 $1\%$ ，则为 $\pm 0.01\Omega$ ，相对于 $101\Omega$ 的整个电阻而言，相对误差约为 $0.01\%$ ；如果再考虑基本部分用零位法测量时的相对误差也是 $0.01\%$ ，总的相对误差将为 $0.02\%$ 。因此这种方法兼有精度高、响应快的特点。

## 2. 间接测量

这种方法是直接测量与被测量有关的几个量之后，通过计算来确定被测量的大小。

例如，为了测定导体的电阻率 $\rho$ ，必须先测定导体长度 $l$ 、截面积 $s$ 、导体电阻 $R$ ，由 $\rho = R \cdot s / l$ 计算求得相应导体的电阻率。

一般来说，间接测量比直接测量要复杂一些。因此，只有当被测量没有相应的测量仪表时，或者由于工作条件的限制，直接测量有一定困难、测量结果误差太大时才会采用间接测量方法。随着计算机的应用、仪表功能加强，间接测量方法的应用也正在扩大。测量过程中的数据处理完全可以由计算机快速而准确地完成，使间接测量方法变得比较直观而又简单。

## 三、检测仪表的主要性能指标

用以衡量仪表性能的技术指标很多，比较通用的主要技术指标有下面几个。

### 1. 精度



精度是描述仪表测量结果误差大小的指标。它包括正确度和精密度两种含义。正确度是表示仪表示值偏差的程度，由仪表本身的质量及测量方法的合理性确定。精密度则是测量过程中由于各种意外因素的影响而造成的一种无规则偏差，具有一定的偶然性。后面将会看到，仪表精度是用最大引用误差来表示的，必是和实际测量精度既互相关联又有一定区别的两个概念。

## 2. 线性度

线性度是指仪表分度的均匀程度。均匀分度的仪表称作线性仪表，这时仪表具有下面分度公式：

$$y = K \cdot x \quad (1-2)$$

式中  $y$ ——仪表度盘的分度值

$x$ ——被测参数

$K$ 称作仪表的分度常数。对于线性仪表而言， $K$ 是一个常数，仪表输入和示值之间的特性是一条直线；对于非线性仪表而言， $K$ 是一个变量，其输入和示值之间的特性是一条曲线。换句话说，仪表的线性度是仪表特性曲线逼近直线的程度。由于线性仪表的分度和使用比较方便，因而通常希望仪表具有线性分度。

## 3. 灵敏度

灵敏度是指输入量的单位变化所引起的输出量的变化。通常用下式表示：

$$K = \Delta y / \Delta x \quad (1-3)$$

比值愈大，说明输入量的微小变化则会引起输出的很大变化，这意味着仪表的灵敏度高。例如， $1\mu\text{A}$ 的电流和 $1\text{mA}$ 的电流使仪表偏转相同的角度，表明前者的灵敏度高于后者。

比较式(1-2)和(1-3)可见，对于线性仪表，灵敏度就是仪表的分度常数，是一个恒值。对于非线性仪表，灵敏度处处不同，分度间隔大的区段灵敏度高，通常采用有效分度区间内的平均灵敏度概念。

## 4. 量程

任何一个仪表都有一个允许测量范围，量程就是仪表测量的上限值与下限值的差值。例如分度号为 $K$ 的镍铬-镍硅热电偶，测温范围为 $-50\sim 1370\text{℃}$ ，其量程则为 $1420\text{℃}$ 。限制仪表量程的直接原因是测量元件的材料性能、功耗、允许工作的压力、温度、线性工作范围等因素。同时与仪表要求的精度和灵敏度有关，精度愈高，灵敏度愈大，测量范围愈小。

仪表量程的选择是仪表使用中的首要问题。对于线性仪表，在保证被测量不超出测量范围的原则下，尽量使测量结果指示在标尺的高端，这样可以减小零点漂移的影响，充分利用仪表的标称精度（见仪表精度定义）减小实际测量误差。对于非线性仪表，则应使测量结果尽可能指示在灵敏度最高的区段，以获得较高的测量精度。

## 5. 变差

变差是指仪表在增大和减小两个方向的测量过程中，同一被测量所指示的两个结果之间的偏差。由于运动部件的摩擦、弹性元件的滞后效应、动态滞后时间的影响等原因，使仪表从两个不同方向测量同一大小的参数时，测量结果有所差异。比如指针式仪



表，运动部件的摩擦总是阻碍指针运动的，指针从两个不同的方向逼近同一刻度时，阻力正好相反，因而造成了同一被测量指示出两个结果的现象。在图1-2中，曲线2为增值测量特性，曲线3为减值测量特性，由于摩擦力的影响，使增值测量结果偏小，而使减值测量结果偏大。其变差可用下式表示：

$$\varepsilon_{\text{变}} = |y_{\text{减}} - y_{\text{增}}| / (y_{\text{max}} - y_{\text{min}}) \times 100\% \quad (1-4)$$

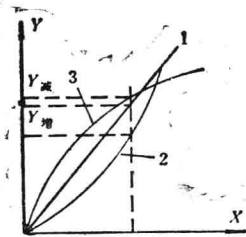


图 1-2 变差特性

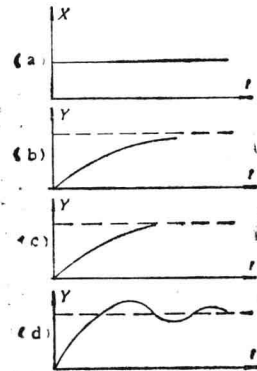


图 1-3 仪表阻尼特性

对于具有弹性元件和运动部件的检测仪表，变差是考查仪表的一个重要依据。

## 6. 稳定性

稳定性是描述仪表防护外部影响的一个技术指标。它是指工作过程中，工作条件（如温度、压力、湿度、电源电压等）改变、干扰信号引入、传输环节中某些元件更换后仪表维持原示值不变的能力。一般用一定的工作时间内，示值变化多少来描述。在有的仪表的技术指标中，不同工作条件引起示值的变化分开表示。例如温度漂移，电源电压波动的附加误差，频率附加误差，等等，这时干扰的影响也用抗干扰指标单独表示。

## 7. 可靠性

可靠性是指在规定的条件下仪表保持原有出厂技术指标的程度。应该说，精度符合要求而工作稳定的仪表，其测量结果是可靠的。但这种工作状态能保持多长时间，这是另外一个问题。换句话说，在工作一段时间后仪表无法保持原有性能、甚至完全丧失原有的性能，因而测量结果丧失了意义。所以可靠性是用仪表的概率寿命来描述的。所谓概率寿命就是同一型号的仪表按照概率统计方法得到的平均无故障时间。

## 8. 响应时间

仪表作为信号的接收环节或者说作为信号源的负载阻抗，从信号输入到准确显示出数值必然需要一定的时间，有它自己的响应过程。在仪表中，这一响应过程称作阻尼特性，通常用阻尼时间来描述。例如，一般指针仪表，从信号加入到指针准确指示相应数值，阻尼时间不大于7s。

仪表对阶跃输入信号的动态响应过程，如图1-3所示，分为三种阻尼状态。图中（a）是输入阶跃信号。（b）是过阻尼响应状态，这时指针运动时间拉长，愈接近新稳定值运动愈慢。（c）是临界阻尼状态，指针将快速而平稳地指示在新的稳定值位置上。