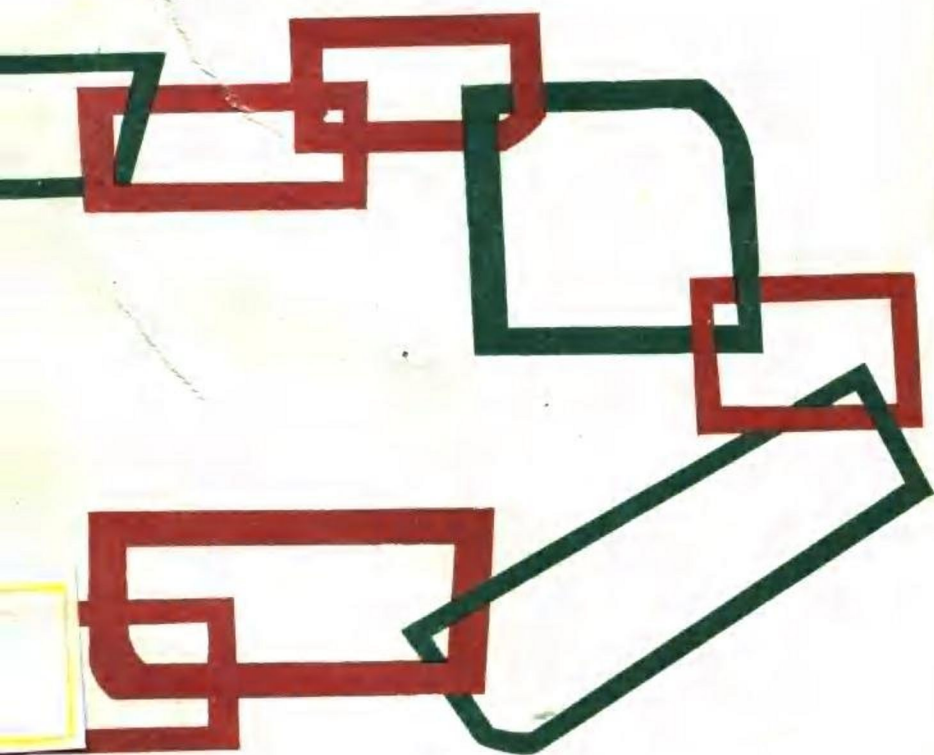


● 采矿工程 测试技术

- 王勋业 编
- 中南工业大学出版社



内 容 简 介

本书系统论述采矿工程中常用传感器的变换原理。着重介绍采矿工艺过程中岩石力学性能；岩体静态与动态应力测量方法；岩层移动观测；矿井通风和充填管路中流体的流速、流量、浓度测量；矿山环境监测等。涉及内容广泛，叙述深入浅出。

本书可作为采矿工程专业大学生的教材，也可供采矿工程专业技术人员参考。

采矿工程测试技术

王勋业 编

责任编辑：段五媛

插图责任编辑：刘楷英

*

中南工业大学出版社出版发行
湖南省地质测绘印刷厂印装
湖南省新华书店经销

*

开本：787×1092 1/32 印张：10.25 字数：239千字

1989年2月第1版 1989年2月第1次印刷

印数：0001—2000

*

ISBN 7-81020-213-8/TD·013

定价：2.00元



前 言

先进的测试技术是科学技术现代化的重要标志之一，也是科学技术发展的必要条件。在采矿工程的生产和科学研究工作中，测试技术已日益为人们所重视，如在岩体稳定性监测、爆破工程、岩石破碎、放矿、充填和矿井通风安全等主要生产工艺过程中，都涉及到岩体应力应变、岩层移动、流体压力、速度、流量、浓度、质点振动速度、加速度、载荷等物理力学参数和运动规律的观测，为验证工艺设计和建立新的工艺理论提供基础依据。

由于测试手段的不断现代化，近年来在采矿工程中已开展了岩体应力测量、岩层移动观测、爆破地震效应、矿井噪声、充填管路中介质流动状态、通风系统阻力和流量等项目的观测。对测量过程的客观规律获得了定量的认识，也为安全生产提供了必要的监测手段。

随着采矿工程科学技术的发展，信息技术的作用就越加重要。测试技术是获得信息和处理信息的技术，各工业部门都十分重视发展相关的测试技术，采矿专业也不能例外。为了培养学生的科研能力和实验技能，采矿专业四年制教学计划中开设了《采矿工程测试技术》选修课。编者根据多年教学和科研实践，收集了大量资料编写了《采矿工程测试技术》一书，作为该课程的教材，亦可供采矿专业的工程技术人员参考。

由于编者水平有限，错误在所难免，恳切希望读者批评指正。

编 者

一九八七年十月

目 录

前 言

第一章 测试系统的组成和特性

第一节 测试系统的组成..... (1)

第二节 测试系统的基本特性..... (2)

一、输入与输出关系的静态响应特性..... (2)

二、输入与输出的动态响应特性..... (5)

第二章 常用传感器的变换原理与测量电路

第一节 传感器的分类..... (8)

一、按被测物理量分类..... (8)

二、按工作原理分类..... (8)

三、按能量的传递方式分类..... (8)

第二节 电阻式传感器..... (10)

一、电阻应变式传感器的特点..... (10)

二、电阻应变计的工作原理..... (11)

三、应变计的结构..... (15)

四、电阻应变计的工作特性..... (16)

五、应变计的粘贴..... (21)

六、应变计的测量电路..... (23)

第三节 电容式传感器..... (33)

一、电容传感器的灵敏度和线性度..... (34)

二、电容传感器的等效电路..... (37)

三、电容传感器的测量电路..... (39)

四、电容传感器的实例..... (42)

第四节 电感式传感器..... (43)

一、自感式传感器..... (43)

二、差动变压器式电感传感器·····	(48)
第五节 电磁式传感器·····	(50)
一、工作原理·····	(51)
二、电动式振动速度传感器的结构与特性·····	(52)
第六节 压电式传感器·····	(54)
一、石英晶体的晶轴及压电性能·····	(54)
二、压电陶瓷·····	(57)
三、压电传感器的等效电路·····	(59)
四、压电传感器的测量电路·····	(60)
五、压电传感器的结构·····	(63)
第七节 振弦式传感器·····	(64)
一、工作原理·····	(64)
二、振弦的激振方式·····	(65)
三、振弦式传感器的特性·····	(67)
四、振弦传感器的应用实例·····	(68)
第三章 信号记录器	
第一节 概 述·····	(70)
第二节 光线示波器·····	(72)
一、工作原理·····	(72)
二、振动子特性·····	(73)
第三节 磁带记录器·····	(79)
一、基本组成和工作原理·····	(79)
二、磁带的记录方式·····	(82)
第四节 自动平衡记录仪器·····	(85)
第五节 瞬态波形记录分析仪·····	(89)
一、工作原理·····	(89)
二、瞬态记录仪的特点·····	(90)
三、瞬态记录仪的主要技术特性·····	(93)

第四章 土岩力学参数与岩体稳定性监测

第一节 岩石试件力学参数测定·····	(96)
一、岩石试件单轴抗压强度测定·····	(96)
二、岩石试件抗拉强度测定·····	(97)
三、岩石试件抗剪强度测定·····	(98)
四、岩石弹性模量测量方法·····	(99)
五、岩石力学参数测量的力和位移传感器·····	(102)
第二节 土岩应力与变形测量·····	(105)
一、土岩应力测量·····	(105)
二、岩体应变测量·····	(134)
第三节 岩层移动和岩体稳定性监测·····	(141)
一、钻孔位移计·····	(141)
二、探头式倾角计·····	(142)
三、声发射法监测岩体稳定性·····	(143)
四、弹性波法监测岩体稳定性·····	(146)
五、用液压枕监测围岩和矿柱地压变化·····	(150)

第五章 流体压力、速度、流量测量

第一节 矿井通风阻力测量·····	(153)
一、空气流动的能量方程·····	(153)
二、阻力测定的主要仪表·····	(155)
三、通风阻力测定方法·····	(167)
第二节 水力运输管道阻力、流量、浓度测量··	(172)
一、概 述·····	(172)
二、管道水力输送阻力损失测量·····	(173)
三、输送管道流量测量·····	(175)
四、矿浆浓度测量·····	(188)

第六章 矿山安全与环境监测

第一节 爆破震动观测.....	(196)
一、爆破震动观测目的.....	(196)
二、描述爆破震动的参数.....	(196)
三、爆破震动测试系统.....	(199)
四、振动仪器的标定.....	(205)
五、现场测试工作.....	(212)
六、测试结果的数据处理和波形分析.....	(214)
七、爆破震动的破坏标准.....	(221)
第二节 爆破空气冲击波超压和速度测量.....	(227)
一、空气冲击波的特性与参数.....	(227)
二、空气冲击波超压测量.....	(229)
三、空气冲击波的速度测量.....	(246)
四、空气冲击波对人和建筑物的损害.....	(249)
第三节 噪声测量.....	(251)
一、概 述.....	(251)
二、评价噪声的技术参数.....	(253)
三、噪声测量仪表.....	(259)
四、噪声测量方法.....	(263)
第四节 矿用钢丝绳的检测.....	(268)
一、概 述.....	(268)
二、钢丝绳的人工检查方法.....	(269)
三、钢丝绳的无损检测.....	(271)
第五节 矿山放射性及有害气体的检测.....	(276)
一、氡及其子体的检测.....	(276)
二、有害气体的检测.....	(283)

第七章 误差分析和实验数据处理

第一节 误差概念.....	(293)
---------------	---------

一、测量误差及分类.....	(293)
二、系统误差的消除.....	(296)
三、随机误差.....	(297)
第二节 间接测量的误差.....	(300)
一、误差传递的基本公式.....	(300)
二、标准误差的传递公式.....	(302)
第三节 可疑数据的舍弃.....	(305)
一、格拉布斯方法.....	(306)
二、 3σ 法.....	(307)
第四节 实验数据表示方法.....	(308)
一、图示法.....	(308)
二、列表法.....	(310)
三、方程表示法.....	(310)
参考文献.....	(313)

第一章 测试系统的组成和特性

第一节 测试系统的组成

测量是人类获得客观事物运动规律的定量认识过程。在生产 and 科学实践中，人们都离不开测试工作。如在开采过程中，对围岩的应力和位移进行实时测量，就能为采矿生产过程提供有用信息，指导和不断完善生产工艺。在生产 and 科学实践中，很多参量的检测，只有借助于测试分析设备才能做到，不能由人的感官直接识别。采矿工程中不仅面临各种物理量的静态检测，而且多数是动态测量。在检测过程中大都是采用非电量电测技术。由于该种技术具有速度快、能进行遥测和自动记录等优点，在采矿工程测试技术中占有重要地位和具有广阔的前景，以下主要讨论非电量电测技术在采矿工程测试中的应用。非电量电测系统由以下几个功能不同的部分组成，如图 1-1 所示。图中各部分的功能如下：

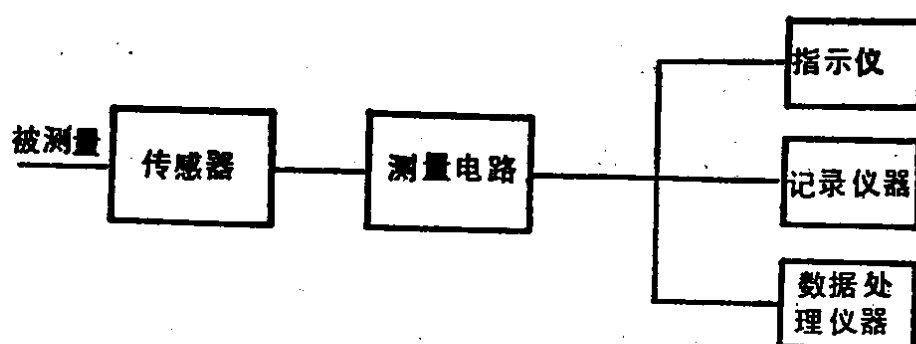


图1-1 非电量电测系统图

传感器：传感器亦称换能器和变换器。它是将被测非电物理量按一定规律转变为电量的测量装置。也有部分传感器不仅

能将非电量转换为电量，亦可将电量转换为非电量。传感器是实现测试目的的首要环节，也是对原始信息进行采集的重要手段。

测量电路：亦称中间变换器。它是将传感器传来的信号进行放大、衰减、运算和变换的装置。经测量电路处理的信号，便于仪表记录分析。测量电路应与传感器和记录分析仪表相匹配。

显示记录仪表：它能将信号变为人们感官所能接受的形式，以便于观察分析和记录保存。

第二节 测试系统的基本特性

在进行测量时，选择什么样的仪器才能满足要求呢？为了解决这一问题，首先要了解测试系统的特性。当被测量是常数或是缓慢变动时，把它当作静态问题；当被测量以较快速度变动时，把它当作动态问题。测试系统中的仪器，对于静态和动态过程的响应特性不同，只有了解它们各自的响应特性，才能选择适当的仪器，完成既定的测试任务。

一、输入与输出关系的静态响应特性

(一) 精确度：简称精度，是仪器精密度和准确度的综合反映。

1. 精密度：在同一条件下进行重复测量时，表示仪器示值分散的程度。用标准偏差 σ 或者用或然误差(0.674σ)来表示。

2. 准确度：表示仪器示值与“真值”的接近程度，由系统误差表示。准确度高则系统误差小。

一个仪器的精度高，意味着它的随机误差和系统误差都小。在工程中是引用误差来表示精度等级。

(二) 重复性：反映仪器在相同的工作条件下，重复地测量某一相同的输入量时其输出量的一致特性。如对传感器在全量程内连续地重复进行几次标定，根据所得的标定特性曲线可由(1-1)式计算重复性指标。

$$\Delta R = \pm \frac{\Delta_{\max}}{u_{F.S}} 100\% \quad (1-1)$$

式中： $\Delta_{\max}$ ——正反行程中校准数与相应输出平均值之间的最大偏差值。

$u_{F.S}$ ——满量程输出值。

(三) 线性度：表示仪器输入量与输出量的实际关系曲线偏离拟合直线的程度。用全量程内偏离拟合直线的最大偏差值与满量程输出平场的百分比表示。拟合直线是用最小二乘法、端点法和端点平移法计算和作图求出的标准直线。

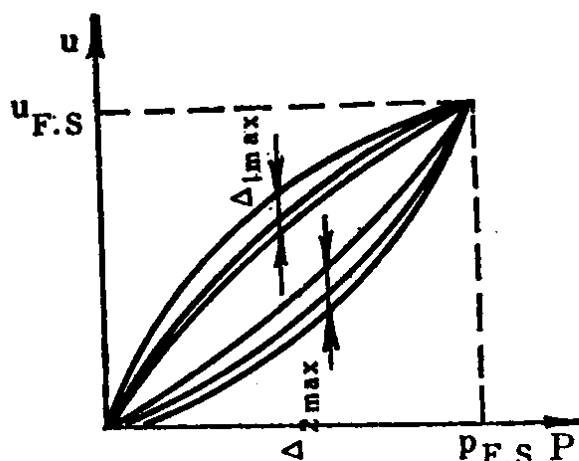


图1-2 重复性

(四) 迟滞(回差)：是输入值增大和减小过程中，输入值相同时输出值的差值。用全量程中最大的迟滞量与满量程输出值之比表示，如图1-3所示。迟滞量 Δh 由下式计算：

$$\Delta h = \frac{[y_{ci} - y_{fi}]}{y_n} 100\% \quad (1-2)$$

式中 y_{ci} , y_{fi} ——分别是输入为 x_i 时正行与反行程的输出值；
 y_n ——满量程输出值。

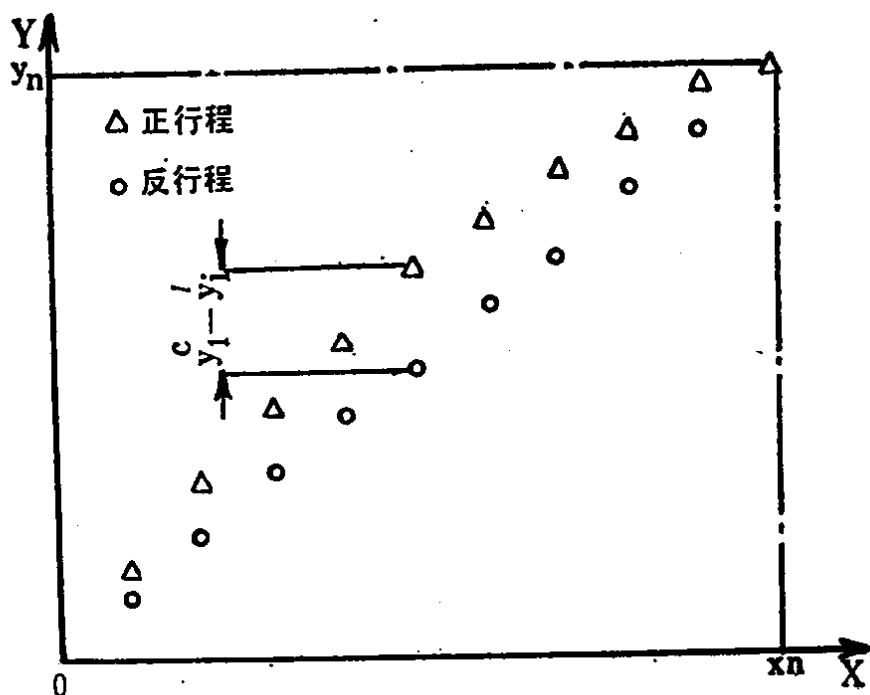


图1-3 迟滞特性

(五) **灵敏度**: 仪器输出增量与输入增量之比。通常用工作特性直线的斜率表示。对于输入与输出具有明显非线性的仪器, 可用 dy/dx 表示某一点的灵敏度。亦可用某一较小(输入量)区间的拟合直线的斜率表示。对于有激励电源的装置, 如应变片电桥和差动变压器等则需用单位电源下满量程输出电压值来表示灵敏度。其表示方式为: mV/V 。

(六) **分辨率和阈值**: 可分为绝对分辨率和相对分辨率。绝对分辨率是指输入量达到满量程附近时, 仪器能检测到的最小输入增量。这个量与满量程输入量之比则称为相对分辨率。阈值则为最小量程(零输入)附近的分辨率。有的仪器在零输入附近有严重的非线性, 形成所谓“死区”, 把“死区”的大小作为仪器的阈值。有的仪器阈值主要受噪声电平影响, 仪器给出了噪声电平的数值。

(七) **稳定性**: 表示仪器示值稳定性的指标有两个:

1. 稳定度: 由于仪器中的随机变动、周期变动、飘移等

原因引起示值的变化，用精度和时间共同表示。如仪器满量程输出为200毫伏，当输入一个不变量时，24小时内输出电压变动5毫伏，这时稳定度表示为 $2.5\%F \cdot S/24$ 小时。

2. 环境影响：电源电压，频率，温度和大气压力等环境因素变化对仪器示值的影响，用影响系数来表示。如温度影响可用温度变化 1°C 时零点输出（或灵敏度）的变化值表示，亦可用变化值与满量程输出之比来表示。

二、输入与输出的动态响应特性

测量随时间变化较快的参量时，需要研究仪器和被测量的动态特征。大部分模拟式仪表的动态特征，都可用微分方程或传递函数来近似描述。实际的测试系统要比这种简化数学模型复杂。因此动态响应特性一般不能直接给出微分方程，而是通过实验给出测试系统仪器的阶跃响应曲线和频率特性曲线上的某些特征指标，来表示仪器的动态影响特性。

图1-4表示用一个理想的阶跃函数 $x(t)$ 输入到一个二阶系统的仪器时，仪器的响应函数曲线为 $y(t)$ 。它是一个衰减振动曲线。可用 $y(t)$ 的上升时间 t_{rs} ，响应时间 t_{st} 和过冲量 C 等指标来描述仪器的动态响应特性，上述指标的意义如下：

上升时间 t_{rs} ：仪器指示值从稳态值 y_{∞} 的5%或10%变化到稳定值 y_{∞} 的95%或90%所需的时间。

响应时间 t_{st} ：仪器从输入

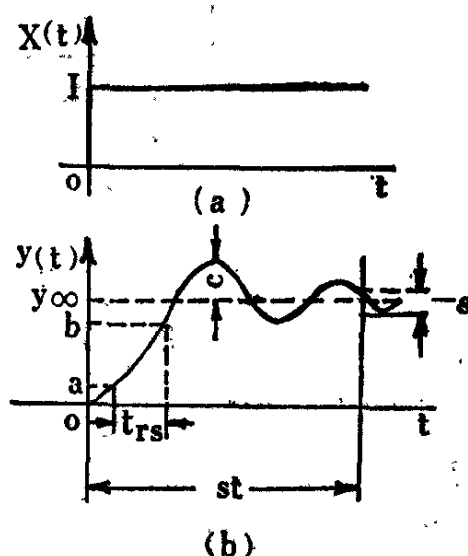


图1-4 仪器的动态响应

量开始时刻变化到输出量达到稳定值的规定范围内所需的时间。稳定值的规定范围 ε 值常取仪器的允许误差值。

过冲量 C ：输出量的最大幅值与稳定值之差值。常用稳定值的百分比表示。

应该指出，实现理想的阶跃函数形式比较困难。实际上只要输入函数的上升时间远远小于仪器响应函数的上升时间就可以。仪器在输入单位阶跃函数后，输出量能在相应的数值上逐渐稳定下来，则说明仪器是稳定的。仪器的响应时间愈短则仪器惯性小，响应特性愈好。要求测试系统的仪器响应要快且稳定性好。

每种仪器只能在一定的频率范围内工作，在这一范围内仪器对输入信号的响应是一致的，输出信号仅与输入信号的大小有关，与频率无关。频率特性用对数幅频特性和对数相频特性表示。图1-5是一个典型的对数幅频特性曲线图。

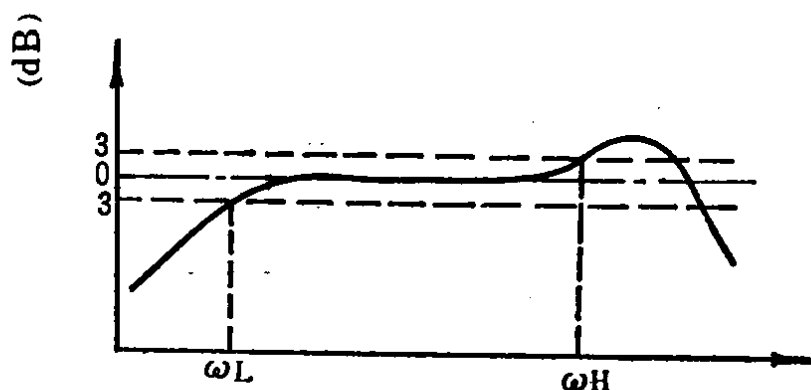


图1-5 对数幅频特性曲线

图中0dB水平线是理想的零阶系统的幅频特性。因为 $H(\omega) = k$ ，故 $20\lg H(\omega)/k = 0$ [dB]。如果测试仪器的幅频特性曲线偏离理想直线，但还没有超出允许的公差范围时，特性曲线仍然可以使用。在声学 and 电学仪器中，公差范围规定为 $\pm 3\text{dB}$ ，相当于 $H(\omega)/k = 0.708 \sim 1.41$ 。幅频特性公差范围对

应的频率分别叫做下截止频率 ω_L 和上截止频率 ω_H 。上下截止频率之间的频率区间，称为仪器的频响范围或通频带。频响范围的表示方法为：频率响应范围：_____ Hz 到 _____ Hz ($\pm$ _____ dB)；下截止频率为零时写成：DC 到 _____ Hz ($\pm$ _____ %)。

在选择仪器的频响范围时，应使被测信号的有效谐波频率都在仪器的频响范围之内。

第二章 常用传感器的变换原理 与测量电路

第一节 传感器的分类

对传感器进行分类是帮助我们从事体上认识和掌握传感器。传感器有如下三种分类方法。

一、按被测物理量分类

这种分类方法只阐明传感器的用途，如加速度传感器、位移传感器、温度传感器、力传感器等。这种分类对使用者是很方便的。但它将原理互不相同的传感器归为一类，很难区分各种传感器在原理上的差异和特点。不利于从基本原理上去认识掌握传感器。况且被测物理量的种类很多，按被测非电量来划分传感器也是很繁锁的。

二、按工作原理分类

这种分类方法是根据传感器的工作原理来分类，如应变式传感器、电感式传感器、压电式传感器等。这种分类有利于人们从原理上认识传感器的特点，能更加灵活地使用传感器。

三、按能量的传递方式分类

按能量传递方式分类，可将所有的传感器分为有源传感器和无源传感器两大类。前者是一种能量变换器，它能将非电能转变为电能。这种传感器通常附有力学系统，一般只能用于接

触式测量中，便于能量的传递。也有一部分有源传感器没有力学系统，如热电偶温度传感器，它是利用这两种不同金属的温差而产生电势。

无源传感器本身不是换能器，被测非电量仅对传感器中的能量起控制或调节作用。所以，它必须具有辅助电源。它不进行能量转换，也不附有力学系统。表2-1列出二、三两种分类。

表2-1 传感器分类表

传感器分类	变换原理		传感器名称	典型应用
无源传感器	电阻式	移动电位计触点改变电阻	电位计	位移、压力
		改变电阻片的几何尺寸	电阻应变片 半导体应变片	位移、力应变、压力
		利用电阻的温度物理效应 (电阻温度系数)	热丝计 电阻温度计 热敏电阻	气流速度 液体流量 温度 辐射热温度
		利用电阻的光敏物理效应	光敏电阻	光强
		利用电阻的湿度物理效应	电阻湿度计	湿度
	电容式	改变电容的几何尺寸	电容式压力计	位移、压力
			电容式微音计	声强
		改变电容介质的性质	电容式液位计	液位、厚度
			含水量测量仪	含水量
	电感式	改变磁路的磁阻	电感传感器	位移、压力
		利用压磁物理效应	压磁计	力、压力
		改变互感系数	差动变压器	位计、压力