



仪器仪表工人 技术培训教材

非电量电测变换技术

机械工业部仪器仪表工业局 统编

机械工业出版社

仪器仪表工人技术培训教材

非电量电测变换技术

机械工业部仪器仪表工业局 统编



机械工业出版社

本书是为电工、电子仪器仪表装调类工人（中级）技术培训的需要编写的。

本书主要介绍非电量电测变换技术的工作原理、典型结构、非电量变为电量的过程及其具体应用。全书共分8章，内容包括电学式传感器、压电式传感器、磁学式传感器、光电式传感器、热学式传感器、电化学式传感器及其它类型传感器的变换原理、结构及应用。

本书由北京分析仪器厂主编，由皮福生编写，蔡洪集、洪丽雯、王泽炎、郑素珍、魏建新审稿。

非电量电测变换技术

机械工业部仪器仪表工业局 统编

责任编辑：董保申

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张 5 1/4·字数 112 千字

1988年7月北京第一版·1988年7月北京第一次印刷

· 印数 9,001—18,630·定价 1.75 元

ISBN 7-111-00630-5/TH·99

前 言

贯彻中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对广大工人进行系统的技术培训，是智力开发的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地开展这项工作，教材是关键。有了教材才能统一教学内容；才能逐步建立起正规的工人技术教育体系，提高工人的技术素质，以适应四化建设的需要。为此，我们在全中国仪器仪表行业有关的重点企业中，组织了有长期从事技术、教育工作经验的工程技术人员和教师，编写了这套仪器仪表专业工种的初级、中级工人技术培训教材，共七大类四十六本。

这套教材编写的依据是原国家仪器仪表工业总局一九八一年颁发的《工人技术理论教学计划、教学大纲（仪器仪表专业工种初、中级部分）》。学员学完初级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到部颁《工人技术等级标准》中本工种三级以下的“应知”要求；学完中级技术理论教学计划规定的课程，可系统地达到本工种六级以下的“应知”要求。在教材编写过程中，注意了工人培训和仪器仪表行业的特点，力求做到既要理论联系生产实际，学以致用，又要循序渐进。考虑到工种工艺学的特殊性，避免不必要的重复，对工种工艺学初级、中级教材采用合一册或上、下册的形式。通过教学计划和大纲，体现初级、中级培训的阶段性和连续性。

这套教材的出版，得到了北京、天津、上海、江苏等省

市仪表局、机械厅和有关企业、学校、研究单位的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中难免存在缺点和错误，我们恳切地希望同志们在使用中提出批评和指正，以便进一步修订。

机械工业部仪器仪表工业局
工人技术培训教材编审领导小组
一九八二年十二月

目 录

前 言

第一章 非电量电测变换技术概述	1
1-1 非电量及非电量电测	1
1-2 传感器的分类	4
复习题	5
第二章 电学式传感器	6
2-1 电阻式传感器	6
2-2 电容式传感器	24
2-3 电感式传感器	31
2-4 电涡流式传感器	36
2-5 磁电式传感器	39
实 验	45
复习题	46
第三章 压电式传感器	47
3-1 基本概念	47
3-2 变换原理	50
3-3 应用实例	52
实 验	54
复习题	55
第四章 磁学式传感器	56
4-1 磁力机械式传感器	56
4-2 磁力应变式传感器	60
4-3 磁栅式传感器	65
复习题	67

第五章 光电式传感器	68
5-1 基本概念	68
5-2 光电式传感器	71
实 验	85
复习题	86
第六章 热学式传感器	87
6-1 热导式传感器	87
6-2 热磁式传感器	93
6-3 热电式传感器	96
6-4 热化学式传感器	104
复习题	109
第七章 电化学式传感器	110
7-1 概述	110
7-2 电位式传感器	111
7-3 电导式传感器	116
7-4 极谱式传感器	120
7-5 电量式传感器	128
实 验	130
复习题	131
第八章 其它类型的传感器	133
8-1 放射性同位素式传感器	133
8-2 化学发光式传感器	141
8-3 气敏半导体式传感器	145
8-4 振弦式传感器	148
8-5 湿敏电阻式传感器	152
8-6 霍尔元件	155
复习题	160

第一章 非电量电测变换技术概述

1-1 非电量及非电量电测

一、非电量及其分类

我们生活的世界是物质的，物质总是处在不停息的运动之中。物质的运动形式多种多样，这些运动形式是通过化学现象（如氧化、还原等）或物理现象（如发光、导电、传热和机械运动等）来表现的。

表征物质特性或其运动形式的参数很多，对这些参数有各种分类方法，通常就其电学特征来分，可分为电量和非电量。

电量一般是指物理学中的电学量，如电流、电压、电阻、电容、电感等。

非电量是除电量之外的一些参数。

非电量种类很多，我们根据各种非电量的不同表现形式可把它们分为热工量、机械量和成分量等。具体地说：

热工量是指温度、压力、流量等参数；

机械量是指位移、尺寸、力、重量、转矩、速度、机械振动等参数；

成分量是指浓度、离子活度、酸碱度、密度、湿度等参数。

二、非电量测量和非电量电测

所谓测量，就是用具体的实验手段和方法，从质和量的

方面来测试和计量物质的特性或运动状态。

非电量的测量，实际上包括了 everything 物理现象、化学现象以及生产过程中一切非电量的测量和对这些现象与过程的分析。

非电量的测量，大都有其原有的测量方法，但随着生产过程自动化水平的提高、科学技术发展的需要以及安全、可靠等，都要求对原有的测量方法加以改进，或者采用新的方法，其中非电量电测法就是目前应用较广泛的一种测量方法。

非电量电测法是把被测非电量变换成与之有一定关系的电量，并用相应的电工仪表或电子仪器来测量，从而得到被测非电量的测量结果。

非电量电测法具有如下的优点：

- (1) 灵敏度高、准确性好、反应速度快；
- (2) 可进行遥测和遥控；
- (3) 能连续进行测量、记录，并可采用计算机对测量数据自动判断与计算；
- (4) 测量范围广、量程变换方便。

三、非电量电测变换技术的重要性

科学技术的进步和生产的发展是与测量技术的进步有着密切联系的，如能源的开发和利用、环境污染物的监测、探矿、土壤普查、交通信号控制以及生产过程中工艺的控制、产品质量检验等，都需要有与之相适应的检测、控制技术，而在这些大量需要检测和控制参数中，非电量的检测占有相当大的比重。

非电量是不能直接用电工仪表或电子仪器来测量的，这是因为电工仪表和电子仪器要求输入电量信号，电子计算机

则更是要求输入电量信号。若要对非电量用电测法来测量，首先必须将被测非电量转换成与之有一定关系的电量。

另外，有些非电量，如炉内高温、腐蚀性液体的液位、遥远距离等的测量，若用直接测量的方法较为困难；还有些非电量，如成分量中可燃气体浓度、同位素丰度比等的测量，几乎无法直接测量，这就需要将非电量转换成电量来进行测量。

这种把非电量转换成电量的技术叫做非电量电测变换技术，实现这种变换技术的具体器件或装置叫做传感器。

四、非电量电测系统

非电量电测系统一般都由传感器、测量电路和显示装置三部分组成，有的还带有辅助电源，它们相互间关系可用图1-1所示方框图来表示。

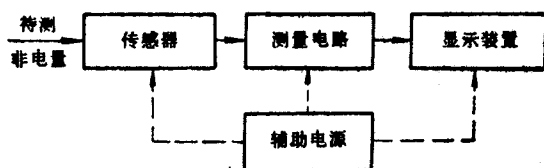


图1-1 非电量电测系统方框图

图1-1中各部分作用如下：

传感器：将被测非电量转换成与其有一定关系的电信号。由于非电量种类很多，所以与之相适应的传感器种类也很多，在具体测量时要进行适当的选用。

测量电路：将传感器的输出电信号进行调整（如放大、衰减）、处理（如运算、调制）和变换（如模-数或数-模变换），使其输出电信号便于显示装置显示和记录。在自动控

制系统中，该电信号也被送到调节器中进行反馈控制。测量电路视传感器类型而定，从简单的阻容网络到复杂的多级放大器，其复杂程度不一样。

显示装置：其主要作用是将测量电路输出的电信号显示成被测的、具体的非电量数值。显示方式一般分模拟显示和数字显示，必要时可用自动记录仪记录或用打印机打印数据等。

辅助电源：由于在某些非电量电测系统中，其测量电路（如桥路或放大电路）需外加电源，有的传感器（如电位器式传感器、差动变压器式传感器等）工作时也需要外加电源，所以在这样一些非电量电测系统中就需加辅助电源。

1-2 传感器的分类

一、检测元件和传感器

检测元件是直接感受被测量，并将它转换成适于某种测量形式的量的元件或器件。检测元件有时也称为敏感元件，如温包、膜片、波纹管、光电阴极等。

传感器是借助于检测元件在感受被测量后的输出信息，并按一定规律将该信息变换成同种或别种形式信息输出的器件或装置。传感器种类很多，其中有的可直接感受被测非电量，如热电式传感器中的热电偶、压电式传感器中的压电晶体片；而有的传感器则不直接感受被测非电量，只是感受检测元件输出的并与被测非电量成一定关系的其它非电量，如差动变压器式压力传感器，它是通过与压力成正比的位移，然后将位移转换成电量。

二、传感器的分类

传感器一般常用的分类法有两种：一种是按被测对象的

参数分；一种是按传感器的变换原理分。还有按传感器本身能否产生电动势来分类的，它可将传感器分为自源式传感器和他源式传感器。

若按被测对象的参数分类传感器可分为：温度传感器、压力传感器、流量传感器、位移传感器、液位传感器、力传感器、加速度传感器、转矩传感器、浓度传感器等。

若按变换原理分类传感器可分为：电学式传感器、光电式传感器、热学式传感器、磁学式传感器、电化学式传感器等。

传感器有时作为产品名称，人们常把被测参数和变换原理结合在一起称呼传感器，如电感式位移传感器、压电式加速度传感器、振弦式压力传感器等。

传感器的这两种分类法各有优缺点，按被测对象的参数分类实用性强、便于选用，但缺乏系统性，如测温用传感器就有好多种，即热电变换原理的热电偶、光电变换原理的光电高温计等；按变换原理分类，虽然传感器用途在其名称上未明显标出，但却显示了传感器相互间的本质区别，便于了解各种传感器的各自特点。

本书是按变换原理分类来介绍有关非电量电测变换用的传感器的。

复 习 题

1. 非电量电测法具有哪些优点？
2. 什么是电量、非电量？非电量一般可分为哪几类？湿度是属于哪一类的非电量？
3. 非电量为什么不能直接用电工仪表或电子仪器来测量？
4. 在非电量电测系统中测量电路和传感器的作用是什么？
5. 什么叫检测元件？什么叫传感器？

第二章 电学式传感器

电学式变换技术是非电量电测中应用范围较广的一种变换技术，在这种变换技术中，典型而常用的有电阻式变换、电容式变换、电感式变换、电涡流式变换和磁电式变换等。

2-1 电阻式传感器

电阻式传感器是利用变阻器将被测非电量，如位移、曲面高度、力、加速度及重量等变换为电阻信号。电阻式传感器一般有电位器式、触点变阻式、电阻应变片式及压阻式传感器等。

一、电位器式传感器

电位器是人们所熟悉的一种电子元件，它在作为传感器时可以实现将位移或其它能转换为位移的非电量变换为与之一有一定关系的电阻值的变化，由电阻值的变化引起输出电压的变化。

电位器是由电阻元件和电刷（活动触点）两个基本部分组成，它需要辅助电源，其输出信号是电压信号。该电压信号的变化是由于活动触点的移动使电阻值发生变化而形成的。

电位器式传感器种类较多，按其电阻元件的构造不同分为线绕电位器式和非线绕电位器式传感器两大类。

1. 线绕电位器式传感器

线绕电位器式传感器的种类一般有单臂式（图2-1 a）、

双臂式 (图2-1 b)、圆臂式 (图2-1 c) 及阶梯式 (图2-1 d) 等。

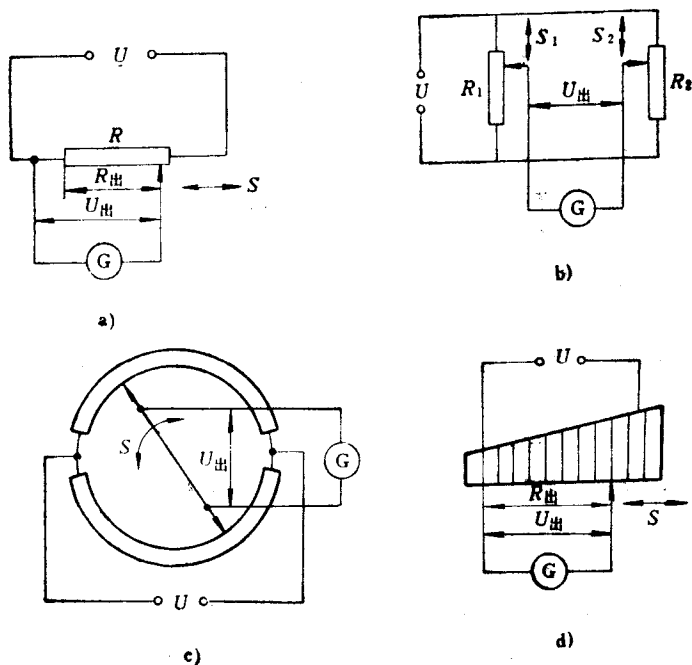


图2-1 线绕电位器

a) 单臂式 b) 双臂式 c) 圆臂式 d) 阶梯式

线绕电位器式传感器的变换过程是当被测非电量——位移 S 变化时，活动触点则在电阻元件滑臂上移动到相应位置，其输出信号是电阻值 $R_{\text{出}}$ 。由于在电阻元件两端加上电压 U ，整个电阻回路上就有电流通过，该电流在电阻 $R_{\text{出}}$ 上形成一个电压降 $U_{\text{出}}$ ，从表头 G 上就可通过读出 $U_{\text{出}}$ 的大小而知道被测非电量——位移 S 的变化情况。

线绕电位器的突出优点是结构简单、输出信号大、使用

方便；其缺点是存在阶梯误差、分辨力较低、耐磨性较差等。

2. 非线性绕电位器式传感器

人们为了克服线绕电位器的缺点，从电阻元件的材质和制造工艺上作了许多努力，于是发展了各种非线性绕电位器：

(1) 合成膜电位器

合成膜电位器的电阻元件是用具有某一电阻值的溶液喷涂在绝缘骨架表面上形成的电阻膜而制成的。这种电位器的优点是分辨力较高、电阻值范围广、耐磨性较好、工艺简单、成本较低、输入—输出信号的线性关系好（线性误差约1%）等；主要缺点是接触电阻大、电阻元件抗潮性差、噪声较大等。

(2) 金属膜电位器

金属膜电位器是在玻璃基体上分别用高温蒸发喷镀或电镀方法涂覆一层金属膜或一层金属复合膜而制成的。用作金属膜的合金有铱锗、铂铜、铂铱、铂铱锰等；而复合膜则是一层金属膜和一层金属氧化物膜，如铱膜和氧化锡膜、镍铬合金膜和氧化钛膜等。使用金属复合膜的目的在于提高膜层的阻值和耐磨性，因为金属合金膜薄了，虽然阻值高，但不耐磨；膜厚了，虽耐磨，却降低了阻值，所以要加一层阻值较高、又耐磨的金属氧化膜。

金属膜电位器的优点是：电阻温度系数较小，可达 $0.5 \sim 1.5 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ ；环境温度在 150°C 以上仍能正常工作；分辨力较高；摩擦力矩小。缺点是：功率小；膜的耐磨性较差；电位器阻值较低（ $1 \sim 2\text{k}\Omega$ ）。

(3) 导电塑料电位器

导电塑料电位器又称有机实心电位器，这种电位器的电

阻元件是由塑料粉及导电材料（如合金、碳黑、石墨等）的粉料经塑压制成，它的耐磨性很高、使用寿命较长、电刷接触压力可以很大，故在振动、冲击等恶劣环境下仍能保持可靠地工作；此外，这种电位器的分辨力较高、线性度较好、阻值范围大、能承受较大功率。其缺点是阻值易受温度和湿度影响，接触电阻较大，并要求有一定的接触压力，故精度不易做得很高。

（4）导电玻璃釉电位器

导电玻璃釉电位器又称金属陶瓷电位器，它以合金、金属氧化物或难熔化合物等为导电物质，以玻璃釉粉为粘合剂，经混合后烧结在陶瓷或玻璃基体上而制成电阻元件。该电阻元件具有硬而光的表面，能耐高温、耐磨、抗湿，阻值范围宽，电阻温度系数小（约 $\pm 2.5 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ ）；其缺点是不易保证高精度，接触电阻较大。

（5）光电电位器

光电电位器是一种非接触式电位器，它用光束代替常规电刷。光电电位器由薄膜电阻带、光电导层和导电电极等主要部分组成，其结构原理见图2-2所示。

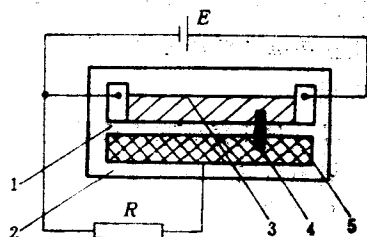


图2-2 光电电位器结构原理图

1—光电导层 2—基体 3—电阻带
4—窄光束 5—导电电极

图中基体上沉积一层硫化镉 CdS 或是硒化镉 CdSe 的光电导层，然后在其上再沉积一条金属导电条（作为导电电极）和一条薄膜电阻带。在电阻带和导电电极间留有很窄的间隙。作为“电刷”的光束就照射在这个狭窄间隙上。由于光

导电层材料的亮电阻（有光照射时的电阻）和暗光电阻（无光照射时的电阻）之比可达 $1/10^5 \sim 1/10^8$ ，所以窄间隙上有光照射时，就可以认为导电电极和电阻带导通，于是负载 R 上便有输出的电压信号；无光束照射时的导电电极和电阻带之间的窄间隙区可以看成断路，从而保证了负载 R 上的输出电压信号取决于窄光束的位置。

光电电位器的优点是无磨损，不会对传感器系统附加任何有害的摩擦力矩，从而提高了传感器的精度、寿命和可靠性。这种电位器的分辨力也较高。这些优点是一般电位器所不及的。其缺点是输出阻抗较高，需要匹配高输入阻抗的放大器，光电电位器窄光束处也存在很大的接触电阻，其阻值可达 $10\text{k}\Omega$ ，甚至更高。由于这些缺点的存在，光电电位器要输出大电流是困难的，这种电位器的线性误差经修刻后也只能达到 1% 。尽管如此，光电电位器用途仍较大，目前已在某些导弹的陀螺仪中得到了应用。

二、触点变阻式传感器

触点变阻式传感器的结构原理见图 2-3 所示。它的变换原理是把被测的非电量（如物体的曲面高度 h ）变换成电阻信号。具体变换过程是当被测物体 G 移动时，由于物体的曲面高度 h 的不同，触头 H 就会上下移动，这种移动就改变了触点的闭合状态，因而也就使得 $R_{出}$ 发

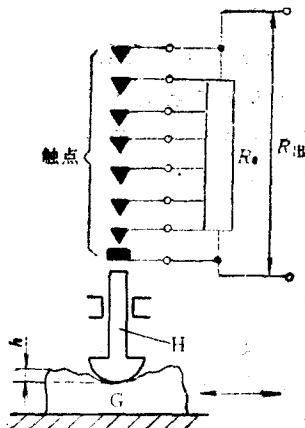


图2-3 触点变阻式传感器结构原理图