

电阻式位移传感器

力学所十二室板壳组

一、引言

在工程结构、材料元件的稳定性实验以及机械加工等各方面工作中，往往需要测量位移。平常是用百分表进行的，但由于量程小、不能自动记录等缺点，不能满足实验工作的要求；国内当前生产的位移传感器有电感式的和差动变压器式的，但它们的最大量程也不超过25mm而且配套使用也较复杂。为此，我们试制了电阻式位移传感器，它的特点是量程大，原理、结构简单，配套使用方便；不足之处是相对百分表而言分辨率低些，而且每改变0.04毫米时输出的电信号有跳变。

二、原理

参看图1，由欧姆定律：

$$E = IR \quad (1)$$

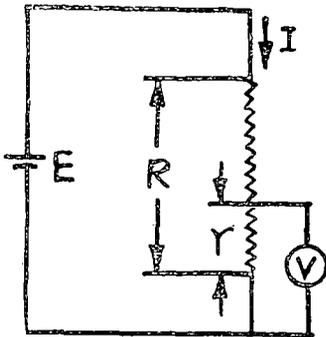


图 1

其中E为电源电压，R为滑线电阻的总电阻。E、R均为常数，故电流I亦为常数。根据电阻分压原理得：

$$V = Ir \quad (2)$$

r为滑线电阻触头至滑线电阻一端之间的电阻，由于(2)式中I为常数，所以V与r成线性关系。若把滑

线电阻的触头固定在一个测量杆上，那末测量杆的位移S与分压V或电阻r也成线性关系，即：

$$S = KV \quad (3)$$

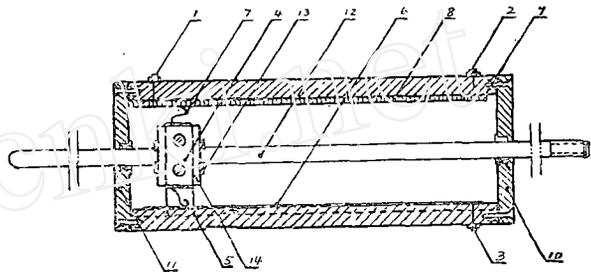


图 2 电阻式位移传感器结构示意图

- 1.2电阻线圈接柱 3.触头引出线接线柱
4.Π形铜片 5.弹簧片 6.铜条 7.触头
8.线圈 9.线圈骨架 10.11上下盖板 12.测量杆 13.支持垫片 14.固定块

$$\text{或} \quad S = K'r \quad (4)$$

式中K、K'为待定换算系数。以上就是电阻式位移传感器原理。由(2)、(3)、(4)式可以看出：电阻式位移传感器的量程可以做得很大很大，其位移S与分压V或电阻r的关系都是线性的。

三、结构

参看图2。当在1、2加上稳定直流电压后，则在3和1（或2）上就可以用数字电压表测出相应于触头（即测量杆）位置的分压，5是富有弹性的铍镍合金弹簧片，一端焊在Π型铜片4上，另一端压在铜条6上。触头7是用φ0.3毫米德银丝焊在铍镍合金弹簧片上做成的。其头部压在电阻线圈8的滑道上，其尾部也焊在Π型铜片4上。Π型铜片通过两个M1.6螺钉装在固定块13上。13通过两个支持垫片固定在测量杆12上。这样就可以把触头7所在位置与1或2之间的分压通过4、5、6和3引出来。电阻线圈8是用线径0.025毫米的合金漆包线（卡玛线）在自动绕

线圈上精密绕成的，线圈骨架9是用 $\phi 2$ 毫米的绝缘漆包线经过拉直后做成的，电阻线圈表面上与触头接触部分用金相砂纸打磨出一条滑道，然后用软绸蘸酒精清洗滑道，以保证触头与线圈接触良好。10、11为上下盖板，两盖板中央各有一个带青铜衬里的圆孔，两圆孔中穿过用 $\phi 4.95$ 毫米不锈钢丝制成的测量杆12，加工要求测量杆能在两圆孔中轻便地滑动。从图2上还可以看到II型铜片4，其右部的伸出端到与铜条平行的槽中，它们之间的配合起着导向作用，从而使触头7移动时不偏离滑道。电阻式位移传感器壳体的外表面装着橡皮筋，其作用是使测量杆随时跟着被测物体产生的位移而移动。实物照片见图七。

四、主要技术指标

1. 量程：100毫米150毫米两种
2. 分辨能力：0.04毫米
3. 相对误差 $< 0.5\%$
4. 供电电压：直流2~30伏
5. 测量力 < 80 克重

五、标定和位移测量值 相对误差

在使用电阻式位移传感器之前，需要根据供电电压的大小进行标定，这是因为换算系数K值与供电电压有关。

我们用二级块规对量程100毫米的三个传感器进行了标定，供电电压为直流2伏，由DYJ—1型五位数字电压表记录对应于传感器不同位移的输出分压。标定结果及相对误差分析见附表。

从附表中可以看出：三个传感器在相应于块规厚度20毫米、40毫米……而产生的位移用最小二乘法计算相对误差，一般均在0.5%以下。

六、讨论

1. 关于换算系数K：

一个线圈，当其绕线密度均匀且线径与间隙之和为定值时有如下关系：

$$S = n \cdot d \quad (5)$$

式中：S为线圈长度，n为圈数，d为线径与间隙之和。

由式(2)， $V = I \cdot r$ ，其中 $I = \frac{E}{R}$ ，

$r = n \cdot r_0$ ， r_0 为每圈电阻值，得到，

$$V = \frac{E}{R} n r_0 \text{ 或}$$

$$n = \frac{V}{\frac{E}{R} \cdot r_0} \quad (6)$$

把(6)代入(5)得

$$S = \frac{V d}{\frac{E}{R} r_0} = \frac{d}{\frac{E}{R} r_0} V, \quad (7)$$

比较(3)和(7)得：

$$K = \frac{d}{\frac{E}{R} r_0} \quad (8)$$

由此可知：K值物理意义是每圈距离（线径与间隙之和）与每圈分压之比。

由(3)可知，

$$\frac{1}{K} = \frac{V}{S} = \frac{\frac{E}{R} \cdot r_0}{d},$$

它表示每单位距离上（每圈距离）的分压。若将 $\frac{1}{K}$

再除以E，则得：

$$\frac{1}{KE} = \frac{V}{SE} = \frac{\frac{1}{R} \cdot r_0}{d},$$

它表示供电电压为1伏时传感器的测量杆每移动单位距离（每圈距离）所产生的分压（毫伏/毫米/伏），这与其它类型传感器资料介绍中所定义的灵敏度概念是一致的。从而可知本传感器灵敏度为：

$$\frac{1}{EK} = \frac{1}{2 \times 50} = 10 \text{ 毫伏/毫米/伏。}$$

2. 关于分辨能力0.04毫米

电阻式位移传感器的分辨能力之所以不能太高，主要受n和d所限制。我们采用0.025毫米合金漆包线绕制的电阻线圈，在量程100毫米2伏直流供电情况下，经用深度百分尺和数字电压表检测表明：测量杆每移动0.04毫米时，数字电压表读数增加0.8毫伏。

（因为线径为0.025毫米，所以推知间隙为：0.04毫米 - 0.025毫米 = 0.015毫米）若以每圈分压0.8毫伏分别计算三个量程为100毫米的传感器线圈圈数得其算术平均值为2453圈。与此相比各线圈圈数的偏差在一0.7%~0.5%之间，这个百分数也反映了传感器的精度。

3. 调零电路:

为了使传感器的测量杆在任意初始位置时的初始输出分压都能调至零, 以去除计算时做减法的手续, 传感器可按图 3 接线使用。多圈电位器的阻值应和传感器线圈阻值大小相当。当多圈电位器调至使 $V_{CD} = V_{AB}$ 时, 则在此位置上输出端为零。图 3 实际上是个差接桥式电路图 4, 差接桥式电路的特点是: 便于调零线性输出、电源电压波动对测量电路的影响小。

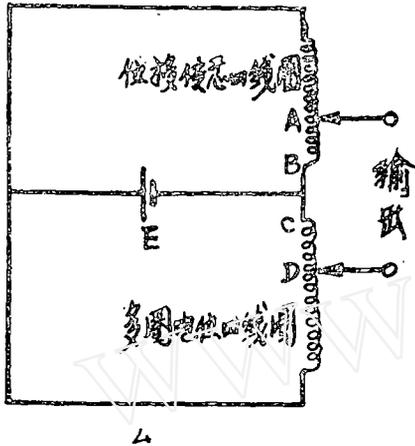


图 3

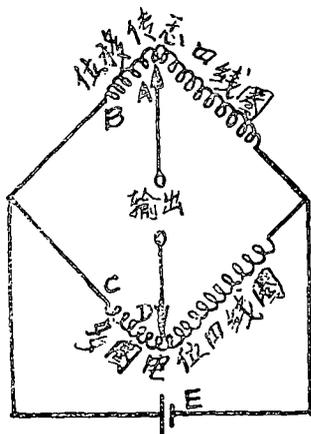


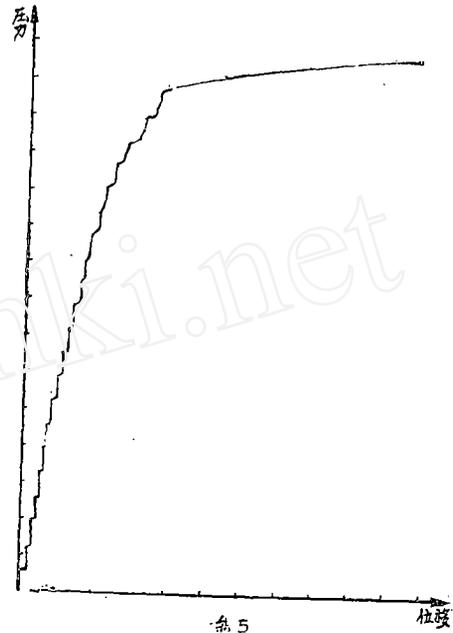
图 4

4. 电阻式位移传感器的其它用法:

由 (4) 式可知, 电阻式位移传感器也可直接用五位数字欧姆表或其它测量电桥记录相应于位移的电阻值 r , 然后通过换算系数 K' 计算位移值 S 。另外, 电阻式位移传感器还可以和应变仪配套使用, 通过标定后以应变值表示位移值。

5. 应用实例:

我们将电阻式位移传感器与 $\Theta\Pi\Pi-3K$ 型压力传感配合使用, 解决了曲板在侧向压力作用下屈曲实验的自动记录问题。当两种传感器的输出信号分别接至 LZ_3-300 型函数记录仪的 X 轴和 Y 轴输入时, 则实验过程的位移——压力曲线可由 LZ_3-300 型函数记录仪 (即 X—Y 记录仪) 自动描绘出来, 如图 5 所示。



说明: 由于压力和位移传感器均以电阻线圈为基本元件, 当压力位移发生微小改变时, 传感器输出信号有跳变, 因此图 5 上画出了折线。

若将两种传感器的输出信号在送给 X—Y 记录仪的同时, 也分别送给带打印机的数字电压表的两个输入端, 则可在打印机上同时记录相应于位移、压力的电压值经简单换算即得位移、压力值。其测量系统方框图见图 6。

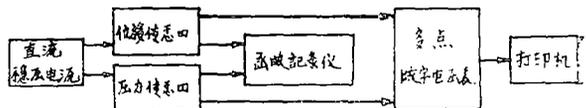


图 6

另外, 我们还在断裂力学实验中, 将电阻式位移传感器装在材料试验机测力机构的推杆上与贴有电阻应变片的夹形引伸仪配合使用, 在 LZ_3-300 型函数记录仪上自动画出试件的载荷—裂纹变化曲线。

七、结语

电阻式位移传感器经过在实验工作中的试用，证明其性能是比较好的，为测试工作自动化做出了良好的开端。今后准备用 $\phi 0.3 \sim \phi 0.5$ 的裸卡玛线代替电阻式位移传感器的线圈，以便克服输出信号的“跳变”现象。国外已发展用接触式非线绕电位器（如合成膜电位器，导电玻璃釉电位器等）和非接触式电位器（如光电电位器）作为传感器。

在电阻式位移传感器试制过程中，国营797厂四车间的同志们给了我们大力的支持和帮助，在此表示谢意。

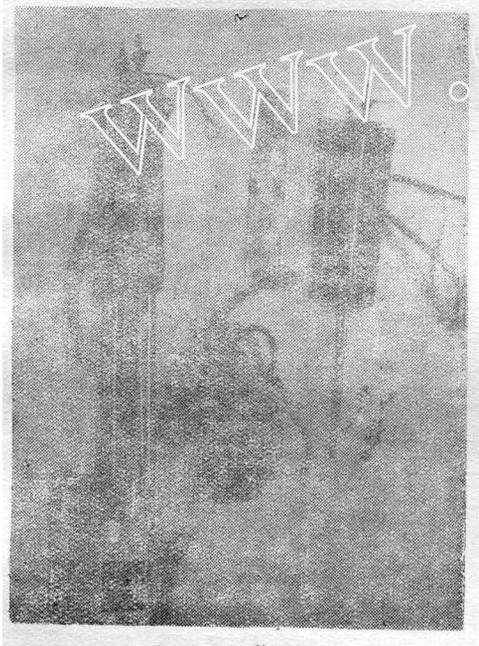


图7 实物照片

附表：用二级块规标定三支量程100毫米的电阻式位移传感器

传感器号	块规厚度 (毫米)	输出电压 (伏)	折算位移 (毫米)	相对误差 (%)
1号	0	0.0004		
	20	0.4045	20.022	0.108
	40	0.8065	39.989	-0.026
	60	1.2104	60.051	0.086
	80	1.6129	80.044	0.054
	99	1.9934	98.944	-0.056
2号	0	0.0002		
	20	0.4019	20.039	0.194
	40	0.8008	39.984	-0.039
	60	1.2022	60.055	0.091
	80	1.6015	80.020	0.025
	100	2.0001	99.950	-0.049
3号	0	0.0140		
	20	0.4084	19.911	-0.444
	40	0.8083	39.935	-0.163
	60	1.2069	59.894	-0.173
	80	1.6076	79.958	-0.053
	99	1.9907	99.140	0.142

参 考 文 献

1. 非电量的电测法，A·M·屠利庆著，水力电力出版社1975年
2. 国外电位器发展趋势，沈显祖编，1973年第5期（总91期）