2.3 温度特性及其补偿

2.3.1 温度误差

理想情况下，电阻应变片的阻值应仅随应变变化，而不受其他因素的影响。但实际上应变片的阻值受环境温度（包括被测试件的温度）的影响很大，从而会产生很大的测量误差。

这个误差称为应变片的温度误差，又称热输出。

环境温度改变引起电阻变化的主要原因一是应变片的电阻丝（敏感栅）具有一定温度系数，二是电阻丝材料与测试材料的线膨胀系数不同。

设粘贴在试件表面的应变片敏感栅材料的电阻温度系数为 α_t，环境引起的构件温度变化 Δt 时，应变片产生的电阻相对变化为

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_1 = \alpha_t \Delta t \tag{2-19}$$

由于敏感栅材料和被测构件材料两者线膨胀系数不同，当环境引起构件温度变化 Δt 时，应变片产生附加应变，相应的电阻相对变化为

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_2 = K(\beta_e - \beta_g)\Delta t \tag{2-20}$$

式中：β_e 为试件材料的线膨胀系数；

β_g 为敏感栅材料的线膨胀系数；

K 为应变片的灵敏系数。

所以当环境温度变化 Δt 时，由于温度变化产生的总的电阻相对变化为

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_t = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_1 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_2 = \alpha_t \Delta t + K(\beta_e - \beta_g)\Delta t \tag{2-21}$$

相应的虚假应变为

$$\varepsilon_t = \frac{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_t}{K} = \frac{\alpha_t}{K}\Delta t + (\beta_e - \beta_g)\Delta t$$

上式为应变片粘贴在试件表面上，当试件不受外力作用，仅在温度变化 Δt 时应变片的温度效应。可见，应变片热输出的大小不仅与应变计敏感栅材料的性能（α_t，β_g）有关，而且与被测试件材料的线膨胀系数（β_e）也有关。

2.3.2 温度补偿

1. 单丝自补偿应变片

由（2-21）式可以看出，若要使应变片在温度变化 Δt 时的热输出值为零，必须使

$$\alpha_t + K(\beta_e - \beta_g) = 0$$

即

$$\alpha_t = K(\beta_g - \beta_e) \tag{2-22}$$

每一种材料的被测试件，其线膨胀系数 β_e 都为确定值，可以在有关的材料手册中查到。在选择应变片时，若应变片的敏感栅是用单一的合金丝制成，显然只要使其电阻温度系数 α_t 和线膨胀系数 β_g 满足（2-22）式，即可实现温度自补偿。具有这种敏感栅的应变片称为单丝自补偿应变片。

单丝自补偿应变片的优点是结构简单，制造和使用都比较方便，但它必须在具有一定线膨胀系数材料的试件上使用，否则不能达到温度自补偿的目的。

2. 双丝组合式自补偿应变片

双丝组合式温度自补偿应变片是由两种不同电阻温度系数（一种为正值，另一种为负值）的

材料串联组成敏感栅，以达到在一定的温度范围内在一定材料的试件上实现温度补偿的目的。

这种应变片的自补偿条件要求粘贴在某种试件上的两段敏感栅随温度变化而产生的电阻增量大小相等，符号相反。

3. 电路补偿法

最常用的补偿电路是直流电桥，如图 2-9 所示。工作应变片 R_1 安装在被测试件表面上，另选一个与 R_1 特性相同的补偿片 R_2 安装在与试件材料相同的补偿块上，补偿块与试件感受相同的温度，但不承受应变。把 R_1 和 R_2 接入电桥两相邻桥臂上，使温度变化 Δt 时，造成的电阻变化 ΔR_{1t}、ΔR_{2t}相等。

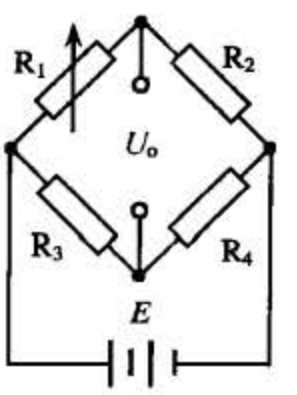

图 2-9　桥路补偿法

当被测试件不承受应变时，调整电桥参数，可使电桥输出电压为零，即

$$U_o = A(R_1R_4 - R_2R_3) = 0$$

式中：A 为由桥臂电阻和电源电压决定的常数。

令 $R_1 = R_2 = R$，$R_3 = R_4 = r$，当温度变化 Δt 时，电桥相应的输出电压为

$$\begin{aligned} U_o &= A[(R_1 + \Delta R_{1t})R_4 - (R_2 + \Delta R_{2t})R_3] \\ &= A[(R + \Delta R_{1t})r - (R + \Delta R_{2t})r] \\ &= A[Rr + r\Delta R_{1t} - Rr - r\Delta R_{2t}] \\ &= Ar(\Delta R_{1t} - \Delta R_{2t}) = 0 \end{aligned}$$

当被测试件承受应变作用时，工作应变片 R_1 感受应变，阻值变化 ΔR_1；补偿片 R_2 因为不承受应变，所以不发生变化。电桥输出电压为

$$\begin{aligned} U_o &= A[(R_1 + \Delta R_{1t} + \Delta R_1)R_4 - (R_2 + \Delta R_{2t})R_3] \\ &= Ar\Delta R_1 = ArRK\varepsilon \end{aligned} \tag{2-23}$$

即电桥输出电压只与应变 ε 有关，与温度变化无关。

由以上的分析可知，电桥补偿法要达到完全补偿，需满足下列三个条件。

① R_1 和 R_2 须属于同一批号，即它们的电阻温度系数 α、线膨胀系数 β、应变灵敏系数 K 都相同，两片的初始电阻值也要求相同。

② 用于粘贴补偿片的构件和粘贴工作片的试件二者材料必须相同，即要求两者线膨胀系数相等。

③ 两应变片处于同一温度环境中。

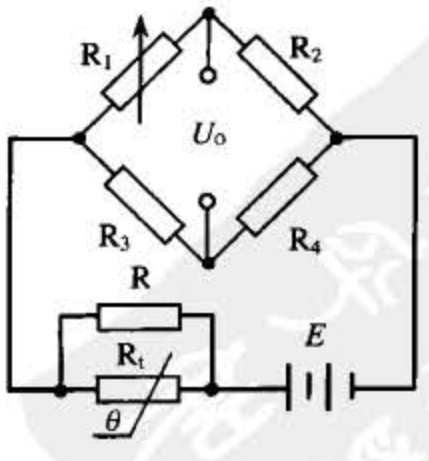

图 2-10　热敏电阻补偿法

电桥补偿法简单易行，能在较大温度范围内进行补偿。但上述的三个条件很难满足。在某些测试条件下，温度场梯度较大，R_1 和 R_2 很难处于相同温度环境中。根据被测试件承受应变的情况，可以不另加专门的补偿块，而是将补偿片直接贴在被测试件上，这样既能起到温度补偿作用，又能提高输出的灵敏度，原理详见本书 2.4.1 直流电桥中的半桥差动电路。

另外也可以采用热敏电阻进行补偿。如图 2-10 所示，热敏电阻 R_t 与应变片 R_1 处在相同的温度下，当应变片的灵敏度随温度升高而下降时，热敏电阻 R_t 的阻值下降，使电桥的输入电

压随温度升高而增加，从而提高电桥输出电压。合理选择分流电阻 R 的值，就可以使应变片灵敏度下降对电桥输出的影响得到很好的补偿。