

电阻元件与RTD

David J. King

引言

电阻元件种类繁多，它们符合不同的标准，能够在不同的温度范围中工作，具有各种规格和精度。然而，它们的工作方式都一样：每个电阻元件都有预先规定的已知温度下的电阻值，该电阻值的变化是可以预测的。这样，通过测量元件的电阻，便可以通过表格、计算或者仪表确定元件的温度。这些电阻元件是RTD（电阻式温度检测器）的核心。通常，裸露电阻元件过于脆弱和灵敏，无法以其原始形态使用，因此必须把电阻元件封装到RTD内加以保护。

电阻式温度检测器是一个通用术语，可表示通过测量材料电阻的变化来感知温度的任何器件。RTD形式众多，但通常都以带护套的形式出现。RTD探头是由电阻元件、护套、导线以及端子或连接件组成的组件。护套是一种一端封闭的管，它固定住元件，保护元件不受湿气及待测环境的影响。护套还保护接自脆弱元件测温线的过渡导线，并增强其稳定性。



一些RTD探头可与热电偶套管组合使用，进一步加强了保护。在这类应用中，热电偶套管不仅增强了RTD的保护，而且还使RTD要测量的任何系统（例如箱体或锅炉）不会与RTD发生实际接触。这为更换RTD提供了极大的方便，因为用不着排空容器或系统。

热电偶是一种久经考验、行之有效的电子温度测量方法。它们的工作方式与RTD大相径庭，但通常具有相同的结构：常常带有护套并且还可能在热电偶套管内。

究其本质，热电偶利用了塞贝克效应，该效应使得由温度变化导致的热电电动势发生变化。许多应用既适合使用RTD，也适合使用热电偶。热电偶往往更加结实、不存在自热误差，并且它们可以控制各种各样的仪表。但是，RTD，尤其是铂RTD则更加可靠、更加精确。

电阻元件的特征

下面是几个极其重要的细节，必须详细说明才能正确认识RTD的特征：

1. 电阻元件的材质（铂、镍等）
2. 温度系数
3. 标称电阻
4. 应用温度范围
5. 外形尺寸或规格限制
6. 精度

1. 电阻元件的材质

有几种金属经常在电阻元件中使用，金属的纯度会影响电阻元件的特征。由于与温度之间的线性关系，铂是迄今为止最为常用的电阻元件金属。其它常用材料有镍和铜，但是大多数这些材料的电阻元件正在被铂电阻元件所取代。使用的其它金属（很少使用）有Balco（一种铁镍合金）、钨和铱。

2. 温度系数

元件的温度系数是材料的物理和电气特性。该术语描述在水的冰点与沸点温度范围内每单位温度的平均电阻值变化。不同组织采用不同的温度系数作为其标准。1983年，IEC（国际电工委员会）采用了DIN（德国标准化学会）的 0°C 时电阻为100欧姆的铂为标准，其温度系数为0.00385欧姆/欧姆/摄氏度。该温度系数目前是大多数国家中认可的行业标准，但其它单位也在广泛使用。下面对如何得出温度系数进行简要说明：沸点(100°C)时的电阻 = 138.50欧姆。冰点(0°C)时的电阻 = 100.00欧姆。将差值(38.5)除以100度，再除以元件的标称电阻100欧姆。结果就是平均温度系数 (α) 0.00385欧姆/欧姆/ $^{\circ}\text{C}$ 。

下面是一些不太常用的材料及温度系数：

铂热电偶	=	0.003902	(美国行业标准)
铂热电偶	=	0.003920	(旧美国标准)
铂热电偶	=	0.003923	(SAMA)
铂热电偶	=	0.003916	(JIS)
铜热电偶	=	0.0042	
镍热电偶	=	0.00617	(DIN)
镍热电偶	=	0.00672	(在美国越来越不常用)
Balco TC	=	0.0052	
钨热电偶	=	0.0045	

请注意，温度系数是 $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 范围内的平均值。这并不是说在规定温度范围内电阻与温度曲线完全呈线性。

3. 标称电阻



标称电阻是预先规定的给定温度下的电阻值。包括IEC-751在内的大多数标准都使用 0°C 作为参考点。IEC标准是 0°C 时电阻值为100欧姆，但还可以提供其它标称电阻，如50、200、400、500、1000和2000欧姆。

4. 应用温度范围

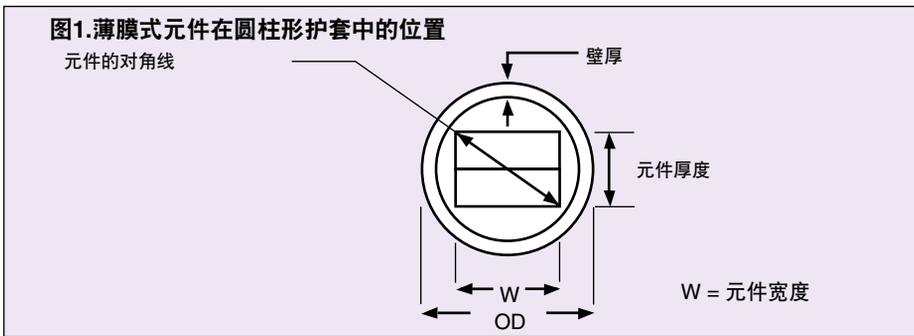
根据机械结构与加工方法，RTD可以在 $-270 \sim 850^{\circ}\text{C}$ 范围内使用。例如，对于薄膜式、绕线式和玻璃封装式RTD，温度范围规格将不所不同。

5. 外形尺寸或规格限制

元件最重要的尺寸是外径(O.D.)，这是因为元件通常必须装入护套内。薄膜式元件没有外径尺寸。若要计算等效尺寸，我们需要找到端截面的对角线。在元件插入护套的过程中，对角线将是元件上最宽的距离。

经加州北岭 Thermometrics Corporation 的 David J. King 许可转载，公司网址：www.thermometricscorp.com

电阻元件与RTD (续)



可允许的基本值偏差

A级		
温度 °C	偏差	
	欧姆	°C
-200	±0.24	±0.55
-100	±0.14	±0.35
0	±0.06	±0.15
100	±0.13	±0.35
200	±0.20	±0.55
300	±0.27	±0.75
400	±0.33	±0.95
500	±0.38	±1.15
600	±0.43	±1.35
650	±0.46	±1.45

B级		
温度 °C	偏差	
	欧姆	°C
-200	±0.56	±1.3
-100	±0.32	±0.8
0	±0.12	±0.3
100	±0.30	±0.8
200	±0.48	±1.3
300	±0.64	±1.8
400	±0.79	±2.3
500	±0.93	±2.8
600	±1.06	±3.3
650	±1.13	±3.6
700	±1.17	±3.8
800	±1.28	±4.3
850	±1.34	±4.6

例如，在使用尺寸为10 x 2 x 1.5 mm的元件时，可以通过计算(2² + 1.5²)的平方根来获得对角线长度。因此，该元件可以装入内径为2.5 mm (0.98")的孔中。一般来讲，为了实用起见，请

记住，任何宽度为2 mm或更小的元件都可以装入外径为1/8"、壁厚为0.010"的护套中。宽度为1.5 mm的元件通常可以装入孔径为0.084"的护套中。参见图1。

6. 精度

IEC 751铂电阻温度计规格采用了DIN 43760的精度要求。本页表中显示的是DIN-IEC A级与B级元件。

7. 响应时间

50%响应是指温度计元件要达到其稳态值的50%所需的时间。90%响应以类似方式定义。这些元件的响应时间是在流速为0.2 m/s的水中以及流速为1 m/s空气中得到的。还可以计算在已知导热系数数值的任何其它介质中的响应时间。在浸入流速为3英尺/秒水中的直径为1/4"的护套内，达到温度阶跃变化的63%所需的响应时间不到5.0秒。

8. 测量电流和自热

温度测量几乎都使用直流电进行。不可避免地是，测量电流会在RTD中产生热量。可允许测量电流是通过元件位置、待测量介质以及流动介质的速度确定的。自热系数“S”给出了元件的测量误差，单位为°C/毫瓦(mW)。给定测量电流I的值，毫瓦值P可以通过 $P = I^2R$ 计算，其中R是RTD的电阻值。然后，温度测量误差 ΔT (°C)可以用 $\Delta T = P \times S$ 计算。

电阻元件规格

稳定性：在最高温度工作10,000小时后低于0.2°C (1年、51天、连续16小时)。

抗振性：频率范围为20 ~ 1000 cps。

抗热冲击系数：强制通风：整个温度范围内。水淬：从200°C降低到20°C。

压力灵敏度：小于 1.5×10^{-4} C/PSI，可逆。

自热误差与响应时间：参阅所选类型元件特定的温度网页。

感应电流自感量：对于薄膜式元件，可视为忽略不计；对于绕线式元件，通常小于0.02微亨利。

电容：对于绕线式元件：计算结果为不到6PF；对于薄膜式元件：电容太小而无法测量，并且电容受到导线连接的影响。导线与元件之间的连接表示大约300 pF的电容。

导线配置

如前所述，电阻式温度检测器(RTD)元件通常带有护套。显然，所有适用于电阻元件的标准在这里也适用，但必须考虑整个RTD组件的结构和尺寸，而不是考虑元件尺寸。由于电阻元件与测量仪器之间使用的导线自身带有电阻，我们还必须提供一种补偿方法，对这种误差予以补偿。参见图2，了解两线配置。

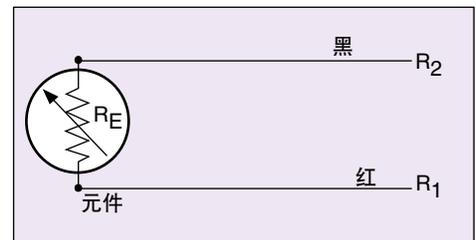


图2. 两线配置 (类型1)

圆形表示校准范围以内的电阻元件。三线或四线配置必须从校准范围内扩展，使得所有未校准的电阻得到补偿。

电阻 R_E 是电阻元件的电阻值，该电阻为我们提供精确的温度测量值。遗憾的是，在进行电阻测量时，仪器显示的是

R_{TOTAL} :

其中，

$$R_T = R_1 + R_2 + R_E$$

这样，产生的温度读数将高于实际测量的温度。可以对许多系统进行校准，以便对此进行补偿。大多数RTD都包括第三条线，其电阻为 R_3 。这条线将与导线2一起连接到电阻元件的一侧，如图3中所示。

这种配置在传感器的一端提供一个连接，在其另一端提供两个连接。与专门接受三线制输入的仪表连接后，便可以对导线电阻以及导线电阻引起的温度变化进行补偿。这是最常用的一种配置。

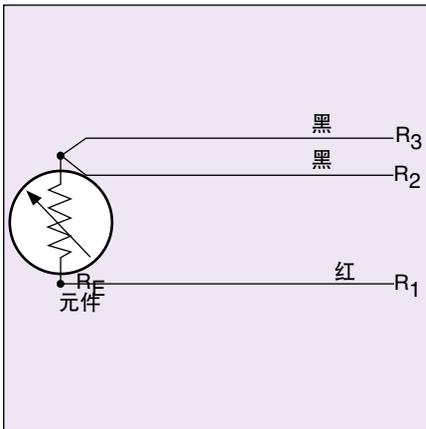


图3. 三线配置 (类型2)

如果使用了三条相同类型的线并且它们的长度相等，则 $R_1 = R_2 = R_3$ 。通过测量通过导线1、2与电阻元件的电阻，可以测得系统总电阻($R_1 + R_2 + R_E$)。如果还测量了导线2与3的电阻($R_2 + R_3$)，可以得到仅导线的电阻，并且由于所有导线电阻都相等，从系统总电阻($R_1 + R_2 + R_E$)中减去此值($R_2 + R_3$)，我们就可以仅得到 R_E ，因此进行的温度测量是精确的。还会使

用四线配置。(参见图4。)传感器的每一端都提供了两个连接。这种配置用于精度最高的测量。

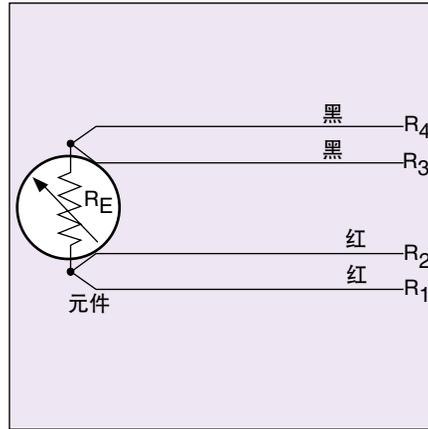


图4. 四线配置 (类型3)

在四线配置中，仪表将使一个恒定电流(I)通过外侧导线1和4。

测量了内侧导线2和3之间的压降。因而，通过公式 $V = IR$ ，我们可以得到元件自身的电阻，而不受到导线电阻的影响。仅当使用不同导线时，这种配置才比三线配置有优势，然而这种情况很少见。



还有一种现在很罕见的配置，即在一侧带有导线闭环回路的标准两线配置(图5)。其功能与三线配置相同，但使用了额外一条线才实现了此功能。单独的一对线作为回路提供，以便对导线电阻以及导线电阻引起的温度变化提供补偿。

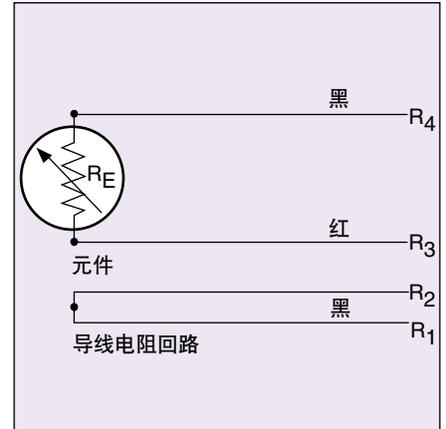


图5. 带回路的两线配置 (类型4)

经加州北岭Thermometrics Corporation的David J. King许可转载，公司网址：www.thermometricscorp.com

