

6.2 热电阻

热电阻是利用导体材料的电阻随温度变化而变化的特性来实现对温度的测量的。热电阻是中低温区最常用的一种温度检测器，它的主要特点是测量精度高，性能稳定。其中铂热电阻的测量精确度是最高的，它不仅广泛应用于工业测温，而且被制成标准的基准仪。

热电阻材料必须具有以下特点。

① 高温度系数、高电阻率。这样在同样条件下可加快反应速度，提高灵敏度，减小体积和质量。

② 化学、物理性能稳定，以保证在使用温度范围内热电阻的测量准确性。

③ 良好的输出特性，即必须有线性的或者接近线性的输出。

④ 良好的工艺性，以便于批量生产，降低成本。

热电阻大都由纯金属材料制成，适宜制作热电阻的材料有铂、铜、镍、铁等，目前应用最多的是铂和铜。此外，现在已开始采用镍、锰和铈等材料制造热电阻。

6.2.1 热电阻的类型

尽管各种热电阻的外形差异很大，但是它们的基本结构却大致相似，一般由感温元件、绝缘套管、保护管和接线盒等主要部分组成。

1. 装配式热电阻

装配式热电阻作为测量温度的传感器，通常和显示仪表、记录仪表及电子调节器配套使用。它可以直接测量各种生产过程中 $-200\sim 420^{\circ}\text{C}$ 范围内的温度。常用的有 Pt100 铂电阻和 Cu50 铜电阻两大类型装配式热电阻。因为热电阻体的引出线等各种导线电阻的变化会给温度测量带来影响，为消除引线电阻的影响，一般采用三线制或四线制(参见本书 6.2.3 节)。

2. 铠装热电阻

铠装热电阻是由感温元件(电阻体)、引线、绝缘材料、不锈钢套管组合而成的坚实体，它的外径一般为 $2\sim 8\text{mm}$ 。

与普通型热电阻相比，铠装热电阻有下列优点：①体积小，内部无空气隙，热惯性小；

②机械性能好,耐振、抗冲击;③能弯曲,便于安装;④使用寿命长。

3. 端面热电阻

端面热电阻的感温元件由特殊处理的电阻丝材绕制,紧贴在温度计端面。它与一般轴向热电阻相比,能更正确和快速地反映被测端面的实际温度,适用于测量轴瓦和其他机件的端面温度。

4. 隔爆型热电阻

隔爆型热电阻通过特殊结构的接线盒,把其外壳内部爆炸性混合气体因受到火花或电弧等影响而发生的爆炸局限在接线盒内,测量现场不会引起爆炸。隔爆型热电阻可用于具有爆炸危险场所的温度测量。

6.2.2 常用的几种热电阻

1. 铂热电阻

铂、铜为应用最广泛的热电阻材料。虽然铁、镍的温度系数和电阻率均比铂、铜要高,但由于存在着不易提纯和非线性严重的缺点,因而用得不多。

铂电阻阻值与温度变化之间的关系可以近似用下式表示:

在 $0\sim 650^{\circ}\text{C}$ 温度范围内

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (6-22)$$

在 $-190\sim 0^{\circ}\text{C}$ 温度范围内

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t-100)t^3] \quad (6-23)$$

式中: R_0 、 R_t 为铂电阻在 0°C 和 $t(^{\circ}\text{C})$ 时的电阻值;

A 、 B 、 C 为分度系数 ($A=3.96847\times 10^{-2}/^{\circ}\text{C}$, $B=-5.847\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}^2$, $C=-4.22\times 10^{-12}/^{\circ}\text{C}^3$)。

可以看出,它们的高次项很小。铂电阻在 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 时的最大非线性偏差小于 0.5°C ;而且 R_0 不同, R_t 与 t 的关系也不同。

铂容易提纯,其物理、化学性能在高温和氧化性介质中很稳定。铂电阻的输入-输出特性接近线性,且测量精度高,所以它能用作工业测温元件和作为温度标准。按国际温标 IPTS-68 规定,在 $-259.34\sim 630.73^{\circ}\text{C}$ 温域内,以铂电阻温度计作基准器。

工业上将铂电阻相应于 50Ω 和 100Ω 的 R_t-t 关系制成分度表,方便查询,见表 6-8、表 6-9。

表 6-8

WZB 型铂电阻分度表

$R_0=46\Omega$ 规定分度号 B_{46}

分度系数 $A=3.396487\times 10^{-2}/^{\circ}\text{C}$, $B=-5.847\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}^2$, $C=-4.22\times 10^{-12}/^{\circ}\text{C}^3$

温度($^{\circ}\text{C}$)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	电阻值(Ω)									
-200	7.95	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-100	27.44	25.54	23.63	21.72	19.79	17.85	15.90	13.93	11.95	9.96
-0	46.00	44.14	42.34	40.50	38.56	36.80	34.94	33.08	34.21	29.33
0	46.00	47.082	49.64	51.45	53.26	55.06	56.86	58.65	60.43	62.21
100	63.99	65.76	67.52	69.28	71.03	72.78	74.52	76.26	77.99	79.71

续表

温度(°C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	电阻值(Ω)									
200	81.43	83.15	84.86	86.56	88.26	89.96	91.64	93.33	95.00	96.68
300	98.34	100.01	101.66	103.31	104.96	106.60	108.23	109.86	111.84	113.10
400	114.72	116.32	117.93	119.52	121.11	122.70	124.28	125.86	127.94	128.99
500	130.55	132.10	133.65	135.20	136.73	138.27	139.79	141.32	142.83	144.34
600	145.85	147.35	148.84	150.33	151.81	153.30				

表 6-9

WZB 型铂电阻分度表

 $R_0 = 100\Omega$ 规定分度号 B_{A2} 分度系数 $A = 3.396487 \times 10^{-2}/^\circ\text{C}$, $B = -5.847 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}^2$, $C = -4.22 \times 10^{-12}/^\circ\text{C}^3$

温度(°C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	电阻值(Ω)									
-200	17.28	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-100	59.65	55.52	51.38	47.21	43.02	38.80	34.56	30.29	25.98	21.65
-0	100.00	96.03	92.04	88.04	84.03	80.10	75.96	71.91	67.84	63.75
0	100.00	103.96	107.91	110.85	115.78	119.70	123.60	127.49	131.37	135.24
100	139.10	142.95	146.78	150.60	154.41	158.21	162.00	165.78	169.54	173.29
200	177.03	180.75	186.48	188.10	191.88	195.56	199.23	202.89	206.53	210.07
300	213.79	217.40	221.00	224.59	228.17	231.76	235.29	238.83	242.36	245.88
400	249.38	252.88	256.36	259.83	263.29	266.78	270.18	272.60	277.01	280.41
500	283.86	287.18	290.55	293.91	297.25	300.58	303.90	307.21	310.50	313.79
600	317.06	320.22	323.57	326.80	330.03	333.25	—	—	—	—

2. 铜热电阻

由于铂(俗称白金)为贵金属,一般在测量精度要求不高和测温范围较小时,均采用铜电阻。

在 $-50 \sim 150^\circ\text{C}$ 范围内,铜电阻的化学、物理性能稳定,输入-输出特性接近线性,价格低廉。

铜电阻的阻值与温度变化之间的关系可近似表示为

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (6-24)$$

式中: R_0 、 R_t 为铜电阻在 0°C 和 $t(^\circ\text{C})$ 时的电阻值;

α 为铜电阻的温度系数($\alpha = 4.28899 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$)。

铜电阻的缺点是电阻率低,体积大,热惯性大,而且当温度高于 100°C 时铜电阻易被氧化,因此铜电阻适于在温度较低、没有侵蚀性的介质中工作。我国以铜电阻 R_0 值分别在 50Ω 和 100Ω 的条件下,制成相应分度表,以方便查询。其中 $\text{Cu}50$ 的分度表见表 6-10。

3. 其他热电阻

上述两种热电阻对于低温和超低温的测量性能都不理想,而钢、锰、碳等材料却是测量

低温和超低温的理想材料。

表 6-10

WZB 型铜电阻分度表

 $R_0 = 50\Omega$ 规定分度号 G

 分度系数 $\alpha = 4.28899 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$

温度($^\circ\text{C}$)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	电阻值(Ω)									
-50	39.24	—	—	—	—	—	—	—	—	—
-40	41.40	41.18	40.97	40.75	40.54	40.32	40.10	39.89	39.67	39.46
-30	43.55	43.34	43.12	42.91	42.69	42.48	42.27	42.05	41.88	41.61
-20	45.70	45.49	45.27	45.06	44.84	44.68	44.41	44.20	43.98	43.77
-10	47.85	47.64	47.42	47.21	46.99	46.78	46.56	46.35	46.13	45.97
-0	50.00	49.78	49.53	49.35	49.14	48.92	48.71	48.50	48.28	48.07
0	50.00	50.21	50.43	50.64	50.86	51.07	51.28	51.50	51.71	51.93
10	52.14	52.36	52.57	52.78	53.00	53.21	53.43	53.64	53.86	54.07
20	54.28	54.50	54.71	54.92	55.14	55.35	55.57	55.78	56.00	56.21
30	56.42	56.64	56.81	57.07	57.28	57.49	57.71	57.92	58.14	58.35
40	58.60	58.78	58.99	59.20	59.42	59.63	59.85	60.06	60.27	60.49
50	60.70	60.92	61.13	61.34	61.56	61.77	61.98	62.20	62.41	62.63
60	62.84	63.05	63.27	63.48	63.70	63.91	64.12	64.34	64.55	64.76
70	64.98	65.10	65.41	65.62	65.83	66.05	66.26	66.48	66.69	66.90
80	67.12	67.33	67.54	67.76	67.97	68.19	68.40	68.62	68.83	69.00

(1) 铟电阻

铟电阻用 99.999% 高纯度的铟丝绕成, 适宜在 $-269 \sim -258^\circ\text{C}$ ($4.2 \sim 15\text{K}$) 的温度范围内使用。实验证明, 在该温度范围内, 铟电阻的灵敏度比铂电阻高 10 倍。

铟电阻的缺点是材料软, 复制性差。

(2) 锰电阻

锰电阻适宜在 $-271 \sim -210^\circ\text{C}$ ($2 \sim 63\text{K}$) 的温度范围内使用。其优点是在该温度范围内电阻随温度变化大, 灵敏度高。锰电阻的缺点是材料脆, 难拉成丝。

(3) 碳电阻

碳电阻适宜在 $-273 \sim -268.5^\circ\text{C}$ 的温度范围内使用。其优点是热容量小, 灵敏度高, 价格低廉, 操作简便。但是碳电阻的热稳定性较差。

6.2.3 热电阻测量电路

利用热电阻进行温度测量时, 还需要配有专门的测温电路。这是因为热电阻的阻值很小, 所以导线的电阻值不能忽略。例如 50Ω 的铂电阻, 若导线电阻为 1Ω , 将会产生 5°C 的测量误差, 故需要设计一些特殊的测量电路。

1. 三线式电桥连接法

三线式电桥连接法如图 6-19 所示。热电阻 R_t 作为一个臂接入测量电桥, r_1 、 r_2 、 r_3 为

引线电阻， R_1 、 R_2 为两个桥臂电阻，且使 $R_1 = R_2$ ， R_3 为用来调整电桥平衡的精密电阻。

因为电压表 M 的内阻很大，故流过 r_3 的电流很小， r_3 上的压降可不计，因此电压表 M 的读数可认为等于电桥的不平衡输出。若使 $r_1 = r_2$ ，测量前，先通过调 R_3 使电桥输出为零，即电桥平衡，或 $U_A = U_B$ ，则 $R_3 = R_t$ 。这样，桥臂的引线电阻 r_1 和 r_2 相当于分别串入了 R_1 和 R_2 中。工作时，电桥的不平衡电压输出只与 R_t 的变化量成正比，引线电阻对该电压没有影响。

2. 四线式电阻测量电路

为了提高测量精度，可以将电阻测量电路设计成四线式，如图 6-20 所示。图中 R_t 为热电阻， r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 是导线电阻。因为电压表的内阻很大，则 $I_V \ll I_M$ ， $I_V \approx 0$ 。

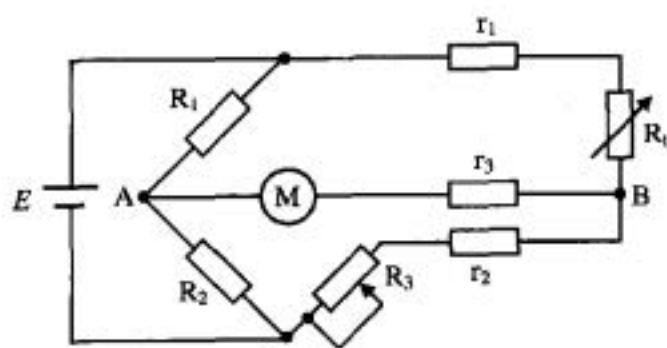


图 6-19 三线接法

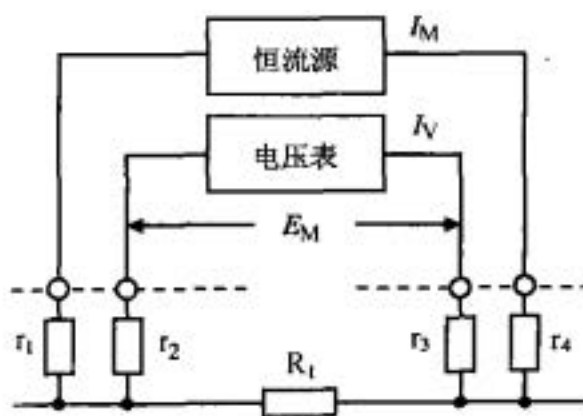


图 6-20 四线式测量电路

因为电压表测得的电压为热电阻 R_t 和引线电阻 r_2 、 r_3 上压降的和，即

$$E_M = E + I_V(r_2 + r_3)$$

式中： E 为热电阻 R_t 上的压降。所以

$$R_t = \frac{E}{I} = \frac{E_M - I_V(r_2 + r_3)}{I_M - I_V} \approx \frac{E_M}{I_M}$$

由上式可知，在四线式测量电路中，引线电阻 $r_1 \sim r_4$ 不会引起测量误差，即电压表的值 E_M 可以认为是热电阻 R_t 上的压降，据此可计算出微小温度变化。