

热敏电阻测温电桥的 一种线性化方法*

杜金林 潘乃先

(北京大学地球物理系)

热敏电阻因温度系数大,尺寸小和价格低而得到广泛的应用。但其电阻和温度呈非线性关系

$$R_T = R_{T_0} e^{\frac{B}{T} - \frac{B}{T_0}} \quad (1)$$

式中 T 和 T_0 为绝对温度, R_{T_0} 为参考温度 T_0 时的热敏电阻阻值。这给测量工作带来不便和限制。

不少作者研究过热敏电阻温度计的线性化问题。Beakley^[1] 分析了负温度系数热敏电阻作为惠斯顿电桥一臂的测量电路(图 1),他把流过电桥检流计的电流展开成无穷级数并令二阶导数为零来确定电桥中各臂的数值。Mclean^[2] 放宽了 Beakley 所给的设计条件,达到了在 25—45°C 的范围内 0.1°C 的测温精度。

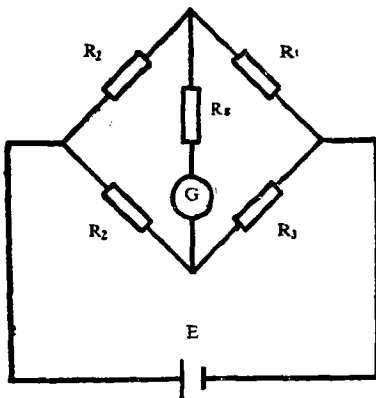


图 1 热敏电阻测温不平衡电桥

Bowman^[3] 令 $R_1 = R_2$, 对这类电桥作了具有普遍性的线性化分析。他分别考虑了 R_3 为有限值、零和无穷大三种情形桥路输出线性化所必须满足的条件,并给出了该类电桥对线性的偏离为

$$e(T) = -\frac{B^2(T-T_0)^2}{12T_0^3} \quad (2)$$

式中 T_0 为测温范围中点的温度, T 为最高或最低温度。作者用(2)式计算了 $B=3898 \text{ K}$, $T_0=50^\circ\text{C}$, 测温范围约 20°C 的桥路非线性偏差。结果是最大偏差约 0.1°C。

Bowman 虽然给出了关于测温电桥线性化的普遍分析,但是他把检流计的内阻 R_5 当作独立变量去处理,即先由与线性化无关的因素确定 R_5 , 然后再来计算 $R_1 (=R_2)$ 。这样,其结果虽有改进,在不宽的温度范围线性化尚好但不尽使人满意。

下面我们要讨论采用三点吻合法的不平衡电桥。这种电桥输出的非线性偏差较小。

1. 原 理

设测温范围两端温度为 T_{m1} 和 T_{m2} , 中点温度 $T_0 = 1/2(T_{m1} + T_{m2})$ 。对应的电阻值分别为 R_{m2} , R_{m1} 和 R_0 。若令图 1 中的 $R_1 = R_2 \ll R_{m1}$, $R_3 = R_{m2}$, R_4 为因变量,则由条件 $R_1 = R_2 \ll R_{m1}$ 可把 R_1 和 R_2 上的电压降近似为内阻很小、电动势均为 $1/2 E$ 的两个电源。按等效发电机原理通过 R_4 的电流方程应为

$$I = E \left(\frac{R_4}{R_1 + R_4} - \frac{1}{2} \right) / \left(\frac{R_1 R_4}{R_1 + R_4} + R_4 \right) \quad (3)$$

采用三点吻合使不平衡电桥的输出当 $T = T_{m1}$ 时, $I = 0$; $T = T_0$ 时, $I = 0.5 I_{m2}$; $T = T_{m2}$ 时, $I = I_{m2}$ 。

* 本文于 1985 年 5 月 21 日收到, 1986 年 3 月 3 日收到修改稿。

因此可列出方程

$$O = E \left(\frac{R_1}{R_1 + R_{max}} - \frac{1}{2} \right) / \left(\frac{R_{max} R_1}{R_{max} + R_1} + R_s \right) \quad (4)$$

$$I_{max} = E \left(\frac{R_1}{R_{min} + R_1} - \frac{1}{2} \right) / \left(\frac{R_{min} R_1}{R_{min} + R_1} + R_s \right) \quad (5)$$

$$0.5 I_{max} = E \left(\frac{R_1}{R_0 + R_1} - \frac{1}{2} \right) / \left(\frac{R_0 R_1}{R_0 + R_1} + R_s \right) \quad (6)$$

由(4-6)式解得

$$R_1 = R_{max} \quad (7)$$

$$R_s = \frac{R_{min} R_{max}^2 - 0.5 R_{max} R_{min} R_0 - 0.5 R_0 R_{max}^2}{0.5 R_0 R_{min} + 1.5 R_{max} R_0 - 1.5 R_{max} R_{min} - 0.5 R_{max}^2} \quad (8)$$

因此若通过串联或并联电阻使检流计(或数字电压表)的等效内阻 R_s 满足(8)式条件再按(7)式选定 R_1 , 不平衡电桥的电流输出就线性化了。

若令图 1 中的 $R_s = \infty$, 则电桥输出电压为

$$V = E \left(\frac{R_1}{R_1 + R_1} - \frac{R_2}{R_2 + R_s} \right) \quad (9)$$

同样, 令 $T = T_{min}$ 时 $V = 0$, $T = T_{max}$ 时 $V = V_{max}$, $T = T_0$ 时 $V = 0.5 V_{max}$. 得如下三个方程

$$0 = E \left(\frac{R_1}{R_1 + R_{max}} - \frac{R_2}{R_2 + R_1} \right) \quad (10)$$

$$V_{max} = E \left(\frac{R_1}{R_1 + R_{min}} - \frac{R_2}{R_2 + R_1} \right) \quad (11)$$

$$0.5 V_{max} = E \left(\frac{R_1}{R_1 + R_0} - \frac{R_2}{R_2 + R_1} \right) \quad (12)$$

解得

$$R_1 = \frac{R_0(R_{max} + R_{min}) - 2 R_{max} R_{min}}{R_{max} + R_{min} - 2 R_0} \quad (13)$$

$$\frac{R_2}{R_s} = \frac{R_1}{R_{max}} \quad (14)$$

(13), (14)式是电压不平衡电桥输出线性化应满足的条件。为简单起见可取 $R_2 = R_1$ 和 $R_s = R_{max}$ 。显然, 对于(4-6)式和(10-12)式只要选取适当的 E 值就可使电桥的输出符合直读的要求。

2. 电桥输出的非线性误差

用三点吻合法的线性化电桥输出的非线性误差和 Bowman 的方法一样也与热敏电阻的 B 值以及测温范围有关。将(7)、(8)式代入(3)式可以计算出 R_s 为有限值时不平衡电桥的最大非线性误差。同

表 1 不同热敏电阻测温电桥的最大非线性偏差

测温范围	线性化模式	(2) 式	(3) 式	(9) 式
0—20°C		0.05°C	0.02°C	0.02°C
0—30°C		0.16°C	0.06°C	0.06°C
0—40°C		0.36°C	0.14°C	0.14°C
0—50°C		0.66°C	0.26°C	0.26°C
0—60°C		1.07°C	0.43°C	0.43°C
0—100°C		3.83°C	1.58°C	1.58°C

样,将(13)、(14)式代入(9)式可计算出 R_B 为无穷大时的最大非线性误差。下面给出 $B=2000$ 时按(2)、

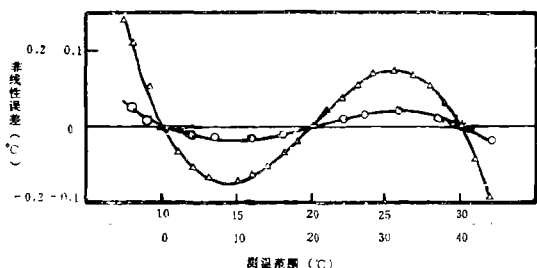


图 2 不平衡电桥非线性误差的实测值和计算值的对比

(实线为计算结果, O 对应内侧坐标, Δ 对应外侧坐标)

事实上在输出非线性误差不大于表 1 所列数值条件下实际测温范围可以扩大一些, 根据计算每端可以向外延伸设计测温范围的大约百分之 6。

(3)、(9)式计算的结果。对于(3)和(9)式我们将电流或电压的最大偏差折算为 R_t 的偏差并按(1)式最终折算成温度误差以和(2)式的结果相一致。

为与计算结果比较, 选取一棒状热敏电阻按其实际 B 值确定在比较温度下的阻值, 然后将标准电阻箱调整在对应温度的热敏电阻阻值上接入按上节原理设计的桥路中。其实测结果见图 2。在这一实验中我们已将 B 作适当调整从而使数字电压表的示值直接为温度值。

3. 结 语

对比表明热敏电阻测温不平衡电桥用三点吻合法线性化后其输出的非线性误差较小。当然, 在使用中通过热敏电阻的电流应足够小, 以不产生自热误差。这点是前面暗含的假定。对于确定的测温范围, 选择 B 值较小的热敏电阻可以减小桥路输出的非线性误差。本文所述之不平衡电桥设计方法简单, 在测温范围不大时具有良好的精度, 因此将电桥与数字电压表头结合起来很容易制成结构简单、成本低的直读式数字温度表。能满足实验室、工厂某种场合下对室温、液体温度的测量或监控要求。即使在微处理器大量使用的今天, 测量中非线性或系统性误差的订正已不再繁难, 但鉴于上述电桥之特性在一定场合下使用仍有其优越之处。除了直读式热敏电阻温度表外, 把电阻变化转化为线性的信号频率变化可用于遥测电路。文[4]就是这种方法用于低空探空仪测温电路的一例。不言而喻, 图 2 给出的桥路输出的非线性误差并不就是由此法构成的直读式热敏电阻温度表的测量误差。对于后者还要考虑热敏电阻本身按指数变化规律来拟合的拟合误差。因此在设计测温仪表或线路时要选择稳定性好的拟合误差小的热敏电阻, 同时要用精度高的温度检定设备来检定热敏电阻。这是实际应用中需要考虑的。

参 考 文 献

- [1] Beakley, W. R., The design of thermistor thermometers [with linear calibration], *J. Scient. Instrum.*, 28, 176, 1951.
- [2] Mclean, J. A., A method for constructing direct-reading thermistor thermometers, *J. Scient. Instrum.*, 31, 455 1954.
- [3] Bowman, M. J., On the linearity of a thermistor thermometer, *The Radio and Electronic Engineer*, 39, 4, 209 1970.
- [4] 杜金林、张鹤琛等, 低空探空仪, 大气探测文集, 124, 气象出版社, 1983 年。

A METHOD OF LINEARIZING THE THERMISTOR THERMOMETER

Du Jinlin Pan Naixian

(*Department of Geophysics, Peking University*)

Abstract

A thermistor thermometer is constructed by mounting a thermistor in one arm of a d. c. Wheatstone bridge. For linearizing the off-balanced thermistor bridge and approaching a low nonlinear error the output of the bridge at two ends and middle point of the temperature range is assumed to be linear and then the design parameters of bridge are derived. Calibration shows that the nonlinear errors of bridge's output are small, for example, the errors are smaller than 0.02°C over a twenty-degree range. This method can be used to design a direct-reading thermistor thermometer or a linear thermistor temperature-frequency transducer.

全国局地气候会议在皖召开

由中国气象学会、中国地理学会、南京大学主办的“全国局地气候学术会议”于九月十一日在安徽省绩溪县召开。此会为第二次全国性局地气候会议。与会者达 130 余人。气象学家傅抱璞先生为大会致开幕词并主持了会议。

会议共提交有关山地气候和水域气候的论文 181 篇,以报告与讨论相结合的形式交流论文 90 余篇,其中青年作者明显增多,表明气候研究后继有人。这些论文有如下几个特点:

1. 涉及地区范围广;从南到北、从丘陵到高山、从小水域到大水域,所取得资料大都经过野外实地参察,可信度较大,为全国大范围气候的研究奠定了基础。

2. 研究方向已注意到理论与实践相结合。山地气候的论文在内容和深度上,比以往都有所提高,这些研究将有利于山地的开发与建设。水域气候的研究目前在某些地区已运用到具体实践当中,并取得一定经济效益。

3. 研究的理论及手段有所渗透和发展,如将耗散结构理论运用于研究中,反映了学科间的相互渗透。

4. 研究的领域有所扩展,如关于山区辐射、树木年轮的研究等。