



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 484—2007

直流测温电桥

D.C. Bridges for Measuring Temperature

2007-08-02 发布

2008-02-02 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

直流测温电桥检定规程

Verification Regulation of D.C. Bridges
for Measuring Temperature

JJG 484—2007
代替 JJG 484—1987

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2007 年 8 月 2 日批准，并自 2008 年 2 月 2 日起施行。

归口单位：全国电磁计量技术委员会

起草单位：河南省计量科学研究院

本规程委托全国电磁计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

刘文芳（河南省计量科学研究院）

陈传岭（河南省计量科学研究院）

参加起草人：

赵 军（河南省计量科学研究院）

王 卓（河南省计量科学研究院）

杨明镜（河南省计量科学研究院）

目 录

1 范围·····	(1)
2 引用文献·····	(1)
3 概述·····	(1)
4 计量性能要求·····	(3)
5 通用技术要求·····	(4)
5.1 外观及标志·····	(4)
5.2 绝缘电阻·····	(4)
5.3 介电强度试验·····	(4)
5.4 测温电桥的环境要求·····	(4)
6 计量器具控制·····	(5)
6.1 检定条件·····	(5)
6.2 直流测温电桥的检定项目·····	(6)
6.3 检定方法·····	(6)
6.4 检定结果的处理·····	(12)
6.5 检定周期·····	(12)
附录 A 元件法检定测温电桥的方法·····	(13)
附录 B 用整体比较法检定测温电桥的另一种方法·····	(17)
附录 C 直流测温电桥检定证书内页格式·····	(20)



图1 直流电桥的电路原理图

直流测温电桥检定规程

1 范围

本规程适用于 0.01 级~0.05 级直流电阻型(史密斯)测温电桥(以下简称测温电桥)的首次检定、后续检定和使用中检验。

本规程不适用于数字测温电桥、直流比较仪测温电桥及其他特殊用途的测温电桥的检定。

2 引用文献

本规程引用下列文献：

JJF 1059—1999 《测量不确定度评定与表示》

GB 4793.1—1995 《测量、控制和实验室用电气设备的安全要求》

使用本规程时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 概述

测温电桥是配上标准铂电阻温度计精密测量温度的仪器。它直接测量标准铂电阻温度计的电阻值，经过换算得到精确的温度数值，从而达到测量温度的目的。测温电桥的工作原理线路图如图 1 所示。它是一种特殊结构的双臂电桥，指零仪的接点和电源的接点互换了位置，提高了线路的灵敏度；有意识地在 a 臂上增加了一个 R 值，在 b 臂上减少了一个 R 值，使计算公式大大简化。

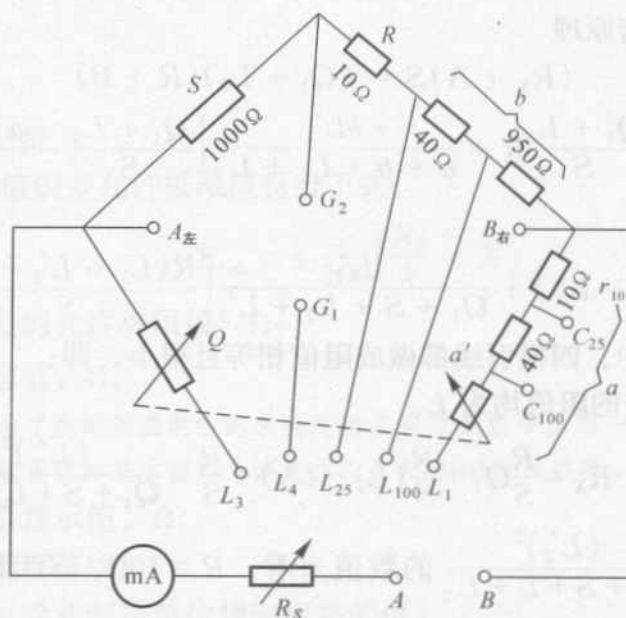


图 1 测温电桥的工作原理线路图

公式推导如下:

×1 量程时: 测量端 L_1 、 L_{25} 、 L_3 和 L_4 、 C_{25} 与 C_{100} 短接, $R = 10\Omega$, $S = 1000\Omega$,
 $a = a' + 10\Omega$, $b = 950\Omega + 40\Omega = 990\Omega$;

×5 量程时: 测量端 L_1 、 L_{100} 、 L_3 和 L_4 , $R = 10\Omega + 40\Omega = 50\Omega$, $S = 1000\Omega$, $a = a' + 50\Omega$, $b = 950\Omega$ 。

在 $\times 1$ 量程或 $\times 5$ 量程时,都应满足下列条件:

$$\begin{cases} a = Q + R \\ b = S - R \end{cases}$$

下面以×1量程为例化简，求测温电桥的平衡方程式。

从图 2 中得到

$$A = \frac{(a + L_1)L'_2}{a + b + L_1 + L'_2}$$

$$B = \frac{aL'_2}{a + b + L_1 + L'_2}$$

其中: $L'_2 = L_2 + L_{25}$

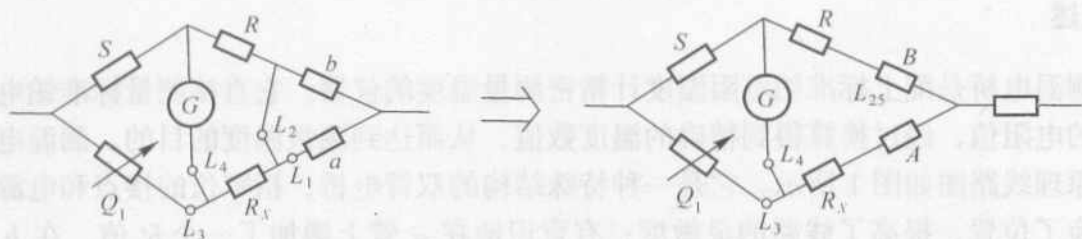


图2 被测电阻 R_x 的接线图

根据单电桥的平衡原理

$$R_x = \frac{Q_1 + L_3}{S} R + \frac{bL'_2}{a + b + L_1 + L'_2} \left[\frac{Q_1 + L_3}{S} - \frac{a + L_1}{b} \right]$$

经化简得:

$$R_x = \frac{R}{S}Q_1 + \frac{R}{S}(L_3 - L'_2) + \frac{L'_2}{Q_1 + S + L_1 + L'_2} \left[\frac{R(L_1 + L'_2 - L_3)}{S} + (L_3 - L_1) \right]$$

一般在实际使用中，四根引线都做成阻值相等且很小，即：

L_1, L_2, L_3, L_4 的阻值均为 L 。

所以
$$R_x = \frac{R}{S}Q_1 + \frac{R}{S}(L_3 - L'_2) + \frac{R}{S} \times \frac{(L'_2)^2}{Q_1 + S + L + L'}$$

从第三项 $\frac{R}{S} \times \frac{(L'_2)^2}{Q_1 + S + L + L'_2}$ 的数值来看, $R = 10\Omega$, $S = 1000\Omega$, $Q = (1000 \sim 10000)\Omega$, 其数值约为 $1 \times 10^{-6} \sim 10^{-7}$ 的数量级, 可忽略。

至于第二项 $\frac{R}{S}(L_3 - L'_2)$ ，虽然四根引线做成阻值相等，但由于铜导线总有些偏差，

对测量结果带来一定的影响。因此,在测量时采用铂电阻温度计引线交换来消除之。

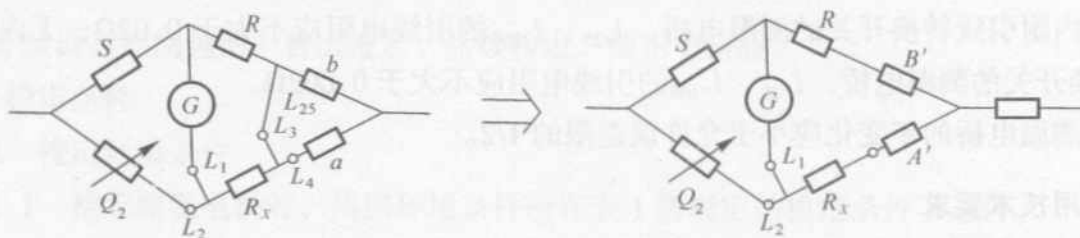


图3 引线交换后的接线图

$$A' = \frac{(a + L_4)L'_3}{a + b + L_4 + L'_3}$$

$$B' = \frac{bL'_3}{a + b + L_4 + L'_3}$$

其中: $L'_3 = L_3 + L_{25}$

同理

$$R_X = \frac{R}{S}Q_2 + \frac{R}{S}(L_2 - L'_3)$$

最后可得

$$R_X = \frac{R}{S}\left(\frac{Q_1 + Q_2}{2}\right) + \frac{1}{2} \times \frac{R}{S}(L_3 - L'_2 + L_2 - L'_3)$$

即

$$R_X = \frac{R}{S}(\bar{Q} - L_{25}) \quad (1)$$

式中: $\bar{Q}$ ——铂电阻温度计引线交换时,测温电桥读数盘上获得二次读数的平均值;

L_{25} ——在 $\times 1$ 量程时,测温电桥内部的引线电阻值。

4 计量性能要求

4.1 示值误差

4.1.1 示值绝对误差

测温电桥的示值误差允许极限应符合下式:

$$E_{\lim} = \pm \frac{c}{100} \left(\frac{R_N}{k} + X \right) \quad (2)$$

式中: $E_{\lim}$ ——误差的允许极限值, Ω ;

R_N ——基准值, Ω ;

注: 基准值——为了规定测温电桥的准确度供各有效量程参比的一个单值。除非制造单位另有规定,一个给定的有效量程的基准值即为该量程内最大的10的整数幂。

X ——测量盘示值, Ω ;

c ——准确度等级;

k ——100(除非制造单位规定更高的值)。

4.1.2 示值相对误差

测温电桥的示值相对误差公式为:

$$\xi_{\text{lim}} = \pm \left(1 + \frac{R_N}{kX} \right) c \% \quad (3)$$

4.2 内附引线转换开关的测温电桥, L_{25} 、 L_{100} 的引线电阻应不大于 0.02Ω ; 无内附引线转换开关的测温电桥, L_{25} 、 L_{100} 的引线电阻应不大于 0.002Ω 。

4.3 测温电桥的年变化应小于允许误差限的 $1/2$ 。

5 通用技术要求

5.1 外观及标志

测温电桥的铭牌或外壳上应有产品名称、型号、出厂编号、生产厂名(或商标)、有效量程及试验电压、准确度等级等主要标志; 所有端钮应标出功能、极性; 测温电桥上应有封印位置。

5.2 绝缘电阻

5.2.1 在被检测温电桥总有效量程内, 当测温电桥平衡时, 测温电桥上的任意一个端钮(除非制造厂规定该端钮不允许接地)与外壳(外壳必须接地, 若测温电桥的外壳是绝缘材料, 则应将测温电桥放在金属板上, 金属板再接地)连接时, 由于绝缘不佳引起的泄漏误差应不大于被检测温电桥示值误差允许极限的 $1/20$ 。

5.2.2 测温电桥的线路和与线路无电气连接的任意导电部件之间的绝缘电阻值应不小于 $100\text{M}\Omega$ 。

5.3 介电强度试验

在规定的环境条件下, 所有连接在一起的测量线路与测试用的参考接地之间, 应能承受频率为 $(45\sim 65)\text{Hz}$ 、电压为 500V (带有控温装置的测温电桥, 电源端与参考接地之间的试验电压应为 1500V)的实际正弦交流电压历时 1min 的试验, 无击穿与飞弧现象。

工频耐压试验中的参考接地端, 应包括所有与线路无电气连接的外露导电部件; 若测温电桥绝缘外壳上没有导电部件, 则用一覆盖整个被检测温电桥的金属箔片(金属箔与接线端钮之间应留有 20mm 间隙), 作为参考接地端。

5.4 测温电桥的环境要求

测温电桥的准确度等级、检定条件和使用条件见表 1。

表 1 测温电桥的检定条件和使用条件

准确度等级 (c)	检定条件		使用条件	
	温度/℃	相对湿度/(%RH)	温度/℃	相对湿度/(%RH)
0.01	20±0.5	40~60	20±5	25~75
0.02				
0.05				
当测温电桥由检定条件变化到使用条件, 由温度引起的允许变差为 1.0c%; 由湿度引起的允许变差为 0.2c%。				
注: 允许变差——当测温电桥由检定条件变化到使用条件, 其上限或下限所引起的变量以准确度等级的百分数表示。				

6 计量器具控制

计量器具控制包括：首次检定、后续检定、使用中检验。

6.1 检定条件

6.1.1 检定环境条件

6.1.1.1 检定测温电桥时，周围环境条件应在表 1 所规定的检定条件下进行。

6.1.1.2 对带有自动控温装置的测温电桥，其温度的控制应按制造厂的规定进行。

6.1.1.3 测温电桥的绝缘电阻检定和介电强度试验应在下列环境条件下进行：

温度：(15~35)℃；

相对湿度：(45~75)%RH；

6.1.2 检定装置

6.1.2.1 检定测温电桥时，由标准器、检定辅助设备及环境条件等所引起的测量扩展不确定度应不超过测温电桥示值误差允许极限的 1/5。

6.1.2.2 整体比较法检定测温电桥时，通常采用直流比较仪式电位差计或标准电阻箱作为标准器。使用的标准电阻箱其稳定度小于 1×10^{-5} 、最小步进值小于 0.01Ω ；用作定度的标准电阻其标称值为 100Ω 、年稳定度小于 6×10^{-6} 。

6.1.2.3 元件法检定测温电桥时，桥臂电阻的允许误差限、测量误差、标准电阻的年稳定度见表 2。

6.1.2.4 按元件检定时，测量仪器的误差应不超过被检测温电桥的电阻元件允许误差限的 1/15。

表 2 元件法检定测温电桥时，桥臂电阻的允许误差限、测量误差、标准电阻的年稳定度

准确度等级	准确度等级	量程变换器	测 量 盘 Q						
	0.01	R 或 S	I	II	III	IV	V	VI	VII
0.01	允许误差限	2.5×10^{-5}	5×10^{-5}	5×10^{-5}	2×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	3×10^{-1}
	测量误差	5×10^{-6}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	4×10^{-5}	2×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	3×10^{-2}
	标准电阻年稳定度	3×10^{-6}	6×10^{-6}	6×10^{-6}	2×10^{-5}	—	—	—	—
0.02	允许误差限	5×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	5×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	—
	测量误差	1×10^{-5}	2×10^{-5}	2×10^{-5}	1×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	—
	标准电阻年稳定度	6×10^{-6}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	5×10^{-5}	—	—	—	—

表 2 (续)

准 确 度 等 级	准确度等级	量程变换器	测 量 盘 Q						
	0.01	R 或 S	I	II	III	IV	V	VI	VII
	允许误差限	1.5×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	—	—
	测量误差	3×10^{-5}	4×10^{-5}	4×10^{-5}	2×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	—	—
0.01	标准电阻 年稳定度	2×10^{-5}	2×10^{-5}	2×10^{-5}	—	—	—	—	—
注：(a) 对于表 2 中“允许误差限”大于或等于 0.1% 的测量盘电阻，可用 0.02 级的直流电桥直接测量； (b) 表 2 中规定的“允许误差限”是按元件检定时，推荐的对各电阻元件的误差分配方法，允许采用其他的误差分配方法。									

6.1.2.5 检定装置中，指零仪灵敏度不够引起的误差应不超过电阻元件允许误差限的 1/15。

6.1.2.6 检定装置中的开关热电势变差、接触电阻变差及绝缘不佳等原因所引起的误差，分别应不超过电阻元件允许误差限的 1/20。

6.1.3 绝缘电阻测量仪的直流电压为 $(500 \pm 50) \text{V}$ 。

6.1.4 对介电强度试验的高压试验台的要求。

电源频率为 $(45 \sim 65) \text{Hz}$ ；有足够的输出功率；试验电压误差小于 5%；输出电压应能连续调节。绝缘击穿时继电器动作电流为 5mA(指高压侧的输出电流)。

6.1.5 检定时，流过标准器和被检测温电桥各桥臂的电流均不应超过规定值。

6.2 直流测温电桥的检定项目

参见表 3。

表 3 检定项目表

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检验
外观及线路检查	+	+	+
绝缘电阻	+	+	+
介电强度试验	+	-*	-
示值误差	+	+	+
注：“+”表示检定，“-”表示可以不检定，“-*”表示修理后需检定。			

6.3 检定方法

被检测温电桥应在第 5.4 条规定的环境条件下稳定 24h 后，才能开始检定。

6.3.1 外观及线路检查

6.3.1.1 用目测的方法检查测温电桥的外观、铭牌等,应符合第 5.1 条规定。

6.3.1.2 测温电桥的外露部件、开关、电刷的接触状况均应良好。

6.3.1.3 用电阻表或万用表检查测温电桥的内部线路,如发现短路、断路等情况,应修复后再进行检定。

6.3.2 绝缘电阻的检定

6.3.2.1 整体绝缘性能试验

如图 4,将被检测温电桥的“接地端”接地,测量端接总有效量程中测量上限的电阻值。接通电源,调节测量盘使测温电桥平衡,指零仪灵敏度应不低于每格 $10cR_X$,然后将接地端的另一引出线分别接到被检测温电桥的各接线端钮,观察指零仪的偏转。折算成误差。凡符合第 5.3 条要求的,则认为该测温电桥绝缘电阻整体性能试验合格。试验时必须消除被测电阻、电源、指零仪对地绝缘不好带来的影响。

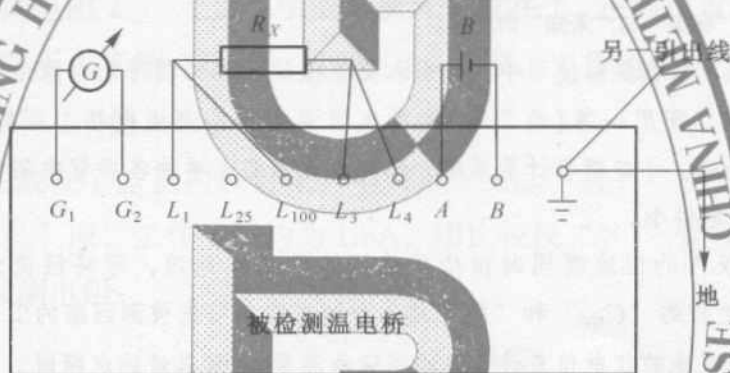


图4 整体绝缘性能试验接线图

6.3.2.2 绝缘电阻的测量

将测温电桥的各端钮用裸铜线连接后接到绝缘电阻测量仪的一端,而将与线路无电气连接的导电部件接到绝缘电阻测量仪的另一端,测量其绝缘电阻值。绝缘电阻测量仪的读数应在施加电压后 $(1 \sim 2) \text{min}$ 之内读数。

6.3.3 介电强度试验

按 6.1.4 的要求选取耐压试验仪。将测温电桥的各端钮用裸铜线连接后接到高压试验台的一端,而将测试用的参考接地端接到高压试验台的另一端。试验电压平稳上升至第 5.3 条规定的试验电压,历时 1min 后应无击穿或无飞弧现象。(带有控温装置的测温电桥,还应在电源端与参考接地之间施加 1500V 试验电压,历时 1min 后应无击穿或无飞弧现象。)然后将电压平稳地降至零。

完成绝缘电阻和介电强度试验后,将被检测温电桥再放在表 1 所规定的检定条件下,至少稳定 2h,再进行示值误差的检定。

6.3.4 示值误差的检定

6.3.4.1 直流比较仪式电位差计检定直流测温电桥示值误差的接线方法如图 5。

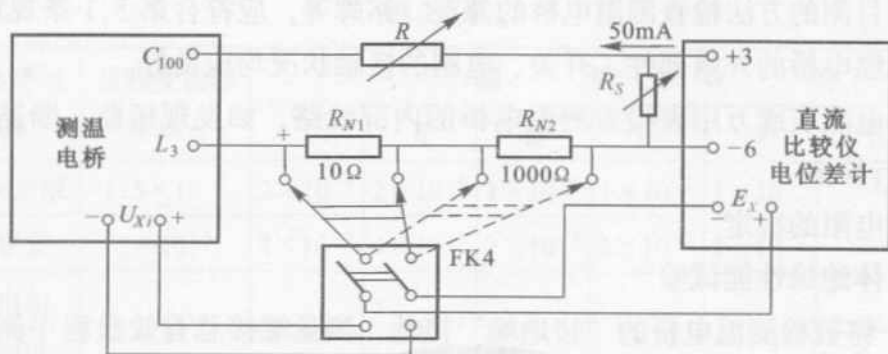


图5 直流比较仪式电位差计检定直流测温电桥示值误差的接线图

R_{N1} 、 R_{N2} ——一等标准电阻； R ——标准电阻箱，测量 Q 、 a' 臂时作替代用； R_S ——标准电阻箱，作为分流电阻。当被测回路的工作电流为 1mA 时，取 $R_S = 200\Omega$ ；当被测回路的工作电流为 0.1mA 时，取 $R_S = 60\Omega$ ； U_X ——被测各桥臂电阻的电位端，参见图1； C_{100} 、 L_3 ——测量图1中各桥臂电阻 r_{50} 、 r_{10} 、 R_{10} 、 R_{50} 、 S 、 Q 的电流端；FK4——低热电势油浸开关，作为“标准”与“未知”的转换。

注：a. 由于测温电桥在实际使用中，需引入更正值后计算所测得的电阻值。根据标准铂电阻温度计检定规程的要求，配用一等（或二等）标准电阻温度计的测温电桥，只有其相对误差不超过 2×10^{-5} （或 5×10^{-5} ）时，才能精密计量温度，为此对该测温电桥的各桥臂电阻的检定总不确定度要比同等级的一般直流电桥小。

b. 可利用比较仪内的恒流源同时供给被检回路的工作电流，即将恒流源的输出端“+3”、“-6”分别接到测温电桥的“ C_{100} ”和“ L_3 ”端。分流电阻值可依被测回路的工作电流大小而定。

c. 由于采用了直流比较仪电位差计作标准器，故测量 Q 臂各盘的电阻时，无需都与同标称值的标准电阻相比较。

d. 用电位差计测量电阻的方法，要求被测回路的工作电流保持不变，而测量 Q 臂时，被测回路的总电阻随 Q 臂变化而变化，为保持被测回路总电阻不变，图5中用电阻箱 R 进行补偿，即每当 Q 臂电阻增加 1000Ω 时，电阻箱 R 的值就减少 1000Ω 。

6.3.4.1.1 测 R_{10} 、 r_{10} ：用标称值为 10Ω 的一等标准电阻作标准，电流由“ C_{100} ”进，“ L_3 ”出； R_{10} 的电压由正端“ $L_2^{\text{左}}$ ”、负端“ $G_2^{\text{左}}$ ”取； r_{10} 的电压由正端“ $C_{25}^{\text{右}}$ ”、负端“ $B^{\text{右}}$ ”取；流过被测回路的工作电流约为 1mA （ $R_S = 200\Omega$ ， R 约为 6740Ω ），用比较仪“ $\times 0.1$ ”量程测量，其第Ⅰ测量盘置“1”。

6.3.4.1.2 测 R_{50} 、 r_{50} ：电流端不变， R_{50} 的电压由正端“ $L_{100}^{\text{左}}$ ”、负端“ $G_2^{\text{左}}$ ”取； r_{50} 的电压由正端“ $C_{100}^{\text{右}}$ ”、负端“ $B^{\text{右}}$ ”取；用比较仪“ $\times 0.1$ ”量程测量，第Ⅰ测量盘置“5”。

6.3.4.1.3 测 S 、 $b + R_{10}$ ：电流端不变， S 的电压由正端“ $G_2^{\text{左}}$ ”、负端“ $A^{\text{左}}$ ”取； $b + R_{10}$ 的电压由正端“ $B^{\text{右}}$ ”、负端“ $G_2^{\text{左}}$ ”取；用标称值为 1000Ω 的一等标准电阻作标准，用比较仪“ $\times 1$ ”量程测量，其第Ⅰ测量盘置“10”。

6.3.4.1.4 测 Q ：先测第Ⅱ盘，电流端不变，电压由正端“ $A^{\text{左}}$ ”、负端“ L_3 ”取；以 S 为参考标准，用比较仪“ $\times 1$ ”量程测量，先测量 Q 的起始电阻，然后再测量 Q 第

Ⅱ盘各点的电阻值(注意 Q 变化时,要用电阻箱 R 进行补偿)。将测得的各点电阻读数减去起始电阻值,得到第Ⅱ盘各点的电阻值。

用同样的方法测量第Ⅲ~Ⅵ盘各点的电阻值。

再测量第Ⅰ盘,此时流过被测回路的工作电流约为 0.1mA ($R_s = 60\Omega$, R 约为 26740Ω),用同样方法测量第Ⅰ盘各点的电阻值。

注:在测量 Q 第Ⅰ、Ⅱ盘时,隔几点复校一次 S ,为消除由电阻箱 R 未能完全补偿引起的电流变化而产生误差。测量第Ⅲ、Ⅳ盘时,不必多次复校 S ,因不完全补偿引起的电流变化较小,而对其测量准确度的要求也依次降低了一个数量级。测量第Ⅴ、Ⅵ盘时,可不用电阻箱 R 作补偿,因被测回路总阻值为 $10\text{k}\Omega$,而改变第Ⅴ、Ⅵ盘时对总阻的影响不到 1×10^{-5} ,故可忽略。

6.3.4.1.5 测 a' : 电流从“ L_1 ”进、“ $A^{\text{左}}$ ”出,电压由正端“ L_1 ”、负端“ $C_{100}^{\text{右}}$ ”取,测量方法与测 Q 相同。

6.3.4.1.6 测引线电阻 L_{25} 、 L_{100} : 引线转换开关放在 L_{25} 正向位置上,电流从“ L_{25} ”进、“ $A^{\text{左}}$ ”出,电压由正端“ L_{25} ”、负端“ $L_{25}^{\text{左}}$ ”取,工作电流约为 1mA ,用比较仪“ $\times 1$ ”量程直接测得 L_{25} 值。

引线转换开关放在 L_{100} 正向位置上,电流从“ L_{100} ”进、“ $A^{\text{左}}$ ”出,电压由正端“ L_{100} ”、负端“ $L_{100}^{\text{左}}$ ”取,工作电流约为 1mA ,用比较仪“ $\times 1$ ”量程直接测得 L_{100} 值。

由下式得出被测电阻:

$$\times 1 \text{ 量程: } R_x = \frac{R_{10}}{S}(\bar{Q} - L_{25})$$

$$\times 5 \text{ 量程: } R_x = \frac{R_{50}}{S}(\bar{Q} - L_{100})$$

式中 $\bar{Q} = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$, 即交换被测电阻引线二次测量的平均值。

桥臂 b 、 r_{10} 、 r_{50} 、 a' 周期检定一般不检,只有在出厂时,修理后或验证时,发现被测电阻的实际值与在测温电桥上的读数之差大于该测温电桥的准确度等级时,才需检定。

6.3.4.2 检定有控温设备的测温电桥的示值误差,若不能按 6.3.4.1 条介绍的方法进行时,可借助于直流标准电阻箱按四端钮接到被检测温电桥的测量端,与该测温电桥的各个读数盘进行传递比较,然后用标称值为 100Ω 、年稳定性小于 6×10^{-6} 的一等标准电阻定度,通过公式计算后再确定测温电桥的示值误差。

1) 当测温电桥的引线转换开关放在 L_{25} 的正向位置,将两台标准电阻箱(如 ZX54 型)并联后按四端钮分别接到 L_1 、 L_{25} 、 L_3 和 L_4 。对电阻箱的要求:稳定性好、量程大致与测温电桥的量程相一致,最小步进值应小于该测温电桥的最小步进值。

2) 为保证与实际使用情况一致,测量时要求流过被测电阻的电流约为 1mA 。在不同测量范围内,通入测温电桥的总电流如表 4。指零仪灵敏度应不低于 $5 \text{ 格}/10^{-4}\Omega$ 。

表 4 不同测量范围通入测温电桥的总电流和电源电压

R_X/Ω		总电流/mA	电源电压/V
$\times 1$ 量程	$\times 5$ 量程		
10	50	2	3
20	100	3	6
30	150	4	9
40	200	5	12
50	250	6	12
60	300	7	15
70	350	8	18
80	400	9	21
90	450	10	21
100	500	11	24
110	550	12	24

3) 利用标准电阻箱的并联电阻与测温电桥各个读数盘的电阻进行传递比较的具体方法见附录 B。

4) 其他量程的检定

选用两台标准电阻箱(如 ZX54 型, 要求各个进盘的线性度要好, 稳定度小于 1×10^{-5})。并联后分别接至 L_1 、 L_{25} 、 L_3 和 L_4 端。要求连接导线的电阻小于 0.005Ω 。在全检量程上选取被检测温电桥第 I 读数盘 50% 以上的三个点, 分别调节并联电阻箱的阻值至平衡, 得到 R'_1 、 R'_2 、 R'_3 ; 然后将被检测温电桥的引线转换开关放在 L_{100} 的正向位置, 将并联电阻箱接至 L_1 、 L_{100} 、 L_3 和 L_4 端, 在上述所选的三个点上重新调节并联电阻箱至平衡, 得到 R'_1 、 R'_2 、 R'_3 , 最后按下列公式计算量程系数比 M :

$$M = \frac{1}{R_1} \left(\frac{R'_1}{R_1} + \frac{R'_2}{R_2} + \frac{R'_3}{R_3} \right)$$

要求三个比值 $\frac{R'_1}{R_1}$ 、 $\frac{R'_2}{R_2}$ 、 $\frac{R'_3}{R_3}$ 相互之间的差值不超过 $c/3\%$ 。

6.3.4.3 元件法检定测温电桥的方法参照附录 A。

6.3.4.4 验证

做完以上检定后, 尚需验证测温电桥各桥臂电阻的测量准确度、 $a = Q + R$ 、 $b = S - R$ 的条件是否满足设计要求及测量盘 Q 与 a' 是否同步。其方法如下:

用被检测温电桥测量具有年稳定度小于 6×10^{-6} 的标准电阻。在 $\times 1$ 量程上分别测量标称值为 10Ω 和 100Ω 的标准电阻; 在 $\times 5$ 量程上仅测量 100Ω 的标准电阻。在被检

测温电桥上获得读数，然后将经过数据修约后的检定结果代入，得到经过修正的读数
值，它与标准电阻的实际值之差应符合表 5 规定，否则应检查原因。

表 5 标准电阻测得值与实际值之差应满足的要求

准确度等级(c)	标准电阻测得值与实际值之差
0.01	$\leq 2 \times 10^{-5}$
0.02	$\leq 5 \times 10^{-5}$
0.05	$\leq 1 \times 10^{-4}$

6.3.4.5 数据处理

1) 用直流比较仪式电位差计法检定的测温电桥，按公式 $R_x = \frac{R_{N2}}{S} \cdot \frac{U_Q}{U_{RN2}} R$ 计算，
得到各读数盘示值的累计值。其中：

- R_{N2} ——测量温度下 1000Ω 标准电阻的电阻值；
- S ——测温电桥量程变换器电阻的实际值；
- U_Q ——测温电桥测量盘两端的电压值；
- U_{RN2} ——1000Ω 标准电阻两端的电压值；
- R ——测温电桥量程变换器 10Ω 电阻的实际值。

用直流电阻箱法检定的测温电桥，按公式 $R_x = \frac{Q}{S} R$ 计算，得到各读数盘示值的累
计值。其中：

- R ——测温电桥量程变换器 10Ω 电阻的实际值；
- S ——测温电桥量程变换器电阻的实际值；
- Q ——测温电桥测量盘两端的电阻值。

2) 根据计算后所得到的数据，采用四舍五入及偶数法则修约，根据计算后所得到的
数据，采用四舍五入及偶数法则，按表 6 规定修约。判断测温电桥合格或不合格，一
律以修约后的数据为准。

表 6 测温电桥各读数盘测量值的数据修约要求

盘序数 修约 位数	量程系 数比 M	读 数 盘						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
准确度等级								
0.01	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	1×10^{-1}
0.02	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	—
0.05	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	—	—

6.4 检定结果的处理

6.4.1 按修约后的数据,将各读数盘示值的最大正误差(或最大负误差)相迭加,凡满足测温电桥示值误差允许极限公式要求的,示值误差即为合格,否则定为不合格。对多量程测温电桥,在全检量程中,各读数盘示值的最大正误差(或最大负误差)相迭加,再乘以量程系数比后,凡满足该量程的示值误差允许极限公式要求的,示值误差即为合格,否则为不合格。

6.4.2 被检测温电桥各项检定均符合本规程中相应项目的要求,则说明该测温电桥检定合格;否则为检定不合格。经检定合格的测温电桥,出具检定证书;不合格的出具检定结果通知书,并注明不合格的项目。

在检定证书或检定结果通知书上应注明检定时的温度、相对湿度;给出各读数盘示值的实际值或更正值、量程系数比的实际值或更正值、测量扩展不确定度。当引线

L_{25} 、 L_{100} 的阻值大于 0.002Ω 时,应给出 $\frac{R_{10}}{S}L_{25}$ 、 $\frac{R_{50}}{S}L_{100}$ 的值,以备需要时进行修正。

6.5 检定周期

6.5.1 对初次送检(包括缺少上一年检定证书的或刚修理过)的测温电桥检定合格的,出具检定证书,但不予定级。在检定证书上应注明:年稳定度未经考核,暂不定级。

6.5.2 经连续两年检定,示值误差合格的有下列两种情况:

6.5.2.1 年变化小于允许误差限的 $1/2$,出具检定证书,并定级。检定周期一般不超过1年。

6.5.2.2 年变化大于允许误差限的 $1/2$,出具检定结果通知书。

6.6 在验证中,对0.01级测温电桥,当标准电阻的测得值与实际值之差小于 2×10^{-5} 时,可在出具的检定证书上注明:该测温电桥引入更正值后的相对误差小于 2×10^{-5} ,可配用一等铂电阻温度计使用;对0.02级测温电桥,当标准电阻的测得值与实际值之差小于 5×10^{-5} 时,可在出具的检定证书上注明:该测温电桥引入更正值后的相对误差小于 5×10^{-5} ,可配用二等铂电阻温度计使用。

附录 A

元件法检定测温电桥的方法

首先按照测温电桥的实际线路，找出各桥臂电阻的节点，以确定检定时的接线端钮，为了便于分析问题，下面以 QJ18a 型测温双电桥为例。图 A.1 为 QJ18a 型测温双电桥面板图，表 A.1 为各桥臂电阻的电流、电位接线端。

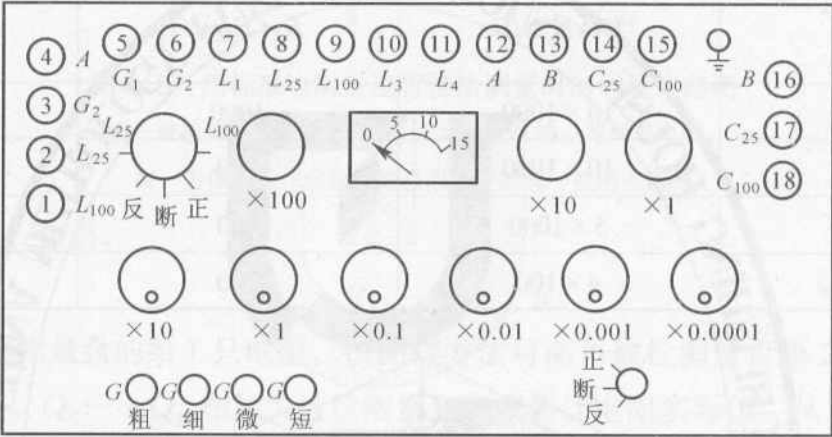


图 A.1 QJ18a 型测温双电桥面板图

表 A.1 各桥臂电阻的电流、电位接线端

各桥臂电阻标称值		1000Ω		10Ω		50Ω	
桥臂及引线		S	b + R	R ₁₀	r ₁₀	R ₅₀	r ₅₀
引线转换开关的位置				L ₂₅ ⁺		L ₁₀₀ ⁺	
电源转向开关的位置		正向	反向		反向		反向
接线端钮	电流	6 13	6 13	8 6	14 13	9 6	15 13
	电位	3 4	3 16	2 3	17 16	1 3	18 16
		10 × 10 ³ ~ 10 × 0.01Ω					
		Q	a'	L ₂₅		L ₁₀₀	
		L ₂₅ ⁺	L ₂₅ ⁺	L ₂₅ ⁺	L ₂₅ ⁻	L ₂₅ ⁺	L ₂₅ ⁻
		正向					
		10 13	15 7	8 6	10 6	9 6	10 6
		10 4	18 7	8 2	10 2	9 1	10 7

注：a. 表 A.1 中电流、电位端的编号见图 A.1；b. 表 A.1 中电流、电位端上下是一对，不能左右调换。

(一) 直流双电桥的替代法或进退置换法

1. 检定 S 、 $b+R$ 、 R_{10} 、 r_{10} 、 R_{50} 、 r_{50} 的值, 分别用一等标准电阻 (6×10^{-6}), 标称值为 1000Ω 、 10Ω 及 50Ω 的过渡标准电阻, 用 QJ36 型双电桥以替代法进行检定。

注: 为了提高测量准确度、消除引线电阻的影响, 1000Ω 被测电阻也采用双电桥测量, 测量线路如图 A.2, 各桥臂的电阻按表 2 取值, 被测电阻 R_X 的接线端钮见表 A.2。

表 A.2 被测电阻 R_X 的接线端钮

被测电阻 R_X/Ω	$R_1(R_2)/\Omega$	$R_2(R_1)/\Omega$	R_S/Ω
1000	10×1000	1000	100
10	10×1000	100	0.1
50	5×1000	100	1
L_{25} 、 L_{100}	4×100	100	0.01

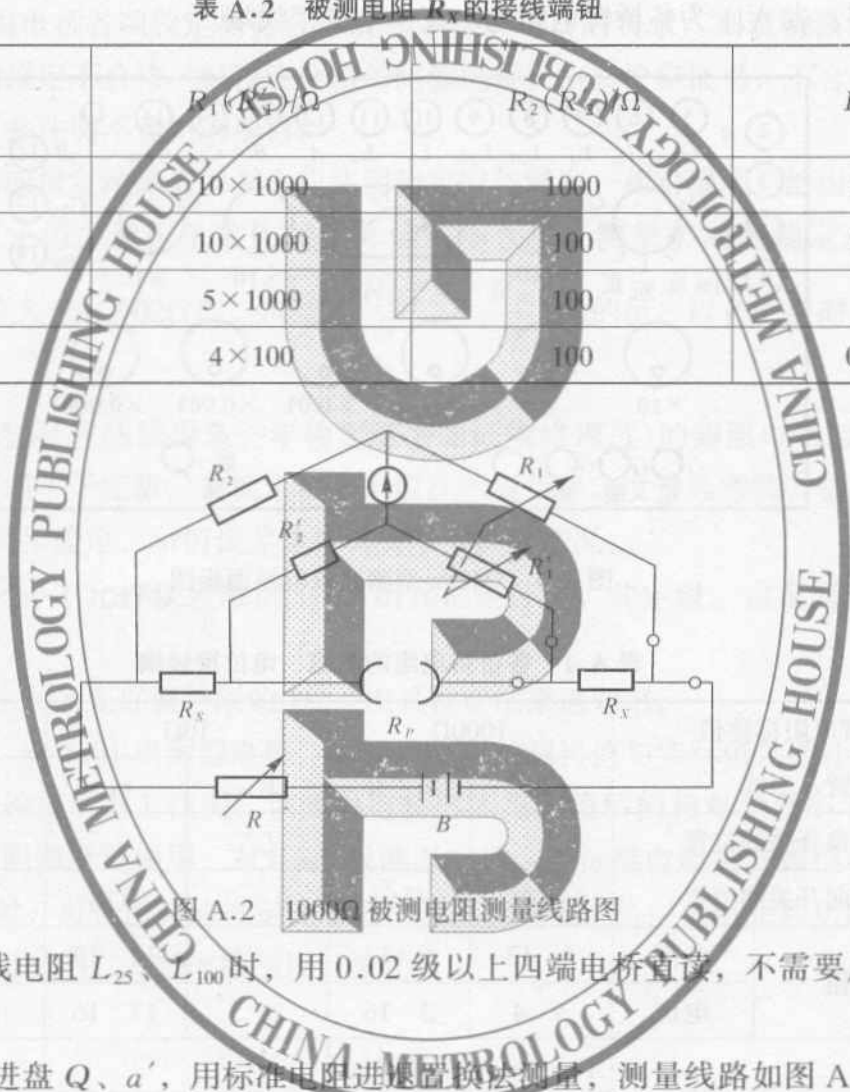


图 A.2 1000Ω 被测电阻测量线路图

2. 检定引线电阻 L_{25} 、 L_{100} 时, 用 0.02 级以上四端电桥直读, 不需要用标准电阻替代。

3. 检定十进盘 Q 、 a' , 用标准电阻进退置换法测量, 测量线路如图 A.3 (测温电桥面板上引线开关 L_{25} 放正向、电源开关放正向), Q 、 a' 的接线端钮见表 A.1。

检定步骤:

a. 开关 K 倒向 2, Q 臂的各盘置 “0”, 用电桥平衡获得 R_{X0} ;

$$R_{X0} = R_N + R_0 + r \tag{A.1}$$

b. 开关 K 倒向 1, Q 臂 $\times 1000\Omega$ 的盘置 “1”, R_N 接到电流回路, M 电阻箱应减小 Q 臂的增加值, 使电桥重新平衡获得 R_{X1} 。

$$R_{X1} = Q_1 + R_0 + r \tag{A.2}$$

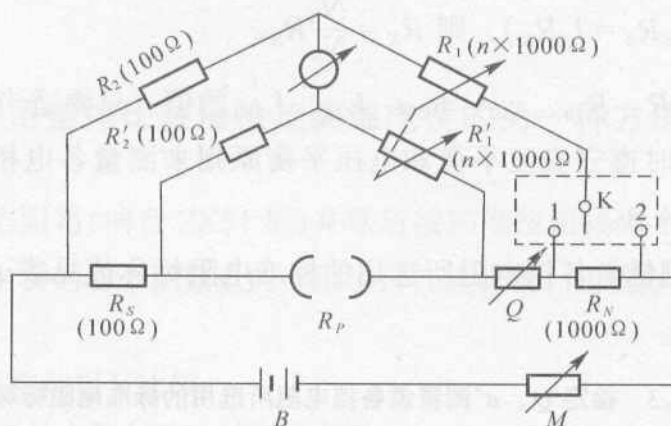


图 A.3 用标准电阻进退置换法测量时的测量线路图

Q —被检测量盘； R_N —标称值为 1000Ω 的一等标准电阻；

M —为保持工作电流回路总阻不变时起补偿的电阻箱

式(A.2)－式(A.1)得：

$$Q_1 = R_{X1} - R_{X0} + R_N \quad (\text{A.3})$$

式中 Q_1 为被检测量盘的第 1 只电阻，按同样方法可测得被检测量盘第 2 至第 10 只电阻，然后把 Q_1 、 Q_2 …… Q_{10} 相加为被检测量盘各点累计电阻实际值。从式(A.3)可知，被检测量盘电阻实际值的准确度主要取决于标准电阻 R_N ，同时能自动消除连接导线电阻 r 及残余电阻 R_0 。对 Q 臂第 II 盘以后的各测量盘，只要选取不同标称值的标准电阻 R_N 及适当选择图 A.3 中各桥臂的电阻值，按第 I 盘方法检定。

(二) 用直流电流比较仪电桥检定测温电桥的示值误差

1. 直流电流比较仪电桥的工作原理，如图 A.4 所示。

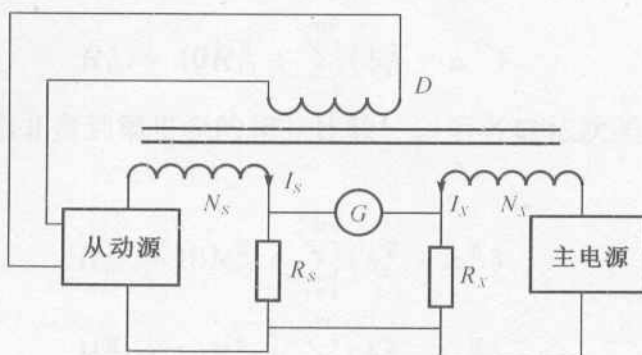


图 A.4 直流电流比较仪电桥的工作原理图

N_S —固定绕组； N_X —可变绕组； D —检测绕组

N_S 和 N_X 绕在同一铁心上的两个大小相等、方向相反的绕组(即安匝平衡 $I_S N_S = I_X N_X$)，当磁势不平衡时，由磁通检测器 D 检出，自动地去控制从动源的电流 I_S 以恢复平衡。另外，当 I_X 一定时， I_S 随着 N_X 的变化而变化，从而可调节 N_X 使指零仪指

零,即使电压相等($I_S R_S = I_X R_X$),则 $R_X = \frac{N_X}{N_S} R_S$ 。

2. 检定 S 、 $b+R$ 、 R_{10} 、 r_{10} 、 R_{50} 、 L_{25} 、 L_{100} 的值。只要适当选择 R_S 标准及流过 R_X 的电流 I_X ,同时遵守安匝平衡和电压平衡原则来测量各电桥臂电阻的实际值, R_X 的接线端钮见表 A.1。

3. 检定 Q 、 a' 测量盘各挡电阻所选用的标准电阻标称值见表 A.3,被测电阻 R_X 的接线端钮见表 A.1。

表 A.3 检定 Q 、 a' 测量盘各挡电阻所选用的标准电阻标称值

被测电阻 R_X/Ω	10×1000	10×100	10×10	10×1
标准电阻 R_S/Ω	10000	1000	100	10

注意:

a. 在测量 10×1000 盘时,由于直流电流比较仪电桥适合于测量中阻(即 1000Ω 以下),而测量 $10 \times 1000\Omega$ 时,灵敏度较低,时间常数大,平衡较困难,需要特别留心。

b. 经测量所得的各盘电阻实际值中,已包括了起始电阻,除含有起始电阻的一盘外,其余各盘应减去起始电阻值。

用上述两种方法检定时,其指零仪的灵敏度,装置中各部件的误差分配均应符合“6.1.2 检定装置”中各项规定。

附录 B

用整体比较法检定测温电桥的另一种方法

利用直流标准电阻箱(两台 ZX54 型)并联后按四端按钮接到 L_1 、 L_{25} 、 L_3 、 L_4 端钮上,与被检测温电桥的各个读数盘的电阻进行传递比较,比较方法及计算公式推导如下:

B.1 第 I 与第 II 读数盘相互比较

a. 当并联电阻箱的电阻与第 I 读数盘的第 1 点平衡的方程式:

$$R_X = R_1^I + a_1^I$$

b. 并联电阻箱的电阻 R_X 值保持不变,与第 II 读数盘 10 个电阻之和平衡时的方程式:

$$R_X = R_{10}^{II} + b_1^I$$

两式相等得

$$R_1^I = R_{10}^{II} + b_1^I - a_1^I$$

同理可得第 I 读数盘其他各点与第 II 读数盘 10 个电阻之和平衡时的方程式:

$$R_2^I = R_1^I + R_{10}^{II} + b_2^I - a_2^I$$

$$R_3^I = R_2^I + R_{10}^{II} + b_3^I - a_3^I$$

$$\vdots$$

$$R_9^I = R_8^I + R_{10}^{II} + b_9^I - a_9^I$$

$$R_{10}^I = R_9^I + R_{10}^{II} + b_{10}^I - a_{10}^I$$

上述式相加得:

$$R_{10}^I = 10R_{10}^{II} + \sum_{i=1}^{10} (b_i^I - a_i^I) \quad (\text{B.1})$$

B.2 按上述方法完成第 II 盘到第 III 盘的相互比较。以后各盘依次类推,得到的表达式如下:

$$R_{10}^{II} = 10R_{10}^{III} + \sum_{i=1}^{10} (b_i^{II} - a_i^{II}) \quad (\text{B.2})$$

$$R_{10}^{III} = 10R_{10}^{IV} + \sum_{i=1}^{10} (b_i^{III} - a_i^{III}) \quad (\text{B.3})$$

$$R_{10}^{IV} = 10R_{10}^V + \sum_{i=1}^{10} (b_i^{IV} - a_i^{IV}) \quad (\text{B.4})$$

$$R_{10}^V = R_1^V + 10R_{10}^{VI} + \sum_{i=1}^{10} (b_i^V - a_i^V) \quad (\text{B.5})$$

上述式中

I, II, …, VI——测温电桥读数盘的盘数;

$R_1^I, R_2^I, \dots, R_{10}^I$ ——测温电桥第 I 读数盘各挡的电阻值;

$a_1^I, a_2^I, \dots, a_{10}^I$ ——第 I 读数盘各挡电阻与两台并联电阻箱的电阻相平衡时, 测温电桥末几盘的示值;

$b_1^I, b_2^I, \dots, b_{10}^I$ ——第 I 读数盘各挡电阻加上第 II 读数盘 10 个电阻之和与两台并联电阻箱的电阻箱平衡时, 测温电桥末几盘的示值。

B.3 对于最后一盘采用指零仪偏格法

$$R_i^{\text{VI}} = \frac{R_{10}^{\text{VI}}}{\sum_{i=1}^{10} a_i} \sum_{i=1}^i a_i \quad (\text{B.6})$$

式(B.2)可改写成:

$$R_{10}^{\text{III}} = 0.1R_{10}^{\text{II}} - 0.1 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{II}} - a_i^{\text{II}}) \quad (\text{B.7})$$

式(B.3)改写后与式(B.7)联立可得:

$$R_{10}^{\text{IV}} = 0.01R_{10}^{\text{II}} - 0.1 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{III}} - a_i^{\text{III}}) - 0.01 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{II}} - a_i^{\text{II}}) \quad (\text{B.8})$$

式(B.4)改写后与式(B.8)联立可得:

$$R_{11-1}^{\text{V}} = 0.001R_{10}^{\text{II}} - 0.1 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{IV}} - a_i^{\text{IV}}) - 0.01 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{III}} - a_i^{\text{III}}) - 0.001 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{II}} - a_i^{\text{II}}) \quad (\text{B.9})$$

式(B.5)改写后与式(B.9)联立可得:

$$\begin{aligned} R_{10}^{\text{VI}} = & 0.0001R_{10}^{\text{II}} - 0.1 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{V}} - a_i^{\text{V}}) - 0.01 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{IV}} - a_i^{\text{IV}}) \\ & - 0.001 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{III}} - a_i^{\text{III}}) - 0.0001 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{II}} - a_i^{\text{II}}) \end{aligned} \quad (\text{B.10})$$

B.4 通过上述各个读数盘的电阻相互传递比较, 由式(B.1)、(B.7)~(B.10)可知, 都可归算到第 II 个读数盘的 10 个电阻之和 R_{10}^{II} 。然后用一等标准电阻(标称值为 100Ω , 年稳定度为 6×10^{-6})来定度、求出 R_{10}^{II} 的值, 再代入式(B.7)~(B.10), 分别求出 R_{10}^{III} 、 R_{10}^{IV} 、 R_{11-1}^{V} 、 R_{10}^{VI} , 从而由式(B.11)~(B.16)计算出每个读数盘各挡电阻的实际值, 最后将每个读数盘各挡电阻的实际值相加, 得到每个读数盘示值的实际值。

$$R_i^{\text{I}} = R_{i-1}^{\text{I}} + R_{10}^{\text{II}} + (b_i^{\text{I}} - a_i^{\text{I}}) \quad (\text{B.11})$$

$$R_i^{\text{II}} = R_{i-1}^{\text{II}} + R_{10}^{\text{III}} + (b_i^{\text{II}} - a_i^{\text{II}}) \quad (\text{B.12})$$

$$R_i^{\text{III}} = R_{i-1}^{\text{III}} + R_{10}^{\text{IV}} + (b_i^{\text{III}} - a_i^{\text{III}}) \quad (\text{B.13})$$

$$R_i^{\text{IV}} = R_{i-1}^{\text{IV}} + R_{11-1}^{\text{V}} + (b_i^{\text{IV}} - a_i^{\text{IV}}) \quad (\text{B.14})$$

$$R_{i+1}^{\text{V}} = R_i^{\text{V}} + R_{10}^{\text{VI}} + (b_i^{\text{V}} - a_i^{\text{V}}) \quad (\text{B.15})$$

$$R_i^{\text{VI}} = \frac{R_{10}^{\text{VI}}}{\sum_{i=1}^i a_i} \sum_{i=1}^i a_i \quad (\text{B.16})$$

B.5 举例：一等标准电阻 R_N^{100} ，证书数：20.2℃为 100.0036Ω，在测温电桥读数盘的示值为 100.0028。

$$\text{由式(B.1): } R_{10}^{\text{I}} = 10R_{10}^{\text{II}} + \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{I}} - a_i^{\text{I}})$$

$$\text{由式(B.5): } R_2^{\text{V}} = R_1^{\text{V}} + R_{10}^{\text{VI}} (b_1^{\text{V}} - a_1^{\text{V}})$$

$$\text{由式(B.6): } R_8^{\text{VI}} = 0.8R_{10}^{\text{VI}}$$

$$\begin{aligned} \text{则 } 100.0036 &= 10R_{10}^{\text{II}} + \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{I}} - a_i^{\text{I}}) + R_1^{\text{V}} + R_{10}^{\text{VI}} + (b_1^{\text{V}} - a_1^{\text{V}}) + 0.8R_{10}^{\text{VI}} \\ &= 10R_{10}^{\text{II}} + R_1^{\text{V}} + \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{I}} - a_i^{\text{I}}) + (b_1^{\text{V}} - a_1^{\text{V}}) + 1.8[0.0001R_{10}^{\text{II}} - \\ &0.1 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{V}} - a_i^{\text{V}}) - 0.01 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{IV}} - a_i^{\text{IV}}) - 0.001 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{III}} - a_i^{\text{III}}) - \\ &0.0001 \sum_{i=1}^{10} (b_i^{\text{II}} - a_i^{\text{II}})] \end{aligned} \quad (\text{B.17})$$

R_1^{V} 为测温电桥读数盘的起始值，可用 0.01 级标准电阻标称值为 0.001Ω 来校准，计算式：

$$R_N^{0.001} = \frac{R_{10}}{S} Q - \frac{R_{10}}{S} L_{25} = [R_1^{\text{V}} + \Delta R^{\text{VI}}] - \frac{R_{10}}{S} L_{25}$$

$$\text{所以} \quad R_1^{\text{V}} = R_N^{0.001} - \Delta R^{\text{VI}} + \frac{R_{10}}{S} L_{25} \quad (\text{B.18})$$

由式(B.18)代入式(B.17)，求出 R_{10}^{II} 。

附录 C

直流测温电桥检定证书内页格式

检定结果

1. 外观及线路检查
2. 绝缘电阻
3. 介电强度试验
4. 示值误差

全检量程×1							
指示数	×10 实际值/Ω	×1 实际值/Ω	×0.1 实际值/Ω	×0.01 实际值/Ω	×0.001 实际值/Ω	×0.0001 实际值/Ω	×0.00001 实际值/Ω
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
$\frac{R_{10}}{S}L_{25} = \text{ } \Omega$; $\frac{R_{50}}{S}L_{100} = \text{ } \Omega$				$M_5 = \text{ };$ 温度: $\text{ } ^\circ\text{C}$; 相对湿度: $\text{ } \%$			
说明: 1. 全检量程×1: 被测电阻 = 各读数盘实际值之和 - $\frac{R_{10}}{S}L_{25}$ 其他量程×5: 被测电阻 = 各读数盘实际值之和 × $M_5 - \frac{R_{50}}{S}L_{100}$ 2. 上述检定数据的总不确定度为该测温电桥允许示值误差的 1/5。				备注:			

检定结论: 以上检定项目全部符合要求。

注: 1. 下次送检时必须带此证书。

2. 送检仪器必须清洗。

附录 D

直流测温电桥检定结果通知书内页格式

检定结果

1. 外观及线路检查
2. 绝缘电阻
3. 介电强度试验
4. 示值误差

全检量程×1							
指示数	×10 实际值/Ω	×1 实际值/Ω	×0.1 实际值/Ω	×0.01 实际值/Ω	×0.001 实际值/Ω	×0.0001 实际值/Ω	×0.00001 实际值/Ω
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
$\frac{R_{10}}{S}L_{25} = \text{ } \Omega$; $\frac{R_{50}}{S}L_{100} = \text{ } \Omega$				$M_5 = \text{ };$ 温度: $\text{ } ^\circ\text{C}$; 相对湿度: $\text{ } \%$			
说明: 1. 全检量程×1: 被测电阻 = 各读数盘实际值之和 $-\frac{R_{10}}{S}L_{25}$ 其他量程×5: 被测电阻 = 各读数盘实际值之和 $\times M_5 - \frac{R_{50}}{S}L_{100}$ 2. 上述检定数据的总不确定度为该测温电桥允许示值误差的 1/5。				备注:			

检定结论: 以上检定项目中第×项不合格。

中华人民共和国
国家计量检定规程

直流测温电桥

JJG 484—2007

国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

邮政编码 100013

电话 (010)64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

880 mm×1230 mm 16开本 印张1.75 字数30千字

2007年11月第1版 2007年11月第1次印刷

印数1—2 000

统一书号 155026—2286 定价: 26.00元