

常用直流电阻仪器的检定

张 少 伟

水 利 电 力 出 版 社

常用直流电阻仪器的检定

张少伟

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路8号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 13.625印张 362千字

1985年6月第一版 1985年6月北京第一次印刷

印数 00001—8030 册 定价3.35元

书号 15143·5651

目 录

前 言

第一章	电阻的精密测量	1
第一节	精密测量电阻的基本原则与一般测量方法	1
第二节	补偿法测量	9
第三节	电桥法测量	14
第二章	直流标准量具的建立和检定	27
第一节	直流标准量具的建立与检定系统	27
第二节	标准电池的检定	37
第三节	标准电阻的检定	58
第三章	作为检定用的几种常用测量仪器的检定	88
第一节	QJ40型三次平衡电桥	88
第二节	QJ56型直读电桥	98
第三节	比较电桥	123
第四节	QJ33型万能比例臂	136
第五节	QJ25型直读比例臂	153
第六节	QJ30型电导电桥	184
第七节	QJ27型高阻电桥	198
第八节	QJ18型测温双臂电桥	205
第四章	直流电阻箱的检定	216
第一节	电阻箱的分类和技术条件	216
第二节	电阻箱的检定	220
第三节	特殊用途电阻箱的检定	223
第四节	检定结果的处理	230
第五章	直流电桥的检定	232
第一节	直流电桥的分类和技术条件	232
第二节	检定电桥的一般要求	241

第三节	携带型电桥的检定	244
第四节	实验室型电桥的检定	259
第五节	电桥的综合误差计算	285
第六节	检定结果的处理	294
第六章	直流分压箱的检定	296
第一节	直流分压箱的分类和技术条件	296
第二节	检定分压箱的一般要求	301
第三节	高精度分压箱的自检	304
第四节	一般分压箱的检定	316
第五节	专用分压箱的检定	329
第六节	检定结果的处理	342
第七章	直流分流器的检定	343
第一节	直流分流器的分类和技术条件	343
第二节	检定分流器的一般要求	345
第三节	分流器的检定	347
第四节	多量限分流器的检定	353
第五节	检定结果的处理	360
第八章	直流电位差计的检定	361
第一节	直流电位差计的分类和技术条件	361
第二节	检定电位差计的一般要求	370
第三节	携带型电位差计的检定	374
第四节	实验室型电位差计的对检	378
第五节	电位差计的按元件检定	398
第六节	检定结果的处理	424
参考文献		427

第一章 电阻的精密测量

第一节 精密测量电阻的基本原则与一般测量方法

一、精密测量电阻的基本原则

直流电阻仪器都是由电阻元件构成的，不同的线路形成了不同的仪器，如电桥、电位差计、电阻箱、分压箱等等。因此，精密测量电阻是检定直流电阻仪器的基本手段。要达到精密测量电阻，必须遵守下列基本原则：

1. 同标称（名义）值测量

使用电桥或电位差计直接测量电阻时，其测量精度主要取决于电桥或电位差计的准确度，因而不可能达到很高的测量精度。只有同标称值测量才能达到最高的测量精度。同标称值测量是将标称值相同的标准电阻与被测电阻在同一台测量仪器上分别进行测量，以标准电阻的实际值和上述两次测量结果的差值求得被测电阻的实际值，这样可以消除测量仪器的误差。例如，用单电桥直接测量电阻，按单桥计算公式可得

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} A_x \quad (1-1)$$

式中 R_1 、 R_2 ——电桥比例臂；
 A_x ——电桥比较臂读数。

显然， R_x 值与桥臂 R_1 、 R_2 、 A_x 的误差有关，其测量精度取决于这些桥臂误差。而同标称值测量时，除了测量 R_x 外，还要用同一台单桥测量标准电阻 R_N 。根据单桥计算公式得

$$R_N = \frac{R_1}{R_2} A_N \quad (1-2)$$

式中 A_N ——测量 R_N 时电桥比较臂读数。

由于同标称值测量在两次测量中电桥比例臂相同，比较臂读数也比较接近。将公式（1-1）、（1-2）相除，得

$$R_x = R_N \frac{A_x}{A_N} = R_N(1 + \delta) \quad (1-3)$$

式中 δ ——为两次读数的相对差值（以%表示）。

在公式（1-3）中并不出现电桥的任何桥臂电阻，因而消除了由于电桥本身误差所引入的误差。测量精度只取决于标准电阻的精度、测量装置的灵敏度、读数位数、周围温度和接线影响等。以上因素可以控制在一定的范围内，从而使测量精度达到 10^{-5} 以上，甚至更高。

2. 保持读数盘前三位示值恒定

在计算 $\frac{A_x}{A_N} = 1 + \delta$ 时，有一个重要条件，就是在两次测量过程中，读数盘前三位示值应保持不变。否则，测量结果中仍会引入电桥读数盘的误差。因为读数盘由多个十进盘组成，其误差主要决定于前三位示值的误差。当前三位示值恒定时，可以看作两次测量中读数盘的误差相等，在公式（1-3）中分子 A_x 和分母 A_N 都存在相同误差，则

$$\left(\frac{A_x}{A_N} \right)_{\text{指示值}} = \left(\frac{A_x}{A_N} \right)_{\text{实际值}}$$

如两次测量中，前三位示值不同，分子 A_x 和分母 A_N 的误差不同，则

$$\left(\frac{A_x}{A_N} \right)_{\text{指示值}} \neq \left(\frac{A_x}{A_N} \right)_{\text{实际值}}$$

因此用 $\left(\frac{A_x}{A_N} \right)_{\text{指示值}}$ 来代替 $\left(\frac{A_x}{A_N} \right)_{\text{实际值}}$ 时，就会引入误差。

例如：测量 R_x 时，读数 A_x 为 999.97Ω ；测量 R_N 时读数 A_N 为 1000.00Ω 。显然，前三位示值不同，比值 $\left(\frac{A_x}{A_N} \right)_{\text{指示值}}$ 为 0.99997 。而读数盘示值 999Ω 的更正值为 -0.04Ω ，示值 1000Ω 的更正值为 0.01Ω 。则 $\left(\frac{A_x}{A_N} \right)_{\text{实际值}}$ 为 0.99992 。两者相差 5×10^{-5} 。公式（1-3）

以 $\left(\frac{A_x}{A_N}\right)_{\text{指示值}}$ 进行计算时, 就会引入 5×10^{-5} 的误差。如果测量 R_N 时, 为了保持前三位示值恒定, 测得读数为 999.105Ω ①, 则 $\left(\frac{A_x}{A_N}\right)_{\text{指示值}}$ 与 $\left(\frac{A_1}{A_N}\right)_{\text{实际值}}$ 都等于 0.99992。在公式 (1-3) 中, 以 $\left(\frac{A_x}{A_N}\right)_{\text{指示值}}$ 计算时不会再引入误差。

为了使读数盘在测量过程中具有增加和减少的调节余地, 前三位示值应指示“999”为宜。

当标准和被测电阻的阻值相差较大 (0.1%) 时, 可能会使读数盘第三位示值发生变化。由于第三位示值只占读数的 10^{-3} , 即使第三位示值误差为 10^{-3} 时, 引入误差也只是 10^{-6} 。对于误差较大的被测电阻而言, 还是允许的。

3. 要求读数盘有良好的线性和小的变差

读数盘的线性有两个含义: 一是指后一位十进盘十个电阻的总阻值与前一位十进盘中任一个电阻值的一致性。例如, 对 0.02 级电桥, 第 I 盘 $\times 1000\Omega$ 每个元件的电阻值都在 $1000.00 \sim 1000.10\Omega$ 之间, 第 II 盘总电阻 $10 \times 100\Omega$ 的实际值为 1000.07Ω , 则表示两盘之间的线性很好。如第 II 盘 $10 \times 100\Omega$ 为 999.90Ω , 与第 I 盘各电阻相差为 $0.01 \sim 0.02\%$, 表示两盘之间的线性较差。

线性的另一含义是指同一十进盘中相邻两个元件之间阻值的一致性。例如, 前面所述第 I 盘各元件阻值在 $1000.00 \sim 1000.10\Omega$ 之间, 最大差值小于 0.01% , 表示线性良好。反之, 如各元件阻值在 $999.90 \sim 1000.10\Omega$ 之间, 虽然与标称值的最大偏差均不大于 0.01% , 但各元件之间的最大差值为 0.02% , 表示线性较差。由于线性不一致而引起的误差应小于测量精度的 $1/10$ 。

读数盘的变差是指同一示值在读数盘变动前、后其阻值的变化。要求由于变差引起的误差小于测量精度的 $1/10$ 。

① 10 表示该十进盘示值为“10”。

4. 保证测量装置具有高的灵敏度

测量装置的灵敏度 S 是指被测量的微小变化所引起的指零仪偏转。它包括测量线路的灵敏度 S_c 和指零仪的灵敏度 S_a 。线路灵敏度是反映被测量的微小变化 ΔX 所引起的线路输出量的变化（输出量可以是电流、电压或功率） ΔI 、 ΔU 或 ΔP 。即

$$S_c = \frac{\Delta I}{\Delta X}, \quad S_c = \frac{\Delta U}{\Delta X}, \quad S_c = \frac{\Delta P}{\Delta X}$$

指零仪灵敏度是反映指零仪输入量的变化所引起的偏转为 $\Delta \alpha$ 。在测量装置中，线路输出量就是指零仪输入量。所以

$$S_a = \frac{\Delta \alpha}{\Delta I}, \quad S_a = \frac{\Delta \alpha}{\Delta U}, \quad S_a = \frac{\Delta \alpha}{\Delta P}$$

$$\text{则} \quad S = \frac{\Delta \alpha}{\Delta X} = S_c \times S_a \quad (1-4)$$

精密测量要求测量装置的灵敏度引起的误差应小于被测误差的 $1/10$ 。

由于 S_a 决定于所选用的指零仪，是一个已知量。因此，要提高测量装置的灵敏度主要是提高线路灵敏度，而且要使线路参数与指零仪相匹配。

5. 消除测量线路热电势

测量小电阻时，线路热电势的影响相对增大，必须采取措施加以消除。由于热电势与工作电流方向无关，若正向电流与热电势方向一致，则反向电流与热电势方向相反，因此可以采用改变电流方向来消除热电势的影响。

例如，测量电阻上的电压降，在正向电流下， $U_1 = IR + e_1$ 。在反向电流下， $U_2 = IR - e_2$ 。则

$$IR = \frac{1}{2}(U_1 + U_2) - \frac{1}{2}(e_1 - e_2) \quad (1-5)$$

式中 U_1 、 U_2 ——正、反向电流下测得的电压值；

R ——被测电阻；

I ——流过 R 的电流；

e_1 、 e_2 ——两次测量时的线路热电势。

当线路热电势恒定（即 $e_1=e_2$ ）时，公式（1-5）简化为

$$IR = \frac{1}{2}(U_1 + U_2)$$

表示已完全消除热电势。

当热电势不恒定时，测量一般是在正向电流下调节仪器读数盘使检流计指零，并记下示值，然后再改变电流方向，并重复测量步骤。由于每次测量总要一定时间才能完成，因此 $e_1 \neq e_2$ 。

可以看出，简单地用改变电流方向的方法不能完全消除可变热电势，只能减小其影响。而采用快速改变电流方向，按虚零位进行平衡的方法可以消除之。如果正、反电流下的两次测量能在瞬间完成，可以认为热电势还来不及变化，则 $e_1=e_2$ 。由公式（1-5）可知，已达到消除热电势的目的，问题在于如何使正、反电流下的两次测量能在瞬间完成。这种操作方法是先断开电源，使线路完全处于测量状态，观察检流计偏转，记下位置为 α_1 。由于线路没有电流而检流计发生偏转，说明这个偏转是由热电势引起的，因此可将 α_1 作为虚零位。线路通电后，以虚零位 α_1 进行平衡。但热电势是可变的， α_1 的位置也会变化。因而要不断地改变电流方向，直至正、反电流下检流计始终指示某一刻度，则表示在热电势尚未变化的条件下瞬间完成了两次测量。此时，读数盘示值即为消除热电势后的测量值。

二、结点原则的重要性

精密测量电阻必须掌握结点原则，只有两个结点之间的阻值才是被测电阻的真值。在任何复杂的线路中，应准确地确定被测电阻的结点，以消除导线电阻和接触电阻的影响。在补偿法中，要使测量的电位差就是被测电阻结点上的电位差。在电桥法中，要使被测桥臂的顶点就是被测电阻的结点，这样才能准确地测量电阻。

如果对电阻结点原则的重要性认识不足，往往不能正确地选择电阻结点，从而给测量结果带来误差。例如，国产QJ5型电桥（见图1-1），其桥臂电阻的结点（即电桥顶点）在单桥和双桥

工作时是不同的（见表1-1）。特别是比例臂 R_1 在单桥线路中增加一个插销接触电阻，当插肖接触电阻为 0.001Ω 时，对 10Ω 而言引入 0.01% 的误差。这是设计上忽视了电阻接点而造成的理论误差，给检定和使用都带来不便。

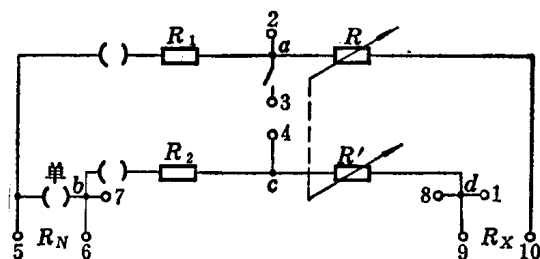


图 1-1 QJ5型电桥原理线路

表 1-1

QJ5型电桥桥臂电阻结点位置

桥 臂 电 阻	R_1	R_2	R'
单桥时结点位置	a, b	c, b	c, d
双桥时结点位置	$a, 5$	$c, 6$	$c, 9$

更为普遍的是由于忽视了结点原则，认为测量小电阻只要采用四端钮接法，就可以消除导线电阻的影响，这是不确切的。因此必须根据实际线路准确地确定电阻结点，然后选择四端钮接线。例如，按元件检定QJ5型电桥中桥臂 R' 的零值电阻，就有两种四端钮接法。

一种是接端钮4、4、1、9。错误地把 R' 的结点由 c 点位移到端钮4，使导线电阻 r_{4c} 串联在 R' 中，因此测得的零值电阻往往过大（对于QJ36、QJ19型电桥可达 0.02Ω 左右）。实际上， R' 的结点是 $c、d$ ，而所测量的却是 $4、d$ 之间的电阻。持这种接法者认为 R' 的一端只有从端钮4可以引出，而 R_2 总有电阻存在，因此错误地使结点发生位移（由 c 点移至端钮4）。

另一种是正确的接法，接端钮 6、4、1、9。由于 R_2 总有电阻存在，必须把端钮 6 与电源相接，使 R_2 指示 10Ω ，则 R_2 与电源串接，不会影响测量结果。

由此可见，在精密测量中还必须熟练掌握结点原则，准确地确定电阻结点，才能达到高精度测量的目的。

三、电阻的一般测量方法

1. 按测量方式分

(1) 完全替代法。用标称值相同的标准电阻与被测电阻在同一条件下进行比较，以标准电阻的实际值求得被测电阻的实际值，可以消除测量仪器所引起的误差。这种方法测量精度最高。

(2) 不完全替代法。不同标称值的标准电阻与被测电阻（两者阻值接近或保持一定比例）用同一测量仪器进行比较，以标准电阻的实际值和测量仪器比较臂求得被测电阻实际值。

例如，以 100Ω 标准电阻与 200Ω 被测电阻在电桥上进行比较。电桥分别测量标准电阻 R_N 和被测电阻 R_X ，得电桥桥臂读数分别为 R_{100} 和 R_{200} ，则

$$R_N = \frac{R_1}{R_2} R_{100}$$

$$R_X = \frac{R_1}{R_2} R_{200}$$

式中 R_1 、 R_2 ——电桥比例臂。

两式相除得

$$R_X = R_N \frac{R_{100}}{R_{200}} \quad (1-6)$$

从公式 (1-6) 可以看出，在不完全替代法中，只消除了电桥比例臂的误差，比较臂的误差仍然包含在测量结果中。因此，不完全替代法的测量精度要低于完全替代法。

(3) 直测法。以测量仪器直接测量被测电阻。其测量精度取决于测量仪器的准确度，因此只能作一般测量。

2. 按平衡方式分

(1) 完全平衡法（指零法）。以指零仪指示为零而使测量

线路达到平衡的方法。其优点是不受电流变化的影响、测量迅速、可直接读数，尤其对于需要变换电流方向进行测量时更为方便。但要求测量仪器具有足够的读数位数。

(2) 不完全平衡法(内插法)。测量线路处于不完全平衡状态，利用指零仪的偏转读取被测值的尾数。其优点是对测量仪器的读数位数要求低，测量时间短。但需要内插计算，要求流过指零仪的电流恒定。内插法首先要确定指零仪的分度值 $\frac{\Delta X}{\Delta \alpha}$ ，即读数盘改变一个最小步值 ΔX 时，所引起指零仪的偏转数为 $\Delta \alpha$ 。例如，用补偿法测量电阻，电位差计示值为0.999995V时，指零仪向左偏2格；示值为0.999996V时，指零仪向右偏1格；变化1 μ V时，指零仪偏3格。内插后的计算值为

$$U_x = 0.999995V + \frac{2}{3} \times 1\mu V = 0.9999957V$$

有时会遇到这样的情况：读数盘示值已经是0.999101010V，还需要增加示值才能平衡，但再增加就要改变前三位示值的数值时可以采用线性内插法进行读数，而不必改变前三位示值。其计算方法仍然是先求出指零仪的分度值，根据示值和指零仪偏转格数，用外推法求得读数值。例如，示值为0.999101010V时，指零仪向左偏4格；示值为0.99910109V时，指零仪向左偏12格，分度值为 $\frac{1}{8} \times 10^{-6}V/\text{格}$ 。线性内插后按外推法计算值为

$$U_x = 0.999101010 + \frac{4}{8} \times 10^{-6} = 0.999101015V$$

3. 按测量线路分

测量电阻的仪器和线路有许多种，但基本线路为补偿线路和电桥线路两种。补偿线路是用电位差计测量电阻上的电位差。根据被测电阻的量限，可采用高电势电位差计或低电势电位差计。电桥线路是用电桥测量电阻，根据不同的测量对象可选用单桥、双桥、特殊单桥、万能比例臂、直读比例臂、三次平衡电桥等线路。

第二节 补偿法测量

一、补偿法线路原理

补偿法是应用电位差计比较标准和被测电阻的方法，其原理线路见图1-2。在测量回路和电位差计工作电流恒定的条件下，分别测量标准电阻 R_N 和被测电阻 R_X 上的电位差，电位差计读数分别为 U_N 和 U_X 。则

$$U_N = IR_N$$

$$U_X = IR_X$$

所以
$$R_X = R_N \frac{U_X}{U_N} \quad (1-7)$$

式中 I —— 测量回路工作电流。

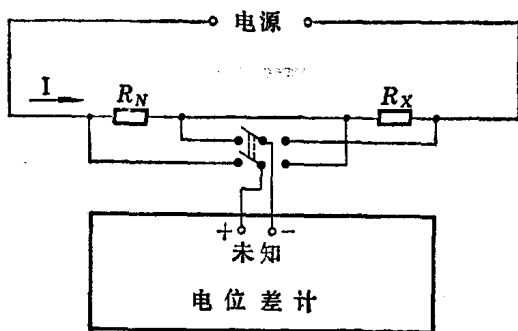


图 1-2 用补偿法测量的原理线路

同标称值测量时， U_N 和 U_X 的数值很接近，电位差计的示值误差可以不予考虑，因此补偿法能达到很高的测量精度。对于不同标称值测量时，测量精度取决于电位差计的准确度。

补偿法测量是由电位差计测量盘上产生的电位差与被测电阻上的电位差进行平衡而工作的。平衡时，检流计指零，表示两个回路之间没有电流通过。因此，补偿法测量不消耗被测对象的功率。这是补偿法测量的优点之一。

由于补偿法测量时没有电流流过被测电阻的电位端，因此导线电阻和串联电阻不影响测量结果，这一点对于电阻的精密测量特别重要。在电桥法测量中，无论四端钮接法如何连接，总有导线电阻存在，不可避免地要带来误差，尤其对于线路上还存在串联电阻或操作开关时，引起的误差会更大。而补偿法测量不会由此引入误差，其优点在于对任何线路的电阻都能进行精密测量。

从补偿法工作原理可知，电位差计和测量回路的工作电流要求具有高度的稳定性。由于测量标准电阻和被测电阻不能同时进行，测量上的时间间隔，可能使两个回路的工作电流发生变化。公式（1-7）只是理论上成立，而工作电流的稳定性将直接影响测量精度。

由于电位差计最大示值为1.2~2.1伏，低阻测量时电位差计示值更小（只有毫伏级），线路热电势会影响测量精度。

二、等时距对称观察法

为了消除工作电流不稳和热电势的影响，可采用等时距对称观察法进行测量。假设测量回路工作电流 I 随时间的变化曲线为图1-3中的（A），电位差计工作电流 i 随时间的变化曲线为图1-3中的（B）。当测量 R_X 时，时间为 t_1 ，电流分别为 I_1 和 i_1 。则电压平衡式为

$$U_X = i_1 r_X = I_1 R_X \quad (1-8)$$

式中 r_X ——电位差计测量盘电阻。

当测量 R_N 时，时间为 t_2 ，电流分别为 I_2 和 i_2 。电压平衡式为

$$U_N = i_2 r_N = I_2 R_N \quad (1-9)$$

显然 $I_1 \neq I_2$ ， $i_1 \neq i_2$ ，所以应用公式（1-7）时会带来误差。

如果在时间 t_3 再测量 R_X ，电流分别为 I_3 和 i_3 ，则电压平衡式为

$$U'_X = i_3 r'_X = I_3 R_X \quad (1-10)$$

由公式（1-8）、（1-9）、（1-10）可得

$$\frac{U_X + U'_X}{U_N} = \frac{(I_1 + I_3) R_X}{I_2 R_N} = \frac{i_1 r_X + i_3 r'_X}{i_2 r_N}$$

$$\frac{R_X}{R_N} = \frac{I_2}{I_1 + I_3} \times \frac{i_1 r_X + i_3 r'_X}{i_2 r_N}$$

式中 r_N ——测量 R_N 时电位差计测量盘电阻；

r'_X ——第二次测量 R_X 时电位差计测量盘电阻。

由于

$$r'_X = r_X + \Delta r$$

代入上式可得

$$\frac{R_X}{R_N} = \frac{I_2}{I_1 + I_3} \times \frac{(i_1 + i_3) r_X + i_3 \Delta r}{i_2 r_N} \quad (1-11)$$

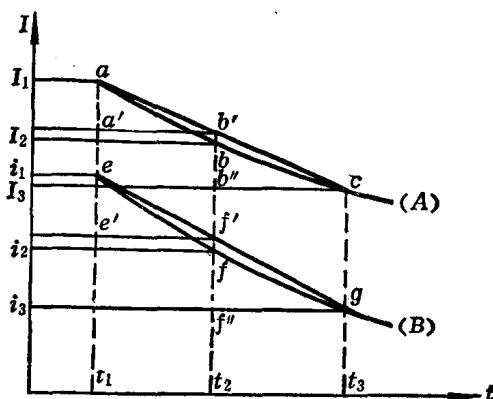


图 1-3 工作电流变化曲线

由图1-3可知，当等时距测量时， $t_3 - t_2 = t_2 - t_1$ ， $\triangle aa'b'$ 与 $\triangle b'b''c$ 全等， $\triangle ee'f'$ 与 $\triangle f'f''g$ 也全等，则 $aa' = b'b''$ ， $ee' = f'f''$ 。而 $I_1 = I_2 + aa' + bb'$ ， $I_3 = I_2 - b'b'' + bb'$ ，所以 $I_1 + I_3 = 2(I_2 + bb')$ 。同理， $i_1 + i_3 = 2(i_2 + ff'')$ 。 bb' 与 ff'' 即为图1-3中以直线代替曲线的差值。当时间间隔愈小，电流曲线愈平稳时，这个差值也就愈小。如果 bb' 和 ff'' 小到可以被忽略的程度，则 $I_1 + I_3 = 2I_2$ ， $i_1 + i_3 = 2i_2$ ，公式(1-11)可简化为

$$\frac{R_X}{R_N} = \frac{r_X + r'_X}{2r_N} = \frac{U_X + U'_X}{2U_N} \quad (1-12)$$

实际上

$$\frac{R_X}{R_N} = \left(1 + \frac{ff'}{i_2} - \frac{bb'}{I_2} \right) \frac{r_X + r'_X}{2r_N} \quad (1-13)$$

从公式(1-13)可知, 当 ff'/i_2 和 bb'/I_2 相等时, 仍然可以得到公式(1-12)的结果, 而 ff'/i_2 和 bb'/I_2 表示的是电流的相对差值。当图1-3中的(A)、(B)曲线平行(即电流的变化规律相同)时, 则 $\frac{ff'}{i_2} = \frac{bb'}{I_2}$ 。因此, 只要两个回路工作电流的稳定性相同, 即可获得满意的结果。用等时距奇数次测量, 可以消除电流不稳定的影响。

为了消除测量回路中固定热电势的影响, 可采用改变电流方向来消除之, 但对可变热电势则不能完全消除。而用虚零位法, 操作时间较长。为此, 可用对称法四次改变电流方向来消除之, 即在电流正、反、反、正四个方向进行测量, 各次测量时的热电势为 e_1 、 e_2 、 e_3 、 e_4 , 电位差计示值为 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 , 则

$$\begin{aligned} U_1 &= IR_X + e_1 \\ -U_2 &= -IR_X + e_2 \\ -U_3 &= -IR_X + e_3 \\ U_4 &= IR_X + e_4 \end{aligned}$$

四式化简可得

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = 4IR_X + e_1 - e_2 - e_3 + e_4$$

当热电势变化规律为 $e_1 > e_2 > e_3 > e_4$ 时, 而同时按等时距进行测量, 可近似看作 $e_1 + e_4 \approx e_2 + e_3$, 则

$$IR_X = \frac{1}{4}(U_1 + U_2 + U_3 + U_4) \quad (1-14)$$

公式(1-14)表示经过对称法四次测量后可消除可变热电势。由此可见, 采用等时距对称观察法, 可以有效地消除电流不稳和热电势的影响。其具体测量步骤为:

(1) 正向电流下测量 $R_X - R_N - R_X - R_N - R_X$, 测得电位差计示值为 U_{X1} 、 U_{N1} 、 U_{X2} 、 U_{N2} 、 U_{X3} 。

(2) 改变电流方向, 在反向电流下测量 $R_X - R_N - R_X - R_N - R_X$, 测得电位差计示值为 U_{X4} 、 U_{N3} 、 U_{X5} 、 U_{N4} 、 U_{X6} 。

(3) 仍在反向电流下测量 $R_X - R_N - R_X - R_N - R_X$, 测得

电位差计示值为 U_{X7} 、 U_{N5} 、 U_{X8} 、 U_{N4} 、 U_{X9} 。

(4) 改变电流方向, 在正向电流下测量 $R_X - R_N - R_X - R_N - R_X$, 测得电位差计示值为 U_{X10} 、 U_{N7} 、 U_{X11} 、 U_{N8} 、 U_{X12} 。

电阻计算公式为

$$\frac{R_X}{R_N} = \frac{U_{X1} + U_{X2} + U_{X3}}{U_{N1} + U_{N2}} + \frac{U_{X4} + U_{X5} + U_{X6}}{U_{N3} + U_{N4}} + \frac{U_{X7} + U_{X8} + U_{X9}}{U_{N5} + U_{N6}} + \frac{U_{X10} + U_{X11} + U_{X12}}{U_{N7} + U_{N8}} \quad (1-15)$$

当热电势较稳定而电流变化较大时, 可以只在正、反电流下进行测量, 而在每个极性下增加测量次数(五或七次, 总是按奇数次测量)。如果电流较稳定而热电势变化较大, 则仍在正、反、反、正电流下测量, 每个极性下仅测三次($R_X - R_N - R_X$)。

三、补偿法测量线路的工作电源

用补偿法测量时, 必须具有两个高度稳定的工作电源, 一般可采用稳压电源或蓄电池。稳压电源虽然有较高的稳定性, 但其线路一般总有一端接地。当使用两个稳压电源或光电放大检流计时, 要特别注意线路之间的泄漏和干扰, 有时甚至会使用检流计无法工作。因此, 应尽量采用蓄电池。由于蓄电池的容量有限, 因此当工作电流较大时就很难达到高度稳定。但从公式(1-13)可知, 只要两个工作电源的变化规律完全相同, 能达到相对稳定就行, 不一定要每个电源都高度稳定。这样, 就可以采用两组具有一般稳定性的同类型蓄电池(容量也相同), 若其放电电流相等, 两个电流随时间的变化曲线完全一致或接近一致, 则就可以达到相对稳定的目的。

例如, 采用两组同类型、同容量的蓄电池: 甲组供测量回路, 已知工作电流 I 为1A, 被测电阻为1Ω; 乙组供电位差计, 工作电流 i 为10mA。两个电流相差100倍。为了使乙组蓄电池放电电流也为1安, 可在电位差计电源端钮并联电阻箱 R , 选择 R 等于电位差计电源侧电阻的1/100。对于电阻箱 R 只要求阻值稳定, 不要求精度。电阻箱 R 作为粗调, 电位差计内部电流调节