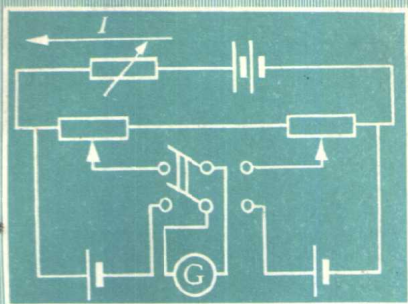


47



直流电位差计的 原理与检定

王 珏 编著

计量出版社

一直流电位差计的原理与检定

王 珏 编著

计 量 出 版 社

1 9 8 1

内 容 提 要

直流电位差计是目前应用很广的直流精密电测仪器。本书以常用的几种电位差计为例,着重介绍了怎样分析各种类型的电位差计线路和仪器的正确使用以及如何消除误差的方法,并根据作者的实践经验,叙述了《JJG123—76直流电位差计试行检定规程》各条的实施方法。

本书可供从事电工仪器仪表生产、使用、检定和修理的工人、检定员、技术人员阅读,亦可供热工计量专业人员参考,还可作为电磁计量人员技术培训的教学参考书。

直流电位差计的原理与检定

王 珏 编著

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—#—

开本 787×1092 1/32 印张 4 1/4
字数 94 千字 印数 13001—26000

1981年9月第一版 1984年11月第二次印刷

统一书号 15210·86

定价 0.60 元

目 录

第一章 直流电位差计的原理.....	(1)
§ 1.1 直流电位差计的工作原理	(1)
一、早期的电位差计.....	(1)
二、一般电位差计的工作原理.....	(3)
三、标准电池的温度补偿问题.....	(5)
§ 1.2 直流电位差计的分类	(6)
一、按使用条件分类.....	(6)
二、按测量范围分类.....	(7)
三、按未知端钮输出电阻的大小分类.....	(7)
四、按测量量程的多少分类.....	(7)
五、按准确度等级分类.....	(7)
六、按测量盘的结构或补偿电压的方式分类.....	(7)
§ 1.3 怎样看电位差计的线路	(8)
一、携带式303型和UJ23型电位差计	(8)
二、UJ1型低电阻直流电位差计	(12)
三、UJ31型低电势直流电位差计	(16)
四、UJ25型高电势和UJ9型高电阻直流电位差计.....	(19)
五、UJ26型低电势直流电位差计	(24)
§ 1.4 直流电位差计的使用和技术特性	(31)
一、选用直流电位差计及其配套设备的注意事项.....	(31)
1. 根据被测量特点选择适当类型电位差计.....	(31)
2. 根据未知电压的大小选择电位差计.....	(31)
3. 根据被测量的精度选择电位差计.....	(34)

4. 标准电池的选用	(35)
5. 辅助电源的选择	(35)
6. 配套检流计的选择	(35)
二、直流电位差计的正确使用及漏电屏蔽的方法 ..	(40)
1. 使用注意事项	(40)
2. 电压的测量	(41)
3. 电流的测量	(43)
4. 电阻的测量	(43)
5. 电位差计的漏电屏蔽方法	(44)
三、主要技术指标	(49)
§ 1.5 直流电位差计中各种误差因素及其消除方法	(49)
一、热电势产生的误差	(49)
二、转换开关接触电阻带来的误差	(53)
三、电阻制造不准确、不稳定带来的误差	(53)
四、工作电流不稳定、不准确带来的误差	(55)
第二章 直流电位差计的检定	(56)
§ 2.1 检定项目	(56)
§ 2.2 检定装置误差	(57)
一、检定精度的确定和测量各项局部误差的分配原则	(57)
二、检定装置误差的评定	(58)
三、对检定装置和周围环境的要求	(59)
§ 2.3 检定程序和检定方法	(67)
一、外观检查和内部线路检查	(67)
二、绝缘电阻的测定	(69)
三、绝缘强度试验	(73)
四、调节电阻平滑性和精细度的检定	(74)

五、电源回路电阻相对变化的检查	(77)
六、内附检流计灵敏度和零位漂移的检定	(78)
七、内附电子式电源稳定性的检定	(80)
八、电位差计示值基本误差、变差的检定	(80)
九、温度补偿盘的检定	(89)
十、量限系数的检定	(91)
十一、零电势和热电势的检定	(95)
十二、检定电位差计示值基本误差的电流比较仪 电位差计法	(98)
§ 2.4 检定结果的处理	(104)
一、数据处理	(104)
二、判断电位差计是否合格	(105)
三、填写检定证书	(112)
四、分路盘附加更正值的计算	(112)
附录一 补偿法检定电位差计的原始记录格式	(119)
附录二 几种电位差计检定结果的化整位数	(121)
附录三 常见直流电位差计主要技术特性表	(122)
参考资料	(129)

第一章 直流电位差计的原理

在直流电的精密测量中，直流电位差计是发展较早、应用很广的仪器之一。它采用补偿测量法，以标准电池的电动势作为实际标准，直接测量电动势或电压，间接测量电流、电阻以及其它电和非电的量值。它的主要优点是测量时几乎不损耗被测对象的能量，测量结果稳定可靠，而且具有很高的准确度，因此为生产、科研以及计量检修部门大量使用。

§ 1.1 直流电位差计的工作原理

一、早期的电位差计

早在1841年就出现了电位差计的原理，当时称之为“补偿方法”。用这种方法测量电池的电动势时，可以避免从电池中输出附加电流。当时的电位差计按其工作原理可分为两类：一类是恒定工作电流的电位差计；另一类是恒定电阻的电位差计。

1. 恒定工作电流的电位差计。如图1.1.1所示：

用标准电池替代图中未知电动势 E_x ，接在a、b两点之间，移动触点P到测量电阻 R_x 的D端，调节 R_p （即调节工作电流 I 的大小），使检流计G指零，工作电流 I 就调定好

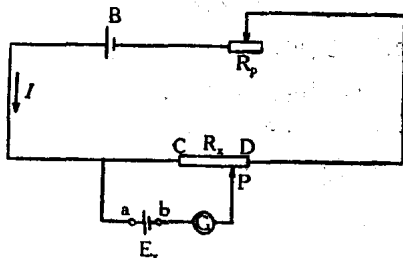


图 1.1.1 恒定工作电流的电位差计原理线路图

了。然后保持调节电阻 R_p 的数值不变(即保持工作电流 I 为恒定), 再将未知电动势 E_x 接在 a 、 b 两点间, 移动触点 P , 再次使检流计 G 指零, 此时在测量回路(即由 E_x 、 R_x 、 G 所组成的回路)中, 被测未知电动势 E_x 由电流 I 在 R_x 的 CP 段电阻上的电压降(称为补偿电压)所补偿, 亦即 I 在 R_x 的 CP 段上的电压降等于 E_x 值, 由于 R_x 预先刻度好, 所以未知电动势 E_x 值也就测得了。

用这种电位差计测量未知量 E_x 时, 工作电流 I 必须保持恒定, 由于工作电流 I 的大小是通过与电压数值相当稳定的标准电池进行比较来确定的, 因此, 它能保证有相当高的测量准确度。目前通常采用的电阻式电位差计皆属此类。

2. 恒定电阻的电位差计。如图 1·1·2 所示:

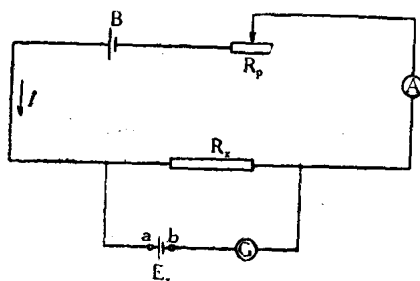


图 1·1·2 恒定电阻的电位差计
原理线路图

它与恒定工作电流电位差计的区别在于测量电阻 R_x 保持不变, 工作电流 I 可变。当测量回路处于平衡时, $E_x = I R_x$, 工作电流 I 的大小, 直接由电流表读取。这种方法由于电流表精度的限制, 测量

精度难以提高。

应用恒定工作电流的原理, 在 1861 年制成了第一台电位差计, 当时称作“补偿器”。这台电位差计的测量电阻 R_x 采用了一根长 2 米的、带有刻度的黄铜丝, 它的电阻能够连续变化, 但工作电流的校对部分没有单独分开, 是与补偿电压合在一起的, 使用时很不方便。后来经过逐步改进, 到 1893 年就改为用转臂式电阻箱与滑线电阻串联来代替 2 米的黄铜

丝，使用简便多了。现在很多电阻式电位差计基本上是沿用这种方法，但已有所改进。

二、一般电位差计的工作原理

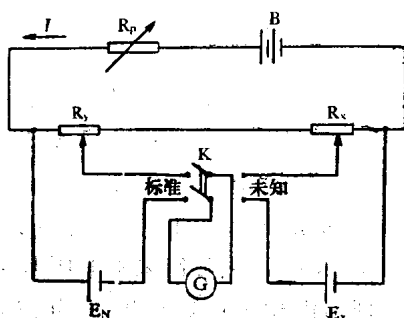


图 1.1.3 电位差计的工作原理线路图

图 1.1.3 所示为现在的直流电位差计的原理性线路。由图可知，一台较完善的电位差计，基本上由三个回路组成：

1. 标准回路，也可叫做校准工作电流回路。由标准电池 E_N 、调定电阻 R_2 、检流计 G 和开关 K 等部件组成。

2. 测量回路，由未知电动势 E_x 、测量电阻 R_4 、检流计 G 和开关 K 等部件组成。

3. 工作电流回路，也叫电源回路。由辅助电源 B 、测量电阻 R_1 、调定电阻 R_2 和调节电阻 R_3 等部件组成。

由辅助电源 B 所建立的工作电流 I ，在调定电阻 R_2 、测量电阻（或叫补偿电阻） R_4 上产生电压降。当开关 K 倒向“标准”位置时，则在检流计 G 中将有电流流过，若调节工作电流，即调节 R_3 ，总可以找到检流计 G 指零的状态，这时调定电阻 R_2 上的电压降与标准电池电动势 E_N 相互补偿了，即 $E_N = I R_2$ ，所以校准后的工作电流

$$I = \frac{E_N}{R_2} \quad (1.1.1)$$

保持电流 I 不变，再将开关 K 扳向“未知”位置，调节 R_4 ，使检流计再次指在零位上，即 $I_x = 0$ ，则 I 在 R_4 上的

电压降 U_x (称为补偿电压) 与 E_x 值相等, 即:

$$E_x = I R_x \quad (1.1.2)$$

将 (1.1.1) 代入 (1.1.2) 式得:

$$E_x = I R_x = \frac{E_N}{R_y} R_x = \frac{R_x}{R_y} E_N = k E_N \quad (1.1.3)$$

由 (1.1.3) 式可知, 如果知道比值 R_x/R_y 、标准电池电动势 E_N , 就能求出未知电动势 E_x 值, 这就是电位差计测量电压的基本原理。由此可见, 电位差计是一种比例仪器, 它是将已知标准电池电动势 E_N 分成连续可调而又已知的若干比例等分 $k E_N$, 即用已知电压 $k E_N$ 去补偿未知电压 E_x , 从而确定未知电压的数值。所以电位差计测量电压的方法又称补偿法。一般电位差计的辅助电源 B 、检流计 G 、标准电池 E_N 等部件都是外附的, 它的误差不包括标准电池 E_N 的误差, 所以补偿电压 U_x 的误差取决于测量电阻 R_x 与调定电阻 R_y 的比值, 也就是说电位差计是按 R_x 和 R_y 的比值进行工作的。由此可知, 如果电位差计示值超差的话, 那么超差的实质就是 R_x/R_y 的比值误差大了, 在修理时只要设法

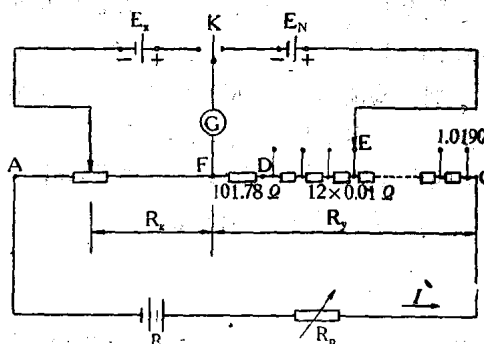


图 1.1.4 标准电池的温度补偿线路图

保持比值在规定误差范围内就能使电位差计合格。

三、标准电池的温度补偿问题

目前所采用的标准电池，均是用汞及镉汞合金做的化学电池，它的电动势值十分稳定，年变化量在 50 微伏（0.005 级或 I 级）或 100 微伏（0.01 级或 II 级）以内。但是，它的电动势受温度的影响很大，在不同的温度下，其电动势值也是不同的，在使用温度 $+5^{\circ}\text{C} \sim +35^{\circ}\text{C}$ 范围内的任一温度下，电动势值应按下式换算：

$$\begin{aligned} E_t &= E_{20} - 39.9 \times 10^{-6} (t - 20) - 0.94 \times 10^{-6} (t - 20)^2 + \\ &\quad + 0.009 \times 10^{-6} (t - 20)^3 \\ &\approx E_{20} - (t - 20)(t + 20) \times 10^{-6} \text{ 伏} \quad (1.1.4) \end{aligned}$$

式中： E_t ——温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时的电动势值（伏）；

E_{20} ——温度为 $+20^{\circ}\text{C}$ 时的电动势值（伏）；

t ——温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。

可见，电位差计若在 $5^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ 环境温度下使用，则标准电池的电动势值将在 $(E_{20} + 375 \text{ 微伏}) \sim (E_{20} - 825 \text{ 微伏})$ 之间变化，即有 1.2 毫伏的变化。为了克服温度变化带来的工作电流 I 的变化，现有的电位差计一般都有温度补偿盘，图 1.1.4 中的 R_{dc} 就是温度补偿盘电阻。因为

$$I = \frac{E_N}{R_T}$$

为要使 I 为某一恒定值，则只要使 E_N 、 R_T 同时按同样的倍数变化即可。

例如：在校准工作电流 I 的回路内

$$R_T = R_{TC} = R_{FD} + R_{DC}$$

当温度在 $5^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ 变化时， E_N 可能在 1.01780 ~ 1.0190 伏之间，如果取 $I = 10$ 毫安，则此时 R_T 的变化相应为：

$$R, \text{ 在 } \frac{1.01780 \text{ 伏}}{10 \text{ 毫安}} \sim \frac{1.0190 \text{ 伏}}{10 \text{ 毫安}}$$

之间, 即 101.78 欧 $\sim$ 101.90 欧

$$\text{取 } R_{FD} = 101.78 \text{ 欧}, R_{DC} = 12 \times 0.01 \text{ 欧} = 0.12 \text{ 欧}$$

$$\text{则 } R_{FC} = R_{FD} + R_{DC} = 101.78 \text{ 欧} + 0.12 \text{ 欧} = 101.90 \text{ 欧}$$

设 $E_{20} = 1.018600$ 伏, 当 $t = 35^\circ\text{C}$ 时,

$$E_{35} \approx E_{20} - (t - 20)(t + 20) \times 10^{-6}$$

$$= 1.018600 - (35 - 20)(35 + 20) \times 10^{-6}$$

$$= 1.018600 - 825 \times 10^{-6}$$

$$= 1.017775 \approx 1.0178 \text{ 伏}$$

电刷 E 可放在 D 点, 此时

$$I = \frac{1.0178 \text{ 伏}}{101.78 \text{ 欧}} = 10 \text{ 毫安}$$

当 $t = 5^\circ\text{C}$ 时

$$E_5 \approx 1.018600 - (5 - 20)(5 + 20) \times 10^{-6}$$

$$= 1.018600 + 375 \times 10^{-6}$$

$$= 1.018975 \approx 1.0190 \text{ 伏}$$

电刷 E 可放在 C 点, 此时

$$I = \frac{1.0190 \text{ 伏}}{101.90 \text{ 欧}} = 10 \text{ 毫安}$$

可见, 如果 R_{DC} 等分得足够细, 在温度变化时, 将温度补偿盘电刷 E 放在相应的位置, 就可补偿标准电池受温度变化而产生的影响, 使工作电流 I 无论在任何温度下均可调定为 10 毫安。

§ 1.2 直流电位差计的分类

一、按使用条件分类

1. 实验室型。主要在实验室条件下供精密测量用。

2. 携带型. 主要在生产现场供一般测量用, 并具有内附检流计、工作电源、标准电池 (或标准稳压源)。

二、按测量范围分类

1. 高电势电位差计. 第 I 测量盘的步进电压 $\Delta U_1 \geq 0.1$ 伏 (对第 I 测量盘为百步进盘时, 则 $\Delta U_1' \geq 0.01$ 伏), 能配用分压箱测量电压, 并具有泄漏和静电屏蔽。

2. 低电势电位差计. 第 I 测量盘的步进电压 $\Delta U_1 \leq 0.01$ 伏。

三、按未知端钮输出电阻的大小分类

1. 高阻电位差计. 输出电阻 ≥ 1000 欧。

2. 低阻电位差计. 输出电阻 $\leq$ 几百欧。

四、按测量量限的多少分类

1. 单量限电位差计。

2. 多量限电位差计。

五、按准确度等级分类

1. 实验室型: 0.0001 级, 0.0002 级, 0.0005 级, 0.001 级, 0.002 级, 0.005 级, 0.01 级, 0.02 级, 0.05 级。

2. 携带型: 0.02 级, 0.05 级, 0.1 级, 0.2 级。

六、按测量盘的结构或补偿电压的方式分类

1. 简单分压式线路: 测量电阻是由简单的分度十进盘和附加的滑线电阻盘组成的, 如 303、UJ23 等。

2. 串联代换式线路: 测量电阻是由代换十进盘组成的, 如 308、UJ9、UJ25、UJ24 等。

3. 并联分路式线路: 测量电阻是由分路十进盘组成的, 如 UJ14、UJ1 等。

4. 十进电流叠加线路: 测量电阻是按十进电流叠加线路组成, 补偿电压 (又叫测量电压) 是由几个互成十进关系的电流在同一列测量电阻上产生十进位的补偿电压, 如 UJ5。

UJ26、P306等。

5. 电压叠加式线路:补偿电压是由不同工作电流在不同测量电阻上产生的补偿电压串联叠加而成,如 UJ30等。

6. 桥式线路:补偿电压是由二个方向相反的工作电流分别在二部分电阻上的电压降之差产生的,如 KJ—48、3589R、UJ35、UJ32等。

7. 双电源及多电源电位差计:电位差计由几个电压回路组成。每个电压回路由一个辅助电源供电,补偿电压由这几个回路的补偿电压相加而成,如 UJ30、英国的 5400、44248等。顺便提一句,英国生产的电位差计,一般是给出 1 伏这一点的相对误差作为电位差计的相对误差,而且是在条件最理想时的数值,这一点应当特别注意,千万不能误认为是电位差计每个示值的相对误差。这与我国的规定是不相同的。

§ 1.3 怎样看电位差计的线路

为了提高电位差计的准确度,在增加读数位数、减少零电势影响、测量低电势、提高测量电路的电压灵敏度、减小触点过渡电阻不稳定的影响及减小热电势影响等方面采取了许多巧妙的措施,使得电位差计出现了种类繁多的线路型式。对于各种型式的复杂线路,我们怎样看懂它呢?为了掌握看线路的要领,必须在懂得原理的基础上,记住电位差计的三个基本回路中每一个回路所包含的特有元件。在看任一回路时,都不能混入其它回路的特有元件。遵循这一点,反复多次细心查看,就能够看懂所要了解的线路。下面举几个例子说明。

一、携带式 303 型和 UJ23 型电位差计

303 型电位差计大量地使用在车间、现场,用来测温 and 校验热工仪表。它的结构比较简单,使用方便,但准确度不

我们来分析它的三个回路.

2. 标准回路（亦即校准工作电流回路）：从标准电池的正极开始，（当开关扳向“标准”时）7、8通，经1.3千欧电阻，10、11通，经检流计G，4、5通，经300欧电阻，又经温度补偿盘（6欧）回到标准电池负极。

2

3通，经检流计G，11、12点通，回到电动势负极。

UJ23型电位差计是上海电工仪器厂现在生产的便携式电位差计，它有 $\times 1$ （红）和 $\times 0.2$ （黑）两个量限，其测量范围 $0 \sim 24.1 \sim 120.5$ 毫伏，它的原理线路图和简化线路如图1·3·2、图1·3·3所示。

它的测量盘电阻是由 11×1 欧的步进盘与一个 1.05 欧的滑线盘串联而成。它与303型电位差计比较，其测量盘电阻的基本结构都是简单分压式线路，不同在于303型只有一个量限，UJ23型有两个量限，而且UJ23的滑线电阻盘增加了桥式分路，使补偿电压可以从 -0.05 毫伏和 -0.25 毫伏开

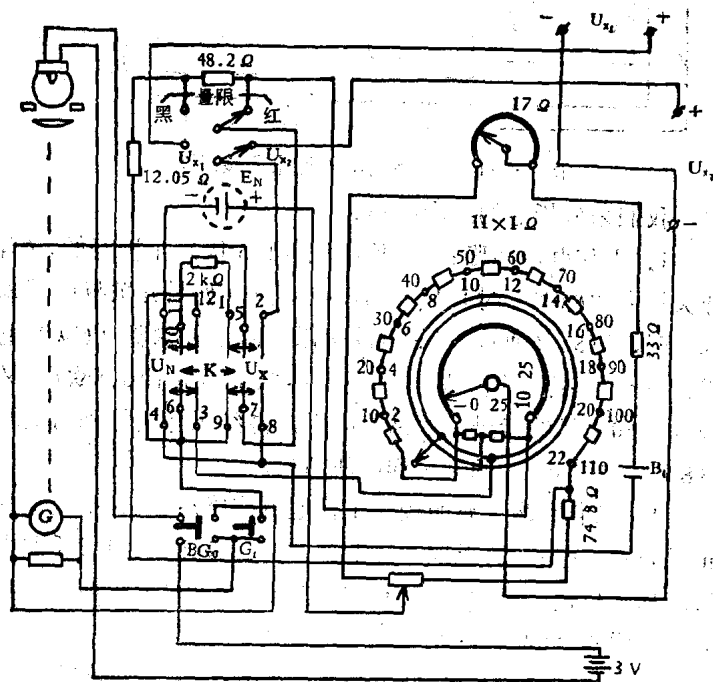
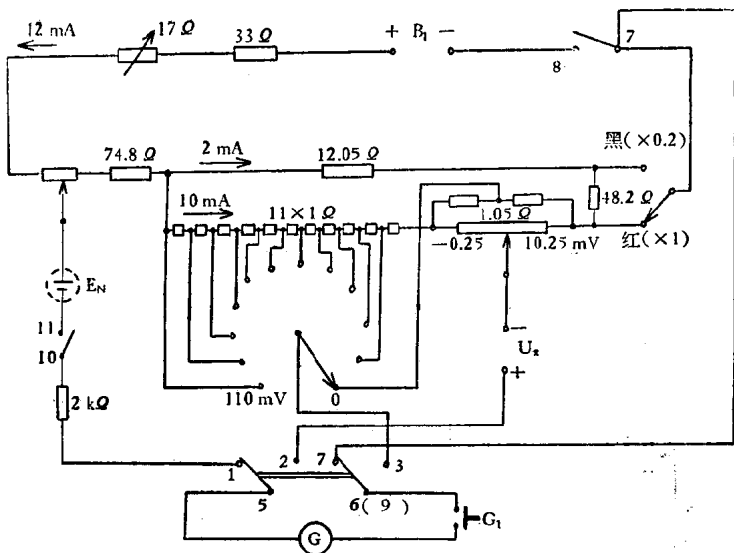


图 1·3·2 UJ23型电位差计原理线路图



始。现根据不同量限，参照上述分析 303 型电位差计的方法分别画出它的几个基本回路，如图 1.3.4、图 1.3.5、图 1.3.6 所示。