

鐵路員工技術手冊第八卷第十五冊

電工測量

蘇聯鐵路員工技術手冊編纂委員會編

人民鐵道出版社

目 录

利用直流测量的基本方法	1
架空线路和电缆线路利用直流的基本运用测量	6
利用直流方法决定架空线路和电缆线路中的障碍点	11
利用交流方法决定架空线路和电缆线路中的障碍点	21
测量地线电阻	28
测量杂散电流	30
用交流测量阻抗的基本方法	40
测量四端网络	51
测量传输电平和剩余衰耗	60
测量电缆中的电容耦合和电容不平衡	64
测量电话回路和通路中的干扰影响	67

利用直流测量的基本方法

按电桥法测量电阻

电桥法是用于测量电阻的所有方法中最准确的一种方法。电桥电路(图1)是由四个称为桥臂的电阻组成的： a 和 b ——平衡臂， R_N ——比较臂和 R_x ——待测臂。待测电阻 R_x 的数值由电桥平衡的条件来决定：

$$R_x = \frac{a}{b} R_N \quad (1)$$

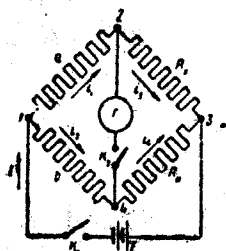


图1. 直流电桥电路

当检流计 Γ 的指针停留在零点上以后，电桥认为是平衡的，这种情况发生在点2和点4的电位相等时($i_1 = i_3$ 和 $i_2 = i_4$)。按电桥法测量电阻可用两种方法进行：(1)规定电桥平衡臂的一定比值 $\frac{a}{b}$ 后，改变比较电阻 R_N 的数值，一直到检流计的指针停留在零点为止，或(2)规定一定的数值 R_N 后，选取比值 $\frac{a}{b}$ 以实现同样的条件。

在测量过程中，以一定的顺序进行操作：在测量以前，首先闭合电池组 B 的回路(电键 K_1)；然后闭合检流计的回路(电键 K_2)；测量后，先断开检流计的回路；然后再断开电池组 B 的回路。

按安培表和伏特表法测量电阻

在用此法测量时，可采用两种仪表的连接电路(图2和3)。

待测电阻 R_x 的数值由下列公式决定：

对于图2的电路来说

$$R_x = \frac{u}{I - \frac{u}{r_a}}; \quad (2)$$

对于图3的电路来说

$$R_x = \frac{u}{i_1} - r_{a0} \quad (3)$$

在这些公式中， u ——伏特表的读数(伏)； I 和 i_1 ——安培表的读数(安)； r_a ——伏特表的电阻(欧)和 r_a ——安培表的电阻(欧)。

就其准确性来说，安培表和伏特表法远不及电桥法，但在待测电阻的数值与电流的数值有关且又必须考虑这个关系的情况下，采用此法是合适的。规定必须电流值，利用变阻器 r 来实现。

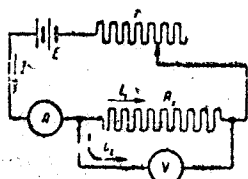


图2. 按安培表和伏特表法测量电阻的电路——方案1

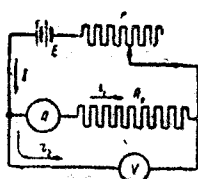


图3. 按安培表和伏特表法测量电阻的电路——方案2

在选择测量电路时，建议应用下列规则：如 $R_x < \sqrt{r_a r_a}$ ，则采用图2的电路，如 $R_x > \sqrt{r_a r_a}$ ，则采用图3的电路。

按代替法测量电阻

在开关 K 的位置1——2时(图4)，记住仪表 A (通常是毫安表)的指针偏转位置；此后将开关 K 转换到位置1——3，并改变电阻 R_N 的数值，以达到指针的同样偏转。则

$$R_x = R_N. \quad (4)$$

测量时，必须注意到电池组的直流电压 E 。

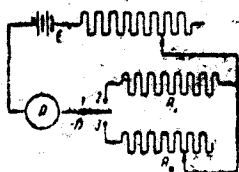


图4. 按代替法测量电阻的电路

这种方法用以测量约为2000欧以上的电阻。

按比較法測量大電阻

比較法只用以測量約從 1 兆歐開始的大電阻。因此，在通信架空線路和電纜線路上通常利用它來測量導線間或導線和大地間的絕緣電阻。

圖 5 的電路表示出用以測量單線對地的電阻。

測量分兩步進行：

首先，將開關 Π_1 轉到位置 1 —— 2；這時測量電池組 E 的電流流過檢流計

Γ 和與檢流計串聯的標準電阻 R_N ，檢流計（磁電式）偏轉到刻度 α_1 。

然後，將開關 Π 轉到位置 1 —— 3；則測量電池組 E 的電流流過檢流計和兩個串聯電阻（ R_N ——比較電阻和 R_x ——待測電阻），檢流計的指針偏轉到刻度 α_2 。

未知的絕緣電阻值 R_x ，可由下列公式決定：

$$R_x = R_N \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_2} \quad (5)$$

在測量絕緣電阻時，利用檢流計和分流器聯合使用，因為這是改變儀表的靈敏度範圍，因此，也是擴大測量的範圍所必須的。

在結構的關係上來說，分流器分為叉簧式的和插塞式的，而就其原理圖來說，可分為簡單的和通用的。

圖 6 列出具有分流系數 $\frac{1}{n}$ （等於 $\frac{1}{1}$ ； $\frac{1}{10}$ ； $\frac{1}{100}$ ； $\frac{1}{1000}$ ）的簡單（插塞式的）分流器的電路。

對於每一種分流度來說，分流器和檢流計的電阻間應存在下

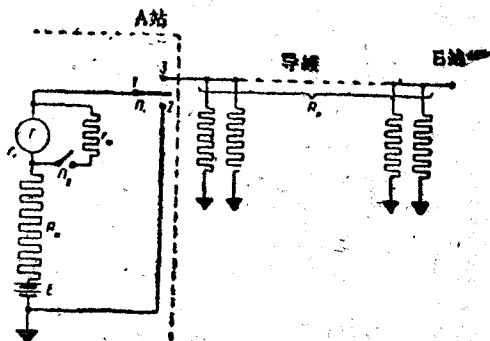


圖 5. 按比較法測量大電阻的電路

列关系

$$r_n = \frac{r_s}{n-1} \quad (6)$$

式中 r_n ——分流器的电阻和 r_s ——檢流計的电阻。

图7列出通用(叉簧式的)分流器的电路,它可利用具有任意内阻 r_s (直到 $r_s > R$) 的檢流計。

在分流器的位置 $\frac{1}{1}$ 上,檢流計将被电阻 R 所分路。在分流器的所有其他位置上,例如在位置 $\frac{1}{n}$, 从 A 点到所有任一引出端的电阻 $\left(\frac{R}{n}\right)$ 自然是分流器,而另一部分从引出端到 B 点的电阻 $\left(\frac{n-1}{n}R\right)$ 是对檢流計的附加电阻;这时,通过檢流計的电流只有在位置 $\frac{1}{1}$ 时的 $\frac{1}{n}$ 。

通用分流器的缺点是檢流計的灵敏度由于它的路作用(即使在位置 $\frac{1}{1}$ 上也有分路作用)而有些降低。

上述的分流器电路(图6和7),不管从檢流計方面或测

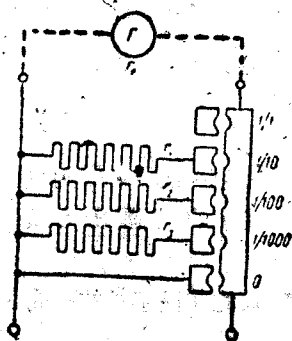


图6. 簡單分流器的电路。

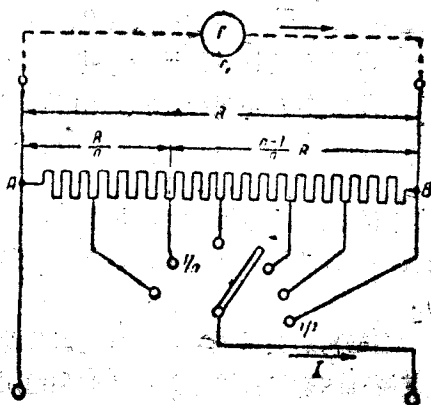


图7. 通用分流器的电路

量电路方面来看,都没有固定的电阻。有一些结构比较复杂的分流器,它们具有与开关(插塞)位置无关的固定电阻(从电路的

一方面或两方面来看)。

可以计算绝缘电阻待测数值 R_x 的表示式 (5)，对于测量过程中未采用分流器的情况来说是正确的。

如在测量时利用分流器，则计算 R_x 的公式将如下列形式：

$$R_x = R_N \frac{\alpha_1 n - \alpha_2 m}{\alpha_2 m}, \quad (7)$$

式中 n 和 m ——在测量的第一步和第二步时，相应于分流器位置的系数 (1, 10, 100 或 1000)。

按双电桥法测量小电阻

双电桥法用以测量小于 1 欧的 (导线、焊接、接头) 电阻。

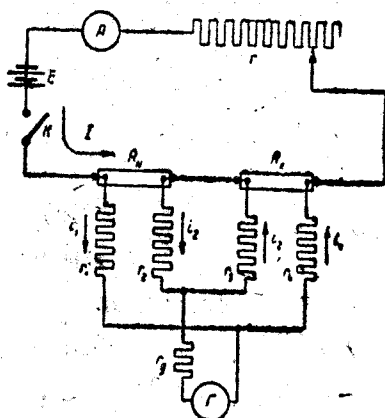


图8 双电桥电路

利用这种方法测量是在于，约为 2~3 安的电流流过电阻 R_N (数值较小的标准电阻) 和 R_x (待测电阻) (图 8)；借助变阻器 r 来规定电流的数值。

然后，改变电桥平衡臂中电阻 r_1 , r_2 , r_3 和 r_4 的数值，以达到电桥平衡。

通常这样选取平衡臂，使得 $r_1 = r_2$ 和 $r_3 = r_4$ 。这时按下列公式计算待测电阻 R_x 的数值：

$$R_x = R_N \frac{r_3}{r_2} = R_N \frac{r_3}{r_2}. \quad (8)$$

用冲击法测量电容量

在用此法测量时，需要有增加惯性矩的检流计 (冲击的)，在这种检流计中，指针的偏转和通过检流计的电量成正比。这种

方法是基于两个电容器的电容量的比较： C_N ——标准电容器和 C_x ——待测电容器（图9）。

用两个电容器依次（将刀形开关 Π_1 转到位置 1——2 和 1——3）由电池组 E 充电（刀形开关 Π_1 在位置 1——2）。然后，电容器依次在检流计上放电（在刀形开关 Π_1 的位置 2——3）并记住检流计指针的偏转 α_N 和 α_x 。待测电容量的数值按下列公式进行计算：

$$C_x = C_N \frac{\alpha_x}{\alpha_N} \quad (9)$$

为取得较大的准确性，必须选取在数值上接近于待测电容量的标准电容量。在电容量数值有显著差别时，为取得比较相近的充电，应利用电压数值不同电池组的对电容器充电。

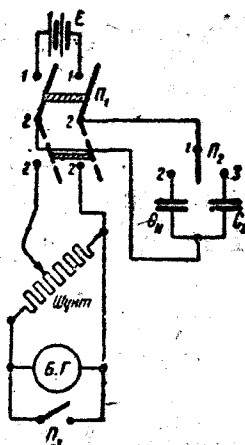


图9 用冲击法测量电容量的电路

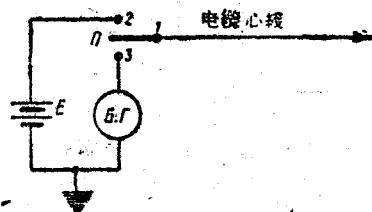


图10. 测量电缆心线对地电容量的电路

这时

$$C_x = C_N \frac{E_N \alpha_x}{E_x \alpha_N} \quad (10)$$

用来测量电缆心线对地电容量的示意图列于图10。

测量时，待测心线在开关

Π 的位置 1——2 于 $\frac{1}{2} \sim 1$

分钟的时间内被充电，然后在位置 1——3，心线通过冲击检流计 B.Γ. 放电。

架空线路和电缆线路利用直流的

基本运用测量

测量导线电阻和绝缘电阻。在潮湿天气测量时的校正

测量导线电阻和导线绝缘电阻的目的是将测量结果和规定标

准相比較来估計导綫的工作状况。因为标准是对于相应电气数量的公里数值給出的，則测量的数值应由下式折合到一公里的导綫：

(a) 对于电阻

$$r = \frac{R_1}{l}, \quad (11)$$

或

$$r = \frac{R_m}{Zl}, \quad (12)$$

在上式中

r ——单导綫的电阻 (欧/公里)；

R_1 ——整个待测区段长度上的单导綫电阻 (欧)；

R_m ——整个待测区段长度上的双綫(环綫)回路电阻 (欧)；

l ——待测区段的长度 (公里)；

(б) 对于絕緣电阻

$$w = Wl, \quad (13)$$

式中 w ——单綫对地的絕緣电阻或导綫間的絕緣电阻 (欧·公里或兆欧·公里)；

W ——整个待测区段上单綫对地的絕緣电阻或导綫間的絕緣电阻 (欧或兆欧)。

在測量导綫时，必須記錄进行測量时的温度 $t^\circ\text{C}$ ；至少在待测导綫的起点和終点决定温度，并在計算时取平均值

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (14)$$

在必須将待测电阻数值折合到一定温度下的电阻数值时，按下式进行計算

$$r_t = r_{20} [1 + \alpha(t - 20)], \quad (15)$$

式中 r_{20} —— $+20^\circ\text{C}$ 时的导綫电阻 (欧)； r_t —— $t^\circ\text{C}$ 时的导綫电阻 (欧) 和 α ——温度系数 (銅等于 0.00393，双金属 等于 0.0041 和鋼等于 0.00455)。

在絕緣降低 (潮湿天气) 时測量导綫的情况下，計算导綫电

阻和絕緣电阻时必须引进相应的校正。問題是，在測量導綫电阻时事实上是測量所謂的短路电阻 $R_{k,x}$ ，同样在測量絕緣电阻时是測量所謂的空載电阻 $R_{x,x}$ 。

導綫的絕緣愈低， $R_{k,x}$ 和 $R_{x,x}$ 的数值与实际的电阻和絕緣电阻的数值相差愈大（前者增加，而后者减小）。

考虑到校正，公式将有下列形式：

$$R_\theta = R_{k,x} K; \quad (16)$$

$$W_\theta = \frac{R_{x,x}}{K}, \quad (17)$$

式中 R_θ 和 W_θ ——回路电阻和絕緣电阻的实际数值；

$R_{k,x}$ 和 $R_{x,x}$ ——回路的短路和空載电阻的測量数值；

K ——改正系数。

改正系数是測量数值 $R_{k,x}$ 和 $R_{x,x}$ 的函数，对于每种情况可按下列公式計算

$$K = \frac{\frac{1}{2} \ln \frac{1 + \sqrt{\frac{R_{k,x}}{R_{x,x}}}}{1 - \sqrt{\frac{R_{k,x}}{R_{x,x}}}}}{\sqrt{\frac{R_{k,x}}{R_{x,x}}}} \quad (18)$$

改正系数 K 的数值列于表 1 中。实际上，在 $\frac{R_{k,x}}{R_{x,x}} \geq 0.025$ 的情况下应该进行校正。

測量双綫回路導綫电阻的不平衡

双綫回路導綫的电阻 R_1 和 R_2 之差叫做双綫回路电阻的絕對不平衡，即数值

$$A = (R_1 - R_2) \quad (19)$$

回路相对不平衡（百分数）按下列公式計算：

$$A = \frac{2(R_1 - R_2) \cdot 100\%}{R_1 + R_2} \quad (20)$$

測量双綫回路的不平衡可以用两种方法进行——接地环线法

(它优越地使用在架空线路的测量中)和三和法(在测量电缆线路时,特别是在测试大容量的电缆时最为方便)。

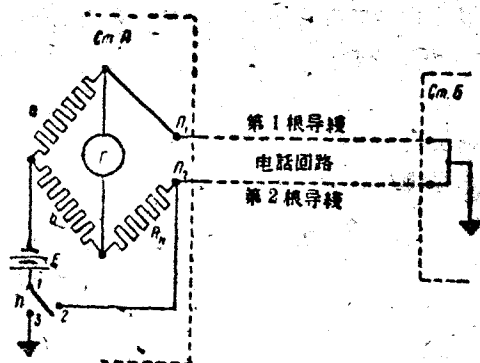


图11. 按接地环线法测量双线路不平衡的电路

接地环线法。

按接地环线法测量双线路的不平衡,利用直流电桥来实现(图11)。

在从A站测量以前,区段对面一端(B站)的二根

改正系数 K 的数值

表 1

$\frac{R_{k,3}}{R_{x,x}}$	K	$\frac{R_{k,3}}{R_{x,x}}$	K
0	1	0.675	1.415
0.005	1.002	0.70	1.447
0.01	1.004	0.725	1.481
0.05	1.018	0.75	1.521
0.10	1.035	0.775	1.563
0.15	1.055	0.800	1.603
0.20	1.076	0.825	1.670
0.25	1.097	0.85	1.738
0.30	1.123	0.875	1.815
0.35	1.150	0.90	1.920
0.40	1.178	0.91	1.966
0.45	1.211	0.92	2.016
0.50	1.246	0.93	2.074
0.525	1.265	0.94	2.142
0.55	1.287	0.95	2.263
0.575	1.307	0.96	2.345
0.60	1.331	0.97	2.424
0.625	1.357	0.98	2.674
0.65	1.384		

回路导线 (Π_1 和 Π_2) 应短路且接地。

测量分两步进行。首先在开系 Π 的位置 1——2 测量环线电阻 R_m ，它等于两根导线的电阻之和：

$$R_m = R_1 + R_2 \quad (21)$$

然后，将开关 Π 转到位置 1——3，重新达到电桥的平衡，此后根据得出的结果计算导线 Π_2 的电阻 R_2 ：

$$R_2 = \frac{R_m - \frac{a}{b} R_N}{1 + \frac{a}{b}} \quad (22)$$

式中 $\frac{a}{b}$ ——电桥平衡臂的电阻比。

导线 Π_1 的电阻 R_1 由下式求出：

$$R_1 = R_m - R_2 \quad (23)$$

知道 R_1 和 R_2 的数值后，按公式 (19) 求不平衡数值。

三和法。为了按三和法测量双回路的不平衡必须利用三根辅助导线。在从A站测量前 (图12)，B站的所有三根导线应短接。然后顺序进行三次导线的测量，成双地取：

$$R_{m1} = R_1 + R_2; \quad (24)$$

$$R_{m2} = R_2 + R_3; \quad (25)$$

$$R_{m3} = R_1 + R_3; \quad (26)$$

从取得的三个方程式中求出三根中每一根导线的电阻值：

$$R_1 = \frac{R_{m1} + R_{m3} - R_{m2}}{2}; \quad (27)$$

$$R_2 = \frac{R_{m1} + R_{m2} - R_{m3}}{2}; \quad (28)$$

$$R_3 = \frac{R_{m2} + R_{m3} - R_{m1}}{2} \quad (29)$$

双回路 Π_1 —— Π_2 的不平衡值 A 由电阻 R_1 和 R_2 之值求得。

在用所述顺序测量多心线的电缆时，只要测量和计算前三根心线的电阻；其余各心线的电阻可以很简单地决定。

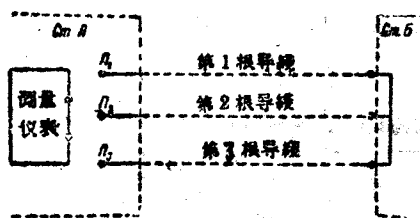


图12. 按三和法测量双绞回路不平衡的电路

例如，取第一根心线，在B站第四根心线
和它相连，且测量环线
电阻： $R_{m4} = R_1 + R_4$ 。
因为第一根心线的电阻
已知，则很容易决定数
值 R_4 ：

$$R_4 = R_{m4} - R_1 \quad (30)$$

因此，测量所有和第一根心线在一起的其他心线，它们的电阻数值可用简单的计算方法来决定。

测量单线电报导线的电阻应该用按地环线法和三和法来进行，因为这时消除了直接测量单线回路（有经过大地的电流返回）所固有的误差和不准确性。

利用直流方法决定架空线路和电缆 线路中的障碍点

障碍的类型和特征；障碍导线的预先测试

通信和信号集中闭塞的架空线路和电缆线路的最有代表性的障碍类型是：导线的接地、混线和断线，以及双绞回路导线电阻增高的不平衡。

为了迅速地决定障碍的类型，必须借伏特表或毫安表和附加电阻进行最简单的测试；这时测量仪表和电池组应按图13所示的情况连接。

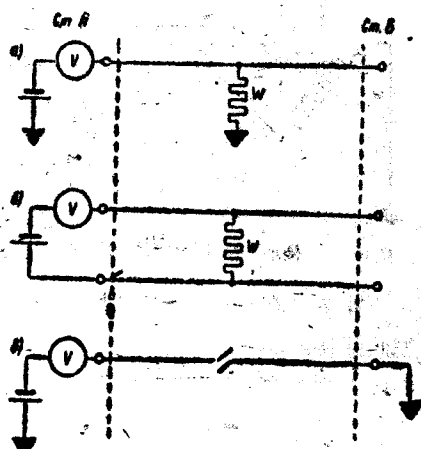


图13 用以决定障碍性质的导线测试电路

每一类障碍有其固有的特征；按照这些特征以及仪表的指示可判断最简单的障碍（表2）。

导线障碍的类型和特征

表2

障 碍 类 型	障 碍 的 特 征	测 试 电 路 和 仪 表 的 指 示
导线接地	单线电报回路中输出电流减小。 在双线电话回路中出现杂音；双线接地时回路的衰减增加，这就同时发生可听见的衰减	图13, a; 接地点的接触电阻 W 愈小, 仪表的指针偏转愈大
混 线	电话回路的作用衰减或完全中断（在回路混线时）或在电话回路中出现杂音（在和电报导线或相邻电话回路导线相混时）	图13, b; 仪表的指针偏转
断 线	单线电报回路中电流中断。 电话回路的作用中断	图13, c; 看不出指针的偏转
增高的电阻不平衡	在双线电话回路中出现杂音	不平衡的数值由接地环线法决定

决定导线接地点

接地环线法——摩来电路（图14）。在电缆中或架空回路中除

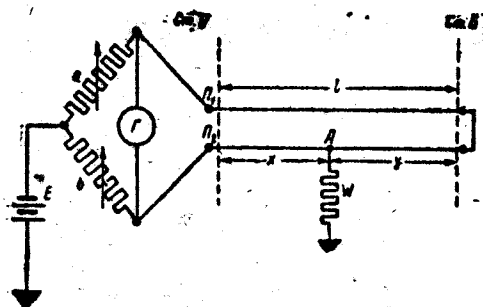


图14. 由接地环线法——摩来电路决定混线地点

去接地导线 (Π_2) 外, 还有一根正常的导线 (Π_1) 时, 后者用作为辅助导线。在障碍导线和辅助导线具有相同的材料和直径的情况下, 决定导线的接地点 (A 点)

最为简单。在从 A 站测量时, 区段对面一端 (B 站) 的两根导线彼此连接。测量在于建立电桥的平衡。在测量结果中, 从 A 站到接地点的距离 x 公里可由下列公式决定

$$x = \frac{2l}{1 + \frac{a}{b}} \text{ 公里,} \quad (31)$$

式中 l ——待测区段 AB 的长度 (公里); a 和 b ——电桥平衡臂的电阻 (欧)。

如果可能的话,为了检验结果,从 B 站进行测量并决定从 B 站到接地点的距离 y 公里。

接地环线法——瓦来电路。情况 1。 两根导线 (障碍导线

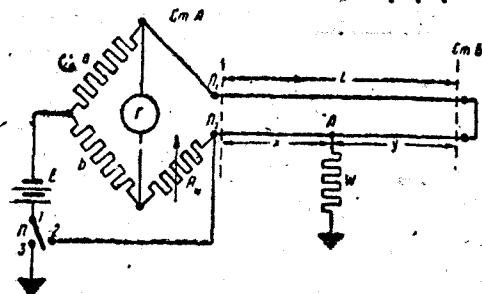


图15. 按接地环线法——瓦来电路决定导线接地点, 情况 1

II_1 和辅助导线 II_2)

具有相同的直径和材料。按图 15 的电路进行两次测量。首先在开关 II 的位置 1——时测量两根导线的环线电阻 R_m ; 求得的电阻等于:

$$R_m = 2rl, \quad (32)$$

式中 r ——单线电阻 (欧 / 公里)。

然后, 在开关 II 的位置 1——3 作第二次测量, 并在电桥建立平衡后, 记下电阻 a , b 和 R_N 的数值。

这时, 到接地点的距离 x 公里由下列公式决定

$$x = \frac{R_m - \frac{a}{b} R_N}{r \left(1 + \frac{a}{b} \right)} \text{ 公里。} \quad (33)$$

在平衡臂的电阻相等 ($a = b$) 时, 实际上通常是这样的, 公式 (33) 成为很简单的形式

$$x = l \left(1 - \frac{R_N}{R_m} \right) \text{ 公里。} \quad (34)$$

情况 2。 导线具有不同的材料和直径, 但辅助导线 II_1 的电阻值 R_n 可用前面单独测量的方法决定。

这时, 按图 16 的电路进行两次测量。首先在开关 II 的位置 1——2 测量两根导线的环线电阻 R_m ;

$$R_{uu} = R_n + r l_0 \quad (35)$$

由公式 (35) 計算
障導綫的电阻 r (欧
/公里) :

$$r = \frac{R_{uu} - R_n}{l} \text{ 欧/公
里。} \quad (36)$$

然后在开关 II 的位
置 1——进行第二次测
量, 从測量結果中得出

$$x = \frac{R_{uu} - \frac{a'}{b'} R_{N_1}}{r \left(1 + \frac{a'}{b'} \right)} \text{ 公里。} \quad (37)$$

如果电桥的平衡臂相等 ($a' = b'$) , 則

$$x = \frac{R_{uu} - R_{N_1}}{2r} \text{ 公里。} \quad (38)$$

情况 3。導綫具有不同的材料和直徑, 而輔助導綫的电阻 R_n 不知道, 且不可能用預先測量的方法求得。这时, 为了決定障導点, 应进行三次測量。在第一次測量时 (可从 A 站或 B 站进行), 決定环线电阻 R_{uu}

$$R_{uu} = R_n + r l_0 \quad (39)$$

在第二次从 A 站測量时 (图 16 的接地环线电路, 开关 II 在位

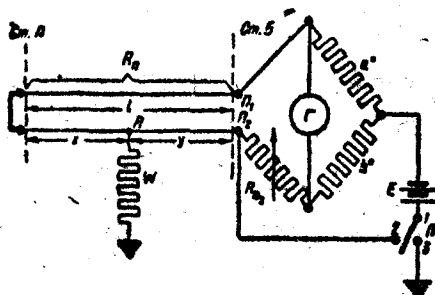


图 16. 接地点环线法——瓦来电路決定
導綫接地点, 情况 2

置 1——3), 当电桥
建立平衡后, 記下电阻
 a' , b' 和 R_{N_1} 的数值。

在第三次从 B 站測
量时 (图 17), 和第二
次測量相似地进行, 記
下电阻 a'' , b'' 和 R_{N_2} 的
数值。

如在第二次和第三

次测量时，平衡臂的电阻相等，即 $a' = b'$ 和 $a'' = b''$ （这一点最好要实现，则决定距离 x 公里的式为

$$x = \frac{l(R_m - R_{N_1})}{2R_m - (R_{N_1} + R_{N_2})} \text{ 公里,} \quad (40)$$

如果辅助导线在全部长度上，而障碍导线在接地点的两方面具有高度的绝缘，则由接地环线法测量的结果是充分准确的。

补偿法。在导线接地点的接触电阻 W 的数值很大以及有高度对地绝缘的辅助导线时，可以应用这种方法；这时辅助导线的电阻 R_n 可以是未知的。

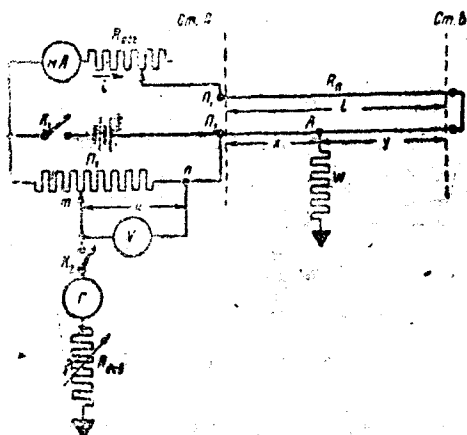


图18. 决定导线接地点的补偿法

测量由电键 K_1 的闭合开始，此后，

根据毫安表 mA 的读数，在回路中规定电流的选择数值 i ；以后闭合电键 K_2 并移动电位器 II_m 的活动臂，使检流计 G 的指针停留在零点，电路中的这种情况相应于等式：

$$U = irx, \quad (41)$$

式中 U —— 电位器的 $m-n$ 点间的测量电压；

i —— 导线中的电流值和

r —— 障碍导线的电阻（欧/公里）。

由方程式 (41) 决定从 A 站到障碍点的距离 x 公里

$$x = \frac{U}{ir} \text{ 公里.} \quad (42)$$

为校正测量的结果，从 B 站进行重复的测量和决定距离 y 公里是适宜的。