

综合中同轴电缆的电气测试



电信技术基础自学丛书

NXIN JISHU JICHU ZIXUE CONGSHU

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书原为南京邮电学院综合中同轴电缆维护技术人员训练班的讲义，在改编成书时曾作了一些修改与补充，以适合读者自学的需要。

本书内容主要介绍综合中同轴电缆在维护与施工中需要进行的各项电气特性测试。在讲述每项测试时，都先讲原理再讲测试方法并对各项测试所常用的仪表加以扼要的介绍。书中所介绍的仪表为国产仪表。

在综合中同轴电缆中包括了高频四线组，因此本书所介绍的四线组测试方法也可用于高频对称电缆的电气测试。

综合中同轴电缆的电气测试

(电信技术基础自学丛书)

南京邮电学院综合中同轴
电缆维护技术人员训练班编

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津市第一印刷厂印刷

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 1976年6月第一版

印张：5 24/32 页数92 1976年6月天津第一次印刷

字数：137千字 印数：1——25,000册

统一书号：15045·总2097——有534

定价：0.47元



毛主席语录

在生产斗争和科学实验范围内，
人类总是不断发展的，自然界也总是
不断发展的，永远不会停止在一个水
平上。因此，人类总得不断地总结经
验，有所发现，有所发明，有所创
造，有所前进。

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线的指引下，我国的通信事业正在飞速发展。

为了落实伟大领袖毛主席“备战、备荒、为人民”的战略方针；为了保证毛主席和党中央的号令迅速地传达到全国各地；为了适应我国社会主义建设飞速发展的需要，一个以现代化通信工具为主的四通八达的通信网将在全国范围内建立起来。综合中同轴电缆是这个现代化通信网的骨干。

为了适应通信电缆建设的需要，邮电部在我院开办了综合中同轴电缆维护技术人员训练班。本书是在综合中同轴电缆维护技术人员训练班的讲义基础上编写的，内容以2.6/9.4 四管综合中同轴电缆为典型设备，主要讲述综合中同轴电缆中的同轴管和对称四线组的电气测试方法，着重介绍施工与维护中经常要测试的一些项目，并介绍进行这些测试项目需要使用的仪器的原理、性能和使用方法。书中所介绍的测试仪表，均以国产仪表为典型，以适应各施工和维护单位的实际需要。

本书主要供从事长途电缆维护工作的同志阅读，也可供从事长途电缆设计、施工工作的同志参考。本书内容力求简练，着重讲解实际测试方法，避免复杂的数学推导。

由于编者水平所限，不妥之处请读者同志们批评指正。

南 京 邮 电 学 院
综合中同轴电缆维护技术人员训练班

一九七五年八月

目 录

第一章 直流电气测试	(1)
第一节 导线直流电阻及回路不平衡电阻测试.....	(1)
第二节 绝缘耐压测试.....	(23)
第三节 线间绝缘电阻测试.....	(29)
第二章 交流电气测试	(34)
第一节 工作电容测试.....	(34)
第二节 回路衰耗测试.....	(37)
第三节 串音衰耗测试.....	(56)
第四节 回路输入阻抗测试.....	(65)
第五节 回路波阻抗及固有衰耗测试.....	(81)
第三章 脉冲测试	(104)
第一节 测试的目的、内容与标准.....	(104)
第二节 脉冲测试的基本原理.....	(106)
第三节 电子示波器的工作原理.....	(116)
第四节 M693—1型电缆脉冲测试仪.....	(123)
第五节 P— l 校正曲线板的制做	(142)
第四章 障碍测试	(150)
第一节 电缆线路障碍的种类和产生的原因.....	(150)
第二节 判断线路障碍种类的方法.....	(151)
第三节 用 850 电桥测定障碍地点的方法.....	(154)
第四节 用交流测试断线和错对障碍点.....	(161)
第五节 同轴电缆的障碍处理.....	(171)

第一章 直流电气测试

本章介绍综合中同轴电缆的同轴管和四线组的直流电气特性的测试，包括直流电阻、不平衡电阻、绝缘耐压及绝缘电阻的测试。

第一节 导线直流电阻及回路不平衡电阻测试

一、测试的目的、内容与标准

导线直流电阻测试是检验电缆制造质量及安装质量是否符合电气标准的措施之一。如导线的直流电阻偏差超出规定标准，则将影响电缆的回路衰耗，使其偏差变大，对机线配合将受到影响。对同轴管来说，同轴管的衰耗与导线直流电阻的平方根成正比。故控制导线直流电阻值在规定的范围内，对控制电缆的回路衰耗在允许偏差范围内有一定的影响。另外，也可通过直流电阻的测试发现电缆回路是否存在其他不正常状况。例如，导线接续不良，则将出现较大的不平衡电阻值或出现导线电阻时大时小的现象等等。

综合中同轴电缆中有2.6毫米径的同轴管内导体，0.9毫米径的四线组心线及0.6毫米径的信号线。这些导线在20℃时的直流电阻暂订标准如下：

同轴管内导体电阻 <3.8 欧/公里；

四线组单线电阻 <28.5 欧/公里；

信号线单线电阻 <65.8 欧/公里。

制造长度的回路不平衡电阻 $<$ 该回路电阻的 1% 欧。

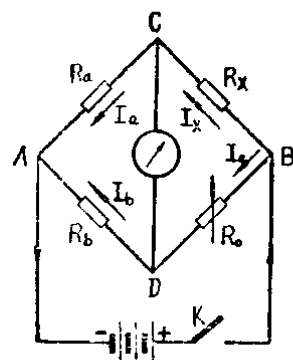
增音段长度的回路不平衡电阻 $<0.56\sqrt{l}$ 欧。

(l 为增音段长度, 单位为公里)

直流电阻的测量通常用直流电桥来进行。下面介绍直流电桥的基本原理。

二、直流电桥的原理

图(1—1)为直流电桥原理图。直流电桥由四个桥臂组成。图中 R_a 、 R_b 为电桥



图(1—1)
直流电桥原理图

的两个固定桥臂, 称为比例臂。通常 $\frac{R_a}{R_b} = n$ 构成固定的比值, 如: $n = 0.1, 0.01, 0.001, 1, 10, 100, 1000$ 。 R_0 为标准可变电阻箱, 系用来平衡电桥之用, 称为标准电阻臂。 R_x 为被测电阻, 称为被测电阻臂。 G 为检流计, E 为电池, K 为开关。

当调整标准电阻 R_0 使检流计 G 中没有电流通过时, 则 C 、 D 两点的电位相同, 电桥处于平衡状态。这时则有:

$$\begin{aligned} I_a &= I_x, & I_b &= I_0, \\ I_a R_a &= I_b R_b, & I_x R_x &= I_0 R_0, \end{aligned}$$

$$\text{由此: } \frac{I_a R_a}{I_x R_x} = \frac{I_b R_b}{I_0 R_0}$$

$$\therefore \frac{R_a}{R_x} = \frac{R_b}{R_0} \text{ 或 } R_a R_0 = R_b R_x$$

$$R_x = \frac{R_a}{R_b} \cdot R_0 = n R_0$$

式中 $n = \frac{R_a}{R_b}$ ，称为比例臂的比值。当 $n = 1$ 时，得 $R_x = R_0$ ，

这时标准电阻臂的读数，就等于被测电阻的数值。

结论：电桥平衡后，则邻边的桥臂比值相等：

$$\frac{R_a}{R_b} = \frac{R_x}{R_0}$$

或对边的桥臂相乘积相等

$$R_a \cdot R_0 = R_b \cdot R_x$$

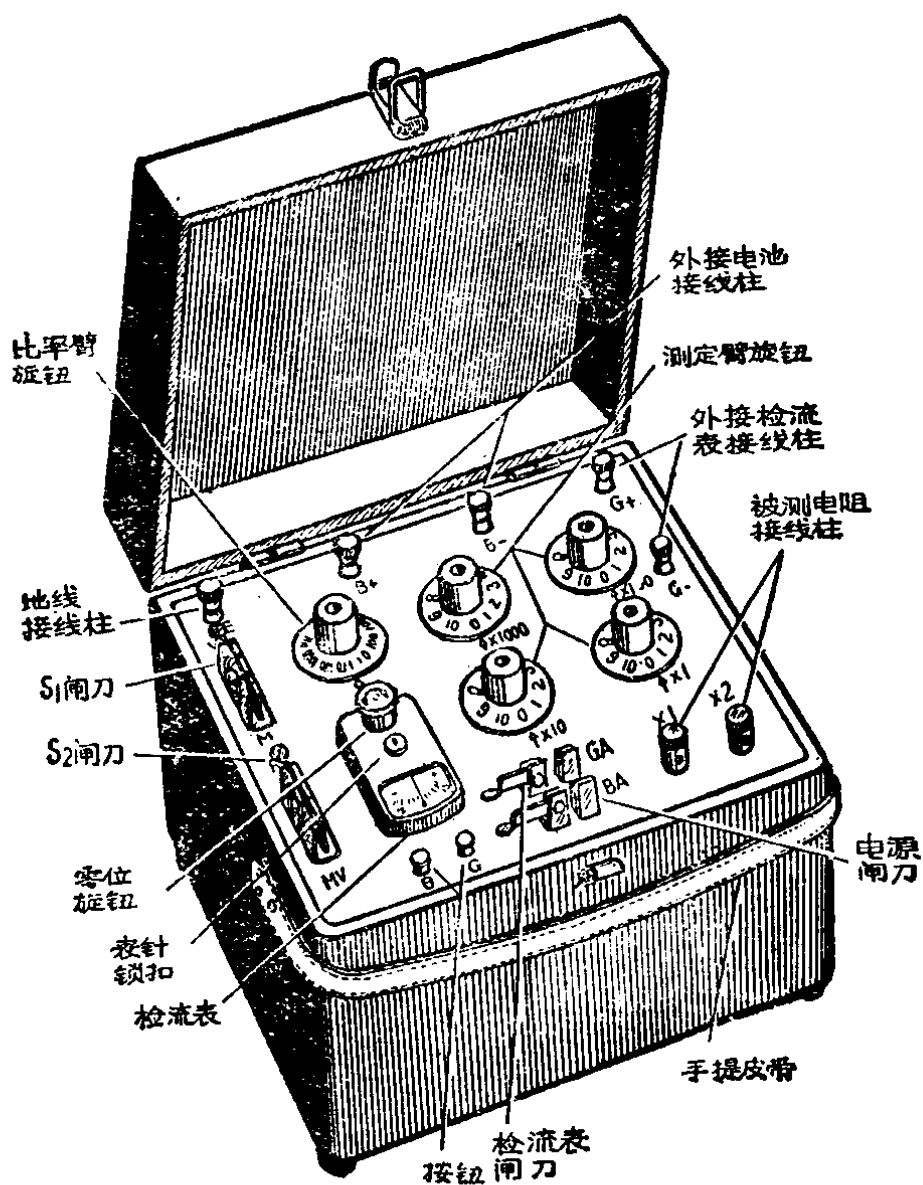
三、850型电桥的结构及其基本电路

850型电桥是一种通用的直流电桥。它能测试导线的直流电阻、不平衡电阻及测定线路的障碍地点等。

(一) 面板图

图（1—2）为850型电桥的面板图，面板上各部件的作用如下：

1. E 端子——接地气线或与电缆外皮相连；
2. BA⁺、BA⁻端子及BA刀键——不用仪器内部的电池或外接交流电源时，可将BA刀键打开，将外部电源接至BA⁺、BA⁻端子上；
3. G⁺、G⁻端子及GA刀键——仪器上的检流计损坏或采用耳机代替检流计时，可将GA刀键打开，将外接电表或耳机接至G⁺、G⁻端子上；
4. X₁、X₂端子——接被测线路；
5. G按钮——为检流计回路中的开关，按下G按钮检流计即接入桥路；
6. B按钮——为电源电路中的开关，按下B按钮电源即接



图（1—2） 850型电桥面板图

入桥路；

7. 四个可变电阻——互相串接，分别为千、百、十、个四位数字的电阻，其电阻的可调范围为 $0 \sim 9999$ 欧，相当于桥路中的 R_0 ；

8. 比例盘——位于仪器的左上方，有 0.001 、 0.01 、 0.1 、 1 、

10、100、1000等档位，表示 $\frac{R_a}{R_b} = n$ 的数值。还有M10、M100、M1000为莫来测试法的比例臂电阻值，分别为10欧、100欧及1000欧；

9.检流计——此检流计为一高灵敏度的电流表，表头上有一锁扣，仪器使用完毕应将锁扣推上，使电表指针被卡住，以防机械震动损伤表针。在仪表使用之前必须将锁扣拉回，使电表指针能自由摆动；

10.〈VR—M〉及〈R—MV〉单刀双掷刀键——此二刀键为改变电桥测试电路之用。

当〈VR—M〉倒向VR，〈R—MV〉倒向R时，为普通电桥电路（这时两刀键有共同的“R”字）。

当〈VR—M〉倒向VR，〈R—MV〉倒向MV时，为伐来法测试电路（这时两刀键有共同的“V”字）。

当〈VR—M〉倒向M，〈R—MV〉倒向MV时，为莫来法测试电路（这时两刀键有共同的“M”字）。

（二）内部电路结构图

图（1—3）及图（1—4）为850型电桥的电路图及内部接线图。

通过〈VR—M〉及〈R—MV〉刀键的变换，可组成如图（1—5）所示的三个基本电路，即普通电桥电路、伐来法测试电路和莫来法测试电路。兹分别介绍于下：

1.普通电桥电路

普通电桥电路用于测试元件的电阻及电缆心线的环路电阻，电路如图（1—5）（a）所示，这时刀键位置倒向“VR”

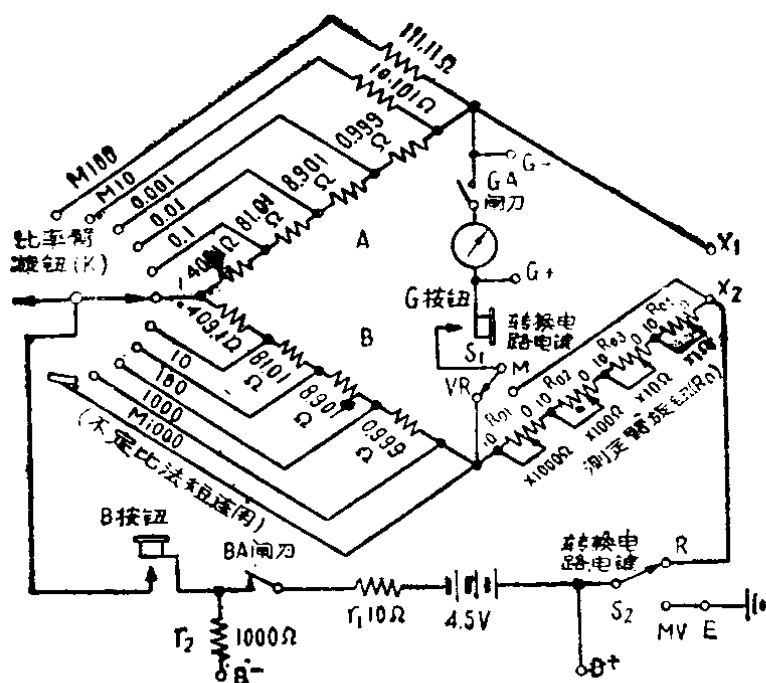


图 (1-3) 850型直流电桥电路图

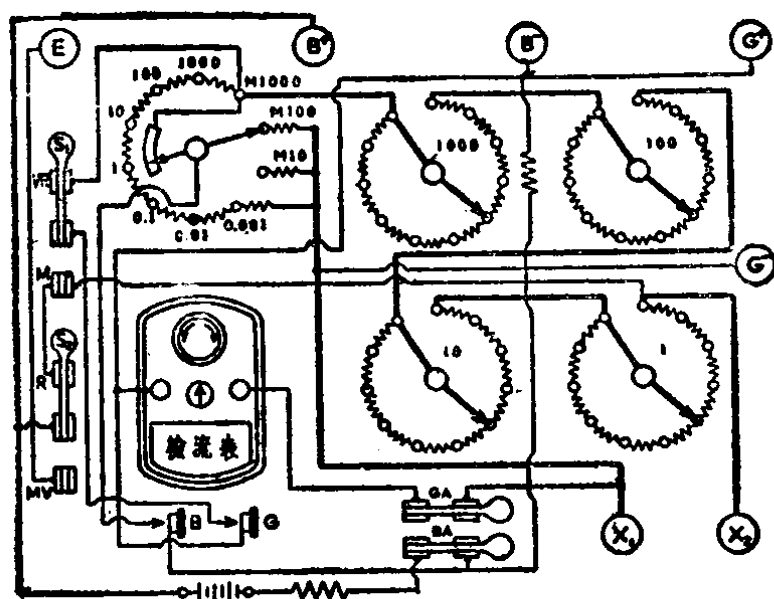
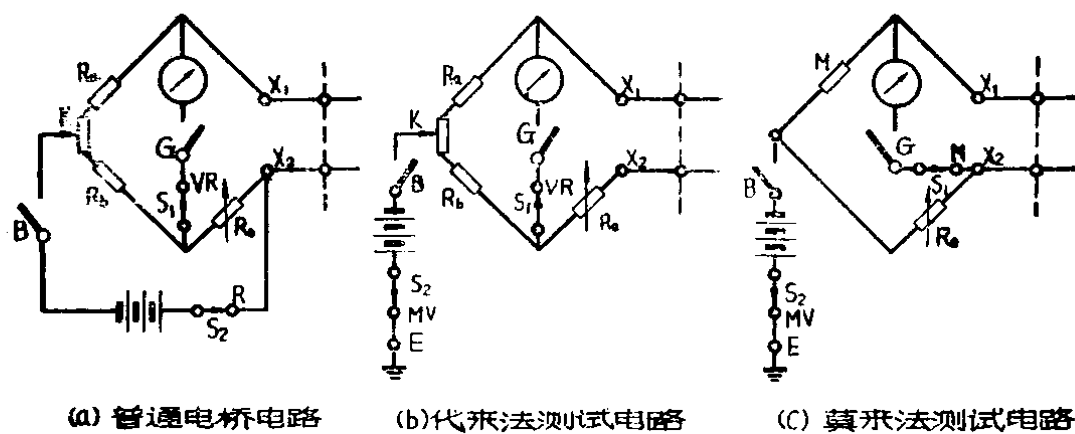


图 (1-4) 850型直流电桥内部接线图



图（1—5） 三种测试电路

和“R”。 $\frac{R_a}{R_b} = n$ 为电桥比例臂上的读数。当被测电阻接至 X_1 及 X_2 后，调整 R_0 使电桥平衡时，则有：

$$\frac{R_a}{R_b} = n = \frac{R_x}{R_0}$$

$$\therefore R_x = nR_0 \quad \text{式（1—1）}$$

n 值的选择，由被测电阻的范围而定，如表（1—1）所示。

表（1—1）

n 值	被 测 电 阻 范 围
0.001	0.001~9.999 欧
0.01	0.01~99.99 欧
0.1	0.1~999.9 欧
1	1~9999 欧
10	10~99990 欧
100	100~999900 欧
1000	1000~9999000 欧

例如：测试综合中同轴电缆 $\phi 0.9$ 毫米四线组的心线电阻。

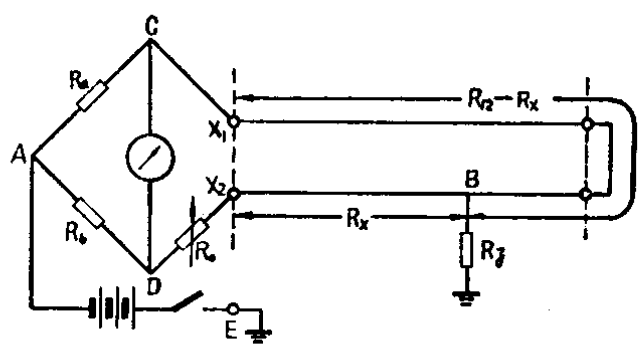
电缆长度为500米，则其环路电阻约为28.5欧，此值处于0.01~99.99欧之间，故n值可取为0.01。这时四个可变电阻盘均能起作用，能达到测出小数点后二位数字的精确度。但此28.5欧值也处于0.1~999.9欧、1~9999欧及10~99990欧之间，却不宜取n值为0.1、1及10。因为，若取 $n = 0.1$ ，则可变电阻的 $R \times 1000$ 档用不上，因此档数值乘以n值后为百位数，被测电阻没有这么大，只有三个可变电阻发生作用（测试值为百位数乘以0.1），结果只能达到小数点后一位数的精确度。同理，如取 $n = 1$ ，则可变电阻的千位和百位盘均不起作用，故只能测得二位数字的电阻，精确度不高。如取 $n = 10$ ，则只有一个可变电阻（个位数的）能起作用，故只能测出十位数字的电阻，连个位数字的电阻都不能测出，无法使电桥得到平衡。

因此，n值的选择，既要满足被测电阻范围的要求，还要使得四个电阻盘在测试中均能起作用，以提高测试的精确度。

2. 伐来法测试电路

伐来法测试电路如图（1—5）（b）所示，这时刀键倒向“VR”和“MV”。此电路与普通电桥电路不同点，在于通过刀键的变换使电池回路的一端接至E端子通地。为使电池电压能加至桥臂上去，必须在 X_1 与 X_2 间的导线上有一接地点或有一点通至电桥的E端子，构成如图（1—6）所示的桥路。因此这种电路可用来测定导线接地障碍的地点。

图（1—6）中：
A、B、C、D为电桥的四个桥臂顶点，由图



图（1—6） 伐来法测试电路

可知桥臂的一个顶点 B 不在电桥上而在被测线路中间。

设： R_x ：为测试端 X_2 至 B 点的导线电阻

R_z ：为 B 点的接地电阻

R_{12} ：为被测线路的环路电阻

当调整 R_0 使电桥平衡时，则有以下式：

$$\frac{R_a}{R_b} = n = \frac{R_{12} - R_x}{R_0 + R_x}$$

$$\therefore R_x = \frac{R_{12} - nR_0}{1 + n} \quad \text{式 (1-2)}$$

3. 莫来法测试电路

图 (1-5) (c) 为 850 型电桥构成的莫来法测试电路。这时刀键倒向 “MV” 和 “M”。由图可知，此电路只构成电桥的两个桥臂，即 M 臂和 R_0 臂，而电桥的形成必须有四个桥臂才能构成，故只有利用 X_1 至 X_2 间的被测导线作为两个桥臂来构成电桥的四个桥臂。莫来法测试电路可组成测定线路障碍的电路，如图 (1-7) 所示。

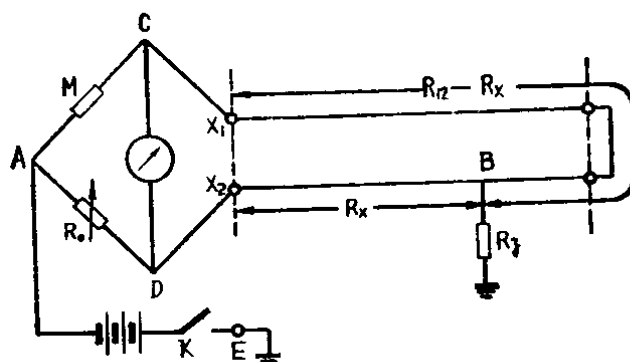


图 (1-7) 莫来法测试电路

图中：M 为比例臂上的 M 值（有 M10、M 100、M 1000 三档），其他符号的意义与前面讲的相同。

由图可知，电桥的四个桥臂顶点为 A、B、C、D。B 点也不在电桥上，而在被测线路中间。因此，我们可以利用这个特点来测定线路上的障碍点（B 点）与测试点之间的距离。

当调整 R_0 使电桥平衡时，则得下式：

$$\frac{M}{R_0} = \frac{R_{12} - R_x}{R_x}$$

$$\therefore R_x = \frac{R_{12} R_0}{M + R_0} \quad \text{式 (1-3)}$$

四、直流电阻测试方法

（一）三环路法

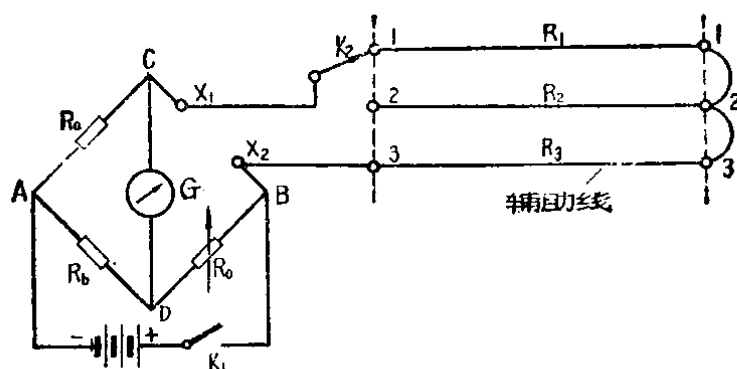


图 (1-8) 三环路法接线图

图 (1-8) 为三环路法接线图。图中 R_1 、 R_2 及 R_3 分别为导线 1、导线 2 及辅助线的电阻值。电桥的刀键置于普通电桥电路的位置（即“VR”与“R”位置）。

三环路法就是对三根导线中每两根导线所组成的三个环路分别测出其三个环路电阻值，然后通过计算求出每根导线的电阻值的方法。

三环路法的优点是测试速度快、计算方法简单。当算出辅助线的电阻后，只需将其他心线与此辅助线构成环路，测出其

环路电阻，再由此环路电阻值减去辅助线的电阻值，即得出该心线的电阻值。故此法对测试心线较多的电缆比较有利，常为工程中所采用。

三环路法的测试步骤如下：

1. 电桥与电缆心线的连接如图（1—8）所示。辅助线可取被测电缆心线也可取任何不同质、不同径的心线代替。被测线路他端的心线要彼此混线良好。

2. 进行下列三次环路电阻测试：

（1）将 K_2 放在位置“1”，测得环路电阻值为：

$$R_{13} = R_1 + R_3$$

（2）将 K_2 放在位置“2”，测得环路电阻值为：

$$R_{23} = R_2 + R_3$$

（3）将导线1、2分别接至 X_1 、 X_2 端子，测得环路电阻值为：

$$R_{12} = R_1 + R_2$$

通过上述三次环路测试，解上面三个方程式，可求出下列公式：

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \frac{R_{13} + R_{12} - R_{23}}{2} \\ R_2 &= \frac{R_{23} + R_{12} - R_{13}}{2} \\ R_3 &= \frac{R_{13} + R_{23} - R_{12}}{2} \end{aligned} \right\} \quad \text{式（1—4）}$$

3. 求出辅助线的电阻 R_3 以后，测其他导线的电阻时，只需将其他导线与辅助线构成环路进行测试，将此测试值减去辅助线电阻值 R_3 即为该导线的电阻值。

4. 测试中如果电桥与心线用引线连通，则应测出引线的环

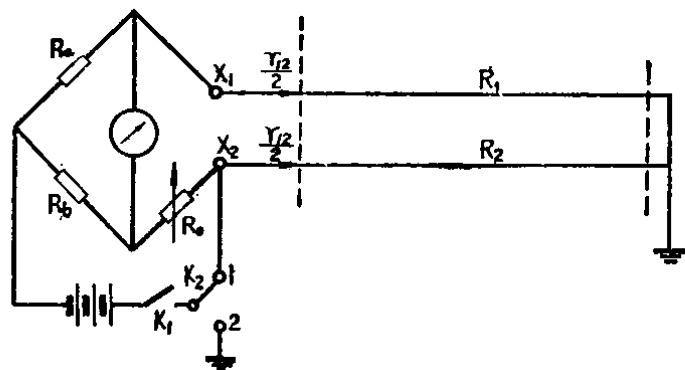
阻，在上述计算的 R_1 、 R_2 及 R_3 中减去此引线环阻的一半。

(二) 环路一伐来二次测量法

若被测区域中只有二根导线，且其电阻值又不相同（例如同轴管的内、外导体）时，可采用如图（1—9）所示的环路一伐来二次测量法测量导线电阻。

图中 r_{12} 为测试引线的环路电阻，一般因其电阻很小，可认为每根引线的电阻都为 $\frac{r_{12}}{2}$ ，线路他端要混线良好并接地（电缆外皮）。 R_1 、 R_2 为被测导线的电阻。

当 K_2 置于位置“1”时，可测得导线及引线的总环路电阻 R'_{12} ，然后从此值中减去引线的环阻 r_{12} ，即可求得 $R_1 + R_2$ 的环阻值 R_{12} 。



图（1—9） 环路一伐来二次测量法

$$\text{即： } R_{12} = R'_{12} - r_{12}$$

当 K_2 置于位置“2”时，选取适当的 n 值（取 $n < 1$ ），调整 R_0 使电桥平衡后，则有下列平衡式：

$$\frac{R_a}{R_b} = n = \frac{\frac{r_{12}}{2} + R_1}{R_0 + \frac{r_{12}}{2} + R_2}$$

$$n(R_0 + \frac{r_{12}}{2} + R_2) = \frac{r_{12}}{2} + R_1$$