

TONGXIN MINGXIAN DE ZHILIU DIANQI TEXING

通信明线的 直流电气特性

河北省邮电管理局通信处编

913.3

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是邯郸线务站根据十年来改进线路直流电气特性的经验编写的,原为短期训练班教材,内容通俗易懂,适合线路工人及技术人员阅读参考。

本书内容主要介绍长途架空明线的三项直流电气特性——环路电阻、不平衡电阻、绝缘电阻,它们的定义、合格标准、不合格的原因及改善措施等。书中还介绍了邯郸线务站在改进线路直流特性工作中研制的一些革新工具与仪表。

通信明线的直流电气特性

河北省邯郸地区长途电仪线务站编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

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 1978年11月第 一 版

印张: 4 12/32 页数: 70 1978年11月河北第一次印刷

字数: 99 千字 印数: 1—15,800 册

统一书号: 15045·总2262—有5107

定价: 0.37 元

前 言

在毛主席革命路线指引下，我国通信事业蓬勃发展，线路上开放载波的回路日益增多，因而对线路传输质量的要求也越来越受重视。近几年来，在邯郸地区邮电局党组和河北省长途线务总站的领导下，我站党支部狠抓了提高长途线路传输质量的工作，改善长途线路的直流电气特性。

我站坚持政治挂帅，充分发挥工人、干部和技术人员“三结合”的作用，在改善线路直流电气特性方面，摸索出一些方法。现由技术员赵宪珍同志执笔总结了我站改善直流电气特性的一些作法和体会，供作线务工作的工人、技术人员学习参考。但是由于我们的水平有限，工作经验不足，我们摸索出的方法，也有一定的局限性，还需要学习全国各地的先进经验。

书中肯定会有不少缺点、错误，希望读者批评指正。

河北省邯郸地区长途电信线务站

一九七八年二月

目 录

第一章 环路电阻	1
第一节 什么叫环路电阻	1
第二节 怎样测试环阻	7
第三节 环阻不合格的原因与改善的办法	14
第四节 预防环阻不合格的措施	23
第二章 不平衡电阻	28
第一节 什么叫不平衡电阻	28
第二节 怎样测试不平衡电阻	30
第三节 造成线路不平衡的原因	50
第四节 查找线路不平衡电阻的方法	52
第五节 减小不平衡电阻的方法	55
第三章 绝缘电阻	62
第一节 什么叫绝缘电阻	62
第二节 怎样测试绝缘电阻	66
第三节 绝缘电阻不合格的原因	75
第四节 隔电子对线路绝缘的影响	80
第五节 线路绝缘不良故障的查找方法	87
第六节 隔电子遥测器	92

第四章 怎样才能不停电路进行线路直流测试..... 106

第一节 一般倒线方法..... 107

第二节 不中断载波电路线路测试装置..... 110

第三节 高频倒线装置..... 117

附录 1 长途明线直流电阻值表..... 124

附录 2 直流电气特性测试记录表..... 127

附录 3 硬铜线程式表..... 127

附录 4 镀锌铁线程式表..... 128

附录 5 小型单相变压器的数据..... 129

附录 6 低频大功率晶体管参数表..... 131

附录 7 二极管部分型号和主要参数..... 132

附录 8 硅整流堆参数表..... 133

附录 9 E型铁氧体磁心参数表..... 134

附录 10 不可调罐形磁心参数表..... 135

第一章 环路电阻

第一节 什么叫环路电阻

一、直流电阻

电子在导体内流动所遇到的阻力就叫做电阻。直流电流在导体内流动时所遇到的阻力称为直流电阻，用字母 R 表示。

二、电阻的单位

测量电阻大小的单位是欧，用字母“ Ω ”表示。由于绝缘电阻的电阻值很大，用欧为单位很不方便，因此在线路上进行绝缘测试时，常以千欧（ $K\Omega$ ）、兆欧（ $M\Omega$ ）为单位。它们之间的换算关系是：

$$1 \text{ 千欧}(K\Omega) = 1,000 \text{ 欧}(\Omega)$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 兆欧}(M\Omega) &= 1,000 \text{ 千欧}(K\Omega) \\ &= 1,000,000 \text{ 欧}(\Omega) \end{aligned}$$

三、线路直流电阻的大小是由哪些因素决定的？

导线电阻的大小，主要决定于导线的材料、导线的长度、导线的截面积和温度。

用不同材料制造的导线，其导电性能也不相同，不同材料的导线导电性能的优劣用材料的电阻率来表示。

什么叫电阻率呢？电阻率是指在环境温度为20°C时，截面积为1平方毫米，长为1米的这样一根导线所具有电阻的数值，用字母“ ρ ”表示。表1.1中列出了几种常用材料的电阻率。

表 1.1 常用材料的电阻率

材料名称	电阻率 ρ 的数值 (20°C)
铜	0.0172
铁	0.138
铝	0.0283

同样线质的导线，其电阻的大小与导线的截面积及长度有关。导线的截面积越大也就是导线越粗，电阻越小。导线越长，电阻越大。导线电阻与导线截面积、长度及其所用材料的电阻率的关系可用下式表示：

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

式中： R —导线的电阻 欧；

ρ —所用材料的电阻率 $\frac{\text{欧} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$ ；

L —导线的长度 米；

A —导线的截面积 毫米²。

〔例题〕在温度为20°C时，求一条长(L)为1公里，直径(D)为4.0毫米的铁线的电阻是多少？

解：先求出导线的截面积

$$\begin{aligned} A &= \left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot \pi \\ &= \left(\frac{4}{2} \right)^2 \times 3.14 \\ &= 12.56 \text{毫米}^2 \end{aligned}$$

由表1.1查得铁线的电阻率 $\rho = 0.138 \frac{\text{欧} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$, 将 A 、 L 、 ρ 的值分别代入上式得:

$$R = \rho \frac{L}{A} = 0.138 \times \frac{1000}{12.56} = 11 \text{ 欧}。$$

上面的计算比较麻烦, 在实际中常用由上述公式推导出来的简化公式来计算导线每条公里的电阻值, 这样较方便、实用。简化公式如下:

$$\text{硬铜线(简称铜线): } R_c = \frac{22.7}{D^2} \text{ 欧/条公里};$$

$$\text{镀锌铁线(简称铁线): } R_F = \frac{176}{D^2} \text{ 欧/条公里};$$

$$\text{铜包钢线: } R_{cs} = \frac{22.7}{D^2 - 0.871 D_0^2} \text{ 欧/条公里};$$

$$\text{钢心铝绞线(七股): } R_{AL} = \frac{6.6}{D_{AL}^2} \text{ 欧/条公里}。$$

式中: D —导线直径 毫米;

D_0 —铜包钢线钢心的直径 毫米;

D_{AL} —为七股钢心铝绞线每股的直径 毫米。

四、导线的电阻与温度的关系

导线的电阻值随温度的变化而变化。一般金属导线在温度升高时, 电阻也随着增大; 温度降低, 电阻减小。某种线质的导线温度每升降 1°C , 每 1 欧电阻增减的数值, 我们叫它为这种导线的电阻温度系数, 用字母 “ α ” 表示, 单位是 $1/^\circ\text{C}$ 。不同材料的导线, 电阻的温度系数也不相同。按照前面介绍过的计算导线电阻的简化公式计算出来的各种导线的电阻数值, 是在温度为 20°C 时的电阻数值, 在其它温度下的电阻值须按下

式修正:

$$R_T = R_{20} [1 + \alpha(T - 20)]$$

式中: R_T —测试时环境温度为 T 时的导线电阻 欧;

R_{20} —环境温度为 20°C 时的导线电阻 欧;

T —测试时的环境温度 $^\circ\text{C}$;

α —导线电阻的温度系数 $1/^\circ\text{C}$ 。

常用导线的电阻温度系数如下:

铜线: $\alpha_c = 0.00393/^\circ\text{C}$;

铁线: $\alpha_F = 0.00455/^\circ\text{C}$;

铜包钢线: $\alpha_{cs} = 0.0041/^\circ\text{C}$;

钢心铝绞线: $\alpha_{AL} = 0.004/^\circ\text{C}$;

铝镁合金线: $\alpha_A = 0.0037/^\circ\text{C}$ 。

〔例题〕已知3.0毫米铜线在环境温度为 20°C 时, 每条公里电阻为2.52欧, 求环境温度为 30°C 时, 每条公里的电阻是多少?

解: 根据上述各种线质的导线的电阻温度系数可知铜线的温度系数 $\alpha_c = 0.00393/^\circ\text{C}$; 在环境温度为 20°C 时的3.0毫米铜线每条公里的电阻值 $R_{20} = 2.52$ 欧; 则环境温度为 30°C 的每条公里电阻:

$$\begin{aligned} R_{30} &= R_{20} [1 + \alpha(T - 20)] = 2.52 \times [1 + 0.00393 \times (30 - 20)] \\ &= 2.619 \text{ 欧} \end{aligned}$$

从上面的计算可以看出, 温度升高 10°C 时, 每条公里3.0毫米铜线的电阻增大近0.1欧, 如果是一对100公里长的铜线, 那么电阻将增大20欧。可见在线路测试中, 准确地观察温度是很重要的。《长途电信架空明线线路工程施工及验收技术规范》中规定, 在竣工验收测试时, 应取两地(机务站)的室外平均温度。但在长途电信线路的维护定期测试中, 所取得的温度值一

一般是线路上各试线杆温度的平均值。如果某试线杆恰好在山顶或在风口，所测得的温度必然比附近各杆的温度低，因此需要把在这个试线杆测得的温度适当增加 $1 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 才符合实际情况。反之，如果试线杆在村镇附近、避风处，应把测得的温度适当减少 $1 \sim 3^{\circ}\text{C}$ ，才符合实际情况。

由机务站测试线路的环阻时，如果没有取得在线路上测试的温度，一般可以取两个机务站室外温度的平均值。如果机务站的温度计悬挂在室外向阳的地方，测得的温度一般要比线路实际温度的平均值高，因此可凭经验适当地从测得的温度值中减去 $3 \sim 5^{\circ}\text{C}$ ，才接近实际情况。

另外，对环境温度的突然变化，也应予以注意。因为往往气温在几分钟内就有可能发生很大的变化，而这一变化并不能立即反应到导线内部来。也就是说，导线内部的温度变化，要比环境温度的变化来得慢。

例如有一年夏季，我们测量过一对长为85.1公里的3.0毫米的铜线的电阻，它的变化就比环境温度的变化慢。现将当时的测试结果列于表1.2。

表 1.2

时 间	14时	15时	15时30分	16时	16时30分	17时
气 温 ($^{\circ}\text{C}$)	34	37	25	25	25	24
环 阻 (欧)	445	445.9	441	435	433	429

由表可见，在气温由 37°C 很快降为 25°C 时，这条线路环阻并不是立即就减小到433欧，而是在经过一小时后才渐渐地变为433欧的。这种线路环阻随气温的突变而渐变的现象，在夏天常可以遇到，尤其是气温变化越突然、变化的幅度越大时，这种现象越明显。所以说在线路测试中注意气温的突然变

化，并根据实际情况加以适当的修正，对于减小测试误差是十分有意义的。

五、环路电阻

双线回路的直流电阻，称为环路电阻，以下简称环阻。环阻实际上是两条单线的直流电阻之和。例如：3.0毫米的铜线，单线每条公里的电阻为2.52欧，那么双线每公里的环阻就是： $2.52 + 2.52 = 5.04$ 欧。

六、环阻的标准及偏差要求

为了保证通信质量，对不同线质、线径的导线的环阻各有一定的要求，这就是通常所说的环阻标准。但是有时由于生产中的原因，即使新出厂的导线，其电阻值与要求的标准电阻也不会完全相同。因而，一般要求导线的直流电阻测试值与计算值的偏差，以不超过下面百分数为合格：

铜线和铝线 5%；

铁线 10%；

铜包钢线 7%。

实测值与计算值偏差百分数的计算公式如下：

$$\text{允许偏差} = \frac{\text{实测值} - \text{计算值}}{\text{计算值}} \times 100\%$$

〔例题〕 一对4.0毫米的铁线，在环境温度为 20°C 时，实测每对公里环阻为24欧，问这对铁线的环阻是否超过了允许偏差？

解：4.0毫米的铁线在 20°C 时电阻的计算值为每对公里22欧，实测值为24欧，则

$$\text{偏差} = \frac{\text{实测值} - \text{计算值}}{\text{计算值}} \times 100\%$$

$$= \frac{24 - 22}{22} \times 100\%$$

$$\approx 9\%$$

由计算知这对铁线的电阻值没有超过10%的允许偏差。

导线直流电阻的标准及允许偏差见附录1。

七、环阻不合格的影响

导线的直流电阻如果大于标准值且超过了允许的偏差，就会增加线路衰耗和造成其他影响，应不予使用。如果直流电阻小于标准值，虽然对线路的特性阻抗值有一定影响，但对线路的传输质量一般不会有这么大的影响。所以《长途电信明线线路维护手册》中仅要求导线直流电阻值不得大于标准，对于小于标准的偏差未提具体要求。当然，环阻小其特性阻抗也会变小些，但一般影响不大，不过在开通载波电路前，应当测出其实际的特性阻抗值，考虑其阻抗匹配问题。

第二节 怎样测试环阻

测试线路环阻时常用的仪表是直流电桥。直流电桥有各种类型，但其原理大体相同。下面我们介绍用850型电桥测试线路环阻的基本原理和测试中常遇到的问题及其解决方法。

一、用850电桥测试环阻的原理

直流电桥主要由四个电阻臂、一个检流计（即表针中立的电流表）和电源所组成。图1.1是直流电桥的电路。图中：电

阻 R_a 、 R_b 叫做平衡臂； R_0 叫做测定臂； R_x 叫做被测电阻臂；

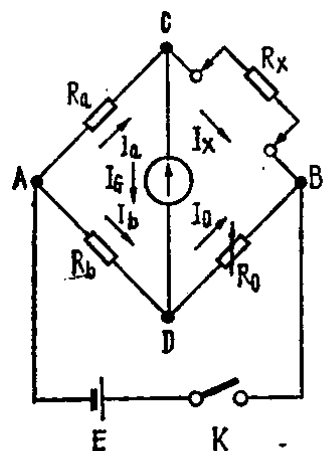


图 1.1

E 为直流电源； K 为开关。当开关 K 合上时，就有电流从四个臂上通过，电流的方向如图 1.1 所示。当电桥处于平衡时，检流计中就没有电流通过，当电桥不平衡时，则有电流通过检流计，使检流计指针偏离零位。调整测定臂 R_0 ，使检流计指针指向零位（即： $I_G = 0$ ），这时电桥就平衡了。电桥平衡时：

$$I_a R_a = I_b R_b \quad (1)$$

$$I_x R_x = I_0 R_0 \quad (2)$$

因为 $I_G = 0$ ，所以必然有：

$$I_a = I_x$$

$$I_b = I_0$$

等式 (2) 除以等式 (1) 得：

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

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

所以
$$R_x = \frac{R_a}{R_b} \cdot R_0 = K R_0$$

式中 $K = \frac{R_a}{R_b}$ ，称为比率臂的比值，这个比值乘以测定臂上电阻的读数，就等于被测电阻的数值。例如，比率臂的比值 $K = 1$ ，测定臂电阻的读数 $R_0 = 532$ 欧，则被测电阻 $R_x = K R_0 = 1 \times 532 = 532$ 欧。850 电桥的结构、面板、原理及其使用方法详见《常用电信仪表的使用与维修(一)》。

二、用850电桥测试环阻的方法

用850电桥测试线路环阻，应首先将线路两端保安器熔丝管断开，即甩开机器，防止铃流或其他信号电流通过线路进入仪表，影响测试的准确度或烧坏仪表。然后将被测线对的一端接上电桥，另一端混线即可按以下步骤进行测试。

1. 调零：在使用电桥进行测试前，首先要校正检流计的零位使电桥的电路未接通前检流计的指针指向零位。校正的方法是将电桥放平，调整检流计的校准旋钮，使其指针指在“0”位，如果由于某些原因，检流计的指针调不到“0”位时，可定当时的位置为“0”位。然后，将电桥上的闸刀 S_1 倒向 V/R ， S_2 倒向 R 方向（闸刀的倒向都带有“ R ”字母）。而后将被测线对一端的两根导线用两根皮线分别引接到电桥上的 X_1 和 X_2 接线柱上，并将被测线对的另一端混线。

2. 选择比率臂的比值：大致估计一下被测线路的环阻阻值，根据估计值的大小，选择适当的比率臂的比值。比率臂比值，一般可按表1.3选取。

表 1.3

被 测 环 阻	取 K 值
10欧以下	0.001
10~100欧	0.01
100~1000欧	0.1
1~10千欧	1
10~100千欧	10
100~1000千欧	100

经验说明，比率臂的比值在许可的范围内选得越小，测出的环阻值越准确。测试时可先将比率臂放在较大的一档，而后

根据初测的情况再适当地减小，以读取精确的测试值。比如，可先放在 $\times 1$ 档，如果情况许可，然后再改放在 $\times 0.1$ 或 $\times 0.01$ 档。一般，测量架空明线的环阻时比率臂可放在 $\times 1$ 档，测量电缆时比率臂可放在 $\times 0.001$ 档。

3. 调整测定臂的四个旋钮，至电桥平衡后，读取测定臂 R_0 的值，而后与比率臂的比值 K 一起代入下式：

$$R_x = K \cdot R_0$$

即可求得被测环阻。但这时所得到的数值，并不是线路的环阻，因为其中还包括了测试时所用引线的环阻，所以还必须从这个数值中减去引线的环阻，才是被测线路的电阻。在选择引线时，一般常用铜心多股塑料软线。这种线，长度为10米时，电阻值在1～3欧之间。

三、测试结果的整理和资料积累

每次测试环阻后，应详细记录测试的时间、地点、测试人和配合人姓名、测试时的温度及气候状况等。进局电缆、终端设备和明线部分的环阻要分别记录，还要详细记录被测明线的线质、线径、测试段落长度。

有了准确的线路环阻的测试记录，才能与规定的线路环阻标准值进行比较，以确定其合格与否。同时，有了线路环阻的各次测试记录资料，对于以后准确地进行障碍测试和进行线路电气质量的分析与改善都是十分有用的，平时要注意积累。

直流电气特性测试记录表的格式见附录2。

四、测试中常遇到的问题 and 解决办法

1. 初学测试的同志常遇到的问题就是“打表”。所谓“打表”，是指使用电桥时，由于比率臂或测定臂的档位选择不

当，电桥四个臂处于较大的不平衡状态，在接通电源后，有较大的电流通过检流计，造成表针急剧摆动，甚至将表针打弯，严重时会把表头线圈烧断。

为了防止“打表”，一般是在按 G 键时要求动作要快，使按下 G 键的时间缩短；另外也可以采取一些小的改革，例如在 G 按键开关上增加一组接点和一个电阻，也可以防止“打表”。按键开关分两档，放在第一档时不平衡电流通过电阻接通检流计，以减小通过检流计的电流保护检流计；按键开关放在第二档时直接接通检流计，其电路结构见图 1.2。所加电阻的阻值可以适当地选择，我们选择了20欧。

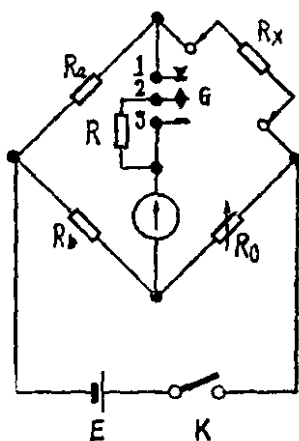


图 1.2

使用时，轻按 G 键，则接点 1、2 接上，不平衡电流经 R 进入检流计。初步调整平衡后，重按 G 键，接点 1、2、3 连通，不平衡电流直接进入检流计，这样就避免了较大的不平衡电流直接进入检流计而发生“打表”现象。将按键换成汽车上用的两档拉子开关，其道理与此相同。

为了能用简便快速的方法比较准确的估计线路环阻的数值，防止“打表”，我们在实践中还总结了一个“一、四、五估计法”。长途架空明线线路的杆距一般为50米，每1公里有20根电杆。而长途电信明线常用的导线又只有三种，即：4.0毫米的铁线、3.0毫米的铜线和7/1.8毫米的钢心铝绞线。所以，环阻为1欧时，三种导线的长度分别为：

4.0毫米铁线 1 根杆档；

3.0毫米铜线 4 根杆档；

7/1.8毫米钢心铝绞线 5 根杆档。

这就是我们所说的“一、四、五估计法”。这个方法便于记忆和掌握，线务员称赞说：记住“一、四、五”，环阻就能估，分析加估计，不差一里地。例如，我们测试一段从1号杆到200号杆的线路，已知这段线路的长度为200个杆档，运用“一、四、五估计法”可以迅速地估出这段线路的环阻。

当线路为4.0毫米的铁线时，环阻是：200欧（ $200 \div 1 = 200$ ）；

当线路为3.0毫米的铜线时，环阻是：50欧（ $200 \div 4 = 50$ ）；

当线路为7/1.8毫米的钢心铝绞线时，环阻是：40欧（ $200 \div 5 = 40$ ）。

这样不用动笔，不用查原始记录，所需了解的环阻数在一分钟内就估算出来了。环阻值估算出来以后，可先将电桥的测定臂调至指出估算值的步位，这时测定臂的电阻值应与被测的环阻相差很小。然后按下G键，不平衡电流应不甚大，这样就可以避免了“打表”现象。

此外，“一、四、五估计法”运用于混线障碍点的测试查找和电气特性不良的查找上也是非常方便的。

为什么说“分析加估计，不差一里地”呢？因为线路上的情况是复杂的，比如有时个别杆档比50米要大（如河口飞线）；有的线条的线质、线径不够标准等等。这就要在分析的基础上进行估计，把估算的数值进行修正，使其更接近测试值。

怎样进行分析修正呢？如测试段内有一河口飞线，长为400米，这一杆档的长度要比标准杆号的距离多350米，即相当于多7根杆的距离。假设被测试的是4.0毫米的铁线，那么就应当多估7欧。如测试段内，线条生锈、线质混杂，同理也应当根据测试段落的长度、生锈的程度，适当地多估几欧。

2. 在测试环阻时还经常遇到的一个问题是表针不稳、微