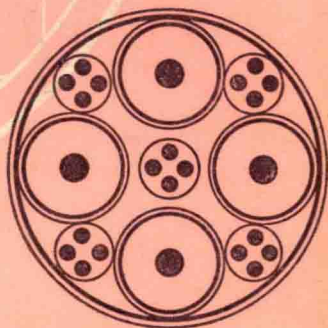
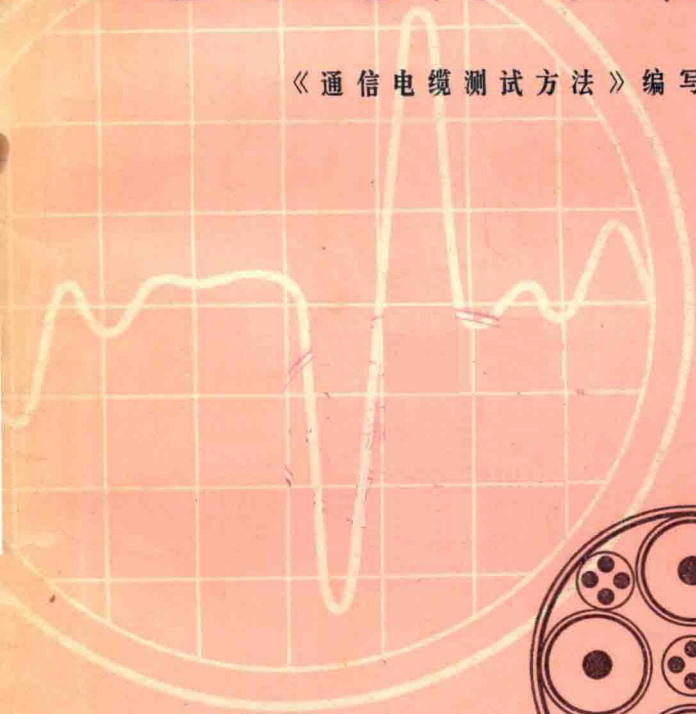


通信电缆测试方法

《通信电缆测试方法》编写组



人 民 邮 电 出 版 社

TONGXIN DIANLAN CESHI FANGFA

通信电缆测试方法

《通信电缆测试方法》编写组

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是根据工厂出厂试验的操作规程、工人同志的测试经验和写作单位近几年来在科研工作中进行电缆测试的一些经验所编写的。全书共分九章。主要介绍通信电缆制造长度的直流电阻、绝缘电阻、工作电容、电容耦合、阻抗、阻抗不均匀性、固有衰耗和串音衰耗等项电气性能的测量原理、测试方法以及在测试中应注意的事项，同时对测量过程中可能产生的一些测量误差也进行了分析。

可供通信电缆制造部门的有关人员阅读使用，也可供电缆施工部门的有关人员参考。

通 信 电 缆 测 试 方 法

《通信电缆测试方法》编写组

*

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

新华书店发行

*

开本：787×1092 1/32 1975年9月第一版

印张：3 24/32 页数60 1975年9月天津第一次印刷

字数：82千字 印数：1——21,000册

统一书号：15045·总2043-有511

定价：0.31元

毛主席语录

世界上的事情是复杂的，是由各方面的因素决定的。看问题要从各方面去看，不能只从单方面看。

人的正确思想，只能从社会实践中来，只能从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践中来。

我们的方针要放在什么基点上？放在自己力量的基点上，叫做自力更生。

前 言

在无产阶级文化大革命和批林批孔运动的推动下，我国的通信事业和通信电缆制造工业发展很快。为了适应通信电缆制造工业和电缆通信建设的需要，我们编写了这本书。

本书是根据工厂出厂试验的操作规程、工人同志的测试经验和我们在科研工作中进行电缆测试的一些经验（特别是阻抗不均匀性测量及串音衰耗的测量这两部分），同时还参考了一些国内、国外有关资料编写的。

书中主要介绍了通信电缆制造长度的直流电阻、绝缘电阻、工作电容、阻抗不均匀性、固有衰耗和串音衰耗等项电气性能的测试方法以及测试中应注意的事项，同时对测量过程中可能产生的一些测量误差也进行了分析。除衰耗测量这一章有些内容涉及到增音段测量外，其他部分都没有考虑增音段的情况。主要是供通信电缆制造部门有关人员阅读使用，但也可供电缆施工部门的有关人员参考。

由于我们水平所限，书中难免存在一些缺点和错误，希望读者批评指正。

本书在编写过程中曾得到邮电部门的有关单位的大力支持和帮助，在此表示感谢。

《通信电缆测试方法》编写组

目 录

第一章 直流电阻的测量	1
一、用直流电桥测量电阻.....	1
二、用直流电桥测量时的注意事项.....	5
三、用单臂电桥确定电缆芯线故障距离的近似方法.....	6
第二章 绝缘电阻的测量	11
一、用比较法测量绝缘电阻.....	11
二、用比较法测量绝缘电阻时对测试回路的要求.....	13
三、影响绝缘电阻测量的因素.....	14
四、高阻计测量绝缘电阻.....	19
五、绝缘电阻测量的电化时间.....	21
第三章 电缆工作电容的测量	23
一、用比较法测量工作电容.....	23
二、用电桥法测量工作电容.....	24
三、电容测量法寻找电缆芯线断线故障.....	25
第四章 电容耦合系数与电容不平衡的测量	26
一、测量原理.....	26
二、测量步骤.....	30
三、对测量仪器的要求.....	31

第五章	一、二次传输参数的测量——开短路法	33
	一、开短路法的基本原理	33
	二、测试方法及操作步骤	35
	三、开短路法适用范围及注意事项	38
	四、短段电缆一次参数的测量	41
	五、各种阻抗电桥	42
	六、用电桥测量对地对称或对地不对称的输入阻抗	46
第六章	同轴电缆衰耗的测量	49
	一、谐振法	49
	二、双电压表谐振法	55
	三、电平差法	57
	四、比较法	58
	五、补偿法	59
	六、衰耗温度系数的测量	62
第七章	串音测量	64
	一、通信电缆的串音	64
	二、串音测量中串音衰耗和串音防卫度的公式	68
	三、对称电缆串音衰耗及串音防卫度的测量	69
	四、同轴电缆的串音测量	73
	五、影响串音测量结果的因素分析	77
第八章	脉冲回波测试法测量同轴电缆的不均匀性	
	及波阻抗	80
	一、基本原理	80

二、“脉冲回波测试器”的简单介绍·····	81
三、国产M693—1型脉冲测试仪的测量步骤·····	83
四、电缆长度、故障点、波阻抗、不均匀性的测试·····	86
五、影响测量准确度的因素分析·····	94
六、同轴对在任意频率下特性阻抗的测量·····	101
第九章 屏蔽系数的测试·····	104
一、屏蔽系数的测试原理·····	104
二、测试设备和接线·····	106
附 表 仪器设备简单介绍表·····	107

第一章 直流电阻的测量

一、用直流电桥测量电阻

电缆芯线的导线，是用一定的材料按一定的直径制成的，因此温度一定时，应具有一定的电阻值。但是在电缆的制造过程中，有时需要把导线连接起来，如果接头焊接不良，就会产生额外的电阻。此外，在制造过程中有时还会产生某根芯线被拉细等现象，使导线的有效电阻发生变化。芯线电阻值的改变往往还会破坏芯线间的平衡，即双线电话回路中（对称线对）一根芯线的电阻比另外一根大些或小些。电缆芯线电阻不符合标准，会影响电缆的通信质量。

为了保证电缆的质量，在产品的出厂试验中，测量导线的直流电阻及电阻差是很有必要的，通过测量可以发现生产过程中所出现的问题，及时采取改进措施，保证电缆质量。

测量直流电阻的方法很多，本章只简单的介绍一下“直流电桥法”。直流电桥法是测量直流电阻最普遍和比较准确的方法之一。用这种方法测量电阻时误差能减低到万分之几。

目前常用的测量电缆芯线电阻的直流电桥，有直流单臂电桥和双臂电桥二种。下面我们分别介绍这两种电桥。

1. 单臂电桥

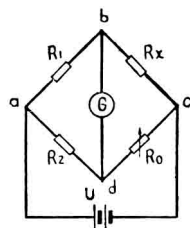


图1—1 单臂电桥原理图

按图1—1所示的原理制造的电桥叫做单臂电桥（也称惠斯登电桥）。图中a、b、c、d称为电桥的顶。分别包含电阻 R_1 、 R_2 、 R_0 、 R_x 的ab、ad、dc、bc称为电桥的臂，包含检流计G的bd和包含电源的ac称为电桥的对角线。

目前通信电缆测量直流电阻所用的电桥一般都是平衡电桥。调整桥臂电阻使bd对角线上检流计的电流 $I_G = 0$ 则电桥达到平衡。

见图1—1，当电桥平衡时各桥臂电阻值的关系为：

$$R_1 R_0 = R_2 R_x$$

此时可得被测电阻

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0 \dots\dots\dots (1-1)$$

一般实际测量中电桥的平衡依靠标准电阻 R_0 的变动和 $\frac{R_1}{R_2}$ 的比值变动来达到。

2. 双臂电桥

如果被测电阻极小，例如在1欧以下，就不能再用单臂电桥来测量。因为被测电阻与电桥之间的连接线和连接线与电桥连接处的接触电阻，都被包括在电桥的被测电阻臂bc中，测量的结果将会产生很大的误差。因而，在测量低值电阻时，必须改用专供测量低电阻用的双臂电桥（又叫凯尔文电桥或汤姆逊电桥）。

双臂电桥采用了能使连接线电阻和接触电阻的影响减小的电路，其原理如图1—2。

图1—2中， R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 及 R_x 、 R_0 为电桥各臂的电阻，其中 R_x 为被测电阻； R_0 为标准电阻。测量时，选用与 R_x 相近

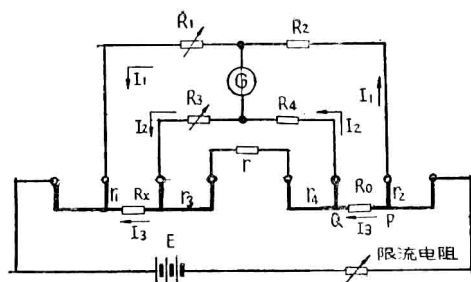


图 1—2 双臂电桥原理图

的电阻 R_0 。 R_x 与 R_0 的两端各引出两根连接线分别与电桥相连接，如图 1—2 中的粗线。从图中可以看出，这些连接线的电阻和接触电阻(r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4)均已分别包括在电桥的 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 各臂中。而在 R_x 臂和 R_0 臂中，则已不包括这些连接线电阻和接触电阻在内，因而可以取得比较精确的测量结果。

测量时，调整 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 使电桥平衡，然后按以下方法计算被测电阻 R_x 的电阻值。为了简化计算公式，现将 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 分别并入 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 中去（由于 $r_1 \sim r_4$ 较之 $R_1 \sim R_4$ 小很多，这样并入是可以的）。当电桥平衡时：

$$I_5 R_x + I_2 R_3 = I_1 R_1$$

$$I_3 R_0 + I_2 R_4 = I_1 R_2$$

$$I_2 (R_3 + R_4) = (I_3 - I_2) r$$

解这些方程式得：

$$R_x = \frac{R_1}{R_0} R_0 + \frac{R_4 r}{R_3 + R_4 + r} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right)$$

式中等号右边的第二项 $\frac{R_4 r}{R_3 + R_4 + r} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right)$ 称为

校准项，当 $R_1 = R_2$ 及 $R_3 = R_4$ 或 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ 时

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_0 = \frac{R_3}{R_4} R_0 \dots\dots\dots (1-2)$$

为了能达到以上目的，在双臂电桥中采用了双十进电阻箱。在这种电阻箱里，两个相同十进电阻箱的转臂彼此连接，因此在转臂的任一位置下，电阻 $R_1 = R_2$ ， $R_3 = R_4$ 。但因实际上不可能做到完全相等，为了尽量满足上述条件，使校准项尽可能的小，因此接线(电阻 r) 往往采用足够粗的短铜线或铜排来制造。这样校准项与 $\frac{R_1}{R_2} R_0$ 项相比就可以忽略。

为了使 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 各臂的接线电阻和接触电阻 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 可以略去不计， R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 都应比10欧大。同时 r_1 、 r_2 、 r_3 和 r_4 在制造中也采取措施使其尽量的小，使它们与所依附的电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 相比时，可以忽略不计。

由于被测电阻 R_x 和标准电阻 R_0 很小，供给双臂电桥的电流一般都较大。当电桥平衡时，检流计可以通过不太大的电阻(约为20欧)闭合。因此选择检流计时，最好选用临界电阻约为20~40欧的那种型式，检流计对电压的灵敏度越大越好。

以上我们简单的介绍了一下单臂电桥和双臂电桥，我国目前已经生产的单臂电桥有 QJ_2 、 QJ_{23} 型(惠斯登电桥)、 QJ_3 型(精密惠斯登电桥)、 QJ_{24} 型、 QJ_9 型……等等。目前我国已经生产的双臂电桥也有多种，如 QJ_1 型(凯尔文电桥)、 QJ_{16} 型(凯惠两用电桥)……等等，我们可以根据实际使用情况的需要进行选择。在测量通信电缆的芯线电阻时，应根据下表选择。

表1—1

测量电阻范围 (欧)	$10^{-5} \sim 2$	$2 \sim 10^2$	$10^2 \sim 10^6$
电 桥 型 式	双臂电桥	双臂或单臂电桥	单臂电桥

二、用直流电桥测量时的注意事项

1. 测量前应检查电桥主要部件和接线是否符合下列要求:

- (1) 电桥的精度: 不低于0.5级;
- (2) 检流计的灵敏度: 当电桥平衡时, 改变可变电阻臂电阻0.5%, 检流计的偏转应不小于1格;
- (3) 测量时电桥的读数应保证三位有效数字;
- (4) 被测芯线的温度应等于周围的温度。

2. 在测量过程中应注意下列几点:

- (1) 测量时芯线应直接接在桥体上, 注意接触要良好, 以免因接触电阻过大而造成误差;
- (2) 如果用引线连接, 则引线的电阻应小于被测芯线电阻的0.2%, 否则在测试结果中应减去连接引线的电阻;
- (3) 不能用电桥测量带电的电缆芯线;
- (4) 被测芯线的电阻值, 应按所选用的电桥中规定的公式计算。在测量过程中, 若发现测得的数值过大, 则应查明电缆芯线测量用的引线是否断线。若发现测得的数值过小时, 则应查明线路中是否有短路或混线;
- (5) 若要检查芯线接头处是否有接触不良的焊接点, 可用两种不同的电压 (如先用4~6伏的电池组, 然后用10伏电池组) 测量芯线电阻, 即第一次用低压测量, 第二次用较高的电压测量。若两次测得的数值不同, 其差值就是接触不良或焊

接不良的近似电阻值；

(6)测量过程中应注意周围环境温度的变化。当周围环境温度变化较大时，由于电缆芯线的温度变化要比周围环境温度的变化缓慢，环境温度不完全反映电缆芯线的温度，这对于温度变化较大的季节和地区在进行温度换算时应特别引起注意；

(7) 芯线电阻换算为20℃的数值时可按下式计算：

$$R_{20} = \frac{R_t}{1 + K_{20} (t - 20)} \text{ (欧)} \dots\dots (1 - 3)$$

式中：R₂₀为温度20℃时的芯线电阻； R_t为温度t℃时芯线的电阻。电阻温度系数K₂₀数值如下：

硬铜单线 (TY)：0.00385 (1/度)

软铜单线 (TR)：0.00395 (1/度)

硬圆铝单线：0.00403 (1/度)

半硬及软圆铝单线：0.00410 (1/度)

3.对所使用的直流电桥应定期进行校验，及时更换电池
(特别是在发现电桥检流计灵敏度降低时)。

三、用单臂电桥确定电缆芯线故障距离的近似方法

在制造电缆的过程中，有时会造成芯线混线、碰地等障碍。这就需要把障碍点通过测量找出来。

1.寻找两芯线混线故障的距离 (双回路法)

从电缆一端用电桥测混线芯线的电阻。见图 1—3 所示

第一次：在“1”“3”端测量，测得：

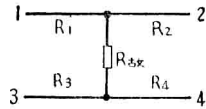


图 1—3 双回路法
寻找芯线混线距离

$$R_{13} = 2 R_1 + R_{\text{故}} \dots\dots\dots (1 - 4)$$

第二次：在“2”“4”端测量，测得：

$$R_{24} = 2 R_2 + R_{\text{故}} \dots\dots\dots (1 - 5)$$

式中： $R_{\text{故}}$ 为故障点的接触电阻。

我们知道芯线的回路电阻应为：

$$R = 2 R_1 + 2 R_2 \dots\dots\dots (1 - 6)$$

R 可以通过芯线所用材料的电阻系数 ρ 及导线的尺寸，电缆的长度进行计算得到，因此我们解式 (1 - 4)、(1 - 5)、(1 - 6) 方程可得：

$$R_1 = \frac{R + R_{13} - R_{24}}{4} \dots\dots\dots (1 - 7)$$

$$R_2 = \frac{R + R_{24} - R_{13}}{4} \dots\dots\dots (1 - 8)$$

知道了 R_1 、 R_2 则故障点的距离也就很容易算出。

用这个方法寻找混线故障的距离，当故障点的接触电阻愈小时，则准确度愈高；若接触电阻比芯线电阻大得多，则测量的误差就很大。此外，在两端进行测量时，接触电阻 $R_{\text{故}}$ 在测量过程中应保持不变，否则就测不准。因此，在电缆制造厂中，一般先用耐压击穿设备将混线碰地的故障点真正击穿，使其接触电阻减小，且在测量过程中保持不变。

2. 芯线绝缘击穿故障点寻找法

二次测量法：本方法可用于寻找芯线碰地点的距离或芯线混线点的距离。只要电缆中有一根正常的芯线，就可以用桥臂固定比率电桥法进行。

测量时的接线如图 1 - 4。电源“+”端接至“1”和“2”，分别进行两次测量。

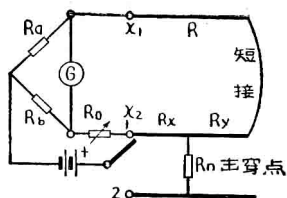


图 1—4 芯线绝缘击穿故障点寻找法

第一次测量得回路的芯线电阻 $2R$ 即

$$R_1 = 2R = \frac{R_a}{R_b} R_{01} \dots \dots \dots (1-9)$$

第二次测得的结果，当击穿点的绝缘电阻很小，即 $R_n \approx 0$ 时为：

$$\frac{R_a}{R_b} = \frac{R_1 - R_x}{R_{02} + R_x} \dots \dots \dots (1-10)$$

式中： R_{01} 、 R_{02} 分别为电桥可变标准电阻臂两次测得的读数； R_x 为到故障点的芯线电阻。

在两次测量中电桥的比率臂的比值保持不变，即 $\frac{R_a}{R_b} = C$ (常数)。

解 (1-9)、(1-10) 二式可得：

$$\begin{aligned} R_x &= \frac{R_1 - \frac{R_a}{R_b} R_{02}}{1 + \frac{R_a}{R_b}} = \frac{\frac{R_a}{R_b} (R_{01} - R_{02})}{1 + \frac{R_a}{R_b}} \\ &= \frac{R_{01} - R_{02}}{1 + \frac{1}{C}} \dots \dots \dots (1-11) \end{aligned}$$

这样就可找到击穿故障点的距离。如果当 $\frac{R_a}{R_b} = C = 1$ 时，

$$\text{则} \quad R_x = \frac{1}{2} (R_{01} - R_{02}) \dots\dots\dots (1-12)$$

这时到故障点的电阻，等于两次测量的电桥读数之差的二分之一。

3.故障点接触电阻大时，绝缘故障点寻找法（开短路法）

电缆芯线故障点的绝缘电阻如果比芯线的电阻大，且其数值大约在0.1~10兆欧时，不能再用以上方法测量，需要用特别的方法确定故障点。这里只介绍一下桥臂可变比率电桥的开路及短路法，但这一方法仅在于故障电缆中能找出一对芯线其绝缘电阻相差在30%以上的情况下才适用；而且所用的一对芯线的绝缘电阻相差愈大，则测量的准确度亦愈高。

此外，用这方法进行测量时，只有符合下列条件测得的结果才是正确的：

被测量的一对芯线中每根芯线都只有一个故障点，且两根芯线的故障点均在电缆的同一处；

在未出故障的区段，电缆的绝缘电阻应较大；

测量仪器的绝缘电阻亦应较大；

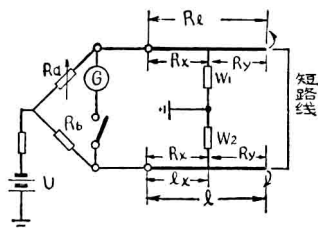


图 1-5 以桥臂可变比率电桥用开短路法确定电缆芯线绝缘故障点的原理图

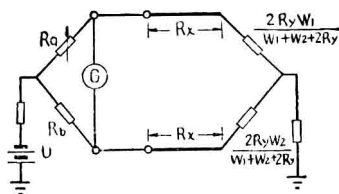


图 1-6 芯线终端短路时的等效电路