

807475

DIAN LI DIAN LAN GU ZHANG

5021

FEN XI HUO CE SHI

1146

电力电缆故障 分析和测试

张栋国 编著

成都科学技术大学
基本藏书



西北电讯工程学院

PDG



电力电缆故障分析和测试

张栋国 编著

西北电讯工程学院 版

1986

内 容 简 介

本书以通俗易懂的文图着重分析了动力电缆的各类故障性质，电缆故障发生的原因及各种测试方法。并介绍了目前国内最普遍使用的具有先进水平的 DGC 型贮存管式闪测仪及 DGC-2型数字式动力电缆故障测试仪。

本书可供具有中专文化程度的电气技术人员以及具有维修实践经验的工人阅读。亦可供有关生产厂家、从事电缆故障测试的专业人员和研究单位参考。

电力电缆故障分析和测试

张栋国 编著

西北电讯工程学院出版社出版发行

西北电讯工程学院印刷厂印刷

新华书店经销

基本 787×1092 1/32 印张 2 28/32 字数 57 千字

1986年12月第1版 1986年12月第一次印刷 印数1—5,000

统一书号：15322·67 定价：0.70元

前 言

随着社会主义建设事业的高速发展，电力电缆已广泛地应用在全国各工矿企业及一些其它单位。例如化工联合企业及钢铁公司，从生产安全及方便的角度出发，几乎全部采用埋地电力电缆供电。电力电缆供电的许多优点是显而易见的，但是在使用电力电缆过程中各单位感到极为头痛的是：发生故障后很难较快地寻测出故障点的确切位置，因此往往而给国家造成停电停产的重大损失。所以，如何用最快的速度，最低的维修成本使其电源恢复，是各供电部门在遇到电缆故障时的首要课题。

电缆故障定位技术发展经历了很长一个时期，对于寻测电缆的接地故障及断路故障方面的技术，现在已经十分完善了。电桥法和脉冲反射技术等方法在各单位的长期实践中经受住了考验，并且证明是成功的。尽管电缆系统及其故障不尽相同，但如果能细致地运用上述各种方法，应用多种可能得到的仪表仪器，即使时间长一些，一般都能精确地确定故障位置，得到满意的结果。

然而，对于高阻故障（高阻泄漏大或高阻闪络性故障）的寻测，采用上述的方法则是无能为力的。这在七十年代初是一个相当新的课题，世界上各先进的工业国家都曾作过大量的探索工作。本书仅仅扼要地回顾了近几年来新发展的测量技术和用这些技术所取得的满意的结果。本书也试图用几年来我们在大量的实践中所探索到的一些新的测量方法和第一手测试资料来证明：对付动力电缆的各种类型的高阻故障是

完全可以成功的。事实证明,目前我国对动力电缆故障的测试已经达到了世界先进水平。我们继1971年成功地研制出我国第一台在始端观察波形的 DGC 型贮能管式电力电缆闪测仪之后,又于1976年试制成功了我国第一台在电缆始端用数字显示的 DGC-2 型电力电缆故障测试仪。经过几年来的现场测试考验,近二百次成功的记录,证明测试理论及方法日趋成熟。当然,仪器本身及方法还有值得改进的地方。

从前借助测量电桥、脉冲测距仪、烧穿变压器及一套烧穿辅助设备的“经典”方法检测电缆的高阻故障(这样的故障电阻往往高达 $100 \sim 1000 \text{ M}\Omega$)时,必须经过“烧穿”、“粗测”和“定点”三个“经典”步骤:即首先在电缆的故障相上加足够高的电压,使故障点因流过大电流而发热碳化,从而使绝缘进一步损坏,把高阻故障变成低阻故障;然后用低压电桥或脉冲测距仪粗略测出故障点的位置;最后再在故障相上加冲击高压,使故障点放电打火发声,在现场用声测法(通常用木制的听棒)进行定点。这种方法往往需要数小时、数天,甚至更长的时间。而且故障点电阻烧低后,放电打火声变低,加之听棒的灵敏度低,往往定点非常困难。所以,所谓的“经典”法并不总是成功的,常常会发生错误判断,挖开土层而找不到故障点,这样不但浪费了人力物力,更重要的是延误了电缆修复时间。这样的方法,现在看来是极笨的,必须用更先进的更现代化的测试手段来取代之。

本书将详细地介绍各种行之有效的能对付各种类型高阻故障的方法。并且将附带介绍现已在国内广泛应用的贮能示波管闪测仪(即DGC型电力电缆故障闪测仪)和 DGC-2 型数字式电力电缆故障测试仪,以及上两种仪器的附属设备即路径仪、定点仪的基本工作原理,以供电气技术员及有关研究

单位、生产单位参考。本书介绍的这两套仪器及一整套测试方法、经验已经过了几年的大量实践的考验。这些仪器和方法、经验的应用大大提高了寻测高阻故障的效率。由于省去了最费事的“烧穿”这一步骤,大大缩短了恢复供电所需的时间,一般半天内即可完成测试任务,所以特别受到了我国各大型钢铁联合企业,各大的供电局,大中型厂矿,国防工程,军、民用机场等有关单位的好评。正因为如此,有关单位和用户急切地希望我们尽快地总结和交流动力电缆故障寻测技术方面的经验及 DGC 型、DGC-2 型闪测仪的有关资料。基于此因,我们在大量翻阅中外资料的基础上,将试制电力电缆故障测试仪中所摸索到的测试方法和经验教训编写出来,以飨读者。

为让具有中专文化程度的电气技术员及大部分有实践经验的工人都能看懂,我们避免用繁琐的数学推导,尽量用通俗易懂的语言文字及图示来说明每一个行之有效的方法。由于本书提供了大量的适合各种条件的测试方法与分析方法,并且介绍了不少的实测经验,所以我们认为,对于目前具有各种类型的电力电缆故障测试仪的单位和有动力电缆而暂无仪器的单位,本书是不可缺少的资料性、经验性读物,具有较大的参考价值。

编者

一九八六年九月

目 录

一、电缆故障性质的分析	I
1. 低阻故障和开路故障	I
2. 高阻故障	1
二、电缆故障发生的原因	4
三、常用粗测方法的分类与选择	6
(一) 低阻、接地故障及断路故障的寻测方法	6
1. 测量电阻电桥法	6
2. 电容桥法	8
3. 脉冲测量法	10
4. 驻波法	13
(二) 高阻故障的寻测方法	15
1. “烧穿”法	16
2. 高压电桥法	17
3. 直流高压闪络法	19
4. 冲击高压闪络法	21
5. 冲击高压终端闪络法	29
6. 直流闪络测量回路法	33
四、精确定点法	37
(一) 冲击放电声测法	37
(二) 音频法	40
五、在实际测试中遇到的各种具体问题	44
(一) 故障点在终端或接近终端时的波形判别	44
(二) 故障点在测试端电缆头或接近测试端时的波形判别	46
(三) 故障点被击穿与否的判断	48

(四)故障点发生在电缆本体或接头处的判断·····	49
(五)电缆故障点受潮对观测波形的影响·····	51
(六)在作冲击高压闪络测试时冲击电压的选择·····	51
(七)定点时地震波与冲击电磁波的配合问题·····	52
六、安全问题·····	54
七、DGC 型电力电缆故障闪测仪简介 ·····	56
八、DGC-2 型数字式电力电缆故障测试仪简介 ·····	62
九、定点仪及路径探测仪简介·····	72
(一)定点仪·····	72
1. 技术性能 ·····	72
2. 电路原理 ·····	73
3. 使用方法及注意事项 ·····	73
(二)路径探测仪·····	74
1. 技术性能 ·····	74
2. 电路原理 ·····	75
3. 使用方法及注意事项 ·····	75
附录 部分现场测试数据——DGC-2 型数字式电力 电缆故障测试仪实验报告·····	78
参考文献 ·····	84

一、电缆故障性质的分析

电力电缆故障是由于故障点的绝缘损坏而引起的。一般故障的类型大体上分为低阻(短路)故障和断路故障,高阻泄漏故障和闪络性故障两大类。

1. 低阻故障和开路故障

凡是电缆故障点绝缘电阻下降至该电缆的特性阻抗,甚至直流电阻为零的故障均称为低阻故障或短路故障(注:这个定义是从采用脉冲反射法的角度,考虑到波阻抗不同对反射脉冲的极性变化的影响而下的。对于电桥法,低阻故障的定义不受特性阻抗概念的限制)。

这里给出一个电缆特性阻抗的参考值:

铝芯 240 mm^2 截面积的电力电缆的特性阻抗约为 10Ω ;

铝芯 35 mm^2 截面积的电力电缆的特性阻抗约为 40Ω 。

其余截面积的铝芯电力电缆的特性阻抗可据此估算。

凡是电缆绝缘电阻无穷大或虽与正常电缆的绝缘电阻值相同,但电压却不能馈至用户端的故障均称为开路(断路)故障。

2. 高阻故障(包括高阻泄漏故障和闪络性故障)

电缆故障点的直流电阻大于该电缆的特性阻抗的故障均称为高阻故障。

(1) 高阻泄漏。在作电缆高压绝缘试验时,泄漏电流随试验电压的增加而增加。在试验电压升高到额定值时(有时还

远远达不到额定值), 泄漏电流超过允许值, 称为高阻泄漏故障。

(2) 闪络性故障。试验电压升至某值时, 监视泄漏电流的电表指值突然升高, 表针且呈闪络性摆动; 电压稍下降时, 此现象消失, 但电缆绝缘仍有极高的阻值, 这表明电缆存在有故障。而这种故障点没有形成电阻通道, 只有放电间隙或闪络表面的故障便称为闪络性故障。

一般的高阻故障点的性质, 可用图 1 等效电路表示。

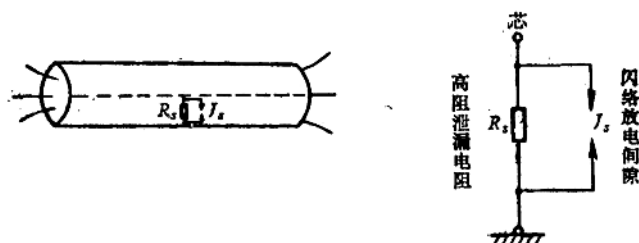


图 1 高阻故障等效电路

高阻故障的表现形式尽管多种多样, 但其本质均表现在图 1 等效电路中的“高阻泄漏电阻”上。“高阻泄漏电阻”的阻值直接决定了高阻故障的特性。它们可以或者是“高阻泄漏故障”, 或者是“高阻闪络性故障”, 或者是二者兼有之的故障。

例如: 当 R_s 近似无穷大时, 故障点 J 两端的直流电压可以增至相当高而泄漏电流还不至于超过额定值, 完全可能在电压升至额定值前 J 被击穿, 从而形成闪络性故障。

当 R_s 小于一定值, 作耐压试验时, 由于 R_s 的存在而产生较大的泄漏电流, 这样大的泄漏电流将在高压电源的内

阻上产生较大的压降，而使 J_1 两端的电压无法升高， J_1 可能就不会被击穿。欲升高电压，泄漏电流势必增加，因此完全可能因泄漏电流大大超过允许值而使继电器保护动作， J_1 也就不会出现闪络现象。

当 R_1 等于零或小于被测电缆的特性阻抗时，故障性质便变成低阻故障了。

二、电缆故障发生的原因

致使电缆发生故障的原因是多方面的，现将常见的几种主要原因归纳如下。

(1) 机械损伤。很多故障是由于电缆安装时不小心造成的机械损伤或安装后靠近电缆路径作业造成的机械损伤而直接引起的。有时如果损伤轻微，在几个月甚至几年后损伤部位的破坏才发展到铠装铅皮穿孔，潮气侵入而导致损伤部位彻底崩溃形成故障。

(2) 电缆外皮的电腐蚀。如果电力电缆埋设在附近有强力地下电场的地面下(如大型行车、电力机车轨道附近)，往往出现电缆外皮铅包腐蚀致穿的现象，导致潮气侵入，绝缘破坏。

(3) 化学腐蚀。电缆路径在有酸碱作业的地区通过或煤气站的苯蒸气往往造成电缆铠装和铅包大面积长距离被腐蚀。

(4) 地面下沉。此现象往往发生在电缆穿越公路、铁路及高大建筑物时，由于地面的下沉而使电缆垂直受力形变，导致电缆铠装、铅包破裂甚至折断而造成各种类型的故障。

(5) 电缆绝缘物的流失。电缆敷设时地沟凸凹不平，或处在电杆上的户外头，由于电缆的起伏、高低落差悬殊，高处的电缆绝缘油流向低处而使高处电缆绝缘性能下降，导致故障发生。

(6) 长期过荷运行。由于过荷运行，电缆的温度会随之

升高，尤其在炎热的夏季，电缆的温升常常导致电缆的较薄弱处和对接头处首先被击穿。在夏季，电缆故障率高的原因正在于此。

(7) 震动破坏。铁路轨道下运行的电缆，由于剧烈的震动导致电缆外皮产生弹性疲劳而破裂形成故障。

(8) 拙劣的技工、拙劣的接头与不按技术安全要求敷设电缆往往都是形成电缆故障的重要原因。

(9) 在潮湿的气候条件下作接头，使接头封装物内混入水蒸气而耐不住试验电压，往往形成闪络性故障。

在对电缆故障发生原因的分析中，极重要的是要特别注意了解高压电缆敷设中的情况。若电缆外表观察到可疑之点。则应查阅电缆安装敷设工作完成后的正确记录。这些记录应包括这样的细节：铜芯或铝芯导线的截面积；绝缘方式；各个对接头的精确位置；三通接头的精确位置；电缆路径的走向；在地下关系中，某一电缆到别的电缆或接头的情况（这一点，特别要注意）以及两种不同截面积的电缆对接头的精确位置；有无反常的敷设深度或者有特别的保护措施，如钢板、穿管和排管等；电缆敷设中的技工和技术员的姓名（这也常常是提供重要线索的来源之一）；历次发生故障的地点及排除经过。

当欲快速定位故障时，所有这些资料是非常有价值的。由于制造缺陷而造成的电缆故障是不多的，因而，对于事故的其它原因分析，如果充分考虑到上述细节，将使电缆维修技术人员得到巨大的好处。

三、常用粗测方法的分类与选择

大量的事实证明，大多数供电事故都发生在电源的分配网络中，如高压开关柜中的各种附属设施、高压绝缘瓷瓶及地下电缆。而故障率最高，最难排除的又要属电力电缆了。一旦故障发生，如何判断故障类型，如何根据故障类型和本单位的设备条件选择合适的寻测方法，直接影响着对事故处理的速度。事实上，电缆可能发生任何类型的故障，能否排除故障常取决于现场工程技术人员的实践经验、他们所熟悉的特殊的试验设备以及他们能否正确的选用测试方法。

按照用低压(或低压脉冲)还是用高压寻测故障的方法，可将粗测方法分为两大类：①低阻、接地故障及断路故障的寻测方法；②高阻故障的寻测方法。这两类中的多种方法，有的是多年沿用较为成熟的方法，有的是近几年来迅速发展完善的行之有效的办法。这些方法是每个供电电气技术员所必须了解和牢固掌握的。

下面就按两大分类较详细地介绍各种寻测方法。

(一)低阻、接地故障及断路故障的寻测方法

1. 测量电阻电桥法

在六十年代之前，世界各工业发达国家都广泛采用此法，外国称之为“经典”方法。此法几十年来几乎没有什么变化。对于短路故障、低阻故障，此法测起来甚为方便。

工作原理

线路连接如图 2 所示, 被测电缆末端无故障相与故障相

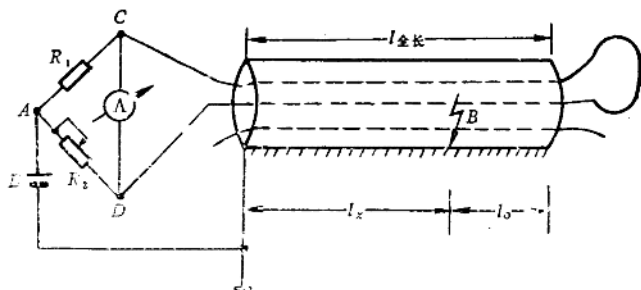


图 2 测量电阻电桥法电原理图

短接, 电桥两输出臂接无故障相与故障相。图 2 电原理图可等效为图 3。

仔细调节 R_2 的数值, 总可以使电桥平衡, 即 CD 间的电位差为零, 无电流流过电流计。此时, 据电桥平衡原理可得

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

即

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$$

由于 R_1 、 R_2 为已知电阻, 设 R_1/R_2 的值为 K , 则

$$\frac{R_3}{R_4} = K$$

$$R_3 = K R_4$$

或

(1)

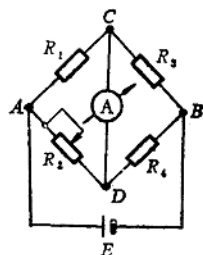


图 3 测量电阻电桥法等效电路

R_1 —已知测量电阻;

R_2 —精密电阻箱;

R_3 — CB 两点间电阻;

R_4 — BD 两点间电阻

又由于电缆直流电阻与其长度成正比,由图2知, R_3 可用 $l_{\text{全长}} + l_0$ 代替, R_4 可用 l_x 代替,故式(1)可改写成

$$l_{\text{全长}} + l_0 = K l_x$$

而

$$l_{\text{全长}} + l_0 + l_x = 2l_{\text{全长}}$$

所以

$$l_x = \frac{2l_{\text{全长}}}{K+1} \quad (2)$$

由上面推导得知:只要精确地知道电缆长度 $l_{\text{全长}}$ 和测出电桥两已知电阻臂的比值 K , 就能精确地计算出短路故障点距测试端之距离了。此法至今仍广泛地在无脉冲测距仪及闪测仪的各单位中采用,效果良好。

2. 电容桥法

当电缆故障呈断路性质时,由于直流电桥测量臂未能构成直流通路,所以采用测量电阻电桥法将无法测量出故障距离,这时只有采用电容桥法或按高阻故障的寻测方法来测试。关于高阻故障的寻测方法后面还要详细论述。

工作原理:

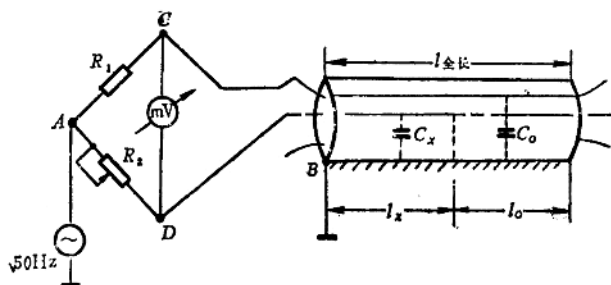


图4 电容桥法电原理图

线路接法基本同电阻电桥，不同之处在于直流电源换为交流 50 Hz 电源，电流表换为交流毫伏表。其电路接法如图 4 所示，等效电路如图 5 所示。

调节 R_2 的阻值时，仔细观察接在 CD 两端的交流毫伏表，当毫伏表指示为零时，表示此电桥已平衡。

据电桥平衡原理公式

$$R_1 X_{C_x} = R_2 X_{C_0}$$

$$X_{C_x} = \frac{R_2}{R_1} \cdot X_{C_0}$$

由于电缆上分布电容与电缆长度成正比，故上式可直接写成

$$l_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot l_{\text{全长}}$$

令 R_2/R_1 的值为 K ，则

$$l_x = K l_{\text{全长}} \quad (3)$$

由此可知，只要已知电缆全长，电桥平衡时便可测出 K 值，并计算出故障点距测试端之距离了。

在使用此法时应注意故障相相对地的电阻值不能小于 $1\text{M}\Omega$ ，否则会造成测量误差。

在实际测试中，由于常常把断路故障作为高阻故障类型来处理，所以此法实际中较少应用，日趋淘汰。但在不具备脉冲测距仪或闪测仪的情况下，遇到既是高阻又是断路的故障时，采用此法较为方便。

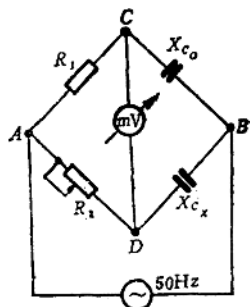


图 5 电容桥法等效电路

C_0 —无故障相上相对地电容；

X_{C_0} —无故障相上的容抗；

C_x —故障相相对地电容；

X_{C_x} —故障相上的容抗；

R_1 —已知测量电阻；

R_2 —精密电阻箱