

电力电缆高阻故障测距技术关键的研究

秦 前 程

(电 机 系)

提 要

本文提出运用导线波动过程原理测量电力电缆高阻故障距离的技术关键。论述了冲击电压再现该类故障的有效法。提出再现故障时的截波概念和获得理想故障波形的方法。采取测量位置与冲击电压源分隔的测试方法,避开放电时的强烈干扰。这样,为智能式测距仪的研制提供了必要条件。

关键词: 电力电缆; 故障检测; 故障定位; 故障距离探测器

引 言

电力电缆高阻故障发生机率高、测寻难度大,成为电缆输供电中值得研究的问题。为了迅速、精确地确定故障位置,需先正确测出故障距离。运用直流电桥测量高阻故障距离,要先进行“烧穿”处理,因“烧穿”过程受多种因素影响,至今未能总结出切实的规律,尤其是塑料电缆的“烧穿”更难,因而高阻故障测距技术亟待现代化。运用波过程原理进行高阻故障测距的技术关键是:①确保测量时故障点产生波的反射;②获取便于检测的理想故障波形;③消除测量干扰。

本文论述了冲击电压再现高阻故障的有效性;提出再现故障时的截波概念,运用这一概念分析获得对称的多次反射故障波形;采取冲击加压与测量分置电缆两端的测试方式,避开放电时的强场干扰和接地阻抗干扰,为测距仪智能化提供了可行条件。

一、冲击电压再现高阻故障

波过程测距以故障点产生波的反射为前提。所谓高阻故障,象征着曾被击穿的故障电缆仍有一定的绝缘能力。正象用电桥法测量高阻故障需要“烧穿”一样,为了满足波过程测距的前提条件,要求高阻故障点在测试电压作用下瞬时闪络,即故障再现,造成故障点阻抗值明显改变,对来波产生反射。

由于电缆预防性试验中要求做直流耐压试验,人们也习惯于用直流高压来再现故障,但实践证明,冲击电压再现故障比直流电压更为有效,原因是:

1、从宏观上看,冲击电压以波的形式突然加到故障点上,故障残留绝缘所受电压不因该处的绝缘状况而改变;而直流加压方式,故障点所受电压实为绝缘电阻压降,只是电源电压的一部分。由于绝缘电阻与绝缘强度并非完全一致,当故障点的绝缘电阻较低而绝缘强度又偏高时,因受加压设备额定电压和容量的限制,故障很可能不会再现,甚至加不上电压。

2、从微观上看,完好电缆绝缘的冲击击穿场强与直流击穿场强相差无几,如粘性浸渍电缆和充油电缆的这两种击穿场强均为 $100\sim 110\text{ kV/mm}$ 。但对于管被击穿的电缆绝缘,故障

本文1987年元月24日收到

通道中总会有气泡之类的缺陷存在。组合绝缘在冲击电压作用下，电场分布与电介质的电容率 ϵ 成反比关系，因此抗电强度最弱的气泡集中了最强的电场，显然有利于放电的完成。而在直流电压作用下，气泡游离后产生与外加电场相反的电场，抑制了放电的发展。相比之下，冲击电压比直流电压对绝缘弱点更有针对性；对绝缘的考验也更真实。

3. 利用电缆绝缘冲击电压累积效应，对一次冲击未能再现的故障，经多次冲击方可奏效，而直流电压却缺少此功能。

综上所述，由于冲击电压能从宏观上集中于故障处，电场又能在微观上集中于故障处的缺陷上，加之累积效应，因此具有与直流电压相同幅值又有一定波长的冲击电压，不仅能再现直流电压能再现的故障，而且能再现直流电压难以再现的故障。

现场不难获得所需幅值和波长的冲击电压，只要在原直流耐压试验的基础上增加一支足够容量（2—3 μ f）的储能电容器和一对放电球隙即可，加压电路如图1所示。

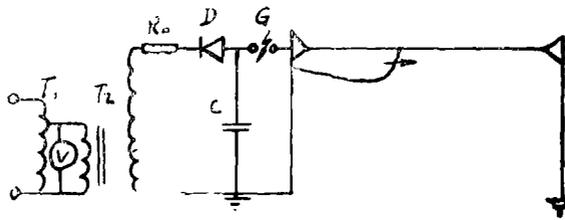


图1冲击电压加压电路

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| T ₁ —调压器； | T ₂ —工频试验变压器； |
| R ₀ —限流电阻； | D—高压硅堆； |
| C—储能电容器； | G—放电球隙。 |

对于目前广泛采用的声测定点法说来，定点和测距可以统一使用同一加压方式，无须改变接线；而保持故障点高阻状态比起烧成低阻其定点效果更好。

二、截波故障波形的由来和特点

在高阻故障被再现的同时，故障点与端点之间产生波的多次反射，形成反应故障距离的故障波形。已知电缆波速度，只要再测得故障点闪络后冲击电压这一次往返于故障点与端点之间所需时间T，则不难计算出故障距离L_x。

$$L_x = \frac{1}{2} TV$$

各种电缆波速度V参看表1。

故障波形是以微秒计的一次瞬变现象，捕捉它需用高压示波器或记忆示波器之类的仪器。作为故障测距，需从故障波形中检测出反应故障距离的信号。不同测试方法所得故障波形的形状差异甚大。例如，用图2（a）所示的串电感取样、电阻分压的测量电路，其故障波形如图2（b）所示，多次反射波经电感微分后迭加在L—C正弦衰减曲线之上；若改用串电阻取样，则多次反射波迭加在R—C指数衰减曲线之上，如图2（c）所示。

表1 各种型式电缆波速度

电 缆 种 类	传 播 速 度 (m/μs)
铅 包 充 油 电 缆	156~159
铝 包 充 油 电 缆	139~142
钢 管 充 油 电 缆	154~158
交 联 聚 乙 烯 电 缆	172
带 (纸 包) 绝 缘 电 缆	168
分 相 铅 包 (屏 蔽) 电 缆	158

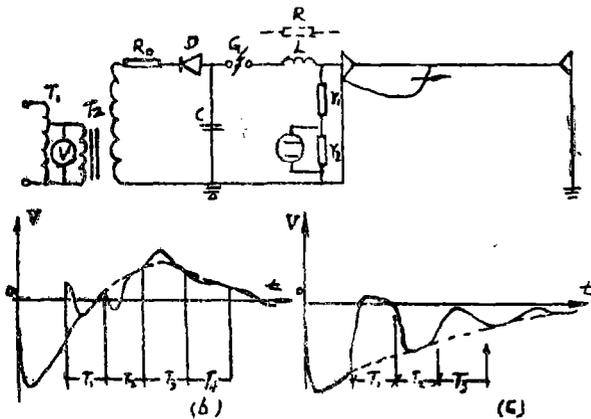


图2

(a)串电感(或电阻)取样测试电路

(b)冲击电压闪络电感取样故障波形

(c)冲击电压闪络电阻取样故障波形

L—取样电感; R—取样电阻

 r_1, r_2 —分E电阻

尽管上述两种故障波形都反应了故障距离,但都因有集中参数过渡过程畸变了多次反射波的原始形状,加之每次测量的电路参数,所加电压也不尽相同,从这种故障波形中检测反应故障距离的信号,无疑十分困难。最规则、最理想的故障波形莫过于多次反射波自身,而上述两种测试方法以及其它一些测试电路中的集中参数元件又是为着取样的需

要而设,因此怎样用集中参数元件取样,消除故障波形中集中参数过渡过程,就成为高阻故障测距的关键。

根据绝缘的冲击放电延迟特性,高阻故障在冲击电压作用下,完成放电需要一定时间,因此故障点的击穿必然发生在冲击电压波超过该点之后,从此冲击电压波被截断,形成截波,截波波长 τ 等于或小于波往返于故障点与末端之间所需要的时间 T ,即 $\tau \leq T$ 。该截波在故障点与末端之间进行多次反射,测试电路及波的多次反射过程如图3所示。被击穿的故障点在波的多次反射过程中保持电弧状态,相当于短路节点,把电缆分隔为首尾两段,从而防了首端集中参数过渡过程对末端故障波形的影响。

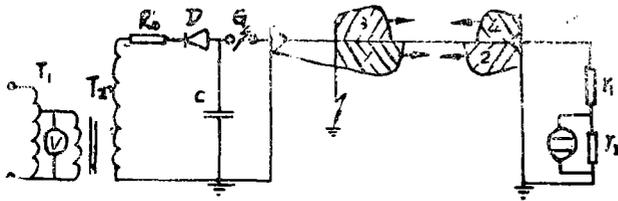


图3 末端测量冲击电压截波电路

电缆末端分压电阻值远大于电缆波阻抗 Z （电力电缆波阻抗为十几~几十欧姆），相当于开路，对来波产生正的电压全反射；而相当于短路的故障点，对来波产生负的电压全反射，即载波

每次从故障点返回都改变极性，因此末端的纯多次反射故障波形规则地对称零轴。假设不计电缆的损耗、视冲击电压波为直角波以及取 $\tau = T$ ，其末端故障波形如图4（a）所示，显然十分理想，过零点之间的时间间隔唯一对应于波往返于故障点与末端所需时间，用过零检测的方法极易测取。

实际电缆都有损耗，使得载波在多次反射过程中波头变缓、幅值衰减、故障波形的过零点时间间隔逐渐有所增大，冲击电压波头也并非直角，如图4（b）所示。但总的看来，故障波形仍保持着对称零轴的特点；初始的 T 值不失反应故障距离的价值；而 $T_1 \leq T_2 \leq T_3 \dots$ 的规律正好用作判断所测波形是否正确的根据。

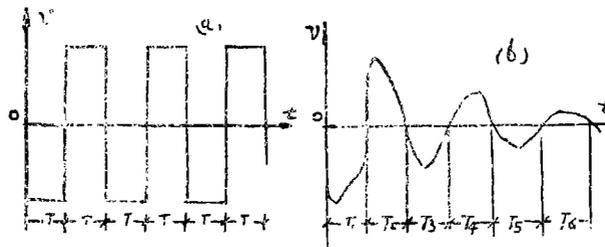


图4 (a) 理想情况冲击截波末端故障波形
(b) 实际冲击截波末端故障波形

上述截波故障波形测试方法的最大不足是加压操作与测量在电缆两端进行，联系不便。据我们实测近一百例电缆故障的统计，三相电缆三芯同时高阻故障率约是2%，对于除此之外的高阻故障可采用图5接线方式，在电缆首端测得载波故障波形。

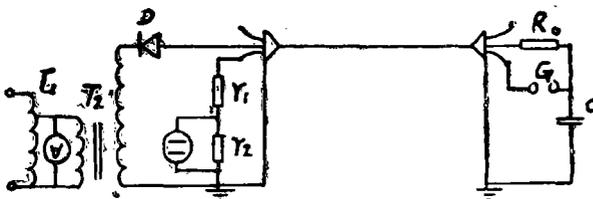


图5 冲击截波故障波形首端测试接线

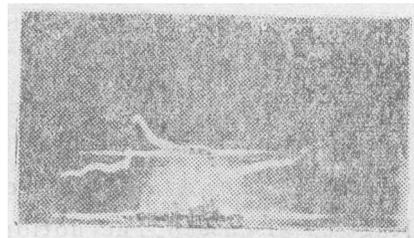


图6 实测冲击截波首端故障波形
注：时标5 μS/div

利用一相好芯将直流电源引至末端，经限流电阻 R_0 对储能电容 C 充电，球隙 G 把充电回路与故障芯线隔离；球隙放电后把冲击电压投向故障相，一旦形成截波则可在故障相首端测

得截波故障波形,实现了同端测量。电阻 R_0 除在充电时起限流作用外,移至末端的目的在于当球隙放电时起阻波作用,阻止在送电好相中也产生波的传播和多次反射,否则好相中的多次反射通过相间电容耦合到测量相,畸变所测故障波形。图6为实测故障波形,它保持了截波故障波形的所有优点。该被测故障电缆全长 $L_x = 3600\text{m}$,电缆波速度 $v = 168\text{m}/\mu\text{s}$,所测故障距离 $L_x = 2100\text{m}$,测量正确。

三、消除测量干扰

波过程测距属电磁暂态测量,尤其是在冲击放电时进行测量,干扰甚强。干扰源有:①球隙放电产生强场辐射,②贮能电容器放电时,冲击大电流经接地引线产生阻抗压降干扰;③其它随机干扰。采用测量电路与放电球隙、贮能电容放电电路分置电缆两端的测试方式,不仅防止了集中参数过渡过程对故障波形的影响,而且有效地避开了电磁场辐射和阻抗压降干扰。它为电缆高阻故障测距仪的智能化研究提供了有利的技术保证,十分可贵。反过来,智能化的测距仪又为消除测量的随机干扰创造了条件。其基本思想是:以截波故障波形的规律为依据,经多次测量统计,淘汰随机干扰产生的分散值。

四、结 论

1. 冲击电压再现高阻故障简便有效。
2. 冲击截波多次反射故障波形规则对称,便于检测,抗干扰能力强。
3. 测量与加冲击电压分置,能有效地避开强场辐射和阻抗压降干扰;用统计规律鉴别测量的分散值。

参 考 文 献

- [1] 郑肇骥 《电力电缆》
- [2] 刘子玉 《电气绝缘结构设计原理》
- [3] 上海电缆研究所、内蒙古电子仪器厂《用高压脉冲冲击法确定电力电缆故障点的研究》
- [4] 郑州工学院、郑州供电局《数字式电力电缆故障测距仪研制报告》 河南电力通讯 1978年 NO1

THE STUDY OF THE TECHNICAL CRUXES IN THE DISTANCE MEASUREMENT OF POWER CABLE'S HIGH MEGOHM FAULT

Qin Qian—cheng

(electrical engineering department)

Abstract

The principle of wave process on the Line is used to measure the distance of power cable's high megohm fault. Its technical cruxes are presented in this paper. The availability of the fault reconstruction formed by impulse voltage is discussed. The notion of truncated wave and the method for getting ideal fault wave in the fault reconstruction are proposed. The test way adopted is that the measured place is separated from the source of impulse voltage, in order to avoid the strong disturbance by discharge. Thus, the necessary condition is offered for developing intelligent distance meters.

Key words: Power cables, fault checking, fault location, cable fault locators.