

检验与测试

电力电缆故障原因及检测方法研究

王少华, 叶自强, 梅冰笑, 刘浩军, 姚玮

(浙江省电力试验研究院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 电力电缆故障对电网运行可靠性造成了严重影响。分析了电缆典型故障类型、形成原因以及各种故障检测方法。结果表明, 机械损伤、过负荷运行、电缆头缺陷等是造成电缆故障的主要原因。电缆故障检测时, 应根据故障类型和性质选择合理的故障检测方法。为防止电缆故障的发生, 提高电缆运行的可靠性, 应在线监测电缆负荷电流, 监测电缆温度, 防止电缆化学腐蚀和电解腐蚀。

关键词: 电力电缆; 原因分析; 检测方法; 预防措施

中图分类号: TM247 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-3175(2011)05-0048-04

Causes of Power Cable Faults and Test Method Study

WANG Shao-hua, YE Zi-qiang, MEI Bing-xiao, LIU Hao-jun, YAO Wei

(Zhejiang Electric Power Test and Research Institute, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Power cable faults will have serious impacts on operation reliability of power grid. Analysis was made to typical power cable fault types, forming causes and test methods for various faults. The results show that the main causes leading to cable faults are mechanical damages, overload operation, cable end defect etc. In cable fault test, the reasonable fault test method should be selected according to fault types and nature. In order to prevent cable faults from taking place and to raise reliability of cable operation, cable load currents and cable temperature should be monitored on line so as to prevent from cable chemical corrosion and electrolysis corrosion.

Key words: power cable; cause analysis; test method; prevention measures

0 引言

与架空输电线路相比, 电力电缆具有运行可靠、维护工作量小、美化环境和布局等优点, 在城市电网及特殊跨越地段(如跨海输电工程)中得到了广泛的应用。

然而, 电力电缆多埋于地下, 出现故障时难以查找, 往往要花费数小时, 甚至几天的时间, 不仅浪费了大量的人力、物力, 而且会造成难以估量的经济和社会影响。2010年8月10日, 浙江舟山嵊泗电网两条海底电缆遭外力破坏, 导致全岛大范围停电。其中, 极1海缆抢修耗费7天时间, 极2海缆抢修耗费12天时间。海缆破坏对全岛居民生活和工业生产造成了十分严重的影响。

随着城市电网改造的不断推进, 越来越多的电力电缆将会运用于电力系统。由于电力电缆的固

有缺点(如电缆接头施工工艺复杂, 施工质量问题易产生隐患), 电缆故障难以避免。电缆故障发生后, 如何迅速、准确、经济地对电缆故障定位, 尽快恢复供电, 减少故障修复费用及停电损失是电力部门十分关注的问题。

本文旨在总结电缆典型故障类型, 分析电缆故障的形成原因, 比较分析各种电力电缆故障检测方法, 并提出防止电缆故障的应对技术措施和方法, 为电力电缆运行维护部门提供借鉴和参考。

1 电缆故障性质与分类

电缆故障性质的正确判断对于快速检测出故障点是十分重要的。根据目前的故障检测技术及故障点绝缘电阻值大小, 可将电缆故障分为以下几种类型^[1-2]。其电缆故障情况示意图如图1所示。

作者简介: 王少华(1981-), 男, 工程师, 博士, 主要从事高压输电线路外绝缘研究工作。

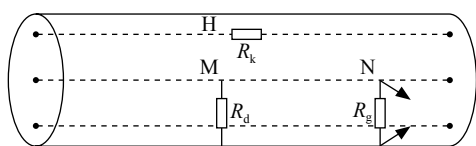


图1 电缆故障情况示意图

1) 开路故障

若电缆相间或相对地的绝缘电阻值达到所要求的规定值,但工作电压不能传输到终端,或虽然终端有电压,但负载能力较差,这类故障称为开路故障。如图1所示,若H点电阻 $R_k=\infty$,则表明H点存在断线故障,为开路故障的特殊情况。

2) 低阻故障

若电缆相间或相对地的绝缘受损,其绝缘电阻将减小。当绝缘电阻小于10倍电缆特性阻抗时,称为低阻故障。低阻故障可用低压脉冲反射法进行测量。如图1所示,若M点绝缘电阻 $R_d=0$,则表明M点存在短路故障,为低阻故障的特殊情况。

3) 高阻故障

若电缆相间或相对地的绝缘电阻低于正常值较多,但大于10倍电缆特性阻抗时,称为高阻故障。高阻故障不能采用低压脉冲反射法进行测量。根据故障性质,高阻故障可分为泄漏性高阻故障和闪络性高阻故障。

在对电缆进行预防性试验时,泄漏电流随试验电压的升高逐渐增大。当试验电压升高至额定电压(有时还远远达不到额定值)时,泄漏电流超过允许值,这种故障为泄漏性高阻故障。

当试验电压升高到一定值时,泄漏电流突然增大且呈现闪络性波动的特点;当电压稍下降时,此现象消失,这种故障为闪络性高阻故障。如图1所示,若N点在较高电压作用下, $R_g=0$;试验电压降低后, $R_g=\infty$,则表明N点存在闪络性高阻故障。随着交联聚乙烯(XLPE)电缆大量应用,闪络性高阻故障在电缆故障中占有较高比例,此类故障查找比较困难。

2 电缆故障的产生原因

造成电缆故障的原因有很多。了解电缆故障产生的具体原因,对于故障检测方法的选择,快速检测出故障点十分重要。通过对各种类型电缆故障的剖析,可将故障原因归纳为以下几类^[1, 3-4]。

1) 机械损伤

机械损伤包括电缆敷设过程中因拉力过大或弯曲过度而导致绝缘和护层的损坏,及施工和交通运输中直接受外力作用而造成的误损伤等。

2) 过负荷运行

当电缆长期过负荷运行时,会使电缆产生过热现象,使电缆温度升高,过高的温度会加速电缆绝缘老化,致使绝缘薄弱部位击穿。

3) 电缆头故障

电缆中间接头、终端头是故障较常发生的部位。电缆头故障主要表现在以下两个方面:

(1) 由于制作工艺不良,电缆头内部含有杂质、气隙等,在电缆投入运行后,在强电场作用下,内部杂质会发生游离,产生树枝放电现象。

(2) 电缆终端接头或中间接头的金属屏蔽接地不良,造成接地电阻值超过规定值,产生较高的感应过电压,进而导致电缆的部分绝缘击穿。

4) 绝缘受潮

绝缘受潮是造成电缆故障的主要原因之一,通常表现为绝缘电阻低,泄漏电流大。造成绝缘受潮的原因有以下几方面:

(1) 电缆中间接头、终端接头的密封失效,导致潮气侵入,破坏绝缘性能。

(2) 电缆本身存在质量问题,制造电缆包铅(铝)时留下砂眼和裂纹等缺陷。

(3) 电缆护套被异物刺穿,或被化学腐蚀,或电解腐蚀,导致保护层失效。

3 电缆故障检测方法

电缆发生故障后,快速、准确地判断电缆故障的性质、状态和类别,是电缆运行维护的关键技术,对于减小故障损失具有重要意义。目前,主要有以下几种电缆故障检测方法^[1-2, 5-8]。

1) 电桥法

电桥法的接线原理如图2所示。首先将电缆的故障相与非故障相在电缆终端处短接;在电缆始端,用单臂电桥连接故障相及被短接的非故障相。然后,测量非故障相电阻加上故障相故障点之后电阻之和($R_{L0}+R_{L1}$)与故障相故障点之前电阻(R_{Lx})之比,结合电缆长度数据即可计算出故障点的具体位置。

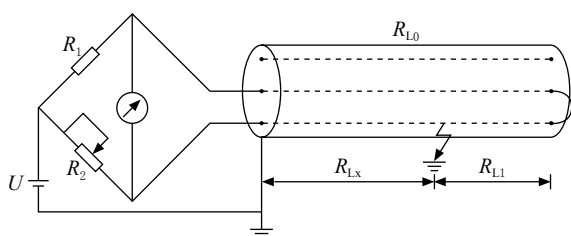


图2 电桥法接线原理图

电桥法的优点是简单、方便、精确度高。其缺点是不适用于检测高阻与闪络性故障，因为故障电阻很高的情况下，电桥的电流很小，一般灵敏度的仪表很难探测的。此外，电桥法检测时，需要知道电缆的准确长度等原始资料，当电缆线路由不同截面的电缆组成时，还需要进行换算，电桥法也不能测量三相短路或断路故障。

2) 低压脉冲反射法

低压脉冲法的接线原理如图3所示。将低压脉冲注入电缆故障。由于故障点为阻抗不匹配点，当低压脉冲沿电缆传播至故障点时，会产生反射脉冲。根据发射脉冲与反射脉冲的往返时间差，以及脉冲传播速度，可计算出故障点的位置。

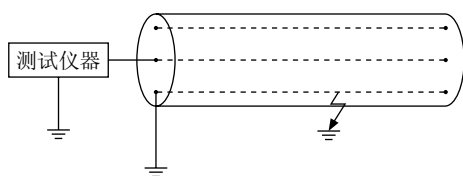


图3 低压脉冲反射法接线原理图

低压脉冲反射法的局限性在于，通常电缆故障测量仪采用的电压脉冲都是矩形脉冲（由于矩形脉冲的形成比较容易），如果在脉冲宽度时间内得到的反射脉冲与发射脉冲相重叠，便无法区分出来，不能测出故障点的距离。因此，低压脉冲反射法存在检测盲区。

3) 脉冲电压法

脉冲电压法包括直流高压闪络法，接线原理如图4所示，与冲击高压闪络法，接线原理如图5所示。图中，\$T_1\$ 为调压器，\$T_2\$ 为试验变压器，\$D\$ 为硅堆，\$R\$ 为保护电阻，\$C\$ 为储能电容，\$L\$ 为线性电流耦合器，\$G\$ 为球隙。

脉冲电压法的基本原理是，利用直流（或冲击）高压信号击穿电缆的故障点，记录放电电压脉冲在测试点与故障点间的往返时间，依此计算故障点的位置。

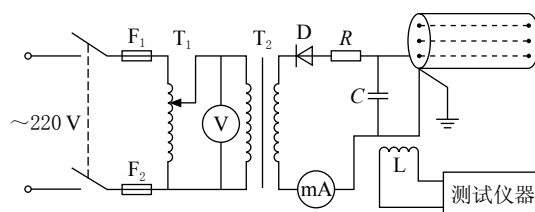


图4 直流高压闪络法接线原理图

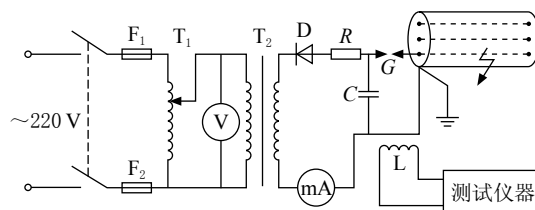


图5 冲击高压闪络法接线原理图

脉冲电压法的优点在于由于是直接利用故障击穿产生的瞬间脉冲信号，测试速度较快。其缺点在于，在故障放电时，尤其是冲击闪络测试时，通过电容（电阻）分压器测量电压脉冲信号，分压器耦合的电压波形难以分辨。

4) 脉冲电流法

脉冲电流法的基本原理是，将电缆的故障点击穿，测量击穿时产生的电流行波信号，根据电流行波在测试点与故障点间的往返时间来计算故障点的位置。

脉冲电流法的局限性在于它是用互感器将脉冲电流耦合出来，其波形比较复杂，不易辨识故障点位置，由于线芯绝缘介质损耗引起的行波信号衰减及中间接头等的反射和其他干扰因素，故障波形往往误差很大。

5) 二次脉冲法

二次脉冲法的接线原理如图6所示。该方法是结合高压发生器冲击闪络技术，在故障点起弧瞬间、电弧熄灭瞬间，分别触发低压脉冲。通过比较两次低压脉冲波形来判断故障点的位置。

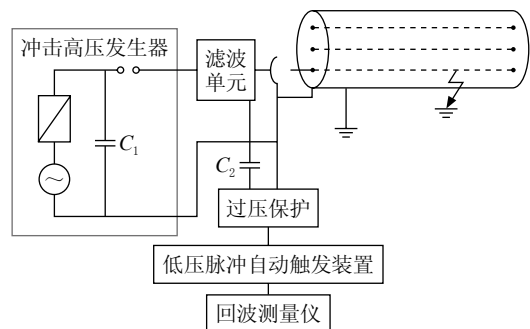


图6 二次脉冲法接线原理图

二次脉冲法的缺点在于高压击穿故障点的燃弧时间短,燃弧不容易稳定,往往会在高压脉冲消失瞬间恢复其高阻状态,致使紧随发射的低压脉冲不能击穿故障高阻,无法得到故障波形。因此,该方法不适合检测高阻接地故障。

6) 三次脉冲法

三次脉冲法的接线原理如图7所示。首先在不击穿被测电缆故障点的情况下,测得低压脉冲的反射波形;然后用高压脉冲击穿电缆故障点以产生电弧,当电弧电压降到一定值时触发中压脉冲来稳定和延长电弧时间;而后再发出低压脉冲,得到故障点的反射波形。两条波形叠加后可以发现发散点,即为故障点对应的位置^[9]。

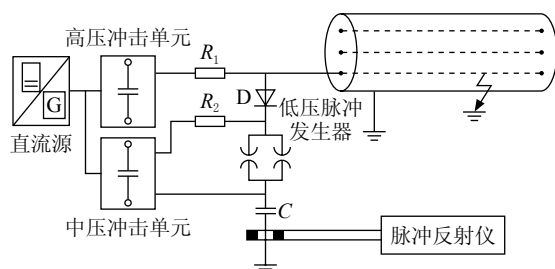


图7 三次脉冲法接线原理图

三次脉冲法的优点在于,由于采用了中压脉冲来稳定和延长电弧时间,比二次脉冲法更容易得到故障点波形;而且,该方法不用选择燃弧同步时长,操作比较简便。

4 电缆故障的防范对策

针对常见电缆故障类型和形成原因,本着提高绝缘强度和加强绝缘监测的原则,可采用以下技术措施和方法来防止电缆故障的发生,提高电缆运行的可靠性^[4, 7, 10]。

1) 在线监测电缆负荷电流,防止过负荷运行

电缆超负荷运行,会导致温升增加,加快电缆绝缘老化,易使电缆绝缘薄弱处(如接头)发生击穿事故,大大降低电缆寿命。因此,应根据电缆敷设方式、运行条件、环境温度、并列条数对电缆长期允许载流量进行校核并作出规定。运行中,对电缆载流量进行测量实时监测,确保其不超过规定值,避免长期过负荷运行造成的电缆故障。

2) 实时监测电缆温度,防止电缆过热

电缆故障发生常伴随着局部温度的升高。安装

温度监测装置,实时反映电缆的温度状况,有利于了解电缆的运行状况,防止电缆过热,及时发现电缆隐患,避免故障发生。

3) 防止电缆化学腐蚀

尽量选用符合使用环境的电缆,选择敷设路径时,充分对土壤资料进行化学分析,判断土壤和地下水的侵蚀程度,如侵蚀严重则应增加外层防护,再将电缆穿入耐蚀的管道中,对已埋设的电缆,应了解电缆的腐蚀程度,必要时掘开泥土检查。

4) 防止电缆电解腐蚀

加强电缆包皮与周围金属部件间的绝缘,可加装遮蔽管,测量铅包对大地及其它管线的电位差、铅包杂散电流密度以及流入大地电流密度等,及时采取防止电解腐蚀的对策。

5) 选择质量可靠的电缆

与传统的油纸绝缘电缆相比,交联聚乙烯(XLPE)电缆允许温升比油纸绝缘电缆的高,其允许工作场强和允许长期载流量也比油纸绝缘电缆高很多,而且其敷设不受高落差限制。因此,可优先选用XLPE电缆。

与传统充胶漏斗型电缆头相比,环氧树脂电缆头具有高机械强度、高耐压强度、低吸水率、良好密封性能等特点。可采用环氧树脂电缆头来解决电缆漏油等问题。

6) 提高电缆敷设工艺

敷设电缆时,应根据实际地面建筑情况及周围环境,采用隧道敷设、电缆沟敷设、排管敷设或直埋敷设,并要严格按照标准要求敷设,避免电缆受外力损伤。

5 结语

本文总结分析了电缆典型故障性质、类型及电缆故障的形成原因,分析比较了各种电力电缆故障检测方法,并提出了防止电缆故障的应对技术措施和方法。结果表明:机械损伤、过负荷运行、电缆头故障是造成电缆故障的主要原因。电桥法、低压脉冲反射法、脉冲电压法、脉冲电流法、二次脉冲法、三次脉冲法等电缆故障检测方法各有优缺点,实际运用中应根据具体情况作出合理选择。在线监测电缆负荷电流,监测电缆温度,防止电缆化学腐

(下转第58页)

器的动作时间都极短,如参考文献[2]指出,DZY-200继电器动作时间小于或等于45 ms,通常试验时为了使保护装置动作,外加故障量的时间均稍大于整定值,约为0.1 s,也就能使继电器ZJ动作并自保持了。

5 结语

在新建变电站验收中,使用了该套跳闸出口压板测量装置,能正确地指示出保护装置起动的跳闸出口回路,没有引起保护装置直流电源异常,相比以前的电压表测量压板方法,使用测量装置大大地

提高了校验效率,可见在工作中不拘于传统,分析思考、改良创新,能发现高效的工作新方法。

参考文献

- [1] 孙成宝. 继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [2] 方大千. 继电保护及二次回路速查速算手册[K]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [3] 放建安. 电力系统微机继电保护[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [4] 李正海, 刘昕, 李鹏. 电力系统主设备继电保护试验[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.

收稿日期: 2010-11-30

(上接第51页)

蚀和电解腐蚀等可有效防止电缆故障的发生。提高绝缘强度和加强绝缘监测是保证电缆安全运行的基础,也是区域性电网安全运行的基本保证。

参考文献

- [1] 张栋国. 电缆故障分析与测试[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 陈恳. 电力电缆故障测距仪的研究与应用[D]. 南昌: 南昌大学, 2005.
- [3] 葛占雨. 电力电缆故障类型及探测方法浅析[J]. 华北电力技术, 2008(8): 43-48.
- [4] 陈达. 电力电缆的故障分析及预防措施[J]. 电力标准化与技术经济, 2006(3): 17-19.

- [5] 任艳霞, 刘明光, 史雪明. 电力电缆故障探测方法探讨[J]. 电力科学与工程, 2008, 24(1): 30-33.
- [6] 鹿洪刚, 覃剑, 陈祥训, 等. 电力电缆故障测距综述[J]. 电网技术, 2004, 28(20): 58-63.
- [7] 陆锋. 电力电缆故障的诊断及防范[J]. 供用电, 2006, 23(6): 45-48.
- [8] 杨孝志, 陆巍, 吴少雷, 等. 电力电缆故障定位技术与方法[J]. 电力设备, 2007, 8(11): 22-24.
- [9] 陈韶勇, 李越. 三次脉冲法在电缆故障查找中的应用[J]. 农村电气化, 2009(9): 61-62.
- [10] 李凤梅. 电力电缆故障的预防措施[J]. 供用电, 2006, 23(6): 43-44.

收稿日期: 2010-11-18

欢迎订阅2011年《电工电气》杂志

国内邮发代号: 28-184 国外发行代号: 4905(MO)

订阅《电工电气》杂志请到当地邮局

每期5元 每年12期 全年60元(RMB)

如错过订期请与编辑部联系 联系电话: 0512-68099733

E-mail: jsdq@dqjc.com dgdq-ggb@hotmail.com