

# 提升配电网电缆附件隐患检测效率的综合检测方法

韩启贺 解磊 张增智 张禹 唐朝 曾娜 李卓雯  
(国网四川省电力公司德阳供电公司, 四川 德阳 618000)

**摘要:** 随着城市化进程的稳步推进,大量市区架空线路“提档升级”逐步采用电缆线路。特别是近十年以来,大量的电缆被安装到了配电网系统中。如何有效检测出在运配电网电缆的隐患也成为了迫在眉睫的问题。提出了一种综合利用现有在线测温、暂态对地电压局部放电检测、阻尼振荡波检测等配电网电缆检测方法,能有效地检测、诊断及定位电缆附件绝缘隐患的方法。

**关键词:** 缺陷诊断; 阻尼振荡波; TEV局放检测; 在线测温

中图分类号: TM591 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2018)05-0025-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.05.006

## Comprehensive Detection Method for Improving Defect Detection Efficiency of Cable Accessories in Distribution Network

Han Qihe, Xie Lei, Zhang Zengzhi, Zhang Yu, Tang Chao, Zeng Na, Li Zhuowen  
(State Grid Deyang Electric Power Supply Company, Deyang 618000, Sichuan, China)

**Abstract:** With the acceleration of urbanization, a large number of urban overhead lines have been gradually replaced by cables as a result of the "Road Improvement" project. Especially in the last decade, a large number of cables have been installed in power distribution network. The urgency of detecting insulation defects in running cables is also increasing. A comprehensive utilization of the existing online temperature measurement, transient earth voltages (TEV) and damped oscillatory wave test system (OWTS) is proposed, which can effectively detect, diagnose and locate the insulation defects of cable accessories.

**Key words:** defect diagnosis; damped oscillatory wave; partial discharge detection of transient earth voltages (TEV); online temperature measurement

## 0 引言

交联聚乙烯绝缘(XLPE)电力电缆线路因敷设便利、运行可靠性高、不易受天气等外部环境的影响,不占用地面空间、绝缘性能优良等特点,并契合了现代化城市的美观及规划、设计需求,使其在输配电网,尤其是城市配电网中得到了广泛的应用。然而,交联聚乙烯绝缘电缆本身的构造紧密,且绝缘介质为性质稳定的材料,让运行人员很难准确地评估电缆及电缆附件的绝缘健康状态。现有检测手段的准确性、便捷性和有效性对于电缆内部绝缘缺陷隐患的检测及定位来说还稍显不足。

根据统计资料显示,电缆附件(主要包括电缆中间接头与电缆终端头)的故障率是电缆本体故障率的百倍以上<sup>[1]</sup>。所以可通过重点关注电缆附件绝缘的老化、劣化情况,来判断电缆线路的运行状态。而电缆附件的绝缘缺陷早期主要体现在局部放电方面。局部放电一般不会直接引起绝缘击穿,但如果长时间存在则会使绝缘强度逐渐降低<sup>[2-3]</sup>。因此,通过对电缆附件的局部放电监测,能帮助判断电缆线路及电缆设备运行的健康状态,但对配电网实时在线局放检测的成本较高。下面通过对现阶段配电网电缆常用的在线测温装置、暂态对地电压(transient earth voltage, TEV)局部放电检测及振荡波检测的综合运用,来提高电缆附件局部放电检测效率。

## 1 配电网电缆常用检测方法

### 1.1 在线测温装置

研究表明绝大多数的绝缘缺陷都可引起电缆附件本体或局部温度升高,当温度升高到超过电缆附件所能承受的临界值时,电缆接头就有可能发生热击穿甚至爆炸,造成大范围的断电或引起火灾<sup>[4]</sup>。

通过对电缆附件的温度进行实时在线监测,可以及时有效地发现电缆附件的温度异常并形成告警信息,进而避免电缆附件及电缆设备起火、线路停电等事故的发生。国网四川省电力公司德阳公司目前的在线测温装置主要是热敏电阻式测温系统,通过对电缆终端温度的实时监测,已发现了数起电缆终端过热情况,及时发现并消除了隐患,避免了电缆故障的发生。

然而在现场应用过程中也发现了在线测温装置存在部分弊端。首先,在线测温装置需要外部电源,限制了其应用范围只能是在环网箱和开闭所等方便取电的设备内,对于电缆分支箱和电缆井内的中间接头则无法实现在线测温。第二,当前使用的在线测温主要通过热敏电阻作为传感器贴在电缆附件上实现温度采集功能,但因为热敏电阻传感器需要构成电气回路方可采集信号,布线复杂;且热敏电阻特别容易发生损坏,更换新电阻的维护量大;传感器本身不具备自检功能,使运行部门难以判断传感器的工作状态,需要经常进行现场校验。第三,后台报警功能工作模式为接头温度超过一定温度后报警,但实际运行过程中当电缆的运行负荷或环境温度发生变化时,都会造成电缆附件周围温度发生变化,容易形成误判。第四,当温度报警发生时,通常局部放电已经处于发生的后期阶段,留给运行单位的处理时间不充足。

### 1.2 暂态地电波局部放电检测

根据电磁学的理论,当开关柜、分支箱等电缆设备内部发生局部放电时,局部放电点会激发出电磁波向周围空间传播,当遇到未封闭的金属板的外表面时,会在金属外壳上感应出电位,该电位称为暂态地电压(即地电波)。在实际生产运行中,配电网电缆设备如开关柜、分支箱中存在许多绝缘间隙,如绝缘垫片、电缆进出口等,柜体本身是不连续的。因此可在开关柜体外表面上检测到该电磁波所感应出的

有效电波信号,即地电波信号<sup>[1]</sup>。暂态地电波局部放电检测是对开关柜、分支箱的金属外壳地电位进行检测,通过对测量到的地电波信号判断局部放电的位置、类型和放电量之间的关系<sup>[5-6]</sup>。暂态地电波局部放电检测具有测量判别方便、能带电进行、测量时间短、定位较准确等诸多优点。

但在现场检测过程中,空间的电磁波可进入开关柜室,且周围的电力设备也会产生电磁波,这些电磁波信号会对检测造成干扰,造成设备误判断。

### 1.3 阻尼振荡波局部放电检测

目前配电网电缆常用的电缆绝缘性能检测手段主要以交流耐压、直流耐压试验等破坏性试验为主,虽然能够有效发现电缆附件及电缆本体的较为严重的绝缘缺陷,但这两种预防性试验均会不同程度地造成电缆绝缘劣化,大大降低电缆使用寿命。而且其试验系统构成复杂、试验设备体积重量大,不利于在复杂地形环境下开展检测。

阻尼振荡波局部放电检测系统通过设备与被试电缆之间构造LC振荡回路,在系统中形成近似于工频的逐步衰减的振荡波电压信号来模仿电缆的运行状态,进而在电缆绝缘薄弱处激发出局部放电信号;再同步收集波形信号,通过后台分析软件可分析采集波形信号,从而判断电缆绝缘的好坏。阻尼振荡波局部放电检测对电缆施加的是衰减振荡波信号,加压时间仅为几秒,基本不会对电缆绝缘造成损伤<sup>[7]</sup>。

但实际应用过程中,因该试验需要停电进行,在供电服务压力逐渐增大的情况下很难逐条线路进行试验。目前只能在新建电缆线路以及结合日常检修停电时在重要电缆上进行检测。检测对象覆盖面较小,且面对庞大的存量电缆要实现配电网电缆大体检耗时也过长,难以对配电网电缆附件绝缘状态评估提供有力支撑。

## 2 综合检测方法

分析现有的配电网电缆检测方法可以发现,目前的检测方法均存在不同程度的弊端。

在线测温装置通过传感器采集终端的温度信息判断终端的运行状态;暂态对地电压局部放电检测通过采集环网柜、分支箱等设备金属表面的感应电位来判断电缆附件是否有局部放电;而阻尼振荡波

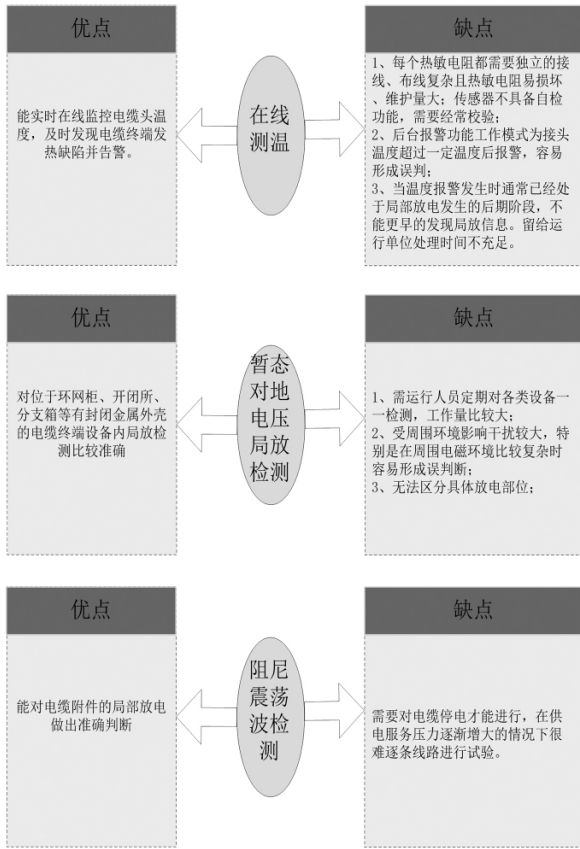


图 1 各种检测方法的优缺点对比

检测通过对电缆施加衰减振荡波并采集系统振荡波形信号来判断电缆绝缘状态。不同的检测方法采用不同的原理来进行状态检测,但都存在信号采集方法单一,可能存在设备、环境、人为因素干扰造成误判的问题,不能给运行单位提供精准的检修建议。通过对各种检测方法进行充分分析(见图 1),针对不同检测方法的优缺点提出了综合检测,具体操作流程如图 2 所示。

首先,通过在线温度检测的实时监测功能,监测电缆终端的运行温度,通过对比相间及环境温度、负荷电流等对监测数据进行分析。其次,对发现有温度异常的电缆终端进行暂态对地电压局部放电检测,检测该附件是否有局部放电现象。如未发现该终端有局部放电现象,则继续对该终端进行温度监测,同时结合停电机会检测找出引起温度异常的原因;如两种检测方法均发现该终端有异常,即有两个非同原理的检测同时判断电缆终端有局部放电,则认为该终端处确实存在局部放电现象,需安排停电检修。在停电检修时同步安排阻尼振荡波试验,检测该电缆其他附件是否存在相似的隐患。

2018 年 4 月 2 日,配电运检人员通过在线测温

监测平台发现 10 kV 某路某环网柜 9043 间隔至某小区出线电缆 A 相温度明显高于其他间隔电缆终端及同间隔另两相电缆终端温度,但因未达到警戒温度而无报警信息,如图 3 所示。

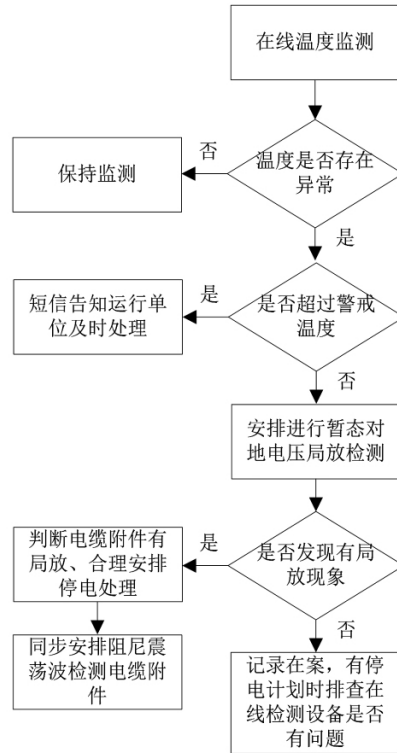


图 2 综合检测流程

9041柜A相上	9041柜B相上	9041柜C相上	9042柜A相上	9042柜B相上	9042柜C相上	9043柜A相上	9043柜B相上	9043柜C相上	工作电压
25.15	25.43	25.01	26.01	25.70	26.11	59.62	5.27	25.15	
24.20	24.51	24.10	25.01	24.71	25.12	58.56	3.27	24.30	
23.99	23.66	23.26	24.06	23.76	24.13	24.13	3.35	23.60	
22.59	22.88	22.45	23.22	22.95	23.29	23.24	3.35	23.19	
21.85	22.15	21.71	22.49	22.15	22.52	23.24	3.35	23.19	
21.21	21.48	21.01	21.78	21.45	21.81	23.24	3.35	23.19	
20.55	20.85	20.38	21.08	20.81	21.18	23.24	3.35	23.19	
20.01	20.35	19.88	20.55	20.32	20.68	58.76	3.28	20.12	
19.82	20.22	19.69	20.38	20.15	20.45	58.81	3.28	19.82	
20.38	20.68	20.15	20.75	20.55	20.81	58.76	3.28	20.12	
21.68	21.71	21.31	21.81	21.52	21.75	58.87	3.28	21.01	
23.39	23.33	23.02	23.49	22.98	23.05	59.10	3.28	22.25	

图 3 在线测温数据

配电运检人员在连续监测该处异常 24 h 后发现该处温度异常并未消失,立刻安排运行人员对该间隔进行了暂态对地电压局部放电检测,检测结果显示该间隔存在局部放电。由于两种检测方法都判断此终端存在局部放电现象,于 4 月 9 日安排停电处理,同时针对该电缆进行阻尼振荡波检测。通过阻尼振荡波检测发现该电缆除终端有局部放电外,在中间接头处也有局部放电现象,检测结果如图 4。

通过对该电缆终端及中间接头解剖发现,因未严格按生产厂家图纸尺寸剥切铜屏蔽及半导体层,

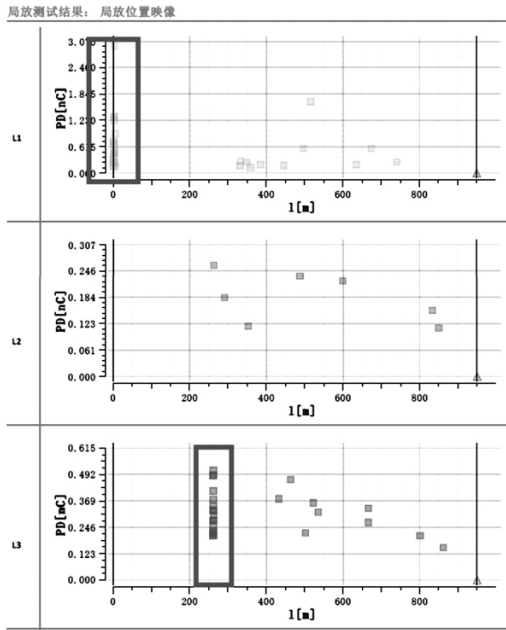


图 4 阻尼振荡波局部放电位置映像

致使应力锥安装错位并未起到应力疏散作用而在屏蔽层断口处出现放电,这是导致此次问题的主要原因。

多种检测方法的配合使用,能极大提高检测的精度。当两种或两种以上的检测手段同时判断电缆附件有问题时即可认为该附件确存在局部放电现象。对比以往单个检测手段判据不足的问题,综合检测能为运行单位提供精准检修建议。

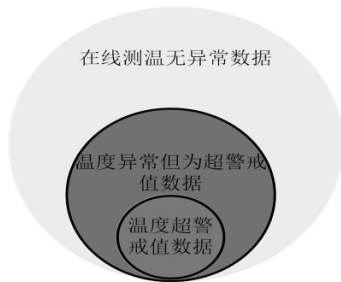


图 5 充分利用在线监测的检测数据

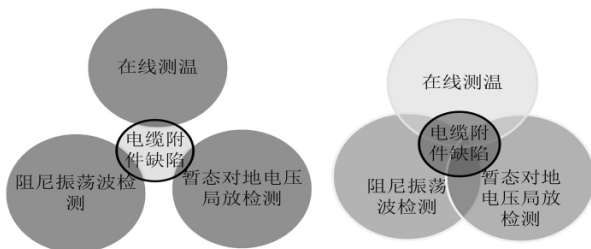


图 6 应用综合检测前(左)后(右)效果对比  
综合检测方法旨在解决现有检测方法两方面的问题:

1) 单一检测方法相对独立,没有最大化地发挥作用。综合检测通过 3 个方面对现有方法进行提升。首先,对以往未被利用的未达到报警界限的终端温度异常数据进行应用,提升了检测的效率;其次,在线测温系统的实时监测,可以减少对温度正常附件的地电波检测频率,极大地减少运行人员工作强度;最后,同一电缆线路一般由同一施工队敷设且由同一厂家提供电缆附件,在一个终端出现绝缘缺陷的电缆线路上的其他附件极有可能也存在同样的缺陷,通过振荡波局部放电的诊断能及时有效地发现排除隐患,在没有大量增加停电的同时提高了振荡波局放检测的工作效率,对提升配网电缆附件隐患检测效率具有重要意义。

2) 现有检测手段因设备本身的缺陷及人为因素的干扰等很容易形成误判断,这给精准检修带来了极大的难度。综合检测因采用的是温度、电磁波以及阻尼振荡波等非同原理的判定方法,极大地提高了判定的精确性,减少甚至避免了因误判断而停电检修等一系列问题。

### 3 结 语

随着配电网电缆规模的不断扩大,对配电网电缆的状态检测及精准检修需求也日益增大。但目前针对配电网电缆的检测方法在应用过程中相对独立,不能充分发挥各个检测方法的优点。而由于设备及人为因素的干扰形成的误判时有发生,不能给运行单位提供准确的检修建议。所提方法通过对现有的 3 种配电网电缆检测方法的有机结合,在最大限度地发挥各种优势的同时,减轻了运行人员工作量,同时能给予运行部门相对精确的检修建议,给停电检修留下充分的时间。

#### 参考文献

[1] 李伟,丛光,任志刚,等. 电缆终端缺陷的综合检测诊断技术分析[C]. 全国第九次电力电缆运行经验交流会论文集,上海,2013:238-241.  
[2] 陈昕. 10 kV 开关柜局部放电暂态接地电压测量方法研究[D]. 南京:东南大学,2016.  
[3] 张仁豫,陈昌渔,王昌长. 高电压试验技术(第三版)[M]. 北京:清华大学出版社,2009.

(下转第 42 页)

tions on Power Systems ,2014 ,29( 3) : 1166 - 1174.

[15] Chen Z , Wu L , Shahidehpour M. Effective Load Carrying Capability Evaluation of Renewable Energy via Stochastic Long - term Hourly Based SCUC [J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy ,2015 ,6( 1) : 188 - 197.

[16] 黄海煜 , 于文娟. 考虑风电出力概率分布的电力系统可靠性评估 [J]. 电网技术 ,2013 ,37( 9) : 2585 - 2591.

[17] Rezaei S N , Chouinard L , Langlois S , et al. Analysis of the Effect of Climate Change on the Reliability of Overhead Transmission Lines [J]. Sustainable Cities and Society ,2016 ,27: 137 - 144.

[18] Frangesco C , Gian L A , Eerjco Z. A Modeling and Simulation Framework for the Reliability/Availability Assessment of A Power Transmission Grid Subject to Cascading Failures under Extreme Weather Conditions [J]. Applied Energy ,2017 ,185: 267 - 279.

[19] Panteli M , Mancarella P. Influence of Extreme Weather and Climate Change on the Resilience of Power Systems: Impacts and Possible Mitigation Strategies [J]. Electric Power Systems Research ,2015 ,127: 259 - 270.

[20] Wang J , Xiong X , Zhou N , et al. Time - varying Failure Rate Simulation Model of Transmission Lines and Its Application in Power System Risk Assessment Considering Seasonal Alternating Meteorological Disasters [J]. IET Generation , Transmission Distribution , 2016 , 10 ( 7) : 1582 - 1588.

[21] 王建 , 熊小伏 , 梁允 , 等. 地理气象相关的输电线路风险差异评价方法及指标 [J]. 中国电机工程学报 , 2016 ,36( 5) : 1252 - 1259.

[22] 王建 , 熊小伏 , 李哲 , 等. 气象环境相关的输电线路故障时间分布特征及模拟 [J]. 电力自动化设备 , 2016 ,36( 3) : 109 - 114.

[23] 中国气象数据网. 中国地面国际交换站气候资料日值数据集 [DB]. [http://data.cma.cn/data/detail/data-Code/SURF\\_CLI\\_CHN\\_MUL\\_DAY](http://data.cma.cn/data/detail/data-Code/SURF_CLI_CHN_MUL_DAY).

[24] 风电场风能资源评估方法: GB/T 18710 - 2002 [S] , 2002.

[25] Wangdee W , Billinton R. Considering Load - carrying Capability and Wind Speed Correlation of WECS in Generation Adequacy Assessment [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion ,2006 ,21( 3) : 734 - 741.

[26] 陈丽娟 , 胡小正. 2010 年全国输变电设施可靠性分析 [J]. 中国电力 ,2011 ,44( 6) : 71 - 77.

[27] 陈丽娟 , 李霞. 2011 年全国输变电设施可靠性分析 [J]. 中国电力 ,2012 ,45( 7) : 89 - 93.

[28] Reliability Test System Task Force of the Application of Probability Methods Subcommittee. IEEE Reliability Test System [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems ,1979 ,98( 6) : 2047 - 2054.

作者简介:  
 严 勤(1966) 本科、高级工程师、访问学者,研究方向为电力系统保护自动化及新能源接入技术;  
 万小花(1982) ,工程硕士、工程师,主要从事新能源发电等相关研究;  
 李浩然(1992) 硕士,研究方向为气象相关的电力系统可靠性评估。

( 收稿日期: 2018 - 07 - 18)

=====  
( 上接第 28 页)

[4] 杨博麟. 高压电缆接头热老化机制的研究及其温度监测系统的设计 [D]. 长沙: 湖南大学 ,2011.

[5] 任明 , 彭华东 , 陈晓清 , 等. 采用暂态对地电压法综合检测开关柜局部放电 [J]. 高电压技术 ,2010 ,36( 10) : 2460 - 2466.

[6] 徐焰. 开关柜局部放电暂态对地电压检测技术 [J]. 供用电 ,2011 ,28( 1) : 62 - 64.

[7] 孙志明. 10 kV 电缆振荡波局部放电检测技术研究及应用 [D]. 北京: 华北电力大学 ,2012.

作者简介:  
 解 磊(1985) ,工程师,从事电气试验、电缆运检工作;  
 张增智(1979) ,助理工程师,从事配电线路运检工作、电缆运检工作;  
 张 禹(1985) ,工程师,从事配电网运维检修管理工作;  
 唐 朝(1984) ,工程师,从事配电运检分析管理、配电网自动化管理等工作;  
 曾 娜(1987) ,工程师,从事配电网生产技改大修项目管理等工作;  
 李卓雯(1986) ,硕士、工程师,从事配电网运检计划管理工作。

( 收稿日期: 2018 - 06 - 20)

韩启贺(1992) ,助理工程师,从事输配电电力电缆运维检修工作;