

DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.03.021

典型表面状态下的绝缘子空间电场特性研究

黄宵宁¹, 刘锦¹, 杨成顺¹, 毕晓甜², 高嵩², 张东东^{1,3}

(1. 南京工程学院电力工程学院, 江苏 南京 211167;

2. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103;

3. 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室(重庆大学), 重庆 400044)

摘要:目前通常依靠监测绝缘子表面泄漏电流来实现污闪预警,该方法作为一种接触式在线监测手段,在可靠性、便捷性等方面仍有很大的提升空间,且已有研究指出可通过非接触方式进行有效监测。因此,文中研究典型表面状态下绝缘子空间电场分布特性,利用有限元仿真软件建立了普通支柱绝缘子的静电场仿真模型,对比分析了干燥、湿润、放电情况下的绝缘子周围空间电场的幅值大小及变化规律;利用人工污秽试验验证仿真结果。研究结果表明,不同表面状态下的绝缘子空间电场所反映的幅值大小差异明显,在表面湿润及有电弧爬电的情况下,空间电场垂直分量分别增长近50%和20%。研究结果可为输配电外绝缘的状态监测提供新思路。

关键词:绝缘子;污闪;有限元;空间电场;运行状态

中图分类号:TM216.1

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2020)03-0144-07

0 引言

实施污秽绝缘子运行状态在线监测,可及时发现绝缘子运行过程中的安全隐患,降低污闪跳闸概率,从而提高高压电网的安全可靠性。国际大电网会议(CIGRE)工作组提出^[1-3],外绝缘设备是每条输电线路及户外变电站的薄弱环节,对其运行进行适当的监测和维护至关重要。与传统的人工检测方法相比,在线监测方法不仅工作量小,目的明确,而且可以及时发现并消除隐患。到目前为止,针对输配电外绝缘运行状态在线监测的研究仍在进行中^[4-5]。

作为非接触式电参量,空间电场强度能够很好地反应电气设备运行状态。文献[6]表明,实时监测绝缘子伞裙轴向电场强度可以有效发现劣化、零值绝缘子位置。文献[7]表明电场法可检测出绝缘子高压端的短路故障和绝缘子中部伞裙的劣化故障。文献[8]研制了谐波电场检测器,证实了谐波电场法在 ± 800 kV 特高压复合绝缘子绝缘缺陷检测中的可行性。文献[9]利用高频电场探头实现了气体绝缘变电站中100 MHz以上高频放电信号的识别。此外,也有一些研究指出,空间电场强度与绝缘子运行状态有关。不同电导率的湿润污层下绝缘子周围电场分布明显不同^[10-11];当杆塔处绝缘子发生不同程度的放电现象时,其周围电场分布有显

著变化^[12];当局部电弧发生时,染污绝缘子弧头附近的电场分布从弱垂直分量变为强垂直分量结构,电弧延伸过程中的沿面电场强度垂直分量明显改变^[13]。

上述研究表明,电力设备外绝缘运行状态与其空间电场大小有关。明确空间电场特性与污秽绝缘子运行状态的关系,可有望实现输配电外绝缘非接触式在线监测,符合当前泛在电力物联网、坚强智能电网建设的需求^[14-15]。然而目前可供参考的研究仍然较少。

因此,文中系统地研究了典型表面状态下染污绝缘子的空间电场分布特性。首先以普通支柱绝缘子为对象建立了有限元仿真模型,继而对比了干燥、湿润、放电3种典型表面状态下的绝缘子周围空间电场变化规律,最后利用人工污秽试验,对污闪放电过程中的绝缘子空间电场进行测试,并通过使用验证了仿真结果。研究结果可为输配电外绝缘的状态监测提供支撑。

1 仿真模型及设置

1.1 试品

文中选取ZS-35/8支柱瓷绝缘子作为仿真对象,其伞裙数为6片,通过技术参数有效地搭建比例图形,并导入到COMSOL Multiphysics数值仿真软件^[16-18]中。绝缘子试品材质为瓷,盘径 D 为165 mm,结构高度 H 为420 mm,爬电距离 l 为306 mm。在软件中选择二维空间对称模型,通过软件搭建模型,仿真典型表面状态下支柱绝缘子的电位和电场。

收稿日期:2019-10-30;修回日期:2019-12-27

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFB0900904);江苏省自然科学基金资助项目(BK20181021)

1.2 参数设置

在模型树中的材料节点选择与实体对应的各个域的材料,材料属性如表 1 所示^[19-20]。

表 1 材料属性
Table 1 Material properties

电介质	电导率/(S·m ⁻¹)	相对介电常数 ϵ
空气	10 ⁻¹²	1
瓷	10 ⁻¹²	4.2
水膜	0.03	83

在电流物理场中,为考虑绝缘子电场情况,应用模型计算时,选择高电端电极电压为 35 kV 的线路单相运行电压,即在高压端施加最高幅值相电势为 $35 \times \sqrt{2} / \sqrt{3} \approx 29$ kV,低压端接地。式(1)表示电流节点下的有限区域内电流守恒。

$$\begin{cases} \nabla \cdot j = Q_{j,v} \\ J = \sigma E + J_e \\ E = -\nabla V \end{cases} \quad (1)$$

式中: j 为电流密度; J 为传导电流密度; V 为电势; E 为电场强度; J_e 为外部电流密度; $Q_{j,v}$ 为初始存在的体电流密度和电势。式(2)表示有限域设置的人工边界电绝缘。

$$n \cdot j = 0 \quad (2)$$

有限元法的解是一种近似的结果,因而网格剖分的复杂程度和网格单元的大小对于求解的精确度有很大影响。考虑计算机内存资源,需要在时间和精确度之间做出平衡,则需要自行设定剖分的具体参数。一般情况下,对于远离绝缘子的网格选取粗糙剖分而靠近绝缘子的网格进行精细剖分,模型完成剖分后的示意图如图 1 所示。

1.3 污秽绝缘子运行状态模拟设置

文中对 3 种表面状态下污秽绝缘子放电空间电场分布变化进行了仿真。对于干燥洁净状态,由于绝缘子周围附近的污秽沉积对空间电场强度的影响较小,所以对仿真模型不作额外修改。

图 2 为绝缘子表面水膜的不同湿润程度。文中通过在绝缘子表面设置一层均匀水膜边界来模拟绝缘子湿润状态,如图 2 蓝色区域所示。其中图 2 (a)水膜连续分布,表示饱和状态,图 2(b)水膜不连续分布,表示半饱和状态。参考文献[19]可以将水膜电导率设为 0.03 S/m。

通过在绝缘子表面边界设置电位差来模拟局部电弧放电,局部电弧桥接区域用线电流源和电势交替排列来模拟。图 3 为绝缘子表面局部电弧设置示意,在金具和第一个伞裙的交界处开始,在伞裙上设置不同的电压,使得电弧延伸至 C 点和 D 点。

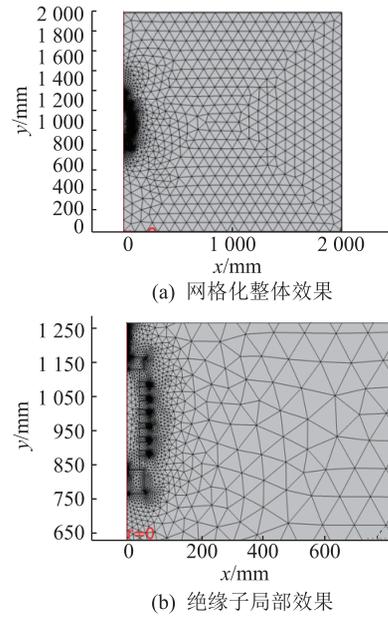


图 1 绝缘子网格剖分图

Fig.1 A mesh section of the insulator

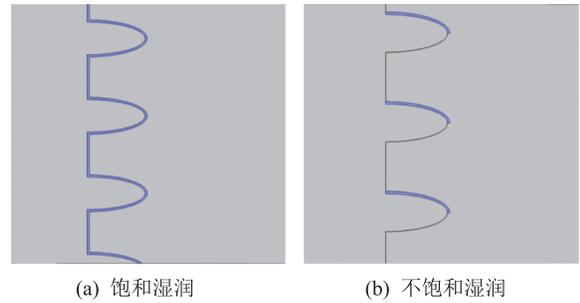


图 2 绝缘子表面水膜的不同湿润程度

Fig.2 Different degree of wetting of the water film on the surface of the insulator

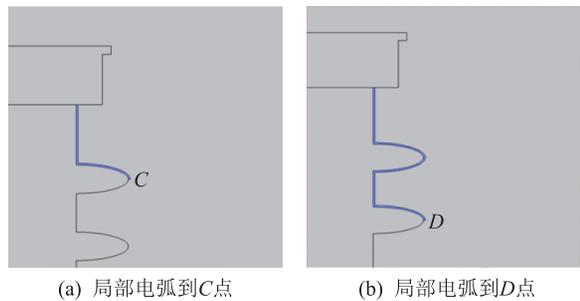


图 3 绝缘子表面局部电弧设置示意

Fig.3 Schematic diagram of local arc setting on insulator surface

电弧的电压降通常由 3 部分组成:阴极压降,阳极压降和弧柱压降。对于长度为几厘米或更长的电弧,电弧柱中的过程在整个过程中起到主要作用,电弧电压主要由电弧柱的电压降组成。通常阴极电压降约为 400 V,阳极电压降约为 700 V。与电弧压降相比,阴极和阳极电压降可忽略不计。因

此,根据电弧的“下降型伏安特性”,电弧电压 U_a 近似与电弧长度 L_a 成正比,可表示为:

$$U_a = AI^{-n}L_a \quad (3)$$

式中: n 为与电弧电流 I 有关的常数; A 为与气体性质和气压有关的常数,且与电弧冷却情况有关。标准参考大气条件下, $I=1\sim 10$ A 时, n 为 0.5; $I>10$ A 时, n 为 0.25~0.35。

设置电弧长度为 72 mm,参考文献[21]的试验结果, A 取 147, n 取 0.5, I 设为 20 mA。由式(3)可以计算出绝缘子表面 C 处的电位,代入物理场中设置边界条件,即可求得相关结果。

1.4 空间电场分布观测点设置

为便于后续试验对比,在距绝缘子轴线 0.3 m 处设置 A 、 B 两点的连线为测量路径,如图 4 所示,提取该处的电场特征量进行对比分析。由图可知,观测路径处电位快速跌落,能够代表绝缘子周围电位的一般分布情况。后文所指的空间电场均指该路径处的电场数值。

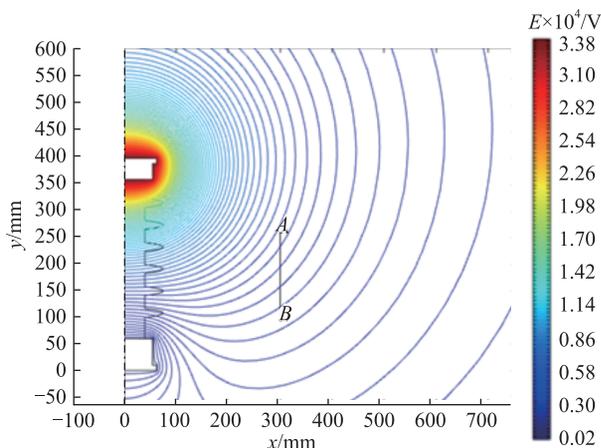


图 4 空间电场观测线示意
Fig.4 Measurement path of the space electric field around insulator

2 仿真结果及分析

2.1 不同湿润状态下空间电场分布对比

根据仿真结果,在同一路径处提取不同湿润状态下的空间电场幅值,如图 5 所示。由图 5 可知:

(1) 饱和湿润和不饱和湿润状态下的绝缘子空间电场近似呈线性变化。

(2) 与干燥情况相比,饱和湿润条件下,观测路径的空间电场幅值变化率在 44.5%~57.9%之间,半饱和湿润条件下,观测路径的空间电场幅值变化率在 1%~5.2%之间,饱和湿润条件下的空间电场变化更为明显。

对比不同湿润程度下空间电场水平、垂直分量

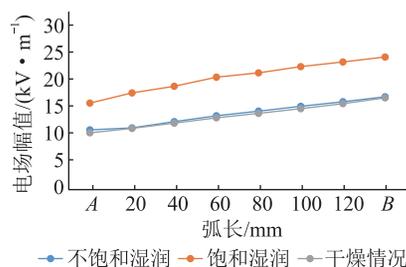


图 5 不同湿润状态下的电场幅值

Fig.5 Electric field amplitude under different wet conditions

的变化特性,分别如图 6 和图 7 所示。由图可知:(1) 空间电场垂直分量变化趋势与图 5 中电场幅值的变化趋势相近。(2) 空间电场水平分量和垂直分量的变化趋势有明显差别。不同湿润程度下,越靠近地电位,水平分量的差异越小,而垂直分量差异几乎不变,表明相比空间水平分量,垂直分量更能反映绝缘子表面状态。

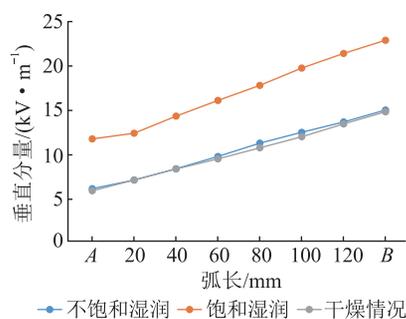


图 6 不同湿润状态下空间电场垂直分量

Fig.6 Vertical component under different wet conditions

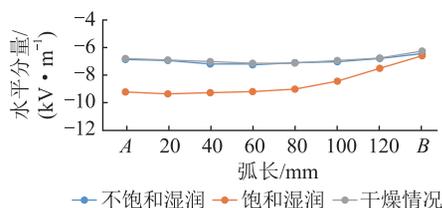


图 7 不同湿润状态下空间电场水平分量

Fig.7 Horizontal component under different wet conditions

2.2 不同局部电弧下的空间电场分布对比

根据仿真结果,在同一路径处提取不同局部电弧下的空间电场幅值,如图 8 所示。由图 8 可知:

(1) 局部电弧 C 点和 D 点下的绝缘子空间电场近似呈线性变化。(2) 与干燥情况相比,局部电弧 C 点条件下,观测路径空间电场幅值变化率在 16%~21.1%之间;局部电弧 D 点条件下,观测路径空间电场幅值变化率在 19%~25.9%之间,局部电弧 D 点条件下的空间电场变化更为明显。

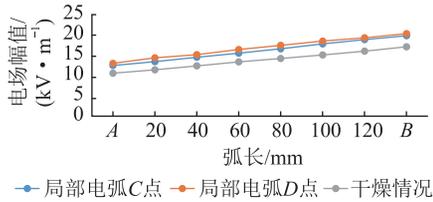


图8 不同局部电弧下的电场幅值

Fig.8 Electric field amplitude under different local arcs

对比不同局部电弧下空间电场水平、垂直分量的变化特性,分别如图9和图10所示。由图可知:(1)空间电场垂直分量变化趋势与图8中电场幅值变化趋势相近。(2)空间电场水平分量和垂直分量的变化趋势有明显差别。不同局部电弧下,越靠近地电位,水平分量的差异越小,而垂直分量差异几乎不变,同样表明相比空间水平分量,垂直分量更能反映绝缘子表面状态。

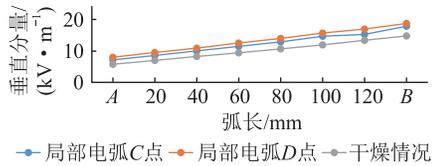


图9 不同局部电弧下空间电场垂直分量

Fig.9 Vertical component under different local arcs

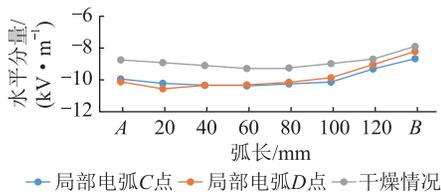


图10 不同局部电弧下空间电场水平分量

Fig.10 Horizontal component under different wet conditions

2.3 典型表面状态下的对比分析

综合对比干燥、湿润、局部电弧3种表面状态下的空间电场幅值变化趋势,如图11所示。

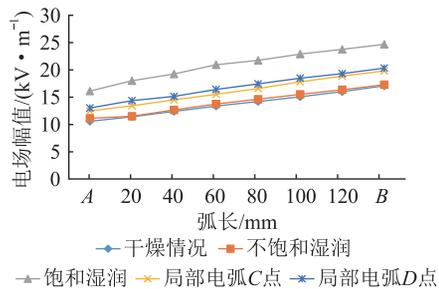


图11 典型表面状态下的电场幅值

Fig.11 Electric field amplitude under typical surface conditions

5种典型表面状态下的电场幅值都存在不同的差别。对不同湿润程度和不同局部电弧下的空间

电场变化进行仿真,通过测量路径上的电场幅值与垂直分量可以分辨出绝缘子不同典型表面状态,但电场幅值相较于垂直分量不易监测,故采用垂直分量进行对比,如图12所示。

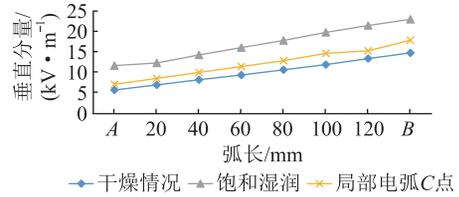


图12 典型表面状态下空间电场垂直分量

Fig.12 Vertical component under typical surface conditions

文中采用电场变化率 ΔE 来分析3种典型表面状态对其空间电场变化的影响。

$$\begin{cases} \Delta E_{i,j} = (|E_j - E_i|)/E_i \\ \Delta E_{j,k} = (|E_k - E_j|)/E_j \end{cases} \quad (4)$$

式中: E_i 为干燥情况下的空间电场垂直分量; E_j 为饱和湿润下的空间电场垂直分量; E_k 为局部电弧C点下的垂直分量。选取干燥情况、饱和湿润、局部电弧C点3种状态的垂直分量进行对比,且以干燥情况为基准点,测量点为B点,饱和湿润状态下空间电场垂直分量的最大变化率为155%,局部电弧C点状态下为121%。

因此,在测量路径的B点时,饱和湿润状态下的垂直分量的最大变化率大于在局部电弧C点处的最大变化率,并且3种不同状态下的差别均达到20%以上,排除因误差带来的影响,完全可以有效监测绝缘子的状态,为输配电外绝缘的状态监测提供支撑。

3 试验设备及方法

3.1 空间电场监测试验方法

试验试品与仿真模型一致,采用的电源如图13所示,其中T为调压器;B为变压器; R_0 为保护电阻;F为分压器;H为穿墙套管。输出电压为0~50 kV,额定输出容量为100 kV·A,完全可以满足IEC标准对于污秽绝缘子交直流闪络试验电源的要求。试验需要电容型分压器来测量交流电路的电压,其标称电容量和标称分压比分别为300 pF和1 000:1。

试验中采用D-dot电场传感器,其测量范围为0.5~50 kV/m,工作温度范围为0~40℃,湿度范围为0~90%RH(相对湿度)。人工试验的规定满足IEC 60507的要求。通过电场传感器观察瓷绝缘子在干燥、湿润、放电情况下空间电场的变化情况。试验方法如下:

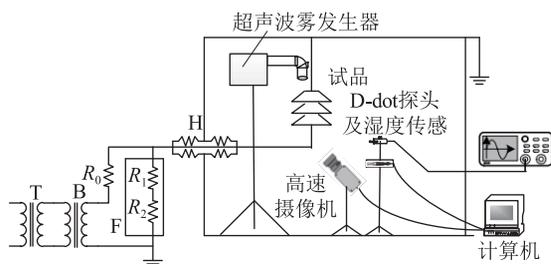


图 13 污秽绝缘子放电空间电场测试试验平台

Fig.13 Polluted insulator discharge space electric field test platform

(1) 干燥试验。将待试验的绝缘子通过清水清洗干净,再悬挂在高压实验室的试验台上自然晾干。当绝缘子表面处于干燥洁净的状态时,开始加压。对试品绝缘子施加恒定 29 kV 电压进行试验。

(2) 湿润试验。通过喷雾器对试品绝缘子表面进行湿润,在试品表面形成一层水膜,使绝缘子整个表面均匀分布有水膜,水电导率约为 0.034 S/m。然后迅速升压至 29 kV,读取空间电场幅值。

(3) 放电试验。将进行湿润试验过的绝缘子清洗干净,重复悬挂在高压实验室的试验台上自然晾干。其次用氯化钠和高岭土配置 20 mS/cm 的污液,采用定量涂刷的方法对试验品进行染污。染污完成后,电压升至 29 kV,打开喷雾器进行湿润,使得试品受潮,待绝缘子上表面产生明显局部电弧后迅速读取空间电场幅值。

3.2 试验结果及分析

将电场传感器探头放置在距离试品 0.3 m 处,根据仿真结果,探头垂直地面距离取 0.3 m。测量此处绝缘子的空间电场强度。每组试验均进行多次,取其中与平均值误差低于 5% 的试验结果作为电场强度 E_f ,即:

$$E_f = \sum_{i=1}^N E_i / N \quad (5)$$

式中: E_f 为绝缘子的平均电场强度,kV/m; E_i 为第 i 次的电场强度,kV/m; N 为试验次数。

根据文献[22]的结论,原场空间足够大且传感器体积很小时,传感器对原场分布的影响可以忽略,而 0.3 m 的测试距离远大于 D-dot 传感器探头尺寸,故传感器本身对电场分布及测量的影响可以忽略。利用上述试验程序得到绝缘子不同情况下的空间电场强度,绝缘子干燥洁净状态下,空间电场强度为 13.21 kV/m;饱和湿润状态下,空间电场强度为 19.54 kV/m;局部放电状态下(短接第 1~2 片伞裙),空间电场强度为 16.01 kV/m。

分析可知,试验测量得的 3 种典型表面状态下的空间电场强度,其变化趋势与仿真结果基本一

致,验证了仿真结果的正确性。与干燥情况相比,试验测得饱和湿润情况下的观测点空间电场垂直分量增大了 48%,局部放电情况下的观测点空间电场垂直分量增大了 21.2%,不仅表明文中仿真模型用于研究典型表面状态下绝缘子空间电场变化特性是可行的,而且表明通过监测空间电场可以有效反映绝缘子表面运行状态。

4 结论

文中分别对干燥、湿润、放电下的绝缘子周围空间电场的幅值大小及变化规律进行了仿真分析和人工污秽实验。结合两者得到污秽绝缘子空间电场的一些规律:

(1) 电场幅值和垂直分量都呈线性化趋势,空间电场不同垂直观测位置下,变化规律一致,考虑空间电场幅值相对于垂直分量不易监测,故选择垂直分量作为对比特征值。水平分量在靠近地电位处,其差距近似忽略,不能有效区分绝缘子典型表面状态。

(2) 选取监测路径上任意点为基准点,分别通过试验与仿真得到不同运行状态下的空间电场的垂直分量,与干燥情况相比,饱和湿润情况下的观测点空间电场垂直分量增大了近 50%,局部放电情况下的观测点空间电场垂直分量增大了 20% 以上。

通过对不同典型表面状态下绝缘子的空间电场进行分析,可以发现远处空间的垂直分量与污秽绝缘子运行状态存在一定的联系。通过建立这种空间电场与表面运行状态的关系可有望发现新的监测参量,以用于实时监测绝缘子的运行状态。

本文得到国网江苏省电力有限公司科技项目(J2019053)资助,谨此致谢!

参考文献:

- [1] MASOUD F, WILLIAM A C. Insulators for icing and polluted environments, chapter 6: mitigation options for improved performance in pollution conditions[M]. Wiley-IEEE Press, 2009.
 - [2] CIGRE Task Force 33.04.03. Insulator pollution monitoring[R]. Electra, Paris, France, 1994.
 - [3] CIGRE Task Force 33.04.01. Polluted insulators: a review of current knowledge[C]//CIGRE Brochure. Paris, France, 2000.
 - [4] CAO Wen, MA Huancheng, et al. Study on the feasibility of monitoring electric field distribution along the string to detect degradation of insulator core rod[C]//2016 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis. Xi'an, China, 2016.
 - [5] 施荣, 霍锋, 万小东, 等. 750 kV 复合横担外绝缘特性试验研究[J]. 智慧电力, 2019, 47(10): 70-76.
- SHI Rong, HUO Feng, WAN Xiaodong, et al. Experimental re-

- search on external insulation of composite cross-arm for 750 kV transmission line[J]. *Smart Power*,2019,47(10):70-76.
- [6] 江渺,李黎,任志刚,等. 复合绝缘子界面缺陷对电场分布特性影响的仿真研究[J]. *电力工程技术*,2019,38(4):138-144.
JIANG Yan,LI Li,REN Zhigang,et al. Simulation study on the influence of composite insulator interface defects on electric field distribution characteristics[J]. *Electric Power Engineering Technology*,2019,38(4):138-144.
- [7] 陈楠,陈高洋,李鸿泽,等. 低值瓷绝缘子红外检测温差阈值[J]. *电力工程技术*,2019,38(1):102-106.
CHEN Nan,CHEN Gaoyang,LI Hongze,et al. Low-value porcelain insulator infrared detection temperature difference threshold[J]. *Electric Power Engineering Technology*,2019,38(1):102-106.
- [8] 杜勇,覃思. 谐波电场法在±800 kV 直流复合绝缘子在线检测中的应用[J]. *高电压技术*,2012,38(2):382-386.
DU Yong,QIN Si. Application of harmonic electric field method in on-line detection of ±800 kV DC composite insulator[J]. *High Voltage Engineering*,2012,38(2):382-386.
- [9] 陈叶倩,吴光敏,张文斌,等. 基于电场的快速暂态过电压测量[J]. *传感技术学报*,2017(3):385-390.
CHEN Yeqian,WU Guangming,ZHANG Wenbin,et al. Fast transient overvoltage measurement based on electric field[J]. *Journal of Transduction Technology*,2017(3):385-390.
- [10] ARSHADA,NEKAHISG,MCMEEKINMF. Effect of pollution severity on electric field distribution along a polymeric insulator[C]//2015 IEEE 11th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPAD-M). 2015:612-615.
- [11] 孙玉玮,陈辉,陈立贤,等. 基于历史数据分析的输电线路状态研判技术研究[J]. *智慧电力*,2019,47(1):83-87,104.
SUN Yuwei,CHEN Hui,CHEN Lixian,et al. Technology for determining transmission line insulation state based on historical data analysis[J]. *Smart Power*,2019,47(1):83-87,104.
- [12] RASARA H L,WONGK L. Study of electrical field and micro arcing in a wooden supporting structure using finite element method[C]//2012 International Conference on High Voltage Engineering and Application. Shanghai,China,2012.
- [13] 孙才新,顾乐观,谢军,等. 染污绝缘子沿面电场分布与局部电弧发展的关系[J]. *中国科学*,1991,21(10):1113-1120.
SUN Caixin,GU Leguan,XIE Jun,et al. Relationship between electric field distribution and local arc development of stained insulators[J]. *Science China*,1991,21(10):1113-1120.
- [14] 李佐胜. 红外热像检测绝缘子污秽等级的关键技术研究[D]. 长沙:湖南大学,2009.
LI Zuosheng. Research on key technologies of infrared thermal image detection of insulator pollution level[D]. Changsha:Hunan University,2009.
- [15] 李璟延. 污秽绝缘子泄漏电流特性与污秽预警方法研究[D]. 重庆:重庆大学,2010.
LI Jingyan. Study on leakage current characteristics and early warning methods of pollution insulators[D]. Chongqing:Chongqing University,2010.
- [16] 中仿科技公司. COMSOL Multiphysics 有限元法多物理场建模与分析[M]. 北京:人民交通出版社,2007.
China Imitation Technology Corporation. COMSOL Multiphysics multi-physics modeling and analysis of finite element method[M]. Beijing:China Communications Press,2007.
- [17] 王刚,安琳. COMSOL Multiphysics 工程实践与理论仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2012.
WANG Gang,AN Lin. COMSOL multiphysics engineering practice and theoretical simulation[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2012.
- [18] 张玉宝,李强. 基于 COMSOL Multiphysics 的 MEMS 建模及应用[M]. 北京:冶金工业出版社,2007.
ZHANG Yubao,LI Qiang. MEMS modeling and application based on COMSOL multiphysics[M]. Beijing:Metallurgical Industry Press,2007.
- [19] 龚浩,田丁,别士光. 覆冰地区复合绝缘子电场分布研究[J]. *电瓷避雷器*,2015(1):7-10,15.
GONG Hao,TIAN Ding,BIE Shiguang. Electric field electric field distribution of composite insulators in ice-covered areas[J]. *Electric Porcelain Arrester*,2015(1):7-10,15.
- [20] 张海兵,田甜,文旭. 污湿环境下复合绝缘子电场分布的研究[J]. *广东工业大学学报*,2012,29(2):58-62.
ZHANG Haibing,TIAN Tian,WEN Xu. Study on electric field distribution of composite insulator under dirty environment[J]. *Journal of Guangdong University of Technology*,2012,29(2):58-62.
- [21] CLAVERIE P,PORCHERON Y. How to choose insulators for polluted areas[J]. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*,1973,92(2):1121-1131.
- [22] 杨杰. 基于电场逆问题的三相 D-dot 传感器设计与测量系统研究[D]. 重庆:重庆大学,2016.
YANG Jie. Research on design and measurement system of three-phase D-dot sensor based on electric field inverse problem[D]. Chongqing:Chongqing University,2016.

作者简介:



黄宵宁

黄宵宁(1972),男,硕士,教授,研究方向为电力系统运行与控制、高电压与绝缘技术、输电线路的安全运行与管理(E-mail:huangxiaoning@njit.edu.cn);

刘锦(1995),男,硕士在读,研究方向为输配电外绝缘;

杨成顺(1984),男,博士,副教授,研究方向为高电压试验技术、输配电外绝缘、电力设备检测和故障诊断。

Electric field characteristics of polluted insulator space under typical surface state

HUANG Xiaoning¹, LIU Jin¹, YANG Chengshun¹, BI Xiaotian², GAO Song², ZHANG Dongdong^{1,3}

(1. School of Electric Power Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China; 2. State Grid

Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Nanjing 211103, China; 3. State Key Laboratory of Power

Transmission Equipment and System Security and New Technology (Chongqing University), Chongqing 400044, China)

Abstract: At present, it usually relies on monitoring the surface leakage current of the insulator to realize the flashover warning. As a contact online monitoring method, it still has much room for improvement in terms of reliability and convenience. However, studies have indicated that it can be effectively monitored in a non-contact manner. Therefore, the electric field distribution characteristics of insulator space under typical surface conditions are studied. Firstly, the electrostatic field simulation model of common post insulators is established by using finite element simulation software. The magnitude of the electric field around the insulator under dry, wet and discharge conditions and the law of change are compared and analyzed. Finally, the artificial contamination test is used to verify the simulation results. The results show that the magnitude of the amplitude reflected by the insulator space in different surface states is obvious. Under the condition of surface wetting and arc creepage, the vertical component of the spatial electric field increases by nearly 50% and 20%, respectively. The research results can provide new ideas for condition monitoring of transmission and distribution external insulation.

Keywords: insulator; pollution flash; finite element; space electric field; operating state

(编辑 方晶)

(上接第 143 页)

Distribution characteristics of GIL temperature field under different environmental factors

QIAO Yujiao, TANG Zehua, GAO Peng, LIANG Rui, SONG Chaoran

(School of Electrical and Power Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: At present, the research for gas-insulated transmission line (GIL) lacks quantitative analysis of the influencing factors, especially the ventilation speed when pipe gallery is laid, the solar radiation temperature field distribution and the thermal characteristics of open-air arrangement. Therefore, the multi-field coupling analysis method is used to carry out the GIL temperature field distribution based on COMSOL. Its influencing factors are studied. The multi-physics coupling calculation model of electromagnetic field thermal field is established, and the influence of different operating environments on the thermal characteristics of GIL is analyzed. The results show that under the influence of pumping speed and solar radiation, the axisymmetric distribution of GIL temperature field is destroyed and the magnitude and position of shell temperature extremes change. The thermal properties of GIL in different operating environments are different. With the increase of pumping time and pumping speed, the difference between inlet temperature and outlet temperature gradually increases, and finally tends to a stable value; the GIL shell temperature extreme point changes with the change of sunshine direction and intensity. The influence of field distribution can not be ignored. In the case of three-phase vertical arrangement in the GIL pipe gallery, the temperature between the casings has little effect when the casing spacing is left with a suitable heat dissipation distance.

Keywords: gas-insulated transmission line (GIL); temperature field; pump speed; solar radiation; interphase temperature effect; COMSOL simulation

(编辑 方晶)