

工频电场测量仪支架材质对空间电场影响研究

刘守豹¹ 吴迪^{2,3} 兰新生¹

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院 四川 成都 610041;

2. 陕西省智能电网重点实验室 陕西 西安 710049; 3. 西安交通大学 陕西 西安 710049)

摘要: 工频电场测试仪是测量电力设备运行电压对地表 1.5 m 高度处电场强度的设备。为保证电场测试仪测量结果的准确性,需要尽量减小测试仪及其附件对空间电场分布的影响;但是由于电场测试仪及其附件的介电常数与空气不同,实际测试时电场测试仪改变了周围电场,尤其是探头所在区域的电场,因此有必要对电场测试仪支架材质对空间电场的影响进行深入研究。基于有限元法,利用 ANSYS MAXWELL 建立电场测试仪支架材质对空气电场影响的分析模型,通过对不同材质支撑杆对空间电场分布的影响进行分析,为电场测试仪及其附件的材质选取、优化设计制造提供参考。

关键词: 电场强度;有限元法;ANSYS MAXWELL;介电常数

中图分类号: TM863 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)02-0034-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.02.008

Study on Influence of Stent Material of Power Frequency Electric Field Tester on Space Electric Field

Liu Shoubao¹, Wu Di^{2,3}, Lan Xinsheng¹

(1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. Key Laboratory of Smart Grid in Shanxi Province, Xi'an 710049, Shanxi, China;

3. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shanxi, China)

Abstract: The power frequency electric field tester is a device to measure the electric field strength of the power equipment running at the height of 1.5 m. Accurate measurement of the electric field strength requires minimizing the impact of the test equipment itself. However, the space electric field should be studied, especially the electric field in the area where the probe is located, so it is necessary to study the influence of the stent material on the space electric field. Based on the finite element method, ANSYS MAXWELL is used to establish the analysis model for the effect of the electric field tester on the space electric field. By comparing the influence of different materials on the distribution of electric field in the space, it provides a reference for the material selection and optimization of the electric field tester and its accessories.

Key words: electric field intensity; finite element method; ANSYS MAXWELL; dielectric constant

0 引言

随着社会的发展,高压输变电设备附近所产生的电场和磁场日益受到关注^[1-3]。因为电磁环境问题引起的纠纷常有报道,准确测量电力设备的电磁场具有重要的意义^[4],它关系到设备选择、设计优化和司法鉴定等方面。

工频电场测试仪是测量电力设备运行电压对地表 1.5 m 高度处电场强度的设备,通常由主机、测量

探头、支撑架等部件组成。其中支撑架顶端距离地面 1.5 m,测量探头固定在支撑架的顶端。带电体所在空间的电场分布与其所处空间的介质分布情况有关。为测量空间电场,人为增加了支撑架、测量探头等与空气介电常数不一致的物体,这将会改变空间电场,尤其是探头所在区域的电场^[5]。下面通过建立电场测试仪支架的有限元仿真模型,计算不同介电常数的支架对电场测试的影响,分析表明电场测试仪及其附件应取介电常数与空气接近的材料制作,且应尽量减小材料重量。



图 1 工频电场测试仪器实物

材质对空气电场影响的分析模型 模型由支架底座、支撑杆、导线组成(为简化分析,不包括探头部分),如图 2 所示。

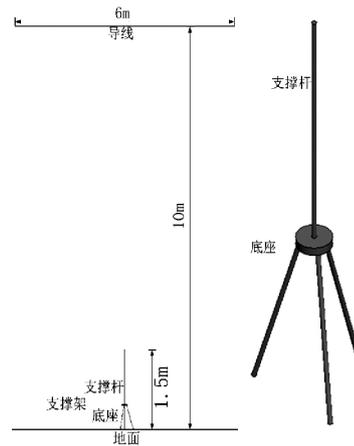


图 2 分析模型三维视图

1 有限元分析方法原理

有限单元法(finite - element method,简称有限元法)是一种解决工程物理场问题的常用方法^[6]。

有限元法求解的基本步骤^[7]如下:

1) 结构离散化:对整个结构进行离散化,将其分割成若干个单元,单元间彼此通过节点相连。

2) 求出各单元的刚度矩阵 $[K]^{(e)}$: $[K]^{(e)}$ 是由单元节点位移量 $[\Phi]^{(e)}$ 求单元节点力向量 $[F]^{(e)}$ 的转移矩阵,其关系式为

$$[F]^{(e)} = [K]^{(e)} [\Phi]^{(e)} \quad (1)$$

3) 集成总体刚度矩阵 $[K]$ 并写出总体平衡方程: $[K]$ 是由整体节点位移向量 $[\Phi]$ 求整体节点力向量 $[F]$ 的转移矩阵,其关系式为

$$[F] = [K][\Phi] \quad (2)$$

这就是总体平衡方程。

如把电极表面取作边界 A ,电极以外的空间称作场域,则当场域中电位 φ 满足拉普拉斯方程 $\nabla \cdot \nabla \delta \varphi = 0$ 时,场的计算问题成为求取函数 φ 的边界值问题。设三维电场区域内,电位函数 φ 满足拉普拉斯方程:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \\ \varphi|_A = u(A) \end{cases} \quad (3)$$

对电场测试仪所在场域进行网格剖分,场域分成许多小单元,指定材料相对介电常数 ε ,并施加边界条件。

2 有限元分析模型的建立

采用 ANSYS MAXWELL 建立电场测试仪支架

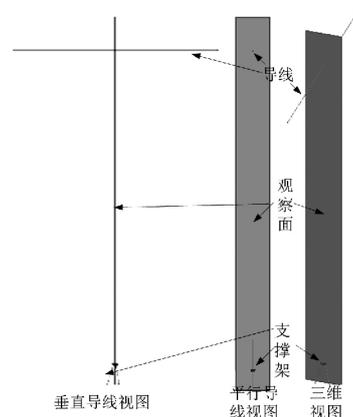


图 3 观察面位置示意

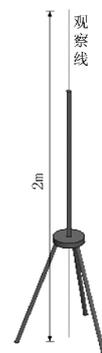


图 4 观察线位置示意(垂直于地面,穿过支撑杆)

模型中导线电压为 10 kV(对地幅值),支撑架由底座和支撑杆两部分组成,支撑杆长度为 0.9 m,外径为 20 mm。为了方便对计算结果进行分析,模型选取了一个观察面和一条观察线,观察面及观察线的相对位置如图 3 和图 4 所示。

当导线下方未放置电场测试设备及其附件时,空间电场未受到干扰,为标准电场。将此种情况下

的电场作为基准与改变支撑杆材质情况下的电场做比较 相关计算结果如图 5 所示。

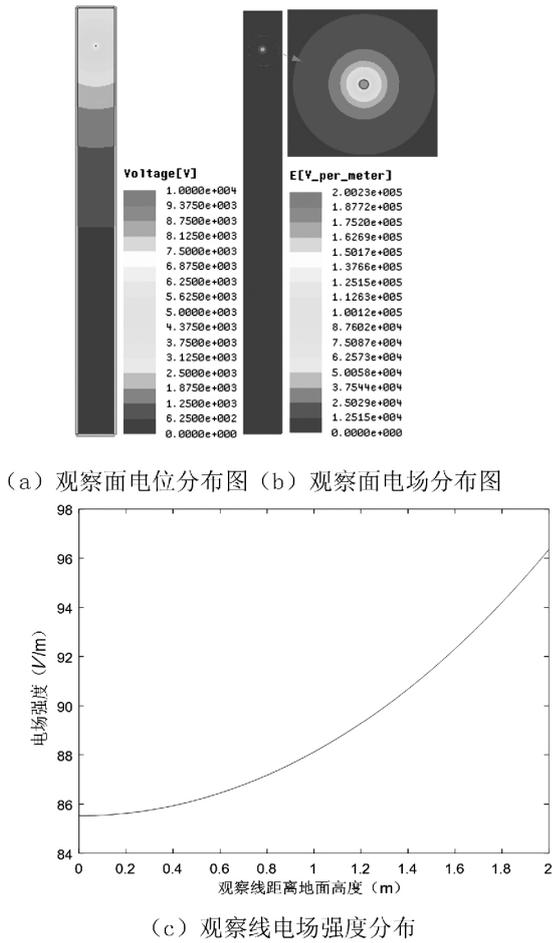


图 5 无电场测试仪情况下的基准计算结果

3 材质改变对空间电场分布影响

采用不同材质的支撑杆进行研究。首先选定底座的材质为环氧树脂(相对介电常数为 3.6),支撑杆的材质在后续分析中将分别修改为 PVC(相对介电常数为 2.7)、玻璃(相对介电常数为 5.5)和铝合金(相对介电常数默认为 ∞),得到不同材质的支撑杆对空间电场分布的影响。

3.1 PVC

当支撑杆为 PVC 时,对应的空间电场计算结果如图 6 所示。

比较图 5(c)和图 6(c)可知,由于电场测试仪支架的存在,导致观察线上的电场强度发生了明显变化,在观察线由低到高穿越支撑杆的过程中,当其穿越底座下方和穿出支撑杆上方时,电场强度发生了跳变。

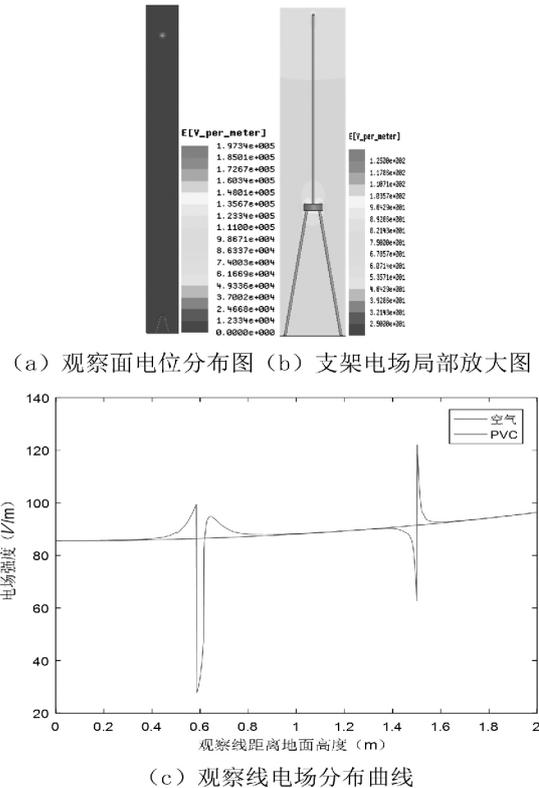


图 6 当支撑杆材质为 PVC 时空间电场计算结果

3.2 玻璃

当支撑杆为玻璃时,对应的空间电场计算结果如图 7 所示。

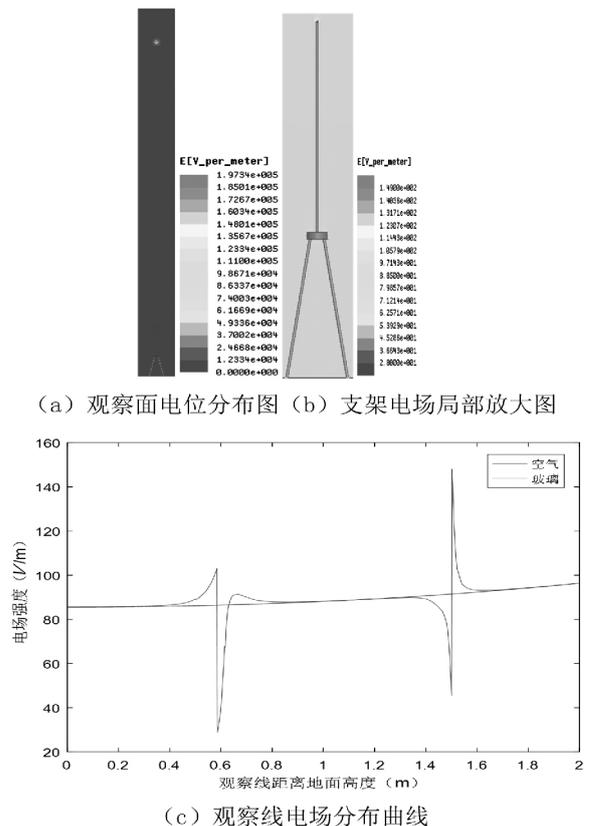


图 7 当支撑杆材质为玻璃时空间电场计算结果

比较图 7(c) 和图 6(c) 可知,由于支撑杆材料由 PVC 变化为玻璃,其相对介电常数变大,导致了在介质交界面两次电场跳变的幅值更大。

3.3 铝合金

当支撑杆为铝合金时,对应的空间电场计算结果如图 8 所示。

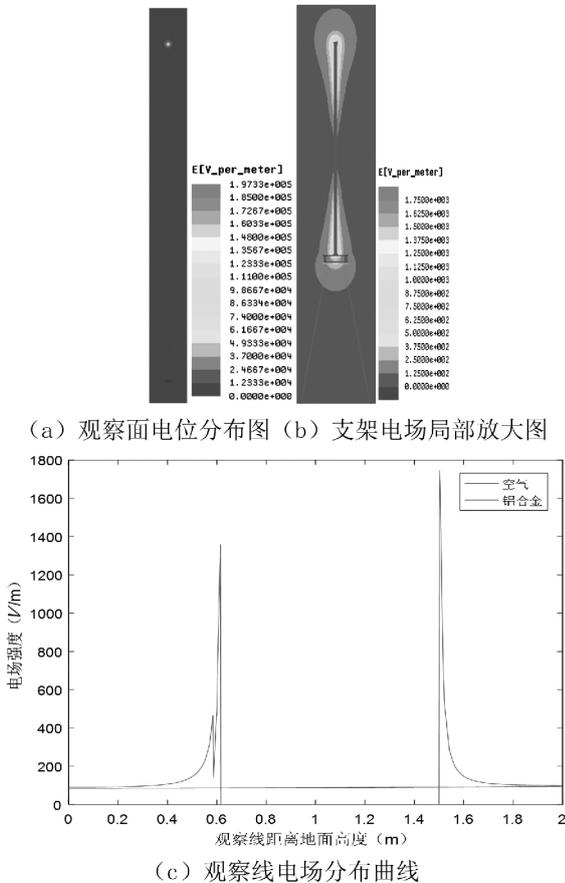


图 8 当支撑杆材质为铝合金时空间电场计算结果

从图 8 可知当支撑杆为铝合金时,介质交界面上的电场强度发生了最为剧烈的变化(相比支撑杆为玻璃和 PVC 的情况),此种情况下支撑杆对空间电场的影响最为严重。

4 支撑杆优化设计方案

从上面的分析可知 3 种材质的支撑杆中,PVC 材质对空间电场分布的影响最小。对于同类型的 PVC 材质支撑杆,一定还能找到更优化的结构方案。这里采用中空结构的 PVC,管外径保持 20 mm 不变,管内径为 16 mm,进一步考察空心支撑杆对空间电场的分布影响。计算得到电场分布情况如图 9 所示。与图 6 相比,采用相同外径的空心 PVC 管对空间电场分布影响较小。

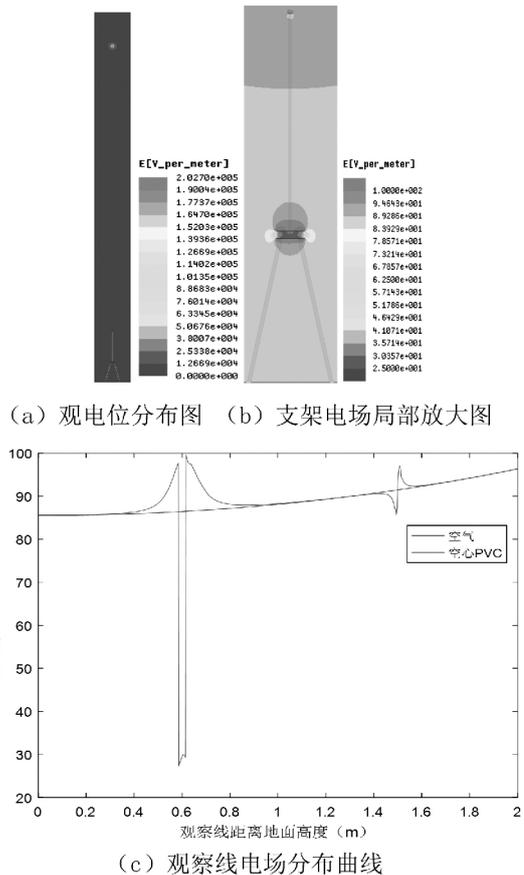


图 9 当支撑杆材质为空心 PVC 时空间电场计算结果

5 结 语

- 1) 电场测试仪支架的材质与空气有很大差异,两者交界面处会发生电场跳变。
- 2) 电场测试仪支架材质的介电常数越大,对空间电场强度影响越大,所以应该选用介电常数接近空气(相对介电常数为 1)的材质做为支撑架材料。
- 3) 当采用相对介电常数较低的绝缘材料作为电场测试仪支架时,空心管对空间电场分布影响小于实心棒。

参考文献

[1] 张晋寅,蒋龙生,赵森,等. 数字式无线工频电场测量仪的研制[J]. 高压电器, 2011, 47(8): 22-27.

[2] 张婷,方志,陈陶陶,等. 球形电场测量系统在高压测量领域中的应用[J]. 电测与仪表, 2007, 44(11): 11-16.

[3] 李永明,范与舟,徐禄文. 超高压输电线路铁塔附近地面工频电场仿真分析[J]. 电网技术, 2013, 37(3): 782-787.

(下转第 75 页)

可以看出靠近高压导线侧第二片、第三片绝缘子温度明显偏低,低于相邻绝缘子近2 K,热像特征呈暗色调,根据DL/T 664-2016《带电设备红外诊断应用规范》,靠近高压侧第二片、第三片绝缘子为典型的零值绝缘子;根据DL/T 626-2005《劣化盘形悬式绝缘子检测规程》,该串绝缘子中劣化绝缘子片数较少,可不进行整串绝缘子更换。

5 结论

1) 正常绝缘子的发热功率正比于分布电压的平方,绝缘子串的红外热像分布呈不对称的马鞍形,相邻绝缘子间温差很小。

2) 低值绝缘子发热功率较正常绝缘子偏大,其热像特征表现为钢帽温度偏高,呈亮色调;零值绝缘子发热功率较正常绝缘子偏小,其热像特征表现为钢帽温度偏低,呈暗色调。

3) 现场检测结果表明,红外热像技术具有较好的可行性,能有效检测出低零值绝缘子。

参考文献

[1] 张文亮,吴维宁,吴光亚,等. 我国绝缘子的发展现状与应用前景[J]. 高电压技术, 2004, 30(1): 10-12.

[2] 谢冰. 基于红外测温的劣质绝缘子在线检测技术研究[J]. 云南电力技术, 2014, 42(4): 116-119.

[3] 王剑飞,邵兵,陶军. 基于红外测温法的故障绝缘子在线检测技术研究[J]. 电工技术, 2015(4): 29-31. [4] 祝嘉奇. 基于红外热像的劣化绝缘子诊断技术研究

[D]. 南昌:南昌大学, 2014.

[5] 陈勇,郭俊峰,鄢小均. 基于红外测温的零值和污秽绝缘子快速检测试验研究[J]. 高压电器, 2015, 51(6): 191-194.

[6] 夏德分. 红外热像检测零值绝缘子影响因素研究[D]. 长沙:湖南大学, 2011.

[7] 胡世征. 劣化绝缘子的发热机理及热象特征[J]. 电网技术, 1997, 21(10): 44-46.

[8] 姚建刚,关石磊,陆佳政,等. 相对温度分布特征与人工神经网络相结合的零值绝缘子识别方法[J]. 电网技术, 2012, 36(2): 171-175.

[9] 黄军凯,曾华荣,杨佳鹏,等. 红外热像技术在低零值绝缘子检测中的应用[J]. 电瓷避雷器, 2013(2): 40-44.

[10] 陈金法. 绝缘子红外热像检测及诊断技术研究[D]. 杭州:浙江大学, 2011.

[11] 伍也凡. 基于红外检测方法的劣化绝缘子便携式带电检测系统研发[D]. 长沙:湖南大学, 2015.

[12] 周兆禹. 盘形悬式绝缘子的结构分析与优化[D]. 包头:内蒙古科技大学, 2012.

[13] 国家能源局. 带电设备红外诊断应用规范: DL/T 664-2016[S]. 北京:中国电力出版社, 2017.

[14] 国家能源局. 劣化盘形悬式绝缘子检测规程: DL/T 626-2015[S]. 北京:中国电力出版社, 2016.

作者简介:

何良(1987),工程师、硕士研究生,研究方向为输变电设备状态检测。

(收稿日期:2018-01-11)

(上接第37页)

[4] 黄子璇,席黎明,樊梦旭,等. 高压输电线下有建筑物时工频电场计算中模拟电荷设置方法的改进[J]. 电网技术, 2013, 37(3): 788-793.

[5] Thomas A, Baginski. Hazard of Low-frequency Electro-magnetic Coupling of Overhead Power Transmission Lines to Electroexplosive Devices[J]. IEEE Transactions on Electro-magnetic Compatibility, 1989, 31(4): 393-395.

[6] 王泽忠,金玉生,卢斌先. 工程电磁场[M]. 北京:清华

大学出版社, 2010: 46-48.

[7] Lee B Y, Myung S H, Min S W. An Effective Modeling Method to Analyze Electric Field Around Transmission Lines and Substation Using a Generalized Finite Line Charge[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1997, 12(3): 1143-1149.

作者简介:

刘守豹(1983),博士、工程师,从事过电压及工程电磁场计算方面的工作。

(收稿日期:2017-11-05)

(上接第40页)

[9] 维捷斯拉夫·本达,约翰·戈沃,邓肯A·格兰特. 功率半导体器件——理论及应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2005.

[10] Taylor P. D. 著,庞银锁译. 晶闸管的设计与制造[M]. 北京:中国铁道出版社, 1992.

[11] 董汉彬. 功率晶闸管的暂态热特性研究及应用[D]. 武汉:华中科技大学, 2012.

作者简介:

董汉彬(1987),硕士、工程师,研究方向为高电压与绝缘技术。

(收稿日期:2018-01-08)