

# 110 kV 零值瓷绝缘子电场仿真分析研究

白 欢<sup>1</sup> 陈洪波<sup>1</sup> 黄道春<sup>2</sup>

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院 四川 成都 610072; 2. 武汉大学 湖北 武汉 433000)

**摘要:** 瓷绝缘子长期运行后其绝缘性能和机械性能下降,容易产生零值、低值绝缘子,严重时会导致输电线路外绝缘发生闪络,发生电网停电事故。利用相关仿真分析软件,对 110 kV 直线猫头塔绝缘子上的无零值绝缘子和不同部位劣化绝缘子进行钢脚和铁帽的电位自由度耦合,以模拟在实际情况下的零值绝缘子,通过在电位分布云图、等位线分布图、电场分布云图、电位分布和电场分布曲线等方面的对比分析,分析不同部位零值绝缘子对绝缘子串空间电场分布特性的影响,对绝缘子劣质绝缘子的检测提供一定的理论支撑。

**关键词:** 零值; 绝缘子; 电场仿真; 电场分布

**Abstract:** The insulating properties and mechanical performance of porcelain insulators are easy to be deteriorated after a long-term operation, which produces low-value or zero-value insulators. A serious grid blackout would happen when the flash-over occurs in the transmission line. With the relevant simulation analysis software, the potential coupling freedom of steel foot and gossan is simulated for the nonzero value insulator and the faulty insulator in different part. The cloud chart of potential distribution, the distribution of equipotential lines, the cloud chart of electric field distribution, and the curves of potential distribution and electric field distribution are compared and analyzed. The influences of the zero-value insulator in different parts on the distribution characteristics of space electric field of insulator string are analyzed, which provides some theoretical support for the faulty insulator detection.

**Key words:** zero-value; insulator; electric field simulation; electric field distribution

中图分类号: TM211 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)02-0062-06

## 0 引 言

输电线路绝缘子是保证电网安全运行的重要物质基础,绝缘子性能的优劣直接是电力系统安全运行的重要因素。瓷绝缘子长期运行后其绝缘性能和机械性能下降,容易产生零值、低值绝缘子。当瓷绝缘子串中存在零值或低值绝缘子时,相当于绝缘子串有部分绝缘丧失,其整体爬电距离相应减少,绝缘子串的闪络概率大大增加,严重的时候,零值绝缘子和低值绝缘子的存在会造成绝缘子炸裂而造成线路掉线,对电网安全构成严重威胁。

绝缘子串周围电场分布特征信息可用来检测线路中的绝缘子故障<sup>[1]</sup>,国内外已经对其开展了相关研究<sup>[2-6]</sup>。文献[7]基于模拟电荷法的局部电场逆计算,提出了检测劣化绝缘子的非接触式电场测量法。文献[8]分析得到了绝缘子劣化对其表面径向和轴向电场分量的影响。可见目前的研究集中在劣

化绝缘子对绝缘子串表面电位分布和沿伞裙外沿处电场分布的影响。基于这些研究成果仿真分析了不同部位零值绝缘子对绝缘子串空间电场分布特性的影响,对绝缘子劣质绝缘子的检测提供一定的理论支撑。

利用相关仿真分析软件,对 110 kV 直线猫头塔绝缘子上的无零值绝缘子和不同部位劣化绝缘子进行钢脚和铁帽的电位自由度耦合,以模拟在实际情况下的零值绝缘子,通过在电位分布云图、等位线分布图、电场分布云图、电位分布和电场分布曲线等方面的对比分析,研究零值绝缘子不同部位对绝缘子电场分布的影响,评估零值绝缘子运行的可靠性。

## 1 110 kV 直线猫头塔瓷绝缘子串模型

### 1.1 模型的建立

110 kV 直线猫头塔带中相瓷绝缘子串的整体模型如图 1 所示,根据对称性建立三维静电场 1/2

模型。整体模型中包括直线猫头杆塔、7片XP-70型瓷绝缘子、导线、上下联接金具等。所有实体被两层空气包围，第一层空气为长17m、高37m、厚度为20m的长方体，第二层空气为半径70m、厚20m的半圆柱体。整体模型在solidworks中建立，并导入到ansys中进行计算。

建立此模型进行仿真，是为了计算在正常情况下以及在绝缘子串上存在零值绝缘子或劣化绝缘子时，其周围的电场和电位分布情况。

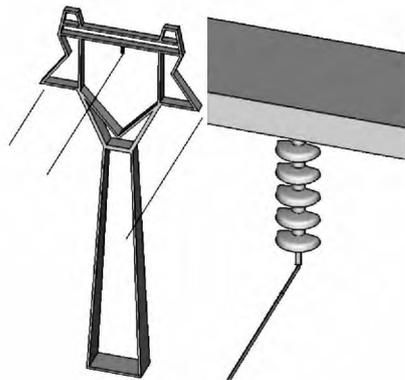


图1 整体模型图

### 1.2 模型参数说明

#### 1) 杆塔

110kV线路选用Z3型直线塔，杆塔尺寸图和1/2计算模型图如图2所示。

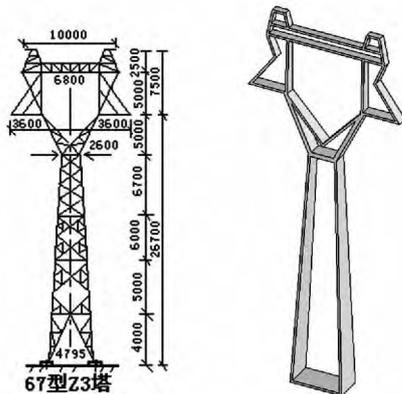


图2 杆塔尺寸及模型图

#### 2) 绝缘子

绝缘子选用7片XP-70型瓷绝缘子，绝缘子结构高度为146mm，公称直径为255mm。绝缘子模型和绝缘子串模型如图3所示。

#### 3) 联接金具

上下联接金具在模型中进行了一定的简化，采用了一定长度的长方体来代替。

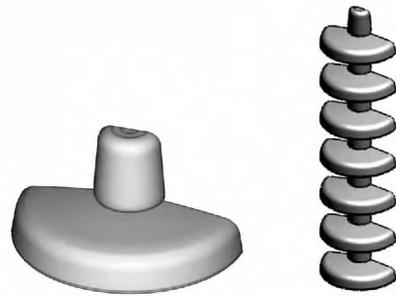


图3 绝缘子模型图

#### 4) 导线

110kV直线塔采用单分裂导线，导线直径为21.66mm，模型中导线长度取为20m。

#### 5) 加载

对于瓷绝缘子串，根据情况对中相绝缘子串最下端钢脚、导线、联接金具加载高电位  $U_m = 110 \times 1.1 \times \sqrt{2}/\sqrt{3} = 98.796$  kV，另外两相高压端加载电位为  $-0.5U_m$ ，对最上端绝缘子铁帽、联接金具和杆塔加载0电位。在仿真计算中，自高压端编号，分别对绝缘子串上的第1、4、7片（即最下端、中间、最上端）绝缘子进行钢脚和铁帽的电位自由度耦合，来模拟在实际情况下的零值绝缘子。而正常情况下良好的绝缘子串，只需对绝缘子串上下相连的铁帽和钢脚进行电位自由度耦合。瓷绝缘子伞裙的介电常数取6，为减小计算量，低电位相不建立绝缘子而只建立导线。

## 2 分布云图

下面对是否存在零值绝缘子的4种情况进行电位和电场分布云图的对比（自高压端编号，即最下面为第1片绝缘子，依次往上，下面不再赘述）。

### 2.1 电位分布云图

由图4可以看出，零值绝缘子其铁帽和钢脚电位相等，绝缘子完全被贯穿，使绝缘子劣化，周围的电位分布发生一定程度的畸变。

### 2.2 等位线分布图

为了更清楚地看到绝缘子串周围的电位分布情况，下面给出了4种情况下的绝缘子串中零值绝缘子周围等位线分布图，如图5所示。

从图5看出，由于零值绝缘子的铁帽和钢脚完全贯穿，使其基本不承担电压，所以其钢脚和铁帽之间的电位线分布较稀疏。

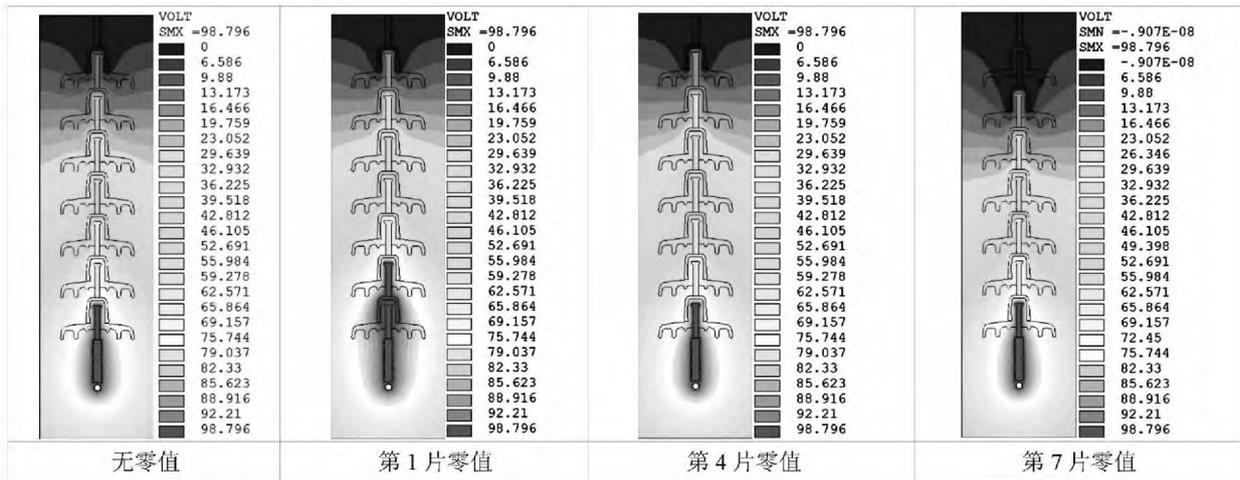


图4 电位分布局部云图及局部放大云图

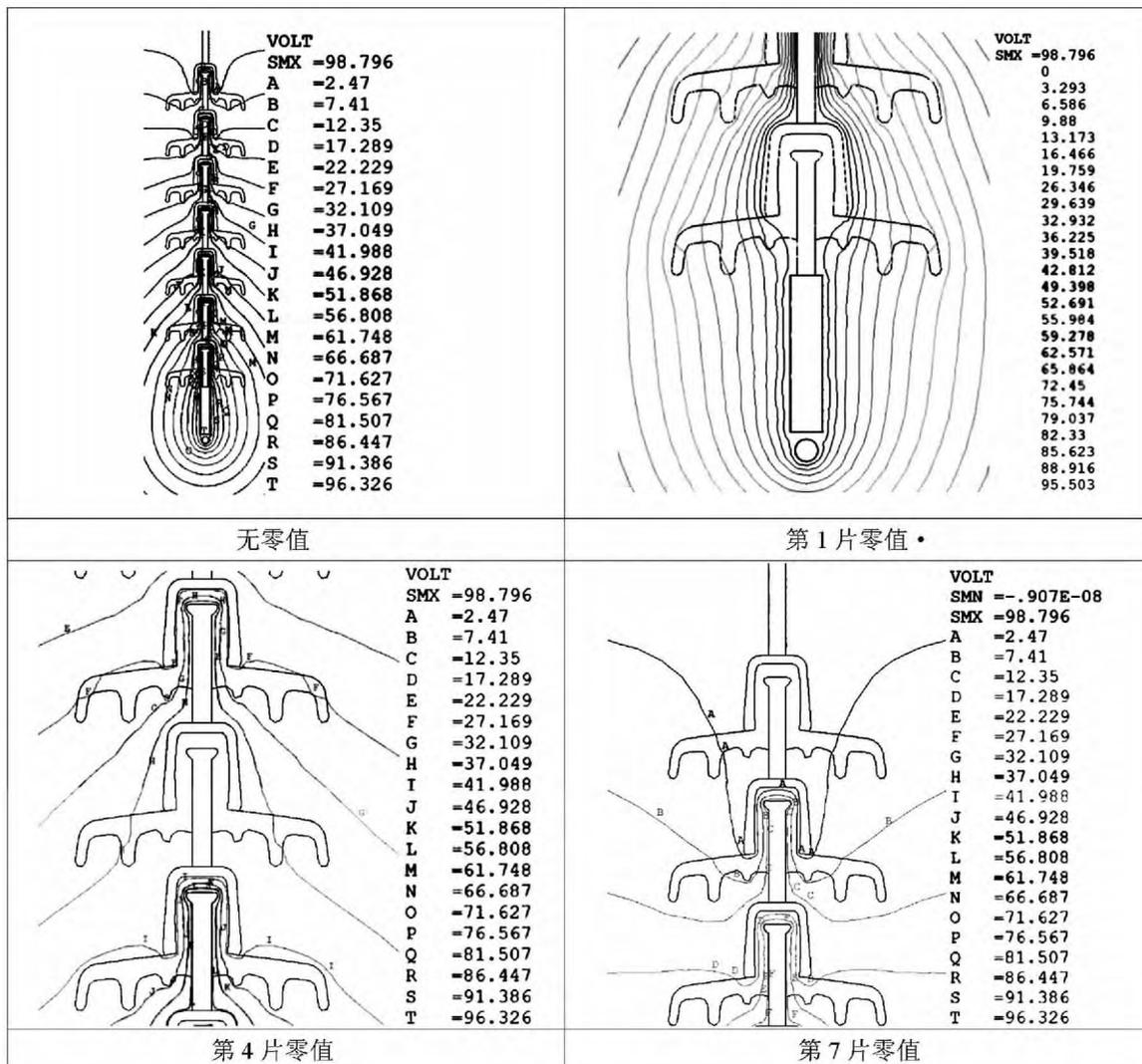


图5 等位线分布图

### 2.3 电场分布云图

从图6可以看出,当有零值绝缘子时,其附近的电场分布明显发生畸变,而离它较远处的绝缘子附

近的电场与正常时相比则变化不大。

### 2.4 电位分布曲线对比

下面分别给出4种不同零值情况下,在离绝缘

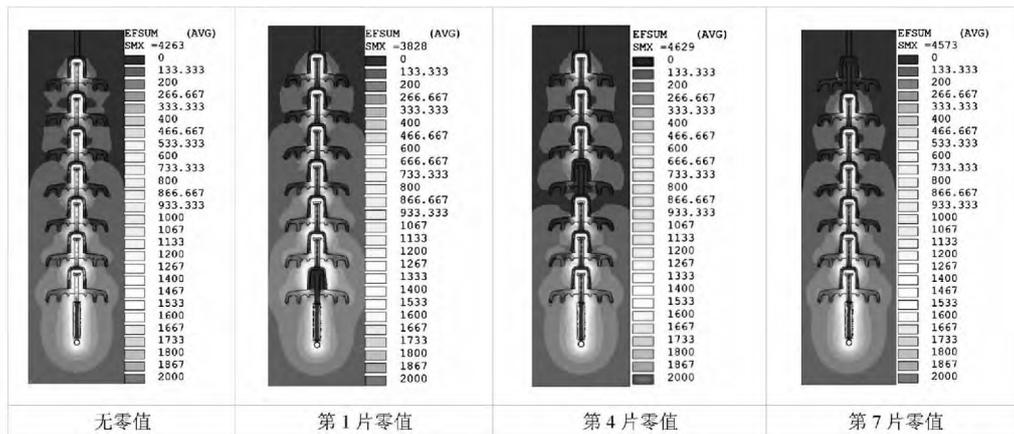
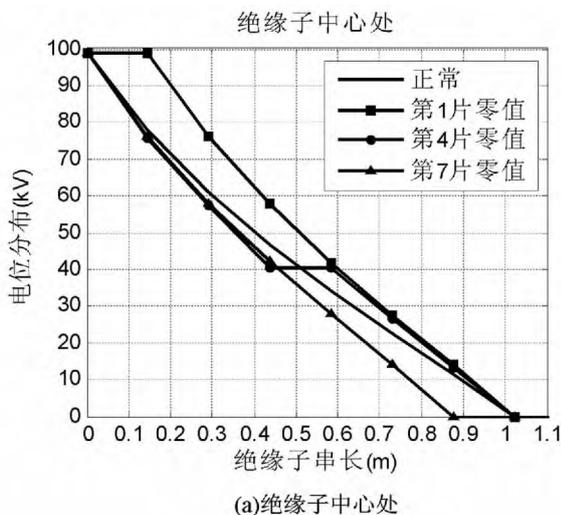


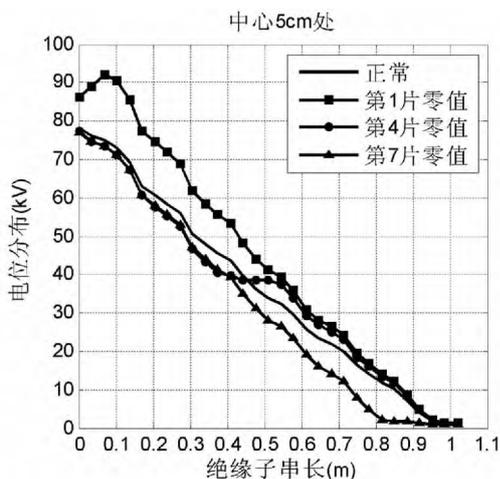
图 6 电场分布局部云图及局部放大云图对比

子中心 0.5、20 cm 处的电位曲线图,如图 7 所示。

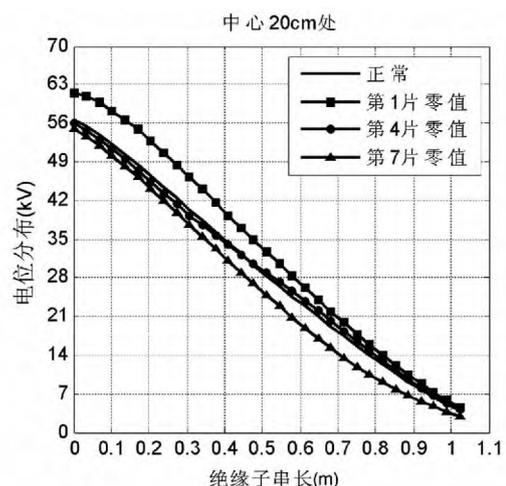
从图 7 可以看出,在距中心 5 cm 处,电位路径穿过了伞裙,因此呈现出一定的非线性。当绝缘子串中出现零值绝缘子时,零值绝缘子附近的电位较正常情况下发生明显畸变,其他绝缘子周围电位的



(a) 绝缘子中心处



(b) 中心 5cm 处



(c) 绝缘子中心 20cm 处

图 7 电位分布曲线图

变化要明显小于零值绝缘子附近的电位变化,说明零值绝缘子的存在严重影响了零值绝缘子附近的电位分布;当零值绝缘子出现在高压端附近时,零值绝缘子附近电位的变化幅值要比其出现在其他位置时的变化大,离绝缘子中心越远,电位的变化越不明显,说明当存在零值绝缘子时,距离绝缘子中心越远,对其电位的影响越小。

下面从不同的零值位置和离绝缘子中心位置  $d$  来分析其电位变化率。计算式为  $\sigma = (V' - V) / V$ , 其中  $V'$  为零值后的各绝缘子处的电位值,  $V$  为正常情况下各良好绝缘子处的电位值。

图 8 为当  $d$  为 5 cm、20 cm 时各绝缘子附近的电位变化率。

从图 8 中可以看出当高压端出现零值绝缘子时,绝缘子周围的电位都比正常电位值大;当低压端出现零值绝缘子时,绝缘子周围的电位都比正常电位值小。零值绝缘子位于低压端时,零值绝缘子周围

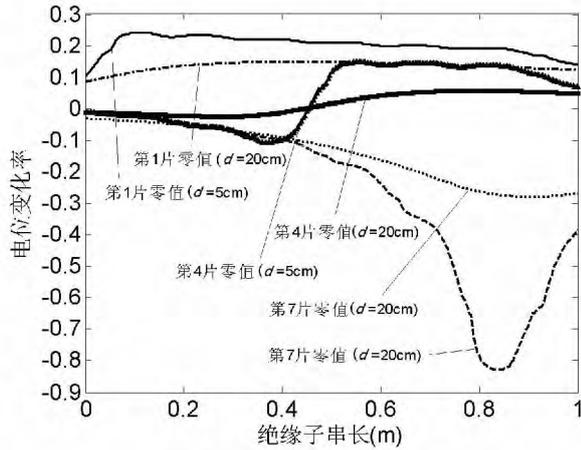


图8 零值绝缘子对电位变化率的影响

表1 含有1片零值绝缘子时的最大电位变化百分比

	/%				
$d/cm$	5	12.75	15	20	25
第1片零值	24.1	18.5	17.0	14.8	13.2
第4片零值	14.8	9.3	7.8	5.6	4.3
第7片零值	82.8	42.5	36.0	27.9	23.2

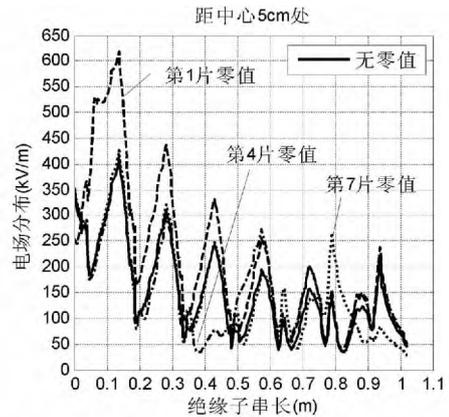
电位变化率最大;零值位于高压端时电位变化率次之;零值位于中间时,电位变化率最小。离绝缘子中心的距离越远,电位变化率越小,同样表明随距离的增加,零值绝缘子对电位改变的影响越小。

表1所示为第1、4、7片分别为零值绝缘子时在离绝缘子中心不同距离处等径上的最大电位变化百分比,最大值都出现在零值绝缘子附近。

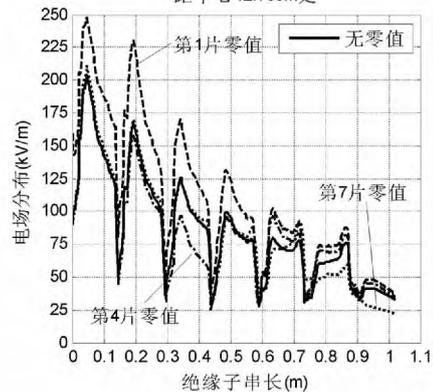
综上所述可知:当绝缘子串中出现零值绝缘子时,零值绝缘子附近的电位分布会发生变化,对其他绝缘子附近的电位也有一点影响。当高压端出现零值绝缘子时,转移到其他绝缘子上的电压较多,影响较大,但电位畸变率却不是最大;当低压端出现零值绝缘子时,由于其基数小,故其电位变化率最大;而当绝缘子串中间位置出现零值绝缘子时,对其他绝缘子的影响最小,电位变化率也最小。而距绝缘子中心越远,零值绝缘子对其点位分布影响越小。

### 3 电场分布曲线对比

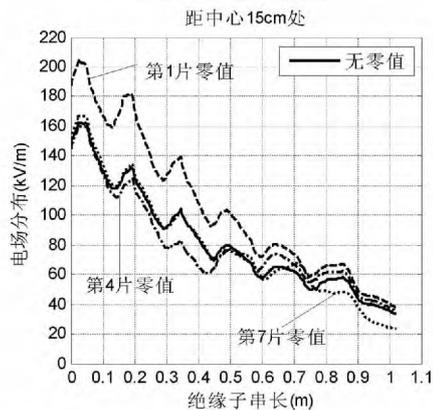
下面分别给出4种不同零值情况下,在离绝缘子中心5、12.75、15、20cm处的电场分布曲线图,如图9所示。



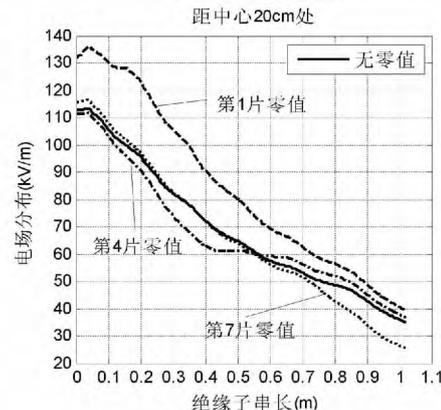
(a) 距中心5cm处



(b) 距中心10cm处



(c) 距中心15cm处



(d) 距中心20cm处

图9 电场分布曲线图

从图 9 可以看出,距中心 5 cm 和 12.75 cm 时,即路径同时穿过绝缘子和空气时,电场分布变化剧烈,说明绝缘子处的电场与空气中电场的场强值相差很大。当绝缘子串中出现零值绝缘子时,零值绝缘子附近的电场会发生明显的变化。零值绝缘子位于高压端时对于电场幅值影响最大。距绝缘子中心越远,零值绝缘子对该处的电场值影响越小。

下面给出在距绝缘子中心 12.75 cm(伞裙边沿)处不同位置零值绝缘子对整串绝缘子的电场畸变率,分别在 5、12.75、15、20 cm 含有 1 片零值绝缘子时的最大电场变化百分比,如表 2 所示。

表 2 含有 1 片零值绝缘子时的最大

d / cm	电场变化百分比 / %			
	5	12.75	15	20
第 1 片零值	153.0	23.8	41.2	28.9
第 4 片零值	174.2	41.5	22.1	13.1
第 7 片零值	310.2	60.2	32.0	26.5

由于  $d = 5$  cm 小于伞裙半径,在伞裙的上、下表面可能会产生较大的电场畸变率。由表 2 可看出,当高压端或低压端出现零值绝缘子时,电场的变化率都较大;而当绝缘子串中间位置出现零值绝缘子时,对其他绝缘子的影响最小,电场变化率也较小。

综上所述:高压端的绝缘子劣化时,整串绝缘子中各绝缘子位置处的空间电场变化明显;当劣化绝缘子位于中部和低压端时,其他绝缘子位置处的电场变化较小。随着离绝缘子中心距离的增大,零值绝缘子对空间电场的影响越小。

## 4 小 结

1) 当绝缘子串中出现零值绝缘子时,会对其附近的电位和电场分布产生影响,而对较远处的其他绝缘子附近的电位和电场分布影响较小。随着离绝

缘子中心距离的增大,产生的影响越来越小。

2) 由于零值绝缘子的存在,使电压发生转移,在零值绝缘子伞裙下方,电位和电场值比正常值要低,而在伞裙上方又比正常值要高,变化在零值绝缘子处过渡。

3) 零值绝缘子出现高压端或低压端对电场和电压分布产生的影响比出现在中间位置要大。

## 参考文献

- [1] Kontargyri V T,Plati L N,Gonos I F,et al. Measurement and Simulation of the Voltage Distribution and the Electric Field on a Glass Insulator String [J]. Science Direct, Measurement 2008(41): 471-480.
- [2] 袁致川. 沿绝缘子串电位分布的数值算法[J]. 高压技术,1997,23(6): 69-80.
- [3] Huo Feng,Chen Yong,Cai Wei,et al. Surface Electrical Field Distribution Simulation and Insulation Characteristics Test of Polluted Insulators [J]. High Voltage Engineering 2008,12(12): 2621-2625.
- [4] Que Weiguo. Electric Field and Voltage Distributions along Non-ceramic Insulators [D]. Ohio: The Ohio State University, 2002.
- [5] Que Weiguo,Sebo S A. Electric Field and Potential Distributions along Dry and Clean Non-ceramic Insulators [C]. Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference,Cincinnati,USA, 2001.
- [6] Kaana-Nkusi S,Alexander P H. Potential and Electric Field Distributions at a High Voltage Insulators Shed [J]. IEEE Trans. on Electrical Insulation,1988,23(2): 307-317.
- [7] Birlasekaran S,Li H J. Detection of Faulty Insulators on Power Transmission Line [C]. Power Engineering Society Winter Meeting,Singapore 2000.
- [8] 陈涛. 基于非接触式的劣化绝缘子检测方法的研究 [D]. 重庆:重庆大学,2006.

(收稿日期:2013-11-07)