

# 330 kV 带均压环的棒形悬式复合绝缘子电场有限元分析

江 汛, 王仲奕

(西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

## Analysis of the Electric Field of 330 kV Composite Insulator with Grading Rings

JIANG Xun, WANG Zhong-yi

(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**摘要:** 采用ANSYS有限元软件对装有几种不同规格均压环的330 kV棒形悬式复合绝缘子进行了电场有限元计算, 得出了均压环的位置和尺寸与电场分布的关系。与实际测量结果比较说明, 采用的建模手段和求解方法是有效的。

**关键词:** 复合绝缘子; 均压环; 有限元; 电场

**中图分类号:** TM216

**文献标识码:** A

**Abstract:** The electric field strength and voltage distribution along 330 kV composite insulator with different size of grading ring are calculated using software ANSYS; the relationship between the position, the size of the grading ring and electric field distribution is found out. Comparing with test result, the model developed for calculations is valid.

**Key words:** composite insulator; grading ring; finite element; electric field

## 1 前言

复合绝缘子使用均压环不仅能够改善绝缘子表面的电压分布, 增加防电晕性能, 降低无线电干扰电压; 同时还具有招弧引弧的作用, 以免闪络发生时电弧烧蚀硅橡胶伞裙<sup>[1,2]</sup>。试验表明, 复合绝缘子上均压环的尺寸以及安装位置对复合绝缘子整体性能有着重要的影响<sup>[3]</sup>。但随着电压等级的提高, 实测费用将成倍增加, 用测量的方法来进行指导性方面的结构设计是不现实的, 特别是对于超高压产品。

330 kV 输电线路是西北地区的主干网。近几年, 该电网逐步采用棒形悬式复合绝缘子替代原有的瓷质盘形悬式绝缘子。笔者以330 kV棒形悬式复合绝缘子为计算模型, 采用ANSYS有限元软件进行建模计算, 分析了复合绝缘子上均压环的尺寸以及安装位置对绝缘子周围电场分布的影响, 并与实际测量结果进行了比较, 确认了计算的合理性。

## 2 计算模型的建立

330 kV 线路铁塔以及悬式绝缘子的悬挂位置

见图1。可以看到, 棒形悬式复合绝缘子实际电场有以下几个特点: ①绝缘子属超细长圆柱结构; ②绝缘子处于无限大空间内, 即绝缘子电场为开域场; ③绝缘子在一定的范围内均受到三相高压导线、铁塔与之产生的杂散电容的影响<sup>[4]</sup>。

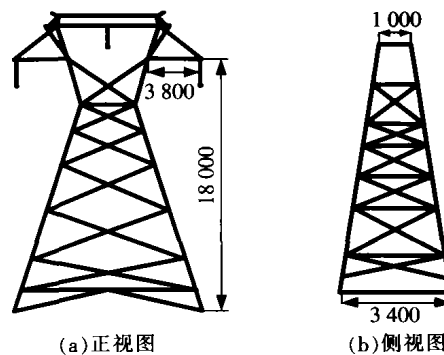


图1 330 kV 铁塔和绝缘子

为计算分析均压环对绝缘子表面电场的影响, 做了如下简化处理: 棒形复合绝缘子极间电容很小, 当不考虑导线和铁塔与其之间引起的杂散电容影响时, 会增大电场的不均匀程度; 同时铁塔和导线对绝缘子的影响相对于均压环的影响要小且影响区域有限, 对整个区域场强的变化趋势影响小。因此在计算中可以忽略导线和铁塔的影响, 整个模型可以简化为二维轴对称电场来进行分析。

应用ANSYS有限元软件对棒形悬式复合绝缘子进行二维建模和电场分析。计算模型共分3大部分: ①绝缘子模型; ②有限空间场域; ③无限大场域空间。其结构布局见图2。

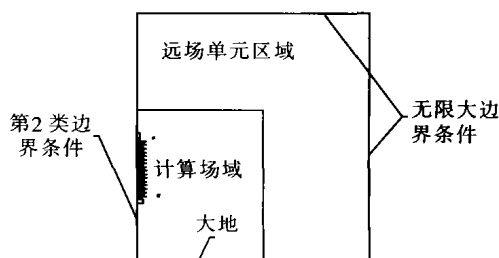


图2 棒形悬式复合绝缘子二维计算模型

### 2.1 绝缘子模型建立

棒形悬式复合绝缘子的结构主要包括绝缘芯棒,硅橡胶护套及伞裙,上下端金具和均压环,其中硅橡胶伞裙由于数量较多建模较为复杂。为此,利用 ANSYS 提供的二次开发软件的参数化程序设计语言 (APDL) 和用户界面设计语言 (UIDL) 按照 Fortran77 语言格式,在 ANSYS 建模菜单内添加了伞形模型自动生成界面,同时编写了 Shed.mac 宏文件。

建模过程中,在伞形界面对话框中输入伞形参数:伞伸出 (DSS),伞间距 (SJJ),伞数 (DSS),伞端距 (SDJ) 等参数,计算机将自动生成所需要的伞形模型,生成的 330 kV 复合绝缘子模型见图 3。结构参数见表 1。

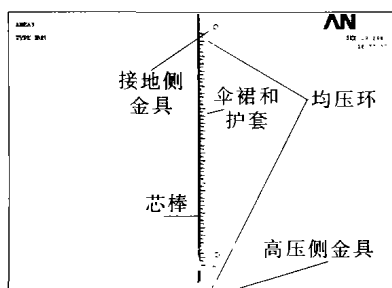


图 3 悬式绝缘子模型

表 1 330 kV 悬式绝缘子基本参数

电压/kV	绝缘距离/mm	大伞直径/mm	小伞直径/mm	大伞数	小伞数
330	2 340	144	114	32	31

### 2.2 远场单元

ANSYS 软件中提供了远场单元 INF110 来组成无限大空间,无限大区域的剖分方式与有限区域不同,图 4 是有限区域和无限大区域的剖分情况,且  $x_1 \approx x_2; y_1 \approx y_2$ 。远场单元的多少对计算的准确度有一定的影响,可根据计算准确度来具体设定。

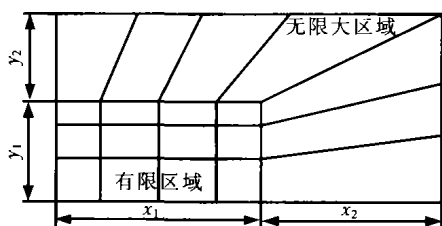


图 4 模型区域剖分形式

### 2.3 模型参数

根据计算经验和剖分空间,取绝缘子结构有效空间场域的长宽比为 5:1。剖分单元选用 plane121 和 INF110,空气、硅橡胶和环氧芯棒的相对介电常数分别为 1,2.5,2.0;高压端电位取运行电压 190 kV;同时在重要区域(环附近)设立细剖分区域。求解器使用雅可比共轭求解器。

## 3 计算及结果分析

按设计资料中的 1 号环、3 号环和 4 号环参数进行计算。1,3,4 号环参数见表 2。计算剖分单元数

表 2 均压环参数

序号	均压环参数			mm
	外径	管径	距高压端距离	
1 号环	430	50		0
3 号环	430	50		60
4 号环	440	50		160

在 163 350~168 500 之间。

图 5(a),(b)是绝缘子导线端高压侧采用 4 号均压环时电压分布云图(其中(a)为塔端接地侧不装环,(b)为塔端接地侧装 1 号环),图 5(c),(d)是高压侧不装均压环时绝缘子电场分布云图(其中(c)为塔端接地侧不装环,(d)为塔端接地侧装 1 号环)。对比图 5 中的 4 张云图可以看到均压环的设置对 330 kV 复合绝缘子场强分布的影响。

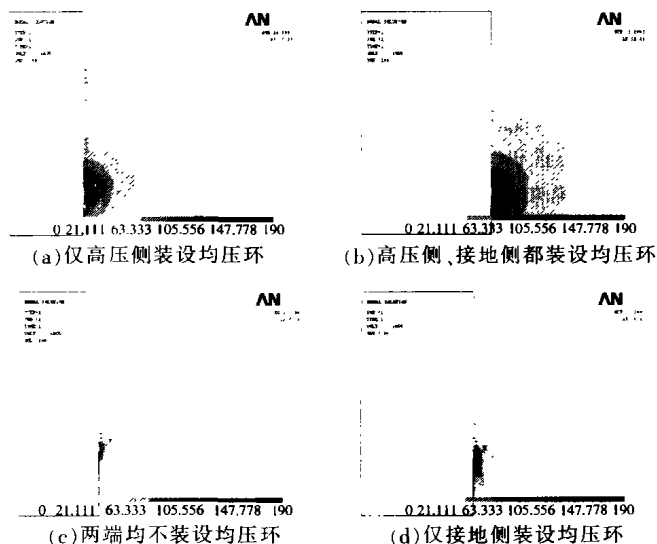


图 5 绝缘子电压分布云图

图 5(c),(d)的电位分布表明,在高压侧不装均压环时,90%左右的电压将集中在 15%~20%的绝缘子表面,电场分布极不均匀。硅橡胶和环氧芯棒在这样高的电应力和大气环境下会快速被电蚀并劣化失效,最终导致芯棒损伤,产品掉线;其次在潮湿污秽的条件下也易产生闪络,降低线路运行的可靠性。

图 5(a),(b)的电位分布说明,在高压侧装设均压环,330 kV 复合绝缘子的场域发生了很大的变化,电场均匀的效果十分明显,由极不均匀场变成较为均匀的场域。

图 5(b)和(d)的电位分布还表明,在杆塔处接地侧不装均压环与装均压环对绝缘子场强分布基本无影响,这也是一些国家,如美国 RELIABLE 公司对 345 kV 棒形悬式复合绝缘子塔端不装环的原因。我国标准 JB/T 8460-1996 规定:330 kV 绝缘子塔端和线端均需装设均压环。计算结果表明,塔端装设均压环所起的主要作用应该是为了引弧以及防鸟粪。

图 6 是高压侧金具附近的场强分布云图。不装设均压环时,金具附近的最大场强为 9.35 kV/mm;装设均压环后金具附近的最大场强为 3.18 kV/mm,得到极大改善。

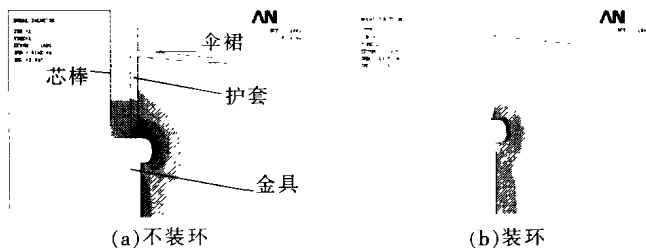
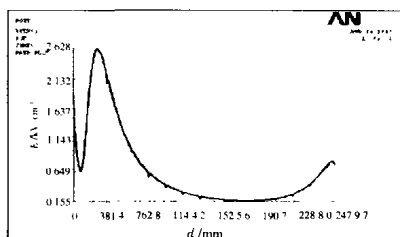
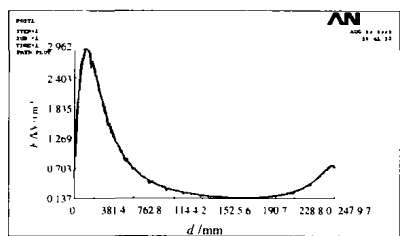


图6 高压侧场强分布云图

图7是装设不同均压环时沿整个绝缘子串表面的电场分布曲线(其中(a)为4号环,(b)为3号环)。计算与实测最大值<sup>[3]</sup>见表3。显然装设4号环时的最大场强相对要小些,这与4号环的环径大有关。



(a)4号环



(b)3号环

图7 计算得出的绝缘子沿面场强分布

表3 绝缘子沿面最高场强

均压环	实测值/(kV·cm <sup>-1</sup> )	计算值/(kV·cm <sup>-1</sup> )	相对误差/%
3号环	2.53	2.962	17.0
4号环	2.20	2.628	19.4

图7计算的沿面场强分布曲线与实测曲线的变化趋势吻合<sup>[3]</sup>,这说明计算模型的简化方式是合理的,也说明采用 ANSYS 软件对悬式复合绝缘子进行

(上接第214页)

内部气体压力升高引起的。

如果突发明显的放电重复率  $N \geq 1000$  次/s 的脉冲,属于危险信号,但要看上升速率以及延续时间及其发展趋势。

上述综合判断分析后,给出是否需要检修的结论。

## 5 结论

内部气体压力的在线监测对真空断路器的安全运行有重要的作用。笔者提出的监测装置不能准确地测量内部气体压力,而只能大致判断内部气体压力的变化趋势,旨在发现运行中的真空断路器是否出现异常,提出检修建议。另外,该装置在探头上采用常规电子元件和高压电气隔离措施,有效降低了

场强分析的方法可以为绝缘子结构设计提供依据,特别是在优化设计方面可提供较大的帮助。同时,ANSYS 有强大的后处理功能,可以准确而方便地输出不同结构中任意关心点处的电位和场强,这是实际测量所做不到的。

表3中的数据表明,计算值和实测值存在一定的误差,计算值比实测值大,且均压环的环径大时,误差也大。误差的原因主要有以下几个方面:①伞形大小与实际测量的偏差;②计算没有考虑塔和导线的影响;③测量本身具有一定的偏差或误差。

## 4 结论

(1)用 ANSYS 软件采用二维轴对称计算模型的计算结果与实际测量结果较为吻合,说明采用计算的方法可以替代部分实际测量的工作,这为产品优化设计提供了快捷和方便的方法。

(2)330 kV 绝缘子线端高压侧必须装设均压环。均压环的环径大,对场强分布的改善明显。

(3)绝缘子杆塔接地侧装与不装均压环对电位分布均无明显影响。

## 参考文献:

- [1] CIGRE Working Group 03 of Study Committee 22. Use of Stress Control Rings on Composite Insulator[J]. *Electra*, 1992, 143(8): 68-71.
- [2] 谢恒堃. 电气绝缘结构设计原理(下册)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [3] 毛凤麟, 王雪松. 复合绝缘子均压环对电场分布的影响[J]. *高压技术*, 2000, 26(4): 40-42.
- [4] Zhao Tiebin. Calculation of Electric Field and Potential Distribution along Nonceramic Insulators Considering the Effects of Conductors and Transmission Towers[J]. *IEEE Trans. on Power Delivery*, 2000, 15(1): 313-318.

作者简介:江 汛(1972-),男,安徽旌德人,工程师,在读工程硕士,从事产品开发和有限元分析计算的研究。

造价,使得项目的推广具有可行性。该装置已在多个厂站投入运行。

## 参考文献:

- [1] 周承基, 张俊才. 真空断路器及其真空度监测技术 [J]. *江西电力*, 1992, 16(3): 8.
- [2] 段雄鹰. 真空灭弧室真空度在线检测的实验研究 [J]. *高压电器*, 2000(4): 30-32.
- [3] 赵智忠. 几种测量电网中真空开关真空度的方法 [J]. *辽宁工学院学报*, 2002(4): 4-5.
- [4] 严金城. 真空开关真空度在线检测技术的原理与应用 [J]. *江苏电器*, 2002(1): 36-38.

作者简介:李卫国(1954-),男,教授,博士生导师,长期从事高压绝缘检测和电工基础理论的研究。