

文章编号: 1008-830X(2008)01-0060-05

# 特高压输电线路工频电磁场的影响因素分析

李刚<sup>1</sup>, 童晓<sup>2</sup>, 李君毅<sup>1</sup>

(1. 浙江工业大学, 浙江杭州 310014; 2. 信雅达系统工程股份有限公司, 浙江杭州 310053)

**摘要:** 电磁环境是制约特高压建设和发展的一个关键问题。对 1 000 kV 特高压输电线路的相导线对地高度、相间距离、分裂导线数量、分裂间距、双回路导线相序布置方式和接地避雷线设置等因素对工频电场的影响进行了仿真和分析。并针对不同的影响因素,提出了降低特高压输电线路工频电场强度的应对策略。

**关键词:** 特高压; 工频电磁场; 影响因素

中图分类号: TM723

文献标识码: A

## Analysis on the Factors Influencing Power Frequency Electromagnetic Field under UHV Transmission Lines

LI Gang<sup>1</sup>, TONG Xiao<sup>2</sup>, LI Jun-yi<sup>1</sup>(1. Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014;  
2. Sunyard System Engineering Co Ltd, Hangzhou 310053, China)

**Abstract:** Electromagnetic environment is a significant and key problem in the construction and development of UHV transmission system. Several factors, such as the height of phase conductors, wire spacing, number of split conductors, spacing of split conductors, lightning lines and etc, which can influence the power frequency electric field of 1 000 kV UHV transmission lines at ground level, are simulated and analyzed, respectively. And the strategies to decrease electric field strength are also given.

**Key words:** UHV; power frequency electromagnetic field; influencing factors

近年来我国的电源建设发展迅猛,相比之下电网建设严重滞后,电网与电源发展不协调的矛盾十分突出。因此,需要建设更加强壮的电网以适应经济的快速增长,保障国家能源安全和经济安全。另一方面,我国能源资源和负荷分布的不平衡特性也决定了建设远距离、大容量特高压输电系统的必要。2006年4月5日发布的《“十一五”电网、科技规划及重点技术课题》就指出:“十一五”期间,特高压电网重点建设晋东南-南阳-荆门交流特高压试验示范工程和淮南-芜湖-浙北-上海特高压线路工程<sup>[1-3]</sup>。

由于特高压输电电压高、分裂导线多等特点,必然导致导线表面电场强度以及输电设备周围的空间电场强度的升高,而特高压输电线路和变电站出现的强电场和强磁场效应对人体和生态环境是否会带来危害,一直是人们非常关心的问题。因此电磁环境问题是制约特高压建设和发展的一个关键问题<sup>[4-11]</sup>。

收稿日期: 2007-11-10

作者简介: 李刚(1971-),男,浙江杭州人,工程师,研究方向:电力系统分析、电力自动化。

## 1 特高压输电线路的工频电场

交流输电线路工作时, 导线上的电荷将在空间产生工频电场, 导线内的电流将在空间产生工频磁场。电场一般用电场强度描述。工频电场能在人和物体上感应出电压。在强电场中, 对地绝缘的人接触接地物体, 处于地电位的人接触对地绝缘的物体, 可能会有能感觉到的电流流过人体或出现不愉快的火花放电。这是工频电场的短期效应。关于工频电场另外一个问题是, 工频电场是否会产生长期的生态影响。随着电压等级的提高, 尤其发展到特高压阶段, 输电工程的工频电场和磁场的长期生态影响如何, 已经变成人们关注的焦点。而且选择输电线路走廊, 除了考虑电气强度因素外, 输电线路下方的电场强度是一个重要因素。

由工频电场强度的相关计算方法可知, 空间某点电场强度值与每根导线上电荷的数量以及该点与导线之间的距离有关; 导线上的电荷多少, 除与所加电压有关外, 还与导线的几何位置及其尺寸有关。因此, 导线的布置形式、对地距离和相间距离、分裂根数以及双回路时两回路间电压的相序等, 都直接影响线下电场强度的分布和大小。

本文所用的仿真模型为前苏联特高压输电线路铁塔模型: 相导线采用 8LGJ-500/45 分裂导线, 水平排列, 分裂导线的外接圆直径为 1.04 m, 子导线直径为 30 mm, 分裂间距为 0.4 m, 带电导线总宽 48.4 m。架空地线采用 2AC70/72 型双分裂钢芯铝绞线, 分裂间距为 0.4 m。杆塔采用拉 V 塔, 两边相和中间相分别采用悬垂和 V 型绝缘子串, 相间距离为 24.2 m。仿真简化模型如图 1 所示。本文中计算的是地面以上 1.5 m 处的电场强度, 用  $E_{1.5}$  表示, 地面以上 1.5 m 处的电场强度的最大值用  $E_{1.5max}$  表示。

## 2 相导线对地高度的影响分析

为研究相导线对地高度变化对线路下方电场强度的影响, 我们对如图 2 所示的 1 000 kV 特高压输电线路水平分布的简化模型进行了仿真。对地高度  $H$  取 18、20、22、24、26 和 28 m。图 3 所示为对应相导线离地不同高度的情况下, 单回水平布置 1 000 kV 特高压模型的横向分布曲线, 相应的场强最大值如表 1 所示。

为了更为清晰观察最大场强值随着距线路中心距离的变化情况, 我们将这两者的三点图绘制在图 4 中。从该图中, 我们不难发现, 电

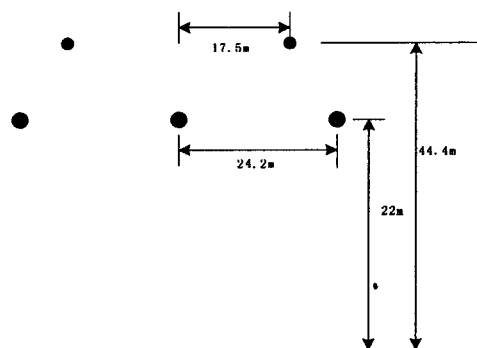


图 1 1 000 kV 特高压输电线路水平分布的简化模型

Fig.1 Simplified model of horizontal distribution with wires of 1 000 kV

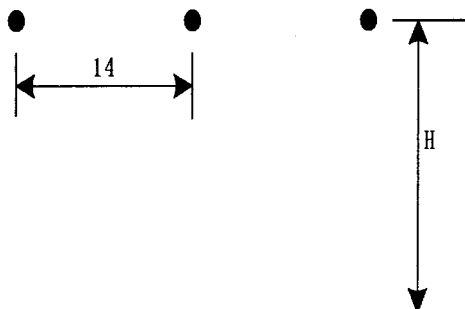


图 2 1 000 kV 输电线路水平分布的简化模型

Fig.2 Simplified model of horizontal distribution with wires of 1 000 kV

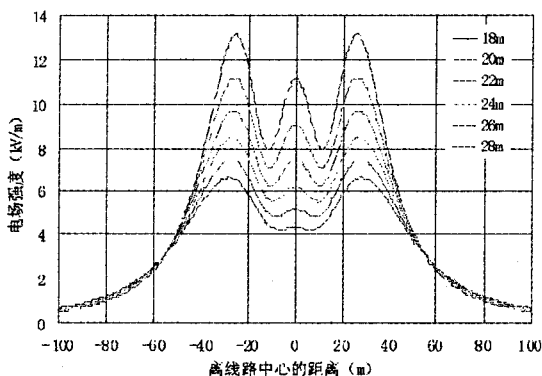


图 3 单回水平布置 1 000 kV 线路导线对地不同高度时电场强度的横向分布

Fig.3 The intensity distribution of conduit to the different height of the horizontal electric field, when the wires of 1 000 kV layouted by single-level

场强度的最大值随导线离地高度的增加而迅速减小。利用这一关系,可以通过抬高导线对地高度来减小地面电场强度。例如,当导线对地距离由 18 m 抬高到 20 m 时,最大场强降低 1.93 kV/m, 而且每向上抬高 2 m 的距离时, 最大场强依次降低 1.53、1.22、1.02、0.83 kV/m。最大场强的变化值不断减少, 对应着曲线的斜率不断变小。因此, 当导线最低距离不大时, 增加导线对地距离, 地上 1.5 m 的场强减小得很显著; 随着导线对地距离的增加, 场强减小程度逐渐缓慢。由此可见, 当导线对地距离增加到一定程度, 再靠抬高导线来减小地面附近的电场强度, 经济投入会比较大。

### 3 相间距离的影响分析

为研究相导线相间距离变化对线路下方电场强度的影响, 我们继续对图 1 中 1 000 kV 特高压输电线路水平分布的简化模型进行仿真。相间距离分别取 20 m、21 m、22 m、24.2 m 和 25 m。图 5 为对应不同相导线相间距离的情况下, 1 000 kV 特高压模型的横向分布曲线。为清晰起见, 表 2 列出了图 5 中对应高度的值。

由图 5 可见, 减小相间距离时, 最大场强值和高场强覆盖范围都相应减小, 但场强的减小程度没有增加线路对地距离的效果明显。从表 2 可以看出, 在相间距离为 20~25 m 时, 相间距离每减小 1 m, 场强值仅减小 0.15 kV/m 左右。但如果大幅度地减小相间距离, 如采用 V 形绝缘子串, 还是能比较明显地减小线下场强值。但是减小导线相间距离将受到相间绝缘的限制。

### 4 分裂导线数量的影响分析

当每相导线总截面相同, 分裂根数分别为 6、8、10 和 12 根时电场强度的横向分布图如图 6 所示。表 3 列出了对应以上各种相导线分裂数量的  $E_{\max}^{1.5m}$  值。

由图 6 和表 3 可以发现, 减少分裂导线的根数, 也能减小地面场强。而分裂根数较多时, 减小分裂根数对于减小地面场强效果不是很明显。如把每相导线分裂根数由 12

表 1 1 000 kV 不同对地高度的  $E_{\max}^{1.5m}$

Tab.1 The value of  $E_{\max}^{1.5m}$  with 1 000 kV to the different height

高度 H/m	18	20	22	24	26	28
$E_{\max}^{1.5m}/kV \cdot m^{-1}$	13.16	11.24	9.71	8.49	7.47	6.65

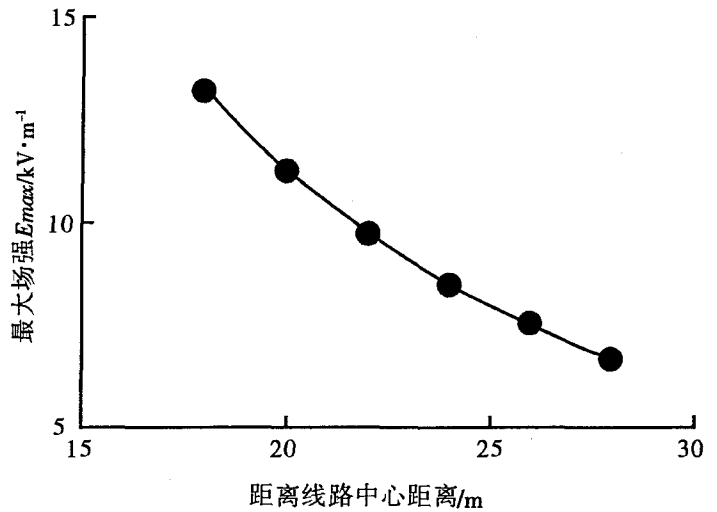


图 4 导线对地不同高度时电的最大场强

Figure.4 The strongest Electric field intensity with different height wires

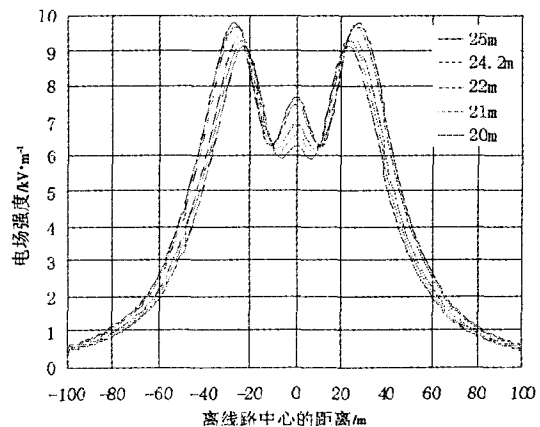


图 5 单回水平布置 1 000 kV 输电线路在不同相间距离时的电场强度横向分布

Fig.5 Horizontal distribution of the Electric field intensity when wires with 1 000 kV are layouted by single-level at different distance

表 2 1 000 kV 线路不同相间距离的  $E_{\max}^{1.5m}$

Tab.2 The value of  $E_{\max}^{1.5m}$  with 1 000 kV wires to the different distance

相间距离/m	20	21	22	24.2	25
$E_{\max}^{1.5m}/kV \cdot m^{-1}$	9.15	9.30	9.43	9.71	9.80

根变为 10 根时,仅减小 0.1 kV/m。值得注意的是,减少分裂导线根数可能使导线表面场强增大,使无线电干扰和可听噪声增加。目前国内外就是通过增加相导线分裂根数、改进分裂导线结构及减小导线表面电场来实现减小高压线路的无线电干扰和可听噪声水平的。

### 5 分裂导线间距的影响分析

相导线的分裂间距同样会对电场强度的分布和数值产生影响,我们对该因素的影响进行仿真。当 1 000 kV 相导线采用 8 分裂结构,分裂间距分别为 0.3 m、0.4 m、0.5 m 和 0.6 m 时,我们对分布情况进行仿真研究。图 7 为场强的仿真结果。为了清晰起见,表 3 列出了对应各个不同分裂间距时的最大电场强度值。

由表 4 可以看出,分裂间距每减小 0.1m,减小 0.43~0.55 kV/m。因此,减小分裂间距可以减小输电线路下方电场强度。

### 6 双回路导线相序布置方式影响分析

双回路导线相序布置方式亦会对电场强度的分布和数值产生影响。如图 8 所示,为 1 000 kV 双回线路的简化仿真模型。导线型号为 8×LGJ-500/45,分裂导线等效半径为 0.52 m。这里分别对 ABC-A'B'C'、ABC-B'A'C'、ABC-A'C'B'、ABC-B'C'A'、ABC-C'A'B'以及 ABC-C'B'A'六种相序排列方式进行仿真。仿真结果如图 9 所示。各种相序布置情况下,线路下方最大场强值如表 5 所示。

由图 9 可知,1 000 kV 特高压输电线路双回架空线以同相序布置((即 ABC-A'B'C')线路下方场强值最大。逆相序排列时(ABC-A'B'C'),线路下方场强最小。其余相序布置时的场强介于两者之间。且按以上相序排列,依次减小。采用逆相序排列时可由同相序排列时的最大电场强度 10.70 kV/m 降为 8.58 kV/m,降低了 2.12 kV/m。因此在采用双回路输电时,尤其在人口密集区,输电线路应尽量采取逆相序排列方式。

### 7 接地避雷线的影响分析

接地的避雷线对电场强度的影响程度与避雷线离相导线的距离以及相导线离开地面的高度有关。对前苏联相导线水平布置的模型进行了仿真,仿真结果见图 10。无地线时电场最大值为 9.71 kV/m,有地线时电场最大值减小为 9.63 kV/m,可以看出,地线对输电线路下方工频电场强度影响很小。

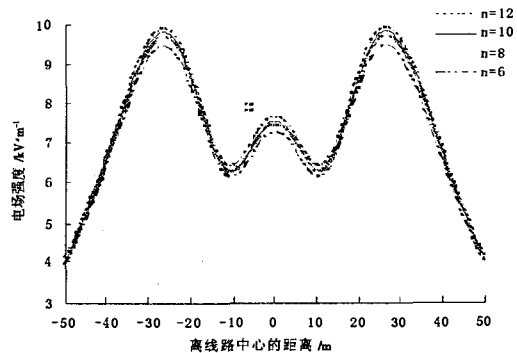


图 6 输电线路在不同相导线分裂根数时的电场强度横向分布

Fig.6 Horizontal distribution of the electric field intensity with different quantities of splitting phase wires

表 3 对应不同相导线分裂根数的  $E_{\max}^{1.5m}$  值  
Tab.3 The value of with different quantities of splitting phase wires

分裂根数	6	8	10	12
$E_{\max}^{1.5m} / \text{kV} \cdot \text{m}^{-1}$	9.46	9.71	9.81	9.91

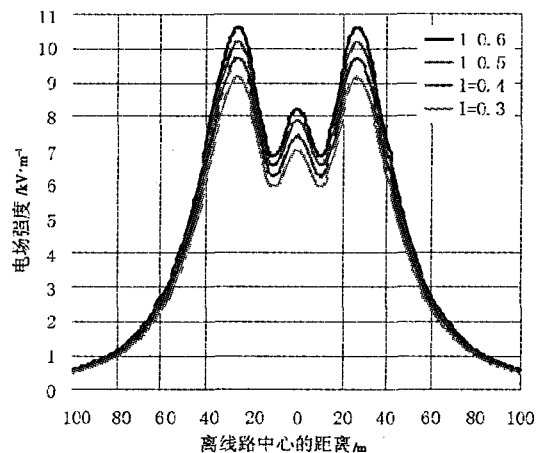


图 7 1000kV 输电线路分裂间距不同时电场强度的横向分布图

Fig.7 Horizontal distribution of the electric field intensity with different split distance of the wires of 1 000 kV

表 4 1 000 kV 线路不同分裂间距的  $E_{\max}^{1.5m}$   
Tab.4 The value of  $E_{\max}^{1.5m}$  with 1000kV wires to the different split distance

分裂间距/m	0.3	0.4	0.5	0.6
$E_{\max}^{1.5m} / \text{kV} \cdot \text{m}^{-1}$	9.16	9.71	10.19	10.61

### 8 结束语

在解决输电线路工频电场对环境影响方面,各国的做法相差很大,除技术措施以外还与国情及政府行为等因素有关,需根据我国的具体国情确定解决方案。从本文的分析可知:升高相导线对地高度、减小相间距离、减少分裂根数、缩短分裂间距、选择小截面子导线均是减小地面场强的应对策略,其中相导线对地高度对地面场强的影响最大,通过抬高相导线架设高度来控制地面场强的效果最为明显。

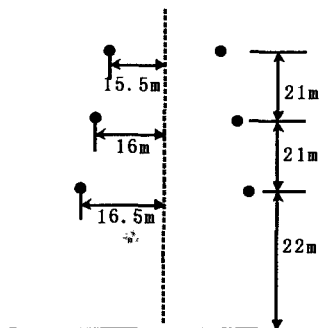


图 8 1 000 kV 同塔双回路输电线路仿真模型示意图

Fig.8 Simulation model of double-loop wires with 1 000 kV in the same tower

表 5 1 000 kV 双回路对应各种相序的  $E_{max}^{1.5m}$   
Tab.5 The value of  $E_{max}^{1.5m}$  with 1 000 kV Double-loop wires to the different phase sequences

相序布置方式	$E_{max}^{1.5m}$ ( $\mu T$ )
ABC-A'B'C'	10.70
ABC-B'A'C'	10.58
ABC-A'C'B'	9.51
ABC-B'C'A'	9.23
ABC-C'A'B'	9.23
ABC-C'B'A'	8.58

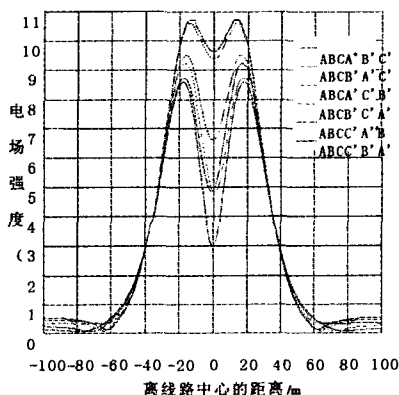


图 9 1 000 kV 双回路输电线路不同相序排列情况下的电场强度横向分布图

Fig.9 Horizontal distribution of the electric field intensity with different phase sequence of the wires of 1 000 kV

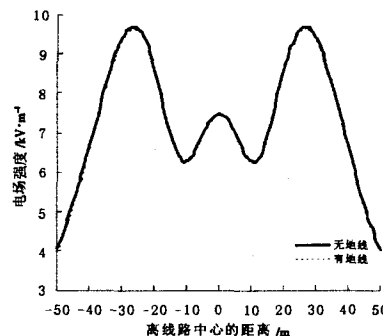


图 10 1 000 kV 特高压水平分布有、无地线时的电场强度的横向分布

Fig.10 Horizontal distribution of the electric field intensity of the wires of 1 000 kV with ground wires or not

### 参考文献:

- [1] 周 浩. 发展我国交流特高压输电的建议[J]. 高电压技术, 1996, 22(1): 25-27.
- [2] 郑健超. 关于我国交流输电更高一级电压的选择[J]. 辽宁电机工程报, 1995, 5(1): 51-56.
- [3] 周 浩, 余宇红. 我国发展特高压输电中一些重要问题的讨论[J]. 电网技术, 2005, 29(12): 1-9.
- [4] "Magnetic Fields from Electric Power Lines Theory and Comparison to Measurements" A Report of the IEEE Magnetic Fields Task Force of the AC Fields Working Group of the Corona and Field Effects Subcommittee of the Transmission and Distribution Committee. IEEE Trans. on Power delivery[J]. 1988, 3(4): 2 127-2 136.
- [5] FRIEDLANDER, GORDON D. UHV: onward and upward [J]. IEEE Spectrum, 1977, 14(2): 56-65.
- [6] PARIS L. Future of UHV transmission lines[J]. IEEE Spectrum, 1969, 6(9): 44-51.
- [7] SCHERER H N. VASSELL G S. Transmission of electric power at ultra-high voltages: current status and future prospects[J]. proceeding of the IEEE, 1985, 73(8): 1 252-1 278.