

500 kV 双回输电线路转角塔附近屋顶畸变电场分析

黄明祥¹, 卞宏志¹, 林奕夫¹, 王一霏², 杨冬阳², 傅正财²

(1. 国网福建省电力有限公司经济技术研究院, 福建 福州 350001;

2. 电力传输与功率变换控制教育部重点实验室(上海交通大学), 上海 200030)

摘要:同塔双回输电线路转角塔附近的民房屋顶空间工频电场畸变严重,是制约输电工程规划、设计和环保评价的重要因素。文中建立了500 kV双回输电线路转角塔附近空间工频电场的仿真模型,通过仿真计算与实测数据对比验证了模型的有效性,分析了影响屋顶电场畸变的因素,并按电场暴露限值标准推算房屋距线路的安全距离。研究表明,房屋距离线路的三维距离越近,电场越集中,房屋屋顶的暴露场强畸变越严重。房屋高度对电场的影响随距离增大而减小。最后给出了不同线路转角情况下转角塔附近不同高度房屋的安全距离,可为500 kV双回输电线路的工程规划、设计和环境影响评价提供参考。

关键词:500 kV双回输电线路;转角塔;工频电场;畸变电场;安全距离

中图分类号:TM723

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2019)03-0140-06

0 引言

随着国民经济的快速发展,社会用电需求不断增加,超、特高压输电线路的电磁环境影响问题也越来越受关注^[1-5]。特别是随着沿线居民房屋高度和密度的提升,房屋屋顶上的工频电场畸变尤为严重,成为制约线路工程规划、设计和环保评价的重要因素^[6]。

国内外已对超、特高压交流输电线路附近的电磁环境进行大量研究^[7-16]。文献^[7-8]研究输电线路附近无房屋时的电磁环境影响因素及其防护对策;文献^[9]计算波黑400 kV输电线路周围的电场分布;文献^[10-13]计算不考虑杆塔及线路转角情况下,输电线路跨越或邻近房屋时屋顶的畸变工频电场;文献^[14-15]研究了典型同塔双回交流输电线路相序布置、导线类型、导线对地高度等对地面工频电场的影响;文献^[16]计算了架空输电线路杆塔周围的电场。但已有文献对较复杂的线路转角塔附近房屋周围的畸变电场研究较少。与常规直线塔相比,转角塔的特殊结构和线路转向会导致电场畸变更严重,特别是线路跨越、邻近房屋时,房体的钢混结构增强了其电磁耦合能力,致使转角塔附近房屋周围的电场问题更为突出。根据对某核电站500 kV送出线路工程的调研,转角塔附近房屋屋顶上出现了疑似工频电场超标。因此,有必要进一步分析转角塔附近房屋屋顶的电场分布。

文中依据调研实例搭建了500 kV双回输电线路

转角塔-房屋结构的三维仿真模型,应用有限元仿真软件INFOLYTICA计算分析转角塔附近房屋屋顶的电场分布及其畸变特征。通过对比屋顶电场的仿真与现场实测结果,验证仿真模型的有效性。随后基于所建立的转角塔-房屋结构的三维仿真模型研究线路转角、房屋高度和房屋距线路的距离等因素对屋顶电场畸变的影响。通过大量仿真结果估算出在不同线路转角情况下不同高度房屋距线路的安全距离,为500 kV双回输电线路工程的规划、设计和环境影响评价提供参考。

1 畸变电场计算方法与软件

高压交流输电线路附近的工频电场分布多采用模拟电荷法计算^[17]。但线路附近存在房屋或其他介质时,电场在空气与房屋介质交界面处发生畸变,通常采用有限元法计算屋顶的畸变电场^[18-19]。由于线路附近的工频电场属于准静态场^[20],可以采用静电场求解方法。故线路附近的静电场满足:

$$E = -\nabla\varphi \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\varepsilon \frac{\partial \varphi}{\partial z}) = 0 \quad (2)$$

式中: φ 为电位函数; ε 为相对介电常数。

在输电线路电极的边界上:

$$\varphi|_{\Gamma_1} = u_c(s) \quad (3)$$

式中: u_c 是电极边界 Γ_1 上的激励函数; s 为位置矢量。

在介质分界面 Γ_2 上:

$$\begin{cases} \varphi_1 = \varphi_2 \\ \varepsilon_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial n} = \varepsilon_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial n} \end{cases} \quad (4)$$

式中: \mathbf{n} 为边界的外法向量。

然后,把计算域离散剖分为有限个互不重叠且相互连接的单元,在每个有限元单元内选择基函数,基函数由单元电位变量和形状函数构成,利用迦辽金加权余量法求解单元内的形状函数 N_i 。

$$(R_{er}(\varphi), N_i) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

式中: $R_{er}(\varphi)$ 为近似解在控制方程中产生的误差余量。

用单元基函数的线形组合来逼近单元中的真解,整个计算域上总体的基函数看成由每个单元基函数组成,则整个计算域内的解可以看作是由所有单元上的近似解构成。设单元数为 n ,则由单元电位变量 φ_i 和形状函数 N_i 表示的电位 φ 为:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n N_i \varphi_i \quad (6)$$

应用有限元方法时,须保证计算域有界,即建立空气包人为设定计算边界,设置边界电位为零。为保证计算精度,空气包的设置需足够大,并注意关键区域的电场剖分足够精细。

文中基于有限元仿真软件 INFOLYTICA 中的 ElecNet 电场分析模块仿真线路附近房屋屋顶上的工频电场。

2 建模与验证

2.1 仿真建模

模型的建立依据某核电站 500 kV 送出线路工程调研中的典型转角线路,以 58 号转角塔及其附近房屋为案例。该房屋与线路的相对位置如图 1 所示。该线路导线采用 4×JL/LB20A-720/50 型铝包钢芯铝绞线。转角塔为 5SJG3173 型转角耐张塔,转角范围 40°~60°,塔高 64 m,最下层导线距地面高度为 30 m。绝缘子采用 U420B/205 型瓷绝缘子。房屋为钢混结构,尺寸为 10 m×8 m×15 m(高),屋顶围墙高度 1.2 m、宽 0.4 m。据此建立的转角塔-线路-房屋三维仿真模型如图 2 所示。

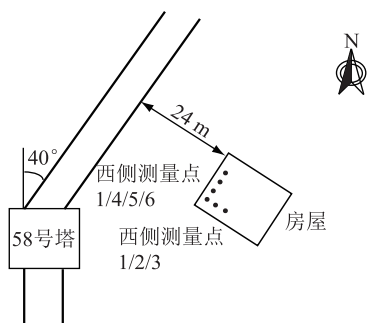


图 1 房屋与线路的相对位置俯视图

Fig.1 Relative position of the house and the line

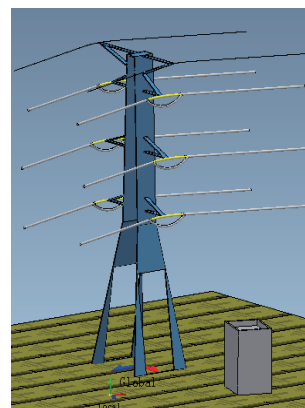


图 2 三维仿真模型

Fig.2 Three-dimensional simulation model

根据常见材料的物理参数,模型参数设置如表 1 所示。以线路额定相电压的 1.05 倍作为导线电极的激励电压,相序按工程实际情况。

表 1 仿真模型参数

Table 1 Parameter setting in the simulation model

| 名称 | 电导率 $/(S \cdot m^{-1})$ | 电阻率 $/(Ω \cdot m)$ | 相对介电常数 | 备注 |
|-----|----------------------------|-----------------------|--------|----------|
| 导线 | 3.54×10^7 | | | BCA 同相序 |
| 转角塔 | 1×10^7 | | | 线路转角 40° |
| 绝缘子 | | 2.49×10^{13} | 7.5 | 瓷绝缘子 |
| 房屋 | | 1×10^4 | 5 | 钢混结构 |

为保证仿真计算精度,在软件系统网格自动剖分的基础上,对空间电场测量位置关键区域进一步加密剖分(h-adaption),加密网格单元尺寸限制为不超过 250 mm。软件采用 Newton-Rapson 法解算方程,收敛次数设为 20,误差范围设为 1%,电位函数采用三阶近似多项式,收敛梯度设为 10^{-8} 。模型的网格剖分结果如图 3 所示。模型中采用等效半径导线代替分裂导线,并经过试算验证等效半径法的处理对计算结果的影响可以忽略不计。

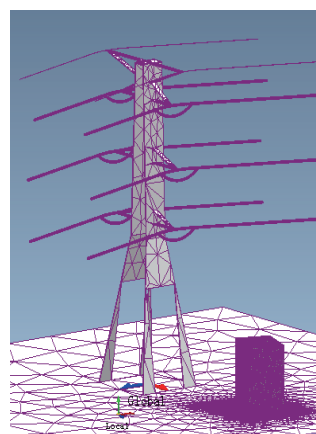


图 3 模型的网格剖分

Fig.3 Mesh generation of the model

2.2 模型验证

输电线路周围的工频电场是三相电压叠加作用的结果,空间中任一点场强的大小和方向是周期时变的。由于大地的作用,地面上方的局部空间电场近似均匀分布,且随着距输电线路距离的增加快速衰减。但地面上房屋的存在会改变原有电场分布,房屋上的感应电荷也会增强原电场,使电力线集中在房屋边缘尖角处,表现出显著的电场畸变和曝露电场增大。文中通过仿真计算和现场测量对比研究屋顶电场的畸变情况,进而验证仿真模型的有效性。

通过仿真计算得屋顶上方观测面(即屋顶上方1.5 m处平面)的工频电场分布如图4所示,从图中可以看出屋顶靠近线路侧电场值较高,并且在边缘位置(即围墙上方)电场严重畸变,在屋顶西南角围墙的外沿处畸变电场最大,达到8.1 kV/m。

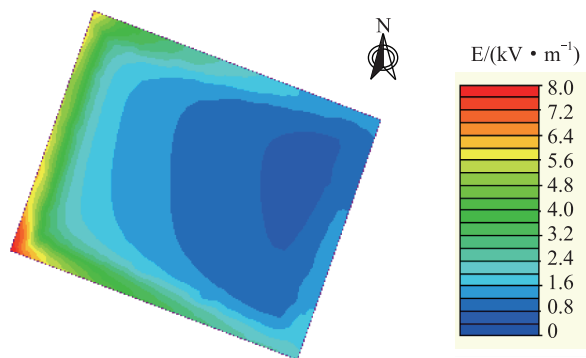


图4 屋顶上方观测面的工频电场分布

Fig.4 Distribution of power frequency electric field on the rooftop

图1中的测量点1~6是现场实测点,提取图4中测量点所在直线上的仿真数据,得到屋顶西侧(宽8 m)和南侧(长10 m)的工频电场分布曲线如图5所示。可以看出屋顶空间电场在围墙处畸变严重,两曲线上的最大畸变场强分别达到6.4 kV/m和5.7 kV/m,交点处场强为2.5 kV/m。由于屋顶西侧较南侧靠近线路,西侧整体电场值高于南侧。

现场实测时,采用经计量校准的电场仪按标准测量方法进行测量,测点布置如图1所示,测量点距围墙内侧1 m,距屋顶1.5 m,测量点间隔为1 m。整理得到测量点上的仿真与实测数据如表2所示。

仿真与实测数据均表明靠近输电线路转角塔一侧的屋顶围墙拐角处场强最高,电场畸变最严重。分析现场测点分布以及房屋和线路的相对位置,实测数据与仿真数据均与理论预测相符。从表2可见,实测与仿真数据间的相对偏差均小于4%,验证了所建仿真模型的有效性。

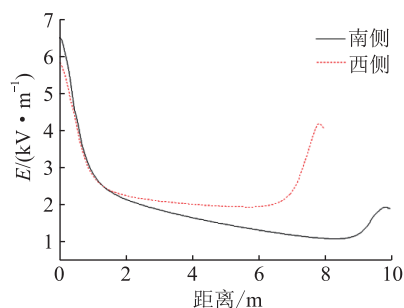


图5 屋顶西侧和南侧观测线上的工频电场分布
Fig.5 Distribution of power frequency electric field on the west side and south side on the rooftop

表2 仿真与实测数据对比

Table 2 Comparison between simulated and measured data

| 位置 | 实测数据/ (kV·m ⁻¹) | 仿真数据/ (kV·m ⁻¹) | 实测与仿真 偏差/% |
|----|--------------------------------|--------------------------------|---------------|
| 1 | 2.56 | 2.47 | 3.52 |
| 2 | 2.11 | 2.03 | 3.79 |
| 3 | 1.84 | 1.78 | 3.26 |
| 4 | 2.26 | 2.17 | 3.98 |
| 5 | 2.13 | 2.06 | 3.29 |
| 6 | 2.03 | 1.98 | 2.46 |

3 电场分布仿真与畸变因素分析

线路转角塔附近房屋屋顶的畸变电场影响因素主要包括线路转角、房屋高度、房屋距线路距离、线路相序布置、房屋材料和形状等。从文献[14]和[15]可知双回线路同相序布置时线路附近场强最大,异相序次之,逆相序最小。据调研,村民自建房屋的材料不尽相同,屋顶结构形态各异,逐一建模不切实际。

前文实测过的房屋是该地区较为典型的民房,故以之作为典型代表进行仿真分析。采用单变量分析法,基于上述仿真模型,改变房屋与线路的相对位置和各影响因素参数,得到不同情况下房屋屋顶的电场分布,以研究各影响因素对转角塔线路附近房屋屋顶畸变电场的影响。

3.1 线路转角对屋顶畸变电场的影响

固定房屋高度和距线路距离分别为15 m和10 m,当线路转角分别为40°,50°,60°时,仿真计算得到屋顶西侧测量线上的工频电场分布如图6所示。从图6可知,屋顶的畸变电场随线路转角的增大而升高,但变化并不显著,对应测点1处的场强从5.8 kV/m增加到6.4 kV/m。

3.2 房屋高度对屋顶畸变电场的影响

固定线路转角和房屋距线路距离分别为40°和

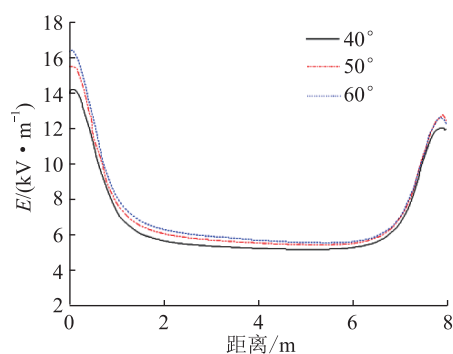


图6 线路转角对屋顶畸变电场的影响

Fig.6 The impact of turning angle on the rooftop distorted electric field

10 m。参考相关政策^[21],考虑房屋每层楼高 3 m,当房屋分别为 3 层、4 层、5 层、6 层楼高时,仿真计算得到屋顶西侧测量线上的工频电场分布如图 7 所示。从图 7 可知,屋顶上方的畸变电场随房屋高度的升高而增大,对应测点 1 处的场强从 4.2 kV/m 增加到 6.5 kV/m。

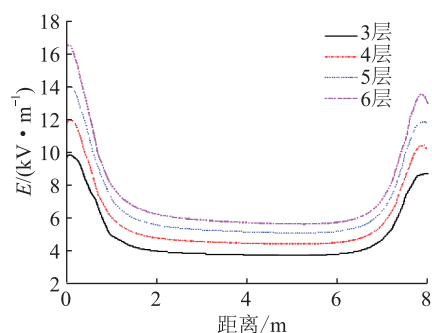


图7 房屋高度对屋顶畸变电场的影响

Fig.7 Impact of house height on the rooftop distorted electric field

3.3 房屋距线路距离对屋顶畸变电场的影响

固定线路转角和房屋高度分别为 40°和 15 m,当房屋距线路(房屋边界线距转角塔近侧线路的最小水平距离)分别为 5 m,10 m,15 m 和 20 m 时,仿真计算得到屋顶西侧测量线上的工频电场分布如图 8 所示。

从图 8 可知,屋顶上方的畸变电场随房屋距线路距离的增加而减小,对应测点 1 上的场强从 7.6 kV/m 减小到 2.7 kV/m。

房屋屋顶空间的电场强度与 2 条线路的相对距离均有关,线路转角越大代表了转角塔远侧线路距房屋的距离越近;此外房屋越高,房屋在垂直空间上距线路也越近。因此联合房屋高度和房屋距双侧线路距离的仿真分析,可得到房屋距离线路的三维距离越近,电场越集中,对房屋屋顶的电场畸变影响越严重的结论。

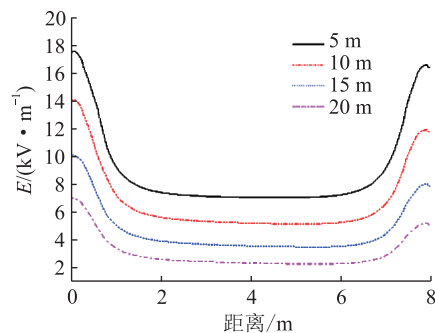


图8 房屋距线路距离对屋顶畸变电场的影响

Fig.8 Impact of house to line distance on the rooftop distorted electric field

4 基于畸变电场仿真的房屋安全距离推算

屋顶天台是居民日常可能活动的场所,因此是工频电场需要控制的范围。我国相关标准给出了输电线路与房屋间所需的水平安全距离,此安全距离尚未考虑到由于房屋的存在而带来的电场畸变。与直线塔线路相比,转角塔线路周围的电场更高。因此,有必要讨论转角塔线路附近房屋的安全距离。我国工频电场公众曝露限值为 4 kV/m^[22]。考虑 5%的裕度,在此以 3.8 kV/m 作为房屋距线路安全距离的推算依据。由于双回线路同相序布置时附近场强最高,因此按同相序条件推算安全距离,以使之对任意相序排列的线路均适用。依据测量标准^[23]对屋顶上方应考虑的所有测量点进行仿真计算,并提取畸变电场的最大值,得到当线路转角为 60°时,转角塔附近 3 层、4 层、5 层、6 层房屋屋顶上方测量点上随房屋位置变化的最大畸变电场分布如图 9 所示。当线路转角为 40°和 50°时,转角塔附近 3 层、4 层、5 层、6 层房屋屋顶上方测量点随房屋位置变化的最大畸变电场分布与图 9 类似,只是所有电场强度大小随着线路转角的减小而有所减小。当房屋距离线路 5 m,线路转角为 40°,50°,60°时,6 层房屋屋顶上方测量点上的最高电场分别为 9.2 kV/m,9.86 kV/m,10.27 kV/m。

从图 9 可以直观地看出屋顶畸变电场随着房屋位置和高度的趋势。当房屋邻近线路时,高层房屋屋顶的畸变电场较高,但随着距线路距离增加畸变电场下降得也较快;距线路较远时,较高房屋与较低房屋的屋顶场强相差不多。通过仿真分析可知,输电线路转角的增加会整体提高线路附近屋顶的电场强度,但在转角塔的转角设计允许范围内,转角实际对屋顶畸变电场的影响已经不大。综上分析可见,当房屋邻近线路时,房屋高度是影响屋顶畸变电场的主要因素;而当房屋距线路较远

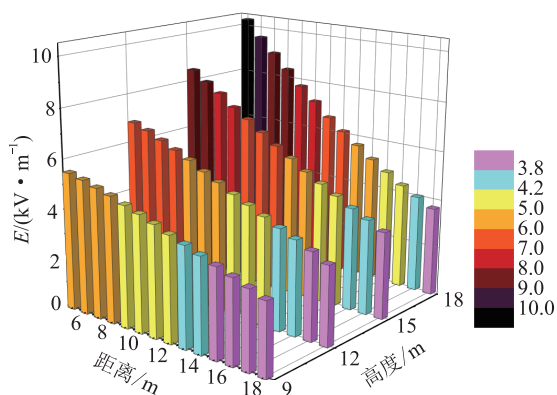


图9 屋顶畸变电场随线路距离和房屋高度变化

Fig.9 Histogram of rooftop distorted electric field under different house height and line distance

时,房屋距线路的距离是影响屋顶畸变电场的主要因素,线路转角对屋顶畸变电场影响实际很小。

图中浅蓝色部分的电场强度为 $3.8\sim 4.2\text{ kV/m}$ (处于我国工频电场标准限值 4 kV/m 的临界范围),粉色部分的电场强度低于 3.8 kV/m ,可认为满足电场控制安全距离要求。通过上述仿真和分析,可以推算出 500 kV 双回输电线路转角塔附近3层、4层、5层和6层房屋分别在线路转角为 40° 、 50° 、 60° 时,所对应的电场控制安全距离,如表3所示。

表3 推算的房屋距线路的安全距离

Table 3 Estimated control distance between the house and the line

| 线路转角 / $^\circ$ | 安全距离/m | | | |
|--------------------|--------|---------|---------|---------|
| | 3层(9m) | 4层(12m) | 5层(15m) | 6层(18m) |
| 40 | 12 | 15 | 16 | 17 |
| 50 | 14 | 16 | 17 | 18 |
| 60 | 15 | 17 | 18 | 18 |

表3是基于此型式转角塔在允许转角内并保证5%裕度的情况下推算出的其附近房屋的安全距离。实际输电线路中转角塔转角一般小于 60° ,由前文分析可知转角塔附近的屋顶畸变电场随线路转角的增大而增大,因此,此安全距离推算结果基本适用于各种转角塔线路附近房屋的工频电场水平控制。

5 结论

文中建立了 500 kV 双回输电线路转角塔附近屋顶空间的工频电场仿真模型,经仿真与实测结果的对比,验证了仿真模型的有效性,分析了屋顶畸变电场的分布和影响因素,推算了转角塔附近房屋距线路的建议安全距离,得到以下结论:

(1) 房屋距离线路的三维距离越近,对房屋屋

顶的曝露场强畸变影响越严重。当房屋高度为6层,房屋距线路水平距离为 5 m ,线路转角为 60° 时,房屋距离线路的三维距离过近,此时屋顶测点上的畸变电场强度可达 10.27 kV/m ;当房屋高度为3层,房屋距线路水平距离为 18 m ,线路转角为 40° 时,房屋距离线路的三维距离足够远,此时屋顶测点上的畸变电场强度在 2.63 kV/m 以内。当距线路水平距离达到 18 m 以上,在《农村住房建设技术政策(试行)》规定的范围内,房屋高度引起的屋顶电场变化可以忽略。

(2) 房屋的存在会严重畸变输电线路附近的工频电场。考虑5%的曝露限值裕度,得到转角塔附近有房屋存在时不同线路转角情况下的安全距离,可供 500 kV 双回输电线路工程在规划、设计和环境影响评价工作中参考。

本文得到国网福建省电力有限公司科技项目(SGFJJY00JSQ1800023)资助,谨此致谢!

参考文献:

- [1] 刘振亚. 特高压交流输电工程电磁环境[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
LIU Zhenya. Electromagnetic environment of UHV AC transmission engineering [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2008.
- [2] 舒印彪, 胡毅. 交流特高压输电线路关键技术的研究及应用[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(36): 1-7.
SHU Yinbiao, HU Yi. Research and application of the key technologies of UHV AC transmission line [J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(36): 1-7.
- [3] 赵志斌, 董松昭, 谢辉春. 特高压交流同塔双回输电线路邻近建筑物时畸变电场研究[J]. 高电压技术, 2012, 38(9): 2171-2177.
ZHAO Zhibin, DONG Songzhao, XIE Huichun. Distorted electric field of the building near UHVAC double circuit transmission lines on the same tower [J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(9): 2171-2177.
- [4] 吴桂芳, 陆家榆, 邵方殷. 特高压等级输电的电磁环境研究[J]. 中国电力, 2005, 38(6): 24-27.
WU Guifang, LU Jiayu, SHAO Fangyin. Research on electromagnetic environment of the next voltage level of transmission system in china [J]. Electric Power, 2005, 38(6): 24-27.
- [5] 潘茜雯, 罗日成, 唐祥盛, 等. 500 kV 同塔双回紧凑型输电线路电磁环境分析[J]. 高压电器, 2017(11): 183-190.
PAN Qianwen, LUO Richeng, TANG Xiangsheng, et al. Analysis on electromagnetic environment of 500 kV compact transmission line with double circuits on the same tower [J]. High Voltage Apparatus, 2017(11): 183-190.
- [6] 刘震寰, 郭雄, 张广洲, 等. 特高压同塔双回交流输电线路邻近民房处电场计算[J]. 高电压技术, 2009, 35(8): 1849-1855.

- LIU Zhenhuan, WU Xiong, ZHANG Guangzhou, et al. Calculation and analysis of the electric field intensity of the building near the ultra high voltage two circuit AC transmission line on one tower [J]. High Voltage Engineering, 2009, 35 (8): 1849-1855.
- [7] 黄学良, 王瑜, 闻枫. 1 000 kV/500 kV 同杆混压四回输电线路电磁环境影响因素及优化措施分析[J]. 高电压技术, 2015, 41(11):3642-3650.
HUANG Xueliang, WANG Yu, WEN Feng. Electromagnetic environment influence factors of quadruple-circuit transmission line with 1 000 kV/500 kV dual voltage on the same tower and optimization measures analysis [J]. High Voltage Technology, 2015, 41(11):3642-3650.
- [8] 王广周, 张嵩阳, 闫东, 等. 500 kV 超高压输电线路电磁环境影响因素分析及其防护对策[J]. 高压电器, 2010, 46(8): 93-96.
WANG Guangzhou, ZHANG Songyang, YAN Dong, et al. Analysis of influencing factors on electromagnetic environment under 500 kV ehv transmission lines with prevention strategies [J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(8): 93-96.
- [9] AMUJEZINOVI, A ARSIMAMOVI, S ARSIMAMOVI, et al. Electric field calculation around of overhead transmission lines in Bosnia and Herzegovina [C] // International Symposium on Electromagnetic Compatibility. IEEE, 2014: 1001-1006.
- [10] ZHU Jinglin. Analysis of power frequency electric field for the buildings under the high voltage overhead lines [C] // 20th International Conference on Electricity Distribution. Prague, Czech Republic, 2009.
- [11] 徐禄文. 输电线路跨越建筑物电场计算探讨[J]. 电力建设, 2011, 32(9): 42-46.
XU Luwen. Discussion electric field calculation for power lines over building [J]. Electric Power Construction, 2011, 32(9): 42-46.
- [12] 张广洲, 邬雄, 万保权, 等. 邻近民房的输电线路电磁环境 [J]. 高电压技术, 2009, 35(4): 884-888.
ZHANG Guangzhou, WU Xiong, WAN Baoquan, et al. Electromagnetic environment of the transmission lines adjacent to residential buildings [J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(4): 884-888.
- [13] 吴桂芳, 谢莉, 王勋, 等. 交流输电线路附近民房曝露处工频电场计算[J]. 电网技术, 2015, 39(3): 873-879.
WU Guifang, XIE Li, WANG Xun, et al. Calculation of power frequency electric field around residential houses exposed to air near ac transmission lines [J]. Power System Technology, 2015, 39(3): 873-879.
- [14] 郭天伟, 罗日成, 潘茜雯, 等. 750 kV 同塔双回交流输电线路电磁环境分析[J]. 电力科学与技术学报, 2018, 33(1): 46-53 .
GUO Tianwei, LUO Richeng, PAN Qianwen, et al. Analysis of influencing factors ou electromagnetic environment under 750 kV ehv transmission lines with prevention strategies [J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2018, 33(1):46-53 .
- [15] 张佰庆, 谢伟, 康宇斌, 等. 500 kV 双回直线转角塔电场仿真分析[J]. 电力工程技术, 2015, 34(4): 63-66.
ZHANG Baiqing, XIE Wei, KANG Yubin, et al. Electric field simulation analysis on 500 kV double-line suspension angle tower [J]. Electric Power Engineering Technology, 2015, 34(4): 63-66.
- [16] DEIN A Z E. Calculation of the electric field around the tower of the overhead transmission lines [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2014, 29(2): 899-907.
- [17] SINGER H. A charge simulation method for the calculation of high voltage fields [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, 1974, 93(5):1660-1668.
- [18] 甘艳, 阮江军, 邬雄. 有限元法分析高压架空线路附近电场分布[J]. 高电压技术, 2006, 32(8): 52-55.
GAN Yan, RUAN Jiangjun, WU Xiong. Analysis of the electric field intensity nearby high voltage transmission line by fem [J]. High Voltage Technology, 2006, 32(8): 52-55.
- [19] 付克勤, 吉祥科, 张雄, 等. 500 kV 输电线路风偏特性的有限元分析[J]. 广东电力, 2017, 30(2): 123-128.
FU Keqin, GU Xiangke, ZHANG Xiong, et al. Finite element analysis on windage characteristic of 500 kV power transmission lines [J]. Guangdong Electric Power, 2017, 30(2): 123-128.
- [20] OLSEN R G, WONG P S K. Characteristics of low frequency electric and magnetic fields in the vicinity of electric power lines [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1992, 7(4): 2046-2055.
- [21] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 农村住房建设技术政策(试行) [J]. 建筑监督检测与造价, 2011(z2): 10-18.
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. Technical policy for rural housing construction (trial) [J]. Construction Supervision, Inspection and Cost, 2011(z2): 10-18.
- [22] 500 kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范: HJ/T 24—1998 [S].
Technical specification for electromagnetic radiation environmental impact assessment of 500 kV EHV transmission and Transformation Engineering: HJ/T 24—1998 [S].
- [23] 高压交流线路和变电站工频电、磁场测量方法: DL/T988—2005 [S].
Measurement methods of power frequency and magnetic field for high voltage AC lines and substations: DL/T988—2005 [S].

作者简介:



黄明祥

黄明祥(1971),男,学士,高级工程师,从事输变电工程技术与高电压技术工作(E-mail:726641691@qq.com);

卞宏志(1981),男,学士,工程师,从事电网规划与电磁环境工作;

林奕夫(1992),男,硕士,助理工程师,从事高电压技术与电网规划工作。

(下转第174页)

Continuation optimal power flow model based on Riemann integral

YUAN Yayun¹, ZHOU Weilin¹, YANG Yang², MA Yifeng¹, GE Qin¹

(1. State Grid Nantong Power Supply Company, Nantong 226000, China;

2. State Grid Taizhou Power Supply Company, Taizhou 225300, China)

Abstract: In the actual power system, the load changes at all times under the influence of various factors and it can be regarded as a continuous function. The development of smart grid makes continuous time data acquisition and generator control come true, so the continuous time load dispatching is imminent. However, the economy and security of the original static and dynamic optimal power flow are limited to some extent with considering the optimization of discrete functions. The Riemann integral method is applied to expand the optimal power flow, which consider continue time change of variables. A continuation optimal power flow model is established based on Riemann integral. The precision and efficiency of the algorithm is verified through the stimulation of IEEE 5-bus system. Simulation results show that a final optimal dispatching is found in the proposed model with all the chance constraints satisfied. Moreover, the active power outputs of generators flow the fluctuation of load well.

Keywords: Riemann integral; optimal power flow; multi-region; continuation power flow; communication constraint

(编辑 方晶)

(上接第 145 页)

The distorted electric field on rooftop near angle tower of 500 kV double circuit transmission lines

HUANG Mingxiang¹, BIAN Hongzhi¹, LIN Yifu¹, WANG Yifei², YANG Dongyang², FU Zhengcai²

(1. State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd. Economic Technology Research Institute, Fuzhou 350001, China;

2. Key Laboratory of Control of Power Transmission and Conversion(Shanghai Jiaotong University), Shanghai 200030, China)

Abstract: Power frequency electric field near the angle tower of double circuit transmission lines is seriously distorted, which becomes an important factor restricting the engineering design and environmental assessment of the transmission lines. This paper establishes a model for the simulation of power frequency electric field near the angle tower of 500 kV double circuit transmission lines. The validity of the model is verified by the comparison between simulation results and measured data. The distortion factors affecting the electric field on the rooftop are analyzed. Based on the electric field exposure limit, necessary control distance between the house and the transmission line is estimated. The results show that the closer the three-dimensional distance between the house and the line is, the more concentrated the electric field is and the more serious the distortion of the exposed field on the rooftop of the house is. The influence of house height on electric field decreases with distance increasing. Finally, the control distance between the houses and the lines under different house heights and turning angles is suggested, which could be referred in the planning and design of transmission lines.

Keywords: 500 kV double circuit transmission line; angle tower; power frequency electric field; distorted electric field; control distance

(编辑 方晶)