

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.023

# 交直流同走廊输电线路地面电场研究

李倩<sup>1</sup>, 刘俊翔<sup>2</sup>

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663;  
2. 广州供电局有限公司 电力试验研究院, 广州 510410)

**摘要:** 研究交直流同走廊输电线路的地面电场对于评估输电线路周围的电磁环境具有重要意义。然而目前的研究中多不考虑交直流导线电荷间的相互影响。采用计及此相互影响的方法计算交直流同走廊的地面电场。实例对比表明本文算法可靠。在此基础上, 进一步分析了子导线半径、子导线分裂数、天气状况和导线空间布置方式的影响。结果表明: 增加子导线半径, 增大子导线分裂数, 采用直流线路正极性靠近交流线路的空间结构等措施均可以有效减小同走廊输电线路空间电场; 雨天时的地面电场显著增加, 应予特别关注。

**关键词:** 同走廊线路; 相互影响; 雨天; 天气状态

中图分类号: TM726

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)S1-0107-05

## Research on the Total Electric Field Under HVAC-HVDC Adjacent-tower Hybrid Transmission Lines

LI Qian<sup>1</sup>, LIU Junxiang<sup>2</sup>

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;  
2. Electric Power Testing and Research Institute, Guangzhou Power Supply Bureau Co., Ltd., Guangzhou 510410, China)

**Abstract:** The analysis on the total electric field under the HVAC-HVDC adjacent-tower hybrid transmission lines plays an important role in evaluating the electromagnetic environment nearby. However, few existing research considers the mutual effect of HVAC-HVDC hybrid transmission lines. This paper which considers the mutual effect calculates the total electric field. By comparing the results generated by the calculation with those in published literature, we consider the program reliable. This paper analyzes the influence of sub-conductor radius, sub-conductor splitting number, weather condition and space arrangement of lines. The results show that the total electric field can be effectively reduced by increasing the radius, increasing the splitting number, using the space arrangement with the positive polar closing to AC line. A significant increase in the total electric field on rainy condition should be given special attention.

**Key words:** adjacent-tower hybrid line; mutual effect of HVAC-HVDC; rainy condition; weather condition

随着我国电力系统全国联网、西电东送、南北互供工程的实施, 以及国家特高压骨干电网的建设, 我国电网将形成大容量交直流并列运行的格

局。由于输电线路走廊资源的紧缺, 特高压直流线路与特/超高压交流线路平行架设或共用走廊已不可避免<sup>[1-7]</sup>。

输电线路周围的地面电场一直是电磁环境评估关注的主要问题之一, 地面电场对合理确定输电走廊宽度和地面高度非常重要<sup>[2-3]</sup>。对于交直流同走廊输电线路, 空间既存在由交流线路产生的电场, 也存在由直流线路产生的电场。交流导线表面电场含有直流导线电荷产生的偏置, 这种偏置可导致交流导线表面电场正负半波不对称。同样, 直流导线

收稿日期: 2015-06-11

基金项目: 中国能建广东院科技项目“1000 kV 特高压交流输电线路绝缘配置研究”(EX02291W)

作者简介: 李倩(1985), 女, 宁夏银川人, 工程师, 硕士, 主要从事输电线路电磁暂态仿真与分析、线路过电压与绝缘配合的研究工作(e-mail)liqian1209@163.com。

表面电场也含有交流导线电荷产生的纹波,这种纹波会导致直流导线在低于正常起晕电压时即可起晕<sup>[1-2,5-8]</sup>。交直流导线电荷间的相互作用影响离子流密度、地面电场强度等。因此在计算地面电场的时候应予以考虑。

本文在计算同走廊线路的地面电场时充分考虑了交流和直流输电线路电荷之间的相互影响,并对计算结果的有效性进行验证。在此基础上,分析了子导线半径、子导线分裂数、天气状况和导线空间布置方式的影响。

## 1 计算方法有效性验证

交直流混合输电线路地面电场由交流工频电场瞬时值和直流合成电场叠加得到<sup>[1-2,5-8]</sup>。

本文编制程序计算了文献[9]中的算例,线路结构尺寸如图1所示。交流线路电压等级为500 kV,采用4×LGJ-400/35型号导线,直流线路电压为±800 kV,采用6×LGJ-720/50型号导线;分裂间距均为450 mm,地线型号均采用JLB4-150,交直流线路中心距离40 m。

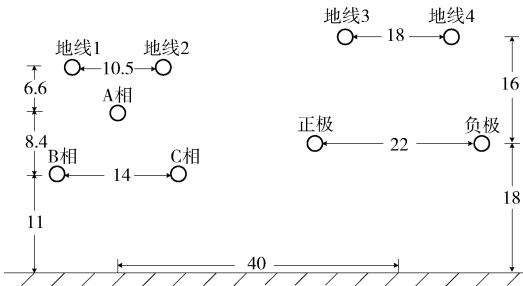


图1 交直流并行线路结构尺寸

Fig. 1 Adjacent-tower hybrid line configuration

针对上述的线路结构,程序计算结果如图2所示。计算结果暂不考虑直流线路正负极起晕差异。坐标原点为交流线路杆塔中心,坐标正半轴横向40m处为直流线路杆塔中心,地面电场指离地1m处的电场,取绝对值。

由图2可知,直流线路地面电场在同走廊线路地面电场中所占的比例远远大于交流线路;同走廊线路地面电场最大值出现在靠近直流线路附近。程序计算结果与文献[9]中数据变化趋势一致,但数值普遍偏大,地面电场最大值增幅达19%。本程序计算时充分考虑了交直流线路电荷间的相互影响,考虑较文献[9]更为全面。

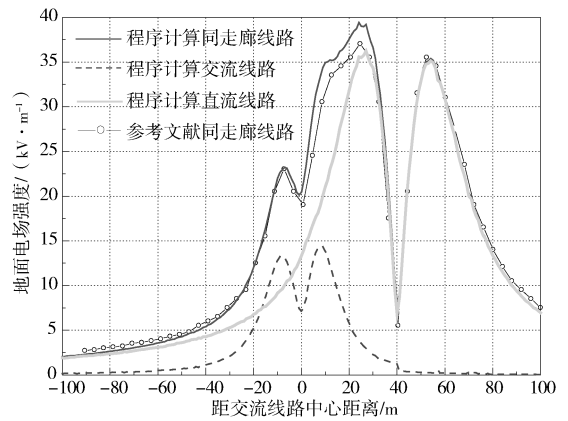


图2 交直流同走廊线路地面电场分布

Fig. 2 Lateral profile of total electric field

当计及交直流线路间由电荷产生的交流纹波和直流偏置的影响时,导线表面电场增大。对直流线路而言,当导线表面电场增大时,线路电晕现象增强,在直流线路周围产生的空间电荷也随之增多,空间电荷对地面电场的影响增强,这会直接导致直流线路下地面合成电场加强。而直流线路地面电场在交直流并行线路地面电场中所占的比例较大,因而直流线路下地面合成电场的加强会使交直流同走廊线路下地面电场的增大。交直流线路电荷间的相互影响增大了地面电场,计算时应予以考虑。

## 2 子导线半径的影响

在上述案例中,仅改变交流线路子导线半径,同走廊线路地面电场的影响如图3所示。

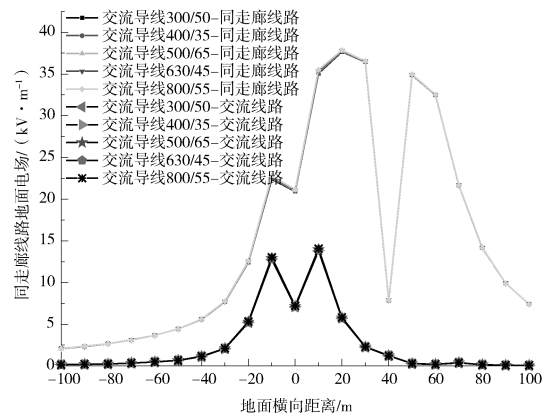


图3 改变交流线路子导线半径的影响

Fig. 3 Influence of sub-conductor radius of AC line

由图3可知,当交流线路子导线半径在12.13~19.20 mm之间变化时,同走廊线路中交流线路地面电场变化很小,同走廊线路地面电

场也变化很小。

交流线路由于极性是时变的, 它的表面电场大小对空间电荷的影响很小, 故而随着交流线路子导线半径增大, 同走廊线路地面电场变化很小。

在上述案例中, 改变直流线路子导线半径, 同走廊线路地面电场的影响如图 4 所示。可知, 当固定其他参数、直流子导线半径由 12.13 mm 增大至 19.20 mm 时, 同走廊线路地面电场降低, 地面电场最大值由 44.4 kV/m 下降到 36.4 kV/m。

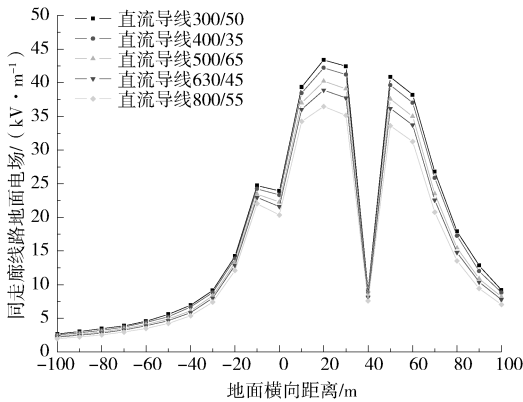


图 4 改变直流线路子导线半径的影响

Fig. 4 Influence of sub-conductor radius of DC line

在线路电压不变的情况下, 增大子导线半径, 一方面会使子导线自电系数减小, 从而使导线所带电荷增加, 导致导线表面电场成对数关系增大; 另一方面由于电场与距离成反比, 会导致导线表面电场成线性关系减小。电场成对数关系增大的程度小于电场成线性关系减小的程度, 因而导线表面最大电场随着子导线半径的增加而最终减小。直流导线表面电场减小会导致同走廊线路的电晕活动减弱, 空间电荷减少, 由空间电荷产生的电场也随之减小。

### 3 子导线分裂数的影响

在上述案例中, 仅改变交流线路子导线分裂数, 同走廊线路地面电场的影响如图 5 所示。

由图 5 可知, 当交流线路子导线分裂数分别为 2、4、6、8 时, 同走廊线路地面电场分布随着交流子导线分裂数的增加而略有增加, 地面电场最大值由 36.4 kV/m 上升到 39.4 kV/m。

交流线路由于极性是时变的, 它的表面电场大

小对空间电荷的影响很小, 但随着交流线路子导线分裂数的增大, 同走廊线路地面电场略有增加, 表明交流纹波和直流偏置的影响不能忽略。

在上述案例中, 改变直流线路子导线分裂数, 同走廊线路地面电场的影响如图 6 所示。

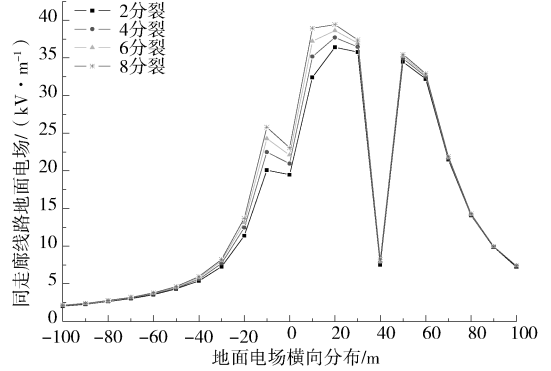


图 5 改变交流线路子导线分裂数的影响

Fig. 5 Influence of sub-conductor splitting numbers of AC line

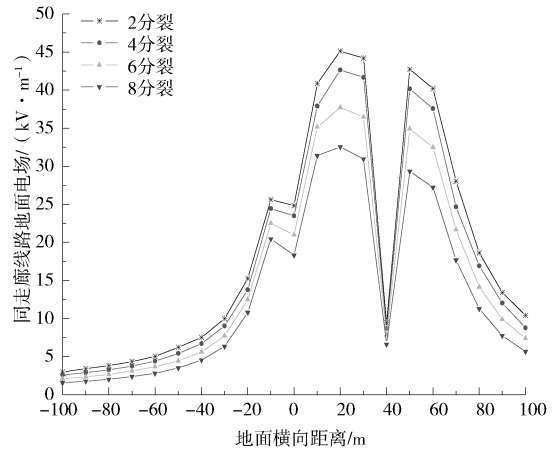


图 6 改变直流线路子导线分裂数的影响

Fig. 5 Influence of sub-conductor splitting numbers of DC line

由图 6 可知, 当直流线路子导线分裂数分别为 2、4、6、8 时, 同走廊线路地面电场分布随着直流子导线分裂数的增加而减小, 地面电场最大值由 45.1 kV/m 下降到 32.5 kV/m。

随着子导线分裂数的增加, 导线等效半径也增大, 导线表面电场减小。与子导线半径变化的情况一致, 直流导线表面电场减小会导致同走廊线路的电晕活动减弱, 空间电荷减少, 由空间电荷产生的电场也随之减小。

### 4 天气状况的影响

在上述案例中, 天气状况对同走廊线路表面电

场和地面电场的影响如图7所示。天气状况考虑好天气和雨天两种,其中好天气包括晴天(对应干导线)和空气湿度较大但未形成雨滴的天气(对应湿导线)。

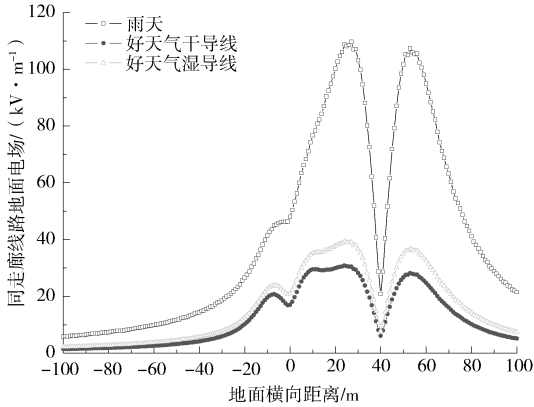


图7 不同天气状况下同走廊线路地面电场分布  
Fig. 7 Lateral profile of total electric field with different weather conditions

由图7可知,不同天气状况对同走廊线路地面电场影响很大。晴天(对应好天气干导线)时,地面电场最小,最大值仅有30.9 kV/m;空气湿度较大但未形成雨滴(对应好天气湿导线)时,地面电场次之,最大值达到39.4 kV/m;雨天时,同走廊线路的地面电场最大,最大值达到109.7 kV/m。雨天时的地面电场最大值约为好天气下湿导线的地面电场的2.8倍,约为好天气下干导线的地面电场的3.6倍。

地面电场由地面标称电场和空间电荷产生的电场共同作用而成。下雨时,导线表面的粗糙程度增加,起晕电场值降低,在较低的导线表面电场值下容易起晕,同样的电压等级下会产生更多的空间电荷,空间电荷产生的电场增强;同时雨滴的存在,增强了导电性也会增强地面标称电场;再者,导线下方空间充满雨滴,雨滴会吸附电荷<sup>[11]</sup>,一定程度上又增强了地面电场。由此可见,雨天时地面电场会明显增强。在空气湿度较大但未形成雨滴的天气下,导线表面湿润,会使粗糙程度增强,从而产生的地面电场比晴天干燥导线情况下的值要大。因此,应特别关注雨天时的地面电场。

## 5 导线空间布置方式的影响

在上述案例中,考虑直流线路正负极性的起晕

差异后,改变靠近交流线路的直流线路极性,同走廊线路地面电场的计算结果如图8所示。

由图8可知,当直流线路正极性靠近交流线路时,同走廊线路地面电场最大值出现在直流线路侧,最大值为32.3 kV/m;当直流线路负极性靠近交流线路时,同走廊线路地面电场最大值出现在交直流线路之间,最大值高达39.6 kV/m。

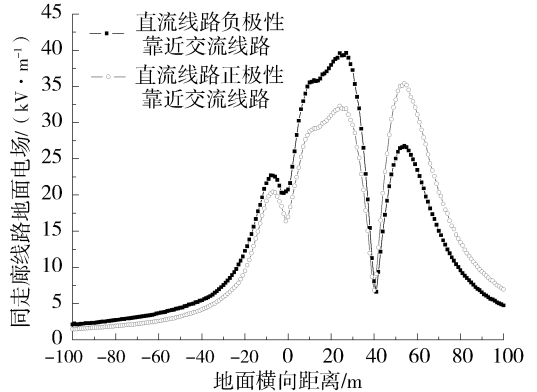


图8 并行线路不同导线空间布置方式下地面电场分布  
Fig. 8 Lateral profile of total electric field with different arrangements

考虑直流线路正负极性的起晕差异,一般认为负极性的起晕电场比正极性的起晕电场低20%~25%<sup>[10]</sup>。直流线路工作电压不变,负极性线路的起晕电场越低,一方面负极性线路周围产生的空间电荷越多,空间电荷产生的电场也越大,同走廊线路地面电场也随之增大;另一方面直流线路对交流线路的直流偏置也增大,导致交流线路的地面电场在靠近直流线路侧增大,因而同走廊线路地面电场也随之增大。综合以上两方面,当直流线路负极性靠近交流线路时,同走廊线路地面电场最大值出现在交直流线路之间,且最大值大于直流线路正极性靠近交流线路时同走廊线路地面电场最大值。

因此,建议架设交直流并行线路时,直流线路正极性靠近交流线路。

## 6 结论

本文采用的计算交直流同走廊地面电场的算法计及交直流线路电荷间相互影响,算法考虑更为全面。在此基础上,分析了相关影响因素,得到以下结论:

1)在起晕范围内,交流线路下的地面电场随着

子导线半径的增加基本不变, 而直流线路下的地面电场随着子导线半径的增加明显减小。

2) 在起晕范围内, 交流线路下的地面电场随着子导线分裂数的增加略有增加, 而直流线路下的地面电场随着子导线分裂数的增加明显减小。

3) 天气状况对地面电场有非常显著的影响。雨天时的地面电场最大值约为好天气湿导线的地面电场的 2.8 倍, 约为好天气干导线的地面电场的 3.6 倍。

4) 建议架设交直流并行线路时, 直流线路正极性靠近交流线路。

#### 参考文献:

- [1] 李倩. 交直流混合输电线路空间电场的研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.  
LI Q. Research on the electric field around HVAC-HVDC hybrid transmission lines [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011.
- [2] LI Q, LIU J X, LI H. Analysis on electric field around HVAC-HVDC hybrid transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(11): 2866-2872.
- [3] 邬雄, 万保权, 路遥. 1 000 kV 级交流输电线路电磁环境的研究 [J]. 高电压技术, 2006, 32(12): 55-58.  
WU X, WAN B Q, LU Y. Study on electromagnetic environment for 1 000 kV AC transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(12): 55-58.
- [4] 张文亮, 于永清, 李光范, 等. 特高压直流技术研究 [J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(22): 1-7.  
ZHANG W L, YU Y Q, LI G F, et al. Research on UHVDC technology [J]. Proceeding of the CSEE, 2007, 27(22): 1-7.
- [5] 吴桂芳, 余军, 郭贤珊, 等.  $\pm 800$  kV 直流和 1 000 kV 交流线路同走廊时的最小接近距离研究 [J]. 中国电力, 2007, 40(12): 22~26.  
WU G F, YU J, GAO X S, et al. Study on least approaching distances between  $\pm 800$  kV DC transmission line and 1 000 kV AC transmission line in a hybrid corridor [J]. Electric Power, 2007, 40(12): 22-26.
- [6] CHARTIER V L, SARKINEN S H, STEARNS R D. Investigation of corona and field effects of AC/DC hybrid transmission lines [J]. IEEE Transactions on Apparatus and System, 1981, 100(1): 72-80.
- [7] MARUVADA P S, DROGI S. Field and ion interactions of hybrid AC/DC transmission lines [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1988, 3(3): 1165-1172.
- [8] 杨洁. 并行的高压交直流输电线路合成电场的计算研究 [D]. 保定: 华北电力大学, 2004.  
YANG J. Research on the total electric field under the parallel HVDC and HVAC power lines [D]. Baoding: School of Electrical and Electronic Engineering, 2004.
- [9] 鞠勇, 吴桂芳. 特高压直流线路与交流线路同走廊时的电场研究 [R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2007.
- [10] MARUVADA P S, WASYL J. Analysis of corona losses on DC transmission lines part II -Bipolar lines [J]. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, 1969, 88(10): 1476-1492.
- [11] 鲁非, 叶齐政, 林福昌, 等. 雨滴对高压直流输电线路地面离子流场的影响 [J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(7): 125-130.  
LU F, YE Q Z, LIN F C, et al. Effects of raindrops on Ion flow field under HVDC transmission lines [J]. Proceeding of the CSEE, 2010, 30(7): 125-130.

(责任编辑 郑文棠)

## 中国能建广东院承建的犁牛坪风电场并网发电

2016 年 12 月 19 日, 由中国能建投资分公司、中国能建广东院等共同投资, 中国能建广东院承建的韶关南雄犁牛坪风电场一期工程 25 台风机全部顺利并网发电。犁牛坪风电场位于广东省韶关市南雄革命老区邓坊镇内大庾岭山脉, 2013 年 5 月被列入国家“十二五”第三批风电项目核准计划, 2015 年 3 月获广东省发改委核准, 2015 年 11 月正式开工建设, 共建设 25 台风机并配套建设一座 110 kV 升压站, 总装机规模为 49.5 MW, 总投资约 4.5 亿元人民币, 年上网电量约 1 亿 kWh。

(中国能建广东院)