

±800 kV 同塔双回输电线路离子流场的计算

李永明¹, 柴贤东¹, 张淮清¹, 王勤², 郭大勇², 祝言菊²

(1. 重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044;

2. 合肥供电公司超高压工作区, 安徽 合肥 230000)

摘要: 考虑双回线路结构对导线起晕电场的影响, 采用基于 Deutsch 假设的解析法, 计算分析了线路结构参数对地面电场和离子流密度的影响, 得到了最优的导线排布方式。仿真结果表明, 在相同导线尺寸与同等架设高度下, 双回线路电磁环境明显优于单回线路, 且通过合理控制线路参数可以使导线表面电场降低到起晕电场以下, 空间离子流密度为 0。

关键词: 特高压输电; 同塔双回; 电场; 离子流密度

中图分类号: TM 726

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.06.025

0 引言

为提高单位走廊的电能输送能力, 减小线路走廊宽度, 我国已实现同塔双回紧凑型交流输电线路^[1]和 ±500 kV 同塔双回直流输电线路^[2], 同塔双回直流输电线路对实现更大范围的资源优化配置、提高输电走廊的利用率具有重要意义。可预见, 我国将会陆续出现 ±800 kV 同塔双回直流输电线路, 但其电磁环境与单回直流输电线路和 ±500 kV 同塔双回的电磁环境存在一定差别, 需对其地面合成电场加以控制, 使之满足环境保护要求^[3]。因此, 计算和分析 ±800 kV 同塔双回直流输电线路的电场和离子流, 对工程设计很重要^[4-6]。

HVDC 线路的电晕损失、电磁环境^[7]等问题的计算分析都以线路周围空间电场及离子流场计算的结果为基础。直流离子流场的严格解析解只有在求解区域规则对称的情况下才能获得, 如同轴圆筒电极^[8]和同心球壳电极^[9]。Sarma 等人首先提出用解析法计算直流输电线路下的离子流场, 但其中采用了 Deutsch 假设, 即认为空间电荷仅影响电场的大小而不影响其方向, 这样把二维问题转化为一维问题^[10]。该方法简单实用, 计算结果的精度可以满足工程实际需求。基于该计算方法, 相关研究人员得到了许多单回直流线路的计算结果^[11-16], 而双回线路的计算结果甚少^[2-6]。为此本文采用该方法讨论了 ±800 kV 同塔双回直流输电线路结构参数与地面电场、地面粒子流密度的关系, 通过计算仿真分析, 从线下电磁环境的角度给出了 ±800 kV 同塔双回直流输电线路结构参数的设计参考值。

1 计算方法

1.1 起晕电场的计算

为了考虑双回结构对导线起晕电场的影响, 本

文不采用匹克公式。根据电晕放电产生的机理, 可知初始电子崩头部的电子数达到一定数目时, 初始电子崩转化为流注放电, 从而形成电晕自持放电。初始电子崩头部的电子数由式(1)决定:

$$n = n_0 \exp \left[\int_0^d (\alpha - \eta) dx \right] \quad (1)$$

其中, α 为 Townsend 第一电离系数; η 为电子附着系数; d 为电子崩的临界长度(即电晕层厚度), 即从导体表面到 $\alpha = \eta$ 的长度; n 为经过 d 后电子崩头部自由电子数; n_0 为空间存在的初始自由电子数。在空气中, α 和 η 是电场强度和大气压的函数。由于初始电子数 n_0 不易确定, 故用 $n/n_0 = \exp \left[\int_0^d (\alpha - \eta) dx \right] = k$ 作为电晕自持放电的判据。通过实验测定, 以空气为绝缘介质的电力设备等的 k 值约为 3 500^[17]。

1.2 数学模型

考虑空间电荷的存在, 根据电磁的基本理论可以得到描述双极离子流场的数学方程:

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho_+ - \rho_-}{\epsilon_0} \\ \mathbf{J}_+ = k_+ \rho_+ \mathbf{E} \\ \mathbf{J}_- = k_- \rho_- \mathbf{E} \\ \nabla \cdot \mathbf{J}_+ = -\frac{R_i \rho_+ \rho_-}{e} \\ \nabla \cdot \mathbf{J}_- = \frac{R_i \rho_+ \rho_-}{e} \\ \mathbf{E} = -\nabla \Phi \end{cases} \quad (2)$$

其中, $\mathbf{E}$ 和 Φ 分别为合成场、合成电位; $\mathbf{J}_+$ 和 $\mathbf{J}_-$ 分别为正、负离子流密度; ρ_+ 和 ρ_- 分别为正、负电荷密度; k_+ 和 k_- 分别为正、负离子迁移率; R_i 为正负离子复合系数; e 为一个电子的电量; ϵ_0 为真空中的介电常数; “ ∇ ”表示梯度, “ $\nabla \cdot$ ”表示散度。

严格推导出的直流输电线路合成场和离子流密度的方程很复杂, 考虑工程应用, 采用如下假设:

a. Deutsch 假设, 即空间电荷只影响电场的幅

收稿日期: 2012-03-16; 修回日期: 2013-05-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50907075)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(50907075)

- 值而不改变其方向;
- b. 离子的迁移率是与电场无关的常数且认为正、负离子的迁移率相等;
 - c. 不考虑离子的扩散,带电离子只受电场力的作用沿着电场线方向运动;
 - d. 忽略导线表面电晕层的厚度;
 - e. 不考虑正、负极差异,正、负极起晕电压相同。
- 根据假设 a,有:

$$\boldsymbol{E} = A \boldsymbol{E}_s \tag{3}$$

其中, $\boldsymbol{E}_s$ 、 $\boldsymbol{E}$ 分别为标称电场、合成电场, A 为关于空位置的标量函数。

由式(2)、(3)可以推出:

$$\begin{cases} \frac{d\Phi}{d\Phi_s} = A \\ \frac{dA}{d\Phi_s} = \frac{\rho_+ - \rho_-}{\epsilon_0 |\boldsymbol{E}_s|^2} \\ \frac{d\rho_+}{d\Phi_s} = \frac{1}{\epsilon_0 A |\boldsymbol{E}_s|^2} \left(\rho_+^2 - \rho_+ \rho_- + \frac{\epsilon_0 R_i \rho_+ \rho_-}{k e} \right) \\ \frac{d\rho_-}{d\Phi_s} = \frac{1}{\epsilon_0 A |\boldsymbol{E}_s|^2} \left(-\rho_-^2 + \rho_+ \rho_- - \frac{\epsilon_0 R_i \rho_+ \rho_-}{k e} \right) \end{cases} \tag{4}$$

其边界条件为:在地面和正负极的中轴线上, $\Phi = 0$, $\Phi_s = 0$;在子导线表面 $\Phi = U$, $\Phi_s = U$, 其中 U 是导线的运行电压;在导线表面 $A_e = |\boldsymbol{E}_0| / |\boldsymbol{E}_{\max}|$, $\boldsymbol{E}_0$ 是子导线表面的起晕电场, $\boldsymbol{E}_{\max}$ 是子导线表面最大电场。

在已知标称量的情况下,根据边界条件,微分方程(4)是可解的。沿电场线从子导线表面出发,给定一个初始电荷密度 ρ_e ,迭代求解微分方程就能确定该条电场线上各点的合成电场和电荷密度。改变 ρ_e 直至满足边界条件,此时的 ρ_e 即为真实值。

2 线路参数对地面合成电场和离子流密度的影响

2.1 双回线路排布方式的选取

双回直流线路极导线的排布方式一共有 8 种,见图 1。在工程计算中,一般不考虑正负极导线起晕情况的差异,认为正、负极导线起晕参数和正负离子迁移率参数相同,因此排布方式 2 与 3 的地表合成场强与离子流分布规律没有区别,只是合成电场的方向相反。对于排布方式 5—8,从节约土地资源和工程的综合造价考虑,由于线路水平铺开占据较大的输电走廊宽度,所以这些排布方式也不是工程

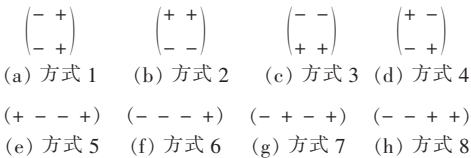


图 1 双回直流线路 8 种排布方式的示意图
Fig.1 Eight kinds of conductor arrangement for double circuit HVDC line

实用的方案。因此,仅对排布方式 1、3 和 4 进行研究。

图 2 是双回线路的实际布置示意图, S_1 是上极间距, S_2 是下极间距, H 是下极线路对地高度, h 是上极导线距离下极导线的高度。取子导线的起始角为 0° , 分裂半径 $R_0 = 0.45 \text{ m}$, 子导线半径 $r = 17.2 \text{ mm}$, $S_1 = S_2 = 22 \text{ m}$, $H = 21 \text{ m}$, $h = 15 \text{ m}$ 。

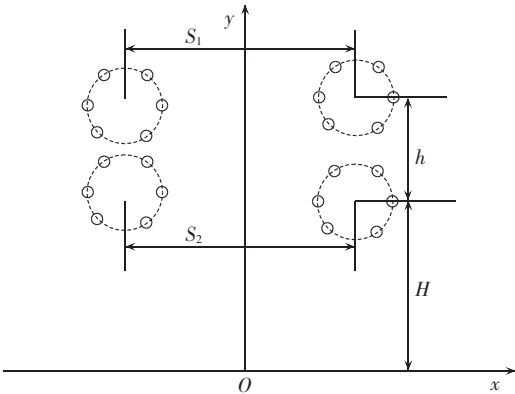


图 2 双回线路的实际布置示意图
Fig.2 Actual conductor arrangement of double circuit line

以下通过计算分析,讨论排布方式 1、3 和 4 这 3 种方案线下地面标称场、合成场以及离子流密度。

为了便于对比分析,表 1 给出了不同极导线排布方式下地面各量的最大值。方式 4 地面最大标称电场 $|\boldsymbol{E}_{\text{smax}}|$ 最小,为 8.29 kV/m ;方式 1 的地面最大合成场 $|\boldsymbol{E}_{\text{max}}|$ 和最大离子流密度 $|\boldsymbol{J}_{+\text{max}}|$ 最小,分别为 21.59 kV/m 和 16.55 nA/m^2 。我国对线下电磁环境的限值中是对地面合成电场和离子流密度的最大值进行限值的,因此本文以地面合成电场和离子流密度作为判断 3 种方案的标准。显然方式 1 是最好的方案,其地面最大合成电场和最大离子流密度都是 3 种方式中最小的。

表 1 不同极导线排布方式下地面各量的最大值

Tab.1 Maximums of ground variables for different conductor arrangements

线路排列方式	$ \boldsymbol{E}_{\text{smax}} / (\text{kV} \cdot \text{m}^{-1})$	$ \boldsymbol{E}_{\text{max}} / (\text{kV} \cdot \text{m}^{-1})$	$ \boldsymbol{J}_{+\text{max}} / (\text{nA} \cdot \text{m}^{-2})$
方式 1	12.91	21.59	16.55
方式 3	13.08	30.63	38.19
方式 4	8.29	25.59	34.26

2.2 ±800 kV 同塔双回直流线路离子流场与线路结构参数的关系

以图 2 为例,来讨论线路参数对同塔双回直流线路离子流场的影响。图 3、4 给出了双回线路子导线半径对地面合成电场 $|\boldsymbol{E}|$ 和离子流密度 $|\boldsymbol{J}_+|$ 及地面最大合成电场 $|\boldsymbol{E}_{\text{max}}|$ 和最大离子流密度 $|\boldsymbol{J}_{+\text{max}}|$ 的影响,图 3 中从上至下曲线对应子导线半径分别为 15、16、17、18、19、20 mm。可以看出随子导线半径的增大,地面最大合成电场和最大离子流密度都有较明显的下降,其变化趋势和单回线路一致。目前我国

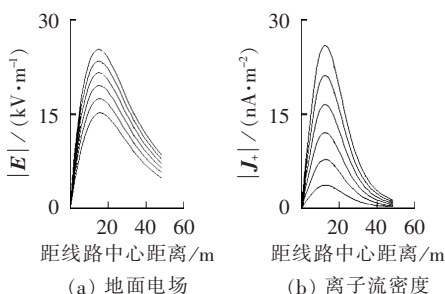


图 3 子导线半径对地面电场和离子流密度的影响

Fig.3 Effect of splitting conductor radius on ground electric field and ion current density

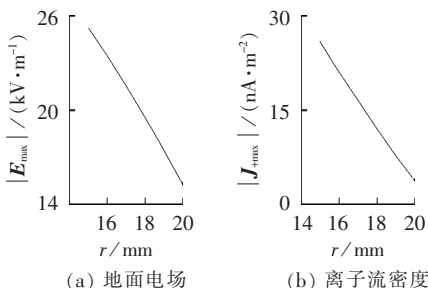


图 4 地面最大合成电场和最大离子流密度随子导线半径的变化

Fig.4 Maximum ground electric field and ion current density vs. conductor radius

已建成的 ± 800 kV 直流输电工程中,一般采用 6×720 mm² 导线,因此建议子导线半径取 17.2 mm。

图 5 给出了双回线路分裂间距对地面最大合成电场和最大离子流密度的影响,可以看出随导线分裂间距的增大,地面最大合成电场和最大离子流密度先减小后增大,存在一个最小值,最小值对应分裂间距约为 0.3 m。兼顾电气和力学特性,建议分裂间距取 0.45 m。

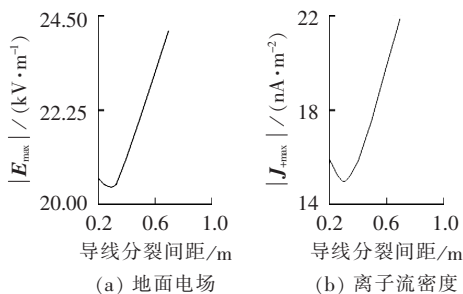


图 5 地面最大合成电场和最大离子流密度随分裂间距的变化

Fig.5 Maximum ground electric field and ion current density vs. split distance

图 6 给出了双回线路上层导线极间距 S_1 对地面最大合成电场和最大离子流密度的影响,为了突出极间距 S_1 的影响,上、下层极导线之间距离 h 可取小一点,取 $h=7$ m,在讨论 S_1 的影响时, S_2 保持不变,取 22 m。可以看出当 $S_1=S_2$ 时,地面最大合成电场和最大离子流密度的值最小。由于线路的同侧导线极性相同,同侧极导线的距离越远,要维持一

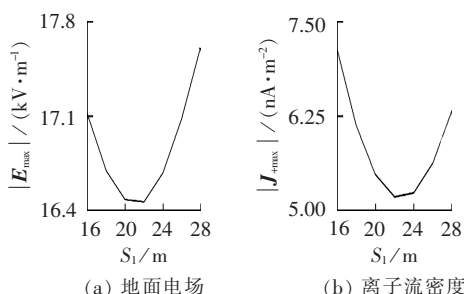


图 6 地面最大合成电场和最大离子流密度随导线极间距 S_1 的变化

Fig.6 Maximum ground electric field and ion current density vs. electrode distance S_1

定的电压所需的电荷就会增多,这会产生两方面的影响:导线上的电荷增多会直接导致地面标称电场的增大;相应的导线表面电场也会增大,电晕放电变强,空间带离子增多,导致地面合成电场和离子流密度增大。因此,当 $S_1=S_2$ 时,同侧极导线之间的距离最小,地面合成电场和离子流密度最小。

图 7 给出了当 $S_1=S_2$ 时双回线路导线极间距对地面最大合成电场和最大离子流密度的影响。可以看出当 $S_1=S_2$ 时,地面最大合成电场和离子流密度随着极间距的增大(极间距 16~24 m)而减小。但是也不能靠无限制地增加极间距来改善地面的电磁环境,这样会极大增加线路的占地走廊。根据 ± 800 kV 单回直流输电线路的设计经验,本文建议双回线路的极间距取 $S_1=S_2=22$ m。

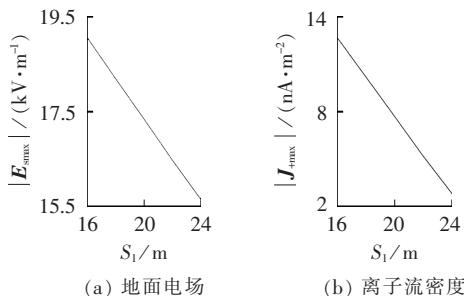


图 7 地面最大合成电场和最大离子流密度随导线极间距 S_1 的变化 ($S_1=S_2$)

Fig.7 Maximum ground electric field and ion current density vs. electrode distance S_1 ($S_1=S_2$)

对于同极性导线,距离增加时,要维持导线一定的电压,导线需带更多的电荷,随着双回线高度增加,导线表面的标称场强将增加,实际上,对于电压等级相同的双回线,间距减小时趋向于多分裂导线的特性。结合图 8,可以得出如下结论:

a. 当 $h < 5$ m 时,导线表面标称电场小于起晕电场,线路没有发生电晕放电,此时地面离子流密度为 0,地面合成电场等于标称电场;

b. 当 $h > 5$ m 时,导线表面标称电场开始大于起晕电场,且随着 h 的增加,导线上的电荷不断增多,导线表面电场不断增强,电晕放电渐强,导致地

面合成电场和离子流密度迅速增大;

c. 由此可见,对于这种上下排列的双回线路,回线间距越小越好,其间距一直小到等于分裂导线间距时为最佳状态。

通过以上分析,本文建议 h 的值取 2 m。

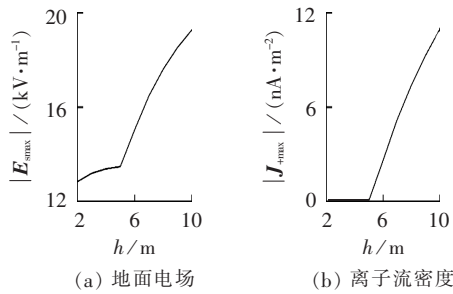


图 8 地面最大合成电场和最大离子流密度随 h 的变化

Fig.8 Maximum ground electric field and ion current density vs. h

2.3 ±800 kV 同塔双回线路导线结构的选取与线路走廊

通过 2.2 节的分析,如图 2 所示,本文建议±800 kV 同塔双回直流输电线路的结构参数的选取如下:分裂半径 $R_0=0.45$ m,子导线半径 $r=17.2$ mm, $S_1=S_2=22$ m, $h=2$ m。对于 H ,要根据地面合成电场和离子流密度的控制值以及线路走廊的要求决定。

当 $h<5$ m 时,导线不起晕,因此,在这里只需要讨论地面合成电场(导线不起晕,地面合成电场等于标称电场,地面离子流密度为 0)。

从图 9 可以看出随着下层极导线高度 H 的增大,地面合成电场快速减小,图中曲线从上到下对应 H 分别为 15、16、17、18、19、20、21 m。当 $H>16$ m 时,地面最大合成电场为 20.13 kV/m,已经优于单回线路的水平。我国向—上 ±800 kV 直流输电线路,分裂半径 0.45 m,子导线半径 17.2 mm,极间距 22 m,导线对地高度 18、21 m,其地面最大合成电场强度和最大离子流密度见表 2^[18]。对于同塔双回 ±800 kV 直流线路,考虑工程上的可实现性,本文建议导线总的对地高度 $H+h$ 保持与 ±800 kV 单回线路相当的水平(18~21 m),因此, H 可取 18 m。此时地面电场的分布如图 9 所示,其最大值为 16.62 kV/m。当特高压直流输电线路邻近民房时,民房所在位置地面合成电场强度应不大于 15 kV/m,按此标准,从图 9 知道其拆迁范围约为 39 m,为单回时(76 m)^[20] 的 51.3%。理论上,对于±800 kV 同塔双回直流输电线路结构参数,按照本文的建议值,当 $H>19$ m 时,地面最大合成电场也小于 15 kV/m,对民房的拆迁不再起制约作用,在此情况下,民房的拆迁由其他因素决定。

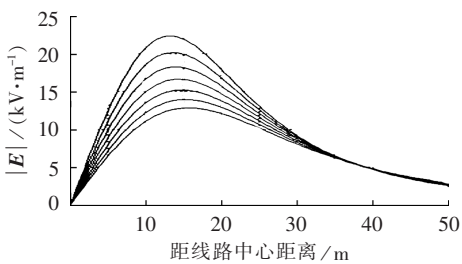


图 9 下层极导线对地高度 H 对地面合成电场的影响
Fig.9 Effect of lower conductor height H on ground electric field

表 2 向—上 ±800 kV 线下地面最大合成电场和最大离子流密度
Tab.2 Maximum ground electric field and ion current density under ±800 kV Xiang-Shang line

H/m	$ E_{\max} /(kV \cdot m^{-1})$	$ E_{\max} /(kV \cdot m^{-1})$	$ J_{\max} /(nA \cdot m^{-2})$
18	14.0	27.0	34.0
21	10.8	21.4	19.0

3 结论

a. 在双回直流输电线路的各种排布方式中,推荐采用同侧同极性、上下排布方式,其地表合成场强与离子流密度较小。

b. 随着子导线半径、极间距、线路的对地高度的增大,地面合成电场和离子流密度减小;随导线分裂间距的增大,地面合成电场和离子流密度先减小后增大,存在一个最小值。

c. 上、下层导线极间距相等时,地面合成电场和离子流密度最小;上、下层导线的垂直距离对地面合成电场和离子流密度影响较大,距离越小,地面合成电场和离子流密度越小,甚至可使线路不起晕。

d. 给出了±800 kV 同塔双回直流输电线路结构参数建议值,分析其地面电场环境明显优于同电压等级的直流输电线路,且所需的线路走廊也较小。

参考文献:

[1] 王剑,朱小红,李召兄,等. 330 kV 同塔双回线路过电压计算及分析[J]. 高电压技术,2011,37(18):2450-2457.
WANG Jian,ZHU Xiaohong,LI Zhaoxiong,et al. Overvoltage calculation and analysis on the 330 kV double circuit transmission line on the same tower[J]. High Voltage Engineering, 2011,37(18):2450-2457.

[2] 谭进,张焕青,刘玉君,等. ±500 kV 三沪Ⅱ回同塔双回直流输电线路防雷分析[J]. 高电压技术,2010,36(9):2173-2179.
TAN Jin,ZHANG Huanqing,LIU Yujun,et al. Analysis on lightning withstand performance of the Sanhu ±500 kV double circuit HVDC power transmission line[J]. High Voltage Engineering,2010,36(9):2173-2179.

[3] 石岩,王庆,裴定珍,等. ±500 kV 直流输电工程同杆并架技术的综合研究[J]. 电网技术,2006,30(21):1-6.
SHI Yan,WANG Qing,NIE Dingzhen,et al. ±500 kV DC transmission project with the rod and frame technology research[J]. Power System Technology,2006,30(21):1-6.

- [4] 田冀焕,邹军,刘杰,等. 高压直流双回输电线路合成电场与离子流的计算[J]. 电网技术,2008,32(2):61-65.
TIAN Jihuan,ZOU Jun,LIU Jie,et al. Calculation of total electric field and ionic current density of double-circuit HVDC transmission lines[J]. Power System Technology,2008,32(2):61-65.
- [5] 杨勇,陆家榆,雷银照. 同塔双回高压直流线路地面合成电场的计算方法[J]. 中国电机工程学报,2008,28(6):32-36.
YANG Yong,LU Jiayu,LEI Yinzha. Calculation of the total electric field at ground level for double-circuit HVDC overhead transmission lines[J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(6):32-36.
- [6] 杨勇,陆家榆,雷银照. 同走廊双回直流线路地面合成电场计算[J]. 电网技术,2009,33(19):181-185.
YANG Yong,LU Jiayu,LEI Yinzha. Calculation of total electric field at ground level underneath double-circuit HVDC transmission lines in the same corridor[J]. Power System Technology,2009,33(19):181-185.
- [7] 周文俊,阮江军,邬雄. 特高压输电线路对电视信号接收的影响研究[J]. 中国电机工程学报,2001,21(4):83-87.
ZHOU Wenjun,RUAN Jiangjun,WU Xiong. Television interference from very high voltage transmission lines[J]. Proceedings of the CSEE,2001,21(4):83-87.
- [8] JANISCHEWSKYI W,GELA G. Fine element solution for electric fields of coronating DC transmission lines[J]. IEEE Trans on Power Apparatus and Systems,1979,98(3):1000-1012.
- [9] 秦柏林,盛剑霓,严璋. 高压直流输电系统下的三维离子流场计算[J]. 中国电机工程学报,1989,9(2):27-33.
QIN Bailin,SHENG Jianni,YAN Zhang. 3-dimensional analysis of ion flow-field under HVDC transmission systems[J]. Proceedings of the CSEE,1989,9(2):27-33.
- [10] 赵婉君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京:中国电力出版社,2004.
- [11] SARMA M P,JANISCHEWSKYJ W. Analysis of corona losses on DC transmission lines: II-bipolar lines[J]. IEEE Trans on Power Apparatus and Systems,1969,88(10):1476-1491.
- [12] LU T,ZHAO J,CUI X,et al. Analysis of ionized field under/spl plusmn/800 kV HVDC transmission lines[C]//17th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility,2006. EMC-Zurich 2006. Singapore:[s.n.],2006:416-419.
- [13] 傅宾兰. 高压直流输电线路地表合成场强与离子流密度的计算[J]. 中国电机工程学报,1987,7(5):56-63.
FU Binlan. Calculation of electric field and ion current density for bipolar HVDC line[J]. Proceedings of the CSEE,1987,7(5):56-63.
- [14] 王小凤,周浩. ± 800 kV 特高压直流输电线路的电磁环境研究[J]. 高压电器,2007,43(2):109-121.
WANG Xiaofeng,ZHOU Hao. Electromagnetic environmental effect of ± 800 kV UHVDC transmission lines[J]. High Voltage Apparatus,2007,43(2):109-121.
- [15] 杨勇,陆家榆,雷银照. 极导线垂直排列直流线路地面合成电场的一种计算方法[J]. 中国电机工程学报,2007,27(21):13-18.
YANG Yong,LU Jiayu,LEI Yinzha. A calculation method for the total electric field strength at the ground level under vertical bipolar HVDC transmission lines[J]. Proceedings of the CSEE,2007,27(21):13-18.
- [16] 万保权,邬雄,路遥,等. ± 800 kV 云广 UHVDC 输电线路合成场强计算[J]. 高电压技术,2006,32(9):143-145.
WAN Baoquan,WU Xiong,LU Yao,et al. Calculation on the total electric field under ± 800 kV Yun-Guang UHVDC transmission line[J]. High Voltage Engineering,2006,32(9):143-145.
- [17] YAMAZAKI K,OLSEN R G. Application of a corona onset criterion to calculation of corona onset voltage of stranded conductors[J]. IEEE Trans on Dielectrics and Electrical Insulation,2004,11(4):674-680.
- [18] 刘振亚. 特高压直流输电工程电磁环境[M]. 北京:中国电力出版社,2009.

作者简介:

李永明(1964-),男,浙江宁波人,副教授,博士,主要从事工程电磁场数值计算和电力系统电磁兼容方面的研究工作;

柴贤东(1986-),男,安徽阜阳人,硕士研究生,主要从事电力系统电磁兼容方面的研究工作(E-mail:chaixiandongd@163.com);

张淮清(1979-),男,安徽六安人,副教授,博士,主要从事电磁场数值计算研究工作;

王 勤(1974-),男,安徽合肥人,工程师,主要从事自动化控制技术方面的研究工作;

郭大勇(1980-),男,安徽合肥人,助理工程师,主要从事电力系统自动化方面的研究工作;

祝言菊(1984-),女,安徽合肥人,工程师,硕士,主要从事电力系统自动化方面的研究工作。

Calculation of ion flow field for ± 800 kV transmission line of double circuit on same tower

LI Yongming¹,CHAI Xiandong¹,ZHANG Huaiqing¹,WANG Qin²,GUO Dayong²,ZHU Yanju²

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Electric Power Supply Bureau of Hefei, Hefei 230000, China)

Abstract: The analytical method based on Deutsch assumption is adopted to calculate and analyze the effect of structural parameters of transmission line on the ground electric field and ion current density, which considers the effect of the double circuit structure of transmission line on the corona-starting electric field. Therefore the optimal conductor arrangement is obtained. Simulation results show that, with the same conductor size and height, the electromagnetic environment of double circuit line is obviously superior to that of single line and, by the reasonable control of circuit parameters, the conductor surface field can be depressed below the corona-starting electric field and ion current density to 0.

Key words: UHV power transmission; double circuit on same tower; electric fields; ion current density