

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2026.08.015

750 kV 架空地线感应电流及损耗影响规律研究

王为术¹, 田博彦², 杨 阳², 阮玉帅²

(1. 华北水利水电大学乌拉尔学院, 郑州 450045; 2. 华北水利水电大学电气工程学院, 郑州 450045)

摘要: 针对750 kV同塔双回线路架空地线感应电流及损耗,通过数值仿真研究了光纤复合地线(optical fiber composite overhead ground wire, OPGW)逐塔接地、普通地线分段绝缘、单点接地的架空地线感应电流及损耗关键影响因素及其规律。结果表明:当线路输送容量和运行电压增加,OPGW的感应电流及损耗增加。OPGW的感应电流及损耗与线路长度呈负相关,线路长度减小,地线感应电流及损耗也减小。架空地线感应电流及损耗随着导、地线间距和两回线路水平间距的减少而增加。普通地线的感应电流和变化幅度均很小,电流最大值为1.6 A,造成的损耗小。基于多元拟合分析了多种因素耦合对架空地线感应电流及损耗的影响规律,得到了地线感应电流及损耗的定量计算关联式,为优化输电线路和降低架空地线损耗提供了理论依据。

关键词: 架空线路; 感应电流; 地线损耗; 多元拟合

Study on the Influence Factors and Patterns of Induced Current and Loss in 750 kV Overhead Ground Wire

WANG Weishu¹, TIAN Boyan², YANG Yang², RUAN Yushuai²

(1. UralInstitution, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China; 2. School of Electrical Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: As for the induced current and loss of overhead ground wire in 750 kV double-circuit transmission line on the same tower, the key influencing factors and patterns of induced current and loss of overhead ground wire grounded by optical fiber composite(OPGW) tower by tower, segmented insulation of common ground wire and single point grounding are studied by numerical simulation. The results show that the induced current and loss of OP-GW can increase with the increase of transmission capacity and operating voltage. The induced current and loss of OPGW are negatively correlated with the line length. When the line length decreases, so do the induced current and loss of ground wire. The induced current and loss of overhead ground wire increase with the decrease of the distance between conductor and ground wire as well as the horizontal distance between two circuits. The induced current and variation amplitude of common ground wire are very small, and the maximum current is 1.6 A, resulting in small loss. Based on multivariate fitting, the influence of various factors coupling on the induced current and loss of overhead ground wire is analyzed, and the quantitative calculation correlation of the induced current and loss of overhead ground wire are obtained, which provides a theoretical basis for optimizing transmission lines and reducing the loss of overhead ground wire.

Key words: overhead ground wire; induced current; ground wire loss; multivariate fitting

0 引言

输电网络规模的不断扩大是中国经济高速发展、用电量需求大的必然结果,为控制电力建设成本、节约输电走廊和增大线路输电容量,中国高压

和特高压输电广泛采用同塔双回和同塔多回输电线路^[1-3]。架设在导线上方的地线成本低、实施简单,还具备避雷和通讯,而导线和地线之间空间位置不对称引起的电磁耦合问题日渐突出^[4-6]。当OPGW逐塔接地与大地形成回路就会引发环流,不

收稿日期:2025-12-28; 修回日期:2026-03-30

基金项目:河南省中原科技创新领军人才项目(224200510022)。

Project Supported by Central Plains Science and Technology Innovation Leading Talents of Henan Province(224200510022).

1.2 工况设计

针对 750 kV 同塔双回输电线路地线感应电流及损耗,建立架空地线感应电流及损耗计算模型,分别研究线路不同输送容量、运行电压、

长度、导地线距离和两回线路水平距离对架空地线感应电流及损耗的影响及规律。各影响因素变化情况和线路仿真计算模型部分参数设置见表 2。

表 2 仿真计算工况汇总表

Table 2 Summary of simulation calculation conditions

工况	输送容量/MW	运行电压/kV	线路长度/km	导、地线距离变化/m	两回线路水平距离变化/m
原始工况	1 750	765	15	0	0
不同输送容量	1 500、2 000、2 500、3 000	765	15	0	0
不同运行电压	1 750	745、755、775、785	15	0	0
不同线路长度	1 750	765	20、25、40、50	0	0
导地线距离变化	1 750	765	15	-2、-1 1、2	0
两回线路水平距离变化	1 750	765	15	0	-9、-6、-3、3、6、9

2 架空地线感应电流及损耗影响因素及其规律的研究

2.1 输送容量对架空地线感应电流及损耗的影响规律

输送容量对架空地线感应电流及损耗的影响规律见图 2-5。

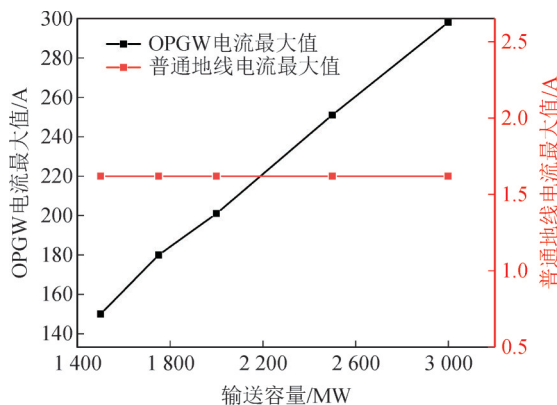


图 2 地线感应电流

Fig. 2 Ground wire induced current

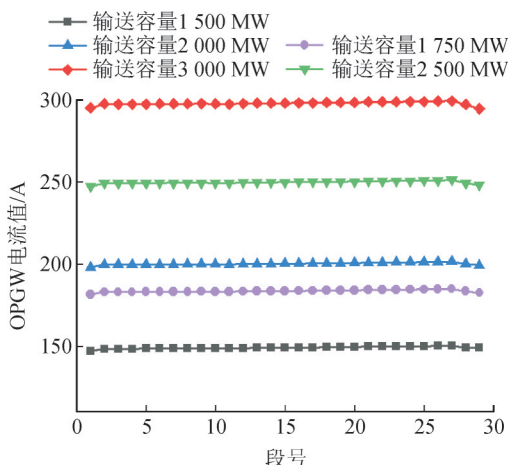
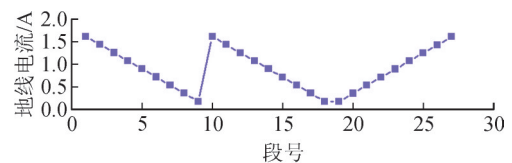
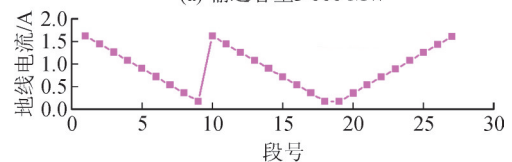


图 3 OPGW 感应电流

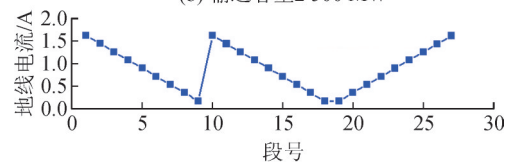
Fig. 3 OPGW induced current



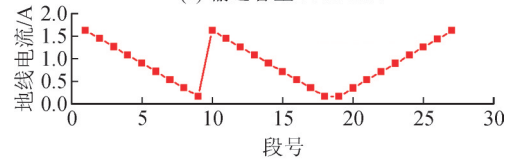
(a) 输送容量 3 000 MW



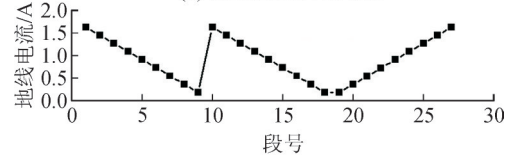
(b) 输送容量 2 500 MW



(c) 输送容量 2 000 MW



(d) 输送容量 1 750 MW



(e) 输送容量 1 500 MW

图 4 普通地线感应电流

Fig. 4 Induced current of ordinary ground wire

由图 2 可知,线路输送容量越大,OPGW 地线电流也越大,输送容量为 1 500 MW 时,地线电流为 150 A,输送容量为 3 000 MW 时,地线电流为 298 A,几乎呈线性增加。普通地线电流最大值很小,一直保持为 1.6 A。由图 3 可知,每个输送容量下的 OPGW 地线电流在线路两端略小于中间位置,中间

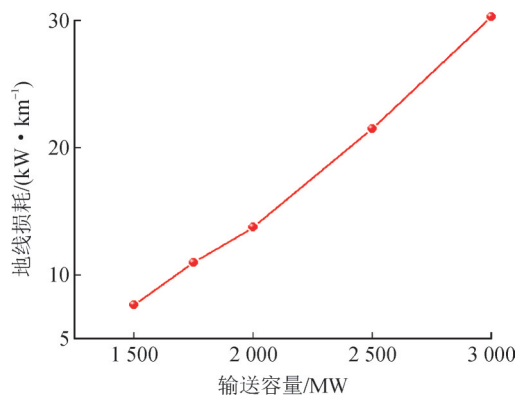


图5 地线损耗

Fig. 5 Ground wire loss

位置电流相等, 1500、1750、2000、2500、3000 MW 下的感应电流依次为 150、184、200、250、298 A。由图4可知, 改变线路输送容量, 普通地线电流大小不变, 5条曲线完全相同。路首端至末端整体呈“W”分布, 在每个绝缘分段接地点处最大, 远离接地点电流逐渐减小。由图5可知, OPGW 的损耗随线路输送容量的增大而增大, 接近平方倍增大。由于普通地线感应电流较小, 其损耗可忽略不计。

2.2 运行电压对架空地线感应电流及损耗的影响规律

运行电压对架空地线感应电流及损耗的影响规律见图6-9。

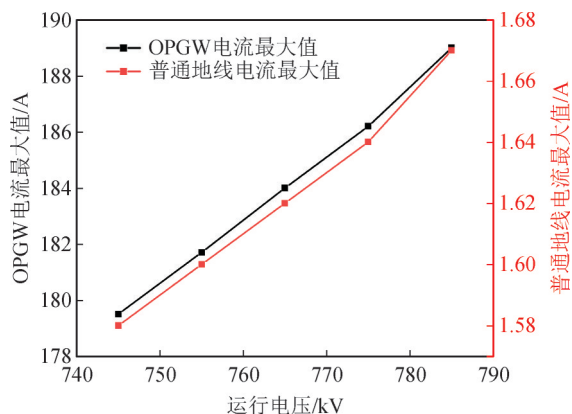


图6 地线感应电流

Fig. 6 Ground wire induced current

由图6可知, OPGW 地线和普通地线上的感应电流最大值与运行电压呈正相关, 运行电压升高, 两条地线上的感应电流均增大, 且两者增加趋势一致。由于普通地线采用分段绝缘单点接地的接地方式, 普通地线的电流最大值和变化幅度均很小。由图7可以看出, 当运行电压一定时, OPGW 地线每处电流大小相差较小, 图7中从下到上的电流值分别为177~179、180~182、182~184、185~186、187~189 A,

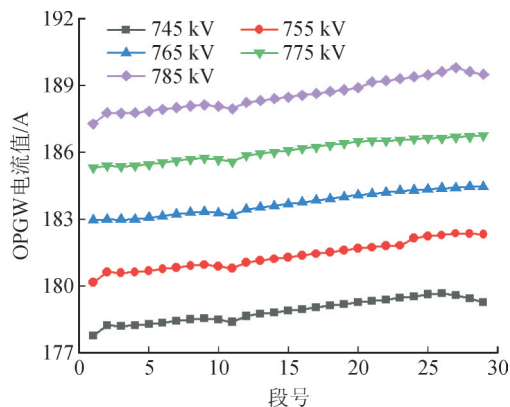


图7 OPGW 感应电流

Fig. 7 OPGW induced current

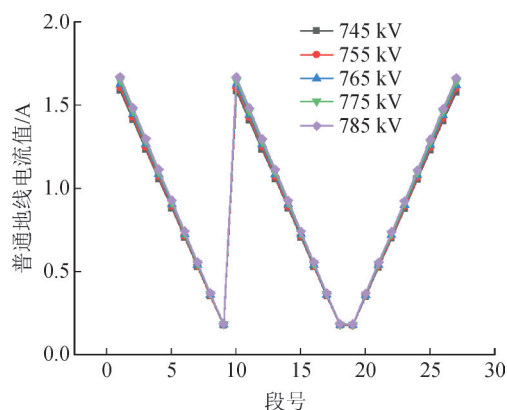


图8 普通地线感应电流

Fig. 8 Induced current of ordinary ground wire

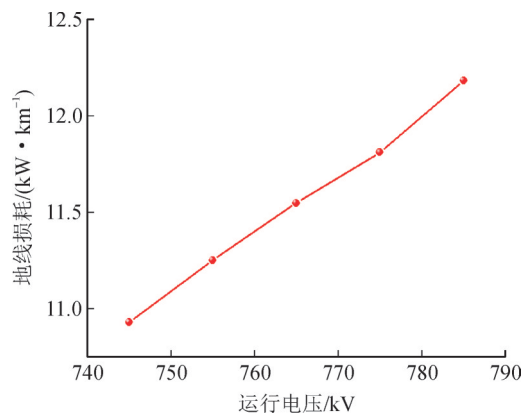


图9 地线损耗

Fig. 9 Ground wire loss

线路末端电流略大于首端电流, 波动范围在0~2 A 之间。

由图8可以看出, 提高线路运行电压, 普通地线电流增大。地线电流在接地点处达到峰值, 最大为1.6 A, 离接地点越远电流越小, 最小值为0.18 A。由图9可知, OPGW 的损耗随着运行电压的增大而增大, 这是由于增加线路运行电压, OPGW 地线电流变大, 导致损耗变大。

2.3 线路长度对架空地线感应电流及损耗的影响规律

两条架空地线的感应电流随线路长度变化的规律见图10-13。OPGW地线电流与线路长度呈负相关,线路越长,电流反之越小,线路从20 km变成25 km时的OPGW地线电流减小幅度较大。普通地线电流最大值不随线路长度的改变而改变,大小一直稳定在1.6 A。由图11可知,各长度下的OPGW地线电流从线路首端至末端逐渐增大,涨幅较小,在2 A之内,各长度下的电流依次为183~184、182~183、180~181、176~178、174~175 A。由图12可知,改变输电线路长度,普通地线每处电流大小保持不变,不随线路长度变化而改变。当线路长度一定时,普通地线电流大小与接地点之间的距离呈反比,离接地点越远,电流越小,在各个绝缘分段线路上循环往复。由图13可知,当输电线路长度增加时,OPGW上的损耗变小,这是由于线路长度增加时导线电流变小,导致在地线上感应出的电流变小,最终引起地线损耗的减小,曲线减小趋势逐渐变缓。

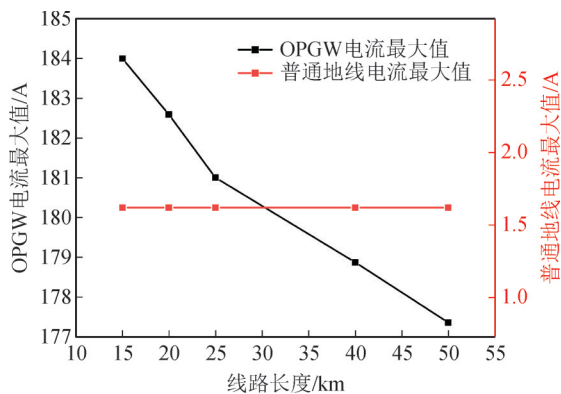


图10 地线感应电流

Fig. 10 Ground wire induced current

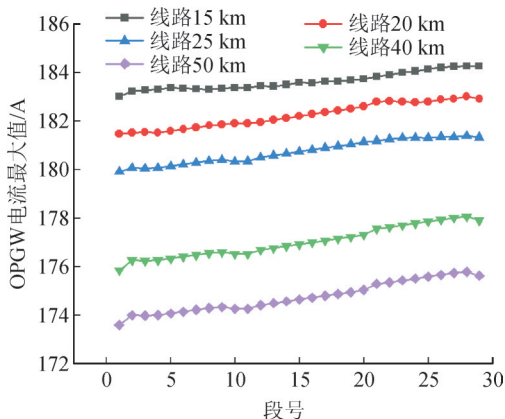


图11 OPGW感应电流

Fig. 11 OPGW induced current

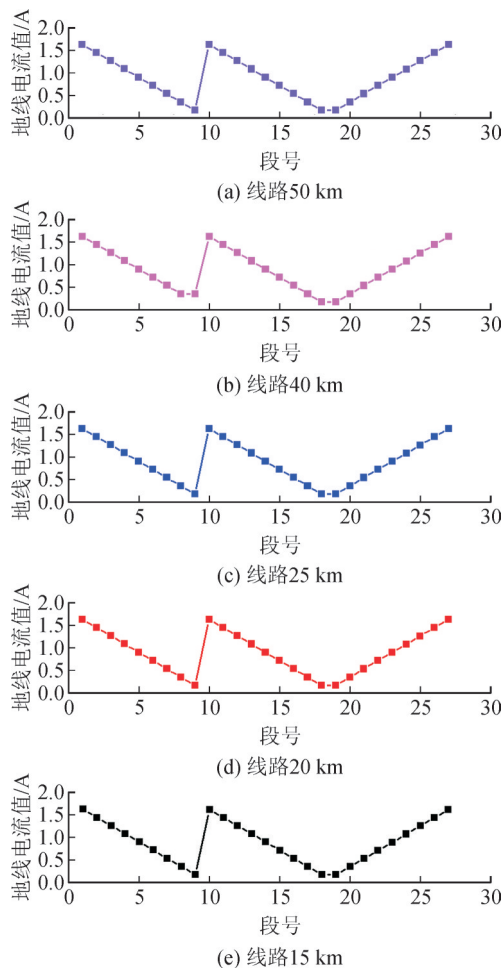


图12 普通地线感应电流

Fig. 12 Induced current of ordinary ground wire

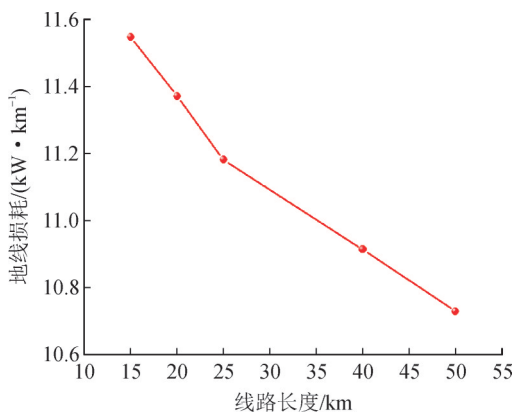


图13 地线损耗

Fig. 13 Ground wire loss

2.4 导、地线距离对架空地线感应电流及损耗的影响规律

导、地线距离对架空地线感应电流及损耗的影响见图14-17。由图14可知,导线和地线之间的垂直距离越小,两条地线上的感应电流越大,这是由于导线与地线之间的垂直距离影响线路之间的电感及电容大小,导地线之间的距离越小,两者之间

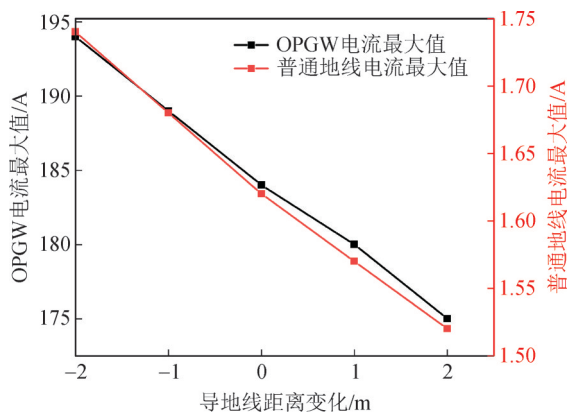


图 14 地线感应电流

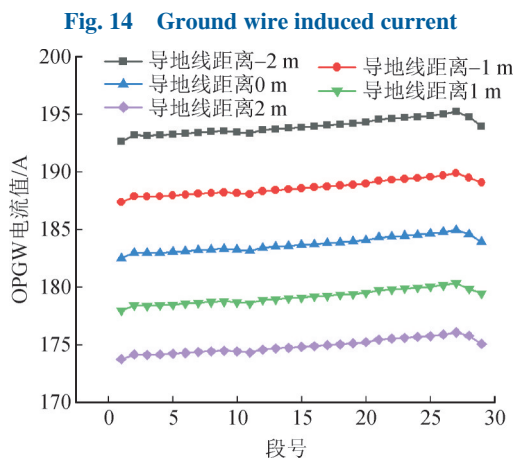


图 15 OPGW 感应电流

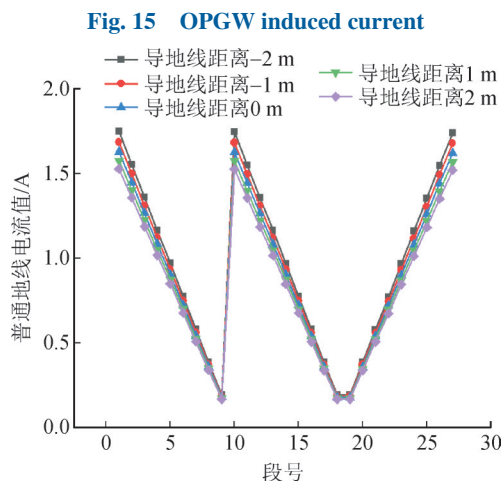


图 16 普通地线感应电流

Fig. 16 Induced current of ordinary ground wire

的电磁感应和静电耦合作用越强,地线感应电流也越大。普通地线感应电流最大值不超过 2 A,这是因为普通地线采用分段绝缘、单点接地的接地方式。从图 15 可以看出,导、地线距离一定时,OPGW 地线全线电流大小几乎相等,最大值和最小值相差 3 A,图中从下至上电流依次为 192~195、187~189、182~184、178~179、173~176 A,末端电流有所减小,仍大于首端电流。由图 16 可知,从地线首端到末

端,27 处地线感应电流整体呈“W”分布,这是因为普通地线被分为 3 个绝缘段后单点接地,依次为:首端接地、首端接地和末端接地,电流在每个绝缘分段的接地点处达到最大,远离接地点电流逐渐减小。由图 17 可知,OPGW 上的损耗随导地线之间的距离增大而减小,距离每减小 1 m,损耗就增加近 600 W/km,趋势几乎呈直线变化,所以可以通过适当增加导线和地线之间的垂直距离达到减小地线损耗的目的。

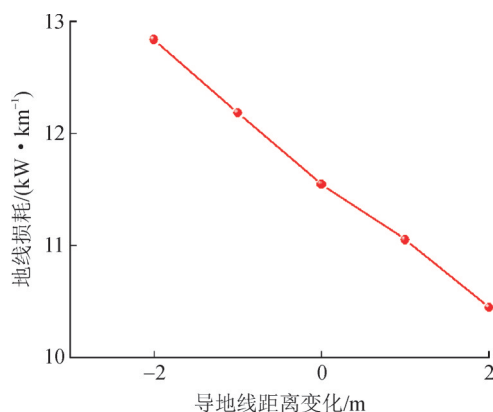


图 17 地线损

Fig. 17 Ground wire loss

2.5 两回线路水平距离对架空地线感应电流及损耗的影响规律

两回线路水平距离对架空地线感应电流及损耗的影响见图 18-21。

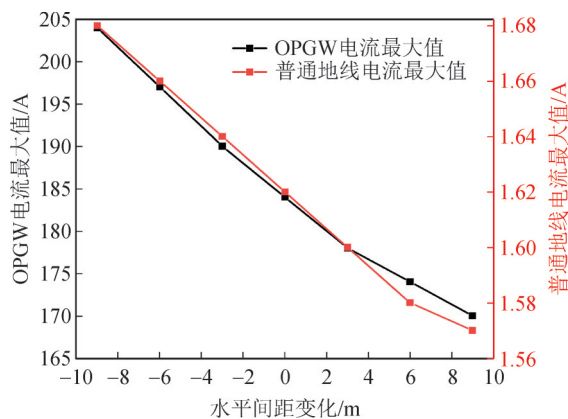


图 18 地线感应电流

Fig. 18 Ground wire induced current

从图 18 可以看出,当同塔双回线路导线的水平距离变大时,OPGW 上的电流和普通地线上的电流都减小,这是由于两回线路之间的水平距离越大,电磁感应和静电耦合变弱,两条地线上的感应电流越小。由图 19 可知,两回线路水平距离一定时,OPGW 地线每处电流相差无几,波动范围在 0~3 A

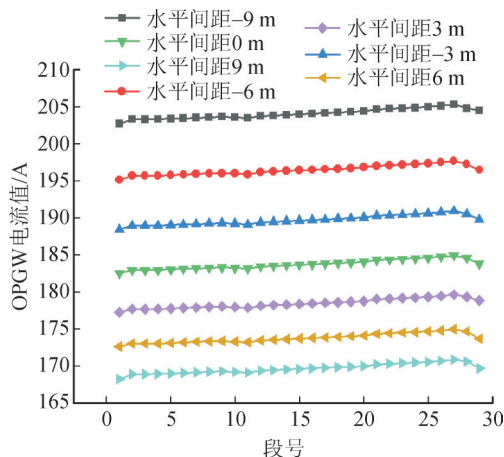


图19 OPGW 感应电流

Fig. 19 OPGW induced current

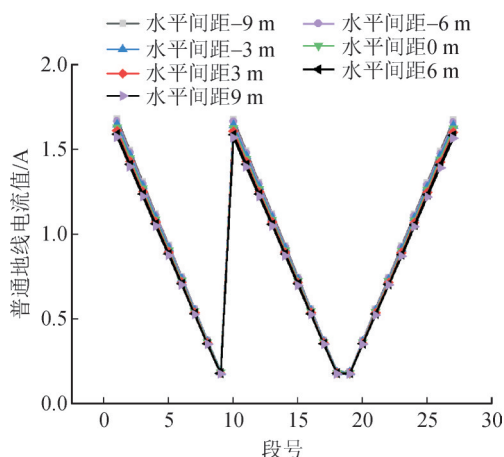


图20 普通地线电流

Fig. 20 Induced current of ordinary ground wire

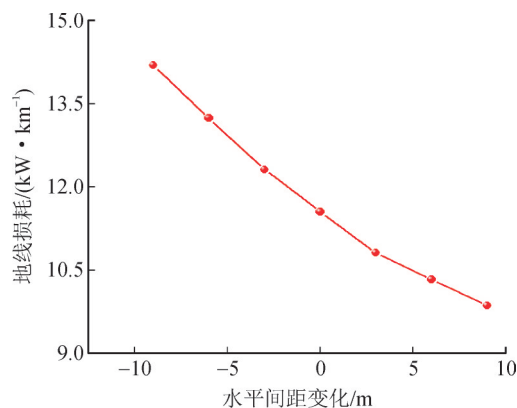


图21 地线损耗

Fig. 21 Ground wire loss

之间,6条曲线感应电流的范围依次为168~170、172~174、177~179、182~184、188~190、195~197、202~205 A。由图20可知,前两个绝缘分段的电流从1.6 A逐渐减小,第3段电流从0.2 A逐渐增大至1.6 A,在接地点处最大,离接地点越远电流越小。由图21可知,两回线路之间的水平距离减小,导致OPGW的损耗变大,因此可适当增加两回线路

间的水平距离以减小地线功率损耗。

3 多因素耦合对架空地线感应电流及损耗的影响规律

3.1 建立地线电流及损耗的计算公式

根据仿真结果及研究分析可知,线路的输送容量、运行电压、长度、导地线距离和两回线路水平间距都和架空地线的感应电流及损耗有关,为进一步研究这5个因素耦合对架空地线感应电流及损耗的影响规律,并建立定量的数学表达式,现对架空地线感应电流和损耗的仿真计算结果进行多元拟合,并建立多因素耦合下的OPGW地线感应电流及损耗方程:

$$Y_1 = A_1 + a_1 X_1 + b_1 X_2 + c_1 X_3 + d_1 X_4 + e_1 X_5 \quad (2)$$

$$Y_2 = A_2 + a_2 X_1 + b_2 X_2 + c_2 X_3 + d_2 X_4 + e_2 X_5 \quad (3)$$

式(2)、(3)中: Y_1 为OPGW地线的感应电流; Y_2 为OPGW地线的功率损耗; X_1 为输送容量; X_2 为运行电压; X_3 为线路长度; X_4 为导地线距离变化量; X_5 为两回路水平间距变化量; A_1 、 a_1 、 b_1 、 c_1 、 d_1 、 e_1 为式(2)、(3)中的待求参数。

多元拟合结果见表3、4。其中,架空地线感应电流方程的拟合效果指标 R^2 为0.990 39,架空地线损耗方程的拟合效果指标 R^2 为0.991 55,两者都十分接近1,说明拟合效果良好。由拟合结果和建立的架空地线感应电流及损耗可知,在一定范围内,架空地线的感应电流及损耗与输送容量、运行电压呈正相关,架空地线感应电流及损耗与线路长度、导地线间距、两回线路水平间距呈负相关。

表3 电流方程式(2)拟合表

Table 3 Current equation fitting table

待定系数	A_1	a_1	b_1	c_1	d_1	e_1
数值	-157.92	0.09	0.24	-0.19	-4.70	-1.90

表4 损耗方程式(3)拟合表

Table 4 Loss equation fitting table

待定系数	A_2	a_2	b_2	c_2	d_2	e_2
数值	-36 354.00	14.41	30.13	-25.03	-591.54	-242.14

3.2 拟合误差分析

为进一步验证多元拟合效果和建立的架空地线感应电流及损耗计算公式是否准确,现利用式(4)对其进行检验,若曲线拟合误差越小,则说明拟合效果越好,架空地线感应电流和损耗的计算公式也越准确。现将全部工况下仿真计算出的感应电流和损耗数据代入式(4)中,检验结果如见图22、23。

24组仿真计算值和公式计算的感应电流拟合

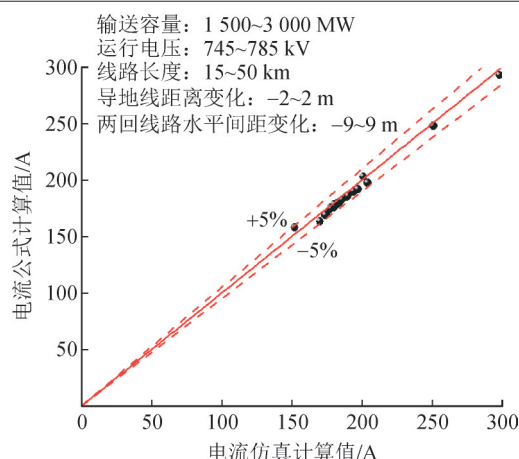


图 22 地线感应电流拟合误差图

Fig. 22 Fitting error diagram of ground wire induced current

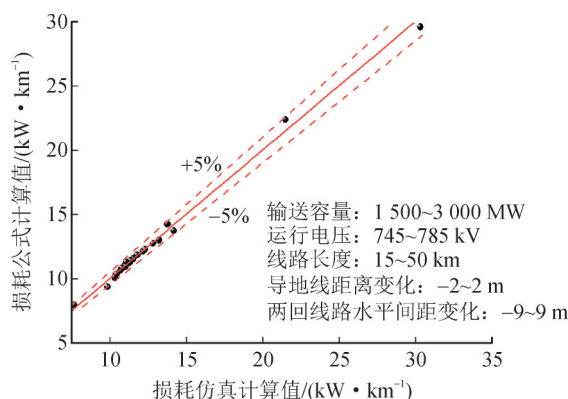


图 23 地线损耗拟合误差图

Fig. 23 Fitting error diagram of ground wire loss

误差均在 $\pm 5\%$ 之内, 24组仿真计算值和公式计算的损耗拟合误差均在 $\pm 5\%$ 之内, 两者整体误差在可接受范围内, 说明架空地线感应电流和损耗的拟合效果良好, 达到了预期标准。

$$\text{曲线拟合误差} = \frac{|\text{模拟结果} - \text{预测结果}|}{\text{预测结果}} \times 100\% \quad (4)$$

4 结论

通过对 750 kV 同塔双回线路架空地线感应电流及损耗进行仿真计算和多因素拟合分析, 当 OPGW 逐塔接地, 普通地线分段绝缘、单点接地时, 可得出以下结论:

1) OPGW 地线感应电流和损耗随着线路输送容量和运行电压的增大而增大; 增加线路长度、导线地线距离、两回线路水平间距, OPGW 地线的感应电流和损耗减小。因此可通过适当减少输送容量、运行电压或增加线路长度、导线地线间距离和两回线路水平间距达到减少地线感应电流和损耗的目的。

2) 同一工况下, OPGW 地线每处电流大小几乎

相等, 最大值与最小值之差在 3 A 之内, 且线路末端电流略大于线路首端电流。

3) 普通地线感应电流从线路首端至末端呈“W”型分布, 电流在每个绝缘分段的接地点处达到最大, 离接地点越远, 感应电流越小。普通感应电流不受输送容量和线路长度的影响, 增大运行电压、减小导、地线距离和两回线路水平间距, 感应电流增大, 且最大值为 1.6 A, 由此造成的功率损耗可忽略不计。

4) 通过多元拟合分析, 得到了线路输送容量、运行电压、长度、导线地线间距离、两回线路水平间距这 5 个因素耦合对架空地线感应电流及损耗的影响规律, 建立的定量计算公式具有较高的准确性, 可为实际工程中架空地线感应电流及损耗的快速计算和优化地线功率损耗提供理论依据。

参考文献:

- [1] 孙子昌, 邓迎君, 陈昊, 等. 同塔双回线路同名相跨线短路故障分析[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(4): 154-159.
Sun Zichang, Deng Yingjun, Chen Hao, et al. Analysis of homogeneous phase cross-country faults of double-circuit lines on the same tower[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(4): 154-159.
- [2] 王振华, 牟涛, 周东杰, 等. 基于电子式互感器的分布式行波测距装置[J]. 电力电容器与无功补偿, 2022, 43(4): 139-144.
Wang Zhenhua, Mu Tao, Zhou Dongjie, et al. Distributed traveling wave ranging device based on electronic transformer[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2022, 43(4): 139-144.
- [3] 郭亮, 杜欢, 王晓卫, 等. 基于磁场检测与多判据融合的架空线路接地故障定位方法[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(17): 24-34.
Guo Liang, Du Huan, Wang Xiaowei, et al. Single phase to ground fault location method of an overhead line based on magnetic field detection and multi-criteria fusion[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(17): 24-34.
- [4] 梁利辉, 赵志刚, 闫敏, 等. 榆横—潍坊 1 000 kV 特高压交流输电线路检修接地方案研究[J]. 电瓷避雷器, 2022(1): 36-43.
Liang Lihui, Zhao Zhigang, Yan Min, et al. Research on grounding scheme of 1 000 kV UHV AC transmission line in Yuheng - Weifang during maintenance[J]. Insulators and Surge Arresters, 2022(1): 36-43.
- [5] 王乐之, 李云阁, 王源, 等. 平行线路感应电压电流的矩阵精确计算[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(7): 9-16.
Wang Lezhi, Li Yunge, Wang Yuan, et al. Accurate matrix calculation of the induced voltage and current in parallel lines[J]. Power System and Clean Energy, 2023, 39(7): 9-16.
- [6] 沈海滨, 雷挺, 贺子鸣, 等. 有架空地线的 10 kV 线路导—地线间距取值建议[J]. 电瓷避雷器, 2022(5): 19-24.
Shen Haibin, Lei Ting, He Ziming, et al. Suggestions for the spacing between conductor and ground wire of 10 kV line with overhead ground wire[J]. Insulators and Surge Arresters, 2022(5): 19-24.

- [7] 王天一, 张欢, 邱安楠, 等. 光纤复合架空地线系统分流计算[J]. 武汉大学学报(工学版), 2022, 55(7): 716-724.
Wang Tianyi, Zhang Huan, Qiu Annan, et al. Calculation of shunt coefficient of optical fiber composite overhead ground wire system[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2022, 55(7): 716-724.
- [8] Sobral S T, Novaes E O, Rodrigues Coelho A S. Improvement of transmission line ground circuit current carrying limit after system interconnections[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1993, 8(4): 2023-2030.
- [9] 孙劫, 金益迺, 刘光, 等. 基于解析法的架空地线感应电流分布特性分析[J]. 广东电力, 2021, 34(4): 123-131.
Sun Jie, Jin Yijiong, Liu Guang, et al. Analysis of induction current distribution on overhead ground wires based on analytic method[J]. Guangdong Electric Power, 2021, 34(4): 123-131.
- [10] 胡永昌, 李泰, 曹森, 等. 基于PSCAD/EMTDC的特高压直流输电系统并行仿真研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(17): 178-186.
Hu Yongchang, Li Tai, Cao Sen, et al. Research and application of parallel simulation of a UHVDC system based on PSCAD/EMTDC[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(17): 178-186.
- [11] Hu Xiande, Zhou Hao. Simulation and analysis of induced voltage and induced current on overhead ground wire of Jindongnan-Nanyang-Jingmen 1 000 kV UHV AC transmission line[C]//2011 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 2011: 622-625.
- [12] Fan Yifeng, Li Xizhou, Liu Chengyuan, et al. Calculation and analysis of induced current in optical fiber composite overhead ground wire[C]//7th International Conference on Electrical Engineering, Control and Robotics (EECR 2021), 2021: 012022.
- [13] Wang Qingbin, Li Danxing, Liu Ming, et al. Study on distribution characteristics of induced voltage and current on optical fiber composite ground wire of distribution line[C]//3rd International Conference on Electrical Engineering and Power Materials (EPPM 2022), 2022: 012037.
- [14] Feng Chao, Yang Rui, Cao Xianhui, et al. Online monitoring and early warning technology for the status of earth wire for overhead line[C]//3rd International Conference on Electrical Engineering and Power Materials (EPPM 2022), 2022: 012020.
- [15] 杨剑飞, 姜志鹏, 舒胜文, 等. 输电线路杆塔分形外延接地网接地特性及影响因素研究[J]. 智慧电力, 2023, 51(7): 1-8.
Yang Jianfei, Jiang Zhipeng, Shu Shengwen, et al. Grounding characteristics and influencing factors of fractal epitaxial grounding grid of transmission line tower[J]. Smart Power, 2023, 51(7): 1-8.
- [16] 于建立, 樊亚东, 王建国, 等. 大地电导率和线路长度对10 kV架空线路雷电感应电压的影响[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(2): 672-683.
Yu Jianli, Fan Yadong, Wang Jianguo, et al. Effect of earth conductivity and length of line on lightning induced voltage of 10 kV overhead distribution lines[J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(2): 672-683.
- [17] 吴田, 徐小康, 黎鹏, 等. 500 kV交直流同塔输电线路感应电压和电流的多因素分析[J]. 高压电器, 2022, 58(5): 47-55.
Wu Tian, Xu Xiaokang, Li Peng, et al. Multi factor analysis on induced voltage and current of 500 kV AC/DC transmission lines on the same tower[J]. High Voltage Apparatus, 2022, 58(5): 47-55.
- [18] 李宽宏, 梁一桥, 毕仁明. 避雷线不停电直流融冰感应电压抑制方法研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2021, 42(3): 126-131.
Li Kuanhong, Liang Yiqiao, Bi Renming. Study on induction voltage suppression method when DC de-icing of lightning conductor without power outage[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2021, 42(3): 126-131.
- [19] 王宇, 王建国, 彭向阳, 等. 220 kV同塔双回路输电线路架空地线感应电流与电能损耗[J]. 高压电器, 2013, 49(5): 31-38.
Wang Yu, Wang Jianguo, Peng Xiangyang, et al. Overhead ground wires induction current and energy loss of 220 kV double circuit transmission lines[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(5): 31-38.
- [20] 汪惟源, 程锦闽, 孙义, 等. 双回路电缆—架空线混合线路感应电压电流计算[J]. 电力工程技术, 2021, 40(4): 89-94.
Wang Weiyuan, Cheng Jinmin, Sun Yi, et al. Calculation of induced voltage and induced current of double circuit cable-overhead hybrid line[J]. Electric Power Engineering Technology, 2021, 40(4): 89-94.
- [21] 祁纳哈, 蔡汉生, 廖民传, 等. 计及架空地线的配电线路雷电感应过电压模型及应用[J]. 电网技术, 2021, 45(6): 2413-2419.
Qi Ruihan, Cai Hansheng, Liao Minchuan, et al. Lightning induced over-voltage model and application in distribution lines with overhead ground wires[J]. Power System Technology, 2021, 45(6): 2413-2419.
- [22] 孔晓峰, 方玉群, 赵俊杰, 等. 防雷防冰灾架空地线系统方案研究[J]. 高压电器, 2021, 57(7): 154-161.
Kong Xiaofeng, Fang Yuqun, Zhao Junjie, et al. Research on the scheme of overhead ground wire lightning protection and melting-ice system[J]. High Voltage Apparatus, 2021, 57(7): 154-161.
- [23] 陶修哲. 500 kV同塔双回路地线的感应电压电流研究[J]. 电气开关, 2021, 59(6): 93-95.
Tao Xiuzhe. Study on induced voltage and current of 500 kV double-circuit lines on the same tower[J]. Electrical Switch, 2021, 59(6): 93-95.
- [24] 纪晓妍, 方春华, 游海鑫. 基于多元非线性回归模型的220 kV电缆油终端缺陷场强预测[J]. 智慧电力, 2023, 51(8): 96-103.
Ji Xiaoyan, Fang Chunhua, You Haixin. Field strength prediction of 220 kV cable oil terminal defects based on multivariate nonlinear regression model[J]. Smart Power, 2023, 51(8): 96-103.

王为术(1972—),男,博士后,教授,研究方向为高电压技术(通信作者)(E-mail: wangweishu@ncwu.edu.cn)。

田博彦(1995—),男,硕士研究生,研究方向为高压输电与线路绝缘。