

同走廊内多回交流线路对在建设线路的 感应电压电流影响研究

邱国斌¹, 汪晶毅², 梁盼望², 王衍东²

(1. 国家电网公司直流建设分公司, 北京 100052; 2. 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)

摘要: 多回电力线路同走廊架设可以避免对土地资源的分割, 降低对地方规划和发展的影响, 但是同走廊内先期运行的线路会在后建线路导线架设时产生感应电压和感应电流, 影响施工安全。本文针对同走廊内多回交流线路在一建的直流线路上产生的感应电压电流进行了理论分析和仿真研究, 对影响因素包括系统运行方式、线间距离、放线长度等进行了分析, 仿真结果表明同走廊内的交流线路由于线间距离较远, 感应电压电流不显著, 但当在建线路放线长度较长时, 需注意放线过程中沿线的感应电压影响。研究成果对电力线路邻近带电线路施工架线具有指导意义。

关键词: 交流线路; 感应电压; 感应电流; 线间距离; 运行方式

中图分类号: TM751

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)04-0076-06

Influence Research on Induced Voltage and Current of Multi AC Transmission Lines to the Power Line Under Construction in the Same Corridor

QIU Guobin¹, WANG Jingyi², LIANG Panwang², WANG Yandong²

(1. State Grid DC Construction Company, Beijing 100052, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: Multi power transmission lines arranged in the same corridor can avoid the land division, and reduce the adverse effect on the local planning and development, but the personal safety of operators in the process of towers and conductors erection of subsequent power lines should be seriously considered as a result of the induced voltage and current of the energized transmission lines in the corridor. One DC line under construction taken as an example, induced voltage and current generated from multi AC transmission lines in the same corridor were calculated and studied with ATP-EMTP electromagnetic transient program. The influence factors including the operating mode of the system, the distance between power lines and length of stringing conductors were analyzed at the same time. The research shows that the induced voltage and current are not significant because of lines under construction far from energized lines in the same corridor, while the induced voltage along the stringing conductors will be paid much attention to when the length of stringing conductors are much longer. The research results also have guiding significance to power lines' construction which is adjacent to live lines.

Key words: AC transmission lines; induced voltage; induced current; distance between power lines; operation mode

随着输电线路走廊的日益紧张, 线路走廊成为制约电网建设的重要因素。为了避免对土地资源的分割、降低对城市规划的影响, 多采用多回

线路平行架设的走线方式, 以方便协议的取得。在同走廊内由于各回线路建设时间有先有后, 在后续线路建设时, 需要考虑前期建成的已运行线路对后续线路施工建设的影响。目前国内外研究主要侧重于同塔多回线路全部建成后, 当部分线路停运时, 其余运行线路在停运线路上产生的感应电压电流影响, 以确定停运线路上的感应电压电流, 确定两端变电站的接地开关选型^[1-4]。而多回线路平行走线对在建线路施工的影响与这种

收稿日期: 2017-06-12

基金项目: 中国能建广东院科技项目: 同塔多回线路电气协同优化研究(EV04051W)

作者简介: 邱国斌(1973), 男, 湖北鄂州人, 工程师, 硕士, 主要从事特高压直流建设管理的工作(e-mail)qgb2002@163.com。

同塔多回路的感应电压电流存在差异, 比如: 放线长度根据工程实际情况会有长有短; 考虑平行线路间导线的不同步摆动, 线间距离会发生变化; 平行线路的运行方式复杂多变等, 这些都需要结合工程实际开展研究工作, 从而复核和验证在建线路的施工接地方案以及接地线的选型。这些研究工作尚未见到文献报道, 因此有必要开展同走廊内多回运行线路对在建线路的感应电压、电流分析研究工作, 从而确保后建线路在施工架线时的安全可靠, 指导线路的施工和组织实施。

本文以一在建的特高压直流线路施工架线为例, 对同走廊内平行的电力线路包括超高压 750 kV 单、双回线路和 330 kV 双回线路的感应电压电流进行了计算。受带电线路运行方式、在建线路与相邻线路的线间距、施工放线长度等多种因素的影响, 在建线路的感应电压电流变化较大, 本文对上述影响因素均做了全面的分析计算。

1 线路参数

1.1 平行线间距

根据西电东送战略布局以及大气污染防治的需要, 甘肃河西走廊地带建设了多条超特高压交直流线路, 形成了较为密集和拥挤的线路输送走廊。在原有电力走廊内, 需要新建一特高压直流线路。各线路在同走廊内的平行线间距离如图 1 和图 2 所示。

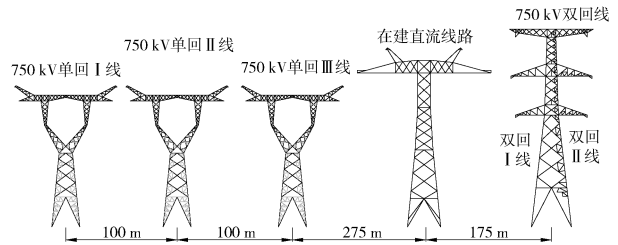


图 1 在建线路与同走廊线路的示意图一

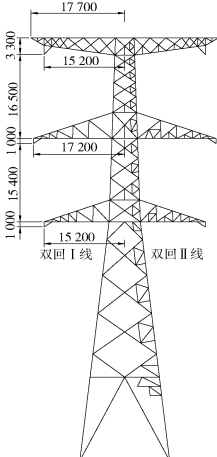
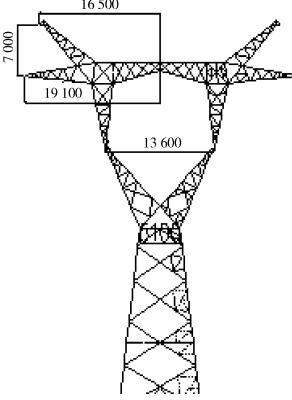
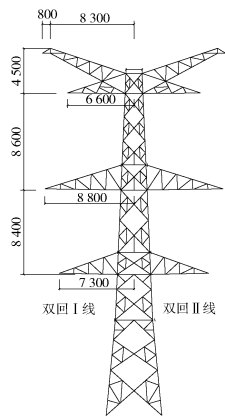
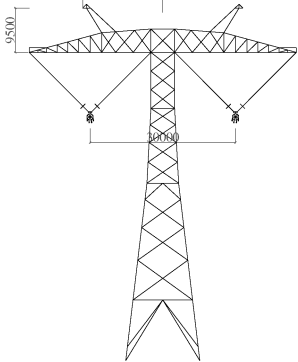
Fig. 1 Diagram of power lines in the same corridor(1)

1.2 导地线和相序布置

各线路导地线和相序布置详见表 1 所示。

表 1 导地线空间位置和相序布置图

Tab. 1 Diagrams of conductors and shielding wires position and phase sequence

线路名称	750 kV 双回线	750 kV 单回线	330 kV 双回线	在建直流线路
杆塔型式 /mm				
导、地线平均高 /m	下、中、上导线分别为 25、40.4、56.9, 地线 70.2	导线 25, 地线 42	下、中、上导线分别为 18、26.4、35, 地线 45.1	导线 37.3, 地线 64.5
导、地线型号	6 × JL/G1A-400/50 JLB20A-150	6 × JL/G1A-400/50 JLB20A-150	2 × LGJ-300/40 OPGW-100	8 × JL/G1A-1250/70 JLB20A-240
分裂间距/m	0.4	0.4	0.4	0.55
输送潮流/MVA	2 500/4 500	2 500/4 500	400/650	—
相序布置	面向线路前进方向, 双回 I、II 线自上向下依次为 A、C、B 和 B、C、A	面向线路前进方向, I、II、III 回线自左向右均为 C、B、A	面向线路前进方向, 双回 I 线、II 线自上向下均依次为 C、B、A	面向线路前进方向, 分为左极、右极

注: “输送潮流”一栏“/”左侧为交流单回线路正常输送容量, “/”右侧为交流单回线路 N-1 输送容量。

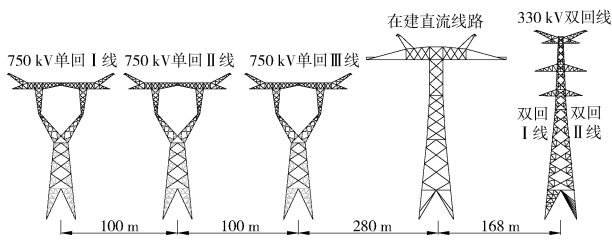


图2 在建线路与同走廊线路的示意图二

Fig. 2 Diagram of power lines in the same corridor(2)

1.3 计算工况

在线路架设方式较为简单时,可通过理论分析判断相邻带电线路在最严重工况下对在建线路架设时的感应电压电流影响。当线路架设方式复杂多样、在不能准确理论判断相邻带电线路在何种运行工况、以及相邻多条带电线路在何种组合工况下对架线线路的感应电压、电流影响最严重时,则对相邻线路各种系统运行状态进行计算,最后综合对比得出最严重工况下的感应电压和感应电流值。

1.4 计算内容

根据本工程与超特高压线路平行走线的线间距和平行走线长度的实际情况,考虑到施工单位放线需要,本文研究330 kV和750 kV线路分别在不同放线长度(1~9 km和1~3 km)下对本线路的交流感应电压、电流,并分析交流线路运行方式、线间距等因素对本线路感应电压、电流的影响。

2 建模方法

由于同走廊内带电线路的电磁耦合和静电耦合作用,后建线路张力放线时会在导线上产生感应电压和感应电流。根据施工时在建线路两端的接地情况,感应电压和电流可分为以下3种工况:1)架设线路两端均未接地,这时带电回路在在建线路上产生的主要是静电感应电压;2)架设线路一端良好接地(如通过张力机接地),带电回路在在建回路接地点上产生的主要是静电感应电流,非接地点处产生的主要是电磁感应电压;3)架设线路两端良好接地(如通过张力机、牵引机接地),带电线路在后建线路接地点上产生的主要是电磁感应电流。

目前对于感应电压电流的计算主要有理论公式计算和程序仿真计算两种。

2.1 理论公式

对静电感应,有

$$[I] = j\omega[C][V] \quad (1)$$

式中:[I]为各相导线上的电流;[C]为各相导线间的导纳矩阵;[V]为各相导线上的电压^[5]。

对在建线路,当两端不接地时,感应电流 $I_A = I_B = I_C = 0$,可以计算出带电线路在在建线路上的静电感应电压;当两端接地时,感应电压 $U_A = U_B = U_C = 0$,可以计算出带电线路在在建线路上的静电感应电流。

对电磁感应,有:

$$[V] = [Z][I] \quad (2)$$

式中:[V]为各相导线上的电压;[Z]为各相导线间的阻抗矩阵;[I]为各相导线上的电流^[5]。

对在建线路,当两端接地时,感应电压 $U_A = U_B = U_C = 0$,可以计算出带电线路在在建线路上的电磁感应电流;当在建线路不接地时,感应电流 $I_A = I_B = I_C = 0$,可以计算出带电线路在在建线路上的电磁感应电压。

2.2 程序仿真

对拥挤走廊内的多条线路,线路间和各相导线间彼此作用复杂,并且线路的相序和架设方式也多种多样,采用理论公式进行计算较为困难。ATP-EMTP程序是世界上应用最为广泛的电磁暂态计算的标准程序,可适用于过电压计算、交直流系统仿真、高次谐波计算以及电力系统稳态计算等多个方面,得到了较为广泛的应用^[6-10]。本文采用ATP-EMTP程序进行感应电压电流的研究。

3 结果分析

3.1 相邻330 kV线路的影响

本线路与330 kV双回线平行走线段长度约8.8 km,在330 kV线路双回正常运行时,本线路不同放线长度下(1~9 km)的感应电压电流计算如图3所示。可以看出,330 kV对本线路的静电感应电压总体较小,由于330 kV线路在本线路右侧走线,所以左极的感应电压(0.7 kV左右)要小于右极(1 kV左右)。静电感应电压与放线长度基本无关,这是因为当在建线路两端悬空时,静电感应电压主要由线路间的分布电容造成的静电电压耦合组成,主要由运行电压值和耦合电容值决定,在线路参数确定的情况下,静电感应电压与线路长度无关。

当放线长度较长、仅在张力机侧单点接地时,未接地的末端电磁感应电压可以达到70~80 V,在施工放线时需要引起注意,此时沿线的电磁感应电

压分布如图 4 所示, 随着放线长度的增加, 末端感应电压近似呈线性增长。这是因为当在建线路一端接地、一端悬空时, 接地侧流过的主要是静电感应电流, 悬空侧主要是由电磁感应电压组成。线路的电磁感应电压主要由运行线路电流经过耦合电感在在建线路上的电磁感应电压组成, 在线路参数确定的情况下, 电磁感应电压随线路长度增加线性增加。

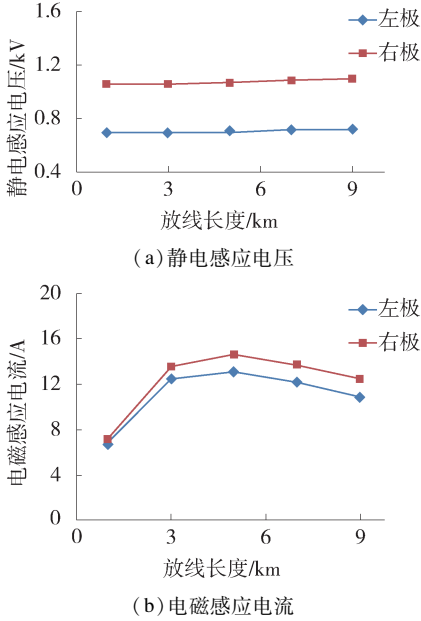


图 3 330 kV 线路双回正常运行时在建线路上产生的感应电压电流

Fig. 3 Induced voltage and current on the line under construction generated by 330kV double circuits operation

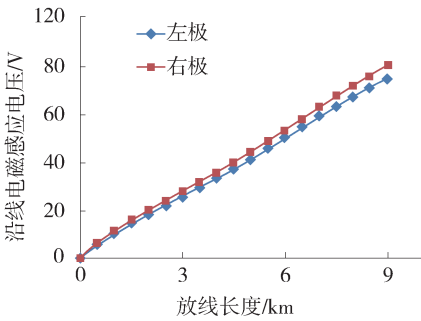


图 4 330 kV 线路双回正常运行、在建线路首端接地时沿线电压分布

Fig. 4 Induced voltage along conductors on the line under construction (single point grounded) generated by 330 kV double circuits operation

当 330 kV 线路 N-1 运行时(为偏严重考虑, 取靠近本线路双回 I 线运行, 远离本线路的双回 II 线停运), 虽然 N-1 运行工况下的线路单回输送潮流增加, 但两端不接地时的感应电压比双回正常运行时

减少约 0.4 kV(左极)和 0.5 kV(右极), 两端接地时的感应电流变化不大。这是因为 330 kV 双回线路采用同相序布置方式, 在双回正常运行情况下, 两回线在本线路上的感应电压电流有叠加的效果, 而 N-1 运行时, 则感应电压电流反而有所减小。

考虑在架线过程中, 由于张力较小, 导线的弧垂较大, 风偏后距离带电线路的线间距会有所减小, 故对线间距的影响进行了计算如图 5 所示。

可以看出, 由于 330 kV 线路与本线路距离较远, 即使考虑线间距大幅减小至 100 m 后, 产生的最大静电感应电压也不到 3 kV(330 kV 线路双回运

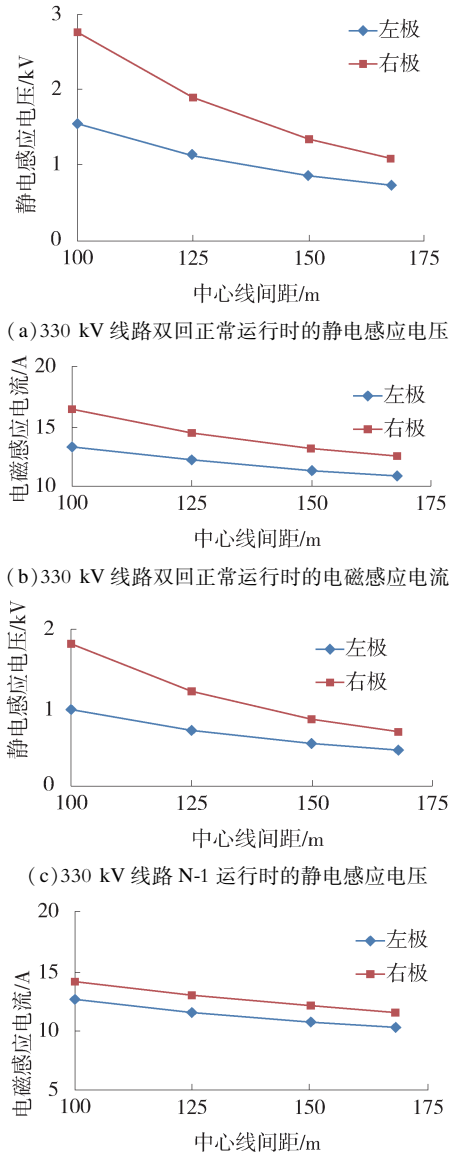
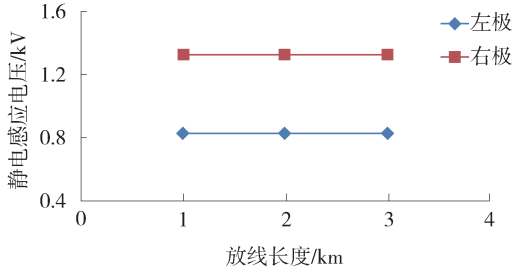


图 5 与 330 kV 线路的线间距对感应电压电流的影响
Fig. 5 Influence of lines distance with 330 kV on induced voltage and current

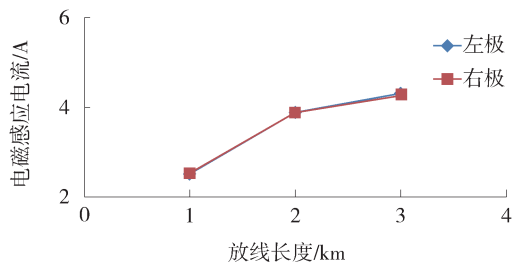
行)和2 kV(330 kV 线路 N-1 运行),而在计算的线间距范围内电磁感应电流变化也仅增加数安培。

3.2 相邻 750 kV 线路的影响

本线路与 750 kV 双回线平行走线段长度约 2.5 km,在 750 kV 线路双回正常运行时,本线路不同放线长度下(1~3 km)的感应电压电流计算如图 6 所示。



(a) 静电感应电压



(b) 电磁感应电流

图 6 750 kV 线路双回正常运行时在本线路上产生的感应电压电流

Fig. 6 Induced voltage and current on the line under construction generated by 750 kV double circuits operation

可知,与 330 kV 线路的感应电压电流类似,750 kV 对本线路的静电感应电压总体较小,左极的静电感应电压要小于右极,左极的电磁感应电流与右极接近。由于平行走线长度较短,当架线线路放线长度 3 km、单点接地时,未接地的末端电磁感应电压约 15 V 左右,此时沿线的感应电压分布如图 7 所示,左右极上的电磁感应电压数值差异较小。随着放线长度的增加,末端感应电压近似呈线性增长。

当 750 kV 线路 N-1 运行时(为偏严重考虑,取靠近本线路的 I 线运行,远离本线路的 II 线停运),由于 750 kV 线路采用的是逆相序布置,相比于双回正常运行工况, N-1 运行时感应电压增加约 1.2 kV(左极)和 1.7 kV(右极),感应电流变化不明显,总体感应电压、感应电流均较小。

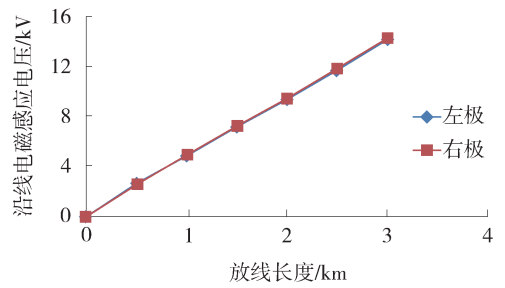
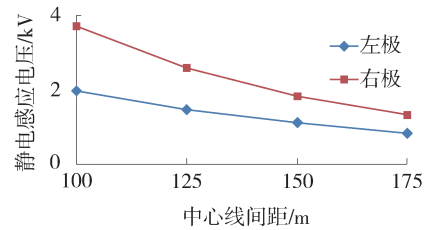


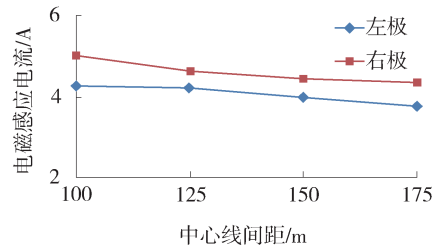
图 7 750 kV 线路双回正常运行、在建线路单点接地时沿线电压分布

Fig. 7 Induced voltage along conductors on the line under construction (single point grounded) generated by 750 kV double circuits operation

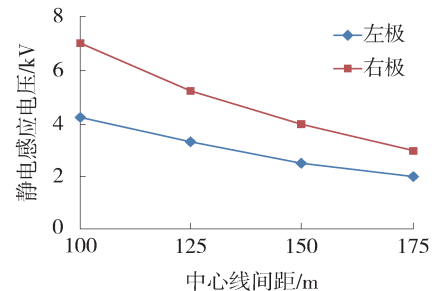
与 330 kV 线路类似,研究了线间距对施工架线时感应电压电流的影响,如图 8 所示。由于 750 kV 线路与本线路距离较远,即使考虑线间距大幅减小至 100 m 后,产生的最大静电感应电压约 3.5 kV(750 kV 线路双回运行)和 7 kV(750 kV 线路 N-1 运行),实际上,由于本线路与 750 kV 双回线的中



(a) 750 kV 线路双回正常运行时的静电感应电压



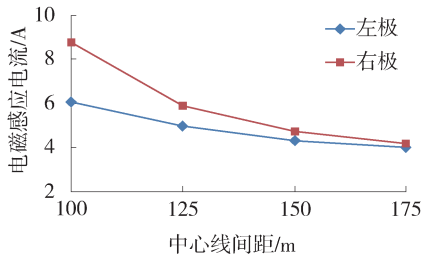
(b) 750 kV 线路双回正常运行时的电磁感应电流



(c) 750 kV 线路 N-1 运行时的静电感应电压

图 8 与 750 kV 线路的线间距对感应电压电流的影响

Fig. 8 Influence of lines distance with 750 kV on induced voltage and current



(d) 750 kV 线路 N-1 运行时的电磁感应电流

图 8(续) 与 750 kV 线路的线间距对感应电压电流的影响

Fig. 8(Cont) Influence of lines distance with 750 kV on induced voltage and current

心线间距为 175 m, 即使考虑风偏摆动, 线间距也不会缩小至 100 m。在本线路左侧走线的 750 kV 三条单回线路, 距离本线路的最小线间距已接近 300 m, 因此施工架线时这三条线路的影响可忽略不计。

总的来说, 本工程平行走线段的 330 kV 和 750 kV 线路因距离较远, 即使计及导引绳、导线的风偏摆动后线间距减小的因素, 在交流线路双回正常运行和单回 N-1 运行时, 感应电压电流值均较小。由于平行走线段交流线路有多条, 运行方式复杂, 虽然间距较远, 但仍需注意做好施工架线的接地工作。

4 结论

1) 同走廊 330 kV 线路对在建线路的静电感应电压总体较小, 由于 330 kV 线路在在建线路右侧走线, 左极上的感应电压要小于右极。当放线长度较长、仅在张力机侧单点接地时, 未接地的末端电磁感应电压为 70~80 V, 在施工放线时需要引起注意。随着放线长度的增加, 末端感应电压近似呈线性增长。

2) 同走廊 750 kV 双回线对在建线路的静电感应电压总体较小, 同样左极的感应电压要小于右极。由于平行走线长度较短, 当架线线路单点接地时, 未接地的末端电磁感应电压约 15 V 左右, 随着放线长度的增加, 末端感应电压近似呈线性增长。

3) 感应电压电流值与交流线路的相序布置关系密切。330 kV 双回线路采用同相序布置方式, 在双回正常运行情况下, 两回线在本线路上的感应电压电流有叠加的效果, 而 N-1 运行时, 感应电压电流

要小于双回正常运行工况。由于采用逆相序布置, 750 kV 双回线 N-1 运行工况下的感应电压电流均明显高于双回正常运行工况。

4) 750 kV 单回线路距离在建线路的最小线间距已接近 300 m, 因此施工架线时这三条线路的影响可忽略不计。

5) 同走廊内的 330 kV 和 750 kV 线路因距离较远, 在计算的线间距范围内感应电压电流较小。但由于同走廊段交流线路有多条, 运行方式复杂, 虽然间距较远, 但仍需注意做好施工架线的接地工作。

参考文献:

- [1] 蔡广林, 曹华珍, 王晓彤. 500 kV 同塔四回线路感应电压与感应电流分析 [J]. 南方电网技术, 2009, 3(14): 141-144. CAI G L, CAO H Z, WANG X T. The analysis of induced voltage and induced current for 500 kV parallel-four-circuit transmission lines [J]. Southern Power System Technology, 2009, 3(14): 141-144.
- [2] 李斌, 曹荣江, 顾霓鸿. 关于同杆双回线路检修回路中接地开关开断工况的研究 [J]. 电网技术, 1995, 19(1): 42-46. LI B, CAO R J, GU N H. Study on making and breaking behavior of the earthing switches on the common-tower double-circuit lines [J]. Power System Technology, 1995, 19(1): 42-46.
- [3] 陈亚伦, 李志国. 伊敏—冯屯 500 kV 同塔双回线路不平衡度、感应电流及潜供电流研究 [J]. 电网技术, 1995, 19(6): 13-17.
- [4] 刘俊勇, 颜天佑, 丁俊杰, 等. 同塔四回输电线路检修作业临时接地线挂接方式研究 [J]. 电网与清洁能源, 2016, 32(1): 19-23.
- [5] ANDERSON J G 等著. 电力工业部武汉高压研究所译. 345 kV 及以上超高压输电线路 [M]. 北京: 电力工业出版社, 1981.
- [6] DOMMEL H W. 电力系统电磁暂态理论 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1991.
- [7] 王晓彤, 林集明, 班连庚, 等. 1 000 kV 同塔双回线路不平衡度及换位方式分析 [J]. 电网技术, 2009, 33(5): 1-5.
- [8] 王晓彤, 班连庚, 林集明, 等. 金昌—酒泉 750 kV 同塔双回路紧凑型线路换位方式分析 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(16): 102-107.
- [9] 张要强, 张天光, 王子平, 等. 1 000 kV 同塔双回输电线路电气不平衡度及换位问题研究 [J]. 电网技术, 2009, 33(1): 1-4.
- [10] 李健, 谢帮华, 文武, 等. 750 kV 同塔双回输电线路电气不平衡度及换位研究 [J]. 电力建设, 2007, 28(6): 27-30.