

徐州—南京 1 000 kV 输电线路潜供电流 影响因素分析及高抗中性点接地电抗优化计算

牛涛¹, 谢珍建¹, 钱康¹, 许文超¹, 张英娇²

(1. 江苏省电力设计院, 江苏省 南京市 211102; 2. 西安交通大学 电气工程学院, 陕西省 西安市 710049)

Analysis on Factors Impacting Secondary Arc Current in 1 000 kV Transmission Line From Xuzhou to Nanjing and Optimized Calculation of Grounding Reactor Connected to Neutral of High Voltage Shunt Reactors

NIU Tao¹, XIE Zhenjian¹, QIAN Kang¹, XU Wenchao¹, ZHANG Yingjiao²

(1. Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 211102, Jiangsu Province, China;

2. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shaanxi Province, China)

ABSTRACT: Taking 1 000 kV power transmission line from Xuzhou to Nanjing, which adopts the structure of double-circuit on the same tower, for example, a mathematical model of this project is built by electromagnetic transient analysis software ATP-EMTP, then the calculation and analysis on the method to suppress secondary arc current by adding a grounding reactor connected to the neutral of high voltage shunt reactors are performed. The influences of many factors such as line transposition modes and tower types etc. on secondary arc current are calculated in details and it is found that as for the towers with similar structure the line transposition modes greatly influence secondary arc current, thus it is recommended that this 1 000 kV transmission line should be thoroughly transposed twice in reverse direction along its full length under reverse phase sequence. Considering various factors comprehensively, an optimized method to select the grounding reactor is given; and based on the respective calculation results of three possible operation modes of transmission line adopting the structure of double-circuit on the same tower, the recommended impedance value of grounding reactor connected to the neutral of HV shunt reactors is given.

KEY WORDS: UHV power transmission; double-circuit transmission line on the same tower; secondary arc current; transposition mode; shunt reactor; neutral grounding reactor

摘要: 以 1 000 kV 徐州—南京同塔双回输电线路为例, 利用 ATP-EMTP 电磁暂态分析程序建立了数学模型, 对加装高压并联电抗器中性点接地电抗限制潜供电流的方法进行了计算分析。详细计算了线路换位方式、线路塔型等多种因素对潜供电流的影响, 发现同类塔型中线路换位方式对潜供电流的影响最大, 推荐采用逆相序的 2 次反向全换位法。综合考虑各种影响因素后提出了接地电抗的优化选取方法, 针

对同塔双回线路可能出现的 3 种运行方式分别计算, 推荐了中性点接地电抗阻值。

关键词: 特高压输电; 同塔双回线路; 潜供电流; 换位方式; 并联电抗器; 中性点接地电抗

0 引言

特高压输电线路故障绝大部分为单相接地故障, 为提高系统的稳定性和供电的可靠性, 一般采用快速单相自动重合闸技术^[1]。研究表明, 单相自动重合闸能否成功在很大程度上取决于故障点的潜供电流大小和恢复电压幅值及其上升速度。由于特高压输电线路电压高、线路长、相间电容和互感数值大, 潜供电弧燃烧时间较长^[2]; 同塔双回线路的潜供电流更大, 使单相自动重合闸的成功率大幅降低, 对系统危害极大。

目前采用的限制潜供电流和恢复电压的措施主要有 2 种: 加装高压并联电抗器中性点接地电抗或使用快速接地开关^[3-5]。根据 1 000 kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程及 1 000 kV 淮南—皖南—浙北—沪西输变电工程的运行经验, 采用加装高压并联电抗器中性点接地电抗的方法补偿线路相间电容, 可有效减小潜供电流与恢复电压, 加快潜供电弧的熄灭^[6-7]。

特高压同塔双回线路的潜供电流与恢复电压受多种因素的影响, 如系统运行电压、线路输送潮流、线路实际长度、线路塔型、线路换位方式、线路地线接地方式、故障点位置及同塔双回路运行方

式、大地电阻率等^[1,8-16]。这些因素的变化可能导致中性点接地电抗的选取发生变化,因此有必要研究这些因素的变化对潜供电流的影响,使所推荐的接地电抗对这些因素的变化具有一定的适应性。

本文利用电磁暂态分析程序 ATP-EMTP 建立了拟建设的 1000kV 徐州—南京输电线路模型,详细研究了上述各种因素对潜供电流的影响,并提出了接地电抗阻值的优化选取方法。

1 中性点接地电抗的补偿原理及计算

1.1 补偿原理

故障相潜供电流由容性分量和感性分量 2 部分组成。容性分量因健全相电压通过双回线路的相间和回间耦合电容的静电感应而产生;感性分量因健全相的电流通过相间和回间互感的电磁感应而产生。潜供电流主要取决于容性分量,通过合理补偿可以部分或完全消除容性分量。感性分量与故障点的位置和健全相的电流有关,因此难以采用补偿的方法加以消除^[7]。

采用加装并联电抗器中性点接地电抗的方法相当于增加了相间电感,可以补偿相间电容,减小潜供电流的容性分量。

1.2 选取依据

1000kV 线路用高压并联电抗器中性点应经接地电抗器接地,中性点接地电抗器参数应按所接线路相间电容接近全补偿的原则进行选择,同时也应考虑限制潜供电流的要求和对并联电抗器中性点绝缘水平的要求。

潜供电流的持续时间既与其数值大小有关,又与故障电流大小、故障切除时间、电弧长度以及故障点风速等因素有关。根据 1974 年国际大电网会议资料,无电流间隙时间 t (单位 s)和潜供电流 I (单位 A)的关系可表示为 $t \approx 0.25(0.1I+1)$,据此,可计算出潜供电流与潜供电弧熄弧时间关系,如表 1 所示。

设计时一般做如下考虑:潜供电流在 20A 以下时可采用快速重合闸;潜供电流在 20~30A 之间时

表 1 潜供电流与潜供电弧熄弧时间关系
Tab. 1 Relation between secondary arc current and arc-extinguishing time

序号	潜供电流/A	熄弧时间/s
1	10	0.500
2	15	0.625
3	20	0.750
4	25	0.875
5	30	1.000

可采用慢速重合闸;潜供电流大于 30A 时,采取可靠措施或在保证系统稳定水平的条件下,适当延长重合闸间歇时间,以保证可靠熄弧。

对于特高压输电线路,应控制潜供电流在较小值,原则上应控制在 20~30A 以下,从而保证单相重合闸的无电流间隙时间在 0.8~1s 以内。

1.3 计算条件和运行方式

1000kV 徐州—南京输电线路全长 287.5km,按同塔双回线路设计,导线型号选取 8×LGJ-630,双回线路两侧均安装 600Mvar 高压并联电抗器。

该输电线路典型高峰运行方式为:南京变电站 1000kV 母线运行电压在 1060kV 左右,双线输送功率约 8000MW。根据本文下述章节对潜供电流影响因素的分析,拟采用基于逆相序的反向换位法,且考虑 2 次全换位,全线采用推荐塔型,呼高取 51m,故障处接地电阻取 300Ω。

利用电磁暂态分析程序 ATP-EMTP 建立了图 1 所示的输电线路模型, Z_1 、 Z_2 分别为首末端电源阻抗, X_p 为线路两端并联电抗器, X_N 为中性点接地电抗。针对同塔双回线路运行中可能出现的如下 3 种运行方式分别进行计算: 1) 运行方式 1, 双回路运行; 2) 运行方式 2, 单回路运行、停运线路悬空; 3) 运行方式 3, 单回路运行、停运线路接地。

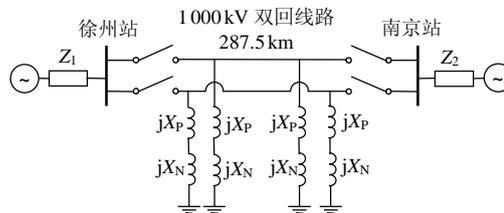


图 1 1000 kV 徐州—南京输电线路接线

Fig. 1 Schematic diagram of 1000 kV transmission line from Xuzhou to Nanjing

1.4 计算结果

按上述计算条件,潜供电流和恢复电压与中性点接地电抗之间的关系分别如图 2 和图 3 所示。

由图 2、3 可以看出,如要求 1000kV 徐州—

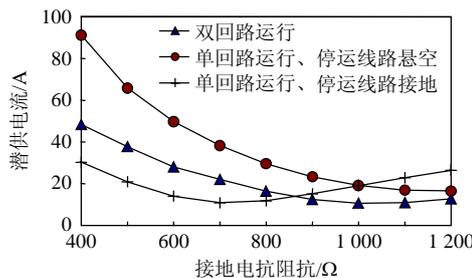


图 2 潜供电流与接地电抗阻值关系

Fig. 2 Relation between secondary arc current and impedance of neutral grounding reactor

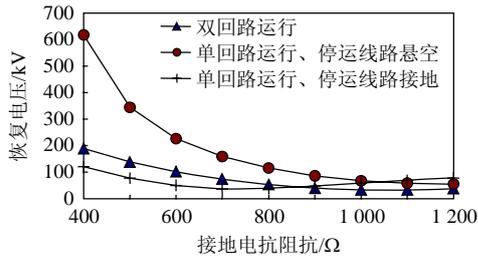


图3 恢复电压与接地电抗阻值关系
Fig. 3 Relation between recovery voltage and impedance of neutral grounding reactor

南京线路在3种运行方式下均保证潜供电流在20A以下,建议高抗中性点接地电抗选择1000Ω。其中,单回路运行、停运线路悬空的运行方式属于较短的过渡期,例如单回线路发生三永故障,两侧线路跳开后的过渡期,或者是线路检修时无故障跳开线路两侧开关后的过渡期,该方式持续时间短,在选择接地电抗控制潜供电流时,也可不予考虑。若不考虑此种运行方式,中性点接地电抗阻抗建议选择700~800Ω。

1000kV 徐州—南京线路的输电能力对华东受端电网的安全稳定起着决定性的作用,而中性点接地电抗的选取直接影响到该线路的稳定性。因此,应在各种可能的运行方式下选择合理的中性点接地电抗将潜供电流限制到最小值,从而提高徐州—南京线路的输电能力。

同塔双回线路的回间、相间耦合复杂,潜供电流受众多因素影响,因此有必要了解各因素对潜供电流影响的原理和程度,找出主要影响因素,以便优化选取中性点接地电抗。

2 线路换位方式对潜供电流的影响

同塔双回线路的换位方式是影响潜供电流的最主要因素。线路采用逆相序垂直布置时的不平衡度最小^[9],若只进行1次全换位,则有图4所示的2种换位方式:反向换位法和同向换位法。

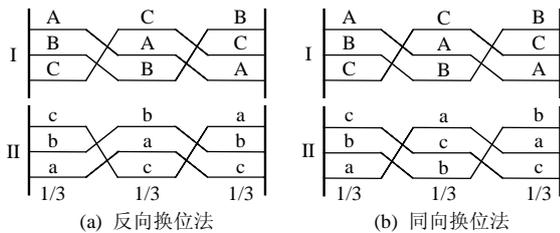


图4 线路换位方式
Fig. 4 Transposition mode

根据文献[8]的结论,采用反向换位法时的潜供电流相对较小,本文算例也易于验证此结论。当采用1次反向全换位时,潜供电流和恢复电压的计算

结果见表2。

表2 采用1次反向全换位时的计算结果
Tab. 2 Calculation results with once transposition in reverse direction

接地电抗阻值/Ω	运行方式1		运行方式2		运行方式3	
	潜供电	恢复	潜供电	恢复	潜供电	恢复
	电流/A	电压/kV	电流/A	电压/kV	电流/A	电压/kV
400	52.3	205.1	102.9	676.1	41.2	79.0
500	42.0	153.9	77.0	401.7	31.6	116.8
600	33.4	116.1	60.8	276.4	24.0	84.1
700	26.4	87.7	49.2	204.2	21.8	73.0
800	20.7	66.5	40.5	157.0	28.1	90.8
900	16.4	51.2	33.7	124.4	33.6	105.4
1 000	13.8	41.7	28.6	101.2	38.5	117.7

由表2可以看出,若同时考虑3种运行方式,无论中性点接地电抗如何选取都不能将潜供电流控制在30A以内。若不考虑单回路运行、停运线路悬空运行方式,中性点接地电抗选择700~800Ω,可将潜供电流控制在30A以内,线路重合闸无电流间隙时间在1s内。由于该线路较长,采用1次全换位时,潜供电流仍较大,推荐采用2次全换位。

同塔双回线路按逆相序排列,分别针对不换位及图5所示的2次反向全换位、2次同向全换位3种换位方式计算其潜供电流,计算结果见表3(中性点接地电抗选择1000Ω)。

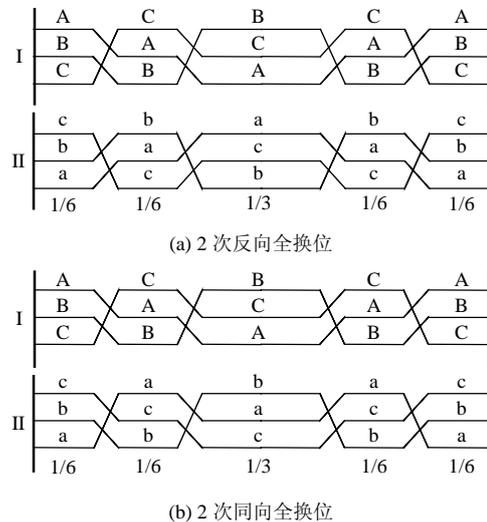


图5 线路2次全换位方式

图5 Twice transposition mode of transmission line

表3 采用不同换位方式时的计算结果
Tab. 3 Calculation results with different transposition modes

换位方式	运行方式1		运行方式2		运行方式3	
	潜供电	恢复电	潜供电	恢复电	潜供电	恢复电
	流/A	压/kV	流/A	压/kV	流/A	压/kV
不换位	79.5	230.6	117.9	525.6	104.8	339.3
2次反向全换位	10.6	32.1	19.1	67.4	19.0	58.0
2次同向全换位	46.3	140.4	18.5	65.9	19.2	58.3

由表 3 可见,当中性点接地电抗一定时,线路换位方式对潜供电流的影响很大,不换位时潜供电流最高达到 117.9 A,采用 2 次同向全换位时的潜供电流也比 2 次反向全换位时的潜供电流大许多。

采用反向换位方式可将潜供电流控制在 20 A 以下。经过仿真计算得知,即使在不换位或 2 次同向全换位时,重新选取中性点接地电抗,其潜供电流仍然大于 20 A。因此建议该线路采用逆相序的 2 次反向全换位方式,从而有利于控制潜供电流。

3 线路塔型对潜供电流的影响

输电线路在设计过程中,可能会拟采用多种塔型,1000kV 徐州—南京输电线路拟用的主要直线塔型如图 6 所示,其中推荐塔型的使用占绝大部分,而对比塔型在工程中也占据一定的比例。

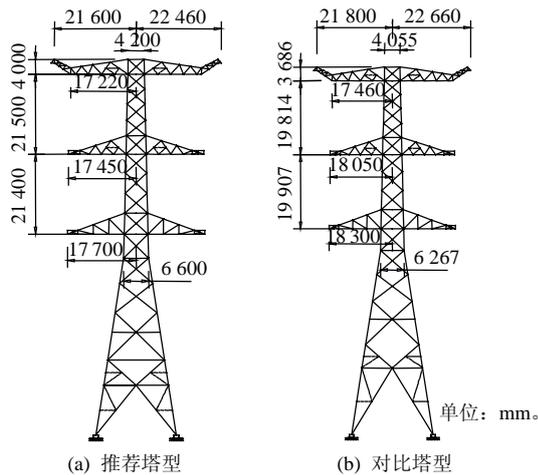


图 6 线路塔型
Fig. 6 Tower type

图 6 所示的线路塔型仅表示出了在塔身处各导线之间的电气距离,由于线路在设计过程中还会有众多跨越,因此线路杆塔的呼高与档距会千变万化,不同的呼高与档距均会影响到线路的电磁耦合关系。杆塔的呼高与档距可近似采用导线的平均对地高度反映其电气参数,因而不同的呼高与档距都可以通过改变导线的平均对地高度近似实现。

为分析塔型结构、导线平均对地高度对潜供电流和恢复电压的影响,计算如下 4 种特殊方式(假设档距不变): 1) 全部采用推荐塔型,呼高为 51 m; 2) 全部采用对比塔型,呼高为 51 m; 3) 全部采用推荐塔型,呼高降低 4 m; 4) 全部采用推荐塔型,呼高升高 8 m。

在典型高峰运行方式下,采用 2 次反向全换位,

中性点接地电抗选择 1000Ω 时,上述 4 种特殊方式的潜供电流和恢复电压计算结果见表 4。

表 4 采用不同塔型及导线平均对地高度时的计算结果
Tab. 4 Calculation results with different tower types and average heights between lines and ground

塔型	运行方式 1		运行方式 2		运行方式 3	
	潜供 电流/A	恢复 电压/kV	潜供 电流/A	恢复 电压/kV	潜供 电流/A	恢复 电压/kV
推荐塔型	10.6	32.1	19.1	67.4	19.0	58.2
对比塔型	10.6	32.1	18.9	66.9	18.8	57.5
降低 4 m	11.2	33.3	17.3	58.5	21.1	63.0
升高 8 m	10.3	32.4	24.2	91.8	16.1	51.0

由表 4 可见,2 种塔型的潜供电流和恢复电压差异不大,这是因为 2 种塔型属于同种类型的杆塔,在结构和相间距离上差异较小,若对比塔型采用其他类型的杆塔,则潜供电流可能具有较大差异。

系统处于运行方式 1 时,中性点接地电抗完全补偿相间电容,导线平均对地高度增加引起的相间电容变化非常有限,因此引起的潜供电流变化不明显。

系统处于运行方式 2 时,中性点接地电抗对线路相间电容的补偿为欠补偿(相间呈现容性),当导线平均对地高度升高时,线路相间欠补偿程度增加,潜供电流增加;当导线平均对地高度降低时,欠补偿程度减少,潜供电流减小。

系统处于运行方式 3 时,中性点接地电抗对线路相间电容的补偿为过补偿(相间呈现感性),当导线平均对地高度升高时,线路相间过补偿程度降低,潜供电流减小;当导线平均对地高度降低时,过补偿程度增加,潜供电流也增加。

因此,当系统处于运行方式 2 或方式 3 时,导线平均对地高度对潜供电流有较大的影响。

4 影响潜供电流的其他因素

4.1 故障点位置对潜供电流的影响

采用加装并联电抗器中性点接地电抗的方法补偿相间电容,减小了潜供电流的容性分量,而潜供电流的感性分量在线路上的分布规律是:两侧较大,中间较小。

表 5 详细计算了故障点位于线路不同位置时(L 为线路全长)的潜供电流,通过观察可以发现,线路两侧故障时的潜供电流较大,而线路中间故障时的潜供电流较小。因此如果线路两侧故障时的潜供电流(主要为感性分量)可控制在要求的范围内,则在线路中间故障时的潜供电流也能够得到控制。

表 5 不同故障点位置的潜供电流计算结果
Tab. 5 Calculation results of secondary arc current with different short circuit positions^A

故障点位置	运行方式 1	运行方式 2	运行方式 3
徐州侧	5.4	19.1	19.0
L/6	4.4	15.7	19.0
2L/6	3.9	13.5	17.7
3L/6	4.6	10.2	15.0
4L/6	6.9	12.0	17.8
5L/6	8.4	14.8	19.0
南京侧	10.6	17.5	19.0

4.2 故障点接地电阻对潜供电流的影响

在潜供电流计算中,一般将故障点接地电阻按线性电阻处理。国家发改委《220~750kV 电网继电保护装置运行整定规程》^[17]中规定,接地故障保护最末一段(例如零序电流 IV 段),应以适应下述短路点接地电阻值的接地故障为整定条件: 220kV 线路, 100Ω; 330kV 线路, 150Ω; 500kV 线路, 300Ω; 750kV 线路, 400Ω。对于实际电网中的高阻接地故障,可认为其过渡电阻数值为上述数量级。

为了解接地电阻对潜供电流的影响程度,表 6 给出了接地电阻取 0~500Ω 时的潜供电流计算结果,可以看出,在采用加装并联电抗器中性点接地电抗的方法限制潜供电流的线路中,接地电阻的变化对潜供电流影响很小。文献[5]也得出了同样的结论,同时还指出在采用快速接地开关的方法限制潜供电流的线路中,接地电阻的变化对潜供电流的影响很大。

表 6 不同接地电阻时的潜供电流计算结果
Tab. 6 Calculation results of secondary arc current with different grounding resistances^A

接地电阻/Ω	运行方式 1	运行方式 2	运行方式 3
0	10.64	19.16	19.15
100	10.63	19.15	19.13
200	10.61	19.12	19.10
300	10.58	19.08	19.04
400	10.54	19.02	18.97
500	10.48	18.95	18.87

4.3 其他因素

通过大量仿真计算发现,系统运行电压、线路输送潮流、线路长度、地线接地方式、线路路径等多种因素均会影响潜供电流的大小,通过分析得到下列结论。

1) 系统运行电压。若系统运行电压升高,潜供电流容性分量增大,当中性点接地电抗补偿容量接近完全补偿相间电容时,对潜供电流影响很小。

2) 线路输送潮流。若线路输送潮流增加,潜供电流感性分量增大,导致潜供电流增大。

3) 线路长度。工程中,线路长度可能会因为改线等原因发生变化,但一般变化范围不会太大。线路长度对潜供电流的影响取决于中性点接地电抗补偿线路相间电容的程度。

完全补偿时,线路长度不论增加还是减少,潜供电流均增加;过补偿时,若线路长度增加,过补偿程度减小,潜供电流减小,反之若线路长度减小,则潜供电流增大;欠补偿时,若线路长度减小,欠补偿程度减小,潜供电流减小,反之若线路长度增加,则潜供电流增大。

4) 地线接地方式。地线接地方式对潜供电流的影响十分有限,采用连续接地方式时的潜供电流略小于采用分段一点接地方式。因此,地线接地方式可以从减小电能损耗的角度予以考虑^[10]。

5) 线路路径。沿线大地电阻率的变化对潜供电流的影响较小。

5 结论

1) 特高压同塔双回线路的换位方式是影响 1000kV 徐州—南京线路潜供电流的最主要因素,采用逆相序的反向换位法可有效降低潜供电流水平,由于线路较长,需要进行 2 次全换位。

2) 导线平均对地高度对潜供电流的影响较大,需要计算所选取的中性点接地电抗对其变化的适应性。

3) 其他影响因素对潜供电流的影响不大,选取中性点接地电抗时,须根据实际情况酌情考虑。

4) 通过对各影响因素的计算分析,推荐拟建设的 1000kV 徐州—南京线路高抗中性点接地电抗选取 1000Ω。

参考文献

- [1] 尹忠东,周丽霞,肖湘宁,等.特高压同杆双回功率传输对潜供电流的影响[J].高电压技术,2009,35(4):717-721.
Yin Zhongdong, Zhou Lixia, Xiao Xiangning, et al. Influence of power transmission capacity of UHV double-circuit transmission line on secondary arc current[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(4): 717-721(in Chinese).
- [2] 陈剑萍,张思,丘文千,等.特高压线路潜供电流的仿真计算[J].电力自动化设备,2009,29(4):71-75.
Chen Jianping, Zhang Si, Qiu Wenqian, et al. Simulative calculation of UHV line secondary arc current[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(4): 71-75(in Chinese).
- [3] 舒印彪.1 000 kV 交流特高压输电技术的研究与应用[J].电网技术,2005,29(19):T1-T6.
- [4] 刘振亚.特高压电网[M].北京:中国经济出版社,2005:167-172.
- [5] 韩彦华,施围.故障点接地电阻对超高压输电线路潜供电流的影

- 响[J]. 西安交通大学学报, 2002, 36(6): 555-558.
- Han Yanhua, Shi Wei. Effects of grounding resistance on secondary arc current in extra-high-voltage transmission lines[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2002, 36(6): 555-558(in Chinese).
- [6] 韩彬, 林集明, 班连庚, 等. 1 000 kV 特高压交流试验示范工程单相重合闸研究[J]. 电网技术, 2009, 33(16): 20-23.
- Han Bin, Lin Jiming, Ban Liangeng, et al. Study on single-phase reclosing issues for 1 000 kV UHVAC transmission pilot project[J]. Power System Technology, 2009, 33(16): 20-23(in Chinese).
- [7] 刘海军, 韩民晓, 文俊, 等. 特高压双回线路并联电抗器中性点小电抗的优化设计[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(11): 87-91.
- Liu Haijun, Han Minxiao, Wen Jun, et al. Optimized neutral reactor design of shunt reactor for UHV double-circuit lines[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(11): 87-91(in Chinese).
- [8] 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.
- Wang Xiaotong, Lin Jiming, Ban Liangeng, et al. Analysis on unbalance factor and transposing modes for 1 000 kV double-circuit transmission lines on the same tower[J]. Power System Technology, 2009, 33(5): 1-5(in Chinese).
- [9] 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.
- Chen Yalun, Li Zhiguo. Study of unbalance factor and induced current for Yimin-Fengtun 500 kV double-circuit tower line[J]. Power System Technology, 1995, 19(6): 13-17(in Chinese).
- [10] 李振强, 戴敏, 娄颖, 等. 特高压线路地线布置方式对地线电能损耗及潜供电流的影响[J]. 电网技术, 2010, 34(2): 24-28.
- Li Zhenqiang, Dai Min, Lou Ying, et al. Effect of UHV ground wire disposition on its electric energy loss and secondary arc current[J]. Power System Technology, 2010, 34(2): 24-28(in Chinese).
- [11] 李召兄, 文俊, 苗文静, 等. 特高压输电线路潜供电流的计算分析[J]. 现代电力, 2010, 27(1): 6-11.
- Li Zhaoxiong, Wen Jun, Miao Wenjing, et al. Calculation analysis of secondary arc current on UHV transmission lines[J]. Modern Electric Power, 2010, 27(1): 6-11(in Chinese).
- [12] 梅忠恕. 超高压电网潜供电流与单相重合闸[J]. 云南电力技术, 1999, 27(3): 15-18.
- Mei Zhongshu. Secondary arc current and single-phase reclosing on UHV transmission lines[J]. Yunnan Electric Power, 1999, 27(3): 15-18(in Chinese).
- [13] 张媛媛, 班连庚, 林集明, 等. 1000kV 同塔双回输电线路潜供电流研究[J]. 电网技术, 2009, 33(15): 87-92.
- Zhang Yuanyuan, Ban Liangeng, Lin Jiming, et al. Research on secondary arc current of 1000kV double-circuit transmission lines on the same tower[J]. Power System Technology, 2009, 33(15): 87-92(in Chinese).
- [14] 郭志红, 孙为民, 高波, 等. 500 kV 郟城—泰安紧凑型输电线路的潜供电流限制及单重时间配合[J]. 电网技术, 2006, 30(17): 79-83.
- Guo Zhihong, Sun Weimin, Gao Bo, et al. A study on restriction of secondary arc current and time coordination of single phase reclosing for 500 kV compact transmission line from Yuncheng to Tai'an[J]. Power System Technology, 2006, 30(17): 79-83(in Chinese).
- [15] 田庆. 特高压工程高抗中性点绝缘水平及小电抗选择[J]. 高电压技术, 2009, 35(3): 475-479.
- Tian Qing. Choice of neutral inductance and insulation level of shunt reactor neutral point in UHV AC pilot project[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(3): 475-479(in Chinese).
- [16] 刘洪顺, 李庆民, 邹亮, 等. 安装故障限流器的输电线路潜供电弧特性与单相重合闸策略[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(31): 62-67.
- Liu Hongshun, Li Qingmin, Zou Liang, et al. Secondary arc characteristics and single-phase autoreclosure scheme of EHV transmission line with fault current limiter[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(31): 62-67(in Chinese).
- [17] 华东电业管理局, 电力科学研究院. DL/T 559—2007 220 kV~750 kV 电网继电保护装置运行整定规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2008.



牛涛

收稿日期: 2010-09-16。

作者简介:

牛涛(1984), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统规划、电力系统电磁暂态仿真, E-mail: niutao@jspdi.com.cn;

谢珍建(1980), 男, 本科, 工程师, 研究方向为电力系统规划、电力系统电磁暂态仿真;

钱康(1977), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统规划、电力系统电磁暂态仿真;

许文超(1979), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统规划、电力系统电磁暂态仿真。

张英娇(1985), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统安全经济运行、电网络故障诊断。

(责任编辑 马晓华)