

同杆架设或部分同杆架设 500 kV 双回线 线路接地开关的选择

李长益, 魏 旭

(江苏省电力科学研究院, 江苏 南京 210036)

Selection of Grounding Switch for 500kV Double-transmission Line or Segment Double-transmission Line

LI Chang-yi, WEI Xu

(Jiangsu Province Electric Power Test and Research Institute, Nanjing 210036, China)

摘要: 不换位的双回输电线路或部分同杆架设双回输电线路有一回停运检修时,该线路的接地开关需切断较大的电容性和电感性感应电流。笔者对此进行了计算、分析和实测,并提出了选择这类接地开关的原则。

关键词: 接地开关; 感应电流; 同杆架设双回路

中图分类号: TM864

文献标识码: B

Abstract: When one of untransposed double- or segment double-transmission line is to be changed to function after maintenance is finished, grounding switch of that line should break capacitive and inductive current induced from the adjacent line. In this paper, calculation, analysis and measurement of the current are presented, and principles of choosing grounding switch in this situation is proposed.

Key words: grounding switch; inductive current; double-transmission line

1 概述

随着电力生产的发展,500 kV 系统已成为我国电力系统的主干网,500 kV 输电走廊越来越紧张,采用同杆架设双回输电线路或部分同杆架设双回输电线路已成为必然的选择。理论上,不换位的双回输电线路一回带电运行,一回停运接地检修时,运行线路将在停运线路上产生感应电流,停运线路转成冷备用时,线路接地开关需切断这些感应电流^[1]。某些条件下,500 kV 不换位的双回输电线路,停运线路的感应电流很大,对线路侧接地开关的要求较高,选择时需进行必要的计算。

按照 IEC 标准,接地开关可分为两类,见表 1。

一般对于较长的超高压输电线路,线路均会进行换位。由于完全换位困难较大,选择线路接地开关时会选用 II 类接地开关。当线路较短时,往往会忽略感应电压(电流)的影响。扬江双回线全线采用同杆

表 1 接地开关参数表

I 类接地开关	电磁感应	额定感应电流/A	80
		额定感应电压/kV	2
	静电感应	额定感应电流/A	1.6
		额定感应电压/kV	8
II 类接地开关	电磁感应	额定感应电流/A	200
		额定感应电压/kV	25
	静电感应	额定感应电流/A	25
		额定感应电压/kV	25

架设双回输电线路,线路全长 38.356 km,未采取换位措施,在设计时就没有考虑感应电压(电流)的影响,线路两侧均采用 I 类接地开关。投入运行后,为了保证扬江双回路的安全运行,用 EMTP 程序进行了计算和分析,并对扬江 I 线投运,扬江 II 线的感应电压进行了实测。此外,还对部分同杆架设线路的情况进行了大量的计算。计算结果表明,没有进行换位的短同杆架设线路或部分同杆架设的线路必须进行验算决定是否要选 II 类接地开关。

2 计算参数的选取

2.1 线路主要技术参数

线路长 38.356 km; 最大输送容量 2×600 MW; 地线采用分段绝缘,在每一基耐张塔(终端塔除外)上,靠扬二厂一侧利用带间隙的绝缘子进行绝缘,另一侧直接接地。

2.2 塔型的选取

扬江线全线铁塔中,SZT1 型塔数量较多,共 62 基,计算时选择该种塔型尺寸,SZT1 型塔的结构、尺寸以及导线布置形式见图 1。

2.3 档距及弧垂的选取

扬江线全线档距分布比较复杂,计算时取平均档距 420 m。

计算表明,弧垂差别不大时,对计算结果的影响较小,计算时取最小弧垂。

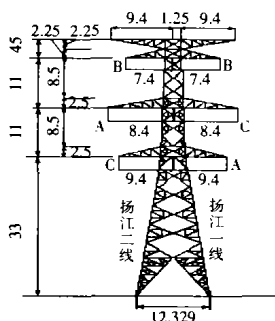


图1 SZT1-33型塔的结构和尺寸(单位:m)

2.4 导线、地线参数

线路导线、地线使用参数见表2。

表2 导线、地线参数

	LGJ-400/35	LXGJ80
股数×单股直径/mm	铝股 48×3.22	/
	钢股 7×2.5	19×2.30
截面积/mm ²	铝股 390.88	/
	钢股 34.36	78.94
	总计 425.24	78.94
铝钢截面比	11.38	/
直径/mm	26.82	11.5
20℃直流电阻/(Ω·km ⁻¹)	0.073 89	/

20℃时铁的电阻率为 $9.78 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{mm}$, 由此可计算出20℃时地线直流电阻为 $1.238 92 \Omega/\text{km}$ 。计算中土壤电阻率取为 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 。

3 计算模型和计算方法的选取

部分同杆架设线路见图2。点1右侧为非同杆架设部分, 两回线间无耦合。该段线路的长度为零时即为完全同杆架设线路。计算中, 用10段π型电路来模拟扬江双回线, 架空地线选取间隔地线的模型。

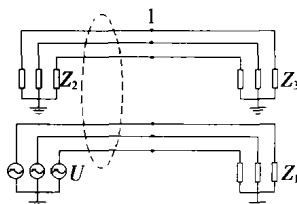


图2 部分同杆架设线路计算模型示意图

4 计算结果及分析

4.1 一回线空载时, 另一回线感应电压计算值与实测值的比较

在扬江线系统调试过程中, 当扬江I线首端加压500kV, 末端空载; 扬江II线不加压且两端不接地时, 实测了扬江I线对扬江II线的感应电压, 考虑5000pF CVT电容的影响后, 不同模型下的计算结果同实测值见表3。计算结果和实测值还是比较一致的。

表3 感应电压的计算与实测结果 V

	A相	B相	C相
π型模型 首端	10 569	28 364	10 792
间隔地线 末端	10 559	28 393	10 806
实测值	9 295	25 605	6 905

4.2 一回线路最大负荷时的计算结果

扬江I线运行, 输入端电压525kV, 线路带最大负荷1200MW, 功率因数取0.85, 扬江II线停运。全线用10段π型电路来模拟, 采用间隔地线模型, 线路不换位, 迭代得等效负载为 $84.852 + j52.586 \Omega$ 。感应电压和感应电流的计算结果见表4。

表4 感应电压和感应电流计算结果

	首端			末端			
	A相	B相	C相	A相	B相	C相	
电流 /A	两端不接地	/	/	/	/	/	
	两端接地	59.5	285.4	235.4	60.9	287.5	236.6
	首端三相接地	1.29	4.19	2.14	/	/	/
	末端三相接地	/	/	/	1.20	3.87	1.92
电压 /V	两端不接地	11 298	30 431	12 000	10 545	28 291	10 443
	两端接地	/	/	/	/	/	/
	首端三相接地	/	/	/	975	3 599	2 392
	末端三相接地	947	3 574	2 376	/	/	/

注: 两端接地时的感应电流即为IEC标准中的电磁感应电流, 单端接地时的感应电流即为静电感应电流。

从表1和表4可以看出, 电磁感应电流最大值为287.5A, 已超过了II类开关的开断电磁感应电流能力; 静电感应电流最大4.19A, 远远超过了I类开关的开断静电感应电流能力。

4.3 不同输送功率下的计算结果

在不同输送功率下的计算结果见图3。可以看到, 当一回线路运行, 另一回线路停电检修时, 流过接地开关的静电感应电流与运行线路传输的功率无关; 流过接地开关的电磁感应电流与运行线路传输的功率呈正比例关系。运行线路输送功率超过300MW后, 电磁感应电流的计算值超过I型接地开关的切断能力。输送功率超过850MW后, 按IEC标准中规定的II型接地开关也将不能开断电磁感应电流(实际上, 有些国外公司的隔离开关的接地开关切断电感性电流的能力达300A, 设计时应根据具体情况选择)。

4.4 不同线路长度下的计算结果

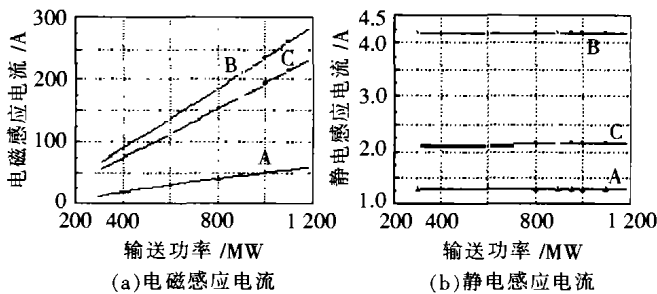


图3 感应电流和线路传输功率的关系曲线

当传输相同功率(1200MW, 功率因数0.85)时, 对于不同线路长度下的感应电流进行了比较计算。计算时扬江I线输入端电压取525kV, 采用模量法, 间隔地线模型, 计算结果见图4。

计算结果表明, 当一回线路带电运行, 另一回线路停电检修时, 流过接地开关的电磁感应电流随运行线路长度的减小有少量降低; 流过接地开关的静电感应电流与运行线路的长度呈正比例关系。

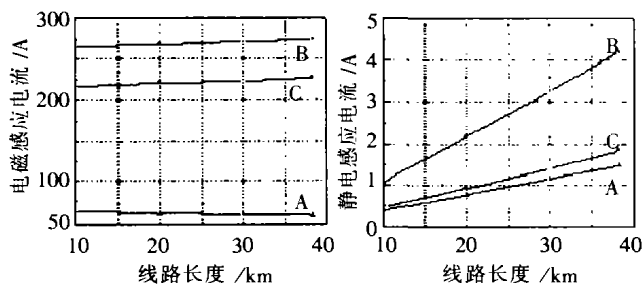


图4 感应电流和线路长度的关系

4.5 线路部分同杆架设时感应电流的计算

为解决变电站出线走廊紧张的问题,许多变电站采取了出线段同杆架设一定距离后,再分开架设的办法。对这种情况下感应电流的大小也进行了计算。

计算中非同杆架设线路的计算参数根据实测的几条 500 kV 线路参数确定,见表 5。

表 5 计算用线路的每公里参数值

正序阻抗/ Ω	零序阻抗/ Ω	正序电容/ μF	零序电容/ μF
$0.265 \angle 84.97^\circ$	$0.693 \angle 78.17^\circ$	0.013 4	0.008 3

取输入端电压 525 kV,传输功率 1 200 MW,功率因数 0.85,同杆架设线路采用模量法,不换位,计算结果见图 5,图 6。

从图 5 和图 6 可以看出,对一定的同杆架设线路长度和输送功率,随着非同杆架设线路长度的增加,电磁感应电流降低,静电感应电流受运行线路电流的影响,有少量的增加。当非同杆架设线路长度和同杆架设线路长度的比值一定时,电磁感应电流和输送功率呈正比例关系。当运行线路输送 1 200 MW 功率,非同杆架设线路长度为同杆架设线路长度 3 倍

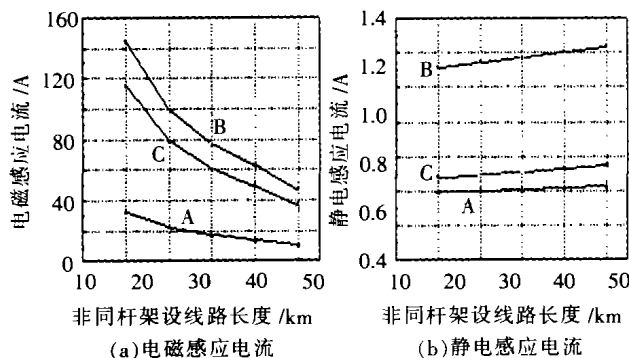


图 5 同杆架设线路长 10 km 时,感应电流与非同杆架设线路长度的关系

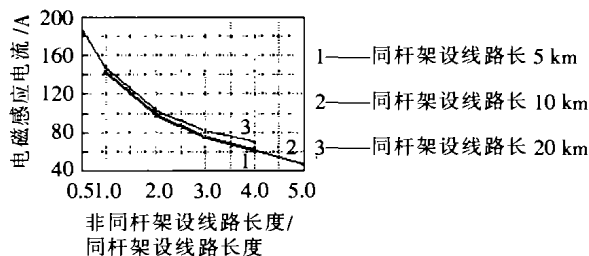


图 6 电磁感应电流与非同杆架设线路长度和同杆架设线路长度比值的关系

以上时,电磁感应电流将降至 80 A 以下,达到 I 类接地开关的开断要求。

5 结论

(1)完全同杆架设不换位线路一回线带电运行,另一回线停电检修时,流过接地开关的静电感应电流与运行线路传输的功率无关,与线路的长度呈正比例关系。在同杆架设线路中还有非同杆架设线路时,静电感应电流比原同杆架设线路的静电感应电流大。一般而言,同杆架设线路长度超过 15 km 后,静电感应电流就大于 1.6 A。无论线路是否完全同杆架设,都需采用 II 类接地开关。

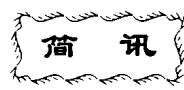
(2)完全同杆架设不换位线路一回线运行,另一回线停电检修时,流过接地开关的电磁感应电流与运行线路传输的功率呈正比,与线路长度的关系不大。就扬江线而言,扬江单回线输送功率超过 300 MW 后,就需考虑采用 II 类接地开关。

(3)对部分同杆架设的线路,在同杆架设线路长度和输送功率一定的情况下,随着非同杆架设线路长度的增加,电磁感应电流降低,静电感应电流有少量的增加。在一定的负荷条件下,电磁感应电流的大小与非同杆架设线路长度和同杆架设线路长度的比值有关。在设计中应根据典型参数及线路的实际长度计算选用。

参考文献:

[1] 吴维韩,张芳榴.电力系统过电压数值计算[M].北京:科学出版社,1989.

作者简介:李长益(1946-),男,工学硕士,教授级高工,从事过电压保护工作。



2020 年中国能源消费量将占亚洲 45%

据日本能源经济研究所预测,2020 年亚洲初级能源消费量将达到 46 亿吨(换算成石油),是 2000 年的 1.9 倍。随着中国经济高速增长,能源消费量将是 2000 年的 2.2 倍。

中国在整个亚洲所占的能源消费量比重也将由 2000 年的 38%扩大到 2020 年的 45%。同期日本能源消费仅增加 7%。亚洲电力消费量 20 年间将增加 1.2 倍;由于汽车的保有量将从 1.4 亿台增加到 3.4 亿台,带动能源消费。2020 年世界总的能源消费量将是 2000 年的 1.5 倍,其中亚洲能源消费量占一半。