

西宁—日月山 750 kV 同塔双回线路接地开关选择研究

钟 蓉

(湖南省送变电建设公司 湖南 长沙 410007)

摘 要:简要分析了同塔双回线路感应电流和电压的产生原理,结合西宁至日月山 750 kV 同塔双回线路工程实际,应用 ATP 仿真软件进行了建模仿真计算,其计算结果表明同塔双回线路接地开关的电容、感应电压等参数可能超出 IEC 标准的 B 类开关限值,对类似工程设计具有重要参考意义。

关键词:750 kV 同塔双回线路;接地开关;ATP

Abstract: The occurring principle of the induced current and voltage of double circuit transmission lines on the same tower is analyzed briefly. Based on the parameters of 750 kV Xining - Riyueshan project, the modeling and simulation calculation are carried out by ATP. According to the calculation results, the parameters of earthing switch in double circuit transmission lines on the same tower such as capacitance, induced voltage et al, may exceed the requirements of the switches of type B in IEC standards. It gives a reference for the design of the similar projects.

Key words: 750 kV transmission lines on the same tower; earthing switch; ATP

中图分类号:TM75 文献标志码:B 文章编号:1003-6954(2011)05-0054-04

0 引 言

西宁—日月山 750 kV 输电线路工程是西宁—日月山—乌兰—格尔木 750 kV 输变电工程的一部分,也是青藏联网工程的配套项目。本工程是为了贯彻落实党中央、国务院实施“西部大开发”的战略目标,缓解海西电网近期缺电局面,满足远期海西地区社会经济对电力发展的要求,对于提高海西电网的供电可靠性,加快海西地区经济、社会发展,增进民族团结,具有重要的经济及政治意义。

西宁—日月山段线路位于青海省经济发达的海东地区,线路沿线村落密集,道路纵横交错,为节约走廊资源,西宁—日月山段线路按同塔双回线路设计^[1]。对于同塔双回线路中一回线运行,另一回线停运时,在停运线路上将感应产生较高幅值的电压和电流。这主要是由于两回线路的静电耦合和电磁耦合产生的。该现象将给停运线路的检修工作以及两站拉合地刀的操作带来不利的影响,停运线路两端接地开关需要合理选择,使其具有开合感应电流、感应电压的能力。

结合西宁—日月山 750 kV 输变电工程实际,从研究模型、原理分析及仿真计算等方面对 750 kV 同塔双回线路的接地开关参数进行了研究,其相关结论

对 750 kV 同塔双回线路接地刀选择有重要参考意义。

1 研究模型

近距离的两回线路之间通过电感、电容耦合可相互感应,这种感应不会影响线路的正常运行,但当有一回线路检修、一回正常运行时,检修线路中将产生感应电流和感应电压。

对于高压输电线路,需要对其配置线路接地开关,配置此类接地开关的主要目的,是为了在线路停电检修时,确保检修人员的人身安全。所以,相关标准要求接地开关必须在主回路与大地之间提供合适可靠的电气连接。

通常,接地开关只有在被连接的主回路隔离开关分闸后才操作。因此,在输电线路正常情况下,它是不需要开、合电流的。

研究中考虑线路接地开关的 3 种工况,即线路两端接地;线路一端接地、另一端不接地;线路两端均不接地。

停运线路中产生的感应电流和电压的计算工况描述如下。

1) 工况 1

在检修过程中,检修线路两端的刀闸是接地的,

系统模型可用图1来表示。此时II回线因电磁感应，将沿回路1形成感应电流(见图1)。当检修完成后，首先断开的接地刀闸需切断回路1的感应电流。在该工况下，由于电磁耦合而产生的电磁感应电流最大。

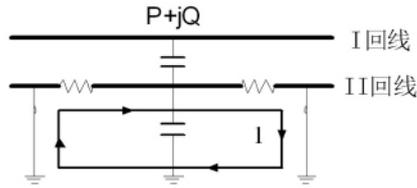


图1 检修线路两侧接地刀闸合闸

2) 工况 2

当一侧接地刀闸断开后，系统模型可用图2来表示。由于同杆双回线路间的静电耦合作用，将沿回路2形成感应电流；同时，II回线由于一侧断开，由于电磁耦合作用，将在断开端形成较高的感应电压。在该工况下，将感应产生较大的电磁感应电压和静电感应电流。

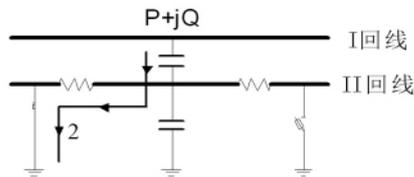


图2 检修线路一侧接地刀闸打开

3) 工况 3

在两侧的接地刀闸均断开后，系统模型可用图3来表示。此时因同杆双回线路间的静电耦合作用，将在II回线路上产生较高的感应电压。在该工况下，因静电耦合而产生的静电感应电压最大。

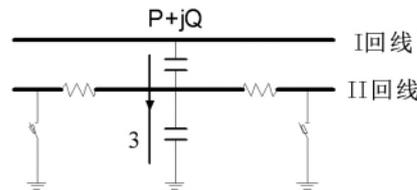


图3 检修线路两侧接地刀闸打开

一般而言，线路两端接地时，对应的感应电流为感性电流(电磁感应电流)；线路一端接地，另一端不接地时，对应的感应电流为容性电流(静电感应电流)；不接地端的感应电压为感性电压(电磁感应电压)；线路两端均不接地时，对应的感应电压为容性电压(静电感应电压)。详细定义如下。

电磁感应电流，是当不带电的输电线路的另一端

接地，且通过电流的带电线路与此接地线路平行和邻近，接地开关在不带电的输电线路的一端使线路接地或不接地时，接地开关能够开合的感性电流。

电磁感应电压，是当不带电的输电线路的另一端接地，且通过电流的带电线路与此接地线路平行和邻近，接地开关在不带电的输电线路的一端使线路不接地时，接地开关上的电压。

静电感应电流，是当不带电的输电线路的另一端开路，且通过电流的带电线路与此接地线路平行和邻近，接地开关在不带电的输电线路的一端使线路接地或不接地时，接地开关能够开合的容性电流。

静电感应电压，是当不带电的输电线路的两端开路，且通过电流的带电线路与此接地线路平行和邻近，接地开关上的电压。

输电线路接地刀主要依据以上4个参数的计算值进行选择。

2 原理分析

从前面感应电压和感应电流的产生模型分析，电磁感应主要与停运线路周围的磁场有关，交变的磁场在停运线路上感应出电压和电流。因为停运线路周围的交变的磁场大小与另一回运行线路的负荷电流(或者说传输功率)大小密切相关，所以停运线路的电磁感应电压和电流与运行线路的负荷电流大小有关。

静电感应主要与停运线路周围的电场有关，因为电场的存在，运行线路对地保持一定的电势，停运线路处于运行线路的电场中，感应后而获得对地电压。所以静电感应电压与线路运行线路电压、线路两端接地情况联系密切。

根据感应电压和感应电流的形成机理，对影响感应电流和感应电压的主要因素归纳如下。

运行线路的线路电压、负荷电流、平行线路长度、相间及回路间距离、导线高度、线路的换位方式、线路高压电抗器配置情况、线路两端接地情况、导线的相序排列、运行线路操作的影响等。

2.1 线路两端接地情况

停运线路接地线电阻大小和接地位置对感应电压大小影响较大。当停电检修的线路两端都不接地时，带电回路在停电回路上感应的电压较高；当停电检修的线路一端接地时，带电回路在停电回路上感应

的最高电压显著降低。

停运线路两端悬浮时,不仅存在静电感应还存在电磁感应,静电感应电压远远大于电磁感应电压,静电感应起决定因素。线路输送功率的大小对静电感应电压几乎没有影响。当停电线路一端接地时,线路输送的功率大,带电回路在检修回路上感应的电压也会增大。这是因为两端都不接地时,静电耦合占主导作用,而一端接地时,则静电耦合影响减弱,电磁耦合影响相对增强。

感应电压受潮流方向和大小影响不大,主要取决于接地状态,双侧不接地时最大,单侧接地时另一侧感应电压明显降低,两侧接地后接地点无电压,接地点感应电流随潮流增大而增大。

2.2 相间及回路间距离、导线高度

电磁感应电压主要由运行线路的电流产生,其值的大小与塔型尺寸的关系较小。但是,静电感应电压的大小与塔型尺寸关系较大,这是因为后者是一个电容分压的效果。当导线高度越高、运行线路与停运线路间的相间距离越小,则停运线路对地容抗与对运行线路容抗值的比值越大,则分压越多,静电感应电压越大。

2.3 线路长度

静电感应电流大小与线路长度有关,基本呈正比例关系。静电感应电压大小与线路长度关系不大。电磁感应电流大小与线路长度基本无关。电磁感应电压大小与另一回线路长度有关,基本呈正比例关系。

2.4 负荷电流

电磁耦合主要与电流有关,运行线路带载时,沿线电流较大,运行线路空载时,沿线电流逐渐减小,末端电流为零。

当停运线路两端悬浮时,静电感应起主要作用。由于运行线路空载时的沿线电压一般较负载时的沿线电压高,因此在运行线路空载时停运线路沿线的感应电压比在运行线路负载时停运线路上的感应电压略大。

停运线路一端接地时,电磁感应起主要作用,因此在运行线路空载时停运线路上的感应电压比运行线路在负载时停运线路沿线的感应电压小。

静电感应电流大小与另一回线路输送的功率基本无关。静电感应电压大小与另一回线路输送的功率的关系也不大。电磁感应电流大小与另一回线路

输送的功率有关,基本呈正比例关系。电磁感应电压大小与另一回线路输送的功率有关,基本呈正比例关系。

2.5 运行线路电压

静电耦合主要与电压有关。当运行线路的电压水平较高,如线路空载运行,或线路处于电网的送端时,对停运线路感应的电压水平比较高。

2.6 高压电抗器配置的影响

带高压电抗器的同杆双回线间的稳态和瞬态耦合作用明显强于不带高压电抗器的同杆双回线路。感应电压和电流的大小一般随线路高压电抗器的补偿度增大而增大,补偿度高的线路感应电压和电流也大。当线路高压电抗器的小电抗选择不合适时,停电线路甚至可能会产生危险的谐振过电压。

当同杆双回线路带有高压电抗器时,线路对地的容抗增大,从静电耦合的角度来看,停运线路在运行线路与地之间的分压比增大,两回路之间静电感应更为加强,因此有人称带高压电抗器的同杆双回线路为强联系的双回线。

2.7 导线排列的影响

现在,一般同杆双回路架设的线路都是鼓型排列, L_1 、 L_2 、 L_3 三相垂直分布。无论是正相序排列还是逆相序排列,最高感应电压基本相同且均出现在上相,因为上层导线对带电回路对称性差,且对地电容较小,所以感应的静电电压最大。线路换位,可以略微改善停运回路上的静电感应电压。

2.8 运行线路操作的影响

当对运行线路进行操作,停运线路全线不接地时,无论从运行线路的哪一侧切运行线路,在停运线路上都会产生相当高的衰减拍频振荡电压,沿线电流也很大,而当停运线路一端或两端接地时,则可大大降低感应电压。

3 相关标准

IEC 62271-102 标准^[2]接地开关额定参数限值如表1所示。其中A类开关主要为满足一般单回路接地需要,而B类开关则面向同塔双回线路接地需要。事实上,根据不同系统条件,在同塔双回线路设计中,相关感应电压、电流是有可能超过该标准限值的,因此,结合具体工程实际,通过对不同工况的仿真计算,给出相应的接地开关限值要求是必要的。

表1 IEC标准接地开关额定参数表(有效值)

额定电压 /kV	电磁耦合				静电耦合			
	感性电流		感性电压		感性电流		感性电压	
	/A	/kV	/A	/kV	/A	/kV	/A	/kV
800	80	160	2	20	3	25	12	32

4 仿真计算

4.1 计算条件

西宁—日月山段线路位于青海省经济发达的海东地区,地形主要为一般山地,海拔在2 420~2 960 m之间。线路沿线村落密集,道路纵横交错,有省道及多条乡间公路可供利用,交通条件较为便利。西宁—日月山段线路按同塔双回线路设计,线路航空距离为23 km,推荐路径长36 km,线路曲折系数为1.57。

西宁—日月山线路段土壤电阻率约600 Ω·m,双回路导线按逆相序排列。同塔双回线路的塔头尺寸如图4所示。导线采用6分裂LGJ-500/45钢芯铝绞线,分裂间距400 mm,全线一根地线采用JLB20A-185铝包钢绞线,另一根地线采用OPGW-175(36芯)。

采用ATP仿真软件^[3]对该段线路进行建模,并计算各种工况下系统可能出现的感应电压、电流。

4.2 计算结果

根据实际运行中,可能存在各种运行工况,本报告对以下3种典型工况进行了计算。

工况1: I回线路空载带电运行,II回线路两端都不接地。

工况2: I回线路运行,II回线路停运,II回线

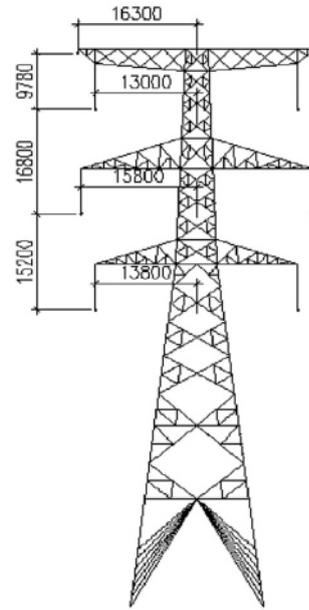


图4 典型杆塔示意图

路一端接地;

工况3: I回线路运行,II回线路停运,II回线路两端接地。

在计算中考虑以下两种运行方式。

方式1: 线路输送潮流按规划可能出现的最大潮流2 500 MW左右考虑,带电运行线路西宁侧母线电压按750 kV考虑。

方式2: 西宁侧母线运行电压按780 kV考虑。

ATP仿真计算结果如表2、3所示。

综合上述计算结果,经整理得到西宁—日月山750 kV线路接地开关参数最低限值要求如表4所示,也即该线路所选择的接地开关应满足投切以下电流和电压的限制要求。

表2 方式1感应电压、电流计算结果表

运行工况	项目	西宁侧			日月山侧		
		L ₁ 相	L ₂ 相	L ₃ 相	L ₁ 相	L ₂ 相	L ₃ 相
工况1	电压/kV	13.4	8.0	33.6	13.4	8.0	33.6
	电流/A	-	-	-	-	-	-
工况2	电压/kV	2.02	0.75	1.12	-	-	-
	电流/A	-	-	-	4.36	0.66	2.39
工况3	电压/kV	-	-	-	-	-	-
	电流/A	121	24	159	121	24	159

表3 方式2感应电压、电流计算结果表

运行工况	项目	西宁侧			日月山侧		
		L ₁ 相	L ₂ 相	L ₃ 相	L ₁ 相	L ₂ 相	L ₃ 相
工况1	电压/kV	13.9	8.3	35.1	13.9	8.3	35.1

(下转第79页)

轮值分时工作,当 1 号机开始工作时,1 号机投入平衡桥,当电压平衡时 1 号机断开平衡桥退出转为待机模式(即退出公共接地点:直流系统公共接地点退出时直流正、负母线对地电压是悬浮的),其余装置工作过程与之类似。这样就存在系统并机时,当前一台机器平衡桥退出到下一台机器平衡桥投入时存在时间差,即该时间段直流系统内没有平衡桥(即没有公共接地点) 6 台装置的循环投入和退出也就是公共接地点的循环投入和退出,从而导致直流系统正、负母线对地电压循环波动。

2 改进措施及效果

由于直流系统正、负母线对地电压循环往复的持续波动对分析直流系统故障原因带来困难,无法正确判断直流系统是否有绝缘降低或接地,一旦投运将会严重危及系统安全运行。

为了确保系统安全稳定运行,调试人员向厂家提出修改设计原理,避免 6 台绝缘监测设备间因轮值工作间隙退出平衡桥而丢失公共接地点导致直流系统电压波动的工作模式,避免直流系统绝缘降低时由于投入各装置的不平衡桥导致直流系统电压被深度拉

偏的工作模式。厂家也接受该建议,现场立即着手修改软件,变更了出厂的设计原则,修改了平衡桥的运行方式:即退出所有不平衡桥,取消每段直流母线 6 台直流绝缘监测装置轮值分时工作模式,改为永久投入 6 台装置平衡桥(即公共接地点永久存在)的工作模式。经过厂家现场反复修改软件和试验检测,最终有效解决了直流系统正、负对地电压波动问题,遂宁变电站 220 V 直流系统已投入系统运行,性能稳定,状况良好。

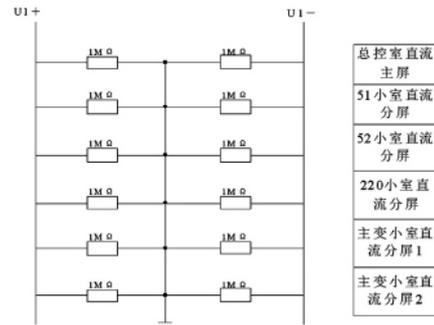


图 4 遂宁变电站改进后 220 V I 段直流系统等效回路简化图

遂宁变电站 220 V 直流系统厂家设计程序改进后等效回路简化工作原理如图 4 所示(注:II 段与 I 段完全一致)。

(收稿日期:2011-06-16)

(上接第 57 页)

表 4 接地开关参数计算结果汇总

电容电压 /kV	电容电流 /A	电感电压 /kV	电感电流 /A
35.1	4.42	2.02	159

5 结 论

(1) 对于同塔双回线路中一回线运行,另一回线停运时,在停运线路上将因静电耦合和电磁耦合感应产生较高幅值的电压和电流。线路两端接地开关需要合理选择,使其具有开合感应电流、感应电压的能力。

(2) 静电感应电流大小与线路长度有关,基本呈正比例关系。静电感应电压大小与线路长度关系不大。电磁感应电流大小与线路长度基本无关。电磁感应电压大小与另一回线路长度有关,基本呈正比例关系。静电感应与运行线路电压有关,而与负载电流关系不大;电磁感应与运行线路负载电流有关而与运行电压关系不大。

(3) 参照 IEC 标准选择的 B 类接地开关参数不一定能满足 750 kV 同塔双回线路的要求,往往需要结合具体工程条件,经仿真计算提出接地开关参数设计要求。

(4) 根据接地开关参数计算结果,建议西宁一日月山双回 750 kV 线路两端接地开关都选容性电压大于 35.1 kV 的超 B 类接地开关。

参考文献

- [1] 750 kV 西宁一日月山—乌兰输电线路工程设计计划[R]. 西安:西北电力设计院,2009.
- [2] IEC 62271-102 High-voltage Switchgear and Controlgear - Part 102: Alternating Current Disconnectors and Earthing Switches[S]. IEC 2001.
- [3] Rule Book Alternative Transient Program.

作者简介:

钟蓉(1968),女,工程师,长期从事电力系统输变电工程建设。

(收稿日期:2011-05-23)