

500 kV 内桥接线变电站停电安全浅析

庄秋月, 李凡红

(国网四川省电力公司检修公司, 四川 成都 610041)

摘要: 500 kV 变电站采用内桥接线方式具有占地少、易操作等特点, 特别针对两条出线、3 台开关的情况。其优点在于线路的停、送电操作比较方便, 发生故障时也不会影响其他回路的正常运行, 但此时主变压器发生故障或误操作所造成的安全风险因素则相对要高得多, 这就对变电站运行维护及倒闸操作的安全性提出了更高的要求。以四川首座 500 kV 内桥接线变电站为例, 详细介绍了其停送电的危险点和不同的操作方案, 并对各方案进行了风险对比, 其目的在于为运行人员的停送电操作提供决策, 进而提高变电站内的安全操作水平。

关键词: 内桥接线; 500 kV 变电站; 操作过电压; 桥开关

Abstract: The inner bridge connection in 500 kV substation has the features of small footprint and easy operation, especially for two outlets and three switches, which is more convenient for power supply interruption and power transmission and will not affect the normal operation of other lines. However, it will increase relatively higher safety risk factors when the main transformer fails or malfunction happens, so the safety and reliability of operation maintenance and switching operation in substation need higher requirements. Taking the first 500 kV substation with inner bridge connection in Sichuan for example, the relative dangerous points in power supply interruption and power transmission and the different operating programs are introduced in detail, and the risks in each program are compared, which aims to provide the decision-making for operating staff in power supply interruption and power transmission so as to increase the level of safe operation in substation.

Key words: inner bridge connection; 500 kV substation; switching - surge overvoltage; bridge switch

中图分类号: TM406 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2013)04 - 0080 - 03

500 kV 变电站在有两出线、3 台开关的情况下设计优先采用内桥接线方式, 其优点在于一方面线路的停、送电操作比较方便, 发生故障时也不会影响其他回路的正常运行; 另一方面具有占地面积少的特点。但此时主变压器发生故障或误操作所造成的安全风险因素则相对要高得多, 这就对变电站运行维护及倒闸操作的安全性提出了更高要求。

1 运行方式简介

500 kV 南坝变电站是电能量汇聚和转供的中枢站, 其内桥主接线如图 1 所示, 为简洁起见, 图中只标明了设计的开关、刀闸及母线, 其余均省略。其中, 两条 500 kV 线路分别由原连接绵阳至广元的乐昭二线路 π 而来, 主变压器高压侧则通过隔离刀闸(50124 和 20123) 与 500 kV 部分连接; 220 kV 部分采用双母单分段方式将周围小水电汇集并送至主电网中; 35 kV 采用单母方式来实现系统电压调整以及站用电供

给。因此, 该站高压侧的运行工况主要存在以下 4 种方式。

方式 1: 桥 5012 开关合位, 两条线路带两台变压器并列运行(正常运行方式);

方式 2: 桥 5012 开关合位, 一条线路带两台主变压器运行(另一条线路停电检修);

方式 3: 桥 5012 开关合位, 两条线路带一台主变压器运行(另一台主变压器停电检修);

方式 4: 桥 5012 开关分位, 两条线路分别带两台主变压器运行。

其中, 方式 1、方式 4 为常见运行方式, 变电安全性可靠性也较高; 方式 2、方式 3 仅在一条线路或一台主变压器停电检修时出现, 运行可靠性相对较低, 此时若供电线路永久性发生故障, 将极易出现全站失电的情况, 因此需采取有效措施来避免。

由于内桥方式中变压器高压侧仅设置了隔离刀闸, 而隔离刀闸不能带负荷拉合变压器^[1], 这就要求主变压器变故障停电操作时必须将变压器全停后方

可拉合此刀闸以进行主变压器故障点的隔离,从而给变压器相关的倒闸操作带来了一定的麻烦,更有可能发生误操作事故。同时,在投切变压器过程中所产生的操作过电压、励磁涌流等因素是变压器送电操作中涉及到的典型危险点,因此有必要对内桥方式下变压器操作进行对比研究。为叙述简洁,仅以变压器停电操作为例来详细分析可能带来的安全风险。

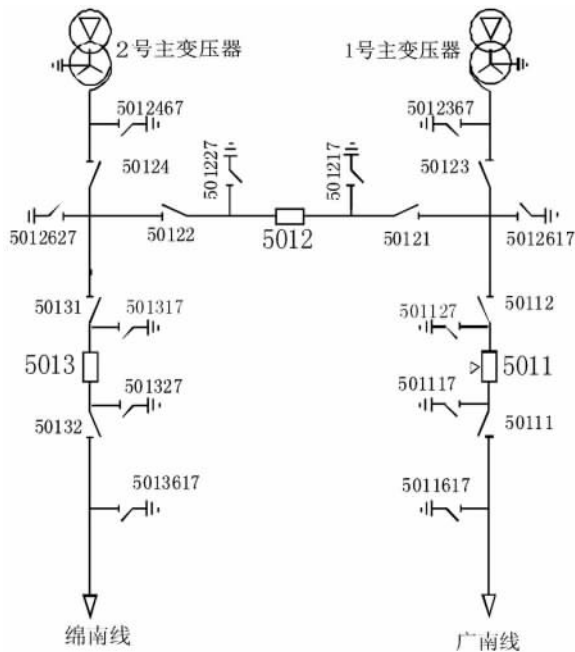


图1 500 kV南坝站一次主接线图(高压侧)

2 操作危险点分析

对于500 kV常见的3/2接线或全桥接线方式,由于变压器及两侧开关为一个完整的电气单元,变压器停电操作只需顺序拉开低、中、高压侧开关及其两侧刀闸,并做好安全措施即可。而内桥接线由于方式特殊,变压器停电操作会影响到一回线路的正常运行^[2],如有需要还必须考虑主变压器停电后对所受影响的线路恢复供电。

变压器停电操作应遵循先停负荷侧,后停电源侧的基本原则^[3]。因为变压器在操作过程中,先停电源侧时容易导致负荷侧向变压器反送电,若此时发生故障还可能造成保护装置误动或拒动,延长故障切除时间,扩大故障范围。就500 kV南坝变电站而言,220 kV部分多为小型水电站,先期投运的两条线路接至水晶电厂,电能通过水晶一、二线在变压器汇集后由广南、绵南线送出。在调度规程中关于

变压器的操作规定也明确指出:500 kV变压器宜从500 kV侧停电或充电,必要时也可以从220 kV侧停电或充电。但500 kV变电站电源侧与负荷侧并没有明显意义上的界定或规范。因此,变压器停电操作从整体上考虑两种方案(以标准运行方式1为例分析1号主变压器的停电操作,低压侧均为负荷,在此不做讨论)。

方案1:先停低压侧,再停中压侧,后停高压侧。

主变压器在断掉低压侧、中压侧负荷后,再操作500 kV部分则相当于用高压侧切断空载变压器。

①桥5012开关、线路5011开关

500 kV广南线路长达170 km,若先操作桥5012开关,则相当于长线路末端带空载变压器。根据输电线路等值电路的简化计算,可将长距离输电线路分解成若干个小距离段,得到长线路运行下的集中参数等值电路如图2所示。其中 R 、 X_L 、 X_C 分别为长线路的等值电阻、等值电抗、等值容抗。

从图2可以看出,长距离输电线路下系统的对地容抗大大提高,且分裂导线的使用可相对减小线路电抗值,即与大地平行的长距离输电线路最终类似于在线路与大地间并联了一个大容抗值的电容。由长线路运行带来的容升效应可知,电容补偿无功后将大大提升线路末端电压 U_0 。 U_0 加在空载变压器上达到一定值时可能造成变压器工作磁通密度增加、铁心饱和,即产生变压器过励磁现象,严重影响变压器绝缘。

在此基础上,此时如再操作线路5011开关,在切断空载变压器的过程中还可能出现幅值较高的操作过电压 U_1 ,它与 U_0 叠加后所产生的过电压 U 值将更大,从而对变压器及整个系统的安全运行造成极大的威胁。

另外值得一提的是:考虑到变压器本质上相当于一个感性负载,在与长距离输电线路对地的等值电容参数配合下,在进行操作时是否还可能形成振荡回路产生谐振现象出现严重谐振过电压?若 L 、 C 参数匹配,符合谐振回路构成的条件,产生的过电压还将包括因谐振引起的谐振过电压(实际可达3倍左右),最后叠加产生的过电压 U 很可能达到6倍的额定电压以上。这也是一个值得思考和分析的问题。

②线路5011开关、桥5012开关

在操作完线路5011开关后,运行方式为:绵阳

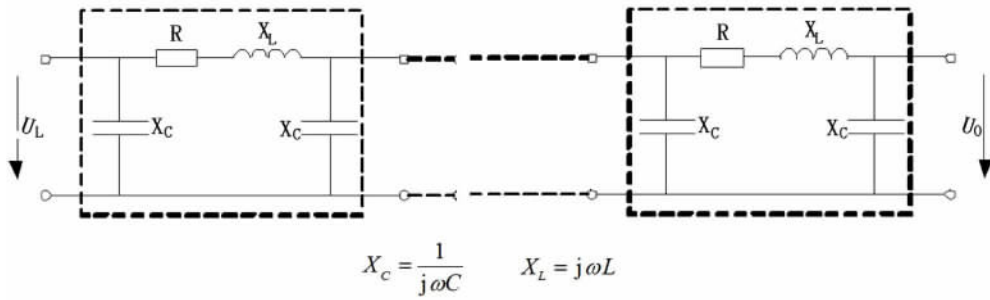


图2 输电线路集中参数等值电路

线、2号主变压器带全站负荷,此时切除桥5012开关对系统过电压及变压器绝缘影响并不大。操作过程中若1号主变压器发生故障,保护跳5012而该开关拒动,则2号主变压器也将被迫停电,从而引起全站失电。但该类事件为概率性事件,发生的可能性较小,但这也对桥开关的保护配置、功能回路提出了更高的选择性、灵敏性要求。

方案2:先停低压侧,再停高压侧,后停中压侧

前面在变压器操作的原则中已经提到,500 kV对电源侧、负荷侧没有明显的范围界定。华中电网就500 kV变压器操作顺序规定为:500 kV停(送)电,220 kV解(合)环。逆向思维从送电角度出发思考,500 kV变压器应从高压侧送电,主要基于以下因素考虑:①是变压器高压侧电流小,且都配备有完整继电保护,合高压侧开关逐步送电时若发生故障可以查看是哪步操作导致的故障以及时排查,此时低压侧未带负荷不会出现高压侧保护动作甩负荷的情况;②若是从低压侧送电,此时高压侧开路,带负荷合高压侧开关对主变压器冲击合闸时所产生的励磁涌流很大,由此带来的电动力对变压器的机械强度也是一个巨大的考验,不利于变压器的长期运行,且此时主变压器故障还可能造成甩负荷。综合上述分析可知,变压器宜从高压侧送电,停电则顺序相反。特殊情况下需要先从高压侧停电时,桥5012开关与线路5011开关的操作顺序同样也影响到变电站安全运行。

③线路5011开关、桥5012开关

这种情况下,操作先拉开线路5011开关后,变电站运行方式变为一条线路带两台主变压器供全站负荷,此时若1号主变压器发生故障,保护装置若正确动作跳开桥5012开关及中压侧201开关(5011开关及301开关已经断开),对本次倒闸操作的安全影响相对较小;若此时桥5012开关失灵拒动,则断路器失灵保护动作还将导致2号主变压器失电,

引起全站停电。因此,此种操作方式并不能满足变电站安全运行的需要。

④桥5012开关、线路5011开关

停电操作拉开桥5012开关后,由两条线路带两台变压器并列运行的方式1变成了两条线路分别带两台主变压器运行的方式4,供电可靠性并不受影响,且由于220 kV还有部分负荷,此时再操作线路5011开关,即使1号主变压器故障跳闸,对运行安全并没有多大的影响。

3 优化方案

通过以上多种操作方案的对比分析,可将各利弊总结归纳如表1。

表1 主变压器停电操作方案的利弊对比

操作任务	运行方式			
	两条线路带两台主变压器并列运行			
	方案	操作顺序	危险点	推荐方案
1号主变压器由运行转冷备用	方案1	① 301 - 201 - 5012 - 5011	操作引起过电压过高,威胁变压器绝缘	√
		② 301 - 201 - 5011 - 5012	开关拒动可能引起全站失电	
	方案2	③ 301 - 5011 - 5012 - 201	先停高压侧,冲击电流大,威胁变压器绝缘;开关失灵拒动可能引起全站失电	
		④ 301 - 5012 - 5011 - 201	先停高压侧,冲击电流大,威胁变压器绝缘	

从上述方案对比可知,内桥接线方式下的变压器停电操作宜按低压侧、高压侧的顺序,高压侧则应先操作线路侧开关,后操作桥开关,以避免操作引起的过电压对变压器的绝缘水平造成威胁,最后再操

(下转第91页)

参考文献

[1] 郝巍,李兴源,金小明,等. 直流输电引起的谐波不稳定及其相关问题[J]. 电力系统自动化,2006,30(19):94-99.

[2] 林莘,孟涛,徐建源,等. 快速暂态过电压对断路器中并联电容的影响[J]. 高电压技术,2009,35(10):2361-2365.

[3] 聂定珍,袁智勇. ±800 kV 向家坝—上海直流工程换流站绝缘配合[J]. 电网技术,2007,31(14):1-5.

[4] 周沛洪,修木洪,谷定燮,等. ±800 kV 直流系统过电压保护和绝缘配合研究[J]. 高电压技术,2006,32(12):125-132.

[5] 梁海峰,李庚银,李广凯,等. 向无源网络供电的VSC-HVDC系统仿真研究[J]. 电网技术,2005,29(8):45-50.

[6] 周宗川,王勇,周建丽. ±660 kV 换流变电站330 kV 交流场启动过电压仿真分析[J]. 宁夏电力,2011(1):26-30.

作者简介:

冷怡(1981),工程师,主要从事电压无功管理、工程项目管理工作;

陈晓东(1976),高级工程师,主要从事电网规划设计、工程管理工作;

鲍云浮(1961),工程师,主要从事企业管理、电网规划设计、工程建设管理工作。(收稿日期:2013-03-07)

(上接第82页)

作主变压器高压侧隔离刀闸以隔离主变压器。若主变压器停电操作后还需对停电线路恢复供电,还应及时操作线路开关以切实达到操作目的,但应注意设计各类保护的配合,及时投切相关保护功能。

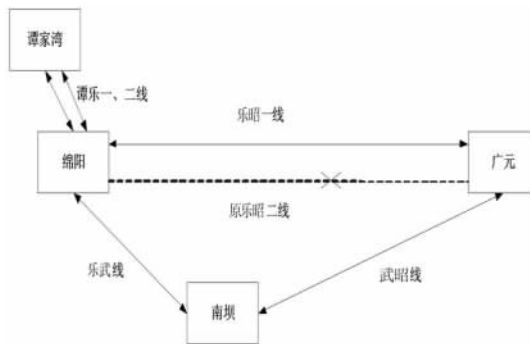


图3 绵阳—南坝—广元局域电网分布图

同时,从以上多种操作方案存在的危险点分析中可以看出,桥开关是保证供电可靠性的重要因素。从图3绵阳—南坝—广元局域电网的分布图可知,在以上各类方案的操作过程中,1号主变压器的停电操作导致武昭停电后,广元站由富乐变电站通过乐昭一线单线供电,广元站就500 kV部分形成孤网运行方式,若此时乐昭一线线路跳闸,而保护及重合闸未正确动作或误动作,广元站500 kV部分两条进线全部断电,将大大降低变电站供电可靠性,更有严重者将导致变电站乃至广元局域电网大面积停电,对电力系统的经济运行造成巨大损失。

4 防误操作措施

变电站倒闸操作的正确性是确保变电站安全可靠运行的关键,内桥接线方式下的变压器防误操作显得更为重要。综上分析,可采取下列措施切实保证供电可靠性。

(1) 严防误拉合主变压器高压侧隔离开关。由

于内桥接线的特殊性,运行时确保变压器高压侧隔离开关的正确操作是非常重要的环节,即该刀闸的基本操作条件是:只有在低、中、高压侧开关及桥开关断开后才能进行操作。因此,必须对该刀闸及相关设备的五防、间隔逻辑及有关电气联锁固化,确保联锁条件的正确无误。

(2) 对于程序化操作方式而言,应根据不同的运行方式拟定正确的操作步骤,并定期对程序化逻辑进行复查与审核。在对运行人员的技术或专题培训中,还应定期进行学习、演练,以提高值班人员的正确操作及应急处理事故能力。

(3) 内桥接线的停送电操作必须提前考虑全网系统的潮流走向及运行方式,对操作过程中可能存在的隐患和问题要及时分析,并汇报各省调部门,避免出现操作过程中站内设备的正常运行。

5 结 语

500 kV 变电站采用内桥接线方式具有一定的特殊性,从停送电操作方面对各方案的优劣进行了分析和比对,并综合实际情况对操作方案进行了合理优化,为变电站值班员的倒闸操作提供了一定辅助决策,切实提高变电站安全操作水平。

参考文献

[1] DL/T 572-2010 电力变压器运行规程[S].

[2] 王辑祥. 电力接线原理及运行[M]. 北京:中国电力出版社,2005.

作者简介:

庄秋月(1986),女,工程师,现从事电力系统变电运行管理工作;

李凡红(1984),男,工程师,现从事电力系统继电保护及控制方面的工作。

(收稿日期:2013-03-26)