

±800 kV 特高压直流输电系统解锁/闭锁研究

李少华¹, 刘涛¹, 苏匀¹, 佟鹏², 史林¹, 杨健¹, 冯雷¹

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 许昌市供电公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 基于串联双阀组的解锁/闭锁准则, 详细研究了特高压直流输电系统各种工况下的解锁/闭锁过程及其控制策略。解锁极的第一个阀组, 同时解锁极的双阀组, 闭锁极的第二个阀组及同时闭锁极的双阀组采用与常规直流输电系统一致的控制策略; 对于串联双阀组特有的第二个阀组解锁和第一个阀组闭锁, 设计了新的控制策略。不建议在站间通信失败时解锁极的第二个阀组; 极闭锁后建议断开其旁路开关以防止不平衡电流流过停运极。

关键词: 特高压直流输电; 解锁; 闭锁; 阀组; 换流器

Research on de-blocking/blocking operation in ±800 kV UHVDC system

LI Shao-hua¹, LIU Tao¹, SU Yun¹, TONG Peng², SHI Lin¹, YANG Jian¹, FENG Lei¹

(1. XJ Electric Co. Ltd., Xuchang 461000, China; 2. Xuchang Power Supply Company, Xuchang 461000, China)

Abstract: Based on the design criteria for blocking/de-blocking of valve groups, this paper mainly studies the de-blocking/blocking sequence and control strategies for groups under different circumstances. De-blocking the first group of a pole, simultaneously de-blocking both groups of a pole, and blocking the first group of a pole, simultaneously blocking both groups of a pole can be done the same way as that in a conventional bipolar HVDC scheme. The special coordinated sequence and control strategies for de-blocking the second group of a pole and blocking the last group of a pole are designed. In case of without telecom, de-block of second group of a pole is not recommended. In order to avoid unnecessary spill currents into the shutdown pole, the bypass switches of the blocked group is proposed to be left open.

Key words: UHVDC; de-blocking; blocking; valve group; converter

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)06-0084-04

0 引言

随着西电东送线路的增加, 输电走廊紧张的问题愈发突出, 采用±800 kV 特高压直流输电技术, 不但有利于加大输电规模, 节约大量的输电走廊资源, 还可以提高电网的安全稳定水平。云广±800 kV 直流输电工程是南方电网“十一五”西电东送的主要输电通道, 工程双极额定功率为5 000 MW, 投运后对南方电网的安全稳定运行起着举足轻重的作用。相比常规直流系统, 云广特高压工程主要特点在于其采用了双12脉串联阀组结构, 具有更高的电压等级和更大的输送容量^[1-3]。

±800 kV特高压直流输电系统在阀组的解锁和闭锁上较常规直流具有很大的不同^[4-5]。由于每极由两个12脉冲阀组串联组成, 这种特殊的结构直接影响了直流控制保护系统的设计方案^[6]。本文主要研究了特高压直流输电系统中串联双阀组的解锁/闭锁问题。

1 串联阀组解锁/闭锁准则

云广±800 kV UHVDC 系统中, 每个单阀组的解锁独立于同极的另一阀组的运行状态, 各阀组都配置有一高速旁路开关, 如图1所示。各阀组都可单独选择解锁/闭锁运行方式, 但要确保两站的解锁/闭锁阀组数目相同, 利用高速旁路开关可以方便地把阀组从直流回路中隔离出来。当换流站的一极中只有一个阀组准备解锁时, 相邻阀组的旁路开关或旁路隔刀必须先闭合; 如果极的两个阀组都要解锁, 两阀组的旁路开关和旁路隔刀都必须先断开。

云广特高压直流工程按照以下准则来设计串联双阀组的解锁/闭锁^[7]:

- 1) 允许闭锁任一独立的单阀组, 这与其它阀组的状态无关;
- 2) 不管同极另一阀组处于运行状态还是闭锁状态, 都允许解锁本阀组;
- 3) 允许同时解锁同极的两个阀组;

- 4) 允许同时闭锁同极的双阀组;
- 5) 当极停运时, 要避免不平衡电流流过旁路阀组;
- 6) 当一极停运后, 能快速方便地切换到金属回线运行方式。

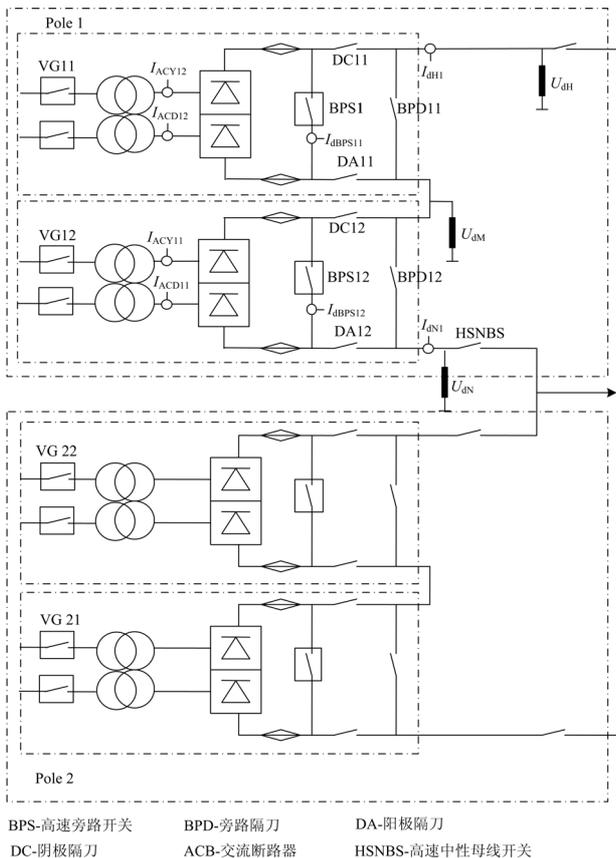


图 1 串联双阀组换流站原理图

Fig.1 Diagram of two 12-pulse converters in series

2 阀组解锁

2.1 解锁极的第一个阀组

解锁极的第一个阀组时, 本极另一阀组必须经旁路开关(阳极和阴极隔刀闭合)或经旁路隔刀旁路。但不管本阀组的旁路开关位置如何都可解锁本阀组, 如果旁路开关打开, 则其解锁过程与传统的双极HVDC系统的极解锁过程一致; 如果旁路开关闭合, 则其解锁过程与解锁极的第二个阀组过程一致, 详见2.2节分析。

如果阀组在旁路开关闭合时解锁, 那么换流器将抑止流过旁路开关的电流, 而强迫电流从阀组流过, 这个过程在解锁顺序中会持续一段很短的时间, 并导致解锁时产生一个无功尖峰, 因此, 当没有不平衡电流流过本极时, 建议先打开旁路开关然后再

解锁该阀组, 因为此时运行人员可以方便地断开该旁路开关。但是当有不平衡电流流过该极时, 则只能通过解锁顺序来打开该旁路开关。

2.2 解锁极的第二个阀组

当极的第二个阀组的交流和直流侧都连接好, 旁路开关闭合, 此时阀组为准备解锁状态。串联阀组的解锁顺序逻辑与常规单阀组的解锁完全不同, 它必须协调好阀组的解锁脉冲及高速旁路开关的打开操作, 以确保直流电流可靠地从旁路开关上转移到换流阀上。这需要控制和旁路开关间有精确的时序配合。

正常情况下站间通信可用, 逆变站和整流站的解锁经两站间高速的站间通信协调, 整流站和逆变站的解锁顺序几乎同时启动(约有20 ms的站间通信延时)。首先在12脉动阀组还处于闭锁时下发拉开旁路开关的指令, 随后高速旁路开关触点开始分离, 大概30 ms后向控制系统发送回检信号, 此时从另一阀组流过来的直流电流仍然要经旁路开关形成回路, 控制系统在收到回检信号后, 经过10 ms延时发出释放触发脉冲信号, 并将触发角限制在 70° 约5 ms, 强迫直流电流从旁路开关全部转移到换流阀上。以上详细时序如图2所示。

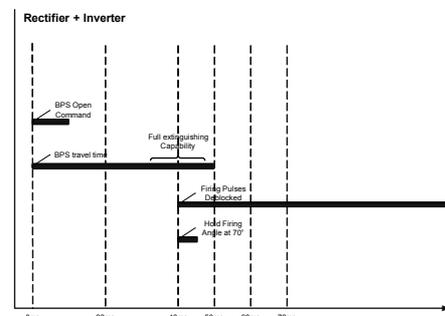


图 2 第二阀组解锁时序

Fig.2 De-block timing for second group

不管是整流站还是逆变站, 点火脉冲释放的瞬间的触发角度必须在整流区域, 而且触发角大小要适中, 不能太大也不能过小。如果触发角过小, 如 15° , 将导致很大的过电流, 以致旁路开关无法灭弧而打开失败; 如果触发角太大, 如接近 90° , 尤其是电流较大时将导致旁路开关上的电流无法全部转移到阀上去。故此时的触发角度建议为 70° 左右为宜。

2.3 解锁双阀组

同时解锁极的两个阀组与传统的双极HVDC系统极解锁顺序一样, 因此解锁命令同时发给双阀组, 此时两个阀组都必须配置成阴极和阳极隔刀闭合、

旁路开关和旁路隔刀打开的状态。

2.4 站间通信失败时的阀组解锁

云广特高压直流工程站间通信由高可靠性、冗余的光纤实现，任何一个通道故障不会对站间通信造成影响。但如果站间通信完全失败，各站的运行人员则必须协调各阀组的解锁。

同时解锁双阀组的情形与传统单阀组极解锁情形一致，首先解锁逆变站，并在一定的时间内（如 60 s）解锁整流站建立电压电流开始功率传输。

站间通信故障时手动解锁极的第二个阀组相当困难。因为如果逆变站的第二个阀组首先解锁，由于整流站此时第二阀组并未解锁故只有一个阀组解锁，这将导致整流站 α_{min} 运行，逆变站切换为电流控制方式，每个阀组承担约为 0.5 pu 的电压值，这时的触发角很大（约 120°）且消耗大量的无功功率。如果该过程持续足够长的时间（如 10 s），则逆变站经大触发角保护跳闸，这个过程消耗的大量无功功率，对一个弱交流系统将产生巨大的负面影响；如果整流站的第二阀组首先解锁，情况与逆变站先解锁第二阀组相似，此时整流站将大触发角运行，同时也消耗大量的无功功率。

因此，如果站间通信故障的情形下解锁第二个阀组，即使逆变侧的交流系统比整流侧更强，也建议整流站阀组略先于逆变站解锁，这是因为短时间的整流站双阀组对逆变站单阀组运行情况具有如下优点：

- 1) 整流站保持电流控制，逆变站保持电压控制，因此没有电流裕度丢失，即使在低负荷情况下也可防止电流断续；
- 2) 逆变站(Voltage dependent current limitation, VDCL)设置值更合理；
- 3) 整流站交流侧母线电压下降，形成负反馈；
- 4) 电压平衡控制器激活来平衡两阀组的触发角。

直流欠压监视是为了防止长时间整流站与逆变侧“2对1”运行而设置的一个功能，它可有效地保护阀且能减小对交流系统的干扰。如果极双阀组运行但是测量的直流电压又在单阀组电压范围内（如 320~480 kV），则直流欠压保护动作，该功能经延时后将闭锁极的一个阀组。

3 阀组闭锁

闭锁可由运行人员启动，也可由保护启动。保护闭锁只能由极层的保护功能启动，它跟常规 HVDC 系统一样，通常它同时闭锁一个极的双阀组。保护启动闭锁时，如果站间通信正常，两站由站间

通信自动协调；如果站间通信失败，则两站都通过低电压保护闭锁。本文主要讨论由运行人员启动的闭锁。

3.1 闭锁极的第一个阀组

阀组层的闭锁顺序要求能够停运单个阀组，同样，这需要触发脉冲、阀旁通命令和旁路开关闭锁命令的时序协调。

同 2.2 节情形一致，双阀组运行时闭锁第一个阀组的时序协调同样十分重要，它与第二个阀组解锁时的情形刚好相反。当其中一个站的某一阀组因为某种原因闭锁，一个高速的联锁信号将送往对站去闭锁对站的相应阀组，以确保剩余阀组正常工作，站间通信正常时，两站之间的协调自动完成，并尽量减少对两站交流系统的有功和无功冲击。详细时序如图 3 所示。

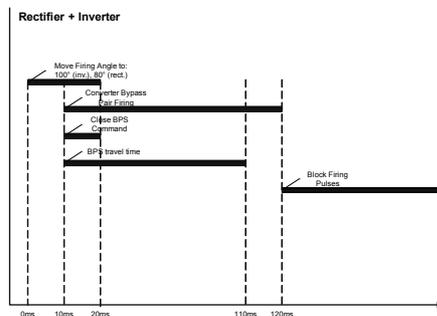


图 3 第一阀组闭锁时序

Fig.3 Block timing for first group

3.2 闭锁极的最后一个阀组

闭锁最后一个阀组跟常规直流的单极闭锁情形一致，整流站先闭锁，然后逆变站闭锁。为了防止不平衡电流流过停运极，闭锁最后一个阀组后要打开闭锁阀组的旁路开关。

3.3 极双阀组闭锁

双阀组同时闭锁也即极闭锁按常规双极 HVDC 系统极闭锁方案进行，因此闭锁命令同时发往双阀组；如果站间通信失败，也跟常规 HVDC 系统一致，由运行人员协调，首先闭锁整流站，经适当延时后再闭锁逆变站。

为了防止不平衡电流流过停运极，该极双阀组的旁路开关都需打开。

3.4 站间通信失败时的阀组闭锁

即使站间通信失败，仍然允许运行人员闭锁双阀中的其中一个阀组，不过此时建议先闭锁逆变站的阀组。直流欠压监视检测到整流站的直流电压在 0.4~0.6 pu 且持续时间达到 3 s 后，闭锁整流站的对应阀组。这段时间内由于没有闭锁指示信号指示

逆变站的其中一阀组已闭锁, 慢速的 P/U 单元最终导致直流输送功率下降, 直到整流站的对应阀组也闭锁为止。

如是保护闭锁, 直流欠压保护将停运对站的另一相应阀组; 如果是闭锁最后一个阀组, 这与双阀组同时闭锁的情形一致, 由运行人员协调, 首先整流站先闭锁, 经适当延时后逆变站再闭锁。

4 解锁/闭锁建议

4.1 极跳闸后需把极隔离

为了防止不平衡电流流过停运极, 建议极闭锁后把极隔离。

4.2 站间通信失败时的阀组解锁/闭锁

当站间通信正常时, 由于两站间可自动协调直流系统的解锁/闭锁操作, 一般不会对交直流系统及设备造成严重影响, 以上所述各解锁/闭锁方案都是可行的。但站间通信失败时, 两站的运行人员则必须经电话协调两站阀组的解锁/闭锁, 此时不建议解锁极的第二阀组, 即 400 kV => 800 kV 运行, 以下几种运行方式转换由于不会对系统和设备造成严重的负面影响, 故为可行方案:

- 1) 极双阀组同时闭锁;
- 2) 闭锁极的最后一个阀组;
- 3) 解锁极的第一个阀组;
- 4) 极两个阀组同时解锁;

5) 闭锁极的第一个阀组 (800 kV => 400 kV 运行, 另一站对应阀组将由直流低电压保护自动闭锁)。

解锁极的第二个阀组会造成严重的系统冲击及交流滤波器应力等不良影响, 所以云广特高压直流工程不建议进行该操作。但如果必须要解锁第二个阀组, 建议先解锁整流站, 然后以最快最短的时间解锁逆变站的对应阀组, 最大延时不能超过 5~10 s。

5 结论

本文以云广±800 kV 特高压直流工程为背景, 针对其 12 脉串联双阀组的接线方式, 详细分析了特高压直流系统的解锁/闭锁顺序及其注意事项, 包括站间通信正常和失败两种情形下的解锁/闭锁情况。串联双阀组的第二阀组解锁和第一个阀组闭锁是特高压直流输电工程的特有情形, 与常规±500 kV 直流输电系统完全不同, 需重新设计其控制保护策略。在站间通信失败时不建议进行第二个阀组的解锁操

作, 以尽量减小特高压直流系统对交流系统的影响和冲击, 并建议极闭锁后断开其旁路开关, 防止不平衡电流流过停运极。

参考文献

- [1] 王久玲. 南方电网的实践与展望[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2(1): 1-4.
WANG Jiu-ling. The Practice and Prospect of China Southern Power Grid[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2(1): 1-4(in Chinese).
- [2] 陈允鹏. 南方电网特高压输电技术应用展望[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2(1): 10-12.
CHEN Yun-peng. A Prospect of UHV Transmission Technology Application in China Southern Power Grid[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2(1): 10-12(in Chinese).
- [3] 陈潜, 张尧, 钟庆, 等. ±800kV 特高压直流输电系统运行方式的仿真研究[J]. 继电器, 2007, 35(16): 27-32.
CHEN Qian, ZHANG Yao, ZHONG Qing, et al. Simulation of ±800kV UHVDC System Under Different Operation Modes[J]. Relay, 2007, 35(16): 27-32.
- [4] 赵婉君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004. 122-136.
ZHAO Wan-jun. HVDC Transmission Engineering Technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004. 122-136.
- [5] 戴熙杰. 直流输电基础[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990. 138-183.
DAI Xi-jie. Introduction of DC Transmission [M]. Beijing: China Water Power Press, 1990. 138-183.
- [6] 云广工程直流极控系统设计规范书, ED4 341 CS-C[Z]. 2007.
Yunnan-Guangdong Line ±800 kV DC Transmission Project C/P Design Specification, ED4 341 CS-C[Z]. 2007.
- [7] Series Groups—Blocking, De-blocking, ESOF and Bypass Switch Operation[Z]. 2007.

收稿日期: 2009-07-01; 修回日期: 2010-01-28

作者简介:

李少华 (1982-), 男, 硕士研究生, 从事高压直流输电系统研究; E-mail: lishaohua@xjgc.com

刘涛 (1978-), 男, 工程师, 从事高压直流输电软件设计;

苏匀 (1983-), 女, 硕士研究生, 从事高压直流输电硬件设计。