

· 运行分析 ·

特高压直流单换流器退出引起过压问题的分析及优化

俞翔, 陈乐, 邹强, 徐斌, 王杨正, 杨建明

(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211106)

摘要:换流器投退是特高压直流输电工程的关键技术之一,在站间通信故障的情况下整流侧一台换流器因故障退出可能会导致本极另一台运行换流器的过压问题,使过压保护动作最终闭锁该极。本文以滇西北—广东±800 kV 特高压输电工程为参照对象,从控制策略的角度分析了不同工况下过压问题的成因,并提出了针对性的优化策略,通过在整流侧短时调整电压参考值,在逆变侧短时调整电流裕度,有效抑制了站间通信故障情况下整流侧故障退出换流器造成的过压问题。借助实时数字仿真仪(RTDS)仿真系统,验证了该控制策略的有效性,对后续的特高压工程具有参考价值。

关键词:特高压直流输电;站间通信;换流器退出;过压问题;电压参考值;电流裕度

中图分类号:TM723

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2018)06-0145-06

0 引言

特高压直流输电在远距离、大容量输电以及系统联网方面具有巨大优势,可以有效解决我国能源分布与消费的不平衡状况,实现资源的优化配置^[1-3]。特高压直流输电工程中,每极采用双12脉动换流器串联接线方式,相较常规直流工程可用性和可靠性更高,接线方式更为多样^[4-7]。在实际运行中,每极既可两组换流器同时投入运行,也可根据需要,以单个换流器投入运行,与此同时,控制系统可以通过换流器的投/退操作以实现运行方式在线转换的功能。

当前关于特高压工程换流器在线投退及相关保护性闭锁策略已有较多研究^[8-16],其中大多数是基于站间通信正常的条件,然而在站间通信故障时,整流站与逆变站相关控制器配合难度加大,不能再简单沿用站间通信正常时的控制策略。在试验中发现,站间通信故障时,若整流站一台12脉动换流器因故障退出,逆变站须依靠不平衡保护退出相应换流器,由于不平衡保护延时较长,在保护动作前整流站剩余换流器将承受逆变站两台换流器的电压,往往会造成整流站剩余换流器过压,使其过压保护动作。

文中针对以上问题进行分析,提出了一种在整流侧短时调整电压参考值,同时在逆变侧短时调整电流裕度的控制策略,可有效抑制站间通信故障情况下整流站故障退出换流器造成的过压问题。以滇西北—广东±800 kV 特高压输电工程(以下简称滇西北直流工程)为参照对象,通过实时数字仿真

仪(real time digital simulator, RTDS)搭建的工程仿真系统,验证了该策略在实际工程中的应用价值。

1 换流器基本控制策略

目前国内特高压直流工程控制策略已较为成熟,在整流侧与逆变侧均配置有闭环的电压控制器和电流控制器^[17],输出均为触发角,同时在逆变侧还配置有带修正的定熄弧角控制器,用以改善逆变侧的负阻特性,增强暂态情况下控制的稳定性^[18-20]。定电压、定电流和定熄弧角控制器的配合关系如图1所示。其中定熄弧角控制器的输出作为电压控制器的最大值限幅,而电压控制器的输出在整流侧作为电流控制器的最小值限幅,在逆变侧作为电流控制器的最大值限幅。在实际运行中,若因运行模式、运行状态、交流系统状态等运行条件的变化而导致控制系统的有效控制器发生切换,则通过上述控制器间依次限幅的配合方式,即可确保控制系统最终输出的触发角指令平稳变化而无跳变。

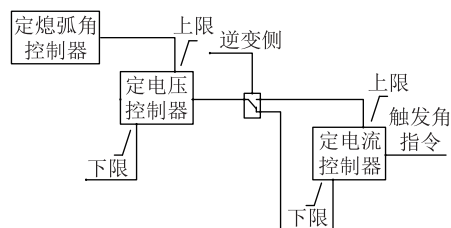


图1 控制器限幅配合方式

Fig.1 Limitation and coordination of controllers

在换流器控制中,对于分别作为整流、逆变运行的系统各自配置了不同的控制参数,其目的在于使实际运行中的整流侧、逆变侧控制系统由不同的控制器起决定作用,进而令两站控制系统按照期望

的电压-电流工作特性进入稳定工作点。即在正常工况下,整流侧采用定电流控制,以维持直流电流恒定,逆变侧采用定熄弧角或者定电压控制,以维持直流电压恒定。

定电流控制器原理如图 2 所示,电流测量值减去电流指令值得到的偏差值经过比例积分环节和限幅环节后,得到定电流控制器的输出。为避免整流侧和逆变侧定电流特性重叠而导致运行点漂移不定,在逆变侧的电流指令参考值上减去一个电流裕度^[1],其值为 0.1 p.u.,即换流器额定电流的 10%。当定电流控制转移到逆变侧时,电流裕度补偿功能用来弥补与电流裕度定值相等的电流下降。

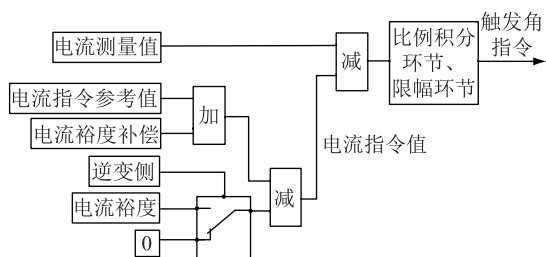


图 2 定电流控制器原理逻辑

Fig.2 Principle of current controller

定电压控制器原理如图 3 所示,电压测量值减去电压指令值得到的偏差值经过比例积分环节与限幅环节,得到定电压控制器的输出。其中电压指令值为电压参考值加上电压参考值补偿,整流侧的补偿值较大,典型值为 80 kV,其目的是在正常情况下使整流侧的定电压控制器不起作用。而逆变侧的补偿值为 0 或一个较小的正值(典型值为 10 kV),若为 0,则正常情况下逆变侧为定电压控制,否则为定熄弧角控制。

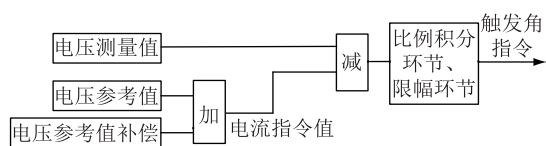


图 3 定电压控制器原理逻辑

Fig.3 Principle of voltage controller

2 站间通信故障时整流侧换流器故障导致的过压问题分析

站间通信故障时,若一极为双换流器运行方式,当整流或逆变侧某一换流器因故障退出运行时,另一侧将由换流器不平衡保护或类似原理保护退出对应换流器。以滇西北直流工程为例(工程额定电压为 800 kV,额定电流为 3125 A,双极额定功率为 5000 MW),工程主要采用与不平衡保护原理

类似的低电压保护来实现此功能,配置在换流器保护中,具体动作判据如下:在本极双换流器运行时,若 $320 \text{ kV} < |U_{dl}| < 480 \text{ kV}$ 且 $|U_{dl} - U_{dm}| < 30 \text{ kV}$,延时 800 ms 退出高端换流器;若 $320 \text{ kV} < |U_{dl}| < 480 \text{ kV}$ 且 $|U_{dl} - U_{dm}| > 30 \text{ kV}$,延时 800 ms 退出低端换流器。其中 U_{dl} 为直流场极母线直流电压, U_{dm} 为高/低换流器中点直流电压。

可以看到,以上保护的延时较长,在一侧换流器因故障退出后,该极将有一段时间处于一侧一个换流器、另一侧两个换流器运行的状态。此时一侧剩余的那个运行换流器将承受来自对侧两个换流器的压降。在滇西北直流工程厂内试验中发现,站间通信故障时,整流侧一台换流器因故障退出后,另一台运行换流器过压保护(59DC)将会动作。滇西北直流工程中配置有三段过压保护,具体动作判据如下(非空载加压模式下):

I 段: $U_D > 420 \text{ kV}$ 且 $I_{DLN} < 156.25 \text{ A}$ (无流判据),延时 80 ms 出口。

II 段: $U_D > 432 \text{ kV}$,延时 1000 ms 出口。

III 段: $U_D > 620 \text{ kV}$,延时 50 ms 出口。

其中 U_D 为换流器端口电压,具体计算方法为 $U_{D\text{高端换流器}} = |U_{dl} - U_{dm}|$, $U_{D\text{低端换流器}} = |U_{dm} - U_{dn}|$ 。 I_{DLN} 为中性母线电流,代表直流电流; U_{dn} 为中性母线直流电压。仿真试验中发现,在直流小功率和大功率运行工况下,站间通信故障时整流侧换流器退出过程中出现过压问题的原因不尽相同,接下来分情况分析其原因并给出解决方案。

2.1 直流小功率运行下的过压问题

2.1.1 现象描述及分析

典型工况为站间通信故障下直流功率运行在最小功率(0.1 p.u.),整流侧极 1 高端换流器发生 12 脉动换流器短路故障,故障位置如图 4 所示。

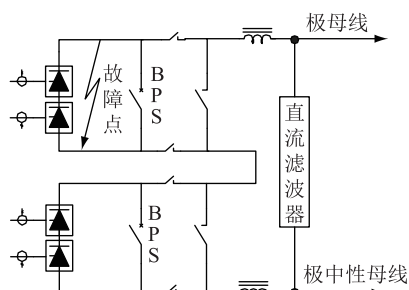


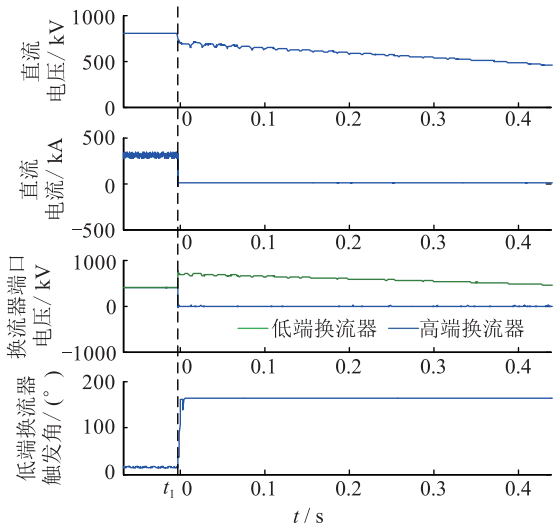
图 4 故障点位置示意

Fig.4 Single line diagram with location of fault

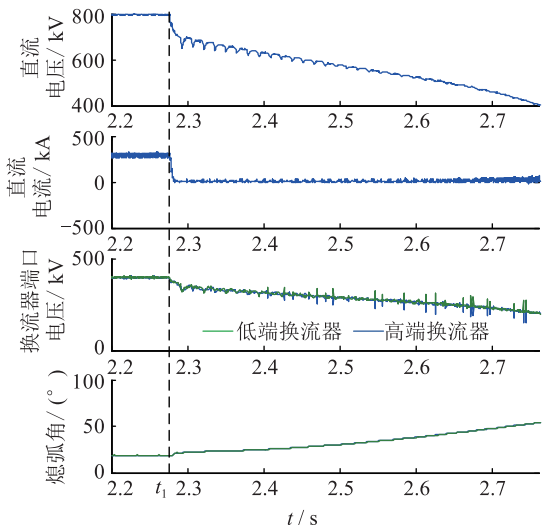
此时高端换流器将立刻发出本换流器闭锁脉冲、合直流旁路开关(bypass switch, BPS)、跳换流变进线开关命令,同时,命令本极另一换流器(即低端

换流器)移相 164°,在高端换流器 BPS 合位出现后低端换流器恢复正常角度运行。由图 5(a)整流侧波形和图 5(b)逆变侧波形可以看出,在 t_1 时刻整流侧退出高端换流器,低端换流器开始移相,逆变侧不平衡保护还未动作,仍然处于两个换流器运行状态,整流侧低端换流器端口电压将阶跃至 700 kV 左右,直流电流下跌至 0,整流侧已经失去了控制直流电流的能力,逆变侧接管电流控制,然而由于之前是运行在最小功率,电流参考值仅为 0.1 p.u.,故尽管实际直流电流已经为 0,由图 2 可知,进入逆变侧电流控制器的电流偏差值可按式计算:

$$\Delta I = I_{\text{实测值}} - (I_{\text{参考值}} + I_{\text{裕度补偿}} - I_{\text{裕度}}) = 0 - (0.1 + I_{\text{裕度补偿}} - 0.1) = -I_{\text{裕度补偿}} \quad (1)$$



(a) 整流侧



(b) 逆变侧

图 5 站间通信故障时最小功率下整流侧换流器退出波形

Fig.5 Waveform of converter-exiting at rectifier side running at minimum power without telecommunication between stations

裕度补偿功能完全补偿电流裕度需要一定的时间,在故障初期可以认为接近于 0,故由式(1)可以看到,进入定电流控制器的偏差值 ΔI 很小,因此定电流控制器调节速率较慢。由图 5 可以看到,逆变侧的熄弧角缓慢增大,直流电压缓慢下降,整流侧低端换流器将有较长时间承受 620 kV 以上的电压,并且由于在低端换流器移相期间直流电流为 0,满足无流判据,过压 I 段和过压保护 III 段将动作,最终导致本极闭锁。

2.1.2 控制策略优化

针对上述的站间通信故障下直流小功率运行下的过压问题,提出一种优化策略,即在本极双换流器运行状态下,当逆变侧判断直流电流中断且逆变侧进入定电流控制时,将电流裕度从 0.1 p.u.切换为一个较大的负的电流偏差值 x ,维持 50 ms,用以在暂态下人为加快逆变侧电流控制器调节速率,在滇西北直流 RTDS 仿真系统上反复模拟站间通信故障且直流最小功率运行下整流侧单换流器故障退出,可以得到能够确保过压保护不误动的最大 x ,即绝对值最小的 x ,同时考虑一定的裕度,最终确定 x 为 -0.35 p.u.。由于其他功率水平下电流偏差值更大,所以可知此值可以满足所有工况。另外,在换流器解锁或者投入的过程中须闭锁此逻辑,防止其误动。具体逻辑如图 6 所示。

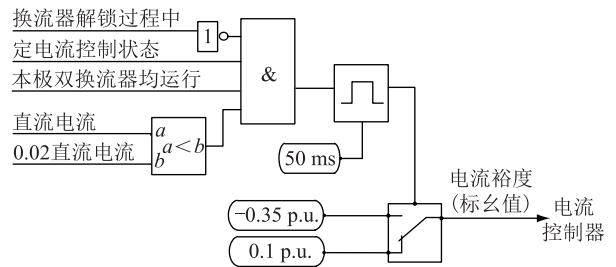


图 6 改进的电流裕度切换逻辑

Fig.6 Improved current-margin-switching logic

2.2 直流大功率运行下的过压问题

2.2.1 现象描述及分析

典型工况为站间通信故障下直流功率运行在额定功率(1.0 p.u.),整流侧高端换流器发生 12 脉动换流器短路故障,故障具体位置如图 4 所示(以极 1 为例)。

在此工况下直流系统的闭锁时序与小功率时相同,而区别在于:在低端换流器移相期间,逆变侧接管电流控制后,由于电流参考值较大,此时输入到逆变侧电流控制器的误差较大,故电流控制器可以较快的调节触发角。由图 7(a)可见,在 t_1 时刻整流侧高端换流器因故障退出后,直流电压在 10 ms

内就下降到 0 以下,因此过压保护Ⅲ段不会动作。

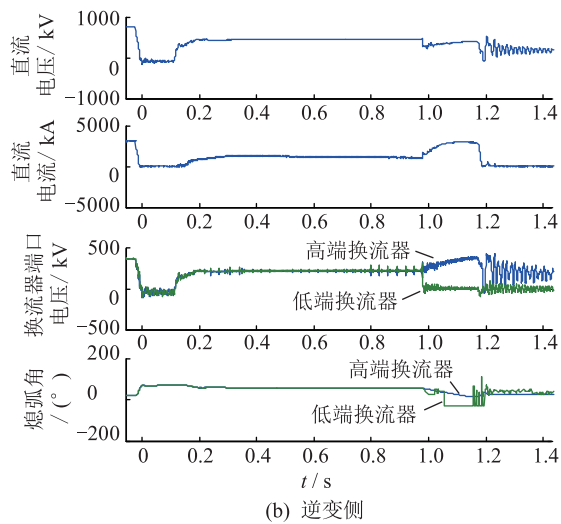
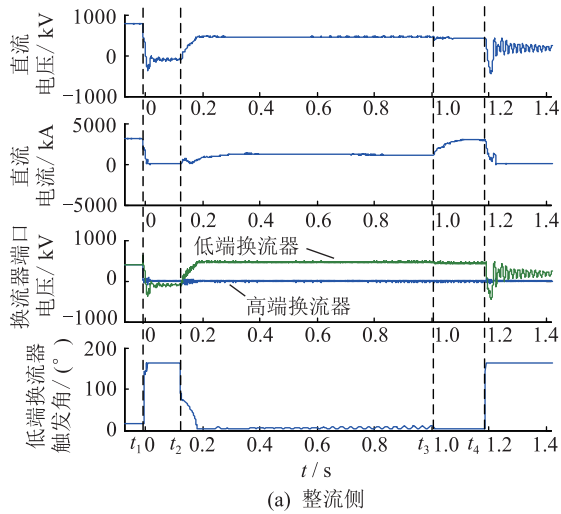


图7 站间通信故障时在额定功率下整流侧换流器退出波形

Fig.7 Waveform of converter-exiting at rectifier side running at rated power without telecommunication between stations

然而,在整流侧高端换流器直流旁路开关 BPS 合上之后,低端换流器在 t_2 时刻结束 164° 移相,进而重新建立电流和电压。在 t_2 至 t_3 这段时间内,逆变侧的不平衡保护还未动作,逆变侧仍然处于双换流器运行状态。由图 7 可见,为达到原先的直流电流,整流侧和逆变侧的触发角均达到或接近其限值,其中整流侧触发角已达到其下限 5° ,逆变侧也达到其下限 110° ,然而直流电流仍然远无法恢复到额定值 (3125 A),直到在 t_3 时刻逆变侧退出低端换流器后直流电流才明显上升。在此期间,整流侧触发角一直维持在其下限 5° ,同时由于在直流大功率水平下整流侧 U_{d0} (直流空载电压) 也较高,故将会导致直流电压处于较高水平,由图 7(a) 可以看出,整流侧直流电压一直维持在 430 kV 至 470 kV 区间内,过

压保护Ⅱ段在 t_4 时刻动作,导致本极闭锁。

2.2.2 控制策略优化

在整流侧,电压控制器的参考值是在典型参考值的基础加上了 80 kV,典型参考值有 800 kV (双换流器全压运行)、640 kV (双换流器 80% 降压运行)、560 kV (双换流器 70% 降压运行) 和 400 kV (单换流器全压运行)。在正常情况下,电压参考值远高于运行电压,故电压控制器长期处于饱和状态,电压控制器的输出维持在其下限 (5°),所以整流侧的电压控制器很少会起作用。即使在 2.2.1 小节所述工况下,整流侧实际电压仍然没有达到其参考值 480 kV,电压控制器不会起作用。

针对此种工况提出一种优化策略,在站间通信故障下,当出现换流器退出信号且换流器端口电压大于 440 kV 时,将整流侧的电压参考值的补偿从 80 kV 调低至 20 kV,维持 3 s,从而使整流侧电压参考值变为 420 kV。整流侧电压控制器调节电压,防止过压Ⅱ段保护动作。具体逻辑如图 8 所示。

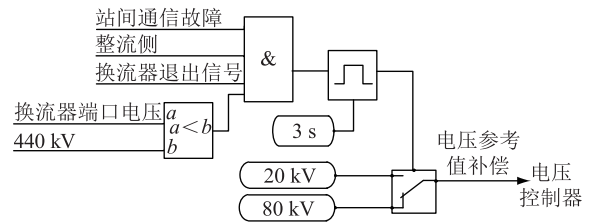


图8 整流侧电压参考值切换逻辑

Fig.8 Voltage-reference-switching logic at rectifier side

3 仿真与试验结果

为验证上述优化策略的效果,在基于滇西北直流工程搭建的 RTDS 仿真平台上进行试验。

针对 2.1.2 小节所述的优化策略,在站间通信故障下直流功率运行在最小功率 (0.1 p.u.), 重新模拟图 4 故障。如图 9 所示,可见,在故障出现后,由于逆变侧加快调节熄弧角速率,整流侧直流电压在 40 ms 内降至 620 kV 以下 (过压Ⅲ段定值),在 60 ms 内降至 420 kV 以下 (过压Ⅰ段定值),在低端换流器移相期间保护不会动作。最终整流侧退出高端换流器,逆变侧退出低端换流器,直流继续运行。

针对 2.2.2 小节所述的优化策略,站间通信故障下直流功率运行在额定功率 (1.0 p.u.), 模拟图 4 的故障。如图 10 所示,在整流侧低端换流器解除移相 164° 之后,直流电压迅速升高, t_1 时刻起整流侧电压控制器开始起作用,增大触发角,降低直流电压。在整流侧单换流器,逆变侧双换流器期间控制直流电压不超过 420 kV,即使在逆变侧退出低端换

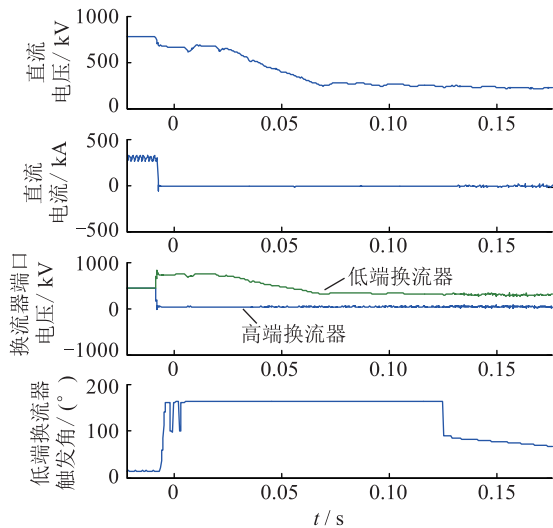


图9 站间通信故障时最小功率下整流侧换流器退出波形(优化后)

Fig.9 Waveform of converter-exiting at rectifier side running at minimum power without telecommunication between stations(optimized)

流器后仍然控制了一段时间电压,最终整流侧平稳切换进入定电流控制,逆变侧进入定电压控制,系统进入新的稳态。

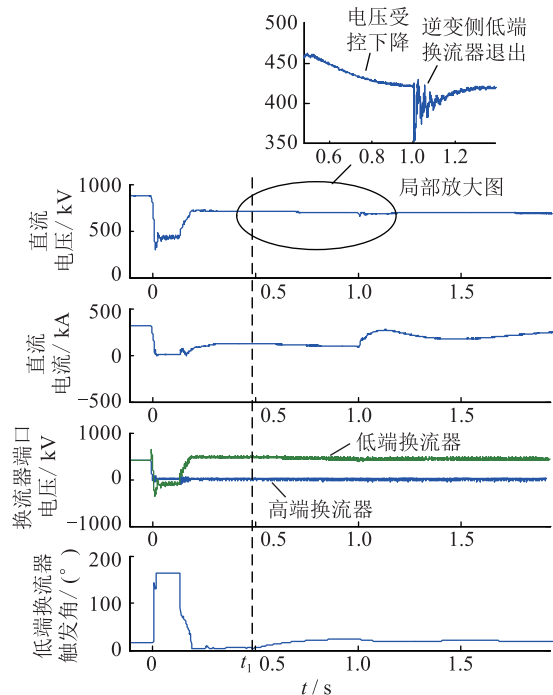


图10 站间通信故障时额定功率下整流侧换流器退出波形(优化后)

Fig.10 Waveform of converter-exiting at rectifier side running at rated power without telecommunication between stations(optimized)

4 结语

文中从控制策略角度分析了特高压直流输电工程中站间通信故障时整流侧换流器退出引起过

压问题的原因,并提出相应的优化策略,总结如下:

(1) 站间通信故障时,直流小功率运行下,在整流侧一台换流器因故障退出,另一台换流器移相 164° 期间,由于电流偏差值较小,逆变侧定电流控制器调节速率较慢会导致整流侧本极剩余换流器过压。针对此问题,加入电流裕度切换功能,在这种情况下增大逆变侧定电流控制器输入,迅速降低直流电压。

(2) 站间通信故障时,直流大功率运行下,在整流侧一台换流器因故障退出,逆变侧不平衡保护还未动作期间,为建立电流,整流侧触发角维持在 5° ,可能导致直流过压保护动作。针对此问题,在整流侧加入电压参考值切换功能,当判断出电压越限之后降低电压参考值,使整流侧电压控制器起作用,控制直流电压不超过限制值。

基于所提优化策略的 RTDS 试验结果表明,所提策略可有效抑制前文所述的过压问题,具有高度的工程应用价值,现该策略已应用于滇西北—广东 ± 800 kV 特高压直流输电工程中,并可为未来的特高压工程提供有益的参考。

参考文献:

- [1] 浙江大学直流输电教研组. 直流输电[M]. 北京: 水利水电出版社, 1985.
Zhejiang University DC Transmission Research Group. DC transmission[M]. Beijing: Water Resources and Hydropower Press, 1985.
- [2] 赵晓君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
ZHAO Wanjun. HVDC transmission engineering technology [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [3] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005.
LIU Zhenya. UHV grid[M]. Beijing: China Economic Publishing House, 2005.
- [4] SINGH B, GAIROLA S, SINGH B N, et al. Multipulse ACDC converters for improving power quality: a review [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2008, 23(1): 260-281.
- [5] 舒印彪, 刘泽洪, 高理迎, 等. ± 800 kV 6400 MW 特高压直流输电工程设计[J]. 电网技术, 2006, 30(1): 1-8.
SHU Yinbiao, LIU Zehong, GAO Liying, et al. A preliminary exploration for design of ± 800 kV UHVDC project with transmission capacity of 6400 MW [J]. Power System Technology, 2006, 30(1): 1-8.
- [6] 马为民. ± 800 kV 特高压直流系统换流器控制[J]. 高电压技术, 2006, 32(9): 71-75.
MA Weimin. Converter control in 800 kV DC transmission system [J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(9): 71-75.
- [7] 薛海平, 赵森林, 卢亚军, 等. 特高压直流工程的融冰控制保护策略及试验分析[J]. 电力工程技术, 2017, 36(1): 84-90.
XUE Haiping, ZHAO Senlin, LU Yajun, et al. Analysis of

- control and protection strategy and test for de-icing mode in UHVDC project[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(1):84-90.
- [8] 马玉龙,陶瑜,周静,等. 基于实时数字仿真器的特高压直流换流单元投入特性分析[J]. 电网技术, 2007, 31(21):5-10.
- MA Yulong, TAO Yu, ZHOU Jing, et al. Analysis on deblocking and blocking characteristics of UHVDC commutation units based on real-time digital simulator[J]. Power System Technology, 2007, 31(21):5-10.
- [9] 穆清,王明新,曾南超,等. 特高压直流输电工程换流单元在线投入控制策略的选择[J]. 电网技术, 2011, 35(4):8-13.
- MU Qing, WANG Mingxin, ZENG Nanchao, et al. Selection of control strategy for on-line deblocking of converter units used in UHVDC power transmission project[J]. Power System Technology, 2011, 35(4):8-13.
- [10] 李岩,黄立滨,洪潮,等. ± 800 kV 直流输电系统双 12 脉动阀组投退策略分析[J]. 南方电网技术, 2010, 4(2):21-25.
- LI Yan, HUANG Libin, HONG Chao, et al. Analysis on the strategy of block/deblock dual 12-pulse valve groups in ± 800 kV DC transmission system[J]. Southern Power system technology, 2010, 4(2):21-25.
- [11] 王庆,石岩,陶瑜,等. ± 800 kV 直流输电系统双 12 脉动阀组平衡稳定运行及投退策略的仿真研究[J]. 电网技术, 2007, 31(17):1-6.
- WANG Qing, SHI Yan, TAO Yu, et al. Simulation study on control strategy for balanced steady operation and block/deblock of dual 12-pulse converter groups in ± 800 kV DC transmission project[J]. Power System, 2007, 31(17):1-6.
- [12] 黎东祥,王渝红,丁理杰,等. 基于双 12 脉动阀组共同控制的特高压单阀组投退策略[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(4):148-153.
- LI Dongxiang, WANG Yuhong, DING Lijie, et al. Blocking and deblocking strategy of single UHVDC converter group under joint control mode of dual 12-pulse converter groups[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(4):148-153.
- [13] 李新年,李涛,吕鹏飞,等. 向家坝至上海特高压直流输电工程换流器的投退策略分析[J]. 高电压技术, 2011, 37(5):1232-1237.
- LI Xinnian, LI Tao, LYU Pengfei, et al. Analysis on the strategy of converter entry/exit for Xiang jia ba to Shanghai UHVDC project[J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(5):1232-1237.
- [14] 李国栋,陈龙翔,金一丁,等. ± 800 kV 特高压直流换流器在线投入失败案例分析[J]. 电力与能源, 2015, 36(2):218-222.
- LI Guodong, CHEN Longxiang, JIN Yiding, et al. Case analysis of ± 800 kV UHVDC converter on-line deblocking failure[J]. Power&Energy, 2015, 36(2):218-222.
- [15] 李艳梅,李泰,李少华,等. ± 800 kV 特高压直流输电工程换流器投退策略分析[J]. 电力与能源, 2015, 36(6):751-757.
- LI Yanmei, LI Tai, LI Shaohua, et al. Strategy of converter entry/exit for ± 800 kV UHVDC project[J]. Power&Energy, 2015, 36(6):751-757.
- [16] 赵森林,卢亚军,吕鹏飞,等. 特高压直流保护动作策略优化[J]. 电力工程技术, 2017, 36(4):143-149.
- ZHAO Senlin, LU Yajun, LYU Pengfei, et al. Optimization of UHVDC protection action strategy[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(4):143-149.
- [17] 李林,赵文强,王永平,等. 无站间通信下的高压直流输电系统逆变侧频率控制方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(22):131-136.
- LI Lin, ZHAO Wenqiang, WANG Yongping, et al. A high voltage direct current inverter side frequency control method without telecommunication between stations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(22):131-136.
- [18] 张庆武,陈乐,鲁江,等. 直流输电控制策略对换相失败影响的比较研究[J]. 电工电能新技术, 2015, 35(7):53-56.
- ZHANG Qingwu, CHEN Le, LU Jiang, et al. Research on control strategies of HVDC in commutation failure[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2015, 35(7):53-56.
- [19] 蔡新雷. 广东南澳多端柔性直流输电系统调度运行策略探讨[J]. 广东电力, 2016, 29(7):93-96, 110.
- CAI Xinlei. Discussion on dispatching operation strategy for Guangdong Nan'ao VSC-MTDC transmission system[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(7):93-96, 110.
- [20] 罗隆福,雷园园,李勇,等. 定熄弧角控制器对直流输电系统的影响分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21(5):98-103.
- LUO Longfu, LEI Yuanyuan, LI Yong, et al. Effects of constant arc extinguishing angle controller on HVDC transmission system[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2009, 21(5):98-103.

作者简介:



俞翔

俞翔(1989—),男,硕士,工程师,从事高压直流输电系统控制保护研发工作(E-mail:yuxiang@nrec.com);

陈乐(1985—),男,硕士,工程师,从事高压直流输电系统控制保护研发工作(E-mail:chenl@nrec.com);

邹强(1981—),男,硕士,工程师,从事高压直流输电系统控制保护研发工作。

(下转第 155 页)

Terminal Fault and Simulation Analysis of 220 kV Cable Line

CAO Jingying¹, ZHA Xianguang², CHEN Jie¹, ZHOU Yuanxiang³, ZHANG Yunxiao³, TAN Xiao¹, HU Libin¹

(1. State Grid Power System Artificial Intelligence Joint Laboratory (Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute), Nanjing 211103; 2. Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210024; 3. State Key Laboratory of Control and Simulation of Power Systems and Generation Equipments Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract: In order to analyze the deep cause of fault for surface fitting state between stress cone and cable body, this paper carries out cable disintegration, X-ray inspection, material inspection and simulation work for a 220 kV fault cable terminal. It is found that the interference fit on joint stress cone is higher than the installation process requirement, and the lap joint is not flat. When the stress cone and cable body surface are well bonded, the maximum electric field strength of the stress cone and the main insulation of the cable under operating voltage are much smaller than the breakdown field strength of the corresponding insulating material. When there is a small air gap between the stress cone and the cable surface, the internal electric field strength of the air gap is greater than the air breakdown field strength under the operating voltage, indicating that there is a discharge phenomenon inside the air gap under the operating voltage. Therefore, when the cable terminal stress cone, the cable surface is poorly attached, and there is a slight air gap at the interface, the main insulation damage caused by long-term discharge inside the air gap is the cause of the cable failure under the operating voltage.

Key words: 220 kV cable terminal; failure; interference volume

(编辑 方 晶)

(上接第 144 页)

Large Scale Wind Power Consumption Based on Heat Storage Control of Thermal System

WANG Yu

(China Renewable Energy Engineering Institute, Beijing 100120, China)

Abstract: In terms of large scale wind power integrated into the power system. Based on the framework of regional energy system, a heat storage control method for thermal system is proposed in this paper. By introducing heat storage device and distributed heat pump this method can improve the operational flexibility of cogeneration unit and the peak regulation demand of wind power is met. At the same time, the distributed heat pump can further improve the peak regulation capacity of the system and improve the wind power consumption. Finally, considering the characteristics of building heat storage and human thermal comfort, it can improve the flexibility of heat storage control and realize the effective tracking of wind power fluctuation. The simulation results show the effect of heat storage control method on the peak regulation, and also analyze the influence on peak regulation of wind power with different heat load characteristics.

Key words: wind power; cogeneration; heat storage device; building heat storage

(编辑 方 晶)

(上接第 150 页)

Analysis and Optimization of Overvoltages in UHVDC Project Caused by Exiting of Converter

YU Xiang, CHEN Le, ZOU Qiang, XU Bin, WANG Yangzheng, YANG Jianming

(NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: The entrance/exiting of converter is one of the key techniques of UHVDC project. When telecommunication between stations is lost, the exiting of one converter at rectifier side due to fault sometimes would cause overvoltages of the rest converter in series. In this paper, the overvoltages are analyzed from the perspective of control strategy and an optimized strategy, which adjusts the voltage reference at rectifier side and current margin at inverter side respectively, is purposed. The real time digital simulator (RTDS) simulation results prove that the optimized strategy can effectively suppress the overvoltages under the circumstances mentioned above and can be adopted in future UHVDC projects.

Key words: UHVDC; telecommunication between stations; exiting of converter; overvoltage; voltage reference; current margin

(编辑 方 晶)