

广州换流站直流保护系统运行情况分析

朱韬析, 汲 广, 毛海鹏

(南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510405)

摘要: 直流保护系统是直流输电系统中最重要的设备之一, 总结了天广直流输电系统广州换流站直流保护系统的运行经验, 介绍了运行中发生的典型异常及采取的改进措施, 讨论了一些在运行中暴露出来的设计、制造方面的问题, 这不但有助于提高运行维护水平, 确保直流输电系统的安全稳定运行, 还为未来直流输电工程的实施和改造, 提供了有益的参考。

关键词: 天广直流输电系统; 直流保护系统; 运行经验

Operational analysis of DC protection system in Guangzhou converter station

ZHU Tao-xi, JI Guang, MAO Hai-peng

(GZ Bureau, CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510405, China)

Abstract: DC protection system is one of the most important equipments in HVDC transmission system. In this paper, the operational experience of DC protection system in Guangzhou converter station is concluded, the primary abnormality and the reconstruction in operation are analyzed, then, some questions of design and manufacture which exposed in operation are discussed. All above are not only valuable to improve the ability of operation and maintenance to insure the safety and the reliability of HVDC system, but also benefit to improve the design, commissioning and operation level of HVDC power transmission projects in China in the future.

Key words: Tian-Guang HVDC transmission system; DC protection system; operational experience

中图分类号: TM77; TM721.1 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)21-0036-05

0 引言

广州换流站位于广州市北郊, 正常情况下作为天广直流输电系统逆变站运行。天广直流输电系统是中国南方电网第一条长距离、大容量的高压直流输电线路, 自2001年6月双极投运以来, 累计转电量超过400亿千瓦时, 不仅在实施西电东送、促进东西部地区资源优化配置和社会经济发展方面发挥了重要作用, 而且为推进我国直流输电技术的发展积累了丰富的经验。

直流保护系统是直流输电系统中最重要的设备之一, 直接关系到整个直流系统以及相关交流系统的安全运行。天广直流保护系统由德国Siemens公司设计、制造, 运行7年以来, 也暴露出了一些设计、制造等方面的问题, 本文统计了广州换流站直流保护系统运行中发生的典型异常, 并介绍了采取的一些改进措施, 这不但有助于提高直流输电系统的运行维护水平, 还可以为未来我国直流输电工程的建设改造、以及直流输电技术的发展积累宝贵的经验。

1 广州换流站直流保护系统简介

广州换流站直流保护系统通过Siemens公司开发的SIMADYN D高速数字式控制系统实现^[1]。SIMADYN D是一种硬件可自由配置模板式、软件编程图形化的控制系统, 具有多CPU控制、实时、多任务并行处理功能, 主要用于控制领域的快速闭环控制、运算分析与逻辑判断、顺序控制、实时监控及信号处理等。软、硬件均采用模块化设计, 可根据控制任务进行组态和配置, 广泛应用于电气控制系统, 如大功率直流和交流传动系统、高压直流输电、动态无功补偿系统及高速透平机的控制等领域^[2]。广州换流站直流保护系统SIMADYN D装置主要包括: 主处理器模块PM4、信号处理器模块EP3、存储器模块MM4、输入/输出模块IM3、光接收模块I/O3、光能量模块LM3、通讯母板CS7 模块及通讯接口模块SS4、SS52等^[1]。

为了保证保护的可靠性, 双极均配置了三套直流保护系统, 各系统内的硬件配置完全一致, 正常运行时出口回路采用“三选二”原则。“三选二”逻

辑模块位于直流保护系统1和2中, 保护系统3内并无“三选二”逻辑模块, 只有保护功能模块, 因此, 保护最后从直流保护系统1和2出口^[3]。

保护系统1和系统2屏内各有8个监视(SYSTEM OK)继电器, 用于监视系统1和系统2是否运行正常。若系统1及系统2均故障, 则所有SYSTEM OK继电器均失磁并发ESOF信号至相应的极控系统及换流变保护系统, 停运相应极。

2 广州换流站直流保护系统发生的主要异常及改进

2.1 广州换流站直流保护系统发生的主要异常

(1) 板卡故障

SIMADYN D板卡故障是广州换流站直流保护系统较常见的异常之一, 故障原因包括低压直流系统电压偏高、屏柜散热性能较差、南方地区天气较潮湿、板卡质量较差等等, 广州换流站直流保护系统故障频率最高的板卡主要是通讯接口模块SS52和光能量模块LM3, 04年以来便分别更换了5块和6块。

(2) 测量故障

同样, 测量故障也是广州换流站直流保护系统最常见的异常之一。据统计, 仅在2007年, 广州换流站直流保护系统共发生10次测量故障, 其中8次故障瞬时复归, 另两次通过拔插通道光纤并重启SIMADYN D装置后故障消除。

直流保护SIMADYN D系统中, EP3板卡主要用于信号处理, 而它采用的数据则是通过光接收板卡IO3进行光电转换后得到, LM3板卡则为光电转换提供所需的能量, 如果IO3板卡奇偶校验位(parity bit)错误, 或是接收不到数据, 以及LM3板卡提供的能量超过了上限(将自动闭锁相应传输通道), 将会认为对应的测量通道出现传输故障, 并将该故障信息传输给EP3板卡。检测发生测量故障后, 将发出“软件故障”的信号并认为该系统故障。因此, 测量故障将直接影响到直流保护系统动作的可靠性, 甚至可能直接导致直流系统停运。如天广直流输电系统便在2006年7月10号、2008年6月18号和25号三次因天生桥站直流保护系统1、2均发生测量故障造成紧急停运。

(3) 端子松动造成保护误动

接线方式灵活多样是直流输电系统的重要优点之一, 但这也要求部分直流保护的算法必须依赖于直流系统的运行方式, 只有准确识别直流系统的运行状态后选择针对性的算法, 才能保证保护准确动作^[4]。直流保护中直流设备接线方式和系统运行

状态则分别由直流站控系统和双极极控系统送至直流保护系统, 显然, 一旦信息传输通道出现异常导致直流保护系统收到错误的信息, 便极有可能造成保护误动。广州换流站也发生过两次这样的异常:

· 2006年05月27日08:18, 天广直流双极运行方式下, 广州换流站极1保护系统1、2的行波保护(双极方式下, 广州换流站行波保护退出运行)动作, 约55 ms后, 极1直流保护系统3低电压保护动作。检查发现, 本次异常的原因是由于直流站控送入极1直流保护系统1的双极运行方式开入量在直流保护系统1的+.CE161(48针端子排)处不能导通, 从而造成发生线路故障时, 极1直流保护系统1和2的行波保护误动作^[5]。

2006年05月28日23:51, 天广直流极1单极金属回线方式下, 广州换流站极1直流保护系统1接地极母线差动保护动作, 同样, 检查发现也是由于极1直流保护系统1内+.CE161模块端子排松动, 导致部分信号无法导通, 造成极1直流保护系统1接地极母线差动保护根据错误的信息选择了错误的算法, 并引起保护误动^[4]。

对+.CE161模块进行紧固处理后, 测试各信号恢复正常, 随后在双极正常运行方式及极1单极金属回线方式下对极1极控和直流站控的相关信号进行跟踪读取、检查, 结果均正常。极1直流保护也再未发生过类似误动异常。

2.2 运行采取的主要改进措施

2.2.1 保护定值的修改

天广直流保护系统中各保护的配置及算法最初均由德国SIEMENS公司设计, 在运行中, 也根据南方电网系统的需要, 陆续做了一些改进:

(1) 对100 Hz基频保护的改进

天广直流输电系统中, 100 Hz基频保护^[6~8]最初的动作延时和动作后果如表1所示, 但根据《中国南方电网2007年运行方式》的计算和分析, 交流系统故障, 如主保护或断路器拒动, 将可能引发单回或多回直流同时降功率或闭锁, 导致系统稳定破坏, 且无法通过安稳控制系统维持电网稳定。但对多数断路器拒动故障、失灵保护动作前, 如果直流输电系统不降功率, 电网便可以保持稳定。因此在断路器保护动作前, 直流100 Hz保护I段不宜动作。且鉴于断路器失灵发生的几率较高, 而且因断路器失灵导致多回直流同时降功率的动作后果比较严重, 考虑到开关拒动, 与失灵保护动作时间的配合, 故对天广直流系统100 Hz保护做如表1所示调整。

(2) 对接地极线路电流差动保护的改进

天广直流输电系统中, 单极大地(GR)运行方

式下, 接地极线路电路差动保护(60EL)动作后果为直接闭锁运行极。考虑到直流线路故障一般以暂态故障为主, 对于此类暂态故障, 一旦故障清除直流输电系统便可以立即恢复运行, 如果GR运行方式下60EL动作后采用自动重启逻辑, 便可以降低接地极线路上发生瞬时故障导致直流停运的概率, 在

一定程度上降低直流闭锁的概率, 对于系统的功率输送以及系统稳定有很大益处。目前正在开展对GR运行方式下60EL动作后采用自动重启逻辑的相关研究工作, 为了在现阶段避免不必要的停运, 于2008年6月6日对60EL做了如表2所示的改进。

表 1 对 100 Hz 保护做的修改
Tab.1 Modification of 100 Hz fundamental protection

保护	原动作延时	原动作后果	修改后的动作延时	修改后的动作后果
100 Hz 保护 I 段	200 ms	降电流至 0.3 p.u.	10 s	退出降电流功能
100 Hz 保护 II 段	1s	闭锁	3 s	闭锁

表 2 对 60EL 保护做的修改
Tab.2 Modification of 60EL protection

保护	接线方式	原动作延时	原动作后果	修改后的动作延时	修改后的动作后果
60EL	双极并列运行	500 ms	告警	1 s	告警
60EL	单极大地回线	500 ms	闭锁	2.5 s	闭锁

2.2.2 对SYSTEM OK继电器采取的反措

最初, 广州换流站直流保护系统中SYSTEM OK继电器选用光耦合继电器, 但在试运行期间, 发现在拉开刀闸的过程中, 这类继电器可能会受到干扰而发出一个大约20 ms的ESOF脉冲, 甚至造成误停运。对此, 外方将这些光耦继电器均改为型号为PLC-RSC-24 DC/21的电磁型继电器。

2003年10月13日00:05, 因对极2直流保护检修工作需要, 对广州换流站站极2直流保护系统1断电过程中, 极2直流保护系统1、2均发出ESOF信号, 停运极2, 后检查中发现: 即使系统正常时, 极2直流保护系统2屏内监视继电器-K210仍未励磁, 这导致当系统1断电时两套直流保护系统均不可用。更换该继电器后系统试验及运行正常。2004年07月03日03: 55, 极2直流保护系统2SIMADYN D电源风扇故障期间, 也导致极1停运, 检查发现也是由于极1直流保护系统1内System OK继电器-K133发生类似故障, 从而造成误停运。

针对上述异常, 2005年06月09日, 对极2直流保护系统1实施了以下反措: 对屏内每一个SYSTEM OK继电器增加一个监视继电器, 当电磁型的SYSTEM OK继电器因系统故障或者常闭触点发生粘连时, 对应的监视继电器将励磁, 从而可以准确地检测到SYSTEM OK继电器的故障。

3 广州换流站直流保护系统需改进的地方

(1) 线路差动保护动作延时与后备保护配合

不合理

天广直流保护系统中各保护的配置及算法均由德国SIEMENSE公司设计, 从运行经验来看, 基本能保证一次设备的安全和交直流系统的稳定运行, 但在运行中也暴露出了一些问题, 尤其是线路差动保护动作延时与后备保护配合不合理, 导致在多次线路高阻接地故障中, 未能启动线路故障重启功能, 而是由后备保护先动作, 直接停运了相应极, 丧失了通过线路故障重启、恢复正常运行的机会, 对系统造成了一定的不良影响。文献[9,10]对这一问题的原因及影响进行了较深入的分析, 并提出了一些改进建议。

(2) 线路差动保护送至对侧电流的选择逻辑存在隐患

天广直流保护系统并没有专用的通信通道, 因此, 在线路差动保护中, 本侧直流线路电流测量值 I_{dL} 需由直流保护系统送至极控, 再由极控将 I_{dL} 传至对站。由于三套直流保护系统中的 I_{dL} 均送入极控, 而极控仅送出一个 I_{dL} 至对站, 所以在天广直流输电工程中, 极控采用了优先级为系统1>系统2>系统3的选择方式。

显然, 这一逻辑存在着这样的隐患: 当直流保护系统1由于某种原因导致 I_{dL} 测量异常时, 此时系统1中具有较大误差的 I_{dL} 将被优先传送至对站, 即使系统2和系统3的 I_{dL} 测量值正常, 也有可能对站线路差动保护误动作, 这违背了直流保护系统采用的“三取二”原则。

天广直流输电系统运行中多次发生这样的异常,如2006年08月18日,广州换流站在对极2直流保护系统1重启过程中,天生桥换流站极2三套线路差动保护动作,启动了故障重启动。

对此,建议增加直流保护专用通讯通道,或采用高肇直流输电系统的做法:在极控软件中对来自三套保护的 I_{dl} 信号进行比较并选择中间值送对站,以避免由于测量异常导致保护误动。

(3) SIMADYN D装置电源模块风扇故障后果存在隐患

天广直流保护系统中, SIMADYN D装置电源模块设有三个风扇用于散热,当任一风扇故障,则将认为这套直流保护系统故障,该套直流保护系统的退出运行,将大大降低整个直流保护系统的可靠性。

对此,建议改进 SIMADYN D 装置电源模块风扇故障的动作后果,或加设温度监测装置:风扇故障后首先启动告警,提示运行人员,而不是直接判断这套直流保护系统故障;仅在温度超过门槛值后才将该套直流保护系统退出运行。

(4) 屏柜散热效果较差

天广直流控制保护系统屏柜均采用旋转门、多机架设计,其电源、模拟量/数字量转换、切换逻辑,二取一选择、三取二选择逻辑都采用模块化电路板装入机箱中,由于机箱较多,容易造成散热通道不够通畅,这也是广州换流站直流保护系统二次板卡故障率较高的原因之一。

此外,随着运行年限的增加,广州换流站空调冷却装置故障率越来越高,而一旦空调系统均故障,将很可能导致控制保护系统板卡散热效果不良并引起故障,进而直接威胁到直流输电系统的运行。如广州换流站在2005年11月25日和2006年04月07日,主控室空调故障后不久,极控系统SIMADYN D装置内便有板卡发生故障,由于直流保护系统同样采用了SIMADYN D装置,因此,这也需要引起重视。

(5) 常励磁继电器问题

在天广直流屏柜设计中使用的继电器采用常励磁设计,易导致继电器故障,降低设备的可靠性。天广直流保护屏采用的SYSTEM OK继电器,就是典型的常励磁继电器,如上文所述,在实际中曾带来一些问题。因此,建议考虑采用用性能更加可靠的继电器进行更换,或者采用电磁继电器和光耦继电器串接的方法,并对重要的常励磁继电器增加监视回路。

(6) 广州换流站直流保护系统没有跳闸出口压板,较难实现退出部分保护功能,只能通过拔出

存储器模块MM4的X3端子闭锁整套保护,增加现场运行维护的难度;对此,建议参考高肇和兴安直流系统,在原有直流保护系统上增加相应的出口压板。

(7) 天广直流输电系统的阀冷却系统、换流变压器、阀基电子设备(VBE)等外部系统的跳闸回路均通过直流保护系统出口,这一设计也存在一定的缺陷,一旦某套直流保护系统故障或退出运行时,可能会影响到相应的外部跳闸功能,同样,建议参考高肇和兴安直流系统,增加一套相应的外部跳闸回路接口屏。

4 结论

直流保护系统是直流输电系统中最重要设备之一,直接关系到直流输电系统的稳定运行和一次主设备的安全。天广直流输电系统是中国南方电网第一条长距离、大容量的高压直流输电线路,于2001年6月双极投运,运行7年以来,暴露出了一些设计、制造等方面的问题,甚至对直流输电系统的安全稳定运行也带来了一些不良影响。本文根据天广直流保护系统的运行实例,总结了运行中较常见的异常及采取的一些改进措施,同时还指出了一些运行中暴露出来的、有待改进的问题,这不但有助于提高运行维护水平,确保直流输电系统的安全稳定运行,还为未来直流输电工程的实施和改造,提供了有益的参考。

参考文献

- [1] 贺智. 高压直流输电工程西门子直流保护硬件分析[J]. 科技经济市场, 2006, 1(10): 69-70.
- [2] 丁扬. 基于SIMADYN D的FSC和TCSC串联补偿控制技术[J]. 中国电力, 2001, 34(3): 39-41.
DING Yang. Control Technology Based on SIMADYN D for FSC and TCSC[J]. Electric Power, 2001, 34(3): 39-41.
- [3] 翟永昌. 高压直流输电系统直流保护配置的可靠性分析[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2(2): 13-16.
ZHAI Yong-chang. Analysis of the Protection Credibility in HVDC Transmission System[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2(2): 13-16.
- [4] 郭卫明. 西门子接地极母线差动保护原理及误启动原因[J]. 高电压技术, 2006, 32(9): 84-87.
GUO Wei-ming. Principle and Analysis for the Incorrect Pickup of SIEMENS Electrode Bus Differential Protection[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(9): 84-87.
- [5] 汲广, 朱韬析. 天广直流输电系统线路行波保护介绍[J]. 继电器, 2008, 36(21): 86-89.

- Ji Guang, ZHU Tao-xi. Introduction of Wave Front Protection in Tian-Guang HVDC Transmission System[J]. Relay, 2008, 36(21): 86-89.
- [6] 朱韬析, 张海凤. 天广直流输电系统非特征谐波保护简介[J]. 高电压技术, 2007, 32 (增刊): 69-71.
ZHU Tao-xi, ZHANG Hai-feng. Introduction of the Protections Based on Magnitude of Non-Characteristic Harmonics in Tian-Guang HVDC Transmission Project [J]. High Voltage Engineering, 2007, 32 (S): 69-71.
- [7] 张海凤, 朱韬析. 整流侧交流系统故障对高压直流输电系统的影响[J]. 继电器, 2007, 35 (15): 24-27.
ZHANG Hai-feng, ZHU Tao-xi. Influence of Rectifier AC Fault on HVDC Transmission System[J]. Relay, 2007, 35 (15): 24-27.
- [8] 余江, 周红阳, 黄佳胤, 等. 影响直流 100 Hz 保护的交流系统故障范围分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (3): 47-51.
YU Jiang, ZHOU Hong-yang, HUANG Jia-yin, et al. Impact of Fault Location in AC System to 100 Hz Protection of HVDC[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (3): 47-51.
- [9] 黄佳胤, 周红阳, 余江. “3.21”天广直流线路高阻抗接地故障的分析与仿真[J]. 广东电力, 2005, 18 (11): 15-17.
HUANG Jia-yin, ZHOU Hong-yang, YU Jiang. Analysis and Simulation on “3.21” High Impedance Earth Fault of Tian-Guang HVDC Project[J]. Guangdong Electric Power, 2005, 18 (11): 15-17.
- [10] 刘东, 吴泽辉. 天广直流线路高阻抗接地故障保护分析[J]. 南方电网技术研究, 2005, 1 (5): 57-60.
LIU Dong, WU Ze-hui. Analysis on the Tian-Guang DC line Protection against High-impedance Ground Faults[J]. Southern Power System Technology Research, 2005, 1 (5): 57-60.

收稿日期: 2008-11-09

作者简介:

朱韬析 (1980-), 男, 工程师, 目前从事直流输电维护工作; E-mail: taoxi_zhu@hotmail.com

汲广 (1976-), 男, 工程师, 目前从事直流输电管理工作;

毛海鹏 (1978-), 男, 工程师, 目前从事直流输电技术管理工作。

(上接第 10 页 continued from page 10)

- DENG You-man, LI Hui, ZHANG Bo-ming, et al. Adjustment of Equal and Opposite Quantities in Pairs for Strategy of Active Power Security Correction of Power Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(18): 5-8.
- [5] 王秀丽, 甘志, 雷兵, 等. 输电阻塞管理的灵敏度分析模型及算法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (4): 10-13.
WANG Xiu-li, GAN Zhi, LEI Bing, et al. Sensitivity Analysis Approach to Transmission Congestion Management[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26 (4): 10-13.
- [6] PJM Training Materials (LMP 101)[Z]. PJM.
- [7] LI Fang-xing, BO Rui. DCOF-Based LMP Simulation: Algorithm, Comparison with ACOPF, and Sensitivity [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2007, (22): 1475-1485.
- [8] LI Fang-xing. Continuous Locational Marginal Pricing (CLMP)[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2007, (22): 1638-1646.
- [9] Jan R M, Chen N. Applications of the Fast Newton-Raphson Economic Dispatch and Reactive Power/Voltage Dispatch by Sensitivity Factors to Optimal Power Flow[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 1995, 10(2): 293-301.
- [10] Chen Shin-der, Chen Jiann-fuh. A New Algorithm Based on the Newton-Raphson Approach for Real-time Emission Dispatch[J]. Electric Power Systems Research, 1997, (40): 137-141.
- [11] Chen Shin-der, Chen Jiann-fuh. A Direct Newton-Raphson Economic Emission Dispatch[J]. Electrical Power and Energy Systems, 2003, (25): 411-417.
- [12] 张伯明, 陈寿孙. 高等电力网络分析[M]. 北京: 清华大学, 1993.
- [13] Wai Y N. Generation Distribution Factors for Power System Security Evaluations[J]. IEEE Trans on Power Apparatus & Systems, 1981, 100(3).
- [14] Lsac O, Stott B. Optimal Load Flow with Steady-state[J]. IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1974, 93(3): 745-751.

收稿日期: 2008-11-15; 修回日期: 2009-02-25

作者简介:

黄泽荣 (1983-), 男, 硕士, 助理工程师, 研究方向为电力系统运行与控制; E-mail: zhruang@126.com

彭建春 (1964-), 男, 教授, 博士生导师, 从事电力市场、电力系统优化运行、控制的研究;

肖文娟 (1982-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力市场及电力系统经济运行。