

南方电网直流输电工程换流变压器保护系统运行问题分析

朱韬析¹, 张敏², 郭卫明¹, 何杰¹

(1. 南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510405; 2. 西安供电局配网调度所, 陕西 西安 710032)

摘要: 基于南方电网中各直流输电系统, 从最初完全由外方负责设计和制造的天广直流输电系统, 到设备自主化率达60%以上的±800kV云广直流输电系统, 介绍了换流变压器保护各电气量和非电气量保护的功能、配置和硬件平台, 并结合实例探讨了换流变压器保护的典型运行经验, 如非电气量保护动作正确率有待提高、励磁涌流的不良影响及换流变压器保护与交流系统保护的配合等, 这有助于提高直流输电系统运行维护水平, 并为未来直流输电工程实施、设计提供了有益的参考。

关键词: 直流输电; 换流变压器; 保护系统; 非电气量保护; 励磁涌流; 交直流保护

Analysis of the problems of protection systems of converter transformers used in HVDC transmission projects in CSG

ZHU Tao-xi¹, ZHANG Min², GUO Wei-ming¹, HE Jie¹

(1. GZ Bureau, CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510405, China ;
2. Xi'an Power Supply Bureau, Xi'an 710032, China)

Abstract: Based on the HVDC transmission systems in CSG, such as the Tian-Guang HVDC system, which the design and manufacture were completed by foreigner thoroughly, and the ±800kV Yun-Guang HVDC system, which homemade rate has reached sixty percent, the protection systems of converter transformers used in these HVDC projects are introduced, and some typical operational experiences such as the mis-action of the non-electric quantity protection, the affection of the inrush current and the cooperation with AC and DC protections are discussed. The analysis and the conclusions are valuable to improve the maintenance ability of HVDC system.

Key words: HVDC; converter transformer; protection; non-electric quantity protection; inrush current; AC/DC protection

中图分类号: TM721.1 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)13-0140-04

0 引言

换流变压器是直流输电系统中最重要的设备之一, 投资占整个直流输电系统的16%, 其可靠性对整个直流系统的运行起着至关重要的作用^[1-3]。因此, 换流变压器保护系统的性能, 直接关系到换流变压器的安全和交直流输电系统的稳定运行。

本文以我国南方电网直流输电系统换流变压器保护系统为例, 从最初完全由外方设计、制造的天广直流输电系统, 到现在设备自主化率达60%以上的±800 kV云广直流输电系统, 介绍了南方电网直流输电系统换流变压器保护系统的硬件平台、功能, 最后还结合运行实例, 探讨了换流变压器保护系统在设计、运行、维护中应注意的问题。

1 南方电网直流输电系统换流变压器保护功能简介

1.1 电气量保护

目前我国的高电压等级直流工程, 换流单元均采用12脉动(或特高压直流工程的双12脉动)换流方式, 换流变压器可以采用三绕组变压器或双绕组变压器; 换流变压器接入交流母线的方式有3/2接线或双母带旁路接线等方式, 典型的系统构成及保护配置如图1所示。

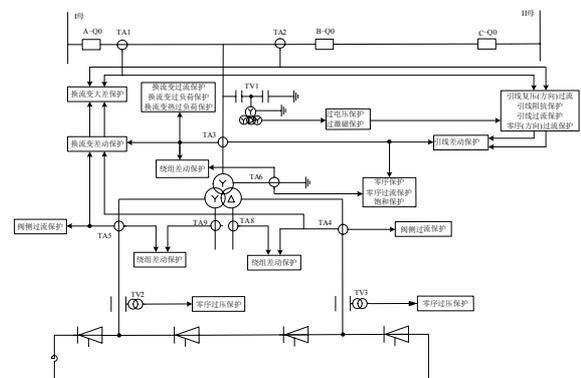


图1 三绕组换流变的保护功能典型配置

Fig.1 Typical configuration of protection function used in three-winding converter transformers

如目前的天广直流输电系统中采用了三绕组变压器, 其换流变保护配置便如图 1 所示。

目前的高肇、兴安及云广±800 kV 直流输电系统中采用了双绕组变压器, 其换流变保护配置如图 2 所示。

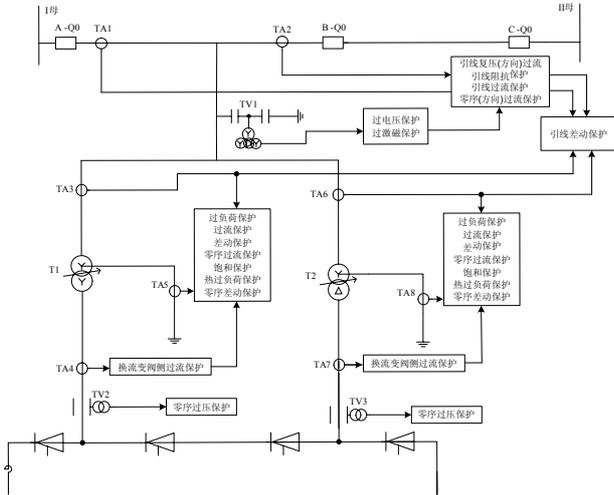


图 2 双绕组换流变的保护功能典型配置

Fig.2 Typical configuration of protection function used in duplex winding converter transformers

1.2 非电气量保护

换流变压器非电气量保护主要包括油温保护、绕组温度保护、穿墙套管 SF₆ 压力保护、本体瓦斯保护、本体压力释放保护、分接开关瓦斯保护、分接开关压力释放保护。

为了防止非电气量保护的误动, 在实际运行中均已根据反措要求, 退出换流变压器的油温保护、绕组温度保护跳闸功能; 将换流变本体两压力释放装置动作信号串连后接入跳闸功能; 分接开关压力释放装置只保留报警功能。

1.3 保护动作后果

换流变保护动作后, 将立即跳开直流输电系统相应极的交流侧开关, 并紧急停运直流系统。

2 南方电网直流输电系统换流变压器保护系统概况

南方电网内第一条直流输电系统为天广直流输电工程, 于 2001 年 6 月双极投产, 工程设计和设备制造基本由德国 SIMENSE 公司承担, 其换流变保护配置两套系统, 保护功能由 7UT513、7VH80、7SA510、KBCH130、7SJ511 等装置实现^[4]; 本体保护设置在系统 2 中。电气量保护并没有实现完全双重化配置。

贵广 I、II 回直流输电系统分别于 2004 年和 2007 年双极投入运行, 它们的换流变保护配置基本类似。相对天广直流输电系统换流变保护, 最大的改进便是保护基本实现了双重化配置, 两套保护系统中均采用 7UT61、7SA61 系列保护装置实现除过励磁保护外的其它所有电气量保护功能; 过励磁保护由 7RW600 装置实现, 只配置在系统 2 中; 两套系统中均配置了非电气量保护。

±800 kV 云广直流输电系统极 2 低端阀组已于 2009 年 6 月 21 日成功带电, 以逆变侧穗东换流站为例, 采用许继电气股份公司生产的 SBH-100 系列微机型保护装置实现换流变保护, 电气量保护实现双重化配置, 非电气量保护安装在系统 1 中。

3 南方电网直流输电系统换流变保护的运行经验

3.1 区内故障时, 保护均能正确动作

南方电网直流输电系统历年来的运行中, 曾发生过三次换流变保护区内故障, 三次故障过程中, 换流变保护系统均正确动作, 快速准确的切除了故障。如图 3 所示即为 2007 年 10 月, 某直流输电系统换流变压器 C 相内部发生严重故障时的录波; 故障发生后, 差动保护、零序差动保护、距离保护保护动作, 快速隔离了故障点。

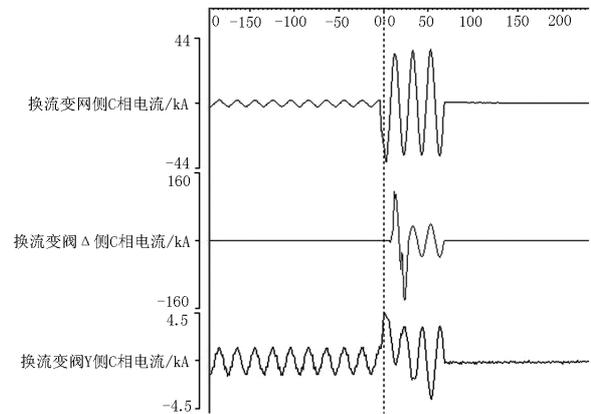


图 3 换流变区内故障时的故障录波

Fig.3 Transient recorder curves of in-area fault of converter transformers

3.2 非电气量保护易发生误动

运行经验表明, 换流变压器非电气量保护的误动率非常高, 如:

(1) 2001 年 4 月 2 日 10 时 03 分, 天广直流输电系统整流侧天生桥换流站站用电切换时, 换流变压器套管 SF₆ 压力保护误动, 停运了直流系统。检查发现保护误动原因为套管 SF₆ 压力监视继

电器为电子式继电器，电源切换时需要 3 s 左右的启动时间，远远大于保护动作延时，后将该继电器更换为无需辅助电源的机械式继电器。

此外，2001 年 4 月 21 日 08 时 14 分，天生桥换流站# 1 换流变套管 SF₆ 气压继电器内部电源回路熔丝烧断，造成气压继电器失电，与 4 月 2 日一样，SF₆ 低气压保护动作，启动 ESO F，导致极 1 停运^[5]。

(2) 2008 年 4 月，某直流输电系统某台换流变 C 相分接开关重瓦斯保护动作，检查发现故障原因为瓦斯继电器进水造成工作不稳定，针对这一问题，随后便在各直流系统的换流变瓦斯继电器均加装了防雨罩；

(3) 2009 年，某直流输电系统内某台换流变压器 B 相有载分接开关瓦斯保护在 7、8 月间接连多次误动。经多次检查和试验，最终确定故障原因为该变压器有载分接开关油冷却系统的设计缺陷，造成在线滤油机油泵启动后停止时，分接开关油室油流反送临近的瓦斯继电器，油流速度超过保护定值而跳闸。

上述运行实例表明，换流变压器区内故障时，其电气量保护、非电气量保护均能快速、准确动作；但在正常运行时，非电气量误动几率较高，这与非电气量保护装置及相关回路的特性、制造工艺等息息相关。为了提高保护动作正确率，不仅要求施工单位、运行维护部门进行认真详细的调试和验收，还必须要求设备制造厂家提高生产工艺水平，确保设备的性能；此外，也可以考虑参考国情，适当的改进非电气量保护的動作后果。

3.3 仍存在励磁涌流造成差动保护误动的问题

南方电网直流输电系统运行中，换流变压器投入瞬间的励磁涌流仍是造成差动保护误动的原因之一，同时还曾因励磁涌流所引起的谐波造成交流滤波器电阻器和避雷器损坏、直流极控系统异常^[5-6]。对此，主要的改进措施是对换流变投切开关加装合闸控制装置，使得在投切中控制合理的电压相位角。

虽然加装了合闸控制装置，但投入换流变瞬间励磁涌流造成差动保护误动的故障仍时有发生，如 2007 年 1 月，某直流输电系统极 1 由备用状态操作至闭锁状态过程中，合上换流变交流侧开关对换流变充电后，极 1 换流变压器差动保护动作，故障录波如图 4 所示。

显然，这是一次比较典型的由于励磁涌流导致变压器保护误动的事故；此外，换流变压器空载投入时产生的谐波还可能损坏其他设备、影响直流系统的正常运行^[7]，因此，除了考虑加装合闸控制装

置降低励磁涌流外，还应考虑对保护系统采取相应措施^[8]，以防止励磁涌流引起换流变保护误动。

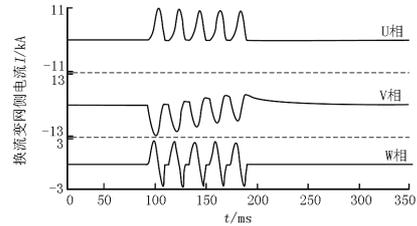


图 4 对换流变压器充电瞬间网侧三相电流波形
Fig.4 Current of line side when converter transformer energized

3.4 区外故障下换流变保护动作后果严重

换流变保护系统与交直流保护系统的配合也非常关键，区外故障时，不仅要防止换流变保护误动；同时，在区外故障持续时间过长、可能危及换流变正常运行时，换流变保护保护必须可靠动作，以保护设备的安全。

南方电网直流输电系统曾数次在区外交流系统故障时，双极换流变保护动作，造成双极直流系统停运：

(1) 2002 年 4 月，某直流输电系统整流侧交流馈线出口侧发生永久接地故障，整流侧双极换流变压器的差动保护发生误动。后检查发现，误动的原因是生产厂在差动保护的参数上设置错误，未能将换流变压器三侧零序电流设为“同时过滤”，当交流侧发生不平衡故障时，将造成保护误动^[9]。

(2) 2006 年 6 月，某直流输电系统整流侧交流系统发生严重故障，不仅造成双极直流保护动作，还引起整流侧双极换流变中性点零序过流保护动作，停运双极。故障暂态录波图如图 5 所示。

显然，区外故障时换流变保护误动的后果非常严重，将造成直流输电系统双极停运，进一步威胁整个电网的安全稳定。因此，一方面要重视交直流保护及换流变保护的配合问题，另一方面也可以考虑改善换流变压器设备的性能，使其能承受更长时间的区外故障的冲击，从而提高整个电网的可靠性和稳定性。

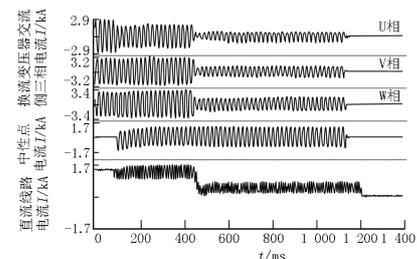


图 5 整流侧交流系统故障时的交流及直流电流
Fig.5 AC and DC current as AC system fault occurred in rectifier station

4 结语

换流变压器保护系统的可靠与否, 直接关系到一次主设备的安全和交直流输电系统的稳定运行; 通过多个直流输电工程的实践, 南方电网直流输电系统换流变压器保护得到了不断的完善和发展, 同时, 也暴露出了一些问题, 如非电气量保护的可靠性、励磁涌流的不良影响及换流变保护与交直流系统保护的配合等, 这在运行维护及未来直流输电工程的实施时, 需要引起特别重视。

参考文献

- [1] 浙江大学发电教研组直流输电教研组. 直流输电[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
- [2] Narendra K G, Khorasani K K, Sood V K, et al. Intelligent current controller for an HVDC transmission link[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1998, 13 (3): 1076-1083.
- [3] 杨汾艳. 直流输电系统主回路和控制器参数优化选择研究[D]. 杭州: 浙江大学: 2007.
- [4] 朱韬析, 王超. 天广直流输电换流变压器保护系统存在的问题[J]. 广东电力, 2008, 21 (1): 7-10.
ZHU Tao-xi, WANG Chao. Problems existing in protective system of converter transformer used in Tian-Guang HVDC project[J]. Hangzhou: Guangdong Electric Power, 2008, 21 (1): 7-10.
- [5] 余建国, 晁剑, 钱海. 天广直流输电工程极 1 单极运行强迫停运故障原因分析和改进措施[J]. 电网技术, 2002, 26 (5): 80-83.
YU Jian-guo, CHAO Jian, QIAN Hai. Analysis of forced outages of pole1 in Tian-guang HVDC transmission project under single pole operation and its counter measures[J]. Power System Technology, 2002, 26 (5): 80-83.
- [6] 丁钊, 韩伟强. 天广直流输电系统双极运行情况总结[J]. 电网技术, 2003, 27(9): 49-54.
DING Zhao, HAN Wei-qiang. Summary of bipolar operation situation of Tian-guang DC power transmission system[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 49-54.
- [7] 朱韬析, 王超, 张雪松, 等. 浅析空载投入换流变压器对直流输电系统的影响[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (23): 108-112.
ZHU Tao-xi, WANG Chao, ZHANG Xue-song, et al. Analysis of impacts on HVDC transmission systems when converter transformers are energized[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (23): 108-112.
- [8] 李书勇, 张海凤, 张鹏, 等. 广州换流站换流变压器差动保护附加闭锁功能浅析[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (22): 93-96.
LI Shu-yong, ZHANG Hai-feng, ZHANG Peng, et al. Analysis of additional block functions of converter transformer's differential protection serving in Guangzhou converter station[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (22): 93-96.
- [9] 荆勇, 黎小林. 天生桥—广州直流输电系统的初期运行[J]. 电力设备, 2004, 5 (11): 18-21.
JING Yong, LI Xiao-lin. Initial operation of Tianshengqiao-Guangzhou HVDC transmission system[J]. Electrical Equipment, 2004, 5 (11): 18-21.

收稿日期: 2009-10-29; 修回日期: 2009-12-23

作者简介:

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

张敏 (1979-), 女, 本科, 工程师, 从事电力系统继电保护管理工作;

郭卫明 (1980-), 男, 工程师, 目前从事直流输电维护工作。

(上接第 87 页 continued from page 87)

- LIU Ju, YU Bin, WANG Zhi-lin, et al. A scheme for implementing distributed sequence control of substation automation system independent of protocol[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (7): 47-51.
- [11] 杨洪. 变电站程序化操作的探索与实现[J]. 电力自动化设备, 2006, 26 (11): 104-106.
YANG Hong. Research and practice of sequential operation in substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26 (11): 104-106.

收稿日期: 2009-07-21; 修回日期: 2009-08-18

作者简介:

汤震宇 (1975-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为变电站自动化系统, 远动通信, 通信协议方面的研究和开发; E-mail: tangzy@nari-relays.com

秦会昌 (1980-), 男, 工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护应用研究和管理;

胡绍谦 (1978-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事变电站自动化系统、IEC61850 协议相关产品开发。