

一种云广特高压换流变保护配置无冗余问题改进方法

张 文, 周翔胜, 宋述波, 王 超

(中国南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510405)

摘要: 以云广特高压直流输电系统为背景, 为解决换流变保护因 CT 配置不够导致的配置不冗余问题, 提出了一种换流变保护的改进方法。该方法针对换流变 Y/Y 接、Y/ Δ 接并联接线的结构特点, 通过改进换流变套管 CT 二次接线, 与换流变馈线开关 CT 进行配合, 并修改相应保护判据, 调整保护原理配置, 改善了因换流变网侧套管 CT 以及中性点 CT 配置不足而产生的保护双重化问题。对改进前后的保护装置进行了 RTDS 试验验证, 结果表明改进后的换流变保护性能有所提高, 基本实现了两套保护装置的冗余配置。

关键词: 特高压; 直流输电; 换流变保护; 变压器差动; 双重化

Improvement of the non-redundant problem of converter transformer protection of Yun-Guang UHVDC system

ZHANG Wen, ZHOU Xiang-sheng, SONG Shu-bo, WANG Chao

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

Abstract: In Yun-Guang HVDC system, the converter transformer protection is not redundant, the reason is that the CT configuration of converter transformer bushing is not enough. This paper proposes an improved method to solve the problem of non-redundancy of converter transformer protection. Considering the structural features of converter transformer, i.e Y/Y wiring and Y/ Δ wiring parallel connection, this method changes CT secondary wiring connection of converter transformer bushing, cooperates it with CT of converter transformer feeder breaker, and modifies the corresponding protection criterion. Thus the protection dual configuration problem caused by insufficient configurations of converter transformer bushing CT and neutral point CT is improved. The protection device before/after improving is tested on RTDS, the results show that the improved protection performance is increased to some extent and can basically solve the non-redundant problem.

Key words: EHV; HVDC; converter transformer protection; transformer differential protection; dual

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)14-0151-04

0 引言

云广特高压直流输电工程是国内首个 ± 800 kV 电压等级直流输电工程, 而换流变是该工程的核心设备之一, 也是世界上首次正式投产的 800 kV 换流变压器。由于换流变自身结构的限制, 其 CT 配置存在不足之处, 为换流变保护的配置带来了严重的问题。

1 换流变 CT 配置及保护配置

云广特高压直流输电换流变接线如图 1 所示, 为使画面简洁, 只画出了供保护使用的 CT。从图中可以看出, 换流变馈线 CT (开关 T1)、换流变 Y/Y、Y/ Δ 网侧的 CT (换流变 T2)、中性点零序

CT (换流变 T4) 的配置都是冗余的, 而换流变 Y/Y、Y/ Δ 网侧的 CT (换流变 T1)、中性点分相 CT (T3) 只配置了一个, 无法满足冗余的配置需求。

目前云广特高压直流系统换流变保护采用了两套系统, 图 1 所示的是系统 1 的配置情况, 图示的保护代码与保护原理的对应关系如表 1 所示, 其保护配置是完备的。而保护系统 2 由于 CT 配置不足, 无法实现 49、50T、87T、87CG、87TW、87TC 保护的配置 (如图 1 中虚线框图所示), 其配置是不完备的。

2 保护系统 2 运行分析

为分析保护系统 1 退出^[1]后, 保护系统 2 在换流变故障时的动作情况, 在南方电网仿真试验室进

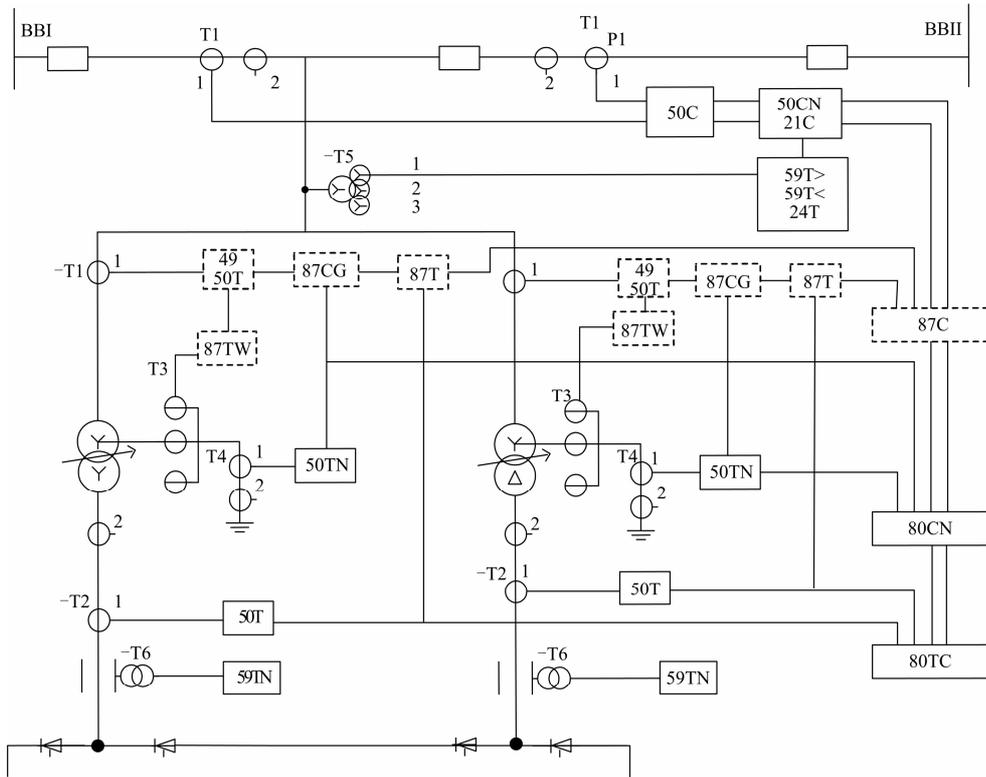


图 1 换流变 CT 及保护配置

Fig. 1 CT of convert transformer and protection configuration

表 1 保护原理代码对应表
Table 1 Code corresponding table of protection principle

代码	保护原理
21C	阻抗保护
24T	过励磁保护
49	过负荷保护
50T	换流变过流保护
50TN	换流变零序过流
50C	连线过流保护
59T>	过压保护
59T<	不平衡或电压告警
87C	连线差动保护
87CN	连线零序差动保护
87T	换流变差动保护
87CG	换流变零序差动保护
87TC	换流变及连线差动
87TW	换流变绕组差动保护
59TN	零序过压保护

行了 RTDS 试验, 试验采用了云广直流系统实际的双 12 脉动结构模型, 采用了实际的直流控制保护装置, 采用了云广直流系统实际的系统参数和换流变

参数。试验设置了短路故障、换流变空投、手动合故障换流变、调整换流变分接头、CT 断线、CT 饱和、PT 断线、阀组解闭锁、直流系统故障、系统过电压、换流变过激磁、交流滤波器投切、直流偏磁、屏柜电源故障和复杂组合故障等 15 大组共计 175 个实验项目。试验结果表明, 保护系统 2 在在以下几种情况下存在拒动现象:

- (1) 阀侧绕组接地故障^[2-3];
- (2) 交流侧和阀侧发生小于 3%的匝间短路时;
- (3) 交流网侧发生经 300 Ω 过渡电阻的故障时;
- (4) 手合于匝间故障时。

当保护系统 1 故障或检修 (如更改保护定值) 时, 保护系统 2 仅配置了大差保护和大零差保护, 由于换流变自身的机构特点, 还存在空投时的和应涌流问题^[4-6], 使得换流变大差保护的灵敏度无法进一步提高, 对换流变的安全运行造成了影响。如果一次设备的既有问题不能解决, 则二次保护的双重化配置就不能从根本上解决, 只能通过调整 CT 接线方式, 对保护配置和保护原理进行改进。

3 改进方法

下面通过分析保护系统 2 未实现的保护功能来研究改进方法。

1) 变压器差动保护 (87T) 是换流变的主保护, 换流变为两台 Y/Y、Y/△接变压器组成, 两台变压器均配置差动保护。其动作电流为

Y/Y 接

$$I_{op} = |\dot{I}_{1y} + \dot{I}_{2y}| \quad I_{res} = |\dot{I}_{1y} - \dot{I}_{2y}|/2$$

Y/△接

$$I_{op} = |\dot{I}_{1\Delta} + \dot{I}_{2\Delta}| \\ I_{res} = |\dot{I}_{1\Delta} - \dot{I}_{2\Delta}|/2$$

其中: I_{op} 、 I_{res} 为差动电流、制动电流; \dot{I}_{1y} 、 \dot{I}_{2y} , $\dot{I}_{1\Delta}$ 、 $\dot{I}_{2\Delta}$ 分别为 Y/Y 接、Y/△接变压器网侧 (T1)、阀侧 (T2) 电流互感器二次侧的电流。

目前两台变压器的网侧 CT (T1) 都送至保护系统 1, 而不送至保护系统 2。若将 Y/Y 接变压器网侧 CT 送至保护系统 1, 而将 Y/△接变压器网侧 CT 接至保护系统 2, 我们可以通过如下算法实现换流变差动保护 (以保护系统 1 为例)。

Y/Y 接:

$$I_{op} = |\dot{I}_{1y} + \dot{I}_{2y}|, \quad I_{res} = |\dot{I}_{1y} - \dot{I}_{2y}|/2$$

Y/△接:

$$I_{op} = |\dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_{1y} + \dot{I}_{2\Delta}| \\ I_{res} = |\dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_{1y} - \dot{I}_{2\Delta}|/2$$

其中, \dot{I}_1 、 \dot{I}_2 分别为交流场 3/2 接线开关 CT 电流互感器二次侧的电流。改进后的保护扩大了保护范围, 但其动作后果是一致的。因此, 如果按照上述方法对换流变保护二次回路及保护算法进行改进, 退出一套系统的变压器差动保护 (87T) 是可实现的。

2) 变压器零序差动保护 (87CG) 的实现方法与 87T 相同, 以保护系统 1 为例, 绕组零序差动保护动作电流值为

Y/Y 接:

$$I_{op} = |\dot{I}_{1ya} + \dot{I}_{1yb} + \dot{I}_{1yc} + 3\dot{I}_{0y}| \\ I_{res} = \max\{|\dot{I}_{1ya} - \dot{I}_{1yb}|, |\dot{I}_{1yb} - \dot{I}_{1yc}|, |\dot{I}_{1yc} - \dot{I}_{1ya}|\}$$

其中: I_{op} 、 I_{res} 为差动电流、制动电流; \dot{I}_{1ya} 、 \dot{I}_{1yb} 、 \dot{I}_{1yc} 分别为 Y/Y 接换流变网侧 CT (T1) A、B、C 三相二次电流; \dot{I}_{0y} 为中性点零序 CT (T4) 二次电

流。

Y/△接

$$\dot{I}_{1\Delta} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_{1y} \\ I_{op} = |\dot{I}_{1\Delta a} + \dot{I}_{1\Delta b} + \dot{I}_{1\Delta c} + 3\dot{I}_{0\Delta}| \\ I_{res} = \max\{|\dot{I}_{1\Delta a} - \dot{I}_{1\Delta b}|, |\dot{I}_{1\Delta b} - \dot{I}_{1\Delta c}|, |\dot{I}_{1\Delta c} - \dot{I}_{1\Delta a}|\}$$

其中: $\dot{I}_{1\Delta a}$ 、 $\dot{I}_{1\Delta b}$ 、 $\dot{I}_{1\Delta c}$ 分别为计算获得的 Y/△接换流变网侧 CT (T1) A、B、C 三相二次电流; $\dot{I}_{0\Delta}$ 为中性点零序 CT (T4) 二次电流。

3) 绕组差动保护 (87TW) 是换流变压器内部绕组故障的主保护, 保护范围包括换流变压器各侧电流互感器之间的内部绕组的区域, 用于检测换流变压器各侧内部绕组的相间及接地故障。换流变绕组差动保护在目前的 CT 配置下无法获得冗余性。以保护系统 2 为例, 若进行了基于第 1) 点的改进, 可以获得变压器网侧 CT 的二次电流值, 但无法获得中性点分相 CT 电流二次值。可以将换流变 Y/Y 接网侧套管 CT (T1)、中性点侧分相 CT (T3) 接至保护系统 1, 将 Y/△接网侧套管 CT (T1)、中性点侧分相 CT (T3) 接至保护系统 2, 在保护系统 1 中可以实现 Y/Y 接换流变的绕组差动保护, 而在保护系统 2 中实现 Y/△接换流变的绕组差动保护。这样, 当两套系统均投入运行时, 与改进前的保护配置保护范围或灵敏度一致。当单套保护推出时, 考虑到换流变中性点零序 CT 的配置是冗余的, 可以按 Y/Y 接、Y/△接变压器分别配置绕组零序差动保护, 其保护范围覆盖了绕组差动保护的接地故障范围, 且由于零序电流为故障分量, 也具有较高的灵敏度^[7], 可以作为绕组接地故障保护的补充。

4) 换流变连线差动保护 (87C) 是换流变压器引线故障的主保护; 保护范围包括换流变压器引线电流互感器到换流变压器网侧电流互感器之间的区域, 用于检测换流变压器引线的相间及接地故障。87C 的保护可以由改进后的 87T 保护来替代, 同时 87C 的保护范围是在换流变大差保护 (87TC) 范围内的。87C 退出后, 连线接地故障、相间故障均可以由 87T、87TC 来切除。对于保护替代后的灵敏度问题, 将在后面的 RTDS 试验中进行进一步检验。

5) 过负荷保护 (49) 和过流保护 (50T) 是换流变保护的后备保护, 而且从保护的配置情况上看, 连线过流保护 (50C) 的配置是冗余的, 49、50T 短时退出运行时影响并不大。

总结改进后的两套换流变主保护系统配置如表 2 所示。

表 2 改进后的换流变主保护配置
Table 2 Main protection after improving

保护配置	系统 1	系统 2
换流变和引线差动保护	有	有
换流变和引线零差保护	有	有
引线差动	无	无
Y/Y 换流变差动	有	无
Y/ Δ 换流变差动	无	有
Y/Y 换流变零差	有	无
Y/ Δ 换流变零差	无	有
引线和 Y/Y 换流变差动	无	有
引线和 Y/ Δ 换流变差动	有	无
引线和 Y/Y 换流变零差	无	有
引线和 Y/ Δ 换流变零差	有	无
Y/Y 换流变网侧绕组差动	有	无
Y/ Δ 换流变网侧绕组差动	无	有

4 试验验证

为了验证改进后的保护性能,我们试制了保护装置并再次进行 RTDS 试验。试验结果^[8]表明,装置对引线差动区内各种故障,引线和 Y/ Δ 换流变差动、引线和 Y/ Δ 换流变零差均可以正确反应;同时 Y/ Δ 区内各种故障,引线和 Y/ Δ 换流变差动、引线和 Y/ Δ 换流变零差均可以正确反应;D 桥交流侧 A 相 4%绕组匝间故障、D 桥交流侧 A 相 75%绕组接地故障、保护均正确动作。D 桥阀侧 A 相 2%绕组匝间故障、D 桥交流侧 A 相 2%绕组匝间故障转为 K5 点 A 相接地故障、网侧绕组单相经 300 Ω 过渡电阻接地故障、均有保护动作。

总结试验结果,当两套保护系统均投入时,与改进前相比,保护范围相同,总体灵敏度相当。保护系统 2 提高了在弱故障和转换性故障的灵敏度,而保护系统 1 较改进前减少了网侧 Y/Y 变绕组差动保护,在网侧绕组接地故障时,灵敏度略有下降。考虑到换流变中性点零序 CT 的配置是冗余的,可以按 Y/Y 接、Y/ Δ 接变压器分别配置绕组零序差动保护,在绕组差动保护退出的情况下,起到保护换流变绕组接地短路故障的作用。试验结果表明,改进后的保护总体上降低了保护单套运行的风险,基本实现了两套保护装置的冗余配置。

5 结论

云广特高压直流系统换流变 CT 配置无法实现保护的双重化,目前系统 1 配置完备的保护而系统 2 无 49、50T、87T、87CG、87TW、87TC 保护,无法退出系统 1 运行。对此本文提出了将换流变 Y/Y 接网侧套管 CT (T1)、中性点侧分相 CT (T3) 接至保护系统 1,将 Y/ Δ 接网侧套管 CT (T1)、中

性点侧分相 CT (T3) 接至保护系统 2,并在两套保护装置内修改相关算法,降低了单套保护装置退出时换流变安全运行风险,基本实现了两套保护装置的冗余配置。

参考文献

- [1] 朱韬析,张敏,郭卫明,等.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[J].电力系统保护与控制,2010,38(13):140-143.
ZHU Tao-xi, ZHANG Min, GUO Wei-ming, et al. Analysis of the problems of protection systems of converter transformers used in HVDC transmission projects in CSG[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(13): 140-143.
- [2] 罗海云,余江,欧开健.换流变压器阀侧接地故障特性分析[J].中国电力,2009,42(6):84-87.
LUO Hai-yun, YU Jiang, OU Kai-jian. Grounding fault analysis at converter transformer valve side[J]. Electric Power, 2009, 42(6): 84-87.
- [3] 李晓华,刘洋,蔡泽祥.直流输电换流变压器阀侧交流单相接地故障[J].电工技术学报,2012,27(6):38-45.
LI Xiao-hua, LIU Yang, CAI Ze-xiang. Analysis of grounding fault at HVDC converter transformer valve side[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(6): 38-45.
- [4] 杨汾艳,徐政.直流输电系统典型暂态响应特性分析[J].电工技术学报,2005,20(3):45-52.
YANG Fen-yan, XU Zheng. Typical transient responses in HVDC transmission system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2005, 20(3): 45-52.
- [5] 田庆.12脉动换流变压器对称性涌流现象分析[J].电力系统保护与控制,2011,39(23):133-137.
TIAN Qing. Analysis on the symmetry inrush of 12 impulsive convertor transformer[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(23): 133-137.
- [6] 张红跃.换流变大差保护励磁涌流识别的思考[J].电力系统保护与控制,2011,39(20):151-154.
ZHANG Hong-yue. Thinking of converter connection-transformer differential protection's magnetizing inrush current judgement[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(20): 151-154.
- [7] 朱声石.变压器零序差动保护的讨论[J].电力自动化设备,2003,23(10):5-8.
ZHU Sheng-shi. Discussion on transformer zero-sequence current differential protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(10): 5-8.
- [8] 国家继电保护及自动化设备质量监督及检验中心.检验报告(JW130756)[R].2013.
Xuchang KETOP Electrical Apparatus Testing & Research Institute (China). Inspection report (JW130756-Dynamic)[R]. 2013.

收稿日期:2013-10-09

作者简介:

张文(1980-),男,硕士研究生,工程师,从事高压直流输电运行工作;E-mail:7411347@qq.com

周翔胜(1979-),男,工程硕士,高级工程师,从事高压直流输电运行管理;

宋述波(1978-),男,硕士,高级工程师,从事高压直流输电运行管理。