

## 天广高压直流输电工程极控后备保护研究

何杰, 张培东, 郭卫明

(中国南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 051003)

**摘要:** 极控是高压直流输电系统的控制保护核心, 其稳定运行与正确动作保障了直流输电系统的安全稳定和可控在控。结合天广高压直流输电工程简单介绍了极控系统中后备保护工作原理, 并结合极控系统原理及监视功能分析了该类保护的特点。针对广州换流站实际案例对极控后备保护中换流器开路保护等快速保护中存在的隐患进行更进一步的探讨。最后提出天广直流工程极控后备保护改进的建议。

**关键词:** 高压直流输电; 极控; 后备保护

## Studies of pole control protection of Tian-Guang HVDC project

HE Jie, ZHANG Pei-dong, GUO Wei-ming

(China Southern Electric Power Grid, Guangzhou 051003, China)

**Abstract:** Pole control system is the key part of HVDC transmission, it assures the safe operation of HVDC. After a brief introduction of pole control protection with its detection principle of Tian-Guang HVDC transmission project, the traits of the protection are discussed according to the pole control and monitor functions. And then, with the case of Guangzhou station, this paper discusses open converter protection deeply. At last, some suggestions are put forward in order to decrease the probability of HVDC shut down because of the pole control protection operation.

**Key words:** HVDC; pole control; backup protection

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2008)14-0074-03

## 0 引言

南方电网所辖高压直流输电工程—天广高压直流输电工程、贵广 I、II 回高压直流输电工程控制保护系统均采用西门子控制保护设备。其中极控系统和直流保护系统作为控制保护核心在高压直流输电系统安全稳定运行中起到关键性的作用。

天广高压直流输电工程中极控系统采用冗余配置, 一套主系统和一套备用系统。备用系统与主系统保持同步运行, 在主系统硬件故障或软件故障时切换至备用系统运行。极控系统中除主要的控制逻辑外, 配有后备保护逻辑, 以保证在直流保护不能可靠动作时, 通过启动后备保护以切除故障设备。极控后备保护仅在极控主系统出口, 即正常运行时只有一套极控后备保护起作用。

## 1 极控后备保护简介

目前, 天广高压直流输电工程中极控系统配置有 7 种后备保护, 分别为换流器开路保护、OLT 试验故障保护、交流过电压保护、交流低电压保护、直流低电压保护、直流低电流保护以及触发角过大保护。

其保护动作判据如表 1 所示。

**换流器开路保护:** 主要为了防止直流线路出现断线或系统中逆变侧换流器已闭锁而整流侧换流器仍导通的情况出现; 当直流线路出现断线时, 直流线路上将产生较高的过电压, 换流器保护以此为判据闭锁相应极, 切除相应故障线路。

**OLT 试验故障保护:** 当高压直流系统进行 OLT 试验时, 极控后备保护中 OLT 试验故障保护投入。OLT 试验故障保护主要是在 OLT 试验中发生直流线路接地或整流侧突然解锁的情况下可靠动作, 闭锁换流器触发脉冲。

**交流过电压保护和交流低电压保护:** 当通过投

切交流滤波器仍无法调整交流过电压时,极控后备保护中交流过电压保护将闭锁相应极。与此相对应的是当交流低电压无法恢复时,极控后备保护中的低电压保护也将动作,闭锁相应极。

表 1 极控后备保护

Tab.1 Pole control protection functions

保护名称	保护动作判据	动作时间
换流器开路保护	$U_d > 1.4 \text{ pu}$	$t = 2 \text{ ms}$
	$U_d > 1.05 \text{ pu} \& I_d < 0.05 \text{ pu}$	$t = 40 \text{ ms}$
OLT 试验故障保护	$I_{dH} > 0.08 \text{ pu}$	$t = 10 \text{ ms}$
	$\alpha \leq 5^\circ$ (在 OLT 试验期间)	$t = 0 \text{ ms}$
	$\alpha \leq 120^\circ$ (在 OLT 试验前)	$t = 0 \text{ ms}$
交流过电压保护	$U_{ac} > 1.5 \text{ pu}$	$t = 10 \text{ ms}$
	$U_{ac} > 1.3 \text{ pu}$	$t = 400 \text{ ms}$
交流低电压保护	$U_{ac} < 0.3 \text{ pu}$	$t = 1 \text{ s}$
直流低电压保护	$U_{dL} < 0.08 \text{ pu}$	$t_1 = 300 \text{ ms}$
	$U_{dL} < 0.08 \text{ pu}$	$t_2 = 2 \text{ s}$
直流低电流保护	$I_{dH} < 0.08 \text{ pu}$	$t = 3 \text{ s}$
触发角过大保护	$60^\circ < \alpha < 120^\circ$	$t = 10 \text{ s}$

直流低电压和直流低电流保护:当逆变侧发生故障闭锁相应极,而整流侧和逆变侧通讯不正常时,整流侧将通过极控后备保护中的直流低电压保护闭锁相应极。直流低电流保护的设置主要是为了防止直流低电流发生断续引起直流线路过电压从而破坏一次设备绝缘。

触发角过大保护:保护范围为换流器,主要针对对阀阻尼回路进行设置;当换流器触发角在  $60^\circ$  到  $120^\circ$  之间运行并持续 10 s 时,触发角过大保护将闭锁相应极。

极控系统后备保护针对控制过程中各种特定情况对系统进行保护,在直流保护不能动作时起到可靠后备的作用。但必须指出的是,在贵广 I、II 回直流输电工程中,极控后备保护中的换流器开路保护、交流过电压保护、交流低电压保护、直流低电压保护配置在直流保护中,并增设了换相失败保护。

换相失败保护通过主系统换流阀熄弧角进行判断。在极控系统中,熄弧角是通过交流电压过零点时间和阀电流截止时间进行计算的。当换相失败发生时,阀电流不能有效关断,导致极控系统不能接受到有效阀电流截止信号,熄弧角变小,当熄弧角小于  $3^\circ$  并维持 200 ms 时,极控系统 will 切换到备用系统,当备用系统继续检测到换相失败,则闭锁

该极。

## 2 极控监视功能对极控后备保护的影响

为了防止极控系统模拟量输入、开关量输入及总线数据传输出现故障导致极控系统控制混乱和极控后备保护误动,天广工程中极控系统设置 13 种极控系统用户程序监视功能。

与极控后备保护有关的监视功能有:直流电流监视(实测直流电流  $I_d$  和换流变二次侧电流的差值)、直流传输功率监视( $\Delta P = \text{交流侧功率 } P_{ac} - (U_d \times I_d)$ )、同期电压监视(正序交流电压过低)、阀电流截止信号监视(在没有检测到 End of Current 信号前检测到交流电压过零点)、交流电压过零点信号监视(10 ms 内无交流电压过零点,而收到一个 End of Current 信号)、交流电压监视(实测交流电压与正序交流电压的差值)、交流电流监视(实测交流电流与正序交流电流的差值)等功能。当相应测量值超过预设范围时,以上监视功能动作将导致极控系统切换。

对于极控后备保护而言,极控监视功能应当具备模拟量输入异常时闭锁保护的功能。当极控监视功能动作时将切换极控系统以闭锁该系统内的极控后备保护。所以极控后备保护必须与极控监视功能互相配合,防止因模拟量开入或开关量输入异常导致直流保护误动作。

## 3 事故案例

2007年09月11日13:50,由于天广直流极1极控系统1(主系统)对应的高压直流分压器Sensor故障,导致极1极控系统1(主系统)收到的直流电压测量值由正常时0.96 pu升至1.8 pu,引起换流器开路保护动作,启动ESOF,停运极1。

换流器开路保护范围为换流器和直流线路;动作条件:I段: $U_{dL} > 1.4 \text{ p.u.}$ ,延时为2 ms;II段: $U_{dL} > 1.05 \text{ p.u.}$ 且 $I_d < 0.08 \text{ p.u.}$ ,延时条件为40 ms;

该起事故是由极1极控系统1对应高压直流分压器Sensor故障导致,但根据极控后备保护设计原则来看,当模拟量输入异常时极控系统监视功能应当切换极控系统以闭锁相关的保护。与直流电压输入量相关的监视功能主要是直流传输功率监视功能。其通过比较换流变压器一次侧的有功功率(PAC)和直流功率(PDC)实现。换流变压器一次侧的有功功率根据交流电压( $U_{AC}$ )和交流电流( $I_{AC}$ )计算,直流功率则通过直流电压( $U_d = U_{dL} - U_{dN}$ )乘以直流电流( $I_{dH}$ )得到;如果 $\Delta P = |P_{AC} - P_{DC}| > 0.5 \text{ p.u.}$ ,且满足动作延时500 ms;或是 $\Delta P$

$=|P_{AC}-P_{DC}|>0.1$  p.u., 且满足动作延时 5 s; 则认为出现了软件故障, 闭锁该系统内的后备保护并将极控系统切换至备用系统。该起事故中, 由于换流器开路保护 I 短延时远小于直流传输功率监视动作延时, 故换流器开路保护先于直流传输功率监视动作跳闸。

从这次事故中我们可以很清楚地看出, 将换流器开路保护配置在极控系统是不合理的。由于换流器开路保护动作较快, 用于监测直流电压的直流传输功率监视功能无法避免由于模拟量输入异常而导致的误动作。

贵广 I、II 回高压直流输电系统将极控系统后备保护中换流器开路保护、交流过电压保护、交流低电压保护、直流低电压保护配置在直流保护中, 由于直流保护采取了三取二逻辑, 可有效防止由于单套系统模拟量输入异常而引起系统跳闸, 增加了系统安全性和可靠性。

#### 4 改进措施及建议

综上所述, 极控监视功能未能有效地避免单套系统模拟量输入异常导致极控后备保护中快速保护误动作。并且从实际的运行经验来看, 极控后备保护中快速保护存在较大的误动可能性。为进一步提高极控后备保护动作可靠性, 建议将极控后备保护中快速保护配置在直流保护中, 仅保留触发角过大保护和换相失败保护。

极控后备保护中换流器开路保护、交流过电压保护、交流低电压保护、直流低电压以及仍保留在贵广 I、II 回直流中的 OLT 试验故障保护和直流低电流保护均采用直流电压电流、交流电压电流等模拟量输入作为判据, 且动作时间较快, 极控监视功能无法有效地在模拟量输入异常时及时闭锁保护, 保护误动可能性较大。而直流保护系统出口采取了三取二逻辑, 在单套系统模拟量输入异常时能有效地避免保护误动作。目前, 直流保护已配置有直流电压电流和交流电压电流输入, 将极控快速后备保

护配置到直流保护中无须进行对原有极控系统和直流保护系统进行硬件更改, 只需进行有效的软件升级即可。

换相失败保护和触发角过大保护与极控主系统中控制量联系紧密, 换相失败保护须检测阀电流截止信号, 该信号由 VBE (阀基电子设备) 送至相应极控系统; 触发角过大保护则需要检测运行系统触发角, 两种保护的模拟量输入均为单一来源, 不宜设置在直流保护中。触发角过大保护和换相失败保护延时较长, 当极控系统模拟量输入异常而导致该保护启动时, 极控系统监视功能能够有效地切换极控系统以闭锁保护。例如当极控主系统直流电压输入异常下降导致触发角不断增大时, 极控系统直流功率偏差监视功能将使极控系统切换至备用系统, 避免极控系统中触发角过大保护误出口。

#### 参考文献

- [1] 天广直流输电工程. 极控系统维护手册[Z]. Tian-Guang HVDC Transmission Project Maintenance Manual of Pole Control[Z]. 1999.
- [2] 天广直流输电工程. 直流保护维护手册[Z]. Tian-Guang HVDC Transmission Project Maintenance Manual of DC Protection[J]. 1999.
- [3] 天广直流输电工程. 极控系统软件设计手册[Z]. Tian-Guang HVDC Transmission Project Maintenance Software Design Report of Pole Control[Z]. 1999.
- [4] 天广直流输电工程. 直流保护系统软件设计手册[Z]. Tian-Guang HVDC Transmission Project Maintenance Software Design Report of DC Protection[Z]. 1999.

收稿日期: 2007-10-31; 修回日期: 2008-03-25

作者简介:

何杰 (1979-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事高压直流输电系统运行维护工作; E-mail: jiefuzi123@126.com

张培东 (1978-), 男, 本科, 工程师, 主要从事高压直流输电系统运行维护工作;

郭卫明 (1980-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事高压直流输电系统运行维护工作。

欢迎参加 2008 年中国电力系统保护与控制学术研讨会

2008 年 10 月 18 日 - 21 日 山东 烟台