

换流变保护改造分析及试验技术研究

张佳敏¹, 蒋琛², 李鹏¹, 袁宇波¹, 张剑¹

(1.江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏南京 211103; 2.江苏方天电力技术有限公司, 江苏南京 211102)

摘要: 高压直流输电系统电压等级高、输电容量大, 保护装置不正确动作造成的直流闭锁对电网影响较大, 因此, 需对现有单一接点出口的换流变电量、非电量保护进行改造, 提高直流输电系统的稳定性。与常规交流变压器保护改造不同, 换流变保护多集成在极控制保护系统中, 改造将涉及到直流控保系统的改造, 需对直流控保软件和外部接线进行修改。文中对 500 kV 政平换流站换流变保护改造需要进行的装置调试和软件修改方法进行了分析, 给出了换流变电量、非电量保护改造试验方案。

关键词: 换流变保护; 保护改造; 软件修改

中图分类号: TM77

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2013)02-0024-04

高压直流输电由于其技术和经济上的独特优势, 在我国远距离大容量输电和大区联网中得到广泛应用。高压直流输电的可靠性在一定程度上决定了区域电网的稳定性, 作为直流换流站的主要设备, 换流变压器的可靠运行尤为重要, 换流变保护应保证换流变压器的可靠运行^[1]。早期投运的部分换流站将换流变保护集成在直流控制保护系统中, 实行双重化配置, 两套保护同时运行, 任何一套保护动作均可出口。2003年以来, 多个换流站由于换流变电量、非电量保护单一接点或元件故障导致直流闭锁, 因此换流变保护单系统直接出口是高压直流输电稳定运行的重大隐患。如政平换流站直流控保系统采用了 ABB 的 MACH2 (Modular Advanced Control HVDC and SVC 2nd edition) 系统, 换流变保护集成在 MACH2 系统中, 两套换流变保护分别在极控制保护 PCPA 和 PCPB 中配置, 其主保护均没有采用切换逻辑, 任一套保护动作均可出口。这种配置方式保证了换流变保护的灵敏性, 同时也增加了保护不正确动作的概率^[2-8]。

针对此项隐患, 政平换流站在 2012 年大修期间对换流变保护电量、非电量保护进行了改造, 将换流变保护从直流控保系统中独立出来, 每极增加两套独立的换流变电量保护装置(CTP)和一套非电量保护装置(NEP)。其中, 电量保护采用与常规交流保护相同的“启动+动作”逻辑, 非电量保护采用“三取二”逻辑。对应于此保护改造方式, 保护调试工作相应的分为 2 个部分: 换流变电量、非电量保护装置测试; 直流控保系统与换流变保护相关部分的软件修改。

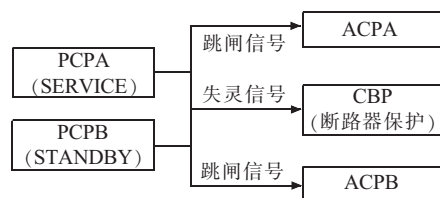
1 换流变保护改造方式

换流变保护改造是对保护功能的实现方式进行改造, 将原先集成在直流控制保护系统中换流变保护

独立为与常规变压器保护相类似的换流变电量和非电量保护装置。因此, 有必要对换流变保护改造前后的保护实现方式进行比较, 并对直流控制保护系统中与换流变保护相关的软件修改内容及方式进行分析研究。

1.1 换流变电量保护改造前后保护实现方式

政平换流站原换流变保护按双套配置, 分别集成在直流控制保护系统 PCPA 与 PCPB 主机中, 其功能由 ABB 公司的图形化可编程软件 Hidraw 实现。通过 Hidraw 软件查看政平站 PCP 中保护逻辑, 可知每极的两套换流变保护功能配置相同, 差动保护为换流变的主保护, 其余为后备保护。改造前换流变电量保护集成在直流控保系统 PCPA 和 PCPB 中, 其中一套系统为“active”, 另一套为“standby”, 两套控保系统任意一套检测到换流变保护动作即出口。跳闸信号、控制信号和启动失灵信号均由 PCP 发出, 其信号流图如图 1 所示。



改造后换流变电量保护为 CTPA 和 CTPB 双套配置, 任意一套动作即出口, 与改造前相比其判断逻辑中增加了启动条件, 只有启动元件和动作元件均动作, 保护才会出口。Y, Z 闭锁和控制系统切换等控制命令通过直流场终端装置(DFT)发送到 PCP, 由 PCP 执行控制命令。其系统结构如图 2 所示。改造后, 换流变电量保护具备除换流变中性点偏移保护的所有保护功能, 换流变中性点偏移保护保留在 PCP 中。

1.2 换流变非电量保护改造前后保护实现方式

非电量保护保护功能没有变化, 只是将原来的单一接点出口改造为利用 3 付接点进行“三取二”逻辑判

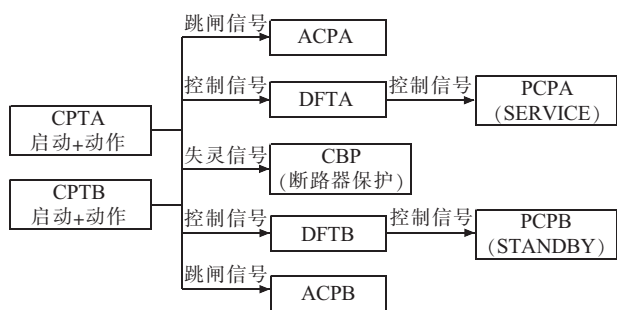


图 2 改造后换流变保护信号流程图

断后再出口,原换流变和平波电抗器本体相关单接点继电器均更换为有 3 付接点的继电器。改造前非电量保护信号流程图如图 3 所示。

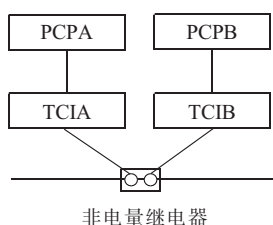


图 3 改造前非电量保护信号流程图

由图 3 可见,每个换流变的非电量继电器有两付接点,分别送到 PCPA 和 PCPB 中,由于部分重要的继电器动作后不需要切换直接出口,假如非电量的 1 付接点误动作,就会导致 PCP 直接出口闭锁极。因此,政平站将换流变非电量继电器换成 3 付接点的继电器,同时在 TCI 和 PCP 之间增加 1 台非电量的“三取二”逻辑判断系统 NEP,最终实现 2 付接点动作才出口,很好地避免了单一接点误动导致直流闭锁的风险。改造后的换流变非电量保护信号流程图如图 4 所示(以重瓦斯为例)。

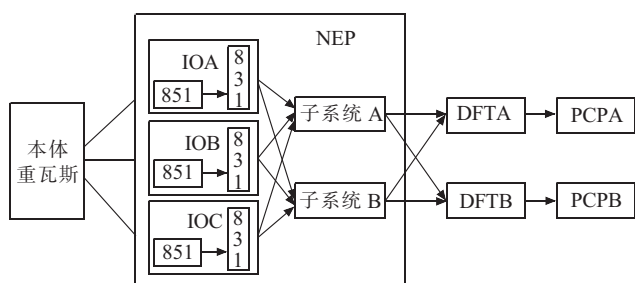


图 4 换流变非电量保护改造后信号流程图

1.3 换流变保护改造软件修改方案

换流变保护改造除了增加独立装置外,还有原极控系统软件逻辑的修改,软件修改包括 2 个部分:(1)增加与独立的换流变保护(CTP)接口程序;(2)删除原换流变保护的功能逻辑。

CTP 除了跳交流开关外,还发出 Y 闭锁、Z 闭锁和请求切换的控制指令至 PCP,由极控制保护系统来

实现相应的控制功能,因此需在 DFT 中增加 RS851 板卡,用于采集 CTP 发出的控制指令,转换后发送到 PCP 主机中。除了增加硬件,相应的还需在 Hidraw 程序中修改原 PCP 中与换流变保护相关的逻辑。换流变保护软件修改过程应按照以下流程进行:

(1) 对于保留在 PCP 中的换流变保护功能,保留其所需要的模拟量通道,其余的删除。如在 PCP\MCI\COMM\TRANSF_PORT3.HGF 页面中删除换流变绕组差动保护的所有模拟量输入链接,但是保留了换流变热过负荷保护需要的模拟量采样;

(2) 增加 CTP,NEP 动作开入和保护动作事件。如在 MC1\COMM\DC_PORT_IN2.HGF 页面中,增加换流变 CTP 保护动作后的相关闭锁信号和动作事件;

(3) 增加 CTP,NEP 开入到 PCP 中的 Y 闭锁、Z 闭锁、请求切换动作跳闸矩阵,如在页面 MC1\COMM\PAM_3.HGF 中增加了 CTP 请求切换的跳闸矩阵;

(4) 对新增的相关总线通道进行监视及修改相关参数等。

2 换流变保护改造调试方案

改造后换流变故障判别的功能是由换流变保护装置实现的,在对 PCP 的 Hidraw 软件进行修改的同时,保护改造调试的另一项重要工作是 CTP 和 NEP 的调试,包括单体调试和整组测试。

2.1 CTP 单体调试

政平站换流变电量保护装置采用了南瑞继保的 PCS-977D,其基本原理与常规的变压器保护区别不大,以差动保护为主保护,过流保护、过电压保护、过激磁保护等作为后备保护。换流变保护配置了多种差动保护,包括换流变差动、阀侧绕组差动、网侧绕组差动、交流母线差动、交流母线及换流变差动。换流变差动保护调试的核心是差流计算和相关的电流折算方法。下面就换流变各种差动保护的差流计算和折算方法进行研究。以极 I 换流变电量保护 A 为例,换流变保护配置如图 5 所示。将 CTPA 差动保护所需用到的电流互感器(TA)二次绕组进行编号:1A1~12A1,根据设计图纸和 PCS-977D 说明书可得各差动保护的 TA 配置,如表 1 所示。

Y/D 接法各参数如下:串内 TA 变比为 4 000/1;换流变网侧套管 TA 变比为 2 000/1;Y/Y 接法(YY)换流变阀侧套管 TA 变比为 3 000/1;Y/D 接法(YD)换流变阀侧套管 TA 变比为 2 000/1;单相换流变容量为 283.7 MW;网侧一次额定相电压为 $500/\sqrt{3}$ kV;YY 换流变阀侧一次额定相电压为 $200.4/\sqrt{3}$ kV;YD 换流变阀侧一次额定相电压为 200.4 kV。据此计算换流变保护

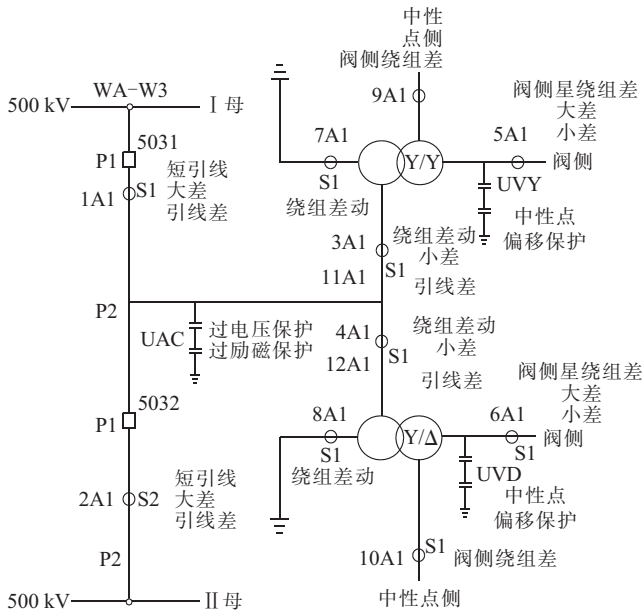


图 5 极 I 换流变电量保护 A 套所需 TA 与 TV 绕组

表 1 各保护差动 TA 配置

保护名称	TA 绕组二次电流
纵差保护 (交流母线及换流变差动)	IA1, IA2, IA5, IA6
纵差保护 (YY 换流变差动)	IA3, IA5
纵差保护 (YD 换流变差动)	IA4, IA6
引线差动 (交流母线差动)	IA1, IA2, IA11, IA12
交流星接绕组差动 (YY 换流变网侧绕组差动)	IA3, IA7
交流角接绕组差动 (YD 换流变网侧绕组差动)	IA4, IA8
阀星侧绕组差动 (YY 换流变阀侧绕组差动)	IA5, IA9
阀角侧绕组差动 (YD 换流变阀侧绕组差动)	IA6, IA10

中各种差动电流的平衡系数 (以交流母线及换流变差动保护为例)。交流母线及换流变差动保护范围包括交流进线和 YY、YD 换流变, 取用的是 5031、5032 开关 TA 和 YY、YD 换流变阀侧套管 TA, 计算网侧 TA 和 YY、YD 换流变阀侧的额定一次相电流:

$$I_{网} = 6 \times S_N / (U_N \times \sqrt{3}) = 6 \times 283.7 / (500 \times \sqrt{3}) = 1.9655 \text{ kA} \quad (1)$$

$$I_{网Y} = 6 \times S_N / (U_{YN} \times \sqrt{3}) = 6 \times 283.7 / (200.4 \times \sqrt{3}) = 4.904 \text{ kA} \quad (2)$$

$$I_{网D} = 6 \times S_N / (U_{DN} \times \sqrt{3}) = 6 \times 283.7 / (200.4 \times \sqrt{3}) \times \sqrt{3} = 2.8313 \text{ kA} \quad (3)$$

式(1—3)中: S_N 为单相换流变额定容量; U_N 为网侧线电压额定值; U_{YN} 为 YY 换流变阀侧线电压额定值; U_{DN} 为 YD 换流变阀侧线电压额定值。

根据各个 TA 变比可以换算得到二次额定电流分别为:

$$I'_{网} = 1.9655 \text{ kA} / 4000 = 0.4914 \text{ A}$$

$$I'_{网Y} = 4.904 \text{ kA} / 3000 = 1.6347 \text{ A}$$

$$I'_{网D} = 2.8313 \text{ kA} / 2000 = 1.4157 \text{ A}$$

按照 PCS-977D 差动保护原理, 各侧平衡系数是最大额定电流除以该侧额定电流, 即各侧都折算到额定电流最大侧进行计算。从而计算得到交流母线及换流变差动保护网侧平衡系数为 $K_{网ph} = 3.3266$, $K_{网Yph} = 1$, $K_{网Dph} = 1.1547$ 。同理可以计算出其余差动保护各侧平衡系数。

换流变保护 PCS-977D 的差动保护动作特性如图 6 所示。对于不同的差动保护, 其采用的比率特性是不一样的。根据上述差动保护平衡系数计算方法和各侧流入保护的电流值可以算出其制动电流大小, 若差流大于对应制动门槛则保护动作出口。并对其动作边界进行测试, 测试结果表明换流变差动保护动作行为与说明书中差动保护动作特性一致。

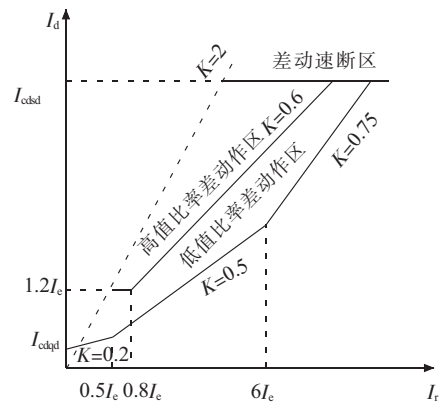


图 6 PCS-977D 换流变差动保护动作特性

2.2 换流变非电量保护 NEP 单体调试

政平站原非电量保护直接在 PCP 中进行逻辑判断和动作出口, 非电量继电器有 2 付接点输出, 将信号经 TCI 分别送到 PCPA 和 PCPB 中, 根据元件重要性, 部分继电器动作不需系统切换直接出口, 其余继电器动作经切换再逻辑判断出口。经改造后, 每个非电量继电器有 3 付接点, 其信号流如图 4 所示。改造后非电量保护屏由 3 块 IO 板卡和 2 块进行“三取二”逻辑判断的子系统组成, 每台换流变非电量继电器的 3 付接点分别送到 3 块 IO 板中, 每块 IO 板卡采集所有换流变非电量信号, 并将信号分别送至子系统 A 和子系统 B 中。任意两个接点动作, 子系统 A、B 均会动作, 极控制保护值班系统即会动作出口。非电量保护 (NEP) 的单体调试方法比较简单, 通过短接端子的方法验证“三取二”逻辑是否正确, 非电量保护主要调试包括: (1) 3

块 IO 板卡正常工作时,短接任意继电器的任意 2 个接点,保护动作出口;(2) 1 块 IO 板卡退出运行时,短接继电器的任意 1 个接点,保护动作出口。需要验证的换流变本体继电器包括瓦斯继电器、有载调压油流继电器 1、有载调压油流继电器 2、SF₆ 气体密度继电器 1、SF₆ 气体密度继电器 2。

2.3 换流变保护改造整组联动

换流变保护改造后,应进行整组传动对换流变保护功能、PCP 软件修改的正确性以及换流变保护到 PCP 的回路进行验证。整组传动的方法与常规交流保护类似,对于换流变电量保护,在其装置内部注入二次电流模拟不同换流变故障类型下保护动作行为。由于调试期间换流变处于极隔离状态,无法验证 PCP 收到闭锁信号后的动作行为,分系统调试阶段只能通过 Hibus 的方式检测 PCP 是否接收到闭锁信号,待双极系统调试时验证其闭锁行为的正确性。换流变非电量保护改造的整组传动方法与电量保护类似,通过在换流变就地按压继电器,模拟其动作的方式,检测 PCP 是否收到闭锁信号和交流开关是否动作跳开。

3 结束语

政平换流站原换流变电量、非电量保护均为单一接点出口,易造成不正确动作,需要对其进行改造。本文在完成换流变电量、非电量保护改造的基础上,对改造过程中独立换流变保护装置调试和控保系统软件修改方法进行了研究。独立的换流变保护与常规变电站变压器保护功能调试方法相似,但是要考虑与直流控保系统的接口问题;另外,原直流控保系统的软件需要进行相应地修改,且非常关键,本文对软件修改页面的

内容和修改的原因进行了阐述,便于更好地理解换流变保护改造方法。其中包含了换流变保护改造需要进行的各项试验项目,对其他换流站的换流变电量、非电量保护改造具有较好地借鉴作用。

参考文献:

- [1] 翁汉琳,林湘宁. 换流变压器差动保护异常动作行为分析及对策[J]. 中国电机工程学报,2009,29(31):87-94.
- [2] 刘洪涛. 新型直流输电的控制和保护策略研究[D]. 杭州:浙江大学,2003.
- [3] 赵晓君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京:中国电力出版社,2004.
- [4] 陈曾田. 电力变压器保护[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [5] 中国南方电网超高压输电公司. 高压直流输电现场使用技术问答[M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [6] 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.
- [7] 乔小敏,王增平,文俊. 高压直流输电中谐波对换流变压器差动保护的影响[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(10):111-114.
- [8] 邹晓峰. 变压器与换流变压器保护相关问题的研究[M]. 杭州:浙江大学,2010.

作者简介:

- 张佳敏(1986),男,江苏靖江人,工程师,从事电力系统继电保护、直流控制保护技术工作;
- 蒋琛(1981),男,江西鹰潭人,工程师,从事电力系统继电保护工作;
- 李鹏(1982),男,陕西西安人,工程师,从事电力系统继电保护、直流控制保护技术工作;
- 袁宇波(1975),男,江苏丹阳人,高级工程师,从事电力系统继电保护、直流控制保护技术工作;
- 张剑(1982),男,湖北嘉鱼人,工程师,从事电力系统继电保护工作。

Analysis of Converter Transformer Protection Reformation and Research of Testing Technology

ZHANG Jia-min¹, JIANG Chen², LI Peng¹, YUAN Yu-bo¹, ZHANG Jian¹

(1. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. Jiangsu Frontier Electric Technologies Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: As the high voltage level and huge transmission capacity, the influence of DC block caused by incorrect action of protection equipment is great. The existing electric protection and non-electric protection of converter transformer has only one contact, in order to improve the stability of HVDC (high-voltage direct current), the protection of converter transformer should be reformed. Different with the AC transformer reformation, the converter transformer protection is integrated in the PPC (pole protection control) system; the reformation of converter transformer protection includes the modification of the DC control and protection program and external wiring. Based on the reformation of converter transformer protection of Zhengping converter station, this paper analyzed the debugging method of protection equipment and the modification method of the program, and gives the scheme for converter protection testing.

Key words: electric protection of converter transformer; protection reformation; the modification of program