

交流特高压变电站站用变保护技术方案

宋小会¹, 杨建翔², 郭志忠¹, 樊占峰³

(1. 哈尔滨工业大学电气工程及自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 西安科技大学电气与控制工程学院, 陕西 西安 710054; 3. 许继集团, 河南 许昌 461000)

摘要: 特高压交流变电站站用电系统通常采用2级降压的方式, 2级串联变压器的主保护差动需引接110 kV和380 V侧的CT电流。在低压侧故障时, 低压侧电流有几十千安培, 而折算到高压侧仅几百安培, 由于两侧电流数据相差较大, 给站用变的CT选型及站用变保护的配置、原理、整定带来一些问题。通过研究“皖电东送”特高压工程的淮南变电站低压侧设备配置方案和接线方式, 结合实际工程情况及设备参数, 分析了特高压交流变电站站用变保护的特殊问题。提出采用一套保护装置中配置双套电流转换插件及两套差动保护、后备保护的技术方案, 并建立动模系统验证了该原理方案的可行性。

关键词: 特高压; 站用变保护; 差动保护; 后备保护; 双CT接入

Protection of station transformer of UHV AC substation station technology solutions

SONG Xiao-hui¹, YANG Jian-xiang², GUO Zhi-zhong¹, FAN Zhan-feng³

(1. Institute of Electrical Engineering and Automation, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 3. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China)

Abstract: UHV AC substation auxiliary power system usually adopts two-stage step-down approach, and level 2 series transformer differential protection needs to be led by the CT of 110 kV and 380 V side current. When low voltage side failure occurs, the low voltage side current dozens thousand amperes, converting it to the high side, it is only a few hundred amperes. Because of the large difference on both sides of the current data, it brings some problems on CT model selection and configuration, principle, and setting of station transformer protection. Through the study of the configuration and connection mode of low voltage side of 1000 kV UHV Huainan substation equipment, combined with the actual engineering conditions and equipment parameters, this paper analyzes the UHV AC substation station with transformer protection special problems, puts forward the technology solution that a set of protection device is configured in the double set of current conversion module and two sets of differential protection and backup protection, and establishes a dynamic model system to verify the feasibility of this principle scheme.

Key words: UHV; station transformer protection; differential protection; backup protection; double CT access

中图分类号: TM764 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)24-0110-06

0 引言

随着晋东南-荆门交流特高压示范工程的成功投运并安全运行, 以及我国第二个特高压交流输电工程“皖电东送”的成功建设及投入运行, 标志着我国交流特高压输变电技术迈向了一个新的台阶。

特高压变压器采用主体变压器和调压变压器补偿变压器的分体结构, 其对应的保护配置方案与超高压不同, 除了配置本体变压器差动保护, 还要特殊考虑调压变压器和补偿变压器差动保护。特高压变压器空充时, 调压变压器的励磁涌流二次谐波含量低, 采用二次谐波按相制动原理调压变保护可

能出现误动, 文献[1]中提出消磁法来改善励磁涌流特性, 提高现有特高压变压器差动保护识别励磁涌流的能力。对于超高压变电站的站用变保护的配置和原理相对简单, 原理与技术比较成熟。交流特高压变电站低压侧具有电压等级高、设备容量大和结构特殊等特点, 因此对继电保护的動作性能和可靠性要求更高, 应认真研究分析其特征及对继电保护的影响, 采取更有针对性的措施和方案保证其動作速度、灵敏度、选择性和可靠性^[2]。本文结合皖电东送特高压工程的淮南变电站实际工程情况及设备参数, 分析正常运行和故障时的系统特征并分析对常规站用变保护的影响, 提出适用于特高压变电站

站用变的保护配置方案和原理实现方案, 最后建立动模系统进行了试验验证。

1 特高压变电站低压侧设备配置和接线方式

1.1 特高压变电站低压侧的选择

特高压变电站的主变低压侧无功补偿容量大, 主变低压侧若采用传统超高压非常成熟的 35 kV 或 66 kV 电压等级, 当低压侧系统发生故障时, 低压侧设备故障电流将很大, 达到几千安, 从而造成无功设备支路的断路器制造难度较大; 若采用 220 kV 电压等级, 1 000 kV 主变低压侧绕组制造难度会较大。综合分析考虑, 1 000 kV 变电站低压侧系统采用 110 kV 电压等级^[3-4]。考虑到变电站站内 110 kV 母线发生故障的可能性极小, 因此特高压变电站 110 kV 接线形式一般采用单母线接线。该接线具有简单清晰、设备少、操作方便以及便于扩建的优点。

本文以“皖电东送”工程的淮南变为例说明特高压变电站低压侧设备配置和接线方式。淮南站 110 kV 站用电系统设置了 3 组站用变压器, 其中 1 号工作变压器接至 1 号主变低压侧 110 kV 母线, 0 号备用变压器引接站 35 kV 外电源, 2 号工作变压器接至 2 号主变低压侧 110 kV 母线。380 V 系统采用中性点直接接地方式并设 3 段 380 V 母线, 母线按变压器分为工作 I 段、工作 II 段和备用段, 如图 1 所示。

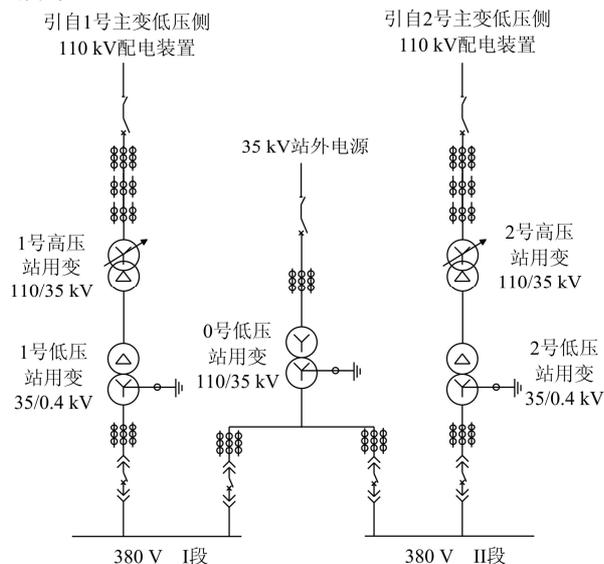


图 1 淮南 1 000 kV 变电站站用电系统接线图

Fig. 1 Auxiliary power system wiring diagram in 1 000 kV UHV Huainan substation

1.2 站用电采用二级降压方式

特高压主变电压侧电压等级 110 kV, 若采用一级降压方式, 通过 110/0.4 kV 变压器直接对站用负

荷供电, 相对经过二级变压器降压方式, 具有接线简单、可靠性高的优点, 由于 110 kV 一级降压 380 V 的变压器尚不成熟, 另 380 V 系统的短路电流可能达到几千安培, 造成 380 V 断路器、无功补偿设备等设备选型困难^[5-7]。故特高压站用电系统一般采用通过 110 kV/35 kV、35 kV/0.4 kV 2 级变压器串联的方式, 中间经电缆引接并不设断路器等开断设备。淮南变 1 号工作变和 2 号工作变接线方式一致, 110 kV/35 kV 有载调压变压器容量 5 000 kVA, 35 kV/0.4 kV 变压器额定容量 2 500 kVA。

1.3 站用变各侧 CT 的选择

110 kV 的 2 级串联站用变压器的容量相对较小, 实际额定容量按 2 500 kVA 考虑, 最大负荷电流 I_h 为 13.122 A。

$$I_h = S_n / (\sqrt{3} \cdot U_n) = 2500 / (\sqrt{3} \cdot 110) = 13.122 \text{ A}$$

为确保设备运行时测量和计量的准确性, 高压侧计量和测量 CT 变比选为 100/1 A。系统最大运行方式下折算至 110 kV 侧阻抗为 2.089 6。站用变高压侧出口发生三相短路故障, 流经高压侧 CT 的电流 I_k 为 30.4 kA。

$$I_k = 110 \text{ kV} / (\sqrt{3} \cdot 2.089) = 30.4 \text{ kA}$$

为保证故障时差动保护采集的准确性, 保护用 CT 选为 1 600/1 A。

根据 2 级变压器容量及其短路阻抗电压数值进行计算, 380 V 侧母线三相短路故障, 流经低压侧 CT 电流约为 29.6 kA, 为保证故障时保护采集的准确性, 保护用 CT 选为 4 000/1 A。

2 特高压变电站站用变压器保护配置及问题

2.1 站用变压器保护配置

配置方案需满足《继电保护和安全自动装置技术规程》和《“防止电力生产重大事故的 25 项重点要求”继电保护实施细则》的要求。采用主、备独立配置的原则, 站用变具体配置如下。

1) 主保护(比率差动保护), 差动两侧电流取自 110 kV 断路器 CT 和低压侧 0.4 kV CT。比率差动保护针对变压器内部相间短路故障、高压侧单相接地短路及匝间层间短路故障。保护动作跳开高压及低压侧断路器。

2) 高压侧后备(三段式复压过流保护), 电流取自 110 kV 断路器 CT。保护动作跳开高压侧断路器。

3) 低压侧后备零序过流保护。由于低压侧为三相四线制 380 V 站用变系统, 中性点装设有零序 CT, 一般配置三段定时限零序过流保护作为变压器

绕组、引线接地故障的后备保护或相邻元件接地故障的后备保护，每段保护各有三个时限，电流固定取自低压侧（0.4 kV）中性点 CT 二次电流。

4) 低压侧后备限时速段过流保护作为变压器低压母线的主保护或出线的后备保护。电流取自低压侧 0.4 kV CT。

2.2 站用变压器保护的问题

1) 差动保护动作电流整定问题

差动最小动作电流整定^[8]为

$$I_{op,0} = K_{rel} (K_{er} + \Delta U + \Delta m) I_e \quad (1)$$

式中： $I_{op,0}$ 为差动最小动作电流； I_e 为变压器高压侧二次额定电流； K_{rel} 为可靠系数； K_{er} 为电流互感器在额定电流下的变比误差； ΔU 为变压器分接头调节引起的误差； Δm 为 CT 变比未完全匹配产生的误差，一般可取 0.05。

一般可取： $I_{op,0} = (0.3 \sim 0.5) I_e$ 。根据现场实测不平衡电流实际情况确有必要时也可大于 0.5。

当差动保护高压侧（110 kV 侧）采用 1600/1 的 CT，低压侧（380 V 侧）采用 4000/1 的 CT，按差动保护的整定原则 $I_{op,0} = I_{op,0} = (0.3 \sim 0.5) I_e = (0.3 \sim 0.5) \cdot I_n / 1600 = (0.3 \sim 0.5) \times 0.0082$ ，即使按 $I_{op,0} = 0.5 I_e = 0.0041$ A，动作电流定值小于保护装置的精工电流 $0.1 I_N = 0.1$ A，从而造成保护无法正常工作。

2) 高压侧区内故障时 CT 饱和削顶造成的差动保护拒动问题。

上面分析了差动保护高压侧（110 kV 侧）采用 1600/1 的 CT 时，由于动作电流定值过小，而差动保护装置无法正常工作。而当差动保护高压侧（110 kV 侧）采用 100/1 的 CT，低压侧（380 V 侧）采用 4000/1 的 CT，当高压侧故障时 CT 将严重饱和，如图 3，由于涌流闭锁会造成差动保护拒动。

3) 高压侧后备保护问题

高压侧复压过流保护动作电流整定^[9-10]为

$$I_{op} = \frac{K_{rel} I_N}{K_r n_a}$$

式中： K_{rel} 为可靠系数，取 1.2； K_r 为返回系数，取 0.85~0.95； I_N 为变压器额定电流； n_a 为电流互感器变比。

当后备保护高压侧（110 kV 侧）1600/1 的 CT， $I_{op} = \frac{K_{rel} I_N}{K_r n_a} = 1.2 I_n / (0.95 \times 1600) = 0.01$ A，同差动保

护一样过流保护整定值小于装置的精工电流，无法整定。

3 特高压变电站站用变压器保护技术方案

本文上一节分析了 2 级串联变压器的差动保护引接高压侧 110 kV 和低压侧 0.4 kV 侧的 CT 电流，但由于两侧电流数据相差较大，给站用变保护的配置、原理、整定带来一些问题。对于差动保护无论高压侧采用大变比 CT 1600/1，还是采用小变比 CT 100/1，都无法正确工作，而高压侧后备保护采用大变比 CT，也同样无法正常工作。

针对该种情况，本文提出差动保护装置同时引接大变比 CT 和小变比 CT 两组 CT，并分别与低压侧 CT 构成两套差动保护，并进行限制其工作条件，两套差动保护相互补充构成完整的站用变差动保护。

对于高压侧后备保护，保护装置同样也同时引接大变比 CT 和小变比 CT 两组 CT，配置高定值及低定值两套过流保护，分别反应严重故障和弱故障。

3.1 双套差动保护的技术方案

差动保护装置配置两套比率差动，采用大变比 CT 的差动保护保护严重故障，弱故障由采用小变比 CT 的差动保护动作切除。两套保护由一台装置完成。

考虑到低压侧区外故障（最大一次短路电流为 40 kA，折算到高压侧为 138 A），高压侧不出现稳态饱和。暂态饱和严重的可能性也很小，故采用小变比 CT 差动保护配差流速断。

小变比差动保护整定按正常整定原则整定，一般取 $0.3 \sim 0.5 I_e$ 。差动方程为

$$\begin{cases} I_{op} > I_{op,0}, & \text{当 } I_{res} \leq I_{res,0} \\ I_{op} \geq I_{op,0} + S(I_{res} - I_{res,0}), & \text{当 } I_{res,0} < I_{res} \leq 6I_e \\ I_{op} \geq I_{op,0} + S(6I_e - I_{res,0}) + 0.6(I_{res} - 6I_e), & \text{当 } I_{res} > 6I_e \end{cases} \quad (2)$$

式中： I_{op} 为差动电流； $I_{op,0}$ 为差动保护最小动作电流整定值； I_{res} 为制动电流； $I_{res,0}$ 为差动保护最小制动电流整定值； S 为比率制动系数整定值。

大变比差动保护动作方程同式（1），定值按 $0.1 I_n$ 整定，折算到一次值为 160 A。

差动保护装置配置两套差流速断保护。

3.2 双 CT 接入的高压侧后备保护的方案

高压侧后备保护装置接入大变比和小变比两组 CT 二次电流，配置两套复压过流保护相或出口，设置两套定值单独整定，以提供完整的保护方案。

高压侧复压过流保护设置过流元件分为大变

3) k6 A 相 3%匝间故障各侧波形及保护动作行为 (见图 5)

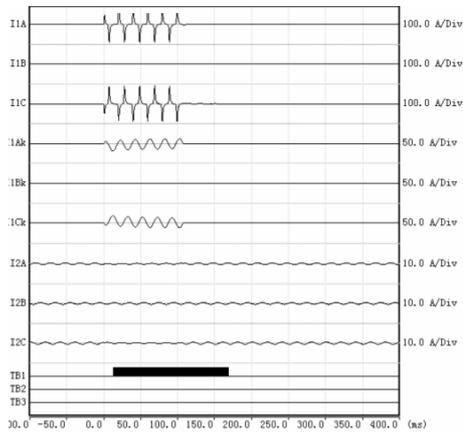


图 3 K1 点 AC 相故障各侧波形及保护动作情况
Fig. 3 Each side of the waveform and the protection movement situation with AC fault on K1

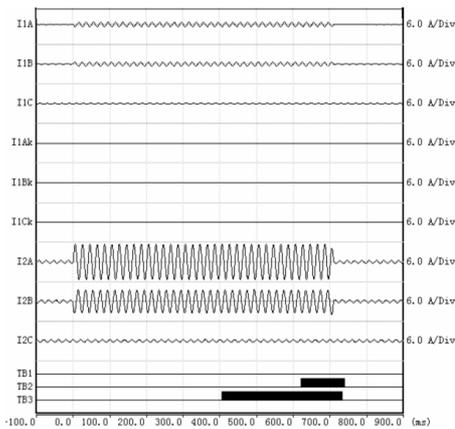


图 4 K5 点 ABN 相故障各侧波形及保护动作情况
Fig. 4 Each side of the waveform and the protection movement situation with ABN fault on K5

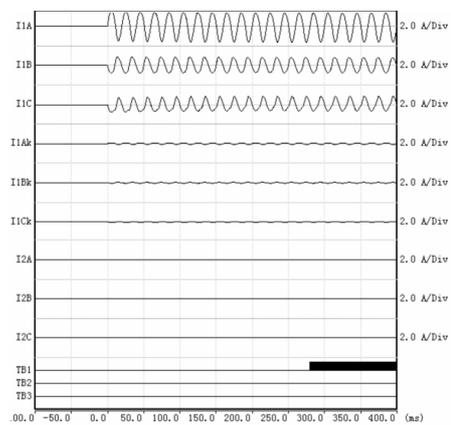


图 5 K6 点 A 相 3%匝间故障各侧波形及保护动作情况
Fig. 5 Each side of the waveform and the protection movement situation with A phase interturn fault on K6

5 结论

本文针对特高压变电站站用变的特殊问题和由于 2 级串联变压器造成的两侧电流数据较大问题进行了分析, 并提出一套站用变保护中配置两套差动保护及后备保护的技术方案, 两套保护分别引接不同变比的 CT 绕组, 从而解决站用变保护可靠性和灵敏度的问题, 并详述了配置方法及整定原则, 通过建立实际工程的站用变模型建立实验模型, 进行实验验证该方案的可行性, 为特高压站站用变保护的选型及可靠性运行提供了技术支持。

参考文献

[1] 刘宇. 特高压变压器主保护及工程应用研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2009.

[2] 田庆. 特高压交流试验示范工程 110 kV 站用变保护配置方案[J]. 变压器技术, 2009(8): 5-7.
TIAN Qing. UHV AC test demonstration project of 110 kV station with transformer protection configuration scheme[J]. Transformer Technology, 2009(8): 5-7.

[3] 黄曙, 邓茂军, 张鹏远. 高阻抗变压器后备保护的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(22): 166-169.
HUANG Shu, DENG Mao-jun, ZHANG Peng-yuan. Study of high-impedance transformer backup protection[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(22): 166-169.

[4] 张健毅, 刘涛, 高文彪. 1000 kV 南阳变电站 110 kV 侧继电保护配置[J]. 电力建设, 2013, 34(1): 45-48.
ZHANG Jian-yi, LIU Tao, GAO Wen-biao. 110 kV side of the relay protection configuration of Nanyang 1000 kV substation[J]. Electric Power Construction, 2013, 34(1): 45-48.

[5] 李苇, 卢铭. 特高压变电站站用电系统设计探讨[J]. 电力建设, 2009, 30(2): 25-27.
LI Wei, LU Ming. UHV substation station power system design[J]. Electric Power Construction, 2009, 30(2): 25-27.

[6] 许加柱, 罗隆福, 李季, 等. 交流系统故障对滤波换相换流器的影响分析[J]. 电工技术学报, 2010, 25(1): 144-150, 177.
XU Jia-zhu, LUO Long-fu, LI Ji, et al. Analysis of the impact of AC system faults on filter commutated converter in HVDC[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,

- 2010, 25(1): 144-150, 177.
- [7] 张杰, 罗隆福, AGGARWAL R K, 等. 基于多线圈耦合的新型换流变压器仿真模型设计[J]. 电工技术学报, 2010, 25(11): 68-79.
ZHANG Jie, LUO Long-fu, AGGARWAL R K, et al. Simulation model's design of a new converter transformer based on multi-coil coupling[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(11): 68-79.
- [8] 武万才, 聂会军, 边疆. 一起线路与主变保护定值配合失当的事故分析[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(2): 149-151, 154.
WU Wan-cai, NIE Hui-jun, BIAN Jiang. Analysis on the accident of mismatch between line and transformer protection setting[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(2): 149-151, 154.
- [9] 王雪, 王增平. 基于广义基波功率的新型变压器主保护方案[J]. 电工技术学报, 2012, 27(12): 191-198.
WANG Xue, WANG Zeng-ping. Novel transformer main protection scheme based on generalized fundamental power[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(12): 191-198.
- [10] 李大勇, 房亚囡, 黄毅. 一体化整定计算系统二次统一模型的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(21): 142-146.
LI Da-yong, FANG Ya-nan, HUANG Yi. Research and application of secondary system unified model in integrated relay setting calculation system[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(21): 142-146.

收稿日期: 2014-03-10; 修回日期: 2014-04-14

作者简介:

宋小会(1973-), 男, 博士生, 研究方向为智能电网及继电保护原理; E-mail: xiaohuis@xjgc.com

杨建翔(1968-), 男, 讲师, 主要从事自动化与信息化方面的研究;

郭志忠(1961-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统分析与控制、电网络分析、电力系统光学测量技术。