

宜宾换流站换流变压器冷却器应对 交流电网扰动隐患分析

王晨睿

(国家电网公司运行分公司宜宾管理处 四川 宜宾 644000)

摘要: 现如今在电网突飞猛进的发展形势下,特高压直流作为一种交直流结合、互换的新型输电模式异军突起。为保证在交流侧电源扰动情况下的稳定运行,以宜宾站在双极低端调试期间交流系统产生扰动后造成双极低端12台换流变压器交流电源故障引发换流变压器冷却器全停等故障,进行事故分析、查找事故原因并提出改进建议。

关键词: 换流变压器冷却器;交流系统扰动;站用电400 V过电压

中图分类号: TM72 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)04-0085-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.04.019

Solution Analysis for Hidden Trouble of Disturbance in AC Power Grid by Converter Transformer Cooler in Yibin Converter Station

Wang Chenrui

(Yibin Management Office, Operation Branch of State Grid Corporation of China, Yibin 644000, Sichuan, China)

Abstract: Nowadays, with the rapid development of power grid, UHVDC is emerging as a new mode of AC / DC combination and switching. In order to ensure the stable operation in disturbance conditions of AC side power source, the full stop faults of converter transformer coolers caused by AC power source faults of 12 converter transformers in bipolar low-end after the disturbance occurred in AC system during the commissioning in bipolar low-end in YiBin converter station are analyzed, the causes of the accident are find out, and some suggestions for improvement are put forward.

Key words: converter transformer cooler; AC system disturbance; station service 400 V overvoltage

0 引言

特高压宜宾站在双极低端带电调试过程中多次出现换流变压器冷却器电源异常故障,且后台OVS系统“故障”信号消失后,现场换流变压器冷却器电源故障不能自动复归。2014年3月19日宜宾换流站交流系统受到异常扰动,双极低端12台换流变压器同时发出“换流变两路交流电源故障、换流变冷却器全停”。下面从站内站用电结构、400 V电压扰动波形以及冷却器电源继电器选型等方面对本次事故进行详细分析,查找出本次事故的具体原因,并对站用电400 V电压扰动提出改进建议。

1 换流变压器冷却器电源配置

1.1 宜宾换流站站用电

特高压宜宾换流站站用电系统采用2回站内

500 kV电源和1回站外35 kV电源供电。第1回取自本站500 kV GIS I母;第2回取自本站500 kV GIS II母;第3回采用架空线(普双线)取自110 kV普安变电站35 kV间隔引入本站;第1回和第2回是主电源,采用500 kV/35 kV变压器降压后接入相应35 kV母线,再采用35 kV/10 kV变压器二级降压后接入10 kV站用电系统;第3回是备用电源,采用35 kV线路引接至站内后,通过1台35 kV/10 kV站用变压器变压后接入站10 kV系统^[1-2]。

站用电35 kV电源经35 kV/10 kV变压器降压后,通过地下电缆连接到交流场10 kV配电室的10 kV母线,经10 kV母线分配后通过10/0.4 kV干式变压器连接至布置在主、辅控制楼一楼及站公用400 V配电室;400 V侧直接与各低压配电屏相连。

10 kV系统采用3段母线布置,设2个工作段和1个备用段,每段各由1回独立的电源供电。10 kV电源进线开关与10 kV母联开关之间能实现备自投

功能。400 V 每段母线的电源进线开关与每段母线的母联开关之间能实现备用自投功能。当 10 kV 备用自投不成功时,400 V 备用自投功能启动,以保证 400 V 母线正常供电。

10 kV 母线工作 I 段带极 I 高端阀组交流配电室 111B 站用变压器、极 I 低端阀组交流配电室 113B 站用变压器、极 II 高端阀组交流配电室 121B 站用变压器、极 II 低端阀组交流配电室 123B 站用变压器、公用交流配电室 101B 站用变压器。

10 kV 母线工作 II 段带极 I 高端阀组交流配电室 112B 站用变压器、极 I 低端阀组交流配电室 114B 站用变压器、极 II 高端阀组交流配电室 121B 站用变压器、极 II 低端阀组交流配电室 124B 站用变压器、公用交流配电室 102B 站用变压器。

10 kV 母线工作 III 段充电备用。

400 V 系统分为 5 个主动力中心,分别为:极 I 高、低端 400 V 系统,极 II 高、低端 400 V 系统,站公用 400 V 系统。400 V 系统采用母线分段运行,每段母线由 1 回独立的电源供电。

1.2 冷却器控制柜交流电源自动切换回路工作原理

宜宾换流站极 I、极 II 高低端换流变压器冷却器就地动力控制柜交流电源共有 2 路,分别取自 400 V 站用电极 I、极 II 高低端的 A、B 两段 2 路电源为主备用关系。正常运行时第 1 路电源为主用,第 1 路电源故障时柜内电源自动切换至第 2 路电源继续运行,当第 1 路电源恢复正常时再切回至第 1 路电源运行。

1.3 冷却器控制柜电源电压监视继电器

宜宾换流站冷却器基地控制柜电源电压监视继

电器型号为 CM-PVS 具有以下特点:

- 1) 三相电源的相序监测(可关闭)、断相、过压和欠压;
- 2) 可调节过压和欠压门限值的绝对值;
- 3) 跳闸延迟可以被调整或通过刻度装置的装置关闭;
- 4) 导通延迟或关断延时脱扣延时可选;
- 5) 由测量电路提供电源。

该电源电压监视继电器中包含 2 个红色 LED 指示灯分别为 F1 和 F2,均代表过电压信息的报警。

2014 年 3 月 19 日宜宾站换流站用电扰动后,双极低端 12 台换流变压器就地控制柜内 2 路交流电源监视继电器过压动作指示灯 F1(错误信号灯)点亮,用万用表测量交流进线电压为 405 V,高于电压监视继电器的过压动作返回值 399 V,导致此报警灯一直未复归,在过电压消失之后,该过电压报警灯一直点亮的情况。

1.4 冷却器风机控制柜内电源电压监视继电器工作原理

特高压宜宾换流站换流变压器冷却器就地动力控制柜所用的电源电压监视继电器型号为 CM-PVS,主要用来监视交流进线电源过压、欠压、缺相等故障。如图 1 所示,当电压监视继电器 K80.1 检测到交流电源 1 异常时,通过控制回路断开 K30.1 接触器,交流电源 1 停止供电。

CM-PVS 电源电压监视继电器主要应用在交流三相电机工作回路中,用于保护电机安全运行。该继电器本身带有时间延时功能,可以选择延时动作或延时返回。宜宾换流站 CM-PVS 的延时时间

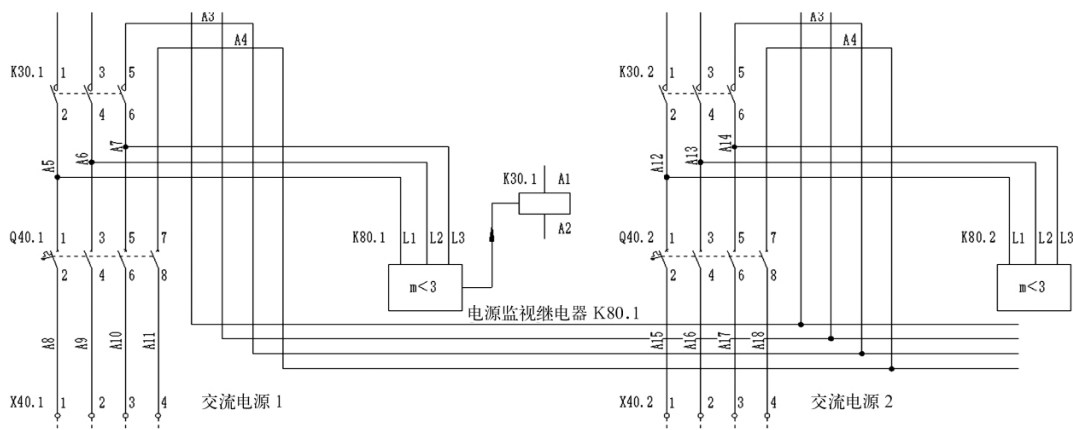


图 1 CM-PVS 电源电压监视继电器原理接线

设置为 0 ,即当继电器过/欠压动作后接点立即动作 ,当故障消失后接点返回。其电压保护工作原理如图 2 所示 ,以宜宾换流站为例 ,当工作电压大于 U_1 (420 V) 时 ,接点立即动作 ,当电压低于 399 V 时接点延时后返回;当电压低于 U_2 (340 V) ,接点立即动作 ,当电压高于 357 V 时接点延时后返回。

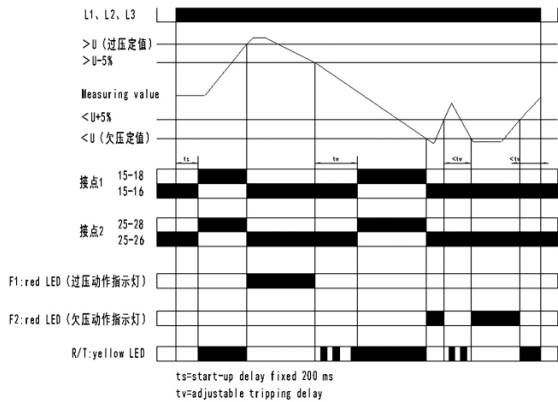


图 2 CM - PVS 电源电压监视继电器保护工作原理

1.5 宜宾换流站 35 kV 低抗控制策略

宜宾换流站现有 6 组低压电抗器(以下简称低抗) ,35 kV 1 号、2 号母线各带 3 组 ,站用电低抗控制策略如下:

- 1) 每组低抗均有“参与换流母线电压控制”、“参与换流站无功平衡”两种运行状态。
- 2) 低抗单独设置自动/手动切换功能 ,自动/手动切换功能对“参与换流母线电压控制”的低抗有效。“参与换流站无功平衡”的低抗的自动/手动投切由直流无功控制(RPC)确定。
- 3) 直流闭锁情况下 ,所有低抗均“参与换流母线电压控制”。
- 4) 直流解锁时 ,RPC 选择两组未投运低抗“参与换流站无功平衡” ,这两组低抗在直流解锁期间一直“参与换流站无功平衡” ,直到直流闭锁;直流闭锁后,“参与换流站无功平衡”的低抗恢复为“参与换流母线电压控制”。
- 5) “参与换流母线电压控制”策略:交流电压高于 540 kV 延时 5 s 投入 1 组低抗 ,选择原则以使两台站用变压器低抗趋于平衡为目标;交流电压低于 525 kV 延时 5 s 切除一台低抗 ,选择原则以使两台站用变下低抗趋于平衡为目标。参与换流站无功平衡的低抗不参与电压控制。

2 事件过程及故障分析过程

2.1 事件过程

2014 年 3 月 19 日 20:47 宜宾换流站直流系统停运 ,OVS 界面显示交流母线电压为 497 kV ,1 s 后事件记录 DCSA/B 主机报“WC1 - Z2 - Q1(312) 断路器分”事件。20:47:43 ,OVS 界面显示交流母线电压为 524 kV 仍然低于 525 kV ,DCSA/B 主机随即报“WC1 - Z5 - Q1(322) 断路器分”事件 ,此时交流母线电压为 530 kV ,此后 400 V 母线电压出现波动。宜宾换流站 500 kV 高压侧母线电压波动后查看故障时刻事件记录见表 1 ,在切除低抗 312L、322L 后 ,400 V 交流系统母线电压波动持续 120 ms ,导致 CM - PVS 电源电压监视继电器故障接点无法返回 ,最后换流变压器冷却器控制柜电源失电。

表 1 低抗切除时刻事件记录

时间	主机	事件	备注
2014 - 03 - 19 20:47:37:953	DCSA (主)	换流母线电压 控制切除抵抗	直流系统 停运、交 流母线电 压低于 497 kV
2014 - 03 - 19 20:47:37:989	DCSB (从)	换流母线电压 控制切除抵抗	
2014 - 03 - 19 20:47:38:137	DCSA (主)	WC1 - Z2 - Q1 (312) 断路器分	
2014 - 03 - 19 20:47:38:137	DCSB (从)	WC1 - Z2 - Q1 (312) 断路器分	
2014 - 03 - 19 20:47:43:312	DCSA (主)	换流母线电压 控制切除抵抗	交流母线 电压低于 525 kV
2014 - 03 - 19 20:47:43:349	DCSB (从)	换流母线电压 控制切除抵抗	
2014 - 03 - 19 20:47:43:588	DCSA (主)	WC1 - Z5 - Q1 (322) 断路器分	400 V 母 线电压高 于 425 V
2014 - 03 - 19 20:47:43:588	DCSB (从)	WC1 - Z5 - Q1 (322) 断路器分	

2.2 站内出现短时过电压原因分析

如图 3 所示 ,在 20:47:32:439 时刻 ,500 kV 交流系统出现异常扰动 ,交流母线电压下降至最低 495 kV ,根据换流母线电压控制逻辑 ,当电压低于 525 kV 时 ,系统自动切除参与电压控制的低抗 ,时间延时为 5 s ,直至全部切除完为止。

综上所述 ,站内低抗在阀组解锁时两组未投入低抗参与站内无功计算 ,当阀组闭锁后参与交流母线电压控制。交流系统发生扰动时 ,直流系统处于停运状态 ,但站内两组低抗在运行状态。20:47:32

交流母线最低电压为 497 kV ,低于母线电压控制切除低抗策略定值电压 ,延时 5 s 后切除一组低抗 312L ,之后交流母线电压仍低于切除低抗定值电压 ,故延时 5 s 切除另一组低抗 322L。

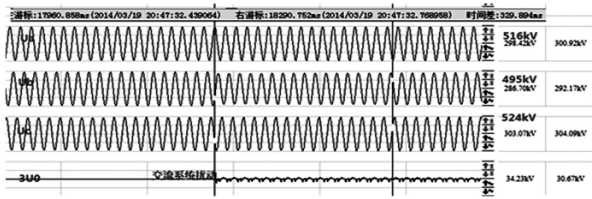


图3 500 kV 交流系统母线电压录波

站在 10 s 内连续切除 2 组低抗导致系统暂态电压升高。由于 500 kV 站用电系统分接开关为无载调压模式 ,故不能快速调节电压变化 ,因此 400 V 母线电压出现短时过压情况。

查看当时站用电系统故障录波 ,从 500 kV 站用变压器高压侧电流变化可以看出 ,切除 312L 时间为 2014 - 03 - 19 20: 48: 04: 122 ,切除 322L 时间为 2014 - 03 - 19 20: 48: 09: 590 ,前后时间相差 5 s ,与软件设置一致。

2.3 交流系统电压波动后果分析

查看 400 V 母线故障录波 ,如图 4 所示。根据式 (1) 可计算得出 ,母线短时出现过电压为 421.7 V ,持续时间约为 120 ms ,之后恢复至 405 V 运行。

$$U_f = U_1 \times \sqrt{3}n \quad (1)$$

式中: U_f 为母线三相暂态过电压; U_1 为母线单相过电压的有效值; n 为变压器变比。

根据 CM - PVS 工作特性和当前设定值可知 ,当 400 V 母线电压低于 420 V 运行时 ,两路交流电源同时故障 ,约 120 ms 后过电压情况消失。此时 400 V 母线电压为 405 V ,高于动作返回值 399 V ,电压监视继电器仍然认为过压情况未消失 ,故接点不能返回 ,造成冷却器两路交流电源同时失电 ,而实际上交流系统并没有真正失电。

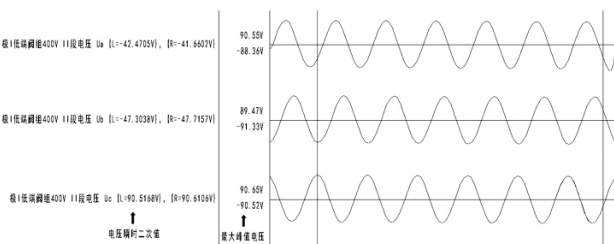


图4 400 V 母线故障录波

根据以上情况总结分析 ,宜宾换流站交流系统可能存在短时过电压(约 1.05 p. u.) 情况 ,持续时间约 120 ms ,按照目前电压监视继电器设置情况 ,电压监视继电器定值整定灵敏度较高且故障持续时间过长 ,导致故障消失后继电器接点不能及时返回 ,存在换流变压器冷却器全停的隐患 ,严重影响设备的安全稳定运行。

3 改进措施及试验验证

3.1 改进措施

通过上述分析 ,经与设备厂家探讨 ,现场已从两个方面进行整改:

1) 通过试验得出 400 V 系统电压波动的峰值 ,依照中国电科院的试验结果 ,该峰值为 433 V。

2) 将电压监视继电器的控制模式由延时返回改为延时动作。如图 5 所示 ,所谓延时返回就是使继电器设定的故障返回时间区域 t_2 大于电压故障时间区域 t_0 ,在故障时间段内的任意时刻检查到故障消失都可以使故障信号消失 ,但如果电压故障时间超过故障返回时间(在超出故障返回时间的故障时间段内) 继电器会认为该故障依然存在 ,所以故障信号不会消失。而延时动作则是让继电器设定的故障返回时间区域 t_1 滞后电压故障时间区域并且小于该时间区域 t_0 ,这样一来 ,当电压故障出现时 ,原本应该动作的继电器由于滞后了一段时间而没有动作 ,从而躲过该电压波动。二者比较可以看出 ,延时动作主动地躲过了电压故障 ,不会存在故障信号不能消失的隐患 ,所以将电压监视继电器的控制模式由延时返回改为延时动作^[3]。动作延时由 100 ms 改为 500 ms(大于交流系统扰动产生过电压的时间约 120 ms ,并在此基础上增加一定的裕度)。

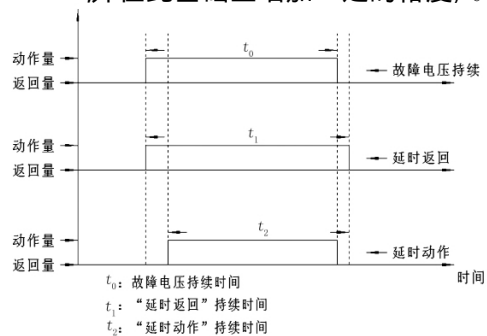


图5 “延时返回”与“延时动作”示意

3) 将电压监视继电器过电压门槛值由 420 V 提高至 440 V 返回值和欠电压门槛值也随之提高。正是因为目前宜宾换流站 400 V 工作电压在 403 V 左右 按照之前的参数设置 若继电器检测出故障后动作 则故障消失后不能自动返回。

3.2 验证步骤及试验结论

为此中国电科院进行了一项试验: 在阀组隔离状态下 同时拉开同一 35 kV 母线上的 3 组低抗负载。

由于在站内小系统运行方式下 投切电抗器对站内交流系统电压影响最严重 故选择同时切除 3 组低抗作为较为极端的试验。试验完成后查看故障录波 发现投切对 400 V 母线电压有较大冲击 暂态电压明显上升 最高电压出现在 C 相 达到 433 V 并持续约 60 ms 如图 6 所示。

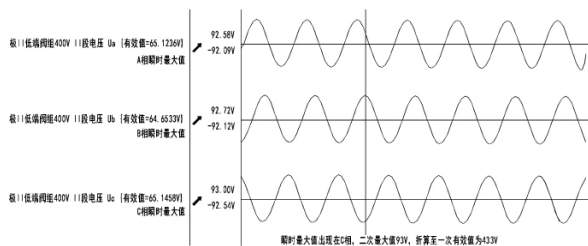


图 6 低抗切除后 400 V 母线故障录波

现场检查 换流变压器冷却器就地控制柜交流开关电压监视器状态正常(过电压门槛值为 440 V, 大于 400 V 母线冲击电压 433 V 监视器未动作)。

试验结论: 新设定的电压监视继电器定值能够躲过上述严重工况下的电压冲击, 上述定值设置较为合理。

4 结 语

400 V 交流系统扰动不容忽视。导致出现此类问题的原因基本都是 400 V 交流负荷电源开关设计和定值没有针对 400 V 交流系统扰动时的电压变化范围作出优化改进。由于厂家选择继电器型号与设定继电器定值时是出于保证自己设备运行“无风险、低损耗、寿命长”的原则, 对于运行时的负荷变化确实是存在着一定的局限性。因为运行单位要求

的是整个交、直流系统的稳定运行 尽量减小系统波动影响而带来对不同继电器定值范围的要求自然而然要大一些 这就意味着有了足够的定值范围 设备继电器与设备可以躲过比较严重的系统电压波动。但这对于运行设备而言 过高的电压就会让设备承受更大冲击 对设备的影响也相应增加。虽然这种情况与厂家的想法背道而驰 但是如果在迎峰度夏大负荷情况下发生这种事故 对电网的影响可是巨大的 作为特高压直流输电的运维单位对这种隐患的存在绝对不能忽视。所以针对本站出现的 400 V 系统电压波动情况 在今后的生产过程中提出以下建议:

- 1) 选定同时切除站内 3 组低抗的较为极端的试验 对站内现有负荷开关进行波动的耐受试验。
- 2) 根据宜宾换流站内实际电压波动情况 选择与之相适应的 400 V 负荷电源。
- 3) 各类继电器的门槛值以及返回值的设定要留有充分地裕度。
- 4) 在今后设备选型方面 要依据站内实际要求 选择裕度足够大 抗电压波动性足够强的设备。
- 5) 建议锦屏换流站择期针对此隐患进行相对应的冲击试验: 在站内小系统运行方式下 补做投切电抗器对站内交流系统电压影响最严重的同时切除 3 组低抗的极端试验 来验证 400 V 所带负荷 包括阀水冷却器、换流变压器冷却器等电压监视继电器是否会出现上述异常情况 并及时改进。

参考文献

- [1] 国家电网公司运维检修部. 直流换流站运维技能培训教材[M]. 北京: 中国电力出版社 2012.
- [2] 国家电网公司运行分公司. 特高压直流换流站岗位培训教材一次设备[M]. 北京: 中国电力出版社 2012.
- [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.

作者简介:

王晨睿(1990), 学士、助理工程师, 从事特高压直流输电系统的运行研究工作。

(收稿日期: 2018-04-17)