

金中直流送端孤岛运行研究与实践

谢惠藩,梅 勇,周 剑,黄 河,李 鹏,刘洪涛

(中国南方电网电力调度控制中心,广东 广州 510623)

摘要:为了保障黄太双线同停检修期间滇西北地区电网的稳定性及减少梨园和阿海电厂的弃水量,开展金中直流送端孤岛运行方式研究与实践:研究金中直流孤岛运行的可行性,校验送端孤岛运行的稳定性,提出孤岛运行原则和要求,分析直流孤岛调试和实际运行情况,并提出孤岛运行异常事故处理建议。实际运行表明:金中直流孤岛运行期间孤岛系统平稳,各种运行工况下频率和电压均满足规程要求,现场一、二次设备未发现损坏和异常现象。金中直流成功实施孤岛运行,提高了滇西北地区电网的稳定性和金中直流的输电能力,孤岛运行 15 d 共减少送端电厂弃水量约 $6.9 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$,社会效益和经济效益显著。

关键词:高压直流输电;孤岛运行;频率限制控制;过电压控制

中图分类号:TM 721.1

文献标识码:A

DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2018.11.031

0 引言

500 kV 黄太双回线检修期间,金中直流^[1]与送端梨园、阿海电厂和丽江电网、迪庆电网仅通过 220 kV 黄羊双回线与云南主网联网运行,金中直流及送端电厂与云南主网的电气联系薄弱,稳定问题突出,金中直流单极闭锁或梨园、阿海电厂机组跳闸将可能导致联络线过载跳闸或 220 kV 地区电网失稳,导致发生较大电力安全事故,因此需采取限制金中直流功率、限制梨园和阿海电厂开机及出力、限制太丽双线和黄坪主变功率等多项措施。

鉴于黄太双线检修期间地区电网稳定问题突出、运行约束因素多、调控难度大,为了提升金中直流的输送能力和提高滇西北地区电网的稳定性,本文综合考虑系统运行风险、直流送电能力、水能利用等因素,提出安排金中直流送端孤岛运行方案,并最终在黄太双线检修期间成功实施送端孤岛运行。

本文研究了金中直流孤岛运行的可行性,校验送端孤岛运行稳定性,提出孤岛运行原则和要求,分析孤岛调试和实际运行情况,最后提出孤岛运行异常事故处理建议。金中直流成功实施送端孤岛运行,提高了滇西北地区电网的稳定性、提升了金中直流的输电能力,孤岛运行 15 d 共减少送端电厂弃水量约 $6.9 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$,社会效益和经济效益显著,其孤岛运行经验值得其他直流工程借鉴。

1 金中直流孤岛运行可行性分析

1.1 送端孤岛运行方式

金中直流送端孤岛运行方式指金官换流站与主网交流系统断开,仅和送端梨园、阿海电厂及 500 kV 交流线路构成独立电网系统,孤岛运行方式如图 1 所示。

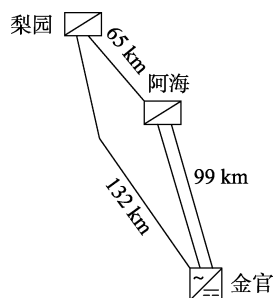


图 1 金中直流孤岛运行方式

Fig.1 Islanding operation of Jinzhong HVDC

1.2 送端孤岛运行稳定性校验

(1) 有效短路比分析。

金中直流 7 机 4 线(全接线)孤岛方式在不同直流功率水平下的有效短路比如表 1 所示。

表 1 金官站换流母线有效短路比

Table 1 Effective short circuit ratio of bus at Jinguan converter station

序号	直流功率/ MW	交流系统短路 容量/(MV·A)	投入滤波器 容量/Mvar	有效短路比
1	3 200	6 700	1 617	1.59
2	2 500	6 700	1 170	2.21
3	2 000	6 700	882	2.91
4	1 000	6 700	441	6.26
5	500	6 700	294	12.81

金中直流双极功率为 500~1 000 MW 时,金官站有效短路比大于 2.5,属于强交流系统;金中直流双极功率为 2 000~2 500 MW 时,金官站有效短路比约为 2.5;金中直流双极功率为 3 200 MW 时,金官站有效短路比为 1.59,属于弱交流系统,送端线路检修或暂态运行方式下有效短路比最低会降至 1.26,属于极弱交流系统。建议实际孤岛运行的金中直流双极功率应不超过 2 500 MW,且须采用全接线运行方式。

(2) 孤岛频率控制措施。

孤岛系统内频率波动优先采用直流作为控制手

段,即利用直流频率限制控制(FLC)功能自动控制孤岛系统频率^[2-5]。处于孤岛运行方式时,小扰动情况下利用直流 FLC 功能作为频率控制手段,大扰动情况下则利用 FLC 和机组一次调频作为共同频率控制手段,因此孤岛运行方式下直流 FLC 的死区缩减至 0.1 Hz(联网方式死区为 0.14 Hz)、机组一次调频死区增大至 0.15 Hz(联网方式死区为 0.5 Hz)。发生机组跳闸等一般故障,孤岛系统不平衡功率在直流 FLC 调节范围内时,FLC 将自动地控制孤岛系统频率在 (50 ± 0.1) Hz 范围以内。

为了防止直流双极闭锁(Block 或 ESOF)后孤岛系统发生高频问题,孤岛直流双极闭锁后须全切机组。鉴于延迟切除机组对孤岛过电压有抑制作用,稳定控制系统将在双极闭锁后延时 0.6 s 切除梨园电厂和阿海电厂的全部运行机组。

金中直流 7 机 4 线(全接线)孤岛影响方式在不同直流功率水平下的孤岛频率稳定分析如表 2 所示。

表 2 孤岛系统频率分析

Table 2 Frequency analysis of island system

序号	直流功率/ MW	单极闭锁最高 频率/Hz	双极闭锁最高 频率/Hz
1	3 200	53.6	53.8
2	2 500	51.5	53.1
3	500	50.0	51.4

注:单极闭锁无稳定控制措施;仿真双极闭锁后 0.9 s 切除全部机组。

在金中直流单极闭锁情况下,孤岛最高频率为 53.6 Hz,未超过设备规定的耐受要求(频率高于 55 Hz、最长持续时间为 6 s);金中直流孤岛直流功率为 3 200 MW 时,双极闭锁延时切除全部机组后孤岛交流最高频率为 53.8 Hz,也未超过设备规定的频率耐受要求。

(3) 孤岛过电压控制措施。

孤岛运行方式下,为了抑制双极闭锁引起的过电压和防止一、二次设备损坏,金中直流孤岛运行需采取如下过电压抑制措施以确保设备安全^[6-7]。

a. 双极 Block 后直流控制系统应快速切除换流站的所有交流滤波器(100 ms 内),同时应利用换流变的励磁饱和特性短时限制工频暂时过电压;此外,在切除所有交流滤波器后,延时切除所有换流变。

b. 双极 ESOF 时应确保能够快速切除所有交流滤波器(100 ms 内),以迅速降低暂时过电压水平(未采取延时切除换流变措施)。

c. 直流站控系统应设置过电压后备保护,以便未能快速切除所有交流滤波器时通过该保护快速切除所有交流滤波器。图 2 给出了金官站过电压保护逻辑:当换流站交流侧过电压水平超过相应定值并经一定延时后直流站控将切除一小组滤波器(I—III 段)或切除全部滤波器(IV 段)。图 2 中, U_{AC} 为交

流线电压,单位为 kV; Trip1—Trip3 为切除小组交流滤波器逻辑出口(I—III 段); Trip4 为切除全部交流滤波器逻辑出口(IV 段)。

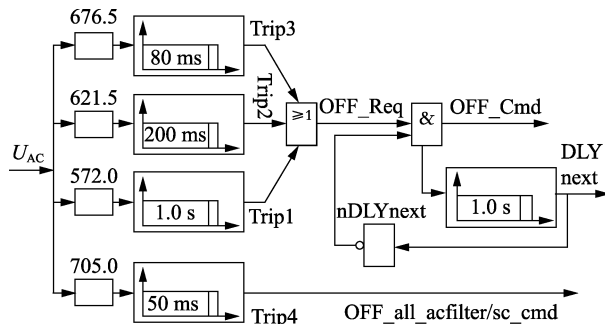


图 2 金官站过电压控制逻辑

Fig.2 Overvoltage control logic of Jinguan station

金中直流 7 机 4 线(全接线)孤岛方式在不同直流功率水平下双极 Block 时所对应的孤岛过电压稳定分析如表 3 所示(表中最大操作过电压和最大暂时过电压为标么值)。

表 3 孤岛系统过电压分析

Table 3 Overvoltage analysis of island system

序号	直流功率/ MW	最大操作 过电压	最大暂时 过电压
1	3 200	1.62	1.296
2	2 500	1.51	1.230
3	500	1.20	1.040

注:双极 Block 后 0.1 s 切除全部小组交流滤波器;操作过电压的基准值为 $550 \times \sqrt{2}/\sqrt{3} \approx 449$ (kV);工频过电压的基准值为 550 kV。

由表 3 可见,金官站母线最大操作过电压为 1.62 p.u.,小于规程 2.0 p.u.的要求;最大暂时过电压为 1.296 p.u.,满足规程不超过 1.30 p.u.的要求,也未超出设备技术规范书“1.38 p.u.、持续时间 100 ms”的要求,系统运行和设备安全风险可控。

2 孤岛运行要求

2.1 方式安排要求

孤岛运行最小设计短路电流为 4.22 kA,为了确保金中直流送端孤岛系统稳定运行,梨园电厂和阿海电厂至少开 4 台机。考虑裕度,正常情况下金中直流安排 7 机 4 线运行方式,梨园电厂和阿海电厂 500 kV 出线需保持全接线方式;考虑有效短路比,直流功率不宜超过 2 500 MW。

此外,孤岛运行期间,由于双极闭锁后稳定控制系统全切运行机组,孤岛系统将全停。双极闭锁后为了快速恢复厂用电,梨园电厂和阿海电厂需各安排 1 台机组带厂用电运行。

2.2 孤岛系统电压控制原则

孤岛运行方式下,为了更好地控制换流站母线电压,防止产生过电压,金官站直流控制系统的无功控制模式应切换为定电压模式(U_{AC} 模式);而桂中

站直流控制系统无功控制模式无需改变,仍保持为定无功模式(Q 模式)。孤岛运行方式下换流站的无功控制模式及定值如表 4 所示。

表 4 孤岛运行方式下换流站的无功控制模式及定值

Table 4 Reactive power control modes and constant values of converter station under islanding operation mode

换流站	无功控制模式	控制范围
金官	定电压模式	510~530 kV
桂中	定无功模式	-230~0 Mvar

2.3 二次系统运行要求

a. 直流控制系统。

为了降低直流单极闭锁的概率,优化直流线路故障重启动参数,将直流线路故障再启动次数增至 3 次,去游离时间提高至 400 ms。此外,孤岛方式须退出双侧频率偏差控制功能以减少运行期间直流功率波动。

b. 电厂控制系统。

进入孤岛运行方式后,梨园、阿海电厂监控系统应自动退出自动发电控制(AGC)、自动电压控制(AVC)、无功闭环控制,电厂调速器、励磁控制、电力系统静态稳定器(PSS)自动切换至孤岛模式参数。

c. 安全自动装置。

稳定控制系统退出太金双线跳闸($N-2$)跳进孤岛切机功能,退出孤岛单极闭锁切机功能,投入双极闭锁切机功能,投入孤岛阿金双线跳闸($N-2$)快速回降直流功率功能(power limit)。

阿海、梨园电厂机组须投入高频保护(定值 59 Hz,延时 2 s)和电厂失步解列装置;退出带厂用机组的稳定控制允切压板和出口压板,防止误切机。

2.4 孤岛功率调整

a. 机组功率调整。

梨园、阿海电厂 AGC 需退出调度自动控制方式,电厂按计划曲线调整出力(电厂 AGC 投入本地曲线控制);调整电厂发电计划时,应使梨园、阿海电厂发电曲线与金中直流的自动功率曲线匹配(需相应修改直流计划曲线)。若电厂出力与直流功率出现偏差,则由直流 FLC 功能自行调整平衡,实现孤岛系统功率平衡。

b. 直流功率调整。

正常情况下通过调整梨园、阿海电厂出力实现直流功率调整。若修改直流自动功率曲线调整直流功率时,应同步梨园或阿电厂发电计划曲线。直流功率与电厂出力偏差同样也由直流 FLC 功能自动调整平衡。

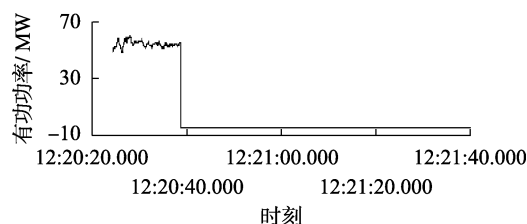
直流 FLC 动作后需及时将双极功率参考值改为当前实际双极直流功率值(正常偏差不应超过 100 MW),以使 FLC 控制器的输出归零。

3 金中直流孤岛现场试验

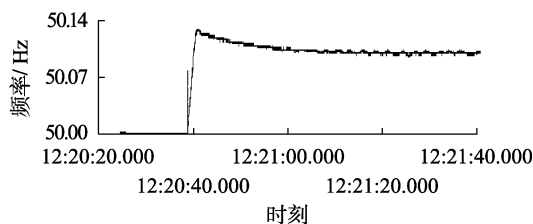
3.1 联网转孤岛

转孤岛前,阿海电厂 4 台机组出力共约 1 223 MW,梨园电厂 3 台机组出力共约 1 375 MW,金中直流功率为 2 500 MW,太金乙线外送有功为 60 MW、无功为 60 Mvar。太金乙线断开后金中直流转孤岛运行(7 机 4 线方式),直流 FLC 动作,直流功率稳定至 2 560 MW,运行稳定。

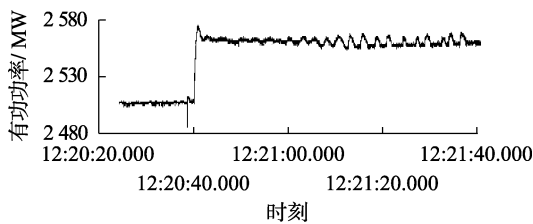
金中直流进入孤岛后,孤岛系统频率由 50 Hz 升至 50.13 Hz,在直流 FLC 作用下孤岛系统频率稳定在 50.10 Hz,孤岛系统运行稳定;进入孤岛后,云南电网频率由 50 Hz 降至 49.94 Hz(跌幅 0.06 Hz),最后稳定在 49.99 Hz 附近,云南电网运行稳定。金官站相量测量单元(PMU)录波曲线如图 3 所示。



(a) 太金乙线功率



(b) 孤岛系统频率



(c) 金中直流双极功率

图 3 金官站 PMU 录波曲线

Fig.3 PMU recorded curves of Jinguan station

3.2 直流双极闭锁试验

a. 孤岛系统频率与电压。

孤岛 7 机 4 线运行方式、金中直流功率为 2 500 MW、双极同时闭锁(Block)时的试验相关录波如图 4 所示。双极闭锁后稳定控制系统按预定策略正确切除梨园电厂 3 台机组和阿海电厂 4 台机组,切机时间约为直流闭锁后 760 ms;金中直流双极闭锁后,孤岛系统频率最高升至 52.6 Hz。

金官站操作过电压最高大约为 658.8 kV(1.46 p.u.),小于规程 2.0 p.u.的要求,暂时过电压最高约为 675.9 kV(1.23 p.u.),满足规程不超过 1.30 p.u.

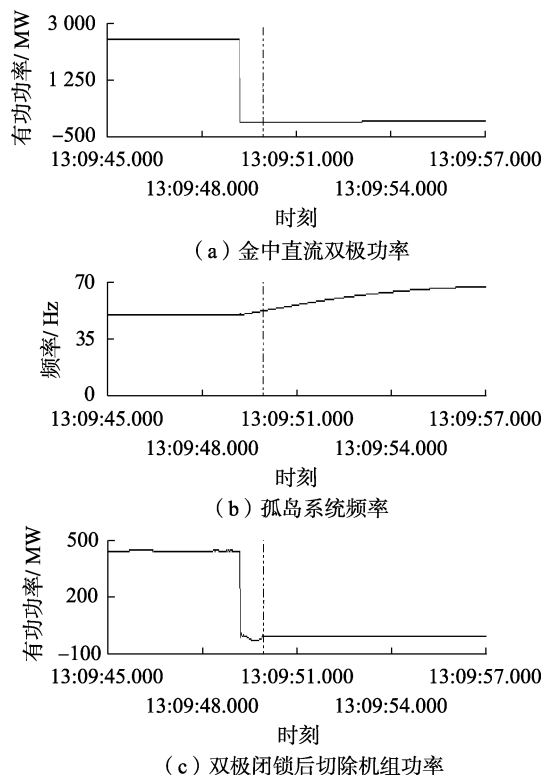


图 4 直流功率为 2 500 MW、双极闭锁后孤岛系统 PMU 录波

Fig.4 PMU recorded curves of island system after bipolar block when DC power is 2 500 MW

的要求)。金官站交流母线电压如图 5 所示。

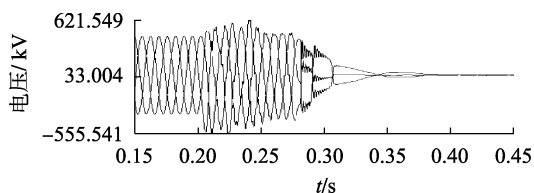


图 5 金官站交流母线电压

Fig.5 AC bus voltage of Jinguan station

双极闭锁后,金中直流及阿海和梨园电厂的一、二次设备未发现损坏和异常现象。

b. 双极闭锁后金中直流控制逻辑时序分析。

金中直流双极闭锁后其直流控制逻辑时序如表 6 所示。2016 年 6 月 6 日,13:09:49.212 时刻发生双极闭锁(Block),13:09:49.280 时刻最后一小组交流滤波器被切除,即双极闭锁后 68 ms 内切除全部滤波器,满足技术规范关于双极闭锁后 100 ms 内切除全部滤波器小组的要求。13:09:49.314 时刻跳开最后一个极的进线开关,即全切交流滤波器后延时 34 ms 切除所有换流变,满足技术规范关于双极闭锁后至少延时 20 ms 切除换流变的要求。由试验结果可见,金中直流孤岛双极闭锁逻辑时序正确。

c. 主网频率分析。

双极闭锁后,如图 6 所示,南方电网主网频率由 50.08 Hz 跌至 49.92 Hz(频率跌幅 0.16 Hz),最后恢复至 49.96 Hz 附近,主网频率稳定。

表 6 双极同时闭锁后金官站 SER 信息

Table 6 SER information of Jinguan station after bipolar block

时刻	设备	SER 信息	备注
13:09:49.212	S1P1/P2PCP1	移相闭锁已执行	双极同时闭锁
13:09:49.221	S1DCC	全切交流滤波器指令出现	直流站控发全切交流滤波器
13:09:49.278	S1AFC3	10BF31.Q0(581)三相分闸位置	滤波器小组开关 581 断开
13:09:49.278	S1AFC3	10BF33.Q0(583)三相分闸位置	滤波器小组开关 583 断开
13:09:49.275	S1AFC1	10BF12.Q0(562)三相分闸位置	滤波器小组开关 562 断开
13:09:49.276	S1AFC1	10BF11.Q0(561)三相分闸位置	滤波器小组开关 561 断开
13:09:49.278	S1AFC2	10BF21.Q0(571)三相分闸位置	滤波器小组开关 571 断开
13:09:49.280	S1AFC2	10BF22.Q0(572)三相分闸位置	滤波器小组开关 572 断开
13:09:49.280	S1AFC2	10BF24.Q0(574)三相分闸位置	滤波器小组开关 574 断开
13:09:49.313	S1ACC1	10B01.B.Q0(5012)三相分闸位置	极 1 交流进线开关 5012 断开
13:09:49.314	S1ACC3	10B03.B.Q0(5032)三相分闸位置	极 2 交流进线开关 5032 断开

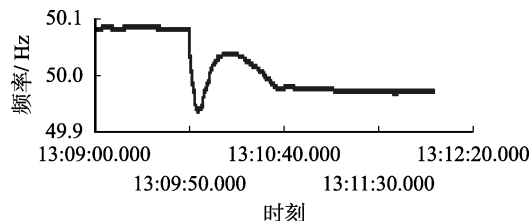


图 6 双极闭锁后主网频率 PMU 录波曲线

Fig.6 PMU recorded curve of main grid frequency after bipolar block

4 金中直流孤岛实际运行分析

在孤岛试验的基础上,金中直流于黄太双线检修期间成功实施送端孤岛运行(7 极 4 线方式,其中梨园电厂开 3 台机组、阿海电厂开 4 台机组),直流最大输送功率为 2 400 MW。孤岛运行 15 d 期间,金中直流及阿海电厂、梨园电厂运行稳定,一、二次设备未发现损坏和异常现象。

a. 稳态运行。

稳态运行期间直流现场 TFR 录波如图 7 所示。由图 7 可见,单极直流功率基本维持在 1 200 MW 左右,触发角基本维持在 15°,直流电压维持在 500 kV,直流电流维持在 2 400 A。

图 8 和图 9 分别给出了孤岛不同开机方式下金官站的电压和频率曲线,其中图 8 为 6 机孤岛运行方式、图 9 为 7 机孤岛运行方式。由图 8、9 可见,孤岛运行方式下开机台数越多,孤岛系统的短路容量越大,孤岛系统的电压和频率波动越小,孤岛系统越稳定。同时可见,孤岛系统频率均能维持在(50±0.1) Hz 范围内,换流站母线电压均能维持在 530 kV

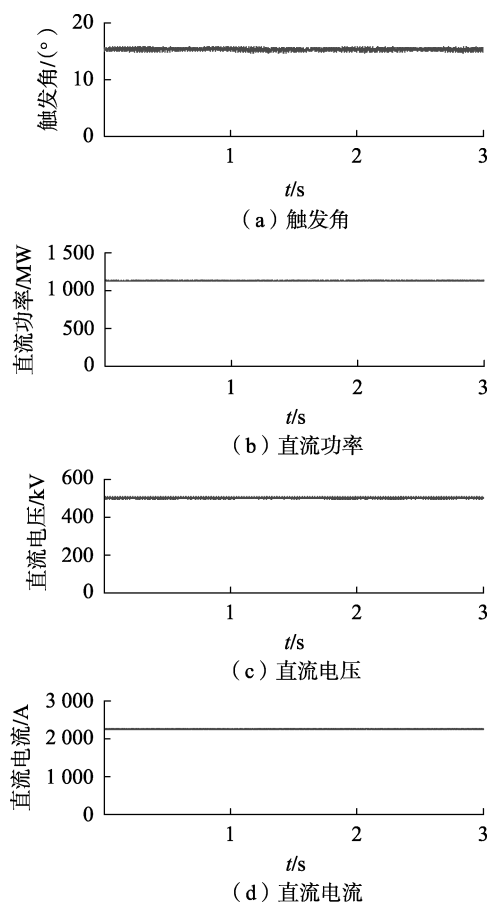


图 7 孤岛运行方式下金中直流稳态运行 TFR 录波(极 1)

Fig.7 TFR recorded curves of steady-state operation of Jinzhong HVDC under islanding operation mode (Pole 1)

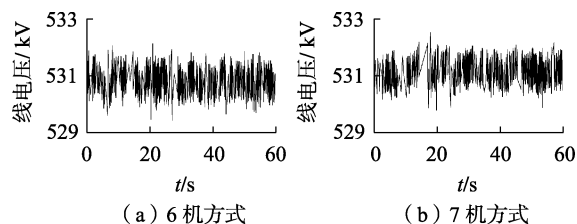


图 8 金官站母线电压

Fig.8 Bus voltage of Jinguan station

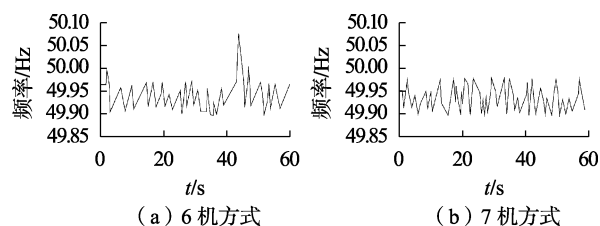


图 9 金官站频率

Fig.9 Frequency of Jinguan station

左右。

b. 直流线路故障重启。

孤岛运行期间,雷击金中直流极 2 线路,直流线路电压突变量保护和直流行波保护动作,极 2 重启成功。极 2 线路故障重启期间录波如图 10 所示。期间孤岛频率最高为 50.4 Hz,金官站母线最大

操作过电压约为 1.23 p.u. (小于规程 2.0 p.u. 的要求)、暂时过电压约为 1.14 p.u. (满足规程不超过 1.30 p.u. 的要求,也未超出设备技术规范“1.38 p.u.、持续时间 100 ms”的要求),期间孤岛运行平稳。

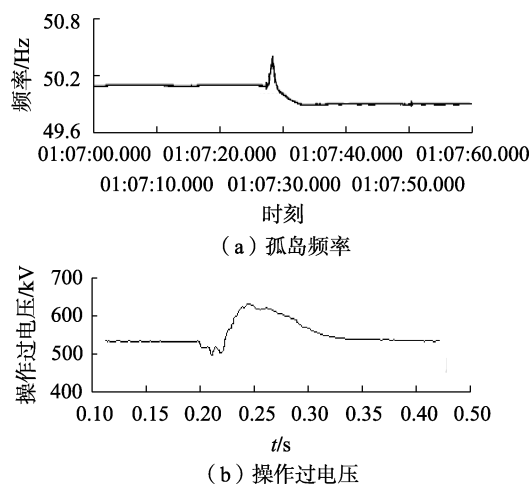


图 10 极 2 线路故障重启期间录波

Fig.10 Recorded curves during line fault recovery of Pole 2

c. 直流 FLC 动作情况。

孤岛运行模式下直流 FLC 动作死区小于机组一次调频动作死区,当孤岛出现小额功率不平衡导致频率小波动时,直流 FLC 优先动作将孤岛频率限制在 (50 ± 0.1) Hz 范围内。图 11 给出了直流 FLC 动作录波。由图 11 可见,孤岛稳定运行期间,尽管直流 FLC 动作频繁,但 FLC 调节量较小,双极 FLC 调节量基本在 10 MW 以内,且 FLC 动作期间均未导致换流变分接头动作及交流滤波器投切。

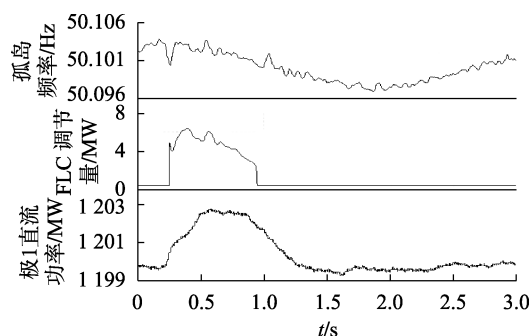


图 11 直流 FLC 动作录波

Fig.11 Recorded curve of FLC action

5 孤岛运行异常处理建议

a. 频率越限。

孤岛内若发生严重故障导致孤岛系统不平衡功率超出 FLC 调节范围,孤岛系统频率可能越限,可将孤岛系统中的 1 台处于发电状态的机组的调速器切换至手动位置,其余机组的调速器仍维持自动位置,通过手动调节这台机组的功率,使孤岛系统频率稳定在允许范围 (50 ± 0.2) Hz 内^[8]。

b. 电压越限。

孤岛系统发生故障或运行调控不当,可能导致厂站母线电压越限(高过 550 kV 或低于 500 kV);电压调控中,应尽量避免两厂同时调整无功出力,防止配合不当造成孤岛系统电压大幅波动。

c. 单极闭锁。

金中直流单极闭锁后孤岛频率可能会发生波动,应立即降低梨园和阿海电厂的总出力,保证两电厂总出力与直流实际功率值相匹配。

由于孤岛系统存在低次谐波谐振的风险,空载投入换流变可能会产生合闸过电压,因此,不建议在孤岛运行方式下解锁故障极(应将金中直流转联网运行后方允解锁该极)。

d. 双极闭锁。

金中直流双极闭锁后,若稳定控制系统未能全切机组,出现梨园、阿海电厂间功率振荡现象,应立刻断开两电厂之间的电气连接。两电厂断开连接后,若出现电厂机组内部互相振荡,则将该电厂机组中的 1 台机组的调速器保持自动位,其他机组的调速器切换至手动,若有功振荡长时间仍不能平息,则将所有机组的调速器切至手动。

6 结论

本文对金中直流送端孤岛运行方式进行深入研究,包括送端孤岛运行可行性、校验孤岛运行稳定性、制定孤岛运行原则要求和异常事故处理建议,分析现场试验和实际运行情况,得出主要结论如下。

a. 金中直流送端孤岛运行开机台数尽量不少于 4 台,孤岛运行方式下开机越多,孤岛系统的短路容量越大,孤岛系统的电压和频率波动越小,孤岛系统越稳定。建议采取 7 极 4 线孤岛方式,且直流功率尽量不超过 2 500 MW。

b. 直流 FLC 能有效控制孤岛内频率的波动;双极闭锁后快切所有交流滤波器的措施能有效降低过电压水平,双极闭锁(Block)延时切除换流变、利用换流变的励磁饱和特性可有效限制暂时过电压。

c. 金中直流孤岛运行期间孤岛系统平稳。单极闭锁、双极闭锁、单极直流线路故障重启动等各种运行工况下,孤岛频率和换流站过电压均满足规程要求,现场一、二次设备未发现损坏和异常现象,孤岛运行风险可控。

黄太双线同停检修期间金中直流成功实施 15 d 孤岛运行,提高了滇西北地区电网的稳定性和金中直流的输电能力,减少送端电厂弃水量约 6.9×10^8 kW·h,社会效益和经济效益显著,其孤岛运行成功经验值得其他直流工程借鉴。

参考文献:

- [1] 赵睿,刘蔚,涂亮,等. 金中直流调制对送受端电网稳定性影响的研究[J]. 广西电力,2016,39(6):1-6.
ZHAO Rui, LIU Wei, TU Liang, et al. Research on influence of Jin-Zhong HVDC modulation on stability of sending and receiving sides of power grid[J]. Guangxi Electric Power, 2016, 39(6): 1-6.
- [2] 魏亮,王渝红,李兴源,等. 高压直流输电送端孤岛运行附加频率控制器设计[J]. 电力自动化设备,2016,36(1):143-147.
WEI Liang, WANG Yuhong, LI Xingyuan, et al. Design of additional frequency controller for islanded sending-end operation of HVDC system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(1): 143-147.
- [3] 罗斐,王健. 天广直流孤岛运行测试与分析[J]. 电力系统及其自动化学报,2011,23(6):101-104.
LUO Fei, WANG Jian. Test and analysis of Tian-Guang HVDC in island operation[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2011, 23(6): 101-104.
- [4] 蔡海青,黄立滨,郭琦,等. 直流孤岛运行方式下交流保护装置频率适应性仿真研究[J]. 电力自动化设备,2016,36(3):169-174.
CAI Haiqing, HUANG Libin, GUO Qi, et al. Simulation of frequency adaptability for AC protective equipment in islanding mode of HVDC operation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(3): 169-174.
- [5] 杜斌,柳勇军,涂亮,等. 糯扎渡直流频率限制控制器研究[J]. 南方电网技术,2013,7(5):27-31.
DU Bin, LIU Yongjun, TU Liang, et al. Study on the frequency limit control of Nuozhadu DC transmission project[J]. Southern Power System Technology, 2013, 7(5): 27-31.
- [6] 胡铭,蔡汉生,田杰,等. 云广直流孤岛运行过电压控制措施研究[J]. 高电压技术,2008,34(9):1905-1908.
HU Ming, CAI Hansheng, TIAN Jie, et al. Study of overvoltage control schemes for Yun-Guang UHVDC transmission system in island operation[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(9): 1905-1908.
- [7] 中国南方电网. 金中直流孤岛运行暂时过电压抑制研究报告[R]. 广东:中国南方电网,2014.
- [8] 陈亦平,程哲,张昆,等. 高压直流输电系统孤岛运行调频策略[J]. 中国电机工程学报,2013,33(4):96-102.
CHEN Yiping, CHENG Zhe, ZHANG Kun, et al. Frequency regulation strategy for islanding operation of HVDC[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(4): 96-102.

作者简介:



谢惠藩(1980—),男,广东揭阳人,高级工程师,博士,主要研究方向为电力系统分析运行、高压直流输电系统保护控制和仿真(E-mail: xiehuifan@163.com)。

(下转第 222 页 continued on page 222)

- [17] 薛紫球. 大型发电机中性点接地装置的研制[J]. 人民长江, 1995, 26(3): 16-21, 61.
XUE Ziqiu. Development of neutral earthing devices for large generators[J]. Yangtze River, 1995, 26(3): 16-21, 61.
- [18] 毕大强, 王祥珩, 余高旺, 等. 高准确度外加 20 Hz 电源定子单相接地保护的研制[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 75-78.
BI Daqiang, WANG Xiangheng, YU Gaowang, et al. Development of a high accuracy stator ground fault protection by injecting 20 Hz voltage[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(16): 75-78.
- [19] 张琦雪, 陈佳胜, 陈俊, 等. 大型发电机注入式定子接地保护判据的改进[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(3): 66-69.
ZHANG Qixue, CHEN Jiangsheng, CHEN Jun, et al. Improvement on criterions of stator earth fault protection with voltage injection for large-sized generator[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(3): 66-69.

作者简介:



张琦雪

张琦雪(1974—), 男, 江苏沭阳人, 研究员级高级工程师, 博士, 从事电厂继电保护及自动化装置研发工作(E-mail: zhangqx@nrec.com);

曾祥君(1972—), 男, 湖南邵阳人, 教授, 博士, 主要从事电力系统微机保护与控制的教学和研发工作(E-mail: eexjzeng@qq.com);

com);

徐金(1979—), 男, 山东烟台人, 工程师, 从事电厂继电保护及自动化装置技术方面的研发工作;

陈佳胜(1975—), 男, 湖北大冶人, 研究员级高级工程师, 硕士, 从事电厂继电保护及自动化装置研发工作。

Analysis and discussion on combination-type grounding scheme for large-sized generator

ZHANG Qixue¹, ZENG Xiangjun², XU Jin¹, CHEN Jiasheng¹,

XU Tianle¹, DAI Jianmin¹, WANG Guang¹, CHEN Jun¹

(1. Nanjing NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China; 2. Hunan Province Key Laboratory of Smart Grids Operation and Control, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410014, China)

Abstract: In order to limit the grounding fault current and facilitate the application of stator grounding fault protection, a compromise combination-type grounding scheme is adopted for large-sized generators, which installs an inductor in parallel with the load resistor at the low voltage side of neutral grounding transformer. The equivalent circuit of combination-type grounding scheme is given. The design calculation of combination-type grounding scheme is carried out, and the design principle is that the resistance current should be equal to the compensated capacitive current and the grounding fault current should be limited within the interval of 10~25A. The combination-type grounding scheme is compared with the conventional high-resistance grounding scheme, and the comparative results show that the smaller the shunt inductor value of the combination-type grounding scheme is, the more effectively the grounding fault currents can be limited, but the detuning degree and damping rate will be decreased after the combination-type grounding is adopted, which leads to the increase of transfer over-voltage and displacement voltage. It is hoped that the above analysis and discussion would be helpful to the design and promotion of the combination-type grounding scheme.

Key words: large-sized generator; single-phase grounding fault; high-resistance grounding; resonant grounding; stator grounding fault protection

(上接第 216 页 continued from page 216)

Study and practice of islanding operation of Jinzhong HVDC sending end system

XIE Huifan, MEI Yong, ZHOU Jian, HUANG He, LI Peng, LIU Hongtao

(Power Dispatch and Control Center of China Southern Power Grid, Guangzhou 510623, China)

Abstract: In order to guarantee the stability of northwest region of Yunnan Power Grid and reduce the surplus water quantity of Liyuan and Ahai power plants, the islanding operation mode of Jinzhong HVDC sending end system is studied during the maintenance period of Huangtai double lines. The feasibility of islanding operation of Jinzhong HVDC is studied, the islanding operation stability of sending end system is verified, the principles and requirements of islanding operation are proposed, the debugging and actual operation of the DC islands are analyzed, and the suggestions for abnormal accident treatment of islanding operation are proposed. Practical operation shows that the island system is stable under various operating conditions with frequency and voltage both meeting the specification requirements, and the primary and secondary equipments both behave normally. The successful islanding operation of Jinzhong HVDC improves the stability of northwest region of Yunnan Power Grid and the transmission capacity of Jinzhong HVDC. The surplus water quantity of power plants at the sending end reduces by about 6.9×10^8 kW·h in 15 days of islanding operation, and the social and economic benefits are remarkable.

Key words: HVDC power transmission; islanding operation; frequency limit control; overvoltage control