

贵州主网及地区电网孤网运行安全稳定措施研究

周川梅, 孙斌

(贵州电力调度通信局, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 通过计算分析贵州主网及地区电网解列后产生高频和低频低压问题, 提出了地区电网孤网运行的安全稳定多级控制措施: 连锁切机、高频切机、低频低压减载、OPC与其他措施的协调配合等, 并给出了电网连锁切机、高频切机、低频低压减载等配置方案, 对确保贵州电网及地区电网解列后孤网安全控制和稳定运行起到关键性作用。

关键词: 孤网; 安全稳定; 措施

Study on security and stability measures of the isolated grid operation of the Guizhou power grid and area power grids

ZHOU Chuan-mei, SUN Bin

(Guizhou Power Dispatching and Communication Bureau, Guiyang 550002, China)

Abstract: Through calculating analysis of bringing high-frequency or low-frequency and low-voltage problem after separation of Guizhou power grid and area power grid, this paper presents multi-level security and stability control measures of solitary area power grid operation and the corresponding configuration scheme is given. It plays a key role to ensure security control and stable operation of the isolated grid after separation of Guizhou power grid and area power grid.

Key words: isolated grid; security and stability; measures

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)19-0029-04

0 引言

随着兴安直流的投运, 南方电网将形成“六交三直”的西电东送网络结构。贵州电网作为南方电网重要的送端电网, 通过三回 500 kV 交流和 2 回 ±500 千伏直流实现黔电送粤, 2007 汛期外送能力达到 5700 MW, 送电通道一旦出现交流解列和/或直流闭锁, 贵州电网剩余功率较大, 将会引起贵州主网高频问题。

近年来贵州电网网架结构发生了很大变化, 电源和负荷增长很快, 500 kV 网架已经形成较为坚强的“日”字形环网结构, 为有利于主网稳定运行, 目前已将 500 kV/220 kV 电磁环全部打开。但 500 kV 变压器跳闸后导致与其相联的 220 kV 电网孤网运行稳定问题突出, 主要表现在以下两个方面: 一是上网功率比例过大导致解列电网频率上升的问题; 二是地区电网受电功率过大导致解列电网频率、电压降低的问题。(贵州电网 500 kV 骨干网架见图 1)。

因此研究贵州主网与南方电网解列导致的频率稳定问题及贵州地区电网解列导致的频率、电压问题; 特别是贵州主网解列及贵州地区电网解列措施

之间的相互配合问题, 对提高输送能力和预防电网稳定破坏事故, 保证贵州电网的安全稳定运行, 具有非常重大的现实意义。

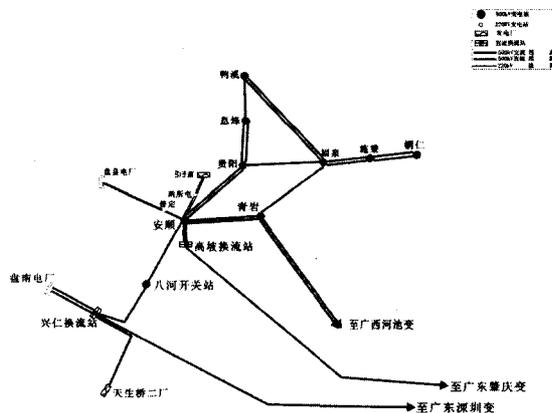


图 1 贵州电网 500kV 骨干网架 (含部分 220 kV 线路)

Fig.1 Guizhou 500 kV transmission system (with some 220 kV transmission lines)

1 贵州电网及地区电网孤网运行导致高频的安全稳定控制措施

1.1 配置原则

贵州主网及地区电网孤网运行安全性按照满足《电力系统安全稳定导则》三级稳定标准进行计算分析。贵州主网或贵州地区电网与主网解列孤网运行，作为解决孤网运行的高频切机措施，首先考虑采取连锁或远方切机措施，快速切除机组，达到系统有功功率平衡；在连锁切机部分动作或全部拒动情况下，考虑由系统措施转化为发电机高频切机措施，当频率达到定值时，经过一定延时切除发电机，最终到达有功功率平衡，系统频率恢复到可接受范围之内。此外，还必须考虑系统远方连锁切机、发电机高频切机与火电机组 103%超速限制保护功能的协调配合，避免导致 103%超速限制保护动作引起电网频率骤降的连锁事故。

针对贵州电网及地区电网孤网运行导致的高频问题，制定安全稳定控制措施的配置原则：

1) 第一级安全稳定控制措施：解列后的紧急连锁切机措施

A. 优先选择切除水电机组，当水电机组容量不足时切除部分火电机组，原则上每个电厂保留一台机组运行。

B. 连锁切机策略的选择主要受地区电网发电机组高频保护定值和汽轮机频率允许偏差的限制，即解列电网连锁切机措施正确动作，电网频率原则上不引起 103%超速限制保护与高频切机装置动作。

C. 连锁切机策略保证不会发生过切，不会导致地区电网低频问题的出现。

2) 第二级安全稳定控制措施：解列后的发电机高频切机

部分机组（尽量选择水电厂）设置高频就地切机功能，用于远方连锁切机失败时保障电网安全的后备措施；机组高频切机定值的选择能保证高频保护单独动作后电网不发生频率稳定问题且不会过切导致地区电网低频卸载动作切负荷。

3) 第三级安全稳定控制措施：火电机组汽轮机控制与电网安全运行的协调

火电机组在挂网运行方式下 OPC 的 103%超速功能闭锁或增加动作延时，保留 110%超速保护，尽量通过第一、二级措施保证电网频率稳定且 OPC 不动作。目前贵州电网调速系统配有超速保护控制的火电机组将 103%超速保护动作设定时延 3 s，本文的研究将确保第一、二级措施配置使频率稳定且 OPC 不动作。

第一级控制措施与第二级控制措施应相互独立且各自有效，第二级控制措施可以作为第一级控制措施的补充或后备。解决贵州电网和贵州地区电网孤网运行导致解列电网频率升高问题的安全稳定措

施必须协调配合一致。

1.2 计算实例

1.2.1 地区无安控措施安全稳定分析

以安顺地区电网为例，研究当安顺地区电网运行方式为上网功率 310.8 MW、发电出力 1644 MW、计算负荷 1294.5 MW 时地区电网解列后的频率特性。由仿真结果可知：500 kV 安顺变无故障跳闸退出运行后，与其相联的地区电网解列运行，主网保持稳定，解列后地区电网也可以保持稳定运行。解列后地区电网的频率变化过程如图 2 所示。频率最高值为 50.81 Hz，最终恢复至 50.54 Hz，超过发电机组长期运行频率上限 50.5 Hz，因此，需考虑采取连锁切机、高频切机等措施。在考虑一定安全裕度的情况下，300 MW 的上网功率可作为连锁切机、高频切机措施的动作门槛值。安顺地区现有高频切机方案如下：引子渡电厂高频切机装置配置 3 轮（第 1 轮：51.2 Hz、延时 0.2 s；第 2 轮：51.7 Hz、延时 0.2 s；第 3 轮：52.2 Hz、延时 0.02 s）。

计算分析结果表明，在上网功率超过约 412 MW 时，安顺地区电网最高频率只有 51.14 Hz，未达到现有高频切机方案首轮动作定值（51.2 Hz），高频切机不动作，但稳态恢复频率超过发电机组长期运行频率上限值（50.5 Hz）。因此，现有高频切机方案不能作为独立的频率恢复措施，需作适当的调整。使上网功率达到 300 MW 时高频切机措施动作，恢复系统频率至合理水平。

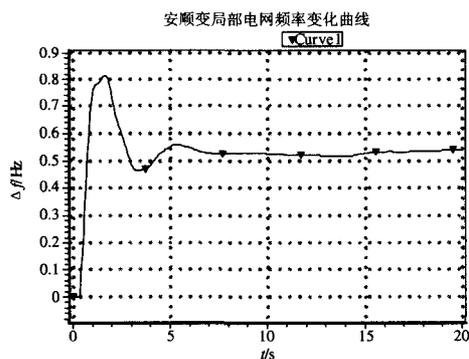


图 2 安顺变退出与其相联的 220 kV 地区解列电网频率
Fig.2 High frequency after local power grid isolation from the main system

1.2.2 地区电网孤网运行导致高频问题的安全稳定控制措施

以安顺地区电网为例，500 kV 安顺变主变无故障跳闸退出运行，导致与其相联的 220 kV 电网解列孤网运行，计算不同开机方式下控制上网功率占区

域孤网发电出力比例的变化,并考虑解列地区电网的最终频率不能超过发电机组长期运行频率上限 50.5 Hz,提出以下 220 kV 孤网连锁切机与高频保护协调控制措施。

1) 当安顺变上网功率达到 310 MW 时,不采取任何控制措施,地区电网频率将最终恢复到 50.54 Hz,可采取连锁切机措施,0.2 s 切除引子渡电厂 1 台 120 MW 水电机组。

2) 当安顺变上网功率达到 410 MW 时,采取连锁切机措施 0.2s 切除引子渡电厂 1 台 120 MW 水电机组,地区电网频率将最终恢复到 50.54 Hz,0.2 s 切除引子渡电厂 2 台 120 MW 水电机组,频率最终恢复至 50.36 Hz。

3) 当安顺变上网功率达到 510 MW 时,采取连锁切机措施,0.2 s 切除引子渡电厂 2 台 120 MW 水电机组,地区电网频率将最终恢复到 50.52 Hz,采取连锁切机措施 0.2 s 切除引子渡电厂 2 台 120 MW 水电机组和盘县电厂 1 台 200 MW 火电机组后,频率最终恢复至 50.21 Hz。

4) 引子渡电厂安排三轮高频切机,定值按 50.8 Hz、延时 0.2 s,50.9 Hz、延时 0.4 s,51.0 Hz、延时 0.2 s 配置,则可作为连锁切机的后备保护措施,当安顺变上网功率在 510 MW 以下时,可保证安顺变相联地区电网 OPC 不动作。

根据以上计算,得出以下结论:

第一级安全稳定控制措施方案:

上网功率达到 300 MW 及以上时,安顺地区电网解列后的紧急连锁切机措施为:0.2 s 切除引子渡电厂 1 台 120 MW 水电机组;

上网功率达到 400 MW 及以上时,安顺地区电网解列后的紧急连锁切机措施为:0.2 s 切除引子渡电厂 2 台 120 MW 水电机组;

上网功率达到 500 MW 及以上时,安顺地区电网解列后的紧急连锁切机措施为:0.2 s 切除引子渡电厂 2 台 120 MW 水电机组和盘县电厂 1 台 200 MW 火电机组。

第二级安全稳定控制措施方案:

高频切机方案:设置引子渡电厂三轮高频切机方案,第一轮:50.8 Hz、延时 0.2 s,第二轮:50.9 Hz、延时 0.4 s,第三轮:51.0 Hz、延时 0.2 s。

第三级安全稳定控制措施方案:

安顺地区电网与主网解列后,发电机组 OPC 在机组允许运行时间范围内加延时措施(103%OPC 保护在频率超过 51.5 Hz 的时间达到 3 s 时动作),连锁切机措施或高频切机正常动作情况下可以保证发电机组 OPC 不动作。

1.2.3 贵州主网与南方电网解列运行导致高频的安全稳定控制措施

贵州电网安顺-贵阳一回线发生单相开关拒动故障,0.3 s 失灵保护切除故障,系统失去稳定,失灵保护动作 2 周波后,分别研究贵州电网与南方电网交流通道解列、直流闭锁等几种情况的贵州电网高频问题,校核地区电网高频切机装置对主网解列后高频的抑制作用,给出贵州电网解列后的连锁切机措施,得出以下结论:

1) 贵州电网发生故障后系统失去稳定,解列装置解开贵州电网与南方电网交流通道后,贵州电网可保持稳定运行,解列后电网频率最高达到 50.93 Hz,最终恢复到 50.24 Hz,不需要采取任何措施即可保持稳定运行。但根据地区电网稳定计算调整后引子渡电厂高频切机保护定值为 50.8 Hz,此时电网频率高于此定值,可能会切除引子渡 1 台 120 MW 水电机组。

2) 贵州电网与南方电网交流通道解列同时高肇直流双极闭锁,贵州电网频率最高达到 51.82 Hz,高于 51.5 Hz 的时间长达 1.826 s;采用高频切机切除部分机组,地区电网频率最高达到 51.588 Hz,超过 51.5 Hz 的时间为 0.315 s,不会引起 OPC 动作;采取连锁切机措施切除 1405 MW 机组后,降低到 51.42 Hz,最终恢复到 50.5 Hz 左右,连锁切机后贵州电网高频切机装置切除安顺电厂 1 台 300 MW 机组。

3) 贵州电网与南方电网交流通道解列同时发生高肇直流双极、兴安直流单极闭锁,贵州电网最高频率达到 52.46 Hz,高于 51.5 Hz 的时间长达 3.646 s,超过 OPC 定值,将引起贵州电网 OPC 动作;高频切机装置切除部分机组,切机总量为 1871 MW,地区电网频率最高可达到 52.038 Hz,超过 51 Hz 的时间为 0.315 s,可能会引起盘南电厂 2# 机组 OPC 动作,但不会导致其余机组 OPC 动作;采取连锁切机措施切除总量为 3905 MW 机组后,系统频率由不采取措施情况下的 52.46 Hz 降低到 51.43 Hz,并最终恢复到 50.48 Hz 左右。

4) 贵州电网高肇直流检修方式下,交流通道解列,贵州电网频率最高达到 50.64 Hz;交流通道解列同时兴安直流单极闭锁,贵州电网频率最高达到 51.31 Hz,高频切机装置切除部分机组,切机总量为 540 MW,地区电网频率最高可达到 51.243 Hz;采取连锁切机措施切除 940 MW 机组后,电网频率由切机前的 51.31 Hz,降低到 50.98 Hz。

5) 交流通道解列同时直流闭锁情况下,贵州电网仅依靠现有机组的高频切机装置不能使系统频率

恢复到 50.5 Hz 以内, 可考虑增加部分机组高频切机装置后, 仅依靠高频切机装置可保证贵州电网频率恢复到 50.5 Hz 以内。

2 贵州地区电网孤网运行导致低频低压的安全稳定控制措施

2.1 配置原则

自动低频、低压减载装置是电网运行的重要安全自动装置, 是保证电网安全稳定运行的最后一道防线。贵州电网低频减载由南方电网公司统一整定, 共设置七个轮次和一个特殊轮次, 第一轮 49 Hz, 频率级差 0.2 Hz, 时延 0.2 s; 特殊轮 49 Hz, 时延 15 s。全网低频减负荷一至七轮投切比总计为 44%, 特殊轮投切负荷在本地区低频减负荷第六、七轮中选取, 投切比为 4%。但目前我国尚未对低电压减负荷措施制定统一的技术规定, 也没有提出采用低电压减负荷的技术原则和技术方案。各地区电网低压减载措施的配置依据和原则千差万别, 需通过大量研究工作, 提出科学合理的低压减载措施的配置方法。考虑低频减载与低压减载措施必须相协调来制定贵州地区电网低频减载与低压减载措施配置:

1) 低频减载切除负荷量充足, 满足不同故障下系统稳定性和恢复频率要求, 同时应避免过量切除负荷。

2) 低压减载切除负荷量充足, 满足不同故障下系统稳定性和恢复电压要求, 同时应避免过量切除负荷。

在低频减载配置确定的情况下, 研究的目的是合理配置低压减载措施, 使得满足不同故障下系统稳定性和频率、电压恢复要求, 同时应避免过量切除负荷。

如果变电站下网功率较大, 依靠低频减载装置切除负荷, 解列后的地区电网仍不能稳定, 考虑采取连切负荷措施满足电网安全稳定运行。

贵州地区电网目前配置低压减载装置第一轮启动电压基本在 0.85 pu 左右, 首轮动作时延均为 0.2 s。但在系统发生单相开关拒动故障时, 由于时延较短可能致使低压减载装置切除部分负荷, 导致误切负荷。为保证贵州电网低压减载装置在系统稳定且电压恢复较好时不误切负荷, 考虑调整现有低压减载方案时延。根据贵州电网单一元件故障和多重严重故障进行暂态稳定性分析的结果, 贵州电网低压减载方案调整为: 将各站时延由 0.2 s 调整为 0.5 s, 并保证装置不会发生误动作。

2.2 计算实例

2.2.1 地区电网孤网运行导致低频、低压问题的安全稳定控制措施

以铜仁地区电网为例, 贵州铜仁地区电网 220 kV 电源现仅有大龙电厂 2 台 300 MW 机组, 通过 500 kV 铜仁变主变的下网功率较大, 如果主变无故障跳闸退出运行, 改变地区电网负荷大小引起的 500 kV 铜仁变下注潮流的不同, 计算得出以下结果:

当 500 kV 铜仁变下注功率为 925 MW, 解列后地区电网低频减载装置动作切除 617 MW、低压切除 36 MW 负荷后, 地区电网仍不能保持稳定运行。如果考虑连切负荷措施, 解列后 0.3 s 切除 45% 负荷约 669 MW, 低频减载切除 31.53 MW 负荷后, 电网频率可保持稳定运行, 频率可恢复到 49 Hz 以上。

当 500 kV 铜仁变下注功率为 731 MW, 解列后地区电网低频减载装置动作切除 543 MW、低压切除 238 MW 负荷后, 电网仍不能保持稳定运行。如果考虑连切负荷措施, 0.3 s 切除 12% 负荷约 157 MW, 低频减载切除 310 MW、低压减载切除 61 MW 负荷后, 电网频率可保持稳定运行, 频率可恢复到 49 Hz 以上。

从上述计算可知: 当通过 500 kV 电网下注潮流较大时, 如发生主变跳闸, 地区电网仅依靠低频、低压减载装置很难保证电网的稳定运行, 因此, 需要考虑在主变跳闸后采取连切负荷的措施。

3 结语

本文通过计算分析贵州电网及地区电网解列后产生高频和低频低压问题, 提出了地区电网孤网运行的安全稳定的多级控制措施, 并给出了各级安全措施的配置方案, 对贵州电网的安全稳定运行, 充分发挥电网输送能力提供了有力保证。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 电力系统安全稳定导则[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 电力系统安全稳定控制技术导则[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [3] 马世英, 孙华东, 孙斌, 等. “十一五”贵州电网安全稳定性能分析及网架评估研究[Z]. 技术报告, 2007.
- [4] 贵州电网二 00 七年运行方式[Z]. 贵州电力调度通信局, 2006.
- [5] 吴丽华, 马世英. 贵州电网严重故障后系统恢复策略研究[Z]. 北京: 中国电力科学研究院, 2005.
- [6] 刘肇旭, 赵强, 卜广全. 全国电网互联系统频率特性及低频减载方案研究[M]. 北京: 中国电力科学研究院, 2007.

(下转第 57 页 continued on page 57)

- Electric Power Press, 1991.
- [2] 袁季修. 电力系统安全稳定控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
YUAN Ji-xiu. Power System Security and Stability Control[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2003.
- [3] Taylor C W. Power System Voltage Stability[M]. New York: McGraw-Hill Inc., 1994.
- [4] Tam Kwa-Sur. A Comparison of Alternatives to Enhance the Utilization of Transmission Lines[J]. Electric Power Systems Research, 1997, 41(2): 133-140.
- [5] Ou Yan, Singh Chanan. Improvement of Total Transfer Capability Using TCSC and SVC[A]. In: Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE[C]. 2001. 944-948.
- [6] Tso S K, Liang J, Zeng Q Y, et al. Coordination of TCSC and SVC for Stability Improvement of Power Systems[A]. In: Fourth International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management[C]. 1997. 371-376.
- [7] Lei X, Li X, Povh D. A Nonlinear Control for Coordinating TCSC and Generator Excitation to Enhance the Transient Stability of Long Transmission Systems[J]. Electric Power Systems Research, 2001, 59(2): 103-109.
- [8] Haque M H, Best location of SVC to Improve First Swing Stability Limit of a Power System[J]. Electric Power Systems Research, 2007, 77(10): 1402-1409.
- [9] 汤涌, 卜广全. 中国电科院 PSASP 电力系统分析软件包用户手册[Z]. 北京: 中国电力科学研究院, 2000.
TANG Yong, BU Guang-quan. PSASP Power System Analysis Package User's Manual[Z]. Beijing: China Electric Power Research Institute, 2000.

收稿日期: 2007-12-11; 修回日期: 2008-01-22

作者简介:

王渝红(1971-), 女, 博士生, 高级工程师, 研究领域为电力系统分析、电力系统规划、高压直流输电; E-mail: hansia@vip.sina.com

赵丽平(1973-), 女, 博士, 副教授, 研究领域为电力系统分析、电能质量及故障诊断;

李群湛(1957-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究领域为电力系统分析, 牵引供电综合补偿技术及理论, 电能质量与控制。

(上接第 28 页 continued from page 28)

- [3] 贺威俊, 简克良. 电气化铁道供变电工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1982.
HE Wei-jun, JIAN Ke-liang. Power Supply and Power Convers of Electric Railway[M]. Beijing: China Railway Press, 1982.
- [4] 黄永宁, 李建华, 赵娟. 基于 MATLAB/SIMULINK 的 SS3B 型电力机车仿真模型[J]. 机车电传动, 2002, (6): 25-26.
HUANG Yong-ning, LI Jian-hua, ZHAO Juan. Simulation Model of SS3B Electric Locomotive Based on Matlab/Simulink[J]. Electric Drive for Locomotives, 2002, (6): 25-26.
- [5] 焦在滨, 高仕斌. 行波法在电气化铁道牵引网故障测距中应用的可行性研究[J]. 继电器, 2003, 31(7): 33-36.
- JIAO Zai-bin, GAO Shi-bin. Study on the Feasibility of Using Traveling Wave in the Fault Location in the Overhead Contact Network of Electrified Railway Traction[J]. Relay, 2003, 31(7): 33-36.
- [6] 冉旭, 廖培金, 陈平, 等. 行波故障测距法在电气化铁道牵引网中的应用研究[J]. 电网技术, 2001, 25(2): 35-38.
RAN Xu, LIAO Pei-jin, CHEN Ping, et al. Study on Traveling Wave Fault Location Applied to Traction Line of Electric Railway[J]. Power System Technology, 2001, 25(2): 35-38.

收稿日期: 2008-01-01; 修回日期: 2008-05-27

作者简介:

陈健鑫(1978-), 男, 本科, 讲师, 主要研究方向为铁道供电技术。E-mail: jxch333@126.com

(上接第 32 页 continued from page 32)

- [7] 徐衍会, 贺仁睦, 孔祥云, 等. 调速系统超速保护控制对电力系统稳定的影响[J]. 现代电力, 2006, 23(16).
XU Yan-hui, HE Ren-mu, KONG Xiang-yun, et al. The Effect of Overspeed Protection Control on Power System Stability[J]. Modern Electric Power, 2006, 23(16).
- 作者简介:
- 周川梅(1978-), 女, 硕士, 工程师, 从事电网计算分析和无功电压管理工作; E-mail: zhoucm519@163.com
- 孙斌(1965-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电网运行与控制工作。

收稿日期: 2007-12-25; 修回日期: 2008-01-14