

韶关电网一次停电事故分析及其技术改造优化方案研究

柳玉波¹, 甄卫国², 余涛²

(1. 广东电网公司韶关供电局, 广东 韶关 512026; 2. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640)

摘要: 变电站备自投装置的优化配置对于一个地区电网的供电可靠性的提高作用显著。以韶关电网墨江片一起停电事故为例, 应用 BPA 暂态稳定分析程序, 分析了事故前后电网的运行特点及失电原因, 研究了提高变电站供电可靠性的优化方案, 针对该站的特殊情况设计备自投装置的动作逻辑和控制策略。动态仿真分析结果显示, 所提方案使电网在同样事故条件, 在不同运行方式下均能有效快速恢复片区供电, 电压及频率恢复稳定至正常运行范围内, 提高了电网的供电可靠性, 方案可行。

关键词: 备自投; 暂态稳定性; 动态稳定性; BPA 仿真; 供电可靠性

An analysis of blackout of Shaoguan power grid and research on technical reconstruction optimization scheme

LIU Yu-bo¹, ZHEN Wei-guo², YU Tao²

(1. Shaoguan Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Corporation, Shaoguan 512026, China;
2. School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The optimal configuration of busbar automatic transfer switch (BATS) plays an important role in improving the reliability of power supply in a regional power grid. Taking the outage of Mojiang in Shaoguan power grid as an example, the operating characteristics of the power grid before and after the outage and the cause of the accident are analyzed by using BPA transient stability analysis program. The optimization scheme for improving the reliability of power supply in power grid is analyzed. Action logic and control strategy for BATS of the Mojiang station are designed. The dynamic simulation results show that the proposed scheme is feasible, which can make the power grid recover rapidly under the same fault in different operation modes, and make voltage and frequency recover to the acceptable operating range. The proposed scheme can effectively improve the reliability of power supply.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50807016) and Natural Science Foundation of Guangdong Province (No. 9151064101000049).

Key words: busbar automatic transfer switch (BATS); transient stability; dynamic stability; BPA simulation; power supply reliability

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2011)02-0137-05

0 引言

韶关电力系统位于广东的北端, 是广东电网一个重要的电源支撑点, 也是湖南鲤鱼江电厂等电源点进入广东电网珠三角地区的南送重要通道, 截至 2007 年底通过南送断面发电装机容量达 4 953 MW, 其中水电 1 600 MW, 火电 1 365 MW。但另一方面, 韶关地区冰灾、雷击、暴雨、泥石流等自然灾害频发, 且由于区域发展不平衡, 部分山区电网结构薄弱, 难以满足 N-1 要求, 供电可靠性低, 这些自然

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50807016); 广东省自然科学基金项目 (9151064101000049); 中央高校基本科研业务费专项资金资助; 广东电网公司科技项目资助

灾害和电网突发事件会对韶关电网安全稳定运行产生十分不利的影响^[1]。

2009 年 9 月韶关电网马坝—墨江 220 kV 线路故障跳闸后导致墨江片停电, 为提高该片区的供电局可靠性, 有必要对该地区电网的技术改造方案进行优化比较研究。本文提出了一种技术经济性很好的墨江 220 kV 变电站备自投建设方案。本文通过搭建 PSD-BPA 模型, 复现停电前的电网潮流, 并分析了该片区停电原因。在此基础上, 提出了备用电源自动投切装置 (备自投) 建设方案, 最后通过仿真分析验证了所提方案的可行性。

1 停电原因分析

墨江片区是韶关电网的一个以山区农电为主的

供电区域，区内富含小水电，装机最大的为 4 MW×3 江口水电厂。在大多数情况下，墨江片是一个典型的电力富裕区域，不仅完全可以支撑本片区用电，而且可以外送部分电力。图 1 显示了墨江片事故前的典型接线图，墨江片仅通过马坝—墨江 220 kV 线与韶关地区 220 kV 主网联系，当该 220 kV 线路发生故障跳闸于永久性故障时，墨江片将形成孤岛电网。由于水电的支撑作用，地区电网具备一定的孤岛运行能力^[2]。利用中国电科院 PSD（中国版 BPA）软件，搭建整个南方电网及韶关电网详细 BPA 模型，在此基础上分析停电当日的潮流状态，由图 1 可见，在夏大丰水情况下，而且外送电力 53 MW。

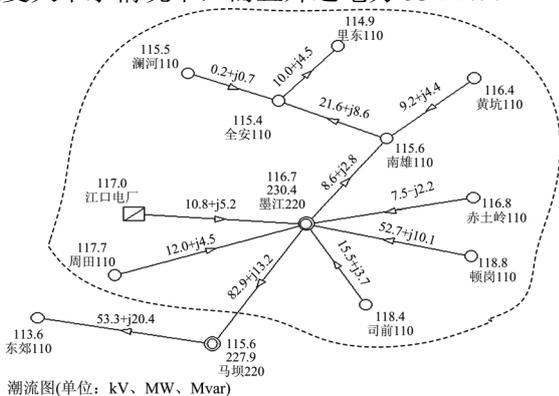


图 1 墨江片电网结构及夏丰大潮流示意图

Fig.1 Diagram of power flow of Mojiang power grid in summer

墨江片区内，仅有江口水电厂的三台水电机容量较大，其对墨江片的电压及频率稳定作用明显。图 2 及图 3 分别是墨江片 110 kV 母线电压曲线及频率偏差曲线，图中电压为标么值。形成孤岛电网后，由于有江口水电厂等地方电源的电压支撑作用，墨江片各站母线电压能够保持稳定；但由于外送电力水平较大，江口水电厂的功角失稳，导致墨江片频率失稳。

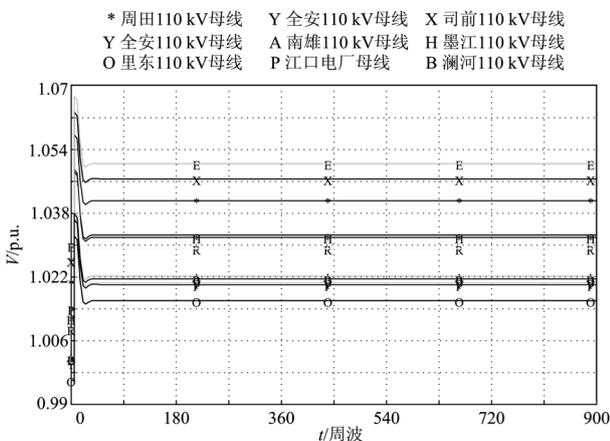


图 2 墨江片内 110 kV 变电站母线电压曲线

Fig.2 Voltage curves of 110 kV buses in Mojiang

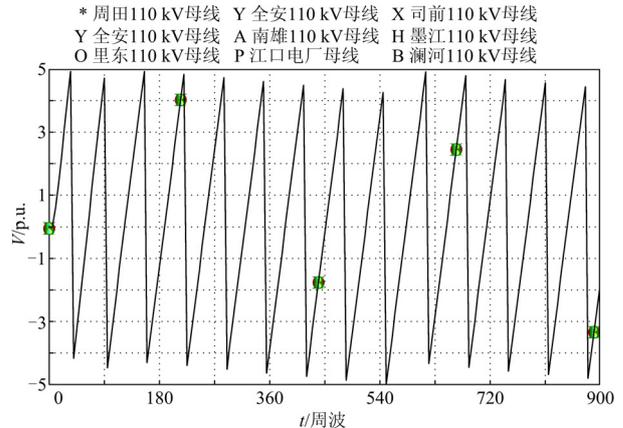


图 3 墨江片内 110 kV 变电站母线频率偏差曲线

Fig.3 Frequency deviation curves of 110 kV buses in Mojiang

表 1 为在故障发生且江口电厂机组保护动作后，电网的动态稳定情况。

表1 马坝—墨江线故障跳闸保护装置动作电网动态稳定表

Tab.1 Dynamic stability of power grid in the fault of Maba-Mojiang line

故障	保护动作	稳定情况
马坝—墨江线故障跳闸	故障后 125 周波 切江口电厂#1 号机	墨江片频率失稳
马坝—墨江线故障跳闸	故障后 125 周波 切江口电厂#1、#2 号机	墨江片频率失稳
马坝—墨江线故障跳闸	故障后 125 周波 切江口电厂#1、#2、#3 号机	墨江片失压

综合上述几种电网动态稳定分析结果，对于停电事故发生前的墨江片在形成孤岛后必须要有主网的支撑才有可能保持电网稳定，马坝—墨江 220 kV 线永久性故障将导致整个墨江片区失去动态稳定性而全片区停电。

2 提高墨江片供电可靠性措施的优化研究

对于提高墨江电网供电可靠性的可选措施主要是两方面。

(1) 进行电网一次接线的建设和改造

进行电网一次接线建设和改造是一种最直接、一劳永逸的方案，可选用的方案有以下三个：

A. 将马坝—墨江 220 kV 单回改建为双回运行。

B. 在墨江—柏山两个 220 kV 变电站之间再投资建设一条 220 kV 线路。

C. 在墨江—董塘两个 220 kV 变电站之间再投资建设一条 220 kV 线路。

线路改造措施尽管是一个很直接的方式，但对

于墨江片这种以农电为主、未来电力增长有限的山区而言, 投资 220 kV 线路经济性显然非常差。

(2) 进行电网二次系统的改造

变电站备自投是一种提高地区电网供电可靠性的有效措施^[3-4], 相对线路改造而言, 备自投这一类二次设备的投资几乎可以忽略不计, 对于墨江这一类山区电网供电可靠性提高显然是一种性价比十分优良的选择。

3 墨江片备自投改造方案的研究

3.1 备自投改造方法

根据韶关地区电网分区分片解环运行特点, 本文提出墨江站的备自投方案: 原属于墨江片区的周田站改为接入马坝片区供电, 原马坝片区与墨江片区的开环点由“周田—东郊线靠近周田站一侧开关”改为“周田—墨江线靠近墨江站一侧开关”, 并在墨江站增加 110 kV 备自投装置, 主则线路“墨江—马坝线路”, “周田”为备用则, 如图 4 所示。

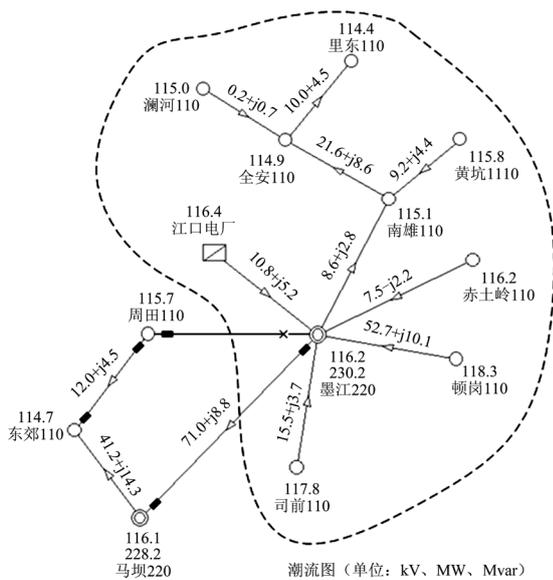


图 4 线路改造后墨江片潮流及备自投线路图

Fig. 4 Diagram of power flow and BATS of Mojiang power grid

因为墨江一周田线、周田—东郊线均是已有的线路, 并且该备自投是站内本地备自投, 无需远方信号, 所以电网不需要重新架线, 仅需在墨江站 110 kV 侧加装墨江一周田的备自投装置。由图 4 可见, 墨江一周田线周田侧开关常闭, 在马坝—墨江线故障跳闸后墨江站在判断母线及线路电气量满足动作条件后闭合墨江侧开关, 使墨江侧负荷经周田、东郊转移到马坝。改造后母线电压及线路功率仍在

允许范围内。

3.2 备自投动作逻辑和控制策略设计

由图 2 及表 1 可知, 在考虑墨江站备自投动作判据时, 马坝—墨江线因故障跳闸后, 如墨江—江口电厂线若不立刻跳开, 则墨江站 110 kV 母线无法检测出失压, 按传统失压保护原理的备自投将长时间无法启动。因此, 建议在墨江站墨江—江口电厂 110 kV 线墨江侧加装对应于马坝—墨江线墨江侧开关跳闸的连动跳闸装置。连动跳闸装置的保护动作原理如下。

1) 当检测到马坝—墨江线墨江侧开关跳闸后, 经过一定的时延 (考虑第一次跳闸后的自动重合闸及后加速保护时间) 连动跳开墨江—江口电厂 110 kV 线墨江侧开关。

2) 另外, 考虑到马坝—墨江线故障墨江侧开关拒动, 使得连动跳闸装置无法正常启动, 因此, 在联动装置的启动条件中加入一个判据, 即当马坝—墨江线无流时启动保护, 跳开马坝—墨江线墨江侧开关及墨江—江口电厂 110 kV 线墨江侧开关。

联动跳闸装置的动作策略如表 2 所示。

表 2 连动跳闸装置动作策略

Tab.2 Action strategy of trip unit

装置名称	判据	动作
墨江—江口电厂 110 kV 线墨江侧连动开关	马坝—墨江线墨江侧开关状态为开断或马坝—墨江线无电流, 时间超过整定的动作时间 t_{act}	跳开马坝—墨江线墨江侧开关及墨江—江口电厂 110 kV 线墨江侧开关

t_{act} 计算公式如下:

$$t_{act} = t_{zch} + t_{hb} \quad (1)$$

其中 t_{zch} 是自动重合闸保护及断路器动作时间; t_{hb} 是后加速保护及断路器动作时间; t_{act} 是联动江口电厂出口开关的动作时间。

墨江站备自投动作控制策略如表 3 所示。

表 3 墨江及翁江站备自投动作策略

Tab.3 BATS action strategy of Mojiang station

备自投装置	判据	动作	备注
墨江—周田 110 kV 线墨江侧	墨江站母线失压, 时间超过整定的动作时间 t_{set}	闭合墨江—周田备用电源线墨江侧开关	墨江—周田备用电源线周田侧开关常闭

备用电源自动投入的时间整定值要与继电保护开关三相跳闸重合闸、线路后备保护和上下级备用电源自动投入装置动作的时间配合, 避免在三相重合或后备保护动作过程中自动投入备用电源。备用

电源投入时间按此原则整定后一般约在 2.5 s 左右，这一时间太长，不利于供电负荷的恢复^[5-6]。另外，墨江站还应考虑加入连动跳闸装置保护动作及跳闸时间， t_{set} 的计算公式如式 (2) 示。

$$t_{set} = t_{zch} + t_{hb} + t_{ld} \quad (2)$$

其中 t_{ld} 是连动作跳闸装置的保护及断路器动作时间。

4 仿真分析

按上述备自投建设方案实施后，当马坝—墨江线断开，125 周波后切墨江—江口电厂线，150 周波后墨江一周田线备自投装置动作，墨江片母线电压及频率偏差曲线如图 5 及图 6 所示。

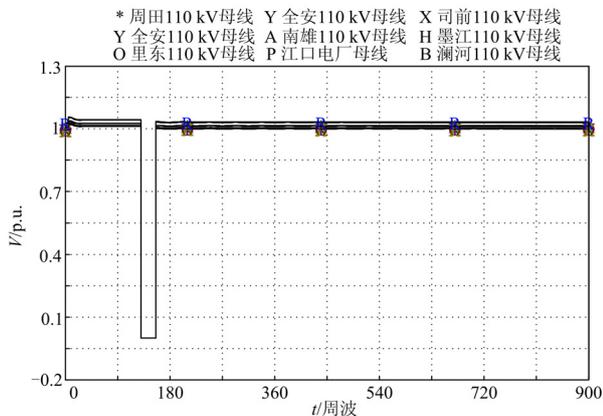


图 5 墨江片 110 kV 母线电压曲线

Fig.5 Voltage curves of 110 kV buses in Mojiang

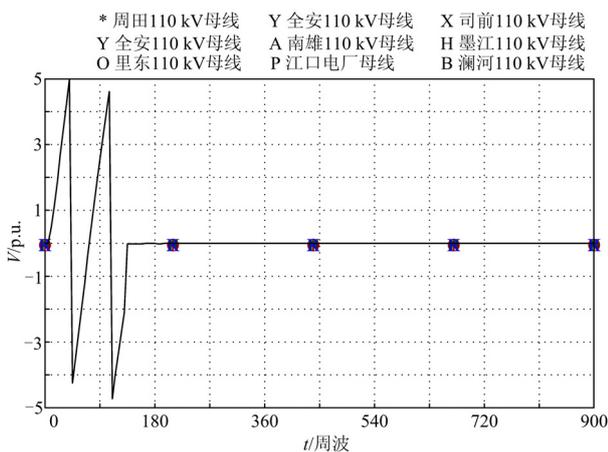


图 6 墨江片 110 kV 母线频率偏差曲线

Fig.6 Frequency deviation curves of 110 kV buses in Mojiang

韶关各主要 220 kV 母线电压及频率偏差曲线如图 7 及图 8 所示。

由图中可见，墨江片及韶关主网在发生故障备自投动作后，电网频率及电压均恢复稳定，偏差在允许范围内，满足电网动态稳定运行要求。

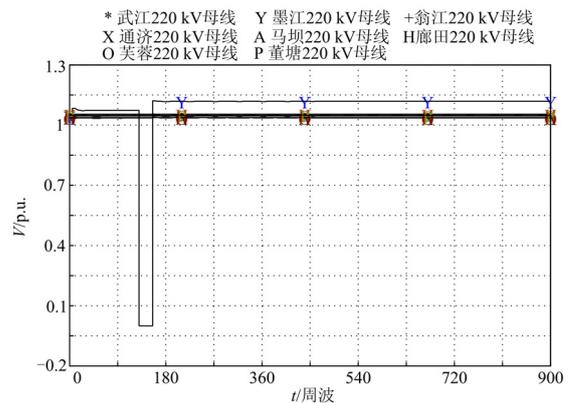


图 7 韶关各主要 220 kV 母线电压曲线

Fig.7 Voltage curves of 220 kV buses in Shaoguan

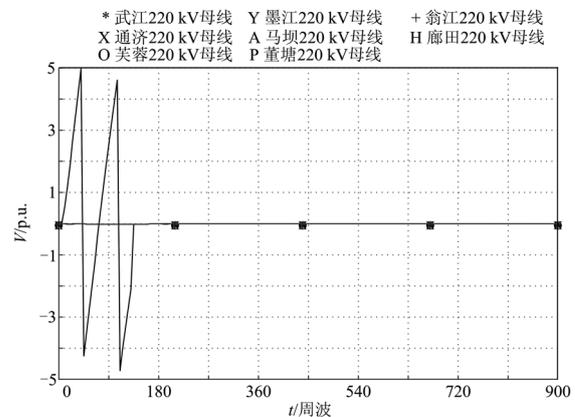


图 8 韶关各主要 220 kV 母线频率偏差曲线

Fig.8 Frequency deviation curves of 220 kV buses in Shaoguan

为检验所提方案是否满足电网运行方式变化的适应性要求，利用 PSD 平台提供的小干扰稳定分析程序，分别针对韶关电网七大运行方式下的动态稳定情况进行分析，结果汇总如表 4。

表 4 不同运行方式下备自投动作电网动态稳定情况
Tab.4 Dynamic stability of power grid in the operation of BATS

运行方式	故障及备自投方式	动态稳定情况
夏丰大	马坝-墨江线故障跳闸， 墨江站相应备自投动作	稳定
夏大	马坝-墨江线故障跳闸， 墨江站相应备自投动作	稳定
夏丰小	马坝-墨江线故障跳闸， 墨江站相应备自投动作	稳定
夏小	马坝-墨江线故障跳闸， 墨江站相应备自投动作	稳定
夏枯	马坝-墨江线故障跳闸， 墨江站相应备自投动作	稳定
冬大	马坝-墨江线故障跳闸， 墨江站相应备自投动作	稳定
冬小	马坝-墨江线故障跳闸， 墨江站相应备自投动作	稳定

5 结论

结合 BPA 暂态稳定分析技术, 本文分析了韶关电网墨江片事故后的运行特点及原因, 提出了可行的备自投建设方案。仿真结果表明, 电网在事故发生后, 能够有效快速地恢复正常供电。本案例分析对地区电网备自投建设改造工程具有一定的参考意义。

参考文献

- [1] 刘育权, 吴国沛, 熊文, 等. 对提高地区电网调度系统抗灾能力的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(18): 203-206.
LIU Yu-quan, WU Guo-pei, XIONG Wen, et al. Research on improving the regional power network dispatching system ability to resist disaster[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(18): 203-206.
- [2] 鲁鸿毅, 应鑫龙, 何奔腾. 微型电网联网和孤岛运行控制方式初探[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(11): 28-31.
LU Hong-yi, YING Xin-long, HE Ben-teng. Control strategy for micro-grid in net-connected and islanded operation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(11): 28-31.
- [3] 李曼岭, 黄芳. 备用电源自动投入装置在电网中的多元化应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(18): 147-150.
LI Man-ling, HUANG Fang. Diversified applications of

- reserved auto-switch-on device in power grid[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(18): 147-150.
- [4] 周玉锁, 崔和瑞, 林榕, 等. 新型备用电源自投系统研制[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(4): 106-109.
ZHOU Yu-suo, CUI He-rui, LIN Rong, et al. Novel automatic power supply switchover system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(4): 106-109.
- [5] 纪静. 备用电源自动投入时电网动态过程分析与控制策略研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
JI Jing. Study on power network dynamic process and control strategy when the reserve power source automatic connecting[D]. Chongqing: Chongqing University, 2007.
- [6] 邱建, 蔡泽祥, 李爱民, 等. 基于N-1准则的备自投退控制策略[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 66-71.
QIU Jian, CAI Ze-xiang, LI Ai-min, et al. Analysis on control strategy of busbar automatic transfer switch based on N-1 criterion[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 66-71.

收稿日期: 2010-01-25; 修回日期: 2010-04-13

作者简介:

柳玉波(1974-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电力系统生产运行及可靠性方向的研究;

甄卫国(1985-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向电力系统运行与稳定分析; E-mail: zwg1116@126.com

余涛(1974-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为复杂电力系统的非线性控制理论和仿真研究。

(上接第 136 页 continued from page 136)

- [10] 夏翔, 周昱甬, 邱伟成. 地区弱电磁环网合环潮流探讨[J]. 继电器, 2004, 32(23): 28-31.
XIA Xiang, ZHOU Yu-yong, QIU Wei-cheng. Power flow analysis of closing interconnection switches for weakly meshed networks in regional grid[J]. Relay, 2004, 32(23): 28-31.
- [11] 白宏坤, 李干生. 关于电磁环网弱开环方式的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 36(2): 60-64.
BAI Hong-kun, LI Gan-sheng. Discussion on weak open-loop mode of electromagnetic loop[J]. Power System Protection and Control, 2010, 36(2): 60-64.

- [12] 马世英, 唐晓骏, 等. 河南电网对特高压电网适应性研究[R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2010.

收稿日期: 2010-02-03; 修回日期: 2010-05-27

作者简介:

刘楠(1985-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事电力系统规划与运行控制技术研究工作; E-mail: liunan@epri.sgcc.com.cn

唐晓骏(1979-), 男, 工程师, 硕士, 长期从事电力系统稳定分析工作;

张文朝(1979-), 男, 工程师, 硕士, 长期从事电力系统稳定分析工作。