

# 电磁解环研究策略及广西电网开环方案研究

王方<sup>1</sup>, 何朝阳<sup>1</sup>, 顾南峰<sup>1</sup>, 韦昌全<sup>1</sup>, 吴小辰<sup>2</sup>

(1. 广西电网公司, 广西 南宁 530023; 2 南方电网技术研究中心, 广东 广州 510623)

## Strategy for Opening Electromagnetic Loop Networks and Study on the Schemes for Electromagnetic Open Rings in Guangxi Power Grid

WANG Fang<sup>1</sup>, HE Chao-yang<sup>1</sup>, GU Nan-feng<sup>1</sup>, WEI Chang-quan<sup>1</sup>, WU Xiao-chen<sup>2</sup>

(1. Guangxi Power Grid Co., Nanning, Guangxi 530023, China;

2. CSG Technology Research Center, Guangzhou, Guangdong 510623, China)

**Abstract:** A general decision strategy for opening electromagnetic loop networks is proposed with consideration of power system security, short circuit capacity, economy and management requirements as well as planning constraints. Based on analysis of the inter-action between the Guangxi 500 kV/220 kV power grid and the China southern main grid, the proposed scheme is applied to the studies of the electromagnetic open rings in Guangxi Power Grid. Several typical examples are discussed to describe decision making to the target and scheme of opening electromagnetic loop networks.

**Key words:** electromagnetic loop network; electromagnetic open ring; security and stability

**摘要:** 基于安全稳定、短路电流水平、经济性、运行管理和电网规划的考虑, 提出了电磁环网开环研究的决策方法和实施步骤, 针对“十一五”广西 500 kV/220 kV 电网与南方主网架的相互影响, 应用所提出的方法, 通过典型算例, 介绍了广西电网电磁解环目标和具体方案的研究过程。

**关键词:** 电磁环网; 电磁解环; 安全稳定

高低压电磁环网是指两组不同电压等级运行的线路, 通过两端变压器磁回路的联系并联运行<sup>[1]</sup>。电磁环网对电网输电能力和系统安全稳定的影响是明显的, 调查显示, 高低压电磁环网的存在在美加“8·14”事故中起推波助澜的作用<sup>[2]</sup>。

在我国电力系统中, 虽然对于最终解开环网运行已基本取得共识<sup>[1,3]</sup>, 但电网具有多样性, 对于在什么条件下才应该实行电磁解环, 解环应实施到什么程度等问题, 至今尚未取得明确的结论和共识, 而且也缺少对问题的一般规律进行理论分析<sup>[4-11]</sup>。

本文总结归纳电磁环网开环研究的一般步骤; 最后以“十一五”期间广西 500 kV/220 kV 电磁环网为研究对象, 具体研究其解环问题。

### 1 高低压电磁环网运行的利弊分析

实现分层分区供电是大电网发展的目标和方向。电网具有多样性, 对不同的电网导致电磁解环启动的条件往往是不同的<sup>[5-8]</sup>。一般而言, 只有当利大于弊时可以考虑将环网开环运行。

在网架条件成熟时, 打开电磁环网, 实现电网的分层分区管理, 其优点体现在:

有利于大电网的分级调度和分层管理, 降低调度和事故处理难度;

——有利于降低多重严重故障引发大电网事故和大面积停电的可能性, 解开电磁环网运行将更加

安全<sup>[11]</sup>;

——有利于简化继电保护的整定和安全自动装置的功能,提高其正确动作率;

——有利于降低电网的短路容量,限制短路电流<sup>[9]</sup>;

——为调整电网潮流分布,降低运行损耗提供了有效手段,解环运行将更加经济<sup>[11]</sup>。

但时机不成熟时实施高低压电磁解环也会带来大量问题。以500 kV/220 kV电网为例,在条件不成熟时打开电磁环网的危害体现在:

——若500 kV主变配置容量不足,则低压环网的打开削弱了500 kV主变检修或停运时,来自其他主变的功率支援通道,降低了供电可靠性。

——220 kV环网的解开阻断了地区间交换功率沿220 kV电网传输的通道,迫使潮流向500 kV通道转移,加重了500 kV网的潮流和主变负载率。当500 kV网结构较弱,输电能力不足时会导致500 kV网在正常运行方式下安全稳定水平的降低。

——负荷密度较低的电网,500 kV变电站供电的地理范围较大。解环可能削弱了远端220 kV变电站与主网的电气联系,降低其电压水平,并引起网损增加。

——解环需要开断220 kV线路或母线,可能削弱局部电网的送出/馈入通道,降低相关厂站的安全可靠性。

## 2 电磁环网开环涉及的因素和开环步骤

### 2.1 电磁环网开环涉及的因素

#### (1) 安全稳定。

从高级电压电网来说,开环导致与其并行的低压通道减少,迫使低压通道上的潮流转移至高压通道上。因此,若高级电压电网结构不完善,则开环会减小高电压等级输电通道的容量裕度,可能增大其热稳或暂态稳定破坏的危险。可以说,没有配套建设措施支持下的简单开环,在一定程度上会使常规运行方式下的高压电网稳定水平有所下降。此外,解环不可避免的会断开部分低电压等级线路或母联,在低级电压电网尚不坚强时,局部电网的供电安全可靠可能得不到有效保证。

然而,对低一级电压电网来说,因高电压等级线路阻抗远小于低电压等级线路,线路正常潮流较大。一旦高电压等级电网发生严重故障,大量潮流

从高压线路转移到低一级电压的电网中输送,极易引起低电压等级线路热稳定和暂态稳定破坏,从而扩大了事故波及范围和严重程度。电磁解环则可以从结构上避免这种因高电压等级线路故障而导致的系统稳定性破坏。

#### (2) 短路电流水平。

随着电网的发展,系统短路电流不断增加。短路电流如果超过开关设备的开断电流,将对系统的安全运行造成严重威胁。高低压电磁环网的开环运行使不同电压等级电网使用不同等级的开关设备以配合不同等级的短路电流,开环后各子系统容量减少,有效降低了短路电流水平。因此,从限制短路电流的角度看,开环是有利的。

#### (3) 经济性。

电磁环网的开断引起电力系统潮流状况的改变,从而对系统网损产生影响。文献[11]从理论上证明了开环运行将更经济。然而,由于电网结构的复杂性,功率转移可能会与预期的不同,开环可能引起其他电网运行参数的变化,系统总的网损可能会有所增加,而且为解决因开环而导致的局部厂站的运行可靠性降低问题,需要新建或改造部分一二次设备。

经济性因素可作为评价不同开环方案的取舍标准之一或作为判断是否开环的辅助因素,但不应成为判断电网是否开环的决定性因素。因为高低压电网环网运行增加了诱发电网大面积停电事故的可能性,而确保电网安全稳定运行是首要任务。

#### (4) 运行管理。

电网以环网运行时,潮流的自然分布很难有效控制;发生故障时,运行人员也难于直观判断事故后系统运行方式。而实现开环运行后,系统潮流清晰且易于控制,降低故障情况下判断和处理的难度,有利于电网的安全运行。

#### (5) 电网规划。

合理的电网结构是电力系统安全稳定运行的基础。在电网的规划设计阶段,应当统筹考虑,合理布局<sup>[3]</sup>,在电网规划初期,就应综合规划高低电压等级电网,及早明确目标网架结构,避免投资的浪费,文献[12]将电磁环网约束作为电网规划目标函数的约束条件之一,从规划层面避免了电磁环网的出现;在电网实施开环的进程中,则应配合开环研究,及时调整电网规划,为实现电磁环网的开环运

行创造有利条件。

## 2.2 电磁环网开环的一般步骤

由上一节的分析可知,要合理的开断电磁环网,需进行潮流、稳定性、短路电流、网损等多方面的计算,综合权衡利弊后才能做出决策。综上分析,电磁环网实施开环的计算分析步骤如下:

(1) 分析电磁环网构成情况,电网结构、潮流分布特点,根据分层分区的原则合理确定初步分区方案;

(2) 计算环网运行时的短路电流水平;

(3) 稳定性计算,重点分析电磁环网对高电压等级电网稳定性的影响(包括暂态稳定和小干扰稳定水平);

(4) 结合(1)–(3)的结果,初步确定开环方案;

(5) 针对可行开环方案,计算校核高、低电压两级电网的安全稳定水平;

(6) 计算开环运行后短路电流水平;

(7) 针对解环引起的安全问题,提出优化的建设改造和运行措施。

(8) 经济性比较,包含开环前后网损分析及解环引起的附加建设投资估算;

(9) 依据(4)–(8)的结果,综合判断是否解环、解环幅度和方案、解环后的运行和控制措施。

## 3 500 kV /220 kV 电磁环网与解环分析

### 3.1 广西电网概况

广西电网东邻广东,西接云贵,其500 kV电网与“西电东送”交流主通道合二为一。“十一五”期间广西电网负荷发展迅速,2006年统调最高负荷超过7.7 GW,预计2010年最高负荷约为15 GW。境内接入220 kV电网的电源与负荷分布很不均衡,电源主要集中在西部的百色地区、中北部的来宾地区,负荷则集中在东南部南宁、贵港、玉林一带和东北部的柳州地区。

因广西电网负荷密度相对较低,境内500 kV变电站大都为单主变配置。为合理利用境内220 kV电源和提高供电可靠性,220 kV电网形成“一点多联”的局面,并与500 kV电网形成电磁环网运行。为满足南方电网主通道的安全运行,2006年广西电网已采取措施解开了西部百色和东部梧州地区220 kV电网与广西220 kV中部主网架的联络通道。

对广西电网短路电流的计算结果显示,电磁环

网运行时其短路电流水平在合理范围,未超过开关设备遮断容量。考虑到广西电网500 kV变电站多为单主变配置,且负荷、220 kV电源分布不均衡,绝大多数地区电网需要从500 kV主网吸收功率。因此,如果考虑电磁解环,从满足500 kV主变“N-1”要求出发,也只能形成多个500 kV变电站供电一个220 kV分区的大区分网模式。

以下应用前述原则,具体分析“十一五”期间广西电网500 kV/220 kV电磁环网的影响和解环方案的制定。由于篇幅所限,仅列出三个有代表性的算例,以说明解环实际选择中的可能面临的矛盾和取舍。

### 3.2 广西电网开环研究算例

(1) 2007年广西西部网区的开环。

2007年广西西部网区负荷较轻,区内水电装机较多,呈功率外送格局;500 kV系统与“云电送粤”通道重合,且500 kV系统输送容量绝大多数为“云电送粤”所用。为少占用“西电东送”通道容量,2006年已通过平班电厂、隆林、沙坡、银海铝分母的形式断开了隆林网区与百色网区的220 kV系统联系。局部网架结构如图1所示。

稳定计算表明,在500 kV兴仁一天二线检修时,500 kV百南线百色侧发生三永故障跳双回后,系统将振荡失稳,且振荡中心落在220 kV马祥线上。此外,南方电网检修方式下的静态安全分析也发现了因转移潮流引起的百色—崇左区域220 kV线路过流问题。因此,从主通道安全角度出发解开百色与南宁网区的电磁环网具有很迫切的需求。

但是,从广西电网的供电安全角度来说,实现百色站—南宁站220 kV解环的条件却不成熟。由于500 kV百色站为单台750 MVA主变,区域内电源装机中单机容量均较大,最小的为田东电厂125 MW,若单独构成一个220 kV网区,一旦百色主变故障,难于控制孤立电网的频率,极易导致百色、崇左地区大面积停电。

最终,考虑到该区域的电磁环网对南方电网主通道安全影响幅度大,影响的事故场景发生概率现对较高,因此最终从主通道安全出发,明确了百色—南宁解环的原则。问题转化为如何考虑具体解环方案,以尽可能保障广西电网的安全。

推荐方案为:百色站220 kV母线分母运行,将负荷中心的德保等220 kV站通过长距离220 kV网

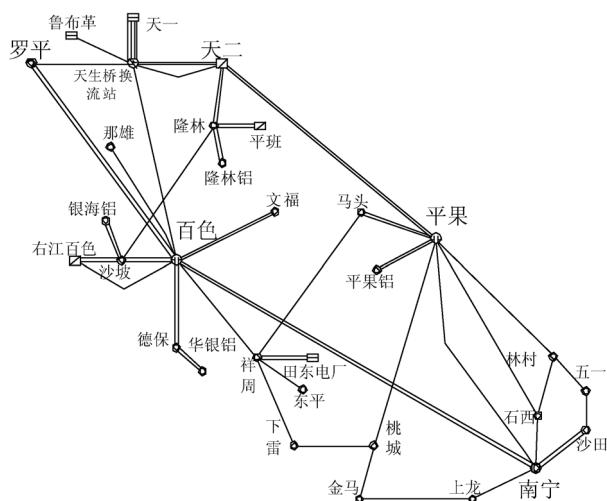


图1 2007年广西西部网区结构示意图

Fig. 1 Map of Guangxi Western Power Grid in 2007

接入 500 kV 站可靠性较高的南宁网区供电。百色主变仅带部分电厂出力上送 500 kV 网。

这种方案既避免了因百色变故障而导致大面积 220 kV 站停电,同时可便于控制百色变正常方式下的上送功率。当然,推荐开环方案下百色地区 220 kV 站经长距离线路与 500 kV 主网相连,阻尼较弱且系统网损有所增加,但综合来看则为最佳的过渡方案。

2008 年崇左地区新建的 500 kV 大新站将投产,届时则可调整解环方式,由百色站和大新站供电百色一崇左网区,形成安全性和经济性更优的广西西部解环运行方案。

### (2) 2008 年丰大方式广西南部网区开环。

2008 年广西南部网区负荷重、缺乏 220 kV 电源装机,主要从主网吸收功率(见图 2)。

稳定计算表明:在 500 kV 邕防线或防久线检修情况下,发生南玉单回故障跳双回后,小截面的 220 kV 南龙线(LGJ-400)将严重过流,最大过流量超过 100%。因此,南宁与钦防网区的环网有解开的必要性。

但因久隆变为单主变配置,针对开环方案校核 500 kV/220 kV 系统安全稳定时发现:

——若钦北防保持与玉林电网的联系,则在 500 kV 久隆变检修或故障,钦防地区只通过小截面的久冲线(LGJ-400)经长距离 220 kV 线路与 500 kV 玉林站相连,无论是供电可靠性及安全稳定性均得不到有效保障;

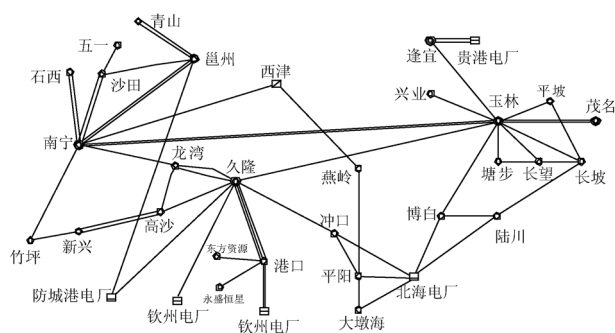


图2 2008年广西南部网区结构示意图

Fig. 2 Map of Guangxi Southern Power Grid in 2008

——若同时断开钦防与北海和玉林电网的联系(即断开 220 kV 久冲线),则钦防网区为单主变供电,不满足“N-1”要求;且区内只有 1×600 MW 的钦州电厂,可靠性及稳定性同样得不到保障。可以看出,2008 年钦防与南宁网区的解环对广西南部 220 kV 电网的供电可靠性会造成明显的不利影响。

考虑到合环方式下发现的问题主要是 220 kV 南龙线过流,采取跳开过流线路和调整区域 220 kV 电源出力措施后可以限值其影响,并保持 500 kV 系统的稳定运行,因此综合权衡的结果是,2008 年暂不实施钦防地区与南宁电网的 220 kV 解环,仍采用环网运行。

至 2010 年 500 kV 防城站建成投产后,解环条件趋于成熟,届时可配合电网建设措施实施该区域分电磁解环。

### (3) 2010 年丰大方式广西中北部网区开环。

柳州地区是广西的负荷中心之一,缺少 220 kV 地方电源;来宾地区则是电源过剩。2010 年广西中北部网区系统结构如图 3 所示。

稳定计算表明,在 500 kV 沙来线检修、500 kV 沙柳或平来线发生故障跳双回后,220 kV 沙野线将过流,最大过流量超过 25%。从 500 kV 系统的安全运行出发,应断开来宾与柳州网区之间的 220 kV 联系通道。

考虑到野岭、莲塘、月山以上变电站为柳州管辖,以下厂站为来宾管辖,为方便管理,在此断面上开环为佳。又因沙塘、柳东及桂林站共 4 台 750 MVA 变,满足主变的“N-1”要求,并不需要从来宾地区获得额外的电源支持。综合考虑,开环方案为断开磨月线,同时在溯河—莲塘、新都—野岭交叉处通过改造线路,形成溯河—新都、野岭—莲塘

II 线。如此方案, 既实现了开环又可因改造获得两回 220 kV 线路, 可取消规划于 2010 年新建的野岭—莲塘第二回线路, 节省了投资。

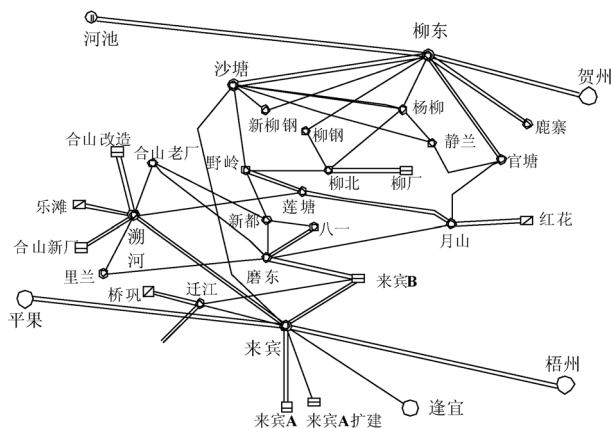


图3 2010年广西中北部网区结构示意图

Fig. 3 Map of Guangxi Medium and Northern Power Grid in 2010

针对开环方式, 计算校核发现, 在 220 kV 沙野线检修、官月线发生故障跳开后, 柳北—野岭线在最严重情况下过流将超过 30%。由于沙塘站与野岭站距离较近, 建议采取沙塘—野岭增加一回出线的措施。

由于开环断开了来宾与柳州网区的 220 kV 通道, 沙塘变下送功率增加, 末端变电站电压有所下降, 网损有所增加。

该地区开环研究表明, 尽早开环, 将明确目标电网的结构及特点, 及时调整规划思路, 避免投资浪费; 越晚开环, 局面越被动。

## 4 结论

大电网宜实行分层分区运行, 对这一点已基本达成共识, 问题在于如何把握电磁环网开环的时机, 解环幅度应如何控制等, 对此目前还没有统一的认识, 相关研究也不完善。本文旨在通过对电磁环网的利弊分析, 指出实施开环应计及的若干问题, 在此基础上总结出环网运行的大电网实施开环研究的一般步骤, 并将之应用于“十一五”期间广西电网 500 kV/220 kV 环网的开环研究。研究结论可指导其他高低压电磁环网的开环研究, 具有一定的工程实践意义。

### 参考文献:

[1] 王梅义, 吴竟吕, 蒙定中. 大电网系统技术[M]. 第2版. 北京: 水

利电力出版社, 1995.

WANG Mei-yi, WU Jing-chang, MENG Ding-zhong. Technology of great power system[M]. The 2nd Edition. Beijing: China Electric Power Press, 1995.

- [2] 汪鸿. “8·14”美加大停电对方式工作的启示[J]. 华北电力技术, 2004(7):16-17.  
WANG Hong. Enlightenment on operation mode obtained from “814” blackout in USA & Canada[J]. NORTH CHINA ELECTRIC POWER, 2004(7):16-17.
- [3] DL 755-2001, 电力系统安全稳定导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2001.  
DL 755-2001, Guide on security and stability for power system[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.
- [4] Gianpietro G, Mario M., Fabio Z., et al. A genetic algorithm-based procedure to optimize system topology against parallel flows[J]. IEEE Trans. On Power System. 2006, 21(1): 333-340.
- [5] 权福国, 王生彬, 师威, 等. 2007 年河北省南部电网电磁环网运行分析[J]. 河北电力技术, 2007, 26(2):20-22.  
QUAN Fu-guo, WANG Sheng-bin, SHI Wei, et al. Operation analysis on electric-magnetic loop network of Hebei southern power grid in 2007[J]. HEBEI ELECTRIC POWER, 2007, 26(2):20-22.
- [6] 腾林, 王刚, 仇玉萍, 等. 安徽 500 kV/220 kV 电网分层分区的初步设想[J]. 华东电力, 2006, 34(11):56-58.  
TENG Lin, WANG Gang, QIU Yu-ping, et al. Tentative Idea on Layering and zoning of Anhui 500kV/220kV grids[J]. East China Electric Power, 2006, 34(11):56-58.
- [7] 张红光. 打开高低压电磁环网运行研究[J]. 中国电力, 2006, 39(12):24-27.  
ZHANG Hong-guan. Research of opening up the electromagnetic ring to operation[J]. ELECTRIC POWER, 2006, 39(12):24-27.
- [8] 林章岁, 郑春平, 吴威. 福建电网 500/220 kV 电磁环网解环运行的可行性研究[J]. 福建电力与电工, 2003, 23(2):1-4.  
LIN Zhang-sui, ZHENG Chun-ping, WU Wei. Feasibility research on opening the electromagnetic ring of Fujian 500kV/220kV grids[J]. FUJIAN DIANLI YU DIANGONG, 2003, 23(2):1-4.
- [9] 孔涛, 王洪涛, 刘玉田, 等. 500 kV-220 kV 电磁环网开环研究[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(12):13-16.  
KONG Tao, WANG Hong-tao, LIU Yu-tian, et al. On opening 500kV-220kV electromagnetic loop circuit[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(12):13-16.
- [10] 叶华, 刘玉田, 牛新生. 500 kV-220 kV 电磁环网开环方案模糊综合评价[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(7):1-5.  
YE Hua, LIU Yu-tian, NIU Xin-sheng. Fuzzy comprehensive evaluation of opening schemes for 500kV-220kV electromagnetic loop[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(7):1-5.
- [11] 程海辉. 500/220 kV 电磁环网开环运行分析[J]. 江苏电机工程, 2005, 24(5):38-40.  
CHENG Hai-hui. Analysis of breaking the 500/220 kV electromagnetic Circuits[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2005, 24(5): 38-40.
- [12] 王琦, 唐国庆. 引入电磁环网因素的供电网规划模型[J]. 江苏电机工程, 2006, 25(4):35-37.  
WANG Qi, TANG Guo-qing. The supply grid planning models considering the factor of electromagnetic loop network[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2006, 25(4): 35-37.

收稿日期: 2007-10-17

作者简介:

王方 (1965 - ), 男, 高级工程师, 长期从事电网运行、规划、建设管理工作 (E-mail: wangfang@csg.cn)。

何朝阳 (1964 - ), 男, 高级工程师, 长期从事电网调度运行管理及技术工作。

顾南峰 (1955 - ), 男, 高级工程师, 从事电网生产技术管理及有关技术工作。

(本文责任编辑 张亚拉)