

关于电磁环网弱开环方式的探讨

白宏坤¹, 李干生²

(1. 河南省电力公司, 河南 郑州 450052; 2. 河南省电力勘测设计院, 河南 郑州 450007)

摘要: 随着电网结构的逐步增强, 为了降低日益增大的 220 kV 电网短路电流水平, 必须逐步采取开环运行方式。但在 500 kV 和 220 kV 局部电网结构尚不完善的情况下, 解环运行往往难以实现。在此过渡时期可以采取弱开环方式, 以河南三门峡电网为例, 通过分析论证, 得出在电网结构不完善的过渡时期, 采用弱开环方式将优于完全开环方式的结论, 这可为电网安全可靠运行提供一种新的方式。

关键词: 电网规划; 电网结构; 短路电流; 开环运行; 500 kV/220 kV 电网分区; 弱开环方式

Discussion on weak open-loop mode of electromagnetic loop

BAI Hong-kun¹, LI Gan-sheng²

(1. Electric Power of Henan, Zhengzhou 450052, China;

2. Henan Electric Power Survey & Design Institute, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: Along with electrical network structure's unceasing enhancement, the short-circuit current level of 220kV electrical network enhances quickly, to further lower the short-circuit current level, open-loop operation mode must be carried out gradually. When the structure of 500kV and 220kV power grid is still not perfect, open-loop operation is often difficult to achieve. This paper proposes a weak open-loop mode, takes Sanmenxia power grid in Henan as an example, and explains this kinds of open-loop form. Conclusion is that the use of weak open-loop way is better than the completely open-loop mode in the transitional period, and it can provide a new mode to safe and reliable operation of power grids.

Key words: electrical network plan; electrical network structure; short-circuit current; open-loop operation; 500 kV/220 kV electrical network district; weak open-loop mode

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)02-0060-04

0 引言

随着电源项目和输变电项目的大量投产, 500 kV 电网结构不断加强, 220 kV 电网短路电流水平亦稳步上升, 电磁环网的存在及其短路电流增加相互之间日益突出的矛盾, 已成为电力系统规划和运行过程中面临和需亟待解决的首要问题。220 kV 电网短路电流水平原则按 50 kA 控制, 为了限制 220 kV 电网短路电流水平, 远期 220 kV 电网将分片运行^[1-3]。

对电磁环网解环并实现电网分层分区供电是控制短路电流的十分经济、有效的方法, 国内一些省市均已开展 220 kV 电网分层分区供电的研究和实施工作^[4-15]。

合理的 500 kV/220 kV 电网分区供电方案需要有合适的网络结构作支撑, 在 500 kV 和 220 kV 局部电网结构尚不完善的情况下, 解环运行往往难以实

现, 此时若实施 220 kV 电网解开电磁环网, 电网的局部的安全性和可靠性可能会受到影响。在这种过渡情况下怎样能够满足既能将电网 220 kV 短路电流限制到 50 kA 以下, 又不解环运行以保证电网安全稳定运行呢? 本文将以河南三门峡电网为例, 就弱开环形式进行探讨。

1 河南电网开环基本原则及条件

随着 500 kV 网架的加强及地区 220 kV 电网规模的不断扩大, 220 kV 电网分层分区运行是电网发展的必然。通过电网分层分区运行, 不但可以解决 500 kV/220 kV 电磁环网在线路 N-1 或 N-2 方式下潮流转移导致的热稳定问题, 充分发挥高一级电压等级的输电能力, 而且可以使电网结构清晰, 层次分明, 便于实现分区解列, 有效地构筑安全稳定第 3 道防线; 同时可以减小系统短路电流, 解决局部

电网的短路电流超标问题^[4-8]。

由于电网发展的复杂性和多样性, 将已有电磁环网解环, 实现分层分区运行需要综合考虑多种因素, 比如: 何时解环、在何处解环、如何分区等问题。为了应对日益增大的 220 kV 电网短路电流及减轻 500 kV/220 kV 电磁环网运行对电网安全稳定运行所产生的威胁, 河南省电力公司制定了 500 kV/220 kV 电磁环网解环基本原则, 在条件允许的情况下, 将逐步解开 500 kV/220 kV 电磁环网。

220 kV 电网分区解环的基本原则如下:

(1) 以一个或若干个 500 kV 变电站作为主要供电电源, 并配合本地区内部的大容量发电厂, 将 220 kV 电网划分为若干个相对独立的供电分区; 各供电分区短路电流水平应控制在合理范围, 且区内任意单一故障, 系统仍能保持稳定运行。

(2) 采取分区供电方案后, 500 kV 电网及各供电分区应有足够的安全稳定性和供电可靠性。

(3) 采取分区供电的方案后, 各供电分区应具有足够的供电可靠性, 应保证作为主要供电中心的 500 kV 变电站主变, 220 kV 送入线路、供电分区内的 220 kV 变电站主变、220 kV 线路及电源在 $N-1$ 下不过载, 满足电网安全评估要求。220 kV 变电所应有不同方向的电源供电。失去一个方向电源后, 另一个方向电源应保证供给全部所需电力。

(4) 采取分区供电方案后, 各供电区域间应具备一定的相互事故支援能力。

220 kV 解环运行的充分条件原则上是一个 220 kV 分区内有 3 台及以上 500 kV 主变, 并与外区有三回及以上 500 kV 联络线, 在正常运行方式(包括正常检修运行方式)下, 任一元件(主要是 500 kV 高压元件)发生单一故障, 不造成稳定破坏, 则具备解环条件。

2 电网解环运行存在的问题

合理的 500 kV/220 kV 电网分区供电方案需要有合适的网络结构作支撑, 在 500 kV 和 220 kV 局部电网结构尚不完善的情况下, 解环运行往往难以实现, 此时若实施 220 kV 电网解开电磁环网, 电网的局部安全性和可靠性可能会受到影响。

如果一个 220 kV 分区内只有两台 500 kV 主变时实施开环运行, 当其中 1 台主变检修时, 可能会出现稳定问题, 虽然可采取切机、切负荷加以避免, 但是损失了负荷, 不利于电网安全供电。因此如果电网在这种情况下需要解环, 往往还必须同时具备以下条件: ①该分区 220 kV 电网需要接有一定容量的电源作为支撑, 通过调整机组出力可做到供用基本

平衡; ②该区域与外区应至少有三回及以上 500 kV 联络线; ③该区域与外区应有 2 回及以上 220 kV 联络线具备合环运行条件; ④在正常运行方式(含正常检修运行方式)下, 任一元件断开, 不造成稳定破坏^[9-12]。

如果一个 220 kV 分区内只有两台 500 kV 主变时实施开环运行, 该区域需与外区有 2 回及以上 220 kV 联络线具备合环运行条件。当隶属于不同分区的变电站合环操作时, 由于不同路径的阻抗和潮流分布各不相同, 且存在较大差异时, 则在合环开关两端会存在较大的相角差, 环流过大还将引起设备过载甚至开关跳闸。为避免这种情况的发生, 这种合环方式一般采用先断后通原则进行操作, 将造成用户短时停电, 影响供电连续性^[13-15]。

因此对于电网解环后一个 220 kV 分区内只有两台 500 kV 主变的这种情况, 为了保证电网的安全稳定运行, 在实际运行方式安排上将不采用解环方式而经常采取弱开环方式来控制短路电流。

3 电网实例分析

本文以河南省三门峡电网为例对弱开环方式进行阐述。

3.1 规划简述

目前三门峡电网有一座 500 kV 变电站为三门峡变, 变电站容量为 2×750 MVA, 有 220 kV 变电站 9 座, 三门峡电网与河南西部的济源、洛阳 500 kV/220 kV 电网合环运行, 详见图 1。

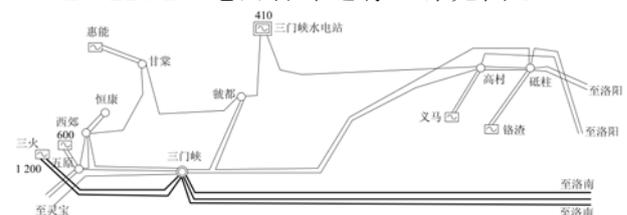


图 1 三门峡电网现状

Fig.1 Sanmenxia power grid status

根据相关规划, 三门峡电网 2010 年将扩建三门峡变第三台主变 750 MVA; 2012 年将新建三门峡东 500 kV 变电站, 变电站设计规模为 4×1200 MVA, 一期建成投运 2×1200 MVA; 2020 年将新建三门峡西 500 kV 变电站, 变电站设计规模为 4×1200 MVA, 一期建成投运 2×1200 MVA。

三门峡 220 kV 电网的目标网架是: 最终分别形成以三门峡东变、三门峡变、三门峡西变为电源支撑的 220 kV 电网, 各区域之间有电气联系, 可以互相支援。2010 年三门峡电网与豫西的济源、洛阳电网区域间将开环运行。

3.2 2015 年解环规划

2015 年三门峡电网有 2 座 500 kV 变电站，一共有 5 台 500 kV 主变，三门峡东变仅有 2 台主变。两座 500 kV 变电站之间通过三回 220 kV 线路互联，220 kV 联络线分别为三门峡水电站—张村变、观音堂变—张村变（I、II）线路，详见图 2。

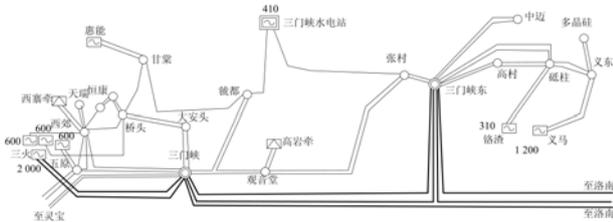


图 2 2015 年三门峡电网规划图

Fig.2 Sanmenxia power grid in 2015 plans

对 2015 年三门峡 220 kV 电网短路电流水平计算，详见表 1。当三门峡电网内部全合环运行时，三门峡变 220 kV 母线短路电流为 51.8 kA，超过了 50 kA。

表 1 2015、2020 年三门峡电网相关站点短路电流水平

Tab.1 Short-circuit current level of Sanmenxia

	grid-related sites in 2015,2020			kA
	2015 年			
	三门峡全合环	弱开环(断 1 回线路)	弱开环(断 2 回线路)	弱开环(断 2 回线路)
三门峡变 220 kV 母线	51.8	50.1	46.4	48.6
三门峡东 220 kV 母线	43.9	41.6	36.9	38.1
三门峡西 220 kV 母线				43.7
三门峡变 500 kV 母线	32.5	32.4	32.3	36.3
三门峡东 500 kV 母线	33.9	33.9	33.8	46.2
三门峡西 500 kV 母线				36.2

如果采取开环方式，开环为三门峡变、三门峡东变两片运行，则三门峡变系统有三台主变，而三门峡东变仅有 2 台主变，解环方式虽可将三门峡变 220 kV 母线短路电流限制在 50 kA 以下，但是三门峡东变系统中，当一台主变检修时，为了保证三门峡东变系统的安全可靠供电，三门峡变系统和三门峡东系统还需合环运行。合环时需采用先断后通原则进行操作，将会造成用户短时停电，影响供电连

续性。

根据三门峡电网结构及正常运行潮流分布，三门峡变系统与三门峡东系统之间三回 220 kV 联络线上潮流较轻，但是 2 回 220 kV 联络线（三门峡～观音堂 I、II）可为三门峡变 220 kV 母线提供约 5.4 kA 的短路电流。正常运行方式下，观音堂变为潮流自然功率分点，三门峡变和三门峡东变分别向观音堂变输送约 120 MW 的电力，三门峡水电站向三门峡东系统输送电力 40 MW，两个系统之间交换电力较轻，基本各自自我平衡。

当考虑将两个系统之间的联络线断一回运行时，两个系统之间联络线上的潮流分布基本未变，而三门峡变 220 kV 母线的短路电流水平可由 51.8 kA 下降为 50.1 kA，仍高于 50 kA。此时将三门峡变系统与三门峡东系统之间三回 220 kV 联络线断 2 回运行（三门峡～观音堂 I、II），仅留一回三门峡水电站～张村线路保持两个系统间的联络，三门峡水电站向三门峡东系统输送电力 84 MW，该线路潮流也较轻。而三门峡变 220 kV 母线的短路电流水平可由 50.1 kA 继续下降为 46.4 kA。

通过电网潮流分布分析及短路电流计算，为了加强三门峡电网的安全可靠运行，2015 年电网内部建议采取弱开环方式。即正常运行方式下，将三门峡变与三门峡东之间的三回 220 kV 联络线中两回（三门峡～观音堂 I、II）开断运行，仅留一回潮流较轻线路在两个系统间进行联络。当三门峡变系统或三门峡东变系统中出现一台主变检修主变退出运行时，可将系统之间断开的 220 kV 联络线合环运行，通过 220 kV 联络线进行两个系统间的相互支援，电网运行灵活方便，也加强了电网的安全可靠运行，避免了开环后再合环时先断后通的操作。

通过稳定计算及分析，开环方式下三门峡东系统两台 500 kV 主变，当一台主变检修方式下，一台主变故障需相关电网相应切负荷，或需将两个分区电网合环以避免该情况发生；而弱开环方式电网在此情况下联络线全部参与运行，两系统可以相互支援，因此弱开环方式不仅系统的稳定性高于开环方式下的稳定性，而且电网操作运行灵活方便。

3.3 2020 年解环规划

2020 年三门峡电网地区拥有 500 kV 变电站 3 座，共 7 台主变，分别为三门峡变（3×750 MVA）、三门峡东变（2×1 200 MVA）、三门峡西变（2×1 200 MVA）。三门峡东变和三门峡西变均只有两台主变。

2020 年三门峡电网全合环运行，三门峡变 220 kV 母线短路电流超过 50 kA，此时将三门峡东、中、西电网间的部分联络线开断运行（五原～三门峡双回、

三门峡~观音堂双回线路), 三门峡电网内部弱开环, 可以将三门峡变 220 kV 母线短路电流限制到 50 kA 以下, 且由潮流计算结果可得, 三门峡东西电网间的联络线可满足 $N-1$ 校核。因此建议 2020 年三门峡 220 kV 电网开环方式仍为弱开环方式。

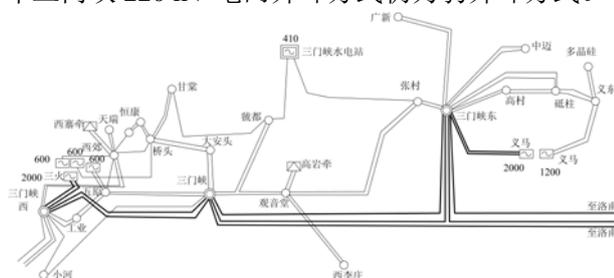


图 3 2020 年三门峡电网规划图

Fig.3 Sanmenxia power grid in 2020 plans

通过三门峡电网开环实例分析, 由于三门峡东变、三门峡西变初期均为 2 台主变, 三门峡变为 3 台主变。三门峡变虽具备了开环条件, 但是三门峡东变、三门峡西变均不具备开环条件, 且受三门峡电网结构影响, 三门峡西和三门峡东变两个系统之间也不能合环运行。若三门峡电网采用开环运行方式, 则三门峡西部、三门峡东部电网系统的运行可靠性将大大降低。当三门峡电网采用弱开环形式后, 不仅可将 220 kV 电网短路电流限制到 50 kA 以下, 而且还可以不大幅降低电网运行的可靠性。

该运行方式可以一直到三门峡西变、三门峡东变分别具有 3 台以上主变后, 再实施真正的开环运行方案。

4 建议

(1) 在研究采用弱开环方式时, 要对电网结构、潮流分布并结合短路电流水平进行分析, 找出潮流分布较轻且提供短路电流较大的联络线。采用将所选联络线断开一、二回, 仍保留一、二回联络线使两个 500 kV 系统之间弱联系, 一旦一个系统出现故障时, 两个系统之间所有联络线可以合环运行, 系统进行相互支援。

(2) 建议在电网结构形成的过渡时期, 电网结构不满足开环条件, 可采用弱开环方式来限制电网短路电流, 该方式还可减轻对电网安全运行的影响。

(3) 建议弱开环方式应用于电网结构不完善的过渡时期, 待电网结构满足开环条件时, 则实施解环方案以彻底解决 500 kV/220 kV 电磁环网问题, 充分发挥高一级电压等级的输电能力, 使电网结构清晰, 层次分明, 并有效减小系统短路电流。

参考文献

- [1] 王梅义, 吴竞昌, 蒙定中. 大电网系统技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
WANG Mei-yi, WU Jing-chang, MENG Ding-zhong. Technology of Great Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.
- [2] DL 755-2001, 电力系统安全稳定导则[S].
- [3] 祁万春, 奚巍民, 张谦, 等. 应用 500kV 高阻抗主变压器提高 220kV 片区供电能力[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(14): 96-98.
QI Wan-chun, XI Wei-min, ZHANG Qian, et al. Improving Power Supply Capability of 220kV District Grid Using 500kV Main Transformer with High Short Circuit Impedance[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(14): 96-98(in Chinese).
- [4] 周莉梅, 范明天, 张祖平, 等. 合肥城市电网电磁环网解环分析[J]. 电网技术, 2008, 32(20): 73-76.
ZHOU Li-mei, FAN Ming-tian, ZHANG Zu-ping, et al. Analysis on Breaking up Electromagnetic Ring in Hefei Urban Power Network[J]. Power System Technology. 2008, 32(20): 73-76(in Chinese).
- [5] 刘树勇, 顾强, 张丽娟, 等. “十一五”期间天津 500/200kV 电网分区供电方案[J]. 电网技术, 2008, 32(9): 51-55.
LIU Shu-yong, GU Qiang, ZHANG Li-juan. Research on Power Supply Scheme based on Partitioning of 500/200kV Tianjin Power Grid during the 11th Five-Year Plan[J]. Power System Technology, 2008, 32(9): 51-55(in Chinese).
- [6] 王强, 李建. 四川西部电网解环分区运行研究[J]. 华中电力, 2008, 21(4): 12-14.
WANG Qiang, LI Jian. Research of the Opening Loop Dividing in West Sichuan Power Grid[J]. Central China Electric Power, 2008, 21(4): 12-14(in Chinese).
- [7] 袁娟, 刘文颖, 董明齐. 西北电网短路电流的限制措施[J]. 电网技术, 2007, 31(10): 42-45.
YUAN Juan, LIU Wen-ying, DONG Ming-qi. Application of Measures Limiting Short Circuit Currents in Northwest China Power Grid[J]. Power System Technology, 2007, 31(10): 42-45(in Chinese).
- [8] 钟杰峰, 曹华珍, 曾勇刚, 等. 近期广东电网分区供电方案研究[J]. 华东电力, 2004, 32(9): 57-59.

(下转第 82 页 continued on page 82)

目的差异，这就导致了数次发生漏增新版本装置的操作。为了消除这种缺陷，除了一方面继保专业要加强装置版本管理，另一方面要求保信主站能够在召唤装置配置时自动比较已经存在的配置与正在召唤配置间的差异。

2) 实际运行中一个保信子站可能要对多个保信主站通讯，目前各级调度对一次设备编码均有各自的规定而没有进行统一，再加上各级调度保信主站的建设周期不一致，导致广州供电局变电站保信子站一次设备编码与上级调度不一致的情况出现，这为将来不同主站间信息交换留下了隐患。

3) 符合 IEC61850 规范的数字化变电站^[2]是将来电力系统发展的方向，目前只有 2 个 220 kV 数字化变电站接入了新调度集控系统，对于数字化变电站在实际工程中的应用和经验积累还需要时间。

3 总结

在现代电力系统当中，特别是随着数字化变电站的蓬勃发展，继电保护和自动化专业间的相互渗透和融合也逐步加深加快，EMS/保信系统就是在这样一个大背景下的典型例子：一方面两套系统在硬件和软件上相互交错，另一方面虽然使用保信系统的是继电保护人员，但是自动化专业人员在其调试、维护过程中扮演了不可或缺的角色。总之，EMS/

保信一体化系统在广州电网的成功投产和平稳运行进一步表明了这样的融合是行之有效并具有积极意义的。

参考文献

[1] 章坚民, 朱炳铨, 等. 继电保护故障信息处理主站系统设计的核心问题[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(14):72-74.
ZHANG Jian-min, ZHU Bing-quan, et al. Key Issues in The Design of Master Station of Relay Protection and Fault Information System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(14):72-74.

[2] 章坚民, 姜健宁, 等. IEC61850 在继电保护故障信息处理子站系统中的应用[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(13):61-63.
ZHANG Jian-min, JIANG Jian-ning, et al. Application of IEC 61850 on Substation Relay Protection and Fault Information Subsystem[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(13):61-63.

收稿日期: 2009-02-18; 修回日期: 2009-05-30

作者简介:

刘敏 (1975-), 男, 工程师, 从事自动化专业工作; E-mail: Lium@gzpsc.com
苏忠阳 (1969-), 男, 高级工程师, 从事继电保护专业管理工作;
熊文 (1973-), 男, 高级工程师, 从事运行方式管理工作。

(上接第 63 页 continued from page 63)

ZHONG Jie-feng, CAO Hua-zhen, ZENG Yong-gang, et al. Study on Recent Divisional Power Supply Plan for Guangdong Power Grid[J]. East China Electric Power, 2004, 32(9): 57-59(in Chinese).

[9] 阮前途. 上海电网短路电流控制的现状与对策[J]. 电网技术, 2005, 29(2): 78-83.
RUAN Qian-tu. Present Situation of Short Circuit Current Control in Shanghai Power Grid and Countermeasures[J]. Power System Technology, 2005, 29(2): 78-83(in Chinese).

[10] 李晶生. 天津电网“十一五”规划综述[J]. 电网技术, 2006, 30(20): 1-5.
LI Jing-sheng. A Survey on Planning of Tianjin Power Network during the 11th Five-Year Plan[J]. Power System Technology, 2006, 30(20): 1-5(in Chinese).

[11] 叶琳, 戴彦. 短路电流限制技术在浙江电网的应用[J]. 华东电力, 2005, 33(5): 23-26.
YE Lin, DAI Yan. Application of Short-circuit Current Limitation Technology in Zhejiang Power Grid[J]. East China Electric Power, 2005, 33(5): 23-26(in Chinese).

[12] 叶幼君, 鲍爱霞, 程云志. 浙江500kV电网短路电流的控制[J]. 华东电力, 2006, 34(3): 193-197.
YE You-jun, BAO Ai-xia, CHENG Yun-zhi. Control of Short-circuit Current for Zhejiang 500 kV Power Grids[J]. East China Electric Power, 2006, 34(3): 193-197(in Chinese).

[13] 梁绍斌, 李继红, 毛雪雁. 浙江电网控制系统短路电流的探索与实践[J]. 华东电力, 2006, 34(8): 26-30.
LIANG Shao-bin, LI Ji-hong, MAO Xue-yan. Control of Short-circuit Current for Zhejiang Power Grid[J]. East China Electric Power, 2006, 34(8): 26-30(in Chinese).

[14] 滕林, 王刚, 仇玉萍, 等. 安徽500kV/220kV电网分区的初步设想[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 500 kV/200 kV grids[J]. East China Electric Power, 2006, 34(11): 56-58(in Chinese).

[15] 郭佳, 张伟利, 樊飞, 等. 辽宁省电磁环网解环问题的探讨[A]. 中国科协2004年学术年会电力分会场暨中国电机工程学会2004年学术年会论文集[C]. 中国: 海南.
GUO Jia, ZHANG Wei-li, FAN Fei, et al. The Study on Untying Liaoning Province Electromagnetic Network[A]. in: The 2004 annual conference of China Association for Science and Technology & the 2004 Annual Conference of China Society for Electrical Engineering[C]. Hainan(China): 2004.

收稿日期: 2009-02-17; 修回日期: 2009-06-29

作者简介:

白宏坤 (1971-), 女, 高级工程师, 工学博士, 主要从事电力系统、能源相关规划及研究. E-mail: baihongkun@sohu.com