

## 特高压接入河南电网后电磁环网解环方案研究

刘楠<sup>1</sup>, 唐晓骏<sup>1</sup>, 张文朝<sup>1</sup>, 马世英<sup>1</sup>, 付红军<sup>2</sup>, 胡扬宇<sup>2</sup>

(1. 中国电力科学研究院, 北京 100192; 2. 河南省电力公司, 河南 郑州 450007)

**摘要:** 根据特高压豫北站建成后河南电网将面对的 500/220 kV 母线三相短路电流超标的状况, 对其 500/220 kV 电磁环网解环进行研究。基于目前的分区模式提出解环方案, 并验证各方案实施的可行性。解环后河南电网将形成十六片电网分区供电模式, 在保证电网安全稳定运行的前提下, 降低了系统母线三相短路电流水平, 能够最大限度发挥电网的投资效益, 促进 500/220 kV 电网协调发展。通过对河南电网的解环研究, 提炼出特高压电网环境下处理 500/220 kV 电网电磁环网解环的技术原则, 可为电网中长期规划及其工程实施提供参考。

**关键词:** 特高压电网; 电磁环网; 短路电流; 解环方案; 解环原则

### Study on electromagnetic ring opening in Henan province under ultra-high voltage power grid

LIU Nan<sup>1</sup>, TANG Xiao-jun<sup>1</sup>, ZHANG Wen-chao<sup>1</sup>, MA Shi-ying<sup>1</sup>, FU Hong-jun<sup>2</sup>, HU Yang-yu<sup>2</sup>

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China;

2. Henan Electric Power Corporation, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** The level of three-phase short-circuit current of 500/220 kV bus will exceed standard in Henan power grid after the completion of Ultra-High Voltage (UHV) Yubei station. The opening of 500/220 kV electromagnetic ring network is studied. The solution to electromagnetic ring opening is proposed based on current partitioning mode, and the feasibility of all the schemes is verified. After the ring opening, Henan grid will be divided to 16 areas to supply electric power. Under the premise of grid security and stability, the level of three-phase short-circuit current is lowered, the benefit of grid investment is maximized, and the balanced development of 500/220 kV grid can be facilitated. Based on the above solution, this paper presents the technical principles in dealing with 500/220 kV electromagnetic ring opening under UHV power grid environment. The principle provides reference for mid-long term planning and implementation of power grid.

**Key words:** UHV grid; electromagnetic ring; short current; plan of electromagnetic ring opening; principle of electromagnetic ring opening

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2011)02-0131-06

## 0 引言

电力系统的电磁环网是指不同电压等级的输电线路通过变压器或电磁耦合构成的环形电网。电磁环网的形成是电网发展过程中的产物, 是一种过渡阶段的电网结构。在高一级电压电网逐步发展的过程中, 电磁环网的运行在发挥设备输电能力、保证电源可靠送出以及提高电网供电可靠性等方面起到了有益作用。随着高一级电压电网结构的显著加强和运行环境的明显改善, 电磁环网存在的问题也充分暴露出来, 主要体现在容易造成系统振荡, 引起系统热稳、暂稳和动稳问题, 导致短路电流超标,

以及使保护及安全稳定控制措施配置复杂、易导致连锁反应等方面<sup>[1-11]</sup>。

目前, 河南电网同时与华北、华中、西北电网相联, 已成为全国互联电网的枢纽。2008 年 11 月, 随着晋东南-南阳-荆门特高压试验示范工程的投产, 特高压电网将步入快速发展阶段。特高压电网将深入河南电网内部, 计划在豫南、豫北电网落点(如图 1 所示), 形成特高压电网与 500 / 220 kV 电网电磁环网运行的格局, 电网运行特性将发生较大改变, 对电网的安全稳定运行、电压无功控制、短路电流控制等方面将带来新的问题<sup>[12]</sup>。

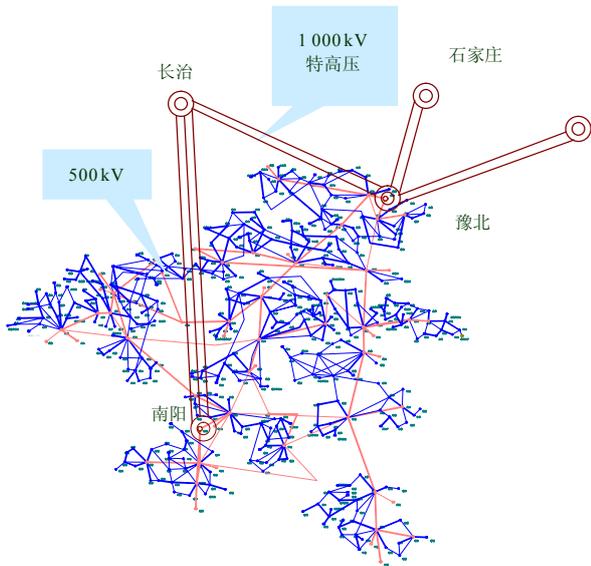


图 1 特高压豫北站建成后河南电网接线示意图  
Fig.1 Connecting schematic diagram of Henan power grid after Yubei UHV station is completed

## 1 豫北变建成后各主要断面简介

### 1.1 网省间各断面简介

特高压豫北变建成后，特高压电网已初步形成网状主网架，华北—华中—华东电网实现了特高压交流联网。华北—华中断面由 7 回特高压线路联系，华中—华东断面由 2 回特高压线路联系。从长远规划来看，无论丰水、枯水期，未来的电力流向均为华北火电南送华中电网和东送华东电网。因此，华北—华中联络线主要应满足华北火电外送需求。

特高压豫北站建成后，华中—华东电网除通过 1000 kV 豫北—徐州双回联网外，还通过龙政直流双极、江城直流双极、宜华直流双极、地换—枫泾直流双极、葛南直流双极、锦屏—同里直流双极、复奉直流双极联网。无论丰水、枯水期，未来电力流向均为华中水电送华东和南方电网。

特高压豫北站建成后，华北、华东电网内部均形成特高压双环网，华中电网内部形成特高压链式网架，较为坚强。

### 1.2 省内各断面简介

豫北外送断面由 500 kV 焦东—嵩山单回、获嘉—嵩山单回、塔铺—祥符双回线路构成。当特高压豫北站下送河南电网时，豫北火电外送极限与特高压豫北站下送功率相互制约，豫北站下送功率越大，将越多地挤占豫北外送断面输电容量，豫北火电外送极限越低。豫西外送断面由 500 kV 马寺—巩义双回、嘉和—郑州单回、嘉和—汝州双回线路构成，

其外送极限受制于 500 kV 嘉和—汝州双回热稳限额。豫南受电断面由 500 kV 嘉和—汝州双回、郑南—香山单回、郑南—姚孟单回、祥符—许昌双回线路构成，其受电极限受制于 500 kV 嘉和—汝州双回热稳限额<sup>[12]</sup>。

## 2 河南 500 kV 电网电磁环网解环分析

按照电网规划，特高压豫北站建成投运后，河南已解环为如下九片地区电网：安濮鹤电网、焦新电网、郑州电网、开商电网、洛三济电网、平顶山电网、南阳电网、许漯周电网和驻信电网。河南电网 500 kV 母线三相短路电流计算结果如表 1 所示，三相短路电流水平较高的母线主要集中在焦新、郑州、平顶山、洛三济以及南阳地区。

表 1 河南 500 kV 电网部分三相短路电流水平较高母线  
Tab.1 The buses with higher three-phase short-circuit current in Henan 500 kV power grid

节点名称	电压等级 / kV	短路电流 / kA
豫嵩山 50	525	68.4
豫郑州 50	525	66.6
豫获嘉 50	525	64.4
豫牡丹 50	525	62.6
豫香山 50	525	62.3
豫嘉和 50	525	59.5
豫南阳特	525	59.5
豫白河 50	525	56.8
豫郑南 51	525	55.9

500 kV 电网解环措施如图 2 所示，①500 kV 焦东—获嘉一回线路与 500 kV 获嘉—嵩山一回线路于获嘉站站外串，②在此基础上，500 kV 巩义—嵩山一回线路与 500 kV 嵩山—郑州一回线路于嵩山站站外串，③在此基础上，500 kV 嵩山—郑州一回线路与 500 kV 郑州—官渡一回线路于郑州站站外串。

上述线路改接方案实施后，500 kV 获嘉站、嵩山站、郑州站出线数目均有所减少，沁北厂外送电力经焦东直接送往嵩山，潮流方向不发生改变；巩义站直接与郑州站相连、嵩山站与官渡站相连，西电东送电力可以直接送往郑州负荷中心地区，潮流流向不发生改变。郑州负荷中心地区初步形成以巩义、嵩山、郑州、官渡四座 500 kV 变电站构成的单环网向 220 kV 电网供电，见图 2 所示。河南电网除 500 kV 香山母线三相短路电流仍为 61.4 kA 外，其他 500 kV 母线三相短路电流均可控制在 60 kA 以内。500 kV 香山母线三相短路电流在平顶山地区





## 4 郑州地区目标网架展望

郑州电网作为豫中东电网的重要组成部分,是河南电网的负荷中心,除承担为郑州地区供电的任务外,还承担着向东部开电网以及南部电网过境外电力的任务,其功能定位与北京电网非常相似,北京电网发展过程中暴露出的短路电流超标问题及其解决经验对郑州电网的发展极具借鉴意义。

本次研究提出的郑州地区解环方案实施后,郑州电网可初步形成500 kV巩义、嵩山、官渡、郑州单环网,郑州电网解环为官渡—郑州—嵩山、嵩山—巩义、郑南地区三个部分。解环后,郑州地区500 kV母线三相短路电流均可控制在52 kA以内,220 kV母线三相短路电流均可控制在48 kA以内,均小于开关额定遮断容量,并留有一定裕度。

未来随着电网的进一步发展,可以考虑进一步将嵩郑单环网扩大为500 kV巩义—郑南—官渡—嵩山变为枢纽变电站的双环网,将500 kV郑州站建成深入城中供电的负荷变电站,对500 kV枢纽变电站进行220 kV侧母线分段并列运行,对500 kV负荷变电站进行500 kV母线分段并列运行,构建以2~3个500 kV变电站一段母线为核心的220 kV供电分区,并在各供电分区保留一定的备用220 kV线路,以便事故时相互支援,其远景目标网架如图7所示。

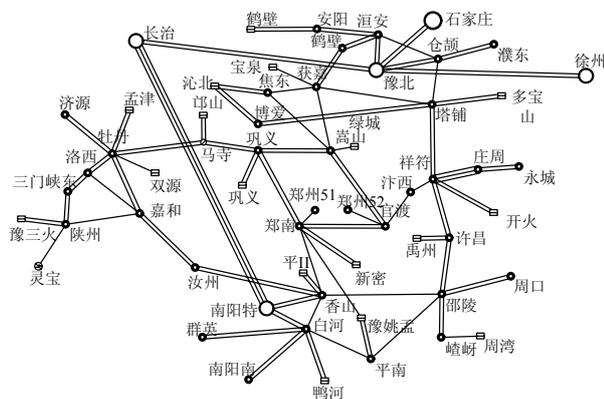


图7 郑州地区远景目标网架设想图

Fig.7 Network erection of Zhengzhou area in future

## 5 电磁环网解环技术原则

特高压深入河南电网后,河南电网将形成1 000/500/220 kV三级电磁环网,短路电流水平进一步增大,部分500/220 kV厂站短路电流超标;同时,电网运行控制难度进一步增大,特别是在某些检修方式下,高电压等级线路故障后大量潮流可能转移到

低电压等级电网,严重威胁电网安全稳定运行。因此,合理梳理和优化网架结构,打开三级电磁环网已势在必行。但是也应注意到,电磁环网开环后可能引起诸如运行可靠性降低、供电能力降低、安全稳定水平降低等问题,需要进行相应的补强措施。据此,本次研究的电磁环网解环具体技术原则为:

1) 原则上应打开1 000 / 500 / 220 kV三级电磁环网;对于500 / 220 kV电磁环网,应积极研究其解环方案,确保1 000 kV、500 kV线路故障后,不致引起220 kV电网发生连锁故障;特高压电网发展初期,1 000 kV、500 kV电磁环网尚不具备解环条件,应随着特高压电网发展,认真研究1 000 / 500 kV电磁环网可能产生的安全稳定、短路电流问题,依据电网规划论证相应的解环措施。

2) 解环方案的提出应综合考虑解环前该地区电源及负荷分布、潮流流向、主变下注功率、安全稳定特性及供电可靠性等方面,并避免因解环造成新的问题,如供电可靠性降低、局部地区出现电压稳定问题等。

a. 解环后的地区电网内宜有三台及以上500 kV / 220 kV联变;向主要负荷供电的220 kV变电站至少有两个不同方向的电源,当失去任何一个方向电源时,另一个方向的电源能够保证全站负荷供应。

b. 若在仅具有两台联变的前提下开环,一台联变检修方式下,另一台联变故障造成地区电网与主网解列,解列后的地区电网应不存在电压、功角、频率稳定问题。

c. 开环点500 kV变电站220 kV母线接线形式应采取双母单分段或双母双分段。

d. 应根据各地区电网的负荷分布情况,合理布局地区电网电源,尽量保证解环后各地区电网有功功率和无功功率基本平衡,满足地区电网安全稳定运行、旋转备用、电压无功支撑等要求。但应注意解环后局部孤网运行可能产生的“大机小网”问题。

e. 解环后各地区潮流流向不应发生大的改变;对于地区电网,大负荷方式下500 kV主变负载率应留有一定裕度。特别是外受电比重较大的地区电网,应注意解环后局部孤网运行可能产生的频率、电压稳定问题,深入研究地区电网低频、低压减载措施及相应的机组涉网保护措施。

3) 500 / 220 kV电磁环网解环后,各分区应达到《电力系统安全稳定导则》的要求。任一线路、主变或发电机故障或者无故障断开,应能满足电力系统安全稳定运行且不致使其他元件超过规定事故过负荷和电压允许偏差的要求。

4) 开环前应开展开环后区域电网安控措施的研究, 若需要新增安控装置则应在开环实施前完成; 若开环后区域电网存在暂稳问题, 应从网络结构入手, 加强电网, 消除暂稳问题。

5) 开环后区域电网的补强方案应在开环实施前完成。

基于以上原则, 解环的目标网架为: 以 500 kV 环网作为河南电网的主干网架, 外部电源分散接入各个 500 kV 变电站; 500 kV 变电站达到终期主变数量时, 220 kV 侧母线分段运行, 以降低 220 kV 系统短路电流水平; 以两个或三个 500 kV 变电站各一段 220 kV 母线为中心, 逐步实现 220 kV 分区供电。各个供电分区正常方式下独立运行, 同时为了加强各分区间的互供能力, 应保留部分联络线路, 使得各分区事故情况下可以互相支援。

## 6 结论

1) 根据我国特高压电网建设规划, 在特高压电网建设初期将形成 1 000 / 500 kV 电磁环网, 甚至可能出现 1 000 / 500 / 220 kV 三级电磁环网。电磁环网运行会带来功率转移、短路电流等问题, 给电网的安全稳定运行带来严重隐患。因此, 适度超前研究电磁环网解环方案, 势在必行。

2) 根据特高压豫北站建成后, 河南电网将面对的 500 / 220 kV 母线三相短路电流超标的状况, 本文对部分地区实行电磁环网解环, 届时河南电网将解成十六片电网分区供电的模式。本文提出的解环方案, 在保证电网安全稳定运行的前提下, 降低了系统母线三相短路电流水平, 能够最大限度发挥电网的投资效益, 保证了电网安全性和可靠性, 能够促进 500 / 220 kV 电网协调发展。

3) 本文通过对河南电网在特高压电网环境下的电磁环网解环分析, 提炼出电磁环网解环的技术原则以及目标网架。

## 参考文献

[1] 刘树勇, 顾强, 张丽娟, 等. “十一一五”期间天津 500 / 220 kV 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, et al. Research on power supply scheme based on partitioning of 500 / 220 kV Tianjin power grid during the 11th Five-Year plan[J]. Power System Technology, 2008, 32(9): 51-55.

[2] 侯春青, 郑惠萍. 2005 年山西中南部 500 kV 及 220 kV 电网的电磁环网运行方式研究[J]. 电网技术, 2005, 29(10): 80-84.

HOU Chun-qing, ZHENG Hui-ping. Research on parallel operation of 500 kV and 220 kV power networks in south and central part of Shanxi power in 2005[J]. Power System Technology, 2005, 29(10): 80-84.

[3] 潘炜, 刘文颖, 杨以涵, 等. 电磁环网条件下西北 750 kV 电网运行方式的研究[J]. 电网技术, 2007, 31(15): 33-38.  
PAN Wei, LIU Wen-ying, YANG Yi-han, et al. Research on operating modes of 750 kV Northwest China power grid electro-magnetically coupled with 330 kV power grid[J]. Power System Technology, 2007, 31(15): 33-38.

[4] 何肇. 关于改善华东电网结构、降低短路容量方案的探讨[J]. 电网技术, 2004, 28(2): 28-31.  
HE Zhao. A discussion on scheme of improving structure of East China power grid to reduce short circuit capability[J]. Power System Technology, 2004, 28(2): 28-31.

[5] 夏翔, 熊军, 胡列翔. 地区电网的合环潮流分析与控制[J]. 电网技术, 2004, 28(22): 76-80.  
XIA Xiang, XIONG Jun, HU Lie-xiang. Analysis and control of loop power flow in regional power network[J]. Power System Technology, 2004, 28(22): 76-80.

[5] Canizares C A, Alvarado F L. Point of collapse and continuation methods for large AC/DC systems[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1993, 8(1): 1-8.

[6] 李春叶, 李胜, 尚敬福, 等. 电磁环网方式与分层分区运行方式之决策[J]. 电力学报, 2006, 21(2): 160-163.  
LI Chun-ye, LI Sheng, SHANG Jing-fu, et al. Comparison of operation mode of electromagnetic loop network and voltage-grading & district-dividing[J]. Journal of Electric Power, 2006, 21(2): 160-163.

[7] 成涛, 成连生. 电力系统的电磁环网运行[J]. 华中电力, 2006, 14(6): 17-19.  
CHENG Tao, CHENG Lian-sheng. Study on electromagnetic loop network operation of power systems[J]. Central China Electric Power, 2006, 14(6): 17-19.

[8] 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.

[9] 刘树勇, 顾强, 等. 天津电网中期运行方式研究[J]. 继电器, 2008, 36(5): 28-35.  
LIU Shu-yong, GU Qiang. Research on medium term operation mode of Tianjin power grid [J]. Relay, 2008, 36(5): 28-35.

(下转第 141 页 continued on page 141)

## 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。