

# 特高压大功率南送方式下华中电网电压调整研究

潘晓杰<sup>1,2</sup>, 刘涤尘<sup>2</sup>, 林常青<sup>1</sup>, 黄涌<sup>1</sup>, 熊秀文<sup>1</sup>, 袁荣湘<sup>2</sup>

(1. 华中电网有限公司技术中心, 湖北 武汉 430077; 2. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 对特高压试验示范工程投产后, 当通过特高压大功率送华中电网(南送)方式下, 作为受端的华中电网的无功电压调节能力进行了研究。首先对特高压工程的基本情况进行了说明, 并对特高压大功率南送方式下特高压电压分布和电压控制范围等问题进行了研究; 然后, 针对特高压大功率南送方式下南阳电压低的问题, 就华中电网现有的调压措施分别进行了计算和分析, 包括对即将投产的南阳特高压变电站投运后的情况进行了敏感性分析; 结合研究成果, 就解决特高压工程大功率南送方式下电压偏低问题时华中电网的无功电压调整问题给出了建议。

**关键词:** 特高压; 华中电网; 电压调整

## Study of voltage adjust in Central China Grid to suit for huge power transmitted southward through UHV project

PAN Xiao-jie<sup>1,2</sup>, LIU Di-chen<sup>2</sup>, LIN Chang-qing<sup>1</sup>, HUANG Yong<sup>1</sup>, XIONG Xiu-wen<sup>1</sup>, YUAN Rong-xiang<sup>2</sup>

(1. Technology Center, Central China Grid, Wuhan 430077, China;

2. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** Voltage and reactive power adjustment capability of Central China Grid is studied in the paper when huge power is transmitted southward through UHV project which will be built in near future. At first, the basic condition of UHV and problem of voltage and reactive power when huge power is transmitted southward through UHV project are introduced and studied. Then, all voltage adjustment methods including Nanyang transformer in plan are analyzed to solve low voltage of Nanyang station which caused by huge power transmission. Finally, several advices are brought forward to solve low voltage of Nanyang station which caused by huge power transmission.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China(No.50677046).

**Key words:** UHV; CCPG; voltage adjustment

中图分类号: TM761 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)12-0023-04

## 0 引言

1000 kV 长治—南阳—荆门特高压交流试验示范工程于2006年8月动工, 将于2008年12月投运。该工程的实施对促进我国电力工业的持续发展、提高电网的输送能力和技术水平、推动国内电工设备制造业的发展都具有重大意义。但作为我国第一个1000 kV电压等级的输变电工程, 该工程的投产必将对华北—华中互联电网的安全稳定运行以及电压无功控制等方面带来新的问题, 提出新的要求<sup>[1-3]</sup>。

1000 kV 特高压交流试验示范工程的系统额定电压为1050 kV, 最高运行电压为1100 kV, 包括长治、荆门两个变电站和南阳开关站, 以及长治—南阳输电线路363 km和南阳—荆门输电线路281.6 km。

1000 kV 变电站中, 主变压器采用单相、自耦和中性点无励磁调压方式, 额定容量为3000 MVA, 电压等级为1100/550/110 kV<sup>[4]</sup>。

交流特高压输电线路的一个显著特点是线路电容产生的无功功率很大: 在额定电压为1050 kV以及最高运行电压为1100 kV的条件下, 发出的无功功率约为超高压线路的5倍<sup>[4]</sup>。特高压输电线路传输的功率不同时, 由于无功功率的变化较大, 可能发生的无功电压问题包括特高压大功率传输的电压偏低问题以及特高压小功率传输时的电压偏高问题。特高压试验示范工程感性补偿度超过110%, 因此特高压零功率或小方式运行时, 特高压的电压控制相对容易。当特高压大功率送电时, 由于南阳为开关站缺少电压支撑的原因, 作为受端电网的如何调节电压无功使得特高压电压满足运行条件就成

为了值得深入研究的问题。

本文主要针对特高压大功率向华中电网送电（即南送）方式下，如何在华中电网采取必要的调压措施，既保证特高压电压满足运行要求，同时保证 500 kV 层面的电压满足运行条件的问题进行了研究。根据研究结论，提出了解决大功率南送时无功电压问题的建议。

### 1 特高压南送大功率方式下电压分布和两端电压控制情况

根据《特高压输电系统最高运行电压研究》的研究成果，特高压工程的电压运行范围拟定为 1 000~1 100 kV。而华中电网 500 kV 母线电压的正常运行范围约为 510~540 kV。《电力系统电压和无功电力技术导则》规定，系统最低运行电压不应影响电力系统同步稳定、电压稳定、厂用电的正常使用及下一级电压的调节。

本文主要研究的是特高压大功率送电华中方式下，通过华中电网的电压无功调整措施来满足特高压电压运行要求的问题。因此，重点对输送功率超过 2 000 MW 方式下特高压线路沿线电压分布、特高压系统与 500 kV 系统的无功交换情况以及两端 500 kV 母线电压的控制情况进行了研究。

#### 1.1 研究基本方式

选取 2008 年底特高压南送 2 400 MW 为基本运行方式。该方式情况如下：华中电网通过特高压线路受电 2 400 MW；通过三条直流输电线送电力 1 500 MW 至华东；通过三广直流输电线送电力 1 000 MW 至广东；通过与西北背靠背直流受电力 1 100 MW。该方式下省间潮流情况见图 1。

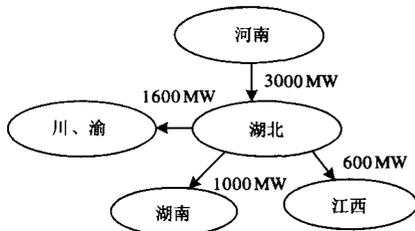


图 1 基本方式华中电网省间潮流示意图

Fig.1 Tide diagram between provinces of Central China Power Grid on basic mode

湖北考虑三峡开机 7 台，葛洲坝开机 8 台，其它机组参照华中电网枯大开机方式，总开机为 14 855 MW，发电机综合功率因数为 0.98。主变下网综合功率因数为 0.97，基本达到无功分层平衡要求。500 kV 层面电压水平为 524~538 kV。

### 1.2 特高压送华中方式下不同功率特高压线路沿线电压分布

对特高压送华中 2 000~2 800 MW 情况下特高压沿线电压的分布研究结果如图 2 所示（主要对电压分布特性进行研究，故取长治和荆门 500 kV 电压均为 525 kV）。

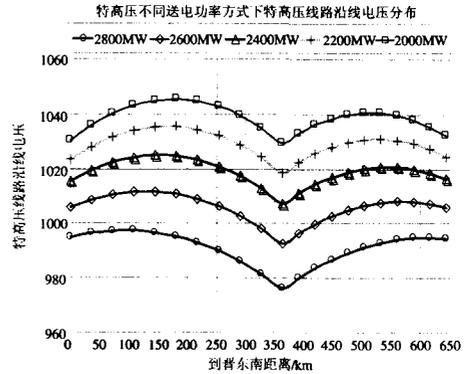


图 2 不同送电功率下特高压线路沿线电压分布  
Fig.2 Voltage distribution diagram along the UHV line when different active power transmitted

由图 2 可见，特高压大功率送电时，南阳开关站附近为特高压输电线路电压最低点。随着输送功率的增加，南阳特高压站电压与两端特高压站电压的电压差距逐渐增大。因此，可选取南阳开关站为特高压大功率送电时的电压控制点：只要控制南阳电压不低于 1 000 kV，即可保证特高压电压在运行范围内。

### 1.3 特高压南送方式下不同功率下两端 500 kV 母线电压的控制情况

对应不同输送功率，考虑长治和鄂荆门 500 kV 母线电压调整范围均为 510~540 kV，可以得出保证南阳电压不低于 1 000 kV 时，两侧长治和鄂荆门 500 kV 母线电压控制范围如图 3 所示（图示线的右上方为控制范围）。

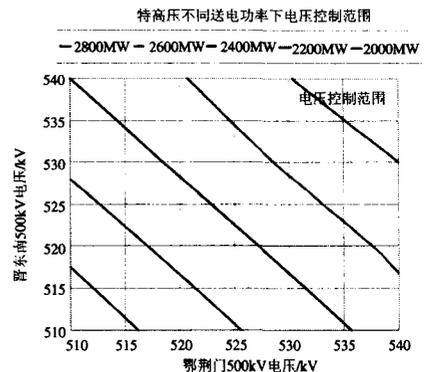


图 3 不同送电功率下两侧电压控制范围

Fig.3 Control range of 500 kV sides in UHV station under different transmission power

由图3可见,当特高压送电功率低于2 400 MW时,控制特高压沿线电压高于1 000 kV以上的要求比较容易满足。随着输送功率的增大,为满足南阳电压不低于1 000 kV时,长治和鄂荆门500 kV母线电压控制范围变得越来越小,当特高压线路输送功率达到2 800 MW时,两侧500 kV母线的电压均须控制在530 kV以上,导致特高压线路电压控制在1 000 kV以上的要求将很难满足。

## 2 特高压大功率南送方式下的华中电网无功电压调整措施

电力系统中,电压调节措施主要有以下几种:调节发电机端电压;调节变压器分接头;安装低压无功补偿设备等<sup>[5]</sup>。本文对这几种调压方法都进行了计算研究,并进行了比较分析。

### 2.1 调节发电机端电压

通过分析可知,当特高压输送功率为2 800 MW时,华中电网采用调节发电机机端电压方法,通过调节三峡电站机端电压提高特高压南阳站电压水平,若控制华中电网500 kV电压水平在540 kV以下,则特高压南阳站电压为983 kV;若不考虑500 kV电压水平限制,则通过调节三峡电站机端电压可以保证南阳站电压不低于1 000 kV,但三峡母线电压为545~550 kV,超出了。如果考虑华北电网同时控制,必须保证长治500 kV母线电压不低于535 kV时,才可能通过调节三峡机端电压,既满足特高压南阳站电压不低于1 000 kV的要求,又满足华中电网500 kV电压不超过540 kV的限制。

### 2.2 调节变压器分接头

对于调节特高压主变抽头以解决特高压工程2 800 MW大功率方式下南阳站电压偏低的问题,本文也进行了研究,调节荆门特高压主变抽头,结果如表1所示。

由表1可见,当主变抽头位于511 kV位置时,特高压送电2 800 MW时南阳母线电压为1 028 kV,符合电压运行标准,能解决2 800 MW功率下南阳站电压偏低的问题。但是当特高压线路零功率方式下,南阳电压超过了运行电压的上限,系统将面临系统电压偏高的局面。

另外,通过对特高压线路合环电压控制的计算也能看出,当特高压变压器抽头在525 kV时,特高压线路在南阳合环,电压控制相对容易。因此,特高压大功率运行方式下主变抽头放在525 kV的位置上更为合适。

表1 主变抽头不同位置下特高压母线电压

Tab.1 Nanyang UHV voltage when tap joint on different placement

送电 2 800 MW	
主变抽头 (各投 4 组低容)	南阳特高压站电压
525	983
511	1 028
送电 0 MW	
主变抽头 (各投 1 组低抗)	南阳特高压站电压
525	1 082
511	1 109
主变抽头 (各投 2 组低抗)	南阳特高压站电压
525	1 074
511	1 101

### 2.3 增补低压无功补偿设备

在2 800 MW南送方式下,在湖北增加1 000 MW无功补偿设备,南阳特高压站的电压约为981 kV。但同时必须提高长治站电压到540 kV,才能满足南阳电压超过1 000 kV的运行要求,同时保证华中电网500 kV电压水平在540 kV以下的条件。

### 2.4 发电机调机端电压与低压无功补偿设备调压措施的比较分析

采用电网发电机调压相比容性无功补偿装置调压相比,具有以下优势:

- ①调压效果好,系统运行灵活性提高;
- ②相对提高系统的暂态稳定水平;
- ③相对减少无功补偿设备资金投入量,技术经济性优。

## 3 南阳特高压主变投运对特高压运行电压控制的敏感性分析

为提高电网运行的安全稳定水平,解决特高压大功率输送方式下的南阳电压难于控制的问题,并充分发挥特高压工程作用,拟于2009年在南阳特高压开关站扩建主变一台,主变变电容量3 000 MVA。通过无功平衡可得,南阳变电站的低压侧补偿设备推荐配置为3组240 MW的电抗和4组210 MW的电容。

当特高压2 800 MW南送方式下,将南阳开关站改为变电站,其他边界条件不变,晋东南和鄂荆门500 kV母线电压控制在合理范围内,南阳特高压

电压约为 1 033 kV，完全满足特高压运行的电压要求。

通过改变不同输送功率对南阳变压器的适应性进行了计算研究，结果如表 2。

表 2 不同输送功率下南阳变对南阳电压影响

Tab.2 Nanyang UHV voltage under different transmission power

节点电压 输送功率	power	
	南阳 EH (无变)	南阳 EH (有变)
2 800 MW	943 kV	1 032 kV
2 400 MW	1 018 kV	1 056 kV
2 200 MW	1 030 kV	1 058 kV
1 400 MW	1 063 kV	1 070 kV
0 MW	1 095 kV	1 089 kV

由结果可见，对于各种输送功率方式，南阳变压器的投运可以更好地控制节点电压，对于不同输送功率有更好的适应性。

通过静稳计算可知，南阳特高压主变的投产可以使特高压工程的静稳极限由 3 300 MW 提高到 4 400 MW。即南阳变压器的投运将不仅可以更好适应不同输送功率的电压要求，同时还有效提高特高压工程的静态稳定水平，可以更充分地提高特高压工程的输电能力。

#### 4 结论及建议

1) 由以上的研究可见，当特高压 2 800 MW 南送方式下，单纯依靠华中电网的电压无功调节措施很难满足南阳特高压站电压不低于 1 000 kV 的要求。因此，如果要求华中电网进行单独调节，建议选取南阳电压不低于 980 kV 为运行标准。

当南阳站为 980 kV 时，通过稳定计算可知，一般故障情况下，系统均可以保持稳定。

2) 南阳变压器投运前，特高压大功率运行方式下，为满足特高压运行电压要求，同时考虑调节的

灵活性和经济性：在华中电网采用的调压措施建议以调节发电机无功出力为主，无功补偿设备的调节为辅。

3) 兼顾特高压小功率方式运行时的电压和合环控制的要求，特高压主变抽头应放在 525 kV 的位置较为合理。

4) 建议加快特高压南阳特高压变的建设，以充分发挥特高压工程的作用。

#### 参考文献

[1] 舒印彪. 1000 kV 交流特高压输电技术的研究与应用[J]. 电网技术, 2005,29(19):1-6.

[2] 倪学锋,林浩,盛国钊.1000kV 特高压输电系统无功补偿若干问题[J]. 电力设备, 2005,16(2):28-30.  
NI Xue-feng, LIN Hao, SHENG Guo-zhao. Some Problems of Reactive Power Compensation for 1000kV UHV Power Transmission System[J]. Electrical Equipment, 2005,16(2):28-30.

[3] 谷定燮,周沛洪.特高压输电系统过电压、潜供电流和无功补偿[J]. 高电压技术, 2005,(11):24-28.  
GU Ding-xie, ZHOU Pei-hong. Over-voltage, Secondary Arc and Reactive Power Compensation in UHV AC Transmission System[J]. High Voltage Engineering, 2005,(11):24-28.

[4] 刘振亚.特高压电网[M]. 北京: 中国电力出版社,2005.

[5] 何仰赞,温增银,汪馥瑛,等.电力系统分析[M].武汉: 华中理工大学出版社,2001.

收稿日期: 2008-07-31; 修回日期: 2008-08-27

#### 作者简介:

潘晓杰 (1976-), 男, 博士后, 研究方向为电力系统稳定与控制; E-mail:pxj76@163.com

刘涤尘 (1953-), 男, 教授, 博导, 研究方向为电力电子在电力系统中的应用、电力系统稳定与控制以及 FACTS 控制技术等相关问题;

林常青 (1972-), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统规划方面的工作。