

# 德宝直流四川电网安全稳定控制系统方案设计

吴冲<sup>1,2</sup>, 刘汉伟<sup>1</sup>, 蔡华<sup>2</sup>

(1. 西南电力设计院, 四川 成都 610021; 2. 德阳供电局, 四川 德阳 618000)

**摘要:** 德阳—宝鸡 ±500 kV 直流输电工程投运后, 给四川电网安全稳定运行带来新的挑战。为了保障交流特高压示范工程和四川电网的安全稳定运行, 在详细的潮流稳定计算基础上, 提出了合理的安控系统配置方案。重点讨论了安控系统方案设计的侧重点, 包括安控系统总体架构、提高系统可靠性和安全性的措施、多直流联合调制功能的实施以及安控系统与自备投的适应性问题。

**关键词:** 高压直流输电; 特高压; 安全稳定控制系统; 多直流联合调制; 自备投

**Abstract:** The commissioning of Deyang—Baoji ±500 kV direct-current transmission project has challenged the safety of Sichuan power grid. To ensure the safe operation of UHV power transmission project and Sichuan power grid, a rational configuration scheme for security and stability control system is presented based on the flow and transient stability simulation. The emphases of the scheme design are discussed, including the general structure, the measures to improve the reliability and safety, the implementation of multi-HVDC power modulation and the coordination of stability control system, and automatic throw-in equipment of emergency power supply.

**Key words:** HVDC transmission; UHV; security and stability control system; multi-HVDC power modulation; automatic throw-in equipment of emergency power supply

**中图分类号:** TM712 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2010)05-0065-04

## 0 引言

为贯彻国家电力结构调整关于“水火互济”、“南北互补”的战略, 国家电网公司(简称国网公司)建设了德阳—宝鸡 ±500 kV 直流输电工程(简称德宝直流工程), 额定输送功率为 3 000 MW。德宝直流工程建成后, 丰水期华中(四川)电网向西北电网送电, 枯水期从西北电网受电, 实现了能源跨区的优化配置, 对华中(四川)电网和西北电网的安全经济运行意义重大。

## 1 安控系统建设必要性

随着特高压 高压直流输电工程和特高压交流工程项目的陆续投产, 全国电网结构发生了显著变化: 德宝直流投产后, 华中电网与西北电网实现了多直流联网; 复龙—上海特高压直流投产后, 华中电网与华东电网实现了多直流联网; 特高压交流示范工程投产后, 华中电网与华北电网也实现了大功率交流联网。

目前特高压示范工程(长冶—南阳—荆门)为单

回线单台变压器, 且大部分时间处于大功率送电模式下, 静稳极限较低。计算机仿真和电网实测数据表明, 华中电网发生大机组跳闸事件后, 损失的功率会按照接近 1:1 的比例转移到特高压示范工程线路上, 一旦线路潮流超过其静稳极限将导致特高压联络线的解列<sup>[1]</sup>。

德宝直流工程投产后的电网稳定分析结果表明, 德宝直流接入电网以后, 对四川电网的暂态稳定水平没有太大影响; 但德宝直流闭锁或 500 kV 交流出线发生严重故障时, 会导致华中电网出现较大的功率缺额(枯期, 西北向华中送电)或功率富余(丰期, 华中向西北送电)。

若此时特高压示范线路处于大功率送电方式下, 特高压线路潮流可能出现较大波动并最终导致特高压线路解列。

根据电网运行经验, 直流工程在投运初期的故障率较高, 单极强迫停运平均 5~7 次/年, 双极强迫停运平均 0.5 次/年。而特高压示范工程目前在跨区电力支援、资源优化配置方面担负着重要作用, 保证其安全平稳运行具有重大意义。

因此, 为了保证电网的安全稳定运行, 按照电网

“三道防线”的思想对德宝直流工程投运后的电网稳定情况进行了分析,并据此提出了四川电网安控系统的配置方案<sup>[2-3]</sup>。在四川电网配置 1 套安全稳定控制系统(简称四川安控系统),通过切机/切负荷实现功率的就地平衡(四川电网网内平衡),避免潮流大范围转移。重点讨论了四川电网安控系统的主要设计要点。

## 2 安控系统设计要点

### 2.1 系统概述

为了适应德宝直流运行方式的需要,本工程配套的四川电网安控系统需要实现丰水期切机和枯水期切负荷的功能。

其中,切机子系统利用现有切机执行站,需要采取切机措施时,控制主站将切机命令发送至相关执行站,集中切除水电机组。

而切负荷由于量较大,为了分散切负荷控制风险、避免影响重要供用户和民生用电,考虑在四川电网 23 个 220 kV 变电站配置切负荷执行装置。

由于切负荷控制影响面大,对安控系统可靠性和安全性都有更高要求,主要介绍德宝直流工程安全稳定控制系统切负荷功能的设计。

### 2.2 系统结构及功能

目前国内大部分集中切负荷控制系统均采用分层分布方式,第一层为控制决策主站,第二层为若干控制子站,第三层为底层执行站,一般控制子站所控制的执行站不超过 10 个。

作为直流联网配套的安稳项目,本工程涉及的范围广、站点多,所需投资较高。为了节省投资,同时不影响系统功能,本工程第一次采用扁平式的稳控系统结构<sup>[4]</sup>,即,取消中间层控制子站,直接由控制决策主站控制执行站。为此,控制决策主站需要有非常强的数据处理能力和通信处理能力。

因此,本工程控制决策主站采用国网电力科学研究院新一代的 SCS-500 型稳控装置<sup>[5]</sup>。该装置的主要特点在于平台容量大,处理速度快。SCS-500 型装置 1 块光通信板可以出 4 个独立光口,每个光口对应 1 台光电变换装置,每台光电变换装置能同时与 8 个方向通信,即,4 台装置可以与 32 个方向同时进行通信,能够满足本工程控制决策主站与 23 个切负荷执行站通信的要求。

为了减轻装置运行压力,将故障判别功能与切机/切负荷控制功能分别交由德阳换流站和谭家湾 500 kV 变实现。

1) 德阳换流站安全自动装置负责判别本地交直流系统运行工况和故障形态,根据离线策略表决策出切机/切负荷总量并发送到谭家湾变电站。同时,德阳换流站具备接收外部直流调制和闭锁直流命令的功能。

2) 谭家湾变电站安全自动装置的主要功能是接收切机/切负荷执行站上送的可切机/可切负荷量,实时更新控制策略表;接收德阳换流站发来的切机/切负荷总量时,根据策略表将控制总量分解到具体的执行站实施切机/切负荷控制。

德阳换流站稳控装置按双重化配置,并列运行,两套系统之间无信息交换,完全独立。谭家湾稳控装置按双重化配置,并列运行独立决策,互不影响;但在某些异常情况下(某套系统无法获取对应子站的信息时,会出现两套装置切机/切负荷策略表不一致),谭家湾变电站安控 A 套系统和 B 套系统需要相互交换信息以完成决策。A/B 两套系统通过柜间的直连光纤实现采集信息的交换。

### 2.3 提高可靠性和安全性的措施

安全自动装置可靠性和安全性的保障除了装置本身采用高性能的部件和集成技术以外,还包括经过长时间运行考验的交直流故障判据,以及软件防误措施,如谭家湾安全自动装置对于从德阳换流站发来的控制量进行有效范围的判别,把超有效范围的数据过滤掉,减少装置误动几率。

安全稳定控制作为跨区域的系统工程,站点之间的数据通信频繁、实时性要求高。因此,安全稳定控制系统的专用通道是保证整个系统可靠性和安全性的关键环节。

德阳换流站与谭家湾变电站之间的通信采用专用纤芯直连的方式,2 套装置分别走不同的光缆,减少了中间转换环节;谭家湾与执行站之间采用点对点、复用通信 2 M 口的方式,通道按不同路由的光纤环网电路组织通道,对不具备条件的通道进行了整改;承载安控业务的 SDH 通信设备采用双重化配置,单一 SDH 设备失效不会造成两路通道断开。

同时,稳控装置对通信内容进行了至少四种校验(CRC 校验、特殊编码识别等),并要求命令报文的连续多次确认。

## 2.4 基于事件触发的多直流联合调制

华中(四川)受电模式下,德宝直流非正常停运需要切除四川电网本地负荷。直流单极停运时,直流极控可以根据另一极运行工况,利用直流阀组的过流能力,自行采取提升功率措施,以减少负荷损失,避免安控装置动作<sup>[6]</sup>;而一旦双极停运,安控装置动作无法避免,且切负荷量较大。因此,如何减少切负荷量、将故障对四川电网的影响降到最低成为本工程的一大难题。

目前,华中电网有多条直流线路与华东电网和广东电网相连,这包括向家坝至上海 ±800 kV 直流工程(额定送电容量 6 400 MW),三峡电站至上海 3 回 ±500 kV 直流线路(单回额定送电容量 3 000 MW),三峡电站至广东 1 回 ±500 kV 直流线路。枯期华中电网通过德宝直流受电的同时通过三峡直流送出线路向华东、广东电网送电。

由于直流系统换流阀触发角的快速可控性,通过调整触发角可以快速、平滑地调节直流输电功率<sup>[7]</sup>。那德宝直流故障时能否实时调节三峡直流送出功率来实现华中电网自身的功率平衡,从而减少四川电网切负荷控制量呢?

计算分析结果表明,采用德宝直流闭锁事件驱动的三峡外送直流功率紧急调制的确可以大大降低四川电网的切负荷量<sup>[8]</sup>;德宝直流双极闭锁时,通过将三峡直流功率紧急回降 10%可以减少四川电网切负荷控制量的 58%。因此,本工程中优先考虑采用德宝直流闭锁事件驱动的三峡外送直流功率快速调制以减少四川电网切负荷量。

基于计算分析结果,设计基于德宝直流闭锁事件驱动的直流紧急调制逻辑如下:德阳换流站安控装置捕获到直流双极闭锁故障或交流出线故障后,根据离线策略表,优先将直流调制量发送到复龙换流站、龙泉换流站和宜都换流站的安全自动装置;相应站点安全自动装置接收到调制量后,采用空接点方式向各自的极控系统发送直流调制命令。

## 2.5 备自投的考虑

目前四川电网 110 kV 变电站普遍安装了备用电源自动投入设备(简称备自投);当 1 回 110 kV 进线故障掉电时,自动将作为备用电源的另 1 回 110 kV 进线投入,确保变电站不间断运行,提高供电可靠性<sup>[9]</sup>。

本工程四川电网共有 23 个 220 kV 变电站配置

了切负荷执行装置,装置接收来自主站的命令并直接动作于本站 110 kV 出线开关跳闸。因此,不允许线路对侧 110 kV 变电站备自投装置动作投入备用电源,否则负荷无法实际切除。

为了适应安控系统的需要,往往要对备自投设备进行改造。目前较为普遍的做法有“增加闭锁备自投的远传装置”、“修改备自投起动判据”等方法。前者需要增加远传装置,将安控动作接点传送至 110 kV 变电站闭锁备自投,该方案直接可靠,但工程实施较复杂,依赖通道,费用较高;后者对备自投的软件进行修改,工作量大,可靠性降低。

本工程采用集中切负荷控制方式,所有切负荷控制策略在谭家湾安控主站完成。因此,考虑通过调整策略表的方式来解决安控系统切负荷与备自投的矛盾。

第一步,由电网调度部门梳理本工程所有进入切负荷控制序列的 110 kV 线路,确保其构成备自投关系的闭集合;

第二步,将有备自投关系的线路进行分组,如 A、B 线构成备自投则编入同一组;

第三步,在谭家湾装置的策略表中将同一组线路视为 1 回线,不论 2 回线的潮流方向如何,同时切除 2 回线。这样就确保了负荷的有效切除。

## 3 结 语

1)德宝直流四川电网安控系统结构采用 1 个主站对 25 个执行站的方式,其装置平台规模和处理能力在国内居于领先地位。经过数月的挂网运行,安控系统的可靠性和安全性得到检验,对今后其他工程具有一定的借鉴意义。

2)第一次在国内实现广域的多直流联合调制,不仅在本工程中实现四川电网切负荷控制的最优化,同时对今后多直流联合调制的工程应用打下了基础。

## 参考文献

- [1] 特高压试验示范工程投产后互联电网安全稳定控制措施配置方案研究[R]. 中国电力科学研究院, 2008.
- [2] DL 755-2001 中华人民共和国电力行业标准电力系统安全稳定导则[S].
- [3] 德阳万寿桥换流站 2010 年接入系统安全稳定控制系统专题研究[R]. 西南电力设计院, 2009.

[4] 西北—华中直流联网工程四川电网安全稳定控制系统初步设计 [R]. 西南电力设计院, 2009.

[5] 四川德阳换流站 SCS—500 分布式稳定控制装置功能说明书 [R]. 南京南瑞电网安全稳定控制技术分公司, 2010.

[6] 浙江大学直流输电教研组. 直流输电 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1985.

[7] 李兴源. 高压直流输电系统的运行和控制 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.

[8] 德宝直流与特高压交流试验示范工程运行控制策略研

究 [R]. 中国电力科学研究院, 2009

[9] 四川电力系统 2010 年度运行方式 [R]. 四川省电力公司

作者简介:

吴冲 (1981), 男, 工程师, 从事安全自动装置和继电保护规划设计工作。

刘汉伟 (1964), 男, 高级工程师, 从事安全自动装置和继电保护规划设计工作。

蔡华 (1981), 男, 工程师, 从事继电保护管理和研究工作。

(收稿日期: 2010—07—10)

(上接第 3 页)

电压的不平衡度, 对抑制双回线路同时跳闸的作用十分显著, 在实际工程中, 一般采用逆相序排列。

计算结果表明, 导线采用“VIV”鼓型布置的 500 kV 双回路直线塔的电气性能满足规程规范的要求, 且较导线采用“III”鼓型布置方式的铁塔电气性能更有优势。

### 4 在工程中的运用

2009 年, 四川电力设计公司承担宜宾—泸州 500 kV 同塔双回输电线路新建工程设计工作。该工程起于宜宾(叙府)500 kV 变电站, 止于泸州 500 kV 变电站, 线路全长约  $2 \times 81$  km, 采用同塔双回架设方式, 途径四川省宜宾市和泸州市。根据该条输电线路沿线区域经济较发达, 人口众多, 房屋多, 分布广等工程特点, 在该工程中采用导线“VIV”布置的鼓型直线塔, 属国内首次使用。

新型导线“VIV”布置的鼓型直线塔的应用较传统“III”鼓型直线塔, 线路走廊平均宽度缩短了 3.05 m。走廊宽度的缩短, 全线房屋拆迁减少  $13\,230\text{ m}^2$ , 节约房屋拆迁面积 10.8%。

按相同的使用条件, 用“III”鼓型直线塔替换“VIV”鼓型塔, 全线直线塔耗钢量增加 300 t 增加塔材耗量 3.43%。

绝缘子方面, “VIV”鼓型塔较“III”鼓型塔增加 521 支合成绝缘子, 增加费用约 104.2 万元。

综合考虑, “VIV”串在宜泸线中的使用, 共节约投资 754.5 万元, 具有很好的经济效益和社会效益。

表 4 III 串和 VIV 串在宜泸线经济技术比较表

比较项目	III 串	VIV 串
平均走廊宽度 /m	31.37	28.32
房屋拆迁面积 /m <sup>2</sup>	116 375	103 145
直线塔材耗量 /t	6 160	5 860
合成绝缘子 (支)	875	1 396
综合费用 (万元)	754.5	0

### 5 结 论

双回路直线塔采用“VIV”串挂线方式, 能节约输电线路走廊, 降低工程铁塔重量; 同时由于走廊宽度的缩短, 大大减小了房屋拆迁。通过在实际工程中的成功应用, 取得了显著的经济效益和社会效益, 具有广泛的推广价值。

### 参考文献

[1] 谢开, 刘永奇, 朱治中, 等. 面向未来的智能电网 [J]. 中国电力, 2008, 41(6): 19—22.

[2] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网 [J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(1): 7—11.

[3] 余贻鑫. 面向 21 世纪的智能配电网 [J]. 南方电网技术研究, 2006, 2(6): 14—16.

[4] 陈建民, 周健, 蔡霖. 面向智能电网愿景的变电站二次技术需求分析 [J]. 华东电力, 2008, 36(11): 37—38.

[5] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述 [J]. 电网技术, 2009, 33(8): 1—7.

作者简介:

田峻 (1971), 男, 硕士, 工程师, 从事高压输电线路设计。

钟顺洪 (1978), 男, 硕士, 工程师, 从事高压输电线路设计。

于学玉 (1980), 男, 硕士, 工程师, 从事高压输电线路设计。

(收稿日期: 2010—05—18)