

# 德阳电网 AVC 系统省地协调控制的实现

刘青丽<sup>1</sup>, 尹琦<sup>1</sup>, 周鹏<sup>2</sup>, 邓志森<sup>1</sup>

(1 德阳电业局, 四川 德阳 618000; 2 许继电气股份有限公司直流输电系统部, 河南 许昌 461000)

**摘要:**介绍了德阳地调 AVC 子站系统与四川电网省调 AVC 主站系统之间的相互协调控制以实现省地一体化 AVC 系统的闭环运行, 分析了省地协调控制中应考虑的问题, 总结了德阳 AVC 系统省地协调的特点, 对其他地区建设 AVC 系统省地协调控制具有一定借鉴作用。

**关键词:**自动电压控制; 省地协调; 电网; 功率因数

**Abstract:** The coordinated control between AVC (automatic voltage control) sub-station system of Deyang and AVC main station system of Sichuan power grid is introduced in order to achieve the closed-loop operation of AVC system. The problems that should be taken into account in the coordinated control are analyzed and the characteristics of the coordinated control in Deyang AVC system are summarized which gives a reference for other areas to construct AVC control system.

**Key words:** automatic voltage control (AVC); coordinated control between province and region; power grid; power factor

**中图分类号:** TM734 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2010)05-0085-04

## 0 引言

德阳电网 AVC 在投入省调协调控制之前, 四川省网 AVC 和德阳电网 AVC 都只是分别对各自对应的部分电网进行优化计算控制, 各自的最优解不一定是全网的最优解, 并且省网侧不能有效利用德阳电网的无功补偿量, 德阳电网在优化计算中作为电源点的 220 kV 母线电压也只能是固定值。

在德阳电网 AVC 投入省调协调控制之后, 虽然四川省网 AVC 和德阳电网 AVC 仍只是分别对各自对应的部分电网进行优化计算, 但通过双方下发和上传协调量, 不仅实现了全网的最优控制, 并且省网侧可以通过下发协调量将德阳电网的无功补偿量作为无功源, 德阳电网可以通过上传协调量使作为电源点的 220 kV 母线电压达到期望值。

2009 年 10 月, 德阳地区新市区域电网、万安区域电网和古城区域电网的 AVC 系统建成, 并已实现和四川省调 AVC 主站之间的协调控制, 为有效提高德阳电网电压控制水平、降低网损、提高电压稳定裕度提供了可靠的保证。

## 1 德阳 AVC 系统省地协调控制

### 1.1 四川电网无功电压控制系统介绍

四川电网无功电压控制系统采用基于电网全局无功电压优化计算, 集安全性和经济性于一体的全网协调的模式。该系统具有适合四川电网运行特点的基于最优潮流计算和在线软分区的三级电压优化控制结构, 采用集中决策、分级协调、分区控制的无功电压优化控制模式, 综合考虑电网安全约束条件, 在线优化计算, 提出合理电压校正和无功优化策略, 从而实现全网自动无功电压优化控制, 全面提升无功电压控制管理水平, 实现网、省、地调以及厂站之间的协调控制, 大幅度提高四川电网的安全、经济、优质运行水平。

### 1.2 德阳电网 AVC 子站系统结构

德阳电网 AVC 子站系统 (以下统称德阳电网 AVC 子站, 如图 1) 按照集中决策、分级协调、分区控制的协调控制模式, 由地调 AVC 系统、县调 AVC 系统和相关通信通道组成, 是省地一体化 AVC 系统的组成部分, 其控制范围是从 220 kV 变电站向下延伸的辐射电网。

当德阳地、县调 AVC 系统通信正常时, 地、县调 AVC 系统均采用地调控制模式。县调 AVC 系统接受地调 AVC 系统发出的控制命令, 并将其发送至 SCADA 系统, 完成电力设备的闭环控制。

若地调 AVC 系统运行异常或者德阳地、县调 AVC 系统通信出现中断时, AVC 系统自动转入县调

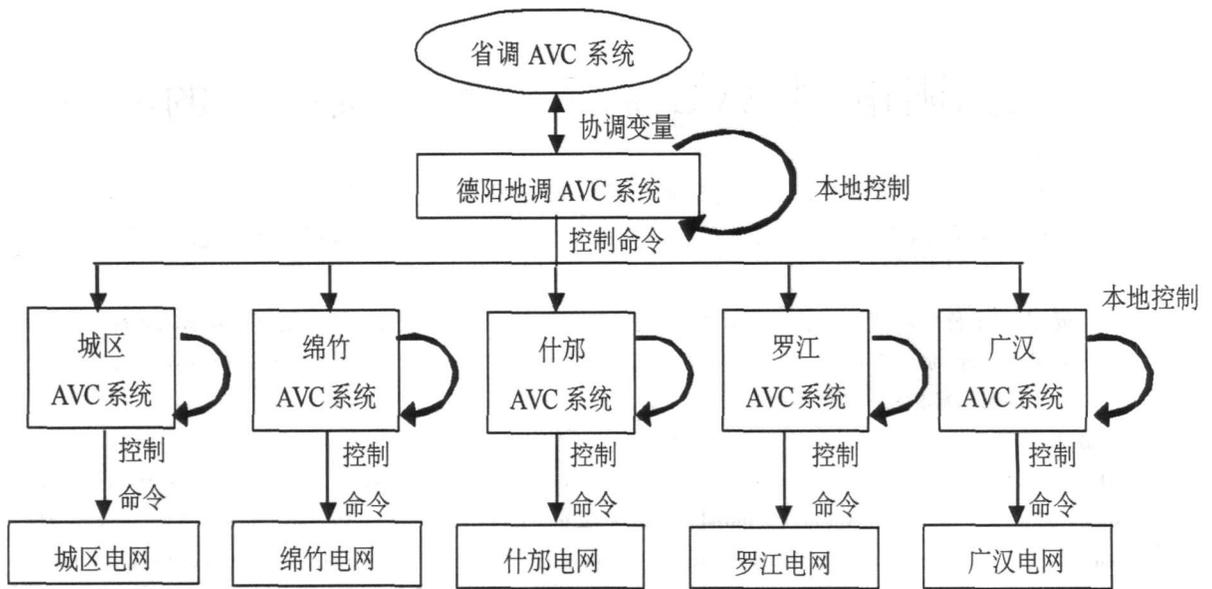


图 1 德阳电网 AVC 子站结构

控制模式。县调 AVC 系统根据本地电网的实时数据和网络参数,进行本地区的电压和无功的优化计算,将控制命令发送至 SCADA 系统。在故障情况下,地调 AVC 系统将控制权转换至县调 AVC 系统,这样在最大程度上保证了系统的安全、稳定。当地调 AVC 系统恢复正常后,各个县调 AVC 系统自动转入地调控制模式,并发送本地数据库中的上传数据至地调数据库。

为实现德阳区域电网以及整个四川电网的电压和无功安全、经济运行,德阳电网 AVC 子站还应接收省调 AVC 主站的协调变量。一旦省调 AVC 主站和德阳电网 AVC 子站通信中断,或者省调 AVC 主站因异常而退出运行,德阳电网 AVC 子站自动转入本地控制模式,并执行本地设置的关口功率约束。

### 1.3 省地协调电压控制方式

四川省电网 AVC 系统对德阳 AVC 系统的控制方式(如图 2):在省网侧将德阳电业局各 AVC 可控关口等值为对应的可控对象,德阳 AVC 系统向省网 AVC 系统实时传送德阳 AVC 系统的实时运行工况,省网 AVC 根据各关口的控制参数及全网需求计算并下发关口调节命令,德阳 AVC 系统根据下发的命令对德阳电网进行计算控制。此外,德阳 AVC 可上传 220 kV 母线电压期望调节量,省网 AVC 按照期望调节量进行调节。

### 1.4 省地调之间的数据通信

省、地调之间通过电力调度数据网进行通信,利用 TASE2.0 规约进行数据交换。为完成省调三级电

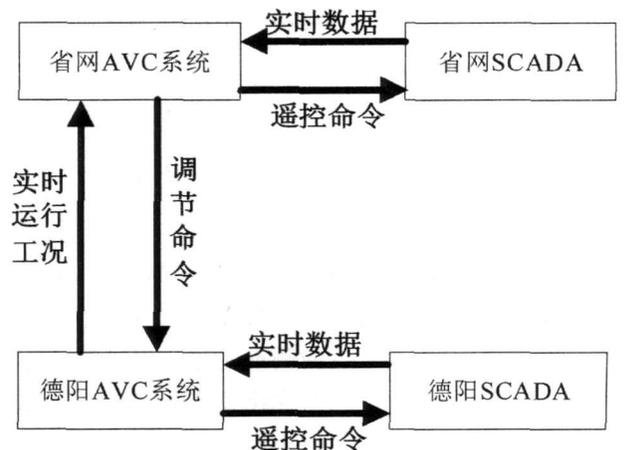


图 2 德阳电网省地一体化的电压控制模式

压优化协调控制,德阳 AVC 系统向省网 AVC 系统实时传送德阳 AVC 系统的实时运行工况(如表 1),包括 220 kV 变电站低压侧无功补偿可有效投切容量、以及该站供电范围内的所有可有效投切无功补偿容量上传省调;另外,还包括诸多辅助信息需要上传省调。

地调在上传该量前应完成预校核,确保该无功容量的可靠使用。同时,地调应将该变压器供电范围内的所有可投切无功容量上传至省调 AVC。即从该 220 kV 变压器向下辐射的所有地区电网的可正向增加(可投)和可负向增加(可退)的无功容量(对于电抗器按照容量为负的电容处理)。地调在上传无功量时,应考虑投切次数、时间间隔等多个约束条件。

关口功率因数目标值,以各个 220 kV 变电站主变压器为单位,进行计算控制并给出控制策略,对该

表 1 与 AVC 有关的上传信息表

序号	名称	数量
1	可用状态 (地调)	1 可用, 0 不可用
2	远方状态 (地调)	1 控, 0 不控
3	是否可控 (对应到关口)	1 控, 0 不控
4	关内可增无功 (对应到关口)	220 kV 站内的无功 (Mvar 保留小数点后两位小数)
5	关内可减无功 (对应到关口)	(Mvar 保留小数点后两位小数)
6	关内紧急可增无功 (对应到关口)	220 kV 站内的无功 (Mvar 保留小数点后两位小数)
7	关内紧急可减无功 (对应到关口)	(Mvar 保留小数点后两位小数)
8	关外可增无功 (对应到关口)	关口对应的全网 (Mvar 保留小数点后两位小数)
9	关外可减无功 (对应到关口)	(Mvar 保留小数点后两位小数)
10	关外紧急可增无功 (对应到关口)	(Mvar 保留小数点后两位小数)
11	关外紧急可减无功 (对应到关口)	(Mvar 保留小数点后两位小数)
12	期望电压上或下调量 (对应到关口)	(kV, 保留小数点后两位小数)

变电站低压侧无功补偿设备、主变压器分接头、该站供电范围内的所有无功补偿设备以及地调调度电厂无功出力进行协调优化控制, 实现省调主站与德阳电网 AVC 子站之间的分级协调控制。

省网 AVC 根据各关口的控制参数及全网需求计算并下发关口调节命令 (如表 2)。德阳电网 AVC 系统根据省调三级电压控制所给出的关口功率因数目标值, 以各个 220 kV 变电站主变压器为单位, 进行计算控制并给出控制策略, 对该变电站低压侧无功补偿设备、主变压器分接头、该站供电范围内的所有无功补偿设备以及地调调度电厂无功出力进行协调优化控制, 实现省调主站与德阳电网 AVC 子站之间的分级协调控制。

## 2 省地协调控制中应考虑的问题

### 2.1 上传无功容量求取

上传容量的求取采用以式 (1) 为目标函数的粒子群优化算法进行计算。

$$F = \min \left\{ \frac{1}{\Delta Q_{gk}} + \sum_{i=0}^N \left( \frac{\Delta V_i}{V_{\max} - V_{\min}} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

$$\Delta Q_{gk} = \begin{cases} Q_{\text{initial}} - Q_{\text{now}} & (\text{当 } Q_{\text{initial}} > Q_{\text{now}} \text{ 时}) \\ 0 & (\text{当 } Q_{\text{initial}} \leq Q_{\text{now}} \text{ 时}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\Delta Q_{gk} = \begin{cases} Q_{\text{now}} - Q_{\text{initial}} & (\text{当 } Q_{\text{now}} > Q_{\text{initial}} \text{ 时}) \\ 0 & (\text{当 } Q_{\text{now}} \leq Q_{\text{initial}} \text{ 时}) \end{cases} \quad (3)$$

其中  $\Delta Q_{gk}$  为关口无功改变量, 其值在求可投无功时按式 (2) 确定, 在求可切无功时按式 (3) 确定;  $Q_{\text{now}}$  为本次迭代中关口无功;  $Q_{\text{initial}}$  为初始关口无功;  $N$  为母线总数;  $\Delta V_i$  为母线电压越界量,  $V_{\max}$  和  $V_{\min}$  分别为母线的上限、下限, 其值在求正常容量时为本地

正常运行曲线范围, 在求紧急容量时为安全运行的最大范围。

### 2.2 省调命令的使用

德阳地调在接收到省调下发的功率因数后, 采用与本地计算同样的粒子群优化算法, 只是使用下发的关口功率因数约束代替本地设置的关口功率约束。

这里的目标函数是实现网络运营成本和管理成本的最小化, 同时也包括 PQ 的电压节点和变电站关口功率因数的惩罚项。采用的目标函数为

$$F = \min \left\{ P_{\text{loss}} + \lambda_1 \sum \left( \frac{\Delta V_i}{V_{\max} - V_{\min}} \right)^2 + \lambda_2 \sum \left( \frac{\Delta Q_i}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right)^2 + C_T \Delta X_T + C_c \Delta X_c \right\} \quad (4)$$

式中,  $P_{\text{loss}}$  为实际功率损耗;  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  分别为违反电压约束和变电站关口功率因数约束的惩罚系数;  $\Delta V_i$  为母线电压越界量 (式 5),  $\Delta Q_i$  为变电站关口无功功率越界量 (式 6)。

$$\Delta V_i = \begin{cases} V_i - V_{\max} & \Delta V_i > V_{\max} \\ 0 & V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \\ V_{\min} - V_i & V_i \leq V_{\min} \end{cases} \quad (5)$$

$$\Delta Q_i = \begin{cases} Q_i - Q_{\max} & \Delta Q_i > Q_{\max} \\ 0 & Q_{\min} \leq Q_i \leq Q_{\max} \\ Q_{\min} - Q_i & Q_i \leq Q_{\min} \end{cases} \quad (6)$$

$V_{\min}$  和  $V_{\max}$  分别为节点电压  $V_i$  的下限、上限。 $Q_{\min}$  和  $Q_{\max}$  分别为变电站关口功率因数  $\cos\varphi$  的上限、下限对应的无功最小值、最大值。在德阳 AVC 子站采用省地协调控制时, 功率因数  $\cos\varphi$  的下限、上限采用省调下发协调变量; 在德阳 AVC 子站转入本地控制时, 功率因数  $\cos\varphi$  的下限、上限采用本地设置的

表 2 与 AVC 有关的下传命令与信息表

序号	名称	数量
1	刷新时刻 (地调)	整数 (从该日零点开始计时的整分钟数)
2	协调控制优先级 (对应到关口)	1 强制, 0 正常
3	功率因数设定值上限 (对应到关口)	
4	功率因数设定值下限 (对应到关口)	

关口功率约束。

$C_T$  和  $C_C$  分别为变压器抽头的调节代价和补偿电容器投切的调节代价;  $\Delta X_T, \Delta X_C$  分别为变压器抽头档位变化量和补偿电容器投切组数变化量。

### 2.3 松弛省级约束

省网模式是基于 220 kV 网络建立的, 此时各个 220 kV 变电站所辐射供电的 110 kV 及其以下电压等级的电网被等效加载。由于这种不完全模式, 省调 AVC 主站所下发的功率因数约束值存在省级的最优化和地区的可行性之间的矛盾。协调此矛盾可采用以下的方法解决 (如图 3)。

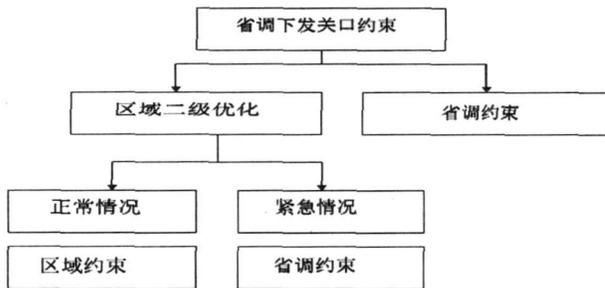


图 3 省地 AVC 系统协调控制

如果功率因数约束是可行的, 地调 AVC 系统使用省调约束进行计算。当功率因数约束是不可行的, 如果按照此约束将导致变电站电压超限, 此时功率因数的约束则取决于省级 AVC 系统给出的优先标志。如果优先标志表明系统处于正常情况, 区域 AVC 系统放弃省网约束, 而采用基于松弛约束策略的地区约束进行计算。如果优先级标志表明紧急情况, 各区域 AVC 系统根据省网约束限制进行优化计算, 此时为确保系统电压而不考虑地区的稳定和电压合格率。

## 3 德阳 AVC 系统省地协调的特点

### 3.1 协调模式

德阳 AVC 系统在省地协调的基础上, 将协调优先级分为正常和紧急 2 种模式。正常模式下, 德阳 AVC 系统在优先保证德阳地区电网电压水平的基础上参与省地协调, 该模式是基于正常运行中电压优先原则考虑的; 紧急模式下德阳 AVC 系统放宽本地电

压限值严格保证按照省调下发功率因数范围进行控制。该模式是基于紧急情况下无功补偿优先的原则考虑的。

### 3.2 无功容量

采用智能优化算法进行省地协调容量计算, 使上传的无功容量可以最大程度上发挥关口无功调节能力。为保证上传无功容量的准确性, 上传的无功容量不是直接根据电容器容量得来, 而是折算到关口的无功补偿变化量。

### 3.3 功率修正

由于省网与德阳地区电网是通过无功进行协调控制, 因此支路功率特别是关口功率的潮流计算值与实际值的误差必须足够小, 否则可能达不到控制要求, 甚至会出现反向错误控制。基于此问题, 德阳 AVC 系统在省地协调中专门增加了功率修正功能: 首先通过潮流计算得到支路功率偏差, 然后在优化计算中对预计值进行修正, 从而保证计算结果更准确, 在效果上更能满足省调命令要求。

### 3.4 安全措施

省地协调控制是实时在线控制, 通信是否正常直接影响着协调是否合理。因此德阳 AVC 系统实施如下安全措施。

(1) 若德阳 AVC 系统检测到与省网 AVC 通道中断, 德阳 AVC 自动转入本地控制, 重新投入省地协调需调度命令人工投入。

(2) 若德阳 AVC 系统某关口自由调度员人工投入省地协调起连续 32 min 没有收到省调 AVC 下发命令, 则该关口自动退出省地协调。

(3) 若德阳 AVC 系统某关口最近一次收到的省调命令是 32 min 以前的, 则该关口自动退出省地协调。

(4) 若德阳 AVC 系统某关口连续三次收到的命令明显异常, 则该关口自动退出省地协调。

## 4 结 语

(下转第 92 页)

Trans PowerDel, 2006, 21( 2): 935—932

[17] Ganez JC, Morcos M. Voltage Sag and Recovery Time in Repetitive Events[J]. IEEE Trans PowerDel 2002, 17(4): 1037—1043.

[18] 张志刚, 殷科生. 基于负荷敏感性及能量损失的电压凹陷的评价 [J]. 西北电力技术, 2005(4): 1—2, 18.

[19] 李光荣, 代红才. 定量评价电压凹陷引起的用户损失

[J]. 江西电力, 2006, 30(4): 37—39.

[20] S. A. Yin, C. N. Lu, Edwin Liu, Y. C. Huang and C. Y. Huang. Assessment of Interruption Cost to High-tech Industry in Taiwan [C]. Proceedings of the IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, Atlanta, GA, USA, 2001.

(收稿日期: 2010—08—15)

(上接第 34 页)  
技术经济效益。

### 参考文献

[1] 萨师煊. 数据库系统概论 [M]. 高等教育出版社, 2000.

[2] 郑耀东. ASP.NET 2.0 编程指南 [M]. 人民邮电出版社, 2007.

[3] 张杰. 基于 Web 的工作流管理系统的设计与实现 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2009, 22(1): 56—58.

[4] 石邵郡, 林小村, 文杰, 等. 电力系统继电保护配置及定值管理系统 [J]. 电网技术, 1996, 20(8): 26—29.

[5] 谢熹, 吕飞鹏, 雷云川, 等. 基于工作流的继电保护定值管理系统 [J]. 电网技术, 2006, 30(16): 64—69.

[6] 彭晓兰, 刘沛, 程时杰, 等. 一个实用的继电保护运行与管理专家系统 [J]. 中国电机工程学报, 1996, 16(6):

421—426.

### 作者简介:

周建群 (1969), 女, 工程师, 大学本科, 从事电力系统调度运行工作;

吕 华 (1980), 男, 工程师, 大学本科, 从事电力系统自动化专业工作;

李志文 (1978), 男, 工程师, 硕士, 从事电力系统继电保护专业工作;

杜俊红 (1975), 女, 工程师, 硕士, 从事电力系统继电保护专业工作。

胡亚平 (1986), 男, 硕士研究生, 从事电力系统继电保护研究。

吕飞鹏 (1968), 男, 博士, 教授, 从事电力系统继电保护研究。

李运坤 (1987), 男, 硕士研究生, 从事电力系统继电保护研究。

(收稿日期: 2010—05—12)

(上接第 88 页)

AVC 系统是保证电网安全、经济、优质运行并作为电网安全稳定预防性控制措施的重要技术手段。省、地调之间的协调控制的实现为有效提高德阳电网电压控制水平、降低网损、提高电压稳定裕度提供了可靠的保证。

因此, 下一步德阳电业局将根据德阳地区电网电压无功控制的特点, 建立以德阳地调主站为中心覆盖包括城区供电局五里堆、孟家、二重区域电网、绵竹供电局新市区区域电网、什邡供电局云西区域电网、罗江供电局万安区域电网以及广汉供电局古城区域电网在内的地区区域电压无功控制系统。

### 参考文献

[1] 郭庆来, 孙宏斌, 张伯明, 等. 江苏电网 AVC 主站系统的研究和实现 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(22): 83—87.

[2] 郭庆来, 孙宏斌, 张伯明, 等. 协调二级电压控制的研究 [J]. 电力系统自动化, 2005, 29(23): 19—24.

[3] 唐茂林, 庞晓艳, 李旻, 等. 计及梯级电站的省地一体化 AVC 系统研究及实现方案 [J]. 电力自动化设备, 2009, 29(6): 119—123.

[4] 王铁强, 成海彦, 等. 基于分层分区协调控制的河北南网 AVC 系统设计与实现 [J]. 电网技术, 2008, 12(32): 157—160.

[5] 孙宏斌, 张伯明, 郭庆来, 等. 基于软分区的全局电压优化控制系统设计 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27(8): 16—20.

### 作者简介:

刘青丽 (1977), 女, 汉族, 工程师, 研究方向为电力系统调度运行;

尹 琦 (1971), 女, 汉族, 高级工程师, 研究方向为电力系统调度运行;

周 鹏 (1978), 男, 汉族, 助理工程师, 研究方向为电力系统控制及保护;

邓志森 (1978), 男, 汉族, 工程师, 研究方向为电力调度自动化。

(收稿日期: 2010—08—15)