

# 节能调度模式下的河南电网 AGC 控制策略

陈楷<sup>1</sup>, 孙建华<sup>1</sup>, 王卉<sup>2</sup>

(1. 河南省电力调度通信中心, 河南 郑州 450052; 2. 郑州供电公司, 河南 郑州 450052)

**摘要:** 提出了适应节能调度的河南电网 AGC 控制策略。该策略通过实施分层分区的 AGC 系统, 能够对电网稳定断面进行最佳控制。介绍了该策略中实现水火电联调、提高跟踪精度的具体方案。在河南电网的实际应用中表明, 该策略在实现电网安全约束调度的同时, 有效提高了主要输电断面的利用率, 提高了电网运行的经济性。

**关键词:** 节能调度; 自动发电控制; 安全约束调度

## The AGC strategy of Henan Power Grid for energy-saving dispatch

CHEN Kai<sup>1</sup>, SUN Jian-hua<sup>1</sup>, WANG Hui<sup>2</sup>

(1. Henan Electric Power Dispatching and Communication Center, Zhengzhou 450052, China;  
2. Zhengzhou Power Supply Company, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** The AGC strategy of Henan Power Grid for energy-saving dispatch is presented. This strategy can do well in tie line over-load control by implementing hierarchical and regional AGC system. The detailed approach of how to realize thermal-hydro union regulation and improve tracing precision by this strategy is presented. The implementation of this strategy in Henan Power Grid shows that it can effectively improve main tie line utilization ratio under security constrained dispatch so as to enhance the efficiency of the power grid.

**Key words:** energy-saving dispatch; automatic generation control; security constrained dispatch

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)04-0058-04

## 0 引言

电力工业既是能源生产大户, 也是能源消耗大户。国家积极推进节能减排的政策环境对电网经济调度提出了更高的要求。河南电网作为华中电网的火电基地, 被列为国家首批节能调度试点之一。根据节能调度的原则, 应当优先调度可再生能源和高效能大容量机组发电, 然而, 这些高效能大容量机组往往处于电网送端, 受到电网输电断面约束的限制。在此条件下, 如何提高电网主要输电断面的利用率, 最大可能地保证高效能大容量机组发电, 是节能调度面临的重要问题。充分利用自动发电控制 AGC (Automatic Generation Control) 系统, 提高电网运行控制水平, 是解决这一问题的有效途径。

自动发电控制是现代电网控制系统的一项重要功能<sup>[1]</sup>, 是建立在电网调度的能量管理系统(简称 EMS)与发电机组的协调控制系统(简称 CCS)间的一种闭环控制技术。随着电网规模的不断扩大、电网装机容量的不断增长, 传统的电网 AGC 系统已逐渐不能满足电网运行控制的要求以及节能发电调

度的需要。

## 1 河南电网概况

截至 2007 年底, 河南电网统调装机容量已达到 35 210 MW, 其中水电装机容量 2 470 MW, 仅占总容量的 7%; 并入 500 kV 电网的装机容量为 1 176 万 kW, 占总容量的 33%。河南电网网架结构如图 1 所示, 分为豫北、豫西、豫中东、豫南四个区域开环运行, 各区域之间仅通过 500 kV 线路联系, 各区域内部仍存在 500 kV 与 220 kV 电磁环网, 水电厂集中在豫西地区, 主力调频厂为豫西的小浪底水电厂。电网潮流呈现西电东送、北电南送的特点。

河南电网实施 AGC 系统改造之前, 虽然网内拥有众多具备 AGC 遥调功能的火电机组, 但因火电 AGC 调节速度慢, 水火电 AGC 协调控制难以实现等问题一直未投入使用。全网的调频主要依赖拥有 6 台 300 MW 水电机组的小浪底水电厂, 且受来水条件影响, 所能提供的调频空间很不稳定。火电机组则靠调度员人工下发出力指令来跟踪负荷。

随着电网规模的扩大, 人工调节将使调度人员

不堪重负,且也难以满足电网潮流控制的要求,各主要输电断面频繁越限,然而断面利用率却不高。受此影响,并于 500 kV 电网的高效能机组发电受限,不利于节能调度。

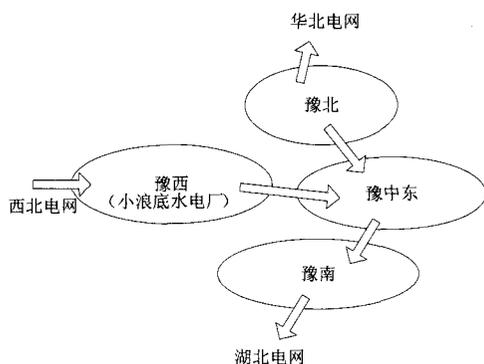


图 1 河南电网友架结构示意图  
Fig.1 Structure of Henan Power Grid

## 2 AGC 在节能调度中的应用

根据节能调度的原则,应当优先调度可再生能源和高效能大容量机组发电,抑制和淘汰煤耗水平高、污染排放高的小火电机组。在河南电网中,作为可再生能源的水电比重较小,且其调度模式为以水定电,即按来水情况进行调度发电,因此,河南电网节能调度工作的重点在于合理分配火电机组发电,以达到总煤耗最低的目标。

如果仅考虑节能调度目标,可以将火电机组按煤耗的高低进行排序,根据煤耗水平由低到高依次调度,即煤耗低的机组优先发电,在其容量用满之后再安排煤耗较高的机组发电,依次类推,直至满足供电需求,这种方式显然在理论上是最节能的。然而在实际电网运行中,以河南电网为例,煤耗水平低的大容量高效机组集中在煤炭资源较丰富的豫西、豫北地区,而且大多并网于 500 kV 电网,处于送端电网;而煤耗水平高的小容量机组则多分布于豫中、豫南地区,并网于 220 kV 及以下电压等级电网,处于受端电网。这样,受豫西、豫北外送输电断面以及各区域 500 kV 主变下送断面的限制,若按上述方式进行调度,必然导致输电断面过稳定极限,影响电网安全运行水平。

要在满足电网安全的前提下实施节能调度,一项重要的措施就是提高主要输电断面的利用率,充分利用断面的输送能力,使处于电网送端的高效节能机组尽可能多发电。要达到这一目标,靠人工调整机组出力来维持输电断面潮流是不现实的。而使用 AGC 自动化手段是一个很好的选择,在这种思

路下,AGC 控制将不限于调频或跟踪省际联络线的功能,还要实现维持主要输电断面输电潮流最大化的目标。基于此思路,我们提出了下面所述的分层分区 AGC 策略。

## 3 分层分区 AGC 策略

为了实现节能调度的目标,在河南电网 AGC 系统改造中,火电 AGC 功能的投入势在必行。然而大量火电 AGC 功能的投入必然对电网内部的断面安全约束带来重大影响。文献[2]提出了基于灵敏度分析的稳定断面越限预防和校正控制策略,根据机组负荷相对输送断面的灵敏度进行断面输送功率的控制。然而,在河南电网实际运行中,由于存在众多的主网稳定断面约束和局部稳定断面约束,机组出力与断面潮流的耦合关系过多,若在全网范围内实施该策略,很难达到满意的效果,并且算法比较复杂,不利于调度员把握。为此,我们提出了分层分区的多目标 AGC 策略,不仅较好地解决了上述问题,而且可以将主要输电断面的潮流作为 AGC 目标进行控制,充分利用断面输电能力,以达到节能调度的目的。

### 3.1 分层分区多目标 AGC 策略

根据网架结构将河南电网内 AGC 机组分为豫北、豫西、豫中东、豫南四个区域,各个区域的机组跟踪各自独立的控制目标,不同区域的机组之间不产生相互影响。根据河南电网的特点,我们选择各区域的 500 kV 联变下送断面潮流作为控制目标,并入 220 kV 及以下电网的机组投入 AGC 控制,并入 500 kV 电网的机组按日前计划带基本负荷。这样,在电网实际运行中,对于 500 kV 电网而言,其对 220 kV 电网的界面保持恒定不变,负荷的变化由各区域 AGC 机组就地消化。通过合理设置各区域 AGC 控制目标值,可以最大限度地利用 500 kV 主网断面输送能力,提高断面利用率,使并入 500 kV 电网的大容量高效机组可以尽可能地带基本负荷,符合节能调度的要求。

### 3.2 水火电 AGC 联调

在分层分区多目标 AGC 策略下,水火电联调的模式为:火电机组跟踪区域控制目标,水电机组跟踪全网控制目标(对河南电网而言,正常方式下是 TBC 模式)。由于火电机组 AGC 自动跟踪所在区域的负荷变化,并且各区域火电 AGC 控制的偏差还有一定的抵消效应,这样极大地减小了水电机组的调频压力,有利于提高全网的调频质量或 CPS 指标。

由于水电机组并于豫西 220 kV 电网,因此在考

虑豫西火电 AGC 的调整时需扣除水电已使用的调频容量, 设豫西区域 500 kV 联变下送潮流控制目标为  $P_p$ , 联变下送潮流实际值为  $P_a$ , 水电调频中间出力值为  $P_{wp}$ , 水电实际出力为  $P_{wa}$ , 则豫西火电 AGC 机组的调节量:

$$P_r = P_a - P_p + P_{wa} - P_{wp} \quad (1)$$

这样, 可以促使水电机组的出力向其调频容量的中间值靠近, 保证全网始终有足够的调频空间。

### 3.3 提高 AGC 跟踪精度

在本策略实施中, 各区域 AGC 跟踪设定目标值的精度十分重要, 若跟踪精度不高, 则在设置目标值时必须考虑多留裕度, 以防止断面越稳定极限, 这样就降低了断面利用率。

对于各区域火电 AGC 控制而言, 由于火电 AGC 调节速率较慢, 一般为每分钟 1%~2% 负荷<sup>[3]</sup>, 即使通过火电 AGC 机组群来调整, 在高峰时段仍难以跟上负荷的快速爬坡。为此, 可采取以下两个方案:

a. 采取紧急区增益扩大的办法。即在控制对象偏离目标值达到某一门槛时, 认为进入紧急控制区间, 此时将正常计算所得的调节量乘以一个增益系数后再下发, 这样在一定程度上可以实现调节量的超前分配。但对于有较大冲击负荷的区域, 该方案有可能导致 AGC 机组频繁过调节。

b. 通过负荷预测实现 AGC 超前控制<sup>[4]</sup>。由于传统的 AGC 控制策略是根据控制目标值与实际值之差来决定调整量, 这种方法本质上是基于目前有功功率偏差来调整未来的发电, 在时间上滞后, 没有考虑负荷未来的变化。当惯性较大的火电 AGC 机组出力达到 AGC 下发的设点目标值时负荷已经变化, 发电调整总是滞后于负荷的变化。为提高火电机组 AGC 的控制效果, 必须着眼于未来的负荷变化, 进行超前调整。譬如, 利用超短期负荷预测进行 AGC 超前控制。但该方案受负荷预测的准确度影响较大。实际运行中可以采取让一部分 AGC 机组跟踪负荷预测, 其他机组仍跟踪控制目标的方法兼顾两者的长处。

考虑到各地区负荷特性的差异, 不同区域的 AGC 跟踪方式可以采取不同的方案或方案组合, 并设置合适的参数, 这里也体现出分区 AGC 策略的优越性。譬如在有较大冲击负荷的地区应适当提高紧急增益区门槛, 在负荷曲线随机性较强、负荷预测准确度较差的地区可适当减少跟踪负荷预测的 AGC 机组比例。

## 4 局部稳定断面潮流控制

对于大量 AGC 机组同时投运的系统, 如何解决 AGC 正常调节导致电网稳定断面越限的问题一直是个难题。目前多采用灵敏度算法<sup>[5]</sup>, AGC 从外部系统获取各稳定断面有功功率相对于各机组出力的灵敏度系数矩阵, 在分配 AGC 机组出力时, 对于已存在的重载支路或稳定断面, 灵敏度为正的机组不能增加出力; 灵敏度为负的机组不能减少出力; 灵敏度接近零的机组出力调节不加限制, 从而实现电网安全约束调度。

本文所述的分层分区 AGC 策略, 能够实现 500 kV 主网输电断面的基本恒定控制, 因此, 在考虑火电 AGC 机组调整出力引起稳定断面潮流越限问题时, 我们只需考虑各区域内部的局部稳定断面越限控制, 从而减小了控制的难度。

由于分区之后, 所需关注的断面相对较少, 与断面相关的灵敏机组也比较清晰, 除采用灵敏度法外, 还可以采用一种相对简单的机组关联断面的方法。将灵敏机组与其相关断面进行关联, 当断面达到设定告警值时即对相关的灵敏机组进行优先调整, 当断面越限时对相关的灵敏机组进行强制调整, 这种方法不依赖于灵敏度计算的正确性, 并且在实践中也证明具有较好的效果, 对 AGC 的正常调节影响也不大。

## 5 结论

上述的 AGC 策略已成功应用于河南电网的 AGC 改造, 并取得了较好的效果, 主要输电断面的利用率得到了大幅提高, 以豫西北外送断面为例, 该输电断面由嵩郑双回线、祥塔线、牡郑线共四回 500 kV 线路构成, 在 AGC 策略实施前后断面利用情况如表 1 所示。

表 1 AGC 策略实施前后的断面利用情况比较  
Tab.1 The comparison between tie line utilization before and after AGC strategy

豫西北外送断面	断面极限 /MW	月度断面平均潮流/MW	断面利用率
AGC 策略实施前	3 200	2 523	0.79
AGC 策略实施后	3 200	2 974	0.92

实践证明, 本文所述的分层分区 AGC 策略适应节能调度的要求, 有效提高了输电断面利用率, 从而有利于实现大容量高效机组优先发电, 实现了电网安全与经济协调控制。本策略对于其他电网

AGC 策略的制定也有一定的借鉴意义。

## 参考文献

- [1] 周京阳, 于尔铿. 能量管理系统(EMS):第 5 讲 自动发电控制[J]. 电力系统自动化, 1997, 21(5): 75-78.  
ZHOU Jing-yang, YU Er-keng. Energy Management System(EMS): Part Five: Automatic Generation Control[J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21(5): 75-78.
- [2] 张小白, 高宗和, 等. 用 AGC 实现稳定断面越限的预防和校正控制[J]. 电网技术, 2005, 29(19): 55-59.  
ZHANG Xiao-bai, GAO Zong-he, et al. Implementation of Preventive and Remedial Control for Tie Line Overload by Use of Automatic Generation Control[J]. Power System Technology, 2005, 29(19): 55-59.
- [3] 张海燕, 李俊. 火电厂 AGC 的试验与分析[J]. 计算技术与自动化, 2006, 25(4): 108-111.  
ZHANG Hai-yan, LI Jun. Experiment and Analysis of AGC of the Coal-fired Power Plant[J]. Computing Technology and Automation, 2006, 25(4): 108-111.
- [4] 高宗和, 丁恰, 温柏坚, 等. 利用超短期负荷预报实现 AGC 的超前控制[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(11): 42-44.  
GAO Zong-he, DING Qia, WEN Bo-jian, et al. AGC-in-advance Based on Super-short-term Load Forecasting[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(11): 42-44.
- [5] 孙宏斌, 张伯明, 相年德. 准稳态灵敏度的分析方法[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(4): 9-13.  
SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, XIANG Nian-de. New Sensitivity Analysis Method Under Quasi-steady-State for Power Systems[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(4): 9-13.
- 
- 收稿日期: 2008-03-19; 修回日期: 2008-04-10  
作者简介:  
陈楷(1980-), 男, 硕士, 工程师, 从事电网调度自动化的研究与运行工作; E-mail: kane\_ok@263.net  
孙建华(1976-), 男, 工程师, 从事电网调度自动化的研究与运行工作;  
王卉(1978-), 女, 硕士, 工程师, 从事电力系统运行与控制研究工作。
- 
- (上接第 57 页 continued from page 57)
- FEI Wan-min, ZHANG Yan-li, LU Zheng-yu. IGCT-Based Fault Current Limiter for Three-Phase Power System with Grounded Neutral and Its Control Strategy[J]. Power System Technology, 2006,30(11): 82-86.
- [10] 王锡凡, 方万良, 杜正春. 现代电力系统分析[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [11] 鞠平, 戴琦, 黄永皓, 等. 我国电力负荷建模工作的若干建议[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 8-12.  
JU Ping, DAI Qi, HUANG Yong-hao, et al. Some Advice on Modeling of Our Country[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(16): 8-12.
- [12] 汤涌, 候俊贤, 刘文革. 电力系统数字仿真负荷建模中配电网及无功补偿与感应电动机的模拟[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(3): 8-12.  
TANG Yong, HOU Jun-xian, LIU Wen-zhuo. The Modeling of Distribution Network and Var Compensator and Induction Motor in the Load Model for Power System Digital Simulation[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(3): 8-12.
- [13] 傅旭, 王锡凡. 含限流器的电力系统断相短路故障计算相补偿法[J]. 电网技术, 2004, 28(14): 36-38.  
FU Xu, WANG Xi-fan. A Phase Domain Compensation Method for Calculating Open Conductor Plus Short Circuit Fault with Fault Current Limiters[J]. Power System Technology, 2004, 28(14): 36-38.
- [14] 江道灼, 陈永刚, 李电, 等. 变压器耦合固态限流器的纯电容负载试验[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(17): 65-70.  
JIANG Dao-zhuo, CHEN Yong-gang, LI Dian, et al. Experimental Study of Transformer Coupling Solid State Fault Current Limiter with Capacitance Load[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(17): 65-70.
- 
- 收稿日期: 2008-04-07; 修回日期: 2008-04-23  
作者简介:  
金鑫(1983-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统故障限流技术; E-mail: jxjasly@126.com  
江道灼(1960-), 男, 教授, 主要研究方向是交直流电力系统运行与控制技术, 电力电子及柔性交流输电应用技术、电力系统现场智能测控技术及配电网自动化技术等。