

自动发电控制在河北南部电网中的应用

邢金峰¹, 何占宾², 杨兴宇¹, 习新魁¹, 杨立波¹

(1. 河北省电力公司, 河北 石家庄 050021;

2. 保定电力职业技术学院, 河北 保定 071051)

摘要: 结合在定联络线功率和频率偏差控制方式下的功率调整情况以及采用的 A 系列评价标准, 分析了河北南部电网在 AGC 应用方面存在电厂投入 AGC 积极性不高、火电机组本身的调节特性、供热机组冬季调节容量变小和风电场对电网影响方面的问题。通过实际工作提出了应对措施: 一是制定 AGC 机组运行标准和考核管理办法, 定期对机组性能进行测试; 二是按参与 AGC 调节、给定负荷曲线、不参与 AGC 调节等分配机组控制方式, 充分发挥抽水蓄能电站的调节作用; 三是在超短期负荷预测的基础上, 综合考虑各种约束条件和经济指标, 实现最优发电控制。

关键词: 自动发电控制; 控制策略; 风电场; 区域控制偏差; 定联络线功率和频率偏差控制

中图分类号: TM 76; TM 712

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2011)04-0128-04

自动发电控制(AGC)是智能电网中不可缺少的重要技术, 是保证电网安全、经济运行的重要措施之一, 是电网调度自动化系统的重要功能之一。

河北南部电网(简称河北南网)是华北电网的重要组成部分, AGC 系统在互联电网控制中发挥着重要的作用。目前, 河北南网中由河北电力调度通信中心直接调度的机组装机容量已超过 20 000 MW, 随着华北、华中两大区域电网联网运行, 机组 AGC 运行情况对电网稳定起着越来越重要的作用^[1-4]。

1 现状

1.1 机组容量

截至 2010 年 1 月 1 日, 河北南网 200 MW 及以上机组都具备 AGC 功能, 共 48 台, 容量 18 320 MW, 占电网总装机容量(20 545 MW)的 89.2%, AGC 可调容量 9 060 MW, 占总装机容量的 44.6%。AGC 机组容量中, 抽水蓄能机组 4 台 1 000 MW, 占总装机容量的 4.8%; 供热机组 13 台 3 420 MW, 占总装机容量的 16.6%。

当然, 若系统中有大量的 AGC 可调容量, 对维持系统频率稳定有好处, 这是要付出代价的, 发电机组保持 AGC 可调容量会减少正常的发电量, 机会成本提高, 投入 AGC 运行机组的运行费用也会增加。在电力市场环境下, AGC 是发电商向电网提供调节服务的技术手段, 其机组投入 AGC 运行是要在辅助服务市场中收取费用的。因此, 必须了解在系统运行中对 AGC 调节容量的需求, 并按此需求采购和安排相关发电机组的 AGC 可调容量, 才能做到既保证了电力系统的安全运行, 又降低了运行费用^[5-6]。

1.2 控制策略

对于互联电网而言, AGC 的控制目标是使区域控制误差(ACE)不断减少, 直至为零。AGC 机组响应的依据是 ACE 值本身, 在定联络线功率和频率偏差控制(TBC)方式下, ACE 包括频率偏移产生的 ACE 分量及净交换功率偏移产生的 ACE 分量, 表达式为

$$P_{ACE} = (P_M - P_A) + K(f_m - f_a) = \Delta P + K\Delta f$$

其中, P_M 为本控制区实际交换功率(MW); P_A 为本控制区计划交换功率(MW); K 为区域控制误差常数(MW/Hz); f_m 为系统实际频率(Hz); f_a 为目标频率(50 Hz)。

按上式定义的 AGC 控制模式为 TBC 方式, 若在上式中不考虑功率偏差, $P_{ACE} = K\Delta f$, 则为恒定频率偏差控制方式(CFC); 若在上式中不考虑频率偏差, $P_{ACE} = \Delta P$, 则为恒定联络线功率偏差控制方式(FTC)^[7-8]。TBC 方式对于有确定电力交换计划的互联区域电网是最优的控制方式, 有利于电网的稳定和频率快速恢复, 在国内外普遍采用, 河北南网的 AGC 也采用这种方式, 而且实际运行效果良好^[9]。

考核原则采用 TBC 方式的 A 系列标准评价互联电网正常情况下的控制性能, 即 A_1 表示 P_{ACE} 值在 15 min 内必须至少过零一次, A_2 表示 P_{ACE} 在 15 min 内的平均值必须控制在规定的范围内。如图 1 所示(图中, $P_{ACE,av}$ 为 P_{ACE} 的平均值), 表示 2010 年 3 月 16 日一天 24 h 中 96 个点(n) A_1 和 A_2 的调节情况, 从图 1 中可以看出, 采用 A_1 和 A_2 标准控制目标简单、明确、直观, AGC 实现比较容易。

1.3 通信方式

通信方式如图 2 所示, AGC 系统根据电网的实际情况下发各机组的目标有功指令, 经过 RTU 转换成 4~20 mA 电流, 通过硬接线发送至机组控制系统;

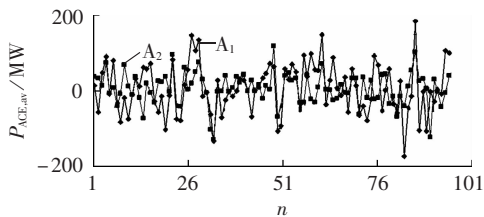


图 1 A_1 和 A_2 调节情况

Fig.1 Regulation case A_1 and A_2

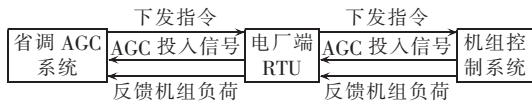


图 2 通信方式

Fig.2 Communication mode

机组控制系统送出 AGC 投入信号和机组实际负荷量,由 RTU 发送至省调。

1.4 调节过程

图 3 表示某台机组一次典型的 AGC 机组设点控制过程。图中, $P_{\max,i}$ 和 $P_{\min,i}$ 是该机组可调的上下限出力, P_{Ni} 是其额定出力, P_{di} 是其启停磨临界点功率。AGC 调节以前该机组稳定运行在出力值 P_1 附近, t_0 时刻, AGC 控制程序对该机组下发功率为 P_2 的设点命令, 机组开始涨出力; t_1 时刻跨出 P_1 的调节死区; t_2 时刻进入启磨区间; t_3 时刻, 启磨过程结束, 机组继续涨出力; t_4 时刻第一次进入调节死区范围, 然后在 P_2 附近小幅振荡, 并稳定运行于 P_2 附近; t_5 时刻, AGC 控制程序对该机组发出新的设点命令, 功率值为 P_3 , 机组随后开始降出力的过程; t_6 时刻跨出调节死区; t_7 时刻进入 P_3 的调节死区, 并稳定运行于其附近。

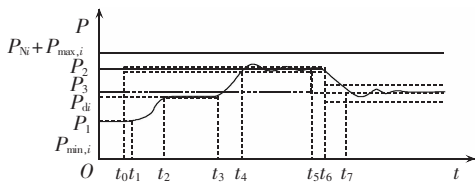


图 3 机组调节过程

Fig.3 Regulation process of generator

2 存在的问题

河北南网不断完善 AGC 策略, 积极推进电厂的 AGC 接入工作, 当然也存在着一些问题。

2.1 各电厂投入 AGC 积极性不高

负荷的频繁波动使得火电机组磨损增大、煤耗增加、效率降低、运行维护费用升高, 加上电力体制改革厂网分开, 没有一个行之有效的 AGC 辅助服务经济补偿方式, 使得各发电厂投入 AGC 积极性不高。在机组正常运行时有些电厂不愿投入 AGC 或投入后并不按规定执行, 有些电厂自行改变本厂机组的可调功率上下限及调节速率。

2.2 火电机组本身的调节特性

火电机组因牵涉到机、炉、电的整体协调, 实现 AGC 涉及方面较多, 调节速率相对较慢。常见问题

比如机炉主、辅设备及某些重要调节设备可控性存在缺陷; 某些重要信号不可靠、不准确; 控制方案中某些关键部分不够完善等。由于 AGC 与 CCS 调节特性的矛盾以及火电机组自身特性的局限性, AGC 的运行过程中还会造成锅炉超温, 如果 AGC 负荷变化频率过快, 还可能对汽轮机转子寿命造成影响^[10-11]。

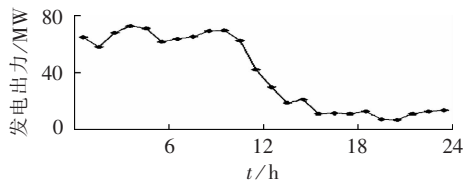
2.3 供热机组冬季调节容量变小

供热机组在冬季供热期间, 对机组的运行工况要求较高, 一是机组出力要在较高的范围内运行, 二是机组出力不能波动频繁或太大。目前, 网内有供热机组 13 台容量 3 420 MW, 占总装机容量的 16.6%, 这部分机组在供热期间, AGC 调节范围会缩小、投入时间会减少。

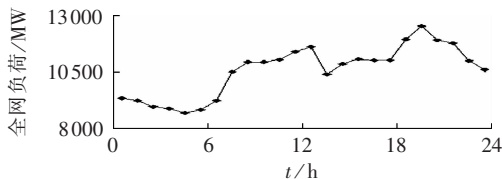
2.4 风电场对电网的影响

风资源的不确定性和风电机组本身的运行特性, 使风电场的出力具有较大的随机性, 在极端情况下, 可能会对电网的电力实时平衡产生一定的影响。尤其是在低谷情况下, 若有大风时, 则其出力变化较为迅速, 容易对电网造成一定的冲击。目前, 河北南网共有风电场 3 座, 装机容量约 250 MW。2010 年, 约有 150 MW 的风电机组投运。“十二五”规划中, 还有一部分风电机组并入河北南网。随着越来越多的风电机组并网运行, 将对电网的调频、调峰、电能质量、暂态稳定等方面产生不利影响^[12-13]。

如图 4 所示, 图 4(a) 为风电场较为典型的一天 24 h 的发电出力曲线, 图 4(b) 为同一天的全网负荷曲线。由此可见, 一是风电场的出力具有波动性, 并有很强的随机性; 二是风电场的出力经常与负荷趋势相反, 后半夜负荷低谷, 风电出力为高峰; 白天负荷为高峰, 风电出力为低谷。



(a) 风电场 24 小时发电出力



(b) 全网负荷曲线

图 4 蔚县风电场出力和全网负荷曲线对比(2010 年 3 月 2 日)

Fig.4 Output power of Yuxian wind farm and network load curve(March 2, 2010)

3 应对措施

3.1 加强并网机组 AGC 管理

制定 AGC 机组运行标准和考核管理办法, 所有并网水、火电机组分为 AGC 机组和非 AGC 机组,

AGC 投退需经调度员同意,在主要 AGC 调节指标上设定规定值,低于规定值的 AGC 机组,停止给予补偿与奖励,充分调动发电企业参与机组 AGC 调节的积极性。

如图 5 所示(图中,横坐标为投入机组数 n ,纵坐标为平均上调速率 r_{av} 的标幺值),表示全网内投入 AGC 机组的平均上调速率曲线图,选取每台机组额定容量 $\times 1\%$ 为每台的基准值。图 5(a)为 2009 年 6 月 1 日至 7 日期间平均上调速率,由图 5(a)可见,本周内有 34 台机组投入 AGC,全部为火电机组,其中有 11 台机组的调节速率标幺值在 1.0 以上,可视为合格,占投入机组总数的 1/3。图 5(b)为 2010 年 1 月 25 日至 31 日期间平均上调速率,由图 5(b)可见,经过半年左右时间,加强管理并采取了一定措施,本周内有 30 台机组投入 AGC,29 台为火电机组,1 台为抽水蓄能机组,其中有 20 台机组的调节速率标幺值在 1.0 以上,可视为合格,占投入机组总数的 2/3,比以前提高了 1/3。图 5(b)中最高点是 1 台抽水蓄能机组的上调速率,比火电的最高上调速率还要高一倍左右。

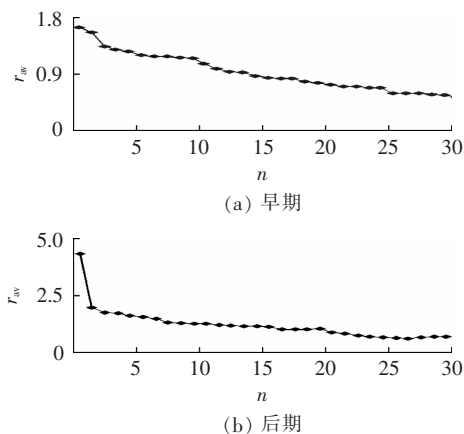


图 5 平均上调速率对比

Fig.5 Comparison of average regulation rate

目前,河北电力调度通信中心正按《华北区域发电厂并网运行管理实施细则》和《华北区域并网发电厂辅助服务管理实施细则》的各项要求开发相关的应用软件,对机组 AGC 辅助服务评估算法进行研究和系统开发,以此来刺激有关方面投入 AGC 控制的积极性,促使其改善机组调节性能。

3.2 合理分配机组的控制方式

各发电机组按其控制方式可以分为:参与自动调节,以适应调整较长周期负荷变化的需要;在 AGC 的控制下按给定负荷曲线发电;不参与 AGC,在人工控制方式下按给定负荷曲线发电。

在自动发电控制实施规划中对发电机组进行分类时,应考虑机组本身的特性,如容量、主辅机的调节特性、调节范围等。对于调节性能好、可调范围大的机组,一般可列为参与自动调节类型;而对于性能较差的机组则一般可列为参与负荷曲线或不参与

AGC 发电类型。

同时,要充分发挥抽水蓄能电站的 AGC 作用。水轮发电机组的功率调节性能很好^[14],一是通常机组功率从空载到满载,负荷上升时间小于 1 min,调节速率比火电机组快很多(见图 5);二是水电机组对负荷的响应较火电机组有很大的优势,要充分发挥水电机组对电网负荷快速响应的能力。

3.3 注重应用超短期负荷预测

超短期负荷预测是指预测未来 1 h 内负荷的变化,具有预测时间短、预测速度快以及预测精度要求高等特点。在超短期负荷预测的基础上,应综合考虑实时运行时的各种约束条件和经济指标,实现实时最优发电控制,动态调整发电机出力,以满足负荷变化的要求^[15]。

4 结语

经过多年的实践运行、深入研究和交流,河北电网 AGC 系统已经积累了大量宝贵经验并得以不断发展和完善。但是 AGC 工作是一项系统工程,环节较多,需要多方面配合,并且借助先进的管理手段和科学技术,才能从根本上解决电网在运行中遇到的各种问题,充分发挥 AGC 的功效。

参考文献:

- [1] 高宗和,陈刚,杨军峰,等. 特高压互联电网联络线功率控制(一) AGC 控制策略[J]. 电力系统自动化,2009,33(15):51-55.
GAO Zonghe, CHEN Gang, YANG Junfeng, et al. Active power control for tie-lines in UHV interconnected power grid part one AGC control strategies[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(15): 51-55.
- [2] 高宗和,陈刚,腾贤亮,等. 特高压互联电网联络线功率控制(二) AGC 性能评价[J]. 电力系统自动化,2009,33(16):61-64.
GAO Zonghe, CHEN Gang, TENG Xianliang, et al. Active power control for tie-lines in UHV interconnected power grid part two AGC performance assessment[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(16): 61-64.
- [3] 孙玮,邱夕兆,王勇,等. 经济 AGC 控制装置在机网协调技术中应用[J]. 电力自动化设备,2009,29(8):114-117.
SUN Wei, QIU Xizhao, WANG Yong, et al. Application of economic AGC device in coordination between unit and grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(8): 114-117.
- [4] 孙玉娇,孙英云,梅生伟,等. HAGC 及上海电网应用[J]. 电力自动化设备,2009,29(1):138-142.
SUN Yujiao, SUN Yingyun, MEI Shengwei, et al. HAGC and its application in Shanghai grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(1): 138-142.
- [5] 李雪峰,李卫东,刘乐. AGC 容量需求研究[J]. 电力自动化设备,2009,29(6):40-43.
LI Xuefeng, LI Weidong, LIU Le. Research of AGC capacity demand[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(6): 40-43.
- [6] 杨方,孙元章,程林. 计及稳定断面安全的 AGC 协调控制[J]. 电力自动化设备,2010,30(8):13-18.
YANG Fang, SUN Yuanzhang, CHENG Lin. Coordinated automatic generation control with voltage security constraints for in-

- terconnected power grids[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(8): 13-18.
- [7] 赵旋宇. 南方电网直调机组 AGC 研究[J]. 继电器, 2008, 36(7): 54-58.
- ZHAO Xuanyu. Research on AGC for generations directly controlled by CSG[J]. Relay, 2008, 36(7): 54-58.
- [8] 陈亮, 马煜华, 骆晓明. 广东电网 AGC 运行需求与控制模式探讨[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(12): 81-83.
- CHEN Liang, MA Yuhua, LUO Xiaoming. Research on operation demand and control mode of AGC in Guangdong power grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(12): 81-83.
- [9] 成海彦, 黄定成, 郑广辉, 等. TBC 方式下河北南部电网的 AGC 控制策略分析[J]. 电网技术, 2005, 29(18): 53-55.
- CHENG Haiyan, HUANG Dingcheng, ZHENG Guanghui, et al. Analysis on control strategy of AGC in southern Hebei power grid under tie-line load and frequency bias control mode[J]. Power System Technology, 2005, 29(18): 53-55.
- [10] 张秋生, 李学峰. 提高河北南网协调控制系统响应 AGC 速率的方法[J]. 河北电力技术, 2005, 24(4): 33-35.
- ZHANG Qiusheng, LI Xuefeng. Method of raising AGC response speed of Hebei south network coordinated control system[J]. Hebei Electric Power, 2005, 24(4): 33-35.
- [11] 宋兆星, 骆意, 李国胜. 发电机组类型对 AGC 运行性能的影响及对策[J]. 电网技术, 2005, 29(18): 17-21.
- SONG Zhaoxing, LUO Yi, LI Guosheng. The influence and countermeasure of generating unit's type on AGC operation performance[J]. Power System Technology, 2005, 29(18): 17-21.
- [12] 林今, 孙元章, 李国杰, 等. 采用变速恒频机组的风电场有功功率波动对系统节点频率影响的动态评估模型[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(2): 14-18, 32.
- LIN Jin, SUN Yuanzhang, LI Guojie, et al. Dynamic evaluation model of node frequency deviation caused by power fluctuation of wind farm with variable speed wind turbine systems[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(2): 14-18, 32.
- [13] 姜文, 严正. 含风电场的发电组合系统可靠性评估[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(4): 5-9.
- JIANG Wen, YAN Zheng. Reliability assessment of composite generation and transmission system with wind farms[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(4): 5-9.
- [14] 刘和森, 石恒初, 腾贤亮, 等. 云南电网水火电机组 AGC 协调优化控制策略[J]. 电力系统自动化, 2009, 32(20): 96-99.
- LIU Hesen, SHI Hengchu, TENG Xianliang, et al. Hydro-thermal AGC generators coordinated optimization control strategy in Yunnan power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 32(20): 96-99.
- [15] 周劫英, 张伯明, 尚金成, 等. 基于日周期多点外推法的超短期负荷预测及其误差分析[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(2): 15-17.
- ZHOU Jieying, ZHANG Boming, SHANG Jincheng, et al. Very short term load forecast based on multi-sample extrapolation and error analysis[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(2): 15-17.

(编辑: 汪仪珍)

作者简介:

邢金峰(1980-), 男, 河北邢台人, 工程师, 硕士, 从事电网调度自动化系统运行维护和管理工作的(E-mail: bigboy_168@163.com);

何占宾(1969-), 男, 河北定州人, 讲师, 硕士, 从事电力系统及自动化研究(E-mail: hhzzbbok@163.com);

杨兴宇(1966-), 男, 浙江温州人, 副处长, 高级工程师, 从事电网调度运行管理工作(E-mail: yxy@he.sgcc.com.cn),

习新魁(1971-), 男, 河北平山人, 处长, 高级工程师, 硕士, 从事电网调度自动化管理工作(E-mail: xxk@he.sgcc.com.cn);

杨立波(1975-), 男, 河北保定人, 副处长, 高级工程师, 从事电网调度自动化管理工作(E-mail: ylb@he.sgcc.com.cn)。

Application of AGC in Hebei southern power network

XING Jinfeng¹, HE Zhanbin², YANG Xingyu¹, XI Xinkui¹, YANG Libo¹

(1. Hebei Electric Power Corporation, Shijiazhuang 050021, China;

2. Baoding Electric Power Vocational and Technical College, Baoding 071051, China)

Abstract: The situation of AGC(Automatic Generation Control) application in Hebei southern power network, which adopts the active power regulation under TBC(Tie-line and frequency Bias Control) mode with the evaluation standard A, is analyzed, such as low enthusiasm of power plants, poor regulation performance of generating unit, less regulation capacity in winter and influence of wind farms on power network. Countermeasures are proposed; set the operational standards and assessment management rules of AGC units and carry out the unit performance tests regularly; assign different unit control modes(AGC, given load curve and non-AGC) and fully apply the adjustment function of pumped storage plant; consider comprehensively various constraints and economic indicators based on ultra-short term load forecast to achieve optimal generation control.

Key words: automatic generation control; control strategy; wind farm; area control error; tie-line and frequency bias control