

四川电网实时发电计划与 AGC 闭环控制策略研究

周 剑¹, 于昌海², 吴继平², 滕贤亮²

(1. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041; 2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 211000)

摘 要: 四川电网是一个以水电资源为主的区域电网, 发电机组调节性能差异大, 为了在具有较好控制性能指标的同时保证机组日前发电计划能够得到较好的执行, 提出了实时调度计划与自动发电控制(AGC)协调的闭环控制策略。运行结果验证了所述方法的有效性。

关键词: 自动发电控制; 实时发电计划; 协调控制; 控制模式切换

Abstract: Sichuan power grid is a regional power grid mainly on hydroelectric power, so the regulation performance of generating units varies widely. In order to achieve a better control performance target and good execution of day-ahead generation schedule, a coordinated control strategy with real-time generation scheduling and automatic generation control (AGC) is proposed. The operation results show the validity of the proposed strategy.

Key words: automatic generation control (AGC); real-time generation scheduling; coordinated control; control mode switching

中图分类号: TM73 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)06-0060-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.06.014

0 引 言

四川电网装机规模持续快速增长,截止 2014 年年底全网统调装机总容量达 45 186 MW,其中水电占比为 70.5%,火电占比为 28.4%,水电总装机容量远超火电。随着电网规模的日益扩大和自动化水平的不断提高,CPS 评价机制的引入及“三公”调度的进一步深入,对调度运行和自动发电控制(automatic generation control,AGC)的功能优化提出了更高的要求。

近年来,网省调逐步推进日前、日内和实时发电计划建设工作,与 AGC 相互衔接,在实现扰动调节的多级协调和多时间尺度优化中发挥了积极作用^[1-4]。机组日前发电计划由计划部门根据负荷预报结果、机组检修开停机及电力市场等因素得到。在日前计划的基础上,根据短期负荷预测和超短期负荷预测的结果对日前计划进行一定程序的修正得到日内计划和实时计划^[5-6]。负荷预测结果与区域内实际负荷肯定会有一定的偏差,在 AGC 实时控制时必然会有区域控制偏差(area control error,ACE)需要机组参与调节。实时计划与 AGC 控制周期重合、控制对象相互影响,实时计划若未充分考虑电网

调节性能要求,将增大 AGC 调节压力,不利于控制行为的优化。AGC 若未考虑实时计划的趋势指导作用,仅根据 ACE 事后反馈调节,在未来时段难以保持其最优调节能力。

在发电机组参与调节电网负荷波动的同时,使其调节动作能够较好地反映发电计划特征,是“三公”调度的基本要求,也是提高发电机组投入 AGC 控制积极性的重要手段。此外,实际运行中不同类型、不同控制目标机组运行模式转换频繁,如何根据电网不同运行状态,发挥 AGC 机组和实时调度机组的作用,组织各类机组实现控制角色和调节容量的优化调控是提升电网控制性能的又一关键。

针对 ACE 调节行为对机组运行状态造成的影响,提出了 AGC 机组基于发电计划闭环的改进控制算法;同时,为保证足够的 AGC 调节备用还提出机组控制模式配置方案,以及模式切换策略,以适应电网不同工况下的扰动平衡的需要,进一步提升电网动态控制效果,优化系统控制性能指标。

1 基于机组控制模式的发电计划闭环控制策略

1.1 基于动态调节步长的 SCHER 控制模式

机组的控制模式由基点功率模式和调节功率模式组成,其目标出力由基点功率和调节功率构成。考虑到区域 ACE 实时变化,机组调节功率在调节步长限定的调节区间内实时调整,其出力的动态调节过程将围绕基点功率上下波动。根据基点来源不同,将控制模式分为以下两类:

1) 固定基点模式: 基点功率由日前、实时计划方式或人工给定。前两项由负荷预测、联络线交换计划制定,用于跟踪负荷变化趋势,实现超前调节。

2) 浮动基点模式: 参与区域 ACE 调节,基点功率取实际出力或可调容量比例分配值,调节功率由区域实际调节需求分配得到,属于滞后闭环控制,跟踪实时的负荷变化和功率平衡。

通过机组基点功率和调节功率两类指令的协调,如 SCHER 控制模式,实现实时发电计划(机组基点功率)与 AGC 调节需求(机组调节功率)的协调,是实时发电计划与 AGC 闭环控制的有效手段。

大型水电机组具有容量大、调节速率快、响应时间短等特点,其参与 ACE 调节常用的控制模式为 SCHER 模式。该模式下,水电机组目标指令是由计划值叠加调节量得到的。当调节需求位于死区范围时,机组将完全跟踪计划曲线;否则,在计划值的基础上承担调节功率。

水电机组的调节速率非常快,区域调节需求超出死区时,可实现 ACE 快速调节,定义该过程为主动调节过程;但是在区域调节需求回到死区后,机组出力需返回计划值,定义该过程为返回调节过程,当多台水电机组同时进入返回调节过程时,可能给电网造成新的功率扰动。

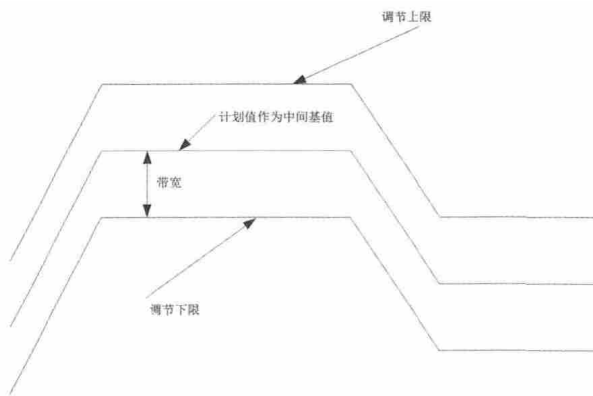


图1 SCHER 模式机组调节示意图

因此,有必要区分 SCHER 模式的主动调节和返回调节过程,并采用不同的控制参数和控制逻辑。

1) 主动调节过程

主动调节过程可采用较大调节步长,目的为实现 ACE 快速调节。为避免机组长时段调节导致实际出力偏离发电计划太远,以机组的发电计划为基准,上下扩充一定的带宽,形成计划值调整带,作为机组的实时调节范围。为保证事故状态下机组能够提供快速的功率支援,在紧急控制区可考虑暂时取消计划带宽的限制。

2) 返回调节过程

返回调节过程中,采用较小的返回调节步长,减小每次调节带来的扰动;返回调节过程中,为减缓机组的返回调节,每次下发指令的命令间隔也应作限制,以达到与其他调节资源动态置换的配合效果。

1.2 计划带宽约束的 AGC 控制策略

一般自动控制模式下,机组基点功率始终为当前实际出力,与发电计划无关联。机组根据承担的调节功率,在整个调节范围内上下调节。如果在一段时间内,区域的调节需求方向相对单一,机组出力可能会很大程度地偏离发电计划。如果要求机组跟踪计划,又必须预留出一部分调节空间参与全网 ACE 控制时,可采用上述的按需调整的计划模式,但按需调整的计划模式在 ACE 小于控制死区时要求机组的实际出力重新回到计划值,会导致机组的来回调整。为减少机组的来回调整,可采用计划带宽模式。计划带宽模式以机组的发电计划为基准,上下扩充一定的带宽,形成计划值调整带,作为计划带宽模式机组的实时调节范围。在正常情况下,机组只能在此计划值调整带范围内上下调节,只有当计划值无效,才恢复机组固有的调节范围。

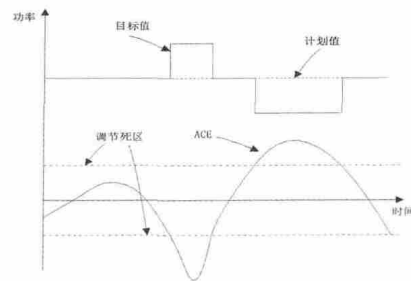


图2 计划带宽约束示意图

调整带生成方法如下:假设计划值为 P_b , 机组调节上限为 P_{max} , 机组调节下限为 P_{min} , 带宽为 w , 调整带上限为 B_{max} , 调整带下限为 B_{min} 。

调整带边界为

$$B_{max} = P_b + w \quad (1)$$

$$B_{min} = P_b - w \quad (2)$$

同时要根据以下条件进行修正:

$$\text{当 } P_b + w > P_{\max} \quad B_{\max} = P_{\max} \quad (3)$$

$$\text{当 } P_b - w < P_{\min} \quad B_{\min} = P_{\min} \quad (4)$$

通过上述方法计算机组的调节范围,机组可以在这个调节范围内自由调节,而不用在调节 ACE 后返回计划值,可减少不必要的来回调节。

2 适应电网多复杂工况的机组控制模式自动切换策略

现阶段 AGC 机组作为电网基本调控单元,其实时调整能力与电网频率和联络线交换功率密切相关,一旦失去调节能力,CPS 指标将严重恶化。实时运行控制中需要足够的调节备用以应对未来负荷调整和突发扰动的调节需求。现有调度控制系统中,AGC 机组的控制模式由调度员依据运行经验人工设定和决策修改,这就导致预留 AGC 备用具有不确定性,预留备用过多或过少都难以兼顾系统经济性和安全性的要求。

于是提出了一种电网工况自适应机组模式自动切换方案。根据电网不同工况下负荷调整需要,适时调整机组控制模式:负荷爬坡时段,通过增加固定基点机组,超前跟踪负荷波动,减少机组调整压力,满足负荷爬坡要求;负荷平稳时段,合理配置浮动基点机组,满足区域调节备用需求,保证区域 ACE 和 CPS 指标控制要求。大功率区外来电失去、大机组跳闸事故扰动发生时,电网实时功率缺额反映在 ACE 上,而实时发电计划仅能更新未来 15 min 计划值点,此时需要更多的浮动基点机组参与紧急 ACE 调节,以快速平抑扰动。

实时运行控制中需要足够的调节备用以应对未来负荷调整和突发扰动的调节需求,因此将电网分为正常和紧急两种工况,建立适应两种工况下的机组模式切换方案。为避免切换机组选择的无序性,将系统中部分机组作为可在固定基点和浮动基点模式间自由转换的机组,该类机组定义为缓冲机组。方案数据流程如图 3 所示。

自适应模式切换功能实时监视电网运行工况、负荷波动和 AGC 调节备用信息,正常工况下,当系统负荷快速爬坡或 AGC 调节备用无法满足最小调节备用限值时,则启动模式切换策略,以提高负荷快速跟踪和扰动调节能力。当监测到直流输电故障或

大机组跳闸等紧急工况发生时,则启动 ACE 紧急控制策略,将固定基点模式的缓冲机组转为浮动基点模式,应对功率紧急缺口。在紧急工况退出或 AGC 调节容量恢复后,浮动基点模式缓冲机组分批依次返回固定基点。

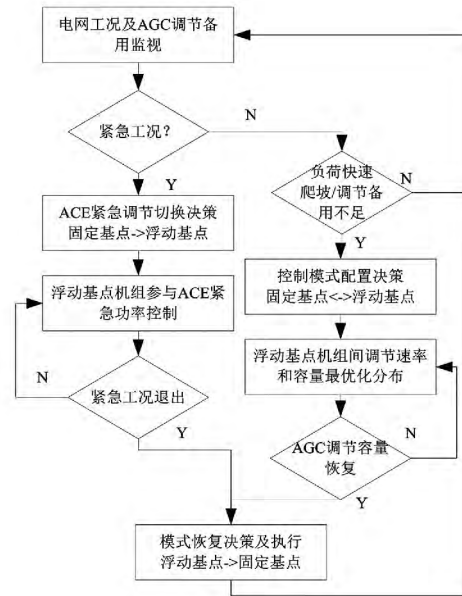


图 3 自适应控制模式切换数据流程框图

3 试验及运行

所提出的优化策略已在四川电网 D5000 智能调度控制系统 AGC 软件中实施应用,在调度生产实际中取得了良好的控制效果。

图 4 为四川电网某 SCHER 模式水电机组采用动态调节步长后的调节跟踪过程。从图 4 中可以看出该机组大步长参与 ACE 调节、小步长返回计划值,且控制爬坡速率,减小了对电网冲击。

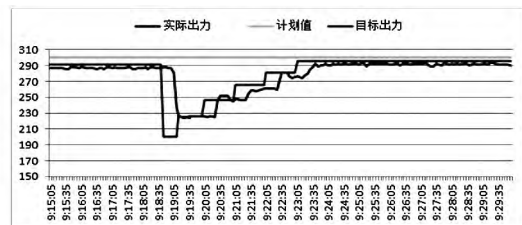


图 4 动态调节步长控制跟踪过程

为进一步检验 AGC 调节对机组发电计划的影响,对瀑布沟水电站在策略执行前后两年同一日电量完成情况比对分析结果见表 1 所示。数据表明新策略实施以后,AGC 调节机组的计划电量完成情况

(下转第 71 页)

应用(第二版)[M].北京:中国电力出版社,2009.

[7] 陈小平. 母线负荷预测的实用算法[J]. 四川电力技术, 2012, 35(1): 66-68.

[8] 高峰,康重庆,程旭. 短期负荷预测相关因素的自适应训练[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(18): 6-10.

作者简介:

吴茵(1979), 硕士, 高级工程师, 主要从事电网运行方式策划管理工作;

杨小卫(1982), 硕士, 高级工程师, 主要从事电网调度运行管理工作;

岳菁鹏(1985), 硕士, 助理工程师, 主要研究电网负荷预测、分布式发电等;

罗欣(1983), 硕士, 工程师, 主要研究电力市场分析、电网负荷预测等。

(收稿日期: 2015-07-06)

(上接第62页)
也得到显著改善。

表1 瀑布沟电站计划电量完成率

日期	策略执行前(2014年)			策略执行后(2015年)		
	计划电量 /MW	实发电量 /MW	电量完成率 /%	计划电量 /MW	实发电量 /MW	电量完成率 /%
3/1	21 100	26 142	123.9	14 000	14 056	100.4
3/2	17 250	24 844	144	14 000	15 513	110.8
3/3	20 200	26 109	129.3	14 000	13 914	99.4
3/4	21 350	18 468	86.5	14 000	17 263	123.3
3/5	16 700	25 926	155.2	17 175	16 041	93.4
3/6	19 800	17 503	88.4	16 025	14 189	88.5
3/7	18 700	22 499	120.3	15 325	18 374	120

CPS1 指标体现了控制区域对互联电网频率质量贡献的大小,该策略执行前后相邻年份某同一月份的 CPS1 日平均值对比情况如图 5 所示。从图中 CPS1 曲线可以看出,启用新策略后四川电网 CPS1 考核指标亦有所改善。

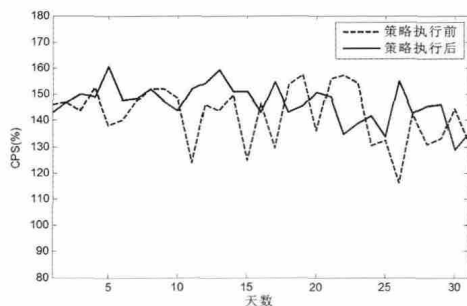


图5 CPS1 日平均值曲线对比

4 结 语

AGC 应用作为电网实时控制的重要环节,承担着安全稳定运行、频率稳定和联络线、电量考核的重

要职责。从机组有功控制模式着手,探索实时发电计划与 AGC 闭环控制策略,并阐述了 AGC 控制模式切换方案及多工况下模式切换策略,通过备用在不同控制模式机组间相互转移,促进不同控制模式机组调节备用的合理分布,降低了机组整体调节成本。

参考文献

- [1] 张伯明,吴文传,郑太一,等. 消纳大规模风电的多时间尺度协调的有功调度系统设计[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(1): 1-6.
- [2] 周劭英,张伯明,尚金成,等. 河南电网实时调度系统若干功能与算法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(2): 99-104.
- [3] 滕贤亮,高宗和,张小白,等. 有功调度超前控制和在线水火电协调控制策略[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(22): 16-20.
- [4] 李予州,张伯明,吴文传,等. 在线有功调度协调控制系统的研究与开发[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(5): 12-16.
- [5] 徐帆,丁怡,谢丽荣,等. 实时发电计划闭环控制模型与应用[J]. 电网技术, 2014, 38(11): 3187-3192.
- [6] 邓勇,朱泽磊,黄文英,等. 日内及实时发电计划的递进协调方法[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 141-146.

作者简介:

周剑(1972), 硕士, 高级工程师, 研究方向为智能电网调度控制;

于昌海(1987), 硕士, 工程师, 研究方向为电网调度自动化、新能源协调控制;

吴继平(1984), 硕士, 工程师, 研究方向为智能电网调度自动;

滕贤亮(1978), 硕士, 高级工程师, 研究方向为电网调度自动化、新能源运行控制。

(收稿日期: 2015-08-10)