

# 锦西电厂自动发电控制策略分析及优化

刘江红, 梁成刚, 杨自聪, 梅沈锋, 王凯

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川成都 610051)

**摘要:** 发电厂自动发电控制(AGC),是按预定条件和要求,以迅速、经济的方式自动控制水电站有功功率来满足系统需要的技术,是实现水电站全厂自动化的一种方式,由于其调节速度快、准确性高,在安装机组多的大、中型发电厂广泛运用,也取得了良好的效果。本文对锦西电厂AGC控制策略进行了详细的分析,并对AGC与机组一次调频及安控装置的协调配合逻辑进行了阐述,对提高类似巨型水电站自动发电控制的安全稳定运行具有一定的参考价值。

**关键词:** 自动发电;控制策略;运行问题;解决方案

**中图分类号:** [TM622];TM762;TK227

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2021)06-0092-04

## Analysis and Optimization of Control Strategy for Automation Power Generation in Jinxi Power Plant

LIU Jianghong, LIANG Chengang, YANG Zicong, MEI Shenfeng, WANG Kai

(Yalong River Hydropower Development Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610051)

**Abstract:** Automatic power generation control (AGC) in power plants is a technology that automatically controls the active power of the hydropower station to meet the needs of the system in a rapid and economical manner according to the pre-set conditions and requirements. It is a way to achieve full automation of hydropower stations. Due to its fast adjustment speed and high accuracy, it has been widely used in large and medium-sized power plants with many generator units, and has achieved good results. This paper analyzes the AGC control strategy of Jinxi Power Plant in detail and expounds the coordination logic of the AGC and the primary frequency modulation of generator units. It has reference significance in improving the safe and stable operation of AGC in similar super-large hydropower stations.

**Key words:** automatic generation control; control strategy; operation problem; treatment measures

## 0 前言

在稳定状态情况下,电力系统的频率是全系统一致的运行参数。当总出力和总负荷发生不平衡时,就会产生频率的偏差。由于负荷是经常发生变化的,任何一处的负荷变化都会引起全系统的功率不平衡,因而导致系统频率的波动。所以,电力系统运行中的重要任务之一就是频率的监视与调节。频率调节的任务就是当系统有功功率不平衡而使频率偏离额定值时,调节发电机出力以达到新的平衡,从而保证将频率偏移限制在允许范围内。

AGC(自动发电控制)是指按预定条件和要求,以迅速、经济的方式自动控制水电厂有功功率来满足系统需要的技术,它是在水轮发电机组自动控制的基础上,实现全电厂自动化的一种方式。

根据水库上游来水量和电力系统的要求,考虑电厂及机组的运行限制条件,在保证电厂安全运行的前提下,以经济运行原则,确定电厂机组运行台数、运行机组的组合和机组间的负荷分配<sup>[1]</sup>。在完成这些功能时,要避免由于电力系统负荷短时波动而导致机组的频繁起、停。AGC控制系统是电力系统三次调频的重要技术手段,AGC控制系统的安全稳定运行是电网安全稳定运行的重要前提。

## 1 锦西电厂AGC投运背景

渝鄂背靠背直流工程于2018年12月底投产。投产后,西南电网与华北、华中电网异步运行,使长链式交流联网结构性风险得以降低;西南电网内水电送出通道输电能力得到提升。与此同时,频率稳定和超低频振荡问题又成为西南电网新的运行风险。西南电网与华北、华中异步运行

收稿日期:2021-10-23

后,由于水电装机占比高达 65%,系统存在超低频振荡风险。仿真试验表明,西南电网多种方式下均可能出现发散的全网频率振荡,振荡频率约为 0.06 Hz。

为建立兼顾稳定状态和事故情况的频率控制体系,优化分省协同控制,进一步释放四川、重庆自身的调频资源,最大限度稳定西南电网频率,西南电力调控分中心上线 AGC 主站控制系统,目的在于:(1)优先保障西南电网频率稳定,兼顾联络线偏差控制;(2)提升 AGC 控制精益化水平,提高稳定状态频率质量;(3)辅助大频偏下较快的频率恢复速率。

同时,国家电力调度控制中心要求锦西电厂应具备自动发电控制功能,并纳入西南电网 AGC 主站控制。为实现西南电网 AGC 主站对锦西电厂 AGC 子站的远方闭环控制,满足西南主站 AGC 系统控制品质要求,锦西电厂先后进行了 AGC 站内静态调试,与西南电网联调,AGC 试运行后,正式投入西南网调远方控制。

## 2 锦西电厂 AGC 控制策略

### 2.1 AGC 负荷的分配原则

锦西电厂 AGC 按与容量成比例分配、等微增率分配、多目标规划分配、小负荷分配等策略进行负荷分配。AGC 在满足避开机组振动区运行、避免机组频繁跨越振动区及满足系统稳定性要求等限制条件的前提下,采用按与容量成比例分配或按小负荷分配的策略进行负荷分配<sup>[2]</sup>。当 AGC 相邻两次全厂有功分配值偏差小于或等于小负荷分配差值范围(60 MW)时,采用按小负荷分配的策略进行负荷分配。除此之外,AGC 均采用按与容量成比例分配的策略进行负荷分配。

### 2.2 小负荷分配原则

锦西电厂全厂 AGC 有功调节死区为 20 MW,而每台机组有功调节死区为 6 MW,当全厂日调度计划曲线变化较小时,调度下发全厂有功设定值相邻两次之差一般在 2.5~3.0 MW 之间,若按照等容量原则分配到 6 台机组,每台机组有功设定值与实发值将在死区内,每台机组都不会进行调节,导致全厂有功调节不到位。

为此,锦西电厂 AGC 设置小负荷分配功能,即当相邻两次电网调度设值较小时,可选择一台机组进行小负荷调整,若一台机组进行小负荷调

整不能满足要求,可再增加一台参与调整。这样就有效避免全厂 AGC 有功调节死区与机组单机有功调节死区之间配合的矛盾。

### 2.3 避免机组频繁穿越振动区

#### 2.3.1 自动避开振动区的策略

在发电机组的负荷控制中,经常会碰到不可运行区,即水轮机的振动、汽蚀区等问题。锦西电厂已完成所有机组全水头稳定性试验,精确地划分了机组各水头下的振动区,并导入 AGC 控制系统。AGC 在进行负荷分配时可自动躲避振动区,并根据机组振动区段数及大小,确定电厂负荷的可运行区域,并按照避振原则优化计算得到机组间最优负荷分配<sup>[3]</sup>。锦西电厂 AGC 在进行负荷调整时的设计原则是:能不跨就不跨越振动区。

#### 2.3.2 快速跨越振动区策略

当由于全厂负荷变化而必须跨越振动区时,必须快速跨越振动区,避免机组长时间运行在振动区。锦西电厂 AGC 在机组跨越振动区时,同时调节需穿越振动区的机组与反向调节的机组,跨越振动区的机组两次有功设定值之差按照最大限制来执行,以便使机组快速跨越振动区,直到有功设定值在振动区以外为止。

#### 2.3.3 AGC 水头滤波处理策略

机组振动区随水头变化而变化,而机组振动区又直接影响到 AGC 负荷分配,所以 AGC 水头数据采样就显得至关重要。锦西电厂 AGC 用水头值采用流域集控中心下发的上游水位与下游水位之差,当上游水位或下游水位数据质量发生故障时,进行告警处理并保持原值不变,同时可将水头给定方式修改为“手动”,此时,可采用人工设定的方式设定水头,水头显示只能代表人工判断后的设定值。在 AGC 程序组态中设定了水头变化梯度闭锁,而且 AGC 程序设定 4 秒(AGC 程序运转周期)读 1 次水头,考虑到水电厂下游水位会有一定的变化幅度,因此,当读取的水头与上次有效水头值之差小于水头梯度时,认为该水头有效,超过水头梯度,则认为水头无效,将该值丢弃;当水头测值超过最高/最低限值时,机组 AGC 禁止投入。

### 2.4 AGC 与一次调频的配合逻辑

西南电力调控分中心对接入西南电网 AGC 主站电厂明确要求:西南电网异步运行后电厂侧

机组一次调频应与 AGC、监控指令相互协调；一次调频动作期间不能闭锁 AGC 和监控指令；当一次调频动作期间接受到新的 AGC 和监控调节指令后，机组应能执行新的 AGC 和监控指令。所以，目前锦西电厂一次调频、监控系统有功调节及机组 AGC 的配合逻辑是：

(1) 闭锁关系：一次调频动作期间与 AGC 无闭锁关系；一次调频动作期间与监控有功闭环无闭锁关系。

(2) 配合关系：①一次调频调节过程中 AGC 不进行干预，若在 AGC 调节过程中，且一次调频动作，则 AGC 和一次调频同时调节；当全部机组投入 AGC 时，全厂总有功设定值不变，则 AGC 分配策略不变，AGC 调节到位后，如果一次调频动作，AGC 不进行调节。②当只有部分机组投入 AGC 时，如果一次调频动作，引起全厂总有功实测值与设定值相差超过 10 MW (0.5 倍调整死区)，AGC 会进行调节；这种情况，虽然全厂总有功设定值不变，但未投入机组有功实测值会实时发生改变，会导致 AGC 可分配值发生相应变化，所以，AGC 分配策略发生改变，每 4 秒会重新分配下发机组分配值。③如果调度下发设定值在 10 MW 之外，接受新下发值，如果调度下发设定值在 10 MW 之内，此时须判断全厂总有功实发值与设定值的偏差，若偏差在 20 MW 之外，则接受新下发值，否则拒绝。

(3) 一次调频与监控有功闭环逻辑配合关系：①一次调频调节过程中监控有功闭环不进行干预，若在监控有功闭环调节过程中，且只有一次调频动作，则监控有功闭环和一次调频同时调节。②监控有功闭环调节机组有功测值进入死区 10 秒后闭锁输出，如果一次调频动作引起有功设定值与实测值偏差超过死区，监控有功闭环也不再调节；当有新的有功设定值下发或实发值大于 610 MW，监控有功闭环才进行调节；当检测到机组有功设定值与实发值相差超过 12 MW 时，监控系统自动报警，提醒运行人员进行干预。

## 2.5 AGC 与安控策略的配合逻辑

国调中心调控运行规程明确要求：正常方式下，锦西电厂并网运行机组中安排 1 台计划出力最低的机组不投切机压板，其余运行机组投切机压板；锦西电厂出力超过 2500MW 时，锦西电厂

投切机压板的机组单机出力应不低于 400MW。AGC 负荷分配为满足此要求，特制定以下策略：

(1) 按与容量成比例分配策略进行负荷分配时，在同一段可调区间，保留机组分配值与切机机组分配值相同；按小负荷分配策略进行负荷分配时，在同一段可调区间，保留机组分配值小于或等于切机机组分配值。

(2) 向下穿越振动区时，优先选择保留机组向下穿越振动区，使保留机组分配值低于其他投切机压板机组。

(3) 向上穿越振动区时，优先选择投切机压板的机组向上穿越振动区，使投切机压板的机组分配值高于保留机组分配值。

(4) 无论在何种工况下，保留机组分配值小于或等于投切机压板机组分配值。

(5) 当全厂总有功设定值大于或等于 2 500 MW 时，安控切机最小限制标记自动投入，使投切机压板的机组有功分配值不低于 400 MW。

(6) 无论安控切机最小限制标记启动与否，维持全厂可调出力上下限不变，保证调度设定值能够正常下发。

(7) 小负荷分配计算时，如果安控切机最小限制标记已投入，且有切机机组的分配值低于 400 MW，则小负荷分配失败，采用按与容量成比例分配策略重新进行分配，确保 AGC 分配策略能及时响应安控切机负荷的要求。

## 3 AGC 运行期间存在的问题及解决方案

### 3.1 实际负荷偏离计划曲线

锦西电厂每天会收到国调中心下发的调度计划曲线(96 点负荷曲线)，但该计划是指电厂送出线路的负荷，若调度侧严格按照计划曲线下发全厂总有功设定值，由于未考虑厂用电的消耗问题，线路总有功将会比计划曲线少 15 MW 左右，导致偏离计划曲线。

为此，锦西电厂与西南调度中心协调，在负荷稳定时，将全厂总有功设定值在计划曲线的基础上增加 15~20 MW，以便更好的执行计划曲线。同时，锦西电厂在监控系统增加负荷曲线报警功能，在计算机监控系统中，提供计划负荷曲线的人工输入功能，将线路总有功与计划负荷进行对比，差值超过 20 MW 报警提示。

### 3.2 安控切机不能退出全厂 AGC

锦西电厂退出全厂 AGC 控制功能的判据中无安控切机的判断逻辑,使用安控切机后,AGC 将切机负荷自动增加至运行机组,从而导致误加负荷,严重威胁电网安全运行。

为此,锦西电厂将安控装置动作信号加入全厂总事故的判断逻辑中,全厂总事故信号将退出全厂 AGC 控制功能,以确保安控装置动作切机收到信号后,安全退出全厂 AGC,保持全厂负荷不变,有效避免误加负荷的风险。

### 3.3 开关站总事故信号不能退出全厂 AGC<sup>[4]</sup>

由于 500 kV 系统相关保护动作后,保护装置发出的保护动作信号为脉冲信号,通常只能保持几十毫秒,所以“开关站事故总信号”也只能保持几十毫秒。另一方面,“开关站事故总信号”为“全厂总事故”的输入信号,且“全厂总事故”是通过上位机数据库对象运算来实现的。对象运算周期最短为 2 秒,远大于只能保持几十毫秒的“开关站事故总信号”,以致“全厂总事故”无法采集到“开关站事故总信号”,进而导致“全厂总事故”信号无法动作,最终造成无法退出全厂 AGC。

为此,锦西电厂将监控系统上位机程序升级,保证保护动作信号为毫秒级脉冲信号时,输出信号保持 10 s,以保证 500 kV 保护动作后能够退出全厂 AGC。

### 3.4 机组检修后试验导致全厂 AGC 退出

机组检修后会在空转或空载状态下进行紧急停机试验,以验证相关功能是否正常。在试验过程中,相应紧急停机流程将启动,引发全厂总事故信号,从而退出全厂 AGC。

为了防止设备正常检修工作误退出 AGC,在监控系统上设置 AGC 专用的机组检修标记。当投入相应的检修标记后,机组相应保护动作及紧急停机流程启动不会误将 AGC 退出。并将监控系统机组检修态与机组 AGC 检修标记区别开来,且设置以下逻辑关系:

(1) 机组检修时期工况: 机组检修态, 机组 AGC 检修标记自动投入。

(2) 机组检修后开展试验工况: 机组非检修态, 机组 AGC 检修标记由运行人员手动投入或退出。

(3) 机组发电运行工况: 机组非检修状态且为发电状态, 若机组 AGC 检修标记误投入, 触发上

位机报警且将机组 AGC 检修标记自动退出。

### 3.5 调度下发全厂有功设定值非法导致全厂 AGC 退出

调度设值非法定义为: 设值在全厂联合振动区内或超过全厂可调容量上下限或超过设定有功梯度限值 200 MW。当调度连续 3 次设值非法将退出全厂 AGC。由于锦西电厂水库水位变幅较大, 所以机组振动区大, 当 2 台机组并网运行时将出现全厂联合振动区, 而调度无法识别。所以, 在调度计划曲线跨越联合振动区时, 负荷调整过程中就会退出全厂 AGC 情况。

为此, 锦西电厂积极协调西南调度处, 将全厂 AGC 联合振动区上送至西南调度, 在计划负荷制定时, 避免稳定负荷处于联合振动区内。同时, 在负荷调整过程中, 若调度下发值在联合振动区内, 则不下发, 待跨过联合振动区后再正常下发, 有效避免了调度下发全厂有功设定值非法的情况发生。

## 4 结 语

对锦西电厂 AGC 运行期间存在的典型问题进行优化, 并得到有效解决, 从中得到以下体会:

(1) 电站应该全面梳理退出单机 AGC 及退出全厂 AGC 判断条件是否正确完备, 确保机组或开关站发生故障能及时退出单机 AGC 或全厂 AGC, 防止事故扩大。

(2) 对于机组振动区跨度大, 当低负荷运行期间存在联合振动区的实际情况, 电站应积极与调度协调, 取得调度支持, 从 AGC 主站程序源头上解决问题。

(3) AGC 的设计应综合考虑运行监视, 机组检修工作等因素, 增加人性化设计。锦西电厂为更好的执行调度负荷曲线, 增加了负荷曲线报警功; 为更安全的进行机组检修后相关试验增加了 AGC 专用检修标记。该两项功能均运行良好, 既保证了电站安全运行, 又有效的减轻了运行监视压力。

### 参考文献:

- [1] 李丽, 朱华, 徐麟. 小湾电厂高精度自动发电控制策略. 水电厂自动化. 2013, 34(1): 71-74.
- [2] 李永年, 文正国, 王妍, 等. 向家坝电站 AGC 控制方法及策略特点. 中国水力发电工程学会信息化专委会. 中国水力发电工程学会水电控制设备专委会. 2014 年学术交流会议文集.

(下转第 114 页)

修正后值为 678.68 m, 小于控制值 705 m, 出现在最大水头且双机同甩额定负荷工况(JHT<sub>5</sub>), 满足调节保证要求。

(2)尾水管进口最小压力计算值为 13.43 m, 修正后值为 -3.63 m, 大于控制值 -6 m, 出现在最大水头且双机相继甩额定负荷工况(JHT<sub>6</sub>), 满足调节保证要求。

(3)机组转速最大上升率为 39.92%, 小于控制值 44.5%, 出现在额定水头且双机同甩额定负荷工况(JHT<sub>3</sub>), 满足调节保证要求。

## 6 结 语

水电站过渡过程计算的蜗壳最大压力上升值、尾水管最大真空度和机组最大转速上升率是机组进行刚强度计算和结构设计的重要依据。针对永泰抽水蓄能电站, 通过仿真计算与理论分析, 优化筛选出最优导叶关闭规律。对可能出现极值的水轮机工况进行过渡过程计算, 采用“水头一出力加权修正法”对计算值进行修正。结果表明计算值和修正值均能满足调节保证要求, 为机组的安全稳定运行提供保障, 也为后续高水头抽水蓄能电站过渡过程计算提供参考。

(上接第 95 页)

- [3] 陈鹏, 逯俊杰. 二滩电站 AGC/AVC 系统安全控制策略探讨[J]. 人民长江, 2014, 45(1): 87-90.
- [4] 李辉, 丁伦军, 崔敏, 等. 溪洛渡水电站 AGC 的功能实现解析[J]. 水力发电, 2013, 39(8): 87-89.

### 作者简介:

刘江红(1987-), 男, 四川自贡人, 本科, 工程师, 主要从事水电站运行管理工作;

(上接第 98 页)

有效提高设备运行的安全性和可靠性, 该平台已在某水电站投入使用, 值得同行业相关电厂借鉴。

### 参考文献:

- [1] 郭承玉, 王义林合. 水轮发电机组辅助设备与测试技术[M]. 中国水利水电出版社, 1999.
- [2] 邢志江, 张宏, 张兴明, 等. 设备机理与大数据处理下的水电设备远程智能分析[J]. 云南水力发电, 2021, 37(05): 139-142.
- [3] 邹四群. 趋势分析在洪江水电厂运行分析中的应用[J]. 水电站机电技术, 2013, 36(S1): 102-103.
- [4] 陈燕燕, 陈忠义. 电力设备在线监测综合分析平台的构建[J]. 广东电力, 2011(12): 113-116+120.
- [5] 关宇平. 基于 C/S 结构应用系统性能优化方法的探讨[J].

### 参考文献:

- [1] 陈太平, 周超, 凡家异, 等. 明满流过渡过程仿真计算研究[J]. 东方电气评论, 2019, 33(130): 43-46.
- [2] 中国电力企业联合会. DL/T507-2014 水轮发电机组启动试验规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [3] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T5186-2004 水力发电厂机电设计规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [4] 张健, 卢伟华, 范波芹, 等. 输水系统布置对抽水蓄能电站相继甩负荷水力过渡过程影响[J]. 水力发电学报, 2008, 27(5): 158-162.
- [5] 郑源, 张健. 水力机组过渡过程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2008.
- [6] 芦月, 屈波, 何中伟. 抽水蓄能电站不同水头下导叶关闭规律研究[J]. 水力发电, 2016, 42(12): 85-89.
- [7] 张师华. 抽水蓄能电站的水力过渡过程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996.

### 作者简介:

周超(1986-), 男, 四川内江人, 工程师, 硕士, 从事水轮机设计与过渡过程分析研究工作;

陈太平(1974-), 男, 四川德阳人, 高级工程师, 从事水轮机设计与过渡过程分析研究工作;

马安婷(1996-), 女, 贵州普安人, 硕士, 从事水轮机设计与过渡过程分析研究工作.

(责任编辑: 卓政昌)

梁成刚(1996-), 男, 甘肃天水人, 本科, 助理工程师, 主要从事水电站运行管理工作;

杨自聪(1989-), 男, 四川宜宾人, 本科, 工程师, 主要从事水电站运行管理工作;

梅沈锋(1994-), 男, 湖北黄冈人, 本科, 助理工程师, 主要从事水电站运行管理工作;

王凯(1995-), 男, 山西阳泉人, 本科, 助理工程师, 主要从事水电站运行管理工作.

(责任编辑: 卓政昌)

计算机系统应用, 1999, 8(007): 9-11.

### 作者简介:

谢洪鑫(1997-), 男, 四川广安人, 工学学士, 现于雅砻江流域水电开发有限公司锦屏电站从事运行管理工作;

王文超(1990-), 男, 湖北黄冈人, 本科, 工程师, 主要从事水电站运行管理工作;

李佳栋(1995-), 男, 山西忻州人, 本科, 助理工程师, 主要从事水电站运行管理工作;

刘敏琦(1995-), 男, 河南商丘人, 本科, 助理工程师, 主要从事水电站运行管理工作;

赖超(1993-), 男, 四川绵阳人, 本科, 助理工程师, 主要从事水电站运行管理工作.

(责任编辑: 卓政昌)