

# 梯级水电站联合调度 AGC 的研究

刘江涛, 周 政

(四川华能宝兴河水电有限责任公司 四川 雅安 625000)

**摘要:** 以宝兴河梯级开发为背景, 基于梯级水电站联合调度 AGC 系统, 阐述了如何根据机组水头、区间流量、生态流量变化实现梯级水电站联合调度 AGC, 并提出了相应的计算机监控系统的程序设计方案。开展了厂站、集控、省调三方联调试验, 提高了水能利用效率。

**关键词:** 梯级水电站; 联合调度; AGC; 区间流量; 生态流量

中图分类号: TV736 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2020)04-0028-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.04.007

## Research on AGC of Joint Scheduling with Cascade Hydropower Stations

Liu Jiangtao, Zhou Zheng

(Sichuan Huaneng Baoxing River Hydropower Co., Ltd., Ya'an 625000, Sichuan, China)

**Abstract:** Based on the cascade development of Baoxing river and AGC system of joint scheduling of cascade hydropower stations, how to realize the AGC of joint scheduling of cascade hydropower stations is described according to the variation of unit head, interval flow and ecological flow, and the corresponding programming scheme for computer monitoring system is proposed. The joint scheduling test of plant station, centralized control center and provincial dispatching center is carried out, which improves the water utilization.

**Key words:** cascade hydropower stations; joint scheduling; AGC; interval flow; ecological flow

## 0 引言

自动发电控制 (automatic generation control, AGC) 是梯级水电站联合运行和优化调度的重要工具<sup>[1]</sup>。随着电力系统自动化程度不断提高, 水电站自动化水平不断完善, 以梯级水电站为基础的联合调度 AGC 功能已经广泛应用于流域梯级电站运行调度中。但是由于梯级水电站之间机组存在着不同的运行情况, 各水库间存在着不同的区间流量及生态放水要求, 且大多数梯级水电站水调及电调系统分别独立, 难免会发生水电站间负荷分配不合理, 水能利用效率降低导致水资源浪费等情况。

为改变这一现状, 将电调与水调有机地结合起来, 合理有效地利用水资源, 经济、合理、准确地对同一流域梯级水电站进行联合调度 AGC。下面以 A 水电站及 B 水电站为例子, 分析如何根据机组水

头、区间流量、生态流量变化, 实现梯级水电站 AGC 联合控制, 并提出了相应的计算机监控系统的程序设计方案。

## 1 项目背景

A 水电站为宝兴河梯级开发的龙头水电站, 装机容量  $3 \times 80$  MW, 混流式水轮发电机组。下游 B 水电站距离 A 水电站 35 km, 装机容量  $3 \times 35$  MW, 混流式水轮发电机组。A 水电站出线在 B 水电站  $\pi$  接后统一送出。目前 A 水电站和 B 水电站分开, 分别由集控中心实行独立的水库调度和电站负荷调度。由于 A 水电站与 B 水电站均有生态放水要求, 区间流量对水库影响较大, 且省调负荷下达可能存在不匹配现象, 不可避免地会发生水电站负荷分配不合理, 导致水资源浪费的现象。为实现水调与电调的有机结合, 更为经济、合理并提高效益, 拟对两

个水电站实行联合调度 AGC,提高水能利用率和经济效益。

## 2 梯级水电站 AGC 联合控制功能

### 2.1 AGC 功能方案

A 水电站与 B 水电站的负荷统一由集控中心的联合调度 AGC 进行控制,由 A、B 水电站联合调度 AGC 上送至省调。A、B 水电站将电站可带有功功率上下限、振动区等上送至联合调度 AGC 装置,由联合调度 AGC 来计算分配两站总有功功率。此方案需要在集控中心增设一套设备,用于负荷分配计算。总有功功率经过联合调度 AGC 计算后,得到 A 水电站总有功功率  $P_{1总}$ 、B 水电站总有功功率  $P_{2总}$ ,分别送至 A 水电站 AGC 和 B 水电站 AGC,然后由各自水电站 AGC 进行有功功率分配、调节。

数据流向示意如图 1 所示。

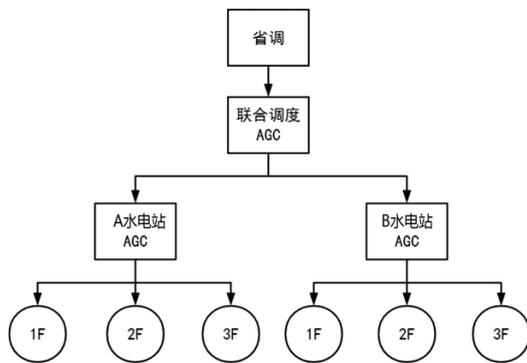


图 1 数据流向

### 2.2 梯级水电站间负荷分配

A 水电站与 B 水电站进行负荷分配时遵循上、下两个水电站皆不发生弃水的原则。由于 A 水电站水库为龙头水库,具有年调节能力,其库容较大,而 B 水电站库容较小,水库调度根本原则采用以 A 水电站总下泄流量  $Q_{A下泄}$  等于 B 水电站总下泄流量  $Q_{B下泄}$  的方案,可表示为:

$$Q_{A下泄} = Q_{B下泄} \quad (1)$$

$$Q_{A下泄} = Q_A + Q_{A生} \quad (2)$$

$$Q_{B下泄} = Q_B + Q_{B生} + Q_{区} \quad (3)$$

式中:  $Q_{A生}$  为 A 水电站生态流量;  $Q_{B生}$  为 B 水电站生态流量;  $Q_A$  为 A 水电站单机每兆瓦引用流量;  $Q_B$  为 B 水电站单机每兆瓦引用流量;  $Q_{生}$  为 A 水电站与 B 水电站生态流量差值;  $Q_{区}$  为 A 水电站与 B 水电站区间流量。

$P_A$  为分配给 A 水电站出力总负荷;  $P_B$  为分配给 B 电站出力总负荷;  $P_{总}$  为省调下令的 A、B 水电站联合调度 AGC 总设定值。则:

$$\begin{cases} P_A = \frac{Q_B \times P_{总} - Q_{区} + Q_{生}}{Q_A + Q_B} \\ P_B = \frac{Q_A \times P_{总} + Q_{区} - Q_{生}}{Q_A + Q_B} \end{cases} \quad (4)$$

当水轮机组净工作水头  $H$  发生变化时,则采用实时水头下的单机引用流量值进行计算,各水头下单机引用流量值可参考投产时水轮机特性曲线。根据水能动力学原理可得出,水轮发电机组出力  $P$  与机组发电耗水量  $Q$  有如式(5)关系:

$$P = 9.81QH\eta \quad (5)$$

在式(4)、式(5)中,在  $P_{总}$  由省调给定的情况下,机组效率系数  $\eta$  根据各自水轮机特性曲线算出,各水电站生态流量值按照当地政府相关政策制定,A 水电站与 B 水电站区间流量  $Q_{区}$  可由水调水情测报系统实时传输给定,因此可由式(4)、式(5)计算得出分配至 A 水电站、B 水电站总有功负荷  $P_A$ 、 $P_B$ 。

## 3 AGC 功能完善

### 3.1 联合调度 AGC 控制权限

梯级水电站联合调度 AGC 功能是通过省调电网向梯级调度集控中心下发总负荷指令,梯级调度集控中心经过优化计算,通过约束及闭锁条件后,向厂站下发相应负荷并调节。该联合调度 AGC 控制权分为 3 种,实现分级管控,逐级投入:

- 1) 厂站的控制权: 投入/退出参加联调功能。
- 2) 省调的控制权: 联调总值设定。
- 3) 集控的控制权: 投入/退出联调功能; 开环/闭环功能切换。

当联合调度 AGC 控制模式为“开环模式”时,联合控制计算机系统将只计算分配值不下发分配值;当联合调度 AGC 控制模式为“闭环模式”时,联合控制计算机系统将计算值分别下发至 A 和 B 两水电站。各厂站站级 AGC 控制模式为“开环模式”时,站级 AGC 控制计算机将只接收分配值;各厂站站级 AGC 控制模式为“闭环模式”时,站级 AGC 控制计算机将接收分配值,并将分配值减去未参与 AGC 联调机组的负荷后,平均分配给加入联合调度 AGC 的机组 LCU,下发指令控制调速器系统调整负荷。

控制权切换后,联合调度 AGC 动作逻辑如表 1 所示。

### 3.2 联合调度 AGC 通讯功能

由于梯级水电站联合调度 AGC 由厂站、集控及省调三方协调控制,需要三方之间通过通讯接收和发送联合调度 AGC 相关的遥测、遥信、遥调信号,则联合调度 AGC 通讯功能分为 3 部分:1) 电站与集联控调通讯机通讯;2) 省调主调与集控网关机通讯;3) 省调备调与集控网关机通讯。

当通讯功能发生故障时,联调 AGC 动作逻辑如表 2 所示。

### 3.3 联合调度 AGC 约束及闭锁

当然,在计算联合调度 AGC 有功负荷值时,还应考虑到各机组的不可运行区间,包括机组的有功负荷出力上下限、机组振动区间等,此外还需要考虑到系统对水电站要求的备用容量及对水电站上、下游水位限制等因素<sup>[2]</sup>。

当区间流量、生态流量及机组运行水头发生变化时,联合调度 AGC 总设定值的上下限将会发生改变。若设定值越限或设定值位于振动区间时,联合调度 AGC 系统将会发出报警,设定值失效,保持上次分配值。当省调设定值连续错误 3 次报警,AGC 联控设置权在“主调”“备调”情况下,自动切换至“梯调”设置权。省调设定连续错误未达到 3 次,若下次设定值正确,重置计数。

机组 LCU 接受到分配值后,根据单机步长调节灵敏度判断做出判断,若实际值与分配目标值差距小于灵敏度或超过步长设定值,将不进行负荷调整。

## 4 联合试验结果及分析

梯级联合调度 AGC 功能的实施,需要通过三级联合测试,分别为厂站级、集控级、省级。通过在集控增加梯级调度联合控制 AGC 计算机监控系统,建立厂站级 AGC 控制系统,测试厂控、集控、省调控制 3 种模式下的 AGC 指令分配功能以及验证各种模式下的闭锁功能<sup>[3]</sup>。

现以 A 和 B 水电站某天机组运行情况为基础,加入梯级水电站联合调度 AGC,采取厂控、集控、省调三方联调的方式,由省调下发联合调度 AGC 总负荷值,通过梯级水电站联合调度 AGC 控制自动分配有功负荷。梯级水电站联合调度 AGC 控制自动分配有功负荷逻辑如图 2 所示。

当区间流量固定为 10 m<sup>3</sup>/s,试验测试结果如表 3—表 5。

当设定值不变,区间流量发生改变时,联调允许设定值上下限会发生相应改变,并且处于上游的 A 水电站计算分配值将会随着区间流量增加而减少。相关试验测试结果如表 6—表 8 所示。

表 1 控制权切换联合调度 AGC 动作逻辑

动作情况	联调功能	A 水电站分配值	A 水电站联调/AGC 功能	B 水电站分配值	B 水电站联调/AGC 功能
A 水电站退出 AGC	退出	不变	退出联调	不变	退出联调
A 水电站退出联调	退出	不变	退出联调	不变	退出联调
B 水电站退出 AGC	退出	不变	退出联调	不变	退出联调
B 水电站退出联调	退出	不变	退出联调	不变	退出联调
联调退出	退出	不变	退出联调	不变	退出联调

表 2 通讯功能故障联调 AGC 动作逻辑

故障情况	联调功能	A 水电站分配值	A 水电站联调/AGC 功能	B 水电站分配值	B 水电站联调/AGC 功能
A 水电站跟联调通讯中断	退出	不变	退出联调	不变	退出联调
B 水电站跟联调通讯中断	退出	不变	退出联调	不变	退出联调
主调跟网关机通讯中断	联调功能不变 控制权退出主调切换至梯调	不变	不变	不变	不变
备调跟网关机通讯中断	联调功能不变 控制权退出备调切换至集控	不变	不变	不变	不变
网关机通讯中断	联调功能不变 控制权切换至集控	不变	不变	不变	不变

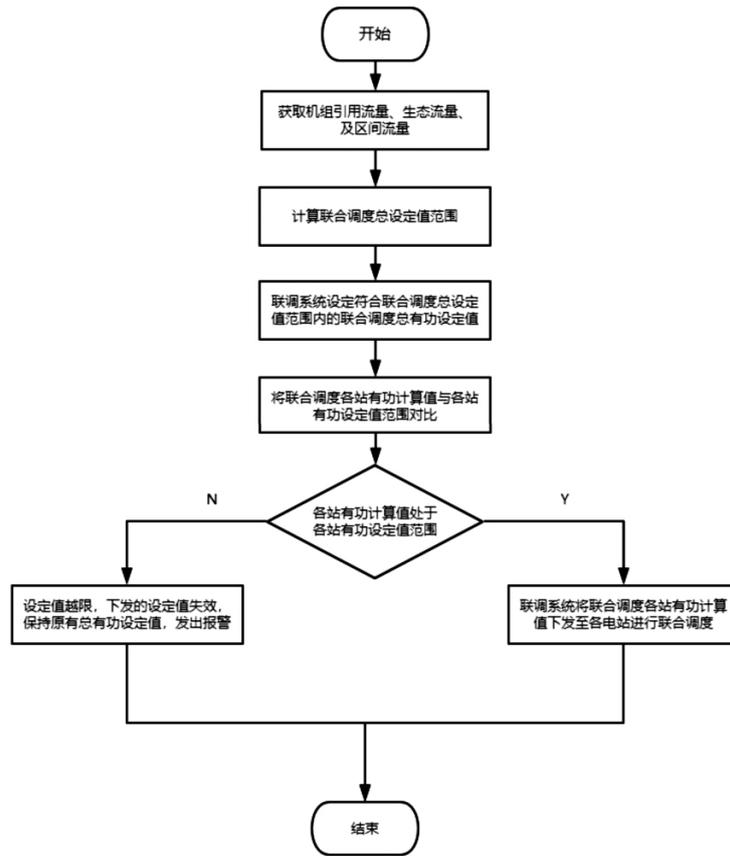


图 2 梯级水电站联合调度 AGC 控制自动分配有功负荷逻辑

表 3 区间流量固定联调机组情况

厂站	投入 AGC 机组	允许设定下限	允许设定上限
A 水电站	3	90.0	240.0
B 水电站	3	9.0	105.0
联调	6	146.5	313.3

表 4 区间流量固定正常设定测试结果

单位: MW

有功负荷	第 1 次测试	第 2 次测试	第 3 次测试	第 4 次测试	第 5 次测试
联调设定值	147.0	187.0	227.0	267.0	313.0
A 水电站计算值	91.9	119.9	147.9	175.9	208.1
实际分配值	91.9	119.9	147.9	175.9	208.1
B 水电站计算值	55.1	67.1	79.1	91.1	104.9
实际分配值	55.1	67.1	79.1	91.1	104.9

表 5 区间流量固定越限设定测试结果

单位: MW

有功负荷	原设定值 1	新设定值 1	原设定值 2	新设定值 2
联调设定值	313.0	320.0	147.0	140.0
A 水电站计算值	208.1	213.0	91.9	87.0 <sup>②</sup>
实际分配值	208.1	208.1	91.9	91.9
B 水电站计算值	104.9	107.0 <sup>①</sup>	55.1	53.0
实际分配值	104.9	104.9	55.1	55.1

注: ①B 水电站计算值( 107.0 MW) 超越 B 水电站上限( 105 MW) ,设定值越限报警; ②A 水电站计算值( 87.0 MW) 超越 A 水电站下限( 90 MW) ,设定值越限报警。

表 6 区间流量改变联调机组情况

单位: MW

厂站	投入 AGC 机组	允许设定下限	允许设定上限
A 水电站	3	90	240
B 水电站	3	9	105

表 7 区间流量改变正常设定测试结果

单位: MW

有功负荷	第 1 次测试	第 2 次测试	第 3 次测试	第 4 次测试	第 5 次测试	第 6 次测试
联调设定值	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0
区间流量 / (m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )	-10	-5	0	5	10	30
联调允许设定上限	321.1	330.5	339.8	335.2	313.3	225.9
联调允许设定下限	109.0	118.4	127.8	137.1	146.5	183.9
A 水电站计算值	155.2	148.6	142.1	135.5	129.0	102.8
实际分配值	155.2	148.6	142.1	135.5	129.0	102.8
B 水电站计算值	44.8	51.4	57.9	64.5	71.0	97.2
实际分配值	44.8	51.4	57.9	64.5	71.0	97.2

表 8 区间流量改变超限设定测试结果

单位: MW

有功负荷	原设定值 1	新设定值 1	原设定值 2	新设定值 2
联调设定值	339.0	339.0	300.0	300.0
区间流量 / (m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> )	0	-10	0	20
A 水电站计算值	239.4	252.5 <sup>①</sup>	239.4	185.9
实际分配值	239.4	239.4	239.4	239.4
B 水电站计算值	99.6	86.5	57.9	114.1 <sup>②</sup>
实际分配值	99.6	99.6	57.9	57.9

注: ①A 水电站计算值(252.5 MW) 超越 A 水电站上限(240 MW), 设定值超限报警; ②B 水电站计算值(114.1 MW) 超越 B 水电站上限(105 MW), 设定值超限报警。

通过厂控、集控、省调三方联调试验, 检验联调三方之间的 AGC 功能相关的遥测数据、遥信信号与遥调指令正确无误, 机组均能准确规避运行振动区且均在机组运行上下限范围内。联合调度 AGC 响应速度、调节幅度均在规范范围内。经过模拟异常信号及错误设定值, 查验了联合调度 AGC 各项闭锁功能正确无误, 符合安全运行的实际需求, 能够保障机组正常稳定运行, 且在不同区间流量的情况下, 联合调度 AGC 均能正确响应。

## 5 结 语

为了优化 A 水电站与 B 水电站联合调度 AGC 运行, 评估两水电站生态流量、区间流量对联合调度 AGC 的影响, 阐述了如何根据机组水头、区间流量、生态流量变化实现梯级水电站联合调度 AGC, 并给出了相应的计算机监控系统的程序设计方案及详细计算公式。将水调水情测报系统实时数据加入至电

调联合调度 AGC 负荷分配计算中, 并通过三方联合调试试验, 实现了水调与电调有机结合, 为梯级流域水电站增产增效, 发挥梯级水电站整体运营优势提供帮助。

### 参考文献

- [1] 张勇传. 水电站经济运行原理 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [2] 王家华. 梯级水电站联合自动发电控制的经济运行 [J]. 贵州水力发电, 2004(4): 48-51.
- [3] 曾体健. 梯级集控模式下 AGC 功能完善及试验分析 [J]. 水利水电快报, 2015, 36(4): 64-66.

作者简介:

刘江涛(1993), 本科, 助理工程师, 从事电力工程及其自动化相关研究工作;

周政(1994), 本科, 助理工程师, 从事自动化相关研究工作。

(收稿日期: 2020-03-18)