

AGC运行时一种保生态下泄流量 功能设计与实现

邱 华¹, 郭 亮², 王乐宁¹, 解旭柯¹

(1. 国电大渡河猴子岩水电建设有限公司, 四川 康定 626000;

2. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041)

摘要:针对目前水电站 AGC 运行时最低下泄流量控制的新需求, 充分考虑了水电站普遍实行远方集控的实际情况, 逐层剖析了水电站保生态流量功能设计时主要需要考虑的因素, 较为深入地对各因素进行了重要性评估和优化近似处理, 提出了一种基于电站计算机监控系统的保生态流量功能设计方案。该方案有利于推动新环保要求下水电站 AGC 功能设计与实施, 并在大渡河猴子岩水电站取得了很好的效果。

关键词:自动控制; 生态下泄流量; AGC; 水电站; 远方集控

中图分类号: TP29 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2021)03-0018-05

DOI: 10.16527/j.issn.1003-6954.20210304

Design and Implementation of Function for Ensuring Ecological Discharge in AGC Operation

Qiu Hua¹, Guo Liang², Wang Lening¹, Xie Xuke¹

(1. Guodian Dadu River Houziyan Hydropower Construciotn Co., Ltd., Kangding 626000, Sichuan, China;

2. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: Aiming at the new requirements of controlling the minimum discharge flow in hydropower stations during AGC operation, the actual situation that hydropower stations commonly implement remote centralized control is fully taken into consideration, and the major factors that need to be considered in designing a hydropower station with the function for ensuring ecological discharge are analyzed. The importance of each factor is evaluated and the approximate processing is optimized. At last, a new strategy of designing the ecological flow protection is proposed based on the computer monitoring system of hydropower stations. The strategy is proved to advance the design and implementation of AGC function in hydropower stations considering the new requirements of environmental protection, and shows a good performance when being applied to Houziyan hydropower station located in Dadu River Basin.

Key words: automatic control; ecological discharge; AGC; hydropower station; remote centralized control

0 引 言

随着水电行业整体的环保意识提升, 水电行业对环保要求落实越来越细致、越来越具体, 需要建立生态流量保障长效机制, 其中四川省已要求限期实现生态流量实时监控^[1], 迫切需要水电站综合考虑泄洪、发电情况, 确保电站下泄流量满足生态最低流量要求。目前关于水电站生态流量的有关研究与实

践主要集中在最低生态流量的影响要素^[2]及保障值推求^[3-8]、保障生态流量下的宏观水库调度与经济调度^[9-14]、生态流量监测与评估^[15-16], 而对于如何通过实际的自动化控制手段, 实现生态流量实时精准自动保证方面的研究甚少。

猴子岩水电站位于四川省甘孜州康定市境内的大渡河干流, 装设 4 台单机 425 MW 的混流机组, 全站有功负荷经康定变电站、甘谷地变电站、蜀州变电站送至成都, 送出通道严重受限^[17]。在如此环境下

迫切需要猴子岩水电站更加注重经济效益,这实质上对水电站落实保生态下泄的环保要求构成了一定威胁。目前大渡河流域干流已投电站均已实现远方集控,猴子岩水电站自动发电控制(automatic generation control, AGC)子站的功能操作、运行监视均已实现流域生产指挥中心远程操控,电调水调趋向无人化给生态流量实时精准保障带来了新的困难。同时,猴子岩水电站选用的是北京国电智深控制技术有限公司的EDPF NT Plus 计算机监控系统,在此平台上开发了AGC功能,通过接收省调AGC主站下发的全站有功目标给定指令,实时分配和调节机组的有功出力,使全站有功出力与省调AGC主站的目标给定一致。猴子岩水电站AGC子站投运后,电站有功出力受电网AGC主站实时控制,这些同时为生态下泄流量的精准控制提供了很好的基础,使得本设计具有可行性。

考虑目前稍具规模的水电站均具备AGC的自动有功负荷控制功能,下面拟利用水电站AGC子站功能,配套相应的辅助设计,实现电站AGC子站在自动运行的同时自动实时保障生态下泄流量,为解决水电站生态流量实时精准保障难题提供了一个可行的方案。

1 基本功能设计

电站保障生态流量主要发生在平枯水季节,此季节水电站下泄流量主要通过机组发电下泄流量来实现生态流量保障。所提方案结合猴子岩水电站的实际情况,拟通过拟合机组负荷-水头-流量(power-head-quantity of flow, PHQ)曲线,通过计算机程序自动查找在不同水头下水电站全站机组下泄流量不低于生态保障流量时全站机组最低有功负荷;并通过分析,将全站机组最低有功负荷控制值近似为单机最低有功负荷控制值,此值结合单机禁运区后形成新的单机禁运区。计算机监控系统以此自动计算得到新的全站等值禁运区,并将新全站等值禁运区作为AGC的控制条件。同时将此新的全站等值禁运区上送调度,确保调度机构下发的有功负荷调令在此全站等值禁运区之外,从而实现电站AGC子站正常运行时生态下泄流量的实时精准保障功能。

1.1 生态流量计算控制范围的选择

对一般水电站(从经济运行的角度,一般不

置专门的生态泄流)而言,电站下泄流量主要包括发电下泄流量(含非并网机组泄水)、电站泄洪弃水和其他泄水(如船闸、鱼道、消防及生活用水、电站各部漏排水等)3部分。

猴子岩水电站地处大渡河上游康定市境内,未设置鱼道、船闸等特殊泄水设施;电站技术供水虽采用压力钢管取水,但其泄水量占机组发电泄水量比例很小,在此忽略不计。电站汛期雨量充沛,但因送出受康甘断面制约,多数情况下有功负荷无法全额送出且需要启用溢流设施泄洪,此时基本无下泄流量不满足生态最低下泄流量的情形。来水偏枯时,由于上游来水不足及电网电力调度实时负荷分配的原因,尤其在枯期夜间低负荷时间段,易发生全站有功出力低导致总下泄流量不满足生态最小流量需求的情况。因此,猴子岩水电站保生态流量功能设计时,仅考虑来水偏枯时通过机组发电下泄流量保障电站生态最低下泄流量。

1.2 PHQ控制取值函数的确定

对照机组流量特性曲线,分别建立以下两个取值函数:

1) 水头-单机流量的近似关系函数

$$Q = f_1(H) \quad (1)$$

2) 流量-单机有功出力的近似关系函数

$$P = f_2(Q) \quad (2)$$

式中: H 为机组水头; Q 为流量; P 为 H 水头需要下泄流量为 Q 时的有功功率; $y=f(x)$ 为线性插值函数(猴子岩计算机监控系统上位机控制逻辑可直接调用)。

机组转速两路95% N_e (N_e 为额定转速)和机组导叶空载以上开关量信号同时动作,则判定该机组为“运行机组”,并计“运行机组”数量为 n ($n=1,2,3,4$)。经查询机组流量特性曲线可知,同一水头下,在机组低负荷段,机组所带负荷越高,效率越高,即多台机同时并网运行时的总下泄流量必定大于将负荷全部集中于尽可能少的机组上而其他机组空载或承载尽可能少有功负荷时的全站机组总下泄流量,即

$$\sum_{i=1}^n Q_i \geq \sum_{j=1}^n Q_j \quad (3)$$

式中: i, j 分别为并网机组顺序号; Q_i 为全站负荷由各并网机组随机分配时的各机组发电流量; Q_j 为将全站负荷集中到少数机组,其他机组空载或承载尽可能少的有功负荷时的各机组发电流量。

考虑到多数情况下,水电站保生态最低下泄流

量在单台机组满负荷时即可实现,由此可将流量 - 全站多机有功出力的近似关系表达为

$$P_{多机} \leq f_2(Q_{多机} - (n-1)Q_{空载机组}) \quad (4)$$

在计算全站出力下限时,以最低生态流量保证值 $Q_{最低}$ 为基础扣减 $(n-1)Q_{空载机组}$,即

$$P_{最低} = f_2(Q_{最低} - (n-1)Q_{空载机组}) \quad (5)$$

结合式(1),知

$$P_{最低} = f_2[f_{1最低}(H) - (n-1)f_{1空载机组}(H)] \quad (6)$$

1.3 基于 AGC 实现生态流量控制的可行性

目前四川省调 AGC 主站采集了猴子岩水电站 AGC 子站的单机禁运区、单机可调上限、全站等值禁运区;在当前省调 AGC 主站向电站 AGC 子站下发总有功负荷指令时,只考虑躲过电站 AGC 子站全站等值禁运区,并不超过全站最大出力上限(由各机组单机可调上限累加而得)。因此,本设计将计算得到的全站保生态流量的实发有功最低出力 $P_{最低}$ 用于全站等值禁运区二次计算,以达到避免省调 AGC 主站在投入自动运行时向猴子岩水电站 AGC 子站下达不满足最低生态下泄流量下的全站有功负荷调节目标值。目前猴子岩上送省调 AGC 主站的全站等值禁运区有 3 段,分别记为 $[P_{1低}, P_{1高}]$ 、 $[P_{2低}, P_{2高}]$ 、 $[P_{3低}, P_{3高}]$,则新的等值禁运区上送策略详见表 1。

表 1 等值禁运区上送策略

$P_{最低}$ 使用策略	$P_{1低}$	$P_{1高}$	$P_{2低}$	$P_{2高}$	$P_{3低}$	$P_{3高}$
$0 < P_{最低} \leq P_{1高}$	0	$P_{1高}$	$P_{2低}$	$P_{2高}$	$P_{3低}$	$P_{3高}$
$P_{1高} < P_{最低} \leq P_{2低}$	0	$P_{最低}$	$P_{2低}$	$P_{2高}$	$P_{3低}$	$P_{3高}$
$P_{2低} < P_{最低} \leq P_{2高}$	0	$P_{最低}$	$P_{最低}$	$P_{2高}$	$P_{3低}$	$P_{3高}$
$P_{2高} < P_{最低} \leq P_{3低}$	0	$P_{最低}$	$P_{最低}$	$P_{最低}$	$P_{3低}$	$P_{3高}$
$P_{3低} < P_{最低} \leq P_{3高}$	0	$P_{最低}$	$P_{最低}$	$P_{最低}$	$P_{最低}$	$P_{3高}$
$P_{最低} > P_{3高}$	0	$P_{最低}$	$P_{最低}$	$P_{最低}$	$P_{最低}$	$P_{最低}$

此种设计下,无需修改省调 AGC 主站下令控制逻辑,无需修改电站 AGC 子站分配和闭锁策略,具有修改内容相对较小、程序实施安全风险较小、调试简单安全等优点。此外,若水电站所在上级调度同意,可将保生态流量最低电站出力与全站可调范围相结合,这样更便于 AGC 程序设计。

2 适应性功能优化

2.1 近似单机负荷控制

在多机机组并网运行(满足电网旋转备用要

求)时,为降低机组耗水率、提高电站运行经济性,一般应尽量少的机组并网参与运行。

相关机构要求猴子岩全站下泄流量的生态保证值为 $160 \sim 180 \text{ m}^3/\text{s}$,猴子岩单机空载流量最大约 $42.3 \text{ m}^3/\text{s}$,单机满负荷时最大流量可高达 $360 \text{ m}^3/\text{s}$ (最高水头时单机最大下泄流量也高达 $310 \text{ m}^3/\text{s}$),为满足全站下泄流量不低于最低下泄流量生态保证值要求,理论上只需 1 台机组并网运行即可。同时,猴子岩水电站实际运行中,若全站出力较低时,即使保持旋转备用,最多也只有 2 台机组并网投入 AGC 运行,即:

$$P_{多机} \approx P_{双机} \approx P_{负载机组} + P_{空载机组} \quad (7)$$

$$Q_{多机} \approx Q_{双机} \approx Q_{负载机组} + Q_{空载机组} \geq Q_{最低} \quad (8)$$

由于双机或多机运行情况下进行停机操作,需考虑不同机组数量下机组空载流量对总流量计算的影响,减少机组运行数量后,全站最低负荷应相应提高,方可满足生态流量需要。为避免在全站低负荷时需要向调度申请增加全站出力来进行停机操作的问题,可全部按照单机流量保证最低生态流量方式进行设计。

由此可见,猴子岩保生态最低下泄流量要求可转化为确保至少 1 台机组发电下泄流量不低于生态流量保证要求即可,而机组发电下泄流量与机组有功负荷出力直接相关,水电站保生态流量控制问题可转化为单机保电站最低发电负荷控制问题,即近似通过确定单台机组最低有功负荷,并将其提供给 AGC 程序进行控制即可。即令 $n=1$,得

$$P_{最低} \approx f_2(Q_{最低}) = f_2[f_{1最低}(H)] \quad (9)$$

这可进一步验证前述第 1.2 节在对全站功能设计时采取单机方式近似的可行性。在猴子岩水电站功能部署时,设置了空载机组流量扣减功能投退压板;当无需进行流量精确控制且方便运行操作人员进行负荷人工调节时,不投入该压板。

2.2 设置汛枯期切换功能

通过设置“汛/枯切换”虚拟投切开关,只当投切开关状态在“枯期”时投入保生态流量的功能。当电站 AGC 子站投入省调闭环控制时,电站直接接受省调 AGC 主站指令进行全站有功调节;当电站 AGC 子站投入集控中心或电站站内闭环控制时,均由人工进行全站有功负荷调节,可不考虑人工调节

下全站总负荷仍不满足最低生态流量的情形。同时,该按钮切至“汛期”也可作为枯期期间的特殊运行方式, $P_{最低}$ 可作为人工操作的最低指导值;该切换操作受“AGC功能省调控制权”和“全站AGC闭环状态”解闭锁,即当且只当电站AGC子站投入省调闭环控制时,才允许进行切枯期操作,枯期切汛期不受此影响。

此外,部分水电站存在间歇性泄水情况,若频繁进行“汛/枯切换”虚拟投切开关操作,将增加运行人员操作负担,为此,可基于溢流曲线建立闸门溢流取值 $Q_{溢流}$ 的取值模型,并在 $P_{最低}$ 计算时扣减闸门泄洪流量。

$$P_{最低} = f_2 [f_{1最低}(H) - (n-1)f_{1空载机组}(H) - Q_{溢流}] \quad (10)$$

2.3 NHQ曲线取值近似处理

猴子岩水电站在以上函数取值时,充分考虑现场实际,作如下优化处理:

1)充分考虑到猴子岩水电站机组尾水波动相对机组水头 H 较小,可用下游平均水位替代下游水位实时值。有鉴于此,在AGC程序设计时,可采用水电站上游水位替代机组水头 H 进行流量特性曲线读取,水电站上游水位值取自AGC程序中经自动水位和人工水位切换后的高稳定性的计算结果。这也是避免机组尾水位实时波动易引起AGC误控的可行做法,可广泛运用于高水头电站AGC程序设计中。

2)充分考虑到猴子岩机组水头变化区间高达近40m(库水位波动区间为1802~1842m)、机组额定最高流量约达 $360 \text{ m}^3/\text{s}$ 的实际情况,对水头-流量-有功相关参数进行合理取样。

2.4 设置 $P_{最低}$ 的偏差校准基值 ΔP

为确保计算获取的最低有功值 P 全站最低满足生态最低下泄流量要求,可设置功率正偏差补偿 ΔP 环节,即:

$$P_{最低} = f_2 [f_{1最低}(H) - (n-1)f_{1空载机组}(H) - Q_{溢流}] + \Delta P \quad (11)$$

其中, $\Delta P \geq 0$,可根据运行效果评估修正。

2.5 设置相应死区

为避免上送省调AGC主站数据因水位波动而频繁跳变,可在计算关键环节合理设置传递死区,猴子岩水电站选择在 $P_{最低}$ 输出处设置死区。

2.6 无人值班、远方集控适应性优化

为适应远方集控的生产管理模式,一是设置汛枯期状态集控远方操作切换令接收功能,该命令生效受“电站AGC子站控制权在集控中心”解闭锁;二是为持续监测该功能运行情况,设置了自动告警功能,若检测到有新AGC调令下发且不满足保生态最低下泄流量要求,则该计算结果应在调令下发时间 T_1 后生效;当全站实发有功出力低于 $P_{最低}$ 时,告警信息发送简报并发二级异常ON-CALL(告警信息接收人为电站现场应急指挥人员);当告警持续超过时间 T_2 ,则发二级故障ON-CALL(告警信息接收人为电站现场应急指挥人员和生产管理人员),同时该二级故障信息送生产指挥中心计算机监控系统。

为适应无人值班的生产管理模式,将功能软压板投退状态显示、汛枯期切换状态显示、最低生态下泄流量保证值的设置与显示、功率正偏差补偿的设置与显示、计算获取的全站最低有功出力、ON-CALL报警检测时间窗大小等配置到AGC控制参数页面,方便运行人员操作与监视。

3 测试与结果分析

按以上设计要求完成了现场实施后,猴子岩水电站对计算机监控系统AGC自动运行时保生态下泄流量功能进行了充分的开环测试,包括近远程功能切换与投退测试、定值设置测试、水头取样调整测试、模拟量故障模拟测试以及机组开停机测试。结果证明该功能的可靠性、有效性和正确性均完全满足设计要求。经电站现地控制和四川省调远方控制经验表明,猴子岩AGC的该功能性能良好。随机选取2020年2月8日01:00到01:30共30min时段的AGC调节情况,人工分析和程序实时计算分析的对比情况如表2、表3所示。

从表2可以看出:在当前水位下,运行结果符合预期,该功能投入后,四川省调AGC下令不再落入所计算的最低负荷要求以下,较好地实现了全站下泄流量满足生态最低保障流量的要求,同时对AGC的其他性能没有不良影响。

从表3可以看出:根据历史数据,在枯水期、丰

表 2 上库水位 1 829.86 m 时 P 值计算与下令情况片段

单位:MW

时间	省调调令	程序计算 $P_{最低}$	人工预期 $P_{最低}$	禁运区(处理前)	禁运区(处理后)
01:05:49	307.5	213.9	213.9		
01:09:30	385.0	213.9	213.9		
01:10:33	326.0	213.9	213.9	第一段 0~5	第一段 0~213.9
01:13:33	388.5	213.9	213.9	第二段 7~173	第二段 213.9~213.9
01:24:49	274.2	213.9	213.9	第三段 174~175	第三段 213.9~213.9
01:27:25	213.9	213.9	213.9		

表 3 上库水位 1 835.6 m 时 P 值计算与下令情况片段

单位:MW

省调调令(丰期)	省调调令(枯期)	程序计算 $P_{最低}$	人工预期 $P_{最低}$	禁运区(丰期)	禁运区(枯期)
340.4	363.2	222.5	222.5		
260.3	290.2	222.5	222.5	第一段 0.0~20.0	第一段 0.0~222.5
28.0	222.5	222.5	222.5	第二段 28.0~208.0	第二段 222.5~222.5
208.0	300.7	222.5	222.5	第三段 208.0~209.0	第三段 222.5~222.5
271.1	224.0	222.5	222.5		

水期时相同水位下,截取省调调令最小值时附近范围内的调令,根据比对上送省调的禁运区,在枯水期时调令值均满足保证下泄流量的最低负荷要求,因此功能满足当前设计要求。

4 结 语

针对 AGC 功能投运时水电站河道生态流量保障难以控制的问题提供了一个全新的可行的解决方案,具有一定的普遍使用性。猴子岩水电站实践适应大渡河公司的远方集控和水电智能化发展的需要,以及智慧电厂建设要求,同时受到上级调度的有关限制,在如何实现其他水电站的同样功能的设计时,还需要相应水电站企业针对自身实际情况进行适当优化调整。

参考文献

- [1] 权燕. 四川江河生态流量管控的思考[J]. 中国水利, 2019(17):55-56.
- [2] 张欧阳,熊明. 汉江中下游近 60 年最小流量变化及影响因素分析[J]. 人民长江,2017,48(S2):89-92.
- [3] 王鸿翔,桑明崎,查胡飞,等. 基于生态水文学法的湘江生态流量研究[J]. 人民长江,2019,50(8):70-73.
- [4] 张欧阳,熊明. 基于实测流量成果的生态流量计算方法[J]. 人民长江,2017,48(S2):61-64.
- [5] 周芬,王丽婷,钟名军. 基于径流频率和河道形态的生态流量分析方法[J]. 人民长江,2019,50(10):73-76.
- [6] 吴瑕. 湖北长河设计流量及水位推求的简化方法[J].

人民长江,2012,43(18):82-84.

- [7] 杨寅群,柳雅纯,赵琰鑫,等. 安徽省某大型综合利用水库生态基流研究[J]. 人民长江,2015,46(9):63-67.
- [8] 李红清. 嘉陵江亭子口水利枢纽下游河道生态需水量分析[J]. 人民长江,2012,43(20):81-84.
- [9] 李英海,夏青青,张琪,等. 考虑生态流量需求的梯级水库汛末蓄水调度研究——以溪洛渡-向家坝水库为例[J]. 人民长江,2019,50(8):217-223.
- [10] 陈志刚,程琳,陈宇顺. 水库生态调度现状与展望[J]. 人民长江,2020,51(1):94-103.
- [11] 余文公,夏自强,于国荣,等. 生态库容及其调度研究[J]. 商丘师范学院学报,2006,22(5):148-151.
- [12] 余文公,夏自强,李强,等. 三峡水库主汛期后生态调度措施研究[J]. 人民长江,2007,38(11):202-204.
- [13] 尹正杰,黄薇,陈进. 长江流域大型水库实施生态调度方法框架研究[J]. 人民长江,2011,42(4):60-63.
- [14] 陈竹青. 长江中下游生态径流过程的分析计算[D]. 南京:河海大学,2005.
- [15] 王宗宇. 金湖流域电厂下泄流量监测系统研究[J]. 科技风,2012(8):156-157.
- [16] 徐伟,董增川,付晓花,等. 滦河流域生态流量保证程度分析[J]. 人民长江,2015,46(24):13-16.
- [17] 伊林果. 关于大渡河流域康甘断面内电站电量消纳的思考[C]. 四川省水力发电工程学会 2018 年学术交流会议“川云桂湖粤青”六省(区)施工技术交流会论文集,2018.

作者简介:

邱 华(1984),男,大学本科,研究方向为水电优化运行与自动控制。

(收稿日期:2020-12-16)