

# 具有下游河道生态安全防护的泄洪闸应急 控制系统设计及应用

靳 帅

(国电大渡河枕头坝发电有限公司, 四川 乐山, 614700)

**摘要:** 为确保泄洪闸运行的稳定性和可靠性, 有效防止紧急情况下因人为判断失误或者操作延迟, 造成的下游河道断流、水漫大坝等严重危及生态安全的事故发生, 枕头坝电站设计了具有下游河道生态安全防护功能的泄洪闸应急控制系统, 该系统具备库区水位过高应急提门、送出线路跳闸应急提门、泄洪闸动力电源消失应急送电、闸门动作应急联动报警等功能。文章结合系统的特点及实际应用情况详细阐明了系统的作用和意义, 为同类型水电站闸门应急控制改造提供重要的参考作用。

**关键词:** 泄洪闸; 应急控制; 生态安全; 应急提门

**中图分类号:**

**文献标识码:** A

## 0 引言

低水头、大流量、河床式水电站的泄洪闸正常运行对大坝及厂房设备的安全及下游河道的生态安全至关重要, 传统的泄洪闸控制系统具备对各闸门的独立控制, 能根据人为操作实现对闸门的开启和关闭, 但在运行中存在以下风险:

- (1) 发生库区水位超高时, 当运行人员监视不到位, 引起水漫大坝的风险;
- (2) 大坝 400V 动力电源消失时, 电源恢复不及时, 造成不能操作大坝闸门的风险;
- (3) 送出线路跳闸导致机组全停时, 人工操作造成时间延误未能及时开启闸门, 导致下游河道生态流量中断的风险。

以上风险发生时, 需要人为迅速判断开启闸门时, 往往在判断和处理的过程中耽误较长的时间, 错过最佳处理时机, 从而对大坝及下游河道的生态安全带来极大的威胁。因此亟需设计一种应对紧急情况的控制系统, 能够快速联动闸门, 及时发送预警信息, 减少下游人民群众财产损失, 保证下游河道的生态流量安全。

## 1 系统设计背景

枕头坝水电站位于大渡河干流, 采用堤坝式开发, 电站总装机 720MW, 多年平均发电量为  $32.90 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$ , 多年平均流量  $1360 \text{m}^3/\text{s}$ , 正常蓄水位 624m, 水库总库容  $0.469 \times 10^8 \text{m}^3$ , 调节库容为  $0.145 \times 10^8 \text{m}^3$ , 设备操作响应时间要求极高。泄洪闸系统由五孔闸门组成, 其运行具有以下特点:

- (1) 泄洪闸系统采用“无人值班”, 可靠性要求高

电站自投运以来采用无人值班(少人值守)的运行模式, 无法实现人工对所有运行情况全程监视, 需要应急系统对各种异常情况自动做出应急反应, 从而对系统的可靠性和安全性都提出了极高的要求。应急系统的设计需要确保在紧急情况下能够及时准确的动作, 因此需开展在各种特殊的条件下的试验验证, 在满足动作条件时既不拒动也不误动, 在不满足条件时能够不动作, 保证系统动作可靠率为 100%。需重点解决数据采集的准确性, 如闸门开度信号、库区水位信号、线路负荷信号、大坝 400V 动力电源信号等; 确定不同条件下闸门应急系统的投入条件; 充分考虑柴油发动机的启动条件及防误开出措施。

- (2) 电站水库容量小, 库区水位上涨快

电站可调节库容较小, 在发生紧急情况时要求系统能够及时动作开启闸门, 避免库区水

位持续上涨威胁大坝安全。系统的数据计算性能及回路设计的可靠性直接关系到闸门开启指令能否成功动作于泄洪闸门。为满足系统响应的及时性，需对应急系统逻辑算法和输出回路不断优化设计，在原泄洪闸门控制系统的基础上重新设计专用动作回路。

表 1 电站在不同流量差条件下坝前水位上涨至 624m 所需时间表

起涨水位 (m) 时间(min) 入出流量差(m <sup>3</sup> /s) (上游电站负荷)	618	619	620	621	622	623
	500 (350MW)	205	172	138	104	70
1000 (490MW)	102	86	69	52	35	17
1500 (630 MW)	68	57	46	35	23	11
2000 (660 MW)	51	43	34	26	17	9

### (3) 地理位置特殊，河流生态环保管控严

电站处于大渡河珍稀鱼类洄游的必经河段，需首先保证鱼类安全的生态流量需求；同时某大型企业取水口位于电站下游河道上，需保证最小的下泄流量，满足企业的取水需求；电站所在地为少数民族聚居区，河道上的日常活动较多，在有泄洪操作前应及时发出预警信息，避免发生人身财产的损失。因此电站在做好发电生产任务的同时，河流生态环保的安全和社会影响的问题也不容忽视。

## 2 系统设计方案

为确保泄洪闸运行的稳定性、下游河道生态安全性和供电的可靠性，枕头坝水电站配置了泄洪闸应急控制系统（系统结构如图 1 所示），一是根据库区水位实现紧急条件下的泄洪闸应急控制，防止水库水位超过警戒线水漫大坝；二是实现全站突然甩负荷情况下自动应急开启泄洪闸门，保证下游的生态安全；三是当大坝 400V 动力电源消失时自动启动柴油发电机，确保大坝 5 孔泄洪闸门动力电源供给；四是当该系统动作时，自动联动启动电站 ON-CALL 系统和泄洪报警系统，报告险情发出告警信号，及时通知下游区域人员及时撤离，从而避免发生生命财产损失，解决险情发生后人为发送报警延迟的问题。

该系统的功能，一是根据库水位实现紧急条件下的泄洪闸应急控制，防止运行中水漫大坝和保证下游生态流量；二是实现全站突然甩负荷情况下自动应急开启泄洪闸门同时联动报警，避免下游发生人身财产损失；三是大坝 400V 电源消失及时自动启动柴油发电机，实现泄洪闸紧急情况可靠动作泄洪。

应急控制系统的采集有水库水位、5 孔泄洪闸开度、大坝两段 400V 母线电源及进线断路器状态、柴油发电机的运行情况以及送出线路功率、电流，通过以太网与大坝 LCU 进行通讯，经过大坝 LCU 中转实现其控制作用，同时将应急系统中的信息送至监控系统上位机。正常情况下，系统根据入库流量和发电引用流量控制泄洪闸的启闭，保证上游水位和机组的出力；厂用电 10kV 系统供电至坝区变 411B、412B，5 孔泄洪闸的电源分别取自坝区 400V 动力电源、柴油发电机做为应急备用电源（如图 2 所示）。泄洪闸应急控制系统实时检测大坝上游水位、线路功率和电流的变化等信息，根据内部预设的逻辑，执行相应的开出，通过无源硬接点控制泄洪闸的紧急启闭；还可实时检测大坝两段 400V 母线电压，若均失电则立即自动启动柴油发电机向大坝 400V 供电，确保大坝 5 孔泄洪闸的电源供给。

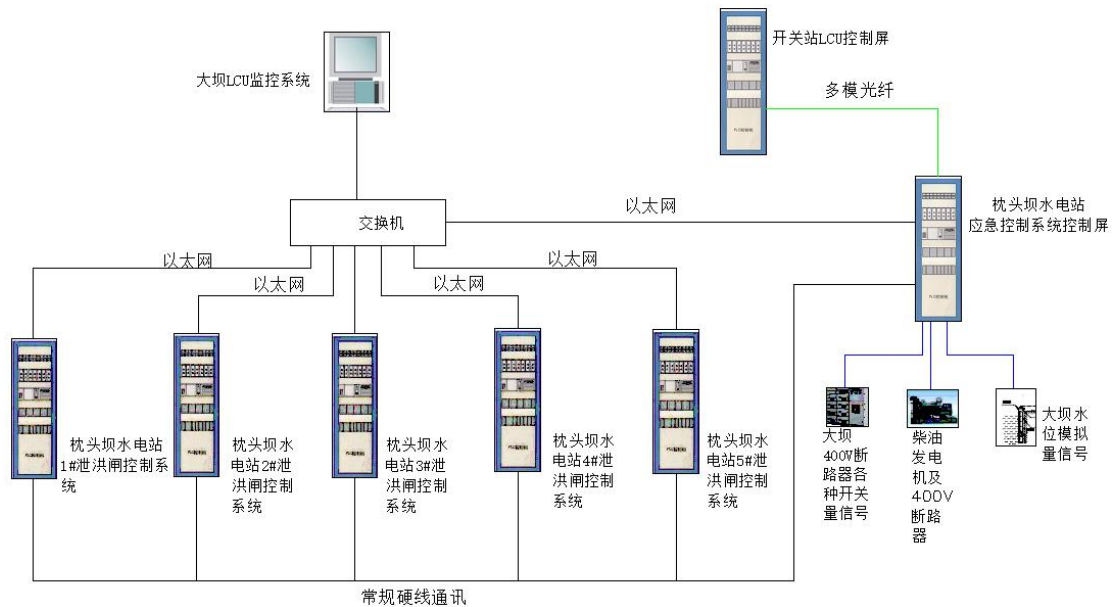


图1 泄洪闸应急控制系统网络结构图

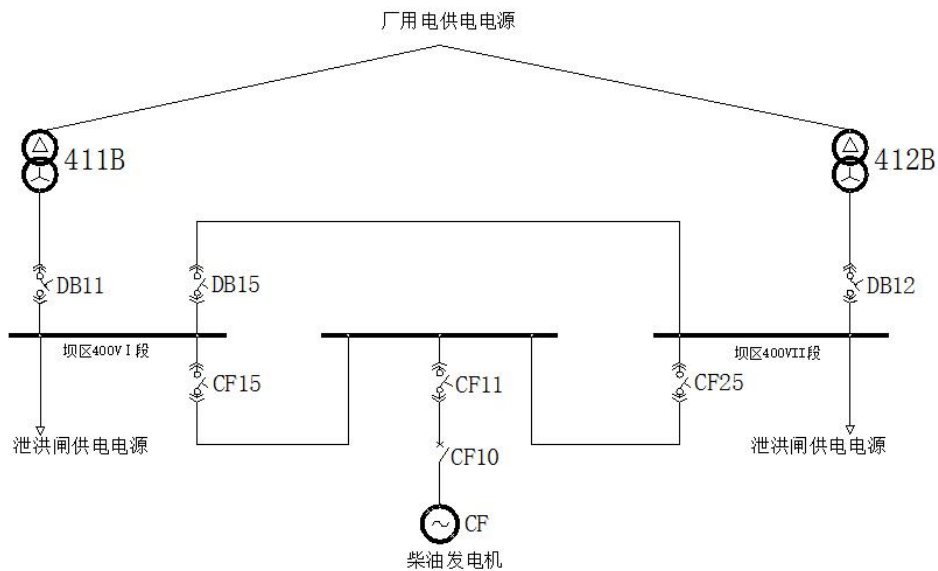


图2 大坝供电系统接线示意图

### 3 系统设计特点

#### 3.1 构建高动作可靠性和自动化水平的控制系统

(1) 构建一套高动作可靠性的控制系统。建设了水位自动检测系统，通过构建库水位测值特征库及阈值，与电站监控系统上位机通过通讯的方式读取的相关水位数据一起作为辅助判据，采用“三取二”+辅助判据的方式作为库水位异常动作依据；通过采集线路功率/三相电流，采用互与为判据的方式作为电站功率异常或跳闸动作判据，提高了动作的可靠性；泄洪闸闸门控制方式通过网络通讯方式直接控制，由硬接线方式作为辅助控制方式，极大地提高了对设备控制的可靠性。

(2) 构建一套高自动化的控制系统。通过 PLC 对输入量进行组态逻辑判断，准确识别相应的故障或异常运行情况，通过网络通讯的方式直接动作于对应的泄洪闸闸门控制，极大地提高了该系统的自动化程度。该自动控制系统的快速响应，能有效防止人为判断失误或操作延迟，造成下游河道断流、水漫大坝等严重危及生态安全的事故发生，同时可设定库水位下降到预设阈值时，泄洪闸门自动落门，避免水库水位过低造成水工建筑物异常运行情况的

发生。

(3) 具有坝区柴油发电机应急自动启动功能，由系统自动检测到大坝泄洪闸门动力电源母线运行情况，发现异常时，系统调用应急电源自动投入程序，自动启动坝区柴油发电机，并通过自动控制流程，断开前端供电电源开关，自动将柴油发电机投入，为坝区电源母线进行供电，保证坝区供电电源的可靠性。

### 3.2 构建拦河坝下游河道生态保护圈解决方案

(1) 建设水位自动检测系统，通过构建库水位测值特征库及阈值，与电站监控系统上位机通过通讯的方式读取的相关水位数据一起作为辅助判据，作为泄洪闸调整的动作依据；通过建立线路/机组负荷特征库，将泄洪闸门溢流曲线/机组 N-H-Q 曲线与电站负荷突变量进行关联匹配，自动提落泄洪闸闸门。

(2) 收集下游生态流量要求，将相关参数写入控制程序，自动启闭泄洪闸闸门，有效避免枯水期机组异常跳闸或线路跳闸所造成的下游河道断流对下游生态圈的影响，保证了下游河道生态流量，与电站鱼道系统形成配合，为河道内野生鱼类繁殖提供了良好的生态圈。

### 3.3 实现紧急情况的联动报警功能

主要解决了险情发生后人为发送报警延迟的问题。当该系统动作时，自动联动启动电站 ON-CALL 系统和泄洪报警系统，报告险情发出告警信号，及时通知下游区域人员及时撤离，从而确保河道内人员的安全撤离，避免发生生命财产损失。

## 4 系统应用情况

### 4.1 提高了应急响应速度

该项目大大缩短了泄洪闸控制系统的应急响应时间，提高了闸门应急启动的速度，对大坝的安全运行和下游河道的生态安全防护具有重要意义。系统投运前后相关动作时间对比如下表所示：

表 2 系统投运前后动作时间对比

项目	系统投运前	系统投运后
断电后恢复时间 (min)	>30	<3
闸门应急启动时间 (min)	>25	<3

### 4.2 提升了动作的正确性

项目按照不同的工况条件，设置对应的动作方案，以达到设计方案的要求，实现正确动作。

表 3 系统动作逻辑

运行方式		线路跳闸	报警及动作水位
汛期	动作条件	2S 内线路负荷由 60MW 以上突变到 20MW 以下且线路三相电流小于 20A	预警水位 (623.3m) 紧急动作水位 (623.5m)
	5 孔闸门动作增加开度	2m-15m (对应 60MW-720MW)	10m
非汛期	动作条件	2S 内线路负荷由 60MW 以上突变到 20MW 以下且线路三相电流小于 20A	预警水位 (624m) 紧急动作水位 (624.3m)
	单孔闸门动作增加开度	2m-15m (对应 60MW-720MW)	2m

系统在投运以来，及时可靠准确动作 10 余次，动作成功率 100%，成功避免了下游河道生态环保事件和水漫大坝险情的发生，有效的保障了生态流量及大坝安全，为下游河道生态环保及电站下游群众生命财产安全提供了可靠的保障。

### 4.3 增加了经济社会效益

系统投入实际应用后, 枕头坝电站大坝上游年平均运行水位抬高了 0.8m, 机组运行耗水率降低 0.12m<sup>3</sup>/kW·h, 每年平均可增加发电量 3024 万 kW·h。

## 5 结语

具有下游河道生态安全防护的泄洪闸应急控制系统设计方案提供了一套高动作可靠性和高自动化控制的系统, 实现了应急电源的自动启动控制, 建设了库水位智能测报及联动控制系统, 配合电站鱼道系统形成良好的生态圈, 解决了险情发生后人为发送报警功能。为电厂的安全生产, 提升效益起到了巨大作用, 推动了大型流域水电站泄洪系统安全运行和水利建筑物控制系统的技术进步, 提升了水电企业应急管理水平和。也为同类型水电站河道生态安全管控和应急系统建设提供了参考。

## 参考文献:

- [1] 钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 李庆斌, 石杰. 大坝建设 4.0 [J]. 人民长江, 2015, 34(8): 1-6.
- [3] 钟登华, 王飞, 吴斌平, 等. 从数字大坝到智慧大坝[J]. 人民长江, 2015, 34(10): 1-13.
- [4] Huang H Q, Nanson G C. Hydraulic geometry and maximum flow efficiency as products of the principle of least action [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2000, 25 (2) : 1-16.
- [5] 于某. 松花江流域水环境管理系统[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [6] 中华人民共和国水利部. 2011 年中国水资源公报[R]. 2011.
- [7] GB 50007—2011. 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [8] 张二, 杨九. 基于风险管理的贵州乌江东风水电站大坝中孔处理方案研究[C] // 水库大坝建设与管理中的技术进展——中国大坝协会 2012 学术年会论文集. 2012: 289-299.
- [9] 漆汉宏. PLC 电气控制技术 [M] . 北京: 机械工业出版社, 2007
- [10] 李曼娜. 基于 PLC 的水电站闸门监控系统研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学自动化学院, 2012

# With the downstream river ecological safety of sluice gate control system design and application

JIN Shuai

(Guodian Dadu river Zhentouoba Power Generation Co., Ltd., Leshan, Sichuan614700, China)

**Abstract:** The runoff of the sluice gate normal operation of the dam of the hydro power station and plant security and ecological security of downstream river channel is crucial, in order to ensure the stability and reliability of sluice gate operation configuration the sluice gate control system, the system with the reservoir water level is too high to send out the line tripping emergency door, sluice gate drive power disappear emergency power, and other functions. The system can effectively prevent human judgment or delayed operation, caused by discontinuous flow, water overflow dam downstream seriously endanger the ecological security of the accident. Implementation in endanger the safety of downstream river channel ecological play a important role in an emergency, and to ensure the river ecological safety and reliability. Scheme after long-term application practice, the system is stable and reliable, has a huge economic and social benefits.

**Key words:** rapi; The emergency control system; Ecological security; Emergency lift gate

作者简介：

靳 帅（1990），男，河南南阳人，助理工程师，从事水电站技术管理工作。

通讯地址：四川省乐山市金口河区滨河路四段1号，614700

电子邮箱：767045997@qq.com

电话：15082208763