

王旭, 张诗嘉, 郭晓原. 水利水电工程通风控制系统设计技术研究[J]. 水利水电技术(中英文), 2025, 56(S1): 120-124.
WANG Xu, ZHANG Shijia, GUO Xiaoyuan. A technical study on the design of the ventilation control system for water conservancy and hydropower projects[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2025, 56(S1): 120-124.

水利水电工程通风控制系统设计技术研究

王旭, 张诗嘉, 郭晓原

(中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司, 北京 100024)

摘要: 水利水电工程通风系统的良好运转, 对工程的安全运行非常重要。通风控制系统是保证整个通风空调系统有序、稳定、可靠运行的基础, 其设计主要从系统结构、组网方式、末端控制回路、与其他系统联动方式等多方面进行考虑。根据水利水电工程的建筑物通风控制区域、投资要求、业主要求、设计理念等因素, 可有针对性地进行不同设计方案选择。阐述水利水电工程在不同的工程条件下对通风控制系统进行选择性的分类设计, 对提高设计效率、结构稳定性、节约项目成本等多方面具有重要意义。同时, 总结出使用星型以太网网络、配置纯继电器回路和小型 PLC, 并使用网络联动火警停止非消防风机的通风控制设计方案, 在清原抽水蓄能电站中实践并验证了其先进的设计思路。最后, 通过多年的设计经验, 延伸探讨了未来通风控制系统发展的趋势及目标。

关键词: 水利水电工程; 通风; 控制系统; 消防联动

DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2025.S1.019

中图分类号: TV735; TP273

文献标志码: A

文章编号: 1000-0860(2025)S1-0120-05

A technical study on the design of the ventilation control system for water conservancy and hydropower projects

WANG Xu, ZHANG Shijia, GUO Xiaoyuan

(PowerChina Beijing Engineering Corporation Limited, Beijing 100024, China)

Abstract: The good operation of ventilation system of water conservancy and hydropower project is very important for the safe operation of the project. ventilation control system is the basis for ensuring the orderly, stable and reliable operation of the entire ventilation air conditioning system. Its design mainly considers the system structure, networking mode, terminal control loop, linkage mode with other systems, etc. According to the different control areas, investment requirements, owners' requirements, design concepts and other factors of the building ventilation of water conservancy and hydropower projects, different design schemes can be selected. The classification design of selectivity for ventilation control system in water conservancy and hydropower projects under different engineering conditions was described, which is of great significance in improving design efficiency, structural stability, saving project costs and other aspects. At the same time, the ventilation control design scheme is summarized, which uses star Ethernet network, pure relay circuit and small PLC, and uses network linkage fire alarm to stop non fire fan. Its advanced design idea is practiced and verified in Qingyuan Pumped Storage Power Station. Finally, through years of design experience, the author also extended and discussed the future development trend and goals of ventilation control system.

Keywords: water conservancy and hydropower project; ventilation; control system; fire linkage

收稿日期: 2024-07-05

作者简介: 王旭(1988—), 男, 高级工程师, 学士, 主要从事水利水电工程电气二次设计。E-mail: 310750332@qq.com

通信作者: 郭晓原(1986—), 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事水利水电工程电气二次设计。E-mail: guoxiaoy@bjy.powerchina.cn

0 引言

随着我国经济的快速发展,水利水电工程作为经济发展的动力支柱,其建设数量正在不断扩大。通风系统作为整个水利水电工程一个重要且不可或缺的重要组成部分,其通风控制系统设计应根据工程实际需求进行灵活调整设计方案。但传统的通风控制系统设计由于水利水电工程内受控风机数量巨大且分布无规律且可能存在分散的特征,导致整个控制系统设计可能出现灵活性差、施工效率低、投资成本高、联动对象增多而导致回路复杂故障点增多等问题,故通风控制系统急需优化设计方案。随着自动化控制相关功能的设备产品升级换代,通风控制系统的设备配置及消防联动控制风机的设备配置等问题也在不断优化更新设计思路。为适应水利水电工程“无人值班”(少人值守)的运行模式,设计一套结构合理、可靠性强、灵活性高、简化施工难度的通风控制系统成为水利水电工程的发展趋势。

1 水利水电工程通风控制系统的系统结构配置情况现状

在水利水电工程中,由于各个项目的通风控制区域不同、投资要求不同、业主要求不同、设计理念不同等因素,通风控制系统系统结构、组网方式有所区别,相关控制回路配置也有所不同。本文根据收集到的一些项目资料,总结出目前水利水电工程中常用常见的一些通风控制系统的系统结构配置。

(1)星型系统结构,控制及反馈信号均为硬接线,末端控制箱为纯继电器控制回路。本方案通风控制系统设置一个总控的集中控制柜,风机控制末端设置风机控制箱。集中控制柜与各风机控制箱之间连接采用星型系统结构,通过硬接线形式传输风机的控制与反馈信号(包括消防联动),末端控制箱配置标准继电器搭接控制回路。本套通风控制系统设计方案的实际应用项目为岗曲河一级水电站等水利水电工程。

(2)星型系统结构,末端采用 DP 总线(手拉手)形式,末端控制箱配置小型 PLC 及继电器控制回路。本方案通风控制系统设置一个总控的上位机及集中控制柜,在不同建筑物设置区域控制单元柜,风机控制末端设置风机控制箱。集中控制柜与区域控制柜之间采用星型系统结构并使用以太网连接。区域单元控制柜与区域内的末端控制柜采用星形结构连接,区域内不同末端控制柜之间进行手拉手组网连接。其中区域控制柜与末端控制箱之间、末端控制箱与末端控制箱

之间采用 DP 总线形式进行连接。末端控制箱同时配置继电器控制回路及小型 PLC,其中小型 PLC 配置 DI 与 DO 等模块,可灵活配置联动的防火阀、防火风口、火警模块的输入及风机控制流程。本套通风控制系统设计方案的实际应用项目为敦化抽水蓄能电站等水利水电工程。

(3)未配置上位机的星形以太网网络结构,末端控制箱配置小型 PLC 及继电器控制回路。本方案通风控制系统不设置上位机而只设置集中控制柜,在不同建筑物及区域设置区域控制单元柜,区域单元柜与集中控制柜采用星型结构通过以太网传输控制及反馈信号。由于通风控制系统不配置上位机,故集中控制柜直接与监控系统的公用 LCU 通过以太网连接。风机控制末端设置风机控制箱,区域单元柜与风机控制箱之间采用星形系统结构并通过以太网传输控制与反馈信号。末端控制箱配置小型 PLC 及继电器控制回路,小型 PLC 配置 DI 与 DO 等模块,可灵活配置联动的防火阀、防火风口、火警模块的输入及风机控制流程。本套通风控制系统设计方案的实际应用项目为苏洼龙水电站等水利水电工程。

(4)环形以太网网络结构,末端控制箱配置小型 PLC 及继电器控制回路。本方案通风控制系统设置一个总控的上位机及集中控制柜,各末端控制箱与集中控制柜通过以太网组成一个环形网络,通过此网络传输控制及反馈风机信号至集中控制柜。末端控制箱同时配置继电器控制回路及小型 PLC,其中小型 PLC 配置 DI 与 DO 等模块,可灵活配置联动的防火阀、防火风口、火警模块的输入及风机控制流程。本套通风控制系统设计方案的实际应用项目为山西中部引黄泵站等水利水电工程。

(5)配置双通道区域通信管理机,星型以太网网络结构至监控网络柜,末端控制箱配置小型 PLC 及继电器控制回路。本方案通风控制系统设置多个双通道区域通信管理机,所有区域通讯管理机与监控网络柜采用双网星型以太网网络结构,全部末端风机控制箱通过 RS485 方式接入通信管理机。末端控制箱同时配置继电器控制回路及小型 PLC,其中小型 PLC 配置 DI 与 DO 模块,可灵活配置联动的防火阀、防火风口、火警模块的输入及风机控制流程。本套通风控制系统设计方案的实际应用项目如旬阳水电站等水利水电工程。

(6)配置上位机的星型以太网网络结构,末端控制箱配置远程 IO 模块及继电器控制回路。本方案通风控制系统设置一个总控的上位机及集中控制柜,在

不同建筑物及区域设置区域控制单元柜, 风机控制末端设置风机控制箱。上位机、集中控制柜、区域控制柜、现地风机控制柜等各级风机控制柜之间通过以太网传输控制及反馈信号。末端控制箱同时配置继电器控制回路及远程 IO 模块, 可灵活调整相同控制要求的受控对象数量, 但无法调整风机控制的启停方式。本套通风控制系统设计方案的实际应用项目如山东文登抽水蓄能电站等水利水电工程。

(7)配置上位机的星型以太网网络结构, 末端控制箱配置小型 PLC 及继电器控制回路。本方案通风控制系统设置一个总控的上位机及集中控制柜, 在不同建筑物及区域设置区域控制单元柜, 风机控制末端设置风机控制箱。上位机、集中控制柜、区域控制柜、现地风机控制柜等各级风机控制柜之间通过以太网传输控制及反馈信号。末端控制箱同时配置继电器控制回路及小型 PLC, 其中小型 PLC 配置 DI 与 DO 模块, 可灵活配置联动的防火阀、防火风口、火警模块的输入及风机控制流程。本套通风控制系统设计方案的实际应用项目如辽宁清原抽水蓄能电站等水利水电工程。

2 水利水电工程中通风控制系统不同配置的特点

根据各工程的通风控制系统配置进行分类比较, 可总结出通风控制配置特点。

2.1 系统结构

通风控制的系统结构可从两个角度出发进行方案设计: 系统分层与建筑物分布。

2.1.1 按系统分层考虑系统结构

从系统分层考虑, 通风控制系统可配置上位机及集中控制柜, 并将其设置在中控计算机室内; 也可将通风集中控制柜直接与监控系统的公用 LCU 连接, 不配置通风控制系统上位机。

配置集中控制柜及上位机的特点为: 通风控制系统作为一套独立的控制系统进行设置, 并预留与监控系统的接口, 在保证可接收监控控制的前提下, 减轻了监控系统的压力, 且在功能区域划分的概念上更为合理。

通风集中控制柜直接与监控系统公用 LCU 连接的特点为: 将通风集中控制柜挂在监控系统的公用 LCU 之下, 把通风控制系统与水利水电工程的其他公用油气水系统均视为公用控制的一个小系统进行划分, 将增加监控系统公用 LCU 设备的负担。但由于控制系统的划分变化, 通风控制系统化为公用控制的

子系统, 控制更为集中便利。

2.1.2 按建筑物分布考虑系统结构

从建筑物分布考虑, 水利水电工程通风受控区域建筑物之间的间隔距离将会影响通风控制系统网络结构。通风控制系统的网络结构可根据水利水电工程中各大建筑区域的实际布置情况进行划分。一般情况下, 若工程中各风机受控区域的建筑物比较分散, 即可设置结构大区或不同建筑物的区域单元控制柜, 区域单元控制柜通过星型以太网或 DP 总线形式连接所有本区域内的末端控制箱; 若工程中各风机受控区域或建筑物相对集中, 可采用环形以太网的系统结构, 通风系统集中控制柜与各末端控制箱组成环网进行数据交互。

星型系统结构的特点为: 针对各风机受控区域或建筑物比较分散的工程, 星型系统结构传输效率高、投资成本较低、组网难度低。缺点则是针对一些较小、建筑区域比较集中的工程, 星型系统结构较为冗余, 投资成本相对较高。

环形系统结构的特点为: 针对一些较小、建筑区域比较集中的工程, 投资成本低且相对可靠。针对于各建筑物或区域分散的大中型工程, 环形系统结构需要考虑各个区域或建筑物之间的信号敷设路径, 故而其组网难度高, 且成本随之增高, 数据传输效率降低。

2.2 组网方式

组网方式包括: 以太网网络、DP 总线网络、485 通信网络。不同的组网方式配置的设备接口也不相同。

以太网网络的特点为: 网络传输速率高, 组网形式多样化、灵活化, 通信距离相较更远。

DP 总线网络的特点为: 网络传输速率较低、投资成本低, 通信距离相对较远。

485 通信网络的特点为: 网络传输稳定性高、投资成本较高, 且通信距离较短导致设计受制约。

2.3 现地控制箱的控制回路

风机现地控制箱的末端控制回路包括: 继电器控制回路、小型 PLC 控制回路及远程 IO 控制回路。且以上几种控制回路可搭配配置。

继电器控制回路作为通风控制系统设计从初始一直使用的设计思路, 由于其拥有完成度高、稳定性高的特点, 一直延续使用到现在。而随着水利水电工程的技术升级, 小型 PLC 控制回路、远程 IO 控制回路也已经广泛应用到工程中的各个控制系统中, 通风控制系统也不例外。

继电器控制回路的特点为:由于水利水电工程中频繁使用此类设计方式,故其回路十分成熟,且稳定性高,投资成本低。但其灵活性差,无法随意增加受控或联动设备。

小型 PLC 控制回路的特点为:由于小型 PLC 控制回路是由不同的 DI、DO 等模块组成,所以其调整控制对象能力强;控制方式依靠编程可实现风机的各种启停逻辑及各类联动逻辑,其灵活性强。与其他盘柜的数据传输可通过通信实现,减少使用硬接线,但设备投资相对较高。

远程 IO 控制回路的特点为:配置 DI、DO 输入输出模块,可灵活调整控制对象但不具备编程功能(无法独立实现风机启停控制及各类联动逻辑),与其他盘柜的数据传输可通过通信实现,减少使用硬接线,投资成本较低。使用远程 IO 控制回路的情况下,由于没有 PLC 无法实现风机启停逻辑,故需同时配置继电器控制回路使用。

2.4 消防联动回路

风机一般分为普通风机(平时运行,火警关闭)与消防风机。根据风机不同的运行方式,有不同的消防联动回路设计要求。

2.4.1 普通风机的消防联动回路

普通风机一般仅接收一路火警模块箱总线停止命令。可将火警模块箱发的停止令经过风机控制柜继电器扩展并送至控制箱 PLC 及继电器控制回路(若配置)。若项目配置风机区域单元柜或集中控制柜,则可将火警模块箱的联动停止命令发至区域单元柜或集中控制柜,由区域单元柜或集中控制柜通过通信方式联动停止此区域内所有风机控制箱控制的普通风机。

2.4.2 消防风机的消防联动回路

消防风机一般接收两路火警系统发出的联动命令,一路为火警模块箱总线启动命令,一路为火警直启柜多线直启联动命令。总线联动命令一般建议经过 PLC,火警模块箱联动信号可通过控制箱的继电器扩展,一路进风机控制箱 PLC 进行逻辑判断,一路直接进继电器控制回路作为启动令。若控制箱未配置 PLC,火警模块箱联动信号可直接进继电器控制回路作为风机启动令。火警直启柜多线直启联动命令建议直接进风机控制箱的继电器控制回路,以点对点的方式成为最可靠的消防风机启动命令。

除此之外,根据规范要求,280°防火阀关闭应连锁关闭相应的排烟风机(消防风机)。故而消防风机控制柜应接收除火警系统外的 280°防火阀关闭信号,

通过控制箱的继电器扩展,一路进风机控制箱 PLC 进行逻辑判断,一路直接进继电器控制回路作为联停闭锁;或信号直接进入风机控制箱 PLC 进行逻辑判断,通过 PLC 开出停止令停止消防风机。

3 水利水电工程中通风控制系统的相关设备选择

根据上一节对通风控制系统不同配置的比较,每个工程可根据自己的项目特点与需求进行有效的配置筛选,从而做出更加适合自己项目的通风控制系统。

3.1 建筑物紧凑的小型水利水电工程

建筑物紧凑的小型水利水电工程中,各个风机受控区域或建筑物之间的距离相对较近,可使用环形以太网网络结构。既满足通风控制系统可靠性、稳定性、传输速率较高等要求,又可以节约投资成本。风机末端控制箱可选择继电器控制回路与远程 IO 的同时配置方式,既满足稳定性高,又可通过以太网进行控制及信号传输,降低使用硬接线的频率从而降低成本;亦可选择继电器控制回路与小 PLC 同时配置方式,在保证整个通风控制系统稳定性的前提下,同时具备了灵活配置控制对象及联动对象的能力。

3.2 建筑物分散的水利水电工程

建筑物分散的水利水电工程中,个别建筑物与主生产区之间的距离相对较远,这种情况下需要选择配置星型系统结构。若考虑降低投资成本,可使用以下几种设计方案:(1)采用只配置小型 PLC 的控制回路;(2)采用同时配置继电器控制回路与远程 IO 模块。若不考虑投资问题,只考虑整个通风控制系统灵活性,可采用同时配置继电器控制回路与小型 PLC 的方案。

以上只是列出了两种比较常见形式的水利水电工程。但在实际项目中,可能存在各种各样的制约条件,设计者可根据需求有针对性的选择不同通风控制系统配置。

4 通风控制系统的一些设计思路与未来设计构想

4.1 节省硬接线的整体设计思路

为了适应水利水电工程对建设期通风通畅、优质建设环境、厂房内组装精细零件并保证设备清洁等方面的需求,在保证通风控制系统整体稳定性的前提下,可减少通风控制系统的硬接线电缆,由通信传输信息替代传统的硬接线输入输出信号,从而

减少电缆施工工作量, 加快通风控制系统施工进度并快速完成投运整个厂房的通风系统。通过这一思路, 就可构造出一个新的通风控制系统结构: 风机末端控制设备采用小型 PLC 或远程 IO 进行风机控制及信号上传, 各个风机控制柜之间或与上一级的区域单元控制柜或通风集中控制柜之间通过通信进行信息传输。

4.2 非消防风机的联动设计方案升级

传统消防联动控制风机启停为火警联动信号采用硬接线形式点对点接入相应的风机控制箱。随着设备功能的提升, 非消防类风机的消防联动信号可接入风机区域单元柜或通风集中控制柜, 通过风机区域单元柜或通风集中控制柜通过通信方式传输联停信号至末端风机控制箱联动风机。目前通信及网络技术发展迅速, 其可靠性也可满足水利水电工程的实际要求, 并由于其简单易施工的优势, 可在实际工程中进行应用。设计者可在此基础上同时配置常规的消防联动接口, 具备可调整性以保证各类审查要求。

4.3 与室内其他环境设备的联动设计

随着未来水利水电工程建设对通风设备更加精细化控制的要求, 同时提高对节能环保要求的前提下, 水利水电工程可能增加对通风控制系统与环境温湿度相关测量设备进行联动、与空调和电加热等系统进行配合的需求。考虑未来与以上各类室内环境设备的联动, 通风控制系统应增加风机末端控制设备的接口数量, 优化控制逻辑, 提高风机控制器的控制能力, 争取做到根据环境条件的不同需求实施自动控制

通风系统的效果。

4.4 扁平化的整体设计思路

在 IEC61850 的设计思路推广下, 通风控制系统也应配合此标准进行设计提升。随着未来科学技术和设备配置满足条件时, 可预见的是, 未来水利水电工程所有的控制系统均可直接接入计算机监控主网上, 通风控制系统也可将所有风机末端控制信息直接接入主网进行控制操作。随着科学技术发展及相关产品的发展, 未来的通风控制系统必将更为扁平化设计。

5 结 论

根据全文阐述, 目前水利水电项目通风控制系统比较先进的设计思路是使用星型以太网网络、同时配置继电器控制回路和小型 PLC, 使用网络联动火警停止非消防风机并预留常规联动接入接口的方案。本设计方案同时考虑了稳定性及可拓展性两方面, 优化了消防联动方案, 既节省了投资, 又保证了联动的可靠性。目前在建的辽宁清原抽水蓄能电站就采用了上述的设计思路, 并成功实施完成。通过此次成功的通风控制系统设计, 为清原抽水蓄能电站通风系统的快速投运提供了便利, 为项目整个通风系统安全稳定运行发挥了重大作用。同时为未来的水利水电工程通风控制设计提供了新的设计思路, 提高了通风系统管理工作的效率和水平, 向着全面建设智慧水利水电工程的方向迈进。

(责任编辑 王 璐)