

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)03-0138-05

# 基于物联网的城市排涝泵站群智能集控系统开发和应用

乔凤权<sup>1</sup>, 唐鸿儒<sup>2</sup>, 孙毅<sup>1</sup>, 徐进<sup>1</sup>, 陈北帅<sup>1</sup>, 邵知宇<sup>2</sup>, 束长宝<sup>2</sup>

(1. 南水北调江苏泵站技术有限公司, 江苏 扬州 225000; 2. 扬州大学 电气与能源动力工程学院, 江苏 扬州 225127)

**摘要:**采用先进技术提升城市排涝泵站运行维护水平是保障城市安全的迫切要求,是建设智慧城市核心的内容。提出基于公共物联网平台的泵站群智能集控系统结构,利用VPDN构建虚拟加密的专用通道,实现泵站现场的水泵机组智能控制器与集控中心的数据采集器之间的网络安全通信。研制的水泵机组智能控制器能够采集泵站运行数据、设备状态数据、环境数据等,进行设备状态实时评价、机组投运决策和多模式智能控制,可以及时发现机组的潜在故障,均衡每台机组开机次数和开机时长。基于supOS开发的远程集控软件可实现多泵站集中运行监视、多种模式遥控。运行结果表明,系统达到了预期的排涝泵站群智能集控要求,安全稳定、扩展性好、维护方便。

**关键词:**城市泵站群;智能控制器;远程集控软件;物联网平台;状态评价;机组投运决策

中图分类号: TP391;TV61

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)03-0138-05

## Development and application of intelligent centralized control system for pump station group based on IOT

QIAO Fengquan<sup>1</sup>, TANG Hongru<sup>2</sup>, SUN Yi<sup>1</sup>, XU Jin<sup>1</sup>, CHEN Beishuai<sup>1</sup>, SHAO Zhiyu<sup>2</sup>, SHU Changbao<sup>2</sup>

(1. South To North Water Diversion Jiangsu Pump Station Technology Co., Ltd., Yangzhou 225000, Jiangsu, China;

2. College of Electrical, Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, Jiangsu, China)

**Abstract:** Adopting advanced technology to improve the operation and maintenance level of urban drainage pumping stations is an urgent requirement for ensuring urban safety and a core component of building an intelligent city. An intelligent centralized control system structure for pump stations based on a public IoT platform is proposed. A virtual encrypted dedicated channel is constructed using VPDN to achieve network security communication between the on-site intelligent controller of pump units in the pump station and the data collector in the centralized control center. The developed intelligent controller for water pump units can collect operational data, equipment status data, environmental data, etc. for real-time evaluation of equipment status, decision-making for unit operation, and multi-mode intelligent control. It can timely detect potential faults in the unit, balance the number and duration of start-up for each unit. The remote centralized control software developed based on the supOS can achieve centralized operation monitoring of multiple pumping stations and remote control of multiple modes. The operation results show that the system achieves the expected intelligent centralized control requirements for the drainage pump station group, with safety, stability, good scalability, and easy maintenance.

**Keywords:** urban pump station group; intelligent controller; centralized control software; IoT platform; status evaluation; decision-making for unit operation

城市排涝泵站用于在雨天和雨后及时将汇聚到下水道、水渠中的雨水抽排到排水河道中,以免造成城市积水。虽然每年泵站运行时间不长,但是要随时保持泵站设备状态完好,保证能够随时开机。尤其在台风、暴雨等极端天气时,若出现泵站不能及时开机的情况,可能导致城市被淹、交通断行、工厂停产,甚至造成人员伤亡。因此,排涝泵站是保障城市正常生活秩序和市民生命财产安全的重要基础设施。

城市排涝泵站大多数属于中小型泵站,一般安装3-5台水泵机组,分布范围广,机组型式多样,通常布置在排水渠边、公路立交桥下方等。目前,这些泵站的运行管理模式通常是派1到2名工作人员值守,遇到雨天需要24小时值守。虽然有些泵站采用了PLC,能够根据水位变化自动开机。但是,绝大多数泵站依靠工作人员根据天气情况和进水池的水位变化决定是否开机和开几台机。这种运行模式存在以下问题或者隐患。1)设备的安全稳定运行受工作人

收稿日期:2024-07-30;录用日期:2024-08-29

基金项目:江苏省南水北调科技研发项目(JSNSBD202202);江苏省水利科技项目(2019063);南水北调江苏泵站技术公司科技项目(SSY-BZ-2022-F-40)

作者简介:乔凤权(1971—),男,本科,高级工程师,研究方向:大型泵站运行管理、水利信息化和智慧水利。

通信作者:唐鸿儒(1964—),男,博士,教授,研究方向:大型泵站自动化和智能化,机器人传感与应用。

引用本文:乔凤权,唐鸿儒,孙毅,等.基于物联网的城市排涝泵站群智能集控系统开发和应用[J].自动化技术与应用,2026,45(3):138-142.

(QIAO Fengquan, TANG Hongru, SUN Yi, et al. Development and application of intelligent centralized control system for pump station group based on IOT [J]. Techniques of Automation and Applications, 2026, 45(3): 138-142.)

员工作经验、责任心、工作状态等因素影响,可能出现过度开机而浪费能源,或者遇到极端天气时开机数量不足或者开机不及时导致出现险情;2)分散布置的排涝泵站常常缺乏基本的生活配套设施。有些公路下穿泵站等特殊位置的泵房通风条件差,夏天闷热蚊虫多,有恶臭,影响工作人员的身心健康;3)一个区域内多座泵站相互独立运行,无法做到协调优化;4)城市排涝泵站进水池水位具有变化快、变化范围大的特点。若该水位传感器出现故障,自动控制模式下可能导致排涝水泵误启动或者误停机。

近年来水利部围绕智慧水利、数字孪生水利出台了系列文件<sup>[1-5]</sup>,明确了推进智慧水利建设的时间表、路线图、任务书、责任单,推进以数字孪生技术为核心的、具有“四预”功能的智慧水利体系建设。目前国内在智慧水利、数字孪生水利等方面的研究主要集中在大型流域、大型调水工程和大型泵站<sup>[6-13]</sup>。在城市排涝泵站等中小型泵站中也开展了集中控制、无人值守模式方面研究和实践<sup>[14-20]</sup>,但是在泵站现场的智能评价和精准化决策控制方面研究和应用较少。

为此,针对城市排涝泵站、农村排灌泵站等中小型泵站的特点和智能化、远程集控的需求,研制基于物联网平台的泵站群智能集控系统。应用表明,能够满足排涝泵站无人值守、远程集控的需求。

### 1 系统结构

根据“无人值守,集中监控”的运行管理目标,拟采用图 1 所示的基于物联网平台的泵站群智能集控系统结构。从下至上分成泵站现场层、数据专网、服务器层和用户层。服务器层和用户层部署在集控中心。

泵站现场层设置水泵机组智能控制器,采集泵站进水池水位、水泵机组的电流和功率、流量、振动量、温度等运行和状态数据,并能根据命令控制水泵机组启动和停机。在进水池、水泵机坑、控制柜、变配电室等处设置多个具有 IP 地址的网络摄像头,可以实时视频监控泵站的运行状况。同时设置变配电设备智能控制器,用于对泵站变配电设备进行测量控制。水泵机组智能控制器、摄像头、变配电设备智能控制器同时都连接到网络交换机上,再通过 VPDN 物联网网关接入 VPDN 数据专网,实现物联网接入。

数据专网是在中国宽带互联网上的基于拨号方式的虚拟专网 VPDN。VPDN 是采用专用的网络加密和通信协议,在公共网络上构建一条虚拟的、不受外界干扰的专用通道。每个泵站设置一个 VPDN 物联网网关,通过无线或者有线方式接入。泵站现场的水泵机组智能控制器、每个网络摄像头、变配电设备智能控制器都同时接入到网络交换机上,网络交换机通过 VPDN 物联网网关接入数据专网。服务器层的数据采集器也通过物联网网关接入 VPDN 网,这样在集控中心的数据采集器和每个泵站现场的 VPDN 网关之间方便快捷地构建出虚拟专用的数据和视频图像传输通道。这种方案的优势是建设周期短、成本

低、安全可靠,无须用户自己维护安全通信链路。

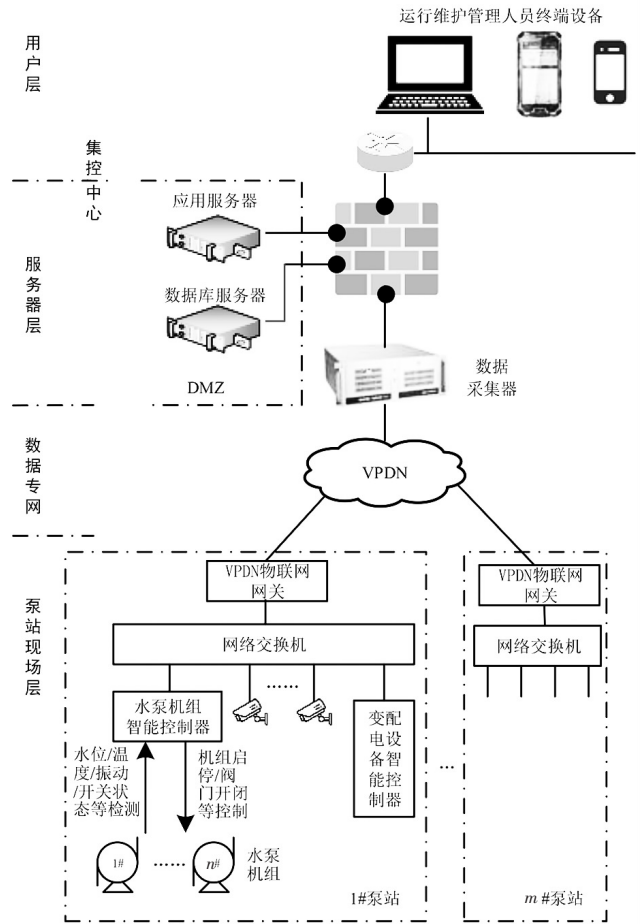


图 1 泵站群智能集控系统结构框图

Fig. 1 Structural block diagram of the intelligent centralized control system for pump station group

服务器层部署了数据库服务器和应用服务器。数据库服务器存储泵站运行数据、状态数据和管理数据等。应用服务器部署泵站群智能集控应用 APP。

用户层是集控中心的大屏、监视操作站,授权用户还可以利用手机通过 VPDN 监视泵站运行情况。

### 2 水泵机组智能控制器研制

#### 2.1 水泵机组智能控制器硬件结构

每座排涝泵站一般安装 3~5 台水泵机组,每台水泵机组由离心泵、交流电机、出水电动阀门、软启动装置、电气控制柜等组成。每个泵站增加一台水泵机组智能控制器,对多台机组进行数据采集、设备状态实时评价、机组投运决策和自动控制。

根据泵站测量控制要求,利用中控微电子的具有自主知识产权的以 CMC 控制器为核心的 FPC300S PLC,设计图 2 中虚线框中的水泵机组智能控制器。

图 2 中,每台机组的电源状态、软启动器状态、出水电动阀门状态等开关量信号和水泵报警信号等输入到 PLC 的 DI 接口,控制每台机组启停、电动阀开闭,以及排气扇开停、照明灯亮灭等的控制信号从 PLC 的 DO 接口输出,进出水池水位、UPS 的蓄电池电压等从 AI 模块输入。此

外,每台机组都设置电量测量仪表、温度和振动测量仪表,及用于水泵基坑噪声检测和泵房温湿度检测的仪表,这些仪表通过 485 接口与 PLC 通信,实时采集机组运行时的三相电压、三相电流、有功功率、无功功率、功率因数等信号,机组振动和电机定子温度,以及噪声和温湿度。

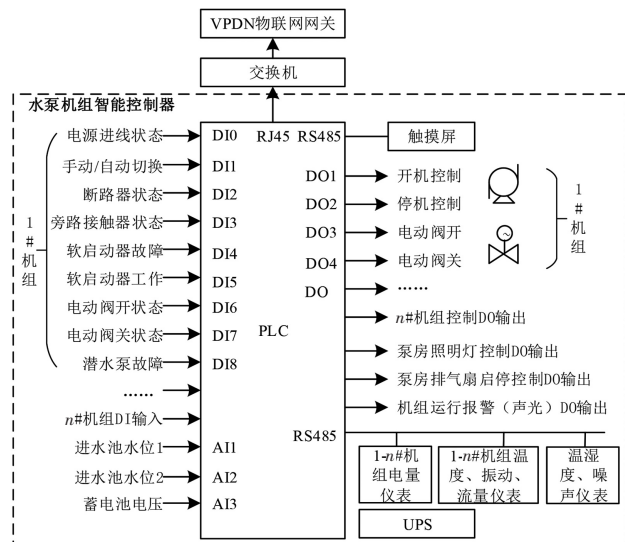


图 2 水泵机组智能控制器组成框图

Fig. 2 Composition block diagram of pump unit intelligent controller

触摸屏用于显示泵站的工作状态、运行参数、状态参数等,也可以通过触摸屏进行水泵机组的控制。

控制器中配备 UPS 电源,当发生泵站电源断电时,智能控制器、摄像头、网络设备等能够在一段时间内正常工作并给出报警信号,以便远程集控中心了解泵站的基本信息,及时采取合理措施,保障泵站安全。

水泵机组智能控制器通过 PLC 的 RJ45 接口连接到交换机上。

## 2.2 智能投运控制方法

水泵机组智能控制器采用图 3 所示的机组投运决策流程。

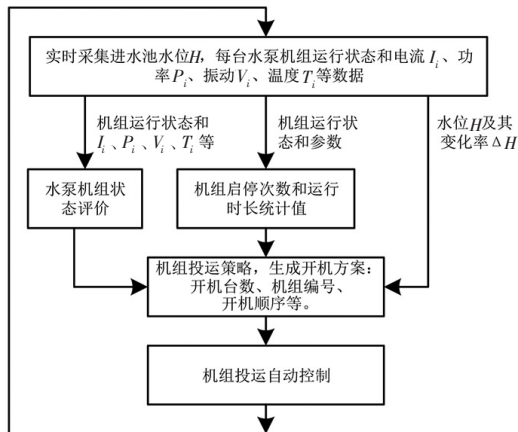


图 3 机组投运决策流程

Fig. 3 Decision-making flowchart for unit operation

如图 3 所示,机组投运决策流程如下。1) 定时采集进

水池水位、机组运行和状态等数据;2) 分别进行每台机组的振动量  $V_i$ 、温度量  $T_i$  的劣化判断,再综合每个机组软启动装置状态和水泵热保护状态进行水泵机组的健康状态实时评价;3) 根据采样数据进行每台机组启停次数和运行时长统计值;4) 根据水泵机组的健康状态、运行时长、启停次数、进水池水位及其变化速率等多信息融合进行投运决策,确定开机数量、机组编号和开机顺序等开机方案;5) 依次进行机组投运自动控制。

### 2.2.1 冗余水位检测方法

在泵站进水池除了有浮球水位计、水位标尺外,又在不同的位置安装了两只投入式压力水位计。自动控制时,PLC 实时采集两只水位计的水位值  $H_1$  和  $H_2$ 。当两只水位计测量的水位差  $\Delta H_{12} = H_1 - H_2 \leq \alpha_1$  (例如  $\alpha_1 = 3 \text{ cm}$ ) 时,采用两只水位计的平均值即  $H = (H_1 + H_2)/2$  作为启停水泵的依据。当水位差  $\Delta H_{12} > \alpha_1$  发出报警,提醒泵站运维人员进行查看引起水位差异异常的原因。运维人员可以通过泵房内对准进水池水位标尺的摄像头远程查看当前实际水位值,或者到现场进行查看、检测和校正。

### 2.2.2 水泵机组状态评价方法

将水泵机组状态划分为正常、注意、故障 3 种状态,其相应的状态描述和采取的措施如表 1 所示。

表 1 水泵机组状态划分

Tab. 1 Status classification of pump unit

状态	描述及措施
正常	状态参数在警示、注意值内,无需检修
注意	状态参数不平稳,有超限可能,需要关注
故障	状态参数越过标准限值,应安排停机检修

综合考虑水泵机组运行过程中的振动、电机温度、软启动装置状态、水泵热保护状态,按照图 4 所示的状态评价步骤采用分层融合的方法依次进行状态量评价和机组状态评价。

1) 状态量评价。在水泵和电机的联轴器处安装振动传感器测量水泵径向振动值。功率小的机组设置 1 个振动传感器,功率大的机组可以设置相互垂直安装的两只振动传感器。

假设,测量的振动值为  $V_i$ ,设置两个阈值分别为  $V_L$  和  $V_H$ 。 $\Delta V_i$  是在一个指定时间段内(例如 1 个月内)振动值  $V_i$  变化趋势, $\Delta V_i > 0$  是上升趋势, $\Delta V_i < 0$  是下降趋势。定义  $\Delta V_H$  是  $V_i$  变化趋势的一个阈值。振动量  $V_i$  是的判定方法如下。

当  $V_i \leq V_L$  时,判定  $V_i$  为“正常”状态;

当  $V_L < V_i \leq V_H$ ,且  $\Delta V_i$  变化平缓时,判定  $V_i$  为“注意”状态;

当  $V_L < V_i \leq V_H$ ,且  $\Delta V_i > \Delta V_H$  时,判定  $V_i$  为“注意”状态,发出预警;

当  $V_i > V_H$  时,判定  $V_i$  为“故障”状态,停机,发出报警。

同样,每台电机定子设置 1 到 2 个温度测量点,假设测量的电机温度值为  $T_i$ 。采用与振动量评价类似的方法进

行温度量评价。

机组振动值和电机温度值评价需要的阈值可以参照相关的水泵机组的运行规程选择。在泵站运行足够长的时间后,可以通过对系统记录的振动、温度数据及其相应的工况大数据进行分析统计,确定判断机组状态参数劣化的阈值<sup>[21-22]</sup>。

当水泵机组发生软启动装置故障,或者水泵热保护开关闭合后,判定机组处于“故障”状态。当故障原因排除后,应在系统中重置为“正常”状态。

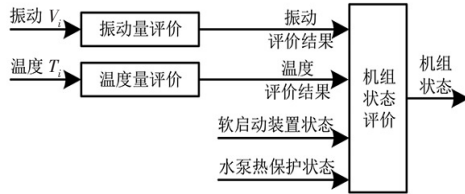


图 4 水泵机组状态评价步骤

Fig. 4 Condition assessment procedure for pump unit

2) 机组状态评价

在上述状态参数劣化判断的基础上进行机组状态的评价。机组的状态取决于组成设备的每一个部件的最差状态。

当 4 个状态中任意一个处于“故障”时,机组状态的评价结果为“故障”。当 4 个状态都是“正常”时,机组状态的评价结果为“正常”。当振动、温度中任意一个处于“注意”时,机组状态的评价结果为“注意”。

2.2.3 机组投运决策方法

在需要排涝抽水时,应根据水泵机组的健康状态、运行时长、启停次数、进水池水位及其变化速率等进行综合考虑,形成开机方案。图 5 是机组投运决策示意图。

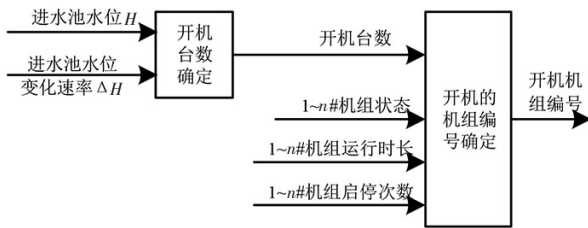


图 5 机组投运决策示意图

Fig. 5 Schematic diagram of decision-making for unit operation

1) 根据进水池水位  $H$  及其变化率  $\Delta H$ ,采用模糊运算策略确定开机台数。

例如,定义  $H$  为进水池水位,  $H_L$  为排水时排水泵停机的进水池水位下限阈值,  $H_H$  为停机时排水时排水泵启动的进水池水位上限阈值,  $\Delta H$  为指定时段内的水位的增量。

若  $H \leq H_L$ ,则停机或者不开机;

若  $H_L < H \leq H_H$ ,且  $\Delta H$  不变或者增长缓慢时,若有机组在运行,则继续运行。若无机组在运行,则保持;

若  $H_L < H \leq H_H$ ,且  $\Delta H$  增长快时,若有机组在运行,则继续运行。若无机组在运行,则启动 1 台机组运行;

若  $H \geq H_H$ ,且无机组在开机状态,则开机。开机过程中

若  $\Delta H > 0$ ,则再根据  $\Delta H$  数值的大小决定增加开机的台数。

2) 选择投运的机组时,优先选择机组状态评价结果为“正常”的机组编号,其次选择机组状态评价结果为“注意”的机组。若机组状态相同的状况下,选择运行台时最少的机组。运行台时相同的情况下,选择启停次数少的机组。

2.2.4 泵站控制模式

泵站现地的机组电气控制柜上有“手动/自动”切换开关。处于“手动”状态时,水泵机组智能控制器只进行数据采集。处于“自动”状态时,智能控制器根据当前的运行模式控制水泵机组的启停。

智能控制器在自动控制时有预排模式、全开模式和自动模式。预排模式是预测可能下暴雨时提前启动 1 台机组排空进水池的水。全开模式是将处于“正常”或者“注意”状态下的机组按照一定的顺序依次启动。正常情况下,智能控制器运行在自动模式下,自动进行数据采集、机组状态评价、机组投运决策、机组启停控制等工作。当需要开启多台水泵机组时,应在前一台机组启动进入稳定后再启动后续机组。

3 集控软件开发

3.1 supOS 平台

supOS 是浙江蓝卓推出的我国首个具备自主知识产权的工业互联网操作系统。提供异构系统数据集成管理、统一门户、图形化低代码组态应用 APP 组态式开发工具,以及移动平台。满足开发排涝泵站远程集控系开发的要求。

3.2 数据建模

在图 1 中位于集控中心的数据采集器上利用设备建模工具进行现场的水泵机组智能控制器配置和驱动选择。利用数据建模工具进行测点组态、视频采集管理等。现场的水泵机组智能控制器通过 VPDN 物联网网关将采集到的泵站水位、机组运行电气参数、设备的状态参数等传输至数据采集器,由采集器进行统一存储并转发给 SupOS 服务器供开发使用,同时按照接收到的来自集控中心的远程控制操作命令自动完成水泵机组的运行控制。同时,在数据采集器上利用 supOS 提供的工具进行泵站现场每个网络摄像头的配置,在 VPDN 网上建立虚拟专用的实时视频传输通道,供远程监控操作界面调用。

3.3 泵站运行监视操作

supOS 服务器既用于系统组态和开发,也提供应用 APP 管理和应用。开发阶段利用系统提供的工具进行监控操作界面组态、报表组态、移动 APP 等开发。开发了泵站群集中监控界面、泵站运行监视操作界面、报警查询、报表等。图 6 是一个泵站远程监视操作界面。

如图 6 所示,操作界面上有当前泵站水位及其水位变化曲线、水泵机组运行参数、状态数据、泵房和电气柜内温湿度、监控视频、报警信息等,显示每台机组指定时段内的开机次数、开机小时数等运行统计数据,可以进行预排、全开、自动控制模式选择,可以直接进行远程启动水泵机组

或者停机操作。点击图中“水位趋势查询”按钮可以查看任意时段的水位变化曲线。点击“监控视频墙”可以查看如图7所示的每个泵站现场摄像头的实时视频监控画面,最多可以接入四个摄像头。



图6 泵站远程监视操作界面

Fig. 6 Remote monitor operation HMI for pump station

对于多泵站集中监视开发了相应的集控监视操作界面,显示每个泵站的进水池水位、机组运行参数、设备状态、报警信息等信息和开停机操作按钮,通过链接可以进入每个泵站的监控操作界面。并且在应用服务器上具有多泵站运行状态和数据的分析和优化调度程序。图8是一个具有7座排涝泵站的科技园区泵站分布示意图,编号为1#泵站~7#泵站,每一个泵站的实时流量为Q1~Q7,系统可以根据前级泵站的出水流量预测后级泵站开机台数并提前开机。



图7 排涝泵站现场实时视频画面

Fig. 7 Live video of drainage pump station field

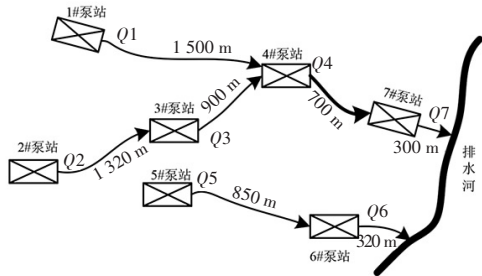


图8 某科技园排涝泵站分布示意图

Fig. 8 Schematic diagram of pump stations distribution in a science and technology park

### 4 结论

基于公共的VPDN物联网平台构建的泵站群智能集

控系统方案简单成熟,网络通信和安全策略由中国宽带互联网运营公司提供,使用和维护成本低,建设周期短。水泵机组智能控制器采集的数据能够满足运行控制、设备状态评价、机组投运决策和自动控制的要求。基于工业互联网平台开发的远程集控软件能够集中满足多泵站集中监视的要求,多种控制模式可以大大减轻运维人员的工作量和紧张疲劳感。基于多泵站运行数据可以进行区域内多座泵站的联合协调优化运行。系统规模和应用APP具有很好的扩展性。基于图形化和低代码编程的开发工具可以大大缩短系统扩展或者完善的时间。本系统在某科技开发区已经运行1年多时间,可以减少甚至撤除现场的运行人员,节约运行成本。

### 参考文献

[1] 水利部.《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》[R].北京:水利部,2021.

[2] 水利部.《“十四五”期间推进智慧水利建设实施方案》[R].北京:水利部,2021.

[3] 水利部.《智慧水利建设顶层设计》[R].北京:水利部,2021.

[4] 水利部.《“十四五”智慧水利建设规划》[R].北京:水利部,2021.

[5] 水利部.数字孪生流域建设技术大纲(试行)[R].北京:水利部,2021.

[6] 祖雷鸣.数字孪生黄河建设先行先试进展和成效[J].水利发展研究,2024,24(9):5-8.

[7] 刘昌军,刘业森,喻海军,等.水利模型平台构建及南四湖水系应用探索[J].中国水利,2023(20):43-48.

[8] 牛广利,李天肠,杨恒玲,等.数字孪生水利工程安全智能分析预警技术研究及应用[J].长江科学院院报,2023,40(3):181-185.

[9] 闻昕,李精艺,谭乔凤,等.南水北调东线工程江苏段中长期优化调度研究[J].水力发电学报,2022,41(6):65-77.

[10] 包振东,刘建龙,胡锦,等.数字孪生技术在泵站工程中的应用[J].江苏水利,2023(7):28-32.

[11] 华骏,薛井俊,袁志波.江都水利枢纽泵站智能预测预警系统的构建思路[J].江苏水利,2022(11):37-40,45.

[12] 唐锚,刘秋生,万烁.南水北调北京团城湖智能泵站建设实践与思考[J].中国水利,2022(23):43-45.

[13] 唐鸿儒,赵林章,朱正伟,等.智能泵站研究[J].中国农村水利水电,2022(8):128-131.

[14] 孙毅,徐进,房飞,等.智能远端排水控制系统在泵站工程中的应用研究[J].四川水利,2024,45(2):168-170.

[15] 戴莹,徐书洋,伏杰.基于智能化泵站集群平台的水利系统运行研究[J].电工技术,2023(18):195-196,199.

[16] 陈华,顾士杰.城市排水泵站实现无人值守模式的关键技术探讨——以上海市为例[J].净水技术,2021,40(增刊1):257-264.

[17] 张小军,朱厚望,方俊.基于MQTT协议的分布式泵站物联网系统设计[J].自动化仪表,2020,41(4):73-77.

[18] 李安.物联网下输油气管道泄露远程报警平台设计[J].自动化技术与应用,2024,43(2):98-101,131.

[19] 许双全,安悦,张景程,等.基于物联网的抽水蓄能电站低功耗安全监测系统研究[J].自动化技术与应用,2025,44(10):52-56,61.

[20] 李文强,何智才,陈志平,等.基于海绵城市理念的无人值守泵、闸群智慧运营[J].中国给水排水,2022,38(16):101-105.

[21] 刘清华,张世能.常德城区泵站群智能管控系统构建研究[J].中国给水排水,2022,38(16):117-124.

[22] 唐鸿儒,樊锦川,刘军,等.基于多源数据融合的水泵机组状态评价方法研究与实践[J].江苏科学大学学报,2022(4):64-69.