物联网融合SCADA的水厂电气工程无人值守系统技术研究

罗洪福
临海市供水有限公司　浙江 临海　317000

摘　要　物联网与SCADA系统的深度融合为水厂电气工程实现无人值守提供了关键技术路径。本研究系统分析了无人值守系统的功能需求，设计了分层分布式系统架构，涵盖硬件层的智能传感、控制与通信模块，以及软件层的数据融合与智能决策模块。通过开发多源数据采集传输、智能故障诊断、远程控制等核心功能模块，解决了水厂电气设备全面感知、智能预警与优化调度等难题，显著提升了水厂运行的可靠性、经济性与智能化水平。

关键词　物联网融合；SCADA；水厂电气工程无人值守系统

Research on Unmanned System Technology for Water Plant Electrical Engineering Based on IoT-SCADA Integration

Luo Hong-fu
Linhai Water Supply Co., Ltd., Linhai 317000, Zhejiang Province, China

Abstract　The deep integration of the Internet of Things (IoT) and SCADA systems provides a key technological pathway for achieving unmanned operation in water plant electrical engineering. This study systematically analyzes the functional requirements of an unmanned system and designs a layered distributed system architecture, encompassing intelligent sensing, control, and communication modules at the hardware layer, as well as data fusion and intelligent decision-making modules at the software layer. By developing core functional modules such as multi-source data acquisition and transmission, intelligent fault diagnosis, and remote control, it addresses challenges including comprehensive perception of water plant electrical equipment, intelligent early warning, and optimal scheduling. The result significantly enhances the reliability, economy, and intelligence level of water plant operations.

Key words　IoT Integration; SCADA; Unmanned System for Water Plant Electrical Engineering

传统水厂电气系统普遍面临监控盲区多、响应滞后、运维成本高等挑战，难以满足现代化水务管理对效率与可靠性的要求。物联网技术与SCADA系统的融合应用为解决这一问题提供了新的技术路径，通过构建智能化无人值守系统，能够实现水厂电气设备的全面感知、智能分析和自主决策。这种融合不仅提升了系统的自动化水平，更是对传统水厂运营模式的根本性变革，为水厂电气工程的安全高效运行提供了坚实技术的基础。当前，深入研究物联网与SCADA系统的协同机制与集成架构，对推动水厂电气系统向无人值守模式演进具有重要现实意义。

1　系统相关理论与技术基础

1.1 物联网技术体系与核心架构

物联网技术体系由感知层、网络层和应用层构成的三层架构组成，共同支撑着水厂电气无人值守系统的数据流动与功能实现。感知层通过部署多种传感器和智能仪表，实时采集水厂电气设备的运行参数和环境状态，形成系统感知的基础[1]。网络层借助有线和无线通信技术，构建可靠的数据传输通道，确保现场数据与系统指令的双向畅通。应用层则聚焦于数据的智能处理与分析，为水厂电气设备管理、故障预警和优化控制提供平台支持。

1.2 SCADA系统原理与水厂应用特性

SCADA系统作为水厂自动化的核心，采用分层分布式结构实现对电气设备的监视与控制，其基本原理是通过现场控制站采集设备数据并上传至中央监控中心。在水厂特定应用环境中，SCADA系统需要适应水处理工艺的连续性和复杂性特点，实现对水泵、配电设备等关键对象的精确监控。系统具备数据采集、实时监控、远程操作和报警处理等核心功能，能够确保水厂电气系统的稳定运行。面对无人值守的需求，SCADA系统需要强化其自主决策和故障处理能力，减少对人工干预的依赖，这对系统的可靠性和智能水平提出了更高要求。

1.3 无人值守系统关键技术要求

无人值守系统对水厂电气设备的可靠性、自主性和安全性提出了严格要求，需要多项关键技术作为支撑。系统必须具

备高度的可靠性，通过冗余设计和故障自诊断功能确保连续稳定运行，能够在无现场人员干预的情况下正确处理各类异常工况。智能诊断与预警技术不可或缺，系统应能基于设备运行数据进行状态评估和故障预测，实现从被动响应到主动防御的转变[2]。

1.4 物联网与SCADA融合的技术逻辑

物联网与SCADA系统的融合在技术逻辑上体现为数据采集、传输与应用的全面协同，形成统一高效的智能监控体系。物联网技术扩展了SCADA系统的感知范围与粒度，通过多样化的传感器网络实现对水厂电气设备更为精细的数据采集。在数据传输层面，物联网的轻量级通信协议（如MQTT）为SCADA系统提供了更灵活的数据传输方案，解决了传统工业协议在互联网环境应用的局限性。而SCADA系统则为物联网数据提供了专业的处理与分析平台，将海量感知数据转化为有价值的监控信息，这种功能互补使得水厂电气无人值守系统既具备广泛感知能力，又保有强大的控制功能。

2 系统总体设计与架构构建

2.1 水厂电气工程无人值守需求分析

水厂电气工程无人值守系统的核心需求主要体现在可靠性、智能化运维、全局感知和安全管理等方面。系统需具备高度的安全可靠性，确保在无现场人员干预的情况下能够持续稳定运行，即使出现故障也能通过自动化机制快速隔离与恢复。在智能化运维层面，系统应支持远程诊断与自动检修能力，能够基于设备运行状态进行预警和故障分析，降低对人工定期巡检的依赖[3]。同时，为实现全过程透明化管理，系统需打通信息壁垒，实现电气参数、设备状态和水情数据等的全网共享与远程传输，为精细化调度提供依据。

2.2 系统总体架构设计

无人值守系统采用分层分布式架构，整体上可分为感知层、网络层、平台层和应用层。感知层由部署于厂区各工艺环节的传感器和智能设备组成，负责采集电气、环境和设备状态等实时数据。网络层依托工业以太网、光纤环网及无线通信技术，构建高可靠的数据传输通道，支持各类监控数据的实时交互与远程通信。平台层作为系统核心，集成SCADA监控、数据存储与分析工具，提供统一的数据处理与管控支持。应用层则面向水厂运营人员，提供可视化监控、能效管理、决策支持等功能界面，从而实现全厂电气系统的智能化运维与高效管理。

2.3 硬件层设计：传感、控制与通信模块

硬件层设计以全面感知、精准控制和可靠通信为目标。传感模块覆盖电气与非电气量监测，包括智能电表、温度传感器、振动传感器、液位变送器等，用于采集电流、电压、功率、设备温度、水位及有害气体浓度等关键参数。控制模块以PLC和智能现地控制单元（LCU）为核心，实现对水泵、阀门等执行机构的自动控制和工艺联锁调节，并支持远程与就地两种操作模式。

2.4 软件层设计：数据融合与智能决策模块

软件层聚焦于数据集成、智能分析与决策支持功能的实现。系统通过数据融合模块集成来自不同子系统与协议的数据，构建统一数据库，支持实时监测、历史数据查询及跨系统联动。在智能决策方面，软件平台嵌入算法模型，实现能效分析、负荷预测、故障诊断及自适应控制等功能，并具备报警管理、报表自动生成及权限分级管理功能，辅助水厂管理人员进行精准管控与优化运营[4]。

3 核心功能模块实现与关键技术突破

3.1 多源数据采集与传输模块实现

多源数据采集与传输模块作为系统感知层的基础，需解决水厂电气设备异构协议兼容性与数据传输可靠性问题。该模块通过部署智能传感器网络（如电流互感器、电压传感器、温度传感器及振动探头），覆盖配电设备、水泵机组、变压器等关键设施的电气参数与非电气状态量采集。数据传输过程引入AES加密算法与CRC校验机制，确保数据在采集、封装、传输过程中的完整性与安全性，如表1所示。

表1 多源数据采集与传输模块实现

模块/功能	实现方案/技术	核心解决/覆盖问题	关键技术/设备	应用示例
数据采集网络	部署智能传感器网络与协议转换网关	设备异构协议兼容性 多维度状态量采集	电流/电压/温度/振动传感器； 支持Modbus，OPC UA，IEC 61850的网关	采集水泵电机的电流、电压、温度、振动等参数
数据传输通道	工业以太网与5G冗余传输方案	数据传输可靠性、实时性、环境适应性	工业以太网、5G网络	固定设备用工业以太网，移动/偏远设备用5G
数据安全与完整性	引入加密与校验机制	数据传输过程的安全性与完整性	AES加密算法、CRC校验	防止控制指令与关键数据被篡改或窃听

3.2 物联网-SCADA数据融合算法设计

物联网与SCADA系统的数据融合算法旨在解决多源异构数据的时空对齐与价值挖掘问题。算法采用分层处理架构，首先通过时间戳同步与数据清洗技术对原始数据进行预处理，消除因采集频率差异导致的时序错位。在特征层融合阶段，基于自适应加权算法对电气负荷、设备温度、振动幅度等多维度数据进行关联分析，例如通过卡尔曼滤波融合SCADA系统的实时功率数据与物联网振动传感器数据，精准识别水泵机组的运行状态。决策层融合则利用聚类分析（如K-means算法）划分设备健康等级，确保数据融合结果能够准确反映系统真实运行状态，为智能决策提供可靠依据，如表2所示。

表2 物联网-SCADA数据融合算法设计

处理阶段	核心目标	采用算法/技术	功能与作用	应用示例
预处理	时空对齐与数据清洗	时间戳同步、数据清洗技术	消除采集频率差异导致的时序错位，统一数据质量	对齐SCADA秒级功率数据与传感器毫秒级振动数据
特征层融合	多维度数据关联分析与状态精准识别	自适应加权算法、卡尔曼滤波	融合电气、温度、振动等数据，精准评估设备运行状态	融合水泵功率与振动数据，早期发现叶轮不平衡或轴承磨损
决策层融合	设备健康评估与等级划分	聚类分析（如K-means算法）	挖掘数据特征，划分设备健康等级，支撑智能决策	将水泵状态自动分类为“正常”“注意”“异常”等级

3.3 智能故障诊断与预警模块开发

智能故障诊断与预警模块的核心在于通过多源数据关联分析实现故障的早期发现与精准定位。模块采用“模型+数据”双驱动策略：一方面基于水厂电气设备的历史运行数据构建故障知识图谱，涵盖典型故障模式的特征参数库；另一方面利用实时数据流训练轻量化AI模型，动态监测设备性能退化趋势[5]。

3.4 远程控制与自动调度模块实现

远程控制与自动调度模块是实现水厂“无人值守”目标的关键执行单元，重点解决设备远程操控与资源优化调度问题。模块基于SCADA系统的控制功能，通过物联网控制器（如PLC、RTU等）实现对水泵启停、阀门开度、配电开关等执行机构的远程精确操控。为保障控制安全，模块采用双因子认证与操作权限分级管理机制，关键指令需经过多重校验方可执行。高峰期优先调用高效机组以降低能耗。模块还支持策略的OTA升级，使水厂能够快速适应电网政策变化或工艺调整需求，最终实现电气系统运行成本最小化与能效最大化。

4 结束语

物联网与SCADA的融合应用是推动水厂电气系统向无人值守模式变革的核心驱动力。本研究通过架构设计与关键技术攻关，构建了具备全面感知、智能决策和自动执行能力的无人值守系统，为水厂节能降耗、安全高效运行提供了有效解决方案。未来，随着数字孪生、人工智能等技术的持续赋能，水厂无人值守系统将进一步向自适应优化与全生命周期管理方向发展，助力水务行业智能化转型升级。

参考文献

[1]高晋蓉.基于物联网的建筑电气智能化管理系统设计[J].电气技术与经济,2025(7):404-407.

[2]杨帆.基于工业物联网平台的油田生产调度指挥模式构建与应用[J].信息系统工程,2025(11):16-19.

[3]张涛,张志龙,许德志.面向数字化工厂的车间智能管控系统总体架构研究[J].机电产品开发与创新,2023,36(2):100-103.

[4]李永明,孙颖,滕臻意.新一代城燃SCADA系统软件技术研究[J].计算机时代,2025(8):71-74.

[5]姚志旺,王灿,路学明.基于物联网技术的供暖系统电气自动化远程监控研究[J].自动化应用,2025,66(6):249-251.

（本文编辑 杜宇琪）

