

# 基于数据远程传输物联网的煤层气井自动化监控管理系统

王东华

蓝焰控股山西蓝焰煤层气集团有限责任公司

DOI:10.32629/acair.v3i4.17902

**[摘要]** 为了提升煤层气井监控的实时性与智能化水平,本文设计了一种基于数据远程传输物联网的自动化监控管理系统。该系统通过集成多类型传感器,构建低功耗广域物联网与5G混合通信网络,能够实时采集与稳定传输煤层气井关键参数。在边缘计算技术的支持下降低了云端计算负载;云端平台则基于大数据分析机器学习算法,实现设备健康状态评估、生产趋势预测及智能决策支持。该系统还具备多级报警机制与远程控制功能,可实时推送异常信息并自动触发应急措施。本研究验证了物联网技术在煤层气开发中的可行性,为非常规油气资源智能化管理提供了创新解决方案。

**[关键词]** 数据远程传输;物联网;煤层气井;自动化;监控管理

中图分类号: U672.7+4 文献标识码: A

## Automated Monitoring and Management System for Coalbed Methane Wells Based on Data Remote Transmission IoT

Donghua Wang

Lanyan Holdings Shanxi Lanyan Coalbed Methane Group Co., Ltd.

**[Abstract]** To enhance the real-time and intelligent monitoring of coalbed methane wells, this paper designs an automated monitoring and management system based on data remote transmission IoT. The system integrates multiple types of sensors and constructs a low-power wide-area IoT and 5G hybrid communication network, capable of real-time collection and stable transmission of key parameters of coalbed methane wells. With the support of edge computing technology, the system reduces the computational load on the cloud; the cloud platform, based on big data analysis and machine learning algorithms, performs equipment health assessment, production trend prediction, and intelligent decision support. The system also features a multi-level alarm mechanism and remote control functions, which can push abnormal information in real time and automatically trigger emergency measures. This study verifies the feasibility of IoT technology in coalbed methane development and provides an innovative solution for intelligent management of unconventional oil and gas resources.

**[Key words]** Data remote transmission; Internet of Things; Coalbed methane wells; Automation; Monitoring and management

### 引言

煤层气属于一类非常规天然气资源,科学合理地开发对优化能源结构、实现“双碳”目标具有重要意义。然而,煤层气井分布广泛、环境复杂,传统人工巡检与本地化监控模式难以满足规模化开发需求。随着物联网技术的快速发展,数据远程传输与智能化管理成为破解煤层气井监控难题的关键路径。本文结合煤层气井监控的特殊需求,提出一种基于物联网的自动化监控管理系统,旨在提升监控效率、降低运维成本并保障安全生产。

#### 1 煤层气井监控需求分析

煤层气井监控操作主要围绕安全、效率与智能化几个方面

开展。首先需实时采集井口压力、甲烷浓度、温度等关键参数,及时识别泄漏、超压等风险,实现分级告警与快速应急响应,规避安全事故;其次要精准监测煤层气流量、井底压力等数据,通过分析数据调整开采参数,提升产能与资源利用率;再者,还需远程监控泵组、阀门等设备运行状态,实现故障预警与远程控制,减少人工巡检成本,解决偏远井场运维难题<sup>[1]</sup>;此外,设备需耐受高温、高湿、腐蚀性气体等恶劣工况,具备低功耗与抗干扰能力,保障数据连续采集;最后还应实现数据实时传输、存储与可视化分析,支持多维度报表生成,为管理决策提供数据支撑,满足系统安全性、可扩展性与操作便捷性需求。

## 2 系统总体设计

### 2.1 系统架构设计

#### 2.1.1 分层架构

本文设计的监控系统采用分层架构模式,包含感知层、传输层、平台层和应用层。感知层可以直接采集煤层气井关键参数,并通过低功耗协议上传数据。传输层能够确保数据稳定传输至云端。平台层集成了数据存储、处理与分析功能。应用层则主要是向用户提供Web端与移动端双界面,如下表1。

表1 监控系统分层架构的各层核心信息

架构层级	核心功能	关键组件/技术
感知层	采集煤层气井关键参数(压力、流量、温度、气体浓度等),完成数据初步处理与上传	压力传感器、流量传感器、温度传感器、气体浓度传感器、低功耗通信协议(如LoRa、NB-IoT)
传输层	构建稳定的数据传输通道,实现感知层数据向平台层的可靠传输	混合通信网络(LPWAN+5G)、通信网关、路由器、数据加密与抗干扰技术
平台层	接收传输层数据,完成数据存储、清洗、分析,为应用层提供数据与服务支撑	微服务架构云平台、时序数据库(如InfluxDB)、关系型数据库、数据处理与分析算法
应用层	向用户提供可视化操作与管理界面,实现监控、告警、控制与数据输出等功能	Web端界面、移动端APP、实时监控模块、报警推送模块、远程控制模块、报表生成模块

#### 2.1.2 逻辑流程

该系统在实际运行期间以数据为核心驱动,形成“采集-传输-处理-决策-执行”闭环。感知层传感器按预设周期采集数据,经边缘网关进行初步清洗(去噪、补全)与压缩后,通过通信网络上传至云平台。平台层对数据进行深度分析:实时监测模块动态展示参数变化;智能预警模块基于阈值超限或异常检测算法触发报警;数据分析模块利用历史数据训练预测模型,评估设备健康状态与生产趋势。决策结果通过平台下发至应用层,用户可远程调整设备参数或启动应急措施,同时系统自动生成优化建议,形成智能化闭环管理。

### 2.2 系统功能模块

#### 2.2.1 实时监测模块

实时监测模块是整个煤层气井自动化监控管理系统的核心,该模块支持多维度参数的可视化。实际应用中,工作人员先借助GIS地图定位井口位置,然后叠加压力、流量、温度等参数的实时曲线与数值显示,这样用户就可以直观掌握单井或区域生产状态。同时,该模块提供历史数据回溯功能,支持按时间范围、参数类型筛选数据,并生成趋势图表<sup>[2]</sup>。针对异常情况(如压力突降),系统还会自动标记数据点并关联报警信息,辅助快速定位问题。此外,模块集成视频监控接口,可调取井口摄像头画面,实现“数据+视频”双验证,提升监控可靠性。实时监测模块为生产调度提供数据支撑,助力精细化管理。

#### 2.2.2 智能预警模块

智能预警模块的主要功能是通过多级报警机制,全面保障煤层气井的安全稳定生产。一方面,基于阈值报警(如压力超过安全上限)实现基础预警,同时引入机器学习算法(如随机森林)进行异常检测,识别传感器故障、管道泄漏等隐蔽风险。同时,模块支持报警规则自定义,用户可根据井口特性设置差异化阈值与检测灵敏度。另一方面,报警信息通过Web端、移动端APP及短信多通道推送,确保相关人员及时响应。对于高风险报警,系统可自动触发应急流程(如关闭阀门、启动排风),并生成事件报告,记录报警时间、参数变化及处理措施,为事后分析提供依据。智能预警模块显著降低了人工巡检强度,提升了安全管控水平。

#### 2.2.3 远程控制模块

从字面意思即可明白,基于远程控制模块工作人员可以远程启停设备或者调节相关参数,并且支持手动与自动双模式。如,用户通过Web端或APP下发控制指令(如调整采气泵频率、关闭井口阀门),指令经云平台验证权限后下发至边缘网关,由网关转换为设备可识别的协议(如Modbus)执行操作。同时,模块内置逻辑保护机制,防止误操作导致设备损坏(如压力过高时禁止增压)。对于一些关键设备(如紧急切断阀),系统支持一键远程关闭,确保在泄漏等紧急情况下快速响应。远程控制模块减少了现场人工干预需求,尤其适用于偏远井口或恶劣天气条件,提升了运维效率与安全性。

#### 2.2.4 数据分析模块

数据分析模块可以提供生产报表生成功能,自动汇总日/周/月产量、设备运行时长等关键指标,并支持导出Excel或PDF格式。通过关联分析(如压力与流量的相关性),模块可识别生产瓶颈(如管道堵塞),提出改进建议。此外,模块集成预测性维护功能,基于LSTM神经网络预测设备剩余使用寿命(RUL),提前安排检修计划,避免非计划停机<sup>[3]</sup>。对于煤层气井群,模块通过聚类算法(如K-means)分析井间生产差异,优化压裂方案与采气策略,实现整体效益最大化。数据分析模块将数据转化为生产力,推动煤层气开发向智能化转型。

## 3 硬件系统设计

### 3.1 传感器节点设计

传感器节点在数据采集过程中发挥着非常重要的作用,其设计需满足煤层气井高温、高压、强腐蚀的恶劣环境要求。通常情况下,节点采用模块化设计,集成多参数传感器(压力、流量、温度、气体浓度)于一体,减少井口设备数量。压力传感器选用陶瓷电容式,量程0-25MPa,精度±0.1%,具备抗硫化氢腐蚀能力;流量计采用涡轮式,量程0-1000m<sup>3</sup>/d,支持双向测量;温度传感器为PT100铂电阻,测量范围-50℃~+150℃;气体浓度传感器采用红外吸收原理,检测CH<sub>4</sub>、CO等,分辨率0.1%VOL。节点内置低功耗MCU(如STM32L4系列),配合休眠唤醒机制,平均功耗<50mW,支持太阳能+锂电池双供电,续航达5年以上。数据通过LoRaWAN协议上传,通信距离>3km,确保分散井口覆盖<sup>[4]</sup>。

### 3.2 网关设计

网关作为边缘计算与通信枢纽,其兼顾数据处理与协议转换的双重能力,所以应结合实际情况科学设计。该系统硬件采用工业级设计,核心板搭载四核ARM Cortex-A53处理器(如Rockchip RK3399),运行Linux系统,支持多线程任务处理。网关集成多类型通信接口:LoRa模块(SX1301芯片)接收传感器数据,5G/4G模块(如Quectel RM500Q)实现高速回传,同时保留RS485、CAN等工业接口以兼容legacy设备。为提升可靠性,网关配备双电源冗余(AC/DC+电池)与看门狗电路,故障自恢复时间<10秒。存储方面采用128GB eMMC存储原始数据,支持断点续传。边缘计算层部署轻量级AI模型(如TensorFlow Lite),实现数据清洗、异常初判等本地化处理,减轻云端负载。

### 3.3 通信网络设计

基于数据远程传输物联网的煤层气井自动化监控管理系统当中的通信网络采用“LPWAN+5G”混合架构,这样能够很好地平衡覆盖与带宽需求。首先,感知层通过LoRaWAN构建广域低功耗网络,单基站覆盖半径15km,支持200+节点接入,适合分散井口数据回传;高带宽场景(如视频监控)叠加5G网络实现高速传输。其次,网络层部署MQTT协议,通过TLS加密保障数据安全,同时采用QoS等级1(至少一次)确保关键指令可靠送达。为应对野外信号盲区,网关内置Mesh组网功能,节点间可自动中继传输,延伸覆盖范围<sup>[5]</sup>。云端通过SDN(软件定义网络)动态分配带宽,优先保障报警数据传输。此外,系统支持北斗短报文作为备用通信链路,在公网瘫痪时仍能上传关键参数,提升容灾能力。

## 4 软件系统设计

### 4.1 云平台架构

云平台共分为四层。其一,数据接入层通过Kafka消息队列接收网关上传的原始数据,实现流量削峰与异步处理;其二,数据存储层采用时序数据库InfluxDB存储传感器数据(支持毫秒级写入),关系型数据库MySQL存储设备信息与报警记录,对象存储OSS保存历史报表与视频;其三,数据处理层利用Spark Streaming进行实时分析(如异常检测),Flink批处理生成生产报表;其四,应用服务层提供RESTful API供前端调用,同时集成智能算法服务(如设备健康评估)。平台通过Prometheus+Grafana构建监控看板,实时展示系统运行状态,确保稳定性。

### 4.2 智能算法实现

智能算法主要涵盖异常检测、预测维护与生产优化三类场景。异常检测采用孤立森林算法,基于无监督学习识别传感器数据中的离群点(如压力突降),检测准确率>95%;预测维护模块基于LSTM神经网络,输入历史压力、流量数据,预测设备(如采气泵)剩余使用寿命(RUL),误差<8%;生产优化模块通过XGBoost算法

关联多井参数(如压力、温度、产量),建立生产效益模型,推荐最优压裂时机与采气策略<sup>[6]</sup>。算法部署采用“边缘+云端”协同模式,简单模型(如阈值报警)在网关本地运行,复杂模型(如LSTM预测)在云端训练与推理,平衡响应速度与计算资源。

### 4.3 用户交互设计

用户交互的设计需要高度重视其易用性与场景适配性,确保其能够提供Web端与移动端双入口。一方面,Web端面向管理人员,采用GIS地图+数据看板组合界面。地图标注井口位置,点击可查看实时参数与历史曲线;看板聚合关键指标(如总产量、报警数量),支持钻取分析(如点击“报警”跳转至详情列表)。另一方面,移动端(APP)面向现场人员,聚焦报警处理与远程控制。首页以卡片形式展示附近井口状态,红色高亮报警井;点击报警卡片可查看参数变化趋势、关联视频(如有),并执行“确认报警”“远程关阀”等操作。系统支持多角色权限管理(如管理员、操作员、访客),确保数据安全。交互设计通过用户调研迭代优化,例如将高频操作(如报警确认)置于一级菜单,降低操作路径。

## 5 结束语

总而言之,基于数据远程传输物联网的煤层气井自动化监控管理系统通过融合高精度传感器、低功耗通信网络与智能云平台技术,实现了对煤层气井全生命周期的实时感知、智能预警与远程调控。系统有效解决了传统人工巡检效率低、安全隐患多等痛点,显著提升了生产安全性与开发效益,为煤层气产业智能化转型提供了关键技术支撑,具有广阔的推广应用前景。

## 参考文献

- [1]李峰.煤层气智能抽采监控系统的设计及应用分析[J].矿业装备,2025,(02):55-57.
- [2]余樊,胡涛,赵晓乐,等.基于物联网的煤层气自动化监控系统[J].工矿自动化,2024,50(S2):41-43.
- [3]王向亮.煤层气智能抽采监控技术研究[J].矿业装备,2024,(09):85-87.
- [4]于鑫.基于迁移学习的煤层气产量预测研究[D].西南石油大学,2024.
- [5]任勇超.煤层气智能排采系统及产能预测算法研究[D].太原理工大学,2024.
- [6]刘海洋.煤层气井精细化排采应用[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(12):148-150.

## 作者简介:

王东华(1977--),男,汉族,河南项城人,本科,技师,研究方向:电气工程及其自动化,电工,机电一体化,PLC编程,数据远传,人工智能,物联网。