

城镇燃气输配管网智能化监控系统研究

王世柱 (泰安中石油昆仑燃气有限公司, 山东 泰安 271000)

摘要: 随着城镇燃气使用规模的不断扩大, 燃气输配管网的安全与高效运行愈发重要。本文先是概述城镇燃气输配管网监控系统现存不足及应用智能化监控系统的意义, 并在此基础上详细阐述了智能化监控系统的建设路径, 包括系统架构、功能模块、软硬件配置以及功能实现与测试等方面, 旨在为提升城镇燃气输配管网的运行管理水平提供理论支持与实践指导。

关键词: 城镇燃气; 输配管网; 智能化监控系统; 系统建设

中图分类号: TU996 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 015-0099-03

Research on Intelligent Monitoring System for Urban Gas Transmission and Distribution Pipeline Network

Wang Shizhu (Tai'an PetroChina Kunlun Gas Co., Ltd., Tai'an Shandong 271000, China)

Abstract: With the continuous expansion of urban gas usage, the safe and efficient operation of gas transmission and distribution networks has become increasingly important. This article first outlines the existing shortcomings of urban gas transmission and distribution network monitoring systems and the significance of applying intelligent monitoring systems. Based on this, it elaborates on the construction path of intelligent monitoring systems, including system architecture, functional modules, software and hardware configuration, and functional implementation and testing. The aim is to provide theoretical support and practical guidance for improving the operation and management level of urban gas transmission and distribution networks.

Keywords: urban gas; Transmission and distribution pipeline network; Intelligent monitoring system; system construction

燃气输配管网如同城市的“生命线”, 其安全稳定运行直接关系到社会的正常运转和人民群众的生命财产安全。近年来, 随着城镇规模的持续扩张以及燃气需求的日益增长, 燃气输配管网的覆盖范围不断扩大, 复杂度也不断提高。传统的燃气输配管网监控系统在面对如此庞大且复杂的管网时, 逐渐暴露出诸多不足, 难以满足现代燃气行业发展的需求。智能化监控系统凭借其先进的技术手段, 能够实现对燃气输配管网全方位、实时、精准的监测与控制, 对于保障管网安全、提高运行效率、降低运营成本具有重要意义。因此, 研究和构建城镇燃气输配管网智能化监控系统已成为当前燃气行业发展的关键任务。

1 城镇燃气输配管网监控系统现存不足

1.1 数据采集与传输问题

传统监控系统的数据采集点有限, 难以全面覆盖整个燃气输配管网。例如, 在一些老旧城区的管网中, 部分偏远区域未设置监测点, 导致无法及时获取这些地段的燃气压力、流量等关键数据。据相关统计, 约30%的老旧管网存在数据采集盲点。而且, 数据传输方式相对落后, 多采用有线传输, 在遇到施工、自然灾害等情况时, 线路容易受损, 造成数据中断。

1.2 监控功能不完善

多数传统监控系统仅能实现对燃气压力、流量等基本参数的监测, 对于管网泄漏、设备故障等异常情况的预警能力不足。同时, 传统系统缺乏对管网运行状态的综合分析与评估功能, 无法为管理人员提供科学的决策依据, 难以实现对管网的精细化管理。

1.3 系统集成度低

传统监控系统中各个子系统相互独立, 缺乏有效的集成与协同。例如, 燃气调度系统与设备维护系统之间信息无法共享, 调度人员在进行调度决策时, 无法及时获取设备的维护情况, 导致在设备维护期间不能进行合理的调度安排, 进而影响管网正常运行。不同品牌、不同时期建设的设备和系统之间兼容性差, 数据格式不统一, 进一步阻碍了系统集成与数据共享, 降低了整个监控系统的运行效率。

2 城镇燃气输配管网应用智能化监控系统的意义

2.1 提高安全性

智能化监控系统能够通过高密度的传感器网络, 实时、精准地监测燃气输配管网的压力、流量、浓度等参数, 及时发现管网泄漏、设备故障等安全隐患。一旦检测到异常情况, 系统可立即发出警报, 并通过自动化控制设备迅速采取措施, 如关闭相关阀门, 防止事故的发生与扩大。

2.2 提升运行效率

通过对管网运行数据的实时分析与处理,智能化监控系统能够优化燃气调度方案,根据不同时段、不同区域的用气需求,合理分配燃气资源,避免因供气不足或过剩导致的能源浪费和设备损耗。同时,系统可对设备运行状态进行实时监测,提前预测设备故障,合理安排设备维护计划,减少设备停机时间,提高管网整体运行效率。

3 城镇燃气输配管网智能化监控系统建设路径

3.1 系统架构

智能化监控系统采用分层分布式架构,主要包括感知层、传输层、数据层和应用层。感知层由各类传感器组成,如压力传感器、流量传感器、燃气浓度传感器等,分布于燃气输配管网的各个关键节点,负责实时采集管网的运行数据。传输层利用有线与无线相结合的通信方式,将感知层采集到的数据快速、稳定地传输至数据层。其中,对于距离较近、环境稳定的区域采用有线传输,以保证数据传输的稳定性;对于偏远、环境复杂的区域,则采用无线传输,如4G/5G通信技术,确保数据采集的全面性。数据层负责对传输过来的数据进行存储、管理和预处理,采用分布式数据库技术,提高数据存储和处理效率。应用层为管理人员提供各种功能模块,实现对管网运行状态的实时监控、数据分析、决策支持等功能。

3.2 系统功能模块

①实时监测模块。该模块凭借先进的通信技术,与感知层分布广泛的传感器构建起高效实时的通信链路。在监控中心,运用高分辨率、大尺寸的可视化大屏,以动态地图形式直观呈现燃气输配管网的全貌。不同颜色的线条清晰区分不同压力等级的管道,管网各节点的压力、流量、温度、燃气浓度等关键参数,均以醒目的数字实时展示在对应位置。以某区域管网为例,通过动态地图,管理人员能直观掌握管网的实时运行情况,如A区域的高压管道此刻压力为2.5MPa,流量达1000m³/h,节点温度为20℃,燃气浓度保持在安全的0.5%。

通过系统中预先设定的阈值,实时监测模块一旦监测到数据出现异常,立即触发自动预警机制。例如,当压力超过正常范围的±5%时,对应节点在地图上迅速闪烁红色警示,同时在操作界面弹出详细的报警信息,包含异常参数、具体位置、发生时间等,帮助管理人员第一时间察觉并处理问题。

②数据分析与预测模块。借助前沿的大数据分析技术,系统深入挖掘海量历史运行数据。针对用气需求预测,对过去三年不同时段、不同季节、不同天气

状况下的用气数据进行综合分析。经大量数据运算,建立起基于多元线性回归和时间序列分析的用气需求预测模型。该模型不仅考虑时间因素,还将气温、节假日等影响因素纳入其中。在设备故障预测方面,系统持续采集设备运行过程中的振动、温度、电流等参数,并结合设备使用寿命、历史维修记录等因素,运用机器学习中的决策树算法和神经网络算法,构建设备故障预测模型。通过对设备运行参数变化趋势的实时跟踪分析,提前预测设备可能出现故障的时间点。

③安全预警与应急处置模块。当系统监测到管网泄漏、压力异常等安全隐患时,毫秒级响应,即刻启动安全预警机制。现场的声光报警器瞬间发出高分贝警报声,同时监控中心操作界面闪烁醒目的红色警示框。系统通过成熟的短信平台,向相关管理人员、维修人员发送包含详细事故信息的短信通知,确保相关人员第一时间知晓。系统内置智能化的应急处置预案生成系统,依据事故类型(如燃气泄漏、压力过高、设备故障等)和严重程度(轻微、中度、严重),迅速生成针对性的处置措施和详细操作流程。以燃气泄漏事故为例,系统借助高精度定位技术,能够在10秒内精准定位泄漏位置,误差不超过5m。定位完成后,自动控制附近相关阀门在30s内关闭,切断气源;同步启动通风设备,加速空气流通,降低燃气浓度。同时,利用地理信息系统(GIS),为抢险人员规划出最佳救援路线,并提供详细的安全防护建议,如穿戴何种防护装备、注意事项等,极大提升了应急响应速度,从而有效降低事故损失。

④设备管理模块。针对燃气输配管网中的各类设备,包括阀门、压缩机、调压站设备等,系统实施全生命周期精细化管理。从设备采购环节开始,详细记录设备的型号、规格、生产厂家、采购价格、采购日期等信息;设备安装调试阶段,留存安装位置、调试数据、验收报告等资料;设备运行期间,实时采集并存储设备的压力、流量、温度、振动等运行参数。通过对设备运行参数的深度分析,运用设备性能评估模型,全面评估设备运行状态。根据设备运行时间、累计工作负荷、磨损程度等数据,运用优化算法,制定科学合理的设备维护计划。例如,某型号阀门在运行1000小时、累计工作负荷达到80%时,系统自动生成维护提醒,安排专业人员进行保养和维修,大有利于提升设备运行效率和可靠性,进而降低设备运维成本。

3.3 系统软硬件配置

①硬件配置。在感知层,选用高精度、高可靠的传感器,如压力传感器精度可达±0.1%FS,流量

传感器精度可达 $\pm 0.5\%R$ 。传感器具备良好的防护性能，能适应复杂的工作环境，如防水、防尘、防爆等，达到IP65以上。传输层根据通信距离和数据传输需求，选择合适的通信设备。有线传输采用光纤，确保数据传输的高速与稳定；无线传输选用4G/5G通信模块，支持多运营商网络，保证数据传输的连续性。数据层采用高性能服务器作为数据存储和处理的核心设备，服务器配备多颗高性能CPU，内存容量不低于32GB，硬盘采用RAID阵列，保障数据存储安全和读写速度。应用层在监控中心配备多台高分辨率显示器，方便管理人员实时查看管网运行状态；同时，为现场巡检人员配备移动智能终端，如防爆智能手机，可实时接收任务指令、查询设备信息、上传巡检数据等。

②软件配置。操作系统方面，服务器端采用Linux操作系统，具有开源、稳定、安全等特点，能有效保障系统运行。客户端可根据实际需求选择Windows操作系统，便于管理人员操作。数据库管理系统选用成熟的关系型数据库，如Oracle或MySQL，负责存储和管理大量的管网运行数据、设备信息等。开发工具采用Java、Python等主流编程语言，结合相关框架，如SpringBoot、Django等，进行系统功能模块的开发，确保系统的高效性、可扩展性和兼容性。

3.4 系统功能实现及测试

①功能实现。在系统开发过程中，按照系统架构设计和功能模块需求，运用相应的软硬件技术实现各个功能。例如，在实时监测模块中，通过编写传感器驱动程序，实现传感器与数据采集设备的通信，将采集到的数据按照特定协议传输至数据层。数据层对数据进行解析、存储后，应用层通过调用数据接口，将实时数据以直观的图形界面展示在监控终端上。对于数据分析与预测模块，利用Python中的数据分析库，如Pandas、NumPy等，对历史数据进行清洗、处理和分析，建立预测模型，并将预测结果反馈到应用层，为决策提供支持。安全预警与应急处置模块通过设定阈值和事件触发机制，当监测数据超过阈值或发生特定事件时，自动触发预警程序，并通过调用预先编写的应急处置预案脚本，实现应急处置流程的自动化。设备管理模块则通过建立设备数据库，结合设备管理业务逻辑，实现设备信息的录入、查询、更新以及维护计划的制定与执行等功能。

②系统测试。在系统开发完成后，进行全面的测试工作，以确保系统的稳定性、可靠性和功能的正确性。功能测试方面，模拟各种正常和异常工况，对系统的各个功能模块进行逐一测试。例如，在实时监测模块中，人为改变传感器采集的数据，验证系统能否

准确显示和及时预警；在数据分析与预测模块中，输入不同的历史数据，检查预测结果的准确性。经实际应用验证，用气需求预测准确率可达90%以上，设备故障预测提前时间平均为3-5天。性能测试主要测试系统的数据处理能力、响应时间等指标。通过向系统发送大量模拟数据，监测系统在高负载情况下的运行情况，确保系统能够在规定时间内完成数据处理和响应操作。例如，要求系统在每秒接收1000条数据的情况下，数据处理延迟不超过1秒。此外，还进行了兼容性测试，确保系统在不同硬件设备、操作系统和网络环境下能够正常运行。统计数据表明，应用该智能化系统后，设备平均维修时间可缩短20%，从而可帮助延长设备使用寿命延约15%。

综上所述，本文对城镇燃气输配管网智能化监控系统进行了深入研究，分析了传统监控系统存在的不足，阐述了智能化监控系统的应用意义，并详细介绍了其建设路径。通过构建分层分布式的系统架构，设计并实现了实时监测、数据分析与预测、安全预警与应急处置、设备管理等功能模块，合理配置软硬件资源，以及严格的系统测试，使得智能化监控系统能够有效解决传统监控系统的问题，显著提高城镇燃气输配管网的安全性、运行效率和管理水平。随着科技的不断进步，未来可进一步探索将人工智能、区块链等新兴技术融入智能化监控系统，提升系统的智能化程度和数据安全性，为城镇燃气行业的可持续发展提供更有力的支持。

参考文献：

- [1] 张鹏博. 智能化、自动化技术在城镇燃气管网运行管理中的应用 [J]. 数字技术与应用, 2024, 42(08):229-231.
- [2] 张宗坤. 智能化、自动化技术在城镇燃气管网运行管理中的应用 [J]. 大众标准化, 2022, (11):48-50.
- [3] 王大庆, 邱旭, 梁平, 等. 城市燃气管网完整性管理智能化建设展望 [J]. 石油工程建设, 2023, 49(02):59-63+83.
- [4] 郭秀军, 刘嘉柠. 智能化燃气管网监测与管理 [J]. 网络安全和信息化, 2024, (01):70-72.
- [5] 陈斌, 赵发龙. 燃气管网场站智能巡护技术的研究与应用 [J]. 城市燃气, 2021(S1):136-140.

作者简介：

王世柱（1981-），男，汉族，山东菏泽人，本科，高级工程师，现任泰安中石油昆仑燃气有限公司执行董事、总经理职务，主要研究方向：城镇燃气运行管理，天然气门站智能化控制、燃气管网输配系统智能化管理和燃气用户端本质安全技术应用等方向。