

城镇燃气中低压输配管网运行优化与安全管理研究

尹岫

津燃华润燃气有限公司天津市宁河分公司, 天津 301500

DOI:10.61369/ERA.2026050013

摘 要 : 城镇燃气中低压输配管网开展运行效率以及安全管理工作, 直接关系到城市能源供应的稳定性以及公共安全, 那么针对管网运行能耗高、工况失衡以及安全风险防控难等挑战, 本文系统性地开展了管网运行优化策略、安全管理体系构建以及智慧化应用的研究工作。研究成果可以为城镇燃气中低压输配管网开展精细化管理工作、进行安全管控以及实现数字化、智能化升级提供依据和支撑。

关 键 词 : 城镇燃气; 中低压输配管网; 运行优化; 安全管理

Research on the Operational Optimization and Safety Management of Medium- and Low-Pressure Gas Transmission and Distribution Networks in Urban Areas

Yin Shen

Tianjin Ninghe Branch of Jinran China Resources Gas Co., Ltd., Tianjin 301500

Abstract : The operational efficiency and safety management of medium- and low-pressure gas transmission and distribution networks in urban areas are directly related to the stability of urban energy supply and public safety. In response to challenges such as high energy consumption in pipeline network operations, imbalanced operating conditions, and difficulties in preventing and controlling safety risks, this paper systematically conducts research on optimization strategies for pipeline network operations, the construction of safety management systems, and intelligent applications. The research findings provide a basis and support for the refined management, safety control, and digital and intelligent upgrades of medium- and low-pressure gas transmission and distribution networks in urban areas.

Keywords : urban gas; medium- and low-pressure gas transmission and distribution networks; operational optimization; safety management

引言

随着我国城镇化以及能源结构持续开展优化工作, 天然气作为清洁、低碳且高效的能源, 在城市能源体系当中的地位日益显现, 城镇燃气输配管网也就是连接气源和千家万户的城市生命线, 它的运行安全以及高效会直接关系到城市能源保障、公共安全以及社会稳定。鉴于此, 本文针对城镇燃气中低压输配管网运行效率以及安全管理方面的实际痛点, 系统性地开展来运行优化策略以及安全管理体系的研究工作, 构建起精准的水力计算以及运行优化这方面的数学模型, 来探索科学的动态调度方案; 开展建立系统风险评价模型的工作, 将关键安全技术进行集成, 并且完善应急机制; 那么借助智慧燃气平台, 来探讨运行以及安全智能化管控得以实现的路径。目标在于开展城镇燃气中低压输配管网精细化、智能化的管理工作提供科学依据以及技术支撑, 以此保证城市燃气系统能够高效、安全且稳定地运行。

一、中低压输配管网运行优化策略研究

(一) 管网水力计算模型构建

燃气管网运行对于城市燃气的输配系统来说极为重要, 而如何使燃气管网的运行得到有效的监管以及监测是保障相关工作开展的关键^[1]。管网水力计算是运行优化的基础, 核心是建立符合实际工况的水力模型, 精准计算燃气压力、流量、流速等关键参数^[2]。结合城镇燃气中低压输配管网特点, 采用节点法构建模型,

明确假设条件(燃气为理想气体、稳态等温流动等)、核心参数(管道参数、节点时变流量等)及三步计算流程(建立拓扑、构建方程组、求解验证), 通过实测数据修正参数, 确保模型精准反映实际水力工况, 为运行优化提供支撑。

(二) 管网运行优化数学模型

在水力计算模型基础上, 构建管网运行优化数学模型, 以运行效率最大化、能耗最小化为目标, 结合约束条件确定最优运行参数^[3]。优化目标为降低加压站增压能耗、提升管网输送效率(保

障用户压力需求，避免能源浪费与管网损耗）；约束条件包括压力、流量、设备运行及终端用气负荷工况约束。采用遗传算法求解，优化算法参数以提高效率和精度，最终得到最优运行方案，为调度优化提供理论依据。

（三）运行调度优化方案

结合水力计算、运行优化数学模型结果及城镇燃气用气负荷时变特性，制定运行调度优化方案，实现管网动态调度，提升运行效率与供气稳定性，主要分为日常与应急调度优化两方面^[4]。日常调度优化以负荷预测为核心，结合历史用气、气象、节假日等数据，采用时间序列分析构建预测模型，精准预判负荷变化，动态调整加压站负荷、调压器出口压力及管网流量分配，维持管网压力最优；定期开展管网水力平衡调整，消除失衡问题。应急调度优化针对管道泄漏、设备故障、负荷突变等突发工况，制定应急预案，快速响应处置，保障正常供气；建立调度数据实时监测机制，采集管网参数，及时发现异常，为调度优化提供数据支撑。

二、中低压输配管网安全管理体系构建

（一）管网风险评价模型构建

安全风险评价是安全管理体系核心，目的是识别城镇燃气中低压输配管网安全隐患、评估风险等级，为防控和治理提供依据^[5]。结合管网运行特点，构建基于层次分析法（AHP）和模糊综合评价法的风险评价模型。从管网自身状况、运行工况、环境因素、管理因素四维度建立评价指标体系，通过专家打分确定各指标权重。采用模糊综合评价法，将风险分为高、中、低三级，通过模糊评价矩阵计算综合得分、确定风险等级，并针对性采取治理防控措施。建立风险动态更新机制，定期调整评价指标和权重，保障评价结果准确有效，为安全管理决策提供科学支撑。

（二）关键安全技术应用

为提升管网安全管理水平、防范安全事故，结合城镇燃气中低压输配管网特点，推广关键安全技术，实现隐患早发现、早预警、早处置^[6]。管网泄漏检测技术，结合分布式光纤传感、超声波、红外热成像等技术，构建全方位检测体系，精准排查泄漏隐患，提高排查效率与准确性。其中分布式光纤适用于长距离无死角监测，超声波适用于关键部位实时监测，红外热成像适用于户外管网快速排查^[7]。管网腐蚀防护技术，针对老旧管网腐蚀问题，通过新建管道内外防腐处理、老旧管道防腐修复或更换，搭配阴极保护技术，延长管道寿命，降低腐蚀泄漏风险。智能监控与预警技术，在管网关键部位安装智能传感器，实时采集运行参数并通过物联网传输至监控平台，异常时自动报警；结合大数据分析，预测运行趋势、识别潜在隐患，实现风险提前预警。

（三）应急响应与抢修管理

为提升城镇燃气中低压输配管网突发安全事故处置能力，减少人员伤亡、财产损失及社会影响，需建立完善的应急响应与抢修管理体系^[8]。应急预案制定，针对燃气泄漏、爆炸、火灾等事故，制定覆盖不同类型、等级及分区的应急预案，明确组织、流

程、措施及责任，定期演练并完善。应急队伍建设，组建专业抢修队伍，开展技能培训与演练，加强与消防、医疗等部门联动，形成处置合力^[9]。应急物资储备，按要求储备充足检测、抢修、防护等物资，定期维护更新，合理布局储备点，缩短调配时间。抢修流程规范，制定标准化流程，明确各环节操作要求，事故发生后快速赶赴现场处置、抢修，完成后检测验收、恢复供气并总结完善。

三、基于智慧燃气平台的运行与安全管理应用

（一）智慧管网系统架构设计

结合智慧燃气发展趋势，依托物联网、大数据、人工智能、云计算等技术，构建城镇燃气中低压输配管网智慧系统架构，实现运行与安全管理的数字化、智能化升级。系统分为感知层、网络层、平台层、应用层四层，协同构建全方位智能化管理体系^[10]。感知层为系统基础，部署智能传感器、智能阀门、泄漏检测仪、视频监控及移动巡检设备，采集管网压力、流量、泄漏浓度等运行与安全数据，通过物联网实时传输至网络层，同步支持现场巡检数据实时录入上传。网络层作为数据传输桥梁，采用5G、物联网、光纤通信等多种方式，构建高速稳定安全的通信网络，结合边缘计算技术处理部分数据，缓解传输压力、提升响应速度，实现各层级信息交互。平台层为系统核心，包含数据存储、处理、大数据分析 & 人工智能算法模块，通过分布式存储保障各类数据安全可扩展，经数据清洗整合提升数据质量，再通过深度分析实现负荷预测、风险预警等功能，为应用层提供支撑。应用层为终端操作界面，面向各类用户，提供运行调度、安全风险管控、巡检管理、应急抢修、数据分析决策等针对性功能，通过可视化展示实时信息，支撑用户操作与决策。

（二）智能化运行功能实现

基于智慧燃气平台，实现中低压输配管网智能化管理，提升运行效率与供气稳定性，其核心功能包括智能化负荷预测、水力调度、设备管理及管网数字化管理。智能化负荷预测结合多类数据，采用LSTM等人工智能算法构建模型，实现短、中、长期用气负荷精准预测，为调度优化提供数据支撑以提前调整管网参数；智能化水力调度基于水力计算及运行优化模型，自动计算最优参数，实时监测管网压力、流量，异常时自动发出调度指令优化运行工况，同时支持人工手动干预；设备智能化管理可实时监测加压站、调压器等设备运行状态，异常时自动报警，还能记录设备运行及维护数据、建立全生命周期管理档案，从而降低故障发生率、延长设备寿命；管网数字化管理通过构建管网数字化孪生模型，录入管网及设备全量信息，结合GIS系统实现可视化管理与精准定位，为管网规划、维护、巡检及抢修工作提供支撑。

（三）智能化安全管控功能实现

依托智慧燃气平台，中低压输配管网安全管理正全面迈向智能化升级，风险防控与应急处置能力得以显著提升。在风险预警方面，平台融合管网风险评价模型与实时监测数据，运用人工智能算法对管网安全进行动态评估。一旦风险等级触及预警阈值，

系统即刻自动发出预警，精准锁定预警区域、风险类型与等级，并点对点推送至工作人员移动终端，确保及时响应；同时，平台深度交融历史与实时数据，前瞻预测风险演变趋势，为防控工作赢得先机。在日常隐患排查中，依托感知层部署的泄漏检测与视频监控等物联网设备，平台实现了隐患的全天候实时感知。遇有燃气泄漏、管道破损或第三方施工破坏等异常，系统自动定位隐患点位并抓拍现场画面，将信息直推巡检人员，助其快速到场核处；排查与处置全过程在线记录，形成隐患治理发现－处置－销项闭环，确保隐患见底清零。若遇突发安全事故，平台则迅速启动智能化应急抢修响应，自动触发应急预案，一键明确处置流程、责任分工与物资调配方案，同步将事故警报推送至抢修队伍与相关部门。抢修人员可借助平台实时掌控现场态势、管网拓扑及处置方案，精准开展施救；平台全程跟踪抢修进度，动态更新作业信息，保障应急处置高效联动，将事故影响降至最低。此外，平台全面沉淀风险评价、隐患排查、应急抢修及设备维保等数据，构建起安全管理数字化档案。工作人员可便捷查询并进行多维数据分析，精准剖析管理薄弱环节，进而优化管理策略，推

动安全管控水平持续跃升。

四、结束语

本文针对城镇燃气中低压输配管网在运行效率与安全管理方面面临的实际挑战，系统开展了运行优化策略、安全管理体系构建及智慧化应用研究。通过构建精准的管网水力计算模型与运行优化数学模型，制定了科学的日常与应急动态调度方案，有效解决了管网运行能耗高、工况失衡等问题，实现了输配效率的提升；构建了基于 AHP- 模糊综合评价法的风险评价模型，集成应用了泄漏检测、腐蚀防护等关键技术，并完善了应急响应与抢修机制，形成了事前预防、事中管控、事后处置的全流程安全管理体系；依托智慧燃气平台，设计了感知、网络、平台、应用四层系统架构，实现了负荷预测、水力调度、风险预警与隐患排查等核心功能的数字化与智能化升级，为管网的精细化管理提供了有力支撑。

参考文献

[1] 黄健雄. 城市燃气中低压管网运行管理模式的优化方法 [J]. 化工设计通讯, 2022, 48(9): 133-135. DOI: 10.3969/j.issn.1003-6490.2022.09.045.

[2] 刘剑, 穆宁, 龚西, 等. 安全阀和放空阀在城镇燃气输配系统中的应用 [C]// 中国燃气运营与安全研讨会 (第十届) 暨中国土木工程学会燃气分会 2019 年学术年会 论文集. 2019: 677-680.

[3] 韩丽. 中压一级燃气管网系统与中- 低压两级系统的对比分析研究 [D]. 山东: 山东建筑大学, 2015. DOI: 10.7666/d.Y2782977.

[4] 胡胥炎, 李雪飞, 刘建辉, 等. 基于概率综合评价法中低压燃气管道风险评价 [J]. 煤气与热力, 2021, 41(11): 后插 43- 后插 46.

[5] 姜赛赛. 中低压燃气调压器故障智能诊断模型与模拟研究 [D]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学, 2020.

[6] 史美明. 聚乙烯管材在燃气管网中的应用 [J]. 上海建材, 2005(3): 15-16. DOI: 10.3969/j.issn.1006-1177.2005.03.006.

[7] 张昱玮. 城镇燃气中低压管网及系统失效事件特征及原因研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(21): 32-34. DOI: 10.3969/j.issn.1673-4076.2024.21.011.

[8] 张炎. 中低压城镇燃气安全运行策略 [J]. 石油化工建设, 2024, 46(2): 135-137. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9323.2024.02.038.

[9] 张晓华, 田铎. 城镇中低压燃气管道外腐蚀检验技术及难点分析 [J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39(9): 25-29, 37. DOI: 10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2025.09.025.05.

[10] 黄健雄. 中低压城市燃气城镇燃气安全运行管理研究 [J]. 化工设计通讯, 2022, 48(11): 185-187. DOI: 10.3969/j.issn.1003-6490.2022.11.062.