

数字化转型下的城镇燃气管网智慧运行与安全保障策略

包荣斌 郑锐^[通讯作者] (缙云县天然气有限公司, 浙江 丽水 321000)

摘要: 在城镇燃气行业数字化转型进程中, 区域智慧化发展水平存在显著差异、安全预警机制呈现被动响应特征、安全保障体系尚不完善等问题亟待解决。本内容系统剖析智慧燃气运行现状, 深入探讨其核心构成要素, 全面梳理潜在风险隐患, 进而从人员能力建设、设备全生命周期管理、智能化风险防控体系构建、数据资源治理等多个维度, 提出系统化安全保障策略, 旨在为燃气行业运营管理及安全防控领域的专业人员提供具有实践指导价值的参考依据。

关键词: 数字化转型; 城镇燃气管网; 智慧运行; 安全保障; 风险防控

中图分类号: TU996 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 008-0118-03

Intelligent Operation and Safety Assurance Strategies for Urban Gas Pipeline Networks in the Era of Digital Transformation

Bao Rongbin, Zheng Rui^[Corresponding Author] (Jinyun County Natural Gas Co., Ltd., Lishui Zhejiang 321000, China)

Abstract: The digital transformation of urban gas industries faces critical challenges, including significant disparities in regional smart development levels, passive response mechanisms in safety alerts, and incomplete security frameworks. This study systematically examines the current state of smart gas operations, analyzes its core components, and identifies potential risks. It proposes comprehensive security strategies through multiple dimensions—human capacity building, end-to-end equipment lifecycle management, intelligent risk prevention systems, and data governance—to provide actionable guidance for professionals in gas industry operations and safety management.

Keywords: digital transformation; urban gas; smart operation; safety assurance; risk prevention and control

城镇燃气是城市能源保障的核心组成部分, 正从传统的供能模式向智慧服务模式转变, 在此过程中不断采用新技术改造设施, 但在加快发展的同时, 不同地区的智能化程度存在较大差异, 此外一些老旧设施的改造费用也比较高昂, 并且在运行中仍然存在很多安全方面的问题。被动式的安全管理已无法满足智慧运行的需求, 需要建立系统化的安全保障体系。深入挖掘研究其智慧运行规律和安全保障方法对增强燃气系统韧性、避免事故发生具有重要的现实意义。

1 数字化转型下的城镇燃气管网智慧运行的发展现状

1.1 基础设施数字化进程不均衡

我国城镇燃气系统的数字化改造呈现出明显的区域结构化差异, 从行业统计数据看, 越是经济发达地区燃气管网智能化程度就越高, 区域间不平衡现象严重。管网设施老旧问题较为突出, 许多城市燃气管网使用年限较长, 部分管网未预留智能传感器接口, 由于前期工程建设时未考虑后期智能化改造需求, 因此无法直接进行智能化升级, 新建和改造燃气管线的资金投入差异大, 改造工程难度较高。此外, 尽管智能燃气表的安装率较之前大幅提升, 但尚未建立统一的技术标准体系。不同厂家的产品因数据接口、通讯协议、计价精度等方面存在差异, 导致智能终端之间的

兼容性和信息共享成为难题。

1.2 技术应用与系统建设逐步推进

以物联网、人工智能为代表的新一代信息技术不断应用于城镇燃气行业各业务领域, 如管网监测、泄漏预警等典型应用场景, 积极推动了城镇燃气行业的数字化转型。根据调研, 目前已有三成左右燃气企业完成了智慧管理平台的建设; 虽然在地理信息系统 (GIS)、数据采集和监视控制系统 (SCADA) 等方面有所成效, 但历史原因造成的各类业务系统开发时间跨度大、没有统一规范等客观问题影响了数据的交互共享, 有相当部分已经采集的数据尚无法为企业决策分析工作所用。但目前数字化技术和智能化管理新模式正在不断探索成熟并加速落地应用, 如数字孪生、人工智能预测等, 以前都处在理论研讨阶段, 现在已经被推广到实体应用阶段, 并且已经作为主力军助力行业的日常生产运营之中, 使燃气行业从原来的被动式的救火抢险, 逐渐转向主动的风险防范。这使得燃气行业的高质量发展基础更为坚实有力。

值得关注的是, 中小企业在技术落地中面临显著制约, 多数企业受资金投入、技术人才短缺影响, 难以承担智慧平台建设及后期运维成本, 导致数字化改造进展缓慢。部分企业虽引入基础智能设备, 但缺乏专业团队进行系统优化, 设备数字化应用效能显著偏

低，由此衍生的区域间数字技术应用鸿沟持续扩大。

2 城镇燃气管网智慧运行的要点和主要风险

2.1 核心运行要点

采用数据全链路贯通的方式作为智慧运行的核心枢纽，并基于物联网感知终端采集各个方面的相关数据（包括但不限于燃气管网的运行状态、用户用气行为特征以及环境气象因素），进而借助大数据分析和人工智能算法构建出更精确的负荷预测模型及风险预警研判体系，针对气源的供用气双方均可根据不同的工况灵活地调度供用气量，并对燃气管网的压力进行实时、准确的控制，使燃气输配系统运行稳定可靠。并且，建立了从“数据监测-智能预警-应急处置”的全流程闭环管理模式，大大缩短了泄漏、超压等异常工况的响应时间及处置时长。并且，完善与城市应急管理平台、气象监测系统平台的对接互通工作，加快推动“城市大脑”运行体系建设进程。

2.2 基础设施适配风险

旧管网与新设备适配性较差，在系统升级改造中，接头协议不同、设备参数差异大等问题会形成技术壁垒，从而容易出现供气断供现象。另外，在感知层方面的设备，受环境影响较大，像温湿度、电磁干扰等因素都可能会影响传感器采集到的数据结果，极端天气情况下更加明显。比如在极寒工况下的负荷预测的准确率约为 60%，会严重影响系统调度的动态性。再有就是由于不同地区之间数字建设程度存在较大差别，这种差异让全国统一的智慧燃气网络无法做到完全的覆盖，导致该网络无法进行多区域互通联动，在一定程度上影响系统的调度以及应急处理情况。

2.3 技术与管理协同风险

现有的监测体系大多存在预警反应时间长的问题，且缺少从多源数据出发，在事故发生前做到预测性维护的能力。行业实测数据显示，AI 预警模型准确率（P）可利用公式计算：

$$P = (T / (T + F + M)) \times 100\%$$

其中：P 为准确率

T 为正确预警次数

F 为误报次数

M 为漏报次数

某中型燃气企业 2024 年全年累计发生监测异常事件共 1200 起，其中准确预警 720 起，误报 360 起，漏报 120 起，按此公式计算 $P = 720 / (720 + 360 + 120) \times 100\% = 60\%$ ，和行业平均水平一样，说明模型优化十分必要。不同的核心业务系统分别管理数据，未能充分发挥数据的价值挖掘作用。当前 AI 模型准确性虽然已达到 60%-70%，但是仍然维持这个低位，缺乏

突破性提升。第三方施工损坏占了事故总数的 31%。网络安全建设不够，约有六成的中小企业没有搭建安全运营中心。

2.4 安全响应机制风险

极端天气应对能力不足，气象数据和燃气管网运行数据之间的融合度不够高，很难发挥数据协同效应。应急管理体系中各部门协同联动不足，具体表现为部门之间缺乏数据互换机制，应急响应慢。户内燃气安全监测点存在缺位，一些用户端燃气设施由于长期未进行更新维护，在使用年限较久后往往成为潜在风险源，一旦发生隐患，将造成严重的燃气泄漏。隐患排查过程中虽然部分隐患排查实行了人工巡检，但是巡检人员工作效率低，因人为因素易发生漏检或者误检的情况，不利于隐患的发现与解决。

此外，用户端安全认知与操作规范性不足构成核心风险源。调查数据显示，居民私自改造燃气管线、违规使用非国标燃气器具等行为仍较为普遍，且对燃气报警器、自闭阀等安全装置的日常维护重视程度较低。据统计分析，约三成的户内燃气泄漏事故直接归因于用户违规操作或安全设备未正常启用。农村地区用户群体老龄化特征显著，智能化设备操作能力薄弱，致使燃气安全隐患排查与应急响应工作面临较大挑战。

3 城镇燃气管网智慧运行的安全保障策略

3.1 全员做好安全培训

建立有层次、类别明晰的专业化培训体系，分层次、分类别面向各类运营岗位人员开展智能终端设备标准化操作培训，加强数据深层次分析、异常工况诊断能力培训。对安全管理岗位人员，要深入学习并树立风险预判和先期辨识的思维理念，将应急处置规程培训常态化，并将各类复杂条件下如何开展应急处置、关键设备出现故障时如何处理等内容纳入其中，并充分融入人工智能预警模型应用理论和实操课程，组织开展周期性理论知识考核、实际业务能力和操作技能考核，并运用科学化量化评价方式，推动相关人员岗位能级达到城镇燃气智慧化运营能力要求。

3.2 设备维修管理措施

构建全生命周期设备管理，建立智能传感终端设备、物联网燃气计量装置等各类数字化档案库。运用大数据分析，构建预测性维护模型，基于设备运行参数的实时监测情况，预警设备的老化趋势，对可能存在的安全风险进行提前研判。针对城镇燃气老旧管网，编制专项改造计划，分期开展运行年限超过 20 年的灰口铸铁管道更换工作，在改造过程中统一预留智能设备的安装接口，为管网智能化升级做好准备。并且，要健全完善设备采购技术规范 and 兼容性评估机制，保

障新增的设备能够和现有智慧管理系统实现无缝对接。

3.3 维修注意事项

在实施维修作业前要系统调取并深度挖掘整个设备全生命周期运行数据,应用大数据分析及故障诊断模型定位到具体的故障点位,并按照其实际情况进行风险等级的判断,最终形成专业化的、定制化的维修技术方案,在实际维修作业中要严格按照《城镇燃气设施运行、维护和抢修安全技术规程》的要求,全程应用智能监测系统实时采集现场管网及周边区域的压力参数,使用激光甲烷遥测、分布式光纤传感等技术手段对燃气泄漏实现高精度、全方位监测。维修作业结束后,应进行全面系统的数据验证以及维修后的设备性能检测工作,即借助于压力试验、气密检测等方法,确保维修后设备的运行参数完全符合要求。并且,应该及时检验核对设备运行数据,确保其能够完整上传到指定位置。而且应该构建起维修档案的数字化管理体系,把维修过程中的技术参数值、检测值和操作记录及时归档入库,为后期设备的健康评估和预防性维护工作。

3.4 构建智能安全防控平台

利用数字孪生技术建立城镇燃气安全监测体系,集成管网运行参数、环境监测数据、施工动态信息等多元数据。安装 PPB 级激光巡检设备以及智能管网哨兵系统,对燃气管网微泄漏情况进行实时监测,并及时发出压力异常波动的警报信号。根据管网风险识别规则开发风险预警模型,将管道腐蚀速率、地质活动强度等动态影响因素纳入,提升风险预判准确性、可靠性。实现分钟级应急响应,依靠智能信息推送系统将报警信息精准推送到应急人员手机。

3.5 完善数据治理体系

统一建立数据标准体系,规范业务系统数据结构、编码规则,通过标准化接口开发促进各系统间互联互通;建立全生命周期数据质量管理体系,利用数据校验、异常监测等技术手段保障数据采集完整准确、时效性强,达到提高数据可用率的效果;实行数据分级分类管理,采取数据加密传输、数据访问控制等技术措施,结合零信任安全架构做好数据防护及网络防护,筑牢敏感数据和网络安全保护屏障;建立数据价值挖掘体系,通过数据建模、分析算法等方式挖掘数据价值,从而得出准确结论,为燃气安全运营做出合理有效的决策。

3.6 强化多维度协同联动

加快与气象部门数据共享,将气象数据和燃气负荷数据深度融合,极大提高极端天气情况下燃气负荷预测准确性。建立跨部门应急协同机制,依托信息化

技术平台,对接城市应急管理系统的数据库,快速实现系统对接,确保信息交换和资源共享,达到应接尽接、能用尽用的目标,构建完善的应急处置机制。实施用户侧燃气安全升级工程,为居民用户免费提供燃气自闭阀、金属波纹管等燃气安全使用产品,从根本上降低用户户内燃气泄漏事故发生几率。构建合理有效的“气-电-热”多能互补能源供给模式,增强系统的运行安全韧性水平,保障能源供应稳定。

4 数字化转型下的城镇燃气管网智慧运行与安全的未来发展

4.1 技术深度融合与标准统一

加速 AI、数字孪生技术的应用落地,在模拟出管场景线全场景运行的基础上对管网可能出现的风险进行预测预警。完善全国统一的技术标准体系,按照智能化技术接口的要求制定统一的规范标准。扩大物联网感知网络的覆盖面,做到地下管网到户,感知、监测全方位覆盖。研究开展氢掺供试点,利用氢能替代天然气以降低管道压力损失,打造绿能智慧燃气生态圈。

4.2 管理模式创新与能力提升

对于全产业链的数据资产化经营,挖掘用户的用气安全和服务价值。实行多元化的投融资方式,运用绿色金融推动老旧设施的智能化改造升级。孵化一支兼备油气运输业务数字化和安全管理运行的能力队伍。学习和参考国外先进国家经验,加强管网韧性的设计、极端天气下的运营应急处置等方面的培训建设。

5 结束语

数字化转型为城镇燃气管网运行注入智能活力,也对安全保障提出更高要求。当前行业面临的区域失衡、技术适配、协同不足等问题,需通过系统策略逐步破解。构建“人员-设备-技术-机制”四位一体的安全保障体系,能有效提升智慧运行的安全性与稳定性。未来随着技术融合与管理创新,燃气系统将实现从被动防控到主动安全的转变,为城市能源安全提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] 张乐天. 城镇燃气智能化安全运行分析 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2025,(12):183-185.
- [2] 王学丹. 浅谈城镇燃气管网安全运行存在的问题及解决措施 [J]. 低碳世界, 2025,15(06):118-120.
- [3] 孙丞, 范成强. 城镇燃气管道天然气安全运行管理策略 [J]. 全面腐蚀控制, 2024,38(12):67-69.
- [4] 孙丞, 范成强. 城镇燃气管道天然气安全运行管理策略 [J]. 全面腐蚀控制, 2024,38(12):67-69.
- [5] 王善宝, 程新求. 城镇燃气管道“带病运行”安全隐患排查与治理研究 [J]. 现代职业安全, 2024,(11):38-40.