doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2025.04.004

城镇燃气数字化智能预警系统建设研究

伍爱群[1,2] 王超群[3]

1. 华东师范大学国家安全与应急管理研究院 上海 200434；
2. 上海航天信息科技研究院 上海 200080；
3. 上海航天能源股份有限公司 上海 201201

开放科学（资源服务）标识码（OSID）

摘要：[目的 / 意义] 我国城镇燃气安全面临城市化加速与政策升级的双重挑战，传统预警体系存在感知不足、数据割裂、响应滞后等问题。[方法 / 过程] 构建“全面感知、智能分析、主动预警”的数字化预警系统，采用感知接入、数据治理、智能预警等六层架构，覆盖高后果区泄漏、管网监测等场景，并给出实施建议。在此基础上，识别系统中的关键情报要素，如多源数据感知网络、知识图谱构建、风险推理机制与跨部门联动策略，进一步增强系统的智能化与协同化能力。[结果 / 结论] 通过企业主导、政府引导、分阶段试点、分级推广、政企协同，完善技术研发与标准体系，系统对接“城市生命线”平台，有效降低风险，提升燃气安全保障能力，为城市韧性治理提供技术支撑。

关键词：城镇燃气；数字化预警；情报工程；安全治理；政企协同

中图分类号：G35

Research on the Construction of Digital Intelligent Early Warning System for Urban Gas

WU Aiqun[1,2] WANG Chaoqun[3]

1. Institute of National Security and Emergency Management, East China Normal University, Shanghai 200434, China;
2. Shanghai Aerospace Information Technology Research Institute, Shanghai 200080, China;
3. Shanghai Aerospace Energy Co., Ltd., Shanghai 201201, China

Abstract: [Objective/Significance] Urban gas safety in China is increasingly challenged by rapid urbanization and evolving regulatory demands. Traditional early warning systems exhibit limitations such as insufficient sensing, fragmented data, and delayed response. [Methods/Processes] To address these shortcomings, this study proposes a digital early warning framework characterized by comprehensive perception, intelligent analysis, and proactive response. The system adopts a six-layer architecture encompassing sensing integration, data governance, and intelligent warning modules, and is applicable to high-consequence leakage zones and pipeline monitoring scenarios.Within this framework, key intelligence elements are systematically

基金项目 上海市 2021 年度“科技创新行动计划”社会发展科技攻关项目“网络体系架构创新关键技术研究与示范应用”（21DZ1201600）。

作者简介 伍爱群（1969-），博士，教授，主要研究方向为管理学，E-mail：wuaiqun@vip.sina.com；王超群（1979-），学士，研究员，主要研究方向为智慧管网技术。

引用格式 伍爱群，王超群 . 城镇燃气数字化智能预警系统建设研究 [J]. 情报工程 , 2025, 11(4): 40-49.

identified, including multi-source sensing networks, knowledge graph construction, risk inference mechanisms, and cross-sector coordination strategies. These components collectively enhance the system's analytical depth and collaborative efficiency. [Results/Conclusions] Implementation follows a multi-stakeholder model, featuring enterprise leadership, government oversight, phased pilot deployment, and hierarchical promotion. The framework emphasizes the co-development of technologies and standards, and aligns with the "Urban Lifeline" platform to reduce systemic risks, strengthen gas safety management, and support resilient urban governance.

Keywords: Urban Gas; Digital Early Warning; Intelligence Engineering; Safety Governance; Government-enterprise Collaboration

1 引言

1.1 城镇燃气数字化预警系统研究背景

当前，我国城市化进入高密度、复杂化运行的新阶段。作为城市“生命线”系统之一，燃气的安全运行已成为国家公共安全与城市韧性治理的核心内容。近年来，党中央和国务院高度重视城市运行安全保障问题，相继发布了《城市安全风险综合监测预警平台建设指南（试行）》《全国城镇燃气安全专项整治工作方案》等重要文件，明确要求健全城市安全风险监测预警机制，构建高效、智能、可靠的城市运行风险防控体系[1]。

在这一战略背景下，城镇燃气行业正面临“安全治理升级”与“数字化转型”两大压力。一方面，安全事故频发，迫使行业提升本质安全水平，传统“事中响应”机制难以应对日益复杂的风险形态；另一方面，国家持续推进“数字赋能城市治理”战略，对企业的技术能力、系统协同与数据共享机制提出更高要求。《城市安全风险综合监测预警平台建设指南》明确指出：城市应建立涵盖“感知—识别—预警—联动—响应—评估”全过程的综合预警体系。这一顶层设计不仅要求城市级平台建设，也对包括燃气企业在内的运行主体提出了主动对接与能力建设的指引。这一政策逻辑实质上塑造了“企业感知前哨＋城市协同中枢”的新型安全治理体系，燃气企业将在其中扮演关键角色。

数字技术的迅猛发展为燃气行业实现智能化转型提供了现实路径。从物联网感知、边缘计算，到智能识别、知识图谱构建，再到多源数据融合、智慧指挥调度，当前技术体系已能够支撑城镇燃气预警系统从“报警型”向“预测型”“联动型”升级。

在感知侧，管网压力、流量、浓度、位移、振动、视频等多类传感器实现了从“点位监测”到“区域感知”的扩展；在分析侧，大数据算法与机器学习模型正在逐步替代经验法则，帮助培养更加动态、精准的风险研判能力。在响应处置侧，数字化平台可将告警信息联动派发至应急系统、运维系统乃至政府监管平台，实现事件闭环处置与协同联动。

随着“城市运行一网统管”机制在全国逐步落地，城市管理平台对企业系统的对接需求也从“信息报送”演进为“数据互联＋响应联动＋闭环监管”。这使得燃气企业不仅面临自身系统能力提升的内在驱动，更面临外部平台

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2025.04.004

协同压力，从而形成“内外合力推动数字化预警建设”的有利环境。

1.2 数字化预警系统的内涵与建设必要性

“数字化预警系统”并非传统意义上的“监测+报警系统”的升级，而是一种融合数据驱动、模型智能、流程联动、闭环处置于一体的系统性能力重构[2]。在本研究中，数字化预警系统被界定为依托物联网、大数据、人工智能等先进技术，覆盖城镇燃气运行全过程的“感知—分析—预判—响应—反馈”的风险预控体系。

推动数字化预警系统建设，不仅能够提升企业对突发事件的感知响应效率，更有助于实现“从经验管理到数据治理”“从单点感知到系统研判”的本质安全能力跃升。尤其是在高后果区、老旧小区、人口密集区域等重点场景中，数字化预警系统将成为保障城市安全稳定运行、提升企业应急响应能力的关键技术。

因此，加快研究并推广适用于城镇燃气行业的数字化预警系统，是顺应国家战略导向、回应城市治理需求、提升企业安全能力的必由之路。本文从情报工程视角出发，系统识别燃气数字化预警中的关键情报要素与支撑机制，旨在推动系统由“信息化感知”向“智能化情报协同”演进。

2 相关工作

2.1 城镇燃气数字化预警系统现状与趋势

当前我国燃气企业普遍采用“监测设备+阈值设定+人工干预”的传统预警机制，系统主要包括分散部署的 SCADA 系统、视频监控和可燃气体报警器等，依靠感知设备（如报警器、摄像头）识别风险，并以“是否触发报警”为预警判断标准。该“监测型”体系虽具备初步的安全感知能力，但仍存在感知覆盖不足（如对末端管网、地下设施的监测不足）、系统数据割裂（如数据格式不统一、难以融合利用）、响应机制滞后、识别能力薄弱（如缺乏对趋势性和复合型风险的识别）等突出问题，难以支撑趋势性风险识别与多场景联动响应[3]。这一体系曾适用于城市燃气系统早期的工程化安全管理阶段，但随着城市燃气系统日益复杂、管理要求不断提升，其“被动响应、静态识别”特征已难以支撑现代本质安全管理中“事前预判、智能识别、流程闭环”的新需求。

在情报工程领域，近年来国内学界开始借助可视化方法对城市安全与公共安全研究的知识结构进行系统分析。王义保等[5]基于 CNKI 数据和 CiteSpace 工具，对 1993—2018 年城市安全研究进行了知识图谱分析，指出我国城市安全研究存在“风险本体研究多、治理机制研究弱”的结构性不均衡问题，亟须加强跨学科合作与情报融合能力建设。汤志伟等[6]基于 CSSCI 数据库构建了国内公共安全研究的可视化知识图谱，揭示当前研究重心集中于管理框架与应急体系，图谱结构相对分散，尚缺少多源情报驱动下的系统性认知模型。张继亮等[7]对燃气安全运行监测预警系统进行研究，李启宇等[8]基于融合信息和风险监测预测燃气生产安全，邓筱莹等[9]研究增强城市安全韧性的基础设施数字化转型，张洁[10]研究基于信息技术的城镇燃气安全管理创新，张浩[11]探讨了智慧城市背景下城市燃气存在问题及发展方向，刘

继等[12]则分析了大数据背景下网络舆情智能预警机制，冯季等[13]研究了城市燃气管网监测预警技术，孟伟等[14]介绍了基于 AI 的燃气管道监控系统应用，而王亮[15]则研究了基于集成化视频监测的燃气计量设施异常预警技术。

在传统监测预警体系存在显著局限与政策升级“双重推动”下，城镇燃气行业正处于从“以监测为核心”的预警体系向“以数字化能力为核心”的现代预警体系转型的关键阶段，两者核心区别如表 1 所示。

表 1 传统监测预警与数字化预警对比

维度	传统监测预警	数字化预警
预警数据来源	依赖单点传感器，数据分散、覆盖有限	融合 SCADA、物联设备、GIS、视频等多源数据，实时更新
风险识别方式	基于固定阈值判断，人工分析为主	基于算法建模与大数据分析，实现趋势预测与异常识别
响应处置机制	告警后人工处置，流程割裂，响应滞后	自动联动任务派发、应急响应与反馈，形成处置闭环
系统架构特征	系统孤立、功能分散，缺乏统一数据治理平台	平台化架构，支持多模块协同与智能指挥调度
风险覆盖能力	以常规、静态风险为主，难以应对复杂场景	适配多场景、跨系统、动态演化类风险识别与处置

数字化预警系统不再局限于简单报警响应，而是以数据为基础、模型为驱动、流程为闭环，构建覆盖全生命周期的智能风险识别与响应体系，实现多场景、多要素的主动预警与快速联动[4]。这不仅是技术能力的升级，更是从“被动响应”向“主动治理”、从“经验判断”向“数据驱动”的本质安全理念变革。

2.2 城镇燃气数字化预警存在的问题

当前城镇燃气行业预警存在五大典型问题：一是数据感知能力不足，管网末端、低压、地下等关键区域感知覆盖薄弱，导致预警盲区明显；二是系统数据割裂严重，SCADA、GIS、客服等系统间缺乏数据融合，信息孤岛现象突出；三是风险识别主要依赖阈值超限和人工判定，缺乏智能分析能力，难以应对复杂场景；四是响应机制松散、处置链条断裂，报警与任务、应急系统未实现自动联动，闭环处置难以建立，效率低下；五是监管协同能力不足，企业系统与城市级平台对接不畅，信息共享不足。

尽管相关研究在燃气系统监测与局部智能化方面取得一定进展，但从“情报工程”角度构建系统性的数字化预警体系，仍存在以下关键问题：首先，缺乏面向燃气场景的动态情报图谱建模与图推理机制，无法实现多源信息之间的结构化表达与风险链分析；其次，燃气安全知识库构建方式仍以专家经验归纳为主，难以实现自动更新、智能检索与系统联通；最后，缺乏支持企业—政府—公众间数据共享、事件通报与协同决策的情报协同架构，影响跨系统联动效率。

当前国内外在城镇燃气风险预警领域虽已形成较完备的监测模型体系，但在情报感知、知识建模、智能协同与全流程响应机制方面仍存在显著空白。为此，本文紧扣城市运行韧性治理需求与国家“城市生命线工程”战略导向，提出“以情报驱动为核心的燃气数字化预警系统”架构设计，力求填补“从数据监测到情报

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2025.04.004

治理”的技术与机制断层，推动燃气行业由传统监测模式向“智能识别+预测预警+联动响应”的情报化治理范式转型，为我国城市基础设施安全治理提供情报工程视角的实践参考。

3 城镇燃气数字化预警系统的总体架构设计

本文具体提出设计“全面感知、互联互通、智能分析、主动预警”的数字化预警系统方案，目标是以多源感知为基础、智能模型为核心、响应机制为支撑、平台联通为保障，实现“事前识别、实时预警、联动响应、闭环管理”的全过程风险防控，为企业本质安全和城市韧性治理提供技术支撑。

3.1 系统架构设计

城镇燃气数字化预警系统采用六层架构设计，如图 1 所示。（1）物联感知层部署传感器与边缘设备，采集压力、流量、浓度、振动、视频等数据，实现对管网、场站、终端用户的全域感知。（2）网络传输层通过 NB-IoT、4G/5G、有线以太网，确保数据高速、稳定、安全传输。（3）数据服务层搭建统一数据服务平台，对感知数据、业务数据、GIS 数据进行清洗、标签化与统一存储，形成“数据资产池”，并为城市生命线系统提供标准化接口。（4）智能预警层部署 AI 引擎与风险模型，包括管网仿真模型、泄露识别定位模型、外力施工识别模型、设备健康诊断模型、用户行为识别模型、气源调度模型、泄漏扩散评估模型、爆炸风险评估模型等，实现复合型风险分析与趋势预警。（5）业务应用层构建监测感知、智能调控、泄露识别定位、设备健康诊断、异常预警推送、任务联动处置、事件响应闭环等核心业务功能，支撑企业本体安全运营与对外协同。（6）前端显示层通过电脑、移动终端、大屏等可视化呈现预警信号、风险评估与决策建议，服务于燃气企业运维人员、政府监管部门等。

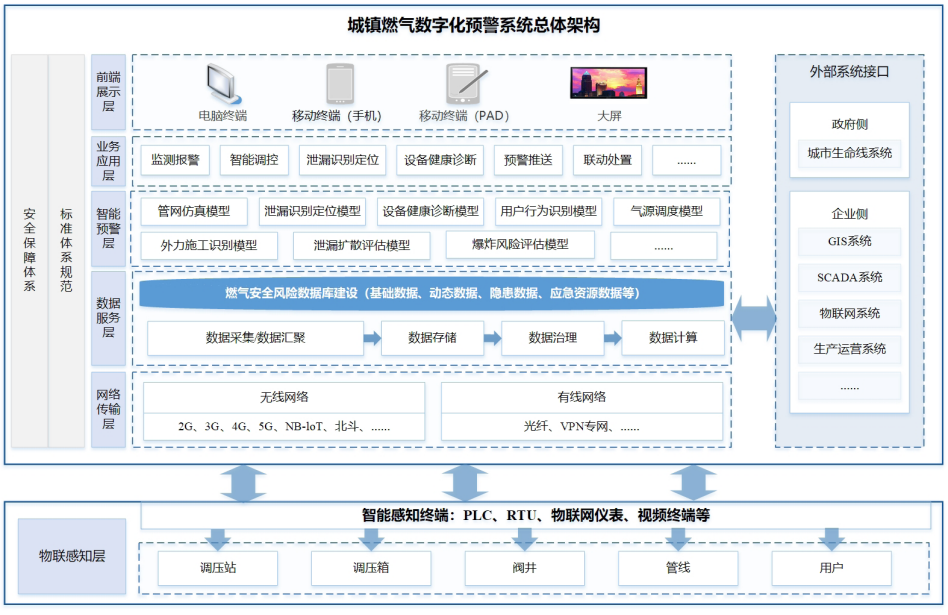

图 1 城镇燃气数字化预警系统总体架构

3.2 系统功能定位与核心能力

系统以“感知—识别—预警—联动—处置—反馈”的闭环逻辑为核心，构建以下 5 项关键能力：（1）多源异构数据接入与治理能力，支持多样终端设备和外部平台的协议适配与统一接入，标准化采集并管理 SCADA、GIS、客服、管网建模、视频监控等数据，形成统一数据资产基础。（2）智能风险识别与预警能力，依托 AI 模型和规则引擎，识别泄漏、非法作业、异常用气、设备老化等多维风险，支持动态训练和趋势预测，提升风险发现的精准性和前瞻性。（3）联动响应与闭环处置能力，具备事件识别后的自动联动能力，支持任务派发、工单生成、调度通知、反馈回传与处置评估全流程闭环，实现从告警触发到结果反馈的高效联动管理。（4）可视化态势感知与辅助决策能力，通过地图、报表、三维模型呈现运行状态、风险态势及事件处置进程，辅助精准决策。（5）对外协同与平台对接能力，提供标准化接口，可与“城市生命线系统”“一网统管平台”对接，支持数据共享、事件上报、视频访问及应急协调，构建企业—城市多级协作机制。

3.3 数字化预警理念内核与关键情报支撑要素

数字化预警系统的设计不仅体现技术创新，更承载了一种全新的安全治理理念。其核心理念是“以数据驱动决策、模型预测风险、联动协同响应、全流程管理风险”，取代传统的经验判断、人工预判、单点应对和阶段性干预，推动形成基于情报的主动防控机制。为此，系统需构建以下关键情报支撑要素：

（1）全生命周期管理：系统覆盖燃气设施规划、设计、施工、运行、维护、退役的全生命周期，实现风险的可视化监测、可量化评估、可控化管理及可追溯分析。特别是在运行维护阶段，需加强对老旧管网、关键部件及隐蔽工程的动态监测和健康评估，结合风险演化信息积累，服务设施全生命周期的情报化管理与决策支持。

（2）全风险要素识别：系统涵盖泄漏、爆炸、设备故障、外力破坏、极端气候等多种风险因素，推动从单一风险识别向多维耦合风险分析与动态情报提取转变，构建覆盖全场景的情报识别框架，提升复合型风险的精准识别与快速响应能力。

（3）数据融合治理：整合 SCADA、GIS、视频监控、气象数据、业务工单等多源异构数据，构建燃气安全领域的情报感知网络与数据融合体系。依托大数据分析技术，通过标准化协议和数据湖平台实现数据的清洗、关联、标签化与高效调用，为情报生成与智能分析提供高质量的数据支撑。

（4）智能建模与算法体系：部署管网仿真、泄漏识别、设备健康评估、施工异常感知等智能模型，基于深度学习、数字孪生等技术构建多维情报模型体系，支持模型动态优化、场景自适应与跨模型协同，强化事件感知、趋势研判与情报驱动的预测能力。

（5）联动响应与流程闭环：建立跨系统、跨角色的事件响应机制，强化政企之间及部门之间的情报共享与任务协同。系统形成“识别—判断—派发—处置—反馈—评估”的全流程闭环，可对接应急、调度、客服等系统，支持多路径联动，有效提升响应效率与处置闭环能力。

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2025.04.004

3.4 动态情报图谱与燃气安全知识库构建

在传统监测手段难以应对复杂、耦合型城市风险背景下，情报工程方法中的图谱建模与知识工程成为支撑数字化预警系统智能化演进的重要抓手。通过将多源异构数据进行语义关联与图谱建模，可实现对燃气系统运行状态的结构化认知与动态推演，为趋势识别、联动响应与辅助决策提供情报支撑。

（1）动态情报图谱设计框架

动态情报图谱以“设备—运维—事件—用户—环境”为核心要素，构建实体—关系网络模型。图谱节点包括：燃气管道、调压站、阀门等基础设施；运维记录、风险事件、应急处置工单等历史数据；用户行为特征、报警记录、天气等外部影响因素。通过图神经建模、实体抽取与关系标注，实现多维信息之间的语义连接。该图谱可支撑多项功能：一是风险事件的路径溯源与影响范围预测；二是关键节点与高风险聚集区域识别；三是基于历史图谱结构的事件模拟与趋势推演；四是与知识库联动，构建面向态势研判的图谱查询系统。

（2）燃气安全知识库建设路径

为提升系统的智能响应与辅助决策能力，需同步建设“燃气安全知识库”。知识库内容如表 2 所示。

表 2 燃气安全知识库

类别	描述
典型案例类	汇总历年燃气泄漏、爆炸、外力破坏等事故案例，结构化归纳起因、位置、影响、响应、责任等要素；
应急预案类	整理政企联合制定的应急处置方案，形成标准化流程模板与关键节点响应清单；
运行经验类	沉淀专家处置经验、调度策略与调压规则，提升系统面向非结构化问题的建议能力；
法规标准类	整理国家、地方及行业相关政策法规，提供合规参考依据。

知识库通过结构化建模与标签体系构建，可与预警模型联动调用，支持事件分类识别、响应建议生成、智能问答交互等功能，形成“经验知识 + 情报数据”的闭环支撑体系，并通过图谱交互实现系统对风险态势的全景化洞察，增强可解释能力。

4 应用场景分析

城镇燃气数字化预警系统的典型应用场景包括： 高后果区重点区域的泄漏识别与分级预警机制、基于仿真技术的高中压管网泄漏监测与精准定位、基于物联网的低压管网泄漏诊断与趋势识别、关键设备设施的状态监测与健康诊断，以及外力破坏识别与施工行为联动预防机制等。

4.1 高后果区重点区域的泄漏识别与分级预警机制

高后果区（即一旦发生事故将造成严重后果的区域，如人口密集区、医院、学校周边等）是城镇燃气安全管理的重点区域，一旦发生泄漏，极易引发重大人员伤亡和财产损失。传统监测手段因传感器覆盖不足、响应滞后，难以满足高风险区域的快速识别与精准预警需求。数字化预警系统通过多源数据融合与智能算法建模，构建了面向高后果区的高效泄漏识别与分级预警机制。系统通过激光甲烷探测器、视频监控等物联网传感器，实时采集气体浓度、压力等关键指标，结合 GIS 空间定位信息与深度学习模型，快速判定泄漏位置与风险等级。预警信息通过移动终端与

指挥中心大屏同步推送，自动联动运维及应急团队，实现快速响应与精细处置，有效提升重点区域的本质安全水平。

4.2 基于仿真技术的高中压管网泄漏监测与精准定位

高中压管网是城镇燃气输配体系的主干，安全运行关乎城市公共安全和供气稳定。传统泄漏检测靠人工巡检和基础传感器，响应慢、误报率高、定位精度低，难以满足现代化管理需求。基于仿真技术的监测方案，通过 SCADA、物联网采集实时数据（压力、流量、温度），结合 GIS 拓扑，构建管网仿真模型，生成泄漏样本。采用深度学习算法优化样本，融合卷积神经网络（CNN，适用于大规模泄漏定位）、长短期记忆网络（LSTM）及聚类分析，用于中小规模泄漏的精准定位，实现多级泄漏实时研判与定位追踪。

4.3 基于物联网的低压管网泄漏诊断与趋势识别

低压燃气管网主要分布在居民区，管线密集、老化严重，用户接入点多，运行状态复杂，泄漏问题隐蔽性强且易被忽视。同时，用气负荷呈现昼夜差异大、波动强等特点，增加了泄漏检测难度。基于物联网的泄漏诊断方案，在低压管网关键节点部署智能压力传感器、流量计等终端设备，采集实时运行数据。系统结合统计分析与深度学习算法，对夜间低谷与日间高峰的压力、流量变化趋势进行比对，精准识别潜在泄漏事件并动态研判风险变化。该机制有效补齐了传统低压管网监测手段“感知盲区”问题，提升了末端区域的风险发现能力。

4.4 关键设备设施的状态监测与健康诊断

关键设备（如调压器、阀门、仪表等）是城镇燃气系统的核心，其运行状态直接影响管网安全和供气稳定。传统运维模式依赖定期巡检与故障后维修，存在诊断滞后、资源浪费等问题。基于数字化预警系统，利用 SCADA 系统等实时采集的数据（压力、流量等），结合设备设施基础信息建立模型，实现对设备运行状态、性能波动、异常趋势的智能识别，及时预警潜在故障风险。同时，建立设备健康评分机制，支撑“以诊代修、主动养护”的运维策略，提升设备可用性与系统整体可靠性。

4.5 外力破坏识别与施工行为联动预防机制

外力破坏，尤其是第三方施工挖掘行为，是城镇燃气管网泄漏事故的主要原因之一。传统巡查手段依赖人工巡检与报事机制，难以实现施工过程的实时监控与非法行为的即时识别。数字化预警系统通过部署振动传感器、视频监控终端等感知设备，实时采集施工区域的环境数据，并结合 GIS 空间位置与 AI 图像识别模型，对施工机械、人员异常靠近等行为进行动态识别。当系统识别到疑似外力风险后，可联动触发预警提示、派发工单或通知属地监管部门介入，形成从风险识别到响应干预的联动闭环。该机制有效提升了第三方施工风险的前置感知与协同处置能力。

4.6 用户异常用气行为分析与风险预警

用户侧用气异常行为，如管道泄漏、私拉乱

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2025.04.004

接、燃气具故障或违规操作，往往是引发事故的重要隐患。传统监测模式主要依赖用户报修、人工巡检或周期性检测，响应滞后、覆盖有限。数字化预警系统通过部署智能燃气表、终端传感器等设备，采集用户流量、压力等实时数据，结合历史用气模式构建多维用户画像，并利用异常检测算法识别突发性、持续性或规律异常用气行为，及时触发预警。系统还可与客服平台联动实现精准回访与管控，有效提升用户侧风险识别与管理能力，构建覆盖用户侧的安全防控首道机制，形成用户用气风险防控闭环。

5 总结与建议

我国城镇燃气安全在城市化加速与政策升级背景下面临严峻挑战，传统预警体系存在感知能力不足、数据碎片化及响应滞后等问题。为此，本文提出构建“全面感知、智能分析、主动预警”的数字化预警系统，设计包含感知接入、数据治理、智能预警等环节的六层架构，覆盖高后果区泄漏监测、燃气管网运行状态监控等核心场景，并给出系统性实施建议。进一步识别出数字化智能预警系统构建的关键情报要素：通过搭建多源数据感知网络实现全场景动态监测；利用知识图谱技术整合燃气领域知识体系，形成风险知识库；构建基于规则与机器学习的风险推理机制，提升预警准确性；制定跨部门联动策略，打通应急管理流程。通过“企业主导技术研发、政府强化政策引导”的协同模式，分阶段开展试点示范，按风险等级分级推广应用，推动系统与“城市生命线”平台的深度对接。该数字化预警系统的落地实施，可有效降低城镇燃气安全风险，提升安全保障能力，为城市韧性治理提供技术支撑与实践参考。为进一步推进城镇燃气数字化智能预警系统建设，提出如下建议：

一是明确建设主体定位，强化企业核心能力支撑。在数字化预警体系建设中，燃气企业是建设主体，负责规划、平台建设、数据治理与预警处置；政府负责监管引导、标准制定与政策支持。企业应构建“数据治理、模型构建、平台运维、技术融合”能力体系，健全数据管理机制，建设复合型团队，增强场景建模能力与技术集成能力，建立“企业主导 + 技术协作 + 运营保障”机制。

二是加快数字化预警系统关键技术研发与场景应用。数字化预警系统的核心能力依赖于感知覆盖、智能识别、趋势预测与辅助决策等关键技术的协同支撑。首先，应推动低功耗、无线化的物联网感知设备研发，降低部署成本，补齐中低压、末端区域的感知盲区。其次，聚焦泄漏识别、异常用气、设备老化等核心场景，持续优化 AI 识别模型，增强模型的适应性与可解释性。同时，应加强管网仿真与风险推演技术研发，提升对复杂场景下事故扩散路径与响应节奏的预测能力。最后，探索 AIGC 技术在风险案例归纳、预警语义解读、运维建议生成等方面的应用，提升一线人员的辅助决策能力。通过“轻量感知 + 智能识别 + 仿真预测 + 智能生成辅助”的融合路径，构建系统技术的持续演进机制。

三是构建分级预警标准体系与指标评估机制。数字化预警系统能否有效支撑风险治理，关键在于是否建立起科学、可操作的分级标准与评估机制。建议从城镇燃气行业层面统一构建包括预警规则体系与运行绩效体系在内的“双体系”：一方面，应基于风险等级、区域敏感

度和对象类型，设立多层次预警分级规则，明确触发条件、响应时限与联动流程；另一方面，应制定涵盖识别准确率、响应效率、闭环处置完成率等指标的运行评估体系，定期开展运行体检，推动系统从“部署到达”向“绩效达标”转变。同时，应推动规则标准与 AI 模型结果协同优化，实现从“制度驱动”向“数据驱动”的持续演进。

四是分阶段试点与分级推广路径。建议采用“先试点、后推广”的策略推进城镇燃气数字化预警系统建设，首先，在高后果区、老旧区域或管网改造区域开展试点，验证系统模型精度、数据稳定性和响应机制有效性；其次，在试点成功的基础上，逐步扩展至中压、场站、用户侧等场景，实现多类型业务的融合与系统架构、数据接口的统一；最后，将企业平台对接至“城市生命线系统”或“一网统管平台”，实现信息互通与事件协同。通过分阶段、分区域、分场景的“快试快改”机制，可有效降低风险，提高系统落地率和应用实效。

五是政企协同与治理机制构建。城镇燃气数字化预警体系是公共安全的重要保障，需通过明确政企责任边界，构建企业主导、政府引导的协同治理机制。企业作为风险防控主体，应在数据采集、事件识别、闭环处置、信息共享等方面发挥主建、主运维、主研判作用。政府作为监管方，应负责标准制定、平台接口规范、数据上报机制、试点推广政策支持等事项，并提供数据融合与业务协同的制度基础；同时，推动建立“事件联动、风险共管、接口互通”的三项协同机制，实现城市与企业、监管与运营之间的高效互动。

参 考 文 献

[1] 全国城镇燃气安全专项整治工作方案 [N]. 中国应急管理报 , 2023-08-12(003).
[2] 高修强 , 吴卫 , 张文国 . 城市安全风险综合监测预警平台总体设计方案研究 [J]. 中国设备工程 , 2024(14): 90-92.
[3] 张继亮 , 林建芬 , 丛培雪 . 燃气安全运行监测预警系统的研究 [J]. 煤气与热力 , 2023, 43(10): 29-32.
[4] 云龙 , 姜方 , 曹云 . 主动式城镇燃气安全智慧监测预警系统的构建和应用探讨 [J]. 数字技术与应用 , 2024, 42(8): 219-221.
[5] 王义保 , 杨婷惠 . 城市安全研究知识图谱的可视化分析 [J]. 城市发展研究 , 2019, 26(3): 116-124.
[6] 汤志伟 , 钟宗炬 . 基于 CSSCI 的国内公共安全研究知识图谱分析 [J]. 现代情报 , 2017, 37(2): 119-125.
[7] 张继亮 , 林建芬 , 丛培雪 . 燃气安全运行监测预警系统的研究 [J]. 煤气与热力 , 2023, 43(10): 29-32.
[8] 李启宇 , 胡鑫明 . 基于融合信息和风险预测的燃气生产安全监测系统研究与应用 [C]//《煤气与热力》杂志社有限公司 . 中国燃气运营与安全研讨会（第十三届）论文集（下册）. 南宁中燃城市燃气发展有限公司 , 2024: 542-551.
[9] 邓筱莹 , 赫磊 . 增强城市安全韧性的基础设施数字化转型研究 [J]. 全球城市研究 (中英文), 2024, 5(1): 17-33, 151.
[10] 张洁 . 基于信息技术的城镇燃气安全管理创新研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量 , 2024, 44(4): 69-71.
[11] 张浩 . 智慧城市背景下城市燃气存在问题及发展方向 [J]. 煤气与热力 , 2022, 42(9): 41-43.
[12] 刘继 , 李磊 . 大数据背景下网络舆情智能预警机制分析 [J]. 情报杂志 , 2019, 38(12): 92-97, 183.
[13] 冯季 , 房招 , 马传新 . 城市燃气管网监测预警技术研究 [J]. 城市燃气 , 2021(S1): 146-149.
[14] 孟伟 , 王晨 , 宋家才 . 基于 AI 的燃气管道监控系统应用研究 [C]// 中国土木工程学会燃气分会 . 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（中册）. 深圳市燃气集团股份有限公司 , 2019: 460-466.
[15] 王亮 . 基于集成化视频监测的燃气计量设施异常预警技术研究 [J]. 城市燃气 , 2023(4):18-23.