

燃气泄漏事故风险评估与国内防控策略创新探索

王文静

宝鸡中燃城市燃气发展有限公司，陕西宝鸡，721000；

摘要：燃气泄漏事故风险防控是本论文聚焦的内容，突破传统思路深入分析国内燃气安全管理现状并重新梳理风险评估逻辑，从构建基于物联网的动态监测体系到创新多部门协同的法规监管、智能化检测技术应用与智慧化应急响应机制进行全面探讨燃气安全管理新方向，目的是为我国燃气行业提升安全水平提供创新思路与实践参考以降低燃气泄漏事故风险保障社会安全稳定。

关键词：燃气泄漏；风险评估；国内策略

DOI：10.69979/3029-2727.25.10.029

引言

近年来我国燃气行业蓬勃发展，到 2023 年全国城市燃气用气人口超 6 亿、天然气表观消费量达 3663 亿立方米，液化石油气、人工煤气等燃气类型在能源供应体系里也占重要位置，但燃气使用范围不断扩大的燃气泄漏事故频发，人民生命财产安全与社会稳定受到严重威胁，国家应急管理部门统计显示过去五年全国燃气泄漏相关事故累计发生 12000 起、1800 人死亡、直接经济损失 120 亿元。

在复杂多变的燃气安全问题面前，传统风险评估与防控策略的局限性逐渐显露出来，有些城市用常规风险评估方法，却仍防不住第三方施工破坏燃气管道、老旧小区燃气设施老化引发的泄漏事故，某市 2022 年有 80 起燃气泄漏事故由第三方施工挖断燃气管道导致，其中 15 起爆炸或者起火，而老旧小区管道使用超 20 年，腐蚀、接口松动等问题严重，是燃气泄漏高发地，该市老旧小区燃气泄漏事故占全年事故总数的 35%，因此急需探索适合我国国情的燃气泄漏风险评估新思路、防控新策略以提高燃气安全管理水平。

1 燃气泄漏事故风险评估新思路

1.1 基于物联网的动态风险监测

传统风险评估大多依靠定期检查和静态数据分析，实时捕捉风险变化对其而言是难事。新的风险评估思路把物联网技术引入进来构建动态风险监测体系，将智能传感器当作这个体系的感知终端，在燃气管道关键节点如弯头、阀门连接处、穿越河流或者铁路等特殊地段以及用户终端像燃气表、燃气灶接口等部位部署不同类型

的传感器。以压力传感器为例，其采用高精度 MEMS（微机电系统）技术，能精确感知 0.01MPa 的管道内压力波动，而气体浓度传感器使用半导体气敏材料，在燃气浓度达到爆炸下限的 5% 时就能快速响应。

5G 网络或者像 NB-IoT 这样的低功耗广域网将这些传感器传输到云端管理平台，拿深圳某个试点区域来说，其覆盖 1500 公里的燃气管道和 120 万户居民并部署了 8000 个智能传感器节点。在实际应用中，燃气管道压力异常波动监测从以前人工巡检需花费数天变为现在的实时监测，管理平台依靠大数据分析技术深度挖掘采集到的数据，不但能快速识别泄漏风险，还能建立时间序列预测模型，对未来 72 小时甚至一周的风险趋势进行预测，某段管道压力一直下降且气体浓度有上升趋势时，系统就能提前预警，相关人员接到通知后前去排查，从而实现从被动到主动防控。

1.2 多源数据融合的综合评估模型

要建立多源数据融合的综合评估模型就不能被单一数据或方法局限住，这一模型会整合多维度信息，如智能传感器采集的实时数据、涵盖事故发生时间地点原因后果等详细信息的历史事故数据、可用来分析燃气设施周边人口密度建筑物类型交通状况等从而评估泄漏事故影响范围的地理信息数据（GIS）以及对燃气管道腐蚀气体扩散有重要影响的温度湿度风速风向等气象数据，通过对历史事故数据聚类分析能总结出不同区域不间断的事故高发模式。

拿南方地区来说，分析后可知高温多雨时土壤湿度增加会使燃气管道的电化学腐蚀加快，湿度每涨 10% 管道腐蚀速率大概提高 8%，用随机森林、支持向量机等机

机器学习算法分析各数据间的关联关系并建模,与传统评估方法相比该模型评估的准确率能提高大概 30%,从而为制定精准的防控措施提供很强的支持,按模型评估结果在高风险区域提前安排管道防腐维护以及在特定气象条件下增加燃气设施巡检的频率。

2 国内防控策略的创新实践分析

2.1 法规体系的协同更新与精准监管

我国燃气安全法规体系不断完善,已形成以《城镇燃气管理条例》为核心、各地方性法规和行业标准作补充的法规框架,法规更新时住建、应急管理、市场监管等多部门协同,对于新兴燃气应用场景如燃气分布式能源、农村“煤改气”等能及时制定相应法规标准,农村“煤改气”工程,住建部会同有关部门发布《农村管道天然气工程技术导则》,提出农村燃气管道设计、施工、验收等环节的明确要求,规范工程建设质量。

部分地区在监管方面建立了燃气安全智慧监管平台,以北京市为例,该平台整合了全市 50 家燃气企业的设施维护记录、300 万户用户安检数据、燃气价格波动等信息,靠着大数据分析和人工智能技术能全面评估燃气企业运营情况并精准定位违规企业和潜在风险点,还拿异常检测算法校验企业上报维护数据的真实性,一旦发现数据异常或者虚报、瞒报情况就马上预警并启动调查程序,平台运行后违规企业整改率提高了大概 40%,监管效率和效果均有效提升了。

2.2 检测技术的智能化与协同应用

国内燃气泄漏检测技术不断创新,多种技术协同应用的格局得以形成,智能传感器技术能实时监测微小泄漏,灵敏度达 ppm(百万分之一)级别,可及时发现管道接口微量泄漏,红外成像技术借助燃气泄漏时与周围环境的温度差,用红外摄像机扫描燃气设施生成红外热图像,夜间或复杂环境下能快速排查大面积区域,检测效率为传统人工巡检的 10 倍,激光检测技术依据激光与燃气分子相互作用原理,精准定位远距离燃气泄漏,检测距离达 500 米,长输管道、大型储罐区等场景特别适用。

上海某城市燃气管道巡检项目将智能传感器实时监测、红外成像定期巡检、激光检测重点排查相结合,多种技术协同使泄漏检测效率提升 50%且检测准确率达 95%,部分检测设备还有自诊断与远程升级功能,智能

传感器内置故障诊断模块,检测到自身性能下降或者数据异常就自动上报故障信息,并且设备固件能通过无线通信技术远程升级,让设备一直处在最佳工作状态以减少设备故障引发检测失误的风险。

2.3 应急响应机制的智慧化升级

智慧化元素正逐渐融入我国的燃气泄漏应急响应机制,构建起应急指挥智能决策系统,这个系统整合多源信息,如事故现场的实时数据(燃气浓度、风速风向、人员分布之类的)、周边资源信息(消防站点、医院、应急物资储备点的位置等)、历史案例库等,并借助强化学习、知识图谱等人工智能算法,快速生成最优应急处置方案。

成都有一次模拟燃气储罐泄漏事故演练,系统接到报警信息后 1 分钟就生成详细方案,方案内容包括根据实时人员分布和建筑物布局规划安全疏散路径得来的人员疏散路线、确定所需消防车、燃气抢修车、堵漏设备等数量和调度方案的救援设备调配以及计算合理通风时间、范围和燃气稀释方案的燃气浓度控制措施,跟传统人工决策比,它的响应时间缩短 70%,用虚拟现实(VR)技术对救援人员进行沉浸式培训,模拟地下管道泄漏、高层住宅燃气泄漏等不同类型的燃气泄漏事故场景,让救援人员在虚拟环境熟悉应急处置流程,提高复杂事故场景下的应急处置能力。

3 案例对比分析

3.1 传统模式与创新模式案例对比

国内城市 A 未采用创新风险评估与防控策略,深圳区域 B 采用了新策略,二者在燃气安全管理成效上反差鲜明,城市 A 一直依靠传统定期巡检和简单风险指数评估方法,巡检一季度一次且评估指数仅包含管道年限、用户数量等基础指标,近三年城市 A 燃气泄漏事故发生 15 起、3 人死亡、直接经济损失约 500 万元,其中第三方施工破坏引发的事故占 40%,2022 年市政道路施工时施工方未提前与燃气部门对接盲目开挖致燃气中压管道破裂、局部区域燃气浓度超标,老旧管道老化引发的事故占 30%,一些上世纪 90 年代建的铸铁管道长期受土壤腐蚀接口老泄漏,用户操作不当引发的事故占 30%,多为燃气胶管超期使用、未及时关阀门等问题。

深圳区域 B 就不一样了,物联网动态监测和多源数据融合评估被运用起来从而构建出全方位的燃气安全

防控体系。1500 公里的燃气管道、120 万户居民用户端部署了 8000 个智能传感器,实现压力、浓度等参数的实时监测并整合气象、地理等多维度数据,用机器学习算法精准评估风险。同一时期,区域 B 仅发生 2 起轻微泄漏事故,无人员伤亡和重大财产损失,借助智能传感器实时监测成功预警并避免 12 起潜在泄漏事故,通过分析某穿越河道管道压力异常波动和浓度上升的关联性提前发现微小破损,利用多源数据融合评估模型提前识别 30 处高风险管道,及时安排土壤湿度大、周边施工频繁区域的管道防腐加固和加密巡检。这么一对比,创新思路和国内防控策略在燃气安全管理中的显著优势就凸显出来。

3.2 经验启示

案例对比表明,传统桎梏是燃气安全管理急需突破的,以往靠人工巡检、静态评估的模式面对燃气网络复杂、用户多元的现状时很不适应,引入新技术、新理念就成了破局的关键。风险评估体系要是动态、智能的,借助物联网传感器和大数据分析就能实时监测燃气管道压力、气体浓度等参数,提前预判泄漏风险从而改变被动局面,法规监管与应急响应机制得是多部门协同的,住建、应急管理、消防等部门信息共享、联动起来,事故发生时资源调配就能迅速且整体应对效率可提升,检测技术要创新、协同应用,把智能传感、红外成像、激光检测等技术相结合,泄漏检测的精准度和效率就能大幅提高。数据作为新型生产要素对燃气安全管理意义非凡,多源数据像历史事故、实时监测、地理环境等整合起来,用机器学习算法深度挖掘数据价值,数据就能转化为科学决策依据,推动燃气安全管理从经验判断依赖转变为数据驱动的精细化管理,进而使行业安全水平全面提升。

4 结论与展望

本论文摒弃传统燃气泄漏事故风险评估的单一模

式,另辟蹊径地将物联网、大数据、人工智能等前沿技术创新性引入其中,构建动态化、智能化的风险评估体系,通过实时采集并深度分析燃气管道全生命周期数据来实现泄漏风险的精准预判,在深入剖析国内防控策略创新实践时着重探讨多部门协同的法规监管机制打破信息壁垒以实现高效治理、智能化检测技术融合应用大幅提升泄漏检测灵敏度与效率、智慧化应急响应机制借助先进算法在事故瞬间生成最优处置方案等内容,这些创新实践提供了更具前瞻性的燃气安全管理解决方案,我国燃气行业只有持续深化技术创新,加速 5G、区块链等技术与行业深度融合,不断优化管理模式并完善安全监管体系,才能使燃气安全管理朝着智能化、精准化方向稳步迈进,筑牢行业高质量发展的安全基石。

人工智能、区块链等技术往后进一步发展时,燃气安全管理有望达成更高效、更安全的目标,用区块链技术对燃气安全数据做分布式存储与共享可提高数据的可信度和安全性,将人工智能里的图像识别、自然语言处理技术相结合就能实现燃气设施巡检报告自动化生成与分析,持续创新和实践会给燃气行业可持续发展打下坚实基础且切实保障人民生命财产安全和社会稳定。

参考文献

- [1] 曹中恺,董飞,宋威.燃气管道泄漏风险控制系统[J].煤与热力,2011,31(9):3. DOI:10.3969/j.issn.1000-4416.2011.09.020.
- [2] 兀亚伟,端木维可,侯龙飞.基于事件链的燃气管线泄漏事故风险分析[C]//2021 第五届燃气安全交流研讨会论文集(上册).2023.
- [3] 马洁.城市燃气管道泄漏爆炸事故演化与风险控制方法研究[D].西安建筑科技大学,2024.
- [4] 罗俊杰,曹荀.城市燃气阀门井泄漏风险评价及分类管理研究[J].城市燃气,2023(12):37-42. DOI:10.3969/j.issn.1671-5152.2023.12.008.