

基于燃气管道泄漏检测技术的化工安全生产研究

李 帅 (西安交通燃气有限责任公司, 陕西 西安 710000)

摘要: 作为化工行业的主要能源及原料,燃气管线输送系统是整个化工工艺生产环节中的重要组成部分,保障燃气输送系统的安全可靠运行关系到整个工业生产的安全生产。燃气管道泄漏可引发爆燃事故、中毒窒息事故甚至火灾事故,造成大量人员伤亡及财产损失。本文就对化工行业中的燃气管道泄漏监测技术进行研究,在文章中对当前主要的检测技术以及其工作原理、应用优势、局限性进行了详细分析,并结合化工生产场景下的具体情况提出技术选用原则及相关优化方案,旨在为化工领域内燃气管道安全管理提供参考。为预防泄漏事故发生提供了理论依据和技术支持。

关键词: 燃气管道; 泄漏检测技术; 化工安全生产; 风险防控

中图分类号: X9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 007-0157-03

Research on Chemical Safety Production Based on Gas Pipeline Leak Detection Technology

Li Shuai (Xi'an Transportation Gas Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710000, China)

Abstract: As the core energy source and raw material in the chemical industry, the safety and stability of the pipeline transportation system for gas directly determine the overall safety of chemical production. Gas pipeline leaks are prone to causing major safety accidents such as explosions, poisoning, and fires, resulting in casualties and huge economic losses. This paper focuses on the research of gas pipeline leak detection technology in the chemical industry, systematically reviews the current mainstream types of detection technology, analyzes the working principles, application advantages, and limitations of various technologies, discusses technology selection strategies in combination with the complex scenarios of chemical production, and proposes suggestions for optimizing the detection system. The aim is to provide theoretical reference and practical basis for improving the safety management level of gas pipelines in the chemical industry and preventing leakage accidents.

Keywords: gas pipeline; leakage detection technology; chemical safety production; risk prevention and control

化工行业是国民经济支柱产业,其生产过程具有高温、高压、易燃易爆、有毒有害等显著特点,安全生产始终是行业发展的底线要求。燃气在化工生产中被广泛用作原料、燃料,其管道运输系统是化工企业的“生命线”。近年来,随着化工产业规模的不断扩大,燃气管道铺设里程持续增加,管道老化、腐蚀、第三方破坏等问题日益凸显,泄漏事故发生率呈上升趋势。据相关统计数据显示,我国每年因燃气管道泄漏引发的安全事故超千起,不仅造成了巨额的经济损失,还对生态环境和公众安全构成了严重威胁。

1 化工行业燃气管道泄漏特点及危害

1.1 泄漏特点

一是泄漏诱因复杂,除管道老化、腐蚀、接口松动等常见因素外,化工生产中的设备振动、介质冲刷、施工破坏、高温高压环境影响等均会导致管道破损泄漏,且泄漏点多隐蔽在设备密集区域,不易发现。二是泄漏扩散速度快,化工燃气管道输送压力远高于民用管道,泄漏后燃气在高压作用下快速喷射,若处于密闭空间或通风不良区域,短时间内即可达到爆炸极限。三是泄漏介质成分复杂,化工燃气多为混合气体,

部分含有硫化氢、一氧化碳等有毒成分,泄漏后不仅存在爆炸风险,还会引发人员中毒事故。四是泄漏影响范围广,化工厂区内管线相互连通,单一管道泄漏若未及时控制,易蔓延至其他管线或生产装置,引发系统性安全事故^[1]。

1.2 泄漏危害

首先是人员安全危害,泄漏的可燃燃气与空气混合达到爆炸极限后,遇火源会发生剧烈爆炸,造成人员伤亡;有毒燃气泄漏则会导致人员中毒,严重时危及生命。其次是财产损失危害,爆炸、火灾事故会损毁生产装置、厂房设施及管道管网,导致生产中断,造成巨额经济损失,部分企业因泄漏事故需停产整改数月,间接损失难以估量。最后是环境危害,燃气泄漏会污染空气、土壤及水体。

1.3 泄漏的成因

化工企业燃气管道泄漏的成因复杂多样,主要可分为以下四类:

①管道自身缺陷:部分管道在生产制造过程中存在壁厚不均、焊缝质量不达标等问题,投入使用后易发生泄漏;此外,管道长期运行会出现老化、腐蚀现象,

金属管道在潮湿、腐蚀性介质的作用下，管壁会逐渐变薄，最终形成泄漏点。

②第三方破坏：在化工园区周边，施工单位进行挖掘、钻探等作业时，若未提前探明地下管道位置，极易造成管道破裂；车辆超载行驶也会对地面管道造成碾压损伤，引发泄漏。

③操作不当：化工企业在燃气管道安装、检修过程中，若未严格按照操作规程执行，如阀门关闭不严、法兰连接不紧密等，会导致管道接口处泄漏；日常生产中，压力波动过大也可能造成管道破裂。

④自然因素影响：地震、洪水、泥石流等自然灾害会对管道造成冲击、变形，破坏管道的完整性；极端温度变化会导致管道热胀冷缩，引发焊缝开裂或接口松动。

2 主流燃气管道泄漏检测技术及工作原理

2.1 人工巡检技术

人工巡检技术是最传统的泄漏检测方式，主要依靠巡检人员通过视觉观察、嗅觉识别、听觉判断及便携式检测仪器（如燃气检测仪）对管道进行定期检查。该技术原理简单，通过巡检人员的感官与仪器辅助，识别管道表面破损、接口泄漏、燃气异味等异常情况，适用于管线较短、布局简单的区域。其优点是成本较低、操作灵活，可及时发现明显泄漏点；缺点是检测效率低、劳动强度大，受巡检人员责任心、专业水平及环境因素影响较大，难以发现隐蔽性泄漏点，且无法实现实时检测^[2]。

2.2 压力波检测技术

压力波检测技术基于燃气管道内压力变化规律实现泄漏检测，通过安装在管道上的压力传感器捕捉压力波信号，结合信号分析算法判断泄漏位置与泄漏量。该技术适用于长距离、大口径燃气管道，优点是检测范围广、响应速度较快，可实现泄漏位置精准定位；缺点是受管道内燃气流速、压力波动及外界干扰影响较大，在多分支、短距离管道中检测精度较低，且对微小泄漏的识别能力不足。

2.3 声波检测技术

声波检测技术利用燃气泄漏时产生的特征声波实现检测，通过声波传感器采集该信号，经滤波、放大、分析后判断是否存在泄漏。该技术适用于中低压管道、阀门、法兰等易泄漏部位，优点是检测精度较高、抗干扰能力强，可识别微小泄漏，且不受燃气成分影响；缺点是声波信号易被周围环境噪声干扰，检测距离有限，对于埋地管道或密闭空间内的管道检测效果不佳^[3]。

2.4 光纤传感检测技术

光纤传感检测技术是近年来发展迅速的新型泄漏

检测技术，基于光的散射、折射原理实现检测，主要分为分布式光纤传感与点式光纤传感两种类型。分布式光纤传感技术通过将光纤铺设在管道表面或内部，利用激光脉冲在光纤中传输时产生的瑞利散射、布里渊散射信号，实时监测管道沿线的温度、应变变化，当管道发生泄漏时，燃气泄漏会导致局部温度、应变异常，进而引发散射信号变化，通过信号分析实现泄漏检测与定位；点式光纤传感技术则通过在管道关键部位安装光纤传感器，精准监测特定位置的泄漏情况。该技术适用于高温、高压、强腐蚀、强电磁干扰的化工环境，优点是检测精度高、响应速度快、抗干扰能力强，可实现长距离、实时、全方位检测；缺点是前期投资成本较高，光纤铺设与维护难度较大，对施工工艺要求严格。

2.5 红外成像检测技术

红外成像检测技术基于燃气的红外辐射特性实现泄漏检测，当燃气发生泄漏时，泄漏区域会形成特定的红外辐射场，通过红外热像仪捕捉该辐射场图像，经图像处理与分析后，识别泄漏位置与泄漏范围。该技术适用于露天铺设、大口径管道的泄漏检测，优点是检测效率高、可实现非接触式检测，能快速排查大面积管线的泄漏情况；缺点是受环境温度、湿度、光照条件影响较大，在高温环境、密闭空间或燃气泄漏量较小时检测效果不佳，且无法实现定量检测^[4]。

2.6 气体传感器阵列检测技术

气体传感器阵列检测技术通过多个不同类型的气体传感器组成阵列，对泄漏燃气的成分、浓度进行多维度检测，其原理是不同燃气成分会与传感器阵列中的特定传感器发生反应，产生相应的电信号，通过信号融合与模式识别算法，判断燃气是否泄漏、泄漏成分及泄漏量。此法主要用于检测密闭空间或是关键部位例如阀、法兰的泄漏情况，并且具有定点定性检测、同时检测多个组分的优点，能有效地判断有毒气体泄漏的情况；缺点是易受干扰。同时因使用传感器寿命相对较短，需要定期进行校准更换；对远程管道监测功能较弱^[5]。

3 不同泄漏检测技术的化工场景选型策略

针对化工企业燃气管道复杂、介质多样及危险性高的特点，在泄漏检测方法选择上要考虑以下几点：管道类型、管道布置形式、管道工作压力等方面的具体情况。选择原则为：

①针对深埋长线型管线优先采用光缆检测方式，该方法的优点是可以实现分散式监测，能够准确找到泄漏位置，而且抗电磁干扰能力强，适合用于复杂地下环境；还可以配合气体传感器对管道闸门及检修孔

等关键部位进行定点监测,进一步提高了检出率及准确性。②建议使用红外热成像检漏技术对2架空管开展检测工作,该方法为非接触式检测方式,不干扰管道运行,并可快速扫描大面积管线并发现泄漏点;再辅以人工巡检的方法,实现定期复查的效果。③高压管道:选择超声波检测技术,该技术检测精度高,可准确判断高压管道的微小泄漏,适用于对检测精度要求较高的场景。④在4号管的接口及阀门处等易漏点安装气体传感器,在气体泄漏早期就能发现,并报警提醒相关人员进行处置;⑤小型化工企业:受成本限制,可采用人工巡检法+压力检测法的组合方式,在降低成本的同时,实现对管道的基本安全监测。

4 针对上述问题对化工企业燃气管道泄漏监测系统提出几点改进措施

一种检测手段并不能满足化工企业对于燃气管道安全监测的要求,因此,构建多技术融合、智能化的泄漏监测管理体系是提升管道安全管理的关键。

4.1 构建多技术融合的检测网络

化工企业应该结合自身管网特点,统筹采用多种检测方法构建全方位多层次监测体系,在埋地干线内敷设光纤检漏仪进行分布式监控;在重要节点安装压力表、温度计等仪表。便于定点实时监测;同时会采用红外热成像仪、超声波探漏仪定期进行全场巡检。这样就可以利用多种技术的数据综合起来,有效弥补单种技术不足之处,提高泄漏点定位的速度及准确性。

4.2 引入物联网与人工智能技术

基于物联网技术的泄漏监测可以实现实时采集与共享数据信息,在计量仪器上安装物联网模块,可将各传感器及光纤测控仪中的信息传输至云平台,管理者可在任何时间点通过电脑或手机实时观察管道运行状态。此外,我们也引入了人工智能技术,利用机器学习算法分析采集到的数据信息,实现泄露智能预警与识别功能,可以根据历史泄露经验自动提取泄露特征并识别真实与虚假泄露事件的发生,降低误报率。

4.3 完善检测管理制度

完善的管理制度是确保检测体系有效运行的基础条件之一,化工企业应制定完善有关天然气输送管道泄漏检测的相关制度规定,并明确维修工职责,建立定期的检测计划;加强维修工培训力度,提高其技术能力和应急处理能力;制定事故发生应急措施方案,并定期进行演练,以便发生泄漏事故后能够及时有效处理,降低事故损失程度。

4.4 加强管道全生命周期管理

对于燃气管道而言,安全防护不仅仅是采用泄漏检测技术的方法,还应该对燃气管道整个生命周期进

行管理,在规划、制造、安装、使用、检测及报废的每一个环节都要严格把控质量。在规划阶段就要选用耐腐蚀性强、强度大的材料制作管道;安装过程中,应按照规定流程操作来确保施工质量;运行过程中,应定期检测腐蚀程度及压力状态,并及时发现异常现象;报废阶段,应及时更换陈旧零部件,避免超负荷运转。

5 燃气管道泄漏监测的发展方向

随着科学技术的发展,燃气管道泄漏检测将朝着智能化、精确化以及综合化的方向发展。这些技术将在未来成为研究及应用热点:①分布式光纤传感技术的升级:对光纤进行升级改造后实现可同时监测管道温度及应变值,并提高检测精度,在复杂环境下仍能进行管道监测工作。②使用无人机搭载红外热像仪、气体传感器等装置,实现空中管线及山地管线巡检工作,提高检测工作效率降低人为巡检风险。③建立大数据平台,将管道检测数据、运行数据以及环境数据等进行融合后,人工智能+大数据能够准确地预测并做出判断处理泄漏事故。④微型化传感器技术:研发体积小、功耗低、灵敏度高的微型传感器,可实现对管道微小泄漏点的精准检测,且安装方便,适用于各类复杂场景。

6 结论

综上所述,化工行业燃气管道泄漏具有诱因复杂、扩散速度快、危害范围广等特点,泄漏检测技术是防范安全事故的核心手段;不同主流泄漏检测技术在检测精度、响应时间、环境适应性等方面存在显著差异,化工企业应根据自身管道特点,选择合适的检测技术,构建多技术融合的检测体系;同时,引入人工智能、大数据等技术,完善管理制度,加强管道全生命周期管理,提升管道安全管理水平。未来,随着检测技术的不断创新与发展,化工行业燃气管道泄漏事故将得到有效控制,为化工安全生产提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 周廷鹤. 城镇燃气管道泄漏检测实践 [J]. 煤气与热力, 2025, 45(1): 30-34.
- [2] 严荣松, 赵自军, 高文学, 等. 城镇燃气管道泄漏检测技术现状与展望 [J]. 煤气与热力, 2021, 41(10): 27-29, 37.
- [3] 李萌. 燃气管道泄漏检测技术的现状及发展 [J]. 化工管理, 2021(14): 132-133.
- [4] 朱砂. 城市燃气管道泄漏检测技术的发展及应用 [J]. 化工设计通讯, 2021, 47(7): 77-78.
- [5] 刘林. 城镇燃气管道泄漏检测技术的现状与发展趋势 [J]. 工程技术研究, 2024, 6(13): 99-101.