

天然气长输管道生产运行中泄漏事故的原因分析与防范措施

王立献（国家管网集团西气东输分公司，上海 200011）

杨 康 吴 飞（江西省天然气投资有限公司，江西 南昌 330096）

摘 要：管道材质问题、施工存在的缺陷、腐蚀、磨损等因素引发管道泄漏事故，且管道老化和外部环境的作用还会提升事故发生的风险程度。本文运用全生命周期管理、智能化监控、严格施工规范与应急预案等综合手段，利用提升管道材质的选取、强化管道的定期检测与修护、实施有效的安全管理模式和完善应急响应步骤，可有效阻止管道泄漏事故，减小事故的发作次数，保证管道系统实现安全高效运行。

关键词：天然气管道；泄漏事故；安全管理；应急预案；生命周期管理

中图分类号：TE832 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-5167（2025）031-0144-03

Cause analysis and preventive measures for leakage accidents in the production and operation of natural gas long-distance pipelines

Wang Lixian (West East Gas Pipeline Branch of National Pipeline Network Group, Shanghai 200011, China)

Yang Kang, Wu Fei(Jiangxi Natural Gas Investment Co., Ltd., Nanchang Jiangxi 330096, China)

Abstract: Pipeline material issues, construction defects, corrosion, wear and other factors can cause pipeline leakage accidents, and pipeline aging and external environmental factors can also increase the risk of accidents. This article uses comprehensive methods such as full lifecycle management, intelligent monitoring, strict construction standards, and emergency plans. By improving the selection of pipeline materials, strengthening regular inspection and repair of pipelines, implementing effective safety management models, and improving emergency response steps, pipeline leakage accidents can be effectively prevented, the frequency of accidents can be reduced, and the pipeline system can achieve safe and efficient operation.

Keywords: natural gas pipeline; Leakage accidents; Safety management; Emergency plan; lifecycle management

管道泄漏事故不断涌现，致使出现严重的环境污染以及经济损失。分析怎样借助有效的管理举措降低管道泄漏情况，保障管道安全地运行重要性凸显。天然气管道泄漏的原因、检测手段及预防办法，进而给出管道全生命周期管理、数据化监测和智能化管控等技术途径，依靠综合防范策略降低泄漏事故频次，增进天然气管道系统的安全性及运行效率。

1 泄漏事故的主要原因

1.1 管道材质问题

管道所用材料长时间与天然气及其他介质接触，有概率出现化学反应或造成物理伤害，引发管道结构出现薄弱地段或裂缝^[1]。对这些材料的选择，决定了管道应对外部环境改变时的抗压、抗腐蚀、抗磨损等表现。若管道材料性能未能符合应有的标准，出现质量缺陷时，管道壁的强度与密封性或许遭受威胁，最终导致泄漏事故显现。

1.2 管道施工质量缺陷

处于施工作业时段，若管道接头、焊接工艺及安装角度等操作存在不合规情况，将直接让管道的密封

性与稳定性受扰。若焊接点未达到合格水平，也或在安装的时候未严格按照施工标准实施，管道在承受压力、热胀冷缩等外力作用时，极易出现泄漏点。施工期间未重视对管道及周边环境的监测与检测，还易造成部分带有隐蔽性的安全隐患未被及时查出，最终变为潜在的泄漏源头。

1.3 管道老化与腐蚀

腐蚀被分为内腐蚀与外腐蚀，内腐蚀主要是输送的天然气或者水分跟管道材料起化学反应引发的；外腐蚀跟土壤、水分、氧气等环境因素紧密相连，管道外部腐蚀往往因保护措施短缺或施工防腐工艺有问题而加剧。随着腐蚀慢慢延展，管道壁厚逐步变窄，直至造就裂缝及孔洞，若腐蚀问题不能及时被察觉，未采取有效修复行动，直接导致管道出现泄漏现象，也许会对周边环境造成极大的负面影响。

1.4 外部因素与人为破坏

管道贯穿的地理区域也许存在不一样的自然灾害风险，好比地震、岩崩之类的灾害。外部环境的不稳定定会提升管道承受的力值，引发管道结构变形乃至破

损。外部人为破坏也是天然气管道泄漏事故的关键诱因，鉴于管道一般埋于地下，外部施工活动未能彻底避开对管道的干扰及损伤，又或者是非法破坏举动，诸如盗窃、蓄意损毁等，也会引起泄漏问题。

1.5 操作不当与维护不到位

天然气管道运行一般会涉及压力、温度等多方面的调控。若操作人员未严格依照操作规范行事，说不定会让系统运行参数偏离正常范畴，由此加大管道出现泄漏的风险。定期对管道进行维护和检查极为关键，若维护工作推进不到位，管道处于运行状态时也许藏有潜在的安全隐患，诸如管道表面有损伤、焊接点存在老化等情况，未能及时检测及修复。

2 安全防范措施

2.1 强化管道材质的选型与标准

应按照管道所承受的压力、介质属性、环境条件以及使用寿命等方面，择取合乎标准的高性能管材^[2]。对呈现强腐蚀性的天然气管道，需挑选具有高耐腐蚀性的合金材料，或者采用涂层防护途径。就外部环境而言，尤其是地下土壤体现出的腐蚀性，挑选拥有防腐能力的管材及外部涂层，能大幅增强管道抗腐蚀本领。工程施工实施过程里，应对所有管材实施严格的质量检测，保证材质是合格的，尤其在连接处以及焊接接头的检查要严格得多，防止因材质问题让焊接接头处出现泄漏现象。

2.2 严格管道施工与质量控制

应保障施工人员按照标准化作业流程开展操作，严格禁止一切违规操作以及随意改动设计方案。尤其是处于焊接进程里，全部的接头必须接受严密的无损检测，涉及射线检测、超声波检测等手段，保证焊接接头密封性及强度要求。施工期间要借助多道工序严格筛查，保证管道表面无裂纹、气孔等类别的缺陷。就管道埋设的流程而言，施工前要开展一番详细的环境调查，包含土壤的成分、湿度以及温度等要素，这些都在很大程度上影响着管道的长期稳定性。

2.3 加强管道定期检修与监测

定期检修需覆盖管道整个区段，涉及焊接点、管接头、阀门以及管线周边的防腐保护设施。定期检测手段有目视检查、超声波探伤、磁粉检测这类，尤其在管道老化显著、腐蚀严重的那些区域，应强化检测频率。管道在线监测系统同样极为关键，采用高级的监测技术，采用光纤传感器、气体传感器等装备，能实时把控管道的运行状态。涉及压力、温度以及气体流量等参数，若管道系统出现异常情形，监测系统理应第一时间发出预警信号，指出泄漏产生的位置及程度。

2.4 完善外部安全防护机制

应对管道周边的外部环境进行周密评估，尤其在人口密集、施工频繁实施的区域，应提升管道防护设计的水准。就外部防护设施的配置方面，能够采用防护栏、警示标志及监控系统等途径，进而保障施工人员及周围居民的安全。就管道穿越的特殊区域而言，诸如山地、河流之类，应强化针对地质灾害的额外防护举措，诸如实施土壤稳定性的分析与滑坡监测。在施工高度聚集的区域，需强化与地方政府及相关建设单位的沟通协调，保障所有施工活动与管道安全保护区相远离，规避施工引起的管道损坏与泄漏状况。

2.5 提升操作人员的安全意识与技能

对操作人员的培训当从日常操作基础常识起头，逐步提高其应对管道运行潜在问题的能力以及操作技能水平。采用模拟训练、应急演练等办法，增强人员对异常状况的灵敏程度与应急处理能力。除了把操作规范和安全流程进行强调，应着重加强对最新技术和设备使用的培训力度，确保操作人员可熟练运用监控系统、检测仪器的操作手段。应对管道出现泄漏时的应急处理，需定期开展应急预案的演练，确保操作人员在紧急状况出现时可迅速做出回应，抑制泄漏事故的进一步延伸。

3 应急预案与处置措施

3.1 紧急泄漏检测与定位技术

应用先进监测技术可切实提高泄漏检测的精准度与时效，在开展泄漏检测期间，声学、光纤传感与气体传感器技术往往被广泛采用，声学技术借助捕捉管道内外声波的变化，可迅速找出泄漏的地点^[3]。采用安装声学传感器并跟中央处理系统开展联动，实时检测泄漏信号可达成。一旦检测出异常的波动情形，系统立即分析异常波动的频率、强度及方向，以此判定泄漏出现的位置。光纤技术采用将光纤沿管道布设方式，采用光纤的光学时域反射与拉曼散射原理，查看管道状态的变动。尤其是长距离管道方面，光纤技术可实现高精度的检测与定位，鉴别管道的微小形变或泄漏位点，气体传感器技术借助对气体成分的检测，精准掌握天然气泄漏的化学特性。

3.2 快速响应与事故处置流程

一旦依靠监测系统或现场人员发现泄漏迹象，系统须马上发出预警通告，即刻开启应急响应预案。应急响应团队按照泄漏的规模及影响范围，即刻评判事故的级别，并厘定处置的优先顺序。事故处置流程里第一步需切断泄漏源，大多利用自动化阀门控制系统实现泄漏管道阀门的迅速关闭，杜绝天然气进一步渗漏。在这一过程里，事故指挥中心应当统筹现场人员

与技术团队,保证各项安全措施落实到位。实施现场的气体浓度检测与环境测评,保证人员的安全得以维护,并依照环境变化判断是否该疏散周边区域的相关人员。采用管控泄漏气体扩散的手段,涵盖采用水雾、化学吸附等途径降低气体的扩散速度,杜绝引发火灾或爆炸的隐患。

3.3 危险源控制与风险隔离

厘定事故现场的危险源头,借助高精度的气体浓度监测设备对周围环境开展实时监控,判别气体泄漏区域的浓度界限。采用设置隔离区、控制区方式,进行风险隔离实施。现场指挥团队须依照预先商定的应急计划,明确安全区域边界,禁止无关人员入内,还要对应对管道泄漏附近的所有设备设施进行应急性的检修与处理。采用配置围挡、通风或吸附装置,可限制泄漏气体扩散的范围,杜绝事故范围进一步延展。采用风速、气压等环境监测装备,可实时剖析泄漏气体的扩散走向,调适应急处置办法,应针对也许引发二次灾害的因素,开展全面检查并落实对应防范手段。

3.4 启动应急预警与协同工作机制

处于天然气管道的监测系统里,应配备先进传感器及实时数据分析平台,以便当管道出现异常波动现象时及时向应急指挥中心反馈,触发预警行动。若系统检测到泄漏已然出现,即刻开启紧急应对程序,告知相关的部门与人员,并按照泄漏的严重程度自动生成预警通告。气体监测系统需跟自动化控制系统实现联动,赶快关闭泄漏阀门,阻隔气体源头,杜绝事故进一步蔓延。

4 管道安全管理的综合改进

4.1 管道全生命周期管理

管理模式涉及管道从设计、建设、运营、维护到最终退役的各个阶段^[4]。设计阶段要求根据管道的实际使用环境、负荷需求以及介质特性,挑选恰当的管材及结构形式,实施系统的强度、稳定性与耐久性剖析,保障管道于生命周期内可应对多种潜在的环境变化及压力波动。在建设开展阶段,严密的施工质量把控手段必不可少,应当对所有管道焊接接头、连接点开展无损检测,保证无任何结构性方面的缺陷。运营阶段应当依据管道工作压力、温度等参数做严格监控,且需定期实施检测与检查。采用像传感器、监控系统这类现代化的技术,实时掌握管道的运行状态,即时找出异常情形,管道进入使用阶段之际,尤其是处在高风险的区域,应提升检查的频次,尤其要对老化、腐蚀程度高的区域开展重点监控与修复工作。

4.2 数据化监控与智能化管理

借助对管道系统开展全面的数据收集与剖析,可

以实现管道运行状态的实时督察,及时揪出潜藏的安全隐忧。就数据采集这一环节而言,采用智能传感器、光纤传感器、气体传感器等仪器,可实时把控管道的压力、温度、气体浓度等关键参数,再把数据传送至中央数据处理平台。系统借助对这些数据的实时剖析,可判别管道是否处于安全作业态势,还借助机器学习与人工智能技术预估潜在风险点。要是管道的压力或温度越过设定阈值,系统能马上发出警报,且依据数据分析结果预测可能产生泄漏的地点,就智能化管理而言,自动化控制系统能依据预设参数对管道的运行状态进行自动调整,防范由人工差错引发的安全问题。

4.3 安全管理体系的优化与提升

优化的首要任务是制订完善的管道安全管理制度,从设计开始,历经施工到运营的每个环节都要严格落实安全规程,且要保证所有操作人员均能依照操作标准行事。安全管理体系的核心是维持信息流通与反馈机制的畅通性,在管道运营的这个阶段,保障定期开展安全检查与全面评估,采用像超声波探伤、射线检测这类先进检测设备,按期对管道结构及状态进行查验,保证潜在的安全隐患归零。风险评估及应急预案同样要纳入安全管理体系,定期开展风险评估及应急演练,保证在事故发生时可迅速作出反应,提升安全管理体系的又一关键措施为强化员工安全培训,保证所有参与人员掌握必要的技术知识与应急处理能力。

5 结语

天然气管道泄漏事故的发生,对社会及环境造成了不可漠视的影响。构建完整的管道安全管理体系意义重大,依靠对管道全生命周期的严格管理、智能化监控技术的实施以及应急响应机制的加强,能明显降低管道泄漏的潜在风险,保证能源安全无虞。伴随技术不断演进和管理体系的升级,天然气管道安全程度有望进一步上扬,事故出现的概率将大幅削减。

参考文献:

- [1] 周圣杰.天然气管道泄漏事故与对策分析[J].当代化工研究,2024,(15):129-131.
- [2] 杜超,胡庆勇.天然气管道泄漏事故的原因分析与防范措施探讨[J].现代职业安全,2023,(12):37-39.
- [3] 蒋俊令,李海霞,杨茗铠.天然气管道泄漏喷射火灾事故研究[J].化学工程与装备,2023,(02):247-248+264.
- [4] 敖卓谦,郑景川.针对大连金州天然气管道火灾爆炸事故的调查分析[J].今日消防,2023,8(01):97-99.

作者简介:

王立献(1982-),男,汉族,河北邢台人,硕士研究生,工程师,研究方向:油气管道工程建设风险管理。