

# 天然气输气管道泄漏事故风险分析

孙 斌 董长锁 宋 维 (国家管网集团北方管道有限公司天津输油气分公司, 天津 301700)

**摘要:** 天然气作为一种清洁能源, 在现代社会的能源结构中占据了重要地位。然而, 随着输气管道网络的日益庞大和复杂, 泄漏事故频发带来的风险不容忽视, 这不仅影响能源供应的安全性, 还可能导致严重的环境和社会问题。针对这一挑战, 本文将分析天然气输气管道泄漏的潜在原因, 评估其对健康、环境和经济的影响, 并提出一系列风险管理策略。通过这些措施, 期望为相关部门提供决策支持, 优化应急响应机制, 进而减少事故发生的频率和影响, 保障人民生活安全和社会稳定。

**关键词:** 天然气; 输气管道; 泄漏事故风险

天然气输气管道系统是天然气产业链中的关键组成部分, 其安全运营对能源供应安全至关重要。输气管道泄漏事故可以由多种因素引起, 包括管道材料老化、施工质量不达标、维护不当、自然灾害以及人为破坏等。一旦发生泄漏, 可能会导致天然气泄漏、火灾或爆炸事故, 严重时对周围环境和人群健康构成威胁。因此, 确保管道的结构完整性和运营安全是预防事故的关键。本文旨在通过全面的风险分析, 探讨如何有效管理和解决这些潜在风险, 确保输气管道的安全与稳定运行。

## 1 天然气输气管道泄漏事故的成因分析

### 1.1 设计与建造缺陷

在天然气输气管道的设计与建造过程中, 若存在设计规范不合理的情况, 将直接影响整个输气系统的安全性及效率。设计规范的不合理表现在多个方面: 首先是安全标准的设定不够科学, 缺乏对特定环境条件的适应性考量, 例如在地质活动频繁或极端气候区域未增加额外的安全系数。此外, 设计过程中对未来运营中可能出现的各种极端情况预测不足, 未能提前规划出有效的应对措施, 如应急排气系统和压力控制机制的缺失, 使得一旦发生异常, 管道系统的安全性大打折扣。

材料选择方面的失误也是导致输气管道泄漏的重要因素。正确的材料选择是确保管道长期安全运行的基石。例如, 选用的管材如果不能抵御所在地区的腐蚀环境, 如高盐分或酸性土壤条件下的腐蚀作用, 将极大缩短管道的使用寿命并增加泄漏的风险。同时, 如果忽视了材料在低温或高温条件下的性能表现, 如材料的脆性增加或强度下降, 也会在温度变化剧烈的区域引起管道破裂或泄漏。施工质量问题则是输气管道泄漏事故中不可忽视的一个环节。施工过程中的疏

忽大意会直接导致管道在未来运营中的安全隐患。例如, 焊接质量不合格是常见的施工质量问题, 不均匀的焊缝、焊接缺陷如气孔和裂纹等, 都会在管道受到外力或内部压力影响时成为泄漏的潜在点。此外, 施工过程中对管道防护措施的忽视, 如未能有效覆盖或保护好暴露的管道部分, 也会增加未来管道受到物理损害的可能性。

### 1.2 运营与维护问题

在天然气输气管道的运营与维护过程中, 经常出现的一大问题是维护不足与检修周期过长。天然气管道系统复杂, 涉及多个环节和部件, 如阀门、测压装置、接头等, 这些部件均需要定期检查和维修以保证其正常功能。然而, 由于维护工作涉及的技术复杂性和成本考量, 加之人力资源的限制, 使得维护周期往往被迫延长, 管道本身及其配套设施的磨损和故障不能得到及时处理。随着时间的推移, 这种疏于维护的状况将可能导致设备功能的退化, 进而引起系统的不稳定甚至事故的发生, 从而对管道的安全运营构成严重威胁。

运营过程中的操作失误也是造成输气管道事故的一个关键因素。操作失误可能包括错误的阀门操作、压力控制失误、对系统警报的忽视或错误反应等。这些错误往往是由于操作人员培训不足、经验不足或是操作规程的不合理造成的。尤其在面对紧急情况时, 缺乏有效的应对措施和决策指导, 操作人员的应急反应可能加剧事故的严重性。另外, 输气管道系统中老化的设备和配件的更换频率低, 也是一个不容忽视的问题。随着设备的老化, 其运行效率和可靠性会逐渐下降, 如果不能按照既定的周期进行有效更换, 老旧设备的故障率会显著提高, 从而增加事故发生的风险。

### 1.3 自然与外部环境的影响

天然气输气管道在运行过程中不可避免地受到自

然与外部环境的影响。地质活动与自然灾害是导致输气管道损害的重要因素之一。地震、山体滑坡、泥石流等地质活动可对管道造成直接的物理损伤，如管道位移、断裂或压扁等，严重威胁管道的结构完整性和运营安全。自然灾害如洪水、飓风等也会对输气管道系统造成破坏，尤其是那些地处低洼或易受灾害影响的区域，管道设施易受到侵蚀或淹没，导致正常运作中断。这些自然与外部的不可预见因素，要求在管道的设计、建造和维护过程中都必须进行周密的风险评估与管理，以降低自然灾害带来的潜在风险。

第三方破坏和活动也对输气管道的安全运行构成了威胁。不法分子的故意破坏、非法挖掘活动以及在管道附近进行的建设工程等，都可能导致管道的意外损伤。这类活动往往因监管不力或信息共享不充分而难以预防，一旦管道被破坏，后果可能极为严重，包括大面积的气体泄漏和环境污染。同时，全球气候变化也对输气管道材料产生了影响。温度和湿度的长期变化可能加速材料的老化过程，减少材料的弹性和承压能力，使管道更易在外界压力或温度波动中受损。如何有效识别和应对这些外部因素，是确保输气管道长期安全稳定运行的重要课题。

## 2 天然气输气管道泄漏事故的风险评估

### 2.1 对人体健康的潜在威胁

天然气输气管道在发生泄漏时，对人体健康构成的直接威胁不容忽视。天然气主要成分为甲烷，虽然其本身无色无味，但在密闭环境中泄漏会迅速积聚，降低空气中的氧含量，从而引起窒息。此外，泄漏的天然气在一定条件下遇火会产生有毒燃烧产物，如一氧化碳，这种无色无味的气体极易被人体吸入，干扰血液中的氧气传递，引发中毒症状，甚至危及生命。因此，天然气的泄漏不仅是一场环境危机，更是对周围居民健康的严重威胁，需严格监控气体浓度，确保泄漏信息能够迅速被检测并通报，以降低对人体健康的直接危害。爆炸与火灾的风险是天然气输气管道泄漏中最具破坏性的因素之一。天然气在一定浓度范围内与空气混合，遇明火或高热源极易引发爆炸，爆炸的冲击波与高温火焰能在瞬间造成大范围的财产损毁和人员伤亡。即便在没有直接爆炸的情况下，持续的天然气泄漏也会形成持久的火灾隐患，一旦引火，其蔓延速度快，难以控制，灾害后果不堪设想。

### 2.2 环境影响

天然气输气管道的泄漏对环境的影响表现在多个方面，其中地面与水源污染是一大关注点。当天然气

管道发生泄漏，未燃烧的天然气会渗透到土壤中，影响土壤的化学性质和生物活性。此类污染不仅改变土壤结构，还可能渗透至地下水，对水质造成长期污染。特别是对含水层的影响，可能导致饮用水源受污，进一步影响人类健康及生活质量。污染的水源难以净化，恢复工作耗时耗力，其环境成本和经济成本均不容小觑。因此，加强管道的完整性监测和泄漏早期预警系统的建设，对于保护地面及水源环境至关重要。

天然气输气管道的泄漏还会导致大气污染和温室气体排放，进一步加剧全球气候变化的问题。甲烷作为天然气的主要成分，是一种高效的温室气体，其温室效应是二氧化碳的多倍。因此，管道泄漏不仅会增加地区性的大气污染，还会对全球气候造成长远影响。同时，天然气泄漏对生物多样性也构成威胁。泄漏的天然气可能导致周边植被死亡，影响动物栖息地，从而扰乱当地生态系统的平衡。

### 2.3 经济与社会影响

天然气输气管道的泄漏事故对经济造成的影响是多方面的，其中经济损失与修复成本是直接且重大的。一方面，事故导致的直接经济损失包括天然气资源的流失、受损设施的直接损坏以及紧急停产带来的损失。另一方面，修复成本也是一个巨大的负担，包括修复受损管道、恢复周边环境以及重新建设受损的基础设施。这些成本往往高昂，特别是在重要的或者人口密集的地区，安全措施与修复工作需要投入大量人力物力，对经营者和相关行业造成长期经济压力。此外，由于事故引起的供应中断可能导致天然气市场价格波动，进而影响整个经济体系，尤其是依赖天然气的行业会受到较大冲击。

社会层面上，天然气输气管道的泄漏事故还可能导致公众的不安与信任损失。安全事故的发生不仅仅是物理损害的问题，更是对公众心理的一种打击，尤其是居住在事故发生地附近的居民，他们的生活安全感将受到严重影响，恐慌与不安情绪可能蔓延。这种情况下，公众对政府监管能力和相关企业的责任感持怀疑态度，信任度下降。随之而来的是法律诉讼与政策调整的可能性增加，事故涉及方面可能面临诸多法律诉讼，这不仅增加了经济负担，还可能引发政策上的严格调整。

## 3 天然气输气管道泄漏事故的风险管理策略

### 3.1 预防措施

在天然气输气管道的风险管理中，采取有效的预防措施是避免泄漏事故的关键。提高设计与建造标准是实现这一目标的首要步骤。精心的设计和严格的建

造标准能够确保管道系统的安全性和可靠性,从源头减少事故的发生。此外,通过使用耐腐蚀、高强度的材料,并结合精确的工程计算和环境适应性分析,可以大幅提升管道系统对各种自然和人为风险的抵御能力。建造过程中,还需严格遵守国际上的安全标准,采用先进的建设技术和高质量的建材,确保每一环节、每一部件都达到最高的安全规范。

强化日常维护和定期检查是预防天然气输气管道泄漏的另一个重要策略。通过制定科学的维护计划和执行定期的管道检查,可以及时发现并修复潜在的风险点。例如,对管道的外观进行常规巡检,对内部进行高压气体测试,以及使用超声波或磁力检测技术来识别微小裂纹和腐蚀情况。这些维护和检查措施需结合管道的使用年限、材料特性及运行环境进行定制,以确保其效果和效率。引入先进的监测技术也是提升管道安全管理的重要方向。例如,采用远程传感技术和实时数据监控系统,可以对管道的运行状态进行全天候不间断地监控,确保一旦发生异常,可以立即发现并采取措施。

### 3.2 应急响应措施

建立快速有效的应急响应体系对于处理天然气输气管道泄漏事故至关重要。应急响应体系的构建需要基于详尽的风险评估和事故可能性分析,以确保在发生泄漏时,能够迅速采取行动,最大程度减少损失。这一体系包括但不限于事故侦测系统、快速报警机制以及高效的事故处理流程。在实际操作中,此系统需与地方政府、环保机构及紧急服务部门等保持密切合作,形成一套多方参与的应急联动机制。一旦检测到泄漏,能够立即启动应急预案,迅速隔离和控制事故区域,同时调配必要的资源进行处置和修复,确保事故影响在最短时间内得到控制。

培训专业的应急处理团队是提高应急响应效率的关键。专业团队需通过系统的培训,掌握最新的天然气事故处理知识和技能,如泄漏检测、有害气体处理、火灾扑救等。通过模拟演练和实际操作训练,使团队成员能在紧急情况下冷静、有效地执行预定计划。同时,公众教育与事故预警系统也是应急响应的重要组成部分。通过普及天然气安全知识,提高公众对天然气泄漏的认识和自救能力,可以在一定程度上减轻事故的社会影响。预警系统的建立,应能够及时向周围居民发送事故警报,确保他们在最短时间内采取安全措施或撤离,从而降低因延误应对时间而可能导致的人员伤亡。

### 3.3 政策与法规支持

政策与法规的支持是天然气输气管道安全管理的基石。国家与地方的政策支持不仅为天然气输气系统的建设与运营提供了指导,还为应对突发事故设定了框架和基准。通过制定具体的行业政策和安全规范,政府能够确保所有操作符合最高的安全标准,从而减少事故发生的概率。此外,这些政策还应包括对新技术的研发和应用的支持,以及在国家层面上协调资源,确保在发生泄漏时能有足够的应急资源进行快速响应。地方政府在执行中扮演着至关重要的角色,负责监督这些政策和法规在各自辖区内的实施情况,并根据地方实际情况进行适当的调整和优化。

同时,安全标准的更新与执行是保证输气管道长期安全运行的必要条件。随着技术进步和运营经验的积累,持续更新安全标准是适应新挑战的关键。这包括对现有安全规范的定期评审和修订,确保它们能够反映最新的安全技术和行业实践。执行力度同样重要,需要通过严格的监管和定期的安全检查来确保各项标准得到实施。对于第三方破坏行为的法律制裁也非常关键,这种行为不仅威胁到输气管道的安全,还可能危及公共安全。

## 4 结束语

本文通过对天然气输气管道泄漏事故的成因、影响及风险管理策略的深入分析,明确了确保输气安全的关键措施。加强设计与维护、提升应急响应能力及完善政策法规,是防止事故发生频率和影响的有效路径。通过这些综合措施,可显著提升管道运营的安全性与稳定性,保障公共安全与环境保护。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 叶昊.天然气输气管道安全运行风险因素分析及管理措施[J].化工管理,2022,(20):79-81.
- [3] 杨克,王壮,贺雷,郝永梅,邢志祥,许宁.天然气管道蒸汽云爆炸事故定量计算及风险评估[J].工业安全与环保,2019,(11):31-35.
- [4] 王奕中.天然气管道风险防控策略[J].化工设计通讯,2019,(08):55-56.
- [5] 李荣升,黄吉峰.天然气输气管道泄漏事故风险分析[J].化工管理,2019,(20):84-85.

### 作者简介:

孙斌(1984.10—),男,汉族,湖北荆州人,大学本科,中级职称,从事天然气长输管道运行安全管理、HSE体系建设。