

# 城市燃气管道安全风险评估与防控策略研究

邹文朗 王传惠 黄福升 同国普 (深圳市燃气集团股份有限公司, 广东 深圳 518000)

**摘要:** 城市燃气管道对于促进城市建设和经济发展具有重要作用, 随着经济社会的发展, 燃气管道建设规模不断扩大, 安全风险日益突出。本文从城市燃气管道安全风险评估出发, 分析了风险识别与评估的方法, 探讨了城市燃气管道安全风险防控策略, 旨在为加强城市燃气管道安全管理提供参考。

**关键词:** 城市燃气管道; 安全风险; 评估; 防控策略

## 0 引言

城市燃气管道一旦出现故障, 将会造成较大的安全隐患。由于我国城市燃气管道建设时间较短, 很多管理制度不够健全, 加上施工单位自身技术水平有限、管理手段落后等原因, 导致城市燃气管道的安全问题逐渐增多。因此, 相关部门要重视城市燃气管道安全风险评估工作, 科学制定安全防控策略, 加强对燃气管道施工质量的监管力度, 降低城市燃气管道安全事故发生的概率和影响。

## 1 城市燃气管道安全风险评估方法

### 1.1 定性风险评估方法

定性风险评估方法主要依赖于主观判断与实践经验, 以分析风险的不确定性。其中, 检查表法是一种普遍采用的有效策略。它构建了一个全面的燃气管道安全要素清单, 囊括了管道材质、连接方法、周边环境状况以及运行参数等关键指标。评估团队依据详尽资料对目标管线网络实施全面检查, 运用专业知识与既定准则对各项评估对象的风险等级进行分类, 明确标注为低风险、中等风险或是高风险状态。例如, 在检查表的评估中, 对于管道周边环境的考量, 若发现其邻近化工企业且位于安全规定之内, 此区域可能被判定为中等风险; 反之, 若该区域频繁出现挖掘施工活动, 则其风险等级将显著提升。此策略简洁明了, 便于迅速辨识显著风险区域, 然而其局限性在于高度依赖评估者的经验, 导致不同个体评估结果可能产生显著差异, 且难以实现风险程度的精确量化。

专家评议法确是执行定性风险评估时不可或缺的关键策略。它汇聚了在燃气行业、管道建设与安全管理领域拥有深厚造诣的专家, 对燃气输送网络进行全面而深入的审视与评价。专家们凭借深厚的专业底蕴与过往宝贵经验, 深入探讨并精确评估管道设计的科学性、实际运作效能及其潜在隐患, 以确保每一环节皆臻于完善。例如, 在老旧城区错综复杂的环境中,

燃气管道面临着由其自身老化与多变地下结构交互作用引发的风险, 专家们基于对地域特性和专业洞察的深刻理解, 能够精准识别并预警这些潜在的危险。然而, 此法偏于主观, 深受专家个人知识边界与偏见制约, 且组织专家评议过程成本高昂, 效率亦相对较低。

### 1.2 定量风险评估方法

定量风险评估凭借数据与数学模型, 实现风险评估的精确化与科学化。故障模式、影响与危害性评估 (FMECA) 在燃气管道故障模式的全面审视中扮演核心角色。通过搜集管道历史故障数据、管道系统构成元素以及运行环境条件, 计算每种故障模式的出现频率、潜在危害等级和可识别性, 以此为基础计算风险优先数 (RPN), 从而识别出最需关注的风险点。例如, 在分析管道焊缝的故障模式时, 首先统计过去此类焊缝发生故障的次数以确定其出现的频率, 接着评估故障可能导致的泄漏量大小来判断其严重性, 随后结合当前可用的检测技术对其可被检测的可能性进行考量, 最后通过计算 RPN (风险优先级数值) 来量化整体风险程度。

另一种策略, 即基于概率的风险评估 (PRA), 巧妙地融合概率论与数理统计, 旨在全面考量并量化不确定性因素的复杂影响。例如, 评估燃气管道因腐蚀引发泄漏的风险时, 需搜集管道材料的腐蚀速率信息、在各种土壤环境中腐蚀程度的变动数据, 以及管道的使用年份等丰富数据集。接着, 构建概率模型, 以计算特定时段内管道因腐蚀导致泄漏的可能性。此策略虽能精确度量风险, 但对数据的品质与规模要求严苛, 同时模型构建过程复杂, 只能由专业技术人员操操, 需投入大量资源方能实现。

### 1.3 综合风险评估方法

综合风险评估方法巧妙地结合了定性与定量评估的长处, 旨在提供更为全面、精准的风险识别与管理策略。层次分析法 (AHP) 是一种精明的综合评估工

具，它擅长将复杂的燃气管道安全风险议题细分为目标层、准则层与方案层，分别对应燃气管道安全风险本身、管道自身的状态与外界环境的影响，以及具体的风险因素，以此构建一个系统性的分析框架。通过构建层次结构模型，对各层次元素进行细致的两两比较，进而构建判断矩阵，以此精确计算各因素的权重，为决策提供有力依据。例如，为了量化管道自身状况与外部环境因素对整体风险贡献的相对重要性，我们采用专家评估与数据分析相结合的方式，运用层次分析法（AHP）精确计算出各自权重，以此揭示不同因素在风险评估中的角色与影响力。

接着，我们将融合模糊综合评价法，此法在风险评估环节尤为重要，因诸多因素如管道老化程度（如轻度、中度老化）皆属模糊范畴，难以精确量化。模糊综合评价法构建模糊关系矩阵，以此量化模糊信息，实现复杂系统评价的精准化。基于AHP方法所确立的权重体系与模糊综合评价的分析结果，我们最终获得了全面的风险评估指标。此综合策略巧妙融合了定性评估中丰富的经验与主观洞察，以及定量评估的精确度与客观性，从而生成了更为科学、合理且贴近实际的风险评估结果。

## 2 城市燃气管道安全防控策略

### 2.1 管道设计与建设阶段的防控措施

在管道设计之初，应秉持全面规划与科学设计之原则，确保系统运行高效、安全且经济。在规划管道走向时，应全面考量城市未来发展蓝图，谨慎绕过预计未来将进行大规模建设或地下空间开发的区域，以确保管道系统的长期稳定与安全。例如，在规划地铁线路之际，应谨慎避免与其平行铺设燃气管道，以防后续施工不慎对其构成损害。针对地质条件复杂的城市区域，如软土地基与岩石层分布不均的地带，设计阶段应深入进行地质勘查，依据地质特性精心挑选管道铺设策略，采用定向钻穿越或架空敷设等适应性技术，确保基础设施安全可靠。

在管道选材时，应依据输送燃气的成分、压力水平与工作温度等关键参数，进行精确考量与合理挑选。对于高压、针对高温环境下的燃气管道，我们应优选高强度、耐高温与耐高压的管材，例如合金钢管，以确保系统安全与持久运行。此外，还需考量管道的耐腐蚀特性，依据土壤的腐蚀程度等条件，精心挑选恰当的防腐涂层或是实施阴极保护策略。例如，在面临沿海环境的挑战，土壤盐分高且腐蚀性显著增强的地

区，我们应选用具备卓越耐盐腐蚀性能的特殊防腐涂层，以确保结构的长期稳定与安全。于管道设计领域，确保冗余性至关重要，通过部署备用管道或构建双回路系统，旨在显著提升整体系统的可靠性，确保即便局部管道发生故障，亦能保障燃气供应的连续性或实现快速切换，从而维护稳定与安全的供气环境。在建设进程中，务必严守施工质量的高标准，确保每一环节皆臻于完美。

在检验管材时，应秉持严格遵循标准的原则，全面覆盖管材的化学成分分析、力学性能测试以及细致的外观检查，确保每一步骤均无疏漏，以达到质量控制的高标准。每一批管材必须附带质量合格证书与详细检验报告。在管道焊接作业中，唯有经验丰富的专业焊工，持有必要资质者方能执行，严格遵循焊接工艺评定流程。完成焊接工序后，必须执行无损检验，包括射线照相和超声波检测，以确保焊缝品质满足设计规范。在铺设管道时，确保其具备恰当的倾斜度，以预防积水，从而避免因积水引发的管道腐蚀问题；同时，务必实施有效的支撑与固定措施，以防止管道位移，有效预防接口处可能出现的泄漏现象。

### 2.2 运行管理阶段的防控措施

构建一套全面且高效的运行管理机制，乃是最为核心的战略考量。为了确保燃气安全、高效地从源头输送至最终用户，需精心规划一套详尽的操作规程，全面覆盖进气、输送直至用户端的全过程。例如，明确操作人员操作燃气输送设备的启动与关闭流程及其顺序，同时，针对各种工作状态，制定设备参数调整的恰当方法。同时，构建严谨的巡查机制，精确设定巡检的周期、路径与检查事项。巡检人员需定期沿管道路径执行细致检查，审视管道外观，确保无腐蚀、变形或泄漏迹象，同时，他们应确认管道标识清晰且完整无缺，

借助前沿技术，实施管道运行的即时监察。部署在线监测系统，包括压力传感器、流量传感器、温度传感器以及泄漏检测传感器，以实现全面的设备状态监控。这些传感器即时地将收集的数据输送至监控枢纽，随后，借助专业分析软件，对这些信息进行解析与解读。一旦检测到数据出现异常，比如压力骤降或流量非预期激增，系统即刻启动，发出警报，确保即时响应与问题识别。借助地理信息系统（GIS），管道的位置、流向及其周围环境得以直观呈现，从而为管理者提供高效定位与全面理解管道状态的工具。



强化运行管理人员的培训与评估,确保其专业技能与管理效能的全面提升。定期举办专业培训课程,涵盖燃气技术、管道运作机制、安全操作指引以及紧急应对策略等核心内容,以确保相关人员具备全面的专业知识与应对能力。培训形式多样,涵盖课堂讲授、现场示范与模拟实践,旨在全方位提升参与者的技能与知识。确保管理人员全面掌握所需知识与技能,对于组织效能至关重要。

一旦发现有人未能达标,应立即安排补考或重新培训,直至其能力达到标准,以维护团队的专业水准与整体效率。同时,构建一套激励机制,对在运行管理中表现卓越、能迅速识别并妥善处理潜在风险的员工予以表彰与奖励,以此激发团队成员的工作热情与职业责任感。

### 2.3 第三方破坏防范措施

首要行动在于强化与城市建设计划部门的交流与合作,确保项目顺利推进。建立与规划、建设与交通领域间的信息协同网络,旨在即时捕获城市工程项目之蓝图与施工动态。例如,在进行可能影响燃气管道的工程活动,如道路施工或地下管线施工时,相关部门应事先通知燃气公司,双方携手制定有效的保护方案。燃气企业应向施工团队提供精确的燃气管道分布图及保护指引,施工方需遵循既定方案,谨慎操作,以防止无计划的挖掘或桩击等可能损害燃气管道的活动。

在管道路径上部署清晰可见的警示标记,乃是一种直接且高效的预防策略。于地面均匀间隔布置燃气管道标识桩,每桩详列管道种类、流向及埋设深度,确保信息清晰无误,便于维护与安全检查。在穿越道路、于关键水域与通道,应安装显著警示牌,以提醒所有行经者珍惜与维护这些宝贵资源。对于人口密集区与商业区这类关键区域,实施一项创新策略,即在管道上方铺设地下警示带,以确保在进行挖掘作业时,能够即时察觉到管道的存在,从而有效预防潜在的事故风险。确保管道安全,采取实质性的物理防护措施,实为必要之举。围绕管道设置防护栏或防撞墩,特别是在管道邻近道路边缘或易于遭受外力影响的地段,显得尤为重要。对于埋设深度较浅的管道,采取混凝土盖板覆盖或增设强化外保护套,能显著提升管道抵御外界力量的能力。

### 2.4 自然灾害防范措施

在管道设计之初,即应融入抗震策略,以应对地

震灾害。针对位于地震活跃区域的燃气输送管道,选用具备卓越抗震性能的管材与连接技术至关重要。例如,我们选择具备卓越柔韧性的管材,并在管道的连接点巧妙应用柔性连接方式,如波纹补偿器,以有效吸收地震引发的位移与形变。于管道路径上部署地震检测装置,一旦感知地震活动,即刻将警报传递至管理中心,中心据此执行预先设定的应对策略,例如,封闭特定阀门、调整压力值,以减轻地震对管线的损害并遏制衍生灾害的蔓延。

在规划管道铺设时,必须审慎考量洪水可能造成的淹没风险。若管道铺设不可避免地穿越洪水易淹地带,确保其安全性的首要策略便是实施特殊防护措施,以防洪水侵袭。例如,实施管道防水密封措施,以阻挡洪水侵入,预防由此引发的腐蚀与损害。于管道路径上部署水位检测站,以实现洪水侵袭前的即时警报。基于洪水的水位与流速等关键数据,我们需精心规划应对策略,例如,强化对管道的固定措施,以抵御洪水的冲击,确保管道安全稳定,避免其在洪流中被冲移。

## 3 结语

通过对城市燃气管道安全风险的全面评估和深入分析,本研究提出了一系列针对性的防范策略和措施。这些策略不仅有助于降低事故发生风险,还能提高应对突发事件的能力,确保城市燃气供应的安全稳定。未来,应持续关注燃气管道安全的新挑战,不断完善安全管理体系,以适应城市发展的需要。

### 参考文献:

- [1] 杨斯涵,许开立.城市燃气管道风险评价研究综述[J].当代化工研究,2023(17):23-25.
- [2] 瞿英,王旭茗,王玉恒等.基于多态模糊贝叶斯网络的城市燃气管道事故风险预测与诊断研究[J].河北科技大学学报,2023,44(04):411-420.
- [3] 李俊贤.PE天然气管道全面检验技术及风险评估实践[J].科学技术创新,2023(19):157-160.
- [4] 刘广春,梅泽群.城市燃气管道施工中应急处理措施的研究[J].安全、健康与环境,2019,19(1):85-89.
- [5] 刘彦杰,杨阳.城市燃气管道施工中应急处理队伍的建设[J].燃气工程,2020,40(8):126-129.

### 作者简介:

邹文朗(1990.11-)男,汉族,湖北省黄冈市,硕士研究生,工程师,研究方向:从事燃气工程建设及技术管理。