

城镇燃气管道安全风险评估与预防措施研究

杨祥文（安徽省天然气开发股份有限公司，安徽 合肥 230041）

摘要：随着城镇化进程的加速，城镇燃气管道网络规模不断扩大，其安全运行对于保障民生和社会稳定具有极其重要的意义。本文深入探讨了城镇燃气管道安全风险评估的方法，全面分析了诸如管道老化、泄漏、腐蚀等常见风险因素，并提出了包括加强管道维护、实施定期检测、提高公众安全意识等在内的全面预防措施。这些措施旨在为提升城镇燃气管道的安全水平提供坚实的理论依据和实践指导，从而确保城镇燃气供应的安全与稳定，为居民创造一个安全、舒适的居住环境。

关键词：城镇燃气管道；安全风险评估；预防措施

中图分类号：TU996 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)020-0154-03

Research on Safety Risk Assessment and Preventive Measures for Urban Gas Pipelines

Yang Xiangwen (Anhui Natural Gas Development Co., Ltd., Hefei Anhui 230041, China)

Abstract: With the acceleration of urbanization, the expanding network of urban gas pipelines plays a critical role in ensuring public welfare and social stability. This study thoroughly examines methods for assessing safety risks in urban gas pipelines, analyzing common risk factors such as pipeline aging, leaks, and corrosion. Comprehensive preventive measures are proposed, including enhanced pipeline maintenance, regular inspections, and public safety awareness campaigns. These strategies aim to provide a robust theoretical foundation and practical guidance for improving the safety standards of urban gas pipelines, thereby ensuring secure and stable gas supply while fostering a safe and comfortable living environment for residents.

Keywords: Urban Gas Pipelines; Safety Risk Assessment; Preventive Measures

近年来，燃气管道爆炸等多起重大事故，不断敲响燃气安全警钟，使得城镇燃气管道安全问题成为社会各界关注焦点。在此背景下，深入开展城镇燃气管道安全风险评估与预防措施研究迫在眉睫，这对于维护社会和谐稳定、推动城镇可持续发展具有不可忽视的现实意义^[1]。

1 城镇燃气管道安全风险评估方法

1.1 故障树分析法（FTA）

故障树分析法以演绎逻辑为核心，从系统失效的顶事件出发，逐步追溯导致该事件发生的各类直接与间接原因，进而构建起逻辑清晰的故障树模型。在城镇燃气管道系统中，若将燃气泄漏引发爆炸这一严重事故设定为顶事件，通过对管道腐蚀、外力冲击、阀门密封失效、施工缺陷等底层事件的梳理，借助布尔代数等数学工具进行定性分析，能够确定导致事故发生的小割集，即引发顶事件的基本事件组合。通过定量分析，可计算出各基本事件发生概率对顶事件发生概率的影响程度。

例如，在某城镇燃气管道风险评估项目中，运用故障树分析法精准定位出管道腐蚀与第三方施工破坏是导致燃气泄漏的关键因素，为后续针对性防控措施制定提供有力依据。

1.2 层次分析法（AHP）

层次分析法将复杂的评估问题拆解为目标层、准则层与指标层等多个层次结构。在城镇燃气管道安全风险评估场景下，目标层明确为燃气管道安全风险综合评估；准则层涵盖管道本体状况、运行环境影响、运营管理等方面；指标层则细化至管道材质特性、服役年限、周边人口密度、巡检频次、应急预案完善程度等具体指标。通过专家问卷调查等方式构建两两比较的判断矩阵，利用特征向量法等数学手段计算各层次指标相对权重，最终实现对燃气管道安全风险水平的量化评估。

1.3 模糊综合评价法

鉴于燃气管道安全风险评估中诸多因素存在模糊性与不确定性，模糊综合评价法应运而生。首先，确定包含管道结构完整性、介质特性、环境条件、管理效能等因素的评价因素集，以及“低风险”“较低风险”“中等风险”“较高风险”“高风险”等评价等级集。随后，运用专家经验、历史数据等方式构建模糊关系矩阵，描述各评价因素对不同风险等级的隶属程度。通过模糊合成运算，获取燃气管道在各风险等级上的综合隶属度，以此判定其安全风险等级。例如，对某老旧城区燃气管道进行模糊综合评价，结果显示

该区域管道处于“较高风险”等级，为后续重点整治提供决策支持^[2]。

1.4 贝叶斯网络法

贝叶斯网络法融合图论与概率论，以有向无环图直观呈现各风险因素间因果关系，并通过条件概率表量化这种关系。在燃气管道安全风险评估中，可将管道腐蚀、压力异常、设备故障等因素作为节点，依据历史数据和专家知识确定节点间连接关系与条件概率。当某一节点状态发生变化（如检测到管道局部腐蚀加重）时，利用贝叶斯推理算法更新其他相关节点的概率分布，从而动态评估管道系统安全风险。该方法不仅能处理不确定性信息，还可在新证据出现时实时修正风险评估结果，为燃气管道实时监测与风险预警提供有效技术手段。

2 城镇燃气管道常见安全风险因素分析

2.1 管道老化与腐蚀

随着时间推移，燃气管道长期承受内部燃气压力、温度波动以及外部土壤应力等作用，材质性能逐渐劣化，出现老化、脆化现象。同时，燃气中含有的硫化氢、水分等腐蚀性成分，以及土壤的酸碱度、微生物等外部环境因素，协同作用导致管道腐蚀。腐蚀致使管道壁厚减薄，承载能力下降，极易引发燃气泄漏。据相关统计，在已发生的燃气管道事故中，约40%与管道老化腐蚀相关。例如，某建于上世纪80年代的城镇燃气管道，因采用普通钢管且防腐措施不到位，运行30余年后，多处管道壁厚减薄超过50%，部分地段甚至出现穿孔泄漏，严重威胁周边居民安全。

2.2 第三方破坏

在城市大规模建设与更新改造进程中，各类市政工程、建筑施工活动频繁开展。部分施工单位对地下燃气管道分布情况掌握不清，或施工过程中未严格遵循安全操作规程，采用大型机械盲目开挖，极易挖断、损坏燃气管道。此外，人为恶意破坏，如盗窃燃气设施、私接乱改管道等行为，也屡见不鲜。例如，在某城市道路拓宽工程中，施工方未提前与燃气公司沟通确认管道位置，施工过程中挖掘机直接挖破燃气管道，瞬间引发大量燃气泄漏，周边数千居民紧急疏散，造成巨大社会影响与经济损失。

2.3 自然灾害影响

地震、洪水、滑坡、泥石流等自然灾害对城镇燃气管道安全构成严重威胁。地震引发的地面震动与位移，可致使管道断裂、接口松动；洪水可能冲毁管道基础，使管道悬空、移位甚至被冲断；滑坡、泥石流则会直接掩埋、挤压管道，导致管道变形破裂。在自然灾害频发地区，燃气管道遭受破坏风险显著增加^[2]。

2.4 管理与维护不到位

部分燃气企业安全管理体系不完善，缺乏健全的管道巡检、维护保养制度，巡检计划执行不严格，导致管道安全隐患难以及时发现。维修人员专业技能不足，对管道故障维修质量把控不严，易留下安全隐患。应急预案针对性、实操性欠缺，在事故发生时无法迅速、高效开展救援工作。例如，某燃气公司因巡检人员未按规定路线巡检，致使一处管道腐蚀泄漏隐患长期未被察觉，最终引发燃气泄漏事故，暴露出企业管理与维护环节的严重漏洞。

2.5 燃气气质问题

燃气气质不稳定，如杂质含量超标、组分波动较大等，可能导致管道内部结垢、腐蚀加剧，影响阀门、仪表等设备正常运行。此外，不符合标准的燃气还可能在燃烧过程中产生异常情况，增加安全风险。例如，部分小型燃气供应商为降低成本，购入劣质气源，燃气中硫化氢等杂质含量远超国家标准，长期使用对管道及设备造成严重损害，增加了燃气泄漏与爆炸风险。

2.6 规划布局不合理

早期城镇燃气管道规划布局受限于当时技术与认知水平，部分管道与建筑物、其他地下管线安全间距不足，穿越人口密集区、易燃易爆场所等高危区域，且管道走向复杂，不利于日常巡检与维护。随着城市发展，新老城区管网衔接、不同燃气公司管网整合等问题凸显，进一步加剧管道安全风险^[3]。

3 城镇燃气管道安全预防措施

3.1 加强管道检测与维护

为切实保障城镇燃气管道安全稳定运行，需建立常态化、专业化管道检测机制。综合运用漏磁检测、超声波检测、射线探伤等多种先进无损检测技术，如同给管道进行全面“体检”，定期对管道各部位展开细致排查，精准测定管道壁厚、全面掌握腐蚀状况、严格检查焊缝质量等关键参数。一旦检测发现缺陷与隐患，依据其严重程度，迅速采取相应的针对性措施。对于轻微缺陷，可通过补焊修复；中度问题，采用内衬修复；严重缺陷，则果断更换管段。同时，持续强化日常维护保养工作，定期对管道防腐涂层进行修复，维护阴极保护系统，对阀门、调压站、流量计等附属设备依次进行清洁、调试与校验，全方位确保管道系统时刻处于良好运行状态。

3.2 强化第三方施工管理

燃气企业与城市规划、住建等部门建立紧密沟通协作机制，搭建燃气管道安全保护信息共享平台，为保障燃气管道安全奠定坚实基础。在城市建设项目处于立项初期时，建设单位有责任主动向燃气企业查询

地下燃气管道信息。燃气企业应秉持高度负责的态度，迅速且精准地提供管道位置、走向、管径等详细资料，同时派遣专业技术人员奔赴现场进行全面交底。施工单位在正式施工前，必须精心制定详尽的燃气管道保护方案，只有经燃气企业严格审核通过后，方可开展施工。施工进程中，可通过人工探挖、设置醒目警示标识、合理使用非开挖施工技术等有效措施，最大程度避免对燃气管道造成破坏。一旦发现违规施工行为，相关部门务必严格依法依规予以严惩，形成有力震慑^[4]。

3.3 提高应对自然灾害的能力

为了有效应对自然灾害可能对燃气管道安全带来的威胁，燃气企业与气象、地震、水利等相关部门建立了实时信息共享与预警联动机制。这一机制确保了企业能够及时获取自然灾害的预报信息，为可能的应急处置提供了宝贵的时间窗口。针对地震、洪水、台风等不同类型的自然灾害，企业制定了科学合理、切实可行的应急预案，并定期组织实战演练，以此提升应急响应能力和协同处置能力。在燃气管道的设计与建设阶段，企业充分考虑了自然灾害的影响，采用了抗震支架、柔性连接、深埋敷设等先进技术手段，显著提高了管道的抗灾能力，确保了在极端天气条件下，燃气管道能够保持稳定运行，为公众提供安全可靠的燃气服务。

3.4 完善管理体系与人员培训

燃气企业应建立健全涵盖安全管理、运行维护、应急处置等全流程的科学管理体系，明确各部门、各岗位安全职责，将安全生产责任层层落实到人。加强员工安全培训，定期组织开展燃气管道安全知识、操作规程、应急技能等培训课程，并邀请行业专家进行案例分析与技术指导。建立员工安全考核激励机制，将安全绩效与薪酬、晋升挂钩，激发员工安全工作积极性与主动性。

3.5 严格把控燃气气质

燃气企业肩负着保障公共安全和社会稳定的重要责任，因此建立完善的燃气质量检测体系至关重要。这一体系应涵盖从气源采购、运输储存到终端供应的每一个环节，确保燃气气质符合国家相关标准。企业需与上游气源供应商建立紧密合作关系，签订严格的质量保障协议，确保燃气组分稳定，杂质含量在规定范围内。对于任何不达标的燃气，必须坚决禁止其进入城镇燃气管道系统，以防止潜在的安全风险^[5]。

3.6 优化管道规划布局

在城市持续发展的动态进程中，紧密贴合城市发展规划并凭借精准的燃气需求预测，对城镇燃气管道网络实施科学优化布局，这一举措意义重大。在新城区建设之际，要依据城市长远规划蓝图，以前瞻性的

眼光与布局理念铺设燃气管道，为区域未来发展预留充足空间。而在老城区改造期间，务必严格恪守燃气管道设计规范，全方位确保燃气管道与周边建筑物、其他地下管线之间维持安全间距。合理规划管道走向，尽力规避穿越地震带、化工区等高危区域以及地质复杂、施工难度大的地段，借此提升管道布局合理性，也为日后维护检修提供便利。针对老旧管网，要精心制定分期分批改造计划，按部就班、稳步推进，逐步消除潜在安全隐患。

3.7 城镇燃气管道安全预防措施包括建立双重预防机制

首先，实施事前预防，通过科学规划、设计、施工和运维，确保燃气管道的安全性。其次，实施事后预防，对已投入运行的燃气管道进行定期检查、维护和修复，及时发现并处理安全隐患。此外，建立完善的应急预案，提高应对突发事件的响应能力，保障人民生命财产安全。同时，加强人员培训和应急演练，提高安全意识，确保预防措施有效实施。

4 结论

城镇燃气管道安全关乎社会民生与经济发展大局，通过科学运用故障树分析法、层次分析法、模糊综合评价法、贝叶斯网络法等风险评估方法，深入剖析管道老化腐蚀、第三方破坏、自然灾害、管理维护不到位、燃气气质、规划布局等多方面风险因素，并针对性实施加强管道检测维护、强化第三方施工管理、提升抗灾能力、完善管理体系与人员培训、把控燃气气质、优化规划布局等预防措施，能够有效降低城镇燃气管道安全风险，减少事故发生概率。在未来城镇燃气事业发展进程中，需持续关注燃气管道安全领域新技术、新方法，不断完善安全风险评估与预防体系，为城镇燃气安全稳定供应提供坚实保障，助力城市高质量发展。

参考文献：

- [1] 陈海涛.城镇燃气管道更新施工中的应急安全管理策略[J].上海煤气,2025,(01):35-37.
- [2] 杨易凡,任小林,田云祥.城镇燃气管道隐患分析与治理措施[J].石油管材与仪器,2023,9(04):97-100.
- [3] 王腾.城镇燃气管道完整性管理[J].化学工程与装备,2021,(10):87-88.
- [4] 郝鹏睿.城镇燃气管道安全隐患与风险管理[J].建材与装饰,2020,(19):229+231.
- [5] 卓亮.城镇燃气管道安全隐患与风险管理[J].化工管理,2020,(01):67-68.

作者简介：

杨祥文（1987-），男，汉族，安徽怀宁人，本科，注册安全工程师，研究方向为城镇燃气工程。