

城市燃气管道老旧管网更新改造的经济性 与安全性平衡策略

龚圣涵（济南港华环通市政工程有限公司，山东 济南 250000）

张宇坤（山东港华燃气集团有限公司，山东 济南 250000）

摘要：我国城镇化建设持续推进，城市燃气管道老旧管网更新改造已成为保障城市安全运行的关键民生保障工程。针对老旧管网改造中经济投入与安全效益的突出矛盾，本文聚焦有限预算约束下安全效益最大化的实现路径，构建全生命周期成本评价模型，综合纳入管网剩余服役年限、风险等级划分、改造成本测算及事故潜在损失评估等核心要素，提出基于风险分级的差异化改造方案决策思路。结合多座城市的实践案例，深入分析材料选型、工艺革新、资金筹措等关键环节对平衡策略的影响，最终形成兼顾经济可行性与安全长效性的管网更新改造综合方案，为推动城镇燃气安全治理体系现代化提供实践参考。

关键词：燃气管道；老旧管网；更新改造；经济性分析；安全性评价；平衡策略

中图分类号：TU996 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-5167(2026)007-0151-03

Strategies for Balancing Economic Efficiency and Safety in the Renovation and Upgrading of Urban Aging Gas Pipeline Networks

Gong Shenghan (Jinan Ganghua Huantong Municipal Engineering Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Zhang Yukun (Shandong Ganghua Gas Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: As urbanization continues to advance in China, the renewal and upgrading of aging urban gas pipelines have become a critical livelihood safeguard project essential for ensuring urban safety operations. Addressing the prominent contradiction between economic investment and safety benefits in aging pipeline renovation, this paper focuses on achieving maximum safety benefits under budget constraints. It constructs a lifecycle cost evaluation model, comprehensively incorporating key elements such as remaining service life of pipelines, risk level classification, renovation cost estimation, and potential accident loss assessment. A decision-making approach for differentiated renovation plans based on risk grading is proposed. Through practical cases from multiple cities, the study conducts an in-depth analysis of the impact of material selection, technological innovation, and funding mobilization on balancing strategies. Ultimately, a comprehensive pipeline renewal and upgrading solution that balances economic feasibility with long-term safety is developed, providing practical reference for advancing the modernization of urban gas safety governance systems.

Keywords: Gas pipeline; aging pipeline network; renewal and renovation; economic analysis; safety assessment; balancing strategy

城市燃气管道作为城市生命线工程的核心组成，其安全运行直接关联社会公共安全与民生福祉。据2024年行业统计数据，我国城镇燃气管道总里程已突破110万km，其中约15%至30%的管道建于上世纪80至90年代，目前已进入事故高发阶段。近年来，多地发生的燃气安全事故，充分暴露了老旧管网“带险运行”的严重隐患——例如哈尔滨中央大街区域的地下燃气管网，服役时长已超80年，管道老化、渗漏问题愈发突出，对周边居民生活与商业活动构成持续威胁。

1 老旧管网现状与风险评估

1.1 老旧管网分布与规模

我国城镇燃气管网大规模建设集中在上世纪80至90年代，随着使用年限增长，这些管网逐步进入

老化周期。截至2024年底，全国城镇燃气用户总数已超4亿户，待改造的老旧管网长度约占当前管网总里程的15%至30%，预计到2030年，需改造的老旧管网总长度将突破10万km。从分布来看，老旧管网主要集中在城市历史核心区域，以哈尔滨中央大街区域为例，该区域地下燃气管网服役超80年，改造施工总里程达10.8km，覆盖385栋楼宇，涉及周边2.1万余户居民及数千家沿街商户。

从地域特征来看，经济发达、城市化起步早的地区，老旧管网问题更为突出。例如贵阳市部分区域的天然气管道，服役时长已近30年，局部区域因土壤环境影响，管网老化与电化学腐蚀问题严重；柳州市则针对使用超20年的老旧燃气管道开展集中改造，

覆盖 76 条主、次干道，涉及近百公里的市政道路燃气管网。这些老旧管网普遍存在材质落后、设计标准偏低、腐蚀防护措施不足等问题，已成为城市公共安全的重大潜在威胁。同时，针对不同区域管网的使用环境差异，如潮湿低洼地区与干燥高地，风险评估指标需进一步细化，确保后续改造方案更贴合实际需求。

1.2 安全风险识别与评估

老旧管网的安全风险主要分为管道泄漏、压力失衡与系统故障三类，其中管道泄漏是最突出的风险类型，主要诱因涵盖管体腐蚀、接口密封失效、外部施工破坏等。哈尔滨中庆燃气公司的实践数据显示，老旧铸铁管道受地面荷载变化、地下水位波动等因素影响，管体易出现裂缝、渗漏等问题；柳州市嘉和名庭小区的室内燃气立管，因长期处于潮湿环境，管壁普遍出现锈蚀漏气现象，对居民居家安全构成直接威胁。

风险评估需综合考量管网使用年限、管材材质、腐蚀程度、运行压力及周边环境等多维度因素。西塞山区通过构建“事前规范、事中监管、事后问责”的全流程治理体系，开展全覆盖式安全检查，精准识别出餐饮场所、老旧小区、独居老人家庭等高危区域的安全隐患；贵阳市则引入 PPB 燃检车、无人机巡检等新型设备与技术手段，实现对管网运行状态的全方位、无死角监测，有效提升了潜在风险的早期预警能力。

风险量化是实现经济性与安全性平衡的基础，可通过风险矩阵法将管网划分为不同风险等级，为差异化改造提供依据。相关研究数据表明，经过改造后的管网，漏损率可从 15% 降至 5% 以下，每年节省的燃气漏损费用超数十亿元，这一数据充分体现了风险控制的经济价值，也为改造优先级划分提供了量化支撑。

2 改造经济性分析模型

2.1 全生命周期成本评价

老旧管网改造的经济性分析，不应仅局限于初期投入，而需基于全生命周期成本（LCC）理念，综合评价管网从建设、运营、维护到报废回收的全流程成本。以长春市的实践为例，该市通过项目整合包装，积极申请超长期特别国债、中央预算内资金等渠道筹措改造资金，累计获得国家财政预算内资金 8.62 亿元、超长期国债资金 5.88 亿元，这一举措充分体现了管网改造作为基础设施项目的长期投资属性。

全生命周期成本主要涵盖四类：一是初始改造成本，包含管材采购、施工建设、项目管理等费用；二是运营维护成本，涉及日常巡检、故障维修、定期检测等支出；三是风险成本，即事故引发的直接经济损失与间接社会影响；四是社会成本，例如施工期间交通拥堵、商户经营损失等。

在成本估算过程中，需重点关注隐性成本的量化分析。哈尔滨中央大街改造期间，为降低施工对周边交通与商户经营的影响，采用“分段施工、错峰作业”模式，夜间集中开展大型机械作业——这一措施虽增加了施工组织难度与管理成本，但有效减少了白天交通拥堵时长与商户营业额损失，显著降低了社会隐性成本。贵阳市在改造中则将施工时间划分为上半夜、下半夜两个时段：上半夜开展管沟开挖、管道焊接等噪声较大的作业，下半夜进行管道接口处理等低噪声作业，每日 4 点前完成撤场，这种人性化施工安排既保障了施工进度，也最大程度降低了对居民夜间休息的影响，体现了对社会成本的精细化管控。

2.2 效益量化与投资回报

改造效益可分为直接效益与间接效益两部分。直接效益集中体现在燃气漏损率下降、设备维修频次减少、管网运行效率提升等维度。据行业报告预测，老旧管网改造后，漏损率从 15% 降至 5% 以下，每年节省的漏损费用超数十亿元；黑龙江省在完成 6687km 燃气管道改造后，城镇燃气事故发生率同比下降显著，虽安全效益难以直接用货币量化，但通过事故率降低、应急处置成本减少等数据，可间接反映改造的安全效益。

间接效益则包括社会安全感提升、城市抗风险能力增强、生态环境改善等方面。投资回报分析需综合考量成本节约与效益创造的双重作用。基于行业普遍假设（如投资回收期 8 年、年均收益增长率 4% 等），老旧管网改造项目具有较高的投资回报率。需注意的是，与传统基础设施项目相比，管网改造的投资回报更侧重于风险规避与损失减少，具有明显的“负向投资”特征——即投资的核心目的是防止事故损失，而非直接创造收益，这一特征也决定了改造项目的效益评价需兼顾经济与社会双重维度。

3 平衡策略的实施路径

3.1 差异化改造策略

基于风险评估结果与经济性分析，对不同风险等级的老旧管网采取差异化改造策略，是实现经济性与安全性平衡的核心。具体可分为三类：①优先改造类：针对高风险管网，立即实施全面更换。此类改造虽初始投入较高，但能快速消除重大安全隐患，安全效益显著，需优先保障资金与资源投入。②分期改造类：针对中风险管网，结合城市更新规划与资金情况，制定动态改造时间表。此类改造可与道路翻新、旧城改造等其他基础设施工程同步实施，通过工程协同降低综合施工成本。③监测维护类：针对低风险管网，采取强化监测与预防性维护策略，延长管网使用寿命，推迟改造投入。这种模式既能控制短期改造成本，又

能通过精细化运维保障安全。

3.2 技术选型与经济平衡

技术选型在平衡经济性与安全性中发挥关键作用,合理的技术方案可实现“适宜安全水平”下的“成本最优”,具体包括三方面:①材料选择:需根据管网压力等级、土壤腐蚀环境、设计使用寿命等因素,选择经济适配的管材。例如柳州中燃在立管改造项目中采用双层预涂覆无缝钢管,相较于传统无缝钢管、镀锌管,其防腐性能提升30%以上,虽采购成本略有增加,但能减少后期维护频次,延长使用寿命;哈尔滨中央大街改造则选用PE管道替代老旧铸铁管,不仅耐腐蚀、使用寿命长,还具有施工便捷的优势,可缩短工期约20%,间接降低施工期间的社会成本。②工艺优化:针对不同施工环境,选择最适配的施工工艺,平衡工程质量、成本与社会影响。在历史文化保护区、交通繁忙路段,优先选用非开挖施工技术——以哈尔滨中央大街改造为例,针对文物保护建筑周边的施工限制,项目团队采用“管线内衬修复”非开挖技术,避免对历史建筑地基造成扰动,同时减少路面开挖面积,降低对商业街区客流的影响;在一般居民小区、非核心道路区域,则采用传统开挖方式,控制初始投资成本。③智慧赋能:利用现代信息技术提升管网运维效率,实现安全风险早期预警。长春市在改造后累计布设地下管网智能监测单元2万余个,基本实现重要路段、人口密集区域的全覆盖,通过实时数据传输与异常报警,将故障响应时间缩短至1h内;贵州燃气集团引入无人机巡检、三维建模技术,对地下管道周边地质环境、施工活动进行动态监测,有效减少了外部破坏导致的事故。这些智慧化手段虽需前期投入,但能大幅降低长期运维成本与事故风险,实现“一次投入,长期收益”。

3.3 资金筹措与政策保障

资金不足是制约老旧管网改造的主要瓶颈,创新资金筹措机制是实现经济性与安全性平衡的重要保障,当前主要资金渠道包括三类:①政府资金引导:积极争取中央预算内投资、超长期特别国债等国家级资金支持,同时统筹地方财政资金,形成多级资金保障体系。如长春市通过整合老旧小区改造、市政道路升级等项目资源,包装形成燃气管网改造专项方案,成功申请超长期特别国债与中央预算内资金;黑龙江省则投入专项财政资金,为379.7万户居民安装更换燃气安全防护装置,降低居民端改造成本。②企业资金投入:燃气企业作为改造实施主体,需将管网改造资金纳入年度预算,同时探索将合理改造成本纳入燃气定价机制,保障改造资金可持续。如哈尔滨中庆燃

气公司2022年以来,累计投入企业资金超5亿元,完成城市燃气管网改造461.69km,更新燃气用户设施165.3万户,通过成本疏导机制,实现改造投入与企业运营的平衡。③社会资本参与:探索市场化融资模式,吸引社会资本参与改造项目,丰富资金来源。如贵阳市南明区兴隆街19号院改造项目,创新采用“政府补贴+企业出资+居民自筹”的三方众筹模式,筹集8000元改造资金,解决了老旧小区管网改造的“最后一公里”资金难题;此外,部分城市还探索将管网改造与绿色能源项目结合,争取绿色金融支持,拓宽资金来源渠道。

4 结论与展望

城市燃气管道老旧管网更新改造是关乎城市安全与民生保障的重要课题,经济性与安全性的平衡是项目成功的核心。通过对现状问题的剖析、经济模型的构建及实施策略的梳理,可得出以下结论:

第一,老旧管网改造决策需以全生命周期成本理念为基础,结合风险分级评估方法,避免“一刀切”的简单化处理。通过精准评估管网运行状态与风险等级,区分优先改造、分期改造与监测维护三类策略,可实现有限资源的最优配置,既保障高风险区域的安全,又避免资金浪费。第二,技术选型需统筹考量安全提升成效与经济投入体量,追求“适宜安全”而非“绝对安全”。通过管材优化、工艺创新与智慧赋能,可在合理成本范围内实现安全保障最大化——PE管材、非开挖施工技术、智能监测系统等先进技术的应用,已在哈尔滨、贵阳等城市的实践中验证了其经济与安全双重价值。第三,资金筹措需构建多元化渠道与政策支持体系,单纯依赖政府投入或企业自筹均难以持续。应建立“政府引导、企业主体、社会参与”的合作机制,同时将管网改造与城市更新、道路整治、绿色能源项目有机结合,通过工程协同降低综合成本,提升改造效益。

参考文献:

- [1] 孔玉祥,高炜波,孙能,等.不同气源分配对管网安全性和运行经济性影响的讨论[J].城市燃气,2021,(12):14-22.
- [2] 李璐伶,范峻铭,段鹏飞,等.天然气管道掺氢经济性可行性分析[J].上海煤气,2024,(04):29-32.
- [3] 童杰.镀锌管道在燃气安装工程中的安全性与经济性[J].冶金管理,2019,(09):145.
- [4] 胡惠荣.城市燃气管道风险评估系统的研究和应用[D].同济大学,2008.
- [5] 李娜.浅谈市政燃气管道铺设技术[J].江西建材,2017(23):80+84.