

# 老旧燃气管道的非开挖修复技术对比与应用分析

刘斌 潘鹏 公颖 (山东港华燃气集团有限公司, 山东 济南 250000)

**摘要:** 老旧燃气管道 (服役 15 年以上) 因材质老化、腐蚀泄漏等问题, 已成为城市燃气安全运营的核心隐患。本文以紫外光固化修复、内衬折叠筒修复、胀管法修复、喷涂法修复等主流技术为研究对象, 从技术原理、核心参数 (适用管径、修复长度、抗压强度)、适用场景、施工成本等维度展开系统对比, 结合典型案例 (城区主干道、老旧小区、郊区长输管道) 分析技术适配性, 并创新性引入“全生命周期成本测算”模型, 量化不同技术的长期经济性。研究可为老旧燃气管道修复的技术选型提供工程化参考, 推动非开挖技术从“单一应用”向“场景适配”转型。

**关键词:** 老旧燃气管道; 非开挖修复技术; CIPP 紫外光固化修复; 技术对比; 全生命周期成本

**中图分类号:** TE973 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 006-0154-03

## Comparison and Application Analysis of Non-Digging Repair Technologies for Aging Gas Pipelines

Liu Bin, Pan Peng, Gong Ying (Shandong Ganghua Gas Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

**Abstract:** Aging gas pipelines (in service for over 15 years) have become a critical safety hazard in urban gas operations due to issues such as material aging, corrosion, and leakage. This study focuses on mainstream repair technologies, including UV-cured resin lining, internal folding sleeve repair, pipe bursting, and spray coating. A systematic comparison is conducted from the perspectives of technical principles, key parameters (applicable pipe diameter, repair length, compressive strength), applicable scenarios, and construction costs. By analyzing typical engineering cases (main urban roads, old residential areas, and suburban long-distance pipelines), the technical suitability is evaluated. The study innovatively introduces a “lifecycle cost estimation” model to quantify the long-term economic efficiency of different technologies. The findings provide an engineering reference for selecting repair technologies for aging gas pipelines, promoting the transition of trenchless technology from “single application” to “scenario adaptation.”

**Keywords:** aging gas pipelines; trenchless repair technology; CIPP UV-cured pipe rehabilitation; technical comparison; lifecycle cost

我国城市燃气管道建设始于 20 世纪 80 年代, 截至 2024 年, 全国服役 15 年以上的老旧管道里程超 8 万 km, 占总里程的 23% (数据来源:《中国城市燃气发展报告 2023》)。此类管道多采用灰口铸铁、普通钢管材质, 长期受土壤腐蚀、介质冲刷、地面沉降影响, 年均泄漏事故发生率达 0.8 次/百 km, 远高于新建管道 (0.12 次/百 km), 直接威胁居民生命财产安全与城市运行秩序。

传统开挖修复技术需对管道上方路面进行全段开挖, 不仅施工周期长达 7-15 天 (DN500 管道每公里), 还会导致交通拥堵、商户停业、绿化破坏等衍生问题——某省会城市 2022 年因开挖修复燃气管道, 单条路段日均交通延误增加 45min, 直接经济损失超 200 万元。

随着《城镇燃气管道非开挖修复工程技术规程》(CJJ/T250-2023) 的实施, 非开挖技术已成为老旧管道更新改造的首选方案, 但当前工程实践中仍存在“技术选型盲目、成本控制失衡”问题: 部分项目忽视场景适配性, 选用高价技术修复低风险管道, 或因技术

参数不匹配导致修复后 1-2 年内再次泄漏。

本文通过梳理主流非开挖技术的核心特性, 结合实际工程案例验证技术适配性, 构建“场景-技术-成本”三维选型模型, 旨在为燃气工程技术人员提供系统化的修复方案参考, 助力老旧燃气管道更新改造提质增效。

### 1 老旧燃气管道核心问题与非开挖修复技术原理

#### 1.1 老旧燃气管道主要病害特征

根据全国城镇燃气管道检测数据, 老旧管道的核心病害可分为 3 类:

①腐蚀损伤: 包括土壤电化学腐蚀 (钢管外壁腐蚀速率 0.15-0.3mm/年)、介质内腐蚀 (铸铁管内壁结垢导致管径缩径 10%-20%);

②结构缺陷: 包括接口松动 (灰口铸铁管承插接口密封胶老化)、管道变形 (地面沉降导致钢管椭圆度超 5%);

③功能失效: 包括阀门泄漏、支管连接部位密封失效。

上述病害中, 腐蚀损伤与结构缺陷需通过修复技

术解决，功能失效需结合设备更换，因此非开挖修复技术主要针对前两类病害。

## 1.2 主流非开挖修复技术原理

**CIPP 紫外光固化修复：**以玻璃纤维增强复合材料为基材，将浸满树脂的软管通过牵拉设备送入待修复管道内，利用紫外光照射使树脂固化，形成与原管道紧密贴合的内衬管（厚度 6–15mm）。固化后内衬管与原管道形成“复合结构”，抗压强度可达 12–18MPa，使用寿命  $\geq 30$  年。

**内衬折叠筒修复：**将聚乙烯（PE）或聚氯乙烯（PVC）材质的折叠筒（折叠状态直径为展开状态的 1/3）通过压缩设备送入管道，再通过气压（0.6–0.8MPa）使折叠筒展开并紧贴原管道内壁，两端通过法兰或热熔连接固定，修复后管道流通能力保留率  $\geq 90\%$ ，使用寿命 20–25 年。

**胀管法修复：**适用于铸铁管更新，通过液压胀管器将原铸铁管破碎并挤压至周围土壤中，同时将新 PE 管（管径比原管道小 1–2 个规格）同步拉入破碎后的通道，形成“以旧管为外壳、新管为内衬”的复合管道，施工后管道水力损失降低 15%–20%，使用寿命  $\geq 50$  年。

**喷涂法修复：**通过高压喷枪将环氧树脂、聚脲等涂料均匀喷涂在管道内壁，形成厚度 1–3mm 的防腐涂层，适用于管道内壁腐蚀、结垢修复。涂料固化后附着力  $\geq 5\text{MPa}$ ，可耐受燃气介质（甲烷、乙烷）长期浸泡，使用寿命 15–20 年。

## 2 非开挖修复技术多维度对比分析

### 2.1 核心技术参数与适用场景对比

为直观呈现技术差异，本文构建多维度对比表格（表 1）。

### 2.2 成本对比：初始成本与全生命周期成本

#### 2.2.1 初始施工成本（2024 年市场价格）

① CIPP 紫外光固化：1200–1800 元 /m（管径

DN500 为例）；

② 内衬折叠筒：800–1200 元 /m（管径 DN500 为例）；

③ 胀管法：1000–1500 元 /m（管径 DN500 为例）；

④ 喷涂法：300–500 元 /m（管径 DN200 为例）。

#### 2.2.2 全生命周期成本测算（以 30 年为周期，年利率 3%）

引入全生命周期成本（LCC）模型：LCC= 初始成本+运维成本+更换成本（若有）。以 DN500 管道（1km）为例，测算结果如下：

① CIPP 紫外光固化：初始成本 150 万元+运维成本（每 5 年检测 1 次，单次 2 万元）12 万元=162 万元（无更换成本，寿命  $\geq 30$  年）；

② 内衬折叠筒：初始成本 100 万元+运维成本 12 万元+25 年更换成本 100 万元（折现后 70 万元）=182 万元；

③ 胀管法：初始成本 120 万元+运维成本 12 万元=132 万元（寿命  $\geq 50$  年，30 年内无更换成本）；

④ 喷涂法：仅适用于 DN400 以下，暂不纳入对比。

结果表明：胀管法全生命周期成本最低，但受限于铸铁管材质；CIPP 修复虽初始成本高，但长期经济性最优，尤其适用于高风险路段。

## 3 工程案例应用分析

### 3.1 案例 1：某市主城区主干道 DN800 钢管修复（CIPP 紫外光固化）

工程背景：该路段为城市核心主干道，日均车流量 8 万辆，原管道为 2005 年铺设的螺旋缝钢管，检测发现 3 处外壁腐蚀（最大腐蚀深度 2.5mm，剩余壁厚 3.5mm），若采用开挖修复需封闭半幅路面 10 天，交通影响显著。

技术选型理由：管径 DN800 符合 CIPP 适用范围；主干道为高风险路段，需高抗压强度（CIPP 抗压 18MPa）保障安全；单次修复长度 200m，减少作业坑

表 1

| 修复技术       | 适用管径 (DN) | 单次修复长度 (m) | 抗压强度 (MPa) | 施工空间要求                                  | 适用场景                             |
|------------|-----------|------------|------------|---|----------------------------------|
| CIPP 紫外光固化 | 150-1200  | 50-300     | 12-18      | 作业坑 $\geq 3\text{m} \times 2\text{m}$   | 主干道、高风险路段（人口密集区）                 |
| 内衬折叠筒      | 100-800   | 30-150     | 8-12       | 作业坑 $\geq 2\text{m} \times 1.5\text{m}$ | 老旧小区、窄巷（施工空间受限）                  |
| 胀管法        | 100-600   | 100-500    | 10-15      | 作业坑 $\geq 4\text{m} \times 3\text{m}$   | 郊区长输管道、铸铁管更新                     |
| 喷涂法        | 50-400    | 20-100     | 5-8        | 作业坑 $\geq 1.5\text{m} \times 1\text{m}$ | 支管、低压力管道（ $\leq 0.4\text{MPa}$ ） |

数量（仅设2个作业坑），降低交通干扰。

修复效果：施工周期3天（开挖修复需10天），交通延误降低70%；修复后打压测试压力1.6MPa（设计压力1.0MPa），无泄漏；运行2年无异常，内壁光滑度提升，水力损失降低8%。

### 3.2 案例2：某老旧小区DN300铸铁管修复（内衬折叠筒）

工程背景：小区建成于1998年，原管道为灰口铸铁管，接口松动导致年均泄漏2-3次，小区道路宽度仅3m，开挖修复需拆除路边停车位与绿化带，居民反对意见强烈。

技术选型理由：施工空间要求低（作业坑2m×1.5m），无需拆除停车位；修复长度120m，分4段施工，每段仅需1天，减少居民干扰；内衬折叠筒展开后与原管道贴合度≥95%，解决接口松动问题。

修复效果：施工期间未影响居民停车与出行，满意度达98%；修复后运行1年无泄漏，管道流通能力提升10%；初始成本96万元（120m×800元/m），较CIPP节省48万元。

### 3.3 案例3：郊区DN500铸铁管更新（胀管法）

工程背景：该管道为郊区工业用气专线，服役20年，铸铁管内壁结垢严重，管径缩径15%，且存在多处接口泄漏，需彻底更新管道以满足工业用气流量需求（原流量150m<sup>3</sup>/h，需提升至200m<sup>3</sup>/h）。

技术选型理由：胀管法可同步完成“旧管破碎+新管拉入”，无需开挖沟槽，适合郊区复杂地形（多农田、沟渠）；新PE管水力损失低，可满足流量提升需求；全生命周期成本最低（1km120万元），符合工业管道经济性要求。

修复效果：施工周期7天（1km），较开挖修复缩短10天；新管流量达220m<sup>3</sup>/h，超出设计需求10%；运行3年无维护，土壤扰动面积仅为开挖修复的1/5，农田赔偿成本降低80%。

## 4 非开挖修复技术应用中的问题与优化建议

### 4.1 现存核心问题

①技术适配性不足：部分项目忽视“管径-场景-压力”匹配，如用喷涂法修复高压（1.6MPa）管道，导致1年内涂层脱落；

②施工质量管控缺失：CIPP修复中存在树脂固化度不足（<80%）、内衬管褶皱等问题，影响使用寿命；

③小口径支管修复技术短缺：DN50-DN100支管占老旧管道总量的35%，但现有技术中仅喷涂法适配，且修复后寿命较短（15年）。

### 4.2 优化建议

①构建技术选型决策树：以“管径→压力等级→

周边环境→成本预算”为节点，形成标准化选型流程（例：DN300、压力0.8MPa、小区场景→内衬折叠筒）；

②强化施工质量检测：引入“固化度实时监测”（CIPP修复）、“内衬贴合度超声检测”（折叠筒修复）等技术，确保施工质量达标；

③研发新型修复技术：推动“小口径CIPP修复”“智能喷涂机器人”等技术攻关，填补小口径支管修复短板；

④推广数字化运维：修复后加装管道监测传感器（压力、流量、腐蚀监测），建立“修复-运维”闭环，延长管道使用寿命。

## 5 结论

老旧燃气管道非开挖修复技术需遵循“场景适配”原则：CIPP紫外光固化适合大口径、高风险路段，内衬折叠筒适合空间受限的小区场景，胀管法适合铸铁管更新，喷涂法适合小口径支管防腐。

全生命周期成本是长期选型的核心指标：胀管法（铸铁管）与CIPP修复（钢管）的长期经济性最优，避免仅以初始成本决策导致的重复投资。

未来需通过“技术研发+质量管控+数字化运维”三位一体提升修复效能，推动老旧燃气管道更新改造从“达标修复”向“优质长寿”转型。

非开挖修复技术的合理应用，不仅能解决老旧燃气管道安全隐患，还能降低城市交通与环境干扰，为新型城市基础设施建设提供技术支撑，具有显著的工程价值与社会意义。

### 参考文献：

- [1] 刘康, 樊静. 紫外光固化技术在非开挖排水管道修复中的应用[J]. 云南水力发电, 2024, 40(07).
- [2] 田力. 天然气管道修复中非开挖技术的应用分析[J]. 城市建筑, 2019, 16(36):138-139.
- [3] 林涛. 非开挖技术在天然气管道修复中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(05).
- [4] 王志华. 城市高压天然气管道修复技术的应用[J]. 上海煤气, 2006, (04):1-4.
- [5] 卢泓方, 吴晓南, TomIseley, 等. 国外天然气管道非开挖安装、修复及更换技术[J]. 天然气工业, 2018, 38(03):110-120.
- [6] 冯涛, 张思畅, 张波, 等. 城镇燃气管道非开挖修复现场成型折叠管内衬法施工质量控制要点分析[J]. 城市燃气, 2022, (12):26-29.
- [7] 张萍. 浅谈燃气旧管网非开挖修复——翻转内衬技术的使用[J]. 城市燃气, 2021, (S1):21-24.
- [8] 陈晓鹏. 翻转内衬修复技术在燃气管道中的应用[J]. 当代化工研究, 2020, (22):39-40.