

老旧供水管网更新改造技术路径与成本效益分析

王水亭

江西庭晟市政工程有限公司 江西 吉安 343000

摘要：本文系统梳理了当前我国老旧供水管网面临的主要问题与挑战，深入分析了非开挖修复、局部更换、整体更新等主流技术路径的适用条件、技术特点与实施要点，并构建了涵盖直接成本、间接成本、环境效益与社会效益的综合成本效益分析框架。通过案例比较与参数敏感性分析，本文指出：应坚持“评估先行、分类施策、技术适配、效益优先”的原则，结合城市实际，科学选择技术路径；同时，建议完善政策支持体系、创新投融资机制、强化智慧化管理，以实现老旧供水管网更新改造的经济性、安全性和可持续性统一。

关键词：老旧供水管网；更新改造；技术路径；非开挖修复；成本效益分析；漏损控制

引言

城市供水管网是保障居民生活、支撑经济社会发展的关键基础设施，被誉为城市的“生命线”。然而，我国大量城市供水管网始建于20世纪50-90年代，受当时建设标准、材料工艺及管理水平限制，普遍存在管材落后（如灰口铸铁管、镀锌钢管、水泥管等）、接口密封性差、防腐能力弱、布局不合理等问题。根据住房和城乡建设部相关统计，截至2023年底，全国城市公共供水管网漏损率平均值仍高达12%以上，部分老旧城区甚至超过20%，远高于发达国家6%-8%的平均水平。高漏损不仅造成宝贵水资源的巨大浪费，每年损失水量相当于数个大型水库的库容，还导致供水压力不稳定、水质安全风险加剧，并频繁引发道路塌陷、交通中断等次生灾害，严重影响城市运行效率与居民生活质量。面对这一严峻挑战，国家层面高度重视。《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》《城市供水管网漏损控制及评定标准》等政策文件均明确提出要加快推进老旧供水管网更新改造，力争到2025年将全国城市公共供水管网漏损率控制在9%以内。然而，管网更新改造是一项系统工程，涉及技术选择、资金筹措、施工组织、社会影响等多重复杂因素。如何在有限的财政与社会资源约束下，科学、高效、经济地推进改造工作，成为当前亟待解决的核心问题。

1 老旧供水管网的主要问题与挑战

1.1 管材老化与结构性缺陷

早期广泛使用的灰口铸铁管（CIP）脆性大、抗震性差，易因土壤沉降或外部荷载发生断裂；镀锌钢管易腐蚀结垢，内壁粗糙度增加导致水头损失增大，且锈蚀产物易造成“黄水”问题；预应力钢筒混凝土管（PCCP）在特定环境下可能发生钢丝腐蚀断裂，引发灾难性爆

管。这些材料的物理化学性能退化是管网系统性风险的根本来源。

1.2 高漏损率与水资源浪费

管网漏损分为明漏与暗漏两类，其中暗漏因难以察觉而更具隐蔽性和危害性。老旧管网由于接口松动、管体裂缝及腐蚀穿孔等问题，暗漏比例极高。高漏损不仅直接造成大量优质水资源的浪费，还迫使水厂不得不增加供水量以维持系统压力，从而间接推高制水能耗与碳排放^[1]。据估算，全国每年因管网漏损损失的水量相当于数座大型水库的年供水能力，这在水资源日益紧张的背景下尤为令人担忧。

1.3 水质二次污染风险

在输配过程中，出厂水可能因管网老化而遭受二次污染。管壁腐蚀产生的铁、锰、铅等重金属离子，生物膜的滋生，以及外部污染物通过破损点渗入，均可能导致水质恶化。尤其在管网末梢或低流速区域，水体滞留时间长，污染物累积效应更为显著，严重威胁居民饮水安全。这种“源头达标、末端污染”的现象，已成为制约城市供水水质提升的关键瓶颈。

1.4 运行维护成本高昂

频繁的爆管抢修、漏点探测、水质监测以及因施工导致的道路修复和交通疏导等，不仅耗费大量人力物力，还造成水费收入流失，影响水务企业的财务可持续性。此外，高漏损率意味着有效供水量减少，进一步削弱了水司的经营能力，形成“高投入、低回报”的恶性循环。

1.5 改造实施的现实约束

尽管改造需求迫切，但实际推进面临多重现实约束。首先，资金压力巨大，管网改造单位投资强度高，且多为公益性支出，地方财政和水司难以独立承担。其

次，传统开挖施工对城市交通、商业活动和居民生活造成严重干扰，社会接受度低。再次，城市地下空间管线密集，涉及电力、通信、燃气、热力等多种设施，施工协调难度大、安全风险高。最后，缺乏对管网健康状况、剩余寿命和风险等级的系统性、动态化评估手段，导致改造决策往往带有盲目性，难以实现精准施策。

2 老旧供水管网更新改造的主要技术路径

2.1 非开挖修复技术

非开挖修复技术以最小地表扰动实现管网功能恢复或提升，已成为当前老旧管网改造的主流方向。其中，原位固化法（CIPP）通过将浸渍树脂的软管拉入旧管并加热固化，形成“管中管”结构，具有内衬光滑、耐腐蚀、施工周期短、对交通影响小等优点，但会导致过流断面略有缩小，且对弯头多、管径变化复杂的管道适应性较差。穿插法则将外径略小的新管（如PE或PVC）穿入旧管，技术成熟、成本较低，但断面损失较大，且需处理新旧管之间的环形间隙。机械制螺旋缠绕法适用于大管径、长距离修复，断面损失小，但设备复杂、施工精度要求高^[2]。喷涂法则通过在管内壁喷涂水泥砂浆或环氧树脂形成保护层，适用于轻微腐蚀、以改善水质为主要目标的场景，成本低但耐久性相对较弱。总体而言，非开挖技术特别适用于交通繁忙区、历史街区、地下管线密集区等对施工扰动敏感的区域，尤其适合管体结构尚可、主要问题为内腐蚀或接口渗漏的管道。

2.2 局部更换与点状修复

局部更换与点状修复聚焦于管网中的特定破损点或小范围劣化区域，强调精准干预。例如，不锈钢双胀环修复通过在破损处安装液压胀紧密封的不锈钢套筒实现快速止漏；机械夹具修复则利用专用夹具紧固于漏点处，适用于应急抢修；局部开挖更换仅针对问题管段进行开挖替换，避免大面积施工。这类技术适用于漏点明确、数量较少且管体整体状况尚可的管网，既可作为日常维护手段，也可作为非开挖修复前的临时措施，具有成本低、响应快、扰动小的特点。

2.3 整体更新

整体更新是对老旧管网进行彻底废弃并重新铺设新管的策略，适用于管材已到设计寿命、结构性损坏严重、管径无法满足未来需求或路由布局严重不合理的情形。传统开挖法虽施工直接，但对城市环境扰动大；非开挖牵引或顶管法则适用于穿越河流、铁路、建筑等障碍物或长距离直线段的更新，可在减少地表开挖的同时完成管道替换。整体更新虽初期投资高、工期长，但能从根本上解决管网系统性问题，并为未来用水增长预留

空间，具有长期战略价值。

2.4 技术路径选择决策框架

技术路径的选择不应依赖经验判断，而应建立在科学评估基础上。理想的做法是构建“评估—分级—施策”体系：首先通过智能检测手段（如声学测漏、CCTV内窥、电磁检测及水力模型模拟）对管网进行健康诊断与风险评级；其次根据评估结果，综合考虑管网状况、水力水质需求、施工环境约束、全生命周期成本及本地技术能力等因素；最终按照“高风险优先、效益显著优先”的原则，匹配最适宜的技术路径组合^[3]。这种基于数据驱动的决策模式，有助于实现改造工作的精准化、高效化与经济性统一。

3 成本效益分析框架构建

3.1 成本构成

老旧管网更新改造的成本不仅包括显性的工程支出，还涵盖大量隐性社会成本。直接成本主要包括材料费、施工费、设备租赁、设计监理及项目管理等费用；而间接成本则体现为施工期间因交通延误造成的居民与企业时间损失、沿街商铺营业额下降、施工噪音与粉尘带来的环境扰动，以及停水对用户造成的不便与经济损失。尤其在高密度城区，间接成本可能占总成本的相当比例，若忽视此类成本，将导致决策偏差。

3.2 效益构成

改造带来的效益同样具有多维性。直接经济效益体现在漏损水量节约（按水价折算）、输水能耗降低（因水头损失减少）以及维修支出下降等方面。环境效益则表现为水资源节约减轻了对水源地生态的压力，同时降低制水与输水过程中的能源消耗，间接减少碳排放。社会效益更为广泛，包括供水可靠性提升保障了基本民生，水质安全改善增强了公众健康水平，爆管事故减少提升了城市运行安全，施工扰动降低则有助于改善城市形象与居民满意度^[4]。尽管部分社会效益难以货币化，但在决策中应通过条件价值法或意愿支付法进行合理估算，或作为定性权重纳入综合评判。

3.3 分析方法

为科学评估项目可行性，可采用净现值（NPV）、效益成本比（BCR）和内部收益率（IRR）等经典经济分析工具。NPV大于零表明项目在经济上可行；BCR大于1说明总效益超过总成本；IRR高于社会折现率则项目具有投资价值。此外，还需开展敏感性分析，考察水价、漏损率降幅、折现率等关键参数变动对结果的影响，以评估方案的稳健性。通过多维度、动态化的成本效益分析，可为技术路径选择提供量化依据，避免“重建设、

轻效益”的倾向。

4 案例分析与讨论

4.1 案例背景

某城市老城区一段建于1985年的DN300灰口铸铁主干管，全长5公里，年均爆管5次，实测漏损率高达22%，已严重威胁区域供水安全。鉴于该区域交通繁忙、地下管线复杂，改造方案需兼顾技术可行性与社会影响。

4.2 方案比选

方案A采用整体开挖更换为DN400球墨铸铁管，虽能彻底解决问题并预留扩容空间，但投资高达1200万元，工期6个月，对交通影响极大；方案B采用CIPP非开挖修复，内衬DN280PE管，投资900万元，工期仅3个月，社会扰动小；方案C则采取局部更换高风险段2公里并配套DMA分区计量与智能监测系统，投资700万元，工期4个月，属于低成本过渡策略。

4.3 成本效益测算

在6%折现率、20年分析期内的简化测算显示，方案A的NPV为1020万元，BCR为1.85；方案B的NPV为980万元，BCR达2.09；方案C的NPV为620万元，BCR为1.89。尽管方案A在漏损控制和长期适应性上更具优势，但方案B因投资较低、间接成本极小，展现出最优的经济效率。方案C虽成本最低，但效益有限，适合作为资金紧张时期的过渡措施。

表1：成本效益测算结果

项目	方案A	方案B	方案C
初始投资(万元)	1200	900	700
年运维节约(万元)	80	60	40
年漏损节约(万元)*	150	120	80
年间接成本(万元)	-50	-10	-5
NPV(万元)	1020	980	620
BCR	1.85	2.09	1.89

*注：按水价3元/吨，年节水量分别为50万吨、40万吨、27万吨估算。

4.4 结果分析

该案例表明，在交通敏感、扩径需求不迫切的老城区，非开挖修复技术凭借其高性价比和低社会扰动，成为最具可行性的选择。若未来用水增长明确且需扩容，则整体更新更具战略意义。决策应基于具体情境，在短期效益与长期适应性之间寻求平衡。

5 政策建议与实施路径

为系统推进老旧供水管网更新改造，亟需强化顶层设计与标准引领，制定全国统一的管网评估、分级与改造技术导则，明确各类技术路径的适用边界。在资金保障方面，应创新投融资机制，积极推广PPP模式，发行地方政府专项债，并探索“节水效益分享”机制，将节约的水费收益用于偿还改造贷款。同时，推动智慧水务深度融合，将管网改造与DMA分区计量、压力优化、水质在线监测及AI漏损预警系统同步规划，实现“工程改造+智能管控”双轮驱动。此外，应完善水价形成机制，建立反映全成本的水价体系，并对漏损率达标企业给予激励，对超额漏损实施约束。最后，需加强非开挖装备国产化研发与复合型管网管理人才培养，为改造工作提供坚实的技术与人才支撑。

6 结语

老旧供水管网更新改造是保障城市水安全、促进水资源节约、提升城市韧性的关键举措。面对技术多元、约束复杂的现实，必须摒弃“一刀切”的粗放模式，转向基于精准评估的“分类施策、技术适配”策略。非开挖修复技术因其扰动小、效益显著，已成为高密度城区改造的首选；而整体更新则适用于结构性失效严重或需扩容的骨干管网。构建涵盖经济、环境、社会多维度的成本效益分析框架，是实现科学决策的核心工具。未来，应通过政策、资金、技术与管理的协同创新，推动老旧管网改造从“被动应急”向“主动预防”、从“工程驱动”向“效益驱动”转型，为建设安全、绿色、智慧的现代化城市供水系统奠定坚实基础。

参考文献

- [1]王子兴.城市老旧供水管网改造的难点及应对措施[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会,重庆建筑编辑部,重庆市建筑协会.智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(一).河北省承德市隆化县水务局,2025:1245-1247.
- [2]张玮.供水管网的老化问题及其更新改造技术分析[J].中国设备工程,2025,(13):210-212.
- [3]潘勇.城市供水管网更新改造的设计难点与应对策略[J].新城建科技,2025,34(01):85-87.
- [4]刘顺.浅探旧城区二次供水管网改造中的问题及措施[J].建材发展导向,2024,22(23):63-65.