

城市老旧供水管网漏损控制技术应用及经济分析

李超

许昌瑞贝卡水业有限公司 河南 许昌 461000

摘要：本文聚焦城市老旧供水管网漏损问题，系统分析管网老化、运行管理不善等致损因素，深入探讨压力调控、智能监测、非开挖修复等漏损控制技术的应用路径。通过构建经济分析模型，结合典型案例，从投资成本、运行费用、节水收益等维度评估技术可行性，论证先进技术在降低漏损率、提升供水效益方面的显著成效，为城市供水系统优化升级提供理论依据与实践指导。

关键词：老旧供水管网；漏损控制技术；压力调控；智能监测；经济分析

引言

随着城市化进程的加速推进，城市供水基础设施的重要性愈发凸显。然而，我国部分城市存在大量服役超过30年的老旧供水管网，因管材老化、施工标准低、运行维护不足等问题，导致管网漏损现象严重。《中国城市建设统计年鉴》数据显示，全国城市平均管网漏损率约为12.5%，部分城市甚至超过20%，每年因漏损造成的水资源浪费高达数十亿立方米。管网漏损不仅加剧了水资源短缺的矛盾，还增加了供水企业的运营成本，引发水质污染、道路塌陷等次生灾害，严重影响城市供水安全与居民生活质量。因此，探索高效的漏损控制技术并进行科学的经济分析，对实现城市水资源的可持续利用与供水系统的高质量发展具有重要意义。

1 城市老旧供水管网漏损现状与成因剖析

1.1 管网漏损现状特征

我国城市老旧供水管网漏损呈现区域性、结构性差异。从地域分布看，北方城市因冬季冻融影响，管道冻裂导致的漏损问题突出；南方城市则受地质沉降、酸雨腐蚀等因素影响，接口渗漏与管材破损现象频发。从管网结构分析，早期建设的铸铁管、镀锌钢管等管材占比高，这类管材抗腐蚀性差，随着使用年限增长，内壁腐蚀、结垢严重，管道强度显著下降，易出现裂缝、穿孔等漏损点。同时，部分管网因设计不合理，存在局部压力过高、水流速过快的的问题，加速了管道的破损进程。

1.2 漏损成因多维分析

管材与施工质量缺陷：20世纪80-90年代铺设的供水管网，多采用灰口铸铁管、镀锌钢管等传统管材，其耐腐蚀性与机械强度远低于现代管材。施工过程中，受技术条件限制，管道接口焊接不牢固、防腐层处理不规范等问题普遍存在。例如，某城市早期采用的承插式接口铸铁管，在服役20年后，接口渗漏率高达35%，成为管网

漏损的主要源头。

运行管理机制滞后：部分供水企业缺乏科学的管网运行监测体系，依赖人工巡检的传统模式，巡检周期长、效率低，难以发现微小漏损点。同时，管网压力调控手段落后，未根据用水峰谷变化动态调整压力，导致管道长期承受过高压力，加速老化破损。

外部环境因素影响：城市基础设施建设的快速发展，如地铁施工、道路改造等工程活动，频繁扰动地下管网，造成机械损伤。自然环境因素方面，季节性冻融循环使北方城市管道产生冻胀裂缝；南方地区酸雨腐蚀、土壤酸碱失衡等问题，加剧了管道的腐蚀进程。

2 老旧供水管网漏损控制技术体系构建

2.1 压力调控技术优化策略

精细化分区计量管理：将供水管网划分为若干独立计量区域，通过安装高精度分区流量计与压力传感器，实时监测各区域的用水流量与压力数据。基于大数据分析，建立管网压力-流量数学模型，精准预测不同时段、不同区域的用水需求，实现压力的动态调控。某省会城市实施分区计量管理后，通过夜间降压运行，管网漏损率降低了8个百分点。

智能压力调控设备应用：在管网关键节点部署智能压力调节阀、减压阀等设备，结合物联网技术，实现对局部管网压力的自动调节。当监测到压力异常时，设备可在数秒内作出响应，将压力控制在合理区间。新型压力调控设备采用液压与电动双驱动模式，具备故障自诊断功能，可有效避免因设备故障导致的压力失控问题。

2.2 智能监测技术创新应用

声学监测技术升级：新一代声学监测设备采用多传感器阵列技术，通过布置在管道上的多个声学传感器，接收漏损点产生的声波信号。利用时差定位算法，可将漏损点定位精度提升至±3米以内。同时，设备内置机器

学习算法，能够自动识别不同类型的漏损声音特征，区分正常水流声与漏损声，减少误报率。

光纤传感技术突破：分布式光纤传感系统利用光时域反射（OTDR）原理，实现对长距离管道的实时监测。通过分析光纤中光信号的背向散射与衰减变化，可获取管道沿线的温度、应变等参数。当管道发生漏损时，周围环境温度、湿度变化会引起光信号异常，系统可在毫秒级时间内定位漏损位置，监测距离可达50公里以上。

物联网监测平台集成：构建基于物联网的管网智能监测平台，整合压力、流量、水质、漏损等多源数据。平台采用云计算技术，实现数据的实时处理与分析，并通过人工智能算法建立管网运行状态评估模型。当监测数据超出正常阈值时，平台自动生成预警信息，并推送至相关管理人员手机终端，实现漏损问题的快速响应。

2.3 管道修复与更新技术革新

2.3.1 非开挖修复技术拓展

CIPP原位固化法改良：新型CIPP内衬材料采用纳米复合树脂，其固化速度较传统材料提升30%，固化后强度提高20%。施工过程中，通过牵引法或翻转法将浸渍树脂的软管置入旧管道内，利用热水或蒸汽进行固化，形成高强度的“管中管”结构。该技术适用于管径DN100-DN2000的各类管道修复，施工时无需开挖路面，对交通影响极小。

点状修复技术创新：研发出基于紫外线固化的点状修复技术，通过将含有光敏树脂的修复材料注入漏损点，利用紫外线照射快速固化，实现对局部破损管道的修复。该技术操作简便，修复时间短，单次修复时间不超过1小时，特别适用于抢修作业。

2.3.2 管道更新技术突破

爆管法智能化升级：新一代爆管设备配备智能导向系统，通过传感器实时监测新管道的拉入轨迹，确保管道铺设精度。同时，设备采用液压破碎技术，可根据旧管道材质与管径自动调整破碎力度，减少对周边环境的扰动。爆管法更新技术可实现同管径或扩径更新，施工效率较传统方法提高50%。

定向钻穿越技术优化：定向钻穿越技术在轨迹控制、泥浆配比等方面取得突破。采用高精度陀螺仪进行轨迹测量，误差控制在±2厘米以内；优化泥浆配方，提高泥浆的悬浮性与润滑性，减少管道回拖阻力。该技术适用于穿越河流、铁路、高速公路等复杂地段的管道更新，施工成功率达98%以上。

3 漏损控制技术典型案例研究

3.1 案例一：东部某二线城市B市管网改造

项目背景：B市供水管网总长度1800公里，其中服役超过30年的管道占比达45%，2019年管网漏损率高达23%，年漏失水量达4200万立方米。

技术实施：

构建全域分区计量系统，将管网划分为80个计量区域，安装智能压力传感器1200个、电动调节阀200台，实现压力精细化调控。

部署声学监测设备500套、光纤传感监测点80处，搭建物联网监测平台，实现漏损实时监测与定位。

采用CIPP内衬修复技术修复管道300公里，爆管法更新管道80公里，对150处局部漏损点进行点状修复。

实施效果：改造后，B市管网漏损率降至9.5%，年节约水量2500万立方米，管网事故率下降70%，水质浊度从2.8NTU降至0.8NTU，供水安全性与水质显著提升。

3.2 案例二：北方某省会城市C市管网改造

项目背景：C市冬季漫长寒冷，供水管网受冻融影响严重，部分管道冻裂漏水频繁，2020年管网漏损率为18%，年漏失水量达3000万立方米。

技术实施：

安装智能温控压力调控设备，在冬季自动调节管网压力，并对易冻区域管道采取电伴热保温措施。

应用分布式光纤传感技术，对主干管网进行温度实时监测，及时发现管道冻裂隐患。

采用非开挖内衬修复技术修复受损管道200公里，对严重破损管道进行定向钻穿越更新50公里。

实施效果：改造后，C市管网漏损率降至8%，冬季管道冻裂事故减少85%，年节约水量1800万立方米，有效解决了冬季供水安全问题。

4 漏损控制技术经济分析与评价

4.1 成本构成分析

一次性投资成本：包括压力调控设备、智能监测系统、管道修复与更新工程等费用。以B市项目为例，总投资3.5亿元，其中智能监测系统投资1.2亿元，占比34.3%；管道修复与更新投资1.8亿元，占比51.4%；压力调控系统投资0.5亿元，占比14.3%。

运行维护成本：涵盖设备电费、传感器校准费、管道维护费、人员培训费等。B市项目运行后，年运营成本约1500万元，其中智能监测设备维护费用占32%，压力调控系统电费占28%，管道日常维护费用占25%，人员培训费用占15%。

4.2 效益产出分析

直接经济效益：以水价4元/立方米计算，B市项目年节约水量2500万立方米，直接节水收益达1亿元。同时，

管网事故率下降减少了抢修费用，年节约维修成本约800万元。

间接经济效益：水质提升降低了水厂净化处理成本，B市项目每年可节约水质处理费用约500万元。此外，减少的漏损水量可用于新增供水，满足城市发展需求，创造潜在经济价值。

环境社会效益：减少的水资源浪费有助于缓解区域水资源短缺问题，降低因漏损导致的地下水污染风险。同时，减少道路开挖维修次数，改善城市交通状况，提升居民生活满意度。

4.3 经济评价模型构建

投资回收期计算：采用静态投资回收期公式 $T = \frac{I}{R}$ （其中I为总投资，R为年净收益）。B市项目年净收益（节水收益+维修成本节约+水质处理费用节约-运行维护成本）为9800万元，静态投资回收期约为3.6年。

内部收益率（IRR）评估：通过现金流折现模型计算，B市项目内部收益率达20.3%，高于行业基准收益率12%，表明项目具有良好的盈利能力与经济可行性。

敏感性分析：对水价波动、投资成本变化、运行维护费用增减等因素进行敏感性分析，结果显示水价变动对项目收益影响最为敏感，投资成本与运行维护费用在±10%波动范围内，项目仍保持盈利状态。

5 推广应用建议与发展展望

5.1 技术推广优化路径

建立技术适应性评估体系：针对不同城市的管网特点、经济水平、地理环境等因素，制定漏损控制技术适用性评估标准。通过量化分析，为各地选择最适宜的技术组合方案，避免盲目投资。

推动产学研协同创新：鼓励供水企业、科研机构、设备制造商建立联合研发平台，针对漏损控制技术的关键难题开展攻关。例如，研发适用于小口径管道的高精度漏损检测设备，以及低成本、高性能的管道修复材料。

5.2 管理机制创新举措

完善管网全生命周期管理：建立从规划设计、施工建设到运行维护、更新改造的管网全生命周期管理体系。利用地理信息系统（GIS）与数字孪生技术，构建管网三维模型，实现管网运行状态的可视化管理与预测性维护。

加强跨部门协同合作：建立供水企业与市政、交通、环保等部门的协同工作机制，在城市建设规划阶段统筹考虑供水管网布局，减少外部施工对管网的影响。同时，加强与污水处理部门合作，实现漏损水量的回收利用。

5.3 政策保障体系建设

加大财政资金支持：中央与地方政府设立老旧管网改造专项基金，对采用先进漏损控制技术的项目给予30%-50%的资金补贴，降低企业改造压力。

完善激励约束政策：将管网漏损率纳入地方政府绩效考核指标，对达到国家《城镇供水管网漏损控制及评定标准》的城市给予奖励。同时，对高漏损率城市实施限批新建供水项目等约束措施，倒逼供水企业加强漏损控制。

结论

城市老旧供水管网漏损控制是保障城市供水安全、实现水资源可持续利用的关键环节。压力调控、智能监测、管道修复与更新等技术的综合应用，能够显著降低管网漏损率，提升供水系统的安全性及经济性。通过典型案例的经济分析表明，漏损控制技术项目具有良好的成本效益，投资回收期较短，内部收益率可观，具备较高的推广价值。在未来的城市供水系统建设中，需进一步加强技术创新、优化管理机制、完善政策保障，推动老旧供水管网漏损控制向智能化、精细化方向发展，为城市高质量发展提供坚实的水资源保障。

参考文献

- [1]王娟,陶涛,严国.供水管网漏损控制方法与应用成效分析[J].净水技术,2024,43(09):54-62.
- [2]唐君言,司马文卉,赵政阳,等.超大城市供水系统管网漏损控制策略与潜力分析[J].西北水电,2023,(05):42-47.
- [3]林海珍.城市供水管网漏损现状分析及控制技术应用[J].石河子科技,2023,(05):69-71.
- [4]吕炎,秦经纬,张超,等.华北地区某城市主城区智慧供水管网漏损控制设计与实践[J].建设科技,2023,(10):32-36.
- [5]李鑫,祝达,陶其育.营业服务区供水管网漏损检测与控制技术分析[J].海河水利,2023,(02):70-73+83.