

市政供水管网：从大型建设到高效抢修的技术与实践

夏伟德

广东 广州 510310

DOI:10.61369/ME.2025110051

摘 要： 市政供水管网的优化与维护对提升供水效率和可靠性意义重大。拓扑结构优化需综合多因素，运用模拟技术筛选方案。新材料研发应用及智能集成可实现精准感知与管理。泄漏检测、预防性维护、高效抢修等技术的运用，能保障管网稳定运行。不同修复技术经济效益对比显示非开挖技术优势明显，各类案例也提供了实践经验。

关 键 词： 市政供水管网；拓扑结构优化；高效抢修技术发

Municipal Water Supply Network: Technology and Practice from Large scale Construction to Efficient Repair

Xia Weide

Guangzhou, Guangdong 510310

Abstract： The optimization and maintenance of municipal water supply networks are of great significance for improving water supply efficiency and reliability. Topology optimization requires a comprehensive consideration of multiple factors and the use of simulation techniques to screen solutions. The research and application of new materials, as well as intelligent integration, can achieve precise perception and management. The application of leak detection, preventive maintenance, efficient repair and other technologies can ensure the stable operation of the pipeline network. The comparison of economic benefits of different repair technologies shows that non excavation technology has obvious advantages, and various cases also provide practical experience.

Keywords： municipal water supply network; topology optimization; efficient repair technology

引言

市政供水管网的优化对城市供水至关重要。2021年颁布的《城镇供水服务》国家标准强调了供水可靠性和高效性的要求。在此背景下，优化管网拓扑结构需综合考虑城市地形、用水分布及未来规划，并借助计算机模拟筛选最优方案。新型管道材料与智能传感器集成创新，提升管网运行管理水平。同时，水力监测、泄漏定位、预防性维护及高效抢修等技术不断发展，如自体凝血酶堵漏与传统焊接协同应用等。这些技术与实践的发展，推动市政供水管网朝着高效、智能、可持续方向迈进，以满足城市发展的供水需求。

一、市政供水管网规划与建设技术

（一）管网系统拓扑结构优化

市政供水管网的拓扑结构优化对提升供水效率与可靠性至关重要。优化过程需综合考虑诸多因素，如城市地形地貌、用水分布以及未来发展规划等。在地形复杂区域，应依据地势起伏合理布局管道走向，减少水头损失。通过分析用水分布，将管道优先铺设至用水密集区，保障供水充足。同时，结合城市未来发展规划，预留管网拓展空间。运用先进的计算机模拟技术，对不同拓扑结构方案进行模拟分析，评估其水力性能、建设成本与运行维护难度^[1]。筛选出最优方案，既能满足当前供水需求，又能适应城市长期发展，实现市政供水管网拓扑结构的科学性、合理性与

前瞻性，提高整体供水效能。

（二）新型管道材料研发应用

在市政供水管网规划与建设中，新型管道材料的研发应用意义重大。随着技术发展，复合管道材料成为研发重点。这类材料结合多种材质优势，具备更优的耐腐蚀性、高强度与柔韧性，能适应复杂地质条件与不同供水需求。比如，钢塑复合管融合钢材的高强度和塑料的耐腐蚀特性，有效延长管道使用寿命。与此同时，将智能传感器与复合管道材料集成创新是一大趋势。通过内置智能传感器，可实时监测管道压力、流量、水质等关键参数，实现对供水管网的精准感知与智能管理^[2]。这不仅有助于及时发现潜在问题，提前预警，还能优化供水调度，提升整体运行效率，保障市政供水管网安全稳定运行。

二、管网运行维护管理体系

（一）水力监测与泄漏定位技术

在市政供水管网的运行维护管理体系中，水力监测与泄漏定位技术至关重要。压力波动分析通过对管网内压力变化的实时监测，捕捉因泄漏引起的异常压力波动信号，为泄漏定位提供基础依据。声波检测则利用泄漏产生的声波特性，精确确定泄漏点的位置。将两者进行组合诊断，能显著提高泄漏检测的准确性和效率。压力波动分析可大范围初步锁定可能存在泄漏的区域，而声波检测则针对这些区域进一步精准定位。这种组合诊断方法充分发挥两种技术的优势，相互补充，克服单一技术在复杂管网环境中的局限性^[9]，为市政供水管网快速且准确地发现泄漏点、及时进行抢修提供有力的技术支持，保障供水管网的稳定运行。

（二）预防性维护策略构建

构建预防性维护策略，首先要基于大数据分析的管网健康度评估模型^[10]。通过收集管网运行中的压力、流量、水质、管材、使用年限等多维度数据，运用数据挖掘与机器学习算法，精准评估管网健康程度。对于健康度较低的管段，提前制定维护计划，如更换老化管材、修复轻微破损等。利用物联网技术实时监测管网关键节点参数，当参数出现异常波动，预示可能存在故障风险时，及时启动预防性维护措施，降低突发故障概率。同时，结合地理信息系统（GIS），直观展示管网健康状况分布，合理规划维护资源分配，优先对风险高区域进行维护，以提高维护效率，确保市政供水管网稳定运行。

三、自体凝血酶在抢修技术中的应用

（一）自体凝血酶作用机理

1. 凝血酶分子激活机制

在市政供水管网的高效抢修技术中，自体凝血酶发挥着独特作用。自体凝血酶的作用机理基于复杂的生物化学过程。凝血酶原在一系列条件触发下发生转化。在这个过程中，凝血酶原具有特定的生物化学特性^[5]。其分子结构包含多个功能区域，在激活时，这些区域相互协作。凝血酶原通过蛋白水解切割，从无活性的前体形式转变为有活性的凝血酶。这种切割由特定的蛋白酶催化，这些蛋白酶识别凝血酶原上特定的氨基酸序列。一旦切割发生，凝血酶的活性位点暴露，从而能够与底物相互作用，启动后续的凝血级联反应，在供水管网抢修中，可利用这一机制快速实现局部凝血，阻止漏水等问题，为抢修工作创造有利条件。

2. 快速固化堵漏特性

自体凝血酶在市政供水管网抢修技术中发挥着独特作用，其快速固化堵漏特性尤为关键。自体凝血酶能够催化纤维蛋白原转化为纤维蛋白，在短时间内形成坚固的纤维蛋白网络结构^[6]。这种结构可迅速堵塞供水管网的漏洞，阻止水流进一步泄漏。在不同管材表面，凝血酶复合物展现出良好的黏附性能，无论是金属管材，还是塑料管材，它都能牢固附着，进而加速固化过程。快速固化不仅能及时控制泄漏，减少水资源浪费，还能降低因漏水

对周边环境及基础设施造成的潜在损害，为市政供水管网的高效抢修提供了有力的技术支持，大大缩短抢修时间，提升抢修效率。

（二）应急抢修工艺创新

1. 微创注浆技术开发

在市政供水管网的应急抢修中，微创注浆技术开发有着重要意义。通过设计定向注射装置与压力控制系统的技术参数，实现更精准高效的注浆作业。定向注射装置需确保能够将含有自体凝血酶的注浆材料准确注入破损部位，其管径、长度、注射角度等参数需依据管道的具体规格、破损位置及实际工况精细确定^[7]。压力控制系统则要保证注浆压力适中，压力过小难以使材料有效填充缝隙，过大可能导致管道其他部位受损。该系统需能实时监测并调节压力，依据管道材质、破损程度等设定合理压力范围，确保注浆过程安全、稳定、高效，从而实现对供水管网破损处的快速且微创的修复，提升整体抢修效率与质量，保障市政供水管网的稳定运行。

2. 联合修复工艺体系

在市政供水管网的应急抢修中，构建自体凝血酶堵漏与传统焊接技术的协同应用方案，形成联合修复工艺体系具有重要意义。自体凝血酶能快速凝固，有效封堵较小漏点，阻止水流进一步泄漏，为后续修复争取时间和稳定环境。传统焊接技术则凭借成熟工艺，对管径较大、压力较高部位进行永久性修复，确保管网结构稳固^[8]。在实际操作时，先利用自体凝血酶对漏点进行初步处理，抑制漏水状况，随后针对适合焊接的部位，按照焊接技术规范进行精准施焊，使管道恢复正常运行。这种联合修复工艺体系，结合了自体凝血酶快速堵漏与传统焊接技术坚固修复的优势，大大提升市政供水管网应急抢修的效率与质量，保障城市供水的稳定与安全。

四、技术应用实践案例

（一）老旧管网修复工程

1. 铸铁管道渗漏治理

在市政供水管网老旧管网修复工程中，针对铸铁管道渗漏治理有成功实践案例。以某区域一段出现渗漏的 DN800 主铸铁管道为例，该管道因长期运行及外部环境影响出现多处渗漏点，严重影响供水稳定性。经现场勘查与分析，决定采用非开挖修复技术。首先，运用内窥检测设备精准定位渗漏位置与程度。随后，采用双胀圈修复法，将密封橡胶圈与钢质胀圈通过专用工具安装至渗漏部位，利用胀圈的张力使橡胶圈紧密贴合管道内壁，形成密封止水结构。施工过程严格控制安装精度与密封性，经过后续打压测试，渗漏问题成功解决，管道恢复正常运行，有效保障了区域供水。该案例体现非开挖修复技术在铸铁管道渗漏治理中的高效性与实用性，为同类工程提供借鉴^[9]。

2. 经济效益对比分析

以某市政供水管网老旧管网修复工程为例，对不同修复技术进行经济效益对比分析。传统的开挖更换管道技术，虽前期设备

投入相对较低，但施工过程需大面积开挖路面，对交通影响大，且修复后路面恢复成本高，同时长时间停水对周边居民和企业造成的间接经济损失也不容小觑。而采用非开挖修复技术，如内衬法、缠绕法等，虽初期设备及材料成本较高，但可显著减少对交通和居民生活的影响，停水时间短，间接经济损失大幅降低。经全生命周期成本核算^[10]，非开挖修复技术在长期来看经济效益更具优势，能有效平衡短期投入与长期效益，为市政供水管网老旧管网修复提供了更经济高效的解决方案。

（二）突发爆管应急处理

1. 高压供水管道抢修

在某市政供水管网中，一处运行压力为1.6MPa的高压供水管道突发爆管。现场迅速启动应急预案，抢修人员第一时间到达。首先关闭相关阀门，控制漏水量。运用先进的管道检测设备，精准定位爆管位置及受损程度。采用快速连接管件技术，将准备好的同规格管材迅速连接。同时，利用专用密封材料对接口进行密封处理，确保其密封性与耐压性。在抢修过程中，实时监测管内压力、流量等数据。抢修完成后，逐步恢复供水，再次检测相关参数，并对周边区域水质进行抽检。经评估，此次抢修有效控制了事故影响，恢复了正常供水，且抢修后的管道在1.6MPa工况下运行稳定，各项指标符合要求，为类似高压供水管道爆管应急处理提供了宝贵实践经验。

2. 作业时间压缩率

在市政供水管网突发爆漏应急处理中，传统焊接工艺不仅作业时间长、影响供水恢复，且对铸铁管等特定管材存在技术局限——目前无法使用管内窥技术进行探查，修复通常只能依赖加箍或停水换管两种方式。尤其在高压管爆漏应急处置中，现场需优先确保不发生二次灾害，并综合考虑停水修复对周边用户的供水影响。以某城市一次供水管网爆漏事故为例，以往采用传统焊接方式，从现场清理、管材准备到焊接完成，平均耗时约8小时。而引入新型快速抢修技术后，通过采用特制抢修管件与快速连接装置，在类似爆漏场景下，作业时间大幅缩短至3小时，作业时间压缩率达到62.5%。这一提升不仅显著减少了居民用水受影响时长，也降低了因停水造成的经济损失。同时，针对可能出现的不同停水时长（如12小时、24小时、36小时、48小时以上），相关预案与操作指引也已配套完善，进一步强化了应急处置的系统性与可控性。新型快速抢修技术的应用，为市政供水管网高效、安全抢修提供了有力支撑。

参考文献

- [1] 贾仁学. 供水管网数据智能转换技术的研究与实现 [D]. 大连理工大学, 2021.
- [2] 刘升升. 城市供水管网改扩建智能优化技术研究与实践——以青岛市棘洪滩区域供水改造为例 [D]. 青岛理工大学, 2023.
- [3] 王帅. 供水管网 WebGIS 系统的设计与实现 [D]. 大连理工大学, 2023.
- [4] 戴晨曦. 基于市政导则普查数据的水池和供水管网震害评估模型研究 [D]. 中国地震局工程力学研究所, 2023.
- [5] 姚华奇. 供水管网多目标优化分区技术研究与应 [D]. 浙江大学, 2022.
- [6] 梁建文, 赵雅坤, 肖笛. 市政埋地供水管网抗寒潮服务可靠度分析 [J]. 自然灾害学报, 2024, 33(3): 122-129.
- [7] 张铁勇. 浅谈如何提高供水管网安全抢修水平 [J]. 城镇供水, 2024(1): 98-101.
- [8] 陈浩. 城市供水管网爆管抢修的施工组织探索 [J]. 建筑与装饰, 2021(14): 111.
- [9] 聂军, 庞愉文, 赵家晓. 基于供水管网水力模型的市政管网消防供水能力研究 [J]. 消防科学与技术, 2024, 43(7): 1032-1036.
- [10] 李玉仙, 顾军农, 张静, 等. 水厂—管网协同控制提升管网供水水质的策略与实践 [J]. 北京水务, 2021(3): 36-41.

（三）特殊环境应用验证

1. 水下管道修复实践

在市政供水管网中，水下管道修复面临诸多挑战。以某河道穿越段供水管网为例，管道因长期受水流冲刷、腐蚀等影响出现破损。在修复实践中，先通过水下机器人对管道破损情况进行详细探查，精准定位破损位置与程度。针对该特殊环境，采用一种新型的水下快速封堵材料，其具备良好的水密性与耐腐蚀性。施工人员借助专业水下作业设备，将材料运送至破损处，按照精确的操作流程进行封堵修复。修复后，通过压力测试等手段验证修复效果，确保管道在水下复杂环境下能恢复正常供水功能，满足市政供水管网高效运行需求，成功解决了河道穿越段管道修复这一施工难题，为类似水下管道修复工程提供了宝贵经验。

2. 冻融循环耐受测试

在市政供水管网的建设与维护中，冻融循环耐受测试是关键环节。为确保管网在寒冷地区或季节性冻融环境下稳定运行，针对供水管网材料开展冻融循环耐受测试。模拟实际环境中频繁的温度变化，使材料经历反复的冻结与融化过程。设定特定的温度范围，例如从-20℃至20℃，以既定的速率进行升降温，模拟不同季节及昼夜温差的影响。经过大量循环次数后，如500次甚至更多，检测材料的性能变化，包括强度、韧性、抗渗性等指标。若材料在如此严格的冻融循环测试后仍能保持良好性能，便说明其适用于可能遭遇冻融循环的市政供水管网区域，为高效抢修及长期稳定运行提供有力保障。

五、总结

市政供水管网从大型建设迈向高效抢修，在技术与实践方面经历了显著发展。其技术发展路径清晰，从传统建设模式逐步演进，适应城市发展需求。自体凝血酶技术作为创新成果，展现出独特价值，为供水管网抢修等环节提供了新的思路与方法。展望未来，智能管网与生物材料的深度结合成为重要研究方向，有望进一步提升市政供水管网的运行效率与安全性。通过对这些技术与实践的探索，我们不仅能更深入了解市政供水管网的发展规律，还能为后续的建设与维护工作提供有力的理论与实践支持，推动市政供水管网朝着更加高效、智能、可持续的方向发展。