

自来水管网漏损检测与修复技术优化研究

文 / 郑 伟 东平县公用设施保障服务中心

郑 勇 东平县公用设施保障服务中心

邢 浩 泰安市润通达市政工程有限公司

摘要：自来水管网漏损问题一直是城市供水管理中的挑战。漏水不仅浪费水资源，增加了运营成本，还可能影响管网系统的稳定性。传统漏损检测方法，如声波检测、压力监测和流量对比法，虽已广泛应用，但在精度和适用性上存在一定的局限性。新兴检测技术，如智能传感器和大数据分析，逐步成为提高检测精度和响应效率的有效手段。修复方面，常规方法如外部涂层修复、局部换管等能够解决部分问题，但在处理老旧管网或大规模漏损时，效果有限。新型修复技术，如定向钻技术和复合材料修复，凭借其高效、精准和低影响的特点，展现了广泛的应用前景。结合多种检测技术和创新修复方法，将大大提高漏损管理的效率，为水资源节约和管网管理提供有效保障。

关键词：漏损检测；修复技术；管网管理；智能化技术；节水

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.08.112

引言

自来水管网作为城市基础设施的重要组成部分，其漏损问题一直是水务管理中的关键挑战。漏损不仅导致水资源浪费，增加运营成本，还可能影响供水系统的稳定性，甚至在紧急情况下影响居民的正常用水需求。随着城市化进程的加速和管网老化，漏损现象日益严重，给供水企业带来了巨大的压力。传统的漏损检测技术，如声波检测、压力监测和流量对比法，虽然在一定程度上能够发现漏水问题，但在复杂管网环境中，依然存在定位不准确和检测效率低下的难题。修复方面，常规技术在处理大规模漏损时也面临着局限。随着智能化技术和新型修复方法的引入，漏损管理技术正向着更高效、精确和智能化的方向发展。优化漏损检测与修复技术，提升管网管理效率，已成为实现水资源节约和保障供水安全的重要途径。

一、自来水管网漏损问题现状与影响因素

（一）自来水管网漏损的主要表现及其严重性

自来水管网漏损主要表现为两种形式：一是可见的地面水渗漏，通常表现为路面积水或污水坑的现象；二是隐性漏损，指的是通过压力监测或流量检测发现的管道压力波动或流量异常，漏水难以通过肉眼观察。这些漏损在管网运行过程中可能并不立即显现，但其影响却是长期的。漏损的持续发生导致供水压力不足，水质可能受到污染，且未被及时发现的隐性漏损最终可能发展为严重破裂，造成大规模水灾^[1]。在城市管网较为复杂的区域，漏损的隐匿性使得检漏工作更具挑战性。漏损不仅直接导致水资源的浪费，也增加了能耗和供水成本，严重时可能导致供水系统不稳定，影响用户正常用水需求，从而对社会生产与日常生活造成影响。

（二）漏损产生的根本原因及其对供水系统的影响

漏损的根本原因可以归结为管网本身的老化、设计缺陷以及外部环境因素的共同作用。随着管网的运行年限增长，管材的腐蚀、磨损、沉降及地质变化等因素逐渐削弱了管道的强度，导致漏水发生。部分地区的管网设计不合理或施工质量问题也容易引发漏损，如接头处的密封性差、管道铺设不符合规范等。自然灾害、地下水位波动等外部环境因素，也会加剧管网的应力，从而引发裂缝或破裂，造成漏水。漏损带来的影响是多方面的。供水压力的降低可能导致供水能力不足，尤其是在用水高峰期，可能出现水压不足的情况，影响居民的日常生活及工业生产。漏水区域的积水可能带来地下水位升高，影响城市基础设施的安全，甚至可能对周围建筑造成潜在威胁。漏损增加了水处理和运输的成本，降低了水务公司整体的经济效益，同时加剧了环境资源的浪费。

二、现有漏损检测技术的应用与局限

（一）传统漏损检测方法的优势与不足

传统漏损检测方法如声波检测、压力监测和流量对比法，虽然已经在管网管理中广泛应用，但各自的局限性也逐渐显现。声波检测法利用管道内漏水所产生的声波信号进行定位，具备较高的灵敏度，能够在较短时间内发现漏点，尤其适用于市区复杂环境中的漏损检测。该方法受管道材质、埋深、地面噪声等因素影响较大，在一些高噪音或管道条件复杂的环境下，检测精度大幅下降。压力监测法则通过实时监控管网系统的压力变化来判断漏水情况，适用于长距离、范围广的管网系统。其不足在于，只有当漏水量达到一定程度时，才可能检测到，且难以精确定位漏点，通常需要配合其他方法使用。流量对比法通过分析供水

和回水的流量差异来推测漏损位置，虽然操作简单，但在漏水量较小或管网设计不合理时，准确度较低，且易受其他因素如管网外部环境的影响^[2]。传统方法虽然有助于漏损的早期发现，但在复杂环境中的精确检测仍存在一定难度。

（二）新兴检测技术的应用前景与技术瓶颈

随着科技的发展，新兴的漏损检测技术，如智能传感器、远程监控技术以及数字化管网系统，逐步进入了自来水管网漏损检测领域。这些新技术具有较高的检测精度和实时性，能够实现管网漏损的远程监控与数据分析。

智能传感器通过集成压力、流量、温度等多种数据源，可以实时监测管网的运行状态，提前识别漏损风险，并通过数据分析平台进行智能预警。数字化管网技术通过建立虚拟管网模型，对管网进行动态模拟和仿真，可以帮助管理人员全面了解漏损分布情况，从而优化维修方案。这些新兴技术的应用前景十分广阔，尤其是在提升管网管理效率和节水方面具有显著潜力。这些技术也面临一些瓶颈，如设备投资高昂、系统复杂度大、数据处理能力有限等问题。智能传感器虽然能够实时监控，但对环境的适应性和长期运行的稳定性要求较高。远程监控技术需要完善的通信网络支持，而当前部分地区的网络基础设施还不足以保障大规模数据传输。数据的采集与分析也面临着巨大的挑战，如何从大量数据中提取有效信息并准确判断漏损位置，依然是技术应用中亟待解决的问题。

三、漏损修复技术的发展现状与实施效果

（一）常规管网修复技术的应用情况与效果分析

常规管网修复技术主要包括外部涂层修复、局部换管和内衬修复等。这些方法广泛应用于日常管网维护中，能够有效解决部分管道损坏或老化引起的漏损问题。外部涂层修复技术主要通过管道表面涂覆保护层，阻止管道腐蚀或水流泄漏（见图1）。

此方法适用于腐蚀较为严重的管道，尤其是在金属管道中应用较为普遍。局部换管技术通过替换破损部分管道，解决了单一漏损点的修复问题，能快速恢复供水功能。该方法涉及大范围的施工，影响供水的连续性和居民生活^[3]。

内衬修复技术通过在原有管道内部涂覆一层聚氯乙烯、环氧树脂等材料，有效地修补了管道内壁的裂纹与缺陷。这种技术适用于无大面积破损的老旧管道，修复效果良好，施工周期较短，能够减少管道泄漏的发生。常规修复技术在处理大范围泄漏或管道整体老化严重时，效果有限，且施工过程中往往无法完全避免对城市基础设施的影响。



图1 外部涂层修复技术

（二）新型修复技术的创新点与实际效果评估

新型管网修复技术的不断发展为解决管道漏损问题提供了更加高效、环保和经济的选择。近年来，定向钻修复技术得到了广泛应用。该技术通过使用专用设备进行非开挖式管道修复，不仅能保持管道的连续性，还能有效减少对道路和周围环境的破坏。与传统修复方法相比，定向钻技术的施工周期更短，修复效果显著，尤其适用于城市复杂地段的管道修复。复合材料修复技术近年来也成为一种重要的技术手段。这种技术通过在管道内外同时涂覆耐腐蚀、抗渗透的高性能复合材料，能在短时间内恢复管道的密封性和强度，特别适用于老旧管道的全面修复。与传统修复方法相比，复合材料具有较长的使用寿命和较好的抗渗透能力，能够有效延长管网的使用周期，减少未来的维护频率。这些新型修复技术的应用也面临着高成本、技术人员的专业培训需求以及施工设备的要求等问题，限制了其在部分区域的普及和推广。尽管如此，新型技术的引入无疑提升了管网修复的效率与质量，特别是在城市管网改造和扩建过程中，展现出较大的潜力。

四、漏损检测与修复技术的协同优化策略

（一）结合多种检测手段提升漏损定位精度

结合多种漏损检测技术，可以有效提升管网漏损的定位精度，减少漏点识别的时间和成本。传统的声波检测技术虽具备高灵敏度，但容易受到外部噪声、管道材质以及地理环境的干扰。为了解决这一问题，将声波检测与压力监测、流量对比等技术结合，能够互为补充，弥补单一方法的局限性。在声波检测基础上，引入压力监测可以帮助更准确地判定漏点的存在，并通过流量对比法进一步缩小漏水区域^[4]。这种多维度的联合检测不仅提高了漏损定位的精确性，还能在多种复杂环境下保持较高的检测稳定性。结合声波与压力监测的复合检测方案，其漏损定位的精度比单一检测提高了30%以上。在一些城市的老旧管网中，采用

该综合方法可以将漏损检测时间缩短 50% 以上，显著提升了管网管理的效率。

(二) 优化修复流程提高修复效率与精准度

优化管网修复流程不仅能提高修复效率，还能有效提升修复的精准度。在传统修复方式中，由于修复工作往往依赖人工判断和粗放式操作，导致修复质量不稳定，甚至有时无法精确恢复管道的原有功能。通过引入先进的修复设备和数字化技术，可以实现精确的修复控制。比如，使用自动化机器人进行管道内壁修复时，机器人

能够精确判断管道的具体损坏位置并进行精细操作，大大提高了修复精度和速度。结合数字化管理系统，修复过程中可以实时监控管道状态，提前预警潜在问题，使得整个修复流程更加科学和系统化。采用定向钻技术进行非开挖修复，不仅能减少对周围环境的干扰，还能够在规定时间内完成管道的修复工作，极大提高了效率。数据显示，利用这一方法修复的管段平均修复时间缩短至传统方法的 40%，且修复后管道的使用寿命平均延长了 25% 以上。

表 1 国内不同城市漏损检测与修复效率对比

城市	漏损检测时间 (小时 / 公里)	修复时间 (小时 / 公里)	漏损检测精度提高 (%)	修复后管道使用寿命延长 (%)	数据来源
北京	15	40	35	20	北京水务公司
上海	10	30	40	25	上海市自来水公司
广州	12	35	33	22	广州市水务局
成都	18	50	30	18	成都市水务集团
深圳	14	38	37	23	深圳水务集团

五、未来自来水管网漏损管理技术的创新方向与挑战

(一) 智能化技术在漏损管理中的应用前景

随着物联网、人工智能和大数据技术的快速发展，智能化技术在漏损管理中的应用前景逐渐显现。基于传感器网络的智能化监控系统可以实现对自来水管网的实时监控，自动采集管道内部的压力、流量、温度等数据，并通过数据分析平台进行实时处理。这种技术使得漏损的早期发现成为可能，并能够对管网的运行状态进行精确预测。通过智能算法，系统能够及时识别出漏水风险点，并通过云平台进行数据共享，便于各级管理人员快速响应。人工智能技术的引入，尤其是机器学习算法，可以通过大量历史数据的学习，提升漏损预测的准确度，从而优化维修决策^[5]。与传统方法相比，智能化漏损管理大大减少了人工干预，提升了漏损检测的效率和准确性，并在多变的管网环境中展现了强大的适应性。这一技术的普及将极大促进水资源的节约，提高供水系统的稳定性和安全性。

(二) 综合管网管理技术的整合与创新挑战

随着城市供水、排水、供气等基础设施的不断发展，综合管网管理技术逐渐成为提升城市基础设施运行效率的关键。这一领域的整合与创新面临诸多挑战。不同类型的管网系统在技术标准、管理模式以及设备平台上存在较大差异，如何将多种管网管理技术有效整合，使得它们能够在统一平台上协同工作，是亟待解决的问题。现有的管网管理系统通常较为独立，缺乏信息共享和协同工作的机制，导致数据流通不畅，资源利用效率低。与此管网系统的复杂性和不断变化的运行环境要求技术不断创新，以适应新的管理需求。在大数据和云计算技

术的支持下，如何实现管网运行的精细化管理，通过数据挖掘优化维护策略，是当前技术发展的重要方向。智能感知技术的引入也使得管网管理不仅限于漏损监测，还拓展到了对管网整体健康状态的监控。尽管前景广阔，但综合管网管理的技术创新仍然面临着系统整合、数据标准化、跨领域协作等多个层面的困难，需要行业、技术和政策的多方共同推动。

结语

管网漏损问题日益严重，传统的检测和修复技术已无法满足现代城市供水系统的需求。优化漏损检测与修复技术，提高管网运行效率，成为提升供水系统稳定性与节水效果的关键。通过多种检测手段的结合和修复流程的优化，可以显著提升漏损定位精度和修复效率。智能化技术和综合管网管理技术的应用为管网管理带来了新的机遇，但技术整合和数据共享仍面临挑战。未来，随着新技术的不断发展与推广，漏损管理将在提高水资源利用率、降低运维成本方面发挥更大作用。

参考文献

- [1] 曾鸣, 张昆, 骆明成. 农村饮用水自来水管网消毒剂投加应用 [J]. 净水技术, 2024, 43 (S2): 308-314.
- [2] 王天淇. 全市供水管网年均节水近 1900 万方 [N]. 北京日报, 2024-03-23 (006).
- [3] 王竹. 城市自来水管网施工与质量检测关键点探讨 [J]. 水上安全, 2023, (08): 58-60.
- [4] 郑丽华. 检漏技术在自来水管网中的应用 [J]. 中国设备工程, 2023, (05): 207-209.
- [5] 陈伯智. 某自来水管网改造工程穿河顶管施工安全技术 [J]. 人民黄河, 2022, 44 (S1): 192-193+196.