

供水管道施工过程中的智能监测与管理应用

张扬¹, 苟焕宙²

1. 青岛引黄济青水务集团有限公司, 山东 青岛 266109

2. 青岛城阳水务有限公司, 山东 青岛 266109

DOI:10.61369/ERA.2026050033

摘 要 : 智慧城市得以持续发展, 供水管道施工已经告别了传统模式, 朝着数字化以及智能化管理的方向迈进, 那么智能监测技术正在逐渐开展融入供水管道施工领域的工作, 它的应用现状以及未来走向值得去进行深入剖析。在施工准备的这段时间当中, 借助数字孪生技术以及智能管标来开展管线定位工作; 施工管理的过程当中, 可视化智慧工地平台得以实现了对安全、质量以及环保要素开展全面监控工作; 那么智能装备在施工质量检测当中展现出了技术方面的优势, 像 CCTV 检测机器人、在线听漏仪等设备提高了检测的效率。物联网、人工智能识别以及数字孪生等前沿技术, 正和施工管理实践开展紧密的融合。这样的融合过程, 有效地提升了供水管道工程在安全保障、质量控制以及施工效率等多个方面的综合表现, 把供水管网全周期管理体系的构建基础给奠定了。

关 键 词 : 供水管道; 施工过程; 智能监测; 智慧工地; 数字孪生; CCTV 检测

Application of Intelligent Monitoring and Management in the Construction Process of Water Supply Pipelines

Zhang Yang¹, Gou Huanzhou²

1. Qingdao Yellow River Diversion to Qingdao Water Group Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266109

2. Qingdao Chengyang Water Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266109

Abstract : As smart cities continue to develop, the construction of water supply pipelines has moved away from traditional methods and is advancing towards digital and intelligent management. Intelligent monitoring technology is gradually being integrated into the field of water supply pipeline construction, and its current application status and future trends warrant in-depth analysis. During the construction preparation phase, digital twin technology and intelligent pipe markers are utilized for pipeline positioning. Throughout the construction management process, a visual smart construction site platform enables comprehensive monitoring of safety, quality, and environmental protection elements. Intelligent equipment demonstrates technological advantages in construction quality inspection, with devices such as CCTV inspection robots and online leak detectors enhancing inspection efficiency. Cutting-edge technologies like the Internet of Things (IoT), artificial intelligence recognition, and digital twins are closely integrating with construction management practices. This integration effectively improves the overall performance of water supply pipeline projects in terms of safety assurance, quality control, and construction efficiency, laying the foundation for the establishment of a full-lifecycle management system for water supply networks.

Keywords : water supply pipelines; construction process; intelligent monitoring; smart construction site; digital twin; CCTV inspection

引言

城市供水网络作为维持城市运转的关键基础设施, 它的建设品质会深刻地影响到后续的供水保障以及系统稳定方面, 在供水管道施工的过程当中, 监管响应通常会出现滞后的情况, 覆盖范围也不够全面, 数据呈现出碎片化的状态。工地分布较为零散, 人员流动得比较频繁, 安全文明施工规范难以开展统一工作, 这样的难题持续对工程管理实践造成困扰, 供水管道的口径比较小, 人员很难进到内部去开展检查工作。以往一般是把开挖路面当作方式来排查隐患, 这种做法效率不高, 还会对交通运行造成干扰, 并且带来较高的经济成本。如今, 物联网、人工智能、大数据以及数字孪生等技术得以迅猛进步, 这样就使得智能监测方法在供水管道施工的各个阶段被普遍运用, 智能化技术正在开展对供水管道工程管理模式的重塑工作。施工前会把管线精准定位的工作开展起来, 施工中会进行安全质量的

实时管控，施工后会进行质量检测以及验收，这些方面都被它深刻地改变了。智能监测手段在供水管道施工当中展现出了多重的应用可能性，它的实施方式给工程实践带来了借鉴。

一、施工前准备阶段的智能监测技术

（一）数字孪生技术赋能管线精准定位

在施工之前，一定要精确地对地下既有管线的布局开展探明工作。这样可以有效避免施工活动去造成损害，施工人员凭借纸质图纸以及经验判断来开展工作的传统模式，往往会引发管线挖损事故。重庆市住房城乡建委所构建的“数字管线”应用体系，针对这个难题给出了具有突破性的应对策略。地下管线数字孪生模型已经覆盖了全市，这个模型凭借数字孪生技术来实现了一体化构建，中心城区的管线总长度达到了六万两千公里，它的数字孪生模型目前已经开展构建工作并完成了，所涵盖的三十八种属性数据也得以实现标准化整合。

（二）智能管标构建管网数字身份

智能管标会把数字身份赋予供水管道，基于管线普查来开展定位，绍兴水务产业公司开展智能管标的建设推进工作，把二维码植入到每个管标当中，并且关联管道坐标、标高、材质以及年限等关键信息。智能监测技术在供水管道泄漏检测中的应用依赖多种传感器和数据处理算法，其核心原理是通过声波、压力波或流量波动等物理参数进行实时监测，识别管道中的潜在泄漏点。^[1] 施工人员对二维码进行扫描，管道档案马上就呈现出来，有助于来实现方案优化以及跨单位协同，用数据流动取代人员奔波，新型智能管标当中内置了倾斜传感器，能够实时开展施工扰动以及地面沉降的监测工作，要是出现了异常情况，马上就会进行报警，把风险预警机制进行前置，来实现响应时效的提升。

二、施工过程中的智能监控平台应用

（一）可视化智慧工地平台架构

供水管网开展铺设作业时呈现出点位多、分布零散的特性，以往依靠人力巡查来开展的管控工作暴露出了明显不足，济南水务集团和山东省科学院情报研究所等机构一起合作，开展了可视化智慧工地管理平台的打造工作。城市供水管网中的分区计量渗漏检测方法是一种通过对供水管网进行合理划分并在各个区域安装计量装置，实时监控和分析管网的流量、压力等数据。^[2] 这个平台对人工智能摄像、物联网以及大数据等多项技术进行了整合，智能管理体系全面开展了对安全监管、质量控制、人员管理以及进度管理这四大领域的管理工作。这个平台能够把全市多个施工点都涵盖进来，得以实现全域一屏观览以及全工地一网管理，管理人员凭借电子屏幕，马上掌握所有施工动态，不用亲临现场，

管理效能得以极大程度上的提升。

（二）AI“鹰眼”构建安全防护网

在开展施工管理工作当中，安全监督方面是处于核心地位的，济南水务集团开展了智慧工地平台的部署工作，这个平台搭载了能够全天候进行运作的 AI 智能识别功能，平台实时监测安全帽佩戴不规范、反光背心未穿着及违规吸烟等行为。面对突发事件，智能化系统能即时激活 预先设定的紧急预案，以保障供水系统的持续稳定与安全，免受干扰。^[3] 系统捕捉异常后，即刻触发警报，屏幕自动放大并框选违规画面，预警信息以及现场画面马上被发送至安全员手机，整个过程所花费的时间不足半分钟。安全管理机制从事后整改转变为事前预防，借助快速响应来实现由 AI 识别到信息推送的转变，极大程度上提高了监管效率，巡查员奔赴不同施工区域，违规操作往往在抵达前便已终止；

（三）质量追溯实现“有图有真相”

智能监测技术在质量管控这个方面也起到了关键的作用，智慧工地平台针对管道焊接这个方面，每五分钟会自动去拍摄施工现场的照片，前端感知模块，具备流量、压力、环境、漏点多维属性的数据监测功能。^[4] 这些图像会同时标记上时间、位置以及负责人员，并且会嵌入固定的水印。焊口操作的环境以及工艺方面的细节都可以开展追溯验证工作，当质量纠纷出现的时候，确凿的证据往往会难以去获取；平台拥有为工程质量争议以及最终结算提供确凿证据的功能，测算显示，隐蔽工程的质量问题被发现的概率能够提高六成，返工所产生的开支会减少三成。

（四）智能联动守护施工环境

城市建成区当中的供水管道开展铺设工作，它周边环境受到的影响引发了普遍的关切，环保监测模块被集成到智慧工地平台当中，能够实时去追踪施工区域的环境指标，比如 PM10 浓度。系统检测到数据出现异常升高的情况，就会自动触发指令，把现场的智能喷淋设备启动起来。水泄漏噪声自动记录仪按预设时间记录水声信号，经数字化处理后通过专用软件在计算机上进行处理得到漏损区域位置。^[5] 该设备会开展精准的降尘操作，整个过程会持续到相关指标进行恢复，达到正常水平为止。那么通过开展智能化联动去处理相关工作，有效地减轻了施工给周边环境所带来的影响，并且显著减少了环保投诉，这项功能预计会把环境投诉进行削减，削减幅度在四成以上，这样显著缓解了安全文明施工方面的工单负担。

（五）夜间错峰施工与智能调度

供水管道工程通常会在深夜来开展施工工作，从而降低对居民日常生活所造成的干扰，松北区开展分区计量工程的推进工

作,所有的施工都是在夜间用水低谷时段来开展的,施工团队以及技术团队在深夜开展了精准的作业工作,路灯和作业灯提供了照明。由于施工区域地形起伏较大,传统测量方式难以满足坡度控制的精度要求,极易引发水流阻滞与积水。^[6]夜间施工得到了数字化平台所提供的有力支撑,平台会对夜间最小流量等数据开展智能分析工作,要是出现异常情况,那就马上进行报警,来帮助检漏人员去处理准确定位暗漏的工作,得以实现从被动抢修到主动预警方面的转变。要是突发状况出现,分区计量系统可以马上进行对应阀门的关闭,这样就能够把停水引发的波及区域减到最低。

三、施工质量检测的智能装备应用

(一) CCTV 管道检测机器人: 地下“管道医生”

管道安装完毕之后,开展内部质量的检验工作就成了验收方面的核心,由于管道内径比较狭窄,人员很难进入到管道当中去,这样传统检测方法的使用就受到了限制,管道检测机器人开展应用模式的工作被完全颠覆了。校园供水管网一旦出现老化、破损,漏水情况随之增加,尤其是地下管道的漏损不易发现且实施及时维护。^[7]这样的履带式机器人,配备了高清摄像头,可以慢慢地开展驶入宽度只有40厘米的供水管道的工作,在地面屏幕上,管道内壁的实时画面得以完整地呈现出来。淤积的泥沙以及细微的裂缝,也就是管网潜在的隐患,在这一刻清晰可见。可以进行遥控的车体以及高分辨率旋转摄像头还有电缆盘共同构成了这套设备,它就好像一个能够探入城市“血管”的智能地下潜望镜,机器人拥有全方位拍摄的功能,会自动去记录当前位置以及起始井的距离,能够准确地定位管道漏损、缝隙过大等问题的具体位置,并且精确地测量破损的宽度和长度。把这项技术当作工具来使用,每天能够去完成至少一公里管道的全面检测工作,工作效能以及安全水平得到了显著提高,在东部软件园的管网检测工作当中,管道 CCTV 机器人、潜望镜以及在线听漏仪会进行协同运作。不用对路面进行开挖,会把雨污系统诊断和供水管网漏损定位结合起来,开展高效一体的作业。

(二) 在线听漏与分区计量监测

管道铺设完毕之后,马上开展渗漏的定位并去处理渗漏工作,是开展用水安全维护方面的关键步骤,汝城城区被智慧水务系统开展划分工作,划分成25个计量单元,系统当中设有254台远程流量计以及24处压力监测点,来实现全天候持续监控。异常流量预警模型会每隔15秒开展一次数据传输工作,维修时限从“隔天”缩短到了“2小时黄金圈”。入口压力越大,漏损量越大,漏损后的压力骤降越明显;^[8]海康威视所研发的管网泄漏监测仪、电磁流量计以及压力计等装置,可以对城市各个供水区域开展供水状态的监控工作,马上识别出泄漏隐患并且定位泄漏源头,事故处理工作所产生的成本得以削减,漏损率也得到了降

低。当管道因外部碰撞或管壁腐蚀发生泄漏时,管内流体由于管内外压力差溢出,流体在短时间内迅速溢出导致泄漏处压强减小,附近高压区域的流体会流向低压区域。^[9]

(三) 基于检测数据的精准修复决策

智能检测这个方面的价值,不只是去识别出问题,更能够为开展修复决策方面的工作提供数据上的支撑,十堰市供水管网改造项目当中,CCTV 机器人所拍摄的影像资料得以形成管道电子病历。后台团队凭借这些资料去开展细致分析工作,根据管道状况的紧急程度,针对不同的个体,来开展专属干预策略的设计工作。施工方针对机器人所发现的管道缝隙,运用“不锈钢快速锁”来进行修复。气囊载着不锈钢套环,借助机器人引导至损坏处。充气膨胀之后,套环就紧固在管壁上,气囊的修复是借助开展放气操作来实现的。针对老化程度比较高的管道,选用内衬工艺来开展工作,把新型内胆置入旧有管线当中,从而构筑起稳固的管中管结构。局部修复以及整体改造都会避免开展路面大规模开挖工作,显著减少对城市交通以及市民生活所产生的干扰,从而来实现微创手术般的效果。

四、智能监测应用效益与发展趋势

(一) 综合效益分析

AI 识别技术能够把安全响应的时间压缩到30秒以内,并且安全管理方面会从被动进行整改转变为主动开展预防工作,隐蔽工程的质量问题发现率得到了提高,提升幅度达到了六成,同时返工成本减少了三成。分区计量智能监测系统开展实施工作之后,管网漏损率从15%降到了9%,得以实现了显著的降本增效,智能联动降尘机制开展了降低环保投诉数量的工作,并且显著地把环保投诉数量降低了,降幅超过了四成。CCTV 检测技术能够在每日开展对一公里管道的系统性排查工作,和传统方法比起来,极大程度上提高了作业效率。

(二) 技术发展趋势

开展生命全程的管控工作,从而形成了循环回路,智能监测目前主要集中在施工这个环节,未来会逐步开展建立一个完整闭环管理体系的工作,该体系会覆盖监测、定位、修复以及运维等方面。智能管标研发正在推进开展震动报警系统的研发工作,余氯浓度监测以及多类水质参数检测功能会逐步完成完善工作,把感知、预警、处置、优化的闭环管理架构构建起来,AI 赋能综合场景深化。充分利用武水调度智慧系统中的实时反馈数据,采用先进的自监督深度学习算法,并以此为基础进行评估分析的管网异常检测方法,将对该单位供水管网异常感知与决策水平提升有积极作用。^[8]视觉识别方面的能力逐渐开展扩展工作,扩展至了多模态智能系统当中,重庆数字管线系统已经部署了智能体,用来开展对管线老化、燃气泄漏以及管廊巡检方面的监控工作,从而全面地对综合场景建设提供支撑。

五、结束语

智能监测技术正在对供水管道施工的传统管理方式开展重塑工作，施工之前，数字孪生系统会对管线开展精确定位工作。施工过程中，可视化智慧工地平台会对安全、质量以及环保要素进行全面管控。施工结束之后，CCTV 机器人等智能装备会去执行质量检测工作，施工的整个过程把物联网、AI 识别以及大数据

等技术融入了进来。把智能监测技术融入到供水管道工程当中，显著提高了安全保障、质量控制以及施工管理方面的效能，并且极大程度上降低了对居民生活以及城市环境所产生的干扰，供水管道施工会因为数字孪生以及 AI 大模型的持续发展，而朝着智能与精细的方向推进。

参考文献

[1] 高义顺. 基于智能监测技术的供水管道泄漏检测与预警系统研究 [J]. 产品可靠性报告, 2025, (02): 49–50.

[2] 卢庆鑫. 基于深度学习的城市供水管网渗漏检测方法 [D]. 江南大学, 2025.DOI: 10.27169/d.cnki.gwqgu.2025.000340.

[3] 李环宇. 城市供水管道系统智能化管理 [J]. 城市建筑空间, 2025, 32(S1): 397–398.

[4] 乔丹. 供水管道智能化监测技术探讨 [J]. 城镇供水, 2023, (02): 25–27+45.DOI: 10.14143/j.cnki.czgs.2023.02.005.

[5] 丁青, 陶星光, 赵雨姗, 等. 校园供水管道漏损智能监测系统研究 [J]. 河南教育学院学报 (自然科学版), 2022, 31(01): 25–27.

[6] 肖新莲. 市政供水管道及附属设施施工技术研究 [J]. 低碳世界, 2025, 15(09): 94–96.DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2025.09.022.

[7] 朱军伟, 顾丽娜, 李蕊, 等. 基于校园供水系统智能管理的建模研究 [J]. 杨凌职业技术学院学报, 2023, 22(04): 16–21.DOI: 10.19859/j.cnki.cn61-1403/G4.2023.04.005.

[8] 刘飞燕. 基于瞬态数值模拟与深度学习的供水管道漏损压力分析与模式识别研究 [D]. 青岛理工大学, 2025.DOI: 10.27263/d.cnki.gqudc.2025.000944.

[9] 张令春. 基于分布式光纤传感的供水管道泄漏检测理论与技术研究 [D]. 合肥工业大学, 2023.DOI: 10.27101/d.cnki.ghfgu.2023.000164.

[10] 李炎. 基于对比学习的供水管道异常检测及运维决策研究 [D]. 华中科技大学, 2024.DOI: 10.27157/d.cnki.ghzku.2024.002518.