

# 基于人工智能的城市供水管网泄漏检测技术研究

徐广瀚 于珂基

青岛高新海润水务有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i12.7512

**[摘要]** 本文旨在探索基于人工智能的城市供水管网泄漏检测技术，文章简要分析了城市供水管网泄漏问题，对比了现有城市供水管网泄漏检测技术及其局限性，并由此提出了基于人工智能的五种城市供水管网泄漏检测技术，为城市供水管网泄漏治理提供了重要的理论基础。

**[关键词]** 人工智能；城市供水管网；泄漏检测技术

## Research on the leakage detection technology of urban water supply pipe network based on artificial intelligence

Xu Guanghan Yu Keji

Qingdao Gaoxin Hailun Water Co., LTD

**[Abstract]** This paper aims to explore the urban water supply network leakage detection technology based on artificial intelligence, this paper briefly analyzes the urban water supply network leakage problem, compared the existing urban water supply network leakage detection technology and its limitations, and puts forward five kinds of urban water supply network leakage detection technology based on artificial intelligence, for the urban water supply network leakage management provides an important theoretical basis.

**[Key words]** artificial intelligence; urban water supply pipe network; leakage detection technology

### 引言

城市供水管网作为城市基础设施的重要组成部分，其运行状况直接影响到居民的日常生活和城市的可持续发展。然而，随着供水管网老化、管道破损等问题的出现，供水管网泄漏现象日益严重，给城市水资源的节约和管网的稳定运行带来极大挑战。传统的泄漏检测方法存在人工成本高、时间周期长、精准度差等问题，难以满足现代城市供水系统对高效、实时监控的需求。近年来，人工智能技术的飞速发展为城市供水管网泄漏检测提供了新的解决方案。通过深度学习、数据挖掘等技术，能够实现对供水管网的实时监控和精准定位，显著提高泄漏检测的效率和准确性。因此，基于人工智能的泄漏检测技术，凭借其自动化、智能化的优势，已经成为当前水务领域的重要研究课题。

### 一、城市供水管网泄漏问题概述

城市供水管网泄漏问题一直以来是困扰城市水务管理的关键难题之一，其不仅涉及到水资源的浪费和供水安全问题，还可能带来环境污染、管道腐蚀及城市基础设施的长期损害。随着城市化进程的加快，供水管网的建设规模不断扩大，但由于管道老化、施工质量不达标、外力破坏等多种因素，管网泄

漏现象逐渐增多<sup>[1]</sup>。特别是在许多大中型城市中，因管网布局复杂、覆盖范围广以及各种自然和人为因素的交织作用，泄漏点往往难以被及时发现和有效修复。这不仅造成大量可饮用水资源的流失，还给城市供水的稳定性和可靠性带来了极大的隐患。此外，长期存在的管网泄漏问题还可能对管道周围土壤和水体造成污染，进一步加剧了水质安全隐患的风险，影响居民生活质量。由于传统泄漏检测方法的局限性，例如依赖人工巡查、声波检测等手段的精准度较低，常常导致泄漏问题的滞后发现与处理，从而加剧了泄漏对城市水务系统的影响。因此，如何有效识别和定位供水管网中的泄漏点，是现代城市水务管理领域亟待解决的重要难题。

### 二、现有城市供水管网泄漏检测技术及其局限性

传统的城市供水管网泄漏检测技术包括声波检测、振动检测、红外成像、水压监测等方法。如表1所示，声波检测技术凭借其较高的实时性和准确性，广泛应用于较为集中的区域，但由于受管道材质、环境噪声等多方面因素的干扰，其检测精度和稳定性存在一定局限，尤其是在复杂环境下，容易出现误报或漏报。振动检测技术虽然能够监测到微小的泄漏，适用于长距离管道的监测，但其对于振动源的分辨能力较差，易受

外界干扰，导致定位不准确<sup>[2]</sup>。红外成像技术作为一种非侵入性方法，利用管道外部温度变化进行泄漏检测，具有较好的快速响应性。然而，这种技术受限于环境因素，尤其是温度差异较小或者气候恶劣时，其有效性大打折扣，并且无法穿透管道表面，难以应对深埋管道的泄漏问题。水压监测技术通过实时

监控管网的压力变化，能够在泄漏发生时提供一定的预警，但其主要缺点在于无法精确定位泄漏点，通常只能发现泄漏的区域或大致范围。微波传感技术虽然具有较高的精度，能够在较大的管网区域内有效监测泄漏情况，但其高昂的安装成本以及对外部环境干扰的敏感性限制了其普及应用。

表1 现有城市供水管网泄漏检测技术优缺点对比

检测技术	优点	局限性
声波检测技术	可在一定距离内准确定位泄漏点，实时性强	受管道材质、环境噪声影响较大，精度有限
振动检测技术	能够检测到微小的泄漏，适用于长距离管道监测	对振动源的识别能力差，容易产生误判
红外成像技术	可通过热成像识别管道外表温度差异，快速检测	受天气和环境因素影响较大，无法穿透管道
水压监测技术	能够实时监控管网压力变化，检测到潜在泄漏	对泄漏点的定位不准确，无法定位具体位置
微波传感技术	对大范围管网有效，精度较高	安装成本较高，适应性差，受外界物体干扰影响大

### 三、基于人工智能的城市供水管网泄漏检测技术分析

随着人工智能(AI)技术的迅速发展，基于AI的城市供水管网泄漏检测技术为传统的检测方法提供了全新的解决方案。AI结合现代传感器技术、大数据分析和机器学习算法，不仅能够实时监控供水管网的运行状态，还能在出现泄漏时迅速定位泄漏点，大幅提升泄漏检测的精度与效率。

#### 1. 人工智能与传感器技术的结合

人工智能方法可以利用传感器技术对供水管网进行数据采集。传感器可以监测供水管网的压力、流速、温度等参数，并将实时数据传输到中央数据库或云平台。人工智能系统能够通过数据融合与特征提取，分析出管网是否存在泄漏的迹象。例如，压力传感器可以监测管网的压力波动，当管网出现泄漏时，压力数据会出现异常变化。通过深度学习模型，AI可以从大量的历史数据中学习到正常与异常之间的规律，自动识别泄漏信号。AI模型不仅能够实时处理传感器数据，还能进行多种传感器数据的融合，综合判断泄漏的可能性，人工智能技术还可以优化传感器布置，选择最佳的传感器部署策略，从而最大限度地提升管网监测的覆盖率和精度。

#### 2. 基于机器学习的泄漏识别

机器学习(ML)是人工智能在城市供水管网泄漏检测中的核心技术之一。通过大量历史数据的训练，机器学习算法能够发现正常管网与泄漏管网之间的差异，自动识别泄漏事件。常见的机器学习方法包括监督学习、无监督学习和强化学习等。在监督学习中，AI系统首先需要大量标注过的历史数据进行训练。这些数据包括正常运行数据和包含泄漏信息的异常数据。通过训练，模型可以学会如何区分不同类型的管网状态，并能够准确判断当前数据是否属于泄漏状态。常用的算法包括支持向量机(SVM)、决策树(Decision Tree)以及随机森林(Random Forest)等。无监督学习则无需依赖于标注数据。通过聚类算法，如K-means或自编码器(Autoencoder)，AI能够自动发

现管网数据中的异常模式，从而识别泄漏事件。这种方法适用于无法获取大量标注数据的场景，具有较好的灵活性<sup>[3]</sup>。强化学习则通过不断的反馈机制来优化模型的决策过程。在供水管网的泄漏检测中，AI系统可以根据实时数据不断调整检测策略，从而最大程度地提高泄漏识别的准确性与实时性。

#### 3. 深度学习在泄漏检测中的应用

深度学习(Deep Learning)作为机器学习的一种重要分支，已经成为城市供水管网泄漏检测技术的热点研究方向。深度学习能够处理复杂的非线性关系，适应海量数据的高维度特征，从而在泄漏检测中发挥出色的性能。在供水管网中，传感器采集的数据往往呈现出高维、非线性以及时序性特征。传统的机器学习方法难以直接处理这些复杂的数据，而深度学习通过神经网络能够有效地捕捉这些特征。卷积神经网络(CNN)和循环神经网络(RNN)是深度学习中常用的两类网络结构，分别擅长处理空间数据和时序数据。在泄漏检测中，CNN可以通过学习图像或空间数据的特征，检测出管网中的泄漏区域；而RNN则能够处理传感器数据的时序特性，分析管网在时间维度上的变化，及时发现泄漏事件。

#### 4. 数据融合与异常检测

在供水管网中，泄漏往往表现为多种不同的异常模式，如压力下降、流量波动、振动增加等。人工智能技术通过数据融合，可以将来自不同传感器的数据进行综合分析，从而有效地提升检测的准确性与可靠性。数据融合技术可以将时序数据与空间分布数据结合起来，从多个维度分析管网状态。例如，基于AI的泄漏检测系统可以通过融合水压、流量、温度等数据，构建多维度的检测模型，从而综合判断管网是否存在泄漏现象。通过深度神经网络或长短期记忆(LSTM)网络，可以处理这些多维数据的时序特征，并识别出复杂的泄漏模式。同时，人工智能还可以通过异常检测算法，通过AI技术的学习能力，准确地识别出数据中的异常模式，并快速响应，定位泄漏问题。例如，AI可以基于聚类分析或离群点检测算法，自动识别出数

据中的异常波动,进而判断是否存在泄漏。

#### 5. 精确泄漏定位与修复预测

人工智能精确的泄漏定位能力也是其一个重要的技术优势,传统的泄漏检测技术通常只能定位到泄漏的范围,而无法准确地标定泄漏的具体位置。借助AI,特别是深度学习与传感器融合技术,可以通过分析管网中的各类实时数据,精确到具体的泄漏点。通过传感器数据与地理信息系统(GIS)结合,人工智能可以建立更加精细的管网模型,进而实现精准定位。以声波传感器为例,AI可以根据管道内的声波传播速度与泄漏信号的特征,推算出泄漏的位置。同时,结合多点传感器的位置信息,AI可以通过时差法(TDOA)或者波形比对法进行精确定位。还能够结合历史数据、气候变化等因素,预测泄漏发生的可能性,并通过预测模型提前进行干预,优化管网的运行与维护计划。通过这种方式,供水公司可以在泄漏发生前做好应对准备,减少事故发生的频率与损失。

#### 结语

随着城市供水系统的不断扩展和管网设施的老化,泄漏问

题已成为影响城市水资源管理和供水安全的重要挑战。传统的泄漏检测技术虽然在一定程度上缓解了问题,但其精度和效率仍存在不少局限。近年来,人工智能技术的飞速发展为一问题带来了全新的解决方案。通过结合传感器数据采集、机器学习、深度学习等技术,基于人工智能的供水管网泄漏检测系统能够实时、精准地识别和定位管网中的泄漏点,显著提高了检测的效率和准确性。未来,随着技术的不断进步和应用的深入,基于人工智能的泄漏检测技术将会在保障水资源安全、提高供水系统的智能化管理水平等方面发挥越来越重要的作用。

#### [参考文献]

- [1]宋扬.支持向量机在供水管网漏水探测中的数据分析及应用探究[J].城市勘测,2024,(04):101-104.
- [2]赵行义,张健,张俊杰.人工智能泄漏噪声技术在供水管网漏损治理中的应用研究[J].城乡建设,2022,(18):78-80.
- [3]胡鹏伟,刘璐,戴昭骞,叶蕾,林钰峰,尹浪,王星.基于Attention+LSTM的供水管网漏损识别方法[J].广东科技,2020,29(12):63-70.

#### 上接第163页

#### 2.5.2 含水层的处理与防渗

在水利枢纽工程中,地下水的治理和控制是水库大坝安全运行的关键。地下水是一种重要的地下水资源,它对水利枢纽工程的安全运行具有重要意义。为此,一般采用预排水、隔水帷幕及布置排水设施等措施对地下水进行有效的防治。如该工程施工中,应用了深层泵超前泄水工艺,使其达到了较好的降水效果;从而保证了工程的顺利进行,也保证了坝体施工的安全。在此基础上,采用数值计算与室内实验相结合的方法,对止水帷幕的厚度及材质进行了研究。在确保项目安全性的基础上,将对周围环境的冲击降到最低。在防渗工程中,通常采用混凝土防渗墙、土工膜防渗和灌浆防渗等工艺。灌浆技术是将灌浆技术应用到岩层内,在岩层内建立起一道连续的不渗透墙。黄河小浪底水电站采用灌浆加固措施,防止了地下水流的渗入,提高了坝体的整体稳定。在此基础上,采用三维有限元分析方法对其进行优化,以保证其经济高效。

#### 2.5.3 岩石破碎与稳定性控制

在水利枢纽工程建设中,岩体的破碎和稳定是一个非常重要的步骤。一般采用爆破破碎、机械破碎或机械破碎三种方式进行破碎,应视具体情况及具体情况选用适当的破碎工艺。比如,对于坚硬的岩石,可以使用定向爆炸,但要准确地算出装药量和布置方法;在保证破碎效应的前提下,最大限度地降低对周边建筑物的影响。另外,部分工程还采用了新的水力粉碎装备,使粉碎强度、粉碎幅度更加准确,从而大大提高了工作

效率。对于滑坡的防治,必须对滑坡进行精细的地质力学研究,并对滑坡中的滑坡进行预报。在此基础上,利用三维数值计算方法,对各种条件下的坡体进行稳定仿真,从而得出最优的斜坡及支撑措施。

#### 3 结论

总体而言,在水利枢纽工程大坝开挖过程中,从精准的爆破工艺、土方的搬运和处置,到特殊的地质情况下的深基坑施工;每个步骤都是极具挑战性和技巧性的。在施工过程中,既要有较高的技术水平,又要有较强的应变能力,以保证项目的安全、质量与进度。技术人员以科学的管理,先进的技术,严密的环境保护手段,使项目得以顺利完成,并使之与周围的环境协调一致。为此,对软土地基进行了加固,对含水岩层进行了防治,对岩体破裂后的稳定进行了治理;这些都是保证水利枢纽工大坝顺利修建的重要条件。要想保证水利枢纽工库的正常运营,保证水库的正常运转,为社会和经济的发展提供可靠的水源。

#### [参考文献]

- [1]王锦江,李明柱,范永等.盖下坝水电站坝肩开挖施工技术[J].东北水利水电,2015,33(09):16-17+29.
- [2]李凯,徐博,赵松等.某水库右坝肩高边坡稳定性分析与治理措施[J].水电站设计,2022,38(03):5-8+12.
- [3]白新华.分析水库工程坝肩防渗的设计要点[J].农村经济与科技,2021,32(08):45-47.