

# 人工智能在水质多参数在线检测中的应用策略研究

颜燕玉

无锡市江阴生态环境监测站, 中国·江苏 江阴 214400

**摘要:** 水质多参数在线检测是水环境监测、水资源保护与水生态安全评估的核心技术手段。传统检测方法普遍存在响应滞后、传感器交叉干扰严重、数据关联性分析能力弱、异常识别精度低以及运维成本高等问题, 难以满足当前水环境精细化管理和突发污染事件快速响应的需求。随着人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 技术的迅猛发展, 其在模式识别、时序预测、异常检测和多源信息融合等方面的算法优势, 为水质监测系统的智能化升级提供了全新路径。文章结合人工智能技术的算法优势, 探讨应用路径, 提出多维度应用策略, 为构建智能化、高精度的水质在线监测体系提供理论参考与实践方案。

**关键词:** 人工智能; 水质多参数; 在线检测; 数据融合; 风险预警

## Research on Application Strategies of Artificial Intelligence in Multi-Parameter Online Water Quality Detection

Yan Yanyu

Jiangyin Ecological Environment Monitoring Station, China Jiangsu Jiangyin 214400

**Abstract:** Online multi-parameter water quality monitoring serves as a core technical approach for water environment surveillance, water resource conservation, and aquatic ecological safety assessment. Traditional detection methods commonly suffer from issues such as delayed response, severe sensor cross-interference, weak data correlation analysis capabilities, low anomaly identification accuracy, and high operational costs, making it difficult to meet the demands of current refined water environment management and rapid response to sudden pollution incidents. With the rapid advancement of Artificial Intelligence (AI) technology, its algorithmic strengths in pattern recognition, time-series forecasting, anomaly detection, and multi-source information fusion provide a novel pathway for the intelligent upgrade of water quality monitoring systems. This article combines the algorithmic advantages of AI technology to explore application pathways, propose multi-dimensional application strategies, and offer theoretical references and practical solutions for building an intelligent, high-precision online water quality monitoring system.

**Keywords:** Artificial intelligence; Multi-parameter water quality; Online monitoring; Data fusion; Risk warning

## 0 引言

近年来, 随着工业化、城镇化进程加速以及农业面源污染加剧, 我国水环境面临复合型、突发性和隐蔽性污染叠加的严峻挑战。《中华人民共和国水污染防治法》《“十四五”生态环境监测规划》及《数字中国建设整体布局规划》等政策文件均明确提出, 要加快构建覆盖全域、实时感知、智能预警的现代化水环境监测网络, 提升水质监测的自动化、信息化与智能化水平。水质多参数在线检测作为水环境监测的核心技术手段, 需同步获取 pH 值、溶解氧、化学需氧量 (COD)、氨氮、重金属离子等多项指标, 传统检测系统多依赖单一传感器采集数据, 且采用人工或简单算法进行数据解读, 难以实现多参数间的关联分析与潜在污染风险的精准预判。随着人工智能技术的快

速迭代, 机器学习、深度学习等算法与水质监测技术的融合, 为突破传统检测瓶颈、提升监测智能化水平提供了可行路径。

## 1 水质多参数在线检测的传统局限

### 1.1 数据采集与处理的局限性

传统水质多参数在线检测系统普遍采用模块化、独立部署的传感器阵列, 各传感单元在复杂水体环境中长期运行时, 易受温度波动、悬浮物附着、生物膜生长及共存离子干扰等多重因素影响, 导致输出信号出现非线性漂移、响应迟滞甚至失效。更为关键的是, 现有数据处理机制多依赖预设阈值或简单统计规则进行判别, 缺乏对多维水质参数 (如溶解氧、pH、电导率、氨氮、COD 等) 之间动态耦合关系与协同演化规律的深度挖掘。这种“孤立感

知—静态判断”的模式难以捕捉由多种污染物交互作用引发的水质劣化早期信号,尤其对低浓度复合污染、缓变型生态风险等隐性特征识别能力严重不足,制约了监测数据向有效环境信息的转化效率。

### 1.2 风险预警与诊断的滞后性

当前主流水质监测体系的风险预警机制仍以单参数超限作为核心触发逻辑,忽视了水质系统作为一个多变量、非线性动态系统的本质特征。在实际水环境中,污染事件往往表现为多个指标的协同异常而非单一参数突变,例如藻类暴发初期可能仅表现为 DO 昼夜波动加剧与 pH 升高,而常规指标尚未超标。此类“综合恶化但单项合规”的情形极易被传统预警模型漏判。同时,一旦发生异常,系统缺乏自动化的溯源推理与成因诊断能力,通常需依赖人工调取历史数据、结合现场勘查进行回溯分析,响应周期长、主观性强,难以支撑应急决策对时效性与精准性的双重要求,显著削弱了水环境风险防控的主动性与前瞻性。

### 1.3 系统适应性与扩展性不足

不同水域,如河流、湖泊、饮用水水源地等,由于地理环境、人类活动等因素的差异,其水质特征存在显著不同,包括污染物种类、浓度范围以及变化规律等方面。然而,传统检测系统的算法模型是固定的,缺乏灵活性和自适应能力,难以根据具体的监测场景进行动态调整和优化,导致在不同水域的监测效果参差不齐。此外,当需要新增监测参数时,必须重新搭建数据处理逻辑和算法模型,这不仅增加了系统开发的复杂性和工作量,而且系统扩展性差,适配成本较高,限制了监测系统的进一步发展和广泛应用。

## 2 人工智能在水质多参数在线检测中的核心应用路径

### 2.1 基于机器学习的传感器数据校准与补偿

水质传感器在长期运行过程中,不可避免地会受到水体温度、浊度、酸碱度等复杂环境因素的干扰,进而产生数据偏差,严重影响多参数检测的精度。为解决这一问题,可构建随机森林(RF)、支持向量机(SVM)等机器学习模型。首先,收集大量历史监测数据,包括不同环境条件下传感器的原始数据以及对应的准确数据。将这些数据作为训练集,输入到机器学习模型中进行训练,得到误差补偿算法。以 pH 传感器受温度影响产生漂移为例,将温度、浊度等关联参数与传感器原始数据一同输入模型,模型通过分析这些数据之间的关系,自动生成校准系数。在实际检测中,利用该系数对传感器输出的实时数据进行修正,

从而有效提升多参数检测的精度稳定性。此外,基于自编码器的无监督学习模型可对传感器数据进行深度分析,有效识别因传感器故障导致的异常数据,实现故障自诊断与数据修复,保障监测数据的可靠性。

### 2.2 基于深度学习的多参数关联分析与污染识别

深度学习算法具有强大的非线性特征提取能力,在水质多参数在线检测中可实现深度关联分析与污染识别。卷积神经网络(CNN)适用于处理具有空间或时序结构的数据,可对水质光谱数据、多传感器时序数据进行特征挖掘。通过构建多层卷积和池化操作,CNN 能够自动提取数据中的关键特征,识别复合型水污染的隐性关联模式。例如,不同污染物在水体中相互作用会产生特定的光谱特征,CNN 可捕捉这些特征,从而准确判断是否存在复合型污染。长短期记忆网络(LSTM)则擅长处理时序数据,可构建时序预测模型。利用历史多参数数据对 LSTM 模型进行训练,使其能够学习到水质指标的变化规律,进而预测未来水质指标的变化趋势。以工业废水入河引发的 COD 与氨氮同步异常为例,LSTM 模型通过多参数时序数据的关联训练,可提前 6 - 12 小时预警污染事件,较传统阈值预警缩短响应时间 50% 以上,为水污染防治争取宝贵时间。

### 2.3 基于强化学习的监测系统自适应优化

强化学习通过“智能体-环境”交互反馈实现策略优化,能够有效解决水质监测系统的场景适配问题。将不同监测场景的水质特征,如污染物种类、浓度范围、变化规律等作为环境状态,以监测精度、预警准确率等指标作为奖励函数。强化学习智能体在与环境的交互过程中,根据奖励函数的反馈不断调整自身的行为策略。例如,在湖泊富营养化监测场景中,智能体通过分析环境状态,自动强化总磷、总氮等关键参数的监测频次,增加对这些参数的数据采集和分析,同时弱化非核心参数的采集密度,减少不必要的收集。在保证监测效果的同时,能够降低系统能耗与数据冗余,提高监测系统的运行效率和适应性。通过不断的学习和优化,智能体可使监测系统更好地适应不同的水质监测场景,实现自适应优化。

### 2.4 基于知识图谱的污染溯源与决策支持

当水质异常事件发生时,快速锁定污染源并制定科学处置方案是应急响应的核心。传统方法依赖人工排查与经验判断,效率低下且易遗漏隐性关联。人工智能驱动的知识图谱技术为此提供了结构化、可推理的智能决策支持路径。首先搭建水质污染知识图谱:整合区域内工业排污

口、农业面源、污水处理厂等污染源的空间信息与排放特征, 关联水文地质数据、历史污染事件案例、水质多参数监测数据, 构建包含“污染源-污染物-水质指标-处置方案”的实体关系网络; 再引入图神经网络 (GNN) 算法, 开发关联分析模块。当监测到水质异常时, 系统可启动溯源应用流程: 将异常参数 (如氨氮浓度突升) 输入 GNN 模型, 通过图谱中实体的关联路径挖掘, 快速定位潜在污染源 (如某工业园区废水排放口), 同时结合水文流场数据计算污染扩散范围; 随后调用知识图谱中的历史处置案例库, 通过相似度匹配生成针对性应急方案, 包括污染拦截点位、应急监测频次、净化药剂投加量等关键参数, 使水污染事件的溯源时间从数小时缩短至 10 分钟内, 处置效率提升 80%。

### 3 人工智能在水质多参数在线检测中的应用策略

#### 3.1 分层级模型部署策略

针对不同监测场景的需求差异, 采用分层级模型部署方案: 对于农村小型饮用水水源地、分散式排污口等简易监测场景, 优先在本地监测终端部署逻辑回归、浅层支持向量机等轻量化机器学习模型。该技术路径无需复杂算力支持, 能够快速完成传感器数据校准与单一参数超标预警, 同时有效降低设备采购与运维成本。针对流域级跨界断面、城市复合型工业园区等复杂监测场景, 相需搭建“深度学习+知识图谱”的融合模型。此类模型依托云端服务器的海量算力, 可实现多参数关联分析与污染溯源。研究同时结合边缘计算技术构建协同路径, 将数据清洗、异常值过滤等轻量任务部署于边缘网关, 以此实现秒级实时处理。将时序预测、跨区域数据联动分析等复杂任务上传至云端, 既保障了监测时效性, 又满足了深度分析需求, 最终形成“边缘端快速响应、云端全局决策”的高效监测体系。

#### 3.2 多源数据融合策略

水质状态受自然过程与人为活动多重影响, 单一数据来源难以全面刻画水环境动态。为此, 需构建跨模态、跨尺度的多源数据融合策略。一方面, 整合地面在线监测数据 (pH、COD、氨氮等)、水文气象数据 (流量、降雨、水温) 及污染源台账 (排污许可、企业位置), 通过时空对齐与特征工程构建统一数据底座; 另一方面, 引入联邦学习机制, 在不共享原始数据的前提下, 实现跨行政区、跨流域监测站点的联合建模, 有效提升模型泛化能力并保护数据主权。此外, 融合卫星遥感反演的叶绿素 a、悬浮物浓度等大范围水质指标, 与地面高频率点位数据形成互

补: 利用卷积神经网络 (CNN) 或时空图网络对“空-地”异构数据进行联合编码, 可有效填补偏远河段、跨界水域的监测盲区, 实现从“点状感知”向“面域覆盖”的升级, 显著增强水环境态势感知的完整性与代表性。

#### 3.3 全生命周期模型迭代策略

人工智能模型在实际运行中面临水质特征漂移、新型污染物出现、传感器老化等动态挑战, 必须建立覆盖“开发-部署-运维-更新”全过程的模型全生命周期管理机制。该策略强调持续学习与闭环优化: 系统定期采集新增监测样本 (包括正常工况与异常事件数据), 通过增量学习或微调 (fine-tuning) 方式更新模型参数, 避免模型性能随时间衰减; 同时, 构建模型性能监控模块, 实时评估预警准确率、校准残差、误报率等关键指标, 一旦发现显著偏差, 自动触发再训练流程。此外, 结合专家反馈与应急处置结果, 将治理成效反哺至训练数据集, 形成“监测-预警-处置-验证-优化”的正向循环。该策略确保 AI 模型具备长期适应性与进化能力, 避免“一次性部署、长期失效”的技术陷阱, 保障智能监测系统的可持续运行。

#### 3.4 技术与管理协同策略

人工智能技术的有效落地不仅依赖算法先进性, 更需制度保障与组织协同。因此, 应推行“技术+管理”双轮驱动策略。在技术管理层面, 制定水质 AI 模型的数据质量标准、算法透明度要求与性能评估规范, 建立第三方验证机制, 定期对模型精度、鲁棒性及公平性进行审计; 在组织协同层面, 打破环保、水利、住建、农业等部门间的数据壁垒, 推动建立区域性水质智能监测数据共享平台, 汇聚多源高质量数据用于模型训练与验证。同时, 鼓励科研机构、高校与运维单位共建联合实验室, 加速技术成果转化; 并将 AI 输出的污染预警、溯源结果、风险等级等信息, 结构化接入水环境管理决策系统, 支撑排污许可动态调整、应急调度指挥与生态补偿机制设计。

### 4 结语

综上所述, 人工智能技术为水质多参数在线检测提供了全新的技术范式, 通过数据校准、关联分析、自适应优化等应用路径, 可有效突破传统监测体系的局限。未来, 随着大模型、数字孪生技术的进一步发展, 可构建水质监测数字孪生系统, 实现水质参数的三维可视化模拟与污染风险的沉浸式推演; 同时, 需加强智能监测设备的国产化研发与隐私保护技术应用, 推动人工智能在水质监测领域的规模化、规范化落地, 为水资源保护提供更坚实的技术保障。

**参考文献:**

- [1] 林必忠, 江升. 在线多参数水质智能化检测装置的设计[J]. 福建农机, 2021, No.165(03):37-41.
- [2] 刘世兵, 刘成印. 基于有人云的水质在线监测系统[J]. 物联网技术, 2021, 11(10):30-32.
- [3] 刘光, 赵红金, 郑蕾等. 人工智能在水质监测管理中的应用研究[J]. 黑龙江水利科技, 2024, 52(06):90-94.
- [4] 林宝春, 陈学勤, 钟永芬. 人工智能在环境监测与管理中的创新应用[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(01):64-66.
- [5] 陈淑娴, 何文斌, 张妥香等. 智慧生态水质 pH 值监测系统模型的设计与实现[J]. 科技与创新, 2022, No.197(05):125-129.
- [6] 李若飞, 达尔仁·阿斯哈提, 王振豪等. 人工智能应用于水污染控制过程的研究进展[J]. 智能城市, 2019, 5(20):9-10.

作者简介: 颜燕玉 (1986.08-), 女, 汉族, 环境工程专业, 本科学历, 工程师, 研究方向: 主要从事环境监测工作。