人工智能技术在AAO工艺污水处理过程中的应用探讨

崔天汝
宁夏净源水务有限公司　宁夏　银川　750021

摘　要：作为污水脱氮除磷的主流工艺，AAO 工艺在市政水处理工程中应用普及，传统人工管控模式普遍存在参数调节僵化、工况适配能力不足、各处理单元联动性较差等问题，难以应对进水水质水量的动态变化。依托 AAO 工艺运行机理与单元特征，本文系统整合适配该工艺的各类智能技术，明确人工智能具备自主预判工况、自适应参数调节的突出优势，落实技术在各功能单元的应用场景，深入剖析智能调控下参数协同优化、运行偏差修正、多单元联动适配的核心机制。相关研究能够完善 AAO 工艺智能化管控路径，提升污水处理系统运行精度与稳定性，推动传统污水处理工艺向精细化管控方向转型。

关键词：AAO工艺；污水处理；智能技术；运行调控；工艺优化

引言：水环境治理体系持续完善的背景下，污水处理的运行稳定性与处理精度得到更高重视。AAO工艺凭借稳定的脱氮除磷效果、成熟的运行体系，成为当前污水处理的核心工艺之一。该工艺由多个功能单元组成，生化反应过程参数耦合性强，工况极易受外界因素干扰，传统固定参数调控和人工干预的模式，难以匹配复杂多变的水处理需求。将智能技术融入工艺运行管控，可有效化解传统运行模式的各类短板，优化工艺运行逻辑，全面提升污水处理系统的综合运行效能。

1 AAO 工艺运行特性与智能化改造需求

1.1 AAO工艺核心运行流程与工艺机理

AAO 工艺属于主流的生物法污水处理技术，整体流程遵循厌氧、缺氧、好氧的固定单元顺序，形成闭环式污水净化处理体系。污水进入厌氧单元后，环境内不含溶解氧，微生物可分解水体中结构复杂的大分子污染物，促使聚磷菌完成释磷反应，厌氧段总磷释放倍数通常可达 2～4 倍，搭建后续生物处理的基础环境。污水输送至缺氧单元，环境溶解氧含量控制不高于 0.5mg/L，微生物利用水体自带碳源发生反硝化反应，去除水体内部的硝态氮组分，实现污水脱氮处理[1]。污水最终流入好氧单元，持续供氧的环境可以激活微生物活性，完成有机污染物降解、生物吸磷和硝化反应，依靠内回流与污泥回流构建单元间物料循环，探究回流比调控对脱氮除磷效果的影响，全方位去除水体污染物。

1.2 AAO工艺各单元运行影响因素分析

AAO工艺不同处理单元的运行工况，受各类运行参数与环境条件的制约。厌氧单元处理效果由碳源存量、环境温度、水力停留时间共同决定，参数出现波动会直接降低微生物活性，阻碍释磷反应正常进行。缺氧单元处理能力与碳源配比、溶解氧含量、回流液流量密切相关，参数失衡会大幅降低反硝化反应效率，弱化脱氮处理能力。好氧单元对供氧浓度、污泥浓度、水体流速较为敏感，参数变动会改变生化反应速率，干扰污染物降解与硝化反应推进。

1.3 传统AAO工艺运行模式的固有局限

传统AAO工艺多采用固定式参数配置与人工干预的调控模式，运行体系存在明显短板。工艺运行参数长期保持固定数值，无法适配进水水质、水量的动态波动，难以适配复杂多变的水处理工况。人工调控依靠运维人员实操经验，调控节奏存在滞后性，无法快速应对工况波动带来的工艺失衡问题。各处理单元单独调控，单元参数缺少联动调节机制，局部工况异常会持续扩散，影响整套系统的运行稳定性。传统运行模式的工况感知能力薄弱，难以精准捕捉细微运行偏差，长期运行易出现处理效率不稳的问题。

1.4 AAO工艺引入人工智能技术的适配性逻辑

AAO 工艺多单元、多参数的动态运行特征，适配智能化调控手段的应用场景。整套工艺具备标准化、模块化的运行特征，各单元可实现运行数据的全面采集与分析，能够搭建精准可靠的工艺模型，依托模型实现从进水指标起始的全过程管控，为智能调控提供完整的数据支撑。工艺运行存在大量可优化的参数空间，固定化的传统调控模式无法匹配动态工况的运行需求。智能调控手段可实现运行数据的自主研判与参数自适应调整，替代传统粗放的人工调控方式。同时可针对污泥系统开展原生动物图像识别，提前预判污泥膨胀等异常污况，实现故障前置分析。

2 适配 AAO 工艺的人工智能技术体系

2.1 机器学习技术在污水处理工艺中的适配类型

机器学习技术可依托数据规律完成工况认知与状态研判，能够适配污水处理工艺的复杂运行特征。针对AAO工艺多参数耦合的运行特点，各类机器学习模型可针对不同处理场景发挥对应作用。监督学习可依托历史运行数据建立工艺参数映射关系，搭建工况状态与运行参数的对应逻辑，实现工艺运行状态的精准判断。无监督学习可对无序的水质数据、设备运行数据进行分类梳理，挖掘常规运行状态之外的异常工况特征，适配工艺动态波动的运行场景。强化学习可依托工艺运行反馈持续迭代运行策略，逐步优化参数调节逻辑，适配AAO工艺不同单元的差异化运行需求，为工艺精细化管控提供技术支撑[2]。

2.2 智能感知与数据挖掘技术适配体系

智能感知与数据挖掘技术是工艺智能化运行的基础支撑体系，可实现AAO工艺全单元运行信息的有效捕捉与深度处理。智能感知设备可覆盖厌氧、缺氧、好氧各单元，实时采集水质参数、环境参数与设备运行参数，保障运行数据的完整性与时效性。数据挖掘技术可对采集的海量原始数据进行清洗、筛选与归类，剔除现场环境干扰产生的无效数据。该技术体系可深度挖掘数据背后的工艺运行规律，梳理参数变化对处理工况的影响逻辑，筛选出影响工艺稳定性的核心参数，为后续工艺调控与优化工作提供真实有效的数据依据。

2.3 智能控制与自适应优化技术框架

智能控制与自适应优化技术框架可打破传统固定参数调控的局限，适配AAO工艺动态化运行场景。该框架以工艺运行数据为基础，搭建独立的参数调节逻辑，可根据各单元实时运行状态调整控制策略。针对厌氧单元、缺氧单元、好氧单元的不同运行要求，框架可匹配差异化的优化逻辑，单独调整各单元关键运行参数。框架具备自主适配工况变化的能力，可根据进水负荷、环境条件的改变更新调控策略，弱化人工干预占比，让工艺运行参数始终适配当下水处理工况，提升整套工艺运行的稳定性与适配性。

2.4 大数据分析与工艺联动技术体系

大数据分析与工艺联动技术体系可解决传统AAO工艺各单元独立运行、管控分散的问题。该体系可汇总整套工艺的全维度运行数据，建立统一的数据分析模型，梳理各单元参数变化的内在关联。体系可依托数据分析结果搭建单元联动机制，根据单一单元的工况变化，对关联单元运行参数进行合理调整，打破各工序独立运行的管控壁垒。完整的技术体系可实现AAO工艺全流程统筹管控，构建一体化的运行优化模式，持续完善工艺智能化管控架构，提升污水处理系统整体运行质量。

3 人工智能技术在 AAO 工艺各单元的针对性应用

3.1 厌氧单元人工智能技术应用

厌氧单元是AAO工艺完成生物释磷的核心功能区段，整体运行工况的稳定程度，直接决定整套系统脱氮除磷的基础水平。运行状态智能识别依托持续采集的水质负荷、菌群活性、水力停留时间等关键运行数据，挖掘数据变化的内在规律，通过多维特征划分工况的正常运行区间与异常运行区间。系统可精准捕捉释磷反应效率不足、有机底物匮乏、水力负荷失衡等传统人工巡检难以察觉的隐性问题。环境参数智能调控逻辑以实时运行状态为核心依据，针对单元内部环境的动态波动，主动修正进水配比与水力运行时长等关键参数，维持厌氧反应环境的恒定状态[3]。AI系统可精准调控厌氧段HRT与进水碳源配比，优化多点进水分配比例，保障聚磷菌释磷环境稳定，从源头提升系统整体除磷效能与抗负荷冲击能力。

3.2 缺氧单元人工智能技术应用

缺氧单元承担污水体系内硝态氮去除的核心任务，内部反硝化生化过程对外部运行环境变化高度敏感，进水水质的波动会直接引发处理效率起伏。反应过程智能研判整合单元内部碳源利用水平、反硝化推进程度、污泥活跃状态等多项核心指标，对当前脱氮反应的整体质量开展深度判定，精准识别反应速率放缓、有效底物不足、菌群活性下降等各类运行隐患。工况动态适配机制依托研判结论更新运行策略，科学调整水体碳源供给体量与系统污泥浓度，适配不同进水负荷对应的脱氮反应需求。

3.3 好氧单元人工智能技术应用

好氧单元集成有机污染物降解、硝化反应、生物吸磷多项核心生化功能，内部反应体系结构复杂，参数调控存在较高难度。生化反应智能辨识可以精准区分各类生化反应的推进阶段，梳理水体中各类污染物的降解转化进度，及时排查溶解氧供给失衡、污泥龄控制不当等干扰生化效率的负面工况。运行参数智能匹配机制结合实时生化反应特征，针对性调整曝气强度、污泥龄控制范围等核心运行条件，构建适配当期反应状态的最优运行环境。AI可分区精准调控曝气强度，动态匹配最优DO浓度与污泥龄参数，平衡硝化反应与生物吸磷效率，有效规避过度曝气引发的能耗浪费与污泥老化问题。

3.4 二沉池单元人工智能技术应用

二沉池单元负责生化出水的泥水分离作业，兼顾污泥

循环输送的关键职能，运行品质直接影响整套工艺的污泥体系平衡与出水水质稳定性。污泥沉降状态智能监测持续采集污泥沉降速率、污泥层堆积厚度、上清液澄清程度等核心状态信息，精准排查污泥膨胀、沉降紊乱、水体夹带污泥等高频运行隐患。污泥回流系统智能联动调控依托实时监测的工况数据，优化污泥回流比例与剩余污泥排放体量，维持池内有效污泥存量的动态均衡。

4 人工智能赋能 AAO 工艺的运行优化机制

4.1 工艺参数动态协同优化机制

AAO 工艺各运行参数存在深度耦合关联，单一参数调整无法适配复杂的工况变化，传统固定参数模式难以匹配污水净化的动态运行需求。工艺参数动态协同优化机制依托工艺运行的底层规律，整合水质负荷、环境条件、菌群状态等多元运行要素，对曝气强度、水力停留时间、污泥浓度等核心参数进行统筹调配。该机制摒弃单一维度的参数调节方式，依据前端进水状态与各单元反应进度，对全流程工艺参数进行整体性调配，让各类运行参数形成相互适配的组合体系，匹配不同工况下的生化反应需求，保障各环节生化反应稳定有序开展，实现复杂进水工况下工艺运行的动态平衡[4]。

4.2 系统运行偏差智能修正机制

AAO工艺长期连续运行过程中，进水水质与水量的自然波动、微生物菌群的世代更替、设备持续运行产生的性能衰减，都会让实际运行工况逐步偏离标准运行区间，衍生各类运行偏差。系统运行偏差智能修正机制可以精准捕捉参数偏移、反应效率衰减、整体工况失衡等各类异常状态，通过海量历史运行数据挖掘偏差产生的深层诱因。机制依据偏差类别与偏移幅度制定差异化修正策略，对各项运行参数开展渐进式、精细化微调，逐步将工艺运行状态回归合理区间。有效弱化工况偏差对污染物降解过程的负面干扰，维持全程生化反应的规范性与稳定性。

4.3 多单元工况联动适配机制

AAO工艺包含的厌氧、缺氧、好氧、二沉池功能单元存在极强的关联性，各区段运行状态互相约束，局部工况失衡会沿工艺流程传递，影响整套系统的运行质量。多单元工况联动适配机制打破传统模式下各单元独立调控的运行壁垒，打通不同处理区段的数据交互渠道。机制依托前端单元的出水水质与反应完成状态，动态更新后端单元的运行策略，根据各段生化反应推进节奏合理分配运行资源，实现全流程工况的平稳衔接。跨单元的统筹调控能够规避局部异常引发的连锁反应，保障整套污水处理工艺运行的完整性与连续性。

4.4 污水处理系统运行稳定性提升逻辑

AAO工艺的长效稳定运行，依托精准的参数调配、有效的偏差校正与连贯的单元协同运行能力。智能化优化体系从参数协同调控、运行偏差修正、多单元工况联动多个维度，补齐传统人工调控模式存在的各类短板。多重优化机制相互支撑，构建出覆盖全流程的精细化运行管控体系，有效抵御进水负荷波动、菌群活性变化等外界干扰因素。稳定的管控逻辑可以持续规整工艺运行状态，降低异常工况的发生频次，让AAO污水处理系统始终保持平稳规范的运行状态，维系长期稳定的污水处理效能。

结束语

AAO工艺存在参数固化、单元联动不畅、工况偏差处置滞后等固有运行问题，传统人工管控模式难以适配动态水处理工况。智能调控体系可从参数协同优化、工况偏差修正、多单元联动适配多个层面，规整工艺运行状态，弱化外界工况波动对生化系统的干扰。各类智能技术可贴合各处理单元的运行特点完成针对性适配改造，理顺全流程运行管控逻辑。技术手段与污水处理工艺的深度融合，稳步提升水处理系统运行平稳性与管控精细程度，为市政污水工艺的智能化升级提供完善的理论支撑与技术思路。

参考文献

[1]付嵩涵,张曼珊,高明明,等.改良型AAO工艺在南水北调中线城市污水处理中的应用[J].化工管理,2025(11):101-104,132.

[2]郭东旭.AAO工艺在污水处理中的硝化反硝化效率优化研究[J].皮革制作与环保科技,2026,7(1):19-21.

[3]朱强.污水处理中的AAO工艺脱氮性能研究[J].皮革制作与环保科技,2026,7(2):27-29.

[4]李选龙,刘钢潮,程吉宁.改良AAO工艺在煤矿生活污水处理中的应用[J].煤炭工程,2025,57(8):37-41.