污水厂进水水质波动的运行调控策略研究

曾宇豪

浙江富春紫光环保股份有限公司　浙江　杭州　310000

摘　要：城市污水收集体系结构复杂，生活污水时段性排放、工业废水无序混入、雨季雨水径流汇入等多重因素，易引发污水厂进水水质大幅波动，扰乱生化处理系统平衡，造成出水水质不稳定、运行能耗增加、污泥处置负荷升高等一系列运行问题。本文依托市政污水厂实际运行工况，归纳进水水质波动的主要特征与诱发原因，探析水质波动对污水处理工艺单元的不良影响。结合厂区运行管控短板，从智能监测、工艺调控、预处理优化、应急管理等方面构建完善的调控体系，适配各类水质波动工况，稳固污水处理系统运行稳定性，推动污水厂实现精细化、低碳化、高效化运行。

关键词：污水厂；进水水质；水质波动；运行调控；工艺优化

引言

市政污水处理是城市水生态治理的关键环节，稳定的工艺运行是保障出水达标、维护流域水环境安全的重要基础。城市污水组分随城市发展持续变化，生活污水、工业废水与雨水径流混合汇入管网，使得污水厂进水水质频繁出现周期性与突发性波动，干扰生化系统稳定运行，易引发处理效能下降、出水超标等问题。本文结合污水厂实际运行工况，梳理水质波动现存问题，制定针对性运行调控策略，助力厂区实现稳定精细化运行。

1 进水水质波动基本概述

城镇化建设推进过程中，城市污水排放量持续攀升，污水收集管网覆盖范围不断扩大，污水组分呈现多元化、复杂化发展趋势。污水厂作为水环境治理的核心基础设施，其运行稳定性直接决定区域水环境质量达标成效。受城市生产生活排污规律、管网运维状态、气候环境变化等多重因素影响，进水 COD、氨氮、总磷、总氮等核心指标频繁出现高低起伏的波动现象，打破污水处理工艺的平衡运行状态。本文基于常规市政污水处理工艺体系，系统阐述进水水质波动的主要类型、形成机理及行业管控现状，为后续问题剖析与策略优化奠定理论与实践基础。进水水质波动主要分为常规周期性波动与突发异常波动两类，周期性波动多源于居民生活作息差异，呈现日间高负荷、夜间低负荷的变化规律，波动幅度相对可控。突发波动多由工业废水偷排、暴雨天气冲刷管网、管网淤积污物集中释放导致，具备突发性、高强度、破坏性强的特点，是干扰污水厂稳定运行的主要诱因[1]。现阶段国内多数中小型污水厂仍沿用固定化运行参数管控模式，未建立适配水质动态变化的调控机制，难以应对复杂的水质波动工况，工艺抗冲击负荷能力普遍偏弱。

2 污水厂进水水质波动现存运行问题

2.1 水质监测预警体系滞后

水质监测是污水厂运行调控的核心依据，也是保障工艺精准调控、出水稳定达标的基础性工作，当前部分污水厂监测体系存在明显短板，难以实现水质波动的提前预判与精准捕捉。多数厂区仅对进水核心指标进行每日定时人工抽检，在线监测设备覆盖率不足、设备校准频次偏低，无法实时连续采集水质数据。人工监测存在数据滞后性、偶然性问题，难以捕捉短时突发水质异常波动，待出水水质出现超标迹象后，工作人员方可发现进水异常，错失最佳调控时机。同时，现有监测数据未形成系统化分析模型，无法总结水质波动的时段规律、季节规律及诱因特征，对高浓度污水、有毒有害废水的突发汇入缺乏预警能力，导致工艺调整始终处于被动应对状态，大幅提升工艺运行失控风险。

2.2 工艺运行参数适配性不足

当前污水厂生化处理系统多按照设计额定水质参数设定运行模式，曝气强度、污泥回流比、混合液悬浮固体浓度、水力停留时间等关键参数长期固定，缺乏动态调整机制，难以适配进水水质的实时动态变化规律。在进水水质低负荷工况下，持续高力度曝气会造成电能资源浪费，引发污泥过度氧化、污泥龄缩短、生物菌群活性紊乱等问题，增加污泥处置成本。在进水水质高

负荷、高浓度工况下，固定的工艺参数无法匹配污染物降解需求，生化系统微生物负荷骤增，菌群结构遭受冲击，活性大幅下降，出现污泥膨胀、污泥解体、出水悬浮物超标等现象[2]。部分厂区针对水质波动仅采取简单的曝气调节，未统筹调控污泥浓度、停留时间、药剂投加量等配套参数，工艺调控整体性不足，无法有效抵消水质波动带来的负面影响。

2.3 预处理系统管控能力薄弱

预处理系统是抵御进水水质波动、保护生化主系统的关键屏障，包含格栅、沉砂池、调节池等核心单元。实际运行过程中，多数污水厂预处理单元运行管控不到位，屏障作用未能充分发挥。格栅设备清理频次不足，大块悬浮物、杂物持续进入后续工艺，易造成设备堵塞、管路淤积，间接影响水流稳定性与水质均匀性。调节池有效容积利用率偏低，部分厂区长期未开展池体清淤，底部淤积大量污泥与杂质，缩减池体有效容积，导致水质水量均质化效果大幅下降。进水水质波动时，调节池无法有效缓冲高浓度污水冲击，不均质的污水直接进入生化系统，加剧主工艺运行压力。此外，调节池缺少配套的水质搅拌、曝气均质设施，进水污染物分层聚集问题突出，进一步弱化预处理缓冲能力。

2.4 应急调控机制不完善

突发水质波动是污水厂运行管控的重难点，当前多数污水厂未建立标准化、常态化的应急调控体系。针对工业废水偷排、暴雨径流、水质突变等异常工况，缺乏分级分类的应急处置方案，工作人员应对突发问题仅依靠个人经验操作，处置流程不规范、调控措施不统一。厂区未建立水质异常溯源机制，突发高浓度、有毒有害进水后，无法快速定位污染源头，持续性的异常进水反复冲击工艺系统[3]。同时，应急物资储备不足、应急设备运维不到位，活性炭、应急药剂、备用曝气设备等物资短缺，突发工况下无法快速开展应急处置，导致水质波动影响持续扩大，造成出水水质阶段性超标。

3 污水厂进水水质波动优化运行调控策略

3.1 构建智能化实时监测预警体系

为切实补齐厂区水质监测工作短板，规避传统监测模式滞后性带来的运行风险，污水厂需结合现场工艺布局、季节工况差异与进水波动特征，搭建覆盖进水全流程、可实时动态采集数据的智能预警体系，精准捕捉各类突发性、周期性水质波动。针对性优化在线监测设备布设点位，在进水渠、调节池出水口、生化池进水关键断面安装 COD、氨氮、总磷、总氮、pH 值及溶解氧监测仪器，全天候不间断采集水体各项指标数据，完成实时上传至厂区中控系统，实现数据可视化集中管控。严格落实仪器设备常态化运维与校准工作，固定每周开展现场设备巡检、排查设备故障每月统一完成仪器校准调试，有效规避监测数据偏差、失真等问题。依托厂区信息化管理平台整合各类运行数据，统计分析昼夜、月度及季度水质变化特征，归纳波动规律并建立专属运行数据库，为工艺优化积累详实的数据支撑。结合厂区实际工况设定合理的水质预警阈值，指标异常时自动触发预警提示，为工艺前置调整预留充足时间。同步落实每日多点位人工抽样复核工作，双向校验监测数据，全方位保障整套监测预警体系的精准性与运行稳定性。

3.2 推行动态化工艺参数调控模式

摒弃传统污水厂一成不变的固定工艺管控模式，结合厂区进水水质、水量的实时动态变化数据以及季节水文变化特征，推行分场景、分级别的动态参数调控方式，切实提升生化工艺的抗冲击负荷与自适应调节能力，让工艺运行更加贴合现场实际处理需求。进水处于低污染物负荷状态时，可合理下调曝气功率与污泥回流比例，科学优化水力停留时长，削减设备空载运行产生的无用能耗，维系生化池内功能微生物的稳定活性，杜绝污泥老化、菌群结构失衡等常见运行问题。面对雨季冲刷、居民集中排污造成的短时高负荷进水工况，需梯度递增调整曝气供氧规模，贴合污染物降解的实际耗氧需求，适度提升混合液污泥浓度、合理延长污泥龄，强化系统污染物降解效率。所有工艺参数调整均需循序渐进、小幅微调，杜绝参数骤变引发的生化系统震荡，保障菌群代谢环境平稳过渡。针对水体酸碱失衡、微量有毒废水侵入等特殊异常工况，优先中和调节进水 pH 指标，投加专用水体缓冲药剂优化水环境，减轻有毒物质对微生物的抑制伤害[4]。同时精细化药剂投加管控，依据实时进水污染物浓度动态微调药剂用量，规避药剂浪费或处理效果不达标的情况，全方位保障生化处理系统长效、安全、稳定运行。

3.3 强化预处理系统缓冲调控能力

为从源头缓解进水水质波动带来的工艺冲击，需全面细化预处理单元的精细化管控措施，最大化发挥格栅、沉砂池与调节池的多级缓冲、均质稳压功能，筑牢生化主系统的第一道防护防线。预处理作为污水工艺的首要环节，运行质量直接决定后续生化系统的工况稳定性，必须落实常态化、标准化管控，以此从源头降低水质波动对整套污水处理工艺的负面影响。结合厂区进水杂物含量、季节水质变化及管网排污特征，动态调

整格栅机械清渣、人工巡检清理频次，精准拦截水体中各类漂浮杂物、悬浮颗粒与纤维杂质，有效规避后续设备堵塞、管路淤积以及水体水质紊乱等常见故障。严格落实沉砂池定时排砂、洗砂作业，及时清理沉积砂粒与无机杂质，保障过水断面通畅、水体流动稳定。着重强化调节池长效运维管理，根据池体淤积实况每年开展一至两次彻底清淤作业，完全恢复设计有效蓄水容积。持续完善搅拌、微曝气等均质配套设施，破除水体污染物分层、局部浓度偏高的问题，实现来水水质与水量的均匀混合。在暴雨汛期、居民集中排污等进水负荷峰值阶段，提前启用调节池调蓄功能，通过错峰配水、均匀输水的方式平缓水质波动，最大限度降低不稳定进水对后端生化处理系统的冲击影响。

3.4 建立标准化应急管控运行机制

结合污水厂日常运行工况与水质突发波动特征，编制贴合现场实操的分级水质异常应急处置规程，进一步细化各类突发工况的标准化处置流程与操作细则，保障突发问题能够快速响应、规范处理，全面补齐厂区应急管理的制度短板。根据进水污染物超标幅度、持续时长以及对生化系统的危害程度，将水质异常划分为一般波动、中度冲击、重度污染三个等级，针对不同等级制定精准适配的差异化调控手段，杜绝一刀切的粗放处置模式。搭建水质异常快速溯源排查机制，主动对接市政管网运维与环保监管部门，在水质突发异常时，快速排查片区排污点位，及时制止企业违规排污、污水乱排等行为，从源头遏制水质持续恶化。常态化落实应急物资与设备储备工作，配齐应急药剂、活性炭、备用曝气装置、应急水泵等关键设备耗材，定期开展设备空载试运行与故障检修，确保突发工况下设备可即刻投入运行[5]。常态化组织一线运维人员开展应急实操演练，夯实岗位实操能力，统一现场处置标准。建立完整的工况复盘台账，每次水质波动处置结束后，深度梳理问题成因与处置短板，持续迭代优化应急方案，稳步提升厂区抗风险与应急调控综合能力。

3.5 完善常态化运维与管理制度

健全污水厂全流程日常运行管控体系，夯实水质波动常态化管控基础，以规范化管理制度约束现场各项运维操作，规避人为操作疏漏引发的工况波动，从制度层面筑牢厂区稳定运行根基。建立标准化设备运维台账制度，针对厂区曝气系统、污泥回流系统、在线监测设备、预处理配套设备开展周期性检修、保养与故障排查，及时处理设备老化、性能衰减等问题，保障各类工艺设备持续稳定工况，杜绝设备异常放大水质波动带来的负面影响。细化各岗位人员权责清单，清晰划分水质监测、工艺参数调控、设备日常运维、突发工况应急处置等工作内容，形成分工明确、闭环落地的现场管控模式，全面提升厂区运维管理的规范性与专业性。常态化开展水质数据复盘分析工作，定期总结阶段性水质波动变化规律，归纳各类工况的调控经验，持续优化适配厂区实际的运行方案。主动对接属地环保与管网管理部门，强化片区工业企业、集中排污点位的常态化排污监管，协助排查偷排、超标排放等违规行为，从源头削减人为因素造成的水质波动，搭建源头管控、过程缓冲、工艺调控、应急兜底的一体化管控体系。

结束语

综上所述，进水水质波动是制约污水厂稳定运行的关键因素，现阶段多数污水厂存在监测预警滞后、工艺适配性差、预处理能力不足、应急体系不完善等问题，大幅降低污水处理稳定性。本文结合现场运行实际，围绕水质监测、工艺调控、预处理优化、应急管理及日常运维多个维度，制定系统化的水质波动调控方案。各项措施协同实施，能够有效削弱水质波动带来的运行冲击，稳定生化处理工况，提升出水达标稳定性，为污水厂精细化稳定运行提供有效保障。

参考文献

[1] 韩卫强, 杨敬畏, 王洋, 等. 城市污水处理厂进水水质提升策略 [J]. 城镇供水,2025,(3):85-90.

[2] 冼巍. 污水处理厂高浓度进水冲击分析及应对策略 [J]. 城市道桥与防洪,2026,(4):68-74.

[3] 薛武. 城镇污水处理厂进水水质波动的稳定控制策略分析 [J]. 生态环境保护与修复,2026,39(6):107-109.

[4] 杨曾, 雷茂伶, 田军, 等. 市政污水处理厂进水水质生物毒性监测机制快速建立及响应 [J]. 城镇供水,2026,(4):43-50+58.

[5] 李红桔, 许洋, 尹娟, 等. 城市污水处理厂进水水质规律分析及应用 [J]. 环境生态学,2024,6(1):133-138.