

环境工程中污水处理过程监测与效果分析

马 超

(宣城市宣州区生态环境分局, 安徽 宣城 242000)

摘 要 为提高污水处理系统运行分析的针对性与精细化水平, 本文围绕污水处理过程监测对象识别、监测体系构建、处理效果分析及优化路径展开研究。在明确 COD、氨氮、总磷、悬浮物及 pH 等核心监测指标的基础上, 构建“进水口—关键单元—出水口”的全过程监测体系, 并结合运行参数监测对系统处理效果进行分析。结果表明, 过程监测能够反映各处理单元作用差异和系统运行状态, COD 与 SS 控制相对稳定, 氨氮和总磷对工况变化更为敏感。针对进水波动、生化运行、除磷管理及数据应用等环节提出优化建议。研究验证表明, 过程监测有助于提高污水处理系统运行判断的及时性和调控措施的针对性, 对污水处理设施稳定运行和精细化管理具有参考价值。

关键词 环境工程; 污水处理; 过程监测; 监测点位布设; 在线监测

中图分类号: X703

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.19.036

0 引言

污水处理是环境工程中的关键环节, 其运行效果不仅关系到污染物削减水平, 也直接影响区域水环境治理成效。随着污水处理设施运行要求不断提高, 单纯依靠末端出水指标评价处理效果已难以满足精细化管理需要^[1]。相比结果性判断, 过程监测能够更及时地反映来水负荷变化、关键单元运行状态及异常工况特征, 对保障系统稳定运行具有现实意义。当前部分研究更关注工艺流程和终端达标情况, 对监测点位设置、过程数据应用及处理效果关联分析重视不足, 导致研究成果在工程实践中的针对性仍有提升空间^[2]。基于此, 本文围绕污水处理过程监测对象识别、监测体系构建、处理效果分析及优化建议展开研究, 以期污水处理系统的稳定运行和精细化调控提供参考。

1 污水处理过程监测对象与关键环节

1.1 核心水质指标识别

过程监测先要解决“看什么”的问题。就污水处理运行而言, COD、氨氮、总磷、SS 和 pH 是最需要优先掌握的几类指标。COD 主要看有机物负荷变化, 氨氮和总磷更能反映营养盐去除状况, SS 常用来判断沉淀和分离环节是否正常, pH 虽然不是去除指标, 但对反应环境是否平稳有较强指示作用^[3]。这几项指标放能够反映污染削减情况和工艺运行状态。

1.2 关键处理单元监测重点

点位布设不在于多, 而在于是否落在关键位置。按常见污水处理流程, 进水口、生化处理段和深度处

理后出水口应作为重点监测部位。进水口主要看来水强度和波动情况, 生化处理段反映主体工艺运行是否正常, 出水口则直接对应最终处理结果。把这几个节点串起来看, 不仅能看出污染物沿流程的变化过程, 也更容易判断问题究竟出在前端负荷、主体处理, 还是末端控制环节。

1.3 运行状态参数监测要求

只看水质结果, 很多时候还不够。在实际运行中, 一些指标波动并不是单纯由进水变化引起, 而是与溶解氧、污泥浓度、药剂投加量、流量变化等运行参数直接相关。这类参数本身不表示污染物高低, 却能帮助判断系统有没有偏离正常工况。把水质指标和运行参数结合在一起分析, 往往更容易看清波动原因, 也更便于后续调整运行方式。

1.4 异常工况识别要点

从现场运行看, 比较常见的问题主要是进水冲击、生化反应不稳、沉淀分离效果变差以及除磷波动等。这些问题一开始未必都会表现为出水明显超标, 但相关指标通常会先出现短时偏移或阶段性异常。过程监测的意义就在于尽早发现这些变化, 及时判断受扰动的单元位置, 避免小幅波动逐步演变成更明显的运行问题。

表 1 反映了关键监测点位的主要指标变化情况。沿处理流程看, 各项污染物总体呈下降态势, 说明工艺链条在削减污染物方面是持续起作用的。其中, 主体处理单元承担了主要去除任务, 后续处理环节更多

作者简介: 马超 (1990-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 环境工程。

体现为对出水的进一步稳定和收口。就这一点而言,对关键节点开展过程监测,不只是为了记录数据,更是为了明确各单元的实际作用。

表 1 污水处理过程主要监测指标变化情况

监测点位	COD (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	SS (mg/L)	pH
进水口	268.4	27.6	3.42	186.5	7.1
生化处理段后	71.5	6.3	1.08	42.7	7.2
深度处理后 出水	31.6	3.4	0.62	13.8	7.1

2 污水处理过程监测体系构建

2.1 监测点位布设原则

污水处理过程监测体系的建立,应先解决点位设置是否合理的问题。布点不宜过多过散,而应围绕处理流程中的关键节点展开,按照“进水口—关键单元—出水口”的链条式思路进行布设。进水口用于把握来水水质和负荷变化,关键单元用于识别主体工艺运行状态,出水口用于检验最终处理水平^[4]。通过前后衔接的点位设置,可使监测结果更具代表性和可比性,并较完整地反映污水处理全过程的变化特征,同时为后续运行分析和单元效果判别提供清晰的依据。

2.2 在线监测与人工检测结合

单靠一种监测方式,往往难以把运行情况看全。在线监测的优势在于连续,指标一有波动,系统就能较快作出反应,适合监测运行过程;但有些项目受设备稳定性、现场条件等影响,长期连续监测并不理想,这时还得靠人工检测补上。人工检测虽然频次不如在线监测高,却更适合做关键指标复核,也能对部分在线数据起到校正作用^[5]。两种方式结合使用,更贴近污水处理现场实际,既能看变化,也能看数据是否可靠。

2.3 数据采集与质量控制

监测数据能不能用于分析,关键不在于数量多,而在于数据本身是否可靠。在实际工作中,采样频次不能一概而论,要结合工艺运行节奏和波动特点来定;仪器校准、日常维护和运行检查也不能流于形式,否则后续分析很容易失去基础。除此之外,平行样复核、原始记录核查和异常值筛查也很重要,这些工作看起来琐碎,却直接关系到结果能否真实反映处理过程状态。只有把采集和质控这两道关守住,监测数据才可能真正用于后续判断和调整。

2.4 监测数据应用方向

如果监测数据只是停留在台账记录层面,其作用其实很有限。过程监测更重要的地方在于把数据和运

行判断联系起来。例如:某一阶段指标连续偏移,是前端来水变了,还是中间单元出了问题,单看结果往往不好下结论,但把趋势变化、参数波动和点位信息放在一起分析,问题位置通常会更清楚。也正因为如此,监测数据不应只用于事后统计,还应服务于异常识别、趋势判断和运行调节,使现场管理逐步从“看结果处理问题”转向“看过程提前应对”。

3 监测结果与处理效果分析

3.1 主要污染物去除特征

从监测结果看,污水经各处理单元逐级处理后,主要污染物均得到有效削减,说明现有工艺对有机物、悬浮物及营养盐具有较好的综合控制能力。就指标表现而言,有机污染物和悬浮物下降更为连续,反映出主体处理工艺和固液分离环节运行基础较稳;营养盐指标虽总体处于受控状态,但对运行条件变化更为敏感,表明不同污染因子在处理过程中的响应特征并不一致。

3.2 运行稳定性与波动表现

连续监测结果表明,系统大部分时段保持平稳运行,出水指标总体处于可控区间,说明工艺链条具备一定稳定性和抗扰动能力。但从阶段性变化情况看,个别指标仍存在小幅波动,反映出系统在进水负荷变化、局部单元调节偏差或运行条件轻微波动时,会产生一定的过程响应^[6]。由此可见,对污水处理效果的判断不能只看平均结果,还应结合波动过程分析系统的真实运行状态。

3.3 处理效果影响因素

处理效果出现差异,很多时候并不只是工艺本身的问题,更常见的是运行条件没有及时跟上。进水负荷波动会改变各单元承受的处理压力;曝气状态和污泥活性不稳,生化反应效率也会受影响;药剂投加控制不到位,则常直接反映在营养盐去除效果上。实际运行中,氨氮和总磷对这些变化更敏感,尤其在曝气不足、污泥状态波动或加药偏差增大时,更容易先表现出异常^[7]。因此,分析处理效果时,不能只盯末端结果,还要把运行条件一并纳入判断。

3.4 综合评价与短板识别

从去除效果、波动程度和达标表现综合来看,系统整体运行基础较稳定,常规污染物控制也基本正常,说明现有工艺具备一定的持续处理能力。但如果把不同指标放在一起比较,可以看出营养盐控制仍是相对薄弱的环节,特别是在工况起伏较明显时,这一问题更容易暴露出来。也就是说,后续优化不能只看出水是否达标,还要把注意力前移到关键参数变化和敏感环节控制上,这样系统运行的稳定性才更有保障。

表2把几项主要指标的处理水平、波动程度和运行表现放在了一起。从表中可以看出,不同指标并不是同步变化的:有的去除率较高、波动也较小,有的

虽总体可控,但稳定性上仍有短板。正因为如此,污水处理效果不能只按末端是否达标来判断,还得结合过程变化一起看,才能更接近系统的真实运行状态。

表2 主要污染指标处理效果模拟分析

指标	进水均值 (mg/L)	出水均值 (mg/L)	平均去除率 (%)	波动系数 (%)	达标情况
COD	268.4	31.6	88.2	9.4	稳定达标
氨氮	27.6	3.4	87.7	13.1	基本稳定
总磷	3.42	0.62	81.9	15.6	个别波动
SS	186.5	13.8	92.6	10.2	稳定达标

4 过程监测驱动下的优化建议

4.1 强化进水波动预警

不少运行波动并非起于处理单元内部,而是先由来水变化传入系统。进水负荷一旦明显起伏,后续单元往往会被动响应,进而带动整条处理链波动。因此,优化工作应适当前移,重点发挥调节池均质均量作用,并将流量异常、浓度突升和阶段性水质偏移纳入预警范围。监测进水变化,能够为后续曝气、回流和加药调整争取时间。

4.2 优化生化运行控制

生化处理单元是影响COD和氨氮去除效果的关键部位,其运行状态直接关系到整体处理水平。在实际运行中,曝气强度、污泥浓度和停留时间不能长期按固定值控制,而应随工况变化及时调整。尤其在供氧不足、污泥负荷失衡或反应时间偏离正常区间时,处理效率往往会先出现变化。过程监测的价值就在于尽早识别这些偏移,使生化单元尽量维持在较合适的运行状态。

4.3 细化除磷与深度处理管理

营养盐控制比常规污染物控制更容易受工况变化影响,其中总磷波动更为明显。这说明除磷和深度处理环节不能只靠经验维持,而要把控制做得更细。在实际管理中,加药时机、投加量与水质变化是否匹配,会直接影响总磷去除效果;深度处理单元若出现偏移,也会放大末端波动。因此,应把监测重点进一步落到加药控制和后续处理环节上,必要时根据阶段性结果及时调整策略。

4.4 完善监测数据应用机制

过程监测有没有实际作用,关键不在于数据记了多少,而在于能否用来判断问题、指导调整。若监测结果只停留在记录和报表层面,其价值会大打折扣。后续应把异常识别、趋势分析、参数调整和效果验证串联起来,让监测数据真正进入运行管理过程^[8]。一旦某项指标连续偏移,应尽快对对应到可能的单元位置和影响因素,再结合运行参数作出调整,逐步形成闭环应用。

5 结束语

本文围绕污水处理过程监测对象识别、监测体系构建、处理效果分析及优化路径进行了系统梳理。结果表明,过程监测能够较好地反映污水处理各单元的运行状态及污染物变化特征,相比单纯依赖末端出水指标,更有利于识别工艺波动和判断问题来源。从分析结果看,COD和SS控制相对稳定,说明主体处理工艺和固液分离环节运行基础较好;氨氮和总磷对工况变化更为敏感,表明营养盐控制仍是运行管理中的重点与难点。针对进水波动、生化运行、除磷管理及数据应用等环节提出的优化建议,具有一定的工程针对性和实践参考价值。未来研究可结合智能传感、异常预警和多指标联动分析,进一步提高过程监测的实时性、精细性和调控支撑能力,为环境工程中污水处理系统的稳定运行和优化管理提供参考。

参考文献:

- [1] 张祥霖. 水处理运行与管理[M]. 北京:中国水利水电出版社,2023.
- [2] 徐久哲. 基于时序特征深度学习的污水处理厂智能运行决策系统研究[D]. 青岛:青岛理工大学,2024.
- [3] 石宏瑞. 出水目标约束下的智慧污水厂故障诊断及处置系统[D]. 沈阳:沈阳建筑大学,2022.
- [4] 陈莉苹,张舟. 城市污水处理厂网一体化监测点位布设研究[J]. 安徽科技,2022(02):52-55.
- [5] 叶刚. 数据驱动的废水处理过程水质与能耗预测建模研究[D]. 广州:华南理工大学,2024.
- [6] 应莉雅,虞祥芬,戴对武,等. 多级A/O工艺在污水处理厂的应用及运行稳定性分析[J]. 化学工程与装备,2025(07):133-136.
- [7] 陈娟娟,李伟斌,黄鸥,等. 基于降本增效目标的污水处理厂低碳运行调控策略[J]. 工业水处理,2024,44(08):53-60.
- [8] 程洪超. 数据驱动的污水处理过程监测与故障诊断研究[D]. 广州:华南理工大学,2021.