

一体化污水处理设备自动控制系统的运行稳定性分析

姚慎康¹ 陈英¹ 王飞²

1 杭州天创环境科技股份有限公司, 浙江 杭州 310000

2 杭州天泽净化科技有限公司, 浙江 杭州 310000

[摘要]中小型污水处理场景广泛应用一体化污水处理设备,水质处理效果与设备运行效率和其自动控制系统的运行稳定性直接相关,分析控制系统中的传感监测、数据反馈、执行机制和冗余设计等关键环节,总结出环境干扰、组件故障、程序逻辑漏洞以及维护管理水平等影响稳定运行的主要因素,提出可行路径,如优化控制策略、提升故障容错能力、加强实时监测与智能调节,给设备长期稳定运行提供保障。

[关键词]一体化污水处理; 自动控制系统; 运行稳定性; 智能调节; 故障容错

DOI: 10.33142/sca.v8i6.16820

中图分类号: X703

文献标识码: A

Stability Analysis of Automatic Control System for Integrated Sewage Treatment Equipment

YAO Shenkang¹, CHEN Ying¹, WANG Fei²

1. Hangzhou Tianchuang Environmental Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

2. Hangzhou Tianze Purification Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: Integrated sewage treatment equipment is widely used in small and medium-sized sewage treatment scenarios. The water quality treatment effect is directly related to the operating efficiency of the equipment and the stability of its automatic control system. The key links in the control system, such as sensing monitoring, data feedback, execution mechanism, and redundant design, are analyzed. The main factors affecting stable operation, such as environmental interference, component failures, program logic vulnerabilities, and maintenance management level, are summarized. Feasible paths are proposed, such as optimizing control strategies, improving fault tolerance, strengthening real-time monitoring and intelligent adjustment, so as to provide guarantees for long-term stable operation of the equipment.

Keywords: integrated sewage treatment; automatic control system; operational stability; intelligent regulation; fault tolerance

引言

城镇化进程加快且生态环保要求提升,使得污水处理设备小型化、集成化发展趋势愈发显著,一体化污水处理设备占地少、施工方便且运行成本低,在农村、社区、工地等分散区域被广泛使用,不过高效的自动控制系统对其稳定运行不可或缺,系统频繁故障不仅会影响出水水质,还可能导致设备停运和环境风险,深入探讨自动控制系统运行稳定性、找出薄弱环节并提出优化策略具有重要的现实意义和工程价值。

1 一体化污水处理设备自动控制系统的结构组成与功能特性

一体化污水处理设备要高效稳定运行的核心在于自动控制系统,设备的处理能力和智能化水平直接由自动控制系统的结构设计与功能配置决定,想要分析运行稳定性就必须先全面了解自动控制系统的组成与特性。

1.1 控制系统的核心构成模块

一体化污水处理设备能智能运行,其中自动控制系统是关键,设备一般有监测模块、控制模块、执行模块和人机交互界面这四个主要部分,pH计、溶解氧(DO)探头、水位计、温度计、流量计等传感器在监测模块里,可实时

获取进出水水质、水位、水量等重要运行参数,控制模块核心是PLC(可编程逻辑控制器),按预设逻辑程序采集、分析、判断各类传感器数据并输出相应控制指令,执行模块响应控制指令,驱使风机、水泵、电磁阀、污泥回流泵、搅拌器等执行机构完成气水调节、进出水切换等操作,人机交互界面(HMI)常用触摸屏或者工业上位机,便于操作人员查看运行数据、修改参数、接收报警信息并能远程操控,四个模块凭借数据通信协议高效配合,形成闭环控制体系,完成系统“自动感知—逻辑判断—智能执行”的全过程,从而大大提高污水处理精细化管理水平。

1.2 功能特性对系统性能的支撑

一体化污水处理设备的自动控制系统实现多模块协同,其数据采集、智能响应、远程管理等功能特性极大提升了系统整体性能,最核心的优势是能全天候、全过程无人值守运行,污水水质波动时监测模块反馈实时数据,系统据此自动调整曝气时长、搅拌强度、水泵频率或者加药量以保障各处理单元的最佳运行状态并提升处理效率与出水达标率,系统一般有数据记录与趋势分析功能可长时间储存运行曲线和报警日志方便运维人员后期做运行优化和故障溯源,并且先进设备能接入物联网平台或者云端

系统实现远程控制和集中管理,运维人员用手机或者电脑随时掌握设备状态从而真正达成“少人值守、智能监管”,这些功能不仅保障设备运行稳定安全,还推动污水处理朝着智能化、节能化、集约化发展以满足现代环境治理对高效率、低能耗的技术需求。

1.3 模块联动对运行稳定性的影响

一体化污水处理设备长期稳定运行的关键在于自动控制系统各功能模块能否高效协同,在实际应用里,某一模块要是故障或者响应延迟,系统整体运行就很容易紊乱,水位传感器不准或者信号中断,排水泵可能频繁启停,不但会加大电机机械负荷,还可能使电机使用寿命缩短,风机若不能根据溶解氧反馈自动调节转速,曝气系统供氧就会不足或者过量,微生物活性受影响,整个生化处理单元的处理效率就会降低,设计系统时得引入容错机制和冗余配置,关键传感器设双回路检测,控制逻辑里加上异常数据过滤和替代判断算法,并且系统要有自校正能力和动态限值保护机制,数据异常时自动切换到安全运行模式,防止误操作让故障影响扩大。

2 自动控制系统运行过程中常见不稳定因素分析

一体化污水处理设备的智能化水平虽被自动控制系统提高了,但实际运行时仍面临多种不稳定因素,深入剖析这些因素的成因有助于系统优化和稳定性提升。

2.1 传感器故障导致信号偏差

在自动控制系统里,传感器是最基本、最关键的信息采集源,系统调节策略是否科学、执行效果如何直接取决于传感器测量的准确性和运行的稳定性。一体化污水处理设备里常用来检测 pH、溶解氧、水位、流量等关键参数的传感器所处环境恶劣,湿度高、腐蚀性强、水中杂质还多,长期处于这种环境污堵、结垢、腐蚀、接触不良等因素很容易影响传感器,使数据偏差、漂移,甚至信号中断,就像溶解氧探头被污染后读数可能持续偏低,这会让控制系统误判为缺氧,曝气时间就会无效延长,能耗增加不说,微生物群落稳定性也被干扰,水位传感器要是失准,水泵可能频繁异常启停,机械故障、运行不稳定就随之而来,要是没有定期清洗、校准和防护维护机制,传感器性能会不断变差,整套系统的响应准确性和安全性都会受影响,要想污水处理系统长期高效精准运行,建立完善的传感器维护与校准制度很重要。

2.2 控制逻辑设计存在薄弱环节

自动控制系统稳不稳定取决于硬件质量是否过硬以及程序设计是否合理,这两者都非常重要。有些系统逻辑架构存在问题,如规则简单、条件判断不周全、异常处理路径有欠缺等,多变量波动时就容易误判断,进水水质波动大或者负荷超标时,若控制逻辑没有缓冲判断或数据平滑处理功能,执行器会频繁响应,系统可能振荡或误动作,而且有些系统故障报警后无联锁保护机制,不能主动切断或进入安全模式,会增加设备损坏风险,要提升稳定性,优化控制算法、增强程序容错性和设置多重保护机制很关键。

2.3 运行环境与运维管理因素

控制系统不稳定的重要来源是外部环境与人为管理因素,湿热环境里电控箱易受潮短路且电磁干扰可能影响信号传输稳定性导致控制异常,设备维护不到位时系统故障也高发,传感器长时间未清洁、程序版本未及时更新、电气线路老化、配件使用寿命到了没换都会给系统运行埋下隐患,运维人员专业水平有高有低,误操作或者忽视报警信息也会使系统问题扩大影响设备整体性能,要保障控制系统稳定运行,提升规范化管理、培训操作人员、实施定期巡检和维护制度都是重要支撑措施。

3 控制系统稳定性对污水处理效果的影响机制

控制系统稳不稳定,这可不只和设备自身运行平不稳有关,还对污水处理的出水质量和工艺效率有着直接影响,探讨下影响机制就能知道,控制稳定性在保障水质这块有着核心作用。

3.1 曝气与溶氧控制的联动性

污水生化处理时调控溶解氧浓度非常关键,在线溶氧探头反馈信息,稳定的控制系统靠此能精准调整鼓风机运行频率与时间以维持好微生物需要的溶氧水平,系统要是波动了,像反馈延迟或者风机动作失控,溶氧水平不是超标就是不足,好氧菌活性在氧气不足时会下降且有机物分解效率跟着降低,氧气过量时能耗浪费和污泥膨胀问题可能就来了,整个曝气系统能效和处理效率直接由溶氧控制稳定性决定,这也体现控制系统在生物反应阶段的重要调节功能。

3.2 泵组运行调度与水力负荷均衡

在污水处理系统里,水力负荷的平衡关键取决于进水泵、回流泵、排水泵能否协调运行,控制系统借助水位、流量传感器采集数据,动态调整泵组的启停频率与运行时长,以保证各处理单元间水量分配稳定,要是系统反应迟缓或者泵启停频繁且失控,部分处理单元可能就会超负荷或者空载运行,导致泥水比例失衡、生化反应时间不够、沉淀池短流等现象出现,进而影响出水水质,而且不稳定的泵控策略还会让机械损耗加快,设备故障率上升,系统稳定性在维持水力稳定性上不容忽视,是处理过程连续且均质的保障。

3.3 药剂投加与出水达标的协调控制

部分污水处理需投加絮凝剂、碳源、中和剂等化学药剂,控制系统通过检测 pH、浊度、氨氮等指标自动控制加药量以达成强化处理和使出水达标的目的,控制系统稳定性差时信号可能误判、加药泵响应会失效,这会导致药剂过量或不足,从而出现絮凝不完全、pH 异常、处理目标物超标等问题,还会浪费药剂、增加经济成本、带来二次污染风险,而稳定可靠的控制机制能实时反馈并精准调控,让出水水质稳定达标、符合法规标准,在精细化管理和提标改造中,药剂投加模块的控制稳定性很关键。

4 提升自动控制系统运行稳定性的技术路径与优化策略

自动控制系统稳定运行的保障是提升污水处理效率

与出水达标率的关键,科学设计技术路径和优化策略能有效降低系统故障率、提高系统智能化与可靠性。

4.1 构建冗余感知与响应机制

关键数据失真和控制链断裂是系统运行不确定性的主要来源,要构建冗余感知与控制机制来增强系统抗干扰能力,在关键节点设置双路传感器靠数据交叉校验达成精准识别,执行环节运用备用泵组、风机或者阀门按照优先级逻辑设定自动切换条件以便主设备一有故障备用设备就能无缝对接,再设置网络通信双通道和断点保护功能使数据异常时不会丢失、中断,这些设计提高了系统整体容错能力且让污水处理流程在复杂工况下稳定运行。

4.2 优化控制逻辑程序与响应算法

程序逻辑的健壮性与算法响应的合理性在很大程度上决定控制系统的稳定性,针对不同污水处理工艺,要构建多维判断条件与分级响应模型以避免单一阈值触发误动作,接着引入模糊控制、自适应控制或者 PID 控制算法对反馈响应机制进行优化从而让参数调节和执行器控制更精准,突发事件时可设计“缓冲判断—暂态响应—异常报警”这样的三级响应路径,在保证处理连续性的提高报警精准率,并且程序要有自动复位、实时自检和异常数据屏蔽功能以减少人为干预和误操作带来的不稳定因素从而提高系统整体运行智能水平。

4.3 强化运维管理与智慧平台建设

稳定运行除技术层面外,科学高效的运维体系是重要保障,得建立以预防性维护为核心的管理制度,传感器、执行器、控制柜等关键部件要定期检修、标定、清洁,并且借助物联网和云平台技术构建智慧运维平台,能实现远程监控、故障报警、数据追踪、远程升级等功能以提高响应速度和管理效率,运维人员需接受系统操作、故障识别、软件调试等培训来增强故障处置能力,而且平台要有数据分析和故障预测功能,用大数据辅助判断系统运行趋势,提前对潜在风险进行干预以达成从“故障应对”到“风险预控”的管理转变。

5 实际应用案例分析与系统运行稳定性的评估建议

从具体工程案例的实践经验里能深入知晓自动控制系统在一体化污水处理设备里的运行表现和稳定性情况,从而给后续系统优化、选型以及运维管理提供科学依据和参考方向。

5.1 案例分析:江苏某乡镇污水处理站

2023年江苏省扬州市某乡镇建成一座日处理能力达500t的一体化污水处理站,主要服务住宅小区和周边农业排水,该站采用 PLC 控制系统联动风机、泵组与加药装置并配套溶氧、水位、流量等传感器以实现自动调节,运行初期系统老是报警且水位波动厉害、出水有时超标,技术排查后发现原传感器安装位置易积泥影响数据准确性且控制程序没设置数据筛选和缓冲逻辑致使泵频繁启停,后来换了抗干扰传感器、优化程序逻辑并设置执行器软启

动保护,系统稳定性大大提高且出水的 COD 和氨氮稳定达标、能耗降低大概 18%、设备故障率下降 60%。

5.2 运行稳定性评估的关键指标体系

要评估自动控制系统运行的稳定性,就得建立一套包含设备响应时效性(像传感器数据刷新间隔、执行器动作延迟)、运行连续性(像泵风机启停频次、控制指令中断率)、出水质量稳定性(COD、BOD、氨氮合格率的波动范围)、系统故障记录频率(自动报警次数、手动干预次数等)以及人工干预依赖度、系统远程可控性、能耗与药耗变化趋势等维度的科学评价指标体系,做好各项指标的数据采集和定期分析就能精准判断系统在不同工况下是否稳定,从而为优化升级提供数据支撑。

5.3 系统运行优化的实践性建议

案例经验和指标评估结果有了就能提出好些优化建议,要选用高精度、抗干扰能力强的工业级传感器并且不要安装在污泥容易堆积的地方,把故障容错、软启动延时、数据滤波等模块加到控制逻辑里就会减少误动作,配置远程监控平台和报警推送功能就会提高异常响应效率,定期培训运维人员就会提升他们的数据判读与故障处理能力,建议设置试运行期“模拟故障测试环节”就能验证系统对突发工况的响应能力,软硬件同步优化并且完善管理制度就能显著提升控制系统的可靠性与智能水平。

6 结语

分散式污水治理的推进一体化污水处理设备起重要作用,其高效、安全、达标运行的核心支撑是自动控制系统的运行稳定性,系统结构分析、稳定性影响因素剖析和案例研究表明在曝气调节、水力平衡、药剂投加等环节控制系统有关键作用,由于运行中存在故障隐患与逻辑短板,因此得从传感器选型、程序优化、平台建设和运维管理等方面协同努力构建更高效、智能、稳定的自动控制系统,以提升污水处理系统运行质量和长期可靠性。

【参考文献】

- [1]黄帆,赵进勇,彭文启,等.分散式生活污水智能高效处理系统关键技术研究与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2020.
- [2]金兴伟,石存秀,汤秀红.基于 PLC 控制的一体化污水处理设备控制系统改造设计[J].湖北工业职业技术学院学报,2020,33(4):79-81.
- [3]蔡振江.一种标准一体化污水处理设备电气控制系统[J].科技风,2022(7):10-13.
- [4]陈瑞雪,邱珊.村镇污水一体化处置设备自动控制与监控系统设计研究[J].环境科学与管理,2023,48(4):125-128.
- [5]雷霆.一种基于 MBR 的一体化污水处理设备自动控制系统[J].自动化应用,2023,64(2):57-60.

作者简介:姚慎康(1988.2—),毕业学校:浙江工业大学,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:杭州天创环境科技股份有限公司,职务:工程师,职称级别:中级。