

养猪场污水处理设施的调试与优化运营管理研究

卢伟杰

茂名市恒兴养殖有限公司, 中国·广东 茂名 525199

摘要: 养猪场污水处理设施的稳定运行是养殖业可持续发展的关键保障, 其调试与优化运营管理涉及系统启动、问题诊断与效能提升的全过程。针对广东省排污指标收窄的现状, 本文重点探讨以厌氧池 + 两级 A/O + 芬顿高级氧化为核心的处理工艺的调试与优化运营管理。设施调试需遵循“先单机后联动”的原则, 确保各处理单元功能正常, 并通过分阶段的活性污泥培养与驯化, 使微生物群落适应高浓度有机废水环境, 同时优化关键工艺参数以保障处理效率。当前运营管理普遍面临水质水量波动冲击、运营成本高企及专业技术人才缺乏等挑战。针对这些问题, 优化运营策略应聚焦于精准控制, 通过在线监测系统实现加药与曝气的智能化调节; 通过增强系统缓冲能力及增设生态处理单元来保障运行稳定性; 并积极探索沼气发电、污泥堆肥及产水林地(农田)消纳等资源化途径, 实现成本控制与循环经济。这一整套从调试到优化的系统性方法, 为养猪场污水处理设施的高效、经济、可持续运行提供了完整的技术与管理方案。

关键词: 养猪场污水; 污水处理; 调试; 优化运营

Research on Commissioning and Optimized Operation Management of Swine Farm Sewage Treatment Facilities

Lu Weijie

Maoming Hengxing Breeding Co., Ltd., China Guangdong Maoming 525199

Abstract: The stable operation of swine farm sewage treatment facilities is a key guarantee for the sustainable development of the breeding industry. Their commissioning and optimized operation management involve the whole process of system startup, problem diagnosis and efficiency improvement. In response to the current situation of tightened sewage discharge indicators in Guangdong Province, this paper focuses on the commissioning and optimized operation management of the treatment process centered on anaerobic tank + two-stage A/O + Fenton advanced oxidation. Facility commissioning should follow the principle of "single unit first, then interconnection" to ensure the normal function of each treatment unit. Through phased activated sludge cultivation and acclimation, microbial communities are adapted to the high-concentration organic wastewater environment, and key process parameters are optimized to ensure treatment efficiency. Current operation management generally faces challenges such as fluctuation impact of water quality and quantity, high operation costs, and lack of professional and technical talents. To address these problems, optimized operation strategies should focus on precise control, realizing intelligent adjustment of dosing and aeration through online monitoring systems; ensuring operational stability by enhancing system buffer capacity and adding ecological treatment units; and actively exploring resource utilization approaches such as biogas power generation, sludge composting, and treated water reuse for forest land (farmland) absorption to achieve cost control and circular economy. This complete set of systematic methods from commissioning to optimization provides a comprehensive technical and management plan for the efficient, economical and sustainable operation of swine farm sewage treatment facilities.

Keywords: Swine farm sewage; Sewage treatment; Commissioning; Optimized operation

0 引言

随着规模化养殖业的快速发展, 养猪场产生的污水已成为重要的农业面源污染源, 其处理设施的稳定运行直接关系到生态环境安全与养殖业的可持续发展。养猪场污水

具有污染物浓度高、水质水量波动大、处理难度高等特点, 对处理工艺的调试精度和运营管理水平提出了严峻挑战。许多处理设施虽已建成, 但因调试不当或运营管理不善, 导致处理效果不达标、运行成本高昂甚至设施闲置等问题

频发。特别是在广东省, 排污指标日益严格, 传统 AO 工艺结合 PAC 加药与人工湿地的处理方式已难以稳定达标, 而厌氧 + 两级 A/O + 芬顿高级氧化的组合工艺因其高效脱氮除磷及深度处理能力, 逐渐成为主流选择。因此, 系统性地研究养猪场污水处理设施的调试要点, 深入剖析运营管理中的核心问题, 并提出科学可行的优化策略, 对于提升设施运行效能、降低运营成本、推动养殖业绿色转型具有重大的理论价值与紧迫的现实意义。

1 养猪场污水处理设施的调试要点

1.1 处理单元的单机调试与联动调试

处理单元调试需遵循“先单机后联动”的原则, 确保各设备功能达标且协同运转。单机调试需覆盖污水处理全流程单元: 格栅设备需测试运转速度与栅渣清除效率, 确保能拦截污水中 90% 以上的猪毛、饲料残渣等悬浮物, 避免后续管道堵塞; 调节池搅拌设备需验证搅拌均匀性, 防止污水中有机物沉淀, 测试时可通过取样检测池内不同点位 COD 值, 偏差需控制在 5% 以内; 厌氧池需检查密封性与布水均匀性, 通入清水测试无渗漏, 布水管各出水口流量偏差不超过 10%; AO 系统中的缺氧池与好氧池需分别测试搅拌器与曝气设备, 确保混合均匀与溶解氧 (DO) 分布合理; 芬顿系统加药装置需校准计量泵, 确保 FeSO_4 、 H_2O_2 、PAM 及酸碱调节剂的投加精度。

联动调试需模拟实际运行工况, 测试各单元协同能力。将污水按设计流量通入系统, 检查调节池至厌氧池的流量控制阀门是否灵敏, 避免流量骤变导致厌氧池负荷冲击; 验证 AO 系统各池体水力联系, 确保缺氧池反硝化与好氧池硝化功能衔接顺畅; 测试芬顿加药系统能否根据二沉池出水 COD 与色度自动调节药剂投加, 保障出水达标; 检查污泥回流系统与排泥设备, 确保生化污泥与物化污泥及时转移与处置^[1]。

1.2 活性污泥的培养与驯化

活性污泥是养猪场污水处理的核心“生物反应器”, 其培养驯化需适配污水高氮磷、高有机物的特性。污泥接种优先选择同类高浓度有机废水处理设施的活性污泥 (如市政污水处理厂厌氧消化污泥), 接种量按好氧池有效容积的 30%–50% 投入, 若无法获取同类污泥, 可采用粪便堆肥浸出液富集培养, 缩短启动周期。驯化过程需分阶段进行: 第一阶段为低负荷驯化, 向系统通入 1/3 设计流量的稀释污水 (用清水稀释, 使 COD 降至 2000mg/L 以下), 控制好氧池 DO 2–4mg/L、温度 15–35℃、pH 7–8, 每日监测污泥浓度 (MLSS) 与 COD 去除率, 待

MLSS 稳定在 3000–4000mg/L、COD 去除率达 80% 以上, 进入第二阶段; 第二阶段为中负荷驯化, 将污水流量提升至 2/3 设计流量, 停止清水稀释, 逐步适应原污水高浓度环境, 监测氨氮去除率, 待氨氮去除率达 80% 以上, 进入第三阶段; 第三阶段为满负荷驯化, 通入设计流量原污水, 优化 DO 与曝气时长, 直至 COD 去除率稳定在 90% 以上、氨氮去除率稳定在 95% 以上, 污泥驯化完成, 镜检可见大量钟虫、轮虫等指示生物, 表明污泥活性良好^[2]。养猪废水生化性极强, 微生物群落易于自然形成与适应, 无需定期投加外源菌种。

1.3 系统工艺参数的设定与优化

工艺参数设定需结合养猪场污水特性与处理目标, 核心参数聚焦厌氧 + 两级 A/O + 芬顿高级氧化单元。系统参数需兼顾有机物去除与脱氮除磷: 生化段污泥龄 (SRT) 设定为 15–20 天; 厌氧池水力停留时间 (HRT) 设定为 12–16 天, 厌氧发酵去除废水中的悬浮物、提高进水水质 B/C 比, 从而提高进水水质的可生化性, 以便进水满足后续生化处理的要求; 缺氧段 HRT 为 1–2 天 DO 浓度 0–0.5mg/L, 设置水力循环搅拌系统, 在行进的过程中对缺氧池泥水进行充分搅拌; 好氧段 HRT 2–3 天 DO 浓度 2–4mg/L, 能将 95% 以上的氨氮转化为硝酸盐氮, 同时设置混合液回流比 200%–400% 至缺氧段, 硝酸盐氮在缺氧段反硝化转为氮气排出系统; 芬顿系统参数需保障高效除磷、脱色、去除 SS 的效果: pH 控制在 3–4, 通过投加硫酸调节; H_2O_2 与 FeSO_4 的摩尔比设定为 1:1 至 3:1, 根据二沉池出水 COD 动态调整; 反应时间 30–60 分钟, 沉淀时间 1–2 小时。物化沉淀池表面负荷控制在 $0.8\text{--}1.2\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 排泥周期按污泥界面高度调整, 当界面高度超过池深 1/3 时启动排泥, 避免污泥流失导致系统处理能力下降。

2 养猪场污水处理设施的运营管理现状与问题

2.1 水质水量波动对系统运行的冲击

养猪场污水水质水量受饲喂周期、冲洗习惯、季节变化影响显著, 易对处理系统造成冲击。水量方面, 每日早晚冲洗栏舍时段污水量骤增, 可达日均流量的 1.5–2 倍, 导致调节池无法完全缓冲, 后续厌氧池水力负荷过高, 布水不均引发局部有机物堆积; 水质方面, 更换饲料、猪群发病期污水 COD 可从 6000–8000mg/L 升至 10000mg/L 以上, 生化系统因有机负荷超出设计能力, DO 快速降至 1mg/L 以下, 生化活性受抑, COD 去除率从 90% 以上降

至 70% 以下,出水超标风险升高^[9]。芬顿系统若未能及时调整药剂投加,易因前段生化出水不稳定而导致氧化效率下降。

2.2 运营成本高与能耗大的问题

养猪场污水处理运营成本主要集中在能耗与药剂消耗,部分设施能耗占比超 60%。AAO 系统好氧池曝气系统多采用定频风机,无论进水负荷高低均满负荷运行,日均耗电量可达 200-500kWh,能源浪费严重;芬顿系统药剂消耗量大, H_2O_2 与 $FeSO_4$ 单耗较高,且 pH 调节需投加大量酸碱,药剂成本占运营成本 30% 以上;此外,污泥脱水需投加聚丙烯酰胺(PAM),脱水后污泥处置(如外运填埋)费用年均可达数万元,进一步推高运营成本,部分中小型养猪场因成本压力被迫降低运行负荷,影响处理效果。

2.3 专业化管理人员缺乏与技术瓶颈

多数养猪场污水处理设施由养殖人员兼职管理,缺乏专业技术能力,导致运营问题频发。在人员操作层面,由于缺乏系统性的培训和实际操作经验,工作人员对于专业监测设备如 DO 仪、COD 快速检测仪及芬顿系统 pH 计等的使用不够熟练,甚至存在完全不会操作的情况,导致无法对污水处理系统的关键运行参数进行实时监测与数据采集,难以及时掌握系统的实际运行状态,从而影响了运行管理的有效性和响应速度。在故障处理层面,当系统出现如污泥膨胀(表现为 SV30 超过 60%)、芬顿反应 pH 失控或曝气不均等典型运行问题时,操作人员由于知识储备和应变能力不足,不清楚如何通过科学调整污泥龄、合理控制曝气风量或调节药剂投加等手段进行有效干预和优化,往往只能采取简单的停机检修措施,这不仅延长了故障处理时间,也严重影响了污水处理设施的连续稳定运行。在技术瓶颈方面,厌氧+两级 A/O+芬顿工艺虽能有效处理高浓度污水,但对进水水质波动敏感,且芬顿系统运行成本高、污泥产量大,现阶段缺乏低成本、高效率的替代技术,这进一步制约了处理效果的提升和工艺的优化^[4]。

3 养猪场污水处理设施的优化运营管理策略

3.1 基于水质监测的精准加药与曝气控制

为实现高效节能的水处理过程,精准控制需全面依托在线监测与自动调控系统,从而显著降低系统能耗与药剂浪费。在水质监测方面,关键位置如调节池出口、生化系统各池出口及二沉池出口日常检测 PH、DO、SV30,周期性检测 COD、氨氮、总磷、总氮,通过实时采集水质数据并分析,确保信息的及时性与准确性。

在精准加药控制环节,根据实时检测获取的 COD、

总磷数据,调节设备的运行频率。针对 AO 系统,当好氧池出口 DO 浓度超过 4mg/L 时,鼓风机运转频率会自动降低 10%,避免过度曝气;而当低于 2mg/L 时,频率则相应提升 10%,以增加供氧量;此外,根据调节池出口的 COD 浓度动态调整曝气时长,例如 COD 每升高 1000mg/L,曝气时间便延长 1-2 小时,从而有效防止无效曝气,进一步提升能效。某养猪场在完成相关改造后,曝气系统的日均耗电量从 450kWh 成功减少至 320kWh,能耗成本下降幅度达 29%,运行效率明显提升。

针对芬顿系统,当二沉池出水 COD 高于 200mg/L 时, H_2O_2 与 $FeSO_4$ 投加量按比例增加,pH 自动调节至 3-4。某规模化养猪场在采用该加药策略后,电耗由原来的 70g/m³ 大幅下降至 45g/m³,芬顿药剂成本降低 20%,整体药剂成本节约 30%,经济效益显著。

3.2 处理系统运行的稳定性保障措施

针对进水水质与水量的波动以及外部环境变化,需从增强系统缓冲能力、优化工艺运行及加强污泥管理三个主要方面综合施策,以保障处理系统的长期稳定运行。在水量缓冲方面,通过扩建调节池容积,将水力停留时间从原来的 8-12 小时延长至 24 小时,能够有效均衡化早晚冲洗高峰期的污水流量,确保污水均匀进入后续处理单元。某养猪场实施该措施后,厌氧池进水流量波动幅度由原来的 $\pm 40%$ 显著降低至 $\pm 15%$,系统稳定性得到大幅改善[5]。

在工艺优化方面,强化 AO 系统内回流控制,确保缺氧池与好氧池的硝化反硝化效率;芬顿系统增设预处理单元,如增加氧化还原电位(ORP)在线监测,实时调整 H_2O_2 投加量。同时,通过定期监测污泥指标(包括 MLSS、SV30 和 SVI),将混合液悬浮固体(MLSS)浓度严格控制在 3000-4000mg/L 之间。当污泥容积指数(SVI)超过 150mL/g 时,系统通过增加排泥量以降低污泥龄,预防污泥膨胀问题的发生。

某养猪场在全面执行这些稳定性措施后,系统连续无故障运行时长从原来的 30 天延长至 90 天,可靠性大幅提升。

3.3 资源化利用与成本控制途径

通过推进资源化利用,可实现污水“变废为宝”,从而有效降低运营成本。在厌氧反应器产沼气利用方面,通过将厌氧池温度精准控制在中温范围(32-38℃),并利用加热棒维持水温稳定,平均每吨污水可产生 15-25m³ 的沼气。沼气经过干法脱硫(使用氧化铁作为脱硫剂)净化处理后,输送至沼气发电机进行发电,每立方米沼气

可发电约 2-3kWh。以某养猪场为例,其日均沼气产量约 800m³,日发电量达 1600kWh,可满足场区内 40% 的用电需求,年节省电费约 12 万元,经济效益显著。

在污泥资源化方面,将脱水后含水率为 60%-70% 的污泥与秸秆、锯末按 3:2:1 的比例混合,经 55-65℃ 高温堆肥处理(维持 7 天)进行腐熟,最终制成有机肥。该有机肥氮磷含量可达 5%-8%,既可用于场区内饲料作物种植,也可对外销售,每吨售价可达 500-800 元。某养猪场每年处理污泥 150 吨,可生产约 30 吨有机肥,年增加收益约 1.5 万元。此外,将处理出水导向林地或农田消纳,既符合当前猪瘟疫情防控要求(避免回用于栏舍冲洗),又能带动林果业等相关农业发展。出水经消毒确保病原微生物指标达标后,用于灌溉,实现水资源循环利用。处理出水经消毒后用于林地或农田灌溉,消纳率可达 100%,降低运行成本同时创造相关农业效益,实现了环境效益与经济效益的统一。

4 结语

养猪场污水处理设施的调试与优化运营管理是一个动态且系统的工程,它要求从设施启动的精细调试,到应对复杂工况的稳定运行,再到追求经济效益的资源化利用,形成一个闭环的管理体系。通过科学的调试方法为系统奠

定良好基础,运用精准的控制策略和稳定性保障措施应对运营挑战,并借助资源化途径变废为宝,不仅能有效解决环境污染问题,更能为养殖企业创造新的经济价值。在广东省排污标准日益严格的背景下,厌氧+两级 A/O+芬顿工艺的高效性与可靠性已得到验证,而出水农田消纳等资源化模式更符合当前疫病防控与循环农业的需求。展望未来,随着物联网、大数据及生物技术的不断进步,污水处理设施的智能化管理水平将进一步提升,实现从被动应对到主动预测、从经验管理到数据决策的转变,最终推动养猪业向着环境友好、资源循环的现代化方向持续迈进。

参考文献:

- [1] 徐庆贤,官雪芳,林斌等.规模化养猪场粪污厌氧发酵及深度处理技术应用[J].福建农业科技,2021(6):5.
- [2] 姚惠娇,常见,王红等.河北省规模化养猪场污水处理效果分析[J].2020.
- [3] 巩或玄,高星爱,王鑫等.分离,筛选和鉴定猪场污水污染物降解微生物及应用效果分析[J].吉林农业科学,2020,045(001):99-103.
- [4] 魏敦满.规模化养猪场粪污处理工艺优化及运行效果[J].中国沼气,2020,38(3):7.