

全埋式污水处理厂通风除臭系统现状及节能运行优化

张跃龙

上海山安建设工程有限公司 上海 嘉定 021803

摘要: 全埋式污水处理厂地下密闭结构易致臭气积聚、系统能耗偏高。本文采用调研法,选取大中小三类规模、多工艺水厂,结合相关标准剖析现状,发现大型水厂单位处理水量能耗0.8-1.2kWh/m³,小型水厂达1.5-2.0kWh/m³,部分水厂高负荷时臭气去除率低于90%。据此从设计、工艺、智能管控等方面提出优化方案,可有效降本增效,实现环保与经济性双赢,为行业提供参考。

关键词: 全埋式;污水处理厂;通风除臭系统;现状;节能运行优化

引言: 随着城市化进程加快,全埋式污水处理厂因土地集约、环境友好的优势广泛应用,但其地下密闭环境导致臭气源集中,通风除臭系统作为核心环保设施,既要杜绝臭气外逸、保障人员健康,又需兼顾节能运行。当前多数水厂系统存在设计不合理、运行效率低、能耗偏高问题,违背绿色低碳发展理念。基于此,本文聚焦系统现状与节能优化,结合相关标准与调研数据,探索科学可行的优化路径,助力水厂降本增效、实现可持续运营。

1 全埋式污水处理厂通风除臭系统相关理论基础

1.1 全埋式污水处理厂核心特性

(1) 全埋式污水处理厂核心为地下密闭箱体结构,分为操作层和工艺层,操作层供人员巡检操作,工艺层布置各类污水处理设备,箱体需满足严格密闭性要求,防止臭气外逸污染周边环境。(2) 臭气源主要分布在预处理区、生化反应区、污泥处理区,预处理区因污水降解释放大量臭气,生化反应区微生物代谢产生硫化氢等污染物,污泥处理区异味释放强度最高,且臭气释放受水温、pH值影响呈波动性。(3) 通风除臭系统需与污水处理工艺协同,根据各工艺单元运行负荷调整风量,避免因通风量不足导致臭气积聚,同时兼顾污水处理工艺的温度、氧含量需求,保障两者稳定运行。

1.2 通风除臭系统核心组成及工作原理

(1) 臭气收集系统由密闭装置、收集管路、调节风阀组成,密闭装置密封臭气源区域,收集管路将臭气集中输送,调节风阀可根据臭气浓度灵活调节风量,确保收集效率。(2) 除臭处理系统主流工艺包括生物除臭、离子净化、化学洗涤,生物除臭利用微生物降解臭气成分,离子净化通过高能离子分解污染物,化学洗涤采用药剂吸收臭气,可单独或组合使用。(3) 通风系统涵盖送排风设备、气流组织设计、新风处理,送排风设备维持箱体气压平衡,气流组织设计避免臭气短路,新风处

理可保障送入空气达标,改善操作环境^[1]。

1.3 通风除臭系统节能运行核心评价指标

(1) 能耗指标以风机、除臭设备为核心,通过精准计算设备实际运行功率、累计运行时长得出实际能耗值,重点关注风机单位风量能耗这一关键参数,结合系统运行负荷动态优化风机转速、启停时间等运行参数,最大限度降低设备无效能耗,提升能源利用效率。(2) 处理效果指标包括臭气去除率、厂界排放浓度,需严格满足国家及地方相关环保标准要求,其中臭气去除率需稳定达到规定标准以上,厂界恶臭浓度需持续符合限值规定,确保处理效果达标且稳定。(3) 经济性指标涵盖节能改造投资、运行成本节约量,科学评价改造投资回收周期,精准核算电费、药剂费等核心成本的节约金额,实现环保达标与节能降耗的双重目标,达成环保与经济效益双赢。

2 全埋式污水处理厂通风除臭系统运行现状及问题分析

2.1 全埋式污水处理厂通风除臭系统现状调研

(1) 调研对象与范围选取不同规模、不同工艺的全埋式污水处理厂,涵盖小型(日处理量 ≤ 1 万吨)、中型(1-5万吨/日)、大型(≥ 5 万吨/日)三类,工艺涵盖A²/O、MBR、SBR等主流工艺,覆盖华北、华东、华南多个地区,确保调研结果具有代表性和普遍性。(2) 系统设计现状呈现差异化特征,臭气收集方式主要分为点式收集与面式收集,大型水厂多采用面式密闭收集,小型水厂以点式收集为主;除臭工艺以生物除臭为主,部分水厂搭配化学洗涤工艺,少数小型水厂采用离子净化工艺;通风参数设置多依据经验值,部分水厂未结合实际工艺负荷动态调整。(3) 系统运行现状显示,多数水厂设备运行参数基本稳定,风机运行转速维持在额定转速的70%-90%,能耗水平差异较大,大型水厂单位处理水量通风除臭能耗为0.8-1.2kWh/m³,小型水厂因设备选型不

合理,能耗可达 $1.5\sim 2.0\text{kWh/m}^3$;处理效果整体达标,但部分水厂在高负荷时段,臭气去除率降至90%以下,厂界恶臭浓度接近排放限值。

2.2 系统运行存在的核心问题

(1)臭气收集系统问题突出,部分水厂收集不均匀,预处理区、污泥处理区等重点区域收集风量不足,非重点区域风量冗余;密闭装置老化、密封胶脱落导致密闭性不足,臭气外逸;收集管路坡度设置不合理,冷凝水排放不畅,长期积聚易滋生细菌、腐蚀管路。(2)除臭处理系统存在适配性短板,部分水厂选用的除臭工艺与臭气源成分不匹配,如高浓度硫化氢废水处理厂仍采用单一生物除臭工艺,处理效率不稳定;部分工艺运行参数设置不合理,导致药剂消耗量大,增加运行成本,且处理效果波动较大。(3)通风系统存在明显缺陷,气流组织不合理,出现臭气短路现象,部分区域臭气积聚;风机长期处于恒速运行状态,未根据臭气浓度、工艺负荷动态调节,运行效率低;新风利用不足,多采用机械送风,未充分利用室外新风降低能耗,且新风处理不彻底,影响操作环境。

2.3 系统高能耗成因分析

(1)设计层面存在先天不足,风量计算未结合实际臭气源释放强度,多采用经验估算值,导致风量偏大或偏小,增加能耗;系统集成性差,通风、除臭系统独立设计,未实现协同控制;设备选型不当,风机、除臭设备功率与实际需求不匹配,存在“大马拉小车”现象。(2)运行层面管控不到位,多数水厂风机采用恒速运行模式,未根据臭气浓度、季节变化等调整运行参数,造成能源浪费;参数调节不及时,工艺负荷变化后未同步调整通风量、药剂投加量;维护管理不到位,设备积尘、管路堵塞未及时清理,导致设备运行效率下降,能耗升高^[2]。(3)环境层面影响显著,季节变化导致室外温度、湿度波动,冬季需加热新风、夏季需降温除湿,增加能耗;对臭气源强度变化应对不足,污水水质、处理量波动时,未及时调整系统运行状态,导致能耗增加且处理效果不稳定。

2.4 问题带来的影响

(1)对运行成本的影响直接且显著,高能耗导致电费、药剂费、设备维护费大幅增加,据调研,高能耗水厂通风除臭系统运行成本占总运营成本的25%~30%,远高于合理水平,加重水厂运营负担。(2)对处理效果的影响突出,臭气收集不彻底、处理效率不稳定,易导致臭气外逸,厂界恶臭浓度超标,引发周边居民投诉,同时影响周边生态环境,违背环保排放要求。(3)对设备寿命及人员健康造成危害,臭气中含有的硫化氢、氨气

等腐蚀性气体,会加速风机、管路等设备的腐蚀,缩短设备使用寿命;操作层通风不良、臭气积聚,导致工作环境恶化,长期接触会损害工作人员呼吸系统、神经系统,影响人员健康。

3 全埋式污水处理厂通风除臭系统节能运行优化方案

3.1 臭气收集系统节能优化设计

(1)优化密闭设计,针对预处理区、污泥处理区等臭气源重点区域,采用高强度密封板材升级构筑物密闭结构,接口处采用耐腐密封胶填充,定期检查更换老化密封件,杜绝臭气外逸。同时,对设备检修口、管道接口等薄弱环节,设计可开启式密闭盖板,既保障检修便捷性,又减少无组织臭气扩散,避免因臭气外逸导致的风量冗余浪费,从源头降低系统能耗。(2)改进收集管路布置,摒弃传统均匀布管模式,结合臭气源释放强度差异,采用“重点区域加密、非重点区域简化”的布置原则,在预处理格栅、污泥脱水机等异味高发部位增设收集口。每个收集支路设置智能调节风阀,与臭气浓度传感器联动,实时调节支路风量,实现臭气均匀收集,同时优化管路管径和走向,减少管路弯头、变径,降低系统通风阻力,进而降低风机运行负荷和能耗^[3]。(3)冷凝水排放系统优化,在收集管路最低点设置耐腐蚀冷凝水收集罐,配套自动排水阀,实现冷凝水实时排放,避免冷凝水积聚导致的管路腐蚀、气流阻力增加等问题。同时,对收集管路进行保温处理,减少空气中水汽冷凝,降低冷凝水产生量,减少因管路堵塞、腐蚀导致的设备故障和能耗损耗,延长管路使用寿命的同时提升系统节能性。

3.2 除臭处理系统节能优化

(1)除臭工艺适配优化,结合污水处理厂臭气源成分、浓度及处理规模,进行工艺选型优化:高浓度硫化氢、氨气等恶臭气体区域,采用“生物除臭+化学洗涤”组合工艺,发挥生物除臭低能耗、化学洗涤高效的优点;中低浓度臭气区域,优化生物除臭工艺,改良微生物菌群结构,提升微生物降解效率,替代高能耗的离子净化工艺,降低工艺运行能耗,同时确保处理效果达标。(2)药剂投加量智能优化,搭建臭气浓度实时监测系统,将监测数据传输至智能控制终端,基于臭气浓度、处理风量的动态变化,建立药剂投加量预测模型,实现药剂投加量的自动调节。避免传统固定投加模式导致的药剂浪费,在保障除臭效果的前提下,减少药剂消耗,降低药剂采购及处理成本,同时减少药剂残留带来的二次污染和设备损耗。(3)除臭设备运行参数优化,针对生物除臭设备,优化填料层高度、通风速率,控制反应器内温度、湿度在适宜范围,提升微生物活性和处理效率,减少设

备运行时间；对于化学洗涤设备，优化洗涤液循环利用率，调整喷淋强度，避免过度喷淋导致的能耗增加；定期清理设备填料、滤网，减少设备阻力，提升设备运行效率，降低设备运行能耗^[4]。

3.3 通风系统节能优化

(1) 风机节能优化，将传统恒速风机替换为变频风机，配套安装风量、压力传感器，实时采集系统通风需求，通过变频控制器调节风机转速，实现“按需供风”。当臭气源浓度降低、工艺负荷减少时，自动降低风机转速，减少风量输出，降低风机能耗；同时，优化风机选型，选用高效低噪风机，替代高能耗老旧风机，进一步提升风机运行效率，预计可降低风机能耗20%~30%。(2) 气流组织优化，采用CFD流体力学仿真模拟技术，模拟地下箱体内部气流分布情况，合理布置送排风口位置：排风口优先设置在臭气源集中区域，送风口均匀布置在操作层及工艺层，形成“下送上排”的气流组织模式，避免臭气短路和局部积聚。通过优化气流路径，减少无效通风，提升通风效率，在保障箱体气压平衡和除臭效果的前提下，降低总通风量，实现节能目标。(3) 新风利用优化，充分利用室外新风的稀释作用，在室外空气质量达标时，开启新风引入装置，将室外新风直接送入操作层，替代部分机械送风，降低风机运行负荷。同时，采用微污染气体转移技术，将浓度较低的臭气与新风混合后再进行处理，降低除臭系统的处理负荷和总风量，减少除臭设备运行能耗，实现能源的合理利用。

3.4 系统智能控制与运维优化

(1) 搭建智能监测系统，在臭气源重点区域、收集管路、除臭设备、通风系统等关键位置，安装臭气浓度、风量、压力、能耗、温度等各类传感器，实时采集系统运行参数，通过数据传输模块将数据汇总至中央控制平台，实现对系统运行状态的实时监控、异常报警，为节能优化调整提供数据支撑。(2) 构建节能控制模型，基

于监测数据和系统运行规律，结合污水处理工艺负荷变化，构建通风除臭系统节能控制模型，实现系统参数的自动调节。模型可根据臭气浓度、室外环境参数、工艺运行负荷等，自动调整风机转速、药剂投加量、通风量等参数，实现系统全流程智能化运行，减少人工干预，提升系统节能运行水平^[5]。(3) 优化运维管理体系，建立设备定期维护制度，明确风机、除臭设备、管路等核心设备的维护周期和维护内容，定期对设备进行清洁、检修、校准，及时排查设备故障，避免因设备运行异常导致的能耗增加；加强运维人员专业培训，提升人员操作技能，确保节能优化措施落地执行，同时建立能耗统计分析机制，定期分析系统能耗数据，持续优化节能方案。

结束语

全埋式污水处理厂通风除臭系统的高效节能运行，是兼顾环保达标与成本控制的关键。本文通过梳理系统现状、剖析现存问题及成因，提出的优化方案可有效解决臭气收集不均、工艺适配不足、能耗偏高等痛点，提升系统运行稳定性与节能性。未来需结合水厂实际工况，持续完善智能管控体系，强化运维管理，推动通风除臭系统向高效化、节能化、智能化升级，为全埋式污水处理厂绿色可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]马昭.西安某污水处理厂除臭工程设计案例分析[J].煤化工,2024,52(4):49-52.
- [2]郑贤正.全地下式污水处理厂除臭系统设计探讨[J].城市道桥与防洪,2024,23(6):169-171.
- [3]张瑶.污水处理厂除臭系统设计[J].造纸装备及材料,2024,53(5):149-151.
- [4]田栓科.污水处理厂机电设备安装及调试要点分析[J].造纸装备及材料,2023,52(2):66-68.
- [5]魏金羊.高原地区污水处理厂机电设备安装及调试对策[J].造纸装备及材料,2024,53(12):141-143.