

污水处理厂节能降耗运行管理与设备安全协同优化研究

高亮 童振 周斌 侯佳颖
宁波市城市排水有限公司 浙江 宁波 315000

摘要：随着环保要求提高和能源成本上升，污水处理厂面临节能降耗与设备安全双重挑战。本研究剖析二者关联性，发现目标一致且具协同潜力。节能降耗可通过优化工艺参数、应用智能系统、加强人员管理实现；设备安全管理从全生命周期、风险防控、应急体系完善入手。最后从数据共享、技术集成、管理创新角度，探讨协同优化路径，以提升运行效益与安全性。

关键词：污水处理厂；节能降耗；运行管理；设备安全；协同优化

引言：在环保要求不断提高的背景下，污水处理厂承担着重要的水环境治理任务。然而，污水处理厂在运行过程中普遍面临能耗高、成本压力大以及设备安全隐患等问题。节能降耗有助于降低运营成本、减少能源消耗对环境的影响，而设备安全是污水处理厂稳定运行的基本保障。目前，污水处理厂在节能降耗和设备安全管理方面虽有一定探索，但二者协同优化尚未得到充分重视。深入研究污水处理厂节能降耗运行管理与设备安全协同优化，对提高污水处理厂的综合效益、保障污水处理质量以及推动行业可持续发展具有重要意义。

1 污水处理厂节能降耗与设备安全的关联性分析

1.1 目标一致性

污水处理厂的节能降耗与设备安全在目标层面高度统一，二者均以保障污水处理厂稳定、高效、可持续运行为核心。节能降耗旨在通过优化工艺参数、改进设备运行效率，降低能源消耗和运营成本，实现资源的高效利用；设备安全则强调通过科学管理与维护，确保设备在运行过程中性能稳定、故障风险可控，避免因设备损坏导致处理中断。二者殊途同归，最终目标都是提升污水处理厂的经济效益与社会效益，既满足节能减排的环保要求，又能持续为城市提供可靠的污水处理服务，助力行业绿色低碳转型与高质量发展。

1.2 相互制约性

节能降耗与设备安全在实际运行中存在相互制约的关系。片面追求节能，可能通过降低设备运行强度（如减少曝气时间、降低水泵转速）或使用低成本节能设备，这容易导致设备运行工况偏离设计标准，加速设备老化、增加故障风险。例如，长期低负荷运行的水泵可能出现气蚀现象，影响设备寿命。反之，过度强调设备安全，采取频繁维护、更换高配设备等措施，虽能降低故障概率，但会增加设备购置与维护成本，消耗更多资

源，阻碍节能目标的实现。因此，污水处理厂需在节能与安全间寻求平衡，避免顾此失彼^[1]。

1.3 协同优化潜力

节能降耗与设备安全具有显著的协同优化潜力。一方面，节能技术的应用可有效改善设备运行环境，如采用变频调速技术调节设备转速，既能按需分配能源，降低能耗，又能减少设备频繁启停带来的机械冲击，延长设备使用寿命；另一方面，设备安全管理体系的完善也为节能提供保障，通过实时监测设备运行状态，利用大数据分析预测故障，提前调整工艺参数，避免因设备异常导致的能源浪费。此外，新型节能设备的研发与应用，往往兼顾高效节能与安全稳定的双重特性，如新型高效曝气器，在降低能耗的同时，提升设备运行可靠性，进一步释放两者协同优化效能。

2 污水处理厂节能降耗运行管理关键策略

2.1 工艺参数优化

2.1.1 曝气系统优化

曝气系统在污水处理厂能耗占比颇高，其优化对节能降耗意义重大。可借助在线溶解氧（DO）传感器实时监测曝气池中溶解氧浓度，依据处理工艺与水质变化，通过变频调速技术动态调节曝气设备转速，精准控制曝气量，避免过度曝气造成能源浪费。同时，引入微孔曝气器等高效曝气设备，其独特的结构设计能有效提升氧传质效率，在降低能耗的同时，保障微生物的活性与污水处理效果。此外，采用间歇曝气、阶段曝气等灵活的曝气模式，可根据污水负荷与微生物需氧规律，智能调整曝气时间与强度，进一步实现节能增效。

2.1.2 污泥处理工艺改进

污泥处理环节的能耗不容忽视，改进其工艺是节能关键。一方面，在污泥浓缩阶段，采用高效离心浓缩机或带式浓缩机，通过优化设备运行参数，提高污泥浓缩

效率,降低后续脱水环节的处理负荷;脱水过程中,选用高压隔膜压滤机等先进设备,提升污泥含固率,减少污泥体积,降低运输与处置成本。另一方面,积极探索污泥厌氧消化技术,将污泥中的有机物转化为沼气用于发电或供热,实现能源回收。还可利用污泥干化焚烧一体化技术,将干化后的污泥作为燃料,产生的热能用于厂区供热或发电,形成污泥处理的闭环节能模式。

2.1.3 能源回收利用

污水处理过程中蕴含多种可回收能源。污水本身携带的热能可通过污水源热泵系统回收,用于厂区供暖或预热进水,减少外部能源消耗;厌氧处理产生的沼气净化后,可作为锅炉、发电机的燃料,替代天然气等传统能源。此外,污水处理厂内的污水流动存在势能差,可在合适位置安装水力发电机,将污水的动能转化为电能。同时,利用厂内闲置空间建设光伏发电设施,将太阳能转化为电能,与回收的其他能源协同互补,构建多能联供体系,降低污水处理厂对外部电网的依赖,显著提升能源自给率与节能水平。

2.2 智能运行管理系统应用

智能运行管理系统是实现节能降耗的有力工具。基于物联网技术,将污水处理厂内的各类设备、传感器与控制系统相连,实时采集水质、水量、设备运行参数等海量数据。利用大数据分析 with 人工智能算法,建立能耗预测模型与优化调度模型,根据进水水质波动、设备状态等因素,自动生成最优的设备运行方案,如精准调控曝气、提升泵等设备的运行时间与强度。同时,系统具备故障预警功能,通过分析设备运行数据,提前发现潜在故障隐患,并及时推送维修建议,减少设备故障停机时间,避免因设备异常导致的能源浪费,推动污水处理厂向智能化、节能化方向迈进。

2.3 人员管理与培训

人员是落实节能降耗措施的核心力量。通过制定系统的培训计划,定期组织员工参加节能技术与管理培训课程,内容涵盖污水处理新工艺、节能设备操作与维护、智能管理系统使用等方面,提升员工的专业知识与技能水平。开展节能知识竞赛、操作技能比武等活动,激发员工的学习积极性与创新意识,鼓励员工在实际工作中提出节能改进建议。建立完善的绩效考核机制,将节能指标纳入员工考核体系,对节能成效显著的个人与团队给予物质奖励与精神表彰,形成全员参与节能降耗的良好氛围,确保各项节能措施在生产一线有效落实。

3 设备安全管理优化措施

3.1 设备全生命周期管理

3.1.1 选型与安装规范

设备选型与安装规范是保障设备安全运行的基础。在选型阶段,需充分考量污水处理厂的实际处理规模、工艺流程和水质特性,严格筛选符合国家标准和行业规范的设备。优先选择具备良好稳定性、可靠性和安全性的品牌与型号,对设备的材质、结构、防护等级等关键参数进行严格评估,确保其适应污水处理厂复杂的运行环境。安装过程中,必须遵循设备安装手册和技术标准,由专业人员进行操作,严格把控设备定位、基础固定、管线连接等环节,完成后还需进行全面调试和验收,通过空载、负载试运行检测设备性能,确保安装质量,从源头消除安全隐患^[2]。

3.1.2 预防性维护体系

预防性维护体系是降低设备故障风险、延长设备寿命的核心。制定科学合理的预防性维护计划,依据设备类型、使用频率和运行状况,明确维护周期、维护内容和维护标准。定期对设备进行清洁、润滑、紧固、校准等基础维护工作,同时运用振动监测、红外热成像、油液分析等先进技术,实时掌握设备运行状态。建立设备健康档案,详细记录设备运行数据、维护历史和故障情况,通过大数据分析和故障预测模型,提前识别潜在故障隐患,在故障发生前及时采取针对性维护措施,减少突发故障对污水处理厂运行的影响,保障生产连续性和安全性。

3.1.3 报废与更新管理

科学的报废与更新管理能确保设备始终处于安全高效运行状态。当设备达到设计使用年限、维修成本过高或无法满足工艺要求时,应及时启动报废程序。组织专业技术人员对设备进行全面评估,综合考虑设备性能、安全风险、经济成本等因素,确定是否报废。对于报废设备,妥善处理其零部件和残余污染物,防止环境污染和事故发生。在设备更新方面,结合行业技术发展趋势和污水处理厂实际需求,优先选用智能化、节能化、安全性高的新型设备,更新过程中充分考虑新设备与原有系统的兼容性,同步优化工艺流程,通过设备更新提升污水处理厂整体安全水平和运行效率。

3.2 安全风险防控机制

安全风险防控机制是保障设备安全运行的重要屏障。首先,全面识别污水处理厂设备运行过程中的各类安全风险,包括机械伤害、电气故障、有毒有害气体泄漏等,运用风险评估方法对风险进行分级分类,确定风险等级和管控优先级。针对不同风险,制定相应的防控措施,如在危险设备区域设置防护栏、警示标识,为电

气设备安装漏电保护装置,在易产生有毒有害气体的场所安装气体监测报警系统等。建立常态化的安全检查制度,定期开展安全隐患排查,及时发现并整改问题,同时加强员工安全风险教育和培训,提高员工风险识别和防控能力,形成全员参与、全过程防控的安全风险管控体系。

3.3 应急管理体系完善

完善的应急管理体系是应对设备突发事故的关键保障。制定详细的设备安全应急预案,明确事故发生时的应急响应流程、各部门和人员的职责分工以及具体的处置措施,确保应急工作有序开展。定期对应急预案进行演练,通过实战模拟检验预案的可行性和有效性,及时发现问题并进行优化调整。储备充足的应急物资,如消防器材、防护用具、应急照明设备、备用零部件等,并建立应急物资管理制度,定期检查和更新物资储备,确保物资处于良好可用状态。加强与消防、医疗、环保等外部单位的沟通协作,建立应急联动机制,提高事故应急处置效率,最大限度降低事故造成的人员伤亡和财产损失,保障污水处理厂安全稳定运行。

4 节能降耗与设备安全协同优化实践路径

4.1 数据共享与协同决策

构建覆盖污水处理全流程的数据共享平台,整合进水水质、设备运行参数、能耗监测等实时数据,打破部门间信息壁垒。通过物联网技术,将传感器采集的设备振动、温度、电流等数据上传至云端数据库,利用大数据分析模型挖掘数据价值,精准识别设备异常与能耗浪费点。例如,当监测到曝气系统能耗异常升高时,系统自动关联分析进水负荷、溶解氧浓度等数据,生成包含设备故障预警与节能调整方案的协同决策报告。建立跨部门协同决策机制,组织生产、技术、设备管理团队定期召开数据驱动的联席会议,基于分析结果优化运行参数,实现设备安全运行与能耗降低的动态平衡。

4.2 技术集成创新

融合智能控制、新能源利用与设备健康管理技术,打造协同优化技术体系。在智能控制方面,引入自适应模糊控制算法,根据进水水质水量动态调节提升泵、鼓风机等关键设备的运行频率,避免“大马拉小车”造成

的能源浪费。同时,应用光伏发电、余热回收等新能源技术,将产生的清洁能源用于厂区部分设备供电与污泥干化环节。设备健康管理上,部署基于机器学习的预测性维护系统,通过对设备历史数据和实时状态的分析,提前预判故障风险,实现精准维护,减少设备突发故障导致的能源损耗与安全隐患。

4.3 管理模式创新

推行全生命周期管理模式,从设备选型采购阶段就将节能与安全指标纳入评估体系,优先选择高效低耗、具备智能监测功能的设备。建立“节能-安全”双目标考核机制,将能耗降低率、设备故障率等指标分解到各班组,与绩效奖金挂钩,激发员工积极性。开展全员节能安全培训,通过案例分析、模拟演练等方式提升员工操作技能与风险防范意识。此外,引入合同能源管理(EMC)模式,与专业节能服务公司合作,由其负责节能改造项目的投资、设计、实施与运营,实现风险共担、效益共享,推动污水处理厂管理从传统粗放型向精细化、协同化转变^[3]。

结束语

污水处理厂节能降耗运行管理与设备安全协同优化,是实现绿色可持续发展的关键路径。通过数据共享打破信息孤岛,以技术集成创新挖掘节能潜力,借管理模式变革激发内生动力,三者相辅相成,共同构建起高效、安全的运营体系。未来,随着数字化、智能化技术的不断突破,污水处理厂需持续探索创新,将节能降耗与设备安全融入全流程管理,在保障污水处理效能的同时,降低资源消耗与运营成本,为行业高质量发展树立标杆,助力生态文明建设迈向新台阶。

参考文献

- [1]梁红英.污水处理厂运营管理中的节能降耗措施与效果评估[J].化工管理,2024,(36):171-174.
- [2]董森,富英杰,裘亮,商俊.推进污水处理厂减污降碳协同增效的措施和建议[J].资源节约与环保,2024,(06):154-157.
- [3]杨莎莎,张海燕.城市污水处理厂的节能减排技术研究[J].中国战略新兴产业,2024,(12):123-125.