

浅谈智能精确曝气系统在污水处理厂的应用

张亚芳

河南天成环保科技股份有限公司 河南 平顶山 467000

摘要: 曝气系统是活性污泥法污水处理的核心,直接影响处理效果与能耗水平。传统曝气系统存在调控滞后、能耗浪费、稳定性不足等问题,难以适配污水处理工况的动态变化。本文基于智能精确曝气系统的相关理论与技术基础,分析其应用要点、适配场景,探讨系统应用优势及运行影响因素,针对常见应用问题提出应对思路,为污水处理厂曝气系统的智能化升级、节能降耗及处理效果提升提供实践参考与理论支撑。

关键词: 智能精确曝气系统;污水处理厂;应用要点

引言:随着污水处理行业的高质量发展,对污水净化效果、能耗控制及运行稳定性的要求不断提升。曝气作为活性污泥法污水处理的核心环节,其运行合理性直接关系到污水处理厂的处理效能与运营成本。传统曝气系统采用固定运行模式,无法精准匹配微生物需氧量与曝气供给量,易出现处理不彻底或能源浪费等问题。因此,智能精确曝气系统凭借其智能化调控优势应运而生,深入研究其应用相关内容,对推动污水处理行业节能化、智能化发展具有重要现实意义。

1 污水处理厂智能精确曝气系统应用的相关理论与技术基础

1.1 污水处理厂曝气工艺核心原理

曝气工艺是活性污泥法污水处理的核心,核心原理是向反应池通入空气,为微生物代谢提供充足氧气,同时促进污水与活性污泥充分混合,保障微生物降解污染物。微生物在有氧条件下,将有机污染物、氨氮等分解为二氧化碳、水、氮气等无害物质,实现污水净化。氧气供给量直接影响微生物活性,供给不足会导致污染物降解率不高,过量则造成能源浪费,因此氧气供给的精准匹配是曝气工艺高效运行的关键^[1]。

1.2 智能精确曝气系统的核心内涵与技术构成

智能精确曝气系统的核心内涵,是通过智能化技术实时感知污水处理关键参数,动态调控曝气强度与时长,实现氧气供给与微生物需氧量的精准匹配,达到节能降耗、稳定处理的效果。其技术构成主要包括三大模块:一是传感检测模块,实时采集进水流量、溶解氧浓度、污泥浓度等水质参数,为调控决策提供数据支撑;二是数据处理与传输模块,对采集参数进行过滤、分析并传输至控制中心;三是执行与调控模块,包含曝气风机、调节阀等设备,根据控制指令精准调节曝气风量与压力,实现动态控制。

1.3 智能精确曝气系统的核心控制逻辑

智能精确曝气系统的核心控制逻辑,是以微生物需氧量为核心,构建“检测-分析-调控-反馈”的闭环控制体系。一是通过传感检测模块实时获取溶解氧浓度等关键参数,结合进水负荷变化,精准计算微生物需氧量;二是控制中心对比预设溶解氧阈值,分析曝气供给与实际需求的偏差;三是向执行模块发送指令,调节风机转速、调节阀开度等,同时采集调控后参数形成反馈闭环,持续优化调控精度。整个过程无需人工干预,可根据工况动态变化实现自适应调节,在保障处理效果稳定的同时,最大限度降低能源消耗。

2 智能精确曝气系统在污水处理厂的核心应用要点

2.1 污水处理厂对曝气系统的核心需求

污水处理厂的核心目标是将污水中的污染物去除至达标水平,而曝气系统的核心作用是为微生物代谢提供充足的溶解氧,因此污水处理厂对曝气系统的需求围绕处理效果、能耗控制、运行稳定性三大核心展开,且需求具有明确的针对性和实用性。(1) 确保溶解氧供给精准匹配微生物代谢需求是首要需求,活性污泥中的好氧微生物在代谢过程中需要持续消耗溶解氧,溶解氧不足会导致微生物活性下降,污染物去除不彻底,尤其会影响氨氮、总氮等难降解污染物的去除效果;而溶解氧过量则会造成能源浪费,同时可能破坏污泥沉降性能,增加后续处理负荷。因此,曝气系统需能够精准调控溶解氧浓度,将其稳定在适宜范围,满足不同水质、水量条件下微生物的代谢需求。(2) 降低曝气能耗是污水处理厂的核心诉求之一,曝气系统是污水处理厂能耗占比最高的单元,其能耗占全厂总能耗的40%-60%,合理调控曝气强度、优化运行模式,可有效降低能耗,减少运行成本。传统曝气系统采用固定曝气强度运行,无法根据进水水质、水量的波动及时调整,能耗浪费严重,而智

能精确曝气系统需实现能耗与处理效果的平衡,在保证达标排放的前提下,最大限度降低曝气能耗^[2]。(3)具备较强的抗干扰能力和运行稳定性,污水处理厂的进水水质、水量受多种因素影响,存在明显的波动性,如进水化学需氧量(COD)浓度、氨氮浓度的瞬时变化,以及水量的高峰低谷差异,这就要求曝气系统能够快速响应波动,及时调整曝气参数,避免系统运行出现冲击,确保污水处理工艺的连续性和稳定性,保障出水水质持续达标。系统需具备便捷的维护性,减少故障停机时间,降低运维成本。

2.2 智能精确曝气系统的应用流程与调控要点

智能精确曝气系统的应用核心是“检测-分析-调控-反馈”的闭环运行,依托各类传感器、控制器及优化算法,实现曝气过程的自动化、精准化调控,其应用流程清晰,调控要点明确,可有效提升系统运行效率。(1)应用流程主要分为三个阶段:一是数据采集阶段,通过安装在曝气池、进水口、出水口的各类传感器,实时采集进水水质(COD、氨氮、总氮等)、水量、曝气池内溶解氧浓度、污泥浓度、水温等关键参数,传感器采集频率可根据运行需求设定,通常为每10-30分钟采集一次,确保数据的实时性和准确性;二是数据处理与分析阶段,系统将采集到的实时数据传输至中控平台,通过内置算法对数据进行处理、分析,判断当前水质、水量条件下微生物的溶解氧需求,并对比预设的运行参数,识别运行偏差;三是调控与反馈阶段,中控平台根据分析结果,自动向曝气设备(如鼓风机、曝气器)发送调控指令,调整曝气强度、曝气时长等参数,实时采集调控后的运行数据,形成闭环反馈,持续优化调控方案,确保系统始终处于最佳运行状态^[3]。(2)调控要点是智能精确曝气系统发挥作用的关键,主要包括三个方面:一是溶解氧浓度的精准调控,这是核心调控目标,需根据曝气池不同区域(厌氧区、缺氧区、好氧区)的功能需求,设定不同的溶解氧浓度阈值,好氧区溶解氧浓度通常控制在2-4mg/L,缺氧区控制在0.5mg/L以下,厌氧区控制在0.2mg/L以下,系统通过实时检测溶解氧浓度,自动调整鼓风机转速、曝气器开启数量,确保溶解氧浓度稳定在预设范围内;二是曝气强度的动态调控,结合进水水量、水质的波动,动态调整曝气强度,避免固定曝气强度导致的能耗浪费或处理效果不佳,例如进水水量增大、污染物浓度升高时,适当提高曝气强度,增加溶解氧供给,进水水量减小、污染物浓度降低时,降低曝气强度,减少能耗;三是运行参数的自适应优化,系统通过长期运行积累的数据,不断优化内置算法,自适应不同水质、

水量条件下的运行需求,并根据季节变化调整调控策略,提升系统的适应性,其中智能调控可使鼓风机的单位能耗降低,每处理1立方米污水的曝气能耗可控制在0.7-1.2kWh。(3)系统的运维调控也不容忽视,需定期对传感器进行校准,确保采集数据的准确性,定期检查曝气设备的运行状态,及时排查故障,同时根据污泥沉降性能、出水水质等情况,适时调整调控参数,保障系统长期稳定运行,其中传感器校准周期建议为每月1次,可有效避免数据偏差导致的调控失误。

2.3 智能精确曝气系统在不同处理环节的适配应用

污水处理厂的处理流程分为预处理、生物处理、深度处理等环节,不同处理环节的功能不同,对曝气系统的需求也存在差异,智能精确曝气系统需根据不同环节的特点,进行针对性的适配应用,才能充分发挥其优势,提升整体处理效果。(1)在预处理环节,智能精确曝气系统主要用于提升污水的可生化性,为后续生物处理奠定基础。预处理环节的核心是去除污水中的大颗粒杂质、悬浮物及部分难降解污染物,此时曝气系统的作用是通过曝气搅拌,使污水中的杂质充分混合、沉降,同时增加污水中的溶解氧,促进部分易降解污染物的初步分解。智能精确曝气系统可根据预处理环节的污水水质、水量,精准调整曝气强度和曝气时长,避免曝气不足导致的杂质混合不均、沉降效果不佳,避免曝气过量造成的能源浪费,通常预处理环节的曝气时长控制在1-2小时,可有效提升污水可生化性。(2)在生物处理环节,智能精确曝气系统的应用最为核心,也是发挥作用最显著的环节。生物处理环节是去除污水中污染物的关键,主要依靠活性污泥中的微生物代谢作用,因此曝气系统的适配性直接决定了处理效果。在好氧池,系统需精准调控溶解氧浓度,确保微生物能够充分代谢分解污染物,同时根据污泥浓度、水温等参数,动态调整曝气强度,维持活性污泥的良好性能,减少污泥膨胀等异常情况的发生;在缺氧池和厌氧池,需严格控制曝气强度,避免溶解氧过量进入,破坏缺氧、厌氧环境,影响反硝化脱氮、除磷效果,智能精确曝气系统可通过精准控制曝气器的开启与关闭,确保缺氧池、厌氧池的溶解氧浓度维持在预设范围内,为脱氮除磷微生物提供适宜的生长环境^[4]。(3)在深度处理环节,智能精确曝气系统主要用于保障出水水质的稳定性,进一步去除污水中的残留污染物。深度处理环节的处理标准较高,需将污水中的COD、氨氮、总氮等污染物去除至更低水平,此时曝气系统的作用是通过精准曝气,为后续深度处理工艺(如滤池、消毒池)提供稳定的进水水质,同时去除部分残留的易降解污染物。

智能精确曝气系统可根据深度处理环节的出水要求，动态调整曝气参数，确保污水中的溶解氧浓度稳定，避免因溶解氧波动导致的出水水质超标，同时优化曝气模式，降低深度处理环节的能耗，保障出水水质持续达到处理标准。

3 智能精确曝气系统应用的优势与运行影响因素分析

3.1 智能精确曝气系统相比传统曝气系统的核心优势

智能精确曝气系统的核心优势集中在精准控制、节能高效、稳定可靠三个方面。其一，控制精度更高，可通过实时监测水体溶解氧浓度、污泥浓度等关键参数，自动调节曝气强度与时长，避免传统曝气系统过量曝气或曝气不足的问题，确保反应过程处于最佳状态。其二，节能效果显著，传统曝气系统多为恒定功率运行，能源浪费严重，而智能系统可根据水体实际处理需求动态调整能耗输出，大幅降低电力消耗，减少运行成本。其三，运行稳定性更强，系统具备智能监测与预警功能，可及时发现曝气异常并自动调整，避免因人为操作失误导致的处理效果波动，提升整体运行的稳定性和连贯性^[5]。

3.2 智能精确曝气系统在污水处理厂应用中的主要影响因素

影响智能精确曝气系统运行效果的因素主要包括水质水量、设备状态、控制参数三个维度。水质水量方面，进水水质的污染物浓度、pH值、温度等指标波动，以及进水流量的变化，会直接影响曝气需求，若系统调控不及时，会降低处理效果。设备状态方面，曝气器的堵塞、破损，传感器的测量精度，以及风机的运行稳定性，均会影响曝气均匀性和控制准确性，进而影响系统运行。控制参数方面，溶解氧设定值、曝气周期、污泥回流比等参数的设定合理性，直接决定系统调控效果，参数设定不当会导致能耗增加或处理不达标。

3.3 应用中的常见问题与应对思路

智能精确曝气系统应用中常见问题主要有参数调控滞后、设备故障频发、能耗控制不佳三类。针对参数调控滞后问题，可优化系统监测频率，提升传感器响应速度，完善调控算法，缩短参数调整周期，实现实时精准调控。针对设备故障频发问题，需建立定期巡检与维护机制，及时清理曝气器堵塞杂物、更换破损部件，校准传感器精度，保障风机等核心设备正常运行。针对能耗控制不佳问题，可结合进水水质水量规律，优化控制参数设定，合理调整曝气强度，同时排查设备能耗异常点，降低无效能耗，实现处理效果与节能效益的双重提升。

结束语：智能精确曝气系统在污水处理厂的应用，是污水处理行业向智能化、节能化转型的重要体现，其通过精准调控实现了氧气供给与微生物需氧量的动态匹配，有效弥补了传统曝气系统的不足。从理论基础到实际应用，系统的适配性、稳定性与节能性已得到充分体现，但仍受多种因素影响存在应用短板。未来，需持续优化控制算法、完善设备运维机制、强化技术集成，推动智能精确曝气系统迭代升级，为污水处理行业高质量发展筑牢技术支撑，助力实现环保与节能的双重目标。

参考文献：

- [1]邓晓婷,黎潇锴,芦颖军.精准曝气技术在污水处理中的研究与应用[J].山西化工,2025,45(7):203-205.
- [2]孙吉远.基于精确曝气控制的污水处理厂能耗优化研究[J].行车指南,2024(3):0118-0119.
- [3]赵剑文.精确曝气技术在污水处理中的研究进展及应用[J].中国资源综合利用,2021,39(7):186-188.
- [4]徐乾坤,刘道奇,马丽.城镇污水处理厂精确曝气控制系统的研究与应用[J].中国新技术新产品,2023(13):134-136.
- [5]季文清.污水处理厂精确曝气系统控制方法与节能效率分析[J].山西化工,2025,45(4):230-232+235.