

污水处理厂 VOCs 排放源解析及控制技术研究

赵明

曙光采油厂污水处理大队

DOI : 10. 12238/j pm. v6i 3. 7834

[摘要] 挥发性有机物 (VOCs) 是大气污染物的重要组成部分, 污水处理厂在其排放过程中扮演着关键角色。随着污水处理厂的普及和规模扩大, VOCs 的排放问题日益突出, 亟需研究其排放源及有效控制技术。本研究通过分析污水处理厂 VOCs 的主要排放源及影响因素, 探讨了源头控制和末端治理技术的应用。采用预防性源头控制措施如优化工艺流程和改进设备设计, 结合吸附法、吸收法、生物净化技术等末端治理手段, 能够有效降低 VOCs 的排放。研究表明, 选择合适的控制技术并进行综合评估, 是实现 VOCs 排放达标的关键。

[关键词] 污水处理厂; VOCs 排放; 源头控制; 末端治理; 排放控制技术

Research on the analysis and control technology of VOCs discharge source in sewage treatment plant

Zhao Ming

Sewage treatment brigade of Shuguang oil production Plant

[Abstract] Volatile organic compounds (VOCs) are an important part of air pollutants, and sewage treatment plants play a key role in its discharge process. With the popularization and expansion of sewage treatment plants, the discharge problem of VOCs is increasingly prominent, and it is urgent to study its discharge source and effective control technology. In this study, the application of source control and terminal treatment technology is discussed by analyzing the main discharge sources and influencing factors of VOCs in sewage treatment plant. Using preventive source control measures such as optimizing the process flow and improving the equipment design, combined with adsorption method, absorption method, biological purification technology and other terminal treatment means, can effectively reduce the emission of VOCs. The study shows that selecting the appropriate control technology and conducting a comprehensive evaluation is the key to achieving the VOCs emission standards.

[Key words] sewage treatment plant; VOCs discharge; source control; end treatment; discharge control technology

引言

挥发性有机物 (VOCs) 作为大气污染物的重要组成部分, 不仅对环境质量产生负面影响, 而且对人类健康构成潜在威胁^[1]。随着城市化进程的加快和工业活动的增加, 污水处理厂数量不断增多, 其 VOCs 排放问题日益凸显。因此, 深入研究污水处理厂 VOCs 的排放源及控制技术, 对于改善大气环境质量、保障公众健康具有重要意义。

1 污水处理厂 VOCs 排放源解析

1.1 VOCs 排放的主要来源

污水处理厂的挥发性有机化合物 (VOCs) 排放主要源自以下环节:

(1) 预处理阶段: 在格栅和沉砂池等预处理设施中, 机械搅动和气泡作用可能导致污水中的 VOCs 挥发。

(2) 生物处理阶段: 在活性污泥法、生物膜法等生物处理过程中, 微生物的代谢活动不仅会生成新的 VOCs, 还会加速污水中原有 VOCs 的释放。

(3) 污泥处理阶段: 污泥在浓缩、脱水和干化等处理过程中, 由于温度上升和物理扰动, VOCs 的释放量显著增加^[2]。

(4) 化学处理阶段: 化学药剂(如絮凝剂和氧化剂)的添加可能引入新的 VOCs, 或促使现有 VOCs 发生转化并释放。

1.2 VOCs 成分及其特征

污水处理厂排放的 VOCs 成分复杂多样, 主要包括烷烃、烯烃、芳香烃、醇类、酮类等。其中, 苯、甲苯、乙苯、二甲苯等芳香烃类物质因其高毒性和致癌性而备受关注。这些 VOCs 具有高挥发性、强反应活性, 易参与大气中的光化学反应, 形成臭氧和二次有机气溶胶, 进一步加剧空气污染^[3]。

1.3 影响 VOCs 排放的因素

污水处理厂中 VOCs 的排放受多种因素的制约和影响。深入理解这些因素对于优化排放控制策略至关重要, 有助于实现更高效的污染治理和环境保护目标。

(1) 进水水质: 污水的有机污染物浓度和组成在很大程度上决定了 VOCs 的生成与释放。高浓度的有机物为微生物提供了充足的代谢底物, 导致生物降解过程中产生更多的 VOCs。此外, 污染物的化学组成直接影响了挥发性化合物的类型和释放速率。复杂的有机化合物在不同生物处理阶段的降解效率不同, 部分化合物在特定条件下可能难以被降解, 从而更易挥发成气相污染物, 增加 VOCs 的排放量。

(2) 工艺参数: 温度、pH 值和溶解氧等工艺参数对 VOCs 的生成和挥发性有显著影响。其中, 温度的变化不仅会影响微生物的代谢速率, 还会改变有机物的物理性质, 提升其挥发性。高温环境通常加速生物降解反应的进行, 但同时也可能加剧 VOCs 的逸散。pH 值的变化会影响某些有机物的解离状态, 改变其挥发特性。溶解氧水平决定了污水处理过程是好氧还是厌氧, 进而影响微生物的种类和代谢产物。好氧环境中, 部分有机物被更彻底地氧化分解, 而在厌氧条件下, 代谢产物中挥发性物质的比例相对较高, 导致 VOCs 排放增加^[4]。

(3) 处理工艺: 不同的污水处理工艺对 VOCs 的生成和释放有着不同的作用机制。好氧处理工艺, 如活性污泥法, 通过鼓入空气促进微生物活性, 尽管有助于有机物的高效降解, 却可能增加 VOCs 的逸散。而厌氧工艺主要依赖厌氧微生物降解复杂有机物, 在此过程中, 由于缺氧环境, 部分有机物可能转化为更具挥发性的中间产物。生物滤池等工艺则会通过物理和生物手段结合处理污水, 其结构设计和运行条件(如滤料类型和空气流动方式)会影响 VOCs 的排放程度。因此, 选择合适的工艺并优化其运行条件是控制 VOCs 排放的关键。

(4) 运行管理: 污水处理设施的管理模式对 VOCs 排放也有直接的影响, 设施的密闭性设计对于抑制 VOCs 的无组织排放至关重要, 开放式或密封不良的处理设施会增加挥发性物质的泄漏。对于设备的操作方式, 例如进水和排水的模式、曝气强度等, 也会直接影响微生物的生物反应强度及其代谢产物的

释放^[5]。此外, 化学药剂的投加量和类型(如用于调节 pH 或促进絮凝的药剂)也可能在反应过程中形成或释放新的 VOCs 成分, 在管理不当或药剂过量使用的情况下就会引发 VOCs 排放增加。

2 VOCs 排放源分析方法与技术

2.1 排放监测与采样技术

在 VOCs 排放源的解析过程中, 精确的监测与采样是解析的基础环节, 必须要确保数据的可靠性和代表性。固定源采样技术借助吸附管和气袋等设备, 针对排气口和密闭空间进行定点采样, 通过收集排放的样本来反映不同处理阶段的 VOCs 释放状况。吸附管能够捕捉到高浓度的 VOCs, 适合对废气出口进行持续监测, 而气袋用于短期样本采集, 适用于间歇性排放源的评估。环境空气采样技术则是通过在厂区及其周边区域布设监测点, 以主动或被动采样器进行大气中 VOCs 的采集。主动采样器在泵动机制的作用下, 能够有效吸附空气中的 VOCs, 适用于精确的短时监测。而被动采样器通过扩散原理, 适用于长期布设并进行背景空气质量的监测, 为整体厂区 VOCs 分布提供全面数据。在线监测技术是另一关键手段, 能够通过先进设备如光离子化检测器(PID)和气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)进行实时数据获取。这种技术有效提高了监测的时效性和精确性, 尤其在快速响应和细化污染源变化的情况下具有显著优势。PID 可提供快速响应的浓度检测, 而 GC-MS 能够分辨出复杂混合物的组分, 帮助识别特定的 VOCs 化合物。

2.2 VOCs 排放源解析模型

在定量识别和分析各排放源对总体 VOCs 排放的贡献方面, VOCs 排放源解析模型具有重要作用。其中, 正定矩阵因子分解(PMF)模型是常用的多元统计模型, 其主要通过对监测数据进行深入分析, 揭示潜在的污染源和各源的贡献率。该模型具有无源信息输入的优势, 能够根据数据特征自主解析源信息, 从而适用于不完全了解污染源种类的场景。化学质量平衡(CMB)模型则主要是基于已知的源成分特征, 即所谓的化学指纹, 利用监测到的污染物数据来反向估算不同污染源的具体贡献率。此模型依赖于准确的源谱库, 因此在源谱信息充分且可靠时, 可以提供高精度的源解析结果。受体模型则是利用环境中污染物的浓度和成分特征进行分析, 将复杂的污染状况与污染源特征进行对比, 从而溯源污染源的性质与贡献。通过结合现场采样数据和背景浓度信息, 该模型能识别区域性和局部性污染源, 有助于精准地界定各排放单元的责任。

2.3 数据处理与溯源分析

在完成 VOCs 监测后, 数据的处理与溯源分析是将数据转化为决策依据的必要步骤。数据预处理包括对初步数据进行筛选、校正和缺失值处理, 以提高数据的完整性和可靠性。常规

的校正方法如标准曲线校正、零点漂移修正等能够消除测量过程中的系统误差。统计分析技术在数据处理中扮演了不可或缺的角色,例如主成分分析(PCA)和因子分析(FA),这些多元统计方法有助于提取出数据中的主要特征变量,帮助确定不同影响因子的权重。结合这些统计手段可以优化源解析模型的输入参数,提高模型的预测准确性和稳定性。源解析需要将监测数据与模型结果结合,通过对厂区实际的工艺流程进行分析,精确确定每个单元处理过程对VOCs排放的具体贡献。结合各阶段工艺参数及排放特征进行比对,源解析不仅可以帮助识别高排放单元,还能指导相应的改进措施,从而实现VOCs排放的有效控制和整体优化。

3 VOCs 排放控制技术研究

3.1 预防性源头控制技术

源头控制是降低VOCs排放的核心措施之一,其关键在于通过优化生产过程和设施设计,源头控制可以从根本上减少VOCs的生成与释放。优化工艺流程是源头控制最直接有效的手段之一,通过选择低VOCs排放的生产工艺或改进现有工艺,能够直接显著减少有害气体的生成。例如,采用厌氧处理工艺可以有效降低有机物的挥发性,减少VOCs的释放。此外,改进设备设计也同样发挥着至关重要的源头控制作用,通过提升设施的密闭性、减少泄漏和无组织排放,能够在源头上有效遏制VOCs的外泄。与此同时,控制进水水质对于源头控制也同样具有深远的意义,通过前期预处理阶段降低进水中VOCs前体物质的含量,可以从源头上减少其在后续处理过程中的释放风险,有效减少VOCs的排放,为环境保护和污染防治奠定坚实基础。

3.2 末端治理技术

对于已经排放的VOCs,末端治理技术是解决问题的重要途径之一。这些技术能够有效捕捉并处理废气中已经释放的污染物,减少其对环境的危害。其中,吸附法是一种常见的末端治理技术,它主要是利用活性炭、分子筛等高效吸附材料,将VOCs从废气中去除。吸附法尤其适用于低浓度、大风量的废气处理,能够高效地降低VOCs的浓度。吸收法可以通过洗涤塔等设备,借助溶剂的作用,将VOCs吸收到液相中。该方法特别适用于处理某些特定的VOCs成分,其可以高效分离并去除目标物质。生物净化技术则是近年来逐渐受到重视的绿色治理方案,它可以通过利用生物滤池或生物滴滤塔中的微生物代谢降解VOCs,不仅能够实现低成本、低能耗的治理,还能有效减少二次污染。此外,光催化氧化技术也可以借助紫外光和催化剂的作用,将VOCs分解为无害的 CO_2 和 H_2O ,适用于低浓度VOCs的处理,

其可以在温和的环境条件下实现高效氧化反应,目前已被广泛应用于废气净化中。

3.3 控制技术的综合评估

在选择适合的VOCs控制技术时,需综合评估各项因素,确保所选方案能够在技术可行性、经济性和环境友好性之间找到最佳平衡。技术效率是评估过程中的重要因素,它主要考虑的是控制技术去除VOCs的能力及其适用范围,不同的控制技术具有不同的效率和处理能力,选择时需与污染物的类型、浓度以及废气处理的规模相匹配。经济成本指标则涵盖了初期设备投资、日常维护以及运行成本等多个方面内容,评估时需确保所选技术在满足环保要求的前提下,经济上能够实现可持续发展。操作可行性是指技术的复杂程度和对操作人员的要求,特别是在长期运行中,操作简便且易于维护的技术将更具优势。最后,环境影响也是一个不可忽视的因素,在选择技术时,要特别注意可能引起的二次污染、能源消耗以及对环境的长期影响。通过对各项因素的综合考量,可以确定最合适的控制技术,确保VOCs排放得到有效治理,并达到环境保护的最终目标。

4 结语

污水处理厂的VOCs排放对大气环境质量和人类健康产生了不容忽视的影响。本研究通过对VOCs排放源的深入解析,了解其成因和影响因素,并制定了有效的控制策略。结合源头控制和末端治理技术,可以实现对VOCs排放的有效控制。未来,应加强对新型、高效、低成本的VOCs治理技术的研究和应用,同时提升污水处理厂的运行管理水平,实现污染物的全面控制和环境的可持续发展。

[参考文献]

- [1]杜聪.生物滴滤技术处理污水处理厂废气中VOCs的效果评价[J].中国资源综合利用,2023,41(09):179-181.
- [2]张生,陈丽.石油化和煤化工污水处理厂VOCs治理及除臭技术[J].清洗世界,2023,39(03):13-15.
- [3]黄岑彦,林佳梅,佟磊,何萌萌,肖航.污水处理厂的挥发性有机物排放特征及健康风险评估[J].环境污染与防治,2018,40(06):704-709.
- [4]陈芳,王奕奕,周姗,余波,阮东德.污水处理厂挥发性有机污染物特征研究[J].科技通报,2017,33(11):261-265.
- [5]耿雪松,张春林,王伯光.城市污水处理厂污水处理工艺对VOCs挥发特征影响[J].中国环境科学,2015,35(07):1990-1997.