

# 生活污水处理厂废气处理技术与能耗优化探讨

文 / 王 琦 山东宏达建设工程有限公司

**摘要:** 在当前全球环境压力持续增大的背景下, 生活污水处理厂作为城市基础设施的重要组成部分, 其环境影响和能源效率问题引起了广泛关注。尤其是废气排放, 不仅对大气环境构成威胁, 还直接影响到周边居民的生活质量。因此, 探索有效的废气处理技术和能耗优化策略, 不仅是减少环境污染、提升能源效率的需要, 更是实现可持续发展的关键。

**关键词:** 生活污水处理厂; 废气处理; 能耗控制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.115

## 引言

生活污水处理厂在社会发展中占据着不可替代的位置, 其运行中容易产生较多的废气, 能耗较高, 通过分析其影响, 采取有效的优化措施, 有助于控制废气污染, 降低污水处理厂能耗, 提高项目综合效益。

### 一、生活污水处理厂的废气成分及其对环境的影响

#### (一) 废气的成分及来源

生活污水处理过程中产生的废气主要来源于污水的生物降解过程, 其中甲烷和硫化氢的产生主要与厌氧消化过程有关。厌氧消化是一种在没有氧气存在的条件下, 通过微生物活动将有机物质转化为甲烷和二氧化碳的过程。硫化氢则是在污水中含硫化合物被细菌分解时产生的。此外, 氨气主要来自氮含有物质的分解, 而挥发性有机化合物(VOCs)的来源则更为广泛, 包括但不限于污水中溶解的有机物在处理过程中的挥发<sup>[1]</sup>。

#### (二) 废气对环境的影响

废气的环境影响主要体现在以下几个方面。

##### 1. 产生大气污染与温室效应

甲烷是一种强效温室气体, 其全球变暖潜能是二氧化碳的25倍。因此, 甲烷的排放不仅会加剧温室效应, 还会导致全球气候变化。硫化氢和挥发性有机化合物(VOCs)则会对大气质量造成直接影响, 增加城市烟雾等大气污染现象。

##### 2. 影响人体健康

硫化氢具有强烈的刺激性, 高浓度的硫化氢可以导致头痛、眩晕甚至昏迷。人长期暴露其中, 即使低浓度也可能引发呼吸系统疾病。挥发性有机化合物(VOCs)则被认为是室内外空气污染的重要来源之一, 长期接触某些VOCs会导致神经系统损害或增加患癌症的风险<sup>[2]</sup>。

##### 3. 影响生态系统

废气中的某些成分还可能对周边的生态系统造成负面影响。例如, 氨气排放到大气中可以通过降水再次返回地面, 进而影响土壤和水体的酸碱平衡, 对植物生长产生负面影响。同时, 氨气还是形成细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)的前体物质之一, 会对大气质量和人体健康构成威胁。

## 二、常见废气处理技术

### (一) 吸附剂的研发与应用

吸附剂是指能够吸附废气中污染物的材料, 这些材料通常具有大表面积和高吸附性能, 能够有效地捕集废气中的有害物质。目前, 科研人员已经研发出多种吸附剂, 如活性炭、沸石和金属有机骨架材料等, 这些吸附剂在废气治理中得到了广泛应用。为了提高吸附剂的性能, 研究人员还通过调节其孔的结构和表面化学性质进行优化。例如, 改变吸附剂的孔径大小可以提高其对特定污染物的吸附能力; 而引入功能基团则可以增强吸附剂与废气中污染物之间的相互作用, 这些改进措施使得吸附剂更适用于不同类型废气的治理<sup>[2]</sup>。

### (二) 微生物处理技术的发展

微生物处理技术是利用特定微生物群落对废气中的有害物质进行降解和转化的过程。通过调节反应条件、优化菌种选择及提高微生物的适应性, 可以有效提高废气治理效果。在微生物处理技术中, 最常用的是生物膜反应器和生物滴滤塔。生物膜反应器通过在填料表面形成微生物附着层, 增加有害物质与微生物的接触机会, 提高了有害物质降解效率。生物滴滤塔则利用微生物在滤料上的生长, 通过滤料的吸附和微生物的代谢作用, 将废气中的有害物质转化为无害物质。近年来, 研究人员还通过改进微生物处理技术的操作参数、优化其反应设备以及选择新型菌种等手段, 提高了废气治理效果。例如通过控制环境温度、pH值和营养物质的供给, 可以调节微生物降解废气的速率和效果。

### (三) 活性炭吸附技术的改进

活性炭吸附技术是一种常见的废气治理方法, 其原理是利用活性炭材料吸附废气中的污染物。近年来, 研究人员对活性炭吸附技术进行了改进, 提高了其吸附效率和循环利用率。一方面, 研究人员通过改变活性炭材料的制备方法和微观结构, 调控其表面特性和孔隙结构。例如, 采用新型活化剂和碳化剂可以获得更高比表面积和更丰富的孔隙结构, 从而提高活性炭的吸附性能。此外, 优化炭化温度和时间, 可使活性炭具有更好的稳定性和再生能力。另一方面, 研究人员还致力于改进活性炭的再生技术, 以提高其循环利用率。常见的再

生方法包括热解、水蒸气再生和化学再生等。通过优化再生条件和方法，可以有效地去除吸附在活性炭上的污染物，并保持活性炭的吸附性能。

#### （四）膜分离技术的应用

膜分离技术是一种基于膜孔径和透过性原理实现废气分离和净化的方法。该技术通过选择不同孔径和材料的膜来实现对废气中不同成分的选择性分离。近年来，膜分离技术在废气治理中的应用得到不断拓展。研究人员通过改进膜材料、优化膜结构和设计新型膜组件，提高了膜分离技术的性能和稳定性。例如，引入多孔结构和表面修饰可以增加膜的透过性和选择性；采用复合膜和模块化设计可以提高废气处理的效率和规模。此外，结合其他技术如吸附、催化技术等，还可以实现膜分离技术与其他废气治理方法的协同作用，从而进一步提高废气处理效果。

### 三、生活污水处理厂废气处理优化

#### （一）臭气源头控制与收集

在城市环境治理和工业生产过程中，收集和处理臭气是一项至关重要的任务。因为臭气不仅会对人们的生活品质造成严重影响，还会危害人们的身体健康。为了有效减轻臭气对人们生活和工作环境的影响，需要采取一系列合理的设计和布局措施，将臭气收集起来，以便后续进行处理。臭气应从源头进行控制。在工业生产中，应该优化生产工艺，减少废气排放。例如，可以改进生产设备，采用密闭式生产流程，降低废气产生量。同时，还应该提倡清洁生产，尽量使用无污染或低污染的生产方法，从源头上减少臭气的产生。在农业生产中，应该合理施用农药、化肥，减少过量施用导致的恶臭气体产生。可以通过科学的施肥方法和合理的用药剂量，避免过量施用农药和化肥，从而减少农业生产过程中的臭气排放<sup>[3]</sup>。在建筑设计方面，应充分考虑通风、排气设施的设置。例如，可以设置专用的排气管道，将臭气从产生地点直接引导至处理设备，以便及时处理和消除臭气。同时，还应该合理设置绿化带和景观水体，利用植物和水体的自然吸附作用，减轻臭气扩散的影响。还需要加强科技研发，采用新型技术手段提高臭气收集效果。

#### （二）排放控制

在处理后的臭气排放前，需要进行严格的检测和控制，以确保排放的臭气不会对周围环境和人体健康产生不良影响。首先，应该制定科学的排放标准，这意味着需要根据我国相关法律法规和环保要求，设定合理的臭气排放限值。这些限值应经过科学研究和论证，既要保证环境质量，又要兼顾企业的生产需求。其次，需要加强在线监测设备的运用，实时监测排放的臭气浓度，确保数据的准确性和可靠性。一旦发现异常情况，应立即采取措施进行处理，防止臭气排放对环境和人体健康造成损害。此外，还应建立应急预案，对突发性的排放超标事件进行快速有效的应对。再次，应该优化处理工

艺，采用先进的废气处理技术，提高臭气处理效果，降低排放浓度。这不仅有助于改善环境，而且可以为企业节省治理成本，提高经济效益。同时，对处理设施进行定期维护和检修，确保设备运行稳定，避免因设备故障导致的排放超标现象。最后，还需要加强对排放控制设施的管理，对设施的操作人员进行定期的培训，增强他们的操作技能和环保意识。此外，还应该加强对排放控制设施的监督检查，确保设施的正常运行。排放控制是一项系统工程，需要从多方面入手，形成一个完整的管理体系，才能有效地控制臭气排放，保护环境和人体健康。

#### （三）组合的末端防治技术

污水处理厂常见的恶臭气体末端处理技术主要有物理法、化学法以及生物法。其中物理法主要有活性炭吸附、水吸收技术等；化学法主要有触媒氧化技术、化学洗涤技术以及恶臭氧化技术等；生物法主要有生物吸收技术、生物过滤技术等。不同特征的恶臭气体选择的处理工艺也不同，如臭气浓度较低的，宜选择生物法处理；对于成分复杂的恶臭气体，采用单纯一种治理技术达不到理想的治理效果，采用两种或两种以上方法组合的方式处理能达到较好的治理效果。

### 四、生活污水处理厂能耗控制措施

#### （一）应用节能技术

（1）有氧无氧微生物脱氮除磷技术。采纳有氧及无氧微生物作用以实现污水中氮、磷的有效去除，体现了该技术在水处理领域的高效性能。该方法基于微生物在不同氧化还原条件下的生物化学反应，实现对污染物的有效清除。详细来说，该技术包括好氧与厌氧两个关键处理步骤<sup>[4]</sup>。在好氧阶段，利用溶解氧的参与，促使好氧微生物分解污水中的有机物质，并将氮、磷转化为可通过沉淀或吸附去除的形态，而在厌氧阶段，在缺氧的条件下，特定的厌氧微生物通过其独特的代谢途径移除水中的氮、磷等污染物。该技术的核心在于对好氧与厌氧环境的精细控制以及恰当的微生物种类选择。通过精确调整工艺参数，如pH值、温度和通气量，可以优化微生物的活性，从而提高污染物的去除效率。确保微生物与水体的充分交互作用，是保证污染物有效转化及去除、水质净化的关键环节。有氧与无氧微生物的脱氮与除磷技术不仅能高效去除污水中的有机物和营养盐，还能降低能源消耗和运营成本，代表了一种环境友好型的水处理技术。该技术的应用能够显著提升城镇污水处理厂和工业废水处理的处理能力及水质，有助于缓解水污染问题，保护水资源。

（2）生物修复技术。生物修复技术是一种以环境可持续性为导向的水质净化方法，它不限于水生植物的应用，而是综合利用了包括微生物在内的众多生物体。这些生物实体通过其生长与代谢作用，有效清除了水体中的有害物质，如重金属、有机污染物及营养盐等，从而达到水质净化和生态系统平衡的目的。例如，特定的

微生物能将水中重金属离子转化为不易溶的物质，促使其沉淀，这一过程显著降低了这些物质在生态系统中的活性及其对生物体的威胁，进而降低环境风险。

(3) 活性污泥处理技术。在城市污水处理与工业废水净化的应用中，活性污泥法作为一项生物治理技术获得了广泛认可。该技术主要依赖微生物，包括细菌和原生动物，这些微生物通过形成絮状结构，在有效去除水体中的污染物（如有机物质、氮和磷等）方面展现出卓越的性能，实现水质的净化。

### (二) 优选工艺，提升处理效率

进行工艺优化的出发点是全面分析和评估污水特性，包括污水中污染物的种类和浓度、水量的波动情况等。理解污水的基本特性是选择最合适处理工艺的前提。基于此，我们可以更准确地匹配适宜的处理技术，如生物处理、化学处理或物理处理等，或是上述技术的组合，以针对性地去除污水中的污染物，提高处理效率。工艺优化还需要考虑污水处理系统的整体设计和运行策略，包括合理设计处理流程的布局，确保各处理单元之间能够高效协同工作，以及优化操作参数，如调整曝气量、药剂投加量等，以实现最佳的处理效果和能源利用率。管理者可以通过动态调整和优化操作策略，应对污水质量和数量的变化，确保系统始终在最佳状态下运行<sup>[5]</sup>。采用高效节能的技术和设备也是提升处理效率的重要措施。伴随着技术的发展，许多新型节能技术和设备被开发出来。技术和设备能够在降低能耗的同时保证处理效果，如采用高效能的曝气系统、可回收利用的处理工艺等。

### (三) 采用智能化管理，优化能耗监控

智能化管理系统通过集成物联网技术、大数据分析以及人工智能，能够实现对污水处理过程能耗的实时监测、分析和优化，从而显著提升能源使用效率和处理效果。智能化管理系统通过安装在关键设备和工艺环节上的传感器收集实时数据，包括能耗数据、处理效率数据以及运行状态信息等。上述数据经由先进的数据传输技术实时回传至中央控制系统，通过大数据进行技术处理和分析，可准确识别能耗高的环节和设备，为降低能耗提供精准的决策支持。智能化管理系统利用人工智能技术，如机器学习和深度学习算法，能够从历史数据中学习并预测能耗趋势，自动调整运行参数，优化处理流程。例如，在电力消耗较高的曝气过程中，智能系统可根据实时监测到的水质参数自动调整曝气强度和时长，以实现最佳的处理效果和能效比。智能化管理还包括对污水处理厂能耗模式的优化。智能系统通过建立能耗模型，可以模拟不同运行策略下的能耗情况，帮助管理者制定更为节能的运行计划。同时，系统监测到异常能耗情况可以迅速通知维护人员，实现故障的快速定位和及时处理，减少因设备故障造成的能耗浪费。智能化管理系统还支持远程监控和操作，提高运营管理的灵活性和响应速度。管理人员可以通过移动设备实时获取污水处

理厂的运行状态和能耗信息，即使在非工作时间或远离现场时也能及时调整策略，确保系统高效稳定运行。

## 五、推广废气综合防治技术及案例

污水处理厂恶臭气体污染防治，应积极推广全过程防治技术的联合使用。包括加强源头控制管理，在源头上减少恶臭气体的产生；加强废气收集减少恶臭气体无组织排放；收集的恶臭气体采用多组合的末端治理技术，提高处理效率。以A污水处理厂为例，该污水处理厂为亚洲最大的污水处理厂，2015年该污水处理厂开始改造除臭工程。(1) 污泥干化处理工程采用污泥流化床工艺，在源头上减少了恶臭气体的产生。(2) 为防止恶臭气体大面积逸散，在初沉池、生化池、浓缩池、厌氧池等各个产生恶臭气体的污染源上方加盖全玻璃钢收集罩，产臭气区域实现了构筑物封闭，加罩面积超过了25万m<sup>3</sup>，并安装引风管，使其内部为负压状态，使得污染源全封闭，废气全收集，有效防止了恶臭污染气体的无组织逸散，加强了恶臭气体的收集效率<sup>[6]</sup>。(3) 收集的恶臭气体末端采用多组合的三级处理方式，包括生物滴滤、化学洗涤和物化装置技术。首先采用生物滴滤工艺，通过微生物新陈代谢分解大部分恶臭气体，该工艺处理率可达90%以上；再经碱液化学洗涤，最后，利用光解工艺去除未被生物和化学阶段去除掉的恶臭气体，三级串联的多组合处理工艺总处理效率达99.99%以上，恶臭气体经处理后经15m排气筒达标排放。自2016年改造完成至今，恶臭气体排放能达到相应的标准限值要求。

### 结语

通过分析废气成分及其环境影响，评估现有处理技术的优缺点，并提出综合处理方案及能耗优化策略，从而为解决生活污水处理厂废气排放问题提供新的思路和方法。案例分析结果验证了所提方案的有效性和经济性，不仅促进了环境保护，也实现了能源的高效利用。希望本研究能够为污水处理行业的可持续发展贡献力量。

### 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] 母锁锋, 李建, 金明磊. 木醋液对制药企业污水处理厂废气治理的研究[J]. 清洗世界, 2022, 38(09): 87-89.
- [3] 王超凡. 城镇生活污水处理厂废气产生、治理及环境影响分析[J]. 节能与环保, 2022, (09): 30-31.
- [4] 江燕. 污水处理厂脱水污泥转运站废气除臭系统设计[J]. 净水技术, 2022, 41(S1): 309-316.
- [5] 文然. 浅析节能环保的废气处理系统[J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(07): 19-21.
- [6] 胡立海. 污水处理厂废气治理设计要点分析[J]. 化工设计通讯, 2021, 47(11): 157-159.