

城市污水厂污泥脱水间除臭工程设计和运行

刘建伟^{1,2}, 陈雪威^{1,2}, 张波³, 田洪钰^{1,2}, 高柳堂^{1,2}, 徐嵩^{1,2}

(1. 北京建筑大学 北京市可持续城市排水系统构建与风险控制工程技术研究中心, 北京 100044;
2. 北京建筑大学 环境与能源工程学院, 北京 100044; 3. 北京钧跃环境科技有限公司, 北京 100041)

摘要: 采用组合式生物除臭工艺处理某污水处理厂污泥处理系统排放的恶臭气体, 处理规模为 5 000 m³/h。运行结果表明, 组合式生物除臭工艺对恶臭气体的处理效率高、运行成本低。稳定运行对硫化氢、氨和臭气浓度的去除率分别达到 98%、99% 和 93% 以上, 出气浓度分别稳定在 0.02 mg/m³、0.5 mg/m³ 和 4, 满足《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993) 的一级标准。除臭工程运行成本为 94.32 元/d。

关键词: 污水处理厂; 污泥脱水间; 生物除臭; 工程设计

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)08-0091-05

Deodorization Engineering Design and Operation of Sludge Dewatering Room in Urban Sewage Treatment Plant

LIU Jian-wei^{1,2}, CHEN Xue-wei^{1,2}, ZHANG Bo³, TIAN Hong-yu^{1,2}, GAO Liu-tang^{1,2}, XU Song^{1,2}

(1. Beijing Research Center of Sustainable Urban Drainage System and Risk Control, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. School of Environment and Energy Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 3. Beijing Junyue Environmental Technology Co. Ltd., Beijing 100041, China)

Abstract: The combined biological deodorization technology was used to treat the odors discharged from the sludge treatment system of a sewage treatment plant. The design and operation of the project were introduced and analyzed. The treatment capacity of the project was 5 000 m³/h. The engineering operation result showed that the combined biological deodorization process had high treatment efficiency and low operating cost for odors. The removal rates of hydrogen sulphide, ammonia and odor were more than 98%, 99% and 93% respectively. And the concentrations of pollutant indexes were stable at 0.02 mg/m³, 0.5 mg/m³ and 4 respectively. All the indexes met the first class of the *Emission Standards for Odor Pollutants* (GB 14554 - 1993). The operating cost of the deodorization project was 94.32 yuan/d.

Key words: urban sewage treatment plant; sludge dewatering room; biological deodorization; engineering design

城市污水处理厂在治理城市水污染、改善城市水环境方面发挥着重要作用, 但是其散发的恶臭气

基金项目: 北京市科技计划课题(Z181100005518011)

通信作者: 刘建伟 E-mail: liujianwei@bucea.edu.cn

体越来越多地引起公众的广泛关注^[1]。恶臭气体对于人体健康和生态环境有较大危害,特别是如果人体长期接触恶臭气体会对健康、生理和心理造成严重不良影响^[2]。在众多的污水处理系统构筑物中,污泥脱水间是主要的恶臭气体产生源之一。城市污水处理厂污泥脱水间产生的恶臭气体具有恶臭污染物组成复杂、气体浓度变化大等特点。

河北某污水处理厂处理规模为 $1.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 服务面积为 60.2 km^2 。在污水处理厂运行初期未建设除臭工程,为改善厂区周围空气质量,减少恶臭气体对周边居民和环境的影响,该污水处理厂于2018年3月建设了除臭工程,对污泥处理系统产生的恶臭气体收集后进行处理。

1 恶臭气体特征

对该污泥脱水系统产生的恶臭气体浓度进行了监测,以硫化氢、氨和臭气浓度作为衡量恶臭气体污染状况的指标^[3],结果见表1。

表1 恶臭气体浓度

Tab.1 Emission concentration of odors

项目	污泥脱水间	污泥暂存间
硫化氢/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	0.91 ~ 17.0	0.81 ~ 15.0
氨/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	7.8 ~ 34.6	5.4 ~ 32.0
臭气浓度	20 ~ 90	16 ~ 105

恶臭气体主要来源于污泥脱水机房和污泥暂存间,因污水处理过程中含氮物质在好氧微生物分解作用下主要产物为氨,并随污泥脱水过程发生逸散,因此在监测周期内监测出的氨浓度相对较高^[4]。根据污泥脱水工艺运行特性以及污泥脱水机房和污泥暂存间的空间尺寸核算结果,确定总处理气量为 $5000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

2 除臭工艺选择

现有污水处理厂恶臭气体处理技术包括吸收、吸附、催化、焚烧、冷凝及生物技术等^[5]。其中生物处理技术因具有处理效果高、投资和运行费用低、无二次污染产生等诸多优势,已成为大流量、低浓度恶臭气体的主流处理技术,并逐渐成为物化、化学除臭技术的替代技术^[6-8]。考虑到该污水处理厂污泥处理系统产生的恶臭气体气量大、浓度低以及排放源较集中、相对封闭等特点,采用生物处理技术较为适合,能够实现恶臭气体达标排放,同时减少投资和运行费用。

传统的恶臭气体生物处理技术往往采用单一的

生物过滤、生物滴滤或生物洗涤技术,填料表面附着的微生物种类较为简单、微生物附着浓度低。而该污水厂污泥处理设施所产生的恶臭气体成分相对复杂,负荷变动大,对不同组分的恶臭污染物的去除往往需依靠不同类型的微生物,但单一生物反应器中难以同时存在多种类型的微生物,因而造成常规生物除臭工艺效率不高、运行不稳定等问题^[7]。

基于以上生物除臭的技术问题,采用了组合式生物除臭工艺,将传统生物除臭设备按照不同微生物适宜的生长环境分为生物洗涤段和生物过滤段,每段投加生长习性类似的菌种,各段运行参数控制在能使该段微生物稳定生长繁殖的范围内,使各段微生物在自身最佳环境条件下生长,从而高效降解各种恶臭污染物。

组合式生物除臭工艺流程如图1所示。

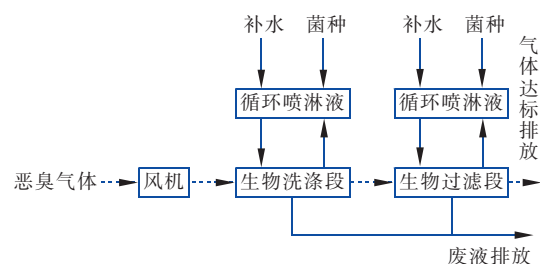


图1 组合生物除臭工艺流程

Fig.1 Flow chart of combined biological deodorization process

污泥脱水机房和污泥暂存间保持半封闭状态,恶臭气体在风机的吸力作用下,经气体收集管路收集后进入组合生物除臭设备,在除臭设备内先后经过生物洗涤段和生物过滤段。不同类型的微生物菌液分别定期由喷淋系统喷淋至各净化段的聚氨酯海绵生物填料表面,优化各工艺段的运行条件和参数,以使该段微生物稳定生长繁殖。进气中的恶臭物质分别经过不同工艺段,在填料表面附着的微生物作用下得到降解,净化后的气体经由排气管达标排放,循环液则循环使用多次后排入污水处理系统。

3 工艺设计

除臭系统由气体收集系统、组合生物除臭设备和在线监测系统三部分构成,其中气体收集系统包括气体收集管路和风机,组合生物除臭设备包括设备壳体、填料、喷淋系统、喷淋液贮罐和除雾装置。

3.1 气体收集系统

① 气体收集管路

气体收集管路表面开有集气口,是恶臭气体进

入组合生物除臭设备的通道。气体收集管路总长为20 m,贯穿污泥脱水机房和污泥暂存间,通入组合生物除臭设备。收集管路吊置于各车间上方,直径为400 mm,表面共开有集气口3个,其中污泥脱水机房内设置2个,污泥暂存间设置1个。

② 风机

除臭系统设计参数见表2。

表2 除臭系统设计参数

Tab.2 Design parameters of deodorization system

项目	空间有效容积/ m^3	空间换气次数/ (次· h^{-1})	气量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	备注
污泥脱水机房	534	6	3 204	半封闭
污泥暂存间	212	6	1 272	基本封闭

基于恶臭气体排放源的空间体积,并考虑10%的漏风系数,设计处理气量为5 000 m^3/h 。选用耐腐蚀离心风机1台,材质为玻璃钢,可在腐蚀性空气条件下长期间断或24 h连续运行。离心风机的风量为4 012 ~ 7 419 m^3/h ,风机全压为1 320 ~ 2 014 Pa,功率为5.5 kW,转速为2 900 r/min,配有隔音罩。

3.2 组合生物除臭设备

① 设备壳体

设备壳体材质为玻璃钢,呈圆柱形,直径为3 m,高度为5 m,处理规模为5 000 m^3/h ,气体停留时间为25 s。生物洗涤段和生物过滤段尺寸相同,直径均为3 m。设备进风口口径为300 mm,出风口口径为400 mm;喷淋液给水口法兰直径为40 mm,排水口法兰直径为40 mm;检修排水口法兰直径为40 mm,检修人孔口径为500 mm。排气管直径为400 mm,长度为10 m。

② 填料

聚氨酯材料表面带有多种亲水基团,具有更大的微生物附着量和持水性,且单位体积空间利用率高,气液传质效果好,是微生物生长的优良载体。组合生物除臭设备内部填充聚氨酯海绵块作为填料,填料层总厚度为3 m。所用聚氨酯海绵块堆积密度为0.03 g/cm^3 ,空隙率为97%,比表面积为240 m^2/m^3 。其中,生物洗涤段填料pH值保持在3~4,生物过滤段填料pH值保持在7~8。

③ 喷淋系统

喷淋系统包括雾化喷头、喷淋管和喷淋水泵。

其中,雾化喷头材质为304不锈钢,可在酸碱条件下长期使用而不易腐蚀。雾化喷头单个流量为12 L/min,喷洒角度为120°,各喷淋段安装4个。循环水泵为2台耐腐蚀泵,流量为6 m^3/h ,扬程为200 kPa(20 m),功率为0.75 kW,防护等级为IP55。

④ 喷淋液贮罐

喷淋液贮罐通过喷淋管与喷淋泵和组合生物除臭设备相连接,通过控制器控制喷淋水量及回流量,罐内水位保持在适当高度。罐直径为1 150 mm,高度为1 000 mm,水源给水口法兰直径为40 mm,喷淋液给水口法兰直径为40 mm,喷淋液回流口法兰直径为40 mm。

⑤ 除雾装置

经过生物洗涤段和生物过滤段处理后,气体中含有大量水汽,需进行吸湿、除雾处理。除雾装置为安装在设备内部顶端的一排有一定倾角的导流板,可将水雾截留,同时还起到过滤吸附粉尘的作用。经过除雾处理后,气体含水率降至15%以下。

3.3 在线监测系统

除臭工程配备1套恶臭气体实时在线监测系统,可24 h连续在线监测,内置9种气体传感器,可显示硫化氢、氨等单一气体浓度值,或用户自选恶臭污染物(1~3种)浓度值,同时可在线自动监测温度、相对湿度等参数,采集到的数据传送至现场控制柜,完成对组合生物除臭设备相关参数的显示及控制功能。

4 除臭工程运行效果

该除臭工程于2018年6月建设完成,并开始调试运行。在气体进气流量为5 000 m^3/h 条件下,组合生物除臭设备运行105 d内,进气口和出气口的硫化氢、氨和臭气浓度及去除率的变化如表3~5所示。

由表3可知,运行初期(前20天)硫化氢的去除率相对较低(69.8%~82.3%)且不稳定,出气浓度波动较大。这是因为在挂膜初始阶段,除臭塔内微生物尚未大量繁殖并适应塔内环境,硫化氢的去除主要依靠填料的吸附和喷淋液的吸收作用。随着微生物逐渐繁殖生长,运行30天后,组合生物除臭设备开始表现出对硫化氢良好的去除性能。第31天,硫化氢去除率达90.4%,之后逐渐提高,这说明填料上的硫化氢降解微生物已大量生长并开始发挥作用。稳定运行时,硫化氢去除率基本能维持在

97%以上,出气浓度始终 $<0.03\text{ mg/m}^3$,满足《恶臭 污染物排放标准》(GB 14554—1993)的一级标准。

表3 硫化氢进、出气浓度及其去除率

Tab.3 Inlet and outlet concentration and removal efficiency for sulfide hydrogen

天数/d	1	10	20	31	39	48	53	63	70	79	88	96	105
进气硫化氢浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	10.50	3.80	5.20	17.00	3.80	4.50	6.00	3.60	4.00	2.80	11.00	1.90	5.60
出气硫化氢浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	4.22	1.01	0.92	1.63	0.20	0.12	0.11	0.04	0.04	0.02	0.10	0.02	0.03
去除率/%	59.8	73.4	82.3	90.4	94.7	97.3	98.1	98.9	99.0	99.3	99.1	99.2	99.5

注: 进气硫化氢最高为 17.00 mg/m^3 ,出气最高为 4.221 mg/m^3 ;排放标准为 0.06 mg/m^3 。

表4 进、出气氨浓度及去除率

Tab.4 Inlet and outlet concentration and removal efficiency for ammonia

天数/d	1	10	20	31	39	48	53	63	70	79	88	96	105
进气氨浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	8.90	23.40	14.50	12.00	25.80	10.90	14.40	26.10	23.30	21.10	9.90	8.70	10.70
出气氨浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	2.17	3.74	3.41	1.16	0.75	0.10	0.07	0.26	0	0.19	0.05	0.50	0
去除率/%	75.6	84.0	76.5	90.3	97.1	99.1	99.5	99.0	100	99.1	99.5	94.3	100

注: 进气氨浓度最高为 34.6 mg/m^3 ,出气最高为 5.79 mg/m^3 ;排放标准为 1.5 mg/m^3 。

由表4可知,运行初期(前20天)对氨的去除率较低且不稳定,出气浓度波动较大。随运行时间的延长,对氨的去除率逐渐趋于稳定,第48天以后氨的去除率基本保持在99%以上,出气氨浓度为 $0\sim 0.5\text{ mg/m}^3$,满足《恶臭污染物排放标准》(GB

14554—1993)的一级标准,去除效果已趋于稳定。此外,氨在除臭塔中达到稳定去除所经历的时间略长于硫化氢,这是因为降解氨的微生物以自养型氨氧化菌和亚硝酸氧化菌为主,其生长速度较多数异养细菌慢。

表5 臭气浓度及去除率

Tab.5 Concentration and removal efficiency for odor

天数/d	1	10	20	31	39	48	53	63	70	79	88	96	105
进气浓度	40	77	82	72	82	70	74	84	79	68	60	60	54
出气浓度	22	30	25	18	15	13	11	14	11	8	4	4	4
去除率/%	45.0	61.0	69.5	75.0	81.7	81.4	85.1	83.3	86.1	88.2	93.3	93.3	92.6

注: 进气臭气浓度最大值为90,出气最高为31;排放标准为20。

由表5可知,除臭设备运行39天后,臭气浓度去除率达到81.7%,运行88天后去除率始终保持在93%以上,出气口处臭气浓度始终低于5,满足《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)的一级标准。

臭气浓度均满足《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)的一级标准,表明组合生物除臭设备对恶臭气体具有极好的净化效果,抗负荷冲击能力好,可长期稳定运行。

5 技术经济分析

该组合生物除臭设备运行费用明细见表6。

表6 组合生物除臭设备运行费用

Tab.6 Operating cost of the combined biological deodorization equipment

项目	单价	用量	费用/($\text{元} \cdot \text{d}^{-1}$)	备注
风机耗电	$0.66\text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$	$5.5\text{ kW} \cdot \text{h/h}$	87.12	按运行24 h/d计
水泵耗电	$0.66\text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$	$1.5\text{ kW} \cdot \text{h/h}$	3.96	喷淋10 min/h
水耗	$2.7\text{ 元}/\text{m}^3$	$1.2\text{ m}^3/\text{d}$	3.24	水量补给按喷淋液量的5%计

在24 h不间断运行情况下,组合生物除臭设备运行成本约为94.32元/d,主要由电费和水费构成。

6 结论

① 采用组合生物除臭工艺,恶臭气体处理规模为 $5\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ 。设备内分为生物洗涤段和生物过

滤段,各段投加生长习性类似的菌种,通过控制各段工艺运行参数,使各段微生物在自身最适环境条件下生长繁殖,从而高效降解恶臭污染物。

② 组合生物除臭设备在24 h不间断运行条件下,运行成本约为94.32元/d,其主要由电费和水

费构成。所选工艺具有投资运行费用低、操作维护简单以及二次污染物排放量少等优点。

③ 组合生物除臭设备投入运行后,对污水处理厂恶臭污染实现了有效控制,各恶臭污染物排放浓度均低于《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)的一级标准,厂内和周边大气环境得到明显改善。

参考文献:

- [1] Dincer F, Muezzinoglu A. Odor-causing volatile organic compounds in wastewater treatment plant units and sludge management areas [J]. J Environ Sci Health, 2008, 43 (13): 1569 – 1574.
- [2] Bouchy L. Odor assessment and management in wastewater treatment plants: A review [J]. Crit Rev Env Sci Technol, 2011, 41 (10): 915 – 950.
- [3] 董磊. 上海天山污水厂污泥深度脱水工程除臭设计 [J]. 中国给水排水, 2016, 32 (12): 90 – 93.
Dong Lei. Deodorization design of sludge dewatering project in Shanghai Tianshan WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32 (12): 90 – 93 (in Chinese).
- [4] 李明峰, 马闯, 赵继红, 等. 污泥堆肥臭气的产生特征及防控措施 [J]. 环境工程, 2014, 32 (1): 92 – 96.
Li Mingfeng, Ma Chuang, Zhao Jihong, et al. Odor in the progress of sewage sludge composting: Production, characteristics, prevention and control strategies [J]. Environmental Engineering, 2014, 32 (1): 92 – 96 (in Chinese).
- [5] 刘建伟, 马文林, 王志良. 废气生物处理微生物学研究进展 [J]. 环境科学与技术, 2012 (8): 74 – 80.
Liu Jianwei, Ma Wenlin, Wang Zhiliang. Progress in microbiology of biofiltration of waste gas [J]. Environmental Science & Technology, 2012 (8): 74 – 80 (in Chinese).
- [6] Xie B, Liang S, Tang Y, et al. Petrochemical wastewater odor treatment by biofiltration [J]. Bioresour Technol, 2009, 100 (7): 2204 – 2209.
- [7] 刘建伟, 马文林, 赵玉柱, 等. 两段生物滤池处理城市污水厂恶臭气体中试研究 [J]. 环境工程学报, 2011, 5 (8): 1825 – 1830.
Liu Jianwei, Ma Wenlin, Zhao Yuzhu, et al. Pilot study on odors removal in a sewage treatment plant using a two-stage biofilter [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5 (8): 1825 – 1830 (in Chinese).
- [8] Sakuma T, Hattori T, Deshusses M A. Comparison of different packing materials for the biofiltration of air toxics [J]. Air Repair, 2006, 56 (11): 1567 – 1575.



作者简介:刘建伟(1979 –),男,山东济宁人,博士,副教授,主要从事大气污染防治研究。

E-mail: liujianwei@bucea.edu.cn

收稿日期:2019-01-28

环境就是民生,青山就是美丽,蓝天也是幸福