

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.14.014

污水厂典型半开放污染源恶臭气体收集装置设计及应用

冯文韬¹, 徐艳萍², 侯 锋³, 庞洪涛³, 周 晓³, 田洪钰¹,
刘建伟¹

(1. 北京建筑大学 城市雨水系统与水环境教育部重点实验室, 北京 100044; 2. 山东省临沂生态环境监测中心, 山东 临沂 276001; 3. 国投信开水环境投资有限公司, 北京 101101)

摘 要: 针对某城市污水厂不同典型工艺设施的恶臭气体产生特性和收集要求,对常规恶臭气体收集方式进行了比较和分析。以污泥脱水间为对象,进行了典型半开放污染源的恶臭气体收集装置设计,该装置由伞形罩体、集气支管和负压引风机组成,在微负压条件下,伞形罩体对气流具有较好的诱导作用,可有效减少气体收集死区,提高收集效率。将该收集装置与生物过滤除臭装置结合,应用于该城市污水厂污泥脱水间恶臭气体的收集和治理,恶臭气体收集和治理量为370 m³/h。结果表明,该收集和治理装置对硫化氢和氨的去除率分别为99.25%和99.41%,达到了较好的收集和治理效果。

关键词: 城市污水厂; 恶臭气体; 气体收集装置; 半开放污染源

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)14-0084-05

Design and Application of Typical Semi-open Pollution Source Malodorous Gas Collection Device in Municipal Wastewater Treatment Plant

FENG Wen-tao¹, XU Yan-ping², HOU Feng³, PANG Hong-tao³, ZHOU Xiao³,
TIAN Hong-yu¹, LIU Jian-wei¹

(1. Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. Linyi Ecological Environment Monitoring Center, Linyi 276001, China; 3. SDIC Xinkai Water Environment Investment Co. Ltd., Beijing 101101, China)

Abstract: According to malodorous gas generation characteristics and collection requirements of typical processes facilities in a municipal wastewater treatment plant, the conventional malodorous gas collection modes were compared and analyzed. A typical semi-open pollution source malodorous gas collection device in a sludge dewatering room was designed. The device was composed of an umbrella-shaped cover, an air collecting branch pipe and a negative pressure induced draft fan. Under the condition of slight negative pressure, the umbrella-shaped cover had a better induction effect on the air stream, and effectively reduced the dead zone of the gas collection and improved the collection efficiency. The collection device and biological filtration deodorizer were combined to collect and treat malodorous

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

gas in the sludge dewatering room of the municipal wastewater treatment plant, and the collection and treatment capacity of malodorous gas was 370 m³/h. The removal efficiencies of hydrogen sulfide and ammonia were 99.25% and 99.41%, respectively, indicating that a good collection and treatment performance was achieved.

Key words: municipal wastewater treatment plant; malodorous gas; gas collection device; semi-open pollution source

在城市污水处理厂运行过程中会产生大量恶臭气体,对周围环境和人体健康带来不利影响。相关研究表明,长期接触恶臭气体的城市污水厂工作人员神经系统和循环系统可能会受到一定损伤,其患呼吸系统疾病的概率也明显高于其他人群^[1-2]。因此,为消除或减少城市污水厂恶臭气体对环境和人体健康的影响,配套建设恶臭气体收集和处理系统非常必要。

对于城市污水厂恶臭气体,一般采用密闭收集和集中处理的方法,即对产生恶臭气体的设施空间进行加罩密闭,通过负压风机和气体管路输送至除臭系统进行处理^[3]。然而,由于不同污水处理设施的结构、功能和开放程度存在差异,采用常规的同

质化气体收集装置会导致处理设施收集气量大、效率低等问题,从而影响恶臭气体的整体收集和处理效果。

在对某城市污水厂不同典型工艺设施恶臭气体产生特性、收集要求及常规气体收集装置进行分析的基础上,开发出针对典型半开放污染源设施的恶臭气体收集装置,并考察其实际应用效果。

1 恶臭气体的产生特性和收集方式

对某城市污水厂格栅间、沉砂池、厌氧/缺氧池、好氧曝气池和污泥脱水间等不同典型工艺设施产生的硫化氢和氨进行了浓度分析,并结合不同设施的结构特点和气体产生特性,确定了不同工艺设施的恶臭气体收集方式,结果见表1。

表1 某城市污水厂不同典型工艺设施恶臭气体产生特性和收集方式

Tab.1 Malodorous gas generation characteristics and collection modes of different typical process facilities in a WWTP

构筑物	硫化氢浓度/ (mg·m ⁻³)	氨浓度/ (mg·m ⁻³)	恶臭气体产生特性	设施特点	气体收集方式
格栅间	0.87~19.00	0~1.63	产生量小、浓度变化大、间歇产生	半开放式空间,含格栅机设备,巡检频率高	整体封闭,微负压收集
沉砂池	0.61~3.10	0~1.59	产生量小、浓度变化小、连续产生	池面一般不安装设备	整体封闭,微负压收集
厌氧/缺氧池	0.16~2.20	0.01~0.12	产生量小、浓度变化小、连续产生	池面一般不安装设备	整体封闭,微负压收集
好氧曝气池	0~0.22	0~0.46	产生量大、浓度变化小、连续产生	池面设曝气机,巡检频率高	整体封闭,微负压收集
污泥暂存间	0.61~11.20	3.60~27.00	产生量小、浓度变化大、间歇产生	开放式空间	空间内部通风换气
污泥浓缩池	0.14~3.20	0.16~13.70	产生量小、浓度变化大、连续产生	相对封闭空间	整体封闭,微负压收集
污泥脱水间	0.73~12.00	6.60~33.50	产生量大、浓度变化大、间歇产生	半开放式空间,设置污泥脱水设备,巡检频率高	对污泥脱水机进行封闭加罩收集

表1结果表明,该城市污水厂不同典型工艺设施硫化氢和氨的产生量和浓度等特性均存在一定差异。其中,格栅间、沉砂池等预处理区以及污泥暂存间和污泥脱水间等污泥处理区产生的硫化氢和氨浓度变化大,且浓度相对较高,而厌氧池/缺氧池、好氧曝气池等生化处理区产生的硫化氢和氨浓度变化较小,且浓度相对较低。此结果与 Frechen 等^[4]的研究结果类似,城市污水厂预处理区和污泥

处理区产生的恶臭物质浓度明显高于其他区域。这与不同工艺设施所处的运行阶段、空间结构特点和开放程度有关,比如,在格栅间和污泥脱水间,产生的浓度相对较高的硫化氢和氨气体,与污水和污泥中的含硫、含氮物质在机械扰动下的逸散有关。

由于城市污水厂不同工艺设施的结构和空间特点以及开放程度的差异,恶臭气体的收集和控制方式存在差异。对于污泥暂存间等开放式空间,适

宜对整个设施空间全面通风换气;对于格栅间和污泥脱水间等包含机械设备的半开放式空间,则需要对产生恶臭的机械设备加集气罩密闭收集;而对于沉砂池、厌氧/缺氧池、好氧曝气池等设施,恶臭气体一般从池体水面散发,则需要对其进行整体封闭,

对产生的气体负压收集并进行后续处理。

2 恶臭气体收集方式分析

对现有的城市污水厂不同工艺设施恶臭气体的收集类型、收集方式和特点进行了对比分析,结果如表2所示^[5]。

表2 城市污水厂不同工艺设施恶臭气体收集类型、收集方式及特点

Tab.2 Types, technologies and characteristics of malodorous gas collection in different process facilities in WWTPs

构筑物	收集类型	收集方式	特点
格栅间	局部通风收集	对格栅机安装集气罩收集	气体收集效率有一定限制,安装集气罩需考虑格栅机维护检修
沉砂池	全面通风收集	池体密闭,微负压收集	密闭效果好,气体收集效率高
厌氧/缺氧池	全面通风收集	池体密闭,微负压收集	密闭效果好,气体收集效率高,但钢结构骨架材料易锈蚀
好氧曝气池	全面通风收集	池体密闭,微负压收集	气体收集量与污水曝气量相关,气体收集效率高
污泥浓缩池	全面通风收集	池体密闭,微负压收集	密闭效果好,气体收集效率高
污泥脱水间	局部通风收集	对污泥脱水机安装集气罩收集	污泥脱水设备相对复杂,收集效率受机械安装形式和集气罩类型的影响

由表2可以看出,城市污水厂不同污水处理工艺设施的恶臭气体收集类型和方式存在差异。对于格栅间和污泥脱水间等半开放污染源,恶臭气体主要的产生点位为格栅机和污泥脱水机等机械设备,由于工艺操作及机械巡检等原因,不适于采用常规集气罩进行气体收集,而对整体空间进行全面换气收集则会产生较大的气体处理量。因此,选择采用伞形集气罩对格栅和污泥脱水机产生的恶臭气体进行局部收集,以减少气体处理量和提高气体收集效率,同时对机械巡检和操作的影响较小。对于沉砂池、厌氧/缺氧池和好氧曝气池等相对封闭的污染源,根据池体构型、跨度、功能、机械操作和巡检便利性等,采用简易拆卸式或滑轨式玻璃钢盖板进行收集。

现有城市污水厂不同处理设施恶臭气体的收集大多采用集气罩密闭和负压引风机抽吸的方式。与设施整体通风收集相比,采用集气罩收集的方式通风量小、密闭效果好,但是存在与设备匹配适应性差和影响设备操作、巡检等问题。针对上述问题,新型恶臭气体收集装置不断出现。如有研究者设计出一种用于污水曝气池的新型恶臭气体收集和装置,装置由覆盖膜、浮球、气体收集口、浮球柄及软管组成,实现对恶臭气体密闭和高效收集^[6]。李振江等^[7]采用模块化收集装置对小跨度(跨度<8 m)的污水处理构筑物进行气体收集,装置由拱形玻璃钢盖板、集气管道和负压引风机组成,具有易安装拆卸的特点。综上,对于城市污水厂的

不同污水处理设施,需要根据恶臭气体的产生特性、设施空间特点等,选择不同的气体收集技术和装置,以实现恶臭气体的高效收集。

3 半开放污染源恶臭气体收集装置的设计

根据城市污水厂不同典型工艺设施恶臭气体的产生特性、设施构型和封闭程度等,以污泥脱水间为对象,进行典型半开放污染源的恶臭气体收集装置设计。

3.1 收集装置构型

污泥脱水间设置多台污泥脱水设备且需要经常巡检维护,在污泥脱水机上方安装伞形集气罩。在负压引风机的作用下,从污泥脱水机逸散的恶臭气体以一定速度由集气罩底部自下而上向集气罩顶部流动,通过伞形集气罩顶部吸气口进入集气支管,利用微负压作用传输至后端除臭系统。该收集装置结构示意图见图1。

如图1所示,该收集装置由伞形罩体、集气支管和负压引风机组成。其中伞形罩体由碳钢骨架和氟碳纤维膜构成,罩体顶部设置吸气口,集气支管设置气量控制阀。由于污泥脱水机结构复杂、占用空间大,伞形罩体可以将污泥脱水机整体密闭,将恶臭气体的扩散限制在一定的较小范围,并有效防止横向气流的干扰。该收集装置适用于城市污水厂格栅、污泥脱水机等半开放污染源设施产生的恶臭气体的密闭收集,具有气体收集量小、收集效率高、对机械设备运行操作影响小的特点。

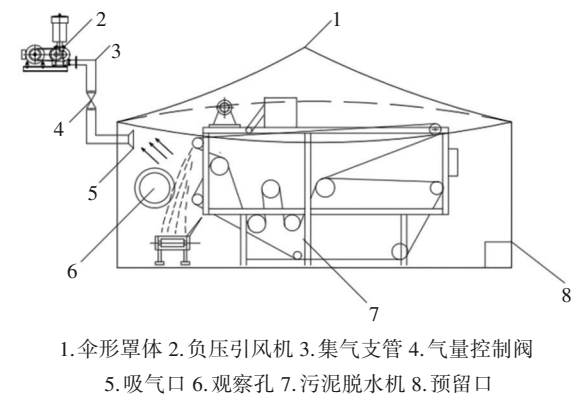


图 1 半开放污染源恶臭气体收集装置结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the structure of a semi-open pollution source malodorous gas collection device

3.2 伞形罩体的设计

伞形罩体采用氟碳纤维膜,通过在膜内密闭气体、膜外碳钢骨架悬吊的方式使罩体呈“伞形”。在一定微负压条件下,伞形罩体对气流具有较好的诱导作用,可有效减少气体收集死区,提高收集效率。同时,碳钢骨架设在膜外,避免其直接与恶臭气体接触^[8-9]。同时,罩体设置观察孔和预留口,便于进行罩内污泥脱水机的操作巡视和检修。在满足气体收集效率和减少对污泥脱水设备操作影响的前提下,采用伞形罩体,在一定程度上减少了集气罩的罩体体积和收集气量^[10]。

3.3 集气装置设计参数

采用伞形集气罩的半开放污染源恶臭气体收集装置设计参数如表 3 所示。

表 3 半开放污染源恶臭气体收集装置设计参数

Tab.3 Design parameters of semi-open pollution source malodorous gas collection device

项目	参数	备注
伞形集气罩高及吸气口面积	高 3.1 m,面积 1.6 m ²	吸气口距污泥脱水机垂直距离为 2.3 m
恶臭气体收集量(计算值)/(m ³ ·h ⁻¹)	331.2	换气次数 8 次/h
恶臭气体收集量(设计值)/(m ³ ·h ⁻¹)	370	风量损失系数为 10%
集气支管管径/mm	200	风速为 2.4 m/s

收集量是气体收集装置的重要设计参数,本设计罩内空间换气频率选择 8 次/h,风量损失系数选择 10%,恶臭气体收集量为 364.3 m³/h,设计值取 370 m³/h。根据该城市污水厂污泥脱水机的机械及安装尺寸,伞形集气罩高度设计为 3.1 m,吸气口面

积为 1.6 m²,集气罩内密闭空间体积为 41.4 m³,集气支管管径设计值为 200 mm,风速为 2.4 m/s,满足集气支管风速要求。

4 半开放污染源恶臭气体收集装置的应用

在污泥脱水机上方设置伞形集气罩,控制恶臭气体收集量为 370 m³/h,罩体距污泥脱水机 0.2~0.3 m,吸气口距污染源垂直距离约为 2.3 m,同时设置 2 个吸气口,集气支管总长 9 m,管径 200 mm。参照参考文献^[11]中气体收集装置的收集效率计算方法进行计算,该收集装置的气体收集效率大于 95%。

伞形集气罩收集后的恶臭气体通过负压引风机输送至生物除臭系统进行处理,除臭系统采用生物吸收-生物过滤组合工艺,其中生物过滤单元填充聚氨酯填料,系统有效体积为 51.6 m³,气体停留时间为 33 s。当系统稳定运行 60 d 后,对系统进气口和出气口的硫化氢和氨浓度进行了监测,结果见表 4。

表 4 硫化氢和氨的进、出气浓度及去除率

Tab.4 Inlet and outlet gas concentration and removal rate of hydrogen sulfide and ammonia

项目	进气浓度/(mg·m ⁻³)	出气浓度/(mg·m ⁻³)	去除率/%
硫化氢	3.62±0.27	0.027±0.010	99.25
氨	25.30±0.19	0.15±0.01	99.41

表 4 结果表明,在恶臭气体的收集和处理系统稳定运行时,硫化氢和氨的进气浓度分别为(3.62±0.27) mg/m³和(25.30±0.19) mg/m³,而出气浓度分别为(0.027±0.010) mg/m³和(0.15±0.01) mg/m³,均满足《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)规定的一级厂界排放标准,硫化氢和氨去除率分别高达 99.25% 和 99.41%,说明该系统具有较好的恶臭气体收集处理效果。

5 结论

① 基于城市污水厂各处理设施的结构和空间特点、开放程度及恶臭气体产生特性的不同,不同处理设施恶臭气体的收集和控制方式存在差异。

② 以污泥脱水间为对象,设计出适用于半开放污染源恶臭气体收集的伞形集气罩。该集气罩采用在膜内密闭气体、膜外碳钢骨架悬吊的方式,具有气体收集效率高和收集气量小等优点。

③ 将伞形集气罩与生物过滤除臭装置联合应用于某城市污水厂污泥脱水间恶臭气体的收集和治理,取得了较好的效果。研究结果可为同类设施恶臭气体收集、处理装置的设计和应用提供借鉴和参考。

参考文献:

- [1] BLANCO-RODRÍGUEZ A, CAMARA V F, CAMPO F, *et al.* Development of an electronic nose to characterize odours emitted from different stages in a wastewater treatment plant [J]. *Water Research*, 2018, 134: 92-100.
- [2] 彭淑婧,陈俊,郑海霞,等. 畜禽屠宰污水厂臭气治理工程设计与应用[J]. *中国给水排水*, 2015, 31(22): 70-73.
PENG Shujing, CHEN Jun, ZHENG Haixia, *et al.* Design and application of odorous gas treatment project in slaughterhouse wastewater treatment plant [J]. *China Water & Wastewater*, 2015, 31(22): 70-73 (in Chinese).
- [3] 常功法,刘莉娜,靳芳,等. 污水厂除臭工程废气收集方法[J]. *环境工程*, 2009, 27(增刊): 194-195.
CHANG Gongfa, LIU Lina, JIN Fang, *et al.* The ways to gather waste gas for odor removal in a sewage treatment plant [J]. *Environmental Engineering*, 2009, 27(S1): 194-195 (in Chinese).
- [4] FRECHEN F B. Odour emission inventory of German wastewater treatment plants—odour flow rates and odour emission capacity [J]. *Water Science & Technology*, 2004, 50(4): 139-146.
- [5] 关洪祥. 城市污水处理过程中恶臭气体处理技术评估与控制对策研究[D]. 北京:北京林业大学, 2017.
GUAN Hongxiang. Research on Evaluation and Control Countermeasures of Malodorous Gas Treatment Technology in Urban Sewage Treatment [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2017 (in Chinese).
- [6] 郑斯宇,杨延梅. 污水处理厂恶臭气体控制综述[J]. *给水排水*, 2015, 41(S1): 109-114.
ZHENG Siyu, YANG Yanmei. Control overview on malodorous gas from sewage treatment plant [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2015, 41(S1): 109-114 (in Chinese).
- [7] 李振江,赵丹丹,历红,等. 恶臭气体处理技术在炼化企业污水处理装置中的应用[J]. *环境工程*, 2016, 34(S1): 237-240.
LI Zhenjiang, ZHAO Dandan, LI Hong, *et al.* Application of odor treatment process for wastewater treatment plant in oil refining chemical enterprise [J]. *Environmental Engineering*, 2016, 34(S1): 237-240 (in Chinese).
- [8] 许小平,赵艳,潘婷,等. 污水处理厂除臭工艺收集系统的选择与分析[J]. *中国给水排水*, 2012, 28(22): 54-58.
XU Xiaoping, ZHAO Yan, PAN Ting, *et al.* Selection and analysis of odor collection system in sewage treatment plant [J]. *China Water & Wastewater*, 2012, 28(22): 54-58 (in Chinese).
- [9] 王冬. 污水处理厂构筑物加盖(罩)除臭主要结构形式探讨[J]. *中国给水排水*, 2010, 26(24): 47-50, 54.
WANG Dong. Discussion on structures of odor control covers for units in WWTP [J]. *China Water & Wastewater*, 2010, 26(24): 47-50, 54 (in Chinese).
- [10] 郑理慎,陈志平,王薇,等. 污水厂生物除臭设计中存在的问题探讨[J]. *中国给水排水*, 2011, 27(12): 14-17.
ZHENG Lishen, CHEN Zhiping, WANG Wei, *et al.* Discussion on existing problems in design of bio-deodorization system in sewage treatment plants [J]. *China Water & Wastewater*, 2011, 27(12): 14-17 (in Chinese).
- [11] 郑华春,党小庆,李世杰,等. 印刷过程VOCs废气收集方式选择与优化[J]. *环境工程学报*, 2020, 14(10): 2786-2795.
ZHENG Huachun, DANG Xiaoqing, LI Shijie, *et al.* Selection and optimization of VOCs exhaust gas collection method in printing process [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2020, 14(10): 2786-2795 (in Chinese).

作者简介:冯文韬(1998—),男,山东淄博人,硕士研究生,主要研究方向为污水处理和生物除臭技术。

E-mail:fw980123@163.com

收稿日期:2021-06-30

修回日期:2021-07-25

(编辑:孔红春)