

乳制品企业污水处理技术—生物除臭技术



黄华, 李文涛*, 曹鹏飞, 王磊, 郭峰, 张素霞, 南波

蒙牛乳业(马鞍山)有限公司, 安徽马鞍山 243000

摘要: 污水处理厂内的臭气对周围环境和人体健康危害较大, 需要进行治理。生物除臭技术优势明显, 是恶臭治理的重要发展方向。首先, 本文介绍了最近的污水处理厂恶臭气体净化技术发展, 重点阐述了生物法除臭技术的应用现状, 包括生物吸收法、生物过滤法和生物土壤法等。并且详细介绍了上述方法的工作原理、装置条件和技术特点, 通过分析方法的优劣性来判断其应用前景。最后, 本文以蒙牛乳业(马鞍山)有限公司污水厂为例, 通过对臭气来源的分析, 设计了一套除臭系统。对污水处理厂产生臭气部位进行加盖密封、臭气收集, 并使用生物的方法对收集的气体进行处理。采用“预处理水洗段+生物除臭段”工艺, 设计风量 $20000\text{m}^3/\text{h}$, 臭气最终会分解成二氧化碳, 水和硫酸、硝酸等酸性物质, 其中 H_2S 的去除率可达 95% 以上。该污水处理厂中“生物除臭”技术的应用效果较好, 项目建设简单、运行稳定, 望可以为业界人士提供借鉴和参考。

关键词: 污水处理厂; 生物除臭技术; 应用案例

DOI: [10.57237/j.cear.2024.02.003](https://doi.org/10.57237/j.cear.2024.02.003)

Dairy Enterprise Wastewater Treatment Technology-Biological Deodorization Technology

Huang Hua, Li Wentao*, Cao Pengfei, Wang Lei, Guo Feng, Zhang Suxia, Nan Bo

Mengniu Dairy (Maanshan) Co., Ltd., Maanshan 243000, China

Abstract: The odor in the wastewater treatment plant is harmful to the surrounding environment and human health, and it needs to be treated. Biological deodorization technology has obvious advantages, which is an important development direction of odor control. First of all, this paper introduces the recent development of odor gas purification technology in sewage treatment plants, and focuses on the application status of biological deodorization technology, including biological absorption method, biological filtration method and biological soil method. The working principle, device conditions and technical characteristics of the above method are introduced in detail, and its application prospect is judged by analyzing the advantages and disadvantages of the method. Finally, taking the wastewater plant of Mengniu Dairy (Maanshan) Co., Ltd. as an example, this paper designs a deodorization system by analyzing the source of odor. The smelly parts of the wastewater treatment plant are sealed and collected, and the collected gases are treated by biological methods. Using the process of "pretreatment washing section + biological deodorization section", the design air volume is $20000\text{m}^3/\text{h}$, and the odor will eventually decompose into carbon dioxide, water, sulfuric acid, nitric acid and other acidic substances, while the removal rate of H_2S can reach more

*通信作者: 李文涛, mnliwentao@163.com

than 95%. The application effect of "biological deodorization" technology in the wastewater treatment plant is good, and the project construction is simple and the operation is stable, hoping to provide reference and reference for people in the industry.

Keywords: Wastewater Treatment Plant; Biological Deodorization Technology; Application Case

1 引言

乳制品行业的废水主要来源于设备、管道和场地清洗的污水, 以及可循环使用的冷凝和冷却用水。其中, 设备清洗的废水污染程度较高, 包含蛋白质、脂肪、乳糖、洗涤剂成分, 属于高浓度的有机废水, 在后续处理中易产生臭气。

污水厂内的恶臭气体主要来源于预处理阶段的格栅井、沉砂池和污泥处理阶段的污泥浓缩池等处, 主要是从污水中直接挥发出来[1]。臭气成分复杂, 主要由氨、硫化氢、含氯化合物、卤素烃类等, 臭味散发在大气中会影响周边地区, 且大部分恶臭气体对人体健康危害性较大[2]。因此, 对污水处理厂恶臭废气的治理刻不容缓。

2 恶臭处理技术研究进展

目前, 恶臭气体的治理方法主要包括物理法、化学法和生物法三大类[3]。

2.1 物理法

物理法不改变恶臭物质的化学性质, 只是用一种物质将它的臭味稀释, 或者将恶臭物质由气相转移至液相或固相。常见的方法有稀释法和吸附法。

- (1) 稀释法: 是将有臭味的气体由烟囱排向高空扩散, 或者以无臭的空气将其稀释, 以保证在臭气发生源附近工作和生活的人们不受恶臭的袭扰, 但是易受气象条件的影响, 恶臭物质依然存在[4]。
- (2) 吸附法: 吸附法是利用活性炭、硅藻土等吸附剂能吸附臭气中致臭物质的特点, 达到脱臭的目的。具有净化效率高、设备简单、运行管理容易等特点, 但是必须经常更换吸附剂, 只适用于处理小流量、低浓度废气[5]。

2.2 化学法

化学法是使用另外一种物质与恶臭物质发生反应, 改变恶臭物质的化学结构, 使之转变为无臭或臭味较低物质。常见方法有燃烧法、氧化法和化学吸收法等。

- (1) 燃烧法: 燃烧法是在高温下恶臭物质与燃料充分混合, 实现完全燃烧。这种方法对恶臭净化效率高, 但设备易腐蚀, 消耗燃料, 处理成本高, 易形成二次污染, 只适用于处理高浓度、小气量的可燃性气体[6]。
- (2) 氧化法: 氧化法是利用强氧化剂如臭氧、高锰酸盐等将其氧化成无臭或弱臭物质的方法。这种方法净化效率高, 但是需要氧化剂, 能耗高, 处理费用高。适用于处理大气量的、高中浓度的臭气[7]。
- (3) 化学吸收法: 化学吸收法是将恶臭气体通入到水或酸、碱溶液中, 恶臭物质溶解于水或酸、碱溶液中而达到恶臭物质的去除。这种方法可处理大流量气体, 但是净化效率不高, 吸收剂消耗量大, 易形成二次污染[8]。

2.3 生物法

生物脱臭技术是应用自然界中微生物能够在代谢过程中降解恶臭物质的这一理论开发的大气污染控制新技术。生物法是利用微生物的代谢活动降解恶臭物质, 使之氧化为最终产物, 从而达到无臭化、无害化的目的。生物法脱臭技术具有脱臭效率高、运行稳定、投资少、运行费用低, 净化彻底、无二次污染等优点, 适合处理大流量、低浓度的恶臭气体[9]。最常用的生物处理方法是生物过滤法。

综上所述, 对大流量、低浓度的挥发性有机废气的恶臭气体, 用物理法和化学法都存在投资大、操作复杂, 运行成本高等问题, 生物法比物理法、化学法更具优势, 是恶臭治理的一个发展方向。

3 生物除臭技术

生物除臭法主要有生物吸收法、生物过滤法、生物土壤法和生物滤床法等[10]。

3.1 生物吸收法

生物吸收法(又称生物洗涤法)多采用活性污泥,先将恶臭成分转移到水中,再对污水进行微生物处理。按气液接触方式分可为洗涤式活性污泥法和曝气式活性污泥法两种形式。

3.1.1 洗涤式活性污泥法

该法的原理是将恶臭气体和含悬浮物的泥浆混合液充分接触,在吸收器中把恶臭物质从恶臭气体中去除掉,形成洗涤液,再将洗涤液送到反应器中,通过微生物的代谢活动降解溶解恶臭物质[11]。此方法可以处理大气量的臭气,对脱除复合型臭气效果很好,而且能脱除很难治理的焦臭,操作条件易于控制,占地面积较小,压力损失也较小。但设备费用大,操作复杂而且需要投加营养物质,因而其应用受到了一定的限制。

3.1.2 曝气式活性污泥法

该法是将臭气以曝气的形式分散到活性污泥混合液中,通过悬浮生长的微生物的代谢作用来降解臭气物质。所用设备通常是曝气罐,该方法对多种臭气物质如 H_2S 、胺类化合物、低级醇、低级醛、低级脂肪酸等的处理效果都很好[12]。该法系统简单,十分经济。

3.2 生物过滤法

该法是目前工艺最成熟、应用最广泛的生物除臭方法。在适宜的条件下,使收集到的废气通过长满微生物的填料,臭源物质先被填料吸收,然后被微生物氧化分解为无臭味的产物使臭味得以除去[13]。根据填料的不同,生物过滤法分为生物滤池法和生物滴滤塔。

3.2.1 生物滤池法

该法把收集的臭气先经过加湿处理,再通过生物滤层,利用微生物对恶臭物质的吸附、吸收和降解功能,将恶臭物质吸附后分解成 CO_2 和其他无机物。生物滤池主要包括增湿器和生物处理装置两部分(图1)[14],由鼓风机收集的臭气经增湿装置预处理(有的预处理还包括温度调节、去除颗粒物等)后进入生物处理装置,气

体中的污染物从气相主体扩散到填料外层的水膜并被填料所吸附,最终降解为 CO_2 和水等,处理后的气体从生物滤池的顶部排出,生物滤池的填料层是具有吸附性的滤料,如土壤、堆肥、活性炭等[15]。堆肥生物滤池因有较好的通气性和适度的通水和持水性,以及丰富的微生物群落,能有效地去除烷烃类化合物如丙烷、异丁烷等,对酯及乙醇等生物易降解的物质处理效果更佳[16]。

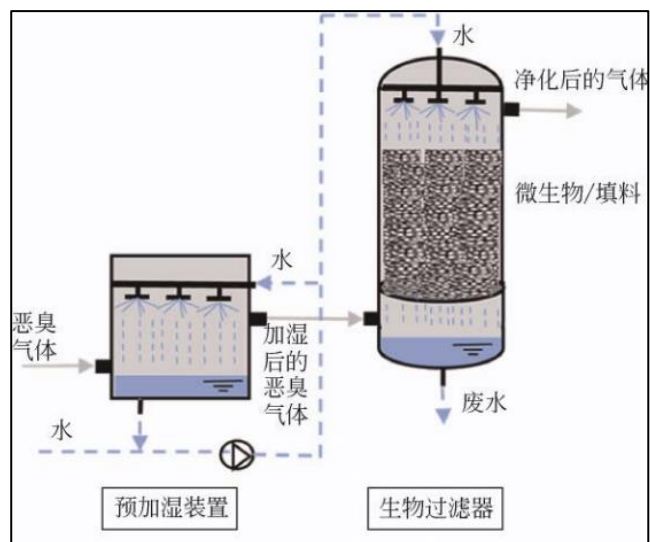


图1 生物滤池法

3.2.2 生物滴滤塔

生物滴滤塔主体为填充塔,内有一层或多层填料,填料表面是由微生物区系形成的几毫米厚的生物膜,含可溶性无机营养液的液体从塔上方均匀地喷洒在填料上,液体自上向下流动,然后由塔底排出并循环利用。有机废气由塔底进入生物滴滤塔,在上升的过程中与润湿的生物膜接触而被净化,净化后的气体由塔顶排出[17]。

3.3 生物土壤法

生物土壤法是以土壤层作为生物滤床的载体,当具有恶臭物质的废气通过生物滤床中的土壤层时,水溶性恶臭气体(如胺类、硫化氢、低级脂肪酸等)被土壤中的水分吸收去除,而非水溶性臭气则被土壤表面物理吸附,在孔道表面、微生物细胞表芯或薄膜水层中,被微生物完全氧化并转化为 CO_2 、水和微生物细胞物质等,以达到除臭的目的。此种方法主要是利用生物土壤除臭过滤器,其工作原理见如图2所示[18]。从各构筑物收集的臭气首先被鼓风至穿孔管分配系统,

然后缓慢地向上通过生物土壤滤层，臭气中的硫化氢和有机气体被吸附在土壤滤层颗粒表面及滤层中的微生物细胞表面上，通过微生物代谢作用氧化为二氧化

碳和水，最终以扩散气流的形式从生物土壤滤层表面离开，臭气得到处理。土壤法除臭技术受土壤床体、填料、湿度、温度和设计负荷等的影响[19]。

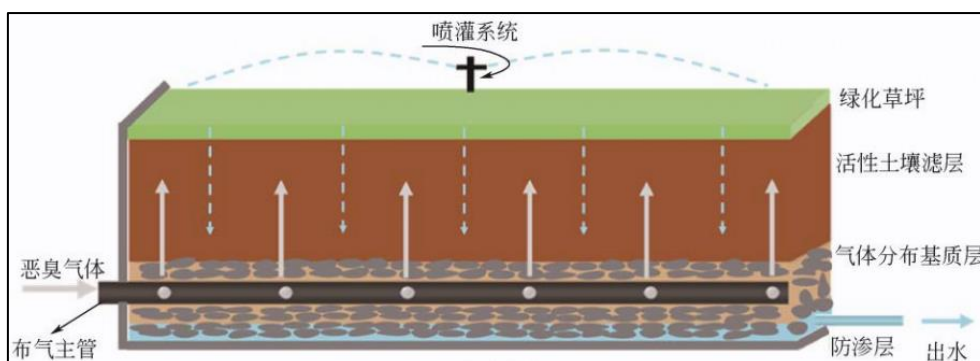


图2 土壤生物除臭法

3.4 生物滤床法

将气体收集并加湿后通过管道输入生物滤床底部，使其扩散于土壤内，臭气中多种污染成分溶于水后吸附于土壤颗粒表面，经过一段时间在土壤颗粒表面可逐渐培养出针对致臭物质的微生物，并可不断将致臭物质分解，完成脱臭[20]。生物滤床法的工艺流程为：臭气收集→风管输送→抽风机→预洗池加湿→生物滤池→排气。滤床填料可采用海绵、干草、贝壳、果壳及其混合物等。

4 恶臭气体产生来源分析

4.1 废气污染物产生来源分析

本文以蒙牛乳业（马鞍山）有限公司实际生产状况和污水臭气处置情况为例，简述废气处理技术。废气污染物主要来源于污水处理厂，主要废气源为一期废水调节池和厌氧池，四期废水调节池、厌氧池和水解酸化池。每池面积和废气产生量如表1所示：

表1 废气污染物产生来源统计表

污水池名称	池体面积 (m ²)	换气体积 (m ³)	换气次数 (次)	所需风量 (m ³)
一期厌氧池	30×20=600	300	10	3000
四期厌氧池	20×9.6=192	150	10	1500
四期调节池	29.6×16.6=491.36	250	6	1500
水解酸化池	50×40=2000	1000	8	8000
一期调节池	25.9×18.5=479.15	720	6	4320
合计	/	/	/	18320

4.2 污染物产生和封闭系统

根据设计资料和废水处理工程设计方案，废水池产生的废气种类复杂，主要是H₂S、甲烷、硫醇及其他小分子含硫有机物。蒙牛乳业（马鞍山）有限公司污水收集池为地埋式，每个收集池留有φ500人孔，本文设计方案利用原有人孔，通过引风管将臭气送入废气治理系统，调节池无需加盖。2只厌氧池为敞开式，需要玻璃钢加盖收集，盖子上预留通风口通过风管将臭气输送到除臭系统。水解酸化池有一半是加了盖板的，另外一半也需要加玻璃钢盖板收集，方式同厌氧池相

同。考虑到部分池体距离较远，设计增加轴流风机加压，以确保抽风效果良好。

5 废气收集及输送系统设计

与密封系统一样，作为臭气控制和处理系统的一个重要组成部分，废气收集及输送系统设计也是一个极为重要的关键要素。废气收集及输送系统设计得合理与否很大程度上影响着整个臭气控制和处理系统的处理效果。

5.1 收集管路系统设计

- (1) 在无详细致臭物质浓度的情况下，臭气流量通常用空间换气方式确定。其规模与收集空间和操作环境有关。
- (2) 输送管道：输送管道采用 PP 圆形管道。

5.2 废气收集部分风量计算及净化效率

5.2.1 风量计算

污水处理厂提供数据及表 1 格所示，所需总的处

理风量为 18320m³/h，考虑到漏风系数，本方案设计风量为 20000m³/h。

5.2.2 排放标准确定

根据企业所处位置 and 当地环保管理部门的要求，为满足中华人民共和国大气污染物综合排放标准，蒙牛乳业（马鞍山）有限公司废气排放执行《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）中二级标准。

表 2 《恶臭污染物排放标准》（GB14554-93）中二级标准

污染物	最高允许排放浓度（mg/m ³ ）	最高允许排放速率（kg/h）		无组织排放监控浓度限值	
		排气筒高度（m）	排放量	监控点	浓度（mg/m ³ ）
氨	/	20	1.7	周界外浓度最高点	1.5
		20	0.58		
		15	4.9		
		20	8.4		
H ₂ S	/	15	0.33	厂界浓度	0.06
		20	0.58		
臭气浓度	/	15	2000（无量纲）	厂界浓度	20（无量纲）
		25	6000（无量纲）		

根据提供的废水站废气的排放基本情况，综合考虑了风量、浓度、温度、废气组成情况以及生产安全诸多因素，经过周密计算反复优化设计确定了工艺流程和设计参数。根据工艺流程又充分考虑到被净化物质的的性质以及各个参数，从材料选用、设备占地面积、投资等方面优化来进行设备设计及选型。

表 3 设计废气处理风量一览表

处理风量	污染物成分	臭气浓度	废气温度	净化效果
20000m ³ /h	硫化氢、硫醇、硫醚、氨、甲烷、甲醇、二甲苯、臭气浓度等	<10000	常温	达标排放

6 除臭工艺原理及介绍

本工程采用的除臭工艺为“预处理水洗段+生物除臭段”工艺，其中生物除臭段为主体工艺，如图 3 所示。

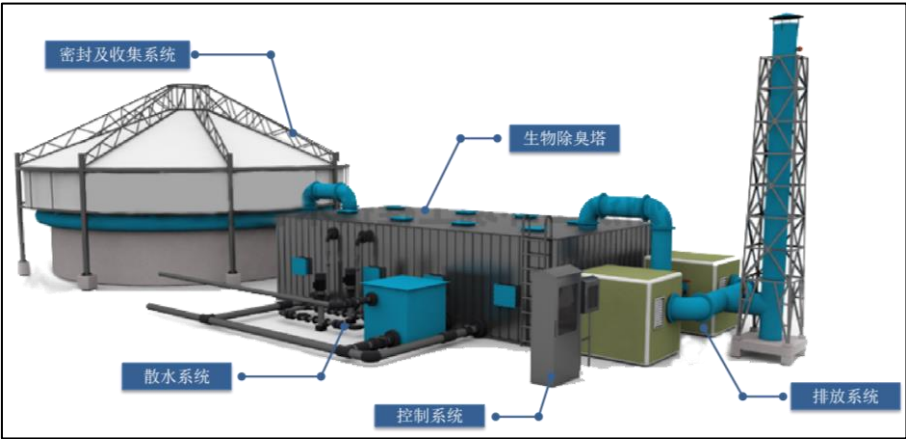


图 3 生物除臭系统模拟图

6.1 预处理水洗/化学除臭段

进气分配室、洗涤池体、鲍尔环填料、喷淋系统、循环水池、尾气收集室、循环水泵等部分组成。抽吸过来的臭气先进入分配室，经配气后进入洗涤池体，臭气从池底送入，经气体分布器分布后，在填料表面与喷淋液在逆流连续、充分接触条件下进行传质，池内填料层作为气液两相间接接触的传质介质，底部装有填料支承板，填料以无序方式堆置在支承板上。喷淋液从池顶经液体分布器喷淋到填料上，并沿填料表面流下。臭气先进行水洗喷淋，去除臭气中的粉尘、 NH_3 以及少量 H_2S 、 CH_3SH 等气体，氨气溶于水形成碱性溶液，循环喷淋可去除臭气中的 H_2S ，同时吸收少量有机臭气污染物。喷淋洗涤池上设置了监视窗和检修人孔以便于人员进行监视洗涤塔的工作状况是否正常以及及时更换老化的填料。为了避免尾气排放夹带液滴，

在净化装置顶部设置气水分离器。池内喷淋液循环使用，在使用过程中会有部分损失和消耗，需要定期更换喷淋液。

水洗采用自来水作为水源，定期补充进入系统，定期排放。可通过在线设备进行控制，也可以在系统调试正常后，根据时间确定补充水量。

6.2 生物除臭段

生物除臭采用塔体形式，下层为布气空间（小阻力布气），中间为填料层，上层为气体收集空间，兼做洒水的空间。臭气经过生物除臭塔，其中的臭气成分被填料捕集，并被生长在填料上的微生物作为食物分解掉，最终变成稳定的无机物如二氧化碳，水，硫酸，硝酸等物质，排放在液相中，随着散水的进行，排出除臭系统。

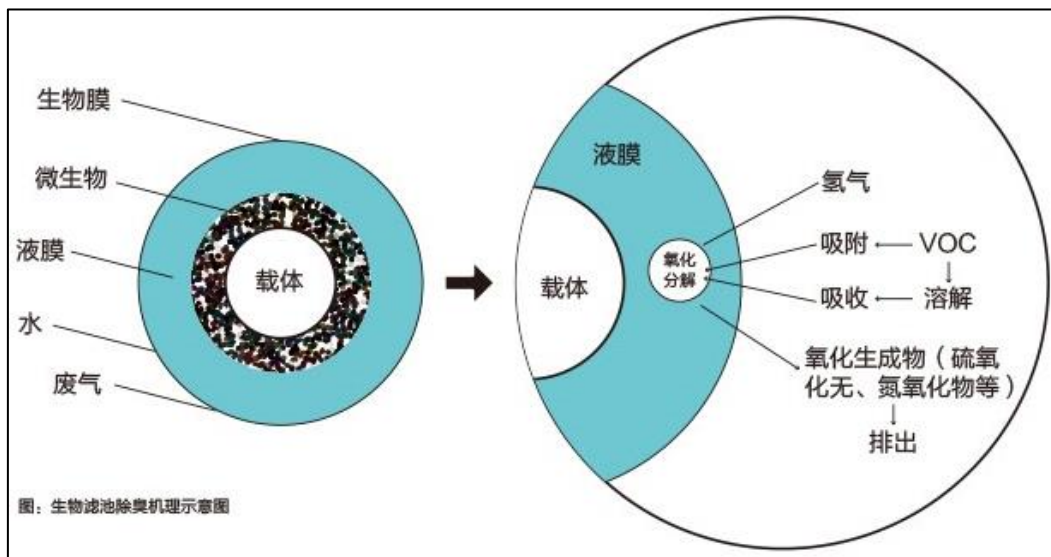
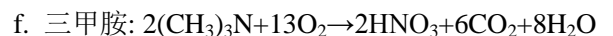
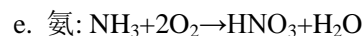
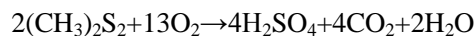
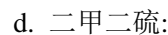
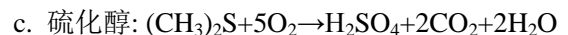
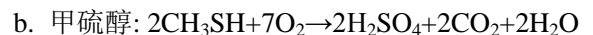
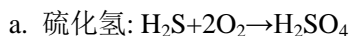


图4 生物段除臭原理图

如图4所示，生物除臭的过程大致如下：

- (1) 恶臭气体接触到受散水而湿润的充填材（生物媒）表面的水膜而溶解。
- (2) 溶解于水中的恶臭成分被栖息于充填材（生物媒）上的微生物吸收分解。
- (3) 被吸收的恶臭成分也成为微生物的营养源被吸收、氧化、分解、利用。

以上三种现象是同步地持续进行，过程中，微生物分解恶臭过程中可能有以下几种反应：



从以上的反应所示，臭气成分会分解成二氧化碳，水和硫酸、硝酸等酸性物质，适当的散水能冲掉这些酸性物质，以保持适当的微生物生长的环境。根据工程经验及实验研究，生物除臭段对 H_2S 的去除率为95%~100%。



图5 项目建设现场图

7 结论

乳制品行业污水处理站臭气处理技术已经发展多年，生物除臭技术是应用前景最广、发展潜力最大的环境友好型处理技术。通过生物菌种和碳质载体填料，具有强大的吸附和处理能力，能够有效减少臭气污染物的排放。依据生态环保要求，通过生物除臭技术实现污染物减排，绿色生态发展，为全国乳制品相关行业提供实践经验。

参考文献

- [1] 李静雯. 某污水处理站除臭工程设计 [J]. 广东化工, 2024, 51(01): 100-102+120.
- [2] 方珺, 房俊, 严欣茹, 等. 生物除臭系统在污水处理厂的设计应用 [J]. 设备管理与维修, 2015, (07): 84-86.
- [3] 丁海燕. 某城镇污水处理厂除臭工艺案例分析 [J]. 山西建筑, 2021, 47(23): 145-147.
- [4] 黄丹. 某化工厂污水处理站除臭系统升级改造实例 [J]. 广东化工, 2023, 50(08): 157-159.
- [5] 吴见平, 靳紫恒, 长英夫, 等. 污水处理厂生物除臭技术及其应用进展 [J]. 化工进展, 2021, 40(05): 2774-2783.
- [6] 张煜婷. 微生物除臭技术在污染治理中的应用研究 [J]. 工业微生物, 2023, 53(01): 42-44.
- [7] 李歆. 污水处理厂生物过滤除臭技术研究 [J]. 广东化工, 2010, 37(07): 200-201.
- [8] 洪和琪. 乳制品废水处理技术研究进展 [J]. 沈阳大学学报 (自然科学版), 2016, 28(03): 203-205.
- [9] 毕研娇. “生物除臭”技术在污水处理厂中的应用 [J]. 皮革制作与环保科技, 2020, 1(05): 100-102+105.
- [10] 陈敢, 高子慧, 何拓, 等. 恶臭污染治理的研究进展及展望 [J]. 福建师范大学学报 (自然科学版), 2023, 39(01): 1-6.
- [11] 徐宁宁. 化工废水处理中生物除臭技术应用分析 [J]. 化工管理, 2020, (29): 80-81.
- [12] 杨宇强. 生物除臭技术在污水处理厂中的应用 [J]. 江西建材, 2021, (07): 252-253.
- [13] 黄志杰. 污水处理厂生物除臭技术的研究与应用 [J]. 当代化工研究, 2022, (14): 73-75.
- [14] 李聪暖, 卿宁, 罗儒显. 污水处理厂中常用的除臭技术 [J]. 材料研究与应用, 2010, 4(04): 402-405.
- [15] 黄淑玲. “生物除臭”技术在污水处理厂中的应用 [J]. 科技与企业, 2014, (02): 130.
- [16] 林冰, 王永广, 黄哲, 等. 生物滤池在污水处理厂除臭中的应用 [J]. 山东化工, 2020, 49(19): 228-230+232.
- [17] 王艳, 王—宁. “生物除臭”技术在污水处理厂中的应用 [J]. 资源节约与环保, 2017, (12): 52+54.
- [18] 孔德英, 白新安. “生物除臭”技术在污水处理厂中的应用 [J]. 科技与企业, 2013, (09): 155.
- [19] 李林, 魏忠庆. 城镇污水处理厂生物除臭工程设计要点及实例 [J]. 中国市政工程, 2016, (04): 76-79+106.
- [20] 祖柱. 二级生物滤床在去除恶臭气体中的应用 [J]. 清洗世界, 2021, 37(09): 8-9.