

城市污水厂除臭技术的应用综述

沈东平^{1*} 方卫² 张甜甜²

(1. 嘉兴市污水处理工程建设指挥部 浙江 嘉兴 314001)

(2. 广东省微生物研究所 广东省菌种保藏与应用重点实验室 广东 广州 510070)

摘要: 对目前国内外污水厂除臭技术的现状进行了综述, 介绍了目前应用于城市污水厂恶臭污染治理的多种技术, 并对其优缺点进行比较。分析结果表明, 水洗法和喷淋法简单易行, 但对臭气的去除率较低; 药剂吸收法和活性炭吸收法可以达到较好的去除效果, 但是运行费用较高; 而生物除臭法对臭气的去除率高、运行费用低、无二次污染, 是一种较为经济有效的除臭技术, 也是今后污水厂除臭技术的主要发展方向。

关键词: 城市污水厂, 除臭, 生物法

A Review on Application of Odor Removal Technology in Municipal Wastewater Treatment Plants

SHEN Dong-Ping^{1*} FANG Wei² ZHANG Tian-Tian²

(1. Jiaxing Wastewater Treatment Engineering & Construction Headquarters, Jiaxing, Zhejiang 314001, China)

(2. Guangdong Institute of Microbiology, Guangdong Provincial Key Laboratory of Microbial Culture Collection and Application, Guangzhou, Guangdong 510070, China)

Abstract: The development of odor-control technology currently used in domestic and overseas was reviewed in this paper, various technique used to control the odor gases generated from municipal wastewater treatment plants were introduced, and the advantages and disadvantages of each present method of removal technology were compared. The compared result indicated that water washing and spewing was easy to do but had low removal rate. The method of chemical absorbing and active carbon can remove most of the odors, but the expense is also very high. Biotechnology was economical and effective. It can keep high removal rate with no secondary contamination and will be extensive applied in the odor treatment of municipal wastewater treatment plants in future.

Keywords: Municipal wastewater treatment, Odor removal, Biotechnology

城市污水在收集和长距离管道输送过程中, 废水中的蛋白质等有机污染物在厌氧微生物的作用下会产生 H_2S 、 NH_3 、 CH_4 、甲硫醇及 VOCs 等各种恶臭气体, 在污水厂的格栅间和沉砂池由于水流紊动而散发出来; 生化池的剩余污泥在进行浓缩时也会

释放大量恶臭气体。恶臭气体不仅会腐蚀厂区的设备, 影响污水厂和周边居民的工作、生活环境, 还对人的身体健康造成巨大的危害, 引起恶心、呕吐、甚至有可能引发畸变、癌变等作用。因此, 污水厂的恶臭气体治理日益成为一个关注的焦点。

* 通讯作者: Tel: 86-573-82511383; ✉: jxswsdp@zj.com

收稿日期: 2008-05-06; 接受日期: 2008-06-10

本文综述了国内几种主要的用于污水厂恶臭污染治理的技术,比较了不同技术的优缺点和应用范围。期待生物除臭法在国内能得到更为广泛的应用。

1 水洗涤和药剂吸收法

利用恶臭气体中主要污染物 H_2S 、 NH_3 易溶于水的特性,收集后的臭气进入喷淋塔,通过气液交换,使恶臭气体污染物从气相转移到液相,从而达到除臭的目的。水洗涤法简单易行,费用较低,但由于恶臭物质在水中的溶解度有限,洗涤水必须经常更换,需要消耗大量的水,并且溶解度低的恶臭气体很难得到有效去除。

药剂清洗是利用恶臭气体能与某些化学物质发生化学反应的特性,如利用 NaOH 去除废气中的 H_2S ,利用 H_2SO_4 去除废气中的 NH_3 等。相对于用水直接洗涤,化学吸收提高了恶臭气体的吸收效率,去除率较高,但是由于在实际运行中需要针对污染物的成分采用几种药剂分级吸收处理,增加了安装和运行费用,很容易造成二次污染,现已较少使用。

深圳市滨河污水处理厂三期^[1]工程除臭系统设计规模为 $7 \times 10 \text{ m}^3/\text{h}$ 。该工程即采用化学除臭工艺,处理后的臭气浓度达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)的一级标准,主要臭气源得到有效控制,除臭效果显著,工程投资为 2400 万元,运行费用为 413 万/a,工艺流程见图 1。

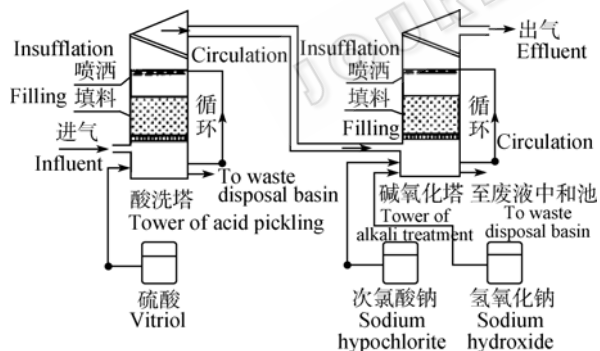


图 1 化学法除臭系统工艺流程图^[1]

Fig. 1 Flow chart of chemical method for deodorization^[1]

南京城北污水处理厂采用湿式化学二级除臭方法^[2],设计恶臭污染物源强 $\text{NH}_3\text{-N}$: $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ 、 H_2S : $5 \text{ mg}/\text{m}^3$,设计净化后去除效率达 99.2%。

2 活性炭吸附法

活性炭具有较大的比表面积,通常在 $700 \text{ m}^2/\text{g}$ ~

$1400 \text{ m}^2/\text{g}$ 之间,因此具有很强的吸附性。活性炭对各种物质的吸附效率跟恶臭物质的化学性质有很大的关系,如对硫化氢的吸附性很高,而对 NH_3 的吸附性稍差。国内生产的活性炭基本上是广谱吸收型的,对所有的污染物都能吸收,但去除率较低。在实际工程应用中一般采用不同性质的活性炭,分别去除中性、酸性和碱性的臭气物质。

近年来国外一些公司进行了催化活性炭的研究,催化型活性炭是烟煤基带增强催化能力的颗粒活性炭,在吸附过程中,催化型活性炭将 H_2S 与氧都吸附在其表面上,发生催化氧化作用,产生 90% 以上的 H_2SO_4 和少量的 H_2SO_3 和 S 。催化型活性炭具有一定的除臭效率,可处理多组分的恶臭气体,但费用比较昂贵,吸附饱和后需要反冲洗再生,再生后的吸附能力明显降低。而且一般最长使用寿命只有 5 年。同时,对待处理的恶臭气体要求高,如臭气温度不能太高,以免影响吸附;不能有较高的含尘量,否则很容易堵塞填料床,系统压力损失增加。

由于运行费用高,活性炭法一般应用于风量较小、臭气浓度较低、出气要求较高的废气处理,也经常作为其它除臭方法的后处理。广州市猎德污水处理厂污水泵站采用催化型活性炭除臭装置对产生的臭气进行净化^[3]。结果表明,催化型活性炭除臭系统对泵站的主要恶臭污染物 H_2S 和 NH_3 的平均去除率分别为 97.9% 和 86.7%,对臭气浓度的平均去除率为 87.4%;厂界的 H_2S 及 NH_3 浓度均可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)的要求。反冲洗再生频率、压降和气体停留时间是影响除臭效果的主要因素。

3 燃烧法

燃烧法分为直接燃烧法和触媒燃烧法。直接燃烧法是使臭气在高于 600°C 的情况下燃烧达到除臭的目的。与直接燃烧法相比,触媒燃烧法在燃烧过程中使用了催化剂,可有效降低臭气燃烧的温度,减少臭气燃烧的反应时间。理论上触媒燃烧法更为经济有效,但是实际上触媒燃烧法也存在催化剂中毒、堵塞等需要解决的问题。燃烧法初期设备投资较大,而且如果不回收热值,其运行成本也相当高。因此,总体说来燃烧法较适合于处理高浓度、高热值的废气,在城市污水除臭中应用较少。

4 微生物/植物提取液喷淋法

微生物/植物提取液中含有大量的多聚糖、活性肽、酶等种类繁多的代谢产物, 这些代谢产物的存在能直接与空气中的臭气物质反应, 使其发生物理或化学上的变化, 从而消除恶臭污染。例如多聚糖等产物具有较大的吸附能力, 能有效吸附空气中的恶臭物质, 减少空气中恶臭物质的浓度; 酶则能直接利用恶臭物质作为底物催化生成其他物质, 从而消除恶臭。

在应用中, 提取液通常经过微乳化技术乳化, 雾化后的提取液均匀分散在空气中, 与臭气分子充分接触, 捕捉并去除臭气分子, 以达到除臭的目的。此种方法方便易行, 但是对臭气的去除率一般; 且在运行过程中需要消耗大量的提取液, 运行成本较高; 雾化提取液本身对厂区设备和场内工作人员的身体健康都有一定影响, 因此其应用也较少, 一般只作为应急措施。

国内, 竹园第一污水处理厂针对主要污染源 H_2S 、 NH_3 和臭气浓度确定了该厂除臭工程的范围(生物絮凝反应沉淀池的进水端和出水槽、污泥浓缩池、污泥脱水机房)^[4]。经方案比较选确定了采用天然植物提取液除臭方法。结果表明, 采用天然植物提取液除臭方法可使该污水厂的 H_2S 和 NH_3 指标达到厂界排放要求, 但对臭气浓度的去除效果尚待提高。除臭原理见图 2。

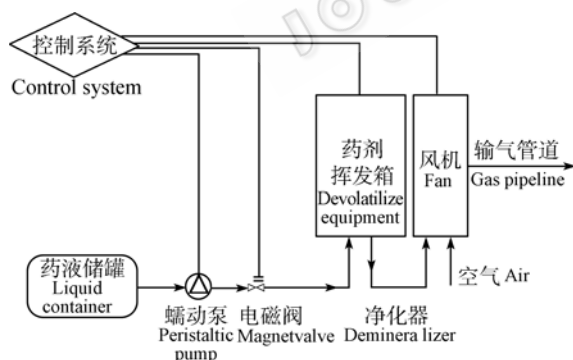


图 2 天然植物提取液除臭原理图^[4]

Fig. 2 Flow chart of plant extract for deodorization^[4]

5 高能离子法

高能离子法是通过高频高压电场将空气激发为强氧化基团, 再通过高能电场加速器将活性基团进一步激发并发射出高能离子, 高能离子束与高能紫

外线产生光化学反应, 使空气当中的恶臭气体快速打开化学键, 分解成 CO_2 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和水等; 离子发生装置发射离子与空气中尘埃粒子及固体颗粒碰撞, 使颗粒荷电产生聚合作用, 形成较大颗粒靠自身重力沉降下来, 达到净化目的; 高能离子还可以有效降低室内细菌浓度, 将恶臭物质转变成无臭或弱臭物。

高能离子法对多种恶臭气体都有去除效果, 设备简单, 运行管理方便。然而在实际运行中, 高能离子净化法效果欠佳, 原因如下: 1) 臭气经过高能离子净化器后直接排放, 这种运行模式下恶臭气体与高能离子没有足够的反应时间, 大部分高能离子并没有与恶臭气体接触便在大气中衰减; 2) 高能离子的衰减速率较快, 实际释放出来与恶臭气体反应的离子数量大大降低; 3) 使用寿命不长, 性能降低后需要更换, 运行成本较高; 4) 高能离子具有很强的氧化作用, 可腐蚀设备, 影响人体健康。

高能离子净化系统在欧洲主要应用于医院、办公楼、公众大厅等, 近些年逐步开发应用于污水处理厂和污水提升泵房的脱臭方面, 在法国、英国、苏格兰、瑞典等国的应用实例很多。

利用低温等离子体处理恶臭气体是项新技术, 低温等离子体技术在国外已被应用于烟气脱硫脱硝、降解氟利昂类物质、治理 VOC 废气等研究^[5], 与其它污染治理技术相比, 具有处理流程短、效率高、能耗低、适用范围广等特点, 在国内应用实例较少。该技术在污水处理厂的运行结果表明^[6-8], H_2S 、 NH_3 、 CH_4 、 $-\text{SH}$ 这类恶臭气体的去除率分别达到 81.3%、88.1%、84.4%, 可消除恶臭气体对周围环境的影响。

6 生物法

生物除臭技术处理效率高、无二次污染、所需的设备简单、易操作、费用低廉、管理维护方便, 是城市污水厂应用最广泛的恶臭处理技术。目前污水厂的生物处理技术主要有 4 种: 生物滤池、生物滴滤池、生物洗涤池和腐殖活性污泥法。

目前国内对除臭生物菌种进行系统、深入研究的机构并不多, 进行除臭微生物应用研究的更少。

6.1 生物滤池

生物滤池除臭是用风机将臭气收集起来, 经水洗湿润、除尘后输送到装有生物填料的除臭塔, 废气经过填料滤层时, 恶臭物质被微生物分泌的胞外

<http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>

多聚物吸附并被吸收进入微生物细胞内,在各类酶的催化作用下,经不同的生理代谢途径被分解为简单地无机物。生物学作用是一个酶促反应过程,可以在相当短的时间内完成,反应速度迅速,反应条件温和,不需要高温、高压等剧烈的条件。

生物滤池的填料必须能为微生物提供良好的附着载体,并为微生物提供生长所需的碳源、微量元素等营养,同时还能保持微生物生长环境的相对稳定,如 pH 等。国外对生物滤池的研究较早,其在污水厂的应用实例也较多。

广东省微生物研究所对垃圾压缩站和城市污水厂除臭生物滤池中的除臭微生物进行了研究,并有成功应用到工程实例的报道^[9-11]。

无锡市城北污水处理厂二期工程中的厌氧池除臭工艺采用生物滤池,单座水解池平面尺寸为 56.0 m × 33.6 m,密封罩平均净高为 0.5 m,除臭总空间约为 1900 m³,换气次数为 2 次/h,设计除臭风量为 4000 m³/h (1.12 m/s)。加湿区与生物滤池组成一体式装置^[12]。

成都市沙河污水处理厂对全厂 5 处臭源进行收集采用生物滤池处理,臭气处理后符合 GB3095《环境空气质量标准》规定的二级排放标准;脱臭生物滤池系统,采用集中脱臭玻璃钢生物滤池装置一套,分独立 2 格。Q=70000 m³/h,过滤面积 414 m²。配套采用隔音罩隔音离心风机一台。处理后尾气 20 m 高空管道集中排放^[13]。

青岛市团岛污水处理厂、罗芳污水处理厂二期工程厌氧池、泉州市北峰污水厂、泉州市城东污水处理厂均采用生物滤池除臭。罗芳污水处理厂二期工程厌氧池除臭设备进气 H₂S: 0.75 mg/m³、NH₃-N: 0.5 mg/m³,经生物滤池除臭, H₂S、NH₃-N,除臭效率分别为 93.3%和 90%^[14]。

6.2 生物滴滤池

生物滴滤池与生物滤池的工艺、原理大致相当,不同的是填料。生物滤池一般采用复合填料,其填料能提供微生物生长所需的营养;而生物滴滤池一般采用惰性填料,使用寿命长,如生物膜控制措施合理,可长时间运行而不增加压力损失,能承受更高的负荷,运行稳定、效率高。在运行过程中需要外加营养维持除臭微生物生长的需要以形成稳定的生物膜,可减少占地面积。目前国内市场上还没有针对生物滴滤池工艺开发的填料出售,生物滴滤

池工程中的填料基本为应用于水处理中的塑料球、陶粒等。这些填料一部分由于其疏水性难以挂膜,微生物不能在其上很好生长,造成滴滤池中生物量过低,处理效果降低,如塑料球等;另外一部分则由于孔隙率不够容易造成堵塞,如陶粒等。

因此,生物滴滤池除臭技术的进一步推广应用,必须先开发一种有较大比表面积和合理孔隙率、易于微生物挂膜的填料。由于生物滴滤池在运行过程中需要添加营养物质,其对运行条件的控制更为严格,因此,能更有效地控制处理过程,除臭效率高于生物滤池。

Bram Sercuyin^[16]应用生物滴滤池处理甲硫醚,接种生丝微菌和添加甲醇能促进生物滴滤池的快速启动,在进气甲硫醚负荷为 57 g/(m³·h)时去除率达到 92%。广东省微生物研究所^[15]采用生物滴滤池对广州市某垃圾压缩站产生的低浓度大风量的含氨臭气进行了近一年的连续脱臭试验,在进口氨气浓度 0.8 mg/m³~1.5 mg/m³,风量 8000 m³/h,停留时间 2.5 s 时,氨气去除率为 90%以上,达到国家一级排放水平。同时正在开展生物滴滤池处理化工废气的试验研究,并开发适合气相生物反应器的填料。

6.3 生物洗涤法

恶臭气体通过抽风系统收集到反应塔,与含有悬浮污泥的混合液在反应塔中充分接触,恶臭气体被污泥中的微生物吸附,吸附饱和的活性污泥在曝气池再生后重新用于与恶臭气体的交换。生物洗涤法有较大的生物量,因此可以承受更高的负荷。但是该法设备昂贵,且难处理溶解度低的恶臭气体,运行中需要添加一定的营养物质,运行费用较高。另外生物洗涤池对工艺条件控制要求严格,容易发生污泥膨胀,剩余污泥也需要进行相关处理。因此该法适合于溶解度较高的恶臭物质,目前在污水厂除臭中应用较少。

6.4 腐殖活性污泥法

腐殖活性污泥法是日本在 20 世纪 80 年代开发的新技术,目前该工艺已成功应用于岛内住宅小区污水净化站、山之内水质净化中心、鸟栖市饭田地区和永吉地区农田排水处理站等多个污水处理厂^[17]。20 世纪 90 年代该技术在韩国有了较多的推广应用。腐殖活性污泥法不是在恶臭气体产生后再对其进行处理,而是一种减少恶臭气体产生的技术。该法是在传统活性污泥工艺的基础上增加了填

充腐殖土填料的生物培养装置, 在运行过程中有10%~30%的活性污泥回流进入腐殖土反应器进行处理, 以改善活性污泥特性, 减少恶臭气体的产生。运行结果表明, 该工艺具有脱氮除磷效果好, 污泥产量低, 污泥脱水性好和污泥不产生臭气等显著优点。但是国内尚未有相关工程应用的报道。

7 结语

究竟采用何种处理方法对臭气进行处理, 取决于污水处理系统的运行和维护能力、处理对象、臭气的流量、致臭物质的性质特征与强度等。对于污水处理量较大且臭气成分稳定的污水处理厂, 一般采用生物处理法或化学吸收法进行净化处理; 对于中小型或逸出臭气成分差异较大的污水处理厂, 可采用活性炭进行吸附处理。

生物法应用范围较广, 适合于处理浓度在 5 g/m^3 以下的各种生物可降解的恶臭气体, 这是由微生物体积小、种类多、适应性强、遗传变异快的特点决定的, 只要选择合适的菌种和工艺条件, 都能在填料上形成相应的微生物群落, 包括针对复杂恶臭污染物的各类微生物种群。生物除臭工程规模可根据实际需求设计, 每小时处理能力从几百到十几万立方米的风量。活性炭吸收法只能处理几百到几千立方米的风量, 而在污水厂, 一般产生的恶臭气体量都比较大, 如果采用活性炭除臭技术, 存在工艺复杂、安装和运行成本过高的问题。而其它的物理化学方法如冷凝法、化学吸收、燃烧等方法一般用于浓度高于 5 g/m^3 且有回收价值的恶臭气体治理, 只有这样才能保证合理的运行成本。但在污水处理厂, 主要恶臭物质的浓度远低于 5 g/m^3 , 一般在 0.1 g/m^3 以下, 没有回收的价值。因此, 通过比较现有各种污水厂除臭技术可以看出, 生物法是最为经济有效的适合污水厂恶臭污染治理的方法, 目前在城市污水厂除臭应用中最为广泛, 运行成本远低于物理化学方法, 生物法能彻底去除恶臭物质, 无二次污染产生。目前制约生物除臭技术进一步发展的关键是开发出经济、有效的填料, 这也将是今后生物除臭技术研究的一个热点。

参 考 文 献

[1] 徐维发. 深圳市滨河污水处理厂3期工程除臭系统设计,

中国给水排水, 2007, 23(18): 52-54.

[2] 吴华明, 古杏红, 李 峰. 南京市城北污水处理厂工程设计. 给水排水, 2004, 30(4): 23-26.

[3] 陈运进, 黄 华, 温元洪, 等. 催化型活性炭除臭系统对污水泵站臭气的净化效果. 中国给水排水, 2007, 23(15): 76-78.

[4] 卢义程, 徐灿华, 李天琪, 等. 竹园第一污水处理厂除臭工程设计, 中国给水排水, 2007, 23(16): 46-48.

[5] 许小红, 吴春笃. 低温等离子体处理污水厂恶臭气体的应用研究. 高电压技术, 2007, 33(3): 171-173.

[6] 林和健, 林云琴. 低温等离子体技术在环境工程中的研究进展. 环境技术, 2005, 23(1): 21-24.

[7] Coogan JJ, Greene AE, Kang M, *et al*. Silent discharge plasma destruction of hazardous wastes. *Proceedings of the IEEE International Conference on Plasma Science*. Santa Fe NM, USA, 1994: 87.

[8] Lee HM, Chang MB. Gas phase removal of acetaldehyde via packed-bed dielectric barrier discharge reactor. *Plasma Chemistry & Plasma Processing*, 2001, 21(3): 329-343.

[9] 李建军, 梁燕珍, 陈桐生, 等. 利用生物填充塔处理生活污水厂臭气的研究. 微生物学通报, 2004, 31(5): 89-92.

[10] 罗永华, 邓穗儿, 孙国萍. 一种新型微生物除臭剂的垃圾除臭实验. 城市环境与生态, 2003, 16(3): 23-25.

[11] 罗永华, 方向平, 曹 涓, 等. 微生物除臭剂消除垃圾压缩中恶臭的效果评估. 微生物学杂志, 2004, 24(5): 103-105.

[12] 蒋岚岚, 梁 汀, 沈晓铃. 无锡市城北污水处理厂扩建工程设计. 中国给水排水, 2007, 23(4): 46-48.

[13] 马林伟, 谢秩明. 成都市沙河污水处理厂建设及设计特点. 西南给排水, 2006, 5(28): 1-4.

[14] 陈贻龙, 隋 军, 汪传新, 等. 生物除臭在污水处理厂的应用. 中国市政工程, 2004, (3): 48-50.

[15] 张甜甜, 李建军, 岑英华, 等. 净化低浓度大风量恶臭气体的生物滴滤池中生物膜研究. 微生物学通报, 2007, 34(6): 1052-1056.

[16] Bram Sercu a, Dariela Nunez c, German Aroca, *et al*. Inoculation and start-up of a biotricking filter removing dimethyl sulfide. *Chemical Engineering Journal*, 2005, 113(2-3): 127-134.

[17] 尹 军, 赵 可. 腐殖活性污泥工艺在日本和韩国的应用. 中国给水排水, 2007, 23(4): 101-104.

<http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>