



# 城市污水处理厂生物滤床除臭系统工艺设计

解清杰<sup>1</sup> 吴晓辉<sup>1</sup> 葛建峰<sup>1</sup> 陆晓华<sup>1</sup>

(1. 华中科技大学 环境科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:** 生物滤床作为一种新型的污水处理厂臭气生物处理技术, 在实际应用中取得了快速发展. 介绍某城市污水处理厂生物滤床除臭系统的基本结构、基本设计方法以及其它组成部分的工艺设计, 可以对我国其它城市污水处理厂除臭系统的建设起到借鉴作用.

**关键词:** 城市污水; 生物滤床; 除臭系统

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7037(2006)01-0056-03

生物滤床除臭工艺是将含有恶臭气体的废气收集后通过管道输入改性土壤填料, 废气中的有害成分在改性土壤填料中被生物群落吸附和转化, 完成脱臭. 生物滤床表面可天然生长或人工栽植花草, 形成良好的环境效果. 近年来, 生物滤床除臭工艺以其工艺相对成熟、基建费用低、管理方便、运行稳定且处理效果好在实际应用中取得了不断的发展, 已成为城市污水处理中臭气处理的主流工艺<sup>[1]</sup>. 根据某规模 4 万 t/d 的城市污水处理厂生物滤床臭气处理工程, 介绍了其工艺设计.

## 1 臭气的来源及臭气量

该污水处理厂的臭气主要来源于以下处理单元: 格栅渠、污水提升泵房集水井、旋流沉砂池、CASS 反应池、污泥贮池、污泥脱水车间以及二次提升泵房集水井.

污水厂臭气量的计算可根据水面积确定脱臭气量; 对构筑物上整体加顶, 可根据空间容积确定脱臭气量; 对水池池面局部加盖, 可根据开口面积和风速确定脱臭气量; 也有根据设备的台数确定脱臭气量<sup>[2]</sup>. 设计采用对水池表面局部加盖, 根据开口面积和风速确定总臭气量为 35 500 m<sup>3</sup>/h. 由于我国尚未将城市污水厂的恶臭气体的控制技术归入相关规范, 因此, 设计参考国内外类似污水处理厂臭气产生资料, 确定主要污染指标, 选取恶臭气体中的主要成分硫化氢和氨, 结合我国现行的 GB 14554-93 《恶臭污染物排放标准》, GBZ 2-2002 《工作场所有害因素职业接触限值》及 TJ 36-

79 《工业企业设计卫生标准》确定恶臭气体的排放标准. 硫化氢的设计浓度为 1.0 mg/m<sup>3</sup>, 排放标准为 0.03 mg/m<sup>3</sup>. 氨的设计浓度为 4.0 mg/m<sup>3</sup>, 排放标准为 1.0 mg/m<sup>3</sup>.

## 2 生物滤床基本结构

生物滤床工艺主要由下列部分构成.

- 臭气收集和输送系统. 由臭气集气罩、臭气输送管网、引风机和臭气滤网等组成.
- 床内气体分布系统/扩散系统. 由配气管网、布气管网、散水管网、集水管网及渗滤集水池组成.
- 改性土壤净化系统. 根据进出臭气指标配比改性土壤填料选择一定形式的过滤器、提升设备及加氯设备.
- 加湿系统. 由供水管道、喷头组成及配套加压设备组成.
- 排水系统. 一般采用盲沟或无釉陶管排水.
- 塑料薄膜防渗层. 一是防止床内污水渗出污染地下水, 二是防止地下水渗入影响床体的稳定运行.

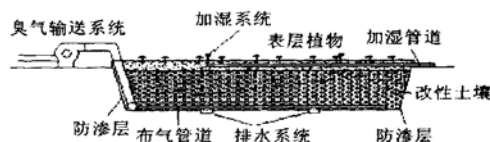


图 1 生物滤床基本结构示意图



### 3 生物滤床设计

#### 3.1 床体设计

恶臭气体中的污染成分在生物滤床中的去除主要分为三个阶段:被床层中的水分吸收;被改性土壤吸收;生物降解。生物滤床的除臭效果受进气浓度、改性土壤组成、微生物特性及床层结构等因素影响。Dennis McNevin 推导出了生物滤床的设计公式<sup>[3]</sup>

$$C_{in} - C_{out} = \mu_0 \frac{\epsilon A Z}{F_g} = \mu_0 \frac{\epsilon Z}{N_s}$$

式中,  $C_{in}$  为进气污染成分浓度 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );  $C_{out}$  为污染成分的排放标准 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );  $\mu_0$  为零级生物降解速率常数 ( $\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ );  $\epsilon$  为生物滤床中孔隙度 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ );  $A$  为生物滤床表面积 ( $\text{m}^2$ );  $Z$  为生物滤床高度 ( $\text{m}$ );  $F_g$  为臭气量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ );  $N_s$  为生物滤床表面负荷 ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ )。  $\mu_0$  与床内生物量密切相关, 一般取  $1\,000 \sim 20\,000 (\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$  之间<sup>[4,5]</sup>;  $\epsilon$  与床内填料种类和填充配比相关, 一般在  $0.10 \sim 0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$  之间。为了减少臭气输送系统动力消耗, 床层高度  $Z$  也不宜过深, 一般取  $0.8 \sim 1 \text{ m}$  之间。由此, 根据上式可以计算出  $N_s$ , 进而得出表面积  $A$ , 确定生物滤床的尺寸。

生物滤床的高度由三部分组成: 底部布气层由多孔布气管和卵石透气层组成, 其高度为布气管管径加  $200 \sim 250 \text{ mm}$ ; 改性土壤填料层由土壤和腐木块、煤渣、脱水污泥、泥炭块、树皮及石灰石组合而成, 层厚  $700 \sim 1\,000 \text{ mm}$ ; 表层植物层由土壤和直径  $5 \text{ mm}$  左右的碎石组成, 层厚  $150 \text{ mm}$ 。

#### 3.2 改性土壤填料的选用

床内改性土壤填料应具有以下特点<sup>[6]</sup>: 填料应具有一定的孔隙率, 以利于水分的下渗以及空气和臭气的流通; 填料应具有较高的比表面积, 保证床内具有较高的生物量。为此, 对滤床填料进行配置: 布气层的填料一般采用粒径为  $60 \sim 100 \text{ mm}$  的砾石, 分布于整个床宽; 改性土壤填料层上生长的微生物承担了物质转换的任务, 因为微生物生长需要足够的有机养分, 所以填料必须具有高的有机成分。利用改性土壤填料作为生物滤床中的主体介质处理臭气中的污染成分, 以粒径  $30 \text{ mm}$  左右腐木块 (泥炭块) 及煤渣为主 (占总体积的  $70\%$  左右), 既可避免土壤压实, 还能够增加微生物反应的表面积, 适应较大的污染物冲击负荷。同时, 在土壤中加入脱水污泥及树皮 (大约占总体积的  $20\%$ ), 含有各种微生物, 还具有保持水分和

养分的能力。生物滤床系统长期使用后, 有毒物质会不断积累, 发生酸化, 影响微生物生长。应及时加入石灰, 石灰石的投加比例为  $1\%$  (质量比), 调整  $\text{pH}$  值或更换介质。本设计选用钙含量  $20 \sim 25 \text{ g/kg}$  的混合土, 以利于提高系统对酸的缓冲能力。表面植物层由土壤和碎石组成, 碎石是为了保证足够的通气速率, 废气通过速度以  $0.3 \sim 1.0 \text{ m/min}$  为宜。由于表层土壤在浸水后会有一定的下沉, 因此, 建造时填料表层标高应高出设计值  $10\% \sim 15\%$ 。另外, 床体顶面应略高于地面, 防止雨水对系统的影响, 本设计采用高于地面  $100 \text{ mm}$ 。

### 4 其它设计问题

生物滤床的基本尺寸确定后, 还需考虑如场地选择、进气系统的布置及自动控制等一些具体问题。要使床内微生物保持高的活性, 还必须为之创造一个良好的生存条件, 适宜的湿度和营养等。

a. 场地选择, 应尽量选择有一定自然坡度的洼地或利用价值不高的空闲场地, 以减少土方工程量, 利于排水, 降低投资。为了降低臭气输送系统投资, 一般应选择靠近最大臭气源。

b. 收集与布气系统的布置。污水处理厂的废气经气罩收集, 然后由风机送到生物滤床系统处理。风机应选用玻璃钢材质离心风机, 每个构筑物配用一套风机系统, 包括电机、控制柜、防振垫、轴承座、风门及调节阀等。送气采用高密聚乙烯管, 焊接连接。布气管道采用有狭缝的高密聚乙烯波纹管, 焊接连接, 狭缝尺寸规格应符合系统布气要求。为防止受紫外线的降解, 管材树脂中应均匀加入不少于  $2\%$  的碳黑加以保护。

c. 加湿系统。对于生物滤池的运行, 湿度可能是最重要的一个参数。很多情况下, 生物滤池的问题均是由于忽视湿度的控制造成的。湿度太低则水溶性恶臭成分难以及时进入液相, 且造成填料易干燥, 既影响了整体除臭效率, 又使得代谢产物不易排出滤床。当生物滤池的湿度过高时, 传质效率也会受到影响, 且因气体穿过阻力增大还可能造成局部厌氧而影响除臭效率。影响滤池湿度的因素包括加湿系统、新陈代谢产生的热量、阳光辐射、辐射热转移、传导热转移及降雨等, 尤其注意由于蒸发、蒸腾的失水量对夏季处理的影响。填料的含水率控制在  $10\% \sim 25\%$ 。加湿系统有水喷雾系统和底部排水系统。水喷雾系统由控制阀、滤网、压力水管和喷嘴组成。喷嘴安装于风机管道和生物滤床表面, 分别对臭气和床体进行加湿。安装



于管道上的喷嘴为喷雾喷嘴,水源为自来水;安装于床体表面的喷嘴为常规灌溉喷嘴,水源为引自该污水厂泵房出水管的污水(除加湿作用外,可为床体内微生物补充营养)。排水系统,多余的水分必须能够很容易地从生物滤床排出以防止厌氧条件的形成,排出的水返回污水处理系统。

d. 防渗层设计. 为防止滤床系统因渗漏而造成地下水污染,要求在工程时尽量保持原土层,在原土层上设置防渗层. 防渗层的设置方法有多种,如采用厚度为 0.5~1.0 mm 的高密度聚乙烯树脂,或油毛毡密封铺垫等. 本设计采用塑料薄膜防渗,为防止床体填料尖角对薄膜的损坏,施工时可在塑料薄膜上预铺一层细砂。

e. 草皮的栽种. 生物滤床系统设计在选择植物物种时,可根据耐污性、生长适应能力、根系的发达程度、经济价值和美观要求确定,也要考虑因地制宜。

f. 控制系统. 床内设  $H_2S$  自动检测和报警装置,将  $H_2S$  浓度控制在  $0.03 \text{ mg/m}^3$  以下. 除臭装置可根据  $H_2S$  的浓度调节抽风机的开启台数或风量,整套系统可自动运行。

## 5 系统启动与运行

生物滤床臭气处理系统的启动一般要经历两个阶段:床内生物驯化、表层植物复活阶段;优势生物培养、处理效果良好的稳定成熟阶段. 在启动阶段,一定的湿度和温度条件下,向床内送入低浓度臭气,逐渐使床内生物适应臭气环境,使优势生物的量逐渐增加,促进生物对臭气中污染成分的去除. 当臭气去除率达到并稳定在 85% 以上后,提高进气臭气浓度,直至达到设计要求. 表层植物

的复活通过最初阶段保持植物根系的湿度和较高营养,一般经过 7~10 d,植物即可复活. 当系统进入稳定成熟阶段后,系统处于动态平衡,床内生物量高,除臭效果稳定. 生物滤床系统从启动到成熟一般需 1~2 月时间。

生物滤床作为一种新型生态臭气处理技术,具有投资省、运行简便且处理效果稳定等诸多优点,不失为我国城市污水处理厂恶臭气体控制的优选方案. 随着近年来国内外的研究和应用,包括去污机理和动力学模型等理论的进一步成熟,生物滤床必将成为我国污水处理厂臭气控制的重要工艺而得到广泛应用。

### 参 考 文 献

- [1] 尚 魏,王启山,郭 静. 生物过滤除臭技术在城市污水处理厂中的应用[J]. 天津城市建设学院学报, 2001, 7(2): 121-124.
- [2] 羊寿生,张 辰. 污水处理设施中的脱臭技术[J]. 给水排水, 1996, 22(2): 14-17.
- [3] McNevin Dennis, Barford John. Biofiltration as an odour abatement strategy [J]. Biochemical Engineering Journal, 2000, (5): 231-242.
- [4] Pinnette J R, Giggey M D, Marcy G J, et al. Performance of biofilters at two agitated bin composting facilities[A]. Proceedings of the 87th Annual Meeting of the Air and Waste Management Association[C]. Ohio, Air and Waste Management Association, 1994. 178-190.
- [5] Kapahi R, Gross M. Biofiltration for VOC and ammonia emissions control [J], BioCycle, 1995, 36(2): 87-90.
- [6] 朱国营,刘俊新. 污水处理厂的生物滤池除臭技术[J]. 中国给水排水, 2003, 19(8): 23-25.

## Biofilter Bed Design of Municipal Sewage Treatment Plant for Odor Control

XIE Qing-jie<sup>1</sup> WU Xiao-hui<sup>1</sup> GE Jian-feng<sup>1</sup> LU Xiao-hua<sup>1</sup>

(1. School of Envir. Sci. & Eng., HUST, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** As a new type of biological odor control technology, biological filter bed has been developed at a great speed in its application. Based on the odor control system designed in one municipal sewage treatment plant, the bed structure, basic design methods and its attaching composition of biological filter bed are introduced. It can provide basis for the future research and process design of odor control in other municipal sewage treatment plant.

**Key words:** municipal sewage; biological filter bed; odor control system