

污水厂生物除臭设施运行及影响因素的研究

李慧丽¹ 张建新¹ 张荣兵¹ 崔希龙¹ 文 洋¹ 李 琳^{2*}

(1 北京排水集团清河污水处理厂, 北京 100085; 2 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘 要 在污水处理过程中会有大量的恶臭气体产生, 主要含硫化氢和氨等发臭物质。这些臭味物质逸散到空气中, 对污水处理厂及其周边的空气环境造成危害。针对清河污水处理厂原有生物除臭设施除臭效率难以提高的问题, 对气体收集系统和生物除臭滤池内的喷淋管路进行了改造, 并更换了新型生物填料。本研究对改造前后的除臭效果进行了考察, 结果显示, 硫化氢的平均去除率从改造前的 36.5% 提高到 62.9%, 最大去除率可以达到 96.2%; 氨的去除率从 28.2% 提高到接近 100%。臭味气体的处理效果随除臭滤池的温度、气体的相对湿度的升高而提高。为此, 对臭味气体的负荷、流量、温度以及湿度等因素进行了研究, 在温度 > 20 °C、相对湿度 > 80% 的条件下, 生物除臭滤池能够有比较理想的处理效果。

关键词 污水处理厂 生物除臭技术 生物滤池 恶臭 (臭味) 气体

中图分类号 703.3 **文献标识码** A **文章编号** 1673-9108(2007)05-0025-06

Performance of a biofilter treating odors in a sewage treatment plant

Li Huili¹ Zhang Jianxin¹ Zhang Rongbing¹ Cui Xibong¹ Wen Yang¹ Li Lin²

(1. Qinghe Sewage Treatment Plant of Beijing Drainage Group Co., Ltd., Beijing 100085;

2. Research Center of Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085)

Abstract Wastewater treatment processes produce odours, such as hydrogen sulfide, ammonia, which can cause a nuisance to adjacent populations and contribute significantly to atmospheric pollution. A series alterations were adopted to improve the elimination capacity of the biofilter in Qinghe Sewage Treatment Plant. The odors collection systems and spray system were altered, and the fill materials in the biofilter were replaced. Results demonstrated that the average removal efficiency of hydrogen sulfur was improved from 36.5% to 62.9%, and maximum of 96.2% was achieved. The average removal efficiency of ammonia was increased from 28.2% to 100%. The elimination capacities of odors increased with the increasing of temperature and RH. The elimination capacities of odors generated from grid and the effect factors of loading, pH, relative humidity (RH) and temperature in the biofilter were investigated. The biofilter could remove odors effectively when the temperature was above 20 °C and RH was over 80%.

Key words wastewater treatment plant; biological treatment; biofilter; odors

在城市污水处理厂污水与污泥处理过程中有大量的恶臭气体产生, 不仅带来感官上的不悦, 而且对人体健康及生态环境还会造成严重危害。发臭物质主要有硫化氢、氨和硫醇等。随着人类社会经济的发展, 人民生活水平的提高和公众环保意识的增强, 城市污水处理厂在运行过程中所产生的臭气问题, 已经引起社会越来越多的关注。许多发达国家制定了相关的法律法规, 严格控制臭味气体的排放。在设计污水处理系统时, 臭味气体的处理也作为重要组成部分。据报道, 1987 年日本城市污水厂约有 166 座脱臭装置治理恶臭物质^[1~4]。在 20 世纪 90 年代初, 我国就制定了恶臭气体的排放标准 (GB14554-1993), 并开展了相关的研发工作^[5~9]。

相关的排放物标准列于表 1。

污水处理厂臭味气体的特点是量大、浓度低, 目前处理方法主要有空气稀释法、掩蔽法、化学吸收法、化学喷淋法、活性炭吸附法和生物法等^[1,2]。与常规物理化学方法相比, 生物方法具有成本低、操作简便、技术清洁、无二次污染等优点。生物法的原理是利用微生物将臭味气体中的发臭物质转化为无害或低害类物质, 其方法主要有废气直接通入曝气池法、生物滤池法和生物滴滤池法。废气直接通入曝

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50238050)

收稿日期: 2006-07-06; 修订日期: 2007-03-20

作者简介: 李慧丽 (1979~), 女, 学士, 助理工程师, 主要从事污水处理与恶臭气体治理。E-mail: lh_hit616@126.com

*通讯联系人, E-mail: leel@cees.ac.cn

表 1 恶臭污染物厂界标准值 (GB14554-1993)

Table 1 Emission standard for relative odor pollutants (GB14554-1993)

序 号	控制项目	单 位	一级标准	二级标准		三级标准	
				新建改建	现有	新建改建	现有
1	氨	mg/m ³	1.0	1.5	2.0	4.0	5.0
2	硫化氢	mg/m ³	0.03	0.06	0.10	0.45	0.60
3	臭气浓度	无量纲	10	20	30	60	70

气池法是将收集到的废气直接通入曝气池中,有机气
味物质在曝气池中被活性污泥降解。其主要优点是
方法简单,费用低,但除臭效果较差,使得曝气池成为
严重的气味扩散源,因此其应用有较大的局限性。

清河污水处理厂采用了生物滤池方法处理污水
处理过程中散发的臭味气体。检测分析结果表明,
该厂臭味气体中主要发臭物质为硫化氢和氨。生物
除臭滤池建成运行后,臭味气体得到了一定的处理,
但是处理效果不理想,硫化氢的平均去除率为
36.5%,氨的平均去除率为 28.2%,主要问题是:气
体收集效果差,部分带有臭味的气体未进入除臭滤
池;气量大,臭味气体在除臭滤池内的停留时间短;
除臭滤池内布水不均匀;填料易腐烂,腐烂的填料也
会散发臭味,加重污染。清河污水处理厂地处人口
密度大、经济繁荣的北京市海淀区,周边有商业区、
多个居民小区和交通要道。因此,建立完善的臭味
气体控制系统是十分必要的。

针对原有生物滤池除臭系统存在的问题进行了一
系列的改造,包括气体收集系统改造、风量调整措
施、重新排布喷淋管以及更换填料等。臭味气体主
要来源于污水处理厂的曝气沉砂池、细格栅间和进
水渠道等处,本研究比较了改造前后生物除臭滤池
对气体中的主要发臭物质硫化氢和氨的去除效果,
考察了臭味气体的负荷、流量、温度、湿度以及填料
的种类等因素对臭味物质的处理效果的影响,确立
了生物除臭滤池的最佳运行参数。

1 生物除臭设施

1.1 原生物除臭设施

污水厂原有生物除臭设施由生物除臭滤池 (图
1)和气体收集系统构成。

生物除臭滤池长 8.05 m,宽 3.75 m,高 2.7 m,
顶部有盖板。除臭滤池内部为 1 m 高的滤料层,滤
料为树皮,滤料层底部设有由混凝土多孔板制成的
承托层;顶部设置喷淋管),定期给滤料喷水加湿。

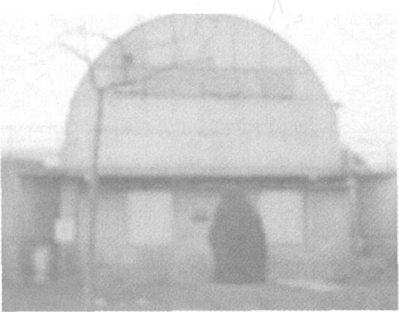


图 1 生物除臭滤池

Fig 1 Biofilter for odor treatment

水源来自厂区中水管网,当中水不能保证时,可将厂
区的中水作为临时加湿用水。除臭池侧面设有 2 套
叠梁闸,每套闸板 9 块,闸框宽 1600 mm,高
300 mm,便于滤料的更换。

臭味气体来源于进水泵房、粗格栅间、曝气沉砂
池、细格栅间和沉砂池进水渠、洗砂间和沉砂池出水
渠。3 台离心风机将收集的臭味气体从除臭滤池底
部的 3 个进气口 (图 2)送入除臭滤池,风机出风口
安装可调节气量的蝶阀和止回阀。总进气量为
18 000 m³ /h。

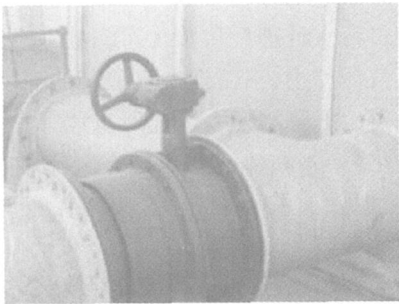


图 2 生物除臭滤池进气口

Fig 2 Inlet of biofilter

1.2 生物除臭设施改造

1.2.1 气体收集系统的改造

被改造的气体收集系统是细格栅间的臭味气体

收集口。原有的臭味气体收集口距离臭气源较远(图 3),一方面,气体收集效率较低,部分发臭物质没有进入收集系统而散布到空气中使细格栅间的臭味较重;另一方面,进入收集口内臭味气体被周围的空气稀释,使进口浓度过低。改造的方法是将连接气体收集口的管道延伸至臭气浓度较高的点源处(图 4),以保证臭味气体的有效收集,减少细格栅间的臭味。

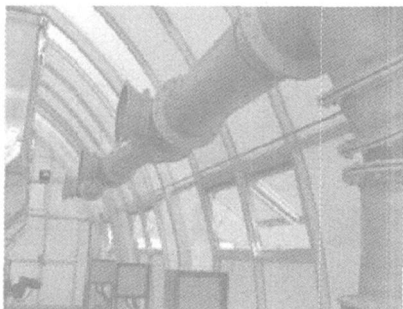


图 3 细格栅进气口(改造前)

Fig 3 Odors collection system in grid(before reform)

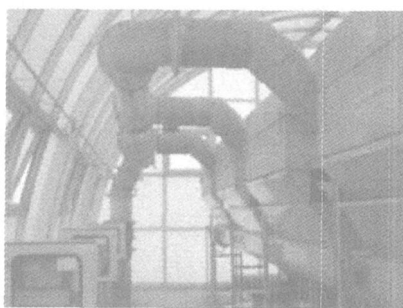


图 4 细格栅进气口(改造后)

Fig 4 Odors collection system in grid (after reform)

1.2.2 更换风机

原臭味气体收集系统有 3 台离心风,分别安装在细格栅间、粗格栅间和洗砂车间,风量均为 $6000 \text{ m}^3/\text{h}$,进入生物除臭滤池的总风量为 $18000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。由于填料层的体积为 40 m^3 ,相应地,气体在填料中的停留时间为 8 s 。风量过大,流速过快,使得停留时间短,气体与附着生长在填料上的微生物接触时间少,气体中的发臭物质未能及时被微生物降解,导致处理效果不明显。

通过对细格栅间、粗格栅间和洗砂车间散发的臭味气体的测定,细格栅间臭味浓度较高,而粗格栅间和洗砂车间的臭味浓度很低。为此,对细格栅间的进气口位置进行了改造(图 3 和图 4),同时更换

了细格栅间的离心风机,将风量调整为 $2750 \text{ m}^3/\text{h}$,安装在粗格栅间和洗砂车间的风机暂停运行。

1.2.3 重新布设喷淋管

原生物除臭滤池顶部的喷淋管只有 1 条(图 5),布水不均,填料层内部的含水率有显著差异,部分填料长期处于干燥状态。经过改造,使喷淋管增加到 3 条管线,直管上分别安装多个三通管,便于均匀布水(图 6)。在运行中,使用该污水处理厂的中水作为喷淋用水,定期对填料进行淋洒加湿,既节约成本,又可利用中水中的剩余营养物作为微生物的外加营养源,定期补充。

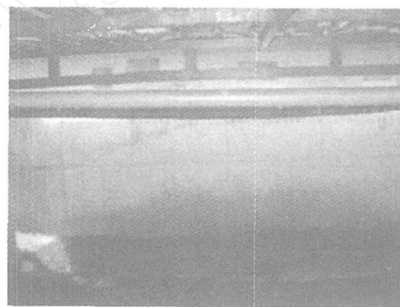


图 5 顶部喷淋管布置(改造前)

Fig 5 Spray system in biofilter(before reform)

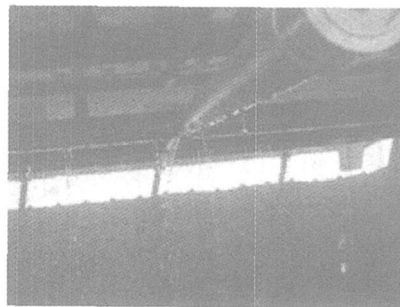


图 6 顶部喷淋管布置(改造后)

Fig 6 Spray system in biofilter (after reform)

1.2.4 更换填料

生物除臭滤池内装填有一定厚度的填料。原有的填料采用的是按一定比例混合的木片和树皮的混合物(图 7),每块大小约为 $30 \times 10 \times 5 \text{ (mm)}$ 。使用了 2 年后,部分木片和树皮腐烂,填料层发生板结和塌陷,导致除臭滤池内的压力损失升高,能耗增大。另外,腐烂的填料散发出臭味,加重了污染。因此,将除臭滤池内的填料全部更换(图 8)。新填料采用聚氨酯泡沫块,尺寸为 $20 \times 20 \times 20 \text{ (mm)}$ 。这种填料的优点是多孔,表面适合微生物附着生长;孔隙率

大,透气性好,压力损失小;保水性强,便于控制湿度,减少喷淋水的用量;不易腐烂,可长期使用,且没有异味。



图 7 生物除臭滤池内部的树皮填料 (改造前)
Fig 7 Packing material in biofilter (before reform)



图 8 生物除臭滤池内部的泡沫填料 (改造后)
Fig 8 Packing material in biofilter (after reform)

2 臭味气体分析方法

含硫化合物:岛津 GC-9A (日本)气相色谱分析仪,检测器为火焰光度检测器 (FPD);
氨:纳氏试剂光度法;
相对湿度 (RH):OAKTON (德国)温湿度仪;
pH值:PHS-3C (上海雷磁)酸度计。

3 结果与讨论

3.1 改造前后臭味气体处理效果比较

经上述设备改造后,生物除臭滤池运行了 7 个月,臭味气体的去除效果明显提高。设备改造前后生物除臭滤池的运行条件及臭味气体的去除效果列于表 2。
比较表 2 的试验结果可知,臭味气体收集系统改造后,硫化氢的平均进气浓度由改造前的 4.48 mg/m³提高到 7.06 mg/m³,进入除臭滤池的硫化氢浓度增加了近 1 倍,提高了臭味气体的收集效

表 2 生物除臭滤池设备改造前后的臭味气体处理效果
Table 2 Removal efficiencies of biofilter before and after reform

		改造前	改造后
填 料		树皮	聚氨酯泡沫块
填料层高度 (m)		1	0.6
有效体积 (m ³)		40	24
进气风量 (m ³ /h)		6000	2750
停留时间 (s)		24	31.4
相对湿度 (%)		92.3	88.1
温度 ()		2~20	5~22
平均进气浓度	硫化氢	4.48	7.06
(mg/m ³)	氨	4.37	8.15
平均负荷	硫化氢	0.67	0.81
(g/m ³ ·h)	氨	0.66	0.93
平均去除率	硫化氢	36.5 (最大去除率 80.3%)	62.9 (最大去除率 96.2%)
(%)	氨	28.2	100
平均去除能力	硫化氢	0.25	0.51
(g/m ³ ·h)	氨	0.19	0.93

果,减少了臭气的泄漏。通过更换风机,减少除臭滤池的进气量,有效提高了气体在生物除臭滤池内的停留时间;喷淋系统改造后,喷淋效率明显提高,布水比较均匀,位于滤池中部和周边的填料的含水率相差不大。由于喷淋液采用的是本厂的中水,水中含有一定量的氮、磷和钾等无机盐,因此,在给填料加湿的同时,也定期给附着在填料上的微生物提供了生长繁殖所必需的营养成分。新填料持水性好,含水率平均为 69%。除臭滤池内气体的相对湿度可保持 85%以上,通常为 99.9%。更换填料后,压力损失明显降低。微生物分析结果显示,新填料适合微生物的生长繁殖。生物除臭滤池经过气体收集系统改造、更换风机、重新排布喷淋管以及更换新填料等 4 个方面的改造,臭味气体的去除率明显提高,硫化氢的平均去除率由改造前的 36.5% 提高到 62.9%,最大去除率可以达到 96.2%,氨的平均去除率提高到 100%。绝大多数的出气浓度达到排放标准,分析结果表明,以上 4 个方面的改造是行之有效的。

3.2 影响除臭效果的主要因素

本研究中以除臭滤池去除硫化氢为例,重点考察了臭味气体的负荷、除臭滤池的温度以及气体的

相对湿度等因素对除臭效果的影响。

进气浓度和气体流量发生变化均能引起负荷的改变。控制进气口的气体流量是除臭系统的一项重要系统参数。不同的流速是否会影响到除臭的效果,当流速过大时,气体中的有害物质与微生物的接触时间过短,未及时被微生物降解就已经溢出。流速过小,使总处理量减小,不能满足处理需求。由于进入除臭滤池的气体流量保持 $2750 \text{ m}^3/\text{h}$,因此负荷的变化主要由进气浓度的变化引起。硫化氢的进气浓度与负荷成正比(图 9)。去除能力与负荷也成正比关系(图 10),负荷增加,去除能力明显提高。在较高的负荷下,可以获得较高的硫化氢的去除能力。

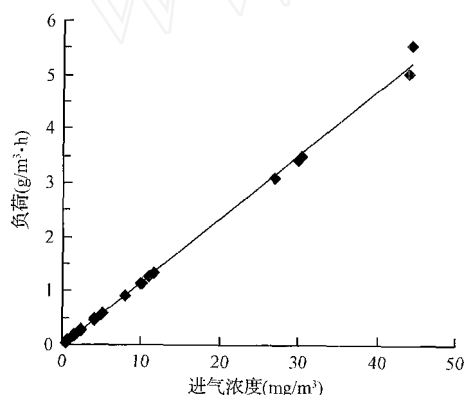


图 9 负荷随进气浓度的变化

Fig 9 Variations of H_2S loading rate with inlet concentration

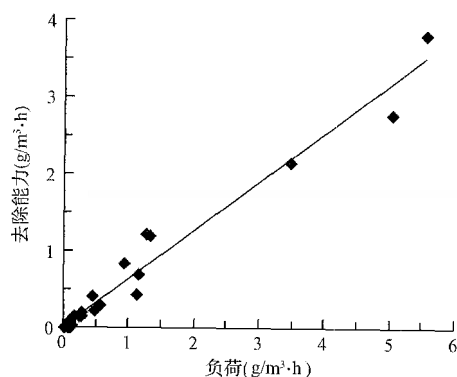


图 10 硫化氢的去除能力随负荷的变化情况

Fig 10 Variations of elimination capacity with loading rate

湿度的控制对于生物除臭滤池的运行非常重

要,干燥的环境会使微生物体内的蛋白质变性,引起代谢活动停止^[10]。水是微生物生长所必不可少的,水在细胞中起到溶剂与运输介质的作用,营养物质的吸收与代谢产物的分泌必须以水为介质才能完成。因为水的比热容高,是热的良好导体,能有效地吸收代谢过程中产生的热并及时地将多余热量散发,从而有效地控制细胞内温度的变化。所以填料保持适宜的含水率和湿度,能够使微生物保持降解活性,使生物除臭滤池能够长期稳定运行。通常生物滤池的含水率一般控制在 $40\% \sim 80\%$,相对湿度 $>99\%$ 。气体的相对湿度对去除效果的影响试验结果表明(图 11):在相同条件下(硫化氢的平均进气浓度为 1.75 mg/m^3 ,温度为 18.5°C),较高的硫化氢去除率是在较高的相对湿度($>80\%$)条件下获得的;相对湿度较低时,去除率也较低。实际中,通过调节喷淋系统的喷淋量、喷淋时间和喷淋次数,可以有效地使填料保持适合微生物生长的湿度条件。

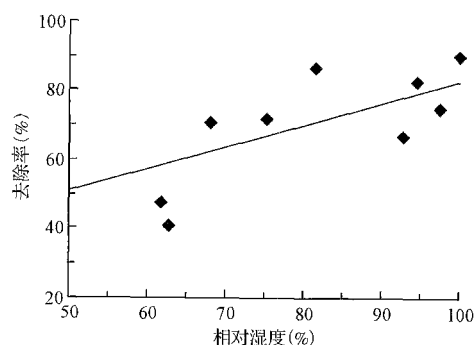


图 11 相对湿度对去除率的影响

Fig 11 Influence of RH on removal efficiency

除必需的营养成分以外,微生物的生长还需要适宜的温度,适宜的温度可以使微生物大量生长繁殖。一般地,温度高,生物反应器的去除能力也高。但是,过高过低的温度均会降低微生物的代谢速率和生长速率^[10,11],降低对气体中发臭物质的吸附能力和降解能力。温度过低会造成微生物的活性降低处于休眠状态,温度过高则会导致微生物大量的死亡。平均进气浓度为 7.04 mg/m^3 ,温度在 $5 \sim 22^\circ\text{C}$ 时,硫化氢的去除率随温度的变化情况如图 12 所示。在不同的温度条件下,生物除臭滤池对硫化氢的去除效果有明显的差异。随着温度的升高,硫化氢的去除率提高显著。温度对硫化氢的去除效果有明显的影

也有影响,当温度高于 20 时,生物除臭滤池对硫化氢有较高的去除率。图 13显示了气体相对湿度随温度的变化情况。在 15 以下时,气体的相对湿度无明显变化;随着温度的升高,气体的相对湿度明显下降,但仍可保持 80%以上。

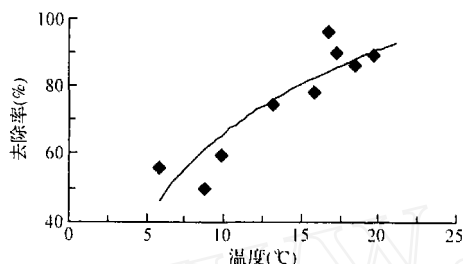


图 12 温度对去除率的影响

Fig 12 Influence of temperature on removal efficiency

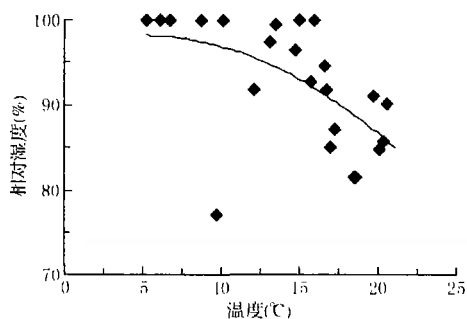


图 13 相对湿度随温度的变化

Fig 13 Variations of RH with temperature

试验结果表明,在 20 以上,气体的相对湿度 >80%时,生物除臭滤池对硫化氢的去除率较高,并且增大负荷,去除能力也会提高。

3.3 微生物的接种、培养和驯化

在气味的生物处理过程中,微生物的作用是不容忽视的,在有氧条件下,生长在填料内的微生物将气体中的有机物氧化为简单无机物(如水、二氧化碳等)。其中,部分有机物被转化为新细胞物质。

本试验中,由于更换的新填料是有机聚合物,自身不带有微生物,因此,在填料加入生物滤池前进行了初步的微生物接种;在填料加入并通气后,对填料上的微生物进行了培养和驯化。通过微生物的接种可以使生物除臭滤池较快地进入正常运行,达到较好的处理效果。

4 结 论

(1)生物除臭滤池经过气体收集系统改造、更换风机、重新排布喷淋管以及更换新填料等 4 个方面的改造,臭味气体的去除率明显提高,硫化氢的平均去除率由改造前的 36.5%提高到 62.9%,最大去除率可以达到 96.2%,绝大多数时间的出气浓度达到排放标准。分析结果表明,现行的改造是行之有效的。

(2)臭味气体的负荷、除臭滤池的温度以及气体的相对湿度等因素对除臭效果有不同程度的影响。提高负荷,提高温度,相对湿度 >80%时,可以提高对发臭物质的去除能力。

参 考 文 献

- [1] Joanna E Burgess, Simon A. Parsons, Richard M. Stuetz. Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: A review. *Biotechnology Advances*, **2001**, 19: 35 ~ 63
- [2] 徐晓军,宫磊,杨虹. 恶臭气体生物净化理论与技术. 北京:化学工业出版社, **2005**. 27 ~ 52, 267
- [3] Chris Easter, Chris Quigley, Peter Burrowes, et al. Odor and air emissions control using biotechnology for both collection and wastewater treatment systems. *Chemical Engineering Journal*, **2005**, 113 (2 ~ 3): 93 ~ 104
- [4] Webster T S, Devlinny J S, Torres E M. Biofiltration of odors, toxics and volatile organic compounds from publicly owned treatment works. *Environment Progress*, **1996**, 15 (3): 141 ~ 214
- [5] 朱国营,刘俊新. 污水处理厂生物滤池除臭技术. *中国给水排水*, **2003**, 19 (8): 23 ~ 25
- [6] 郭静,梁娟,匡颖,等. 污水处理厂恶臭污染状况分析与评价. *中国给水排水*, **2002**, 18 (2): 41 ~ 42
- [7] 刘锴,白登明. 污水处理系统臭气污染问题的研究. *环境污染治理技术与设备*, **2004**, 5 (5): 38 ~ 42
- [8] 何厚波,郑金伟,金彤,等. 生物滤池工艺处理污水厂恶臭气体. *环境科学与技术*, **2006**, 29 (6): 86 ~ 88
- [9] 尹军,王晓玲,赵玉鑫,等. 城市污水处理厂除臭技术. *环境污染治理技术与设备*, **2006**, 7 (8): 90 ~ 94
- [10] 周群英,高廷耀. *环境工程微生物学* (第 2 版). 北京:高等教育出版社, **2000**. 68 ~ 75, 122 ~ 127
- [11] Devlinny J S, Deshusses M A, Webster T S. *Biofiltration for Air Pollution Control*. New York, NY: Lewis Publishers, **1999**. 68