

试验研究

# 生物活性炭吸附石化废水有机污染物 实验研究

乔国亮, 张国珍, 王倩, 杨浩, 牛燕

(兰州交通大学环境与市政工程学院, 兰州 730070)

**摘要:** 生物活性炭吸附石化二级废水有机污染物实验主要包括生物活性炭挂膜实验和生物活性炭影响因素实验。在实验中考察了水力负荷和活性炭滤层厚度两因素对有机污染物吸附作用。结果表明: 在 45 d 左右挂膜基本成功, 最佳水力负荷为  $0.25\sim 0.75\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ , 活性炭滤层最佳厚度为 90cm。

**关键词:** 生物活性炭; 吸附有机污染物实验; 二级废水

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8759(2014)03-0008-04

## BIOLOGICAL ACTIVATED CARBON ADSORPTION EXPERIMENTS ABOUT THE EFFLUENT OF PETROCHEMICAL

QIAO Guo-liang, ZHANG Guo-zhen, WANG Qian, YANG Hao, NIU Yan

(School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University,  
Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Biological activated carbon adsorption experiments about the effluent of Petrochemical include biological activated carbon hung membrane experiments and biological activated carbon optimization experiments. The experiments optimized the active carbon adsorption experiments from the water flow and the activated carbon filter layer thickness. Experiments show that: on the 45 day of biofilm is successful, the optimal water flow rate is  $0.25\sim 0.75\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ , and the better activated carbon filter layer thickness is 90cm.

**Key word:** Biological activated carbon; adsorption experiments; the effluent

## 0 引言

随着我国市场对石油类产品需求的不断上升, 各地石化公司都在扩大其生产规模, 导致公司排出的废水中有机物污染物种类不断增加, 水质状况不容乐观。生物活性炭工艺作为水处理深度处理技术, 已在各地实践应用中取得了良好的效果<sup>[1]</sup>。本实验以中国兰州石化公司下属污水处理厂二级废水作为研究对象, 采用生物活性炭挂膜方

式, 通过对有机污染物吸附能力研究, 确定出最佳水力负荷及活性炭滤层厚度, 为进一步处理兰州石化二级废水提供一定的科学依据。

## 1 实验条件

### 1.1 实验装置

本实验装置图如图 1 所示, 生物活性炭过滤柱内径为 5 cm, 柱高 130 cm, 柱内距底部 20 cm 处设有承托层, 为防止活性炭颗粒流失, 在承托板上端放置过滤网。活性炭滤柱底部设有曝气头, 由

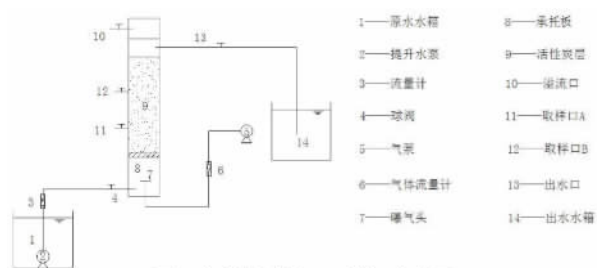


图1 生物活性炭吸附实验装置

空气泵将空气打入滤柱底层。本实验采用颗粒活性炭,粒径 0.8~2 mm,比表面积 700~1500 m<sup>2</sup>/g,柱内填充高度为 90 cm,在承托板上方 20 cm 与 60 cm 处分别设置取样口 A、B,并在滤柱上方设置主出水口,滤柱底部隔离处设置原水进水口。实验原水在提升泵的作用下由原水水箱进入滤柱底部,经过生物活性炭过滤后,流至出水水箱。本实验采用下部进水曝气,上部出水的方式,使水和空气以推流方式上升,保证污水在过滤时具有均匀的流速。滤料受到向上的冲击力,可以使得滤料具有一定膨胀度,保证滤料与水及空气的充分混合,既提高了滤料的挂膜效果,又降低了滤池的冲洗频率。

### 1.2 实验方法

本实验采用挂膜方法为气水上流式自然挂膜法<sup>[2]</sup>,实验原水由兰州石化二级废水与生活污水按一定比例混合而成。实验具体方法为:在温度 20℃ 左右,水力停留时间为 3 h,气水比为 1:3 的条件下进行自然挂膜。初始进水量约为 0.6 L/h,之后逐渐增大进水量,为微生物提供所需的生存环境。从装置运行第二天开始,对滤柱的进出水 COD 及 NH<sub>3</sub>-N 的浓度进行测定,待 COD 与 NH<sub>3</sub>-N 的去除率稳定在一定范围内时,即可判定活性炭滤柱挂膜成功<sup>[3]</sup>。挂膜期间实验水质,见表 1:

表 1 挂膜期间实验水质

指标	范围
COD/(mg/L)	100~130
NH <sub>3</sub> -N/(mg/L)	55~70
温度/℃	14~23
浊度(NTU)	60~70
pH	6.5~8.5

## 2 生物活性炭挂膜实验

图 2 为挂膜启动到挂膜成功近 55 d 中生物活性炭滤柱进出水 COD 变化曲线。由图 2 可以看出,挂膜前期活性炭对原水中的 COD 去除率较好,平均去除率达到 70% 以上。这是因为挂膜前期活性炭吸附能力未饱和,可以对水体中的有机污染物进行吸附,从而使水体达到净化。活性炭吸附能力饱和后,生物膜会逐渐形成,挂膜后期滤柱对原水的净化能力由初始的活性炭吸附作用转化为生物降解作用,最后达到比较稳定的去除效果,对 COD 的平均去除率达到 40.3%,实验 45 d 左右,滤柱挂膜成功。

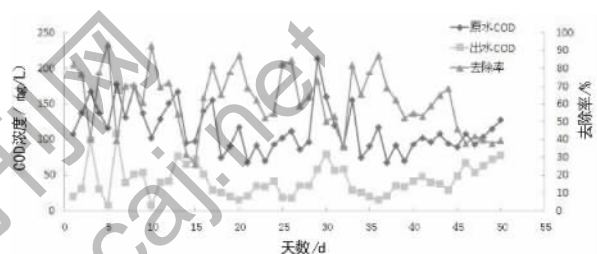
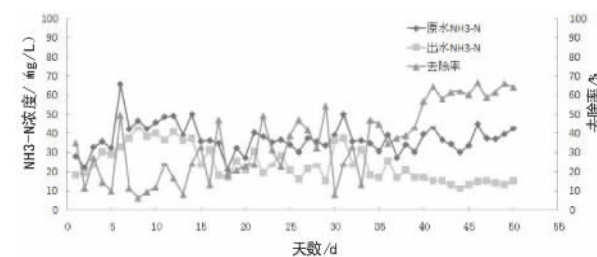


图2 挂膜期间活性炭滤柱进出水COD变化及其去除率

图 3 为挂膜期间活性炭滤柱进出水 NH<sub>3</sub>-N 变化及其去除率曲线。由图 3 可以看出,挂膜前期 NH<sub>3</sub>-N 去除主要依靠活性炭的吸附作用,去除率呈上升趋势。活性炭挂膜成功后,对 NH<sub>3</sub>-N 的去除主要依靠硝化细菌的硝化作用,滤柱对 NH<sub>3</sub>-N 的平均去除率达到了 60%。

图3 挂膜期间活性炭滤柱进出水NH<sub>3</sub>-N变化及其去除率

## 3 生物活性炭影响因素实验

### 3.1 水力负荷对污染物去除效果影响

本实验研究生物活性炭滤层厚度一定的前提下,在不同水力负荷条件下对各污染物的去除效果,实验选用的水力负荷分别为 0.25、0.5、0.75、1、1.25、1.5 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),活性炭滤层厚度为 90 cm,气水比保持为 1:3。

图 4 是活性炭滤柱在不同水力负荷条件下对

水中污染物 COD 的去除效果图。由图 4 可以看出,在滤层厚度一定的条件下,不同的水力负荷可以影响活性炭滤柱对原水 COD 的去除率。本实验表现为,当水力负荷由  $0.25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  逐级增加至  $1.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时,活性炭滤柱对原水的 COD 去除率由 45.33% 降低至 24%。由此可得,随着水力负荷的不断增大,会使其相对应的水力停留时间减少,从而降低活性炭滤柱对 COD 的去除率。根据各地实践工程经验<sup>[4]</sup>,对于处理有机污染物较低的石化二级出水,水力负荷一般采用  $0.75 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

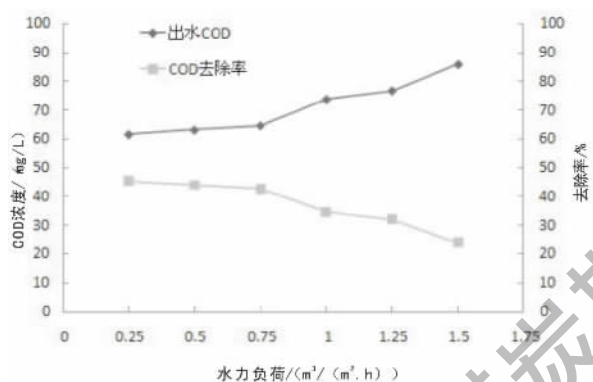


图4 不同水力负荷条件下活性炭滤柱对COD的去除效果

图 5 是活性炭滤柱在不同水力负荷条件下对水中污染物  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果图。由图 5 可以看出,在滤层厚度一定的条件下,水力负荷的增大使得滤柱对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除率呈现下降趋势。当水力负荷由  $0.25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  逐级增加至  $1.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时,活性炭滤柱对原水的  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除率逐渐降低,其中水力负荷由  $0.25 \sim 0.75 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时,滤柱对  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除率变化不大,达到 87% 以上,继续增大水力负荷,滤柱对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除率出现明显下降,其中当水力负荷为  $1.25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时,滤柱对原水  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除率下降至 62.11%。由此可得,水力负荷在合理范围内,活性炭滤柱对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除率较高,这是因为水力停留时间充足,硝化细菌在溶解氧充足的情况下,会增大其硝化能力,继而提升对进入滤柱的  $\text{NH}_3\text{-N}$  的分解及氧化能力。

图 6 是活性炭滤柱在不同水力负荷条件下对水中污染物  $\text{UV}_{254}$  的去除效果图。由图 6 可以看出,在滤料厚度一定的条件下,  $\text{UV}_{254}$  的去除率随着水力负荷的增加而下降。当水力负荷由  $0.25$

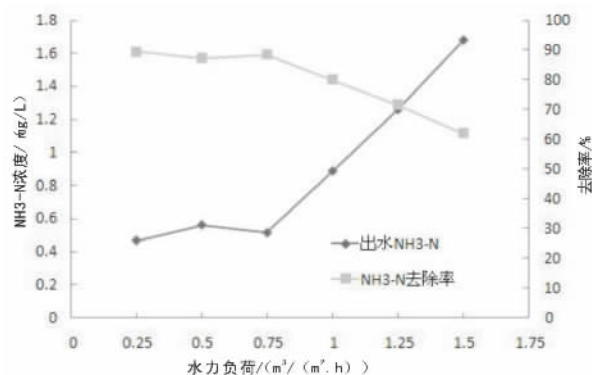


图5 不同水力负荷条件下活性炭滤柱对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果

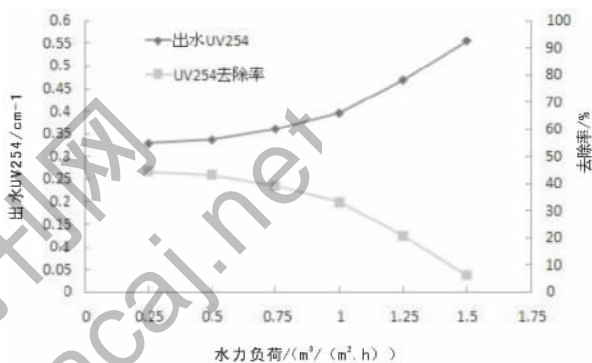


图6 不同水力负荷条件下活性炭滤柱对 $\text{UV}_{254}$ 的去除效果

$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  逐级增加至  $1.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时,活性炭滤柱对  $\text{UV}_{254}$  的去除率由 44.52% 下降至 6.24%,原因是由于水力负荷的增加,使得水力停留时间对应减少,使得活性炭滤柱对原水  $\text{UV}_{254}$  的去除率下降。

图 7 是活性炭滤柱在不同水力负荷条件下对水中污染物浊度的去除效果图。出水浊度随着水力负荷的增加而逐渐减小。当水力负荷由  $0.25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  逐级增加至  $1.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时,活性炭滤柱对原水浊度的去除率由 87.15% 下降至 59.14%。当水力负荷较小时,原水在滤柱中水力停留时间较长,由于活性炭吸附及生物膜的截留作用,使原水浊度的去除率较高。随着水力负荷的增大,导致水力停留时间减少,原本被活性炭截留的物质会被高负荷的水流冲出滤柱,同时高负荷的水流还会造成生物膜失稳脱落,最终导致活性炭滤柱出水浊度升高。

### 3.2 活性炭滤层厚度对污染物去除效果影响

在水力负荷一定时,活性炭滤层厚度对原水有机污染物的去除有重要作用。活性炭滤层厚度与吸附时间呈正比关系,滤层厚度越大,活性炭吸附时间则越长,活性炭与原水的反应越充分,对

原水的净化作用越明显。反之,对原水的净化作用越弱。本实验在水力负荷保持在 $0.75 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 的前提下,保证其它初始参数不变,通过改变滤层厚度这一变量,研究滤层厚度对原水中有机污染物的去除效率,滤层厚度分别取 30、60、90 cm。

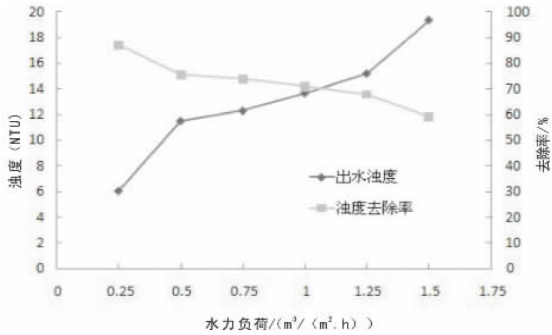


图7 不同水力负荷条件下活性炭滤柱对浊度的去除效果

图 8 是不同滤料厚度条件下活性炭滤柱对 COD 的去除效果图。由图 8 可以看出,水力负荷保持在一定条件下时,滤层厚度由 30 cm 逐级增加至 90 cm 时,活性炭滤柱对 COD 的去除率由 22.37% 上升至 46.3%。由此可得,在水力负荷保持一定的条件下,滤层厚度越大,对原水中 COD 的去除率越高。

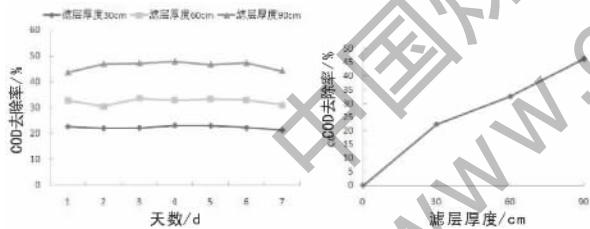


图8 不同滤层厚度条件下活性炭滤柱对COD的去除效果

图 9 是不同滤层厚度条件下活性炭滤柱对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果图。由图 9 可以看出,在水力负荷保持在一定的条件下,活性炭滤层厚度越大,对原水  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除率越大。当滤层厚度由 30 cm 逐级增加至 90 cm 时,滤柱对原水  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除率由 20.93% 增至 89.08%。这是因为本实验的进水采用下进上出的运行方式,废水中的有机物可以为异养细菌提供良好的生长环境,使异养细菌快速繁殖,极大阻碍了硝化细菌的硝化作用,从而导致滤层底部的  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除率降低;随着废水上升至滤柱中上层,废水中利于异养细菌的有机物总量下降,异养细菌的繁殖能力受到重大影响。相反,硝化细菌在该区域可以利用的溶解氧

含量升高,大大提升了其硝化作用,对原水  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除率也随之升高。

图 10 是不同滤层厚度条件下活性炭滤柱对浊度的去除效果图。由图 10 可知,当滤层厚度由

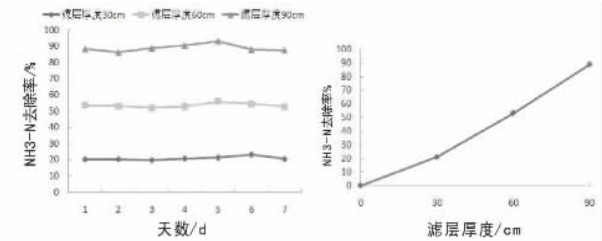


图9 不同滤层厚度条件下活性炭滤柱对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果

30 cm 增至 90 cm 时,浊度的平均去除率由 43.76% 增至 77.2%。其中滤层厚度在 0~60 cm 时,浊度去除率随着滤层厚度增加而大幅增加,继续增加滤层厚度,浊度的去除率增加呈现相对缓慢的趋势,在超过 90 cm 后,浊度的去除率基本稳定。这是因为实验进水采用下进上出的方式,当废水进入滤柱后,底层滤料会对浊度有很好的截留作用,浊度去除率较高。随着滤层厚度的增加,废水达到滤柱的中上层时,只剩下体积较小的污染颗粒,从而出现滤料对污染物截留效率下降的现象。

#### 4 结论

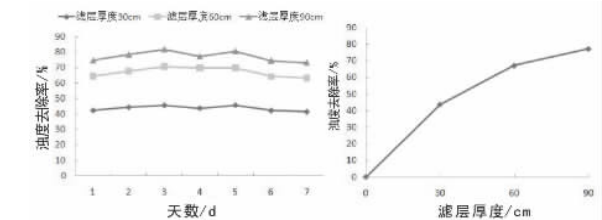


图10 不同滤层厚度条件下活性炭滤柱对浊度的去除效果

(1)挂膜前期,活性炭对原水中 COD 的平均去除率达到 70% 以上;对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除率不稳定,但整体呈上升趋势。挂膜后期,由于生物膜的降解作用, COD 与  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除率都比较稳定,其中滤柱对 COD 的平均去除率为 40.35%,对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的平均去除率达到 60%。

(2)通过考察不同水力负荷条件下对各污染物的去除效果,结果表明:当水力负荷由  $0.25 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  逐级增加至  $1.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  时,原水 COD 的平均去除率由 45.33% 降低至 24%,原水  $\text{NH}_3\text{-N}$  的平均去除率由 89.47% 降至 62.11%,原水

示。由图 2 可知,填埋是目前最主要的污泥处理处置方式。而焚烧、制砖、铺路等处理方法也占有一定的比例。目前,污泥处理方式的单一是行业内的共识。由于污泥经机械脱水后其含水率仍然很高,限制了其进一步的资源化利用。

### 2.2.2 污泥处理工艺分析

在所有的处理技术中,焚烧可以说是一种比较彻底的处理方式,减容效果明显。焚烧产物是无菌、无臭的无机残渣,可以实现无菌化、减量化<sup>[5]</sup>。定的隔音、隔热等优点。但单纯的污泥制成的砖易变形,硬度小,使用价值低。且在煅烧过程中,由于泥中有机物的挥发,会伴随有强烈的恶臭。用污泥制砖的成本也要比一般的黏土制砖高<sup>[6]</sup>。所以,上述的三种处理方法并没有被广泛采用。使用最多的就是卫生填埋。有的运送到当地的垃圾填埋厂填埋,有的自身选地填埋。而众所周知,填埋需要占用大块的土地,而我国的人口数量大,土地资源本就不足,污泥的产量又逐年增加,这就使得土地资源更加紧张。其次,由于污泥中含有大量的水分。若大量的污泥进入填埋场,时间长了之后会造成填埋场的局部塌陷,进而影响整个填埋场的操作运行。

因此,目前对于污泥的处理仍然没有一个合适的技术。污泥的处理应当要从源头抓起。也即在污水处理过程中通过增大污泥龄等方法减少剩余污泥的排放量。其次,要大力发展研究污泥的调理脱水技术,降低污泥的含水率。只要污泥的含水率得到有效的降低,其后续的处理处置方法便可以较为顺利得展开。

(上接第 11 页)

UV<sub>254</sub> 的平均去除率由 44.52% 降至 6.24%, 原水浊度平均去除率由 87.15% 降至 59.14%。通过对结果分析,最佳水力负荷为 0.25~0.75 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

(3)在水力负荷一定的条件下,废水中污染物的去除率随着滤层厚度的增加而上升。当滤层厚度由 30 cm 增至 90 cm 的过程中,对原水中 COD 的平均去除率由 22.37% 上升至 46.3%, 对原水中 NH<sub>3</sub>-N 的平均去除率由 20.93% 上升至 89.08%, 对原水中浊度的平均去除率由 43.76% 上升至

## 3 结论

(1)在所调查的污水处理厂中,AO、A/A/O、SBR 是目前应用最多的方法。小城镇污水处理工艺的选择和确定取决于不同类型的小城镇的环境标准和各种污水治理工艺的可行性分析。对于有条件的小城镇,可分别考虑选用氧化沟工艺、SBR 法、水解-好氧生物处理工艺和生物滤池等工艺对小城镇污水进行二级处理。

(2)填埋仍是目前污泥处理处置的主要方式。资源化的途径比较单一。建材利用是污泥资源化的一种,主要是将污泥制砖或铺路<sup>[7]</sup>。但因技术上还没有足够成熟,所以还未推广。在处理污泥时,应当先从无害化着手。把它作为满足环境基本要求,社会经济发展的基本条件的主要措施和手段;同时不放弃资源化的努力。

## 参考文献

- [1]杨庆来,适用于我国小城镇污水处理的技术[J].民营科技,2011(2):149.
- [2]李炜臻,破解小城镇水污染处理难题[J].环境保护,2009(7):29~30.
- [3]周 芑,谭振江,中、小型城市污水处理厂的优选工艺[J].中国给水排水,2000,16(10):21~24.
- [4]张凯松,周启星,孙铁珩.城镇生活污水处理技术研究进展[J].世界科技研究与发展,2003,25(5):5~10.
- [5]房井新,汪文生,张仁鹏,浅谈城市污水厂污泥的处置[J].中国资源综合利用,2009(3):28~29.
- [6]刘帅霞,城市污水处理厂污泥制砖的可行性研究[J].中原工学院学报,2006(1):47~49.
- [7]薛 峰,王维维,沈向荣,等,青浦区城镇污水处理厂污泥处理与处置方式的探讨[J].上海水务,2009(1):28~32.

77.2%。通过对结果分析,最佳活性炭滤层厚度为 90 cm。

## 参考文献

- [1]秦永生,孙长虹.生物活性炭工艺用于废水深度处理的设计[J].中国给水排水,2003,19:88~91.
- [2]姚宏,马放,李圭白等.臭氧-生物活性炭工艺深度处理石化废水[J].中国给水排水,2003,19(6):39~41.
- [3]张金松.臭氧化-生物活性炭除微污染工艺过程研究[J].给水排水,1996,22(4):55~56.
- [4]蒋福春.臭氧-生物活性炭工艺的优化运行研究[D].哈尔滨工业大学,2006.