

## 水源与饮用水保障

李孟翰, 张克峰, 潘春雨, 等. 煤砂双层滤料滤池对东营河口水厂高藻原水处理的试验[J]. 净水技术, 2022, 41(1):40-44.

LI M H, ZHANG K F, PAN C Y, et al. Experiment of coal-sand dual media filter for high algae raw water treatment in Dongying Hekou WTP[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(1):40-44.



扫我试试?

## 煤砂双层滤料滤池对东营河口水厂高藻原水处理的试验

李孟翰<sup>1</sup>, 张克峰<sup>1,\*</sup>, 潘春雨<sup>1</sup>, 李梅<sup>1</sup>, 任杰<sup>2</sup>, 顾学林<sup>2</sup>

(1. 山东建筑大学市政与环境工程学院, 山东济南 250101; 2. 山东胜利水务有限责任公司, 山东东营 257000)

**摘要** 为进一步提高东营河口水厂高藻原水处理效果, 为其升级改造提供技术支持, 在沉淀池旁组建了中试装置, 对不同滤料的试验滤柱进行了藻类总数和叶绿素 a 的去除对比试验。试验结果表明: 煤砂双层滤料滤池能大大降低藻类总数和叶绿素 a 含量, 且受藻类暴发的影响小, 出水水质稳定; 藻类大部分是在无烟煤滤料表层被吸附截留, 很少出现穿透滤层及滤料黏附现象, 可以有效缓解高藻水反冲洗次数多、难冲洗的问题。

**关键词** 煤砂双层滤料滤池 水厂 高藻原水 藻类分布 无烟煤滤料

**中图分类号:** TU991.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2022)01-0040-05

**DOI:** 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.01.006

## Experiment of Coal-Sand Dual Media Filter for High Algae Raw Water Treatment in Dongying Hekou WTP

LI Menghan<sup>1</sup>, ZHANG Kefeng<sup>1,\*</sup>, PAN Chunyu<sup>1</sup>, LI Mei<sup>1</sup>, REN Jie<sup>2</sup>, GU Xuelin<sup>2</sup>

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China;

2. Shandong Shengli Water Co., Ltd., Dongying 257000, China)

**Abstract** In order to further improve the treatment effect of high algae raw water in Dongying Hekou WTP and provide technical support for its upgrading a pilot plant next to the sedimentation tank was set up. The comparative experiment on the total number of algae and the removal of Chl-a was carried out on test filter columns with different filter materials. Test results showed that coal-sand dual media filter can not only greatly reduce the total number of algae and Chl-a, but also less affected by the outbreak of algae, and the effluent quality was stable. Most of the algae were adsorbed and trapped on the surface of anthracite filter material. Penetration of filter layer and filter material adhesion rarely occurs, it can effectively alleviate the problems of high algae water backwashing and washing difficulty.

**Keywords** coal-sand dual media filter water treatment plant(WTP) high algae raw water algae distribution anthracite filter material

为保障黄河流域城市发展有充足的水资源, 黄

河两岸各城市建设了大量平原水库以引流黄河水。黄河下游地区引黄水库易出现藻类多、大量嗅味物质以及储层水中的有机物质污染严重等问题<sup>[1-3]</sup>。常规工艺对藻类去除有局限性<sup>[4-5]</sup>, 煤砂双层滤料滤池对藻类的去除效果优于普通砂滤池, 出水的浑浊度和对固体颗粒物的去除率也较高<sup>[6-11]</sup>。

[收稿日期] 2020-07-01

[作者简介] 李孟翰(1995—), 男, 硕士, 研究方向为水处理理论与技术, E-mail: 757808701@qq.com。

[通信作者] 张克峰(1964—), 男, 教授, 研究方向为水处理理论与技术, E-mail: kfz@sdjzu.edu.cn。

东营市胜利油田河口水厂水源为孤河水库引黄水,存在藻类季节性暴发的问题,常规工艺对藻类去除效果不佳。在河口水厂通过中试试验,对比常规砂滤池与煤砂双层滤料滤池对藻类的去除效果,目的是验证河口水厂工艺升级改造和提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 检测指标及方法

藻类的数量直接反映了水体受藻类污染的程度,并严重影响到水的色度、浑浊度、pH、臭味等指标,是评价水体水质的重要生物学指标之一<sup>[12-13]</sup>。藻类污染通常用叶绿素 a(Chl-a)含量表征,藻类细胞中含有大量 Chl-a<sup>[14]</sup>,因此,Chl-a 含量的高低直接反映了水中藻类的种类、数量,水环境的质量也受其影响<sup>[15]</sup>。

为了给后期升级改造提供更多数据及技术支持,同时对水温、pH、浑浊度、氨氮、TOC、UV<sub>254</sub>、COD<sub>Mn</sub> 等进行测定。各指标检测方法如表 1 所示。

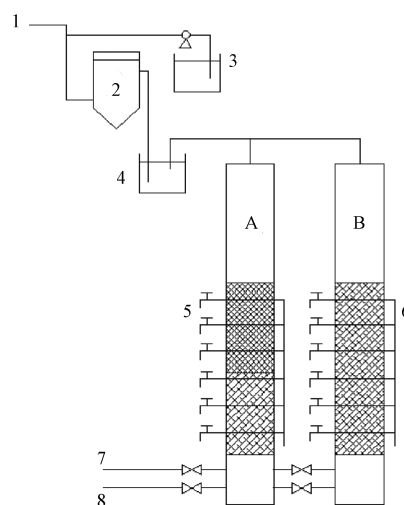
表 1 检测指标与仪器  
Tab. 1 Test Indicators and Instruments

编号	指标	测定方法、仪器
1	水温	温度计
2	pH	Hi221pH 仪
3	浑浊度	2100P 台式浊度仪
4	氨氮	722E 可见分光光度计纳氏试剂法
5	COD <sub>Mn</sub>	酸性高锰酸钾滴定法
6	UV <sub>254</sub>	722E 可见分光光度计
7	TOC	燃烧氧化-红外吸收法
8	Chl-a	分光光度法
9	藻类总数	方格计数法

### 1.2 中试装置

中试装置如图 1 所示。对比试验采用 2 根直径为 0.5 m 的试验滤柱,其中:A 滤柱填料为无烟煤和石英砂双层滤料,无烟煤层厚度为 1 000 mm,石英砂层厚度为 500 mm,无烟煤有效粒径  $d_{10}=0.85$  mm、 $K_{80}\leq 2.0$ ,石英砂有效粒径  $d_{10}=0.85$  mm、 $K_{80}=1.4$ ;B 滤柱填料为石英砂(河口水厂现为石英砂滤料),滤料厚度为 1 500 mm,石英砂有效粒径  $d_{10}=0.85$  mm、 $K_{80}=1.4$ 。双层滤料滤柱粒径和高度参考室外给排水设计标准和河口水厂现有滤池实际进行装填。试验来水为河口水厂沉淀池出水,该中试装

置设气水反冲洗系统,在滤料层每隔 10 cm 设水质取样口和测压管。



注:1—原水;2—沉淀池;3—混凝+机械搅拌;4—中间水箱;  
5—水质取样口;6—测压管;7—反冲洗进气;8—反冲洗进水;  
A—煤砂双层滤料滤池;B—石英砂滤池

图 1 中试装置图

Fig. 1 Diagram of Pilot Plant

## 2 结果与讨论

### 2.1 煤砂双层滤料滤池对藻类处理效果分析

#### 2.1.1 藻类总数去除效果分析

各工序的出水藻类总数如表 2 所示,对藻类去除效果如图 2 所示。

表 2 各工序出水藻类总数  
Tab. 2 Quantities of Outflow Algae in Each Process

参数	原水	沉后水	砂滤出水	煤砂出水
最大值/(万个·L <sup>-1</sup> )	5 345.5	1 382.5	178.5	122.0
最小值/(万个·L <sup>-1</sup> )	206.5	90.5	18.0	6.0
平均值/(万个·L <sup>-1</sup> )	1 855.5	369.5	58.5	33.0

试验从 8 月 20 日开始,滤池运行稳定后进行取样,频率为 10 d/次。由表 2 和图 2 可知:在 9 月、10 月(3 号—7 号),藻类数量呈爆发性增长;在 11 月(8 号—10 号),藻类总数降低;到 12 月(11 号—12 号),藻类总数回升。煤砂滤池的去除率一直稳定高于传统砂滤池,去除率为 90.75%,变化波动小,而传统砂滤池的去除率较低,为 77.55%。

无烟煤滤料既具有普通滤料的过滤功能,又具备活性炭的特点<sup>[16]</sup>,其颗粒表面能够吸附大量化学

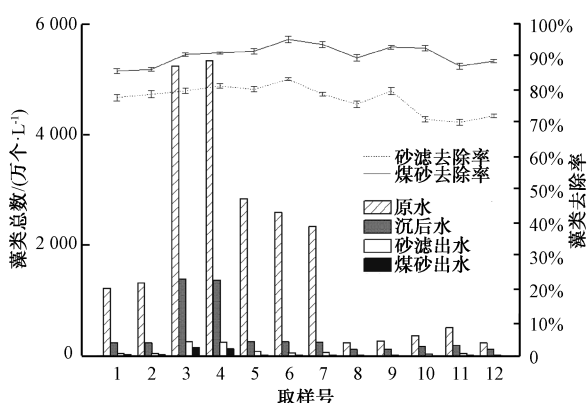


图2 各工序出水藻类总数、去除率变化

Fig. 2 Changes of the Quantities and Removal Rate of Outflow Algae in Each Process

物质,微生物也会被截留附着在其表面,形成生物膜<sup>[17]</sup>。由于无烟煤有着良好的吸附效果,大部分藻类被截留在无烟煤层,提升了对藻类的去除效果,去除率达到了90%以上。

### 2.1.2 Chl-a 去除效果分析

各工序的出水 Chl-a 含量如表 3 所示,对藻类去除效果如图 3 所示。

表3 各工序出水 Chl-a 含量

Tab. 3 Contents of Outflow Chl-a in Each Process

参数	原水	进厂水	砂滤出水	煤砂出水
最大值/( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	27.73	7.79	1.50	0.79
最小值/( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	11.30	0.96	0.22	0.08
平均值/( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	17.13	3.99	0.80	0.37

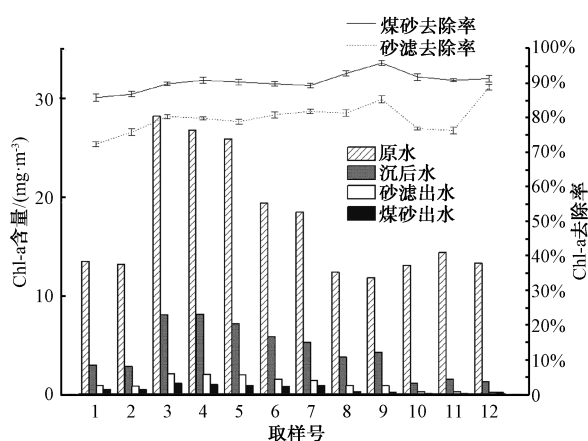


图3 各工序出水 Chl-a 含量、去除率变化

Fig. 3 Changes of the Contents and Removal Rates of Outflow Chl-a in Each Process

由表 3 和图 3 可知:在 9 月、10 月(3 号—7

号),Chl-a 呈爆发性增长;在 11 月(8 号—10 号),Chl-a 降低;到 12 月(8 号—10 号),Chl-a 回升。煤砂滤池的去除率一直稳定高于传统砂滤池,为 90.84%,且去除率变化波动小。传统砂滤池波动较大,且去除率较低,为 79.15%。

藻类大部分在无烟煤层被截留,而 Chl-a 主要存在于藻类中,导致水中 Chl-a 的含量也大幅度下降,从而提升了对 Chl-a 的去除效果。

### 2.1.3 氨氮去除效果分析

各工序的出水氨氮质量浓度如表 4 所示,对氨氮去除效果如图 4 所示。

表4 各工序出水氨氮分析

Tab. 4 Analysis of Outflow Ammonia Nitrogen in Each Process

参数	原水	沉后水	砂滤出水	煤砂出水
最大值/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	0.983	0.761	0.429	0.232
最小值/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	0.598	0.368	0.221	0.081
平均值/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	0.749	0.538	0.288	0.130

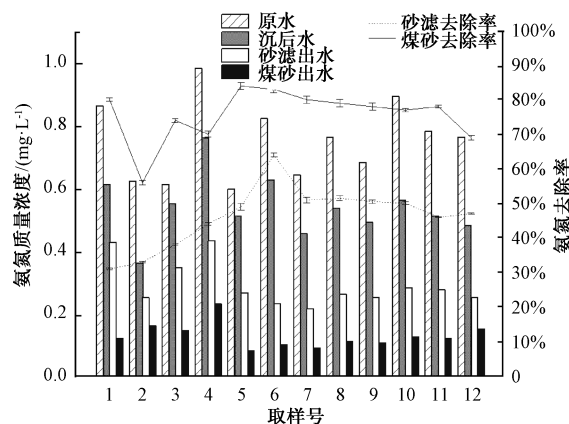


图4 各工序出水氨氮质量浓度、去除率变化

Fig. 4 Changes of the Concentrations and Removal Rates of Outflow Ammonia Nitrogen in Each Process

由表 4 和图 4 可知,试验期间原水氨氮波动较大,煤砂滤池去除率为 75.27%,砂滤池去除率为 46.27%,煤砂滤池对氨氮的去除率明显高于砂滤池,同时,煤砂滤池对氨氮的去除率逐渐增加。这是由于无烟煤滤料表面已经吸附截留的部分微生物,其中一些微生物可以将含氮有机物氧化降解为硝态氮和亚硝态氮,从而提升了水中氨氮的去除效果。

### 2.1.4 TOC 去除效果分析

各工序的出水 TOC 质量浓度如表 5 所示,对 TOC 去除效果如图 5 所示。

表 5 各工序出水 TOC 分析  
Tab. 5 Analysis of Outflow TOC in Each Process

参数	原水	沉后水	砂滤出水	煤砂出水
最大值/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	8.23	6.17	4.76	2.45
最小值/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	6.91	4.78	3.72	1.48
平均值/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	7.43	5.31	4.11	1.86

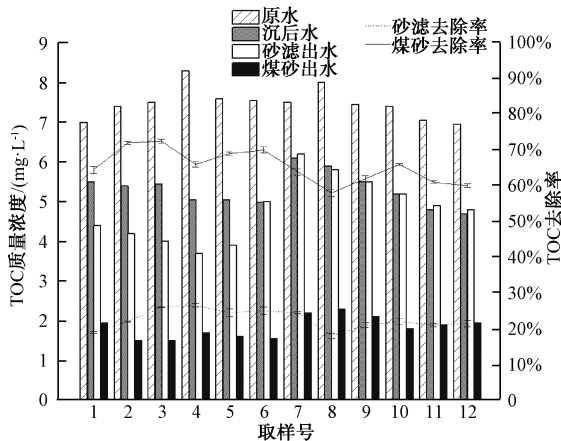


图 5 各工序出水 TOC 质量浓度、去除率变化

Fig. 5 Changes of the Concentrations and Removal Rates of Outflow TOC in Each Process

由表 5 和图 5 可知,煤砂双层滤料过滤后的 TOC 基本都降到 2  $\text{mg/L}$  以下,去除效果显著,去除率为 65.13%,砂滤池去除率为 21.24%,煤砂滤池对 TOC 的去除效果优于砂滤池。这是由于过滤过程中滤料表面附着的微生物会形成生物膜,通过微生物代谢作用可以去除水中有机物。研究表明,无烟煤与颗粒活性炭同样具有多孔结构且表面粗糙,表面及孔结构中可以附着更多更稳定的生物膜,此外,多孔结构还使其对有机物具有良好的吸附性能。因此,无烟煤具有良好的去除有机物的性能。

#### 2.1.5 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 去除效果分析

各工序的出水  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  质量浓度如表 6 所示,对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  去除效果如图 6 所示。

表 6 各工序出水  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  分析  
Tab. 6 Analysis of Outflow  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  in Each Process

参数	原水	沉后水	砂滤出水	煤砂出水
最大值/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	6.72	5.20	2.93	2.40
最小值/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	4.64	3.54	2.31	2.04
平均值/( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	5.27	4.24	2.67	2.20

由表 6 和图 6 可知,砂滤滤后水和煤砂滤后水

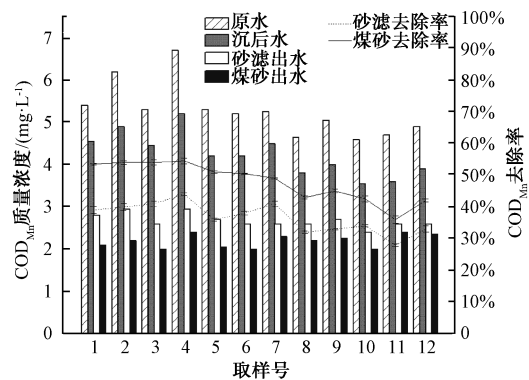


图 6 各工序出水  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  质量浓度、去除率变化

Fig. 6 Changes of the Concentrations and Removal Rates of Outflow  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  in Each Process

$\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度都达到了饮用水标准,甚至煤砂双层滤料过滤后的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  质量浓度基本都降到 2.5  $\text{mg/L}$  以下,去除率为 47.58%,去除效果显著,砂滤池去除率为 37.42%左右,煤砂滤池对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的去除效果优于单层砂滤池。这可能是由于石英砂滤料对有机物颗粒的吸附能力低,表层形成的生物膜较少,生物降解作用有限,只能通过物理截留去除很少部分的有机物;而煤砂双层滤料无烟煤颗粒具有发达的孔隙结构,吸附能力强,无烟煤表层吸附的微生物也可对部分有机物进行生物降解。

## 2.2 藻类在滤料中的分布规律探讨

试验在滤池正常运行 2 个月,对煤砂双层滤料滤池不同厚度的滤层进行取样处理,检测滤料中截留的藻类总数。滤池每 48 h 进行 1 次反冲洗,在上一周期反冲洗结束后每隔 16 h 取样 1 次,分别命名为“过滤初期”“过滤中期”“过滤后期”。

### 2.2.1 试验设计及检测方法

采取虹吸的方法,用水厂的取样器在正常运行的滤池中分别取表层 1~3、10、20、40 cm 的滤料样本各 100 mL。

向 250 mL 锥形瓶中添加 10 mL 滤料样本(量杯量取)。向锥形瓶中加入 100 mL 超纯水后,锥形瓶置于振荡器剧烈振荡 40 min,将锥形瓶中从滤料洗下的浑浊水倒入 500 mL 广口瓶中。重复以上步骤 4 次,最终用 500 mL 超纯水将无烟煤滤料表面吸附截留的藻类冲洗下来。在 500 mL 水样中取 100 mL 加入 1 mL 鲁哥试剂固定 5 h,采用方格计数法统计藻类个数,则测量结果为 2 mL 滤料所含的藻类数量。



## 2.2.2 试验结果及分析

由图7可知,藻类在滤料层中的分布呈现明显的规律:过滤初期藻类数量最少,中期藻类数量明显增加,过滤后期藻类最多。表层1~3 cm藻类含量最多,且随着过滤时间增加,数量增幅大;无烟煤滤料滤层下10、20 cm处,藻类略少,随着过滤时间增加,增幅较小;藻类含量最少的部分位于滤层下40 cm处,且随着过滤时间增加,增幅很小。这说明无烟煤滤料截污能力主要集中在表层,大量藻类被吸附截留在滤料表层,因此,在整个过滤过程中只有很少部分的藻类穿过滤层。

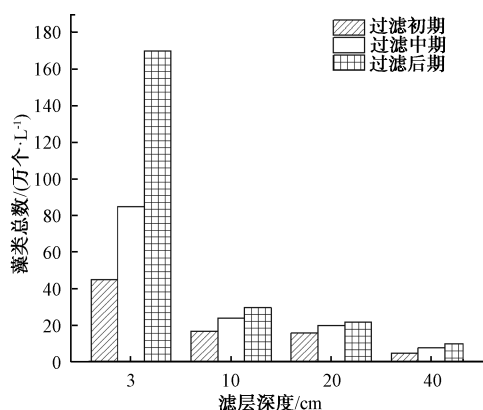


图7 藻类总数在不同滤层内分布

Fig. 7 Distribution of Quantities of Algae in Different Filtration Layers

## 3 结论

(1)整个试验周期中,河口水厂的藻类总数总体水平较高,水质整体为富营养化状态。秋季为藻类总数最高的时期。沉淀池能够混凝沉淀去除大量的藻类,但过滤单元对藻类的去除具有关键性的作用。

(2)与传统砂滤池相比,煤砂滤池能够有效地去除藻类和Chl-a,且受藻类暴发的影响更小,对藻类去除更彻底,可以获得更稳定的出水。

(3)藻类大部分是在无烟煤滤料表层被吸附截留,因此,很少出现穿透滤层滤料黏附现象,能缓解反冲洗次数增多、时间长、难冲洗的问题,可以验证河口水厂工艺升级改造和提供技术支持。

(4)煤砂双层滤料依靠滤层截留、无烟煤吸附

和生物降解作用可有效去除水中的有机物,尤其对小分子有机物去除效果较好。试验期间,煤砂滤池对 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、氨氮、TOC的平均去除率分别达到47.58%、75.47%、65.13%。煤砂滤池出水 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、氨氮、TOC的质量浓度分别降到2.5、0.1、4 mg/L以下。在一定程度上更加确保出厂水的安全性。

## 参考文献

- [1] 孔珂,徐征和,牛明慧,等. 济南引黄水库藻类污染模拟及对策研究[J]. 中国农村水利水电,2013(9):8-11.
- [2] 侯伟,孙韶华,贾瑞宝. 中国北方山区水库与引黄水库富营养化特征[J]. 中国环境监测,2016,32(2):58-63.
- [3] 孟冠州,张克峰,李儒存,等. 针对黄河下游引黄水库水质特点的助浮剂优选试验研究[J]. 城镇供水,2019(5):89-92, 102.
- [4] 高晓红. 不同滤料滤池去除浊度和有机物的研究[J]. 城市建设理论研究(电子版),2015,5(26):2898-2899.
- [5] 宋武昌,李星,贾瑞宝,等. 微污染引黄水库水中有机物特性研究[J]. 北京工业大学学报,2015(1):131-136.
- [6] 张奔,张克峰,王小佺. 三种煤砂滤池过滤参数优化及过滤性能研究[J]. 给水排水,2016,52(5):46-51.
- [7] 王小佺,周超,张建锋,等. 三种典型砂滤池过滤参数优化及过滤性能对比[J]. 中国给水排水,2015,31(9):54-58.
- [8] 王珊,张克峰,张奔,等. 煤砂滤池反冲洗优化及自控系统研究[J]. 给水排水,2017,53(s1):33-36.
- [9] 毕爱军. 双层滤料翻板滤池在闽南地区净水厂中的设计实践[J]. 给水排水,2019,55(2):25-30.
- [10] 刘婉琼,何成,彭健伟. 活性无烟煤/滤砂双滤料处理微污染原水[J]. 生物技术世界,2012(12):6-7.
- [11] 宋思杨,吴超,何欢,等. 活性炭过滤工艺在上海市饮用水深度处理中的应用[J]. 净水技术,2017,36(5):6-9.
- [12] 苑思爽. 智能检测藻类及除藻研究[J]. 河南科技,2018(11):135-137.
- [13] 傅昶宇. 拟柱胞藻检测技术改进[J]. 海峡科学,2012(7):38-40.
- [14] 于海燕,周斌,胡尊英,等. 生物监测中叶绿素a浓度与藻类密度的关联性研究[J]. 中国环境监测,2009,25(6):40-43.
- [15] 魏攀龙. 城市水体表面污染分类及其关键影响因素研究[D]. 苏州:苏州科技大学,2019.
- [16] 吴月华,盛德洋,张锡辉,等. 活性无烟煤过滤去除饮用水中氨氮研究[J]. 中国给水排水,2015,31(11):56-59.
- [17] 陈林,龙晨光,徐川,等. 活性炭在水处理中除嗅研究[J]. 江西化工,2012(2):23-25.