

黄浦江上游原水强化处理选炭试验研究

王 铮¹, 张 东¹, 申一尘², 王绍祥², 高乃云³

(1. 上海城市水资源开发利用国家工程中心有限公司, 上海 200082; 2. 上海城投原水有限公司, 上海 200050; 3. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要: 以黄浦江上游水源为原水, 通过煤质炭、竹质炭、椰壳炭等炭种筛选小试和中试试验, 研究了黄浦江上游原水有机污染物强化去除的最佳炭种及其最佳投加量。结果表明黄浦江上游原水中投加 PAC 能够改善处理后水质, 提高原水中有有机物的去除效果; 并且随着 PAC 投加量的增加, 原水中有有机物去除效果增强; 综合性价比、碳源等因素确定竹质炭较为经济合理; 当竹质炭投加量为 10 ~ 15 mg/L 时, 处理后出水 COD_{Mn} 可达到 3 mg/L 或以下。

关键词: 粉末活性炭 (PAC); 黄浦江上游原水; 竹质炭; 强化处理

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1001-3644(2010)04-0009-04

Selection of Powdered Activated Carbon for Enhanced Treatment of Raw Water from Upper-reach of Huangpu River

WANG Zheng¹, ZHANG Dong¹, SHEN Yi-chen², WANG Shao-xiang², GAO Nai-yun³

(1. Shanghai Development & Utilization Co. Ltd., National Engineering Research Center of Urban Water Resources, Shanghai 200082, China; 2. Shanghai Chengtong Raw Water Co. Ltd., Shanghai 200050, China;

3. School of Environmental Science & Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Lab and pilot studies were conducted to select the best activated carbon to add and its optimal dosage for enhanced removal of organic pollutants in the raw water from upper-reach of Huangpu River. Carbons made from coal, bamboo and coconut shell were used for the selection. The results showed that by adding PAC the quality of treated raw water could be improved, and the removal rate of organic pollutants increased with the dosage of PAC. By comparison of the cost performance and carbon source feasibility, PAC from bamboo was rational economically. When PAC dosage was ranged in 10 ~ 15 mg/L, the effluent COD_{Mn} of treated raw water could be reduced to 3 mg/L or less.

Keywords: Powdered activated carbon; raw water from upper-reach of Huangpu River; activated carbon from bamboo; enhanced treatment

黄浦江上游水源地是上海市主要水源地之一, 目前取水规模为 540 万 m³/d。黄浦江上游原水水质由于受上游来水影响, 其中有机污染物含量高, 水质差^[1]。采用现有水厂常规工艺, 出厂水难以达到新颁国家《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006) 3 mg/L 的要求。PAC 吸附技术是目前一种最经济、快速有效的应急技术^[2], 并且用于给水处理已有 70 多年的历史, 它对水体中大量有机物

具有较好的吸附去除效果^[3~6]。

本文主要通过 PAC 吸附联用常规工艺去除黄浦江上游原水有机污染物的小试和中试试验研究, 探讨煤质炭、竹质炭和椰壳炭等 PAC 对原水中有有机物的吸附处理效果, 比选炭种, 确定最佳投加量, 为黄浦江上游原水 PAC 投加示范工程提供工艺参数及依据。

1 试验方法

1.1 试验材料

试验所用原水取自上海市松浦原水厂调压池, 原水主要水质见下表。

收稿日期: 2010-01-04

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (2008AA06A412)。

作者简介: 王 铮 (1977 -), 女, 山东淄博人, 2007 年毕业于同济大学环境科学专业, 博士, 研究方向为水处理技术及化学产品研究。

表 黄浦江上游原水主要水质参数

Tab. Quality of raw water from upper-reach of Huangpu River

参数	COD _{Mn} (mg/L)	浊度 (NTU)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)	TOC (mg/L)	色度 (倍)
数值	5.2~6.7	30~80	0.11~0.12	5.5~6.5	15~20

试验所用混凝剂为液体硫酸铝 ($\text{Al}_2\text{O}_3\%$ = 7.9%), 选用的煤质炭、竹质炭和椰壳炭均为 200 目, 碘值约为 135mg/g, 亚甲基蓝值为 950mg/g。

1.2 试验装置

中试试验工艺流程图见图 1, 由进水水箱、机械搅拌澄清池、斜管沉淀池、砂滤柱等组成。中试试验采用两套平行系统, 一套投加 PAC, 另一套

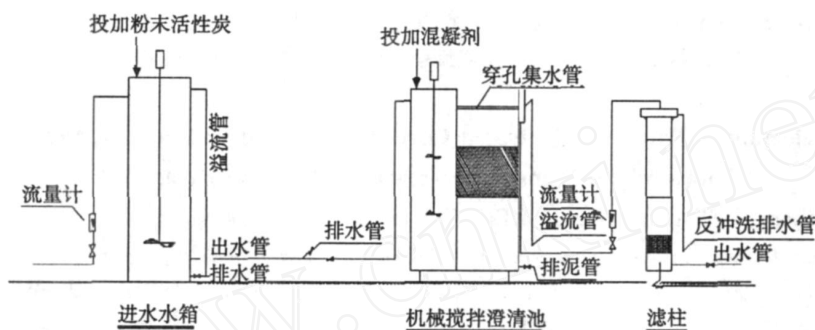


图 1 中试试验工艺流程图

Fig. 1 Flow chart of pilot process

1.3 测试方法

本试验主要测试指标包括 COD_{Mn}、UV₂₅₄、TOC 和浊度。COD_{Mn} 测定采用 GB/T5750.7-2006 酸性高锰酸钾滴定法; UV₂₅₄ 采用紫外分光光度计 (UV-4802 型, 美国 UNIC 公司) 测定; DOC 采用总有机碳分析仪 (Phoenix 8000, Teledyne Tekmar 公司) 测定; 浑浊度采用美国 HACH 公司 2100AN 浊度仪测定。UV₂₅₄ 和 DOC 测定前, 水样需经 0.45μm 微滤膜过滤。

2 结果与讨论

2.1 黄浦江上游原水常规工艺处理效能评估

试验期间黄浦江上游原水 COD_{Mn} 在 5.1~6.2mg/L 之间, DOC 在 5.5~6.9mg/L 之间, UV₂₅₄ 波动较大, 最高达 0.216cm⁻¹, 最低为 0.108cm⁻¹。COD_{Mn} 是黄浦江上游原水的主要污染指标。根据图 2 可知, 常规工艺对 COD_{Mn} 去除率在 41%~49% 之间, 处理后出水 COD_{Mn} 在 3.2mg/L 左右, 不能达到新颁国家《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006) 3mg/L 的要求。DOC 在各工艺

做空白对比试验。设计进水流量为 1.5m³/h。进水水箱尺寸为 1.1m × 1.1m × 3.6m, 搅拌桨转速为 150r/min。机械搅拌澄清池尺寸为 2.0m × 0.8m × 3.2m, 搅拌桨转速为 90r/min, 斜板宽度为 1.0m。砂滤柱高 2.7m、直径 30cm, 滤料采用粒径为 0.5~1.2mm 的石英砂, 厚度为 80cm, 滤速保持在 7.0m/h 左右。

粉末活性炭采用湿式投加方式, 首先配制成一定浓度炭浆后由计量泵打至进水水箱, 进水水箱设有搅拌器, 以保证 PAC 与原水充分混合而不沉降。在改变工况后稳定运行 18h 以上, 连续测定各处理单元出水的浊度、COD_{Mn}、TOC、UV₂₅₄ 等指标。

中呈现逐步下降的趋势, 混凝沉淀对 DOC 的去除率在 13%~26% 之间, 砂滤对 DOC 的去除率平均在 4.5% 左右。经过常规工艺处理后对原水中 DOC 的总去除率在 19%~31% 之间, 滤后水 DOC 平均在 4.0~4.7mg/L 左右。常规工艺对 UV₂₅₄ 有一定的去除作用, 去除率在 27%~40% 之间。UV₂₅₄ 主要在混凝沉淀工艺被去除, 砂滤去除率不高, 在 0.6%~3.3% 之间, 出水 UV₂₅₄ 在 0.09cm⁻¹ 以上。试验过程中主要通过沉后水浊度来控制混凝沉淀效果, 保证沉后水浊度在 2.0NTU 以下, 滤后水浊度在 1.0NTU 以下。常规工艺对浊度总去除率均在 98% 以上, 滤后水浊度在 0.3~0.5NTU 左右。

由于黄浦江上游原水水质较差, 有机物含量较高, 经常规工艺处理后不能保证 COD_{Mn} 达标, 因此对现有工艺的强化处理已非常迫切。

2.2 炭种筛选试验

利用六联搅拌仪进行烧杯试验, 混凝剂硫酸铝投加量为 80mg/L, PAC 吸附时间为 2.5h, PAC 投加量为 5~30mg/L。原水 COD_{Mn} 在 5.7mg/L 左右, UV₂₅₄ 在 0.110~0.118cm⁻¹, DOC 在 6.03~

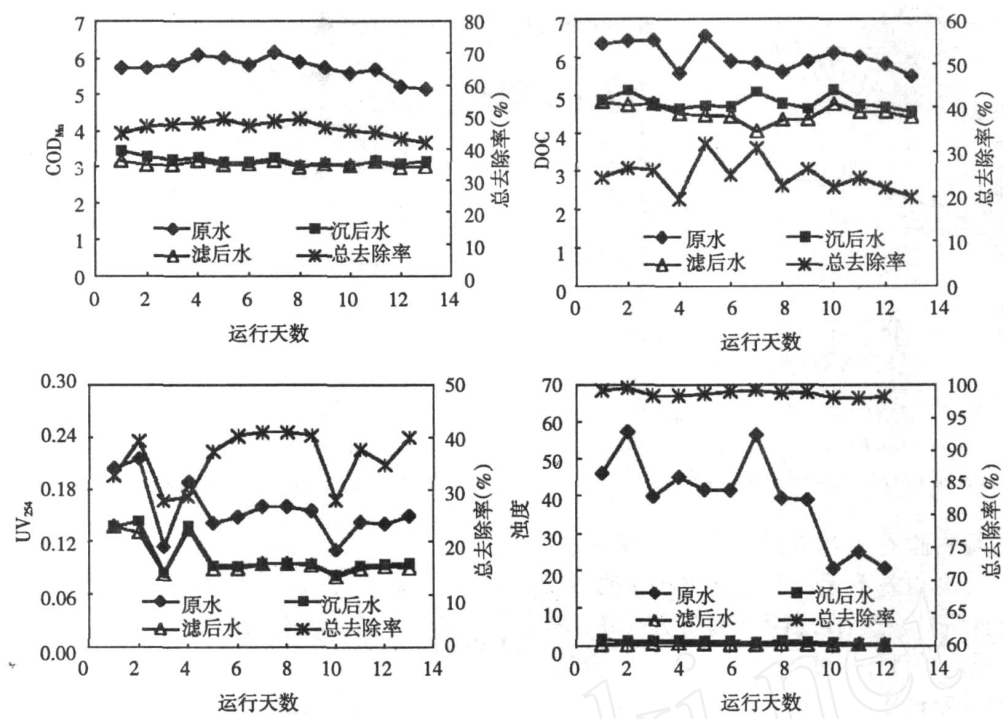


图 2 常规工艺对黄浦江上游原水 COD_{Mn}、DOC、UV₂₅₄和浊度的去除效果

Fig.2 Removal effects of normal process on COD_{Mn}, DOC, UV₂₅₄ and turbidity

6.48mg/L。不同炭种在不同投加量条件下对原水中 COD_{Mn}、UV₂₅₄和 TOC去除效果见图 3~图 5。由图可知，COD_{Mn}、UV₂₅₄和 DOC去除率均随投炭量增加而增加，并且相对未投炭时处理效果明显提高。椰壳炭强化处理效果最佳。当投炭量从 5mg/L 提高到 30mg/L，椰壳炭对 COD_{Mn}去除率从 52.31%提高到 66.29%，相对未投炭处理效率最大可提高 18.29%。而煤质炭和竹质炭处理效果相差不多，竹质炭投加量从 5mg/L 提高到 30mg/L，

对 COD_{Mn}去除率从 47.97%提高到 55.40%。当投炭量为 30mg/L 时，煤质炭、竹质炭和椰壳炭对 UV₂₅₄去除率最高可分别达 49.15%、51.33%和 76.07%，相对未投炭时分别提高 16.95%、19.47%和 31.05%。而当投炭量为 30mg/L 时，煤质炭、竹质炭和椰壳炭对 DOC去除率最高可分别达 38.86%、38.40%和 55.87%，相对未投炭时分别提高 10.45%、11.83%和 27.06%。

由以上试验结果可知，针对黄浦江上游原水

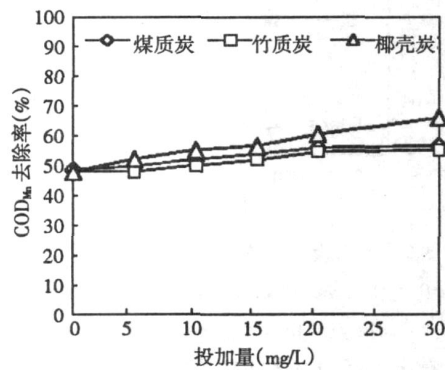


图 3 不同炭种强化混凝对 COD_{Mn}去除效果

Fig.3 Removal effect of COD_{Mn} using different sorts of PAC for coagulation process

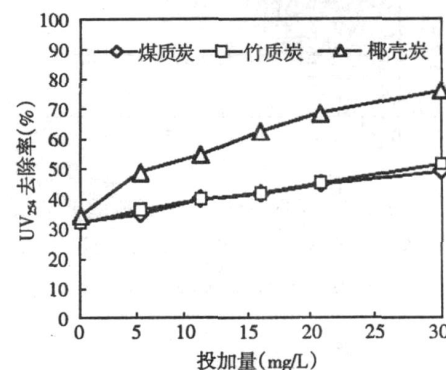


图 4 不同炭种强化混凝对 UV₂₅₄去除效果

Fig.4 Removal effect of UV₂₅₄ using different sorts of PAC for coagulation process

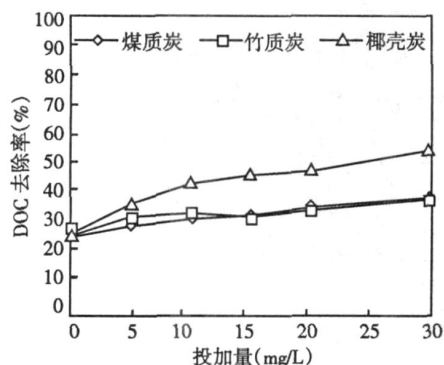


图 5 不同炭种强化混凝对 DOC 去除效果

Fig. 5 Removal effect of DOC using different sorts of PAC for coagulation process

PAC 强化混凝去除有机物效果最佳的是椰壳炭，煤质炭和竹质炭相差不大。但是从 PAC 需求量、性价比以及竹质炭碳源为可再生资源等方面综合考虑，确定竹质炭为最佳炭种。

2.3 投加量确定试验

2.3.1 小试试验

竹质炭最佳投炭量确定小试试验结果如图 6 所示。从图 6 中可知，要使处理后水 COD_{Mn} 低于 3.0 mg/L ，所需煤质炭、竹质炭和椰壳炭最小投加量分别为 10 mg/L 、 10 mg/L 和 5 mg/L 。当原水 COD_{Mn} 为 5.7 mg/L 时，投加 10 mg/L 竹质炭可以使处理后水 COD_{Mn} 降至 2.9 mg/L 左右。

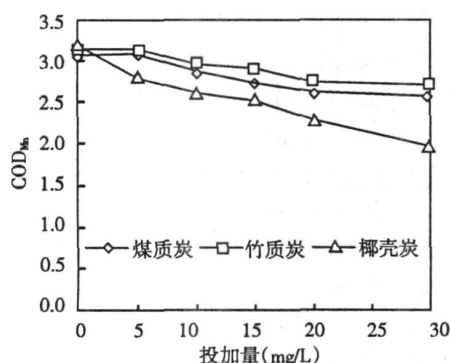
图 6 不同炭种对 COD_{Mn} 去除效果

Fig. 6 Removal effect of COD_{Mn} using different sorts of PAC for coagulation process

2.3.2 中试试验

试验期间原水 COD_{Mn} 在 $5.7 \sim 6.5 \text{ mg/L}$ ，DOC 在 5.0 mg/L 左右， UV_{254} 在 $0.11 \sim 0.17 \text{ cm}^{-1}$ 左右。竹质炭投加量分别为 10、15、20 和 30 mg/L ，混凝剂投加量为 80 mg/L 。中试试验结果见图 7。从图 7

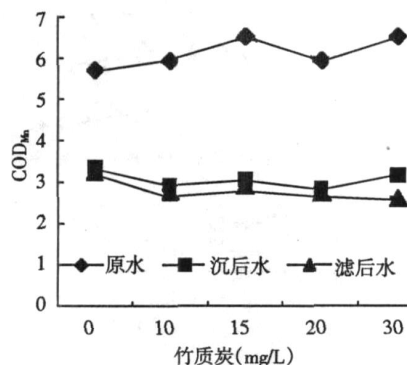
图 7 不同投加量竹质炭对 COD_{Mn} 去除效果

Fig. 7 Removal effect of COD_{Mn} with different PAC dosage of activated carbon from bamboo

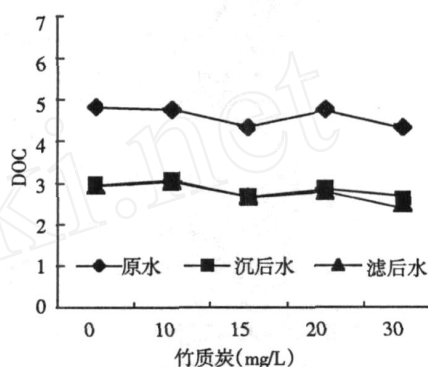


图 8 不同投加量竹质炭对 DOC 去除效果

Fig. 8 Removal effect of DOC with different PAC dosage of activated carbon from bamboo

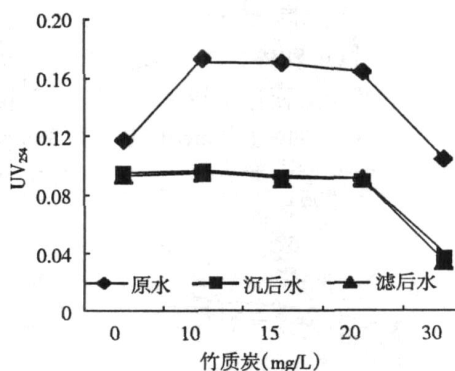
图 9 不同投加量竹质炭对 UV_{254} 去除效果

Fig. 9 Removal effect of UV_{254} with different PAC dosage of activated carbon from bamboo

中可以看出，当原水 COD_{Mn} 为 5.95 mg/L 时，竹质炭投加量为 10 mg/L 时，滤后水 COD_{Mn} 为 2.77 mg/L ，当原水 COD_{Mn} 为 6.53 mg/L 时，竹质炭投加量为 15 mg/L 时，滤后水 COD_{Mn} 为 2.90 mg/L 。经过强化常规

(下转第 18 页)

3 结论与展望

基于参数化设计理论,笔者将其应用到无阀滤池的工程设计中,并开发了相应的无阀滤池工程设计参数化系统。最终,通过工程设计案例,笔者检验了系统的科学性和合理性。通过参数化设计,将无阀滤池工程设计过程的效率提高了大约 80%,同时设计过程更加人性化和智能化。

值得注意的是,参数化设计的最大优点在于工程设计人员可以将对构筑物或建筑物的工艺改造和优化设计的创新过程真正地落实于实践,并检验其科学性和合理性,例如,在进水分配槽新增一条进水虹吸管等。因此,对于参数化设计在给排水工程设计中的应用领域及其优点,值得更多的工程设计人员去进一步思考与实践。

参考文献:

- [1] 上海市市政工程设计院主编. 给水排水设计手册(第三册)城镇给水(第2版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003. 498-506.
- [2] 尹士君,李亚峰,等. 水处理构筑物设计与计算[M]. 北京:化学工业出版社, 2004. 89-93.

- [3] 孟祥旭. 参数化设计模型的研究与实现[D]. 北京:中国科学院研究生院(计算技术研究所), 1998. 2-62.
- [4] 戴春来. 参数化设计理论的研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2002. 2-78.
- [5] Lin V C, Gossard D C, Light R A. Variation geometry in Computer-aided design [J]. Computer Graph, 1981, 15(3): 171-177.
- [6] Roller D. An approach to computer-aided parametric design [J]. Computer Aided Design, 1991, 23(5): 385-391.
- [7] Sehyun Myung, Soonhung Han. Knowledge-based parametric design of mechanical products based on configuration design method [J]. Expert Systems with Applications, 2001, 21(2): 99-107.
- [8] 赵红梅. 基于参数化技术的 CAD 系统二次开发的研究与实现[M]. 武汉:华北电力大学, 2006. 2-72.
- [9] Yan-Yun Yu, Ming Chen, Yan Lin. A new method for platform design based on parametric technology[J]. Ocean Engineering, 2010, 37(5~6): 473-482.
- [10] 任黎明,钟梅英,等. 基于 LABVIEW 的无阀滤池计算机辅助设计[J]. 中国给水排水, 2008, 24(10): 39-41.
- [11] 张国宝. AutoCAD 与 Visual Basic 开发技术[M]. 北京:科学出版社, 2000. 33-38.
- [12] 徐炳林,樊宇蛟,邓武彬. 利用 VB 实现 AutoCAD 参数化设计绘图[M]. 南京:河海大学水利水电工程学院, 2004.
- [13] 龙晓林,王国顺. 使用 VB 应用程序调用 AutoCAD 和 Excel 软件的方法[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2001, 23(4): 42-44.

(上接第 12 页)

处理后 COD_{Mn} 基本在 3mg/L 以下,达到新颁国家《生活饮用水卫生标准》(GB5749 - 2006) 3mg/L 的要求。 COD_{Mn} 去除率维持在 54% 左右,相对单独常规处理去除率最大可提高 10% 左右。因此,确定竹质炭最佳投加量为 $10 \sim 15\text{mg/L}$,与小试结果一致。

图 8 和图 9 为不同投加量竹质炭强化常规工艺对原水 DOC 和 UV_{254} 去除情况。由图可知,原水 DOC 波动不大,但是原水 UV_{254} 变化较大。随着竹质炭投加量的增加,沉后水 DOC 和 UV_{254} 基本呈下降趋势,砂滤去除作用不明显。当竹质炭投加量为 10mg/L ,DOC 可降至 3.2mg/L 左右, UV_{254} 可降至 0.089cm^{-1} 左右。当竹质炭投加量为 15mg/L ,DOC 可降至 2.9mg/L 左右, UV_{254} 可降至 0.085cm^{-1} 左右。可见,在竹质炭该投加量范围内,PAC 强化常规处理后,黄浦江上游原水中有有机污染物得到较好去除。

3 结论

通过以上试验研究,可以得到以下结论:

(1) 针对黄浦江上游原水水质,投加 PAC 强化常规处理能够提高原水中有有机物去除效果,改善处理后水质。

(2) 随着 PAC 投加量的增加,相对单独常规工艺,原水 COD_{Mn} 、 UV_{254} 和 DOC 去除效果都得到改善,并呈现递增趋势。

(3) 椰壳炭吸附性能最优,竹质炭和煤质炭差别不大,但是综合考虑产品性价比、碳源等因素确定竹质炭为最佳炭种。

(4) 竹质炭最佳投加量为 $10 \sim 15\text{mg/L}$ 左右。

参考文献:

- [1] 林林生,鲍士荣,康兰英,等. 黄浦江上游原水水质特征与处理对策[J]. 给水排水, 2005, 31(7): 26-31.
- [2] 王生辉,张晓健,李勇,等. 硝基苯污染源水的粉末活性炭处理技术研究[J]. 中国给水排水, 2007, 23(1): 1-5.
- [3] Vedat Uyuk, Sema Yavuz, Ismail Toroz, et al. Disinfection by-products precursors removal by enhanced coagulation and PAC adsorption[J]. Desalination, 2007, 216(1~3): 334-344.
- [4] 刘成,高乃云,马晓雁. 高藻及微囊藻毒素污染源水的应急处理工艺研究[J]. 中国给水排水, 2006, 22(21): 9-13.
- [5] Maria Tomaszewska, Sylwia Mozia, Antoni W. Morawski. Removal of organic matter by coagulation enhanced with adsorption on PAC[J]. Desalination, 2004, 161: 79-87.
- [6] 周克梅,李维,陈志平,等. 投加粉末活性炭处理长江南京段微污染原水的研究[J]. 中国给水排水, 2007, 23(3): 106-108.