

关永年, 刘洪波, 黄剑虹, 等. 污水处理厂二级出水粉末活性炭深度处理试验[J]. 净水技术, 2022, 41(4):61-65.

GUAN Y N, LIU H B, HUANG J H, et al. Advanced treatment experiment of powdered activated carbon for secondary effluent of WWTP [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(4):61-65.



扫我试试?

## 污水处理厂二级出水粉末活性炭深度处理试验

关永年<sup>1</sup>, 刘洪波<sup>2,\*</sup>, 黄剑虹<sup>2</sup>, 徐超<sup>1</sup>, 陈勇<sup>1</sup>

(1. 苏州工业园区清源华衍水务有限公司, 江苏苏州 215021; 2. 上海理工大学环境与建筑学院, 上海 200093)

**摘要** 鉴于某污水处理厂接纳处理污水中存在难降解有机物和有机磷, 会对出水稳定达标造成一定风险, 文中分别取污水处理厂二级出水, 分别投加不同浓度的粉末活性炭、聚合氯化铝(PAC)和聚丙烯酰胺(PAM)进行组合试验, 以探究去除 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 和总磷(TP)的最佳药剂组合。试验表明, 投加粉末活性炭和不同药剂组合对二沉池出水中 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 和TP均有一定去除作用, 当投加10 mg/L的粉末活性炭、2.0 mg/L的PAM和15 mg/L的PAC时, 对去除二沉池水中 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 和TP具有明显的效果。该结果对处理同类水质的污水厂选择深度处理工艺有积极的指导作用。

**关键词** 粉末活性炭 难降解有机物 聚合氯化铝(PAC) 聚丙烯酰胺(PAM) 深度处理

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2022)04-0061-05

**DOI:** 10.15890/j.cnki.jsjs.2022.04.010

## Advanced Treatment Experiment of Powdered Activated Carbon for Secondary Effluent of WWTP

GUAN Yongnian<sup>1</sup>, LIU Hongbo<sup>2,\*</sup>, HUANG Jianhong<sup>2</sup>, XU Chao<sup>1</sup>, CHEN Yong<sup>1</sup>

(1. Suzhou Industrial Park Qingyuan Huayan Water Services Co., Ltd., Suzhou 215021, China;

2. School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract** In view of the existence of refractory organic matter and organic phosphorus in the sewage accepted and treated by a wastewater treatment plant (WWTP), which can cause certain risks to the stability of the effluent of WWTP. In this paper, the secondary effluent of the WWTP was taken separately and different concentrations of powdered activated carbon, polyaluminum chloride (PAC) and polyacrylamide (PAM) were added for combined experiments to explore the optimal removal of  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  and total phosphorus (TP). Results showed that the addition of powdered activated carbon and different chemicals could remove  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  and TP in the effluent of secondary sedimentation tank to a certain extent. Dosing 10 mg/L powdered activated carbon, 2.0 mg/L polyacrylamide (PAM) and 15 mg/L polyaluminum chloride (PAC) had obvious effect on further  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  and TP removal in the secondary sedimentation tank. Results have a positive guiding role for the advanced treatment of WWTPs that treat similar water quality.

**Keywords** powder activated carbon undegradable organic matter polyaluminum chloride (PAC) polyacrylamide (PAM) advanced treatment

随着我国国民经济的快速发展,工业化过程中

产生了大量生化性差、难生物降解的废水,给城市污水处理厂的运行带来了新的挑战<sup>[1]</sup>。活性炭是一种多孔吸附材料,内部孔隙结构带来的高比表面积赋予其强大的吸附能力<sup>[2]</sup>,利用其吸附功能可以去除污水中的多种污染物,成为最常用的吸附剂<sup>[3-4]</sup>。因此,活性炭被广泛应用于多种工业废水和市政污水处理中<sup>[5-6]</sup>。活性炭可以与混凝剂联用以增强处

[收稿日期] 2021-07-07

[基金项目] 上海市曙光计划(18SG45)

[作者简介] 关永年(1969—),男,高级工程师,主要从事城市污水处理厂、给水管网的运行管理和技术研究工作, E-mail: guanyan@hesino.com。

[通信作者] 刘洪波(1979—),男,教授,研究方向为水污染控制理论与技术, E-mail: Liuhb@usst.edu.cn。

理效果<sup>[7]</sup>,同时,还有一定助凝效果,有利于高效沉淀池的运行<sup>[8]</sup>。面对复杂多变的污水处理厂进水水质,混凝剂与粉末活性炭吸附功能存在重叠与互斥的现象<sup>[9]</sup>,导致很多污水处理厂实际应用时效果不理想。但也有学者在研究中发现,在预处理等情况下两者联用有较好的效果<sup>[10-11]</sup>,说明活性炭与混凝剂的联用技术仍有待研究。本研究进行粉末活性炭、聚合氯化铝(PAC)和聚丙烯酰胺(PAM)不同浓

度联合投加试验,分析不同药剂组合对污染物去除的实际效果,进而确定粉末活性炭与混凝剂联合使用的最佳投加组合。

## 1 工程概况

苏州某污水处理厂设计能力为 30 万 m<sup>3</sup>/d,污水处理厂出水水质主要指标执行苏州地方标准(“准 IV 类”标准),设计进水、出水水质如表 1 所示。

表 1 设计进水出水指标  
Tab. 1 Designed Water Quality Indices of Influent and Effluent

项目	COD <sub>Cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	SS /(mg·L <sup>-1</sup> )	氨氮 /(mg·L <sup>-1</sup> )	总氮(TN) /(mg·L <sup>-1</sup> )	总磷(TP) /(mg·L <sup>-1</sup> )
进水指标	450	200	200	35.0	45	6.5
出水指标	30	6	5	1.5(3.0)	10	0.3

注:括号外数值为水温大于 12 ℃ 的控制指标,括号内数值为水温小于 12 ℃ 的控制指标

该厂二级处理采用改良型 AAO 工艺,深度处理采用高效沉淀池、V 型滤池与次氯酸钠消毒工艺,目

前基本处理于满负荷状态,运行状况良好。工艺流程如图 1 所示。



图 1 污水处理厂工艺流程

Fig. 1 Process Flow of WWTTP

该厂接纳的工业废水门类较多,工业企业排放的废水经过预处理后进入污水处理厂,工业废水中难免有一些难生物降解的有机物。根据抽样检测,该厂二沉池出水 COD<sub>Cr</sub> 中难降解 COD<sub>Cr</sub> 含量约为 5~10 mg/L,TP 中有机磷含量约为 0.05~0.15 mg/L。难生化降解物质的存在给污水处理厂安全运行、稳定达标带来一定的风险。溶解性难降解 COD<sub>Cr</sub> 和有机磷通过混凝、沉淀、过滤(滤布滤池、V 型滤池、反硝化滤池等)工艺无法将其去除。因此,该厂在深度处理工艺中,设置向高效沉淀池进水端联合投加 PAC、PAM 和粉末活性炭的装置。

本试验以二沉池出水为水源,验证粉末活性炭与不同药剂组合的实际处理效果,为深度处理运行提供依据。该厂二沉池的实际出水色度均在 10 以

下,本底值相对较低,使用粉末活性炭对其去除效果有限,因此,本试验重点研究粉末活性炭的投加对 COD<sub>Cr</sub> 和 TP 的去除效果,不再分析对色度的去除作用。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 试验材料的选择

本试验选用山西某厂商生产的煤质粉末活性炭。通过检测,该活性炭的相关指标参考《煤质颗粒活性炭 净化水用煤质颗粒活性炭》(GB/T 7701.2—2008)标准,均符合标准要求,具体检测数据如表 2 所示。PAM 选用国产某品牌阴离子,分子量约为 1 700 万,水解度约为 26%;PAC 选用污水处理厂常用的化学除磷药剂(氧化铝含量约为 7.8%),2 种药剂均为常用药剂,详细参数不再赘述。

表2 粉末活性炭检测指标

Tab. 2 Quality Indices of Powder Activated Carbon

检测项目	指标	检测结果
pH 值	6.00~10.00	7.58
亚甲基蓝吸附值/(mg·g <sup>-1</sup> )	≥150	150
苯酚吸附值/(mg·g <sup>-1</sup> )	≥140	155
水分	≤10.00%	4.17%
灰分	/	9.44%
漂浮率	≤3.00%	0.17%
碘吸附值/(mg·g <sup>-1</sup> )	≥900	918

## 2.2 试验方法

投加粉末活性炭和不同药剂(PAC、PAM)组合后,测试其 COD<sub>Cr</sub>、TP 的去除效果;通过试验确定最佳的粉末活性炭、药剂组合以及相应的投加量。取 7 个 1 L 量杯,其中 6 个量杯分别标编号 a、b、c、d、e、f,一个空白样,各取 1 L 二沉池出水。6 支水样按不同浓度投加相应的粉末活性炭、粉末活性炭组合 PAC、粉末活性炭组合 PAM、粉末活性炭组合 PAC 与 PAM 混合液,放入六联搅拌器搅拌 10 min 后静置 30 min,取上清液分析 COD<sub>Cr</sub>、TP,分析相应的变化趋势及污染物去除效果。根据文献资料研究,未经改性的活性炭对氨氮、TN 的去除有限<sup>[12-13]</sup>,因此,为分析方便,本试验重点是对 COD<sub>Cr</sub> 和 TP 的去除效果分析,变化趋势图仅关注 COD<sub>Cr</sub>、TP 的变化情况。

## 3 结果与讨论

### 3.1 投加粉末活性炭试验

试验各取 1 L 水样,分别放入 7 个 1 L 量杯中。6 个有编号的量杯放入六联搅拌试验装置中,一个空白样作对比。此外,向六联装置中分别投加 20、30、40、50、60、70 mg/L 的粉末活性炭,并分别记为 A、B、C、D、E、F 批次。缓慢搅动 10 min 静置 30 min 后取上清液,分别测量 COD<sub>Cr</sub> 和 TP 指标。测试结果如图 2 所示。

经上述试验发现,粉末活性炭投加对 COD<sub>Cr</sub> 的去除有一定的效果。当粉末活性炭投加量为 20 mg/L 时,投加效果最好;投加量超过 40 mg/L 时, COD<sub>Cr</sub> 含量增多超过空白样;投加量进一步增加时, COD<sub>Cr</sub> 有下降趋势。这可能是过量投加的活性炭中有机物溶出所导致,同时也因为活粉末活性炭对污染物的去除有相应的吸附平衡浓度,达到这个平衡

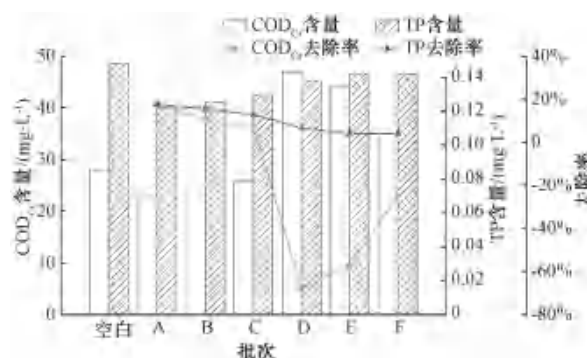


图2 投加粉末活性炭后水质指标变化

Fig. 2 Changes of Water Quality Indices after Dosing Powdered Activated Carbon

浓度后为去除率转折点,过了平衡点后去除率上升<sup>[14]</sup>。粉末活性炭投加对 TP 有一定的去除效果,但不明显。

### 3.2 投加粉末活性炭、PAC 组合试验

各取 7 个 1 L 水样,向六联装置中分别投加 A'、B'、C'、D' 这 4 个批次的粉末活性炭,投加量分别为 5、10、15、20 mg/L 的粉末活性炭。每个批次向六联装置中分别投加 5、10、15、20 mg/L 的 PAC。缓慢连续搅动 10 min 静置 30 min 后取上清液,测量 COD<sub>Cr</sub> 和 TP 指标,测试结果如图 3 所示。

试验发现,粉末活性炭和 PAC 混合投加对 COD<sub>Cr</sub> 有一定的去除作用,当粉末活性炭投加量为 20 mg/L、PAC 投加量为 10 mg/L 时,去除效果最好,投加量的变化对水样中 COD<sub>Cr</sub> 去除不成线性关系;粉末活性炭和 PAC 组合投加,对 TP 均有一定的去除,当粉末活性炭投加量为 15 mg/L、PAC 投加量为 20 mg/L 时,对 TP 的去除效果最佳。

### 3.3 投加粉末活性炭、PAM 组合试验

取 7 个水样,分别向六联装置中各投加 A'、B'、C'、D' 这 4 个批次的粉末活性炭,投加量分别为 5、10、15、20 mg/L。每个批次向六联装置中分别投加 0.5、1.0、1.5、2.0 mg/L 的 PAM 粉末,缓慢连续搅动 10 min,静置 30 min 后取上清液,分别测 COD<sub>Cr</sub> 和 TP 指标,测试结果如图 4 所示。

试验发现,粉末活性炭和 PAM 联合投加,对 COD<sub>Cr</sub> 均有一定去除,但效果不明显。粉末活性炭和 PAM 联合投加,对 TP 的去除有一定的效果,当粉末活性炭投加量为 5 mg/L、PAM 投加量为 1.5 mg/L 时,去除效果最好;粉末活性炭和 PAM 投加量

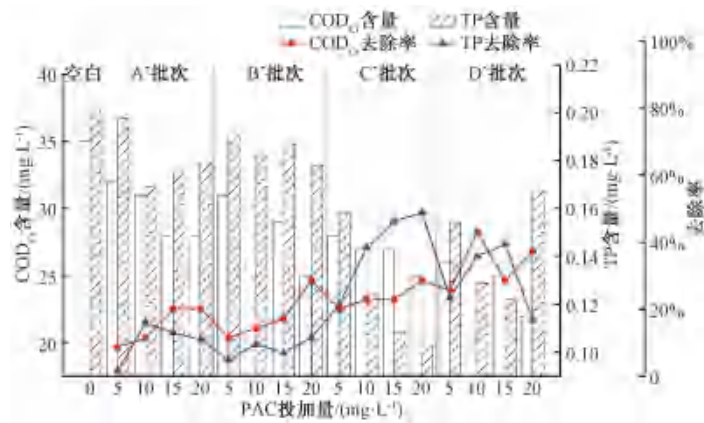


图3 投加粉末活性炭和 PAC 后水质指标变化

Fig. 3 Changes of Water Quality Indices after Dosing Powdered Activated Carbon and PAC

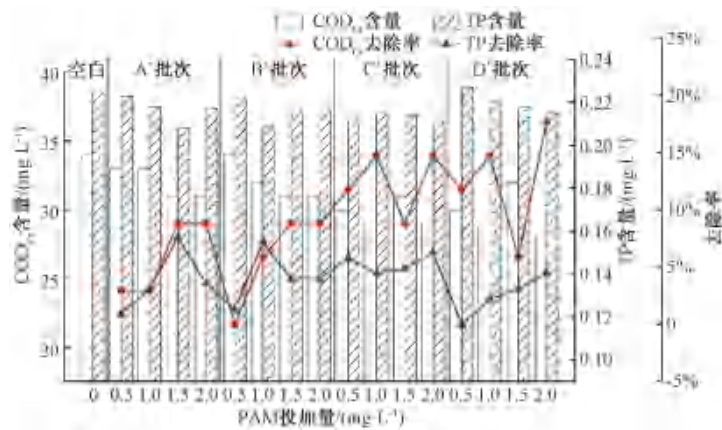


图4 投加粉末活性炭、PAM 后水质指标变化

Fig. 4 Changes of Water Quality Indices after Dosing Powdered Activated Carbon and PAM

的变化对水样中 TP 去除有较大的波动。

### 3.4 投加粉末活性炭组合 PAM、PAC 试验

各取 7 个 1 L 水样,分别向六联装置中各投加 2.0 mg/L 的 PAM 并搅拌均匀,再向六联装置中各投加 A'、B'、C'、D' 这 4 个批次的粉末活性炭,投加量分别为 5、10、15、20 mg/L。每个批次向六联装置分别投加 5、10、15、20 mg/L 的 PAC,缓慢连续搅动 10 min,静置 30 min 后取上清液,分别测  $COD_{Cr}$ 、TP 含量,测试结果如图 5 所示。

经上述试验发现,粉末活性炭、PAM、PAC 联合投加对  $COD_{Cr}$  有一定的去除作用,当粉末活性炭投加量为 20 mg/L、PAM 投加量为 2.0 mg/L、PAC 投加量为 15 mg/L 时,对  $COD_{Cr}$  的去除效果最好。粉末活性炭、PAM 和 PAC 联合投加对 TP 均有明显的去除,当粉末活性炭投加量为 20 mg/L、PAM 投加量为 2.0 mg/L、PAC 投加量为 20 mg/L 时,对 TP 的去

除效果最佳。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

(1) 单独投加粉末活性炭时,对  $COD_{Cr}$  的去除有一定的效果,对 TP 的去除效果有限。

(2) 粉末活性炭和 PAC 联合投加时,对  $COD_{Cr}$  和 TP 都有一定去除效果。当粉末活性炭投加量为 20 mg/L、PAC 投加量为 10 mg/L 时,对  $COD_{Cr}$  的去除效果最好;当粉末活性炭投加量为 15 mg/L、PAC 投加量为 20 mg/L 时,对 TP 的去除效果最佳。

(3) 粉末活性炭和 PAM 联合投加,对  $COD_{Cr}$  的去除效果不明显,对 TP 去除有一定的效果。当投加量为粉末活性炭 5 mg/L、PAM 投加量为 1.5 mg/L 时,对 TP 的去除效果最佳。

(4) 粉末活性炭、PAM 和 PAC 联合投加对  $COD_{Cr}$ 、TP 均有一定的去除效果。当粉末活性炭投

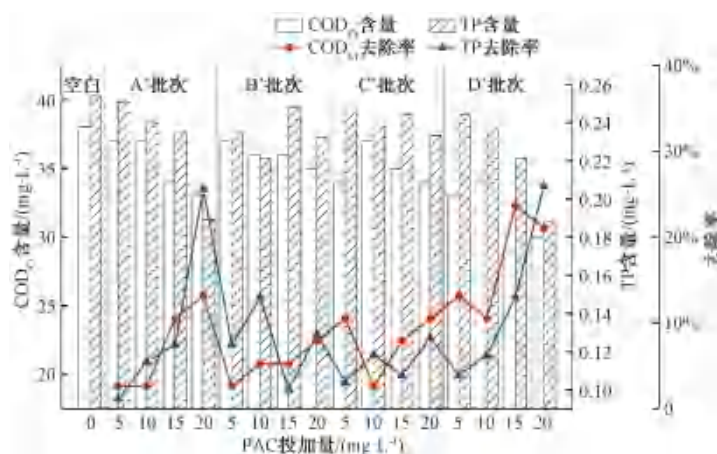


图5 投加粉末活性炭组合PAM与PAC水质变化

Fig. 5 Changes of Water Quality Indices after Dosing Powdered Activated Carbon, PAM and PAC

加量为 20 mg/L、PAM 投加量为 2.0 mg/L、PAC 投加量为 15 mg/L 时,对  $COD_{Cr}$  的去除率最高;当粉末活性炭投加量为 20 mg/L、PAM 投加量为 2.0 mg/L、PAC 投加量为 20 mg/L 时,对 TP 的去除效果最佳。

综上,对二沉池出水联合投加粉末活性炭、PAC 及 PAM,对  $COD_{Cr}$ 、TP 有一定的去除作用,兼顾  $COD_{Cr}$  和 TP 的去除效果,投加量为粉末活性炭 20 mg/L、PAM 2.0 mg/L 和 PAC 15 mg/L 时去除效果最佳。上述药剂组合的投加量,按目前市场价格测算,每吨水成本约为 0.16 元。此投加量组合作为污水处理厂深度处理应急投加,成本上可接受、经济上可行。粉末活性炭、PAC 及 PAM 联合投加,在自来水原水异常过程中应急处理已得到广泛的应用,粉末活性炭投、PAC 和 PAM 投加装置都是成熟的成套设备,上述试验结果具有应用的可行性。

#### 4.2 建议

(1) 试验的某污水处理厂二沉池前端进行了同步化学除磷,在二沉池进水口已投加 PAC,投加量约为 15 mg/L,因此,本试验的  $COD_{Cr}$ 、TP 的本底浓度相对较低,对试验结果分析可能有一定的影响,后续精准研究可停止同步化学除磷,提高本底值。

(2) 由于时间有限,本试验未同步检测样品中溶解性难降解  $COD_{Cr}$  和有机磷的浓度,后续还需进一步检测相应浓度以及占比情况,对活性炭吸附作用进行进一步分析评估。

(3) 因受到试验条件的限制,未进行与其他工艺的对比试验,试验结果也是在静态条件下做出,后续还需进一步改善试验条件、改进试验方案,对粉末

活性炭的作用进行更加深入的研究。

#### 参考文献

- [1] 单威,王燕,郑凯凯,等. 高工业废水占比城镇污水处理厂  $COD$  提标技术比选与分析[J]. 环境工程, 2020, 38(7): 32-37, 24.
- [2] 王秀芳,张会平,肖新颜,等. 高比表面积活性炭研制进展[J]. 功能材料, 2005(7): 7-9, 12.
- [3] NAMANE A, HELLAL A. The dynamic adsorption characteristics of phenol by granular activated carbon [J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, 137(1): 618-625.
- [4] 王菊,张红梅. 浅议活性炭在工业废水处理中的应用[J]. 资源节约与环保, 2013(3): 42-42.
- [5] 赵喜柱,王振强,贺启生,等. 浅议活性炭在污水处理中的应用[J]. 内蒙古水利, 2012(3): 93-94.
- [6] 张跃东. 活性炭吸附法在工业废水处理中的应用[J]. 河北化工, 2011, 34(6): 74-76.
- [7] 汤利华. 混凝过程中粉末活性炭的使用问题[J]. 化工给排水设计, 1996(3): 39-41.
- [8] 崔凤国,杨鹏,张伟军,等. 混凝和活性炭吸附深度处理制药废水中有机物去除特征[J]. 环境工程学报, 2015, 9(9): 4359-4364.
- [9] 陈晓难,赵文秀,李诚. 粉末活性炭在污水处理厂深度处理中的应用[J]. 净水技术, 2020, 39(s1): 129-132.
- [10] 李昆,郭远涛,孙盛进,等. 活性炭与混凝剂预处理不同废水的效果对比[J]. 南昌大学学报(理科版), 2020, 44(5): 476-481, 491.
- [11] 李鑫,李伟光,公绪金,等. 粉末活性炭—混凝联用工艺强化去除毒死蜱试验研究[J]. 给水排水, 2011, 47(7): 124-127.
- [12] 丁国庆,陆金华,曹昊,等. 不同活性炭的改性及其吸附废水中氨氮的实验研究[J]. 江西科学, 2020, 38(2): 241-244.
- [13] 崔笑颖. 活性炭改性方法及其对水中氨氮吸附性能的技术研究[D]. 张家口:河北建筑工程学院, 2019.
- [14] 白瑞,刘皓,卢翠英,等. 改性活性炭对染料废水的吸附性能研究[J]. 当代化工, 2019, 48(5): 895-898.