

技术总结

# 活性炭炭粉对水处理设备污染防治的工程实践

李俊, 何长明, 刘晓晶

(陕西省石油化工研究设计院 陕西省工业水处理工程技术研究中心, 陕西 西安 710054)

**摘要:** Q再生水厂进水有机物含量高,采用活性炭吸附法去除COD的过程中,带来了炭粉对后端水处理设备的污堵问题。为解决此问题,首先必须严格控制活性炭的质量,即采购清洗过的大颗粒高强度活性炭,并使其炭粉含量低于0.5%。运行中活性炭产水在经过产水槽初步沉降后,采用200  $\mu\text{m}$ 金属滤网、2  $\mu\text{m}$ 自清洗过滤器与0.02  $\mu\text{m}$ 超滤膜组成三级过滤装置,超滤系统的反洗周期为2.5 h,清洗活性炭并定期清理活性炭产水槽,可有效避免活性炭炭粉的污堵情况,保证正常生产运行。

**关键词:** 再生水厂; 活性炭炭粉; 水处理设备; 污堵; 超滤

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)17-0035-04

## Prevention and Control of Fouling in Water Treatment Equipment Caused by Activated Carbon Powder

LI Jun, HE Chang-ming, LIU Xiao-jing

(Shaanxi Industry Water Treatment Research Centre of Engineering Technology, Shaanxi Research Design Institute of Petroleum and Chemical Industry, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The influent of reclaimed wastewater treatment plant Q had high organic content, and COD was removed by activated carbon adsorption method. However, the activated carbon powder also caused fouling in the subsequent water treatment equipment. To prevent fouling, the quality of activated carbon must be strictly controlled. In detail, the large granule and high intensity activated carbon had to be washed and cleaned, and the content of carbon powder had to be below 0.5%. The effluent from the granular active carbon treatment was initially settled in the production sink, and subsequently treated by a three-level filtration device, which consisted of a 200  $\mu\text{m}$  metal filter, a 2  $\mu\text{m}$  self-cleaning filter, and a 0.02  $\mu\text{m}$  ultrafiltration component. The ultrafiltration backwash cycle was 2.5 h. Regular washing of the granular activated carbon and cleaning of the production sink could effectively control the fouling of activated carbon powder and maintain the production operation.

**Key words:** reclaimed wastewater treatment plant; activated carbon powder; water treatment equipment; fouling; ultrafiltration

化工废水成分复杂,有机物含量高<sup>[1]</sup>。目前,脱除或分解废水中有机物的方法包括吸附法、化学混凝法、电化学法、臭氧氧化法、生物法和微电解法等。活性炭具有较大的比表面积、多功能吸附位及丰富的表面化学结构,对多数常见的有机污染物和重金属离子都有很强的物理和化学吸附能力,是去除废水中有机物的一种常用工艺。尤其适用于化学沉淀、生物处理等工艺之后,可有效脱除难生化、难化学去除的有机污染物<sup>[2]</sup>。活性炭工艺简单且运行成本低,大量试验结果表明,活性炭吸附脱除COD的效果良好<sup>[3]</sup>,但炭粉对工艺设备的污染防治是一项十分困难的工作,这限制了活性炭在工程实践中的应用。笔者针对炭粉对水处理设备污染防治工程的应用效果进行阐述,旨在为炭粉的污染防治提供新的途径。

## 1 工艺运行情况

Q再生水厂采用移动床连续活性炭工艺脱除COD,对商品活性炭运输过程中产生的炭粉在新炭槽中进行清洗。活性炭塔底部进水、顶部出水,新炭由活性炭塔的顶部加入,废炭由底部排出,进水与活性炭逆向接触,活性炭处于流动态,因此在活性炭塔装填及运行过程中会产生炭粉。活性炭塔出水进入活性炭产水槽,产水槽既对产水起到一定的缓冲作用,还能沉降部分炭粉,产水槽再通过产水泵泵入过滤装置进一步过滤脱除炭粉,产水槽出水进入后端水处理系统,如反渗透等(见图1)。在实际运行过程中,活性炭炭粉会随着产水一起进入后端水处理装置,导致装置频繁出现炭粉污堵现象,提高了设备的故障率,严重影响生产运行,增加了运行成本。

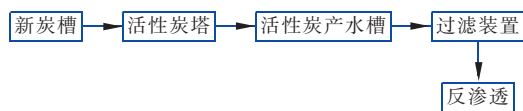


图1 工艺流程示意

Fig.1 Schematic diagram of process flow

## 2 控制炭粉污堵的措施

### 2.1 来源控制

活性炭分为原煤破碎活性炭、压块破碎活性炭和粒状活性炭3类。原煤破碎活性炭由原煤破碎筛分而得,其棱角处易形成炭粉落入水体中,对于防治炭粉污染而言,不宜采用此种炭。压块破碎活性炭和粒状活性炭都是先把炭磨成粉,用粘接剂粘结,然

后压成块破碎,或压成条切成粒,这种工艺的活性炭炭粉少。水处理装置的污堵问题来源于活性炭,因此从源头上控制十分重要。活性炭颗粒越小,比表面积越大,对COD的去除效果相对越好<sup>[4]</sup>,但活性炭颗粒越小,越难以被截留,对后续水处理设备容易造成污堵。因此,在工程应用中不能仅以活性炭脱除效果为依据来选择活性炭,还应考虑活性炭炭粉的影响。实践证明,以采购清洗过的大颗粒、高强度的活性炭为宜。

#### 2.1.1 活性炭炭粉含量

活性炭中含有一定量的炭粉,因此活性炭必须经过细筛,将粉末筛掉,本工程采用以下方式检测炭粉量:将试样置于 $(150 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的电热恒温干燥箱内,干燥至质量恒定。冷却后称取20 g样品于200 mL蒸馏水中,搅拌后静置10 min,将未沉淀的炭粉采用20  $\mu\text{m}$ 的滤纸进行过滤,测得炭粉的百分含量。

本工程采用8×30目的颗粒活性炭,选取5个厂家(A、B、C、D、E)的活性炭检测其炭粉含量,结果表明A、B、C、D、E厂的炭粉含量分别为0.3%、0.4%、0.45%、0.8%、1.8%。可以看出,不同厂家活性炭的炭粉含量不同。该5种活性炭在工程实践中的应用结果表明,当炭粉含量<0.5%时,后端水处理装置的炭粉污堵情况明显好转。可见,采购的活性炭除了满足正常的指标需求外,还需严格控制其炭粉含量,工程实践证明炭粉含量以低于0.5%为宜。

#### 2.1.2 洗炭

进入活性炭吸附塔前一定要清洗干净新装的活性炭,清洗过程中将输送水槽中的水从新炭槽下部打入,水自下而上清洗活性炭,从新炭槽上端溢流到输送水槽,完成活性炭的清洗。

### 2.2 过滤方式

在实际生产过程中,分别将1  $\mu\text{m}$ 的过滤器(过滤器中装填滤芯)、0.4  $\mu\text{m}$ 的浸没微滤膜(采用自吸泵抽8 min、停2 min,膜出水负压小于-0.04 MPa)和0.02  $\mu\text{m}$ 的超滤膜(设有进、出水压力表,通过压差和流量变化控制运行,并采取定期反洗的方式恢复处理能力)置于活性炭产水工艺后面,分析后端反渗透装置的污堵情况。结果表明,采用1  $\mu\text{m}$ 的过滤器时,过滤器滤芯2 d就出现了堵塞,其压差达到0.2 MPa,需更换滤芯,同时反渗透装置前

的保安过滤器( $5\text{ }\mu\text{m}$ )2 d的压差达到 $0.15\text{ MPa}$ ,需更换滤芯;采用 $0.4\text{ }\mu\text{m}$ 的浸没微滤膜过滤时,反渗透装置前的保安过滤器7 d的压差达到 $0.15\text{ MPa}$ ;采用 $0.02\text{ }\mu\text{m}$ 的超滤膜过滤时,反渗透装置前的保安过滤器经过1个月左右压差才达到 $0.15\text{ MPa}$ 。可见,采用 $0.02\text{ }\mu\text{m}$ 的超滤膜过滤能有效减缓后端水处理装置的炭粉污堵情况。

### 2.3 设备周期性恢复分析

实际运行中,从运行压差可以看出,超滤膜的污堵事件随着装置运行时间的延长而增加。由于反洗可恢复超滤膜的运行压力,因此分析了反洗周期与超滤膜达到最大运行压差之间的关系,结果如图2所示。可以看出,超滤膜运行压差随着反洗周期的延长而增大。每隔 $2.5\text{ h}$ 反洗1次时,反洗后的运行压差可恢复至初始值。若继续延长反洗周期,则反洗后压差呈增加趋势,长期运行将导致压差越来越大,甚至不可恢复。反洗水量随反洗周期的缩短而增加,这将增大反洗水处理系统的负荷。综合装置的运行压差、可恢复性以及反洗水量,反洗周期为 $2.5\text{ h}$ 较好。

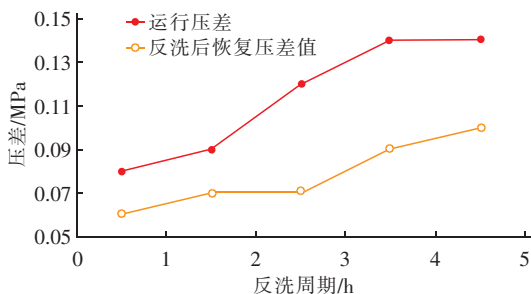


图2 超滤膜反洗周期对运行压差的影响

Fig.2 Influence of ultrafiltration backwashing cycle on operating pressure

另外,活性炭炭粉会随着产水一并进入产水槽,随着运行时间的延长,产水槽中的炭粉越来越多,若不及时清理,沉降后的炭粉将会进入后端水处理装置,因此定期清理活性炭产水槽是一项必不可少的工作。

### 2.4 解决措施

采用超滤膜对炭粉进行预先截留,通过实际运行发现,超滤装置的进、出水压差逐渐变大,由 $0.07\text{ MPa}$ 增加至 $0.20\text{ MPa}$ ,且产水量下降。同时发现,炭粉分布在超滤膜的孔径和缝隙中,采用水清洗及化学清洗很难恢复超滤膜的通量,即超滤膜下降的

膜通量不可恢复。分析活性炭产水中炭粉的粒径发现,炭粉的粒径分布范围较广(见图3),为防止进入超滤系统的炭粉量过多,造成清洗频次和漏网概率的增加,并避免大颗粒活性炭在大流量工况下对超滤膜的冲击损伤,需要采用多级过滤的方式。本工程采用 $200$ 、 $1\sim 10$ 、 $0.02\text{ }\mu\text{m}$ 三级过滤。

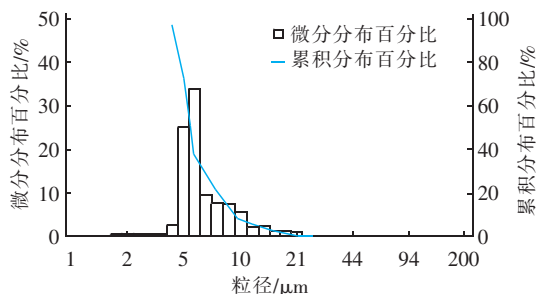


图3 活性炭产水中炭粉的粒径分析

Fig.3 Particle size analysis of activated carbon powder in production water

活性炭产水管上安装有 $200\text{ }\mu\text{m}$ 的金属滤网,可作为一级过滤装置,它可截留大颗粒的活性炭,因此对此过滤装置需定期检查堵塞情况。另外,安装过程中需注意腐蚀造成的定期更换的操作困难和安全性,因此滤网不可安装在罐内。二级过滤装置采用自清洗精密过滤器,其过滤介质是一种超细滤料颗粒,最大过滤精度为 $2\text{ }\mu\text{m}$ ,可将 $50\%$ 以上的炭粉提前去除,从而有效改善超滤膜的污堵情况,自清洗精密过滤器产水中炭粉的粒径分析结果如图4所示。自清洗精密过滤器可去除绝大部分 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上的炭粉,进、出水压差 $<0.02\text{ MPa}$ ,运行一段时间后通过反冲洗的方式恢复其处理能力。

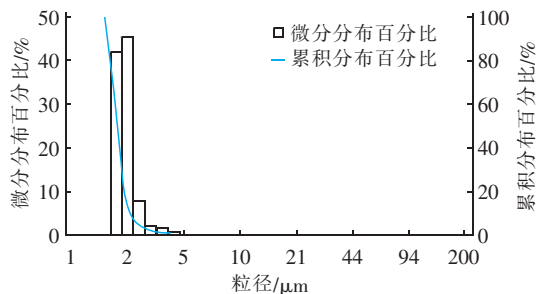


图4 自清洗精密过滤器产水中炭粉的粒径分析

Fig.4 Particle size analysis of activated carbon powder in production water of self-cleaning precision filter

三级过滤装置即为 $0.02\text{ }\mu\text{m}$ 的超滤膜,在三级过滤后对活性炭炭粉的去除率达到 $90\%$ 以上。检查反渗透装置前的保安过滤器滤芯发现,当单独使

用 $0.02\ \mu\text{m}$ 的超滤膜时,经过1个月左右压差会达到 $0.15\ \text{MPa}$ ,采用三级过滤后,保安过滤器滤芯更换周期明显延长,平均 $45\sim 50\ \text{d}$ 更换1次。另外,因超滤膜前端设有自清洗精密过滤器,大大降低了超滤膜的运行负荷。因此,将 $200\ \mu\text{m}$ 的金属滤网、 $2\ \mu\text{m}$ 的自清洗过滤器与 $0.02\ \mu\text{m}$ 的超滤膜组成三级过滤装置可有效降低超滤膜本身及后端反渗透膜的炭粉污堵情况。

### 3 结论

在活性炭吸附法脱除COD的工程实践中,炭粉导致设备出现污堵问题,直接影响生产运行,根据Q再生水厂的运行经验,解决炭粉污堵的措施主要有:

① 源头控制,需严格制定活性炭的采购标准,以保证去除COD单元及后端水处理系统的正常运行。另外,在进吸附塔前对其进行洗炭操作,以减少炭粉。

② 选择有效的过滤方式是控制活性炭炭粉对水处理设备污染的关键,即采用 $0.02\ \mu\text{m}$ 超滤装置可有效截留活性炭炭粉,从而解决后续水处理装置炭粉污堵问题。

③ 超滤系统的反洗周期在一定程度上决定了超滤膜的可恢复性,试验发现,反洗周期为 $2.5\ \text{h}$ 较好,既能保证超滤装置的恢复,又能减少不必要的反洗水进入系统。其次,定期清理活性炭产水槽可避免沉降后的炭粉过多地进入后端过滤装置。

④ 单一的超滤膜在解决后端水处理设备污堵过程中,也造成了超滤装置的炭粉污堵,工程中采用 $200\ \mu\text{m}$ 金属滤网、 $2\ \mu\text{m}$ 自清洗过滤器和 $0.02\ \mu\text{m}$ 超滤膜组成三级过滤装置,通过不同过滤精度级匹配,实现高精度的炭粉脱除,从而有效降低过滤装置及后端反渗透膜的炭粉污堵情况。

### 参考文献:

- [1] 李蒙,郭淑琴. 综合化工废水处理技术的研究进展[J]. 工业用水与废水,2014,45(4):5-8.

Li Meng, Guo Shuqin. Research progress of comprehensive chemical industrial wastewater treatment technology [J]. Industrial Water & Wastewater, 2014, 45(4): 5-8 (in Chinese).

- [2] 徐丽军. 活性炭对水中有机物去除的研究进展[J]. 广州化工, 2015, 43(4): 42-44.

Xu Lijun. Review on the removal of organic matter in water by activated carbon [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2015, 43(4): 42-44 (in Chinese).

- [3] 李凤,陈益清,乔铁军,等. 粉末活性炭/超滤组合工艺运行优化研究[J]. 中国给水排水, 2013, 29(3): 38-41.

Li Feng, Chen Yiqing, Qiao Tiejun, et al. Optimization of operating conditions of PAC/UF process [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(3): 38-41 (in Chinese).

- [4] 王丽丽,顾平,赵春霞,等. 活性炭微孔对RO浓水中小分子有机物的吸附[J]. 中国给水排水, 2013, 29(13): 87-90.

Wang Lili, Gu Ping, Zhao Chunxia, et al. Adsorption of low molecular weight organics in reverse osmosis concentrate by activated carbon [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(13): 87-90 (in Chinese).



作者简介:李俊(1984-),男,河南项城人,硕士,工程师,主要研究方向为化工废水处理及资源回收利用。

E-mail: 32488366@qq.com

收稿日期:2018-02-01