

活性炭深床浮滤池以直接过滤方式运行 处理低温低浊水研究

刘洋^{1,2} 张声¹ 张晓健¹

(1. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 北京市规划委员会, 北京 100045)

摘要 活性炭深床滤料浮滤池是一种新型的给水处理组合工艺, 它的特点是: 气浮过滤一体化; 活性炭深床过滤; 常规处理和深度处理一体化; 运行方式灵活。以直接过滤方式运行处理密云低温低浊水, 效果理想, 对浊度、色度和嗅味的去除效果显著, 对有机物具有一定的去除作用。

关键词 直接过滤 低温低浊 色度

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1008-9241(2005)12-0101-04

Treatment of low temperature and low turbidity raw water with compact flofilter of dissolved air flotation and GAC deep bed filtration by direct filtration

Liu Yang^{1,2} Zhang Sheng¹ Zhang Xiaojian¹

(1. Department of Environmental Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084;

2. Beijing Municipal Commission of Urban Planning, Beijing 100045)

Abstract Compact flofilter of dissolved air flotation and GAC deep bed filtration is a good integrated procedure, it has some characteristics. Flotation and filtration are integrated in one tank, and the flotation unit is above the filtration unit. Filtration is GAC deep bed. Conventional and advanced treatments are integrated in one tank. Mode of work is flexible. Treating low temperature and low turbidity raw water of Miyun reservoir with GAC deep bed direct filtration, the turbidity, odor and color of effluent are very low, and good removal of organic matters can be achieved.

Key words direct filtration; low temperature and low turbidity; color

低浊是密云水库水的一大特征, 一般情况下密云水库水浊度常年小于 5 NTU, 浊度较高时不超过 10 NTU, 百年一遇的原水浊度是 20 NTU, 特别是冬季原水浊度一般在 2 NTU 以下。另外, 由于北京的气候特征, 冬季气温较低, 因此库区水体在冬季要经历 3~4 个月的低温低浊期。

近年来, 采用深床直接过滤工艺处理低温低浊水在许多发达国家应用日益广泛, 美国给水协会^[1]在一份报告中指出适合直接过滤的理想水源水水质是: 色度 < 40 度, 浊度 < 5 NTU, 铁含量 < 0.3 mg/L, 锰含量 < 0.05 mg/L。20 世纪 90 年代后, 直接过滤已被公认为低温低浊水源水的首选处理工艺。

1 活性炭石英砂双层深床滤料浮滤池工艺

活性炭深床滤料浮滤池工艺是常规浮滤池工艺的发展, 如图 1 所示, 其主要特点有:

(1) 气浮过滤一体化。即将溶气气浮单元与过

滤单元组合在一个构筑物中, 溶气气浮单元在上方, 过滤单元在其正下方, 气浮单元分离区截面与过滤单元截面相同。

(2) 活性炭深床过滤。滤床深度为 2.0 m, 滤料是粒径较大的活性炭。

(3) 常规处理和深度处理一体化。由于在本工艺中气浮单元之后直接是活性炭过滤, 省掉了常规的砂滤池, 所以本工艺是常规处理和深度处理一体化。

活性炭石英砂双层深床滤料浮滤池具有以下优点: (1) 节约占地面积; (2) 在显著提高最终出水水质的同时, 省掉了砂滤池, 从而有可能节约初期投资和运行费用; (3) 运行方式灵活。在原水水质条件较好时, 本工艺可以以直接过滤的方式运行, 而在原

收稿日期: 2004-05-30; 修订日期: 2004-08-10

作者简介: 刘洋(1978-), 男, 硕士研究生, 主要从事水质净化技术与科学研究。E-mail: liuyang2001@tsinghua.org.cn

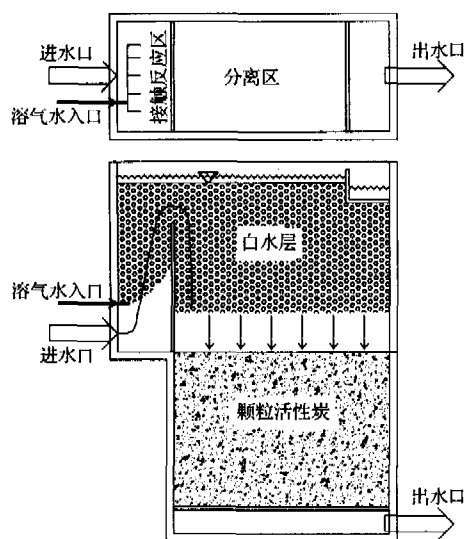


图1 活性炭深床滤料浮选池示意图

Fig. 1 Sketch of compact flocculator of dissolved air flotation and GAC deep bed filtration

水水质条件较差时,则以正常方式运行,并且,由于气浮工艺启动快、允许间歇运行,因此,比较容易实现两工艺的切换。

本文作者考察了活性炭深床浮选池以直接过滤方式运行处理密云低温低浊水的处理效果。主要包括直接过滤运行的可行性和连续运行效果考察2方面内容。

2 材料与方法

2.1 试验装置

试验装置属中式规模,包括混凝剂投加、硫酸投加以调节pH、二级絮凝池、气浮池和滤柱,试验装置参见图2。絮凝池和气浮池合建在一起,絮凝池采用机械搅拌,G值均为 70 s^{-1} 。絮凝池长、宽、高分别为1.50 m、0.60 m、2.50 m,气浮池长、宽、高分别为1.60 m、0.60 m、2.50 m,滤柱直径为0.2 m,高度分别为2.60 m,装填2.00 m GAC(YF-III),GAC的有效粒径为1.42 mm,不均匀系数为1.32,密度为 0.514 kg/L ,湿度为65%,可溶性灰分为0.5%,磨损系数为91.02%,碘值为 972.3 mg/g 。通常情况下,本工艺以气浮过滤方式运行,在水质条件允许的条件下采用直接过滤方式运行,这时气浮池相当于三级絮凝池。

原水流量为 $12\text{ m}^3/\text{h}$,采用“万水”混凝剂(聚合氯化铝溶液, Al_2O_3 含量为10.31%),投加 H_2SO_4 来调节絮凝池中水的pH值, H_2SO_4 浓度为29%。

2.2 分析项目、测定方法及主要仪器

本研究的分析项目有:浊度、 UV_{254} 、嗅、色度、残

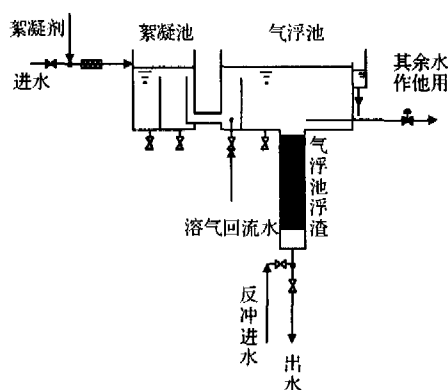


图2 中试试验装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the pilot-scale experimental instrument

留铝。

浊度的测定借助于Hach公司的2100P便携式浊度计; UV_{254} 、色度、残留铝的测定均借助于Hach公司的DR/4000U分光光度计,测定 UV_{254} 之前用玻璃纤维膜(Whatman, GF/C)过滤水样;采用标准方法2150^[2]进行嗅的测定。

3 结果与讨论

3.1 直接过滤运行的可行性考察

试验期间原水水质:pH值为8.25~8.41;浊度为1.06~1.80 NTU;耗氧量为 $1.71\sim 2.27\text{ mg/L}$; UV_{254} 为 $0.031\sim 0.034\text{ cm}^{-1}$ 。原水水温 $2.0\sim 4.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,并且较大部分时间是在 $3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。试验分别考察不投药与2个投药量: $0.50\text{ mg Al}^{3+}/\text{L}$ 和 $1.0\text{ mg Al}^{3+}/\text{L}$,并且包括不调节pH和调节絮凝池中pH=7.00两种情况,滤柱水力负荷 $13.8\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 。

原水浊度1.52 NTU,出水浊度控制值为0.30 NTU。不同投药量和pH条件下活性炭深床浮选池工艺以直接过滤方式运行时对低温低浊水浊度的去除见图3。不投药时,在2种pH条件下,出水浊度均大于设定要求,分别为0.53 NTU和0.38 NTU;投药量为 $0.5\text{ mg Al}^{3+}/\text{L}$ 和 $1.0\text{ mg Al}^{3+}/\text{L}$ 时,出水浊

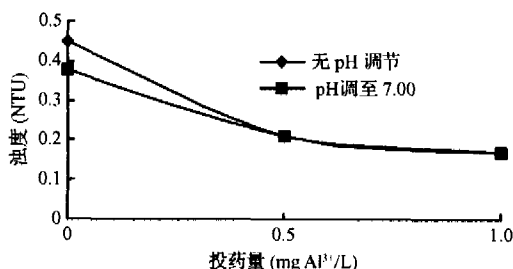


图3 不同投药量和pH条件下直接过滤工艺对浊度的去除

Fig. 3 Turbidity removal by direct filter under different dosage and pH

度分别为 0.21 NTU 和 0.17 NTU,并且 pH 变化对出水浊度没有影响。可见,混凝剂的投加有利于浊度的去除,而 pH 调节与否对于浊度去除规律没有影响,对于 2 种 pH 情况,从浊度去除角度考虑,0.5 mg Al^{3+} /L 的投药量均比较合适。

不同投药量和 pH 条件下,活性炭深床浮滤池工艺以直接过滤方式运行时对低温低浊水 UV_{254} 的去除见图 4。原水 UV_{254} 为 0.033 cm^{-1} 。

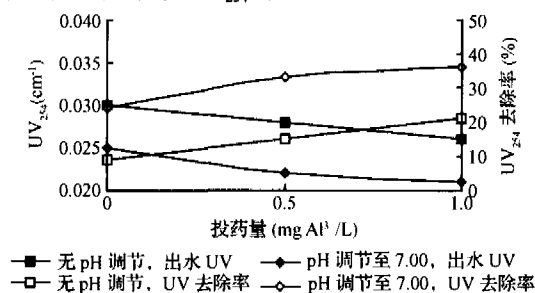


图 4 不同投药量和 pH 条件下直接过滤工艺对 UV_{254} 的去除
Fig. 4 UV_{254} removal by direct filter under different dosage and pH

结果显示,投药量的增加和调节原水 pH 都有利于 UV_{254} 去除效果的改善,而且 pH 调节的作用明显,投加硫酸使絮凝池中水 pH 为 7.00 时,不投药, UV_{254} 的去除率都可以达到 24.2%,而不调节 pH 时,投药量为 1.0 mg Al^{3+} /L, UV_{254} 的去除率也只有 21.2%。出现这种情况的可能原因是,常规混凝过滤去除的主要有机物是非溶解性的,所以当通过增加投药量加强混凝效果时, UV_{254} 去除率的提高不会很大,而调节原水 pH 后,一方面有利于提高混凝效果,并且是针对溶解性有机物,另外还有利于活性炭对有机物的吸附,所以对 UV_{254} 去除率的影响相对较大。

对于 2 种 pH 情况,从 UV_{254} 去除角度考虑,1.0 mg Al^{3+} /L 的投药量均为最佳,如果条件允许,可以考虑投加硫酸使絮凝池中水的 pH 为 7.00。

不同投药量和 pH 条件下活性炭深床浮滤池工艺以直接过滤方式运行时对低温低浊水耗氧量的去除见图 5。原水耗氧量 2.20 mg/L,比较低,已经满足饮用水水质标准。结果显示,投药量的增加和调节原水 pH 都有利于耗氧量去除效果的改善,并且改变投药量的效果大于 pH 调节的效果,这相对于 UV_{254} 而言,情况相反。

对于 2 种 pH 情况,从耗氧量去除角度考虑,1.0 mg Al^{3+} /L 的投药量均为最佳,如果条件允许,可以考虑投加硫酸使絮凝池中水的 pH 为 7.00。

当不调节原水 pH 时,3 种投药量条件下 UV_{254} 和耗氧量的去除率均比较低,这主要是因为,原水有机物含量比较低,且属于低温低浊水质,投药量较

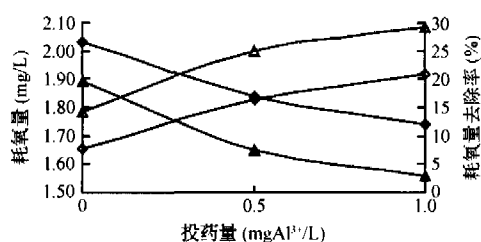


图 5 不同投药量和 pH 条件下直接过滤工艺对耗氧量的去除
Fig. 5 OC removal by direct filter under different dosage and pH

小;而调节原水 pH 后,2 个水质指标的去除率都得到了显著提高,尤其是 UV_{254} 。

从浊度、 UV_{254} 和耗氧量三者去除效果考虑,在低温低浊条件下活性炭深床浮滤池工艺可以以直接过滤方式运行,并且 1.0 mg Al^{3+} /L 的投药量比较合适,0.5 mg Al^{3+} /L 的投药量也可以满足出水水质要求,如果想进一步提高有机物的去除,可以进行 pH 值调节。

滤柱过滤周期考察主要是针对 0.5 mg Al^{3+} /L 和 1.0 mg Al^{3+} /L 2 个投药量。

滤柱过滤周期主要通过 2 方面控制,当出水浊度超过 0.30 NTU 或滤柱总水头损失达到 150 cm 时,即停止过滤开始反冲。试验期间,滤柱停止运行均是因为滤柱总水头损失达到 150 cm。不同投药量情况下总水头损失的变化见图 6。结果显示,投药量从 0.5 mg Al^{3+} /L 升至 1.0 mg Al^{3+} /L 时,滤柱总水头损失增加速度显著加快,对于前者,当运行 24 h 后滤柱总水头损失升至 146.6 cm,单位周期单位滤池面积的产水能力为 331.2 m^3/m^2 ;对于后者,当运行 13 h 后滤柱总水头损失升至 147.4 cm,单位周期单位滤池面积的产水能力 (UFRV) 为 179.4 m^3/m^2 。所以,投药量从 0.5 mg Al^{3+} /L 升至 1.0 mg Al^{3+} /L 时,滤柱过滤周期从 24 h 降至 13 h。投药量为 1.0 mg Al^{3+} /L 时过滤周期较小,反冲洗频繁,所以不宜采用 1.0 mg Al^{3+} /L 的投药量。

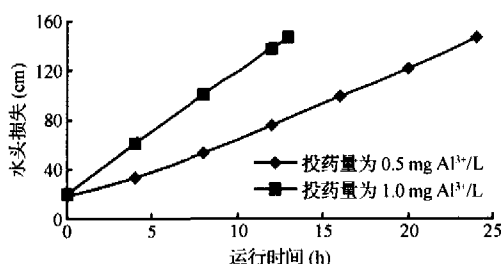


图 6 低温低浊条件下直接过滤工艺滤柱总水头损失的变化
Fig. 6 Total head loss of filters by direct filter during low temperature and low turbidity

从滤柱过滤周期考虑,在低温低浊条件下,活性炭深床浮滤池工艺可以以直接过滤方式运行,并且 0.5 mg Al³⁺/L 的投药量比较合适。综合考虑活性炭深床浮滤池直接过滤方式处理低温低浊水的处理效果以及运行周期,认为 0.5 mg Al³⁺/L 的投药量比较合适,如果需要进一步提高其对有机物的去除,可以通过调节 pH 值来实现。

3.2 连续运行效果考察

连续运行期间,水温为 3.0 ~ 7.1 ℃,pH 值为 8.10 ~ 8.35。混凝剂投加量为 0.5 mg Al³⁺/L,无 pH 值调节。

活性炭深床浮滤池直接过滤方式处理低温低浊水的考察指标包括:浊度、色度、嗅、残余铝、UV₂₅₄ 和耗氧量。

浊度的去除效果如图 7 所示,原水浊度 0.75 ~ 238 NTU,滤后水浊度为 0.16 ~ 0.22 NTU,远低于我国饮用水水质标准。

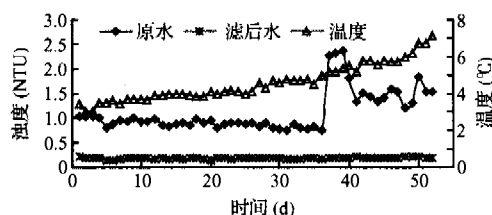


图 7 低温低浊条件下直接过滤工艺对浊度的去除
Fig. 7 Turbidity removal by direct filter at low temperature and low turbidity

低温低浊条件下,活性炭深床浮滤池直接过滤方式对 UV₂₅₄ 的出去效果如图 8 所示,原水 UV₂₅₄ 为 0.030 ~ 0.036 cm⁻¹,滤后水 UV₂₅₄ 为 0.026 ~ 0.029 cm⁻¹,活性炭深床浮滤池直接过滤方式对 UV₂₅₄ 的去除率为 9.7% ~ 21.1%,平均为 15.4%。

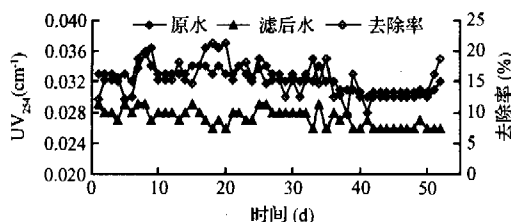


图 8 低温低浊条件下直接过滤工艺对 UV₂₅₄ 的去除
Fig. 8 UV₂₅₄ removal by direct filter at low temperature and low turbidity

活性炭深床浮滤池直接过滤方式对耗氧量的去除效果如图 9 所示,原水耗氧量为 1.72 ~ 2.32 mg/L,滤后水耗氧量为 1.16 ~ 1.96 mg/L,活性炭深床浮滤池直接过滤方式对耗氧量的去除率为 10.9% ~ 32.6%,平均为 19.0%。

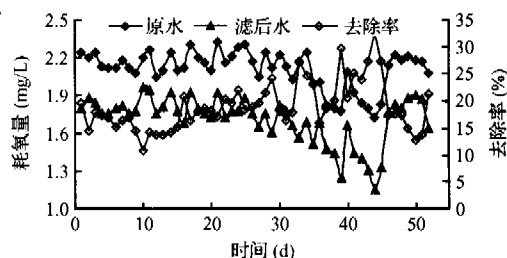


图 9 低温低浊条件下直接过滤工艺对耗氧量的去除
Fig. 9 OC removal by direct filter at low temperature and low turbidity

采用活性炭深床浮滤池直接过滤方式时的其他水质指标如表 1 所示。试验表明,活性炭深床浮滤池直接过滤方式处理密云低温低浊水,能够取得比较好的处理效果。工艺出水浊度很低,水中的有机物也得到一定的去除,出水色度、嗅味以及残余铝含量都满足中国饮用水水质标准。

表 1 低温低浊条件下的其他水质指标
Table 1 Other indexes of water quality at low temperature and low lurbidity

项 目	色 度 (Pt-Co)	嗅	残余铝 (mg/L)
原 水	8	9	
滤后水	3	无	0.048

4 结 论

(1)通过活性炭深床浮滤池直接过滤运行方式处理密云低温低浊水的考察表明,直接过滤工艺处理低温低浊水是十分可行的。

(2)活性炭深床浮滤池工艺以直接过滤方式处理密云低温低浊水,投药量为 0.5 mg Al³⁺/L,出水浊度为 0.16 ~ 0.22 NTU,出水 UV₂₅₄ 为 0.026 ~ 0.029 cm⁻¹,去除率为 15.4%,出水耗氧量为 1.16 ~ 1.96 mg/L 去除率为 19.0%,出水色度为 3 倍,无嗅味,残余铝含量为 0.048 mg/L。

(3)活性炭深床浮滤池工艺以直接过滤方式处理密云低温低浊水,滤柱水力负荷为 13.8 m/h,运行周期为 24 h,滤柱产水能力 UFRV 为 331.2 m³/m²。

参 考 文 献

[1] AWWA. AWWA coagulation committee report: Coagulation as an integrated water treatment process. J. Am. Water Works Assoc., 1989, 81(10):72 ~ 84
[2] APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th edition. American Public Health Association, Washington, DC 20005, USA, 1999