

纤维过滤器用于污水回用的研究

蒋轶锋¹ 王琳² 王宝贞¹ 刘硕¹

(1. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 水污染控制研究中心, 哈尔滨 150090;
2. 中国海洋大学, 青岛 266003)

摘要 采用新型的纤维束过滤器对污水厂的二级出水进行了直接过滤和絮凝、过滤回用的研究。结果表明, 过滤器在 10~30 m/h 的滤速下均能有效去除水中的 SS 和浊度, 出水 SS 低于 10 mg/L; 对 COD、BOD、TP 和细菌总数的去除率分别为 10%~80%、21%~50%、11%~81% 和 87%。采用硫酸铝作为絮凝剂与纤维过滤器联合处理技术能进一步提高出水的水质。通过单一水反冲洗和气水联合反冲洗的对比研究, 发现气水联合反冲洗是适合恢复纤维束过滤器过滤效能的冲洗方式。在反冲洗水流量 10~12 L/m²·s, 水压 0.1 MPa, 空气流量 60 L/m²·s, 气压 0.1 MPa 的条件下, 冲洗 30 min 能够有效地恢复纤维过滤器的过滤性能。

关键词 纤维过滤 回用 絮凝 反冲洗

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1008-9241(2005)12-0097-04

A study on reclamation of secondary effluent by fiber filtration

Jiang Yifeng¹ Wang Lin² Wang Baozhen¹ Liu Shuo¹

(1. Water Pollution Control Research Center, School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090;
2. Ocean University of China, Qingdao 266003)

Abstract Direct filtration and flocculation-filtration of secondary effluent for water reclamation were studied in a novel fiber filtration facility. Results indicate that direct-filtration efficiently remove SS and turbidity in a wide range of 10~30 m/h of filtration velocity, and the removals of COD, BOD, TP and bacteria were 60%, 10%~80%, 21%~50%, 11%~81% and 87% respectively. When the aluminum sulfate was used as coagulant to enhance the performance of fiber filter, the higher effluent quality was achieved. Backwashing of fiber filter by water and air-water was studied, which assumed that air-water backwashing is an effective way in restoring the ability of fiber filter. At 10~12 L/m²·s of the backwashing flow rate, 0.1 MPa water pressure, 60 L/m²·s air flow rate and 0.1 MPa air pressure, the ability of filtration of the fiber filter could be recovered significantly.

Key words fiber-filtration; reclamation; flocculation; backwashing

1 概述

随着淡水资源的日益短缺和需水量的不断增加, 许多缺水城市和地区无新的水源可开发利用, 污水的回收和再用已成为解决水资源短缺的有效措施之一。城市污水处理厂二级处理出水水量水质稳定、污染物含量较低(0.1%), 经常规的混凝过滤-消毒工艺即可满足工业循环冷却水的要求, 而这部分用水量占到了城市总需水量的 1/3^[1]。

纤维过滤是近年来发展起来的一种高效、经济的过滤和回用技术, 具有良好的过滤精度和运行稳定性^[2]。本实验采用的纤维过滤器以软性纤维束为过滤介质, 利用了过滤水流和清洗水流压力和方向的变化, 使纤维能在过滤时自动压紧, 清洗时自动

疏松, 以达到污水回用的目的。研究是在山东的某一城市污水厂开展的, 对污水厂的二级出水进行了直接过滤回用和絮凝、过滤回用的研究。

2 材料和方法

2.1 实验材料

纤维过滤器工作区内径为 300 mm, 高 1700 mm, 允许工作压力小于 0.6 MPa, 介质温度小于 60℃。筒内安装有 22 条纺织成束的尼龙纤维, 两端固定于筒内的花板之上。设有进水、出水、反冲洗进水、反冲洗出水、进气和排气 6 个通道, 均可以

收稿日期: 2004-03-17; 修订日期: 2004-04-29

作者简介: 蒋轶锋(1978~), 男, 博士研究生, 主要从事水污染控制技术理论的研究工作。E-mail: jeineffer@sina.com

通过阀门调节流量,安装有压力表,检测运行压力。设备的示意图及工作过程如图 1 所示。

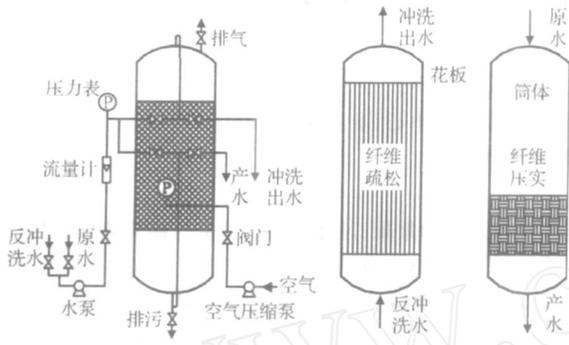


图 1 纤维过滤器及工作过程示意图

Fig 1 Schematic diagram of the fiber-filtration facility and process of different operation conditions

2.2 分析方法

水质指标根据国家环保局组织编写的《水和废水监测分析方法》^[3]进行检测。

3 结果和讨论

3.1 二级出水直接过滤

3.1.1 滤速和出水水质

考虑到用户用水量的相对稳定和纤维过滤器操作简单的实际情况,对比了设备在不同滤速下的直接过滤出水水质情况。表 1 的数据说明纤维过滤器的滤速范围很宽,在 10、20、30 m/h 的滤速下都具有良好的出水水质,出水 SS 均在 10 mg/L 以下,平均去除率在 60% 以上,滤速越小,出水浓度越低。这是由于亲水性的低弹性、高蓬松的纤维束在水压下自动的扭转压缩,纤维丝紧密交错形成滤层。而压实区厚度只占整个滤层厚度的小部分,上部的滤料密实而下部的相对疏松,形成良好的滤料极配,使滤层具有空隙率高过滤阻力小的优点,滤料比表面积增大、吸附性能改善、截污容量大大增加。即使在 30 m/h 的滤速下也能有效地截留水中的悬浮物,不致于因为高速水流的剪切作用而导致悬浮物穿透滤层。所以过滤周期的确定是以水流通过滤层时的水头损失达到 0.06 MPa 为反冲洗的条件。

从表 1 中可以看到,滤速和过滤周期有明显的相关性,滤速越大,过滤周期越短。虽然在 3 种滤速下设备具有相等的产水量,但过滤周期的长短影响设备反冲洗的自用水量;而且在较小的滤速下,更能发挥纤维滤层高截泥量的特点。因此,纤维过滤器

最佳滤速的选取应根据当地的水源状况、用水量的大小等因素比较确定。

表 1 纤维过滤出水水质

Table 1 Quality of the fiber-filtered water

滤速 (m/h)	30	20	10
周期 (h)	29	41	89
产水量 (m ³)	61.5	57.1	62.9
进水 SS (mg/L)	28.7	32.7	25.2
出水 SS (mg/L)	10.7	6.4	5.4
截泥量 (kg/m ³ 滤料)	8.2	12.6	10.4

由于纤维过滤器对 SS 的截留,表现出对 COD、BOD、TP、NTU、细菌也有一定的去除能力,去除率分别达到了 10% ~ 80%、21% ~ 50%、11% ~ 81%、52% ~ 85% 和 87%;但对 NH₃-N、硬度的去除没有作用。对于回用工业循环冷却水而言,COD、BOD、TP、NTU、细菌的降低可有效地控制磷酸钙垢和粘泥的累积,减小了阻垢剂和杀菌剂的用量^[4]。为了验证过滤器的稳定性,选取任一运行周期进行跟踪检测(如图 2 所示)。由图 2 看出,进水 SS、NTU 在一定范围内波动,但出水的浓度均稳定在一个较低的数值。虽然随着过滤的进行,SS 和 NTU 有轻微的上升趋势,但总体上对污染物的截留是有效的。而且进水浓度越高,去除率也越大。因此,纤维过滤替代传统的石英砂过滤回用污水在技术上是可行的。

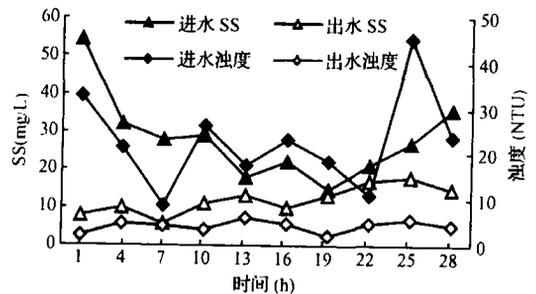


图 2 一周期内 SS、NTU 的去除效果 (滤速 30 m/h)

Fig 2 Removal efficiency of SS and NTU in a typical operation cycle (filtration velocity equal to 30 m/h)

3.1.2 停运对产水的影响

纤维过滤器具有操作简单、维护方便的优点,在设备停运时满水保存即可。但实验发现,设备在停止运行 2 d 后重新启动,出水水质明显的恶化,并带有明显的污泥腐败的气味。由于原先被截留的悬浮物在滤层内发生了厌氧反应,污泥腐败变质,产生可

溶性有机物和营养物,导致重新运行后出水中的 COD、BOD 和 TP 的浓度大量升高,严重影响了用水的安全性。因此,设备停运后的重新启动应控制在被截留污泥发生厌氧反应之前,如果遇到长期不运行,则应该清洗纤维滤料,并用药剂洗涤处理后满水保存。

3.2 二级出水絮凝过滤

为了进一步提高过滤出水的水质,保证用水的安全性,研究了絮凝、过滤技术的回用效果。实验在滤速 20 m/h 的工作条件下进行,药剂采用水处理常用的硫酸铝凝聚剂。

3.2.1 凝聚剂投量对出水水质的影响

药剂的用量不仅影响出水的水质,同时也决定了水处理的费用。为了确定恰当的药剂投量,比较了 0、10、20、30 和 40 mg 硫酸铝/L 投量下的运行效果。进水与药剂反应的时间为 20 min,以形成粒径较大的絮体。在 20 m/h 的滤速下,设备均连续运行 8 h,出水水质为取样分析的平均值,结果如图 3 所示。

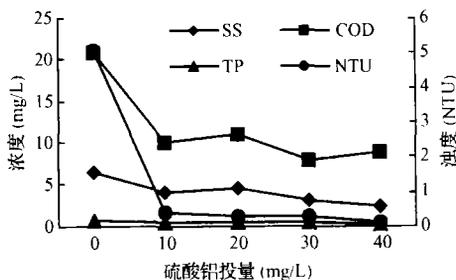


图 3 不同硫酸铝投量下出水水质对比 (滤速 20 m/h)

Fig 3 Comparison of the quality of filtered water under different dosage of aluminum sulfate (filtration velocity equal to 20 m/h)

从图 3 中可以看出,硫酸铝的投加改善了出水的水质,而且投量越大,SS、COD、TP 和 NTU 等出水浓度也越低。这是因为硫酸铝溶于水后,铝离子与水发生反应水解,并伴随有聚合反应,形成各种单核子和多核子络合物。由于大部分的络合物表面带有正电荷,原水中所含有的带负电的悬浮粒子(胶体物质,水中 SS、COD、TP、NTU 的组成部分)被其吸附,产生凝结作用。当电荷被中和后,悬浮粒子相互聚集形成絮体,并在络合物的联结下继续凝聚增大。对于具有良好过滤精度的纤维过滤而言,它们都能被有效的截留。因而宏观表现出 SS、COD、TP 和 NTU 去除率的提高,与直接过滤相比,在 10 mg/L

絮凝剂投量下,出水浓度分别降低了 2.2 mg/L、11 mg/L、0.2 mg/L 和 4.7 NTU。另外,由于 1 mg/L 硫酸铝能中和 0.45 mg/L 的碱度(以碳酸钙计),因而硫酸铝的投加能降低出水的碱度。但对硬度和氨氮的去除没有影响。

3.2.2 药剂投量的确定

如上文指出,药剂投量越大,出水中主要污染物的去除率也越高。但当投量大于 10 mg/L 时,去除率的改善趋于平缓(见图 3),因而药剂的投量应控制在 10 mg/L。过大的投量不仅浪费药剂,而且会增加出水中硫酸根的浓度。

3.3 滤层的清洗

滤料的反冲洗是恢复滤层截污容量,保证下一周期正常运行的关键,再生效果的好坏直接关系到过滤出水的水质优劣和运行周期的长短。实验对比了单独水清洗和气水联合清洗的清洗效果。

3.3.1 单独水清洗

反冲洗用水直接取用水厂的二级出水,反冲洗水流量和压力分别控制在 10~12 L/m²·s 和 0.1 MPa,反冲洗持续了 30 min。结果发现虽然纤维滤层能在反冲洗水的顶托下被拉升而变得疏松,但通过对出水水质的检测,发现清洗的效果很差。反冲洗水未能冲出纤维束截留的悬浮物,出水的水质几乎与进水水质相当。

3.3.2 气水联合清洗

为了增加反冲洗体系对滤层的扰动作用,采用气水联合反冲洗的方式对滤层的清洗效果进行了考察。维持反冲洗水的参数不变,空气的流量和压力控制在 60 L/m²·s 和 0.1 MPa。反冲洗过程以 COD 和 SS 为主要考察对象,对出水中的污染物的含量进行实时的检测。图 4 为反冲洗出水水质随时间的变化情况。

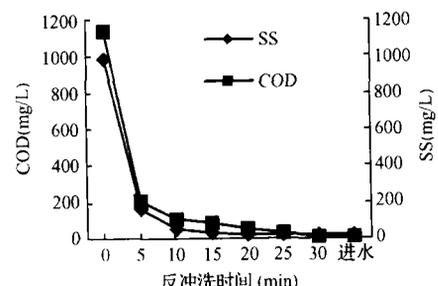


图 4 气水联合反冲洗出水水质随时间的变化

Fig 4 Variation of the water quality with time in the period of air-water backwashing

由图4看出,在冲洗的前期(0~10 min),原先被滤层截留的污染物大量地随反冲洗液排除体外,导致出水中的COD和SS含量骤然升高,出水也呈现明显黄色浑浊;而后期出水色度明显的下降,颜色逐渐变浅并最终与反冲洗进水一致,水中的污染物含量也随之下降,在10~30 min内,曲线均平缓下降。在30 min时,出水与进水水质相当,认为清洗结束。由此可见,气水联合反冲洗与单独的水反冲洗相比,具有良好的清洗滤层的效果,并且反冲洗时间控制在30 min比较合适。另外,经计算设备的自用水量仅为产水量的1.7%,与传统的砂滤反冲洗相比具有明显的优势。当然,纤维过滤器在长期运行后,在纤维束上可能积累大量有机物、油污、甚至是微生物,造成阻力增大,过滤精度下降,这时可用2% NaOH溶液浸泡24 h,进行化学清洗。

3.3.3 气水反冲洗工作原理

污水在通过密实的纤维滤料时,悬浮物被截留累积增大并堵塞孔隙,甚至产生筛滤作用而形成泥膜,使过滤阻力剧增。这时,应进行反冲洗恢复滤料的过滤性能。研究表明,反冲洗方式应根据进水的水质情况确定。在本研究中,污水厂的二级出水实际是一个分散程度高的悬浊液和溶胶体系,含有大量的难降解有机物^[2]。由于微粒杂质的粒径减小,扩散常数增大,相应的与滤料的粘附强度增加,如果采用单一的水反冲洗技术,由于其脱附能力有限,难以收到好的清洗效果。这就解释了本实验中采用单一水清洗没有达到预期反冲效果的原因。而气水同时反冲洗有效地提高了平均速度梯度 G 值, G 值越大,代表气水对滤料的剪切力越大,滤层清洗的效果也就越佳。纤维过滤器在气水反冲洗时,水流和气流将筒内的花板顶起,纤维束处于疏松状态,上升空

气泡的振动能有效地将附着于滤料表面的污染物擦洗下来,而纤维束之间的碰撞摩擦使得清洗效果更佳,洗下的污染物立即被反冲洗水流带走,因而气水反冲洗不仅效率高,而且效果好。

4 结 论

采用纤维过滤器对山东某一城市污水厂的二级出水进行了直接过滤和投加硫酸铝凝聚剂后再过滤的回用的研究。结果表明,纤维过滤具有很宽的滤速范围,在10~30 m/h的滤速下均能有效地去除水中的悬浮物和浊度,出水SS低于10 mg/L;而COD、BOD、TP、细菌的去除率分别为10%~80%、21%~50%、11%~81%和87%。投加硫酸铝凝聚剂能明显地改善出水的水质,试验表明凝聚剂的最佳投量为10 mg/L。在此条件下,出水SS、COD、TP和NTU分别降低了2.2 mg/L、11 mg/L、0.2 mg/L和4.7 NTU。通过单一水反冲洗和气水联合反冲洗的比较,认为气水联合反冲洗是合适的清洗方式。在反冲洗水流量10~12 L/m²·s,水压0.1 MPa,空气流量60 L/m²·s,气压0.1 MPa的条件下,冲洗30 min即能有效地恢复纤维过滤器的过滤性能。

参 考 文 献

- [1] 虞启义,黄种买,等. 城市污水回用冷却水问题的研究. 工业水处理, 2002, 22(8): 19~22
- [2] 于万波. 自动反冲洗高效纤维过滤器的研究. 给水排水, 2002, 28(1): 92~93
- [3] 国家环保局. 水和废水监测分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1997
- [4] 袁志宇,程晓如,等. 滤池冲洗方式探讨. 给水排水, 1999, 25(1): 8~10