

化学生物絮凝/悬浮填料床工艺出水深度处理研究

陈轶波, 夏四清, 张志斌, 余松

(同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 化学生物絮凝/悬浮填料床是一种新型、高效的组合工艺,中试结果表明其出水TP为0.89 mg/L、浊度为9.7 NTU、氨氮为8.8 mg/L、COD为37.3 mg/L。采用流砂微絮凝过滤工艺、复合二氧化氯消毒对其出水进行了深度处理的试验研究,运行结果表明:在微絮凝剂PAFC投量为3.1 mg/L的条件下,出水TP、氨氮和COD浓度分别下降到0.38、7.2和26.6 mg/L,浊度也降至2.2 NTU;当复合二氧化氯消毒接触时间 ≥ 30 min、游离余氯 > 0.5 mg/L时,消毒后出水总大肠菌群 ≤ 3 CFU/L。该系统维护简单、运行稳定,出水水质优良,各项指标均达到国家《生活杂用水水质标准》(CJ/T 48—1999)。

关键词: 城市污水; 深度处理; 流砂微絮凝过滤; 除磷; 消毒; 回用

中图分类号: X703.1 文献标识码: C 文章编号: 1000-4602(2006)09-0069-04

Study on Advanced Treatment Process for Effluent of Chemical Biological Flocculation/Suspended Packed Bed

CHEN Yi-bo, XIA Si-qing, ZHANG Zhi-bin, YU Song

(State Key Lab of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai
200092, China)

Abstract: Chemical biological flocculation/suspended packed bed is a new and highly efficient process. The pilot-scale test shows that the average effluent TP, turbidity, $\text{NH}_3\text{-N}$ and COD are 0.89 mg/L, 9.7 NTU, 8.8 mg/L and 37.3 mg/L, respectively. Flowing sand micro-flocculation filtration and chlorine dioxide synergetic disinfection were used as an advanced municipal wastewater treatment process. The results show that when the dosage of PAFC is 3.1 mg/L, the effluent TP, turbidity, $\text{NH}_3\text{-N}$ and COD are 0.38 mg/L, 2.2 NTU, 7.2 mg/L and 26.6 mg/L, respectively; when the contact time of chlorine dioxide synergetic disinfection is more than 30 minutes and free residual chlorine is more than 0.5 mg/L, total coliform group is less than 3 CFU/L. This system is convenient in maintenance and steady in operation, the effluent quality is good and water quality index can meet the *Miscellaneous Domestic Water Quality Standard* (CJ/T 48 - 1999).

Key words: municipal wastewater; advanced treatment; flowing sand micro-flocculation filtration; phosphorus removal; disinfection; reuse

化学生物絮凝/悬浮填料床组合工艺是一种新型的城市污水处理技术,与传统的二级生物处理工

艺相比,具有投资省、运行费用低、除磷效率高、稳定性好等优点。前期试验结果表明^[1],化学生物絮凝

工艺在聚合氯化铝铁 (PAFC) 投量为 7.7 mg/L 、PAM 投量为 0.5 mg/L 、悬浮填料床 DO 控制在 $4.0 \sim 5.0 \text{ mg/L}$ 的条件下,出水 COD、TP 和氨氮的平均值分别低于 60 、 1.0 和 16 mg/L 。因此在前期研究的基础上,采用流砂微絮凝过滤工艺和复合二氧化氯消毒技术对化学生物絮凝/悬浮填料床组合工艺出水(试验的进水)进行深度处理,探索其在深度处理后进行回用的可行性。

1 试验装置与方法

1.1 试验流程及装置

1.1.1 试验流程

流砂过滤工艺流程图见图 1。

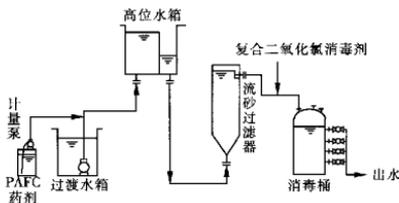


图 1 工艺流程图

Fig. 1 Flow chart of experimental process

流砂过滤器总高为 4.33 m ,砂层厚为 1.4 m ,总砂量为 1.61 m^3 ,设计处理水量为 $50 \text{ m}^3/\text{d}$ 。其进水(化学生物絮凝/悬浮填料床组合工艺的出水)经过渡水箱调节后与絮凝剂 PAFC 在管道中进行快速混合,由泵提升至高位水箱,并在液位差的作用下进入流砂过滤器进行絮凝过滤。

采用高效复合二氧化氯对流砂过滤器出水进行消毒处理。该产品利用化学法负压曝气工艺以氯酸钠和盐酸为原料,制备出以二氧化氯为主、氯气为辅的混合消毒液,为保证消毒效果及出水余氯达到回用标准,过滤出水与消毒液需保持一定的接触时间。

1.1.2 流砂过滤器的工作原理

流砂过滤基于微絮凝过滤理论和独特的连续洗砂技术,通过对含污砂层的不断提升、清洗,既可保证过滤的连续性又维持了高效的截污能力。流砂过滤器反洗后不存在“水力筛分”现象,能有效弥补普通快滤池的不足。

工作流程为:污水由流砂过滤器底部进入滤床,并向上流与滤床充分接触,所含悬浮物被截留在滤床上,清水则由顶部的出水堰溢流排出。截留污染

物的石英砂通过锥形砂分配器与流砂过滤器的倾斜面形成的通道下到集砂箱,并由底部的气提装置提升到顶部的洗砂装置中进行清洗。由于砂粒在提升过程中与水及压缩空气发生剧烈摩擦,从而使砂粒截留的杂物被洗脱,空气则在气体分离器中与砂、水分离。洗净后的砂粒因重力自上而下补充到滤床中,洗砂水则通过单独的排污管排放,至此完成整个洗砂过程。

1.2 试验条件

1.2.1 滤料

原水的种类及性质不同则过滤器所用的砂粒也有所不同。含油废水或含有易粘结物质的原水,通常使用有效直径为 1.2 mm 、均质系数为 1.4 的均质石英砂。由于试验所处理的对象为化学生物絮凝/悬浮填料床组合工艺的处理出水,其 COD 与 SS 浓度均达到城市污水处理二级排放标准^[2],故选择有效直径为 0.9 mm 、均质系数为 1.4 的均质石英砂。

1.2.2 絮凝剂

经过前期试验的优选,絮凝剂采用新型药剂聚合氯化铝铁。其为黄褐色液体, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 下的密度为 1.25 g/mL ,盐基度为 80% ,有效含量(以 Al_2O_3 计)为 11% 。

1.2.3 进水水质及回用标准

试验进水水质及回用水质标准见表 1。

表 1 试验进水水质及回用水质标准

Tab. 1 Influent quality and standard of reclamation and reuse of wastewater

项目	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	浊度/ NTU	余氯/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总大肠菌 群/(CFU $\cdot \text{L}^{-1}$)
进水	50~80	15~20	0.5~1.0	10~40		
回用标准	<50	<15	<0.5	<5	>0.2	≤3

2 试验结果与讨论

2.1 不同 PAFC 投量下流砂过滤工艺的除污效果

2.1.1 对 TP 的去除

进水磷酸盐在絮凝剂的作用下在流砂过滤器中完成絮凝、过滤去除的过程,为此考察了在不同的 PAFC 投量(分别为 2.05 、 3.1 、 4.2 和 5.7 mg/L)下,流砂过滤工艺对 TP 的去除效果,结果如图 2 所示。

由图 2 可知,流砂过滤器的进水 TP 为 $0.85 \sim 0.93 \text{ mg/L}$,出水 TP 为 $0.24 \sim 0.54 \text{ mg/L}$,对其去除率为 $36.7\% \sim 72.7\%$,且对 TP 的去除率随絮凝剂投量的增加而提高。这是因为化学生物絮凝/悬浮

填料床组合工艺处理水中的 TP 以溶解态的磷酸盐为主(占进水 TP 的 74.1% ~ 92.2%),并能与铝盐絮凝剂发生化学反应而产生沉淀所致。由图 2 还可看出,当 PAFC 投量为 2.05 mg/L 时,出水 TP 的平均浓度为 0.48 mg/L,已达到回用标准;但日监测结果显示,当进水 TP > 0.95 mg/L 时其出水浓度大于回用标准(0.5 mg/L)。根据实际监测结果并考虑到工艺运行的经济适用性,宜选择 PAFC 的投量 ≥ 3.1 mg/L,此时出水 TP 可达标排放。

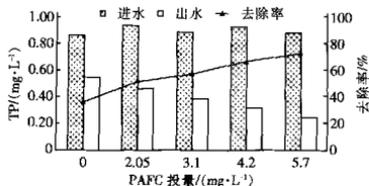


图 2 PAFC 投量对 TP 去除效果的影响

Fig. 2 Influence of PAFC dosage on TP removal

2.1.2 对浊度的去除

不同加药量下流砂过滤器对浊度的去除效果如图 3 所示。

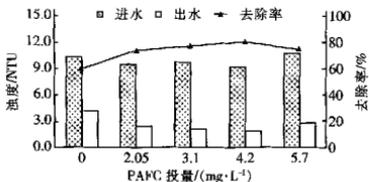


图 3 PAFC 投量对除浊效果的影响

Fig. 3 Influence of PAFC dosage on turbidity removal

由图 3 可知,当流砂过滤器的进水浊度为 9.4 ~ 10.8 NTU 时出水浊度为 1.8 ~ 4.2 NTU,对其去除率为 60.2% ~ 80.2%,均低于回用标准(5.0 NTU)的要求。但当进水浊度 > 10 NTU 时,在不加药的情况下其出水浊度 > 5 NTU,因此为保证出水浊度满足回用标准,絮凝剂 PAFC 的投量应大于 2.05 mg/L。由图 3 还可看出,当 PAFC 的投量为 5.7 mg/L 时对浊度的去除效果有所降低,这主要是由于进水浊度较高所致,但经计算可知去除浊度的绝对量还是高于其他工况,与 PAFC 投量的变化保持一致。除浊效果好的主要原因为:与传统絮凝剂中的铁盐和铝盐相比,PAFC 中增添了高羟基聚合

物(此类物质的吸附性能较强,吸附在颗粒物表面后增加了颗粒的碰撞几率),加之流砂的微絮凝作用,使进入滤池的较小絮体不但穿透程度大而且还增加了絮体间及与滤料间的碰撞机会,并在滤料空隙间形成了带羟基的活性絮体的网状结构,这使得进水中的微小胶体在失稳状态下易于被吸附、截留在滤料表面,通过胶体双电层压缩、吸附-电中和、吸附架桥以及沉淀物网捕等一系列作用,最终失稳产生沉淀从而有效降低水中的浊度^[1]。

2.1.3 对氨氮的去除

不同加药量下流砂过滤器对氨氮的去除效果如图 4 所示。

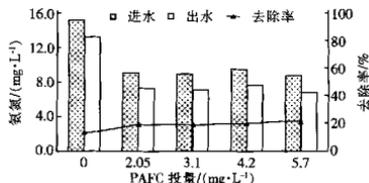


图 4 PAFC 投量对 NH₃-N 去除效果的影响

Fig. 4 Influence of PAFC dosage on NH₃-N removal

由图 4 可知,流砂过滤器的进水氨氮为 8.8 ~ 15.2 mg/L,出水氨氮为 7.2 ~ 13.2 mg/L,对其去除率仅为 12.8% ~ 21.5%,氨氮的去除效率受絮凝剂投量变化的影响较小。这表明当进水氨氮浓度较低时,对其进行简单的生化作用即可达到回用水标准。

由于悬浮填料床处理阶段的曝气及沉淀池出水采用跌水的充氧作用,使流砂过滤器中进水的溶解氧浓度 > 4.5 mg/L,而其出水则为 0.1 ~ 0.5 mg/L。对进、出水的氨氮变化量进行监测的同时发现,氨氮减少的平均值为 1.74 mg/L,硝态氮和亚硝态氮分别增加了 1.16 mg/L 和 0.03 mg/L, TN 减少了 0.55 mg/L。这表明经过一段时间的驯化挂膜,有微生物被固定在砂粒表面上,当污水的负荷适宜且供氧充足时,就会形成以好氧性微生物为主体的微生物层,并在微生物的作用下分解有机物;随着氧气的逐渐消耗则在好氧层的下部形成厌氧层,在厌氧微生物的作用下(以 NH₄⁺ 为电子供体,以 NO₃⁻ 为电子受体),将一部分 NH₄⁺、NO₃⁻ 和 NO₂⁻ 转化为 N₂ 从水中逸出^[4,5]。

2.1.4 对 COD 的去除

流砂过滤器稳定运行后,不同 PAFC 投量下对

COD的去除效果如图5所示。

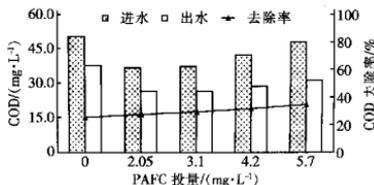


图5 PAFC投量对COD去除效果的影响

Fig. 5 Influence of PAFC dosage on COD removal

由图5可以看出,流砂过滤器的进水COD为36.5~50.2 mg/L,出水COD为26.6~36.7 mg/L,对其去除率为24.9%~33.9%。这是因为流砂过滤的进水中可溶性COD为有机物的主要形态(占进水COD的69.8%~94.6%),而溶解性COD不能与铝铁离子生成沉淀,故流砂过滤器对COD的去除效果受絮凝剂投量的影响较小。由于硝化、反硝化等生化反应的存在,使一部分COD在流砂过滤过程中被去除。

通过分析不同PAFC投量下流砂微絮凝过滤工艺对污染物的去除效果可知:由于进水氨氮和COD浓度较低,经流砂过滤器内的生化作用后两项指标均可达到回用水质标准,而TP和浊度受絮凝剂投量的影响较大,故其成为流砂过滤工艺中絮凝剂投量的主要影响因素。根据中试运行结果并考虑其经济适用性,选择该工艺的PAFC投量为3.1 mg/L,其出水水质可满足回用标准且药剂投量最省。

2.2 复合二氧化氯的消毒效果

采用制得的复合二氧化氯对流砂过滤出水进行消毒。运行期间有效氯投量为2~8 mg/L、消毒接触时间为30~60 min,则出水余氯浓度如图6所示。

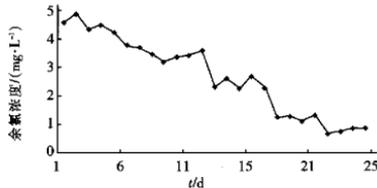


图6 消毒后的余氯浓度

Fig. 6 Free residual chlorine after disinfection

连续监测结果发现,当接触消毒出水余氯>2.0 mg/L时,6 h后的余氯>0.6 mg/L,24 h后的余氯>0.3 mg/L。这表明复合二氧化氯消毒具有较好的持久性,对输水工程中可能出现的细菌滋生现象能起到一定的控制作用。

对消毒后出水进行总大肠菌群的培养,试验结果表明,当消毒接触时间 ≥ 30 min、出水余氯为0.5~5 mg/L时,总大肠菌群 ≤ 3 CFU/L,出水余氯及总大肠菌群都可满足回用水水质标准。

3 结论

① 当采用流砂微絮凝过滤、复合二氧化氯消毒对化学絮凝剂/悬浮填料床组合工艺出水进行深度处理时,流砂微絮凝过滤工艺对TP和浊度有较好的去除效果,絮凝剂投量少且管理简单,并可持续、稳定运行;复合二氧化氯消毒具有一定的持久性,能够有效抑制输水管网中的细菌滋生,且操作简单、成本低廉,可用于办公和生活杂用、绿化等领域的用水消毒。

② 在PAFC投量为3.1 mg/L的优化运行条件下,出水TP、COD和氨氮的平均值分别为0.38、26.6和7.2 mg/L,浊度平均为2.2 NTU;在消毒接触时间>30 min、出水余氯>0.5 mg/L时,总大肠菌群 ≤ 3 CFU/L,出水指标均可满足回用标准。

参考文献:

- [1] 张志斌,夏四清,赵建夫. 化学生物絮凝/悬浮床处理低浊污水[J]. 中国给水排水,2005,21(2):44-46.
- [2] 夏四清,高廷耀,周增炎,等. 悬浮填料生物反应器去除有机污染物和氨氮的中试研究[J]. 给水排水,2000,26(2):42-45.
- [3] 顾夏声,黄铭荣,王占生,等. 水处理工程[M]. 北京:清华大学出版社,1985.
- [4] Ngo H H, Vigneswaran S. Application of downflow floating medium flocculator-prefilter (DFF)-coarse sand filter (CSF) in nutrient removal[J]. Water Sci Technol, 1996,33(8):63-70.
- [5] G Kolisch. Nitrification in partially aerated flocculation filters—a full-scale approach[J]. Water Sci Technol, 1998,38(3):135-142.

电话:(021)27814449

E-mail:cybob@sina.com

收稿日期:2005-11-02