污水厂二级出水的深度处理中试研究

陈 越[1],山 丹[2],张忠祥[3],徐 森[4]
(1. 辽宁城市建设职业技术学院,辽宁沈阳 110122; 2. 中日友好环境保护中心,北京 100029;
3. 哈尔滨工程大学航天与建筑工程学院,黑龙江哈尔滨 150001;
4. 东方船舶装配有限公司,江苏东台 224200)

[摘要] 为使沈阳北部污水处理厂二级生化处理出水达到回用水水质,在中试规模(1 m^3/h)下采用污泥回流高效絮凝+过滤工艺对其进行了深度处理。试验结果表明,经该工艺处理后,色度、浊度、COD_{Cr}、总磷平均去除率分别达到 43%、90.6%、65.6%、86.3%,出水色度为 19.7 度,浊度为 0.6 NTU,COD_{Cr} 为 25.3 mg/L,总磷为 0.6 mg/L,出水色度、浊度、COD_{Cr}、总磷达到《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)的要求。但系统对氨氮的去除率仅为 19.7%,有待进一步提高。

[关键词] 深度处理;污泥回流;高效絮凝;过滤
[中图分类号] X703 [文献标识码] A [文章编号] 1005-829X(2015)06-0042-04

Pilot scale study on the advanced treatment of secondary effluent in an urban sewage treatment plant

Chen Yue[1], Shan Dan[2], Zhang Zhongxiang[3], Xu Sen[4]
(1. *Liaoning Urban Construction Technical College, Shenyang* 110122, *China*;
2. *Sino-Japan Friendship Centre for Environmental Protection, Beijing* 100029, *China*;
3. *School of Aerospace and Civil Engineering, Harbin Engineering University, Harbin* 150001, *China*; 4. *Dongfang Marine Fitting Co., Ltd., Dongtai* 224200, *China*)

Abstract: In order to ensure the treated secondary effluent in sewage plants in the north of Shenyang to achieve the water quality of recycled water, the advanced treatment of the effluent has been accomplished by the highly efficient flocculation of sludge reflux+filtration process, under pilot scale (1 m^3/h). The results show that after the treatment, the average removing rates of chroma, turbidity, COD_{Cr}, and TP, from effluent are 43%, 90.6%, 65.6% and 86.3%, respectively, the effluent chroma 19.7 degree, turbidity 0.6 NTU, COD_{Cr} 25.3 mg/L, and TP 0.6 mg/L. The chroma, turbidity, COD_{Cr} and TP of effluent meets the requirements specified in "the Reuse of Urban Recycling Water-Water Quality Standard for Industrial Uses" (GB/T 19923—2005). Nevertheless, since the removing rate of ammonia nitrogen is only 19.7%, further improvement is still needed.

Key words: advanced treatment; sludge reflux; highly efficient flocculation; filtration

我国是一个水资源短缺的国家,目前全国 600 多个城市中有 400 多个城市缺水[1]。城市污水资源化作为开源的重要形式,已成为解决水危机的重要措施之一[2]。沈阳北部污水处理厂是东北地区最大的污水处理厂,日处理能力为 40 万 t,其中 20 万 t/d 采用 A/O 脱氮的处理工艺。对该厂处理出水进行深度处理,使之得以回用,对解决城市水资源短缺具有重要意义。对此,本研究采用污泥回流高效絮凝+双层滤料过滤的工艺对沈阳北部污水处理厂的二级生化处理出水进行深度处理,以达到回用于康平坑口电厂冷却用水的目的。通过中试动态连续流试验对该工艺的可行性进行了研究。

1 试验系统及试验方法

1.1 试验水质

试验原水取自沈阳市北部污水处理厂二级生化处理工艺出水,其水质:COD_{Cr} 30~70 mg/L,浊度 4~14 NTU,色度 38~91 度,TP 2.8~5.6 mg/L。

1.2 中试装置

中试试验系统流程如图 1 所示。

[基金项目] 国家自然科学基金项目(51209053);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(HEUCF01420)

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

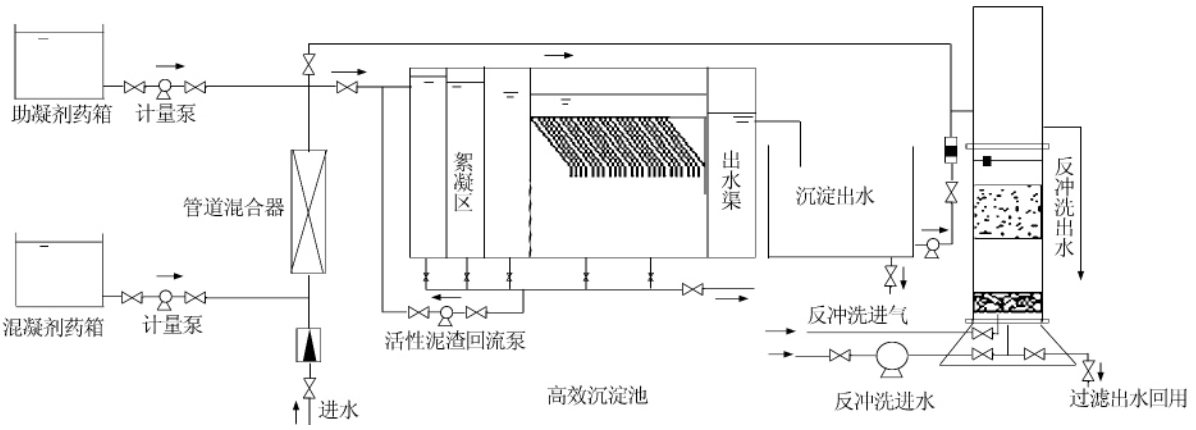

图 1　中试试验系统流程

该工艺主要处理单元包括高效沉淀池、回流系统和过滤装置。其中,高效沉淀池沉淀区中加装了小间距竖向斜向组合板构件,其网格式絮凝反应区分为 14 格;沉淀区斜板间距 25 mm,斜板长 800 mm,水平倾角 60 度,在斜板下垂直延长 250 mm。过滤装置滤柱内径为 250 mm,高为 4 500 mm;滤层采用双层滤料,上层为无烟煤,粒径 1.0~2.0 mm,高 400 mm,下层为石英砂,粒径 0.5~1.2 mm,高 500 mm;承托层厚 400 mm,从下到上由粗到细铺不同粒径的卵石。

1.3　中试系统运行工艺参数选择

进水流量为 1 m^3/h;混凝剂采用聚合氯化铝(PAC),投加量为 30~40 mg/L;助凝剂采用阳离子PAM RT 2300,投加量为 0.45 mg/L;絮凝时间为 13 min;沉淀池表面负荷为 12 $m^3/(m^2\cdot h)$;滤柱滤速为 10 m/h。当原水浊度变化时,活性污泥回流量和混凝剂投加量随之变化。

1.4　分析项目与方法

COD_{Cr}、NH_3-N、TP、色度、浊度和污泥平均浓度等的分析参照《水和废水监测分析方法》(第 4 版)。

2　试验结果与分析

2.1　中试系统对色度和浊度的去除效果

中试系统对色度和浊度的去除效果见图 2。

由图 2 可知,当原水色度为 38~91 度,浊度为 4~13.4 NTU 时,沉淀出水色度平均为 27.9 度,浊度平均为 1.4 NTU;过滤出水色度平均为 19.7 度,浊度平均为 0.6 NTU。经该工艺处理后,总色度去除率为 57.1%~76.6%,平均为 65.6%;总浊度去除率为 84.8%~97.5%,平均为 91.1%。试验结果表明,高效沉淀装置对色度、浊度的平均去除率分别为 50%、60%,分别占到工艺对色度和浊度去除率的 76%、66%,说明污泥回流高效絮凝是该工艺去除色度和浊度的主要原因。

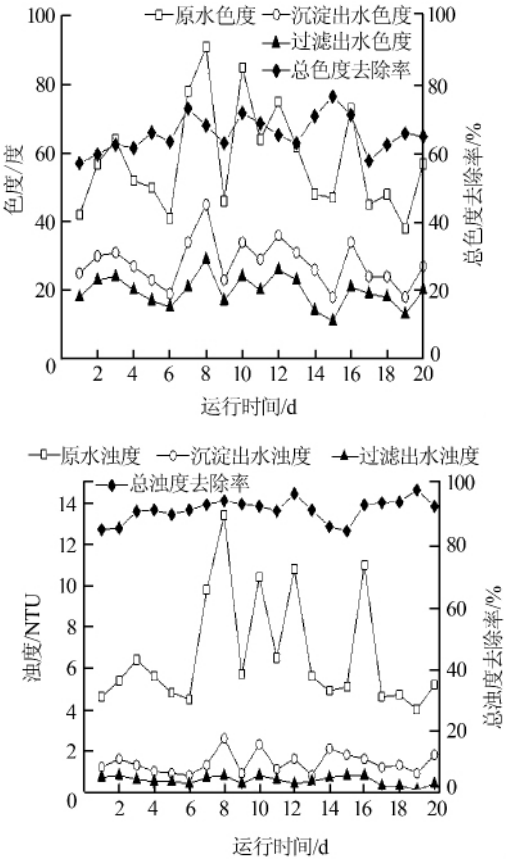

图 2　进出水色度和浊度的变化

研究表明,高效沉淀池中的活性污泥含有大量金属氢氧化物及悬浮胶体颗粒物[3],通过污泥回流接触絮凝的方法可有效增加水中颗粒物浓度,增加混凝剂水解产物的絮凝核心,提高微粒碰撞几率,从而提高颗粒间的凝聚机会,促进颗粒的凝聚成长。同时,活性污泥中细菌的细胞代谢和自溶会在体外分泌一种高分子胞外聚合物(EPS)[4],在适宜条件下

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

EPS 可与悬浮颗粒通过离子键、氢键相结合,迅速形成网状结构而沉降[5],其对于低温低浊水具有良好的絮凝效果。投加适当的混凝剂和助凝剂,采用翼片微涡旋絮凝网格混合，并配合高浓度污泥回流能有效起到处理低温低浊水的目的。通过增强机械搅拌,可促进胶体颗粒间产生的同向絮凝，进一步改善混凝效果[6],使色度和浊度等得到去除。运行结果表明，污泥回流高效絮凝+过滤工艺对色度和浊度有稳定的去除效果，工艺最终出水色度和浊度远小于《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)中的规定,符合再生水回用水质标准。

2.2　中试系统对 COD_{Cr} 的去除效果

中试系统对 COD_{Cr} 的去除效果见图 3。

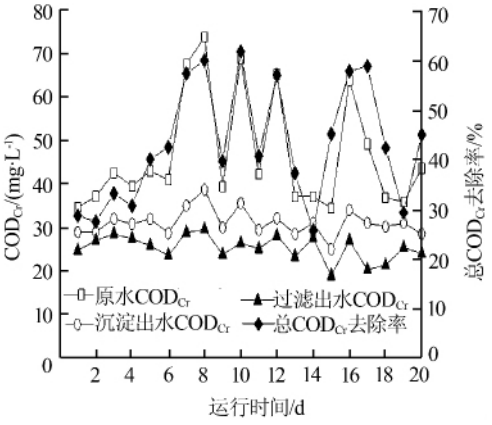

图 3　进出水 COD_{Cr} 的变化

从图 3 可以看出，当原水 COD_{Cr} 为 30~70 mg/L 时，沉淀出水 COD_{Cr} 平均为 31.1 mg/L，过滤出水 COD_{Cr} 平均为 25.3 mg/L，总 COD_{Cr} 去除率平均为 43%，其中高效沉淀装置对 COD_{Cr} 的去除率平均为 30%,占工艺总去除率的 70%,说明污泥回流高效絮凝对 COD_{Cr} 的去除起主要作用。

污泥回流高效絮凝系统是将高效沉淀池中具有黏附活性的高密度沉淀污泥回流，与加混凝剂的原水混合,通过混凝剂压缩双电层、吸附架桥、网捕卷扫作用使胶粒脱稳并凝聚形成絮凝体[7],其不但对色度、浊度具有良好的去除效果,同时有助于去除水中悬浮有机物,使出水 COD_{Cr} 降低。该工艺对 COD_{Cr} 的去除效果稳定,出水 COD_{Cr} 达到《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)的要求。

2.3　中试系统对总磷的去除效果

中试系统对总磷的去除效果如图 4 所示。

从图 4 可以看出，当原水总磷为 2.8~5.6 mg/L 时,沉淀出水总磷平均为 1.0 mg/L,过滤出水总磷平均为 0.6 mg/L,总的总磷去除率为 75.6%~94.6%,平均为 86.3%。试验结果表明,该工艺对总磷的去除比较理想。混凝剂溶解后的金属阳离子可与污水中的磷反应,生成难溶解的磷酸盐类沉淀物[8],因此混凝过程去除磷的效果显著。混凝过程在去除非溶解性固体的同时,也可去除污水中的某些溶解性物质(如砷、汞等)。此外,高效沉淀池出水通过无烟煤和石英砂双层滤料的过滤作用，其中未沉淀完全的胶体物质和悬浮物质得到进一步去除，进一步降低了出水磷含量,提高了系统整体处理效果。

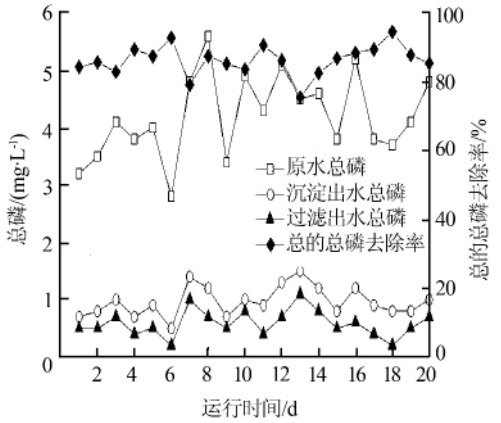

图 4　进出水总磷的变化

2.4　中试系统对氨氮的去除效果

中试系统对氨氮的去除效果如图 5 所示。

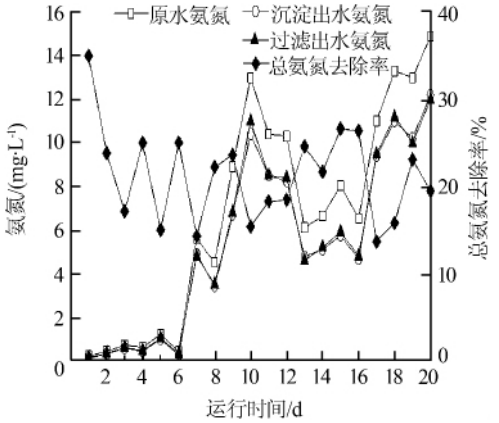

图 5　进出水氨氮的变化

由图 5 可以看出，原水氨氮在开始阶段比较低(<1 mg/L),此时出水氨氮<1 mg/L。当原水氨氮为 5~15 mg/L 时,过滤出水氨氮在 12 mg/L 以下。系统总氨氮去除率平均仅为 19.7%，说明该工艺对氨氮的去除并不理想。这是因为原水中的氨氮主要以离子态溶解于水中，用化学法去除氨氮没有太大的作用,因此,混凝沉淀+过滤工艺很难将其去除[9];但由

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

于网捕卷扫作用也能够去除一小部分含氮有机物,使工艺对氮也有一定的去除效果。同时,研究发现高效沉淀池出水经过滤以后,其氨氮都有微小的上升趋势。经分析可能是由于滤柱中存在缺氧区,在反硝化过程中发生同化反硝化,使一部分硝态氮转化为氨态氮。

3　中试试验产水成本分析

通过设备的初期投资、长期运行费以及维护费计算产水成本。

初期投资包括计量泵、活性泥渣回流泵、滤柱反冲洗泵、管道混合器等设备,以及高效絮凝沉淀池、滤柱等中试装置。使用寿命按 4 a 计,则每吨产水折合设备费 0.28 元,设备折旧费 0.11 元。

长期运行费及维护费包括药剂费、人工费、电费等。其中高效絮凝工艺中试试验每吨产水消耗电能 0.5 kW·h,电费单价按 0.5 元/(kW·h)计,则每吨产水电费为 0.25 元;每吨产水消耗聚合氯化铝(按 40 mg/L 计)与聚丙烯酰胺(按 0.4 mg/L 计)费用为 0.35 元;每吨产水人工费按 0.18 元计。由此可见,采用污泥回流高效絮凝+过滤工艺对污水处理厂二级生化处理出水进行深度处理使之回用的产水成本为 1.17 元/ m^3,具有处理效果好、产水成本低的优势。

4　结论

城市污水处理厂二级生化处理工艺出水经过中试条件下的污泥回流高效絮凝+过滤联合工艺处理后,出水色度为 19.7 度,浊度为 0.6 NTU,COD_{Cr} 为 25.3 mg/L,总磷为 0.6 mg/L,出水色度、浊度、COD_{Cr}、总磷能够满足《城市污水再生利用 工业用水水质》(GB/T 19923—2005)的要求。但系统对氨氮去除效果不甚理想,建议另行增加氨氮处理工艺。

采用污泥回流高效絮凝+过滤工艺对污水处理厂二级生化处理出水进行深度处理回用的产水成本为 1.17 元/ m^3,具有一定的经济可行性。

参考文献

[1] 杨熙颖,杨文超. 城市水资源的可持续利用研究[J]. 内蒙古水利,2011(3):61-62.

[2] 肖锦. 城市污水处理及回用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2002:10-13.

[3] Sun Lihua,Lu Mou,Yang Yanling,et al. Enhanced treatment of water with low turbidity:Combination effects of permanganate,PAM and recycled sludge[J]. Journal of Harbin Institute of Technology,2009(12):863-868.

[4] Wang Zichao,Gao Mengchun,Wang Zhe,et al. Effect of salinity on extracellular polymeric substances of activated sludge from an anoxic-aerobic sequencing batch reactor[J]. Chemosphere,2013,93(11):2789-2795.

[5] 曾艳,张明青,唐琳,等. 曝气池活性污泥胞外聚合物对高分散悬浊液的絮凝性能研究[J]. 工业水处理,2011,31(5):24-26.

[6] 严煦世,范瑾初. 给水工程[M]. 4 版. 北京:中国建筑工业出版社,1999:264-270.

[7] 佟瑞利,赵娜娜,刘成蹊,等. 无机、有机高分子絮凝剂絮凝机理及进展[J]. 河北化工,2007,30(3):3-6.

[8] Xie Weimin,Wang Qunhui,Ma Hongzhi,et al. Study on phosphorus removal using a coagulation system[J]. Process Biochemistry,2005,40(8):2623-2627.

[9] 盛力,乔斌,王鹤立. BAF+混凝沉淀工艺用于二级出水回用研究[J]. 辽宁化工,2007,36(9):638-641.

[作者简介] 陈越(1976—),工学硕士,副教授。电话:13940432768,E-mail:ln-chenyue@163.com。

[收稿日期] 2015-03-25(修改稿)

·水处理知识讲座·

什么是氧化型和非氧化型杀生剂?

氧化型杀生剂是具有强烈氧化性的杀生药剂,通常是一种强氧化剂,对水中微生物的杀生作用很强。如卤素中的氯、溴和碘,还有氯的化合物、臭氧等都是氧化型杀生剂。溴和碘由于成本太高,无法用于大规模的生产上。工业上常用的是氯、次氯酸钠和次氯酸钙等。氧化型杀生剂对水中其他还原性物质能起氧化作用,故当水中存在有机物、硫化氢及亚铁离子时,会消耗一部分杀生剂,降低了它的杀生效果。这时如采用的是氯及其化合物,则因需氯量的增加而使氯耗提高。

非氧化型杀生剂不以氧化作用杀死微生物,而是以致毒剂作用于微生物的特殊部位。因而非氧化型杀生剂不受水中还原性物质的影响。常用的非氧化型杀生剂有氯酚类、季铵盐类、二硫氰基甲烷及大蒜素等。

选用杀生剂时可以根据不同水质特点,不同时期的具体情况,选用氧化型或非氧化型杀生剂,有时还采用二者交替使用的方案。如许多厂以氯杀菌为主,同时定期或非定期投用一种或多种非氧化型杀生剂。

(摘自《工业水处理技术问答及常用数据》)

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net