

气液混合泵气浮系统处理低浓度二级出水的研究

朱兆亮^{1,2}, 曹相生¹, 孟雪征¹, 张 杰¹

(1 北京工业大学 北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室, 北京 100022; 2 山东建筑大学 市政与环境工程学院, 山东 济南 250101)

摘 要: 气浮—过滤是一种经济有效的污水深度处理工艺。通过小试研究了气浮单元对低浓度二级出水 (COD < 60 mg/L) 的处理效果, 并以 COD、TP 和浊度为去除对象, 考察了絮凝剂种类、溶气压力和回流比对处理效果的影响。结果表明, 对于低浓度的二级出水, 采用气液混合泵的气浮单元可将 COD、TP 和浊度分别降低到 20 mg/L、0.5 mg/L 和 0.5 NTU; 聚合氯化铝 (PAC) 对 COD 和浊度的去除效果要好于聚合硫酸铁 (PFS), 而 PFS 对磷的去除率要高于 PAC; 适宜的工作参数为: PFS 的投加量为 50 mg/L, PAC 的投加量为 30 mg/L, 溶气压力为 343~441 kPa, 回流比为 30%~50%。

关键词: 二级出水; 再生回用; 气浮; 溶气压力; 回流比

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2008)01-0026-05

Study on Advanced Treatment of Low Concentration Secondary Effluent by DAF Process with Gas-liquid Mixed Pump

ZHU Zhao-liang^{1,2}, CAO Xiang-sheng¹, MENG Xue-zheng¹, ZHANG Jie¹

(1 Key Lab of Beijing for Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2 School of Municipal and Environmental Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract: The dissolved air flotation (DAF) /filtration is an economical and efficient process for advanced wastewater treatment. The treatment effect of low concentration secondary effluent (COD < 60 mg/L) by DAF unit with gas-liquid mixed pump was studied, and the influence of flocculant kinds, dissolved air pressure and reflux ratio on the removal efficiencies of COD, TP and turbidity was investigated. The results show that for the low concentration secondary effluent, the DAF unit with gas-liquid mixed pump can decrease COD, TP and turbidity to 20 mg/L, 0.5 mg/L and 0.5 NTU. PAC is better than PFS for COD and turbidity removal, while PFS is better than PAC for TP removal. The suitable operation parameters are PFS dosage of 50 mg/L, PAC dosage of 30 mg/L, dissolved air pressure of 343 to 441 kPa and reflux ratio of 30% to 50%.

Key words: secondary effluent; reclamation and reuse; DAF; dissolved air pressure; reflux ratio

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2003AA601010); 北京市优秀人才培养计划资助项目 (20061D0501500207)

污水再生回用是解决水污染问题和实现城市水系统健康社会循环的有效途径。因此,开发经济高效的污水再生回用技术有着现实和长远的意义^[1]。在建立了国内第一个澄清、过滤的污水再生回用工艺后,本课题组负责人张杰院士等人提出了采用气浮+生物过滤工艺处理城镇污水厂的二级出水。该工艺充分利用了气浮法能够高效去除二级出水中粒径小、密度低的有机颗粒杂质的优势,同时气浮的充氧功能还强化了后续过滤单元的生物作用,使水质得到进一步提高。目前,哈尔滨文昌污水处理厂已成功运行了规模为 3 200 m³/d 的加压溶气气浮+生物过滤工艺。

随着水泵技术的发展,气液混合泵逐渐被应用到气浮工艺。该泵边吸气边吸水,通过泵内加压实现了气液混合。与传统加压溶气气浮系统相比,气液混合泵集加压泵、空气压缩机、高压溶气罐、释放器等设备的功能于一体,且更容易控制,因此近年来逐渐得到推广应用。

目前,将气液混合泵气浮系统应用于污水再生回用的研究较少,国内仅西安建筑科技大学的高湘等人开展了类似研究^[2],处理对象为 COD 在 70~150 mg/L 之间的生活污水。笔者考察了采用气液混合泵气浮系统处理低浓度二级出水 (COD < 60 mg/L) 的可行性,探讨了其运行规律。

1 试验装置与方法

原水为生活污水经过 SBR 反应器处理后的出水,其水质见表 1。

表 1 原水水质

Tab 1 Raw wastewater quality

项目	温度 / ℃	pH	浊度 / NTU	COD / (mg · L ⁻¹)	TP / (mg · L ⁻¹)
范围	20~26	7.5~8.0	2~6	30~60	1.0~2.0
均值	23	7.8	4	45	1.5

絮凝池、气浮池均由有机玻璃制成。絮凝池为机械搅拌隔板反应池,分 3 格,每格尺寸为 200 mm ×200 mm ×400 mm;气浮池为竖流式,接触区尺寸为 Ø50 mm ×1.5 m,分离区尺寸为 Ø150 mm ×1.6 m。加药、进水采用数字式变速蠕动泵,搅拌采用调速电动搅拌机,溶气系统采用尼可尼 20NP5-04Z 气液混合泵。

絮凝剂选用价格相对便宜的聚合氯化铝 (PAC)

和聚合硫酸铁 (PFS)。两种药剂在溶药池溶解配制为 0.5% 的药液,采用湿法投加。

试验中测定了 COD、TP 和浊度 3 个指标。其中,COD 和浊度分别采用 5B-3B 型 COD 快速测定仪和 W GZ200 散射光浊度仪测定;TP 采用钼酸盐分光光度法检测。

2 结果及讨论

2.1 絮凝剂种类和投加量对气浮效果的影响

试验条件:进水量为 160 L/h,絮凝池的水力停留时间为 18 min,3 格的搅拌强度依次为 70、40、30 s⁻¹;气浮池接触区的上升速度为 5.6 mm/s,停留时间为 1.1 min;分离区的下降速度为 0.7 mm/s,停留时间为 8.8 min;表面负荷为 9 m³/(m² ·h);溶气系统的回流比为 40%,溶气压力为 392 kPa。

2.1.1 对 COD 的去除

对 COD 的去除效果见图 1。

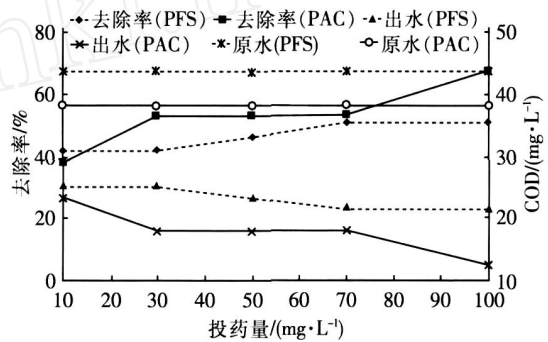


图 1 不同絮凝剂对 COD 的去除效果

Fig 1 Effect of dosage of flocculants on COD removal

从图 1 可以看出,当 PAC 的投加量为 30 mg/L、PFS 的投加量为 70 mg/L 时,对 COD 的去除率为 50% 左右,出水 COD 约为 20 mg/L。但随着投药量的增加,絮凝—气浮工艺对 COD 的去除率并没有很大的提高。分析原因是原水中的 COD 浓度很低,可通过絮凝去除的那部分 COD 已经得到去除(絮凝只能去除水体中能和絮凝剂作用的那部分有机物,这部分有机物的含量越高则去除率也越高)。提高投药量和调节 pH 值是提高絮凝效率的有效手段^[3],而试验中没有采用高投药量和对原水 pH 值进行调节,絮凝剂未在最佳 pH 值范围内发挥作用,所以对 COD 的去除有限。

从图 1 还可知,PAC 对 COD 的去除率要高于 PFS。原因在于两种絮凝剂所产生絮体的形态存在差异,PAC 的水解产物之一——聚十三铝能够在—

定时间内保持其形态而不继续水解,因而可在絮凝过程中发挥更大的电性中和及吸附架桥作用,同时与铝盐聚合而成的絮体颗粒的疏水性更强,与气泡的粘附效果更好^[4]。

2. 1. 2 对 TP 的去除

对 TP 的去除效果见图 2。

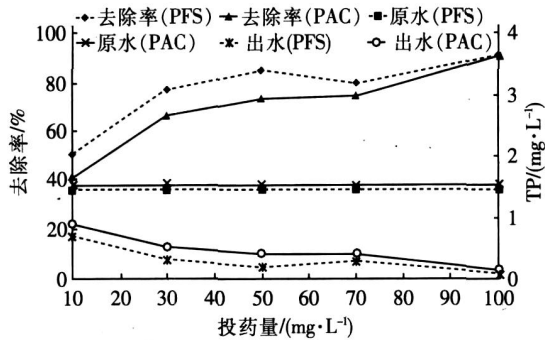


图 2 不同絮凝剂对 TP 的去除效果

Fig 2 Effect of dosage of flocculants on TP removal

图 2 表明,两种絮凝剂对 TP 的去除规律基本相同。随着投药量的增加则对 TP 的去除率提高,当投药量为 100 mg/L 时对 TP 的去除率达到了 90% 以上,出水总磷降到了 0. 15 mg/L。

生活污水中的磷酸盐主要以正磷酸盐和耦环磷酸盐的形式存在,当加入铁盐或铝盐絮凝剂后,磷酸根可以取代与三价铁或三价铝结合的部分羟基而形成碱式磷酸铁(铝),改变铁或铝的水解路径。Roger 等用 R 光谱研究得出,氢氧化铁(铝)凝胶及各种铁(铝)的氧化物都能吸附大量的磷酸根,且可形成双核络合物。因此,铁(铝)盐不仅通过生成沉淀除磷,而且 Fe^{3+} (Al^{3+})、 OH^- 、 PO_4^{3-} 之间的强亲和力,还能促使形成难溶的络合物,其表面有很强的吸附作用,通过吸附可去除更多的磷。

由图 2 还可知,在相同的投药量下 PFS 的除磷率高于 PAC 的,这与其相对分子质量大及羟基的架桥作用有关^[5]。另外, PFS 在水解后产生的三价铁离子可与水中的正磷酸盐发生反应而生成 FePO_4 , 其溶解度很小,所以能够达到理想的除磷效果。

2. 1. 3 对浊度的去除

对浊度的去除效果见图 3。本试验的处理对象为 SBR 工艺的出水,其浊度在 4 NTU 左右。由于已经过 SBR 工艺的良好沉淀,故水中的颗粒以较难沉降、相对密度接近于 1、尺寸很小、粒度均匀的胶体粒子为主。这些胶体粒子具有较高的 Zeta 负电位,

相互间存在较大的静电斥力,因而碰撞、絮凝的效率低,难以形成性能良好且易于沉降的絮体。由图 3 可以看出,气浮工艺对这类颗粒具有明显的去除效果,出水浊度得到很大的降低。PAC 对浊度的去除效果要比 PFS 的好,当 PAC 的投加量为 50 mg/L 时,出水浊度降低到 0. 4 NTU,去除率达到 77%,并且随着投药量的增加,出水浊度继续降低;而对于 PFS,最高去除率为 60%,出水浊度 > 2 NTU。

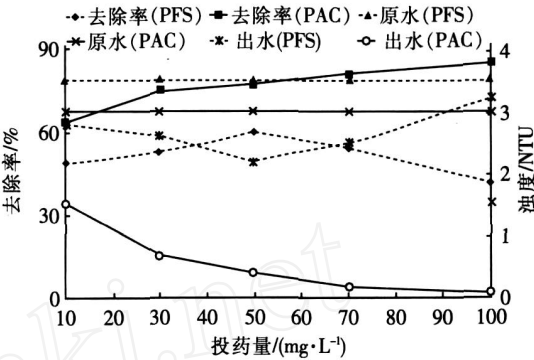


图 3 不同絮凝剂对浊度的去除效果

Fig 3 Effect of dosage of flocculants on turbidity removal

2. 2 溶气系统参数对气浮效果的影响

选取 PAC 作为絮凝剂,投加量为 50 mg/L。

2. 2. 1 溶气压力对气浮效果的影响

溶气压力对除污效果的影响如图 4~6 所示。

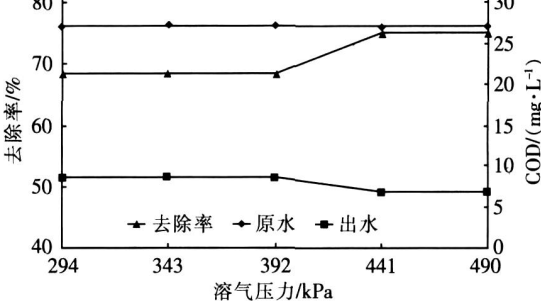


图 4 溶气压力对去除 COD 的影响

Fig 4 Effect of dissolved air pressure on COD removal

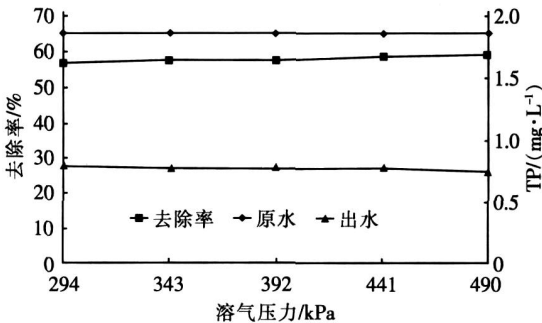


图 5 溶气压力对去除 TP 的影响

Fig 5 Effect of dissolved air pressure on TP removal

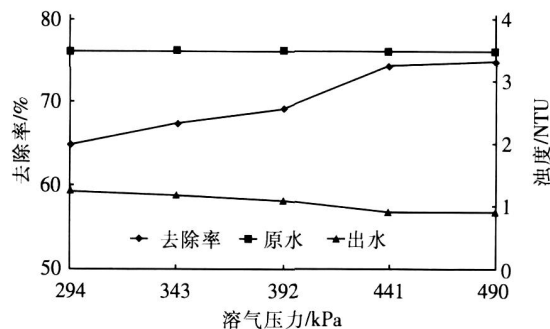


图 6 溶气压力对去除浊度的影响

Fig 6 Effect of dissolved air pressure on turbidity removal

从图 4~6可知,当溶气压力为 294~392 kPa 时,对 COD、TP、浊度的去除率均较高,但变化不大;当溶气压力提高到 441 kPa 时,对 COD、TP 及浊度的去除率均有所提高;当提高溶气压力到 490 kPa 时,系统对 3 个指标的去除效果增幅不明显。

分析原因是:当溶气压力为 294~392 kPa 时,气泡的尺寸较大,对杂质颗粒的去除效果有限;当溶气压力 > 441 kPa 后,气泡粒径减小,对水中的杂质颗粒有很好的去除效果,但是继续增大压力并不能起到提高去除率的作用。因此,不是气泡粒径越小就处理效果越好。

根据 Han 等人^[6]的研究结果,当微气泡尺寸与絮体颗粒尺寸接近时二者的粘附效率最大,有利于对污染物的去除。在气浮工艺中,当微气泡的直径在 10~100 μm 之间 (平均为 40 μm)^[7,8] 时便能满足要求。另外,高的溶气压力需要更多的能量输入,增加了电耗。所以溶气压力不宜太高,取 343~441 kPa 即可。

2.2.2 回流比对气浮效果的影响

溶气水回流比对除污效果的影响见图 7~9。

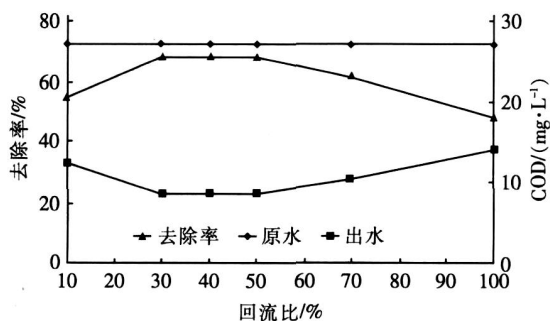


图 7 回流比对去除 COD 的影响

Fig 7 Effect of reflux ratio on COD removal

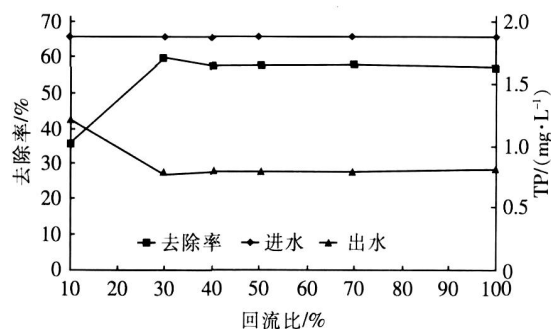


图 8 回流比对去除 TP 的影响

Fig 8 Effect of reflux ratio on TP removal

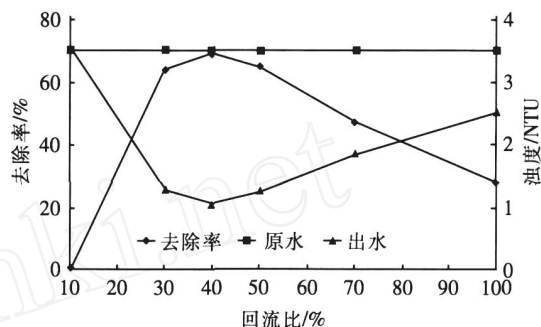


图 9 回流比对去除浊度的影响

Fig 9 Effect of reflux ratio on turbidity removal

由图 7~9 可以看出,溶气水回流比对各指标去除率的影响较大,当回流比 < 30% 时去除效果很差。当回流比为 10% 时,出水浊度相比原水的还略有增加,分析是气泡数量少,不能完全将絮体携带排出的缘故。随着回流比的增大,对 COD、TP、浊度的去除率升高。但是当回流比 > 50% 时,对 COD、TP 和浊度的去除率都有所降低,原因是气泡合并聚大引起了颗粒下沉。综合考虑对 COD、TP 和浊度的去除,回流比宜控制在 30%~50%。

3 结论

① 在二级出水浊度 < 4 NTU 和 COD < 60 mg/L 时,采用气液混合泵的气浮单元可将其分别降低到 0.5 NTU 和 20 mg/L 以下,出水总磷浓度则从 1.5 mg/L 降低到 0.5 mg/L 以下。

② 在不调节原水 pH 值的前提下, PAC 对 COD 和浊度的去除率要高于 PFS,而 PFS 的除磷效果更佳。

③ 在本试验条件下,较为适宜的参数为: PFS 投加量为 50 mg/L, PAC 投加量为 30 mg/L;溶气压力为 343~441 kPa,回流比为 30%~50%。

(下转第 34 页)

- [5] Tekerlekopoulou A G, Vayenas D V. Ammonia, iron and manganese removal from potable water using trickling filters[J]. Desalination, 2007, 210 (1 - 3): 225 - 235.
- [6] Komaros M, Lyberatos G. Biological treatment of wastewaters from a dye manufacturing company using a trickling filter[J]. J Hazard Mater, 2006, 136 (1): 95 - 102.
- [7] 陈建孟, 王家德, 庄利, 等. 生物滴滤池净化二氯甲烷废气的实验研究[J]. 环境科学, 2002, 23 (4): 8 - 12.
- [8] 李跃华, 赵志曼, 徐清, 等. 住宅小区无动力地理式生活污水一体化处理装置[J]. 水处理技术, 2006, 32 (6): 88 - 90.
- [9] Eding E H, Kamstra A. Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: A review[J]. Aquacultural Engineering, 2006, 34 (3): 234 - 260.
- [10] 陶婷婷, 张玉先, 汪胜. 沸石滤料生物滤池用于生活污水脱氮处理研究[J]. 给水排水, 2005, 31 (10): 36 - 39.
- [11] 许保玖, 龙腾锐. 当代给水与废水处理原理 (第 2 版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- 作者简介:** 曹大伟 (1982 -), 男, 江苏无锡人, 硕士研究生, 研究方向为水污染控制与水处理技术.
- 电话:** 13913981116
- E - mail:** caodavy@gmail. com
- 收稿日期:** 2007 - 08 - 06

(上接第 29 页)

参考文献:

- [1] 张杰. 城市水系统健康循环的实施策略[J]. 北京工业大学学报, 2004, 30 (2): 185 - 189.
- [2] 高湘, 王吉宁, 金同轨, 等. 絮凝—气浮法在生活污水深度处理中的应用研究[J]. 给水排水, 2002, 28 (5): 29 - 31.
- [3] 晏明全, 王东升, 曲久辉, 等. 典型北方高碱度微污染水体强化混凝的示范研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26 (6): 888 - 892.
- [4] 王毅力, 汤鸿霄. 絮凝—DAF 中试工艺处理密云水库低温低浊水的影响因素[J]. 环境科学, 2001, 22 (1): 27 - 31.
- [5] 冯萃敏, 龙莹洁, 王俊岭. 聚硫酸铁混凝剂的除磷效果分析[J]. 给水排水, 2006, 32 (z1): 205 - 207.
- [6] Han M, Kim W. Collision efficiency factor of bubble and particle in DAF: theory and experimental verification[J]. Water Sci Technol, 2001, 43 (8): 139 - 144.
- [7] Kiuru H J. Development of dissolved air flotation technology from the first generation to the newest (third) one (DAF in turbulent flow conditions) [J]. Water Sci Technol, 2001, 43 (8): 1 - 7.
- [8] Gergory R, Zabel T F. Sedimentation and Flotation[M]. New York: McGraw Hill, 2000.
- 作者简介:** 朱兆亮 (1975 -), 男, 山东济南人, 博士研究生, 讲师, 主要从事水处理技术研究.
- 电话:** 13811504402
- E - mail:** zhuzl@emails. bjut. edu. cn
- 收稿日期:** 2007 - 09 - 13

加大污水处理和回用力度 推进污水资源化