微絮凝过滤工艺在机场雨水中水回用中的试验研究

杜 峻[1],徐建初[2],高乃云[1],楚文海[1]

(1. 同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室,上海 200092;2. 上海市政工程设计研究总院,上海 200092)

摘 要 雨水回用是一种有效的解决水资源缺乏的方法。以上海浦东国际机场围场河收集的雨水作为中水水源。考察了微絮凝过滤工艺对雨水中的浑浊度、UV_{254}、氨氮(NH_3-N)以及氯离子(Cl^-)的去除效果;同时对比了氯化铁($FeCl_3$)和聚合氯化铝(PAC)两种絮凝剂对机场雨水的处理效果,获得了不同絮凝剂条件下的可利用的微絮凝过滤工艺设计和运行参数。

关键词 雨水利用 微絮凝 过滤 中水

中图分类号:X703, TU991.2 **文献标识码**:A **文章编号**:1009-0177(2009)03-0057-04

Study on the Experiment of Micro-Flocculation and Filtration Used in Recycled Water Utrilization with Rainwater

DU Jun[1,2], XU Jian-chu[2], GAO Nai-yun[1], CHU Wen-hai[1]

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai municipal engineering design and research institude, Shanghai 200092, China)

Abstract Rain water utilization is one of the effective measures for resolving more and more insufficient water resources. The rain water from Pudong International Airport area was selected as source water of reclaimed water. The removal effect of turbidity, UV_{254}, NH_3-N and Cl^- in raw water were investigated and compared based on adding two different coagulants such as ferric chloride ($FeCl_3$) and poly aluminum chloride (PAC). Finally, the optimal design parameters of process combination with micro-flocculation and filtration were obtained.

Key words rain water utilization micro-flocculation filtration reclaimed water

上海浦东国际机场是三大国际机场之一,位于长江入海口南岸的滨海地带,占地约 45 km^2,机场近期规划建设 3 座航站楼以及 2 座卫星厅,其中已建成的 T1 航站楼屋面水平投影面积达 176 150 m^2,暴雨季节收集雨水水量可达 500 m^3/h,新建的 T2 航站楼屋面水平投影面积更大,外排雨水量更多,如加以利用,可创造较大的经济、社会及环境效益。

我国城市雨水利用工程是一项新的技术,目前正处在示范和发展阶段,将雨水回用于民航机场系统尚不多见。基于上海浦东国际机场雨水水质特点,本研究考察了不同絮凝剂对机场雨水的处理净化效果,旨在为今后雨水利用工程建设和管理积累经验,提供有价值的参考数据和决策依据。

[收稿日期] 2009-02-05

[基金项目] 国家"十一五"科技支撑计划(编号:2006BAJ08B06;2006BAJ08B02)。

[作者简介] 杜 峻(1977-),男,硕士,研究方向为给排水。电话:51298371;E-mail: du j.gp4@smedi.com。

[通讯作者] 高乃云,电话:021-65982691;E-mail: gaonaiyun@sina.com。

1 实验部分

1.1 试验药剂与原水

试验中采用三氯化铁($FeCl_3$)和聚合氯化铝(PAC)作为絮凝剂,三氯化铁采用分析纯,PAC 中铝含量为 27 %~28 %(以 Al_2O_3 计)。试验所需原水采用机场围场河取水点处河水(主要来源于机场范围收集的雨水),原水水质参数见表 1。

1.2 中水用途和标准

目前国内外中水主要用于园林绿化用水、道路浇洒等市政用水、工业冷却水、洗车用水、以及居民生活冲洗用水等方面[1-2]。根据对机场内用水情况的调查结果发现,场内没有固定的洗车点,同时场内单位所属的机动车辆数目不多,且各单位所处位置较为分散,为此基本没有集中洗车的需求;场内基本没有居民,只有少数夜间值勤人员,住宿地点也分布在场内各处,且用水量很少。如将中水用于洗车、居民生活冲洗等方面,需将管网敷设至全场范围,投资巨大,产生的经济效益不高。为此场内中水主要用于园林绿化用

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　试验原水物化性质

Tab.1　Physicochemical characteristics of experimental water

水质指标	浑浊度/NTU	UV_{254} /cm^{-1}	COD_{Mn} /(mg·L^{-1})	NH_3-N /(mg·L^{-1})	总铁 /(mg·L^{-1})	氯化物 /(mg·L^{-1})	Cl^- /(mg·L^{-1})	NO_3^- /(mg·L^{-1})	SO_4^{2-} /(mg·L^{-1})
数值	8.7~11.4	0.105~0.120	7.07~7.55	1.50~2.08	0.3	310.85	1.70	13.37	110.76

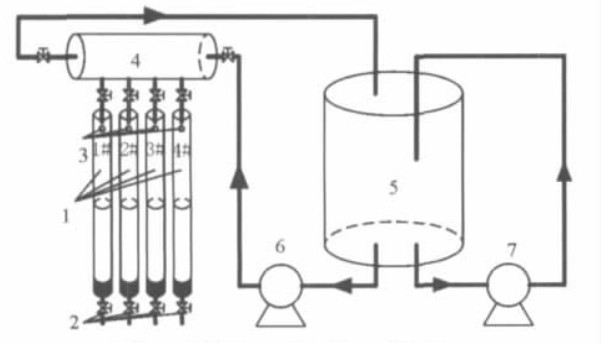
注:表中所列数据为全年不同季节和气候条件下测得平均值

水、道路浇洒等市政用水、工业冷却水。同时为节省中水管道的建设投资,因此,场内中水首先试用于用水水量较大,且用水点集中的航站区,主要用于航站区道路冲洗、绿化浇洒、航站楼内卫生洁具的冲洗。

鉴于以上的用途,本研究中的中水水质只需符合城镇杂用水水质控制指标便能用于冲厕和绿化浇洒,符合冷却用水的水质控制指标就能用于冷却水补充用水,具体水质标准可见《污水再生利用工程设计规范(GB50335—2002)》。

1.3　实验装置与方法

图 1 所示为微絮凝过滤的试验装置,其中滤料采用石英砂。滤柱内径均为 10 cm、高 100 cm,有机玻璃制成,其中承托层厚 8 cm,滤料层厚度 42 cm,溢流口处高 95 cm。试验过程中过滤水位始终保持在溢流口高度。图 1 中贮水箱 5、进水泵 6 和布水器 4 组成一条循环回路,使得布水器中始终充满水,并且该回流对贮水箱中的反应液起到一定的水力搅拌混合作用。另一方面,回流泵 7 直接将贮水箱底部反应液提升至上部,进一步加大水力混合作用,从而使絮凝剂充分与原水反应。



1.滤柱;2.陛样口;3.溢水器;4.布水器;
5.贮水箱;6.进水泵;7.回流泵

图 1　试验工艺流程图

Fig.1　Flow diagram of process for experiment

试验中所采用的絮凝剂 $FeCl_3$ 和聚合氯化铝均为一次性投加到贮水箱中,微絮凝时间取 5~6 min,采用进水泵提升至布水器,然后注入石英砂滤柱进行过滤。

1.4　分析项目及分析方法

本试验中的水质分析项目及方法见表 2。

表 2　主要的测试项目和分析仪器

Tab.2　Main testing parameters and analytical instruments

测定项目	分析方法
浑浊度	美国"HACH"公司生产的 2100N 型浊度仪
UV_{254}	上海精密科学仪器有限公司生产的 755B 型分光光度计
COD_{Mn}	标准碱式高锰酸钾法
NH_3-N	纳氏试剂分光光度法
氯离子	DPD分光光度法

2　结果与讨论

2.1　$FeCl_3$ 对机场雨水的净化效果

由图 2 可知,采用 $FeCl_3$ 作为絮凝剂时,该微絮凝过滤工艺对浑浊度有较好的去除效果,同时对有机物也有一定的去除能力。当其投加量在 8~16 mg/L 时,该微絮凝过滤工艺对氨氮(NH_3-N)有一定的去除效果。当 $FeCl_3$ 的投加量为 12 mg/L 时,出水的浑浊度、COD_{Mn}、UV_{254} 和 NH_3-N 都达到最低,分别为 1.55 NTU、5.52 mg/L、0.075 cm^{-1} 和 0.99 mg/L。另外,原水中氯离子(Cl^-)的含量本身不高,采用微絮凝过滤工艺后出水中的 Cl^- 并没有随 $FeCl_3$ 投加量的增加而增加。

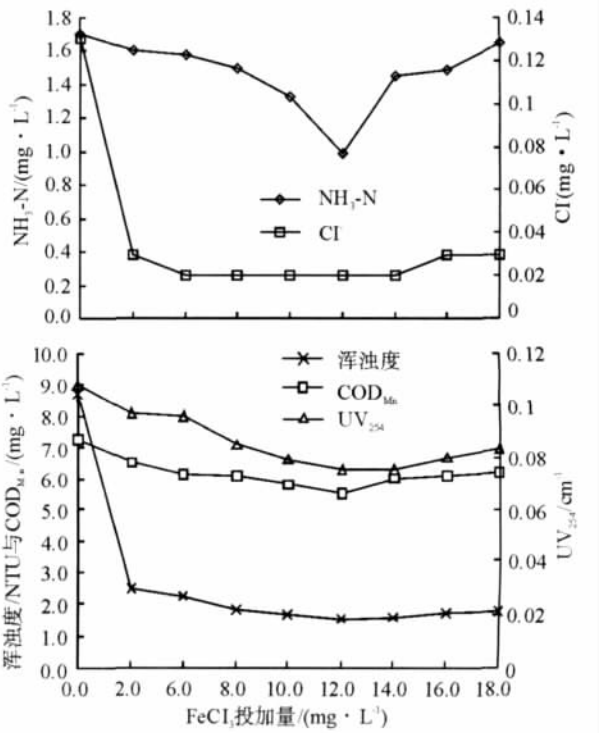


图 2　$FeCl_3$ 对机场收集雨水的净化效果

Fig.2　Purification effect of $FeCl_3$ on rainwater in airdrome

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.2 PAC 对机场雨水的净化效果

由图 3 可知，采用 PAC 作为絮凝剂时，该微絮凝过滤工艺对浑浊度有较好的去除效果，同样对有机物也有一定的去除能力。当 PAC 的投加量达到 3 mg/L 以上时，出水浑浊度均在 2 NTU 以下，当 PAC 的投加量为 3 mg/L 时，对浑浊度的去除效果最好，去除率达到 86.58 %。当 PAC 的投加量为 3~4 mg/L 时，对有机物的去除效果最好。对 COD_{Mn} 和 UV_{254} 的最高去除率分别达到 24.6 %和 35.78 %。

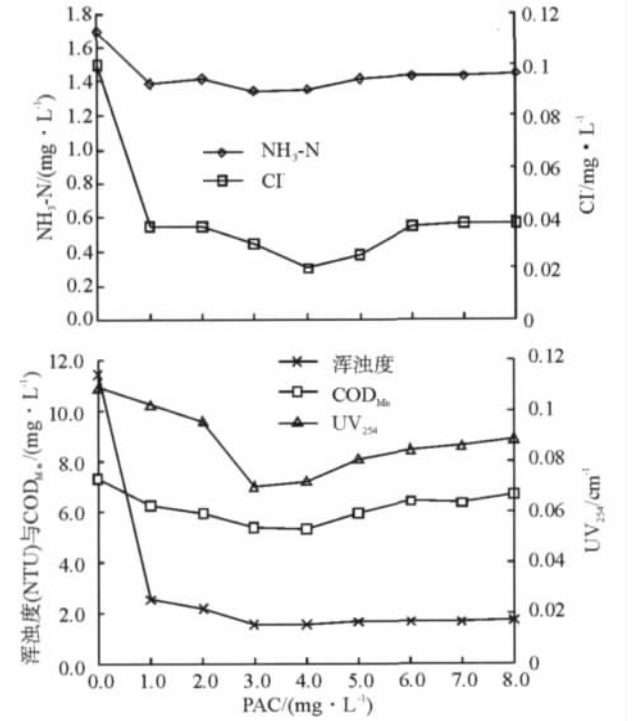


图 3 PAC 对机场收集雨水的净化效果

Fig.3 Purification effect of PAC on rainwater in airdrome

同样由图 3 可知，采用 PAC 作为絮凝剂时，该微絮凝过滤工艺对 NH_3-N 也有一定的去除效果，且随着 PAC 的投加量的增大，NH_3-N 的去除率变化不大。当 PAC 的投加量为 4 mg/L 左右时，该微絮凝工艺出水中剩余 Cl^- 含量最低，为 0.02 mg/L。

2.3 不同絮凝剂条件下的试验结果对比

试验结果见图 4 所示（其中 $FeCl_3$ 和 PAC 均选择各自最佳投加量，分别为 12 mg/L 和 3 mg/L）。

由图 4 可知，采用石英砂为滤料时，两种微絮凝过滤工艺对浑浊度均有良好的去除效果，在此试验原水 Cl^- 含量较低情况下对 Cl^- 也有较好的去除效果，对有机物和 NH_3-N 的去除率相对较低。由于出水对铁离子没有严格限制，且混凝一般不会增加铁离子的含量[3]，因而为考虑微絮凝过滤工艺对总铁的去除效果。

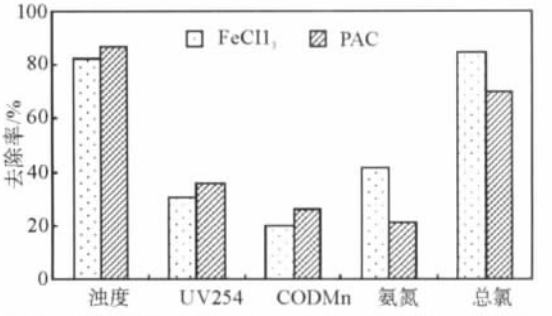


图 4 不同絮凝剂对机场雨水中典型水质指标的去除效果

Fig.4 Purification effect of different coagulant s on typical parameters of rainwater in airdrome

比较两种絮凝剂条件下的试验结果可知，PAC 微絮凝过滤工艺对浑浊度、UV_{254} 和 COD_{Mn} 的去除效果比 $FeCl_3$ 微絮凝过滤工艺好，而后者对 NH_3-N 和 Cl^- 的去除效果比前者相对较好。主要是因为聚合类混凝剂比非聚合类混凝剂具有更强的吸附和沉淀能力，因而 PAC 在对浑浊度和有机物指标的去除上取得了相对 $FeCl_3$ 更好的效果，然而，$FeCl_3$ 对 NH_3-N 的去除效果较好，可能是因为铁盐较铝盐有较好的水解和聚合能力，充分体现在铁盐和铝盐的水解和聚合等一系列平衡常数上，如 $Fe(OH)_3$ 的溶度积 K_{sp} 等于 3.2×10^{-38}，远小于 $Al(OH)_3$ 的 $K_{sp}(1.9\times10^{-33})$[4-5]。

3 结论

(1)采用 $FeCl_3$ 作为絮凝剂时，该微絮凝过滤工艺对浑浊度有良好的去除效果，能够去除雨水中一定量的有机物和 NH_3-N，同时在原水中 Cl^- 较低的情况下对 Cl^- 的去除效果也较好。$FeCl_3$ 的最佳投加量范围为 10~14 mg/L。

(2)采用 PAC 作为絮凝剂时，该微絮凝过滤工艺对浑浊度也有良好的去除效果，同时能去除小部分的有机物和 NH_3-N，并且在原水 Cl^- 较低的情况下对 Cl^- 的去除效果也较好。当 PAC 的投加量为 3~4 mg/L 时，其综合处理效果相对最好。

(3)两种絮凝剂均在各自的最佳投加量条件下，微絮凝过滤工艺投加 PAC 对浑浊度、UV_{254} 和 COD_{Mn} 的去除效果优于混凝剂 $FeCl_3$，而投加 $FeCl_3$ 的微絮凝过滤工艺对 NH_3-N 和 Cl^- 的去除效果比投加 PAC 的工艺相对较好。

(4)机场范围内收集的雨水完全可以作为中水利用的水源；微絮凝过滤可以作为该机场目前中水利用的处理工艺。

参考文献

[1] H. Al-Ismaily, D. Probert, Water-resource facilities and manage

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

ment strategy for Oman [J], Applied Energy, 1998, 61 (1998): 125–146.

[2] Enedir Ghisi, Diego Lapolli Bressan, Maur cio Martini, Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil [J], Building and Environment, 42 (2007): 1654–1666.

[3] 楚文海,高乃云,李青松,等. 六氯苯污染源水的饮用水应急处理工艺研究[J],中国环境科学, 2008, 28(6): 507–511.

[4] 刘成,高乃云,严敏,等. 两种混凝剂对原水中细菌去除机理异同的研究[J].同济大学学报(自然科学版),2007,35(3):361–365.

[5] 楚文海,高乃云,姚娟娟,等. 重金属铅(II)污染原水的应急处理工艺研究[J],环境科学, 2008, 29(10): 2841–2845.

(上接第 47 页)

从图 7 可以看出，初始处于膨胀状态的小试模拟试验系统,经过调整溶解氧以后,模型的 SVI 值一直处于低于 150 mL/gMLSS 的水平，而实际氧化沟的 SVI 则高于 150 mL/gMLSS，一直在 200 mL/gMLSS 左右。说明增加溶解氧对于降低 SVI 值有较大的帮助，这与溶解氧限制丝状菌生长的理论解释相符[6]。

(2)负荷变化对污泥性状的影响

根据丝状菌污泥膨胀理论[7–8],低负荷条件下有利于丝状菌与菌胶团细菌的竞争，从而会导致丝状菌在系统中占优势而造成污泥膨胀或泡沫。本研究通过增加系统的污泥负荷，达到抑制丝状菌的过量增殖的效果。试验中,取处于膨胀的活性污泥于小试装置中稳定运行，通过降低污泥浓度的方式来增加污泥负荷。提高负荷的小试系统运行参数:污泥浓度为 2 g MLSS/L,污泥龄为 10 d,污泥负荷约为 0.1~0.3 kg BOD_5/(kgMLSS·d)。实际氧化沟的污泥龄为 8~10 d,污泥浓度约为 3 g MLSS/L 左右,污泥负荷约为 0.04~0.15 kg BOD_5/(kgMLSS·d)。小试系统中的污泥 SVI 变化如图 8 所示。

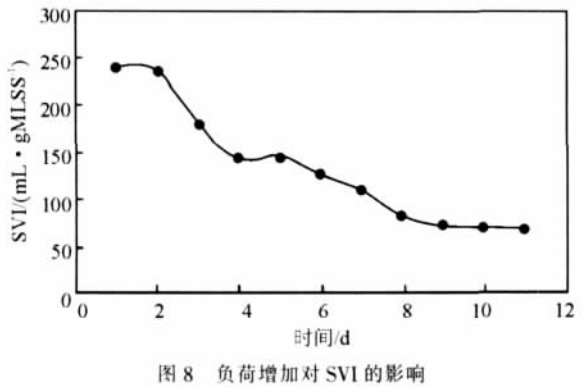


图 8　负荷增加对 SVI 的影响

Fig.8　Variation of SVI after the increase of organic loading

由图 8 可见，在运行初始阶段,SVI 值降低较快,主要是由于开始段排泥量较大,小试系统中污泥浓度大大降低，较大的污泥负荷对丝状菌有一定的抑制;另一方面,污泥浓度降低后,减少了丝状菌对污泥沉降的影响。在小试装置稳定运行后,SVI 值逐渐保持在正常水平，这说明提高系统的污泥负荷对抑制污泥膨胀和丝状菌有一定的作用。

3　结论

(1)在季铵盐投加量为 50 mg/L 的情况下,连续投加 2 d 以后,活性污泥膨胀问题得到有效控制。同时,污泥絮体结构基本未受影响,而菌胶团外丝状细菌明显萎缩或变形，菌胶团外游离的丝状菌数量明显减少。

(2)利用 PAM 控制氧化沟污泥膨胀时,2 mg/L 的投加量较适宜，较短的时间内即可实现污泥膨胀控制。

(3)在次氯酸钠浓度为 30 mg/g MLSS 的情况下,可以使处于膨胀状态的氧化沟系统得到有效控制。

(4)提高氧化沟的溶解氧含量或污泥负荷,有助于抑制污泥膨胀和丝状菌增殖。

参考文献

[1] 戴兴春,谢冰,黄民生,等. 氧化沟污泥膨胀和生物浮沫的控制及应用研究[J]. 环境科学与技术,2007,30(9):14–16.

[2] Seviour E M, Williams C J, Seviour R J, et al. A survey of filamentous bacterial populations from foaming activated sludge plants in eastern states of Australia[J]. Water Research, 1999, 24 (4): 493–498.

[3] 徐亚同,黄民生. 废水生物处理的运行管理与异常对策[J]. 北京:化学工业出版社,2003.

[4] 沈耀良,王宝贞. 废水生物处理新技术--理论与应用[M]. 北京:中国环境科学出版社,2006.

[5] 戴兴春. 活性污泥系统运行异常的快速诊断与功能修复技术研究[D]. 上海:华东师范大学资源与环境学院,2005.

[6] 杨红，李曰嵩. 活性污泥膨胀的影响因素 [J]. 渔业现代化,2001,22(1):29–32.

[7] 周利,彭永臻,徐晓军,等. 丝状菌污泥膨胀机理与控制方法[J]. 苏州科技学院学报(工程技术版),2005,18(2):43–47.

[8] 王凯军,许晓明. 丝状菌污泥膨胀理论分析[J]. 中国给水排水,2001,17(3):66–69.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net