

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2015.04.019

强化混凝技术处理南淝河污染水的效果

陈义飞¹, 孙 琴^{2,3}, 丁士明³, 姚 羽², 陈开宁⁴, 孙庆业⁵

- (1. 上海市市政工程设计研究总院第六设计院, 安徽 合肥 230001;
2. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;
3. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098;
4. 中国科学院南京地理与湖泊所湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008;
5. 安徽大学资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230039)

摘要: 选用聚合氯化铁(PFC)、聚合硫酸铁(PFS)、聚合氯化铝(PAC)和聚合氯化铝铁(PAFC)作为混凝剂; 选用阳离子型聚丙烯酰胺(CPAM)、阴离子型聚丙烯酰胺(APAM)和非离子型聚丙烯酰胺(NPAM)作为助凝剂, 通过室内试验对比研究强化混凝技术中多种混凝剂单用及其和助凝剂联用对南淝河污染水的除浊和去污效果, 并用于南淝河现场构建的混凝沉淀系统。结果表明, 4种混凝剂单用时, PAFC对浊度、TP去除效果最优, 对 COD_{Mn} 有良好的去除效果, 且不影响原水的pH值, 而PFC和PFS单用时可明显降低原水pH值, 4种混凝剂单用时对TN均没有明显去除效果; PAFC与CPAM联用时对浊度的去除效果最佳, 明显优于PAFC与APAM和NPAM联用和PAFC单用的效果; 混凝剂与CPAM联用提高了其除浊和去除TP的能力, 但不能明显改善其去除 COD_{Mn} 的效果, 对原水pH和TN的影响与单用时相同。选取“PAFC+CPAM”作为南淝河示范工程的混凝剂和助凝剂, 现场混凝沉淀出水水质稳定, 浊度和TP的去除效果较好, 去除率分别达到90%和80%, 对 COD_{Mn} 的去除率约为52%, 而对TN的去除效果有限, 去除率约为22.4%。

关键词: 强化混凝技术; 混凝剂; 助凝剂; 污染水

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

文章编号: 1004-6933(2015)04-0103-08

Effect of enhanced coagulation technology for treatment of polluted water from Nanfei River

CHEN Yifei¹, SUN Qin^{2,3}, DING Shiming³, YAO Yu², CHEN Kaining⁴, SUN Qingye⁵

- (1. The Sixth Design Institute of Shanghai Municipal Engineering Design Institute, Hefei 230001, China;
2. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. School of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
4. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;
5. School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: A series of indoor experiments were conducted to investigate the effects of different coagulants used single or combined with coagulant aids on removal of turbidity and decontamination of polluted water from Nanfei River, which will be further applied in coagulation and precipitation system of on-site construction for this river. Polymeric ferric chloride (PFC), polymeric ferric sulfate (PFS), polyaluminum chloride (PAC) and

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07103-002)

作者简介: 陈义飞(1988—), 男, 硕士, 主要从事水资源保护与污染控制工程研究。E-mail: cyfcyy1988@163.com

通信作者: 丁士明, 研究员。E-mail: smding@niglas.ac.cn

polyaluminum ferric chloride (PAFC) were selected as coagulants, and cationic polyacrylamide (CPAM), anionic polyacrylamide (APAM) and non-ionic polyacrylamide (NPAM) as coagulant aids. The results showed that four coagulants used only PAFC had high removal effect on turbidity, TP and COD_{Mn}, and did not affected the pH value of raw water, while the PFC and PFS which were used alone obviously reduced the pH value of raw water, Four coagulants which were used alone had little effect on removal of TN in water; The combined use of PAFC and CPAM has the best effect on turbidity, comparing to the effect of single use of PAFC, and their combined use with APAM; The combined uses of coagulants and CPAM enhanced the removal effect of turbidity and TP, but had few effects on the removal of COD_{Mn}, and their effects on the pH value of raw water and TN values were similar to their single use. PAFC+CPAM was selected as coagulant and coagulant aid for demonstrative project site of Nanfei River. their combined use achieved a stable treatment, and the turbidity and TP removal effect is good, the removal effect of turbidity and TP was 90% and 80% respectively; the removal rate of COD_{Mn} was about 52% ; while the removal effect of TN was limited, the removal rate was only about 22.4% .

Key words: enhanced coagulation technology (ETC) ;coagulant;coagulant aid;polluted water

强化混凝是使用新型高分子无机混凝剂或常规混凝剂与高分子絮凝剂联用,通过增加混凝剂的投加量、改变混凝剂的形态匹配或调整水体 pH 值等,利用物理化学作用和吸附沉淀作用以达到强化混凝效果,提高出水水质的目的^[1]。该技术在国外已被大规模地运用于城市污染河水的处理,国内的研究与应用处于起始阶段^[2]。

Metes 等^[3]认为,从经济和技术上来讲,强化混凝技术是一项简单而有效的水处理技术,能有效去除水中溶解性有机物、胶体杂质等。方建章等^[4]进行了混凝法强化城市污水处理的生产性试验。污水经处理后出水指标符合 GB8979—1996 及 DB4437-90 广州市污水排放一级标准。总体而言,强化混凝处理工艺适合我国国情,是处理污染水源水的主要技术方案和重要发展方向之一^[5]。

南淝河位于安徽省合肥市西郊,发源于肥西县境内的将军岭,经董铺水库进入合肥市市区,向东南流入巢湖。全长 70 km,流域面积 1 464 m²,由西向东南穿越合肥城,是合肥市主要受纳水体^[6]。南淝河水体已受到严重污染,生态系统恶化,其排污量占到巢湖总污水量的 80% 以上,水体在夏天呈现“黑臭”现象,其治理已被列入巢湖水环境治理的重中之重^[7]。本文针对强化混凝技术处理南淝河污染水的效果进行研究,采用室内试验对比研究了强化混凝技术中不同混凝剂单用及其与助凝剂联用时对南淝河污染水的除浊和去污效果,并在现场构建的混凝沉淀系统进行测试,为巢湖水环境治理提供技术支撑。

表 1 混凝剂的物化指标

产品名	形态	w (Al ₂ O ₃)/%	w (Fe ₂ O ₃)/%	w (Fe)/%	盐度/%	不溶水物质百分比/%	pH(1% 水溶液)
PAC	固态	≥30	—	—	40 ~ 90	≤2	4. 5
PAFC	固态	≥28	≥4	—	60 ~ 100	≤1. 5	—
PFS	固态	—	—	≥20	9 ~ 14	≤0. 5	2. 3
PFC	液态	—	≥38	≤1	5. 3 ~ 6. 6	—	—

1 材料与方法

1.1 供试材料

主要仪器:多水质参数仪(U5000,日本堀场集团(HORIBA)生产)、六联同步电动搅拌机(JJ-4,金坛市开发区吉特实验仪器厂生产)、数显恒温水浴锅(HH-6,国华电器有限公司生产)、精密电子天平(PW124,英国艾德姆(ADAM)生产)。

混凝剂:选取目前水处理中运用较为广泛的 4 种混凝剂:聚合氯化铝(PAC,巩义富源净水材料有限公司生产)、聚合氯化铁(PFC,合肥皖发净水材料有限公司生产)、聚合硫酸铁(PFS,巩义永兴化工有限公司生产)和聚合氯化铝铁(PAFC,巩义富源净水材料有限公司生产),其主要的物化指标见表 1。在使用时,将混凝剂配制成质量分数为 1% 的溶液进行投加。

助凝剂:选取阳离子聚丙烯酰胺(CPAM)、阴离子聚丙烯酰胺(APAM)和非离子型聚丙烯酰胺(NPAM)作为助凝剂与上述混凝剂联用,其主要物化指标见表 2。

表 2 助凝剂的物化指标

产品名	外观	分子量/万	固含量/%	离子度或水解度/%	残余单体/%
CPAM	白色颗粒	1 200	≥8	离子度 40	≤0. 2
APAM	白色颗粒	1 800	≥88	水解度 25	≤0. 2
NPAM	白色颗粒	1 500	≥88	水解度 5	≤0. 2

水样采集:为了减少人为影响及外界对试验效果的干扰,并能更好地与现场实际情况相符,试验水

样全部于 2013 年 7 月 19 日现场取自南淝河,采样点坐标为(N:31.69259,E:117.410443)。采集水样置于 25L 聚乙烯桶中带回实验室低温冷藏供试验分析,主要水质指标见表 3 所示。根据 GB3838—2002《地表水环境质量标准》,南淝河河水属于劣Ⅵ类水。

表 3 南淝河原水水质指标

浊度/NTU	$\rho(\text{TP})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	水温/ $^{\circ}\text{C}$	pH
11.5~16.3	0.62	4.3	7.2	31	7.59

1.2 试验方法

采用室内混凝烧杯试验。将现场取回水样摇匀,分别取 500 mL 水样装入一组 6 个洗净的 1000 mL 烧杯中,将烧杯置于六联同步电动搅拌机上,以 300 min/r 快速搅拌 1 min,然后分别单独加入设定好的混凝剂或不同配比的混凝剂和助凝剂,慢速(100 min/r)搅拌 10 min,静置沉淀 30 min,并在混凝沉淀过程中观察矾花的形成。沉淀后,用注射器取液面 2cm 下水体测定混凝后的水质指标,包括浊度、pH、TP、TN 和 COD_{Mn} ,其中浊度采用分光光度法、pH 值用 pH 计测定、TP 和 TN 采用过硫酸钾消解法^[8]、 COD_{Mn} 采用酸性法^[9]。

1.3 野外现场应用

南淝河旁路多级人工湿地系统的总布置如图 1。通过与南淝河相连的涵洞将南淝河水输入到多类型湿地区的沉砂池部分(图 1),然后通过泵站将水调入位于其南侧的混凝沉淀系统,其中的一部分水依次进入氧化塘、潜流湿地系统,再进入林外沟渠表面流湿地系统的漂浮植被部分;另一部分依次进入生态沟渠、林外沟渠表面流湿地系统的沉水植被部分。两部分水流在林外沟渠表面流湿地系统的漂浮植被部分汇合。整个工程最大设计抽调水流量 6.7 万 m^3/d ,其中通过混凝沉淀系统处理的流量为 1 万 m^3/d ,其他流量经位于混凝沉淀系统西侧的生态沟渠直接进入林外沟渠的沉水植被部分。

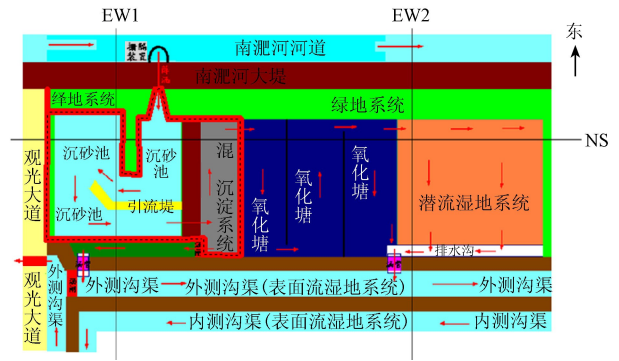


图 1 南淝河旁路多级人工湿地系统的总布置

强化混凝系统的平面布置图如图 2,该系统主要分成 3 个区域,混合区、絮凝区和沉淀区。通过水

泵(400 m^3/h)将南淝河河水抽到混凝池中与混凝剂 PAFC 充分混合反应,停留时间 8 min;然后进入絮凝池与助凝剂 CPAM 混合反应,停留时间 10 min;混合的水进过导流渠进入预沉区和沉淀区,沉淀段入口流速取 35 m/h,斜管上升流速取 18 m/h;淤泥沉淀之后的水通过主集水槽排入下级处理系统,污泥通过污泥阀排入集泥槽,然后通过污泥泵将其抽到压滤系统经行压滤。

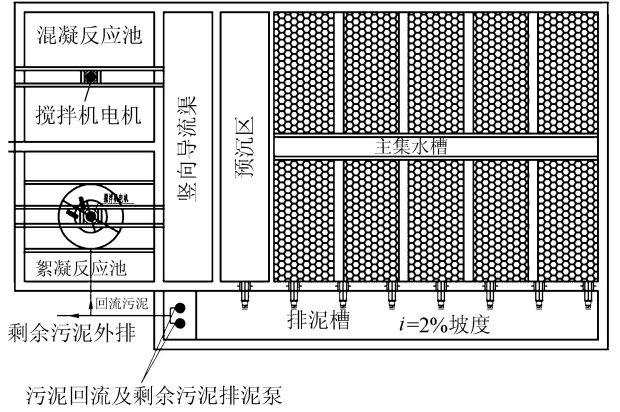


图 2 混凝沉淀系统布置

通过室内试验,确定最优混凝剂与助凝剂的种类及其配比。然后将其运用到野外工程现场,对混凝沉淀系统进行现场调试,以 1 周为时间间隔定期对混凝沉淀出水水质进行为期 3 个月的连续监测,主要检测指标为出水水质浊度、TP、TN 和 COD_{Mn} 。

1.4 数据分析与处理

运用 Excel 2003 进行数据处理,Origin 8 软件绘制图表。

2 结果与讨论

2.1 不同混凝剂对南淝河河水浊度的去除效果及助凝剂的确定

a. 混凝剂的投加浓度。无机高分子混凝剂的混凝机理是通过水解生成的多核络合物,在悬浮粒子表面进行电中和与吸附,减少粒子间的静电斥力,使粒子能吸附凝聚,以达到去除悬浮胶体粒子的目的^[10]。由于颗粒物的去除是絮凝过程的主要目标,而浊度能很好地反映颗粒物的去除情况,本文选择浊度作为主要参考指标表征不同混凝剂单用及其和助凝剂联用对南淝河水的去除能力。由图 3 可见,4 种混凝剂单用的质量浓度在 0~40 mg/L 时,均能达到显著除浊效果,余浊浓度快速下降,当质量浓度超过 60 mg/L 后,余浊浓度变化趋于平缓,其除浊效果是 $\text{PAFC} > \text{PFC} > \text{PFS} > \text{PAC}$,但随着投加混凝剂质量浓度的增加,4 种混凝剂对浊度去除率的差异不断缩小。当投加质量浓度为 20 mg/L 时,PAFC、PFC、

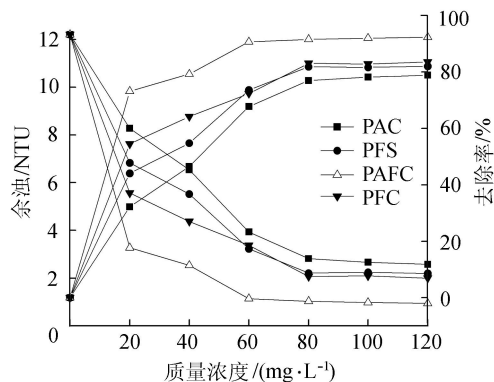


图3 不同混凝剂单用的除浊效果

PFS 和 PAC 对浊度的去除率分别为 80%、65%、57% 和 48%；当投加质量浓度为 60 mg/L 时,对浊度的去除率分别为 91%、74%、75% 和 70.3%,结果表明,4 种混凝剂中 PAFC 的除浊效果优于其他 3 种混凝剂。其原因可能是 PAFC 水解为不溶解的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体和 $\text{Al}(\text{OH})_3$,而 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的密度大、沉降快有利于悬浮颗粒物的去除^[11]。

b. 助凝剂的选用。有机高分子助凝剂具有用量少、混凝速度快、受 pH 及温度影响小的优点,但是价格昂贵。将无机高分子混凝剂与有机高分子助凝剂结合起来,利用无机高分子混凝剂的高正电荷密度和有机高分子混凝剂的桥连作用,所产生的协同作用能够提高混凝处理能力^[12]。将 PAFC 与质量浓度为 1 mg/L 的 CPAM、APAM 和 NPAM 助凝剂分别联用,对南淝河水进行混凝沉淀处理。由图 4 可见,PAFC 与 CPAM 联用去除水中的悬浮颗粒物的效果明显优于其单用和其他两种组合的效果,PAFC 单用和其他两种组合去除水中悬浮颗粒效果差别不大。PAFC 和 CPAM 联用时,PAFC 质量浓度在 10 mg/L 时,去浊率达到 91%,比 PAFC 单用时的去浊率提高了 27%,随着质量浓度的增加,出水余浊基本不变,而其他 3 组浊度的最大去除率仅为 70% 左右。故 PAFC 与 CPAM 联用能明显提高河水悬浮颗粒物的去除率,同时也可减少 PAFC 的用量。

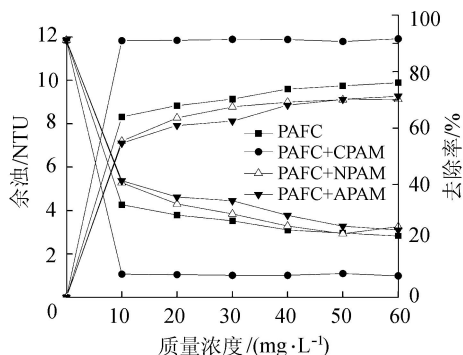


图4 PAFC 单用与不同 PAM 联用的除浊效果

混凝过程中,“PAFC+CPAM”组合形成的矾花

大而密实、沉降性好,而 PAFC 单用时形成的矾花碎而松散,不易沉降;“PAFC + APAM”和“PAFC + NPAM”两种组合形成的矾花大而松散,不易沉降。这可能与 CPAM 具备电中和和絮凝化两种功能有关,同时 CPAM 还能与水中带负电荷的溶解物反应生成不溶解性的盐,对形成大矾花有利^[13]。结果表明,CPAM 作为助凝剂的效果要优于其他两种,与唐晓静^[14]的研究结果类似。

由图 5 可见,4 种混凝剂与 CPAM($\rho = 1 \text{ mg/L}$)联用后,4 种混凝沉淀出水的浊度变化趋势基本一致。当混凝剂的质量浓度在 0 ~ 20 mg/L 时余浊成直线下降,当质量浓度大于 20 mg/L 后余浊的变化趋于平缓,均达到 3 以下。PAFC, PFC, PAC 和 PFS 与 CPAM 联用的除浊效果均得到提高,这可能与 CPAM 带正电荷有关,加强各种混凝剂的混凝效果。

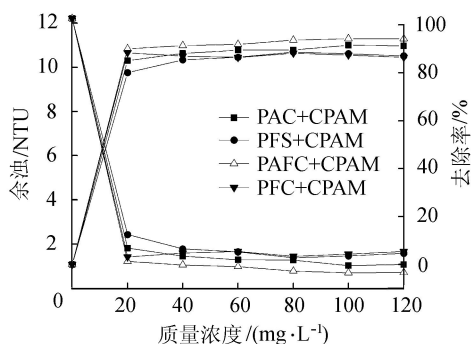


图5 4 种混凝剂与 CPAM 联用对南淝河河水的除浊效果

2.2 不同混凝剂对 pH 值的影响

4 种混凝剂单用对南淝河河水 pH 值的影响如图 6(a) 所示, PAC 和 PAFC 对混凝沉淀出水的 pH 值基本没有影响,而 PFS 和 PFC 随着投加的质量浓度增加导致沉淀出水的 pH 值明显降低,当两种铁盐的质量浓度为 50 mg/L,混凝出水呈现弱酸性 ($\text{pH} < 7$),其中 PFC 对混凝沉淀出水 pH 值的影响明显大于 PFS。4 种混凝剂与 CPAM($\rho = 1 \text{ mg/L}$)联用后,混凝沉淀出水 pH 值的变化与各混凝剂单用的效果基本一致(图 6(b))。铝系和铁系混凝剂结果的差异可能与不同混凝剂在水体中的水解产物有关,当水体 pH 值接近中性时,铝盐的水解产物主要以 $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ 的形式存在, $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ 是两性物质对水体 pH 值有较好的缓冲性,而铁盐在水体中的水解产物主要以 $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ 胶体的形式存在,水解后产生大量的 H^+ ,从而导致水体的 pH 值下降^[15]。

2.3 不同混凝剂对南淝河河水 TP 的去除效果

由图 7(a) 可见,4 种混凝剂的单独添加均显著降低原水 TP 质量浓度,具有明显的除磷作用,质量浓度在 0 ~ 80 mg/L 时,PAFC 除磷效果最优,PAC 和 PFC 效果次之,PFS 除磷效果最差,但当质量浓度超

混凝剂的除磷机理主要是铁和铝与磷酸根生成难溶的磷酸盐沉淀去除^[16]。

与混凝剂单用相比, $\rho=1\text{ mg/L}$ 的CPAM与PAC、PFC和PFS的联用能增强各自的除磷效果,但与PAFC的联用不能提高其除磷效果(图7(b))。为满足混凝出水TP达到GB3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类标准,PAC、PFC和PFS的质量浓度分别为60 mg/L、60 mg/L和100 mg/L,而与 $\rho=1\text{ mg/L}$ 的CPAM联用后的质量浓度分别降至40 mg/L、40 mg/L和60 mg/L。可见,结合少量CPAM使用能降低PAC、PFC和PFS 3种混凝剂的质量浓度,减小药剂给原水带来的副作用,同时也节省成本,具有一定的环境效益与经济效益。此外,试验过程中观察4种混凝剂单用时,生成的絮体比较小、松散、易碎,随药剂质量浓度的增加,絮体矾花大小及疏密均无明显变化,且不易沉降。而投加CPAM后,形成的絮体矾花大而密实,并且絮体在微扰动中不会上浮飘移。主要是因为4种混凝剂均为无机高分子化合物,在水中发生水解聚合作用,生成具有高电荷的聚合羟基,具有多种形态,这些多核羟基络合物具有较强的电中和悬浮颗粒所带负电荷的能力,促进其凝聚。但它的架桥功能较弱,形成的絮体蓬松、沉降速度慢。CPAM具有非离子型的胺基,是一种水溶性高分子化合物,能广泛分布水中,将松散的絮体进行吸附桥联,能形成更大的絮体,提高了混凝沉淀效果,增强了对磷的网捕卷扫作用。因此,增投CPAM作为助凝剂可以提高聚铁与聚铝的除磷效果^[17]。

2.4 不同混凝剂对南淝河河水 TN 的去除效果

由图8(a)可见,4种混凝剂单用对TN的去除效果不明显。PFS基本没有去除效果,而其他3种对河水TN的去除效果相当有限,其中PAFC对TN的去除效果要略好于PAC和PFC。当质量浓度在0~40 mg/L时,混凝沉淀出水TN质量浓度有所下降;当质量浓度大于40 mg/L时,出水TN质量浓度基本不变。相对去除效果最好的PAFC而言,对TN的最大去除率仅在10%。

4种混凝剂与 $\rho=1\text{ mg/L}$ 的CPAM联用对南淝河河水出水TN去除效果如图8(b)。与4种混凝剂单用相比,质量浓度 $\rho=1\text{ mg/L}$ 的CPAM的辅助添加没有提高各自的除TN效果。4种混凝剂单用或联用对TN去除效果不佳,可能与N的化学性质以及其在水体中的存在形式有关,在水体中主要以溶解态的形式存在,很少被悬浮颗粒物所吸附,但混凝剂主要通过去除水中悬浮物而相应的去除水体中的污染物质。

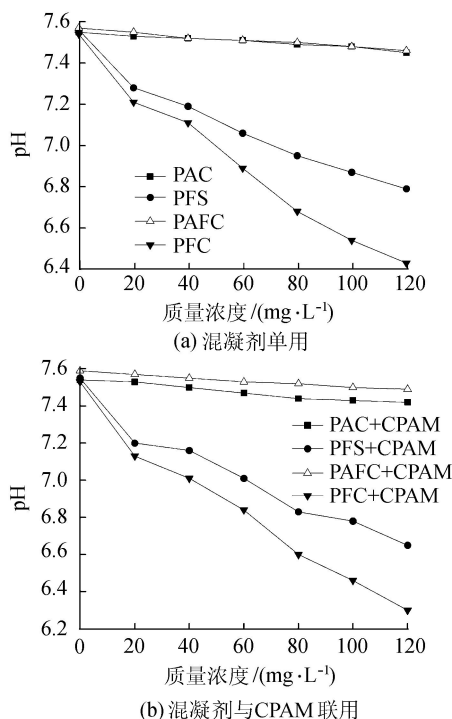


图6 4种混凝剂对南淝河河水 pH 值的影响

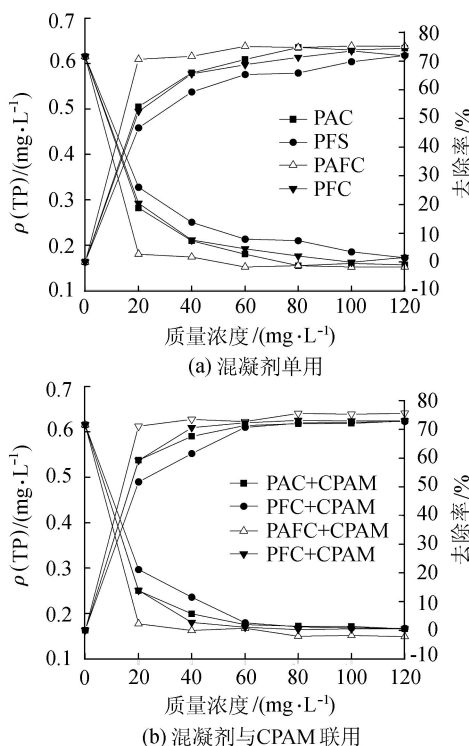
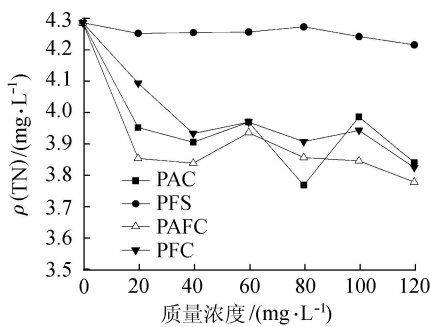
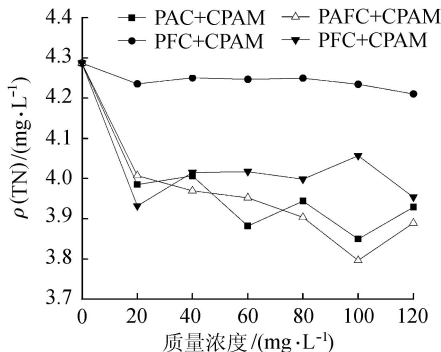


图7 4种混凝剂单用及其与CPAM联用对南淝河河水TP的去除效果

过80 mg/L时,4种混凝剂对TP的去除率没有显著差别。当PAFC、PFC、PAC和PFS质量浓度分别为20 mg/L、60 mg/L、60 mg/L和100 mg/L时,其出水的TP质量浓度分别为0.18 mg/L、0.19 mg/L、0.18 mg/L和0.18 mg/L,可以使混凝出水达到GB3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类标准,对TP的去除率分别为71.7%、68.8%、70.6%和69.9%。4种



(a) 混凝剂单用

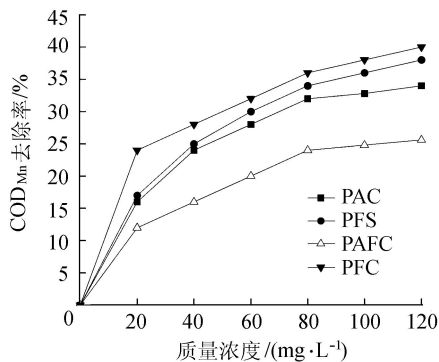


(b) 混凝剂与CPAM联用

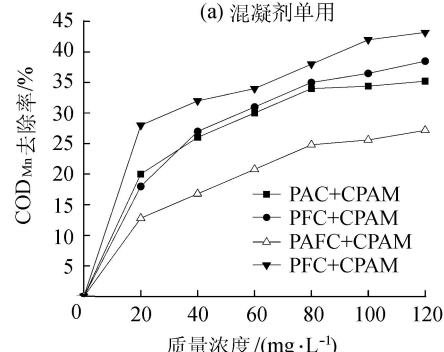
图8 4种混凝剂对南淝河水 TN 的去除效果

2.5 不同混凝剂对南淝河水 COD_{Mn} 的去除效果

由图9(A)所示,4种混凝剂单用对水体 COD_{Mn} 具有较为明显的去除效果,并随质量浓度的增加而增加,其效果排序为:PFC,PFS,PAC,PAFC。投加的质量浓度为0~120 mg/L时,4种混凝剂对 COD_{Mn} 的最大去除率分别为40%、38%、34%和25.6%。由



(a) 混凝剂单用



(b) 混凝剂与CPAM联用

图9 4种混凝剂对南淝河水 COD_{Mn} 的去除效果

此可见,使用PFC和PFS去除南淝河 COD_{Mn} 的效果好于PAC和PAFC。导致这种结果的原因可能与强化混凝去除有机物的机理有关,其机理主要有胶体天然有机物的电中和作用,腐殖酸和富里酸聚合体的沉淀作用,以及吸附于氢氧化物表面上的共沉淀作用^[18];在较高的质量浓度投放下,由于铁盐水解

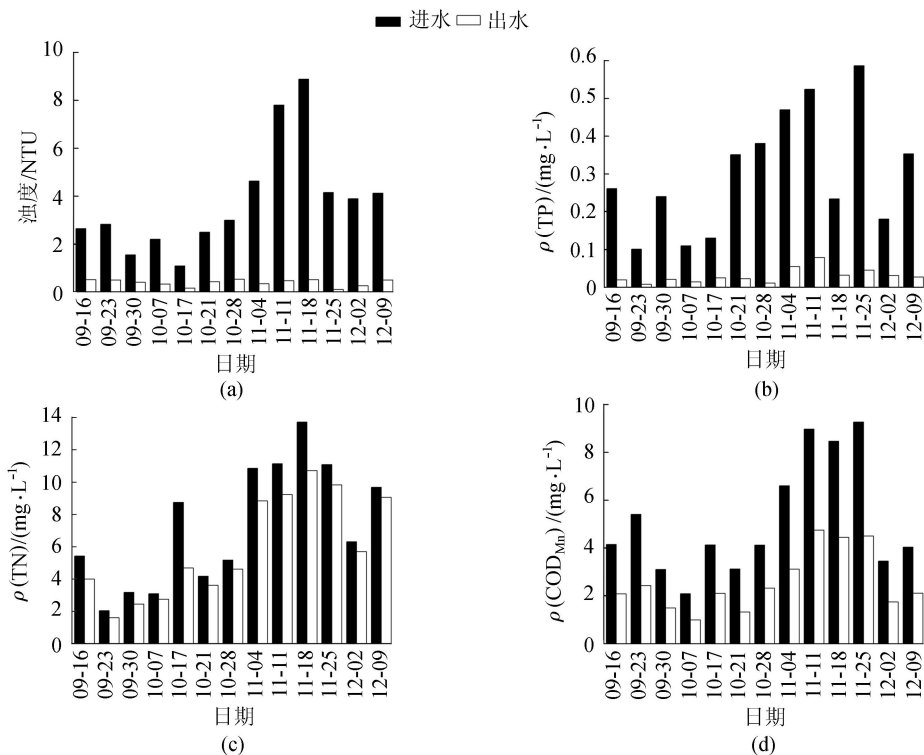


图10 混凝系统进出水水质变化

产物所带正电荷密度升高及水中有机物的质子化程度升高的影响要高于铝盐水解产物表面积对有机物去除的影响,因而铁盐的混凝效果要好于铝盐^[19]。

由图 9 (B) 可见,4 种混凝剂与 CPAM 联用对南淝河河水 COD_{Mn} 的去除率与单用相比略有增加,COD_{Mn} 的最大去除率分别为 43.2%、38.5%、35.2% 和 27.2%。结果表明,CPAM 助凝剂的添加不能明显改善 4 种混凝剂对 COD_{Mn} 的去除效果。

2.6 强化混凝技术处理南淝河水体的现场效果

试验结果表明,混凝剂 PAFC 对浊度和 TP 的去除效果最佳,对南淝河原水的 pH 影响最小,可避免大量使用 PAC 产出的 Al³⁺ 毒风险和过多使用 PFC 或 PFS 对金属设备的腐蚀,故选取 PAFC 作为野外现场的混凝剂。又因为 PAFC 和 CPAM 联用去除浊度的效果最好,且能减少 PAFC 的用量,所以选择 CPAM 为配合添加的助凝剂。最终确定“PAFC + CPAM”联用作为现场应用的药剂配方,PAFC 的质量浓度为 40 mg/L 时,CPAM 质量浓度为 1 mg/L。从 9 月中旬到 12 月初连续 3 个月对混凝沉淀出水的水质进行动态取样监测。由图 9 可见,南淝河河水不同时间进水的水质变化大,浊度、TP、TN 和 COD_{Mn} 4 种指标在 9 月和 10 月明显低于 11 月和 12 月。混凝沉淀系统出水的浊度与进水相比明显降低,去除率达到 90% 以上,浊度稳定在 1NTU 以下(图 10 (a))。与进水相比,出水的 TP 质量浓度也有了极明显的降低,去除率基本达到 80% (图 10 (b))。进出水口的 TN 质量浓度相差不大,去除率在 22.4% 左右(图 10 (c)),结果表明,强化混凝系统对南淝河河水 TN 的去除效果欠佳。由图 10 (d) 可知,现场系统对南淝河河水 COD_{Mn} 的去除率在 52% 左右,去除效果好于室内试验。这可能与现场系统中活性污泥回流有关,回流污泥中的微生物对水体中的有机物进行了一定的分解。

3 结 论

研究了不同混凝剂单独除浊的效果,发现 PAFC 除浊效果最好。以混凝剂 PAFC 为代表,对比研究了 PAFC 单用及与 3 种不同类型的助凝剂联用对南淝河水体的混凝效果,并系统地研究了 4 种混凝剂(PAC、PFC、PFS 和 PAFC)单用及其与优选的助凝剂联用对南淝河河水悬浮物和主要污染指标的去除效果,并将该技术用于治理野外现场南淝河污染水。得到如下结论:

a. 4 种混凝剂单用时,PAFC 对浊度、TP 去除效果最优,对 COD_{Mn} 有良好的去除效果,且不影响原水中的 pH 值,而 PFC 和 PFS 单用明显降低原水的

pH,4 种混凝剂单用对 TN 均没有明显去除效果。PAFC 与 CPAM 联用时对浊度的去除效果最佳,明显优于 PAFC 与 APAM 和 NPAM 联用和 PAFC 单用;混凝剂与 CPAM 联用提高了其除浊和去除 TP 的能力,但不能明显改善其去除 COD_{Mn} 的效果,对原水 pH 和 TN 的影响与单用时相同。

b. 现场混凝沉淀系统对南淝河河水中浊度和 TP 的去除效果最好,其次是 COD_{Mn},对 TN 的去除效果有限。出水浊度基本稳定在 1NTU 以下,去除率达到 90%;出水的 TP 质量浓度基本稳定在 0.05 mg/L 以下,去除率达到 80%;出水的 COD_{Mn} 去除率在 52% 左右,而 TN 的去除率在 22.4% 左右。

参考文献:

[1] 陆雅坤,林文周. 强化混凝技术在水治理中的应用[J]. 水科学与工程技术,2008 (1):75-76. (LU Yakun, LIN Wenzhou. Application of CEPT in sewage treatment[J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2008 (1): 75-76. (in Chinese))

[2] 张健. 强化混凝处理纳污河污水运行过程中搅拌能量的影响[J]. 环境工程学报,2008,10 (2):1365-1368. (ZHANG Jian. Influence of agitation energy in process of treating wastewater of city accepting pollution river by using strengthened coagulation technique [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering,2008,10(2):1365-1368. (in Chinese))

[3] METEŠ A, KOPRIVANAC N, GLASNOVIC A. Flocculation as a treatment method of printing ink wastewater[J]. Water Environment Research, 2000, 72 (6):680-688.

[4] 方建章,李浩,雷恒毅,等. 混凝法强化城市污水处理的生产试验研究[J]. 给水排水,2004,30 (12):6-9. (FANG Jianzhang, LI Hao, LEI Hengyi, et al. Coagulation method to strengthen the production test of urban sewage treatment[J]. Water & Wastewater Engineering, 2004, 30 (12):6-9. (in Chinese))

[5] 张跃军,李潇潇. 微污染原水强化处理技术研究进展[J]. 精细化工,2011 (1):6-14. (ZHANG Yuejun, LI Xiaoxiao. Recent advances in enhanced treatment techniques for tiny-polluted raw water [J]. Fine Chemicals,2011(1):6-14. (in Chinese))

[6] 张龙,叶少有. 南淝河生态治理对策研究[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报,2008,8 (2):7-9. (ZHANG Long, YE Shaoyou. Ecological treatment measures of the Nanfeihe River[J]. Journal of Anhui Technical College of Water Resources and Hydroelectric Power,2008,8(2):7-9. (in Chinese))

[7] 张美琴,陈静. 巢湖主要入湖河道磷的污染现状[J]. 广东微量元素科学,2003,10 (4):41-44. (ZHANG Meiqin, CHEN Jing. Investigation on pollution situation of

- phosphorus in the main rivers entering Chaohu Lake[J]. Trace Elements Science, 2003, 10 (4) : 41-44. (in Chinese))
- [8] 魏复盛.水和废水监测分析方法[M].4 版.北京:中国环境科学出版社,2002:96-97,346-347,226-227.
- [9] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[M].2 版.北京:中国环境科学出版社,1990:160-164.
- [10] 温天红.强化混凝技术处理微污染水源水研究[D].昆明:昆明理工大学,2007:12-14.
- [11] 李晓波,吴水波,顾平.铁盐和铝盐混凝微滤工艺除 As (V) 的比较研究[J].环境科学,2007,10(28):2198-2202. (LI Xiaobo, WU Shuibao, GU Ping. Arsenic (V) removal from drinking water by ferric salt and aluminum salt coagulation microfiltration process[J]. Environmental Science,2007,10(28):2198-2202. (in Chinese))
- [12] 皇甫静巧.新型助凝剂在水处理中的应用[D].上海:同济大学,2007.3-7.
- [13] 湛含辉,李小彬,戴财胜,等.有机絮凝剂的混凝机理研究[J].煤炭科学技术,2004,32(1):35-37. (ZHAN Hanhui, LI Xiaobin, Dai Caisheng, et al. Coagulation mechanism of organic flocculant[J]. Coal Science and Technology,2004,32(1):35-37. (in Chinese))
- [14] 唐晓静.处理低浊闽江原水的混凝剂和助凝剂选择实验[J].福建建筑,2008,126(12):117-121. (TANG Xiaojing. The selecting tests of coagulants and coagulant aids for the treatment of low turbidity Min river primary water[J]. Fujian Architecture & Construction,2008,126(12):117-121. (in Chinese))
- [15] 魏星.铝盐铁盐的混凝机理及特性探讨[J].煤矿环境保护,1995,10(3):60-63. (WEI Xin. Aluminum salt coagulation mechanism and characteristic of iron salts[J]. Coal Mine Environmental Protection,1995,10(3):60-63. (in Chinese))
- [16] 赵艳梅,刘起峰,李涛,等.混凝强化除磷的模拟实验研究[J].环境工程学报,2007,1(5):11-14. (ZHAO Yanmei, LIU Qifeng, LI Tao, et al. Phosphorus removal by enhanced coagulation in smulative and treated wastewater [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering,2007,1(5):11-14. (in Chinese))
- [17] 张燕.无机-有机复合混凝剂 PAC/PFC-PAM 去除南淝河水体中磷的研究[D].南京:南京理工大学,2013:18-19.
- [18] 何斐,李磊,许炎华.强化混凝去除微污染水源水中有机的研究进展[J].安徽农业大学学报,2008,35(1):119-123. (HE Fei, LI Lei, XU Yanhua. Progress on removal of organic matter in micro-polluted source water by enhanced coagulation[J]. Journal of Anhui Agricultural University,2008,35(1):119-123. (in Chinese))
- [19] 周玲玲,张永吉,孙丽华,等.铁盐和铝盐混凝对水中天然有机物的去除特性研究[J].环境科学,2008,29(5):1187-1191. (ZHOU Lingling, ZHANG Yongji, SUN Lihua et al. Characteristic of natural organic matter removal by ferric and aluminium coagulation [J]. Environmental Science, 2008, 29 (5) : 1187-1191. (in Chinese))

(收稿日期:2014 - 03 - 11 编辑:高渭文)

(上接第 93 页)

- [28] 曾立雄,黄志霖,肖文发,等.三峡库区不同土地利用类型氮磷流失特征及其对环境因子的响应[J].环境科学,2012,33(10):3390-3395. (ZENG Lixiong, HUANG Zhilin, XIAO Wenfa, et al. Nitrogen and phosphorus loss in different land use types and its response to environmental factors in the Three Gorges Reservoir Area [J]. Environmental Science,2012,33(10):3390-3395. (in Chinese))
- [29] 吕唤春,薛生国,方志发,等.千岛湖流域不同土地利用方式对氮和磷流失的影响[J].中国地质,2004,31(增刊1):112-117. (LYU Huanchun, XUE Shengguo, FANG Zhifa, et al. Influence of different land use patterns upon nitrogen and phosphorus loss in the Qiandaohu Drainage Area[J]. Geology in China,2004,31(Sup1): 112-117. (in Chinese))
- [30] 耿润哲,王晓燕,吴在兴,等.北运河下游不同土地利用非点源污染负荷估算[J].农业环境科学学报,2012,31(7):1412-1420. (GENG Runzhe, WANG Xiaoyan, WU Zaixing, et al. Non-point source pollution loads from the different land use type in the downstream areas of the Beiyunhe River Basin, China [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31 (7) : 1412-1420. (in Chinese))
- [31] 高爽,魏也华,陈雯,等.发达地区制造业集聚和水污染的空间关联:以无锡市区为例[J].地理研究,2011,30(5):902-911. (GAO Shuang, WEI Yehua, CHEN Wen, et al. Study on spacial-correlation between water pollution and industrial agglomeration in the developed region of China: A case study of Wuxi City [J]. Geographical Research,2011,30(5):902-911. (in Chinese))
- [32] GAO C, ZHU J G, ZHU J Y, et al. Nitrogen export from an agriculture watershed in the Taihu Lake Area, China [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2004, 26 (2) : 199-207.
- [33] 李婷,武晓峰.基于 PPI 的河段水体潜在污染研究[J].环境科学,2010,31(11):2619-2626. (LI Ting, WU Xiaofeng. Study on the potential pollution in river section based on PPI[J]. Environmental Science,2010,31(11):2619-2626. (in Chinese))
- [34] 贵州省农业厅,中国科学院南京土壤研究所.贵州土壤[M].贵阳:贵州人民出版社,1980:28-98.

(收稿日期:2014 - 09 - 17 编辑:彭桃英)