

给水厂污泥减量化及性能改善研究

苏 宇 邓慧萍

(同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要 随着给水厂排泥水直排河道的方法不再可行, 水处理过程中产生的污泥量和污泥性能将直接影响整个水厂的造价及运行费用。试验在水处理工艺流程相同的条件下, 分别投加硫酸铝、氯化铁、聚铝(PAC)、聚铁(PFS)、聚铝铁(PAFC)、高效聚双酸铝铁(PAFCS)等不同混凝剂, 以达到减少絮凝沉淀后排泥水的污泥量及改善排泥水的沉降和脱水性能的效果, 并探讨了其作用机理。

关键词 混凝剂 排泥水 污泥减量化 沉降性能 脱水性能

Research on mass reduction and property improvement of sludge in water works

Su Yu, Deng Hui-ping

(School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Now the way to discharge waterworks sludge directly into the natural rivers is invalid. The quantity and the density of settled solids from coagulation are the critical parameters for waterworks sludge treatment. In our approach, aluminum sulfate, poly-ferric sulfate, PAC, PFS, PAFC and PAFCS were used as coagulants in experiments and the parameter of specific resistance to filtration was measured to estimate the properties of solid settling and dewatering. The coagulation mechanism was discussed in the end.

Keywords: Chemical coagulant; Waterworks sludge; Sludge reduction; Sedimentation capacity; Sludge dewaterability

0 前言

目前我国对环境保护的关注日益提高, 水质排放标准更为严格; 而原水水质日益下降, 原水中有机物和各种有毒物质的含量剧增, 使得给水厂排泥水的质量也越来越差, 排泥水直排河道的方法已不再可行。给水厂排泥水处理的方法一般可分为两种: 将排泥水排入城市污水管道, 至城市污水处理厂进行集中处理; 或在给水厂内进行处理。前者会对城市污水处理厂的日处理量产生很大的影响, 适用性不强, 故在给水厂内进行污泥处理已成为主要方式。本文通过使用不同混凝剂, 对水处理过程中产生的污泥量和污泥性能进行了研究。在不同混凝剂均达最佳投加量的条件下, 研究混凝剂的种类与产生污

泥量的关系, 以及对污泥性能的改善程度。

1 试验方法

在混凝过程中使用硫酸铝、氯化铁、聚铝(PAC)、聚铁(PFS)、聚铝铁(PAFC)、高效聚双酸铝铁(PAFCS)等混凝剂, 通过混凝试验找出使用不同混凝剂的最佳投加量区间。对混凝、沉淀后产生的排泥水进行污泥量的测定和污泥沉降性能及脱水性能的研究, 从而得出能使水厂污泥减量化、沉降性能和脱水性能改善的有效方法。

1.1 模拟水样配置

腐殖酸储备液配备: 将 5 g 商品腐殖酸加入 1 L 0.1 mol/L 的氢氧化钠溶液中, 边加热边搅拌直到全部溶解, 冷却到室温, 装入棕色瓶中待用。

原水模拟：称取 4.5 g 高岭土碾磨至糊状，溶于 30 L 水中，并加入 7 mL 左右腐殖酸储备液，配置成 $UV_{254} 0.130 \sim 0.145 \text{ cm}^{-1}$ ，浊度 60 ~ 70 NTU，pH 7 左右的试验配水（以下简称原水 1）。称取 1.3 g 高岭土碾磨至糊状，溶于 30 L 水中，并加入 7 mL 左右腐殖酸储备液，配置成 $UV_{254} 0.130 \sim 0.145 \text{ cm}^{-1}$ ，浊度 17 ~ 20 NTU，pH 7 左右的试验配水（以下简称原水 2）。

1.2 六联搅拌机程序设定 (见表 1)

表 1 六联搅拌机程序设定

项目	转速/ r/min	时间/ min	G/s^{-1}	GT
快速混合	500	0.5	754	22 620
絮凝第 1 阶段	220	5	249	74 700
絮凝第 2 阶段	150	5	149	44 700
絮凝第 3 阶段	70	5	53	15 900
沉淀	0	20		

1.3 试验装置设计

试验中按 G 值相同对六联搅拌机进行模拟，设计一絮凝沉淀池来满足试验所需的污泥量（见图 1）。其 G 值计算见式 1^[1]：

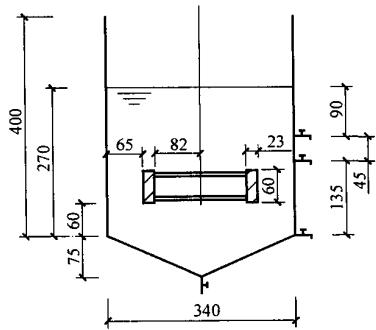


图 1 试验装置示意

$$G = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{V}} = \frac{\sqrt{2C_b \rho l \omega^3 (r_2^4 - r_1^4)}}{\sqrt{8\mu V}} \quad (1)$$

式中 G ——速度梯度， s^{-1} ；

P ——水流所耗功率， W ；

μ ——水的动力粘度， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ；

V ——水流体积， m^3 ；

C_b ——阻力系数；

ρ ——水的密度， kg/m^3 ；

l ——浆板长度， m ；

r_2 ——浆板外缘旋转半径， m ；

r_1 ——浆板内缘旋转半径， m ；

ω ——浆板相对于水的旋转角速度， r/s 。

可以得出混合阶段 $n_0 = 238 \text{ r/min}$ ；絮凝阶段 $n_1 = 113.7 \text{ r/min}$ ， $n_2 = 80.7 \text{ r/min}$ ， $n_3 = 40.5 \text{ r/min}$ 。由于减速齿轮减速比 5 : 1，采用电机转速 $n_0' = 1200 \text{ r/min}$ ， $n_1' = 550 \text{ r/min}$ ， $n_2' = 400 \text{ r/min}$ ， $n_3' = 200 \text{ r/min}$ 。

1.4 污泥量测定方法

试验中，将 30 L 原水絮凝、沉淀后，排泥水从泥斗排泥口中排出，浓缩后放入已恒重的蒸发皿中，在恒温水浴上蒸干后移至 $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的烘箱中继续干燥 2 ~ 3 h，放入干燥器中冷却，半小时后称重^[2]。

在污泥量测定试验中，分别采用原水 1 和原水 2，以作对比。而以下试验，由于试验过程中所需泥量较大，均采用原水 1。

1.5 污泥浓缩初期上清液性质测定

取沉淀后的排泥水 1 000 mL 进行沉淀，每隔 5 min 测定上清液的浊度和 UV_{254} 。上清液出水口在沉淀柱 2/3 处。

1.6 污泥浓缩后期污泥沉降性能比较

将处理 30 L 原水 1 后的排泥水浓缩至 250 mL，倒入 250 mL 量杯中，测定沉降界面由 250 mL 沉到 100 mL 的时间，观察絮体状态及上清液浑浊程度，随后比较使用不同混凝剂后所产生污泥的沉降性能。

1.7 污泥比阻原理与测定方法

污泥比阻是目前我国给水厂使用最多的测定污泥脱水性能的方法之一。污泥比阻 r 是指在单位过滤面积上，单位干重滤饼所具有的阻力，它是表示污泥阻扰固液分离倾向的指标。比阻 r 在 $10^{12} \sim 10^{13} \text{ cm/g}$ 时为不易脱水的污泥，在 $(0.5 \sim 0.9) \times 10^{12} \text{ cm/g}$ 时为脱水性能中等的污泥，小于 $0.4 \times 10^{12} \text{ cm/g}$ 时为较易脱水的污泥。污泥比阻可以通过布氏 (Buchner) 漏斗试验测定^[3]。

2 试验结果及讨论

2.1 混凝剂最佳投加量的确定

采用多种混凝剂对两种不同原水进行混凝沉淀，对其出水的浊度进行测定，得出使用不同混凝剂的最佳投加量（见表 2 和表 3）。

表2 处理原水1时使用不同混凝剂的最佳投加量及出水水质

混凝剂	最佳投加量 / mg/L	出水浊度/ NTU	出水 UV ₂₅₄ / cm ⁻¹
硫酸铝	30	0.8	0.088
氯化铁	20	0.4	0.069
PAC	10	0.6	0.090
PFS	15	0.4	0.085
PAFC	15	0.3	0.096
PAFCS	15	0.2	0.086

表3 处理原水2时使用不同混凝剂的最佳投加量及出水水质

混凝剂	最佳投加量 / mg/L	出水浊度/ NTU	出水 UV ₂₅₄ / cm ⁻¹
硫酸铝	20	0.5	0.098
氯化铁	10	0.5	0.099
PAC	10	0.5	0.097
PFS	20	0.3	0.100
PAFC	10	0.4	0.100
PAFCS	15	0.3	0.105

2.2 污泥减量化效果

使用不同混凝剂分别处理 30 L 原水 1、原水 2 后的污泥总量见表 4 和表 5。

表4 使用不同混凝剂处理原水1后的污泥总量

混凝剂	投加量/ mg/L	污泥量/ g	污泥量增 减比例/ %
硫酸铝	30	4.506	0
氯化铁	20	4.539	0.73
PAC	10	4.261	- 5.44
PFS	15	4.116	- 8.66
PAFC	15	4.233	- 6.06
PAFCS	15	4.409	- 2.15

表5 使用不同混凝剂处理原水2后的污泥总量

混凝剂	投加量/ mg/L	污泥量/ g	污泥量增 减比例/ %
硫酸铝	20	1.359	0
氯化铁	10	1.335	- 1.77
PAC	10	1.245	- 8.39
PFS	20	1.361	1.47
PAFC	10	1.18	- 13.17
PAFCS	15	1.337	- 1.62

从表 4 和表 5 中可以看出处理原水 1 时使用 PFS 对污泥的减量效果最为明显,与使用硫酸铝相

比可减少 8.66 % 的污泥量,而 PAFC 次之。处理原水 2 时,PAFC 的减量效果变得较为明显,与使用硫酸铝相比,可以达到 13.17 % 的减量效果,而 PFS 的使用效果变差,与使用硫酸铝相比,产生的污泥量反而增加。此外,使用 PAC 的污泥减量效果也较为稳定,处理原水 1 和原水 2 时的减量效果分别为 5.44 % 和 8.39 %,而氯化铁和 PAFCS 的减量效果不明显。

产生上述问题的原因是由于沉淀池排泥水中的固体污染物成分主要包括:原水中的悬浮物、胶体颗粒以及混凝时所加入的混凝剂和助凝剂,因此原水水质不同或使用不同混凝剂对产生的污泥量均有很大影响。使用不同混凝剂,发生的混凝机理不同,一般来说,使用高分子混凝剂的投加量要小于无机混凝剂,从而使得使用高分子混凝剂后产生的污泥量少。在处理原水 1 时,由于原水浊度较高,原水中的胶体颗粒对产生污泥量的影响较大,在污泥量中所占的权重较大,以致混凝剂对污泥量的影响减小,其对污泥的减量效果均不及处理原水 2 时明显。处理原水 2 时使用 PFS 的污泥减量效果不佳,是由于 PFS 在处理高浊度原水时效果明显,投加量低,而当浊度降低时其最佳投加量增大,其他如硫酸铝、氯化铁、PAC、PAFC 在处理原水 2 时的最佳投加量均较处理原水 1 时降低。

此外,混凝剂投入水中发生反应后,会生成带有多个结合水,具有一定聚合度的复杂沉淀物。使用不同混凝剂,由于混凝剂本身成分、含量、结构的不同,使得所产生的沉淀物结构有所不同,因此使用不同混凝剂时,即使在投加总量相同的情况下,产生的污泥量也会有所变化。例如处理原水 1 时,PAFC 和 PAFCS 的投加量均为 15 mg/L,但减量效果却分别为 6.06 % 和 2.15 %。

2.3 污泥沉降速度及上清液水质比较

2.3.1 排泥水浓缩初期上清液水质(自由沉淀)

(1) 使用无机混凝剂后浓缩初期上清液水质对比见图 2 和图 3。

(2) 使用常规高分子混凝剂后浓缩初期上清液水质对比见图 4 和图 5。

(3) 使用新型高分子混凝剂后浓缩初期上清液水质对比见图 6 和图 7。

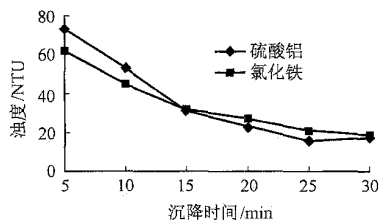


图2 使用无机混凝剂后浓缩初期上清液浊度对比

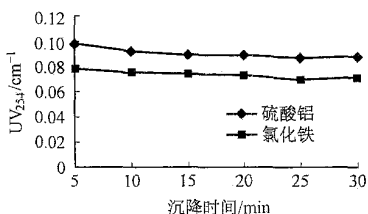


图3 使用无机混凝剂后浓缩初期上清液 UV₂₅₄对比

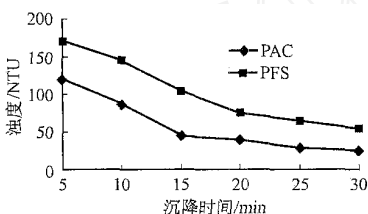


图4 使用常规高分子混凝剂后浓缩初期上清液浊度对比

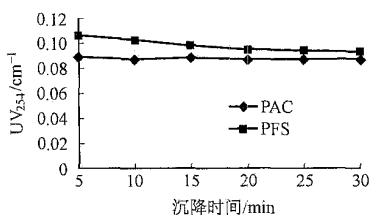


图5 使用常规高分子混凝剂后浓缩初期上清液 UV₂₅₄对比

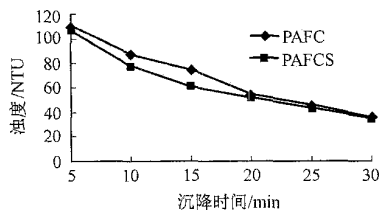


图6 使用新型高分子混凝剂后浓缩初期上清液浊度对比

从图2~图7可以看出在无机混凝剂中,使用氯化铁所产生污泥在浓缩初期的上清液水质较使用硫酸铝好,这是由于使用氯化铁后所产生絮体比铝盐絮体密实,更利于颗粒沉降。而在高分子混凝剂中除PFS效果较差外,其他混凝剂效果相似,PAC效果稍好。但使用高分子混凝剂的上清液水质均不及使用无机混凝剂的上清液水质,这是由于大颗粒

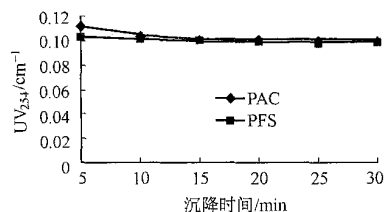


图7 使用新型高分子混凝剂后浓缩初期上清液 UV₂₅₄对比

絮体在测定前已经全部沉降到底部,影响上清液水质的主要是小颗粒絮体,这部分絮体处于自由沉淀状态,颗粒的沉降速度不受固体颗粒浓度的影响,而取决于颗粒的大小和密度。虽然从总体上来说,使用高分子混凝剂所产生的絮体颗粒大小、密度均高于使用无机混凝剂,但由于其投加量小,会产生较小粒径和密度的絮体颗粒,使得上清液水质稍差。

2.3.2 污泥沉降界面由250 mL降到100 mL的沉降时间(集合沉淀)

使用不同混凝剂处理30 L 原水1后将排泥水浓缩至250 mL,倒入250 mL 锥型量杯,记录污泥沉降界面由250 mL 降到100 mL 的时间、絮体状态及上清液浑浊程度,见表6。

表6 水处理过程中使用不同混凝剂对污泥发生成层沉淀时的影响

混凝剂	投加量 / mg/L	沉降时间 / min	大颗粒絮体所占比例	上清液浑浊程度	250mL 污泥含固率 / %
硫酸铝	30	12	较少	较清	1.80
氯化铁	20	14	较少	较清	1.82
PAC	10	8	较多	稍浑	1.70
PFS	20	2.15	多	浑浊	1.65
PAFC	10	4.5	多	稍浑	1.69
PAFCS	15	3.5	多	稍浑	1.76

将250 mL 浓缩后污泥倒入量杯中进一步浓缩时,短时间内会出现由沉降速度最快的粒子形成的粒子层,粒子层中的粒子以相同的速度沉降,该层上方粒子浓度很低,残留粒子发生自由沉淀。随后沉降层很快形成清晰的沉降界面,沉降速度由于粒子间的相互干扰,并随着固体浓度的增大而越来越慢。即在浓缩时污泥发生了成层沉淀和集合沉淀。从表6可以看出使用高分子混凝剂尤其是PFS、PAFCS、PAFC可以大大缩短成层沉淀及集合沉淀的时间,从而非常有效地缩短污泥的浓缩时间。

2.4 污泥比阻改善效果

处理 30 L 原水 1 后将排泥水浓缩至 100 mL 测定比阻,同时控制浓缩后污泥含固率在 4% ~ 4.5%。

表 7 水处理过程中使用不同混凝剂对污泥比阻的改善效果

混凝剂	投加量 / mg/L	污泥比阻 / 10^{11} cm/g	浓缩后污 泥含固率/%
硫酸铝	30	1.82	4.34
氯化铁	20	1.57	4.36
PAC	10	1.53	4.10
PFS	20	1.24	4.00
PAFC	10	1.61	4.11
PAFCS	15	1.21	4.31

由表 7 可以看出,在水处理过程中投加不同的混凝剂所产生污泥的比阻有一定的差异。从总体上来说,投加高分子混凝剂后的效果比投加无机混凝剂的效果有所改善,尤其 PFS 和 PAFCS 的效果较好。

水处理过程中使用不同混凝剂对污泥比阻的改善原因可用以下三方面机理来解释:去水化作用、电中和作用和吸附架桥作用。去水化作用:胶体与高分子两组分之间发生活性反应或形成络合物将亲水胶体转变为憎水胶体,从而实现絮凝。电中和作用:由于胶体颗粒具有带电性使得胶体颗粒能够稳定悬浮于水中,加入与胶体颗粒带相反电荷的聚电解质,可以压缩胶体颗粒的反离子扩散层,若加入的电解质价态较高则电解质可进入反离子吸附层降低 ζ 电位并同时压缩扩散层,使胶体颗粒脱稳、絮凝。吸附架桥作用:高分子聚电解质通过某些官能团的架桥作用或氢键的吸附作用,将众多小颗粒吸附形成大颗粒或将两个异号的大颗粒连接在一起形成絮体下沉。

污泥颗粒的大小及粒径分布被认为是影响污泥脱水性能的最重要的两个物理性质。特别是粒径在 1~100 μm 的超胶体颗粒(等于或小于水的密度),与滤网孔径相似,超胶体颗粒易透过滤网,强烈地影响污泥的脱水性能,超胶体颗粒所占的比例越大,污泥脱水性能越差^[4]。污泥属于凝胶,颗粒体积很小,具有很大的比表面积,由于其表面张力的作用可以吸附很多水分。使用不同混凝剂所产生污泥颗粒的

粒径不同,颗粒越大,其比表面积越小,表面张力减小,表面吸附水也随之从胶体颗粒上脱离,脱水性能得到改善。水处理过程中使用不同混凝剂后,由于混凝剂的成分、结构,混凝机理的不同,使得形成的絮体颗粒的大小、密实程度及对水的亲和力都有所不同,一般使用高分子混凝剂后污泥脱水性能较好,脱水过程中滤液克服滤饼本身的阻力较小。从表 7 中可以看出,使用 PAFCS 后污泥的比阻从 1.82×10^{11} cm/g(混凝剂为硫酸铝)降为 1.21×10^{11} cm/g,效果较其他混凝剂更为明显。

3 结论

(1) 在原水浊度较高时,使用 PFS 和 PAFC 可以对絮凝沉淀后产生的污泥进行有效地减量,与使用硫酸铝相比,可分别减少 8.66%和 6.06%的污泥量。而浊度较低时则使用 PAFC 效果较明显,可减少 13.17%。同时,使用 PAC 处理高、低浊度原水时的污泥减量效果也较稳定,可达到 5.44%和 8.39%的减量效果。

(2) 使用高分子混凝剂后虽然上清液水质比使用无机混凝剂稍差,但可以大大缩短污泥发成层沉淀和集合沉淀的时间,从而直接影响给水厂污泥处理构筑物的形式和规模。

(3) 从污泥脱水性能改善方面来说,水处理过程中使用高分子混凝剂要比使用无机混凝剂效果明显,尤其是 PAFCS 和 PFS 效果较佳,产生的污泥比阻分别为 1.21×10^{11} cm/g 和 1.24×10^{11} cm/g。

参考文献

- 1 严煦世,范瑾初. 给水工程. 北京:中国建筑工业出版社,1999. 281~282
- 2 赵庆祥. 污泥资源化技术. 北京:化学工业出版社,2002. 22~23
- 3 章非娟. 水污染控制工程试验. 北京:高等教育出版社,1988. 176~186
- 4 刘军,顾国维. 对影响污泥脱水性能的污染性质的评价. 污染防治技术. 1994,7(3):16~18

○ 通讯处:200092 上海市同济大学 0428 信箱
电话:(021)65152342
E-mail:suyu001132@163.com
收稿日期:2006-07-21
修回日期:2006-09-27