

自来水厂污泥的流动电流特性

宗栋良, 张锡辉, 张光明

(清华大学深圳研究生院环境工程与管理研究中心, 深圳 518057)

摘要:以水厂混合污泥为对象, 采用流动电流为特征参数分析加药量和 pH 对污泥沉降性能和脱水性能的影响, 探讨流动电流技术在污泥处理中的适用性. 结果表明, 在污泥沉降性能方面, 等电点处的投药量和 pH 值分别为 8.9 mg/L 和 7.25, 实际最佳投药量和最佳 pH 为 9.0 mg/L 和 6.90. 在污泥脱水方面, 等电点处的投药量和 pH 值分别为 25.0 mg/L 和 9.25, 实际最佳投药量和最佳 pH 为 26.0 mg/L 和 9.0. 表明污泥调节的最佳投药量和最佳 pH 均处于流动电流值稍正的位置, 可以用流动电流值作为单因子来控制污泥处理中的加药量, 实现污泥加药的连续反馈控制.

关键词: 水厂污泥; 流动电流; 沉降; 脱水; 调节机理

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)06-0136-04

Streaming Current of Waterworks Sludge

ZONG Dong-liang, ZHANG Xi-hui, ZHANG Guang-ming

(Environmental Engineering & Management Center, Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shengzhen 518057, China)

Abstract: The applicability of streaming current in waterworks sludge treatment as indicator of coagulant dosage and pH control was investigated in this study. Experiments were conducted on sludge settling behaviors and dewatering processes. At the aspect of sludge settleability research showed the theoretical optimal dosage, pH was 8.9 mg/L, 7.25, and the practical optimal dosage, pH was 9.0 mg/L, 6.90. On the side of sludge dewaterability, the theoretical optimal dosage, pH was 25.0 mg/L, 9.25, and the practical optimal dosage, pH was 26.0 mg/L, 9.0. Results indicated that slightly positive streaming current coincided with the optimal dosage and pH. Thus streaming current can be used for continuous dosage feedback control as the single indicator.

Key words: waterworks sludge; streaming current; settling behavior; dewatering; conditioning mechanisms

在我国, 许多水厂将沉淀池的排泥和滤池的反冲洗排泥直接排放到附近的江河等水环境中, 造成对下游水源的污染^[1]. 污泥处理的费用非常昂贵, 假如我国近 2800 个城市自来水厂今后陆续建设污泥处理工程, 将会涉及到数百亿元的巨额投资^[2]. 在污泥处理过程中, 污泥调节是关键性步骤, 而且污泥调节在污泥处理费用中常常超过 50%, 成本比较高^[3]. 因此, 为减少环境影响并节省处理成本, 优化控制药剂的投加成为污泥调节中的关键. 但是, 由于污泥浓度、流量和性质的变化, 精确连续地控制最佳投药量比较困难, 经常出现过量投加药剂的现象, 导致费用增加.

流动电流 (Streaming Current, SC) 技术作为单一因子控制技术从 20 世纪 80 年代开始逐渐得到广泛地运用, 我国 80 年代末引进该技术并在一些水厂中取得明显效益. 目前这种单一因子控制技术在国内外主要应用于无污染的或者受到微污染的水源水^[4], 即用于水处理工艺中的混凝控制. 近年来, 国外开始将流动电流技术用于污泥处理^[3,5,6], 而国内还没有该方面的报道.

本文以流动电流为控制参数, 研究调节后污泥沉降和脱水工艺中流动电流的变化特性, 揭示污泥调节和脱水过程中絮凝剂与污泥作用的规律, 探讨流动电流控制技术在自来水厂污泥处理中的适用性.

1 试验材料与方法

1.1 材料

(1) 污泥试样 污泥取自深圳某水厂初沉池污泥和滤池反冲洗出水污泥. 该水厂采用传统处理工艺, 即混凝、沉淀、过滤、消毒. 在混凝工艺中, 混凝剂为聚合氯化铝 PAC, 用石灰调节 pH. 沉淀池排泥和滤池反冲洗的周期均为 1 次/d. 当排泥和反冲洗时, 直接采集排出的泥样. 然后, 按照水厂实际情况, 将初沉池污泥与滤池反冲洗排泥按 2:1 的体积比例进行混合, 成为混合污泥, 实验备用. 在污泥沉降试验中, 混合污泥 pH 为 7.52, 浊度为 3000 NTU, 初始

收稿日期: 2003-09-07; 修订日期: 2004-06-29

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 项目 (2002 AA601120)

作者简介: 宗栋良 (1975~), 男, 硕士.

流动电流值为 -1.43 mA ;在污泥脱水试验中,混合污泥 pH 值为 9.48,浊度为 2300 NTU 左右,初始流动电流值为 -1.53 mA .由于水厂需要根据水质的变化而调整石灰和 PAC 的投加量,污泥性质变化比较大.

(2) 絮凝剂 采用阳离子聚丙烯酰胺(Polyacrylamide, PAM),相对分子质量约为 2×10^5 .配成 1000 mg/L 溶液,放置 24 h 后使用.

(3) 主要仪器 ZR4-6 型六联混凝试验搅拌机;Micro2000 型流动电流仪;PC510 型台式电导 pH 计;Hach 2100P 型浊度仪;TDL-5-A 型低速台式大容量离心机.

1.2 方法

1.2.1 污泥沉降试验

(1) 加药量的影响 在 1000 mL 烧杯中加入 500 mL 混合污泥,投入不同浓度的 PAM,快速搅拌(100 r/min)1 min,慢速搅拌(45 r/min)2 min,测其流动电流值,然后倒入 500 mL 的量筒中,记录不同时间的污泥体积.30 min 后,测上清液的流动电流值和浊度.

(2) pH 的影响 在 1000 mL 烧杯中加入 500 mL 混合污泥,用 NaOH 或 HCl 调节到不同的 pH 值后,加入 4 mg/L PAM.其他操作和加药量试验一样.

1.2.2 污泥脱水试验

(1) 加药量的影响 投入不同浓度的 PAM 后进行烧杯试验(同上),测其流动电流值,然后倒入离心筒中,在 2000 r/min 下离心 1 min,测定上清液的体积和流动电流值.

(2) pH 的影响 用 NaOH 或 HCl 将混合污泥调节到不同的 pH 后,加入 10 mg/L PAM,进行烧杯试验(同上),测其流动电流值.然后倒入离心筒中,离心脱水试验同上.

2 试验结果与讨论

2.1 絮凝剂投加量对污泥沉降性能的影响

图 1 是加入不同浓度($0 \sim 10\text{ mg/L}$)的 PAM 以后沉降 30 min 所得污泥体积随时间的变化曲线.根据曲线斜率,可以计算得到污泥的沉降速率值.由图 1 可知,未加 PAM 时,污泥的起始沉降速率仅仅为 0.25 cm/min .随着絮凝剂浓度的增加,污泥的起始沉降速率逐渐变大,但是在加药量不超过 6 mg/L 时污泥在 30 min 后都没有达到最终污泥体积.当加药量达到 8 mg/L 和 10 mg/L 时,污泥的起始沉降速率分别为 7.15 cm/min 和 7.35 cm/min ,沉降速率达到

最大,并且在沉降 10 min 后均达到最终污泥体积.

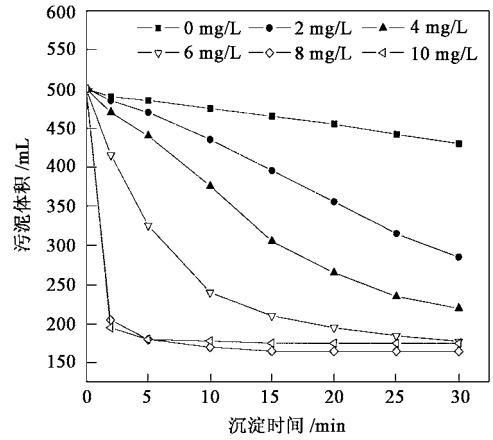


图 1 不同加药量下的污泥沉降曲线

Fig.1 Settling curves at various dosage

图 2 表示了污泥和沉降后上清液的流动电流值随着絮凝剂投药量的增加而产生的变化.图 2 表明,污泥调节后的流动电流值和沉降 30 min 后上清液的流动电流值均随着 PAM 投加量的增加而增加.污泥的流动电流值 SC 在未加絮凝剂的情况下为负值,在剂量较小的范围内($0 \sim 6\text{ mg/L}$),SC 变化不大,从 -1.43 mA 增加到 -1.31 mA .此后,随着剂量增加,流动电流值出现较大幅度的增值,并在投药量为 8.9 mg/L 处接近于 0,在剂量为 10 mg/L 时达到正值(0.69 mA).上清液流动电流值的变化曲线与污泥流动电流值的变化曲线相似,逐渐从负值变为 0,然后变为正值,在 PAM 剂量为 8.9 mg/L 处接近于 0.

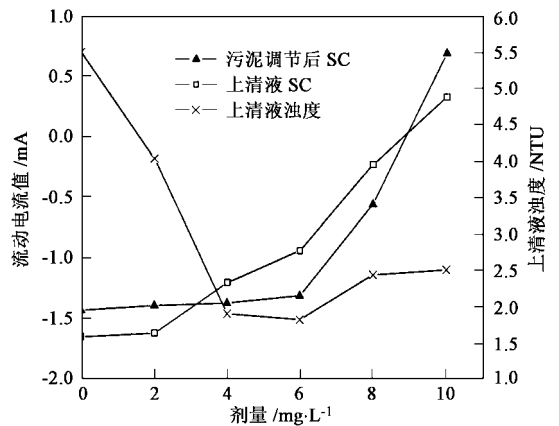


图 2 投药量与流动电流和浊度的关系

Fig.2 Streaming current as function of dosage and turbidity

从图 2 所示的实验结果可以看出,在 PAM 投加量低于 2 mg/L 时,上清液的浊度很高;随着投加

量的增加,上清液的浊度逐渐降低,在 $4 \sim 6 \text{ mg/L}$ 剂量时达到最低值;再增加投加量,浊度开始上升,但上升幅度不大.与对应的流动电流比较可知,浊度降低阶段所对应的流动电流变化比较平缓,而浊度增加阶段所对应的流动电流则快速增加.

比较图 1 和图 2 可知,当投药量从 6 mg/L 增加至 10 mg/L 时,经过调节的污泥及其沉降以后的上清液,其流动电流值均随着投药量的增加而从负值很快变为 0,然后变成正值,而图 1 中相应的沉降速率也迅速变大,达到最终污泥体积的时间达到最短,从而可以极大地缩短污泥沉降所需时间和占地面积,减少处理费用.这一现象说明:①流动电流可以作为控制加药量的参数.根据等电点(SC 值为 0)确定的最佳投药量为 8.9 mg/L ,而综合图 1 中沉降速率和最终污泥体积确定的最佳投药量为 9.0 mg/L 左右.因此,实际的最佳投药量所对应的流动电流值接近等电点.②在投药量比较低时,电中和作用比较弱,吸附架桥可能起着主要的作用,所以流动电流变化比较小;在投药量增加到一定程度后,电中和开始发挥主要的作用,流动电流也大幅度变化.

2.2 pH 对污泥沉降性能的影响

pH 值对污泥的沉降有重要的影响.将混合污泥调节至不同的 pH,然后分别加入相同剂量 PAM 4 mg/L ,测定污泥体积、流动电流和上清液浊度等,结果如图 3 和图 4 所示.

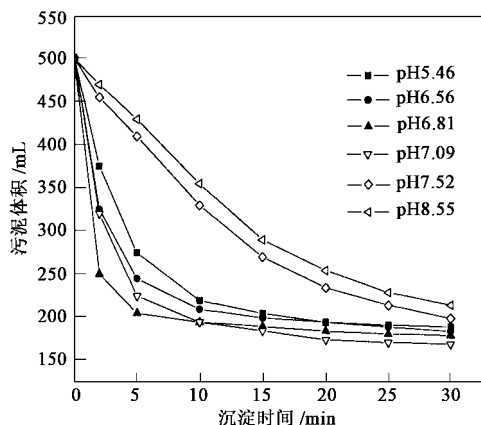


图 3 不同 pH 下的污泥沉降曲线

Fig. 3 Settling curves at various pH

从图 3 可以看出,经过调节以后,污泥的沉降速率随着 pH 的变化而变化. pH 为 5.46 时,起始沉降速率为 3.0 cm/min .随着 pH 值不断升高,沉降速率也逐渐变大.在 pH 为 6.81 左右时,起始沉降速率达到最大值 6.0 cm/min .当 pH 大于 7.09 以后,沉

降速率随着 pH 的增加而减小.从污泥体积来看,在前 10 min 内, pH 为 6.81 时所形成的污泥体积最小, 10 min 后则是 pH 为 7.09 时所形成的污泥体积最小.因此,可以确定最佳的 pH 应在 6.9 左右.

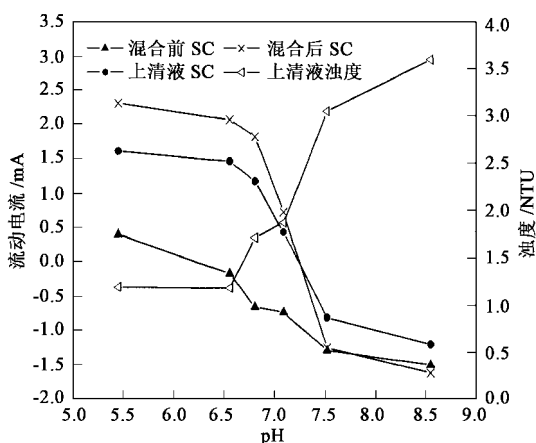


图 4 pH 与 SC 和浊度的对应关系

Fig. 4 Streaming current and turbidity as a function of pH

由图 4 可知,在实验的 pH 范围内,随着 pH 的增加,污泥加药调节前后以及沉降后的上清液的流动电流值均呈下降趋势,而且均在 pH $6.5 \sim 7.5$ 范围内出现较大的下降.比较污泥加药调节前后的曲线,可以发现:①在 pH < 7.5 时,污泥在调节后 SC 值大幅度升高,并出现较高的正值;②当 pH > 7.5 后,污泥调节前后的 SC 变化不大,而且均处于负电荷状态.根据流动电流的变化幅度可以推测, pH < 7.5 时,电中和的作用较大,而 pH > 7.5 后,吸附架桥起主要作用.图 3 根据沉降速率得出的最佳 pH 为 6.9,处于 pH < 7.5 的范围内,因此电中和机理起着重要的作用.但是,从图 4 看出调节后污泥或沉降后上清液的等电点是在 pH 7.25 左右,和最佳 pH 6.90 稍有差异,这说明除了电中和机理之外,吸附架桥也起着作用.

污泥沉降形成的上清液浊度也受 pH 的影响.从图 4 可看出,上清液的浊度随着 pH 的增大而稍有下降后,就迅速上升.这说明, pH 太高对上清液的质量有不利的影响.

2.3 絮凝剂投加量对污泥脱水性能的影响

图 5 是在混合污泥中投加 $0 \sim 36 \text{ mg/L}$ 的 PAM 后离心脱水的数据曲线.由图 5 可知,在所实验的投药量范围内,调节后污泥和脱水后上清液的 SC 值相差不大,变化趋势相同.①在投药量为 $0 \sim 8 \text{ mg/L}$ 范围内,调节后污泥和脱水后上清液的流动电流的变化比较平缓.在这一剂量范围内,污泥脱水率有一

个较大值 96.0%。因此,在 0~8 mg/L 投药量范围内,电中和作用几乎不明显,吸附架桥起着主要的作用。②当投药量范围是 8~36 mg/L 时,污泥及其上清液的流动电流值随着剂量增加而逐渐增大,从负值变为 0,然后变成正值。污泥和上清液流动电流值达到等电点时的投药量分别为 24.5 mg/L 和 25.5 mg/L。在 8~36 mg/L 投药量范围内,污泥脱水率的最大值为 97.4%,所对应的投药量为 26 mg/L,稍大于等电点的剂量。这表明,在污泥脱水过程中,电中和机理发挥着主要作用,吸附架桥机理也有一定的作用。

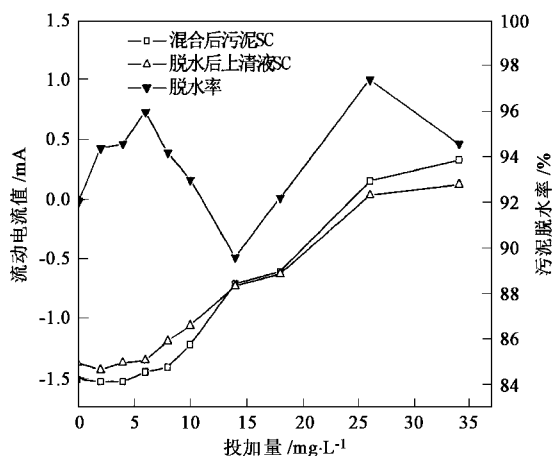


图 5 絮凝剂投加量对污泥脱水性能的影响

Fig. 5 Influence of dosage on dewatering

2.4 pH 对脱水性能的影响

将污泥调节到不同的 pH,投加 10 mg/L 的 PAM 药剂进行混合,然后进行脱水试验,测定污泥和上清液的 SC 值,得到相应的变化曲线(图 6)。在比较大的 pH 范围内,即从 6.5 至 10.3,污泥在调节前后以及上清液的 SC 值呈相同的变化趋势,即随着 pH 的增加而逐渐下降。比较加药调节前后的污泥 SC 曲线,调节后污泥的 SC 值大大增加,部分 SC 值均从负值增加而变成了正值,由此可知,电中和的作用比较显著。污泥调节后的 SC 值比脱水后上清液的 SC 值稍高一些。

从图 6 还可以看出,污泥脱水率的最大值在 pH 9.0 处。调节后污泥的等电点相应的 pH 为 9.05,上清液的等电点相应的 pH 为 9.25,均稍大于由脱水率决定的最佳 pH。即最佳 pH 对应的 SC 值稍正。

3 结论

(1) 实验表明,流动电流值能够指示污泥处理

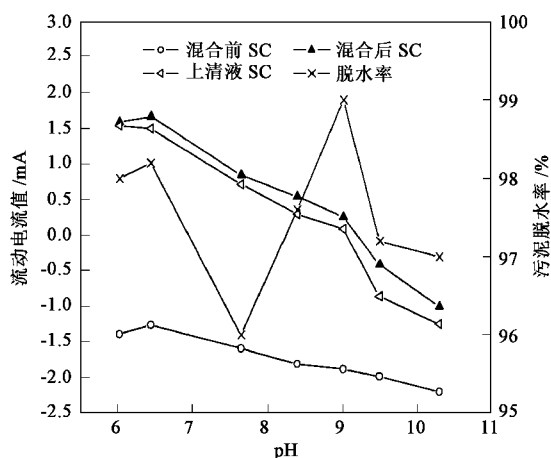


图 6 pH 对污泥脱水性能的影响

Fig. 6 Influence of pH on dewatering

中最佳絮凝剂用量和最佳 pH 值。投药量和 pH 对污泥的沉降性能和脱水性能的影响规律是一致的,可以采用流动电流值作为单一因子来控制加药量,调节后的污泥和上清液的流动电流值均可以作为控制依据,最佳流动电流应该控制在稍正的数值。

(2) 通过流动电流的变化,可以揭示絮凝剂和 pH 调节与污泥的相互作用过程特性,掌握污泥在沉降和脱水过程中的电动力学特点,分析电中和机理和吸附架桥机理的作用范围,从而有助于理解污泥处理系统性能变化的内在原因,优化污泥处理。本实验表明,采用阳离子聚丙烯酰胺来进行污泥调节,投药量比较低和 pH 比较高时,污泥沉降和脱水以吸附架桥机理为主;在投药量比较高和 pH 比较低时,以电中和机理为主。

参考文献:

- [1] 陈静,许建华. 给水厂污泥处理[J]. 净水技术, 1998, (3): 14~16.
- [2] 刘辉,张玉先. 自来水厂的污泥处置与综合利用[J]. 给水排水, 2001, 27(11): 15~18.
- [3] Steven K Dentel, Mohammad M Abur Orf. Laboratory and full-scale studies of liquid stream viscosity and streaming current for characterization and monitoring of dewaterability[J]. Water Science, 1995, 29(12): 2663~2672.
- [4] 张燕,刘宏远,崔福义. 流动电流混凝投药控制系统在微污染水源水中适用性研究[J]. 环境科学与技术, 2002, 25(1): 4~6.
- [5] Robert L Bryant. Optimizing sludge dewatering using streaming current monitor[J]. ISA TECH EXPO Technology Update Conference Proceedings, 1996, 51(2): 1561~1570.
- [6] Mohammad M Abur Orf, Steven K Dentel. Polymer dose assessment using the streaming current detector[J]. Water Environment Research, 1997, 69(6): 1075~1080.