

试验研究

絮凝剂对污泥悬浮液流变性影响的实验研究

马赫,郭亚兵,冯国红

(太原科技大学,山西太原030024)

摘要:基于流变学理论,分析了CPAM、PAC、FC三类絮凝剂对调理污泥的流动性和粘度的影响。结果表明:污泥悬浮液属于有屈服值的假塑性非牛顿流体;在低剪切速率下,絮凝剂浓度与污泥悬浮液的粘度呈正相关,但在高剪切速率下,絮凝剂浓度对污泥悬浮液的粘度影响甚小;在低剪切速率下,有机絮凝剂CPAM比无机絮凝剂PAC和FC对污泥悬浮液粘度的影响更大;无机絮凝剂浓度与悬浮液剪切应力负相关,而有机絮凝剂浓度与悬浮液的剪切应力整体呈正相关性;高剪切速率下的污泥悬浮液流体更加具有牛顿流体的性能。

关键词:污泥;流变性;絮凝剂

中图分类号:X705

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2019)02-0018-04

EXPERIMENTAL STUDY ON FLOCCULANT'S EFFECT ON THE RHEOLOGY OF SLUDGE SUSPENSION

MA He, GUO Ya-bing, FENG Guo-hong

(Taiyuan university of science and technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Based on the theory of rheology, the influences of three flocculants (CPAM, PAC, FC) on the fluidity and viscosity of sludge were analyzed. The results show that the sludge suspension was a kind of pseudo-plasticity non-Newtonian fluid with yield value. At low shear rates, flocculant concentration was positively correlated with the viscosity of sludge suspension. At high shear rates, however, flocculant concentration has little effect on the viscosity of sludge suspension. At low shear rate, the viscosity of sludge suspension was more influenced by the organic flocculant CPAM than the inorganic flocculants PAC and FC. Inorganic flocculant dosage was negatively correlated with suspension shear stress, while organic flocculant dosage was positively correlated with suspension shear stress. At high shear rates, the sludge suspension showed more properties of Newtonian fluid.

Key words: Sludge; Rheology; Flocculants.

近年来,随着城市化速度的加快,市政污水污泥的产量急剧增加^[1]。处置技术的落后使污泥给环境带来不可估量的污染^[2,3]。由于污泥成分比较复杂,脱水困难,故在实际应用领域中,需要对污泥进行预处理以便于后续污泥的脱水处置。污泥预处理的方式多种多样,其中絮凝剂调理以其价格低廉、用量少、凝聚性能优良等优点广泛应

用于污泥处理领域^[4-6]。有机絮凝剂阳离子型聚丙烯酰胺(CPAM)具有活性基团多,分子量高,用量少和絮凝能力强等优点^[7-9],无机絮凝剂聚合氯化铝(PAC)及氯化铁(FC)具有较强的吸附、絮凝、凝聚,絮体不易破碎、重凝性能好等优点^[10-13]被普遍应用于污泥脱水过程中。

流变学是一门描述在外力作用下物体形变的学科。流体一般分为牛顿流体和非牛顿流体。相关文献指出:污水污泥呈现出剪切变稀行为^[14,15],其切应力和剪切速率之间存在非线性关系^[16],属于

收稿日期:2018-12-05

基金项目:国家自然科学基金项目(21606157),太原科技大学博士启动基金(20152014)

第一作者简介:马赫(1992-),男,山西怀仁人。

一种典型的非牛顿流体。虽然目前对污泥流变性的研究比较广泛^[17, 18],但絮凝剂浓度对污泥流变性的影响并不深入,有待进一步研究^[19]。因此,本文选用 CPAM、PAC、FC 这三类絮凝剂调理污泥,分别考察浓度对污泥悬浮液流动性和粘度的影响。

1 实验部分

1.1 实验原料

城市污泥取自中国山西太原北郊污水处理厂离心脱水设备,其物理化学性质如表 1 所示。为了减少污泥理化性能的变化^[19],污泥取回后存放在 4 ℃ 冰箱内。

表 1 原污泥的物理化学性能

固含量 (%)	21.62
粘度 (Pa·s)	0.06000
中位粒径(μm)	71.89
pH	6.88
比表面积(cm ² /g)	946.7

1.2 絮凝剂溶液的配制

称取一定量的 PAC、FC 和 CPAM 于烧杯中,并分别加入去离子水,用搅拌机先以 250 rpm 搅拌 3 min,后以 50 rpm 搅拌 15 min,使得 PAC、FC 和 CPAM 的链充分打开,分别获得 2 %、2 %、1 % 的溶液待用。

1.3 实验步骤

分别用 CPAM、FC 和 PAC 对污泥进行调理。主要步骤如下:取一定量的原污泥,加入一定量的絮凝剂溶液,以配成不同絮凝剂添加量的污泥悬浮液;采用高速搅拌机对其进行搅拌,首先以 200 rpm 的速度搅拌 5 min 以加速絮凝剂和污泥溶液充分混合,随后以 50 rpm 搅拌 15 min 促进污泥絮体的增长,最后得到混合均匀的固含量为 7 % 的污泥悬浮液。

为减小悬浮液长时间滞留对流变行为的影响,在进行稳态试验之前,对污泥进行预剪切(剪切速率 400 s⁻¹,时间为 10 min),静置 1 min 后,进行稳态试验的测量^[20]。采用 Hakke Mars 60 流变仪(德国)对污泥的流变性进行测试,具体操作步骤如下:选用同轴圆筒测量转子,温度 25 ℃,在应变控制模式下,剪切速率以对数形式增加从 0 s⁻¹~500 s⁻¹。每组试验进行三次,取其平均值,保证实验的可重复性。

2 结果与讨论

2.1 絮凝剂对污泥粘性影响

图 1、2、3 左侧分别给出了采用不同浓度 PAC、FC、CPAM 调理污泥的粘度曲线。可以看出:污泥粘度随着剪切速率增大而降低,即污泥悬浮液呈现出剪切变稀行为,流动性能增强,而且粘度在初始阶段随剪切速率增大而急剧下降,推断污泥悬浮液属于有屈服值的假塑性非牛顿流体。

随着 PAC、FC、CPAM 浓度的增加,污泥粘度变大(在剪切速率低时)。但随着剪切速率的提高,PAC、FC、CPAM 浓度对污泥粘度影响逐渐变小,甚至无影响。由此说明 PAC、FC、CPAM 浓度的改变对偏静态污泥悬浮液有着较大的影响。在实际工程领域中,污泥悬浮液在管道的运输是偏向于静态的,此时,PAC、FC、CPAM 浓度大小对污泥运输的快慢以及管道的堵塞有着较大的影响。而在污泥选取离心脱水等机械方式时,则 PAC、FC、CPAM 浓度对其粘度影响较小。比较图 1、2、3 的粘度可看出:在低剪切速率下,有机絮凝剂 CPAM 比无机絮凝剂 PAC 和 FC 对污泥悬浮液粘度的影响更大。这体现出三种絮凝剂对污泥悬浮液作用机理的差异性,有机絮凝剂主要是依靠其强大的粘结力絮凝污泥,而无机絮凝剂主要是通过凝聚、架桥方式来实现絮凝。

2.2 絮凝剂对污泥流动性影响

图 1、2、3 右侧给出了不同浓度 PAC、FC、CPAM 调理下污泥的流动曲线。从图中可以看出,流动曲线可分为两个阶段。在低剪切速率下,污泥悬浮液的剪切应力随着剪切速率的提高先增加(见图中小图)到拐点处后继续缓慢增加,这是典型假塑性非牛顿流体的特征。在一定剪切速率下,随着无机絮凝剂 PAC、FC 浓度的增加,剪切应力整体呈现下降趋势,这可能是由于絮体的形成更加规则、更加均匀使其整体粘度减小。与此相反,在一定剪切速率下,有机絮凝剂 CPAM 浓度的增加使得悬浮液的剪切应力整体呈现上升趋势,这与 CPAM 特有的活性基团多,粘结力强的性能分不开。

而在高剪切速率下,污泥悬浮液流动性更加符合牛顿流体的特性,这是由于高剪切速率破坏了污泥悬浮液絮体以至污泥溶液在剪切时更加稳定,以及分子的布朗运动远远小于被剪切絮体的

运动,使得高剪切速率下污泥溶液更加有规律地流动。针对剪切应力随着絮凝剂浓度无规律地变化,可能有两个原因:一是絮凝剂浓度过量使得多余的分散小颗粒与絮体碰撞,产生了挤压效应^[6];二是每次所取污泥悬浮液本身的性质都有一定的差异性,是无法消除的,只能通过增加实验次数减小误差。

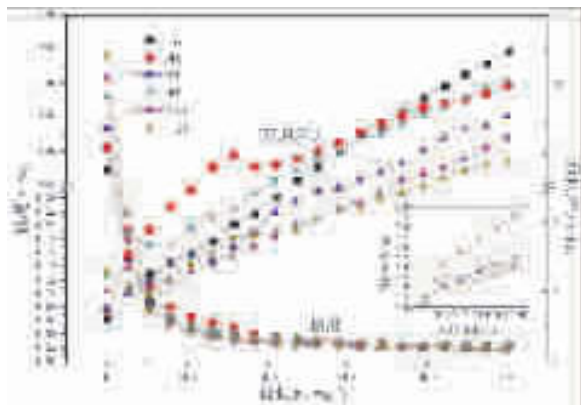


图1 污泥流动和粘度曲线(不同浓度 PAC)

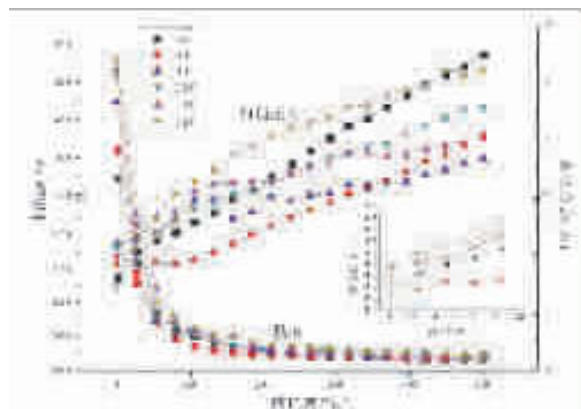


图2 污泥流动和粘度曲线(不同浓度 FC)

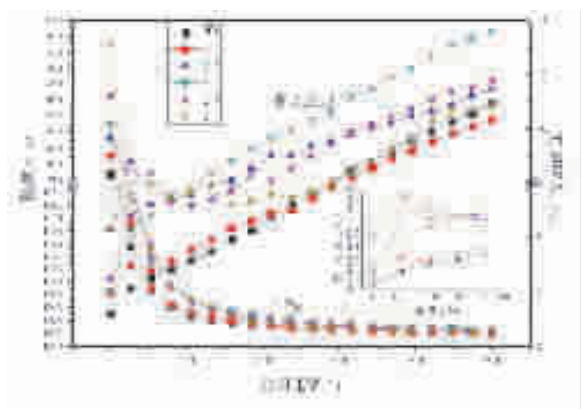


图3 污泥流动和粘度曲线(不同浓度 CPAM)

3 结论

依据流变学理论知识,对絮凝剂调理后污泥悬浮液的流变性实验分析,其主要结论如下:

随着剪切速率的提高,污泥悬浮液粘度先急剧下降后趋于平缓的下降,表明污泥悬浮液属于有屈服值的假塑性非牛顿流体。

分别添加不同浓度、不同种类絮凝剂,污泥悬浮液的粘度性能表现出明显的差异性。在低剪切速率下,随着絮凝剂浓度的增加,污泥悬浮液的粘度变大,但在高剪切速率下,絮凝剂浓度对污泥悬浮液的粘度影响较小。在低剪切速率下,有机絮凝剂 CPAM 比无机絮凝剂 PAC 和 FC 对污泥悬浮液粘度的影响更大。

分别添加不同浓度、不同种类絮凝剂,污泥悬浮液的流动性能也表现出明显的差异性。无机絮凝剂浓度与悬浮液剪切应力成负相关性,而有机絮凝剂浓度与悬浮液的剪切应力整体呈正相关性。在高剪切速率下,污泥悬浮液所表现出的流动性能更加符合牛顿流体。

参考文献:

- [1] 辉张. 污泥处理处置现状的思考与展望 [J]. 给水排水, 2012, 38 (增刊): 234-239.
- [2] Zhu C, Zhang P, Wang H, et al. Conditioning of sewage sludge via combined ultrasonication-flocculation-skeleton building to improve sludge dewaterability [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2018, 40(Pt A): 353-360.
- [3] Eshtiaghi N, Yap S D, Markis F, et al. Clear model fluids to emulate the rheological properties of thickened digested sludge [J]. Water research, 2012, 46(9): 3014-3022.
- [4] 姚颖吉, 刘树丽, 刘伟, 等. 微生物-化学絮凝剂对实际矿山废水中铅的处理 [J]. 水处理技术, 2017, 43(10): 99-102.
- [5] Lau S W, Sen T K, Chua H B, et al. Conditioning of synthetic sludge and anaerobically digested sludge using chitosan, organic polyelectrolytes and inorganic metal cations to enhance sludge dewaterability [J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2017, 228(9): 358.
- [6] Zhang W, Cao B, Wang D, et al. Influence of wastewater sludge treatment using combined peroxyacetic acid oxidation and inorganic coagulants re-flocculation on characteristics of extracellular polymeric substances (EPS) [J]. Water Research, 2016, 88(7): 28-39.
- [7] Aguilar M I, S Ez J, Llor Ns M, et al. Improvement of coagulation-flocculation process using anionic polyacrylamide as coagulant aid [J]. Chemosphere, 2005, 58(1): 47-56.
- [8] Moussas P A, Zouboulis A I. A new inorganic-organic composite coagulant, consisting of Polyferric Sulphate (PFS) and Polyacrylamide (PAA) [J]. Water Research, 2009, 43(14): 3511-3524.
- [9] Wang D, Liu X, Zeng G, et al. Understanding the impact of

cationic polyacrylamide on anaerobic digestion of waste activated sludge [J]. Water Research, 2018, 130:281-290.

[10] Satyawali Y, Balakrishnan M. Effect of PAC addition on sludge properties in an MBR treating high strength wastewater [J]. Water Research, 2009, 43(6): 1577-1588.

[11] Liu Z, Liu Y, Zhang A, et al. Study on the process of aerobic granule sludge rapid formation by using the poly aluminum chloride (PAC) [J]. Chemical Engineering Journal, 2014, 250:319-325.

[12] Wang H F, Hu H, Wang H J, et al. Impact of dosing order of the coagulant and flocculant on sludge dewatering performance during the conditioning process [J]. The Science of the Total Environment, 2018, 643:1065-1073.

[13] Wei H, Ren J, Li A, et al. Sludge dewaterability of a starch-based flocculant and its combined usage with ferric chloride [J]. Chemical Engineering Journal, 2018, 349:737-747.

[14] Seyssiecq I, Karrabi M, Roche N. In situ rheological characterisation of wastewater sludge: Comparison of stirred bioreactor and pipe flow configurations [J]. Chemical Engineering Journal, 2015, 259:205-212.

[15] Baudex J C, Markis F, Eshtiaghi N, et al. The rheological behaviour of anaerobic digested sludge [J]. Water Research, 2011, 45 (17): 5675-5680.

[16] 丁仕强. 絮凝氧化铁悬浮液流变性质研究 [J]. 过滤与分离, 2013, 23(1): 13-16.

[17] Hong E, Yeneneh A M, Sen T K, et al. The relationship between physico-chemical and rheological characteristics of digested sludge, biosolid, centrate and the effects on dewatering performance (A case study) [J]. Journal of Water Process Engineering, 2017, 19:193-204.

[18] Ma Y J, Xia C W, Yang H Y, et al. A rheological approach to analyze aerobic granular sludge [J]. Water Research, 2014, 50(17): 1-8.

[19] Wang H F, Ma Y J, Wang H J, et al. Applying rheological analysis to better understand the mechanism of acid conditioning on activated sludge dewatering [J]. Water research, 2017, 122:398-406.

[20] Feng G, Liu L, Tan W. Effect of Thermal Hydrolysis on Rheological Behavior of Municipal Sludge [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2014, 53(27): 85-92.

(上接第 12 页)

(1) 在原水 SS 在 1 100 mg/L~1 300 mg/L, 通过煤泥回流可强化混凝沉淀效果。

(2) 煤泥最佳回流体积比为 15%, 最佳回流污泥投入点为混凝 2 区(30 r/min 搅拌 5 min)。

(3) 与无煤泥回流情况相比, 运行条件最优时(回流体积比为 15%, 回流点为混凝 2 区), PAC、PAM 的节约率分别可达到 25%、20%。

(4) 工程应用中, 煤泥回流工艺可强化矿井水混凝沉淀效果, 优化出水水质, 延长后段过滤工艺的反洗周期及使用寿命, 有效降低运行费用。

参考文献

[1] 崔玉川, 曹昉. 煤矿矿井水处理利用工艺技术与设计 [M]. 化学工业出版社, 2016.

[2] 李慧玲, 桂和荣, 段中稳. 矿井水资源化技术的现状与发展趋势 [J]. 宿州学院学报, 2015(2):104-108.

[3] 金通. 邢台某煤矿矿井水处理改扩建工程方案研究 [D]. 河北工程大学, 2017.

[4] 薛忠新, 李文俊, 韩伟. 张家峁煤矿矿井水处理回用工艺研究 [J]. 煤炭工程, 2018, 50(12):21-23.

[5] 朱海涛, 周晓龙, 刘宏远, 等. 中置式高密度沉淀池的改造与优化运行 [J]. 中国给水排水, 2012, 30(4):95-99.

[6] 霍明昕, 刘馨远. 低温低浊水质特性的分析 [J]. 中国给水排水, 1998(6):33-34.

[7] Christain D, Boniface K, Raymond D. Laboratory study of ballasted flocculation [J]. Water Res, 2002, 36(3):744-754.

[8] 刘军. 微砂絮凝循环设备在矿井水处理工程中的应用 [J]. 煤炭技术, 2018(4):61-63.

[9] 赵亮, 郑燕. 矿井水资源化利用 [J]. 西部探矿工程, 2016(11):144-146.

[10] 周如禄, 高亮, 陈明智. 煤矿含悬浮物矿井水净化处理技术探讨 [J]. 煤矿环境保护, 2000(01):10-12.

[11] 朱艳旭, 李孟, 包宇飞, 等. 沉淀池污泥回流强化低浊水处理研究 [J]. 水处理技术, 2016, 42(5):124-127.