

DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2014.0533

林颐, 宁寻安, 温炜彬, 等. 2014. 高铁酸钾-微波耦合对印染污泥脱水性能的影响研究[J]. 环境科学学报, 34(7): 1776-1780

Lin Y, Ning X A, Wen W B, et al. 2014. Effects of potassium ferrate-microwave conjunction on the dewaterability of textile dyeing sludge[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 34(7): 1776-1780

高铁酸钾-微波耦合对印染污泥脱水性能的影响研究

林颐, 宁寻安*, 温炜彬, 沈玲芝, 王玉洁, 杨佐毅, 刘敬勇

广东工业大学环境科学与工程学院, 广州 510006

收稿日期: 2013-10-01 修回日期: 2013-12-04 录用日期: 2013-12-04

摘要: 分别采用微波、微波耦合高铁酸钾对印染污泥进行脱水预处理。结果表明, 适宜的微波辐射可改善污泥脱水性能。2320、3240、4000 W·L⁻¹ 对应的最适时间分别是 140 s、100 s 和 80 s。在 3240 W·L⁻¹ 的微波下辐射 100 s 后, 污泥的沉降速率(SV₃₀)、污泥比阻(SRF)和粘度较原污泥分别减少 4.00%、18.89%、35.05%。同时, 高铁酸钾的加入能更好地提高污泥脱水性能, 其最佳投加量为 0.1767 g·g⁻¹(以 SS 计, 下同), 对应的污泥 SV₃₀、毛细吸水时间(CST)、粘度相比原污泥分别降低了 13.50%、51.18%、40.79%。泥饼含固率相比原污泥则增加 14.58%。微波耦合高铁酸钾能有效破坏污泥絮体结构。随着高铁酸钾投量增加, 上清液的蛋白质含量持续增加, 多糖含量则先增加后减少。

关键词: 印染污泥; 微波; 高铁酸钾; 脱水性能

文章编号: 0253-2468(2014)07-1776-05 中图分类号: X703 文献标识码: A

Effects of potassium ferrate-microwave conjunction on the dewaterability of textile dyeing sludge

LIN Yi, NING Xun'an*, WEN Weibin, SHEN Lingzhi, WANG Yujie, YANG Zuoyi, LIU Jingyong

School of Environmental Science and Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006

Received 1 October 2013; received in revised form 4 December 2013; accepted 4 December 2013

Abstract: The textile dyeing sludge dewaterability was examined by microwave and potassium ferrate conjunction. The results indicated that the sludge dewaterability was slightly improved under proper microwave conditions. The suitable contact time of 140 s, 100 s and 80 s was obtained at the microwave energy of 2320, 3240, 4000 W·L⁻¹, respectively. After sludge samples were irradiated at 3240 W·L⁻¹ and 60 s, the settling velocity (SV₃₀), specific resistance of filtration (SRF) and viscosity decreased by 4.00%, 18.89% and 35.05%, respectively. The pretreatment by potassium ferrate and microwave irradiation could improve sludge dewaterability more efficiently. The results showed that the optimal potassium ferrate dosage was 0.1767 g·g⁻¹(SS), and the SV₃₀, capillary suction time (CST) and viscosity decreased by 13.50%, 51.18% and 40.79%, respectively. The solid content of sludge cake increased by 14.58%. Microwave irradiation conjunction with potassium ferrate could disrupt sludge flocs. The proteins concentrations of the supernatant increased with the increase of potassium ferrate dosage. However, polysaccharides concentrations of the supernatant increased initially with the increase of potassium ferrate at first, and decreased afterwards.

Keywords: textile dyeing sludge; microwave; potassium ferrate; dewaterability

1 引言 (Introduction)

污泥脱水是污泥处理处置流程中一个非常重要的过程, 通过减少污泥体积来节省污泥后续运输、处理处置成本具有重大意义(李欣和蔡伟民, 2009)。与城镇污泥相比, 印染污泥含水率较高, 成分

复杂, 脱水处理成为印染污泥减量的关键所在(何文远等, 2006)。

常用的污泥调理技术主要有物理调理和化学调理, 例如热水解、超声波处理、微波辐射、臭氧氧化和碱解法等(Vander *et al.*, 1999)。在众多处理方法中, 微波辐射被认为是一种能够有效提高污泥脱

基金项目: 广东省教育厅科技创新重点项目(No.2012CXZD0021); 广东省部产学研专项(No. 2011B090400161)

Supported by the Key Project of Technology Innovation of Department of Education of Guangdong Province (No. 2012CXZD0021) and the Project of Enterprise Special Plan of Guangdong Province, Ministry of Education and Science and Technology (No.2011B090400161)

作者简介: 林颐(1989—), 女, E-mail: 87289927@qq.com; * 通讯作者(责任作者), E-mail: ningxunan666@126.com

Biography: LIN Yi(1989—), female, E-mail: 87289927@qq.com; * Corresponding author, E-mail: ningxunan666@126.com

水性能的方法.微波处理具有加热速度快,反应过程易于控制以及有特殊的灭菌功能等优点(Jones *et al.*, 2002).微波处理污泥的作用机理可分为热效应和非热效应.微波的热效应是指微波能量被介质材料吸收而转化为热能的现象.而不能用热效应来解释的现象则称为微波的非热效应(Hong *et al.*, 2004).近年来,高铁酸盐作为一种新型高效、绿色多功能的氧化剂被引入水处理领域.高铁酸钾具有强氧化性,可氧化破解污泥,有效降解污泥中的胞外聚合物(EPS),溶解释放细胞内有机物.高铁酸钾在水中氧化分解后,会生成氢氧化铁胶体,这种胶体沉淀具有良好的絮凝和助凝能力,可极大地提高污泥的脱水性(Ye *et al.*, 2012).

由于单独的物理或化学调理存在一定缺陷,因此联合调理技术日益发展起来.联合调理技术比单一的物理或化学调理能取得更好的效果(杨国友, 2011).

本实验结合微波的热效应和非热效应以及高铁酸钾的氧化性,研究了不同微波功率辐射对污泥脱水性能的影响,并从上清液总有机碳(TOC)含量变化探讨微波对污泥的破解效果.同时,在最适宜的微波处理条件下,研究了不同的高铁酸钾剂量对污泥脱水性能的影响,并得到了微波耦合高铁酸钾改善污泥脱水性能的最佳条件.

2 材料与方法(Materials and methods)

2.1 污泥的来源与特性

原污泥取自东莞市某纺织厂废水处理系统的剩余污泥.污泥收集取回后自然沉淀 24 h,倾去上清液后,将污泥存放于 4 °C 的冰箱中备用.污泥样品初始理化性质如下:pH 6.58,含水率 98.6%,滤饼含水率 91.2%,污泥比阻(SRF) $3.23 \times 10^{11} \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,悬浮物(SS) $11316.67 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,可挥发性悬浮物(VSS) $7072 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,总化学需氧量(TCOD) $9206 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,上清液中总有机碳(TOC) $18.39 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,溶解性化学需氧量(SCOD) $96 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,粘度 $18.83 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,毛细吸水时间(CST) 63.3 s ;上清液蛋白质含量 $3.49 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;上清液多糖含量 $7.07 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

主要仪器与试剂:格兰仕微波装置(G80F23N1P-M8(SO));pH计(PHSJ-4A);数显粘度计(NDJ-5S);CST测定仪(Triton 304M);TOC- V_{CPH} 分析仪(日本岛津);紫外可见分光光度计TU-1901(北京普析).高铁酸钾(K_2FeO_4 , 98.58%)购自

湖北兴银河化工有限公司.其他化学药品均为分析纯试剂.

2.2 实验方法

2.2.1 微波辐射实验 取 200 mL 污泥置于 500 mL 烧杯,用保鲜膜密封,分别测定在不同微波辐射能量($2320, 3240, 4000 \text{ W} \cdot \text{L}^{-1}$)和不同处理时间(0、20、40、60、80、100、120、140、160、180 s)下污泥各项脱水指标的变化情况.

2.2.2 微波耦合高铁酸钾实验 取 200 mL 污泥样品,分别加入 0、0.01、0.05、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 g 高铁酸钾,以 $400 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的转速快速搅拌 3 min, $60 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的转速慢速搅拌 7 min 后,静置 20 min,以保证高铁酸钾氧化充分.再对其进行 $3240 \text{ W} \cdot \text{L}^{-1}$ 、100 s 微波处理,测定不同高铁酸钾投加量下污泥的脱水指标.

2.3 分析方法

比阻采用布氏漏斗法进行测定(刘昌庚等, 2010).多糖含量的测定采用蒽酮-硫酸法,以无水葡萄糖作标准物质(蔡春光等, 2004).蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝染色法,以牛血清蛋白作标准物质(Liu *et al.*, 2004).粘度、TOC 和 CST 均采用上述仪器进行测定.

3 结果与讨论(Results and discussion)

3.1 微波预处理对污泥脱水性能的影响

3.1.1 微波对 SV_{30} 、SRF 和粘度的影响 SV_{30} 、SRF 和粘度是描述污泥脱水性能的 3 个重要指标,分别表征污泥机械脱水中的重力沉降、渗透性和可滤性(Pan *et al.*, 2003).经过不同微波条件处理后污泥的脱水指标变化结果如图 1a、b、c 所示.

从图 1a、b、c 可见,随着时间的增加, SV_{30} 、SRF 和粘度均呈现出先降低后升高的趋势. SV_{30} 、SRF 和粘度越小,表明其脱水性能越好.由图 1a、b、c 可见,经过不同微波功率辐射后的污泥脱水性能相对于原污泥有不同程度的改善,且不同功率辐射条件下适宜的辐射时间也不同.辐射能量越强,污泥脱水性能改善所需时间越短. $2320, 3240, 4000 \text{ W} \cdot \text{L}^{-1}$ 微波辐射适宜的时间分别是 140 s、100 s、80 s.此时, SV_{30} 较原泥分别减少 4%、4%、5%.SRF 较原泥时分别减少 13.62%、18.89%、20.43%.粘度较原泥分别减少 16.57%、35.05%、36.17%.这与田禹等(2006)的研究结果类似.

污泥经过适当的微波辐射,高频电场使污泥及

其中的水分子不断移动、旋转,改变污泥的 Zeta 电位和破坏表面双电层结构,从而使污泥颗粒脱稳.短时间的微波辐射使污泥内部产生温度梯度,破坏结合水与 EPS 间的结合力,污泥絮体被打碎成较小的碎片,释放出更多的絮体间隙水及细胞内部水,从

而自由水比例增加,改善脱水(罗海建等,2013).然而当微波辐射时间过长时,不仅增加能量消耗,还会过度破坏污泥絮体,污泥细胞壁破裂,导致污泥粒径变小,同时有大量的胞内和胞外物质溢出,粘度增大,不利于脱水.

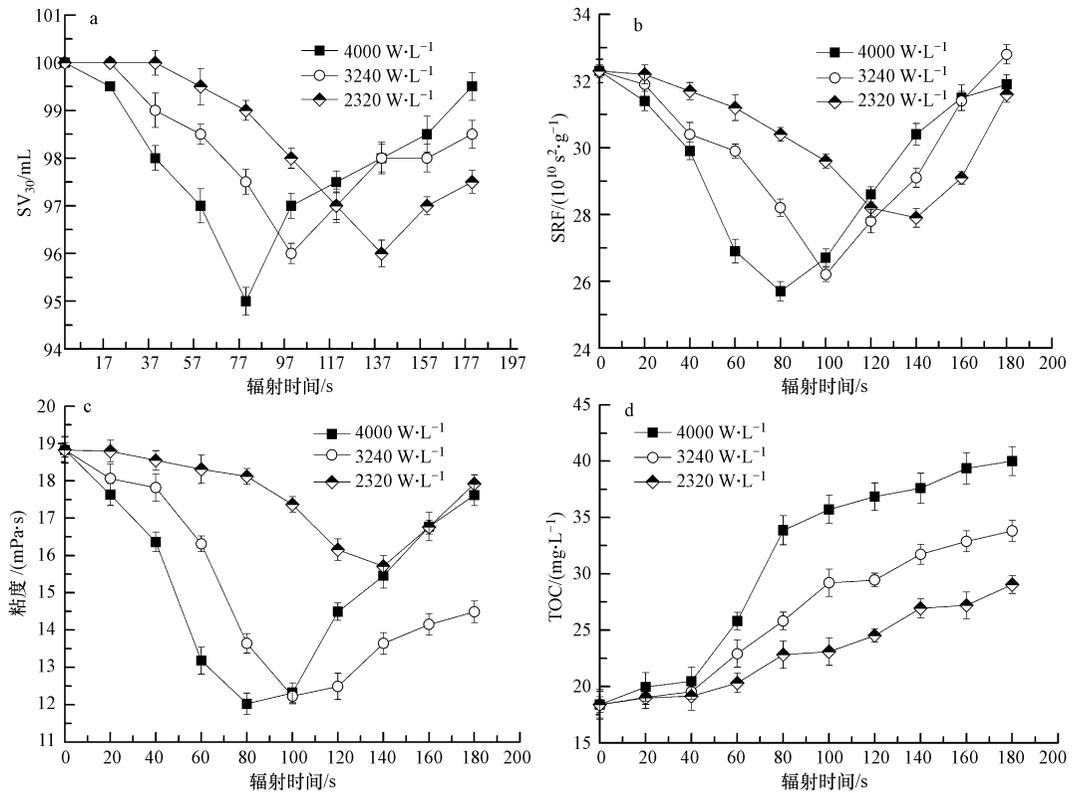


图1 微波辐射对污泥 SV₃₀ (a)、比阻 (b)、粘度 (c) 及污泥上清液 TOC (d) 的影响

Fig.1 Effect of microwave radiation time on SV₃₀ (a), SRF (b), viscosity (c) and on the content of TOC (d)

3.1.2 微波对 TOC 含量的影响 活性污泥中生物絮体构成了悬浮固体的主要成分,可通过测定污泥上清液的 TOC 值的变化来衡量污泥的破解程度.由图 1d 所示,TOC 值随着微波辐射功率和处理时间的增加而增加,表明污泥絮体被微波破坏,释放细胞内物质到溶液中.污泥破解的程度取决于微波辐射功率的大小和处理时间的长短. 2320 W·L⁻¹、140 s 时,TOC 含量从原来的 18.39 mg·L⁻¹ 上升到 26.94 mg·L⁻¹. 3240 W·L⁻¹、100 s 时,TOC 含量上升到 29.2 mg·L⁻¹. 4000 W·L⁻¹、80 s 时,TOC 含量上升到 33.87 mg·L⁻¹.随着辐射时间延长,TOC 含量持续上升,但是上升缓慢.对比微波辐射对污泥沉降、过滤性能及粘度的影响研究结果,污泥适宜的破解程度才能改善污泥的脱水性能.

3.2 微波联合高铁酸钾对污泥脱水性能的影响

根据微波对印染污泥脱水性能影响结果,从降

低能源消耗和提高污泥脱水性能角度考虑,将添加了不同剂量高铁酸钾的污泥固定在 3240 W·L⁻¹、100 s 的微波条件下进行处理,测定处理后的污泥脱水指标.

随着高铁酸钾的加入,污泥固体含量会变化,SRF 不适宜作为固体含量不恒定的污泥的过滤性能指标 (Luo *et al.*, 2013).所以微波联合高铁酸钾处理后的污泥过滤性能由毛细吸水时间 CST 值来表征.CST 值是指活性污泥通过特定吸水滤纸产生的毛细吸水压力从污泥中吸收水分,滤液渗透 2 cm 所需的时间.一般情况下, CST 越小表示污泥的过滤脱水性能越好.

从图 2 可以看出,随着高铁酸钾加入量的增加, CST 和粘度先小幅上升再持续下降后又上升.原污泥 CST 为 63.3 s,粘度为 18.83 mPa·s.高铁酸钾的强氧化性能能够破解污泥,污泥絮体被打破成较小碎

片,堵塞滤纸,降低了过滤性(Ye *et al.*, 2012).随着高铁酸钾加入剂量增大,高铁酸钾在发挥其氧化作用的同时,逐渐产生的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 起到了絮凝作用,絮体粒径有所增大,降低了污泥的粘度,改善了污泥的过滤性能(Ye *et al.*, 2012).当加入 $0.1767 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ (以 SS 计,下同)高铁酸钾时,污泥的 CST 和粘度分别下降到 30.9 s 和 $11.15 \text{ mPa}\cdot\text{s}$.但加入较高剂量时($0.2209 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$),污泥的 CST 和粘度反而有所增大.分析其原因,高铁酸钾具有强氧化性,加入剂量过大,过度破坏污泥,污泥 EPS 含量增加,过多的 EPS 会增加污泥的粘性,从而不利于污泥脱水.

从图 2 中可见,污泥的沉降性能由于高铁酸钾的加入而得到改善.高铁酸钾氧化分解后生成了具有混凝作用的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体,它能够沉降并吸附到污泥细胞表面,降低了污泥细胞的稳定性,提高了污泥的沉降性能(冀海壮和叶芬霞, 2012).当加入量为 $0.1767 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时, SV_{30} 从最初的 100 mL 降低到 86.5 mL .继续加大高铁酸钾的剂量, SV_{30} 降低缓慢.

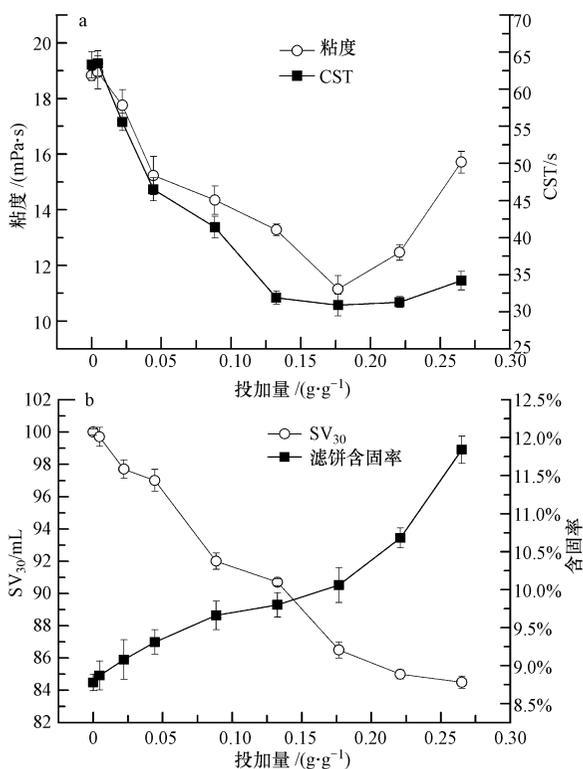


图 2 高铁酸钾投加量对污泥脱水性能的影响(a. 表观粘度和 CST, b. 表观 SV_{30} 和滤饼含固率)

Fig.2 Effect of ferrate potassium dosage on dewaterability of sludge (a. viscosity and CST, b. SV_{30} and solid content of sludge cake)

泥饼含固率用来评价污泥的脱水程度.从图 2

可见,泥饼含固率随高铁酸钾加入量的增加而增加.加入剂量较少时($0.0044 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$),泥饼含固率从初始的 8.78% 增加到 8.87% ,加入较高剂量时($0.1767 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$),泥饼含固率达到 10.06% .当污泥絮体被高铁酸钾破坏时,絮体内的水分被释放出来,从而提高污泥脱水程度(Ye *et al.*, 2012).

当高铁酸钾投加量为 $0.1767 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时, CST 和粘度降到最低,分别较原污泥减少了 51.18% 、 40.79% .虽然继续添加高铁酸钾, SV_{30} 和泥饼含水率仍然继续降低,但是降低缓慢.从降低成本以及促进污泥脱水效果两方面考虑,确定高铁酸钾最佳投加量为 $0.1767 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$.

3.3 微波耦合高铁酸钾对污泥 EPS 的影响

EPS 是微生物在一定环境条件下分泌产生的高分子物质,主要成分有多糖、蛋白质、核酸等聚合物.活性污泥中的 EPS 占污泥有机物的 $50\% \sim 90\%$.絮体中总的 EPS 质量占活性污泥质量的 80% 左右.高浓度胶体状态的 EPS 对活性污泥的浓缩脱水有恶劣影响(胡正猛, 2005).

图 3 显示了在相同微波辐射条件下,加入不同剂量高铁酸钾后, EPS 中蛋白质和多糖含量的变化情况.从图中可以看出,随着高铁酸钾加入量的增加,从 EPS 中破解出的蛋白质含量随之增加,多糖含量则先增后降.投加量为 $0.0442 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时,蛋白质和多糖含量分别比对照样增加约 4.8 倍和 5.6 倍.继续加入高铁酸钾时($0.0884 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$), EPS 中多糖含量开始下降,蛋白质则继续上升.分析其原因,微波处理污泥产生的高温加热作用和高铁酸钾的强氧化性可以有效破坏污泥细胞结构,分解 EPS,释放出溶解性有机物,表现为多糖和蛋白质浓度快速升高.随着高铁酸钾用量增加,释放出的部分溶解性有机物

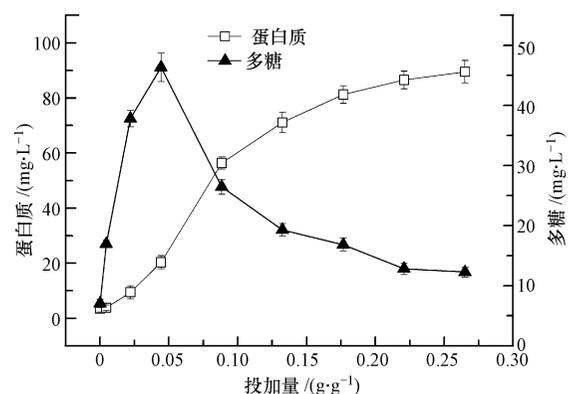


图 3 高铁酸钾投加量对污泥 EPS 的影响

Fig.3 Effect of ferrate potassium dosage on EPS concentration

进一步被氧化成小分子物质,多糖浓度曲线呈下降趋势.相对于多糖而言,蛋白质不易被进一步氧化分解,故其浓度曲线未出现下降趋势(李娟等,2009).

4 结论(Conclusions)

1)微波辐射在短时间内可改善污泥脱水性能,2320、3240、4000 $W \cdot L^{-1}$ 微波辐射改善污泥脱水性能最适宜的时间分别是 140 s、100 s 和 80 s.污泥的 SV_{30} 较原污泥分别减少 4%、4%、5%.SRF 较原污泥分别降低 13.62%、18.89%、20.43%.粘度较原泥分别减少 16.57%、35.05%、36.17%.当微波时间超过一定时间时,污泥脱水性能恶化.

2)随着微波辐射功率增大和处理时间增长,上清液 TOC 含量持续上升.适当的污泥破解能促进污泥脱水.

3)微波耦合高铁酸钾处理印染污泥,能够显著提高其脱水性能.当 3240 $W \cdot L^{-1}$ 、100 s 微波处理时,高铁酸钾最佳投加量为 0.1767 $g \cdot g^{-1}$.此时,高铁酸钾氧化分解为具有混凝作用的 $Fe(OH)_3$,提高了污泥的沉降性能.此时污泥的 SV_{30} 、CST、粘度相比原污泥分别降低 13.5%、51.18%、40.79%.泥饼含固率比原污泥增加 14.58%.

4)微波耦合高铁酸钾处理印染污泥时,高铁酸钾起主要的脱水作用.在 0.1767 $g \cdot g^{-1}$ 高铁酸钾投量,3240 $W \cdot L^{-1}$ 、100 s 微波处理条件下, SV_{30} 和粘度相对于单独微波处理(3240 $W \cdot L^{-1}$ 、100 s)时,分别降低 9.90%、8.83%.

5)高铁酸钾具有强氧化性,能有效破坏细胞的刚性结构,分解 EPS,并释放出溶解性有机物.多糖结构相对于蛋白质结构简单,较易被高铁酸钾氧化分解.随着高铁酸钾投量增加,上清液的蛋白质含量持续增加,多糖含量则先升后降低.

责任作者简介:宁寻安(1967—),男,教授,博士,主要从事固体废物污染控制的教学和科研工作.E-mail: ningxunan666@126.com.

参考文献(References):

蔡春光,刘军深,蔡伟民.2004.胞外多聚物在好氧颗粒化中的作用

机理[J].中国环境科学,24(5):623-626

何文远,杨海真,顾国维.2006.酸处理对活性污泥脱水性能的影响及其作用机理[J].环境污染与防治,28(9):680-682

Hong S M, Park J K, Lee Y O. 2004. Mechanisms of microwave irradiation involved in the destruction of fecal coliforms from biosolids[J]. Water Research, 38(6): 1615-1625

胡正猛.2005.超声促进污泥板框压滤脱水的研究[D].南京:南京工业大学

冀海壮,叶芬霞.2012.高铁酸钾预处理对活性污泥脱水性能的影响[J].环境工程学报,6(8):2837-2840

Jones D A, Lelyveld T P, Mavrofidis S D, et al. 2002. Microwave heating applications in environmental engineering-a review [J]. Resources, Conservation and Recycling, 34(2): 75-90

李娟,张盼月,曾光明,等.2009.Fenton 氧化破解剩余污泥中的胞外聚合物[J].环境科学,30(2):475-479

李欣,蔡伟民.2009.污泥调理剂与有机高分子絮凝剂联合作用对污泥脱水性能影响的研究[J].净水技术,28(3):40-44

刘昌庚,张盼月,曾光明,等.2010.生物淋滤-PAC 与 PAM 联合调理城市污泥[J].环境科学,31(9):2124-2128

Liu Y Q, Liu Y, Tay J H. 2004. The effects of extracellular polymeric substances on the formation and stability of biogranules[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 65(2): 143-148

罗海建,付长亮,宁寻安,等.2013.微波预处理对制革污泥絮凝脱水性能的影响[J].环境工程学报,7(5):1933-1938

Luo H J, Ning X A, Liang X J, et al. 2013. Effects of sawdust-CPAM on textile dyeing sludge dewaterability and filter cake properties [J]. Bioresource Technology, 139: 330-336

Pan J R, Huang C, Cherg M, et al. 2003. Correlation between dewatering index and dewatering performance of three mechanical dewatering device[J]. Advances in Environmental Research, 7(3): 599-602

田禹,方琳,黄君礼.2006.微波辐射预处理对污泥结构及脱水性能的影响[J].中国环境科学,26(4):459-463

Vander R H, Roeleveld P, Stamperius P. 1999. Optimising sludge treatment in the Netherlands[J]. Water, 21: 23-25

杨国友.2011.脱硫灰与微波辐射协同作用改善污泥脱水性能的研究[D].广州:华南理工大学

Ye F, Liu X, Li Y. 2012. Effects of potassium ferrate on extracellular polymeric substances (EPS) and physicochemical properties of excess activated sludge[J]. Journal of Hazardous Materials, 199-200: 158-163