

木屑对印染污泥过滤脱水的调理作用及其机理研究

陈 斌, 高华生*, 季文杰, 朱剑炯, 岳 远, 姚 敏

(宁波大学 建筑工程与环境学院, 宁波 浙江 315211)

摘要: 通过真空抽滤试验, 研究了木屑对印染污泥脱水的助滤作用及调理机理. 结果表明, 木屑投加量为 100%DS(以污泥中干固体计)时, 污泥比阻从 $2.45 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 降至 $1.79 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, 泥饼含水率从 85.87% 降至 74.29%, 泥饼质量增加了 28.24%. 木屑与 FeCl_3 或 CaO 联合调理污泥时, 污泥比阻和泥饼含水率均有所降低, 但泥饼质量均增加. 从结构观察、泥饼可压缩和吸水平衡等方面, 探讨了木屑助滤剂影响污泥脱水过程的机理, 综合评价木屑作为骨架构建剂在污泥调理中具有正反两方面的作用, 即一方面提高污泥脱水的速率, 降低泥饼的含水率, 另一方面会导致泥饼的质量增加.

关键词: 木屑; 印染污泥; 调理; 比阻

中图分类号: X796

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2018) 05-0109-06

印染污泥有机含量高且组分复杂^[1], 通常含有大量的染料、助剂、表面活性剂和重金属, 如不善处置, 容易对环境造成二次污染. 污泥脱水是污泥处置的关键环节, 目前对印染污泥处理处置的最常用方式是通过压滤脱水后进行焚烧处置. 由于污泥脱水性能差, 脱水困难, 使得脱水后的泥饼量大且含水率高, 增加了后续处理处置成本. 通过调理改善印染污泥的过滤脱水性能, 实现污泥的深度脱水, 进一步降低泥饼的含水率和泥饼的产量, 是降低污泥处置成本的有效途径.

众多研究者将一些通常称为物理调理剂的惰性材料掺到污泥中进行调理, 使其能在污泥中作为骨架构建体形成出水通道, 从而提高污泥脱水性能. 含碳材料褐煤^[2]、煤粉^[3]、矿物废物飞灰^[4]、石膏^[5]、硅藻土等, 生物废弃物如稻壳、甘蔗渣、木屑^[6]和麦渣^[7]等都被用作调理剂调理污泥, 研究表明均能一定程度提高污泥脱水性能.

木屑作为农林生产的副产物, 具有吸附、助滤和助燃等作用, 在环境污染治理中具有广泛的应用前景. 研究表明, 木屑作为污泥处理助滤剂, 有利于污泥处理效果, 增加污泥的燃烧热值^[8]. Liu

等^[9]用木屑调理污泥进行压滤脱水, 发现木屑有利于泥饼的自然干化, 同时提高了泥饼的热值, 有利于污泥焚烧处置. Li 等^[10]将木屑掺在污泥中, 研究其对污泥干化过程的影响, 结果表明木屑能够增加泥饼空隙和水分散失的通道, 从而提高污泥的干化速度. 姚尚安等^[11]利用木屑调理污泥, 用自制的压滤装置对污泥进行二次脱水, 结果表明木屑调理能显著降低泥饼的含水率.

投加木屑能改善污泥的过滤脱水过程, 其对泥饼的骨架构建作用得到充分肯定, 但现有文献均以降低过滤比阻和降低泥饼的含水率为评价指标, 从未提及木屑作为助滤剂对过滤得到的泥饼质量的影响. 本文以木屑作为物理调理剂, 单独或结合 FeCl_3 和 CaO 进行试验, 以污泥比阻、泥饼含水率和泥饼质量变化率为指标, 研究木屑单一调理以及 FeCl_3 -木屑、 CaO -木屑联合调理对污泥脱水性能的影响; 结合 SEM 观察和污泥可压缩性变化, 探究木屑调理的动力学因素, 从污泥与木屑混合物的吸水平衡原理, 分析木屑在污泥脱水过程中的热力学因素, 从正反两个方面综合评价木屑对印染污泥过滤脱水的作用.

收稿日期: 2017-12-08.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(21507065).

第一作者: 陈斌(1991-), 男, 浙江宁波人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 固体废物处理与资源化. E-mail: 1223039362@qq.com

*通信作者: 高华生(1965-), 男, 安徽安庆人, 博士/副教授, 主要研究方向: 污染控制技术. E-mail: gaohuasheng@nbu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 材料

供试污泥取自宁波市华美线业有限公司污水处理站生化池,取回放于实验室静置浓缩。浓缩污泥置于 4℃冰箱冷藏,防止变质,测定污泥的中含水率、挥发性固体悬浮物(VSS)质量浓度、pH、总悬浮固体(TSS)质量浓度、比阻(SRF)等指标,测定结果见表 1。

表 1 污泥理化性质

含水率/%	VSS/(g·L ⁻¹)	pH	TSS/(g·L ⁻¹)	SRF/(10 ⁹ s ² ·g ⁻¹)
98.79~98.88	8.99~9.09	6.7~7.1	11.4~12.1	2.38~2.53

材料与试剂:木屑(松木木屑,粉碎后过筛得到粒径在 0.125~0.425 mm 之间的颗粒)、FeCl₃(分析纯)、CaO(分析纯)。

1.2 仪器

污泥比阻测定装置(杭州之江水处理设备厂);JJ-4A 型六联同步自动升降搅拌机(国华电器公司);BSA224S-CW 型电子天平(Sartorius 公司);TM-3000 台式扫描电镜(Hitachi 公司);DZF-真空干燥箱(上海精密仪器仪表有限公司);秒表;温度计。

1.3 方法

试验前先从冰箱内取一定量污泥静置升至室温。每次取 300 mL 污泥于 500 mL 烧杯中,按一定干基比(调理剂与污泥中干固体的比例)加入调理剂,搅拌混匀,分 3 组进行比阻测定试验,取其中数值较接近 2 组试验结果的平均值。污泥过滤比阻的测定方法参见文献[12]。称取泥饼质量,然后测定其含水率,再将干燥的泥饼置于扫描电镜下观察其微观结构。

泥饼含水率测定采用重量差法。将泥饼放入干燥的表面皿中,置于 105℃烘箱内干燥 2 h,取出待冷却后称取质量。根据质量差计算出其含水率。

污泥比阻按下式计算:

$$Y_{\text{SRF}} = 2PA^2B / (\mu W), \quad (1)$$

式中, Y_{SRF} 为污泥比阻; P 为过滤压强; A 为过滤面积; B 为过滤直线斜率; μ 为滤液的动力粘度系数; W 为单位过滤面积的滤液在介质上截留的固体质量。

泥饼可压缩性系数 S 按下式计算:

$$P_1 / P_2 = Y_{\text{SRF1}} / Y_{\text{SRF2}}, \quad (2)$$

式中, P_1 、 P_2 为不同的抽滤压力; Y_{SRF1} 、 Y_{SRF2} 为压力 P_1 、 P_2 下对应的比阻。

泥饼的质量变化率按下式计算:

$$\theta = (M_i - M_0) / M_0 \times 100\%, \quad (3)$$

式中, θ 为泥饼质量变化率; M_i 为调理污泥过滤后的泥饼质量; M_0 为未调理污泥过滤后的泥饼质量。

2 结果与分析

2.1 单一调理

2.1.1 FeCl₃ 实验

配制 500 mL 质量浓度为 100 g·L⁻¹ 的 FeCl₃ 溶液,按干基比投加至污泥中,对污泥进行调理,搅拌均匀后进行污泥比阻试验,分别测定污泥比阻、泥饼含水率并计算泥饼的质量变化率,结果如图 1 所示。

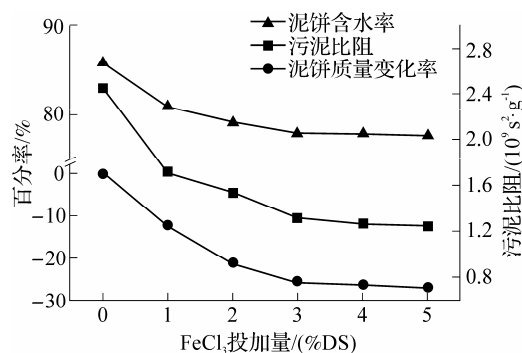


图 1 FeCl₃ 调理对污泥脱水性能的影响

由图 1 可知,未调理污泥的比阻为 $2.45 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,泥饼含水率为 85.87%。FeCl₃ 调理污泥后,污泥比阻和泥饼含水率下降明显。FeCl₃ 的投加量为 3%DS 时,污泥比阻下降至 $1.32 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,泥饼含水率下降至 78.05%,脱水性能得到改善。同时泥饼质量减少了 25.52%,质量显著减少,实现了污泥减量化。继续增加投加量,污泥比阻和泥饼含水率下降不明显,泥饼的质量减少率没明显提高。说明 FeCl₃ 投加量为 3%DS 时,污泥调理作用已经达到较理想的效果。

2.1.2 CaO 实验

按上述试验步骤,投加 CaO 粉末调理污泥,进行比阻试验。从图 2 可见,投加 CaO 于污泥中与水反应放热,提高温度能降低液体的黏度,从而提高了污泥脱水速率,降低污泥比阻。CaO 投加量为

60%DS 时, 污泥比阻从 $2.45 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 降至 $0.95 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, 泥饼含水率从 85.87% 降至 73.21%。然而由于 CaO 投加于污泥中, 形成微溶于水的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 从而增加了泥饼的质量; 投加 60%DS CaO, 泥饼质量增长了 6.68%。增加 CaO 的投加量时, 泥饼质量继续增长, 且质量增长更加明显。CaO 投加量增加至 100%DS 时, 污泥比阻降至 $0.62 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, 泥饼含水率降至 70.03%, 泥饼质量增加 16.40%。大量的 CaO 会吸收大量的水分, 从而显著增加泥饼的质量。

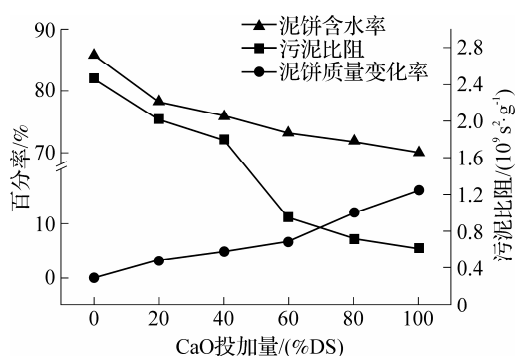


图2 CaO 调理对污泥脱水性能的影响

2.1.3 木屑实验

按一定干基比投加木屑调理污泥, 进行比阻试验, 结果如图3所示。

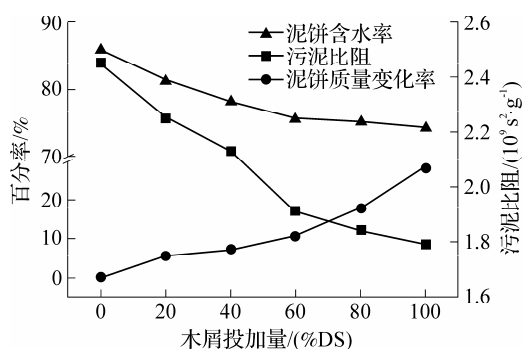


图3 木屑调理对污泥脱水性能的影响

投加木屑调理污泥能降低污泥比阻和泥饼含水率。从图3可见, 当木屑投加量为60%DS时, 污泥比阻下降至 $1.91 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, 泥饼含水率下降至 75.67%, 污泥脱水性能得到改善。当继续增加投加量至 100%DS 时, 比阻和含水率分别降至 $1.79 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 和 74.29%, 下降幅度有所降低。从图中也可以看出, 随着木屑投加量增加, 泥饼增长幅度越来越大。投加 60%DS 木屑, 泥饼质量增长了 10.74%;

投加 100%DS 木屑时, 泥饼质量增长了 28.24%。这是由于木屑本身吸水, 吸收的水分很难被脱除, 投加过多的木屑使得脱除的水分减少, 含水率下降不明显, 这和 Bouchard^[13]研究试验结果吻合。

2.2 联合调理

2.2.1 FeCl_3 -木屑实验

一般认为, 物理与化学联合调理对污泥的过滤脱水作用更好。试验先投加 3%DS 的 FeCl_3 对污泥进行调理, 然后再分别投加一定量的木屑, 对污泥进行二次调理, 搅拌均匀后进行污泥比阻试验。试验结果如图4所示。

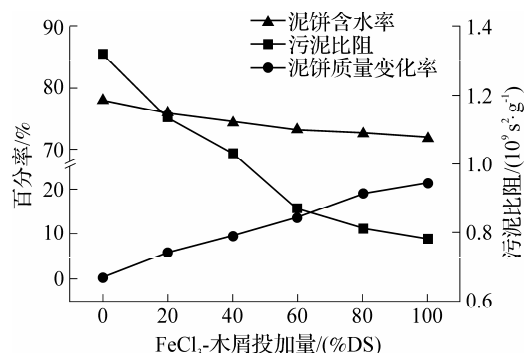


图4 FeCl_3 -木屑调理对污泥脱水性能的影响

FeCl_3 和木屑联合调理具有协同作用, 对污泥比阻和泥饼含水率的降低作用更显著。从图4中可知, 投加 3%DS FeCl_3 和 60%DS 木屑联合调理时, 污泥比阻降至 $0.87 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, 比未调理的污泥降低了 64.49%; 泥饼含水率降至 73.32%, 比未调理污泥降低了 12.55%, 与单一木屑或 FeCl_3 调理相比, FeCl_3 -木屑联合调理对污泥脱水性能作用更优。同时由于木屑吸水, 导致污泥中可脱除的水分减少, 使得泥饼质量增加, 削弱了 FeCl_3 对污泥的减量作用。投加 60%DS 木屑调理后, 比 FeCl_3 单独调理的泥饼的质量增加了 13.42%; 投加 100%DS 木屑, 泥饼的质量增加了 21.26%。

2.2.2 CaO-木屑实验

根据 CaO 对污泥的调理结果, 也同时考虑到 CaO 投加量过多会使泥饼增加。先投加 60%DS CaO 对污泥进行调理, 然后再投加一定量的木屑对污泥进行二次调理试验, 研究联合调理对污泥脱水性能的影响。结果如图5所示。

从图5可以看出, CaO-木屑联合调理能显著降低污泥比阻和泥饼含水率。当 CaO 和木屑的

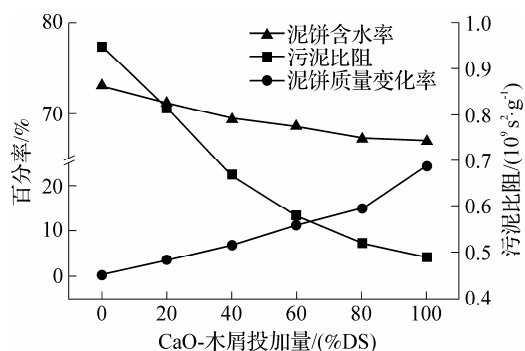


图5 CaO-木屑调理对污泥脱水性能的影响

投加量都为 60%DS 时, 污泥比阻降至 $0.58 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, 比未调理的污泥降低了 76.33%; 泥饼含水率降至 68.56%, 比未调理污泥降低了 21.29%, 含水率下降明显. 当木屑投加量为 100%DS 时, 污泥比阻下降至 $0.49 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, 泥饼含水率下降至 67.04%. 由于 CaO 和木屑都会吸收水分, 导致污泥泥饼的质量显著增加. CaO 和木屑投加量均为 60%DS 时, 泥饼质量增长 11.16%. 木屑投加量为 100%DS 时, 泥饼质量增长 24.35%.

3 讨论

FeCl_3 可通过压缩双电子层、网捕、架桥等作用, 将污泥颗粒聚集起来, 形成大絮团, 挤出颗粒

间的间隙水, 提高污泥的脱水性能^[14]. CaO 通过提高污泥的 pH 和水解放热, 破坏以蛋白质为基础的细胞壁和酶、酸性 RNA、碳水化合物等细胞组织和油脂, 并释放少量细胞内部水^[15], 同时石灰在污泥中形成多孔网格状骨架, 改善污泥的过滤性能.

木屑作为一种物理助滤剂, 主要作用在于构建骨架, 与前两者明显不同, 可从 SEM 观察中得到解释, 其对印染污泥进行单一或联合调理的作用机理, 可从以下方面进行讨论.

3.1 泥饼结构 SEM 观察

将干燥后的泥饼预置于扫描电镜下, 观察它们的微观结构, 从微观角度分析调理机理. 观察结果如图 6 所示.

污泥在抽滤过程中, 水分不断减少, 污泥底部逐渐形成一层泥饼, 随着脱水过程的进行, 泥饼越来越致密, 出水通道越来越小^[16], 导致出水越来越困难. 如图 6(a)所示, 未调理污泥的泥饼致密, 没有任何通道. 同时从图 6(b)、6(c)可以看出, FeCl_3 和 CaO 调理过的污泥泥饼仍旧致密, 没有形成任何通道. 投加木屑调理污泥时, 因为木屑嵌入污泥中, 发挥骨架构建作用, 提供了许多的通道. 同时木屑本身具有一定强度, 降低污泥可压缩性, 使污泥在压缩过程中不易变形, 保持泥饼通透性. 如图

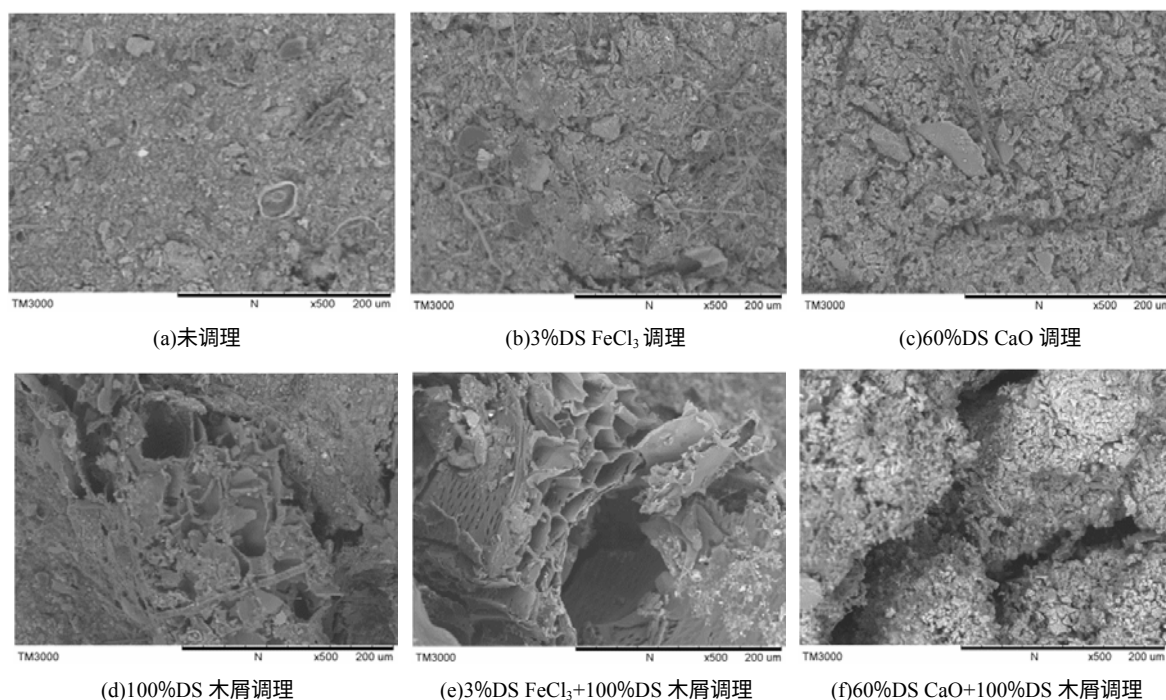


图6 泥饼的扫描电镜照片

6(d)、6(e)和 6(f)所示,木屑调理污泥的泥饼疏松,形成许多通道,从而改善污泥脱水性能。

3.2 泥饼的可压缩性

泥饼可压缩性是用来表征污泥物理结构是否结实。低可压缩性意味着污泥结实,在压缩过程中不易变形,不易导致污泥紧密堵塞出水孔道,可渗透性强。而可压缩性系数就是反应污泥可压缩性能的指标,试验结果如图 7 所示。

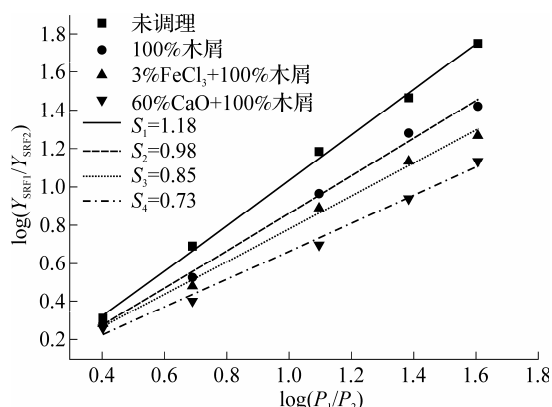


图 7 木屑对污泥可压缩性的影响

图 7 中可以看出,原污泥的可压缩性系数为 1.18,木屑调理的污泥可压缩性数降低至 0.98。原因是木屑颗粒坚硬,与污泥颗粒结合提高了污泥的抗压强度,从而降低了污泥的可压缩性。此外,FeCl₃-木屑联合调理的污泥可压缩性系数为 0.85, CaO 与木屑联合调理污泥时,污泥可压缩性降低至 0.73。

3.3 泥饼的吸水平衡

印染污泥中投加木屑后形成混合污泥,过滤脱水后得到的是混合泥饼。物理调理剂并不能改变印染污泥颗粒的性质,混合泥饼中木屑与污泥颗粒在一定压力下各自保持吸水平衡,平衡状态下木屑的饱和含水率低于污泥的含水率,导致混合泥饼的饱和含水率介于两者之间。

木屑调理降低了泥饼含水率,但以泥饼质量显著增加为代价,这显然不利于污泥的减量化。含水率降低的实质是木屑投加使得泥饼中的固体质量增加,而并非是因为木屑调理使得更多的水分被脱除,相当于采用木屑对印染污泥进行一定程度的稀释作用。

其他物理助滤剂如褐煤、粉煤灰、石膏、稻壳等对污泥的调理作用与木屑一样,也只起到骨架

构建作用,加速污泥的过滤速度,虽然能降低污泥的含水率,但并非是因为多脱除了污泥中的水分,而仅仅是因为投加的调理剂在污泥中起到稀释作用,而泥饼质量反而是增加的,无法达到污泥减量的效果。

4 结论

通过试验研究和机理分析,验证木屑助滤剂对印染污泥脱水过程具有正反两方面的作用:

(1)木屑助滤剂作为骨架构建剂能起到良好调理作用,能有效降低污泥比阻,改善污泥的脱水性能,提高污泥的脱水速度。当木屑投加量为干固体的 100%时,污泥比阻 $2.45 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 降至 $1.79 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。联合调理投加量分别为 3%DS FeCl₃-100%DS 木屑、60%DS CaO-100%DS 木屑时,比阻分别降至 $0.93 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $0.49 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。

(2)木屑调理能够降低泥饼含水率,但以泥饼质量显著增大为代价,不利于污泥减量化。当木屑投加量为干固体的 100%时,含水率从 85.87%降至 74.29%,但泥饼质量增加 28.24%。联合调理投加量分别为 3%DS FeCl₃-100%DS 木屑、60%DS CaO-100%DS 木屑时,泥饼含水率分别降至 69.18%和 67.04%,泥饼的质量分别增加了 21.26%和 24.35%。

参考文献:

- [1] 周剑波, 宁寻安, 刘敬勇. 印染污泥固化剂稳定化处理研究[J]. 环境工程学报, 2011, 5(2):457-461.
- [2] Thapa K B, Qi Y, Clayton S A, et al. Lignite aided dewatering of digested sewage sludge[J]. Water Research, 2009, 43(3):623-634.
- [3] Albertson O E, Kopper M. Fine-coal-aided centrifugal dewatering of waste activated sludge[J]. Journal of the Water Pollution Control Federation, 1983, 55(2):145-156.
- [4] Chen C, Zhang P, Zeng G, et al. Sewage sludge conditioning with coal fly ash modified by sulfuric acid[J]. Chemical Engineering Journal, 2010, 158(3): 616-622.
- [5] Zhao Y Q. Enhancement of alum sludge dewatering capacity by using gypsum as skeleton builder[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects, 2002, 211(2):205-212.
- [6] Luo H J, Xing X N, Liang X J, et al. Effects of sawdust-CPAM on textile dyeing sludge dewaterability and filter cake properties[J]. Bioresource Technology,

- 2013, 139(139C):330-336.
- [7] Lin Y F, Jing S R, Lee D Y. Recycling of wood chips and wheat dregs for sludge processing[J]. Bioresource Technology, 2001, 76(2):161-163.
- [8] Shukla A, Zhang Y H, Dubey P, et al. The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water[J]. Journal of Hazardous Materials. 2002, 95(1):137-152.
- [9] Liu H B, Xiao H, Fu B, et al. Feasibility of sludge deep-dewatering with sawdust conditioning for incineration disposal without energy input[J]. Chemical Engineering Journal. 2017, 313:655-662.
- [10] Li J, Plougonven E, Fraikin L, et al. Multiscale structure characterization of sawdust-waste water sludge extrudates dried in a pilot-scale fixed bed[J]. Biomass and Bioenergy, 2015, 81:98-107.
- [11] 姚尚安, 孙同华, 瞿赞, 等. 污泥深度机械脱水的优化研究[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(3):126-131.
- [12] 俞庭康, 刘涛, 沈洪, 等. 污泥比阻试验中几个问题的探讨[J]. 试验室研究与探索, 2009, 28(1):68-69.
- [13] Bouchard D J. Evaluating Wood Fines as Physical Conditioner for Dewatering Biosludge[D]. Canada, Toronto: University of Toronto, 2015.
- [14] 王鑫, 易龙生, 王浩. 污泥脱水絮凝剂研究与发展趋势[J]. 给水排水, 2012, 38(Sup1):155-159.
- [15] 于文华, 濮文虹, 时亚飞, 等. 阳离子表面活性剂与石灰联合调理对污泥脱水性能的影响[J]. 环境化学, 2013, 32(9):785-791.
- [16] Qi Y, Thapa K B, Hoadley A F A. Benefit of lignite as a filter aid for dewatering of digested sewage sludge demonstrated in pilot scale trials[J]. Chemical Engineering, 2011, 166(2):504-510.

Effect of sawdust and its conditioning mechanism on filtration dewatering of textile wastewater sludge

CHEN Bin, GAO Hua-sheng*, JI Wen-jie, ZHU Jian-jiong, YUE Yuan, YAO Min

(Faculty of Architectural, Civil Engineering and Environment, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The effect of sawdust conditioner on filterability of textile wastewater sludge is explored through vacuum filtration experiment. The results indicate that when sludge is conditioned by 100%DS (based on dry solid of sludge) sawdust, the specific resistance to filtration (SRF) decreases from initial $2.45 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ to $1.79 \times 10^9 \text{ s}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, and the sludge cake moisture declines from 85.87% to 74.29%, while the sludge cake mass increases by 28.24%. When sludge is conditioned by sawdust together with FeCl_3 or CaO , it is found that the SRF of sludge and the cake moisture both decrease while the sludge cake mass increases. The discussion on the mechanism of sawdust conditioning is conducted based on microstructure observation, cake compressibility and sludge-water equilibrium of sawdust-sludge mixture. It is verified that the roles played by the sawdust as skeleton builder proves controversial in sludge conditioning. On one hand, it may accelerate the sludge dewatering process and decrease the cake moisture, while on the other hand it may also increase the mass output of the sludge cake.

Key words: sawdust; textile wastewater sludge; conditioning; SRF

(责任编辑 章践立)