

试验研究

城市污泥脱水特性的试验研究

冯国红¹, 马赫¹, 李云涛², 孙素闪²

(1.太原科技大学环境与安全学院,山西,太原 030024;

2.陕西未来能源化工有限公司,陕西 榆林,719000)

摘要:采用均匀试验法设计城市污泥过滤脱水实验,分析了聚合氯化铝和生石灰对城市污泥过滤脱水性能的影响。结果表明:投加聚合氯化铝有利于更大絮体的形成,随着加药量的提高,污泥的比阻、压缩系数以及过滤时间均显著降低,最优剂量为 10wt % 左右;生石灰的添加破坏了污泥的絮体结构,提高了滤饼的渗透性,降低了污泥的压缩性和过滤阻力;对于超高可压缩的污泥,较高的过滤压力无益于脱水特性的改善。

关键词:聚合氯化铝;生石灰;过滤;城市污泥;均匀设计

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2018)01-0020-04

EXPERIMENT STUDY ON DEWATERING CHARACTERISTICS OF MUNICIPAL SLUDGE

FENG Guo-hong¹, Ma He¹, LI Yun-tao², SUN Su-shan²

(1.School of Environment & Safety, Taiyuan University of Science & Technology,

Taiyuan 030024, China; 2.Shanxi Prospective Energy CO., LTD Yulin 719000, China.)

Abstract:The effects of Polyaluminium Chloride (PAC) and lime on dewatering characteristics of municipal sludge were further studied with a series of experiments designed by Uniform design method. The addition of PAC results in forming larger flocs, and reduces the compressibility, specific resistance filtration time of sludge. The optimal PAC dose is about 10wt %. The addition of Lime destroys the structure of sludge floc, improves the porosity of filter cake, and decreases the compressibility and filtering resistance of sludge. High filtration pressure is not conducive to improve dewatering characteristics of Ultra-high compressible sludge.

Key words: Polyaluminium Chloride (PAC);lime; filtration;municipal sludge;Uniform design method.

近几十年来,随着城市污水处理厂的急剧增加,污水处理过程中产生的污泥量骤增。城市污泥由带负电荷的胶体颗粒组成,含有大量的微生物、细菌、无机颗粒以及大量的结合水,可压缩性大,过滤比阻大,因而过滤脱水性能较差,不经过任何

预处理很难脱水甚至无法脱水^[1,2],因此预处理是污泥脱水的先决条件。目前,强化污泥脱水的预处理方法主要包括化学调理和破解预处理,破解预处理主要包括热水解,冻融处理,碱热联合处理以及微波处理等^[3-5]。化学调理指在污泥中添加有机或无机絮凝剂,利用污泥颗粒与絮凝剂之间的相互作用以提高脱水性能。常用的有机絮凝剂包括聚丙烯酰胺,壳聚糖等,通常用于压力较低的离心分离和带式压滤机中,无机絮凝剂(聚合氯化铝、氯化铁,生石灰等)通常用于高压的板框压滤机中^[6,7]。另外,由于聚丙烯酰胺难于降解,长期滞留于环

收稿日期:2017-08-26

第一作者简介:冯国红(1981-),女,太原科技大学,副教授,博士,主要从事非相固液分离理论及实验研究。

基金项目:1.城市生物质废弃物流动行为及过滤压榨机理研究,山西省青年基金(2015021034);2.软固体类凝胶材料过滤及压榨动力学机理研究,国家自然科学基金项目(21606157);3.城市污泥流动行为及过滤压榨机理研究,太原科技大学博士启动基金,(20152014)。

境中,影响动植物生长,危害人类的身体健康,因此含有聚丙烯酰胺的物质不能直接排放。

尽管近年来过滤理论发展迅速,但由于影响因素众多,过滤依旧是一门高度依赖于实验的学科,针对不同物料,在大量试验的基础上,分析影响因素对过滤性能的影响,仍然是该学科的热门研究方向。对于污泥这类具有独特性质的物料,实验显得尤为重要。本文以城市污泥为研究对象,采用均匀设计方法设计过滤脱水实验,以过滤时间、滤饼固相质量含量、过滤比阻等为指标系统而深入的分析聚合氯化铝和生石灰改善污泥脱水性能的机理,从而确定最优的调理剂剂量。

1 实验部分

1.1 实验物料

实验所用污泥取自温州某城市污水处理厂增浓设备的出口,含水率 90 wt %左右,pH 值 6.8,聚合氯化铝(PAC)和生石灰均为分析纯。

1.2 实验装置

采用加压过滤脱水装置进行实验,该实验装置主要由过滤单元,压缩机、压力表、调节阀、控制柜等组成。其中,过滤单元直径 90 mm,滤液出口直径 6 mm,滤布型号 P750B,实验流程如图 1 所示。

将原污泥稀释至 5 wt %待用,聚合氯化铝调配成 20 g·l⁻¹ 的溶液,取其定量缓慢倒入稀释的污泥悬浮液中,以 250 r·min⁻¹ 机械搅拌 2 min 强化污泥与 PAC 的混合,随后以 50 r·min⁻¹ 搅拌 10 min 促进絮体的增长,最后,加入生石灰搅拌 5 min 形成均匀的污泥料浆。将调理好的污泥 250 ml 放入加压过滤装置,在 3×10⁵Pa 的压力下进行过滤操作,用电子天平连续测量滤液的质量,实验完毕后取出滤饼,将其捣碎并混合均匀,取部分置于 104 °C 烘箱烘 24 h,测量滤饼固相质量含量。为尽量减小误差,每组实验重复两次,取其平均值用于后续结果分析。

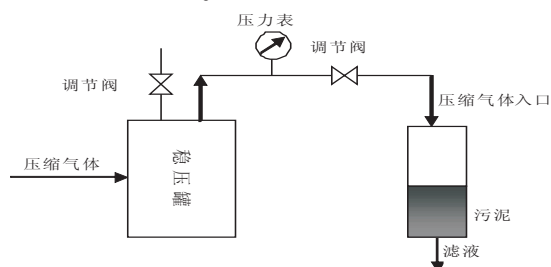


图 1 加压过滤实验流程

1.3 实验设计

采用均匀试验法设计城市污泥的脱水实验,考察聚合氯化铝以及生石灰的剂量对过滤过程的影响。均匀设计遵循均匀分布这一特点,与全面试验和正交试验相比,试验次数少是其最大优点。然而均匀设计的结果没有整齐可比性,不能采用一般的方差分析方法,通常需要利用回归分析或逐步回归分析的方法分析实验结果^[8]。

本文以滤饼固相质量含量(y1)、过滤时间(y2/min)、比阻(y3/m·kg⁻¹)以及压缩系数(y4)为最终的优化指标,考查聚合氯化铝和生石灰剂量(与污泥中干固相的质量百分比)对城市污泥脱水的作用,采用均匀试验设计表的使用表设计实验,各因素水平及实验结果见表 1。

表 1 均匀试验设计方案及实验结果

因素 序号	PAC/wt %	CaO/wt %	y1/wt %	y2 /min	y3×10 ¹² / m·kg ⁻¹	y4
1	1	3	26.74	15	17.5	1.19
2	2	6	29.44	6.1	5.6	0.71
3	3	2	24.02	8.4	8.4	0.89
4	4	5	27.19	4.6	3.2	0.73
5	5	1	24.24	20.7	2.5	1.09
6	6	4	22.7	2	1.8	0.96

$$y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i + \sum_{i=1}^n \alpha_{ii} x_i^2 + \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 / n \quad (2)$$

y_i 和 \hat{y}_i 分别为实验观测值和相应的模型预测值,n 为观测值的数目。 R^2 值越大, RMSE 值越小表明回归模型越精确。

本文采用 DPS 数据处理软件(7.05 版)对实验数据进行二次多项式回归分析,回归模型中的各参数,决定系数 R^2 和均方根误差 RMSE 见表 2。高的 R^2 值和低的 RMSE 表明回归模型精确,能够很好地预测城市污泥的脱水性能。

表 2 回归模型中的各参数

模型参数	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄
α_0	24.9	18.1	21.3	1.24
α_1	0.015	-0.457	-0.781	-0.05
α_2	0.025	-0.245	-0.299	-0.003
α_{11}	-0.005	0.033	0.056	0.003
α_{22}	0.0007	0.0025	0.003	-0.00003
α_{12}	-0.002	0.93	-0.017	-0.00009
R^2	0.93	0.86	0.87	0.95
RMSE	1.68	6.11	5.99	3.31

2 相对重要性分析

与回归模型系数不同,标准回归系数是将实验数据标准化后回归得到的系数,主要用于判断不同因素对各指标的相对重要性。图2为聚合氯化铝和生石灰对各指标的标准回归系数,可以看出除滤饼固相质量含量外,生石灰对其它各个指标变量的作用均为副作用且非常显著,与生石灰相比,聚合氯化铝的作用稍显逊色,下文将对二者的具体作用进行详细分析。

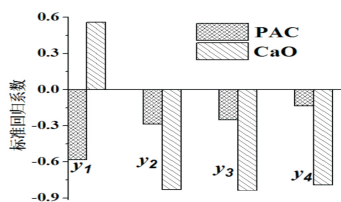


图2 标准回归系数

2.1 聚合氯化铝对脱水性能的影响

实验分析结果表明,对于各指标的二次回归模型其 R^2 值均在0.86以上,且RMSE值较低,表明均匀设计法用于设计城市污泥的过滤脱水实验具有较高的准确度,该二次回归模型可用于预测城市污泥的脱水性能。

聚合氯化铝对城市污泥过滤脱水性能的影响极其复杂,当生石灰的添加剂量为15wt%(与污泥中干固相的质量比)时,不同聚合氯化铝剂量对应的每个指标的预测值如图3所示。由图3可以看出,随着PAC剂量的增加,滤饼固相质量含量(y_1)逐渐减小;压缩系数(y_4)、比阻(y_3)以及过滤时间(y_2)呈现先增大后减小的趋势;其原因可归结如下。聚合氯化铝调理污泥时,起作用的并不是 Al^{3+} ,而是由 Al^{3+} 形成的多核络合物。在碱性环境下, Al^{3+} 形成金属多核络合物 $Al^{3+}(H_2O)_6$,该络合物吸附在带负电荷的胶体颗粒表面,并在颗粒间形成架桥,从而使粒子彼此凝结成团;另外在碱性环境下,不溶性的氢氧化铝将会析出,并包覆在颗粒上,使颗粒失去稳定性,聚集成较大的且结构紧凑的絮体,导致悬浮液的压缩系数降低,过滤阻力减小,过滤时间缩短,脱水性能得到改善。然而随着PAC剂量持续增至10wt%左右,比阻、过滤时间和压缩系数关系曲线中均出现拐点,表明该点即为最佳剂量。PAC过量时,污泥悬浮液中过量的金属多核络合物使部分污泥颗粒带上正电荷,颗粒相互排斥,继而重新稳定在污泥系统中,恶化污泥的脱水性能。

此外,污泥形成较大絮体的同时,部分水分被包裹在絮体内,而在 $3 \times 10^5 Pa$ 的加压过滤下,这部分水分不能够被除去,因而滤饼固相质量含量随PAC剂量的增加而降低,然而降幅并不明显,仅从25.4%降至22.8%(PAC剂量从0增至20wt%)。

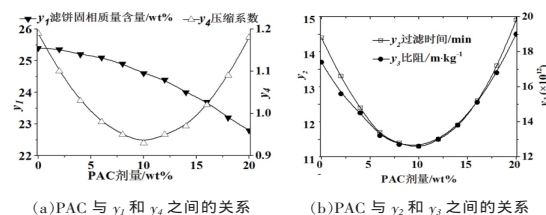


图3 聚合氯化铝对脱水性能的影响

2.2 生石灰对脱水性能的影响

标准回归系数表明,生石灰对改善城市污泥脱水性能的作用极其显著。当PAC的添加剂量为8wt%(与污泥中干固相的质量比)时,生石灰剂量与各指标之间的关系如图4所示。显然,除滤饼固相质量含量外,过滤时间、比阻、压缩系数均与石灰剂量成反作用。

一方面,生石灰作为一种碱性氧化物,与污泥中的液相接触时,放出热量,有利于污泥粘度的降低;另一方面,生石灰的添加,使污泥的细胞结构遭到破坏,被包裹在细胞内的间隙水被释放为自由水,提高了污泥的可脱水程度;此外,生石灰作为助滤剂,显著提高了污泥悬浮液的机械强度和渗透性能,使系统在过滤过程中仍能够保持多孔状态;改善了过滤脱水性能。随着生石灰剂量的加大,污泥的固相质量浓度增加,形成一种新的悬浮液(含有原污泥和石灰固体),而新的悬浮液反映的石灰特性越来越多,因而可获得较高固相质量含量的滤饼。

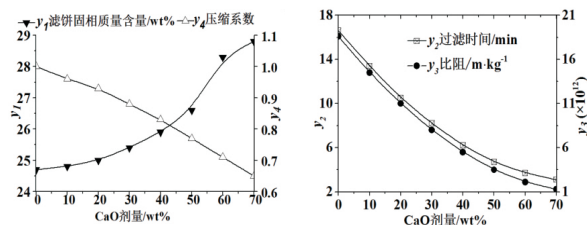


图4 生石灰对脱水性能的影响

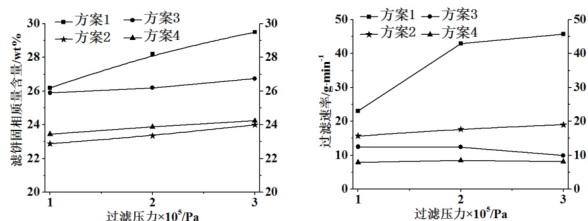
3 过滤压力对脱水性能的影响

压力是过滤脱水的推动力,对于不可压缩或难压缩物料,增加过滤压力能够提高滤饼固相质量含量,提高过滤速率,然而市政污泥属于超高可

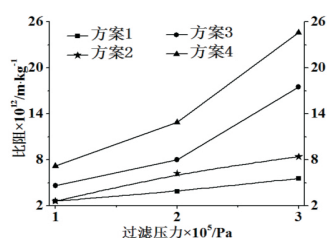
压缩物料,过滤压力的提高能否改善其脱水性能,下文将对其进行详细分析。图 5(a)~(c)为不同调理剂量情况下,过滤压力与滤饼固相质量含量、过滤速率以及比阻之间的关系。从图 5(a)中可以看出,随着过滤压力的提高,滤饼固相质量含量均有所改善,但改善幅度很小,当 PAC 添加剂量为 16wt % (方案 3,压缩系数为 1.1)时,增幅仅为 3.3 %,当聚合氯化铝和生石灰的添加剂量分别为 4wt %、75wt % (方案 1,压缩系数为 0.7)时,增幅最大但也仅为 11.1 %。可见较高的过滤压力对于改善城市污泥滤饼固相质量含量的作用非常小,甚至可以忽略。图 5(b)为过滤压力与过滤速率之间的关系,显然,对于调理方案 1 (压缩系数相对较低),较高过滤压力是有益的,过滤速率从 $23\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$ 增至 $46\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$,增幅达 100 %;而对于其它三种调理方案,较高过滤压力均不能改善过滤速率。这主要是由于在较高过滤压力下,滤饼与过滤介质界面处将会形成一层高度致密的薄膜,导致过滤比阻急剧增大^[10,11],如图 5(c)所示 (调理方案 2、3、4 的比阻均增加 3 倍左右)。可见,物料的压缩系数越高,过滤压力的提高对脱水性能的改善程度越小,甚至起到恶化作用。

4 结论

采用均匀设计法设计城市污泥的过滤脱水实验,深入研究了聚合氯化铝和生石灰对城市污泥过滤脱水性能的影响,为其实际应用提供了理论



(a) 过滤压力与滤饼固含量之间的关系 (b) 过滤压力与过滤速率之间的关系



(c) 过滤压力与比阻之间的关系

方案 1: PAC=4wt%, CaO=75wt% (n=0.7) 方案 2: PAC=8wt%, CaO=15wt% (n=0.9)
方案 3: PAC=0, CaO=30wt% (n=1.2) 方案 4: PAC=16wt%, CaO=0 (n=1.1)

图 5 过滤压力对脱水性能的影响

依据,主要结论如下:

(1) 相对重要性分析表明生石灰的作用比 PAC 更加显著,二者结合更有益于脱水性能的改善;

(2) 污泥的调理过程中存在最优的 PAC 剂量,本研究中其最佳投加剂量为 10wt% (与污泥中干固相的质量比)左右;

(3) 生石灰破坏了污泥的细胞结构,提高了污泥悬浮液的机械强度和渗透性,改善了污泥的过滤脱水性能,但应限制其大量使用,因其大量的投加,将增加过滤操作的负荷,给滤饼的后处理带来困难;

(4) 较高的过滤压力只对调理方案一 (PAC=4wt%, CaO=75wt%, n=0.7)的脱水特性有所改善,而对其它三种调理方案的改善效果甚微,可见对于超高可压缩物料,提高过滤压力无益于过滤脱水性能的提高。

参考文献

- [1] Qi Y, Thapa K B, Hoadley A F A. Application of filtration aids for improving sludge dewatering properties -A review [J]. Chem Eng J, 2011, 171: 373-384.
- [2] 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]. Chem Eng J, 2011, 166:504-510.
- [3] 李洋洋,李欢,金宜英. 碱热联合处理用于污泥强化脱水[J]. 高校化学工程学报,2010,24(4): 714-718.
- [4] 苏凤宜,邢新会,孙旭临. 过氧乙酸对剩余污泥的减容研究[J]. 高校化学工程学报,2004,8(18): 471-476.
- [5] Neyens E, Baeyens J. A review of thermal sludge pre-treatment processes to improve dewaterability [J]. J Hazard Mater, 2003, 98: 51-67.
- [6] Novak J T, Agerbaek M L, Sorensen B L, et al. Conditioning, filtering, and expressing waste activated sludge [J]. J Environ Eng, 1999, 125: 816-824.
- [7] 冯长根,王亚军,王丽琼,安琴,游少雄. 均匀设计法在汽车催化剂制备工艺研究中的应用[J]. 现代化工, 2000,20(9):38-41.
- [8] 毕爱红,朱金华,李定国,文庆珍. 复合掺杂 VO₂ (M) 的实验设计及光电特性研究[J]. 现代化工, 2010,30(10):53-55.
- [9] 方开泰. 均匀设计与均匀设计表[M]. 北京: 科学出版社,1994.
- [10] Tiller, F. M.; Kwon, J. H. The role of porosity in filtration: XIII. Behavior of highly compactible cakes [J]. AIChE Journal,1998, 44, 2159-2167.
- [11] Raynaud, M., Vaxelaire, J., Heritiera, P., Baudez, J.-C. Activated sludge dewatering in a filtration compression cell: deviations in comparison to the classical theory[J]. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, 2010, 5, 785-790.