

掺加页岩后污泥沉降浓缩效果与利用

钱觉时, 岳燕飞, 谢从波, 陈 伟

(重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400045)

摘要:改善污水污泥浓缩和脱水性能有利于污泥的处置和利用。试验研究了页岩细度和掺量在污泥沉降浓缩过程中的作用。结果显示,页岩粉细度为 250~150 μm ,掺量 $\leq 5\%$ 时,掺加页岩粉可改善污泥沉降浓缩性能,沉降浓缩后污泥体积没有明显增加;掺加 5%页岩的污泥沉降浓缩后含水率可控制在 80%左右,经过离心脱水后含水率可降低至 60%以下。试验结果还表明,虽然掺加页岩的污泥脱水后体积有一定程度增加,但可以明显改善污泥的性态,减少资源化利用中与页岩混合过程,还能明显降低污泥的气味;经页岩改性后浓缩脱水得到的污泥能用于烧制轻质陶粒。

关键词:污泥;页岩;沉降;浓缩;陶粒

中图分类号:X705 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2010)02-0140-05

Thickening Properties and Utilization of Sewage Sludge Modified by Shale

QIAN Jue-shi, YUE Yan-fei, XIE Cong-bo, CHEN Wei

(College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: It is beneficial for disposal and utilization to improve thickening and dehydration properties of sewage sludge. The influence of dosage and fineness of shale on sludge settlement were investigated experimentally. And It was shown that the addition of shale could improve the sludge thickening without volume increment when the shale dosage with fineness of 250~150 μm was less than 5%. The moisture content of thickened and dehydration sludge with 5% shale dosage were 80% and less than 60%, respectively. The addition of shale during the sludge settlement could improve the uniformity of the mixture of sludge and shale, which was favorite for producing building materials, and alleviate the smell of sludge in despite of increase in some extent in volume after dehydration. The dehydrationsludge modified by shale could be used as raw materials to produce excellent expanded shale.

Key words: sewage sludge, shale, settling, thickening, expanded shale

污泥处理与处置是城市生活污水处理一个非常重要的环节,通常其运行成本占整个污水处理厂总运行成本的 20%~50%,甚至高达 70%左右^[1]。2007 年末已产生含水率 80%的污泥 1 500 万 t^[1-2],并以每年 5%~10%的速度增长^[3]。污泥处理主要包括浓缩、消化、脱水等工艺,其目的是降低污泥含水率,减小污泥体积,以减轻后续处理的压力^[4]。污泥浓缩方法以重力浓缩应用最为广泛,其是污泥在重力场作用下通过自然沉降而分离的方式。污泥重

力浓缩后含水率为 95%~97%,还需要进一步降低含水率,可采取压滤、离心等方式将其含水率控制在 80%左右。经过浓缩和脱水后的污泥呈“胶状”,含水率 80%的污泥总体质量比实际固含量多 4 倍,其体积也是干态污泥的 4~5 倍^[5]。

降低含水率只是污泥减容减量的一个环节,最终目标则应是污泥的处理与资源化。污泥建材资源化是污泥利用的重要甚至是根本方向^[6-7],因为污泥的建材资源化不仅利用污泥量大,而且污泥建材生

收稿日期:2009-12-12

基金项目:国家 863 项目(2007AA03Z553);重庆市科技攻关项目(CSTC2007AB7043)

作者简介:钱觉时(1962-),男,教授,主要从事固体废物资源化、建筑材料研究,(E-mail)qianjueshi@163.com。

产和使用的的环境影响最小^[8]。已有研究者采用经过干燥的污泥或煅烧污泥,与粘土或者页岩混合烧制陶粒或烧结砖^[9-12],还有研究者则提出了一些其他设想^[13-14]。前期研究结果^[7]显示,直接采用含水率80%左右的污泥与页岩混合烧制建材制品将是污泥资源化有效途径之一,因为页岩在通常使用过程中必须加入足够水分才能获得所需塑性,而与污泥混合就不需要外加水分,污泥中的有机物还能补充页岩烧制制品生产过程中的能耗。然而,污泥加入页岩或粘土中需要充分混合,烧制后的制品性能才能有所保证,但混合工艺通常比较复杂,特别是与含水率较高的“胶状”污泥混合比较困难。因此,本文结合污泥页岩建材制品的配料等要求,在污泥沉降浓缩阶段加入页岩,研究页岩对污泥沉降浓缩性能的影响以及污泥页岩混合物烧制陶粒的可行性,认识页岩在污泥处理和资源化方面的作用。

1 原材料及试验方法

1.1 原料

污泥为重庆市某污水处理厂沉淀池污泥,其化学组成与主要性质见表1。页岩为取自重庆市涪陵区硬质页岩,含水率3%,磨细后分别筛出850~425 μm、425~250 μm、250~150 μm、150~80 μm及小于80 μm的页岩粉备用,化学成分见表2。

表1 污泥的性质及主要化学组成

其它性质		化学成分/%				
含水率/%	pH	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O
99.43	6.96	39.50	30.43	11.17	4.77	1.51

表2 页岩的主要化学成分/%

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	SO ₃
59.95	15.31	5.66	4.09	2.54	0.80	0.01

1.2 试验方法

1) 沉降试验 将污泥与一定细度的页岩混合搅拌3 min后倒入标有刻度的玻璃量筒至一定高度,用秒表开始计时,记录不同时刻泥水界面的刻度。

2) 脱水试验 沉降稳定后,记录上层清液与下层污泥的体积读数,然后分离清液与污泥。污泥离心脱水采用TDL80-2B式离心机,转速为2 000 r/min,脱水时间15 min,测量污泥脱水前后的含水率、体积、质量等。

3) 烧制陶粒 将脱水污泥与页岩混合均匀或采用污泥页岩混合物,再经过成球、干燥、预热然后在高温电炉中进行烧制。污泥页岩混合物含水率较高,预热时间适当延长^[7]。

2 试验结果与讨论

2.1 页岩掺量对污泥沉降性能的影响

页岩颗粒有一定的吸附作用,对污泥颗粒也有絮凝作用,因此页岩掺入污泥会使得污泥页岩很容易团聚,加速污泥颗粒沉降,还能减少沉降过程中的上浮、膨胀等现象。从减容角度来看,污泥中的页岩加入量越低越好,但考虑到烧制建材制品的性能要求,页岩掺量还应达到一定比例。通常含水率80%的污泥在污泥页岩混合物中的质量百分比不宜超过50%,最低掺量不少于15%,即干基污泥最佳掺量在4%~17%之间。

试验用粒径大于150 μm的页岩颗粒,这是页岩通常比较容易粉磨至的细度。图1是加入页岩后的污泥自然沉降特性曲线测试结果,为比较沉降后污泥体积变化,沉降曲线均以泥水界面刻度读数作图。页岩按含水率99.43%污泥的质量百分比外掺,分别为1%、3%、5%、10%、20%、30%,页岩与干基污泥百分比为1.75:1、5.26:1、8.77:1、17.5:1、35:1、52.6:1。图1试验结果显示,页岩掺量1%时污泥页岩混合物沉降速度比纯污泥更快,且各时刻的体积比纯污泥的要小;页岩掺量5%时,沉降10 min后体积就与纯污泥比较接近,相对3%的页岩掺量,污泥页岩混合物体积反而减小,甚至100 min后体积还小于纯污泥的体积;页岩掺量10%时,沉降20 min后也基本稳定,体积相比纯污泥有较大增加;页岩掺量20%和30%时,污泥页岩混合物沉降稳定后的体积则要高出纯污泥体积的1倍以上。图2是不同页岩掺量时污泥页岩混合物的沉降析水率的测试结果。从图2可以看出,页岩掺量小于10%时,混合物绝对析水率是增加的,说明掺加页岩有利于污泥中水分的析出。

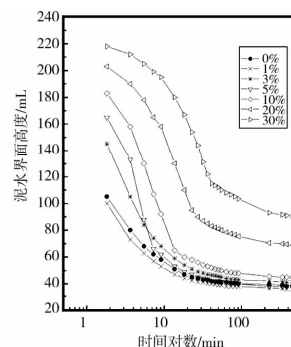


图1 页岩改性对污泥沉降特性的影响

2.2 页岩细度对污泥沉降性能的影响

页岩细度也可能影响污泥的沉降性能。图3是页岩掺量均为30%而细度不同时的污泥页岩混合物沉降曲线。为了较大范围内比较细度的影响,试验采用页岩细度分别为850~425 μm、425~250 μm、250~150

μm, 150~80 μm 和 <80 μm 的 5 种情况。

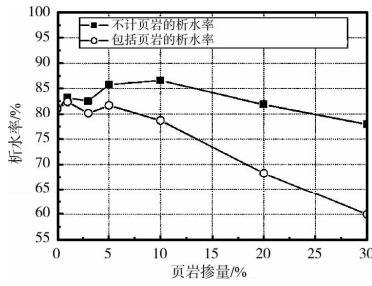


图 2 污泥页岩混合物沉降析水率随页岩掺量的变化

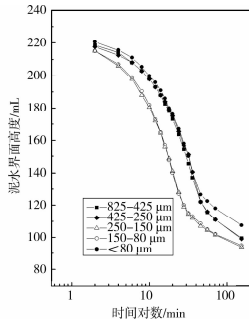


图 3 页岩细度对污泥页岩混合物沉降的影响

从图 3 可以看出,当页岩细度为 250~150 μm 和 150~80 μm 时,沉降速度最快,当页岩细度小于 80 μm 时,沉降速度反而较慢。通常页岩越细,分散程度越高,与污泥颗粒形成团聚体也就越多,因此沉降速度越快。但页岩过细,分散程度更高时,表面积过大的页岩也同时易于吸附水分并将其包裹其中,因此沉降速度反而降低。

2.3 沉降高度对污泥页岩混合物沉降性能的影响

图 4 为不同沉降高度时污泥页岩混合物沉降性能的试验结果。试验采用粒径 >150 μm 的页岩,掺量为 5%,将页岩与污泥搅拌后分别取 100 mL、150 mL、200 mL 的混合物进行沉降试验,以比较页岩在不同沉降高度时对污泥沉降性能的影响。同时还测试了不同高度纯污泥的沉降曲线,见图 5。为了比较不同沉降高度的影响,沉降性能以固液界面高度相对初始高度的百分比来表示,初始高度百分比均为 100%。

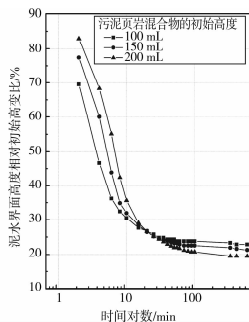


图 4 不同高度污泥页岩混合物的沉降曲线

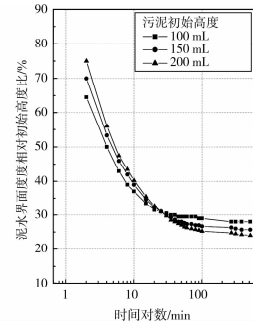


图 5 不同高度纯污泥的沉降曲线

从图 4 和图 5 的试验结果可以看出,沉降高度越高时,污泥或污泥页岩混合物初始的沉降速度较慢,但超过 20 min 后沉降速度增加,而且沉降高度越高时,页岩的加入还有利于最终污泥体积降低。实际污泥的沉降高度高达数米,因此页岩的加入可能将更加有利于污泥沉降和最终污泥体积的减小。

2.4 页岩改性后污泥浓缩脱水后的体积变化

在污泥中掺加页岩可以一定程度改善污泥沉降性能,同时能抑制污泥刺激性气味的挥发,而且能使污泥页岩混合充分,有利于污泥建材资源化利用,但页岩加入不能显著增加污泥页岩混合物的体积,不然会大幅度增加后续运输或储存费用。

图 6 是不同页岩掺入量的污泥页岩混合物沉降和离心脱水后的密度测试结果。从图 6 可以看出,页岩的加入将使得沉降和脱水后混合物密度明显增加;页岩掺量在一定范围内时污泥页岩混合物体积增加不明显;页岩掺量超过一定范围时,虽然沉降和脱水后污泥页岩混合物密度还将增加,但增加幅度较小,因此体积增加就比较明显了。从改性和资源化利用角度,页岩掺加量应控制在一定范围内。图 7 是不同页岩掺量的污泥页岩混合物的沉降和脱水后的含水率测试结果。

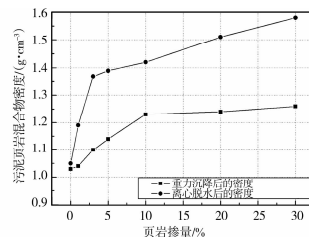


图 6 污泥页岩混合物密度随页岩掺量的变化

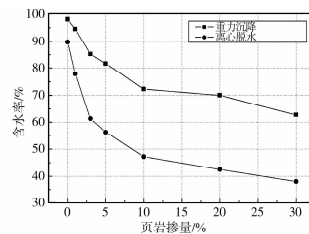


图 7 污泥页岩混合物含水率随页岩掺量的变化

从图7试验结果可以看出,污泥页岩混合物的含水率无论是自然沉降还是离心脱水后都有非常明显的降低。页岩掺量为5%时,沉降稳定后的混合物含水率就接近80%,与纯污泥经过压滤脱水等处理后的含水率相当,已经达到可以不需要进一步脱水就能进行后续处置或利用的状态,而再经过离心脱水后混合物的含水率已经降低到60%以下。当页岩掺量为10%,沉降后混合物含水率接近70%,而离心脱水后含水率低于50%。图8是不同页岩掺量时污泥页岩混合物的质量和体积变化情况。

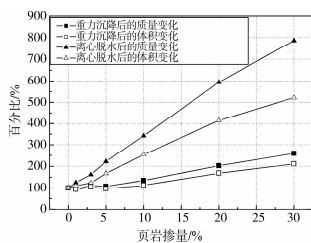


图8 页岩掺量对污泥页岩混合物的质量与体积变化的影响

从图8可以看出,在页岩掺量为10%以下时,沉降后混合物的质量和体积变化都不太明显,这说明页岩的加入量在一定范围内,并不会增加污泥沉降后的质量和体积,即使页岩掺量达到30%时,沉降后污泥页岩混合物的体积才增加1.2倍;页岩掺量为5%时,混合物脱水后体积增加70%左右;当页岩掺量达到10%时,混合物脱水后体积已增加了1.5倍。由于页岩加入污泥页岩混合物脱水后的密度显著增加,因此随页岩掺量增加,污泥页岩混合物质量的增加幅度更大。从减容角度来看,页岩掺量在5%以下是完全可以接受的,页岩掺量超过5%后虽然质量和体积都明显增加,但考虑到污泥刺激性气味去除效果,这种体积增加仍是可以接受的。表3为纯污泥和页岩掺量为5%时的上层液体性质比较。可以看出,页岩改性后上层液体的pH有所增加,COD浓度有一定降低,部分重金属离子有所降低。

表3 上层液体性质

	pH	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	重金属浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)			
			Cr^{6+}	Pb^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}
纯污泥	6.96	468	0.1	0.01	0.01	0.03
5%页岩改性污泥	7.25	380	n. d.	0.01	0.02	0.01

2.5 污泥页岩混合物的资源化利用

从图7可以看出,页岩改性并经沉降或脱水后的混合物含水率大幅度降低,相比于纯污泥沉降后高达95%和离心脱水后接近90%的含水率,污泥页岩混合物的性态发生了非常大的变化。同时,污泥

页岩混合物外观颜色也与页岩比较类似,沉降后比较密实,因此恶臭气味得到明显缓解。污泥页岩混合物性态的改变不仅有利于运输和处置,也有利于资源化利用,如用作为肥料时不需要预处理就可以直接使用。

页岩是一类含水率比较低的岩石,在自然界中储量丰富,采用页岩生产烧结砖和陶粒等建材制品已得到非常广泛的应用,特别是在国家出台保护耕地禁止粘土砖生产的政策前提下,页岩烧结制品已经成为非常重要的建材制品。从表1和表2来看,页岩与污泥的无机成分非常相近,主要为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 等,即使页岩掺量比较小时,污泥页岩混合物中的干态污泥总量比较低,无机组分更低,因此对页岩组成影响比较小,不会明显影响页岩作为建筑材料生产的原材料的组成要求。而污泥页岩混合物的混合过程因为在流质中进行已非常均匀,因此污泥中的有机物不仅可以作为内掺燃料而且能均匀分散。一般页岩都可以用于生产烧结砖制品,但很多页岩烧胀性能较差难以用于烧制轻质陶粒,而页岩与污泥混合后因为含有一定量的有机物,如果页岩有一定量的 Fe_2O_3 组分,则可以改善页岩的烧胀性能^[15]。

污泥页岩混合物可作为烧制轻质陶粒的重要原材料。表4给出的是采用污泥页岩混合物烧制的轻质陶粒性能的试验结果。试验选择页岩掺量5%(页岩:干基污泥=8.77:1)的污泥页岩混合物,经过自然沉降、离心脱水,再按照成球、烘干、预热、焙烧等过程在高温电炉中进行烧制,预热温度 400°C ,预热15 min,然后 1150°C 下焙烧10 min。同时,以来源相同的含水率为82%的脱水污泥与相同细度页岩粉混合,污泥页岩比为3:7,按同样工艺条件烧制陶粒,陶粒性能也列于表4。从表4可知,在污泥沉降阶段加入页岩改性的污泥页岩混合物可以烧制性能优良的轻质陶粒,而且相比脱水污泥与页岩粉混合后的混合物烧制的陶粒具有更高的颗粒强度,这主要是因为污泥沉降阶段加入页岩使得污泥页岩混合非常充分。

表4 陶粒性能指标

原料类型	页岩改性 污泥	普通污泥 页岩混合物
污泥干基含量/%	10.2	6.6
表观密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	740	738
1 h吸水率/%	5.2	5.8
颗粒强度/N	410	214

3 结论

1) 在污泥重力浓缩阶段掺加磨细页岩可以改善污泥的沉降性能。页岩掺量 5% 时, 沉降稳定后含水率为 81%, 与纯污泥压滤脱水后的含水率相近, 同时刺激性气味已明显缓和。

2) 采用粒径大于 150 μm 的页岩和增加沉降高度, 更有利于污泥页岩混合物的沉降。

3) 污泥页岩混合物沉降后密度明显增加, 页岩掺量不超过 5% 时, 混合物体积和质量与纯污泥相比没有明显变化, 离心脱水后体积增加量小于 60%。

4) 在污泥浓缩阶段掺加页岩得到的污泥页岩混合物, 可以烧制颗粒密度为 740 kg/m^3 的轻质陶粒。

参考文献:

- [1] 尹军, 谭学军. 污水污泥处理处置与资源化利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2007 年城市、县城和村镇建设统计公报 [EB/OL]. http://www.china001.com/show_hdr.php?xname=PPDDMV0&dname=292DK41&xpos=8, 2009-02-21.
- [3] 赵伟, 张林生, 王军. 页岩砖生产过程中用城市污泥为部分原料的试验研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2005, 6(4): 40-43.
ZHAO WEI, ZHANG LIN-SHENG, WANG JUN. Application of municipal sewage sludge in the process of sintering shale brick[J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2005, 6(4): 40-43.
- [4] 胡锋平, 朱自伟, 李伟民, 等. 城市污水处理厂污泥浓缩工艺的应用与发展趋势[J]. 重庆建筑大学学报, 2004, 26(5): 124-127.
HU FENG-PING, ZHU ZI-WEI, LI WEI-MIN, et al. Application and trend of development of sludge thickening technology in municipal wastewater treatment plant [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2004, 26(5): 124-127.
- [5] 杨小文, 杜英豪. 国外污泥干化技术进展[J]. 给水排水, 2002, 28(2): 35-36.
YANG XIAO-WEN, DU YING-HAO. The development of foreign sludge drying techniques [J]. Water & Wastewater Engineering, 2002, 28(2): 35-36.
- [6] 汪靓, 朱南文, 张善发, 等. 污泥建材利用现状及前景探讨[J]. 给水排水, 2005, (3): 40-44.
WANG LIANG, ZHU NAN-WEN, ZHANG SHAN-FA, et al. Discussion on the present situation and prospect of using sludge as building materials [J]. Water & Wastewater Engineering, 2005, (03): 40 - 44.
- [7] 钱觉时, 吕剑, 范英儒, 等. 污水污泥页岩陶粒及其制备方法: 中国, CN 101186485A[P]. 2008-05-28.
- [8] 黄晓庆, 黄少斌, 杨顺汉. 污泥的特性与建筑材料资源化利用[J]. 粉煤灰, 2006(1): 45-48.
HUANG XIAO-QING, HUANG SHAO-BIN, YANG SHUN-HAN. The properties of slurry and resourclalized utilization of building materials[J]. Coal Ash China, 2006(1): 45-48.
- [9] GUOREN XU, JINLONG ZOU, GUIBAI LI. Ceramsite made with water and wastewater sludge and its characteristics affected by SiO_2 and Al_2O_3 [J]. Environ. Sci. Technol., 2008, 42 (19): 7417-7423.
- [10] NAGAHARU OKUNO, SHIRO TAKAHASHI. Full scale application of manufacturing bricks from sewage [J]. Wat. Sci. Tech, 1997, 36(11): 243-250.
- [11] WENG C H, LIN D F, CHIANG P C. Utilization of sludge as brick materials [J]. Advances in Environmental Research, 2003, 7(3): 679-685.
- [12] LAURSEN K, WHITE T J, CRESSWELL D J F, et al. Recycling of an industrial sludge and marine clay as light-weight aggregates [J]. Journal of Environmental Management, 2006, 80(3): 208-213.
- [13] 虞伟权. 污泥焚烧残渣制备水处理药剂的应用研究[J]. 给水排水, 2009, 35(1): 68-71.
YU WEI-QUAN. Study on application of wastewater treatment additive made by sludge incineration residue [J]. Water & Wastewater Engineering, 2009, 35(1): 68-71.
- [14] 阮晓峰, 胡欢, 吴海华, 等. 利用污水处理厂废弃污泥种植裂叶喜林芋的可行性初步研究[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2009, 48(3): 406-408.
RUAN XIAO-FENG, HU HUAN, WU HAI-HUA, et al. A Preliminary Study on the Growth of Philodendron selloumin the Excess Sludge of Sewage Treatment Plants [J]. Journal of Fudan University: Natural Science, 2009, 48(3): 406-408.
- [15] RILEY CM. Relation of chemical properties to bloating of clays [J]. American Ceramic Society, 1951, 34(4): 121-128.

(编辑 王秀玲)