

# 改性 EPS 颗粒在疏浚淤泥混合轻量土中的应用

浩婷, 周颜, 田宇, 吴燕

(天津科技大学 材料科学与化学工程学院, 天津 300457)

**摘要:** 利用经过自制改性剂处理的 EPS(聚苯乙烯泡沫塑料)颗粒制作了复合固化剂, 将其与渤海湾疏浚海泥按不同配混合, 制备了疏浚淤泥混合轻量土。通过接触角测量及扫描电镜试验分析了改性剂对 EPS 表面性能的影响, 并研究不同量改性剂改性 EPS 颗粒对轻量土密度、压缩强度及压缩屈服应变的影响。结果表明: 改性剂可有效增加 EPS 颗粒与淤泥土壤颗粒界面的亲和性, 提高和易性与施工性能, 提升轻量土结构稳定性; 当改性剂掺入量为 EPS 颗粒质量的 0.33% 时, 所得改性 EPS 颗粒能够有效增加轻量土压缩强度, 小幅度降低轻量土密度, 但是对压缩屈服应变影响效果不明显。

**关键词:** 疏浚淤泥; 改性 EPS 颗粒; 复合固化剂; 轻量化处理

**中图分类号:** U412 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)04-0143-04

## Application of Modified EPS Particles in Lightweight Soil Mixed with Dredged Sludge

HAO Ting, ZHOU Yan, TIAN Yu, WU Yan

(School of Materials Science and Chemical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** The compound stabilizer was made using the EPS (expanded polystyrene) particles treated by self made modifier and then mixed with the dredged sludge from the Bohai Bay in different mixing ratios to obtain the lightweight soil mixed with dredged sludge. The effects of modifier on the surficial properties of EPS particles were analyzed using the contact angle measurement and scanning electron microscopy (SEM) test, and the impacts of EPS particles with different quantities of modifier on the density, compression strength, and compression yield strain of the lightweight soil were investigated. The results indicated that the introduction of modifier can enhance the combination ability of EPS with sludge particles and improve the workability and structural stability of lightweight soil. When the quantity of modifier was 0.33% of that of EPS particles, the compression strength of lightweight soil increased while the density of lightweight soil decreased, but the effect on compression yield strain was insignificant.

**Key words:** dredged sludge; modified EPS particles; compound stabilizer; lightweight process

我国是海岸线很长的国家, 随着沿海经济的发展和全球化进程的加快, 在沿海岸的许多地方淤积了大量海泥, 造成了非常严重的海域污染和航道阻塞现象。为保证航道、港口的畅通, 包括我国在内的世界各国都在开展大规模的疏浚和清淤工程, 从而产生大量的疏浚淤泥, 并且呈逐年增多的趋势<sup>[1-2]</sup>。对于这些疏浚淤泥, 若堆放则占用大量土地; 若抛到外海, 会严重影响海洋资源的有效利用, 对海洋环境造成不可弥补的破坏<sup>[3]</sup>。由于海泥含盐量高、颗粒细小、含水率高、塑性指数大, 在建材及种植土资源化利用方面因工程造价高而不能大规模推广。目前, 只有轻量化处理, 才是既

经济又环保且处理量大的疏浚淤泥资源化利用方式<sup>[7]</sup>。

疏浚淤泥轻量化处理技术<sup>[8]</sup>是一种将疏浚淤泥、废弃泡沫塑料、工业废料等废弃物通过加入水泥、粉煤灰等固化剂, 并按一定比例配制固化而成的一种新型土工材料制作技术, 制作的材料具有质量轻、强度可调节、施工简便及造价低等优点, 在地基处理、边坡工程、管道填埋、道路扩建、挡土墙后的填料、压实施工的回填等工程应用中取得了较好的效果<sup>[9-11]</sup>。疏浚淤泥轻量化处理不仅可以产生综合性的技术经济效益, 而且对于环境保护、资源再生利用和经济的可持续发展具有重要的现实意义。

收稿日期: 2013-12-04 修回日期: 2014-02-24 网络出版时间: 2014-06-11

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.04.001.html>

作者简介: 浩婷(1991-), 女, 陕西汉中, 硕士, 主要从事疏浚淤泥的资源化利用。E-mail: haoting333@126.com

通讯作者: 吴燕(1976-), 女, 湖南岳阳人, 副教授, 博士, 主要从事胶体与表面化学研究。E-mail: wuyua@tust.edu.cn

传统的疏浚淤泥轻量化处理是直接废弃泡沫塑料加入到疏浚淤泥中进行搅拌混合<sup>[12-14]</sup>, 由于废弃泡沫塑料为非极性轻质憎水性材料, 容重很小, 且与疏浚淤泥亲和力小, 界面粘接力弱, 所以在搅拌过程中很容易造成 EPS (聚苯乙烯泡沫塑料) 颗粒“上浮”, 从而使土体出现明显的分层或离析, 严重影响其和易性和施工性能<sup>[15-16]</sup>。本研究使用一种自制改性剂, 使 EPS 颗粒进行表面改性, 从而改善 EPS 颗粒在疏浚淤泥混合轻浆土中的应用效果, 以及疏浚淤泥混合轻浆土的性能。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

采用渤海湾疏浚海泥作为原料土, 含水率 42.02%; 复合固化剂, 实验室自制; 聚苯乙烯 (EPS) 颗粒作为轻质材料并利用改性剂 (实验室自制) 改性, 粒径 2~3 mm, 堆积密度 0.023 g/cm<sup>3</sup>, 颗粒密度为 0.0613 g/cm<sup>3</sup>; 制样时称取一定量的海泥于直径为 5 cm 圆柱形容器中, 按照设计好的配比加入固化剂和改性 EPS 颗粒, 搅拌混匀后, 置于室内养护至设计龄期进行试验。

主要仪器: JJC-1 型润湿角测量仪、DSA 30 接触角测量仪、JSM 6380LV 型扫描电镜 (SEM)、CMT 4503 型微机控制电子万能试验机。

### 1.2 EPS 颗粒表面改性

将废弃的泡沫切成薄片, 在薄片上滴加一小滴改性剂, 将薄片放于润湿角测量仪的载物玻璃片上, 调整光源的亮度以及载物片的高度; 通过显微镜观测改性剂在泡沫上的润湿情况, 选定改性剂。

用粉碎机将废弃的聚苯乙烯泡沫粉碎成颗粒状, 称取一定量 EPS 颗粒, 配制不同浓度改性剂, 向 EPS 颗粒分别均匀喷洒 EPS 颗粒质量的 0.16%、0.2%、0.25%、0.33% 的改性剂, 搅拌均匀, 于 50 °C 真空烘箱中烘至恒重, 即得改性 EPS 颗粒。

### 1.3 轻浆土试样制备

轻浆土的制备方法为将不同配比原料混合, 搅拌均匀, 将泥的表面压实、压平并密封, 置于室内自然环境下养护, 龄期分别为 3、7、14、21、28 d。分析不同配比及养护龄期对轻浆土密度、压缩强度、压缩屈服应变的影响。

### 1.4 试件测试

采用 DSA 30 接触角测量仪对改性前后 EPS 进行表面性能表征; 采用 JSM 6380LV 型扫描电镜 (SEM) 对改性前后 EPS 颗粒混合轻浆土断面进行微观性能表征。试样密度按下式计算:

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h} \quad (1)$$

式中:  $m$  为试样质量 (g);  $d$  为试样直径 (cm);  $h$  为试样高度 (cm);  $\rho$  为试样密度 (g/cm<sup>3</sup>)。

采用 CMT 4503 型微机控制电子万能试验机对样品进行压缩强度、压缩屈服应变等力学性能检测。

## 2 结果与讨论

### 2.1 改性剂对 EPS 表面性能的影响

图 1(a)、图 1(b) 分别为改性前后 EPS 与水的接触角测

量结果。改性前 EPS 与水的接触角在测量瞬间 (0 s) 和最终 (10 s) 均为 103°, 改性后 EPS 与水接触角在测量瞬间 (0 s) 和最终 (10 s) 分别为 90.7° 和 57.8°。可见, 改性剂的引入能使 EPS 颗粒的表面由疏水界面转变为亲水界面, 从而有效增强 EPS 颗粒与淤泥土壤颗粒界面的亲和性, 产生更好的和易性和更便捷的施工性能。

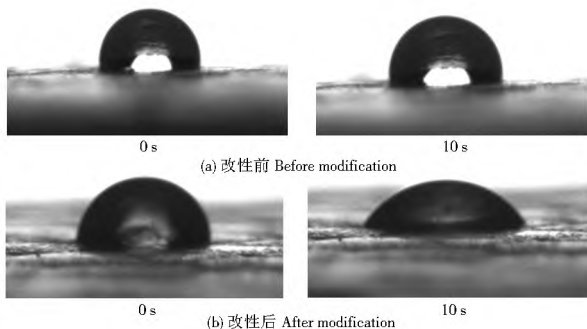


图 1 EPS 改性前后与水瞬间 (0 s)、最终 (10 s) 接触角

Fig. 1 Contact angles of EPS at 0 s and 10 s before and after modification

图 2 分别为淤泥原样、EPS 轻浆土和改性 EPS 轻浆土的 SEM 照片。由图 2 可见, 淤泥原样干化后, 土壤颗粒板结, 密度较大, 几乎没有裂缝; EPS 轻浆土, 将 EPS 颗粒与淤泥土壤颗粒的相界面放大 20 倍, 即可见 EPS 颗粒与淤泥土壤颗粒之间存在明显的裂缝, 结构松散, 说明未改性的 EPS 颗

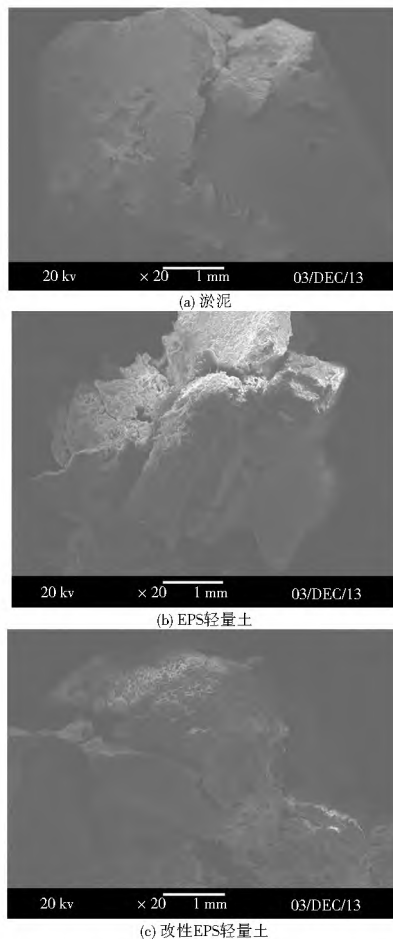


图 2 EPS 颗粒与淤泥界面 SEM 照片

Fig. 2 SEM photos of interface between EPS particle and sludge

粒与淤泥和易性差,混合不均匀;改性 EPS 轻量土中,改性 EPS 颗粒与淤泥界面结合更为紧密,裂缝数量大大减少,表明改性剂的引入能够有效增加 EPS 颗粒的与淤泥土壤颗粒界面的黏结力。

## 2.2 改性剂用量对轻量土力学性能影响

### 2.2.1 改性剂用量对轻量土密度影响

图 3 为改性剂用量对轻量土密度影响的关系。可以看出:随着改性剂加入量的增加,轻量土的密度呈明显的下降趋势;随着养护时间的延长,轻量土的密度降低,在 0.851~1.064 g/cm<sup>3</sup> 范围变化,符合工程上对混合轻量土小密度的要求。当改性剂加入量为 0.33% 时,样品的密度在不同养护期均是最低,最小密度达 0.851 g/cm<sup>3</sup>。轻量土的密度主要由混入的 EPS 颗粒的加入量和混合均匀程度决定,改性剂的引入能有效改善 EPS 颗粒与淤泥的和易性,使 EPS 颗粒均匀分散于淤泥体系中,使轻量土尺寸更稳定,密度更低。

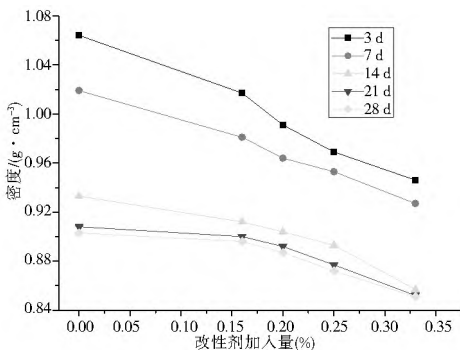


图 3 改性剂加入量对轻量土密度的影响

Fig. 3 Effects of the quantity of modifier on the density of lightweight soil

### 2.2.2 改性剂用量对轻量土压缩强度影响

图 4 为改性剂用量对轻量土压缩强度的影响。可以看出:随着改性剂加入量的增加,轻量土的压缩强度呈明显上升趋势;随着养护时间的延长,轻量土的强度增大。不加改性剂的轻量土,养护 28 天的压缩强度为 0.61 MPa,当改性剂加入量为 0.33% 时样品的压缩强度在不同养护期均是最高,养护 28 天达 0.885 MPa,相比不加改性剂的样品压缩强度提升了 45%。研究表明,引入改性剂改性 EPS 颗粒,能够增加 EPS 颗粒与淤泥界面粘结强度,使轻量土体系结构更稳定,压缩强度更高。

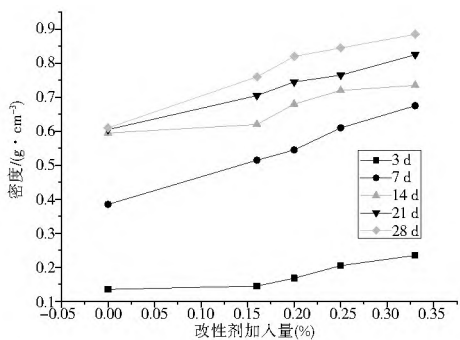


图 4 改性剂加入量对压缩强度的影响

Fig. 4 Effects of quantity of modifier on compression strength of lightweight soil

### 2.2.3 改性剂用量对轻量土压缩屈服应变影响

图 5 为改性剂用量对轻量土压缩屈服应变的影响。可以看出,改性剂加入量对不同龄期下样品压缩屈服应变影响趋势基本相同,随着加入量的增大,屈服应变略微上升,但变化幅度不大,轻量土压缩屈服应变基本在 25.8%~27.0% 范围波动,波动幅度小于 5%,说明改性剂加入量对轻量土压缩屈服应变的影响不是很明显。

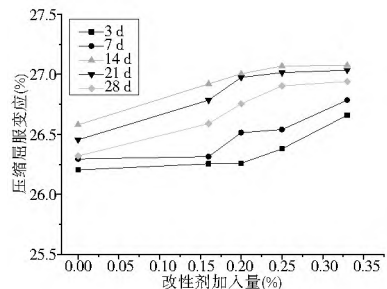


图 5 改性剂加入量对压缩屈服应变的影响

Fig. 5 Effects of quantity of modifier on compression yield strain of lightweight soil

## 3 结论

改性剂的引入能有效改善 EPS 表面亲和性,增强 EPS 颗粒与淤泥土壤颗粒的界面黏结力。

(2) 改性后 EPS 颗粒对轻量土性能影响很大,适宜量改性剂改性 EPS 颗粒能有效增加轻量土压缩强度,小幅度降低轻量土密度,对压缩屈服应变影响效果不明显。最佳掺入量为 0.33%。

(3) EPS 颗粒的表面改性能有效增加 EPS 颗粒与淤泥土壤颗粒的和易性与施工性能。因此,改性 EPS 颗粒轻量化处理技术具有较好的工程应用前景。

### 参考文献(References):

- [1] 陈云飞,潘金霞,赵有明. 深圳港铜鼓航道工程设计选线回顾与探讨[J]. 水运工程, 2006, 39(10): 145-150. (CHEN Yunfei, PAN jin-xia, ZHAO Youming. Review and Discussion about Route Selection for Tonggu Channel Engineering Design of Shenzhen Port. Port & Waterway Engineering, 2006, 39(10): 145-150. (in Chinese))
- [2] 张和庆,谢健,朱伟. 疏浚物倾倒现状与转化为再生资源的研究—中国海洋倾废面临的困难和对策[J]. 海洋通报, 2004, 23(12): 54-60. (ZHANG Heqing, XIE Jian, ZHU Wei. Present Situation of Dredged Materials Dumping and the Study of Transforming Dredged Mud into Regenerative Resources Difficulties of Refuses Dumping in China Seas and Countermeasures to Deal with These Problems[J]. Marine Science Bulletin. 2004, 23(12): 54-60. (in Chinese))
- [3] 朱伟,张春雷,刘汉龙,等. 疏浚泥处理再生资源技术的现状[J]. 环境科学与技术, 2002, 25(4): 39-41. (ZHU Wei, ZHANG Chunlei, LIU Hanlong, et al. The Status Quo of Dredged Spoils Utilization[J]. Environmental Science and Technology. 2002, 25(4): 39-41. (in Chinese))
- [4] Winkels H J, A Stein. Optimal Cost effective Sampling for Monitoring and Dredging of Contaminated Sediments[J]. J. Envir

- ron. Qual, 1997, 26(4): 933-946.
- [5] Wakeman T, P Dunlop, L Knutson. Current Status and Future Management of Dredging at the Port of New York and New Jersey[A]. In Proceedings of the 1997 1st National Conference of the ASCE Geotechnical Institute[C]. Logan, U T, USA: ASCE, 1997.
- [6] 姬凤玲, 吕擎峰, 马殿光. 沿海地区废弃疏浚淤泥的资源化利用技术[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(15): 4593-4595. (JI Fengling, LY Qingfeng, MA Dianguang. Study on the Utilization Techniques of Dredged mud as Resource in Coastal Areas. Journal of Anhui Agri. Sci. 2007, 35(15): 4593-4595 (in Chinese))
- [7] Tsuchida Takashi, Kang Minsoo. Use of Lightweight Soil Method in Seaport and Airport Construction Project[C]. Proceeding of the International Workshop on Lightweight Geomaterials, Tokyo, Japan. 2002.
- [8] 马时冬. 聚苯乙烯泡沫塑料轻质土(SLS)的特性[J]. 岩土力学, 2001, 22(3): 245-248. (MA Shidong. The Properties of Stabilized Light Soil (SLS) with Expanded Polystyrene[J]. Rock and Soil Mechanics, 2001, 22(3): 245-248 (in Chinese))
- [9] 蔡明智. 气泡混合轻质土的特点及其应用[J]. 交通标准化, 2010(8): 177. (CAI Mingzhi. Foamed Cement's Characteristics and Its Application[J]. Highway Construction & Maintenance, 2010(8): 177. (in Chinese))
- [10] 何奇宝. EPS 颗粒混合轻质土(LCES)与黏土动力特性的对比试验研究[D]. 南京: 河海大学. 2007. (HE Qibao. Comparative Experiment Research on Dynamic Behaviors of Lightweight Clay-EPS beads Soil (LCES) with soft clay[D]. Nanjing: Hohai University. 2007. (in Chinese))
- [11] 陈勇华. 运用 SLS 材料解决桥头跳车的研究[D]. 泉州: 华侨大学, 1999. (CHEN Yonghua. Study on the use of SLS Materials to Solve Vehicle Bumping Problem at Bridge head[D]. Quanzhou: Huaqiao University. 1999. (in Chinese))
- [12] 卞夏, 邓乘, 邓永锋, 等. 高含水率疏浚淤泥混合固化轻质土试验研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2009, 29(5): 524-529. (BIAN Xia, DENG Cheng, DENG Yongfeng, et al. Laboratory Tests on Cemented Bead-treated Lightweight Soils from High water content Dredged Sludge[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2009, 29(5): 524-529. (in Chinese))
- [13] 沙玲, 王国才, 金菲力, 等. 淤泥再生 EPS 颗粒混合轻质土变形特性的试验研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2013, 35(2): 80-85. (SHA Ling, WANG Guocai, JIN Feili, et al. Experimental Study on the Deformation Properties of Lightweight Soil Using Recycled Sludge and EPS Particles[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 2013, 35(2): 80-85. (in Chinese))
- [14] 董金梅. 聚苯乙烯混合轻质土工程特性的试验研究[D]. 南京: 河海大学, 2005. (DONG Jinmei. Study on the Engineering Characteristic of Light Heterogeneous Soil Mixed Expanded Polystyrene[D]. Nanjing: Hohai University, 2005. (in Chinese))
- [15] 彭家惠, 陈明凤, 张建新. EPS 表面改性及其保温砂浆的耐候性与抗裂性[J]. 重庆大学学报, 2002, 15(1): 24-27. (PENG Jiahui, CHEN Mingfeng, ZHANG Jianxin. Investigation on EPS Surface Modification and EPS Thermal Insulation Mortar's Weather-resisting and Crack-resisting[J]. Journal of Chongqing University, 2002, 15(1): 24-27. (in Chinese))
- [16] 李晶, 缪林昌, 钟建驰, 等. EPS 颗粒混合轻质土加载卸载应力应变特性分析[J]. 岩土工程界, 2008, 12(6): 70-73. (LI Jing, MIAO Linchang, ZHONG Jianchi, et al. Study on Stress-strain Characteristics of EPS Bead mixed Lightweight Soil under Loading and Unloading[J]. Geotechnical Engineering World, 2008, 12(6): 70-73. (in Chinese))
- [17] 姬凤玲, 朱伟, 范昭平. 疏浚淤泥再生泡沫塑料混合轻质土的试验研究[C]. 中国土木工程学会第九届土力学及岩土工程学术会议论文集. 北京: 清华大学出版社, 2003: 25-28. (JI Fengling, ZHU Wei, FAN Zhaoping. Experimental Study on the Stabilized Light Soil Mixed by Dredged Sludge and Expanded Polystyrene[C]. Ninth China Civil Engineering Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Conference Proceedings. Beijing: Qinghua University Press, 2003: 25-28. (in Chinese))