

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2013.01.011

吸水树脂快速固化高含水率疏浚淤泥试验

赵辰洋^{1,2}, 王保田^{1,2}

(1. 河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098)

摘要: 为利用吸水树脂快速固化高含水率疏浚淤泥, 以树脂和淤泥直接拌和、树脂按不同方式布置于淤泥中的试验为基础, 研究树脂使用方式对淤泥状态和质量含水率变化的影响。试验结果表明: 树脂与淤泥直接拌和可以提高淤泥的液限和塑限, 并能快速将淤泥由流态转变为可塑态, 方便淤泥的转运; 吸水树脂沿水平或垂直方向布置在淤泥中, 能快速将淤泥质量含水率由初始的 1.3 倍液限降至液限含水率附近; 吸水饱和的树脂在 30℃ 左右的环境中烘干后可以循环利用以降低成本; 不同的使用方式的吸水树脂对不同状态的高含水率疏浚淤泥的固化效果均较好。

关键词: 吸水树脂; 高含水率疏浚淤泥; 淤泥快速固化; 吸水树脂循环利用

中图分类号: TU4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2013)01-0059-05

Experimental study on rapid solidification of dredged sludge with high water content with absorbent resin

ZHAO Chenyang^{1,2}, WANG Baotian^{1,2}

(1. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Geotechnical Research Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Absorbent resin was used for rapid solidification of dredged sludge with high water content to decrease the water content. The effects of ways of using absorbent resin on the state and water content of sludge were investigated by mixing absorbent resin with sludge directly and placing absorbent resin in sludge in different ways. The experimental results show that liquid and plastic limits of sludge increased when the sludge was mixed with resin directly; the sludge was transformed from the flow state to the plastic state rapidly, which facilitated the sludge transport. The absorbent resin can reduce the water content of dredged sludge from the initial water content that was about 1.3 times the liquid limit to the liquid limit when it was placed in the sludge in a horizontal or vertical direction; and the resin can be recycled after being dried in an environment of about 30℃. Absorbent resin can be effectively used in different ways to solidify different kinds of sludge with high water content.

Key words: absorbent resin; dredged sludge with high water content; rapid solidification of sludge; absorbent resin recycling

为了适应港口航道和海岸工程的发展速度, 保证河道的通畅运行和正常泄洪, 改善湖泊水质, 我国每年均开展大规模的疏浚和清淤工程, 从而产生大量的疏浚淤泥^[1]。疏浚淤泥通常具有黏粒含量高、含水率高、强度低、渗透性差等工程特性, 难以在工程中直接利用, 一般通过设置陆地储泥场或者进行海洋抛弃等方式处理。这种处理方式不仅增加了工程造价, 而且也带来了土地占用和环境污染等问题。另一方面, 沿海地区港口工程建设需要大量土源作为工程填料, 因而将废弃淤泥转化为良质土工材料不失为一种处理疏浚淤泥的好方法。目前, 国内外大规模有效处理疏浚淤泥的方式是化学固化处理, 诸多学者对这种固化方式进行了一系列的研究^[2-6]。然而此类研究主要是用无机复合材料处理低含水率(一般初始含水率低于 1 倍液限)淤

收稿日期: 2012-04-26

基金项目: 教育部博士点基金(20100094110002)

作者简介: 赵辰洋(1988—), 男, 江苏常州人, 硕士研究生, 主要从事环境岩土工程研究。E-mail: destinyzy@ sina.com

泥。虽也有报道高含水率淤泥的固化处理,但强度较低,效果不甚理想^[7]。若想获得高强度的固化淤泥则需加入高掺入比的固化材料,但这会导致工程造价增加,从而限制高含水率淤泥固化的推广应用。本文采用吸水树脂快速固化高含水率疏浚淤泥,探索高效、廉价的疏浚淤泥固化处理技术;在此基础上,探讨该方法处理疏浚淤泥的适宜性问题,给出不同情况下吸水树脂快速固化疏浚淤泥最合理的使用方式,经济合理地将疏浚淤泥转化为良质土工材料。

1 吸水树脂的吸水机理

高吸水性树脂又称为超强吸水剂,是一种含有羧基、羟基等强亲水性基团并具有一定交联度的水溶胀型高分子聚合物。该材料分子中含有大量的羧基、羟基等强亲水性基团,因而具有高分子电解质的分子扩张性能;同时,由于微交联三维网络结构阻碍了分子的进一步扩张,使得分子在水中只溶胀、不溶解,具有特殊的吸水 and 保水能力。高吸水性树脂能吸收相当于自身质量几百倍甚至几千倍的水,并有很强的保水能力,即使在受热、加压条件下也不易失水,在光、热、酸碱环境下稳定性较好,还具有良好的生物降解性能^[8-10]。刘廷栋等^[11]、伍亚华等^[12]从网络结构方面对高吸水性树脂的吸水机理进行分析,认为其具有轻度交联的空间网络结构,是由化学交联和高分子链间的相互缠绕等物理交联构成的。

2 试验材料和方案

2.1 试验材料

试验所用吸水树脂为进口 HE-700 型高吸水树脂,是一种聚丙烯酸钠盐有限交联聚合物,其粒径大小在 150 ~ 300 目(每平方英寸上的孔数目)之间,该 HE-700 型高吸水树脂理论吸水(去离子水)率最大为 800 g/g。试验所用疏浚淤泥取自南京秦淮河,其天然质量含水率(下文含水率均指质量含水率)为 90% ~ 95%、塑限为 38.6%、液限为 72.2%、塑性指数为 34、相对密度为 2.70、黏粒质量分数为 16%。

2.2 试验方案

为了检验吸水树脂的实际吸水能力,设计吸水树脂的吸水率试验,吸水率就是每克吸水剂吸收水的克数,用 α 表示,单位为 g/g。试验采用滤袋法,滤袋规格为 100 目。预先称取 0.5 g 树脂放入滤袋中,并称取树脂和滤袋的总质量 M_1 ,然后缝好袋口。将该滤袋放入盛有 800 cm³ 试验用水的 1 000 cm³ 烧杯中,让袋中的树脂充分吸水,15min 后再次称量滤袋的总质量 M_2 ,则 $\alpha = (M_2 - M_1) / 0.5$ 。重复上述步骤进行几次平行试验,取其平均值即可得到该吸水树脂的吸水率,此试验得出的吸水率为该吸水树脂吸收在该试验用水中的吸水率。

吸水树脂的吸水能力会受溶液 pH、溶液中离子含量和种类的影响,因此在实际应用中有必要知道该树脂在淤泥中的实际吸水能力。因此取淤泥中含有多种离子的滤出液按上述试验方案进行试验,测出吸水树脂吸收淤泥中污水的能力。

为达到高效处理高含水率疏浚淤泥的目的,结合淤泥自然沉积后含水率的稳定范围,取淤泥的初始含水率为 93.9% (为 1.3 倍液限含水率)。根据树脂在淤泥滤出液中的吸水率,称取不同质量的树脂与淤泥进行拌和,观察疏浚淤泥状态的变化、测定其界限含水率。然后将不同树脂掺量的淤泥取出部分装入铝盒后放入恒温干燥箱中进行干燥,将干燥箱的温度设定为恒温 30 ℃ (模拟自然环境利用太阳能烘干),定时称量各试样的质量,计算淤泥的含水率变化。定义淤泥失水率为所失水质量与淤泥中初始含水量之比^[13],从而得到固化疏浚淤泥所用吸水树脂的合理掺量。

利用吸水树脂对高含水率疏浚淤泥进行快速脱水试验研究吸水树脂循环利用的可行性,试验使用方形有机玻璃模型槽(长、宽、高分别为 32 cm, 14 cm 和 18 cm),共设计 3 种试验方案。

方案 1: 仅在淤泥表面布置吸水树脂。在模型槽中铺大约 15 cm 厚的淤泥,预先测定淤泥质量为 10 kg,在淤泥表面垫 1 层土工布,树脂掺量按树脂质量与淤泥中水质量之比称取树脂,均匀撒在土工布上让其吸水,再将模型槽顶部密封,静置 24 h 后取出树脂,测定模型槽不同位置淤泥的实际含水率。

方案 2: 沿水平方向布置吸水树脂。分别称取与试验方案 1 中相同质量的吸水树脂和淤泥,各平均分为 3 份,取其中 1 份淤泥装入模型槽中,在其表面铺 1 层土工布,取其中 1 份树脂均匀地撒在土工布上后再铺上一层土工布,按同样的方法填入剩余的 2 份树脂和淤泥,填筑完毕后将模型槽顶部密封,静置 24 h 后取出

树脂,测定模型槽不同位置淤泥的含水率。

方案 3:沿竖直方向布置吸水树脂。称取与试验方案 1 中相同质量的吸水树脂和淤泥,将淤泥铺在模型槽中,厚度大约为 15 cm,沿模型槽长度方向每隔 8 cm 插入 1 块塑料排水板,将树脂平均分为 3 份均匀地装入 3 块塑料排水板中,再将模型槽顶部密封,静置 24 h 后取出树脂,测定模型槽不同位置淤泥的含水率。

最后将 3 组试验中吸水饱和的树脂在恒温 30 ℃ 的烘箱中烘干,碾碎后测定其吸水率。

3 试验结果分析

3.1 吸水树脂吸水率确定

通过吸水树脂在不同溶液中的吸水率试验得出:初始状态的树脂在自来水、淤泥滤出液、0.9% NaCl 溶液中的吸水率分别为 204.4 g/g,116.1 g/g,47.8 g/g;将在自来水、淤泥滤出液中吸水饱和的树脂放入 0.9% NaCl 溶液中的吸水率分别为 68.9 g/g,70.7 g/g;然后,将在 0.9% NaCl 溶液中失水的树脂分别重新放入自来水和淤泥滤出液中,此时树脂的吸水率分别为 166.6 g/g,90 g/g。由此可见,吸水树脂在自来水中吸水率最高,在 0.9% NaCl 溶液中吸水率最低,在淤泥滤出液中的吸水率居中,但都与树脂在去离子水中的理论最高吸水率 800 g/g 有较大差距,因此对于现场淤泥需要通过吸水率试验确定其真实吸水率。此外,利用树脂在 0.9% NaCl 溶液中吸水率较低的性质,实际处理过程中,对于含水率较高的淤泥可以将淤泥中吸水饱和的树脂取出转入到 NaCl 溶液中,失水完毕后再将树脂转回淤泥中,这样循环使用可以实现高含水率淤泥的快速脱水,并能节约成本。

3.2 树脂合理掺量确定

根据树脂吸收淤泥中水的实际能力,按树脂质量与淤泥中所含水质量之比为 1/110 称取该吸水树脂,掺入到淤泥中并拌和均匀,观察淤泥状态的变化并逐步增加树脂掺量。

不同树脂掺量下淤泥状态如图所 1 示。由图 1 可见,随着树脂掺量的增加,淤泥由流动状态逐渐变成可塑的固态。通过液塑限试验测定淤泥掺入树脂前后的界限含水率,如表 1 所示。

由表 1 可见,掺入树脂后淤泥的液限、塑限升高,直接表现为淤泥状态的改变:由流动状态变为可塑态。淤泥掺入树脂后的这一特性可以方便淤泥的转运和堆放。

掺入树脂后淤泥失水率随时间的变化关系曲线如图 2 所示。由图 2 可见,在外界环境下(温度为 30 ℃),不同树脂掺量的淤泥均会失去部分水分,24 h 内失水率均较低,在 5% ~ 15% 之间,240 h 内淤泥失水率在 55% ~ 95% 之间。掺入树脂后淤泥的失水速率较未掺树脂的淤泥明显下降,说明树脂的掺入使淤泥失水速率减慢,因为淤泥中的大量

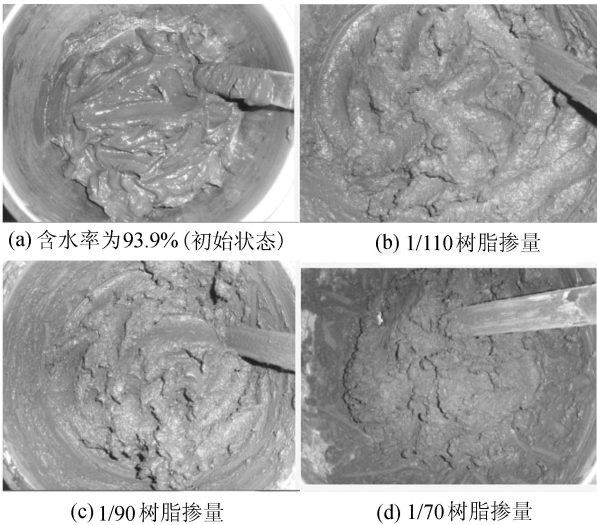


图 1 不同树脂掺量下的淤泥
Fig. 1 Different mixtures of sludge and resin

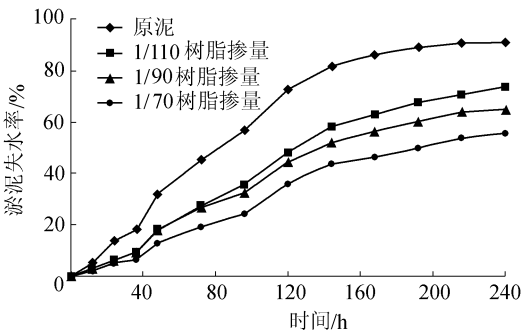


图 2 淤泥失水率随时间变化曲线
Fig. 2 Variation of water loss rate of sludge with time

表 1 淤泥液塑限试验结果

Table 1 Results of liquid and plastic limits test

树脂掺量	塑限/%	液限/%	塑性指数
0	38.6	72.2	34
1/110	45.7	77.6	32
1/90	53.6	83.2	30
1/70	59.2	87.5	28

自由水被树脂中的强亲水性基团吸附,水分子脱离变得更加困难;随着树脂的掺入及掺量的增加,淤泥失水速率逐渐变低,结合界限含水率试验结果,树脂的合理掺量选取为 1/90。

3.3 淤泥快速脱水试验

利用吸水树脂对高含水率疏浚淤泥进行快速脱水,试验结果见表 2。由表 2 可见仅在淤泥表面布置 1/110 掺量的吸水树脂时,经树脂脱水后淤泥含水率显著降低,尤其是表层含水率下降 20% 左右,但中层和底层含水率降低效果不理想,结合图 3(a)发现试验过程没有充分发挥树脂的吸水作用,即使增加树脂掺量到 1/90,淤泥含水率也没有进一步明显降低,可能是因为淤泥的渗透系数较小,渗透性能差,而渗径又较长所致。

水平布置吸水树脂时效果较好,淤泥整体含水率均已降至液限含水率以下,结合图 3(b)(c)可见,表层树脂只有底面与淤泥接触,吸水率不高;中层树脂上、下两面都和淤泥接触,吸水率较高,说明减小渗径有助于淤泥脱水。实际工程中,对于准备要堆放高含水率疏浚淤泥的场地,可以利用土工布沿水平方向布置吸水树脂以快速降低淤泥的整体含水率。

竖直布置吸水树脂时效果也比较好,中层和底层淤泥的含水率已降至液限以下,但表层含水率比较高,原因可能是往排水板中添加树脂时,由于振捣作用大部分树脂下沉至淤泥中层和底层,表层树脂较少。由图 3(d)可见,由于塑料排水板体积有限,一定程度上抑制树脂吸水后的膨胀作用,使树脂的吸水作用没有充分发挥。

实际工程中,对于已经堆放高含水率疏浚淤泥的场地,可以利用塑料排水板沿竖直方向布置吸水树脂,同时不断变换塑料排水板的位置并适时取出塑料排水板循环利用树脂或更换新的树脂以快速降低淤泥整体含水率,节约工程成本。

将上述淤泥快速脱水试验中吸水饱和的树脂在恒温 30 ℃ 的烘箱中烘干(模拟自然环境利用太阳能烘干),然后碾碎进行吸水率测定试验,发现树脂在自来水中的吸水率为 146.3 g/g,在淤泥滤出液中吸水率为 84.6 g/g,降为初始吸水率的 72% 左右,说明循环利用树脂是可行的。该吸水树脂的售价约为 15 元/kg,处理 1 m³ 高含水率疏浚淤泥的价格约为 200 元,将吸水树脂循环利用 1 次成本降为 115 元左右,再将树脂循环利用可以进一步降低成本。

4 结 论

- a. 提出可以将吸水树脂在高含水率疏浚淤泥和 0.9% NaCl 溶液中不断转换以实现对高含水率疏浚淤泥快速脱水的方法。
- b. 将吸水树脂和高含水率疏浚淤泥直接拌和可以提高淤泥的塑限和液限,快速地将淤泥由流动状态转变为可塑态,方便淤泥的转运和堆放。
- c. 准备堆放高含水率疏浚淤泥的场地,可以在堆放疏浚淤泥的过程中采用土工布沿水平方向在淤泥不同高度处布置吸水树脂;已经堆放高含水率疏浚淤泥的场地,可以利用塑料排水板沿竖直方向在淤泥堆场的不同位置布置吸水树脂,一段时间后变换排水板的位置并取出其中树脂循环利用或更换新的树脂。这样可

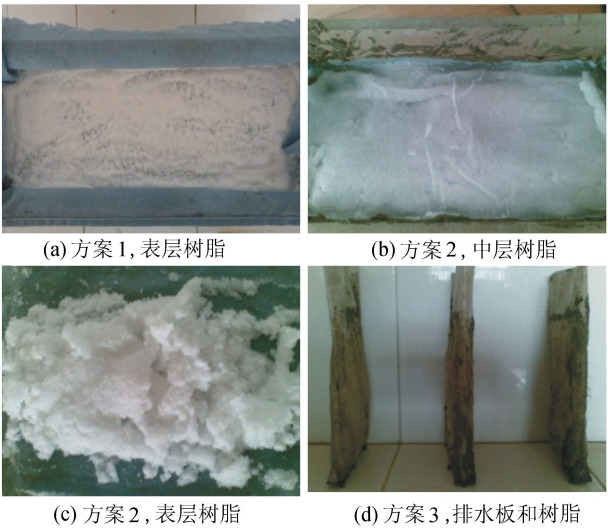


图 3 不同试验方案中的树脂

Fig. 3 Resin for different tests

表 2 吸水树脂脱水后不同位置淤泥的含水率

Table 2 Water content of sludge in different positions after being dewatered by resin

模型槽中 位置	淤泥含水率			
	仅在淤泥表面铺设树脂		水平布置	垂直布置
	1/110 树脂掺量	1/90 树脂掺量	1/90 树脂掺量	1/90 树脂掺量
表层	73.5	72.9	65.1	75.8
中层	89.1	86.6	65.5	67.2
底层	91.4	91.3	72.6	68.7

以快速将疏浚淤泥的整体含水率由初始的 1.3 倍液限降至液限含水率附近。

d. 吸水饱和的树脂在 30 ℃ 左右的环境下烘干后吸水率降为初始吸水率的 72% 左右,可以循环利用,从而降低工程成本。

参考文献:

[1] 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))

[2] 张义贵,王保田. 石灰改良高含水率黏土作为路基填料的试验研究[J]. 现代交通技术, 2010, 7(4): 5-7. (ZHANG Yigui, WANG Baotian. Experimental study on the lime stabilized high water content clay soil as filling material of highway embankment [J]. Modern Transportation Technology, 2010, 7(4): 5-7. (in Chinese))

[3] 曹玉鹏,卞夏,邓永锋. 高含水率疏浚淤泥新型复合固化材料试验研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(1): 321-326. (CAO Yupeng, BIAN Xia, DENG Yongfeng. Solidification of dredged sludge with high water content by new composite additive [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(1): 321-326. (in Chinese))

[4] 汤怡新,刘汉龙,朱伟. 水泥固化土工程特性试验研究[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(5): 549-554. (TANG Yixin, LIU Hanlong, ZHU Wei. Study on engineering properties of cement-stabilized soil[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2000, 22(5): 549-554. (in Chinese))

[5] LI G, ZHAO Y, PANG S.-S, et al. Experimental study of cement-asphalt emulsion composite[J]. Cement and Concrete Research, 1998, 28(5): 635-641.

[6] 张春雷,朱伟,范公俊. 水泥固化高含水率淤泥的收缩性质[J]. 河海大学学报:自然科学版,2010,38(3): 295-299. (ZHANG Chunlei, ZHU Wei, FAN Gongjun. Shrinkage properties of cement solidified sludge with high water content [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2010, 38(3):295-299. (in Chinese))

[7] 丁建文,张帅,洪振舜,等. 水泥-磷石膏双掺固化处理高含水率疏浚淤泥试验研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(9): 2817-2822. (DING Jianwen, ZHANG Shuai, HONG Zhenshun, et al. Experimental study of solidification of dredged clays with high water content by adding cement and phosphogypsum synchronously[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(9): 2817-2822. (in Chinese))

[8] 田巍,白福臣,李天一,等. 高吸水树脂的发展与应用[J]. 辽宁化工, 2009,38(1): 38-45. (TIAN Wei, BAI Fuchen, LI Tianyi, et al. Research progress and application of super absorbent polymer[J]. Liaoning Chemical Industry,2009,38(1):38-45. (in Chinese))

[9] 张立颖,廖朝东,尹沾合,等. 高吸水树脂的吸水机理及吸盐性的改进[J]. 应用化工, 2009, 38(2): 282-285. (ZHANG Liying, LIAO Chaodong, YIN Zhanhe, et al. Water absorbing mechanism and improvement of salt tolerance of superabsorbent polymer[J]. Applied Chemical Industry, 2009, 38(2): 282-285. (in Chinese))

[10] ELLIOTT J E, MACDONALD M, NIE J, et al. Structure and swelling of poly (acrylic acid) hydrogels: effect of pH, ionic strength, and dilution on the crosslinked polymer structure[J]. Polymer, 2004, 45(5): 1503-1510.

[11] 刘廷栋,刘京. 高吸水树脂的吸水机理[J]. 高分子通报, 1994(3): 181-185. (LIU Tingdong, LIU Jing. Water absorbing mechanisms of high water absorbent resin[J]. Polymer Bulletin, 1994(3): 181-185. (in Chinese))

[12] 伍亚华,吴亚中. 高吸水树脂的吸水机理及其在农业上的应用[J]. 胶体和聚凝物, 2008,26(4):32-34. (WU Yahua, WU Yazhong. Water absorbing mechanism of super absorbent polymer and their applications in agriculture[J]. Chinese Journal of Colloid & polymer, 2008, 26(4):32-34. (in Chinese))

[13] 张鸿. 树脂水泥联合固化高含水率淤泥试验研究[D]. 南京: 河海大学, 2011.