

文章编号: 1000-7598 (2009) 09-2775-05

# 生石灰处理高含水率疏浚淤泥的 含水率变化规律研究

张铁军<sup>1</sup>, 丁建文<sup>1</sup>, 邓东升<sup>2</sup>, 洪振舜<sup>1</sup>

(1. 东南大学 交通学院岩土工程研究所, 南京 210096; 2. 江苏水源有限责任公司, 南京 210029)

**摘要:** 通过大量的室内试验, 研究了高含水率疏浚淤泥添加生石灰拌和而成的松散土的含水率变化规律。引入含水率降低率的概念, 得出处理土含水率降低率随掺灰比的变化与原泥初始含水率无关, 含水率降低率随着掺灰比的增加而线性增加的变化规律。根据得出的含水率变化规律, 提出了处理土含水率的简单实用的预测方法。利用已有文献的试验数据验证了所提出的处理土含水率的变化规律和预测方法的有效性。

**关键词:** 疏浚淤泥; 处理土; 高含水率; 含水率降低率; 预测方法

**中图分类号:** TU 447

**文献标识码:** A

## Change law of water content of dredged clays treated by quick lime

ZHANG Tie-jun<sup>1</sup>, DING Jian-wen<sup>1</sup>, DENG Dong-sheng<sup>2</sup>, HONG Zhen-shun<sup>1</sup>

(1. Institute of Geotechnical Engineering, School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Jiangsu Water Resources Co., Ltd., Nanjing 210029, China)

**Abstract:** A series of laboratory tests are performed to investigate the change of water content for quick lime treated dredged clayey soils with different quick lime contents and original water contents of dredged clays. With introducing a new concept of decreasing ratio of water content, the change law of water content of treated soils is obtained. That is, the decreasing ratio of water content has the same linear relationship with quick lime content for different original water contents of dredged soils. In addition, a simple method for predicting the water content of treated soils is proposed; and its effectiveness is verified with the data published in literatures.

**Key words:** dredged clayey soil; treated soil; high water content; decreasing ratio of water content; prediction method

## 1 引言

水利、港口航道、湖泊清淤等工程中经常不可避免地产生大量的疏浚淤泥<sup>[1-6]</sup>, 如何处置废弃疏浚淤泥是实际工程中极为关注的一个重要问题<sup>[7]</sup>。另一方面, 平原地区的工程建设经常遇到缺乏良质填土材料的问题。如南水北调东线第1期工程的建设中, 就面临着废弃疏浚淤泥堆场处理占用大量土地和河堤填土材料不足的两个难题的困扰<sup>[8]</sup>。而目前采用生石灰改良膨胀土和高液限黏性土作为填料的技术较为成熟<sup>[9-10]</sup>, 为此, 作者借鉴其有效经验并

同时结合我国目前的施工设备和技术特点, 提出了将高含水率的疏浚淤泥直接处理成一种松散的良质土的淤泥材料化处理技术<sup>[11]</sup>, 探讨了生石灰处理高含水率疏浚淤泥的改性效果, 目的在于将疏浚淤泥处理后作为填土材料应用于堆场围堰、河堤的培高加固工程, 变废为宝。

为了在实际工程中推广应用疏浚淤泥材料化处理的技术, 需要进一步系统地研究疏浚淤泥生石灰处理土的含水率变化规律、击实干密度性状及击实后的强度变化规律。其中, 处理土含水率的变化是干密度和强度性状研究的基础, 本文主要通过大量

收稿日期: 2008-03-31

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863项目: 2007AA11Z135)资助和南水北调科技创新项目(JKCX-200612); 国家自然科学基金(No.50878050)资助。

第一作者简介: 张铁军, 男, 1982年生, 硕士生, 主要从事废弃土处理的试验研究。

的室内试验, 探讨高含水率疏浚淤泥添加生石灰拌和而成的松散土的含水率变化规律, 为疏浚淤泥处置的设计和施工提供理论基础和指导。

## 2 试验原泥和处理土试验方案

表 1 给出了试验用疏浚淤泥的物理性质, 疏浚淤泥取样于南水北调东线白马湖堆场 (位于江苏省淮安市), 液塑限采用 100 g 锥, 锥角为 30° 的液、

塑限联合测定所得, 有机质含量采用重铬酸钾氧化法测定<sup>[12]</sup>, 颗分试验采用马尔文 (Malvern) 公司生产的 Mastersizer Micro (MAF5000) 激光衍射粒度仪进行测定。由表可见, 白马湖疏浚淤泥细颗粒含量很高, 占 95.7%, 其中黏粒含量占 44.8%, 土的液限和塑性指数也很高, 分别为 92.5% 和 54.9, 有机质含量 < 3%。

表 1 白马湖疏浚淤泥物理参数  
Table 1 Physical indices of Baimahu dredged clay

液限 $w_L$ / %	塑限 $w_p$ / %	砂粒含量 / % >0.074 mm	粉粒含量 / % 0.074~0.005 mm	黏粒含量 / % <0.005 mm	比重	有机质含量 / %
92.5	37.6	4.3	50.9	44.8	2.65	2.0

借鉴已有的将高液限黏性土和膨胀土处理成路用材料的成果, 本文采用生石灰处理高含水率疏浚淤泥, 试验方案如表 2 所示。本研究采用的掺灰比  $a_w$  定义为生石灰质量与湿土质量之比, 根据不同初始含水率、不同的掺灰比确定原泥和生石灰质量, 通过搅拌机械进行拌和, 搅拌机械参数如下: 输出功率是 550 W, 转速 204 r/min, 搅拌时间约 10 分钟, 搅拌均匀后的处理土样采用塑料袋包装, 敞口存放在恒温恒湿养护室中养护至规定的龄期, 养护温度  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 。

表 2 处理土试验方案  
Table 2 Testing schemes of treated soils

初始含水率 $w_0$ / %	掺灰比 $a_w$ / %	龄期 $T$ / d
93.6	1、4、8、12、16、20、24、28	3
79.0	1、4、8、12、16、20	3
75.2	2、8	1、2、3、5、7、10、28
72.0	1、4、8、12、16、20	3
65.2	1、4、8、12、16、20	3

## 3 疏浚淤泥处理土含水率与龄期关系

图 1 为采用掺灰比  $a_w$  为 2% 和 8% 的生石灰对初始含水率  $w_0$  为 75.2% 的疏浚淤泥进行处理的含水率随龄期的变化。两种掺灰比的结果均显示处理土含水率  $w_T$  随着龄期的增加而减小, 含水率的减小主要发生在龄期的前 3 d。

图 2 为含水率降低率  $D_w$  与随龄期的关系, 其中含水率降低率定义如下:

$$D_w = (w_0 - w_T) / w_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $D_w$  为含水率降低率;  $w_0$  为原泥含水率;  $w_T$  为处理土含水率。由图 2 可见, 掺灰比为 2% 和 8%

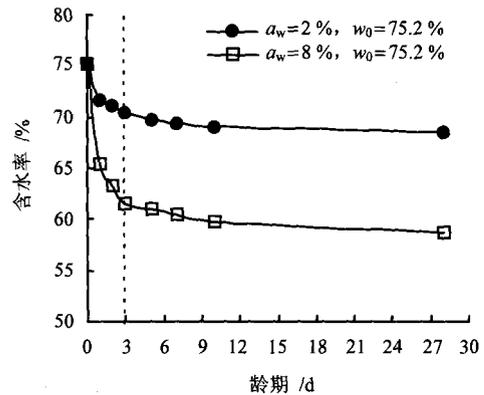


图 1 初始含水率为 75.2% 淤泥处理土的含水率与龄期的关系

Fig.1 Relationship between water content and curing time for treated soils with initial water content of 75.2%

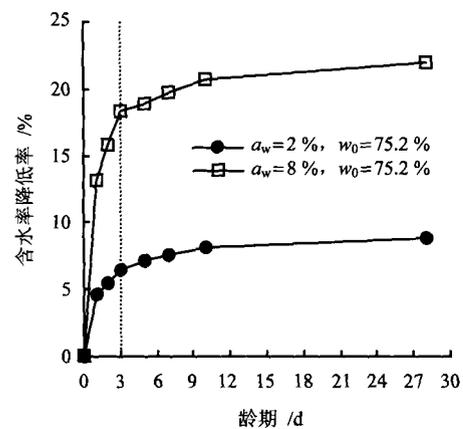


图 2 初始含水率为 75.2% 淤泥处理土的含水率降低率与龄期的关系

Fig.2 Relationship between decreasing ratio of water content and curing time for treated soils with initial water content of 75.2%

的处理土龄期为 3 d 时的降低率分别为 6.5% 和 18.5%, 3 d 后含水率降低率的增加变缓, 龄期为

28 d 时分别为 8.8 % 和 21.9 %。结合以上试验结果，考虑室内试验的工作量，本文针对表 2 所示的其他 4 个初始含水率 (93.6 %、79.0 %、72.0 % 和 65.2 %) 的淤泥处理土进行含水率变化试验时，仅限于 3 d 龄期。

#### 4 疏浚淤泥处理土含水率的变化规律

图 3 显示了龄期 3 d 的疏浚淤泥处理土的含水率与掺灰比的关系，本文采用的掺灰比范围大，目的是通过室内试验得出一些有益的规律，而在实际工程中，需要考虑经济性，不大可能采用很高的掺灰比。由图 3 可见，处理土含水率随着掺灰比的增加而降低，初始含水率高的疏浚淤泥处理土的含水率与掺灰比关系曲线位于初始含水率低的治疗土之上，掺灰比和初始含水率均对处理土的含水率有较大的影响。

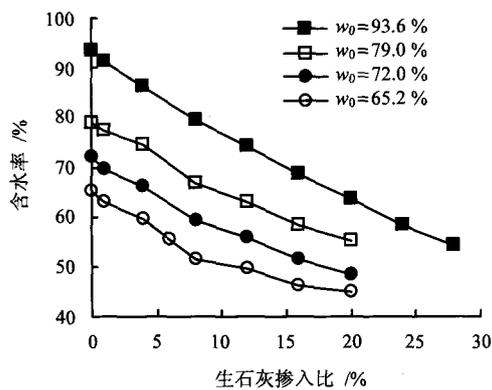


图 3 龄期 3 d 的疏浚淤泥处理土的含水率与掺灰比的关系  
Fig.3 Relationship between water content and quick lime content for treated soils with curing time of 3 days

图 4 给出了疏浚淤泥处理土的含水率降低率与掺灰比的关系。由图可见，含水率降低率  $D_w$  随掺灰比的变化规律几乎与初始含水率无关，含水率降低率随着掺灰比的增加而线性增加，尤其当掺灰比低于 15 % 时，线性关系更为明显。图 4 的所有试验数据的线性回归方程可以用下式表达，其相关系数高达 0.96。

$$D_w = ma_w \quad (2)$$

式中  $m$  为常数，从图 4 可以看出， $m$  与原料土的初始含水率和掺灰比均无关， $m$  是由原料土的固有特性决定的，针对某种原料土  $m$  为常数，综合式 (1) 和式 (2)，可以得到下式：

$$m = (w_0 - w_T) / (w_0 a_w / 100) \quad (3)$$

$$w_T = (1 - ma_w / 100) w_0 \quad (4)$$

以上结果表明，只要对某一初始含水率  $w_0$  的原泥进行某个掺灰比  $a_w$  的处理土进行含水率  $w_T$  试验，则可通过式 (3) 确定  $m$  值，然后利用式 (4) 预测具有不同初始含水率和不同掺灰比的处理土的含水率，这样可以大幅度减少试验的配方数量，便于实际工程的推广应用。

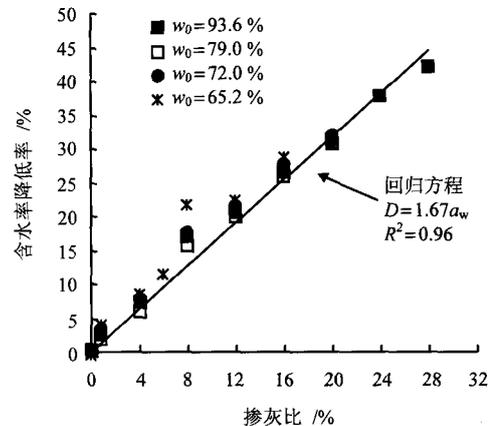


图 4 龄期 3 d 的疏浚淤泥处理土的含水率降低率与掺灰比的关系  
Fig.4 Relationship between decreasing ratio of water content and quick lime content for treated soils with curing time of 3 days

#### 5 含水率预测方法的验证

为了验证本文提出的处理土含水率变化规律和含水率预测方法的有效性，本文引用表 3 所列的最近发表的其他研究者的试验数据进行分析。刘聪聪和张家生<sup>[13]</sup>进行了生石灰改良过湿土的室内试验研究，其中过湿土的初始含水率为 26.0 %，给出了龄期 1 d 的不同掺灰比条件下处理土的含水率。李霞<sup>[14]</sup>测试了生石灰改良高液限黏性土 2 d 后的含水率，其中高液限黏性土的初始含水率为 29.1 %。必须指出的是，原文报道的掺灰比是生石灰质量与干土质量之比，表 3 已经将其改为与本文定义一致的生石灰质量与湿土质量之比。

基于表 3 的试验数据整理出处理土含水率降低率与掺灰比的关系，如图 5 所示。两种原泥的生石灰处理土均显示了含水率降低率  $D_w$  随着掺灰比的增加而线性增加，相关系数分别高达 0.995 和 0.976，验证了本文提出的式 (2) 适用于其它原料土的有效性。

若取文献 [13-14] 的两种原料土的最低掺灰量 (3.175 % 和 1.549 %) 的生石灰处理土含水率

(23.0%和26.5%)为试验参考值,根据式(3)可以得出其  $m$  值分别为 3.634 和 5.768,然后利用公式(4)可以得出预测含水率,结果见图6。由图可见,预测含水率与实测含水率基本吻合。

表3 引用的其他研究者发表的试验数据  
Table 3 Testing data cited from recent published literatures

参考文献	原料土	添加材料	初始含水率 /%	掺灰比 /%	实测改良土含水率 /%
[13]	过湿土	生石灰	26.0	3.175	23.0
				4.762	21.7
				6.349	20.5
				7.937	19.3
				9.524	18.1
[14]	高液限黏性土	生石灰	29.1	1.549	26.5
				3.098	23.3
				4.678	21.0
				6.197	19.8

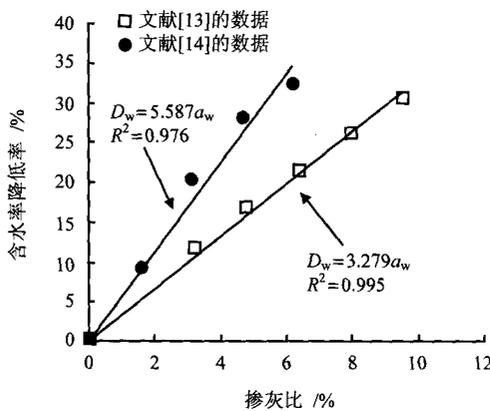


图5 基于他人试验数据整理的含水率降低率与掺灰比的关系

Fig.5 Relationship between decreasing ratio of water content and quick lime content obtained based on the data from published literatures

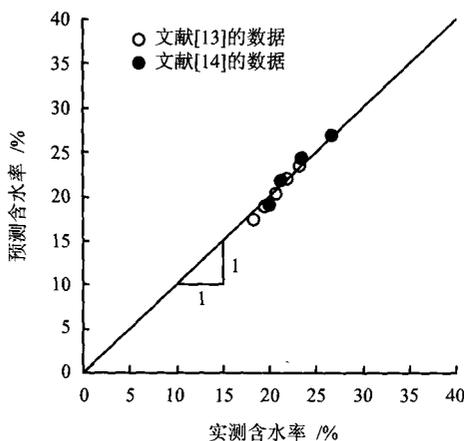


图6 实测含水率与预测含水率的比较

Fig.6 Comparison between predicted values and measured water contents

## 6 结论

本文分析了高含水率疏浚淤泥经生石灰处理后的含水率变化规律,得出了如下主要结论:

(1) 将原泥含水率和生石灰处理土含水率的差值与原泥含水率的比值的百分比定义为含水率降低率,导入这一概念可以很好地描述高含水率疏浚淤泥土拌和生石灰后的含水率变化规律。

(2) 针对某一原泥,含水率降低率随掺灰比的变化规律与初始含水率无关,含水率降低率随着掺灰比的增加而线性增加。

(3) 提出了生石灰处理土含水率的预测方法,只要对某一初始含水率的原泥掺入某个掺灰比的处理土进行含水率试验,则可通过式(3)确定含水率降低率与掺灰比的比值,然后利用式(4)预测具有不同初始含水率和不同掺灰比的处理土的含水率。

(4) 高含水率疏浚淤泥拌和生石灰后,处理土含水率的降低主要发生在龄期前3d。

(5) 引用其他研究者的试验数据,初步验证了本文提出的处理土含水率变化规律的适用性和预测方法的有效性。

## 参考文献

- [1] LEE S L, KARUNARATNE G P, YONG K Y, et al. Layered clay-sand scheme of land reclamation[J]. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 1987, 113(9): 984-995.
- [2] CARGILL K W. Prediction of consolidation of very soft soil[J]. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 1984, 110(6): 775-795.
- [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 Chun-lei, LIU Han-long, et al. The status of dredged spoils utilization[J]. *Environmental Science and Technology*, 2002, 25(4): 39-41.
- [4] 范昭平,朱伟,张春雷.有机质含量对淤泥固化效果影响的试验研究[J]. *岩土力学*, 2005, 26(8): 1327-1334. FAN Zhao-ping, ZHU Wei, ZHANG Chun-lei. Experimental study on influence of organic matter content on solidified dredging[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2005, 26(8): 1327-1334.
- [5] 姬凤玲,朱伟,张春雷.疏浚淤泥的土工材料化处理技术的试验与探讨[J]. *岩土力学*, 2004, 25(12): 1999-2004.

- JI Feng-ling, ZHU Wei, ZHANG Chun-lei. Study of treatment technology of dredging sludge with geosynthetizing method[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2004, 25(12): 1999–2004.
- [6] 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 Yi-xin, LIU Han-long, ZHU Wei. Study on engineering properties of cement-stabilized soil[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2000, 22(5): 549–554.
- [7] 朱伟, 曾科林, 张春雷. 淤泥固化处理中有机物成分的影响[J]. 岩土力学, 2008, 29(1): 33–36.
- ZHU Wei, ZENG Ke-lin, ZHANG Chun-le. Influence of organic matter component on solidification of dredged sediment[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2008, 29(1): 33–36.
- [8] 南水北调东线第一期工程可行性研究报告[R]. [S. l.]: [s. n.], 2005.
- [9] 郭爱国, 孔令伟, 胡明鉴, 等. 石灰改性膨胀土施工最佳含水率确定方法探讨[J]. 岩土力学, 2007, 28(3): 517–521.
- GUO Ai-guo, KONG Ling-wei, HU Ming-jian, et al. On determination of optimum water content of lime-treated expansive soil[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2007, 28(3): 517–521.
- [10] 郭爱国, 孔令伟, 胡明鉴, 等. 膨胀土路堤处治效果原位试验研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(8): 1263–1268.
- GUO Ai-guo, KONG Ling-wei, HU Ming-jian, et al. Research on the in-situ tests of disposal effect of expansive soil embankment[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2005, 26(8): 1263–1268.
- [11] 邓东升, 张铁军, 张帅, 等. 南水北调东线工程高含水率疏浚淤泥材料化处理技术研究[J]. 河海大学学报, 2008, 36(4): 559–562.
- DENG Dong-sheng, ZHANG Tie-jun, ZHANG Shuai, et al. Technique for utilization of high-water-content dredged clayey soil as fill material for the Eastern Route of South-to-North Water Diversion Project[J]. **Journal of Hohai University (Natural Sciences)**, 2008, 36(4): 559–562.
- [12] 交通部公路科学研究所. JTJ051–93 公路土工试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 1993.
- [13] 刘聪聪, 张家生. 生石灰改良过湿土的试验研究[J]. 山西建筑, 2006, 19(32): 145–146.
- [14] 李霞. 浅谈石灰改良土在沿海地区公路中的应用[J]. 福建建材, 2006, (4): 65–66.