

DOI: 10.11779/CJGE2017S1046

# 引江济淮工程膨胀土水泥改性剂量研究

吴建涛, 姚开想\*, 杨帅, 施赛杰

(河海大学土木与交通学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 膨胀土具有遇水膨胀、失水收缩的工程特性, 掺加一定量水泥对其进行改性是处理膨胀土的主要方法之一。选取引江济淮工程弱膨胀土, 通过对素膨胀土和改性土的自由膨胀率、界限含水率及无侧限抗压强度的试验分析, 揭示了水泥掺量和养护日期对引江济淮工程弱膨胀土的物理力学性质的影响。试验结果表明: ①随掺灰率的增加, 改性膨胀土的自由膨胀率、液限、塑性指数均降低, 无侧限抗压强度增加; ②随养护日期的增加, 自由膨胀率、液限、塑性指数减小, 无侧限抗压强度增大; ③基于本研究试验结果, 同时综合考虑工程实际, 建议引江济淮工程弱膨胀土水泥改性剂量为4%。

**关键词:** 引江济淮; 弱膨胀土; 水泥改性; 室内试验

中图分类号: TU443 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2017)S1-0232-04

**作者简介:** 吴建涛(1981-), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向包括道路沥青材料耐久性及再生、生物质沥青材料研发和特殊路基及边坡处理等。E-mail: 15051843532@163.com。

## Cement amount of modified expansive soils in water diversion project from Yangtze River to Huaihe River

WU Jian-tao, YAO Kai-xiang, YANG Shuai, SHI Sai-jie

(College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** The expansive soils have the tendency to expand in wetting and to shrink in drying. The addition of cement is one of the methods to enhance the engineering properties of such soils. The effects of varying cement contents and curing time on the engineering properties of the expansive soils are investigated through the measurements of free swelling index, Atterberg limits and unconfined compressive strength of weak expansive soils along a section of water diversion project from Yangtze River to Huaihe River. The test results show that increasing the amount of cement decreases the free swelling index, liquid limit and plasticity index, whilst the unconfined compressive strength increases. Also, increasing the curing time leads to a reduction in the free swelling index, liquid limit and plasticity index, but an increase in the unconfined compressive strength. After seven days of curing the measured soil properties begin to be stable. Thus, the improvement of the expansive soils by cement takes long time.

**Key words:** water diversion from Yangtze River to Huaihe River; expansive soil; cement modification; laboratory testing

## 0 引言

膨胀土是一种主要由强亲水性黏土矿物成分(蒙脱石和伊利石)组成的, 具有膨胀结构以及多裂隙性、强胀缩性和强度衰减性的高塑性黏性土<sup>[1]</sup>。膨胀土分布广泛, 具有显著的胀缩性和裂隙性, 常常给膨胀土地区的工程建设造成严重的破坏, 给人民的财产造成巨大的损失。

引江济淮工程沿线地质条件复杂, 且须穿越大量膨胀岩土地区, 膨胀岩土因其特殊的工程特性, 易造成渠道边坡失稳, 轻则堵塞渠道, 重则毁坏渠道, 使工程无法发挥正常效益。因此, 为了防止膨胀土对渠道造成破坏, 必须对膨胀土区段加以改良<sup>[2]</sup>。

试验采用取自引江济淮工程试验段的膨胀土, 掺入不同水泥含量养护1, 3, 7 d后进行自由膨胀率、界限含水率、50 kPa有压膨胀率、无侧限抗压强度试验。掺灰率(掺入水泥含量与土质量的比值)包括2%, 3%, 4%, 5%, 7% 5个掺量, 通过研究不同掺灰率及不同养护龄期下改性土的各项指标, 了解水泥对引江济淮工程试验段膨胀土的改性效果。

## 1 试验材料及试验方案

### 1.1 试验材料

收稿日期: 2016-11-28

\*通讯作者(E-mail: 15051843532@163.com)



表 1 膨胀土基本物理力学指标

Table 1 Basic physic-mechanical indice of expansive soils

级配组成/%				液限	塑限	塑性指数	最优含水率/%	最大干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	自由膨胀率/%
10~5 mm	5~2 mm	2~1 mm	<1 mm	/%	/%		/%		
59.59	33.73	4.6	2.08	51.2	21.6	29.6	17.5	1.77	51.5

注: 最大干密度采用重型击实试验<sup>[4]</sup>。

试验土样取自合肥引江济淮试验工程, 自由膨胀率为 51%, 属弱膨胀土<sup>[3]</sup>, 将土样风干后碾碎过 1 cm 筛, 测得其级配组成及物理力学性质见表 1。水泥采用复合硅酸盐水泥 (P.C 32.5)。

## 1.2 试验方案

取代表性土样, 按照上述级配配制 5 kg 土样 10 份, 加水至最优含水率 (最优含水率 17.5%), 放置 24 h (放置后应测其实际含水率, 若不是最优含水率应再次调整)。所有土样均在击实前才掺加水泥, 水泥掺量分别为 2%, 3%, 4%, 5%, 7% (掺入水泥的质量与干土质量的比值), 每个掺灰比做两次击实, 计算其干密度, 取两次平均值作为该土样的干密度。试验结果见表 2。

表 2 水泥改性土最大干密度和最优含水率

Table 2 Maximum dry densities and optimal moisture contents of modified soils

掺灰率/%	最大干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	最优含水率/%
2	1.78	17.1
3	1.79	16.6
4	1.80	16.2
5	1.81	15.7
7	1.82	15.0

在击实试验得到不同水泥掺量下改性土干密度的基础上, 按照《土工试验方法标准》(GBT 50123—1999) 制备试样。按照设计文件关于压实土干密度控制要求, 制样干密度按照表 2 最大干密度和控制压实度 93%计算获得。用于胀缩性试验的试样采用压样法制环刀样<sup>[4-5]</sup>, 环刀尺寸为  $\phi 61.8 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ ; 无侧限抗压强度试验击实桶尺寸为  $\phi 50 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$ , 试样尺寸为  $\phi 50 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$ 。

将试样放入养护箱内养护, 待达到 1, 3 及 7 d 养护龄期后即进行 50 kPa 有压膨胀率和无侧限抗压强度试验, 取无侧限抗压强度试验后破坏的试样进行液塑限及自由膨胀率试验。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 胀缩性指标

掺灰率为 2%, 3%, 4%, 5%, 7% 的水泥改性土在 1, 3 及 7 d 养护龄期的自由膨胀率和 50 kPa 有荷

膨胀率见表 3。作为对比, 表中还给出了素膨胀土的各项指标。自由膨胀率、50 kPa 有荷膨胀率与掺灰率关系见图 1 和图 2。

由图 1 和图 2 可知, 掺入 2% 水泥后, 改性土的自由膨胀率已有明显降低, 随着掺灰率的增大, 7 d 改性土的自由膨胀率近呈直线下降, 同一掺灰率的改性土, 随着养护龄期的增大, 自由膨胀率减小。养护龄期达到 3 d 时各掺灰比改性土自由膨胀率降到 40% 以下, 已不属于膨胀土范围。

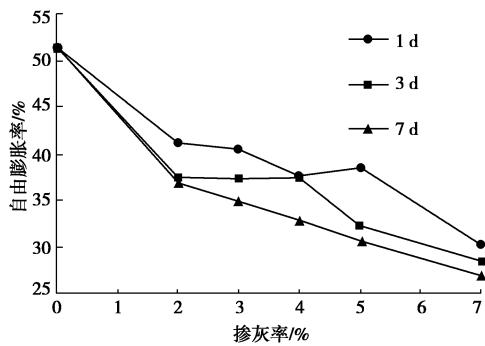


图 1 素土及改性土不同养护龄期下自由膨胀率

Fig. 1 Free expansion rates of plain and modified soils at different curing ages

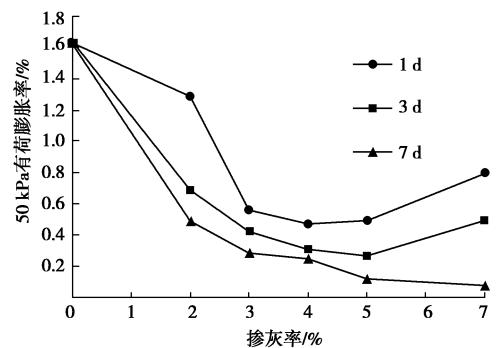


图 2 不同养护期素土及改性土 50 kPa 有荷膨胀率

Fig. 2 Free expansion rates of plain and modified soils under 50 kPa at different curing ages

相比于素土, 改性土的有荷膨胀率都减小, 当掺灰率为 5% 时, 改性土的有荷膨胀率较素土有较大幅度下降, 且随着龄期增加, 有荷膨胀率进一步下降, 经 7d 养护龄期掺灰率 7% 水泥改性后有荷膨胀率降至 0.08%, 改性效果明显。水泥掺量 7% 养护龄期 1, 3 d 的改性土有荷膨胀率较 5% 有所增大, 当水泥掺量较

表 3 素土及改性土胀缩性指标

Table 3 Swelling-shrinkage indice of plain and modified soils

土样	自由膨胀率/%			50 kPa 有荷膨胀率/%		
	1 d	3 d	7 d	1 d	3 d	7 d
素土		51.5			1.63	
掺灰率 2%	41.2	37.7	37	1.29	0.69	0.49
掺灰率 3%	40.5	37.4	35	0.56	0.42	0.28
掺灰率 4%	37.7	37.5	33	0.47	0.31	0.25
掺灰率 5%	38.5	32.3	30.7	0.5	0.27	0.12
掺灰率 7%	30.3	28.5	27	0.8	0.5	0.08

大且养护龄期较短时, 水泥没有完全改性膨胀土且水泥在水化过程中消耗膨胀土黏粒矿物表面的吸附水从而引起改良土的失水干燥, 50 kPa 有压膨胀率试验过程中加水将导致改性土膨胀率上升, 表明水泥对膨胀土的改良是漫长的过程。

## 2.2 界限含水率

界限含水率及塑性指数是反应黏土与水相互作用灵敏性的指标<sup>[6]</sup>。改性土液限、塑性指数与掺灰率的关系见图 3 和图 4。

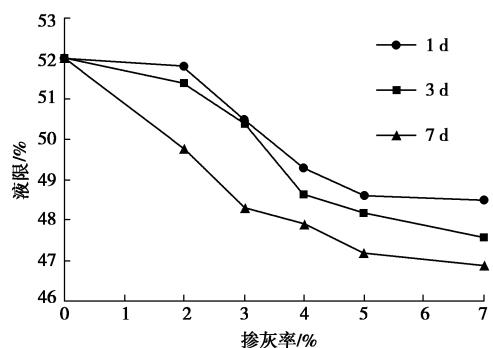


图 3 素土及改性土液限与养护龄期的关系

Fig. 3 Relationship between liquid limit and curing age for plain and modified soils

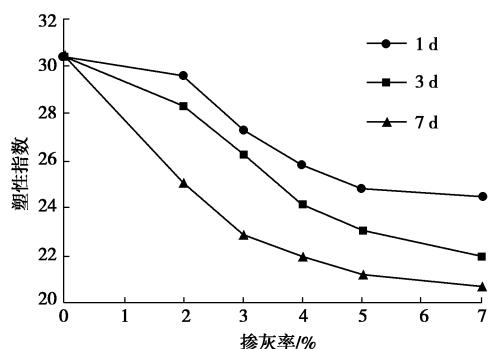


图 4 素土及改性土塑性指数与养护龄期的关系

Fig. 4 Relationship between plastic index and curing age for plain and modified soils

图 3 和图 4 表明, 改性土的液限及塑性指数均比素土低, 同一养护龄期当掺灰率增加时, 改性土的液限与塑性指数均降低, 同一掺灰率, 养护龄期增大, 液限与塑性指数降低。

## 2.3 无侧限抗压强度

无侧限抗压强度是土体在无侧限条件下抵抗轴向压力的极限强度, 是反应改性土体后物理力学性质的重要参数指标之一<sup>[7]</sup>。无侧限抗压强度试验结果见表 4; 无侧限抗压强度与掺灰率的关系见图 5。

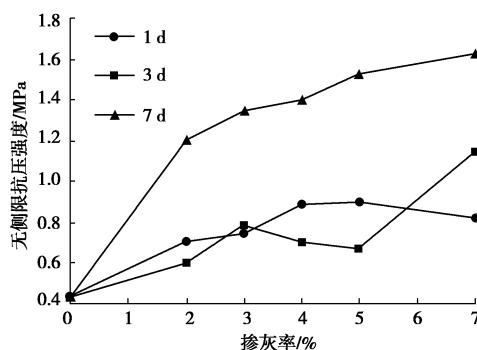


图 5 素土及改性土不同养护龄期下无侧限抗压强度

Fig. 5 Unconfined compressive strengths of plain and modified soils at different curing ages

## 表 4 不同掺量水泥改性土不同龄期无侧限抗压强度

Table 4 Unconfined compressive strengths of cement-modified soil with different dosages

土样	无侧限抗压强度/MPa		
	1 d	3 d	7 d
素土		0.44	
掺灰率 2%	0.71	0.6	1.215
掺灰率 3%	0.75	0.79	1.357
掺灰率 4%	0.89	0.7	1.405
掺灰率 5%	0.9	0.675	1.534
掺灰率 7%	0.82	1.155	1.639

图 5 表明, 改性土的无侧限抗压强度较素土有明显提高, 养护龄期 7 d 时, 随掺灰率的增加, 改性土的无侧限抗压强度增大。相同掺灰率 7 d 养护龄期时改性土的无侧限抗压强度比 1, 3 d 养护龄期时大。3 d 养护龄期掺灰率 2%, 4%, 5% 比同一掺灰率 1 d 养护龄期无侧限抗压强度小, 表明在膨胀土水泥改性的初期, 其力学性能尚不稳定, 改良过程是一个漫长的过程。合肥弱膨胀素土的无侧限抗压强度是 0.44 MPa, 经 7 d 养护龄期掺灰率 7% 水泥改性后无侧限抗压强度

增大到 1.639 MPa, 表明掺灰率及养护龄期对改性土无侧限抗压强度的提高有重要意义。

### 3 结 论

本文通过室内试验对水泥改性膨胀土进行研究。从击实、自由膨胀率、50 kPa 有压膨胀率、液塑限、无侧限抗压强度进行了试验研究, 得出以下结论:

(1) 水泥改性膨胀土的膨胀收缩潜势较素土有很大改善, 胀缩性指标(自由膨胀率、50 kPa 有压膨胀率)及反应黏土亲水性的液限和塑性指数均随掺灰率的增加而降低, 水稳定性得到提高, 改性效果明显。当水泥掺量为 3%时, 养护龄期 7 d 自由膨胀率降至 35%。

(2) 改性土的无侧限抗压强度较素土有明显提高; 当掺灰率增加时, 无侧限抗压强度也随之增加。

(3) 养护龄期对改性土的改性效果影响明显, 胀缩性指标、液限、塑性指数随养护龄期的增加减小, 无侧限抗压强度随着养护龄期增加而增大。

(4) 掺灰率 3%、养护龄期 7 d 后, 改性土的自由膨胀率降至 35%, 且 3%水泥掺量养护龄期 7 d 改性土的无侧限抗压强度为 1.357 MPa, 远高于堤防对填土强度的要求。从自由膨胀率和无侧限抗压强度角度看, 3%水泥掺量已能满足要求, 但考虑到实际施工中水泥分布均匀性问题, 建议使用 4%水泥掺量。

### 参考文献:

- [1] 廖世文. 膨胀土与铁路工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1984. (LIAO Shi-wen. Expansive soil and railway

engineering[M]. Beijing: China Railway Press, 1984. (in Chinese))

- [2] 王保田. 膨胀土的改良技术与工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008. (WANG Bao-tian. Improvement technology and engineering application of expansive soil[M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese))
- [3] GBJ112—87 膨胀土地区建筑技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1989. (GBJ112—87 Building technical specifications in expansive soil area[S]. Beijing: China Planning Press, 1989. (in Chinese))
- [4] SL237—1999 土工试验规程[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999. (SL237—1999 Soil test rules[S]. Beijing: China Water Power Press, 1999. (in Chinese))
- [5] JTD—051—93 公路土工试验规程[S]. 交通部公路科学研究所, 人民交通出版社, 1993. (JTD—051—93 Road soil test rules[S]. Research Institute of Highway Ministry of Communications, China Communications Press, 1993. (in Chinese))
- [6] 陈善雄, 余 善. 膨胀土判别与分类方法探讨[J]. 岩土力学, 2005, 26(12): 1895 - 1900. (CHEN Shan-xiong, YU Shan. Discussion on the methods of discrimination and classification of expansive soil[J]. Rock and soil mechanics, 2005, 26(12): 1895 - 1900. (in Chinese))
- [7] 吴新明, 巫锡勇. 水泥改性膨胀土试验研究[J]. 路基工程, 2007(2): 30 - 34. (WU Xin-ming, WU Xi-yong. Study of cement modified expansive soil[J]. Subgrade engineering, 2007(2): 30 - 34. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)