

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.02.011

张路, 樊恒辉, 车雯方, 等. 黑龙江地区渠道基土工程性质试验分析[J]. 水利水运工程学报, 2018(2): 82-89. (ZHANG Lu, FAN Henghui, CHE Wenfang, et al. Experimental analysis of engineering properties of foundation soil of canal works in Heilongjiang area[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(2): 82-89. (in Chinese))

黑龙江地区渠道基土工程性质试验分析

张路¹, 樊恒辉¹, 车雯方¹, 张勇¹, 孟雷², 赵宏伟³

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 汤原县水务局, 黑龙江 佳木斯 157400; 3. 农垦红兴隆管理局水务局, 黑龙江 双鸭山 155811)

摘要: 黑龙江地区广泛分布有水敏性的分散性土和膨胀土, 这些特殊土的存在对渠道工程的安全运行造成严重威胁。在分析土样物化性质和矿物成分的基础上, 采用多种试验方法对龙头桥、蛤蟆通、引汤灌区渠基土的膨胀性、分散性和力学性质进行了研究, 探讨了生石灰对土样分散性和膨胀性的处理效果。试验结果表明: 3个灌区的土样均属于膨胀土, 其中龙头桥灌区土样的膨胀性较强; 蛤蟆通灌区的土样属于分散性土, 引汤灌区的土样属于非分散性土; 3个灌区土样的抗剪强度不高, 黏聚力值为 13.62~49.60 kPa, 内摩擦角为 1.0°~24.5°。由于龙头桥灌区土样的有机质含量很高, 该灌区土样的黏聚力比其他两个灌区高, 而内摩擦角比其他两个灌区低; 低掺量下的生石灰对土样的分散性和膨胀性有较好的改性效果, 该方法适用于处理不良渠基。

关键词: 特殊土; 渠道工程; 分散性土; 膨胀性土; 工程性质

中图分类号: TV91

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2018)02-0082-08

黑龙江省是我国的农业大省, 多年来修建了大量的渠道工程用于农业生产, 对确保我国农业发展和粮食安全发挥了重要作用。要保证渠道工程安全运行, 前提和关键就是保证渠基和渠坡的稳定^[1]。与其他建筑物或者边坡不同, 渠道工程的主要任务是输水, 水对渠基和渠坡的影响非常大^[2]。在渠道工程建设中常遇到的有水敏性的特殊土主要是膨胀土和分散性土^[3-6]。膨胀土是一种黏粒成分主要由亲水矿物组成, 同时具有显著的吸水膨胀和失水收缩的黏性土^[7]; 分散性土是一种在低含盐量水中(或纯水中)由于离子相互间排斥力超过吸引力, 导致土体颗粒分散的黏性土, 具有抗冲蚀性低、遇水分散流失的特性^[8]。这些土对水有特殊的敏感性, 通常会使渠基承载力显著降低, 渠坡发生明显变形, 甚至出现裂缝, 极易引起各种工程危害^[9-12], 所以在渠道工程建设中应对其工程性质进行深入研究分析。

本文以黑龙江省龙头桥灌区、蛤蟆通灌区和引汤灌区3个灌区渠基土为研究对象, 在分析土样物化性质和矿物成分的基础上, 采用自由膨胀率、碎块、针孔、双比重计、孔隙水可溶性阳离子、交换性钠离子百分比和直剪等试验方法, 分析土壤组成、盐含量、有机质含量、pH值、矿物成份及其含量、膨胀性、分散性和强度特性, 并探讨生石灰对分散性和膨胀性土的处理效果, 为工程设计提供科学依据, 以便提出可靠的工程处理措施。

1 试验材料与方法

试验用土取自黑龙江省龙头桥、蛤蟆通和引汤灌区, 取土深度在表层土以下 30~50 cm。试验采用的纯生石灰, 产于天津市百世化工有限公司, CaO 含量大于等于 98%。

收稿日期: 2017-03-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51379177, 51579215)

作者简介: 张路(1993—), 女, 陕西咸阳人, 博士研究生, 主要从事特殊土工程性质研究。

E-mail: 13992021790@163.com 通信作者: 樊恒辉(E-mail: yt07@nwsuaf.edu.cn)

土样的物化性质试验、矿物成分试验、直剪试验严格按照《土工试验规范》(SL237—1999)进行操作。土样的膨胀性判别以自由膨胀率试验结果为依据,并以土样的矿物成分和阳离子交换量作为参考。试验具体步骤参见《膨胀土地区建筑技术规范》(GB50112—2013)。土样的分散性判别采用双比重计试验、碎块试验、针孔试验、孔隙水可溶性阳离子试验和交换性钠百分比试验进行综合判别^[13],同时结合樊恒辉等提出的黏性土分散性的经验判别式进行验证^[14]。试验具体步骤参见文献[15]。

2 试验结果与分析

2.1 土样的物化性质和矿物成分

2.1.1 土样物化性质 土样的物化性质试验结果分别见表1和表2。从表1和表2中可以看出,5组土样的天然含水率为26.6%~30.1%,颗粒相对密度2.65~2.70,液限49.9%~61.9%,塑限26.5%~37.4%,塑性指数19.1~24.5。颗粒组成以粉粒(0.075~0.005 mm)、黏粒(<0.005 mm)为主,粉粒含量为38.3%~52.1%,黏粒含量为45.2%~61.0%。土样最大干密度为1.48~1.60 g/cm³,最优含水率为24.5%~28.2%。按照塑性图分类,土样5属于低液限黏土(CL),其余4组土样均属于高液限粉土(MH)。土样的盐含量不高,易溶盐含量0.1~0.3 g/kg,中溶盐含量0.6~0.8 g/kg,难溶盐含量0.1~0.8 g/kg,有机质含量3.8~15.3 g/kg,pH值5.37~7.75。值得注意的是,土样1,2和3的有机质含量显著高于土样4和5,而pH值明显低于土样4和5。

表1 土样物理性质

Tab.1 Physical properties of soil sample

土样 编号	土样名称	天然 含水率/%	颗粒 相对密度	液限 /%	塑限/%	塑性 指数	颗粒组成/%			最大干密度/ (g·cm ⁻³)	最优 含水率/%
							砂粒	粉粒	黏粒		
1	MH	26.6	2.66	52.1	28.8	23.3	8.8	46.0	45.2	1.49	27.4
2	MH	30.1	2.66	61.9	37.4	24.5	0.7	38.3	61.0	1.50	28.2
3	MH	28.6	2.65	53.5	34.4	19.1	1.5	45.5	53.0	1.48	26.9
4	MH	27.8	2.71	52.8	29.7	23.1	0.3	48.8	50.9	1.56	25.2
5	CL	28.0	2.70	49.9	26.5	23.4	0.1	52.1	47.8	1.60	26.7

注:土样1:龙头桥灌区852分干渠4+400处土样;土样2:龙头桥灌区万北总干渠9+100处土样;土样3:龙头桥灌区万北总干渠9+570处土样;土样4:蛤蟆通灌区土样;土样5:引灌区土样。

表2 土样化学性质

Tab.2 Chemical properties of soil sample

土样 编号	易溶盐/(g·kg ⁻¹)									中溶盐/ (g·kg ⁻¹)	难溶盐/ (g·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	pH值
	总量	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺				
1	0.3	0	0	0	0.207	0.047	0.021	0.006	0	0.7	0.3	12.3	6.81
2	0.2	0	0	0	0.134	0.039	0.009	0.002	0	0.8	0.1	14.7	6.63
3	0.1	0	0	0	0.106	0.023	0.012	0.002	0	0.7	0.5	15.3	5.37
4	0.1	0	0	0	0.077	0.021	0.003	0.007	0	0.6	0.1	5.6	7.75
5	0.2	0	0	0	0.151	0.060	0	0.003	0	0.7	0.8	3.8	7.22

2.1.2 土样矿物成分 土样的矿物组成试验结果见表3。从表3可以看出,黏土矿物中的伊利石和蒙脱石主要以伊-蒙混层的形式存在,按照混层比计算,发现土体中的伊利石含量为18.7%~21.6%,蒙脱石含量为14.3%~19.0%。虽然5组土样中的蒙脱石主要是以伊-蒙混层的形式存在,但其含量也非常可观。已有研究发现,如果土体中的蒙脱石含量超过5%,则对土体的工程性能产生显著影响^[16]。从矿物成分来分析,5组土样具有一定的膨胀性和分散性。

表3 土样矿物成分

Tab. 3 Mineral composition of soil sample

土样 编号	非黏土矿物含量/%				黏土矿物含量/%				全土中的估算值/%	
	石英	钾长石	钠长石	角闪石	伊-蒙混层	伊利石	高岭石	绿泥石	伊利石	蒙脱石
1	38.0	7.5	14.8	0	34.5	3.2	1.2	0.8	18.7	19.0
2	39.3	4.7	11.9	1.7	36.5	3.4	1.7	0.9	21.6	18.2
3	46.9	4.5	11.4	0	33.1	2.2	1.1	0.7	18.8	16.6
4	39.8	3.9	12.3	4.4	33.3	2.4	2.4	1.6	19.0	16.6
5	41.8	7.5	13.7	0	31.8	3.3	1.1	0.7	20.8	14.3

2.2 土样膨胀性

土样自由膨胀率、蒙脱石含量、阳离子交换量的试验结果见表4。从表4可见,5组土样的自由膨胀率为41%~90%,其中土样1,4和5的自由膨胀率为40%~65%,属于弱膨胀土;土样3的自由膨胀率为65%~90%,属于中膨胀土;土样2的自由膨胀率 $\geq 90\%$,属于强膨胀土。土体蒙脱石含量为14.3%~19.0%。土体中的阳离子交换量为17.74~25.22 cmol/kg。根据膨胀土自由膨胀率与蒙脱石含量、阳离子交换量的关系可知,这5组土样都具有一定的膨胀潜势,属于膨胀土。

表4 土样膨胀性

Tab. 4 Expansibility of soil sample

土样编号	自由膨胀率 $\delta_{ef}/\%$	蒙脱石含量/%	阳离子交换量/(cmol · kg ⁻¹)	膨胀潜势
1	59	19.0	22.12	弱
2	90	18.2	25.22	强
3	76	16.6	20.23	中
4	50	16.6	18.87	弱
5	41	14.3	17.74	弱

2.3 土样分散性

2.3.1 分散性试验判别 土样分散性试验结果见表5,土样的针孔碎块试验照片见图1。从表5可见,土样1,2,3的分散度小于30%,属于非分散性土;土样4分散度大于50%,属于分散性土;土样5分散度为30%~50%,属于过渡性土。碎块试验结果表明,土样1崩解后在烧杯底部以细颗粒状平堆,水色清澈。土样2没有崩解,土样1和2属于非分散性土;土块3,4和5崩解后扩散到整个烧杯底部,水色明显浑浊。针孔试验结果表明,土样1,2,3,5在1020 mm水头下针孔不扩大,水流清澈,属于非分散性土;土样4在50 mm水头下针孔迅速扩大,水流浑浊,孔径扩大2~3倍,属于分散性土。孔隙水可溶性阳离子试验结果表明,5组土样的孔隙水可溶性阳离子总量(TDS)在1.67~4.77 1/n mmol/l之间,钠百分比(PS)为1.6%~15.6%。根据土的分散性与TDS,PS的关系可看到,5组土样均属于非分散性土。交换性钠离子百分比试验结果表明,5组土样的交换性钠离子百分比(ESP)含量均小于10%,属于非分散性土。

5种试验方法的判别标准如下:

(1)双比重计试验。分散度小于30%,为非分散性土;分散度为30%~50%,为过渡性土;分散性土大于50%,为分散性土。

(2)碎块试验。土块崩解后在烧杯底部以细颗粒状平堆,不出现浑浊或稍混浊后很快变清,为过渡性土;土块崩解后四周有微量浑浊,但扩散范围小,为非分散性土;土块崩解扩散到整个烧杯底部,水呈雾状、浑浊,为分散性土。

(3)针孔试验。380~1020 mm水头下针孔不扩大,水流很清,为非分散土;180~380 mm水头下针孔冲蚀较慢,水流稍浑浊,孔径大于1.5倍,为过渡性土;50 mm水头下针孔迅速扩大,水流浑浊,孔径大于1.5

倍,为分散性土。

(4)交换性钠离子百分比试验。 $ESP=7\% \sim 10\%$,为中等分散性土; $ESP \geq 15\%$,为高分散性土。

(5)孔隙水可溶性阳离子试验。 $PS < 40\%$,为非分散性土; $PS = 40\% \sim 60\%$,为过渡性土; $PS > 60\%$,为分散性土。

表5 土样分散性

Tab.5 Dispersibility of soil samples

土样 编号	分散 度/%	碎块 试验	针孔试验					孔隙水可溶性阳离子试验					ESP/%		
			干密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	水头/ mm	持续 时间/min	终了 孔径/倍($mL \cdot s^{-1}$)	流量 水色	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	TDS		PS/%	
1	26.1	没有反应	1.48	1 020	5	1	0.97	清澈	3.43	1.21	0.13	0	4.77	2.7	0.3
2	22.6	没有反应	1.48	1 020	5	1	1.12	清澈	1.31	1.59	0.08	0	2.98	2.7	0.2
3	26.6	中等反应	1.48	1 020	5	1	1.42	清澈	0.71	1.11	0.10	0	1.92	5.2	0.3
4	63.0	反应严重	1.57	50	10	2~3	0.55	浑浊	1.41	0	0.26	0	1.67	15.6	1.4
5	36.6	反应严重	1.57	1 020	5	1	1.27	清澈	3.15	0	0.05	0.01	3.21	1.6	0.3

注:Ca²⁺和Mg²⁺的单位为 $\frac{1}{2}$ mmol/L,Na⁺和K⁺的单位为mmol/L,TDS的单位为 $\frac{1}{n}$ mmol/L。

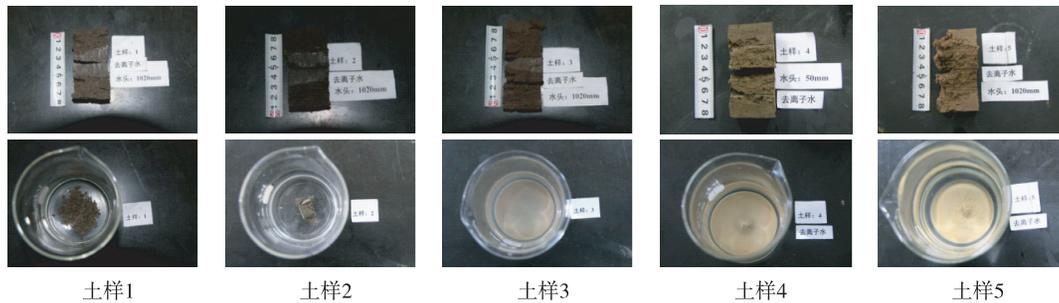


图1 针孔碎块试验照片

Fig.1 Photos of pinhole and crumb tests

2.3.2 分散性判别经验式 樊恒辉等结合黏性土分散机理研究,提出了判别分散性土的经验式^[14]。根据黏性土分散性经验判别式的判别结果见表6。从表6可见,由于5组土样的 F_1 值均小于3.26,无法确定其分散性,引入钠百分比,继续计算 F_2 值。5组土样 F_2 值均小于3.16,均属于非分散性土。为了更加准确判别,继续引入pH值计算 F_3 值。5组土样的 F_3 值小于4.00,所以根据 F_3 值的判别结果,可得出:5组土样均属于非分散性土。因此,从黏性土分散性判别的经验式来评价,5组土样均属于非分散性土。

表6 黏土分散性经验式判别结果

Tab.6 Results of dispersion clay's experience formula

土样 编号	$W_L/\%$	$PC/\%$	$PS/\%$	pH	F_1 判别结果		F_2 判别结果		F_3 判别结果		判别结果
					F_1 值	结果	F_2 值	结果	F_3 值	结果	
1	52.1	45.2	2.7	6.81	2.506	/	2.533	非分散性土	3.214	非分散性土	非分散性土
2	61.9	61.0	2.7	6.63	2.152	/	2.179	非分散性土	2.842	非分散性土	非分散性土
3	53.5	53.0	5.2	5.37	2.400	/	2.452	非分散性土	2.989	非分散性土	非分散性土
4	52.8	50.9	15.6	7.75	2.435	/	2.591	非分散性土	3.366	非分散性土	非分散性土
5	50.2	47.8	1.6	7.22	2.518	/	2.534	非分散性土	3.256	非分散性土	非分散性土

判别方法如下: $F_1 = 4 - 0.01(2W_L + PC)$, $F_2 = 4 - 0.01(2W_L + PC - PS)$, $F_3 = 4 - 0.01(2W_L + PC - PS) + 0.1pH$,其中: W_L 为液限; PC 为黏粒($< 0.005mm$)含量; PS 为钠百分比(孔隙水可溶性阳离子试验得到);pH为酸碱度。计算 F_1 值,若 $F_1 > 3.26$,则为非分散性土,若 $F_1 \leq 3.26$,计算 F_2 值。若 $F_2 > 4.06$,则为分散性土,若 $F_2 < 3.16$,则为非分散性土,若在两值之间,则计算 F_3 值。若 $F_3 > 4.50$,则为分散性土,若 $F_3 < 4.00$,则为非分散性土,若在两值之间,则为过渡性土。

2.3.3 分散性的综合判别 根据分散性判别试验进行综合判别结果见表7。可见,土样4的分散性权重为80%,大于50%,所以土样4属于分散性土。其余4组土样的分散性权重小于50%,且土样5“过渡性+分散性”的权重小于50%,所以分散性试验表明土样1,2,3和5均属于非分散性土。结合分散性经验判别式,确定土样1,2,3和5均属于非分散性土,土样4属于分散性土。与分散性判别的经验式得到的结果进行比较,发现除土样4有不同,其余一致。值得说明的是,土样3和5的碎块试验表现出分散性的特征,故在雨水浸湿作用下,其抗水蚀性较差,在工程中应予以重视。

表7 分散性的综合判别

Tab.7 Comprehensive discrimination of dispersion

土样 编号	双比重 计试验	碎块 试验	针孔 试验	孔隙水可溶性 阳离子试验	交换性钠离子 百分比试验	权重/%			试验综合 判别结果
						非分散性	过渡性	分散性	
1	非分散性土	非分散性土	非分散性土	非分散性土	非分散性土	100	0	0	非分散性土
2	非分散性土	非分散性土	非分散性土	非分散性土	非分散性土	100	0	0	非分散性土
3	非分散性土	分散性土	非分散性土	非分散性土	非分散性土	80	0	20	非分散性土
4	分散性土	分散性土	分散性土	非分散性土	非分散性土	20	0	80	分散性土
5	过渡性土	分散性土	非分散性土	非分散性土	非分散性土	60	20	20	非分散性土

判别方法如下:分别赋予双比重计试验、碎块试验、针孔试验、孔隙水可溶性阳离子试验和交换性钠离子百分比试验20%,20%,40%,10%和10%的权重值,计算土样的分散性、过渡性、非分散性权重。若分散性权重大于50%或分散性权重等于50%时且过渡性权重大于等于20%,则为分散性土;若分散性权重等于50%时且过渡性权重小于20%或分散性权重小于50%时且“过渡性+分散性”的权重大于等于50%,则为过渡性土;其他情况则为非分散性土。

2.4 土样抗剪强度

土样直剪试验结果见图2和3。从图2可以看出,随着剪切位移的增大,剪应力先增大后平缓或持续增大,没有明显峰值,应力-应变曲线呈应变硬化型,取剪切位移值为4 mm时对应的剪应力为抗剪强度。抗剪强度与垂直压力的关系见图3。随着垂直压力的增大,抗剪强度增强。

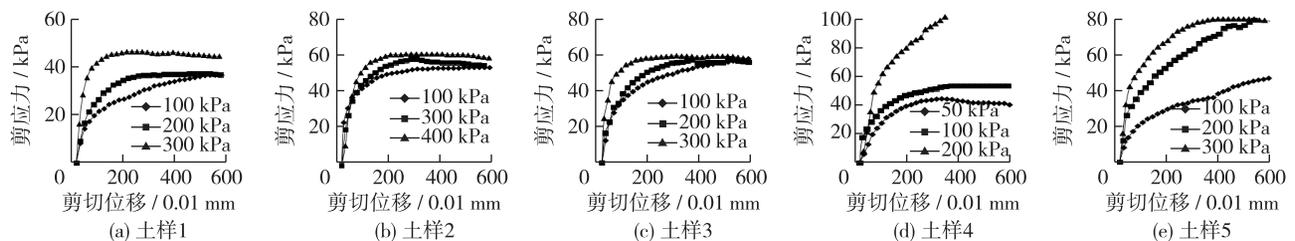


图2 剪应力与剪切位移的关系曲线

Fig. 2 Relationships between shear stress and shear displacement

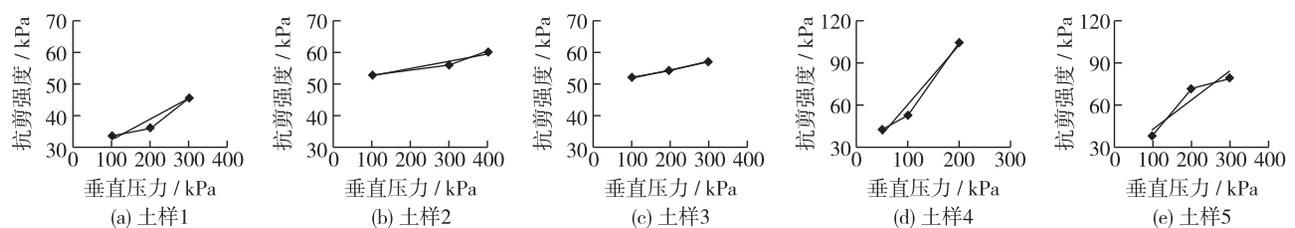


图3 抗剪强度与垂直压力的关系曲线

Fig. 3 Relationships between shear strength and vertical pressure

在图3中添加趋势线,该线截距即为土体的黏聚力 c 值,该线与水平线夹角即为土体的内摩擦角 φ 值,得到1~5号土样黏聚力分别为25.78,47.49,49.60和3.47 kPa,内摩擦角分别为3.5°,1.5°,1.0°,24.5°和12.0°。可见,5组土样的黏聚力为13.62~47.49 kPa,内摩擦角为1.0°~24.5°。

2.5 抗剪强度与有机质含量的关系

土样抗剪强度与有机质含量的关系见图4。从图4可见,土样1,2和3的黏聚力高于土样4和5,而内摩擦角低于土样4和5。这与土体中的有机质含量有关。由于有机质具有胶结作用,因此有机质含量越高,土颗粒之间的黏聚力增大,内摩擦角减小。

2.6 改性后的工程性质

2.6.1 改性土膨胀性 改性后土体的自由膨胀率与掺灰量和养护龄期的关系见图5和6。从图5可见,随着石灰掺量的增大,土样自由膨胀率降低。从图6可见,随着养护龄期的增加,土样自由膨胀率变化不大。所以,石灰对于膨胀土具有良好的改性效果,可以降低其膨胀性;养护龄期对改性土膨胀性的影响不明显。

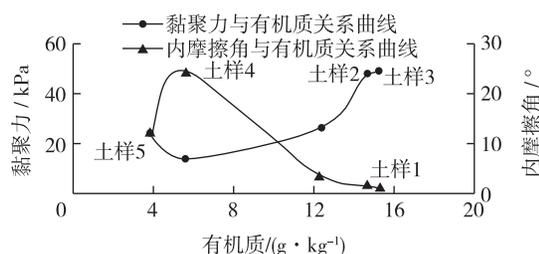


图4 抗剪强度与有机质含量的关系曲线
Fig.4 Relationships between shear strength and organic content

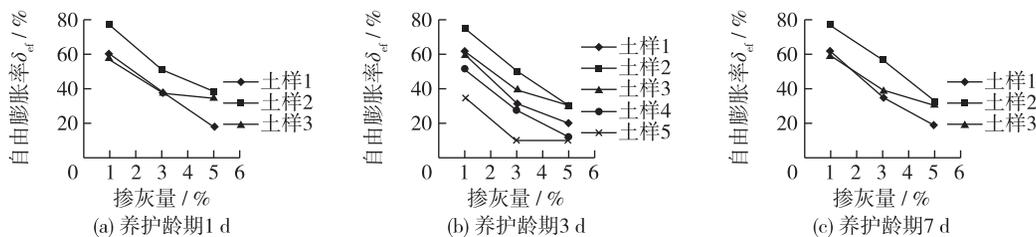


图5 掺灰量与自由膨胀率的关系
Fig.5 Relationships between lime content and free swelling ratio

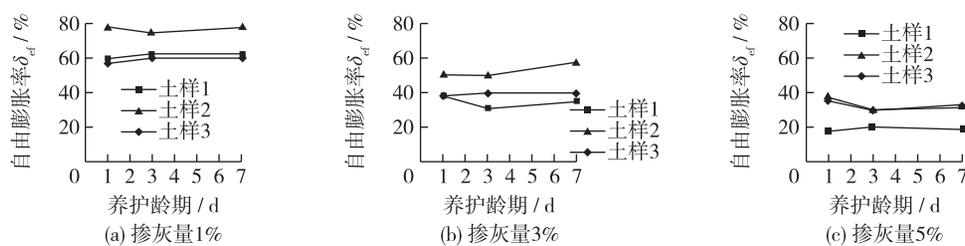


图6 养护龄期与自由膨胀率的关系
Fig.6 Relationships between curing age and free swelling ratio

2.6.2 改性土分散性 由于土样4属于分散性土,所以对改性后的土样4做了针孔试验和碎块试验。土样3和5的碎块试验表现为分散性特征,属于抗蚀性差的土,所以对土样3和5也做了改性后的碎块试验。试验结果见图7。图7仅列出了掺加1%石灰改性土的针孔试验和碎块试验照片。从图7可以看出,土样中加入石灰后,经过3d的养护龄期,土体的分散性就减弱,在碎块试验和针孔试验中呈现非分散性土的特性。由此可见,石灰不仅对土的膨胀性具有良好的改性效果,对于分散性也具有很强的改性作用。

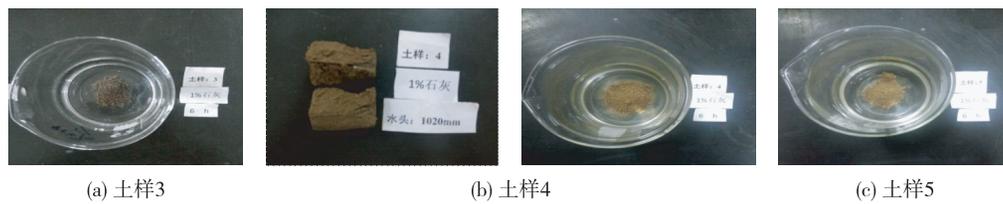


图7 改性土的针孔碎块

Fig. 7 Modified soil's pinhole tests and crumb tests

3 结 语

(1) 龙头桥灌区土样具有膨胀性,有强有弱;蛤蟆通灌区土样既具有弱膨胀性,又具有分散性;引汤灌区土样具有弱膨胀性。考虑现场施工的不确定性,建议在施工过程中添加3%石灰进行处理,消除土样的膨胀性和分散性。

(2) 3个灌区5组渠基土的抗剪强度不高,黏聚力 c 值为13.62~49.60 kPa,内摩擦角 ϕ 值为 $1.0^\circ \sim 24.5^\circ$,由于龙头桥灌区土样有机质含量很高(12.3~15.3 g/kg),该灌区渠基土土样的黏聚力比其他两个灌区高,而内摩擦角比其他两个灌区低。

参 考 文 献:

- [1] 邢义川, 宋建正, 曹国利, 等. 特殊土渠基与渠坡的稳定[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2011, 9(2): 81-87. (XING Yichuan, SONG Jianzheng, CAO Guoli, et al. On the stability of the canal foundation and slope[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2011, 9(2): 81-87. (in Chinese))
- [2] 何武全, 刘昌群, 邢义川, 等. 渠道衬砌与防渗工程技术手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015. (HE Wuquan, LIU Changqun, XING Yichuan, et al. Channel lining and anti-seepage engineering manual[M]. Beijing: China Water Power Press, 2015. (in Chinese))
- [3] 孙颖娜. 北部引嫩干渠渠道滑坡机理研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2002. (SUN Yinna. A study of mechanism of Beiyin main channel landslide[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2002. (in Chinese))
- [4] 龙显助, 戴春胜, 孙彪, 等. 松嫩平原分散性粘土分布与形成机理研究[J]. 水利规划与设计, 2013(9): 24-27, 42. (LONG Xianzhu, DAI Chunsheng, SUN Biao, et al. Study on distribution and formation mechanism of dispersed clay in Songnen plain[J]. Water Resources Planning and Design, 2013(9): 24-27, 42. (in Chinese))
- [5] 龙志远, 王浩民, 孙香太. 北部引嫩干渠膨胀土分布与相关因素研究[J]. 科技创新与应用, 2013(22): 182. (LONG Zhiyuan, WANG Haomin, SUN Xiangtai. Study on distribution of expansive soil and related factors in North Yinneng canal[J]. Technology Innovation and Application, 2013(22): 182. (in Chinese))
- [6] 赵双权, 张浩, 王建红. 北部引嫩总干渠滑坡加筋处理措施研究[J]. 黑龙江水利科技, 2015, 43(6): 40-42. (ZHAO Shuangquan, ZHANG Hao, WANG Jianhong. Research on reinforced measure for total channel landslip of northern nen river diversion project[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2015, 43(6): 40-42. (in Chinese))
- [7] 张万涛. 合肥地区膨胀土及生石灰改性的研究[J]. 安徽建筑, 2011, 18(4): 191-192. (ZHANG Wantao. The research of Hefei expansive soil and nature change of line[J]. Anhui Architecture, 2011, 18(4): 191-192. (in Chinese))
- [8] 樊恒辉, 孔令伟, 郭敏霞, 等. 文家沟水库筑坝土料分散性和抗渗性能试验[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(3): 458-463. (FAN Henghui, KONG Lingwei, GUO Minxia, et al. Dispersivity and impermeability of dam soil in Wenjiagou reservoir[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31(3): 458-463. (in Chinese))
- [9] 陈志刚, 孙景荣. 北引总干渠分散性黏渠段破坏原因及整治措施[J]. 黑龙江水利科技, 2012, 40(2): 337-338. (CHEN Zhigang, SUN Jingrong. Failure causes and counter-measures of dispersive soil in Beiyin canal[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2012, 40(2): 337-338. (in Chinese))
- [10] 王观平. 黑龙江省南部引嫩工程分散性粘土的研究与处理措施[J]. 水利水电技术, 1992(3): 18-22. (WANG Guanping.

- Research and treatment of dispersed clay in the south of Heilongjiang Province [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 1992(3): 18-22. (in Chinese))
- [11] 王海峰, 黄永泉. 浅谈膨胀土(岩)地区路基[J]. *黑龙江交通科技*, 2013(3): 78. (WANG Haifeng, HUANG Yongquan. Discussion on subgrade of expansive soil (rock) area[J]. *Communications Science and Technology Heilongjiang*, 2013(3): 78. (in Chinese))
- [12] 范丽君. 北引总干渠渠道变形的成因与治理措施研究[J]. *黑龙江水利科技*, 2013, 41(8): 91-93. (FAN Lijun. Study on the causes and control measures of canal deformation in the North Main Canal[J]. *Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy*, 2013, 41(8): 91-93. (in Chinese))
- [13] 樊恒辉, 赵高文, 李洪良. 分散性黏土研究现状与展望[J]. *岩土力学*, 2010, 31(增刊1): 108-114. (FAN Henghui, ZHAO Gaowen, LI Hongliang. Current researches and prospects of dispersive clay[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2010, 31(Suppl1): 108-114. (in Chinese))
- [14] FAN Henghui, KONG Lingwei. Empirical equation for evaluating the dispersivity of cohesive soil[J]. *Canadian Geotechnical Journal*, 2013, 50(9): 989-994.
- [15] 樊恒辉, 孔令伟. 分散性土研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012: 118-156. (FAN Henghui, KONG Lingwei. Research on dispersed soil[M]. Beijing: China Water Power Press, 2012: 118-156. (in Chinese))
- [16] 郝志荣. 宁夏喊叫水地区公路膨胀土试验分析与处理[J]. *路基工程*, 2010(6): 209-212. (HAO Zhirong. Test analysis and treatment of highway expansive soil in Ningxia Hanjiaoshui area[J]. *Subgrade Engineering*, 2010(6): 209-212. (in Chinese))

Experimental analysis of engineering properties of foundation soil of canal works in Heilongjiang area

ZHANG Lu¹, FAN Henghui¹, CHE Wenfang¹, ZHANG Yong¹, MENG Lei², ZHAO Hongwei³

(1. *College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China*; 2. *Water Resources Bureau of Tangyuan, Jiamusi 157400, China*; 3. *Water Resources Department of Hongxinglong Farm Management Bureau, Shuangyashan 155811, China*)

Abstract: The dispersive soil and expansive soil are widely distributed in Heilongjiang area which are sensitive with water. Those problematic soils can cause serious threat to canal engineering safety. Based on the analysis of physical and chemical properties and mineralogical composition, the expansibility, dispersivity and mechanical properties in Longtougiao, Hamatong, Tangyuan irrigation canal were studied by swelling ratio tests, crumb tests, pinhole tests, double-hydrometer tests, pore water soluble cations tests, exchangeable sodium percentage tests and direct shear, and further investigations on the treatment effect of expansibility and dispersivity with lime. The experimental analysis results indicate that, those soils have the expansive properties, and the Longtougiao soils are the strongest among those soils. The Hamatong soil is the dispersive soil, but the others are not. The shear strength of the soil samples in the three irrigation areas is not high, the cohesions of soil samples in the Longtougiao irrigation area are higher than others, which is between 13.62 and 49.60 kPa, and the internal friction angles are lower than others which is between 1° and 24.5° for high organic matter content from 12.3 to 15.3 g/kg. There were obvious modification effect with low lime, which could eliminate expansibility and dispersivity. This method could be used for the poor canal foundation treatment.

Key words: problematic soil; canal engineering; dispersive soil; expansive soil; engineering properties