

石灰改良膨胀土微孔结构试验研究

Experimental study on micro-pore structure of expansive soil improved by lime

张小平¹, 施斌², 陆现彩²

(1. 南京航空航天大学 土木工程应用技术研究所, 江苏 南京 210016; 2. 南京大学 地球科学系, 江苏 南京 210093)

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2003)06-0761-03

作者简介: 张小平(1965-), 女, 博士, 副教授, 主要从事环境岩土工程及土的改良及其微观结构研究。

0 引言^{*}

用石灰改良黏性土的工程性质、抑制膨胀土的胀缩性是岩土工程中常用的方法, 但对于其机理以及掺灰量的确定, 过去因技术的限制, 多采用化学和力学的方法作过较多的研究^[1-3], 而对于膨胀土加灰前后微孔结构的变化及改性机理一直不是十分清楚。本文从黏性土的微孔结构角度, 采用美国产的 ASAP-2010M + C 表面吸附仪(该仪器在国外对矿物学和表面化学领域的相关研究较多^[4-6], 且仅局限于矿物晶体结构和表面, 而对土体的微孔和膨胀性的讨论未见诸各文献), 对在实验室中放置了 8 a 的石灰土压实土样进行了表面吸附试验研究, 测得了土样加灰前后的 BET 比表面积、BJH 微孔比表面积、BJH 微孔体积、微孔孔径及孔径中值的变化值, 获得了一些新的数据, 为进一步弄清石灰改良膨胀土的机理, 提供了新的科学证据。

1 试验部分

1.1 土样

土样取自宁连一级公路 K47, K127 和 K132 处的膨胀性路基土, 编号与里程一致。土样的物理化学性质及加灰前后的胀缩性指标见表 1(表中数据为 8 a 前的试验结果)。

从表 1 中可知: 掺加石灰后, 液限减小, 塑限增加, 塑性指数减小; 最大干密度减小, 最优含水率稍有增大, 膨胀力和线胀缩总率显著减小。

1.2 测试

(1) 试验仪器与原理

为了深入了解表 1 中石灰改良膨胀性土的机理以及钙离子对黏土矿物微孔结构的影响, 对以上试样在实验室的试样盒中放置了 8 a, 使得石灰与土充分反应, 采用美国麦克公司生产的 ASAP-2010M + C 型全自动比表面吸附仪, 进行微孔结构特征的测定。其原理是采用氮气吸附, 在液氮条件下获得等温吸附曲线和等温脱附曲线, 相对压力范围为 0.001~0.998, 其间

共测定 78 个压力点。基于该曲线计算样品的 BET 比表面积; 利用密度函数理论等, 计算 BJH 等温吸附微孔比表面积、微孔体积和平均孔径; 根据 Horvath-Kawazoe 方程计算整体的孔径中值。

(2) 样品处理

每个样品分 2 种情况进行对比测试, 一种为原状土样, 另一种为加石灰后的土样。

在样品测试前, 进行了加热和抽真空处理。将土样在烘箱内 80℃ 下烘干 6 h, 然后放至比表面测定仪专用试管, 在样品前处理口抽真空 48 h, 加热温度为 90℃。在较低温条件下进行加热、抽真空的原因在于保证土样中的水不发生沸腾汽化而影响土样中的微孔结构。

土样的矿物成分均经过 X 射线衍射分析, 测试发现石灰处理前后, 样品中的黏土矿物蒙脱石、伊利石、高岭石等含量基本不变, X 射线衍射曲线基本重合, 说明加入石灰后对黏土矿物的成分及含量没有影响。

2 测试结果

根据密度函数理论, 使用仪器提供的 DFT-PLUS 软件对孔分布进行了系统的计算, 由于蒙脱石矿物是层状铝硅酸盐矿物, 矿物内孔为片状孔, 粒间孔也可以概化为片状孔, 因此在模型选择时使用了 DFT 片状孔的计算模型, 得出各种土样的微孔分布微分图解。测试结果见表 2 和图 1。

测试结果表明, 加灰前后土样的比表面积和微孔结构发生了较为明显的变化, 主要体现在: ①石灰处理后土样的 BET 比表面积相应下降, 约占原土样的 8%~14%, BJH 微孔比表面积也相应下降; 其中 K132 下降幅度最大, K127 下降幅度最小; ②微孔体积明显增加, 如 K127, 微孔体积从 0.0423 上升到 0.0510 cm³/g, 增幅达 20%; ③BJH 微孔孔径和孔径中值均增大, 其中

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40172089)

收稿日期: 2002-12-09

孔径中值的变化尤其明显,如 K132 由 45.9726 Å 增到 115.9238 Å 增幅达 152%; ④3 种土加灰前后的孔径分布形式没有发生明显变化,孔径的分布都出现双峰,第一个峰在小于 20 Å 处,第二个峰在孔径为 30 Å 附近; ⑤不同孔径的比表面积贡献量发生变化,在小于 30 Å 的微孔比表面积减小,大于 300 Å 的微孔加灰后的比表面积普遍增高,如图 1(a) 和(b), 30 Å 的比表面积为 36 m²/g, 加灰后 30 Å 孔径的比表面积为 29 m²/g, 说明微孔的数量变少; 300 Å 孔径的比表面积为 0.5 m²/g,

加灰后 300 Å 孔径的比表面积为 1.0m²/g, 说明超微孔的数量变少,而稍大的微孔数量增多。

3 分析与结论

对以上测试结果分析如下:
(1) 土样加灰后 BET 和 BJH 比表面积减小,主要是由于石灰与土中水接触后,使孔隙溶液中 Ca²⁺ 浓度增加,与黏粒颗粒表面的 Mg²⁺ Na⁺ 和 K⁺ 发生阳离子

表 1 土样的物理化学性质及胀缩性

Table 1 The physical, chemical and the swelling-shrinking characteristics of the expansive soil																	
编号	黏土矿物含量*			小于 2μ 黏粒含量		最优含水率		最大干密度		液限		塑性指数		膨胀力		线胀缩总率	
	/%			/%		/%		/(g•cm ⁻³)		/%		/%		/kPa		/%	
	蒙脱石	伊利石	高岭石	1°	2°	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
K47	4.56	12.32	3.22	20.1	18.2	21.2	21.8	1.69	1.59	48.9	43.8	27.1	19.5	60	30.8	2.1	- 0.5
K127	5.49	5.49	2.46	15.9	13.7	19.0	19.8	1.70	1.67	45.6	42.5	25.8	17.8	39	16	1.5	- 0.1
k132	13.42	15.51	2.98	35.5	26.8	20.0	20.6	1.71	1.68	53.5	47.1	30.7	21.5	70	37	2.9	- 0.25

注: * 表中 1 2 分别代表加灰前和加灰后的指标,土样的加灰量为 8%。

表 2 处理前后土样比表面积和孔结构

Table 2 Surface area and pore structure for lime-treated and non-treated expansive soil						
表面特征	K132		K47		K127	
	原土	8% 石灰	原土	8% 石灰	原土	8% 石灰
BET 比表面积/(m ² ·g ⁻¹)	61.9911	50.9285	52.8174	48.6144	46.5327	42.9117
BJH 微孔比表面积/(m ² ·g ⁻¹)	49.1078	40.2442	41.2209	37.9109	34.6943	32.6363
BJH 微孔体积/(cm ³ ·g ⁻¹)	0.0628	0.0695	0.0601	0.0714	0.0423	0.0510
BJH 微孔平均孔径/Å	51.1400	57.2286	58.3527	75.2866	48.7152	62.5006
孔径中值/Å	45.9726	115.9238	66.2606	139.5992	36.5059	84.3273

注: 微孔特指孔径在 17~ 3000 Å 之间孔隙。

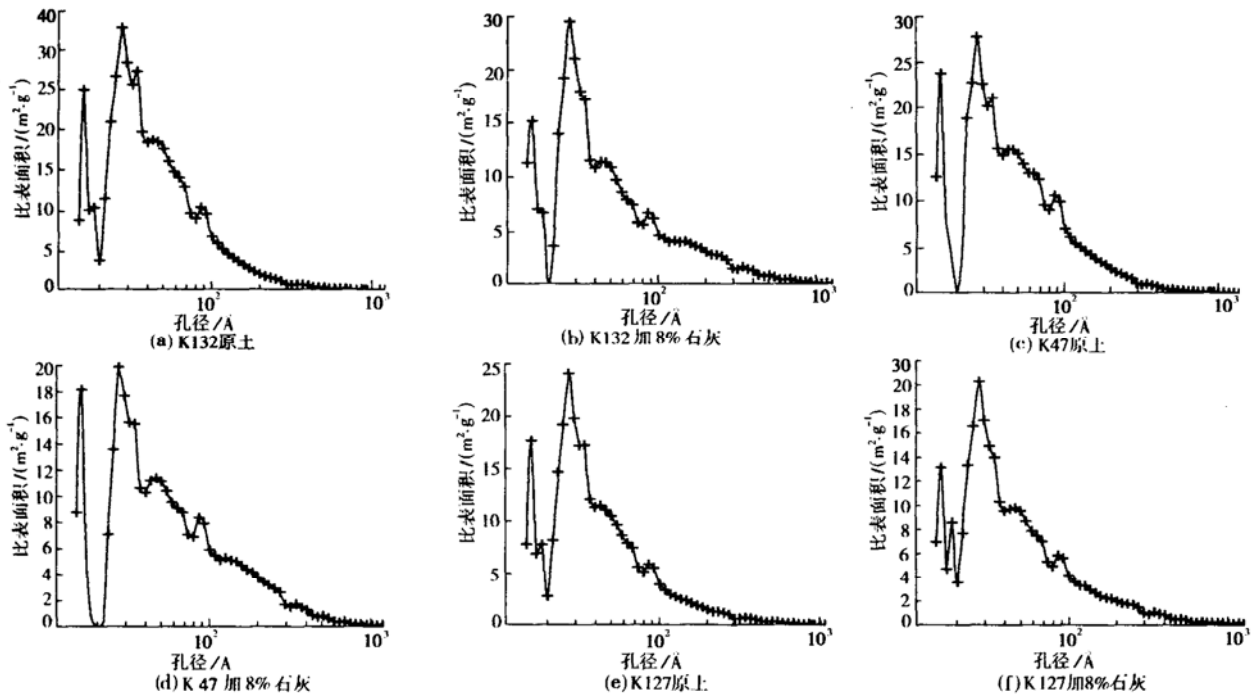


图 1 加灰前后孔径与比表面积的分布曲线

Fig. 1 Distribution of pore diameter and face area for lime-treated and non-treated expansive soil

交换作用,使土粒的水化膜变薄,产生凝聚和聚沉,并形成较大的集粒和集聚体,导致土中高比表面积的黏粒含量下降,下降幅度与土中黏粒含量有关,K132的黏粒含量最多,加灰后比表面积下降17.84%,K47的黏粒含量次之,加灰后比表面积下降7.96%,K127黏粒含量最少,比表面积下降7.78%。黏粒产生凝聚反映在颗粒成分上,表现为加灰后,小于 2μ 黏土颗粒的含量明显下降8%左右;比表面积的降低导致黏土矿物的活动性与亲水性降低,从而抑制了膨胀土的胀缩性,提高了土的工程性质,见表1。

(2)3种土加灰后,黏土矿物结构层层间距都变大,由小于30的孔径比表面积减小,说明层间孔的小孔数量减小,而大孔数量增多,亦即黏土矿物的结构层层间距增大。这是由于阳离子的导入将其层间离子、层间水进行了置换,导致了层间酸位(尤其是布朗酸)密度的下降,进而降低了亲水能力。对蒙脱石、伊利石—蒙脱石混层矿物,交换性阳离子变为钙离子,使得晶体内部层间距尺寸增大。另外,黏粒表面吸附内层阳离子以钙离子为主且浓度较大,因此使矿物 b 轴尺寸发生变化,使之与 9.00×10^{-10} m的偏离值 Δb 值减小, Δb 表现了矿物的水化能力, Δb 值减小,矿物的水化能力减弱。

(3)从土样加灰前后微孔体积的增大和孔径中值变大等来看,加灰后土样的微孔径变得更大,单位质量内的微孔体积也更大。从表1也看到,加灰后3种土

的最大干密度均发生了下降,如K132的最大干密度由 1.71 g/cm^3 降到 1.68 g/cm^3 ,这表明黏性土加灰后,强度的提高^[2~4]不是因为干密度的增加,而是因为黏粒间连接力的提高所致。

(4)从以上微孔结构分析可知,加灰后土样胀缩性减小的机理是由于黏粒微孔孔径的增大,比表面积减小,黏粒的活动性和亲水性下降和黏粒间连接力增大所致。孔径的增大一方面使土的比表面积减小,另一方面为膨胀土的胀缩预留了空间,使得土体的胀缩性下降。

参考文献:

- [1] 李生林,秦素娟,等.中国膨胀土工程地质研究[M].南京:江苏科学技术出版社,1992.
- [2] 陈新民,罗国煜,李生林.生石灰改良膨胀土的试验研究[J].水文地质工程地质,1997,6.
- [3] Bell F G. Lime stabilization of clay and soils[J]. Engineering Geology, 1996, 42: (1).
- [4] Gregg S J, Sing K S W. Adsorption, Surface Area, and Porosity 2nd ed[M]. London: Academic Press, 1982.
- [5] Magee R W. Evaluation of the external surface area of carbon black by nitrogen adsorption[J]. Rubber Chem Technol, 1995, (68): 590-599.
- [6] Hess W M, Herd C R. Microstructure, morphology and general physical properties[A]. Donnet J B, Bansal R C, Wang M J. Carbon Black Science and Technology[M]. Dekker, 1993, 73.

《岩土工程学报》广告发布业务简介

《岩土工程学报》创办于1979年,是我国水利、土木、力学、建筑、水电、振动等六个全国性学会联合主办的核心期刊。国内外公开发行。

本刊为我国中文核心期刊,并在同类期刊中排列首位。本刊为中国科协、江苏省和我国水利系统优秀期刊,多次获中国科协和国家自然科学基金委的择优经费资助。本刊的读者面广,读者群稳定,多年来,发行量均位于同类期刊的前列。

本刊开展广告业务旨在及时传递国内外的新产品、新技术信息,扩大优质产品和先进技术在国内外影响,促进科技进步,加速科技成果向生产力的转化。

《岩土工程学报》刊登广告注意事项:

(1)刊登广告前需签订协议。客户应提供营业执照副本复印件;广告中如含有产品鉴定或检验结论,入网或获奖情况以及单位通过质量体系认证等内容时,客户需提供相应结论报告

或证书的复印件。

(2)客户应于广告刊登前45天将广告稿递交本刊广告部。E-mail: ge@njhri.edu.cn。

(3)本刊广告部有权根据广告法及新闻出版有关文件规定,对客户的广告内容进行必要的修改。本刊广告部在规定的时间内未收到客户的广告费或广告稿时,有权将客户所订广告版面转让给其他客户。

(4)广告一经刊出,即向刊登广告的客户赠送当期杂志5册。

(5)《岩土工程学报》广告发布业务联系方式。通讯方式:210024,南京市虎踞关34号《岩土工程学报》编辑部;电话:025-5829556,5829553;传真:025-5829555;联系人:胡海霞;E-mail: ge@njhri.edu.cn。