



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.03.020

马晓宁, 王选仓, 孙进玲, 等. 陇南地区膨胀土微观结构与膨胀性[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(3): 111-114, 149. MA Xiaoning, WANG Xuan cang, SUN Jin ling, et al. Microstructure and expansion properties of expansive soil in Longnan District[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(3): 111-114, 149. (in Chinese)

陇南地区膨胀土微观结构与膨胀性

马晓宁¹, 王选仓¹, 孙进玲², 王欢³, 付良举²

(1. 长安大学 公路学院, 西安 710064; 2. 甘肃省公路建设管理集团有限公司, 兰州 730030;
3. 河南大学 土木建筑学院, 河南 开封 475004)

摘要: 利用扫描电子显微镜(SEM)和X射线衍射(XRD)试验研究了陇南地区十天高速公路沿线膨胀土的微观结构和矿物成分, 并对该地区膨胀土膨胀性进行了判断。试验结果表明, 该地区膨胀土颗粒基本呈无弯曲或有弯曲薄片状, 即应为蒙脱石或蒙脱石伊利石混层矿物颗粒; 薄片状矿物颗粒以层状面-面接触, 各矿物颗粒间存在狭小缝隙; 定性与定量分析了膨胀土的矿物组成, 其中蒙脱石含量较少, 伊利石、高岭石和石英含量较高。经判断得出陇南地区十天高速公路甘肃段沿线膨胀土为弱膨胀土。

关键词: 扫描电子显微镜试验; X射线衍射试验; 微观结构; 矿物成分; 蒙脱石; 膨胀性; 弱膨胀土

中图分类号: U416.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)03-0111-04

Microstructure and expansion properties of expansive soil in Longnan District

MA Xiaoning¹, WANG Xuan cang¹, SUN Jin ling², WANG Huan³, FU Liang ju²

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. Gansu Province Highway Construction Management Group Co. Ltd., Lanzhou 730030, China;

3. School of Civil Engineering and Architecture, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract: The microstructure and mineral composition of the expansive soil along Shiyan to Tianshui expressway in Longnan District were analyzed through scanning electron microscope(SEM) experiments and X ray diffraction(XRD) experiments, and the expansion properties of expansive soil in this district were analyzed. According to the experiment results, the expansive soil particles basically presented as laminae with or without bending, which showed the properties of montmorillonite mineral particles or mixed layer mineral particles of montmorillonite and illite; Lamelliform mineral particles were contacted surface to surface, and there were small gaps among the mineral particles; The mineral composition of this expansive soil was analyzed qualitatively and quantitatively, which showed small property of montmorillonite and large property of illite, kaolinite and quartz. Based on the experiment results above, the expansive soil along Shiyan to Tianshui expressway in Longnan legion of Gansu province was judged as weak expansive soil.

Key words: scanning electron microscope experiments; X-ray diffraction experiments; microstructure; mineral composition; montmorillonite; expansion properties; weak expansive soil

膨胀土作为一种典型的遇水膨胀、失水收缩的灾害性土, 对高速公路建设和运营安全有着很大的

影响。在工程建设中, 如果不能正确区分膨胀土以及判别膨胀土的膨胀性, 往往会造成高速公路路基

收稿日期: 2015-12-12 修回日期: 2016-01-04 网络出版时间: 2016-05-05

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160505.1139.020.html>

基金项目: 甘肃省交通运输厅科研项目(2013-07)

Fund: Gansu Province Transportation Hall Research Projects(2013-07)

作者简介: 马晓宁(1990-), 女, 安徽灵璧人, 博士, 主要从事公路工程方面研究。E-mail: 782535821@qq.com 通讯作者:

及边坡设计和施工的盲目性,同时,不恰当的路基及边坡处治措施会影响道路的使用寿命,并将导致较大的经济损失。因此,在膨胀土分布地区,高速公路建设前期需进行详细的地质勘察并判别膨胀土膨胀性^[1-3]。影响膨胀土膨胀性最根本的因素为膨胀土的微观结构和矿物组成,利用观测和试验手段从微观角度对膨胀土的膨胀性进行的判断可为高速公路设计和施工提供参考^[4-7]。由于我国各地地层岩性和地质构造的差异性,使得膨胀土微观结构和矿物组成的差异性明显,目前对于膨胀土膨胀性的研究地域性较强,鲜有对甘肃省陇南地区膨胀土膨胀性的研究,因此,对该地区膨胀土膨胀性进行微观研究很有必要^[8-13]。本文利用扫描电子显微镜(SEM)和X射线衍射(XRD)试验^[14-17],分析了陇南地区膨胀土的微观结构和矿物组成,为该地区膨胀土膨胀性的判别和相应处治措施的制定提供了参考。

1 陇南地区地质条件

甘肃省膨胀土分布于陇南市西和县,该地区为低中山地貌区,路线以路基、桥梁形式布设于横岭河左岸阶地。地层岩性为坡积、冲洪积黄土状粉质黏土、碎石土、角砾,在粉质黏土与碎石土分界处多有淤泥质粉质黏土夹层分布,属第三系泥岩,为极软

岩,呈灰绿色。

2 膨胀土微观结构分析

2.1 试验仪器及试验方法

(1) 试验仪器。

本研究采用的膨胀土微观结构观测仪器为JSM-6390A扫描电子显微镜,该扫描电镜可对物体表面进行5~300 000倍的观测分析。

(2) 试验方法。

试验所用膨胀土取自甘肃省陇南地区十天高速公路甘肃段K651+500处原状土,具体试验步骤如下。

1 将膨胀土试验样本制成长宽高分别为5 mm左右的土块,并进行脱水处理;

° 将脱水处理后的膨胀土试验样本置于离子溅射仪进行喷金处理;

» 将膨胀土试验样本放至扫描电子显微镜下,分别进行放大200、500、1000、2000和5000倍的微观结构观测分析。

2.2 试验结果分析

试验样本分别放大200、500、1000、2000和5000倍后的SEM图片见图1。

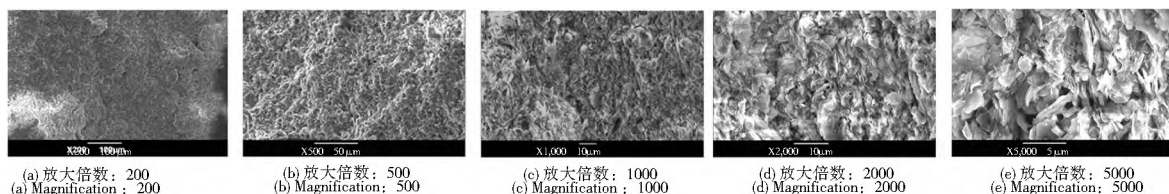


图 1 K651+500 处试验样本 SEM 图片

Fig. 1 SEM pictures of experiment samples from K651+500

从图 1 可以得出如下结果。

(1) 当放大倍数为 200 倍时,可观测到膨胀土表面主要为片状颗粒分布,片状颗粒大小不同,呈波浪状态的不规则分布,局部存在较大颗粒。各片状颗粒为层叠联接,面面接触,有较多孔隙。

(2) 当放大倍数为 500 倍和 1 000 倍时,可更为清晰的观测到膨胀土表面的片状颗粒分布,也有粒状颗粒局部分布于膨胀土表面,直径约为 10 μm ,为石英。

(3) 当放大倍数为 2 000 倍及 5 000 倍时,可观察到膨胀土表面较为细致的微观特征:除少量粒状颗粒,其余颗粒均以薄片状分布,且这些薄片状颗粒呈现无弯曲或有弯曲形态。其中,有弯曲薄片状颗粒为蒙脱石或蒙脱石、伊利石混层矿物颗粒,该颗粒是造成膨胀土具有较强吸水膨胀和失水收缩性能的

主要原因;无弯曲薄片状颗粒为伊利石,其形态同蒙脱石类似,但膨胀性较弱甚至无膨胀性;此外,少数多边形薄片状颗粒为高岭石,该矿物吸水性较强,但不具有膨胀性。

(4) 无弯曲及有弯曲薄片状颗粒多以层状排布,层与层之间多为面面接触,有些薄片状颗粒之间呈平行状分布但无接触,存在狭小缝隙,有些薄片状颗粒间不规则排列也存在狭小缝隙,但各缝隙间基本无连通,为水分进出及保水提供条件,影响着膨胀土的胀缩变形。

3 膨胀土能谱分析

选取了比较有代表性的 K652+700 处试验样本进行能谱分析,以试验样本表面一处薄片状颗粒(003 号)和一处粒状颗粒(002 号)作为代表性分析

点,选定的分析区域见图 2,对分析点矿物元素成分的能谱图见图 3。

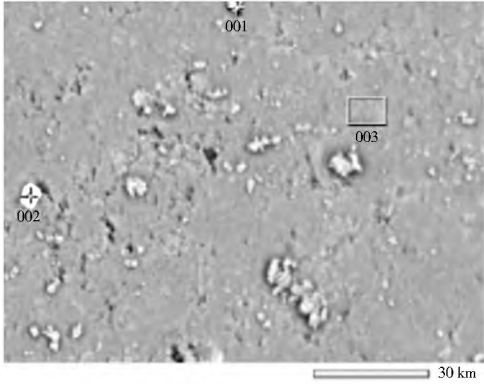


图 2 能谱分析点

Fig. 2 Spectral analysis points

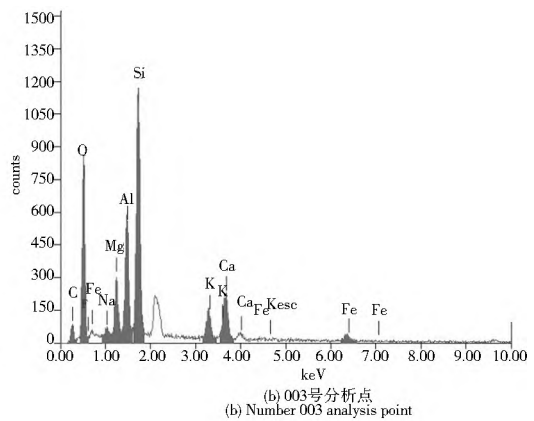
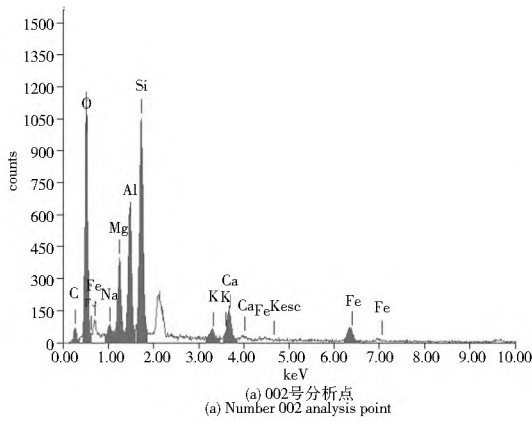


图 3 能谱图

Fig. 3 Energy spectral diagram

根据图 3 可得到两分析点的各矿物元素含量,见表 1。

表 1 两个分析点矿物元素含量

Tab. 1 Element contents of two analysis points

分析点	矿物元素含量(%)								
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
002 号	10.55	43.65	3.03	2.26	9.24	24.57	1.81	2.30	2.58
003 号	7.61	44.83	0.92	6.28	10.42	18.59	1.10	4.47	6.24

4 膨胀土矿物组成分析

试验样本取自陇南地区十天高速公路甘肃段 K651+ 500 和 K652+ 700 处。试验过程中,首先将样本磨细至细度为 45 μm 左右(即应过 325 目筛)的粉状;然后将磨成粉状的样本移至 X 射线衍射仪下进行分析,所得分析结果见图 4 和图 5。

应用 MDI Jade5.0 软件分析了 K651+ 500 和 K652+ 700 两取样点试验样本 X 射线衍射图谱,比照 PDF2-2004 粉末库,得出了对膨胀土样本定性和定量分析结果:

从表 1 中可以看出,两个代表性分析点的各矿物元素含量差别较大,其中,002 号点为石英,主要以粒状土体分布于膨胀土中,石英基本由 SiO₂ 所组成,因此,002 号分析点的 Si 含量较高;003 号分析点为蒙脱石、伊利石及高岭石等,以薄片状分布于膨胀土中,蒙脱石、伊利石及高岭石等主要由 Mg、Al 等金属元素与其他物质组成的化合物,因此,003 号分析点的 Mg、Al 等金属元素含量较高。由于 002 号所代表的粒状颗粒在膨胀土中分布较少,膨胀土中大部分为 003 号所代表的薄片状颗粒,因此,验证了由扫描电子显微镜观察到的膨胀土微观结构的正确性,即该地区膨胀土主要由蒙脱石、伊利石等薄片状颗粒组成。

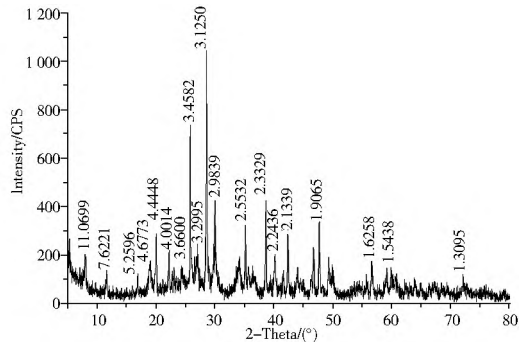


图 4 K651+ 500 处膨胀土 X 射线衍射图

Fig. 4 X ray diffraction photograph of expansive soil from K651+ 500

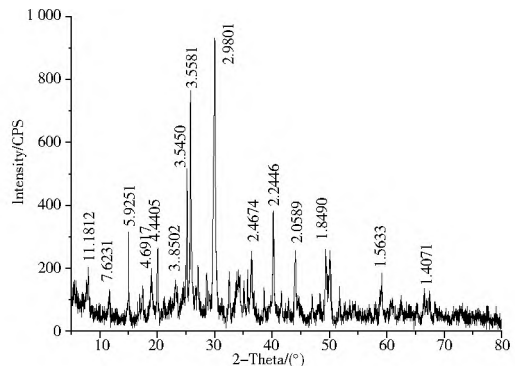


图 5 K652+ 700 处膨胀土 X 射线衍射图

Fig. 5 X ray diffraction photograph of expansive soil from K652+ 700

(1) 主要的黏土矿物有蒙脱石、伊利石、高岭石、绿泥石、长石及石英等; (2) 通过衍射峰强度同半高宽等的计算得出了各黏土矿物的含量, 见表 2。

表 2 试验样本黏土矿物成分含量表

Tab. 2 Clay minerals contents of experiment samples

取样点	矿物成分含量(%)					
	蒙脱石	伊利石	高岭石	绿泥石	长石	石英
K651+ 500	8	26	18	1	2	45
K652+ 700	9	30	25	1	3	32

从表 2 可以得出, 两取样点的膨胀土试验样本中, 蒙脱石含量均较低, 各为 8% 和 9%; 伊利石和高岭石含量较高, 两种矿物的总含量各占 44% 和 55%; 石英含量较高, 各为 45% 和 32%。

同时, 取 K651+ 500 和 K652+ 700 处原状土进行自由膨胀率试验, 得到两处自由膨胀率分别为 41% 与 43%, 均呈现弱膨胀性。

不同矿物组成对膨胀土的膨胀性的影响如下^[8-13]。

(1) 蒙脱石含量对膨胀土膨胀性的影响较大, 作为一种反映膨胀土胀缩变形本质的指标, 蒙脱石含量可用作判断膨胀土膨胀性的分类标准, 根据《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012- 2007) 膨胀潜势分级标准中关于蒙脱石含量指标的分类, 膨胀土膨胀性的大小同蒙脱石含量关系密切。

(2) 伊利石和高岭石对膨胀土膨胀性的贡献基本相同, 两种矿物虽均具有膨胀性, 但不是影响膨胀土膨胀性的主要因素, 当两者含量较多而蒙脱石含量较少时, 膨胀土仍呈弱膨胀性, 当两者含量较少时, 蒙脱石含量较多时, 膨胀土可表现为强膨胀性。

(3) 石英不具膨胀性, 因此石英含量的多少对膨胀土膨胀性不具有决定性作用, 如石英含量较多, 则相应具膨胀性的矿物较少, 膨胀土膨胀性较弱。

对甘肃陇南地区十天高速公路甘肃段的膨胀土的矿物成分进行分析, 可得出: 该地区膨胀土中对膨胀性起重要作用的蒙脱石含量有限, 为弱膨胀土蒙脱石含量的平均水平; 该地区吸水性较强但膨胀性较弱的伊利石和高岭石两种矿物成分含量基本相同, 而较多地区伊利石含量高于高岭石, 且该地区两种矿物含量跟其他地区相比处于中间水平; 该地区不具膨胀性的石英含量较多, 因此, 具膨胀性的矿物含量就相对较少。

综上所述, 从膨胀土的矿物组成角度可判断陇南地区十天高速公路甘肃段分布的膨胀土膨胀性较弱。

5 结论

(1) 基于 SEM 试验得出陇南地区十天高速公路甘肃段膨胀土颗粒基本呈无弯曲或有弯曲薄片状, 薄片状矿物颗粒以层状面-面接触, 各矿物颗粒间存在狭小缝隙, 并根据能谱分析验证了膨胀土主要由蒙脱石、伊利石等薄片状颗粒组成。

(2) 基于 XRD 试验定性与定量分析了陇南地区膨胀土的矿物组成, 其中蒙脱石含量较少, 伊利石、高岭石和石英含量较高。

(3) 陇南地区膨胀土中的蒙脱石含量较低, 自由膨胀率较小, 膨胀性较弱, 可为该地区膨胀土处治措施提供参考。

参考文献(References):

- [1] 彭波. CFG 桩在高速公路桥头深厚软土处理中的应用[J]. 湖南交通科技, 2013, 39(2): 42-45, 55. (PENG Bo. Application of CFG pile in deep and soft soil treatment of expressway bridge head [J]. Hunan Communication Science and Technology, 2013, 39(2): 42-45, 55. (in Chinese))
- [2] 柏立懂. 合徐合安高速公路膨胀土的矿物化学成分及微结构的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005. (Bai Lidong. Research on the composition of expansive soil of HeXu and HeAn expressway and its microstructure [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2005. (in Chinese))
- [3] 马文英, 程艳艳, 史长莹, 等. 降雨渗流及超载影响下膨胀土渠坡失稳模式研究[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(4): 138-142. (MA Wenying, CHEN Yanyan, SHI Changying, et al. Research on Instability modes of expansive soil slope under the impacts of rainfall seepage and overload [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(4): 138-142. (in Chinese))
- [4] 戴张俊, 陈善雄, 罗红明, 等. 南水北调中线膨胀土/岩微观特征及其性质研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(5): 948-954. (DAI Zhangjun, CHEN Shanyong, LUO Hongming, et al. Microstructure and characteristics of expansive soil and rock of middle route of South to North Water Diversion Project [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(5): 948-954. (in Chinese))
- [5] 刘志彬, 施斌, 王宝军, 等. 改性膨胀土微观孔隙定量研究[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(4): 526-530. (LIU Zhibin, SHI Bin, WANG Baojun, et al. Quantitative research on micro pores of modified expansive soils [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(4): 526-530. (in Chinese))
- [6] Af Mukhtar M, Khatib S, Alcover J F. Microstructure and Geotechnical Properties of Lime treated Expansive Clayey Soil [J]. Engineering Geology, 2012, 139-140: 17-27.
- [7] Af Mukhtar M, Lasledj A, Alcover J F. Behavior and Mineralogy Changes in Lime treated Expansive Soil at 20°C [J]. Applied Clay Science, 2010, 50: 191-198.

(下转第 149 页)

- [13] LI De ying, YIN Kur long, Chin Leo. Analysis of Baishuihe landslide influenced by the effects of reservoir water and rair fall[J]. Environ Earth Sci, 2010, 60: 677-687.
- [14] 卢书强, 易庆林, 易武, 等. 库水下降作用下滑坡动态变形机理分析-以三峡库区白水河滑坡为例[J]. 工程地质学报, 2014, 22(5): 869-875. (LU Shu qiang, YI Qing lin, YI Wu, et al. Study on dynamic deformation mechanism of landslide in drawdown of reservoir water level-take baishuihe landslide in Three Gorges Reservoir Area for example[J]. Journal of Engineering Geology, 2014, 22(5): 869-875. (in Chinese))
- [15] 卢书强, 易庆林, 易武, 等. 三峡库区卧沙溪滑坡变形失稳机制分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2013, 24(2): 21-25. (LU Shu qiang, YI Qing lin, YI Wu, et al. Analysis on deformation and failure mechanism of Woshaxi landslide in the Three Gorges Reservoir Area[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2013, 24(2): 21-25. (in Chinese))
- [16] 三峡大学土木与建筑学院. 三峡库区秭归县典型滑坡专业监测预警成果报告[R]. 宜昌: 三峡大学土木与建筑学院, 2014. (College of Civil Engineering and Architecture, China Three Gorges University. Research report on professional monitoring and early-warning of typical landslide in Zigui County in the Three Gorges Reservoir Area[R]. Yichang: College of Civil Engineering and Architecture, China Three Gorges University, 2015. (in Chinese))
- [17] 黄波林, 陈小婷. 香溪河流域白家堡滑坡变形失稳机制分析[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(6): 938-942. (HUANG Bo lin, CHEN Xiaoting. Deformation failure mechanism of Baijiaobao landslide in Xiangxi River Valley[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(6): 938-942. (in Chinese))
- [18] 陈小婷, 黄润秋. 湖北省香溪河流域白家堡滑坡稳定性分析与评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(4): 29-33. (CHEN Xiaoting, HUANG Run qiu. Stability analysis of Baijiabao Landslide in Xiangxi River Valley, Hubei Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2006, 17(4): 29-33. (in Chinese))
- [19] 陈小婷, 黄波林. 香溪河流域白家堡滑坡变形监测初步分析[J]. 华南地质与矿产, 2004, 20(3): 55-58. (CHEN Xiaoting, HUANG Bo lin. Monitoring and deformation analysis of Baijiaobao landslide in Xiangxi river valley[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2004, 20(3): 55-58. (in Chinese))
- [8] 刘海峰, 易鸣, 谢建波, 等. 南水北调中线强膨胀土微观结构特征及工程特性[J]. 人民长江, 2014, 45(6): 67-70. (LIU Hair feng, YI Ming, XIE Jian bo, et al. Microstructure and properties of strong expansive soil in South to North Water Transfers Project[J]. Yangtze River, 2014, 45(6): 67-70. (in Chinese))
- [9] 陈宇龙. 云南膨胀土的微观结构特征[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(增1): 334-339. (CHEN Yu long. Microstructure of expansive soil from Yunnan Province[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(sup 1): 334-339. (in Chinese))
- [10] 赵彤, 崔可锐, 周阳. 安徽省膨胀土的中微观结构研究[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2014, 37(7): 831-834. (ZHAO Tong, CUI Ke rui, ZHOU Yang. Research on meso structure and micro structure of expansive soil in Anhui Province[J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science, 2014, 37(7): 831-834. (in Chinese))
- [11] 朱豪, 王柳江, 刘斯宏, 等. 南阳膨胀土膨胀力特性试验[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(5): 11-14. (ZHU Hao, WANG Liu jiang, LIU Si hong, et al. Experimental Study of the swelling force of Nanyang expansive soils[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(5): 11-14. (in Chinese))
- [12] 瞿剑华. 南水北调东线徐州段泵站膨胀土地基工程性质研究[J]. 南水北调与水利科技, 2005, 3(5): 18-20. (ZI Jian hua. Expansive foundation of the pumping station at Xuzhou section in the South to North Water Project[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2005, 3(5): 18-20. (in Chinese))
- [13] 董忠萍, 黄定强, 刘家明, 等. 引江济汉工程渠道膨胀土分类及工程处理[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(2): 14-18. (DONG Zhong ping, HUANG Ding qiang, LIU Jia ming, et al. Classification and engineering treatment of expansive soil in the channels of the Yangtze River Hanjiang River Water Transfer Project[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(2): 14-18. (in Chinese))
- [14] 何运龙, 刘晓琪, 郗国增, 等. 河北磁县膨胀岩(土)现场鉴别方法[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(3): 198-200+137. (HE Yu long, LIU Xiao qi, XI Guo zeng, et al. Research on field identification method of swelling rock (soil) in Ci County of Hebei[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(3): 198-200+137. (in Chinese))
- [15] 李东森, 夏熙临, 陈丛丛, 等. 石灰、水泥及砂改性膨胀土工程特性的试验研究[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(4): 25-27+46. (LI Dong sen, XIA Xi lin, CHEN Cong cong, et al. Experimental Study on engineering characteristics of expansive soils modified with lime, cement and sand[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(4): 25-27+46. (in Chinese))
- [16] 肖杰, 王保田, 孙衣春, 等. 水泥石灰复合改良膨胀土试验[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(2): 9-13. (XIAO Jie, WANG Bao tian, SUN Yi chun, et al. Experimental study on the stabilized lime cement expansive soils[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(2): 9-13. (in Chinese))
- [17] 李红炉, 徐秋达. 水泥改性膨胀土干密度与自由膨胀率试验研究[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(6): 216-219. (CHEN Hong lu, XU Qiu da. Experimental study on dry density and free swelling ratio of cement treated expansive soil[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(6): 216-219. (in Chinese))

(上接第114页)