

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.02.007

张唐瑜, 马丽娜, 张戎令, 等. 高速铁路膨胀泥岩路基渗流及膨胀特性试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2019(2): 48-54. (ZHANG Tangyu, MA Lina, ZHANG Rongling, et al. Experimental studies on seepage and swell ability of expansive mudstone on high speed railway subgrade[J]. Hydro-Science and Engineering, 2019(2): 48-54. (in Chinese))

# 高速铁路膨胀泥岩路基渗流及膨胀特性试验研究

张唐瑜<sup>1</sup>, 马丽娜<sup>1, 2</sup>, 张戎令<sup>1, 2, 3</sup>, 王起才<sup>1, 2</sup>, 王天双<sup>1</sup>, 王炳忠<sup>1</sup>

(1. 兰州交通大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州交通大学 道桥工程灾害防治技术国家地方联合工程实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 卡迪夫大学 工程学院, 威尔士 卡迪夫 CF24 3AA)

**摘要:** 以兰新高铁某典型膨胀泥岩路基段为研究对象, 进行现场水平及竖向渗流试验, 研究不同渗流方向下泥岩的膨胀及渗透特性。结果表明: 水平及竖向渗流试验中, 不同位置土样的体积含水率均经历前期快速增长、中期外凸弧线型缓慢增长和后期基本稳定这3个阶段。当泥岩发生水平渗流时, 泥岩既发生膨胀, 又发生软化, 离注水管越近的土样膨胀量越大; 离注水管远的土样朝已软化的泥岩方向释放膨胀能, 导致其竖向膨胀量变小。影响水分在土样中渗透的因素主要有上部土样对下部土样的压密作用、基质吸力作用和重力作用。当泥岩发生自上而下竖向渗流时, 土样最终体积含水率从上到下依次递减; 泥岩膨胀会导致其渗透性减小; 泥岩膨胀经历快速膨胀阶段、膨胀减缓阶段和膨胀稳定阶段。

**关键词:** 高速铁路; 泥岩; 渗流; 膨胀特性

**中图分类号:** TU443

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-640X(2019)02-0048-07

我国高速铁路建设飞速发展, 高速铁路无砟轨道对地基膨胀变形要求极为严格, 膨胀允许调整值仅为+4 mm<sup>[1-3]</sup>。马丽娜等<sup>[4-7]</sup>对哈密地区的泥岩进行了前期研究, 发现该地区泥岩具有高速铁路不可忽视的微弱膨胀性。膨胀性土是一种含有大量亲水性矿物的非饱和高塑性黏土, 吸水膨胀软化, 失水收缩开裂<sup>[8-9]</sup>。若处理不当, 将严重影响房屋、管道、边坡、高速铁路等各类工程的安全, 甚至对国民经济造成巨大损失<sup>[10]</sup>。因此, 在膨胀土地区进行工程建设必须首先加强对其工程性质的研究。关于膨胀性土的研究具有区域性和工程具体性, 国内外学者对各种性质土进行了大量研究并取得了颇有价值的理论成果。饶锡保等<sup>[11]</sup>对南水北调中线工程南阳中膨胀土击实样进行了不同初始含水率与压实度的无荷膨胀率和有荷膨胀率试验。黄斌等<sup>[12]</sup>对邯郸强膨胀土进行了相关研究, 提出了考虑压实度、初始含水率和上覆荷载影响的膨胀率计算式。何山等<sup>[13]</sup>对红山窑水利枢纽工程中的风化红砂岩进行了膨胀特性试验, 试验表明, 随着红砂岩风化程度及含水率增大, 其膨胀率逐渐增大。项伟等<sup>[14]</sup>对南水北调潞王坟段弱膨胀土进行了相关研究, 研究发现该土的膨胀特性与孔隙结构有密切关系。杨明等<sup>[15]</sup>对皖西中、弱膨胀土进行了系统试验研究, 探讨了膨胀土的膨胀性指标随含水率和干密度的变化规律。Allam等<sup>[16-18]</sup>认为膨胀土样在发生湿胀、干缩循环变形过程中, 黏性颗粒之间存在不可恢复的范德华力, 从而使得岩土体的渗透性增强。

上述研究所使用的试样体积均较小且单个试样含水率恒定, 而对较大比尺膨胀泥岩地基的渗流及膨胀研究尚不多见。实际工程中的地基均是大体积, 且土样含水率随渗流的变化过程是动态的, 选用大比尺土样进行研究更接近现场情况。进行大尺寸土工试验, 可使岩土试样的局部缺陷、取样扰动等不可避免随机

**收稿日期:** 2018-06-20

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(51768033); 长江学者和创新团队发展计划滚动支持(IRT\_15R29); 中国铁路总公司科技研究开发计划课题(Z2015—G001); 甘肃省基础研究创新群体(145RJIA332)

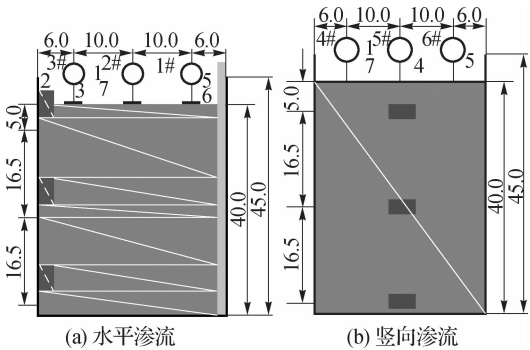
**作者简介:** 张唐瑜(1995—), 男, 甘肃白银人, 硕士研究生, 主要从事岩土及隧道方面的研究。E-mail: 670912431@qq.com

**通信作者:** 马丽娜(E-mail: malinalanzhou@163.com)

因素的影响程度尽可能降低,使试验更宏观化,在同样的仪器精度下,提高试验成果的精度和可靠度<sup>[19]</sup>。因此,对膨胀泥岩进行较大比尺的渗流及膨胀研究很有必要。本文依托兰新高铁第二双线,选取某典型膨胀泥岩地基段的土样,进行较大比尺的渗流及膨胀试验研究。

1 试验概况

共进行两组试验,分别对泥岩进行水平和竖向渗流时的渗透及膨胀特性研究(见图1)。试验土样取自兰新高铁第二双线 DK1236+400 处,钻机取样,取样深度 8~13 m。按照《铁路工程土工试验规程》(TB10102—2010)测得其物理力学指标如表1所示。泥岩的膨胀量对含水率比较敏感,在土样钻取、运输和储存过程中,对泥岩含水率的影响较大,因此试验之前将土样在烘箱内进行彻底烘干,然后使用手夯锤人工分层夯实,控制干密度为 1.6 g/cm<sup>3</sup> 时进行试验。



1—位移传感器;2—湿度传感器;3—有机玻璃片;  
4—塑料板(带孔),方便水流入渗;5—钢制圆桶试验箱;  
6—PVC 注水管;7—夯实泥岩

图1 渗流试验示意(单位:cm)

Fig.1 Diagram of seepage testing (unit:cm)

表1 泥岩基本物理力学指标

Tab.1 Basic physical and mechanical indexes of mudstone

| 天然密度/<br>(g·cm <sup>-3</sup> ) | 天然含水率/% | 液限/%  | 塑限/%  | 塑性指数  | 自由膨胀率/% | 阳离子交换量/<br>(mmol·kg <sup>-1</sup> ) | 水中崩解稳定时间/<br>min |
|--------------------------------|---------|-------|-------|-------|---------|-------------------------------------|------------------|
| 1.78                           | 3.35    | 37.69 | 18.28 | 19.41 | 37.21   | 101.23                              | 13               |

试验过程如下:

- (1) 水在岩土体中的渗透受粒径大小的影响,为实现岩土体粒径的均一性,将粒径对渗透的影响降至最小,将土样碾细并过 5 mm 筛。
- (2) 为限制土样的侧向膨胀变形,加工直径 32.0 cm,高 45.0 cm,厚 2.0 mm 的钢制试验箱进行试验。
- (3) 两组试验的夯实厚度均为 40.0 cm,夯实过程中,在距离上表面 5.0, 21.5 和 38.0 cm 处埋设 SWR-100 型湿度传感器,用以量测桶内不同位置处泥岩体积含水率的变化。TDR-4 型湿度传感器通过测定土壤的介电常数,从而直接反应各类土壤的真实体积含水率,因其密封性好、防水性及抗压能力强,测试精度达到 2%,可以满足深埋土层的要求。
- (4) 在试验箱顶沿直径方向布置 3 个量程 5 cm 的位移传感器,用于量测泥岩的膨胀量。对水平渗流试验位移传感器进行编号,离注水管由近到远依次是 1#,2#和 3#,用于量测不同测点的膨胀量;对竖向渗流试验位移传感器进行编号,从左到右依次是 4#,5#和 6#,用于量测土样整体的膨胀量,位移传感器量程 50.000 mm,精度 0.001 mm。
- (5) 进行水平渗流试验时,位移传感器底部放置有机玻璃片,用于扩大位移传感器测量头测量面积,提高精度;进行竖向渗流试验时,在土体表面放置一块直径 30 cm 的圆形塑料板,并在板上打孔,以防止直接注水时对夯实土样的冲刷。
- (6) 仪器架设完毕后进行初始读数,然后注水(注水方式:水平渗流试验由 PVC 注水管进行注水;竖向渗流试验将水缓慢倒在塑料板上,由塑料板上的小孔入渗)并读数,试验为连续注水,保证注水管及渗水板上一直有水。
- (7) 注水结束后读数,每天读数不少于 6 次,当位移传感器和湿度传感器读数稳定后进行下次注水,当

某次注水后,所有传感器的读数均基本稳定,则结束试验。

2 试验结果及分析

2.1 水平渗流

对水平渗流试验膨胀数据进行分析处理,可得夯实试样在水平渗流时各个测点膨胀量随时间的变化规律(见图 2)。

由图 2 可知,随着注水量和时间的增加,3 个不同测点的泥岩膨胀量均呈非线性增加,最后趋于一定值。将 3 个不同测点在不同时期的膨胀量、相对总膨胀量的占比及平均膨胀速率列于表 2。

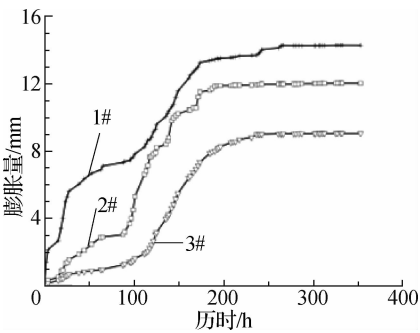


图 2 水平渗流膨胀时程曲线  
Fig. 2 Swelling time-history curves of horizontal seepage

表 2 水平渗流试验各测点膨胀对比

Tab. 2 Comparison of horizontal seepage testing data of swelling soil at measuring points

| 测点 | 总膨胀量/<br>mm | 试验前期       |          |                                  | 试验中期       |          |                                  | 试验后期       |          |                                  |
|----|-------------|------------|----------|----------------------------------|------------|----------|----------------------------------|------------|----------|----------------------------------|
|    |             | 膨胀量/<br>mm | 占比/<br>% | 膨胀速率/<br>(mm · h <sup>-1</sup> ) | 膨胀量/<br>mm | 占比/<br>% | 膨胀速率/<br>(mm · h <sup>-1</sup> ) | 膨胀量/<br>mm | 占比/<br>% | 膨胀速率/<br>(mm · h <sup>-1</sup> ) |
| 1# | 14.290      | 5.647      | 39.52    | 0.205 3                          | 7.621      | 53.33    | 0.052 2                          | 1.022      | 7.15     | 0.005 7                          |
| 2# | 12.035      | 3.068      | 25.50    | 0.035 1                          | 8.554      | 71.07    | 0.088 2                          | 0.413      | 3.43     | 0.002 6                          |
| 3# | 9.065       | 1.642      | 18.11    | 0.016 3                          | 7.187      | 79.28    | 0.055 3                          | 0.236      | 2.62     | 0.001 9                          |

由表 2 可知:

- (1) 3 个测点总膨胀量差异较大,1#测点膨胀量最大,2#测点次之,3#测点最小。
- (2) 3 个测点膨胀过程不同,其中 1#测点在试验前期膨胀速率最大,而 2#,3#测点在试验中期膨胀速率最大;3#测点膨胀速率变大的时间较 2#点有一定延迟。
- (3) 不同测点的膨胀时程曲线均由快速膨胀阶段、外凸弧线型减速膨胀阶段和膨胀稳定阶段 3 部分组成,不同测点的先后顺序不一样。

各个测点产生上述膨胀特性的原因分析如下:试验为水平渗流试验,先受水土样先发生膨胀,1#测点土样先受水,2#测点土样次之,3#测点土样最后受水。泥岩浸水过程中即发生膨胀,又发生软化。1#测点的土样,在受水过程中一侧是夯实泥岩,另一侧是钢制试验箱,膨胀能多释放于竖向;2#测点土样,一侧是夯实泥岩,一侧是浸水软化的泥岩,膨胀能同时在竖向和水平向释放;3#测点的土样,一侧是钢制试验箱,另一侧是浸水软化较为严重的泥岩,膨胀能同时在竖向和水平向释放,且水平向释放量大于 2#点的土样。因此各个测点竖向膨胀量分别为 1#>2#>3#。

1#测点距离注水管最近,土样较为干燥,储存膨胀能较大,试验开始注水时可以浸水快速释放膨胀能,因而前期膨胀速率较大;2#和 3#测点土样在试验开始的一定阶段没有受水,前期膨胀速率较小,到试验中期时水分渗透进入 2#和 3#测点土样,这时的膨胀速率较大;3#测点与 2#测点之间有一定的水平距离,这之间水分的运动主要以渗透为主,水分从 2#测点渗透到 3#测点需要一定时间,因此 3#测点膨胀速率增大点较 2#测点有一定的延迟。

泥岩对水分比较敏感,1#测点的土样最先浸水,因此膨胀能在试验前期释放较多,故前期膨胀速率较大;2#和 3#测点的土样在试验中期才开始大量浸水,因此这两个测点膨胀速率在试验中期较大。

分析水平渗流试验渗透数据,可得夯实土样在水平渗流时各个湿度传感器随时间的变化规律(见图 3)。

由图3可知:各部位土样的体积含水率均经历前期快速增长、中期外凸弧线型缓慢增长和后期基本稳定这3个阶段;下部土样首先发生快速增长,上部土样次之,中间土样最后发生快速增长。

分析上述现象:体积含水率增长速率前期快,后期慢是由于试验前期土样含水率小,基质吸力大,水分进入土样速度快;试验后期,随着土样含水率的增加,基质吸力逐渐减小,水分进入土样的速率减小。影响水分在土样中的渗透因素主要有上部土样对下部土样的压密作用、基质吸力的作用和水受重力向下渗流的作用。下部土样体积含水率首先发生快速增长是由于试验前期,土样整体干燥,土样基质吸力大,水分又受到重力影响,使得多数水分向下渗流;上部土样不受压密作用且基质吸力较大,因此其体积含水率快速增长较中部土样早;中部土样即受上部土样压密作用,又因水分受重力向下渗流的影响,因此体积含水量最后发生快速增长。

2.2 竖向渗流

对4#,5#和6#位移传感器测得的膨胀量求平均,以试验历时为横坐标,平均膨胀量为纵坐标,可得土样整体膨胀量随时间的变化曲线如图4。

由图4可知,在试验过程中,随着注水量和时间的增加,泥岩整体膨胀呈非线性增加,最后趋于定值16.695 mm;泥岩经历前期快速膨胀(0~27.5 h)、中期膨胀减缓(27.5~95.5 h)和后期膨胀稳定(95.5~324.0 h)3个阶段,各阶段膨胀量分别为11.602 mm(69.49%),4.071 mm(24.39%)和1.022 mm(6.12%),相应的膨胀速率为0.421 9,0.057 7和0.004 5 mm/h。可见泥岩膨胀能在快速膨胀阶段释放较多,膨胀减缓阶段次之,膨胀稳定阶段释放膨胀能最小;各阶段膨胀速率差异较大,快速膨胀阶段膨胀速率为膨胀减缓阶段膨胀速率的7倍,为膨胀稳定阶段膨胀速率的90多倍。经分析是由于试验前期试样干燥,基质吸力较大,试样本身有较大的膨胀能,在前期浸水可以得到较大的释放。

以试验历时为横坐标,竖向渗透时的湿度传感器所测得的体积含水率为纵坐标,绘制不同测点的体积含水率随时间的变化曲线如图5。

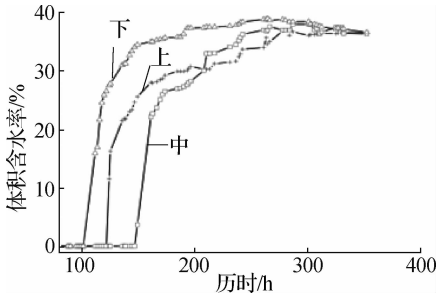


图3 水平渗透体积含水率时程曲线  
Fig. 3 Time-history curves of volume water content in horizontal permeability

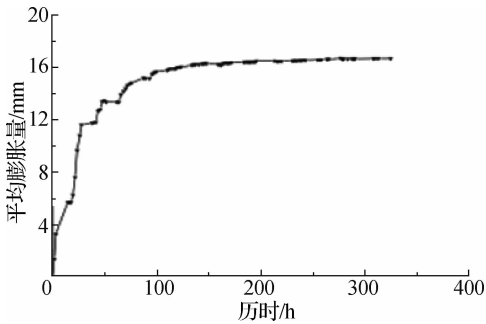


图4 竖向渗流膨胀时程曲线

Fig. 4 Expansion time-history curve of vertical seepage

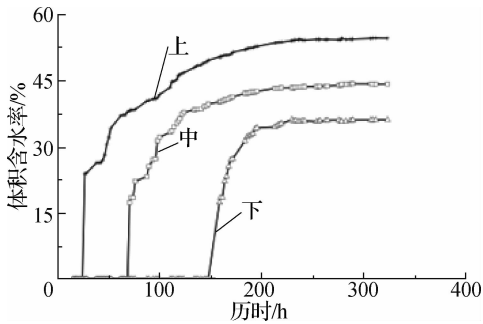


图5 竖向渗透体积含水率时程曲线

Fig. 5 Time-history curves of volume water content in vertical permeability

由图 5 可知:(1) 各部位土样的体积含水率均经历前期快速增长、中期外凸弧线型缓慢增长和后期基本稳定 3 个阶段;(2) 各测点反应时间分别为 23.5、68.0 和 147.5 h;(3) 上部测点体积含水量最终稳定在 54.75%,中部测点为 44.30%,下部测点为 36.16%。体积含水率从上到下依次递减。

分析原因如下:泥岩具有膨胀性,在进行竖向渗透及膨胀试验时,上部土样先浸水发生膨胀,试验箱限制其横向膨胀,黏土颗粒在水平方向相互挤压,使得上部土体在水平方向上孔隙直径减小,此时水分渗透受到小孔隙的向上毛细管压力影响,从而导致已膨胀泥岩渗透性减小,因此在试验结束时体积含水率从上到下依次递减。

### 3 结 语

(1) 水平渗流试验及竖向渗流试验中,不同位置土样的体积含水率均经历前期快速增长、中期外凸弧线型缓慢增长和后期基本稳定这 3 个阶段。

(2) 当泥岩发生水平渗流时:泥岩呈非线性膨胀,最终达到一定值。不同测点的膨胀时程曲线均由快速膨胀、外凸弧线型减速膨胀和膨胀稳定阶段 3 部分组成,不同位置的发生顺序不同;泥岩既发生膨胀,又发生软化,离注水管越近的土样膨胀量越大,离注水管远的土样膨胀能向已软化泥岩方向有一定的释放,导致其竖向膨胀量变小;影响水分在土样中的渗透因素主要有上部土样对下部土样的压密作用、基质吸力的作用和水受重力向下渗流的作用。

(3) 在竖向渗流及膨胀试验中,受基质吸力的影响,泥岩膨胀能在试验前期释放较多,且速率较快。

(4) 在竖向渗流及膨胀试验中,泥岩膨胀使得其渗透性减小,导致最终体积含水率从上到下依次递减。

### 参 考 文 献:

- [1] 高建敏. 高速铁路无砟轨道不平顺谱的比较分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2015, 12(4): 715-723. (GAO Jianmin. Comparative analysis of power spectrum density of ballastless track irregularities of Chinese high-speed railway[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2015, 12(4): 715-723. (in Chinese))
- [2] 马丽娜, 严松宏, 王起才, 等. 客运专线无砟轨道泥岩地基原位浸水膨胀变形试验[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(8): 1684-1691. (MA Lina, YAN Songhong, WANG Qicai, et al. In-situ tests on swelling deformation of mudstone foundation upon soaking under ballastless track of passenger railway line[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015, 34(8): 1684-1691. (in Chinese))
- [3] TB 10621—2014 高速铁路设计规范[S]. (TB 10621—2014 Code for design of high speed railway[S]. (in Chinese))
- [4] 马丽娜, 严松宏, 张戎令, 等. 低黏土矿物含量泥岩浸水膨胀变形的试验研究[J]. 工业建筑, 2015, 45(11): 111-115, 196. (MA Lina, YAN Songhong, ZHANG Rongling, et al. Experimental research on soaking swelling deformation of mudstone with low content of clay minerals[J]. Industrial Construction, 2015, 45(11): 111-115, 196. (in Chinese))
- [5] 马丽娜, 严松宏, 王起才, 等. 哈密地区膨胀性泥岩膨胀特性研究[J]. 兰州交通大学学报, 2015, 34(1): 17-22. (MA Lina, YAN Songhong, WANG Qicai, et al. Research on the characteristics of expansive mudstone in Hami Area[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2015, 34(1): 17-22. (in Chinese))
- [6] 薛彦瑾, 王起才, 张戎令, 等. 高速铁路地基膨胀土膨胀变形试验研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2017, 14(4): 690-696. (XUE Yanjin, WANG Qicai, ZHANG Rongling, et al. Experimental study on expansive deformation of expansive soil in high speed railway[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2017, 14(4): 690-696. (in Chinese))
- [7] 李进前, 王起才, 张戎令, 等. 粒径对膨胀土无荷膨胀率的影响研究[J]. 水利水电技术, 2017, 48(12): 168-173. (LI Jinqian, WANG Qicai, ZHANG Rongling, et al. Study on effect from particle size on load-free swelling rate of expansive soil[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2017, 48(12): 168-173. (in Chinese))
- [8] 陈善雄. 膨胀土工程特性与处治技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006. (CHEN Shanxiong. Study on engineering

- behaviors of expansive soils and its treatment measures[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006. (in Chinese))
- [9] 戴张俊, 陈善雄, 罗红明, 等. 非饱和膨胀土/岩持水与渗透特性试验研究[J]. 岩土力学, 2013, 34(增刊1): 134-141. (DAI Zhangjun, CHEN Shanxiong, LUO Hongming, et al. Experimental study of water-holding and permeability characteristics of unsaturated expansive soils and rocks[J]. Rock and Soil Mechanics, 2013, 34(Suppl1): 134-141. (in Chinese))
- [10] 李志清, 余文龙, 付乐, 等. 膨胀土胀缩变形规律与灾害机制研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(增刊2): 270-275. (LI Zhiqing, YU Wenlong, FU Le, et al. Research on expansion and contraction rules and disaster mechanism of expansive soil [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(Suppl2): 270-275. (in Chinese))
- [11] 饶锡保, 黄斌, 吴云刚, 等. 膨胀土击实样膨胀特性试验研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2011, 44(2): 211-215. (RAO Xibao, HUANG Bin, WU Yungang, et al. Experimental study of expansion characteristics of compacted expansive soil [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2011, 44(2): 211-215. (in Chinese))
- [12] 黄斌, 饶锡保, 王章琼, 等. 考虑状态含水率和密度的膨胀土膨胀模型试验研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(增刊1): 397-402. (HUANG Bin, RAO Xibao, WANG Zhangqiong, et al. Experimental study of expansion model of expansive soil considering state water content and density[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(Suppl1): 397-402. (in Chinese))
- [13] 何山, 朱珍德, 王思敬. 红山窑风化红砂岩膨胀特性试验研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2006, 34(5): 557-560. (HE Shan, ZHU Zhende, WANG Sijing. Experimental study on expansive properties of weathered red sandstone at Hongshanyao[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2006, 34(5): 557-560. (in Chinese))
- [14] 项伟, 董晓娟. 南水北调潞王坟段弱膨胀土膨胀性研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(4): 986-992. (XIANG Wei, DONG Xiaojuan. Study of swelling characteristic of the weak expansive soil in Luwangfen for South-to-North Water Diversion Project [J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(4): 986-992. (in Chinese))
- [15] 杨明, 马晓英. 皖西压实膨胀土膨胀特性试验研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2008, 31(10): 1688-1691. (YANG Ming, MA Xiaoying. Study on the swelling behavior of compacted expansive soil in west Anhui Province[J]. Journal of Hefei University of Technology(Natural Sciences), 2012, 31(10): 1688-1691. (in Chinese))
- [16] ALLAM M, SRIDHARAM S. Effect of wetting and drying on shear strength[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1981, 107(4): 421-438.
- [17] AL-HOMOND A S, BASMA A, HUEIN MALKAWI A I, et al. Cyclic swelling behavior of clays[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1995, 121(7): 562-565.
- [18] ROBERT W D. Swell-shrink behavior of compacted clay[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1994, 120(3): 618-623.
- [19] 刘方成, 陈巨龙, 王海东, 等. 一种大型循环单剪试验装置研究[J]. 岩土力学, 2016, 37(11): 3336-3346. (LIU Fangcheng, CHEN Julong, WANG Haidong, et al. Development of a large-scale cyclic simple shear test apparatus[J]. Rock and Soil Mechanics, 2016, 37(11): 3336-3346. (in Chinese))

## Experimental studies on seepage and swell ability of expansive mudstone on high speed railway subgrade

ZHANG Tangyu<sup>1</sup>, MA Lina<sup>1,2</sup>, ZHANG Rongling<sup>1,2,3</sup>, WANG Qicai<sup>1,2</sup>, WANG Tianshuang<sup>1</sup>, WANG Bingzhong<sup>1</sup>

(1. College of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. Key Laboratory of Road & Bridges and Underground Engineering of Gansu Province, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 3. School of Engineering, Cardiff University, Cardiff CF24 3AA, UK)

**Abstract:** Taking the base section of the typical expansive mudstone of Lanzhou-Wulumuqi High-Speed Railway as a research object, the horizontal and vertical seepage tests of the mudstone on the subgrade are carried out to study the swelling and permeability characteristics of the mudstone under different seepage directions. The research results show that during the horizontal seepage tests and the vertical seepage tests, the volume water content of the swelling soil samples at different locations all have three stages: rapid growth stage in the early period, medium-term convex arc type slow growth stage in the middle period, and basic stable stage in the later period. When horizontal seepage occurs in the mudstone, the mudstone both expands and softens, and the closer the mudstone is to the water injection pipe, the larger the swelling of the soil sample is. The soil sample farther away from the water injection pipe releases the expansion energy in the direction of the softened mudstone, and as a result, the amount of expansion becomes smaller in its vertical direction. The factors affecting the penetration of water into the soil sample mainly include the compaction effect of the upper soil sample on the lower soil sample, the effect of the matrix suction and the effect of gravity. When the vertical seepage occurs in the mudstone from top to down, the final volumetric water content of the soil sample decreases from top to down. The expansion of mudstone will lead to the decrease of permeability, and the expansion of mudstone will undergo the stages of rapid expansion, slow expansion and stable expansion. The research results can provide a reference basis for the construction of high-speed railway subgrade in the expansive mudstone area, and can provide technical reference for the construction of similar areas.

**Key words:** high-speed railway; mudstone; seepage; swelling characteristics