

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.02.006

王炳忠,王起才,张戎令,等.无砟轨道地基泥岩膨胀变形及水分迁移速率衰减规律[J].水利水运工程学报,2019(2):41-47.(WANG Bingzhong, WANG Qicai, ZHANG Rongling, et al. Attenuation law of expansion deformation rate and water migration rate on mudstone of ballastless track foundation[J]. Hydro-Science and Engineering, 2019(2): 41-47. (in Chinese))

无砟轨道地基泥岩膨胀变形及水分迁移速率衰减规律

王炳忠¹,王起才^{1,2},张戎令^{1,2,3},王天双¹,张唐瑜¹,李航辉¹

(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. 兰州交通大学 甘肃省道路桥梁与地下工程重点实验室,甘肃 兰州 730070)

摘要: 高铁无砟轨道对膨胀变形值要求极为严格,地基膨胀泥岩浸水引起的胀缩变形将对行车安全性和舒适性产生影响。为研究泥岩随浸水位置水平距离和深度增加时膨胀速率及水分迁移速率的衰减规律,以兰新铁路第二双线某处典型膨胀泥岩为研究对象,通过顶部和侧面两种浸水方式进行三组重塑泥岩膨胀变形试验。试验结果表明:距离浸水管水平长度不同,膨胀时程曲线变化规律不同。距离浸水管水平长度越远,膨胀速率越慢,水分迁移速率亦越小;侧面浸水时沿深度方向首先引起底部土体膨胀。通过对试验数据进一步分析,提出用初期平均渗透系数分析水分迁移速率衰减规律,经计算可知,水分迁移速率随与浸水管水平距离和垂直距离的增大均呈衰减趋势。研究结果可为地基泥岩上拱病害治理及预警提供理论支撑。

关键词: 无砟轨道; 膨胀速率; 水分迁移速率; 距离; 衰减

中图分类号: TU443

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2019)02-0041-07

膨胀泥岩是一类由强亲水性黏土矿物蒙脱石、伊利石、高岭石等组成的特殊软岩,具有吸水膨胀、失水收缩并反复变形的性质,对地基、路堑、边坡等都有潜在破坏作用,这种潜在的变形破坏常常对已竣工的建筑物造成严重的危害^[1-4],如兰新二线高速铁路在运营后发现多处路基上拱病害,且路基上拱量随着时间逐渐增长。一般情况下,对含有较少黏土矿物微弱膨胀土而言,膨胀土地基的膨胀变形对普通铁路路基影响较小,常不采取工程措施;而对高速铁路特别是无砟轨道而言,为了保证其高速高安全性的需要,对路基变形的要求极高,从扣件可调整的角度来看,路基出现膨胀后,仅有4 mm的调整空间^[5]。因此对高速铁路地基膨胀泥岩而言,即使是具有微弱膨胀性也不容忽视^[6]。膨胀泥岩的矿物成分和结构特征是其产生膨胀变形的内因,而水分则是土体发生膨胀变形的最主要诱发因素,土体在隔水状态下不会发生膨胀变形^[7]。水文地质条件是膨胀土病害治理的重要因素,由于外部因素(如开挖路堑)导致膨胀土地基含水量变化而引起的路基上拱成为常见病害,因而有必要研究膨胀土在不同浸水方式下膨胀变形量变化规律,为膨胀土路基上拱病害的治理和预警提供参考。

国内外学者在膨胀土浸水膨胀变形及含水量变化方面进行了大量试验研究,主要集中在不同浸水方式下模型试验及竖向注水孔浸水情况下原位试验。王亮亮等^[8-9]通过室内模型进行动力特性试验,发现在干燥状态、降雨和地下水位上升3种服役环境下膨胀土路堑基床变形不同;杨果林等^[10-11]通过室内膨胀土路

收稿日期: 2018-04-17

基金项目: 长江学者和创新团队发展计划滚动支持项目(IRT_15R29);中国铁路总公司科技研究开发计划课题(Z2015-G001);青年人才托举工程资助项目(2015QNRC001);飞天学者特聘计划资助项目;陇原青年创新人才扶持计划资助项目;甘肃省基础研究创新群体资助项目(145RJIA332)

作者简介: 王炳忠(1994—),男,甘肃白银人,硕士研究生,主要从事桥梁与隧道方面研究。

E-mail: 982881022@qq.com 通信作者: 王起才(E-mail: wangqc@mail.lzjtu.cn)

基模型试验,模拟路基在积水、降雨等情况下膨胀土路基中含水量的变化规律、水的入渗速度、路基的胀缩变形规律等;宋卫康等^[12]通过渗透试验箱进行了膨胀土大型渗透试验,研究了在渗透过程中土体体积含水量、相对湿度、吸力、温度和表面竖向位移的变化。翟聚云等^[13]通过等温条件下膨胀土土样进行水分迁移的试验,认为土质情况、含水量梯度和含水量水平对气态水迁移和气液水分混合迁移的迁移量均有较大影响。陈伟志等^[14]通过砂孔、砂槽等多面浸水情况下现场膨胀土地基浸水试验,研究了膨胀土地基膨胀变形特征及浸水过程中土壤水分变化规律等。戴张俊等^[15]通过压力板试验与双环注水试验,对比研究不同性质膨胀土和膨胀岩的持水性能及影响因素。但对水分在膨胀土沿水平、深度方向的迁移及衰减变化规律研究成果较少,水分缓慢迁移导致地基泥岩持续膨胀变形,因而研究渗水规律对预测和治理无砟轨道地基膨胀土上拱病害有重要意义。

本文依托兰新二线高速铁路,以沿线某典型膨胀地段膨胀泥岩为研究对象,通过侧向注水管浸水试验研究水分随水平距离、深度变化迁移规律及膨胀变形规律,以及顶部浸水下水分随深度的迁移规律及膨胀变形规律,为防治高速铁路无砟轨道地基泥岩上拱病害提供理论支撑。

1 室内试验

1.1 试验材料及设备

试验所用土样取自兰新二线沿线某典型膨胀地段,挑选含砂石等杂物较少的原状泥岩砸碎成重塑土,过 2.5 mm 筛子,在自然状态下风干,为保证各组试验土样黏土矿物含量等自身膨胀特性相同,称取总土样后进行充分混合,测其风干含水量为 2.1%,按照《铁路工程土工试验规程》(TB10102—2010)测得其物理指标,如表 1 所示。

为限制土体侧向膨胀变形,水平向渗透在由厚钢板制作的长方体内进行,顶部、侧面渗水在钢管、钢板焊接成的直径为 32.5 cm、高 45 cm 的钢桶内进行。

表 1 土样的基本物理性质
Tab. 1 Basic physical properties of soil samples

质量分数			自由膨胀率/%	塑限/%	液限/%	塑性指数	阳离子交换/ (mmol · kg ⁻¹)
蒙脱石/%	伊利石/%	高岭石/%					
2.1	2.8	1.4	28.6	22.4	45.6	23.2	287.47

1.2 试验方案及过程

为研究随水平距离和深度增加水分迁移速率衰减规律,本试验采用顶部和侧面(以模拟土体无裂隙竖向渗水及土体有裂隙侧向渗水)两种浸水方式,如图 1 所示,顶部浸水通过多孔薄钢板渗水,在实现均匀渗水的同时可防止水浮起渗水板;为模拟实际土体裂隙浸水多向渗透及减弱膨胀量向孔内水平向释放,侧面浸水通过埋入土体 PVC 注水管进行,直径为 2.5 cm,水管壁周围分布有直径为 3 mm 渗水通道,同时为了尽量控制水分在深度方向渗入均匀,探究水分由浸水孔水平向渗流情况,考虑水压力由浸水管顶部向下呈线性增大,设计浸水管壁进水孔由底部向上孔数呈线性减小,底部开孔少,顶部开孔多。

第 1 组水平渗透试验土样体积为 20 cm × 20 cm × 10 cm,百分表距离浸水管依次为 5.0、16.3 和 28.0 cm;第 2 组顶部渗水试验土样体积为 φ32.5 cm × 45.0 cm,湿度传感器(FDR-100 土壤水分传感器)距离表面深度依次为 7 和 43 cm,并在表面中心及垂直方向共布置 3 个百分表;第 3 组侧面渗水试验土样体积为 φ32.5 cm × 45.0 cm,湿度传感器距离表面深度依次为 7、20 和 43 cm,百分表距离浸水管依次为 5.0、16.0 和 28.0 cm;土体初始含水量为风干含水量 2.1%,试验时将混合均匀的土样分 5 层夯实在钢桶中,夯土前将竖向渗水管按设计位置固定,湿度传感器根据设计深度埋入,3 组试验干密度为 1.54 ~ 1.58 g/cm³,夯土结束后开始浸水试验,浸水时始终保持土体表面以上浸水管有水。48 h 内膨胀变形值 ≤ 0.01 mm、湿度传感器

读数 $\leq 0.2\%$ 视为膨胀稳定。

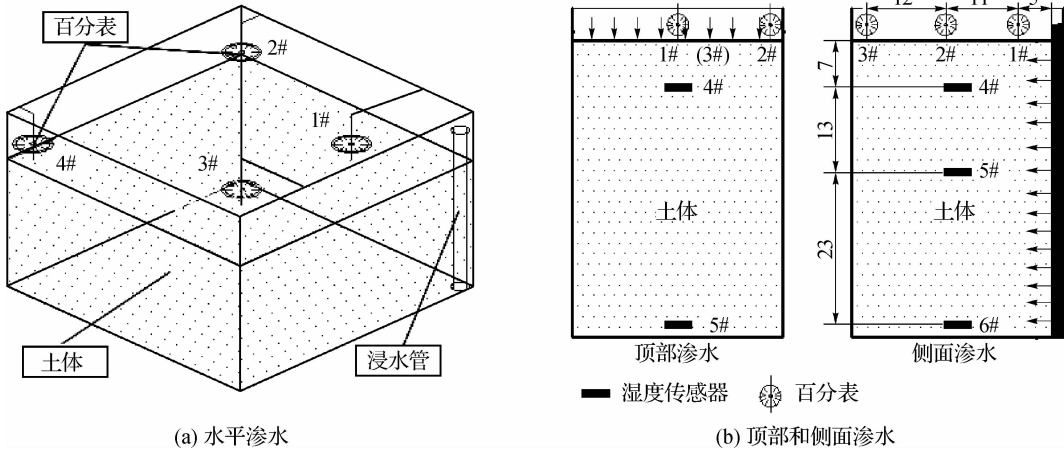


图1 渗水模型试验(单位:cm)
Fig.1 Seepage model test (unit:cm)

2 结果与分析

2.1 侧限水平渗水膨胀变形速率衰减规律

(1) 距离浸水管水平位置不同,膨胀时程曲线不同。图2为距离浸水管不同水平位置泥岩膨胀时程曲线。由图2可见:距离浸水管5.0 cm处土体膨胀变形随时间变化可大致分为2个阶段:快速膨胀阶段(3~167 h,膨胀量占比91.1%)、稳定膨胀阶段(153~259 h,膨胀量占比8.9%);16.3 cm处土体膨胀变形随时间变化可分为3个阶段:快速膨胀阶段(24~199 h,膨胀量占比64%)、缓慢膨胀阶段(199~298 h,膨胀量占比24.8%)、稳定膨胀阶段(298~450 h,膨胀量占比11.2%);28 cm处土体膨胀变形随时间变化可分为3个阶段:缓慢膨胀阶段(71~259 h,膨胀量占比21%)、快速膨胀阶段(259~381 h,膨胀量占比69.5%)、稳定膨胀阶段(381~495 h,膨胀量占比9.5%)。说明距离浸水管远近不同位置处土体膨胀变形量随时间表现出不同增长规律。由图3也可以看出,距离浸水管5.0,16.3和28.0 cm位置处土体初期膨胀过程呈现3段不同斜率的增长曲线,斜率表示平均膨胀速率,依次为0.044,0.021和0.006 mm/h,随着距离增大,初期膨胀速率逐渐减小。这与土体中水分入渗条件有关,距离浸水管5 cm处土体一直保持充分供水,且有一定水压,水分很快渗入土体导致膨胀,随着距离增大,水分迁移逐渐变缓,16.3和28.0 cm处土体膨胀变形速率也逐渐减缓。

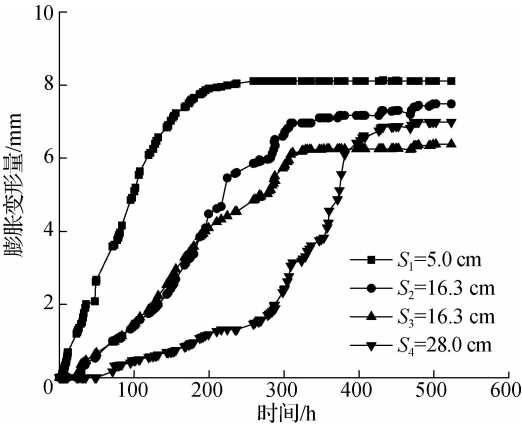


图2 不同水平位置膨胀时程曲线
Fig.2 Expansion time curve at different horizontal positions

(2) 距离浸水管水平位置不同,膨胀完成时间不同。距离浸水管为5.0,16.3和28.0 cm土体完成膨胀的时间分别为259,450和495 h,距离浸水管越近处土体越早完成膨胀,随着与浸水管距离增大,最终膨胀变形完成时间延长。为了形象表示不同时间点土体膨胀变形在水平方向分布变化,选取11.4,83.6,175.6,330.9和495.0 h时各位置膨胀量绘图,如图3所示。在浸水刚开始阶段,如11.4 h时,5 cm处膨胀变形很小,16.3和28.0 cm处还未发生膨胀,3个位置膨胀变形近似水平线;随着时间的推移,5 cm处膨胀变形快

速增长,16.3 和 28.0 cm 处膨胀变形开始增加,3 个位置膨胀变形近似斜线;495.0 h 时,28 cm 处土体完成膨胀,此时 3 个位置膨胀变形又近似水平线。即 3 个位置土体膨胀在水平方向上随时间变化过程为:水平线-斜线-水平线。

(3) 距离浸水管水平位置不同,水分迁移至该位置处的时间也不同。距离浸水管为 5.0、16.3 和 28.0 cm 土体开始膨胀的时间(以百分表读数开始变化为依据)分别为 3.7、26.2、28.9 和 71.1 h,与浸水管距离越远,土体开始膨胀的时间越迟,即水分迁移至该处的时间越长。为了表示水平渗水膨胀变形速率衰减规律,根据与浸水管水平距离的不同,将水平渗透距离划分为 3 段:进水管— S_1 , S_1 — S_2 (S_3), S_2 (S_3)— S_4 ,3 段水平长度分别为 5.0、11.3 和 11.7 cm,每一段近端开始膨胀至远端开始膨胀所用时间分别为 3.67、23.88 和 42.53 h,为直观比较不同段水分迁移快慢,本文定义每一段近端开始膨胀至远端开始膨胀时间除以这段距离为水分初期平均迁移速率 $\bar{k}$,3 段平均迁移速率 $\bar{k}$ 依次为 3.78×10^{-4} 、 1.31×10^{-4} 和 7.64×10^{-5} cm/s,随着水平段距离浸水管越远,平均迁移速率越小,说明水分迁移速率随远离浸水管距离长度呈衰减变化。距离浸水管较近时,水分供给充足,且具有一定水压,加之土体初期含水量较低吸力较大,水分迁移较快;距离浸水管越远,土体水分迁移主要为含水量梯度分布引起的吸力不同,且含水量随与浸水管距离增大呈减小趋势。

2.2 侧限竖向渗水速率衰减规律

图 4 为顶部渗水膨胀变形时程曲线。由图 4 可知,1#~3#百分表均表现为相同变化规律,且最终最大膨胀量为最小膨胀量 9.6%,三者膨胀量接近,表明不同位置土体夯实比较均匀,平均膨胀量为 16.76 mm。膨胀变形时程曲线可分为 3 个阶段:快速膨胀阶段(0~43.67 h,膨胀量占比 75.7%)、缓慢膨胀阶段(43.67~93.17 h,膨胀量占比 15%)、稳定膨胀阶段(93.70~291.17 h,膨胀量占比 9.3%),3 个阶段所用时间分别为 43.67、49.50 和 187.47 h。由于试验夯土过程影响,上部土体相比下部土体密实度较小,顶部浸水时水分很快渗入土体,引起上部土体较快增长,随着浸水量继续增加,上层土体很快达到饱和状态,且顶部出现一层水膜,渗透性降低,而下层土体水分需经过上层土体渗入,这样导致渗入下层土体时间变长,且下层土体夯实密实度大、上覆自重影响更难渗入,因而后期膨胀变形时间变长。

以图 2 和图 4 为例对比水平渗透和顶部渗透膨胀时程曲线,侧向浸水方式下不同位置处土体膨胀时程曲线表现不同,而顶部浸水方式下表现相同,两者不同是由于侧向浸水时水分沿土体水平渗透,距离浸水管位置不同,水分渗流至该处的时间不同,顶部浸水时水分沿深度方向渗流,水分在水平方向分布均匀。侧向浸水时距离浸水管较近处土体前期快速膨胀,后期逐渐变缓,直至稳定;距离浸水管远处土体前期缓慢膨胀,后期逐渐加快,再变缓后稳定;由上述可知,侧向浸水距离浸水管较近处土体膨胀时程曲线与顶部渗透相似,但初期膨胀速率不同,距离浸水管 5.0、16.3 和 28.0 cm 位置处初期平均膨胀速率为 0.044、0.021 和 0.006 mm/h,随着距离增大,初期膨胀速率逐渐减小,顶部浸水时前期平均膨胀速率为 0.291 mm/h,顶部浸

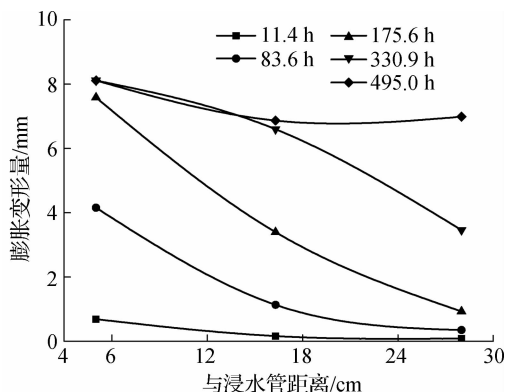


图 3 不同时间点土体膨胀变形在水平方向分布
Fig. 3 Swelling deformation of soil distributed in horizontal direction at different time points

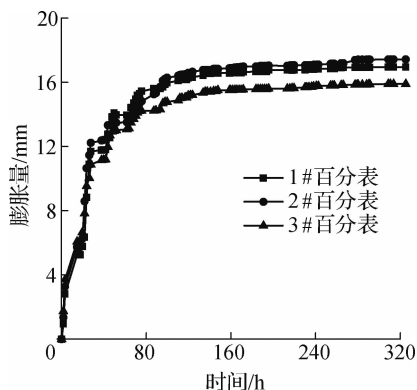


图 4 顶部渗水膨胀时程曲线
Fig. 4 Expansion time curve under top soaking

水初期膨胀速率大于侧向浸水,这主要是由于顶部浸水时土体渗水面积大,且上部土体干密度小,渗透速率大,渗水速度快,膨胀速率大;侧向浸水时浸水管侧壁孔为渗水通道,渗水面积小,且由于浸水管底部水压大,水分首先渗入下部土体,而下部土体干密度大,渗透速率小,渗水速度慢,膨胀速率小。

图5为距离表面不同深度处含水量随时间变化曲线。可以看出,距离表面7和43 cm深度处湿度传感器读数开始变化时间分别为19.67和159.67 h,体积含水量分别为10.1%和11.3%,最终达到膨胀稳定时体积含水量分别为36.46%和32.43%。随着深度增加,水分迁移至该处的时间延长。试验中测得湿度传感器初次读数即达到10%以上,这是因为读数间隔为2 h,且试验中干土吸力较大,水分到达该处时迅速渗入土体,很快达到较大含水量。对数据进一步分析可知,沿深度方向上可以分为2段:0~7 cm和7~43 cm,两段竖向长度为7和36 cm,其上端开始膨胀至下端开始膨胀所用时间分别为19.67和140.00 h,水分初期平均迁移速率 $\bar{k}$ 分别为 10.23×10^{-5} 和 7.14×10^{-5} cm/s,随着深度增加,水分迁移速率逐渐减小。这是因为试验分层夯实时,下部土体较上部土体更密实,且下部土体受上部土体自重影响;另一方面,水分经上部土体迁移至下部土体,而上部土体首先达到饱和,渗透速率降低,导致下部土体浸水变慢。

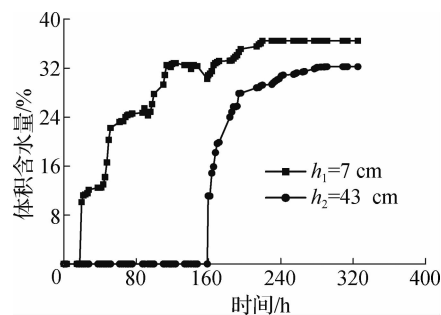


图5 顶部渗水不同位置含水量随时间变化
Fig.5 Water content variation with time at different positions of top soaking

2.3 侧限横向、竖向渗水速率衰减试验

图6为距离浸水管不同水平位置泥岩膨胀时程曲线。由图6可以看出:(1)距离浸水管5,16和28 cm处土体最终膨胀量依次为16.23,15.77和15.06 mm,三者膨胀量接近,表明不同位置土体夯实比较均匀,平均膨胀量为15.69 mm;距离浸水管5 cm处土体膨胀变形随时间变化可分为快速膨胀阶段、缓慢膨胀阶段、稳定膨胀阶段;距离浸水管16和28 cm处土体首先进入缓慢膨胀阶段,且距离越远,缓慢膨胀阶段时间越长,之后进入快速膨胀、缓慢膨胀、稳定膨胀阶段。这是由于水分从浸水管开始由近至远迁移,且距离浸水管处土体首先达到饱和,渗透性降低,影响远处土体水分迁移速度。(2)距离浸水管水平位置不同,水分迁移至该位置处的时间也不同。距离浸水管为5,16和28 cm土体开始膨胀的时间分别为5.50,34.33和89.50 h,随着离浸水管距离越远,土体开始膨胀的时间越迟,水分迁移至该处所用时间越长。为了表示水平渗水膨胀变形速率衰减规律,根据离浸水管不同距离水平位置,将水平渗透距离划分为3段:进水管— S_1 , S_1 — S_2 和 S_2 — S_3 ,3段水平长度分别为5,11和14 cm,每一段近端开始膨胀至远端开始膨胀所用时间分别为5.50,28.83和55.17 h,3段水分初期平均迁移速率 $\bar{k}$ 依次为 2.52×10^{-4} , 1.06×10^{-4} 和 7.05×10^{-5} cm/s,水平段距离浸水管越远,平均迁移速率逐渐减小,说明水分迁移速率随距离浸水管长度呈衰减变化。

图7为距离表面不同深度处含水量随时间变化曲线。由图7可知,距离表面7,20和28 cm深度处湿度传感器读数开始变化时间依次为83.67,104.33和34.33 h,体积含水量分别为12.25%,10.58%和11.21%。可以看出,距离表面28 cm深度处土体首先渗入水分,接着为距离表面7 cm深度处土体渗入水分,最后为距离表面20 cm深度处土体渗入水分。这可能是因为浸水管中由于水的自重影响,使得下部土体在较大水压力下渗入较多水分,因而下部湿度传感器最先有读数;另一方面,试验中夯土时上部土体较下部土体密实度小,水分渗透较容易,因而距离表面7 cm深度处土体较20 cm深度处土体先渗入水分。

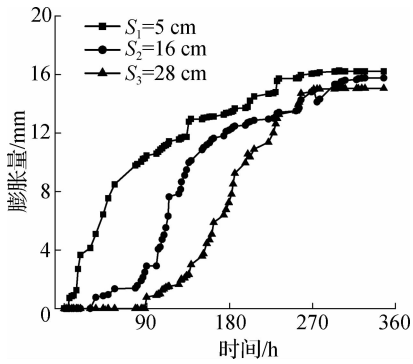


图 6 不同水平位置膨胀时程曲线

Fig. 6 Expansion time curve at different horizontal positions

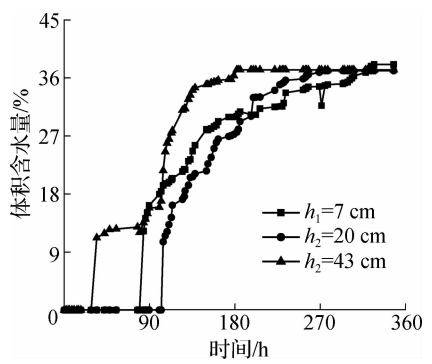


图 7 不同深度处含水量随时间变化曲线

Fig. 7 Curve of water content with time at different depths

3 结 语

(1) 与浸水管水平距离不同,膨胀时程曲线表现不同。与浸水管水平距离越远,土体初期膨胀速度越缓慢,呈衰减趋势变化,试验所得重塑泥岩侧向及顶部浸水初期平均膨胀速率分别为 $0.044 \sim 0.006 \text{ mm/h}$ 和 0.291 mm/h 。

(2) 通过对试验数据进一步分析,提出用初期平均渗透系数表示水分迁移速率衰减规律,计算可得不同段水平平均迁移速率为 $3.78 \times 10^{-4} \sim 7.05 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$,迁移速率随与浸水管水平距离增加呈衰减趋势,随深度增加亦呈衰减趋势,由于试验浸水条件与实际工程有差异,需进一步探究和对比原状泥岩实际浸水膨胀与渗透速率,为地基泥岩上拱病害治理及预警提供理论支撑。

(3) 侧面浸水时含水量沿深度方向渗入土体顺序为:底部 - 上部 - 中部,对于裂隙较多膨胀泥岩浸水时,首先引起下部土体膨胀。

参 考 文 献:

[1] 杨果林,邱明明,杨啸,等. 高铁膨胀土新型路堑基床动力特性与参数敏感性[J]. 交通运输工程学报, 2016, 16(1): 63-72. (YANG Guolin, QIU Mingming, YANG Xiao, et al. Dynamic characteristics and parameter sensitivities of new cutting subgrade for high-speed railway in expansive soil area[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2016, 16(1): 63-72. (in Chinese))

[2] ITO M, AZAM S. Engineering characteristics of aglacio-lacustrine clay deposit in a semi-arid climate[J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2009, 68(4): 551-557.

[3] ITO M, AZAM S. Determination of swelling and shrinkage properties of undisturbed expansive soils[J]. Geotechnical and Geological Engineering, 2010, 28(4): 413-422.

[4] TRIPATHY S, RAO K S S. Cyclic swell-shrink behavior of a compacted expansive soil[J]. Geotechnical and Geological Engineering, 2009, 27(1): 89-103.

[5] TB10621—2014 高速铁路设计规范[S]. (TB10621—2014 Design specification for high speed railway[S]. (in Chinese))

[6] 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))

[7] 秦朝辉. 云桂铁路膨胀土膨胀特性与强度特性现场试验研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012. (QIN Zhaohui. Field test and study on expansive characteristics and strength characteristics of expansive soil in Yunnan Guangxi Railway[D]. Changsha: Central South University, 2012. (in Chinese))

[8] 王亮亮. 高速铁路膨胀土路堑基床结构及其动力特性试验研究[D]. 长沙: 中南大学, 2014. (WANG Liangliang. Experimental study on the structure and dynamic characteristics of the foundation bed of the expansive soil cutting in high speed

railway[D]. Changsha: Central South University, 2014. (in Chinese))

- [9] 杨果林, 王亮亮, 杨啸. 不同服役环境下高速铁路膨胀土路堑基床振动特性模型试验[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(1): 133-138. (YANG Guolin, WANG Liangliang, YANG Xiao. Model tests on vibration characteristics of cutting subgrade of expansive soil of express railways under different service environments[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2015, 37(1): 133-138. (in Chinese))
- [10] 杨果林, 刘义虎. 膨胀土路基含水量在不同气候条件下的变化规律模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(24): 4524-4533. (YANG Guolin, LIU Yihu. Experimental study on moisture content in expansive soil roadbed under different weather conditions[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(24): 4524-4533. (in Chinese))
- [11] 杨果林, 丁加明. 膨胀土路基的胀缩变形模型试验[J]. 中国公路学报, 2006, 19(4): 23-29. (YANG Guolin, DING Jiaming. Model test on expansion and shrinkage deformation in expansive soil roadbed[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(4): 23-29. (in Chinese))
- [12] 宋卫康, 丁文其. 膨胀土大型渗透试验研究[J]. 路基工程, 2013(4): 20-23. (SONG Weikang, DING Wenqi. Study on large-scale permeability test for expansive soil[J]. Subgrade Engineering, 2013(4): 20-23. (in Chinese))
- [13] 翟聚云, 鲁洁. 非饱和膨胀土水分迁移的试验研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2010, 32(2): 26-29. (ZHAI Juyun, LU Jie. Experimental analysis of water transference in unsaturated expansive soil[J]. Journal of Civil, Architectural and Environmental Engineering, 2010, 32(2): 26-29. (in Chinese))
- [14] 陈伟志, 蒋关鲁, 赵慧爽, 等. 铁路路基下膨胀土地基浸水响应现场试验[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(8): 1507-1514. (CHEN Weizhi, JIANG Guanlu, ZHAO Huishuang, et al. Field test on soaking response of expansive soil foundation under railway subgrade[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(8): 1507-1514. (in Chinese))
- [15] 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))

Attenuation law of expansion deformation rate and water migration rate on mudstone of ballastless track foundation

WANG Bingzhong¹, WANG Qicai^{1,2}, ZHANG Rongling^{1,2,3}, WANG Tianshuang¹, ZHANG Tangyu¹, LI Hanghui¹

(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. National and Provincial Joint Engineering Laboratory of Road & Bridge Disaster Prevention and Control, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Ballastless track of high-speed rail has a very strict requirement for expansion deformation value, for the expansion-shrinkage deformation caused by flooding of foundation expansion mudstone will threaten the driving security and comfort. To study the attenuation law of expansion rate and moisture migration rate of mudstone with the increase of horizontal distance and depth of flooding position, a typical expansive mudstone of the second double track of Lanzhou-Xinjiang Railway is taken as the object of study, and three groups of remolding mudstone deformation testing on the top and side are conducted with two methods of flooding. The test results show that as the horizontal length to flooding pipe is different, the expansion-travel curve has different change rules: the further the horizontal length to flooding pipe is, the slower the expansion rate is, and the smaller the moisture migration rate is; during the lateral flooding, the expansion of bottom soil mass will be caused firstly along the direction of depth. Through further analysis on the test data, it is proposed to analyze the attenuation law of moisture migration rate with initial average permeability coefficient, and it is known through calculation that the moisture migration rate shows a tendency of attenuation with the increase of distance to flooding pipe and also with the increase of depth. The research results can provide a theoretical support for control and early warning of foundation mudstone arching-up.

Key words: ballastless track; expansion rate; water migration rate; distance; attenuation