

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.201908038



# 广西典型膨胀土三向膨胀规律室内试验

谭波<sup>1,2</sup>, 李亚奇<sup>2</sup>

(1. 桂林理工大学 广西岩土力学与工程重点实验室, 广西 桂林 541004;  
2. 桂林理工大学 土木与建筑工程学院, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 采用自制的三向膨胀仪,以及与之相应的原状土取样器、重塑土制备器,以广西南宁、宁明 4 种典型膨胀土为研究对象,开展膨胀土三向膨胀率及膨胀力试验.试验结果表明:膨胀土三向吸水膨胀时程曲线分为快速、缓慢及趋于稳定 3 个阶段,并且 3 h 可完成膨胀的 80%~90%;膨胀率及横向、竖向膨胀力存在明显差异,并随干密度增大而增大;在相同初始条件下,原状膨胀土与重塑膨胀土三向膨胀率存在明显差异,在相同初始水的质量分数条件下,竖向与横向膨胀力之比  $R_0$  随着干密度的增大而增大;试样吸水膨胀后水的质量分数均匀,试验方法可行,仪器测试数据可信.

**关键词:** 膨胀土; 三向膨胀仪; 膨胀率; 膨胀力

中图分类号: TU 416      文献标志码: A      文章编号: 1000-5013(2020)03-0323-08

## Laboratory Test on 3-Dimensional Expansion Law of Typical Expansive Soil in Guangxi

TAN Bo<sup>1,2</sup>, LI Yaqi<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Geotechnical Mechanics and Engineering in Guangxi,  
Guilin University of Technology, Guilin 541004, China;  
2. College of Civil and Architectural Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** The self-made 3-dimensional (3D) expansive instrument, the corresponding undisturbed soil sampler and remolded soil preparation device were used to carry out the 3D expansive rate and expansive force tests of expansive soils in Nanning and Ningming of Guangxi. The test results show that the time-history curve of 3D water absorption expansion of expansive soil can be divided into three stages: fast, slow and stable. 80%-90% expansion finishes in 3 hours. There are obvious differences in expansion rate, lateral and vertical expansive forces, and the differences increase with the increase of dry density. Under the same initial conditions, there are obvious differences in the 3D expansive rate between undisturbed and remolded expansive soil. Under the condition of initial water content, the ratio of lateral to vertical expansion force  $R_0$  increases with the increase of dry density. The test method is feasible, the data measured by the instrument is credible.

**Keywords:** expansive soil; 3-dimensional expansive instrument; expansion rate; expansion force

膨胀土是一种富含亲水性粘粒蒙脱石、伊利石及其粉尘矿物的特殊性黏土,因其具有强胀缩性、超固结性及裂隙性等不良工程地质特性,通常导致公路建设发生病害,以路基边坡问题最为严重且难以治理,被称为“工程中的癌症”<sup>[1-2]</sup>. 强胀缩性是膨胀土的最根本特性,膨胀土竖向与侧向膨胀规律存在明显

收稿日期: 2019-08-31  
通信作者: 谭波(1977-),男,副教授,博士,主要从事路基路面工程及新型建筑材料的研究. E-mail: bbsz2004@163.com.  
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51768015)

差异.然而,目前的研究大多在一维固结条件下进行,只能获得一维有侧限的竖向膨胀规律,无法获得边坡三维侧向膨胀规律.

文献[3-8]通过改进原有仪器或者研发新仪器进行膨胀土三向膨胀试验,从而获得膨胀土三向膨胀规律.刘祖德等<sup>[9]</sup>采用改装的应力控制式三轴仪进行三向膨胀试验,但该三轴仪侧向所加的围压相等,无法开展侧向压力不等的试验.张锐等<sup>[10]</sup>研制了侧向膨胀力试验装置,但该方法所得的应力与实际形变可能有一定误差,还需要用乳胶垫片弥补. Avsar 等<sup>[11]</sup>研制了一种针对圆柱形试样的三向膨胀仪,但对圆柱试样施加的三向力使试样变形,得到的结果有较大误差.以上试验所采用的是非立方体试样,开展的是两向膨胀试验.

王海龙等<sup>[12]</sup>采用自制的岩土三向膨胀力测量仪进行试验,但该装置施加三向荷载的大小无法控制,故也存在一定的局限性.张颖<sup>[13]</sup>对真三轴仪进行可改造,设计研制了三向膨胀仪,采用等强度梁的变形反力施加三向力.文献[14-15]也用此仪器获得了膨胀力规律,但等压梁所施加力的大小会因膨胀土膨胀变形而变化,不够稳定,需要不断调整.综上所述,开展膨胀土三向膨胀试验的仪器还存在一定的缺陷.基于此,本文自主研制膨胀土三向膨胀仪,以及与之相应的原状土取样器、重塑土制备器,开展三向膨胀率及膨胀力试验.

1 试验仪器

1.1 原状土取样器、重塑土制备器

三向膨胀立方体试验对于试样尺寸通常有较高精度的要求,试样尺寸不规整使膨胀之后的变形与试样实际变形产生一定的误差,以往膨胀试验使用的立方体试样通常采用刀切或其他方法,但是人工削土很难得到标准的试样,影响试样规整度,使试验得到的结果不准确.文中专门研制原状土取样器及重塑土制备器,可得到较为标准试样,提高试验的精度.

1) 原状土取样器.原状土取样器主要组成如下:成土装置的成土框;施力装置的重锤、导杆;推土装置的推土旋转螺栓、螺杆,土样尺寸控制器,以及推土板.原状土取样器示意图,如图 1 所示.图 1 中:成土框为边长为 25 mm 的立方体容器;导杆约长 80 cm,在整个仪器中起骨架作用;重锤质量为 4 kg,并且重锤可以在导杆上自由下落;推土旋转螺栓可使螺杆顶着推土板,推出取得的土样,用土样尺寸控制器得到预设土样的尺寸.

原状土现场取样需要保证原状土原有的形态与结构,不能使土样产生扰动.传统现场原状土取样是用锤子敲打成土框,取出的试样需要拆模,或者采用人工刀削的方法削出所需规格的试样,但是这样使试样产生较大的扰动,很难得到标准的试样,并且操作步骤复杂,工作效率低.文中仪器对传统的取土仪器做了改进,仪器设有推土装置,可得到尺寸精准、边角无破损的土样,操作方法简单.现场取样图,如图 2 所示.

2) 重塑土制备器.重塑土制备器组成如下:成土装置的底座平台和成土框;施力装置的重锤、击实小锤、导杆、导杆固定框;推土装置的推土旋转螺栓、螺杆,土样尺寸控制器,推土板.重塑土制备器示意图,如图 3 所示.图 3 中:底座平台起整体框架作用,成

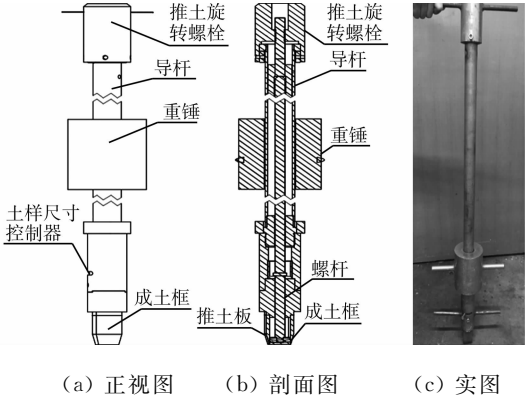


图 1 原状土取样器示意图

Fig. 1 Schematic diagram of undisturbed soil sampler



图 2 现场取样图

Fig. 2 Field sampling diagram

土框在底座平台中部,是边长为 25 mm 的立方体容器;重锤质量为 4 kg,并且可以在导杆上自由下落,重锤自由下落,通过导杆使击实小锤产生冲击力把土压实;推土旋转螺栓可使螺杆顶着推土板,推出取得的土样,用土样尺寸控制器得到预设土样的尺寸。

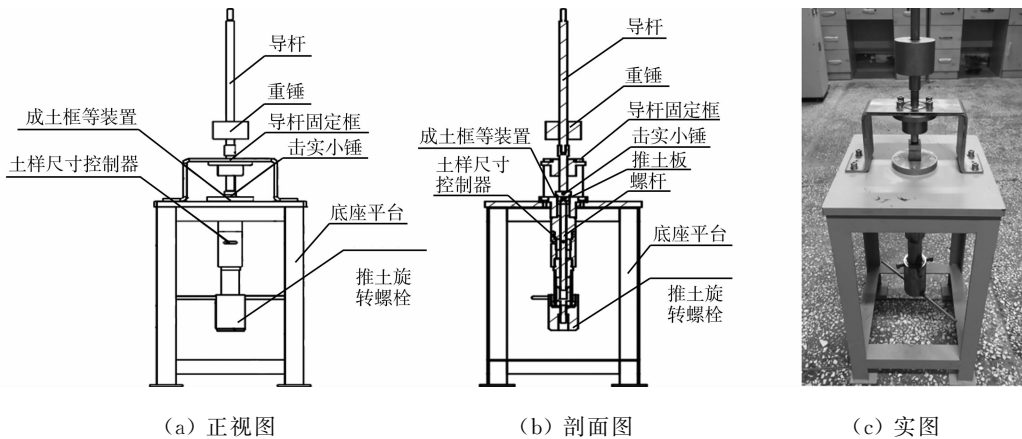


图 3 重塑土制备器示意图

Fig. 3 Schematic diagram of remolded soil preparation instrument

土是一种由岩石风化后形成的碎散堆积物,在一般情况下不易形成整体土块.很多不同的制土仪器操作方法复杂,土样脱模时,使土样有一部分的损伤,严重的会直接碎散,导致土样无法成型.为了解决这一问题,文中试验对以往的制土仪器进行了较大的改进.首先,仪器制成土样后不需要给土样脱模,直接旋转土样旋转螺栓就可以使土样推出.其次,仪器制成土样的各个面均比较平整,不会使土样产生损伤,可以尽量减小实验误差.最后,仪器可以制得干密度和水的质量分数尽量小的土样.仪器操作简单便捷,可以满足当前制备土样的要求.制备试样图,如图 4 所示。

1.2 三向膨胀仪

膨胀土三向膨胀仪组成部分如下:试样放置装置的水平挡板和集水底座;形变测试装置的施压板、传压框、水平导轨、滑轮、百分表、量力环、吊钩、堆载盘、砝码、底座;注水装置的储水容器、支撑架、输水管、阀门及滴水板.三向膨胀仪示意图,如图 5 所示。

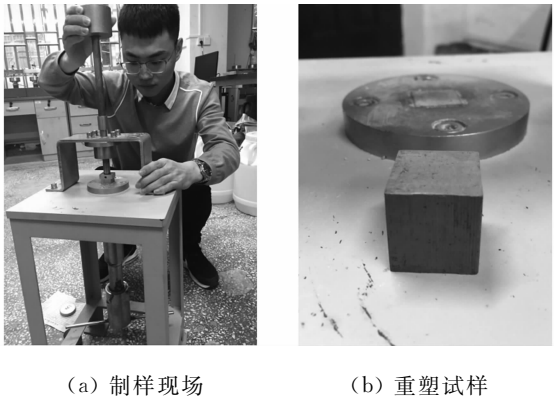


图 4 制备试样图

Fig. 4 Sample preparation diagram

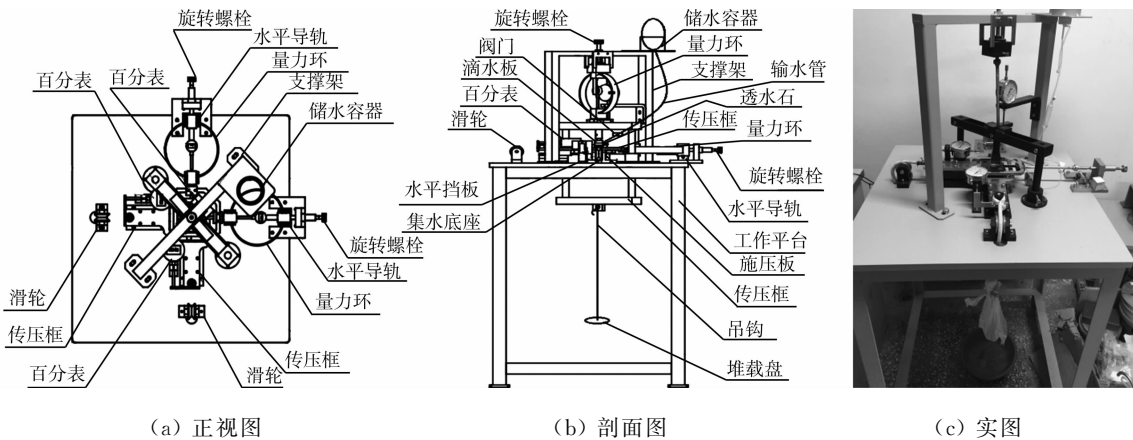


图 5 三向膨胀仪示意图

Fig. 5 Schematic diagram of 3D expansive instrument

图 5 中:试样放置在集水底座上,并紧贴水平挡板;形变测试装置中,在堆载盘上加上一一定质量的砝码使施压板对土样产生三向荷载,浸水后用百分表和量力环测三向膨胀率和膨胀力;注水装置中,储水

容器中的水通过输水管进入滴水板,通过滴水板在透水石的渗透作用下均匀进入土中。

文中膨胀土三向膨胀仪可用于测试膨胀土三向膨胀率及膨胀力。首先,在 3 个方向的堆载盘上加砝码,可任意施加三向荷载,施加的力比较恒定,施力方法简单。其次,当测试膨胀率时,通过 3 个方向上的百分表读数得出膨胀量,再经过换算可得膨胀率;当测试膨胀力时,在 3 个方向上的百分表产生 4~5 格读数后,旋转螺栓,把百分表归零,此时量力环产生读数,经过换算可得膨胀力。最后,仪器采用纵向滴水方法,储水容器内的水通过输水管进入滴水板,再通过透水石均匀、彻底渗入试样,以达到滴水增湿效果。三向膨胀试验,如图 6 所示。



(a) 膨胀率试验

(b) 膨胀力试验

图 6 三向膨胀试验

Fig. 6 3D expansion test

2 三向膨胀规律试验方法

2.1 取样方法

取出仪器,把推土板调到成土框最底部,在成土框四周及推土板上涂抹凡士林。取土仪器竖直放置,使成土框框口对准所要取的土样。一人手扶土仪器上部(此时仪器不能晃动),一人提起重锤,使重锤自由下落,大概 5 次之后,即击实完成,晃动着提起仪器。调节土样尺寸控制器,控制竖向尺寸与水平尺寸相同。旋转推土旋转螺栓推出土样,待推土旋转螺不动时,证明土样已经达到预计尺寸。切除上部裸露的土样,调节土样尺寸控制器,使控制解除,再次旋转推土旋转螺栓,使土样完全被推出。取出的土样应迅速用薄膜包裹,以隔绝其与外部的水气交换,并放置在保鲜盒中。

2.2 制样方法

取适量的土样,锤碎并过 0.5 mm 的筛子,放在 105~110 ℃ 的烘箱中,烘至 8 h 以上,然后,按照要求的水的质量分数配置一定量的土样,配置完成后,置于塑料袋中,隔绝空气密封焖料 24 h 以上。取塑料袋中 3 个不同位置处的土样,测其水的质量分数,要求误差不超过 2.00%<sup>[16]</sup>。

将推土板调至成土框的最下边,在成土框、推土板,以及击实小锤的下部涂抹一定量起润滑作用的凡士林,向成土框内倒 1/3 称好的土样(分 3 层击实)。将小锤放置在土样上,同时,将导杆放置在导杆固定架上,导杆下部与击实小锤上部接触,然后,提起重锤,使重锤自由下落(根据土样干密度的不同,选择不同的击实次数)。击实后给土样抛锚,再倒 1/3 土样,重复上述操作。

击实完成后,调节土样尺寸控制器,控制土样,使竖向尺寸与水平尺寸相同。旋转推土螺栓推出土样,待推土旋转螺栓旋转不动时,证明土样已经达到预计尺寸。切除上部裸露的土样,调节土样尺寸控制器使控制解除,再次旋转推土旋转螺栓,使土样完全被推出。制样完成后,迅速用薄膜包裹,以隔绝其与外部的水气交换,并放置在保鲜盒中。

重塑样的制作过程较为复杂,除保证试样的规则性之外,还要保证试样内部水分的均匀性,以及每一批样的土性相同。该过程需经配土、制样成型和均匀土样的水的质量分数 3 个步骤。

2.3 膨胀性试验操作方法

在试样周围贴上同样大小的滤纸,然后,紧贴水平挡板,放置在集水底座上。移动水平向的传压框,使施压板紧贴试样,同时,在试样竖向面上放置透水石,移动竖向传压框,使滴水板紧贴透水石。在堆载

盘上同时施加指定质量的荷载,使试样产生一定的压力.

当进行膨胀率试验时,在试样收缩稳定后,把百分表调零. 打开滴水阀门,使水透过透水石均匀渗入试样. 试验开始后,前 3 h 每隔 20 min 记录一次试验数据,3 h 后每隔 2 h 记录一次数据. 待三向膨胀量连续两次读数均小于  $0.005\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  时,可以认为试验结束.

当进行膨胀力试验时,在试样收缩稳定后,把量力环放置在导轨上,同时,旋转 3 个方向的螺栓至百分表指针开始产生移动,则证明量力环与传压框已经接触,调整量力环和百分表为零. 打开滴水阀门,使水透过透水石均匀渗入试样. 试验开始后,当百分表产生 4~5 格读数时,则旋转螺栓使百分表调零,此时,量力环也会产生一定读数,记下数据. 待 3 个方向上的量力环连续两次读数均小于  $0.005\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  时,可以认为试验结束.

水的质量分数测试如下:3 个方向同时卸下荷载,测膨胀力时还需卸载量力环,取出试样,用干滤纸擦掉试样表面的浮水,去掉滤纸并称其质量. 然后,把试样均匀切成 4 块,用烘干法测吸水膨胀后的水的质量分数.

### 3 试验方法验证

#### 3.1 试样吸水率均匀性验证

试验方法的合理性需验证土体吸水后各部分的水的质量分数变化是否均匀,以保证土体能够均匀膨胀,使所测试的试验数据可信,所得的试验结果能够真实反映膨胀规律. 试验试样尺寸为边长为 25 mm 的立方体试块,尽可能使试样吸水膨胀后,使其内部水的质量分数均匀.

试样初始水的质量分数均为 11.30%,干密度为  $1.70\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . 吸水膨胀完成后,均匀切成 4 块,分别记为角 1、角 2、角 3 及角 4,用烘干法测其水的质量分数. 试样各部分水的质量分数( $w$ )差异,如表 1 所示. 表 1 中: $\sigma$  为方差.

表 1 试样各部分水的质量分数差异  
Tab. 1 Water content difference of different parts of sample

土样类型	$w/\%$					$\sigma/\%$
	角 1	角 2	角 3	角 4	均值	
宁明灰蓝膨胀土	31.29	30.33	30.41	31.25	30.82	0.21
宁明灰白膨胀土	32.69	33.56	33.57	32.78	33.15	0.17
南宁灰蓝膨胀土	25.04	25.11	25.81	25.92	25.47	0.16
南宁灰白膨胀土	27.11	27.18	27.89	27.94	27.53	0.15

由表 1 可知:4 种土吸水膨胀后水的质量分数的方差分别为 0.21%,0.17%,0.16%,0.15%,说明所研制的膨胀土三向膨胀仪及试验方法合理,能保证水分的均匀渗入,以及三向变形的均匀性和一致性,可用于膨胀土三向膨胀变形研究.

#### 3.2 三向膨胀试验仪器的验证

为了验证膨胀土吸水膨胀与土样放置方向是否有关,现以南宁灰白膨胀土为例,分别进行土样正常放置试验,以及把击实膨胀土的竖直方向( $Z$  向)横向( $X$  向)放置试验. 南宁灰白膨胀土时程曲线,如图 7 所示. 图 7 中: $\delta$  为膨胀率; $t$  为时间.

由图 7 可知:将膨胀土竖直方向横向放置,膨胀土吸水膨胀速率也分快速膨胀、缓慢膨胀和趋于稳定 3 个阶段,3 h 可完成膨胀的 80%~90%.

正常放置与竖直方向横向放置三向膨胀率对比,如表 2 所示. 表 2 中: $\rho$  为干密度;当试样正常放置时, $\delta_{OZ}$  为竖向膨胀率, $\delta_{OX}$ , $\delta_{OY}$  为横向膨胀率, $\delta_0$  为  $\delta_{OX}$  与  $\delta_{OY}$  平均值, $K_0$  为  $\delta_{OZ}$  与  $\delta_0$  比值;当试样竖直方向横向放置时, $\delta_{OX}$  为竖向膨胀率, $\delta_{OZ}$ , $\delta_{OY}$  为横向膨胀率, $\delta_0$  为  $\delta_{OZ}$  与  $\delta_{OY}$  平均值, $K_0$  为  $\delta_{OX}$  与  $\delta_0$  比值.

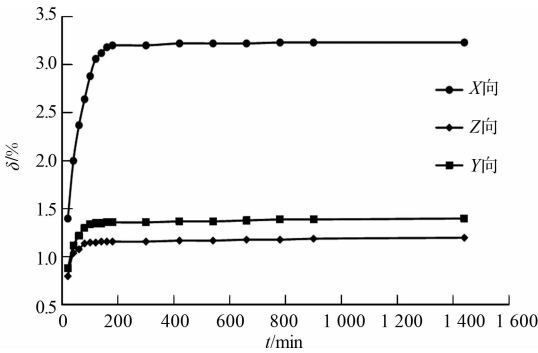


图 7 南宁灰白膨胀土时程曲线  
Fig. 7 Time-history curve of gray-white expansive soil in Nanning

表 2 正常放置与竖直方向横向放置三向膨胀率对比  
Tab. 2 Comparison of 3D expansion rate between normal placement and  
vertical dimension transverse placement

放置方法	$w$	$\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$\delta_{OZ}$	$\delta_{OX}$	$\delta_{OY}$	$\delta_0$	$K_0$
正常放置	11.30	1.75	3.17	1.30	1.38	1.340	2.37
竖直方向横向放置	11.30	1.75	1.41	3.22	1.26	1.335	2.42

由表 2 可知:试样正常放置与竖直方向横向放置时所得实验数据规律基本一致;膨胀土吸水膨胀率与只与击实方向有关,而与放置方向无关,证明三向膨胀仪的竖向膨胀效果与横向膨胀效果基本相同,膨胀土吸水膨胀率与增湿滴水方向面无关。

4 试验结果和分析

4.1 三向膨胀率时程曲线

设置 4 种膨胀土干密度均为  $1.70\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,初始水的质量分数为 11.30%,三向膨胀率时程曲线,如图 8 所示。

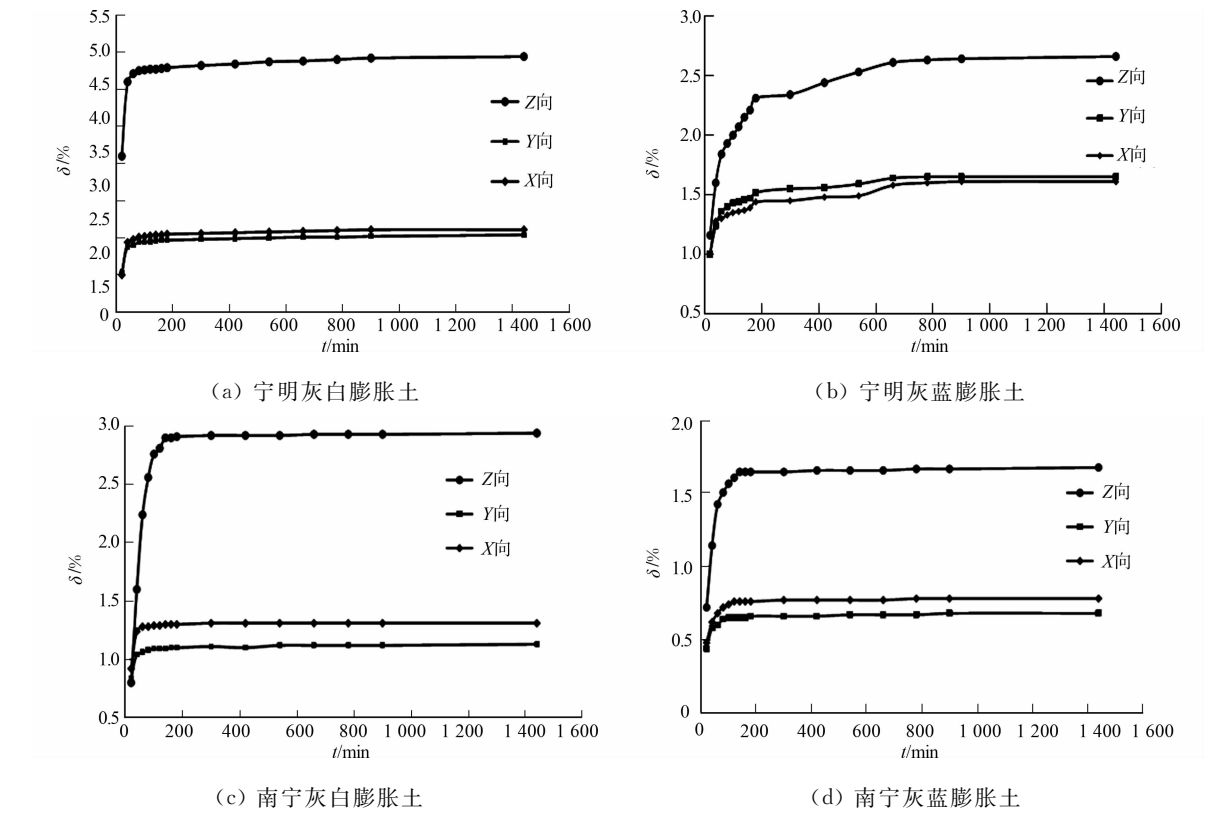


图 8 三向膨胀率时程曲线  
Fig. 8 3D expansion time-history curve

由图 8 可知:在达到峰值膨胀率之前,膨胀土吸水膨胀速率可分为快速膨胀阶段、缓慢膨胀阶段和趋于稳定阶段;快速膨胀阶段在 0~120 min 之间,此阶段可达到极限膨胀率的 80% 以上;缓慢膨胀阶段在 120~360 min 之间,此阶段膨胀土基本完成膨胀,膨胀率接近最大值.当 3 个阶段结束后,全程基本保持在 1 440 min 以内。

4.2 三向膨胀率试验结果

膨胀土膨胀率,如表 3 所示.表 3 中: $\delta_{OZ}$  为竖向膨胀率; $\delta_{OX}$  与  $\delta_{OY}$  为两个横向膨胀率; $H_0$  为竖向膨胀率与两横向膨胀率平均值之比.由表 3 可知:在相同水的质量分数的条件下, $H_0$  大于零,说明竖向膨胀率大于横向膨胀率,并且两个横向膨胀率大致相等.这是由于制样单向压实,故横向与竖直方向的膨胀率会存在差异,即制样造成土体的各向异性;随干密度的增大,膨胀土的竖向膨胀率与横向膨胀率也逐渐增大,这与人研究结果基本一致。

表 3 膨胀土的膨胀率  
Tab. 3 Expansion rate of expansive soil

土样 类型	试样 编号	$\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$\delta_{\text{OZ}}/\%$	$\delta_{\text{OX}}/\%$	$\delta_{\text{OY}}/\%$	$H_0$	土样 类型	试样 编号	$\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$\delta_{\text{OZ}}/\%$	$\delta_{\text{OX}}/\%$	$\delta_{\text{OY}}/\%$	$H_0$
宁明灰蓝 膨胀土	1	1.70	2.7	1.6	1.6	1.69	南宁灰白 膨胀土	11	1.85	6.7	2.3	2.2	2.98
	2	1.66	2.4	1.5	1.4	1.66		12	1.79	4.6	2.3	2.2	2.04
	3	1.62	2.2	1.0	1.1	2.10		13	1.75	3.2	1.4	1.2	2.46
	4	1.56	2.0	0.9	0.9	2.22		14	1.71	2.9	1.3	1.1	2.42
	5	1.50	1.8	0.7	0.8	2.40		15	1.66	2.2	1.2	1.0	2.00
宁明灰白 膨胀土	6	1.77	5.5	2.7	3.1	1.90	南宁灰蓝 膨胀土	16	1.89	3.2	1.7	1.9	1.78
	7	1.70	5.2	2.5	2.6	2.04		17	1.84	3.7	1.4	1.6	2.46
	8	1.66	4.6	2.1	2.4	2.04		18	1.80	2.9	1.4	1.7	1.87
	9	1.61	3.1	1.5	1.9	1.82		19	1.77	2.8	1.0	1.4	2.33
	10	1.55	2.1	1.0	1.2	1.91		20	1.70	1.8	0.7	0.8	2.40

在初始条件基本相同下,原状膨胀土的三向膨胀率高于重塑膨胀土的三向膨胀率.如南宁原状灰白膨胀土在水的质量分数为 23.00%、干密度为 1.54 g·cm<sup>-3</sup> 条件下,竖向膨胀率为 2.4%,两横向膨胀率分别为 1.1%,1.2%;重塑膨胀土在水的质量分数为 11.30%、干密度为 1.66 g·cm<sup>-3</sup> 条件下,竖向膨胀率为 2.2%,两横向膨胀率分别为 1.0%,1.2%.这是因为原状土成型除了与其自身的结构性有关,还与土的历史及沉积环境有关,而重塑土只与制样时击实功有关,完全不受土体结构性的影响,致使原状土具有较强的膨胀性.

4.3 三向膨胀力试验结果

重塑膨胀土的膨胀力,如表 4 所示.表 4 中: $P_{\text{OZ}}$  为竖向膨胀力, $P_{\text{OX}}$  为横向膨胀力, $R_0$  为横向膨胀力与竖向膨胀力之比.由于膨胀土两个横向膨胀力基本相同,故只列出一个横向力.

由表 4 可知:4 种  $R_0$  小于 1,说明横向膨胀力均小于竖向膨胀力;在初始水的质量分数相同的条件下,竖向、横向膨胀力均随着干密度的增大而增大,这与池泽成等<sup>[6]</sup>对合肥膨胀土实验研究结果基本一致;在相同水的质量分数条件下, $R_0$  随着干密度的增大而增大,说明土被压实后各向异性减弱,膨胀土膨胀力与膨胀率的膨胀趋势基本一致.

表 4 重塑膨胀土的膨胀力  
Tab. 4 Expansive force for remodeled expansive soil

土样 类型	试验 编号	$\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$P_{\text{OZ}}/\text{kPa}$	$P_{\text{OX}}/\text{kPa}$	$R_0$	土样 类型	试验 编号	$\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	$P_{\text{OZ}}/\text{kPa}$	$P_{\text{OX}}/\text{kPa}$	$R_0$
宁明灰蓝 膨胀土	1	1.50	189.93	105.56	0.55	南宁灰蓝 膨胀土	11	1.70	143.06	86.81	0.60
	2	1.56	246.18	152.43	0.62		12	1.77	199.31	133.68	0.67
	3	1.62	293.06	199.31	0.68		13	1.80	255.56	180.56	0.70
	4	1.66	386.81	293.06	0.76		14	1.84	330.56	246.18	0.74
	5	1.70	471.18	386.81	0.82		15	1.89	386.81	311.81	0.80
宁明灰白 膨胀土	6	1.55	180.56	105.56	0.58	南宁灰白 膨胀土	16	1.66	143.06	77.43	0.53
	7	1.61	274.31	171.18	0.62		17	1.71	161.81	105.56	0.65
	8	1.65	386.81	274.31	0.71		18	1.75	208.68	143.06	0.68
	9	1.70	433.68	330.56	0.76		19	1.79	274.31	199.31	0.72
	10	1.76	564.93	452.43	0.80		20	1.85	396.18	311.81	0.79

5 结论

1) 研发了三向膨胀仪,以及与之相应的原状土取样器、重塑土制备器,可以实现立方体制样简便,试样尺寸精度高,同时,三向膨胀试验操作方法简便,测试结果准确.

2) 以广西南宁、宁明 4 种典型膨胀土为研究对象,开展了膨胀土三向膨胀率及膨胀力试验,获得了相应的试验规律,试验结果表明:时程曲线分为快速、缓慢及趋于稳定 3 个阶段,并且 3 h 可完成膨胀的

80%~90%;所得竖向膨胀率及膨胀力均比横向大,并且两个横向膨胀率及膨胀力大致相等;在相同初始水的质量分数条件下,三向膨胀率及膨胀力均随试样干密度的增大而增大;在相同初始条件下,原状膨胀土比重塑膨胀土的三向膨胀率大,说明原状膨胀土具有结构性,其膨胀率会较大;在相同水的质量分数条件下, $R_0$ 随着干密度的增大而增大,证明土样被压实后各向异性减弱.

3) 试样吸水膨胀后水的质量分数的方差值符合试验的要求,说明试样在吸水膨胀后其内部水的质量分数基本接近,试样均匀膨胀,证明该纵向滴水增湿方法可行;进行膨胀土竖直方向水平放置试验,验证了膨胀土吸水膨胀特性与只与击实方向有关,而与放置方向无关,同时也验证了膨胀土吸水膨胀特性与增湿滴水方向面无关.故所得到的试验方法可行,仪器所测试数据可信,且试验所得到的规律与前人研究基本一致.

参考文献:

[1] 郑健龙,胡卫娜.攻克“工程癌症”[J].中国科技奖励,2010(增刊1):70-71.

[2] 麻常涛,郭潇,杨邦强.不同含水率与压实度下的膨胀土胀缩特性试验研究[J].科技风,2015(7):1-2. DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.2015.07.001.

[3] 王园.三向应力作用下膨胀土吸水变形性能[C]//中国土木工程学会中加非饱和土学术研讨会.武汉:中国土木工程学会,1994:206-213.

[4] 杨和平,张锐,郑健龙.有荷条件下膨胀土的干湿循环胀缩变形及强度变化规律[J].岩土工程学报,2006,28(11):1936-1941. DOI:10.3321/j.issn:1000-4548.2006.11.004.

[5] 杨长青,董东,谭波,等.重塑膨胀土三向膨胀变形试验研究[J].工程地质学报,2014,22(2):188-195. DOI:10.13544/j.cnki.jeg.2014.02.002.

[6] 池泽成,陈善雄,周哲,等.合肥重塑膨胀土三向膨胀力试验研究[J].岩土力学,2017(增刊1):387-392. DOI:10.16285/j.rsm.2017.S1.047.

[7] 池泽成,陈善雄,戴张俊,等.合肥重塑膨胀土三向应力-应变规律探讨[J].岩石力学与工程学报,2018(增刊1):546-552. DOI:10.13722/j.cnki.jrme.2016.1653.

[8] 范冀哲.邯郸膨胀土膨胀特性和强度特性试验研究[D].邯郸:河北工程大学,2016.

[9] 刘祖德,王园.膨胀土浸水三向变形研究[J].武汉大学学报(工学版),1994(6):616-621.

[10] 张锐,刘正楠,郑健龙,等.膨胀土侧向膨胀力及其对重力式挡墙的作用[J].中国公路学报,2018,31(2):171-180. DOI:10.19721/j.cnki.1001-7372.2018.02.018.

[11] AVSAR E,ULUSAY R. Assessments of swelling anisotropy of Ankara clay[J],Engineering Geology,2009,105:24-31. DOI:10.1016/j.enggeo.2008.12.012.

[12] 王海龙,朱宝龙,赵什光,等.膨胀土膨胀特性的研究[J].四川建筑科学研究,2017,43(3):59-61.

[13] 张颖钧.三向胀缩特性仪的研制[J].路基工程,1990(5):53-58.

[14] 谢云,陈正汉,孙树国,等.重塑膨胀土的三向膨胀力试验研究[J].岩土力学,2007,28(8):1636-1642. DOI:10.16285/j.rsm.2007.08.029.

[15] 秦冰,陈正汉,刘月妙,等.高庙子膨润土 GMZ001 三向膨胀力特性研究[J].岩土工程学报,2009,31(5):756-763. DOI:10.3321/j.issn:1000-4548.2009.05.019.

[16] 中华人民共和国水利部.土工试验规程:SL 237—1999[S].南京:中华人民共和国水利部,1999.

(责任编辑: 陈志贤      英文审校: 方德平)