

丁志平.不同湿度膨胀土抗剪强度随冻融循环的演化规律[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2022, 37(1):31-35. doi: 10.13582/j.cnki.1672-9102.2022.01.005

DING Z P. Shear Strength Evolution Law of Expansive Soil Under Different Initial Conditions with Freeze-Thaw Cycles [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2022, 37(1):31-35. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102. 2022.01.005

不同湿度膨胀土抗剪强度 随冻融循环的演化规律

丁志平*

(中铁上海设计院集团有限公司 徐州设计院,江苏 徐州 221000)

摘要:探索气候交错边缘地区膨胀土工程特性随冻融循环劣化问题,对降低膨胀土边坡病害风险具有重要意义.以河南平顶山膨胀土为研究对象,开展了不同初始状态下膨胀土强度与变形特性随冻融循环发展规律的三轴试验.结果表明:随着初始含水率的增加,各围压条件下的应力-应变关系族呈现出由强硬化型向弱硬化型发展的趋势;具有相同初始含水率实验组的膨胀土黏聚力随冻融循环次数的增加而不断衰减;含水率为 20%,23%,26%实验组的黏聚力在经过 10 次冻融循环后仅为未冻融土体的 72.5%,69.3%,57.0%;膨胀土内摩擦角在冻融循环初期具有波动性,但后期整体呈现出小幅增大现象,且初始含水率越小增幅越大.

关键词:膨胀土;冻融循环;抗剪强度;演化规律

中图分类号:TU443 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2022)01-0031-05

Shear Strength Evolution Law of Expansive Soil Under Different Initial Conditions with Freeze-Thaw Cycles

DING Zhiping

(Xuzhou Design Institute, China Railway Shanghai Design Institute Group Co., Ltd., Xuzhou 221000, China)

Abstract: It is of great significance to explore the engineering properties of expansive soil with freeze-thaw cycle degradation in the edge of climatic region to reduce the disease risk of micro-deformation control structures. Taking Pingdingshan expansive soil of Henan Province as the research object, the development law of strength and deformation characteristics of triaxial samples of expansive soil with freeze-thaw cycle under different initial conditions is tested. Results show that with the increase of initial water content, the stress-strain relationship group under various confining pressures presents a general trend from a strong hardening to a weak one. The cohesiveness of the expansive soil with the same initial moisture content in the experimental group decreases with the increase of freezing-thawing cycles. After 10 cycles of freezing-thawing, the residual cohesive force of percent moisture content of 20%, 23% and 26% is 72.5%, 69.3% and 57.0% of the soil respectively without freezing-thawing. The internal friction angle of expansive soil fluctuates in the early stage of freeze-thaw cycle, but in the later stage, it increases slightly as a whole. The smaller the initial moisture content is, the bigger the increase will be.

Keywords: expansive soil; freeze-thaw cycles; shear strength; evolution law

收稿日期:2020-10-06

*通信作者, E-mail: dzpwill@163.com

在我国高铁建设过程中遇到了大量膨胀土工程问题,虽然在选线设计中采取“尽量绕避”和“以桥代路”的原则,但受曲线半径、站位等诸多因素影响,仍有较多区间不得以路基方式通过膨胀土地段^[1-2].相关科研机构与从业人员为此进行了大量专项研究工作^[3-7],确保了工程建设的顺利推进.但随着季冻区高速铁路建设的快速发展,反复冻融作用下膨胀土工程特性的变化规律及其内在机理等问题亟待深入研究^[8-9].

我国已开通的郑万高铁和拟建的呼南高铁河南平顶山路段均分布有弱膨胀土,由于平顶山地处我国暖温带和亚热带气候交错的边缘地区,具有明显的过渡性特征,季节性冻融导致的地表土体工程病害问题通常不突出,但根据气温统计资料,河南平顶山地区在1999年—2020年1月的最低气温波动范围为 $-15\sim-3\text{ }^{\circ}\text{C}$,其中1999年、2008年、2018年均出现 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的极端最低气温.冻融循环可能导致浅表层膨胀土工程性质劣化,从而大幅度降低现有季冻区膨胀土边坡抗滑与综合稳定处治措施的有效性,增加了对微变形极其敏感的高速列车安全运营的潜在风险.

膨胀土的强度和变形特性与土体密实度^[9-10]、含水率^[11]、湿化方式等密切相关^[12].为了准确掌握平顶山地区膨胀土工程特性的冻融演化规律,以最优含水率为基准,对具有不同初始湿度的膨胀土进行模拟极端低温条件下的冻融循环三轴压缩试验.

1 试验方案

1.1 重塑膨胀土试样制备

1.1.1 制样方法选择

试验用土取自河南平顶山地区,膨胀土呈棕红(黄褐)色黏土间夹灰白色矿物,以硬塑~坚硬为主,黏性较强,颗粒细腻具有滑感,裂隙较发育,土块极易沿灰白色矿物界面开裂.最优含水率为20.6%,最大干密度为 1.746 g/cm^3 .膨胀土风干后利用碎土机粉碎过2 mm标准筛,按《铁路工程土工试验规程》(TB 10102—2010)(3.2.2)要求配置湿土制样,初期采用分层击实法制样,尽管按照规范要求要求在击实过程中对分层界面进行了刨毛处理以提高试样整体性,然而在冻融循环试验过程中发现仍然存在分层界面位置易开裂损坏的问题.为此,改为静压一次成型的制样方法.从土体压实规律上讲,静压一次成型可能会因压力自试样顶、底面向试样中部衰减而导致试样端头压实度高、中间部分压不密实的问题,但从制备的试样中并未发现密实度沿试样轴向存在显著差异现象,而且在经过多次冻融循环也未产生从中部断裂的现象,这是因为所制作的三轴试样高度有限,仅80 mm,制样压力沿试样轴向的衰减可以忽略不计,可以认为静压一次成型试样的密实度是均衡的.

1.1.2 制样仪器与制样过程

图1给出了静压一次成型的制样仪器,由制样模具、反力系统以及千斤顶组成,其中制样模具含护筒、上活塞、下活塞,该上、下活塞一端均可嵌入护筒内部进行加压直至上、下活塞端部与护筒上下端面相接触,此时护筒内部尺寸为直径39.1 mm,高80 mm(标准圆柱形三轴试样);反力系统采用弹簧柔性反力架,可有效防止仪器底部千斤顶施压不均衡造成的倾斜,保证上、下活塞在护筒内部竖直移动;制样结束后对千斤顶进行卸载.



图1 三轴试样制样器

千斤顶承载力10 t,起升高度160 mm,满足加压承载力和高度要求.

按照《铁路工程土工试验规程》(TB 10102—2010)(3.2.5)制样方法,称取不同预定初始状态试样所需的湿土质量,分次倒入制样护筒内,每次均从护筒两端对土样进行对称预压实,最后加盖上、下活塞,再通过仪器底部的千斤顶以静压力的方式对上下活塞对称加压直至上下活塞端部和护筒端面紧密接触,然后卸下上活塞,刨毛试样表面后再添加下一层湿土,如此反复至湿土用完.脱模后,将直径39.1 mm,高80 mm

的圆柱形试样用保鲜膜密封放于恒温箱内静置以防止水分蒸发。

表1 试样初始状态与冻融温度

初始含水率/%	初始压实度	冻结温度/℃	融化温度/℃
20	0.90	-15	20
23	0.90	-15	20
26	0.90	-15	20

1.2 冻融方案

根据《铁路工程土工试验规程》(TB 10102—2010)(46.3),冻融变形稳定标准为变形速率不超过0.05 mm/h,本次试验中采用连续3次测量试样变形速率不超过0.01 mm/h作为冻融变形稳定标准。

由于表层膨胀土中存在大量胀缩微裂纹,在环境温度变化过程中,该部分土体可以近似视为垂向和侧向同步降温.为此,试验中将制备好的试样放入冻融循环试验箱,按照表1设定冻结温度启动冻结过程,待冻结稳定后调整试验箱温度至20℃开始融化过程,如此反复共进行10次冻融循环.期间,利用精密数显游标卡尺测量试样的轴向、径向三等分点分别测量不同时间点的几何尺寸。

2 试验结果分析

2.1 应力-应变关系曲线分析

图2给出了压实系数为0.9,冻结温度为-15℃条件下膨胀土应力-应变关系随冻融次数和初始含水率的变化规律.由图2可知,在相同含水率条件下,土体应力-应变关系的硬化趋势随着围压的增加而不断增强;同一含水率和围压试验组的土体应力-应变关系随着冻融循环次数的增加而逐次向应变轴方向靠拢,且土体初始含水率越大,这种“靠拢”幅度越大,反映出水分在温度梯度作用下水分向冷锋面迁移、低温凝结成冰挤胀、高温融化二次膨胀等复杂作用下对土体内部微观结构造成的累积损伤逐次增大,且土体内水分越大,各次冻融循环诱发内部损伤程度越大,从而大幅度降低土体承受外部荷载的能力.随着初始含水率的增加,各围压条件下的应力-应变关系族总体上呈现出由强硬化型向弱硬化性发展的趋势。

2.2 黏聚力 c 、内摩擦角 φ 与冻融循环次数的关系

TSZ-6全自动三轴仪具有自动输出强度包络线和黏聚力 c 、内摩擦角 φ 值的功功能,为分析冻融循环和初始含水率变化对膨胀土抗剪强度指标的影响规律,以冻融循环次数 N 为横坐标,以黏聚力 c 、内摩擦角 φ 为纵坐标分别绘制 $c-N$ 、 $\varphi-N$ 关系曲线如图3所示。

由图3可知:(1)含水率为20%,23%,26%时,未经过冻融循环作用试样的黏聚力 c 分别为221.96,169.76,133.06 kPa,内摩擦角 φ 分别为14.87°,9.15°,3.25°,呈现出相同冻融循环次数时 c 、 φ 值均随土体初始含水率增加而降低的变化规律。(2)具有相同初始含水率实验组的膨胀土黏聚力随冻融循环次数的增加而不断衰减,但衰减幅度逐次减小并最终趋于稳定.首次冻融循环后含水率为20%,23%,26%实验组的黏聚力 c 分别衰减为未冻融时的90.6%,92.7%,72.4%,而该衰减系数在经过5次冻融循环后降低至77.1%,81.5%,55.6%,至第10次冻融循环后进一步发展至72.5%,69.3%,57.0%。(3)不同初始含水率实验组的膨胀土内摩擦角在前3次冻融循环过程中总体保持不变,但第4次冻融循环后呈现出一定程度的增大趋势,且初始含水率越高,这种增幅越小。

由于河南平顶山地区位于气候交错边缘地区,大部分年份冬季的地表温度在-5℃以上波动,地表冻结深度有限,冻融诱发的突出工程病害问题并不多见,使得该地区的膨胀土特性研究、边坡防护处治等工作通常不考虑季节性的冻融循环影响,但从气候交替地带平顶山地区近二十年1月份气温统计数据来看,已出现3次-15℃的极端低温和多次-10℃的低温环境,地表浅层膨胀土实际上已间断性的遭受冻融循环作用.从试验成果来看,平顶山膨胀土在以该地区极端低气温作为冻结标准的冻融循环过程中存在大幅度强度衰减和变形特性劣化现象,若在此基础上再叠加干湿循环效应,必将大幅度增加膨胀土边坡浅表层土体滑塌、土体与防护结构脱空等病害的风险.因此,作者建议已建成的郑万高铁、南水北调工程以及拟规划建设呼南高铁工程,均应在考虑极端气候条件下膨胀土冻融问题基础上,开展边坡稳定性分析与综合处治设计方案深入优化,并做好相应的预防处治方案。

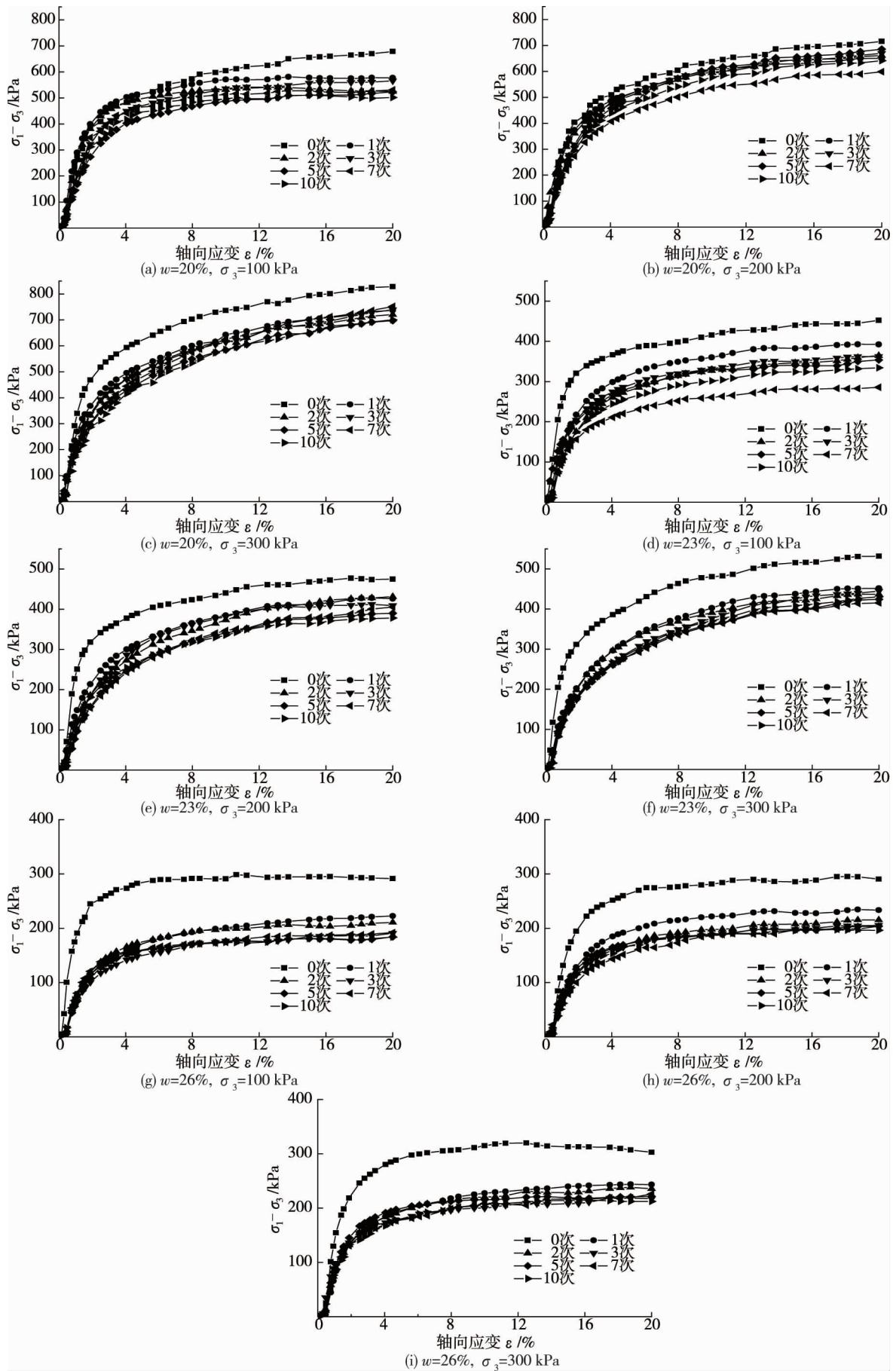


图2 不同含水率膨胀土应力-应变关系随冻融次数变化规律
(压实度 $k=0.9$, 冻结温度 $T_{ice}=-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, 融化温度 $T_{melt}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

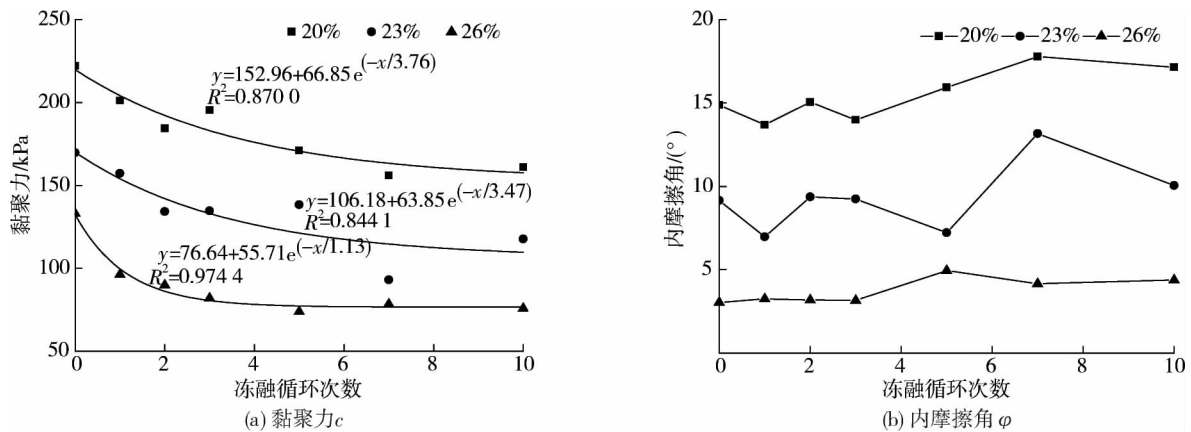


图 3 膨胀土黏聚力、内摩擦角随冻融次数变化规律
(压实度 $k=0.9$, 冻结温度 $T_{ice}=-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, 融化温度 $T_{melt}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

3 结论

1) 随着初始含水率的增加,各围压条件下的应力-应变关系族总体上呈现出由硬化型向弱硬化型发展的趋势。

2) 具有相同初始含水率实验组的膨胀土黏聚力随冻融循环次数的增加而不断衰减,含水率为 20%, 23%, 26% 实验组的土体黏聚力 c 在经过 10 次冻融循环后的仅为未冻融土体的 72.5%, 69.3%, 57.0%; 膨胀土内摩擦角在冻融循环初期具有波动性,但后期整体呈现出小幅增大现象,且初始含水率越小增幅越大。

参考文献:

- [1] 薛彦瑾,王起才,马丽娜,等. 高速铁路无砟轨道地基泥岩膨胀性分类分级研究[J]. 岩土力学, 2020, 41(9): 1-10.
- [2] 商拥辉,徐林荣,蔡雨. 浸水环境下重载铁路改良土路基动力特性研究[J]. 岩土力学, 2020, 41(8): 1-8.
- [3] 蔺建国,叶加兵,邹维列. 孔隙溶液对膨胀土微观结构的影响[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(4): 12-17.
- [4] Lin B, Cerato A B. Shear strength of shale weathered expansive soils along swell-shrink paths: analysis based on microscopic properties[J]. Environmental earth science, 2015, 74(9): 6887-6899.
- [5] 王德银,唐朝生,李建,等. 干湿循环作用下膨胀土的贯入特性试验研究[J]. 岩土力学, 2016, 37(1): 57-65.
- [6] 肖杰,杨和平. 膨胀土圪坡格栅加筋柔性支护的数值模拟[J]. 公路交通科技, 2016, 33(6): 1-8.
- [7] 庄心善,赵汉文,陶高梁,等. 循环荷载下弱膨胀土累积变形与动强度特性试验研究[J]. 岩土力学, 2020, 41(10): 1-9.
- [8] 许雷,刘斯宏,鲁洋,等. 冻融循环下膨胀土物理力学特性研究[J]. 岩土力学, 2016, 37(s2): 167-174.
- [9] 唐朝生,崔玉军, TANG A M, 等. 膨胀土收缩开裂过程及其温度效应[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(12): 2181-2187.
- [10] Ito M, Azam S. Engineering characteristics of a glacio-lacustrine clay deposit in a semi-arid climate [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2009, 68(4): 551-557.
- [11] 刘观仕,陈永贵,曾宪云,等. 环境湿度与温度对压实膨胀土裂隙发育影响试验研究[J]. 岩土工程学报, 2020, 42(2): 260-268.
- [12] Tollenaar R, Paassen L A, Jommi C. Small-scale evaporation tests on clay: influence of drying rate on clayey soil layer[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2018, 55: 437-445.