

冻融循环对土体强度变形参数的影响

张渭军

(甘肃第三建设集团有限公司,甘肃兰州 730050)

摘要:在寒区工程建设中,冻融循环会引起土强度和变形特性发生改变。为了研究多次冻融循环后土的强度和变形参数的变化量,本文以冻融和非冻融的粉质粘土饱和试样为研究对象,通过固结排水三轴剪切试验、三轴等向压缩试验和弹性模量试验,比较了冻融循环对土样强度参数和变形参数的影响。试验结果显示:冻融和非冻融试样的应力-应变关系曲线均呈应变硬化型,对于原状试样冻融作用破坏了其结构性;冻融作用导致土体强度的降低,主要体现在粘聚力的降低,约降低了 55.6%;冻融循环对变形参数有明显的影 响,其中最明显的是弹性模量的降低,降低了 31.2%。该研究结论可为工程冻害处理提供参考,也可为相关研究的数值计算提供试验参数。

关键词:冻融循环;土体强度;土体变形;剑桥模型

中图分类号:TU745+.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)06-0086-06

Effects of freeze-thaw cycles on soil strength and deformation parameters

ZHANG Weijun

(Gansu Third Construction Group Corporation, Lanzhou Gansu 730050, China)

Abstract: The change of soil strength and deformation parameters caused by the freeze-thaw cycle is one of the important issues with engineering works in the cold area. In order to investigate the change of strength and deformation parameters, with the saturated silty clay samples taken after and before the freeze-thaw cycle as the research object, the triaxial shear test after consolidation and drainage, triaxial isotropic compression test and elastic modulus test were carried out to analyze the effects of freeze-thaw cycles on soil strength and deformation parameters. The research results can be used as reference for the treatment of frost damage in engineering works and also as testing data for numerical simulation.

Key words: freeze-thaw cycles; soil strength; soil deformation; cam-clay model

0 引言

在寒区工程建设中,季节性冻土的冻胀融沉会导致土的力学性质发生改变,进而引起一系列的工程灾害。国内外关于冻融循环对土体微观结构、基本力学性质以及其作用机理等方面的研究,取得了有益的研究结论,为寒区工程建设的发展做出很大贡献^[1-11]。

关于冻融循环对土体微观结构的影响。倪万魁等^[12]通过电镜扫描,研究了不同次数的冻融作用,土体内部结构发生的变化。郑郑等^[13]分析了冻融循环对土体界限含水率、颗粒组成、比表面积和孔隙分布 4 个角度,研究了冻融循环对土结构性的影

响机制。周泓等^[14]以重塑黄土作为研究对象,探讨了其基本物理性质在冻融循环作用下的变异规律,并从机理层面上探讨了冻融循环次数对土体内部构造、粒度组成及矿物成分等方面的影响。为了弄清冻融循环作用对土体基本力学性质的影响规律及其作用的机理,王大雁等^[15]以青藏重塑粘土作为研究对象,探讨了冻融循环次数对重塑粘土强度指标的影响。胡再强等^[16]以不同初始含水率的重塑黄土为研究对象,通过一系列不同低温温度及循环次数的三轴试验,研究了冻融循环作用对黄土强度指标的影响,并定量的分析了强度指标在各影响因素下的折减关系。肖东辉等^[17]研究冻融循环对兰州黄

收稿日期:2020-04-15 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.06.015

作者简介:张渭军,男,汉族,1982 年生,高级工程师,土木工程专业,硕士,主要从事技术研发、安全质量管理等工作,甘肃省兰州市城关区武都路,1403970876@qq.com。

引用格式:张渭军.冻融循环对土体强度变形参数的影响[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):86-91.

ZHANG Weijun. Effects of freeze-thaw cycles on soil strength and deformation parameters[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(6):86-91.

土渗透系数的影响,研究发现冻融循环作用改变了黄土的内部构造,主要表现在干密度和孔隙率的改变,一定程度上可以解释冻融循环作用对土体渗透系数的影响规律。张辉等^[18]利用直剪试验研究了不同含水率、不同冻结温度和冻融循环次数对原状黄土抗剪强度的影响。倪万魁等^[12]通过三轴剪切试验研究了冻融循环后土体强度发生的变化。毛雪松等^[19]采用承载板法基于不同的含水率,研究了冻融次数对重塑黄土回弹模量的影响。方秋阳等^[20]研究了冻融循环对盐渍土及改性材料强度与变形特性的影响,得出试样含水率是影响冻融后土的抗压性能的首要因素。以上成果从不同的角度,针对不同类型的土研究了冻融循环作用对土基本性质的影响。从定性的角度来看,冻融循环对不同类型的土在强度和变形方面的影响,一定程度上有着相同的规律;但是从定量的角度上来看,在冻融循环作用下不同类型的土其强度和变形所产生的变化存在着较大的差异。

本文依托某城际铁路路基病害治理项目,取路基附近粉质粘土作为研究对象,采用三轴剪切试验、三轴等向压缩试验和回弹模量试验,研究了该处粉质粘土在冻融循环作用下其强度和变形参数的变化量。

1 研究方法

1.1 试验用土

试验用土取自城际铁路某段路基周边,该土的基本物理性质参数列于表 1。

表 1 土样的基本物理性质参数

Table 1 Physical parameters of soil specimen

密度 d_s / ($g \cdot$ cm^{-3})	塑限 w_p / %	液限 w_L / %	颗粒组成/%		
			2~ 0.075 mm	0.075~ 0.005 mm	<0.005 mm
2.71	13.4	35.2	31.7	41.0	27.3

该地区的气候条件是:最冷时气温低至 -17.5 °C,最热气温为 25.7 °C,最大冻深达 182 cm。通过对该路段路基病害调查,路基冻害较为突出,取土段的冻害共有 35 段/ 13271 延米、最大冻害峰值达 20 mm,因此,本文取该处土体为研究对象,探讨冻融循环对土体力学性质的影响。

试验制样取现场原状土样,用削土器将原状土块削至直径 39.1 mm、高 80 mm 的圆柱体试样,为了减小所制原状试样间的差异,导致试验结果的离

散,选择干密度相差小于 0.02 g/cm^3 的试样作为试验试样。对选用的试验试样按规范标准抽真空饱和。采用混凝土抗冻性试验冷冻设备来实现试样的多次冻融,最低温度设置为 -15 °C,冻融次数设为 20 次。

1.2 试验方案

分别对非冻融与冻融饱和试样,进行固结排水三轴剪切试验、三轴等向压缩试验和回弹模量试验。试验采用应力-应变控制式的全自动三轴剪切仪,三轴剪切试验的净围压分别控制为 50 、 100 、 200 、 300 kPa,三轴剪切速率均设定为 0.01 mm/min;三轴等向压缩试验,对试样加围压,围压的逐级增加量分别控制为 20 、 50 、 70 、 100 、 150 、 200 、 400 、 600 kPa,然后再逐级卸载,每级荷载作用下稳定的标准为内、外体变量 <0.01 mL/h;回弹模量试验根据取土深度,以应力状态接近天然土层应力为原则,本文仅分析围压为 50 kPa 下的弹性模量,竖向加、卸循环的荷载大小为 120 、 140 、 160 、 180 kPa,每级压力加载时间为 1 min。

2 试验结果分析

为了方便起见,在分析试验资料时,分别用 σ_{ij} 、 p 、 q 表示应力张量、平均应力、偏应力,各符号的表达式如下:

$$p = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3 \quad (1)$$

$$q = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (2)$$

2.1 应力应变关系曲线

不同围压下,冻融与非冻融试样的 $q - \varepsilon_1$ 关系曲线如图 1 所示。两种条件下,试样的应力-应变曲线均呈应变硬化型。通过非冻融试样的应力-应变曲线可以看出,非冻融原状样呈现出一定的结构性,在初始阶段,荷载的增加仅产生微小的变形,且应力-应变曲线近似为直线,荷载增大至一定程度,土体内部的结构逐渐被破坏而产生较大的应变,随着应变的增大土体逐渐被压密,即表现出应变硬化的破坏形态。冻融试样虽然也表现出一定的结构性,但相比非冻融试样,其结构破坏时的应力相对要小。这是因为冻融循环过程中,随着孔隙水固化冻胀,液化缩小,一定程度上挤压错动土体内部颗粒,颗粒间长期地层作用而形成稳定结构,一定程度上被破坏,而又未形成新的稳定结构,所以在剪切一开始由土体内部仅存的少量稳定结构来承受外部荷载,同时

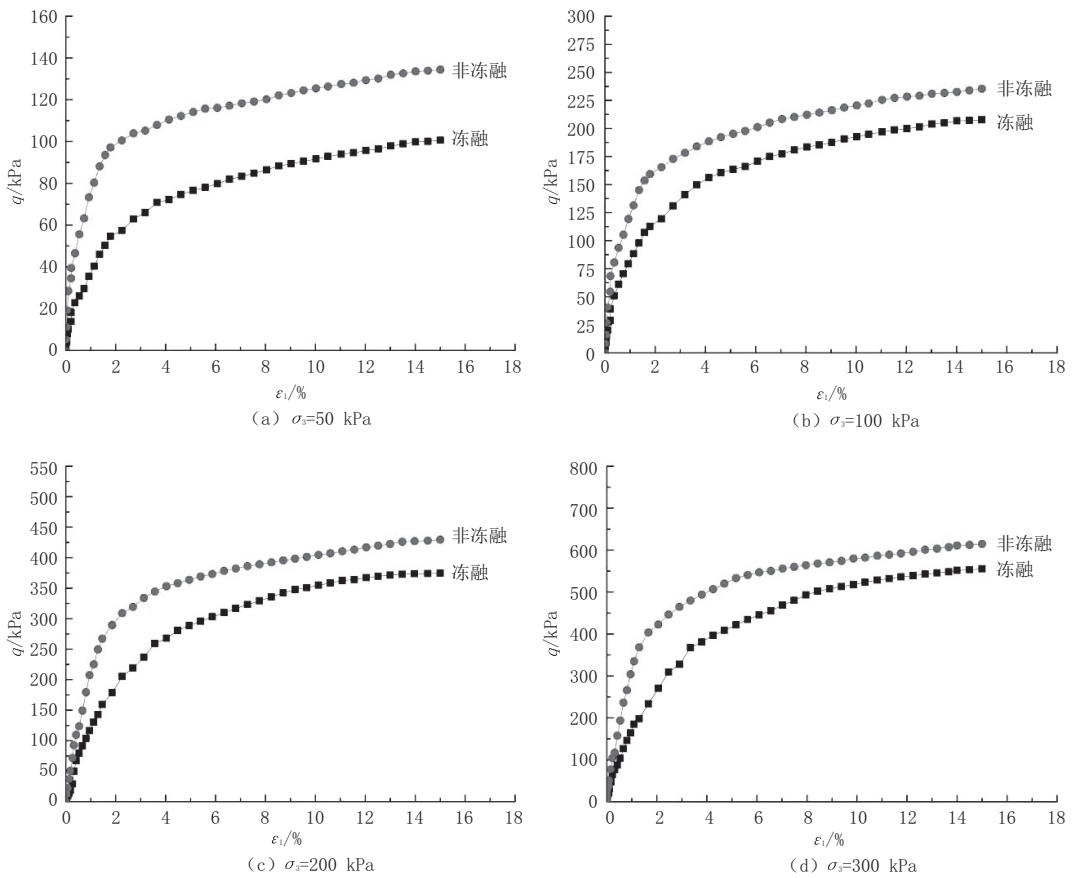


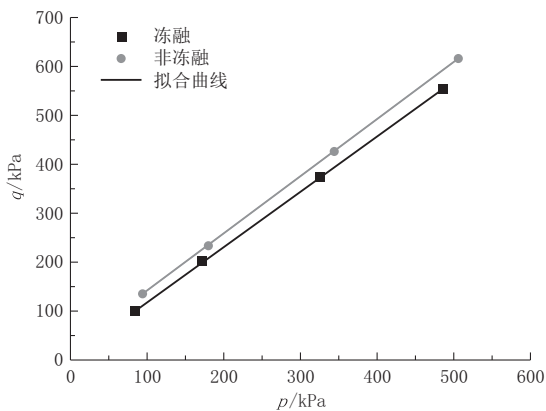
图1 冻融试样与非冻融试样的应力-应变关系曲线

Fig.1 Stress-strain relation curves of samples taken after and before the freeze-thaw cycle

伴随着试样被压密,逐渐形成新的稳定结构,故其应力-应变关系曲线未出现明显的折点,说明其结构性不明显。

2.2 三轴剪切试验结果

针对以上破坏形式取轴向应变 $\varepsilon_1 = 15\%$ 时的应力为破坏应力。各围压下的破坏应力 (q_f, p_f) 列于表2。在 $p-q$ 平面内做出强度包线如图2。

图2 冻融试样与非冻融试样在 $p-q$ 平面内的强度包线Fig.2 Strength envelope in $p-q$ plane

冻融与非冻融试样破坏时应力点在 $p-q$ 平面上均落在一条直线上。其强度参数本文利用下式求得:

$$q_f = \xi + p_f \tan \omega \quad (3)$$

式中: $\tan \omega$ ——直线的斜率; ξ ——直线与 q 轴相交的截距。

土的摩擦角 φ 可从下式求得:

$$\sin \varphi = 3 \tan \varphi / (6 + \tan \omega) \quad (4)$$

而土的粘聚力 c 则由下式给出:

$$c = (3 - \sin \varphi) / (6 \cos \varphi) \cdot \xi \quad (5)$$

将试验得出的强度参数列于表2。

2.3 三轴等向压缩试验结果

剑桥模型是有限元计算最常用的模型之一,其基本理论在此不再详述。上一节的三轴剪切试验确定了其临界状态线 ($p-q$ 平面的破坏包线),其斜率 $\tan \omega$ 即为临界状态的应力比参数 M 。剑桥模型的硬化规律由三轴等向压缩试验来确定。通过对试样进行等向压缩和回弹,剑桥模型的压缩参数 λ 和回弹参数 k , 分别在 $e-\ln p$ 曲线的压缩段和回弹段求

表 2 冻融试样与非冻融试样的强度参数

Table 2 Strength parameters of samples taken after and before the freeze-thaw cycle

饱和 和试样	$\sigma_3 /$ kPa	$q_t /$ kPa	$p_t /$ kPa	$\tan\omega$	$\varphi /$ ($^\circ$)	$\xi /$ kPa	$c /$ kPa
冻融 试样	50	100.6	83.53	1.122	28.2	11.17	4.85
	100	207.3	169.10				
	200	374.6	324.87				
	300	555.4	485.13				
非冻 融试样	50	134.4	94.80	1.170	29.3	25.19	10.89
	100	235.0	178.33				
	200	429.6	343.20				
	300	614.6	504.87				

得。分别对冻融试样和非冻融试样进行等向压缩。为了避免加卸载形成的滞回圈对获取参数造成的误差,本文依次加载到最大荷载,然后再逐级卸载回弹,试验结果列于表 3。

表 3 冻融试样与非冻融试样等向压缩试验成果

Table 3 Compressive test results of samples taken after and before the freeze-thaw cycle

饱和 和试样	干密度 $\rho_d /$ ($g \cdot$ cm^{-3})	加荷 围压 $p /$ kPa	压 缩			回 弹			弹性 参数 k	压缩 参数 λ
			压缩 体变/ cm^3	土样 体积/ cm^3	孔隙 比 e	回弹 体变/ cm^3	土样 体积/ cm^3	孔隙 比 e		
冻融 试样	1.50	0	0	96.01	0.807				0.006	0.072
		20	4.2	91.81	0.728	1.1	79.81	0.502		
		50	6.7	89.31	0.681	1.0	79.71	0.500		
		70	8.3	87.71	0.650	0.8	79.51	0.496		
		100	9.4	86.61	0.630	0.6	79.31	0.492		
		200	11.9	84.11	0.583	0.4	79.11	0.489		
		400	15.0	81.01	0.524	0.2	78.91	0.485		
非冻 融试样	1.49	0	0	96.05	0.819				0.005	0.066
		20	3.8	92.25	0.747	1.0	81.25	0.539		
		50	6.2	89.85	0.701	0.9	81.15	0.537		
		70	7.4	88.65	0.679	0.7	80.95	0.533		
		100	8.4	87.65	0.660	0.6	80.85	0.531		
		200	10.5	85.55	0.620	0.3	80.55	0.525		
		400	13.8	82.25	0.557	0.2	80.45	0.523		
600	15.8	80.25	0.520	0	80.25	0.520				

2.4 三轴弹性模量试验结果

土体弹性模量是变形计算的重要参数,为了研究冻融循环对土体弹性模量的影响程度,分别对冻融试样和非冻融试样进行了三轴弹性模量试验,对应的应力-应变关系曲线如图 3 所示,具体的试验数据列于表 4。

2.5 冻融循环对强度变形参数影响分析

前面几节罗列了强度和变形参数的试验结果,将冻融试样和非冻融试样的参数进行对比,比较

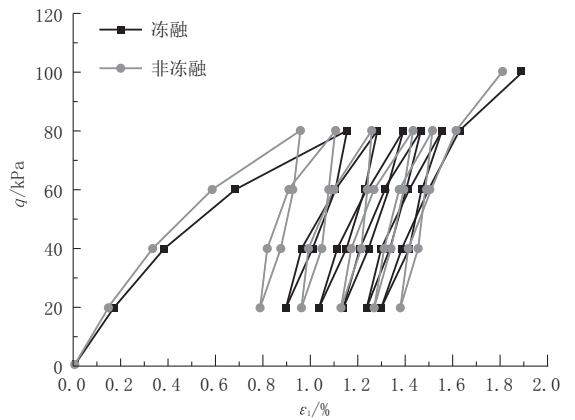


图 3 冻融试样与非冻融试样加荷-卸荷回弹曲线

Fig.3 Loading - unloading rebound curve of samples taken after and before the freeze-thaw cycle

结果列于表 5。从表 5 中的对比可以发现,冻融循环作用对土体的粘聚力和弹性变形相关参数影响较大。

这说明冻融循环主要影响的是颗粒之间胶结与颗粒间相互接触的骨架结构,而对于颗粒之间的摩擦影响不大。这是因为季节性冻土,气温较低时,孔隙中的自由水凝结成冰体积膨胀,引起颗粒间的胶结结构拉裂,表现出粘聚力降低的现象;夏季融化,孔隙中的水由固态变成液态,体积变小,孔隙面积逐渐缩小,但无法恢复到原始状态^[21]。冻胀-融化的循环引起土颗粒之间的联结结构和颗粒间的排列方式发生改变,使土体变得较疏松,颗粒间的胶结结构损伤,因此冻融循环将会引起土体内部颗粒之间的粘聚力减小,颗粒的错动、重排使颗粒间原有的稳定骨架结构松动进而表现在强度、变形参数的变化上来。

3 结论

本文分别对冻融试样和非冻融试样,通过三轴剪切试验、等向压缩试验和三轴弹性模量试验,研究冻融循环对土体强度和变形参数的影响,通过试验分析得出如下结论:

(1)冻融试样和非冻融试样的应力-应变关系曲线基本上呈应变硬化型,根据应力-应变关系曲线可以判断:非冻融试样具有一定的结构性,而冻融试样的结构性则不明显。

(2)通过三轴剪切试验所获取的冻融试样和非冻融试样的强度参数显示,冻融作用使粘聚力降低 55.46%,而摩擦角的变化较小,仅降低了 3.75%。

表4 冻融试样与非冻融试样弹性模量试验成果

Table 4 Elastic modulus test results of samples taken after and before the freeze-thaw cycle

饱和试样	偏应力 q/kPa	轴向应变 $\varepsilon_1 / \%$									
		加荷	卸荷	加荷	卸荷	加荷	卸荷	加荷	卸荷	加荷	卸荷
	0	0									
冻融试样	20	0.173	0.898	0.898	1.036	1.036	1.140	1.140	1.239	1.239	1.302
	40	0.385	1.012	0.968	1.152	1.113	1.246	1.212	1.338	1.302	1.420
	60	0.685	1.101	1.109	1.232	1.237	1.323	1.313	1.402	1.414	1.473
	80	1.153	1.153	1.282	1.282	1.395	1.395	1.468	1.468	1.555	1.555
弹性模量 E_{ur}/MPa		14.44		15.12		16.74		14.92		15.82	
	0	0									
非冻融试样	20	0.153	0.786	0.786	0.958	0.958	1.124	1.124	1.262	1.262	1.372
	40	0.335	0.875	0.815	1.043	0.984	1.208	1.167	1.335	1.304	1.444
	60	0.585	0.922	0.904	1.072	1.096	1.233	1.262	1.387	1.366	1.482
	80	0.953	0.953	1.102	1.102	1.253	1.253	1.426	1.426	1.507	1.507
弹性模量 E_{ur}/MPa		21.41		22.33		21.98		22.59		23.70	

表5 冻融作用下土体强度和变形参数的比较

Table 5 Comparison of soil strength and deformation parameters under the action of freeze-thaw cycles

饱和试样	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	M	λ	k	E_{ur}/MPa
冻融试样	4.85	28.2	1.122	0.072	0.006	15.41
非冻融试样	10.89	29.3	1.170	0.066	0.005	22.40
变化量/%	55.46	3.75	4.10	-9.09	-20	31.20

(3)根据三轴剪切、等向压缩试验和三轴弹性模量试验所获取的变形参数显示,剑桥模型参数中冻融作用使参数 M 降低 4.1%、参数 λ 和 k 分别提高 9.09% 和 20%;冻融循环作用使土体弹性模量降低了 31.2%。

参考文献(References):

- [1] Othman M A, Benson C H. Effect of freeze-thaw on the hydraulic conductivity and morphology of compacted clay[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1993,30(2):236-246.
- [2] Chamberlain E J, Gow A J. Effect of freezing and thawing on the permeability and structure of soils[J]. Engineering Geology, 1979,13:73-92.
- [3] Eigenbrod K D. Effects of cyclic freezing and thawing on volume changes and permeabilities of soft fine-grained soils[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1996,33(4):529-537.
- [4] Viklander P. Permeability and volume changes in till due to cyclic freeze-thaw[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1998,35(3):471-477.
- [5] Simonsen E, Isacsson U. Soil behavior during freezing and thawing using variable and constant confining pressure triaxial tests[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2001,38(4):863-875.
- [6] 郑娜,马巍,郗慧.冻融循环对土结构性影响的机理与定量研究方法[J].冰川冻土,2015,37(1):132-137.
ZHENG Yun, MA Wei, BING Hui. Impact of freezing and thawing cycles on the structures of soil and a quantitative approach[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2015,37(1):132-137.
- [7] 董晓宏,张爱军,连江波,等.长期冻融循环引起黄土强度劣化的试验研究[J].工程地质学报,2010,18(6):887-893.
DONG Xiaohong, ZHANG Aijun, LIAN Jiangbo, et al. Laboratory study on shear strength deterioration of loess with long-term freezing-thawing cycles[J]. Journal of Engineering Geology, 2010,18(6):887-893.
- [8] 肖东辉,冯文杰,张泽.冻融循环作用下黄土孔隙率变化规律[J].冰川冻土,2014,36(4):907-912.
XIAO Donghui, FENG Wenjie, ZHANG Ze. The changing rule of loess's porosity under freezing-thawing cycles[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014,36(4):907-912.
- [9] 常丹,刘建坤,李旭.冻融循环下粉砂土屈服及强度特性的试验研究[J].岩石力学与工程学报,2015,34(8):1721-1728.
CHANG Dan, LIU Jiankun, LI Xu. Experimental study on yielding and strength properties of silty sand under freezing-thawing cycles[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015,34(8):1721-1728.
- [10] 苏谦,唐第甲,刘深.青藏斜坡黏土冻融循环物理力学性质试验[J].岩石力学与工程学报,2008,27(S1):2990-2994.
SU Qian, TANG Dijia, LIU Shen. Test on physico-mechanical properties of Qinghai-Tibet slope clay under freezing-thawing cycles[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008,27(S1):2990-2994.
- [11] 刘晨,于清杨,王城斌,等.灰岩冻融循环的劣化规律研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(12):80-85.
LIU Chen, YU Qingyang, WANG Chengbin, et al. Deterioration law of limestone freeze-thaw cycles[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(12):80-85.
- [12] 倪万魁,师华强.冻融循环作用对黄土微结构和强度的影响[J].冰川冻土,2014,36(4):922-927.
NI Wankui, SHI Huaqiang. Influence of freezing-thawing cycles on micro-structure and shear strength of loess[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014,36(4):922-927.
- [13] 郑娜,马巍,郗慧.冻融循环对土结构性影响的试验研究及影

- 响机制分析[J].岩土力学,2015,36(5):1282-1294.
ZHENG Yun, MA Wei, BING Hui. Impact of freezing and thawing cycles on structure of soils and its mechanism analysis by laboratory testing[J]. Rock and Soil Mechanics, 2015, 36(5):1282-1294.
- [14] 周泓,张泽,秦琦,等.冻融循环作用下黄土基本物理性质差异性研究[J].冰川冻土,2015,37(1):162-168.
ZHOU Hong, ZHANG Ze, QIN Qi, et al. Research on variability of basic physical properties of loess under freezing-thawing cycles [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2015,37(1):162-168.
- [15] 王大雁,马巍,常小晓,等.冻融循环作用对青藏粘土物理力学性质的影响[J].岩石力学与工程学报,2005,24(23):4313-4319.
WANG Dayan, MA Wei, CHANG Xiaoxiao, et al. Physico-mechanical properties changes Qinghai - Tibet[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005,24(23):4313-4319.
- [16] 胡再强,刘寅,李宏儒.冻融循环作用对黄土强度影响的试验研究[J].水利学报,2014,45(S2):14-18.
HU Zaiqiang, LIU Yin, LI Hongru. Influence of freezing-thawing cycles on strength of loess[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014,45(S2):14-18.
- [17] 肖东辉,冯文杰,张泽,等.冻融循环对兰州黄土渗透性变化的影响[J].冰川冻土,2014,36(5):1192-1198.
XIAO Donghui, FENG Wenjie, ZHANG Ze, et al. Research on the Lanzhou loess's permeabilities changing with freezing-thawing cycles[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014,36(5):1192-1198.
- [18] 张辉,王铁行,罗扬.非饱和和原状黄土冻融强度研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(4):210-214,222.
ZHANG Hui, WANG Tiehang, LUO Yang. Freezing-thawing strength of unsaturated undisturbed loess[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2015,43(4):210-214,222.
- [19] 毛雪松,侯仲杰,王威娜.基于含水量和冻融循环的重塑土回弹模量试验研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(S2):3585-3590.
MAO Xuesong, HOU Zhongjie, WANG Weina. Experimental research on resilient modulus of remolded soil based on water content and freeze-thaw cycles[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009,28(S2):3585-3590.
- [20] 方秋阳,柴寿喜,李敏,等.冻融循环对固化盐渍土的抗压强度与变形的影响[J].岩石力学与工程学报,2016,35(5):1041-1047.
FANG Qiuyang, CHAI Shouxi, LI Min, et al. Influence of freezing-thawing cycles on compressive strength and deformation of solidified saline soil[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2016,35(5):1041-1047.
- [21] 张泽,马巍,齐吉琳.冻融循环作用下土体结构演化规律及其工程性质改变机理[J].吉林大学学报(地球科学版),2013,43(6):1904-1914.
ZHANG Ze, MA Wei, QI Jilin. Structure evolution and mechanism of engineering properties change of soils under effect of freeze-thaw cycle[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2013,43(6):1904-1914.

(编辑 周红军)

专题征稿

“川藏铁路工程钻探(钻掘)技术与装备”专题

2018年,“世纪工程”川藏铁路规划建设全面启动。川藏铁路工程需要面对崇山峻岭、地形高差、地震频发、复杂地质、季节冻土、山地灾害、高原缺氧以及生态环保等建设难题,桥隧占比高达80%,被称为“最难建的铁路”。新建铁路的工程勘察、桥隧建造以及地质灾害防治需要动用大量的钻探(钻掘)工作,而特有的地质、地理条件给施工带来极大的难度和挑战。

为此,本刊拟组织一期“川藏铁路工程钻探(钻掘)技术与装备”专题,总结前期的研究成果和施工经验,为下一步更加严峻的挑战提供指导和借鉴。

征稿内容包括(但不限于):

- 工程勘察钻探取样技术
- 定向钻进技术
- 隧道施工技术(盾构、超前支护、围岩加固、爆破等)
- 桩基施工技术
- 地质灾害防治技术
- 相关装备及器具
- 相关理论研究成果

稿件要求:参见《探矿工程(岩土钻掘工程)》投稿指南:
http://jour.tkgc.net/ch/first_menu.aspx?parent_id=20150106042322001

论文提交截止时间:2020年8月30日

投稿网址:www.tkgc.net

投稿流程:探矿工程在线(www.tkgc.net)→作者登录→注册→登录→按提示上传稿件(注:选择栏目时请选“川藏铁路钻探专题”)。

欢迎广大科研人员和工程技术人员投稿!

联系人:周红军(503581735@qq.com, 13803220507, 0316-2096324)

李艺(617140994@qq.com, 18515466615, 010-68320471)

《探矿工程(岩土钻掘工程)》编辑部

2020年4月