

淮南刘庄煤矿人工冻融土的冻胀 与融沉研究

胡清华, 崔可锐, 赵川, 马文生

(合肥工业大学资源与环境工程学院, 安徽合肥 230009)

摘要:安徽淮南刘庄煤矿主井井塔地基工程采用了人工冻结法施工,因而主井井塔地基土发生冻胀和融沉的变化。为了工程的安全和井塔的稳定,本文对主井井塔地基的人工冻融土进行了冻胀和融沉模拟试验,并对试验数据进行分析 and 计算。本文对人工冻融土冻胀与融沉性质的研究,填补了我国在这方面研究的不足,为今后该方面的工程施工提供了参考依据。

关键词: 主井井塔地基; 人工冻融土; 冻胀; 融沉

中图分类号: TU445; TU43

文献标志码: A

1 引言

国投新集能源股份有限公司刘庄特大型煤矿,设计生产能力为年产煤炭800万吨,主井井塔高为90m,跨度24m,钢筋混凝土结构,总重量为31000t,可堪称亚洲第一井塔,目前正处于施工过程中。其主井井筒采用冻结法施工,冻结深度600m,由于工期紧迫,2005年5月初采用人工解冻,解冻深度60m。

人工冻结技术是利用人工冻结方法^[1],降低土体的温度使土体的含水土层形成冻结体,以抵抗地压并隔绝与地下水联系的一种土木工程特殊施工技术。因而就产生了人冻土的冻胀融沉问题^[2]。在土壤冻融过程中,土体性质变化直接影响着地下工程及上部建筑物的稳定性。如由于冻胀融沉导致的不均匀沉降,使得主井井塔的倾斜,因此,冻结法施工中所产生的冻胀融沉往往是工程成败的主要因素之一,冻胀融沉问题不解决,就会影响冻结法的应用范围以及工程的质量^[3]。

2 冻胀与融沉试验^[4]

2.1 冻胀和融沉研究目的

试验取样为原状土和冻融过后的冻融土进行冻胀,目的是观察它们的冻胀量的差异。并结合前面的原状土和冻融土的物理力学性质^[5]找出其根本原因;并结合土的X-衍射分析和化学分析成分结果来找出潜在的规律,还可和电镜扫描分析结合来分析土的结构和冻胀性的关系。最主要的是得出地层的冻胀量和

融沉量,并结合后面的蠕变沉降量进而求得在井塔压力作用下的总沉降量。

2.2 冻胀试验

2.2.1 试验方法



图1 WDT-100微机控制冻土试验机

Fig. 1 Computer Control permafrost testing machine of WDT-100

本试验是采用上海飞鹰设备厂制造的WDT-100微机控制冻土试验机,并且都是在-10℃的条件下进行无水源补给的试验。如图1所示,整套冻胀试验装置由试样筒、恒温箱、制冷与温度控制系统、变形监测和加压系统以及计算机读数系统组成,操作步骤主要包括制备土样、恒温冻胀和数据采集。

(1)制备土样:试验设计所需土样为高6cm,底面积为30cm²。利用环刀切取土样,然后取下环刀,安装

土样,将60mm × H80mm圆柱状土样装入筒内,拧紧筒壁上的套环,使得土样与筒壁紧密结合,将装有试样的筒安装好。

(2)恒温冻胀:安装好土样后,检查变形监测系统和加压系统,然后根据先前计算所得的土样所受原始应力加载,使土样的应力状态与原位应力状态接近;调解恒温箱内温度,本次实验,主要测定土样在-10℃时的冻胀量。

(3)数据采集:土样在低温环境下恒温12h,记录位移传感器读数,计算土样恒温过程中冻胀变形量。

我们为了考虑冻土在融化后有可能回冻,因为工程期限很短,所以冻土是加热融化的,这样加热融化不是很充分;特别我们有做了冻融土的冻胀试验,依此来对回冻的冻胀进行了解和认知,特此把原状土的冻胀和冻融土的冻胀做一对比。

2.2.2 实验数据分析^[6]

本试验所得冻胀图如下图2为:



(3)原状粉土的冻胀曲线 (3)冻融粉土的冻胀曲线

图2 原状粉土和冻融粉土的冻胀曲线

Fig.2 Freezing swelling curves for undisturbed and freezing-thawing silty soils

该曲线为试样在加压力,常温的条件冻胀率—时间(小时)的曲线。根据曲线的特性,我们对此曲线进行拟合,最理想的曲线应该是指数函数曲线。但是所得曲线拟合却为多项式函数,所用拟合曲线的公式为: $y = A + B_1x + B_2x^2 + B_3x^3$,图3,4为用该公式所拟合的曲线。

根据拟合结果,并结合取土样的深度和在试验时所施加的压力得出表1、2,其中A,B₁,B₂,B₃是所得参数。

2.3 融沉试验

2.3.1 试验方法

同样所用的设备为WDT-100微机控制冻土试验机。所不同的是,在做融沉试验时土样在饱水条件下放在-10℃的冷冻箱中冻结48h,且在冻结过程中试样用保鲜膜封闭,避免水分含量有所变化;冻结完后,把试样放在常温的条件(27℃)下让其自然融化,测其融沉值。(这里要说明的是,试样在冻结过程前已经装入

铁模中,并预压密)。

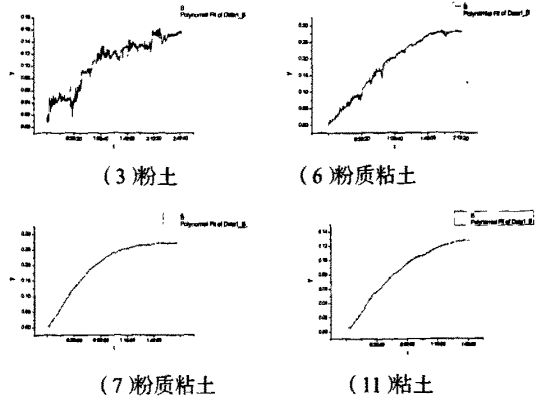


图3 冻融土的拟合曲线 Fig.3 Fitting curve of freezing-thawing soil

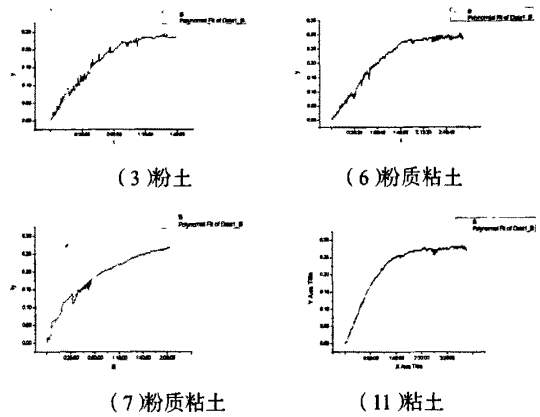


图4 原状土的冻胀拟合曲线 Fig.4 Freezing swelling fitting curve of undisturbed soil

2.3.2 试验数据分析

根据试验所得试验的曲线如图5(第二层粉质粘土的融沉曲线):

该曲线为试样在加压力,常温的条件下融沉率—时间(小时)的曲线。根据曲线的特性,我们对此曲线

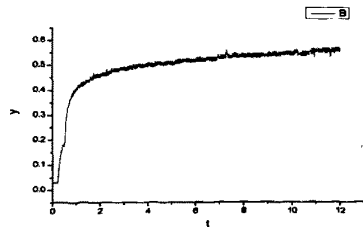


图5(2)粉质粘土的融沉曲线 Fig.5(2) Thawing subsidence curve of silty clay

进行拟合,所用拟合曲线的公式为: $y = a(1 - e^{-bx})$ 图6为用该公式所拟合的曲线。

根据上面的拟合结果整理得表3。

表1 冻融土冻胀曲线拟合参数表
Table 1 Freezing swelling curve fitting parameters for freezing-thawing soil

编号	土层土性	压力(kPa)	取土深度(m)	A	B1	B2	B3
302-2	(2) 粉质粘土	80.0	3.0~3.2	0.0399	7.09491E-4	-8.37838E-7	2.80126E-10
302-7	(3) 粉质粘土	120.4	7.0~7.2	0.01595	2.81028E-5	-1.66452E-9	2.01132E-14
302-13	(4) 粉质粘土	155.14	9.5~9.7	-0.01017	6.52988E-5	-3.78209E-9	-4.5099E-14
302-15	(5) 粉质粘土	184.3	10.7~10.9	-0.01446	7.21573E-5	-5.0797E-9	8.27163E-14
302-21	(6) 粉质粘土	221.36	16.5~16.7	-4.16033E-5	5.11544E-4	1.64648E-9	-4.70731E-13
302-23	(7) 粉质粘土	242.68	17.6~17.8	-0.01284	0.00171	-3.39892E-6	2.20578E-9
302-27	(8) 粉质粘土	281.07	22.5~22.7	-0.02815	9.05445E-5	-1.12589E-8	4.80555E-13
301-12	(9) 粉质粘土	449.77	35.0~35.2	0.01986	0.00126	-3.33271E-6	3.01171E-9
301-21	(10) 粉质粘土	525.77	44.0~44.2	0.0283	0.00112	-2.05642E-6	1.18252E-9
301-29	(11) 粉质粘土	622.57	52.0~52.2	-0.00299	7.11035E-4	-1.26653E-6	7.79695E-9

表2 原状土冻胀曲线拟合参数表
Table 2 Freezing swelling curve fitting parameters for undisturbed soil

编号	土层土性	压力(kPa)	取土深度(m)	A	B1	B2	B3
303-3	(2) 粉质粘土	80.0	4.0~4.2	0.01496	3.77567E-4	-7.86052E-7	5.78918E-10
303-8	(3) 粉质粘土	137.74	7.9~8.1	0.00251	0.00145	-2.50279E-6	7.90285E-10
303-12	(4) 粉质粘土	155.14	9.4~9.6	-0.02046	0.00186	-2.82147E-6	1.29229E-9
	(5) 粉质粘土						
303-20	(6) 粉质粘土	221.36	15.8~16.0	-0.01534	7.2923E-5	-5.14267E-9	9.10154E-14
303-22	(7) 粉质粘土	242.68	18.0~18.2	0.02273	0.00122	-2.43556E-6	1.96753E-9
303-28	(8) 粉质粘土	281.07	23.8~24.0	-0.00886	0.00154	-2.18876E-6	6.10494E-10
303-34	(9) 粉质粘土	366.73	30.0~30.2	-0.0039	3.16354E-4	-4.49037E-7	2.2253E-10
303-46	(10) 粉质粘土	500.68	43~43.2	-0.01376	0.00105	-1.91568E-6	1.2149E-9
303-54	(11) 粉质粘土	601.33	53.0~53.0	-0.01318	0.00121	-1.69897E-6	7.96569E-10

3 冻胀融沉分析^[7]

3.1 冻胀分析

冻融土是土体冻结时水分,温度,力共同作用的结果。水分是引起冻胀的根源,而温度则是水分迁移的驱动力,力则是从外界最主要的影响因素。冻融后土的孔隙率和含水量都增大:土冻融后,密度,干密度及塑性指数略有降低,孔隙比,液性指数略有增大,而其它物理指标基本一致;粘土冻融后,渗透性大大增加,为原状土的3~10倍。而本试验所做的没有考虑温度因素,都是在-10℃时测得冻胀量,因为场地的冻胀温度大多在-9℃到-11℃,所以所采用的温度都统一为-10℃;而荷载则是模拟当时场地冻结是土层受的压力,以及所有的数值都是模拟了场地当时冻结时的实

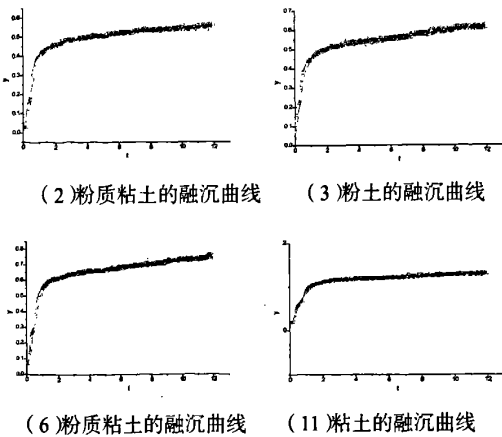


图 6 冻融土的融沉拟合曲线

Fig.6 Thawing subsidence fitting curve of freezing-thawing soil

表3 融沉曲线拟合曲线参数表
Table 3 Thawing subsidence curve fitting parameters

编号	土层土性	压力(kPa)	取土深度(m)	a	b
302-8	(2)粉质粘土	59.80	4.5~4.7	0.52831	0.01673
302-8	(3)粉土	97.50	7.4~7.6	0.56953	1.60028
302-12	(4)粉质粘土	118.30	9.0~9.2	0.64145	1.25222
302-16	(5)粉土	150.80	11.5~11.7	0.6855	1.14515
302-20	(6)粉质粘土	202.8	15.5~15.7	0.69841	1.30795
302-22	(7)粉质粘土	222.30	17.1~17.3	0.70633	0.89073
302-28	(8)粉质粘土	319.80	24.5~24.7	0.80526	1.35124
301-8	(9)粘土	404.30	31.0~31.2	0.86769	0.84889
301-23	(10)粉质粘土	534.30	46.0~46.2	1.17339	1.29482
301-33	(11)粘土	729.30	56.0~56.2	1.24383	1.11055

际情况。下图为模拟所得出的原状土和冻融土的冻胀量对比图7。

当土体冻结时,特别当细分散土(例如粘性土)冻结时,在土的冻结温度下,远非所有的水都变成了冰,而只是其中的一部分变成了冰。当土的含水量超过其分子吸水量时,未冻水量事实上与土的总含水量无关。而主要是受土的负温控制的。未冻水通常在负温(至少可达-70℃)下总有一定数量存在。而且,发生冻结的水的数量不仅将决定于负温度值(主要因素),而且决定于矿物颗粒的比表面积,吸附阳离子的成分,压力等等。未冻水集中于极窄小缝隙,毛细管和矿物颗粒接触点处,因而其数量的任何变化就剧烈地影响到矿物颗粒间的粘聚力。应该指出,某一冻土中所含的未冻水数量(以及含冰量和冰对于颗粒的胶结性),不是保持不变的,而是随外部作用的改变而变化的。

3.2 冻胀和荷载的关系

外压力对冻土性质的影响表现是不同的:首先,随

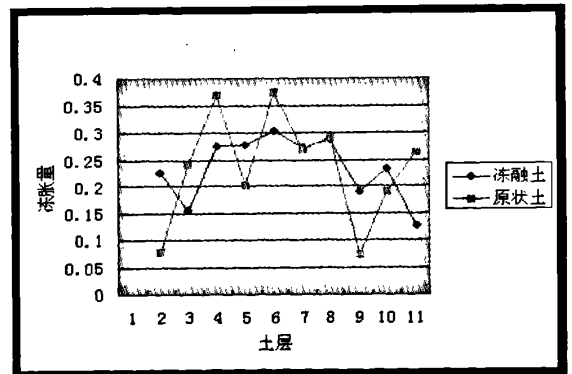


图7 冻融土和原状土冻胀量对比图
Fig.7 Comparison of freezing swelling volumes of freezing-thawing and undisturbed soils

着压力的增加,冻土中未冻水含量亦增加;其次,在矿物颗粒间的接触点上局部压力亦明显增加。湿土冻结时将伴随其结构和构造的极重要的变化并形成新的和极复杂的冷生构造,该过程与在土冻结及随后水冻

结(发生体积增加)过程中水分和分散性矿物颗粒的迁移有关,并与因形成冰包裹体而引起土在节理上的分异作用,同时矿物颗粒集合体和各土层被冰晶体等挤压等有关,下表为每层土的压力与冻胀量的对应关系。

正冻土应力状态的变化强烈地影响其对外力的阻力及变形性。外压力愈小,负温对冻土弹性的影响愈大,即负温与外压力对冻土弹性的影响呈相反的作用。外压力实际上能降低土的冻胀量,并取决于正冻土的性质,抵抗土冻结时体积增大的载荷可部分或全

部地抵消冻胀力。

但从图8,9可明显得看出冻胀量不是随压力呈线性关系,也不是随压力呈对数关系,更不是指数关系。这是因为当含水量低于完全饱和程度时,所有冻土的抗压强度均随含水量而增加,但当土完全饱和时则强度反而降低。外压力对极致密土中未冻水含量影响不大,因此对其变形性的影响比非密实土小。

3.3 融沉和载荷的关系^[9]

融沉同样和冻胀一样,所加载荷均为该土样在该土层是所受的压力;但土样融沉时,所加载荷越大,其

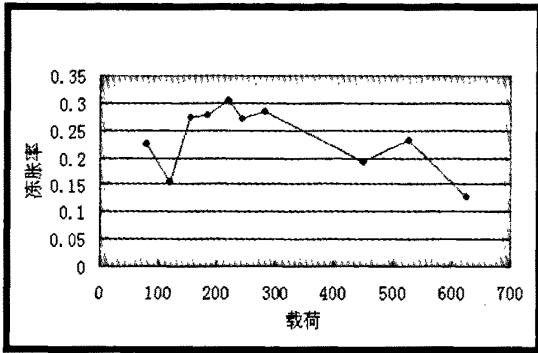


图8 冻融土载荷冻胀率关系图

Fig.8 Load vs freezing swelling ratio relation for freezing-thawing soil

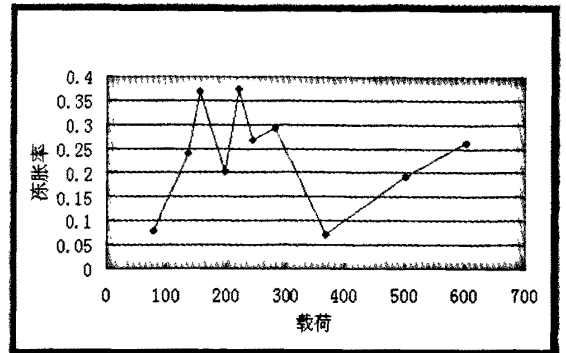


图9 原状土载荷冻胀率关系图

Fig.9 Load vs freezing swelling ratio relation for undisturbed soil

融沉率越大,而且就是在同样的载荷作用下,融沉率远大于冻胀率。如下图所示:

从图10中可以看到,随着载荷的增加,其融沉率越

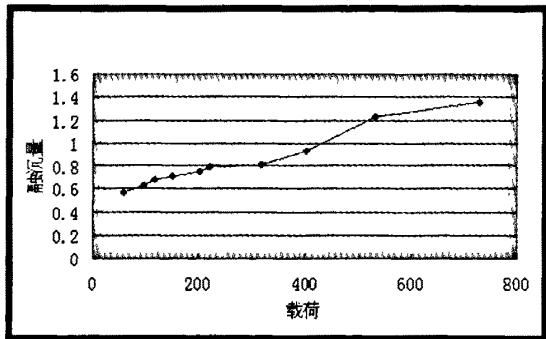


图10 载荷对应的融沉量

Fig.10 Load vs thawing subsidence

来越大。几乎呈一线性关系。

4 结论

本文通过对淮南刘庄主井井塔人工冻融土地基的研究,得出以下结论:

- (1) 冻胀和融沉问题是影响人工冻融土工程问题的主要因素之一。
- (2) 冻融土的融沉率要大于冻胀率。人工冻结土体

在冻融过程中土体在垂直方向上的冻胀远小于它在该方向上的融沉。

(3) 无论是粘土还是粉质粘土,冻胀率和冻胀力随着取样深度的增加而减小。

(4) 土的融沉与其自身的组成结构及所受的应力水平有关,但冻融作用使土结构强度的丧失或减小是其起决定性的影响因素。

参考文献:

- [1]周红.人工冻土的冻胀融沉问题研究现状与展望[M].北京:中国水利水电出版社,2005:217~232.
- [2]徐学祖.中国冻胀研究进展.地球科学进展,1994,9(5):13~19.
- [3]陈瑞杰,程国栋.人工地层冻结应用研究进展和展望[J].岩土工程学报,2000,22(1):40~44.
- [4]王建平,王文顺.人工冻结土体冻胀融沉的模型试验[J].中国矿业大学学报,1999,28(4):303~306.
- [5]杨平,张婷.人工冻融土物理力学性能研究,冰川冻土,2002,24(5).
- [6] Chamberlain E J, Gow A J. Effect of freezing and thawing on the permeability and structure of soils. Engineering Geology, 1979, 13: 73~92.
- [7]查树国.人工冻融土的几个基本特征[R].哈尔滨煤矿设计研究,1997,6.

[8]李述训,南卓钢,等.冻融作用对系统与环境间能量交换的影

响[J].冰川冻土,2002,24(2):109~115.

STUDY ON FREEZING SWELLING AND THAWING SUBSIDENCE OF ARTIFICIAL FREEZING-THAWING SOIL IN THE LIUZHUANG COALMINE, HUAINAN

HU Qing-hua, CUI Ke-rui, ZHAO Chuan, MA Wen-sheng

(School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009. China)

Abstract: Artificial freezing-thawing method was applied to foundation construction of the main shaft tower of the the Liuzhuang coalmine, Huainan, so the change of freezing swelling and thawing subsidence happened to the foundation soil. For the engineering safety and shaft tower stability, this paper made a simulating test on freezing swelling and thawing subsidence properties for the artificial freezing-thawing soil, analysed and calculated the testing data. This study has filled the deficiency in this area in China and provided a basis for reference for the similar engineering work.

Keywords: main shaft tower foundation; artificial freezing-thawing soil; freezing swelling; thawing subsidence

安徽省地调院召开“安徽省重大地质问题研讨会”

安徽省地质调查院于2009年1月10日在合肥组织召开了“安徽省重大地质问题研讨会”,会议由常印佛院士主持,参加会议的有安徽省国土资源厅、安徽省地质矿产勘查局、安徽省公益性地质调查管理中心等单位、部门领导和省内著名地质专家以及地调院有关人员,共计30人。会议主要针对安徽省目前存在的重大基础地质问题和影响地质找矿进展的问题以及项目机制、安排等方面进行了广泛热烈的讨论。

通过本次会议,基本梳理出了安徽省存在的一些重大地质问题,针对这些问题与会专家提出了解决问题所具有的意义及大致工作思路,尤其对于安徽沿江地区、皖北地区、皖南地区存在的重大地质问题和影响找矿进展的问题基本达成了共识。常印佛院士在专家发言后进行了指导性发言,对安徽省境内不同地质构造单元的地质问题解决提出了具体工作意见,提出要针对本省存在问题较多的现状,要分清层次、轻重缓急作为我省基础地质工作部署依据。省地矿局徐小磊副局长发言指出,局要在解决省内重大地质问题中,继续发挥主力军作用,局在人财物上对承担基础性、公益性项目地勘单位予以全力支持,要求由地调院牵头,联合各地勘单位承担国家和省级基础性、公益性项目,争取出大成果、出“领军型”人才;省国土资源厅地勘处黄步旺处长、省地调中心李建设主任最后发言都分别强调地调院要对这次会议抓好落实工作,要发挥地调院在省基础性、公益性地质工作中的支撑作用,要有相应的机制、体制保证基础性、公益性项目实施,要充分发挥地调院在省内基础地质工作的作用,把我省基础地质和矿产勘查工作提升到新的水平。

(安徽省地质调查院)