DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.02.009

王炳忠, 王起才, 张戎令, 等. 低黏土矿物含量原状泥岩膨胀力试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2018(2): 67-73. (WANG Bingzhong, WANG Qicai, ZHANG Rongling, et al. Experimental study on swelling force of undisturbed mudstone with low clay mineral [J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(2): 67-73. (in Chinese))

低黏土矿物含量原状泥岩膨胀力试验研究

王炳忠¹, 王起才^{1,2}, 张戎令^{1,2,3}, 薛彦瑾¹, 王天双¹, 任 洁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:以兰新铁路第二双线某典型原状泥岩为对象,采用平衡加荷法,进行了3组不同膨胀特性土体在初始含水量分别为2%,6%,10%,14%和18%时原状泥岩试验,以研究土体自身膨胀特性和初始含水量对原状泥岩膨胀力的影响。试验结果表明:膨胀力时程曲线变化与土体渗水速度相关;膨胀力随初始含水量增大逐渐减小,膨胀力增量随含水量增量增长变化规律为先增后减;膨胀力与土体蒙脱石含量有关,低初始含水量时,膨胀性矿物颗粒含量对土体膨胀力影响减弱。通过对试验数据的进一步分析,拟合了土体等效蒙脱石含量和初始含水量两种工况下环刀样膨胀力经验式,试验结果与计算结果相吻合,为膨胀泥岩地区工程建设提供了一定的理论支撑。

关 键 词:原状泥岩;膨胀力;初始含水量;等效蒙脱石含量 中图分类号:TU443 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-640X(2018)02-0067-07

膨胀泥岩是一类由强亲水性黏土矿物如蒙脱石、伊利石和高岭石等组成的特殊软岩,吸水膨胀软化是其基本性质之一,而当膨胀变形受到限制时,膨胀势则会以膨胀力的形式表现出来。膨胀土这种潜在的膨胀势常常对已竣工的建筑物造成潜在危害^[1]。我国膨胀土分布广^[2],随着我国交通事业的飞速发展,高速铁路不可避免地经过膨胀岩地带,不同地区的膨胀岩具有不同的膨胀特性,即使同一地区的膨胀岩膨胀特性亦有差异。一般情况下,对含有较少黏土矿物微弱膨胀土而言,膨胀泥岩地基的膨胀变形对普通铁路路基影响较小,故常不采取工程措施;而对于高速铁路,为保证其高速高安全性,控制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^[3]。因此对高速铁路膨胀土地基而言,即使是微弱膨胀岩也不容忽视,否则将对运营后高速铁路稳定性及安全性造成不利影响。膨胀力是膨胀泥岩工程设计的重要参数,特别是对高铁地基原状土而言,由于外部因素导致膨胀岩地基含水量变化而引起的路基上拱成为常见病害,因而有必要对地基原状土膨胀力进行研究,为工程设计提供参考。

国内外学者对膨胀力试验的研究成果较多,主要研究了干密度、初始含水量等因素对膨胀力的影响及膨胀力计算模型。卢子威等^[4]采用平衡加荷法研究了南京重塑膨胀土竖向膨胀力随时间、初始含水量、干密度的变化规律,结果表明膨胀力与含水率呈线性关系,膨胀力与干密度呈幂指函数关系;夏志国等^[5-6]研究了重塑膨胀土膨胀力与初始含水量和干密度的关系;蒋晓庆等^[7]通过试验得出膨胀力与初始含水量之间最 佳拟合关系为指数函数;刘毅^[8]通过高庙子膨润土研究发现膨胀力发展形式和最大膨胀力均受试样含水量

收稿日期: 2017-06-27

- 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(2015QNRC001);甘肃省基础研究创新群体(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的研究。 E-mail: 982881022@qq.com 通信作者:王起才(E-mail: wangqc@mail.lzjtu.cn)

和干密度影响;王亮亮等^[9]利用平衡加压法进行膨胀力现场试验;Chert 等^[10-11]通过对膨胀土进行系统的研究,得出了膨胀力仅能反映膨胀土膨胀特性的结论;Komine 等^[12-14]在试验的基础上,建立膨胀力预测模型。 综上可知,大量的试验研究主要集中在重塑膨胀土膨胀力与干密度、初始含水率、膨胀特性等关系上,而关于 地基原状土膨胀力的试验成果较少,但高铁地基主要以原状土的情况出现,因此研究原状膨胀泥岩对高铁地 基的安全稳定性变得更有必要。

本文依托兰新二线高速铁路,以沿线其典型膨胀地段原状土为研究对象,采用平衡加荷法,通过不同膨 胀特性、不同初始含水量下膨胀力试验,得出膨胀力分别与等效蒙脱石含量、初始含水量关系,并建立考虑这 两种因素耦合下膨胀力计算模式,为实际工程中膨胀力的预测和计算提供理论支撑。

1 室内试验

本试验所用膨胀土土样取自兰新二线,取土深度为12~18 m。采用钻机取样,为防止土样在空气中水分 散发而发生裂隙等破坏,从钻机取出土样后,迅速用保鲜膜包裹,两端用胶带密封完整,运回实验室。

试验前挑选含砂石等杂物较少的原状样在自然状态下风干,其风干含水率为1.9%~2.3%,在室内按照《铁路工程土工试验规程》(TB 10102—2010)测得其物理指标,选取3组蒙脱石含量相差较大试样作为试验 土样,干密度为1.96~2.02 g/cm³,其物理指标见表1。

Tab. 1 Essential physical property of expansive soil								
土样	蒙脱石质量	伊利石质量	高岭石质量	自由	塑限/%	液限/%	塑性指数	阳离子交换/
编号	百分比/%	百分比/%	百分比/%	膨胀率/%				$(\text{ mmol } \cdot \text{ kg}^{-1})$
1#	2.8	3.1	2.3	13.6	22.4	45.6	23.2	221.47
2#	2.1	3.6	2.8	12.1	20.1	44.3	24.2	230.01
3#	1.7	2.5	0	11.4	18.8	37.7	18.9	195.67

表1 膨胀土的基本物理性质

将风干后土样用切割机、磨光机和砂纸等工具加工成直径 6.8 cm,高 2 cm 环刀尺寸,每组试样各 5 个, 共 3 组。将加工好的土样置于环刀,并将打磨剩余土样碾碎过 0.05 mm 筛子后填入土样与环刀不密贴处。 每组试样初始含水量设计值分别为 2%,6%,10%,14%,18%;事先称取每个试样质量,根据初始含水量和设 计含水量计算两者所差水质量,通过向土体注入所差水量以达到设计含水量,改变土体含水量。加水时将土 体及环刀放入塑料袋中,加完后用塑料袋密封放置 48 h,使试样充分吸水并使水分分布更加均匀。试样置入 固结仪前再次称取质量,计算实际初始含水量。

膨胀力测定在杠杆式双联固结仪上进行,采用平衡加荷法。试验前先对仪器变形量进行矫正,装入试样 后先施加约1kPa竖向荷载,使仪器和试样紧密接触,此时百分表读数即为初始值,然后自下而上向仪器内 注入纯水,开始试验。当百分表开始顺时针转动时表明试样开始膨胀,立即加入适当荷载使百分表读数回到 原位;为了加载准确,加载方式为向预先挂好的塑料袋内倒入细沙。试样开始阶段膨胀变形明显,读数间隔 小于1h,最终膨胀稳定判断标准为试样2h内膨胀变形不大于0.01 mm。

2 结果与分析

2.1 原状泥岩膨胀力时程曲线

按照上述试验方法计算各时段膨胀力,绘制不同含水量下膨胀力时程曲线。图1为1#土样不同初始含水量膨胀力时程曲线,2#,3#土样有类似的规律。从膨胀时程曲线可以看出,不同初始含水量下原状土膨胀力增长速度不同。初始含水量为2%,6%和10%时,膨胀力增长趋势均表现为前期快速上升,之后进入稳定增长,在前1h内膨胀力达到膨胀力峰值的92.7%,92.1%和89.2%,说明膨胀力的主要增长在前期完成;而初始含水量为14%和18%时,膨胀力增长趋势表现为前期缓慢增长,中期加速增长,后期则稳定增长,在前

40 min 内膨胀力占膨胀力峰值的 14.7% 和 22.6%, 在 40~90 min时段内膨胀力增值占膨胀力峰值的 45.2% 和 66.7%, 说明膨胀力增长主要发生在中期阶段, 所有 土样膨胀力在 300 min 后均达到稳定值。

土体膨胀速度与渗水速度紧密相关。初始含水量 较低(2%,6%和10%)时,试验前因改变初始含水量而 所加水量较少,土样表面尽管已吸水,但远未达到饱和 状态,特别是2%低含水量状态时,土体吸水速度很快, 水分从土样底面及侧面同时渗入,且初期渗入速度较 快,因而低初始含水量土样这一时期膨胀力增长较快; 随着土样表面土体含水量增大,水分向内部渗入速度降





低,膨胀速度亦逐渐降低。初始含水量为14%和18%时,试验前所加水量较多,土样表面已吸水饱和,由于 泥岩饱和渗透系数较低,所以前期较长时段内水分缓慢向土体渗入,且表层土体已吸水膨胀,这一时段缓慢 膨胀;随着水分从土体表面及侧面同时渗入,中间未膨胀土体集中得到周围水分进入,因而中期膨胀力加速 膨胀;由于饱和泥岩低渗透性,后期较小的膨胀力在较长时间内完成。

2.2 初始含水量对原状泥岩膨胀力影响

膨胀力与初始含水量关系见图 2,由图 2 可知:

(1)对同一种土样而言,如1#土样,当初始含水量 为2%,6%,10%,14%和18%时,膨胀力分别为52.57, 40.20,22.31,10.85和7.94 kPa,即随着初始含水量增加,膨胀力逐渐减小,2#和3#土样亦表现出相同的规 律。试验前通过增加水量改变初始含水量,且保湿较长 时间,这样土体中膨胀性矿物颗粒吸水膨胀,导致一部 分膨胀力以膨胀量的形式释放,矿物颗粒中储存膨胀力 减小。初始含水量越大,矿物颗粒吸水越多,膨胀力释 放越多,储存越少,因而膨胀力越小。

(2)对同一种土样而言,如1#土样,根据不同初始 含水量计算含水量增量与膨胀力增量关系,记为: $\Delta P = P_{w2} - P_{w1}$,其中 P_{w1} 和 P_{w2} 是初始含水量为 w_1,w_2 土样增 湿至饱和时对应膨胀力。图 3 为膨胀力增量 ΔP 与初 始含水量的关系曲线,可以看出,当初始含水量为 2%, 6%,10%和14%增加同样的含水量 4%后,其对应膨胀 力增加为 12.37,17.90,11.45 和 2.91 kPa,即在同样吸 水量下,膨胀力增量呈先增后减。这是由于含水量较低 时,土体内部还有较大孔隙存在,当吸水后膨胀性矿物 颗粒后填充土体中孔隙而释放膨胀变形,对膨胀力有部 分损耗;在此基础上继续吸水膨胀时,由于土体孔隙已 经进一步填充密实,膨胀力能够充分表现出来,如初始 含水量为 2%时膨胀力增量低于 6%时膨胀力增量。当





initial moisture content





膨胀力增量达到峰值后随着初始含水量增加不断减小,这是由于随着水分吸入,膨胀性矿物颗粒内部吸水趋 于饱和,后期水分增加主要表现为颗粒周围水膜的增加,例如初始含水量为14%时膨胀力增量很小,仅为 2.91 kPa,远小于较低初始含水量时膨胀力增加。

2.3 土体膨胀特性与膨胀土膨胀力关系

不同膨胀特性土体的膨胀力不同,主要是由于土体内含有的膨胀性矿物颗粒含量及种类不同。由表1 可知,1#,2#和3#土样蒙脱石含量分别为2.8%,2.1%和1.7%,伊利石和高岭石含量为2.3%~3.6%,对应初 始含水量为2%时膨胀力分别为52.60,40.31和34.46 kPa,可以看出,膨胀力随土体中主要膨胀矿物颗粒 (如蒙脱石)含量差异而不同,膨胀性矿物颗粒含量越高,膨胀力越大。根据文献[15],伊利石与高岭石的亲 水性仅为蒙脱石的1/10与1/60,为定量分析泥岩黏土矿物含量与膨胀力关系,将伊利石含量的1/10与 高岭石含量的1/60折算为等效蒙脱石含量进行分析,计算式如下:

M' = M + 1/10I + 1/60K

(1)

2018年4月

式中:M'为等效蒙脱石含量(%);M为蒙脱石含量(%);I为伊利石含量(%);K为高岭石含量(%)。

根据上式计算得 1#,2#和 3#土样等效蒙脱石含量 分别为 3.15%,2.51%,1.95%,绘制等效蒙脱石含量与 膨胀力关系曲线,如图 4 所示。

由图 4 可知:随着蒙脱石含量增多,膨胀力逐渐增 大。当初始含水量为 2%和 6%时,膨胀力随等效蒙脱 石增长趋势明显;随初始含水量进一步增大,膨胀力随 等效蒙脱石增长趋势逐渐减小,当初始含水量为 18% 时,曲线变化趋于水平线。说明初始含水量较低(2%~ 10%)时,膨胀性矿物颗粒含量对土体膨胀力影响显著, 初始含水量较高(10%~18%)时,膨胀性矿物颗粒含量 对土体膨胀力影响减弱。由文献[16]可知,这主要是



图 4 等效蒙脱石含量与膨胀力关系曲线

Fig. 4 Relationship between expansion force and equivalent montmorillonite content

由于土体在含水量很少状态下吸水时,水分首先进入膨胀矿物颗粒内部,发生晶格扩张,持续吸水直至晶层 达到水分饱和,这部分引起的膨胀力占整个膨胀力的主要部分;当膨胀矿物颗粒晶层吸水饱和后,继续吸水 将导致矿物颗粒表面水膜进一步增厚,即发生颗粒间扩张,这部分占膨胀力次要部分。

2.4 计算式拟合

由以上分析可知,不同膨胀特性土体具有不同膨胀 力,同时初始含水量对膨胀力有很大影响,因此有必要 研究土体等效蒙脱石含量和初始含水量耦合作用下原 状膨胀土膨胀力变化规律。通过对试验数据进一步分 析发现,对同一种土样,原状土膨胀力 P_w 与初始含水量 w₀ 呈良好的对数关系,如图 5 所示,其表达式为:

 $P_w = -21.43 \ln w_0 + 70.99$, $(M' = 3.15\%, R^2 = 0.94)$ (2)





图 5 初始含水量与膨胀力拟合关系



 $P_{w} = -13.63 \ln w_{0} + 45.52 , (M' = 1.95\%, R^{2} = 0.96)$ (4)

回归方程为:

$$P_{w} = a \ln w_{0} + b \tag{5}$$

式中: P_w 为膨胀力(kPa); w_0 为初始含水量(%);a和 b 为拟合参数。

由图 5 及其拟合曲线可知,在初始含水量一定的情况下,拟合参数 a 和 b 应与土体等效蒙脱石含量有关,将参数 a,b 与等效蒙脱石含量进行拟合,发现参数 a,b 与等效蒙脱石含量成良好的线性关系,如图 6 所示,回归方程为:

$$a = e_1 M' + f_1 \tag{6}$$

 $b = e_2 M' + f_2$ (7) 式中:M'为等效蒙脱石含量(%); $e_1, e_2, f_1 \ \pi f_2 \$ 为拟合 参数。

将式(6)和(7)同时代入式(5)中,可以得到考虑土体等效蒙脱石含量和初始含水量耦合作用下环刀样膨胀力计算模型:

$$P_w = -e_1 M' \ln w_0 - f_1 \ln w_0 + e_2 M' + f_2$$
(8)

式(8)适用于低黏土矿物含量膨胀泥岩膨胀力 计算。

若将拟合参数 *e*₁,*e*₂,*f*₁ 和 *f*₂ 代入式(8),即得到所 研究原状膨胀土环刀样膨胀力计算式:

 $P_w = -6.56M' \ln w_0 - 0.36 \ln w_0 + 21.47M' + 1.7$ (9)

而用于现场条件下膨胀力计算时需考虑尺寸效应, 有待进一步试验验证。

2.5 试验验证

为了验证上述计算模型的正确性,在同一试验条件 下测得几种不同等效蒙脱石含量(1.57%,2.16%, 2.87%,3.07%)土样在不同初始含水量下的膨胀力,利 用式(9)计算得不同等效蒙脱石含量土样在不同初始 含水量下的膨胀力,将两者所得膨胀力值进行对比,如 图7所示。

从图7可以看出,计算值与实测值吻合度较高,说



图 6 参数 a, b 与等效蒙脱石关系

Fig. 6 Relationship between parameters and equivalent montmorillonite content



图 7 计算值与实测值对比

Fig. 7 Comparison of calculated and measured values

明上述计算模型是正确的,式(9)可以适用于所研究原状泥岩在考虑等效蒙脱石含量和初始含水量耦合作 用下环刀样膨胀力的计算。

3 结 语

(1)膨胀力时程曲线变化与土体渗水速度有关,在本试验通过向土体加水改变初始含水量情况下,低初始含水量(2%,6%,10%)土样前期快速膨胀,之后进入稳定膨胀;高初始含水量(14%,18%)土样前期缓慢膨胀,中期快速膨胀,后期稳定膨胀。

(2)初始含水量的增加将使土体前期膨胀释放部分膨胀力,因而低初始含水量膨胀潜势较大,高初始含水量膨胀潜势较弱;膨胀力增量随含水量增量变化规律为先增大后减小,本试验初始含水量为6%时膨胀力 增量随含水量增长最大。

(3)通过对试验数据进一步分析发现,对同一种土样,原状土膨胀力与初始含水量呈良好的对数关系, 再根据不同等效蒙脱石含量进一步拟合计算式参数,建立了考虑土体等效蒙脱石含量和初始含水量耦合作 用下环刀样膨胀力计算模型,模型计算结果与实测数据吻合度较高,为膨胀土地区的工程设计提供一定的理 论支撑,但用于现场条件下膨胀力计算时需考虑尺寸效应,因而有待进一步试验验证。

参考文 献:

[1] 李生林. 中国膨胀土工程地质研究[M]. 南京: 江苏科学技术出版社 1992. (LI Shenglin. Study on engineering geology of expansive soil in China[M]. Nanjing: Jiangsu Science Press, 1992. (in Chinese))

- [2] 郑建龙,杨和平. 公路膨胀土工程[M]. 北京:人民交通出版社, 2009. (ZHENG Jianlong, YANG Heping. Highway expansive soil engineering[M]. Bingjing: People Communications Press, 2009. (in Chinese))
- [3] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S]. (TB 10621-2014 Code for design of high speed railway[S]. (in Chinese))
- [4] 卢子威,张文慧,王晶晶.重塑膨胀土膨胀力室内试验研究[J].河北工程大学学报(自然科学版),2015,32(3):47-50.
 (LU Ziwei, ZHANG Wenhui, WANG Jingjing. Experimental study of the swelling force of remolded expansive soils[J]. Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition), 2015, 32(3):47-50. (in Chinese))
- [5] 夏志国,凌云鹏,赵京. 呈贡隧道膨胀土膨胀力试验研究[J]. 山西建筑, 2015, 41(12): 70-71. (XIA Zhiguo, LING Yunpeng, ZHAO Jing. Study on swelling force test of Chenggong swelling soil[J]. Shanxi Architecture, 2015, 41(12): 70-71. (in Chinese))
- [6] 沈一军,朱赞成,郑最. 膨润土膨胀变形与膨胀力试验研究[J]. 华东交通大学学报, 2014, 31(4): 100-104. (SHEN Yijun, ZHU Zancheng, ZHENG Zui. Experimental study on swelling deformation and pressure of bentonite[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2014, 31(4): 100-104. (in Chinese))
- [7] 蒋晓庆, 刘奇, 汪东林. 初始含水率与膨胀土力学特性关系的分析研究[J]. 安徽建筑工业学院学报(自然科学版), 2013, 21(3): 36-38. (JIANG Xiaoqing, LIU Qi, WANG Donglin. Analysis of the relationship the initial moisture content of expansive soil mechanical characteristics[J]. Journal of Anhui Institute of Architecture & Industry (Natural Science), 2013, 21 (3): 36-38. (in Chinese))
- [8] 刘毅. 高庙子膨润土水化膨胀特性及其微观机理研究[J]. 工程地质学报, 2016, 24(3): 451-458. (LIU Yi. Invistigation on the swelling properties and microstructure mechanism of compacted Gaomiaozi bentontite[J]. Journal of Engineering Geology, 2016, 24(3): 451-458. (in Chinese))
- [9] 王亮亮,杨果林,刘黄伟,等. 云桂铁路弱一中膨胀土膨胀力试验研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44 (11): 4658-4663. (WANG Liangliang, YANG Guolin, LIU Huangwei, et al. In-situ testing studies of swelling pressure on weak-medium expansive soil of Yun-Gui Railway[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2013, 44 (11): 4658-4663. (in Chinese))
- [10] CHERT F H. Foundations of expansive soils [M]. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1975.
- [11] KASSIFF G, BAKE R. Aging effects on swell potential of compacted clay[J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, 1971, 98: 767-770.
- [12] KOMINE H, OGATA N. Prediction for swelling characteristics of compacted bentonite [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1994, 31(4): 478-490.
- [13] SHARIF S M. The influence of temperature on swelling characteristics of compacted bentonite for waste disposal [J]. Environmentasia, 2010, 3(1): 284-286.
- [14] 张龙,孙德安,刘月妙.两种高庙子钠基膨润土膨胀特性比较研究[J]. 岩土力学, 2016, 37(12): 3447-3454. (ZHANG Long, SUN De'an, LIU Yuemiao. Comparison between swelling properties of two Gaomiaozi Na-bentonites[J]. Rock and Soil Mechanics, 2016, 37(12): 3447-3454. (in Chinese))
- [15] 袁琳. 蒙脱石的胀缩机理及改性技术研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2007. (YUAN Lin. The swelling and shrinking mechanism and modification of montmorillonite[D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2007.
- [16] 谭罗荣, 孔令伟. 特殊岩土工程土质学[M]. 北京: 科学出版社, 2006. (TAN Luorong, KONG Lingwei. Soil properties of special geotechnical engineering[M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese))

Experimental study on swelling force of undisturbed mudstone with low clay mineral

WANG Bingzhong¹, WANG Qicai^{1, 2}, ZHANG Rongling^{1, 2, 3}, XUE Yanjin¹, WANG Tianshuang¹, REN Jie¹ (1. School of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. National and Provincial Joint Engineering Laboratory of Road & Bridge Disaster Prevention and Control, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 3. Key Laboratory of Road & Bridges and Underground Engineering of Gansu Province, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to study the influence of the swelling characteristics of soil and initial water content on the undisturbed mudstone swelling force, taking one typical area of undisturbed mudstone of the Second Double-Track Railway as the study object, three undisturbed mudstone tests have been carried out on the soils with different swelling characteristics when the initial water content is respectively at 2%, 6%, 10%, 14%, and 18%. The experimental results show that the time-history curve change of the swelling force is related to the seepage rate of the soil. The swelling force decreases with the increase of the initial water content, and the increment of the swelling force increases first and then decreases with the increase of the water content is low, the effect of swelling mineral content on soil swelling force is significant. When the initial water content is high, the effect of swelling mineral formula of the swelling force of the soil samples under the two kinds of working conditions is matched. The experimental results are in agreement with the calculated results, which provide a certain theoretical support to the engineering construction work in swelling mudstone areas.

Key words: undisturbed mudstone; swelling force; initial water content; equivalent montmorillonite content