

襄樊膨胀土的矿物成分及化学特征 对其胀缩性能的影响研究

舒 福 华

(机械工业部第三勘察研究院 武汉 430030)

【摘要】本文以工程实例研究了膨胀土的矿物成分及化学特征对膨胀土胀缩性能的影响,认为蒙脱石含量及阳离子交换容量(CEC)是影响膨胀土胀缩性能的主要内在因素,而蒙脱石含量的增长将引起膨胀土自由膨胀率的线性增长,同时从矿物微观结构方面说明了其影响机理。

【Abstract】 The effects of minerals compositions and chemical characteristics on expansive soil's swelling and shrinkage are analysed by engineering practice in this paper. It is proposed that the content of montmorillonite and the exchange capacity of cation (CEC) is main internal factors which influence swelling and shrinkage of expansive soil, and the increase of the content of montmorillonite will cause linear increase of the free swell of expansive soil's and the mechanism of influence are analysed from microstructures of minerals.

0 引言

本研究以我国较为典型的膨胀土分布区——湖北襄樊地区的膨胀土为对象,试图寻求影响膨胀土的胀缩性能的内在因素——矿物组成与化学特征对膨胀土胀缩性能的影响机理及影响程度。

本研究以国内研究粘土矿物首推的 x 射线衍射分析法^[1]及化学分析法所测定的膨胀土的各主要矿物成分及阳离子交换容量(CEC)^[2]与膨胀土胀缩性试验成果为基本数据,采用亚历山大和杰克逊^[3]系统分析及散点图分析的方法进行论证。

1 研究区基本试验成果

研究场地位处汉江Ⅱ级阶地,原始地形为浅沟与缓坡及平坦岗地相间分布的垄岗地形,场地浅部所分布的地层主要为第四系上更新统冲洪积成因的粘性土(Q₃^h),自上而下分别为②粘土、③粘土、④粘土及⑤粘土层。

矿物成分及化学特征分析试样的选取考虑了平面及垂直方向的均匀性,试验数据见表1。

另外,根据土的主要膨胀性试验数据

——自由膨胀率 $\delta_{e,f}$ 值、50kPa压力下的膨胀率 $\delta_{e,50}$ 值及收缩系数 λ_s 值,它们在垂直方向的变化规律(见表2)表明:研究场地自上而下的胀缩性能呈增强趋势。

2 矿物成分及化学特征对膨胀土胀缩性能的影响程度

从表1我们可以看出,研究场地各土层的矿物组成中,伊利石含量最高,其次是蒙脱石。各层的伊利石含量较接近,其它粘土矿物(蛭石、高岭石+多水高岭石、伊利石/蒙脱石混层)含量也基本相同,而蒙脱石含量则有所改变,即②层蒙脱石含量最低(为12.5%~17.5%,平均值,下同),往下则变为③层(15%~20%)、④层(21.7%~26.7%)、⑤层(24.4%~29.4%),亦即自上而下,蒙脱石含量呈增长趋势。

由此可见,研究场地自由膨胀率 $\delta_{e,f}$ 值、50kPa压力下的膨胀率 $\delta_{e,50}$ 值及收缩系数 λ_s 值自上而下的变化规律(亦呈增长趋势,见表2)与蒙脱石自上而下的变化规律密切相关。

这种关系可以用图1进行直观表达:当蒙脱石含量增加时,土的活动性指数 η 随之

表 1

土 名	值 称	塑性指数 I_p	胶粒含量 μ (%)	活动性指数 η	矿 物 组 成					化 学 特 征	
					伊利石 (%)	蒙脱石 (%)	蛭 石 (%)	高岭石+多水高岭石 (%)	伊利石/蒙脱石混层 (%)	pH	阳离子交换容量 CEC (mmol/100g土)
② 粘 土	最大值	21.1	42	0.74	35~40	15~20	15~20	25~30	10~15	6.31	21.88
	最小值	10.1	19	0.43	30~35	10~15	10~15	20~35	10~15	6.00	18.15
	平均值	18.7	28	0.60	32.5~37.5	12.5~17.5	12.5~17.5	22.5~27.5	10~15	6.16	20.22
	统计数	21	12	12	2	2	2	2	2	2	2
③ _a 粘 土	最大值	29.7	61	0.80	50~55	30~35	30~35	15~20	15~20	6.47	25.04
	最小值	13.1	14	0.36	20~25	5~10	10~15	19~15	5~10	5.66	16.93
	平均值	18.0	35	0.58	31.9~36.9	15~20	18.1~23.1	12.5~17.5	10.6~15.6	6.22	20.27
	统计数	228	93	93	8	8	8	8	8	8	8
③ _b 粘 土	最大值	31.8	81	0.88	50~55	45~45	25~30	20~25	20~25	6.80	29.61
	最小值	17.1	25	0.36	25~30	5~10	5~10	5~10	5~10	6.10	12.51
	平均值	21.8	34	0.58	28.3~33.3	21.7~26.7	16.7~21.7	12.2~17.2	11.1~16.1	6.30	22.23
	统计数	193	88	87	9	9	9	9	9	9	9
③ _c 粘 土	最大值	31.5	81	1.00	50~55	30~35	25~30	25~30	15~20	6.60	28.73
	最小值	17.5	24	0.14	10~15	5~10	5~10	5~10	5~10	6.10	20.44
	平均值	23.1	37	0.66	25.6~30.6	24.4~29.4	13.1~18.1	16.9~21.9	10~15	6.32	24.41
	统计数	216	93	93	8	8	8	8	8	8	8

注：阳离子交换容量CEC值是反映土体进行离子交换能力大小的指标，CEC越大，则离子交换能力越强。

表 2

土 名	δ_{ef} (%)	$\delta_{e,50}$ (%)	λ_s
②粘土	34~48	< 0	0.15~0.28
③ _a 粘土	46~50	< 0~0.28	0.28~0.31
③ _b 粘土	50~70	< 0~0.32	0.31~0.34
③ _c 粘土	55~75	< 0~0.40	0.36~0.39

注：表中数值为一般值。

增长，而土的活动性指数越大，则土的活动性越强，吸水膨胀、失水收缩的能力也越显著。

如果以②、③_a、③_b、③_c各层土的平均蒙脱石含量（分别为15%、17.5%、25%、27%）与各层土的自由膨胀率 δ_{ef} 平均值（分别为40%、48%、60%、65%）直接进行相关分析，则发现：当蒙脱石含量增加时， δ_{ef} 值随之增长，且基本上呈线性关系（见图2），即 $\delta_{ef}(\%) = \text{蒙脱石含量}(\%) \times 1.95 + 12.05$

相关系数 $r = 0.993$

由此可见，膨胀土中的蒙脱石含量对膨胀土的胀缩性能有显著的影响，本文也正是以工程实例强调了这种影响^[1]的显著性。

在化学特征方面，研究场地的pH值变化较小，一般为6.10~6.32左右，土体呈微酸性。阳离子交换容量CEC值②层最低（为20.22mmol/100g土，平均值，下同），往下则变为③_a层（20.27mmol/100g土）、③_b层（22.23mmol/100g土）、③_c层（24.41mmol/100g土），即自上而下，CEC值呈增长趋势。

由于膨胀土一般为高塑性土，即具有较高的塑性指数 I_p 值，且塑性指数越大，胀缩性能往往越强，基于此点，绘制了研究场地 I_p -CEC值散点图（见图3）。

由图3可以看出，阳离子交换容量与土的塑性指数有较明显的关系，CEC越大，则离子交换能力越强，表明土的活动性越强。土的化学活动性对土的界限含水量及胀缩性能有较直接的效应。

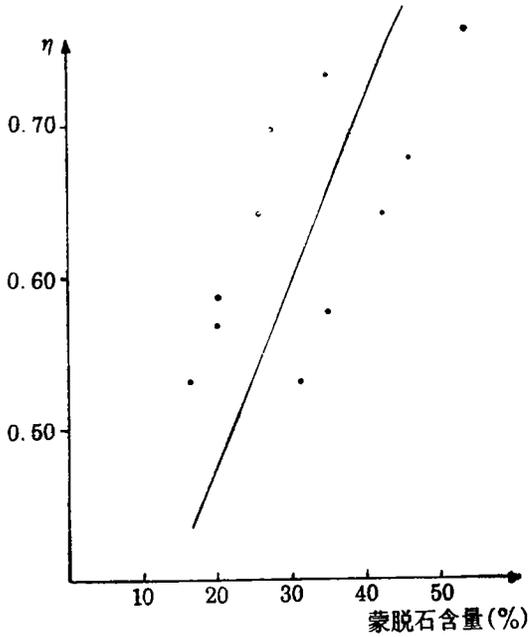


图 1 蒙脱石含量-η散点图

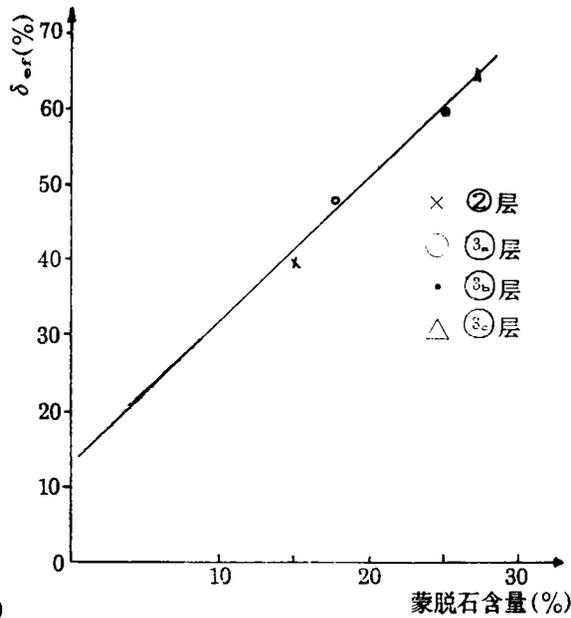


图 2 蒙脱石含量与自由膨胀率的关系图

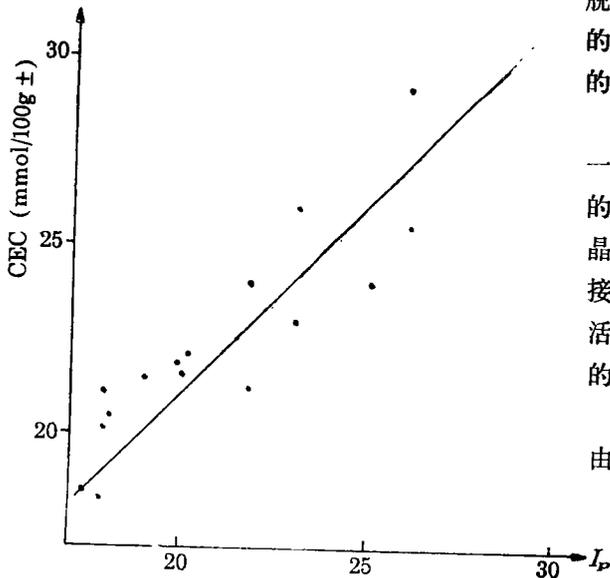


图 3 I_p-CEC散点图

3 主要粘土矿物对膨胀土胀缩性能的影响机理

膨胀土的主要粘土矿物中,蒙脱石对其胀缩性能的影响如此显著(从上文可知,蒙

脱石含量的增加,引起膨胀土的自由膨胀率的线性增长),其机理在于蒙脱石具有特殊的微观晶体结构。

如图4(a)所示,高岭石的晶包结构是由一个四面体层和一个八面体层上下叠置而成的1:1的二层结构,此种结构的最大特点是晶包之间通过O²⁻与OH¹⁻(氢键)相互联接,其联接力很强,致使晶格之间不能自由活动,吸水能力比较弱。另外,高岭石矿物的晶体相对比较大,比表面积较小。

如图4(c)所示,蒙脱石矿物的晶体结构是由二层四面体层中间夹一层八面体层构成,

是2:1的三层结构。蒙脱石矿物的晶体结构的特点是晶包之间的联接是O²⁻,联接力微弱,晶体格架具有较大的活动性,遇水很不稳定。水分子可不定量地进入晶格之间,而产生膨胀。晶格吸水时极易分裂,致使其矿物晶体很小,一般为0.001mm以下,故具有巨大的比表面积。

同晶置换是蒙脱石矿物晶体结构的另一

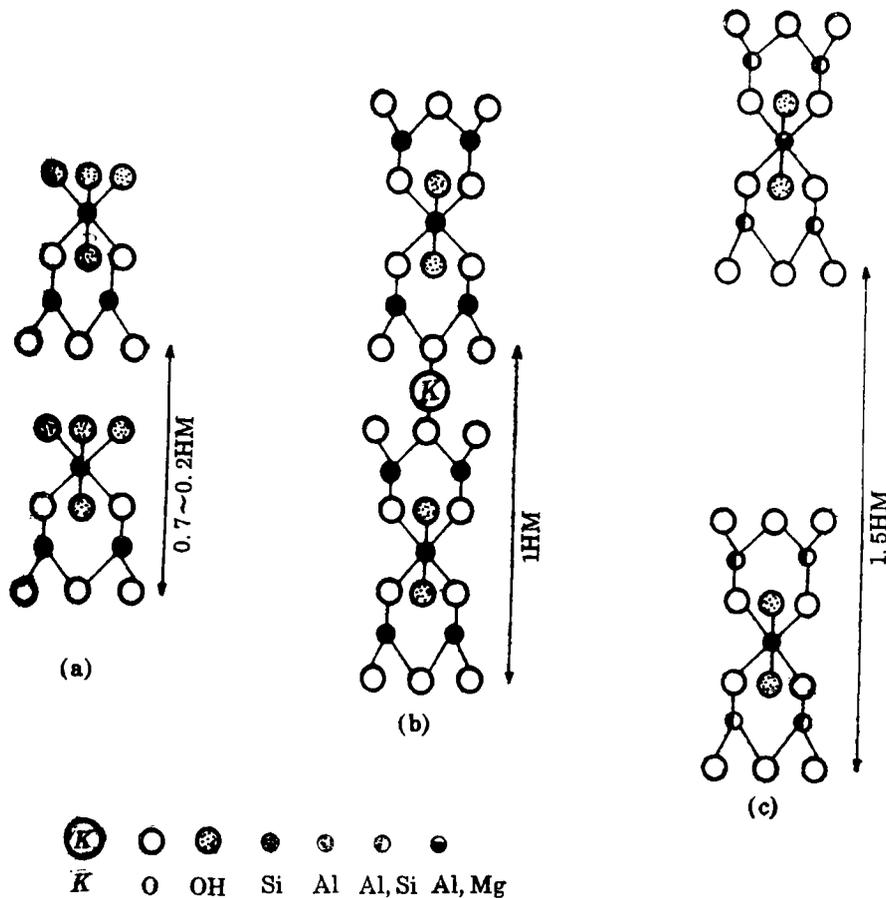


图 4 组成膨胀土的主要粘土矿物晶格结构示意图

特点，蒙脱石矿物的晶格内部的高价离子有被低价离子取代的能力。例如：八面体中的 Al^{3+} 可被 Fe^{2+} 或 Mg^{2+} 置换，四面体中的 Si^{4+} 可部分地被 Al^{3+} 置换。此种置换促使晶格中出现补充的自由电价，从而增大其吸收能力。蒙脱石矿物晶格的这一特点是促使其具有高亲水性的内在原因。

伊利石与蒙脱石一样，其晶体结构亦是 2:1 的三层结构，见图 4(b)，只是其四面体层中的 Si 原子约有 20% 左右被 Al 原子所置换。与蒙脱石在结构上的差别是，伊利石晶包之间的结合不是水而是由 K^+ 或 Na^+ 离子所联接。

伊利石与蒙脱石的又一本质的差别是：伊利石的游离原子价较多，且多集中于距晶格

表面较远的八面体之中。因此，替换离子在伊利石中的吸附力极为牢固。

伊利石强烈而牢固地吸引钾离子，是因为钾离子的作用半径与伊利石的电场作用力恰恰相当所致。钾离子多是联接在晶格的中间，故使其联接十分坚固。这便是伊利石遇水膨胀、失水收缩等性能都不及蒙脱石的根本原因。这也是伊利石颗粒通常多形成比蒙脱石颗粒更大的原因。伊利石遇水所表现的亲水性介于蒙脱石与高岭石之间。

综上所述，膨胀土的膨胀与收缩特性是受主要粘土矿物且主要是蒙脱石与水相互作用的直接后果。换言之，蒙脱石是膨胀土具胀缩特性的重要内在因素。

(下转第21页)

(1) 所谓粘性土粒子是指: 均质的单个颗粒或均质的基本单元体, 在工程上主要是指: 均质的单元体”, 如试样的标准规格, 在“基本单元体”内, 可以是均质的, 也可以是非均质的, 而多数是非均质的, 故本课题具有普遍性意义;

(2) 粘性土粒子的组分及其特征是: 粒径 $d < 0.005\text{mm}$ 大于土体全重的15%, 塑性指数: $I_p > 10$;

(3) 粘性土粒子的能量是 以其“质量”为底的, 只仅仅与含水量 w 有关的指函数, 故定义为粒子能量指数;

(4) 粘性土“塑性边界”的上限是“流限含水量” w_L , 这是新概念, 这个上限, 在粘性土体内的理论值是: $w_L = \frac{G-1}{G}$, 所谓影响因素, 特别是高能胶粒(有机质)是通过增大该上限值 w_L 来反映其影响土的基本性质的;

(5) “标准变形模量” E_s 有两个重要的机制开关: “ $w_L - w_p$ ”的边界长度是粘性土的强度调制开关; 所谓“压缩因数” μ_0 是粘性土的压缩调制开关, 控制这两个开关, 可使得软土地基的强度和变形有可能向真值逼近;

(6) “标准变形模量” E_s 有两个重要性质: 一个是它随着地基土的强度增长而增长; 另一个是它是个“弹塑性模量”, 其佐证: 在老建筑基础下的软土地基, 除基础底面, 即排水界面附近的地基土, 有超压密情

况外, 在受压层范围内的软土, 其物理力学性质指标没有明显变化, 说明该土体的压缩变形反映在极性水分子的压密上, 当应力解除后, 极性水分子可恢复原密度;

(7) “标准变形模量” E_s 是个集中力作用下的变形模量, 与集中力在土体中的应力分布是相符合的, 只取决于附加应力的方向和大小, 与作用力的方式和性质无关。

最后, 关于“压缩模量” E_c , 由于在概述中的种种原因, 使其多值性, 已失去与“标准变形模量” E_s 的对比性, 故不再提供“标准变形模量” E_s 和“压缩模量” E_c 的对比表。

5 结束语

粘性土粒子能量特征的发现, 不仅确定了粘性土的强度特性, 同时, 更重要的是确定了粘性土的变形特性。从此土质学与土力学发生了密切的有机联系, 使得长期处在初级应用阶段的粘性土物理指标, 遵照它自己的客观规律性进入高级应用时期。

参 考 文 献

- 1 章小兴. 粘性土〈粒子能量指数〉及其应用. 军工勘察, 1993, 9
- 2 [美] HP. 格林斯潘等著. 王建华等译. 应用数学引论. 人民教育出版社, 1979, 7
- 3 [苏联] H. 伊捷尔松等著. 宁津生等译. 位理论及其在地球形状理论和地球物理中的应用. 中国工业出版社, 1963, 2
- 4 薛琴林等. 场论. 地质出版社, 1978, 9

(上接第29页)

4 结语

膨胀土是一种典型的吸水膨胀、失水收缩的特殊性土体。室内各种常规膨胀性试验数据是其胀缩性能的外在定量表现, 而这些表现, 或表现程度如何, 起决定作用的是其内在因素——矿物组成及化学特征, 且在矿物成分及化学特征方面, 起较大作用的是蒙脱石的含量, 本文正是从其内因方面定性或定量地研究了其影响机理和程度。

参 考 文 献

- 1 李生林等著. 《中国膨胀土工程地质研究》. 江苏科学技术出版社, 1992年7月
- 2 唐大雄, 孙懋文主编. 《工程岩土学》. 地质出版社, 1987年11月
- 3 Alexiadest. C. A and Jackson. M. L. 1966, Quantitative clay mineral ogival analysis of soils and sedimemts. Clay Miner, 14: 35—52