

文章编号: 1001-1986(2008)06-0046-03

# 乙酸和碳酸对粘土土工性状影响的试验

李 涛, 胡金生, 肖 红, 任秀文

(中国矿业大学, 江苏 徐州 221008)

**摘要:** 对加入不同浓度乙酸和碳酸的土样做室内土工试验, 并进行机理分析。试验结果表明: 乙酸根、碳酸根通过改变粘土颗粒双电层的厚度、极性水分子的吸附量, 使土的结构发生凝聚或分散, 引起压实粘土的塑性、渗透性等变化。其中, 乙酸根是通过溶解粘土矿物中的铝, 提高了粘土的渗透系数和塑性指数; 而碳酸根是与其与金属离子发生化学反应生成难溶性碳酸盐的方式, 降低了粘土的渗透系数。这为判断垃圾堆放场粘土衬垫工程的稳定性提供了依据。

**关键词:** 土工性状; 乙酸; 碳酸

**中图分类号:** U41 **文献标识码:** A

## Experimental study on effect of acetic acid and carbonic acid on clay's geotechnical behaviors

LI Tao, HU Jin-sheng, XIAO Hong, REN Xiu-wen

(China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** The mechanism study is performed based on indoor geotechnical experiment by injecting acetic acid and carbonic acid with different concentration to soil samples and according to the results of the soil mechanics and the correlative theory. The conclusions are that by changing thickness of electric double layer of soil grain diffusion and adsorbability of polar water molecular, the concentration of acetate or carbonic acid makes soil particles agglomerate or disperse, and result in variation of plasticity and permeability of the compacted clay; By dissolving aluminium in clay mineral, acetic acid increases the clay permeability and plasticity index; There is a chemical reaction of the carbonic acid with the metal cation which can generate insoluble carbonates, resulting in decrease of the clay liner permeability. It gives evidences for the clay liner stability.

**Key words:** geotechnical character; acetic acid; carbonic acid

粘土赋存于地质环境中, 在工程应用过程中, 其土工性状受离子影响很大, 有机离子和无机离子的不同均会使其物理和化学性质发生变化, 从而造成各种不利于粘土衬垫系统稳定的情况, 如粘土衬垫系统强度的减小等。

粘性土常用于垃圾堆放场衬垫系统, 而垃圾降解过程中酸化阶段的产物丙酸、丁酸、乙醇等, 经乙酸菌作用转化为乙酸、氢气和二氧化碳。乙酸是有机物厌氧降解的主要中间产物, 从数量上看, 乙酸是最主要的产物, 其次为丙酸和丁酸<sup>[1]</sup>。

丙酸和丁酸这两种酸都可以发酵形成乙酸。丙酸转化成乙酸、丁酸转化为乙酸、乙酸转化为  $\text{CH}_4$  和  $\text{H}_2\text{CO}_3$  的化学反应生成不同数量的  $\text{H}_2\text{CO}_3$ 。每 1 mol 的丙酸生成 0.25 mol 的  $\text{H}_2\text{CO}_3$  和 1 mol 的乙酸; 而每 1 mol 的丁酸消耗 0.5 mol 的  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , 产生 2 mol 的乙酸; 每 1 mol 的乙酸生成 1 mol 的

$\text{H}_2\text{CO}_3$ 。丙酸的发酵生成了乙酸, 从而取代原有的丙酸, 同样, 丁酸的发酵也使乙酸代替了丁酸, 乙酸发酵能够破坏有机酸, 产生了  $\text{H}_2\text{CO}_3$ 。

乙酸和碳酸是渗滤液降解过程中的重要产物。因此, 确定乙酸和碳酸对粘性土土工性状的影响及其规律是有必要的。本次研究主要是通过对加入不同浓度的乙酸、碳酸钠的土样进行土工试验, 测得其塑限、渗透系数等物理指标, 分析乙酸、碳酸对粘土土工性状的影响, 提出土工性状变化的机理, 揭示碳酸根离子和乙酸根离子对粘土土工性状影响的本质和规律。

### 1 室内试验

#### 1.1 试验方法和仪器

a. 对土样的塑、液限的测定采用的是液、塑限联合测定仪法, 选用 GYS-2 型光电式液塑限测定仪,

收稿日期: 2007-12-16

作者简介: 李 涛(1984—), 男, 江苏沛县人, 硕士研究生, 从事工程地质与水文地质研究。

通过绘制圆锥下沉深度与含水率关系曲线得出土样的液、塑限。

b. 实验室测定粘土渗透系数采用南 55 型渗透仪。而粘性土由于渗透系数很小，流经试样的总水量也很小，不易准确测定。因此，采用变水头试验<sup>[2]</sup>。

c. X 光衍射试验采用 X 射线荧光光谱仪（Venvs200）。

1.2 试样制备

为对比不同浓度碳酸根离子、乙酸根离子对粘土的影响，配置了 7 组土样（表 1）。土样制备时，均匀混合后静置 10 d，让其充分反应。

表 1 不同浓度乙酸和碳酸根离子的粘土样品  
Table 1 Acetic acid and carbonic acid acting on the clay by various concentrations

碳酸根离子浓度/mol·L <sup>-1</sup>			乙酸根离子浓度/%			
土样 1	土样 2	土样 3	土样 4	土样 5	土样 6	土样 7
0.02	0.1	0.2	5	23.8	55.8	100

对土样渗透系数的测定，为避免其他因素干扰，土样选用相同的含水率（22%）和压实密度（1.69 g/cm<sup>3</sup>），并在测定各粘土渗透系数前用纯水使土样达到饱和状态后再用纯水渗透测其渗透系数。

1.3 试验结果

借助以上试验方法和仪器测定出粘土在不同浓度碳酸钠、乙酸影响下的渗透系数、塑性指数散点图（图 1—图 4）以及粘土吸附元素的变化(表 2)。

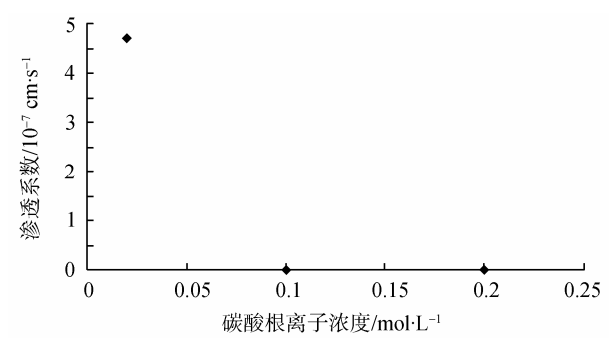


图 1 粘土在不同浓度碳酸根离子影响下的渗透系数  
Fig. 1 Clay's coefficients of permeability when carbonic acid acts on the clay by various concentrations

土样 1 和土样 2 的渗透系数无法用现有的仪器准确测量，所以其渗透系数取 0。由图 1 可以得出，随着碳酸根离子的浓度的增加，粘土的渗透性随之降低。由图 2 可以得出，随着乙酸根离子的浓度的增加，粘土的渗透性随之增加。

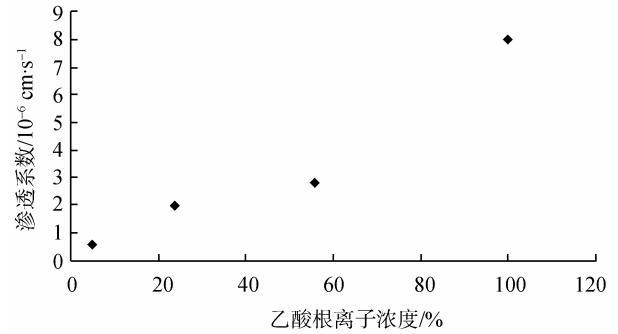


图 2 粘土在不同浓度乙酸根影响下的渗透系数  
Fig. 2 Clay's coefficients of permeability when acetate acting on the clay by various concentrations

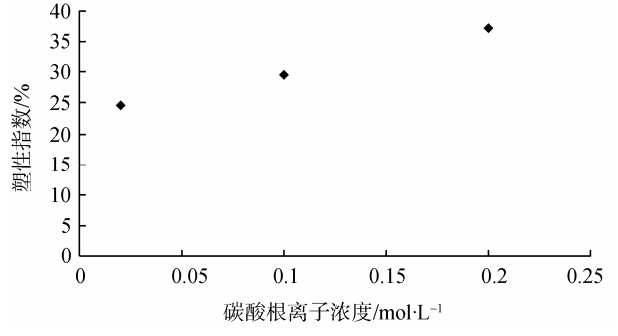


图 3 粘土在不同浓度碳酸根影响下的塑性指数  
Fig. 3 Clay's plasticity index when carbonic acid acts on the clay by various concentrations

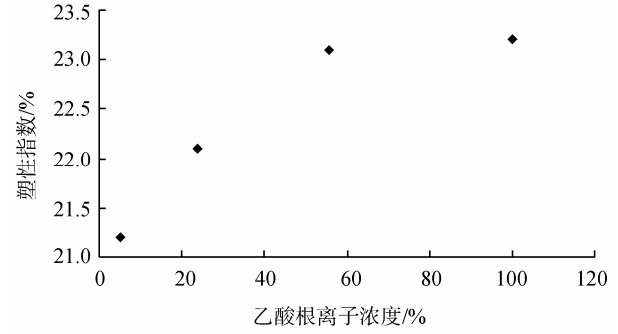


图 4 粘土在不同浓度乙酸根影响下的塑性指数  
Fig. 4 Clay's plasticity index when acetate acts on the clay by various concentrations

由图 3 可以得出，随着碳酸根离子的浓度的增加，粘土的塑性指数随之增加。由图 4 可以得出，随着乙酸根离子的浓度的增加，粘土的塑性指数随之增加。

2 试验结果

2.1 试样塑性指数变化机理

a. 当加入碳酸钠后，一方面，土体在碳酸钠溶液作用下，土体吸附的 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>最多（如表 2 所示，吸附的 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>由 8.175%变为 11.370%），CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>等阴离子存在于土颗粒体系中，其本身可以吸附大量的极性水分子，从而大幅增加粘土颗粒对水分子的吸附量，这是土体塑性增强的主要原因；另一方面，

碳酸根会与镁、钙等离子发生反应,生成沉淀,同时粘土颗粒表面吸附了钠等离子。当钠离子替换其他离子的时候,塑性指数有明显地变大<sup>[3]</sup>。当加入的碳酸钠浓度增大时,其塑性指数又表现为上升的关系。

表 2 粘土吸附元素的变化 %  
Table 2 Variation of element adsorbed by clay when acetate or carbonic acid acts on the clay by various concentrations

土样成分	100%乙酸	0.2 mol/L碳酸钠	原土
Na	0.481	1.278	0.505
Mg	0.612	0.954	0.645
Al	4.366	7.850	8.301
Si	20.21	30.486	29.717
K	1.542	1.793	1.716
Ca	0.329	0.984	0.562
Fe	2.156	4.288	3.321
Cu	0.002 4	0.003 9	0.003 6
Zn	0.001	0.007 5	0.008
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	6.784	11.370	8.175
P	0.025 0	0.0251	—

b. 当加入乙酸后,粘土在乙酸的作用下,塑性指数明显变大。通过 X 衍射发现,乙酸作用后粘土颗粒表面的 Na、Mg、Al、Si、K、Ca、Fe 等元素以及 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>的含量与原土体中这些元素的含量相比明显降低,尤其是 Al、Si、Fe 等高价离子的含量降低得更多(见表 2)。由此可见,乙酸溶解了粘土矿物中的铝、铁等高价金属盐类,同时吸附了钠等离子,所以提高了粘土的塑性指数。

## 2.2 试样渗透性变化机理

a. 加入碳酸钠后,一方面碳酸根会与粘土颗粒表面吸附的镁、钙等离子发生反应,转变为难溶性化合物的沉淀物,这些沉淀物会将粘土的孔隙堵塞,阻碍了液体的渗透,造成渗透系数的改变;另一方面,当钠离子含量增高,将替换其他离子的时候,双电层厚度会变大,土的结构会趋于分散,这会造

成水流断面减小,从而使得粘土的渗透系数趋向于变小。当加入碳酸钠的浓度增大时,其渗透系数表现为减小的趋势。

b. 当加入乙酸后,粘土在乙酸的作用下,渗透系数明显变大, X 衍射结果同塑性试验(表 2)。由此可见,乙酸溶解了粘土矿物中的铝、铁等高价金属盐类,从而使得粘土颗粒之间的孔隙增大,过水路径变多,粘土的渗透系数增大。

当加入乙酸的浓度增大时,土体渗透系数随之增大,这说明乙酸浓度的增大会将更多的铝、铁等高价金属盐类溶解。

## 3 结 论

a. 粘土与乙酸作用后,塑性指数和渗透系数明显变大。乙酸溶解粘土矿物中的铝、铁等高价金属盐类,使得土的结构发生凝聚,颗粒之间的孔隙变大,粘土的塑性指数和渗透系数提高;

b. 土体在碳酸钠溶液作用后,粘土颗粒表面吸附的 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>最多, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>等阴离子存在于土颗粒体系中,其本身可以吸附大量的极性水分子,从而大大增加粘土颗粒对水分子的吸附量,这是土体塑性增强的主要原因。粘土颗粒间的不溶性碳酸盐类的生成,阻断过水路径,降低了粘土渗透性。

c. 本次研究成果主要源自于室内试验,研究结论有待于工程实践的检验和修正。

## 参考文献

(上接第 45 页)

b. 滑带土强度参数的改变对滑坡稳定性有极大的影响。所以,研究滑带土强度参数的影响因素,特别是降雨的影响是李家下滑坡稳定性分析中下一步必须考虑的问题。

c. 在数值模拟的基础上,结合李家下滑坡的最新变形特征,认为李家下滑坡的稳定性较差。

## 参考文献

- [1] 王思敬,黄鼎成. 中国工程地质世纪成就[M]. 北京:地质出版社,2004.
- [2] SARMA S K.A note on the stability analysis of slopes[J]. Geotechnique, 1987, 37(1): 101-111.
- [3] 郑颖人,赵尚毅. 岩土工程极限分析有限元法及其应用[J]. 土木工程学报, 2005(1): 91-98.

- [1] 贺延龄. 废水的厌氧生物处理[M]. 北京:中国轻工业出版社, 1998.
- [2] 杨熙章. 土工试验与原理[M]. 上海:同济大学出版社, 1992: 55-56.
- [3] 罗春泳. 粘土的环境土工特性及垃圾填埋场衬垫性状研究[D]. 杭州:浙江大学, 2004.
- [4] 李萍,杨社强,李同录,等. 强度折减法在滑坡稳定性分析中的应用[J]. 煤田地质与勘探, 2005, 33(5): 45-47.
- [5] 陈祖煜. 土质边坡稳定性分析的原理和方法[M]. 北京:中国水利水电科学研究院, 2003.
- [6] 钱家欢,殷宗泽. 土工原理与计算(第二版)[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1996.
- [7] 崔政权,李宁. 边坡工程:理论与实践最新发展[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1999.
- [8] 李功伯,谢建清. 滑坡稳定性分析与工程治理[M]. 北京:地震出版社, 1997: 1-9.
- [9] 孙伟,龚晓南. 土坡稳定分析强度折减有限元法[J]. 科技通报, 2003(4): 319-322.
- [10] GRIFTHS D V, LANE P A. Slope stability analysis by finite elements[J]. Geotechnique, 1999, 49(3): 387-403.
- [11] 赵尚毅,时为民,郑颖人. 边坡稳定性分析的有限元法[J]. 地下空间, 2001, 21(5): 450-454.