

# 粘土分散性影响因素试验研究

郑丽娜, 党进谦, 赵高文, 王凯旋

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 在杨凌黄土中掺加不同质量百分比的钙蒙脱石、钠蒙脱石和碳酸钠, 进行分散性鉴定试验、酸碱度试验, 研究粘土分散性的影响因素。结果表明: 杨凌黄土蒙脱石和钠离子含量都很少, 呈强碱性, 为非分散性土; 掺入钠蒙脱石或碳酸钠的百分比越大, pH 值越高, 分散越明显; 掺入钙蒙脱石的百分比越大, pH 值越低, 崩解越缓慢; 钠蒙脱石、钠离子、pH 值对粘土分散性有显著影响; 钠离子含量较多和酸碱度为强碱性是粘土产生分散性不可缺少的两个因素, 且两因素同时存在时, 粘土就会产生分散。

**关键词:** 钠蒙脱石; 钙蒙脱石; 钠离子; 酸碱度; 粘土分散性

**中图分类号:** TU443      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-643X(2012)06-0146-03

## Study on factors affecting dispersion of clay

ZHENG Lina, DANG Jinqian, ZHAO Gaowen, WANG Kaixuan

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Certain amounts of calcium montmorillonite sodium montmorillonite and sodium carbonate were mixed into Yangling loess to prepare samples. The samples' dispersibility and pH were studied by pinhole test crumb test and pH test in order to analyse factors that affect clay's dispersion. The results show that the content of montmorillonite and sodiumion in Yangling loess is low and belong to non - dispersive clay. When mixed with a certain amount of sodium montmorillonite or sodium carbonate, it became dispersive clay, and the greater the amount of sodium montmorillonite or sodium carbonate it was mixed with, the more obvious its dispersibility became and the higher pH it would has, but when mixed with a certain amount of calcium montmorillonite, it was still non - dispersed clay, and the greater the amount of calcium montmorillonite it was mixed with, the more slowly its disintegration became and the lower pH it would has. Sodium montmorillonite sodiumion and pH have significant effects on clay's dispersion. The necessary condition for creating the dispersive mechanisms of soil lie in more sodiumion and stronger alkalinity (pH > 8.5) in the soil. The clay will generate dispersion as long as it contains more sodiumion and pH > 8.5.

**Key words:** sodium montmorillonite; calcium montmorillonite; sodiumion; pH; clay's dispersion

## 0 概 言

分散性土是一种在低含盐量水(或纯净水)中离子相互的排斥力超过相互吸引力, 导致土体的颗粒分散, 对纯水或低含盐量水冲刷抵抗能力很低的粘性土<sup>[1]</sup>。在土-水体系中分散性土颗粒间的排斥作用容易使土颗粒分散到水中, 成为悬液, 如遇流动的水, 分散出来的土颗粒即被水流带走, 引发土体的渗透变形和冲蚀破坏, 从而造成严重的工程事故。

Ingles O G、Aitchison G D<sup>[2]</sup> 和 Sherard J L 等<sup>[3]</sup> 认为: 分散性土的粘土矿物成分中蒙脱石所占质量

百分比较大, 并且交换性钠离子含量较高; 孔隙水中钠离子与其他碱性阳离子的相对含量是影响粘土分散性的主要因素。蒋国澄<sup>[4]</sup> 认为粘性土产生分散性需要满足以下几点: 粘性土中含有较高含量的蒙脱石, 并且钠离子在所有交换性阳离子中所占的百分比较大; 粘土颗粒间有机质、碳酸盐及游离铁铝氧化物等抑制分散的胶结物含量较少; 粘土处在碱性和含盐量较低的介质环境中。樊恒辉等<sup>[5]</sup> 认为粘土中的钠离子含量、钙离子及镁离子含量以及钠离子含量与钙离子及镁离子含量的比值显著影响粘土的分散性, 而且蒙脱石含量是影响粘土分散性的主

收稿日期: 2012-07-10; 修回日期: 2012-09-27

作者简介: 郑丽娜(1991-), 女, 山东巨野人, 西北农林科技大学土木工程专业本科生。

通讯作者: 党进谦(1964-), 男, 陕西澄城人, 教授, 硕士生导师, 从事岩土工程研究。

要因素。刘杰<sup>[6]</sup>指出粘土产生分散性需要满足以下几点:粘土矿物成分以蒙脱石为主;孔隙水阳离子中以钠离子为主;介质水含盐量很低或为纯水。李洪良等<sup>[7]</sup>通过研究介质环境中阳离子和酸碱度变化对粘土分散性的影响,提出粘土产生分散性的必要条件是含有较多的钠离子和呈强碱性,两者缺一不可,并认为蒙脱石含量高低不是分散性土的必要条件。可见,相关学者一般认为水的性质和土自身的性质对粘土分散性都有一定的影响;从土的方面分析,一般认为蒙脱石含量、钠离子含量和酸碱度可能影响粘土的分散性。

相关学者大都将蒙脱石作为一个因素研究,而没有考虑到蒙脱石中的两类——钠蒙脱石和钙蒙脱石,具有不同的性质(钠蒙脱石具有较高的分散性,

钙蒙脱石具有较高的膨胀性);研究方法多为总结工程经验,缺少针对性和确定性。本文从工程实践经验和前人研究成果出发,以杨凌黄土为试验用土,选定钠蒙脱石、钙蒙脱石和碳酸钠三类物质,以不同的质量百分比掺加到杨凌黄土中,分析其对粘土分散性及酸碱度的影响,研究影响粘土分散性的因素。

## 1 试验研究

### 1.1 试验用土基本性质指标

试验用土为杨凌地区的黄土,其基本物理性质指标、化学性质指标、矿物成分等分别见表1、表2、表3。杨凌地区黄土的有机质含量不大,为18.24 g/kg,钠离子含量低,为2.689 g/kg,蒙脱石含量低,占全土的1.0%。

表1 原土物理性质指标测定结果

土样 编号	比重 $G_s$	液限 $w_L$	塑限 $w_p$	塑性指数 $I_p$	颗粒组成			最优 含水率	最大 干密度	分类 按塑性图
					砂粒 2~0.075	粉粒 0.075~0.005	粘粒 <0.005			
CK	2.69	34.7	18.3	16.4	4.5	58.4	36.1	18.2	1.69	CL

表2 土料化学性质试验结果

土样 编号	易溶盐									中溶盐	难溶盐	有机质	pH
	总量	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$				
CK	5.1	0.000	0.340	0.007	1.955	0.056	0.005	2.689	0.046	0.16	99.42	18.24	8.7

表3 土料矿物成分试验结果

土样 编号	粘土 矿物 总量	粘土矿物相对含量					全土中各种矿物含量										全土中伊利石、 蒙脱石估算值
		伊-蒙 混层 (I/S)	伊利 石(I)	高岭 石(K)	绿泥 石(C)	混层 比 (S)I/S	非粘土矿物含量					粘土矿物含量					
							石英	钾长 石	钠长 石	方解 石	白云 石	伊-蒙 混层 (I/S)	伊利 石(I)	高岭 石(K)	绿泥 石(C)	伊利 石(I)	
CK	20.1	33	42	9	16	40	40.3	1.8	14	20.6	3.2	2.8	14.6	1.8	3.9	16.4	1.0

### 1.2 试验研究

在杨凌地区黄土中分别掺入钠蒙脱石、钙蒙脱石和碳酸钠,配制成5个不同质量百分比的钠蒙脱石土样(编号为NMT1~5),5个不同质量百分比的碳酸钠土样(编号为 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 1~5),5个不同质量百分比的钙蒙脱石土样(编号为GMT1~5)和1个杨凌地区黄土土样(编号为CK)。NMT1~5中钠蒙脱石的质量百分比分别为10%、20%、30%、40%、50%, $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 1~5中碳酸钠的质量百分比分别为0.08%、0.12%、0.16%、0.20%、0.40%,GMT1~5中钙蒙托石的质量百分比分别为10%、20%、30%、

40%、50%。采用酸碱度试验测定各土样pH值,采用碎块试验和针孔试验鉴定各土样的分散性,当碎块试验和针孔试验判定结果不一致时以针孔试验判定结果为准。

## 2 结果分析

酸碱度试验测得各土样的pH值见表4。由表4知,在杨凌地区黄土中掺入钠蒙脱石、碳酸钠,土样的pH值增大,掺量越大,pH值增大越多;在杨凌地区黄土中掺入钙蒙脱石,土样的pH值减小,掺量越大,pH值减小越多。通过碎块试验和针孔试验鉴

定各土样的分散性,结果见表5。由表5知,CK和GMT1~5为非分散性土,NMT1为过渡型土,NMT2~5和 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 1~5为分散性土。

表4 NMT1~5的pH值

土样编号	NMT1	NMT2	NMT3	NMT4	NMT5
pH值	9.38	9.44	9.48	9.49	9.50
土样编号	GMT1	GMT2	GMT3	GMT4	GMT5
pH值	8.73	8.71	8.66	8.63	8.62
土样编号	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 1	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 2	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 3	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 4	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 5
pH值	9.23	9.34	9.56	9.69	9.77

综合表4、表5的试验结果可知:杨凌地区黄土及试验配制的15种土样的pH值均大于8.5,都呈强碱性,但CK和GMT1~5为非分散性土,NMT1为过渡型土,可见,酸碱度为强碱性这一因素单独出现并不能使粘性土产生分散。NMT1~5土样和GMT1~5土样是在杨凌黄土中分别掺入钠蒙脱石和钙蒙脱石,掺量(质量百分比)从10%依次增加到50%,碎块试验现象表明,NMT1~5土样的崩解程度依次增强,GMT1~5土样崩解程度依次减弱,即NMT1~5土样的分散性依次增强,GMT1~5土样

的依次减弱,说明酸碱度为强碱性并含有大量的蒙脱石的土样不一定是分散性土,而且土样中钙蒙脱石的含量越大,土样的分散性越差。 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 1~5土样中蒙脱石含量很少,但随着 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 掺量的增大,土样中钠离子含量增多,土样的pH值增大,分散性增强。综上所述可知,蒙脱石含量并不是粘性土产生分散的决定因素,钠离子含量和酸碱度对粘性土的分散性有显著影响,钠离子含量较多和酸碱度为强碱性是粘性土产生分散不可缺少的两个因素,且当这两个因素同时存在时,粘性土就会产生分散性。在自然条件下形成的粘性土中,阳离子一般包括钠离子、钙离子、镁离子和钾离子等。钠离子的离子半径较小,水化半径较大,当粘性土中钠离子含量较多时,土颗粒表面的双电层厚度较大,使土颗粒间的排斥力增大、吸引力减小,净势能表现为排斥力,导致粘性土产生分散。钙离子引起水化半径较小,土颗粒间的净势能表现为吸引力,而且钙离子含量越多,土颗粒间的吸引力越大,土样的水稳定性越好。因此,在杨凌黄土中掺加的钠蒙脱石含量越大,土样的分散性越强,掺加的钙蒙脱石含量越大,土样的分散性越若,钙蒙脱石对粘性土的分散性具有一定的抑制作用。

表5 各土样分散性鉴定结果

土样编号	碎块试验 鉴定结果	针孔试验					针孔试验 鉴定结果	综合鉴定 结果
		水色	水头	持续时间	终了孔径	终了流量		
NMT1	过渡型土	浑浊	180	7	2.6	0.84	过渡型土	过渡型土
NMT2	分散性土	浑浊	180	7	2.7	0.92	分散性土	分散性土
NMT3	高分散性	浑浊	50	5	2.5	1.43	分散性土	分散性土
NMT4	高分散性	浑浊	180	6	2.6	1.34	分散性土	分散性土
NMT5	高分散性				严重膨胀			分散性土
$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 1	分散性土	浑浊	180	9	2.0	0.65	分散性土	分散性土
$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 2	高分散性	浑浊	180	7	4.5	1.16	分散性土	分散性土
$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 3	高分散性	浑浊	50	4	2.4	0.80	分散性土	分散性土
$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 4	高分散性	浑浊	180	6	4.0	1.17	分散性土	分散性土
$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 5	高分散性	浑浊	50	5	2.5	1.10	分散性土	分散性土
GMT1	非分散性	清	1020	18	1.0	1.64	非分散性	非分散性
GMT2	非分散性	清	1020	17	1.0	1.00	非分散性	非分散性
GMT3	非分散性	清	1020	19	1.0	1.92	非分散性	非分散性
GMT4	非分散性	清	1020	18	1.0	1.07	非分散性	非分散性
GMT5	非分散性	清	1020	18	1.0	1.40	非分散性	非分散性
CK	非分散性	清	1020	18	1.0	1.30	非分散性	非分散性

土的酸碱度是表征土的化学性质的重要指标之一,粘土颗粒表面和边缘暴露出来的羟基具有分解的趋势,粘土矿物边缘的氧化铝是两性的,在高pH

值下表现为负电性,在低pH值下表现为正电性。低pH值条件下,粘粒颗粒表面的氧化铝表现为正

(下转第153页)

## 参考文献:

- [1] 高雅玉,唐家凯,钱鞠,等. 土地利用/覆被变化对水环境影响的研究综述[J]. 人民黄河,2010,32(12):16-18.
- [2] 高前兆,刘发民,李元洪,等. 建设甘肃河西内陆区水资源战略安全体系的构想[J]. 安全与环境学报,2004,4(3):77-78.
- [3] 郭英卓. 黑河下游水资源变化对生态环境的影响分析[J]. 海河水利,2000(S1):7-8.
- [4] 阎平凡. 人工神经网络的容量、学习与计算复杂性[J]. 电子学报,1995,23(1):63-67.
- [5] 江学军,唐焕文. 前馈神经网络泛化能力的系统分析[J]. 系统工程理论与实践,2000,20(8):36-40.
- [6] 徐昕,贺汉根. 神经网络增强学习的梯度算法研究[J]. 计算机学报,2003,26(2):227-233.
- [7] Anurag M, Deo M C. Forecasting wind with neural networks[J]. Marine Structure,2003(16):35-49.
- [8] Eberhart R C. Neural Network PC Tools[M]. [S. L.] Academic Press, 1990.
- [9] Hagan M T,戴葵. 神经网络设计[M]. 北京:机械工业出版社,2002:197-201.
- [10] D E Rumelhart and J L, Mc Clelland. Parallel. Distributed processing:Explorations in the Microstructure of Cognition [M]. Cambridge,MAMIT Press, 1986:14-23.
- [11] Barnard E. Optimization for training neural nets[J]. IEEE Trans on Neural Net Works, 1992(3):232-240.
- [12] Battiti R. First and second - order methods for learning: between steepest descent and Newton's method[J]. Neural Computation,1992,4(2):141-166.
- [13] 潘昊,钟洛,李桂清,等. 一种新的神经网络模型及学习算法[J]. 北京工学院学报,1995,10(4):33-46.
- [14] Charalam Bous C. Conjugate gradient algorithm for efficient training of artificial neural networks[J]. IEEE Proceedings, 1992,139(3):301-310.
- [15] 闵祥宇. 基于人工神经网络的渭河上游洪水预报研究[D]. 兰州:兰州大学,2011:20-29.
- [16] 高雅玉. 双塔水库水质对昌马河流域人类活动的响应分析[D]. 兰州:兰州大学,2011:64-75.

(上接第148页)

电性,与由于同晶置换而带负电荷的土颗粒相互吸引,导致颗粒从悬液中絮凝;高pH值条件下,粘土颗粒表面的负电荷量增多,土颗粒之间的排斥力增大,土粒表面易于形成扩散双电层使悬液稳定或粘土颗粒分散。

### 3 结 语

(1) 酸碱度为强碱性这一因素单独出现并不能使粘性土产生分散性。

(2) 钠蒙脱石含量显著影响粘性土的分散性,钠蒙脱石越多粘性土分散性越强。

(3) 钙蒙脱石含量越多,土样水稳定性越好,钙蒙脱石对粘性土的分散性具有一定的抑制作用。

(4) 钠离子含量和酸碱度显著影响粘土分散性,钠离子含量越高、碱性越强,粘性土的分散性越强。

(5) 蒙脱石含量不是粘土产生分散性的决定因素,而钠离子含量较多和酸碱度为强碱性则是粘土产生分散性不可缺少的两个因素,且当这两个因素同时存在时,粘性土就会产生分散性。

## 参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. SL251-2000. 水利水电工程天然建筑材料勘察规程[S]. 2000.
- [2] Ingles O G, Aitchison G D. Soil - water Disequilibrium As Cause of Subsidence in Natural Soils and Earth Embankments [C] // . Proceedings of the ToKyio Symposium on Land Subsidence,1969,(2):342-353.
- [3] Sherard J L, Decker R S, Ryken R L. Piping in Earth of Dispersive Clay [C] // . Proceedings of Earth - supported Structure, Purdue University,1972:589-626.
- [4] 蒋国澄. 粘性土的结构稳定性及其某些特殊性土的性状[J]. 岩土工程学报,1986,8(4):70-75.
- [5] 樊恒辉,吴普特,李鹏,等. 分散性粘土判别试验研究[J]. 岩土工程学报,2005,27(11):1310-1316.
- [6] 刘杰. 土石坝渗流控制理论基础及工程经验教训[M]. 北京:中国水利电力出版社,2006.
- [7] 李洪良,樊恒辉,党进谦,等. 介质环境中阳离子和酸碱度变化对粘土分散性的影响[J]. 水资源与水工程学报,2009,20(6):26-29.