

不同介质环境对黏土分散性的影响及 分散性黏土改性研究

卢雪清¹, 党进谦¹, 樊恒辉¹, 尹培杰²

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2 河海大学 岩土工程科学研究所, 江苏 南京 210098)

[摘要] **【目的】**研究不同介质环境对黏土分散性的影响, 探究黏土的分散机理, 确定改良黏土分散性的生石灰适宜掺量。**【方法】**基于非分散性土和分散性土的物理化学特性差异, 模拟不同的介质环境, 对非分散性黏土和分散性黏土进行碎块试验, 研究介质环境对黏土分散性的影响; 以不同掺量的生石灰对分散性土进行改性, 并通过碎块试验和针孔试验评判改性效果, 探求生石灰的适宜掺量。**【结果】**非分散性土在一定浓度的高 Na^+ 碱性环境下表现分散性。在含 NaOH 环境中, 非分散黏土在 $\text{pH}=10.5$ 、 Na^+ 浓度为 0.3 mmol/L 时开始表现分散性; 在 Na_2CO_3 环境中, 非分散黏土在 $\text{pH}=10.13$ 、 Na^+ 浓度为 0.1 mmol/L 时开始表现分散性; 在 NaHCO_3 、 KOH 、 KHCO_3 、 K_2CO_3 以及 NaCl 等中性介质环境中, 非分散性黏土不表现分散性。分散性土在中性盐溶液下分散性会减弱, 随着盐浓度的增加最终丧失分散性。在 NaCl 和 CaCl_2 环境中, 分散性黏土分散性减弱的临界浓度分别为 5 和 1 mmol/L 。生石灰掺量为 $0\sim 2.0 \text{ g/kg}$ 时, 对分散性黏土改性效果不明显; 生石灰掺量 $\geq 2.5 \text{ g/kg}$ 时, 对分散性黏土具有显著的改性效果。**【结论】**适当浓度的 Na^+ 在一定的碱性环境中能促进分散, 而适当浓度的阳离子(包括 Na^+ 在内)在非碱性环境中能抑制分散; 生石灰是一种优良的分散性土改性剂。

[关键词] 非分散性土; 分散性土; 介质环境; 生石灰; 改性剂; 分散机理

[中图分类号] TU411

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2011)05-0208-07

Effect of different media environment on dispersion of clay and treatment with lime on the dispersive soil

LU Xue-qing¹, DANG Jin-qian¹, FAN Heng-hui¹, YIN Pei-jie²

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

2 Geotechnical Research Institute of Hehai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

Abstract: **【Objective】**The research was to study the effect of different media environment on dispersion of clay, explore the dispersive mechanism and find out the proper mixing ratio of lime to modify the dispersive clay. **【Method】**Based on the differences of physical and chemical characters between dispersive clay and non-dispersive clay, the dispersive properties of the clay soil were studied under the conditions of the different medium environment which simulated with the crumb test. The dispersive clay with lime was treated, and the results of the treatment were judged by crumb and pinhole test to seek proper quantity of lime. **【Result】**The results show that the non-dispersive clay presents dispersive property when it is in high-natrium alkaline condition. When it is in NaOH and in Na_2CO_3 environment, the corresponding critical concentration is 0.3 mmol/L and 0.1 mmol/L , with the pH 10.5 and 10.13 , the concentration of Na^+ 0.3 mmol/L and 0.2 mmol/L respectively. But when it is in NaHCO_3 , KOH , KHCO_3 , K_2CO_3 , NaCl and other

* [收稿日期] 2010-10-09

[基金项目] 国家自然科学基金项目(50979094); 西北农林科技大学青年学术骨干项目(08); 西北农林科技大学科研专项(06ZR41)

[作者简介] 卢雪清(1985—), 女, 重庆垫江人, 在读硕士, 主要从事黄土工程性质研究。E-mail: luxuejienihao@163.com

[通信作者] 党进谦(1964—), 男, 陕西澄城人, 硕士, 教授, 主要从事岩土工程理论与计算研究。E-mail: dangjinqian@163.com

neuter environment, the non-dispersive clay behaves normally. The dispersive clay's dispersive property becomes weak as the salt solution consistence rises and behaves non-dispersive in the end. When it is in NaCl and CaCl₂ media environment, the critical solution density is 5 mmol/L and 1 mmol/L respectively. The lime is an effective additive when the content of lime is up to 0.25 g/kg with mass ratio, the dispersive clay becomes the non-dispersive clay. 【Conclusion】 The study indicates that proper concentration of Na⁺ in the alkaline environment could promote dispersive property; and appropriate concentrations of cation (including Na⁺), in a non-alkaline environment can inhibit the dispersion. The lime is an effective additive for the dispersive soil.

Key words: non-dispersive clay; dispersive clay; medium environment; lime; treatment; dispersive mechanism

黏土按渗透稳定性可分为非分散性黏土、分散性黏土和过渡性黏土^[1]。分散性黏土是一种特殊土,具有遇水分散流失的特征,用分散性黏土修筑的堤坝,遇到低含盐量的渗流水,土粒就会分散流失,产生管涌,下雨时会出现大面积的雨水淋蚀破坏。由于水力的劈裂作用,堤坝往往在蓄水初期就会出现集中渗流,发生突然的管涌破坏,给水利工程带来严重危害^[2-3]。自 20 世纪 60 年代以来,研究者对分散性黏土进行了大量的研究和治理工作,取得了一些有价值的成果,并在工程实践中发挥了重要的指导作用^[4]。实践表明,尽管分散性黏土会给水利工程带来严重危害,但只要采取科学合理的措施,就能有效地防止分散性黏土的破坏作用。工程上应用改良分散性黏土在国内外都有成功的经验^[5-9],因此用改良后的分散性黏土修筑堤坝还是可行的。

对分散性黏土进行改良需从其分散机理入手。分散性黏土的分散特性是由土和水两方面因素决定的,土本身的性质为其分散的内因,包括黏粒含量、黏土矿物的种类及颗粒组成等因素;水为外因,即土体所处的介质环境,在盐浓度低的水中分散性黏土迅速分散,而在盐浓度高的水中分散性黏土的分散程度减小或不分散。同时,pH 较高的碱性介质环境对黏土的分散性起关键作用^[10]。目前,关于分散性黏土的研究多见于对其分散性的鉴别^[4-12],通常应用碎块、针孔、双比重计、孔隙水可溶盐和交换性钠百分比 5 种试验方法,根据试验结果综合判定土样的分散性,而关于影响黏土分散特性的外因,即不同介质环境对黏土分散特性的影响研究却鲜见报道。

石灰通常被认为是一种有效的土壤改性剂^[13],工程实践中常用生石灰作为改性剂对分散性黏土进行改性。生石灰掺入土体后,其与土体颗粒或自身会发生一系列的物理化学反应,如火山灰反应、交换

吸附反应、水解反应、碳酸化反应等,能够提高土体颗粒之间的引力,从而有效克服分散性黏土的分散作用。生石灰掺量不足起不到改性作用或改性效果甚微,过多则容易使土体变脆,破坏土体的工程性质^[2]。因此,确定生石灰掺量对工程后期的良好运营具有重要意义,而现阶段有关生石灰掺量的研究却很少。

本研究基于非分散性土和分散性土物理化学特性的差异,通过模拟不同介质环境条件,采用碎块试验研究不同介质环境中黏土的分散性变化特征,并利用生石灰作为改性剂,研究不同掺量生石灰对分散性黏土的改性效果,以期探讨黏土的分散机理,为确定分散性黏土改良时生石灰的掺量提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验采用 2 种土样,分别为杨凌黄土(编号 YL)和宁夏同心县马家树拦沙坝土料(编号 TX)。根据前期进行的双比重计试验、针孔试验、碎块试验、孔隙水可溶盐阳离子试验和交换性钠百分比试验的结果,综合判别确定 YL 为非分散性黏土, TX 为典型的分散性黏土。

1.1.1 供试土样的物理化学性质 土样的基本物理化学性质见表 1 和表 2。从表 1 和表 2 可以看出, YL 与 TX 均属于低液限黏土,但在颗粒组成上 YL 的黏粒(<0.005 mm)含量明显高于 TX,而 TX 的粉粒(0.075~0.005 mm)含量偏高。TX 阳离子以钠离子为主,其含量远远高于 YL;2 种土样的酸碱度均属碱性,但 TX 的碱性明显高于 YL,属极强碱性(pH>9.5)。

1.1.2 供试土样的矿物组成 2 种土样的矿物成分见表 3。从表 3 可以看出, YL 黏土的矿物总含量为 32.7%, TX 为 25.9%,二者黏土矿物的主要成

分均为伊利石,且均有少量伊利石以伊利石-蒙脱石混层矿物形式存在,其次为绿泥石,高岭石和蒙脱石含量较低。YL 黏土的蒙脱石含量占全土的 7.0%,TX 的蒙脱石含量仅占 2.8%,且均以伊-蒙混层形式存在于 2 种试样中。非黏土矿物主要以石英、斜长石和方解石为主。

表 1 供试土样的物理性质

Table 1 Physical properties of soil samples

土样编号 Number	土粒比重 Specific Gravity	颗粒组成/% Granulometric composition			液限含水率/% Liquid limit	塑限含水率/% Plastic limit	塑性指数 Plasticity index	最大干密度/ (g·cm ⁻³) the Maximum dry density	最优含水率/% Optimization water	土壤分类 ^[13] Soil classification
		>0.075 mm	0.075~0.005 mm	<0.005 mm						
YL	2.71	4.8	60.2	35	35.5	18.6	16.9	1.71	17.8	低液限黏土 Low liquid limit clay
TX	2.71	6.8	89.2	19	25.0	14.6	10.4	1.76	15.2	低液限黏土 Low liquid limit clay

表 2 供试土样的化学性质

Table 2 Chemical properties of soil samples

土样编号 Number	易溶盐 Soluble salt								中溶盐 Med-dissolved salt	难溶盐 Indissoluble salt	有机质 Organic matter	pH
	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺				
YL	0.06	0.34	0.02	0.01	0.03	0.01	0.05	0.02	0.37	125.4	3.88	8.19
TX	0.09	0.41	0.01	0.00	0.02	0.01	0.18	0.01	0.30	101.4	3.50	9.62

表 3 供试土样的矿物成分分析

Table 3 Mineral compositions of soil samples

土样编号 Number	黏土矿物总量 Total amount	黏土矿物相对含量 Relative mineral content					全土中伊利石、蒙脱石的估算值 Estimated value of illite and smectite		
		伊-蒙混层 Illite-smectite	伊利石 Illite	高岭石 Kaolinite	绿泥石 Chlorite	混层比(S) I/S	伊利石 Illite	蒙脱石 Smectite	
YL	32.7	30.0	52.0	7.0	11.0	40.0	19.8	7.0	
TX	25.9	15.0	56.0	10.0	19.0	40.1	15.6	2.8	

1.2 试验方法

首先将非分散性黏土 YL 及典型分散性黏土 TX 在不同的溶液中进行碎块试验^[14],找出 YL 出现分散特性和 TX 分散特性消失的临界介质浓度,分析介质环境对黏土分散性的影响机理。然后,利用生石灰改良分散性土 TX,并通过改性土的针孔试验与碎块试验,确定适宜的生石灰掺量。

1.2.1 碎块试验 碎块试验方法简便,在室内或野外均能进行,再现性良好,且能够反映不同介质环境下土体的分散性。通常碎块试验是在纯水中进行的,但这样的介质环境太过单一。同时在前期的针孔试验中发现,用一定浓度的 NaCl、CaCl₂ 溶液代替纯水进行试验,在更高的压力下,渗流出来的水却依然清澈,试验后针孔也几乎没有变化。这说明一定浓度的盐溶液对土的分散具有抑制作用。

由于土中多含有 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、HCO₃⁻、CO₃²⁻、SO₄²⁻ 等离子,因此针对非分散性土 YL 配制不同浓度的 NaOH、NaHCO₃、Na₂CO₃、KOH、KHCO₃、K₂CO₃、NaCl、Na₂SO₄、KCl、K₂SO₄、CaCl₂,针对分散性土 TX 分别配制 NaCl 和

CaCl₂ 溶液,以模拟不同的介质环境条件,进行碎块试验,观察介质环境对黏土分散性的影响,探讨影响黏土分散性的外因。

1.2.2 生石灰改性试验 试验所用的石灰属于镁质生石灰粉,氧化钙、氧化镁含量分别为 49.9%和 12.2%。在生石灰掺量分别为 0,0.5,1.0,1.5,2.0,2.5,3.0,5.0 和 6.0 g/kg 条件下,配制 TX 改性土,进行针孔试验和碎块试验,以判断改性效果^[15],确定生石灰掺量。TX 土样的最大干密度为 1.76 g/cm³,最优含水率为 15.2%,针孔试验土样压实度为 1,制样时含水率接近最优含水率。针孔试验完毕,取出试验后试样,切 1 cm³ 小块放入 250 mL 纯水中进行碎块试验。综合以上 2 组试验结果,确定生石灰的最适掺量。

2 结果与分析

2.1 不同介质环境对黏性土分散性的影响

按照所配溶液 pH 值的不同,YL 土样的碎块试验分别在碱性和中性介质环境中进行,溶质的浓度从 0.05~30 mmol/L。从表 4 可以看出,在含

NaOH 环境中,非分散黏土 YL 在 pH=10.5、Na⁺ 浓度为 0.3 mmol/L 时开始表现分散性;在 NaHCO₃ 环境中,非分散性黏土 YL 不表现分散性;在 Na₂CO₃ 环境中,非分散黏土 YL 在 pH=10.13、Na⁺ 浓度为 0.1 mmol/L 时开始表现分散性。在 NaOH 和 Na₂CO₃ 环境中,YL 的分散性随 Na⁺ 浓度的增加而由弱变强,再由强变弱,最终不表现分散性。从表 5 可以看出,在不含 Na⁺ 的碱性介质环境中,黏土 YL 始终不表现分散特性,即 pH 的变化并不影响黏土 YL 的分散性。上述试验结果表明,较高的 pH 值和适当 Na⁺ 浓度的介质环境能促使 YL 表现出分散性。YL 在中性介质环境中的碎块试验

结果见表 6,同表 5 结果一致,不表现分散性,表明中性介质环境中,Na⁺ 已不再是影响 YL 分散性的主导因素。

TX 土样的碎块试验在中性介质环境中进行,结果见表 7。从表 7 可以看出,在 NaCl 和 CaCl₂ 溶液中,TX 的分散性均由强变弱并最终消失,说明中性介质环境能抑制分散性黏土 TX 的分散性能;TX 表现分散性的 NaCl 临界浓度为 5 mmol/L,高于 CaCl₂ 的临界浓度 1 mmol/L,说明介质环境中的 Ca²⁺ 对分散性的抑制作用较 Na⁺ 强,即离子价位越高对分散性的抑制效果越明显。

表 4 非分散性黏土 YL 在含 Na⁺ 的碱性介质环境中的碎块试验
Table 4 Crumb test of YL in sodium alkaline media environment

介质 Media	指标 Indicators	浓度/(mmol·L ⁻¹) Concentration															
		0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	4	5	6	7	10	20	30
NaOH	pH	9.7	10.0	10.3	10.5	10.6	10.7	10.8	10.8	10.9	11.6	11.7	11.8	11.8	12.0	12.3	12.5
	分散性 Dispersive	I	I	I	II	II	II	II	III	IV	IV	IV	IV	III	III	II	I
NaHCO ₃	pH	8.0	8.2	8.3	8.9	8.5	8.5	8.6	8.6	8.6	9.0	9.0	9.1	9.1	9.1	9.3	9.8
	分散性 Dispersive	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Na ₂ CO ₃	pH	9.98	10.13	10.28	10.36	10.43	10.48	10.51	10.55	10.58	10.93	10.98	11.01	11.05	11.08	11.13	11.63
	分散性 Dispersive	I	II	II	III	III	IV	IV	IV	IV	III	III	II	II	I	I	I

注:碎块试验判别标准:I.非分散性土,没有反应,土体崩解,水中没有胶粒悬液出现,水色是清的或稍浑接着变清;II.过渡性土,轻微反应,土体崩解,表面附近产生轻微肉眼可见的胶粒悬液;III.分散性土,中等反应,土粒周围或表面产生明显的云雾状黏粒悬液,杯底扩散 10 mm 左右;IV.高分散性土,严重反应,整个杯底出现大量的黏粒悬液。下表同。

Note:Judging standard of crumb test:I. Non-dispersive clay,there’s no reaction,with soil disintegrating, and no colloidal partical suspension in water. The water is clear,or a little cloudy but it will be clear soon; II. Transitional clay,light reaction with soil disintegrating,there’s visible colloidal partical near the surface of the soil; III. Dispersive clay,moderate reaction,with evident cloudy colloidal partical surrounded the soil,nearly 10 mm diffusion in the bottom; IV. High dispersive clay,critical reaction,with volumes of colloidal partical turning up in the whole bottom. The following tables are the same.

表 5 非分散性黏土 YL 在不含 Na⁺ 的碱性介质环境中的碎块试验
Table 5 Crumb test of YL in non-sodium alkaline media environment

介质 Media	指标 Indicators	浓度/(mmol·L ⁻¹) Concentration															
		0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	4	5	6	7	10	20	30
KOH	pH	9.7	10.0	10.3	10.5	10.6	10.7	10.8	10.8	10.9	11.6	11.7	11.8	11.8	12.0	12.3	12.5
	分散性 Dispersive	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
KHCO ₃	pH	8.0	8.2	8.3	8.9	8.5	8.5	8.6	8.6	8.6	9.0	9.0	9.1	9.1	9.1	9.3	9.8
	分散性 Dispersive	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
K ₂ CO ₃	pH	9.98	10.13	10.28	10.36	10.43	10.48	10.51	10.55	10.58	10.93	10.98	11.01	11.05	11.08	11.13	11.63
	分散性 Dispersive	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

通过对碎块试验结果的分析表明:(1)高 pH 和适量的 Na⁺ 同时存在是促进黏土分散的主要因素,二者缺一不可。pH 对黏土分散性的影响主要体现为 OH⁻ 与黏土边缘羟基水化后生成 H⁺ 的反应,黏土边缘的羟基在极性水分子的介入时发生如下反应:SiOH $\xrightleftharpoons{H_2O}$ SiO⁻ + H⁺,当黏土所处环境为碱性

环境时,OH⁻ 就会与生成的 H⁺ 反应,即:OH⁻ + H⁺ $\rightleftharpoons$ H₂O,使得平衡右移,最终黏土颗粒的有效负电荷增大。若此时环境中的阳离子为 Na⁺,较厚的水化膜使得土粒的间距增大,当土粒间的斥力大于引力时,便开始表现出分散性;若此时环境中的阳离子为 K⁺ 而非 Na⁺,其被黏土颗粒吸附后,虽然土

粒间的距离也会增大,然而 K^+ 的水化膜较 Na^+ 薄, 小于引力,黏土不表现分散特性。因此土粒间的间距虽有所增加,但颗粒间的斥力仍

表 6 非分散性黏土 YL 在中性介质环境中的碎块试验
Table 5 Crumb test of YL in neuter media environment

介 质 Media	指 标 Indicators	浓 度 / (mmol · L ⁻¹) Concentration																
		0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	4	5	6	7	10	20	30	
NaCl	分散性 Dispersive	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
Na ₂ SO ₄	分散性 Dispersive	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
KCl	分散性 Dispersive	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
K ₂ SO ₄	分散性 Dispersive	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
CaCl ₂	分散性 Dispersive	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	

表 7 分散性黏土 TX 在中性介质环境中的碎块试验
Table 7 Crumb test of TX in neutral media environment

介质 Media	指标 Indicators	浓度/(mmol · L ⁻¹) Concentration														
		1	2	3	4	5	6	10	20	30	40	50	60	80	100	
NaCl	分散性 Dispersive	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	

介质 Media	指标 Indicators	浓度/(mmol · L ⁻¹) Concentration														
		0.001	0.01	0.1	1	2	4	6	8	10	20	40	60	80	100	
CaCl ₂	分散性 Dispersive	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	

(2)中性介质环境可以抑制分散性土的分散性能,且高价阳离子对分散性的抑制效果较低价阳离子明显。因为当黏粒与水溶液相互作用时,双电层面和其内部的某些离子与溶液中电荷符号相同的其他离子可互换位置^[2],含有 K^+ 或 Ca^{2+} 的溶液与黏土相互作用,将发生如下离子交换:黏土 $Na_{Na}^{+} + 2K^{+} = 黏土_{K}^{+} + 2Na^{+}$,或黏土 $Na_{Na}^{+} + Ca^{2+} = 黏土_{Ca^{2+}}^{+} + 2Na^{+}$ 。即溶液中的 K^+ 或 Ca^{2+} 置换了黏土颗粒上的 Na^{+} ,减小了颗粒间的距离,使得斥力减小从而减弱了土的分散性。

土在水中分散的实质是土粒间联结力在水作用下的破坏过程,也是土粒间斥力超过吸引力使得相互排斥作用占优势的结果^[16]。一般认为,形成分散性土的必要条件^[2,10]是:①土中的黏土矿物含有一定数量的蒙脱石,并且可交换性钠含量较高;②胶结物的作用不足以抑制膨胀和分散作用;③高 pH 的碱性介质环境。供试土样的蒙脱石含量较低,并且非分散性土 YL 的蒙脱石含量高于分散性土 TX,因而认为蒙脱石并不是决定黏土分散性的主要原因。从土样 YL 与 TX 在物理化学性质上的差异可知, TX 本身黏粒含量较少,且碱性较强、 Na^{+} 含量较高,这是其具有分散性的内因。从碎块试验结果可见,只有在强碱性及适量的 Na^{+} 同时存在时,土块才会表现明显的分散性;而在中性环境条件下,阳离子可以抑制分散性土的分散。

2.2 不同生石灰掺量对黏性土分散性的改良效果

不同生石灰掺量对 TX 土改性的针孔试验和碎块试验结果见表 8,从表 8 可以看出,在针孔试验中,生石灰掺量为 0~2.0 g/kg 时,改性 TX 土仍表现为分散性土,生石灰掺量大于 2.5 g/kg 时则表现为非分散性土;在碎块试验中,生石灰掺量在 0~1.0 g/kg 时,改性 TX 土表现为分散性土;生石灰掺量为 1.5~2.0 g/kg 时,表现为过渡性土;生石灰掺量 ≥ 2.5 g/kg 时,表现为非分散性土。

改性试验结果表明,在 TX 中掺入一定量的生石灰后,该土样的分散性得到显著改善,当生石灰掺量为 2.5 g/kg 时, TX 由分散性土转变为非分散性土。这是因为掺入石灰即加入了大量的 Ca^{2+} ,改变了土样中盐基离子的组成,降低了 Na^{+} 所占的比例,增加了土粒之间的吸引力,从而抑制了土的分散性。此外,掺入生石灰生成的 $CaCO_3$ 有一定的胶结作用,也有利于提高土的抗分散性能。

生石灰取材方便、经济,是很好的掺合改良剂,但剂量过多会提高土体碱性,使得土体变脆,容易产生裂缝,因此出于工程安全、经济考虑,应合理控制生石灰的掺入量。由于生石灰掺量为 2.5 g/kg 时就对分散性土表现出显著的改性作用,考虑到工程实践中低比例掺量难以控制和难以拌匀的实际问题,笔者建议工程施工中实际控制的生石灰掺量以 10~15 g/kg 为宜。

表 8 不同生石灰掺量对分散性黏土 TX 的改良效果

Table 8 Results of pinhole test and crumb test of TX soil samples added different amount lime

生石灰 掺量/ (g·kg ⁻¹)	针孔试验 Pinhole test					碎块试验 Crumb test	
	压力/kPa Water pressure	持续 时间/min Time	最终 孔径/mm Hole diameter	水流颜色 Clour	判定结果 Result	现象描述 Phenomenon description	判定结果 Result
0	0.05	5	3	浑浊 Turbid	分散性土 Dispersive	土块水解后很快扩散到整个量杯底部 Soil disintegrated and diffused quickly in the bottom	分散性土 Dispersive
0.5	0.05	5	2~2.5	浑浊 Turbid	分散性土 Dispersive	土块水解后很快扩散到整个量杯底部 Soil disintegrated and diffused quickly in the bottom	分散性土 Dispersive
1.0	0.05	5	1.2~1.5	浑浊 Turbid	分散性土 Dispersive	土块水解后很快扩散到整个量杯底部 Soil disintegrated and diffused quickly in the bottom	分散性土 Dispersive
1.5	0.05	5	1~1.2	浑浊 Turbid	分散性土 Dispersive	土块水解后四周有微量混浊 Soil disintegrated with little turbid surrounding	过渡性土 Transitional
2.0	0.05	5	1~1.2	浑浊 Turbid	分散性土 Dispersive	土块水解后四周有微量混浊 Soil disintegrated with little turbid surrounding	过渡性土 Transitional
2.5	10.2	5	1	清澈 Clear	非分散性土 Non-dispersive	土块水解后堆积在杯底部,水色清澈 Soil banked up in the bottom after disintegrating,with clear water	非分散性土 Non-dispersive
3.0	10.2	5	1	清澈 Clear	非分散性土 Non-dispersive	土块水解后堆积在杯底部,水色清澈 Soil banked up in the bottom after disintegrating,with clear water	非分散性土 Non-dispersive
5.0	10.2	5	1	清澈 Clear	非分散性土 Non-dispersive	土块水解后堆积在杯底部,水色清澈 Soil banked up in the bottom after disintegrating,with clear water	非分散性土 Non-dispersive
6.0	10.2	5	1	清澈 Clear	非分散性土 Non-dispersive	土块水解后堆积在杯底部,水色清澈 Soil banked up in the bottom after disintegrating,with clear water	非分散性土 Non-dispersive

3 结 论

1)介质环境中,高 pH 值和适当的 Na⁺同时存在是促进黏土分散的重要因素,二者缺一不可。高浓度的阳离子(含 Na⁺),在较高 pH 值的介质环境中也能抑制黏土的分散。对于分散性黏土,含阳离子的中性介质环境能明显减弱其分散性,且离子价位越高效果越明显。

2)本研究表明,黏土的分散机理与黏土本身蒙脱石或伊利石的含量多少关系不大,主要取决于土体的黏粒含量、Na⁺含量和 pH 值。

3)生石灰是良好的改性剂,其掺量在 2.5 g/kg 时对分散性黏土 TX 表现出显著的改性作用。但在实际工程中,笔者建议生石灰掺量以 10~15 g/kg 为宜。

[参考文献]

[1] 王观平,张来文,阎仰中,等. 分散性黏土与水利工程 [M]. 北京:中国水利水电出版社,1999.
Wang G P,Zhang L W,Yan Y Z,et al. Dispersive clay and hydraulic engineering [M]. Beijing: China Hydraulic Power Press,1999. (in Chinese)

[2] 王观平,黏土矿物与分散性黏土 [J]. 黑龙江水专学报,1994,

21(3):21-25.
Wang G P. Clay mineral and dispersive clay [J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 1994, 21(3): 21-25. (in Chinese)

[3] 崔亦昊,谢定松,杨洪凯,等. 分散性土均质土坝渗透破坏形状及溃坝原因 [J]. 水利水电技术,2004,35(12):42-45.
Cui Y H,Xie D S,Yang H K,et al. Character of seepage failure and collapse cause of dispersive clay homogeneous earth dam [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2004, 35(12):42-45. (in Chinese)

[4] 田堪良,张慧莉,樊恒辉. 分散性黏土鉴别方法及工程防治措施研究综述 [J]. 水力发电学报,2010,29(2):204-209.
Tian K L,Zhang H L,Fan H H. Overview on the studies of identification methods of dispersive clay and preventive measures [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(2): 204-209. (in Chinese)

[5] 雷加欣,王玉萍,王云山. 分散性黏土堤坝处理措施 [J]. 黑龙江水专学报,2001,28(4):93-94.
Lei J X,Wang Y P,Wang Y S. Operation measure to distractive clay dam [J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College,2001,28(4):93-94. (in Chinese)

[6] 邓铭江,周小兵,万金平,等. “635”水利枢纽大坝心墙防渗土料分散性鉴定及改性试验研究 [J]. 岩土工程学报,2000,22(6): 673-677. (in Chinese)
Deng M J,Zhou X B,Wang J P,et al. Dispersion appraisal and modification analyses of the impervious soil materials for the

core wall of the dam of “635” water control project [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2000, 22(6): 673-677. (in Chinese)

[7] 李兴国, 许仲生. 分散性土的试验鉴别和改良 [J]. 岩土工程学报, 1989, 11(1): 441-444.

Li X G, Xu Z S. Identification and modification of dispersive clay [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1989, 11(1): 441-444. (in Chinese)

[8] 马秀媛, 徐又建. 青岛市官路水库分散性黏土工程特性及改性试验研究 [J]. 岩土工程学报, 2000, 22(4): 441-444.

Ma X Y, Xu Y J. Behavior of dispersive clay and its limestabilized test in Guanlu reservoir in Qingdao [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2000, 22(4): 441-444. (in Chinese)

[9] 王慧春, 张荣彪, 王春光. 南部引嫩水库分散性黏土的治理 [J]. 水利科技与经济, 2008, 14(1): 73-74.

Wang H C, Zhang R B, Wang C G. Treatment of the dispersive clay in the South Nen River Diversion Dam [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2008, 14(1): 73-74.

[10] 黄熙龄. 特殊土 [C]//王钟琦. 中国土木工程学会第 4 届土力学及基础工程学术会议. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986: 46-52.

Huang X L. Special soil [C]//Wang Z Q. China civil engineering society's fourth session of soil mechanics and foundation works academic conference on special soils. Beijing: China Architecture and Building Press, 1986, 46-52. (in Chinese)

[11] 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.

Fan H H, Wu P T, Li P, et al. Study on identification of dispersive clay soils [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(11): 1310-1316. (in Chinese)

[12] 巨娟丽, 刘俊民, 严宝文. 宁木特水电站大坝防渗土料分散性试验研究 [J]. 路基工程, 2008(2): 33-35.

Ju J L, Liu J M, Yan B W. Study on the dispersion appraisal of the impervious soil materials for the dam of Ningmute Hydropower Station [J]. Subgrade Engineering, 2008(2): 33-35. (in Chinese)

[13] 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]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.

Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. SL251—2000 specification on investigation of natural building material for water conservancy and hydropower engineering [S]. Beijing: China Hydraulic Power Press, 2000. (in Chinese)

[14] The American Society for Testing and Material. D6572—00, standard test methods for determining dispersive characteristics of clayey soils by the crumb test [S]. West Conshohocken: ASTM, 2000.

[15] 樊恒辉, 孔令伟, 李洪良, 等. 马家树水库大坝防渗涂料分散性判别和改性试验 [J]. 岩土力学, 2010, 31(1): 193-198.

Fan H H, Kong L W, Li H L, et al. Study of dispersive identification and treatment with lime of dam soil in Majiushu reservoir [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(1): 193-198. (in Chinese)

[16] 樊恒辉, 高明霞, 高建恩. 高钠盐渍土分散性的探讨 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(7): 77-81.

Fan H H, Gao M X, Gao J E. Discussion on dispersivity of high-sodic saline soil [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2005, 33(7): 77-81. (in Chinese)