

文章编号: 0451-0712(2007)03-0050-05

中图分类号: 416.212

文献标识码: A

二灰稳定低液限粉土底基层性能研究

李振霞, 陈渊召

(长安大学 西安市 710064)

摘 要: 结合子洲~靖边高速公路 4 个合同段低液限粉土的情况, 分别采用试验和理论分析的方法, 对该地区广泛存在的低液限粉土底基层稳定性进行了系统研究。首先对低液限粉土稳定土进行了物理、力学性质试验, 取得了基本的研究参数。然后通过分析当前常用的路面底基层稳定土方案, 对该地区的低液限粉土提出了稳定加固方案, 并分析了加固机理和影响因素。

关键词: 低液限粉土; 底基层稳定性; 稳定加固方案; 加固机理; 影响因素

在粉碎的或原来松散的土中, 掺入足够数量的无机结合料 (包括水泥、石灰、粉煤灰等) 和水, 经拌和、压实和养生后得到的一种强度和耐久性符合规定要求的材料称为稳定土。它是通过掺入无机结合料的方法改善土的物理力学性质, 以满足工程技术要求。我国目前常用的稳定土, 主要有石灰稳定土、水泥稳定土、石灰粉煤灰稳定土、水泥粉煤灰稳定土、石灰水泥粉煤灰综合稳定土、固化剂稳定土等。

1 低液限粉土底基层稳定试验方案

根据不同的土质应选用不同的稳定方法, 针对低液限粉土稳定性差的特殊情况, 有必要对其稳定方法进行系统的研究, 以便将其应用到路面底基层。国内外的研究情况表明, 稳定低液限粉土具有不易形成强度的缺点, 因此综合以往的研究经验, 结合子洲~靖边高速公路 4 个标段低液限粉土的情况, 制定以下研究内容:

基金项目: 交通部西部交通建设科技项目 (200531881213)

收稿日期: 2006-11-06

A Study on EDTA Titration Testing Method of Cement Dosage of Cement Stabilized Granular Soil

SHEN Wei-guo¹, ZHOU Ming-kai¹, YANG Zhi-feng^{2,3}, YU Xiu-feng²

(1. Key Laboratory for Silicate Materials Science and Engineering of Ministry of Education,

Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2. Research Institute of Highway of Ministry of Communication,

Beijing 100088, China; 3. Material Science and Engineering School, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: The cement dosage of the cement stabilized granular soil plays a very important role in the performance of road base course material. The detecting results of cement dosage have a very high dispersal coefficient because the experimentalists have different understanding on the testing method and have different operating level. The dispersal coefficient is too high to act as a controlling index to assure the quality of road base course. In this paper the mechanism of the EDTA titration method is expatiated and the affecting factor on result dispersal coefficient of the cement dosage testing is studied. The conclusion can be drawn that the standard curve obtained from <2.36 mm particles is more precise. The EDTA consumption is very variational when the size of the particle is varied. A method named sieving proportion can reduce the dispersal coefficient and obtain very exact and believable test result.

Key word: cement stabilized granular soil; EDTA titration method; principium; dispersion

(1)根据规范、原材料性质分析和前人研究成果,提出粉土的加固方案;

(2)根据各加固方案室内试验结果,分析加固机理及影响因素,通过技术经济比较确定各标段的粉土加固方案。

1.1 原材料性质

(1)稳定时采用的石灰为熟石灰,有效氧化钙和氧化镁含量为 67.01%,属于 I 级石灰。

(2)粉煤灰的物理及化学性质测定结果见表 1。

表 1 粉煤灰的物理化学性质

SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SiO ₂ +Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ %	烧失量 %
47.0	4.40	30.50	6.13	1.15	81.90	8.60

(3)粉土的物理性质指标。粉土土样取自子洲~靖边高速公路 4 个标段,即 1 标段、3 标段、4 标段和 5 标段。粉土的颗粒分析结果如表 2 所示。

表 2 各标段粉土颗粒分析结果

标段	4	5	3	1
不均匀系数 C _u	3.5	3.38	3.33	3.28
曲率系数 C _c	1.14	1.07	1.01	0.9

①由于不能同时满足不均匀系数 C_u>5 和曲率系数 C_c在 1~3 之间的标准,因此这几个标段的土均为级配不良的土。

②4 个标段的不均匀系数 C_u 相差不是很大,曲率系数 C_c 系数指标大小顺序为 4 标段>5 标段>3 标段>1 标段,可以预测其压实和稳定性能也应遵循相同的顺序。

③从 4 个标段的颗粒分析结果,可以统计出各个标段土中各个粒组的含量,如表 3 所示。从表 3 可以看到:4 个标段的粉粒含量都超过了 75%,其中 5 标段达到了 80%;4 个标段的粘粒含量大小顺序为 4 标段>3 标段>1 标段>5 标段。

表 3 各标段粉土粒组含量

标 段	1	3	4	5
砂粒含量/%	20.28	17.96	17.37	17.66
粉粒含量/%	77.4	79.04	78.37	80.08
粘粒含量/%	2.32	3.0	4.26	2.26

(4)表 4 所列各标段粉土界限含水量。

1.2 粉土的加固方案设计

表 4 各标段粉土界限含水量

标段	1	3	4	5
液限/%	28.54	27.45	27.57	29.52
塑限/%	19.21	18.73	18.76	20.36
塑性指数	9.33	8.72	8.81	9.16

公路路面底基层材料应满足规范规定的强度要求,抗裂性达到最优,而且方便施工。混合料组成设计的基本原则是结合料剂量合理,尽可能采用综合稳定。根据《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034-2000)要求和推荐的配合比,总结前人的研究成果,结合工地材料供应情况,拟用石灰粉煤灰对粉土进行加固稳定,如表 5 所示。

表 5 粉土加固方案

材料类别	代号	配合比/%		
		石灰	粉煤灰	粉土
石灰粉煤灰稳定	LAS-1	8	16	76
	LAS-2	10	20	70
	LAS-3	12	24	64

1.2.1 各类稳定材料的最佳含水量和最大干密度

按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057-94)的规定,采用重型击实试验,确定各种稳定材料的最佳含水量和最大干密度,试验结果如表 6 所示。

表 6 各标段二灰稳定低液限粉土击实试验结果

标段	指标	代号		
		LAS-1	LAS-2	LAS-3
1 标段	最佳含水量/%	16.0	17.2	17.8
	最大干密度/(g/cm ³)	1.70	1.66	1.55
3 标段	最佳含水量/%	15.7	16.2	16.7
	最大干密度/(g/cm ³)	1.72	1.63	1.59
4 标段	最佳含水量/%	15.4	15.6	15.8
	最大干密度/(g/cm ³)	1.77	1.70	1.68
5 标段	最佳含水量/%	16.3	17.3	18.1
	最大干密度/(g/cm ³)	1.70	1.63	1.52

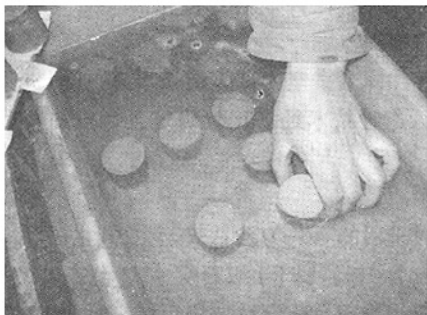
1.2.2 无侧限抗压强度试验

按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057-94)所述方法进行,对 4 个标段不同稳定剂量的稳定土在最佳含水量下制样和试验。试件在(20±2)℃下保湿养生到相应龄期,然后进行室内试验。图 1 所示是试验中所制备试件的养生和浸水。

对 4 个标段粉土进行试验,试验结果按照规范规定的方法进行处理,如表 7 所示。



(1) 标准养护室养护



(2) 试样浸水

图 1 试样养护与浸水

表 7 各标段试件无侧限抗压强度试验结果

MPa

标段	代号	7d 强度	28d 强度	60d 强度	90d 强度	标段	代号	7d 强度	28d 强度	60d 强度	90d 强度
1	LAS-1	0.58	0.66	0.75	0.77	3	LAS-1	0.60	0.70	0.76	0.79
	LAS-2	0.61	0.90	0.98	1.01		LAS-2	0.66	0.98	1.02	1.04
	LAS-3	0.69	0.99	1.14	1.16		LAS-3	0.70	1.16	1.26	1.27
4	LAS-1	0.61	0.73	0.80	0.84	5	LAS-1	0.58	0.63	0.72	0.76
	LAS-2	0.69	1.03	1.12	1.13		LAS-2	0.61	0.88	0.96	1.04
	LAS-3	0.73	1.21	1.32	1.32		LAS-3	0.67	0.97	1.10	1.13

为了对不同稳定材料、不同外掺剂剂量、不同龄期的强度提高效果进行对比,分别绘制各种稳定材料不同龄期抗压强度结果图进行分析,如图 2~图 5 所示。

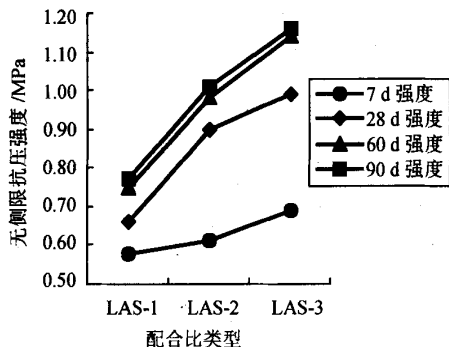


图 2 1 标段二灰稳定低液限粉土配合比、龄期与无侧限抗压强度的关系

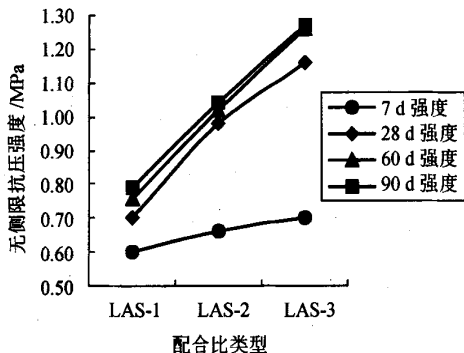


图 3 3 标段二灰稳定低液限粉土配合比、龄期与无侧限抗压强度的关系

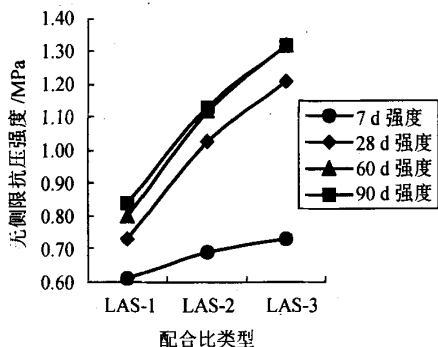


图 4 4 标段二灰稳定低液限粉土配合比、龄期与无侧限抗压强度的关系

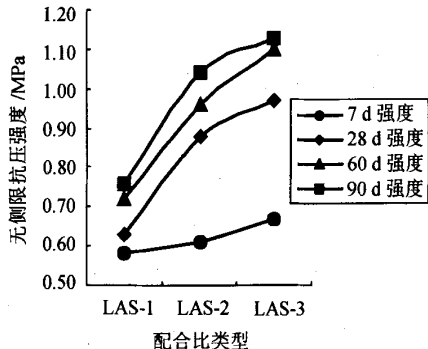


图 5 5 标段二灰稳定低液限粉土配合比、龄期与无侧限抗压强度的关系

由图 2~图 5 分析可得,石灰粉煤灰稳定低液限粉土遵循以下规律。(1) 同综合稳定土相似,随着无

机结合料剂量的增多,稳定土的强度也越大。从 4 个标段来看,塑性指数对强度有很大影响,塑性指数小的粉土其稳定效果要好一些。(2) 二灰综合稳定土的强度随时间而增长,其强度增长规律为:7~28 d 的强度增长速度最快,其次是 28~60 d,但是 90 d 以后强度仍然在增长。根据规范对高速公路路面底基层强度大于 0.6 MPa 的要求,综合考虑经济性要求,得到 4 个标段二灰稳定低液限粉土的最佳配合比,具体是:4 标段、3 标段采用 8 : 16 : 76 的配合比(LAS-1),1 标段、5 标段采用 10 : 20 : 70 的配合比(LAS-2)。

1.2.3 劈裂强度试验

对无侧限饱水抗压强度确定的最佳稳定方案进行劈裂试验,以便用作应力检验。间接抗拉强度试验(劈裂试验)按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057-94)规定的 T0806-94 方法进行,利用测力环式压力机加载,无加载压条,试验形变速率控制为 1 mm/min。各标段的二灰稳定低液限粉土的劈裂强度试验结果如表 8 所示。

表 8 二灰稳定低液限粉土的劈裂强度试验结果

标段	1	3	4	5
劈裂强度/MPa	0.54	0.57	0.61	0.48

从表 8 可以看出,4 个标段的二灰稳定低液限粉土的劈裂强度试验结果,均满足设计劈裂强度不小于 0.25 MPa 的要求,进一步说明选择的最佳稳定方案的合理性。

1.2.4 抗压回弹模量试验

半刚性材料的回弹模量值表明其力学性质,直接影响着公路路面结构设计。在荷载作用下,半刚性材料的应力应变关系是非线性的。但当应力较小时,应力应变曲线可近似地看作是线性的,按回弹应变变量确定的回弹模量值基本上为一个常数。本次试验按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057-94)中承载板法(T0807-94) FJTf 进行,采用杠杆压力仪加载,承载板直径为 50 mm,试件试验前浸水 24 h,无侧限试验,试验结果如表 9 所示。

表 9 各标段二灰稳定低液限粉土的
抗压回弹模量试验结果

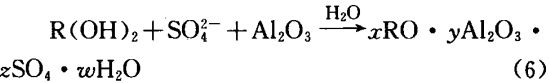
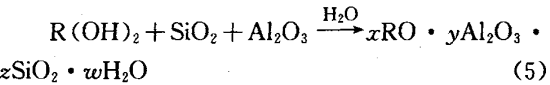
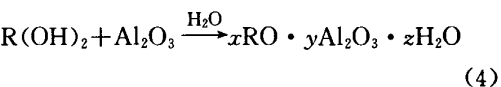
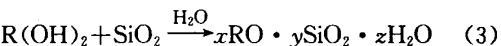
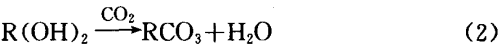
标段	1	3	4	5
抗压回弹模量/MPa	478	490	510	475

从表 9 可以看出,4 个标段的二灰稳定低液限粉土的抗压回弹模量试验结果,均满足设计要求的 24 h 浸水抗压回弹模量不小于 450 MPa 的要求,说明选择的最佳稳定方案是合理的、可行的。

2 无机结合料稳定低液限粉土机理分析

2.1 化学作用

本试验采用的无机结合料稳定剂,即石灰、粉煤灰,添加到低液限粉土中后,从宏观看,粉煤灰与石灰混合以后成为致密的混合结构,具有一定的初始强度和整体性;就微观而言,粉煤灰中的可溶氧化物 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 等成分与石灰的 Ca(OH)₂ 经过化学反应,产生了一系列不溶于水的化合物。其主要反应式如下:



各反应式中 R 为 Ca²⁺ 或 Mg²⁺ 或两者的结合。从反应式可见,石灰消化后生成的氢氧化钙扩散到粉煤灰颗粒表面,逐渐侵蚀玻璃体中的活性氧化钙、氧化铝及氧化铁,生成水化硅酸钙(xCaO · ySiO₂ · zH₂O)、水化铝酸钙(xCaO · yAl₂O₃ · zH₂O)等一系列不溶于水的水化产物。随着水化反应不断向粉煤灰颗粒内部进行,生成更多的水化物,在粉煤灰玻璃体表面及其界面处形成纤维状、针状、蜂窝状及片状晶体,排列不规则,联结未完全水化的粉煤灰颗粒,并填充其空隙。水化反应一直持续到反应物达到平衡时为止,整个过程比较缓慢。

纯粉煤灰颗粒联结作用较弱,其强度主要取决于颗粒之间的摩擦和咬合,即决定于内摩擦角。当掺入石灰后,使得粉煤灰颗粒之间的摩擦和咬合作用减弱,但随着二者之间水化反应的发生,形成的水化物晶体联结粉煤灰颗粒,故使二灰稳定粉土的强度逐渐增大。因此,二灰稳定粉土的强度主要取决于颗粒之间的水化物强度及水化物与颗粒之间的联结

强度。

2.2 物理作用

低液限粉土中主要是粉粒,还有部分的砂粒成分,粘粒很少,级配不好。但是石灰和粉煤灰是很细的粉状物,颗粒明显小于粉土,当与低液限粉土混合在一起,石灰除了和粉煤灰在较短的时间内发生各种反应外,部分石灰还充当了“细粒”的成分,填充在粉土颗粒之间,客观上调整了混合料的级配。从体积上说,这样的颗粒更容易密实,容易形成强度。

2.3 混合料的整体强度

低液限粉土的粘聚力很小,土体本身的强度主要来自土粒之间的摩擦。当用无机结合料稳定时,由于各种反应的生成物在土粒之间形成胶结作用,相当于增加了土体的粘聚力,因而其强度得到了提高。

3 结语

本文通过对子洲~靖边高速公路采用不同稳定剂量的低液限粉土进行试验,并就稳定效果进行了综合分析研究,得出如下主要结论。

(1)经过饱水无侧限抗压强度、劈裂强度、回弹模量试验分析,得出4个标段采用二灰(石灰、粉煤灰)稳定低液限粉土的效果比较好,其最佳配合比为:4标段、3标段采用8:16:76的配合比,1标段、5标段采用10:20:70的配合比。这为施工和理论研究提供了参考。

(2)对4个标段的横向比较可以发现,采用二灰稳定低液限粉土时,粘粒含量、塑性指数这两个物理指标对无机结合料稳定低液限粉土的稳定效果有显著影响,对粘粒含量高、塑性指数小的低液限粉土,无机结合料稳定效果相对较好。

参考文献:

- [1] 高大钊,袁聚云. 土质学与土力学[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
- [2] 邓学均. 路基路面工程[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
- [3] JTJ 057-94,公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].
- [4] JTJ 034-2000,公路路面基层施工技术规范[S].

A Study on Sub-Base Performance for Low Liquid Limit Silt Stabilized by Lime and Fly Ash

LI Zhen-xia, CHEN Yuan-zhao

(Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: On the basis of the low liquid limit silt got from 4 contract sections of Zi-Jing Expressway, the stability of the sub-base are systematically studied by indoor experiments and theoretical analysis. Firstly, the experiments in laboratory are done in order to get the basic physical and technical parameters of the low liquid limit silt. Then, the stabilization and consolidated scheme of the low liquid limit silt is put forward and the consolidated mechanism and influencing factors are analyzed through researching the stabilization method commonly used for sub-base in the district.

Key words: low liquid limit silt; sub-base stability; stabilization and consolidated scheme; consolidated mechanism; influencing factors