

合六高速公路膨胀土工程特性试验研究

蒋金平^{1,2}, 郑明新¹

(1. 华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013; 2. 南昌铁路勘测设计院, 江西 南昌 330002)

摘要: 合六高速公路沿线膨胀土分布广泛, 通过现场取样和室内试验分析, 得到了膨胀土的矿物成分、基本物性指标及压实特性、膨胀特性及强度等反映其工程特性的综合评价指标, 通过击实试验确定了不同击实功条件下弱膨胀土和中膨胀土的最佳含水量, 为该地区膨胀土的科学治理提供了可靠的依据。

关键词: 膨胀土; 物性指标; 压实特征; 胀缩特性; 强度
中图分类号: TU411 文献标识码: A

膨胀土是颗粒高分散、成分以粘土矿物为主、对环境的湿热变化敏感的高塑性粘土。由于膨胀土具有吸水膨胀软化、失水收缩干裂的特性, 给膨胀土地区高速公路建设造成不良影响, 甚至带来长期的危害。国内有关膨胀土的研究比较深入, 从膨胀土的形成机理、分布特征、工程特性^[1-5]、治理措施^[4-6]等方面均已取得了丰富的研究成果, 但由于各地膨胀土在成分上的差异、环境的不同, 具有各自不同的特点。本文以安徽省中部的合肥至六安(简称“合六”)高速公路地段分布的膨胀土作为研究对象来探讨其物性指标及其工程特性。

1 沿线膨胀土基本物性指标

合六高速公路沿线膨胀土分布相当广泛, 主要由第四系上更新统冲积及残坡积的粘土、亚粘土构成。岩性为棕色、棕黄及棕红色粘土、亚粘土, 含铁、锰质结核及薄膜, 呈硬塑状, 柱状节理发育, 节理面光滑。矿物组成主要为石英、斜长石, 粘土矿物以蒙脱石、伊利石、高岭土为主。膨胀土的化学成分以 SiO_2 (67.73%) 为主, 其次为 Fe_2O_3 (5.83%)、 Al_2O_3 (14.50%)、 TiO_2 (0.84%)、 CaO (0.72%)、 MgO (1.11%)、 K_2O (1.90%)、 Na_2O (0.96%)、 FeO (0.14%)。硅铝率($\text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$)一般大于3。

工程沿线膨胀土的膨胀性存在一定的差异, 在水平方向上呈现东部弱、往西膨胀性增强的特点; 在垂向上具有较强的分带性, 自由膨胀率自上而下有增强的趋势。通过对沿线采集的164组土样试验分析与统计表明: 膨胀土粘粒含量 $d_{0.05-0.002}$ 达到95%, 其中 $d < 0.002$ mm的粘粒高达51%, 这些矿物组分有很强的亲水性, 因而含水量发生变化时, 易引起土体体积的变化, 自由膨胀率(F_s)一般在40.0%~62.0%之间, 属中-弱膨胀土。膨胀土基本物性指标统计结果见表1, 物性指标分布特征见图1~图6所示。

表1 膨胀土基本物性指标统计表

统计值别	自由膨胀率(%)	液限(%)	塑限(%)	塑性指数	标准吸湿含水量(%)	<2 μm颗粒含量(%)
均值	49.40	52.01	23.06	28.94	5.34	37.13
最小值	21.00	31.40	18.70	11.70	1.80	21.00
最大值	83.00	79.90	28.80	53.30	9.50	51.00
标准差	12.54	8.93	2.11	7.38	1.41	6.05
数据个数	164	164	164	164	164	164
变异系数	0.25	0.17	0.09	0.26	0.26	0.16

从图1~图6及表1可以看出, 土样均为高液限粘土, 是一种高塑性粘土, 其自由膨胀率、液限、塑限、塑性指数、标准吸湿含水量、粒径小于0.002 mm胶粒含量值的分布等指标均具有近似正态分布的特征, 且区间很大, 说明该地区膨胀土膨胀潜势地区差异较大。其中有50%土样的自由膨胀率

收稿日期: 2007-10-31

作者简介: 蒋金平(1967-), 男, 江西鹰潭人, 高级工程师, 华东交通大学研究生, 从事路基病害研究工作。

F_s 在 40% ~ 58% 之间,液限 w_L 在 46% ~ 56% 之间,塑性指数 I_p 在 24.3 ~ 32.1 之间,标准吸湿含水量在 4.2% ~ 5.3% 之间,粒径小于 0.002 mm 胶粒含量在 33% ~ 37% 之间. 根据膨胀潜势综合指标分

析,可以得出合六高速沿线膨胀土膨胀潜势平均水平在弱一中分界附近,主要以弱偏中、中膨胀土为主.

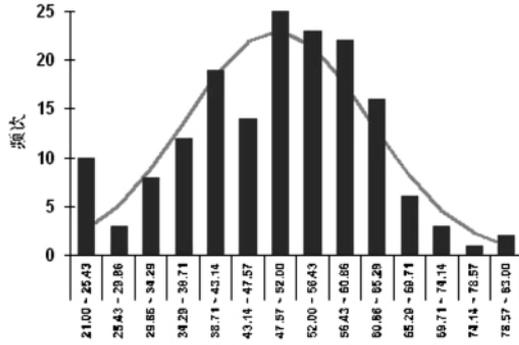


图1 自由膨胀率频次分布图

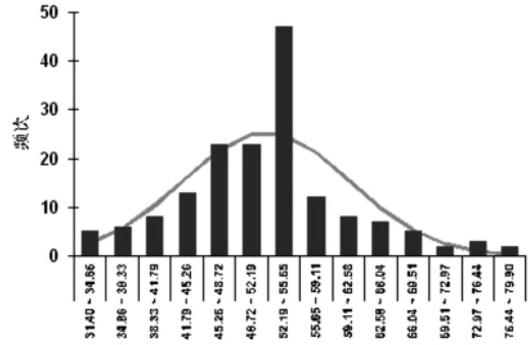


图2 液限频次分布图

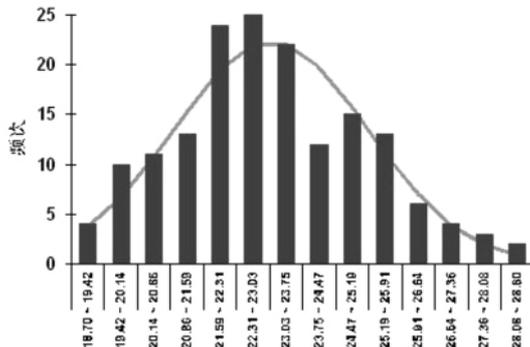


图3 塑限频次分布图

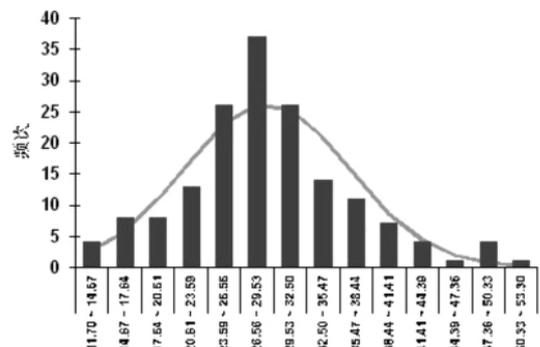


图4 塑性指数频次分布图

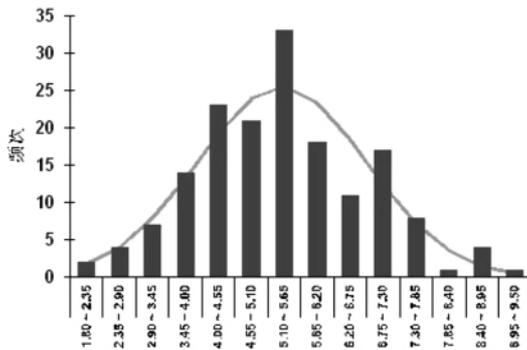


图5 标准吸湿含水量频次分布图

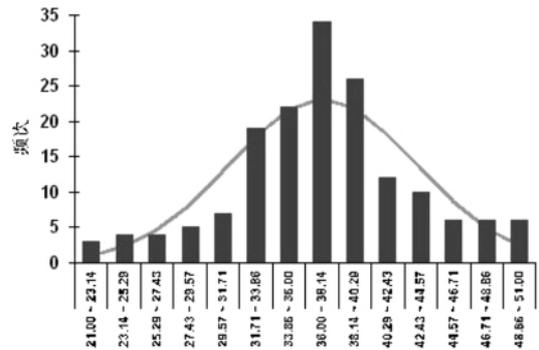


图6 粒径小于 2 μm 胶粒含量频次分布图

2 沿线膨胀土的工程特性

2.1 压实特性

膨胀土的压实过程和压实效果受多种因素的影响,其中含水量和土的性质是决定因素,同时也与压实功能、压实机具和压实方法等有关.图7和图8反映了不同击实功条件下弱膨胀土和中膨胀土击实曲线,相应的最佳含水量与最大干密度见表2.

表2 不同击实功条件下膨胀土的最佳含水量与最大干密度

每层击数 (击)	弱膨胀土		中膨胀土	
	最佳含水量 (%)	最大干密度 (g/cm ³)	最佳含水量 (%)	最大干密度 (g/cm ³)
98	16.6	1.80	19.2	1.74
50	20.8	1.70	21.4	1.68
30	21.5	1.64	22.3	1.59

从图7、图8和表2可以看出,击实膨胀土的最

佳含水量和最大干密度随击实功、膨胀土种类的变化而变化.同一种膨胀土,压实功愈高,土的最大干密度也愈大,而对应的最佳含水量愈小;不同种类的膨胀土,击实功相同条件下的弱膨胀土最大干密度较中膨胀土高,而对应的弱膨胀土最佳含水量较中膨胀土低.单纯从压实的角度,膨胀土的填筑含水量在最佳含水量 $\pm 3.0\%$ 范围内,只要压实功能得到保证,压实度一般能满足要求.

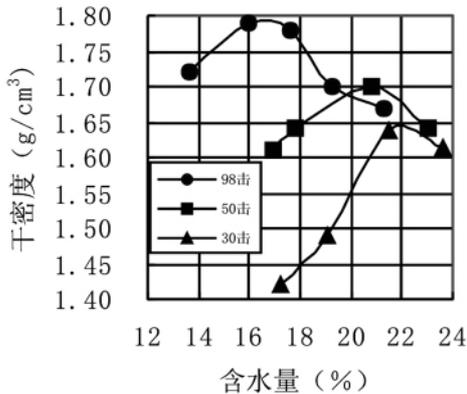


图 7 不同击实功条件的弱膨胀土击实曲线

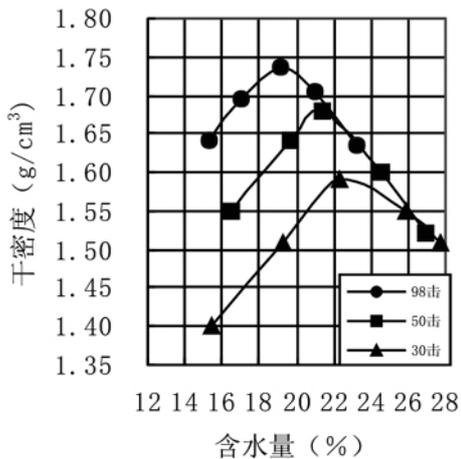


图 8 不同击实功条件的中膨胀土击实曲线

2.2 胀缩特性

胀缩特性是膨胀土最基本的特性之一,而影响其胀缩性能的主要因素为含水量和干密度.一般击实土密实度越高,膨胀量与膨胀力越大,这是膨胀土分布地区路基设计中应特别注意的问题.

1) 击实膨胀土膨胀性指标及其特性

(1) 膨胀率

对于弱膨胀土,在 50 kPa 下的膨胀率为 0.58%~4.8%,无荷膨胀率为 12.9%~23.8%;对于中膨胀土,在 50 kPa 下的膨胀率为 0.80%~6.4%,无荷膨胀率为 11.0%~31.0%.由于击实膨胀土的膨胀变形率受击实含水量与击实干密度控

制,但含水量对膨胀率的影响比干密度显著,且中膨胀土的膨胀量在相近含水量条件下明显较弱膨胀土高.因此,要想控制路基填方段不致产生过大的胀缩变形,必须同时兼顾填筑含水量与干密度两个条件,只有当填筑含水量控制在较最佳含水量稍大、干密度比最大干密度低的条件下,对于填土的稳定性比较有利.

(2) 膨胀力

膨胀力是指土体的体积膨胀受到限制时吸水后所产生的最大应力,它可直接影响路基和边坡的稳定状态.一般膨胀力随起始含水量的增大而减少,随干密度的增大而增大.当击实含水量为 13.5%,压实度为 96%,弱膨胀土膨胀力可达 242 kPa;当击实含水量为 16.2%,压实度为 96%,中膨胀土可达 358 kPa.

2) 击实膨胀土收缩性指标及其特性

对于弱膨胀土,体缩率为 10.0%,收缩系数为 0.23;而对中膨胀土,体缩率为 15.0%,其收缩系数为 0.36.膨胀土体缩率随含水量增加而增大,近似呈直线关系,收缩系数也随含水量增加而增大;而干密度对收缩指标影响甚微;但中膨胀土的收缩系数和体缩率均较弱膨胀土高,尤其是体缩率在相近含水量条件下远较弱膨胀土大.因此,从膨胀土的收缩特性考虑,膨胀土路基填筑含水量又不宜超过最佳含水量过多.

2.3 强度特征

1) 弱膨胀土的 CBR 特征

弱膨胀土 CBR 值随含水量的变化规律类似于击实曲线,表 3 是不同击实功下弱膨胀土 CBR 值.在击实功较大时(每层击数 $N=98$),其 CBR 最大值所对应的含水量比最佳含水量大 4.7%.当起始含水量比最优含水量大 2%~4.7% 范围内,其压实度可以达到下路堤要求的 93%,CBR 值能达到 3.1% 以上,可以用于直接填筑下路堤.

表 3 不同击实功下弱膨胀土 CBR 值特征指标

每层击数(击)	最大 CBR 值			最大干密度下的 CBR 值		
	含水量 (%)	干密度 (g/cm^3)	CBR (%)	最佳含水量 (%)	最大干密度 (g/cm^3)	CBR (%)
98	21.3	1.67	5.8	16.6	1.80	2.9
50	23.0	1.64	4.6	20.8	1.70	4.3
30	23.6	1.61	4.1	21.5	1.64	3.7

2) 中膨胀土 CBR 特征

对于中膨胀土,其 CBR 值均较小,见表 4.虽然在含水量很高时其 CBR 值接近于 3.0%,但室内击

实试验表明,在如此高的含水量下进行压实,其压实度均小于90%,且易出现“橡皮土”现象。对于中膨胀土,无法同时满足填筑路基压实度和CBR值的规范要求,常采用改性处理措施,不宜直接填筑路堤。

表4 膨胀土 CBR 值特征指标

每层击数(击)	浸泡前		浸泡后		膨胀量 (%)	CBR (%)
	含水量 (%)	干密度 (g/cm ³)	含水量 (%)	干密度 (g/cm ³)		
98	13.7	1.61	33.4	1.47	9.5	1.0
	16.2	1.62	31.3	1.48	9.2	1.2
	19.1	1.65	27.5	1.53	7.7	1.6
	22.1	1.65	26.0	1.60	3.3	2.7
	24.8	1.64	27.5	1.53	3.0	2.7
	30.3	1.45	46.4	1.43	1.3	3.4
	36.1	1.32	57.4	1.29	1.7	1.9

3) 强度特性

膨胀土的强度是路堤及边坡稳定性设计的重要指标,通过对原状土和压实土的剪切试验及压缩试验,得到路堑边坡稳定性分析的强度参数指标及膨胀土的抗剪强度和抗压强度值(见表5~表7)。

(1) 原状膨胀土抗剪强度特性

表7 击实膨胀土无侧限抗压强度

土类	含水量 (%)	干密度 (g/cm ³)	无侧限抗压强度 (kPa)	饱和和无侧限抗压强度 (kPa)	土类	含水量 (%)	干密度 (g/cm ³)	无侧限抗压强度 (kPa)	饱和和无侧限抗压强度 (kPa)
中膨胀土	16.2	1.62	786.4	9.3	弱膨胀土	13.5	1.67	1061.2	4.8
		1.64	895.5	9.2			1.69	1280.5	5.5
		1.67	1017.0	12.7			1.73	1521.9	8.9
	19.2	1.62	629.6	6.4		16.5	1.67	830.0	8.5
		1.64	754.6	11.5			1.69	951.5	7.0
		1.67	803.0	12.6			1.73	933.5	9.1
		1.74	973.6	15.6			1.80	1295.8	5.8
	22.2	1.62	378.3	8.8		19.5	1.67	418.0	10.6
		1.64	427.1	14.9			1.69	405.9	14.3
		1.67	493.8	8.7			1.73	527.0	16.3

从上表可以看出,无论是弱膨胀土还是中膨胀土,它们的无侧限抗压强度在最优含水量附近取得最大,而饱和和无侧限抗压强度在最优含水量+3%附近取得最大。另外,现场若按最优含水量+3%控制进行碾压,可以获得浸水强度的最大化。

3 主要结论

(1) 合六高速公路膨胀土主要为弱膨胀土、中膨胀土。

表5 路堑边坡稳定性分析强度参数推荐值

土样	密度 (g/cm ³)	含水量 (%)	峰值强度		残余强度	
			C _p (kPa)	φ _p (°)	C _r (kPa)	φ _r (°)
弱膨胀土	2.00	19.6	59.5	26.5	19.2	35.8
中膨胀土	1.91	21.2	67.5	43.0	28.2	43.8

(2) 压实膨胀土室内抗剪强度特性

表6 压实膨胀土抗剪强度

土类	含水量 (%)	干密度 (g/cm ³)	饱水剪		非饱水剪	
			C (kPa)	φ (°)	C (kPa)	φ (°)
中膨胀土	22.2	1.62	24.7	14.9	76.3	35.7
		1.64	18.3	19.2	88.0	32.6
		1.67	26.9	6.4	153.3	12.5
弱膨胀土	16.5	1.69	14.8	11.4	158.4	37.5
		1.73	12.1	11.9	215.7	10.6
		1.80	11.6	12.9	274.2	24.1

从上表可以看出,在非饱和条件下,中膨胀土和弱膨胀土具有较高的抗剪强度,一旦浸水使其含水量增加到接近饱和,会使其抗剪强度指标大幅度下降。

(3) 无侧限抗压强度

(2) 弱膨胀土,压实含水量控制在最优含水量+3%,其压实度和强度(CBR)可以达到一致,可用于直接填筑下路堤。

(3) 中膨胀土无法同时满足填筑路基压实度和CBR值的规范要求,采用中膨胀土作为填料时应经改性后方可填筑。

(4) 鉴于膨胀土性质的复杂多变,针对具体工程,应开展有针对性的试验,提出切实可行的处置方案,才能保证工程建设的成功。

参考文献:

- [1] 杨和平,曲永新,郑健龙. 宁明膨胀土研究的新进展[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(9): 981-987.
- [2] 郭爱国,刘观仕,孔令伟,等. 高速公路建设中膨胀土特性的试验研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(1): 397-403.
- [3] 李献民,王永和,杨果林,等. 击实膨胀土工程变形特征的试验研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(5): 826-830.
- [4] 胡明鉴,刘观仕,孔令伟,等. 高速公路膨胀土路堤处治后期土体性状试验验证[J]. 岩土力学, 2004, 25(9): 1418-1422.
- [5] 杨果林,范臻辉. 常德-张家界高速公路慈利东互通段膨胀土工程特性及改性研究[J]. 工程地质学报, 2004, 12(3): 268-273.
- [6] 王保田,武良金,向文俊,等. 改良膨胀土筑堤技术研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(1): 87-90.

Test Investigation of Expansive Soil Engineering Characteristics of He - Liu Expressway

JIANG Jin - ping^{1,2}, ZHENG Ming - xin¹

(1. Institute of Civil Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013;
2. Survey & Design Institute of Nanchang Railway Administration, Nanchang 330002, China)

Abstract: Expansive soil is distributed widely along He - Liu expressway. The comprehensive evaluating indicators of the expansive soil on engineering characteristics, such as mineral components, the basic index of physical appearance, the compacted property, swell - shrink characteristics and strength and so on, are obtained by spot sampling and laboratory tests. The optimum moisture contents of weak and medium expansive soils are determined under the different compacted power. The reliable evidence is provided for the scientific improvement in expansive soil area.

Key words: expansive soil; physical indicators; compacted property; swell - shrink characteristics; strength

(责任编辑:王全金)

简讯:

《铁路环境振动与噪声》研究获教育部工程研究中心建设项目立项

接教育部《关于下达 2007 年度教育部工程研究中心建设项目立项计划》的通知,我校雷晓燕教授主持负责的《铁路环境振动与噪声》项目,已在教育部工程研究中心正式立项。