

文章编号: 0451-0712(2006)08-0030-04

中图分类号: U416.1

文献标识码: B

# 皖西中膨胀土石灰改性试验研究

邱歆平<sup>1</sup>, 杨明<sup>2</sup>, 陈善雄<sup>3</sup>, 冯美果<sup>3</sup>

(1. 安徽瑞通交通开发有限公司 六安市 237000; 2. 合肥工业大学 合肥市 230009;

3. 中国科学院武汉岩土力学研究所 武汉市 430071)

**摘要:** 针对皖西典型中膨胀土及其石灰改性土,进行了系统的物理特性、胀缩特性、强度特性试验。试验结果表明:中膨胀土具有较强的吸水膨胀软化特性,其 $CBR$ 值低于3%,不能满足路基对填料的强度要求,用作路基填料必须改性;经石灰改性后,其自由膨胀率、塑性指数显著降低,亲水能力大幅度下降,水稳定性较好,能有效抑制其胀缩潜势和提高土体强度,能满足路堤填筑的要求。中膨胀土石灰改性的质量掺入比按6.0%控制,压实含水量以控制在最优含水量 $\pm 3\%$ 范围内为宜。

**关键词:** 膨胀土; 石灰改性土; 掺入比;  $CBR$ 值

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,是一种典型的非均匀三相介质。膨胀土中最主要的粘土矿物是蒙脱石(Montmorillonite)、伊利石(Illite)和高岭石(Kaolinite),这些矿物是造成膨胀土吸水膨胀软化、失水收缩干裂的物质基础。由于膨胀土的这一不良工程特性,使得膨胀土地区的公路沿线上,由于大气物理风化作用和湿胀干缩效应,边坡土块崩解,土体抗剪强度衰减,造成边坡的溜塌、滑坡,线路的不均匀下沉、翻浆、冒泥等病害现象十分突出。

针对膨胀土这类不良地质现象,《公路路基设计规范》(JTGD30-2004)<sup>[2]</sup>做了专门的规定:强膨胀土不应作为路基填料,而中膨胀土作为路床填料时应改性后方可填筑;用作路堤填料则可采用改性或其他如防水、封闭等措施后方可填筑。

膨胀土改性的关键在于改变土中粘土矿物的亲

水性<sup>[5]</sup>。目前,膨胀土改性主要是以化学方法为主,如掺石灰、水泥、粉煤灰、氧化钠、氯化钙和磷酸等来稳定膨胀土,其中掺石灰处理膨胀土是最普通和有效的方法<sup>[3]</sup>。

本文依托于周(集)六(安)高速公路项目,对典型中膨胀土及其石灰改性土进行了系统实验,探讨中膨胀土作为路基填料的可行性以及石灰改性的效果和石灰改性的最佳掺入比。

## 1 土样的采集及试验方案

土样采集于周(集)六(安)高速公路K165+300桩号附近,取土深度为1.5m,为棕黄色粘土,自然状态下呈半坚硬状态,滑感较强,肉眼可看到少量的钙质结核。

室内土工试验按《公路土工试验规程》(JTJ 051-93)<sup>[1]</sup>进行,击实试验采用重型击实试验法(锤质

收稿日期:2006-03-14

## 3 防护措施建议

根据路段区工程地质条件,分为暂时稳定顺层边坡和失稳边坡防护建议。

对于暂时稳定顺层边坡,采用以预应力锚索地梁、抗滑桩板墙为主,削坡为辅的防治方案。并与基础工程设计密切配合,尽可能使基础工程,尤其是深部嵌岩桩同时起到边坡抗滑作用。并且坡顶和坡底附近设置截(排)水沟。对于岩体破碎的顺向坡,施

工过程中应注意首先进行锚固,然后再开挖,以避免对原位岩体的扰动。

对于已经产生滑动、坍塌等破坏现象的边坡,首先对边坡上部区域进行局部清方卸载,然后再采用预应力锚索地梁、抗滑桩板墙等方法对边坡中下部区域进行加固。若坡脚在318国道路基处有临空面出露,可考虑在坡脚处设置抗滑桩或预应力锚索抗滑桩等措施。

量为4.5 kg,落高45 cm,每层98击),备样采用干土法(土不重复使用),加州承载比(CBR)试验、无侧限抗压强度试验采用LD-Ⅱ型路强仪,直剪试验采用应变控制式四联直剪仪。

## 2 中膨胀土的物理力学性质

对该土样进行了包括物理性质指标、胀缩性指标、强度指标的系统试验,具体结果见表1。

表1 膨胀土物性指标

类别	自由膨胀率 $\delta_{ef}/\%$	液限 $\omega_L/\%$	塑限 $\omega_p/\%$	塑性指数 $I_p/\%$	$<2\ \mu\text{m}$ 胶粒含量/ $\%$	土定名
棕黄色土	51	63.2	24.9	38.3	50	CH

表2 压实膨胀土胀缩性指标

土类	含水量/ $\%$	干密度 $g \cdot \text{cm}^{-3}$	无荷膨胀率/ $\%$	50 kPa 下膨胀率/ $\%$	膨胀力/kPa	收缩系数	体缩率/ $\%$	缩限/ $\%$	胀缩总率/ $\%$
中膨胀土	20.9	1.66	23.0	4.8	530	0.32	13.7	11.5	6.0

注:胀缩总率计算中取工作系数  $K$  为 0.78。

表3 膨胀土击实试验和 CBR 试验结果

土类	最优含水量/ $\%$	最大干密度 $g/\text{cm}^3$	试验前		试验后		CBR/ $\%$	膨胀量/ $\%$
			含水量/ $\%$	干密度 $g/\text{cm}^3$	含水量/ $\%$	干密度 $g/\text{cm}^3$		
中膨胀土	20.9	1.66	16.2	1.63	31.3	1.48	1.2	9.20
			22.1	1.65	26.0	1.60	2.7	3.30

## 3 中膨胀土石灰改性试验

为了探讨中膨胀土改性效果和工程特性,并给出石灰改性的最佳配合比,进行了3种不同石灰掺入比的物理特性试验、胀缩特性试验、强度特性试验,生石灰掺入的质量百分比分别为3.0%、5.0%、7.0%。

### 3.1 改性土物理特性试验研究

经石灰改性后的中膨胀土的基本特性指标见表4。不同掺灰比的中膨胀土颗粒分析曲线见图1。

表4 石灰改性后中膨胀土的物理特性

掺灰比/ $\%$	液限/ $\%$	塑限/ $\%$	塑性指数 $I_p/\%$	$<0.005\ \text{mm}$ 粘粒含量/ $\%$	$<0.002\ \text{mm}$ 胶粒含量/ $\%$
3	57.5	33.0	24.5	38.0	22.0
5	58.7	34.9	23.8	33.5	20.0
7	53.4	31.6	21.8	33.0	19.5

从表4可以看出,改性土的液限变化不大(改性前为63.2%),塑限增大明显(改性前为24.9%),塑性指数较改性前有较大降低(改性前为38.3%),可见其亲水性能已大幅度下降;改性后中膨胀土中

从表1可以看出,该土样自由膨胀率为51%、液限高达63.2%、塑性指数为38.3%、土中粒径 $<0.002\ \text{mm}$ 的胶粒含量达到50%,参考《公路路基设计规范》(JTGD30-2004)<sup>[2]</sup>推荐的分类标准,该类土可定为中膨胀土。

由表2可以看出,该中膨胀土具有较强的膨胀性,处于最大干密度和最优含水量状态下,其无荷膨胀率为23.0%,50 kPa下膨胀率为4.8%,胀缩总率达到6.0%,远远大于规范规定的不超过0.7%的要求。分析表3,可知在最优含水量附近,其吸水膨胀软化特性极强,膨胀量超过3%,而CBR值低于3%,工程性质较差,不能满足路基对填料的强度要求。如用于填筑路堤,需要对中膨胀土进行改性处理。

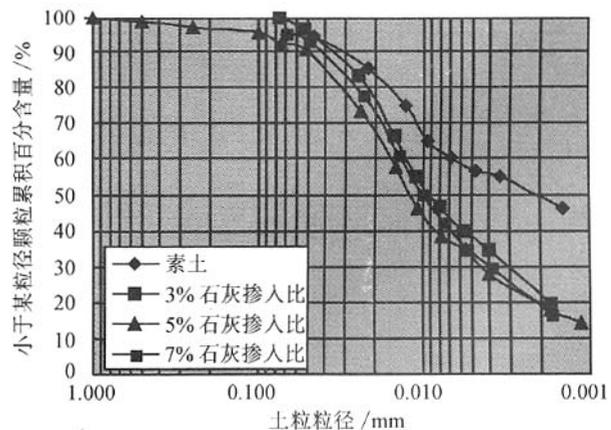


图1 不同掺灰比的中膨胀土颗粒分析曲线

粒径小于0.002 mm的胶粒含量远远小于改性前(改性前为50%)。分析图1也可以看出,经石灰改性后,土样的细颗粒含量比素土明显减少,且颗粒级配曲线更趋于合理。所以,改性后砂化效果显著,物理特性改变明显,且随着掺灰比的增加,其效果越显著。

### 3.2 击实特性

对素土和改性土样按照重型击实标准进行了击实试验,以探讨改性前后最大干密度和最优含水量的变化规律。素土和改性土的击实试验结果如图 2 所示,对应指标如表 5 所示。

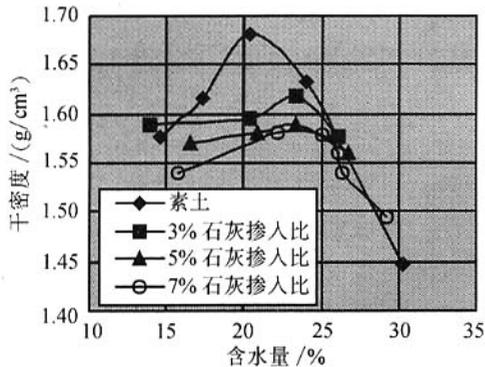


图 2 不同掺灰比的中膨胀土击实曲线

表 5 石灰改性土的最佳含水量与最大干密度

掺灰比/%	最佳含水量/%	最大干密度/(g/cm <sup>3</sup> )
0	20.9	1.68
3	23.1	1.62
5	23.1	1.59
7	23.5	1.58

表 6 石灰改性土胀缩特性指标

石灰掺合比 %	含水量 %	50 kPa 压力下膨胀率/%	自由膨胀率 %	无荷膨胀率 %	膨胀力 kPa	收缩系数	缩限 %	体缩率 %	胀缩总率 %
3	23.1	-1.07	32	1.23	9.4	0.26	15.1	7.8	-1.07
5	23.1	-0.58	18	0.35	1.3	0.25	16.2	6.7	-0.58
7	23.5	-0.94	17	0.025	0	0.15	18.3	5.4	-0.94

### 3.4 改性土强度特征试验研究

为了解改性土的强度特征,对不同石灰掺入比

的改性土进行了饱水、不饱水条件下的无侧限抗压强度和直剪强度试验,试验结果见表 7。

### 3.3 改性土胀缩性特征试验研究

从表 5 可以看出,掺加石灰后,改性土的最佳含水量比改性前大约高出 3%,最大干密度比改性前略有降低。且随着掺灰比的增加,最佳含水量略有升高,而最大干密度有所下降。出现这一现象主要是由于石灰的密度比土小,且改性后土颗粒间的联结减弱,难以压实到改性前的密实状态。另外,从图 2 可以看出,改性土的击实曲线都较素土平缓,这说明满足同一压实度时,改性土的含水量可控制范围较素土宽,尤其是掺灰比为 3% 和 5% 这两种情况。这对控制路基的压实是非常有利的。

掺石灰改性后中膨胀土的胀缩性指标如表 6 所示。从表 6 可以看出,处于最优含水量和最大干密度条件下,3 种改性土的各项胀缩性指标较改性前均有大幅度下降。掺灰比为 3% 时,无荷膨胀率锐减为改性前的 5%,且随着石灰掺入比的增大而显著减小;50 kPa 压力下膨胀率、胀缩总率均变为负值;膨胀力约为改性前的 2%,当石灰掺入比为 7% 时膨胀力变为 0,不具有膨胀土的特性;其他指标均有不同程度地降低。可见,经石灰改性后,膨胀土的胀缩性大幅度降低,工程性质得到很大程度地改善。

表 7 石灰改性中膨胀土强度特性

石灰掺合比 %	无侧限抗压强度/kPa		直接快剪(饱水)		直接快剪(非饱水)		压缩试验	
	饱水	非饱水	c/kPa	φ/(°)	c/kPa	φ/(°)	压缩模量 MPa	压缩系数 MPa <sup>-1</sup>
3	125.0	179.3	45.7	36.1	121.4	44.8	17.7	0.095
5	661.0	1 156.0	75.8	55.1	230.9	43.9	23.2	0.073
7	719.1	864.2	59.8	61.3	—	—	22.9	0.078

从表 7 可以看出,经石灰改性后,其无侧限抗压强度、抗剪强度在饱水和非饱水状态下均具有较高

值,比未改性时有大幅度提高,且随着掺灰量的增加而增加。饱水后强度降低的幅度很低,遇水后强度不

会发生明显的衰减,具有很好的水稳定性。同时,压缩性也得到很好的改善,压缩模量比未掺灰时显著增大。

*CBR* 值能表征材料抵抗局部荷载作用变形的能力,是一种评定土基承载能力的强度指标。为了探讨素土及其改性土的 *CBR* 值强度特征,在同一击实功(98 击)下,对不同掺灰比的改性土和素土进行了不同含水量下的 *CBR* 值试验,试验结果见图 3 及表 8。

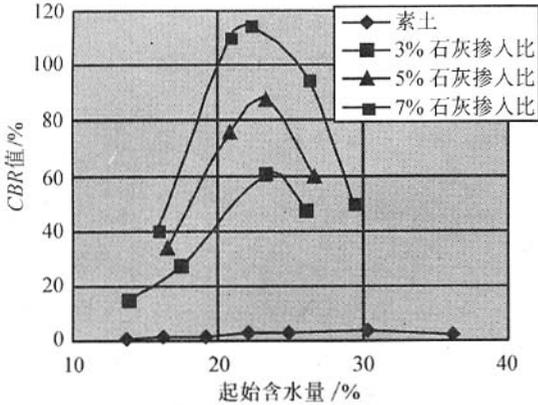


图 3 *CBR* 值与起始含水量变化关系

表 8 中膨胀土 *CBR* 值特征指标

石灰掺入比 %	最大 <i>CBR</i> 值			最大干密度下的 <i>CBR</i> 值		
	含水量 %	干密度 g/cm <sup>3</sup>	<i>CBR</i> %	最佳含水量 %	最大干密度 g/cm <sup>3</sup>	<i>CBR</i> %
0	30.3	1.45	3.4	20.9	1.66	2.6
3	23.3	1.62	60.1	23.1	1.62	—
5	23.4	1.59	87.5	23.1	1.59	—
7	22.2	1.58	114.7	23.5	1.58	—

对 *CBR* 值试验结果进行分析,可以得出如下结论。

(1) 对于未改性素土,其 *CBR* 值很小,最大值仅为 3.4%,表明浸水后强度衰减十分明显,对应的含水量高达 30.3%,远远超过最优含水量(20.9%)。室内击实试验表明,在如此高的含水量下进行压实,其压实度难以达到路用要求,且粘锤现象严重,易出现“橡皮土”。另外,素土在最佳含水量附近压实,虽然压实度可以满足要求,但浸水后强度衰减显著且水稳定性差。所以,素土不能同时满足压实度和 *CBR* 值的要求,不宜直接用于路基填筑。

(2) 对于改性土,其 *CBR* 值较素土有较大幅度的提高,在最优含水量附近压实的 *CBR* 值均大于 60%,且随着掺灰比的增加而增大。掺灰比为 7% 时,

*CBR* 值达到 114.7%,说明改性后强度有了显著的提高。且由表 8 可以看出,*CBR* 最大值对应的含水量和干密度与最优含水量和干密度非常接近,说明在一定含水量范围内改性土压实度和强度(*CBR*)可以达到一致。

(3) 素土和改性土的膨胀量都随着起始含水量增加而减小。在同一含水量条件下,改性土的膨胀量要比素土小得多,且随着掺灰比增加膨胀量逐渐减小。这进一步说明,经改性后,膨胀土的胀缩特性得到了很好地改善。

综合分析素土和改性土各项指标的试验结果可知:用石灰改性中膨胀土效果显著,能有效抑制其胀缩潜势和提高土体强度,能满足填筑路堤的设计要求。考虑到在路堤填筑施工过程中,石灰和中膨胀土掺合均匀会比室内试验稍差,建议石灰改性中膨胀土的质量掺合比为 6.0%,压实含水量宜按不超过最佳含水量的  $\pm 3\%$  范围进行控制。

#### 4 结语

本文针对未改性素土、石灰改性土进行了系统的物理力学性质试验,试验成果表明:中膨胀土的胀缩性、强度(*CBR*)均不能满足规范的要求,用作路基填料必须改性;用石灰改性中膨胀土效果显著,能有效抑制其胀缩潜势和提高土体强度,能满足填筑路堤的设计要求。石灰掺入比为 3%、5%、7% 的石灰改性土,*CBR* 值均大于 10%,且压实度和 *CBR* 值可以达到很好的一致,满足路用要求。考虑到在路堤填筑施工过程中,石灰和中膨胀土拌和均匀程度会比室内试验稍差,建议石灰改性中膨胀土的质量掺合比为 6.0%,其压实含水量宜按不超过最优含水量的  $\pm 3\%$  范围进行控制。

#### 参考文献:

- [1] JTJ 051-93,公路土工试验规程[S].
- [2] JTG D30-2004,公路路基设计规范[S].
- [3] 陈善雄,孔令伟,郭爱国. 膨胀土工程特性及其石灰改性试验研究[J]. 岩土力学,2002, 23.
- [4] 孔令伟,郭爱国,赵颖文,陈善雄. 荆门膨胀土的水稳定性及其力学效应[J]. 岩土工程学报,2004,26(6).
- [5] 刘特洪. 工程建设中的膨胀土问题[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [6] 郭兴伦,秦诗平. 膨胀土作为路堤填料的应用探讨[J]. 交通科技与经济,2004,(6).