

文章编号: 1004-051X(2002)01-0016-04

# 南宁市快速环道膨胀土掺灰处理的试验研究

高新, 黄娟

(南宁市城市建设投资发展总公司, 广西 南宁 530031)

**摘要:** 掺灰处理提高土的强度长期以来一直是国内外采用的有效方法。通过对掺加生石灰、粉煤灰的处理方法进行了试验研究, 提出了对该段膨胀土改良的具体措施。

**关键词:** 膨胀土; 改良; 试验

**中图分类号:** U412.221 **文献标识码:** B

## Test and Study on Expansive Soil Treatment by Mixing with Ashes during Construction of Nanning Express Ring Road

GAO Xin, HUANG Juan

(Nanning City Construction and Investment Development Company, Nanning Guangxi 530031, China)

**Abstract:** For many years in China, the ash mixture treatment has been an effective method to improve the soil intensity. The paper brings forward the specific measures for expansive soil treatment after the test and study on mixture with quicklime and fly ash.

**Key words:** expansive soil; improvement; test

南宁市快速环道北环工程穿越邕江Ⅱ、Ⅲ级阶地及南宁东北低山丘陵地带。工程地质分区为“垄岗低丘泥岩胀缩土区”, 基岩是厚层第三纪北湖组  $E_3^1$  湖相沉积泥岩、粉砂质泥岩, 以强风化或风化残积出露地表, 这就是南宁市知名的“强膨胀土”, 因此该路段路基膨胀土的处理问题将不容回避。

### 1 掺灰改良膨胀土的机理分析

国内外各类工程对膨胀土处理的方法可归纳为三种途径: ①在气候影响带范围内, 以各种工程措施避免或减缓水份进出土体; ②将胀缩强烈的土体改良为胀缩性较小的土体, 以及挖除换填的方法。

#### 1.1 石灰的作用

膨胀土膨胀的主要原因是交换性阳离子和层间底面的水化能作用, 膨胀土掺入石灰后膨胀土性质改变的原因是: 石灰水化产生大量的  $\text{Ca}^{2+}$ , 膨胀矿物(蒙脱石、伊利石)吸水的同时, 也把大量的  $\text{Ca}^{2+}$  和溶液中析出的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  吸附到其颗粒周围, 矿物颗粒晶格边缘破键产生的电荷吸附  $\text{Ca}^{2+}$  来取得平衡, 这些作用形成的石灰水化物在膨胀土矿物表面聚集, 这个过程与  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  硬化过程同时进行。粘结和聚集在膨胀物表面的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  经硬化结晶, 形成一种防止膨胀土颗粒内水外散和外水内浸的固化层, 这样, 膨胀土的亲水性降低, 稳定性增强, 膨胀土中掺入适量的石灰的方法是一种经济可行、实施方便的方法, 值得推广。

#### 1.2 粉煤灰的作用

一般现有粉煤灰颗粒平均粒径比膨胀土颗粒粒径大。在膨胀土中掺加适量的粉煤灰, 其目的是改变膨胀土原有的土颗粒级配, 使土体的渗透能力增强, 提高了土体的保水能力, 使土的含水量变化不大, 从而减弱膨胀土的胀缩能力, 达到土质改变的目的。

收稿日期: 2002-01-25

作者简介: 高新 (1962-), 男, 广西博白人, 总经理, 结构工程研究生, 从事路桥建设管理与研究; 黄娟 (1970-), 女, 广西浦北县人, 总工办副主任, 从事工程检测试验及技术管理。

2 掺石灰、粉煤灰对膨胀土性质影响的室内试验

2.1 室内试验土样的选择及试验条件

试验土料取自北环工程 K12+500 附近, 共 9 组不同土样, 通过试验判别有 4 种土样为膨胀土, 室内将这 4 种土料混合作为试验土样, 按重量百分比掺入生石灰、粉煤灰, 见表 1 所示。然后对所配制的混合土进行击实、胀缩性等试验, 以研究石灰、粉煤灰对膨胀土的改良效果。

本试验在数据分析中所讨论的掺灰对膨胀土特性的影响的规律性, 均是土样在最优含水量时通过重型击实试验制备后进行相应试验的结果。

2.2 击实试验

对每个配比分别按 5 个不同含水量击实 5 个样, 据此绘制各配比的击实曲线, 进而求得各配比的最佳含水量和最大干密度。本次试验采用的击实仪为 JLS-1 型标准击实仪, 击实方式为重型击实。试验按中华人民共和国交通部标准“公路土工试验规范”JTJ 051-86 操作进行。试验结果见表 1 和图 1、图 2。

2.3 胀缩性试验

据击实试验求得的最大干密度和最佳含水量, 按

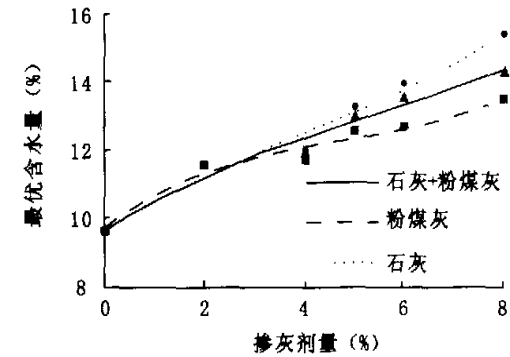


图 1 改性土最优含水量与掺灰量的关系曲线

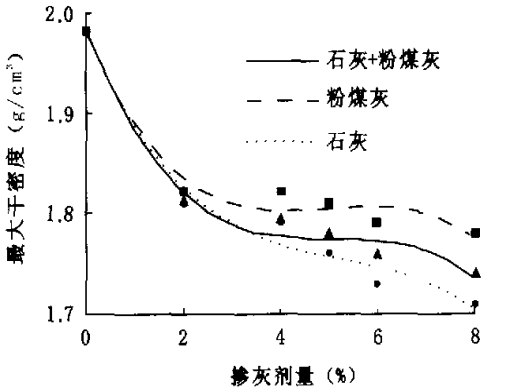


图 2 改性土最大干密度与掺灰量的关系曲线

表 1 土工试验总表

掺灰种类	掺灰百分量	含水量 $\omega$ (%)	密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	液限 $w_L$	塑限 $w_P$	塑性指数 $I_p$	孔隙比 $e$	压缩模量 $E_s$ (MPa)	压缩系数 $a_{1-2}$ (MPa <sup>-1</sup> )	抗剪强度指标		自由膨胀率 $F_s$ (%)	50 kPa 下膨胀率 $e_{p50}$ (%)	缩限 (%)	竖向收缩率 $\delta_s$ (%)	收缩系数 $C_s$	胀缩总率 $e_{ps}$ (%)	定名
										凝聚力 $C$ (kPa)	内摩擦角 $\varphi$ (°)							
石灰	0%	9.64	2.17	42.56	19.13	23.43	0.45	10.87	0.13	248.2	44.60	61	8.76	6.40	1.69	0.36	8.76	粘土
	2%	11.50	2.02	43.69	24.07	19.63	0.50	13.02	0.11	257.8	53.10	55	1.15	8.50	0.58	0.17	1.15	粘土
	4%	12.00	2.00	43.73	26.18	17.56	0.51	16.88	0.09	268.8	55.59	41	0.37	8.30	0.48	0.10	0.37	粘土
	5%	13.32	1.99	44.68	28.46	16.23	0.52	17.53	0.08	272.0	48.91	39	0.19	7.70	0.45	0.08	0.19	粉质粘土
	6%	14.00	1.97	45.18	29.86	15.33	0.54	17.61	0.07	211.4	40.11	37	-0.05	6.70	0.42	0.08	-0.1	粉质粘土
	8%	15.40	1.97	47.74	35.54	14.20	0.55	19.44	0.07	181.0	34.60	35	-0.17	10.70	0.29	0.08	-0.2	粉质粘土
粉煤灰	0%	9.64	2.17	42.56	19.13	23.43	0.45	10.87	0.13	248.2	44.60	61	8.76	6.40	1.69	0.36	8.76	粘土
	2%	11.53	2.03	45.11	22.98	22.13	0.54	11.70	0.13	259.6	44.97	58	8.42	8.03	1.02	0.19	8.42	粘土
	4%	11.70	2.03	45.15	22.05	23.12	0.55	12.77	0.13	266.2	45.27	54	8.16	9.20	0.48	0.17	8.16	粘土
	5%	12.62	2.04	44.79	21.27	23.53	0.57	13.25	0.12	276.4	45.72	50	8.04	9.10	0.79	0.17	8.04	粘土
	6%	12.71	2.02	44.11	21.66	22.45	0.59	13.42	0.12	286.4	46.20	48	7.82	9.40	0.73	0.17	7.82	粘土
	8%	13.52	2.02	45.99	23.52	22.47	0.60	13.61	0.12	293.7	47.01	46	6.92	9.20	0.55	0.14	6.92	粘土
石灰+粉煤灰	0%	9.64	2.17	42.56	19.13	23.43	0.45	10.87	0.13	248.2	44.60	61	8.76	6.40	1.69	0.36	8.76	粘土
	2%	11.50	2.02	44.85	22.45	22.40	0.55	14.81	0.12	258.1	46.0	56	3.33	7.00	0.90	0.16	3.33	粘土
	4%	12.23	2.01	45.23	24.80	20.43	0.57	17.75	0.10	270.1	48.9	51	1.73	7.10	0.74	0.13	1.73	粘土
	5%	13.00	2.01	46.42	28.62	17.80	0.59	18.12	0.09	274.8	56.5	47	0.36	7.30	0.64	0.10	0.36	粘土
	6%	13.62	2.00	46.86	30.84	16.03	0.57	20.62	0.08	278.5	57.6	42	0.28	8.20	0.58	0.09	0.28	粉质粘土
	8%	14.34	1.99	48.14	32.20	15.94	0.57	21.71	0.08	284.7	58.7	40	0.19	9.30	0.45	0.07	0.19	粉质粘土

最优含水量的最大干密度制作试样,进行膨胀力、50 kPa 下的膨胀率试验和收缩试验。其结果表 1 和图 3、图 4。

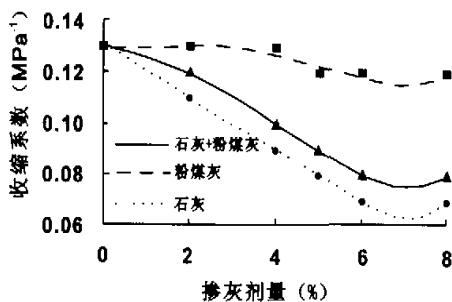


图3 改性土收缩系数与掺灰量的关系曲线

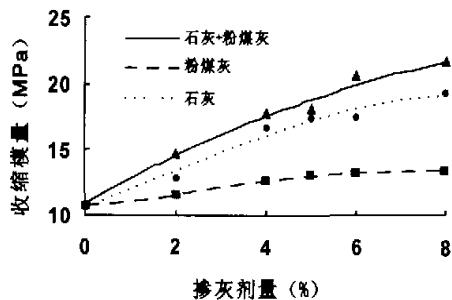


图4 改性土收缩模量与掺灰量的关系曲线

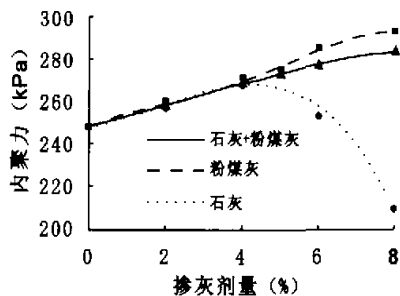


图5 改性土内聚力与掺灰量的关系曲线

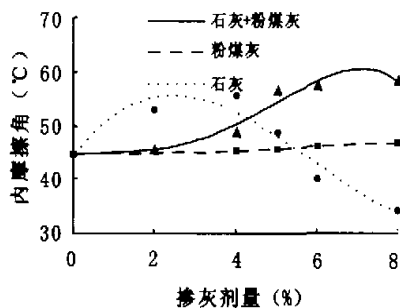


图6 改性土内摩擦角与掺灰量的关系曲线

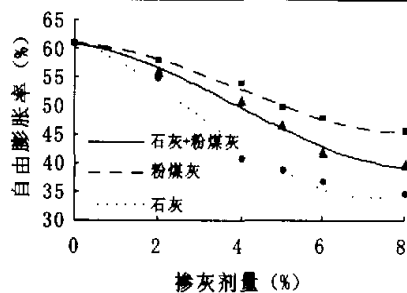


图7 改性土自由膨胀率与掺灰量的关系曲线

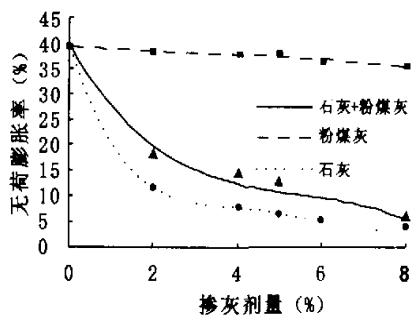


图8 改性土无荷膨胀率与掺灰量的关系曲线

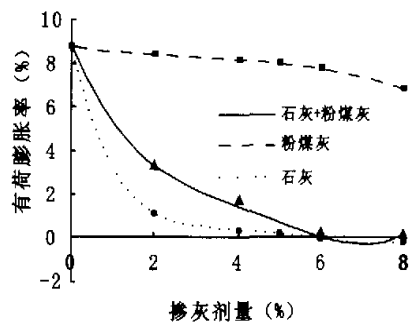


图9 改性土有荷膨胀率与掺灰量的关系曲线

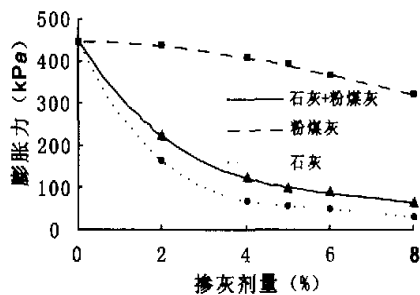


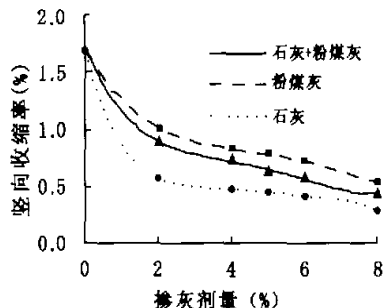
图10 改性土膨胀力与掺灰量的关系曲线

### 3 改良效果分析

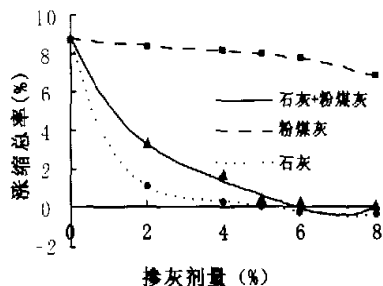
以下对本文试验段的土料场的土工试验成果进行归纳总结和分析,并提出相应的处理建议方案。

### 3.1 各种改良剂料对膨胀土击实性的影响

由表1和图1、图2知,在击实功相同的情况下,改良土的最优含水量随着掺剂量的增加而增加;而其最大干密度随着掺剂量的增加而减少,且在掺剂量0~3%之间变化得最为明显,随后变化相对比较缓慢;在相同掺剂量下,对膨胀土击实性的影响效果,石灰最大,石灰+粉煤灰次之,粉煤灰最小。



11 改性土竖向收缩率与掺灰量的关系曲线



12 改性土胀缩总率与掺灰量的关系曲线

### 3.2 对压缩性的影响

由表1和图3、图4知,在击实功相同的情况下,改良土的压缩系数 $a_{1-2}$ 随着掺剂量的增加而减小,也就是,掺灰可以使膨胀土的压缩性降低;在相同掺剂量下,对膨胀土击实性的影响效果,石灰最大、石灰+粉煤灰次之,粉煤灰最小。

### 3.3 对塑性的影响

由表1知,在击实功相同的情况下,改良土的液、塑限都随着掺剂量(主要是掺石灰对膨胀土塑性的影响)的增加而增加,但在相同掺剂量下,塑限增加的幅度比液限大,故其塑性指标 $I_p$ 降低;在掺石灰量5%和掺石灰+粉煤灰量6%时,改良土由原来的粘性土转变为粉质粘土;粉煤灰对膨胀土的塑性几乎没有影响,这可能是粉煤灰掺入量不够所致。

### 3.4 对抗剪强度的影响

由表1和图5、图6知,在击实功相同的情况下,掺粉煤灰和石灰+粉煤灰时,改良土的内聚力和內摩擦角都随着掺粉煤灰剂量的增加而提高,但掺粉

煤灰对土的抗剪强度的影响较掺石灰+粉煤灰对土的抗剪强度的影响大;在掺石灰时,土的内聚力在0~6%范围内随着掺粉质灰剂量的增加而增加,但大于6%时,土的内聚力随着掺石灰剂量的增加而降低。

### 3.5 对胀缩性的影响

由表1和图7~12知,在击实功相同的情况下,改良土的膨胀性和收缩性都随着掺剂量的增加而降低,且在掺剂量3%~4%范围内变化显著,当大于4%后,变化较缓慢,也就是掺石灰或掺粉煤灰对膨胀土的胀缩性有改良作用,但是,并不是掺剂量越大越好。

## 4 结论及讨论

(1) 掺石灰或石灰加粉煤灰的最佳配比,以处理后胀缩总率不超过0.7为宜,是控制到弱膨胀土的低限指标之下,可作为非膨胀土对待。

(2) 踏勘及试验结果表明,土料场各土层的特性有很大的差异,4种土样的自由膨胀率分别为53%、48%、60%、68%,胀缩总率分别为7.00%、6.36%、8.26%、11.4%。这四个土层的胀缩性均不符合公路路基设计规范要求,故必须进行处理才能利用。

(3) 掺石灰进行膨胀土土性改良,当掺灰量为5%时,改良土的自由膨胀率和胀缩总率从61%和8.76减小到39%和0.19,此时的改良土上完全可以视为非膨胀土对待。考虑到这些后胀缩性指标都是用重型击实试验最优含水量下的击实样进行试验得到的,而膨胀土的胀缩潜在扰动后再击实的情况下,随击实度的提高而显著增大,故本课题试验段若采用掺石灰进行膨胀土土性改良,按掺灰量5%进行拌和施工。

(4) 单纯的粉煤灰可以较明显地提高土的抗剪强度,但对膨胀土的胀缩性没有很大的改良效果。未掺粉煤灰的膨胀土的胀缩总率为8.76,当掺灰量为8%时,改良土的胀缩总率为6.92,只减少了21%,且未达到公路路基设计规范要求,故本课题试验段不采用仅掺粉煤灰的方法来进行膨胀土土性改良。

(5) 掺石灰+粉煤灰进行膨胀土土性改良,当掺灰量为6%时,改良土的自由膨胀率和胀缩总率分别从61%和8.76减小到42%和0.28,已能控制到弱膨胀土的低限之下,可以作为非膨胀土对待,用作路基填土;考虑到这些胀缩性指标都是用重型击实试验最优含水量下的击实样进行试验得到的,而膨胀土的胀缩潜在扰动后再击实的情况下,随击实度的提高而显著增大,故本课题试验段若采用(下转第32页)

段内碾压密实。③静压2遍,要求派专人跟碾,再采用进退错距往返振动碾压3遍以上;④改用60 t拖碾,碾压5遍以上,直至检测合格。压实时先慢后快,由弱振至强振,压路机碾压速度最大不能超过4 km/h。如果有条件的可用250 t冲击式压路机辅助碾压20遍以上,压实效果更加理想。

## 5 施工注意事项

5.1 施工前应通过组织和总结试验路段或试验工程的施工工艺,以便指导规模生产。

5.2 应整幅整段施工,不能进行补丁式施工。每次收工前必须将已铺填的填料碾压完毕,避免出现漏压区。

5.3 施工时不能进行土石混填,如确需土石混填,应按土石混填施工工艺填筑。

5.4 填石路堤与填土路堤交接段,在组织施工时应先施工填土路堤,然后施工填石路堤。在施工填石路堤时,应将交接处松土挖除,并挖成宽1 m以上向内倾斜的台阶,然后再逐层进行填石路堤施工。

5.5 在路床顶面以下500 mm的范围内应铺填有适当级配的砂石料,最大粒径不超过100 mm,表面用细石料和石屑嵌缝并饱水碾压。超粒径石料应进行破碎使填料颗粒符合要求。

## 6 填石路堤的质量检测与控制

填石路堤的现场质量检测主要包括填料的强度、填料的级配、平整度、填筑厚度、压实质量等方面。

6.1 填料的强度:主要检查运到填筑工地的填筑材料与中心试验室检验过的合格材料是否一致。如发现填筑的材料风化程度高,含泥量大,与中心试验室批准使用的填料有区别时,应重新通过试验检验其强度,不合格的填料不能使用。

6.2 填料级配的检查:①检查填筑过程中有无离析架空现象;②检查填料的最大粒径,每250 m<sup>2</sup>检1点,最大粒径不能超过33 cm;

6.3 检查填筑厚度:每层填筑厚度不能超过50 cm。为了便于控制分层厚度,每20 m用木杆或其它材料标出该部位的分层厚度立于路堤边坡处及中心处。

6.4 检测平整度:①填料平整后检测一次,先目测,发

现不平整处即用三米尺量测,在3×3 m范围内层面高差不能大于5 cm。凸出层面的孤石应剔除,大于5 cm的凹坑应用细石料找平。②用30 t振动压路机静压两遍,再检测一次平整度,不平处用细石料找平。

## 6.5 压实质量的检测

一般采用灌水法测定干容重法,控制压实遍数及沉降量等两种方法来检验填石路堤的压实质量。在试验路铺筑阶段,两者相互结合,以确定合理的压实遍数。中心试验室也采用灌水法测定干容重法来校核压实遍数及沉降量的可靠性。但在现场检测中则采用控制压实遍数和沉降量来检测其压实质量。

①采用分层分段开挖Φ120 cm试坑加塑料膜灌水法测定路堤孔隙率和填料干容重,看其是否符合要求。检查频度为500 m<sup>3</sup>填料检查一个测点,且每层至少检查一点,压实后干容重必须达到2.05 t/m<sup>3</sup>以上。

②控制压实遍数和沉降量检查压实质量:当用30 t压路机先静压2遍,振压3遍,用60 t拖碾振压5遍后,即可布点观测沉降量。按2 000 m<sup>2</sup>抽4点,随机布点,观测其标高,然后用60 t拖碾振压两遍,再在原点位观测其标高。第1次与第2次标高差即为沉降量,以沉降量大小做控制标准。沉降量≤3 mm为合格,反之为不合格。由于允许沉降量小,应用精度高的水准仪进行观测。

## 6. 结束语

金水二级公路施工中,通过加强对填石路堤基底的处理,控制填料的粒径及铺筑厚度以及对路基压实等质量控制措施,能合理地利用挖方石料进行路堤填筑。路基质量稳定,加快了施工进度,取得了明显的经济效益和社会效益。但现用填石路堤施工质量控制技术还不成熟,质量还存在不稳定的因素。随着西部大开发的深入,山区或重丘区的高等级公路建设将得到迅速发展,填石路堤的修筑将越来越多。因此,加快完善和规范填石路堤的施工质量控制技术,将成为广大公路建设者研究解决的一项艰巨而重要的任务。

## 参考文献:

- [1] JTJ 033-95 公路路基施工技术规范[S].
- [2] JTJ 071-98 公路工程质量检验评定标准[S].

(上接第19页)此法进行膨胀土土性改良,按掺灰量6%的配比将石灰加粉煤灰和土进行拌和即可。

综合上述,由于单纯的粉煤灰只能明显地提高土的抗剪强度,对膨胀土的胀缩性无明显改良效果,而本课题试验段土料场的土料在未经处理时,填筑后其强度能满足公路路基设计要求,不需要考虑其强度的

提高问题,所以,最后采用掺石灰进行土性改良。

## 参考文献:

- [1] 徐永福. 膨胀土地基的处理方法[M]. 河海大学学报, 1998(6).
- [2] JTJ 033-95 公路路基施工技术规范[S].