

文章编号: 1002-0268 (2000) 02-0009-04

二灰土再利用技术研究

廖国新¹, 李运胜²

(1. 深圳市道路工程公司, 广东 深圳 518020; 2. 交通部公路科学研究所, 北京 100088)

摘要: 介绍已硬化石灰混煤灰稳定粘土再利用的初步研究成果, 提出路堤用石灰混煤灰稳定粘土的无侧限抗压强度建议值。

关键词: 二灰土; 再利用

中图分类号: U414.103

文献标识码: A

Research on Reusing Technique of Soil and Fly Ash Stabilized with Lime

LIAO Guo-xin¹, LI Yun-sheng²

(1. Shenzhen Road Engineering Company, Guangdong Shenzhen 518020, China;

2. Research Institute of Highway, Beijing 100088, China)

Abstract: The paper presents the findings of the reusing technique of the hardened soil and fly ash stabilized with lime, and suggests the compression strength value of the soil and fly ash stabilized with lime as subgrade filling material.

Key words: Soil and fly ash stabilized with lime; Reusing technique

兴建于上海市郊的上海大众汽车有限公司试车场由于地处长江三角洲, 场区范围内地势平坦、低洼(黄浦高程 3.5~4.0m), 路堤填筑需要大量的外借土方。负责该试车场设计的德国欧博迈亚(OBERMEYER)公司, 根据该地区粘土土源紧张、价格偏高而粉煤灰产量相对丰富、价格便宜的特点, 在进行施工图设计时采用了石灰粉煤灰稳定粘土(下称二灰土)作为试车场路堤填筑材料及路堤超载预压材料的方案。根据这一设计方案, 路堤超载预压稳定后的卸载将产生大量已经超过正常硬化龄期的卸载二灰土(下称老二灰土)。按照常规, 这些卸载二灰土由于已经硬化是难以再直接用作道路填筑材料的, 而且国内乃至国际上也都缺乏这方面的经验。

为此, 我们组织进行了二灰土的再利用试验, 就能否再利用和如何再利用这些老二灰土作为高质量路堤的填筑材料展开了研究。

1 试验方案

二灰土再利用试验共分 3 个阶段进行。

第 1 阶段: 按照欧博迈亚公司推荐的混合料配合比进行预压二灰土路堤试验段的施工。

第 2 阶段: 对已经结硬的老二灰土进行二灰土再利用室内试验, 根据试验结果初步选出符合设计意图的 2~3 个配合比。

第 3 阶段: 根据初选的混合料配比方案修筑试验段, 进行工程验证和方案优选, 并总结关键施工工艺。

2 预压二灰土路堤施工

在我国, 石灰粉煤灰稳定土作为公路路面的基层和底层早已得到了广泛的应用, 其中石灰粉煤灰稳定细粒土由于其干缩系数和温缩系数明显大于石灰粉煤灰稳定粒料, 且抗冲刷性能较差, 而一般只被用作路面的底基层材料。由于二灰土普遍造价高于素土, 所以国内至今尚无修筑二灰土路堤的先例。在现行规范中也只对二灰土作为公路路面基层和底基层材料的混合料配合比进行了规定。

由于欧博迈亚公司在试车场施工技术说明中并没

有提出二灰土混合料的抗压强度指标, 而只要求二灰土路堤的压实度 $\geq 98\%$ (轻型击实标准) 和变形模量 $E_{V2} \geq 45\text{MPa}$, 所以在预压二灰土路堤试验段的施工中直接采用了欧博迈亚公司推荐的混合料配合比 (石灰 : 粉煤灰 : 粘土 = 0.12 : 1 : 1 = 5.6% : 47.2% : 47.2%——重量比)。

为了了解该配合比的混合料特性, 我们按照交通部的有关试验规程对试验段施工所用的原材料及混合料进行了试验, 其试验结果如下。

石灰: 工地现场消解的消石灰, 其有效钙和氧化镁的含量为 62.6%。

混煤灰: 采用电厂湿排灰, 其 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 的含量为 87%, 烧失量为 4.8%。

土: 低液限粘土 (CL), $W_L = 38\%$, $W_P = 21\%$, 塑性指数 $I_P = 17$ 。

标准击实试验: $\rho_{\max} = 1.37\text{g}/\text{cm}^3$, $w_0 = 24.1\%$ 。

无侧限抗压强度 (7d): 平均值 $R = 0.36\text{MPa}$, 标准差 $S = 0.03$, 偏差系数 $C_V = 8.3\%$, 代表值 $R_{0.95} = 0.31\text{MPa}$ 。

预压二灰土路堤试验段平面尺寸为 $60 \times 8.5\text{m}$, 其施工工序同上海大众试车场的 EVP 强化测试道: 清场; 场地平整; 25cm 厚的地基处理 (石灰剂量为 6%); 铺土土工布; 分层填筑二灰土 (总厚度为 75cm)。

二灰土路堤的填筑参照 JTJ034-93《公路路面基层施工技术规范》进行施工, 采用集中场拌法, 每层压实厚度控制为 25cm。具体施工工艺为备料; 挖掘机拌和 4~6 遍; 自卸车运输; 推土机摊铺; 平地机平整; 压路机碾压。

施工中对石灰处理地基及二灰土的压实度和变形模量都进行了检测, 结果如表 1 所示。

表 1					
序号	工序名称	施工日期	压实度	回弹模量 (MPa)	模量检测 时间
1	石灰处理地基	99.01.02	101.3/102.6	36.1/38.4/42.2	第 7 天
2	第 1 层二灰土	99.01.11	102.2/100.7		
3	第 2 层二灰土	99.01.12	100.0/101.4		
4	第 3 层二灰土	99.01.13	102.2/100.0	46.2/49.5/52.1	第 7 天
备注: 压实度为轻型标准					

3 二灰土再利用室内试验

在综合分析试车场工程特点及二灰土特性的基础上, 根据掺加材料的不同确定了 A、B、C3 个方案并进行了再利用二灰土的配合比设计。其中 A 方案为

在老二灰土中直接掺加石灰 (石灰剂量分别为 0、4%、6%、8%), B 方案为按照 1 : 1 的比例在老二灰土中掺加石灰和粘土 (石灰土中石灰剂量分别为 6%、8%、10%、12%), C 方案为按照不同的比例在老二灰土中掺加新拌二灰土 (新二灰土配比为石灰 : 粉煤灰 : 粘土 = 0.12 : 1 : 1)。

本次室内试验使用的老二灰土取自 1 个月前完成施工的预压二灰土路堤, 其它原材料 (石灰、粉煤灰和粘土) 技术指标如下。

石灰: 工地现场消解的消石灰, 其有效钙和氧化镁的含量为 61.9%。

混煤灰: 采用电厂湿排灰, 其 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 的含量为 86%, 烧失量为 4.7%。

土: 低液限粘土 (CL), $W_L = 34\%$, $W_P = 17.5\%$, 塑性指数 $I_P = 16.5$ 。

按照交通部有关的试验规程, 进行了二灰土混合料的标准击实和无侧限抗压强度试验。标准击实及抗压强度试验结果分别见表 2 和表 3。

再利用二灰土标准击实试验结果 表 2			
方案		配合比	最大干密度 度(g/cm ³) 最佳含水量(%)
A	A1	老二灰土	1.38 28.3
	A2	老二灰土+4%石灰	1.36 28.0
	A3	老二灰土+6%石灰	1.36 28.6
	A4	老二灰土+8%石灰	1.36 26.9
B	B1	老二灰土+粘土+石灰(6%)=1:1	1.47 23.6
	B2	老二灰土+粘土+石灰(8%)=1:1	1.46 23.6
	B3	老二灰土+粘土+石灰(10%)=1:1	1.45 24.2
	B4	老二灰土+粘土+石灰(12%)=1:1	1.46 24.0
C	C1	老二灰土+新二灰土=1:0.5	1.40 24.6
	C2	老二灰土+新二灰土=1:1	1.37 26.5

备注: 击实试验采用中国规范的轻型击实标准。

再利用二灰土无侧限抗压强度 (7d) 试验结果 表 3

方案		试件数 (个)	平均值 $\bar{R}$ (MPa)	标准差 S (MPa)	偏差系数 C_v	代表值 $R_{0.95}$ (MPa)
A	A1	6	0.23	0.012	5.3%	0.21
	A2	6	0.30	0.008	2.5%	0.29
	A3	6	0.29	0.008	2.7%	0.28
	A4	6	0.32	0.010	3.1%	0.31
B	B1	6	0.28	0.008	2.9%	0.27
	B2	6	0.36	0.015	4.2%	0.33
	B3	6	0.38	0.021	5.6%	0.34
	B4	6	0.42	0.021	5.0%	0.38
C	C1	6	0.46	0.019	4.1%	0.43
	C2	6	0.41	0.012	2.9%	0.39

备注: 按轻型击实试验最大干密度的 98%制作试件, 按照 JTJ057-94 的标准条件进行养护和试验

从表 2 可以看出: 3 个方案中, B 方案混合料的最大干密度 ($\rho_{\max} = 1.45 \sim 1.47\text{g}/\text{cm}^3$) 明显大于 A

方案 ($\rho_{\max}=1.36\sim1.38\text{g}/\text{cm}^3$), 一般来说, 这有利于 B 方案作为路堤填筑材料时减少自身的压缩变形并获得较大的变形稳定性; 同时 B 方案的最佳含水量 ($W_0=23.6\%\sim24.2\%$) 较低, 从而可以减少二灰土路堤在成型后因失水而引起的干缩变形; 另一方面, 再利用的二灰土只是作为路堤填筑材料, 欧博迈亚公司的土工专家认为不需要过多地考虑材料的固结效果及强度, 因此, 抗压强度大于 0.35MPa 完全没有必要, 而且二灰土强度过高还会导致将来卸载及路床整形困难, 甚至引起路堤出现横向裂缝, 从而否定

了无侧限抗压强度较高的 C 组方案。综合以上分析, 在 10 个不同的配合比方案中选定 B1 (老二灰土+6%新石灰土=1:1) 和 A3 (老二灰土+6%石灰) 并另外新增 B5 (老二灰土+6%新石灰土=1:0.5) 方案进行实体工程验证。

4 二灰土再利用室外试验

试验段平面尺寸为 $60\times8.5\text{m}$, 分为大小相等的三小段, 分别按照选定的 3 个配比同步进行二灰土再利用试验段的施工。其平面布置如图 1 所示。

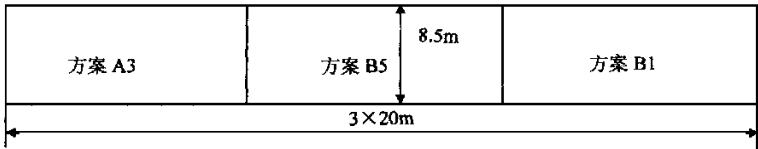


图 1

二灰土再利用试验段在平整场地后, 选用 6% 的石灰对原地面进行了地基处理 ($d=25\text{cm}$), 其压实度 (环刀法) 为 99.3%、100.4% 和 101.2%, 变形模量值 (检测时间为第 7 天) 为 42.0、48.9、52.4MPa; 然后铺设了单层土工布, 并在其上分 3 层 (每层压实厚度 25cm) 填筑了再利用的二灰土 (其中所使用的老二灰土系从预压二灰土路堤试验段中卸载而来)。

根据试验设计, 对再利用二灰土的每层都进行了压实度和变形模量检测, 其检测数据见表 4。

再利用二灰土压实度及变形模量值 表 4

再利用二灰土	完成日期	压实度(%)	变形模量(MPa)	模量测试时间	
A3	第 1 层	99. 3/106. 6	60 2/ 59. 9	99. 07. 05	
	第 2 层	99. 07. 15	101. 5/ 100. 0	60 5/ 58. 1	99. 07. 15
	第 3 层	99. 07. 24	100. 0/ 101. 5	82 1/ 79. 0	99. 08. 01
B5	第 1 层	99. 06. 22	100. 7/ 101. 4	47. 3/ 86. 0	99. 07. 05
	第 2 层	99. 07. 15	101. 4/ 100. 7	77. 8/ 63. 0	99. 07. 15
	第 3 层	99. 07. 24	98. 0/ 98. 6	128. 3/ 92. 7	99. 08. 01
B1	第 1 层	99. 06. 22	100 0/ 99. 3	57. 8/ 77. 6	99. 07. 05
	第 2 层	99. 07. 15	101. 4/ 100. 9	61. 3/ 63. 2	99. 07. 15
	第 3 层	99. 07. 24	100. 0/ 101. 4	127. 9/ 128. 4	99. 08. 01

分析试验段的检测数据可知: 再利用二灰土的变形模量值具有随路堤填筑高度 (即二灰土厚度) 增加而增大的趋势, 同时模量值随龄期的增长而增大; 另一方面, 试验段中某些层位变形模量值离散, 强度极不均匀, 结合现场施工情况其主要原因是由于施工中混合料拌和不匀及含水量控制不严, 因此, 有必要在

今后施工时进一步加强对混合料含水量及拌和均匀性的控制。

表 4 中的检测数据表明: 室内试验阶段所选定的 3 个二灰土再利用方案 (A3、B1、B5) 均能满足欧博迈亚公司对试车场高质量路堤的技术要求, 即压实度 $\geq 98\%$, 变形模量 $\geq 45\text{MPa}$ 。

通过试验段的施工还摸索了包括预压二灰土卸载及二灰土再利用在内的一整套施工工艺, 简述如下。

超载预压二灰土卸载工艺为: 卸载前施工放样; 挖掘机粗卸 (预留 15cm 高度); 再放样; 人工卸载 (预留 5cm 高度); 第 3 次放样; 洒水湿润路基; 平地机精卸、整平; 压路机静压 (2~3 遍)。

二灰土再利用施工工艺: 破碎卸载二灰土; 推土机整平; 丈量二灰土体积并计算其重量; 检测二灰土含水量; 计算掺入的石灰和粘土重量; 按计算数量分别均匀掺入石灰和粘土; 按计算用水量均匀洒水 (必要时); 挖掘机翻拌 2~4 遍; 自卸车运混合料至路基上; 推土机摊平; 路拌机拌和 2 遍; 检查混合料含水量; 推土机或平地机粗平; 压路机碾压; 平地机精平; 压路机碾压至规定的压实度。

5 二灰土路堤混合料抗压强度标准探讨

在 JTJ034-93《公路路基施工技术规范》中, 对二灰混合料用作基层和底基层材料的无侧限抗压强度都作了规定 (见表 5), 但没有规定路堤用二灰土的抗压强度标准。

二灰混合料的强度标准（7d）		表 5
层 位	二级和二级以下公路	高速和一级公路
基 层	≥0.6	≥0.8
底 基 层	≥0.5	≥0.5

从表 5 可知：现行规范规定了二灰混合料无侧限抗压强度的最低限值为 0.5MPa。沙庆林院士在大量实体工程实验的基础上，曾建议二灰混合料用作二级和二级以下公路底基层时，其抗压强度标准可降低至 0.4MPa。

本次试验成果表明：当二灰混合料的无侧限抗压强度（7d）的代表值分别为 0.28、0.27MPa 时，其实体工程完全能满足试车场路堤的高质量要求（压实度 ≥98%，变形模量 ≥45MPa；结合第一阶段试验中测得的路堤用低石灰剂量的二灰土抗压强度值（0.31MPa），我们建议：以 0.25MPa 作为高质量路堤用二灰土的无侧限抗压强度（7d）标准的下限值。

6 结论

（1）龄期在半年以上已经结硬的老二灰土经过改

良完全可以再利用来作为高质量路堤的填筑材料。

（2）根据上海大众汽车有限公司试车场的具体情况，建议在实体工程中采用以下配比方案：一般情况下采用 B1 方案，即老二灰土+石灰和粘土混合物（石灰剂量 6%）= 1:1；当老二灰土和粘土含水量过大时，可采用最佳含水量较高的 A3 方案（老二灰土+6%石灰）进行施工，以保证工程进度。

（3）二灰土再利用施工的关键仍然是混合料含水量和拌和均匀性的控制，这对于不均匀沉降要求特别高的高速环道路堤尤其重要。

（4）结合我国对二灰土的研究成果，提出高质量路堤用二灰土混合料抗压强度的建议值为 0.25MPa。

参考文献:

[1] 沙庆林. 高等级公路半刚性路面. 中国建筑工业出版社, 1993.
[2] 李运胜, 李玉新. 二灰土再利用试验研究报告. 1999-08.

NOVIBOND 中的木质素使水泥的表现更出色

NOVIBOND 是含有木质素（在木材中发现的纤维素纤维的捆绑物）的创新的增塑剂。NOVIBOND 可作为分散剂使用，减少了灰泥或水泥在生产过程中水的用量。它增加水泥的可使用性、可塑性、压力强度以及抗冻力，以及它的流变学属性。

一般来说，现代的水泥在混凝土中有聚集的倾向。但是，水泥在使用 NOVIBOND 木素磺化盐分散剂后，NOVIBOND 会以高强度在 1 天、7 天或者 28 天溶解水泥颗粒。水泥颗粒对木素磺化盐分子的部分吸收延迟了调整——这个属性可以通过改变分子链的长度以符合各个公式化程序需要而被改变。

由于 NOVIBOND 的独特巨分子结构可以增加水泥的可塑性（或者为了同样的可塑性减少水的需要量），也增加了物质粒子间的交互作用，使混凝土的密度以及一致性增加，可承受更高的压力以及更耐用。

由于 NOVIBOND 是浓缩及可溶水性，所以还可能与其它的建筑材料，如石膏、磁砖、砖块、陶瓷、难熔物质及模具一起使用。