

特殊路基石灰改善土施工技术经济分析及运用

文 / 张 毅 中铁十七局集团第五工程有限公司

摘要: 石灰改善土刚性及荷载分布能力比传统的级配碎石要高很多, 因此推广石灰改善土作为路基基层、底基层材料, 对缺乏天然砂石材料、外运材料等传统方式节约工程造价。本论述结合定长段路基石灰改善土地基处理为例将测量资料, 相关试验资料及施工段填筑时机械配备的大小、数量及类型按实际情况进行统计和整理, 并加以总结, 得出石灰改善土的最佳含水量、适宜的松铺厚度和相应的碾压遍数、最佳的机械配备和合理的施工组织, 以便达到设计规范要求。用于解决填料短缺, 缩短工期, 节约造价, 广泛推广石灰改善土增强地基强度和路基稳定的目的。

关键词: 路基填料; 石灰改善土; 灰剂量; 压实度

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.05.040

引言

随着我国交通基础设施建设的快速发展, 路基工程对材料性能和经济性的要求日益提高。传统级配碎石作为路基基层、虽然应用广泛, 但其刚性不足、荷载分布能力有限, 且在天然砂石资源匮乏地区, 高昂的外购成本与运输费用显著抬高了工程造价。在此背景下, 石灰改善土技术因其优异的工程特性受到关注: 通过掺入石灰改良土体结构, 可显著提升路基的强度、刚度及荷载传递效率, 同时充分利用现场土方资源, 降低对外部材料的依赖, 兼具技术可行性与经济合理性。

一、工程概况

定远至长丰段高速公路路基施工位于江淮区域, 东临南京, 北靠淮河, 属于雨水充沛的华东区域, 雨季持续时间较长, 特别是每年冬末春初、梅雨季节和夏季雷阵雨, 全年降雨时间近5~7个月。项目地处平原, 区内沟塘密布, 地下水位较高, 取土场取土受积水影响, 土质以高液限黏土为主, 且天然含水量较高。区域沿线多为农田, 重新征用取土场困难且耗时长。起讫里程为K78+500-K90+659.5, 全长约为12.16正线公里。特殊路基处理8.6万方, 填方216.4万方。

二、重难点

雨季时间长、有效施工时间短、线路里程长、借土填方量大, 取土场土质含水量过大, 不能直接作为路基填料, 如按原设计素土填筑施工, 必须经多次翻晒湿土才能满足质量要求, 势必耽误路基施工进度及影响总工期。为达到设计规范的压实标准, 保证工程质量及工程进度, 必须采取措施降低土体含水量, 改善土体性质。

三、方案比选

以检测试验数据证明高液限黏土难以保证施工质量及满足总体工期要求, 提供多项方案, 从技术、周边环境、工程造价等全方面对比分析、论证。为确保灰土路基填筑质量, 选K84+600~K84+800段作为本标段4%灰土基底处理及4%灰土路堤试验段, 压实度为93%。

境、工程造价等全方面对比分析、论证。为确保灰土路基填筑质量, 选K84+600~K84+800段作为本标段4%灰土基底处理及4%灰土路堤试验段, 压实度为93%。

名称	施工方案	分析方案	方案比选
翻晒	地势低、天然含水量高	施工周期长、难以保证工程质量	宜采用
冲击、碾压	局部造成翻浆、弹簧	难以保证工程质量	宜采用
3%-8%石灰土	压实效果高	工期易控、质量易控	最佳方案
换填	本地区料源不足	造价高、难以保证工期	不宜采用
强夯	离周边村镇距离近100m	小于150米、不符合强夯规定	不宜采用
水泥搅拌桩	施工速度慢	造价高、难以保证工期	不宜采用

四、施工前准备

1、由试验室通过石灰土的标准击实试验确定其最大干密度和最佳含水量, 按试验值制备的试件, 进行无侧限抗压强度试验, 符合设计要求。

2、石灰质量应满足Ⅱ级以上生石灰的技术指标, 钙、镁含量不小于80%, 消石灰有效氧化钙和氧化镁含量不小于60%, 石灰应在使用前5-7天充分消解, 并保证一定的湿度, 消石灰宜过孔径10mm的筛, 并尽快使用。

3、对本段原地面清表后基底土样进行含水量、标准击实、液塑限联合试验、承载比等试验。经检测, K84+600-K84+800段土质为高液限黏土, 最大干密度1.734g/cm³, 最佳含水率16.6%。

4、石灰土混合料采用重量配合比计算, 以石灰:土=4:100的重量比表示, 计算出白灰与土的体积比。

灰土含灰体积统计表

序号	灰土	最大干密度	最佳含水率	白灰密度	93区			
					每方湿混中干混质量	每方湿混中干土质量	每方湿混中干灰质量	每方湿混中每方干灰体积
1	4%灰土(K84+600-K84+800)取土场	1.734	16.6	400	1.34	1.29	0.05	0.13

5、松铺厚度的拟定：根据土质情况，松铺细数选取1.4。松铺厚度28cm。
6、参与施工的主要人员、测量、试验仪器及机械工程技术人员主要负责全面的工程技术及质量监督

工作，包括测量复核、试验检测、工序检查、成品质量检测等。现场管理人员主要进行施工组织、工序安排。测量人员主要进行测量放样、高程测量、测量复核。试验人员进行各项试验。

序号	设 备	规格型号	数量 (套 / 台)	备注
1	恒温干燥箱	101-2	1	
2	数显式土壤液塑限联合测定仪	LP-100D	1	
3	电动击实仪	LQ-DJ-II	1	
4	钢直尺	50m	1	
5	具塞滴定管	50ml	1	
6	电子天平	LT2002E	1	
7	灌砂筒	Φ 150mm	2	
8	灌砂筒	Φ 200mm	2	
9	自动安平水准仪	DSZ2	1	
10	GPS-RTK	M5	1	

序号	机械名称	规格	数量	状况	备注
1	平地机	Py180	1 台	良好	
2	挖掘机	1.5m ³	2 台	良好	
3	推土机	山推 220	1 台	良好	
4	振动压路机	25T	1 台	良好	
5	光轮压路机	20T	2 辆	良好	
6	自卸车	12m ³	10 辆	良好	
7	洒水车	5m ³	1 辆	良好	
8	装载机	ZL50	1 台	良好	
9	灰土路拌机	WB23G	1 台	良好	
10	旋耕机		3 台	良好	
11	铧犁		2 台	良好	

五、施工中注意事项

1、施工人员根据设计的石灰剂量，计算出石灰总量及厚度，根据试验结果算出压实后每方灰土中掺灰量为0.13m³，根据拟定松铺系数得出路基填筑掺灰4%压实后每平米石灰方量=0.2/1.3*1*0.13=0.018m³，每平米石灰厚度=0.018/1=0.018m。作业面按10m为一断面，在已设置好的桩上打上布灰厚度标识，由现场施工人员计算好的所需灰量，指挥运灰车卸料，以确保石灰布料均匀，石灰布料完成后，由人工配合平地机均匀地将石灰摊布土层表面上。

2、拌和采用灰土拌和机进行施工，拌和机行进速度控制在300m/小时以内，拌和深度30cm为宜，拌和过程中严禁拌和不到位及拌和过深而使得中间有素土夹层及使下承层受到严重破坏，拌和时，派专人跟机检测，随时检测拌和深度，发现不合格时，及时反馈给机械操作手，以修正拌和深度。

3、整平需用先用推土机进行稳压，测量人员根据

控制桩控制高程，用平地机初步整平和整形。平地机由外侧向内侧进行刮平。用光轮压路机快速碾压1~2遍，以暴露潜在的不平整。对于局部低洼不平处，用平地机找补平整。再用平地机进行精平作业。精平作业前，由测量人员再次根据控制桩控制高程。每次整形都要按照规定的纵横坡度进行，并应特别注意接缝顺适平整。在粗平和精平的同时，还要根据设计横坡度的要求，用水准仪准确定位做出路面横坡。粗平和精平要同时穿插进行，以节约时间，减少水分损失。

4、压实需先用25T振动压路机静压2遍，碾压速度均控制在1.5~1.7Km/h，接着使用一台25T振动压路机弱振碾压1遍，接着强振碾压2遍，碾压速度均控制在1.5~1.7Km/h，然后再使用光轮压路机收光1~2遍，碾压速度控制在2.0~2.5Km/h。保证表面平整密实，无明显轮迹，表面无坑洼松散、弹簧现象，施工接茬平整，横坡顺直。

5、待施工路段碾压成型压实度检验合格后立即开

始洒水养护，石灰稳定土在养生期间要保持一定的湿度，但不应过湿，养生期一般不少于七天，养生方法可视具体情况采用洒水、覆盖草袋等，养生期间石灰土表层不应过干或过湿，每次洒水后应用三轮压路机将表面压实。此项工作应由专人负责，配备6m³的专用洒水车1台，随时保持灰土表面潮湿状态。养生期间未采用覆盖措施的石灰稳定土层上，除洒水车外，应封闭交通。在采用覆盖措施的石灰稳定土层上，不能封闭交通时应限制车速不得超过30Km/h。

6、夜间施工时，施工现场准备3~5个带防护罩的移动灯具（禁止使用碘钨灯）进行照明，保证工地的照明所需，并加强车辆管理，杜绝安全事故发生，确保安全生产。

7、雨天施工时，当天填筑的灰土要当天碾压成型，确保顶面无积水和渗透。路基两侧设置深度不小于60cm的水沟，并在低处设置集水井，将水引入井内，以防雨水浸泡路基。随时关注天气预报，在雨天来临之前提前采取防雨措施，避免雨天带来质量事故。雨天过后由试验人员检测土质含水率，必要时进行翻晒，确保工程质量。

8、拌和机械及其他机械不宜在已压成型的石灰稳定土层上“调头”，如必须在上进行“调头”，应采取保护措施保护“调头”部分，使石灰稳定土表层不受破坏。

9、石灰土应连续施工，每层施工前，应对下承层表面进行洒水；若不能连续施工，每层碾压完成后或石灰土全部施工完后，应采用塑料薄膜覆盖养护，防止表面裂缝。新老路交界处，为使新老路基紧密结合，斜坡上必须挖成阶梯以利分层搭接。

六、施工后检测

1、外观检查平整密实，无坑洼现象，无碾压轮迹。

2、碾压结束后，用灌砂法检测现场压实度，并检测高程、宽度等指标符合规范要求。

3、经分析碾压步骤宜采用光轮压路机静压2遍，振动压力机弱振1遍，强振压实2遍，平地机精平后光轮静压2遍，保证碾压密实。碾压速度不超过30m/min。

4、每层松铺厚度约27cm，压实厚度为20cm。根据碾压成型后的标高和厚度，松铺系数宜控制在1.35。

5、布灰时含水量宜控制在大于最佳含水量的4%以内，开始碾压时含水量宜控制在大于最佳含水量的2%以内，压实效果好。

检测数据如下

压实度（灌砂法）

压实遍数	压实度（灌砂法）			
	静压 2 遍 振动碾压 1 遍	静压 2 遍 振动碾压 2 遍	静压 2 遍 振动碾压 3 遍	静压 4 遍 振动碾压 3 遍
K84+650 左	89.4%	91.9%	92.9%	94.6%
K84+650 中	90.4%	92.4%	94.7%	93.2%
K84+650 右	89.7%	92.4%	93.3%	93.7%

灰剂量

灰剂量	K84+670	K84+700	K84+720
左	4.8	4.3	4.6
中	4.2	4.3	4.5
右	4.5	4.5	4.5

灰剂量经检测EDTA 二钠标准溶液平均消耗量为19.6ml，均大于设计值19.4ml，符合规范要求。

路基宽度

里程桩号	设计宽度（m）	实际宽度（m）
K84+650	36.723	37.60
K84+725	34.875	35.50
K84+740	33.798	34.55

松铺系数厚度

项目	K84+650 左	K84+725 中	K84+740 右
填前碾压后高程（m）	58.38	59.67	60.65
松铺高程（m）	58.65	59.94	60.93
松铺厚度（cm）	27	27	28
压实高程（m）	58.59	59.87	60.86
松铺系数	1.35	1.35	1.35
压实厚度（cm）	20	20	21

根据现场施工条件，机械、人员配置满足施工要求，完工后各检测项目的检测结果满足规范及设计要求。

七、取得效果

本段在完成基底翻挖20cm后进行第一层掺灰4%改善土的填筑，经各项试验检测，得出以下结论：石灰中有效氧化钙和氧化镁含量为65.1%；土为高液限黏土，经试验4%灰土的最大干密度1.700g/cm³，最佳含水率18.5%。通过控制灰剂量4%来控制配比。现场检测压实度均大于93%，满足规范要求的强度等各项技术指标。

结束语

通过该区段的施工，为我们在以后的灰土施工中提供了可靠的施工数据和遵循的依据；在今后的灰土施工中，我们还要不断的摸索与总结，对每个施工段的试验数据结果、进行分析和对比，进而对施工工艺进行不断的完善与改善。本段路基采用石灰改善土方案处理，施工过程中的各项检测指标均符合设计规范要求，对已完工的路基填筑通过灰剂量检测、压实度检测、弯沉值检测、沉降观测、整体稳定性等均符合设计规范要求。在不影响整体总工期的前提下，避免了质量隐患，工程质量也得到了有效保障。

参考文献

- [1] 芦国超等. 道路与桥梁工程材料, 北京理工大学出版社, 2013.
- [2] 刘辉. 胀缩性特殊土填筑路基石灰改性特性对比分析, 建筑技术, 2012.
- [3] 薛新华等. 膨胀土改良的室内试验研究, 高速铁路技术, 2013.