

掺入黄土的轻质泡沫土路基填料制备及性能研究

郭晓青¹ 李根朝¹ 张国强² 薛东升¹ 宋旭¹ 冯汉卿¹

1 大秦铁路股份有限公司侯马北工务段

2 中国铁路太原局集团有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i5.16897

[摘要] 为减轻路基沉降带来的线路不平顺问题,制备掺入黄土的轻质泡沫土作为二次填料。研究不同黄土掺量、配合比对轻质泡沫土抗压强度、干湿容重、收缩性能和流动性能的影响。结果表明:泡沫土的容重、抗压强度和抗收缩性能与黄土掺量正相关;水灰比对流动性能影响较大。以人工合成表面活性发泡剂发泡,控制掺入黄土泡沫土密度在1000–1500kg/m³,未掺入黄土泡沫土密度在500–1000kg/m³,得到轻质泡沫土力学性能及抗收缩性能良好,可以作为路基填料解决铁路路基的沉降问题。

[关键词] 轻质泡沫土;黄土;活性发泡剂;抗压强度

中图分类号: P642.13+1 **文献标识码:** A

Preparation and Performance Study of Lightweight Foam Soil Subgrade Fill Material with Loess Addition

Xiaoqing Guo¹ Genchao Li¹ Guoqiang Zhang² Dongsheng Xue¹ Xu Song¹ Hanqing Feng¹

1 Daqin Railway Co. Ltd., North Houma Railway Maintains Department

2 China Railway Taiyuan Group Co. Ltd.

[Abstract] To mitigate track irregularities caused by subgrade settlement, lightweight foamed soil incorporating loess was prepared as secondary fill material. The effects of varying loess content and mix proportions on the compressive strength, dry and wet bulk density, shrinkage properties, and flow characteristics of the lightweight foamed soil were investigated. Results indicate that the bulk density, compressive strength, and shrinkage resistance of the foamed soil are positively correlated with loess content; while the water-cement ratio significantly influenced flowability. Using a synthetic surfactant foaming agent, the density of loess-blended foamed soil was controlled between 1000–1500 kg/m³, while the density of loess-free foamed soil ranged from 500–1000 kg/m³. The lightweight foamed soil exhibited excellent mechanical properties and shrinkage resistance, making it suitable as a subgrade fill material to address railway subgrade settlement issues.

[Key words] Lightweight foamy soil; Loess; Active foaming agent; Compressive strength

引言

轻质泡沫土是一种轻质多孔材料,一般由水泥浆液、泡沫和外加剂混合而成^[1]。泡沫与空气的加入让其具有较轻的质量与较高的孔隙率,凭借特殊的性能被广泛用于回填工程中。孙超等^[2]研究了不同发泡剂种类、不同密度及加入外加剂的用于桥梁填充的泡沫土的各项力学性能及工作性能,发现胶粉掺量为5%时,抗压强度达到2.81MPa,且吸水率降至最低水平。何志兵等^[3]研究了加入煤渣对泡沫土性能的影响,发现加入多孔疏松块状结构煤渣的泡沫土软化系数、耐水性最好,且煤渣掺量不宜超过65%。肖楠轩等^[4]研究了泡沫土用于桥梁回填的工作性能及力学特征,发现土掺量与泡沫土抗压强度呈负相关,最优水灰比为0.5。上述发现证明了轻质泡沫土用于回填的可靠性,但目前对

于掺入黄土的泡沫土用于路基填料的研究较少,且最优配合比难以确定。

路基作为路面的基础,承受着由路面传来的交通荷载并将其传递至地基,其稳定性保障了道路的安全和畅通^[5]。路基填料对于路基的安全性及耐久性有着非常关键的影响。传统路基填料一般采用砂石材料,但砂石材料存在着自重大、易发生二次沉降等缺点,而依靠轻质泡沫土的轻质性可以很好地规避^[6]。

虽然泡沫土具有轻质性、流动性好、保温效果良好及缓冲性高的优点^[7],但也存在诸多缺陷,例如:抗压强度不足、吸水率高、干燥收缩大及抗冻性差。考虑到本试验研发的泡沫土材料是用于筑填路基,故在泡沫土中加入黄土对其抗压强度进行改善。

1 实验分析

1.1 实验原材料

水泥采用强度等级42.5的通用硅酸盐水泥。土采用黄土,考虑到土本身性质对轻质泡沫土强度及收缩性能有直接影响,对土进行了筛分实验及粒径分析。依据规范《现浇泡沫轻质土技术规程》(CECS 249:2008),筛网最大采用粒径5mm进行筛分,得到土各粒径含量见下表1,各粒径质量占比用累计曲线法在坐标中绘制土颗粒级配曲线,见图1。发泡剂采用人工合成表面活性发泡剂,产地山东,具有性能稳定、价格低廉和泡沫稳定的优点。

表1 黄土各粒径含量

各筛孔下土含量(kg)	合计(kg)	5 mm	2 mm	1 mm	0.5 mm	0.25 mm	0.15 mm	0.075 mm	< 0.075 mm
1号土	5.6	0.05	1.1	0.7	1.85	0.8	0.25	0.55	0.2
2号土	5.6	0.05	1.25	0.75	1.9	0.75	0.2	0.4	0.1
3号土	5.6	0	1.5	0.85	1.7	0.8	0.2	0.45	0.1

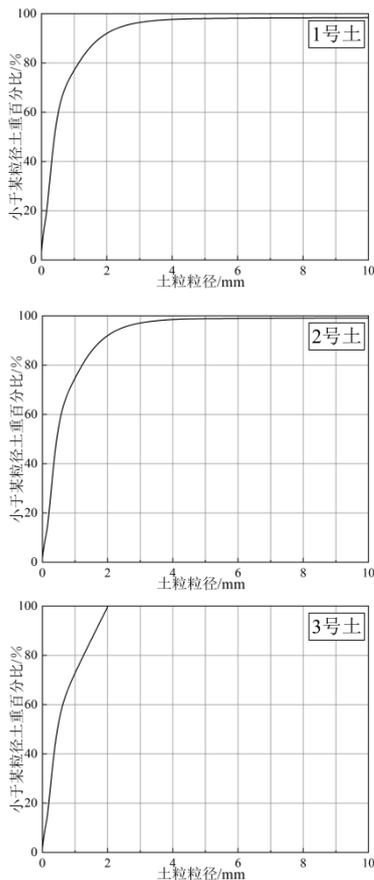


图1 黄土颗粒级配曲线

得到黄土级配曲线后,当同时满足 $C_u > 5$ 及 $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件,则土级配状况良好,否则级配不良。对已得数据进行分析,见表2。本次试验中3个样品土的 C_u 和 C_c 均满足要求,该土级配效果良好,可用于轻质泡沫土的制备。

表2 级配分析

指标	d_{10}	d_{30}	d_{60}	C_u	C_c
1号土	0.124	0.4625	0.9224	7.4274	1.8708
2号土	0.173	0.5487	0.979	5.6588	1.778
3号土	0.15498	0.5382	1.1294	7.2874	1.65487

其中:不均匀系数: $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$, 级配系数: $C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}}$ 。 d_{10} 、

d_{30} 、 d_{60} 代表累积百分比达到10%、30%、60%时土的粒径。

1.2 配合比设计

以上述材料及水设计了轻质泡沫土不同配合比,测试了不同土掺量对泡沫土流动性、不同龄期的抗压强度及抗收缩性能的影响,配合比设计见下表,其中设计干密度为 500 kg/m^3 。

表3 轻质泡沫土配合比设计

编号	水料比	黄土(kg/m^3)	水泥(kg/m^3)	水(kg/m^3)	泡沫(kg/m^3)
1	0.45	100	400	225	34
2	0.45	150	350	225	32
3	0.45	200	300	225	31
4	0.45	0	500	225	30
5	0.5	100	400	250	32
6	0.5	150	350	250	31
7	0.5	200	300	250	29
8	0.5	0	500	250	34
9	0.55	100	400	275	31
10	0.55	150	350	275	29
11	0.55	200	300	275	28
12	0.55	0	500	275	31

1.3 实验方法

1.3.1 泡沫土容重

参考《公路泡沫轻质土路基技术规范》(广东省地方标准),轻质泡沫土干容重测量采用 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 标准试块。泡沫土制备完成后在试块模型内浇筑成型,将其用塑料袋密封并在室温条件下($20 \pm 2^\circ \text{C}$)养护28d称其重量得到干容重。泡沫土湿容重选用已养护28 d的试块,在水温($20 \pm 5^\circ \text{C}$)条件下,将试块分别置于试块高度1/3、2/3、完全浸泡的水位下浸泡24h,后拿出试块,擦除表面水分并称其重量得到泡沫土湿容重。

1.3.2 抗压强度

依据规范《泡沫混凝土》(JT/G 266-2011),取3个试块为

一组, 在无侧限抗压检测仪器上以加载速度 2.0 ± 0.5 kN/s加载直至试块破坏, 记录破坏时抗压强度, 最后取平均值作为抗压强度。

1.3.3 流动性

采用坍落度桶进行流动性测试, 将新拌泡沫土浆液分批倒入坍落度桶中, 在到达桶高度1/3、2/3、完全倒满时用捣鼓棒进行捣鼓, 后慢慢将桶提起并观察测量泡沫土浆液坍落程度得到泡沫土流动性能。

2 实验结果

掺入黄土时不同配合比下轻质泡沫土各项性质见图2。

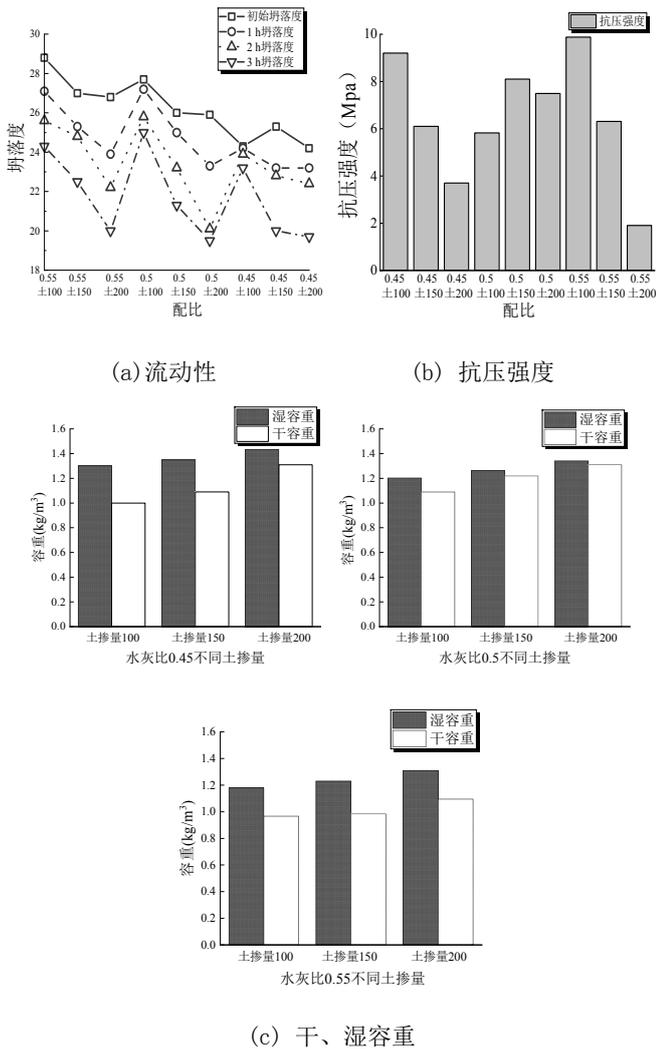


图2 加入黄土时轻质泡沫土各项性质

相较于传统路基填料, 泡沫土具有很好的流动性。由图2(a), 不同水灰比配比下泡沫土的流动性均随着含土量的增加而逐渐下降, 并且在水灰比0.55及0.5时达到最佳。随着时间流逝各配合比泡沫土流动性损失程度小, 1h间隔损失率最大不超过9.7%。

抗压强度是否合格对作用于路基填料的泡沫土非常重要, 对养护龄期28d的泡沫土试块进行了抗压强度测试, 见图2(b)。发现水灰比为0.45和0.55时, 泡沫土抗压强度随土掺量增加而下降, 水灰比为0.5时, 泡沫土抗压强度在土掺量150达到最大。这是由于土的加入改变了泡沫土内部孔隙结构, 降低了骨料间的粘结性从而导致抗压强度下降。并且分析三个水灰比配比泡沫土, 发现处于0.5水灰比的泡沫土试块抗压强度受土掺量改变影响程度较小, 抗压性能稳定。

泡沫土干、湿容重见图2(c), 各配比下泡沫土湿容重大小平均在 1.2 kg/m^3 , 干容重大小平均在 1.0 kg/m^3 。

3 结论

- (1) 轻质泡沫土流动性、抗压强度在改变水灰比及土掺量条件下, 在水灰比0.55和土掺量100配比下性能表现最优。
- (2) 随着土掺量的提高, 泡沫土干、湿容重提升幅度小, 在提升强度前提下保证了泡沫土的轻质性。

【参考文献】

[1]曹越.泡沫轻质土在高速公路路基施工中的研究与应用[J].上海公路,2024,(03):135-139+208.
 [2]高雁恒.泡沫轻质土路基的物理力学性能与施工工艺研究[J].交通世界,2023,(27):64-66.
 [3]何志兵,曾慧姣,王伟光,等.煤渣泡沫轻质土制备及性能研究[J].建材世界,2024,45(01):18-22.
 [4]李淘.海砂基泡沫土的物理力学性能及耐久性分析[J].福建交通科技,2023,(12):22-27.
 [5]孙超.泡沫混凝土及其在桥梁填充中的应用基础研究[D].东南大学,2019.
 [6]肖楠轩.高速公路桥梁台背泡沫轻质土回填料处治有限元分析研究[D].重庆交通大学,2024.
 [7]杨洪涛,庞和伟,解宏山,等.泡沫混凝土材料性能分析与工程应用[J].砖瓦,2024,(11):55-58.

作者简介:

冯汉卿(1970--),男,山西万荣人,高级工程师,研究方向:铁路工程防灾减灾。