

有轨电车路基流动性填料强度分析

黄崇伟, 朱美宣, 孙瑜

(上海理工大学交通运输工程系, 上海 200093)

摘要: 本文主要研究了有轨电车路基回填流动性材料的无侧限抗压强度, 具体分析了龄期、养护环境、水灰比、劈裂强度、回弹模量与流动性回填材料的无侧限抗压强度的关系。研究表明: 对路基的流动性回填材料而言, 养护时间越长, 材料强度越高; 在野外养护环境下的前 7 天强度明显高于标准养护与密封养护, 然而, 后期强度增长率明显低于其他两种养护条件; 劈裂强度、回弹模量与无侧限抗压强度线性关系较好。最后对比了流动性回填材料与普通混凝土的区别, 推荐其应用于有轨电车路基维修开挖工程中。

关键词: 有轨电车; 路基; 流动性材料; 无侧限抗压强度

中图分类号: U416.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 12—0145—03

路基是保障轨道或者交通正常运营的根本, 为整体道床提供支承, 国内外对路基填料的选取, 通常通过控制其矿物成分、粒径级配等物理属性来进行选择, 在工程应用中再通过其无侧限抗压强度、回弹模量等力学指标来判别其适用性^[1]。为了使一些不良填料能满足工程需要, 应进行改良处治。常用的路基改良填料有级配碎石、石灰处治土、水泥改良土、二灰土与无机结合料稳定碎石类材料等。唐光明^[2]根据水泥的特点, 对水泥稳定碎石基层裂缝提出了相应解决办法。候传磊^[3]从施工技术的角度研究了水泥稳定碎石在市政工程上的应用。薛艳华^[4]利用超景深三维显微镜发现 PAM 能有效提高石灰稳定土的强度, 并给出了石灰稳定土的应用。唐山平^[5]在对石灰稳定土进行过抗压强度测试后, 建议石灰稳定土应用于低等级路面基层。张权^[6]通过不同的水泥掺量、混合料级配开展分析对无侧限抗压强度的影响。薛猛^[7]通过不同压实度、养护龄期水泥稳定土与石灰稳定土强度试验, 发现水泥稳定土较石灰效果更好。

虽然水泥稳定碎石、石灰稳定土、水泥稳定土改善路基已经开展了广泛的研究应用, 但对有轨电车路基维修开挖而言, 由于其施工工期短, 工程复杂, 需要快速按时、按质、按量完成任务。因此, 本文详细介绍了有轨电车路基维修开挖中需用到的流动性回填材料, 具体展开龄期、养护环境、水灰比、劈裂强度、回弹模量与流动性材料的无侧限抗压强度关系分析, 最后对比了流动性回填材料与普通混凝土在配合比设计上的差异。

1 材料及配合比

1.1 原材料

1.1.1 水泥

选用 325 级复合硅酸盐水泥, 其 80 μm 分计筛余 3%。其他技术性能指标见下表 1。

表 1 水泥主要性能

比表面积 (cm ² /g)	密度 (g/cm ³)	标准稠度用水量 (%)	凝结时间 (min)		抗压强度 (MPa)		抗折强度 (MPa)	
			初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
405	3.12	26	60	400	12.1	36.3	2.7	5.8

1.1.2 粉煤灰

选用 III 级粉煤灰, 主要技术性能及成分见下表 2。

表 2 粉煤灰主要性能及成分

比表面积 (cm ² /g)	密度 (g/cm ³)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	IL (%)
436	2.2	52.7	25.8	9.6	3.8	1.2	0.3	4

1.1.3 砂

选用细砂 (FS)、中砂 (MS) 及粗砂 (CS) 三种砂石材料。

1.2 配合比设计

由于流动性回填材料由水泥、粉煤灰、砂集料、水四种成分组成, 因此在进行配合比设计时需要用三个参数去确定其配合比, 而这三个参数之间要相互独立。因此, 对配合比编号定义如下规则: AB-C-D, A 表示流动性回填材料, B 表示水泥掺量 (%), C 表示粉煤灰取代集料的比例, D 表示砂样种类 (细砂 FS、中砂 MS、粗砂 CS)。

例如 A10-20-FS 表示: 该配合比采用的水泥掺量为 10%, 集料为细砂, 粉煤灰取代细砂的比例为 20%。采用该编号配合比的原材料质量比为: 水泥: 粉煤灰: 细砂 = 10: 18: 72。

2 无侧限抗压强度

2.1 龄期、养护环境

为了研究不同养护时间、养护环境对抗压强度的影响,根据配合比方案设计,分别测试了 A5-20-FS、A5-30-CS 两组配合比在标准养护、密封养护、野外养护三种不同养护环境下,不同龄期(7d、28d、90d、180d)的无侧限抗压强度值,如图 1 所示。

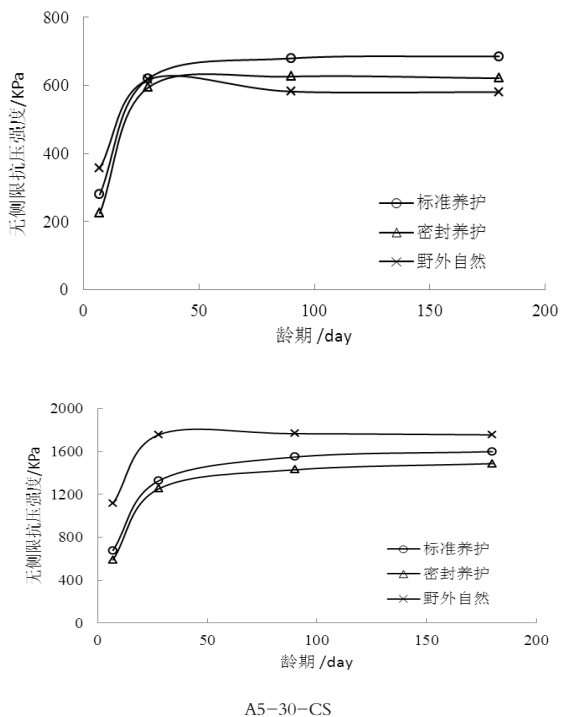


图 1 龄期、养护环境对抗压强度的影响

(1) 流动性回填材料的强度与养护龄期密切相关。养护的时间越长,强度会越高,前 28 天内强度增长显著,7 天强度约为 28 天强度的 40%~60%,在 28~90 天内,强度继续增长,90 天龄期抗压强度相对 28 天有 15%~25% 的增长,此后则增长缓慢,基本趋于稳定。

(2) 野外养护环境下流动性回填材料 7 天强度显著高于另外两种养护方式。养护开始时间 7 月份,温度较高,这说明温度对早期强度有促进作用。但是野外自然环境下,材料的后期强度增长率明显低于另两种养护环境下的后期强度增长率。使用细砂集料的试件在野外养护环境下,90 天龄期及 180 天龄期下的抗压强度相对 28 天龄期还呈现出下降的趋势。主要是由于野外受阳光直晒,水泥水化反应加剧,水化产物分布不均匀。较稀少的区域,强度较低,较稠密的区域,水化物包裹住了水泥颗粒,阻止了水泥颗粒的进一步水化,从而水化物数量变少,材料后期强度下降。使用细砂集料试件在野外养护环境下出现强度降低的情况是因为该材料配合比中的水固比较高,没有发生化学反应的水份会残留

在试件中,形成残留空隙,内部空隙多对材料强度有负面作用,野外温度变化导致空隙内部空气热胀冷缩,在材料内部形成细微裂缝,从而造成强度衰减。而使用粗砂集料试件因为水固比相对较小,因此内部孔隙率也小,这种衰减作用也相对微弱。

(3) 标准养护强度略高于密封养护,但差别并不大。过湿环境不利于强度增长,从机理上分析是因为湿度太高,自由水不能及时蒸发出去而停留在试件内部,从而导致材料内部空隙率增大,造成强度的降低。

2.2 水灰比

整理 28 天无侧限抗压强度与水灰比的关系如图 2 所示。水灰比与抗压强度的关系可以大致用公式(1)描述:

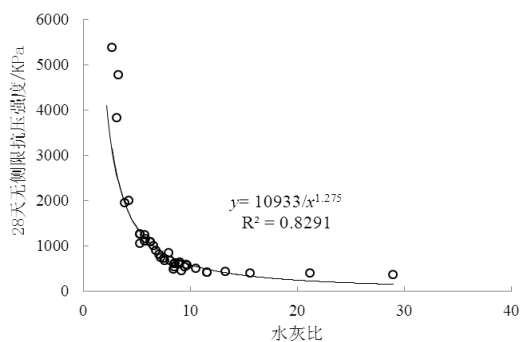


图 2 水灰比与抗压强度关系

$$f_{cu} = 10933 / (w/c)^{1.275} \quad (1)$$

由上图,可知流动性回填材料的强度一般与水泥掺量成正比,同用水量成反比。用水量的增加直接影响材料的空隙比。用水量越大,空隙比就越大。空隙比大,不仅影响了水泥的胶凝作用,也降低了材料间的内摩阻力。在高水灰比条件下,曲线变缓,在此情形下,水泥的胶结作用较小,强度主要是由材料的内摩阻力提供。在水灰比较低的情况下,曲线变陡,水灰比的一个很小的变化会导致强度较大的变化,在此情形下,材料的行为更类似于水泥混凝土。在水灰比中等的情形下,内摩阻力和胶结力共同作用,决定流动性回填的强度特征。

2.3 劈裂强度

整理 28 天无侧限抗压强度与劈裂强度的关系如图 3 所示,可以用公式(2)描述:

$$f_{ct} = 0.0815f_{cu} + 2.8331 \quad (2)$$

由于材料内部存在缺陷,尤其在拉伸荷载作用下更易凸显,因此,流动性材料的劈裂强度远低于抗压强度,而且,28 天的劈裂强度约为同期无侧限抗压

强度的6%~11%，这个数值区间略低于水泥混凝土的8%~14%。另外，不同于普通水泥混凝土的是，流动性回填材料的劈裂强度与抗压强度的比值并没有随着抗压强度增加而出现显著降低，其劈裂强度和抗压强度有很好的线性相关性。

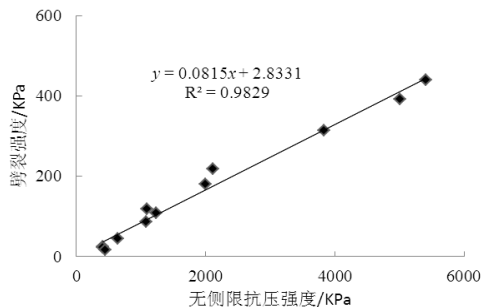


图3 劈裂强度与无侧限抗压强度关系

2.4 回弹模量

整理28天无侧限抗压强度与回弹模量的关系如图4所示，可以用公式(3)描述：

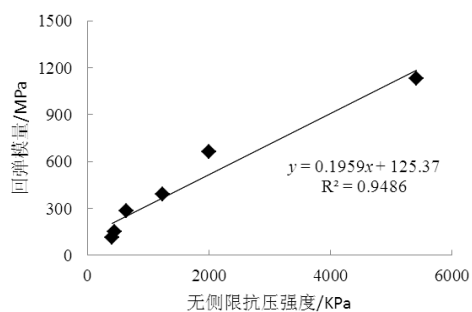


图4 回弹模量与无侧限抗压强度关系

$$E_0 = 0.1959f_{cu} + 125.37 \quad (3)$$

由上图看出，对流动性回填材料而言，回弹模量与强度之间有很好的相关性。这是因为，抗压回弹模量试验是确定弹性范围内可承受的最大压力。无侧限抗压强度试验是连续加载直至材料开始破坏为止，确定材料的最大承载力。可以说，无侧限抗压强度试验中，已经经历了抗压回弹模量的力学和变形条件过程。

3 与普通填料的对比分析

流动性材料与普通混凝土在原材料上无明显差异，但是在配合比方面，两者有着明显的差异，如下表3。

有轨电车路基在维修开挖过程中难度系数高，工程复杂，对流动性要求较高，考虑到流动性回填材料流动性好，野外环境下前7天强度较高，施工方便，因此，可应用有轨电车路基维修开挖中。

表3 流动性回填材料与普通混凝土的异同

参数	流动性回填材料	普通混凝土	
水泥用量	50~150 kg/m ³	250~450 kg/m ³	
水胶比	通常大于1	0.4 ~ 0.55	
强度范围	较低	高	
集料	粗集料用量	较少用，小于400 kg/m ³	700~1100 kg/m ³
	细集料用量	1280-1480 kg/m ³	700-1000 kg/m ³
	性能要求	无严格要求	有严格要求
粉煤灰的作用	①改善流动性②减少泌水 ③防止骨料离析④降低成本	①增加晚期强度②减少收缩 ③降低水化热	
外掺剂	早强剂、发泡剂	早强剂、减水剂、强塑剂	

4 结论

本文主要分析龄期、养护环境、水灰比、劈裂强度、回弹模量与流动性回填材料的无侧限抗压强度关系。对于流动性回填材料的无侧限抗压强度而言，随着养护龄期的增长而增大，野外养护环境下流动性回填材料7天强度显著高于另外两种养护方式，后期强度增长率明显低于另两种养护环境下的后期强度增长率。劈裂强度、回弹模量与无侧限抗压强度有很好的线性相关性。最后，通过对比分析了流动性回填材料与普通混凝土在配合比设计上的差异，推荐应用于路基维修开挖。

参考文献：

- [1] Lei P. Implement quality control of roadbed pressure in highway engineering[J]. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2021, 651(3):032008.
- [2] 唐光明. 浅析农村公路水泥稳定碎石基层裂缝成因与防治措施[J]. 科学咨询, 2021(29):67-68.
- [3] 侯传磊. 市政施工中水泥稳定碎石基层施工技术分析[J]. 房地产导刊, 2020(11):89.
- [4] 薛艳华, 高明星, 袁飞龙, 等. 聚丙烯酰胺对石灰稳定土早期强度和破坏形式的影响[J]. 复合材料学报, 2021, 38(4):1283-1291. DOI:10.13801/j.cnki.fhclxb.20200730.002.
- [5] 唐山平, 孙志恒, 陈莲芳. 石灰稳定土在道路工程中的应用[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2011, 8(4):314-318. DOI:10.3969/j.issn.1672-3031.2011.04.014.
- [6] 张权, 王志斌, 邱文利, 许忠印, 董立强, 何兆益. 水泥稳定碎石基层强度及影响因素相关性分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2021, 45(04):768-773.
- [7] 薛猛. 蒙华铁路全风化软质岩及改良土填料试验研究[D]. 西南交通大学, 2016.

基金项目：上海市青年科技英才扬帆计划资助项目（20YF1431900）。