

粉煤灰作为可持续路面材料的稳定再生沥青路面研究

张君毅

(湖南建工交通建设有限公司, 湖南 长沙 410004)

摘要: 对再生沥青路面和粉煤灰混合物作为可持续路面材料的可行性进行评价,通过无侧限抗压强度试验测定再生沥青路面和粉煤灰混合料的强度特性,分析干湿循环对该材料强度和微观结构变化的影响,用 X 光衍射和扫描电镜分析复合路面材料的微观结构,重金属的可浸出性通过毒性浸提过程进行测量。试验结果表明,压实的再生沥青路面和粉煤灰混合物可用作基层材料;再生沥青路面和粉煤灰混合物的单轴抗压强度随着干湿循环次数的增加而增大,在 6 个干湿循环时达到峰值,干湿循环次数 > 6 次时产生显著宏观和微观裂纹导致强度降低;再生沥青路面和粉煤灰混合物不存在环境风险,用作路面基层材料可行。

关键词: 公路;再生沥青路面;粉煤灰;路面材料;干湿循环;耐久性;微观结构

中图分类号:U418.6

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)01-0092-03

再生沥青(RAP)是从已达到设计寿命的道路中提取的废沥青中获得的,它含有 3%~7% 的沥青黏合剂和 93%~97% 的骨料,是理想的路面再生材料,被用作路面基层/底基层材料。但 RAP 的强度和刚度较低,相关试验结果显示,RAP 的 7 d 单轴抗压强度低于路面基层材料的强度要求。而粉煤灰(FA)可提高砼的无侧限抗压强度和弹性模量。该文研究将粉煤灰和再生沥青路面混合物作为可持续路面材料的可行性。

1 材料和方法

1.1 材料

(1) RAP。风干 RAP 的级配见图 1。通过 X 光荧光(XRF)、X 光衍射(XRD)分析 RAP 的化学和矿物组成,X 光荧光光谱分析结果表明 RAP 中主要矿物成分为方解石—镁和白云石,X 光衍射光谱分析结果[见图 2(a)]表明 RAP 中主要化学成分为 41.93% 的氧化钙和 36.18% 的氧化镁。RAP 中的高氧化钙可与粉煤灰中的二氧化硅和氧化铝反应,增强火山灰反应。通过扫描电子显微镜(SEM)分析获得的无定形沥青黏合剂覆盖的不规则形状的 RAP 颗粒见图 3(a)。

(2) 粉煤灰。由激光颗粒分析仪获得的 FA 粒度分布见图 1。FA 的比重为 2.50。使用 XRD 分析 FA 的化学组成,结果见图 2(b)。粉煤灰主要由 40.13% 的二氧化硅、20.51% 的三氧化二铝、5.83% 的三氧化二铁和 12.45% 的氧化钙组成,在衍射角

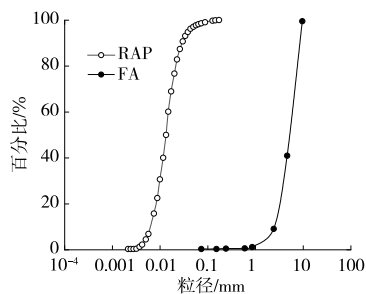
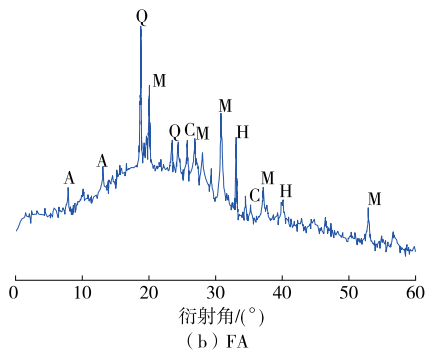
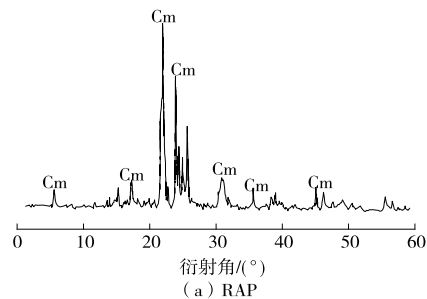


图 1 RAP 和 FA 的粒度分布



Cm 为方解石;D 为白云石;A 为硫酸钙;C 为方解石;Q 为石英;M 为多晶体;H 为赤铁矿

图 2 RAP 和 FA 的 X 光衍射图

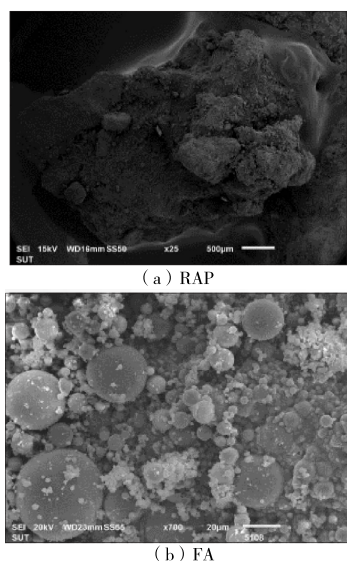


图 3 RAP 和 FA 的扫描电镜照片

15°~40°内检测到主要非晶相的峰,包括硫酸钙、石英、方解石、多晶和赤铁矿。如图 3(b)所示,不同尺寸的粉煤灰颗粒呈细小的球形。

1.2 样品制备

先将风干 5 min 的 RAP 和 FA 混合,再与水混合 5 min 确保均匀,得到 RAP-FA 混合物。将该混合物放在圆柱形模具(直径 101.6 mm,高度 116.3 mm)中,包裹在乙烯基片内,然后在室温(20~25 °C)下分别固化 7 和 28 d。将固化后的样品在水中浸泡 2 h,之后风干 1 h。浸泡过程中,每 1 h 测量 28 d 固化样品的吸水率。对样品进行无侧限抗压强度试验,测定其无侧限抗压强度。

1.3 干湿循环试验

选择 28 d 的样品进行干湿循环试验,在室温下浸入饮用水 5 h,然后在 70 °C 烘箱中干燥 42 h,并风干 1 h,此为一个干湿循环(48 h)。在每个干湿循环周期称重,记录样品的质量损失。在目标干湿循环中,样品再次浸入水中 2 h,风干至少 1 h 后在 1、3、6、9、12、15、20 个干湿循环时测量样品的无侧限抗压强度,并与没有进行干湿循环的样品进行比较,分析干湿循环对无侧限抗压强度的影响。

用 XRD 和 SEM 观测 RAP-FA 混合物样品的微观结构变化,分析干湿循环前后矿物学和显微结构变化。从样品的破碎部分取出小碎片并分成两部分,将一部分浸入液氮中 5 min,然后在 -195 °C 下冷冻,进行 SEM 分析;另一部分经空气干燥,加工成小于 75 μm 的粉末,用于 XRD 分析。使用电感耦合等离子体-光发射光谱法对 100% RAP(不

含 FA)和 RAP-FA 混合物进行不同类型重金属的毒性浸提过程(TCLP)测试,确定固体废物是否有害。

2 试验结果与分析

2.1 无侧限抗压强度

图 4 为压实的 RAP-FA 混合物的干密度和含水量之间的关系。由图 4 可知:100% RAP 的干密度对含水量不敏感,RAP-FA 混合物的干密度对含水量敏感;最大干密度随着 FA 添加量的增加而增大,但 RAP+20%粉煤灰和 RAP+30%粉煤灰混合料的压实曲线相似,说明高达 30%的粉煤灰添加量对 RAP-FA 混合物的压实度影响不大。

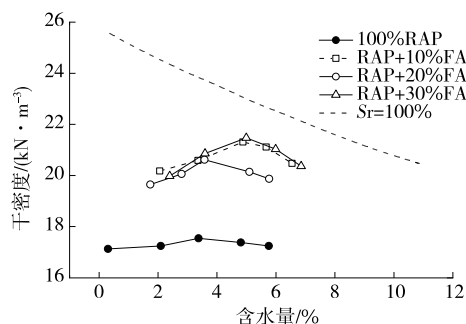


图 4 纯 RAP 和 RAP-FA 混合物的压实结果

图 5 为 RAP-FA 混合物(20% FA 和 30% FA)在 7、28 d 时的无侧限抗压强度。由图 5 可知:随着固化时间的延长,RAP-FA 混合物的抗压强度增大;RAP+20%FA 和 RAP+30%FA 混合料的 7 d 抗压强度均高于纯 RAP。

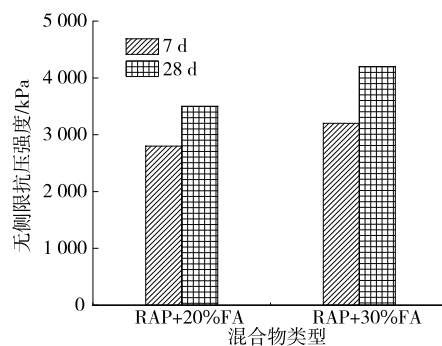


图 5 RAP+20%FA 和 RAP+30%FA 混合物的 7、28 d 抗压强度

RAP+20% FA 混合物的强度与干湿循环次数的关系见图 6,室温下固化 28 d 时质量损失与干湿循环次数的关系见图 7,干湿循环对 RAP+20%FA 混合物外表面的影响见图 8。从图 6~8 可以看出:RAP+20%FA 混合物的质量损失在第一个干湿循环内显著增大,之后随着干湿循环次数的增加逐渐

增大;干湿循环 20 次时,RAP+20%FA 混合物出现宏观裂纹和表面劣化,导致强度损失。在干湿循环 6 次后强度降低,但其 20 d 循环抗压强度仍满足最低强度要求,RAP+20%FA 混合物在经受干湿循环时表现出相当好的耐久性。

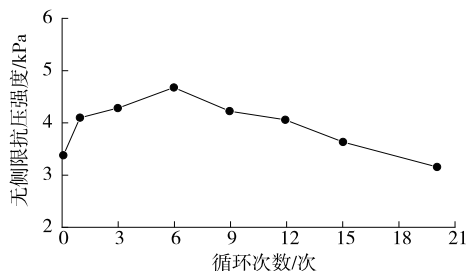


图6 RAP+20%FA 混合物的强度与干湿循环次数的关系

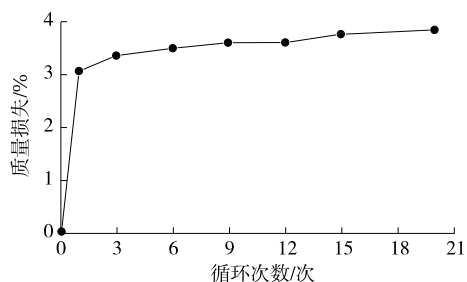


图7 RAP+20%FA 混合物的质量损失与干湿循环次数的关系

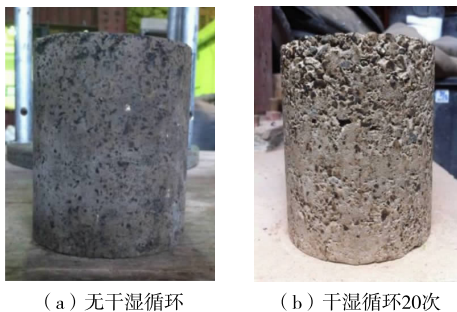
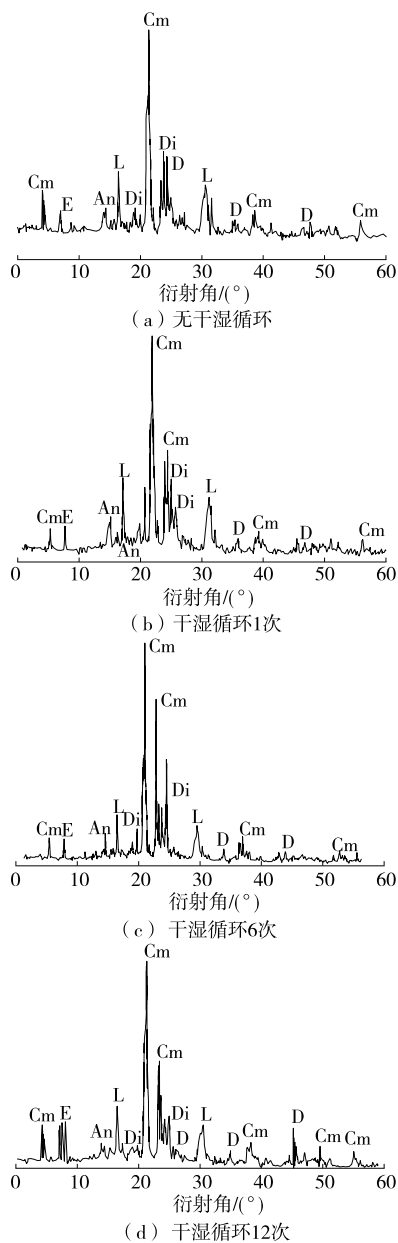


图8 不同干湿循环次数下的 RAP+20%FA 混合物

2.2 矿物学和显微结构的变化

RAP+20%FA 混合物在不同温度下的 XRD 图谱见图9。

由图9可知:无干湿循环时,RAP+20%FA 混合物包含作为 RAP 中主要矿物的钙镁非晶相及新的水泥质矿物(二氧化硅和氧化铝),如钙长石、透辉石、菱镁矿和钙矾石。这些新矿物是在 RAP 与 FA 混合时形成的,FA 的高含量二氧化硅、氧化铝与 RAP 的高含量钙之间的化学反应形成硅酸钙水合物(C—S—H)和铝酸钙水合物(C—A—H),类似于水泥的水合作用,对强度发展有利。干湿循环6次



Cm 为方解石;E 为钙矾石;An 为钙长石;L 为菱镁矿;
Di 为辉透石;D 为白云石

图9 RAP+20%FA 样品在不同干湿循环次数下的 XRD 图谱

时,对应于钙长石、透辉石和菱镁矿的峰增大,表明 Cs—H 和 C—Ar—H 增加。在 70 °C 下干燥进行水—固试验可增强水泥产品(C—As—H),即温度升高导致水泥材料的水分扩散更快,从而使水泥硬化。而干湿循环次数大于 6 次时的情况并非如此。温度影响水的物理性质(密度和表面张力),并导致与钙矾石溶解和 C—S 氢蚀变有关的孔隙结构变大。样品经受 12 次干湿循环时,钙矾石的存在及钙长石和透辉石矿物的强度降低。钙矾石是一种含水矿物,

(下转第 98 页)

实体工程应用效果显示,反应型冷补料的路用性能与试验结果相符,其性能表现远超溶剂型冷补料。



图2 溶剂型冷补料使用22周后效果



图3 反应型冷补料使用1年后效果

4 结论

(1) 与溶剂型冷补料相比,反应型冷补料具备更好的黏聚性、较高的初始稳定性和成型稳定度、较强的早期强度和后期使用强度,满足快速通车的路

面初始要求,能抵抗车辆反复作用导致的变形。

(2) 通过高温性能、低温性能、水稳定性等路用性能对比,反应型冷补料比溶剂型冷补料具备更好的抗车辙能力、低温抗裂性能及抗水损害性能。

(3) 高速公路实体工程应用显示反应型冷补料的坑槽修补效果优于溶剂型冷补料,能保证良好的长期路用性能。

参考文献:

- [1] 李强,刘非易,罗宵,等.冷补沥青混合料的制备工艺研究及性能评价[J].武汉工程大学学报,2021,43(2):192—196+201.
- [2] 张祥.坑槽修补冷补料性能评价及力学行为分析[D].乌鲁木齐:新疆大学,2019.
- [3] 刘旦.冷补沥青混合料性能评价研究[J].湖南交通科技,2018,44(3):83—86.
- [4] 邓吉升.冷补沥青混合料路用性能评价及其影响因素分析[D].重庆:重庆交通大学,2018.
- [5] 裴飞鹏,田春玲,董元帅.溶剂型冷补料路用性能研究[J].公路交通科技(应用技术版),2017(5):72—73.
- [6] 盛兴跃,李睿,李璐,等.反应型沥青冷补料制备与性能研究[J].公路交通技术,2016(1):48—52.

收稿日期:2021-04-26

(上接第94页)

在润湿时表现出膨胀行为,使RAP-FA混合物存在潜在的体积不稳定性。

3 结论

(1) 压实的RAP-FA混合物的7d无侧限抗压强度满足基层强度要求。FA替代率超过20%时,RAP-FA混合物的无侧限抗压强度改变不明显,20%为FA最佳掺量。

(2) 干湿循环次数小于6次时,随着干湿循环次数的增加,RAP+20%FA混合物的无侧限抗压强度增大,这是由于RAP中高含量的氧化钙与FA中高含量的二氧化硅、氧化铝之间的化学反应导致C—S—H和C—A—H的生长;干湿循环次数大于6次时,强度减少,这是由于干燥阶段水分含量损失产生大裂纹而使强度降低。但即使在干湿循环6次后强度降低,其20d循环无侧限抗压强度仍高于最低强度要求。

(3) 从环境的角度来看,RAP-FA混合物不会

造成重大的环境风险,可安全地用于路面基层。且回收材料的使用能节能,减少温室气体排放。

参考文献:

- [1] 王海峰,严捍东,杨伟.碱激发粉煤灰水泥再生沥青混凝土性能研究[J].武汉大学学报(工学版),2019,52(6):504—510.
- [2] 张宝龙,吴平,闫新勇,等.表面修饰粉煤灰对沥青路用性能的影响[J].长安大学学报(自然科学版),2018,38(3):43—51.
- [3] 吴平,王选仓.粉煤灰特性对沥青混合料性能的影响[J].公路交通科技,2016,33(12):21—28.
- [4] 郭寅川,申爱琴,张名成,等.沥青路面复合式冷再生基层混合料路用性能影响因素[J].公路交通科技,2014,31(7):32—38.
- [5] 王海峰,郭子雄,马保国.水泥—粉煤灰对再生沥青混凝土性能的影响[J].建筑材料学报,2014,17(1):182—186.

收稿日期:2021-04-20