

## 再生砷骨料在热拌沥青基层骨料中的应用研究

高举

(湖南建工交通建设有限公司, 湖南 长沙 410005)

**摘要:** 采用间接抗拉强度试验、Kim 试验、车轮跟踪试验和抗拉强度比试验测试含再生砷骨料热拌沥青混合料的性能, 分析再生砷骨料用作热拌沥青混合料骨料的适用性; 为反映现场压实条件, 依据 Superpave 混合料设计法确定含再生骨料沥青混合料中黏合剂含量, 并根据马歇尔设计标准进行评估。结果表明, 含再生砷沥青混合料(混合料 2 和混合料 3)的间接抗拉强度比、变形强度、车辙深度和间接抗拉强度均优于天然骨料沥青混合料(混合料 1); 由于骨料粗细差异, 混合料 4 的测试效果不佳; 在马歇尔压实方法中, 动荷载会导致沥青混合料的碾压砷产生摩擦。

**关键词:** 公路; 再生砷骨料; 热拌沥青混合料(HMA); 基层

中图分类号: U416.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)06-0095-04

随着全球对环境保护和有效利用资源的重视, 建筑废物回收利用成为重点关注对象。张童童等分析了温拌再生沥青材料的使用寿命, 同时评价了能耗和碳排放指标, 表明使用温拌再生沥青能节能 11.1%、碳排放率降低 10.5%, 温拌沥青材料的使用寿命优于热拌沥青材料。蒋定良等通过多种添加剂联合作用对沥青砷进行改性, 结果表明采用适量的海泡石纤维或化工铁粉可提高材料的高温稳定性与水稳定性, 且可减少沥青的使用。徐伟等针对高温环境下沥青砷最佳拌和时间进行试验分析, 对比不同拌和温度、拌和时间下的马歇尔性能、稳定性及空隙率, 发现拌和温度为 175~185 °C、放置时间控制在 2 h 时, 沥青混合料各项指标达到最优。张新会利用不同工艺的沥青混合料进行性能测试, 认为热拌沥青混合料性能最稳定, 但对能耗要求较高。对再生砷骨料进行回收利用, 不仅可解决城市建筑废料堆积问题, 还可减少对天然骨料的消耗。而目前道路铺设和维护对天然骨料消耗过多, 不符合可持续发展宗旨, 现有研究对含再生骨料热拌沥青混合料也鲜有涉及。为此, 该文采用天然骨料和再生骨料分别配置 4 种混合料研究其基本性能, 为再生砷骨料的合理利用提供科学依据。

## 1 混合料材料与样品制作

为评估骨料尺寸对热拌沥青混合料(HMA)基本性能的影响, 将天然碎骨料和粗骨料混合作为 4 种混合料, 其中: 混合料 1 中仅使用天然骨料, 混合料 2 中分别使用天然骨料和再生骨料作为粗骨料、

细骨料, 混合料 3 中分别使用再生骨料和天然骨料作为粗骨料、细骨料, 混合料 4 仅使用再生骨料(见表 1)。所有混合料都添加相同剂量的黏合剂, 最佳黏合剂含量按照 Superpave 混合料设计方法确定。根据试验测定, 天然骨料(混合料 1)和再生粗骨料(混合料 4)中扁长颗粒含量分别为 19.91%、16.78%。2 种骨料的吸水率、密度根据 GB/T 25177—2010 确定(见表 2)。骨料的混合级配见图 1。

表 1 天然—再生骨料混合物成分

混合料类型	粗骨料 (>4.75 mm)	细骨料 (<4.75 mm)	最优沥青含量/%
混合料 1	天然骨料 100%	天然骨料 100%	4.30
混合料 2	天然骨料 100%	再生骨料 100%	4.65
混合料 3	再生骨料 100%	天然骨料 100%	4.40
混合料 4	再生骨料 100%	再生骨料 100%	4.80

表 2 天然骨料和再生骨料的基本特性

混合料类型	表观密度/ (g · cm <sup>-3</sup> )	吸水率/ %	扁长颗粒含量/%
混合料 1	2.701	0.973	19.91
混合料 4	2.658	2.790	16.78

图 2 为 5% 目标空隙率下 4 种混合料的测量空隙率分布。在试件放置 4 h 后, 通过回转压机将所有混合料试件压实至直径 150 mm、高度 170 mm。为获取空隙分布均匀的样品, 对直径 100 mm

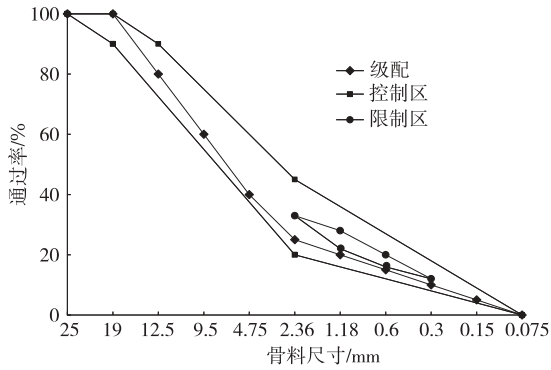


图1 混合料级配

的样品进行取芯,切割高度一定。根据空隙含量,空隙率为7.5%的压实圆柱形混合料芯样产生的空隙为(5.0±0.5)%,该试件沥青混合料符合GB/T 25177—2010的要求。

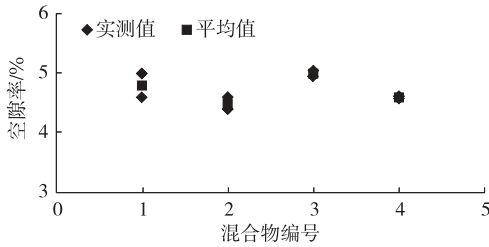


图2 混合物芯样空隙分布

### 2 4种混合料性能分析

对比分析4种混合料的吸水率,并通过马歇尔试验和间接抗拉强度试验评价含再生砂骨料(RCA)沥青混合料的抗裂性,以Kim试验与车轮跟踪试验分析混合料的抗车辙性能。

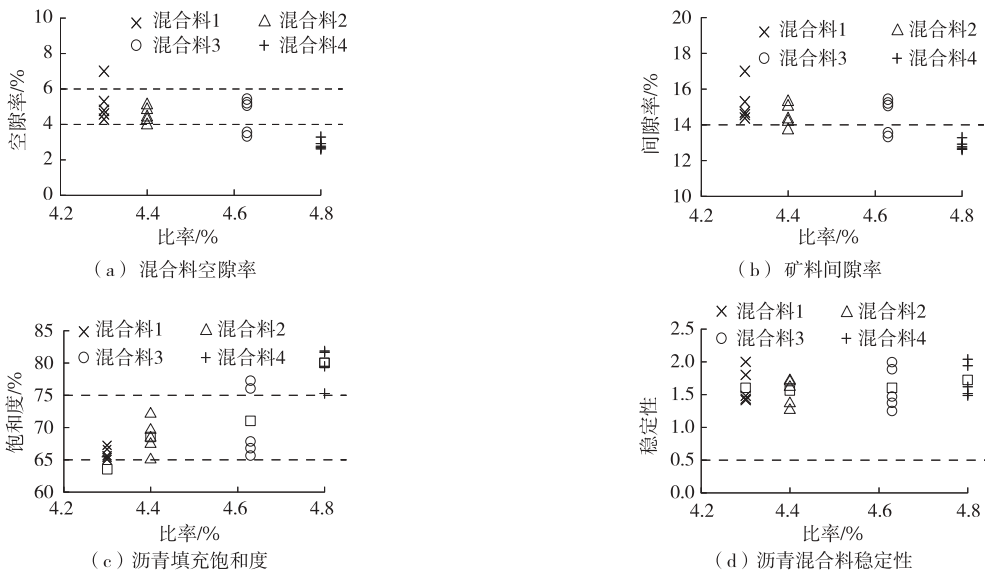


图3 马歇尔试验下混合物性能检测值

### 2.1 吸水率测试

4种混合料吸水率测试结果见表3。规范要求中国一级公路表面层最大吸水率为2%。由表3可知:除混合料4外,其他3种混合料都满足该要求。

表3 混合骨料的吸水率

混合料类型	吸水率/%	混合料类型	吸水率/%
混合料1	1.11	混合料3	1.63
混合料2	1.58	混合料4	2.10

### 2.2 马歇尔试验结果与分析

采用马歇尔混合料设计方法进行样品制作,温度为25℃,样品高度为65mm。为对比分析马歇尔混合料设计方法和Superpave混合料设计方法之间的相关性,按照Superpave混合料设计方法确定4种混合料的最佳黏合剂含量。

在马歇尔混合料设计方法中,常以混合料空隙率VTM、矿料空隙率VMA、沥青填充饱和度VFA和稳定性对沥青混合料性能进行评估。图3为马歇尔试验下混合料的性能。

由图3可知:混合料1和混合料2的VTM、VMA、VFA和稳定性检测值在规范要求的上下限内,而混合料4的性能检测值在上下限外。混合料3的VMA值和稳定性均满足要求,但VTM和VFA值不满足要求。在马歇尔试验压实过程中,动荷载作用下的粗骨料强度具有重要作用。对比混合料3和混合料4、混合料1和混合料2,粗RCA对应的VTM值较低,而在旋转压实机压实的样品中未观察到这种趋势。

根据以上试验结果,采用Superpave设计方法确

定的天然粗骨料混合料的最佳黏结剂含量与马歇尔配合比设计法确定的最佳黏结剂含量无显著差异。由于马歇尔试验压实过程中动荷载可能导致粗RCA破裂,马歇尔混合料设计法不适合模拟含再生骨料沥青混合料的设计。

### 2.3 间接抗拉强度试验结果与分析

根据材料试验标准进行间接抗拉强度测试,评估混合料的抗裂性能。试验温度为25℃,加载速率为50 mm/min。4种混合料的间接抗拉强度测试结果见图4。

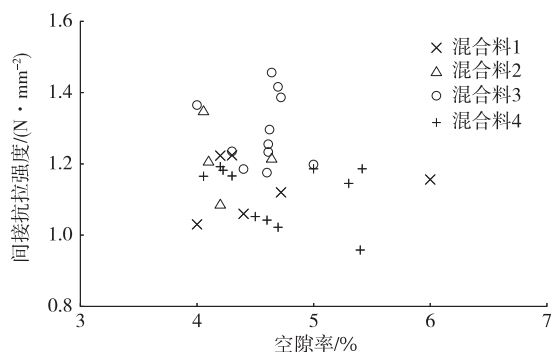


图4 混合料间接抗拉强度测试结果

从图4可以看出:间接抗拉强度试验的等级与图3(d)中的稳定性不匹配,且空隙含量函数的趋势不显著。表明沥青黏结剂的黏结强度(即黏结剂类型)对沥青混合料抗拉强度的影响更大,而与骨料类型无关。

### 2.4 Kim 试验结果与分析

通过Kim试验评估沥青混合料的抗车辙能力。如图5所示,将圆形尖端的杆与高度为63 mm、直径为100 mm的样品接触,并以30 mm/min的速度向下移动,测定形变强度、位移和失效时最大力之间的关系。试验温度为(60±4)℃。形变强度 $S_D$ 按式(1)计算。不同混合料的形变强度见图6。

$$S_D = \frac{0.32P}{(10 + \sqrt{20y - y^2})^2} \quad (1)$$

式中: $P$ 为最大负载; $y$ 为变形量。

与间接抗拉强度试验不同,多数混合料的形变强度和空隙率之间存在递减关系,但混合料3的形变强度与空隙率没有呈现这种关系。以RCA作为混合料3和混合料4中的粗骨料会引起骨料之间摩擦,导致这2种混合料的形变强度较低。此外,混合料1和混合料2对应的线性方程斜率更大,这是由于骨料摩擦影响了沥青混合料的形变强度。

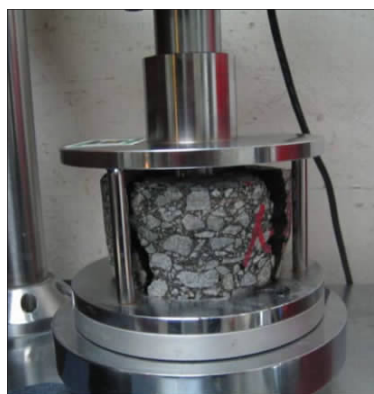


图5 Kim 试验

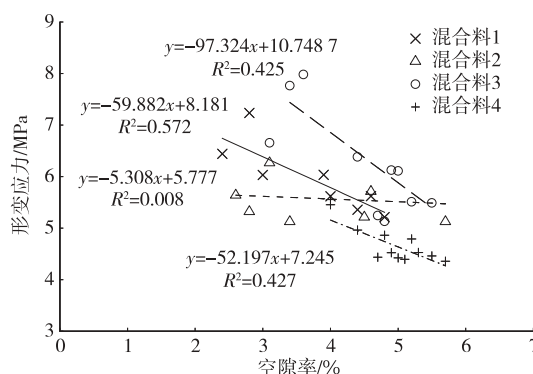


图6 Kim 试验结果

由图6可知:在骨料摩擦和吸水率的综合作用下,混合料2的变形强度较高,同时会使天然粗骨料强度增加。在任意程度吸水率下,混合料4的整体空隙率与形变强度的相关性均低于其他3种混合料,其原因为再生粗骨料和细骨料的强度较低。

### 2.5 车轮跟踪试验结果与分析

相较其他方法,车轮跟踪试验更能真实地模拟现场条件。采用车轮跟踪试验检测沥青混合料的抗车辙能力,试验温度为(60±0.5)℃,试验过程中车轮的接触压力为(628±15) kPa。模具尺寸为300 mm×300 mm×50 mm,放置在模具中的沥青混合料用压路机和捏合压实机压实,最大压实力为8 820 N(见图7)。以42次/min的重复率对沥青混合料进行碾压测试,每隔15 min(0、15、30、45、60 min)记录沥青样品中心的车辙深度。由于车轮跟踪测试结果受沥青混合料组成及初始空隙率、试验温度和加载方式的影响,在不改变测试温度和压实次数的情况下,将初步测试样品切割成9个矩形片,并测量样品中心的空隙含量。以混合料1为例,混合物空隙含量的变化见图8。图9为4种混合料车轮跟踪测试结果。

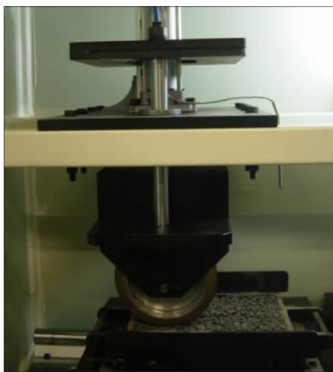


图7 车轮跟踪测试设备

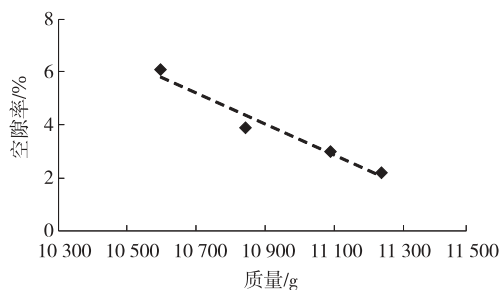


图8 混合料1的质量测定

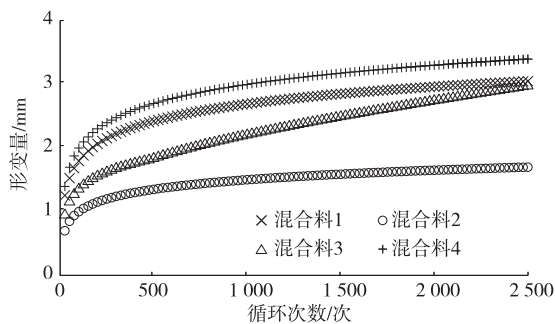


图9 车轮跟踪测试结果

从图9可以看出:在相同试验条件下,4种混合料按抗车辙性能优劣排序为混合料2>混合料3>混合料1>混合料4,与kim测试结果一致。随着试验次数的增加,混合料2的形变量变化较小,混合料2具有较好的抗车辙能力。对比Kim试验结果,混合料2的形变量与空隙含量无关。在加载循环次数逐渐增多的条件下,混合料3的形变量增长速度逐渐放缓,与Kim测试结果一致。虽然混合料1前期形变速率较快,但在循环次数达到2500次时,混合料1对应的形变量与混合料3最终产生的形变量大致相同。

### 2.6 间接拉伸强度比试验结果与分析

通过间接抗拉强度比试验预测沥青混合料对潮湿损害的敏感性,加载速率和测试温度分别为50

mm/min、25℃。混合料的间接抗拉强度比为原始样品的间接抗拉强度比除以调节后样品的间接抗拉强度比,所有混合料的最小允许抗拉强度比均为0.7。图10为4种混合料调节前后的间接抗拉强度比。

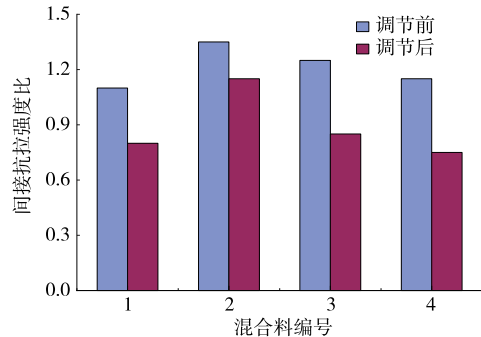


图10 混合料间接抗拉强度比测试结果

由图10可知:调节后4种混合料的抗拉强度比均小于调节前的抗拉强度比。

## 3 结论

采用马歇尔试验、间接抗拉强度试验、Kim试验、车辙试验和间接抗拉强度比试验对含再生骨料沥青混合料的性能进行评价,结论如下:

(1) 根据混合料间接抗拉强度比、形变强度、车辙深度和间接抗拉强度比,混合料2和混合料3在不同测试下均显示出较好的性能,可用作基层骨料;而由再生粗骨料和再生细骨料组成的混合料4表现出低抗拉性和低抗剪强度,不适合作为基层骨料。

(2) 马歇尔试验压实法中的动荷载会使沥青混合料碾压产生摩擦,导致碾压性能较低。

### 参考文献:

- [1] 张童童,高阳,贺显威,等.基于LCA的温拌再生沥青路面建设期节能减排效果研究[J].公路,2019(4):287-293.
- [2] 蒋定良,易文,刘奥林,等.多种添加剂联合作用对改性沥青混凝土路面性能影响研究[J].公路,2018(11):249-252.
- [3] 徐伟,李孝旭,苏权科,等.热拌环氧沥青混凝土钢桥面铺装施工控制试验研究[J].公路,2014(10):17-21.
- [4] 张新会.热拌沥青混凝土路面施工控制[J].科技信息(学术研究),2008(36):641.
- [5] 王柳江,薛晨阳,扎西顿珠,等.低温条件下心墙沥青混凝土蠕变特性试验研究[J].河海大学学报(自然科学版),2021,49(5):419-424.