

## 温拌再生玄武岩纤维沥青混合料路用性能研究\*

李志刚

(河南交院工程技术有限公司, 河南 郑州 450000)

**摘要:** 为充分利用旧沥青混合料(RAP),减少建筑垃圾对土地的占用及环境污染,文中利用玄武岩纤维力学性能好、与沥青相容性好的特点改善温拌再生混合料的路用性能,通过对再生混合料进行矿料级配设计及路用性能研究,确定沥青最佳用量、再生剂和温拌剂合理掺量;通过对再生混合料进行高温抗车辙试验、低温抗裂试验、抗水毁能力试验,研究不同玄武岩纤维掺量对温拌再生混合料路用性能的影响。结果表明,玄武岩纤维掺量为 0.3% 时,温拌再生混合料的高温抗车辙、抗水毁及抗渗水能力最优;纤维掺量为 0.4% 时,温拌再生混合料的低温抗开裂能力最优。

**关键词:** 公路;沥青混合料;温拌再生混合料;玄武岩纤维;路用性能

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)01-0062-04

中国早些年铺筑的沥青路面已逐渐进入大中修期,产生大量铣刨的旧沥青混合料(RAP)。将 RAP 通过一定技术和工艺加以利用,对经济及生态环境都会产生重大效益,故已成为现阶段道路建设中的重要研究方向。目前 RAP 再生技术还不太成熟,而将温拌技术与再生技术相结合的研究更少。玄武岩纤维是玄武岩通过一定工艺加工而成的矿物纤维,具有良好的物理、力学性能,同时与沥青具有较好的相容性,能改善混合料的路用性能。该文通过对 RAP 进行回收、抽提,研究 RAP 中旧沥青的老化程度及矿料级配组成;通过对再生混合料矿料级配设计及路用性能研究,确定新沥青的最佳掺量和温拌剂 Sasobit、再生剂 SZS 的合理用量,分析玄武岩纤维对温拌再生混合料路用性能的改善效果,为混合料温拌再生技术的应用提供理论指导。

## 1 原材料

### 1.1 RAP

旧混合料级配类型为 AC-16C,粗、细集料为玄武岩碎石,填料为石灰岩磨细的矿粉,沥青为 70# A 级。通过铣刨对旧路面进行破碎,在铣刨现场不同位置取代表性的旧混合料进行室内抽提试验,RAP 矿料级配、沥青含量及旧沥青相关指标检测结果见表 1~3。

由表 3 可知:RAP 中沥青软化点偏大,针入度较低,延度不满足规范要求。这主要是因为随着沥

表 1 RAP 矿料级配

| 级配类型 | 通过下列筛孔(mm)的质量百分率/% |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|      | 16                 | 13.2 | 9.5  | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6  | 0.3  | 0.15 | 0.075 |
| 上限   | 100.0              | 92.0 | 80.0 | 62.0 | 48.0 | 36.0 | 26.0 | 18.0 | 14.0 | 8.0   |
| 下限   | 90.0               | 76.0 | 60.0 | 34.0 | 20.0 | 13.0 | 9.0  | 7.0  | 5.0  | 4.0   |
| 级配中值 | 95.0               | 84.0 | 70.0 | 48.0 | 34.0 | 24.5 | 17.5 | 12.5 | 9.5  | 6.0   |
| 目标级配 | 96.2               | 86.4 | 71.6 | 47.3 | 32.6 | 25.3 | 16.8 | 10.1 | 7.8  | 5.2   |

表 2 RAP 沥青含量

| 试件编号 | 油石比/% | 试件编号 | 油石比/% |
|------|-------|------|-------|
| 1    | 4.21  | 4    | 4.32  |
| 2    | 4.18  | 5    | 4.23  |
| 3    | 4.29  | 6    | 4.36  |
| 平均值  |       | 4.27 |       |

表 3 RAP 中沥青三大指标试验结果

| 检测项目                 | 技术要求  | 试验结果 |
|----------------------|-------|------|
| 针入度(25℃)/(0.1 mm)    | 60~80 | 62   |
| 软化点/℃                | ≥46   | 58   |
| 延度(5 cm/min, 15℃)/cm | ≥100  | 84   |

青路面使用年限的增长,在车辆轴载及外界环境综合作用下沥青老化,相关性能衰退。

### 1.2 新沥青

新沥青选用 90# A 级,其主要技术指标见表 4。

### 1.3 再生剂

选用液体 SZS 再生剂,其对沥青质具有较好的稀释效果,能提高老化沥青的延度和针入度,使老化

\* 基金项目:河南省重大科技专项(151100310900);河南省交通运输厅科技项目(2014K39)

表4 90# 沥青的主要技术指标

| 检测项目                 | 技术要求   | 试验结果  |
|----------------------|--------|-------|
| 针入度(25℃)/(0.1 mm)    | 80~100 | 91    |
| 软化点/℃                | ≥45    | 49    |
| 延度(5 cm/min, 15℃)/cm | ≥100   | 132   |
| 蜡含量/%                | ≤2.2   | 1.1   |
| 闪点/℃                 | ≥245   | 257   |
| 60℃动力粘度/(Pa·s)       | ≥160   | 178   |
| RTFOT 质量变化/%         | ±0.8   | -0.31 |
| 后残留物 针入度比(25℃)/%     | ≥57    | 63    |
| 残留延度(15℃)/cm         | ≥20    | 26    |

沥青再生后的性能达到原沥青技术指标要求。SZS再生剂的主要技术指标见表5。

表5 SZS再生剂的主要技术指标

| 检测项目                          | 技术指标   | 试验结果    |
|-------------------------------|--------|---------|
| 外观                            | —      | 棕黑色粘稠液体 |
| 闪点/℃                          | ≥220   | 237     |
| 密度(15℃)/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 0.95~1 | 0.98    |
| 饱和分                           | <30    | 22.3    |
| 四组分含量/<br>% 芳香分               | >50    | 64.5    |
| 胶质                            | 10~20  | 12.5    |
| 沥青质                           | <1     | 0.7     |

#### 1.4 温拌剂

温拌剂是一种降粘剂,能改善沥青粘度、增强混合料的可塑性,从而降低混合料拌和施工温度。选用 Sasobit 温拌改性剂,其主要技术指标见表6。

表6 Sasobit 温拌剂的主要技术指标

| 检测项目                          | 试验结果  |
|-------------------------------|-------|
| 外观                            | 白色颗粒状 |
| 密度(25℃)/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 0.927 |
| 溶解度(20℃)/%                    | 0     |
| 熔点/℃                          | 107   |
| 闪点/℃                          | 282   |
| 水溶液 pH 值                      | 中性    |

#### 1.5 玄武岩纤维

选用的玄武岩纤维为 GBF11 μm~6 mm 短切纱,其主要技术指标见表7。

#### 1.6 矿料级配及马歇尔试验结果

再生混合料类型为 AC-16C,新掺粗集料为 3~5、5~10、10~15 mm 玄武岩碎石,细集料为 0~3 mm 机制砂,填料选用石灰岩磨制的矿粉。经检测,粗、细集料及矿粉的技术指标均满足规范要求。

表7 玄武岩纤维的主要技术指标

| 项目                       | 技术指标        |
|--------------------------|-------------|
| 纤维直径/μm                  | 11          |
| 短切长度/mm                  | 6           |
| 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 2.648       |
| 熔点/℃                     | >1 450      |
| 耐酸碱性复试性                  | 强           |
| 吸湿率/%                    | <0.1        |
| 抗拉强度/MPa                 | 2 800~3 800 |
| 吸油率/%                    | 178.6       |
| 分散性                      | 好           |

RAP 掺量占矿料总质量的 50%,AC-16C 再生混合料级配见表8。Sasobit 掺量为 3%(占再生混合料沥青的质量),通过试验确定在 Sasobit 掺量为 3%时,马歇尔试件成型温度为 135℃,最为合理。考虑到实际生产经济性要求,确定 SZS 再生剂掺量为 6.5%(占旧沥青的质量)。RAP 掺量为 50%、Sasobit 掺量为 3%、SZS 再生剂掺量为 6.5%时,再生混合料最佳新沥青用量及马歇尔试验结果见表9。

表8 再生沥青混合料的矿料级配

| 级配<br>类型 | 通过下列筛孔(mm)的质量百分率/% |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|----------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|          | 16                 | 13.2 | 9.5  | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6  | 0.3  | 0.15 | 0.075 |
| 上限       | 100.0              | 92.0 | 80.0 | 62.0 | 48.0 | 36.0 | 26.0 | 18.0 | 14.0 | 8.0   |
| 下限       | 90.0               | 76.0 | 60.0 | 34.0 | 20.0 | 13.0 | 9.0  | 7.0  | 5.0  | 4.0   |
| 级配中值     | 95.0               | 84.0 | 70.0 | 48.0 | 34.0 | 24.5 | 17.5 | 12.5 | 9.5  | 6.0   |
| 目标级配     | 95.2               | 85.1 | 72.4 | 48.6 | 33.4 | 23.7 | 16.2 | 11.7 | 8.5  | 5.9   |

注:RAP占50%。

表9 再生混合料的最佳新沥青用量及马歇尔试验结果

| 项目                            | 试验结果  |
|-------------------------------|-------|
| 最佳新沥青用量/%                     | 2.7   |
| 毛体积相对密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 2.462 |
| 空隙率/%                         | 4.8   |
| 矿料间隙率/%                       | 14.9  |
| 沥青饱和度/%                       | 70.4  |
| 马歇尔稳定度/kN                     | 9.43  |
| 流值/mm                         | 3.2   |

## 2 路用性能研究

### 2.1 高温稳定性

通过车辙试验评价温拌再生玄武岩纤维沥青混合料的高温抗车辙能力。在温拌再生混合料中分别掺入 0、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5% 玄武岩纤维(占温拌再生混合料的质量),通过轮碾成型法成型

试件。车辙试验结果见图1。

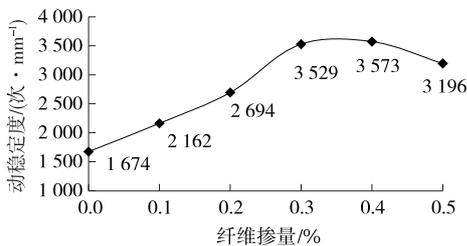


图1 温拌再生玄武岩纤维沥青混合料车辙试验结果

由图1可知:随着玄武岩纤维掺量的增大,温拌再生混合料的动稳定度先升高后降低,掺量为0.4%时动稳定度改善效果最优;掺量从0增大到0.3%时,动稳定度增幅较大,但掺量从0.3%增大到0.4%时,动稳定度增加不明显。这主要是因为玄武岩纤维比表面积较大,对沥青的吸附作用较强,能均匀分散到混合料中起到加筋、增韧的作用。但其掺量过大时,纤维在混合料中容易结团并吸收大量沥青,造成矿料间沥青膜变薄,降低混合料的高温抗车辙能力。综合考虑,玄武岩纤维最佳掺量为0.3%。

## 2.2 低温抗裂性

通过小梁弯曲试验评价温拌再生玄武岩纤维沥青混合料的低温抗开裂能力,不同玄武岩纤维掺量时的试验结果见图2、图3。

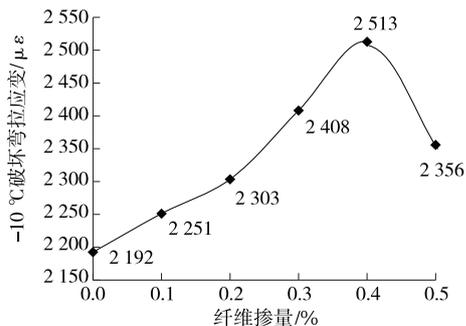


图2 温拌再生玄武岩纤维沥青混合料最大弯拉应变试验结果

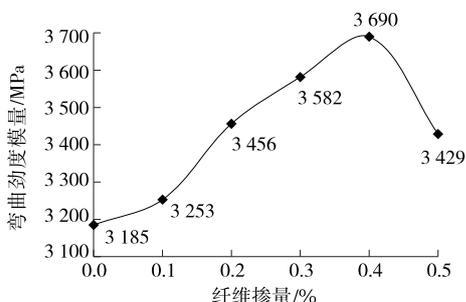


图3 温拌再生玄武岩纤维沥青混合料弯曲劲度模量试验结果

由图2、图3可知:随着玄武岩纤维掺量的增大,温拌再生混合料的最大弯拉应变、弯曲劲度模量均先升高后降低,掺量为0.4%时达到峰值;掺量为0.4%时,最大弯拉应变、弯曲劲度模量比未掺纤维的再生混合料分别提高14.6%、15.9%。表明玄武岩纤维的掺入对温拌再生混合料起到了加筋、增韧的效果,增强了矿料之间的抗拉强度,可减少裂缝的形成,改善温拌再生混合料的低温抗开裂能力。

## 2.3 水稳定性

水损害是沥青路面抗水毁能力不足的主要表现。通过浸水马歇尔和冻融劈裂试验分析不同玄武岩纤维掺量时温拌再生混合料的水稳定性,试验结果见图4、图5。

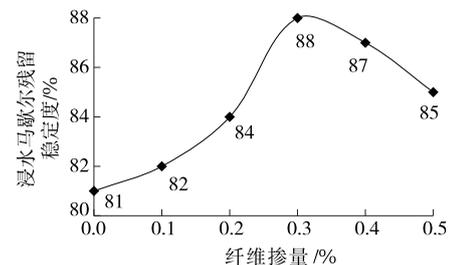


图4 温拌再生玄武岩纤维沥青混合料浸水马歇尔试验结果

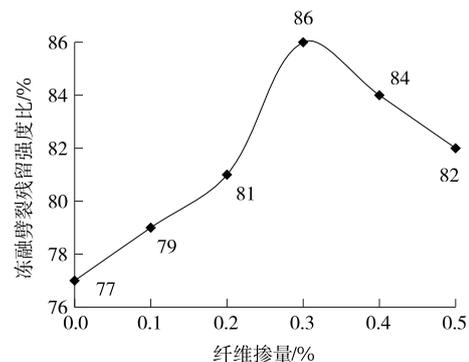


图5 温拌再生玄武岩纤维沥青混合料冻融劈裂试验结果

由图4、图5可知:随着玄武岩纤维掺量的增加,温拌再生混合料的浸水马歇尔残留稳定度、冻融劈裂残留强度比均先升高后降低,掺量从0增大到0.3%时升高幅度较大;掺量为0.3%时,浸水马歇尔残留稳定度、冻融劈裂残留强度比比未掺纤维的再生混合料分别提高8.6%、11.7%。这主要是因为玄武岩纤维能均匀分散到混合料中,提高沥青路面的密实度,增强矿料之间的粘结强度,起到加筋、增韧的效果,改善温拌再生混合料的抗水毁能力。

## 2.4 渗水性能

沥青路面的渗水能力是反映混合料密实程度的

重要指标。通过对车辙板试件进行渗水试验分析不同纤维掺量时温拌再生混合料的密实程度,试验结果见图6。

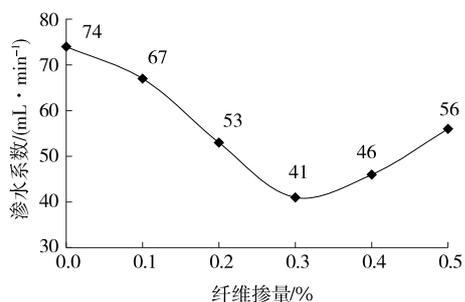


图6 温拌再生玄武岩纤维沥青混合料渗水试验结果

由图6可知:随着玄武岩纤维掺量的增加,温拌再生混合料的抗渗水能力先升高后降低,掺量为0.3%时抗渗水能力最强。这主要是因为玄武岩纤维与矿料、沥青具有很好的相容性,能均匀分散到混合料内部填补其中的空隙,增大其密实度,改善温拌再生混合料的抗渗水能力。

### 3 结论

(1) 随着玄武岩纤维掺量的增大,温拌再生混合料的动稳定度先升高后降低,掺量为0.4%时动稳定度改善效果最优,但掺量从0.3%增大到0.4%时动稳定度增幅不明显。综合考虑,玄武岩纤维最佳掺量为0.3%。

(2) 随着玄武岩纤维掺量的增大,温拌再生混合料的最大弯拉应变和弯曲劲度模量均先升高后降

低,纤维掺量为0.4%时混合料低温抗开裂能力改善效果最优。

(3) 随着玄武岩纤维掺量的增加,温拌再生混合料的浸水马歇尔残留稳定度、冻融劈裂残留强度比均先升高后降低,掺量为0.3%时混合料抗水毁能力改善效果最优。

(4) 随着玄武岩纤维掺量的增加,温拌再生混合料的抗渗水能力先升高后降低,掺量为0.3%时混合料抗渗水能力改善效果最优。

### 参考文献:

- [1] 李振.温拌再生沥青混合料性能评价研究[D].北京:北京建筑工程学院,2011.
- [2] 李新阳,黄刚,王俐栋.温拌沥青混合料技术综述[J].石油沥青,2013,27(1).
- [3] 朱月风,张洪亮,宋彬.再生沥青混合料的黏弹性动态响应及疲劳性能[J].北京工业大学学报,2017,43(1).
- [4] 何兆益,陈龙,陈先勇,等.厂拌热再生沥青混合料力学性能及应用研究[J].建筑材料学报,2016,19(5).
- [5] 韩永强,程培峰.RAP掺量对温拌再生沥青混合料性能的影响[J].公路交通科技,2015,32(12).
- [6] 郭乃胜,谭忆秋,赵颖华.温拌再生沥青混合料路用性能关键因素影响分析[J].公路交通科技,2015,32(2).
- [7] 徐刚,赵丽华,赵晶.玄武岩矿物纤维改善沥青混合料性能研究[J].公路,2011(6).
- [8] 仰建岗,刘燕,林天发.玄武岩纤维沥青混凝土路用性能研究[J].筑路机械与施工机械化,2015,32(1).

收稿日期:2019-05-22

(上接第61页)

沉、沥青层最大拉应力、沥青层最大拉应力及土基顶部压应变均呈增大趋势。

(2) 水稳碎石底基层沥青路面结构的承载能力相较于级配碎石底基层更优。

(3) 4种沥青路面结构中,结构B(沥青稳定碎石上基层+水稳碎石下基层和底基层)的承载能力、抗开裂能力、抗变形能力及抗疲劳能力均较优,沥青路面结构改造方案建议选用结构B。

### 参考文献:

- [1] 陈洪飞,孙娇娜,李西勇.城市道路沥青路面改造结构组合设计实例[J].公路交通科技:应用技术版,2014(4).
- [2] 刘浩.基于全寿命性能的城市道路沥青路面设计与施

工控制技术研究[D].郑州:郑州大学,2018.

- [3] 沈斌斌.厦蓉高速公路改扩建工程(漳州段)沥青路面再生技术方案比选[J].福建交通科技,2017(2).
- [4] 王强,刘运丹,李志勇.移动荷载作用下结构参数对沥青路面的动力响应分析[J].湖南交通科技,2018,44(1).
- [5] 叶成银,陈钟,王增逸,等.非洲典型柔性基层沥青路面结构动力响应研究[J].公路,2019(3).
- [6] 彭宏图.混合式基层沥青路面的疲劳特性分析研究[J].公路工程,2013,38(4).
- [7] 何创,曾静,李建阁,等.重载交通半刚性基层条件下沥青面层的力学响应研究[J].路基工程,2017(3).
- [8] 王海燕,曹海利,王延海.重载条件下沥青路面结构力学响应分析[J].公路工程,2015,40(6).

收稿日期:2019-06-17