

# 再生剂对高比例 RAP 热再生沥青混合料路用性能的影响研究

张勇

(佛山市交通运输工程质量监督站, 广东 佛山 528041)

**摘要:** 对比分析了再生剂掺配比例分别为 RAP 旧沥青的 0.4%、6%、8%、10% 的再生沥青的针入度、延度与软化点及再生沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性与抗疲劳性能。结果表明再生沥青的针入度、延度随再生剂的增加而提高, 软化点则降低, 再生剂具有明显的再生效果, 再生沥青混合料的低温抗裂性、水稳定性及抗疲劳性显著提高, 高温稳定性有所降低; 当再生剂掺配比例在 4% 及以下时, 再生沥青混合料的水稳定性不能满足要求, 而当掺配比例达到 10% 时, 其高温稳定性不能满足要求, 综合分析, 再生剂最佳掺配比例为 8%。

**关键词:** 公路; 再生剂; 高比例 RAP; 再生沥青混合料; 路用性能

中图分类号: U418.8

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)02-0118-04

中国每年都会产生大量废旧沥青路面材料 RAP, 这些材料若得不到有效安置与回收利用, 将对环境造成极大污染, 并导致资源的严重浪费。同时, 石料的过度开采会导致集料匮乏、价格上涨及生态环境破坏。因此, RAP 的再生利用意义重大。

目前 RAP 掺配比例在 25% 以下的技术较为成熟, 但其经济效益并不明显, 价格几乎与新沥青混合料相同, 有必要对高比例 RAP 热再生沥青混合料进行深入研究。而现有研究发现, 当 RAP 含量较高时其路用性能较差, 低温抗裂性与抗疲劳性等不能满足规范要求。为此, 该文采用实验室自制再生剂对高比例 RAP 再生沥青混合料进行热再生并研究不同再生剂掺配比例对旧沥青及再生沥青混合料路用性能的影响, 分析再生机理, 探究再生剂最佳掺配比例。

## 1 试验原材料

### 1.1 RAP

采用佛山某高速公路铣刨获取的 RAP。沥青路面受到长期的环境及荷载作用, 沥青混合料性质会发生较大改变, 为分析热再生沥青混合料的路用性能, 采用阿布森法回收 RAP 内旧沥青并检测其技术指标, 采用燃烧法获取 RAP 内集料并筛分确定旧料的矿料级配, 结果见表 1、表 2。

### 1.2 新沥青

采用中海 70# 沥青作为热再生沥青混合料的新

沥青, 其性能指标见表 3。

表 1 回收沥青的主要技术指标

试验项目	检测结果
针入度(25 ℃, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	27
延度(15 ℃, 5 cm/min)/cm	16.1
软化点(环与球法)/℃	62.4
粘度(60 ℃)/(Pa · s)	493

表 2 RAP 矿料级配

筛孔尺寸/ mm	合成级配/ %	筛孔尺寸/ mm	合成级配/ %
16.00	97.2	1.180	36.1
13.20	95.3	0.600	24.5
9.50	88.4	0.300	16.8
4.75	71.2	0.150	12.5
2.36	43.9	0.075	9.8

表 3 中海 70# 号沥青的性能指标

试验项目	标准值	检测结果
针入度(25 ℃, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	60~80	69
延度(15 ℃, 5 cm/min)/cm	≥100	>100
软化点(环与球法)/℃	≥46	53.7
密度(25 ℃)/(g · cm <sup>-3</sup> )	实测值	1.109
闪点(开口法)/℃	≥260	329
溶解度/%	≥99.5	99.13
RTFOT 残留物	质量损失/%	±0.8
(163 ℃, 85 min)	针入度比/%	≥61
		+0.11
		63.4

1.3 再生剂

采用实验室自制 A 型再生剂,其技术指标检测结果见表 4。

表 4 再生剂的技术指标

技术指标		检测结果
闪点/℃		237
60 ℃动力粘度/(Pa·s)		0.079
15 ℃密度/(g·cm <sup>-3</sup> )		0.952
RTFOT 残留物	质量损失/%	-1.9
(163 ℃,85 min)	粘度比/%	1.4

该再生剂闪点较高,不易在施工过程中产生火花等不安全因素,60 ℃动力粘度表明其流动性和渗透性较好,老化试验结果表明其具有良好的抗老化性能,适用于老化沥青的再生。

1.4 热再生沥青混合料矿料级配组成

新集料采用与原路面旧料所用岩石种类一致的花岗岩,其技术指标符合 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的要求。根据原路面矿料级配组成并考虑道路所处地区的环境及行车荷载、交通量等因素,矿料采用 AC—16 型级配组成。RAP 掺配比例取 40%,并据此调整新集料中各档集料以确保级配满足要求,最终级配组成见表 5。

表 5 再生沥青混合料的级配组成

筛孔尺寸/ mm	合成级配/ %	筛孔尺寸/ mm	合成级配/ %
16.00	96.5	1.180	35.9
13.20	93.4	0.600	23.9
9.50	85.1	0.300	16.5
4.75	68.3	0.150	12.9
2.36	44.7	0.075	10.2

2 再生剂对老化沥青性能的影响

为研究再生剂对包裹在 RAP 表面旧沥青的影响,将通过阿布森法回收的旧沥青加热至 110~120 ℃,并加入比例分别为 4%、6%、8%、10%的再生剂搅拌,静置 6 h 后检测其三大指标,结果见图 1。

由图 1 可知:1) 再生剂的添加能有效改善回收沥青的使用性能,随着再生剂掺量的增加,老化沥青的针入度与延度不断增加,软化点则不断减小。这是因为在光、氧作用下老化沥青中的轻质组分转换为胶质、沥青质,老化沥青变为凝胶型胶体结构,沥青质由于其强极性而相互吸引聚集,形成空间网状

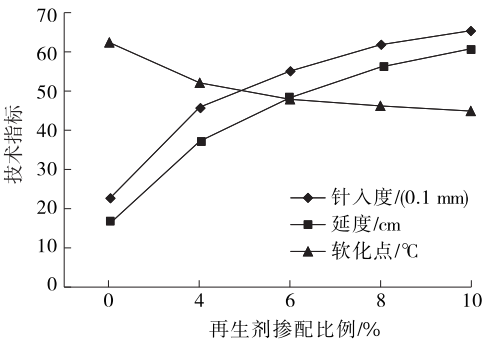


图 1 不同掺配比例再生剂对老化沥青的再生效果

结构,使老化沥青的针入度与延度降低、软化点上升。而再生剂由于其含有大量轻组分,且渗透性较好,作为老化沥青的添加剂可有效改变其内部空间结构,从而提高其针入度与延度、降低其软化点。再生剂掺量达到 8%时,针入度为 61.8 (0.1 mm),可满足规范要求;而再生剂掺量达到 10%后,虽然针入度继续增加,但软化点降至 44.9 ℃,不满足规范要求。虽然再生剂的添加显著提高了老化沥青的延度,但仍不能满足规范要求。究其原因,主要是由于老化沥青在抽提、蒸馏过程中并不能完全去除 RAP 内的矿粉,少量矿粉对针入度和软化点的影响较小,但会降低沥青的粘韧性,从而导致其延度降低,易拉断。2) 随着再生剂掺配比例的增加,各项指标增加或减小的速率降低,说明再生剂对老化沥青的再生效果具有边际递减效应。综合添加不同比例再生剂后老化沥青的三大指标,掺配比例为 8%时,各项指标较为均衡,再生剂可有效发挥再生效果。

3 再生沥青混合料路用性能评价

按照《公路沥青路面施工技术规范》的要求及设计级配,在 5 种不同油石比下制备马歇尔试件,测定其密度、稳定度、流值、空隙率与饱和度,确定再生沥青混合料的最佳油石比为 4.2%。

3.1 高温稳定性

分别对再生剂掺配比例为 0、4%、6%、8%、10%的热再生沥青混合料采用最佳油石比制备车辙试件,在 60 ℃下进行车辙试验,以动稳定度为评价指标,研究再生剂掺配比例对热再生沥青混合料高温性能的影响,结果见图 2。

由图 2 可知:1) 随着再生剂掺配比例的增加,热再生沥青混合料的动稳定度逐渐下降,说明其高温稳定性逐渐降低。这是由于再生剂的添加会降低老化沥青的弹性成分并提高其粘性成分,起到对老

化沥青的还原作用,导致其动稳定度下降,高温稳定性降低。当再生剂添加比例达到10%时,其动稳定度低于1 000次/mm,已不满足规范要求,故再生剂添加量应小于10%。2)随着再生剂掺配比例的增加,动稳定度降低速率越来越小。这是因为在再生沥青混合料车辙试件制备过程中,再生剂与RAP、沥青及新集料搅拌时间较短而来不及充分拌匀,导致产生再生剂再生效果边际递减效应。

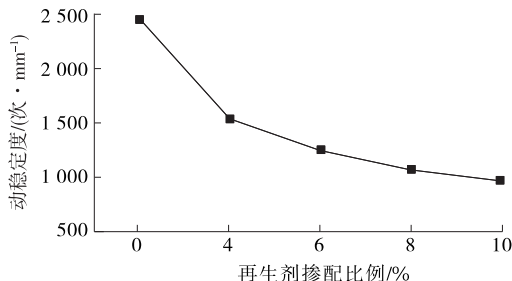


图2 再生剂对再生沥青混合料动稳定度的影响

### 3.2 低温抗裂性

通过低温弯曲试验,以弯曲应变和抗弯拉强度两指标评价不同掺配比例下再生剂对热再生沥青混合料低温抗裂性的影响,试验温度为-10℃,加载速率为50 mm/min,试验结果见图3。

由图3可知:随着再生剂掺配比例的增加,热再生沥青混合料的弯曲应变和抗弯拉强度不断增加,不掺加再生剂时弯曲应变小于2 000  $\mu\epsilon$ ,不符合规范要求。主要是由于沥青在光、氧作用下其粘性成分降低、塑性下降,RAP外部旧沥青与新沥青之间未完全融合而形成一层薄弱层,导致其弯曲应变和抗弯拉强度降低。随着再生剂的添加,老化沥青的粘性逐渐增强,老化沥青与新沥青之间的薄弱层逐渐消失,促使热再生沥青混合料的弯曲应变和抗弯拉强度不断增加,低温抗裂性能增强。

### 3.3 水稳定性

采用浸水马歇尔试验与冻融劈裂试验分别检测不同再生剂掺配比例热再生沥青混合料的残留稳定度、冻融劈裂残留强度比,分析评价再生沥青混合料的水稳定性,试验结果见图4。

由图4可知:随着再生剂掺配比例的增加,再生沥青混合料的残留稳定度和冻融劈裂残留强度比均大幅提高,表明再生剂的掺加有利于提高再生沥青混合料的水稳定性。当再生剂添加量在4%以内时,再生沥青混合料的残留稳定度小于80%,冻融劈裂残留强度比小于75%,均不满足规范要求,说明

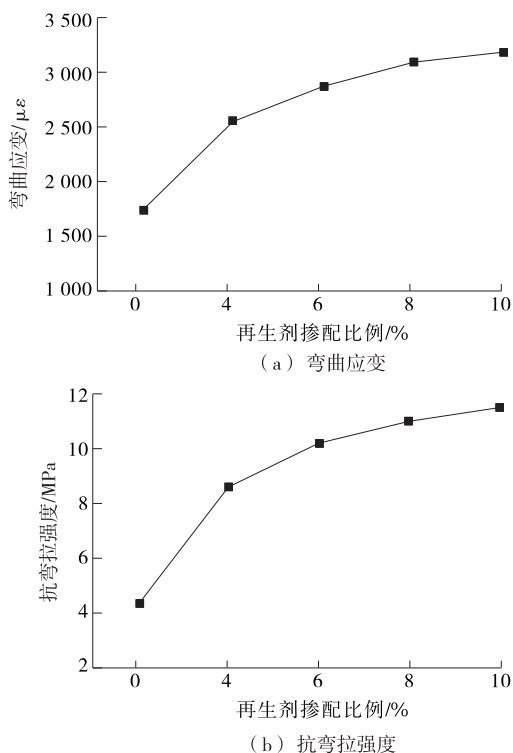


图3 再生剂对再生沥青混合料低温性能的影响

再生剂的添加量应高于4%。当再生剂掺量继续增加时,再生沥青混合料的残留稳定度和冻融劈裂残留强度比继续提高,但提高速率减缓,同样存在边际递减效应。

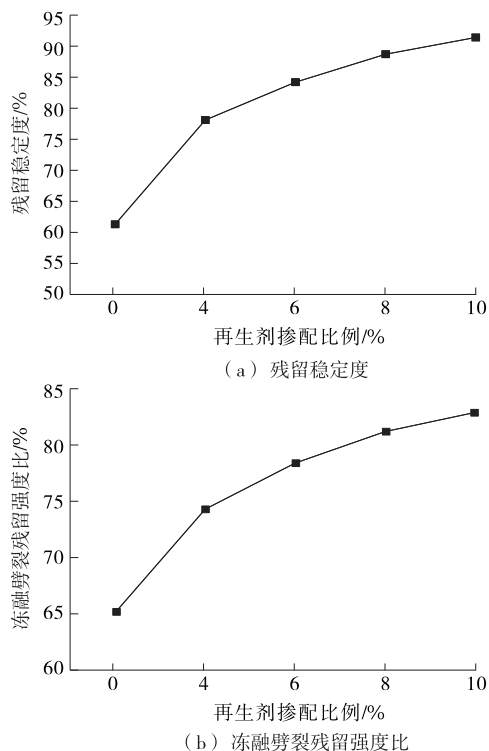


图4 再生剂对再生沥青混合料水稳定性的影响

### 3.4 抗疲劳性

为研究再生剂添加量对再生沥青混合料疲劳性能的影响,在15℃环境温度下采用0.2~0.6的应力比对不同再生剂掺配比例再生沥青混合料试件进行间接拉伸疲劳试验,应力加载频率为10 Hz,采用正弦波加载,试验结果见图5。

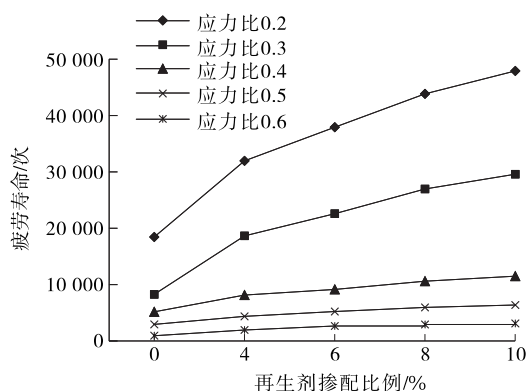


图5 再生剂对再生沥青混合料抗疲劳性能的影响

由图5可知:不同应力比下再生沥青混合料的抗疲劳性能均随着再生剂掺配比例的增加而显著提高,说明再生剂可有效提高再生沥青混合料的抗疲劳性能。随着再生剂添加量的增加,再生沥青混合料的疲劳寿命增加速率降低,同样存在边际递减效应。主要是因为再生剂与RAP等搅拌时间不足导致搅拌不均匀,再生剂不能与旧沥青充分融合以还原旧沥青。

## 4 结论

(1) 老化沥青的针入度、延度均随再生剂添加量的增加而增加,但由于矿粉的存在,其延度低于规范要求。软化点随再生剂添加量的增加而减小,当添加量达到10%时,其软化点已不满足规范要求。

(2) 再生沥青混合料的高温稳定性随再生剂掺配比例的增加而减小,当掺配比例达到10%时,其高温性能不能满足规范要求。

(3) 再生沥青混合料的低温抗裂性与抗疲劳性随着再生剂掺配比例的增加而提高,但存在边际递减效应。

(4) 再生沥青混合料的水稳定性随再生剂掺配比例的增加而提高,但掺配比例小于4%时再生沥青混合的水稳定性不满足规范要求,表明再生剂的添加量应高于4%。

(5) 推荐以8%再生剂掺量作为热再生沥青混

合料的最佳掺配比例。

### 参考文献:

- [1] 宋小峰.厂拌热再生沥青混合料疲劳性能研究[D].南京:南京林业大学,2015.
- [2] 况栋梁.渗透型再生剂的制备及其对再生沥青及混合料性能的影响[D].武汉:武汉理工大学,2012.
- [3] 冯西宁,冯忠绪,张超群.旧沥青混合料厂拌热再生在国内的使用现状[J].筑路机械与施工机械化,2006,23(5).
- [4] 吴桂金.厂拌热再生沥青混合料马歇尔配合比设计方法探讨[J].公路,2011(5).
- [5] 李胜强.厂拌热再生沥青混合料路用性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2009.
- [6] 董玲云.厂拌热再生沥青混合料疲劳性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.
- [7] 方杨,李善强,刘宇.厂拌热再生沥青混合料水稳定性研究[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2013,32(5).
- [8] 秦卓文.厂拌热再生沥青混合料设计及性能试验研究[D].广州:华南理工大学,2010.
- [9] 朱成.高比例RAP热再生沥青混合料性能试验研究[D].广州:华南理工大学,2012.
- [10] 李东升.高比例RAP厂拌热再生沥青混合料应用技术研究[D].广州:华南理工大学,2011.
- [11] 陈静云,王峻,刘佳音.高比例RAP热再生沥青混合料低温抗裂性能[J].沈阳建筑大学学报,2013,29(5).
- [12] 袁耀波.不同RAP掺配比例厂拌热再生沥青混合料路用性能研究[J].公路与汽运,2016(6).
- [13] 邱健.再生沥青混合料组成设计与应用研究[D].武汉:武汉理工大学,2007.
- [14] 范勇军.沥青混合料厂拌热再生技术研究[D].长沙:长沙理工大学,2007.
- [15] 于玲,刁家栋,杨彦海,等.沥青路面厂拌热再生技术的使用性能评价与研究[J].中外公路,2014,34(2).
- [16] 王峻.厂拌热再生沥青混合料在面层应用的研究[D].大连:大连理工大学,2013.
- [17] 邹桂莲,徐剑.再生沥青混合料路用性能试验研究[J].公路与汽运,2011(2).
- [18] 周志刚,赖艳婷,李惠.基于CT图像处理技术的再生沥青混合料集料均匀性分析[J].公路与汽运,2015(6).
- [19] 蹇金桥,徐燕.就地热再生沥青混合料SYS再生剂最佳掺量确定[J].公路与汽运,2015(2).