

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.07.064

# RAP 精细化油石分离技术及其工程应用

朱磊<sup>1</sup>,张扬<sup>1</sup>,唐伟<sup>2</sup>,庄园<sup>3</sup>,李宁<sup>2</sup>,王德玉<sup>2</sup>

(1.江苏宿淮盐高速公路管理有限公司,江苏淮安 223006; 2.河海大学,江苏南京 210098;

3.江苏高速公路工程养护技术有限公司,江苏南京 211106)

**摘要:** 沥青路面铣刨料(RAP)中的变异性现象是影响再生沥青混合料配合比设计和路用性能的重要因素之一。因此在工程实践中,迫切需要对RAP料进行预处理,分离老化沥青与石料,降低变异性。基于此,现介绍一种RAP油石分离新技术—精细化油石分离技术。首先介绍了该分离技术的工艺流程,试验评价了分离效果;然后采用精细化分离的RAP料制备再生混合料并应用于实体工程。结果表明,经过精细化分离处理后的RAP材料均匀稳定,变异性满足要求;旧集料的性能指标与新集料基本相同。再生沥青混合料的各项路用性能满足要求,高等级路面的施工质量可控,再生效果良好。

**关键词:** 沥青路面铣刨料(RAP);精细化油石分离;再生混合料;施工工艺;路面养护

中图分类号: U414.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)07-0270-04

## 0 引言

沥青路面的养护工程会产生大量的固体废物。根据中国交通运输部的数据显示,仅干线公路的大中修工程,我国就产生近2亿吨的沥青路面铣刨料(RAP)。在未来的五年内,由于道路养护的需求显著大于新建工程,这个数字仍会继续地增加<sup>[1]</sup>。另一方面,随着“碳达峰、碳中和”双碳战略目标的稳步推进以及对可持续发展理念的日益重视,矿山和石油等不可再生资源的开发越来越受到限制,导致集料和沥青的价格不断上涨,养护成本上升<sup>[2]</sup>。沥青路面再生技术因其能够重新利用RAP,节约沥青、砂石等原材料,保护环境,得到了广泛的应用<sup>[3]</sup>。

RAP在长期的行车荷载和多种环境因素的耦合作用下,其级配、沥青和集料的性能往往会产生不均匀的变化,造成较大的变异性<sup>[4]</sup>。研究表明,RAP高掺配率(一般指超过30%)的情况下,其变异性将导致实际级配与设计级配发生显著的偏差,使得再生混合料的整体性能偏离预期值,导致再生混合料质量起伏波动,难以控制<sup>[5-6]</sup>。针对此问题,不少学者提出将RAP中的旧集料和老化沥青分离,提高RAP料的质量稳定性。目前主要有两类分离方法:化学分离和机械分离。化学分离是利用化学溶剂溶解老化沥青,使RAP材料中的集料和沥青分离<sup>[7-8]</sup>。但由于

化学溶剂的易挥发性和有毒性,对操作人员及环境有一定损害。机械分离使用辊式破碎机、反击式破碎机或颚式破碎机等机械设备来破碎RAP材料<sup>[9]</sup>。该过程使用常规设备分离,成本相对较低。但是这种方法效率低,而且容易削弱旧集料的强度。

基于此,现提出一种新的RAP分离技术—精细化油石分离技术。首先介绍该技术的分离原理及工艺流程,并评估了处理后的RAP料的性能,在此基础上进行热再生沥青混合料路用性能的验证及实体工程应用,以为同类型的再生工程实践提供参考。

## 1 精细化油石分离技术

### 1.1 工艺流程

RAP精细化油石分离技术是通过特殊的离心装置剪切,研磨RAP粗料,将表面黏结的沥青胶砂剥离,然后根据颗粒大小将其筛选成3~5档。现以江苏某高速公路上面层SMA-13沥青路面上获取的RAP材料为例,说明该技术的工艺过程。RAP分离前先采用晾晒的方式降低含水率,提升筛分效果;然后将RAP粗筛分成两部分:粗RAP(>5 mm)和细RAP(<5 mm)。接着粗RAP输送至离心装置中进行剪切和研磨,粘附在粗RAP集料上的老化沥青砂浆剥落下来。最后将离心后的RAP材料按粒径分成三档:0~5 mm、5~10 mm、10~15 mm。图1和2分别展示了精细化分离技术的工艺流程和分离原理。

### 1.2 分离效果评价

为了评价精细化分离技术的分离效果,对RAP

收稿日期: 2022-09-22

作者简介: 朱磊(1994—),男,工学学士,工程师,从事高速公路养护管理工作。

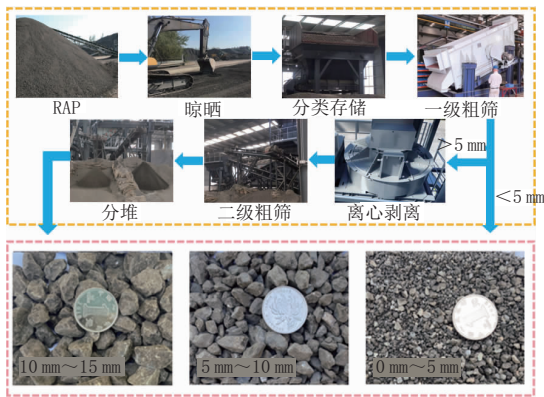


图 1 精细化油石分离工艺流程图

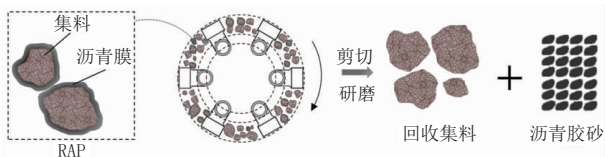


图 2 油石分离原理图

的变异性进行了检测。按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20—2011 中的试验方法对该 RAP 材料进行 5 次抽提筛分试验,RAP 料的性能如表 1 所列。

表 1 RAP 的性能指标一览表

筛孔 /mm	集料级配通过率 /%									油石比 /%
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
10~15	92.0	35.1	10.7	9.1	8.0	6.5	4.9	4.1	3.2	2.4
5~10	100	89.9	20.2	12.4	10.3	8.3	6.5	5.5	4.3	2.8
0~5	100	100	89.5	62.3	46.4	32.0	22.0	17.3	13.1	7.7

从表 2 中可以看出,3 档 RAP 材料的集料级配和油石比变异系数均远满足相关技术要求,说明分离后 RAP 料的变异性得到有效控制,RAP 的变异性随着粒径的变大而增加,0~5 mm 档 RAP 细料的变异性最大,这也是合理的,因为分离过程仅有大于 5 mm 的 RAP 粗料进入至离心机中。在后期混合料的设计中,应尽可能降低细料的掺配率,保证再生沥青混合料的质量稳定。

## 2 再生混合料路用性能

### 2.1 配合比设计

新集料为辽宁丹东生产的玄武岩集料,矿粉为石灰岩,矿料的级配通过率见表 3 所列。沥青为 SBS 改性沥青,为提高再生混合料的和易性,新沥青进行发泡处理,发泡温度为 170℃,用水量为 3%。采用润强改性沥青再生剂和木质素纤维。

设计的再生混合料类型为 SMA-13,RAP 掺量为 0%(即新沥青混合料)和 50%,其中分离后的 0~

采用变异系数(CV)来表征 RAP 材料中集料级配和油石比的变异性,CV 的计算方法见式(1)、(2),结果如表 2 所列。

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% \quad (2)$$

式中:S 为标准差;x 为油石比或某个筛孔的通过率,%;n 为试验次数,文中为 5;x 为油石比或通过率

表 2 精细化分离后 RAP 油石比和级配的变异系数表

RAP 规格	油石比和关键筛孔通过率的变异系数				
	油石比	0.075 mm	2.36 mm	4.75 mm	其他
10~15 mm	0.046	0.071	0.207	0.375	-
5~10 mm	0.075	0.066	0.678	1.286	-
0~5 mm	0.362	0.759	3.751	1.518	-
技术要求 *	≤0.5	≤1.5	≤5	≤5	≤5

资料来源:技术指标来自于美国研究报告 NCHRP SYNTHESIS495。

表 3 新集料的级配级配通过率一览表

筛孔尺寸 /mm	1#	2#	4#	矿粉
16	100.0	100.0	100.0	100.0
13.2	90.1	100.0	100.0	100.0
9.5	16.3	98.3	100.0	100.0
4.75	1.6	8.7	99.9	100.0
2.36	1.1	1.3	88.5	100.0
1.18	1.0	1.1	61.7	100.0
0.6	0.9	0.9	33.7	100.0
0.3	0.9	0.9	17.9	100.0
0.15	0.8	0.7	8.6	99.6
0.075	0.7	0.6	4.0	90.7

5 mm,5~10 mm 和 10~15 mm 三档 RAP 按 2 : 5 : 3 的比例混合使用,合成的再生混合料级配见图 3 所示。根据马歇尔试验法,最终确定最佳油石比为 5.9%。再生混合料的配合比如表 4 所列。

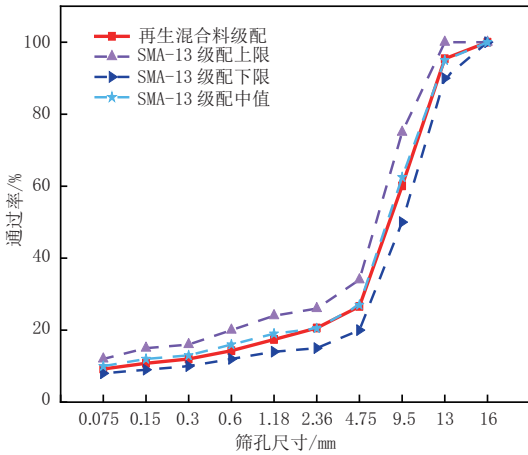


图 3 再生沥青混合料级配曲线图

表 4 再生沥青混合料各材料用量一览表

RAP 掺量 /%	RAP /%			新矿料 /%				新沥青 /%	再生剂 / (% , 外掺)	纤维 / (% , 外掺)
	10 mm 以上	5~10 mm	0~5 mm	1#	2#	4#	矿粉			
0	0.0	0.0	0.0	44.4	28.9	12.7	8.4	5.6	0.000	0.3
50	15.0	25.0	10.0	30.1	6.9	3.2	6.0	3.8	0.053	0.3

表 5 混合料路用性能试验结果一览表

性能指标	0%	50%	技术要求
肯塔堡飞散 /%	0.33	0.78	≤ 15
动稳定度 / (次·mm <sup>-1</sup> )	6 675	8 345	≥ 3 000
低温弯曲应变	6 523	5 023	≥ 2 500
残留稳定度比 /%	94.7	86.2	≥ 85
冻融劈裂比 /%	89.5	80.9	≥ 80

### 3 精细化分离再生工程应用

#### 3.1 工程概况

为检验精细化分离再生混合料的应用效果,在江苏省 G1516 盐洛高速公路沥青路面大修养护工程中进行了工程实践。此养护工程位于 K160+730~K161+030 之间,段落总长度为 300 m。原路面结构为 4 cm SMA-13+6 cm SUP-20+8 cm SUP-25,采用铣刨原路面上面层,重新铺筑精细化分离 SMA-13 再生沥青混合料的方案进行养护。

#### 3.2 施工工艺

##### 3.2.1 拌和

再生混合料的拌和工艺示意图见图 4 所示,RAP 加热后在出料口喷洒再生剂进行预拌,使再生剂与老化沥青充分混匀;然后和新集料,纤维一起干拌,最后依次添加新沥青和矿粉进行湿拌。相比于新沥青混合料,再生混合料的拌和时间需延长 15 s 左右。混合料拌和之前,各材料的加热温度见表 6 所列。其中,130℃ 的 RAP 加热温度是为避免 RAP 表层沥青

#### 2.2 路用性能评价

为验证采用精细化分离 RAP 制备的再生沥青混合料的性能,按照规范进行车辙试验、小梁弯曲试验、浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验和飞散试验,试验结果见表 5 所列。由表 5 可知,在 RAP 掺量高达 50% 的情况下,再生混合料的各项路用性能指标均满足规范要求。说明精细化油石分离 RAP 在混合料中使用的可行性。相比于新沥青混合料,再生混合料的动稳定度要高,低温弯曲应变,残留稳定度和冻融劈裂强度比要低,说明高温性能较优异,但低温性能和水温定性较差。

发生二次老化和滚筒粘料现象,240℃ 的新集料加热温度是为补足 RAP 的温度,最终混合料的出料温度为 165℃。

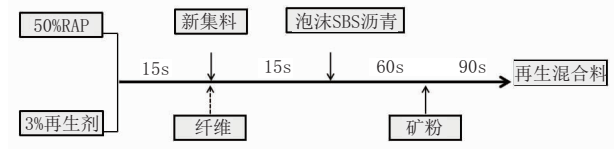


图 4 再生沥青混合料拌和工艺示意图

表 6 各种材料的加热温度一览表

材料	SBS 改性沥青	矿料	RAP 料	再生剂
加热温度 /℃	170	240~250	130	80

##### 3.2.2 运输

为避免再生沥青混合料在运输过程中发生较大离析,按照前,中,后的顺序依次移动运料车进行装料。由于再生混合料的出料温度较低(165℃),为尽量降低运输过程中沥青混合料的温度损失,不仅在运输车车厢侧板前后及底板加装保温棉,更是采用了双层篷布覆盖料堆的方式进行保温处理。经过检测,混合料的运输至现场的温度为 160℃,降低了 5℃。

##### 3.2.3 摊铺和碾压

SMA-13 再生沥青混合料主要用的为改性沥青,且 RAP 料中的旧沥青经历了较大程度的老化,粘度较大,因此需要严格控制好混合料的温度,建议混合料摊铺温度不低于 150℃,初压温度不低于 150℃,终压温度不低于 95℃。摊铺稳定、缓慢,初压时压路

机在摊铺机后紧跟碾压,对摊铺机拼缝处用钢轮重叠碾压,以确保薄弱环节处的铺面压实度。由图 5 可以看出,摊铺后的再生路面温度在 155℃ 以上,且温度均匀性较好,没有出现因集料与 RAP 料加热温度偏差过大而带来的温度离析问题。碾压时采用钢轮静压 1 遍,震压 6 遍,静压 1 遍,碾压遍数为“1+6+1”,结果路面外观良好,颗粒分布均匀。

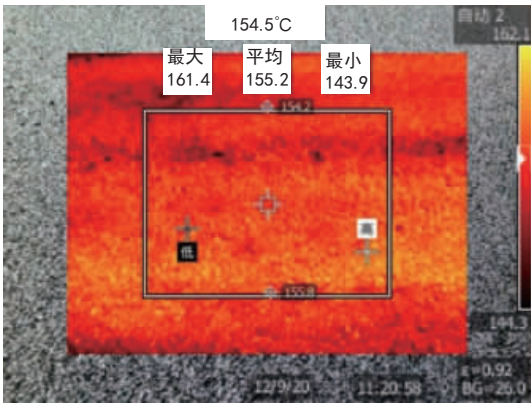


图 5 摊铺后的再生路面温度图示

### 3.3 质量检测

通过压实度、空隙率、构造深度、平整度等指标综合评价再生路面工程的施工质量。路面检测结果如表 6 所列,各项指标均满足相关规范,性能良好。

表 6 精细化分离再生路面检测结果汇总表

掺量	压实度 / 空隙率 / 构造深度 / 平整度 /				渗水系数 /			
	%	%	mm	mm	(mL·min <sup>-1</sup> )			
50%	99	4.5	0.95	1.0	0	20	0	10
					50	0	0	0
规范	≥96	3~4.5	≥0.5	≤2				≤80

## 4 结论

(1)精细化油石分离技术是通过高速离心产生的

剪切和研磨作用,将 RAP 集料上粘附的旧沥青砂浆剥离,从而实现油石分离的效果。

(2)经精细化油石分离处理后,RAP 料的变异性得到有效控制。基于此 RAP 料设计的再生混合料各项路用性能均满足规范要求,但与新沥青混合料相比,水稳定性能仍有待提升。

(3)通过精细化油石分离技术再生的上面层性能及施工质量效果良好,可用于高等级公路的路面养护工程,值得进一步推广。

### 参考文献:

- [1] Gao J, Yang J, Yu D, et al. Reducing the variability of multi-source reclaimed asphalt pavement materials: A practice in China[J]. Construction and Building Materials, 2021, 278(9):122389.
- [2] 马辉,茅荃,李宁.沥青路面厂拌热再生 RAP 料掺量影响因素分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2020,39(9):97-104.
- [3] N.Li, W.Tang, X.Yu, H.Zhan, H.Ma, G.D, Y.Zhang, Investigation of Moisture Dissipation of Water-Foamed Asphalt and Its Influence on the Viscosity, Materials, 2020, 13(23): 5325.
- [4] 刘燕燕,裘秋波,纪文强,等.RAP 分级对热再生沥青混合料路用性能变异性的影响[J].公路工程,2021,46(1):68-72.
- [5] Zhu JQ, Ma T, Fang ZY. Characterization of Agglomeration of Reclaimed Asphalt Pavement for Cold Recycling [J]. Constr. Build. Mater., 2020, 240: 117912.
- [6] Xinman Ai, Jiwei Cao, Decheng Feng, Libo Gao, Wei Hu, Junyan Yi, Performance evaluation of recycled asphalt mixtures with various percentages of RAP from the rotary decomposition process[J]. Construction and Building Materials, 2022, 321:126406.
- [7] 李万峰.沥青混合料分离再生技术研究[J].山东交通科技,2011(1):48-50.
- [8] 赵建国.旧沥青混合料分离再生技术研究[J].交通世界(建养.机械),2009(6):238-239.
- [9] 黄磊.基于 RAP 材料预处理的厂拌热再生技术研究[D].重庆交通大学,2013.

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com