再生类沥青混合料路用性能研究对比

孙连水[1*]，尹利洋[2]，尹茂群[3]，马世东[2]，任广昊[4]
（1.山东汇通建设集团有限公司，山东 济南 250002；2.山东建筑大学 交通工程学院，山东 济南 250101；
3.菏泽市建设工程质量检测中心，山东 菏泽 274000；4.中建八局发展建设有限公司 济南分公司，山东 济南 250014）

摘　要：为探讨温再生与热再生两种再生方式下沥青混合料的路用性能差异，实现路面铣刨材料（RAP）的绿色高值化利用，采用高温车辙试验，低温小梁弯曲试验与冻融劈裂试验对温再生、热再生两种方式下相同 RAP 掺量沥青混合料的抗车辙性能，低温弯曲性能与水稳定性能进行了研究，并与不添加 RAP 料的常规热拌沥青混合料性能进行了对比。结果表明，与热再生技术相比，温再生技术可以显著改善沥青混合料的低温弯曲性能与水稳定性能，但高温稳定性能有所降低，考虑到温再生技术可以降低混合料的拌压实温度，提高 RAP 的掺量及其他环保优势，具有较好的应用前景，可为工程生产和质量控制提供参考。

关键词：温再生沥青混合料；热再生沥青混合料；常规热拌沥青混合料；路用性能
中图分类号：U414　　文献标识码：A　　文章编号：1006-7973（2023）01-0123-03

一、背景意义

改革开放以来，我国交通运输行业迎来了蓬勃发展，沥青路面由于其具有舒适度高，平整性好，养护维修方便等突出优势，在全世界的道路工程中占有很高的比例。近年来，随着交通荷载日益增大及各种环境因素的作用下，早期修建的道路出现了车辙、开裂、剥落、坑槽等一些列的病害[1]，严重影响了路面的性能和使用寿命。沥青路面的重建主要是通过对原有面层进行拆除，而后铺筑新的沥青混合料，在此过程中产生了大量的废旧沥青沥青混合料（recycled asphalt pavement，简称 RAP)。据不完全统计，每年因路面养护而产生的废弃料大约有 2 亿 t 之多[2],而目前针对 RAP 料缺乏有效的处置手段，长期堆积不仅占用土地资源，还会对环境造成破坏，得不偿失。

RAP 路面再生技术，主要是将废旧的 RAP 料经过一定工序的处理，重新进行铺筑的技术，既可以使废旧的 RAP 料得到有效的利用，减少环境污染，又能节约砂石，沥青等不可再生资源的使用，变废为宝，一箭双雕。目前国内正在使用的再生方法也多种多样，主流的再生技术包括厂拌热再生、就地热再生、厂拌冷再生与就地冷再生[3]，但以上技术均存在着一定的局限性，难以得到大规模的推广使用。针对 RAP 的回收后的性能问题，国内外专家学者进行了大量的研究，Arkan[4]采用原子力显微镜研究了不同 RAP 源沥青粘结剂的微观结构和粘弹性能，并考察了不同 RAP 的掺量对混合料低温抗裂性能的影响。H Arshad[5]探讨了不同 RAP 掺量下沥青混合料马歇尔稳定度之间的线性相关性。Zhu 等[6]研究发现增加 RAP 料可以显著改善沥青混合料的高温抗车辙性能。李根[7]研究了温再生沥青混合料在不同 RAP 掺量下疲劳性能的差异，结果表明，RAP 掺量的增加，会导致混合料疲劳寿命逐渐衰减，当 RAP 的掺量大于 30%后，性能衰减更加明显。

如何既能保留热拌再生沥青混合料的良好路用性能，解决其耗能大、沥青二次老化、环境污染等问题，又能解决冷拌技术适用层位低且应用效果欠佳的问题成为公路建设者努力的方向。基于此，研究人员将热再生技术与冷再生技术相结合，研发出了温再生技术[8，9]，温再生技术兼具以上技术的优点，可以提高 RAP 的利用率，降低拌和施工温度，实现资源的绿色高值化利用。

本研究通过采用实验室自主研发的表面活性型温再生剂，选用 AC-20 型沥青混合料级配设计类型，分别对 70%RAP 掺量的热再生与温再生两种再生方式下沥青混合料的路用性能进行了研究，并与不添加 RAP 料的常规热拌沥青混合料进行了对比，探讨了两种再生方式下沥青混合料的各种性能差异，为后期温再生技术在工程中的规模化应用与质量控制提供一定的依据。

二、实验准备

1. 沥青

试验选用齐鲁 AH-70 基质沥青作为常规温拌沥青混合料的新沥青，通过《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40-2004）对其各项基本性能指标进行测试，试验结果如表 1 所示。

表 1 齐鲁 AH-70 基质沥青常规技术指标

沥青类型	技术指标	单位	试验结果
基质沥青	针入度（25℃，5s，100g）	0.1mm	70.2
	软化点（环球法）	℃	51.4
	延度（10 ℃）	cm	47.3
	60℃动力粘度	Pa·s	287

2. RAP 料

试验采用的 RAP 料来源于经过 20 余年的使用，出现了

收稿日期：2022-03-14
作者简介：孙连水（1998-），男，山东汇通建设集团有限公司，助理工程师。

裂缝，不均匀沉陷，车辙等病害的高等级路面。采用铣刨机进行分层铣刨，且在铣刨过程中控制铣刨深度与行走速度，确保级配的均匀稳定性，降低级配变异对混合料性能产生的影响。经实验室后期破碎分档抽屉处理，得到了 0~5mm，5~10mm，10~20mm 三档粒径类型，试验结果如表 2 所示，抽屉后得到的老化沥青性能指标如表 3 所示。

表 2 三档 RAP 料的抽提及筛分结果

筛孔/mm	通过百分率/%		
	0–5mm 粒径	5–10mm 粒径	10–20mm 粒径
26.5	100	100	100
19	100	100	88.9
16	100	100	77.8
13.2	100	100	58.8
9.5	96	90.6	30.9
4.75	69.8	52.1	17.2
2.36	44.9	31.7	14.5
1.18	32.8	23.5	12.2
0.6	24.5	18.2	10.1
0.3	19.4	15.0	8.3
0.15	16.3	12.9	7.0
0.075	13.2	10.8	5.7
沥青含量（%）	5.6	3.3	3.0

由表 2 所知，三档 RAP 料中旧沥青的含量随着粒径的增加而逐渐减小，主要原因可能是粒径小的集料其比表面积较大，覆盖相同厚度的沥青膜时，所需的沥青较多，所以沥青的含量就较大。

表 3 抽提后老化沥青常规技术指标

技术指标	单位	试验结果	规范要求
针入度（25℃，5s，100g）	0.1mm	21.9	≥20
软化点（环球法）	℃	65.4	实测
延度（10 ℃）	cm	1.18	实测
60℃动力粘度	Pa·s	0.18	实测

由表 3 分析可知，沥青路面经过长时间的使用后，路面使用性能下降，产生老化。与新沥青相比，旧沥青的针入度明显减小，软化点升高，明显高于新沥青技术要求；60℃动力粘度与延度减少，极易发生脆断，低温延性已经全部丧失，但仍满足温再生的条件，可以采用温再生技术对废料再利用。

3. 新集料

新集料采用与原 RAP 料岩性相同的石灰岩集料，分为 0~5，5~10，10~20mm 三档，矿粉选用石灰岩矿粉，其技术指标如表 4 所示。

表 4 新添加集料级配分析

矿料名称	标准筛孔的通过百分率（%）												
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
10–20mm	100	100	90.7	70.0	43.4	8.1	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
5–10mm	100	100	100	100	100	88.7	1.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
0–5mm	100	100	100	100	100	100	93.8	63.3	47.3	33.7	23.9	19.2	15.6
矿粉	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98.8	90.8	75.5

三、级配设计

本研究选用中面层常用的 AC-20 型沥青混合料类型，RAP 掺量选定为 70%，分别选用参照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004）的要求，对再生沥青混合料进行级配设计，如图 1 所示。

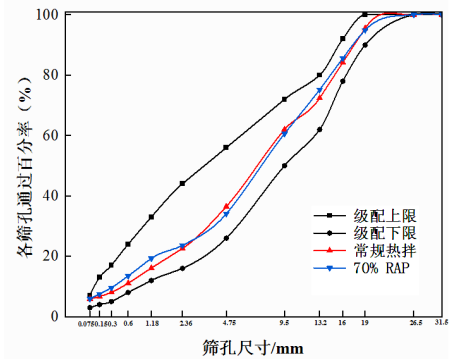

图 1 沥青混合料 AC-20 型级配曲线

通过马歇尔试验，参考工程经验及其相关温再生技术研究，结合《公路沥青路面施工技术规范》(JTGD 50-2017)，在目标空隙率为 4.2%的基础上，通过 OAC 法定最佳沥青用量为 4.4%，温再生剂掺量定为 RAP 中旧沥青质量的 10%，设定温拌拌和温度 130℃，击实温度 125℃，热拌拌和温度 175℃，击实温度 170℃成型试件，经检测，试件均满足密实式沥青混合料马歇尔试验技术要求。

根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E20-2011）规范，分别将三种沥青混合料按规范成型马歇尔、车辙板试件，采用沥青混合料车辙试验、低温小梁试验、冻融劈裂试验对沥青混合料高温性能、低温性能、水稳定性等性能进行分析。其中，三种 RAP 掺量的沥青混合料分别简写为：常规热拌、70%热再生、70%温再生。

四、路用性能

1. 高温稳定性能

沥青混合料的高温稳定性能是指在高温环境下，沥青路面抵抗车轮反复作用，性能和结构保持相对稳定，抵抗路面车辙病害的能力。本研究采用 60℃高温车辙试验对常规热拌沥青混合料与 70%RAP 掺量的再生沥青混合料的高温稳定性能进行评价，高温稳定性试验结果如图 2 所示。

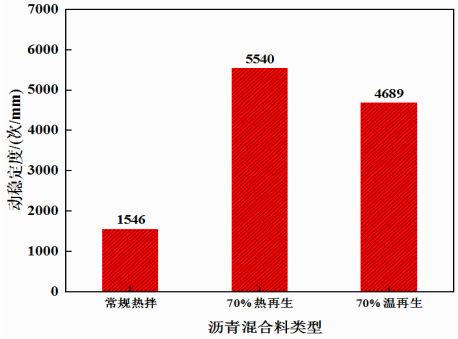

图 2 三种沥青混合料高温稳定性试验结果

由图 2 分析可知，与常规热拌沥青混合料相比，70%RAP 掺量的热再生沥青混合料动稳定度明显提高，达到了 5540 次/mm，说明了沥青材料老化后“变硬”，沥青混合料的高温抗变形能力显著增加。70%RAP 掺量的温再生沥青混合料

动稳定度较相同 RAP 掺量的热再生沥青混合料下降了15.36%，但仍明显高于常规热拌沥青混合料，表明了使用温拌技术对恢复老化沥青技术性质、调节混合料技术性能也起到了十分显著的作用。

2. 低温抗裂性能

环境温度下降时，沥青面层由于受到周围材料的约束作用不能自由收缩而产生温度应力，当超过极限拉应力时，就会产生开裂破坏。本研究采用低温小梁弯曲试验对沥青混合料的抗低温开裂性能进行评价，长 250、宽 30、高 35mm 的小梁试件在-10℃温度以 50mm/min 的加载速率进行试验，低温抗裂性试验结果如图 3 所示。

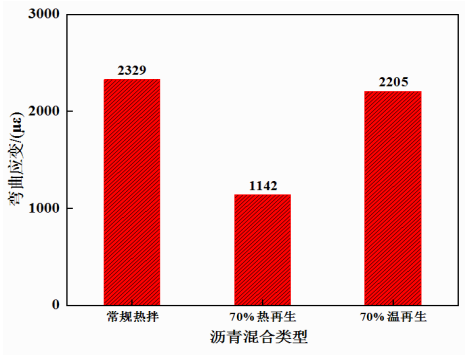

图 3 三种沥青混合料低温抗裂性试验结果

由图 3 可以看出，常规热拌沥青混合料的弯曲应变最高为 2,329με，70%RAP 掺量的热再生沥青混合料的弯曲应变最低，仅为 1,142με，几乎失去了低温下的变形能力，更容易发生脆裂破坏；温再生沥青混合料则改善了热再生沥青混合料低温性能不足达到劣势，弯曲应变显著增加达 2,205με，较热再生技术提高了约 93.1%，非常接近与常规热拌沥青混合料，说明温再生工艺改善了添加 RAP 后再生沥青混合料的低温性能，使其抗低温开裂能力显著增强。

3. 水稳定性能

采用冻融劈裂试验对三种沥青混合料水稳定性进行评价，在马歇尔试验的基础上对试件进行冻融循环后，对冻融劈裂的残留强度进行检测，进而分析沥青在恶劣环境下的抗水损害能力，水稳定性试验结果如图 4 所示。

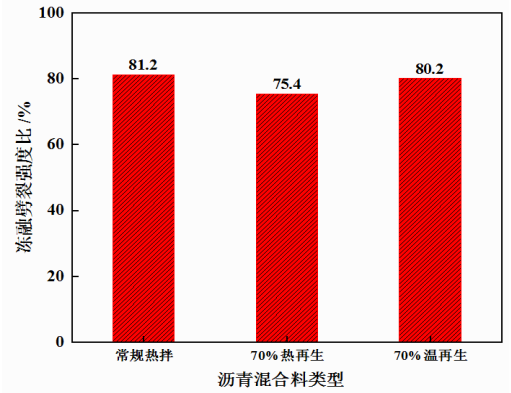

图 4 三种沥青混合料水稳定性试验结果

由图 4 可知，常规热拌沥青混合料的冻融劈裂强度比为81.2，70%RAP 掺量的热再生沥青混合料的冻融劈裂强度比较低，较常规热拌沥青混合料降低了约 7.14%，刚刚满足《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004) 中关于普通沥青混合料冻融强度比不低于 75 的要求。而温再生沥青混合料试件在冻融劈裂强度比有了明显的恢复，表明温再生技术可以改善沥青和集料之间的黏附性，抗水损害能力得到提升，从而提高了混合料的水稳定性能。

五、结论

（1）加入 RAP 料后，两种再生沥青混合料的高温抗车辙能力均得到了明显改善，抗低温开裂性能与水稳定性能产生一定的下降。

（2）与 70%RAP 掺量的热再生沥青混合料相比，70%RAP 掺量的温再生沥青混合料的抗低温开裂性能与水稳定性能得到了明显的恢复，且非常接近于常规热拌沥青混合料，但高温抗车辙能力有所降低。

（3）综合比较，与热再生技术相比，温再生技术在降低拌合温度的同时，可以显著改善老化后混合料的路用性能，具有广阔的应用前景。

参考文献

[1] 周庆华. 高模量沥青混凝土性能与路面结构研究[D]. 西安：长安大学道路与铁道工程，2010.

[2] 郑健龙. 公路养护技术发展趋势[J]. 中国公路，2021，(14)：66-68.

[3] 童海涛，郭知涛，秦凯强. 高速公路改扩建铣刨料再生利用技术案例分析[J]. 公路，2020，65(3)：243-247.

[4] ARKAN O，MUNIR D N，LANA A Q，et al. Effect of RAP Source on Cracking Resistance of Asphalt Mixtures with High RAP Contents[J]. Journal of Materials in Civil Engineering，2019，31(10).

[5] HUSSAIN A，YAN J Q. Evaluation of Asphalt Mixes Containing Reclaimed Asphalt Pavement[J]. Applied Mechanics and Materials，2012，1802(178-181).

[6] ZHU Y，WANG X，QIAO Y，et al. Thermal Cracking and Fatigue Analysis of Recycled Asphalt Mixture Using DCT Test and S-VECD Model：GeoShanghai International Conference[C]：Springer，2018.

[7] 李根，李振，徐世法等. 掺加旧料对温拌沥青混合料疲劳性能的影响分析[J]. 北京建筑工程学院学报，2011，27(3)：1-6.

[8] 季节，奚进，谢永清. 温拌再生沥青混合料性能试验[J]. 建筑材料学报，2014，17(1)：106-109.

[9] FEIPENG X，XIANGDAO H，SERJI A，et al. Superpave evaluation of higher RAP contents using WMA techno logies[J]. Construction and Building Materials，2016，112.