

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2019.01.043

# 沥青路面厂拌热再生工艺关键技术研究

王雪莲<sup>1</sup>, 胡林<sup>1</sup>, 黄晓明<sup>2</sup>

(1.广州航海学院, 广东 广州 510330; 2.东南大学 交通学院)

**摘要:** 该文对厂拌热再生工艺及关键技术展开试验研究,分析工艺参数、配合比设计、压实规律以及再生混合料的路用性能。结果表明:随着路面回收料加热温度的升高,再生混合料的疲劳寿命增长,RAP最佳加热区间为120~140℃;采用再生剂与RAP先拌和再与新沥青及新集料拌和的工艺顺序,可使再生混合料更密实、更均匀;混合料拌和时间延长至90s,有利于各材料间的充分融合;同等压实条件下,随着RAP掺量的增加压实度提高;RAP掺量相同条件下,适当提高油石比可以降低再生混合料的空隙率,提高压实度。

**关键词:** 沥青混合料; 厂拌热再生; 路面回收料; 关键技术; 工艺参数

沥青路面是道路工程中一种重要的高等级路面类型,在中国已建成的高等级公路中的比例达到90%。随着时间的推移,大部分沥青路面已处于大、中修期。高速公路在翻修铣刨过程中产生大量的路面回收料,其回收再利用不仅可以减少新的筑路材料的开采,避免废旧混合料的堆积,保护环境,还能够节约资源和能源消耗。1997年国际经合组织(OFECOAD)发表《道路工程再生利用战略》白皮书,指出RAP利用率为75%~100%,厂拌热再生推广使用比例最高。根据中国的实践经验,工程沥青路面的材料费平均节约达到45%~50%。工程造价降低比例为20%~25%。而中国沥青路面再生发展起步较晚,RAP利用率较低,尚处于经验摸索水平,在中国公路大规模养护和改造背景下,沥青混合料再生利用具有社会、环保及经济等多方面效益。该文主要针对沥青路面的再生利用,对厂拌热再生开展相关的关键技术研究,对沥青混合料再生工艺和技术的应用推广具有重要意义。

## 1 厂拌热再生沥青混合料关键工艺参数分析

### 1.1 路面回收料RAP合理加热温度

在厂拌热再生沥青混合料施工工艺中,工艺参数的控制是保证生产质量的重要因素。为了研究RAP

加热温度对再生沥青混合料路用性能的影响,试验中采用同一标准,即RAP掺配比例25%,沥青用量4.3%,级配采用AC-20S再生沥青混合料,进行试验研究。

#### 1.1.1 RAP加热温度对再生混合料高温性能的影响

试验建立了RAP的预热温度与高温性能指标动稳定度的关系,如图1所示。

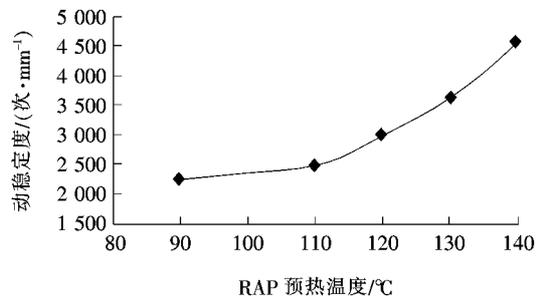


图1 RAP不同加热温度下的再生混合料车辙试验结果

由图1可知:当RAP预热温度为90℃,混合料的动稳定度达到了2000次/min以上;当RAP温度达到140℃时,动稳定度达到了4436次/min。混合料的动稳定度指标随着RAP加热温度呈增大趋势,高温性能得到提高。试验表明:添加一定比例的RAP对混合料的高温性能有所提高。

#### 1.1.2 RAP加热温度对再生混合料空隙率的影响

再生沥青混合料最关键的体积参数是空隙率,由

收稿日期:2018-11-26(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51378121);广东省交通科技计划项目(编号:2013-02-020);广州航海学院科研项目(编号:A510609)

作者简介:王雪莲,女,大学本科,副教授.E-mail:xuelian328@163.com

于RAP的掺加,新旧料之间的融合不够充分,拌和不均匀,再生混合料的体积参数空隙率会偏大。在车辆荷载作用下产生较大的动水压力,容易导致水损坏的发生。RAP的加热温度与再生混合料的空隙率关系如图2所示。

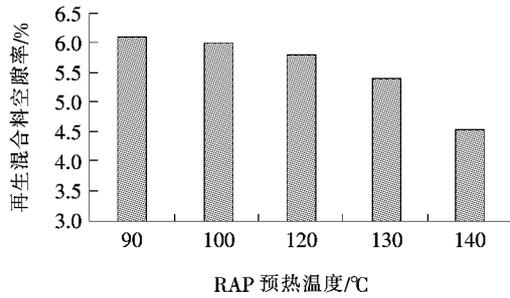


图2 RAP加热温度与再生混合料空隙率关系

由图2可知:随着RAP预热温度的升高,再生混合料的空隙率出现降低趋势。空隙率在RAP加热温度达到110~120℃下降的幅度加快。超过此温度后,RAP中的沥青能较好地软化,与新沥青新集料等材料之间的融合更充分,拌和更均匀,空隙被填充挤密。

### 1.1.3 RAP加热温度对再生混合料疲劳性能的影响

影响沥青混合料疲劳性能的因素较多,如沥青性质及用量、集料特性及级配、混合料的空隙率等。通过疲劳试验得到的再生沥青混合料疲劳寿命与RAP预热温度关系如图3所示。

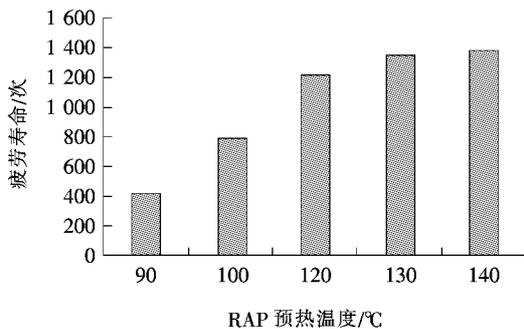


图3 RAP加热温度与再生混合料疲劳寿命关系

由图3可知:随着RAP的加热温度升高,疲劳寿命出现较大幅度的提高。在温度为90~120℃时,疲劳寿命的增长幅度最大;当RAP的加热温度为120~140℃时,疲劳寿命的增加幅度较小,间接反映出RAP在120℃已经达到较好的分散。

## 1.2 厂拌热再生工艺合理拌和顺序

厂拌热再生拌和中的材料主要包括RAP、新集料、新沥青以及再生剂等。确定合理的拌和顺序需要从各拌和材料的结构、主要发挥的功能入手。在厂拌热再生工艺中,为改善旧沥青的性能,考虑添加一定比例的再生剂,其添加时机直接决定了再生剂与RAP融合的时间和融合的程度。

### 1.2.1 再生剂合理投料方式

该文设计了再生剂与RAP拌和、再生剂添加到新沥青后与RAP拌和两种不同投料方式的平行试验,采用某RA102型沥青再生剂,其掺量比例为旧沥青的10%,技术指标如表1所示,同时设计拌和时间分别为60、90s两种情况。再生混合料的相关性能指标如表2所示。

表1 某RA102型再生剂技术指标

检验项目	单位	性能指标
60℃黏度	cSt	5 000~6 000
闪点	℃	>240
薄膜烘箱试验前后黏度比		<1.3
薄膜烘箱试验前后质量变化	%	≤0.2
15℃密度	g/cm <sup>3</sup>	0.99~1.0

注:1 cSt=1 mm<sup>2</sup>/s。

从表2可以看出:在拌和时间相同条件下,再生剂添加到RAP中的再生混合料的高温性能比再生剂添加在新沥青中提高了近20%;再生剂与RAP拌和的再生混合料更加密实,空隙率更低。由此可见,再生剂应该优先与RAP拌和,对促进RAP与新沥青、新集料之间的充分拌和,提高拌和均匀性等起到了重要的

表2 再生混合料性能指标

再生剂投料方式	拌和时间/s	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	最大理论密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	动稳定度/(次·mm <sup>-1</sup> )	空隙率/%
RA102+RAP	90	2.417	2.511	3 401	3.744
RA102+RAP	60	2.401		3 129	4.381
RA102+新沥青	90	2.403	2.511	2 798	4.301
RA102+新沥青	60	2.393		2 469	4.699

作用,改善了再生混合料的性能。

### 1.2.2 拌和时间的影响

拌和时间的长短会直接影响生产能耗及成本。国外学者 Lee, t. c 等通过化学粒子追踪再生剂在 RAP 混合料中的融合,发现胶结料的融合需要相当长的时间。在实际的厂拌热再生工艺中整个工艺流程的时间约为 60 s。当拌和时间由 60 s 提高到 90 s 时,再生混合料材料更加均匀密实,空隙率降低,高温稳定性指标也所有提高,如表 2 所示。拌和时间的延长可以促进再生剂对旧沥青的软化和对沥青质的分解,促进新旧料、新沥青之间的充分融合,从而提高再生混合料的拌和均匀性和密实性。在生产过程中,应该在保证材料充分拌和时间的的基础上,严格控制拌和时间。

### 1.3 再生混合料存储环境参数

厂拌热再生工艺中,新旧沥青、新旧料之间的拌和时间较短,融合不充分,再生混合料的稳定性、均匀性、密实性较差。采取短期储存的方式,控制储存环境参数,能较好地提高再生混合料的性能,同时也可有效解决因恶劣天气、交通等因素导致无法及时摊铺的情况。

再生混合料的储存试验主要通过储存环境参数的控制,达到提高再生混合料性能的目的。主要的环境参数包括储存时间、储存温度等。试验中将再生混合料同放入 130 °C 烘箱内分别保温 0、6、24 和 48 h,试件成型时将温度调高至 150 °C,进行劈裂强度及水稳定性试验。试验结果如图 4、5 所示。

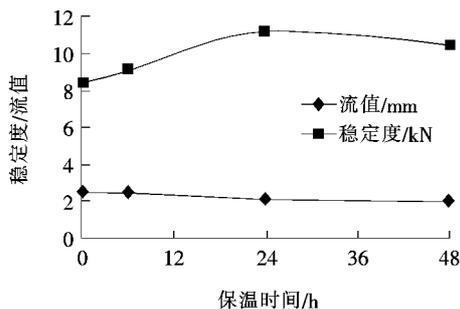


图 4 不同保温时间的再生混合料劈裂强度

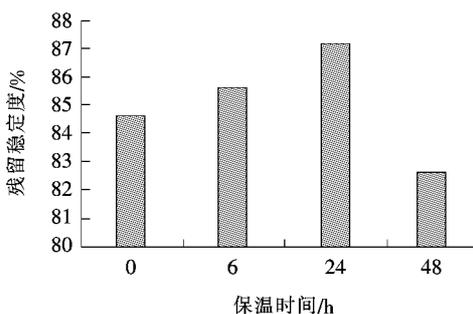


图 5 不同保温时间的再生混合料水稳定性

试验表明:短期储存时间内再生混合料的强度和水稳定性有一定的提高。当储存保温时间达到 48 h 时,其强度及残留稳定度值相较于 24 h 出现了明显的降低。说明储存 48 h 后沥青出现了较明显的老化,沥青和集料间的黏结强度降低。因此,再生混合料的储存时间不宜过长,以不超过 24 h 为宜;储存温度不宜过高,以接近摊铺时温度为宜。

## 2 厂拌热再生沥青混合料配合比设计关键技术

厂拌热再生沥青混合料配合比设计相较于普通沥青混合料在以下几方面有着明显的差异:① 需要确定 RAP 的合理掺配比例。一般用于厂拌热再生工艺 RAP 的掺配比例为 15%~30%;② RAP 的加入影响再生混合料的最大理论密度等基础参数;③ 再生剂的使用在于改善旧沥青的性能,促进新沥青、RAP、新集料间的融合,在配合比设计中需要确定合理的再生剂掺配比例。

### 2.1 再生混合料最大理论密度确定

从再生混合料组成结构看,可分为 RAP、新集料、新沥青 3 部分。在马歇尔试验确定最佳油石比时,对于不同油石比的马歇尔试样,变化的是沥青用量,而 RAP 和新集料部分保持不变。因此,可以将再生混合料从组成上分为两类:① RAP 和集料;② 新沥青。

基于实测—理论计算结合法确定最大理论密度,该方法的思路是通过拌和同样油石比的试样,精确地实测最大理论密度,反推 RAP 和集料共同部分的理论密度,从而再采用计算的方法计算其他油石比下的混合料最大理论密度,计算公式见式(1)、(2)。

$$\gamma_{se} = \frac{100 - p_{\text{新沥青}}}{100 - \frac{p_{\text{新沥青}}}{\gamma_{i\text{测}} \gamma_{\text{新沥青}}}} \quad (1)$$

$$\gamma_{ti} = \frac{100 + p_{i\text{新沥青}}}{\gamma_{se} + \frac{p_{\text{新沥青}}}{\gamma_{i\text{新沥青}}}} \quad (2)$$

式中:  $\gamma_{se}$  为合成矿料有效相对密度;  $\gamma_{ti}$  为 RAP 有效相对密度;  $p_{\text{新沥青}}$  为新沥青占总矿料百分比;  $\gamma_{i\text{测}}$  为最大理论密度实测值。

试验中采用南京某市政工程公司提供的 RAP 材料,满足工程要求的 AC-25,分别试拌油石比为 3.7%、4.0%、4.3% 的马歇尔试件各 3 组,控制设备环境参数,实测各个混合料的最大理论相对密度,结果见

表 3。根据实测的最大理论相对密度值按照式(1)反推出由 RAP 和新集料共同组成部分的有效相对密度、最大理论相对密度计算结果见表 4。

表 3 再生沥青混合料最大理论相对密度试验结果

油石比/%	(新沥青/总矿料)/%	实测最大理论密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	实测最大理论密度均值/(g·cm <sup>-3</sup> )
3.7	2.51	2.543,2.552,2.548	2.549
4.0	2.81	2.538,2.540,2.539	2.538
4.3	3.11	2.524,2.532,2.528	2.528

表 4 实测—计算法确定最大理论密度值

油石比/%	(新沥青/总矿料)/%	反推 RAP+新集料有效相对密度	计算最大理论相对密度
3.4	2.21		2.560
3.7	2.51		2.549
4.0	2.81	2.647	2.538
4.3	3.11		2.528
4.6	3.41		2.517

2.2 再生剂掺配比例的确定

厂拌热再生工艺中,添加适当比例的再生剂能对 RAP 中旧沥青进行调和和软化,促进新旧料及新沥青间的融合,有效提高再生混合料低温抗裂性。一般情况下添加较低比例再生剂有助于改善旧沥青与集料之间的黏结强度,极限荷载有增大的现象;但当老化混合料中加入较大比例再生剂时,老化沥青逐渐被软化,再

生混合料极限荷载逐渐降低。

试验中不添加新集料和新沥青,再生剂分别设置 0、3%、6%、9%、12% 共 5 种比例,利用旋转压实成型试件,采用环形加载试验方法,试验结果如表 5 所示,由表 5 可见再生剂的掺配比例为 6% 时,其极限荷载达到最大值。

表 5 不同比例的再生剂环形加载极限荷载

再生剂掺量(相对于旧沥青)/%	极限荷载/kN
0	14.912
3	14.946
6	17.293
9	14.917
12	14.755

3 厂拌热再生沥青混合料压实特性

再生混合料在摊铺碾压过程中由于 RAP 的添加,容易出现压实不足、空隙率难以满足规范要求。RAP 添加比例越高,在同样的工艺环境下,混合料压实成型达到规定的压实度所需的压实功越大。

3.1 不同 RAP 掺量的再生混合料压实特征

试验中采用掺加再生剂(10%)与不掺加再生剂两种情况,分别设计 RAP 掺配比例为 0、15%、25%、35% 共 4 档,集料级配及油石比同前。利用旋转压实仪记录再生混合料压实曲线,不掺加及掺加再生剂时混合料压实曲线见图 6。

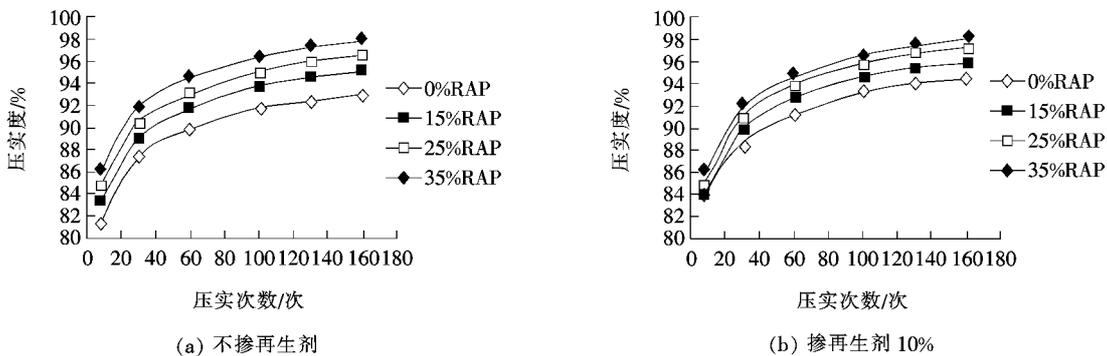


图 6 不同 RAP 掺配比例的混合料压实曲线

对比添加再生剂与不添加再生剂的情况,发现添加再生剂时同等压实功下,压实度有一定比例的提高,随着 RAP 掺量的增加,提高比例越大,再生剂的作用凸显越明显。可以看见,在对旧沥青的软化调和以及促进新旧沥青间的融合方面,再生剂发挥明显作用。

3.2 不同油石比的再生混合料压实特征

在控制 RAP 掺量 25% 和集料级配条件下,变化油石比,再生剂掺量定为 RAP 中旧沥青比例的 10%。按照 3.7%、4.0%、4.3%、4.6% 及 4.9% 共 5 个油石比进行旋转压实试验,观察在压实功相同条件下油石比

的提高对压实度和空隙率的影响情况(图 7、8)。

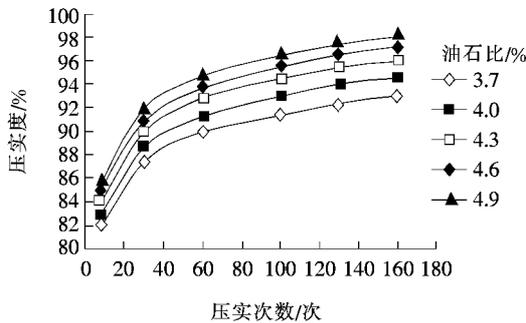


图 7 不同油石比下压实曲线(再生剂 10%)

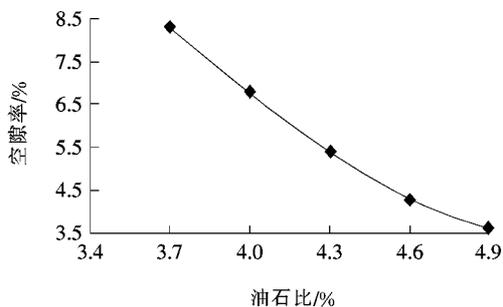


图 8 空隙率与油石比关系曲线

由图 7、8 可知:随着油石比增大,压实度增加,空隙率降低。

#### 4 厂拌热再生沥青混合料性能综合评价

厂拌热再生混合料的性能指标主要包括高温性能、低温性能、水稳定性、耐老化性以及疲劳性能等。相关试验表明:添加一定比例的 RAP,有助于提高再生混合料高温性能,但再生混合料的水稳定性、低温性能、耐老化性会出现一定程度的下降;RAP 掺配比例较低时,再生混合料的疲劳性能有所增加,当 RAP 掺配比例偏高时,再生混合料的疲劳性能出现明显下降。

#### 5 结论

针对厂拌热再生工艺,研究了再生混合料的关键性工艺参数、配合比设计以及关键性能指标,得出如下结论:

(1) 随着路面回收料加热温度的升高,再生混合料的疲劳寿命增长,RAP 最佳加热区间为 120 ~ 140 °C。

(2) 采用再生剂与 RAP 先拌和后再与新沥青及新集料拌和的工艺顺序,可使再生混合料更密实、更均匀,高温性能提高显著。

(3) 混合料拌和时间适当延长,有利于各材料间的充分融合,在工艺环境许可条件下,建议将工艺拌和的时间延长为 60~90 s。

(4) 同等压实条件下,随着 RAP 掺量的增加压实度提高;RAP 掺量相同条件下,适当提高油石比可以降低再生混合料的空隙率,提高压实度。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通部. 2008 年交通统计数据[EB]. [http://www.moc.gov.cn/zhuzhan/zhengwugonggao/jiaotong-bu/guihuatongji/201104/t20110428\\_937557.html](http://www.moc.gov.cn/zhuzhan/zhengwugonggao/jiaotong-bu/guihuatongji/201104/t20110428_937557.html). 2011.4.28
- [2] 刘先森. 厂拌热再生沥青路面施工技术及其质量控制[C]. 2003 全国公路沥青路面再生技术与设备研讨会论文集, 2003.
- [3] 吕伟民, 严家俊. 沥青路面再生技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 1989.
- [4] 吕伟民. 沥青路面再生利用的战略措施[J]. 上海公路, 2005(2).
- [5] 拾方治, 孙大权, 吕伟民. 沥青路面再生技术简介[J]. 石油沥青, 2004(5).
- [6] 沙庆林. 空隙率对沥青混凝土的重大影响[J]. 国外公路, 2001(1).
- [7] 辛德刚, 王哲人, 周晓龙. 高速公路沥青路面材料与结构[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [8] 朱洪洲, 黄晓明. 沥青混合料疲劳性能关键影响因素分析[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2004(2).
- [9] Lee, T. C., Terrel, R. L., Mahoney, J. P.. Test for Efficiency of Mixing of Recycled Asphalt Paving Mixtures [R]. Transportation Research Record 911, TRB, 1983.
- [10] 熊巍, 罗炉, 雷宗建. 沥青路面就地热再生与温拌技术综合应用研究[J]. 中外公路, 2016(4).
- [11] 张健, 王大明. 二次就地热再生沥青混合料路用性能试验研究[J]. 中外公路, 2017(6).