

超高RAP掺量厂拌热再生沥青混合料研究及应用

陈建炫, 马云龙

[佛交科天诺(广东)材料有限公司, 广东 佛山 528300]

摘要: 为了推进回收沥青路面(reclaim asphalt pavement, RAP)材料的超高比率应用,通过室内试验研究提出了50%~80%RAP掺量下热再生混合料的材料组成比例,基于此开展了混合料的高温稳定性、低温抗裂性和水稳定性的研究。研究表明,热再生混合料的动稳定度与RAP掺量呈现同步增长的趋势,弯拉应变、残留稳定性和冻融劈裂强度比均与RAP掺量呈现负相关,RAP掺量在50%~80%时可确保热再生沥青混合料路面服役性能优异。基于实际热再生工程进行试验段应用,通过RAP变异性控制、减少沥青二次老化、加强新旧沥青融合等技术措施,有效实现了厂拌热再生技术中高效应用超高比例的RAP材料。

关键词: 道路工程;厂拌热再生;RAP材料;超高掺量;路用性能;再生剂

中图分类号: U416.26

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)08-0088-05

Research and Application of Plant-mixed Hot Recycled Asphalt Mixture with Ultrahigh RAP Content

CHEN Jianxuan, MA Yunlong

[Foshan Jiaoke Tiannuo (Guangdong) Materials Co., Ltd., Foshan 528300, China]

Abstract: In order to promote the ultrahigh ratio application of reclaimed asphalt pavement (RAP) materials, the material composition ratio of hot recycled mixture with 50%~80% RAP content is proposed through the laboratory test research. Based on this, the high-temperature stability, low-temperature crack resistance and water stability of the mixture are studied. The research shows that the dynamic stability of the hot recycled mixture and the RAP content show a synchronous growth trend. The flexural tensile strain, residual stability and freeze-thaw splitting strength ratio are negatively correlated with the RAP content. When the RAP content is 50%~80%, the service performance of the hot recycled asphalt mixture pavement is excellent. Based on the actual thermal regeneration project, the application of the test section is carried out. Through the technical measures such as RAP variability control, reducing secondary aging of asphalt, and enhancing the integration of new and old asphalt, the efficient application of ultrahigh proportion RAP materials in the plant-mixed hot recycling technology has been effectively achieved.

Keywords: road engineering; plant-mixed hot recycling; RAP material; ultrahigh content; pavement performance; regenerant

0 引言

我国公路里程数量庞大,近年来已经由大修大建逐步向建养并重的阶段过渡,然而在废旧沥青路面清除、破碎阶段通常会产生大量废料。目前,一般采用厂拌热再生技术对铣刨料进行回收利用,即是通过将回收沥青路面(reclaim asphalt pavement, RAP)运输至拌合厂,经过系统的破碎、筛分等处理,再将新沥青、新集料按照一定的级配拌合形成新的再生沥青混合料,实现废旧沥青混合料的重复利用。该

技术因具有级配易于控制、沥青混合料品

质高等优点而得到广泛应用,然而在室内研究时RAP的掺配比例一般为50%左右,而实际工程应用的比例仅30%甚至更低^[1-3]。当采用较高比例的旧料掺量时,又会导致混合料出现出料温度难以保证、压实度不达标、道路服役性能下降等问题,尤其是在低温性能下降方面尤为明显^[4-5]。对于未被充分利用的废旧沥青混合料,简单堆积会占用大量土地资源,而填埋处理则可能引发严重的环境污染^[6-7]。故而为了更好有效促进资源经济利用,助力环境和谐发展,提升废旧沥青混合料的有效利用率已经成为当前道路养护的必然趋势^[8]。

针对RAP的适宜掺配比例,国内外众多学者进

收稿日期: 2025-01-18

作者简介: 陈建炫(1993—),男,学士,助理工程师,从事道路与桥梁施工工作。

行了深入的探讨与研究。黄伯承^[9]采用“富油、细级配、低孔隙率”的设计思路开展了40%RAP掺量下AC-20再生混合料配合比设计研究,并对各项技术指标进行检测,高温、低温及水稳定性能优异,经实体工程验证后可行,具有良好的推广应用前景。翁士晓^[10]等发现延长拌合时间、提高新集料加热温度等方法可以大幅降低花白料的产生,同时提升混合料的路用性能,建议冬寒区、冬稳区RAP的掺量分别限制在40%、60%以下。郝鹏举^[11]基于50%RAP掺量再生混合料分别开展了掺加4%高黏剂+4%再生剂、4%复合改性剂+4%再生剂、8%再生剂的不同混合料的路用性能对比研究,结果显示双改性处理后再生混合料的性能提升效果最佳,完全满足规范要求。

通过添加优质再生剂、RAP变异性控制、减少沥青二次老化、加强新旧沥青融合等手段实现RAP大比例添加,促进废旧材料的高效回收利用。通过试验段应用,验证了超高掺量热再生沥青混合料在实际应用中的良好成效。

1 原材料性能室内试验研究

1.1 新沥青性能室内试验

选取70#沥青作为胶结料并开展室内试验,得出70#沥青的各项性能如表1所示。

表1 70#沥青室内试验性能

项目	针入度/0.1 mm	软化点/℃	延度(10℃)/cm
技术要求	60~80	≥45	≥15
试验结果	69.5	57	42.1

1.2 集料性能室内试验

采用石灰岩、磨细矿粉作为集料,对性能指标进行了室内试验测试,具体测试结果如表2所示。

表2 集料室内试验性能 单位:%

项目	粗集料			细集料		
	压碎值	洛杉矶磨耗值	针片状含量	吸水率	含泥量	砂当量
试验结果	19.8	20.0	9	0.3	1.8	80
技术要求	≤26	≤28	≤15	≤2	≥3	≥60

1.3 RAP料性能室内试验

为减少RAP变异性,更好地实现热再生沥青混合料的级配控制,进一步优化热再生沥青混合料的质量与性能,本研究将RAP料破碎并筛分为:0~6 mm、6~11 mm、11~17 mm及17~28 mm四档,分别测试RAP中的沥青含量,以及旧沥青和旧集料的各项技术指标,具体结果见表3。

表3 RAP料室内试验性能

材料	技术指标	试验结果	技术要求
RAP	0~6 mm	6.95	—
	6~11 mm	2.56	—
	11~17 mm	3.18	—
	17~28 mm	4.04	—
RAP中的沥青	针入度(25℃)/0.1 mm	23.2	60~80
	软化点/℃	57.6	≥46
	延度(15℃)/cm	19	≥100
RAP中的集料	针片状颗粒含量/%	5.6	≤12
	压碎值/%	19.5	≤28
	棱角性/s	58	≥30

试验数据显示:RAP中的旧沥青出现了老化迹象,具体表现为针入度显著下降、软化点上升,因此,在应用中需掺入再生剂以恢复其性能。同时,RAP中的旧集料性能优异,均符合既定的技术标准。

1.4 再生剂性能室内试验

本实验选用白土压榨油再生剂作为外加剂,基础油分白土压榨油中芳香烃、饱和烃等轻质组分含量较高,恰好补充了老化沥青中缺少的轻质组分,可有效降低废旧沥青的劲度,提高延度,并且获得的再生沥青具备抗老化能力,混合料的低温性能得到改善,再生沥青路面的使用寿命延长;且白土压榨作为食用油生产副产品之一,经济性良好。该再生剂的室内试验结果如表4所示。

表4 白土压榨油再生剂室内试验性能

测试项目	60℃运动黏度/(mm ² ·s ⁻¹)	饱和分含量/%	芳香分含量/%	闪点/℃	TFOT(163℃,5 h)	
					黏度比	质量损失/%
实测值	2 536	21	68	235	1.30	1.35
规范要求	901~4 500	≤30	实测	≥220	≤3	≤3, ≥-3

2 沥青混合料配合比设计研究

分别进行50%~80%RAP掺量的AC-25热再生沥青混合料配合比设计,将不掺加RAP的普通沥青混合料作为对照组,各体积参数结果详见表5,均满足规范要求。

3 混合料性能室内试验研究

3.1 混合料高温稳定性

基于车辙试验仪针对再生混合料开展了5种不同RAP掺量下抗车辙性能的试验测试,以此衡量其高温稳定性。针对每种RAP掺量的混合料,均制备了长宽高分别为300、300、50 mm的测试试样,试样

表5 热再生沥青混合料体积参数结果

旧料掺配率/ %	最佳沥青用量/ %	新添沥青用量/ %	再生剂用量/ %	稳定度 MS/ kN	流值 FL/ mm	矿料间隙率/ %	空隙率/ %	沥青饱和度/ %
0	3.9	3.9	0	14.02	2.51	13.2	4.1	68.9
50	3.9	2.1	7	13.86	2.44	13.5	4.2	68.9
60	3.9	1.8	7	13.89	2.33	13.8	4.4	65.9
70	3.9	1.5	8	13.70	2.31	12.9	4.1	71.3
80	3.9	1.2	8	13.54	2.28	13.1	4.0	69.4
技术要求	—	—	—	≥8	1.5~4.0	≥13	3~6	55~70

在 60℃ 环境温度下保温 5 h 后开始试验,试验结果如图 1 所示。

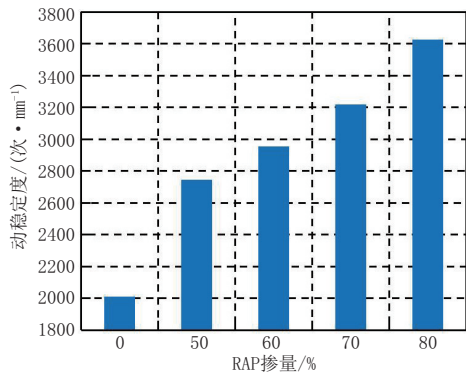


图1 混合料动稳定度试验结果

根据图 1 研究可知,热再生混合料的动稳定度与 RAP 掺量呈现正相关。当 RAP 掺量分别为 50%、60%、70% 和 80% 时,混合料动稳定度相较于 RAP 掺量为 0% 时增加了 36.4%、46.8%、59.9%、80.3%,且其动稳定度均大于技术要求的 $\geq 1\,000$ 次。分析原因,推测这主要归因于随着 RAP 掺量的提升,沥青混合料中的老化沥青比例升高,导致混合料的黏度、硬度、软化点均升高,从而提高了沥青混合料的抗车辙变形性能。因此,在沥青混合料中适量增加 RAP 掺量有助于改善其抗车辙性能。

3.2 混合料水稳定性

水稳定性是评估沥青路面服役时间的核心指标之一,本文主要通过沥青混合料的冻融劈裂强度比、浸水马歇尔残留稳定度两种方法研究 RAP 掺量大小对其水稳定性能的影响。

选取 RAP 掺量分别为 0%、50%、60%、70%、80% 的 5 种沥青混合料进行马歇尔试验标准试样制作。浸水马歇尔试验是将试样分别放置在 60℃ 的恒温水槽中经过 30~40 min 和 48 h 的保温处理后测其稳定度及流值,不同旧料含量下的浸水马歇尔试验相关试验结果如图 2 所示。冻融劈裂试验是将第一组试样经过 1 个冷冻-融化周期后,与第二组试件一起置于 25℃ 恒温水槽中恒温 2 h,测量其劈裂强度。不同旧料含量下的冻融劈裂试验相关试验结

果如图 3 所示。

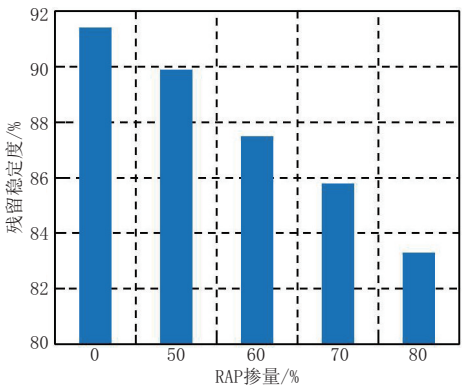


图2 混合料残留稳定度试验结果

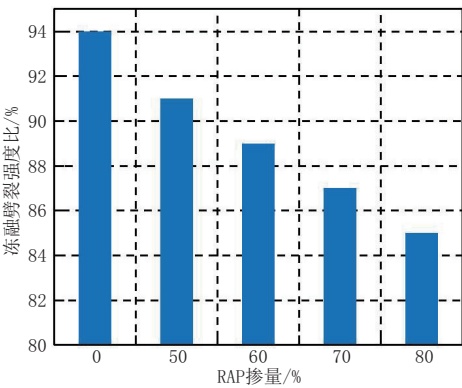


图3 混合料冻融劈裂强度比试验结果

由图 2 和图 3 分析结果可知:(1)当 RAP 掺量分别为 50%、60%、70% 和 80% 时,混合料残留稳定度分别为 89.9%、87.5%、85.8%、83.3%,均满足技术要求的 $\geq 80\%$,相比不掺加旧料时分别下降了 1.6%、4.3%、6.1%、8.9%;(2)当 RAP 掺量分别为 50%、60%、70% 和 80% 时,混合料冻融劈裂强度比分别为 91.6%、89.2%、87.9%、85.0%,均满足技术要求的 $\geq 75\%$,相比不掺加旧料时分别下降了 3.1%、5.6%、7.0%、10.1%;(3)热再生混合料的冻融劈裂强度比和残留稳定度与 RAP 掺量均呈现负相关,分析原因,推测这主要归因于废旧沥青混合料中的老化沥青对集料的裹附能力减弱,随着 RAP 掺量的升高,在冻融循环的综合作用下,再生混合料中集料与沥青之间会因黏结性不足而呈现分离和开裂的现象,从而导致混合料的荷

载强度降低,因此在沥青混合料中适量降低 RAP 掺量有助于改善其水稳定性能。

3.3 混合料低温性能

热再生沥青混合料中因含有老化沥青而导致其低温抗裂性呈现较大程度的劣化,因此采用低温小梁弯曲室内试验的方法研究其低温抗裂性。碾压成型板块状试件后切割成相应尺寸的小梁试样,在-10℃中恒温保存4h及以上,通过室内试验得出不同RAP掺量比例下破坏弯拉应变的结果如图4所示。

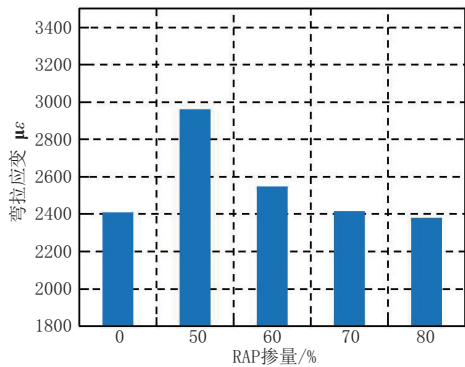


图4 混合料弯拉应变试验结果

由图4所示,热再生混合料的弯拉应变与RAP掺量呈现负相关。通过对比0%RAP掺量热再生沥青混合料与50%RAP掺量热再生沥青混合料,可以发现白土压榨油再生剂的添加显著提升了混合料的低温抗裂性,当RAP掺量达到70%时,混合料弯拉应变与RAP掺量为0%时接近。究其机理,老化沥青较新沥青更加坚硬且易脆,随着RAP掺量的增加,在低温作用下混合料更易发生脆裂。而白土压榨油再生剂中饱和分、芳香分等轻质组分较多,恰好弥补了老化沥青中胶质、沥青质等重组分较多的情况,使老化沥青性能恢复,再生沥青混合料低温性能提升。

4 现场应用技术研究

依托某次干路新建项目,以RAP掺量50%铺筑500m沥青路面下面层试验路段,在试验段应用过程中,通过提升旧料加工工艺、严格控制原材料加热温度、优化拌合技术等关键技术确保超高掺量下再生沥青混合料的品质。

4.1 RAP 变异性控制

在再生沥青混合料开始制备前,根据材料特性对其拌合装备进行针对性改造升级,在现有RAP分档基础上增加筛网,将RAP料的划分从2档(0~8mm、8~28mm)改为4档(0~6mm、6~11mm、11~17mm、

17~28mm),精确控制混合料级配范围,降低RAP的变异性,减少RAP料中假粒径的情况,防止再生混合料发生泛油、离析等情况,保障再生沥青混合料的品质,并且筛网分级的增加可同时满足表面层和中下面层生产需求。

4.2 沥青二次老化控制技术研究

为保证混合料出料温度满足规范要求,同时需要防止RAP料因过高的温度而出现二次老化,通过室内试验及系统研究分析,将6~11mm、11~17mm、17~28mm的RAP料温度保证在140~150℃的范围内,而0~6mm的RAP料采用冷掺的方式,其中的老化沥青含量最高,有效避免老化沥青再次劣化。各项原材料的具体加热温度如表6所示。

表6 原材料的加热温度		单位:℃
工序	50%RAP再生沥青混合料	
沥青加热温度	160~165	
集料加热温度	240~250	
RAP加热温度	140~150	
混合料出场温度	170~185	

4.3 新旧沥青融合技术研究

将沥青再生剂与新沥青在预混罐中提前拌和,使得再生剂先均匀分散在新沥青中。然后再与旧料混合,改善了再生剂与旧料拌和会黏附在拌锅内壁吸收造成损失、拌合不均匀的问题,利于新旧沥青充分融合,提高了再生剂的再生能力,使沥青混合料旧料在超高掺工况下,再生剂的再生作用充分发挥。再生混合料的拌和步骤如图5所示。

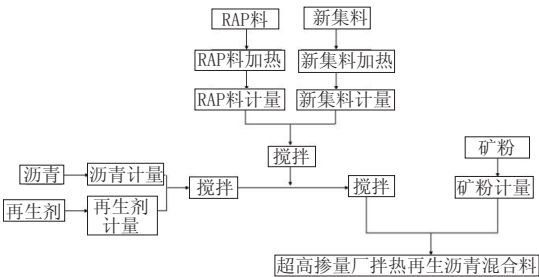


图5 混合料拌和工艺示意图

通过将50%RAP掺量的再生沥青混合料应用于试验路段,服役6个月后,试验路段的弯沉、压实度、构造深度等各项关键技术指标均与普通再生沥青混合料路段无异,充分验证了超高RAP掺量厂拌热再生沥青混合料应用效果良好。

5 结 论

(1)热再生混合料的高温稳定性与RAP掺量呈现同步增长的趋势,低温抗裂性与水稳定性均与

RAP掺量呈现负相关。

(2)通过添加优质再生剂、RAP变异性控制、减少沥青二次老化、加强新旧沥青融合等技术措施能有效实现RAP料的高利用率。

(3)在工程中应用50%RAP掺量的再生沥青混合料,试验路段的弯沉、压实度、构造深度等各项关键技术指标均表现优异,与普通再生沥青混合料路段无异。

参考文献:

- [1] 李泉,韩庆奎,张继森,等.高废旧料掺量厂拌热再生技术性能研究[J].中外公路,2018,38(6):301-304.
- [2] 顾高磊,林鹏.厂拌热再生沥青混合料的最佳RAP掺量研究[J].华东交通大学学报,2018,35(1):103-108.
- [3] 路俊杰.不同RAP掺量的厂拌热再生沥青混合料路用性能研究[J].福建建设科技,2020(2):42-44;64.
- [4] 吴革森,李裕洪,司徒丽新,等.高掺量RAP厂拌热再生混合料配合比设计研究[J].公路,2014,59(10):251-254.
- [5] 兰青,徐伟,赵劲松,等.高比例RAP厂拌热再生沥青混合料在广惠高速公路试验与评价[J].公路工程,2013,38(4):79-83.
- [6] 朱钰,张亚财,牛龙,等.高掺量RAP厂拌热再生在干线公路养护中的应用[J].筑路机械与施工机械化,2017,34(5):73-77.
- [7] 郭江庆.高掺配率RAP厂拌热再生沥青混合料路用性能分析[J].四川水泥,2016(6):46.
- [8] 王腾,黄军瑞.高掺量RAP材料的厂拌热再生混合料设计及应用[J].山东交通学院学报,2019,27(3):48-54.
- [9] 黄伯承.40%掺量RAP厂拌热再生沥青混合料设计及路用性能[J].贵州大学学报(自然科学版),2021,38(6):109-114.
- [10] 翁士晓,王火明,徐周聪,等.高掺量RAP厂拌热再生AC-13沥青混合料路用性能研究[J].城市道桥与防洪,2020(12):169-171.
- [11] 郝鹏举.基于高掺量回收料厂拌热再生改性沥青混合料的路用性能分析[J].交通世界,2024(22):84-86.
- [12] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].

《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

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadbridgeflood@163.com

