

乳化沥青冷再生沥青混合料设计与性能研究

施炎¹, 陈呈²

(1. 浙江数智交院科技股份有限公司, 浙江 杭州 310000; 2. 浙江交工集团股份有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 随着我国公路建设的不断发展,大量的沥青旧路面进入了维修养护期,在维修及养护过程中会产生大量的废弃路面材料,俗称RAP(reclaimed asphalt pavement)。通常在进行再生沥青混合料的设计和使用前,旧料的处理、原粒径分析以及性能是重点,因此针对乳化沥青冷再生技术,首先对RAP进行试验分析研究,对冷再生混合料配合比进行了合理的调整,确定了乳化沥青、普通硅酸盐水泥、水等材料的最佳用量;然后进行高温稳定性、水稳定性、低温性能试验,试验结果表明微应变、浸水残留稳定度、冻融劈裂强度比、低温弯曲应变相关数据均满足相关技术要求,说明该冷再生混合料具有较好的路用性能;最后总结了冷再生混合料的拌和、运输、摊铺、碾压等施工工艺;拌和时间建议在普通拌和时间基础上增加10 s,摊铺时间全程建议控制在1~3 m/min,碾压一定要控制好速度与力度,养护时间建议为3~7 d。

关键词: 养护;RAP;冷再生技术;混合料;路用性能

中图分类号: U414.75

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)06-0087-04

Design and Performance Study of Emulsified Asphalt Cold Recycled Asphalt Mixture

SHI Yan¹, CHEN Cheng²

(1. Zhejiang Institute of Communications Co., Ltd., Hangzhou 310000, China; 2. Zhejiang Communications Construction Group Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract: With the continuous development of highway construction in China, a large number of old asphalt pavements have entered the maintenance period. During the maintenance and curing, plenty of waste pavement materials, commonly known as reclaimed asphalt pavement (RAP) are generated. Usually, before the design and use of recycled asphalt mixtures, the treatment of old materials, analysis of original particle size, and performance are the key points. Therefore, aiming at the emulsified asphalt cold recycling technology, firstly, RAP will be experimentally analyzed and studied, and the mix proportion of cold recycled mixtures will be reasonably adjusted to determine the optimal dosage of emulsified asphalt, ordinary Portland cement, water and other materials. Then, the high-temperature stability, water stability and low-temperature performance are tested. The test results show that the relevant data of micro strain, residual stability after immersion, freeze-thaw splitting strength ratio, and low-temperature bending strain all meet the related technical requirements, which proves that the cold recycled mixture has the good pavement performance. The construction processes of mixing, transportation, paving, and rolling of cold recycled mixtures are summarized. The mixing time is recommended to be increased by 10 s on the basis of the normal mixing time. The paving time throughout the process is suggested to be controlled at 1 to 3 m/min. The speed and force of the compaction must be well controlled. The curing time is recommended to be 3 ~ 7 d.

Keywords: curing; RAP; cold recycling technology; mixture; pavement performance

0 引言

沥青道路随着使用年限的增长及外在自然环境和车辆荷载的作用,会出现不同的病害问题,在一定程度会影响路面交通运输安全,对日常道路通行造

成安全威胁。沥青道路常见病害主要为裂缝、坑槽、车辙、泛油、松散、沉陷等问题^[1-2],其中大部分病害严重的路段需要铣刨后重新铺筑^[3-4],而在铣刨过程中将产生大量的旧料(reclaimed asphalt pavement, RAP)。在国际上,国外发达国家早已关注到道路养护中的环保和资源节约问题,对RAP的回收利用比例可达到近80%~90%,处理方式多为厂拌热再生,并取得了较好的工程效果^[5-7]。2016年Turk J等对两种

收稿日期: 2024-08-27

作者简介: 施炎(1991—),女,硕士,工程师,从事公路工程设计与研究工作。

再生技术进行了分析,发现冷再生技术从耗能、施工、环保等比热再生技术更具优势^[8]。而近年国内对于RAP的研究从热再生技术多转变为冷再生技术,其原因是相较于热再生,冷再生工艺更加环保,在减少能量消耗的同时,处理废弃物的能力更强。可在常温状态下拌和,通过乳化沥青的破乳使新旧材料黏结在一起,形成新的路面材料。该技术具有环保、经济、高效等特点,因此加强对该技术的研究具有重要意义。

1 工程概况

本文工程位于浙江省内某公路路段,道路为双向6车道,设计时速100 km/h,本次养护路面全长41.254 km。地处亚热带中部,属季风性湿润气候,全年雨量丰沛,暴雨、台风等气象灾害较多,导致该路段坑槽、沉陷病害较为严重,大量路段需先铣刨再加铺。因此,养护改造过程中将产生大量的RAP。本文以该工程为依托,对回收的RAP进行研究,设计之前需要对整体方案进行预研究,基层的冷再生技术作为可遴选方案之一,对基于回收旧料的特点进行混合料设计与性能验证研究。

2 冷再生混合料配合比设计

在对配合比设计之前,最重要的环节是对旧料进行细致的筛分,以确定最佳级配组成。将RAP进行破碎筛分预处理后RAP各挡位过筛率见表1。

表1 筛分后RAP各挡位过筛率			
筛孔孔径/mm	通过率/%	筛孔孔径/mm	通过率/%
19.00	100.0	1.180	132.7
16.00	96.4	0.600	7.9
13.20	87.5	0.300	4.4
9.50	66.5	0.015	2.1
4.75	46.5	0.075	0.3
2.36	20.2		

试验结果显示RAP集料在筛孔0.15 mm的通过率为2.1%;筛孔9.5 mm的通过率为66.5%;筛孔19 mm的通过率为100%。由试验结果可知,铣刨后的RAP集料中的粗骨料偏少,级配偏小。这是因为沥青混合料在道路在通车后,在车辆荷载等外界因素响应下,沥青混合料中的较大颗粒遭到破坏,从而产生破碎的情况,使集料中较小粒径占比增大。

通过试验测试显示RAP回收后的旧沥青基本性能指标针入度(25℃,100 g,5 s)为23.3(0.01 mm);软化点为56.2℃;延度(15℃)为16.9 cm。由试验结

果可知RAP上的旧沥青三大性能指标都有明显的变化,针入度和延度远低于性能指标,软化点则呈现出明显上升。其原因是RAP长期使用及受外界环境等影响,导致其老化严重。

新材料添加为乳化沥青、普通硅酸盐水泥、水。本次冷再生混合料用于路面下面层,RAP掺量为100%。已知RAP在筛孔19 mm的通过率为100%,集料级配偏小。为满足冷再生混合料的设计级配,将添加19 mm以上的粗集料及适当的细集料,进行马歇尔击实试验,试验中击实次数为100次。试验结果见表2。

表2 马歇尔击实试验结果			
组别	孔隙率/%	马歇尔稳定度/kN	15℃劈裂强度/MPa
未添加粗集料	6.15	11.24	0.59
添加粗集料	4.43	13.15	0.72

从表2可知,在加入粗集料后,冷再生混合料的孔隙率变小,而马歇尔稳定度及15℃劈裂强度增强。由此可知,此次冷再生混合料需添加19 mm以上的粗集料。冷再生矿料级配设计见表3。已有相关研究证明了冷再生沥青混合料对在不同掺量下乳化沥青有最佳掺量^[9]。

表3 冷再生混合料矿料级配			
筛孔孔径/mm	混合料过筛率/%	规范上限/%	规范下限/%
37.500	100.0	100.0	100.0
26.500	96.5	100.0	80.0
23.100	77.3	80.0	60.0
4.750	42.2	60.0	25.0
2.360	29.5	45.0	15.0
0.030	6.1	20.0	3.0
0.075	3.8	7.0	1.0

水泥的加入可以有效提高混合料早期强度及稳定性。本次试验水泥选用强度等级为32.5 MPa的普通硅酸盐水泥,水泥含量根据混合料的矿料级配组成设计为1.5%。分别加入2%、3%、4%、5%不同用水量,进行击实试验。试验结果见表4。结果显示最佳流体含量为4%。

表4 不同用水量击实试验结果		
项目	掺水量/%	干密度/(g·cm ⁻³)
试验结果	2	2.071
	3	2.126
	4	2.184
	5	2.132

3 冷再生混合料性能试验

3.1 高温稳定性

采用高温蠕变试验对冷再生混合料的高温稳定

性评价。本次冷再生混合料设计是用于沥青下面层,因此将传统的 AC-25 沥青混合料一并进行试验,试验采用高温蠕变试验机,温度设置为 45 ℃,荷载压力设置为 700 kPa,重复加载时间为 1.0 s,按试验规范进行试验。试验结果见图 1。

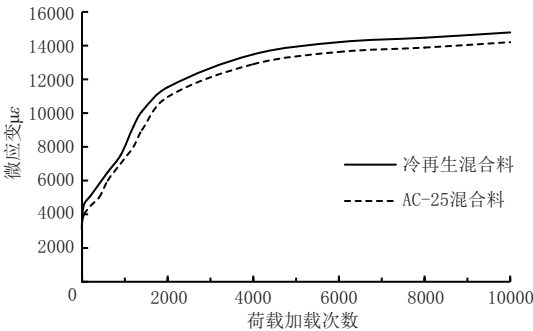


图 1 高温蠕变试验结果

结果显示冷再生混合料和 AC-25 沥青混合料当荷载次数从 2 000、4 000、6 000、8 000、10 000 依次变化时,冷再生混合料微应变 $\mu\varepsilon$ 分别为 10 957、12 901、13 627、13 884、14 207。AC-25 沥青混合料微应变 $\mu\varepsilon$ 分别为 11 534、13 482、14 206、14 469、14 783。冷再生混合料与 AC-25 之间相差并不大,由此证明冷再生混合料高温稳定性满足其相关规范要求。

3.2 水稳定性

采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验来评价水稳定性。分别准备 12 组试件,浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验各 4 组,按照试验相关的标准规范进行操作。浸水残留稳定度及冻融劈裂强度比结果见表 5。

表 5 冷再生混合料水稳定性试验结果

项目	试验结果	规范要求
马歇尔稳定度 40 ℃/kN	12.3	≥6.0
浸水残留稳定度/%	97.2	≥80
冻融劈裂强度比/%	82.7	≥70

由表 3 可知,浸水残留稳定度及冻融劈裂强度比结果分别为 97.2% 和 82.7%。试验结果显示冷再生混合料具有较好的水稳定性,且均满足《公路沥青路面再生技术规范》(JTGF 41—2008)相关规定要求。

3.3 低温性能

采用小梁低温弯曲试验来评价低温性能。制作 250 mm×30 mm×35 mm 棱柱体小梁试件,试验温度设置为度 -15 ℃,加载速率为 50 mm/min,采用万能试验机进行三点弯曲试验,加载速率保持恒定。记录加载过程中的荷载和跨中挠度。试验结果见表 6。

由表 6 可知,低温弯曲微应变 $\mu\varepsilon$ 为 2 012.6,试验结果满足相关技术要求。

表 6 小梁低温弯曲试验结果

试件	最大荷载/kN	跨中挠度/mm	劲度模量/MPa	抗弯拉强度/MPa	低温弯曲应变 $\mu\varepsilon$
1	0.447	0.348	1 986.9	3.81	2 011.6
2	0.454	0.346	1 981.7	3.84	2 010.1
3	0.456	0.345	1 982.1	3.78	2 013.3
4	0.450	0.349	1 984.4	3.80	2 015.4
平均值	0.452	0.347	1 983.8	3.81	2 012.6

4 冷再生混合料施工工艺

(1)路面铣刨

在铣刨前先根据路面损坏情况及设计要求,提前规划和确定铣刨深度。除了控制铣刨深度和平整度外,还需要严格控制铣刨材料的颗粒级配和含水量。因为老路中不同层位的旧沥青混合料,质量和粒径也不一样,因此,铣刨后的材料需要进行分类堆放和覆盖,防止水分蒸发和杂质混入,以保证冷再生材料的质量。颗粒级配的均匀性直接影响冷再生混合料的性能,而含水量则会影响后续的冷再生工艺过程。

(2)拌和

拌和设备的选择与拌和工艺及冷再生混合料的路由性能有直接关系。对旧料的性能有一定要严格检测,如旧料的级配、含油量等。建议拌和时间比普通拌和时间增加 10 s,充分让 RAP、乳化沥青、水泥、水等材料拌和均匀,避免出现拌和不均匀、花白料现象。

(3)摊铺

由于冷再生混合料的粘结性和易性与普通混合料有所不同,全程摊铺速度建议控制在 1~3 m/min,摊铺时间应严格按照计划时间完成,以保在水泥初凝时间范围内完成材料摊铺压实。

(4)碾压

由于冷再生混合料含有乳化沥青等结合料,在碾压初期,混合料的强度较低,需要更小心地控制碾压速度和力度。碾压时通常采用先轻后重的方式。初压一般建议使用轻型压路机静压,以稳定混合料表面,避免出现推移。然后逐渐增加压路机的重量和碾压遍数,进行复压和终压。同时,要检查压实后的路面平整度和密实度,防止出现松散、裂缝等质量问题。

(5)养生

冷再生混合料养生的目的是使稳定剂(如水泥、乳化沥青等)充分发挥作用,使旧路面材料与新添加

的材料能更好地粘结在一起,形成具有一定强度和稳定性的路面结构层。同时,通过养生过程,使冷再生混合料的性能逐渐稳定,达到设计要求的指标,以便能够承受车辆荷载和环境因素的作用。初期需要适当洒水保持一定湿度,但由于其中含有部分旧路面材料,其本身具有一定的保水性,所以对湿度的控制要求不像普通水泥混凝土那么严格。冷再生混合料养生时间相对较短。一般养生时间为建议为3~7 d。

5 结 语

(1)冷再生技术可在常温环境下施工,减少了有害气体的产生,更具绿色环保,材料来源较为广泛,同时减少了石料、沥青等材料的用量,降低成本的同时还节约了资源,施工工艺相对简单,减少了施工成本。

(2)通过试验发现RAP收后的旧沥青老化严重,三大性能指标变化明显,需添加新材料进行配合比设计。经试验显示冷再生混合料配合比最佳乳化沥青用量为4.3%,水泥用量为1.5%,最佳拌和用水量4%。

(3)通过高温蠕变试验、浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验、小梁低温弯曲试验对冷再生混合料进行路用性能验证。高温蠕变试验结果显示其微应变与AC-25相差不大,水稳定性试验结果显示水残留稳定度及冻融劈裂强度比结果分别为97.2%和82.7%,小

梁低温弯曲试验结果显示低温弯曲应变为2 012.6 $\mu\epsilon$,试验结果均满足相关规范要求。

(4)对冷再生混合料施工过程中提出了新的建议及注意事项,拌和时间建议在普通拌和时间基础上增加10 s;摊铺时间全程建议控制在1~3 m/min;由于冷再生混合料含有乳化沥青等结合料,碾压时一定要控制好速度于力度;养生时间建议为3~7 d。

参考文献:

- [1] 孙俊洲.城市道路沥青路面病害成因分析及修复方法[J].建材技术与应用,2023(5):66-70.
- [2] 卢刚.公路路面病害分析及维护技术研究[J].北方交通,2023(8):70-72.
- [3] 张红.旧沥青路面铣刨质量控制方法和标准研究[J].四川水泥,2021(2):257-258.
- [4] 高越.市政路面病害修复工程中铣刨技术应用分析[J].广东建材,2022,38(11):74-76;85.
- [5] Huang Y, Bird R, Heidrich O. Development of a life cycle assessment tool for construction and maintenance of asphalt pavements[J]. Journal of Cleaner Production, 2009, 17(2): 283-296.
- [6] Vargas-Nordbeck, Adriana, Timm, David H. Rutting characterization of warm mix asphalt and high RAP mixtures[J]. Road Materials & Pavement Design, 13(S1): 1-20.
- [7] M. Chappat, J. Bilal, The Environmental Road of the Future [EB/OL]. (2003-06-23)[2024-08-26] <https://www.colas.com/fr/>.
- [8] Turk J, Mauko Pranjai A, Mladenovi A, et al. Environmental comparison of two alternative road pavement rehabilitation techniques: cold-in-place-recycling versus traditional reconstruction[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 121(10): 45-55.
- [9] 杨太涯.乳化沥青冷再生旧沥青路面混合料性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2016.

(上接第78页)

了外环普陀段抬升的总体方案及重要立交节点方案,交通评价分析表明,外环普陀段抬升可有效均衡路网流量,提升区域交通转换效率。

参考文献:

- [1] 上海市城乡建设和交通发展研究院.2023年度上海市综合交通运输年报[R].上海:上海市城乡建设和交通发展研究院,2024.
- [2] 上海市规划和自然资源局.上海市普陀区单元规划[R].上海:上海市规划和自然资源局,2022.
- [3] 普陀区人民政府,上海市规划和国土资源管理局.上海市普陀区桃浦科技智慧城(W06-1401单元)控制性详细规划修编[EB/OL].

上海普陀资源规划局(2022-09-23)[2024-09-18].<https://www.shpt.gov.cn/gtj-zfbm/index.html>.

- [4] 上海市人民政府.上海市城市总体规划(2017—2035年)[R].上海:上海市人民政府,2018.
- [5] GB/T 51328—2018,城市综合交通体系规划标准[S].
- [6] 上海城投(集团)有限公司.上海外环西段交通功能提升工程专项规划公示[N/OL].(2021-09-10)[2024-09-18].<https://www.chengtou.com/node2/n578/n1644/n1645/n1653/u1ai35216.html>
- [7] 上海城投(集团)有限公司.S5沪嘉快速路(中环~沪嘉-嘉闵联络线)功能提升工程专项规划[N/OL].(2022-02-07)[2024-09-18].<https://www.chengtou.com/node2/n578/n1644/n1645/n1653/u1ai35315.html>.