

不同RAP掺量对高模量再生沥青混合料的抗裂性能影响研究

刘武, 涂鹏, 吴焘, 胡焱饶
(江西省交投供应链有限公司, 江西 南昌 330013)

摘要: 高模量再生沥青混合料的路用性能取决于废旧回收沥青混合料RAP的掺量。为评估RAP掺量不同时对高模量再生沥青混合料的抗裂性能的影响,通过小梁弯曲试验分析了其不同掺量对抗裂性能的影响以支持公路工程的实际应用。研究表明:高模量热再生沥青混合料的马歇尔稳定度在RAP掺量为20%~40%范围内随掺量增加而增大,流值随掺量增大而减小;而在40%~50%范围内马歇尔稳定度随掺量增加而减小,流值随掺量增大而增大;RAP掺量增加的最佳油石比值也随之增加,而新加油石比则随着RAP掺量增加而减少;且随着RAP掺量的增加,其引起的弯拉破坏应变连续减少,弯拉强度和劲度模量却连续增加。试验结果表明天然高模量再生沥青混合料在RAP掺量占比为20%时的抗裂性能最好。

关键词: 高模量沥青;再生沥青混合料;配合比设计;小梁弯曲试验;低温抗裂性能

中图分类号: TU528.42

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)07-0333-04

Study on Effect of Different RAP Dosages on Crack Resistance of High-modulus Recycled Asphalt Mixture

LIU Wu, TU Peng, WU Tao, HU Yanrao
(Jiangxi Jiaotou Supply Chain Co., Ltd., Nanchang 330013, China)

Abstract: The pavement performance of high-modulus recycled asphalt mixture depends on the dosage of waste recycled asphalt pavement (RAP). In order to evaluate the effect of different RAP dosages on the crack resistance of high-modulus recycled asphalt mixture, the effect of different dosages on the crack resistance of high-modulus recycled asphalt mixture is analyzed by the three-point bending beam test to support the practical application of highway engineering. The results show that the Marshall stability of the high-modulus hot-recycled asphalt mixture increases with the increase of the RAP dosage of 20%~40%, and the flow value decreases with the increase of the RAP dosage, and in the range of 40%~50%, the Marshall stability decreases with the increase of the dosage, and the flow value increases with the increase of the dosage. With the increase of RAP dosage, the value of the optimal asphalt-aggregate ratio also increases, and the ratio of new asphalt and aggregate decreases with the increase of RAP dosage. With the increase of RAP dosage, its bending-tensile failure strain decreases continuously, and the bending-tensile strength and the stiffness modulus increase continuously. The test results show that the natural high-modulus recycled asphalt mixture has the best crack resistance when the RAP dosage is 20%.

Keywords: high-modulus asphalt; recycled asphalt mixture; design of mix proportion; three-point bending beam test; low-temperature crack resistance

0 引言

现如今我国大量老旧沥青路面进入维修或改扩建期,这会产生大量的回收沥青混合料(RAP)。如果不能将其循环利用将会占用土地资源造成环境污染成为制约交通产业绿色低碳循环发展的阻碍^[1-2]。

因此将RAP再生利用不仅能够有效降低工程造价保护环境,还能帮助“双碳”政策走深落实有效实施的途径^[3-5]。

传统的沥青混合料再生方法虽也能达到保护环境、节约资源的目的,但在旧料利用率和再生沥青混合料性能保证方面存在缺陷。已有研究表明在再生混合料路面的高温性能提升和旧料利用率提高方面通过制备高模量再生沥青混合料是一种有效的途径。但对此种再生混合料的抗裂性能研究还不充足^[6-8]。

收稿日期: 2024-12-04

作者简介: 刘武(1975—),男,硕士,高级工程师,从事公路工程项目管理与公路建材研发生产销售管理工作。

在我国沥青路面使用性能气候分区中夏热冬寒地区占有一定比例该区域气候环境复杂且由于经济的飞速发展重载交通量的占比增加导致车辙问题突出。高模量再生沥青混合料具有优良的高温性能可以有效解决车辙突出的问题。但同时该区域因冬季低温的缘故对混合料的低温抗裂性能也不容忽视。因此有必要对高模量再生沥青混合料的抗裂性能进行研究。

本文将通过制备不同掺量RAP的高模量再生沥青混合料并在不同温度下对其抗裂性能进行研究,确定其抗裂性能最佳时的RAP掺量,从而为公路工程实际建设提供依据^[9-11]。

1 原材料试验

1.1 新沥青性能

新沥青采用江西某公司生产的高模量天然沥青,其各项性能指标如表1所列。

表1 高模量天然沥青技术指标		
检测项目	试验结果	标准要求
针入度(25℃5s100g)/0.1mm	27	20~35
软化点/℃	63	≥60
延度(25℃5cm·min)/cm	29.3	≥25
老化试验		
质量变化率/%	0.021 1	≤±0.5
针入度比(25℃)/%	72.3	≥65
延度(25℃5cm·min)/cm	16	≥10

表4 AC-16C矿料级配范围											
AC-16C	筛孔尺寸(mm通过率)/%										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配上限	100	100	92	80	62	48	36	26	18	14	8
级配下限	100	90	76	60	34	20	13	9	7	5	4
级配中值	100	95	84	70	48	34	25	18	13	10	6

目前工程应用中RAP的掺量一般不超过30%。40%、50%不同RAP掺量下高模量再生沥青混合料现结合工程实际拟定旧料掺量分别为20%、30%、级配设计如表5所列。

表5 不同RAP掺量下高模量再生沥青混合料级配设计											
RAP 掺量/%	筛孔尺寸(mm通过率)/%										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
0	100	93.8	82.6	67.8	40.6	30.2	20.8	18.2	12.5	8.7	5.8
20	100	93.7	82.5	67.2	40.3	27.9	20.8	17.8	12.4	8.6	5.7
30	100	93.9	82.4	62.1	40	28	20.9	17.4	12.2	8.4	5.6
40	100	94.6	84.1	62.1	37.9	26.3	20.1	17.3	12.5	8.7	6
50	100	94.5	84.4	63.4	38.2	27.2	21.3	17.2	13.2	9	5.8

根据经验预估在油石比3.4%至5.4%范围内以0.5%为间隔制备五组不同的马歇尔试件。并且由于RAP有老化沥青可以根据总的油石比来确定新添加

1.2 新集料性能

新集料选用石灰岩集料各项技术指标如表2所列。

表2 集料技术指标		
性能指标	检测结果	技术要求
表观相对密度	2.72	≥2.6
压碎值/%	22	≤26
洛杉矶磨耗值/%	18	≤28
坚固性/%	5	≤12
软石含量/%	2.1	≤3.0
针片状颗粒含量/%	4.3	≤12

1.3 回收路面旧料性能(RAP)

试验所用RAP材料为宁乡市某市政道路AC-16C表面层RAP,其主要技术指标如表3所列。

表3 RAP主要技术指标		
检测项目	试验结果	标准要求
针入度/0.1mm	57.6	60~80
软化点/℃	61	≥45
延度(5℃)/cm	6.9	—
含水率/%	<1	≤3
沥青含量/%	4.3	≥3.8

2 配合比设计

在再生高模量沥青混合料级配设计的过程中,以AC-16C中值为目标级配其目标级配范围如表4所列。

表4 AC-16C矿料级配范围											
AC-16C	筛孔尺寸(mm通过率)/%										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配上限	100	100	92	80	62	48	36	26	18	14	8
级配下限	100	90	76	60	34	20	13	9	7	5	4
级配中值	100	95	84	70	48	34	25	18	13	10	6

40%、50%不同RAP掺量下高模量再生沥青混合料级配设计如表5所列。

表5 不同RAP掺量下高模量再生沥青混合料级配设计											
RAP 掺量/%	筛孔尺寸(mm通过率)/%										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
0	100	93.8	82.6	67.8	40.6	30.2	20.8	18.2	12.5	8.7	5.8
20	100	93.7	82.5	67.2	40.3	27.9	20.8	17.8	12.4	8.6	5.7
30	100	93.9	82.4	62.1	40	28	20.9	17.4	12.2	8.4	5.6
40	100	94.6	84.1	62.1	37.9	26.3	20.1	17.3	12.5	8.7	6
50	100	94.5	84.4	63.4	38.2	27.2	21.3	17.2	13.2	9	5.8

沥青的油石比。

在制作马歇尔试件之前,需要加热保温准备的材料为了防止RAP中的沥青会因为加热过程中温度

和时间的控制不当而进一步老化对其加热的温度和时间应单独控制。此外为了保证各部分材料能充分拌合并满足拌合出料后规范中要求的压实温度对新石灰岩集料的加热温度应适当地比一般拌合时的温度更高。其中加热的几个关键环节温度和时间控制如表6所列。

表 6 再生料关键环节加热时间和温度控制		
加热环节	加热温度/℃	加热时间/min
拌合设备加热	180	60
新沥青加热	160	30
RAP 加热	120	120
新集料与矿粉加热	200	240

在将所有材料进行拌合时应先将石灰岩新集料与RAP充分拌合再加入新沥青搅拌两个环节拌合时间都为2 min。制作的部分马歇尔试件见图1所示。



图 1 马歇尔试件

根据规范^[12]相关试验方法分别对五组沥青混合料试件进行测定。测定内容为:稳定度、流值、毛体积相对密度和理论最大相对密度计算空隙率、矿料间隙率和沥青饱和度。通过上述测定数据以及计算数据得出高模量再生沥青混合料在不同RAP掺量下的最佳油石比以及对应的马歇尔体积指标具体的配合比设计结果如表7所列。

表 7 配合比设计结果						
RAP 掺量/%	最佳油石比/%	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	稳定度/kN	流值/mm
0	4.23	3.43	13.26	74.1	15.74	3.76
20	4.29	3.73	13.94	73.2	16.23	3.32
30	4.35	3.68	13.45	72.6	16.37	3.21
40	4.41	3.76	13.62	72.4	18.57	3.02
50	4.48	3.86	13.45	71.3	17.45	3.13

根据试验结果得出的不同RAP掺量下最佳油石比以及新加沥青的油石比如表8所列。

由表7可以看出在20%至40%范围内增加RAP旧料的掺量会使高模量再生沥青混合料的马歇尔稳

表 8 不同RAP掺量下最佳油石比与新加油石比		
RAP 掺量/%	最佳油石比	新加油石比
0	4.23	4.23
20	4.29	3.83
30	4.35	3.74
40	4.41	3.52
50	4.48	3.36

定度增大流值减小超过这个范围高模量再生沥青混合料的马歇尔稳定度会随着掺量的增加而减少同时流值也会发生变化开始增大。说明在一定程度范围内RAP中的老化沥青可以使再生料的抗压强度增加,变形量减少。

由表8可以看出当增加RAP掺量时最佳油石比的值在不断上升而新加油石比的值却在不断下降。对于这种状况可以从以下两个角度解释:一方面当RAP的掺量逐渐增加时老旧沥青的含量也会逐渐增加,因为有更多的老旧沥青被利用所以新加油石比的值会不断减少;另一方面当RAP的掺量逐渐增加时老旧沥青的含量越多再生混合料的性能提升就需要更多的新沥青,所以最佳油石比的值会不断升高。

3 抗裂性能研究

再生沥青混合料的抗裂性是指沥青混合料抵抗收缩开裂的能力^[13-15]。在沥青路面铺设完成后沥青路面暴露在空气中,因为环境对沥青路面的综合影响而且当车辆停靠或行驶在路面上时路面还会受到车辆静载和动载的作用。综合这些因素的影响沥青会发生挥发氧化甚至分解剥落等过程导致其与集料的黏弹性逐渐衰退并发生老化。尽管沥青老化后由于沥青黏度和劲度的增加在高温抗车辙能力上有所增强但抗裂性能却显著降低^[16-17]。当长期老化的RAP掺入再生沥青混合料后长期老化的RAP抗裂性能远不如新的普通沥青所以抗裂性能会受到较大削弱从而会导致再生沥青路面比普通路面更易出现裂缝^[18-20]。因此为延长再生沥青混合料的使用时限并提升RAP利用率保证新的再生路面的使用寿命有必要对不同RAP掺量下再生沥青混合料的抗裂性能进行研究^[21]。

小梁弯曲试验是通过对沥青混合料制成的棱柱体小梁(见图2)进行加载,来评价其抗裂性能。根据规范^[12]相关要求进行试验。采用轮碾法制备小梁试件。试件尺寸为长250 mm宽30 mm高35 mm的棱柱体。小梁试验时跨径为200 mm,试验温度选取为

-10℃和15℃,加载速率为50 mm/min。

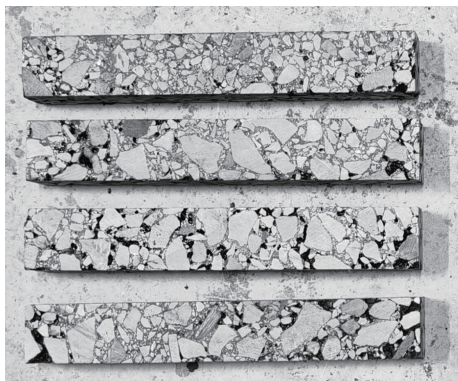


图2 小梁弯曲试件

不同RAP掺量下再生沥青混合料的小梁弯曲试验结果如表9所列。

表9 不同RAP掺量再生沥青混合料的小梁弯曲试验结果

RAP 掺量/%	弯拉强度/MPa		弯拉应变 $\mu\epsilon$		劲度模量/MPa	
	-10℃	15℃	-10℃	15℃	-10℃	15℃
0	10.24	8.02	2 936	5231	3 156	1 135
20	10.65	8.45	2 701	4981	3 345	1 359
30	11.35	9.36	2 532	4635	3 643	1 625
40	11.71	9.72	2 207	4426	3 873	1 823
50	12.23	10.11	2 026	4215	4 016	2021

从小梁弯曲试验结果可以看出,随着RAP掺量的增加在-10℃和15℃的条件下弯曲强度和弯曲劲度模量不断增大但弯拉破坏应变却在不断降低,两种温度下的减小规律基本一致。当温度为-10℃时RAP掺量从20%上升至50%弯拉破坏应变下降了25%,劲度模量上升了20%;当温度为15℃时RAP掺量从20%上升至50%弯拉破坏应变下降了15%,劲度模量上升了49%,这能够说明RAP中的旧沥青能有效参与组成再生混合料的沥青胶浆。试验结果表明在小梁弯曲试验中随着RAP掺量的增加沥青混合料试件的弯曲劲度模量变大,沥青混合料的最大弯拉应变随之变小,低温抗裂性能变差。即高模量再生沥青混合料的低温性能再随着RAP掺量的增加而降低。而因为沥青混合料在低温条件时表现出脆性的原因,所以比起在-10℃时其在15℃的抗裂性能更好。

4 结 语

本文通过-10℃和15℃温度条件下的小梁弯曲试验和不同的RAP掺量配比(分别为0%、20%、30%、40%和50%)来研究对高模量再生沥青混合料抗裂性能的影响主要研究结论如下:

(1)在20%至40%范围内增加RAP旧料的掺量

会使高模量再生沥青混合料的马歇尔稳定度增大,流值减小超过这个范围,高模量再生沥青混合料的马歇尔稳定度会随着掺量的增加而减少同时流值也会发生变化开始增大。说明在一定程度范围内RAP中的老化沥青可以使再生料的抗压强度增加变形量减少。

(2)当RAP的掺量逐渐增加时,老旧沥青的含量也会逐渐增加。因为有更多的老旧沥青被利用,所以新加油石比的值会不断减少;但同时因为老旧沥青的含量越多再生混合料的性能提升就需要更多的新沥青,所以最佳油石比的值会不断升高。

(3)在-10℃和15℃条件下,随着RAP掺量的增加的同时其引起的弯拉破坏应变连续减少劲度模量却不降反升。同时试验结果表明15℃时天然高模量再生沥青混合料的抗裂性能比-10℃时要好,但在两种温度条件下都是在RAP掺量占比为20%时的抗裂性能最好。

参考文献:

- [1] 柴明明,李明,齐桂才,等.就地热再生沥青路面建设期碳排放分析[J].公路交通科技,2016,33(10):148-151;158.
- [2] 韩争,祁文洋,王利俊.再生SBS改性沥青混合料配合比设计方法[J].城市道桥与防洪,2023(6):61-63.
- [3] 周健英.不同RAP老化程度及掺量的再生沥青混合料性能和环境效益研究[D].南昌:南昌大学,2024.
- [4] 周骅,郑好瑜.绿色环保型拌和站再生料处理方式研究[J].交通节能与环保,2023,19(6):84-87;103.
- [5] 姚晓光,许涛,王燕.沥青路面不同厂拌热再生方案经济环保性量化评价[J].武汉大学学报(工学版),2021,54(12):1133-1139.
- [6] 许营,吕小龙.再生沥青路面沥青混合料的马歇尔性质研究[J].建筑机械,2024(10):203-206.
- [7] 戴衡,杨涵明.基于高掺量RAP的高模量再生沥青混合料性能试验研究[J].现代交通技术,2024,21(1):46-50.
- [8] 李向阳,马翔,黄芳宇.RAP掺量对热再生沥青混合料高温性能的影响[J].上海公路,2024(3):140-144;208.
- [9] 陈健侠,祝谭雍,李伟,等.高模量再生沥青混合料性能研究[J].城市道桥与防洪,2016(3):169-173;176.
- [10] 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.
- [11] Pirmohammad S, Momeni R, Khanghahi H S. Impact of specimen size on mixed mode I and II fracture behavior of asphalt mixture using MMTS criterion[J]. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2024, 134(PA): 104682-104682.
- [12] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [13] 刘峰,李善强,俞昊,等.环氧再生沥青混合料低温抗裂性能研究[J].热固性树脂,2024,39(6):8-14;19.
- [14] 陈世明.热再生沥青路面抗裂性能综合评价方法研究[J].科学技术创新,2024(22):113-116.
- [15] 宋卫民,吴昊.基于断裂力学的沥青混凝土抗裂性能与研究方法进展[J].材料导报,2023,37(16):93-103.

(下转第342页)