

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyh.2023.07.056

沥青再生过程中界面新旧沥青混溶成效对混合料疲劳性能的影响

崔宇¹,徐腾飞¹,韩方元¹,贾小龙^{1,2}

(1.宁夏交通建设股份有限公司,宁夏银川750002;2.宁夏交建交通科技研究院有限公司,宁夏银川750000)

摘要:为研究相同级配、不同拌和因素下再生沥青混合料界面新旧沥青混溶成效对混合料疲劳性能的影响,基于红外光谱法将再生过程中新旧沥青“部分混溶”的定性问题转向定量,建立了再生沥青混合料混溶成效量化评价方案,研究了不同RAP掺量、拌和温度和干拌时间因素下界面新旧沥青混溶成效与再生料疲劳寿命的联系,进而优选了拌和方案。结果显示:不同拌和因素下,混合料疲劳性能随着界面新旧沥青混溶成效变化而变化,优选拌和方案为40%RAP掺量、165℃拌和温度和90s干拌时间。

关键词:再生沥青混合料;红外光谱法;混溶成效量化;疲劳性能

中图分类号:U416.03

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2023)07-0238-03

0 引言

目前,我国公路交通基础设施建设已从“建设为主”模式过渡为“建养并重”发展阶段,每年因公路养护维修产生的大量回收沥青混合料(RAP)无法高效循环利用,是制约交通行业产业体系绿色低碳循环发展的重要障碍。厂拌热再生技术因适用层位广、质量控制简单,被广泛应用于RAP的循环利用中,可合理控制工程造价,显著降低资源成本,缓解能源危机,助推“双碳”政策实施。然而,“黑石效应”的存在,再生过程中界面新旧沥青并非理想均一态,其实际效果介于“完全混溶”与“完全不混溶”之间,且在不同拌和条件下,其混溶均匀性存在差异^[1]。

鉴于此,本文基于红外光谱法将“部分混溶”的定性问题转向定量,通过设计混溶成效量化评价方案,分析不同拌和因素下混合料新旧沥青混溶成效对疲劳性能等指标的影响,进而优选拌和方案。

1 试验部分

1.1 原材料

试验所用基质沥青、回收旧沥青、再生剂、新集料及RAP等材料主要技术性质见表1至表4。

收稿日期:2022-10-18

基金项目:宁夏回族自治区重点研发项目(2020BFH02004)

作者简介:崔宇(1996—),男,硕士,研发工程师,从事道路工程材料研发工作。

表1 基质沥青及旧沥青的技术指标

技术指标	基质沥青	旧沥青	技术要求	
针入度(25℃,100g,5s)/0.1mm	66	16	60~80	
软化点/℃	49.0	67.0	≥46	
延度(10℃)/cm	>100	0.8	≥20	
(135℃)旋转黏度/(Pa·s)	0.45	1.33	实测	
组分分析	饱和分含量/%	11	10	实测
	芳香分含量/%	57	23	实测
	胶质含量/%	18	39	实测
	沥青质含量/%	14	28	实测

表2 再生剂的技术指标

检测项目	指标	
60℃黏度/(Pa·s)	0.101	
闪点/℃	>220	
外观	褐色	
RTFOT	质量变化/%	-2.03
	黏度比/%	1.18

表3 新集料的技术指标

技术指标	试验结果	技术要求(高速公路、一级公路)	试验规程	
	10~13	2.69		
表观相对密度/mm	5~10	2.70	≥2.60	T 0304
	3~5	2.78		
	0~3	2.79	≥2.50	T 0328
石料压碎值/%	14.7	≤26		T 0316
针片状含量/%	0.3	≤12		T 0312

表4 RAP主要技术性质

技术指标	含水率/%	矿粉含量/%	沥青含量/%
0~10mmRAP	1.8	8.4	4.2

1.2 试验方法

“混溶成效”表示在再生沥青混合料生产过程中,RAP裹附旧沥青剥落且与新沥青均匀混合的部分占旧沥青总量的比例,即旧沥青中有效沥青占旧沥青总量的比例^[1]。因而量化评价再生混合料混溶成效需定量有效旧沥青的比例,而生产中新旧沥青混合为一体,无法有效分离、计算各组成沥青的质量比例。但由图1红外光谱图像可知,沥青老化后其羰基(C=O)和亚砷基(S=O)官能团会发生较大幅度的增长,因而可通过量化分析混合料外包装沥青的C=O指数CI和S=O指数SI,进而判断混合沥青中的旧沥青比例^[2,3]。

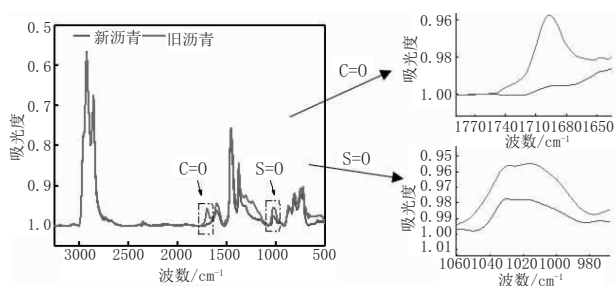


图1 旧沥青和新沥青的红外光谱图

为排除再生剂对CI指数的影响,本文将SI作为评价混溶成效的指标。按照混合沥青实测SI与理想完全混溶状态SI的比值定义界面新旧沥青的混溶成效^[4],其计算公式如式(1)所示:

$$\eta = \frac{SI_M - SI_V}{SI_F - SI_V} \times 100 \quad (1)$$

式中: η 为新旧混合沥青的混溶成效,即旧沥青中有效旧沥青的比例; SI_M 为新旧混合沥青的亚砷基指数; SI_V 为新沥青的亚砷基指数; SI_F 为按比例搅拌均匀的“完全混溶”新旧混合沥青的亚砷基指数。

其中,混合沥青样品依据现行《公路沥青路面再生技术规范》(JTG/T 5521—2019)^[5]要求从各再生沥青混合料(粒径>10 mm)表面提取。

1.3 试验方案

通过简化多元评价指标,本文设计了关于RAP掺量、拌和温度和干拌时间的 L_3^3 正交试验方案,其设计方案见表4。

将混合料按照表4内容拌和后,通过分析不同因素对旧沥青混溶成效和疲劳性能的影响,建立二者联系。

2 试验结果与分析

2.1 不同因素对旧沥青混溶成效的影响

不同影响因素下各混合料的混溶成效 η 结果

表4 再生沥青混合料正交试验拌和方案

试验序号	RAP 掺量 /%	拌和温度 /°C	干拌时间 /s
1	30	150	75
2	30	165	90
3	30	180	105
4	40	150	90
5	40	165	105
6	40	180	75
7	50	150	105
8	50	165	75
9	50	180	90

见表5。

表5 不同影响因素下各混合料的混溶成效 η 值

试验序号	η /%	试验序号	η /%	试验序号	η /%
1	85.4	4	73.0	7	66.9
2	90.8	5	81.1	8	75.5
3	93.2	6	87.1	9	80.1

由表5结果可知,再生沥青混合料 η 值均小于100,非“完全混溶”状态,且不同影响因素的作用效果不同。将表5正交结果进行单因素方差分析和极差分析,分析结果见表6、表7。其中,表7中 Si 值表示单一因素各水平指标, i 表示水平递增顺序, R 表示极差。

表6 显著性检验(因变量:混溶成效 η)

影响因素	偏差平方和	自由度	均方	F	F 临界值
RAP 掺量	719.340	2	359.670	65.934	19.000
拌和温度	162.167	2	81.084	14.864	19.000
干拌时间	2.327	2	1.164	0.213	19.000
误差	10.910	2	5.455	—	—
总计	894.744	8	447.372	—	—

表7 单一元素极差分析结果(因变量:混溶成效 η)

指标	S 值	影响因素		
		RAP 掺量	拌和温度	干拌时间
混溶成效 η /%	S1	89.8	74.0	80.1
	S2	80.7	80.2	78.8
	S3	68.0	84.3	79.6
	极差 R	21.8	10.3	1.2
关键性		RAP 掺量 > 拌和温度 > 干拌时间		
优选组合		30%+180°C+75 s		

结合表5和表6可知, $\alpha=0.05$ 的条件下,仅RAP掺量的影响为显著,这表明在再生沥青混合料生产过程中,RAP掺量是影响新旧沥青混溶成效的关键因素。根据F值可知3种因素对 η 的影响权重为:

RAP 掺量 > 拌和温度 > 干拌时间。

这可能是因为厂拌热再生生产工艺中 RAP 预热温度远低于新集料,其掺量调整会显著改变拌和体系总内能,而小范围内调节拌和温度和干拌时间对总内能的影响较小,主要发挥延缓温度降低作用,无法有效改变传热、传质效率。

由表 7 可知,随着 RAP 掺量的增加 η 值呈减小的趋势,随着拌和温度的增加 η 值呈增加的趋势,而干拌时间对 η 值的影响较小。这种现象的原因可能是低温 RAP (120℃) 比例的增加会减少高温新集料 (180℃) 的比例,使拌和体系内能减少,旧沥青“再生”效率降低。而拌和温度增加会降低内能的总消耗效率,加速旧沥青的剥落、混合及活化,即混溶成效增加^[1]。因此,由试验结果优选 RAP 掺量、拌和温度和干拌时间方案分别为 30%、180℃ 和 105 s。

2.2 不同因素对试件疲劳性能的影响

为了探究不同拌和因素对混合料疲劳寿命的影响,对多种拌和方案的再生混合料进行了间接拉伸疲劳试验,应力比选择为 0.4,荷载频率为 10 Hz,试验温度为 15℃。试验结果见表 8。

表 8 再生沥青混合料疲劳试验结果

试验序号	破坏荷载 /kN	试验荷载 /kN	疲劳寿命次数
1	1 459	584	5 978
2	1 589	636	6 308
3	1 388	555	6 510
4	1 673	669	5 302
5	1 786	714	5 781
6	1 539	616	6 139
7	1 721	688	3 590
8	1 892	757	4 125
9	1 431	572	5 137

将表 8 混合料疲劳寿命次数内容作单一因素极差分析,结果见表 9。

表 9 单一元素极差分析结果(因变量:疲劳寿命次数)

指标	S 值	影响因素		
		RAP 掺量	拌和温度	干拌时间
空隙率 VV/%	S1	6 265	4 957	5 414
	S2	5 741	5 405	5 582
	S3	4 284	5 929	5 293
极差 R		1 981	972	289
关键性		RAP 掺量 > 拌和温度 > 干拌时间		
优选组合		30%+180℃+90 s		

由表 9 可知,不同方案下,再生混合料的疲劳寿命次数不同。随着 RAP 掺量的增加,疲劳寿命次数减小;随着拌和温度的增加,疲劳寿命次数增大。优

选拌和方案为 30%RAP 掺量、180℃拌和温度和 90 s 干拌时间。若考虑到资源高效利用、能源低碳环保,可备选拌和方案为 40%RAP 掺量、165℃拌和温度和 90 s 干拌时间。

为分析界面新旧沥青混合均匀性对疲劳性能的影响,本文结合表 7 和表 9 内容分析了混溶成效与疲劳寿命次数的关系,如图 2 所示。

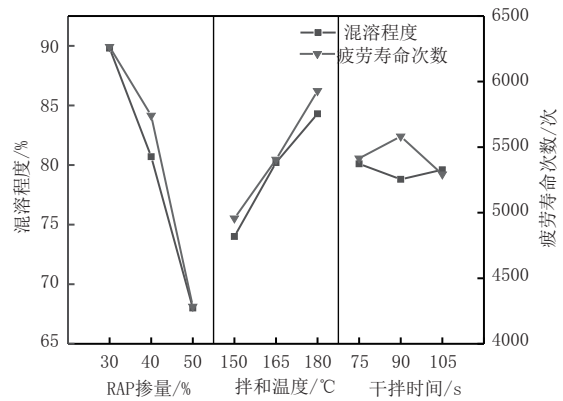


图 2 不同影响因素下各混合料混溶成效及相应试样疲劳寿命次数

由图 3 可以看出,不同影响因素下,疲劳寿命次数随着混溶成效的变化而变化。造成这种现象的原因可能是混溶成效的差异在宏观上表现为混合料中有效总沥青量的增减及性能指标的优劣^[1],而相同级配下,一定幅度内增大膜厚度、提高沥青标号均会有效增加混合料疲劳寿命次数^[7]。

3 结论

(1)分析 L_3^3 正交实验结果得出,各因素对混溶成效的影响显著性为:RAP 掺量 > 拌和温度 > 干拌时间。

(2)结合混溶成效、疲劳性能及节能减排理念考虑,优选方案为 40%RAP 掺量、165℃拌和温度和 90 s 干拌时间。

(3)分析混溶成效与疲劳寿命的关系得出,混合料的疲劳性能随着 RAP 混溶成效的增减而增减。

参考文献:

[1] 崔宇.基于混溶成效的再生沥青混合料性能研究[D].西安:长安大学,2021.
 [2] Hettiarachchi C, Hou X, Xiang Q, et al. A blending efficiency model for virgin and aged binders in recycled asphalt mixtures based on blending temperature and duration [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2020, 161: 104957.
 [3] 张兴军,冯辉霞,王永宁.基于红外光谱的短期老化 SBS 改性沥青再生微观机理[J].材料科学与工程学报,2020,38(2): 232-237.
 [4] 庄旭青.沥青路面就地热再生混溶和加热关键技术试验研究[D].广

的范围内。

3.2 旧料掺量对强度的影响

选用对比试验,即将再生的某特定旧路面材料,和刚刚拌和所得的水泥稳定碎石间,展开深入比对,由此获得旧路面材料相对再生而产生的实际影响。控制其他变量,再生材料仅添加适量新集料,但刚刚拌和的骨料全部选用新集料。最后所得试验结果如表 6 所列。

表 6 旧料掺量对水泥冷再生材料强度的影响一览表

材料类别	抗压强度 /MPa	劈裂强度 /MPa
100%旧料	4.1	0.63
95%旧料 +5%新料	6.6	0.72
75%旧料 +25%新料	7.2	0.75
100%新料	7.6	0.79

研究发现:随着旧料掺入量加大,再生基层混合料抗压强度表现为降低趋势,与不掺旧料混合料相比,掺 75%旧料 7 d 强度降低 4.3%,掺 95%旧料强度降低 13%,如果全部选用旧料,则强度将会减少 33%;在完全一致的条件下,材料自身的劈裂强度也会逐步降低。这意味着,旧料的存在降低了再生材料的抗压强度和抗拉强度,原因可能是旧料内部砂浆与石料界面存在较多微裂纹,在压力下裂纹迅速扩张,导致材料破坏。

4 结论

在江苏省公路调研基础上,利用有限元模型和

试验,采用典型路面结构与共振碎石化路面结构对比进行了力学分析、对共振碎石化路面结构层材料参数影响做了探索,得出以下主要结论:

(1)半刚性和柔性基层结合的共振碎石化路面,经对比发现,其路面弯沉、受载均小于其他结构,表明碎石化路面结构的合理性、适用性。因而对未来农村公路水泥路面大修工程可作借鉴,有效利用资源、节约造价、绿色环保。

(2)将水泥混凝土板破碎后形成水稳基层原料,采用 3.5%的水泥剂量,试件的抗压强度既满足设计标准,又能使水泥用量达到最少。

(3)当采用破碎后的水泥混凝土面板做再生水泥稳定碎石基层,如果旧料掺量达到 75%,则水泥稳定碎石混合料 7 d 饱水无侧限抗压强度最高,但旧料利用率较低。当旧料掺入 100%时,其 7 d 饱水无侧限抗压强度达到 4.4 MPa,完全满足设计要求,且实现废旧破碎料最大化利用。

参考文献:

[1] 张生.农村公路改建工程设计要点分析[J].科学技术创新,2021.
 [2] 邓学钧.路基路面工程(第三版)[M].北京:人民交通出版社,2013.
 [3] 丁新慧,刘振.浅谈“白改黑”路面设计[J].城市道桥与防洪,2021(8).
 [4] 宁坚.旧水泥混凝土路面共振碎石化设计理论和方法探讨[J].工程建设与设计,2018.
 [5] 胡伟锋,李国梁,张蕾,等.旧水泥混凝土路面共振碎石化处理改造沥青路面施工技术探究[J].中国公路,2022(11).
 [6] JTG D50—2017,公路沥青路面设计规范[S].
 [7] JTG/T F30—2014,公路水泥混凝土路面施工技术细则[S].

(上接第 240 页)

州:华南理工大学,2019.
 [5] JTG/T 5521—2019,公路沥青路面再生技术规范[S].
 [6] 许萌.热再生沥青混合料矿料迁移规律与级配优化设计研究[D].济

南:山东交通学院,2016.
 [7] 陈勳.温-湿耦合作用下混凝土类建筑垃圾再生骨料沥青混合料疲劳性能研究[D].北京:北京建筑大学,2022.