

# 基于路面加速加载系统的冷再生混合料生产配合比研究

黄民伟

(湖南路桥建设集团有限责任公司, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 中国高速公路已逐渐步入养护时代,提升养护效率、保证养护质量成为当今公路管理的热点,而废旧沥青混合料的利用是其中的关键。冷再生混合料一般采用马歇尔试件的毛体积密度确定最佳含水率 OWC、劈裂强度确定最佳乳化沥青含量。该文基于路面材料加速加载试验系统,分析试件车辙深度、剥落率与混合料含水率、乳化沥青掺量的关系,得出 OWC 为 4.5%、最佳乳化沥青含量为 4%,并结合试验路段现场试验结果确定冷再生混合料施工配合比。

**关键词:** 公路;冷再生混合料;施工配合比;乳化沥青;加速加载系统

中图分类号:U416.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2019)01-0081-04

近年来,随着中国高速公路养护量的不断增加,每年路面铣刨产生的废旧沥青混合料(RAP)多达 3 000 万 t,且仍在增长。如何处理这些 RAP 已成为关键问题,RAP 再生技术得到广泛关注。乳化沥青厂拌冷再生是 RAP 常用再生工法之一,具有施工工序简化、混合料稳定等优点,可用于道路的基层或下面层。研究表明,乳化沥青冷再生混合料路用性能与水和乳化沥青掺量关系紧密。该文依托湖南某高速公路养护项目,基于加速加载试验系统,以试件抗车辙性能和抗剥落性能为控制指标,对乳化沥青厂拌冷再生混合料配合比进行研究。

## 1 试验原材料

### 1.1 RAP

RAP 为铣刨机铣刨沥青砼路面得到的旧沥青

混合料,铣刨不同沥青路面结构层所得 RAP 的粒径不同。采用维特根 2000、2100 型铣刨机对湖南某高速公路路面中、下面层进行铣刨,一次性铣刨厚度为 12 cm。

RAP 筛分有原样筛分和抽提筛分两种,抽提筛分即将原样中的沥青清除,将集料分离出来后再进行筛分。试验表明,冷再生混合料按照 RAP 抽提筛分来调整级配较合理。将铣刨的 RAP 筛分成 0~8、8~15、15~25 mm 3 档,在料仓中分开存储。按贝雷法进行冷再生混合料级配设计,所设计级配(见表 1)处于规范要求的范围内。

### 1.2 补充集料

考虑到该项目是特重交通道路,在进行冷再生混合料级配设计时,考虑 RAP 真实的矿料级配,在冷再生混合料中添加 20% 的 10~20、5~10 mm 石

表 1 乳化沥青冷再生混合料的设计级配

级配	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%						
	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.3	0.075
级配范围	100	90~100	60~80	35~65	20~50	3~21	2~8
合成级配	100	95.4	64.3	44.7	28.1	6.1	2.8

灰石碎石,其石料压碎值、洛杉矶磨耗率、针片状含量、吸水率等均达到粗集料的技术要求。

### 1.3 乳化沥青

乳化沥青是冷再生混合料最主要的再生剂。采用美国道维斯乳化沥青,其粒度细、固含量高、稳定性好,满足规范要求。

### 1.4 填料

选择水泥和矿粉作为填料。水泥应疏松、干燥、无聚团、无结块与受潮变质,矿粉应干燥、洁净,质量满足技术标准要求。试验采用初凝时间 3~4 h、终凝时间 6 h 以上的普通硅酸盐散装水泥,矿粉由石灰石等憎水性石料经磨细得到。

## 2 室内加速加载试验

### 2.1 路面材料加速加载系统

如图1所示,路面材料加速加载系统包括驱动轮和从动轮,从动轮上固定有8块大小相等的弧形沥青砼试件,在主动轮上施加压力使其与从动轮之间达到一定荷载,再对主动轮施以扭矩使其按一定速率转动,从而模拟行车对沥青面层的影响。运用该设备可对路面材料性能进行综合评价。

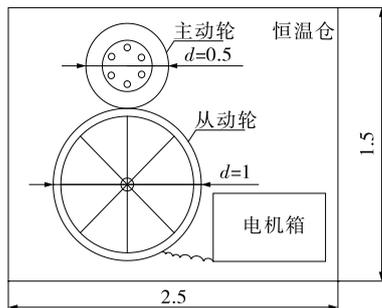


图1 加速加载试验系统示意图(单位:m)

系统采用特制的弧形车辙板。乳化沥青冷再生混合料拌和压实后,在25℃风箱中养生12h使其成型,用游标卡尺测得各试件的初始车辙深度 $Z_{n0}$ (见图2~3)、初始质量 $m_{n0}$ 。将车辙板嵌入从动轮



图2 加速加载试验混合料模具及试件



图3 人工检测试件车辙深度

进行试验,试验温度为25℃,主动轮轮胎荷载为225kN,车轮转速为1550ms/r。在车轮转动 $0.5 \times 10^4$ 、 $10^4$ 、 $2 \times 10^4$ 、 $5 \times 10^4$ 、 $10^5$ 、 $2 \times 10^5$ 次时停止主动轮,取出从动轮上的试件,检测各试件的车辙深度及质量,通过 $\Delta m = (m_{ni} - m_{n0}) / m_{n0}$ 计算得到质量损失百分率。

### 2.2 乳化沥青冷再生混合料性能研究

#### 2.2.1 含水率对冷再生混合料性能的影响

已有研究大多采用击实马歇尔试件的毛体积密度确定冷再生混合料的最佳含水率,采用干湿劈裂强度确定最佳乳化沥青掺量。根据研究结果,最佳含水率为3.5%~5%,最佳乳化沥青掺量为3%~4.5%。该文采用3.5%乳化沥青掺量研究不同含水率冷再生混合料的抗车辙性能及抗剥落性能,分析混合料的最佳含水率。

将8块加速加载试件分为4组,1#、2#、3#、4#组试件的含水率分别为3.5%、4%、4.5%、5%,一组中各2个试件进行平行试验。

试件车辙深度检测结果见表2,质量损失检测结果见表3。分别取各组试件的车辙深度均值和质量损失均值,得到不同含水率试件车辙深度和剥落情况随加载次数增长的变化趋势(见图4、图5)。

表2 不同含水率试件的车辙深度检测结果

试件编号	含水率/%	不同转动次数(次)下的车辙深度/mm							
		初始值	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	20 000	
1#	a	3.5	0.0	3.1	5.8	7.2	7.9	8.4	损坏
	b	0.0	3.0	5.6	7.1	7.7	8.5	损坏	
2#	c	4.0	0.0	2.7	5.4	6.7	7.2	7.6	8.2
	d	0.0	2.6	5.7	7.1	7.5	7.9	损坏	
3#	e	4.5	0.0	2.3	5.3	6.3	6.7	7.0	7.4
	f	0.0	2.6	5.1	6.0	6.5	6.9	7.2	
4#	g	5.0	0.0	2.5	5.5	6.8	7.3	7.7	8.4
	h	0.0	2.3	5.4	7.0	7.1	7.5	8.3	

表 3 不同含水率试件的质量损失检测结果

试件编号	含水率/%	不同转动次数(次)下的质量损失/%							
		初始值	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	20 000	
1#	a	3.5	0.0	2.2	4.0	4.5	5.1	5.5	损坏
	b	3.5	0.0	2.4	4.3	4.6	5.4	5.7	损坏
2#	c	4.0	0.0	2.0	4.2	4.6	5.1	5.5	6.3
	d	4.0	0.0	2.6	3.9	4.6	5.5	5.3	损坏
3#	e	4.5	0.0	1.9	3.5	3.9	4.3	4.6	4.9
	f	4.5	0.0	2.0	3.5	3.6	4.0	4.5	5.1
4#	g	5.0	0.0	2.2	4.4	4.9	5.2	5.9	6.3
	h	5.0	0.0	2.3	4.7	5.3	5.4	6.2	6.8

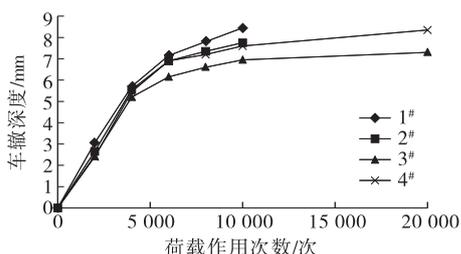


图 4 不同含水率试件车辙深度随荷载作用次数的变化

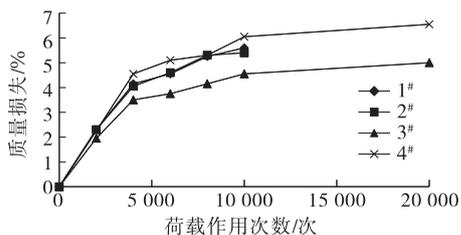


图 5 不同含水率试件质量损失随荷载作用次数的变化

从表 2~3 和图 4~5 可看出:随着荷载作用次数的增加,试件车辙深度和质量损失不断增加,其中 1#、2# 试件在后期皆出现破坏,3# 试件车辙深度增长速度最缓、质量损失最小,说明 3# 试件抵抗车辙

的能力好于其他试件,抗剥落能力也强于其他试件。含水率为 4.5% 时试件的抗车辙能力及抗剥落能力最强,从抗车辙及抗剥落性能来说试件的最佳含水率 OWC 为 4.0%。

2.2.2 乳化沥青掺量对冷再生混合料性能的影响

试件掺水量设为 4.5%,研究不同掺量乳化沥青对试件抗车辙性能、抗剥落性能的影响,从而确定最佳乳化沥青含量。

将 8 块试件分为 4 组,1#、2#、3#、4# 组乳化沥青用量分别为 3.0%、3.5%、4.0%、4.5%。采用上述操作方法测出车辙试件的初始深度及原始重量。在每个作用次数节点将试件取下,测出不同乳化沥青掺量下车辙深度及质量,得到车辙、损失质量与作用次数的关系。试件车辙深度、质量损失检测结果见表 4~5 和图 6~7。乳化沥青冷再生材料由于没有热加工,其集料之间的粘结力完全由乳化沥青破乳来提供,研究混合料随车辆荷载作用次数增加的质量损失具有实际意义。

从表 4 和图 6 可看出:随着乳化沥青掺量的增

表 4 不同乳化沥青含量试件的车辙深度检测结果

试件编号	乳化沥青含量/%	不同转动次数(次)下的车辙深度/mm							
		初始值	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	20 000	
1#	a	3.0	0.0	2.3	5.2	6.2	6.8	7.1	7.5
	b	3.0	0.0	2.6	5.0	5.9	6.4	6.8	7.1
2#	c	3.5	0.0	2.3	5.3	6.3	7.0	7.4	7.8
	d	3.5	0.0	2.8	5.4	6.4	6.5	7.0	7.3
3#	e	4.0	0.0	2.8	5.4	6.4	7.2	7.6	8.0
	f	4.0	0.0	2.8	5.5	6.5	7.1	7.7	8.3
4#	g	4.5	0.0	2.8	6.4	7.6	8.3	8.7	9.1
	h	4.5	0.0	2.7	6.3	7.5	8.4	8.8	9.0

表5 不同乳化沥青含量试件的质量损失检测结果

试件编号	乳化沥青含量/%	不同转动次数(次)下的损失质量/%							
		初始值	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	20 000	
1#	a	3.0	0.0	2.7	5.1	5.5	6.0	6.6	6.9
	b	3.0	0.0	2.5	4.6	5.0	5.7	6.5	6.7
2#	c	3.5	0.0	2.5	4.7	5.0	5.5	6.1	6.4
	d	3.5	0.0	2.5	4.6	5.0	5.7	6.5	6.8
3#	e	4.0	0.0	2.1	3.9	4.2	4.6	5.1	5.4
	f	4.0	0.0	2.0	3.7	4.0	4.5	5.2	5.3
4#	g	4.5	0.0	1.9	3.5	3.8	4.2	4.6	4.9
	h	4.5	0.0	1.9	3.5	3.8	4.3	4.9	5.1

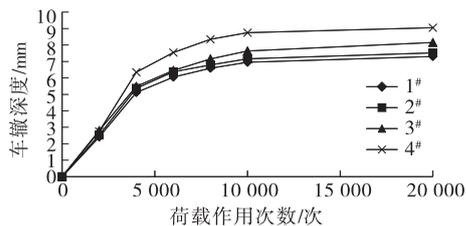


图6 不同乳化沥青含量试件车辙深度随荷载作用次数的变化

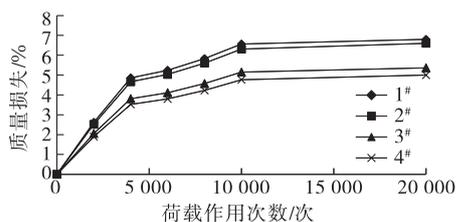


图7 不同乳化沥青含量试件质量损失随荷载作用次数的变化

加,试件车辙深度逐渐增加,且增幅渐缓,乳化沥青的加入使沥青混合料更趋于柔性,故其掺量越多,越容易变形,车辙状况越严重。乳化沥青掺量由4.0%增至4.5%时,车辙深度增幅最大,而前三类沥青混合料车辙深度相差不大。

从表5和图7可看出:4#试件的质量损失最少,说明在3%~4.5%范围内,乳化沥青掺量越多,试件的抗剥落性能越佳。随着荷载作用次数的增加,试件质量损失逐渐增加,且增幅递减,直至试件破坏。乳化沥青掺量在4%及以上时,试件的抗剥落性能都较好。

综合试件的抗车辙性能及抗剥落性能,乳化沥青掺量为4%时,冷再生混合料既拥有良好的抗车辙性能,又有不错的抗剥落性能。

### 3 结论

(1) 含水率增加使车辙板试件的车辙深度呈先减后增的趋势,在4.5%时达到最小值。含水率太低会影响混合料的拌和和易性,混合料拌和不均匀可能对抗车辙性能产生影响,含水率影响试件抗车辙性能的机理需通过进一步试验完善。

(2) 乳化沥青作为冷再生混合料最重要的再生剂,其掺量对冷再生混合料的路用性能影响较大。随着乳化沥青掺量的增长,再生混合料的抗车辙性能下降,掺量为4%~4.5%时下降较多。但RAP与新掺集料的粘合性有较大增长,抗剥落能力增长较多。综合考虑,选取4%的乳化沥青掺量能更好地契合工程需求。

(3) 湖南某高速公路路面大修项目的乳化沥青厂拌冷再生施工配合比为新料(9.5~19 mm):新料(4.75~9.5 mm):RAP(15~25 mm):RAP(8~15 mm):RAP(0~8 mm):矿粉=13%:5%:6%:25%:49%:2%,水泥外掺1.3%,最佳含水量为4.5%,乳化沥青用量为4.0%。

### 参考文献:

- [1] 沈金安,李福普,陈景.高速公路沥青路面早期损坏与防治对策[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 沙庆林.高速公路沥青路面早期破坏现象及预防[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 孟岩,李艳春,张艳敏.级配组成对沥青混合料高温稳定性能的影响分析[J].公路交通科技,2005,22(10).
- [4] 姚辉,李亮,应荣华,等.采用贝雷法的冷再生混合料级配设计研究[J].公路交通科技,2011,28(1).
- [5] 张思源,魏建民.水泥-乳化沥青混合料配合比设计与

(下转第87页)

表 3 不同模型沉降预测结果的偏差

监测区域	实测累积沉降/mm	指数模型预测结果		双曲线模型预测结果		对数模型预测结果		Peal 模型预测结果	
		累积沉降/mm	偏差/%	累积沉降/mm	偏差/%	累积沉降/mm	偏差/%	累积沉降/mm	偏差/%
跑道	59.69	55.07	7.74	56.97	4.56	58.59	1.84	58.32	2.30
站坪及联络道	78.12	71.16	8.91	73.82	5.50	75.64	3.17	75.13	3.83
跑道、站坪及联络道	68.90	63.01	8.55	65.30	5.22	67.01	2.74	66.92	2.87

近,可采用 Peal 模型对锦州机场工后沉降监测数据进行分析,并结合对数模型进行预测。这也再次说明,对于不同施工项目的工后沉降,没有绝对统一的分析预测模型,适用性只是对特定样本而言,且需要补充长期监测数据进行对比分析,才能确定模型的适用性。机场工后沉降预测宜综合采用多模型。

#### 4 结论

(1) 锦州新建民用机场跑道、站坪及联络道的工后沉降,早期增长速度很大,251 d 后累积沉降趋于平缓并接近最终沉降。

(2) Peal 模型的沉降预测值与锦州新建民用机场工后实测累积沉降值非常接近,各测点的相关系数均在 0.99 以上,可较好地表征该机场工后沉降的发展变化规律。

(3) 对数模型预测的锦州新建民用机场 343 d 累积沉降与实测值接近,可用于该工程最终沉降量预测。

(4) 对于特定工程项目工后沉降的计算和预测,应结合工程实际选用合适模型,并结合多模型对比进行最终沉降量预测。

#### 参考文献:

[1] 丛斌龙.大连海上机场软基沉降计算[D].大连:大连理工大学,2013.  
 [2] 张军辉,黄湘宁,郑健龙,等.河池机场填石高填方土基工后沉降离心模型试验研究[J].岩土工程学报,2013,35(4).

[3] 何涛,刘玉财,羊远新.机场沉降监测数据处理的探讨[J].城市勘测,2009(4).  
 [4] 闫俊.机场高填方沉降变形分析与预测及数据可视化研究[D].成都:成都理工大学,2015.  
 [5] 顾强康,李宁,黄文广.机场高填土地基工后不均匀沉降指标研究[J].岩土力学,2009,30(12).  
 [6] 吴宗皓.机场水泥搅拌桩复合地基沉降分析[D].杭州:浙江大学,2010.  
 [7] 李秀珍,许强,孔纪名,等.九寨黄龙机场高填方地基沉降的数值模拟分析[J].岩石力学与工程学报,2005,24(12).  
 [8] 李群善.康定机场北段高填方边坡稳定性及场道沉降变形研究[D].成都:西南交通大学,2008.  
 [9] 张文斌.昆明新机场高填方地基沉降变形监测及预测研究[D].成都:成都理工大学,2013.  
 [10] 朱才辉,李宁,刘明振,等.吕梁机场黄土高填方地基工后沉降时空规律分析[J].岩土工程学报,2013,35(2).  
 [11] 曹光棚.山区机场高填方工后沉降变形研究[D].北京:清华大学,2011.  
 [12] 王成锋.山区机场高填方体沉降变形控制与评价[D].贵阳:贵州大学,2008.  
 [13] 王广德,韩黎明,柴震林,等.上海浦东机场一跑道地基沉降规律[J].工程地质学报,2012,20(1).  
 [14] 闫玉兴.遂宁机场泥岩碎石土高填方地基沉降研究[D].成都:成都理工大学,2013.  
 [15] 任佳丽.碎石桩处理昆明新机场红粘土地基的固结沉降分析研究[D].武汉:长江科学院,2008.

收稿日期:2018-04-18

(上接第 84 页)

施工技术研究[J].重庆交通学院学报,2000,19(1).  
 [6] 邢傲雪.乳化(泡沫)沥青冷再生混合料技术性能深入研究[D].西安:长安大学,2010.  
 [7] 俞韶秋.水泥-乳化沥青冷再生混合料水稳性的研究[J].中外公路,2013,33(1).  
 [8] 郝培文,徐金枝,周怀治.应用贝雷法进行级配组成设计的

关键技术[J].长安大学学报:自然科学版,2004,24(6).  
 [9] 林烈琼,包双雁.泡沫沥青冷再生技术在海南公路改建中的应用[J].公路与汽运,2017(6).  
 [10] 刘娜.乳化沥青冷再生混合料压实特性研究[J].公路与汽运,2018(2).

收稿日期:2018-08-10