

乳化沥青冷再生混合料永久变形特性研究

江照伟

(山东省交通科学研究院, 山东 济南 250031)

摘要: 为研究材料组成变化对乳化沥青冷再生混合料永久变形特性的影响,在 40 ℃ 试验温度下改变乳化沥青和水泥掺量,对乳化冷再生混合料进行动态单轴蠕变试验。结果显示,掺入适量水泥可提高混合料早期抗车辙性能和劲度模量,改善混合料的弹性恢复性能;乳化沥青用量增加使混合料抗变形能力和劲度模量下降,其用量超过 4% 时抗变形能力下降速率增大,存在令残留变形率最低的最佳乳化沥青用量;水泥可提高混合料的永久变形性能,但提高效果受水化反应程度影响,考虑混合料和易性、抗裂性、经济性等,水泥用量不宜过大;过大的乳化沥青用量对混合料永久变形性能有不利影响,工程应用中乳化沥青用量宜等于或略小于最佳沥青用量。

关键词: 公路;乳化沥青冷再生;永久变形;水泥掺量;动态单轴蠕变试验

中图分类号:U418.6

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2019)05-0085-04

目前,受乳化沥青冷再生混合料材料性能的影响,其应用的路面结构层位一般较低,且应用于下面层或上基层的乳化沥青冷再生混合料在交通荷载作用下易产生车辙病害,对乳化沥青冷再生混合料开展永久变形特性研究,探索材料组成与永久变形性能的关系对改善乳化沥青冷再生混合料的工程使用现状具有积极意义。动态单轴压缩蠕变试验是研究沥青混合料永久变形性能的重要试验方法之一,能对沥青混合料的变形发展规律作出很好的模拟,较真实地反映材料在实际路面结构层中的力学响应。该文通过动态单轴蠕变试验研究乳化沥青冷再生混合料的永久变形特性,试验加载设备为 UTM 万能试验机,蠕变变形使用高精度引伸仪测定。

1 原材料

1.1 沥青旧料

沥青旧料 RAP 铣刨于山东省某高速公路路面中面层,服役时间 10 年,其沥青含量为 4.1%。回收沥青及抽提后级配分别见表 1、表 2。

由表 1、表 2 可知:回收沥青的针入度、15 ℃ 延度降低,软化点、粘度升高,表明经过长时间使用后

表 1 RAP 回收沥青的性能指标

指标	实测值
针入度(25 ℃)/(0.1 mm)	23.7
软化点/℃	58.5
延度(15 ℃)/cm	12.3
粘度(60 ℃)/(Pa · s)	2 903

表 2 RAP 抽提后级配

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
26.50	100.0	2.360	34.6
19.00	100.0	1.180	28.3
16.00	93.3	0.600	21.1
13.20	84.2	0.300	19.3
9.50	66.6	0.150	15.6
4.75	44.1	0.075	11.4

沥青出现老化现象;沥青混合料经长时间使用,部分大颗粒集料出现破碎现象,导致抽提级配中较大筛孔的通过率增大,同时集料细化较明显。

1.2 新集料

根据表 2,如果单纯使用 RAP,混合料合成级配无法满足乳化沥青冷再生混合料的设计要求,需加入新集料。新集料选用本地优质石灰岩,其各项技术指标均满足规范要求。

1.3 乳化沥青

采用国产某慢裂型乳化沥青,离子类型为阳离子,其性能指标见表 3。

表 3 乳化沥青的性能指标

指标	实测值
固含量/%	63.1
筛余(1.18 mm)	0.02
粘度(25 ℃)/(Pa · s)	8.4
残留物针入度(25 ℃)/(0.1 mm)	81.8
残留物延度(15 ℃)/cm	63
残留物软化点/℃	48

1.4 水泥、水

采用 P.O42.5 缓凝型水泥,其各项技术指标符合规范要求。拌和用水为普通自来水。

2 乳化沥青冷再生混合料级配设计

2.1 合成级配

将 RAP 料各档筛分,根据筛分结果,结合 JTG F41—2008《公路沥青路面再生技术规范》的级配范围,采用新集料逐档回配的方法设计冷再生沥青混合料合成级配(见图 1)。

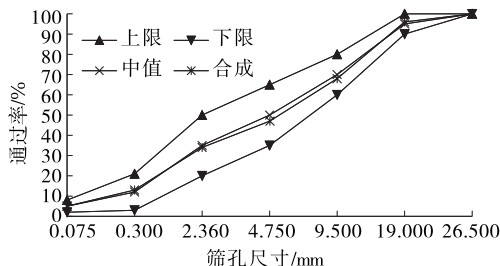


图 1 冷再生沥青混合料的合成级配

2.2 水泥用量

根据 JTG F41—2008《公路沥青路面再生技术规范》关于水泥用量的规定,确定基准水泥用量为 1.5%。

2.3 最佳含水量

根据 JTG E40—2007《公路土工试验规程》中重型击实试验法确定冷再生混合料的最佳含水率,结合已有经验修正拌和用水量,确定最佳拌和用水量为 3.7%。

2.4 最佳乳化沥青用量

固定最佳用水量为乳化沥青冷再生混合料拌和用水量,分别以乳化沥青用量 3.0%、3.5%、4.0%、4.5%、5.0% 制作马歇尔试件,先双面击实 50 次,在 60℃ 鼓风烘箱中带模养生 48 h,养生结束后双面击实 25 次,完成试件制备。测试试件的空隙率和干、湿劈裂强度,根据测试结果确定乳化沥青冷再生混合料最佳乳化沥青用量为 4.0%。

以最佳用水量和最佳乳化沥青用量进行混合料拌和,成型试件,测得试件的孔隙率为 9.84%,干劈裂强度为 0.88 MPa,干湿劈裂强度比为 94.2%,满足规范要求。

3 动态单轴蠕变试验及结果分析

3.1 试验参数

(1) 试验温度。温度是影响沥青混合料永久变

形特性的重要因素,乳化沥青冷再生沥青混合料亦不例外。根据以往沥青路面结构层温度研究成果,结合冷再生沥青混合料应用层位,30~40℃ 为其所在层位的一般温度。为得到更安全的试验结论,采用 40℃ 作为蠕变试验温度。

(2) 应力水平。根据相关研究成果,在标准轴载作用下,一般路面结构基层顶面所受压应力不超过 0.3 MPa。综合考虑冷再生沥青混合料所应用的公路等级及交通量,确定加载应力峰值为 0.2 MPa。

(3) 加载波形。为更好地模拟行车荷载对乳化沥青冷再生混合料的作用,采用正弦波加载。根据已有研究成果,当正弦波加载频率为 10 Hz 时,试件受力状态接近于车辆以 65 km/h 的速度行驶时路面材料的受力状态,与一般公路的行车速度相符,故选取 10 Hz 作为加载频率。

(4) 加载时间。试验开始前,采用 2% 峰值荷载对试件进行 2 min 预压,使压头与试件充分接触。为节约试验时间,采用正弦波持续加载无间歇时间的方式,加载时间为 45 min,卸载时间为 30 min。

(5) 试件制备。室内模拟试验中,试件尺寸越大越能真实地模拟材料在实际路面结构中的受力情况,故采用旋转压实法成型直径 150 mm 的圆柱试件,高度 150 mm。试件成型后置于 60℃ 烘箱中养生 48 h,取出静置 48 h 后进行试验。

3.2 试验方案

混合料级配采用图 1 所示级配,拌和用水量为最佳用水量。分析水泥掺量对混合料永久变形性能的影响时,固定乳化沥青用量 4.0% 不变,分别取水水泥掺量 0、0.5%、1.5%、2.5%,为保证各种情况下混合料级配的一致性,统一将水泥视为 0.075 mm 以下粉料作等量替换。研究乳化沥青用量对永久变形性能的影响时,固定水泥用量 1.5% 不变,分别取乳化沥青用量 2.4%、4.0%、5.6%。在上述各材料组成下分别制备试件进行动态蠕变试验,分析不同水泥掺量、乳化沥青用量对乳化沥青冷再生混合料永久变形性能的影响。

3.3 试验结果及分析

试件在单轴蠕变试验中受到轴向荷载的加载与卸载作用产生蠕变变形,典型蠕变曲线显示:整个蠕变试验过程主要有 3 个参数,分别为材料初始压密变形(此处为加载 3 min 时材料变形量)、加载末变形及卸载末变形,根据上述参数可计算出混合料残留变形率和蠕变劲度模量。对乳化沥青冷再生混合

料进行单轴蠕变试验,通过分析水泥掺量、乳化沥青用量变化对上述参数的影响,研究不同材料组成变化对乳化沥青冷再生混合料永久变形特性的影响。蠕变试验结果见表 4。

表 4 乳化沥青冷再生混合料的蠕变试验结果

水泥用量/%	沥青用量/%	初始压密变形/ $\mu\epsilon$	加载末变形/ $\mu\epsilon$	卸载末变形/ $\mu\epsilon$	残留变形百分率/%	劲度模量/MPa
0.0	4.0	2 778.39	5 789.23	5 201.00	89.84	34.55
0.5		2 356.96	5 223.41	4 409.09	84.41	38.29
1.5		1 708.44	2 804.86	2 117.49	75.49	71.30
2.5		1 004.93	1 723.01	1 204.17	69.89	116.08
1.5	2.4	1 623.59	2 004.57	1 792.00	89.40	99.77
	4.0	1 708.14	2 804.86	2 117.49	75.49	71.30
	5.6	3 017.04	6 888.04	5 769.50	83.76	29.04

3.3.1 水泥掺量对混合料高温性能的影响

试件变形量随水泥掺量的变化见图 2。由图 2 可知:随水泥掺量增加,乳化沥青冷再生混合料的初始压密变形、加载末变形和卸载末变形降低,说明水泥对乳化沥青冷再生混合料前期抗车辙性能有提高作用;水泥掺量由 0.5%增加到 1.5%时,加载末变形和卸载末变形降低速率高于由 1.5%增加到 2.5%时,说明随水泥掺量增加,其对乳化沥青冷再生混合料永久变形性能的改善效果减弱,其原因可能是水泥掺量增大后,混合料中的液体不足以保证水泥发生充分的水化反应。乳化沥青冷再生混合料中各种外掺剂的添加数量互相影响,应综合考虑确定。

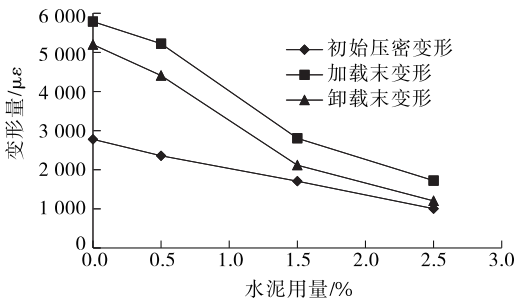


图 2 试件变形量随水泥掺量的变化

试件残留变形率和蠕变劲度模量随水泥掺量的变化分别见图 3、图 4。由图 3、图 4 可知:乳化沥青冷再生混合料的残留变形百分率随着水泥掺量的增加逐渐降低,说明水泥对乳化沥青冷再生混合料的弹性恢复有积极作用;随着水泥掺量的增加,冷再生混合料的劲度模量逐渐增大,水泥的掺入使混合料变硬、变脆。

3.3.2 乳化沥青用量对混合料高温性能的影响

试件变形量随乳化沥青用量的变化见图 5。由图 5 可知:乳化沥青用量增加,冷再生沥青混合料三

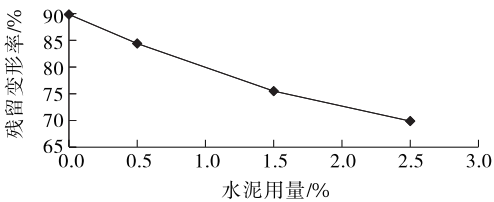


图 3 试件残留变形率随水泥掺量的变化

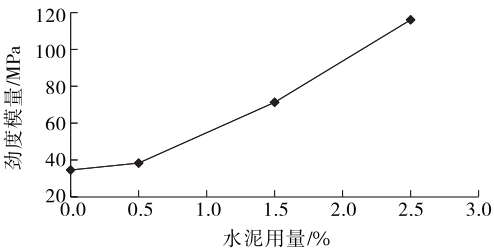


图 4 试件蠕变劲度模量随水泥掺量的变化

阶段的变形均增大,且乳化沥青用量由 4%增加至 5.6%时变形速率迅速增大。说明随着乳化沥青用量的增加,冷再生混合料的抗变形能力降低,乳化沥青用量超过 4%时抵抗变形能力迅速下降,过大的乳化沥青用量对混合料的高温性能会产生不利影响,这一点与普通沥青混合料一致。

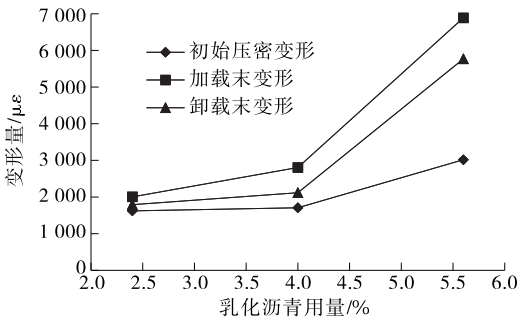


图 5 试件变形量随乳化沥青用量的变化

乳化沥青冷再生混合料残留变形百分率随乳化

沥青用量的变化见图6。由图6可知:随着乳化沥青用量的增大,乳化沥青冷再生混合料的残留变形百分率先减小后增大,说明存在一个使残留变形率最低的最佳乳化沥青用量。

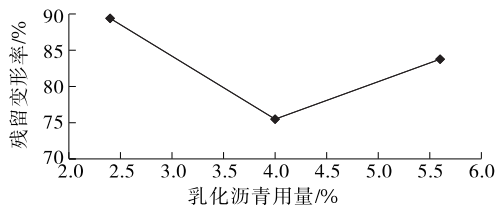


图6 试件残留变形率随乳化沥青用量的变化

试件蠕变劲度模量随乳化沥青用量的变化见图7。由图7可知:乳化沥青冷再生混合料的劲度模量随乳化沥青用量的增加而降低。

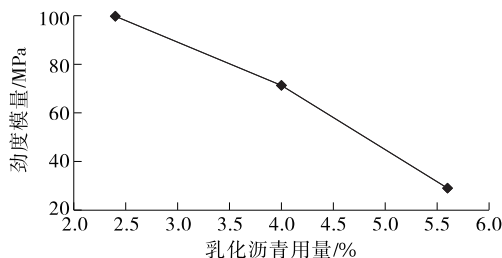


图7 蠕变劲度模量随乳化沥青用量的变化

4 结论

(1) 乳化沥青冷再生混合料中掺入适量水泥可提高其早期抗车辙性能,但随着其掺量的增加,水泥对永久变形性能的改善效果因水化反应不能完全进行而逐渐减弱,乳化沥青冷再生混合料中各种外掺

剂的添加数量对混合料性能互相影响,混合料设计时应综合考虑;水泥的掺入可改善乳化沥青冷再生混合料的弹性恢复性能,提高混合料的劲度模量。

(2) 乳化沥青用量增加使冷再生沥青混合料各阶段变形均增大,用量由4%增加至5.6%时变形速率迅速增大,说明随着乳化沥青用量的增加冷再生混合料的抗变形能力降低,乳化沥青用量超过4%时抵抗变形能力迅速下降,过大的乳化沥青用量不利于混合料的高温性能;存在一个使残留变形率最低的最佳乳化沥青用量;混合料的劲度模量随乳化沥青用量增加呈下降趋势。

(3) 虽然水泥可有效提高乳化沥青冷再生混合料的永久变形性能,但综合考虑混合料施工和易性、抗裂性、经济性等因素,水泥用量不宜过大;乳化沥青用量应根据配合比设计优化确定,建议工程应用中乳化沥青用量等于或略小于最佳沥青用量。

参考文献:

- [1] 汪德才,张海伟,张华.乳化沥青冷再生混合料抗剪特性及其永久变形预估[J].江苏大学学报:自然科学版,2017,38(2).
- [2] 王宏,郝培文,南兵章,等.乳化沥青冷再生混合料高温稳定性研究[J].公路工程,2013,38(4).
- [3] 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.
- [4] JTGF40-2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [5] JTGF41-2008,公路沥青路面再生技术规范[S].

收稿日期:2019-01-15

(上接第84页)

表4 再生路面渗水试验结果

测点桩号	水位刻度/mL		试验开	试验结	渗水系 数/(mL· min ⁻¹)
	试验开	试验结	始时	束时	
	始时	束时	间/s	间/s	
K201+660	100	140	0	60	40
K201+860	100	166	0	60	66

4 结语

潭衡西高速公路 SMA 沥青再生路面的级配、马歇尔试验、平整度和渗水性等指标均满足规范要求,施工质量良好。就地热再生工艺作为当前节能减排大方向下中修工程可选方案中的一种,虽然存

在较多的质量控制难点,但通过合理、合适的质量控制,细心、有效的施工,在发挥自身100%再生利用、施工速度快的优势的同时可保证其质量。

参考文献:

- [1] 董大为.沥青路面就地热再生技术现状与发展趋势[J].工程机械与维修,2019(1).
- [2] 李雅.就地热再生技术在改性沥青 SMA 路面中的应用[J].华东公路,2018(6).
- [3] 张天生.就地热再生技术在沥青路面养护中的应用研究[J].交通世界:中旬刊,2018(12).
- [4] 李杰.就地热再生技术在湖南公路养护中的工程应用研究[J].湖南交通科技,2018,44(4).

收稿日期:2019-04-10