

改性沥青 SMA 就地热再生混合料路用性能试验研究

赵博¹, 毕连居¹, 于明明², 朱浩然²

(1. 江苏连徐高速公路有限公司, 江苏 徐州 221111; 2. 苏交科集团股份有限公司)

摘要: 目前就地热再生技术已在高速公路养护工程中得到了大量的应用,但多针对普通沥青混合料,而对改性沥青 SMA 的再生研究还不够深入。该文依托连徐高速公路养护工程,采用再生剂和 SBR 胶乳两种添加剂方案,对改性沥青 SMA 路面的就地热再生混合料的配合比设计以及混合料的性能进行研究,并将研究成果应用于实体工程。结果表明:在改性沥青 SMA 就地热再生混合料中,再生剂和 SBR 胶乳均可以实现老化沥青的再生,各再生料的路用性能均符合技术要求,且添加 SBR 胶乳的再生混合料表现出更好的高温性能和水稳定性。

关键词: 改性沥青 SMA; 就地热再生; 再生剂; 级配; 路用性能

1 前言

中国高速公路经历了 10 多年的快速发展,目前已进入大规模的维修养护期,每年产生大量的废弃沥青混合料,对环境造成很大的污染。受能源危机影响,废旧沥青路面材料的循环利用,是未来公路交通行业发展的重要方向之一。

相比传统的养护方法和厂拌再生技术,就地热再生具有如下优点:旧料 100% 得到利用;工期短,开放交通快,当天即可开放交通;养护效果好,再生路面具有优良的性能;新料用量少,节约资金,经济效益高;环保效益好。因此,针对沥青路面就地热再生方法进行研究及应用的研究,蕴涵巨大的经济效益,顺应交通行业建设可持续发展的战略举措。

就地热再生技术已经使用了多年,并在高速公路养护工程中得到了大量的应用,但是以前的研究和应用只针对普通沥青或改性沥青混合料的再生设计及性

能验证,而现在越来越多的路面上面层采用改性沥青 SMA,对于这种面层材料的再生研究还不够深入,因此,该文依托连徐高速公路(连霍高速公路 G30 连云港至徐州段),采用再生剂和 SBR 胶乳两种添加剂方案,对改性沥青 SMA 路面的就地热再生混合料的配合比设计以及混合料的性能进行研究,以解决改性沥青 SMA 路面进行就地热再生的技术难点。

2 老化沥青性能评价及添加剂选择

由于路面就地热再生中旧料掺加比例往往高达 80% 以上,新料的掺加对于旧料的性能改变有限,所以需要适量的添加剂。

2.1 回收沥青材料性能分析

连徐高速公路连云港港口段目前已使用长达 10 年之久,原路面改性沥青 SMA 的回收老化沥青检测结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出:原路面上面层沥青经过多年的

表 1 回收旧沥青性能检测结果

项目	25 °C 针入度/ (0.1 mm)	软化点/ °C	15 °C 延度/ mm	10 °C 延度/ mm	$G^*/\sin\delta$ (64 °C)/(Pa · s)
试验结果	29	62	18.0	4.7	64
技术要求	60~75	≥46	≥100	≥25	≥1.0

收稿日期:2016-04-28

作者简介:赵博,男,大学本科,高级工程师. E-mail:zhaobo8953@sina.com

路用老化后,其性能发生了较大程度的衰减,表现为针入度和延度指标有了很大程度的降低,已远不能满足技术要求,而软化点和 $G^*/\sin\delta$ (64 °C) 由于沥青的老化变硬而有了很大的增长。因此,需通过沥青再生剂对老化沥青性能进行恢复。

2.2 添加剂掺量确定

该文选择再生剂和 SBR 胶乳两种添加剂方案,对改性沥青进行再生,改善老化沥青的性能,使其达到理想状态。

表 2 不同再生剂掺量 SBS 改性沥青再生试验结果

再生剂 掺量/%	25 °C 针入度/ (0.1 mm)	软化点/ °C	延度/mm		$G^*/\sin\delta$ (64 °C)/(Pa·s)	60 °C 动力粘度/ (Pa·s)
			15 °C	10 °C		
2	52	54	65.7	15.6	15.02	243
4	65	50	80.4	19.2	9.36	225

(2) SBR 胶乳掺量的确定

SBR 胶乳是一种阴离子型聚合物分散体,具有良好的机械稳定性及可操作性,并具有很高的粘结强度。SBR 胶乳常温下呈乳白色液状,易于流动。将 SBR 胶乳添加到旧料中,可以提升旧料的路用性能。结合以往工程经验,SBR 胶乳的添加量为旧料沥青质量的 4%。

3 改性沥青 SMA 再生混合料配合比设计

鉴于再生剂并不能完全恢复旧沥青的原有性能,旧料性能的提升也不能完全依赖于它,故建议在再生混合料的组成设计过程中通过添加新拌沥青混合料等措施来提高再生沥青混合料的路用性能。

3.1 再生混合料合成级配的确定

研究发现,原 SMA 路面旧料级配稍微偏粗,需要添加新料对原路面材料的级配进行优化,改进再生混合料的级配,以提高其路用性能。同时,由于车辙、坑槽等路面病害可能使老路面材料有一定的损耗,为保持原路面设计厚度,再生时需添加一定量的新料,以保证标高一致。结合原 SMA 路面旧料的抽提筛分结果,确定新料的添加量为再生混合料质量的 15%,最终得到的再生混合料合成级配曲线如图 1 所示。

3.2 沥青用量的确定

按照上述设计级配,通过计算沥青膜厚度预估新料中的沥青用量。受原路面旧料数量限制,以旧料中

(1) 再生剂掺量的确定

采用再生剂对回收老化的 SBS 改性沥青进行再生,再生剂的用量分别采用 2% 和 4%。将再生后的沥青分别进行性能检测,结果如表 2 所示。添加再生剂后,老化沥青的各项性能指标都得到了一定程度的恢复。当再生剂的用量从 2% 增长到 4% 时,沥青的针入度和延度增长幅度较小,而软化点则明显下降。综合考虑上述因素,并结合已有的工程经验,将再生剂的用量确定为旧料沥青质量的 2%。

原有沥青用量、新料中沥青用量之和为再生料沥青用量基准,并上下浮动 0.3%,初定油石比为 5.6%、5.9%、6.2%,成型马歇尔试件。马歇尔试验结果见表 3。

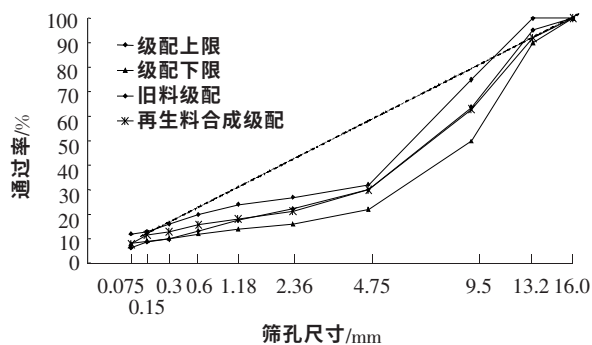


图 1 再生混合料合成级配

由表 3 可以看出:在不添加新料的情况下,原路面旧料的空隙率偏大,未能满足 3%~4.5% 的要求。各组再生沥青混合料的空隙率、稳定性和流值均满足规范要求。根据以往的工程经验,确定 SMA 路面再生混合料的最佳油石比为 5.9%。

4 改性沥青 SMA 再生混合料性能评价

根据以上试验结果,确定 SMA 路面再生沥青混合料的材料组成方案如下:

(1) 再生剂方案。旧料所占比例为 85%,新料的比例为 15%。再生料的油石比为 5.9%,再生剂的用量为旧料沥青质量的 2%。

表 3 马歇尔试验结果

混合料类型	油石比/ %	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	空隙率/ %	稳定度/ kN	流值/ (0.1 mm)
旧料 RAP	—	2.451	5.96	10.36	47.4
	5.6	2.414	4.42	9.69	44.5
再生混合料(再生剂)	5.9	2.425	4.14	10.87	41.7
	6.2	2.411	3.73	10.66	43.6
再生混合料(SBR 胶乳)	5.9	2.416	4.24	9.52	41.0
技术要求	—	—	3~4.5	≥ 6.0	20~50

(2) SBR 胶乳方案。旧料所占比例为 85%,新料的比例质量为 15%。再生料的油石比为 5.9%。SBR 胶乳的用量为旧料沥青质量的 4%。

针对再生剂和 SBR 胶乳两种添加剂方案,采用上述设计级配和沥青用量,通过动态蠕变试验、冻融劈裂试验、浸水飞散试验和低温弯曲试验,评价 SMA 路面再生沥青混合料的路用性能。

4.1 高温性能

采用单轴动态蠕变试验评价再生混合料的高温抗车辙性能。采用旋转压实仪成型直径 100 mm,高 63.5 mm 的试件,试验温度 60 ℃,轴向压力 700 kPa。采用试验结果中得到的流变点 F_n 作为评价指标来评价试件的高温性能。已有研究表明:流变点 F_n 与车辙试验动稳定度有着良好的正相关性,能够较好地反映沥青混合料的高温抗车辙性能。试验结果如表 4 所示。图 2 描述了不同混合料的永久变形发展过程。

表 4 动态蠕变试验结果

混合料类型	流变点 F_n /次
再生混合料(再生剂)	1 000
再生混合料(SBR 胶乳)	1 800
旧料 RAP	600
新拌 SMA-13	4 350

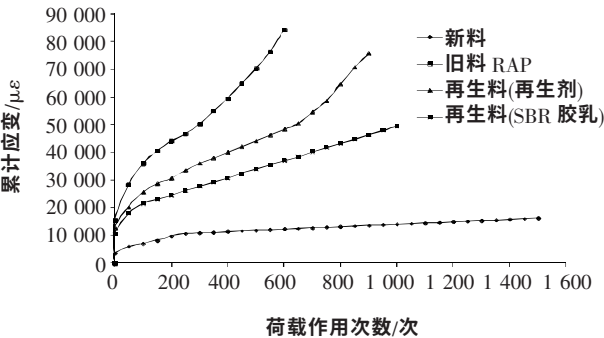


图 2 动态蠕变曲线

从试验结果中可以看出:

(1) 对比 4 种混合料的 F_n 值和动态蠕变曲线图,可明显得出 4 种混合料的高温抗车辙性能从低到高依次为:旧料<再生混合料(再生剂)<再生混合料(SBR 胶乳)<新拌 SMA-13,原路面旧料高温抗车辙性能最差。

(2) 相对于新拌沥青混合料 SMA-13,无论添加 SBR 胶乳还是再生剂,各再生料均很快地进入了永久变形第 3 阶段,出现了明显的剪切流动。其流变次数 F_n 均远小于新拌沥青混合料。

(3) 对比再生剂和 SBR 胶乳两种添加剂方案,添加 SBR 胶乳的再生混合料的累积微应变和第 2 阶段斜率更小,流变次数更大,对高温稳定性的提升更为显著。因此,建议在路面再生工程中使用 SBR 胶乳以提升路用性能。

4.2 水稳定性

(1) 冻融劈裂试验

采用冻融劈裂试验对再生料及旧料的水稳定性进行评价,具体试验结果如表 5 所示。

表 5 沥青混合料冻融劈裂强度试验结果

混合料类型	非条件劈裂强度/MPa	条件劈裂强度/MPa	TSR/%	技术要求/%
再生混合料(再生剂)	1.874	1.695	91.5	≥ 80
再生混合料(SBR 胶乳)	1.926	1.808	94.5	
旧料 RAP	1.789	1.597	90.7	

由表 5 可见:添加再生剂和 SBR 胶乳的两种再生混合料的 TSR 都满足要求,且添加 SBR 胶乳的再生混合料 TSR 达到 94.5%,比添加再生剂的再生混合料表现出更好的水稳定性。

(2) 浸水飞散试验

采用规范中肯塔堡浸水飞散试验方法,对试件在

60 ℃水槽中养生 2 d,取出后放置 1 d 进行飞散试验,试验结果如表 6 所示。

表 6 浸水飞散试验结果

混合料类型	飞散前/ g	飞散后/ g	飞散 损失/%	技术 要求/%
再生混合料 (再生剂)	1 183.2	1 121.7	5.2	
再生混合料 (SBR 胶乳)	1 184.1	1 127.3	4.8	≤15
旧料 RAP	1 182.2	1 110.1	6.1	

由表 6 可知:两种再生混合料和旧料的飞散损失都满足规范要求,且添加 SBR 胶乳的再生混合料飞散损失更小。

结合冻融劈裂试验和浸水飞散试验结果,可知两种再生混合料的水稳定性都符合技术要求,且添加了 SBR 胶乳的再生混合料因为粘性增加,集料间的作用更加稳固,从而具有更好的水稳定性。

4.3 低温性能

采用小梁弯曲试验评价再生混合料的低温抗裂性能。试验条件:温度 -10 ℃,速率 50 mm/min,试验结果如表 7 所示。

表 7 小梁弯曲试验结果

混合料类型	最大荷载/kN	跨中挠度/mm	抗弯拉强度/MPa	劲度模量/MPa	破坏应变/ $\mu\epsilon$
再生混合料(再生剂)	1.220	0.572	9.91	3 303.5	3 007.4
再生混合料(SBR 胶乳)	1.245	0.493	10.14	3 915.6	2 591.4
旧料 RAP	1.064	0.461	8.77	4 235.7	2 320.7

由表 7 可知:① 较纯旧料的再生混合料,掺加再生剂和 SBR 胶乳两种方案,其最大破坏荷载、跨中挠度、抗弯拉强度及破坏应变等指标均有明显提高;② 掺加再生剂和 SBR 胶乳的再生混合料,其破坏应变均满足技术要求($\geq 2\ 500\ \mu\epsilon$);添加再生剂的再生混合料,其破坏应变大于 SBR 胶乳,具有更好的柔韧性和低温抗裂性能。

5 实体工程验证

连徐高速是江苏省内连接徐州和连云港的交通主

干道,于 2003 年建成通车。部分路段行车道出现了车辙、裂缝和坑槽等病害,其中尤以车辙病害较为严重。为了改善路面的使用性能,根据该文就地热再生混合料配合比设计结果,采用就地热再生技术对上面层 SMA-13 进行治理。

对再生后的路面进行压实度、抗滑、渗水及平整度检测,结果见表 8。实施后的再生路面状况见图 3。

现场检测结果表明:试验段铺筑后外观表面平整密实,无明显轮迹、裂痕、推挤、油包、离析等缺陷,车辙病害得到有效处治,平整度、渗水系数和摩擦系数也满足要求。因此,就地热再生对于改性沥青 SMA 路面

表 8 再生路面性能检测结果

项目	平整度 σ/mm	压实度/%		渗水系数/ ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)	构造深度/ mm	摩擦系数/ BNP
		马氏密度	理论密度			
试验结果	0.71	98.5	94.5	22~60	0.74~0.98	59~64
技术要求	<1.0	≥ 97	93~97	≤ 80	≥ 0.6	≥ 55



图 3 施工后的再生路面

车辙具有理想的处治效果,且对于平整度和抗滑性能都有显著的改善效果,可提高路面性能,改善行车舒适性和安全性。

6 结论

该文依托连徐高速公路,对改性沥青 SMA 路面

挖孔桩干浇机制砂自密实混凝土施工技术

吴明威, 陈林, 刘冬冬

(中交二航局乌江大桥项目部, 贵州 遵义 563000)

摘要: 自密实混凝土技术在发达国家应用较为成熟, 中国还处于起步阶段, 针对中国西南部山区人工挖孔桩施工特点, 对桩基干浇机制砂自密实混凝土施工工艺进行研究; 该文依托乌江大桥, 通过理论分析、材料优选、关键影响因素对比试验、工艺试验、成桩质量评价等方面开展研究, 在现有资源情况下成功配置出了满足桩基干浇机制砂自密实混凝土, 经检测桩身质量满足要求。

关键词: 挖孔桩; 干浇; 机制砂; 自密实混凝土

目前中国对自密实混凝土技术的研究较多, 由于各地区原材料之间的差异性较大, 自密实混凝土的区域独立性较强, 许多研究成果不可生搬硬套, 需结合实际情况进行有针对性的研究, 特别是机制砂的关键参数石粉含量和 MB 值对混凝土性能的影响较大, 需进行重点研究。该文结合贵州遵义县乌江大桥现有材料情况展开系统研究, 以配置适合乌江大桥桩基干浇的自密实混凝土, 应用于桩基工程中。乌江大桥为双塔双索面预应力混凝土斜拉桥, 主跨 320 m; 主墩最深桩基 76 m, 桩径 2.5 m, 均采用人工挖孔成孔。

的就地热再生混合料的配合比设计以及混合料的性能进行室内试验研究, 并将研究成果应用于实体工程, 取得了良好的效果。主要结论如下:

(1) 再生剂和 SBR 胶乳两种添加剂方案, 均可以使老化沥青的软化点、针入度等性能指标逐渐恢复, 改善老化沥青的性能, 使其达到理想状态。

(2) 现有添加剂并不能完全恢复旧沥青的原有性能, 在再生混合料的组成设计过程中需要添加一定比例的新料来改善旧料的级配, 提高再生沥青混合料的路用性能。

(3) 室内试验结果表明: 无论添加 SBR 胶乳还是再生剂, 各再生料的路用性能均符合技术要求, 且添加 SBR 胶乳的再生混合料表现出更好的高温性能和水稳定性。

1 桩基自密实混凝土工作性能评价指标

通过分析桩基自密实混凝土流变性和密实原理, 借鉴自密实混凝土工作性能评价方法, 提出如下桩基自密实混凝土工作性能影响因素和工作性能要求:

(1) 桩基自密实混凝土工作性能指标见表 1。

(2) 影响桩基自密实混凝土工作性能的因素包括钢筋间距、混凝土浇注时间、施工时气温、泵送压力、桩基周围土体的吸附程度等几个方面。

(4) 连徐高速实体工程应用结果表明, 就地热再生对于改性沥青 SMA 路面具有理想的处治效果, 可提高路面性能, 改善行车舒适性和安全性。

参考文献:

- [1] 倪富健, 李健, 马翔. 就地热再生在连徐高速公路养护工程中的应用研究[C]. 特种混凝土与沥青混凝土新技术及工程应用, 2012.
- [2] 张江, 吴昱, 田克. 就地热再生技术在改性沥青 SMA 路面的应用[J]. 道路与交通工程, 2011(4).
- [3] 徐伟荣. SBR 胶乳对旧料路用性能作用效果研究[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2013(2).
- [4] 马登成, 任化杰, 马尉倘. 沥青路面就地热再生混合料级配优化设计[J]. 公路交通科技, 2014(8).
- [5] JTG/T F41-2008 公路沥青路面再生技术规范[S].

收稿日期: 2016-10-20

作者简介: 吴明威, 男, 硕士, 高级工程师. E-mail: 573013979@qq.com