

就地热再生 13 型沥青混合料组成设计及应用

梁高荣¹, 欧锦石¹, 罗桂银²

(1. 广西路建工程集团有限公司, 广西 南宁 530001; 2. 广西交投科技有限公司, 广西 南宁 530007)

摘要:为促进广西高速公路旧沥青路面就地热再生技术的可持续发展,文章采用离心分离法对旧沥青路面 SAM-13、KH-13 进行抽提试验,对回收沥青添加 0%、3%、5%、7%再生剂后的再生沥青及其混合料进行了评价,旧 SAM-13 的 RAP 与新拌沥青混合料按 70% : 30% 的比例设计,旧 KH-13 的 RAP 与新拌沥青混合料按 80% : 20% 的比例设计。结果表明:再生剂掺量为 5% 时,再生沥青及混合料的性能得到较好的改善,在再生 SMA-13(KH-13) 中 4.75 mm、2.36 mm、0.075 mm 的通过率分别约为 33%、25%、10% (42.5%、32%、7%),再生 SMA-13(KH-13) 的最佳油石比为 6.1% (5.0%),其高温稳定性检验均 > 6 000 次/mm、冻融劈裂试验强度比均 > 90%,就地热再生 SMA-13(KH-13) 的现场空隙率 ≤ 6%,沥青路面性能良好。

关键词: 道路工程; 就地热再生; 级配; 空隙率; 动稳定度

中图分类号: U416.217 **文献标识码:** A **DOI:** 10.13282/j.cnki.wccst.2019.05.005

文章编号: 1673-4874(2019)05-0018-04

Composition Design and Application of Hot In-place Regeneration 13 Asphalt Mixture

LIANG Gao-rong¹, OU Jin-shi¹, LUO Gui-yin²

(1. Guangxi Road Construction Engineering Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530001; 2. Guangxi Communications Investment Technology Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530007)

In order to promote the sustainable development of hot in-place regeneration technology of the old asphalt pavement in Guangxi expressways, this article uses the centrifugal separation method to extract the old asphalt pavement SAM-13 and KH-13, and evaluates the recycled asphalt after adding 0%, 3%, 5% and 7% regenerant and its mixtures, then, the old SAM-13 RAP and fresh asphalt mixture are designed according to 70% : 30% ratio, and the old KH-13 RAP and fresh asphalt mixtures are designed according to 80% : 20% ratio. The results show that the performance of recycled asphalt and mixture is better improved when the amount of regenerant is 5%, the pass rates of 4.75 mm, 2.36 mm and 0.075 mm in regenerated SMA-13(KH-13) are respectively about 33%, 25%, and 10% (42.5%, 32%, 7%), the best oil-stone ratio of regenerated SMA-13(KH-13) is 6.1% (5.0%), and its high-temperature stability test is all greater than 6000 times/mm, the intensity ratio of freeze-thaw splitting test is all greater than 90%, the on-site void ratio of hot in-place regenerated SMA-13(KH-13) does not exceed 6%, and the performance of asphalt pavement is good.

Road engineering; Hot in-place regeneration; Gradation; Void ratio; Dynamic stability

0 引言

沥青路面再生利用技术,是将需要翻修或者废弃的旧沥青路面,经过翻挖、回收、破碎、筛分,再和新集料、新沥青材料适当配合,重新拌合成为具有良好路用性能的再生沥青混合料,用于铺筑路面面层或基层的整套工艺技术。美国、日本、欧

作者简介

梁高荣(1976—),工程师,主要从事试验检测及相关研究管理工作;
欧锦石(1963—),工程师,主要从事试验检测及相关研究管理工作;
罗桂银(1974—),工程师,主要从事道路结构与材料的研究工作。

洲等国家和地区 20 世纪 90 年代已经能够将全部废旧沥青路面材料加以再生利用。就地热再生技术是利用专用设备加热旧沥青路面,然后将处于高温状态的旧沥青路面进行松耙,并添加再生剂,通过翻松、就地拌合,接着添加再生剂,并提升至专用拌合设备与新材料进行拌合,最后摊铺、碾压成型的技术。就地热再生技术不损伤旧沥青路面的碎石,旧沥青路面材料可以 100%再生利用,热再生混合料级配可进行匀质性设计及摊铺^[1-5]。

柳州至南宁高速公路凤凰试验路于 2005 年 1~4 月在旧混凝土上加铺了约 120 mm 厚沥青层,其中,沥青路面表面层厚 40 mm,右幅采用 SMA-13、左幅采用 KH-13。为促进广西高速公路旧沥青路面再生技术的提升,本文依托 2017 年柳州至南宁高速公路改扩建工程凤凰段旧沥青路面表面层就地热再生试验路,设计了两种不同级配的热再生沥青混合料,就地热再生沥青路面的现场空隙率 $\leq 6\%$,其芯样骨架和密实性均不错。

1 原材料

1.1 沥青

新拌沥青混合料采用中航路通实业有限公司提供的 SBS(I-D)改性沥青,其试验结果见表 1。

表 1 SBS(I-D)改性沥青的性能试验表

试验项目	单位	试验结果	技术要求
针入度(25℃,100 g,5 s)	0.1 mm	53	40~60
软化点(环球法)	℃	88.0	≥ 60
延度(5℃,5 cm/min)	cm	27	≥ 20
25℃相对密度	—	1.034	实测记录

1.2 集料及填料

新拌沥青混合料采用的矿料分为三挡规格,田东岩相山辉绿岩 1#料(10~15 mm)、2#料(5~10 mm),来宾穿山镇石灰岩 3#料(0~5 mm)的机制砂。填料为广西联壮科技有限公司生产的矿粉。集料及填料的试验结果见表 2、表 3。

表 2 集料及矿粉吸水率和密度试验结果表

规格	吸水率	表观相对密度	毛体积相对密度
辉绿岩质 1#(10~15 mm)	0.32	2.930	2.921
辉绿岩质 2#(5~10 mm)	0.40	2.876	2.867
石灰岩质 3#(0~5 mm)	0.54	2.720	2.713
技术要求	≤ 2.0	≥ 2.60	—
矿粉	—	2.833	—
技术要求	—	≥ 2.50	—

表 3 集料及矿粉筛分试验结果表

矿料	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)										
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
辉绿岩质 1#(10~15 mm)	100	92.2	19.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
辉绿岩质 2#(5~10 mm)	100	100	95.9	1.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
石灰岩质 3#(0~5 mm)	100	100	100	99.8	79.0	59.6	36.4	20.8	13.3	7.5	
矿粉	100	100	100	100	100	100	100	100	99.6	90.0	

1.3 旧路面材料

在南宁至柳州方向(K1305+000~K1310+000段)旧沥青路面中随机选取较有代表性段落(K1306+000右幅 SMA-13 硬路肩、K1306+000左幅 KH-13 硬路肩)现场取样。采用离心分离法进行沥青混合料的抽提试验,其油石比测试结果分别为 6.3%、5.1%。矿料级配见表 4。

表 4 旧路面沥青混合料 RAP 的矿料级配表

位置	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)										
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
K1306+000 段右幅 SMA-13	100.0	95.4	71.8	39.8	29.1	24.9	20.2	17.2	15.0	11.4	
K1306+000 段左幅 KH-13	99.0	93.2	68.4	45.1	33.7	26.6	19.1	13.8	10.3	6.7	

1.4 再生剂及其掺量

再生剂采用江苏省沥青路面热再生工程研究中心生产的 Freetech-F0110 再生剂。从抽提液回收沥青,并对添加 0%、3%、5%、7% 再生剂后的再生沥青进行三大指标试验,试验结果见表 5。

表 5 回收沥青的性能试验结果表

试验项目	单位	回收沥青中再生剂掺量(%)				SBS(I-D)技术要求
		0	3	5	7	
针入度(25℃,100 g,5 s)	0.1 mm	22	33	45	75	40~60
软化点(环球法)	℃	67.5	60.0	57.5	45.5	≥ 60
延度(5℃,5 cm/min)	cm	脆断	4	6	9	≥ 20

分别对掺入沥青质量的 0%、5%、7% 再生剂的沥青混合料进行马歇尔击实试验,试验结果见表 6、表 7,其中,马歇尔试件成型温度为 150℃~155℃。

表 6 K1306+000 段右幅 SMA-13 马歇尔试验体积参数表

再生剂掺量(%)	毛体积相对密度	最大理论相对密度	空隙率(%)	稳定度(kN)	流值(mm)
0	2.207	2.341	5.7	18.48	3.8
5	2.250	2.346	4.1	17.51	4.7
7	2.265	2.342	3.3	10.67	5.4
技术要求	—	—	3~4.5	≥ 6	2~6

表 7 K1306+000 段左幅 KH-13 马歇尔试验体积参数表

再生剂掺量 (%)	毛体积 相对密度	最大理论 相对密度	空隙率 (%)	稳定度 (kN)	流值 (mm)
0	2.200	2.424	9.2	15.54	4.1
5	2.284	2.426	5.8	15.29	3.7
7	2.301	2.426	5.2	8.28	3.6
技术要求	—	—	3~6	≥8	2~5

从表 5~7 可知,再生剂掺量为 5%时,回收沥青性能指标基本恢复到 SBS(I-D)沥青的水平,沥青混合料的性能得到较好改善。

1.5 木质素纤维

木质素纤维生产厂家为天津中创同盛建材实业有限公司。其密度为 1.13 g/cm³,再生沥青混合料 SMA-13 木质素纤维掺量为混合料质量的 0.4%。

2 就地热再生 13 型沥青混合料的组成设计及应用

2.1 目标配合比的组成设计及性能验证

根据 K1306+000 段右幅 SMA-13、K1306+000 段左幅 KH-13 的 RAP 及新矿料试验结果,拟采用新拌沥青混合料与右幅 SMA-13 的 RAP 比例为 30%:70%、新拌沥青混合料与左幅 KH-13 的 RAP 比例为 20%:80%。新拌沥青混合料及再生混合料的级配设计见表 8~10。

表 8 新拌沥青混合料矿料组成设计表

材料组成 1 [#] 料: 2 [#] 料:3 [#] 料: 矿粉	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)									
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
SMA-13 合成级配 (52:30:12:6)	100	95.9	56.8	18.5	15.8	13.5	10.7	8.9	7.9	6.7
KH-13 合成级配 (41:32:19:8)	100	96.8	65.6	27.5	23.3	19.6	15.2	12.3	10.8	8.9

表 9 再生沥青混合料 SMA-13 目标配合比的矿料组成设计表

项目	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)									
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
新料(30%)	100	95.9	56.8	18.5	15.8	13.5	10.7	8.9	7.9	6.7
旧料(70%)	100	95.4	71.8	39.8	29.1	24.9	20.2	17.2	15.0	11.4
新旧料 合成级配	100	95.6	67.3	33.4	25.1	21.5	17.4	14.7	12.9	10
规范级配上限	100	100	75	34	26	24	20	16	15	12
规范级配下限	100	90	50	20	15	14	12	10	9	8

表 10 再生沥青混合料 KH-13 目标配合比的矿料组成设计表

项目	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)									
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
新料(20%)	100	96.8	65.6	27.5	23.3	19.6	15.2	12.3	10.8	8.9
旧料(80%)	99	93.2	68.4	45.1	33.7	26.6	19.1	13.8	10.3	6.7
新旧料合成 级配	99.2	93.9	67.8	41.6	31.6	25.2	18.3	13.5	10.4	7.1
工程设计级 配上限	100	100	75	43	37	29	24	18	14	12
工程设计级 配下限	100	75	45	32	27	18	13	11	8	7

油石比按 0.3%~0.4% 的间隔成型马歇尔试件。试验时矿料的加热温度为 185℃,沥青的加热温度为 165℃,沥青混合料的拌合温度为 180℃,击实温度为 150℃~155℃。拌合时先将掺量为沥青质量 5%的再生剂与 RAP 材料搅拌均匀,然后再与新拌混合料搅拌均匀。再生沥青混合料马歇尔试验体积参数见表 11、表 12。

表 11 再生沥青混合料 SMA-13 的马歇尔试验结果表

新拌沥青 混合料 油石比(%)	RAP 油 石比(%)	再生混 合料油 石比(%)	毛体积 相对密度	最大理论 相对密度	空隙 率(%)	稳定 度(kN)	流值 (mm)
4.6	6.3	5.8	2.331	2.449	4.8	13.40	3.1
5.6	6.3	6.1	1.341	2.442	4.1	12.52	2.9
6.6	6.3	6.4	2.362	2.437	3.1	13.66	3.1
技术要求			—	—	3~4.5	≥6	2~6

表 12 再生沥青混合料 KH-13 的马歇尔试验结果表

新拌沥青 混合料 油石比(%)	RAP 油石比(%)	再生混 合料油 石比(%)	毛体积 相对密度	最大理论 相对密度	空隙 率(%)	稳定度 (kN)	流值 (mm)
2.6	5.1	4.6	2.298	2.440	5.8	16.45	4.0
4.0	5.1	4.9	2.321	2.430	4.5	16.10	3.9
5.6	5.1	5.2	2.340	2.419	3.3	14.20	3.5
7.6	5.1	5.6	2.340	2.398	2.4	15.70	3.8
技术要求			—	—	3~6	≥8	2~5

由表 11 可知,再生沥青混合料 SMA-13 取与目标空隙率 4.1%对应的油石比 6.1%作为最佳油石比。从表 12 可知,再生沥青混合料 KH-13 取与目标空隙率 4.5%对应的油石比 4.9%作为最佳油石比。

再生沥青混合料水稳定性与高温稳定性验证等试验结果如表 13~15 所示。

表 13 再生沥青混合料的水稳定性试验结果表

项目	浸水马歇尔试验残留稳定度			冻融劈裂试验残留强度比		
	油石比 (%)	马歇尔稳定度 $SM(kN)$	浸水马歇尔稳定度 $SM_i(kN)$	浸水残留稳定度 $SM_d(\%)$	未经冻融循环 $R_{T1}(MPa)$	冻融循环 R_{T2} 抗拉强度比 (%)
SMA-13	6.1	12.52	12.29	98.2	1.434	1.431
KH-13	4.9	16.10	14.38	89.3	1.609	1.454
技术要求				≥ 85		≥ 80

表 14 再生沥青混合料的高温稳定性试验结果表

油石比 (%)	试件编号	动稳定度 $DS(\text{次}/\text{mm})(60^\circ\text{C})$			车辙试验变形量 (mm)	
		单个值	平均值	$CV(\%)$	单个值	平均值
6.1 (SMA-13)	1	8 514			0.977	
	2	9 000	$>6\ 000$	5.4	1.254	1.174
	3	8 077			1.290	
4.9 (KH-13)	1	11 250			—	
	2	10 500	$>6\ 000$	3.5	—	—
	3	10 862			—	
技术要求		$\geq 4\ 000$		≤ 20		≤ 2.5

表 15 再生沥青混合料 SMA-13 的析漏和飞散试验结果表

试验项目	析漏试验的 结合料损失 (%)	飞散试验的 混合料损失 (%)
油石比 6.1% 试验结果	0.07	8.5
技术要求	≤ 0.1	≤ 15

2.2 生产配合比设计

根据热料仓筛分结果进行新拌沥青混合料生产配合比设计。其中,热料仓的矿料分为四档规格,分别为 5#料(11~16 mm)、6#料(6~11 mm)、7#料(3~6 mm)、8#料(0~3 mm)。新拌沥青混合料设计级配见表 16,再生沥青混合料生产配合比设计结果见表 17~19。其中,再生沥青混合料 SMA-13 的油石比为 6.1%,再生沥青混合料 KH-13 的油石比为 5.0%。

表 16 新拌沥青混合料的矿料组成设计表

材料组成	通过下列筛孔(mm)的质量百分率 (%)									
	5#料:	6#料:	7#料:	8#料:	矿粉:					
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
SMA-13 合成级配 (50:33:0:12:5)	100	89.8	50.0	18.4	15.5	13.1	10.0	7.9	6.9	5.9
KH-13 合成级配 (39:27:4:22:8)	100	92.5	60.9	33.4	26.9	22.5	16.8	13.0	11.1	9.4

表 17 再生沥青混合料生产配合比的矿料组成设计表

项目	通过下列筛孔(mm)的质量百分率 (%)									
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
新料(30%)	100	89.8	50.0	18.4	15.5	13.1	10.0	7.9	6.9	5.9
旧料(70%)	100	95.4	71.8	39.8	29.1	24.9	20.2	17.2	15	11.4
SMA-13	100	93.7	65.3	33.4	25.0	21.4	17.1	14.4	12.6	9.7
新料(20%)	100	92.5	60.9	33.4	26.9	22.5	16.8	13.0	11.1	9.4
旧料(80%)	99	93.2	68.4	45.1	33.7	26.6	19.1	13.8	10.3	6.7
KH-13	99.2	93.1	66.9	42.8	32.3	25.8	18.6	13.6	10.5	7.2

表 18 再生沥青混合料 SMA-13 的生产配合比表

材料名称	材料组成					油石比 (%)	纤维 (%)	占再生混合料比例 (%)
	5#料	6#料	7#料	8#料	矿粉			
新拌混合料	50	33	0	12	5	4.5	0.4	30
旧路面材料 RAP	RAP+旧沥青质量 5%的再生剂+RAP 质量 0.4%的热沥青					—	—	70

表 19 再生沥青混合料 KH-13 的生产配合比表

材料名称	材料组成					油石比 (%)	纤维 (%)	占再生混合料比例 (%)
	5#料	6#料	7#料	8#料	矿粉			
新拌混合料	39	27	4	22	8	4.7	—	20
旧路面材料 RAP	RAP+旧沥青质量 5%的再生剂					—	—	80

2.3 生产配合比验证

就地再生沥青混合料施工配合比的矿料组成设计见表 20。

表 20 再生沥青混合料施工配合比的矿料组成设计表

项目	通过下列筛孔(mm)的质量百分率 (%)									
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
新料(30%)	100	91.3	47.2	18.1	15.4	12.6	9.8	7.7	6.5	5.5
旧料(70%)	100	95.4	71.8	39.8	29.1	24.9	20.2	17.2	15	11.4
SMA-13	100	94.2	64.4	33.3	25.0	21.2	17.1	14.4	12.5	9.6
新料(20%)	100	92.9	58.4	32.2	26.9	21.9	16.8	12.6	10.5	8.4
旧料(80%)	99	93.2	68.4	45.1	33.7	26.6	19.1	13.8	10.3	6.7
KH-13	99.2	93.1	66.4	42.5	32.3	25.7	18.6	13.7	10.3	7.0

就地热再生沥青路面试验路压实度、厚度检测结果见表 21、表 22。

表 21 SMA-13 就地热再生试验路压实度、厚度检测结果表

检测桩号	芯样厚度 (mm)	试件毛体积密度 (g/cm^3)	理论最大密度 (g/cm^3)	压实度 (%)
K1305+140 右 7.5 m	42	2.316	2.443	94.8
K1305+360 左 8.0 m	41	2.333	2.443	95.5
K1305+660 左 3.6 m	43	2.336	2.439	95.8
K1305+850 左 4.7 m	42	2.306	2.439	94.5
K1305+960 左 2.0 m	39	2.311	2.439	94.8
技术要求	≥ 35	—	—	≥ 93

表 22 KH-13 就地热再生试验路压实度、厚度检测结果表

检测桩号	芯样厚度 (mm)	试件毛体积密度 (g/cm^3)	理论最大密度 (g/cm^3)	压实度 (%)
K1305+230 左 4.3 m	44	2.344	2.483	94.4
K1305+370 左 7.2 m	45	2.379	2.483	95.8
K1305+500 左 5.3 m	41	2.334	2.483	94.0
K1305+730 左 2.2 m	43	2.364	2.483	95.2
K1305+980 左 3.7 m	45	2.369	2.483	95.4
技术要求	≥ 35	—	—	≥ 93

(下转第 96 页)

$\phi 42$ mm小导管径向注浆对围岩进行补强加固;当小导管径向注浆后围岩变形仍没有收敛,但初期支护还未开裂破坏或侵限时,在初期支护工字钢拱架拱圈起拱线处加设 $\phi 159$ mm热轧无缝钢管顶住工字钢拱架做横撑加固;当围岩的变形发展至初期支护开裂破坏或侵入二次衬砌结构时,对开裂破坏或侵入二次衬砌结构的初期支护采取逐榀拆除更换处理。为了确保安全,适当地加强重新施工的初期支护,并留有足够的预留变形量以防止初期支护再次变形侵限。在特殊地段甚至还采取了双层初期支护:第一层初期支护刚度较大,设置 I20 a 工字钢拱架(@50 cm),喷射 28 cm 厚的混凝土;当第一层初期支护变形达到 10 cm 时,迅速架立 I16 工字钢拱架(@50 cm),喷射 20 cm 厚的混凝土作为第二层初期支护,第二层初期支护的工字钢拱架设置在第一层初期支护工字钢拱架同一横断面上,以共同抵抗围岩的变形挤压。

7 结语

隧道软弱围岩开挖后,围岩变形量大、变形持续

时间长,掌子面前方变形范围大,开挖初期掌子面后方变形速率快。根据新奥法的原理,软弱围岩的变形控制宜采取刚柔结合的控制方式,预留适当的变形量允许围岩发生一定的变形,加强超前支护和初期支护,把围岩变形控制在允许范围内,让超前支护控制围岩荷载的释放,让初期支护承担围岩释放的全部荷载,让二次衬砌作为支护结构的安全储备控制围岩残余变形。为避免软弱围岩隧道大变形的发生,在隧道修建过程中,应特别重视减小围岩塑性变形,及时进行支护以减小围岩应力释放,加强支护结构早期刚度以抵抗围岩塑性变形。●

参考文献

- [1]赵勇.隧道软弱围岩变形机制与控制技术研究[D].北京:北京交通大学,2012.
- [2]张旭珍.关角隧道大变形处理技术[J].石家庄铁道大学学报,2001,24(1):17-20.

收稿日期:2019-03-22

(上接第 21 页)

2.4 试验结果及分析

从表 7~22 可知:

- (1)就地热再生旧沥青路面材料掺配比例高,其中,旧 SMA-13、KH-13 的 RAP 用量为 80%、70%。
- (2)设计的就地热再生 SMA-13、KH-13 混合料的高温稳定性能、水稳定性能良好。
- (3)为控制新拌沥青混合料的析漏,在施工时,新拌沥青混合料采用 4.5% 的油石比,在旧 SMA-13 材料中增加旧料 RAP 质量 0.4% 的热沥青,以保证合成油石比达到设计油石比的 6.1%。

3 结语

(1)就地热再生沥青路面的级配设计宜接近原沥青混合料的矿料组成设计,旧沥青路面就地热再生宜采用与其相应的级配。

(2)柳南路就地热再生 SMA-13、KH-13 试验路压实度代表值 $\geq 94\%$ 、密实不渗水,芯样骨架嵌挤稳定,沥青路面性能良好。●

参考文献

- [1]孙祖望.沥青路面再生技术的现状与发展[J].建筑机械,2005(4):22-23.
- [2]张清平.沥青路面现场热再生技术研究[D].长沙:长沙理工大学,2011.
- [3]蒋双全,杨博,董刚.旧沥青路面现场热再生技术的应用现状[J].西部交通科技,2009(2):63-66.
- [4]耿九光.高速公路旧沥青混合料热再生研究[D].西安:长安大学,2007.
- [5]任义军.沥青混凝土就地再生机械与施工研究[D].西安:长安大学,2005.

收稿日期:2019-03-05