

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2025.01.015

引用格式:杨永前,黄红明,曾国东,等.基于旧路改造的道路全断面再生方案研究[J].公路与汽运,2025,41(1):71-77+139.

Citation: YANG Yongqian, Huang Hongming, Zeng Guodong, et al. Research on the whole section regeneration scheme of road based on old road reconstruction[J]. Highways & Automotive Applications, 2025, 41(1): 71-77+139.

基于旧路改造的道路全断面再生方案研究*

杨永前¹, 黄红明^{2,3}, 曾国东³, 李黎明⁴

(1. 佛山市公路工程质量监测有限责任公司, 广东 佛山 528041; 2. 佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528041; 3. 佛山市交通科技有限公司, 广东 佛山 528041; 4. 佛山市建盈发展有限公司, 广东 佛山 528041)

摘要:为解决旧路改造过程中产生的路面铣刨料(RAP),开展高掺量多结构层道路固废再生路面混合料性能试验研究,设计基于旧路改造的高掺量道路全断面再生结构方案,采用再生 SMA-13 磨耗层+高掺量厂拌热再生中下面层+乳化沥青厂拌冷再生基层的路面结构,研究高掺量 RAP 对不同沥青面层层位的适用性。结果表明,再生 SMA-13 路用性能良好,与新料 SMA-13 基本相当;自主研发的再生剂能较好地改善 RAP 中旧沥青的性能,旧沥青针入度随着再生剂掺量的增加而增大,软化点随着再生剂掺量的增加而减小;随着 RAP 掺量的增加,再生改性 AC-20C 的冻融劈裂强度比逐渐增大,动稳定度逐渐降低,最低为 7 442 次/mm;随着二次老化时间的延长,RAP 中旧沥青的针入度逐渐降低,软化点逐渐升高;随着 RAP 老化时间的增加,乳化沥青冷再生混合料的马歇尔空隙率逐渐增大,干、湿劈裂强度逐渐降低,其高温稳定性逐渐提高,水稳定性逐渐下降;优化合成级配可改善乳化沥青冷再生混合料的路用性能;再生 SMA-13 上面层的 RAP 掺量宜为 25%,中下面层 RAP 掺量最高宜为 45%,乳化沥青冷再生的 RAP 掺量宜为 80%。对道路全断面再生结构使用性能进行长期跟踪观测,结果表明路面使用性能良好。

关键词:公路;旧路改造;全断面再生;再生 SMA-13;厂拌热再生;乳化沥青冷再生

中图分类号:U418.8

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2025)01-0071-07

根据相关统计资料,截至 2019 年,中国公路保有量为 501.25 万 km,其中高速公路里程为 14.96 万 km,公路养护里程约占公路总里程的 98%。公路沥青路面的设计寿命为 10~15 年,已经有相当数量的路面达到使用寿命,并且随着交通量的逐年增加及超载、重载车辆的作用,部分沥青路面损坏较严重,需要进行大规模养护、大中修或改扩建。根据初步推算,仅干线公路大中修工程每年产生的沥青路面铣刨料(RAP)为 1.6 亿~2.0 亿 t,如将这些废旧沥青铣刨料随意倾倒、堆放,不仅造成严重的资源浪费,占用大量土地,还造成巨大的水、土、大气污染,严重影响山水景观,给社会和生态环境带来巨大的负面影响^[1-2]。为积极响应绿色环保、可持续发展的理念,本文依托佛山一环西拓旧路改造工程,利用其路面改造过程中产生的大量铣刨料,采用厂拌冷、热再生技术打造道路全断面再生结构^[3-4],

提出基于旧路改造的高掺量道路全断面再生结构方案,开展高掺量多结构层道路固废再生沥青混合料路用性能试验研究。

1 全断面再生结构方案研究

佛山一环西拓工程主要是利用现有道路,通过节点改造、新建公路等形式建成环线公路网,总里程约 110.8 km,按时间前后分为一期节点改造(含新建公路)和二期旧路改造两部分。二期旧路改造项目的建设范围包括北环段(碧云路、三水二桥公路、三水二桥南延线公路、白金线、汇金线)和南环段(高明大道、龙高路、南九公路)两部分,主要是对原道路沥青路面进行提质改造。旧路改造路线总长 44.803 km,采用一级公路标准兼顾城市道路功能,主路设计速度为 80 km/h,辅路设计速度为 50 km/h。根据设计文件中各路段改造方案及路面病害处置原则,项目实

* 基金项目:佛山市科技计划项目(2220001005763;2220001005727)

施过程中预计产生约 18 万 t 沥青铣刨料,从资源节约、环境保护、技术可靠、经济合理等角度考虑,引入沥青混合料厂拌热再生、沥青混合料厂拌冷再生技术,将废旧材料再生循环应用,变废为宝。结合项目特点,在北环段的铣刨回补混合料和新加铺的中面层及沥青桥面铺装的下面层采用厂拌热再生 AC-20C 改性沥青混合料或厂拌热再生 ATB-25 沥青混合料;白金线第 2、3 车道铣刨 18 cm 原沥青路面,采用 12 cm 厂拌冷再生+6 cm 厂拌热再生 AC-20C 进行回补。

为增加再生技术的应用场景,选取白金线 K38+270—770 右幅开展道路固废全断面再生试验研究,采用再生 SMA-13 磨耗层+高掺量厂拌热再生沥青中下面层+乳化沥青冷再生基层的路面结构方案(见表 1),研究高掺量 RAP 材料对不同沥青面层层位的适用性,开展再生 SMA 及高掺量多结构层厂拌热再生沥青混合料路用性能试验研究^[5-8]。

表 1 全断面再生试验路路面结构设计方案

层位	原路面结构	试验路路面结构
上面层	4 cm 改性 AC-13	4 cm 25%再生 SMA-13
中面层	6 cm 改性 AC-20	6 cm 35%再生改性 AC-20C
下面层	8 cm 普通 AC-25	6 cm 45%再生改性 AC-20C
基层	36 cm 6%水泥稳定碎石	12 cm 80%乳化沥青厂拌冷再生 36 cm 6%水泥稳定碎石
底基层	20 cm 4%水泥稳定碎石	
土基		土基

表 4 再生 SMA-13 的合成级配

级配编号	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	16.000	13.200	9.500	4.750	2.360	1.180	0.600	0.300	0.150	0.075
级配一	100.0	96.4	62.2	25.2	18.8	16.5	14.5	12.8	12.0	10.4
级配二	100.0	96.8	66.0	27.3	20.4	17.7	15.3	13.3	12.4	10.7
级配范围	100	90~100	50~72	20~30	16~24	14~22	12~18	11~16	10~15	8~12

(2) 旧沥青回收及再生试验。回收 RAP 材料中的旧沥青,并检测其技术指标。RAP 掺量为 25%,再生 SMA-13 沥青混合料中旧沥青油石比约为 0.9%,再生剂掺量为旧沥青质量的 10%。根据以往经验,SMA-13 沥青混合料最佳油石比为 5.8%~6.2%,本文取 6.0%进行再生 SMA-13 沥青混合料配合比设计,新旧沥青比为 5:1。再生沥青性能试验结果见表 5。

2 再生混合料性能研究

2.1 再生 SMA-13 混合料性能研究

2.1.1 原材料

路面上面层采用优质的辉绿岩碎石;RAP 采用现场铣刨的上面层废旧改性沥青混合料,经破碎筛分后选用 6~11 mm(3#)再生料,其抽提筛分结果见表 2,矿料技术指标见表 3。

表 2 RAP 3#(6~11 mm)的抽提试验结果

筛孔尺寸/ mm	通过质量 百分率/%	筛孔尺寸/ mm	通过质量 百分率/%
16.000	100.0	1.180	18.6
13.200	100.0	0.600	14.7
9.500	85.2	0.300	11.5
4.750	28.2	0.150	9.6
2.360	22.7	0.075	7.7
油石比/%		3.7	

表 3 RAP 3#(6~11 mm)抽提后的矿料技术指标

项目	试验结果	技术要求
压碎值/%	18.6	≤26.0
表观相对密度	2.721	≥2.600
吸水率/%	0.74	≤2.00

2.1.2 再生 SMA-13 路用性能对比

(1) 矿料级配设计。再生 SMA-13 矿料级配设计中 RAP 掺量采用 25%,矿料合成级配见表 4。

表 5 旧沥青及再生沥青性能试验结果

沥青类型	针入度(25℃)/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	延度/ cm
旧沥青	24	65	1
再生沥青 (再生剂掺量 10%)	48	56	13
再生沥青 (油石比 6.0%)	52	72	21

(3) 最佳级配确定。采用 6.0% 油石比进行再生 SMA-13 沥青混合料马歇尔试验,其中纤维为外掺,掺量为 0.4%,马歇尔试验结果见表 6。由表 6

可知:采用级配二,即合成级配中 4.75 mm 筛孔通过率为 27.3% 时,再生 SMA-13 沥青混合料的各项技术指标均满足技术要求。

表 6 再生 SMA-13 马歇尔试验结果

级配编号	油石比/%	最大理论密度/ (g · cm ⁻³)	空隙率/%	稳定度/kN	毛体积密度/ (g · cm ⁻³)	饱和度/%	矿料间隙率/%
级配一	6.0	2.575	4.9	9.16	2.450	72.0	17.4
级配二	6.0	2.571	4.1	10.48	2.467	75.8	16.8
技术要求	—	—	3.0~4.5	≥6.00	—	75.0~85.0	≥16.5

(4) 再生 SMA-13 的路用性能。采用级配二进行再生 SMA-13 沥青混合料性能试验,并与新料 SMA-13 的路用性能进行对比,结果见表 7。由表 7

可知:再生 SMA-13 具有良好的高温稳定性及水稳定性,与新料 SMA-13 基本相当,各项性能均满足技术要求。

表 7 再生 SMA-13 路用性能试验结果

沥青类型	动稳定度/(次 · mm ⁻¹)	残留稳定度/%	冻融劈裂强度比/%	析漏损失/%	飞散损失/%
新料 SMA-13(未掺加 RAP)	10 582	92.8	92.7	0.05	4.7
再生 SMA-13(RAP 掺量 25%)	11 255	91.7	93.9	0.03	5.8
技术要求	≥5 000	≥85.0	≥80.0	≤0.10	≤15.0

2.2 再生 AC-20C 混合料性能研究

2.2.1 原材料

路面中下面层采用颗粒形状好、压碎值低的石灰岩碎石;RAP 采用现场铣刨的下面层废旧普通沥青混合料,并破碎筛分为粒径 0~6 mm(4[#])、6~

11 mm(3[#])、11~22 mm(2[#])与 22~32 mm(1[#]) 4 种规格,其抽提筛分结果见表 8,回收矿料的技术指标见表 9;新沥青采用壳牌 SBS 改性沥青;再生剂采用自主研发的 RA-5 型再生剂,其技术指标见表 10。

表 8 各档 RAP 的抽提筛分结果

RAP 粒 径/mm	油石 比/%	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%												
		31.500	26.500	19.000	16.000	13.200	9.500	4.750	2.360	1.180	0.600	0.300	0.150	0.075
22~32	2.57	100.0	100.0	60.0	50.8	44.0	34.3	22.7	17.4	13.2	9.8	7.6	6.5	5.7
11~22	2.35	100.0	100.0	95.6	80.6	63.2	37.2	22.3	16.7	12.9	9.9	7.7	6.4	5.2
6~11	2.50	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	91.4	24.8	17.7	14.1	11.1	8.8	7.5	6.1
0~6	6.07	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.5	65.2	46.8	33.7	26.1	22.6	18.7

表 9 各档 RAP 回收矿料的技术性能检测结果

检测项目	试验结果	技术要求	检测项目	试验结果	技术要求
压碎值/%	21.3	≤26.0	吸水率/%	1 [#]	0.44
	1 [#]	2.744		2 [#]	0.54
	2 [#]	2.724		3 [#]	0.92
	3 [#]	2.718		4 [#]	1.19
	4 [#]	2.716			
表观相对密度		≥2.500			≤2.00

表 10 再生剂的技术性能检测结果

检测项目	技术要求	试验结果
60℃黏度/(mm ² ·s ⁻¹)	176~900	305.8
70℃黏度/(mm ² ·s ⁻¹)	—	162.4
80℃黏度/(mm ² ·s ⁻¹)	—	90.3
闪点/℃	≥220	224
15℃表观相对密度	实测记录	1.018
薄膜烘箱试验黏度比	≤3.00	1.09
薄膜烘箱试验前后质量变化/%	[-4,4]	-1.62

2.2.2 不同 RAP 掺量下再生改性 AC-20C 混合料性能对比

分别按 RAP 掺量 0、25%、35%、45% 进行再生 AC-20C 沥青混合料级配设计,图 1 为合成级配曲线。由图 1 可知:不同 RAP 掺量下再生 AC-20C 沥青混合料的合成级配基本接近。不同 RAP 掺量下旧沥青油石比见表 11。

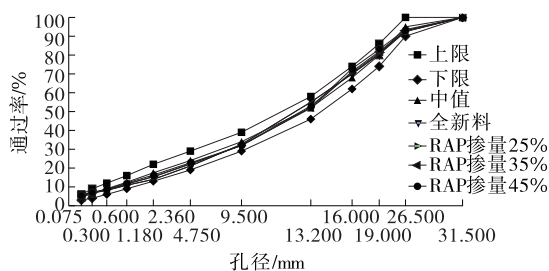


图 1 再生 AC-20C 的合成级配曲线

表 11 不同 RAP 掺量下旧沥青油石比

RAP 掺量/ %	旧沥青油 石比/%	RAP 掺量/ %	旧沥青油 石比/%
0	0.00	35	1.62
25	1.21	45	2.05

(1) 旧沥青再生试验。回收旧沥青并进行各项技术指标测试,分别掺加 0、4%、6%、8%、10% 再生剂进行旧沥青再生试验,使再生沥青的针入度达到新沥青针入度指标要求(见表 12)。由表 12 可知:

表 12 旧沥青再生试验结果

试验项目	不同再生剂掺量(%)再生 沥青的试验结果					改性沥青的 试验结果
	0	4	6	8	10	
25℃针入度/ (0.1 mm)	25	34	40	45	50	48
软化点/℃	66	62	60	58	56	88

旧沥青针入度随着再生剂掺量的增加而增大,软化点随着再生剂掺量的增加而减小。考虑到再生剂在实际生产拌和中的损耗,确定再生剂掺量为旧沥青质量的 10%。

(2) 再生 AC-20C 性能对比。分别对不同 RAP 掺量下热再生 AC-20C 进行马歇尔试验^[9-12],确定最佳油石比,并进行路用性能对比试验,结果见表 13、图 2~3。不同 RAP 掺量下改性再生 AC-20C 沥青混合料的标准马歇尔稳定度与全新料基本相当;浸水马歇尔稳定度有较大增长,残留稳定度较新料有较大提高,接近 100%;冻融与未冻融劈裂强度随着 RAP 掺量的增加逐渐增大,其冻融劈裂强度比亦逐渐增大,表明改性再生 AC-20 沥青混合料的水稳定性优于全新料;动稳定度随着 RAP 掺量的增加逐渐降低,最低为 7 442 次/mm,仍远高于设计要求,具有良好的高温稳定性。

表 13 不同 RAP 掺量下再生 AC-20C 的马歇尔试验结果

RAP 掺 量/%	油石 比/%	毛体积相 对密度	最大理论 相对密度	空隙 率/%	饱和 度/%	稳定 度/kN
0	4.2	2.431	2.533	4.0	67.9	14.28
25	4.3	2.431	2.533	4.0	68.5	14.03
35	4.4	2.433	2.532	3.9	69.2	14.14
45	4.4	2.435	2.535	3.9	69.1	14.12
设计要求	—	—	—	3.0~5.0	65.0~75.0	≥8.00

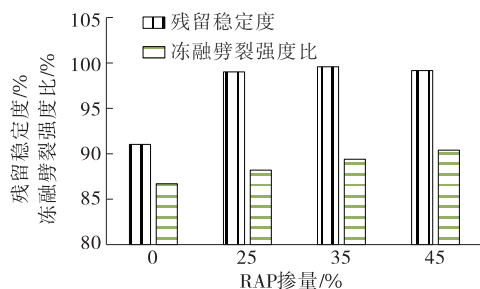


图 2 不同 RAP 掺量下再生 AC-20C 水稳定性对比

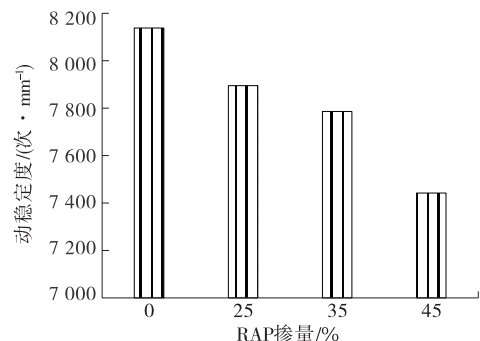


图 3 不同 RAP 掺量下再生 AC-20C 高温稳定性对比

2.3 乳化沥青冷再生混合料性能研究

2.3.1 原材料

新集料采用 10~20 mm 石灰岩碎石;RAP 采用表 1 中各档破碎筛分后的铣刨料;乳化沥青采用冷再生专用慢裂乳化剂,沥青固含量在 63% 以上,颗粒平均粒径在 5 μm 以下的不少于 90%。

2.3.2 不同 RAP 老化程度下冷再生混合料性能对比

(1) RAP 二次老化试验研究。将 RAP 分别置于 75 °C 烘箱中老化 0、3 d、7 d、10 d,分别回收二次老化后旧沥青,并测试其性能,结果见图 4。由图 4 可知:旧沥青针入度随着二次老化时间的延长而降低,软化点随着二次老化时间的延长而升高。

(2) 冷再生混合料配合比设计。采用 RAP 级配与矿料级配进行双级配乳化沥青冷再生混合料设

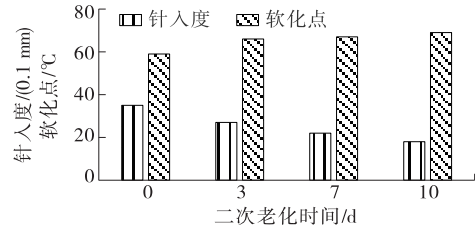


图 4 不同二次老化时间下旧沥青的技术指标

计^[13-14],RAP 合成级配及矿料合成级配见表 14,其中水泥为外掺,掺量为 1.5%。通过试验得到该级配下未二次老化 RAP 冷再生沥青混合料的最佳含水率为 4.8%,最佳乳化沥青用量为 4.3%;RAP 分别经过 3 d、7 d、10 d 二次老化时,RAP 级配与矿料级配未发生变化,其含水率、乳化沥青用量与老化前也基本一致。

表 14 冷再生混合料 RAP 合成级配及矿料合成级配

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%								
	26.500	19.000	13.200	9.500	4.750	2.360	0.300	0.075	
RAP	合成级配	100.0	88.3	—	54.1	34.5	19.4	4.3	3.3
	级配范围	100.0	80~100	—	45~65	25~50	17~40	3~17	2~8
抽提后矿料	合成级配	100.0	92.2	72.1	65.1	44.9	32.2	15.4	11.6
	级配范围	100.0	90~100	62~80	50~70	30~55	20~45	10~20	4~12

(3) 不同 RAP 老化程度下冷再生混合料性能对比。对 RAP 经过 3 d、7 d、10 d 二次老化与未进

行二次老化的冷再生沥青混合料进行性能对比试验,试验结果见表 15 和图 5。由表 15 可知:随着

表 15 不同 RAP 老化程度下冷再生混合料的马歇尔试验结果

二次老化时间/d	毛体积相对密度	空隙率/%	劈裂强度(15 °C)/MPa		冻融劈裂强度比/%
			干劈裂	湿劈裂	
0	2.284	8.6	0.89	0.81	90.6
3	2.272	9.0	0.84	0.72	85.1
7	2.264	9.4	0.80	0.71	88.8
10	2.257	9.6	0.76	0.68	89.5
设计要求	—	≤11.0	≥0.70	—	≥80.0

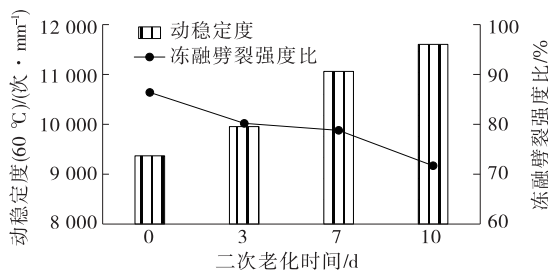


图 5 不同 RAP 老化程度下冷再生混合料的水稳定性及高温稳定性

RAP 二次老化时间的增加,乳化沥青冷再生混合料的马歇尔空隙率逐渐增大,干、湿劈裂强度逐渐降低,但总体仍高于设计要求,劈裂强度比基本相当。由图 5 可知:乳化沥青冷再生混合料的高温稳定性随着 RAP 老化时间的增加而提高,水稳定性随着 RAP 老化时间的增加而降低,RAP 老化 10 d 后,其冻融劈裂强度比已不满足设计要求(≥75%),即 RAP 中旧沥青针入度指标在 20 (0.1 mm) 以下时,冷再生混合料的冻融劈裂强度不满足设计要求。

2.3.3 不同合成级配冷再生混合料性能对比

(1) 冷再生混合料矿料级配设计。考虑到路面使用过程中 RAP 对厂拌乳化沥青冷再生混合料级配的影响^[15-16],提出冷再生沥青混合料双级配设计

方法,采用 3 组以 4.75 mm 筛网通过率 34%±3% 作为控制指标的 RAP 级配,并确定对应矿料级配,结果见表 16。

(2) 最佳乳化沥青用量。采用上述 3 组矿料级

表 16 不同 RAP 合成级配及对应矿料级配

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%								
	26.500	19.000	13.200	9.500	4.750	2.360	0.300	0.075	
RAP	级配一	100.0	88.3	—	54.9	37.3	20.9	4.4	3.4
	级配二	100.0	88.3	—	54.1	34.5	19.4	4.3	3.3
	级配三	100.0	88.3	—	53.3	31.7	17.9	4.2	3.3
	级配范围	100.0	80~100	—	45~65	25~50	17~40	3~17	2~8
抽提后矿料	级配一	100.0	92.1	72.0	65.2	46.9	33.6	15.9	12.0
	级配二	100.0	92.2	72.1	65.1	44.9	32.2	15.4	11.6
	级配三	100.0	92.2	72.1	64.9	42.8	30.8	14.9	11.2
	级配范围	100.0	90~100	62~80	50~70	30~55	20~45	10~20	4~12

注:RAP 级配一、级配二、级配三分别对应抽提后矿料级配一、级配二、级配三。

配进行冷再生配合比试验,确定不同合成级配下最佳含水率与最佳乳化沥青用量,其中水泥均为外掺,掺量为 1.5%,试验结果见表 17。

表 17 不同合成级配下最佳含水率与最佳乳化沥青用量

级配编号	最佳含水率/%	最佳乳化沥青用量/%
级配一	5.0	4.5
级配二	4.8	4.3
级配三	4.5	4.0

(3) 不同合成级配冷再生混合料性能对比。采用已确定的最佳含水率与最佳乳化沥青用量对 3 种级配冷再生混合料进行性能对比试验,试验结果见表 18 和图 6。由表 18 和图 6 可知:3 种级配冷再生混合料的马歇尔技术指标均较好;动稳定度随着合成级配的变化逐渐降低,最低为 9 015 次/mm,均处在较高水平,具有较好的高温稳定性;冻融劈裂强度比随着合成级配的变化先升高后降低,均高于设计要求。综合各项性能指标情况,级配一、级配二冷再

表 18 不同合成级配冷再生混合料马歇尔试验结果

级配编号	毛体积相对密度	空隙率/%	劈裂强度(15℃)/MPa		冻融劈裂强度比/%
			干劈裂	湿劈裂	
级配一	2.281	8.3	0.86	0.82	95.3
级配二	2.284	8.6	0.89	0.81	90.6
级配三	2.261	9.6	0.81	0.74	91.5
设计要求	—	≤11	≥0.7	—	≥80

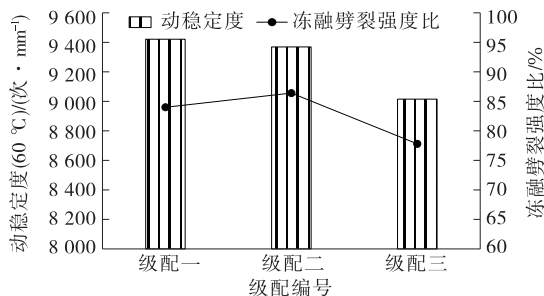


图 6 不同合成级配冷再生混合料的水稳定性及高温稳定性

生混合料的综合性能优于级配三,其中级配二的综合性能最优。

3 再生试验路工后评价

3.1 再生试验路长期性能跟踪观测

综上,再生 SMA-13 上面层的 RAP 掺量采用 25%、再生改性 AC-20C 中面层的 RAP 掺量采用 35%、下面层再生改性 AC-20C 的 RAP 掺量采用 45%、厂拌乳化沥青冷再生的 RAP 掺量采用 80%

时,混合料的路用性能良好。采用精细化的施工工艺进行再生试验路施工,沥青路面铺装效果良好^[17-19]。每年定期跟踪观测再生试验路的使用状况,连续 3 年在重载交通荷载作用下经过高温、雨季、低温的循环作用,路面使用状况良好,表面平整,未出现任何病害。通车后的各项技术指标见表 19。后续将进一步跟踪观测其长期使用性能。

表 19 再生试验路通车后的路面使用状况

检测时间	平整度/(m·km ⁻¹)	车辙深度/mm	路面状况
通车 1 年后	1.22	2.27	无病害
通车 2 年后	1.23	3.45	无病害
通车 3 年后	1.25	3.95	无病害
技术要求	≤2.00	≤10.00	—

3.2 经济效益及社会效益分析

厂拌热再生沥青路面综合费用包括路面回收材料破碎筛分、混合料各种材料、沥青混合料拌和和运输、路面铺筑等的费用。厂拌热再生改性 AC-20C 混合料 RAP 掺量按 25% 计,厂拌乳化沥青冷再生混合料 RAP 掺量按 80% 计,各种原材料以当地外购材料信息价为准,经测算,厂拌热再生改性 AC-20C 的价格比新改性 AC-20C 混合料节约 5%~10%,厂拌冷再生混合料的价格比普通沥青 ATB-25 节约 30% 左右,再生试验路整体可节约 15% 左右,经济效益显著。

沥青路面所用集料均是由矿产资源生产而成,属于不可再生资源,石场每生产 1 t 天然骨料,需要开采约 2 t 天然材料。采用再生技术,佛山一环西拓项目可节约天然碎石 20 余万 t。另外,采用再生技术,可减少因废料堆放或填埋造成的土地占用,节约土地资源,节省临时用地征地费和材料远距离运输费,同时减少运输对沿线产生的 CO₂ 和废气排放,减少固废材料对土壤和水资源的污染。总之,应用再生技术能变废为宝,具有极大的经济效益、社会效益和环境效益。

4 结论

为解决旧路改造过程中产生的道路固废材料,本文设计基于旧路改造的高掺量道路全断面再生结构方案,提出再生 SMA-13 磨耗层+高掺量厂拌热再生中下面层+乳化沥青厂拌冷再生基层的路面结构方案,并对高掺量多结构层的道路固废再生路面

混合料性能进行试验研究,结论如下:

(1) 再生 SMA-13 路用性能良好,与新料 SMA-13 基本相当;随着 RAP 掺量的增加,再生改性 AC-20C 的冻融劈裂强度比逐渐增大,动稳定度逐渐降低,但最低也有 7 442 次/mm;随着 RAP 老化时间的增加,乳化沥青冷再生混合料的马歇尔空隙率逐渐增大,干、湿劈裂强度逐渐降低,高温稳定性逐渐提高,水稳定性逐渐降低;优化合成级配可改善乳化沥青冷再生混合料的路用性能。

(2) 再生 SMA-13 上面层的 RAP 掺量宜采用 25%,再生改性 AC-20C 中面层的 RAP 掺量宜采用 35%,下面层再生改性 AC-20C 的 RAP 掺量宜采用 45%,厂拌乳化沥青冷再生的 RAP 掺量宜采用 80%。

(3) 通车 3 年后再生试验路的路面使用状况良好,表面平整,未出现任何病害。

(4) 从工程造价、节约能源、环境保护等方面综合考虑,再生技术的应用能起到变废为宝的效果,具有极大的经济效益、社会效益和环境效益。

参考文献:

- [1] 秦仁杰,刘朝晖,周科峰,等.郑洛高速公路旧路状况评价及加铺方案优化研究[J].中外公路,2007,27(4):79-82.
- [2] 黄红明,曾国东,周敏,等.基于路基路面综合评估的佛山一环高速化改造路面方案研究[J].中外公路,2019,39(4):47-53.
- [3] 周志刚,孙宁,杨文灿,等.厂拌热再生 SBS 改性沥青优化设计方法研究[J].公路交通科技,2017,34(11):15-22.
- [4] 陈泽宏.沥青混合料不同配合比设计方法对比研究[D].长沙:湖南大学,2013.
- [5] 李泉,吴超凡,方杨,等.厂拌热再生 SMA-13 沥青混合料性能研究与应用[J].公路工程,2022,47(5):137-142.
- [6] 王勋,黄红明.厂拌热再生沥青混合料性能影响试验研究[J].低温建筑技术,2016,38(5):27-29.
- [7] JIANG R N, ZHU B L, CHANG L, et al. The design of superpave compared with marshall design method[J]. MATEC Web of Conferences, 2016, 63: 02007.
- [8] MCCARTHY L, CALLANS J, QUIGLEY R, et al. Performance specifications for asphalt mixtures, NCHRP Synthesis 492[R]. Washington D C: Transportation Research Board, 2016.

(下转第 139 页)

续表 2

视频桩号	可视距离/m		设备类型	可视总长/m
	上行	下行		
K788+690	240	210	300 万 px	450
K790+100	100	0	200 万 px	100
K791+435	—	—	300 万 px	—
K791+550	300	50	—	350
K793+100	200	60	300 万 px	260
K794+000	—	—	高空	—
K794+440	100	60	300 万 px	160
K795+400	100	450	300 万 px	550
K796+580	180	70	300 万 px	250
K797+150	500	350	400 万 px	850
K798+150	350	200	300 万 px	550
K799+280	380	120	300 万 px	500
K799+890	490	210	400 万 px	700

4 结语

本文基于固定视频进行公路养护事件巡查覆盖率计算,通过调查分析,将道路工程养护事件分为沥青路面损坏事件、路基损坏事件、沿线设施损坏事件和绿化损坏事件。对利用固定视频进行道路养护的可视距离和覆盖率进行定义,提出基于固定视频的覆盖率计算方法。通过对不同养护事件可视距离的标定,计算路段视频覆盖率,为利用固定视频进行道

路养护巡查提供数据支撑。以 G104 徐州段为例,以坑槽为研究对象,对该路段每个摄像头进行可视距离标定,计算得到该路段固定视频对于坑槽的覆盖率为 57%,固定视频设备数量少,通过视频不能看到路面上所有坑槽,须增加固定视频设备数量。

参考文献:

[1] 姚佩林,路畅,赵李军,等.高速公路日常养护市场化管理模式研究[J].公路与汽运,2022(6):144-148.

[2] 刘发水,林晓威,张玲,等.福州市公路网智能巡查技术体系构建与应用[J].公路,2017,62(11):165-167.

[3] 浙江公路系统首架公路路网监测无人机投用[J].中外公路,2015,35(5):173.

[4] 张家松,黄洲,冷志明.自动化监测预警技术在公路隧道工程中的应用[J].公路,2021,66(6):416-418.

[5] 李家辉.某型清扫车路面垃圾识别及上装系统节能策略研究[D].长春:吉林大学,2020.

[6] 储志伟.采用双摄像头二次标定的扫地机器人覆盖率检测方法研究[D].杭州:杭州电子科技大学,2022.

[7] 杨光,张洪熙,方涛,等.基于改进 AdaBoost 算法的秸秆识别与覆盖率检测技术[J].农业机械学报,2021,52(7):177-183.

[8] 俞武扬.服务能力受损情景下的应急设施选址模型[J].控制与决策,2016,31(11):1979-1984.

[9] 交通运输部公路科学研究院.公路技术状况评定标准:JTG 5210—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.

收稿日期:2023-11-29

(上接第 77 页)

[9] 苏卫国,张旺.厂拌热再生中老化沥青有效再生率的研究[J].公路工程,2017,42(6):194-198.

[10] 兰青,徐伟,赵劲松,等.高比例 RAP 厂拌热再生沥青混合料在广惠高速公路试验与评价[J].公路工程,2013,38(4):79-83.

[11] 韩丁丁,张金喜,魏连雨.沥青混合料不同配合比设计方法设计效果的试验研究[J].公路,2015,60(10):204-208.

[12] 陈梓宁,程培峰.基于流变学原理的热再生沥青混合料旧料掺配比例[J].公路交通科技,2016,33(3):24-30.

[13] 梅朝阳,吴超凡,梁勇.厂拌冷再生沥青混合料生产工艺与质量控制[J].公路工程,2017,42(5):256-261.

[14] 徐日辉,黄红明.厂拌冷再生技术在佛山一环高速中的应用研究[J].公路与汽运,2021(1):83-86.

[15] 郝林,王文路,吴建灵,等.乳化沥青冷再生混合料成

型方法优化研究[J].公路,2023,68(1):333-344.

[16] 陈宇,曾俐豪,刘威勤,等.冷再生水性环氧树脂乳化沥青混合料路用性能研究[J].新型建筑材料,2023,50(6):127-130.

[17] 李正中,田克,柴东然,等.不同热再生拌和工艺对混合料再生效果的影响研究[J].中外公路,2019,39(2):227-231.

[18] CHEN T, MA T, HUANG X M, et al. The performance of hot-recycling asphalt binder containing crumb rubber modified asphalt based on physiochemical and rheological measurements[J]. Construction and Building Materials, 2019, 226: 83-93.

[19] 李雪连,郭甲林,崔之靖,等.再生 SBS 改性沥青的蠕变与松弛性能研究[J].交通科学与工程,2022,38(2):7-12+53.

收稿日期:2024-03-05