

不同 RAP 掺量 SMA 再生沥青混合料性能试验分析

李浩¹, 熊鑫¹, 李俊²

(1. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430056; 2. 交通运输部公路科学研究院, 北京市 100088)

摘要:为了对比不同 RAP 掺量的厂拌热再生 SMA 沥青混合料路用性能, 首先分析再生剂掺量对回收沥青针入度、软化点以及延度的影响, 并以 40% RAP 掺量为代表, 通过调试新料的矿料级配和油石比, 完成再生沥青混合料的配合比设计。然后与 SMA 沥青混合料进行对比, 选取 30%、40%、50% 3 个 RAP 掺量, 分析不同 RAP 掺量的再生沥青混合料路用性能。研究表明: 再生剂用量过大导致老化 SBS 改性沥青的软化点大幅衰减, 以软化点减小幅度不超过 10℃ 为基准, 确定再生剂掺量为 3%; 在 50% 的 RAP 掺量条件下, SMA 再生沥青混合料的各项路用性能指标均有所下降, 适宜的 RAP 掺量范围为 30%~40%。

关键词:道路工程; 厂拌热再生; RAP 掺量; SMA; 混合料性能

沥青路面在维修养护过程中, 由于铣刨重铺将会产生大量的回收沥青路面材料 (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP)。过去由于行业环保意识不足, RAP 料未得到有效的回收利用, 经常直接废弃处理。在国家大力倡导绿色养护的背景下, 采用厂拌热再生技术对 RAP 料予以利用, 是当下研究的热点内容之一^[1]。

理想情况下厂拌热再生混合料配合比设计应尽量增大 RAP 料的掺量, 但是再生沥青混合料的路用性能应与新拌沥青混合料相当, 或者不明显弱于新拌沥青混合料。因此在常规沥青混合料马歇尔配合比设计方法的基础上, RAP 料特性分析、再生沥青性能研究等尤为重要^[2-4]。曹卫东等^[5]通过理论推导建立了厂拌热再生混合料油石比快速预估方法; 周志刚等^[6]提出了一种综合考虑再生沥青技术性能和经济效益指标要求的再生沥青优化设计方法; 苏卫国等^[7]基于老化沥青、新沥青及再生剂的混溶机理, 对老化沥青的有效再生率进行了研究; 熊剑平等^[8]分析了拌和时间、拌和温度、RAP 预热温度等因素对老化沥青再生率的影响。RAP 料中集料密度差异将对再生沥青混合料的空隙率、合成级配产生较大的影响, 集料颗粒的迁移规律也会影响再生沥青混合料的均匀性, 因此 RAP 料稳定性对再生沥青混合料的路用性能十分重要^[9-10]。此外, 也有大量学者对厂拌热再生沥青混合料的各项路用性能进行研究, 分析了 RAP 掺量、再生剂等因素的影响, 但是研究对象多为不同层位 AC 沥青混合

料^[10-17]。

SMA 作为目前高速公路上面层最为常用的沥青混合料, 如能使用 RAP 料生产合格的 SMA 沥青混合料, 将有利于厂拌热再生技术的推广应用。因此该文采用 SMA 沥青路面铣刨得到的 RAP, 以 40% RAP 掺量为代表进行厂拌热再生沥青混合料的配合比设计, 并进一步对比分析了不同 RAP 掺量对再生沥青混合料路用性能的影响。

1 原材料

(1) 沥青

新沥青混合料采用 SBS 改性沥青拌制而成, SBS 改性沥青的各项指标检测结果如表 1 所示。

(2) 再生剂

采用 RA-75 型再生剂, 再生剂的各项技术指标检测结果如表 2 所示。

(3) 回收沥青路面材料 RAP

RAP 料的沥青混合料类型为 SMA-13。为了减少 RAP 料成团结块的现象, 使用破碎筛分机对 RAP 料进行处理, 破碎筛分机选用的筛孔为 6、11、16 mm, 将 RAP 料筛分为 0~6、6~11、11~16 mm 3 档, 从而与拌和站热料仓的筛网孔径保持一致, 保证 RAP 料的级配相对统一。

3 档料中 0~6 mm 含有较多的粉尘、泥土, 此次

表 1 SBS 改性沥青技术指标检测结果

指标	单 位	检测值	技术要求
针入度(25 ℃,100 g,5 s)	0.1 mm	70.5	50~80
软化点($T_{R\&B}$)	℃	88	≤60
延度(5 ℃,5 cm/min)	cm	36	≥30
溶解度	%	99.7	≥99
弹性恢复(25 ℃)	%	96.0	≥70
48 h 软化点差	℃	1.5	≤2.5
相对密度(25 ℃)		1.029	实测记录
TFOT 质量变化	%	-0.06	±0.6
后残 针入度比	%	75	≥65
留物 延度	cm	22	≥20

表 2 再生剂技术指标检测结果

项目	单位	检测值	技术要求
60 ℃黏度	cst	5 370	4 500~12 500
闪点	℃	241	≥220
饱和分含量	%	20.3	≤30
芳香分含量	%	64.2	实测
薄膜烘箱试验前后黏度比		1.3	≤3
薄膜烘箱试验前后质量变化	%	0.5	±3

配合比设计时未予以采用。对 6~11、11~16 mm 两档 RAP 料进行抽提筛分,试验结果如表 3 所示。两档 RAP 料的含水率、针片状颗粒含量和压碎值试验结果如表 4 所示。

表 3 两档 RAP 料抽提筛分试验结果

RAP 料/ mm	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%										油石比/ %
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
11~16	100	96.8	65.5	34.8	27.5	21.0	18.0	14.8	13.4	12.5	5.0
6~11	100	100	96.0	41.8	28.0	22.0	17.0	13.6	11.9	11.4	5.5

表 4 回收沥青路面材料 RAP 技术指标检测结果

RAP 料/mm	含水率/%	针片状含量/%	压碎值/%
6~11	1.0	2.7	—
11~16	0.8	1.5	15.4

(4) 其他原材料

采用的粗集料为 5~10、10~15 mm 玄武岩碎石,细集料为 0~3 mm 石灰岩机制砂,填料为石灰岩质矿粉,纤维为木质素纤维。采用的原材料技术性质均满足相关规范要求。

2 厂拌热再生 SMA 沥青混合料配合比设计

2.1 再生剂掺量确定

再生剂掺量以 RAP 料中旧沥青质量计,分别选取 2%、3%、4% 共 3 个掺量,不同掺量条件下再生沥青的针入度、软化点以及延度测试结果如图 1~3 所示。

由图 1~3 可知:与旧沥青三大指标相比,随着再生剂掺量的增大,再生沥青的针入度和延度逐渐增大,软化点逐渐减少,表明再生剂起到了明显的调和效果,因老化现象导致的沥青硬化得到一定程度的缓解。但是考虑到再生剂掺量过大时,沥青软化程度较高,在碾

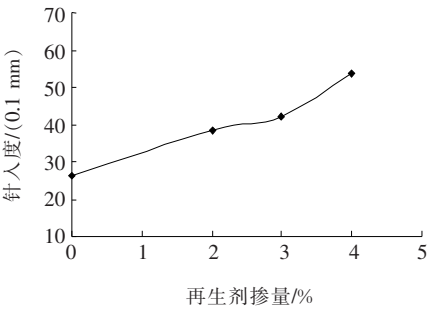


图 1 再生剂掺量与针入度关系

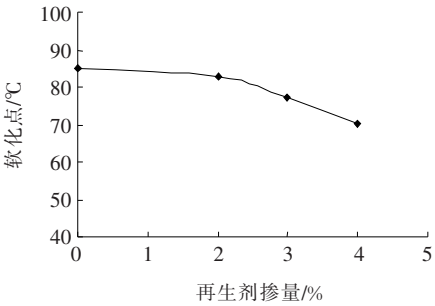


图 2 再生剂掺量与软化点关系

压过程中出现泛油的风险增大,并且高温稳定性也会受到影响。因此以软化点下降不超过 10 ℃为基准,推荐再生剂掺量为 3%。

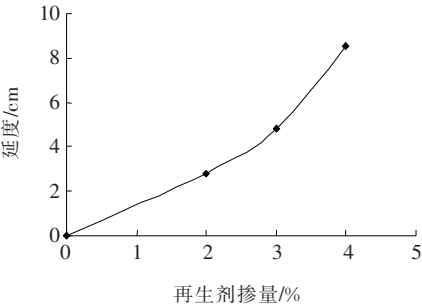


图 3 再生剂掺量与延度关系

2.2 矿料级配设计

通过对 6~11、11~16 mm 两档 RAP 料的产量进行估算,发现二者比例约为 3 : 2,因此为了减少 RAP 的浪费,将两档 RAP 料的内部掺配比定为 60 : 40。以 40%RAP 掺量为例,通过调整 3 组新料的矿料级配使再生沥青混合料矿料级配尽可能落入 SMA-13 矿料级配范围,并测试再生沥青混合料的空隙率和马歇尔稳定度,选取体积指标满足要求的新料级配开展后续研究。不同新料级配及再生料合成级配如表 5 所

表 5 不同新料级配及再生料合成级配

项目	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%										级配/%		
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	A	B	C
RAP 料 6~11 mm	100	96.8	65.5	34.8	27.5	21.0	18.0	14.8	13.4	12.5	16.0	16.0	16.0
RAP 料 11~16 mm	100	100	96.0	41.8	28.0	22.0	17.0	13.6	11.9	11.4	24.0	24.0	24.0
矿粉	100	100	100	100	100	100	100	99.8	98.0	83.8	4.5	4.2	3.9
0~3 mm	100	100	100	100	84.7	62.6	39.1	25.8	19.7	15.6	6.0	5.1	4.2
5~10 mm	100	100	96.9	4.9	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.9	14.1	12.3
10~15 mm	100	81.9	9.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.6	36.6	39.6
合成级配 A	100	93.4	62.7	27.1	20.9	16.9	13.8	11.7	10.6	9.4			
合成级配 B	100	92.9	60.1	25.8	19.8	16.0	13.2	11.1	10.1	9.1			
合成级配 C	100	92.3	57.4	24.5	18.7	15.2	12.5	10.6	9.6	8.7			

注:新料油石比为 6.4%,再生料合成油石比为 6.0%,木质素纤维掺量为新料的 0.25%。

示,不同新料级配条件下再生料的空隙率和马歇尔稳定度结果如图 4 所示。

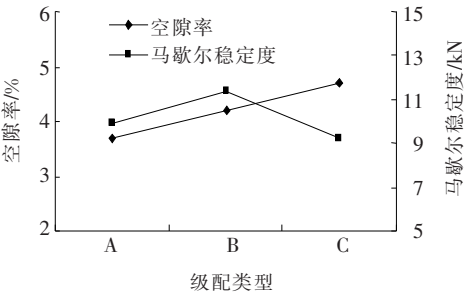


图 4 不同再生料空隙率和马歇尔稳定度

该文将再生料合成油石比暂定为 6.0%。由表 5 可知:调试的 3 组再生料合成级配均在 SMA-13 级配范围内。由图 4 可知:①从空隙率指标看,A、B、C 再生料空隙率分别为 3.7%、4.2%、4.7%,只有 A 级配再生料的空隙率在规范要求的 3%~4% 范围内。另外 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》规定,对高温稳定性要求较高的重交通路段或炎热地区,

设计空隙率允许放宽至 4.5%。B 级配再生料也可认为满足空隙率要求;②从马歇尔稳定度指标看,A、B、C 3 种再生料马歇尔稳定度分别为 9.9、11.4、9.2 kN。B 级配再生料最大,表明适当增大空隙率可以一定程度上提高沥青混合料的力学性能。但是 C 级配再生料的马歇尔稳定度较 B 级配有明显下降,与其空隙率过大有关。

综合考虑 3 组级配再生料的空隙率和马歇尔稳定度,以及路面实际施工时现场压实度可能低于室内试件击实程度的现象,为了避免过多出现空隙率或压实度不合格情况,推荐采用 A 级配作为厂拌热再生 SMA 沥青混合料的新料级配。

2.3 油石比确定

采用上述新料 A 级配,分别以合成油石比 5.5%、6.0%、6.5% 3 组油石比配制再生沥青混合料,此时新料的油石比分别为 5.6%、6.4%、7.2%。考虑到厂拌热再生沥青混合料多用于养护工程,混合料运输距离

和时间较长,为了避免混合料在运输过程中出现严重的析漏问题,该文将新料析漏损失作为油石比确定的技术指标之一。除此之外,将室内成型再生沥青混合料试件的马歇尔稳定度也作为油石比确定的另外一项技术指标。

不同油石比条件下新料析漏损失和再生料马歇尔稳定度测试结果如图5所示。

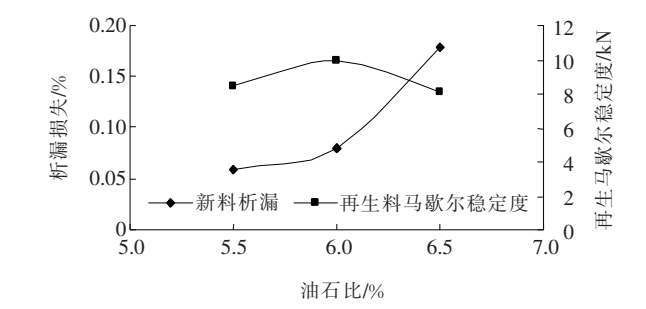


图5 新料析漏损失和再生料马歇尔稳定度

由图5可知:再生沥青混合料的油石比过大或过小均不利于其路用性能,再生沥青混合料的油石比为

5.5%和6.5%时其马歇尔稳定度均小于油石比为6%;另一方面,当再生沥青混合料的油石比为6.5%时,此时新料的油石比为7.2%,油石比明显偏高,新料析漏损失也达到0.18%,超出SMA沥青混合料0.1%的技术要求。综上所述,推荐再生沥青混合料的油石比为6.0%,此时新料的油石比为6.4%。

3 不同RAP掺量再生沥青混合料路用性能对比

为了分析RAP掺量对再生沥青混合料路用性能的影响,需要控制其他因素如矿料级配、油石比等尽量一致。以尽可能接近表5中40%RAP掺量下合成级配A,且维持合成油石比6.0%不变为原则,通过调整新料各档矿料比例,设计了30%和50%RAP掺量下再生沥青混合料。3种RAP掺量下再生沥青混合料的矿料级配如表6所示,各项路用性能检测结果如表7所示。

表6 不同RAP掺量下再生沥青混合料矿料级配

RAP 掺量/%	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
0	100	92.4	61.0	24.0	20.3	16.8	13.5	11.6	10.6	8.9
30	100	93.0	61.7	26.2	20.7	16.9	13.8	11.8	10.8	9.4
40	100	93.4	62.7	27.1	20.9	16.9	13.8	11.7	10.6	9.4
50	100	93.9	64.5	28.3	21.4	17.1	14.0	11.7	10.6	9.6

注:表中RAP掺量0代表未参加RAP的新拌沥青混合料。下同。

表7 不同RAP掺量下再生沥青混合料路用性能

RAP 掺量/%	空隙率/ %	马歇尔稳 定度/kN	析漏损 失/%	飞散损 失/%	动稳定度/ (次·mm ⁻¹)	低温破坏 应变/μϵ	残留稳定 度/%	残留强度 比/%
0	3.8	10.9	0.03	3.5	9 487	3 579	92.0	89.7
30	3.6	10.4	0.04	4.8	10 671	3 233	96.1	95.4
40	3.7	9.9	0.05	5.6	13 804	2 895	96.0	91.6
50	4.2	7.6	0.06	9.2	8 750	2 646	87.6	84.2

由表7可知:RAP掺量对再生沥青混合料路用性能影响显著。对于空隙率、马歇尔稳定度等体积指标,在RAP掺量为30%~40%时,二者与新拌沥青混合料相比基本维持一致,但是当RAP掺量为50%时,空隙率已经大于4%,并且马歇尔稳定度出现了明显降低。

由于再生沥青混合料的油石比为6%,属于最佳油石比范围内,因此不同RAP掺量的再生沥青混合

料析漏损失均小于0.1%,满足相关规范的要求。但是再生沥青混合料飞散损失则随着RAP掺量增大而不断增加,表明受到RAP掺量影响,再生混合料的抗飞散性能有所衰减。

对于高温稳定性,当RAP掺量为30%、40%时,再生沥青混合料动稳定度分别较新拌沥青混合料提高了12.5%、45.5%,但是当RAP掺量为50%时,动稳定度较新拌沥青混合料反而降低了7.8%;对于低温

抗裂性,随着 RAP 掺量增大,再生沥青混合料的破坏应变一直减少,表明掺加 RAP 会对再生沥青混合料的低温抗裂性产生不利影响;对于水稳定性,随着 RAP 掺量增大,再生沥青混合料的残留稳定性和残留强度比均先增大、后减小,RAP 掺量为 30% 时水稳定性最优,RAP 掺量为 50% 时,再生沥青混合料的水稳定性已经差于新拌沥青混合料。

RAP 掺量对再生沥青混合料路用性能的影响主要体现在两个方面:① 沥青路面的老化现象导致 RAP 料中旧沥青老化较严重,这从回收沥青的针入度偏小、软化点偏大,以及开展延度试验时沥青脆断可以得到验证。RAP 掺量越大,再生沥青混合料中旧沥青比例就越大,那么再生沥青的技术性质就越差。马歇尔稳定度、飞散损失以及低温破坏应变的持续减少与此有关。当然,老化沥青的重质组分比例较大导致沥青黏稠度增大,在一定条件下对沥青混合料的路用性能有利,如动稳定度、残留稳定性和残留强度比在 RAP 掺量为 30%~40% 时有所提升;② 由于 RAP 料含有沥青,因此对其加热时温度不宜过高,一般为 130~140℃。拌制再生沥青混合料时新料温度有限,导致 RAP 掺量较大时再生混合料的成型温度无法得到较好保证,这在路面现场施工时将会更加严重。由表 5 中 3 种 RAP 掺量下再生沥青混合料矿料级配可知,50% RAP 掺量下再生沥青混合料的矿料级配更细,但是其空隙率反而最大,主要原因在于马歇尔试件的成型温度不足。同样地,高掺量 RAP 再生沥青混合料的路用性能也会受到击实不足的显著影响。

4 结 论

(1) 对于老化 SBS 改性沥青,随着 RA-75 型再生剂掺量的增大,再生沥青的针入度和延度逐渐增大,软化点逐渐减少,以软化点下降不超过 10℃ 为基准,推荐再生剂掺量为 3%。

(2) 对于 SMA 再生沥青混合料,当 RAP 掺量为 50% 时,再生沥青混合料的各项路用性能指标均有所下降,与再生料中旧沥青比例较高,以及旧料加热温度有限、导致再生料压实不足有关,建议适宜的 RAP 掺量为 30%~40%。

参考文献:

- [1] 汪小东. 厂拌热再生沥青路面应用研究[J]. 公路, 2018, 63(12): 274—277.
- [2] 吴桂金. 厂拌热再生沥青混合料马歇尔配合比设计方法探讨[J]. 公路, 2011, 56(5): 185—187.
- [3] 李会娟, 郝培文, 于会江. 厂拌热再生沥青混合料配合比方法研究[J]. 中外公路, 2009, 29(6): 228—232.
- [4] 吴革森, 李裕洪, 司徒丽新, 等. 高掺量 RAP 厂拌热再生混合料配合比设计研究[J]. 公路, 2014, 59(10): 251—254.
- [5] 曹卫东, 王彬, 刘树堂, 等. 厂拌热再生沥青混合料最佳新沥青用量范围估算[J]. 中外公路, 2018, 38(6): 277—280.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 熊剑平, 李杨, 喻峥嵘. 厂拌热再生过程中旧沥青转移程度评价方法研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2016, 33(5): 35—38.
- [9] 方杨, 张国民, 王水声. 基于厂拌热再生技术的集料密度影响规律[J]. 建筑材料学报, 2014, 17(3): 548—552.
- [10] 郭德栋, 张圣涛, 李晋, 等. 厂拌热再生过程中旧矿料颗粒的迁移行为[J]. 山东大学学报(工学版), 2018, 48(2): 46—52.
- [11] 薛彦卿, 黄晓明. 厂拌热再生沥青混合料力学性能试验研究[J]. 建筑材料学报, 2011, 14(4): 507—511.
- [12] 王杰, 曾蔚, 张艳鸽, 等. 厂拌热再生改性沥青混合料的动态黏弹特性[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2019, 40(1): 114—119.
- [13] 方杨, 刘宇, 张国民. 高掺量 RAP 厂拌热再生混合料高温稳定性能研究[J]. 公路, 2013, 58(4): 99—102.
- [14] 王杰, 秦永春, 曾蔚, 等. 厂拌热再生 SBS 改性沥青混合料抗裂性能[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2019, 39(4): 27—34, 51.
- [15] 陈龙, 朱建勇, 何兆益, 等. 厂拌热再生沥青混合料低温抗裂与水稳定性研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2017, 36(4): 39—45, 76.
- [16] 方杨, 李善强, 刘宇. 厂拌热再生沥青混合料水稳定性能研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2013, 32(5): 961—964.
- [17] 秦炜. 高 RAP 掺量热再生混合料疲劳性能研究[J]. 公路工程, 2016, 41(1): 211—215.