

# 回收橡胶树脂改性剂对沥青混合料性能的影响

仇朝珍

(青海交通职业技术学院, 青海 西宁 810001)

**摘要:**该文研究了回收橡胶复合改性剂(简称 RRCM)对沥青三大指标、沥青抗老化性能、沥青混合料路用性能的影响。结果表明:RRCM 的加入使得沥青针入度降低,延度增加,软化点提高,当量软化点提高;热氧老化是沥青老化的主要原因,RRCM 可提高沥青的抗老化性能,提高沥青混合料的路用性能。综合比较分析,推荐采用 1# RRCM。

**关键词:** RRCM; 沥青针入度; 沥青延度; 沥青混合料

改性沥青通过掺加橡胶、树脂、高分子聚合物、磨细橡胶粉或其他填料等外掺剂(改性剂),或采取对沥青轻度氧化加工等措施,使沥青或沥青混合料的性能得以改善制成沥青结合料。工业固体废弃物逐年累积,不但占用大量的土地面积,更会对环境造成恶劣影响,将回收材料应用于沥青改性中,既可制作优良的改性沥青和改性沥青混合料,还可节约成本保护环境。为此,国内外道路工作者对此进行了大量的研究工作。RE Muthu 研究了废旧橡胶粉改性剂和低密度聚乙烯对沥青性能的影响,指出当废旧橡胶粉改性剂和低密度聚乙烯掺量达到一定比例后,沥青混合料具有良好的抗高温和低温性能;O Dasek 等研究了废旧橡胶粉对沥青老化性能的影响,指出,废旧橡胶粉可提高沥青抗老化性能;XH Kang 等研究了不同废旧橡胶粉掺量对路用性能的影响,指出废旧橡胶粉掺量为 15% 时,路用性能有明显改善;ZG Feng 等研究了由废旧橡胶粉制成的热解炭黑对混合料高温稳定性能的影响,指出热解炭黑可以提高混合料的高温性能;郭琦等研究了废旧橡胶粉掺量对基质沥青性能的影响,指出废旧橡胶粉对沥青性能有较大提升,当掺量为 18%~24% 时,橡胶沥青性能最优;朱梦良等研究了废旧橡胶复合改性沥青对混合料路用性能的影响,指出废旧橡胶复合沥青可以提高混合料的高温和水稳定性能;徐鸥明等研究了废旧橡胶掺量对橡胶改性技术的影响,指出掺废旧橡胶粉使得针入度减小,延度增大;牛冬瑜等研究了不同的剪切时间、温度、速率对废旧橡胶粉、地沟油复合改性沥青性能的影响,指出加工参数对复合改

性沥青性能起着决定性作用。上述研究无疑对研究改性沥青及废旧橡胶利用起到了重要作用,但是对回收橡胶粉、回收聚乙烯蜡、丁苯橡胶形成的复合改性剂沥青性能的相关研究较少,因此,该文研究回收橡胶树脂对改性沥青性能的影响。

## 1 原材料配合比及试验方案

### 1.1 原材料

(1) 沥青。采用中海 70A 基质沥青(简称 ZH),盘锦 70A 基质沥青(简称 PJ),东海 70A 基质沥青(简称 DH),其技术指标均满足相关规范要求。

(2) 回收聚乙烯蜡。采用黑色块体回收聚乙烯蜡(简称 RPW),其技术指标略。

(3) 回收橡胶粉。回收橡胶粉(简称 CRP)的技术指标见表 1。

表 1 橡胶粉技术指标

项目	水分/ %	丙酮提 取物/%	灰分含 量/%	橡胶烃 含量/%	天然橡胶 含量/%
实测值	0.5	10	6	30	35
技术指标	<1	<22	≥8	≥28	≥30

(4) 丁苯橡胶。采用 PSBR1502 丁苯橡胶,其技术指标略。

(5) 集料。采用石料厂生产的粗集料、机制砂和矿粉,其技术指标略。

收稿日期:2019-10-13(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51301023)

作者简介:仇朝珍,男,硕士,讲师.E-mail:1121660646@qq.com

1.2 配合比

拟采用 AC-20 沥青混合料级配,为增加试验的可靠性采用两组级配,为表述方便简称 JP1 和 JP2(表

2),根据 JTJ 052-2000《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》采用马歇尔方法确定 JP1 最佳油石比为 4.0%,JP2 最佳油石比为 3.9%。

表 2 AC-20 沥青混合料两种级配

级配	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%											
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
JP1	100	96.3	86.2	73.1	61.3	38.2	29.0	20.0	16.4	10.5	7.6	3.7
JP2	100	96.3	86.2	76.1	67.3	46.2	30.0	20.0	16.4	11.5	9.2	3.2

1.3 试验方案

1.3.1 回收橡胶树脂复合改性剂配比

回收橡胶树脂是 RPW 与 CRP 经高温裂解的产物。回收橡胶树脂与 SBR 形成的复合改性剂称为回收橡胶复合改性剂(为方便表述简称为“RRCM”)。优化的 RRCM 成分配比见表 3。

表 3 RRCM 成分配比

型号	RPW : SBR : CRP	型号	RPW : SBR : CRP
1#	55 : 35 : 10	2#	45 : 35 : 20

1.3.2 老化试验方法

设计了两种老化试验方法,热氧老化采用薄膜烘箱试验模拟沥青的热氧老化,老化时间为 5 h,试验温

度为 163 ℃;紫外老化采用聚合物紫外老化箱进行,老化时间为 5 h,紫外线强度为 8 000 μW/cm<sup>2</sup>,试验中不进行加热,采用灯光散热效应增加沥青温度,试验过程控制沥青表面温度低于 100 ℃。

2 RRCM 对沥青性能的影响

2.1 RRCM 对沥青三大指标的影响

为了验证 RRCM 对沥青三大指标的影响,选择 3 种沥青 ZH、PJ、DH 进行沥青三大指标试验,掺入 12%的 RRCM,不同沥青掺入不同型号的 RRCM 后,其性能对比结果见表 4。

表 4 不同沥青性能对比试验结果

沥青种类	RRCM 掺入类型	10 ℃延度/cm	25 ℃针入度/(0.1 mm)	软化点/℃	当量软化点 T <sub>800</sub> /℃	当量脆点 T <sub>1.2</sub> /℃	塑性温度范围 ΔT/℃	针入度指数
ZH	参照组	16	75.0	56.0	50	-15	65	-0.596
	1#	>150	38.7	71.5	56	-9	65	-0.551
	2#	>150	40.2	71.5	56	-11	67	-0.323
PJ	参照组	17	68.0	54.0	49	-12	61	-0.923
	1#	>150	41.1	66.5	55	-10	65	-0.506
	2#	>150	39.7	69.5	57	-11	68	-0.291
DH	参照组	18	70.0	56.0	50	-14	64	-0.551
	1#	>150	42.3	70.5	57	-13	70	-0.017
	2#	>150	38.7	68.5	58	-13	71	0.067

注:参照组指不掺入 RRCM。下同。

由表 4 可知:

(1) RRCM 的加入使得沥青针入度降低,两种型号的 RRCM 对沥青针入度影响相差不大,基本上从 70(0.1 mm)降到 40(0.1 mm),沥青针入度反应沥青的感温性能,针入度降低说明沥青的感温性能降低,说

明沥青的抗高温性能提高;RRCM 的掺入可以提高沥青的延度,3 种基质沥青延度刚刚满足规范要求,掺入 RRCM 后,沥青 10 ℃延度基本为 150 cm 以上;RRCM 的掺入可以使沥青的软化点提高 20 ℃左右。这是因为,橡胶粉颗粒和沥青中的胶质结合在一起,形

成一种新的分散质,在一定的温度搅拌下,使得分散质能和沥青界面较好地结合,黏结性较好,随着橡胶粉掺量的增加,沥青分子和橡胶粉结合形成的分散质数量增加,并且,未发生反应的橡胶粉和沥青胶体中的分散质相互亲和,结合的几率增大,起到了很好的改性作用。

(2) 针入度指数真正能反映沥青的感温性能。沥青的针入度指数一般为-1.0~+1.0,针入度指数过大路面容易产生车辙,过小容易产生低温裂缝。在加入 RRCM 之后,3 种基质沥青的针入度指数都变大,说明 RRCM 可提高沥青的高温抗车辙、低温抗开裂性能。

(3) RRCM 可提高沥青的当量软化点,至少提高 5℃;RRCM 对沥青塑性温度范围影响不大,说明

RRCM 没有明显提高基质沥青的低温性能;3 种基质沥青的塑性温度范围  $\Delta T$  比较小,为 63℃左右,而 SBS 的塑性温度区间为 70℃左右,明显比基质沥青大。RRCM 的加入,提高了沥青的塑性温度区间,提高幅度为 6℃左右,达到了与 SBS 相近的程度。其原因在于,RRCM 大幅提高了沥青的当量软化点  $T_{800}$ 、而当量脆点  $T_{1.2}$  又与基质沥青相差不大,这样就增加了沥青作为黏弹性体的温度区间,提高了沥青的气候分区适应性。

2.2 RRCM 对改性沥青老化性能的影响

为了研究 RRCM 对沥青混合料老化性能的影响,选择 3 种沥青 ZH、PJ、DH 进行沥青薄膜老化和紫外线老化,掺入 10% 的 RRCM,不同沥青掺入不同型号的 RRCM 后,试验结果见表 5。

表 5 不同沥青老化试验结果

编号	RRCM 掺入类型	原样沥青			薄膜老化			紫外老化		
		软化 点/℃	10℃延 度/cm	25℃针入 度/(0.1 mm)	软化 点/℃	10℃延 度/cm	25℃针入 度/(0.1 mm)	软化 点/℃	10℃延 度/cm	25℃针入 度/(0.1 mm)
ZH	参照组	56.0	16	75.0	58.5	8	44.7	57.5	10	47.3
	1#	71.5	>150	38.7	73.5	36	35.3	72.5	46	38.5
	2#	71.5	>150	40.2	74.5	39	41.0	71.5	52	35.0
PJ	参照组	54.0	17	68.0	55.5	7	39.9	56.5	9	52.2
	1#	66.5	>150	41.1	66.5	32	33.6	65.0	51	43.0
	2#	69.5	>150	39.7	70.5	37	38.3	70.0	55	31.5
DH	参照组	56.0	18	70.0	57.5	11	47.4	57.0	15	53.6
	1#	70.5	>150	42.3	70.0	40	47.8	71.5	52	44.3
	2#	68.5	>150	38.7	67.5	35	39.1	68.0	49	35.1
SBS	参照组	71.0	>150	71.0	72.5	76	55.0	71.0	86	48.9

由表 5 可知:

(1) 经过薄膜老化、紫外线老化后,SBS 改性沥青、基质沥青、掺回收橡胶树脂的沥青,与未老化前沥青相比,针入度明显降低。这是因为紫外线的老化和热氧老化一样,使得沥青中芳香芬含量降低,胶质含量增加,沥青变硬;SBS 改性沥青紫外线老化后的针入度小于热氧老化后的针入度,说明 SBS 改性沥青对紫外老化更为敏感;RRCM 的掺入使得沥青的针入度减小,紫外线老化的针入度小于热氧老化后的针入度,说明 RRCM 改性沥青对紫外老化更为敏感,因为在 RRCM 中,含有回收的 PE 原材料,这些原材料在生产时就有一部分热稳定剂在里面,但光稳定剂较少,所以

RRCM 改性沥青在热氧老化情况下有一定的抵抗性能,而对紫外线较为敏感。而且 1# RRCM 和 2# RRCM 之间的区别是 PR 中橡胶粉掺量的多少,1# RRCM 橡胶粉的比例较 2# RRCM 多了 10%。

(2) 经过薄膜老化、紫外线老化后,SBS 改性沥青、基质沥青、掺回收橡胶树脂的沥青,与未老化前沥青相比,延度明显降低;热氧老化是沥青老化的主要原因,SBS 改性沥青的 10℃延度,经历薄膜老化后,下降 40%以上,经历紫外线老化后,下降 30%以上;基质沥青的 10℃延度,经历薄膜老化后,下降 50%以上,经历紫外线老化后,下降 40%以上。RRCM 改性沥青 10℃延度,经历薄膜老化后,下降 50%以上,经历紫外

线老化后,下降 40%以上。这是因为道路沥青的老化是由于沥青中活性基团与空气中的氧气和紫外线反应的结果,产物主要为羰基与亚砷官能团,深度老化有可能生成羧基官能团。分子间的缔合与缩聚作用,使得老化后沥青的平均分子量增加。从组成与性质上分析,老化后沥青中胶质减少,沥青质增加,软化点升高,黏度增大,针入度与延度下降。

(3) 经过薄膜老化、紫外线老化后,SBS 改性沥青、基质沥青、掺回收橡胶树脂的沥青,软化点略微提升,但是变化并不明显。这是因为 SBS 改性沥青和 RRCM 中的热稳定剂起到了抵抗热氧化和紫外线老化的作用。

3 RRCM 对沥青混合料路用性能的影响

3.1 RRCM 对沥青混合料高温稳定性能的影响

为了研究 RRCM 对沥青混合料高温稳定性能的影响,选择 ZH、PJ、DH 3 种沥青,JP1 和 JP2 两组级配,掺入 10%的 RRCM,进行混合料高温稳定性试验,按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》成型车辙板,不同沥青混合料动稳定度试验结果见表 6。

对表 6 中数据进行归一化处理,其结果见表 7。

表 6 不同沥青混合料动稳定度试验结果 次/mm

级配	ZH			PJ			DH		
	参照组	1#	2#	参照组	1#	2#	参照组	1#	2#
JP1	2 636	6 643	5 562	3 224	8 479	7 157	4 468	11 930	9 025
JP2	1 831	4 448	3 661	2 461	5 956	4 873	2 883	6 688	5 362

表 7 不同沥青混合料动稳定度试验结果归一处理结果

级配	ZH			PJ			DH		
	参照组	1#	2#	参照组	1#	2#	参照组	1#	2#
JP1	1.00	2.52	2.11	1.00	2.63	2.22	1.00	2.67	2.02
JP2	1.00	2.43	2.00	1.00	2.42	1.98	1.00	2.32	1.86

由表 6、7 可知,RRCM 可提高沥青混合料高温抗车辙性能,1# RRCM 沥青混合料抗高温性能优于 2# RRCM,1# RRCM 至少可提高沥青混合料高温稳定性 132%,这是因为 RRCM 可降低沥青混合料感温性能,增加沥青黏度,使得沥青混合料黏结性能增大,因此混合料高温稳定性能提高。

3.2 RRCM 对沥青混合料低温抗裂性能的影响

为了研究 RRCM 对沥青混合料低温抗裂性能的

影响,选择 ZH、PJ、DH 3 种沥青,JP1 和 JP2 两组级配,掺入 10%的 RRCM,进行混合料低温抗裂性能试验,按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》成型车辙板,将车辙板切成棱柱体小梁试件,尺寸为 250 mm×30 mm×35 mm,不同沥青混合料抗弯拉应变见表 8,抗弯拉强度见表 9。

对表 8、9 中数据进行归一化处理,其结果见表 10、11。

表 8 不同沥青混合料抗弯拉应变试验结果  $\mu\epsilon$

级配	ZH			PJ			DH		
	参照组	1#	2#	参照组	1#	2#	参照组	1#	2#
JP1	2 666	2 632	2 600	2 432	2 386	2 371	2 832	2 816	2 803
JP2	2 122	2 118	2 100	2 015	2 000	1 986	2 623	2 620	2 598

表 9 不同沥青混合料抗弯拉强度试验结果 MPa

级配	ZH			PJ			DH		
	参照组	1#	2#	参照组	1#	2#	参照组	1#	2#
JP1	3.2	4.8	3.8	2.9	4.4	3.4	3.8	5.1	4.2
JP2	2.8	4.0	3.7	2.3	3.8	2.3	3.2	4.6	3.6

表 10 不同沥青混合料抗弯拉应变试验结果归一处理结果

级配	ZH			PJ			DH		
	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>
JP1	1.00	0.99	0.98	1.00	0.98	0.97	1.00	0.99	0.99
JP2	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	0.99

表 11 不同沥青混合料抗弯拉强度试验结果归一处理结果

级配	ZH			PJ			DH		
	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>
JP1	1.00	1.50	1.20	1.00	1.55	1.18	1.00	1.33	1.09
JP2	1.00	1.42	1.31	1.00	1.63	1.00	1.00	1.42	1.11

由表 8~11 可知:RRCM 可提高沥青混合料低温抗裂性能,1<sup>#</sup> RRCM 沥青混合料抗高温性能优于 2<sup>#</sup> RRCM,1<sup>#</sup> RRCM 至少可提高沥青混合料抗弯拉强度 33%,这是因为 RRCM 可降低沥青混合料感温性能,增加沥青黏度,使得沥青混合料黏结性能增大,因此混合料低温抗裂性能性能提高。

3.3 RRCM 对沥青混合料水稳定性能的影响

为了研究 RRCM 对沥青混合料水稳定性能的影响,选择 ZH、PJ、DH 3 种沥青,JP1 和 JP2 两组级配,掺入 10%的 RRCM,进行混合料水稳定性试验,按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规

程》成型马歇尔试件,采用浸水马歇尔残留稳定度 MS<sub>0</sub>和冻融劈裂强度比 TSR 作为水稳定性评价指标。不同沥青混合料马歇尔残留稳定度、冻融劈裂强对比试验结果见表 12、13。

对表 12、13 中数据进行归一化处理,其结果见表 14、15。

由表 12~15 可知:1<sup>#</sup> RRCM 可提高沥青混合料的水稳定性能,马歇尔残留稳定度至少可提高 13%,冻融劈裂强度比至少可提高 14%;2<sup>#</sup> RRCM 使得沥青混合料的冻融劈裂强度比降低,这是因为 RPW 可提高沥青混合料的水稳定性,随着 RPW 的减少,沥青

表 12 不同沥青混合料马歇尔残留稳定度试验结果 %

级配	ZH			PJ			DH		
	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>
JP1	89.6	112.0	103.2	92.5	116.5	103.6	93.0	113.5	108.8
JP2	88.5	107.1	104.7	91.0	113.0	102.6	90.8	107.1	103.8

表 13 不同沥青混合料冻融劈裂强度比试验结果 %

级配	ZH			PJ			DH		
	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>
JP1	86.6	99.0	53.7	79.3	92.0	52.3	79.6	91.1	53.3
JP2	80.2	90.8	44.1	74.1	85.4	42.2	75.5	87.4	39.3

表 14 不同沥青混合料马歇尔残留稳定度试验结果归一处理结果

级配	ZH			PJ			DH		
	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>
JP1	1.00	1.25	1.15	1.00	1.26	1.12	1.00	1.22	1.17
JP2	1.00	1.21	1.18	1.00	1.24	1.13	1.00	1.18	1.14

表 15 不同沥青混合料冻融劈裂强度比试验结果归一处理结果

级配	ZH			PJ			DH		
	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	参照组	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>
JP1	1.00	1.14	0.62	1.00	1.16	0.66	1.00	1.14	0.67
JP2	1.00	1.13	0.55	1.00	1.15	0.57	1.00	1.16	0.52

混合料的水稳定性降低。

4 结论

(1) 研究了 RRCM 对沥青三大指标的影响,结果表明:RRCM 的加入使得沥青针入度降低,两种型号的 RRCM 对沥青针入度影响相差不大,基本上从 70 (0.1 mm)降到 40(0.1 mm);RRCM 的掺入可以提高沥青的延度,3 种基质沥青延度刚刚满足规范要求,掺入 RRCM 后,沥青 10 ℃ 延度基本为 150 cm 以上;RRCM 的掺入可以提高沥青的软化点,大约 20 ℃;提高沥青的当量软化点至少 5 ℃。

(2) 研究了 RRCM 对沥青抗老化性能的影响,结果表明:经过薄膜老化、紫外线老化后,掺回收橡胶树脂的沥青,与未老化沥青相比,针入度明显降低,RRCM 的掺入使得沥青的针入度减小,紫外线老化针入度小于热氧老化后的针入度;与未老化沥青延度相比,延度明显降低,热氧老化是沥青老化的主要原因;与未老化沥青软化点相比,软化点略微提升,但是变化并不明显。

(3) 研究了 RRCM 对沥青混合料路用性能的影响,结果表明:RRCM 可提高沥青混合料的路用性能,推荐采用 1<sup>#</sup> RRCM,高温稳定性能至少提高 132%,低温性能中抗弯拉强度至少提高 33%,水稳定性至少提高 13%。

参考文献:

[1] 吴坚.改性乳化沥青稀浆封层路面质量控制[J].中国公路,2009(7).  
[2] 夏泽沛.废油在沥青路面材料中的应用研究进展[J].石油沥青,2016(2).

[3] Muthu R E.Modified Bitumen from Waste Materials — Rubber Crumb & Low Density Polyethylene(LDPE)[D]. University Teknologi Petronas,2013.  
[4] Dasek O, Hyzl P, Coufalik P. Properties and Ageing of Crumb Rubber Modified Bitumens[J]. Key Engineering Materials,2017,737:535—540.  
[5] 康晓惠,包惠明.新型废胶粉改性沥青混合料的路用性能试验研究[J].山东交通科技,2008(4).  
[6] Feng Z G, Rao W Y, Chen C, et al. Performance Evaluation of Bitumen Modified with Pyrolysis PJ Carbon Black Made from Waste Tyres[J].Construction & Building Materials, 2016, 111:495—501.  
[7] 郭琦,宋莉芳,梁晓忠,等.废旧胶粉掺加量对基质沥青性能的影响[J].公路,2014(4).  
[8] 朱梦良,胡杰.橡胶粉复合改性沥青及沥青混合料性能研究[J].公路,2007(11).  
[9] 徐鸥明,张壮,杨晨,等.胶粉掺量及存储时间对橡胶沥青技术性质的影响[J].中外公路,2015(5).  
[10] 牛冬瑜,马英新,仁乾龙珠,等.加工参数对地沟油/废旧橡胶粉复合改性沥青性能的影响[J].江苏大学学报(自然科学版),2018(3).  
[11] Hussein IA,Iqbal MH,Al—Abdul—Wahhab HI. Influence of Mw of LDPE and Vinyl Acetate Content of Eva on the Rheology of Polymer Modified Asphalt[J].Rheologica Acta, 2005, 45(1): 92—104.  
[12] 谭忆秋,王佳妮,冯中良,等.沥青结合料紫外老化机理[J].中国公路学报,2008(1).  
[13] 张葆琳.基于红外光谱的沥青结构表征研究[D].武汉理工大学硕士学位论文,2014.  
[14] 秦德峰.SBS 改性沥青重复老化与再生研究[D].武汉理工大学硕士学位论文,2015.  
[15] JTJ 052—2000 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].