

# 掺钢渣再生沥青混凝土的制备及路用性能研究

沈凡<sup>1</sup>, 庞若楠<sup>1</sup>, 韦国苏<sup>1</sup>, 卢吉<sup>2</sup>

(1. 武汉工程大学 材料科学与工程学院, 湖北 武汉 430205; 2. 武汉市市政建设集团有限公司)

**摘要:** 再生沥青混凝土制备过程中仍需耗费大量的天然石材,天然石材的开采对环境造成了一定的破坏。该文采用钢渣与回收沥青路面材料 RAP 作为集料加入新沥青制备掺钢渣再生沥青混凝土,制备 RAP 掺量分别为 25%、30%、35% 的 AC-13 掺钢渣再生沥青混凝土,通过试验研究不同 RAP 掺量下的 AC-13 掺钢渣再生沥青混凝土的高温稳定性、水稳定性以及力学性能、低温性能规律,并制备 RAP 掺量为 11% 的 SMA-13 掺钢渣再生沥青混凝土,评价 SMA-13 掺钢渣再生沥青混凝土的路用性能。试验结果表明:AC-13 掺钢渣再生沥青混凝土的动稳定度均大于 2 300 次/mm,且随着 RAP 掺量增加而降低;AC-13 掺钢渣再生沥青混凝土的浸水残留稳定度均大于 80%,满足规范要求;AC-13 混合料的劈裂强度可达 2 MPa 以上,高于普通沥青混凝土;AC-13 混合料的低温弯曲应变均为 2 400 以上,且随着 RAP 掺量增加而降低。SMA-13 混合料各项性能指标也均达到规范要求。

**关键词:** 掺钢渣再生沥青混凝土;回收路面材料(RAP);钢渣;路用性能

中国在 20 世纪 80—90 年代修建了大量的沥青混凝土路面,按照路面交通规范要求的设计寿命为 10~15 年计算,国家“十三五”期间,中国将有超过总里程数 35% 的沥青道路需要进行翻修,产生的废弃沥青混合料将达到 34 亿 t。针对此类问题,研究人员围绕沥青混凝土的再生技术开展了大量的研究工作,开发出沥青再生技术。其主要技术原理是:通过再生剂恢复废弃沥青混凝土中老化沥青的性能,并将回收沥青混凝土与新集料、新沥青通过组成优化设计,从而制备出满足使用要求的再生沥青混凝土材料。此技术通常采用开采的天然石材充当新集料,大量天然石材的开采会对环境产生破坏。而钢渣的堆存对环境尤其是土壤造成了严重的污染,使用钢渣代替天然石材作为再生沥青混凝土的新集料可提高其消纳率。丁庆军在钢渣作为沥青混凝土集料的研究中发现钢渣内部  $f-CaO$  及  $f-MgO$  的消解产物是氢氧化钙与氢氧化镁,这些会导致钢渣体积的膨胀,但钢渣在使用前一般会进行陈化处理,陈化 6 个月以后的活性成分可以减少到一定程度可用于沥青混合料当中。随着研究的推进,热闷工艺的使用可以使钢渣中游离的氧化钙和氧化镁遇水蒸气发生水解反应。这种水解反应消除了钢渣的不

稳定性。中国于 2016 年也发布了 JT/T 1086—2016《沥青混合料用钢渣》规范对钢渣的规格、技术要求等作了规定。但目前钢渣在沥青混凝土中应用的研究对象主要是钢渣与天然集料所制备的钢渣沥青混凝土,钢渣作为新集料用于再生沥青混凝土的研究还鲜有报道。针对以上问题,该文以回收沥青路面材料(RAP)和工业废弃物钢渣为全部集料制备掺钢渣再生沥青混凝土,设计两种级配类型 AC 和 SMA,研究不同 RAP 掺量下掺钢渣再生沥青混凝土路用性能及力学性能的变化规律。

## 1 掺钢渣再生沥青混凝土试验设计

试验组采用钢渣与 RAP 为集料进行沥青混凝土的拌制,设计级配为 AC-13, RAP 掺量分别为 25%、30%、35%,添加钢渣、矿粉和新的基质沥青制备 RAP 掺量不同的 AC-13 型掺钢渣再生沥青混凝土。为了对比试验制备了 RAP 掺量为 11% 的 SMA-13 掺钢渣再生沥青混凝土试件(RAP 作为细集料掺入, SMA 中细集料用量较少,所以掺量仅为 11%)。对比组 1 的 RAP 掺量为 0%,集料全部采用钢渣,级配设计类

收稿日期:2020-02-10(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51302198);武汉工程大学第十届研究生教育创新基金资助项目(CX2018068);武汉工程大学科学研究基金资助项目(K201302);武汉市市政建设集团有限公司科技计划项目(wszky201814)

作者简介:沈凡,男,博士,副教授。E-mail:shenf@wit.edu.cn

型为 AC-13,对照组 2 的 RAP 掺量为 0%,集料全部采用石灰石,级配设计类型为 AC-13。对比组 3 和对比组 4 的集料分别全部采用钢渣和石灰石,RAP 掺量为 0%,设计类型均为 SMA-13(对比组 1、2、3、4 在下文中简称 D1、D2、D3、D4)。采用沥青混合料车辙试验、浸水马歇尔试验、劈裂试验、低温弯曲试验,研究

RAP 掺量的变化对掺钢渣再生沥青混凝土体积指标和路用性能、力学性能的影响规律,以评价路面类型的各项性能指标。

1.1 试验材料

(1) 采用的钢渣为存放 1 年的热闷渣,对其吸水率、密度以及力学性能进行试验,结果如表 1 所示。

表 1 钢渣物理性能试验结果

项目	针片状颗粒含量 (9.5 mm 集料)/%	黏附性/ 级	浸水膨 胀率/%	磨耗值/ %	压碎值/ %	吸水率/ %	表观相对密度
试验结果	8.3	5	1.5	21.5	15.4	1.5	3.189
规范要求	≤12	≥5	≤1.8	≤33	≤22	≤3	

注:参考规范为 JT/T 1086-2016《沥青混合料用钢渣》。

(2)RAP:回收废弃沥青混凝土的基本信息如表 2 所示,通过高温燃烧炉法处理后进行水筛,得到 RAP 的级配和油石比如表 3 所示。采用离心抽提法,与旋

转蒸发器法对老化沥青进行抽提分离,并测试沥青老化后的软化点、针入度、延度、黏度指标,结果如表 4 所示。

表 2 回收废弃沥青混凝土的基本信息

使用年 限/年	级配形式	铣刨深 度/mm	铣刨机型号	铣刨速度/ (km·h <sup>-1</sup> )	沥青种类
15	AC-13C	4	SM-100	3	AH-70 <sup>#</sup>

表 3 RAP 油石比及级配

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	
100	94.3	84.0	57.5	34.4	20.7	10.6	5.8	3.0	1.8	4.9

表 4 老化沥青性能指标

软化点/ ℃	针入度/ (0.1 mm)	15 ℃延度/ cm	135 ℃黏度/ (Pa·s)
76	31	38	1 350

(3) 沥青:使用 70<sup>#</sup> 基质沥青。改性沥青采用 I-D 改性沥青,纤维为聚酯纤维,掺量为混合料质量的 0.3%。

(4) 天然集料和矿粉:天然集料为石灰石,矿粉为石灰石矿粉。毛体积密度为 2.690 g/cm<sup>3</sup>,吸水率为 0.4%。

1.2 级配设计及试验内容

1.2.1 级配设计

3 组不同 RAP 掺量的试验组与对比组最佳油石比及配合比见表 5。表 5 中 D2 所用的 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup> 料为石灰石,其他组所用的 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup> 料均为钢

渣。合成级配、级配中值及级配范围如表 6 所示,制备的掺钢渣沥青混合料的沥青包括 RAP 中的老化沥青和新沥青,油石比为混合料中沥青用量与集料用量的比值。因钢渣的密度远大于 RAP 的密度,设计配合比为体积配合比,但在混凝土制备中质量配合比更便于称量,参照文献[14]提出的密度换算方法,换算得到质量配合比见表 7。

同样的体积配合比—质量配合比换算方法对 AC-13 所有试验组进行换算,结果如表 8 所示。

另外一组试验组的 RAP 掺量为 11%,目标空隙率为 4%,级配设计类型为 SMA-13。最佳油石比及配合比见表 9,表 9 中 RAP 掺量为 11%的试验组和 D3 所用的 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup> 料为钢渣,D4 所用的 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup> 料为石灰石。合成级配、级配中值及级配范围如表 10 所示。根据同样的体积配合比—质量配合比换算方法对配合比进行换算,结果见表 11。

表 5 AC-13 型钢渣再生沥青混凝土配合比及最佳油石比

RAP 掺量/%	配合比/%						最佳油石 比/%
	1# (9.5~ 13.2 mm)	2# (4.75~ 9.5 mm)	3# (2.36~ 4.75 mm)	4# (0~ 2.36 mm)	矿粉	RAP	
25	29.0	21.0	5.5	15.0	4.5	25.0	4.6
30	28.0	20.0	2.5	15.0	4.5	30.0	4.7
35	27.0	19.0	2.5	12.0	4.5	35.0	4.7
0(D1)	35.0	30.0	7.0	23.0	5.0	0	4.6
0(D2)	36.0	29.0	6.0	24.0	5.0	0	4.6

表 6 AC-13 型钢渣再生沥青混凝土合成级配

项目	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
合成级配	25	100	97.8	74.9	42.5	29.4	22.8	15.3	10.4	8.0	6.3
	30	100	97.7	74.9	42.3	30.5	23.8	15.8	10.7	8.1	6.4
	35	100	97.6	74.8	42.0	29.2	22.2	14.7	10.1	7.7	6.2
	0(D1)	100	98.1	74.6	39.5	29.7	25.1	17.5	11.9	9.2	7.2
	0(D2)	100	98.3	74.4	39.8	29.4	25.2	17.4	12.0	9.5	7.5
级配中值		100	95.0	70.0	41.5	30.0	22.5	16.5	12.5	8.5	6.0
级配范围		100~100	90~100	60~80	30~53	20~40	15~30	10~23	7~18	51~2	4~8

表 7 RAP 掺量为 25% 的 AC-13 掺钢渣沥青混合料体积配合比—质量配合比换算

项目	设计配合比 $P_n/\%$	毛体积相对 密度 $\gamma_n$	换算后的质量配合比	
			质量分量 $P_n \times \gamma_n$	$P_n \times \gamma_n / \sum (P_n \times \gamma_n) \times 100$
钢渣	9.5~13.2 mm	29.0	3.189	92.48
	4.75~9.5 mm	21.0	3.189	66.97
	2.36~4.75 mm	5.5	3.189	17.54
	0~2.36 mm	15.0	3.189	47.84
	RAP	25.0	2.434	60.85
矿粉	4.5	2.690	12.11	4.1
合计	100	100		

表 8 AC-13 体积配合比—质量配合比换算结果

RAP 掺量/%	配合比/%						最佳油石 比/%
	1# (9.5~ 13.2 mm)	2# (4.75~ 9.5 mm)	3# (2.36~ 4.75 mm)	4# (0~ 2.36 mm)	矿粉	RAP	
25	31.1	22.5	5.9	16.1	4.1	20.4	4.6
30	30.4	21.7	2.7	16.3	4.1	24.8	4.7
35	29.7	20.9	2.7	13.2	29.4	4.2	4.7
0(D1)	35.0	30.0	7.0	23.0	5.0	0	4.6

表 9 SMA-13 型钢渣再生沥青混凝土配合比及最佳油石比

RAP 掺量/%	配合比/%						油石比/ %
	1# (9.5~ 13.2 mm)	2# (4.75~ 9.5 mm)	3# (2.36~ 4.75 mm)	4# (0~ 2.36 mm)	矿粉	RAP	
11	53	20	0	6	10	11	6.0
0(D3)	50	24	9	7	10	0	5.9
0(D4)	51	23	8	8	10	0	5.9

表 10 SMA-13 型钢渣再生沥青混凝土合成级配

级配		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
合成 级配	RAP 11%	100	96.9	59.9	30.1	20.1	17.5	14.4	12.4	11.4	10.7
	RAP 0(D3)	100	97.3	63.8	29.7	19.1	16.2	13.9	12.1	11.3	10.7
	RAP 0(D4)	100	98.4	63.0	29.6	19.5	16.3	12.9	12.5	11.5	10.5
级配中值		100	95.0	62.5	27.0	20.5	19.0	16.0	13.0	12.0	10.0
级配范围		100~100	90~100	50~75	20~34	15~26	14~24	12~20	10~16	9~15	8~12

表 11 SMA-13 体积配合比—质量配合比换算结果

RAP 掺量/%	配合比/%						油石比/ %
	1# (9.5~ 13.2 mm)	2# (4.75~ 9.5 mm)	3# (2.36~ 4.75 mm)	4# (0~ 2.36 mm)	矿粉	RAP	
11	55.3	20.9	0.0	6.3	8.8	8.8	6.0

1.2.2 试验内容

(1) 体积指标

按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中的标准击实法制作标准马歇尔试件,测定试件的毛体积密度、矿料间隙率、沥青饱和度,对混合料的体积指标进行评价。

(2) 高温稳定性性能试验

通过车辙试验评价混凝土的高温稳定性能,按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》T0719—2011 进行车辙试验。

(3) 水稳定性

通过浸水马歇尔试验对混合料的水稳定性能进行评价,浸水马歇尔试验参照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》T0709—2011 进行。

(4) 劈裂试验

通过劈裂试验对沥青混合料在规定温度和加载速率时的劈裂破坏或处于弹性阶段的力学性质进行评价。劈裂试验参照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》T0716—2011 进行。

(5) 低温弯曲试验

弯曲蠕变试验参照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》T0728—2000 进行。试验环境温度为-10℃。

2 试验结果及分析

2.1 体积指标

按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中的标准击实法制作标准马歇尔试件,测定试件的毛体积密度、矿料间隙率、沥青饱和度,对混合料的体积指标进行评价。试验结果见表 12、13。

(1) 由表 12 可知:RAP 掺量为 25%、30%、35% 时的掺钢渣再生沥青混凝土空隙率均满足设计规范 3%~5% 的要求,3 组试件的 VMA(矿料间隙率)均≥17%(规范要求≥14%);除 RAP 掺量为 35% 的混合料 VFA(沥青饱和度)略高于 75%外,其他组的 VFA 均为 70%~75%(规范要求 65%~75%),满足规范要求。RAP 掺量为 30%与 RAP 掺量为 35%的混合料所用油石比相同,但 RAP 掺量不同,则 RAP 掺量为 35%的混合料热拌融合后沥青多于 RAP 掺量为 30%

表 12 AC-13 掺钢渣再生沥青混凝土体积指标

RAP 掺量/%	最大理论密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	毛体积密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	空隙率/%	VMA/%	VFA/%	马歇尔稳定度/kN
25	2.749	2.747	4.9	17.8	72.5	23.22
30	2.760	2.639	4.4	17.1	74.3	23.07
35	2.760	2.759	4.3	17.9	75.9	20.49
0(D1)	2.787	2.789	4.3	16.3	73.6	24.00
0(D2)	2.649	2.530	4.4	15.7	74.1	12.33

表 13 SMA-13 掺钢渣再生沥青混凝土体积指标

RAP 掺量/%	最大理论密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	毛体积密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	空隙率/%	VMA/%	VFA/%	马歇尔稳定度/kN
11	2.832	2.731	3.6	16.7	78.5	11.89
0(D3)	2.931	2.820	3.7	16.1	77.0	12.52
0(D4)	2.679	2.581	3.7	15.8	74.7	7.60

的混合料,RAP 掺量为 35% 的混合料沥青饱和度略高。相对于 D1 和 D3 钢渣沥青混凝土而言,RAP 的掺入会降低掺钢渣再生沥青混凝土的马歇尔稳定度,且随着 RAP 掺量的增大而降低。但掺钢渣再生沥青混凝土的马歇尔稳定度均大于 20.00 kN,相对于 D2 和 D4 普通沥青混凝土,在满足规范要求的基础上,高于普通沥青混凝土。

(2) 由表 13 可得:掺钢渣再生沥青混合料制备的 SMA-13 的空隙率、VMA、VFA 等各项体积指标均满足规范要求。

## 2.2 高温稳定性

通过车辙试验评价混凝土的高温稳定性能,按照 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》进行车辙试验。结果见表 14。

表 14 AC-13 掺钢渣再生沥青混凝土车辙试验结果

RAP 掺量/%	动稳定度/ (次 $\cdot \text{mm}^{-1}$ )	RAP 掺量/%	动稳定度/ (次 $\cdot \text{mm}^{-1}$ )
0(D2)	2 100	30	2 505
0(D1)	2 774	35	2 431
25	2 575		

由表 14 可知:RAP 掺量为 25%、30%、35% 时掺钢渣再生沥青混凝土动稳定度均大于 2 000 次/mm(规范要求 1 000 次/mm),较高于普通沥青混凝土 D2。但是随着 RAP 掺量的增加,AC-13 掺钢渣再生沥青混凝土的动稳定度逐渐降低,这是因为虽然 RAP 中老化沥青黏度大于新沥青,可提高混合料的劲度,从

而提高混合料的高温性能,但由于加入新沥青后沥青黏度被调和,从而 RAP 掺量的增加对混合料的劲度提高能力不明显;另一方面,因为钢渣大部分作为粗集料加入,因其本身材料模量大,所以沥青混凝土的动稳定度会增加,表明钢渣的掺入可改善混凝土的高温性能。RAP 掺量增加,钢渣的掺量减少,所以混合料的动稳定度逐渐下降。

## 2.3 水稳定性

浸水马歇尔试验结果如表 15 所示。

表 15 AC-13 掺钢渣再生沥青混凝土浸水残留稳定度试验结果

RAP 掺量/%	浸水残留稳定度/%	RAP 掺量/%	浸水残留稳定度/%
0(D2)	80.2	30	83.1
0(D1)	82.3	35	78.1
25	85.4		

由表 15 可得:除 RAP 掺量为 35% 的试验组外,各组的浸水残留稳定度均大于 80%。但是随着 RAP 掺量的增加,混合料的浸水残留稳定度降低,且 RAP 为 25% 的混合料浸水残留稳定度高于对比组 1,这是因为 RAP 刚刚加入混合料时,再生混合料模量增加,从而水稳定性会增加,但随着旧料的掺量增大,再生料的抗水损害能力会降低,且混合料中旧料的增多使得混合料受老化沥青的影响要大于再生沥青混凝土模量增加的影响,所以水稳定性会下降。主要是因为水进入了骨料和沥青界面之间,逐渐使沥青与骨料脱落形

成界面破坏,RAP 的老化沥青与骨料之间黏附性低于新沥青与骨料,所以水会更加容易进入,形成界面破坏降低水稳定性。但是对比 D2 和 D1 组可知,钢渣的加入可提高混合料的水稳定性,所以掺钢渣再生沥青混凝土的水稳定性依然可满足规范要求。

## 2.4 劈裂试验

劈裂试验结果如表 16 所示。

表 16 AC-13 掺钢渣再生沥青混凝土  
劈裂强度试验结果

RAP 掺量/ %	劈裂强度/ MPa	RAP 掺量/ %	劈裂强度/ MPa
0(D2)	1.93	30	2.27
0(D1)	2.83	35	2.17
25	2.71		

由表 16 可得:AC-13 掺钢渣再生沥青混凝土劈裂强度呈下降趋势,主要因为旧料的老化影响会增加降低劈裂强度。RAP 增加则混合料的劈裂强度降低,但钢渣沥青混凝土的劈裂强度(D1)明显大于普通沥青混凝土(D2),则说明钢渣的劲度模量大,可提高混合料抗弯效果,3 组试验组的劈裂强度仍大于普通沥青混凝土。

## 2.5 低温性能

低温弯曲蠕变试验结果如表 17 所示。

表 17 AC-13 掺钢渣再生沥青混凝土  
低温弯曲蠕变试验结果

RAP 掺量/ %	梁底弯拉 应变/ $\mu\epsilon$	RAP 掺量/ %	梁底弯拉 应变/ $\mu\epsilon$
0(D2)	1 907.8	30	2 503.5
0(D1)	2 673.4	35	2 483.3
25	2 594.7		

由表 17 可知:AC-13 掺钢渣再生沥青混凝土的梁底弯拉应变值均大于普通沥青混凝土。但是随着 RAP 掺量的增加,混合料的梁底弯拉应变值逐渐减小,但仍大于普通沥青混凝土,由此可得钢渣的掺入可提高再生沥青混合料的低温性能,但随着 RAP 掺量的增加,再生沥青混合料的低温性能逐渐降低。根据低温破坏原理,低温断裂过程中,裂缝扩散中遇到的粒径越大,裂缝就会更容易沿着颗粒表面延伸展开。结合混合料的合成级配结果(表 6)可知,混合料 4.75 mm 通过率随着 RAP 掺量的增加而降低,级配逐渐变“粗”,RAP 掺量的增加使混合料的级配变粗从而降低了混合料的低温性能。但由于钢渣的掺入,钢渣与沥

青的黏结性较强,可对低温性能有较大改善,掺钢渣再生沥青混合料的低温性能仍优于普通沥青混凝土。

## 2.6 SMA-13 试验结果与分析

SMA 试验结果如表 18 所示。

表 18 SMA-13 掺钢渣沥青混凝土性能试验结果

RAP 掺量/ %	动稳定度/ (次 $\cdot$ mm $^{-1}$ )	浸水残 留稳定 度/%	劈裂 强度/ MPa	梁底弯拉 应变/ $\mu\epsilon$
11	3 773	82.1	1.86	2 572.1
0(D1)	3 983	88.8	1.93	2 698.6
0(D2)	3 212	92.5	1.06	2 241.2

由表 18 可知:SMA-13 高低温性能、水稳定性以及劈裂强度满足规范要求,且优于普通沥青混凝土。

## 3 结论

(1) 钢渣与 RAP 作为全部集料制备的 AC 和 SMA 型掺钢渣再生沥青混凝土,其高低温性能、劈裂强度、水稳定性均满足路面设计规范要求,掺钢渣再生沥青混凝土用于路面铺装,可提高 RAP 与钢渣的消纳率。

(2) RAP 掺量的增加会降低掺钢渣再生沥青混凝土的高温性能和低温性能,钢渣相比于天然集料与 RAP 制备再生沥青混合料时,钢渣有助于提高再生沥青混合料的高低温性能,RAP 掺量为 35%时,混合料的动稳定度仍可达到 2 431 次/mm,梁底弯拉应变可达到 2 483.3  $\mu\epsilon$ 。RAP 掺入会降低沥青混合料的水稳定性,掺入钢渣后可得到改善,掺钢渣再生沥青混凝土在 RAP 掺量为 30%时浸水残留稳定度为 83.1%,满足规范要求。另外,掺钢渣再生沥青混凝土的劈裂强度也随 RAP 掺量的增加而降低,但均大于 2 MPa,仍高于普通沥青混凝土。

(3) SMA-13 掺钢渣再生沥青混凝土的动稳定度可达 3 773 次/mm,劈裂强度为 1.86 MPa,梁底弯拉应变也可达 2 572.1  $\mu\epsilon$ ,浸水残留稳定度为 82.1%,均满足规范要求。

## 参考文献:

- [1] 钟交.“十三五”交通运输发展实现良好开局—《2016 年交通运输行业发展统计公报》评读[J]. 珠江水运,2017(8).
- [2] 交通运输部.2016 年交通运输行业发展统计公报(摘录)[Z],2017.

# 基于高黏剂改性透水沥青混合料的工艺对比研究

陈超<sup>1</sup>, 范子然<sup>2,3</sup>, 李闯民<sup>2,3</sup>

(1. 萍乡经济开发区农技水利站, 江西 萍乡 33700; 2. 长沙理工大学 交通运输工程学院;  
3. 长沙理工大学 道路结构与材料交通行业重点实验室)

**摘要:**为了探讨干法和湿法工艺制备高黏剂改性透水沥青混合料的性能差异,该文采用干法和湿法两种工艺制作透水沥青混合料,并对透水沥青混合料马歇尔试件稳定度、流值、析漏、飞散、冻融劈裂比、动稳定度等技术指标进行试验与分析。试验结果表明:相同掺量下,湿法制备的高黏改性透水沥青混合料的各项性能均优于干投法制备的性能,当干投法高黏剂掺量增加4%时,干法与湿法制作的透水沥青混合料性能相当。因此,工程实际中考虑到现场改性沥青的制备设备费和加工费,推荐采用在干法中增加高黏剂掺量制备出性能满足技术要求的高黏剂改性透水沥青混合料工艺。

**关键词:**透水沥青混合料;高黏剂;干法;湿法;性能

## 1 前言

随着公路的建设与发展,“海绵城市”公路建设慢慢走进大众的视野,力推环保与绿色公路的建设与运行,透水沥青路面是目前广大学者研究的重中之重,与传统路面相比,透水沥青路面空隙率达到了18%~25%,在满足透水功能前提下,透水沥青路面的承载力颇受研究者担忧,为确保路面有足够的承载力且具有良好的抗车辙和抗剥落性能,高黏改性材料的性能和应用工艺是解决透水沥青路面出现病害的重要因素。

在国外,尤其是日本和荷兰,由于常年多雨,透水沥青路面的应用比较普遍,透水沥青混合料中改性剂,主要有SBS、TPS高黏剂和橡胶3种,应用最多的是前两种。大量实践表明:这几种改性剂对提高透水沥青路面性能效果显著。在中国透水沥青路面中,初期大多使用日本进口TPS高黏剂,但由于成本高的缘故没能大量推广。近几年研制了国产高黏剂,在提高透水沥青路面的抗车辙、耐久性等方面进行了大量的探索,并取得了显著效果。纵观国内外研究成果,在透水沥青路面中高黏剂的应用有两种方式:一种为成品改性(湿法);另一种为直投式改性(干法)。干法工艺是

- \*\*\*\*\*
- [3] 周育名,李金明,肖利明.我国公路养护行业现状及发展前景展望[J].华东公路,2010(6).
  - [4] 何兆益,陈龙,等.厂拌热再生沥青混合料力学性能及应用研究[J].建筑材料学报,2016(5).
  - [5] 杨彦海,张群,纪文强.SMA路面就地热再生技术试验研究及性能评价[J].中外公路,2016(4).
  - [6] 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(4).
  - [7] 庞琦,孙国强,孙大权.再生混凝土集料用于沥青混合料研究进展[J].石油沥青,2017(3).
  - [8] Asphalt Hot-Recycling[J].Journal of Central South Highway Engineering,2006.

- [9] Yonggang W,Kejian L,Feng Y,et al.The Recycling of Waste Asphalt[J].Science & Technology of Leic,2003.
- [10] 鲍世辉.高旧料掺量再生沥青混凝土配合比设计研究[D].东南大学硕士学位论文,2015.
- [11] 丁庆军,李春,彭波,等.钢渣作沥青混凝土集料的研究[J].武汉理工大学学报,2001(6).
- [12] 安连志.钢渣热闷工艺的设计与应用[J].金属世界,2015(1).
- [13] JT/T 1086-2016 沥青混合料用钢渣[S].
- [14] 牛哲.钢渣沥青混合料的制备与性能研究[D].东南大学硕士学位论文,2016.

收稿日期:2019-12-21(修改稿)

基金项目:湖南省教育厅科研项目(编号:18A117);湖南省自然科学基金资助项目(编号:2019JJ40312)

作者简介:陈超,男,硕士,工程师.E-mail:284922619@qq.com