

SHAC-13 多碎石高黏沥青混凝土性能研究

王建洁 李冬

天津市交通运输基础设施养护集团有限公司, 中国·天津 300201

摘要: 论文对高黏改性沥青技术进行研究, 结合骨架密实结构矿料级配检验方法和高黏改性沥青特性, 通过提高沥青动力黏度和提升沥青混合料油膜厚度, 确定了 SHAC-13 骨架密实结构矿料级配, 分析比对了多碎石高黏沥青混合料高低温性能, 采用循环冻融劈裂试验验证多碎石高黏沥青混合料耐久性。

关键词: 动力黏度; 沥青膜厚度; SHAC-13; 高黏改性

Research on the Performance of SHAC-13 Stone and High-viscosity Asphalt Concrete

Jianjie Wang Dong Li

Tianjin Transportation Infrastructure Maintenance Group Co., Ltd., Tianjin, 300201, China

Abstract: This research focuses on the high-viscosity modified asphalt technology. By integrating the inspection method of the mineral aggregate gradation of the skeleton-dense structure and the characteristics of high-viscosity modified asphalt, the mineral aggregate gradation of the SHAC-13 skeleton-dense structure is determined through increasing the dynamic viscosity of asphalt and the thickness of the asphalt film in asphalt mixtures. The high - and low - temperature performances of the high - stone - content and high-viscosity asphalt mixtures are analyzed and compared, and the durability of the stone and high-viscosity asphalt mixtures is verified by the cyclic freeze-thaw splitting test.

Keywords: dynamic viscosity; asphalt film thickness; SHAC-13; high-viscosity modification

0 前言

随着沥青路面使用年限的增长及温度、荷载、水等环境条件的影响, 沥青混合料路用性能呈下降趋势, 主要包括老化耐久性、塑变耐久性、疲劳耐久性三方面^[1]。由于光照、降水、高温、风化等多种情况引起的一系列化学物理过程, 伴随着老化时间的增长, 沥青混合料在抵抗低温稳定性及水稳定性方面的能力降低, 沥青路面易产生断裂及破碎等情况; 沥青混合料在高温情况重载交通反复作用下会产生不可恢复的塑性变形, 路面变形对交通行驶及人身安全有着重要的威胁; 沥青混合料疲劳呈现的是网状破坏, 当疲劳开裂出现时将导致行车颠簸, 对驾驶舒适性有着严重的影响。延长道路沥青路面使用寿命, 实现沥青路面材料技术高质量发展, 成为当今的重要研究方向。

一方面, 沥青黏度越高, 在高温环境下, 高黏度沥青越能够约束集料的移动, 有效减少车辙的产生^[2]。另一方面, 提高沥青膜厚度可以延缓沥青混合料老化, 提升沥青混合料疲劳耐久性和抗裂性^[3]。较厚的沥青膜可以使集料之间的粘结更加牢固, 降低水对集料与沥青界面粘结力的破坏, 还可以减轻紫外线对沥青的老化作用, 延长混合料的使用寿命^[4]。疲劳寿命随着油石比的变化均存在峰值, 疲劳寿命出现峰值的油石比并非马歇尔方法确定的最佳油石比, 而是要比马歇尔方法确定的最佳油石比大 1.0%~1.8%, 即沥青膜厚度提高 30% 左右^[5]。

沥青膜厚度和沥青黏度是相互关联的, 它们共同影响沥青混合料的性能。一般来说, 沥青黏度越高, 在相同的集料和沥青用量情况下, 沥青膜厚度可能越厚。这是因为高黏度的沥青流动性差, 不容易在集料表面流淌, 从而能够更好地附着在集料上, 形成相对厚的沥青膜。高黏度沥青形成的厚沥青膜能更好地抵御水分的侵入和紫外线的老化作用, 使混合料在长期使用过程中保持良好的性能。

提升沥青 60℃动力黏度可以提供更强的对集料骨架的约束能力, 以抵抗集料颗粒之间的相对移动和剪切变形, 提高沥青层的整体稳定性和高温稳定性^[6]。为提升沥青混合料耐久性, 论文研究了 60℃动力黏度 200000Pa·s 以上的复合高黏高弹改性沥青, 提出了基于骨架密实和高黏改性研究的 SHAC-13 型多碎石高黏改性沥青混凝土。通过提高混合料中的骨架嵌挤效应和沥青胶结材料性能, 改善沥青混合料结构的高温稳定性; 通过大幅度提升沥青动力黏度, 增大沥青膜厚度, 综合提高沥青混合料抗老化、抗疲劳开裂能力。

1 复合高黏高弹改性沥青

1.1 沥青配比

本研究选择鑫海 AH-70 号沥青、1301 型线性 SBS, 为保证改性沥青的稳定性、SBS 溶胀分散效果, 添加 0.15% 利德凯威改性沥青稳定剂和 2% 糠醛油, 并按不同 SBS 掺量以及与高黏改性剂复配进行了 60℃动力黏度试验。确定复合高黏高弹改性沥青配比。

由图 1 结果可以看出, 单纯提高 SBS 掺量提升 60℃动力黏度, SBS 需要达到 8% 以上。SBS 掺量过大容易导致沥青混合料在搅拌和摊铺过程中难度增大, 不易施工; 改性沥青的稳定性降低, 容易出现离析现象; 改性沥青太“硬”, 导致沥青低温抗裂性能变差。通过 SBS 与高黏改性剂复配, 当 SBS 掺量达到接近 6% 时, 沥青的 60℃动力黏度能够达到 200000Pa·s 以上。确定复合高黏高弹改性沥青配比如表 1 所示。

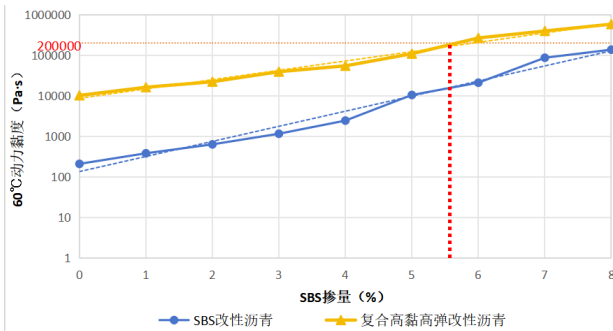


图 1 不同 SBS 掺量与复合高黏高弹改性沥青的 60℃动力黏度对比

表 1 SBS 复合高黏改性沥青配合比

材料	基质沥青	SBS	高黏改性剂	糠醛油	稳定剂
配比, %	100	6	8	2	0.15

1.2 沥青性能

采用以上配比进行剪切、发育制备的复合高黏高弹改性沥青技术指标如表 2 所示。

表 2 复合高黏高弹改性沥青技术性能

试验项目	试验结果
针入度 (25℃, 100g, 5s) / 0.1mm	39
软化点 /℃	103.5
延度 (5℃) /cm	38
60℃动力黏度 / (Pa·s)	232388.6
弹性恢复 (25℃) /%	97
TFOT 后残留延度 (5℃) /cm	18

复合高黏高弹改性沥青软化点接近 100℃, 在高温下具有更好的稳定性。弹性恢复性能显著优于 SBS I-D 改性沥青, 在承受多次重复荷载作用时, 具有更好的抗疲劳性能, 能够有效延缓路面疲劳破坏的产生, 一定程度上吸收和分散变形应力, 减少路面的开裂。SBS I-D 改性沥青 60℃动力黏度一般为 2000~6000Pa·s, 而复合高黏高弹改性沥青 60℃动力黏度可达 200000Pa·s 以上, 相比透水沥青路面所用高黏度改性沥青“不小于 20000Pa·s”的技术要求还高很多^[7]。动力黏度越大, 沥青对集料移动的约束能力越强, 为密实级配混合料沥青膜厚度增大提供沥青性能条件。

较厚的沥青膜其抗老化方面具有显著效果。沥青膜厚度对沥青短期老化影响如表 3 所示。

表 3 沥青膜厚度对沥青老化的影响

试验项目	标准 50g 试样	非标准 65g 试样
TFOT 后残留延度 (5℃) /cm	18	27
与老化前延度降低幅度, %	53	29

沥青薄膜加热试验中盛样皿中沥青试样重量要求 50g ± 0.5g。通过短期加热模拟沥青混合料拌和、运输过程中沥青老化程度。按沥青膜厚度增大 30% 进行沥青薄膜加热试验后, 沥青短期老化幅度由原来的 53% 降低至 29%。所以, 沥青膜厚度增大能够有效降低沥青老化, 使得在寒冷的气候条件下保持较好的柔韧性, 减少路面的开裂现象。

2 多碎石高黏沥青混合料

2.1 矿料级配设计

论文通过骨架密实结构检验方法—VCA_{DRU} 方法对 SHAC-13 型多碎石高黏沥青混合料矿料级配进行设计验算。粗集料应该互相紧密接触, 作为承受行车荷载的主体。细集料、填料和沥青形成的沥青砂胶则填充在粗集料骨架的孔隙中, 同时将粗集料胶结在一起, 共同承受行车荷载的反复作用。为了避免沥青面层泛油和产生辙槽, 沥青混凝土还必须要有 3%~5% 的空隙率^[8]。VCA_{DRU} 方法矿料级配检验基本方程如下。

$$\text{骨架空隙} - \text{预留空隙率} = \frac{\text{有效细集料体积} + \text{有效矿粉体积}}{\text{有效沥青体积}} \quad \text{式 (1)}$$

即:

$$\frac{P_{ca}}{\gamma_s} \times (VCA_{DRC} - VV) = \frac{P_{fa}}{\gamma_{fa,e}} + \frac{P_{fi}}{\gamma_{fi,e}} + \frac{P_{be}}{\gamma_b} \quad \text{式 (2)}$$

式中: VV——空隙率 (%);

P_{ca}——矿料级配中粗集料含量百分率 (%);

P_{fa}——矿料级配中细集料含量百分率 (%);

P_{fi}——矿料级配中填料含量百分率 (%)。

其中, P_{ca} + P_{fa} + P_{fi} = 100%。

γ_s——粗集料干捣实毛体积相对密度;

VCA_{DRC}——干捣实粗集料间隙率 (%), VCA_{DRC} =

$$\left(1 - \frac{\gamma_s}{\gamma_a}\right);$$

γ_{ca}——粗集料骨架的合成毛体积相对密度;

P_{be}——有效沥青含量 (%);

γ_{fa,e}——细集料有效相对密度;

γ_{fi,e}——填料有效相对密度, 等同于填料的表现相对密度;

γ_b——沥青相对密度。

AC、SMA 等传统沥青混合料沥青膜厚度基本为 7μm 左右, 而论文采用高黏高弹沥青使沥青膜厚度增大至 10μm 以上, 使沥青混合料具备良好的抗裂、抗冲击断裂的韧性^[9]。沥青用量增大, 需适当降低填料用量使骨架密实

验算等式成立。按 10~15mm : 5~10mm : 机制砂 : 矿粉 =41% : 33% : 21% : 5%, 油石比 6.0% 进行级配检验计算。按式 2 计算得出, 干捣实粗集料间隙率 VCA_{DRU} 为 38.5%, 沥青胶砂体积为 34.9%, 理论计算空隙率为 3.6%。

从表 4、图 2 SHAC-13 合成矿料级配可以看出, 粗集料用量与 SMA 相当, 不添加纤维, 填料用量少, 通过提高沥青自身的高温稳定性代替沥青玛蹄脂对沥青的吸附作用; 相比 AC 沥青混合料细集料用量降低 10% 左右, 油石比提高约 12%, 沥青膜厚度相比传统密实级配沥青混合料的 $6\sim 8\mu m$ ^[5] 提升至 $10.79\mu m$ 。通过沥青增黏与骨架级配设计验算, 从根本上改变了沥青混合料中集料的分布方式, 形成以沥青胶结料填充为主的全新嵌挤结构。

表 4 SHAC-13 多碎石高黏沥青混凝土矿料级配

级配类型	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
SHAC-13	100	97.0	63.5	31.1	22.9	17.0	13.3	9.3	7.4	6.0

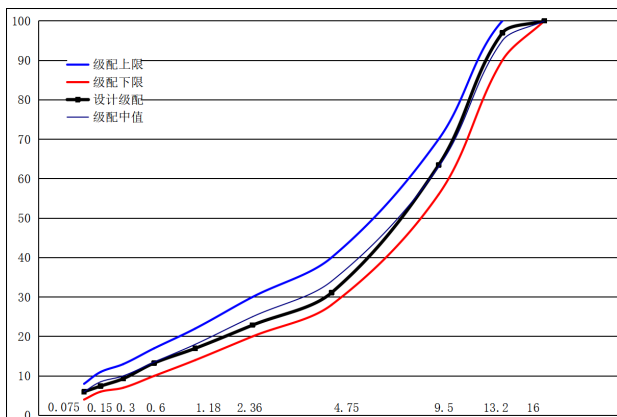


图 2 SHAC-13 多碎石高黏沥青混凝土矿料级配

2.2 混合料性能

按上述确定的配合比和油石比拌制沥青混合料, 进行马歇尔试验及沥青混合料性能验证。

表 5 试验结果空隙率 VV 与理论计算空隙率基本一致, 说明采用该矿料级配和油石比能够形成骨料紧密接触的骨架密实结构。采用 $70^{\circ}C$ 条件下测定动稳定度, 接近天津地区路面在炎热夏季的表面温度, 通过这个温度下的测试可以较为真实地反映道路材料在实际高温环境中的抗车辙性能。由上表可知, SHAC-13 与传统 SBS 改性沥青混合料存在显著差别。由于传统 SBS 改性沥青软化点较低, 在 $70^{\circ}C$ 高温容易变软、流淌, 导致混合料在此温度条件下的抗车辙性能下降剧烈。SHAC-13 骨架结构本身实现了集料之间嵌挤作用, 配合着高黏改性沥青的自束性作用下, 提高高温抗车辙性能 4 倍以上。沥青 $60^{\circ}C$ 动力黏度的极大提升可实现沥青用量的显著提高, 沥青饱和度大于 75%, 混合料骨架间隙中丰富的高黏高弹沥青胶结料保证了沥青混合料的韧性和

低温抗裂性, 相比传统的混合料提升低温抗开裂性能 30% 以上。

表 5 SHAC-13 多碎石高黏沥青混凝土技术性能

试验项目	SHAC-13 试验结果	SBS I-D 改性 AC-13C 试验结果
空隙率 VV , %	3.9	4.2
矿料间隙率 VMA	17.0	13.8
沥青饱和度 VFA	77.1	69.6
稳定度 /kN	12.63	12.14
流值 /mm	3.7	2.8
$60^{\circ}C$ 动稳定度 / (次/mm)	9254	3342
$70^{\circ}C$ 动稳定度 / (次/mm)	4426	867
冻融劈裂强度比, %	89.0	82.3
残留稳定度, %	92.8	90.4
低温弯曲破坏应变 / $\mu\epsilon$	3763.7	2846.2

为模拟沥青混合料反复高温低温作用下的抗疲劳性能, 论文采用了循环冻融试验观测混合料劈裂强度比衰减情况。循环冻融劈裂试验验证结果见表 6。

从图 3 可以看出, 传统 AC-13 混合料劈裂强度比衰减程度呈明显上升趋势, SHAC-13 型多碎石高黏沥青混合料由于沥青膜增厚作用下, 在高温 $60^{\circ}C$ 和低温 $18^{\circ}C$ 反复冻融条件下, 混合料强度并无明显下降趋势, 表现为良好的抗疲劳性能。

表 6 循环冻融劈裂试验对比

冻融循环次数	SBS I-D 改性 AC-13C		SHAC-13	
	强度 /MPa	劈裂强度衰减, %	强度 /MPa	劈裂强度衰减, %
1	1.11	0.00	1.06	0.00
2	1.13	-1.77	1.02	3.92
3	1.11	0.00	1.08	-1.85
4	1.04	6.73	0.99	7.07
5	1.01	9.90	1.09	-2.75
6	0.97	14.43	0.98	8.16
7	0.94	18.09	0.92	15.22
8	0.87	27.59	1.02	3.92

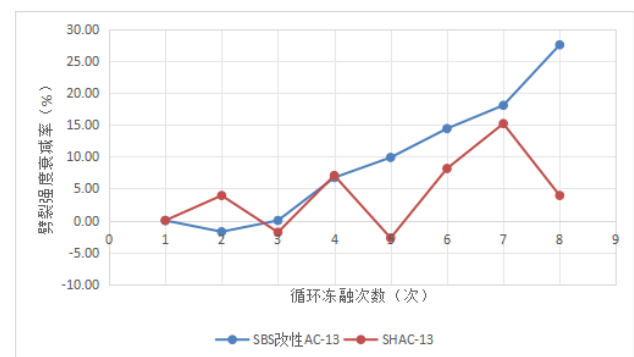


图 3 SHAC-13 多碎石高黏沥青混凝土技术性能

3 结论

①本研究制备的复合高黏高弹改性沥青性能卓越,其 60℃动力黏度可达 200000Pa·s 以上。这一特性使得在沥青混合料拌制过程中,沥青膜厚度能够增大 30% 左右,有效缓解了沥青的短期老化问题,为提升沥青混合料的综合性能奠定了良好基础。

② SHAC-13 多碎石高黏沥青混凝土融合了沥青混合料骨架结构的嵌挤作用和高黏改性沥青的自束性优势。在这双重作用下,该混凝土的动稳定度显著提升,高温抗车辙性能大幅增强。同时,丰富的沥青胶结料赋予了混合料良好的低温柔韧性,使其在高低温环境下均能保持优良的性能表现。

③通过循环冻融劈裂试验验证,SHAC-13 多碎石高黏沥青混凝土在高温 60℃和低温 18℃反复冻融的条件下,混合料强度未出现明显下降趋势,展现出良好的抗疲劳性能,能够有效应对复杂环境下的长期使用需求。

参考文献:

[1] 官明阳.不同复合改性沥青混合料的耐久性对比研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2019.

- [2] 高磊.复合高黏高弹改性沥青研发及性能评价[D].广州:广州大学,2021.
- [3] 许银行.沥青膜厚度对沥青混合料性能的影响[J].城市道桥与防洪,2016(2):176-180+19.
- [4] 房士伟.TFOT膜厚度对SBS改性沥青老化性能的影响[J].石油沥青,2017,31(5):41-44+67.
- [5] 贾朝霞,朱海波,李昶.沥青膜厚度法评价抗疲劳层沥青混合料油石比[J].公路交通科技:应用技术版,2008(7):3.
- [6] 陈富达.高韧超薄沥青磨耗层的力学性能和功能属性研究[D].广州:华南理工大学,2020.
- [7] 中华人民共和国交通运输部.JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [8] 王富玉.SAC13沥青混合料的设计与施工[D].长春:吉林大学,2007.

作者简介:王建洁(1986-),男,满族,中国内蒙古乌兰浩特人,本科,高级工程师,从事沥青及沥青混合料材料技术研究。