

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.09.063

G15 嘉浏段拓宽改建工程沥青混合料性能研究

冯冰天^{1,2}

[1.上海公路桥梁(集团)有限公司,上海市 200433; 2.上海绿色路面材料工程技术研究中心,上海市 201901]

摘 要: 依托上海 G15 嘉浏段拓宽改建工程,研究木质素纤维、聚酯纤维、玄武岩纤维和高强添加剂等对 SMA-13 沥青混合料路用性能的影响。基于 G15 嘉浏段现场条件及未来使用需求,采用确定适用于 G15 嘉浏段高速公路沥青面层的纤维和外掺剂类型。采用室内试验对沥青混合料的路用性能进行分析,结果表明:掺入木质素纤维的 SMA-13 的沥青混合料的路用性能较好,可有效满足 G15 嘉浏段高速公路运营使用需求。最后对拌和厂实际生产的沥青混合料的性能进行评价。

关键词: 高速公路;纤维稳定剂;高强添加剂;路用性能

中图分类号: U414.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)09-0252-05

0 引言

截至目前我国公路总里程达到 519.81 万 km,其中高速公路达 16.1 万 km,而沥青路面作为现阶段公路最常用的路面形式在我国有着十分广泛的应用^[1]。沥青混合料作为一种粘弹塑性综合体材料,其力学性能会随温度的变化而产生显著差异。夏季高温时,易出现拥包、推挤和车辙等病害,在冬季低温时,易出现开裂等现象,并已然成为一个不可避免的问题^[2]。G15 嘉浏段作为出上海进入江苏的主要通道,目前双向日均流量达到约 12 万 veh/d(含汇源及嘉盛互通匝道),并保持着持续快速增长的趋势。大量重载车辆的通行和高速公路运营多年路面结构强度的衰减,造成路面结构承载力不足,车辙病害较为严重。而 SMA 沥青混合料具有优异的抗滑能力、耐磨损能力及耐车辙能力。所以,其在现代的高速公路面层建设中得到了广泛的应用。目前,我国大部分地区均采用木质素纤维掺入于 SMA 沥青路面中。其作用是防止沥青滴漏。但是,由于木质素纤维本身属性的原因,其内部吸附的沥青,对沥青混合料的油膜厚度与强度没有明显的提升,反而增加了沥青的使用量^[3]。玄武岩纤维近年来因为其具有价格低廉、分布广泛等优点在沥青路面的建设中越来越受到重视。国内外专家对掺入玄武岩纤维的沥青混合料的路用性能进行了大量研究,发现玄武岩纤维的

掺入能够全面提高沥青路面的抗车辙能力,抗水损害能力,以及抗低温开裂能力等路用性能^[4-8]。为此,现依托 G15 高速嘉浏段拓宽改建工程,其工程起点与沪武高速公路(G15 公路)江苏段扩建工程衔接,分界位置为沪苏界浏河中心(K1253+131),拟通过添加不同种类的纤维、外掺剂,对上面层 SMA-13 沥青混合料的路用性能进行研究。

1 原材料与配合比设计

1.1 原材料

1.1.1 集料

粗集料是由泰和县沪泰玄武岩石业有限公司生产的玄武岩,规格为 9.5~16.0 mm、4.75~9.5 mm;细集料为东方希望重庆水泥有限公司生产的石灰岩,规格为 0~2.36 mm,性能指标如表 1 所列,性能满足相关规范要求^[5]。

1.1.2 填料

矿粉由上海沪长建材有限公司生产,性能检测指标如表 1 所列,检测结果满足相关规范要求^[5]。

表 1 高弹性改性沥青性能指标及实测值一览表

材料	9.5~16.0 mm	4.75~9.5 mm	0~2.36 mm	矿粉
表观相对密度/(g·cm ⁻³)	2.922	2.952	2.730	2.763
毛体积相对密度/(g·cm ⁻³)	2.850	2.904	2.670	—
吸水率/%	0.88	0.56	0.82	—

1.1.3 沥青

沥青采用上海城建日沥特种沥青有限公司生产的 SBS 改性沥青,相对密度为 1.032 g/cm³,检测结果

收稿日期: 2021-12-20

作者简介: 冯冰天(1968—),男,本科,工程师,从事沥青混凝土研发与生产工作。

满足相关规范要求^[4]。

1.2 配合比设计

1.2.1 级配上下限

依据设计要求,SMA-13 混合料级配范围见表 2 所列。

1.2.2 矿料配合比计算

先确定 SMA-13 的三种级配(1#:2#:细集料:矿粉),分别为级配 A(44.0 : 37.0 : 9.0 : 10.0)、级配 B (42.0 : 35.0 : 13.0 : 10.0)和级配 C(40.0 : 33.0 : 17.0 : 10.0),4.75 mm 筛孔通过率分别为 23.1%、

26.9%、30.7%,三种级配组成见表 3 所列。分别测定三种级配的粗集料骨架间隙率 VCA_{DRC} ,初试油石比按 6.0%,采用双面各击实 75 次制作沥青混合料试件,分别测定空隙率 VV、矿料间隙率 VMA、饱和度 VFA 及粗集料骨架间隙率 VCA_{mix} 等指标。在混合料指标满足技术要求的基础上确定级配,测试结果如表 4 和表 5 所列。

由表 4 和表 5 可知:级配 B 体积指标满足要求,而级配 A、级配 C 体积指标不满足要求,故选择级配 B 作为设计级配,图 1 为三种级配曲线图。

表 2 SMA-13 混合料级配范围一览表

筛孔/mm	通过下列筛孔(方孔筛,mm)的质量百分率/%									
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
上限	100.0	100.0	75.0	34.0	26.0	24.0	20.0	16.0	15.0	12.0
下限	100.0	90.0	50.0	20.0	15.0	14.0	12.0	10.0	9.0	8.0

表 3 三种级配的设计组成结果一览表

级配类型	通过下列筛孔(方孔筛,mm)的质量百分率/%									
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配 A	100	90.6	61.5	23.1	18.6	15.7	13.5	12.3	11.2	8.9
级配 B	100	91.2	63.3	26.9	22.2	18.4	15.5	12.9	11.6	9.4
级配 C	100	91.4	64.5	30.7	26.7	20.8	16.9	13.7	12.2	9.9

表 4 VCA_{DRC} 试验结果一览表

级配类型	捣实容重 $/(t \cdot m^{-3})$	4.75 mm 通过 百分率/%	毛体积密度 $/(g \cdot cm^{-3})$	$VCADRC$ /%
级配 A	1.726	23.1	2.866	39.8
级配 B	1.664	26.9	2.866	42.0
级配 C	1.586	30.7	2.866	44.6

表 5 初试级配试验结果一览表

级配类型	单位: %				
	油石比	VV	VMA	VFA	VCA_{mix}
级配 A	6.0	5.5	18.3	70.0	37.7
级配 B	6.0	4.1	17.1	75.9	40.0
级配 C	6.0	2.9	16.0	81.7	42.6
要求	—	3~4.5*	≥ 17.0	75~85	$\leq VCA_{DRC}$

1.2.3 马歇尔稳定度试验

按级配 B 称取矿料,采用 3 种油石比,双面各击实 75 次成型马歇尔试件,进行马歇尔稳定度试验,得到的结果如表 6 所列。

表 6 沥青混合料马歇尔试验结果一览表

级配类型	油石比/%	空隙率/%	矿料间隙率 VMA/%	饱和度 VFA/%	粗集料骨架间隙率 VCA_{mix} /%	稳定度/kN	流值/0.1 mm
SMA-13	5.7	5.2	17.4	70.2	40.3	10.16	34.8
	6.0	4.0	17.0	76.2	40.0	11.33	38.1
	6.3	3.2	16.8	81.2	39.9	9.66	42.1
要求	3~4.5	≥ 17.0	75~85	$\leq VCA_{DRC}$	≥ 6.0	—	—

1.2.4 设计油石比的确定

根据 SMA 路面的设计要求,空隙率应控制在 3%~4.5%。选取油石比为 6.0%时试件的空隙率为 4.0%,其它指标(矿料间隙率 VMA、粗集料骨架间隙率 VCA、稳定度、饱和度 VFA 等)也均满足设计要求,结合实际工程实践经验,确定 6.0%为设计油石比。

1.2.5 冻融劈裂试验和浸水马歇尔试验

为了检验沥青混合料的抗水损害性能,分别进行了该油石比下的沥青混合料的浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验,试验结果见表 7 和表 8 所列。

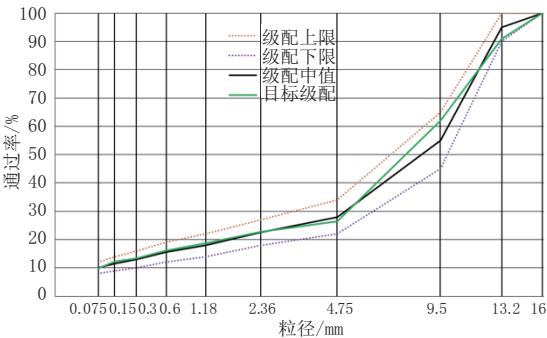


图 1 级配曲线图

表 7 浸水马歇尔稳定度试验结果一览表

级配类型	非条件(0.5 h)			条件(48 h)			残留稳定度 MS ₀ /%	要求 /%
	空隙率 /%	稳定度 /kN	流值 /0.1 mm	空隙率 /%	稳定度 /kN	流值 /0.1 mm		
SMA-13	4.2	11.02	38.1	4.1	9.81	43.0	89.2	≥80
	3.9	11.61	37.9	4.0	10.35	42.2		
	4.2	11.37	38.6	3.8	10.17	41.8		
平均值	4.1	11.33	38.2	4.0	10.11	42.3		

表 8 冻融劈裂试验结果一览表

级配类型	非条件		条件		劈裂强度比 TSR/%	要求 /%
	空隙率 /%	劈裂强度 /MPa	空隙率 /%	劈裂强度 /MPa		
SMA-13	5.4	1.063 7	5.2	0.855 3	86.4	≥80
	5.5	1.046 5	5.1	0.921 8		
	5.1	1.042 9	5.3	0.883 4		
	5.2	0.998 6	5.3	0.925 1		
平均值	5.3	1.037 9	5.2	0.896 4		

1.2.6 车辙动稳定度试验

根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)^[4]在 60±1℃,0.7±0.05 MPa 条件下进行车辙试验以检验沥青混合料的高温稳定性。车辙试件的动稳定度试验结果如表 9 所列,图 2 为车辙试件碾压深度之实景。

表 9 车辙试验结果一览表

级配类型	油石比 /%	动稳定度 /(次·mm ⁻¹)				变异系数 /%	
		1	2	3	平均	要求	实测值
SMA-13	6.0	7 000	7 777	8 750	7 842	≥3 000	11.2

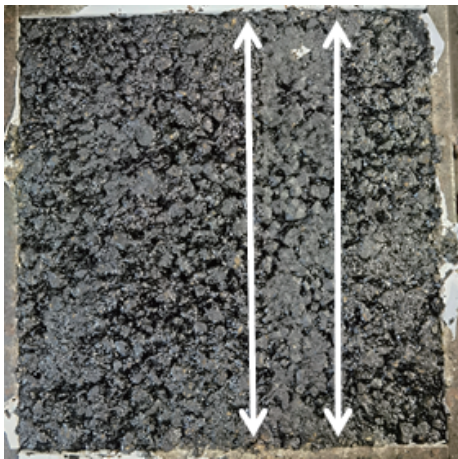


图 2 车辙试件碾压深度之实景

2 纤维和外掺剂掺加对沥青混合料路用性能影响分析

为进一步对比 SMA-13 沥青混合料的路用性能,通过室内试验分析不同纤维和外掺剂掺入对 SMA-13 沥青混合料的水稳定性和高温性能的影响。

响,其中沥青混合料试件均按照本文 1.2 节中的级配进行制备。

2.1 SMA-13 沥青混合料水稳定性

在沥青路面的营运过程中,水是导致沥青路面产生各种病害的一个重要因素。沥青路面在存在水分的条件下,经受交通荷载和温度涨缩的反复作用,一方面水分对沥青起乳化作用,导致沥青混合料的强度下降,同时水分逐步侵入到沥青与集料界面上,由于水动力的作用,沥青膜渐渐地从集料表面剥离,导致集料之间的粘结力丧失而发生路面破坏。依据现行标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)^[4]进行浸水马歇尔和冻融劈裂试验用来评价沥青混合料的水稳定性。

掺入聚酯纤维、玄武岩纤维、木质素纤维与高强添加剂的试件浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验的对比结果如表 10 所列。由表 10 中数据可知,掺入玄武岩纤维时,水稳定性性能相较于添加木质素纤维有所提高。掺入聚酯纤维与只添加木质素纤维时性能相差不大。掺入木质素纤维与高强添加剂之后水稳定性性能相较于只添加木质素纤维略有提升,但提升效果不明显。掺入玄武岩素纤维与高强添加剂之后水稳定性性能优于只添加木质素纤维的水稳定性。综合考虑,对于更换纤维或者掺入高强添加剂对 SMA-13 沥青混合料的水稳定性的影响效果不明显,对比相互之间的成本,以及经济效益,采用木质素纤维较为合适。

2.2 SMA-13 沥青混合料高温稳定性

沥青混合料在夏季高温条件下,由于沥青的流变特性,会在车辆反复荷载下产生一定的塑性流动变形。沥青混合料抵抗这种塑性流动变形的能力即通常所说的高温稳定性,即在高温条件下,能够经受车辆反复荷载作用的保持结构与性能温度,不会影响其使用性能的能力。国际上目前衡量沥青混合料高温稳定性性能的方法有很多,综合试验条件难易程度,以及试验数据结果准确性进行分析比选,拟根据《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG

表 10 不同外掺 SMA-13 沥青混合料的水稳定性能对比一览表

级配类型	掺入类型	劈裂强度比 TSR/%	残留稳定度 MS ₀ /%	要求 /%
SMA-13	聚酯纤维	86.9	86.7	≥80
	玄武岩纤维	89.7	91.2	
	木质素纤维	86.4	89.2	
	木质素纤维 + 高强添加剂	87.1	90.3	
	玄武岩纤维 + 高强添加剂	91.3	92.8	

E20—2011)^[4]对比掺入不同外掺剂的 SMA-13 沥青混合料进行车辙实验。

参加聚酯纤维、玄武岩纤维与木质素纤维的试件车辙试验对比结果如图 3 所示。由图 3 可知:加入聚酯纤维的沥青混合料的动稳定度 8 345 次/mm,加入玄武岩纤维的沥青混合料的动稳定度 8 201 次/mm,相比加入木质素纤维的沥青混合料的动稳定度 7 842 次/mm 分别高出 503 次/mm 和 359 次/mm,高温稳定性能分别提升 6.4%和 4.5%。

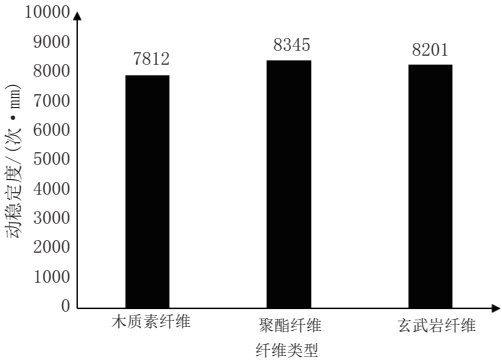


图 3 加入不同纤维动稳定度对比图

此外,还在木质素纤维沥青混合料和玄武岩纤维沥青混合料中加入高强添加剂用于 SMA-13 沥青混合料分析外掺剂复合掺入对其动稳定度的影响,得到的车辙试验对比结果如图 4 所示。木质素纤维沥青混合料在加入高强添加剂之后动稳定度由 7 842 次/mm 降至 7 151 次/mm,高温性能下降 8.8%,而玄武岩纤维沥青混合料在加入高强添加剂之后高温性能则由 8 201 次/mm 增至 8 596 次/mm,高温稳定性能提升 4.8%。综上可知,通过更换纤维类型和添加高强添加剂对 SMA-13 沥青混合料的高温性能有一定的影响,但提升效果相对于更换纤维种类或添加高强添加剂的成本而言并不显著。

3 工程应用效果分析

某项目沥青混合料的生产采用安迈 3000 型拌和楼,拌和楼筛网尺寸设置分别为 4 mm×4 mm、

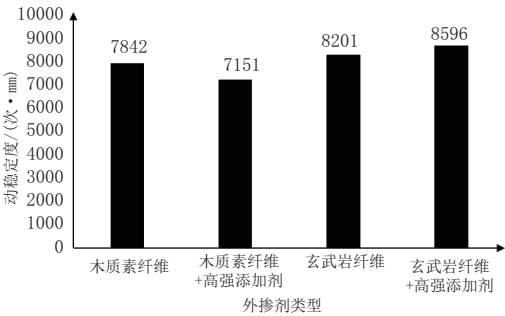


图 4 加入高强添加剂动稳定度对比图

6 mm×6 mm、11 mm×11 mm、17 mm×17 mm,冷料进料速度采用转速比控制,包括单仓转速比、统一转速比控制。生产过程中通过单仓转速比的设定,确保各料仓材料用量比例,而统一转速比的控制,则是在保证冷料比例不变的情况下,通过此转速比整体调整材料进料量,调节拌合楼产量。该项流量试验,对于每种材料按转速比大小进行 3 次流量试验,每次流量试验进料时间为 5 min,流量与转速比关系见表 11 所列。

表 11 拌和楼冷料仓流量试验结果一览表

0-3 mm		5-10 mm		10-15 mm	
转速	流量 / (t·5 min)	转速	流量 / (t·5 min)	转速	流量 / (t·5 min)
10	1.254	20	3.032	20	2.876
30	3.947	40	5.093	40	5.195
50	6.300	60	7.682	60	7.755

根据目标配合比的设计结果,结合冷料流量试验绘制的流量关系曲线,计算出拌和楼预定产量在 150 t/h 时各冷料仓皮带电机转速,结果如表 12 所列。

表 12 拌和楼各冷料仓流量设定一览表

材料	1# 仓	2# 仓	3# 仓
设定值 /(r·min ⁻¹)	37	30	12
预计流量 /(t·h ⁻¹)	18.40	49.53	59.43

依据目标配合比设计级配进行了生产配合比级配组合设计,得到的矿料合成级配计算结果如表 13 所列。

为了验证加入木质素纤维的沥青混合料路用性能,采用拌站取料检测方法,如图 5 所示,对 G15 嘉浏段拓宽改建工程试验段上面层 SMA-13 沥青混合料的路用性能进行检测,得到的试验结果如表 14 和表 15 所列。

由表 14 和表 15 中试验的结果可知:拌和厂制备的 SMA-13 沥青混合料的水稳定性能表现均优于室内试验得出的数据,高温稳定性能的动稳定度值为 8 210 次/mm,相比室内试验高出 368 次/mm。由

表 13 拌和楼各冷料仓流量设定一览表

筛孔 /mm	通过下列筛孔(方孔筛,mm)的质量百分率 /%									
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
合成级配	100.0	93.7	62.6	25.9	21.8	17.8	13.8	11.3	10.1	9.7
目标级配	100.0	91.1	63.1	26.9	22.3	18.3	15.3	12.8	11.7	9.4



图 5 拌站取样检测之实景

表 14 拌站取样冻融劈裂和浸水马歇尔试验结果一览表

级配类型	劈裂强度比 TSR/%	残留稳定度 MS ₀ /%	要求 /%
SMA-13	90.8	93.4	≥80

表 15 拌站取样车辙试验结果一览表

级配类型	油石比 /%	动稳定度 /(次·mm ⁻¹)					变异系数 /%	
		1	2	3	平均	要求	实测值	要求
SMA-13	6.0	8 034	7 940	8 386	8 210	≥3 000	2.9	≤20

由此可见,G15 嘉浏段拓宽改建工程沥青上面层的沥青混合料的路用性能优异,可有效减少路面病害。

4 结 语

经过理论分析及试验验证,现主要得到以下结论:

(1)通过将木质素纤维更换成聚酯纤维或者玄武岩纤维 SMA-13 沥青混合料的高温稳定性能分别提升 6.4%和 4.5%,水稳定性能均符合设计要求。

(2)木质素纤维掺入高强添加剂后沥青混合料的高温稳定性下降 8.8%,玄武岩纤维掺入高强添加剂后沥青混合料的高温稳定性提升 4.8%。

(3)拌和厂站现场取样检测的结果表明,掺加木质素纤维的 SMA-13 沥青混合料的路用性能表现均满足设计要求,可有效防止路面病害。

参考文献:

- [1] 交通运输部. 2019 年交通运输行业发展统计公报[N]. 北京:中国交通通报,2020-05-12(2).
- [2] 朱逸凡. 高温重载下沥青混合料高温稳定性能研究及应用[D].东南大学,2019.
- [3] 范钊. 外掺剂对 SMA-13 沥青混合料长期性能影响试验研究[D].扬州大学,2020.
- [4] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [5] JTG E42—2005,公路工程集料试验规程[S].
- [6] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [7] 何荣裕.SMA 的路用性能及其应用技术研究[D].大连理工大学,2002.
- [8] 沈金安. 沥青及混合料路用性能[M].人民交通出版社.2001,1.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smcdi.com