

热拌无纤维 SMA-13 的配合比设计及应用探索

徐韵淳

[上海浦东路桥(集团)有限公司,上海市 201210]

摘 要: 无纤维 SMA 由于不含纤维材料,不但降低了材料成本,也简化了生产工艺,其性能与普通 SMA 相当,但其配合比设计难度更高,生产控制要求更严格。现通过 SMA-13 配合比设计及试验段应用,介绍上海浦东地区在热拌无纤维 SMA-13 的配合比设计及生产施工的探索。

关键词: 无纤维 SMA 沥青混合料;配合比设计;生产施工

中图分类号: TU535

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)12-0055-04

0 引 言

沥青路面建设已有数百年的历史,而在我国,沥青路面从上世纪二十年代首次在上海应用,至今也有近百年的建设历史。沥青玛蹄脂碎石(SMA)路面是20世纪70年代在德国发明的,由于它的良好高温稳定性、低温柔韧性,以及良好的表面宏观构造而赋予的抗滑性,引起了世界许多国家道路工程人员的关注和兴趣。SMA路面于80年代起在西欧得到广泛应用,美国也于1990年起开始对SMA路面进行试验研究,我国自1992年国内铺筑首条SMA道路—首都机场高速公路以来,经过二十多年的发展和应用,我国东部沿海地区,如广东、浙江、江苏等经济发达地区的公路和市政道路路面上应用SMA的比例和规模已经非常大,SMA的生产、施工的技术与能力也非常成熟。

SMA混合料可以认为由两部分组成:一是由粗细料构成的空间骨架结构;二是由沥青、矿粉、纤维构成的玛蹄脂。玛蹄脂填充骨架的空隙,形成密实结构的沥青混合料。

由上述组成结构上可以发现:SMA与其它普通沥青混合料AC类相比,它增加了纤维材料。

不同纤维材料具有不同的性能指标,因此会产生不同的适用性,对于路面性能改进也有不同的侧重。在常规SMA混合料中,国内外的通行做法均添加纤维以稳定沥青。

纤维材料在SMA中所起的吸附、稳定、加筋、分散、增粘作用,均通过改性沥青实现对混合料的增强。若改性沥青用量较少时或者性能较差时,纤维所起的增强作用会极大地削减,甚至产生不良作用,例如:

(1)使用木质素纤维时,若沥青用量不足:集料表面沥青包裹不严密,极易产生早期水损。

(2)使用聚合物纤维时,若沥青性能较差,其纤维与沥青玛蹄脂共同形成的次级柔性网架强度不足,不但易变形,而且易形成薄弱界面,使SMA混凝土抗车辙能力极大降低。

(3)纤维生产时投放不及时、投放量不足时,可能引起聚团、泛油,其分散、稳定作用也无从发挥。而目前木质素纤维气力输送的添加量波动、聚合物纤维分袋人工投放均使投放时的稳定性、可靠性无法达到令人满意的程度。

文献[1]针对常用絮状木质素纤维、聚酯纤维、聚丙烯腈纤维、矿物纤维等在SMA中的应用进行了综合性能的比较。其研究结果发现:部分矿物纤维强度不足时,完全破碎后,其无法起到纤维在SMA中应有的作用。但此时SMA中最佳沥青用量约为5.2%~5.5%,较常规的木质素纤维SMA最佳沥青用量5.7%~6.0%约减少0.5%,其综合力学性能满足现行规范^[2]要求。

因此,若不使用纤维材料,在使用质量较好的I-D改性沥青(软化点 $\geq 70^{\circ}\text{C}$)的情况下,通过针对性的配合比设计,是可以生产满足现行规范^[2]要求的SMA沥青混凝土^[3]。无纤维的SMA材料减少了纤维投放环节,减少了纤维及沥青成本,具备十分优异的生产可靠性和经济性。

收稿日期:2022-02-18

作者简介:徐韵淳(1984—),男,本科,高级工程师,从事道路工程材料及施工技术研究工作。

现通过无纤维 SMA 的配合比设计、生产验证及施工实施,提出了无纤维 SMA 的配合比设计方法,并进行了试验段实施验证,介绍了上海浦东地区在热拌无纤维 SMA-13 的配合比设计及生产施工的探索。

1 原材料

1.1 集料与填料

试验段所用的集料为玄武岩粗集料及石灰石细集料,符合规范^[2]的性能与技术要求,使用规格符合 S10、S12、S16 规格要求。填料为磨细石灰石粉,质量符合规范^[2]填料性能与技术要求。

1.2 沥青

此试验段所用沥青为 SBS 改性沥青,质量符合规范^[2]聚合物改性沥青 I-D 的技术要求,且软化点为 73℃。

2 配合比设计

2.1 总体设计思路

(1)通过添加更多的填料和细集料,弥补纤维缺失和沥青胶结料减少引起空隙率增加趋势。

(2)通过增加改性沥青性能及降低拌合施工温度,提高沥青胶浆粘聚力,防止施工过程中的沥青胶浆流淌(析漏)。必要时可添加温拌剂,以进一步降低施工温度。

(3)通过紧跟碾压,增加压实功,使混合料在略降低施工温度的条件下被充分压实。

2.2 配合比设计结果

沥青混合料级配类型为 SMA-13,设计级配范围与设计合成级配组成见表 1 所列。

表 1 无纤维 SMA-13 沥青混合料设计级配范围与设计合成级配表

级配	通过筛孔 /mm 的质量百分率 /%										
	筛孔										
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
级配 上限	100	100	75	34	26	24	20	16	15	12	
范围 下限	100	90	50	20	15	14	12	10	9	8	
合成级配	100	92.2	65.2	31.7	24.8	19.9	15.7	13.6	12.4	11.5	

合成级配曲线见图 1 所示。改性沥青用量为 5.0%(对应油石比 5.3%)。

由图 1 可知:无纤维 SMA-13 级配曲线中,通过细集料及填料的用量调整,使通过关键筛孔的质量百分率接近级配范围的上限,以使无纤维 SMA-13

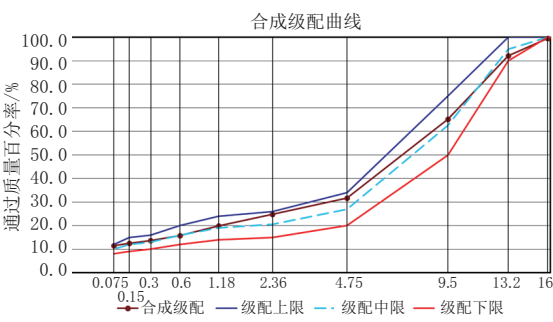


图 1 无纤维 SMA-13 沥青混合料合成级配曲线图

的空隙率满足 3%~4%的技术要求。

2.3 配合比设计验证及性能检验

上述级配的无纤维 SMA-13 马歇尔试件性能指标如表 2 所列。

表 2 无纤维 SMA-13 沥青混合料配合比设计检验一览表

	VV	VFA	VMA	析漏	飞散	稳定度	流值 /	TSR
无纤维 SMA-13	1%	1%	1%	1%	1%	/kN	(0.1 mm)	1%
	3.27	79.23	15.7	0.12	2.0	12.14	4.76	97.08
参考要求值 ^[2]	3~4	75~85	≥17	≤0.1	≤15	≥6.0	—	≥80

由表 1 可知:无纤维 SMA-13 沥青混合料与普通 SMA-13 沥青混合料存在一定差异。需要说明的是,规范^[2]要求值是针对使用纤维的 SMA,而非对于无纤维 SMA 的要求,本文将其作为参考要求,但非绝对要求值。

首先,由于缺少纤维材料的稳定作用,无纤维 SMA 的谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失略超出参考的规范^[2]要求值。

但若按排水沥青路面的相关技术规范^[6],该指标的要求不大于 0.8%,可见该指标并非不可突破的。析漏试验的结合料损失率主要反映沥青马蹄脂在混合料的裹覆稳定性,表征的是沥青混合料在生产、运输、摊铺施工过程沥青混合料是否会发生流淌现象。应通过试验段验证,在实施过程中如不发生流淌现象的要求下,析漏指标不应作为限制条件。

其次,由于增加了填料和细集料,空隙率达到了 3%~4%的范围内,但矿料间隙率 VMA 不可避免地低于规范^[2]的要求。

矿料间隙率 (Voids in mineral aggregate, VMA) 是指沥青混合料压实成型试件全部矿料部分以外的体积占试件总体积的百分率^[2]。郭桂爽探讨了矿料级配、沥青用量、集料颗粒形状等对于 VMA 的影响^[7],明确了:“沥青用量直接影响到全部矿料部分以外的体积。全部矿料以外的体积主要包含了沥青和内部空隙,在空隙率一定的情况下,增加沥青用量,则 VMA

会明显增大,反之则会减小”。刘雄伟则在实验^[8]中发现:由于矿物纤维的稳定沥青效果较差,添加矿物纤维的 SMA 的 VMA 指标多数无法满足 17% 的指标要求。同济大学的林绣贤则阐述了:“最小 VMA 是为了使沥青混合料有个最小的沥青含量,以形成合适的沥青膜,以保持沥青混合料的耐久性”^[9]。

无纤维 SMA 的情况与使用矿物纤维的情况类似,由于减少了沥青用量,VMA 指标很难达到参考规范^[2]要求,但 SMA 需要合适的沥青膜厚度以保证耐久性,其它混合料性能指标应达到参考规范^[2]要求。

由表 2 可知:无纤维 SMA-13 沥青混合料的稳定度、TSR,以及如图 2 所示的动稳定度均满足规范^[2]要求。

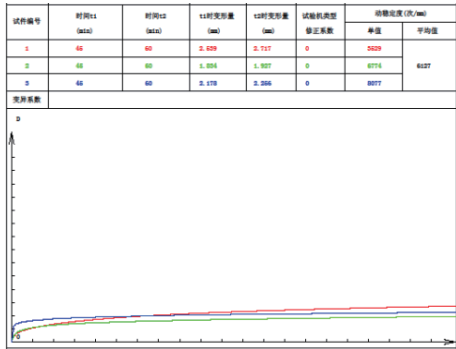


图 2 无纤维 SMA-13 沥青混合料 60℃ 动稳定度指标检验图示

由图 2 可知:60℃ 动稳定度均大于 5 000 次 /mm, 平均值为 6 127 次 /mm, 满足 SMA 技术要求^[2]。

3 试验段生产与实施

3.1 沥青混合料生产

沥青混合料的生产拌和使用一般的间歇式拌合楼。试验段每盘沥青混合料拌和量为 3 950 kg, 填料采用回收粉及石灰石矿粉各 50%。生产流程与材料加热温度见图 3 所示。

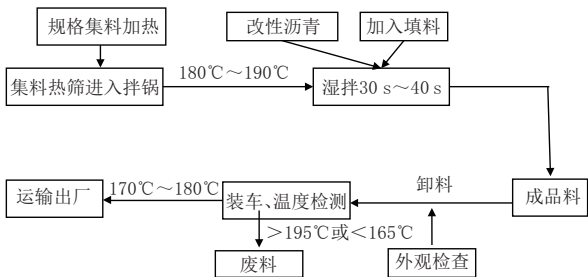


图 3 无纤维 SMA-13 沥青混合料生产流程与材料加热示意图

由于无纤维材料, 因此生产过程中沥青混合料无需干拌, 节约生产拌合时间与能耗。湿拌时间不应少于 30 s, 矿粉应与沥青同步添加。拌合及出料温度应为 170℃~180℃。

施工工艺目前按常规 SMA-13 的施工工艺进行,

见表 3 所列。

表 3 试验路碾压工艺一览表

压路机 类型	初压		复压		终压	
	速度 / (km·h ⁻¹)	遍数	速度 / (km·h ⁻¹)	遍数	速度 / (km·h ⁻¹)	遍数
11 t 双钢轮	2~3	静 0.5 遍	3~4	振 3.5 遍	—	—
13 t 双钢轮	—	—	—	—	3~6	收光

3.2 试验段实施

2021 年 9 月于上海浦东完成该试验段实施。摊铺时间为 13:00~15:00, 天气多云。

试验段实施目的: 通过试验段对室内试验参数进行验证, 包括混合料生产工艺和碾压工艺的控制等。

根据前述的生产配合比进行生产。经确认, 生产工艺参数均能按照既定执行, 且能稳定控制。

摊铺时观察料车厢底, 均无明显沥青流淌现象, 见图 4 所示。



图 4 摊铺后运料车厢底无流淌现象之实景

图 4 表明: 无纤维 SMA 沥青混合料的谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失虽然略高于 0.1% 的参考要求值, 但使用了软化点较高的沥青胶结料后, 其并未出现沥青马蹄脂流淌、坠流等现象, 证明前述设计思路是可行的。

摊铺效果及路面表现状态见图 5、图 6 所示。



图 5 无纤维 SMA-13 沥青试验段实施效果之实景

3.3 试验段沥青混合料生产检验

试验段生产的沥青混合料马歇尔试件性能指标如表 4 所列。试验段路面检验结果如表 5 所列。

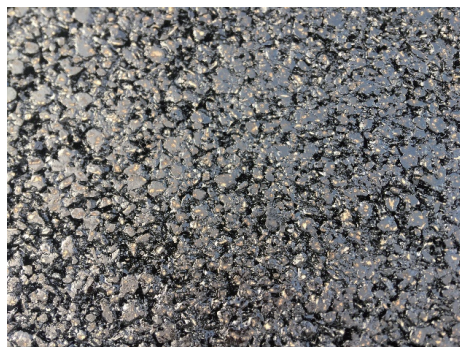


图 6 无纤维 SMA-13 沥青试验段实施表现之实景

表 4 无纤维 SMA-13 试验段生产沥青混合料检验一览表

无纤维 SMA-13 试验段	VV /%	VFA /%	VMA /%	析漏 /%	TSR /%	动稳定度 /(次·mm ⁻¹)
	3.57	80.81	15.3	0.10	86.39	9 859
参考要求值 ^[2]	3~4	75~85	≥17	≤0.1	≥80	≥3 000

表 5 无纤维 SMA-13 试验段路面性能检验一览表

无纤维 SMA-13 试验段	压实度 /%	渗水系数 /(mL·min ⁻¹)	构造深度 /mm	摆值 (BPN)
	98.1	74.81	1.24	59
规范 ^[4] 要求	≥98	≤120	-	-

由表 4、表 5 可知:无纤维 SMA-13 在试验段的施工工艺条件下,压实度偏低,渗水系数偏高,虽然符合规范^[4]要求,但依然具有提升空间。无纤维 SMA 表面沥青胶浆不多,可利用胶轮压路机但不必担心表面泛油,并增加沥青路面的压实效果。

4 经济性分析

将两种 SMA 的原材料配比和生产工艺的参数进行对比,详见表 6 所列。其中,改性沥青按 4 000 元/t,纤维按 4 000 元/t,燃油按 5 000 元/t 计。

表 6 无纤维 SMA 与传统 SMA 配比参数及生产工艺参数对比一览表

类型	拌合温度	拌合时间	沥青用量	纤维
1# 传统 SMA	180℃	干拌 10 s、湿拌 40 s	5.8%	0.3%
2# 无纤维 SMA	180℃	湿拌 40 s	5.0%	—
差值(2#-1#)	—	- 干拌 10 s	-0.8%	-0.3%

注:“-”代表节省的数值或工序。

根据沥青拌合站实际消耗测算,拌合时间减少 10 s,可节省约 2 kg 燃油^[5]。

则生产 1 t 无纤维 SMA 混合料:

可节省燃油成本约 $0.002 \times 5\,000=10$ (元);

可节省改性沥青成本约 $0.7\% \times 4\,000=28$ (元);

可节省纤维成本约 $0.3\% \times 4\,000=12$ (元);
共计可节省成本 50 元/t,经济效益显著。

5 结 论

根据上述试验段实施与数据分析,得到如下结论:

(1)无纤维 SMA-13 相对于普通 SMA 沥青混合料,减少了纤维投放环节,可以省去近 10s 的干拌时间,节约生产能耗。沥青用量减少了 0.7%左右(普通 SMA 一般沥青用量 5.7%~5.8%)。虽然略增加了填料及细集料,但 SMA 整体材料成本下降约 50 元/t,经济性显著。

(2)无纤维 SMA-13 在部分马歇尔体积指标(主要指 VMA)上没满足规范要求,但按目前的配合比设计结果,无纤维 SMA 在强度及稳定性上满足路用要求。

(3)本文所设计的无纤维 SMA 沥青混合料成功实施试验段,依赖于生产过程中对级配的精确控制。即无纤维 SMA 沥青混合料在配合比设计及生产控制上的要求较普通 SMA 更高。

(4)从试验段的实施结果来看:无纤维 SMA 沥青混合料的压实特性发生了一些改变。在后续研发中,可添加温拌剂增加沥青混合料的可压实性能,或增加胶轮碾压改善压实效果。

(5)通过 SMA 的原材料性能调整及配合比设计优化,使 SMA 沥青混合料中不使用纤维材料,生产工艺与常规 SMA 保持一致,具备十分优异的生产可靠性和经济性,在上海浦东的试验段应用中取得满意的成果。

参考文献:

[1] 徐韵淳,赫振华,徐斌.不同纤维对 SMA 作用的室内试验对比[J]. 2008 年上海市政科技周论文集,2008.
[2] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
[3] 陈小周,王建伟,陈先华,王晓.无纤维 SMA-10 路用性能试验研究[J].北方交通,2006(12).
[4] JTG F80/1—2017,公路沥青路面施工技术规范[S].
[5] 张园. Evotherm 温拌沥青混合料节能减排效果评价[J].黑龙江交通科技,2010(5):61-63.
[6] JTG/T 3350-03—2020,排水沥青路面设计与施工技术规范[S].
[7] 郭桂爽.沥青混合料 VMA 技术指标探讨[J].公路交通技术,2011(4): 43-46,51.
[8] 刘雄伟.SMA 矿料间隙率研究[J].交通世界(建养·机械).2013(6): 301-304.
[9] 林绣贤.再论 HMA 的矿料间隙率 VMA[J].上海公路,2005(4):4-9.