

无纤维 SMA 混合料力学性能研究

苑瑞星¹, 胡究中², 谭宜飞²

(1.英杰维特投资有限公司,上海市 200233; 2.安徽省嘉实检测服务有限公司,安徽 六安 237011)

摘要: 无纤维 SMA 混合料在国内应用较少,相比常规 SMA 混合料,其力学特性和耐久性如何一直困扰着工程技术人员。通过旋转压实测试、汉堡车辙测试、间接拉伸开裂测试、沥青罩面开裂测试,对 2 种 SMA 混合料的施工工作性、高温稳定性、常温抗开裂性等性能进行研究。结果表明:无纤维 SMA 混合料具有良好的抵抗高温形变的能力;与常规 SMA 混合料相比,其施工温度可降低 20~30℃且更易于压实,抗裂性能也较优。

关键词: 无纤维 SMA; 压实性能; 抗开裂性能; 抗车辙性能

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)09-0239-04

0 引言

无纤维 SMA 混合料是指在不添加纤维条件下,由 SBS 改性沥青、矿粉和少量细集料组成的沥青玛蹄脂在填充粗集料骨架间隙后所形成的沥青混合料。其核心理念是通过在改性沥青中加入表面活性剂和偶联剂,适当降低沥青混合料的拌和温度,并适当调整细集料和粉料用量来增加胶浆黏度而防止析漏。无纤维 SMA 矿料结构为骨架密实,不仅具有常规 SMA 混合料良好的抗车辙、抗水损害和抗滑性能,还因为减少了纤维和沥青用量,从而降低了混合料成本^[1]。余叔藩等^[2]提出了无纤维 SMA 混合料的级配组成和设计技术标准的建议,通过适当减少粗集料用量、降低混合料矿料间隙率来减少沥青胶结料用量,从而解决施工过程中的混合料析漏问题。陈小周等^[3]研究表明,采取适当增加细集料和矿粉用量,同时降低粗集料用量和油石比的方法来生产无纤维 SMA 混合料是完全可行的。徐韵淳^[4]研究表明,无纤维 SMA 混合料的矿料间隙率和析漏率可以适当放宽,只要其他性能指标能达到《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)^[5]要求。王笑森等^[6]研究表明,无纤维 SMA 混合料具有良好的低温抗裂性能和抗水损害性能。另外,由于无纤维 SMA 沥青玛蹄脂中没有纤维的填充,需要添加更多的细集料和矿粉使混合料密实,因此无纤维 SMA 的合成级配曲

线更接近规范上限要求^[7]。目前某些欧美国家已经在推广应用无纤维 SMA 混合料,但在国内尚未有较多的工程应用,原因主要是:(1)没有统一的设计方法和试验规程;(2)实体项目多为试验段,缺少长期疲劳性能数据。

本文通过选取拌合站成品无纤维 SMA 和常规 SMA 沥青混合料,通过旋转压实测试、汉堡车辙测试、间接拉伸开裂测试、沥青罩面开裂测试,对 2 种沥青混合料的工作性、高温稳定性、常温抗开裂性等性能进行研究,以期对无纤维 SMA 混合料的技术特性有更好的认知。

1 试验方案

无纤维 SMA 混合料的设计要点是解决析漏和混合料体积指标的平衡。即在不掺加纤维的条件下保证足够的沥青用量,使其体积指标和力学强度指标达到常规 SMA 沥青混合料的技术要求;同时在合理的施工温度下,保证沥青混合料不产生析漏、泛油现象,且能够压实。另外,按照他人的研究结果^[2-3,7],无纤维 SMA 混合料需要较细的级配,以形成更多的沥青胶浆来填充集料骨架,因此可以适当调整细集料或矿粉用量。

1.1 混合料设计

依托某实体工程项目,参照常规 SMA-13 混合料的配合比设计流程,采用马歇尔设计方法进行无纤维 SMA 混合料配合比设计。

常规 SMA 混合料、无纤维 SMA 混合料的矿料级配曲线见图 1。其中常规 SMA 混合料采用 6.0% 油石比,添加 0.3% (混合料质量) 木质素纤维;无纤维

收稿日期: 2023-11-03

作者简介: 苑瑞星(1984—),男,硕士,工程师,从事道路材料的应用开发工作。

SMA 混合料采用 5.5%油石比,同时掺加 0.5%(沥青质量)PCX-1791 外加剂,它是基于表面活性剂平台的新型沥青外加剂。

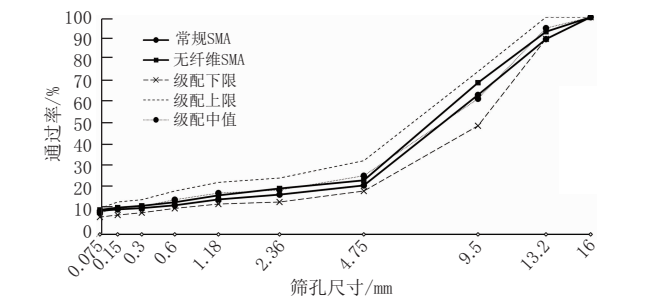


图 1 2 种 SMA 混合料的矿料级配曲线

由图 1 可知:无纤维 SMA 混合料级配曲线中,关键筛孔 4.75 mm 及以下筛孔的通过百分率相比常规 SMA 混合料高 2%左右。较多的粉料可以填充粗集料形成的骨架而使混合料空隙率满足要求。

1.2 试验验证

1.2.1 析漏试验

谢伦堡析漏试验模拟的是沥青混合料在施工过程中结合料是否会发生流淌。由于无纤维 SMA 混合料的生产温度相比常规 SMA 混合料会降低 20~30 ℃,所以 2 种混合料的试验温度应与实际生产温度一致。按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011),常规 SMA 混合料的析漏温度为 185 ℃,而无纤维 SMA 混合料的析漏温度为 160 ℃。采用常规烧杯法测定沥青混合料析漏时,细集料和粉料易黏附在烧杯壁上导致结果偏大,推荐采用更符合实际的网篮法^[8]进行测定。具体析漏试验结果见表 1。

表 1 析漏试验结果

测试项目	常规 SMA 混合料	无纤维 SMA 混合料	技术要求
油石比 /%	6.0	5.5	
试验温度 /℃	185	160	
析漏率(烧杯法) /%	0.08	0.10	≤0.1
析漏率(网篮法) /%	0.02	0.05	

虽然测试结果表明无纤维 SMA 混合料能满足《公路沥青路面施工技术规范》^[5]的技术要求,不会出现泛油现象,但值得说明的是,规范要求值针对的是常规 SMA 混合料。本文仅将此作为参考,并不要求无纤维 SMA 混合料析漏率一定要满足不大于 0.1%的要求。

1.2.2 压实特性分析

依据工程经验,常规 SMA-13 沥青混合料的推

荐拌和温度为 180~185 ℃,压实温度为 165~170 ℃;而无纤维 SMA-13 沥青混合料的推荐拌和温度为 160~165 ℃,压实温度为 145~150 ℃。为验证 2 种沥青混合料在适宜的施工温度条件下工作性的差异,本文将采用旋转压实试验得到的压实曲线进行量化计算,采用设计压实功指数来分析不同混合料在压实过程中的内在结构特征^[9-10]。

按照 Bi 的理论^[11],沥青混合料的压实曲线通常可分为设计压实阶段和过度压实阶段。设计压实阶段为第 8 次压实至达到目标压实度的压实次数的过程,过度压实阶段为达到目标压实度以后的压实过程。设计压实功指数(DCEI)是指在沥青混合料旋转压实曲线中从第 8 次压实时对应的空隙率至达到目标空隙率时所需的压实功。无纤维 SMA 混合料和常规 SMA 混合料的压实功指数测试结果见图 2。

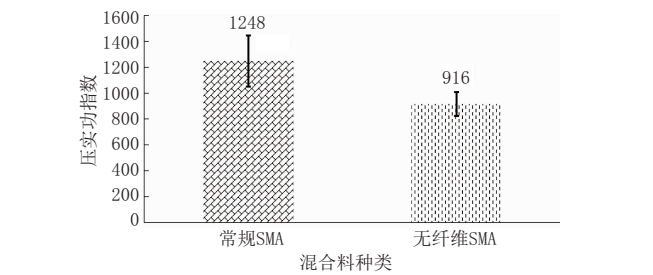


图 2 2 种 SMA 混合料的压实功指数测试结果

测试结果表明:在达到相同目标压实度的条件下,无纤维 SMA 混合料的压实功可以减少 26.6%。原因主要是 PCX-1791 外加剂中的表面活性成分在沥青内部形成了大量结构性润滑结构,在外力揉搓碾压作用下,润滑作用得到了最大程度的发挥,使得集料位置调整和骨架结构形成更加容易,进而促进了沥青混合料压实。

1.2.3 马歇尔体积参数

分别对无纤维 SMA 混合料和常规 SMA 混合料进行体积参数验证,结果见表 2。按现行《公路沥青路面施工技术规范》^[5],体积参数包括空隙率、矿料间隙率 VMA 和沥青饱和度 VFA。

表 2 马歇尔体积参数

测试项目	常规 SMA 混合料	无纤维 SMA 混合料	技术要求
拌和温度 /℃	180~185	160~165	
压实温度 /℃	165~170	145~150	
空隙率 /%	3.8	3.4	3~4.5
VMA /%	17.4	15.8	≥16.5
VFA /%	73.9	77.5	70~85

由表 2 可知:无纤维 SMA 混合料在压实温度降低约 20 ℃的条件下,空隙率与常规 SMA 混合料相当。原因是无纤维 SMA 混合料外加剂中的表面活性成分提供了更好的工作性,同时它使用了更多的细集料和填料。但由于无纤维 SMA 混合料降低了 0.5% 的油石比,致使填充矿料间隙的沥青体积减少,其矿料间隙率略低于《公路沥青路面施工技术规范》^[5]要求。徐韵淳^[4]也提出,无纤维 SMA 混合料的矿料间隙率可以适当放宽。

1.2.4 汉堡车辙试验

汉堡车辙试验能够更好地模拟实际路面在水浴条件下抵抗高温变形的能力。按照 AASHTO T-324 测试规程^[12],以 52 次/min 的加载速率,测试混合料在 50 ℃浸水状态下的轮碾车辙深度,以碾压 20 000 次或车辙深度达到 12.5 mm 限值作为终点。

分别制备常规 SMA 混合料、无纤维 SMA 混合料旋转压实试件,每组 8 个,结果取平均值。汉堡车辙试验结果如图 3 所示。

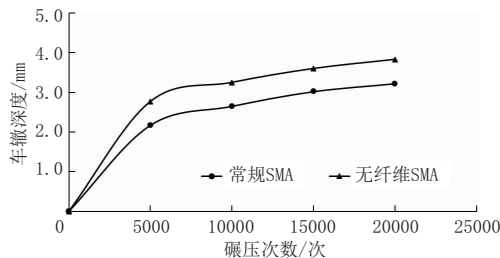


图 3 汉堡车辙试验结果

结果表明:经过 20 000 次加载,2 种 SMA 沥青混合料的车辙深度均小于 4 mm,远低于 AASHTO 规范要求;两者相比,无纤维 SMA 混合料的最大车辙深度为 3.83 mm,略高于常规 SMA 混合料的 3.22 mm。原因可能是无纤维 SMA 混合料的拌和温度较低,结合料的短期老化程度也较低,在集料骨架结构类似的条件下,其抗高温变形能力会有一定程度的下降,但较高的粉胶比又会在一定程度上抵消其抗高温变形能力的下降。从车辙测试曲线来看,无纤维 SMA 混合料车辙深度的增加主要集中在前 4 000 次,其后两者的增加速率基本一致。

1.2.5 间接拉伸开裂试验

间接拉伸开裂试验是通过抗开裂指数来评价沥青混合料在常温条件下抵抗荷载开裂性能的一种测试方法^[13]。其总体测试过程与传统的沥青混合料劈裂试验相近,采用的是单轴间接拉伸方式,以 50 mm/min 的速率进行沥青混合料竖向应力加载,测试温度为 25 ℃;通过对力-位移曲线特别是力-

耗散曲线部分的分析,得到抗开裂指数。

依照 ASTM D8225-19 测试方法^[13],分别制备常规 SMA 混合料、无纤维 SMA 混合料试件,每组 8 个,结果取平均值。抗开裂指数试验结果如图 4 所示。

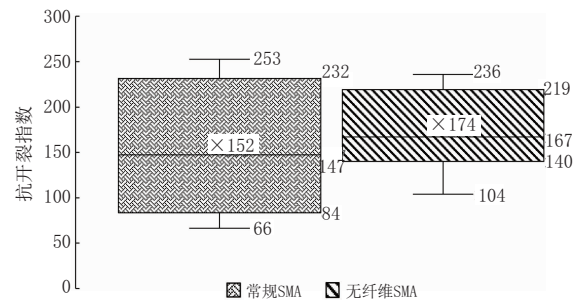


图 4 抗开裂指数试验结果

测试结果表明:常规 SMA 混合料的抗开裂指数波动较大,整体在 84~232 之间,平均值为 152,中位数为 147,数据的偏差较大,这可能是纤维分散不均匀造成的。无纤维 SMA 混合料的抗开裂指数波动较小,整体在 140~219 之间,平均值为 174,中位数为 167,相比常规 SMA 混合料约提高 14%。原因可能是无纤维 SMA 混合料的拌和温度较低,结合料的老化水平低,沥青混合料的整体劲度模量较小。另外,由于无纤维 SMA 混合料不添加木质素纤维,结合料更易均匀裹敷到集料表面,不易出现胶浆离析或结团,所以其抗开裂指数的离散性较小。

1.2.6 沥青罩面开裂试验

沥青罩面开裂试验是用于模拟接缝或裂缝附近发生的张开和闭合运动,测试其罩面层出现反射裂缝的可能性^[14]。该试验用于更加准确地模拟实际沥青路面自下而上的反射裂缝发展过程和表面层的抗开裂能力,并且被证明与现场实际情况有较好的关联性。

该测试试件是将旋转压实成型试件切割制成的。将试件固定在测试仪的 2 块不锈钢平板上,其中一块平板在测试过程中保持固定,另一块平板以 0.1 Hz 的频率进行水平移动,以最大荷载力衰减 93%或经过 1 000 次循环作为测试终点。

本试验采用 IPC 沥青标准测试仪进行,测试温度为 25 ℃,试验方法为改进的罩面开裂测试方法^[15],使用最大位移为 0.43 mm 的三角形波形加载方式,每 10 s 循环 1 次,加载 100 次循环后结束。

依照 Tex-248-F 测试规程^[14],每组沥青混合料各制备 5 个试件,获得应力强度因子随着裂缝扩展长度和荷载作用次数变化的关系曲线,并计算混合料的断裂参数 A、n 值,其中 n 值越大代表混合料抵

抗反射裂缝性能越好。罩面开裂测试结果见表 3。

表 3 罩面开裂测试结果

混合料种类	<i>A</i>	<i>n</i>
常规 SMA	2.864×10^{-7}	4.522
无纤维 SMA	5.976×10^{-8}	4.689

测试结果表明:无纤维 SMA 混合料具有较好的延缓反射裂缝的能力,其 *n* 值相比常规 SMA 提高约 3.2%,这可能与沥青混合料的整体模量有关。无纤维 SMA 混合料由于生产温度低,所以对结合料的损伤较小,混合料整体劲度模量偏低。由此也可以看出,木质素纤维的加入并没有显著改善常规 SMA 沥青混合料的抗反射裂缝能力。

2 结 语

- (1)无纤维 SMA 沥青混合料的级配偏细,需要更多的细料和矿粉填充,原因是纤维缺失会造成集料总比表面积下降。
- (2)无纤维 SMA 沥青混合料由于不添加纤维,油石比也相应降低,其矿料间隙率应适当放宽。
- (3)无纤维 SMA 沥青混合料压实温度可降低 15~20 ℃,并且易于压实,在达到相同目标压实度的条件下所需压实功更少。
- (4)无纤维 SMA 沥青混合料具有较好的抗高温变形能力,并且其抵抗间接拉伸开裂和反射裂缝的性能更优。

参考文献:

[1] 方荣渝.沥青路面表面层无纤维 SMA-13 的施工管理[J].养护机械

与施工技术,2006(9):26-28.

[2] 余叔藩,漆光荣.无纤维 SMA 路面的设计与施工[J].公路交通技术,2002(4):4-6.

[3] 陈小周,王建伟,陈先华,等.无纤维 SMA-10 路用性能试验研究[J].北方交通,2006(12):27-29.

[4] 徐韵淳.热拌无纤维 SMA 的配合比设计及应用探索[J].城市道桥与防洪,2022(12):55-58,168.

[5] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].

[6] 王笑森,王庆凯,陈燕.无纤维 SMA 路用性能研究[J].黑龙江交通科技,2018,41(12):1-3,6.

[7] 李烨东.无纤维 SMA 的性能研究与应用[J].上海公路,2022(2):110-113,168.

[8] HU Sheng, RAHMAN Asif, ZHANG Jun, *et al.* Implementation of texas mechanistic-empirical flexible pavement design system (Tx ME)[R]. Texas: Report 5-6622-01-R1, Texas A&M Transportation Institute, College Station,2019.

[9] AASHTO T305—2019,Standard method of test for determination of drain down[S].

[10] 肖庆一,孙博伟,王玉宝.温拌无纤维 SMA 混合料压实特性研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2018,37(3):34-39.

[11] BI Yanqiu, HUANG Jianyou, PEI Jianzhong, *et al.* Compaction characteristics assessment of hot-mix asphalt mixture using super-pave gyratory compaction and stribeck curve method [J]. Construc-tion and Building Materials,2021,285: 122874.

[12] AASHTO T-234—2019, Standard method of test for hamburg wheel-track testing of compacted asphalt mixtures[S].

[13] ASTM D8225—2019, Standard test method for determination of cracking tolerance index of asphalt mixture using the indirect ten-sile cracking test at intermediate temperature[S].

[14] Tex-248-F, Test procedure for overlay test[S].

[15] GU F, ZHANG Y, LUO X, *et al.* Improved methodology to evaluate fracture properties of warm-mix asphalt using overlay test[J]. Trans- portation Research Record,2015(2506): 8-18.



《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@smedi.com