

复合多效增强剂对X-PAVE10沥青混合料路用性能研究

蒋鹏初

涟水畅达公路养护有限公司，江苏 淮安

收稿日期：2022年12月14日；录用日期：2023年1月14日；发布日期：2023年1月19日

摘 要

采用直投式复合多效增强剂、SBS改性沥青、玄武岩集料制备高性能X-PAVE10沥青混合料。通过车辙试验、低温弯曲试验、浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验、肯塔堡飞散等来研究复合多效增强剂对沥青混合料路用性能影响规律。结果发现：复合多效增加剂可以提高混合料的高温抗车辙、低温抗裂、抗水损害性能和抗飞散性能。当复合多效增强剂掺量达到0.4%时，制备的X-PAVE10沥青混合料60℃动稳定度超过了6000次/mm，且-10℃低温弯曲应变也大于3000 $\mu\epsilon$ ，表现出优异的高、低温性能和水稳定性。

关键词

复合多效增强剂，超薄磨耗层，路用性能

Study on Pavement Performance of X-PAVE10 Asphalt Mixture with Compound Synergist

Pengchu Jiang

Lianshui Changda Highway Maintenance Co., Ltd, Huai'an Jiangsu

Received: Dec. 14th, 2022; accepted: Jan. 14th, 2023; published: Jan. 19th, 2023

Abstract

X-Pave 10 asphalt mixture was prepared by direct-throw compound synergis, SBS modified asphalt and Basalt aggregates. Effects of compound synergis on the pavement performance of asphalt mixture were studied by the rutting test, low-temperature bending test, immersion Marshall test, freeze-thaw split test and Cantabro test. Results show that compound synergist can improve

high temperature rutting resistance and low temperature crack resistance of the mixture, while resistance to water damage and resistance to flying can exhibit better. Dynamic stability at 60°C of X-PAVE 10 asphalt mixture is higher than 6000 wheel passes/mm, while low temperature bending strain at -10°C is larger than 3000 $\mu\epsilon$. Test results indicate that X-PAVE 10 asphalt mixture has excellent pavement performance at high and low temperatures, as well as water stability.

Keywords

Compound Synergist, Ultra-Thin Asphalt Wearing Surface, Pavement Performance

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

超薄磨耗层技术是实施厚度在 15~25 mm 的沥青磨耗层铺装技术,能够有效迅速修复坑槽、裂缝、松散、磨光等病害,同时具有抗滑性能强、耐久性好、黏结强度高、行车噪声低和封水效果好等优点[1],可广泛用于处理路面轻、中病害,延缓病害出现时间,从而延长道路使用年限。20 世纪 70 年代法国率先提出采用非常薄沥青混凝土(Bétons Bitumineux Très Minces, BBTM)和超薄沥青混凝土(Bétons Bitumineux Ultra Minces, BBUM)来用于旧路养护,在 80 年代开发出断级配骨架密实结构的超薄沥青混凝土(Ultra Thin Asphalt Concrete, UTAC)与断级配骨架空隙结构的 NovaChip 超薄磨耗层[2]。国内自 20 世纪 90 年代中后期也陆续开展了超薄磨耗层技术研究,目前已发展出多种超薄磨耗层技术。目前应用较多的超薄磨耗层技术有 NovaChip 技术、GT 高韧超薄磨耗层技术、易密实(ECA)技术、SMC 温拌超薄技术等[3] [4] [5] [6],各种技术在沥青胶结料和混合料性能上的差别较大。如 Novachip 采用壳牌公司特制的 NovaBinder 高性能沥青胶结料和 Novabond 高性能乳化沥青黏层油,并采用一体化的施工设备 Novapaver 进行施工。ECA 主要采用高强改性沥青,通过添加聚酯纤维和液体温拌剂来提高沥青混合料的压实度和抗裂性能。GT 高韧超薄采用高等级特种改性沥青 PG94-22 改性沥青和 PG82-22 高性能乳化沥青以及一体化施工设备。有机硅微罩面采用 OGFC-5 级配,利用特制的中温拌合有机硅改性沥青作为胶结料。SMC 温拌沥青混合料同样采用具有温拌效果的 SMC 改性剂来降低沥青混合料的黏度,提高混合料的易压实性能。但是上述超薄铺装技术在推广应用中都存在一定的问题。Novachip 和 GT 高韧超薄需特制高性能改性沥青作为胶结料,受到沥青运距、工期长短、工程规模的影响,限制较多。SMC 改性沥青、ECA、有机硅微罩面均采用液体降黏技术,对高温抗车辙性能改善效果差。因此,本文采用外掺剂技术,通过添加具有“温拌-高粘-抗车辙-抗裂”等多种功能的复合多效增强剂与 SBS 改性沥青来制备高性能超薄磨耗层沥青混合料,研究复合多效增强剂改性沥青混合料的路用性能,为道路新建养护工程提供了一种新的高性能超薄罩面技术。

2. 原材料

1) SBS 改性沥青:采用江苏宝利沥青股份有限公司生产的 I-D SBS 改性沥青,其性能见表 1 所示。

2) 复合多效增强剂:复合多效增强剂是采用塑料、橡胶、增塑剂、润滑剂、相容剂、活化剂等多种材料,经双螺杆反应挤出造粒而制备得一种直投式沥青添加剂,复合多效增强剂由江苏创为交通科技发展有限公司提供,其主要技术指标如表 2 所示。

Table 1. I-D Technical specifications of modified asphalt
表 1. I-D 改性沥青技术指标

试验指标	单位	技术要求	检测结果
针入度(25℃, 100 g, 5 s) (0.1 mm)	0.1 mm	40~60	52.6
延度(5 cm/min, 5℃) (cm)	cm	≥20	33
软化点(环球法) (℃)	℃	≥60	78.5
运动粘度 135℃ (Pa·s)	Pa·s	≤3.0	1.80
溶解度(三氯乙烯)	%	≥99	99.5
离析, 48 h 软化点差	℃	≤2.5	0.8
弹性恢复(25℃)	%	≥75	82
TFOT(或 RTFOT)后残留物			
质量损失	%	±1.0	0.24
针入度比(25℃)	%	≥60	72
残留延度(5℃)	cm	≥15	18

Table 2. Technical specifications of compound synergist
表 2. 复合多效增强剂技术指标

特性	技术要求	检测结果
熔融温度	70℃~120℃	88.5
熔融指数(190℃, 2.16 kg)	≥1.0 g/10min	8.8
密度	≤1.0 g/cm ³	0.92
灰分	≤1.0%	0.1

3) 粗集料、细集料、矿粉

X-PAVE10 超薄磨耗层使用的粗集料、细集料均为玄武岩碎石，矿粉为石灰岩矿粉，上述各项原材的技术指标均符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004) [5]中的相应要求。

3. X-PAVE10 沥青混合料配合比

采用 1# (5~10 mm)、2# (3~5 mm)、3# (0~3 mm)玄武岩集料、石灰岩矿粉，根据 X-PAVE10 配合比设计方法，确定最终的级配 1#: 2#: 3#: 矿粉 = 55.5%: 8.0%: 30.0%: 6.5%。设计的合成级配曲线见图 1。复合增效剂掺量分别为矿料质量的 0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%。采用不同油石比进行混合料的拌和，成型标准马歇尔试件，通过马歇尔试验确定最佳油石比分别为 5.4%、5.5%、5.6%、5.6%、5.8%。

4. 路用性能评价

依据上述确定的配合比，通过浸水马歇尔试验、冻融疲劳试验、肯塔堡飞散试验、车辙试验、低温弯曲试验来评价复合多效增强剂对沥青混合料高低温性能、抗水损性能的影响。

4.1. 车辙试验

按照 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》[7]的要求成型车辙板，采用全自动车辙

试验仪测试动稳定度。轮压为 0.7 MPa，橡胶轮碾压速度为 (42 ± 1) 次/min，测试温度为 60°C ，结果见图 2。从图中可看出：随着复合多效增强剂含量的增加，改性沥青混合料的动稳定度逐渐增加，且在复合多效增强剂含量低于 0.6%时，随着含量的增加，沥青混合料的动稳定度快速增加。但当复合多效增强剂含量超过 6%时，沥青混合料动稳定度增加趋势变缓。其中，未掺复合多效增强剂的普通 SBS 沥青混合料动稳定度为 3205 次/mm，当复合多效增强剂含量达到 0.4%时，动稳定度大于 6000 次/mm，是普通 SBS 沥青混合料的 2.1 倍。说明复合多效增强剂可大幅度提高改性沥青混合料的高温抗车辙性能。

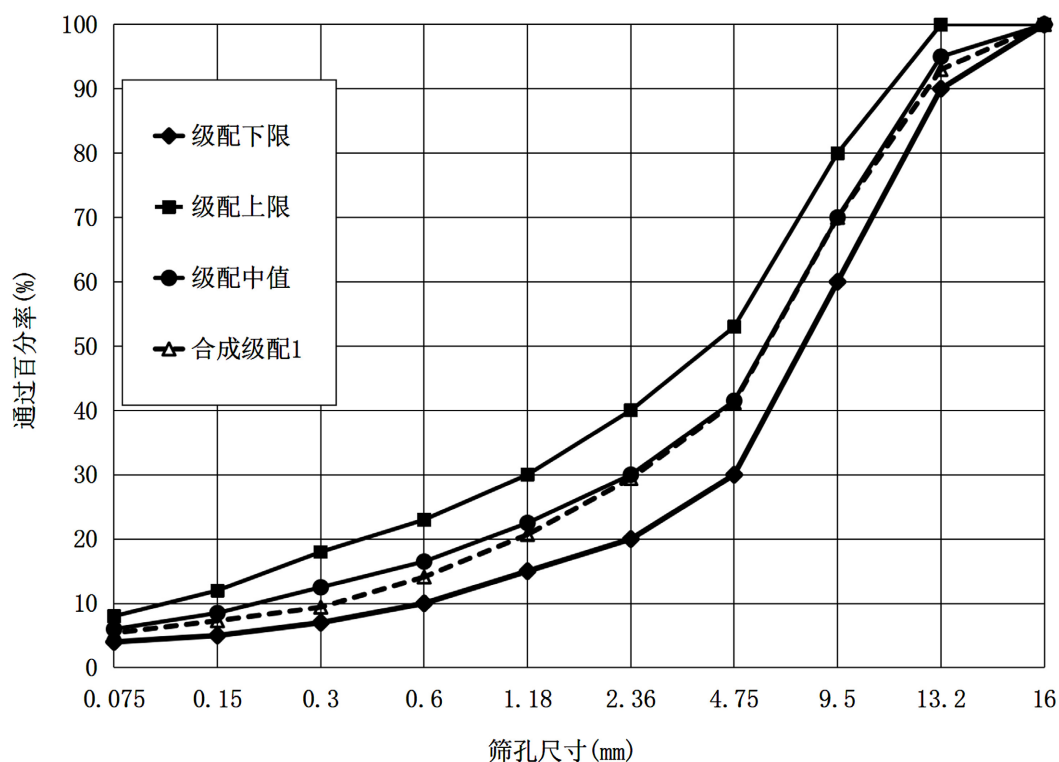


Figure 1. X-PAVE10 composite gradation curve

图 1. 设计的 X-PAVE10 合成级配曲线

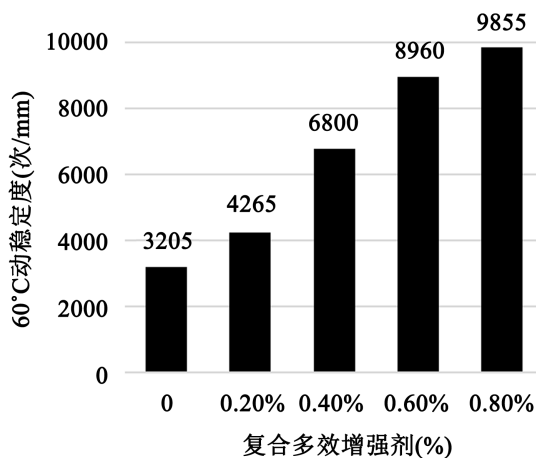


Figure 2. Dynamic stability of asphalt mixture with different content of compound synergist

图 2. 不同复合多效增强剂含量沥青混合料动稳定度

4.2. 马歇尔稳定度

采用马歇尔试验方法,测试不同复合多效增强剂改性沥青混合料的马歇尔强度结果见图 3。从图 3 中可看出:随着复合多效增强剂含量的增加,马歇尔强度逐渐增加,其变化规律与车辙试验相似,进一步说明了复合多效增强剂增加了沥青混合料的高温性能。

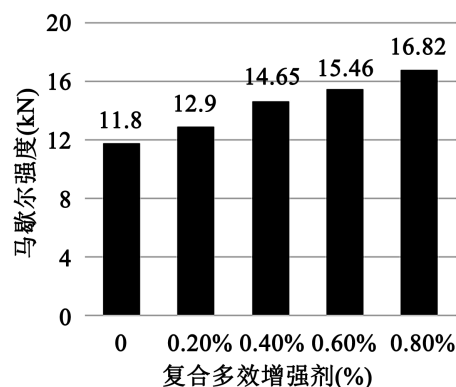


Figure 3. Marshall Stability of asphalt mixtures with different contents of compound synergist
图 3. 不同复合多效增强剂含量沥青混合料马歇尔稳定度

4.3. 水稳定性

采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验评价复合多效增强剂对沥青混合料抗水损害性能的影响规律,测试结果如图 4 所示。从图中可看出:5 组改性沥青混合料的残留稳定度比都大于 85%,冻融劈裂强度比都大于 80%,均满足改性沥青混合料抗水损害性能要求,且残留稳定度比和冻融劈裂强度比都随着复合多效增强剂含量的增加而增加,说明复合多效增强剂可替身沥青混合料的抗水损性能,提高沥青混合料的水稳定性。

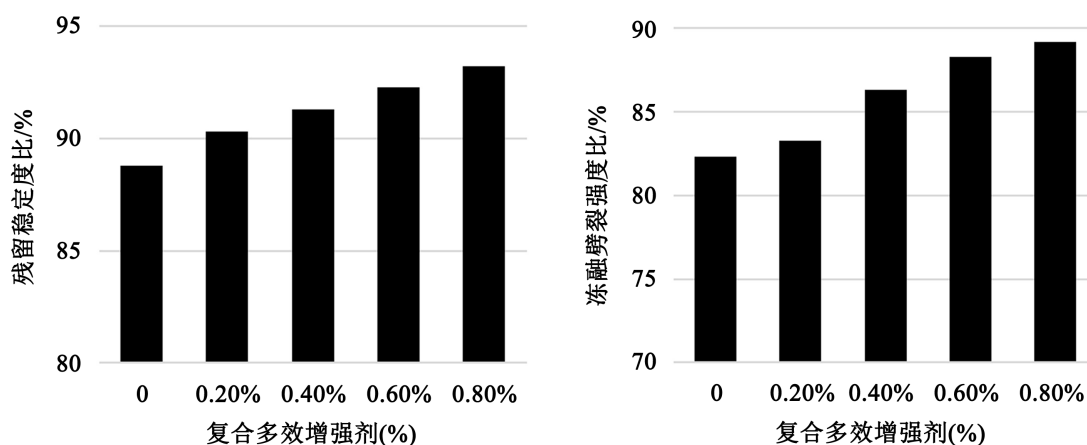


Figure 4. Water damage resistance of asphalt mixture (L: residual stability ratio; R: freeze-thaw splitting strength ratio)
图 4. 沥青混合料抗水损性能(左:残留稳定度比;右:冻融劈裂强度比)

4.4. 肯塔堡飞散

超薄罩面沥青混合料工程应用时在车辆载荷的作用下易产生推移、松散、剥落等病害。一般选用高黏沥青作为胶结料,提高混合料的抗飞散性能。因此,本文采用标准肯塔堡飞散试验研究不同复合多效

增强剂沥青混合料的抗飞散性能。图 5 为改性沥青混合料的肯塔堡飞散试验结果。从图 5 中可看出：随着复合多效增强剂含量的增加，改性沥青混合料的飞散损失逐渐降低。未掺加复合多效增强剂普通 SBS 改性沥青混合料的飞散损失为 23.6%，掺加 0.2% 复合多效增强剂后，飞散损失降低到 15.4%，但不能满足超薄罩面技术指标中飞散损失小于 8% 要求的要求。当复合多效增强剂含量增加至 0.4% 时，改性沥青混合料的飞散损失为 5.3%，具有较优的抗飞散性能。说明复合多效增强剂可以提高改性沥青混合料的抗飞散性能。

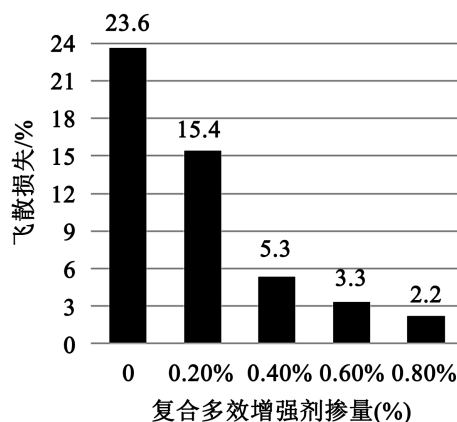


Figure 5. Cantabro Test of asphalt mixture
图 5. 沥青混合料的肯塔堡飞散损失

4.5. 低温性能

按照 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》[7]，通过低温弯曲试验来评价改性沥青混合料的低温性能。试验温度为 -10°C ，加载速率为 50 mm/min。采用 UTM 试验机进行低温弯曲试验。测试最大弯曲破坏应变和抗弯拉强度结果见图 6。从图 6 中可看出：随着复合多效增强剂含量的增加，改性沥青混合料的低温弯曲破坏应变和抗弯拉强度逐渐增加。从低温弯曲破坏应变看，未掺加复合多效增强剂的普通 SBS 改性沥青的弯曲破坏应变 $> 2500\ \mu\epsilon$ ，具有一定低温抗裂性能。当复合多效增加剂含量达 0.4% 时，弯曲破坏应变增加到 $> 3000\ \mu\epsilon$ ，具有优异的低温抗裂性能。说明复合多效增强剂增加了改性沥青混合料的低温抗裂性能。

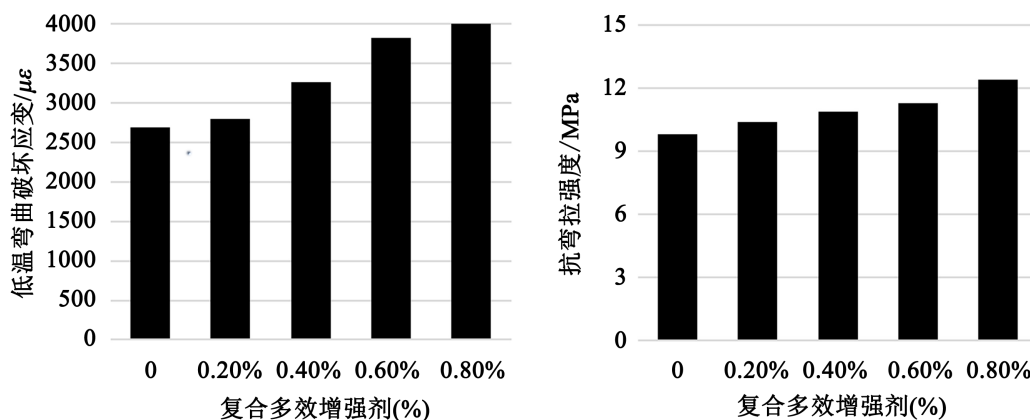


Figure 6. Low temperature performances of Asphalt mixture (L: failure strain; R: tensile strength)
图 6. 沥青混合料的低温性能(左：破坏应变；右：抗弯拉强度)

5. 结论

- 1) 复合多效增强剂可以提高改性沥青混合料的高温抗车辙性能、低温抗裂性能、抗飞散性能。
- 2) 普通 SBS 改性沥青混合料飞散损失 23.6%，不符合超薄罩面技术要求，当复合多效增强剂含量达 0.4% 时，飞散损失降低为 5.3%，复合多效增强剂提高改性沥青混合料的抗飞散性能。
- 3) 随着复合多效增强剂含量的增加，改性沥青的路用性能均逐渐增加，当复合多效增强剂含量达到 0.4% 时，改性沥青混合料的 60℃ 动稳定度 > 6000 次/mm，-10℃ 低温弯曲破坏应变 > 3000 $\mu\epsilon$ ，残留稳定度比 > 90%，冻融劈裂强度比 > 85%，具有优异的路用性能。

参考文献

- [1] 刘继法, 张振, 孟伟, 等. 超薄沥青混凝土磨耗层研究综述[J]. 山东交通科技, 2022(2): 102-104.
- [2] 虞将苗, 杨倪坤, 于华洋. 道路高性能沥青超薄磨耗层技术研究与应用现状[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2021, 52(7): 2287-2298.
- [3] 范玲秀. 超薄磨耗层在高速公路施工中的应用[J]. 科技视界, 2020(2): 122-124.
- [4] 虞将苗, 陈富达, 彭馨彦, 等. 高韧超薄沥青磨耗层在港珠澳大桥珠海人工岛通道上的应用[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2020, 60(1): 48-56.
- [5] 陆建华. ECA-10 超薄罩面与 Novachip 超薄磨耗层的路用性能对比研究[J]. 交通世界, 2020(3): 80-81.
- [6] 付征宇. SMC 改性沥青超薄罩面施工技术研究[J]. 交通世界, 2020(10): 31-32.
- [7] 交通部公路科学研究所. JTG E40-2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.