

玻璃纤维增强橡胶粉/SBS 复合改性沥青混合料路用性能试验研究

Experimental Study on Road Performance of Glass Fiber Reinforced Rubber Powder/SBS Composite Modified Asphalt Mixture

何 宇

(云南省交通规划设计研究院有限公司, 云南 昆明 650011)

摘要: 为了改善橡胶粉/SBS 复合改性沥青混合料的服役性能, 将不同掺量的玻璃纤维掺入橡胶粉/SBS 沥青混合料中进行改性, 采用马歇尔强度试验、劈裂试验、高温车辙试验、低温弯曲试验、浸水马歇尔试验以及冻融劈裂试验, 系统考察了不同玻璃纤维掺量对橡胶粉/SBS 复合改性沥青混合料力学性能及路用性能的影响规律。结果表明: 随着玻璃纤维掺量的增加, 橡胶粉/SBS 复合改性沥青混合料的马歇尔稳定度、劈裂强度、浸水残留稳定度及冻融劈裂强度比均逐渐增大, 动稳定度和最大弯拉应变均随着玻璃纤维掺量增加呈先增大后减小变化, 而劲度模量则随之呈先减小后增大变化; 玻璃纤维掺入能够有效改善橡胶粉/SBS 复合改性沥青混合料的力学性能及路用性能, 但掺入过量则会对高温抗车辙性能和低温抗裂性能有所不利, 玻璃纤维最佳掺量为 0.3%, 有利于提升橡胶粉/SBS 复合改性沥青混合料的综合服役质量及使用性能。

关键词: 沥青混合料; 玻璃纤维; 橡胶粉/SBS; 力学性能; 路用性能

中图分类号: U414 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249 (2024) 04-0138-04

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2024.04.025

HE Yu

(Yunnan Transportation Planning and Design Research Institute Co., Ltd., Kunming 650011, China)

Abstract: In order to improve the service performance of rubber powder/SBS composite modified asphalt mixture, different amounts of glass fiber were mixed into rubber powder/SBS asphalt mixture for modification. The effects of different glass fiber contents on the mechanical properties and road performance of rubber powder/SBS composite modified asphalt mixture were systematically investigated by Marshall strength test, splitting test, high temperature rutting test, low temperature bending test, immersion Marshall test and freeze-thaw splitting test. The results show that with the increase of glass fiber content, the mechanical properties and road performance of rubber powder/SBS composite modified asphalt mixture are improved. The Marshall stability, splitting strength, immersion residual stability and freeze-thaw splitting strength ratio of rubber powder/SBS composite modified asphalt mixture gradually increase. The dynamic stability and maximum flexural tensile strain increase first and then decrease with the increase of glass fiber content, while the stiffness modulus decreases first and then increases with the increase of glass fiber content. The incorporation of glass fiber can effectively improve the mechanical properties and road performance of rubber powder/SBS composite modified asphalt mixture, but excessive incorporation will be detrimental to high temperature rutting resistance and low temperature crack resistance. The optimum content of glass fiber is 0.3%, which is beneficial to improve the comprehensive service quality and performance of rubber powder/SBS composite modified asphalt mixture.

Keywords: asphalt mixture; glass fiber; rubber powder/SBS; mechanical properties; road performance

0 引言

随着我国工业化的快速发展, 废旧轮胎和废弃橡胶制品逐渐增多, 如不及时有效地处理, 则会严重污染到环境^[1-2]。橡胶粉是由废弃橡胶材料粉碎加工而成, 近年来我国学者通过采用橡胶粉对沥青进行改性, 发现橡胶粉不仅能够解决废旧橡胶再利用的难题, 还能对沥青路面使用性能起到一定改善作用^[3-4]。SBS 改性沥青是现阶段路用沥青中最为常见的一种聚合物改性剂, 其可大幅度提升沥青及混合料的使用性能及寿命, 但 SBS 改性沥青也存在一定的不足, 如长期储存后沥青和改性剂会发生分层离析现象, 且经过紫外线老化后沥青的性能也会变差^[5-6]。据相关研究表明, 我国在道路沥青改性方面逐渐偏向于多种沥青改性剂复掺, 相较于以往单一沥青改性剂, 将多种沥青改性剂掺入基质沥青进行复合改性, 有利于提升沥青及混合料的综合性能^[7]。由于橡胶粉/SBS 复合改性沥青混合料兼具两种改性剂的优点, 因此近年来国内学者对其展开相关研究, 如陈文生^[8]探讨了橡胶粉与 SBS 复合改性沥青及混合料的性能, 认为 3% 的 SBS 和 16%~20% 的橡胶粉复配有利于改善沥青及混合料的综合性能; 彭建湘等^[9]研究发现橡胶粉与 SBS 复合改性沥青常规性能不及 SBS 改性沥青, 但其中高温抗变形及抗老化性能优于后者; 宋大伟^[10]研究认为橡胶粉与 SBS 复合改性沥青混合料在城市道路维修改造工程中具有非常广阔的应用前景。上述研究无疑促进了橡胶粉与 SBS 复合改性沥青混合料技术的发展, 但实践发现仍存在力学性能及低温抗裂性能较差的缺点。基于此, 本文将不同掺量的玻璃纤维掺入橡胶粉/SBS 沥青混合料中进行改性, 采用马歇尔强度试验、劈裂试验、高温车辙试验、低温弯曲试验、浸水马歇尔试验以及冻融劈裂试验, 系统考察不同玻璃纤维掺量对橡胶粉/SBS 复合改性沥青混合料力学性能及路用性能的影响规律, 以期为橡胶粉/SBS 复合改性沥青及混合料在沥青路面工程中的应用及发展提供技术支撑。

1 试验材料及方案

1.1 原材料

沥青: 选用橡胶粉/SBS 复合改性沥青, 其主要

由基质沥青、橡胶粉、SBS 改性剂、稳定剂制备而成, 各项性能指标见表 1; 粗集料选用玄武岩, 表观相对密度为 2.76 g/cm³, 洛杉矶磨耗损失为 14.6%, 压碎值为 16.6%, 吸水率为 0.35%; 细集料选用机制砂, 表观相对密度为 2.78 g/cm³, 砂当量为 72%, 棱角性为 36.6 s; 集料的各项技术指标均满足相关规范要求; 矿粉: 选用磨细的石灰岩矿粉, 表观相对密度为 2.81 g/cm³, 塑性指数为 3.5%, 含水量为 0.5%; 纤维: 选用白色的无碱短切玻璃纤维, 其主要技术性能指标见表 2。

表 1 复合改性沥青技术性质

测试项目	检测结果	规定要求
针入度 (25 °C) /0.1 mm	56.70	60~80
延度 (5 °C) /cm	38.20	≥35
软化点/°C	71.50	≥70
布氏黏度 (135 °C) / (kPa·s)	4.06	≥3
弹性恢复 (25 °C) /%	88.00	≥60

表 2 玻璃纤维技术指标

长度/mm	单丝直径/μm	抗拉强度/MPa	熔融温度/°C	极限拉伸应变/%
12	6	3100	1500	3.5

1.2 试验方案

选用 AC-13 型级配制备复合改性沥青混合料并测试相关性能, 级配设计见表 3。根据 JTG F40—2017《公路沥青路面施工技术规范》和 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中的相关标准, 以 AC-13 型复合改性沥青混合料的初始油石比 5.0% 为基础, 设计 4.5%、4.75%、5.0%、5.25%、5.5% 五种油石比, 并对 5 种油石比的沥青混合料进行马歇尔性能测试, 测试结果见表 4。

表 3 AC-13 级配设计

级配范围	通过筛孔 (mm) 率/%									
	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	85	68	50	38	28	20	15	8
级配下限	100	90	68	38	24	15	10	7	5	4
设计级配	100	92	74	49	31	23	16	12	8	5

表 4 马歇尔试验结果

油石比 /%	毛体积密度 / (g/cm ³)	目标空隙率 /%	矿料空隙率 /%	饱和度 /%	马歇尔稳定度 /kN	流值 /mm
4.50	2.35	6.60	16.54	67.22	16.10	2.11
4.75	2.39	5.43	15.82	69.86	16.44	2.59
5.00	2.43	4.79	15.42	72.49	17.52	2.73
5.25	2.41	3.71	15.79	77.01	17.28	3.24
5.50	2.40	2.90	16.10	80.18	16.97	4.12

道桥技术

通过采用马歇尔设计法对表4中的毛体积密度、马歇尔稳定度、目标空隙率及沥青饱和度等指标进行曲线绘制,并依据插值法求取混合料的最佳油石比,得到复合改性沥青混合料的毛体积密度最大值和马歇尔稳定度最大值对应的油石比分别为5.0%、5.04%,而目标空隙率中值和沥青饱和度中值对应的油石比分别为4.89%、5.11%,即可确定出复合改性沥青混合料的最佳油石比为 $OAC = (OAC_1 + OAC_2) / 2 = 5.0\%$ 。玻璃纤维掺量按照复合改性沥青混合料总质量的百分比计,拟设未掺纤维和纤维掺量为0.1%、0.2%、0.3%、0.4%,并采用马歇尔强度试验、劈裂试验、高温车辙试验、低温弯曲试验、浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验来评价橡胶粉/SBS复合改性沥青混合料的力学性能及路用性能。

2 试验结果与分析

2.1 力学性能

由图1可知,在不同玻璃纤维掺量下,橡胶粉/SBS复合改性沥青混合料的马歇尔稳定度均大于JTG E20—2011要求($\geq 8\text{kN}$);随着玻璃纤维掺量的增加,沥青混合料的马歇尔稳定度和劈裂强度均呈逐渐增大变化,当玻璃纤维掺量增至0.3%时,马歇尔稳定度和劈裂强度的增幅显著,但当玻璃纤维掺量继续增至0.4%时,两者的增幅则表现较为平缓。玻璃纤维掺入能够有效提升橡胶粉/SBS复合改性沥青混合料的力学性能,原因是玻璃纤维加入沥青混合料中起到良好的加筋、增韧、阻裂等作用,因此增强了沥青混合料的力学性能,而玻璃纤维掺量过多则会产生堆积、结团现象,致使混合料荷载传递、分散的能力降低,故而削弱了沥青混合料的力学性能。

2.2 高温稳定性

由图2可知,在不同玻璃纤维掺量下,橡胶粉/SBS复合改性沥青混合料动稳定度均大于JTG E20—2011要求($\geq 3500\text{次}\cdot\text{mm}^{-1}$)。随着玻璃纤维掺量的增加,橡胶粉/SBS复合改性沥青混合料动稳定度呈先增大后减小变化,其中在玻璃纤维为0.1%、0.2%、0.3%、0.4%时,沥青混合料的动稳定度较未掺纤维的分别增大了33.1%、63.6%、86.8%、82.8%,说明掺入玻璃纤维能够有效改善橡胶粉/SBS复合改性沥青混合料的高温抗车辙变形能力,原因是玻璃

纤维均匀加筋于沥青混合料中形成了稳定的网状结构,抑制了高温荷载下集料间的滑移,加之玻璃纤维弹性模量、拉伸强度较优,使得沥青混合料强度得到提升,因此有利于增强沥青混合料的高温抗车辙性能。

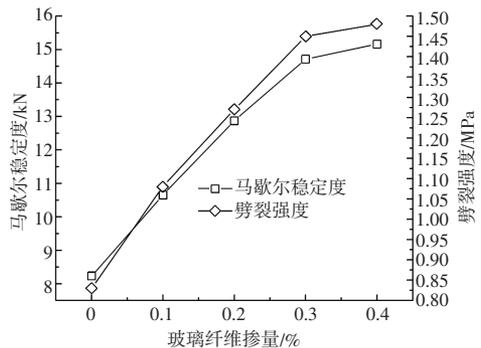


图1 玻璃纤维掺量对复合改性沥青混合料力学性能的影响
Fig.1 Effect of glass fiber content on mechanical properties of composite modified asphalt mixture

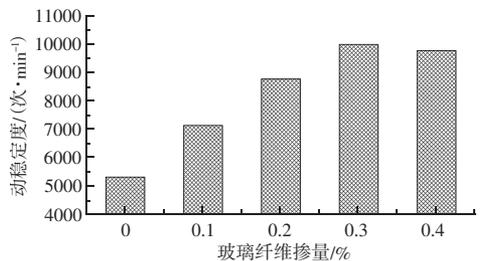


图2 玻璃纤维掺量对复合改性沥青混合料高温稳定性的影响
Fig.2 Effect of glass fiber content on high temperature stability of composite modified asphalt mixture

2.3 低温抗裂性

由图3可以看出,不同玻璃纤维掺量下橡胶粉/SBS复合改性沥青混合料最大弯拉应变均满足JTG E20—2011要求($\geq 2500\mu\epsilon$),且最大弯拉应变随着玻璃纤维掺量的增加呈先增大后减小变化。当玻璃纤维掺量增至0.3%时,沥青混合料的最大弯拉应变增幅明显;而当玻璃纤维掺量继续增至0.4%时,沥青混合料的最大弯拉应变虽有所减小,但仍较未掺纤维增大了40.7%。随着玻璃纤维掺量的增加,沥青混合料的劲度模量呈先减小后增大变化,在玻璃纤维掺量为0.1%、0.2%、0.3%、0.4%时,沥青混合料的劲度模量较未掺纤维分别减小了3.5%、9.7%、16.7%、14.8%;掺入适量的玻璃纤维能够有效改善沥青混合料低温抗开裂能力,原因是玻璃纤维具有加筋桥接、增韧阻裂、分散传递等作用,在沥青混合料中均匀分布形成空间网状结构,

有利于抑制低温、荷载作用下结构裂缝的产生与发展,因而增强其低温抗裂性能;但玻璃纤维掺入过量容易出现结团或堆积现象,导致沥青混合料低温抗裂性能降低。

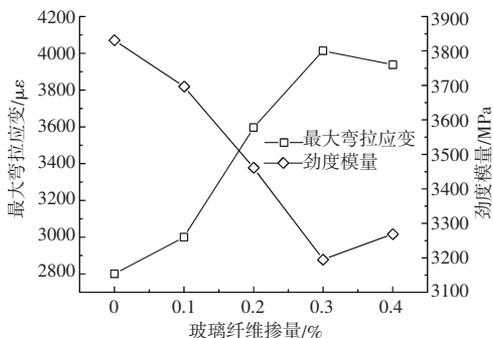


图3 玻璃纤维掺量对复合改性沥青混合料低温抗裂性的影响
Fig. 3 Effect of glass fiber content on low temperature crack resistance of composite modified asphalt mixture

2.4 水稳定性

由图4可知,不同橡胶粉/SBS复合改性沥青混合料的浸水残留稳定度均大于85%,而冻融劈裂强度比均大于80%,表明复合改性沥青混合料的水稳定性均满足JTG E20—2011要求。随着玻璃纤维掺量的增加,橡胶粉/SBS复合改性沥青混合料的浸水残留稳定度和冻融劈裂强度比均呈逐渐增大变化,在玻璃纤维掺量为0.1%、0.2%、0.3%、0.4%时,沥青混合料的浸水残留稳定度较未掺纤维分别增大了1.4%、3.2%、4.9%、6.2%,而冻融劈裂强度比未掺纤维也分别增大了1.3%、4.2%、6.0%、7.1%,说明玻璃纤维掺入能够有效提升橡胶粉/SBS复合改性沥青混合料抗水损害性能,原因是玻璃纤维比表

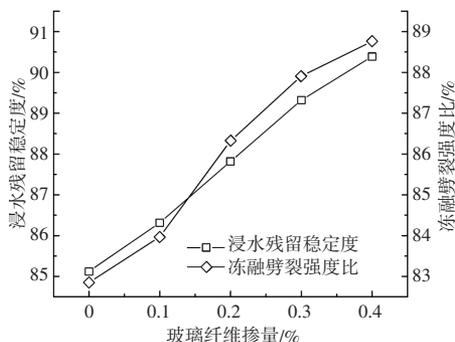


图4 玻璃纤维掺量对复合改性沥青混合料水稳定性的影响
Fig. 4 Effect of glass fiber content on water stability of composite modified asphalt mixture

面积较大,能够吸附一定的自由沥青,使得沥青胶浆与集料间黏附性增强,因此提升了沥青混合料抗水损害性能。

3 结论

(1) 随着玻璃纤维掺量的增加,橡胶粉/SBS复合改性沥青混合料马歇尔稳定度、劈裂强度、浸水残留稳定度及冻融劈裂强度比均逐渐增大,掺入玻璃纤维能够有效提升复合改性沥青混合料的力学性能及水稳定性能。

(2) 橡胶粉/SBS复合改性沥青混合料动稳定性和最大弯拉应变均随着玻璃纤维掺量的增加呈先增大后减小变化,而劲度模量则随之呈先减小后增大变化;掺入适量的玻璃纤维可以改善复合改性沥青混合料高温抗车辙性能及低温抗裂性能,0.3%掺量的玻璃纤维有利于提升橡胶粉/SBS复合改性沥青混合料服役质量及使用性能。

参 考 文 献

- [1] 底秀玲,仲富,仇新玲,等. 橡胶粉改性沥青的热稳定性及其复合沥青的研究[J]. 化工新型材料, 2023, 51(2): 229-234.
- [2] 王其敏,吴文华,李恒,等. 废胶粉/天然沥青复合改性沥青抗老化性能及其机理研究[J]. 公路, 2022, 67(12): 322-329.
- [3] 王青. 橡胶沥青在城市道路水泥路面改造施工中的应用研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2020, 34(4): 112-117.
- [4] 锁利军. 橡胶粉/SBS复合改性沥青胶结料的制备与性能研究[J]. 功能材料, 2022, 53(6): 6224-6229.
- [5] 梁庆,郑云,张关发,等. 废机油再生SBS改性沥青性能及再生机理[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(2): 777-784.
- [6] 李风增. 不同融雪剂对SBS改性沥青混合料路用性能的影响研究[J]. 合成材料老化与应用, 2022, 51(6): 96-98.
- [7] 余振兵. 复合改性桥面铺装沥青混合料性能试验研究[J]. 粉煤灰综合利用, 2020, 34(6): 111-115.
- [8] 陈文生. 稳定型橡胶粉/SBS复合改性沥青的制备及混合料性能研究[J]. 新型建筑材料, 2020, 47(10): 103-107.
- [9] 彭建湘,张冬梅,刘斌. 橡胶粉与SBS复合改性沥青黏弹性性能试验研究[J]. 公路工程, 2022, 47(3): 131-136.
- [10] 宋大伟. SBS橡胶粉复合改性沥青混合料在城市小修改造中的应用研究[J]. 合成材料老化与应用, 2021, 50(2): 70-72, 42.