

土工格栅对砂粒式沥青混合料路用性能的影响

高雪池¹, 张晓萌^{2*}, 薛志超³, 吴文娟², 马士杰², 徐希忠², 李洪利⁴

1. 山东高速集团有限公司, 山东 济南 250101; 2. 山东省交通科学研究院, 山东 济南 250102;
3. 山东高速基础设施建设有限公司, 山东 济南 250101; 4. 山东高速集团有限公司智慧管理中心, 山东 济南 250013

摘要:为研究土工格栅对砂粒式沥青混合料路用性能的影响,分别采用碳纤维格栅、玻璃纤维格栅、经编玻璃纤维格栅、聚丙烯格栅等4种土工格栅加筋砂粒式沥青混合料,进行沥青混合料裂缝扩展性能试验、三点弯曲试验、高温车辙试验和四点弯曲疲劳试验,分析铺设土工格栅前、后砂粒式沥青混合料的路用性能。结果表明:加入玻璃纤维格栅和经编玻璃纤维格栅可显著提升沥青混合料性能的抗拉、抗弯拉、抗车辙及抗疲劳性能;碳纤维格栅在抗拉和抗弯拉和抗车辙性能提升中效果最佳,但在疲劳性能提升方面最弱;聚丙烯纤维格栅的改善效果不如其他3种格栅突出。

关键词:土工格栅;砂粒式沥青混合料;抗裂性能;抗车辙性能;抗疲劳性能

中图分类号:U416.217;U414

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2024)02-0047-06

引用格式:高雪池,张晓萌,薛志超,等.土工格栅对砂粒式沥青混合料路用性能的影响[J].山东交通学院学报,2024,32(2):47-52.

GAO Xuechi, ZHANG Xiaomeng, XUE Zhichao, et al. Influence of geogrid on the road performance of sand-grained asphalt mixture[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2024, 32(2): 47-52.

0 引言

沥青路面结构在车辆荷载的长期反复作用下易产生裂缝等损伤病害。将土工格栅应用到沥青面层可有效改善沥青路面的应力分布,防止沥青面层产生裂缝,延长路面使用寿命^[1-3]。

研究人员通过不同试验评价格栅加筋沥青混合料的路用性能,或采用室内试验、数值模拟等方法研究格栅铺设层位对沥青混合料路用性能的影响,沥青混合料的不同性能受格栅铺设层位的影响显著^[4-6]。Brown^[7]发现采用玻璃纤维土工格栅可延长试件使用寿命约1.5倍。Partl等^[8]采用试验与模拟结合,认为碳纤维土工格栅增强了热拌沥青和玛蹄脂沥青的耐低温开裂性、路面刚度、破坏时的应变和应力。Lee等^[9]对比韩国国道纤维格栅加筋路面和普通路面的病害情况,结果表明纤维网格截面的断裂能、屈服后位移和抗剪刚度均高于普通截面。孔令云等^[10]、王书云等^[11]比较玻璃纤维土工格栅、加铺聚酯长丝烧毛土工布及不加铺土工格栅试样的小梁弯曲试验、劈裂试验、单轴压缩试验、疲劳试验结果,发现玻璃纤维格栅对沥青混合料破坏应变影响显著,对劲度模量有较大改善,同等应力水平条件下,铺设格栅试件的疲劳寿命显著提高,应力水平越高,疲劳寿命敏感性越低;随大气温度降低,加铺玻璃纤维格栅后试件的抗拉强度的增幅明显大于加铺土工布的试件,但对破坏应变、劲度模量的影响不显著。对格栅增强沥青混合料的抗车辙和抗疲劳性能的研究较多,但多数集中在试验评价方法、铺设层位对沥青混合

收稿日期:2022-10-25

基金项目:山东省自然科学基金青年项目(ZR2020QE271)

第一作者简介:高雪池(1967—),男,山东德州人,研究员,工学博士,主要研究方向为道路与桥梁工程,E-mail:gaoxc@sina.com。

*通信作者简介:张晓萌(1987—),男,济南人,工程师,工学博士,主要研究方向为沥青路面结构与材料研发,E-mail:zhangxiaomeng@sdjtky.cn。

料性能的影响,沥青混合料的最大粒径一般大于 13 mm,大多采用玻璃纤维格栅,研究其他复合材料的格栅在砂粒式沥青混合料中对路用性能的影响较少^[12-14]。

在沥青路面中,砂粒式沥青混合料一般设于沥青层层底,作为抗疲劳层改善路面结构的抗疲劳性能。在沥青混合料的相应层位布设格栅,研究格栅对砂粒式沥青混合料路用性能的影响,重点研究砂粒式沥青混合料-格栅-AC-25 沥青混合料复合结构层性能,研究砂粒式沥青混合料-格栅用于提升沥青路面疲劳性能的适用性,为格栅加筋复合结构层的大规模应用提供技术参考^[15-19]。

本文通过沥青混合料裂缝扩展性能试验(overlay test, OT)、三点弯曲试验、高温车辙试验和四点弯曲疲劳试验,比较不同类型土工格栅加筋砂粒式沥青混合料的抗拉、抗弯拉、抗车辙和抗疲劳性能,分析土工格栅对砂粒式沥青混合料路用性能的影响,为土工格栅在沥青路面结构的工程应用提供依据。

1 试验方案

1.1 材料

采用经编玻璃纤维格栅、玻璃纤维格栅、碳纤维格栅、聚丙烯格栅 4 种类型格栅,尺寸分别为 20 mm×15 mm、20 mm×20 mm、25 mm×25 mm、15 mm×15 mm,如图 1 所示。格栅的工作温度为-100~280 ℃,温度适用性较好。

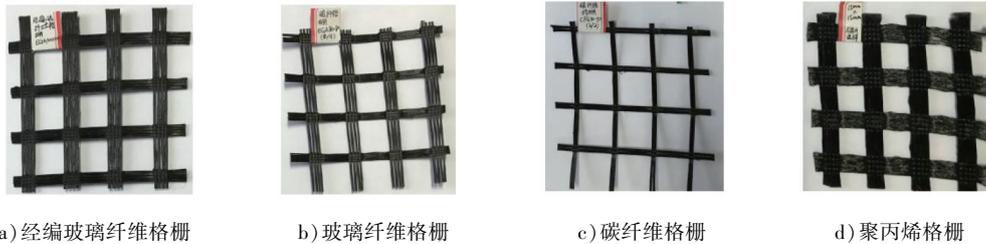


图 1 格栅类型

试验主要采用砂粒式沥青混合料,选用 70# 基质沥青,沥青的质量分数为 6.8%;集料为石灰岩,级配如表 1 所示。在砂粒式沥青混合料中,粒径为>3~5 mm、0~3 mm 石灰岩的质量分数分别为 35%、60%,矿粉的质量分数为 5%。

表 1 砂粒式沥青混合料集料级配

筛孔边长/mm	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	100.0	92.5	64.8	46.2	26.6	18.4	11.4	9.0

1.2 试件成型

1) OT 试验

采用直径为 150 mm、高 170 mm 的圆柱体试模旋转压实,先装入高约 60 mm 的沥青混合料旋转压实 50 次,放入格栅后加剩余沥青混合料,注意格栅筋带的走向,再旋转压实 100 次。分别加入 4 种不同的格栅,同时设置 1 组未加格栅作为对照组。

将成型试件切割为长、宽、高分别为 150、75、38 mm 的棱柱体小梁,切割时控制格栅距底面 10 mm,设置无格栅的试件为对照组,进行沥青混合料路面开裂试验。

2) 三点弯曲试验、高温车辙试验

我国现行沥青路面结构一般下面层为 AC-25 沥青混合料,为研究砂粒式沥青混合料-格栅-AC-25 复合结构层的路用性能,制备长、宽、高分别为 300、300、100 mm 的试模,采用振动压实的方法,在试模底部成型厚 20 mm 的砂粒式沥青混合料结构层,在结构层上面铺设 1 层土工格栅,注意格栅筋带的走向,受

力筋为车辆前进方向;铺设格栅后撒布热沥青,在砂粒式沥青混合料结构层上继续铺筑 80 mm 的 AC-25 沥青混合料,压实成型。

将成型试件切割为长、宽、高分别为 250、35、30 mm 的棱柱体小梁,切割时控制格栅距底面 10 mm,对沥青混合料进行低应变速率条件下的三点弯曲试验;将成型试件进行沥青混合料高温车辙试验。

3) 四点弯曲疲劳试验

制备长、宽、高分别为 500、300、80 mm 的试模,在试模层底 40 mm 或 50 mm 内铺设一层砂粒式沥青混合料结构层后整平;在砂粒式沥青混合料温度较高状态下,立即将 4 种格栅分别放置在已成型试件上,标记格栅筋带走向,在试模中加入新的砂粒式沥青混合料并填满试模,再次轮碾压实,制备砂粒式沥青混合料-格栅复合结构层。

将成型试件切割为长、宽、高分别为 380.0、63.5、50.0 mm 的棱柱体小梁,切割时控制格栅距底面 10.0 mm,进行沥青混合料四点弯曲疲劳试验。

对各试件参照文献[20]进行 OT 试验,按文献[21]中的 T0715—2011 进行三点弯曲试验,按 T0719—2011 进行沥青混合料车辙试验,按 T0739—2011 进行沥青混合料四点疲劳试验。

2 结果与讨论

2.1 OT 试验结果

对不同土工格栅类型加筋砂粒式沥青混合料及对照组(无格栅)试件进行 OT 试验,加载荷载随循环加载次数的变化曲线如图 2 所示。5 种试件的 OT 试验结果如表 2 所示。

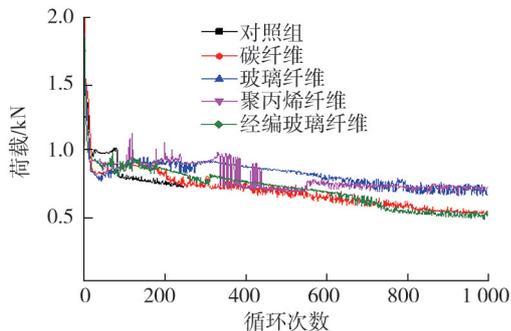


图 2 OT 试验结果

表 2 5 种试件的 OT 试验结果

试件土工格栅类型	最大荷载/kN		初始最大荷载 衰减率/%	循环 次数
	初始	结束		
无(对照组)	1.76	0.73	59	247
聚丙烯纤维格栅	1.68	0.71	58	1 000
碳纤维格栅	1.83	0.53	71	1 000
玻璃纤维格栅	1.57	0.66	58	1 000
经编玻璃纤维格栅	1.70	0.52	69	1 000

由表 2 可知:加载至 247 次拉伸循环后,对照组试件从中部断裂,其他 4 种加入格栅的砂粒式沥青混合料均能承受 1 000 次的拉伸循环,表明加入格栅有利于提高砂粒式沥青混合料的抗疲劳开裂性能;初始荷载从大到小依次为碳纤维格栅加筋砂粒式沥青混合料、对照组、经编玻璃纤维格栅加筋砂粒式沥青混合料、聚丙烯纤维格栅加筋砂粒式沥青混合料、玻璃纤维格栅加筋砂粒式沥青混合料,表明铺设碳纤维格栅的砂粒式沥青混合料的抗裂强度有所增大,铺设经编玻璃纤维格栅、聚丙烯纤维格栅和玻璃纤维格栅均使砂粒式沥青混合料的抗裂强度减小;承受 1 000 次循环荷载后,初始荷载衰减率从小到大依次为玻璃纤维格栅加筋砂粒式沥青混合料及聚丙烯纤维格栅加筋砂粒式沥青混合料(二者相等)、对照组、经编玻璃纤维格栅加筋砂粒式沥青混合料、碳纤维格栅加筋砂粒式沥青混合料,表明铺设经编玻璃纤维格栅、聚丙烯纤维格栅和玻璃纤维格栅虽不利于提高砂粒式沥青混合料的抗裂强度,但试件的抗疲劳性比碳纤维格栅加筋砂粒式沥青混合料高。

2.2 三点弯曲试验结果

研究铺设格栅的砂粒式沥青混合料在低应变速率下的力学行为,在 15 ℃ 下,对 5 种砂粒式沥青混合料试件进行三点弯曲试验,抗弯强度试验曲线如图 3 所示。由图 3 可知:铺设格栅后,试件的弯曲强度曲

线有较大变化,因格栅的牵拉作用,试件的破坏过程更缓慢,破坏后的曲线更缓和,加入格栅有效提高砂粒式沥青混合料的韧性,试件破坏时突然加大的变形程度得以缓解。

三点弯曲强度试验结果如表3所示。由表3可知:加入格栅后,沥青混合料复合梁的最大弯拉强度显著增大,碳纤维格栅试件的最大弯拉强度和最大弯拉应变最大,玻璃纤维格栅次之;聚丙烯纤维格栅试件的劲度模量最大。

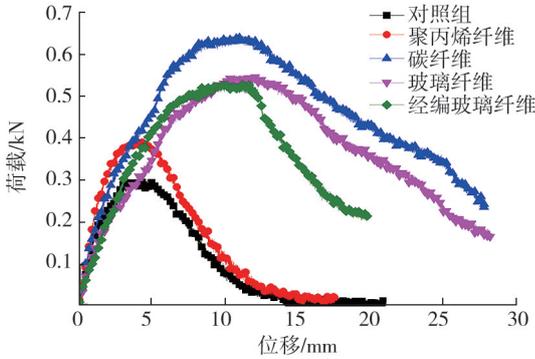


图3 抗弯强度试验曲线

表3 三点弯曲试验结果

试件土工格栅类型	最大抗弯强度/MPa	最大抗弯应变	劲度模量/MPa
无(对照组)	0.72	0.035	20.76
聚丙烯纤维格栅	0.96	0.033	29.04
碳纤维格栅	1.56	0.082	19.10
玻璃纤维格栅	1.33	0.080	16.56
经编玻璃纤维格栅	1.28	0.070	18.31

2.3 高温车辙试验结果

对5种砂粒式沥青混合料试件进行高温车辙试验,铺设土工格栅对砂粒式沥青混合料的高温抗车辙能力影响如表4所示。

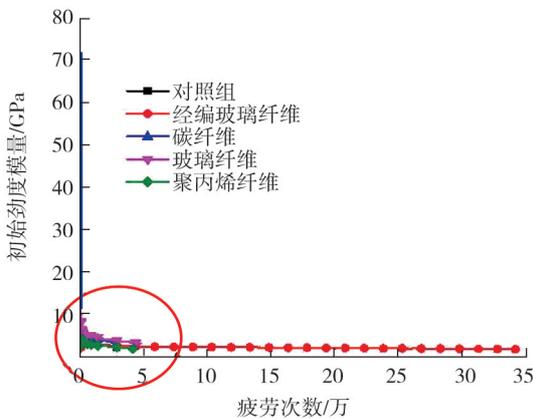
由表4可知:铺设格栅试件的车辙深度比未铺设格栅试件小,聚丙烯纤维、碳纤维、玻璃纤维和经编玻璃纤维格栅砂粒式沥青混合料1h的车辙深度分别较未铺设格栅试件减小1.8%、10.4%、10.0%和14.0%;铺设格栅试件的1h动稳定度比未铺设格栅的试件大,聚丙烯纤维、碳纤维、玻璃纤维和经编玻璃纤维格栅砂粒式沥青混合料的动稳定度分别较未铺设格栅试件增大11.1%、30.4%、36.4%和13.2%,铺设格栅后砂粒式沥青混合料的抗车辙能力明显提高,铺设经编玻璃纤维格栅试件的改善效果最好,其次是碳纤维格栅、经编玻璃纤维格栅、聚丙烯纤维格栅。

表4 高温车辙试验结果

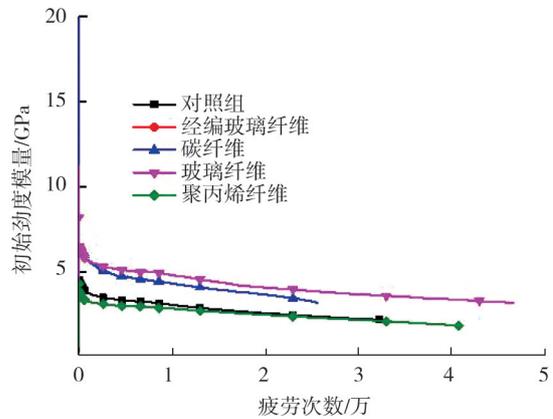
试件土工格栅类型	车辙深度/mm		1 h 动稳定度/(次·mm ⁻¹)
	45 min	1 h	
无(对照组)	2.200	2.260	10 500
聚丙烯纤维格栅	2.170	2.220	11 667
碳纤维格栅	1.980	2.026	13 696
玻璃纤维格栅	1.990	2.034	14 318
经编玻璃纤维格栅	1.890	1.943	11 887

2.4 四点疲劳试验结果

对5种砂粒式沥青混合料试件进行四点疲劳试验,疲劳曲线如图4所示。



a) 5种试件疲劳曲线整体趋势



b) 5种试件疲劳曲线局部对比

图4 四点疲劳试验结果

由图4可知:对照组、碳纤维格栅、玻璃纤维格栅、经编玻璃纤维格栅、聚丙烯纤维格栅的疲劳次数分别为32 400、25 600、46 700、342 000、40 800。铺设玻璃纤维、经编玻璃纤维和聚丙烯纤维格栅的砂粒式沥青混合料试件的疲劳寿命显著提高,加入经编玻璃纤维格栅的试件的疲劳寿命增大效果显著,与OT试验结果可相互印证。加入玻璃纤维、经编玻璃纤维和聚丙烯纤维格栅可约束矿料颗粒,使得沥青混合料能更好地抵抗重复弯拉应力^[22-24];此3种纤维的收缩特性较好,提高了沥青混合料的弹性恢复能力,沥青混合料更坚韧,能有效抵抗重复荷载的作用,延长疲劳寿命;加入碳纤维格栅试件的疲劳寿命缩短,加入碳纤维不利于改善试件的抗疲劳性能^[25-27]。

3 结束语

采用碳纤维格栅、玻璃纤维格栅、经编玻璃纤维格栅、聚丙烯格栅4种类型格栅加筋砂粒式沥青混合料,对制备试件进行OT试验、三点弯曲试验、高温车辙试验和四点弯曲疲劳试验,分析土工格栅对砂粒式沥青混合料路用性能的影响。结果表明:玻璃纤维格栅和经编玻璃纤维格栅对砂粒式沥青混合料的抗拉、抗弯拉、抗车辙及抗疲劳性能均有明显改善,抗疲劳性能最突出;铺设碳纤维格栅试件的拉伸和弯拉强度最高,表明碳纤维格栅可明显增强砂粒式沥青混合料的抗裂性能;但拉伸循环强度衰减率最小,且四点弯曲疲劳寿命比未加格栅试件小,碳纤维格栅在疲劳性能提升方面最弱;铺设聚丙烯纤维格栅可使砂粒式沥青混合料获得较好的抗拉、抗弯拉、抗车辙及抗疲劳性能,但不如其他几种格栅改善效果突出。

参考文献:

- [1] 王志强. 碳纤维土工格栅加筋沥青混合料高低温性能试验研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2022.
- [2] 杨军, 邓学钧. 格栅沥青混凝土性能研究[J]. 中国公路学报, 1997, 10(3): 13-18.
- [3] 张胜坤. 玻纤土工格栅提高沥青路面耐久机理及应用技术研究[J]. 石家庄:石家庄铁道大学,2016.
- [4] 孙雅珍, 刘杰民, 赵复笑. 基于土工合成材料加铺层的沥青混凝土路面抗裂性能[J]. 公路交通科技, 2012, 29(1): 34-37.
- [5] ADAM Z, MACIEJ M, DOMINIKA M. Glass and carbon geogrid reinforcement of asphalt mixtures[J]. Road Materials and Pavement Design, 2017, 18(Suppl. 1): 471-490.
- [6] LEE J S, RICHARD K Y, LEE J J. Rutting performance evaluation of asphalt mix with different types of geosynthetics using MMLS3[J]. The International Journal of Pavement Engineering, 2015, 16(9/10): 894-905.
- [7] BROWN S F. An assessment of geogrid use in railways and asphalt applications[C]//Proceedings of Jubilee Symposium on Polymer Geogrid Reinforcement. [S.l.]:[s.n.],2009.
- [8] PARTL M N, SOKOLOV K, KIM H. Evaluating and modelling the effect of carbon fiber grid reinforcement in a model asphalt pavement[C]//Proceedings of Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2008). [S.l.]:[s.n.],2008.
- [9] LEE J M, BAEK S B, LEE K H, et al. Long-term performance of fiber grid reinforced asphalt pavements overlaid on old concrete pavements[J]. International Journal of Highway Engineering, 2017, 19(3): 31-43.
- [10] 孔令云, 周进川, 李红岩. 铺设土工合成材料的沥青混合料力学特性评价[J]. 石油沥青, 2004, 18(3): 6-9.
- [11] 王书云, 张金喜, 苗英豪, 等. 土工合成材料改善沥青路面性能的试验[J]. 北京工业大学学报, 2009, 35(9): 1209-1214.
- [12] 苏英志, 何宇, 郭长辉. 沥青加筋路面抵抗车辙变形数值模拟研究[J]. 煤炭技术, 2011, 30(8): 156-158.
- [13] GRAZIANI A, PASQUINI E, FERROTTI G, et al. Structural response of grid-reinforced bituminous pavements[J]. Materials and Structures, 2014, 47: 1391-1408.
- [14] CORREIA N S, ZORNBERG J G. Mechanical response of flexible pavements enhanced with geogrid-reinforced asphalt overlays[J]. Geosynthetics International, 2015, 23(3): 183-193.
- [15] 肖永亮. 玻纤格栅提高沥青路面技术性能的研究[D]. 北京:北京建筑工程学院, 2008.
- [16] GUO R, PAN Y, CAI L H, et al. Bonding behavior of CFRP grid-concrete with PCM shotcrete[J]. Engineering

- Structures, 2018, 168: 333-345.
- [17] 王朝辉,王选仓,杨维国,等. 不同层位格栅加筋沥青混凝土的抗车辙性能[J]. 长沙交通学院学报,2008,24(4): 27-31.
- [18] 刘建兰,王朝辉,王选仓. 不同层位格栅加筋的沥青混凝土力学性能[J]. 交通运输工程学报, 2009, 9(2):22-27.
- [19] 莫石秀,孔令云. 土工材料及其加铺位置对沥青混合料抗裂性能影响研究[J]. 公路交通技术, 2016, 32(4): 39-42.
- [20] Texas Department of Transportation. Test procedure for overlay test; TxDOT Designation: Tex-248-F[S/OL]. (2019-02-28) [2022-09-30]. <http://www.doc88.com/p-8896426397805.html>.
- [21] 中华人民共和国交通运输部,交通运输部公路科学研究院. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程:JTG E20—2011 [S]. 北京:人民交通出版社,2011.
- [22] 苏天圣. 土工格室加筋沥青混凝土性能及路面结构响应特征研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2021.
- [23] 刘栋. 玻纤土工格栅加筋公路沥青混凝土路面施工技术探析[J]. 交通世界,2016(增刊1):60-61.
- [24] 薛忠军,张肖宁,王佳妮,等. 土工织物加筋沥青面层抗裂性能评价试验方法研究[J]. 公路交通科技, 2008, 25(1): 33-37.
- [25] 张明恒. 碳纤维土工格栅加筋沥青混合料层间剪切特性试验研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2022.
- [26] 李淑明,许志鸿,蔡喜棉. 土工织物对复合式路面结构内力影响分析[J]. 中国公路学报,2006(1):28-31.
- [27] GONZALEZ-TORREA I, CALZADA-PEREZ M A, VEGA-ZAMANILLO A. Evaluation of reflective cracking in pavements using a new procedure that combine loads with different frequencies[J]. Construction and Building Materials, 2015,75:368-374.

Influence of geogrid on the road performance of sand-grained asphalt mixture

GAO Xuechi¹, ZHANG Xiaomeng^{2}, XUE Zhichao³, WU Wenjuan²,
MA Shijie², XU Xizhong², LI Hongli⁴*

1. Shandong Hi-speed Group Co., Ltd., Jinan 250101, China; 2. Shandong Transportation Institute, Jinan 250102, China;

3. Shandong Hi-speed Group Innovation Research Institute, Jinan 250101, China;

4. Shandong Hi-speed Group Intelligent Management Center, Jinan 250013, China

Abstract: To study the influence of geogrids on the performance of sand-grained asphalt mixture for pavement, four types of geogrids, including carbon fiber geogrid, glass fiber geogrid, stitched glass fiber geogrid, and polypropylene geogrid, are used to reinforce the sand-asphalt mixture. Tests are conducted on the asphalt mixture for crack propagation, three-point bending, high-temperature rutting, and four-point bending fatigue. The road performance of the sand-asphalt mixture before and after laying geogrids is analyzed. The results show that incorporating glass fiber geogrid and stitched glass fiber geogrid significantly improves the tensile, flexural, rutting, and fatigue resistance of the asphalt mixture. The carbon fiber geogrid performs best in enhancing tensile, flexural, and rut resistance, but is the weakest in improving fatigue performance. The improvement effect of polypropylene geogrid is not as significant as the other three types of geogrids.

Keywords: geogrid; sand-grained asphalt mixture; tensile resistance; rut resistance; fatigue resistance

(责任编辑:王惠)