

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2022.04.036

棉纤维沥青混凝土的力学性能试验研究

王红梅^{1,2}, 高涛涛^{1,3}, 王丽英⁴

(1. 重庆能源职业学院 城市建设学院, 重庆市 402260; 2. 重庆工程学院 建筑工程学院, 重庆市 400056;
3. 重庆交通大学 土木工程学院, 重庆市 400074; 4. 重庆建筑工程职业学院 土木工程系, 重庆市 400072)

摘要:为提高沥青混凝土的力学性能,研究棉纤维对沥青混凝土力学性能的影响规律。以 140[#] 软质沥青为例,分别配置含 1%、4%、7% 的棉纤维-沥青混凝土和素沥青混凝土,在此基础上分别进行车辙试验、抗压试验、抗弯曲试验和抗冻融试验,分析棉纤维沥青混凝土稳定性、抗压强度、抗弯拉强度和抗拉强度的变化规律。结果表明:增加一定掺量的棉纤维(0%~4%),能够明显提高沥青混凝土的力学性能;而棉纤维掺量超过 4% 时,沥青混凝土的力学性能则会下降。因此,沥青混凝土中棉纤维最佳掺量为 4%。

关键词:棉纤维; 沥青混凝土; 稳定性; 抗压; 抗弯拉; 抗拉

中图分类号: U414 **文献标志码:** A

根据 2021 年交通运输行业发展统计公报显示,2021 年末中国公路总里程 528.07 万 km,比 2020 年末增加 8.26 万 km。公路密度 55.01 km/100 km²,增加 0.86 km/100 km²。公路养护里程 525.16 万 km,占公路总里程比重的 99.4%。可见,中国目前处于道路基础设施建设大开发阶段。然而,道路沥青混凝土在使用过程中会出现磨损、开裂等现象导致力学性能降低,严重威胁到道路的使用寿命。因此,改进和优化沥青混凝土的力学性能十分必要^[1-11]。

目前,对于沥青混凝土配合比设计与优化已有不少学者开展过研究。曹景等^[12]为提高混凝土的抗冻性,开展了棉纤维改善混凝土的抗冻性能研究,并得到了棉纤维的最佳配合比;罗倩^[13]为改善大空隙沥青混合料的路用性能,提出使用玄武岩纤维对大空隙沥青混合料进行改性的技术方案,得出玄武岩纤维的最佳掺量为 0.25%;林增华等^[14]研究聚丙烯纤维和玻璃纤维格栅组合对沥青混凝土抗裂性能的影响规律,确定了有利于阻止沥青混凝土开裂的最佳纤维组合形式;王慧颖等^[15]在沥青混合料中加入碳纤维和微胶囊相变材料,研究了微胶囊相变材料掺量和油石比对沥青混合料电阻率和融雪去冰效果的影响;宋文佳^[16]在沥青混合料中添加聚丙烯纤维,研究了聚丙烯纤维和玻璃对沥青混合料力学性能的影响。

以上研究多局限于纤维对混凝土强度的优越性进行比较,没有系统研究棉纤维对混凝土力学性能的影响。此外,棉纤维材料作为一种新型纤维材料被广泛应用于材料工程领域,但是在沥青混凝土中应用较少。基于此,该文开展棉纤维沥青混凝土的力学性能试验研究,提出高性能沥青混凝土配合比方法,探究棉纤维掺量对沥青混凝土力学性能的影响。

1 材料与方法

(1) 沥青。试验选用镇江某公司生产的 140[#] 软质沥青,其基本性能如表 1 所示。

表 1 沥青基本性能

指标	单位	测试结果
针入度	0.1 mm	129.1
软化点	℃	42.1
延度	cm	21.7
闪点	℃	286.0

(2) 集料。粗集料和细集料均为重庆市某混凝土有限公司生产,其中粗集料的密度约为 2.93 g/cm³,吸水率约为 0.92%,粒径范围为 5~15 mm;细集料的密度约为 2.83 g/cm³,吸水率约为 1.12%,粒径范围

为 0~5 mm。

(3) 棉纤维。试验选用上海某棉纤维公司生产的棉纤维,其直径约为 6 μm 、长度为 12 cm、密度约为 140 kg/m^3 ,如图 1 所示。



图 1 棉纤维试样

(4) 试验方法。将上述材料进行混合搅拌后,分别进行车辙试验、抗压试验、抗弯曲试验和抗冻融试验。其中车辙试验采用 HYCZ-2 型车辙试验仪,将试块直接放入装置中,得到棉纤维沥青混凝土的高温稳定性变化规律;抗压试验根据国家标准 JTJ 052—2000《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》方法进行测试;抗弯曲试验采用万能材料试验机,将沥青混凝土试块放入其中测试抗拉破坏的能力;抗冻融试验采用马歇尔试验仪和冷冻箱,按照国家标准 JTJ 052—2000 方法进行测试。

2 试验结果

2.1 车辙试验

分别以不掺棉纤维和掺入比例为 1%、4%、7% 的棉纤维沥青混凝土进行车辙试验,得到稳定度如图 2 所示。

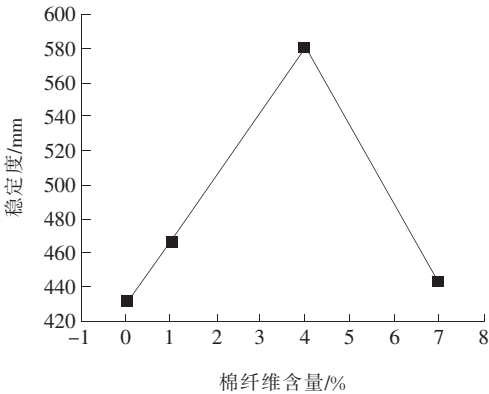


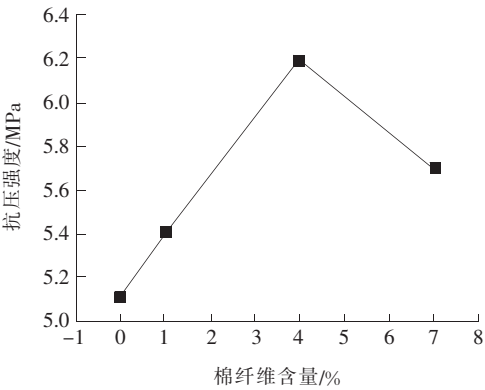
图 2 棉纤维掺量与混凝土稳定性的关系

从图 2 可以发现:棉纤维的掺入对沥青混凝土稳定度有着明显的改善。这是因为棉纤维混凝土是一种

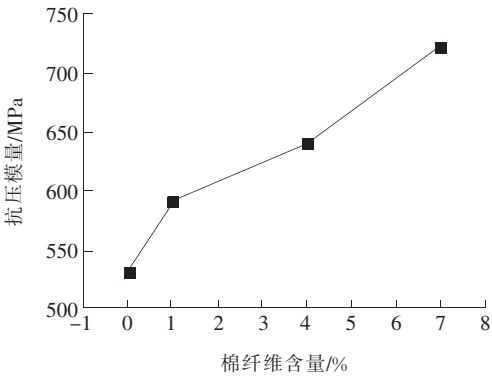
复合弹性材料,当沥青含量较多时即棉纤维掺量为 0%,过多的沥青会加大混凝土矿料间的空隙,使得矿料间的内阻力下降,导致稳定度下降。随着棉纤维比例增加即沥青含量减少,棉纤维沥青混凝土的稳定度逐渐增加。但增加到一定程度时,沥青混凝土的稳定度反而开始逐渐下降,这是因为当棉纤维掺量增加时沥青含量逐渐减少,则混凝土中矿料不能够被沥青完全裹住,导致颗粒间的黏结力减小,进而导致稳定度减弱^[17]。从图 2 可以得出,当掺入 4% 的棉纤维时其稳定度比不掺棉纤维时增长了约 34.8% (玄武岩纤维对沥青混凝土稳定度的增长率只有 8%^[18])。

2.2 抗压试验

沥青混凝土主要依附于路床上,因此其本身不需要足够的强度来承受荷载。但为了保护路床不直接承受车辆荷载的摩擦力,因此仍需要一定的强度维持路基的整体性。分别以不掺棉纤维和掺入比例为 1%、4%、7% 的棉纤维沥青混凝土进行抗压试验,得到抗压强度变化曲线和抗压模量变化曲线,如图 3 所示。



(a) 抗压强度随棉纤维掺量变化



(b) 抗压模量随棉纤维掺量变化

图 3 抗压性能与棉纤维掺量的关系

从图 3 可以得知:当棉纤维含量增加时,沥青混凝土的抗压强度先增加后降低,而抗压模量则一直增加。出现上述情况是因为棉纤维含量为 0 时,过多的沥青

会形成自由沥青,由于其具有流动性从而会导致混凝土内部的抗压强度降低;而当棉纤维含量增加即沥青含量减少,使得自由沥青减少,从而提高了沥青混凝土的强度;但随着棉纤维含量逐渐增加,会导致混凝土矿料表面缺少沥青包裹,黏结力下降,进而使得强度降低^[19]。而对于抗压回弹模量来说,随着棉纤维含量的增加即沥青含量的降低,抗压模量会逐渐增加。因此在实际工程设计时,可以适当提高棉纤维的用量,使得抗压模量增加。从图3可以得出,当掺入4%的棉纤维时其抗压强度增长了约21.6%,与钢纤维沥青混凝土中掺入2%的钢纤维对抗压强度的提高比例相似^[20]。

2.3 抗弯拉试验

由于沥青混凝土材料对温度的敏感度较大,在不同温度下会呈现不同的力学性能,得到不同温度下棉纤维混凝土抗弯拉试验结果如图4所示。

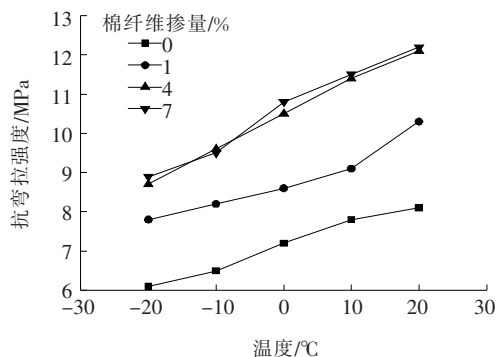


图4 温度与棉纤维混凝土抗弯拉强度的关系

由图4可见:当温度增加时抗弯拉强度逐渐增加,棉纤维含量增加时抗弯拉强度也逐渐增加,但温度对抗弯拉强度的影响比棉纤维掺量对抗弯拉强度的影响大。这是因为纤维沥青混凝土在温度变化时会产生收缩变形,其上下表面会出现温度差,从而形成温度应力,混凝土内部出现裂缝导致其抗弯拉能力下降^[21]。相对于棉纤维掺量为0%的沥青混凝土,由于棉纤维的加筋作用会提高混凝土的抗弯性能。但对比棉纤维掺量4%和7%的混凝土,可知当棉纤维掺量在一定范围时,混凝土的抗弯拉强度会逐渐增加,而过高含量的棉纤维混凝土的抗弯效果不大,甚至可能出现下降的趋势。从图4可以得出,当掺入4%的棉纤维时其在一20℃下抗弯拉强度增长了约42.6%、其在20℃下抗弯拉强度增长了约49.4%。这一提高比例与其他纤维沥青混凝土相比,如竹纤维沥青混凝土,其竹纤维对沥青混凝土抗弯拉强度的提高比例要低于该文的棉纤维混凝土^[22]。

2.4 抗冻融试验

将试样放入-16℃的冷冻箱冷冻16h,随后放入28℃的恒温箱中2h。最后将试样放入马歇尔试验仪中进行测试,测得4种样品的抗拉强度如图5所示。

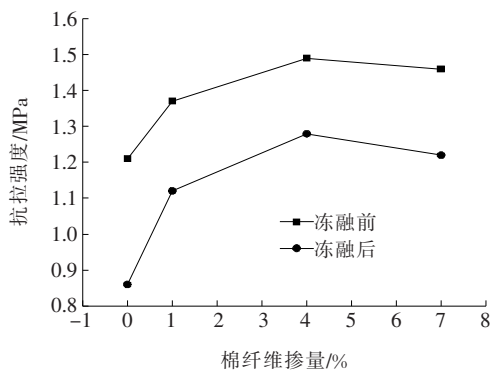


图5 棉纤维掺量与抗拉强度的关系

由图5可见:经过冻融试验后混凝土的抗拉强度均会下降,并且随着棉纤维掺量的增加混凝土的抗拉强度也在增加,但增加到一定程度时抗拉强度反而会出现下降。从微观上分析棉纤维会和沥青形成一空间结构,使得混凝土集料形成稳固密实的整体,棉纤维的掺入能够提高混凝土的抗水性能,从而提高抗拉强度^[23]。而普通混凝土由于其防水性能不佳,水会渗透至混凝土中的空隙,冻融后产生压力破坏混凝土结构。从图5可以得出,当掺入4%的棉纤维时其抗冻融性能增长了约48.8%。这一提高比例与其他纤维沥青混凝土相比,如玻璃纤维沥青混凝土、木质素纤维沥青混凝土,其玻璃纤维和木质素纤维对沥青混凝土抗冻性能提高性能与棉纤维相似,但木质素纤维的价格会高于棉纤维^[24]。

3 结论

通过在沥青混凝土中添加棉纤维,制备出棉纤维沥青混凝土,通过试验分析研究,得出以下结论:

(1) 随着棉纤维比例的增加即沥青含量减少,棉纤维沥青混凝土的稳定度逐渐增加。但增加到一定程度时,稳定度逐渐减少。

(2) 当温度增加时抗弯拉强度逐渐增加,棉纤维含量增加时抗弯拉强度也逐渐增加,但棉纤维的影响没有温度的影响大。

(3) 经过冻融试验后混凝土的抗拉强度均会下降,并且随着棉纤维掺量增加混凝土的抗拉强度增加,但增加到一定程度时抗拉强度反而下降。

(4) 根据该文试验得出棉纤维含量为 4% 时, 棉纤维沥青混凝土力学性能最佳。

参考文献:

- [1] 熊辉, 刘洪辉. 纳米黏土改性沥青及其混合料性能研究[J]. 中外公路, 2020, 40(4): 225—229.
- [2] 毕鹏. 碳纤维增强沥青混凝土路用性能研究[J]. 中外公路, 2019, 39(1): 226—229.
- [3] 赵宴刚. 沥青混凝土铺装层对桥面结构力学性能影响的有限元分析[J]. 公路工程, 2018, 43(2): 224—228.
- [4] 郭诗惠, 刘炳. 纳米材料复配对 SBS 改性沥青流变及抗老化性能的影响[J]. 中外公路, 2019, 39(3): 241—246.
- [5] 何亮, 李冠男, 熊汉江, 等. 钢砂 SBS 改性沥青混凝土裂纹的感应加热自修复性能[J]. 交通运输工程学报, 2018, 18(3): 11—18.
- [6] 吕耀华. 玄武岩纤维沥青混凝土优选及疲劳寿命预估[J]. 中外公路, 2020, 40(3): 303—307.
- [7] 马士宾, 高建强, 徐文斌, 等. 聚丙烯纤维混凝土—沥青混凝土复合切口梁弯曲韧性研究[J]. 硅酸盐通报, 2018, 37(4): 1 423—1 429.
- [8] 侯贵, 王选仓, 孙耀宁, 等. 严寒地区钢桥面浇注式沥青混凝土低温性能试验研究[J]. 公路交通科技, 2018, 35(3): 58—63, 71.
- [9] 魏建军. 纤维改性沥青混合料老化后性能试验研究[J]. 新型建筑材料, 2011, 38(8): 58—60.
- [10] 李建仙. 碳纤维对自密实混凝土性能的影响及其微观机理分析[J]. 中外公路, 2020, 40(1): 243—248.
- [11] 王伟明, 凌宏杰. SBS 复合改性乳化沥青研制及其性能研究[J]. 中外公路, 2020, 40(4): 269—273.
- [12] 曹景, 杜虎, 张启志. 纤维对高性能混凝土抗冻性能的试验分析[J]. 上海纺织科技, 2021, 49(4): 52—54.
- [13] 罗倩. 玄武岩纤维对大空隙高黏沥青混合料路用性能的影响[J]. 公路, 2020, 65(10): 286—292.
- [14] 林增华, 王凤池. 组合纤维沥青混凝土的抗裂性能试验[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2020, 36(3): 500—506.
- [15] 王慧颖, 程培峰. 掺加沥青基碳纤维的沥青混合料路面的融雪研究[J]. 公路工程, 2020, 45(5): 189—192.
- [16] 宋文佳. 聚合物纤维和玻璃对沥青混合料力学性能的影响[J]. 公路, 2021, 66(8): 29—33.
- [17] ENIEB M, SHBEEB L, ASI I M, et al. Effect of Asphalt Grade and Polymer Type (SBS and EE-2) on Produced PMB and Asphalt Concrete Mix Properties[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2020, 32(12): 04020385.
- [18] 邱国洲, 房建宏, 徐安花, 等. 玄武岩纤维沥青混凝土高温性能研究[J]. 硅酸盐通报, 2019, 38(12): 3 890—3 896.
- [19] ZHANG H, SHENG X, WANG S, et al. Effects of Different Modifiers on Thermal Stability, Constituents and Microstructures of Asphalt-Based Sealant[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2020, 142(3): 1 183—1 192.
- [20] 汤寄予, 高丹盈, 赵军. 钢纤维沥青混凝土路用性能的试验研究[J]. 华北水利水电学院学报, 2012, 33(6): 98—105.
- [21] MOJABI S A, KORDANI A A, MIRBAHA B. Laboratory Investigation of Stone Matrix Asphalt Modified with SBS Polymer and C25 Fiber in Using the Semi-Circular Bend Geometry (SCB) and Moisture Susceptibility[J]. Construction and Building Materials, 2020, 261: 120 511.
- [22] 李静. 竹纤维沥青混凝土的力学特性研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2019, 50(4): 593—596.
- [23] PARK K S, SHOUKAT T, YOO P J, et al. Strengthening of Hybrid Glass Fiber Reinforced Recycled Hot-Mix Asphalt Mixtures[J]. Construction and Building Materials, 2020, 258: 118 947.
- [24] 曾梦澜, 彭珊, 黄海龙. 纤维沥青混凝土动力性能试验研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2010, 37(7): 1—6.