

纤维稳定剂对排水沥青混合料抗水温循环 损伤能力的影响

刘福明^{1,2}, 吴迪², 何庆德³, 杨志平³

(1.南昌工程学院,江西 南昌 330099;2.天全县交通运输局,四川 雅安 625500;3.抚州赣东公路设计院,江西 抚州 344000)

摘要:为研究纤维稳定剂对排水沥青混合料的抗水温循环损伤能力的影响,采用不加纤维稳定剂、添加木质纤维、聚酯纤维、玄武岩纤维的4种排水沥青混合料进行对比试验。通过标准飞散和浸水飞散试验,分析混合料的抗剥落能力,在相同沥青条件下添加纤维稳定剂后,排水沥青混合料的标准飞散损失均有不同程度的减小,可以在一定程度上增加排水沥青混合料的抗剥落性;通过对经过和未经过水温循环损伤的试件进行劈裂、间接拉伸试验和车辙试验,分析混合料的抗水温循环损伤能力,添加纤维稳定剂后排水沥青混合料的劈裂强度都有所增加;通过间接拉伸试验,发现掺加纤维稳定剂后排水沥青混合料的劲度模量均有所增加,其中掺加了玄武岩纤维的沥青混合料低温抗裂性能最好,其次是木质纤维;通过车辙试验发现玄武岩纤维稳定剂的加入对排水沥青混合料试件动稳定度的提高最明显。结果表明:聚酯纤维和玄武岩纤维的添加能明显改善浸水环境对排水沥青混合料的剥落影响,玄武岩纤维能明显提高混合料的抗水温循环损伤能力、低温抗裂性以及高温稳定性。

关键词:排水沥青混合料;水温循环损伤;纤维稳定剂;抗剥落;劈裂损伤

中图分类号:U414

文献标志码:A

0 前言

排水沥青路面是一种透水性路面,通常压实后空隙率为18%~25%,主要靠粗集料的嵌挤作用形成骨架空隙结构^[1]。雨天密级配沥青路面上的水不能及时排出,会使车辆更容易发生漂移打滑现象,增加车辆行驶时的危险系数。而排水沥青路面由于其空隙率和构造深度较大,因此能够快速排出路面积水从而增加行车安全。与普通密级配沥青路面相比,排水沥青路面能够显著降低路面噪音,同时排水路面可以明显推迟径流洪峰时间,并在一定程度上减弱径流洪峰^[2]。这些优点与中国走可持续发展之路的理念相符合,为中国道路建设提供了新的选择^[3]。但与此同时,排水沥青路面由于空隙较大,其更容易在水和温度的作用下发生水损害^[4]。何雨微等^[5]对掺加聚酯纤维和木质纤维的排水沥青混合料进行水稳定性试验,结果表明:不同试验下分别掺加

两种纤维稳定剂后的排水沥青混合料的优劣性各不相同;耿韩等^[6]的研究表明马歇尔残留稳定度并不能有效评价排水沥青混合料的水稳定性。因此本文分别对掺入3种纤维稳定剂后的排水沥青混合料进行试验,通过飞散试验分析抗剥落能力、间接拉伸试验分析低温抗裂性、劈裂试验和车辙试验分析抗水温损伤能力。通过对试验数据的分析,比较出适合于排水沥青路面设计的纤维稳定剂。

1 试验材料与配合比设计

1.1 原材料

粗集料选用洁净干燥、无杂质的玄武岩,细集料为玄武岩机制砂,矿粉为石灰质岩,粗、细集料以及矿粉的各项指标均满足规范要求。木质纤维、聚酯纤维以及玄武岩纤维的各项性能指标见表1。

沥青使用RST改性沥青中掺加10%TPS进行高速剪切后制备的高黏改性沥青,其相关指标见表2。

收稿日期:2020-12-06

基金项目:江西省交通厅科技计划项目(编号:2019H0005,2016T0033)

作者简介:刘福明,男,博士,教授.E-mail:yancyliufuming@163.com

表1 3种纤维稳定剂物性指标

纤维种类	抗拉强度/ MPa	pH值	平均长度/ mm	密度/ (g·cm ⁻³)	平均直径/ μm	比表面积/ (cm ² ·g ⁻¹)	弹性模量/ GPa
木质纤维	517±34.5	—	6	1.30	25	6 500	—
聚酯纤维	—	7.5±1	6	0.90	45	11 000	—
玄武岩纤维	3 000	—	6(切断)	2.46	15	—	90

表2 高黏改性沥青的关键指标

项目	60℃ 动力黏度/ (Pa·s)	软化点/ ℃	针入度(25℃, 100 g,5 s)/ (0.1 mm)	延度 (5 cm/min, 15℃)/cm
测试结果	134 535	89.4	43.3	102
技术要求	≥20 000	≥80	≥40	≥50

1.2 PAC-13级配设计

试验参考《道路排水性沥青路面技术规范》(DG/TJ 08-2074—2016)确定PAC-13的级配上、下限以及设计空隙率20%^[8],根据《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)^[9]中马歇尔试验法对排水沥青路面的级配进行设计,同时通过析漏试验和飞散试验确定混合料的最佳沥青用量。最终确定油石比为4.8%。PAC-13合成级配满足规范级配范围的要求,合成级配曲线见图1。

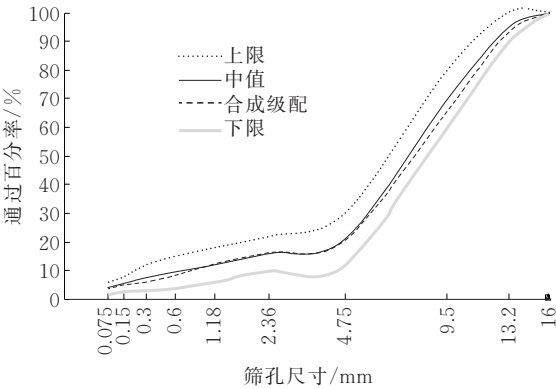


图1 PAC-13合成级配曲线

2 试验方法

为研究不同纤维稳定剂的掺入对抗水损害能力的影响,分别使用相同空隙率下不参加任何纤维、掺加0.3%木质纤维、掺加0.1%聚酯纤维、掺加0.3%玄武岩纤维的4种沥青混合料进行试验。木质纤维需与沥青同时加入,聚酯纤维和玄武岩纤维需与石

料先干拌3 min。确定的试验方法如下:

(1) 飞散试验

试验所用试件均为双面各击实50次的标准马歇尔试件。使用体积法计算成型的马歇尔试件空隙率均在(20±2)%的范围内,高度均符合要求。分别将4种不同纤维稳定剂掺入,成型的马歇尔试件分为两组,每组4个平行试件,每组分别进行标准飞散试验和60℃水浴后(浸水48 h)的浸水飞散试验,比较其飞散损失以评价不同纤维稳定剂掺量下排水沥青混合料的水稳定性,以及对排水沥青混合料飞散损失的影响。

(2) 水温损伤劈裂试验

将4种不同纤维稳定剂掺加成型的试件分为两组,每组4个,将第一组试件放在常温下静置作为对照组。第二组试件放入常温水中浸泡24 h使其充分吸水后进行水温耦合循环损伤,模拟冬季时冻融作用采用在-18℃冰箱中冰冻8.7 h后再放入60℃恒温水浴中保持5 h;模拟夏季高温条件时采用将试件放入60℃鼓风烘箱中恒温保持251.6 h;模拟动水作用时,对于马歇尔试件采用将试件放入温度35℃、压力为300 kPa的MIST水损坏敏感性测试仪中动水循环3 010次。将经过6次水温耦合循环损伤的第二组试件与第一组试件放入15℃水中保温2 h后以50 mm/min的加载速率对试件进行劈裂试验。

(3) 间接拉伸试验

为了评价经过水温循环损伤的沥青混合料的低温抗裂能力,同时考虑到马歇尔试件水温循环损伤处理的准确性,采用水温循环损伤后的马歇尔试件以间接拉伸试验的方法来评价纤维稳定剂对排水沥青混合料低温抗裂性的影响,以间接拉伸的劲度模量为评价指标。使用多功能路面材料动态试验系统对经过和未经过6次水温循环损伤的排水沥青混合料在10℃环境中保温6 h,加载频率为5 Hz,设定目标水平变形为(5±1) μm的条件下进行间接拉伸

试验。

(4) 车辙试验

试验使用轮碾成型的 $300\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 的车辙板试件,将掺加了 4 种不同纤维稳定剂成型的试件分为两组,每组 3 块。第一组试件放在常温中作为对照组,第二组试件参考马歇尔试件的水温损伤循环,但由于车辙板的体积较大,因此动水冲刷模拟采用连接水龙头的水管在车辙板试件的中心往复冲刷 1.7 h。将经过 6 次水温耦合循环损伤后风干的第二组试件装入原试模与第一组试件分别进行车辙试验。在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、轮压 0.7 MPa 的条件下进行动稳定度评价。

3 结果与讨论

3.1 飞散试验

图 2 为各组飞散试验的结果。

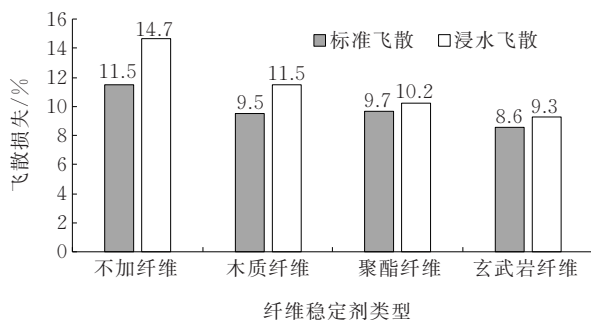


图 2 标准和浸水飞散试验结果

由图 2 可以看出:在相同的沥青条件下添加纤维稳定剂后,排水沥青混合料的标准飞散损失均有不同程度的减小,说明纤维稳定剂可以在一定程度上增加排水沥青混合料的抗剥落性。其中玄武岩纤维排水沥青混合料的飞散损失最低,木质纤维和聚酯纤维的飞散损失相差不大。 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下浸水 48 h 后,与标准飞散损失相比,各组不同纤维稳定剂条件下的排水沥青混合料的飞散损失均有所增加。这种由于浸水导致的飞散损失的变化程度可以用 ΔL 表示:

$$\Delta L = (L_1 - L_s) / L_s \times 100\% \quad (1)$$

式中: L_1 为浸水飞散损失; L_s 为标准飞散损失^[5]。

由于浸水导致的飞散损失的变化程度 ΔL 如图 3 所示。

由图 3 可以看出:添加 3 种纤维稳定剂都可以在

一定程度上减少浸水环境对排水沥青混合料抗剥落性能的影响。同时,添加木质纤维对于浸水条件下排水沥青混合料飞散损失的改善作用要远小于聚酯纤维和玄武岩纤维。

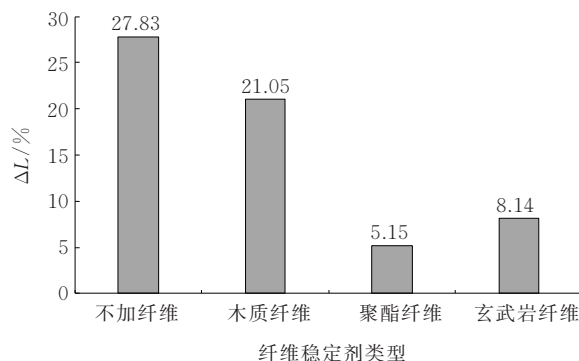


图 3 由于浸水导致的飞散损失变化

3.2 水温损伤劈裂试验

将两组试件进行劈裂试验后得到经过损伤前后排水沥青混合料的劈裂强度,以评价纤维稳定剂对排水沥青混合料的抗水温损伤能力的影响。图 4 为经过 6 次水温循环损伤前后 4 种排水沥青混合料的劈裂强度值。

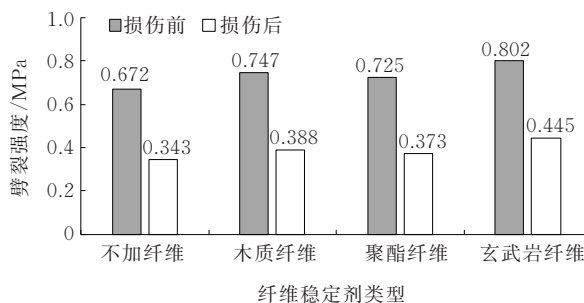


图 4 6次水温循环损伤前后排水沥青混合料劈裂强度

由图 4 可以看出:经过水温循环损伤前、后添加纤维稳定剂的排水沥青混合料的劈裂强度都有所增加,其中掺加了玄武岩纤维的排水沥青混合料劈裂强度增加最多,为了更好地评价掺加纤维稳定剂后对排水沥青混合料抗劈裂强度的影响,采用排水沥青混合料劈裂强度损伤度 D_n 来定义^[7]:

$$D_n = \left(1 - \frac{R_n}{R_0}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中: R_n 为经过 n 次水温循环损伤后排水沥青混合料劈裂强度; R_0 为未经过水温循环损伤的排水沥青混合料劈裂强度。

4 种排水沥青混合料劈裂强度损伤度 R_0 如图 5

所示。

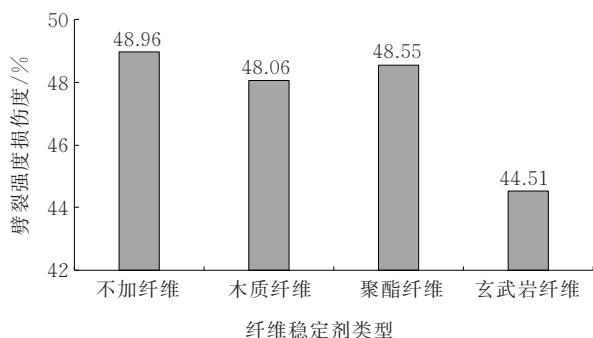


图5 4种排水沥青混合料劈裂强度损伤度

由图5可以看出:经过6次水温循环损伤后,掺加了玄武岩纤维的排水沥青混合料有更小的劈裂强度损伤度,掺加木质纤维和聚酯纤维的排水混合料劈裂损伤度与未掺加纤维的排水沥青混合料相差不大。说明经过多次水温循环损伤后,加入木质纤维和聚酯纤维对排水沥青混合料的抗水温循环损伤能力没有明显的提高,而掺加玄武岩纤维对排水沥青混合料的抗水温循环损伤能力有较大的提高。

3.3 间接拉伸试验

将两组试件进行间接拉伸试验后得到经过损伤前后排水沥青混合料的劲度模量,以评价纤维稳定剂对排水沥青混合料的低温抗裂性的影响。图6为经过6次水温循环损伤前、后4种排水沥青混合料的劲度模量值。

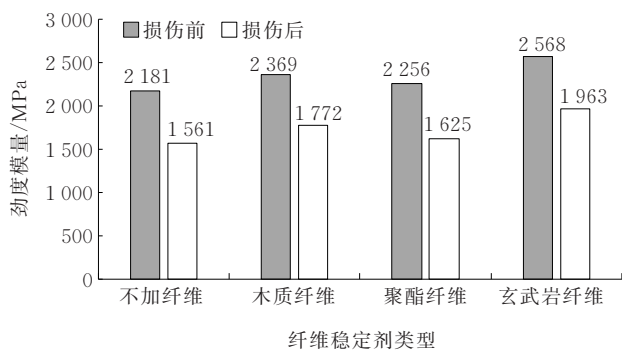


图6 间接拉伸试验劲度模量

由图6可以看出:经过水温循环损伤前、后掺加纤维稳定剂的排水沥青混合料的劲度模量均有所增加,沥青混合料的间接拉伸劲度模量反映了其低温抗裂性能,因此掺加了玄武岩纤维的沥青混合料低温抗裂性能最好,其次是木质纤维。这是因为纤维稳定剂加入沥青混合料后纤维分散到混合料之间增强了混合料之间的黏附力^[10]。沥青混合料受到温度

应力的影响时,纤维组成的三维网状结构能够起到传递一部分应力的作用,沥青和集料承担的应力相应减少,同时当混合料内部出现微小裂缝时纤维的存在也可以阻止裂缝的传递,因此纤维稳定剂的加入能够提升排水沥青混合料的低温抗裂能力。

为了更好地评价掺加纤维稳定剂后对排水沥青混合料经过水温循环损伤后劲度模量的影响,参考劈裂强度损伤度 D_p 定义经过水温循环损伤后沥青混合料的劲度模量损伤度如图7所示。

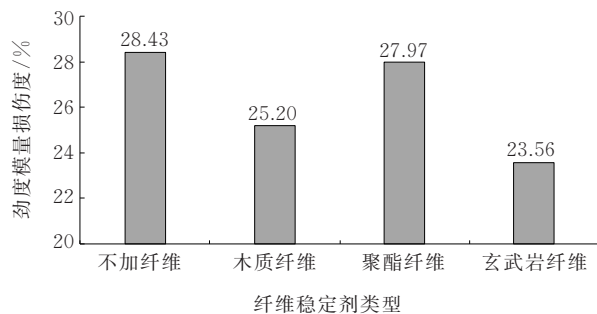


图7 4种排水沥青混合料的劲度模量损伤度

由图7可以看出:经过6次水温循环损伤后,掺加了木质纤维和玄武岩纤维的排水沥青混合料有更小的劲度模量损伤度,掺加聚酯纤维的排水混合料劲度模量损伤度与未掺加纤维的排水沥青混合料相差不大。说明经过多次水温循环损伤后,加入聚酯纤维对排水沥青混合料的抗水温循环损伤能力没有明显的提高,而掺加木质纤维和玄武岩纤维对排水沥青混合料的抗水温循环损伤能力有较大的提高。

3.4 车辙试验

将经过和未经过水温循环损伤的车辙板试件进行车辙试验得到动稳定度如图8所示。

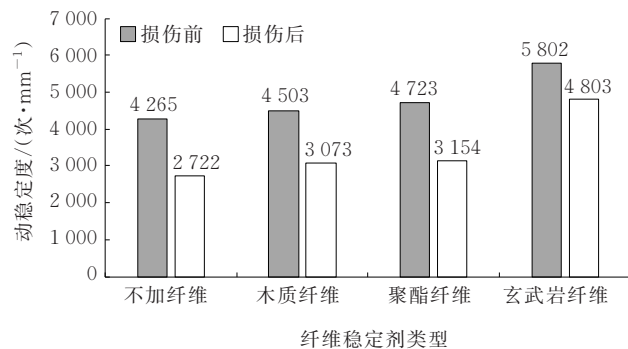


图8 车辙试验动稳定度

由图8可以看出:木质纤维和聚酯纤维的加入一定程度上提高了试件的动稳定度。而掺加了玄武岩

纤维的排水沥青混合料试件进行水温循环损伤后的动稳定度提高较为明显。因此,玄武岩纤维稳定剂的加入对排水沥青混合料试件的高温稳定性和抗水损伤的提高作用大于木质纤维和聚酯纤维。

4 结语

通过飞散试验、劈裂试验、间接拉伸试验和车辙试验对不掺入任何纤维、掺入 0.3% 木质纤维、掺加 0.1% 聚酯纤维、掺加 0.3% 玄武岩纤维的 4 种沥青混合料的结果进行探讨分析,研究得到添加 3 种纤维稳定剂对排水沥青混合料的水稳定性都有一定程度的影响,虽然添加木质纤维对于浸水条件下排水沥青混合料的飞散损失的改善作用要远小于聚酯纤维和玄武岩纤维,但木质纤维的加入并没有使得排水沥青混合料的飞散损失更大。对经过和未经过损伤循环的 4 种排水沥青混合料的劈裂试验可以看出:掺加木质纤维和聚酯纤维的排水沥青混合料的劈裂强度损伤度与未加纤维稳定剂相比并没有明显的下降,而使用了玄武岩纤维的排水沥青混合料的劈裂强度损伤度有明显的下降。受限于水温循环损伤的试验条件,本文未使用小梁低温弯曲试验对混合料的低温性能进行试验,而是使用了间接拉伸试验进行评价,通过间接拉伸试验可以看出:纤维稳定剂加入后沥青混合料的劲度模量均有所增加,其中玄武岩纤维加入后能够明显增强其抗开裂能力。通过对 4 种排水沥青混合料损伤前后的车辙试验可以看出,玄

武岩纤维的加入对排水沥青混合料高温稳定性的提高作用远大于木质纤维和聚酯纤维。因此,试验使用的 3 种纤维稳定剂中,玄武岩纤维对排水沥青混合料的抗水温循环损伤能力最为明显。

参考文献:

- [1] 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—2019[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.
- [2] 仇保兴.海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J].中国勘察设计,2015(7):30-41.
- [3] 李永波.国产 TPS 在排水沥青路面中的应用研究[D].西安:长安大学,2013.
- [4] 交通部公路科学研究院.西部交通建设科技项目:山区公路沥青面层排水技术的研究大纲[Z],2004.
- [5] 何雨微,陈明宇,郑存艳,等.纤维稳定剂对排水沥青混合料水稳定性的影响[J].国外建材科技,2014,29(6):95-98.
- [6] 耿韩,李立寒,孟庆楠.大空隙率沥青混合料耐久性评价方法与指标[J].建筑材料学报,2011,14(6):767-770.
- [7] 王树荣.水-温耦合作用下玄武岩纤维沥青混合料损伤特性研究[D].吉林:吉林大学,2017.
- [8] 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司.道路排水性沥青路面技术规程:DG/TJ 08-2074—2016(J 11695—2016)[S].上海:同济大学出版社,2016.
- [9] 交通部公路科学研究院.公路沥青路面施工技术规范:JTG F40—2004[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [10] 王伟平.纤维稳定剂在排水沥青路面中的应用研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2019,43(5):972-976.