

# 碳纤维增强沥青混凝土路用性能研究

毕鹏

(山西省朔州高速公路有限责任公司, 山西 大同 037000)

**摘要:** 该文为研究碳纤维增强沥青混凝土的路用性能,采用不同掺量的碳纤维掺入沥青混凝土中,进行了各项路用性能试验。结果表明:沥青胶浆对短切碳纤维具有较好的裹附性,能够实现对沥青的性能增强。采用长度为 12 mm 短切碳纤维对沥青进行增强时,沥青软化点、针入度和延度均有不同程度的改善;掺加量为 0.05% 左右时,沥青及其混合料的性能达到最佳。

**关键词:** 碳纤维增强混凝土; 路用性能; 沥青混凝土

现代社会的发展对道路材料的性能提出了更高的要求。混凝土作为当今最主要的建筑材料,由于其抗压强度高、耐腐蚀、耐火、耐水及耐久性优良而被广泛应用于交通、建筑领域。但这种材料的不足之处在于其抗拉强度与抗弯强度偏低,自身重量大,成形性不好。因此,近年来越来越多的科研工作者和技术人员尝试用纤维来增强混凝土。其中,石棉纤维、钢纤维、玻璃纤维、聚丙烯纤维以及芳纶纤维已在工程中得到了应用。然而,上述纤维材料由于其本身特点所致,存在一定的弊端和短板需解决,比如钢纤维锈蚀问题,玻璃纤维耐久性问题,聚丙烯纤维和芳纶纤维耐热性问题等。与之相比,碳纤维是较为理想的增强材料,它具有质轻、高强、高模、耐温、耐腐蚀、耐磨损等诸多优点,在建筑材料中已占有重要一席,受到人们的关注。

将碳纤维加入到沥青混合料基体中经过道路施工即制备成碳纤维增强沥青基复合材料,也称碳纤维增强混凝土。其中,短切碳纤维三维乱向分散体系目前使用较为广泛,且由这一体系制成的复合混凝土性能也较好。其增强效果主要是提高了混凝土的黏结力、拉伸强度和抗压强度,由此提高了混凝土的稳定性、耐久性。然而,到目前为止碳纤维沥青混合料的路用性能研究还相当有限,通过高温稳定性、水稳性和低温抗裂性试验对碳纤维增强沥青混凝土路用性能的研究势在必行,对于今后开展这一类混合料的施工应用也具有借鉴意义。该文通过采用不同掺量的碳纤维掺入沥青混凝土中,来进行各项路用性能试验,以便用于工程

施工。

## 1 试验研究

### 1.1 原材料

试验选择抗拉强度为 3 900 MPa 的市售未改性高强度型聚丙烯腈基碳纤维。根据相关研究成果和市场供应情况,选择短切长度为 12 mm 的产品观察其作为沥青混合料增强材料的性能。其具体指标见表 1。

表 1 碳纤维的性能指标

| 抗拉强度/MPa | 弹性模量/GPa | 伸长率/% | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 单丝直径/μm | 碳含量/% |
|----------|----------|-------|--------------------------|---------|-------|
| 3 900    | 230      | 2.1   | 1.76                     | 7       | 93.9  |

试验采用加德士 70# 基质沥青,石灰岩集料。矿料级配如表 2 所示,为经室内筛分后逐级回配得到。

表 2 沥青混合料级配

| 筛孔孔径/mm | 通过率/% | 筛孔孔径/mm | 通过率/% |
|---------|-------|---------|-------|
| 16      | 100.0 | 1.18    | 28.0  |
| 13.2    | 97.0  | 0.6     | 20.0  |
| 9.5     | 75.0  | 0.3     | 14.0  |
| 4.75    | 50.0  | 0.15    | 8.5   |
| 2.36    | 35.0  | 0.075   | 6.0   |

### 1.2 试验方法

碳纤维增强沥青的性能试验按照 JTJ 052-2000 《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》进行,主要测

收稿日期:2018-04-10

基金项目:山西省交通建设科技项目(编号:15-2-07)

作者简介:毕鹏,男,大学本科,工程师.E-mail:yob2846@163.com

试碳纤维增强沥青的软化点、延度和针入度等指标。

依据前期碳纤维增强沥青混合料拌和试验的结论,试验按照下述流程进行备料拌和:首先将石料、碳纤维相互混合后在 180 ℃ 下拌和 90 s,再加入沥青 180 ℃ 下拌和 90 s,加入矿粉 180 ℃ 下拌和 90 s,最后采用轮碾法进行混合料试块的制作。根据 JTGE20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》分别进行沥青混合料的车辙试验、小梁弯曲试验和冻融劈裂试验。其中,碳纤维的掺入量分别为 0、0.05%、0.11% 和 0.17% (掺入量是指所掺入的碳纤维占沥青用量的质量百分比)。根据前期研究结论,试验中确定采用 4.5% 的油石比,所用短切碳纤维尺寸为 12 mm。

## 2 结果与讨论

### 2.1 界面接触角分析

试验中考虑到纤维与基体间的黏结强度难以在混合料中直接量化表征,且纤维与沥青的界面接触是其黏结强度的主要方面,试验中采用 SEM 对碳纤维丝浸渍沥青胶浆前后的微观结构和形态进行观察,针对碳纤维与沥青的界面接触角进行了观察。观察发现:① 微观视角下碳纤维丝呈细长的圆柱形,直径为 7  $\mu\text{m}$  左右,表面有较浅的细长沟槽。沟槽的存在赋予纤维一定的粗糙度,可以确保其与沥青的有效浸润和裹附。此外,碳纤维无显著表面缺陷,可以保证起到良好的加筋效果。碳纤维浸渍沥青胶浆后,结合处体积增加,沥青胶浆在纤维表面徐徐铺展;② 碳纤维与沥青的接触角为 48° 左右,说明碳纤维与沥青的界面浸润性较好,两者之间界面结合良好。这种情况下,可以确认碳纤维对沥青胶浆有一定吸附和稳定作用,可以有效地实现对混合料的加筋作用,改善混合料承受荷载的应力状况。

### 2.2 碳纤维增强沥青性能分析

采用环球法测试碳纤维增强沥青的软化点,结果如图 1 所示。

由图 1 可知:随着碳纤维掺量的增加沥青的软化点先增加后减小,在掺加量为 0.05% 左右时软化点达到最高值,约为 57 ℃。整体上,碳纤维的添加直接增加了沥青的软化点,说明碳纤维的加筋作用对于沥青的温度稳定性提高存在促进作用。然而,当添加量持续增加时沥青的软化点不再升高,这可能与碳纤维量的增加显著提高了拌和难度有关。试验发现,当碳纤维掺量为 0.15% 左右时,可以在部分试验样本中观察到

纤维聚集的情况。短切碳纤维作为一种对沥青具有相当裹附性的材料,极易因为掺量的增加或添加过于集中造成团聚,从而显著影响碳纤维的分散效果。数据表明:维持碳纤维的掺量在一个相对较小的量(例如 0.05% 及以下)时,其对沥青的增强效果最佳。

采用沥青自动针入度仪测试碳纤维增强沥青的针入度(图 2)。

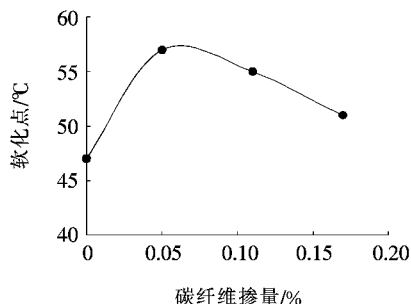


图 1 碳纤维丝增强沥青的软化点与碳纤维掺量的关系

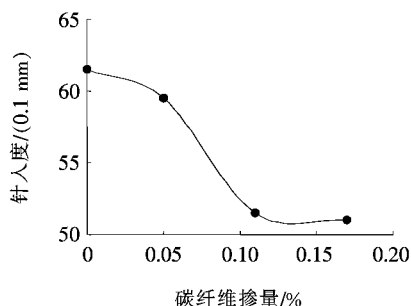


图 2 碳纤维丝增强沥青的针入度与碳纤维掺量的关系

由图 2 可知:随着碳纤维的加入,沥青的针入度值逐渐降低,尤其是掺加量为 0.1% 左右时针入度下降剧烈。碳纤维加入后在沥青中形成纵横交错的纤维网络,很大程度上将阻滞裂纹或大孔隙的生成,同样也将显著降低沥青的针入度。综合而言,碳纤维掺量为 0.05% 左右时针入度的下降尚维持在一个较低的水平,一定程度上保证了沥青的针入度效果。

采用沥青延度仪测试碳纤维增强沥青的延度(图 3)。

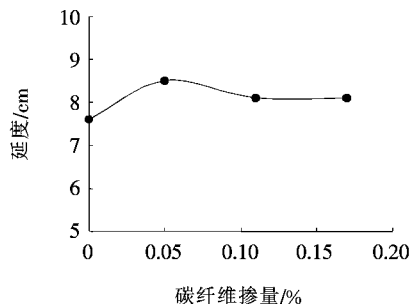


图 3 碳纤维丝增强沥青的延度与碳纤维掺量的关系

由图 3 可知:随着碳纤维的加入沥青的延度先上升后下降。其中,纤维掺量为 0.05% 左右时,沥青的延度达到最大值。试验表明:纤维的加筋效果有助于增加沥青的延度。然而,这种加筋效果仍然受制于纤维的有效分散。尤其是当掺量高于 0.1% 时,继续增加纤维含量不再显著增加沥青的延度,反而可能因为纤维的不均匀分散出现延度下降的不良表现。

综合来看,掺入碳纤维后对沥青各性能参数的提升存在较大的不同。其中,碳纤维对沥青软化点的改善效果最明显,而对延度的改善效果则较小,侧面反映了碳纤维增强对沥青性能改善的差异性,这是进行碳纤维增强沥青混合料设计需要引起重视的。

### 2.3 碳纤维增强沥青混合料的性能

根据 JTJ 052—2000《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》进行不同碳纤维丝掺量的沥青混合料车辙试验(图 4)。

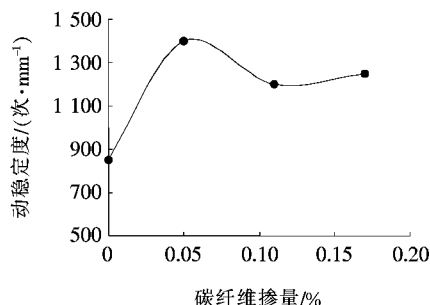


图 4 碳纤维增强混合料的车辙试验结果

由图 4 可知:沥青混合料车辙性能随着碳纤维丝掺量的增加呈现先增大后不变的趋势,掺量为 0.05% 时抗车辙性能达到最大值(1 420 次/mm)。碳纤维的掺加不仅增加了沥青的黏度,其对混合料弹性模量也有显著的增强作用,从而整体上提高了混合料的高温抗车辙变形能力。然而,随着纤维的继续加入,其抗车辙能力并非持续增加。这是因为加入过量的纤维可能使黏度增加过快,甚至出现纤维团聚的现象,从而不利于弹性模量和抗车辙能力的持续增加。

碳纤维丝增强沥青混合料低温小梁弯曲试验结果见图 5。

由图 5 可知:随着碳纤维掺量的增加抗弯拉强度先增大后减小,且碳纤维掺量为 0.05% 时,抗弯拉强度达到最大值(2.74 MPa),相应的破坏应变为 2 650  $\mu\epsilon$ 。首先,必须肯定碳纤维对沥青的加筋作用对于增强混合料的抗弯拉强度具有非常显著的效果。然而,与纤维增强沥青的延度变化规律相类似,这种加筋效果仍

然受制于纤维的有效分散。当掺量高于 0.1% 时,尤其是当碳纤维过量添加导致纤维开始出现团聚时,混合料的抗弯拉强度不再显著增加,反而可能因为纤维的不均匀分散出现强度下降的不良表现。

碳纤维增强沥青混合料冻融试验结果见图 6。

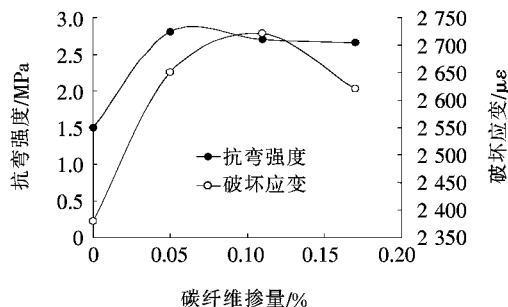


图 5 碳纤维增强混合料的小梁弯曲试验结果

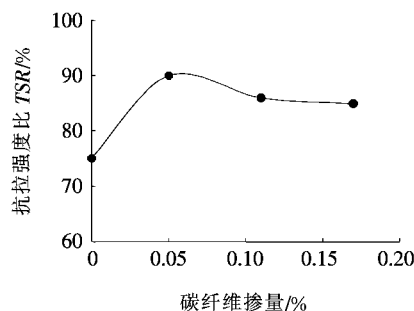


图 6 碳纤维增强混合料抗拉强度比与碳纤维掺量的关系

由图 6 可知:碳纤维掺量为 0.05% 时达到冻融劈裂抗拉强度比(TSR)峰值(90%)。表明碳纤维的加入增大了沥青混合料的抗拉强度比,但掺量为 0.1% 以上时,TSR 的变化不再明显。上述变化规律表明,碳纤维的加入有效改善了混合料的抗冻融效果,有助于提高材料的低温抗变形能力。不容忽视的是,纤维对混合料抗冻融效果的增强调节仍然有最优条件的限制。该试验中碳纤维掺量为 0.05% 左右时,混合料的各项参数均较优。

## 3 结论

考察了碳纤维增强沥青混凝土的路用性能,可得结论如下:

(1) 沥青胶浆对短切碳纤维具有较好的裹附性,能够实现对沥青的性能增强。

(2) 采用长度为 12 mm 短切碳纤维对沥青进行增强时,沥青软化点、针入度和延度均有一定的改善,但是改善的程度存在较大的差异性。

## 轻质油分再生剂掺量对冷再生沥青混合料性能改善研究

程培峰, 李炬辉, 寇洪源

(东北林业大学 土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘要:** 冷再生技术是将旧沥青路面铣刨料、新集料以及乳化沥青和水泥按照一定级配曲线拌和形成再生沥青混合料,再经摊铺压实形成新路面。但中国现阶段对旧路面材料的使用仅限于将其作为“黑色集料”,其所含有的老化沥青基本未得到利用,是对资源的极大浪费。该文针对轻质油分再生剂对冷再生沥青混合料性能的改善效果展开试验分析,通过对掺入再生剂的再生混合料进行路用性能试验以确定再生剂掺量与改善效果之间的关系。根据试验结果可知再生剂掺加比例较小时,对冷再生混合料性能的改善作用并不明显,而当掺量过多反而会降低路用性能。再生剂对动稳定度的改善效果较为明显,当再生剂掺量为0.6%时,动稳定度达到极值,随着再生剂掺量的继续增加,动稳定度呈下降趋势。

**关键词:** 冷再生沥青混合料; 轻质油分再生剂; 掺量; 路用性能

公路工程的发展与中国经济和政治建设紧密相关,自建国之初中国大力新建公路至今已近70年,大部分公路因为年久失修出现不同程度的病害,如裂缝、坑洞、唧水等。对这些出现病害路面进行修整已成为关系国计民生的大事。使用再生技术对病害路面进行修整一方面可以减少旧沥青混合料对环境造成的污

染;另一方面也可以变废为宝,节约资源。根据再生过程中是否需要加热主要分为热再生技术和冷再生技术,冷再生技术无需对集料进行加热因而节约能源,而且对旧沥青混合料利用率高应用越来越多。

新建路面的沥青混合料都是通过加热然后拌和而成,而且沥青加热状态可以润滑集料,减少其内摩阻

\*\*\*\*\*  
(3) 碳纤维掺量为0.05%左右时,沥青及其混合料的性能达到最佳,其中车辙性能为1420次/mm,抗弯拉强度达到2.74 MPa,相应的破坏应变为2650  $\mu\epsilon$ ,最大TSR为90%。

### 参考文献:

- [1] 王萌,刘慧杰,龚明辉,等.碳纳米纤维改性热拌沥青混合料特性研究[J].中外公路,2016(1).
- [2] 张岭岭,吴金荣.聚酯纤维透水性沥青混合料配合比设计[J].中外公路,2015(5).
- [3] 孙家瑛,任传军,戴亚英.纤维对沥青混合料路用性能影响研究[J].中外公路,2006(2).
- [4] 鲁华英,陈小丽,郭彦章,等.纤维沥青混凝土的作用及机理[J].中外公路,2004(4).
- [5] Kobets L,Deev I,Carbon Fibres:Structure and Mechanical Properties[J].Composites Science and Technology,1998,

57(12):1571-1580.

- [6] 贺福.碳纤维及石墨纤维[M].北京:化学工业出版社,2010.
- [7] Ruland W,Carbon Fibers[J].Adv Mater,1990,2(11):528-36.
- [8] 张明德.短切沥青碳纤维混凝土马歇尔试验研究[J].山西建筑,2012(29).
- [9] 姜嵩.短切沥青碳纤维在沥青混凝土路面的应用研究[D].济南大学硕士学位论文,2009.
- [10] 冯鹏,田野,覃兆平.纤维增强复合材料拉挤型桁架桥静动力性能研究[J].工业建筑,2013(6).
- [11] Jahromi S G,Khodaii A,Carbon Fiber Reinforced Asphalt Concrete[J].Arabian Journal Forence & Engineering,2008,33(2):355-364.
- [12] 李建辉,邓宗才.碳纤维增强混凝土的单轴拉伸特性[J].公路,2011(4).

收稿日期:2018-07-11

作者简介:程培峰,男,教授,博士生导师.E-mail:chengpeifeng@126.com