

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2013.09.003

纤维冷补沥青混合料的路用性能

孙朝杰, 易军艳, 曹一翔, 冯德成

(哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 鉴于现有冷补沥青混合料易松散的特性, 通过进行不同纤维掺量下冷补沥青混合料的开裂能试验、冻融劈裂试验和飞散试验, 分析纤维掺量对冷补沥青混合料路用性能的影响。试验结果表明: 纤维的掺入有助于改善混合料水稳定性, 但纤维掺量过多会导致混合料拌合困难, 容易产生离析, 影响混合料之间的粘结性能, 反而降低混合料水稳定性; 纤维的掺入对冷补沥青混合料的抗松散性是有利的, 且纤维掺量适当增加有助于改善其结构整体性; 混合料低温抗裂性随纤维掺量的增加有所降低, 初步分析是由于养生不充分引起的。

关键词: 道路工程; 沥青混合料; 路用性能; 纤维掺量; 冷补

中图分类号: U416.217.03

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2013)09-0013-05

Road Performance of Cold Patch Asphalt Mixture with Fiber

SUN Zhao-jie, YI Jun-yan, CAO Yi-xiang, FENG De-cheng

(School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150090, China)

Abstract: As cold patch asphalt mixture can be loosened easily, through fracture energy test, freeze-thaw splitting test and dispersion test on cold patch asphalt mixture with different fiber contents, the influence of different fiber contents on the road performance of cold patch asphalt mixture is analyzed. The test results show that (1) fiber is helpful to improve the moisture stability of cold patch asphalt mixture, but too much fiber will make it difficult to mix and easy to segregate, which could influence the bond behavior of mixture and reduce the moisture stability of cold patch asphalt mixture; (2) fiber is favorable to the loosening resistance property of cold patch asphalt mixture, appropriately increasing the content of fiber is helpful to improve the integrity stability; (3) the low-temperature crack resistance property decreases as the content of fiber increasing, and the preliminary analysis shows that it is resulted from insufficient curing time.

Key words: road engineering; asphalt mixture; road performance; fiber content; cold patch

0 引言

随着我国公路的快速发展, 沥青路面被广泛应用于道路路面铺装建设。然而日益加重的车辆荷载及不断变化的气候条件, 造成沥青表面层出现老化、裂缝、水损害等一系列病害, 这些病害不断扩大和延伸, 致使路面出现坑槽、大面积开裂等道路损坏。长期以来, 沥青路面坑槽的维修主要采用热拌沥青混合料, 但是热拌沥青混合料具有温度敏感特性,

在寒冷的冬季或雨雪天气条件下, 由于温度急速下降而使热沥青的粘度快速增加, 给混合料的施工造成极大困扰, 维修质量难以保证。为使路面在发生坑槽破坏时, 能够方便快捷地进行维修并尽早开放交通, 国外很早就有研究人员研究并制备了冷补沥青混合料, 对其评价方法和坑槽修补工艺也有相应的研究^[1-5]。但是这种混合料也存在一些不容忽视的问题, 比如可压实性能差、易松散等。本文针对冷补沥青混合料的这些缺陷, 考虑到纤维制品在道

收稿日期: 2013-01-04

基金项目: 交通运输部西部交通建设科技项目(2011318801670)

作者简介: 孙朝杰(1990-), 男, 河北临城人, 硕士研究生。(szj19901011@126.com)

路工程中的广泛应用，提出通过掺加纤维以改善冷补沥青混合料路用性能的研究思路。

1 原材料性能

1.1 沥青

采用安达 AH-90[#]重交通沥青，其性能指标如表 1 所示。

表 1 沥青性能指标

Tab. 1 Properties of asphalt

性能指标	检测结果
针入度(25℃,100g,5s)/(0.1mm)	83.3
针入度指数	0.47
软化点/℃	51.4
延度(5cm·min ⁻¹ ,15℃)/cm	133
密度(15℃)/(g·cm ⁻³)	1.03
蜡含量/%	1.1
闪点/℃	310
老化后残留针入度比(25℃,100g,5s)/%	66.8
老化后残留延度(5cm·min ⁻¹ ,15℃)/cm	22
老化后质量损失/%	0.75

1.2 集料

集料采用石灰岩，矿粉由石灰岩磨细而成，其性能指标如表 2 所示。

表 2 集料物理性能指标

Tab. 2 Physical properties of aggregate

指标类型	集料	矿粉
密度/(g·cm ⁻³)	2.714	2.723
压碎值/%	18.5	—
洛杉矶磨耗值/%	24.3	—
针片状含量/%	13	—
磨光值(BPN)	59	—
冲击值/%	22.7	—

1.3 石油溶剂

本文主要研究施工温度为 0℃时掺纤维冷补沥青混合料的性能，经过查阅相关资料，采用 0[#]柴油作为配制冷补沥青的石油溶剂，其性能指标如表 3 所示。

表 3 石油溶剂性能指标

Tab. 3 Properties of petroleum solvent

种类	20℃动力粘度/(Pa·s)	闪点/℃	燃点/℃	挥发速度
0 [#] 柴油	2.55~6.8	≥55	220	适中

1.4 纤维

采用杜邦公司生产的聚酯纤维 Bonifibers，其性能指标如表 4 所示。

表 4 聚酯纤维性能指标

Tab. 4 Properties of polyester fiber

指标类型	检测结果	指标类型	检测结果
直径/mm	0.016	拉伸强度/MPa	517
长度/mm	6	极限拉伸应变/%	33
相对密度	1.36	颜色	白色
熔融温度/℃	248	卷曲性	无
燃点/℃	538		

1.5 添加剂

采用吉林省交通科学研究所自制的 LW-1 型冷补沥青添加剂，它是一种特殊化工产品，由多种聚合物组成，加入普通道路沥青内可改变沥青的性质。常温下呈液态油状，有轻微刺激性气味，闪点 140℃，性质稳定。

2 掺纤维冷补沥青混合料配合比设计

2.1 矿料级配

采用 LB-13 型级配，其为现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)中推荐的冷补沥青混合料级配类型，如表 5 所示。

表 5 冷补沥青混合料级配

Tab. 5 Gradation of cold patch asphalt mixture

级配类型	通过下列筛孔(方孔筛 mm)的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
LB-13	100	90~	60~	30~	10~	5~	0~	0~	0~	0~
		100	95	60	40	20	15	12	8	5
采用级配	100	99.0	85.2	54.0	32.1	18.7	9.5	5.2	3.6	2.4

2.2 冷补沥青配比

冷补沥青混合料成型温度为 0℃，采用的冷补沥青配比如表 6 所示。

表 6 冷补沥青配比

Tab. 6 Proportion of cold patch asphalt

成型温度/℃	沥青/%	添加剂/%	柴油/%	总计/%
0	72	2	26	100

2.3 最佳冷补沥青用量

国内外已有研究主要通过马歇尔稳定度试验和纸迹试验综合确定冷补沥青混合料的最佳沥青用量。本研究采用 3 种纤维掺量，通过马歇尔稳定度试验和纸迹试验对不同纤维掺量下冷补沥青混合料的最佳沥青用量进行了确定，如表 7 所示。在各自最佳沥青用量下纤维冷补沥青混合料的初始强度和成型强度均满足目前国内研究的推荐指标要求。结果也表明，由于纤维的吸油性，最佳沥青用量随着纤维用量的增加而略有提高。

表7 不同纤维掺量下冷补沥青混合料的最佳沥青用量

Tab. 7 Optimum asphalt content of cold patch asphalt mixture with different fiber contents

纤维掺量/%	最佳沥青用量/%	初始			成型		
		强度/ kN	推荐/ kN	流值/ mm	强度/ kN	推荐/ kN	流值/ mm
0	4.7	2.59	≥1.00	3.86	6.34	≥4.00	4.37
0.2	4.9	4.83	≥1.00	5.90	5.20	≥4.00	4.80
0.4	5.1	5.04	≥1.00	6.28	6.89	≥4.00	4.86

3 纤维冷补沥青混合料路用性能分析

3.1 纤维冷补沥青混合料的低温抗裂性

国内外研究沥青混合料低温性能的试验方法有很多,主要包括:等应变加载的破坏试验(间接拉伸试验、弯曲、压缩试验)、直接拉伸试验、弯曲拉伸蠕变试验、受限试件温度应力试验、三点弯曲 J 积分试验、 C^* 积分试验、收缩系数试验、应力松弛试验等^[6]。在国内采用最多的是低温小梁弯曲破坏试验,但由于冷补沥青混合料养生条件苛刻,且强度增长缓慢,小梁的切割不易完成。鉴于国外已经开始采用圆柱形试件的低温开裂试验来评价沥青混合料的低温性能,本文采用低温开裂能试验,用开裂能来评价冷补沥青混合料的低温抗裂性^[7]。开裂能是沥青混合料抵抗开裂能力的表征,低温开裂能越大,反映出沥青混合料开裂时所需能量越大,则说明低温时沥青混合料抵抗开裂的能力越强,低温抗裂性越好。

低温开裂能试验操作过程同劈裂试验,采用 $\Phi 101.6\text{ mm} \times 63.5\text{ mm}$ 的圆柱体试件。通过采集施加于试件上的竖向力和对应的竖向变形,根据规范中推荐的泊松比 μ 值(见表8),按式(1)计算对应的水平变形(也可由试验实测),再由式(2)和(3)计算出水平拉伸应力和应变,绘出应力—应变曲线,曲线峰值以前所围的面积即表示开裂能如图1及式4所示。

表8 不同试验温度下推荐使用的泊松比 μ Tab. 8 Recommended Poisson's ratio μ at different test temperatures

试验温度/℃	≤10	15	20	25	30
泊松比 μ	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45

$$X = Y \times \frac{0.135 + 0.5\mu}{1.794 - 0.0314\mu}, \quad (1)$$

$$\sigma = 0.006287 \frac{P}{h}, \quad (2)$$

$$\varepsilon = X \times \frac{0.0307 + 0.0936\mu}{1.35 + 5\mu}, \quad (3)$$

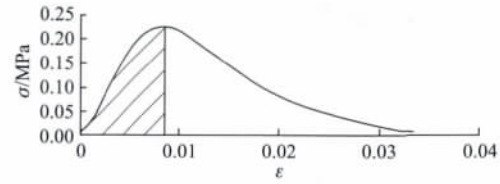


图1 开裂能示意图

Fig. 1 Schematic diagram of fracture energy

$$E = \int \sigma \cdot \varepsilon, \quad (4)$$

式中, μ 为泊松比; P 为施加于试件上的竖向力; h 为试件高度; Y 为试件垂直方向的总变形; X 为试件水平方向的总变形; σ 为水平拉伸应力; ε 为水平拉伸应变; E 为开裂能。

本论文采用马歇尔试件,试验温度为 $-10 \pm 1^\circ\text{C}$,加载速率 2.54 mm/min ,根据表(8)泊松比 μ 取值0.25,试验仪器采用美国MTS公司生产的材料测试系统MTS810。不同纤维掺量下冷补沥青混合料的低温开裂能试验结果如表9所示。

表9 低温开裂能试验结果

Tab. 9 Low-temperature fracture energy test result

纤维掺量/%	试件破坏时			-10°C 时 开裂能/Pa
	竖向力/ kN	水平拉 应力/MPa	水平 拉应变	
0	3.84	0.37	0.0078	1523.95
0.2	2.38	0.23	0.0099	1250.67
0.4	2.24	0.22	0.0103	1153.29

理论上纤维的掺入对改善沥青混合料的低温性能是有利的。首先,互相搭接的纤维可以提高沥青混合料的抗拉强度;其次,纤维的掺入使混合料的最佳沥青用量增加,提高了混合料的延展性和劲度模量;此外,纤维具有良好的物化性能,它在低温时并不变硬、变脆,纤维的加筋作用使混合料具有了较好的柔韧性,提高了混合料的低温应变值^[8-10]。这些因素都有助于增强沥青混合料的低温抗裂性。

但由图2可知,开裂能随纤维掺量的增加反而减小。参照室内试验现象,笔者认为这和冷补沥青混合料本身的特性有关。对于冷补沥青混合料,在试验过程中用 110°C 高温养生24h的方法来加速石油溶剂的挥发,以促使其强度的形成。然而在养生24h后冷补沥青混合料内仍将有残余的石油溶剂,而纤维的掺入更加抑制了石油溶剂的挥发,延缓了冷补沥青混合料强度的形成。残留的石油溶剂减弱了沥青和集料粘附作用,降低了混合料的抗拉强度,对其低温抗裂性能产生不利影响,从而导致纤维掺

量越大,开裂能越小的试验现象。

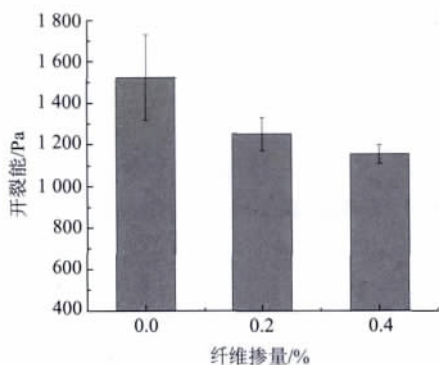


图2 开裂能随纤维掺量变化图

Fig. 2 Fracture energy varying with fiber content

3.2 纤维冷补沥青混合料的水稳定性

我国一般采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验评价沥青混合料的水稳定性。本文采用冻融劈裂试验,用冻融劈裂试验强度比评价冷补沥青混合料的水稳定性。不同纤维掺量下冷补沥青混合料的冻融劈裂试验结果如表10所示。

表10 冻融劈裂试验结果

Tab. 10 Freeze-thaw splitting test result

纤维掺量/%	R_{T1} /MPa	σ_{T1}	R_{T2} /MPa	σ_{T2}	TSR/%
0	0.048	0.011 4	0.052	0.008 0	108.3
0.2	0.067	0.030 7	0.093	0.020 6	138.8
0.4	0.065	0.020 2	0.076	0.020 5	116.9

注: R_{T1} 为未经冻融循环的试件劈裂抗压强度, σ_{T1} 为其标准差;
 R_{T2} 为经冻融循环后试件的劈裂抗压强度, σ_{T2} 为其标准差。

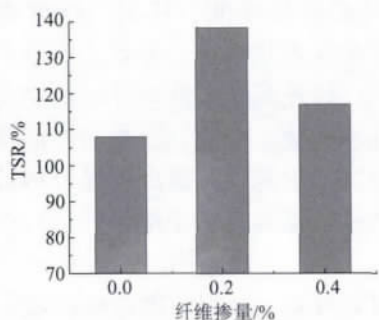


图3 冻融劈裂试验强度比随纤维掺量变化图

Fig. 3 TSR varying with fiber content

由图3可知,不同纤维掺量的冷补沥青混合料经冻融循环后劈裂强度比均大于100%,是因为在较低温度条件下,冷补沥青添加剂中的某些物质可明显改善混合料的粘结性能,使得冷补沥青混合料在温度降低的过程中自身的强度也明显增加,且强度增加量大于由于冻融导致的强度损失量,说明冷补沥青混合料有良好的水稳定性。

此外,由图3可以看出,掺纤维后冷补沥青混合料的劈裂强度比有明显的增加。这主要是由于纤维的吸附及吸收作用,使得粘性大、耐热性好的结构沥青膜厚度增加^[11-13],纤维及其周围结构沥青一起裹覆于集料表面,较厚的沥青膜减慢了沥青老化速率,从而可长时间地维持其粘附性,降低了水对沥青与集料的浸蚀破坏作用,增强了沥青混合料抵抗水损害的能力。而纤维掺量过多反而降低了其冻融劈裂试验强度比,这是由于纤维掺量过多会导致混合料拌合困难,容易产生离析,影响混合料之间的粘结性能,使混合料经冻融循环后的强度增长不那么明显,降低了劈裂强度比。

3.3 纤维冷补沥青混合料的抗松散性

国内外研究表明,冷补沥青混合料的最大缺陷在于结构整体性不足,从而极易导致二次破坏。本文采用肯塔堡飞散试验,用飞散损失来评价掺纤维后冷补沥青混合料的抗松散性。肯塔堡飞散试验常用以评价由于沥青用量或黏结性不足,在交通荷载作用下,路面表面集料脱落而散失的程度,以马歇尔试件在洛杉矶试验机中旋转撞击规定的次数,沥青混合料试件散落材料的质量百分率表示。为研究飞散损失随时间变化的规律,分别记下旋转时间为2、5 min和10 min时试件的残留质量,从而计算相应冷补沥青混合料的飞散损失。不同纤维掺量下的肯塔堡飞散试验结果如表11所示。

表11 肯塔堡飞散试验结果

Tab. 11 Cantabro dispersion test result

纤维掺量/%	飞散损失/%		
	2 min	5 min	10 min
0	0.34	63.66	71.91
0.2	0.29	72.52	75.54
0.4	0.15	59.00	63.93

由表11可知,冷补沥青混合料2 min时的飞散损失很小,此时试件还为一个整体;5 min时不同纤维掺量下冷补沥青混合料的飞散损失均超过了50%,试件已经破碎,此时称取最大一块残留试件的混合料质量来计算飞散损失;10 min时的情况和5 min时相似。

冷补沥青混合料的飞散损失越小,表示其抗松散性越好。比较试验10 min时的冷补沥青混合料的飞散损失,如图4所示,可看出0.4%纤维掺量的冷补沥青混合料抗松散性最好,0.2%纤维掺量的混合料与不掺纤维的混合料的抗松散性相差无几,因此纤维的掺入对冷补沥青混合料的抗松散性是有利的,但纤维掺量为0.2%时对其抗松散性的影响不明显。

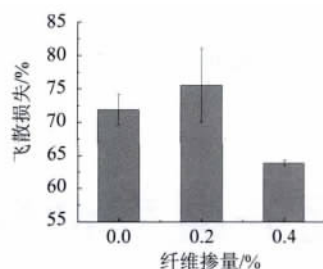


图4 试验10 min时飞散损失随纤维掺量变化图

Fig. 4 Dispersion loss varying with fiber content 10 min after test beginning

4 结论

(1) 由于纤维对强度增长的阻碍作用,冷补沥青混合料的开裂能随纤维掺量的增加而减小,即在同等养生条件下,纤维掺量越多,其低温抗裂性能越弱。因此,如何加速冷补沥青混合料的养生是下一步研究的关键。

(2) 冷补沥青混合料具有良好的水稳定性,且纤维的掺入有利于其水稳定性的提高,但纤维掺量不宜过多。应该指出的是由于试验过程中强度的增长,冻融劈裂试验强度比不能正确反映真实的水稳定性,因此冷补沥青混合料的水稳定性指标还需要进一步的研究。

(3) 纤维的掺入增加了冷补沥青混合料的抗松散性,但试验数据也显示出当纤维掺量为0.2%时,对其抗松散性的影响不明显。

(4) 综合以上结论,在充分养生的基础上,纤维掺量以0.2%~0.3%为宜。

参考文献:

References:

- [1] 孟文专,杨亮,夏智,等.冷补沥青混合料的制备及其性能[J].武汉工程大学学报,2011,33(10):49-53.
MENG Wen-zhuan, YANG Liang, XIA Zhi, et al. Study on Preparation and Performance of Cold Patch Asphalt Mixture [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2011, 33 (10): 49-53.
- [2] AASHTO HM-23 PT I-2003, Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing [S].
- [3] 何小文.冷补沥青混合料的研究与应用[J].安徽建筑,2012,19(3):193-195.
HE Xiao-wen. Research and Application of Cold Patch Asphalt Mixture [J]. Anhui Architecture, 2012, 19 (3): 193-195.
- [4] JAHREN C T, ELLSWORTH B J, BERGESON K. Constructability Test for Cold in-place Asphalt Recycling

- [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1999, 125 (5): 325-329.
- [5] 崔雷.冷补沥青混合料研究[D].西安:长安大学,2006.
CUI Lei. Study on Cold Patch Asphalt Mixture [D]. Xi'an: Chang'an University, 2006.
- [6] 沈金安.沥青及沥青混合料路用性能[M].北京:人民交通出版社,2006.
SHEN Jin-an. Road Performance of Asphalt and Asphalt Mixture [M]. Beijing: China Communications Press, 2006.
- [7] NATHAN B. Laboratory Evaluation of Performance of Warm Mix Asphalt in Washington State [D]. Pullman: Washington State University, 2011: 31-38.
- [8] 孙雅珍,赵颖华.新型纤维增强沥青路面的研究[J].华东公路,2002(2):63-66.
SUN Ya-zhen, ZHAO Ying-hua. Research on Asphalt Pavement Reinforced with New Fiber [J]. East China Highway, 2002 (2): 63-66.
- [9] 彭波.木质素纤维在沥青混合料中的应用[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2005,37(1):104-107.
PENG Bo. Application of Methyl Cellulose in Bituminous Mixture [J]. Journal of Xi'an University of Architecture and Technology: Natural Science Edition, 2005, 37 (1): 104-107.
- [10] 刘红,孔永健,曹东伟.加入聚酯纤维对沥青混合料动态模量的影响[J].公路交通科技,2011,28(8):25-29.
LIU Hong, KONG Yong-jian, CAO Dong-wei. Influence of Adding Polyester Fiber on Dynamic Modulus of Asphalt Mixture [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28 (8): 25-29.
- [11] 李海军,吕伟民.木质素纤维在SMA混合料中作用机理分析与试验研究[J].石油沥青,1998,12(4):1-8.
LI Hai-jun, LÜ Wei-min. The Test and Analyzing the Effect Mechanism of the Ligin Fiber Containing in SMA Mixtures [J]. Petroleum Asphalt, 1998, 12 (4): 1-8.
- [12] 宋云祥,韦佑坡,李玉梅,等.玄武岩纤维沥青胶浆的路用性能[J].公路交通科技,2012,29(8):15-19.
SONG Yun-xiang, WEI You-po, LI Yu-mei, et al. Road Performance of Basalt Ligin Fiber Reinforced Asphalt Mastic [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29 (8): 15-19.
- [13] 赵豫生,李红涛.玄武岩短切纤维对沥青混凝土性能的影响[J].公路交通科技,2012,29(9):38-42.
ZHAO Yu-sheng, LI Hong-tao. Impact of Short-cut Basalt Fiber on Asphalt Concrete Performance [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29 (9): 38-42.