

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.06.073

温拌沥青混合料疲劳分析

李远洋, 代科

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 550081)

摘要: 采用耗散能法和现象法, 分析温拌剂对沥青混合料疲劳寿命的影响。结果表明: 在基质沥青混合料中加入 EV 温拌剂后, 其疲劳性能总体变好; 在基质沥青混合料中加入 RH 温拌剂后, 其总体疲劳性能变差; 在 SBS 改性沥青混合料中加入 EV 温拌剂后, 其在高应变水平下的疲劳性能有所下降, 但与热拌混合料疲劳性能相差不多。

关键词: 温拌沥青混合料; 温拌剂; 耗散能法; 现象法

中图分类号: U414

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)06-0286-03

0 引言

沥青混合料在公路建设中是主要的结构性柔性材料。作为一种柔性路面结构组合, 沥青混合料经车辆荷载反复作用后, 其抗疲劳性能将变差, 产生开裂、车辙、麻面等疲劳破坏, 最终引起沥青混合料结构的疲劳破坏^[1]。

1 原材料

选用 SBS 改性沥青和普通基质沥青、RH 温拌剂和 EV 温拌剂(一种表面活性剂)制备 AC-13 型温拌沥青混合料(WMA)。

本次试验所制备的 6 组沥青混合料分别为: 90# 基质沥青混合料 (JZ)、SBS 改性沥青混合料 (SB)、90# 基质沥青混合料 +3%RH 温拌剂 (JR)、90# 基质沥青混合料 +0.6% EV 温拌剂 (JE)、SBS 改性沥青混合料 +3%RH 温拌剂 (SR)、SBS 改性沥青混合料 +0.6%EV 温拌剂 (SE)。6 组沥青混合料的相关指标均满足要求。

2 试验

2.1 试验方案

针对上述 6 组沥青混合料, 各制备 3 个小梁试件, 进行四点支撑加载弯曲疲劳性能试验, 结果取 3 个小梁试件试验数据的平均值。试验采用的加载频率为 100 Hz, 通过小梁试件应变值来控制重复加载次数。本次基质沥青混合料小梁试件的应变水平

分别为 500 $\mu\text{m}/\text{m}$ 、600 $\mu\text{m}/\text{m}$ 、700 $\mu\text{m}/\text{m}$; SBS 改性沥青混合料小梁试件的应变水平分别为 600 $\mu\text{m}/\text{m}$ 、700 $\mu\text{m}/\text{m}$ 、800 $\mu\text{m}/\text{m}$ 。将小梁试件的弯曲劲度模量变化至其初始弯曲劲度模量的 50% 时, 作为试验终止的条件^[2]。

2.2 试验参数分析

2.2.1 弯曲劲度模量

本试验选用归一化劲度次数积 NM 的最大值作为小梁试件达到疲劳寿命的作用次数。NM 的表达式为^[3]:

$$NM = S_i \times N_i / S_0 \times N_0 \quad (1)$$

式中: S_i 为某时刻作用的弯曲劲度模量; N_i 为某时刻的循环作用次数; S_0 为初始弯曲劲度模量; N_0 为初始循环作用次数。

图 1 为 3 种应变水平下, 基质沥青混合料小梁试件的弯曲劲度模量分布。由图 1 可见, 在试验进行过程中, 小梁试件的弯曲劲度模量先快速降低, 然后降低速率减慢, 但疲劳破坏 3 阶段中只表现出了 1、2 阶段, 第 3 阶段并没有出现。

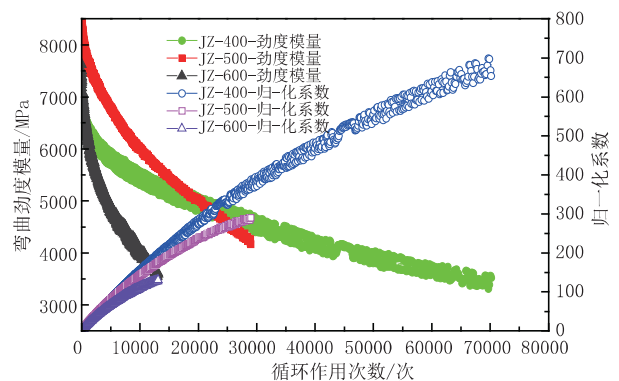


图 1 基质沥青混合料小梁试件的弯曲劲度模量分布图

收稿日期: 2020-12-01

作者简介: 李远洋(1990—), 男, 本科, 工程师, 从事路桥设计工作。

2.2.2 残留劲度模量比

本次试验选取第 50 次循环作用的沥青混合料小梁试件劲度模量作为其初始劲度模量值。残留劲度模量比用同一阶段的劲度模量与初始劲度模量的比值来表示^[4]。3 种应变水平下,3 组基质沥青混合料小梁试件 JZ、JR、JE 的残留劲度模量比如图 2 所示。

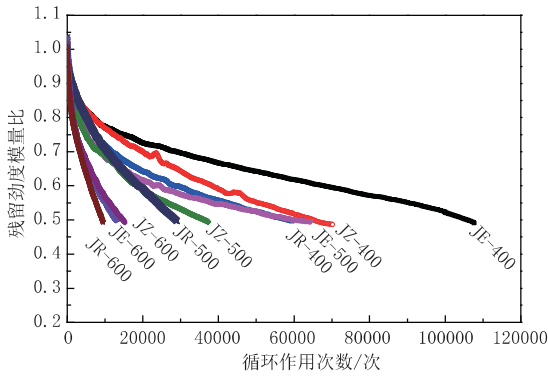


图 2 JZ、JR、JE 的残留劲度模量比

对比图 1、图 2 可知,3 种应变水平下,掺或不掺温拌剂的基质沥青混合料小梁试件残留劲度模量比、弯曲劲度模量的变化趋势相同。

2.2.3 累积耗散能

通过本次试验发现,循环作用次数与累积耗散能呈线性变化关系,两者变化成正比关系。当疲劳破坏试验终止后,沥青混合料并没有完全失效,还能够提供荷载作用下所需的部分能量,说明这种疲劳破坏只是破坏混合料结构,而材料性能并没有被完全破坏。

3 疲劳模型分析

3.1 现象法疲劳分析

采用现象法进行疲劳分析。所用公式为:

$$\lg N_f = \lg K - b \lg S_0 \quad (2)$$

式中: S_0 为选取的初始弯曲劲度模量; N_f 为弯曲劲度模量衰减到其初始值 50%时的循环作用次数,即疲劳寿命; K 、 b 均为实验室回归参数。

3 种应变水平下,6 组沥青混合料小梁试件的初始弯曲劲度模量和疲劳寿命数据见表 1。

由表 1 可知,应变水平不同时,小梁试件的初始弯曲劲度模量也不同,而且规律性较差。

采用双对数对 6 组沥青混合料小梁试件的疲劳寿命和应变水平进行线性拟合,得到与式(1)类似的疲劳方程^[5]:

$$\lg N_f = \lg a - b \lg \varepsilon_f \quad (3)$$

式中: a 实验室回归参数; ε_f 为应变水平。

表 1 6 组沥青混合料小梁试件的 S_0 及 N_f 试验值

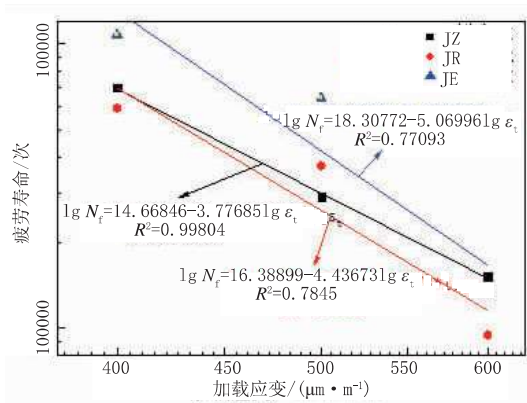
种类	应变水平 / ($\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$)	S_0 / MPa	N_f / 次
JZ	400	6 653.28	70 260
	500	8 465.17	29 120
	600	6 969.15	15 950
JR	400	7 996.26	59 540
	500	8 197.39	37 260
	600	7 149.41	9 680
JE	400	8 149.65	108 610
	500	8 269.15	64 650
	600	6 997.44	13 270
SB	600	6 911.44	203 980
	700	5 569.28	102 970
	800	6 519.36	51 470
SR	600	5 620.29	417 260
	700	5 489.95	132 980
	800	4 799.99	50 100
SE	600	5 374.65	517 100
	700	5 791.39	153 210
	800	5 487.36	45 870

式(3)中: $| -b |$ 为沥青混合料疲劳寿命曲线所对应的斜率,其绝对值越大,表示沥青混合料的应变对荷载越敏感; $\lg a$ 反映了该类型沥青混合料在不同应变水平下疲劳寿命曲线的截距, $\lg a$ 越大,沥青混合料的抗疲劳性能越好。

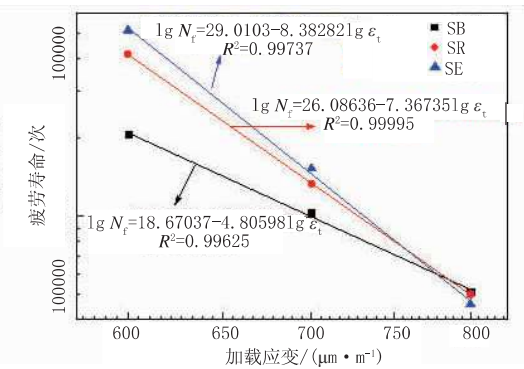
将表 1 数据代入式(3),得到的拟合曲线如图 3 所示。

由图 3(a)可知:在双对数坐标系中,基质沥青混合料小梁试件 JZ 的疲劳寿命与应变水平具有很好的线性关系和正相关性,相关系数可以达到 0.998 以上;掺温拌剂的基质沥青混合料小梁试件 JR、JE 的相关系数只有 0.78 左右,说明试验采用的疲劳寿命方程并不适用于温拌基质沥青混合料的疲劳寿命性能研究。

由图 3(b)可知:掺或不掺温拌剂的 SBS 改性沥青混合料小梁试件疲劳寿命与施加的应变水平有关,在双对数坐标系下两者有良好的线性相关性,相关系数都在 0.99 以上。应变水平对掺或不掺温拌剂的 SBS 改性沥青混合料疲劳寿命有很大影响,施加的荷载越大,其疲劳寿命越短。对于温拌沥青混合料小梁试件的疲劳寿命曲线而言,SBS 改性沥青混合料的斜率和截距都比基质沥青混合料大,说明 SBS 改性沥青混合料的疲劳寿命要远远大于基质沥青混合料;EV 或 RH 温拌 SBS 改性沥青混合料的斜率和截距都显著增大,表明掺入温拌剂后,SBS 改性沥青混



(a) 基质沥青混合料小梁试件



(b) SBS 改性沥青混合料小梁试件

图 3 基于现象法的疲劳方程拟合

合料的疲劳寿命显著增加,其中以 EV 温拌剂的使用效果更好。

3.2 耗散能法疲劳分析

利用耗散能法进行疲劳强度分析时,将沥青混合料小梁试件的弯曲劲度模量变化至初始弯曲劲度模量的 50% 时作为试验终止条件。

在不同应变水平下,6 组沥青混合料小梁试件的循环作用次数与能量耗尽扩散期间的能量变化率(RDEC)曲线均分别出现了 2 个阶段。第 1 阶段:RDEC 平均值较大,但整体仍然有逐渐减小趋势,说明在早期荷载作用下沥青混合料不会发生严重损伤;第 2 阶段:随着荷载循环的不断持续,RDEC 保持稳定(第 2 阶段 RDEC 的平均值用 PV 表示),此时沥青混合料也不会发生严重损伤,直至整体达到疲劳失效的损伤标准。PV 值也可以作为表示沥青混合料疲劳性能的一个指标。6 组沥青混合料小梁试件的 PV 值和 N_f 值如表 2 所示。

取表 2 数据进行拟合,得到拟合方程为:

$$\lg PV = \lg c + d \lg N_f \quad (4)$$

式中: c 、 d 为实验室回归参数。

通过计算,对于基质沥青混合料小梁试件 JZ、JR、JE 而言,其拟合方程的 R^2 值分别为 0.945 39、

表 2 沥青混合料小梁试件的 PV 及 N_f 试验数据

混合料种类	应变水平 / ($\mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$)	PV	N_f / 次
JZ	400	2.865×10^{-4}	70 210
	500	4.108×10^{-4}	29 190
	600	6.450×10^{-4}	15 340
JR	400	2.739×10^{-4}	59 380
	500	2.866×10^{-4}	37 360
	600	1.158×10^{-3}	9 510
JE	400	8.666×10^{-5}	106 840
	500	1.828×10^{-4}	65 170
	600	5.871×10^{-4}	13 600
SB	600	7.108×10^{-5}	205 100
	700	1.197×10^{-4}	103 290
	800	2.305×10^{-4}	52 790
SR	600	6.479×10^{-5}	417 320
	700	1.192×10^{-4}	133 490
	800	2.859×10^{-4}	50 190
SE	600	3.079×10^{-5}	516 800
	700	9.385×10^{-5}	153 290
	800	2.614×10^{-4}	46 030

0.908 64、0.951 54;对于 SBS 改性沥青混合料小梁试件 SB、SR、SE 而言,其拟合方程的 R^2 值分别为 0.989 78、0.954 72、0.998 63。

由此可知:沥青混合料的疲劳性能可以采用 PV 值作为评价指标;取弯曲劲度模量衰减到其初始值 50% 时作为掺温拌剂基质沥青混合料的疲劳试验终止条件并不合理;掺入 EV 温拌剂可以提高沥青混合料的抗疲劳性能。

由式(4)可知,可以用残留劲度模量比达到 50% 时的循环作用次数及耗散能渐变率达到平衡时的平均值 PV 来拟合沥青混合料疲劳寿命方程。

基质沥青混合料加入 EV 温拌剂后,其疲劳性能总体变好;SBS 改性沥青混合料加入 EV 温拌剂后,在高应变水平下的疲劳性能有所下降,但与热拌混合料疲劳性能相差不多;基质沥青混合料加入 RH 温拌剂后的疲劳性能总体变差。本试验推荐使用 EV 温拌剂。

4 结 语

(1)现象法提出的疲劳寿命方程不适用于温拌基质沥青混合料,但适用于温拌 SBS 改性沥青混合料的疲劳寿命性能研究。

(2)由 R^2 的数值可以判断,EV 温拌剂的添加可

(下转第 302 页)

