

胶粉掺量对橡胶改性沥青低温性能的影响

王卫雷¹, 马柱¹, 李大为², 张家伟³

(1.浙江省城乡规划设计研究院, 浙江 杭州 310030; 2.广州大象超薄路面技术开发有限公司, 广东 广州 510000;

3.同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海市 200092)

摘要:通过弯曲梁流变(BBR)试验分析不同掺量橡胶改性沥青以及胶粉复合SBS改性沥青的低温性能。结果显示,随着胶粉掺量的增加,橡胶改性沥青的劲度模量逐渐下降,蠕变速率逐渐增加,沥青逐渐变软,低温变形以及应力消散能力逐渐提升,低温性能逐渐提升;当胶粉掺量达到18%时,其低温PG分级相较于基质沥青可提升一个等级。对于胶粉复合SBS改性沥青,随着SBS的加入,橡胶改性沥青的劲度模量稍有提高,然而蠕变速率也增加,说明加入SBS使得橡胶改性沥青变硬的同时,也提升了其低温变形能力以及应力消散能力;当胶粉掺量从5%增加至18%时,其低温劲度模量降低约50%。

关键词:胶粉掺量;橡胶沥青;低温性能;弯曲梁流变实验;橡胶复合SBS

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)06-0278-04

0 引言

近年来,随着科学技术的发展,胶粉改性沥青已成为仅次于SBS改性沥青的一种主要改性沥青。采用橡胶粉对基质沥青进行改性,既可以有效提高沥青的路用性能,又可以充分利用废旧橡胶轮胎,多年来一直是国内外研究的热点^[1]。

对于橡胶改性沥青的研究,目前主要集中于高温性能和疲劳性能方面,一般认为,橡胶改性沥青混合料具有优异的高温与疲劳性能^[2]。李波等^[3]研究了胶粉对沥青高温性能影响机理,发现废旧橡胶粉加入沥青后,橡胶改性沥青混合料的高温稳定性能显著提高,因此其抗车辙变能力通常很高。在疲劳性能方面,胶粉的加入使得沥青变黏变弹,因此胶粉改性沥青混合料的疲劳性能非常优异。黄卫东^[4]通过四点小梁弯曲疲劳试验,评价了胶粉改性沥青混合料的疲劳特性,结果显示高沥青用量下橡胶改性沥青混合料的疲劳性能显著优于SBS改性沥青混合料。同时其疲劳自愈合效果也十分良好^[5]。

一般认为,胶粉的加入对沥青的低温性能也有所改善,陈子建^[6]分析了湿拌法橡胶改性沥青的反应机理,发现橡胶粉与沥青之间的反应既有物理反应也有化学反应,这种反应过程有利于提高沥青的

低温性能。孙雪伟等^[7]研究了橡胶改性沥青的低温延度,发现胶粉掺量、反应时间、基质沥青以及拉伸速率对橡胶改性沥青胶结料低温延度影响较为明显。目前对于改性沥青的低温性能评价,主要有5℃延度、SHRP低温PG分级、低温流变性能等指标,其中低温PG分级采用沥青的低温弯曲梁流变(BBR)试验来完成,是国内外比较主流的评价指标,可以较好地地区分沥青的低温性能。

本研究通过BBR试验,研究不同胶粉掺量下橡胶改性沥青的低温PG分级结果,同时分析胶粉掺量的影响。实际生产中,为了提升胶粉的用量,一般也会在橡胶改性沥青中掺加一定量的SBS,因此本研究的另一个方面是分析胶粉掺量对胶粉复合SBS改性沥青低温性能的影响。

1 试验

1.1 试验材料

本研究采用ESS070#沥青作为基础沥青,胶粉选用江阴产0.6mm胶粉,由废旧轮胎胎顶加工而成,橡胶粉技术指标见表1。

橡胶改性沥青的制备方法如下:首先将基质沥青加热到185℃并不断搅拌,以内掺方式分别添加5%、10%、15%、17%、18%、19%、20%共7种掺量的橡胶粉,而后搅拌1h,即可制备完成。

对于胶粉复合SBS改性沥青,目前工程中^[8]比较常用的是复合2%SBS。本研究选用胶粉复合2%SBS

收稿日期:2020-12-27

作者简介:王卫雷(1974—),男,本科,高级工程师,从事交通规划与道路设计工作。

表 1 废轮胎橡胶粉技术指标

指标	技术要求	测试结果
相对密度	1.10~1.30	1.17
筛余物 /%	<10	2.80
灰分 /%	≤8	4.20
炭黑含量 /%	≥28	36.10
橡胶烃含量 /%	≥42	58.60

改性沥青。首先将基质沥青加热至 185 ℃,以外掺形式加入 2%SBS,搅拌 0.5 h,而后分别以内掺方式加入 5%、10%、15%和 18%共 4 种掺量的胶粉,继续搅拌 1 h,即可制备出胶粉复合 SBS 改性沥青。橡胶改性沥青和胶粉复合 SBS 改性沥青的基本指标见表 2、表 3。

表 2 不同掺量橡胶改性沥青的基本指标

胶粉掺量 /%	25 ℃针入度 / (0.1 mm)	软化点 /℃	177 ℃黏度 / (Pa·s)	弹性恢复 /%
0	64	50.9		
5	51	54.8	0.354	
10	43	61.0	0.683	36
15	39	64.8	1.461	65
17	37	67.9	2.263	74
18	33	69.3	2.848	78
19	32	69.8	4.314	79
20	30	71.4	5.423	82

表 3 不同掺量胶粉复合 SBS 改性沥青的基本指标

胶粉掺量 /%	SBS 掺量 /%	25 ℃针入度 / (0.1 mm)	软化点 /℃	5 ℃延度 /cm	135 ℃黏度 / (Pa·s)
5	2	45	61.2	12	1.597
10	2	43	64.1	11	2.981
15	2	41	66.9	17	9.022
18	2	37	68.8	14	10.47

1.2 试验方法

本研究采用低温弯曲梁流变(BBR)试验来评价沥青的低温性能,所用设备为 CANNON 产 BBR 弯曲梁流变仪。试验按照规范 ASTM D6648 进行,将经过 PAV 老化的沥青样品浇入内壁涂有润滑剂的小梁模具中,制备 127 mm×12.7 mm×6.35 mm 沥青小梁试件,同种沥青平行试验 2 组。完成后放入已设置好试验温度的 BBR 无水乙醇浴槽内脱模并保温 1 h 后进行试验。采集并记录小梁试件的跨中挠度随时间变化数据,并在 240 s 时停止加载、进行卸载。

根据加载过程中 8 s、15 s、30 s、60 s、120 s、240 s 的 BBR 弯曲梁流变仪数据,按式(1)计算沥青小梁试件的弯曲蠕变劲度模量 $S(t)$:

$$S(t)=\frac{PL^3}{4bh^3\delta(t)} \tag{1}$$

式中: P 为跨中加载力; L 为跨径; b 为小梁试件的宽度; h 为小梁试件的厚度; $\delta(t)$ 为 t 时刻小梁试件的跨中挠度。

同时配套软件会自动对双对数坐标下的 $\lg S(t)$ 和 $\lg t$ 根据二次多项式进行拟合:

$$\lg S(t)=A+B\lg t+C(\lg t)^2 \tag{2}$$

式中: A 、 B 、 C 为回归参数,由拟合得到。

对应地将 m 值定义为 $\lg S(t)$ 与 $\lg t$ 关系曲线上切线斜率的绝对值,即蠕变速率,以此来表征沥青的低温变形和应力消散能力。取用经过 PAV 老化的沥青样品 60 s 时的 S 和 m 值作为评价指标,以弯曲蠕变劲度模量 S 不超过 300 MPa、蠕变速率 m 不小于 0.3 为控制指标,通过线性插值法得到早期开裂温度 T ,记为低温 PG 分级温度。

2 试验结果与分析

2.1 不同掺量橡胶改性沥青 BBR 试验结果

对不同掺量橡胶改性沥青进行 BBR 测试。分别对 -12 ℃、-18 ℃和 -24 ℃条件下的沥青小梁试件进行测试,并根据测试结果计算出对应的弯曲蠕变劲度模量 S 与蠕变速率 m ,结果如表 4 所示。

表 4 不同掺量橡胶改性沥青 BBR 试验结果

胶粉掺量 /%	-12 ℃		-18 ℃		-24 ℃		低温 PG/℃
	S /MPa	m	S /MPa	m	S /MPa	m	
0	189	0.370	456	0.259	906	0.156	-24.5
5	170	0.387	396	0.265	680	0.173	-25.5
10	135	0.405	365	0.279	695	0.186	-26.3
15	92	0.418	296	0.297	522	0.196	-28.1
17	82	0.410	214	0.323	434	0.198	-30.3
18	71	0.425	200	0.332	425	0.209	-30.7
19	67	0.436	189	0.354	332	0.253	-32.7
20	44	0.487	144	0.360	251	0.310	-36.7

由表 4 可知,对于同种橡胶改性沥青,温度越低,其弯曲蠕变劲度模量 S 值越大,表明沥青逐渐变硬,而蠕变速率 m 值逐渐降低,说明沥青的低温变形以及应力消散能力逐渐降低。随着胶粉掺量的增加,相同温度橡胶改性沥青的低温弯曲蠕变劲度模量 S 值逐渐降低,表明沥青逐渐变软,而对应的蠕变速率 m 值逐渐增加,说明橡胶改性沥青的低温变形能力逐渐增强。

为了更好地展现随着胶粉掺量变化,橡胶改性沥青的低温弯曲蠕变劲度模量 S 以及蠕变速率 m 的变化规律,将 -18 ℃条件下的弯曲蠕变劲度模量 S 以及蠕变速率 m 绘制成柱状图,如图 1 所示。

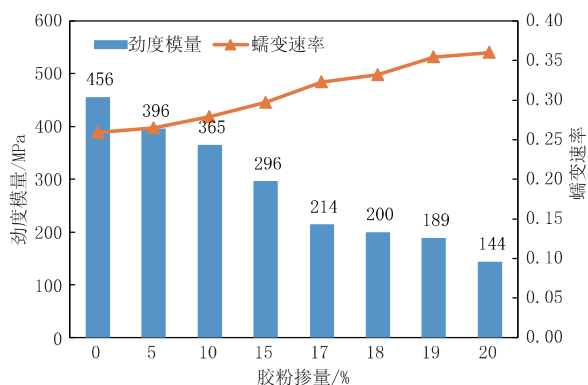


图1 不同掺量橡胶改性沥青的BBR试验结果(-18℃)

由图1可知,随着胶粉掺量的增加,橡胶改性沥青的弯曲蠕变劲度模量 S 值逐渐下降,并且胶粉掺量越高,下降效果越明显。当胶粉掺量达17%时,其弯曲蠕变劲度模量 S 值约为基质沥青的47%,而当胶粉掺量增加至20%时,其弯曲蠕变劲度模量 S 值仅为基质沥青的31%。蠕变速率 m 值也呈现出逐渐上升的趋势,说明胶粉掺量的增加,有助于提升橡胶改性沥青的低温变形以及应力消散能力。

2.2 不同掺量橡胶改性沥青低温PG分级

不同掺量橡胶改性沥青的低温PG分级结果如图2所示。结果表明,随着胶粉掺量的增加,橡胶改性沥青的低温PG分级逐渐降低,说明沥青的低温性能增强。当胶粉掺量达到18%时,橡胶改性沥青的低温PG分级温度达到-30.7℃,较基质沥青提高1个PG等级(6℃),说明胶粉对橡胶改性沥青的低温性能贡献很大。

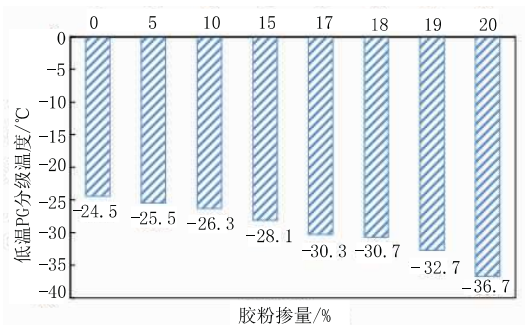


图2 不同掺量橡胶改性沥青的低温PG分级结果

结合针入度数据,发现尽管橡胶改性沥青随着胶粉掺量的增大越来越稠,趋于硬化,但其低温性能却表现得更为优异。从而说明针入度指标反映出的沥青软硬,并不能评价橡胶改性沥青的低温性能。

2.3 不同掺量胶粉复合SBS改性沥青BBR试验结果

不同掺量胶粉复合SBS改性沥青BBR试验结果如表5所示。

由表5可知:在-12℃、-18℃和-24℃温度条件下,沥青的弯曲蠕变劲度模量 S 值均随着胶粉掺

表5 不同掺量胶粉复合SBS改性沥青BBR试验结果

胶粉掺量 /%	-12℃		-18℃		-24℃		低温PG/℃
	S/MPa	m	S/MPa	m	S/MPa	m	
5	179	0.37	346	0.278	690	0.204	-26.3
10	139	0.366	285	0.298	537	0.212	-28.4
15	93	0.395	221	0.300	435	0.223	-30.2
18	69	0.412	175	0.316	355	0.233	-32.2

量的增加而降低,说明沥青逐渐变软,这点与纯橡胶改性沥青的变化规律一致。比较相同胶粉掺量下的纯橡胶改性沥青与胶粉复合SBS改性沥青的BBR试验结果可以发现,加入SBS后,沥青的低温弯曲蠕变劲度模量 S 值略有增加,表明沥青变硬,然而其蠕变速率 m 值也增加,说明橡胶改性沥青的低温变形以及应力消散能力也得以增强。这是由于SBS是一种热塑性弹性体,在低温环境下呈现出脆性,同时SBS的加入还会在沥青当中形成一种网格化结构,用于增强沥青的抗变形能力,因而沥青的蠕变速率 m 值增加。

为了更好地分析胶粉掺量变化对胶粉复合SBS改性沥青低温性能的影响,选取-18℃条件下胶粉复合SBS改性沥青的低温弯曲蠕变劲度模量 S 与蠕变速率 m 进行分析,如图3所示。由图3可以看出,对于胶粉复合SBS改性沥青,随着胶粉掺量的增加,其低温弯曲蠕变劲度模量 S 值逐渐减小,蠕变速率 m 值增加,说明沥青逐渐变软,其低温变形与应力消散能力提升。当胶粉掺量从5%增加至18%时,其低温弯曲蠕变劲度模量 S 值的降低幅度约50%,下降幅度显著,说明SBS的加入使得胶粉对沥青低温性能的改善更为显著。

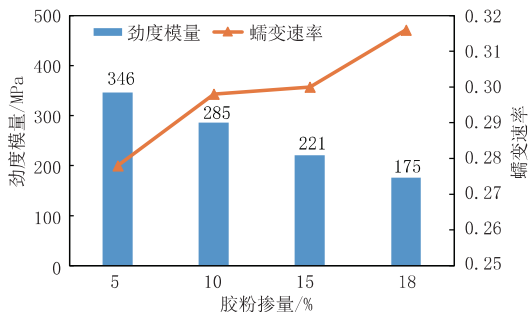


图3 不同掺量胶粉复合SBS改性沥青BBR试验结果(-18℃)

2.4 不同掺量胶粉复合SBS改性沥青低温PG分级

不同掺量胶粉复合SBS改性沥青的低温PG分级结果如图4所示。由图4可知,随着胶粉掺量的增加,沥青的低温PG分级逐渐降低,说明沥青的低温性能得到提升。当胶粉掺量从5%提升至18%时,沥

青的低温 PG 分级提升约 1 个等级,说明胶粉对胶粉复合 SBS 改性沥青的低温性能贡献很大。

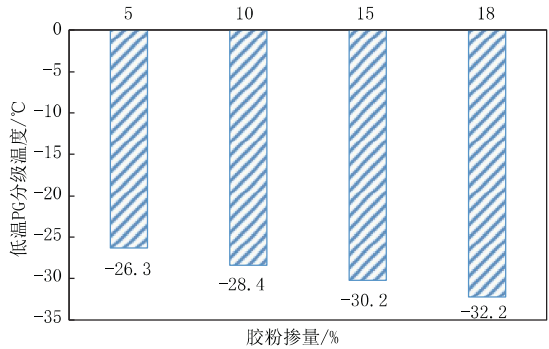


图 4 不同掺量胶粉复合 SBS 改性沥青的低温 PG 分级结果

3 结 语

(1)随着胶粉掺量的增加,橡胶改性沥青的弯曲蠕变劲度模量 S 值逐渐下降,蠕变速率 m 值逐渐增加,沥青逐渐变软,低温变形以及应力消散能力逐渐提升,低温性能逐渐提升。当胶粉掺量达到 18%时,橡胶改性沥青低温 PG 分级提升 1 个等级。

(2)对于胶粉复合 SBS 改性沥青,SBS 加入后,其弯曲蠕变劲度模量 S 值稍有提高,然而蠕变速率 m

值也增加,说明 SBS 的加入使得沥青变硬的同时,也提升了其低温变形以及应力消散能力。

(3)对于胶粉复合 2% SBS 改性沥青,当胶粉掺量从 5%增加至 18%时,其低温弯曲蠕变劲度模量 S 降低约 50%,沥青的低温 PG 分级可提升约 1 个等级。

参考文献:

[1] 张晓亮,陈华鑫,张奔,等.不同来源橡胶粉对橡胶沥青性能影响[J].长安大学学报(自然科学版),2018,38(5):1-8.

[2] 余波,施晓强,陈钊,等.废旧橡胶粉掺量对橡胶沥青高低温及疲劳性能影响研究[J].石油沥青,2015,29(2):30-33.

[3] 李波,王静,曹贵,等.废旧胶粉特性对橡胶沥青高温性能的影响机理[J].应用基础与工程科学学报,2017,25(2):347-355.

[4] 黄卫东,高川,李昆.橡胶沥青混合料疲劳性能影响因素研究[J].同济大学学报(自然科学版),2009,37(12):1608-1604.

[5] 黄明,汪翔,黄卫东.橡胶沥青混合料疲劳性能的自愈合影响因素分析[J].中国公路学报,2013,26(4):16-22,35.

[6] 陈子建.橡胶沥青低温性能研究[J].公路,2010(6):185-187.

[7] 孙雪伟,唐颂,王建军,等.橡胶沥青低温延度影响因素研究与分析[J].中外公路,2010,30(5):310-313.

[8] 胡苗,弥海晨,郭平.SBS 复合改性橡胶沥青试验研究[J].石油沥青,2014,28(6):20-23.

(上接第 257 页)

(2)基于可靠度反问题的求解方法提出了桥梁限载分析方法,引入限载系数表示限载车重与设计汽车荷载之间的关系,并建立了在役桥梁安全运营的车辆限载分析步骤。

(3)通过算例,介绍了本文提出的在役桥梁限载分析的实施过程。结果表明,本文提出的车辆载重限值的取值方法能够很好地体现结构可靠性思想,对桥梁限载决策的制定更具有科学的指导意义。

参考文献:

[1] James R W, Noel J S, Furr H L, et al. Proposed new truck weight limit formula [J]. Journal of Structural Engineering. 1986, 112(7): 1589-1604.

[2] Ghosn M. Legal Truck Loads and AASHTO Legal Loads for Posting

[J]. Nchrp Report. 2007.

[3] 王硕.桥梁运营荷载状况研究[D].上海:同济大学,2007.

[4] 宗雪梅,胡大琳,高军.桥梁超重荷载与限载标准的确定[J].长安大学学报(自然科学版).2008,28(001):60-65.

[5] Han W, Wu J, Cai C S, et al. Characteristics and Dynamic Impact of Overloaded Extra Heavy Trucks on Typical Highway Bridges [J]. JOURNAL OF BRIDGE ENGINEERING. 2015, 20(050140112).

[6] 中华人民共和国交通部,中华人民共和国公安部.关于在全国开展车辆超限超载治理工作的实施方案[Z].2004.

[7] Hong L, Foschi R O. An inverse reliability method and its application[J]. Structural Safety. 1998, 20(3): 257-270.

[8] 聂瑞锋.在役 RC 简支梁桥结构当前状态体系可靠性关键问题研究[D].上海:同济大学,2015.

[9] 赵国藩,曹居易,张宽权.工程结构可靠度[M].北京:科学出版社,2011.