

损伤程度对沥青混合料损伤-愈合行为的影响研究

林俊¹, 王永², 徐霁³

(1. 贵州省公路工程集团有限公司, 贵州 贵阳 550008; 2. 贵州盘兴高速公路有限公司, 贵州 盘州 553599;

3. 招商局重庆交通科研设计院有限公司, 重庆市 400067)

摘要: 沥青混合料具有自愈合能力,而目前沥青混合料损伤愈合行为的作用机制仍不明确。因此,对多因素条件下的沥青混合料自愈合特性进行了研究,从而有助于确定有效的沥青路面养护策略。基于四点弯曲疲劳试验,对不同损伤程度的沥青混合料自愈合进程进行对比分析。结果表明:愈合时间和愈合温度对不同损伤程度的沥青混合料自愈合能力具有积极作用,而低温条件对沥青混合料的自愈合性能具有较大不利影响。给定足够的愈合时间及愈合温度,100%湿度条件对沥青混合料自愈合能力影响显著。损伤程度的增大对沥青混合料自愈合能力的削弱作用显著。此时,需借助其他增强愈合性能的手段进行外界干预,从而提高沥青混合料的自愈合效率,进而一定程度恢复路面的服役性能。

关键词: 沥青混合料; 损伤愈合行为; 自愈合能力; 损伤程度

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)05-0198-04

0 引言

沥青混合料具有从损伤中恢复的能力,其裂缝可能会在某种环境作用下部分消失,即为沥青混合料的自愈合^[1]。

已有许多研究对沥青混合料的自愈合性能进行了研究^[2]。“疲劳-愈合-疲劳”试验在两次疲劳加载中插入一定条件的间歇期,比较前后两次疲劳试验的指标变化,以此来评价沥青混合料的自愈合性能。因此,愈合条件及评价指标的选择式自愈合试验的关键。荷载间歇期即为愈合期,一般来说,沥青混合料的自愈合发生在疲劳全过程,间歇期越长,自愈合效果越好^[3]。沥青混合料的自愈合作用与多种因素有关^[4]。疲劳损伤是从微裂纹产生到逐渐扩大损伤程度的过程,疲劳损伤程度对沥青材料的自愈合性能有显著影响^[5]。Song等^[6]研究表明,随着裂纹宽度的增加,沥青混合料的自愈合能力急剧下降。微裂纹的愈合能力远优于宽裂纹;当裂纹宽度扩展到疲劳临界点时,沥青混合料几乎不发生自愈合。当沥青混合料疲劳损伤累积到一定程度时,沥青混合料内部裂纹会逐渐从微裂纹扩展为宏观裂纹^[7]。实际上,路面的疲劳开裂更容易发生在低温条件下^[8],而沥青混合料的自愈行为在中高温条件下较为活跃^[9]。因此,对沥

青材料自愈合的研究多集中在中高温条件下(10℃~60℃)^[10],且很少有研究关注低温对沥青混合料自愈合能力的影响。Little等^[11]研究发现老化对沥青的自愈合有着消极作用。Van^[12]研究发现服役多年的沥青路面自愈合性能显著下降。此外,Zollinger^[13]认为环境湿度对沥青混合料自愈合性能具有消极作用。水对沥青混合料的自愈合性能具有影响^[14]。

综上所述,对影响沥青混合料自愈合性能的因素进行研究,有助于提高沥青路面的耐久性。基于此,本文采用“疲劳-愈合-再疲劳”试验,对不同愈合时间、愈合温度及冻融循环作用下的沥青混合料进行自愈合进程对比和分析。特别地,本文对低温条件下及不同湿度条件下的沥青混合料的自愈合特性进行了研究。

1 原材料及实验设计

1.1 原材料

本文选择韩国SK#90基质沥青、3%SBS改性沥青和10%胶粉改性沥青等3种结合料制备沥青混合料试件,其中改性沥青均以基质沥青为基础进行改性,其技术性质见表1。试验所采用集料为石灰岩,级配选择AC-13,见表2。依据马歇尔试验方法^[15]计算得到基质沥青混合料、SBS改性沥青混合料、胶粉改性沥青混合料的最佳油石比分别为4.9%、5.3%和6.0%。压实成型沥青混合料试件,并切割得到尺寸为380 mm×63.5 mm×50 mm的小梁试件。

收稿日期: 2021-08-17

作者简介: 林俊(1981—),男,学士,工程师,从事公路工程建设管理工作。

表 1 沥青结合料技术性质 ^[15]				
指标	针入度(25℃, 5 s,100 g) /0.1 mm	软化点 (R&B) /℃	延度 (5℃) /cm	Brookfield 黏度 (135℃)/Pa·s
基质沥青	86.7	49.4	39.3	0.45
SBS 改性沥青	67.2	71.2	32.7	0.92
胶粉改性沥青	51.3	78.6	30.4	1.25

表 2 集料的级配组成										
设计 级配 类型	通过以下筛孔尺寸(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
AC-13	100	97	79	45	32	24	16	12	8	6

1.2 自愈合实验设计及评价指标

采用 UTM-100 万能试验机进行四点弯曲疲劳试验,加载频率为 10 HZ。采用控制应变的偏正弦加载模式,应变选择为 $500 \times 10^{-6} \mu\epsilon$ 。为了对沥青混合料的损伤程度进行表征,本文设置 3 个劲度模量衰减程度作为试验终止条件,即沥青混合料的损伤程度分别设置为 25%,50%和 75%,可由式(1)计算。

$$D_d=(1-\frac{S_{in}}{S_r}) \times 100\%$$
 (1)

式中: D_d 为损伤程度,%; S_{in} 为初始劲度模量,MPa; S_r 为残余劲度模量,MPa,

采用“疲劳—愈合—再疲劳”的试验方式,即在应变控制模式下对沥青混合料进行测试,当残余劲度模量达到设定损伤程度时,初次疲劳加载完成;随后引入间歇期,设定不同的愈合时间与愈合温度,待达到愈合时间后,进行再次疲劳测试,当残余劲度模量再次达到设定损伤程度时即为破坏,试验结束。

选择愈合时间、愈合温度及愈合湿度等三个因素作为变量,每种变量选取 5 个水平,愈合时间分别选择 1 h,3 h,5 h,7 h,9 h,愈合温度分别选择 -10℃,0℃,10℃,20℃,30℃,愈合湿度分别为 0%,25%,50%,75%,100%。

以沥青混合料愈合前后弯曲劲度模量的变化率,即愈合效率为沥青混合料自愈合能力的评价指标,由式(2)计算,其中弯曲劲度模量由式(3)计算。

$$HI=\frac{S_a-S_b}{S_b} \times 100\%$$
 (2)

式中: HI 为愈合效率,%; S_a 为愈合后劲度模量,MPa; S_b 为愈合前劲度模量,MPa。

$$S=\frac{\sigma}{\epsilon_t}$$
 (3)

式中: S 为劲度模量,MPa; σ 为最大拉应力,kPa; ϵ_t

为最大拉应变。

2 结果与讨论

2.1 愈合时间对自愈合效率的影响分析

不同损伤程度的沥青混合料自愈合效率随愈合时间的变化趋势见图 1。为了使其获得较好的自愈合性能,愈合温度设定为 30℃,愈合湿度选择为 0%。

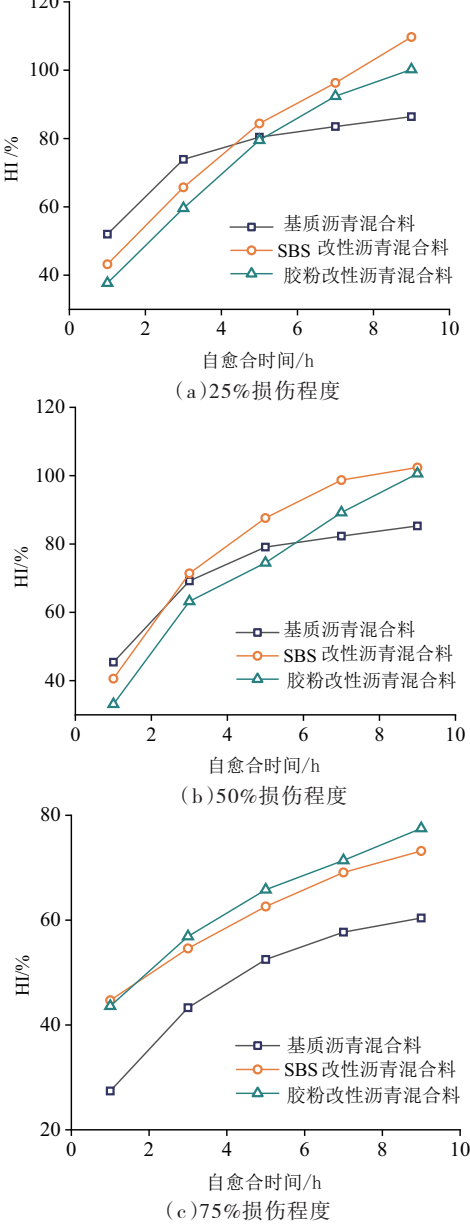


图 1 愈合时间对不同损伤程度的沥青混合料自愈合效果的影响

由图 1 可以看出,随着愈合时间的延长,不同损伤程度、不同类型的沥青混合料自愈合能力呈现增大趋势。这是由于沥青属于黏弹性材料,具有典型的时间依赖性。观察图 1 (a) 可以看出,损伤程度为 25% 的条件下,基质沥青混合料在愈合时间 1 ~ 3 h 范围内呈现出最大的自愈合效率,而在 5 h 以后,其自愈合效率低于 SBS 改性沥青混合料和胶粉改性沥

青混合料。这可能是由于在较低损伤程度下,三种沥青混合料内部疲劳损伤多以微裂纹形式存在。基质沥青的软化点较低,粘度较小,其流变性能更好。

进一步分析可知,当自愈合时间小于5 h时,沥青混合料的自愈合速率较快。随后,沥青混合料的自愈合速率减缓,过长的自愈合时间并不能有效提升沥青混合料自愈合能力。此外,损伤程度的增大对沥青混合料自愈合能力的削弱作用显著。此时,需借助其他增强愈合性能的手段进行外界干预,从而提高沥青混合料的愈合效率。

2.2 愈合温度对自愈合效率的影响分析

不同损伤程度的沥青混合料自愈合效率随愈合温度的变化趋势见图2。为了使其获得较好的自愈合性能,愈合时间设定为9 h,愈合湿度选择为0%。

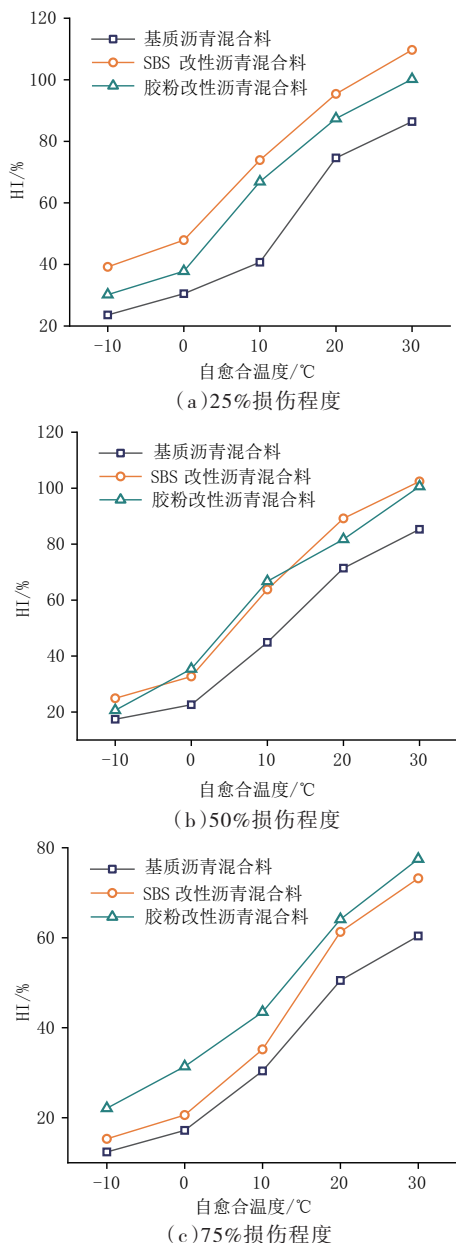


图2 愈合温度对不同损伤程度的沥青混合料自愈合效果的影响

由图2可知,愈合温度对沥青混合料的自愈合能力具有积极影响。沥青混合料的自愈合效率随温度的增加而增加。值得注意的是,各沥青混合料在0℃以下较低温度条件下的自愈合效率范围为10%~50%。说明低温条件对沥青混合料的自愈合性能具有较大不利影响。

进一步分析可知,在本文所选择温度范围内,SBS改性沥青混合料和胶粉改性沥青混合料的自愈合效率高于基质沥青混合料,这与SBS改性沥青混合料和胶粉改性沥青混合料的抗疲劳性能优于基质沥青混合料相一致。

由图2(c)可知,75%损伤程度的沥青混合料自愈合效率仍能保持在60%以上,表明温度对于损伤后的愈合具有显著作用。因此,可以认为当沥青路面达到一定损伤程度时,可以通过加热手段(红外加热,微波加热等),获得额外的能量,提升路面的愈合性能,从而一定程度恢复路面的服役性能。

2.3 愈合湿度对自愈合效率的影响分析

不同损伤程度的沥青混合料自愈合效率随愈合湿度的变化趋势见图3。为了使其获得较好的自愈合性能,愈合时间设定为9 h,愈合温度选择为30℃。

由图3分析可知,沥青混合料在自愈合过程中一定程度上受环境湿度的影响,在较低湿度条件下这种影响不显著。因此,相较于0%湿度条件下的自愈合效率,25%湿度条件的自愈合效率略微有所下降。然而,当愈合湿度达到50%以上时,其对沥青混合料自愈合特性的影响趋于明显。因此,为提高沥青混合料的自愈合性能,使得沥青路面保持较好的服役状态,除必要时提供额外能量恢复外,还应避免沥青混合料内部湿度过大。这可以通过采用密集配沥青混合料、保持路面干燥、隔绝地下水等措施进行改善。

3 结论

本文主要目的在于研究不同环境因素下损伤程度对沥青混合料损伤自愈合特性的影响,采用损伤效率作为评价沥青混合料自愈合能力的指标。主要结论如下:

(1)愈合时间对沥青混合料的自愈合性能具有积极影响。随着自愈合时间的延长,沥青混合料的自愈合效率先增大后趋于平缓。过长的自愈合时间并不能有效提升沥青混合料自愈合能力。

(2)愈合温度对沥青混合料的自愈合性能具有积

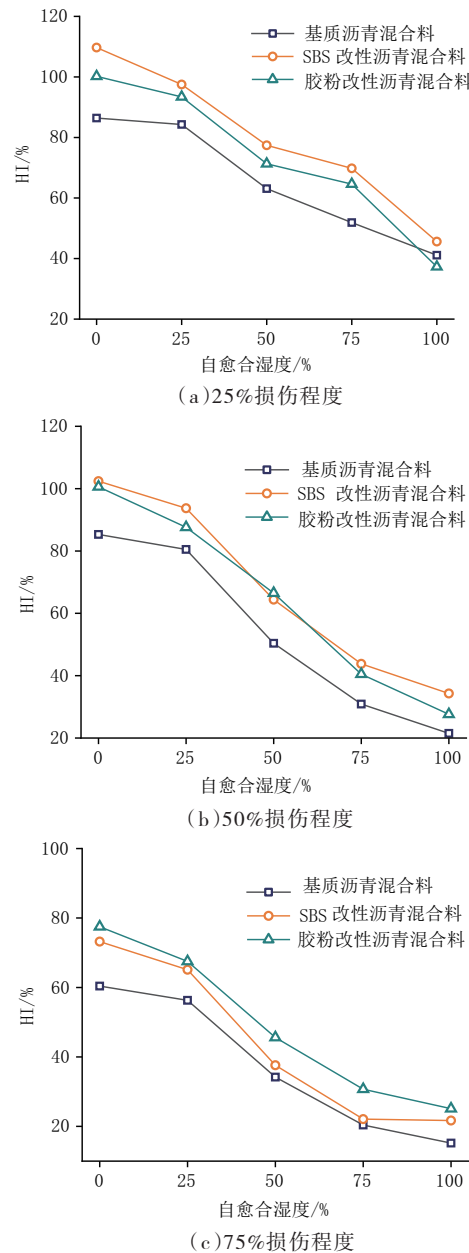


图3 愈合湿度对不同损伤程度的沥青混合料自愈合效果的影响

极作用。随着温度的升高,沥青混合料的自愈合效率趋于增长。低温条件对沥青混合料的自愈合性能具有较大不利影响。

(3)湿度对沥青混合料的自愈合性能呈现一定的消极作用。在较低湿度条件下影响不显著,当愈合湿度达到50%以上时,其对沥青混合料自愈合特性的影响趋于明显。为提高沥青混合料的自愈合性能,使得沥青路面保持较好的服役状态,除必要时提供额外能量恢复外,还应避免沥青混合料内部湿度过大。这可以通过采用密集配沥青混合料、保持路面干燥、隔绝地下水等措施进行改善。

(4)损伤程度的增大对沥青混合料自愈合能力的削弱作用显著。损伤程度过大时,需借助其他增强愈

合性能的手段(红外加热,微波加热等)进行外界干预,从而提高沥青混合料的自愈合效率,进而一定程度恢复路面的服役性能。

参考文献:

[1] Lv Q,Huang W,Xiao F.Laboratory evaluation of self-healing properties of various modified asphalt[J].Construction & Building Materials, 2017(136):192-201.

[2] 孙艺涵.沥青及沥青混合料自愈合特性研究[D].武汉:武汉理工大学, 2017.

[3] Sun G,Sun D,Guarin A,et al.Low temperature self-healing character of asphalt mixtures under different fatigue damage degrees[J].Construction and Building Materials,2019(223):870-882.

[4] 崔亚楠,郭靖,冯蕾,等.复杂环境因素影响下沥青混合料自愈合性能[J].建筑材料学报,2018,21(5):140-144.

[5] Sun D,Lin T,Zhu X,et al.Calculation and evaluation of activation energy as a self-healing indication of asphalt mastic [J].Construction and Building Materials,2015(9):431-436.

[6] Song I,D Little,Masad E,et al.Comprehensive evaluation of damage in asphalt mastics using X-ray CT, continuum mechanics, and micromechanics[J].Asphalt Paving Technology: Association of Asphalt Paving Technologists-Proceedings of the Technical Sessions,2005(74): 885-920.

[7] Cui Y,Guo J,Feng L,et al.Self-healing Properties of Asphalt Mixture under Different Factors [J].Journal of Building Materials,2018,21(5): 140 - 144.

[8] Tschegg E K,Jamek M,Lugmayr R.Fatigue crack growth in asphalt and asphalt-interfaces[J].Engineering Fracture Mechanics,2011,78(6): 1044-1054.

[9] Sun D,Sun G,Zhu X,et al.Intrinsic temperature sensitive self-healing character of asphalt binders based on molecular dynamics simulations [J].Fuel,2017(211):609-620.

[10] S.Shen,H.M. Chiu,H. Huang.Characterization of fatigue and healing in asphalt binders [J].Journal of Materials in Civil Engineering,2010(22): 846 - 852.

[11] Little D N,Lytton R L,Williams D A,et al.An analysis of the mechanism of microdamage healing based on the application of micromechanics first principles of fracture and healing[J].Journal of Association Asphalt Paving Technologist,1999(68):501-542.

[12] Van den bergh W.The effect of ageing on the fatigue and healing properties of bituminous mortars[D].The Netherlands: Delft University of Technology,2011.

[13] Zollinger C J.Application of surface energy measurements to evaluate moisture susceptibility of asphalt and aggregates [D].State of Texas :Texas A&M University,2005.

[14] A.M. Hung,A. Goodwin,E.H. Fini.Effects of water exposure on bitumen surface microstructure [J].Construction and Building Materials, 2017(135):682-688.

[15] JTG E20—2017,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].