

基于Weibull损伤模型的沥青混合料冻融损伤研究

朱春风¹ 吴霞¹ 韩元钊¹ 田伟^{1*} 寇永琪¹ 肖波²

1. 吉林建筑大学土木工程学院 吉林 长春 130118

2. 长春市市政工程设计研究院有限责任公司 吉林 长春 130031

摘要: 沥青混合料以其优良特性被广泛应用到路面工程中,但由于季冻区气候特点,沥青路面受反复冻融影响,大大降低了其使用寿命,因此深入研究沥青混合料的冻融损伤性有重要意义。本文通过Weibull损伤模型对四种沥青混合料的冻融损伤特性进行研究,得出掺加硅藻土和玄武岩纤维能提高沥青混合料的抗冻融损伤特性,并得出损伤机理。

关键词: 季冻区; 沥青混合料; Weibull损伤模型; 冻融损伤

中图分类号: U414 **文献标志码:** A

1 引言

季冻区典型特点为,冬季气温低,春秋两季冻融严重,这对沥青路面的抗冻融性提出了更严格的要求,因此要对沥青混合料的冻融损伤性进行深入研究。关宇刚^[1-2]首先采用Weibull损伤模型法建立了基于损伤与可靠度理论的混凝土的寿命预测模型,谭忆秋^[3]将其应用与沥青混合料领域来进行凝冰作用下的寿命预估,张鹏^[4]采用此方法分析不同级配沥青混凝土在水-温-光作用下的损伤机理。程永春^[5]等利用此法分析玄武岩纤维沥青混合料的冻融损伤演化规律。故本文采用Weibull损伤模型法分析沥青混合料(AM)、硅藻土改性沥青混合料(DAM)、玄武岩纤维改性沥青混合料(BFAM)和硅藻土玄武岩纤维复合改性沥青混合料(DBFAM)在冻融循环下的路用性能衰减情况,并对比分析单掺玄武岩纤维、硅藻土及双掺玄武岩纤维和硅藻土对沥青混合料抗冻融性能的改善效果。

2 沥青混合料冻融循环试验方法

2.1 冻融循环试验条件

材料的基本性能见前期成果^[6-7]。根据王抒音^[8]、谭忆秋^[9]等研究成果,参照《规范》^[10],本研究选取低温-18℃下冻16小时,高温60℃水浴8h作为融化条件,24h为一个冻融循环周期,每3次冻融循环测试,共进行了15次冻融循环。

2.2 冻融循环试验评价指标

本文测定不同冻融循环次数下混合料的高温(60℃

的马歇尔稳定度)、低温(-10℃的劈裂抗拉强度)、水稳定性(25℃的劈裂抗拉强度)性能指标的变化情况,通过实测数据计算各性能的损伤度,从而建立相应的损伤模型。

2.3 冻融循环下的沥青混合料路用性能衰变分析

2.3.1 高温性能衰变

在经受不同冻融循环次数后沥青混合料的稳定度变化见图1-2。

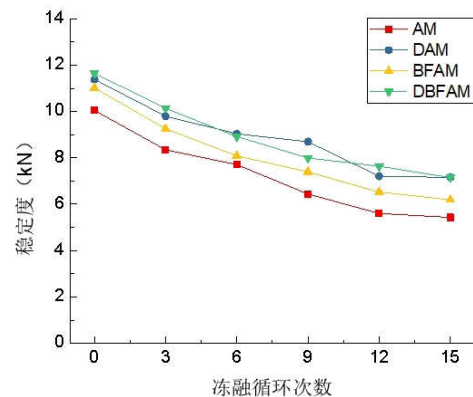


图1 稳定度损伤变化

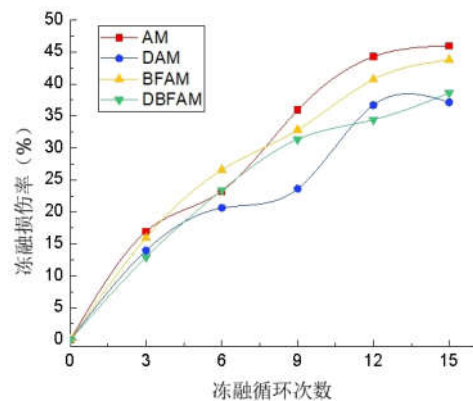


图2 稳定度损失率

作者简介: 朱春风(1979—),女,吉林榆树人,吉林建筑大学土木工程学院,教授,道路与铁道工程博士研究生,研究方向为路基路面材料理论与试验研究;

基金项目: 吉林省科技发展计划项目资助(项目编号20220203159SF),吉林省教育厅科计项目资助(项目编号JJKH20240387KJ)

2.3.2 低温性能衰变

不同冻融循环次数后沥青混合料的低温劈裂强度及低温劈裂强度损伤度见图3和图4。

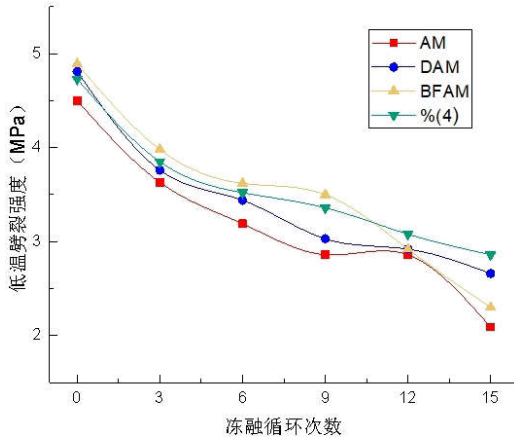


图3 低温劈裂强度变化

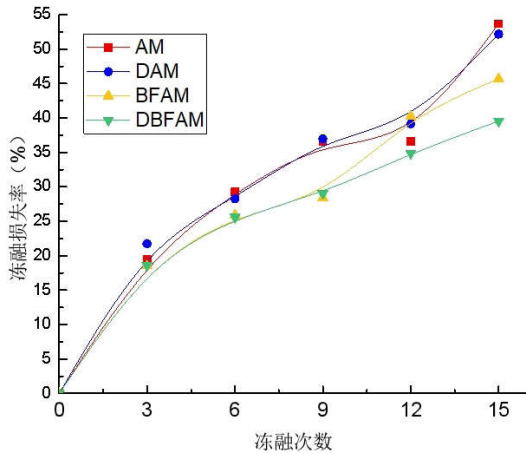


图4 低温劈裂强度损失率

2.3.3 水稳定性性能衰变

不同冻融循环次数作用后沥青混合料的低温劈裂抗拉强度及强度损失率见图5、图6。

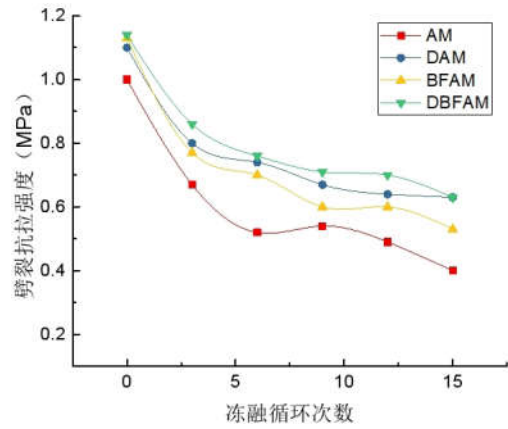


图5 劈裂强度变化

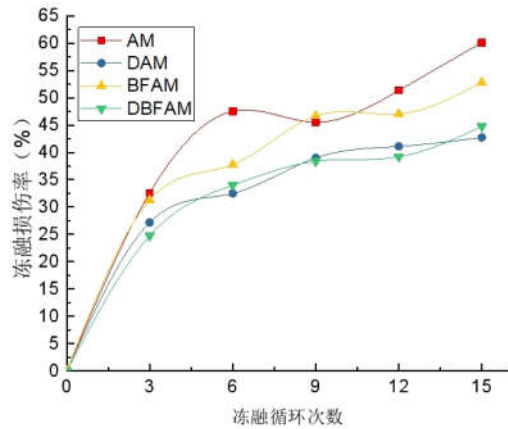


图6 劈裂强度损失率

3 Weibull 损伤演变模型拟合及参数分析

利用Weibull损伤演化模型对四种沥青混合料的路用性能损伤度非线性拟合，模型参数拟合结果见表1。

表1 四种沥青混合料损伤模型参数

| 沥青混合料类型 | 性能指标 | 模型参数 | | | 相关系数 |
|---------|-------|----------|-------------|-----------|-------|
| | | α | λ_0 | ν | |
| DAM | 水稳定性 | 0.367 | 9.45E-27 | -1.07E-01 | 0.988 |
| | 高温稳定性 | 0.784 | 2.60E-02 | -8.60E-11 | 0.985 |
| | 低温抗裂性 | 0.69 | 3.65E-02 | 1.55E-08 | 0.999 |
| AM | 水稳定性 | 0.454 | 4.70E-02 | -8.74E-09 | 0.979 |
| | 高温稳定性 | 0.93 | 3.55E-03 | -2.02E-01 | 0.993 |
| | 低温抗裂性 | 0.741 | 3.85E-02 | -1.59E-07 | 0.989 |
| BFAM | 水稳定性 | 0.429 | 3.26E-02 | 1.41E-07 | 0.989 |
| | 高温稳定性 | 0.828 | 4.65E-20 | -1.92E-01 | 0.999 |
| | 低温抗裂性 | 0.732 | 3.19E-02 | -4.50E-10 | 0.997 |
| DBFAM | 水稳定性 | 0.448 | 7.33E-28 | -1.30E-01 | 0.998 |
| | 高温稳定性 | 0.8 | 1.15E-38 | -1.50E-01 | 0.997 |
| | 低温抗裂性 | 0.56 | 1.85E-02 | 1.59E-08 | 0.997 |

表1可以看出,当网格数 $N = 64$ 时,相关系数均在0.97以上,说明该模型能准确的描绘出四种沥青混合料路用性能冻融后的变化趋势。并且 α 、 λ_0 、 ν 3个关键参数具有一定的规律性,可以准确反映出各沥青混合料性能的变化情况,Weibull模型演化参数能用于评价沥青混合料冻融损伤演化研究。

α 、 λ_0 和 ν 是损伤演化模型的关键参数,其中 α 反映不同改性材料对沥青混合料内部各点的破坏特性、 λ_0 反映内部点的抗冻融损伤能力和 ν 反映不同位置点之间损伤发展的差别,利用三个关键参数的不同和变化规律可以得出不同类型沥青混合料的冻融损伤特性,从而评价改性材料对沥青混合料抗冻融循环能力的改善效果。

(1) α

α 的变化如图8所示,从图中可以看出,高、低温及水稳定性之间的形状因子相差较大,但四种沥青混合料的形状因子较为接近。可认为四种沥青混合料形状因子基本相同。

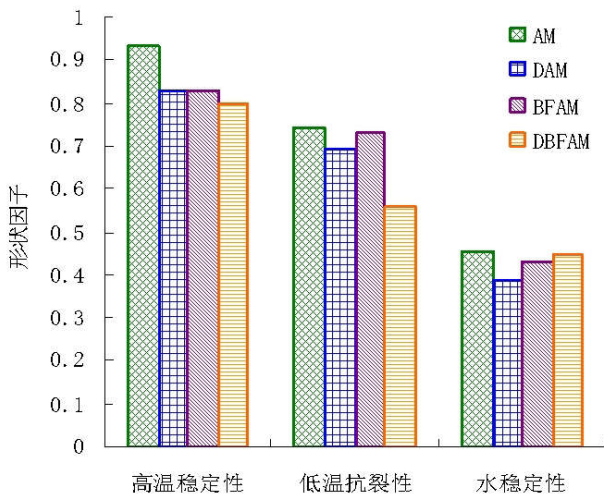


图8 形状因子变化图

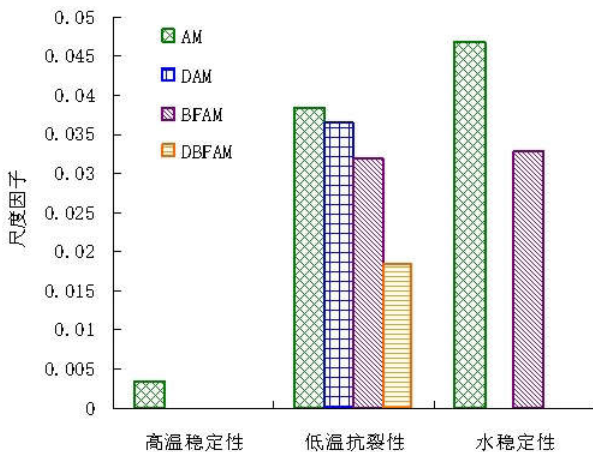


图9 尺度因子变化图

(2) λ_0

λ_0 综合体现了混合料内部对冻融损伤的抵抗程度, λ_0 越小表面沥青混合料对冻融损伤的抵抗效果越强,由图9可知普通沥青混合料水稳定性对冻融循环的抵抗能力较弱。图9中对于低温抗裂性,尺度因子较有规律, $DBFAM < BFAM < DAM < AM$,其抗冻性能硅藻土玄武岩纤维沥青混合料最强,基质沥青混合料最弱。对于水稳定性,尺度因子 $DAM = DBAM = 0 < BFAM < AM$,双掺改性沥青混合料的水稳定性与单掺硅藻土改性沥青混合料的规律相同,认为是由于其中掺加的硅藻土所导致的,也即复掺组水稳定性随冻融循环的变化主要受掺加硅藻土影响。

(3) ν

ν 是混合料内部点抗冻融损伤能力的表征,由图10可知,不同路用性能的梯度因子有其各自的特点。

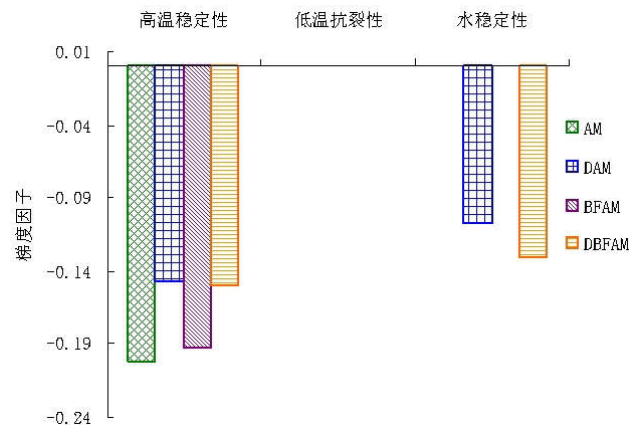


图10 梯度因子变化图

高温性能的 ν 均为负数,表明各组混合料冻融损伤均从内向外开始扩展。对于低温抗裂性能来说, ν 为零,混合料内外损伤一致;对于水稳定性而言, ν 随掺加材料的影响作用较大,在基质沥青混合料组和玄武岩纤维沥青混合料组中,梯度因子为0,混合料内部各点损伤为均匀扩展,而单掺硅藻土组和复掺组中, ν 为负数,混合料由内向外开始破坏,这说明掺加玄武岩纤维和硅藻土对沥青混合料的抗冻性能改性效果存在差异。可能是由于掺加硅藻土后,空隙形式发生了一定的变化,试件外部的水分在逐渐结冰的过程,由于外部无约束而排出一部分水,冻胀力作用减弱,试件内部冻胀力作用较外部更加明显,因此掺加硅藻土后,出现从内部开始破坏的情况。

4 小结

本研究通过冻融循环试验,对单掺及复掺硅藻土及玄武岩纤维改性材料前后沥青混合料路用性能衰减规律进行了深入研究,构建了沥青混合料冻融Weibull损伤演

化模型,对实测损伤数据进行拟合分析,评价各种改性材料对于沥青混合料抗冻融能力的影响。通过分析得到以下结论:

(1)通过冻融循环试验模拟东北季冻地区气候条件对沥青混合料的冻融损伤,通过分析冻融循环作用下混合料路用性能基本指标的变化,可以明确掺加硅藻土和玄武岩纤维可以提高沥青混合料的抗冻融能力。

(2)利用Weibull损伤模型对沥青混合料冻融损伤过程进行分析,比较模型参数,能获得不同改性材料对沥青混合料内部各点的破坏特性和试件内部不同位置的损伤发展差别。

参考文献

[1]关宇刚,孙伟,缪昌文.基于可靠度与损伤理论的混凝土寿命预测模型 I:模型阐述与建立[J].硅酸盐学报,2001(06):530-534.

[2]关宇刚,孙伟,缪昌文.基于可靠度与损伤理论的混凝土寿命预测模型 II:模型验证与应用[J].硅酸盐学报,2001(06):535-540.

[3]谭忆秋,赵立东,蓝碧武,孟良.沥青混合料冻融损伤

模型及寿命预估研究[J].公路交通科技,2011,28(06):1-7+31.

[4]张鹏.沥青混合料水—温—光损伤特性及检测方法研究[D].长春:吉林大学,2015.

[5]程永春,余地,谭国金,等.玄武岩纤维沥青混合料的冻融损伤演化规律[J].哈尔滨工程大学学报,2019,040(003):518-524.

[6]朱春风,程永春,梁春雨,等.硅藻土玄武岩纤维复合改性沥青混合料路用性能试验[J].吉林大学学报:工学版,2020(1):9.DOI:10.13229/j.cnki.jdxbgxb20180495.

[7]朱春风.硅藻土—玄武岩纤维复合改性沥青混合料路用性能及力学特性研究[D].长春:吉林大学,2018.

[8]王抒音,谭忆秋,包秀宁,王哲人.用冻融循环劈裂比评价沥青混合料抗水损害能力[J].哈尔滨建筑大学学报,2002(05):123-126.0

[9]谭忆秋,赵立东,蓝碧武,陈克群.反复凝冰作用下沥青混合料性能研究[J].建筑材料学报,2011,14(06):761-766+792.

[10]交通部公路科学研究所编.公路工程沥青及沥青混合料试验规程[M].人民交通出版社,2011.