

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.10.054

# 基于层间抗剪性能的黏层材料研究

王东浩, 史伟, 王剑伦, 王晨宇

(黑龙江省交通投资集团有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150000)

**摘要:** 针对普通乳化沥青层间黏结材料使用性能差的问题, 采用直接剪切试验和直接剪切疲劳试验, 对比分析了自主研发的一种高黏改性乳化沥青和工程常用的三种粘层材料的层间抗剪性能。结果表明, 自主研发的高黏改性乳化沥青具有较高的抗剪强度, 剪切疲劳寿命明显大于其他乳化沥青, 是性能优良的层间黏结材料。

**关键词:** 高黏改性乳化沥青; 黏层; 抗剪强度; 剪切疲劳

**中图分类号:** U414

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2023)10-0215-03

## 0 引言

依据我国规范规定, 沥青路面结构视作层间完全连续的多层弹性体系<sup>[1]</sup>。但在实际施工过程中, 沥青路面大多采用分层施工的方法, 不同层位的沥青面层材料的模量和强度不尽相同, 导致沥青路面结构易出现层间滑移、变形不协调的问题, 最终导致路面病害的出现。为了增强面层之间的黏结, 通过在层间设置黏结层, 可有效延长沥青路面的使用寿命。

沥青路面中常采用乳化沥青作为黏层材料, 包括普通乳化沥青和 SBR 乳化沥青等。但现有的乳化沥青类黏层材料仍存在层间抗剪能力不足的问题, 黏结性能有待提高<sup>[2]</sup>。为改善黏层材料的性能, 已有研究通过多种方式探索制备各种改性乳化沥青。朱俊等<sup>[3]</sup>制备了一种 SBS 改性乳化沥青, 并分析了层间抗剪强度与黏层材料类型及用量的关系, 结果表明, SBS 改性乳化沥青的性能明显优于普通乳化沥青。王文峰等<sup>[4]</sup>通过同时改变 SBS 改性剂的掺量和乳化剂的种类, 制得了四种不同的改性沥青, 对比分析其性能指标后得出, 采用掺量为 3.5% 的 SBS 加上 JS-2 乳化剂制得的乳化沥青黏结强度最高。王晶等<sup>[5]</sup>通过改变 SBS 掺量制备了高黏度改性乳化沥青, 并依托实体工程对其黏结性能开展研究, 结果表明, 高温时 SBS 改性乳化沥青抗剪强度接近混合料自身强度, 且具有良好的层间黏结性能。

路面在行车荷载的重复作用下, 层间黏结材料不仅应具有足够的黏结强度, 同时还应具备优良的抗剪切疲劳性能, 而已有研究鲜见综合考虑黏层材

料的抗剪性能和剪切疲劳性能。鉴于此, 本文针对自主研发的一种高黏改性乳化沥青, 开展直接剪切试验和直接剪切疲劳试验评价, 并与工程常用的几种粘层材料进行对比分析, 旨在提出性能优良的层间黏结材料, 为改善沥青路面整体性能提供技术途径。

## 1 原材料

自主研发的高黏改性乳化沥青技术指标见表 1。

表 1 自主研发的高黏改性乳化沥青性能指标

试验项目	指标要求	实测值
恩格拉黏度 E25	1~10	6
筛上剩余量 /%	不大于 0.1	0.001
蒸发残留物含量 /%	不小于 50.0	51.07
贮存稳定性(1 d) /%	不大于 1	0.20
粒子电荷	实测	阳离子
溶解度 /%	不小于 97.5	99.8
25℃ 针入度 /0.1 mm	40~120	49.4
软化点 /℃	不小于 50	67.7
延度(5℃) /cm	不小于 20	27.7

直接剪切和剪切疲劳性能试验中对比分析的三种黏层材料技术指标见表 2。

## 2 试验方案及评价方法

### 2.2.1 试件成型

成型 300 mm × 300 mm × 50 mm 水泥混凝土板, 在其上均匀涂抹黏层油, 参考规范要求以及相关研究, 洒布量定为 0.6 kg/m<sup>2</sup>。将涂抹黏层材料的水泥混凝土板装入 300 mm × 300 mm × 100 mm 车辙板试模中, 在其上成型第二层沥青混凝土板(两层板碾压方向一致), 再用钻芯机钻取高 100 mm、直径 10 mm 的芯样, 用于黏层材料的抗剪性能分析。

收稿日期: 2022-12-17

作者简介: 王东浩(1975—), 男, 博士, 研究员级高级工程师, 从事科技管理工作。

表2 三种对比粘层材料的技术指标

名称	筛上 剩余 量 /%	微粒子 电荷	恩格拉 黏度 E25	储存稳定性		蒸发残留物					
				1 d/%	5 d/%	针入度(25℃)/ 0.1 mm	延度 (15℃)/cm	延度 (5℃)/cm	软化点/ ℃	残留物 含量 /%	溶解度 / %
普通乳化沥青	0.02	阳离子(+)	4	0.6	3.9	50.0	大于 100	—	—	60.7	—
SBR 改性乳化沥青	0.06	阳离子(+)	4.5	0.5	3.6	68.6	—	大于 100	52	60.9	98.2
硬质乳化沥青	0.002	阳离子(+)	4	0.29	—	47.8	30.9	—	55.3	—	99.7

2.2.2 抗剪性能评价方法

针对工程常用的一种普通乳化沥青、一种 SBR 改性乳化沥青、一种硬质乳化沥青和自主研发制备的高黏改性乳化沥青,采用直剪试验夹具安装在电液伺服疲劳试验机(MTS)上,对不同粘层材料进行抗剪强度及剪切疲劳性能的对比分析。其中,直剪试验在 25℃ 和 60℃ 两个温度下进行;直剪疲劳试验采用应力控制模式,加载频率 5 Hz,正弦波形,疲劳试验温度为 25℃,为研究疲劳寿命在不同应力水平下的变化,以 0.1 为分级,采用 3~5 个应力比进行试验分析。

3 试验结果分析

3.1 不同黏层材料直剪强度

涂刷上述高黏改性乳化沥青和用于对比的三种乳化沥青黏层材料的复合圆柱体试件在 25℃、60℃ 两个温度下的直剪试验结果见表 3。同时,定义两个温度下的抗剪强度之比为衰减率,见式(1),表征不同黏层材料随温度升高的抗剪强度衰减程度,衰减率结果也列于表 3 中。可以看出,两个温度下,高黏改性乳化沥青黏层的抗剪强度均最高,其后依次为硬质乳化沥青、SBR 改性乳化沥青、普通乳化沥青。表 3 同时列出了各种黏层材料 60℃ 抗剪强度相对于 25℃ 的衰减率,衰减程度从大到小的顺序为 SBR 改性乳化沥青>普通乳化沥青>硬质乳化沥青>高黏改性乳化沥青,说明 SBR 改性乳化沥青粘层油的温度敏感性最高,而高黏改性乳化沥青具有较高的粘度,SBS 改性剂的加入也降低了材料的温度敏感性,实际工程中高温地区更加适用。

表3 不同粘层材料直剪试验结果

黏层材料	抗剪强度 /MPa		衰减率 /%
	25℃	60℃	
普通乳化沥青	0.793	0.112	14.12
SBR 改性乳化沥青	0.983	0.135	13.73
高黏改性乳化沥青	1.180	0.241	20.42
硬质乳化沥青	1.012	0.186	18.38

$$\text{衰减率} = \frac{\tau_{60^\circ\text{C}}}{\tau_{25^\circ\text{C}}} \times 100 \quad (1)$$

式中: $\tau_{60^\circ\text{C}}$ 为 60℃ 抗剪强度; $\tau_{25^\circ\text{C}}$ 为 25℃ 抗剪强度。

3.2 不同黏层材料剪切疲劳性能

涂刷四种黏层材料的圆柱体试件 25℃ 直剪疲劳试验结果见表 4。可以看出,四种黏层材料的疲劳寿命都随应力水平的增加而急剧减小。应力水平从 0.2 变化到 0.3 时,疲劳寿命减小了 86%~51%,说明疲劳寿命对应力水平的变化非常敏感。车辆急刹车会引起路面剪应力的增加,从而会显著缩短黏层材料的疲劳寿命,可能对路面产生破坏性的影响。从绝对数值而言,高黏改性乳化沥青疲劳寿命最长,硬质乳化沥青其次,SBR 改性乳化沥青与普通乳化沥青的疲劳寿命远低于高黏改性乳化沥青。剪切疲劳寿命的排序与前述直剪试验结果规律一致。

表4 不同应力水平下四种粘层材料直剪疲劳试验结果

应力水平	普通乳化 沥青	SBR 改性乳化 沥青	高黏改性乳化 沥青	硬质乳化 沥青
0.1	13 698	—	—	—
0.2	4 812	14 932	19 993	14 713
0.3	1 512	2 324	7 053	5 710
0.4	381	545	3 102	2 772
0.5	—	165	1 704	1 026
0.6	—	—	1 098	783

采用式(2)对四种黏层材料不同应力水平下的疲劳寿命进行回归分析,结果见图 1。可见,应力比和疲劳寿命的对数呈现出良好的线性关系,将不同黏层材料对应的  $n$  值从大到小排序为:SBR 改性乳化沥青>普通乳化沥青>高黏改性乳化沥青>硬质乳化沥青。说明 SBR 改性乳化沥青随应力水平的变化最敏感,高黏改性乳化沥青和硬质乳化沥青对应力水平的变化敏感性最小。相比一般黏层材料,本项目开发的高黏改性乳化沥青更能耐受车辆荷载的反复作用,抗剪性能更加优良。

$$\lg N_f = k - n(\sigma/s) \quad (2)$$

式中: $\lg N_f$ 为对数疲劳寿命; $k$ 为截距; $n$ 为斜率; $\sigma/s$ 为应力比。

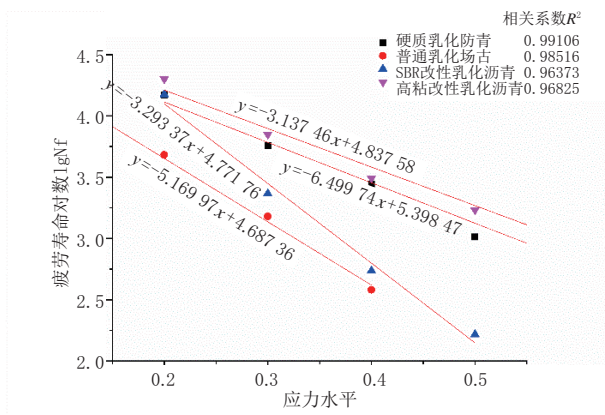


图1 不同黏层材料应力比与疲劳寿命关系曲线

### 4 结语

本文针对自主研发的一种高黏改性乳化沥青以及工程常用的普通乳化沥青、SBR 改性乳化沥青和硬质乳化沥青,进行不同黏层材料的直接剪切试验和直接剪切疲劳试验,得到如下结论。

(1)25℃、60℃两个温度下,四种黏层材料的直剪强度排序为:高黏改性乳化沥青>硬质乳化沥青>SBR 改性乳化沥青>普通乳化沥青;根据直剪

强度的衰减率,高黏改性乳化沥青粘层油的温度敏感性最低。

(2)四种黏层材料直剪疲劳寿命的排序为:高黏改性乳化沥青>硬质乳化沥青>SBR 改性乳化沥青>普通乳化沥青,且高黏改性乳化沥青直剪疲劳寿命对应力水平变化的敏感性最小。

(3)自主研发的高黏改性乳化沥青作为黏层材料性能优异。

### 参考文献:

- [1] JIG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [2] 王磊,王树杰.层间粘结对沥青路面剪切强度及疲劳性能影响研究[J].石油沥青,2017,31(5):27-32.
- [3] 朱俊,雷茂锦,张航,等.基于层间剪切的沥青路面粘层力学性能研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2013,37(4):775-779.
- [4] 王文峰,张志祥,潘友强,等.高黏改性乳化沥青的研制及其关键性能研究[J].石油沥青,2014,28(2):1-5.
- [5] 王晶,杨炎生,郑宗江,等.基于层间粘结的高黏改性乳化沥青性能评价及应用[J].石油沥青,2020,34(4):61-64.

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: [cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)