

高黏乳化沥青层间黏结材料设计与性能研究

张秋瑞, 刘亚敏, 韩森*, 夏金平, 杨振, 梁建

(长安大学公路学院, 陕西西安 710064)

摘要: 针对层间黏结材料黏结效果差、耐久性不足的问题, 提出一种新的高黏乳化沥青作为层间黏结材料并对其性能进行了研究. 首先, 采用二次热混合法制备高黏乳化沥青, 并与水性环氧改性乳化沥青和 SBR 改性乳化沥青进行筛上剩余量、蒸发残留物三大指标、黏度等试验; 其次, 在上面层同为 UTFL-13 沥青混合料, 下面层分别是 AC-13、AC-10 沥青混凝土和水泥混凝土及 25℃、60℃ 的温度条件下进行层间拉拔试验和直接剪切试验. 结果表明, 相比于其他两种改性乳化沥青, 高黏乳化沥青的耐热性和塑性更好, 黏度更高; 黏结效果排序为高黏乳化沥青>SBR 改性乳化沥青>水性环氧改性乳化沥青; 下面层所用材料不同, 层间黏结材料的最佳用量不同.

关键词: 高黏乳化沥青; 层间黏结材料; 黏结性能; 最佳用量

中图分类号: U414

文献标识码: A

doi: 10.7511/dllgxb202101011

0 引言

目前, 雾封层、微表处、薄层罩面、超薄功能层等公路预防性养护技术已较多地用于我国的高速公路养护项目中^[1]. 在进行路面养护时, 很多时候都需要在层间喷撒黏结材料, 层间黏结材料将上下层黏结成一个整体, 很多时候黏结材料的性能好坏对养护效果有着直接的影响^[2]. 当层间黏结效果较好时, 路面形成一个连续状的结构, 其耐久性较好; 当层间黏结效果较差时, 层间发生剪切破坏, 路面结构极易发生层间剪切病害^[3-7].

国内外学者对层间黏结材料及性能做了大量的研究. Hu 等^[8]研究了层间黏结材料种类、用量及温度对 OGFC-5 层间剪切强度的影响; Hakim^[9]、Kruncheva 等^[10]研究了层间黏结状况对路面使用寿命的影响, 发现层间黏结状况不好会显著降低路面的使用寿命; West 等^[11]、Zhang 等^[12]通过试验得出温度对层间黏结强度有重大影响; Du 等^[13]、Wei 等^[14]研制了一种高渗透乳化沥青层间黏结材料, 通过室内试验验证了该层间黏结材料具有良好的黏结性能; Zhong 等^[15]通过

层间拉拔试验研究乳胶改性水泥砂浆沥青混凝土界面和水泥界面的黏结强度; Hu 等^[16]为了评估沥青层和半刚性基层之间的黏结强度, 对不同界面条件下的复合试件进行了层间拉拔试验; Chen 等^[17]为了评估冰层和沥青路面之间的黏结以更好地实现除冰效果, 进行了层间拉拔试验.

张秋福^[18]以 SBS 改性乳化沥青作为层间黏结材料, 通过层间剪切试验研究了层间黏结性能; 李晶^[19]研究了日本 TPS 高黏改性剂作为层间黏结材料的层间黏结效果; 李一鸣^[20]研究了 SBS 改性乳化沥青层间黏结材料的层间抗拉拔性能; 曾同^[21]研发了一种能实测黏结作用下层间剪切力和剪切位移关系的夹具. 针对层间黏结材料存在的抗拉拔、剪切强度不足的问题, 本文研究制备一种高黏乳化沥青作为层间黏结材料, 并对其层间拉拔强度和剪切强度进行试验研究.

1 试验

1.1 试验原材料

试验所需的主要材料有乳化剂、基质沥青、改

收稿日期: 2020-05-15; 修回日期: 2020-11-10.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51608048); 陕西省交通科技项目(19-29K); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(300102219207).

作者简介: 张秋瑞(1995-), 女, 硕士生, E-mail: 1666560978@qq.com; 韩森*(1958-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, E-mail: hyram_hs@chd.edu.cn.

性剂、稳定剂、水。

(1) 乳化剂

本研究所用乳化剂为阴离子乳化剂,易溶于热水,其物理性质见表 1。

表 1 乳化剂的物理性质
Tab. 1 Physical properties of emulsifier

25 ℃ 密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	10 ℃ 黏度/ ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	固含量/%	pH
1.08	1.4~1.6	50~55	7.0~7.5

(2) 基质沥青

基质沥青为 GS90# 沥青,其基本性能指标见表 2。

表 2 基质沥青基本性能
Tab. 2 Basic performance of matrix asphalt

针入度/ 0.1 mm	10 ℃ 延度/ cm	软化点/℃	60 ℃ 动力黏度/ ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)
84	>50	58	>160

(3) 改性剂

改性剂为阴离子改性剂,其在外力的作用下容易拉伸结晶,使得分子间不易滑脱,具有物理力学性能、阻燃性、耐热老化性能、黏结性能优异的特点。经它改性后的沥青,可以降低其脆性温度,改善低温屈挠性,增大弹性,提高延伸性和强韧性,尤其提高沥青与其他材料之间的黏着性。

(4) 稳定剂

稳定剂为羧甲基纤维素钠(CMC-Na),它属于阴离子型纤维素醚。

(5) 水性环氧改性乳化沥青

本研究所用水性环氧改性乳化沥青购自某厂家,水性环氧树脂和固化剂按照使用说明自行配制而成。

(6) SBR 改性乳化沥青

本研究所用 SBR 改性乳化沥青是使用阳离子乳化剂、阳离子 SBR 胶乳在试验室自制而成。

1.2 试验设备和仪器

试验设备和仪器有 BEM-L 型乳化沥青试验磨、电子天平、恒温循环水浴箱、针入度仪、沥青软化点试验仪、沥青延度试验仪、温度计、恒温烘箱、MOD-NCX-205HE 型钻芯机、LGZ-1 型结构层材料强度拉拔仪、HS-SS I 型直剪仪等。

1.3 试验内容及方法

1.3.1 高黏乳化沥青的制备 先将 CMC-Na 缓慢均匀地撒到具有搅拌装置的配料缸内,并不断搅拌,使其形成稳定的糊状胶液备用;把基质沥青放入 145 ℃ 的烘箱中备用;将乳化剂、改性剂、稳定剂和水(65 ℃ 左右)按一定比例拌制成皂液(乳化剂用量 2%,改性剂用量 23%,稳定剂用量 0.4%)备用。同时打开乳化沥青试验磨预热 1 min 左右,把调配好的皂液缓慢匀速地倒入试验磨中并进行搅拌,然后把一定质量的沥青(沥青与皂液的质量比为 6:4)缓慢匀速地倒入试验磨中(边倒边搅拌),倒入后再搅拌 2 min 左右。

1.3.2 高黏乳化沥青性能测试 对制得的高黏乳化沥青进行筛上剩余量、蒸发残留物三大指标试验、5 d 储存稳定性试验和黏度试验,并和水性环氧改性乳化沥青、SBS 改性乳化沥青进行对比。

1.3.3 混合料配合比设计 上面层混合料类型选用超薄磨耗层(ultra-thin friction layer, UTFL, 该种类型的混合料既可用于旧路面表面功能的恢复,又可用于新建路面的抗滑层,多与作用层间黏结材料的乳化沥青结合使用)沥青混合料,矿料级配见表 3。按照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)要求进行配合比设计,并进行最佳油石比试验,最终确定油石比为 5.0%。

表 3 UTFL-13 矿料级配
Tab. 3 UTFL-13 mineral gradation

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
16	100	1.18	15
13.2	92	0.6	12
9.5	62	0.3	9
4.75	29	0.15	8
2.36	21	0.075	6

1.3.4 层间拉拔试验 制作上下各 5 cm 厚的复合试件,中间喷撒一定量的层间黏结材料(用量分别为 0.6、0.8、1.0、1.2 kg/m^2)并进行钻芯取样,钻芯所用仪器见图 1,得到直径为 10 cm 的复合试件。为了在试验室条件下模拟实际路面的不同构造深度,下面层的混合料分别为 AC-13 级配的沥青混合料、AC-10 级配的沥青混合料、普通水泥混凝土,其级配分别见表 4~6。



图 1 钻芯仪器

Fig. 1 Drilling core instrument

表 4 AC-13 矿料级配

Tab. 4 AC-13 mineral gradation

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
16	100.0	1.18	26.5
13.2	95.0	0.6	19.0
9.5	76.5	0.3	13.5
4.75	53.0	0.15	10.0
2.36	37.0	0.075	6.0

表 5 AC-10 矿料级配

Tab. 5 AC-10 mineral gradation

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
13.2	100	0.6	23
9.5	95	0.3	16
4.75	60	0.15	11
2.36	44	0.075	6
1.18	32		

表 6 水泥混凝土级配

Tab. 6 Cement concrete gradation

原材料	质量配合比/%	原材料	质量配合比/%
水泥	16.17	石子	47.29
砂子	28.91	水	7.63

把得到的复合试件分别在 25 ℃和 60 ℃的烘箱里保温一段时间,得到相应温度下的试件,并在该温度下进行拉拔试验,拉拔仪器采用长安大学自主研发的 LGZ-1 型结构层材料强度拉拔仪,拉拔试验技术参数见表 7,在不同的试验条件下测得层间拉拔强度。

1.3.5 层间剪切试验 试验所用试件同层间拉拔试件,仪器采用长安大学自主研发的 HS-SS I 型直剪仪^[22],剪切试验技术参数见表 8,分别在

表 7 拉拔试验技术参数

Tab. 7 Pull-out test technical parameters

试样直径/ cm	拉拔速率/ (mm · min ⁻¹)	数据采集率/ (mm · 次 ⁻¹)	拉拔破坏条件
10	5	0.1	黏结层完全断裂

表 8 剪切试验技术参数

Tab. 8 Shear test technical parameters

试样直径/ cm	剪切速率/ (mm · min ⁻¹)	剪切力/ kN	竖向荷载/ MPa	数据采集率/ (mm · 次 ⁻¹)
10	20	30	0.2	0.1

25 ℃和 60 ℃的条件下进行直接剪切试验,试验后的试件见图 2。

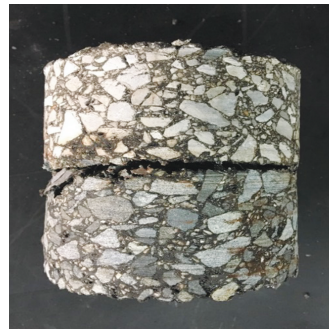


图 2 层间剪切试验后的试件

Fig. 2 Test piece after inter-layer shear test

2 试验结果与讨论

2.1 高黏乳化沥青性能测试结果

表 9 为 3 种不同乳化沥青的各种性能测试结果,按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)的要求进行 3 组平行试验,试验结果差异不大,在规范要求的范围内,故在此选择 3 组试验结果的平均值。

由表 9 可知:与 SBR 改性乳化沥青、水性环氧改性乳化沥青相比,高黏乳化沥青的针入度变化不大,但软化点和延度明显增大,说明高黏乳化沥青的耐热性和塑性较好,并且它的 135 ℃旋转黏度和 5 d 储存稳定性也满足要求,因此,相对于 SBR 改性乳化沥青和水性环氧改性乳化沥青,高黏乳化沥青更适宜用作层间黏结材料。

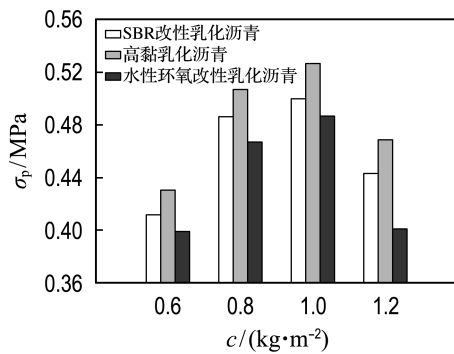
2.2 层间拉拔试验结果

2.2.1 不同类型层间黏结材料测试结果 图 3 是 25 ℃和 60 ℃条件下(下面层混合料为 AC-13、

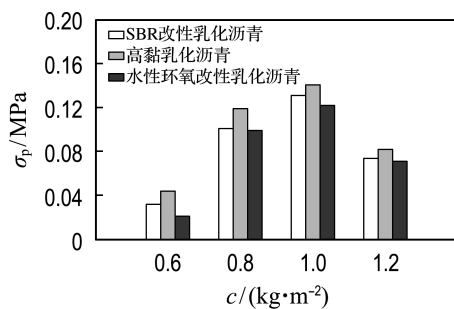
表 9 不同乳化沥青的各种性能测试结果

Tab. 9 Various performance test results of different emulsified asphalt

乳化沥青类型	筛上剩余量/%	蒸发残留物性能指标			135 ℃ 旋转黏度/ (Pa · s)	5 d 储存 稳定性/%
		软化点/℃	针入度/0.1 mm	5 ℃ 延度/cm		
高黏乳化沥青	0.07	70	67	29.5	2.2	4.67
水性环氧改性乳化沥青	0.06	62	64	20.0	2.0	4.30
SBR 改性乳化沥青	0.05	59	69	25.0	1.8	3.70



(a) 25 °C



(b) 60 °C

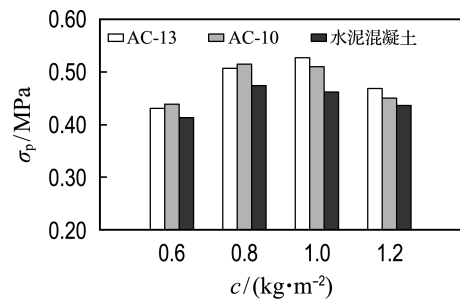
图 3 25、60 °C 下不同层间黏结材料的层间拉拔试验结果

Fig. 3 Results of inter-layer pull-out test of different inter-layer bonding materials at 25, 60 °C

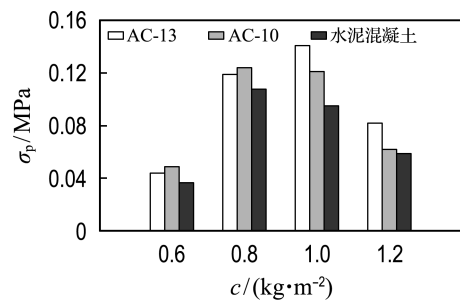
上面层混合料为 UTFL-13), 层间黏结材料分别是 SBR 改性乳化沥青、高黏乳化沥青和水性环氧改性乳化沥青时的层间拉拔试验结果。

由图 3 可知, 不同层间黏结材料的层间拉拔试验结果在 25 °C 和 60 °C 呈现出相同的变化趋势, 即随着层间黏结材料用量的增加拉拔强度呈现出先增大后减小的规律, 并且层间黏结材料用量相同时, 拉拔强度的大小为高黏乳化沥青 > SBR 改性乳化沥青 > 水性环氧改性乳化沥青。

2.2.2 不同级配类型的层间拉拔试验结果 图 4 是 25 °C 和 60 °C 温度条件下(层间黏结材料为高黏乳化沥青), 复合试件上面层是 UTFL-13 沥



(a) 25 °C



(b) 60 °C

图 4 25、60 °C 下不同级配类型的层间拉拔试验结果

Fig. 4 Results of inter-layer pull-out test of different gradation types at 25, 60 °C

青混合料, 下面层分别是 AC-13、AC-10 沥青混合料和水泥混凝土时的层间拉拔试验结果。

由图 4 可知, 在 25 °C 和 60 °C 的环境条件下:

(1) 复合试件上面层是 UTFL-13 时, 复合试件下面层无论是 AC-13、AC-10 还是水泥混凝土, 层间拉拔强度均随着层间黏结材料用量的增加呈现出先增大后减小的趋势;

(2) 下面层为 AC-13 时, 层间黏结材料用量为 1.0 kg/m² 时拉拔强度达到最大值, 下面层为 AC-10 时用量 0.8 kg/m² 时拉拔强度达到最大值, 下面层为水泥混凝土时用量 0.8 kg/m² 时拉拔强度达到最大值;

(3) 其他条件均相同的条件下, 试验温度由 25 °C 变成 60 °C 层间拉拔强度明显降低, 且下面

层是水泥混凝土时的拉拔强度小于下面层是沥青混凝土的拉拔强度。

为了更进一步确定层间黏结材料的最佳用量,在上述试验最佳用量左右加密用量取值范围,做进一步的验证试验,结果见图 5。

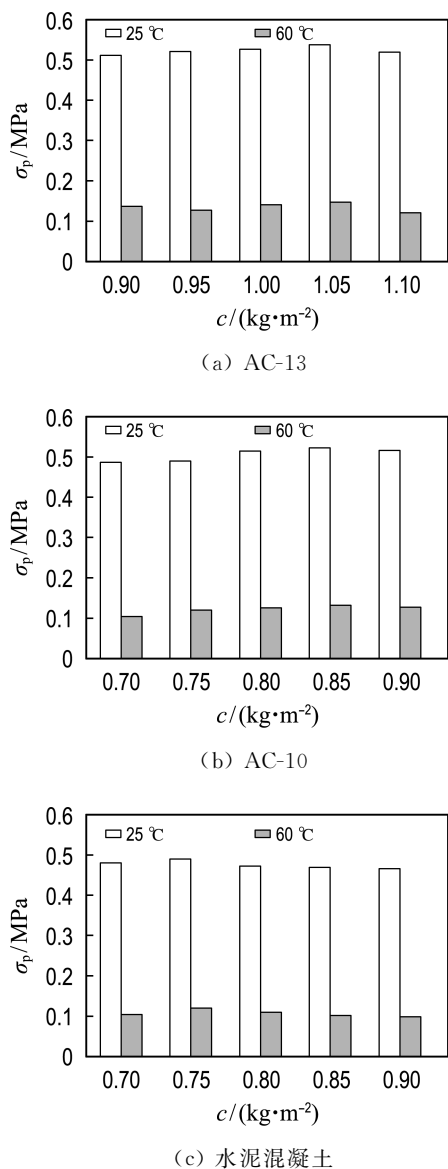


图 5 AC-13、AC-10、水泥混凝土层间拉拔试验测试结果

Fig. 5 Results of inter-layer pull-out test of AC-13, AC-10, cement concrete

进一步的拉拔试验结果表明 AC-13 沥青混合料在层间黏结材料高黏乳化沥青的用量为 1.05 kg/m^2 时达到最大值,即为考虑拉拔试验的最佳用量;AC-10 混合料在高黏乳化沥青的用量为 0.85 kg/m^2 时达到最大值,水泥混凝土在高黏

乳化沥青的用量为 0.75 kg/m^2 时达到最大值。

2.3 层间剪切试验结果

2.3.1 不同类型层间黏结材料测试结果 图 6 是 25 °C 和 60 °C 条件下(下面层混合料为 AC-13、上面层混合料为 UTFL-13),层间黏结材料分别是 SBR 改性乳化沥青、高黏乳化沥青和水性环氧改性乳化沥青时的层间剪切试验结果。

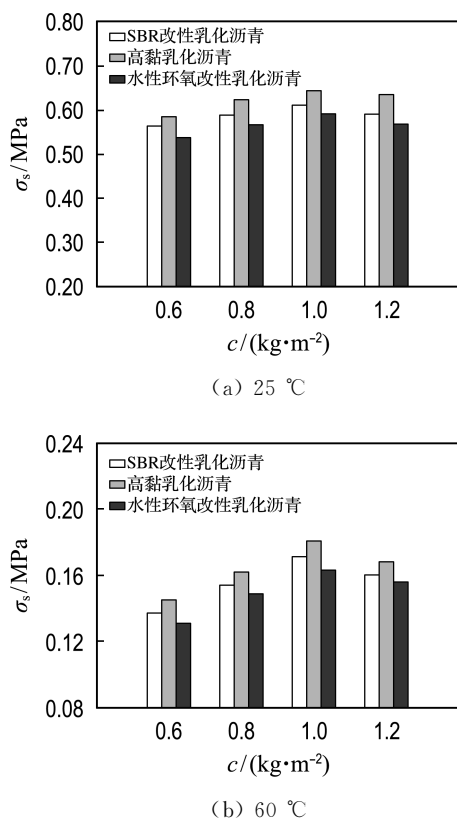


图 6 25、60 °C 下不同层间黏结材料的层间剪切试验结果

Fig. 6 Results of inter-layer shear test of different inter-layer bonding materials at 25, 60 °C

由图 6 可知,不同层间黏结材料的层间剪切试验结果在 25 °C 和 60 °C 呈现出相同的变化趋势,即随着层间黏结材料用量的增加剪切强度呈现出先增大后减小的规律,并且层间黏结材料用量相同时,剪切强度的大小为高黏乳化沥青 > SBR 改性乳化沥青 > 水性环氧改性乳化沥青。

2.3.2 不同级配类型的层间剪切试验结果 图 7 是 25 °C 和 60 °C 温度条件下(层间黏结材料为高黏乳化沥青),复合试件上面层是 UTFL-13 沥青混合料,下面层分别是 AC-13、AC-10 沥青混合料和水泥混凝土时的剪切试验结果。

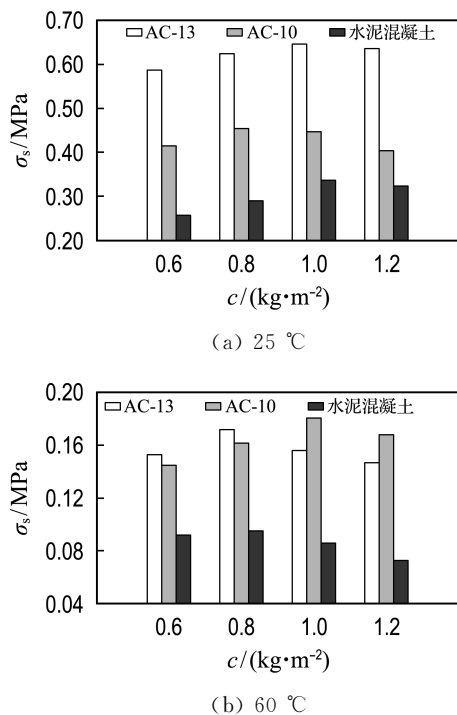


图 7 25、60 °C 下不同级配类型的层间剪切试验结果

Fig. 7 Results of inter-layer shear test of different gradation types at 25, 60 °C

由图 7 可知,在 25 °C 和 60 °C 的环境条件下:

(1)当复合试件上层是 UTFL-13 沥青混合料时,复合试件下层无论是 AC-13、AC-10 还是水泥混凝土,剪切强度均随着层间黏结材料用量的增加呈现出先增大后减小的趋势。

(2)25 °C 和 60 °C 这两种温度条件下,剪切强度在不同的层间黏结材料用量时取得最大值,但由于实际路面处于 60 °C 的时间相对较短,故以 25 °C 时的剪切结果为主,即 AC-13 的最佳用量为 1.0 kg/m²,AC-10 的最佳用量为 0.8 kg/m²,水泥混凝土的最佳用量为 1.0 kg/m²;考虑到本文的目的是综合分析拉拔和剪切的试验结果确定一个最佳用量,前面的拉拔试验结果表明水泥混凝土的最佳用量为 0.8 kg/m²,故在下文进一步分析水泥混凝土剪切强度最佳用量时在 0.8 kg/m² 的基础上进行。

(3)其他条件均相同的条件下,试验温度由 25 °C 变成 60 °C 层间剪切强度明显降低,且下层是水泥混凝土时的剪切强度小于下层是沥青混凝土的剪切强度。

为了更进一步确定层间黏结材料的最佳用

量,在上述试验最佳用量左右加密用量取值范围,做进一步的验证试验,结果见图 8。

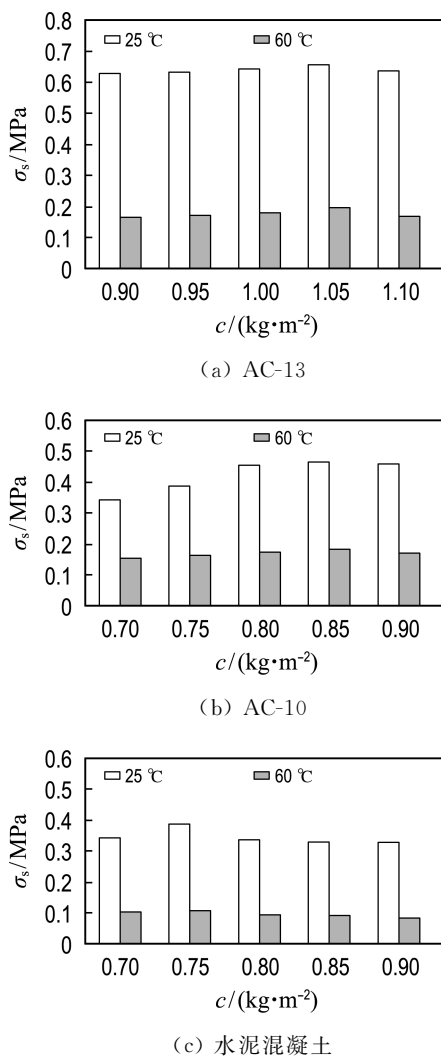


图 8 AC-13、AC-10、水泥混凝土层间剪切试验测试结果

Fig. 8 Results of inter-layer shear test of AC-13, AC-10, cement concrete

进一步的剪切试验结果表明 AC-13 沥青混合料在层间黏结材料高黏乳化沥青用量为 1.05 kg/m² 时达到最大值,即为考虑剪切试验的最佳用量;AC-10 混合料在高黏乳化沥青用量为 0.85 kg/m² 时达到最大值,水泥混凝土在高黏乳化沥青用量为 0.75 kg/m² 时达到最大值。

3 结 论

(1)相较于水性环氧改性乳化沥青和 SBR 改性乳化沥青,高黏乳化沥青的软化点更高,延度更大,因而耐热性和塑性更好,在满足工艺要求的同

时黏性也更大,所以更适合作为层间黏结材料。

(2)经过拉拔试验和剪切试验发现,在相同的试验条件下层间拉拔/剪切强度顺序为高黏乳化沥青>SBR 改性乳化沥青>水性环氧改性乳化沥青。

(3)层间黏结材料的黏结效果受温度影响很大,25℃时具有良好的抗拉拔和剪切能力,但当层间温度上升至 60℃时,层间拉拔/剪切强度明显降低,因此,在实际应用中,应该考虑温度对层间黏结材料层间黏结效果的影响。

(4)拉拔试验和剪切试验表明,在不同的界面条件下,层间黏结材料的最佳用量不同,但随着层间黏结材料用量的增加,拉拔/剪切强度都呈现出先增大后减小的趋势;考虑拉拔和剪切试验结果,下面层是 AC-13 时层间黏结材料的最佳用量是 1.05 kg/m²,下面层是 AC-10 时层间黏结材料的最佳用量是 0.85 kg/m²,下面层是水泥混凝土时层间黏结材料的最佳用量是 0.75 kg/m²。

参考文献:

- [1] 苏观如. 超薄磨耗层施工质量控制措施探讨 [J]. 交通世界, 2019(20): 42-44.
SU Guanru. Discussion on construction quality control measures of ultra-thin wear layer [J]. *Transpworld*, 2019(20): 42-44. (in Chinese)
- [2] 董 亮. UHPC-沥青磨耗层国产环氧界面剂力学性能研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2019.
DONG Liang. Study on mechanical properties of domestic epoxy interfacial agent for UHPC-asphalt abrasive layer [D]. Changsha: Hunan University, 2019. (in Chinese)
- [3] 张 坚. 超高性能组合桥面磨耗层修复界面性能研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2019.
ZHANG Jian. Research on repairing interface performance of wear layer on ultra-high performance composite bridge deck [D]. Changsha: Hunan University, 2019. (in Chinese)
- [4] 夏杨嘉玲. 超高性能轻型组合桥面 UHPC-SMA 层间粘结性能研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2018.
XIAYANG Jialing. Research on bond performances between UHPC and SMA of ultra-high performance lightweight composite deck [D]. Changsha: Hunan University, 2018. (in Chinese)
- [5] CHUN S, KIM K, GREENE J, *et al.* Evaluation of interlayer bonding condition on structural response characteristics of asphalt pavement using finite element analysis and full-scale field tests [J]. *Construction and Building Materials*, 2015, **96**(10): 307-318.
- [6] BAEK J, OZER H, WANG H, *et al.* Effects of interface conditions on reflective cracking development in hot-mix asphalt overlays [J]. *Road Materials and Pavement Design*, 2010, **11**(2): 307-334.
- [7] OZER H, AL Q L, WANAG H, *et al.* Characterisation of interface bonding between hot-mix asphalt overlay and concrete pavements: modelling and in-situ response to accelerated loading [J]. *International Journal of Pavement Engineering*, 2012, **13**(2): 181-196.
- [8] HU Mingjun, LI Lihan, PENG Fangxing. Laboratory investigation of OGFC-5 porous asphalt ultra-thin wearing course [J]. *Construction and Building Materials*, 2019, **219**: 101-110.
- [9] HAKIM B A. An improved back calculation method to predict flexible pavement layer moduli and bonding condition between wearing course and base course [D]. Liverpool: Liverpool John Moores University, 1997.
- [10] KRUNTCEVA M R, COLLOP A C, THOM N H. Effect of bond condition on flexible pavement performance [J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2005, **131**(11): 880-888.
- [11] WEST R C, MOORE J R, ZHANG Jingna. Evaluating tack coat applications and the bond strength between pavement layers [J]. *Airfield and Highway Pavements Specialty Conference*, 2006, **191**: 578-588.
- [12] ZHANG J, LU W L. Study on bonding performance of interlayer materials between old cement slab and asphalt overlay [C] // *International Conference on Advanced Material Research*. Atlanta: ASCE, 2011: 633-637.
- [13] DU Qinwen, FANG Yu, YU Bin, *et al.* Study on preparation experimental about high-permeability layer-penetration oil [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, **405-408**: 2745-2753.
- [14] WEI Xinxin, CHEN Huaxin, WU Yongchang, *et al.* Investigation into influence factors on shear properties between layers of asphalt pavement [C] // *New Frontiers in Road and Airport Engineering - Selected Papers from the 2015 International Symposium on Frontiers of Road and Airport Engineering, IFRAE*. Shanghai: ASCE, 2015: 132-

- 142
- [15] ZHONG Ke, SUN Mingzhi, ZHANG Meng, *et al.* Interfacial and mechanical performance of grouted open-graded asphalt concrete with latex modified cement mortar [J]. **Construction and Building Materials**, 2020, **234**: 117394.
- [16] HU Tao, ZI Jianmin, LI Jia, *et al.* Laboratory and field investigation of interlayer bonding between asphalt concrete layer and semi-rigid base constructed by using continuous construction method [J]. **Construction and Building Materials**, 2017, **150**: 418-425.
- [17] CHEN Jun, MA Xie, WANG Hao, *et al.* Experimental study on anti-icing and deicing performance of polyurethane concrete as road surface layer [J]. **Construction and Building Materials**, 2018, **161**: 598-605.
- [18] 张秋福. 超薄路面层间抗剪强度研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.
- ZHANG Qiufu. Research on interlayer itrathin asphalt pavement shear strength [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2016. (in Chinese)
- [19] 李 晶. 沥青路面层间处治技术及其应用 [D]. 西安: 长安大学, 2015.
- LI Jing. Asphalt pavement interlayer treatment technology research and application research [D]. Xi'an: Chang'an University, 2015. (in Chinese)
- [20] 李一鸣. 复合式沥青路面水泥混凝土基层面层处理技术研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2018.
- LI Yiming. Research about the treatment of the cement concrete base course in composite asphalt pavement [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018. (in Chinese)
- [21] 曾 同. 考虑竖向荷载的沥青路面层间界面模型研究 [D]. 武汉: 武汉工程大学, 2017.
- ZENG Tong. Study on the interface model of asphalt pavement with vertical load [D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2017. (in Chinese)
- [22] 杨 忠, 赵宝俊, 刘梦梅, 等. 水性环氧树脂乳化沥青黏层材料的层间性能 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2018, **35**(9): 51-55.
- YANG Zhong, ZHAO Baojun, LIU Mengmei, *et al.* Research on interlayer properties of waterborne epoxy resin emulsified asphalt for tack coat [J]. **Road Machinery and Construction Mechanization**, 2018, **35**(9): 51-55. (in Chinese)

Research on design and performance of inter-layer bonding material of high viscosity emulsified asphalt

ZHANG Qiurui, LIU Yamin, HAN Sen*, XIA Jinping, YANG Zhen, LIANG Jian

(Highway School, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: In order to solve the problem of poor viscous effect and durability of inter-layer bonding material, a new high viscosity emulsified asphalt was prepared and its performance was studied. Firstly, the high viscosity emulsified asphalt was prepared by the secondary thermal mixing method, and tested with water-based epoxy modified emulsified asphalt and SBR modified emulsified asphalt on the screened remaining amount, three indicators of evaporation residue, viscosity, etc. Secondly, the pull-out test and direct shear test were carried out under the condition that the upper layer was UTFL-13, the lower layer were AC-13, AC-10 asphalt concrete slab and cement concrete slab, and the temperature were 25 °C and 60 °C respectively. The results show that, compared with other two modified emulsified asphalt, the high viscosity emulsified asphalt has better heat resistance and plasticity, and higher viscosity. The bonding effect sequence is high viscosity emulsified asphalt, SBR modified emulsified asphalt, water-based epoxy modified emulsified asphalt. The material used in the lower layer is different, the optimal amount of inter-layer bonding material is different.

Key words: high viscosity emulsified asphalt; inter-layer bonding material; bonding performance; optimal dosage