

文章编号:1005-0523(2016)01-0016-07

# 粘层油与钢界面粘结性能影响因素研究

颜川奇<sup>1</sup>,黄卫东<sup>1</sup>,田健君<sup>2</sup>

(1.同济大学道路与交通工程教育部重点实验室,上海 201804;2.华东电力设计院,上海 200063)

**摘要:**粘层油与钢界面的粘结性能易受到灰尘与温度等因素的影响,从而出现层间污染,导致路面损坏。自行设计了砖面粘结强度拉拔试验方法,探讨了热沥青、乳化沥青、环氧沥青、稀释沥青4种粘层油与钢界面粘结性能的影响因素,得出了不同沥青对界面灰尘的耐受能力。同时从养护时间、施工温度等方面对不同的粘层油提出了施工建议。

**关键词:**道路工程,粘层油,粘结强度影响因素,纳灰能力

中图分类号:U414 文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.01.003

层间的不良粘结是沥青路面发生推移病害的重要原因。研究表明,层间粘结不良会导致层间剪切滑移和推挤裂纹<sup>[1-2]</sup>,当层间粘结强度下降10%时,路面的疲劳寿命将会下降50%<sup>[3]</sup>。层间粘结不良可以分为沥青膜自身的破坏和沥青与界面粘结失效两种类型。当沥青混合料在相对光滑的界面上铺筑时,接触面上的摩阻力很大程度上低于沥青混合料自身的摩阻力,使得界面处的粘结力较低,从而更易破坏<sup>[4]</sup>。因此在层间粘结问题中应重点考虑沥青与界面接触面的粘结性能。在桥面铺装施工中发现:粘层油与钢桥面接触处易受到灰尘与温度等因素的干扰,造成层间污染与粘结不良,从而影响沥青性能的发挥,减少路面使用寿命。国内学者对沥青路面层间接触状况力学模拟和破坏现象分析进行了大量研究,但对粘层油与界面的粘结性能以及界面灰尘含量等现场环境因素对沥青性能的影响研究较少。

目前工程中所使用粘层油种类丰富,各具特性,在实际施工中性能的受制因素也大不相同。为了较为全面的对各粘层油进行对比研究,本文在参考了建筑施工规范中砖面强度测试的方法后,自行设计拉拔试验,探讨了钢界面上灰尘含量对不同种类粘层油性能的影响程度,即粘层油的纳灰能力;以及温度、养护时间等其他因素对粘层油性能的影响,从而为实际工程粘层油的选择提供参考和依据。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

采用热沥青、乳化沥青、环氧沥青、稀释沥青4种常用粘层油作为研究对象。其中热沥青以 ESSO70# 基质沥青为基础,对 SBS 改性沥青、橡胶沥青、Terminal Blend 胶粉改性沥青(以下简称 TB 改性沥青)、TB 复合改性沥青4种改性热沥青进行了研究。TB 改性沥青是采用美国 Terminal Blend 无搅拌湿法工艺制备的胶粉改性沥青,具有良好的低温性能和出色的储存稳定性。TB 复合改性沥青由 TB 沥青外掺 1.5% SBS 在 185 ℃ 高温下拌合而成。各改性沥青主要技术指标如表 1 所示。

收稿日期:2015-09-11

基金项目:国家自然科学基金项目(51478351)

作者简介:颜川奇(1992—),男,硕士研究生,研究方向为道路工程方面的研究。

通讯作者:黄卫东(1970—),男,研究员,博士生导师,研究方向为道路工程方面的研究。

表 1 改性热沥青主要技术指标  
Tab.1 Main indexes of modified asphalt

测试项目	SBS 改性沥青	橡胶沥青	TB 改性沥青	TB 复合改性沥青
针入度 (25 ℃, 100 g, 5 s) (0.1 mm)	50	53	159	101
软化点/℃	80.0	72.5	49.0	60.0
5 ℃延度/cm	36	—	28	51
135 ℃粘度/Pa·s	2.23	—	0.77	1.05
177 ℃粘度/Pa·s	0.76	3.4	—	—

乳化沥青以 SBR 改性乳化沥青作为研究对象,主要技术指标如表 2 所示。

表 2 SBR 改性乳化沥青的技术指标  
Tab.2 Main indexes of SBR modified emulsified asphalt

检测项目及要求		JTG F40-2004 改性乳化 沥青 PCR 技术要求	检测值	试验方法
破乳速度	破乳速度	快裂或中裂	快裂	T0658
	粒子电荷	阳离子(+)	+	T0653
	筛上残留物 (1.18 mm)/%, 不大于	0.1	0.05	T0652
粘度	恩格拉粘度 E25	1-10	—	T0622
	沥青标准粘度 C25, 3(s)	8-25	13.2	T0621
蒸发残留物	含量, 不小于/%	50	54.1	T0651
	针入度 (25 ℃, 5 s, 100 g) (0.1 mm)	40-120	74.9	T0604
	软化点, 不小于	50	56.7	T0606
	延度 (5), 不小于/cm	20	63.3	T0605
	溶解度 (三氯乙烯), 不小于/%	97.5	99.1	T0607
	与矿料的粘附性, 裹覆面积, 不小于	2/3	>2/3	T0654
贮存稳定性	1 d, 不大于/%	1	0.7	T0655
	5 d, 不大于/%	5	4.2	T0655

环氧沥青以句容 2910 号环氧沥青作为研究对象; 稀释沥青以群康沥青科技有限公司提供的稀释沥青作为研究对象。以上原材料的各项技术指标均满足规范技术要求。

1.2 试验方案

目前国内外研究中还没有评价粘层油与界面粘结强度的标准方法<sup>[5-6]</sup>。为了统一试验方式,提高对比性,本文在建筑饰面砖粘结强度拉拔力检测仪的设计原理基础上进行改进,提出了适用于评价道路粘层油的砖面粘结强度拉拔试验方法。试验设备如图 1 所示。

砖面粘结强度拉拔法是对实际路面结构的模拟。试验设备由底层和拔头两个部分组成,试验时,底层可选取不同的材料来模拟不同的界面,上面层则由特制的拔头所代替。在底层上洒布一定量待检测粘层油后安放拔头,待粘层油强度形成后使用专用建筑饰面砖粘结强度拉拔力检测仪测定粘层油与接触面间粘结强度。

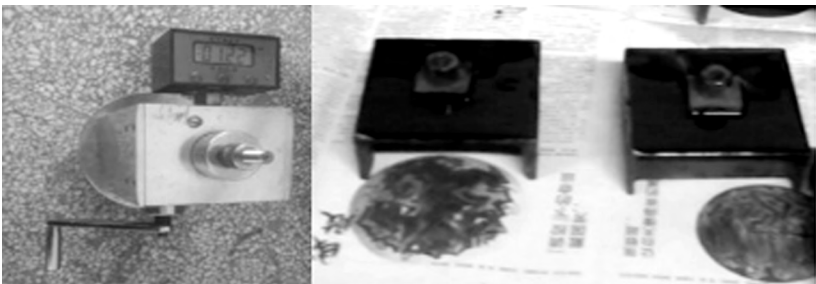


图 1 砖面粘结强度拉拔仪与拉拔底座

Fig.1 The brick surface bonding strength drawing apparatus and drawing base

具体试验步骤如下：

- 1) 准备待测粘层油与底座。钢板底座需要用砂纸将其表面磨光。亦可用 AC13 沥青混凝土板或 C30 水泥混凝土板模拟沥青混凝土和水泥混凝土底座。
- 2) 将粘层油按均匀的洒布在底座上,放上表面打磨过的拔头。等待粘层油强度形成；
- 3) 待粘层油强度形成后,将底座放入水浴中,保温 1 小时,拿出底座,用小刀沿拔头边缘将粘层油切开,再放入水浴中,用粘结强度拉拔力检测仪进行测试,得出粘层油的粘结拉拔力,若断裂层发生在沥青间,则此拉拔力数据无效,最后按下式计算粘结强度。

$$\sigma=\frac{F}{S}$$

式中： $\sigma$  为粘结强度,MPa; $F$  为拉拔力,N; $S$  为受力面积, $\text{m}^2$ ;取拔头面积, $3\text{ cm}\times 3\text{ cm}$ 。

- 4) 清洗底座与拔头,待下次试验使用。

本试验主要考察各粘层油的纳灰能力 (Ash content), 并根据不同材料的特性考察了养护时间 (Curing time)、摊铺温度 (Temperature) 等因素对其粘结性能的影响,试验方案见表 3

表 3 试验方案

Tab.3 The experimental scheme

粘层油	热沥青	乳化沥青	环氧沥青	稀释沥青
因素	纳灰能力 摊铺温度	纳灰能力 等待时间	纳灰能力 高温养护时间 摊铺温度	纳灰能力 养护时间

研究表明,热沥青、环氧沥青、稀释沥青和乳化沥青在钢界面上达到最大粘结强度的最佳洒布量在  $0.6\text{ kg}\cdot\text{m}^2$  至  $0.8\text{ kg}\cdot\text{m}^2$  之间<sup>[7]</sup>。本文试验以钢界面为底层, $0.6\text{ kg}\cdot\text{m}^2$  为标准洒布量。关于试验温度的确定,由于沥青具有感温性,在不同温度下进行的试验结果差异较大。分别在  $5^\circ\text{C}$  和  $25^\circ\text{C}$  水浴条件下进行的拉拔试验结果如图 2 所示。

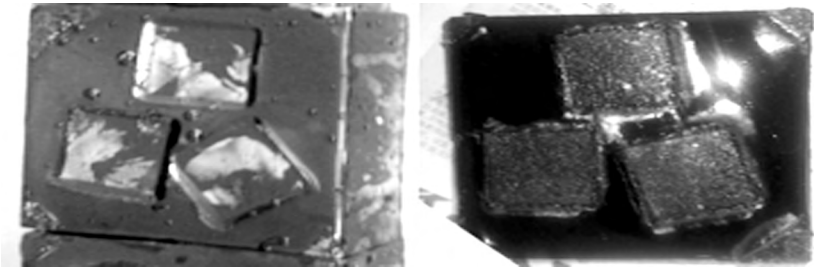


图 2  $5^\circ\text{C}$  (左)与  $25^\circ\text{C}$  (右)水浴条件下进行的拉拔试验破坏结果

Fig.2 The results of bonding test in  $5^\circ\text{C}$  (left) and  $25^\circ\text{C}$  (right)

从图 2 可以看出,在 5℃水浴条件下进行的拉拔试验断裂面主要出现在界面与沥青接触处,而在 25℃水浴条件下断裂面主要出现在沥青自身。这是试验温度的升高使沥青材料自身黏度降低所造成的。本文试验中,为了对界面处的粘结强度进行研究,需保证拉拔断裂面出现在界面与沥青接触面上。因此,除研究温度对热沥青与环氧沥青粘结性能影响的试验采用 5℃和 25℃两种试验温度外,其余试验均在 5℃水浴条件下进行。

## 2 影响因素研究

粘层油的种类丰富,粘结性能的影响因素也各不相同。本文综合评价了 4 种沥青粘层油的界面纳灰能力,并根据 4 种沥青各自的特性对其特有的粘结性能影响因素进行了探讨,同时提出施工工艺建议,以期对施工过程有一定的指导作用。

### 2.1 热沥青的粘结性能影响因素

热沥青是道路工程中使用最广泛的沥青材料。为了验证温度对沥青粘结性能的影响,分别在 5℃与 25℃条件下对热沥青进行拉拔试验,同时对其界面纳灰能力进行研究。

#### 2.1.1 温度对热沥青粘结性能的影响

将 4 种改性热沥青成型拉拔模型后,分别在 5℃与 25℃条件下进行砖面粘结强度拉拔试验。试验结果见图 3。

由图 3 可以看出各改性热沥青的粘结强度均随温度的降低而增大,四种热沥青 5℃下的平均粘结强度比 25℃下大 37.2%。温度的升高直接导致粘层油自身粘结力降低以及“自由沥青”含量增加。故在南方湿热地区可选择沥青自身粘结力较大的材料作为粘层油,而在北方干冷地区则应更看重沥青与界面间的粘结力。

#### 2.1.2 界面含灰量对热沥青的粘结性能影响

以 ESSO70# 基质沥青为研究对象在不同界面含灰量下进行砖面粘结强度拉拔测试,试验结果见图 4

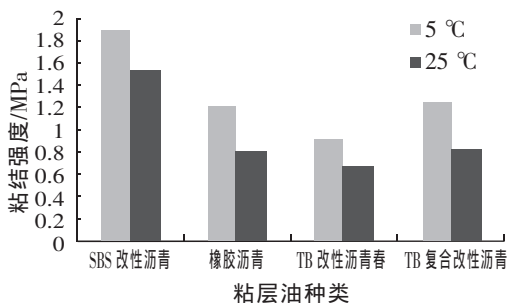


图 3 四种改性热沥青在 5℃与 25℃下粘结强度  
Fig.3 The comparison of four asphalts' bonding strengths at 5℃ and 25℃

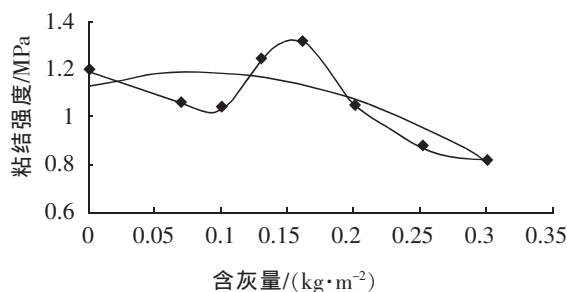


图 4 不同含灰量下 ESSO70# 基质沥青的粘结强度变化情况  
Fig.4 The ESSO70# asphalt's bonding strength with different ash content

从图 4 可以看出,热沥青粘结强度随含灰量的增加先减小,后增加,再减小。但总体呈现减小趋势。热沥青作为粘层油时,对界面灰尘具有较强的耐受性。不同研究提出沥青路面层间粘结强度的控制指标在 0.3 MPa 至 0.48 MPa 之间<sup>[7-9]</sup>,当界面含灰量在 0.3 kg·m<sup>-2</sup> 以下时,热沥青粘结强度始终保持在 0.8 MPa 以上。因此在基质沥青施工过程中不用苛刻保持界面洁净。

### 2.2 乳化沥青的粘结性能影响因素

本文主要考虑破乳等待时间以及界面含灰量对乳化沥青粘结性能的影响。

#### 2.2.1 破乳等待时间对乳化沥青的粘结性能影响

以试验拔头放置前的等待时间模拟乳化沥青破乳等待时间,试验结果见表 4。

从表 4 可以看出摊铺等待时间延长 15 min 有利于乳化 SBR 改性沥青的粘结强度形成。在实际工程中,洒布乳化沥青做粘层时需要等待一定时间后再进行上层的铺筑,从而保证乳化沥青有足够的破乳时间以形成强度。

2.2.2 界面含灰量对乳化沥青的粘结性能影响

在不同界面含灰量下进行拉拔试验,结果见图 5。

从图 5 可以看出,随着含灰量增加,粘结强度明显下降,说明乳化沥青的纳灰能力极差。这对实际工程除尘提出了较高要求:在洒布乳化沥青作为粘层油时,必须保证界面的干净,必要时可用水洗,吹风除尘,洒布前可采用塑料薄膜对结构物进行遮盖防护以避免污染。

2.3 环氧沥青的粘结性能影响因素

环氧沥青的强度形成依赖于 A、B 两种组分在施工现场混合后的固化反应。因此不同的施工养护条件对环氧沥青的粘结强度影响较大。本文主要研究了高温养护时间、固化后温度以及界面含灰量 3 个因素对环氧沥青粘结性能的影响。

2.3.1 高温养护时间对环氧沥青的粘结性能影响

以句容 2910 号环氧沥青为研究对象,试件集中成型后,一部分试件放在 120 ℃下养护 6 h,再在室温下养护 24 h,另一部分试件放在室温下养护 30 h。共同进行拉拔试验。试验结果见表 5。

由表 5 可以看出环氧沥青固化过程与高温养护时间关系极大,在特定的温度和时间条件下固化完成较快,如果温度降低,则固化时间相应延长。实际工程中使用环氧沥青作为粘结层时,需要注意施工时的气候条件,当环境温度过低则不应施工,不利于环氧沥青的粘结强度形成。有研究认为施工的环境温度以 30~40 ℃最理想,且不应低于 10 ℃。

2.3.2 温度对环氧沥青的粘结性能影响

试件成型后共同在 120 ℃条件下养护 6 小时,取出后一组试件在 5 ℃水浴中静置,另一组试件置于室温 25 ℃中。24 h 后分别测定其粘结强度,试验结果见表 6。从表 6 可以看出,温度对固化后的环氧沥青粘结强度。

从表 6 可以看出,温度对固化后的环氧沥青粘结强度影响不大,5 ℃下的试验结果仅比 25 ℃下大 3.8%,这与其他类型的沥青粘层油不同。环氧沥青的固化是一种化学反应,固化完成后自身粘结性能受低温影响不明显,其他类型的沥青粘层油在低温下则逐渐向玻璃态靠近,自身变硬粘结强度增加。对于环氧类粘层油来说,冬季粘结性能没有较大提升。

表 4 不同拔头放置时间下粘结强度大小  
Tab.4 The bonding strength of different waiting time

粘层油	等待时间/min	拉拔力/kN	粘结强度/MPa
SBR 乳化 沥青	15	1.12	1.25
	30	1.3	1.44

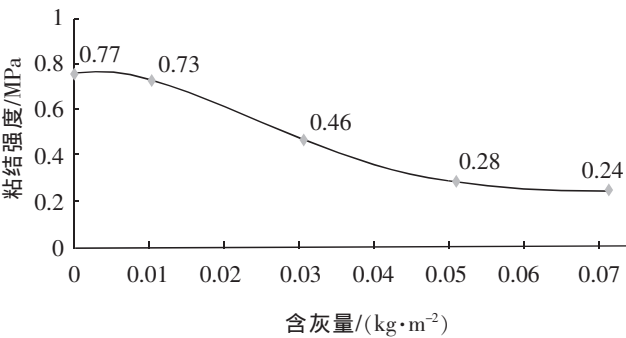


图 5 含灰量对 SBR 改性乳化沥青的粘结性能影响  
Fig.5 The SBR modified asphalt's bonding strength with different ash content

表 5 不同高温养护时间下 2910 环氧沥青的粘结强度  
Tab.5 The bonding strength of 2910 epoxy asphalt at different high temperature curing time

粘层油	高温养护时间/h	拉拔力/kN	粘结强度/MPa
2910	0	0.77	0.85
	6	2.73	3.04

表 6 不同温度下 2910 环氧沥青的粘结强度  
Tab.6 The bonding strength of 2910 epoxy asphalt at different temperature

粘层油	温度/℃	拉拔力/kN	粘结强度/MPa
2910	25	2.63	2.93
	5	2.73	3.04



### 2.3.3 界面含灰量对环氧沥青的粘结性能影响

以句容 2910 号环氧沥青为研究对象在不同界面含灰量下进行砖面粘结强度拉拔测试,试验结果见图 6。

从图 6 可以看出环氧沥青纳灰能力较差,随着界面灰尘含量的增加,粘结强度明显降低。工程中使用环氧沥青作为粘结层时,应注意清洁界面杂物泥土。

### 2.4 稀释沥青的粘结性能影响因素

释沥青属于液体沥青的一种,在常温下就有较好的流动性,便于操作。本文研究了养护时间以及界面含灰量对稀释沥青粘结性能的影响。

#### 2.4.1 养护时间对稀释沥青的影响

以群康沥青科技有限公司提供的稀释沥青为研究对象,试件成型后分别在室温下养护 7 d 和 40 d 后进行砖面粘结强度拉拔测试。试验结果见表 7。

从表 7 不同养护时间下稀释沥青的粘结强度可以看出,稀释沥青作为粘层油时初期粘结强度较小,随着时间的增加粘结强度明显增大。试验过程中发现较高的环境温度可以促进稀释剂的挥发,加快粘结强度的增长。实际工程中,洒布粘层油后,上层摊铺热沥青混合料对稀释沥青的粘结强度增长是有利的。

#### 2.4.2 界面含灰量对稀释沥青的粘结性能影响

以群康沥青科技有限公司提供的稀释沥青为研究对象,在不同界面含灰量下进行砖面粘结强度拉拔测试,试验结果见图 7。

由图 7 可知在界面含灰量小于  $0.16 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  时,稀释沥青在钢界面上的粘结强度变化不大,当界面含灰量达  $0.25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  时,稀释沥青粘结强度逐渐下降。相比乳化沥青和环氧沥青,稀释沥青具有较好的界面纳灰能力。使用稀释沥青作为粘层油时,为保证稀释沥青具有较好的粘结强度,建议界面含灰量不大于  $0.16 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

### 2.5 界面含灰量对粘层油粘结性能影响综合分析

图 8 是不同种类沥青粘结强度随界面含灰量的变化情况。

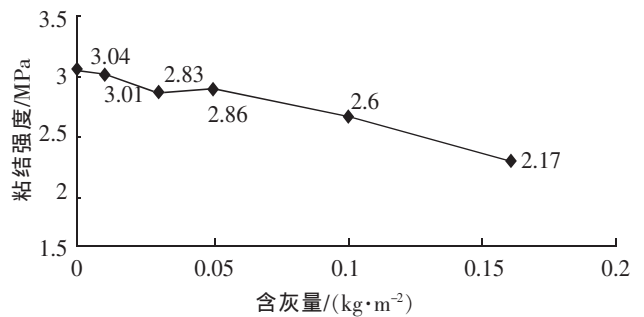


图 6 不同含灰量下 2910 号环氧沥青的粘结强度变化情况

Fig.6 The 2910 epoxy asphalt's bonding strength with different ash content

表 7 不同养护时间下稀释沥青的粘结强度

Tab.7 The bonding strength of cutback asphalt at different curing time

粘层油	养护时间/d	拉拔力/kN	粘结强度/MPa
稀释沥青	7	0.30	0.33
	40	0.91	1.01

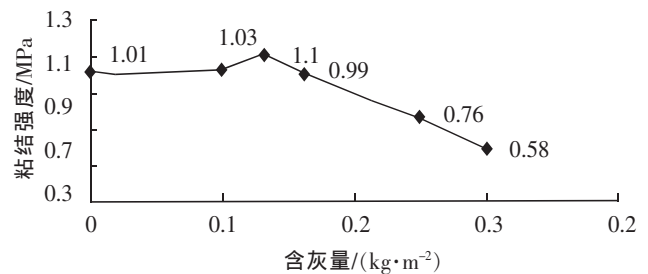


图 7 不同含灰量下稀释沥青的粘结强度变化情况

Fig.7 The cutback asphalt's bonding strength with different ash content

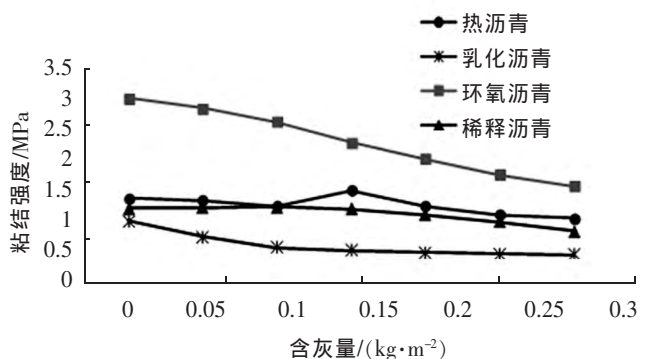


图 8 不同种类沥青粘结强度随含灰量变化情况

Fig.8 Changes of the bonding strength with different ash content

根据图 8 不同种类沥青粘结强度随含灰量变化情况 对比研究可以得到以下结论:

- 1) 随着灰量增大,四种沥青都总体都表现出粘结能力下降的趋势。
- 2) 在相同的灰度下,环氧沥青粘结性能最好,且远远大于其余 3 种沥青。热沥青和稀释沥青粘结性能其次,但在试验范围内均能满足粘结强度大于 0.48 MPa 的要求,乳化沥青粘结性能最差,在界面灰量较大的情况下达不到施工要求。
- 3) 从变化趋势来看,热沥青和稀释沥青受界面灰度影响较小,纳灰能力较强,乳化沥青其次,环氧沥青受灰度变化影响最大,纳灰能力最弱。

### 3 结语

通过砖面拉拔试验对粘层油与界面粘结性能的影响因素进行研究,得到以下结论:

- 1) 钢界面上粘结强度由强到弱排序为:环氧沥青>热沥青>稀释沥青>乳化沥青;纳灰能力由强到弱排序为:热沥青>稀释沥青>乳化沥青>环氧沥青。随着灰量增大,4 种沥青总体都表现出粘结能力下降的趋势,因此施工时因注意除尘。
- 2) 高温会导致粘层油自身粘结力降低,因此在选择粘层油时北方地区比南方地区更应该强调粘层油和界面间的粘结强度。
- 3) 养护时间对于沥青的粘结强度影响是明显的。适当延长养护时间有利于提高乳化沥青和稀释沥青的粘结强度。环氧沥青亦需要高温养护来保证其完成化学固化作用以形成强度。
- 4) 热沥青作为粘层油时需要上面层摊铺迅速,粘结效果更好,乳化沥青作为粘层油时需要适当的破乳时间再进行上面层摊铺,粘结效果更好。
- 5) 25℃室温和 5℃低温对热沥青的粘结性能影响较大(+37.2%),而对环氧沥青的粘结性能影响不大(+3.8%),相比其他种类的粘层油,环氧沥青的自身粘结性能在冬季不会有较大提升。

### 参考文献:

- [1] 冯德成,宋宇. 沥青路面层间结合状态试验与评价方法研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,2007,39(4):627-631.
- [2] 徐骁龙,叶奋,宋卿卿,等. 沥青疲劳评价指标试验研究[J]. 华东交通大学学报,2014,31(2):14-19.
- [3] KING G, AND R, MAY. New approaches to tack application[C]// The 83th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., 2003.
- [4] 刘凯, 沥青加铺层“黑白”界面粘结性能研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2012:8.
- [5] 罗志刚,曾俊,王随原. 界面污染对半刚性基层与沥青面层层间粘结性能影响的试验研究[J]. 中外公路,2011,31(2):47-50.
- [6] 田小革,文湘,于斌. 排水性沥青路面防水粘结层拉拔性能试验研究[J]. 交通科学与工程,2012,28(1):10-15.
- [7] 田健君. 基于薄层罩面的粘层油粘结效果评价[D]. 上海:同济大学,2014:32-33.
- [8] 张志勇. 沥青路面夹层抗裂及粘结性能研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2007:14.
- [9] 陈明星. 沥青路面层间粘结检测方法评价指标研究[D]. 西安:长安大学,2011:23-25.

(下转第 36 页)

## Research on Application of Composite Modified High Viscosity Asphalt in Drainage Pavement

Ye Fen<sup>1,2</sup>, Yang Siyuan<sup>1</sup>

(1.Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804;

2. School of Architectural Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830047, China)

**Abstract:** To solve the existing problem of low standard of drainage asphalt pavement and lack of uniform criteria for the production and evaluation of high viscosity asphalt, the SBS/CRM composite modified method was adopted to obtain high viscosity asphalt and the reasonable dosage of CRM was determined according to the 175 °C rotational viscosity and the softening point and elastic recovery rate. Results of road performance tests such as Hamburg rutting test and Cantabro loss test on the OGFC-13 mixture were analyzed to give recommendations on existing technical standards. The results show that the optimum content of CRM is 20% mixed with 3.5% SBS concerning the viscosity and high temperature capacity, and the dynamic stability of the OGFC mixture is higher than 6 000 times/mm. The 175 °C viscosity, softening point and elastic recovery rate were recommended to ensure the quality of composite modified high viscosity asphalt, whose viscosity should be controlled at 2~5 Pa·s with the softening point higher than 80 °C and the recovery rate more than 75%. The dynamic stability of OGFC mixture no less than 5 000 times/mm is also suggested.

**Key words:** drainage asphalt pavement; composite modification; high viscosity asphalt; evaluation index

(责任编辑 王建华)

(上接第 22 页)

## Study on Influence Factors of Bonding Performance for Interlayer Bonding Material and Steel Interface

Huang Weidong<sup>1</sup>, Yan Chuanqi<sup>1</sup>, Tian Jianjun<sup>2</sup>

(1.Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2.East China Electric Power Design Institute, Shanghai 200063, China)

**Abstract:** The bonding quality of interlayer bonding material and steel interface is easily affected by temperature and ash, which may cause interlayer pollution and damage pavement. In this paper, an experimental study testing the drawing behavior of brick surface bonding strength was designed to investigate the factors that influence the bonding strength of 4 kinds of asphalt and steel interface, and concluded each kind of asphalt's tolerant ability to ash. Furthermore, some construction proposals were given concerning maintenance time and construction temperature.

**Key words:** road engineering; interlayer bonding material; influence factors of bonding strength; ash tolerance

(责任编辑 王建华)