

# 沥青混凝土桥面铺装结构层间剪切与拉拔试验

王亚玲<sup>1</sup>, 周玉利<sup>2</sup>, 姚爱玲<sup>1</sup>, 张宜洛<sup>1</sup>

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 长安大学 工程设计研究院, 陕西 西安 710064)

**摘 要:**针对桥面铺装层间的抗剪强度和粘结强度不足而产生剥落、松散和拥包等病害, 采用 MTS810 试验机、剪切仪和拉拔仪, 研究了不同防水涂膜的最佳用量、不同剪切速率和不同温度对层间抗剪强度的影响, 并对比分析了不同防水涂膜的层间粘结强度, 以供正确地选择防水涂膜。结果表明: SBS 改性沥青和改性乳化沥青具有良好的抗剪性能; 剪切速率的变化对 SBS 改性沥青抗剪强度影响最大; SBS 改性沥青耐高温性能最好; 改性乳化沥青和 SBS 改性沥青 2 种防水涂膜粘结强度较高, 表现出良好的延伸性能; 层间剪切强度与粘结强度之间呈二次曲线关系。

**关键词:**道路工程; 沥青混凝土; 桥面铺装; 防水涂膜; 剪切强度; 粘结强度

**中图分类号:** U443.33

**文献标志码:** A

## Test of shear and pull-off between asphalt and concrete on bridge deck pavement structure

WANG Ya-ling<sup>1</sup>, ZHOU Yu-li<sup>2</sup>, YAO Ai-ling<sup>1</sup>, ZHANG Yi-luo<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Institute of Engineering Design,

Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to solve the diseases including spalling, loose and upheaval caused by lacking of shear strength and bond strength of bridge pavement layer, this paper studied the influence of optimum content of different waterproof films, different shear rates and different temperatures on the interlayer shear strength by using MTS810, shear apparatus and pull-out apparatus. It also analyzed the bond strength of different water proof films to accurately select water proof film. The results indicated that: SBS modified asphalt and modified asphalt emulsion have a good shear performance; the variety of shear rate has a significant effect on the shear strength of SBS modified asphalt; the high temperature resistance of SBS modified asphalt is the best; the bond strength of modified asphalt emulsion and SBS modified asphalt is fairly high, and they have good extension properties; the relationship between interlayer shear strength and bond strength is a quadratic curve. 4 tabs, 5 figs, 10 refs.

**Key words:** road engineering; asphalt concrete; bridge pavement; water proof film; shear strength; bond strength

0 引言

近年来,随着中国公路桥梁建设的快速发展,桥梁结构不断创新,大跨桥梁已很普遍。《公路沥青路面施工技术规范》对沥青混凝土铺装结构的设计,主要从所用材料、做法及厚度等方面作了指导性的说明,桥面铺装层只作为桥梁工程的附属结构,设计者对其一般不作专门的分析计算。但随着交通量、超载车辆的增加,桥面铺装早期破坏越来越明显,它不仅妨碍正常交通运营,影响桥面美观,而且易造成交通事故,从而影响高速公路使用功能的发挥。沥青混凝土桥面铺装最主要的病害是桥面的剥落、松散和拥包等,究其原因,主要是由于桥面铺装层间的抗剪强度或粘结强度不足引起的<sup>[1-8]</sup>。抗剪强度是桥梁结构设计的主要指标,故需对其进行深入的研究,以便为桥梁结构设计提供依据。

铺装结构层间稳定性主要包括层间剪切和层间拉拔。本文利用 MTS810(多功能材料试验机)试验机、剪切仪和拉拔仪,对桥面铺装层间的抗剪强度和粘结强度进行研究。通过室内模拟试验,分析影响层间稳定性的因素,研究不同防水材料抗剪强度和粘结强度的变化规律,建立抗剪强度和粘结强度之间的相关关系<sup>[9-10]</sup>。

1 桥面铺装结构层间剪切试验

1.1 试验仪器与试件制备

室内剪切试验采用的仪器主要包括带有环境箱的 MTS810 试验机、配套的电脑数据采集仪和剪切仪器。

试件由沥青混凝土试块(63.5 mm±1.3 mm)、防水层和水泥混凝土试块共 3 部分组成。防水材料选用 SBS 改性沥青、FYT-1 型防水涂料和改性乳化沥青共 3 种防水涂膜。

1.2 试验方案

(1)确定各种涂膜的最佳用量。对各种涂膜在一定的范围内变动其用量,其他试验参数不变,进行层间剪切试验,确定不同涂膜的最佳用量。

(2)在各种涂膜的最佳用量下,变动剪切速率,其他试验参数不变,进行剪切试验,找出层间抗剪强度随剪切速率变化的规律。

(3)在不同的温度下,进行剪切试验,考察温度变化对层间抗剪强度的影响。

1.3 试验结果处理

试验结果处理采用的剪应力计算公式为

$$\tau = \frac{F}{S} \tag{1}$$

式中:τ 为剪应力(MPa);F 为拉力(N);S 为剪切面积(m²)。

这里  $S = \pi \times 0.05^2 = 7.85 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$ ,则  $\tau = \frac{F}{7.85 \times 10^{-3}} \text{ (MPa)}$ 。

1.4 试验结果分析

在室温 25℃±2℃ 下进行试验,测试不同防水层材料的剪切强度,剪切试验如图 1 所示。

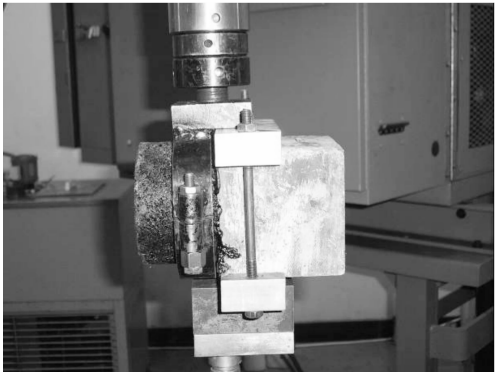


图 1 剪切试验

1.4.1 涂膜最佳用量的确定

3 种防水涂膜的最佳用量如图 2 所示。

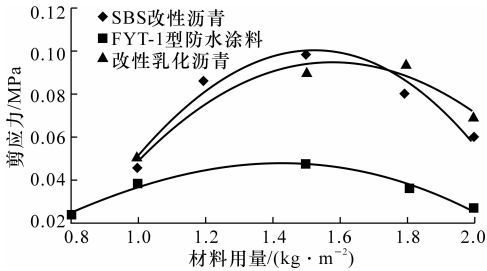


图 2 3 种防水材料的抗剪效果

由图 2 可以看出:SBS 改性沥青、FYT-1 型防水涂料和改性乳化沥青单位面积的最佳用量分别为 1.3~1.6 kg/m²、1.4~1.6 kg/m² 和 1.5~1.8 kg/m²。另外依据试验结果,在常规材料用量 1~2 kg/m² 的情况下,SBS 改性沥青和改性乳化沥青都具有良好的抗剪性能,要远远好于 FYT-1 型防水涂料的抗剪性能。

1.4.2 不同剪切速率对层间抗剪强度的影响

试验温度为 25℃±2℃,改变剪切速率,考察其对层间抗剪强度的影响。剪切试验结果见下页表 1。

对试验数据进行回归分析,得到回归曲线为幂函数曲线,回归方程分别为

$$\begin{aligned} \text{SBS 改性沥青} \quad \tau_{\max} &= 0.0418V^{0.5889} \\ R^2 &= 0.983 \end{aligned}$$

表 1 不同剪切速率下的层间抗剪强度

剪切速率/ (mm·min <sup>-1</sup> )		5	7	10	20	30	50
$\tau_{\max}$ / MPa	SBS 改性沥青	0.098 0	0.144 4	0.169 7	0.232 7	0.317 8	0.411 8
	FYT-1 型防水涂料	0.048 3	0.064 7	0.080 0	0.106 9	0.123 5	0.159 2
	改性乳化沥青	0.090 1	0.112 5	0.129 1	0.155 7	0.182 8	0.233 0

FYT-1 型防水涂料 $\tau_{\max}=0.024\ 1V^{0.489}$

$R^2=0.982$

改性乳化沥青稀浆封层 $\tau_{\max}=0.051\ 2V^{0.382\ 1}$

$R^2=0.985$

式中: $\tau_{\max}$ 为层间抗剪强度(MPa); $V$ 为试验剪切速率(mm/min); $R^2$ 为相关系数。

3 种防水涂膜的抗剪强度都随着剪切速率的增大而增大,且呈幂指数关系增长。SBS 改性沥青抗剪强度随剪切速率的变化幅度最大,说明剪切速率的变化对 SBS 改性沥青抗剪强度影响最大。

1.4.3 不同温度对层间抗剪强度的影响

在剪切速率 5 mm/min 的条件下,改变试件的温度,观察温度变化对抗剪强度的影响。试验结果如表 2 和图 3 所示。

表 2 不同温度对层间抗剪强度的影响

材料类型	不同温度(℃)下的抗剪强度/MPa		
	25	40	60
SBS 改性沥青	0.098 0	0.048 3	0.023 4
FYT-1 型防水涂料	0.048 0	0.022 4	0.006 2
改性乳化沥青	0.090 1	0.044 7	0.015 0

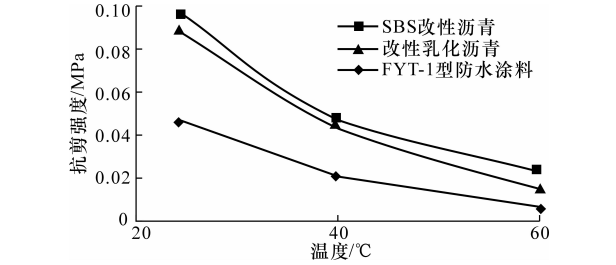


图 3 3 种材料的层间抗剪强度随温度的变化曲线

由图 3 可看出,3 种防水材料的层间抗剪强度在常温下最高,随着温度的升高,抗剪强度呈降低趋势。

由表 2 可看出,不同的防水涂膜对温度的敏感性也不同,SBS 改性沥青 60 ℃时的  $\tau_{\max}$  值分别相当于 40 ℃和 25 ℃时  $\tau_{\max}$  值的 1/2 和 1/4; FYT-1 型防水涂料 60 ℃时的  $\tau_{\max}$  值分别相当于 40 ℃和 25 ℃时  $\tau_{\max}$  值的 1/4 和 1/8;改性乳化沥青 60 ℃时  $\tau_{\max}$  值分别相当于 40 ℃和 25 ℃时  $\tau_{\max}$  值的 1/3 和 1/6。由此可见,在夏季高温时,层间抗剪强度大大降低,降到常温时的 1/8~1/4。SBS 改性沥青耐高温性

能较好,FYT-1 型防水涂料耐高温性能较差,改性乳化沥青介于两者之间。

2 桥面铺装层间拉拔试验

拉拔试验的目的是测试不同防水层与水泥混凝土桥面、防水层与沥青混凝土面层间的粘结强度,并对比分析不同防水材料的层间粘结强度,评价其粘结性能。

试验仪器主要为带有环境箱的 MTS810 试验机、与 MTS810 试验机配套的电脑数据采集系统、直径 15 cm 的圆形粘结拉盘、马歇尔试件成型设备和各种粘结剂(环氧树脂、固化剂),如图 4 所示。



图 4 拉拔试验

在室温为 25 ℃±2 ℃、剪切速率 50 mm/min 的条件下进行拉拔试验,试验结果见表 3。

表 3 同一条件下 3 种材料粘结力及粘结强度的比较

材料类型	粘结力/N	平均粘结力/N	平均粘结强度/MPa
SBS 改性沥青	2 833.939	3 053.325	0.389
	2 845.943		
	3 480.094		
FYT-1 型防水涂料	2 332.019	1 996.173	0.254
	1 760.327		
	1 896.173		
改性乳化沥青	3 856.841	3 351.401	0.427
	2 235.487		
	3 961.867		

从上述试验结果可以看出,防水材料不同,其粘结强度有明显的区别,其大小排序为:改性乳化沥青、SBS 改性沥青、FYT-1 型防水涂料。在拉拔过程中,混凝土与防水层脱离开达 1~3 cm,但材料仍呈薄膜状,连在中间而未断裂,说明材料的延伸性能和防水性能相当好,其中改性乳化沥青和 SBS 改性沥青 2 种防水材料表现尤为突出。

将常规条件下试验得到的 3 种防水涂膜的剪切

强度和粘结强度列于表 4;分析两者之间的关系,结果如图 5 所示。

表 4 3 种材料的剪切强度和粘结强度

材料类型	剪切强度/MPa	粘结强度/MPa
SBS 改性沥青	0.098	0.389
FYT-1 型防水涂料	0.048	0.254
改性乳化沥青	0.090	0.427

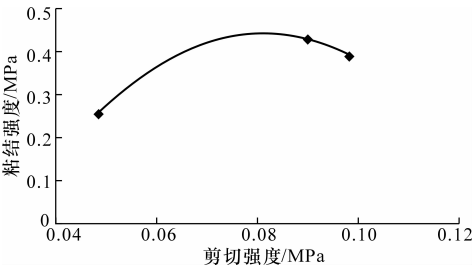


图 5 防水材料剪切强度与粘结强度的关系

由图 5 可以看出,2 种强度指标的关系呈二次曲线关系,对其进行分析,得到其方程式为

$$Y=-177.38X^2+28.598X-0.71$$

$$R^2=0.99$$

式中: $Y$  为粘结强度(MPa); $X$  为剪切强度(MPa)。

3 结 语

(1)利用 MTS810 测试系统对桥面铺装层进行层间剪切试验,得到 SBS 改性沥青、FYT-1 型防水涂料和改性乳化沥青单位面积的最佳用量,并且在常规材料用量 1~2 kg/m<sup>2</sup> 下,SBS 改性沥青和改性乳化沥青具有良好的抗剪性能。

(2)通过剪切试验,得到铺装结构层层间抗剪强度随剪切速率和试验温度的变化规律。剪切速率的变化对 SBS 改性沥青抗剪强度影响最大。SBS 改性沥青耐高温性能最好,FYT-1 型防水涂料耐高温性能较差,改性乳化沥青介于两者之间。

(3)通过拉拔试验,获得不同防水层粘结强度的变化规律,其中改性乳化沥青和 SBS 改性沥青 2 种防水涂膜的延伸性能和防水性能表现尤为突出。

(4)室内试验得到层间剪切强度和粘结强度的强度指标呈二次曲线关系。

参考文献:

References:

[ 1 ] 杨 军,潘友强,邓学钧. 桥面铺装浇注式沥青混凝土性能[J]. 交通运输工程学报,2007,7(1):49-53.  
YANG Jun,PAN You-qiang,DENG Xue-jun. Gussas-

phalt performances on bridge deck[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2007,7(1):49-53.

[ 2 ] 裴建中,胡长顺,张占军. 桥面防水材料路用性能[J]. 交通运输工程学报,2001,1(4):33-36.  
PEI Jian-zhong,HU Chang-shun,ZHANG Zhan-jun. Road performance of waterproof material for concrete bridge decks [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2001,1(4):33-36.

[ 3 ] 裴建中,胡长顺,王祥鲁. 建筑防水材料用作桥面防水的可行性分析[J]. 长安大学学报:自然科学版,2002,22(6):29-32.  
PEI Jian-zhong,HU Chang-shun,WANG Xiang-lu. Application of waterproofing materials for building to concrete bridge decks [J]. Journal of Chang'an University:Nature Science Edition,2002,22(6):29-32.

[ 4 ] 郝培文,胡 磊,陈志一,等. 大跨径钢箱梁桥面铺装研究与发展[J]. 筑路机械与施工机械化,2008,25(6):12-16.  
HAO Pei-wen,HU Lei,CHEN Zhi-yi,et al. Research and development of deck pavement in long-span steel box girder [J]. Road Machinery & Construction Mechanization,2008,25(6):12-16.

[ 5 ] 高雪池. 桥面排水与防水的研究[D]. 南京:东南大学,2002.

[ 6 ] 张占军,胡长顺,王秉纲. 水泥混凝土桥面沥青混凝土铺装结构设计方法研究[J]. 中国公路学报,2001,14(1):56-59.  
ZHANG Zhan-jun,HU Chang-shun,WANG Bing-gang. Research on the design method of asphalt concrete pavement for concrete bridge deck structure[J]. China Journal of Highway and Transport,2001,14(1):56-59.

[ 7 ] 沙庆林. 高速公路沥青路面早期破坏现象预防[M]. 北京:人民交通出版社,2001.

[ 8 ] 王笑风,胡仁东,张占军,等. 混凝土桥面防水层直剪试验[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(4):30-34.  
WANG Xiao-feng,HU Ren-dong,ZHANG Zhan-jun,et al. Shear test on concrete bridge decks with waterproofing layer [J]. Journal of Chang'an University : Nature Science Edition,2006,26(4):30-34.

[ 9 ] JTG E30—2005,公路工程水泥及水泥混凝土试验规程[S].

[10] 沈春林. 路桥防水材料[M]. 北京:化学工业出版社,2006.