

文章编号:1671-8879(2009)05-0017-04

# 层间界面对混凝土桥面铺装结构性能的影响

徐鸥明<sup>1</sup>, 韩 森<sup>2</sup>, 于静涛<sup>3</sup>

(1. 长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710061; 2. 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; 3. 中国公路工程咨询集团有限公司 中咨华科交通建设技术有限公司, 北京 100195)

**摘 要:**为了评价混凝土桥面铺装层层间界面形式对结构性能的影响,利用复合试件的高温性能试验和疲劳后层间剪切试验,研究了不同界面形式对铺装层高温性能的影响,以及不同界面形式层间抗剪强度随弯拉疲劳次数的变化情况。结果表明:层间界面纹理形式对铺装层高温性能及层间抗剪强度随弯拉疲劳的衰减有显著影响;纹理越丰富,且主要以微观纹理为主的界面,越有利于扩散荷载应力,减小铺装层受力,间接提升铺装层抗变形能力;以界面摩阻力为主要来源的层间抗剪强度,其随弯拉疲劳衰减的速率明显小于以层间粘结力为主要来源的界面。

**关键词:**道路工程;混凝土桥面铺装;层间界面;高温性能;剪切

**中图分类号:**U416.216;U443.33

**文献标志码:**A

## Effect of interlayer interface on structural performance of concrete bridge deck pavement

XU Ou-ming<sup>1</sup>, HAN Sen<sup>2</sup>, YU Jing-tao<sup>3</sup>

(1. School of Material Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China;  
2. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. Zhongzi Huake Traffic Construction Technology Co Ltd, China Highway Engineering Consulting Group Co Ltd, Beijing 100195, China)

**Abstract:** In order to evaluate the impact of interlayer interface on the structural performance of bridge deck pavement, the high temperature performance and the change of shearing strength during the flexural fatigue are studied on the base of wheel tracking test and shearing test after flexural fatigue of combined specimens for different interfaces. Through analyzing the test results, the rutting depth of one hour later, dynamic stability and shearing strength of different flexural fatigue times for different interface combined specimens are obtained. The results show that textures of interface between layers have a significant impact on the high temperature performance of paving layer and the attenuation of shearing strength for interlayer. When the textures are more rich, the interface based on micro-texture mainly is conducive to the spread of load stress, and it can reduces the stress of paving pavement, so it improves anti-deformation capacity indirectly. The shearing strength, which is the major source of friction between two layers, will have a lower decay rate than those reliance on major interlayer bonding force. 8 tabs, 1 fig, 8 refs.

收稿日期:2008-09-20

基金项目:国家西部交通建设科技项目(2007 318 223 01);陕西省交通科技项目(05-05K)

作者简介:徐鸥明(1979-),男,安徽巢湖人,讲师,工学博士,E-mail:omxu@chd.edu.cn.

**Key words:** road engineering; concrete bridge deck pavement; interlayer interface; high temperature performance; shear

# 0 引 言

推移和疲劳破坏是高等级公路混凝土桥面沥青铺装的常见损坏形式,为此,研究人员就如何提高混凝土桥面铺装层性能进行了广泛研究。但研究主要集中在 3 个方面:①桥面铺装层的力学分析<sup>[1-2]</sup>;②提高铺装层的性能,如采用改性 SMA 沥青混合料、环氧树脂混合料等<sup>[3-6]</sup>;③提高防水层材料性能<sup>[7]</sup>。研究人员对混凝土桥面界面纹理虽然认识到其重要性,但对界面纹理如何影响混凝土桥面铺装结构性能则研究不多,尤其是界面纹理形式对铺装层高温性能的影响以及层间抗剪强度受荷载弯拉疲劳次数的影响认识不足。为此,本文通过采用不同的表面粗糙处理工艺,在室内模拟成型不同层间界面的复合式桥面铺装板和小梁,分别进行高温性能试验和疲劳后层间剪切试验,研究层间界面对铺装层结构性能的影响。

# 1 原材料

## 1.1 水泥的技术性质

水泥采用陕西耀县普通硅酸盐水泥,强度等级为 42.5,技术性质如表 1 所示。

表 3 沥青铺装层级配及沥青用量											
筛孔尺寸/mm	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	100	95.0	84.0	70.0	48.0	34.0	24.5	17.5	12.5	9.5	6.0
沥青用量(质量分数)/%	4.3										

表 4 水泥混凝土级配						
筛孔尺寸/mm	26.5	19	16	9.5	4.75	2.36
通过率/%	100	72.4	47.7	19.4	2.5	0

表 5 水泥混凝土配合比			
类 别	水泥	砂	碎石
1 m <sup>3</sup> 混凝土用量/kg	480	660	1 200
砂率/%	30		
水灰比	0.45		

# 2 研究方法

## 2.1 试件成型方法

首先成型 300 mm×300 mm×50 mm 的水泥混凝土板,按照露石、刻槽、凿毛和原状 4 种界面处理方式对水泥混凝土板表面进行粗糙处理,并进行养生。强度形成后,在处理过的表面上涂抹同种材

表 1 水泥技术性质						
表观密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	标准稠度/%	初凝时间/h	终凝时间/h	安定性	3 d 强度/MPa	
					抗压	抗折
3.125	26.3	2.23	4.55	合格	31.9	5.2

## 1.2 沥青的技术性质

铺装层沥青采用新疆克拉玛依 90<sup>#</sup> 石油沥青,其技术性质如表 2 所示。

表 2 沥青的技术性质			
项 目			实测结果
针入度(25 ℃,100 g,5 s)/0.01 mm			86.3
不同温度(℃)的延度(拉伸速率不小于 5 cm/min)/cm	25		>150
	15		110
软化点(环球法)/℃			48.5
溶解度(三氯乙烯)/%			99.2
旋转薄膜加热试验 (163 ℃,5 h)	质量损失/%		-0.07
	加热后针入度/0.01 mm		77
	加热后不同温度 (℃)的延度/cm	25	>100
		15	83
闪点(开口式)/℃			300
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )			0.99

## 1.3 混凝土及铺装层配合比

沥青铺装层级配及沥青用量如表 3 所示。  
水泥混凝土级配及配合比如表 4、表 5 所示。

表 3 沥青铺装层级配及沥青用量											
筛孔尺寸/mm	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	100	95.0	84.0	70.0	48.0	34.0	24.5	17.5	12.5	9.5	6.0
沥青用量(质量分数)/%	4.3										

料和用量的防水层,并将水泥混凝土试板置于 300 mm×300 mm×100 mm 高的车辙试模中,按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》所述轮碾试验方法,在涂抹有防水层的水泥混凝土板上成型 300 mm×300 mm×50 mm 铺装层试件,最终制成尺寸为 300 mm×300 mm×100 mm 的不同层间界面的水泥混凝土沥青铺装层复合试板。

## 2.2 试验方法

### 2.2.1 复合试板高温性能试验

对制成的 300 mm×300 mm×100 mm 复合试板,按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》所述沥青混合料车辙试验方法,进行高温性能试验,试验温度为 60 ℃,轮压为 0.7 MPa。

### 2.2.2 复合小梁疲劳剪切试验

将尺寸为 300 mm×300 mm×100 mm 的复合

试板,切割成 300 mm×106 mm×100 mm 的小梁,在 MTS(多功能材料试验仪)试验机上按三分点加载方式进行复合小梁弯曲疲劳试验。试验时首先测定原状界面复合小梁极限破坏荷载,然后以 0.6 倍极限荷载作为疲劳荷载,进行疲劳加载试验。试验温度为 25 ℃±1 ℃,加载波形为半正矢波,频率为 10 Hz。将经一定时间疲劳的复合小梁取下,并将梁中心处切割为方体试件,试件的尺寸为 106 mm×106 mm×100 mm,然后对切割后的试件进行直剪试验<sup>[8]</sup>,分别测定 0、4、8、12 h 疲劳作用后的层间抗剪强度。直剪试验的试验温度为 25 ℃,剪切速率为 5 mm/min,竖向力为 0.7 MPa。

### 3 试验结果与分析

#### 3.1 层间接触条件对铺装层高温稳定性的影响

4 种不同界面的复合试板高温性能试验结果如表 6 所示。

表 6 4 种界面复合试板的高温性能试验结果

界面	编号	60 min 车辙深度/mm	平均值/mm	动稳定度/(次·mm <sup>-1</sup> )	平均值/(次·mm <sup>-1</sup> )
露石	1	2.666	2.712	2 195.1	1 967.9
	2	2.647		1 903.3	
	3	2.822		1 805.2	
刻槽	1	4.694	4.071	1 624.6	1 775.1
	2	4.149		1 707.1	
	3	3.369		1 993.6	
凿毛	1	2.756	3.031	1 869.0	1 822.8
	2	3.063		2 051.4	
	3	3.275		1 547.9	
原状	1	4.801	3.779	1 672.9	1 789.3
	2	3.051		1 729.1	
	3	3.484		1 965.8	

由表 6 可以看出,层间界面形式差异导致复合试板高温性能有明显差异。露石界面表现出了良好的高温性能,60 min 铺装层车辙深度分别比刻槽界面、凿毛界面和原状界面减小了 50.1%、11.8%和 39.3%,而动稳定度则相应提高了 10.9%、8.0%和 10.0%;虽然凿毛界面复合试板高温性能相比露石界面有一定的下降,但 60 min 铺装层车辙深度分别比刻槽界面和原状界面减小了 34.3%和 24.7%,而动稳定度则分别提高 2.6%和 1.8%;刻槽界面和原状界面高温性能相差不大。这表明,在其他条件相同的情况下,混凝土桥面界面形式对上面的铺装层高温稳定性能有显著影响。这是因为层间粗糙的表面界面有利于将铺装层荷载传递到混凝土板中,减

小了铺装层的内部应力,使得铺装层中颗粒移动能力大大减弱,最终表现为铺装层高温性能得到提高。

#### 3.2 层间接触条件对复合小梁疲劳剪切性能的影响

4 种不同接触条件的复合小梁疲劳后剪切试验结果如表 7 所示。

表 7 4 种界面复合小梁疲劳后剪切试验结果

界面	不同疲劳次数 N(次)的层间抗剪强度/MPa			
	0	144 000	288 000	432 000
露石	0.688	0.593	0.572	0.553
刻槽	0.425	0.316	0.272	0.148
凿毛	0.552	0.456	0.432	0.348
原状	0.436	0.322	0.283	0.140

由表 7 可以看出,经受一定弯拉疲劳作用后,层间抗剪强度出现了衰减。这是因为,在高频的弯拉应力作用下,层间结构体系不断的反复拉伸变形,由于混凝土和沥青铺装层的模量差异,使得层间结构不能保证完全的协调变形,导致粘结强度降低,从而造成层间抗剪强度不断衰减。此外,界面不同,疲劳对复合小梁的层间抗剪强度影响也不一样,主要表现在露石界面和凿毛界面抗剪强度衰减程度明显弱于刻槽界面和原状界面抗剪强度。

将不同界面层间抗剪强度随疲劳作用时间的结果绘制成图,并按指数形式对结果进行拟合,如图 1 和表 8 所示。

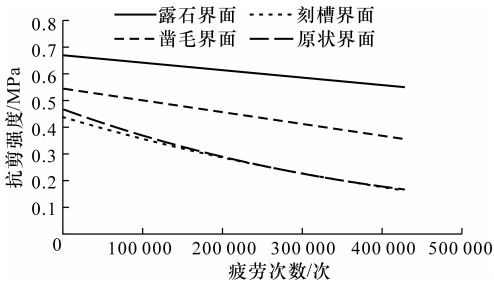


图 1 疲劳次数与层间抗剪强度的关系

表 8 4 种界面结构的疲劳回归方程参数

参 数		露石界面	刻槽界面	凿毛界面	原状界面
拟合 参数	$k$	0.664 9	0.445 8	0.547 2	0.464 2
	$a$	$5\times10^{-7}$	$2\times10^{-6}$	$1\times10^{-6}$	$2\times10^{-6}$
相关性	$R^2$	0.859 6	0.927 9	0.957 1	0.901 7

表 8 中拟合参数  $a$  表征了层间抗剪性能受疲劳的影响, $a$  值越小,层间抗剪强度疲劳曲线越平缓,可认为层间界面的抗剪性能受疲劳次数增加的影响越不敏感;而参数  $k$  反映了层间初始抗剪性能, $k$  值越大,表明层间结构初始抗剪强度越高; $R^2$  为相关系数。

由表 8 可以看出,露石界面初始抗剪强度最大,

其次是凿毛界面,刻槽界面和原状界面相差不大;而抗剪强度对层间疲劳的敏感程度则刚好相反,刻槽界面和原状界面最敏感,其次是凿毛界面,露石界面最不敏感。由此可见,采用露石界面,层间不仅可以得到优良的初始抗剪强度,而且在经受行车荷载反复弯拉疲劳作用后也能保持良好的抗剪性能;凿毛界面由于其表面具有随机分布的宏观和微观纹理,其初始抗剪性能尚可,但在经受行车荷载反复作用后,容易很快衰减;而刻槽界面和原状界面不仅初始抗剪强度有限,而且随着行车荷载的弯拉疲劳次数增加,层间抗剪强度会迅速衰减,容易在后期造成铺装层破坏。

### 3.3 机理分析

界面对复合试板高温性能的贡献不同,是因为这种贡献主要取决于微观构造与宏观构造在空间的分布状态。露石界面由于一部分石料外露,在具有良好的宏观构造的同时,还拥有外露石料表面纹理贡献的微观构造,这样宏观构造和微观构造形成 1 个三维立体的粗糙界面,使得与上面铺装层粘结得非常紧密,从而在荷载作用下能够有效扩散荷载。凿毛界面和露石界面类似,只不过其微观构造是由凿开的砂浆贡献,而砂浆的粘附强度不如石料,因此其高温性能会略差。而对于原状界面,仅有微观构造,主要是表面砂浆层贡献,近似平面分布,不利于增加层间摩阻力,故其上面的铺装层高温性能会弱于露石界面和凿毛界面。虽然刻槽界面相比原状界面增加了一部分宏观构造,但也牺牲了一部分微观构造。同时,这种宏观构造是规则的,与露石界面和凿毛界面的随机分布不同,因此刻槽界面和原状界面相当。由此可见,复合试板高温性能提高的实质是粗糙的层间界面提高了荷载应力的扩散效应,降低了铺装层的受力。

桥面铺装的层间抗剪性能与桥面板的表面纹理、防水粘结层的粘结性能及铺装层的性能有关。表面纹理粗糙,防水层的粘结性能和铺装层抗剪性能好,则层间结构层具有良好的抗剪性能,反之亦然。当防水层和沥青铺装层材料相同时,层间结构的抗剪性能取决于桥面板的表面纹理构造。对于露石界面,层间剪应力大部分由层间的摩阻力提供,防水层的粘结力处于次要的地位;而对于凿毛界面,层间摩阻力对层间抗剪性能的贡献比例小于露石界面,层间防水层粘结地位有所上升;对刻槽界面和原状界面,层间摩阻力对抗剪强度的贡献远小于露石界面,防水层的粘结力起主要贡献。当层间结构层

在反复的张拉应力作用下,高聚物防水材料在承受各种应力时层间出现粘结薄弱的区域,其聚集态结构、化学结构和机械性质发生不同程度的变化;同时,应力松弛来不及形成,防水粘结层分子之间发生断裂,分子力下降。因此,在高频荷载作用下,防水层的粘结性能显著下降。这样,抗剪强度中主要以界面摩阻力为主的露石界面受到的影响最小;而防水层粘结作用占据一定地位的凿毛界面受到的影响就大些;对于抗剪强度主要由防水层粘结作用贡献的刻槽界面和原状界面,则受影响的程度最大。宏观表现为露石界面抗剪强度受疲劳次数影响最小。

综上所述,在工程实践中,必须重视对层间界面的处理,尽可能形成类似露石界面的纹理形态,以获得良好的混凝土桥面铺装性能。

## 4 结 语

(1)界面粗糙与否会对混凝土桥面铺装层高温性能有显著影响,这种影响主要取决于纹理在空间上的分布。

(2)层间粗糙的界面有利于将铺装层荷载传递到水泥混凝土板中,从而减小铺装层的内部应力,使得铺装层中颗粒移动、变位能力大大减弱,最终表现为铺装层高温性能得到提高。

(3)层间界面对混凝土桥面铺装层层间抗剪性能的衰减有重要影响,界面越粗糙,纹理越丰富,则抗剪强度主要来源于层间摩阻力,防水层的粘结作用起辅助作用,因此层间抗剪强度受弯拉疲劳的影响较小。

(4)复合试板高温性能和复合小梁疲劳剪切试验表明,层间界面是影响桥面铺装层性能的关键。

### 参考文献:

#### References:

- [1] 徐勤武,胡长顺,王 虎. 混凝土桥面复合式铺装层受力分析和设计[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2007, 27(4): 28-32.  
XU Qin-wu, HU Chang-shun, WANG Hu. Mechanic analysis and design of composite type overlay on concrete bridge pavement[J]. Journal of Chang'an University, Natural Science Edition, 2007, 27(4): 28-32.
- [2] 钱振东,李 智,陈春红. 钢桥面环氧沥青混凝土铺装层 I 型裂缝的断裂判据[J]. 中国公路学报, 2008, 21(5): 33-38.