

# 新旧沥青路面黏结界面处理方式对路面性能的影响试验

邵珠涛<sup>1,2</sup>, 陶家清<sup>3</sup>, 黄杨权<sup>1,2</sup>, 艾长发<sup>1,2</sup>, 蒋运兵<sup>4</sup>

(1.西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031; 2.西南交通大学 道路工程四川省重点实验室;  
3.中国市政工程西南设计研究总院有限公司; 4.中国水利水电第七工程局有限公司)

**摘要:**为研究新旧沥青路面黏结界面对修补路面性能的影响,采用含界面黏结缝的复合小梁以模拟修补后的新旧沥青路面,以界面黏结材料类型及用量、黏结面形式作为影响因素,分别进行了复合小梁的四点弯曲疲劳和拉拔正交试验。结果表明:①黏结面形式对复合小梁的疲劳寿命影响最大,黏结材料类型对复合小梁的界面黏结强度影响最大;②为综合提高复合小梁的疲劳寿命和界面黏结强度,建议最佳界面处治方案为:采用 $0.6\text{ kg/m}^2$ 的高黏弹改性乳化沥青均匀涂抹在倾斜角为 $30^\circ$ 的切割面;③即使采用结论②中的最佳界面处治方案,其复合小梁的疲劳寿命仍远远低于正常无缝路面。

**关键词:**道路工程; 沥青路面; 修补; 黏结界面; 疲劳寿命; 黏结强度

近年来,中国道路工程工作重心已逐渐由新建转向养护。在道路养护中,路面养护是一项主要工作,占重要地位。沥青路面作为中国的一种主要路面结构形式,其破坏类型、成因及破坏后的修补措施是路面养护技术研究的热点。在路面破损中,裂缝是沥青路面最常见的破坏形式,根据其形成机理不同,可分为荷载型裂缝、温度裂缝和反射裂缝。因此,裂缝修补一直是当前沥青路面修复的重要研究方向,文献[4-6]研究了不同裂缝修补材料的特性及其裂缝修复方法;文献[7]就贴缝带的3种主要失效模式,提出了以锥入度、软化点、拉拔和低温拉伸4个指标为核心的评价方法和技术要求。坑槽是沥青路面另一种常见的破坏形式,其修补技术也是公路管理部门需要解决的难题,文献[8]指出冷补沥青修补料常被用来进行沥青路面坑槽修补;文献[9]则针对填料式、挖补式、热烘式和喷射式4种坑槽修补技术进行了分析和比较,确定了各种坑槽修补技术合理的使用天气和温度。以上研究主要针对沥青路面修补材料及修补工艺,尚未涉及修补界面,而修补工程均存在界面问题,界面的形态、黏结性能也是影响修补质量的重要因素。鉴于此,该文以修补界面为研究对象,重点考察界面黏结材料类型及用量、黏结面形式等因素,开展正交试验,分析新旧沥青路面黏结界面处理方式对修补路面整体性能的影响。

## 1 试验材料

### 1.1 沥青混合料级配材料

试验采用骨架悬浮密实型沥青混合料 SMA-13 制备含界面黏结缝复合小梁,以模拟含界面接缝的新旧沥青路面。混合料中沥青为高黏弹改性沥青,油石比为 $6.18\%$ ,粗集料为玄武岩碎石,细集料为机制砂,矿粉采用石灰石碱性矿粉,纤维采用木质素纤维,掺量为 $0.3\%$ 。混合料级配组成如表1所示。

表1 SMA-13 矿料级配

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
16	100	1.18	19
13.2	95	0.6	16
9.5	62	0.3	13
4.75	27	0.15	12
2.36	20	0.075	10

### 1.2 黏结剂性质

黏结界面分别采用普通乳化沥青、高黏弹改性乳化沥青、树脂乳化沥青进行黏结,其主要性能见表2。

收稿日期:2018-05-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51378438);成都市交通科技项目(编号:JHFDD-JSFW-001)

作者简介:邵珠涛,男,硕士研究生.E-mail:523041828@qq.com

表 2 黏结剂性能指标

试验项目	单位	普通	高黏弹	树脂
		乳化 沥青	改性乳 化沥青	乳化 沥青
沥青标准黏度	s	12	19	16
蒸发物残留量	%	59	61	52
针入度(100 g, 25 ℃,5 s)	0.1 mm	90	55	70
蒸发残 留物 延度(5 ℃)	cm	41	86	75
软化点	℃	62	98	78

2 试验方案与结果

2.1 方案设计

对于新旧沥青路面,影响其界面黏结性能的因素主要包括黏结材料类型及用量、黏结面形式等,以上因素相互作用、相互影响。通过室内试验研究三者对  
新旧沥青路面黏结界面影响,试验包含 2 个 3 水平因素,1 个 6 水平因素(表 3)。为方便对试验方案进行正交处理,提高试验结果的精确性,将其转换为 2 个 3 因素 3 水平试验,按表 4 正交试验表进行方案设计,所得试验方案如表 5 所示。

表 3 试验因素水平

试验 水平	试验因素		
	黏结材料 类型 A	黏结材料用量 B/(kg·m <sup>-2</sup> )	黏结面形式 C
1	普通乳化沥青	0.3	垂直对接
2	高黏弹乳化沥青	0.6	阶梯形直对接
3	树脂乳化沥青	0.9	阶梯形斜一直对接
4	—	—	30°斜对接
5	—	—	45°斜对接
6	—	—	60°斜对接

表 4 正交试验表

试验号	A(1)	B(2)	C(3)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

表 5 正交试验方案

试验 编号	黏结材料种类 A	黏结材料 用量 B/ (kg·m <sup>-2</sup> )	黏结面形式 C
1	普通乳化沥青	0.3	垂直对接
2	普通乳化沥青	0.6	阶梯形直对接
3	普通乳化沥青	0.9	45°斜对接
4	高黏弹改性乳化沥青	0.3	阶梯形直对接
5	高黏弹改性乳化沥青	0.6	45°斜对接
6	高黏弹改性乳化沥青	0.9	垂直对接
7	树脂乳化沥青	0.3	45°斜对接
8	树脂乳化沥青	0.6	垂直对接
9	树脂乳化沥青	0.9	阶梯形直对接
10	普通乳化沥青	0.3	阶梯形斜一直对接
11	普通乳化沥青	0.6	30°斜对接
12	普通乳化沥青	0.9	60°斜对接
13	高黏弹改性乳化沥青	0.3	30°斜对接
14	高黏弹改性乳化沥青	0.6	60°斜对接
15	高黏弹改性乳化沥青	0.9	阶梯形斜一直对接
16	树脂乳化沥青	0.3	60°斜对接
17	树脂乳化沥青	0.6	阶梯形斜一直对接
18	树脂乳化沥青	0.9	30°斜对接

为研究界面黏结缝对  
新旧沥青路面性能的影响,对含界面黏结缝复合小梁进行四点弯曲疲劳试验和拉拔试验。已有资料研究表明:沥青混合料最容易发生疲劳破坏的最不利温度为 13~15 ℃,该文中小梁四点弯曲疲劳试验选取 15 ℃作为试验温度,750 με 作为应变水平。对试验结果进行弃差处理,并保证最终有效小梁不少于 3 根。

2.2 含界面黏结缝复合小梁制作

加工的车辙板模具尺寸为 40 cm×30 cm×5 cm,中间设置可拆卸 0.5 cm×30 cm×5 cm 分隔板,如图 1 所示。为获得新旧沥青路面的不同黏结面形式,加工了相应形状的辅助活动钢板,如图 2 所示。

含界面黏结缝的复合小梁成型过程如下:① 根据试验设计的黏结面形式,在车辙板模具分隔板位置放入对应辅助活动钢板,加入拌和好的混合料碾压成型半块车辙板;② 待混合料冷却后,根据表 5 试验方案,在其黏结面上均匀涂抹相应的乳化沥青材料,在乳化沥青破乳过程中,严格控制周边环境,防止黏结面的污染;③ 待乳化沥青完全破乳后,在已成型的半块车辙板的基础上再成型另半块车辙板,最终形成整块车辙板。成型后的车辙板如图 3 所示;④ 使用切割机对车

辙板试件进行切割,得到 6 根  $5\text{ cm}\times 5\text{ cm}\times 40\text{ cm}$  含界面黏结缝的复合小梁。含不同黏结面形式的复合小梁截面如图 4 所示。

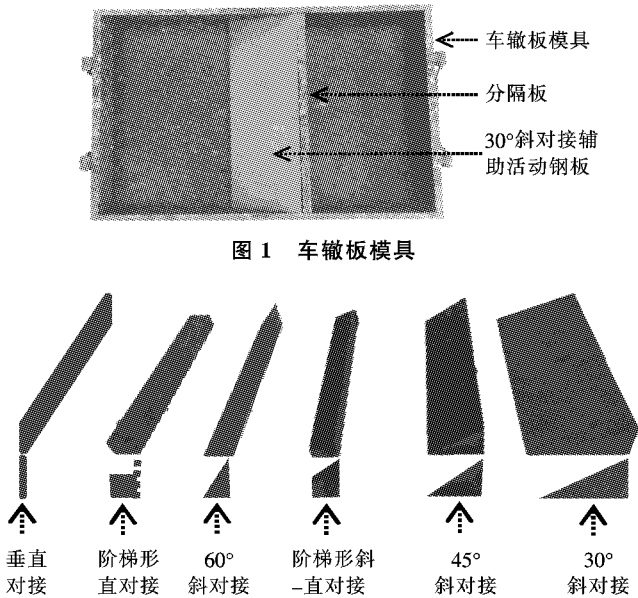


图 1 车辙板模具

图 2 不同黏结面形式的辅助活动钢板

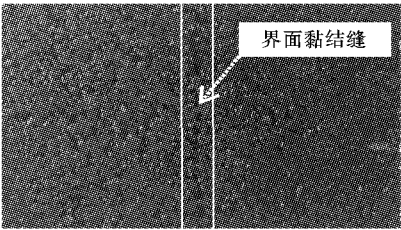


图 3 成型后的车辙板

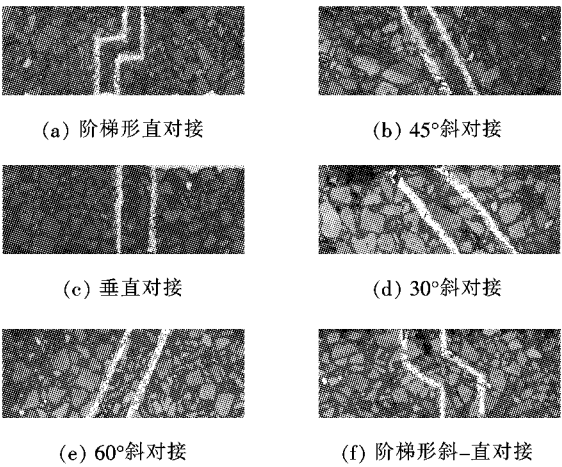


图 4 含黏结面复合小梁截面

2.3 试验方法

在小梁弯曲疲劳试验方法中,有梯形梁疲劳试验(2PB)和小梁四点弯曲疲劳试验(4PB),其中,2PB 为欧洲广泛使用的疲劳试验方法,4PB 则在美国、澳大利亚等地区被广泛使用。中国也广泛采用 4PB 法。该文采用 4PB 法测试含黏结面的复合小梁疲劳性能,采用拉拔试验测试复合小梁的黏结面黏结强度。

2.4 试验结果

对表 5 中的 18 种试验方案按上述试验方法分别测试其疲劳寿命和黏结强度。每种方案选取 6 根复合小梁的试验结果并进行弃差处理,保证有效复合小梁不少于 3 根,得出的试验结果如表 6 所示。

表 6 小梁疲劳寿命和黏结强度试验结果

试验编号	疲劳寿命 $N_f$ /次	黏结强度/MPa	试验编号	疲劳寿命 $N_f$ /次	黏结强度/MPa
1	775	0.217	10	58 698	1.020
2	3 522	0.440	11	62 577	1.008
3	7 112	0.749	12	55 365	0.892
4	23 062	1.233	13	79 849	1.330
5	38 369	1.037	14	69 598	1.356
6	11 213	0.685	15	34 671	1.463
7	13 854	0.902	16	21 495	0.714
8	18 696	1.322	17	35 694	0.775
9	21 658	0.918	18	27 584	1.076

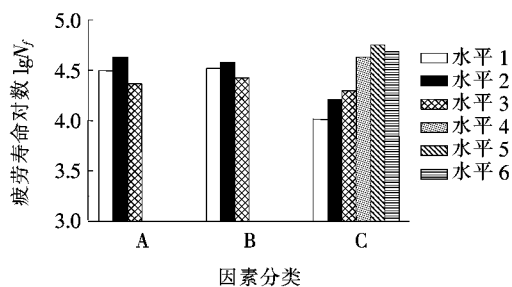
3 基于正交试验的界面最佳黏结方案确定

分别分析因素 A、B、C 对复合小梁疲劳寿命和黏

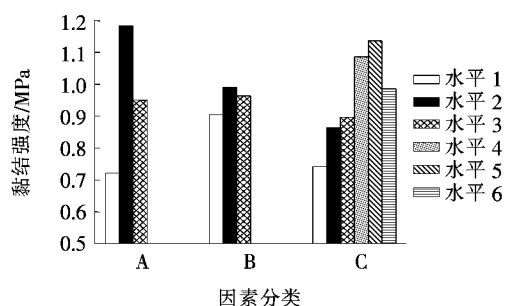
结强度的影响,各因素下的水平值分析结果如图 5 所示。

由图 5 可以看出:

(1) 对复合小梁疲劳寿命影响最大的因素为黏结面形式 C,采用 30°斜对接的复合小梁疲劳寿命是采用



(a) 疲劳寿命在各因素下的水平值



(b) 黏结强度在各因素下的水平值

图 5 试验结果的水平值分析

垂直对接复合小梁的 5.54 倍,而黏结材料类型 A 及其用量 B 对复合小梁疲劳寿命影响较小。因此,为保证含黏结面的新旧沥青路面整体疲劳寿命,采用合适的路面切割面方式显得尤为重要。

(2) 对复合小梁黏结强度影响最大的因素为黏结材料种类 A,高黏弹改性乳化沥青(A2)为最佳黏结剂,普通乳化沥青(A1)为最差黏结剂。采用高黏弹改性乳化沥青作为黏结剂的复合小梁黏结强度是采用普通乳化沥青作为黏结剂的复合小梁的 1.64 倍。

(3) 为提高复合小梁的疲劳寿命和黏结强度,在因素 A 的 3 个水平中,应选择高黏弹改性乳化沥青作为黏结剂,在因素 B 的 3 个水平中,应选择  $0.6 \text{ kg/m}^2$  作为黏结剂用量,在因素 C 的 6 个水平中,应选择  $30^\circ$  斜对接作为黏结面形式。

综上,可以得出,为提高含界面黏结缝沥青路面的整体性能,应对黏结缝进行科学处理,最佳处理方案为:选择  $30^\circ$  作为新旧路面切割面倾斜角度,并用  $0.6 \text{ kg/m}^2$  的高黏弹改性乳化沥青对旧沥青路面黏结面进行黏结处理,即 C5B2A2。

#### 4 界面黏结缝对路面性能的影响分析

通过以上正交试验,可以得到新旧沥青路面黏结缝最佳黏结方案,但其相对于正常无缝路面的性能差

异以及黏结缝优化处理效果还需进一步研究。就此问题,该文考虑工况如表 7 所示,各工况下的小梁试验结果如表 8 所示。

表 7 研究工况

考虑工况	黏结缝情况	作用
1	含垂直无黏结剂的黏结缝	模拟常规修补路面
2	含最佳黏结方案的黏结缝	模拟优化后修补路面
3	无缝	模拟正常无缝路面

表 8 试验结果

考虑工况	疲劳寿命 $N_f$ /次	黏结强度/MPa
1	205	0.022
2	96 896	1.790
3	856 936	3.850

由表 8 可以看出:① 不对黏结面进行任何处理(即工况 1),其复合小梁的疲劳寿命非常低,当采用最佳方案(即工况 2)对复合小梁黏结面进行处理后,可使复合小梁疲劳寿命提高 472 倍,但也只有无缝(即工况 3)小梁的 11.3%。因此,采用最佳方案处理新旧沥青路面接缝,可大幅提高路面疲劳寿命,但接缝仍是路面的薄弱处,接缝的存在会大大降低路面的整体疲劳寿命;② 采用最佳方案(即工况 2)处理过的复合小梁黏结面是垂直无黏结剂黏结面(即工况 1)黏结强度的 80 倍,但即使是采用最佳方案,其复合小梁黏结面黏结强度仍低于正常无缝小梁。因此,对于修补后的新旧沥青路面,界面黏结缝依然是最容易产生破坏的部位。

#### 5 结论

(1) 新旧沥青路面的黏结界面处理方式对路面性能具有明显影响,黏结面形式对疲劳寿命影响最大,界面黏结材料类型对黏结强度影响最大。

(2) 为提高复合小梁疲劳寿命和界面黏结强度,增加新旧沥青路面的整体寿命,应选择的最佳界面黏结方案为:采用高黏弹改性乳化沥青以  $0.6 \text{ kg/m}^2$  的用量均匀涂抹在倾斜角为  $30^\circ$  的切割面。

(3) 复合小梁疲劳试验及黏结试验结果有力证明,界面黏结缝是最容易产生破坏的部位,该缝的存在会大大降低修补后所形成的新旧沥青路面的整体寿命。因此,沥青路面修补工程中应采用合适的切割方

# 基于新版沥青路面设计规范的路面结构设计分析

余四新<sup>1</sup>, 徐飞萍<sup>2</sup>, 刘甲荣<sup>2</sup>, 郭建民<sup>2</sup>, 韦金城<sup>1</sup>

(1.高速公路养护技术交通行业重点实验室, 山东 济南 250031; 2.山东高速股份有限公司)

**摘要:** 在2017版沥青路面设计规范颁布后,为了分析路面结构原设计方案的可行性,根据新规范的规定,对道路轴载谱进行了实测并对路面材料参数进行了室内试验,对路面结构进行了重新设计,并对沥青面层厚度、路床顶面回弹模量等参数对基层疲劳寿命的影响进行了分析。结果表明:根据实测轴载谱,原设计方案半刚性基层疲劳寿命不满足要求,通过增大路床处理深度提高路床顶面回弹模量可显著提高半刚性基层疲劳寿命。轴载谱实测及路面结构分析结果可为半刚性基层沥青路面结构性损坏原因调查提供依据。

**关键词:** 道路工程; 沥青路面设计规范; 路面结构; 轴载谱; 疲劳寿命

2017版沥青路面设计规范采用力学一经验法,根据弹性层状体系理论解分析力学响应,采用多个单项设计指标分别控制相应的路面损坏。路面结构损坏由单一指标控制向多指标控制转变。增加了沥青混合料层永久变形量、路基顶面压应变和路面低温开裂指数设计指标,沥青混合料层设计指标由层底拉应力改变为拉应变,保留无机结合料稳定层层底拉应力设计指标。路表弯沉由设计指标改为检验指标。该版沥青路面设计规范还规定了交通荷载轴载谱检测分析方法,反映了实际交通荷载,路面结构设计更精确。为了对按照2006版沥青路面设计规范设计的山东省省道S222路面结构方案的适应性进行分析,并对原路面结

构设计方案提出优化建议,依据新版沥青路面设计规范的要求对轴载谱进行实测,对路面结构进行设计分析,并对路床顶面回弹模量、沥青层厚度等因素对路面结构性能的影响进行分析研究,提出针对原路面结构方案的指标要求,为新版沥青路面设计规范的使用提供参考。

## 1 项目概况

省道S222(潍坊北—岚山线)是位于山东省胶东半岛中西部的一条省级干线公路,是连接潍坊、日照两市的重要通道。该项目位于山东省日照市岚山区,属

式,并严控切割界面黏结缝的施工质量。

## 参考文献:

- [1] 程惠蕾. 沥青路面坑槽的修补工艺[J]. 中国新技术新产品, 2016(19).
- [2] Roman Gnatenko, Kateryna Tsykunova, Valeriy Zh-danyuk. Technological Sides of Crack Sealing in Asphalt Pavements[J]. Transportation Research Procedia, 2016, 14:804-810.
- [3] 黄允江, 吴少鹏, 刘杰胜, 等. 沥青路面裂缝成因及修补技术研究[J]. 建材世界, 2009(6).
- [4] 吴宁, 张璠. 沥青路面裂缝修补材料的技术性能及控制指标试验研究[J]. 中外公路, 2011(1).
- [5] 唐鹰飞, 顾兴宇, 王文达. 灌缝材料在沥青路面修补中的应用[J]. 现代交通技术, 2010(4).
- [6] 李强, 倪富健, 王文达, 等. 沥青路面裂缝修补材料技术性能对比研究[J]. 公路工程, 2013(6).
- [7] 李峰, 石小培, 徐剑. 沥青路面裂缝贴缝带的性能评价及技术要求[J]. 北京工业大学学报, 2013(12).
- [8] 童立. 沥青路面坑槽快速修补材料研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2014.
- [9] 何波. 沥青路面裂缝和坑槽破损机理与修补技术研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2006.
- [10] 王旭东, 沙爱民, 许志鸿. 沥青路面材料动力特性和动态参数[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [11] 李本亮, 黄卫东, 孟会林, 等. 沥青混合料二点梯形梁与四点小梁疲劳试验方法对比[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2017(1).

收稿日期: 2018-07-29

作者简介: 余四新, 男, 硕士, 高级工程师. E-mail: chd008@126.com