

文章编号: 1671-8879(2010)01-0012-04

# 加锚头丝沥青混凝土路面结构的抗裂性能试验

王 利<sup>1</sup>, 夏永旭<sup>2</sup>, 苏 毅<sup>2</sup>

(1. 西安市市政工程质量监督站, 陕西 西安 710003; 2. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

**摘 要:** 针对沥青混凝土路面开裂问题, 在沥青面层和基层沿道路纵向 布置锚头丝, 对路面结构施加预应力防止路面开裂。通过室内试验, 对加锚头丝和 不加锚头丝的沥青混凝土试件分组做了力学性能对比研究, 并对不同锚头形式的应用效果进行了分析。结果表明: 加锚头丝的沥青混凝土试件比 不加锚头丝的沥青混凝土试件的抗拉强度、抗弯拉强度和疲劳性能分别平均提高了 60.74%、46.40%、134.02%; 锚头形式为直径 1.3 mm 的钢丝焊接角铁试件的抗拉强度值最大, 而锚头形式为直径为 1.1 mm 的铁丝加小螺丝帽试件的抗弯拉强度值和疲劳次数最大。

**关键词:** 道路工程; 沥青混凝土; 锚头丝; 裂缝

**中图分类号:** U 416. 217 **文献标志码:** A

## Experimental research on anti crack performance of asphalt concrete pavement structure with anchor steel

WANG Li<sup>1</sup>, XIA Yong-xu<sup>2</sup>, SU Yi<sup>2</sup>

(1. Xi'an Station of Municipal Engineering Quality Supervision, Xi'an 710003, Shaanxi, China;

2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** Aimed at asphalt concrete pavement cracks, the anchor steels were placed on the base course and the surface course of asphalt pavement structure lengthwise to give the prestress to the structure to prevent the cracks. A research is made contrastively on the test pieces with anchor steel and without anchor steel through indoor experiment to analyze the applicational effects on different types of anchor steel. The result shows that the tensile strength, the bending tensile strength and the fatigue performance of the test pieces with anchor steel are increased to 60.74%, 46.40% and 134.02% separately. The tensile strength of the test pieces with the anchor steel of diameter of 1.3 mm welded angel bar is the maximum, and the bending tensile strength and the fatigue performance of the test pieces with the anchor steel of diameter of 1.1 mm added the small pommel is the maximum. 3 tabs, 10 figs, 11 refs.

**Key words:** road engineering; asphalt concrete; anchor steel; crack

## 0 引 言

沥青路面开裂是世界各国沥青路面使用中遇到

的主要病害之一。路面裂缝会使路表水下渗, 从而给路面结构产生更大的破坏作用, 直至路面逐渐丧失承载能力<sup>[1,2]</sup>。研究表明, 沥青路面裂缝的成因主

收稿日期: 2009-01-10

基金项目: 山东省交通科技项目(2005Y003)

作者简介: 王 利(1976), 女, 山东济宁人, 工程师, 工学硕士, E-mail: wangli10705@tom.com。

要有 2 个: 一是外部原因, 如气候干湿、冷暖温度变化、荷载大小变化和基层反射等; 二是内部原因, 如构成道路材料本身具有的干缩、温缩性能差、疲劳寿命短和抗拉强度低等<sup>[3]</sup>。为了解决沥青路面的开裂问题, 目前国内外普遍采用强基薄面或强基厚面 2 种结构形式。强基薄面这种结构形式的缺点是, 在行车荷载的重力作用及自然条件影响下, 面层薄的公路容易产生反射性裂缝, 导致路面急剧破坏。强基厚面(一般沥青混凝土面层超过 19 cm 以上)虽然能有效预防反射裂缝的产生, 但造价较高, 而且路面本身所产生的温缩裂缝仍然不能得到有效防治<sup>[4,5]</sup>。为此, 本文提出加锚头丝沥青混凝土路面结构, 进行室内对比试验, 并进行力学性能分析, 从而为沥青路面的抗裂设计提供参考依据。

## 1 加锚头丝沥青混凝土结构的设想

### 1.1 基本设想

阻止或延缓沥青混凝土路面裂缝的发展, 延长沥青路面使用寿命, 是工程技术人员一直关心且非常棘手的问题。已有的研究大多基于试验或数学力

学方法, 从理论或材料结构组成方面探求阻止或延缓沥青路面开裂的方法<sup>[6-10]</sup>。但由于沥青混合料特性、沥青路面结构层厚度、上下结构层材料性能差异和结构层间连接状态等因素的影响, 致使沥青路面裂缝扩展的研究尚不系统, 因而问题一直没有得到彻底解决。

本文提出一种新型的路面结构层——加锚头丝沥青混凝土路面结构层。首先将带锚头的钢丝沿道路纵向布设到沥青混凝土路面结构层中, 然后利用热铺沥青的温度(一般大于 150 °C)加热锚头丝, 使其伸长。由于钢丝和沥青混凝土路面材料的胀缩系数不同(一般钢丝的胀缩系数是沥青混凝土材料的 2 倍), 待路面压实温度下降后, 就会给路面结构层施加了预应力(同时, 施加的钢丝应该能够提高沥青混凝土材料的抗拉性能)。通过这种预应力, 可抵抗沥青混凝土路面的开裂。

### 1.2 锚头丝的布设方案

锚头丝沿道路纵向布设, 布设方案有 3 种: ①在路面面层中布设锚头丝; ②在路面基层中布设锚头丝; ③在面层和基层同时布设锚头丝, 如图 1 所示。

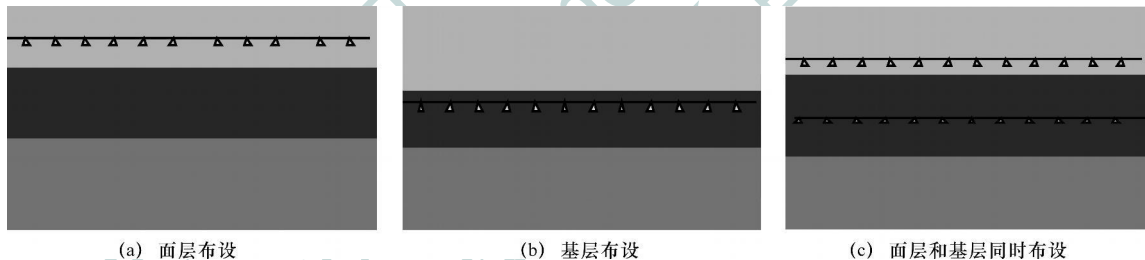


图 1 锚头丝的布设方案

## 2 加锚头丝沥青混凝土结构的试验

### 2.1 试验内容

(1) 加锚头丝沥青混凝土试验: ①抗拉强度试验; ②抗弯拉强度试验; ③疲劳性能试验。

(2) 普通沥青混凝土试验(对比基础数据): ①抗拉强度试验; ②抗弯拉强度试验; ③疲劳性能试验。

### 2.2 试验方法

#### 2.2.1 试件的制作

(1) 试验采取图 1(a) 的面层布设, 而基层布设、面层和基层同时布设将在后续试验中进行。沥青混合料类型为 AG-16, 矿料级配组成为: 10~20 mm 碎石 29%, 5~10 mm 碎石 26%, 3~5 mm 碎石 16%, 中砂 22%, 矿粉 7%, 最佳油石比 4.3%。

(2) 沥青混凝土试件的制作方法采用轮碾法, 试验仪器为轮碾成型机<sup>[11]</sup>。试件尺寸为 300 mm ×

300 mm × 50 mm。锚头丝形式有 4 种: 直径为 0.4 mm 的细钢丝加环氧树脂水泥砂浆锚头; 直径为 0.4 mm 的细钢丝加大螺帽; 直径为 1.1 mm 的铁丝加小螺帽; 直径为 1.3 mm 的钢丝焊接角铁。锚头间距为 200 mm, 丝间距为 100 mm。

(3) 在试模宽度的 1/3、2/3 处及厚度 1/2 处打孔, 将锚头丝从孔中穿过, 用弹簧秤给锚头丝施加 49、98、147 N 重力, 把称好的沥青混凝土装入试模; 按照实验室轮碾法成型, 脱模后切割成尺寸为 40 mm × 40 mm × 300 mm 的试件。试件成型过程如下页图 2~ 图 4 所示。

#### 2.2.2 试件的抗拉强度试验

试验仪器为拉拔仪; 夹具为 4 mm 厚 U 型钢扳(试件 4-5 为第 1 个试件, 抗拉强度试验时发现, 夹具变形较大, 所以在其余试件夹具端部垫入 4 mm 厚的钢片), 并用改性丙烯酸酯粘合在试件的两端

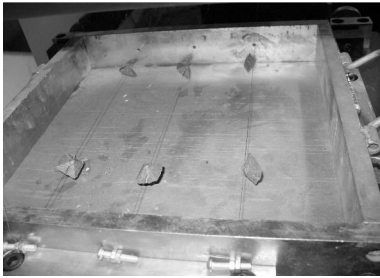


图 2 环氧树脂水泥砂浆块锚头丝



图 3 钢丝焊接角铁锚头丝



图 4 沥青混凝土试件成型

10 cm 处,等待 12 h,粘合剂和试件充分粘合好后放入冰柜中冷冻 4 h,冰柜温度为  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。试件共 4 组,每组 5 个,试验加载速度为  $5\text{ mm/min}$ 。抗拉强度试验过程如图 5、图 6 所示。

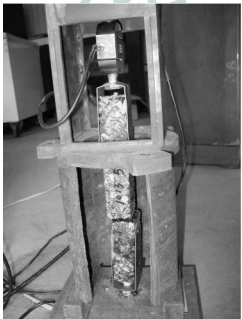


图 5 经过改装的拉拔仪



图 6 拉伸破坏后的试件

### 2.2.3 试件的抗弯拉强度试验

试件的抗弯拉强度由材料测试系统 MTS 试验机测定,采用 3 点法,支点间距为  $20\text{ cm}$ ,加载速度为  $50\text{ mm/min}$ ,试件冷冻温度为  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,共 4 组,每组有 5 个试件。抗弯拉强度试验过程如图 7、图 8 所示。



图 7 MTS 试验机

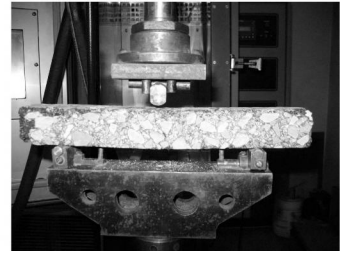


图 8 试件的抗弯拉强度试验

### 2.2.4 试件的疲劳性能试验

试件的疲劳寿命由 MTS 试验机测定,采用 3 点法,支点距离为  $15\text{ cm}$ ,加载频率为  $10\text{ 次/s}$ ,破坏荷载为  $1864.72\text{ N}$ ,取其  $0.25$  倍,即  $466.18\text{ N}$  为施加压力,共 3 组,每组 5 个试件。疲劳性能试验如图 9、图 10 所示。



图 9 试件的疲劳性能试验  
通过 MTS 机加载



图 10 疲劳试验性能  
破坏后的试件

## 2.3 试验数据及结果分析

### 2.3.1 试验数据

下页表 1~ 表 3 给出了试件的抗拉强度试验、抗弯拉强度试验和疲劳性能试验的对比数据。表 1~ 表 3 中: t-1, t-2, .....表示第 1 组试件的试验编号;其他依此类推。

### 2.3.2 结果分析

(1) 抗拉强度。①由表 1 可以看出,有钢丝的试件抗拉强度明显大于无钢丝的试件,且 4 组试件试验结果分别提高了  $31.27\%$ 、 $50.62\%$ 、 $11.76\%$ 、 $115.47\%$ ,平均提高了  $60.74\%$ ;②不同锚头形式的抗拉强度从大到小排序为:直径  $1.3\text{ mm}$  的钢丝焊接角铁,直径  $0.4\text{ mm}$  的细钢丝加大螺丝帽,直径  $0.4\text{ mm}$  的细钢丝加环氧树脂水泥砂浆锚头,直径  $1.1\text{ mm}$  的铁丝加小螺丝帽。

(2) 抗弯拉强度。①由表 2 可以看出,有钢丝的试件抗弯拉强度明显大于无钢丝的普通试件,且 4 组

表 1 抗拉强度试验结果统计

试验编号	拉力/N	跨中截面/ cm <sup>2</sup>	抗拉强度/ MPa	平均值/ MPa	试验编号	拉力/N	跨中截面/ cm <sup>2</sup>	抗拉强度/ MPa	平均值/ MPa
F1(有钢丝)	3 167	16.00	1.979 4	3.162 0	3 2(有铁丝)	5 785	16.40	3.527 4	3.061 2
F2(有钢丝)	5 498	15.99	3.438 4		3 3(有铁丝)	4 048	15.60	2.594 9	
F3(钢丝断)	4 617	16.00	2.885 6	2.408 7	3 4(无铁丝)	4 115	15.60	2.637 8	2.739 0
F4(无钢丝)	4 483	16.10	2.784 5		3 5(无铁丝)	4 320	15.21	2.840 2	
F5(无钢丝)	4 033	16.38	2.462 1		4 1(有钢丝)	5 455	16.00	3.409 4	3.742 9
2 1(有钢丝)	3 296	16.00	2.060 0	4 3(有钢丝)	6 359	15.60	4.076 3		
2 2(钢丝断)	5 105	15.60	3.272 4	2.061 0	4 4(无钢丝)	1 976	16.00	1.235 0	1.737 1
2 3(钢丝断)	4 153	15.60	2.650 6		4 5(无钢丝)	3 493	15.60	2.239 1	
2 4(无钢丝)	2 751	15.60	1.763 5						
2 5(无钢丝)	2 761	15.60	1.769 9						
有钢丝抗拉强度平均值/MPa			3.314 9		无钢丝抗拉强度平均值/MPa			2.062 3	

注: 第 1 组试件锚头形式为直径 0.4 mm 的细钢丝加环氧树脂水泥砂浆锚头, 预加力为 49 N; 第 2 组试件锚头形式为直径 0.4 mm 的细钢丝加大螺丝帽, 预加力为 98 N; 第 3 组试件锚头形式为直径 1.1 mm 的铁丝加小螺丝帽, 预加力为 98 N; 第 4 组试件锚头形式为直径 1.3 mm 的钢丝焊接角铁, 预加力为 98 N; 试件 1-1、2 1、2 3 成型时钢丝被压断, 故相当于无钢丝试件; 试件 3 1 试验时从夹具处开裂, 试件受扭, 故剔除; 试件 4 2 试验前受到碰撞开裂, 故剔除。

表 2 抗弯拉强度试验结果统计

试验编号	抗弯拉强度/ MPa	平均值/ MPa	试验编号	抗弯拉强度/ MPa	平均值/ MPa
F1(有铁丝)	6.683 2	6.965 5	3 1(有钢丝)	6.908 3	7.757 2
F2(有铁丝)	6.521 0		3 2(有钢丝)	8.916 4	
F3(有铁丝)	7.692 3	3.692 4	3 3(有钢丝)	7.447 0	4.434 9
F4(无铁丝)	6.730 7		3 4(无钢丝)	4.141 0	
F5(无铁丝)	0.654 0		3 5(无钢丝)	4.728 8	
2 1(有钢丝)	6.839 6	6.401 5	4 1(有钢丝)	5.194 2	4.824 1
2 2(有钢丝)	6.538 0		4 2(有钢丝)	5.438 3	
2 3(有钢丝)	5.827 0	6.049 3	4 3(有钢丝)	3.839 7	3.548 2
2 4(无钢丝)	6.604 3		4 4(无钢丝)	3.299 7	
2 5(无钢丝)	5.494 3		4 5(无钢丝)	3.796 7	
有钢丝抗弯拉强度 平均值/MPa		6.487 2	无钢丝抗弯拉强度 平均值/MPa		4.431 2

注: 第 1 组试件锚头形式为直径 1.1 mm 的铁丝加小螺丝帽, 预加力为 98 N; 第 2 组试件锚头形式为直径 1.3 mm 钢丝焊接角铁, 预加力为 147 N; 第 3 组试件锚头形式为直径 1.3 mm 钢丝焊接角铁, 预加力为 98 N; 第 4 组试件锚头形式为直径 1.3 mm 钢丝焊接角铁, 预加力为 147 N。

试件试验结果分别提高了 88.64%、5.82%、74.91%、39.96%, 平均提高了 46.4%; ②不同锚头形式的抗弯拉强度从大到小排序为: 直径 1.1 mm 的铁丝加小螺丝帽, 直径 1.3 mm 的钢丝焊接角铁。

(3) 疲劳次数。①由表 3 可以看出, 有钢丝的试件疲劳次数明显大于无钢丝的普通试件, 且 3 组试件的试验结果分别提高了 203.79%、211.37%、64.2%, 平均提高了 134.02%; ②不同锚头形式的疲劳性能从大到小排序为: 直径 1.1 mm 的铁丝加小螺丝帽, 直径 1.3 mm 的钢丝焊接角铁。

表 3 疲劳性能试验结果统计

试验编号	疲劳次数/ 次	平均值/ 次	试验编号	疲劳次数/ 次	平均值/ 次
1-1(有铁丝)	104 151	54 862	3 1(有钢丝)	42 899	33 266
1-2(有铁丝)	27 044		3 2(有钢丝)	54 632	
1-3(有铁丝)	33 392		3 3(有钢丝)	2 268	
1-4(无铁丝)	23 981	18 059	3 4(无钢丝)	7 754	20 259
1-5(无铁丝)	12 137		3 5(无钢丝)	32 764	
2-1(有钢丝)	5 331	6 215			
2-2(有钢丝)	7 148				
2-3(有钢丝)	6 165				
2-4(无钢丝)	1 494	1 996			
2-5(无钢丝)	2 498				
有钢丝疲劳次数 平均值/次		31 448	无钢丝疲劳次数 平均值/次		13 438

注: 第 1 组试件锚头形式为直径 1.1 mm 的铁丝加小螺丝帽, 预加力为 98 N; 第 2 组试件锚头形式为直径 1.3 mm 的钢丝焊接角铁, 预加力为 98 N; 第 3 组试件锚头形式为直径 1.3 mm 的钢丝焊接角铁, 预加力为 98 N。

### 3 结 语

(1) 通过室内试验, 对 4 组试件的抗拉强度、抗弯拉强度和疲劳性能指标进行了研究, 得出加锚头丝试件比不加锚头丝试件的 3 项指标有明显提高, 抗拉强度平均提高了 60.74%, 抗弯拉强度平均提高了 46.4%, 疲劳次数平均提高了 134.02%。

(2) 锚头形式为直径 1.3 mm 的钢丝焊接角铁的试件抗拉强度值最大, 而锚头形式为直径 1.1 mm

(下转第 34 页)

- [J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(4): 44-47.  
LUO Hui, ZHU Hong ping, HAO Xing zhou. Numerical analysis of dynamic response on asphalt pavement[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(4): 44-47.
- [3] 李祖仲, 陈栓发, 张登良, 等. 应力吸收层沥青混合料的路用性能[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2008, 28(2): 5-8.  
LI Zu zhong, CHEN Shuan fa, ZHANG Deng liang, et al. Road performance of stress absorbing layers in asphalt mixture[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2008, 28(2): 5-8.
- [4] 平树江, 申爱琴, 李鹏. 长寿命路面沥青混合料疲劳极限研究[J]. 中国公路学报, 2009, 22(1): 34-38.  
PING Shu jiang, SHEN Ai qin, LI Peng. Study of fatigue limit of asphalt mixture for perpetual pavement
- [J]. China Journal of Highway and Transport, 2009, 22(1): 34-38.
- [5] 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.  
FENG De cheng, SONG Yu. Study of test and evaluation method on interfacial combining state of asphalt pavement[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2007, 39(4): 627-631.
- [6] 郑传超, 王秉刚. 道路结构力学计算[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [7] 史泽恒. 陕蒙长寿命路面结构及试验段检测与分析研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
- [8] JTJ 052-2000, 公路工程沥青与沥青混合料试验规程[S].

(上接第15页)

的钢丝加小螺丝帽试件的抗弯拉强度值和疲劳次数最大。

(3) 对于锚头形式、锚头丝径、锚头丝距及布设层位等的确定, 还需要做进一步的理论分析和试验研究。

(4) 本文为沥青混凝土路面结构的开裂研究提供了新思路, 为加锚头丝沥青混凝土路面的理论研究提供了重要的技术支持。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 邓学钧. 路基路面工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [2] 张登良. 沥青路面[M]. 北京: 人民交通出版社, 1993.
- [3] 沙庆林. 高等级公路半刚性基层沥青路面[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [4] 张起森, 郑健龙, 刘益河. 半刚性基层沥青路面的开裂机理[J]. 土木工程学报, 1992, 25(2): 13-22.  
ZHANG Qi sen, ZHENG Jian long, LIU Yi he. Cracking mechanism for the semi rigid based asphalt pavement structure[J]. China Civil Engineering Journal, 1992, 25(2): 13-22.
- [5] 吴赣昌, 凌天清. 半刚性基层温缩裂缝的扩展机理分析[J]. 中国公路学报, 1998, 11(1): 21-28.  
WU Gan chang, LING Tian qing. The analysis of developing mechanism of thermal crack of the semi rigid
- roadbase[J]. China Journal of Highway and Transport, 1998, 11(1): 21-28.
- [6] 沈成康. 断裂力学[M]. 上海: 同济大学出版社, 1996.
- [7] 蒋应军, 戴经梁. 土工织物在道路工程防裂中的应用[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2007, 27(4): 18-22.  
JIANG Ying jun, DAI Jing liang. Application of geotextile in preventing reflection cracks in asphalt pavement[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(4): 18-22.
- [8] 沙爱民. 半刚性基层的材料特性[J]. 中国公路学报, 2008, 21(1): 1-5.  
SHA Ai min. Material characteristics of semi rigid base[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(1): 1-5.
- [9] 王艳, 倪富健, 马翔. 不同基层开裂状态的沥青路面应力对比[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(6): 34-39.  
WANG Yan, NI Fu jian, MA Xiang. Stress comparison of asphalt pavements with different base crack states[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(6): 34-39.
- [10] Birgisson B, Montepara A, Romeo E, et al. Determination and prediction of crack patterns in hot mix asphalt(HMA) mixtures[J]. Engineering Fracture Mechanics, 2008, 75(3/4): 664-673.
- [11] JTJ 052-2000, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].