

文章编号: 1671-6833(2009)03-0090-04

# 旧沥青路面加铺层结构层间工作状态研究

刘建兰<sup>1,2</sup>, 王朝辉<sup>1</sup>, 王选仓<sup>1</sup>

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 中交第二公路工程局有限公司, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 为有效抑制旧沥青路面加铺层结构的层间破坏, 建立有限元模型, 通过分析水平荷载、加铺层厚度与模量、旧路当量回弹模量、旧路横向开裂等因素对旧沥青路面与加铺层结构层间内力影响规律, 进而确定了不同水平摩擦系数对应的旧沥青路面与加铺层结构层间剪应力范围, 以及不同加铺层厚度的层间压应力范围, 建议在加铺层结构及层间材料设计时取最不利状态的层间内力。研究结论对沥青路面加铺层结构设计及层间材料技术指标要求具有参考价值。

**关键词:** 道路工程; 层间工作状态; 加铺层; 沥青路面

**中图分类号:** U 416; U 418 **文献标识码:** A

## 0 引言

在旧沥青混凝土路面与沥青加铺层之间设置土工织物、应力吸收层、封层等夹层可有效消减加铺层结构应力, 对抗反射裂缝具有较好效果, 并可延长加铺层的疲劳寿命, 且应力吸收层、封层还可防水、增加层间的粘结能力, 防治层间的剪切破坏。一旦旧路面、夹层及沥青加铺层之间的剪应力超过了层间的抗剪强度, 或夹层自身的受力超过了其抗拉强度, 将大大降低旧路面与沥青加铺层的复合作用, 增大加铺层内部的应力, 加速加铺层的破坏, 而且给修复工作带来极大困难, 增加修复费用, 因此必须严格控制层间的剪切破坏<sup>[1]</sup>。纵观国内外研究<sup>[2-7]</sup>, 对旧路面与加铺层结构层间的理论研究甚少, 尚没有将层间列为专门的研究对象, 缺乏对层间结构工作状态的全面分析, 也没有将层间的有关研究上升到应有的理论高度。因此, 有必要对旧沥青路面与加铺层结构层间抗压、抗剪进行全面分析, 确定层间工作状态。

## 1 路面结构计算模型及指标

对于旧路直接加铺沥青混凝土结构可以简化为弹性双层体系, 将路面结构看成是线弹性层状体系, 采用三维有限元软件 Ansys 进行计算, 沥青加铺层、旧路面等结构层单元采用三维六面体 8

节点等参元, 行车荷载采用标准轴载 BZZ-100, 轮胎内压 0.7 MPa, 单个轮压作用范围 18.9 cm × 18.9 cm, 接触面积为 357.21 cm<sup>2</sup>, 双轮间距为 32 cm。相关研究表明<sup>[7]</sup>, 对称轴上的单侧轮载比双侧轮载对加铺层产生的不利影响更大, 且当旧路有缝时, 偏荷载作用最不利。笔者计算时仅考虑对称轴上的单侧荷载作用, 布载方式为偏荷载。路面整体与局部结构有限元网格划分如图 1 所示。

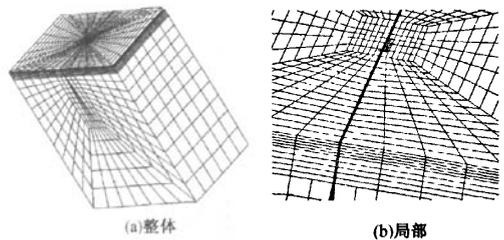


图 1 路面结构有限元网格划分图

Fig. 1 Finite element model of pavement structure

## 2 旧沥青路面加铺层结构层间应力分析

### 2.1 水平荷载与旧路当量回弹模量对层间应力的影响

计算参数: 旧路当量回弹模量 400 MPa, 沥青加铺层厚度  $h = 10$  cm, 弹性模量  $E_{AC} = 1\ 200$  MPa, 层间接触为连续, 旧路无裂缝。水平摩 擦力系数  $f$  分别取 0.2, 0.3, 0.5。计算结果如图 2

收稿日期: 2009-01-22; 修订日期: 2009-04-28

基金项目: 国家西部交通建设科技项目(200531881213)

作者简介: 刘建兰(1974-), 男, 江西泰和人, 长安大学博士研究生, 主要从事路面材料、路面结构研究。E-mail:

Ljl343728@163.com

~5 所示。图 2 表明,层间压应力不受水平荷载的影响,层间剪应力随摩擦系数的增大呈线性递增状态,  $\tau_m = 0.056 2f + 0.123$ ,  $R^2 = 0.999 8$ 。当摩擦系数由 0 增加到 0.5 时,层间剪应力增加了 22.8%。可见水平力增大了层间剪应力,加速了沥青加铺层与旧路面的层间破坏,因此,在设计时有必要考虑水平荷载的影响。

图 3 表明,随着旧路当量回弹模量的增加,层间剪应力略微减小,层间压应力呈递增状态,且幅度较大,当旧路回弹模量由 100 MPa 增加到 800 MPa 时,层间剪应力减小了 4.8%,层间压应力增大了 62.1%,可见旧路强度对层间压应力影响较大。由层间抗剪强度公式  $\tau = c + \sigma \tan \varphi$  可知,层间压应力的增大必然增强层间抗剪强度,因此,建议通过对旧路补强来增加层间的抗剪强度。

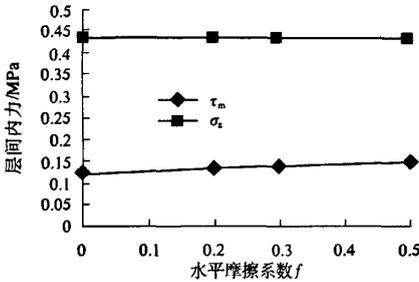


图 2 层间内力随水平荷载变化图

Fig. 2 Interlayer force changed by level load

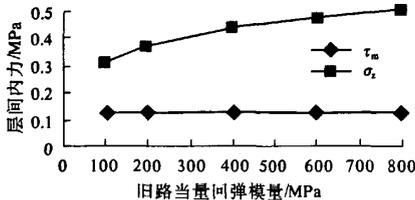


图 3 层间内力随旧路回弹模量变化图

Fig. 3 Interlayer force changed by modulus of old road

### 2.2 加铺层厚度与模量对层间应力影响分析

由图 4 可知,层间内力随加铺层厚度的增加呈递减状态,层间压应力递减幅度较大,其中  $\tau_m = -0.008 1h + 0.205 4$ ,  $R^2 = 0.989$ 。当加铺层厚度由 6 cm 增加到 18 cm 时,层间压应力、剪应力分别减小了 66.1%、61.3%。当加铺层的厚度增加到 12 cm 时,层间剪应力递减幅度减小。可见加铺层厚度在 4~12 cm 时,对层间剪应力影响较大。由于材料的抗剪强度为  $\tau = c + \sigma \tan \varphi$ ,随着加铺层厚度的增加,层间抗剪强度减小,同时层间剪应力也减小,在其它条件不变的情况下,如果通过增大加铺层的厚度使  $\tau_{max} \leq \tau$ ,那么层间抗剪强度

减小的幅度必须要小于层间最大剪应力减小的幅度,即  $\Delta \tau_{max} \leq \Delta \sigma \tan \varphi$ 。因此在进行加铺层层间设计时,增加加铺层的厚度未必增加层间的稳定性。

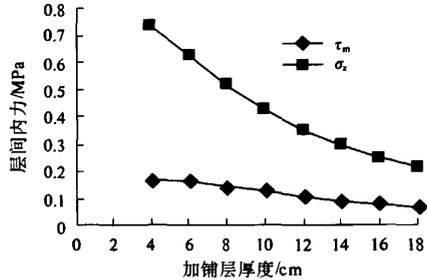


图 4 层间内力随加铺层厚度变化图

Fig. 4 Interlayer force changed by overlay thickness

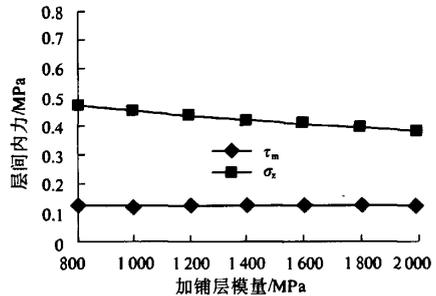


图 5 层间内力随加铺层模量变化图

Fig. 5 Interlayer force changed by overlay modulus

图 5 表明,层间压应力随加铺层的模量增加呈线性递减,而层间剪应力略微增大,当加铺层模量由 800 MPa 增加到 2 000 MPa 时,层间压应力减小了 18.7%,层间剪应力增大了 2.5%,可见加铺层的模量对层间剪应力影响不大。

### 2.3 旧路横向开裂对层间应力影响分析

计算参数:车辆荷载 BZZ-100,旧路当量回弹模量 400 MPa,沥青加铺层厚度  $h = 10$  cm,弹性模量  $E_{AC}$  为 1 200 MPa,层间接触为连续,当计算旧路横向开裂宽度的影响时,旧路裂缝深度为 10 cm,旧路开裂宽度从 0 增加到 15 mm;当计算旧路横向开裂深度的影响时,旧路开裂宽度为 5 mm,旧路开裂深度从 0 增加到 30 cm。其中 0 代表旧路无缝状态。计算结果如图 6、图 7 所示。

由图 6、图 7 可知,旧路横向开裂对层间压应力影响不大,随着开裂宽度的增大,层间剪应力呈先增加后减小状态,但都大于旧路不开裂状态下的剪应力,当旧路横向开裂宽度为 8 mm 时,层间剪应力最大,达到 0.284 MPa。随着旧路横向开裂深度的增大,层间剪应力递增,当旧路横向开裂深度由 10 cm 增加到 30 cm 时,层间剪应力增加了

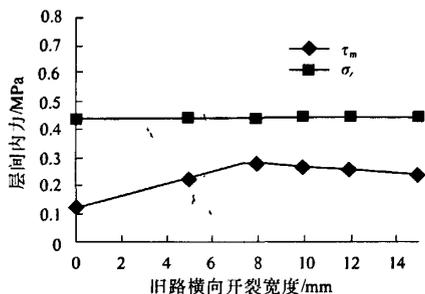


图6 层间内力随旧路横向开裂宽度变化

Fig.6 Interlayer force changed by transverse cracking width of old road

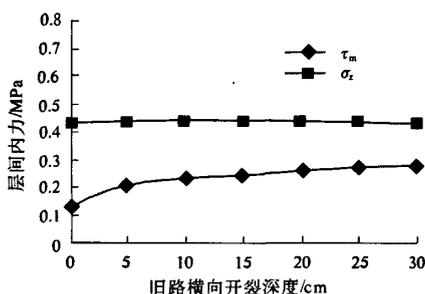


图7 层间内力随旧路横向开裂变化

Fig.7 Interlayer force changed by transverse cracking depth and width of old road

19.6%,与旧路无开裂状态相比,层间剪应力增加了123.6%。可见旧路开裂对层间剪应力影响较大,为增强层间强度,建议在加铺层前对旧路裂缝进行有效处理。

### 3 层间荷载应力范围确定

#### 3.1 层间剪应力范围

表1为层间剪应力数值范围在标准轴载作用下,假设旧路无开裂,且层间处于连续状态,层间剪应力仅受加铺层厚度及水平力的影响。加铺层厚度在4~18 cm,不同水平摩擦系数的层间剪应力数值范围计算如表1。考虑最不利状态,当沥青加铺层与旧路层间材料的抗剪强度超过0.245 MPa时,沥青加铺层不会出现层间滑移现象。

#### 3.2 层间压应力范围

在标准轴载作用下,且旧路无裂缝时,层间压应力不受水平荷载的影响,只受加铺层厚度、加铺层模量、旧路当量回弹模量的影响。因此对各个影响因素考虑不同的变化水平,设计正交试验进行不同因素之间的组合,以确定层间压应力的数值范围。假设各层间状态为完全连续,对于加铺层模

量、旧路当量、回弹模量,均在变化范围内取3个水平,如表2所示。

表1 加铺层与旧路层间剪应力数值范围

Tab.1 Number range of overlay and interlayer shear stress of old road

水平摩擦系数 $f$	0	0.2	0.3	0.5
层间剪应力 $\tau_m$	0.063 ~ 0.168	0.067 ~ 0.199	0.069 ~ 0.214	0.073 ~ 0.245

表2 旧沥青混凝土路面沥青加铺层结构计算参数

Tab.2 Calculation parameters of asphalt overlay

影响因素	水平		
	水平1	水平2	水平3
加铺层模量	800	1 200	2 000
旧路当量回弹模量	100	400	800

根据表2,变化因素为2因素,每个因素3种水平,建立正交试验表  $L_9(3^4)$ ,进行不同加铺层厚度的层间压应力正交试验计算,结果如表3所示。

由图5可以看出,加铺层厚度对于层间压应力有很大的影响。层间压应力越大,材料的抗剪切强度越大,抵抗层间滑移的能力越强。对表2中9种试验计算结果进行分析,取95%保证率的  $t$  分布双侧置信区间,在不同影响因素组合情况下,加铺层与旧路层间压应力值  $\sigma_z$  的变化范围如表4所示。在确定层间材料的抗剪切强度时,考虑较不利情况,建议取表4中的层间压应力的下限。

### 4 结论

(1)在标准轴载作用下,假设旧路无开裂,且层间处于连续状态,层间剪应力仅受加铺层厚度及水平力的影响,且加铺层厚度在一定范围时,对层间剪应力影响较大。

(2)随着车辆轴载及旧路当量回弹模量的增加,层间压应力明显增大,且呈线性增长;层间压应力随加铺层厚度及加铺层模量的增加呈递减状态;层间压应力不受水平荷载的影响,旧路横向开裂对层间压应力影响不大。

(3)确定了不同水平摩擦系数对应的加铺层与旧路的层间剪应力范围。同时,通过正交试验,确定了不同加铺层厚度的层间压应力范围,在计算层间材料的抗剪切强度时,考虑较不利情况,建议取层间压应力的下限。

表3 不同加铺层厚度的层间压应力正交试验

Tab.3 Orthogonal test of interlayer compressive stress under different overlay thickness

MPa

序号	$E_{AC}$ /MPa	$E_t$ /MPa	加铺层厚度/cm							
			4	6	8	10	12	14	16	18
1	800	100	0.675	0.539	0.426	0.340	0.276	0.226	0.189	0.159
2	1 200	400	0.746	0.634	0.525	0.432	0.357	0.298	0.252	0.215
3	2 000	800	0.757	0.651	0.543	0.449	0.373	0.312	0.264	0.226
4	800	400	0.770	0.670	0.565	0.470	0.392	0.329	0.279	0.239
5	1 200	800	0.785	0.692	0.592	0.496	0.415	0.350	0.297	0.255
6	2 000	100	0.600	0.453	0.344	0.268	0.212	0.171	0.140	0.123
7	800	800	0.803	0.721	0.626	0.530	0.446	0.377	0.321	0.277
8	1 200	100	0.643	0.500	0.388	0.306	0.245	0.200	0.165	0.139
9	2 000	400	0.711	0.586	0.473	0.382	0.314	0.260	0.218	0.185

表4 不同加铺层厚度的层间压应力范围

Tab.4 Range of interlayer compressive stress under different overlay thickness

加铺层厚度/cm	4	6	8	10	12	14	16	18
层间压 应力/MPa	0.657 ~ 0.785	0.520 ~ 0.690	0.408 ~ 0.588	0.325 ~ 0.492	0.262 ~ 0.411	0.215 ~ 0.346	0.178 ~ 0.294	0.152 ~ 0.252

## 参考文献:

- [1] 王朝辉. 沥青路面加铺技术研究[D]. 西安: 长安大学博士学位论文, 2008.
- [2] 王朝辉, 王选仓. 基于沥青加铺层结构疲劳寿命的夹层位置确定[J]. 中国公路学报, 2008, 21(1): 29-34.
- [3] 李淑明, 许志鸿, 蔡喜棉. 土工织物对复合式路面结构内力影响分析[J]. 中国公路学报, 2006, 19(1): 28-31.
- [4] 祝海燕, 王选仓, 曹宝贵. 复合式路面中夹层对旧水泥混凝土板荷载应力影响分析[J]. 公路, 2006, 12: 100-103.
- [5] 廖卫东, 王小雄. 沥青加铺层抗反射裂缝足尺疲劳试验[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26(5): 9-12.
- [6] 孙立军. 沥青路面结构行为理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [7] 周富杰. 防治反射裂缝的措施及其分析[D]. 上海: 同济大学博士学位论文, 1998.

## Research on Interlayer Working State of Overlay Structure on Old Asphalt Pavement

LIU Jian-lan<sup>1,2</sup>, WANG Chao-hui<sup>1</sup>, WANG Xuan-cang<sup>1</sup>

(1. Highway School, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. CCCC Second Highway Engineering Co. Ltd., Xi'an 710065, China)

**Abstract:** In order to effectively avoid the interlayer failure of overlay structure on old asphalt pavement, the finite element model is established. By analyzing the impact law of interlayer force between old asphalt pavement and overlay structure under level load, thickness and modulus of overlay, equivalent resilient modulus of old road, transverse cracking of old road and so on, and then the range of interlayer shear stress, between old asphalt pavement and overlay under different friction coefficient level, is determined. The interlayer compressive stress range of different overlay thicknesses is also determined. Moreover, when the overlay structure and interlayer material is designed, the interlayer force of unfavorable state is advised. The research results provide the reference for the overlay structure design of asphalt pavement and technical index requirement of interlayer material.

**Key words:** road engineering; interlayer working state; overlay; asphalt pavement