

文章编号:1671-6833(2007)04-0092-04

# Sampave 层厚度对沥青结构层内力影响分析

李祖仲, 陈拴发, 华敏

(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)

**摘要:**采用三维有限元法分析 Sampave 应力吸收层厚度变化对沥青加铺层结构荷载应力和温度应力分布的影响,发现 Sampave 应力吸收层能较大幅度地降低加铺层层底的荷载应力和温度应力,对后者降低效果尤为明显,改善了整个沥青面层结构的应力状态,减少加铺层层底应力集中程度,延缓反射裂缝在加铺层中形成,显示其在抗反射裂缝方面的独特作用.计算结果表明:应力吸收层不宜太厚,建议层厚为  $2.5 \pm 0.5$  cm 较合适.

**关键词:**道路工程;应力吸收层;厚度;有限元方法;反射裂缝;加铺层

**中图分类号:** U 418.8 **文献标识码:** A

## 0 引言

反射裂缝是沥青路面常见病害之一.对于半刚性基层、刚性基层沥青路面,特别是旧水泥混凝土路面实施加铺改造时,由于旧水泥混凝土路面接缝、裂缝或基层裂缝的普遍存在,在车辆荷载与环境因素作用下,产生的反射裂缝将严重影响沥青加铺层及路面结构的耐久性.研究表明<sup>[1-4]</sup>:设置应力吸收层材料能有效地抑制沥青面层反射裂缝的产生与扩展,并延长沥青加铺层的使用寿命.规范<sup>[5]</sup>中推荐应力吸收层厚度宜为 2.0 ~ 2.5 cm,但缺乏必要的理论推导,笔者利用 Sampave 应力吸收层系统,论证了设置应力吸收层的沥青面层加铺结构,利用三维有限元方法对应力吸收层在沥青加铺结构中的作用进行数值模拟,分析其厚度变化对加铺层结构内力的影响.

## 1 计算模型与参数

对于沥青加铺层结构荷载应力计算,视路面结构为弹性层状体系,研究对象是由沥青加铺层、应力吸收层、带有裂缝或接缝的水泥混凝土路面和地基组成,建立空间三维模型,见图 1.为反映弹性半空间无限大地基的特征,地基采用扩大尺寸来模拟.对各结构层作如下假设:①各结构层为均匀、连续、各向同性的连续弹性体;②各层层间竖向、水平位移均连续;③地基底面各向位移为

零,地基侧面水平方向位移为零;④不计路面结构的自重影响;⑤接缝宽度假设为 1 cm,且接缝处无传荷能力.

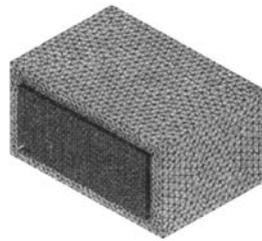


图 1 结构计算模型图

Fig.1 Model of structural calculation

根据沥青加铺层试验路路况调查资料,拟定基本计算参数为:水泥混凝土路面板长为 5 m,宽为 4.5 m,厚度为 24 cm,地基扩大基础尺寸拟定为  $16.01 \text{ m} \times 15.5 \text{ m} \times 9 \text{ m}$ .车辆荷载采用标准轴载 BZZ-100,轮胎内压为 0.7 MPa,单个轮压作用范围  $18.9 \text{ cm} \times 18.9 \text{ cm}$ ,接触面积为  $357.21 \text{ cm}^2$ ,双轮间距为 32 cm,两轮轮隙间距为 182 cm,经过不同荷位计算分析比较,车轮荷载作用在接缝一侧的偏荷载对沥青加铺层最为不利,笔者按偏荷载荷位计算.为了分析应力吸收层厚度变化对整个加铺层结构荷载应力的影响,分别取应力吸收层的厚度为 1 ~ 7 cm,主要计算参数见表 1.

对于沥青加铺层温度应力计算,路面结构层由不同材料分层组成,层间接触条件对温度应力

收稿日期:2007-06-30;修订日期:2007-10-11

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200231800030)

作者简介:李祖仲(1973-),男,湖南邵东人,长安大学博士研究生,主要从事路面工程方面的研究.

影响较大,当层间接触条件为完全光滑时,加铺层所产生的温度应力最小,而当层间接触条件为完全连续时,加铺层所产生温度应力最大.应力吸收层与上下界面黏结良好,按最不利情况考虑,即假设各层层间竖向、水平位移完全连续,模型、坐标及各结构层所作的假定与计算车辆荷载应力时基本相同,边界条件与荷载应力分析中基本一致,经计算分析可知负温差对路面结构的影响更为不利,在湖北汉宜高速公路试验路各结构层中埋设温度传感器,调查一年中高温与低温最不利季节路面各结构层中不同深度一天内温度变化情况,确定层间实际最大温差,根据现场温度测试结果,认为路表面降温  $\Delta T = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$  作为计算温度应力的初始条件较合理,主要计算参数见表 2.

表 1 荷载应力主要计算参数

Tab. 1 Main calculating parameters of load stress

结构层	厚度 /cm	弹性模量 E/MPa	泊松比 u
沥青混凝土加铺层	10	1 200	0.25
应力吸收层材料	1~7	600	0.30
旧水泥混凝土路面	24	30 000	0.15
基础	—	100	0.35

表 2 温度应力主要计算参数

Tab. 2 Main calculating parameters of thermal stress

结构层	厚度 /cm	弹性模量 /MPa	泊松比	导热系数 / $(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1})$	线膨胀系数 / $(^{\circ}\text{C}^{-1})$
沥青混凝土加铺层	10	1 200	0.25	1.2	$2.1 \times 10^{-5}$
应力吸收层材料	0~5	600	0.30	1.0	$0.5 \times 10^{-5}$
旧水泥混凝土路面	24	30 000	0.15	1.5	$1.0 \times 10^{-5}$
基础	—	100	0.35	1.0	$0.5 \times 10^{-5}$

Sampave 应力吸收层材料为低模量、高黏弹、富沥青混合料,具有优良的抗疲劳性能,常温下实测抗压回弹模量约为 600 MPa,若其模量太低,对抗剪切变形不利,模量太高,达不到其功能效果,因此在计算模型中采用的模量为 600 MPa.

## 2 计算结果与分析

### 2.1 应力吸收层厚度对荷载应力的影响

受旧路面接缝处传荷能力的影响,在行车荷载作用下,沥青加铺层接缝处变形最大,易产生应力集中,是反射裂缝形成的起点.因此,进行荷载应力计算时主要考察应力吸收层厚度变化对加铺层接缝处顶面、层底以及应力吸收层层底结构内力的影响,计算结果如表 3、表 4 和表 5 所示.

表 3 顶面荷载应力计算结果

Tab. 3 Calculated results of top load stress

应力吸收层厚度/cm	MPa			
	$\sigma_x$	$\sigma_1$	$\sigma_c$	$\tau_{max}$
1.0	0.362	0.956	1.230	0.707
2.0	0.369	0.955	1.223	0.703
2.5	0.372	0.955	1.220	0.702
3.0	0.376	0.956	1.218	0.700
3.5	0.379	0.956	1.216	0.699
4.0	0.383	0.957	1.214	0.699
5.0	0.390	0.959	1.212	0.697
6.0	0.398	0.962	1.210	0.696
7.0	0.405	0.965	1.209	0.696

#### 2.1.1 应力吸收层厚度变化对接缝处沥青加铺层顶面荷载应力的影响

从表 3 可看出,对于加铺层接缝处顶面应力而言,应力吸收层厚度从 1~7 cm 变化时,层顶各应力变化不大,加铺层顶面应力  $\sigma_x$  从 0.362 MPa 增大到 0.405 MPa,增加了 11.88%,第一主应力  $\sigma_1$  从 0.956 MPa 增大到 0.965 MPa,增加幅度很小,等效应力  $\sigma_c$ 、最大剪应力  $\tau_{max}$  分别降低了 1.7%、1.5%,说明加铺层层顶应力随应力吸收层厚度增加变化不是很明显.

表 4 加铺层层底荷载应力计算结果

Tab. 4 Calculated results of bottom load

应力吸收层厚度/cm	stress of overlay P MPa			
	$\sigma_x$	$\sigma_1$	$\sigma_c$	$\tau_{max}$
1.0	0.305	0.054	0.538	0.291
2.0	0.203	0.054	0.461	0.246
2.5	0.175	0.054	0.428	0.227
3.0	0.154	0.056	0.402	0.212
3.5	0.138	0.057	0.382	0.200
4.0	0.126	0.058	0.368	0.191
5.0	0.105	0.056	0.349	0.180
6.0	0.090	0.051	0.341	0.175
7.0	0.078	0.046	0.337	0.173

#### 2.1.2 应力吸收层厚度变化对接缝处沥青加铺层层底荷载应力的影响

从表 4 可看出,沥青加铺层层底荷载应力,随应力吸收层厚度从 1~7 cm 逐步增加而大幅度降低,表明增加应力吸收层厚度可改善加铺层层底的受力状态,在很大程度上抑制了反射裂缝形成.当应力吸收层厚度从 1 cm 增至 4 cm 时,沥青加

铺层底拉应力  $\sigma_x$ 、等效应力  $\sigma_e$ 、最大剪应力  $\tau_{\max}$  分别降低了 58.7%, 31.6%, 34.4%, 而当应力吸收层厚度从 4 cm 增至 7 cm 时, 拉应力  $\sigma_x$ 、等效应力  $\sigma_e$ 、最大剪应力  $\tau_{\max}$  分别降低了 38.1%, 8.4%, 9.4%, 说明随其厚度增加, 应力值递减速率逐步降低。另一方面, 因应力吸收层模量低, 随其厚度增加, 加铺层结构累积弯沉必然增加, 对加铺层抗车辙不利, 根据应力吸收层材料特性与施工的可操作性<sup>[10]</sup>, 应力吸收层不宜太厚, 一般在 2.0~3.0 cm。

表 5 应力吸收层底面荷载应力计算结果

Tab. 1 Calculated results of bottom load stress of stress absorbing layer MPa

应力吸收层 厚度/cm	$\sigma_x$	$\sigma_1$	$\sigma_e$	$\tau_{\max}$
1.0	0.749	0.061	0.774	0.430
2.0	0.757	0.064	0.774	0.436
2.5	0.751	0.065	0.770	0.434
3.0	0.744	0.064	0.763	0.430
3.5	0.734	0.064	0.754	0.425
4.0	0.723	0.063	0.744	0.419
5.0	0.700	0.062	0.721	0.407
6.0	0.676	0.060	0.697	0.393
7.0	0.652	0.058	0.671	0.379

### 2.1.3 应力吸收层厚度变化对其本身层底荷载应力的影响

从表 5 可看出, 应力吸收层厚度从 1 cm 增至 7 cm,  $\sigma_x$ 、 $\sigma_1$ 、 $\sigma_e$ 、 $\tau_{\max}$  分别从 0.757, 0.065, 0.774, 0.430 MPa 减小至 0.652, 0.058, 0.671, 0.379 MPa, 应力减小幅度均在 15% 以内, 说明增加应力吸收层厚度对自身应力缓解作用不大, 过厚的应力吸收层增加了工程造价, 对沥青层整体受力不利, 又不便于施工。

### 2.2 应力吸收层厚度变化对温度应力的影响

应力吸收层厚度从 0 增至 5 cm, 其厚度变化对加铺层中上部温度应力影响较少, 笔者主要考察其对接缝处加铺层层底温度应力的影响, 计算结果见表 6。

从表 6 可以看出, 从无应力吸收层到应力吸收层厚度为 1 cm, 第一主应力  $\sigma_1$ 、等效应力  $\sigma_e$ 、最大剪应力  $\tau_{\max}$  分别降低了 65.4%, 66.7%, 66.4%, 因此, 应力吸收层对于降低加铺层层底温度应力是非常显著的; 当应力吸收层厚度从 1 cm 增至 3 cm 时,  $\sigma_1$ 、 $\sigma_e$ 、 $\tau_{\max}$  递减较快, 分别减少了 24.0%, 9.4%, 12.5%, 随其厚度进一步增大,  $\sigma_1$ 、

$\sigma_e$ 、 $\tau_{\max}$  仍有一定程度的减小, 但降幅较小, 说明应力吸收层厚度在 2~3 cm 时对于减小层底温度应力已经起到了很大的作用, 若继续增加应力吸收层厚度, 对于降低加铺层层底温度应力效果并不显著。

表 6 加铺层层底温度应力计算结果

Tab. 6 Calculated results of bottom thermal

应力吸收层 厚度/cm	stress of overlay MPa		
	$\sigma_1$	$\sigma_e$	$\tau_{\max}$
0	0.795	0.670	0.381
1	0.275	0.223	0.128
2	0.223	0.203	0.114
3	0.209	0.202	0.112
4	0.203	0.203	0.112
5	0.202	0.203	0.112

## 3 结论

(1) 应力吸收层厚度变化对加铺层顶面荷载应力和温度应力影响不是很明显, 但其厚度变化对沥青加铺层层底应力影响较显著。

(2) 应力吸收层厚度在 2~3 cm 时对减小加铺层层底荷载应力和温度应力已起到了很大的作用, 若继续增加应力吸收层厚度, 对减少层底应力效果不明显, 而加铺层结构累积弯沉必然增加, 对沥青面层整体受力不利, 建议 Sampave 应力吸收层厚度一般为  $2.5 \pm 0.5$  cm。

(3) 应力吸收层减少加铺层层底温度应力的效果更优于减少荷载应力的效果, 在旧水泥混凝土路面上铺筑应力吸收层, 旧水泥混凝土路面及其基础必须进行处治。

## 参考文献:

- [1] 胡长顺, 曹东伟. 有防裂夹层结构的旧水泥混凝土路面沥青加铺层力学分析[J]. 中国公路学报, 1999, 12(3): 1-8.
- [2] 张鹏. 旧水泥混凝土路面黑色罩面反射裂缝的防治[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2005, 25(3): 16-18.
- [3] 杨斌, 陈拴发, 廖卫东, 等. STRATA 应力吸收层对加铺层荷载及温度应力的影响分析[J]. 公路交通科技, 2005, 22(9): 27-30.
- [4] 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.
- [5] JTG D50-2006, 公路沥青路面设计规范[S]. 北京:

- 人民交通出版社,2006.
- [6] 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.
- [7] 杨斌,陈拴发,王秉纲.参数变化对沥青加铺层结构应力的影响分析[J].广西大学:自然科学版,2006,31(1):67-70.
- [8] 杨斌,陈拴发,王秉纲.沥青加铺层裂纹尖端应力强度因子分析[J].重庆大学:自然科学版,2006,29(5):99-102.
- [9] 锁利军,王秉纲,陈拴发.沥青路面多孔混凝土基层温度应力数值分析[J].郑州大学学报:工学版,2007,28(2):23-26.
- [10] 李祖仲.应力吸收层沥青混合料路用特性研究[D].西安:长安大学,2005.

## Analysis of Impact of Sampave Thickness on Stress of Asphalt Overlay

LI Zu-zhong, CHEN Shuan-fa, HUA Min

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** The impact of Sampave thickness on load stress and thermal stress of asphalt overlay was analyzed with the 3-D finite element method, which show Sampave may decrease load stress and especially the thermal stress at the bottom of the overlay, and can improve the stress distribution of the whole overlay, reduce the stress concentration at the bottom of the overlay, delay reflective cracks. So Sampave plays an excellent role in delaying and preventing reflective cracks. The results indicate that there is a reasonable scope for Sampave thickness and 2.0~3.0 cm will be recommended.

**Key words:** road engineering; stress absorbing layer; thickness; finite element method; reflective crack; overlay

(上接第91页)

## Theoretical Research of the Dynamic Response of Asphalt Pavement Structure Under Traffic Loads

DONG Zhong-hong, LV Peng-min

(Key Laboratory of Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** This paper establishes the dynamics model of visco-elastic layer system under moving load. The dynamic responses of four kinds of typical asphalt pavement structure, namely, the thick semi-rigid, the improved semi-rigid, the inverted pavement and the full depth pavement structure, are analysed under the standard load and the 100% overloading condition to study the various differences between the pavement structures. Results show that the life of pavement structure is more seriously affected by the surface bottom shear strain. The shear strain of the semi-rigid pavement structure at the bottom of surface layer is high, which may easily lead to premature failure. The cost of the full depth pavement structure is expensive. The various dynamic response indicators of the inverted pavement structure is lower, especially when this structure uses flexible base and semi-rigid structure. This structure can not only make drainage easy, but get rich experience of construction, so it is a more suitable pavement structure of heavy-load traffic highway.

**Key words:** moving load; visco-elastic; dynamic response; asphalt pavement; tensile strain; shearing strain