

基于 SAMI-R 的旧水泥板加铺沥青层力学分析

唐 颖

(山西省交通科学研究院 黄土地区公路建设与养护行业重点实验室,山西 太原 030006)

摘 要:利用 ANSYS 建模、计算和分析了橡胶粉改性沥青应力吸收层防治反射裂缝的力学效果,并分析了夹层参数变化对应力的影响.结果表明,胶粉改性沥青应力吸收层可以有效防止旧水泥路面加铺沥青层的反射裂缝,降低应力吸收层模量能明显改善面层的应力状况,可减少反射裂缝的发生,建议橡胶粉改性沥青夹层的合理模量范围为 50~200 MPa,厚度为 0.5~2.5 cm.

关键词:橡胶粉改性沥青;应力吸收层;反射裂缝;力学分析

中图分类号:U416.216 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2014.03.029

0 引言

旧水泥混凝土路面加铺沥青混凝土罩面层是修复水泥路面的常用方法,然而在荷载和温度等因素的共同作用下,位于接缝处的沥青加铺层出现应力集中,从而产生了反射裂缝.反射裂缝的存在会急剧缩短沥青加铺层的使用寿命,这既是该种加铺类型的主要结构破坏形式,也是各国道路工作者关注的热点问题.

国内外研究人员针对加铺层的反射裂缝做了大量工作,包括沥青加铺层反射裂缝的研究进展<sup>[1]</sup>;加铺层荷载应力和温度应力的分析研究<sup>[2-3]</sup>;反射裂缝的成因及防治措施<sup>[4-7]</sup>;采用有限元法力学模拟荷载作用下反射裂缝的产生<sup>[8-10]</sup>;应力吸收层对反射裂缝的抑制作用<sup>[11-12]</sup>等内容.研究表明,设置应力吸收层可有效延缓反射裂缝的形成,提高加铺层的使用寿命,特别是橡胶沥青应力吸收层 SAMI-R (Stress Absorbing Membranes Interlayer-Rubber),其厚度较小,模量较低,具有高弹性和低劲度的特点,不仅可以降低面板与加铺层之间的粘附阻力,使二者可以产生相对滑动,从而有效抑制反射裂缝的产生.

然而已有研究主要集中在反射裂缝产生的机理及防治措施,对橡胶沥青应力吸收层 SAMI-R 的厚度、模量对路面结构力学响应的研究不充分.笔

者基于有限元计算软件 ANSYS,计算了设应力吸收层后的“白加黑”路面在车辆荷载作用下的力学性能,并分析了夹层的模量和厚度对其影响,揭示了应力吸收层防治反射裂缝的力学原理和效果.

1 反射裂缝的产生及影响因素

调查显示,沥青面层反射裂缝的产生和发展是由于旧水泥混凝土路面板的上下和水平移动所造成的,而这些移动又主要来源于温度变化、行驶车辆及两者的综合作用.其中荷载作用占主要的作用<sup>[5]</sup>.

除了温度、行车荷载等外界因素外,路面结构本身特性对反射裂缝的产生也有一定的影响,尤其旧水泥混凝土面板与沥青面层之间的层间粘结性能对反射裂缝的影响也很大.各种因素对反射裂缝的产生可能性的影响分析见表 1<sup>[6]</sup>.

表 1 反射裂缝影响因素可能性分析表  
Tab.1 The possibility analysis of factors affecting on reflective cracking

影响因素	影响因素变化	温度型反射裂缝变化	荷载型反射裂缝变化
接触部分剪切模量	增大	增加	减小
沥青面层模量	增大	增加	增加
沥青面层厚度	增大	减小	减小
面板接缝宽度	增大	减小	减小
基层或地基模量	增大	减小	减小
路面材料收缩系数	增大	增加	不变

收稿日期:2013-11-20;修订日期:2013-12-19  
基金项目:山西交通科技计划项目(2013-1-10)  
作者简介:唐颖(1972-),女,山西大同人,山西省交通科学研究院高级工程师,主要从事道路结构与材料方面的研究,E-mail:mj\_dxlw@163.com.

基于以上对影响剪切型反射裂缝的因素分析,应力吸收层和沥青面层模量与厚度对反射裂缝的影响较大,也影响着工程材料的选择和造价.由于篇幅有限,重点计算水泥板接缝为 1 cm 宽时的沥青加铺层裂缝端的力学指标,分析应力吸收层的模量与厚度对力学指标的影响,给出合理的选择.

2 计算模型与参数

2.1 计算模型

采用 ANSYS 有限元方法,计算对象为从下而上依次为基础、带接缝的水泥混凝土面板、应力吸收层和沥青加铺层组成的三维空间弹性体系模型,单元类型采用八节点等参实体单元,基础尺寸扩大为 5 m×4.5 m×5 m. 计算时采用以下假定:①材料为均匀连续的各向同性体;②各层层间为完全连续状态;③基础底面的各向位移均为零,4 个侧面法向方向位移为零;④不计路面结构的自重;⑤接缝宽度假设为 1 cm,在接缝处荷载不能传递<sup>[7]</sup>.

2.2 计算参数

综合相关设计规范及以往研究资料<sup>[8-9]</sup>,拟定计算参数:水泥混凝土路面板长  $L=5$  m,宽度  $B=4.5$  m,厚度  $h=22$  cm,接缝处车轮荷载作用示意图和各个结构层参数见图 1 和表 2.

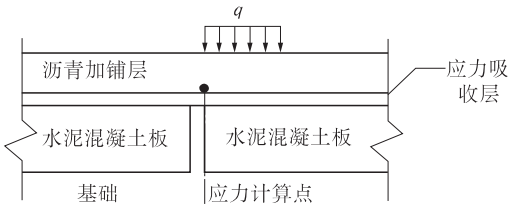


图 1 接缝处车轮荷载作用示意图  
Fig. 1 Wheel loads schematic

为了建模简便,将旧水泥路面的基层和土基

统称为基础,其模量按照《公路水泥路面设计规范》(JTG D40—2011)中的基层顶面当量模量换算公式进行计算得到的.

表 2 结构层材料参数  
Tab. 2 Material parameters of structural layer

参数	沥青路面	应力吸收层	旧水泥路面板	基础
厚度/cm	10	2	22	500
模量/MPa	1 200	50	30 000	100
泊松比	0. 25	0. 25	0. 25	0. 35

采用单轴双轮组标准轴载 BZZ - 100 进行加载,轴重 100 kN,轮压为 0. 707 MPa,双轮间距 32 cm,两侧轮隙间距 182 cm. 为了便于有限元分析,车轮与路面的接触面理想化为 18. 9 cm×18. 9 cm 的正方形,当荷载作用于临界荷位,如图 2 所示时,对沥青加铺层的损害最大,最容易引起反射裂缝,因而笔者选取该加载方式进行沥青加铺层荷载应力分析.

3 荷载应力分析

橡胶粉改性沥青为小模量的黏弹性材料,作为夹层时会对接缝处的沥青面层的受力状态产生很大的影响,为了评价沥青面层和旧水泥混凝土板间的应力吸收层阻裂效果,在设置应力吸收层和不设应力吸收层两种工况条件下,通过 ANSYS 分析车轮荷载作用下结构的应力状况和变形. 图 2 为不设应力吸收层时,加铺层的变形与等效应力云图. 从图 2 发现,沥青面层在接缝处出现了高度应力集中现象.

临界荷位为偏荷载,反射裂缝主要由接缝处沥青面层的最大剪应力和等效应力集中产生的,

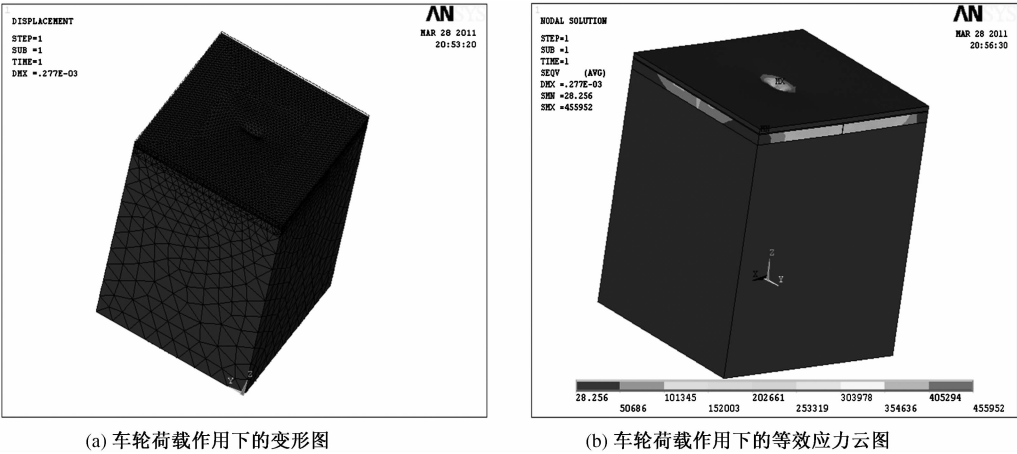


图 2 不设应力吸收层时车轮荷载作用下的变形与等效应力云图  
Fig. 2 Deformation and Equivalent stress cloud of wheel loads without absorbing layer

且沥青混凝土材料以流动形式破坏,符合第三或第四强度理论,因此最大剪应力和等效应力更为值得关注.从表 3 可以看出,面层无夹层时最大剪应力为 0.75 MPa,比有夹层时的 0.486 0 MPa 减少了 35.2%,这说明应力吸收层大大消弱了沥青面层中的剪切应力;最大等效应力也有类似规律,从 0.824 MPa 减少到 0.445 9 MPa,减少了 45.9%,可见设置应力吸收层对减少沥青面层在裂缝处的应力集中是很有效的.

同时还可以看出,设置夹层后,沥青表面的最大弯沉增加了 0.123 mm,这是因为作为软弱夹层的橡胶粉改性沥青的模量较低,在垂直荷载作用下会产生一定压缩量,使沥青加铺层的最大弯沉值增大.但这不能表示路面的整体刚度减小,因为主要承受荷载的基层和水泥板并没有改变,相反软弱夹层的使用会改善沥青路面的受力状态,延缓反射裂缝的延伸.

表 4 力学指标随应力吸收层模量变化计算结果

Tab.4 Stress variation with stress-absorbing layer modulus

应力吸收层 模量/MPa	$\sigma_x$ /MPa	$\sigma_y$ /MPa	$\sigma_z$ /MPa	$\sigma_1$ /MPa	$\sigma_e$ /MPa	$\tau_{max}$ /MPa	路表弯沉 /0.01 mm
10	0.149	0.187	0.058	0.248	0.425 3	0.468	47.5
50	0.165	0.179	0.078	0.253	0.445 9	0.487	27.7
100	0.169	0.177	0.034	0.267	0.459 8	0.500	23.9
200	0.174	0.176	0.092	0.284	0.494 7	0.534	21.7
300	0.177	0.174	0.047	0.311	0.538 9	0.576	20.2
400	0.178	0.172	0.054	0.332	0.594 2	0.610	19.8

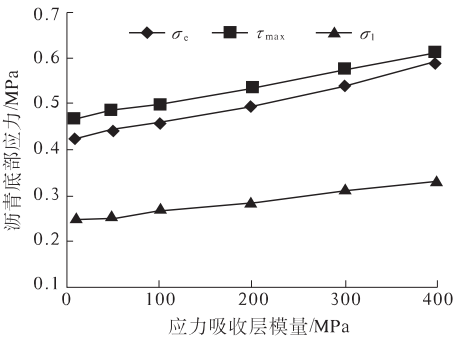


图 3 力学指标随应力吸收层模量的变化  
Fig.3 Surface mechanical index variation with stress-absorbing layer modulus

由表 4 可以看出,随着应力吸收层模量的上升,沥青加铺层层底面的最大主应力  $\sigma_1$ 、等效应力  $\sigma_e$ 、及最大剪应力  $\tau_{max}$  都呈现了上升趋势.如,应力吸收层模量由 10 MPa 增加到 100 MPa,分别增加了 0.019,0.034,0.032 MPa,而从 100 MPa 增加到 400 MPa 时,平均每 100 MPa 的增加量分别为 0.022,0.045,0.037 MPa.可见,随着模量的增加,应力增加的幅度在增大.由此说明,应力吸

表 3 设置应力吸收层前后的计算结果对比

Tab.3 Comparing the calculation results of setting stress absorbing layer or not

指标	无夹层		有夹层	
	最大值	最小值	最大值	最小值
$\sigma_x$ /MPa	0.128 4	-0.550	0.165	-0.419
$\sigma_y$ /MPa	0.131 4	-0.230	0.179	-0.430
$\sigma_e$ /MPa	0.824 0	0.000 37	0.445 9	0.000 028
$\tau_{max}$ /MPa	0.75	—	0.486	—
最大弯沉 /0.01 mm	15.4	—	27.7	—

4 SAMI-R 对加铺层应力的影响

4.1 应力吸收层模量影响

应力吸收层模量变化对沥青加铺层内部各种应力影响见表 4,其中绘制等效应力  $\sigma_e$ 、最大剪应力  $\tau_{max}$  和主应力  $\sigma_1$  随应力吸收层模量变化曲线如图 3.

收层模量越低,其缓解应力集中现象,防止反射裂缝产生的作用越明显,考虑施工和材料本身的影响,这里推荐的范围是 50 ~ 200 MPa,而橡胶沥青的模量正好在此范围内.

4.2 应力吸收层厚度影响

应力吸收层厚度变化对沥青加铺层内部各种应力的影响见表 5,其中绘制等效应力、最大剪应力和主应力随应力吸收层厚度变化曲线如图 4 所示.

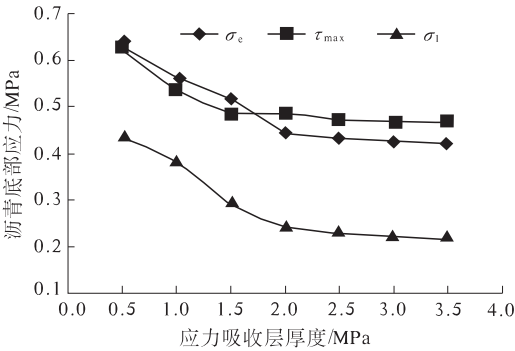


图 4 面层力学指标随应力吸收层厚度的变化  
Fig.4 Surface mechanical index variation with stress-absorbing layer thickness

由图 4 可知,随着应力吸收层厚度的增加,沥青加铺层底面的最大主应力  $\sigma_1$ 、等效应力  $\sigma_e$  及最大剪应力  $\tau_{\max}$  都有明显减少,说明增加应力吸收层厚度能够明显的减小裂缝处应力集中的现象,防止沥青面层开裂. 同样,从应力吸收层 0.5 cm 变化到 2 cm,厚度每增加 0.5 cm,  $\sigma_1$ 、 $\sigma_e$ 、 $\tau_{\max}$  分别平均减少了 12.4%,11.5%,13.8%,当厚度由 2.5 cm 到 3.5 cm 时,最大主应力  $\sigma_1$ 、等效应力

$\sigma_e$  及最大剪应力  $\tau_{\max}$  的减少幅度不到 5%,说明单一增加夹层厚度的方法对于防止反射裂缝的作用有限,反而会增加竖向变形,进而会使加铺层产生弯拉型裂缝. 所以应力吸收层厚度的确定应综合考虑面层、夹层的应力状态、变化趋势及施工因素,建议橡胶沥青应力吸收层的合理范围可取 0.5 ~ 2.5 cm.

表 5 应力随应力吸收层厚度变化  
Tab.5 Stress variation with stress-absorbing layer thickness

应力吸收层 厚度/cm	$\sigma_x$ /MPa	$\sigma_y$ /MPa	$\sigma_z$ /MPa	$\sigma_1$ /MPa	$\sigma_e$ /MPa	$\tau_{\max}$ /MPa	路表弯沉 /0.01 mm
0.5	0.297	0.303	0.079	0.437	0.631	0.623	24.8
1.0	0.262	0.286	0.064	0.383	0.565	0.537	25.5
1.5	0.203	0.274	0.093	0.294	0.514	0.491	28.1
2.0	0.165	0.259	0.078	0.243	0.446	0.487	27.7
2.5	0.153	0.241	0.043	0.227	0.433	0.473	30.1
3.0	0.146	0.23	0.028	0.223	0.427	0.469	32.9
3.5	0.117	0.221	0.008	0.218	0.421	0.465	34.5

5 结论

- (1)橡胶沥青应力吸收层能减少沥青面层在裂缝处的应力集中,减少反射裂缝的发生.
- (2)减小应力吸收层模量在一定范围内会减小沥青面层的内部应力,当模量处于较小水平,防止反射裂缝效果越好,建议合理范围 50 ~ 200 MPa;
- (3)应力吸收层厚度的增加对减小面层底部集中应力效果显著,厚度较大时则效果不明显,而应力吸收层底部应力随厚度增加线性减小,综合考虑受力、经济因素,推荐应力吸收层厚度为 0.5 ~ 2.5 cm.

参考文献:

[1] 黄今,陈栓发,李祖仲. 旧水泥混凝土路面沥青加铺层反射裂缝的研究进展[J]. 材料导报 A,2013,27(2):78-80.

[2] YOUNG S D, SUNG H B, KWANG W K. Estimation of relative performance of reinforced overlaid asphalt concretes against reflection cracking due to bending more fracture [J]. Constr Build Mater, 2009,23(5): 1803-1807.

[3] HALIL C, KASTHURIRANGAN G, ROBERT L L. Neural networks modeling of stress growth in asphalt overlays due to load and thermal effects during reflec-

tion cracking [J]. J Mater Civil Eng, 2011, 23(3): 221-229.

[4] 郝金东. 旧水泥混凝土路面加铺沥青层发射裂缝的成因与防治措施[D]. 重庆:重庆交通大学土木建筑工程学院,2010.

[5] 邹贤文. 旧水泥路面不同加铺方案设计研究[J]. 山西交通科技,2011(3):18-20.

[6] 傅强. 旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构设计分析[J]. 中外公路,2011, 31(6):114-118.

[7] 林梦. 橡胶沥青应力吸收层路用性能研究[D]. 南京:南京航空航天大学航空宇航学院,2008.

[8] 李江卫. 胶粉改性沥青应力吸收层防治沥青路面反射裂缝研究[D]. 北京:北京交通大学土木建筑工程学院,2010.

[9] 尚同羊,张苛,高涛涛,等. 橡胶沥青应力吸收层设计方法探讨[J]. 郑州大学学报:工学版,2013,34(2):40-44.

[10] 李侠. 基于应力吸收层的水泥混凝土沥青加铺路面力学特性分析[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版,2012, 44(3): 420-425.

[11] 袁玉卿,高丹盈,王选仓. APP 油毡用于旧水泥路面沥青加铺层间防裂[J]. 武汉理工大学学报, 2012, 34(4): 48-51.

[12] 尹泽强,郭亚平. 基于应力吸收层旧水泥砼路面沥青加铺层防治反射裂缝的应用研究[J]. 公路与汽运,2010( 6): 113-116.

(下转第 128 页)