

# 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

李 侠<sup>1,2</sup>

(1. 西安财经学院管理学院, 陕西 西安 710061; 2. 长安大学环工学院, 陕西 西安 710054)

**摘 要:** 为了研究设置应力吸收层后旧水泥混凝土沥青加铺路面结构的力学响应, 采用有限元分析方法, 建立水泥混凝土加铺路面接缝在最不利温度时的温度-荷载耦合模型, 对不同沥青加铺层厚度、模量和不同应力吸收层厚度、模量工况下的温度应力与温度-荷载耦合应力进行研究. 根据计算结果, 提出了沥青加铺层、应力吸收层的合理厚度范围, 并对加铺层与吸收层的模量加以控制.

**关键词:** 水泥混凝土; 沥青加铺层; 应力吸收层; 力学响应; 温度应力; 温度-荷载耦合应力

**中图分类号:** U416.216

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2012)03-0420-06

目前, 水泥混凝土加铺沥青路面的应用越来越广泛, 然而旧路面改造后, 在荷载应力与温度应力的综合作用下, 接缝位置出现应力集中现象, 从而导致沥青加铺层出现反射裂缝, 这已成为路面最主要的结构破损形式之一. 反射裂缝的存在会破坏路面结构的整体性和连续性, 甚至导致路面的结构性破坏, 缩短沥青加铺层使用寿命. 目前国内外研究人员针对反射裂缝做了大量工作, 包括路面材料断裂规律的研究; 加铺层结构反射裂缝调查及应力分析<sup>[4,8]</sup>; 温度应力的分析研究<sup>[5]</sup>; 采用有限元的方法分析路面开裂<sup>[6]</sup>; 采用有限元法模拟荷载作用下反射裂缝的产生<sup>[7]</sup>等内容. 研究表明, 在旧水泥混凝土路面和沥青加铺层之间设置应力吸收层可有效延缓反射裂缝的形成, 提高水泥混凝土路面的使用性能. 然而已有研究主要集中在路面反射裂缝产生的机理, 对沥青加铺层、应力吸收层的厚度、模量对路面结构力学响应的研究不充分. 本文采用有限元分析方法建立温度应力、温度-荷载耦合应力计算模型, 分析不同加铺层厚度、模量和不同吸收层厚度、模量条件下路面结构的力学响应, 从而为施工提供理论依据.

## 1 有限元计算模型

### 1.1 模型基本假定

计算模型将路面结构视为弹性层状体系, 由底自上结构层分别为基层、带接缝的水泥混凝土路面、应力吸收层以及沥青加铺层. 建立温度应力有限元模型时, 对各结构层边界作如下假设:

(1) 各结构层为均匀、各向同性的热弹性材料, 满足小变形条件;

(2) 路面层间界面接触良好, 层间温度及热流连续;

(3) 各结构层的温度收缩系数与横向变形系数, 不随温度、荷载变化, 为材料常数;

(4) 温度随路面深度而变化, 在水平方向上无热流传递;

为了研究接缝位置相应路面结构的受力特性, 沿接缝的走向, 对路面结构采用逐级加密的方法划分

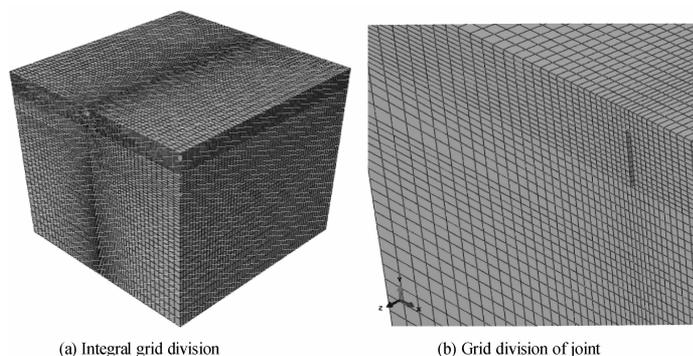


图1 应力计算模型  
Fig. 1 Calculation model of stress

收稿日期: 2011-12-31 修改稿日期: 2012-05-20

基金项目: 高等学校博士点科研项目(20090205120008)

作者简介: 李 侠(1971-), 女, 陕西三原人, 讲师, 长安大学在读博士, 从事地质工程及工程管理方面的教学与科研工作.

网格,如图 1 所示.

### 1.2 计算基本参数

由于路面温度随大气温度而变化,收集一天 24 h 的气温,如图 2,对于沥青路面,低温开裂为其病害主要原因,因此最不利温度应力点选取应满足两个条件 1、选取温度必须为周期内最低温点附近;2、温度点附近温降为周期内最显著;根据选取原则并参考国内外研究成果,本文选取凌晨一点时的温度为最不利温度.

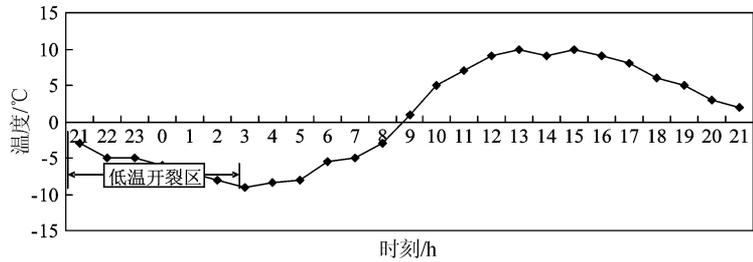


图 2 24 h 气温变化

Fig. 2 A 24h Temperature changes

采用有限元方法建立模型时,拟定路面结构的材料参数,见表 1.

表 1 路面结构材料计算参数

Tab. 1 Calculation parameters of pavement material

Structural layer	Thickness /cm	Modulus of elasticity/MPa	Poisson's ratio/ $\lambda_\mu$
Asphalt overlay	6	1 000	0.25
Stress absorption layer	2	400	0.25
Cement board	24	26 000	0.15
Joint(board)	1	0.001	0.15
Basement layer	30	1 200	0.2
Earth foundation	300	45	0.4

确定参数后,对不同控制量下的路面结构建立有限元模型,对应力吸收层底面、顶面以及沥青加铺层底面应力进行具体分析,计算点位置如图 3.

## 2 温度应力计算

本文重点研究在最不利温度时,水泥混凝土加铺路面接缝中心两侧温度应力的变化规律,温度应力计算如图 4-7.

(1)拟定沥青加铺层厚度分别为 6 cm、8 cm、10 cm、12 cm、16 cm 时的温度应力计算

由图可知,接缝中心(0.134 m)两侧温度应力呈对称分布.在同一加铺层厚度条件下,当应力计算位置由远靠近接缝中心时,拉应力逐渐增大,达到峰值后,应力急剧减小;在接缝中心附近,路面各结构层承受的应力由拉应力转为压应力,并在接缝中心位置达到最大值.

同时,随着沥青加铺层厚度的增大,温度隔离效果趋于明显从而导致温度应力不断下降;加铺层越厚,应力减小幅度越大,有效缓解了路面开裂,这主要是由于加铺层厚度的增加面层荷载传递能力的不断增强而引起的.与 6 cm 加铺层厚度相比,三个计算位置的最大拉应力分别减小了 22.77%~75.94%;19.96%~73.91%;20.19%~73.60%.

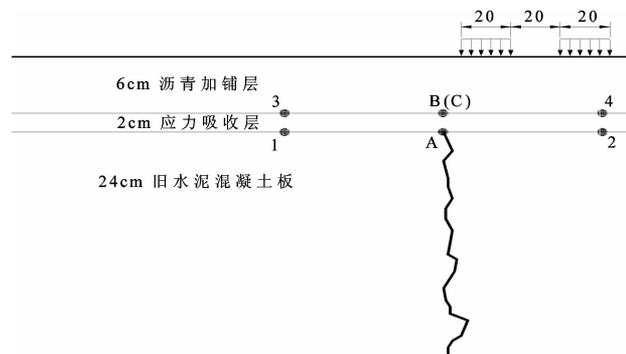


图 3 路面各结构层应力计算位置

Fig. 3 Stress calculating position of each pavement layer

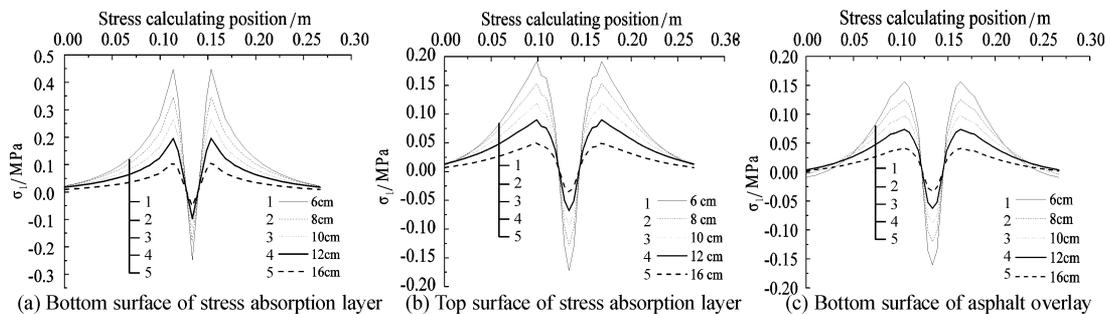


图 4 不同沥青加铺层厚度下的温度应力

Fig. 4 Thermal stress under different thickness of asphalt overlay

(2) 拟定沥青加铺层模量分别为 600 MPa、800 MPa、1 000 MPa、1 500 MPa、2 000 MPa 时的温度应力计算

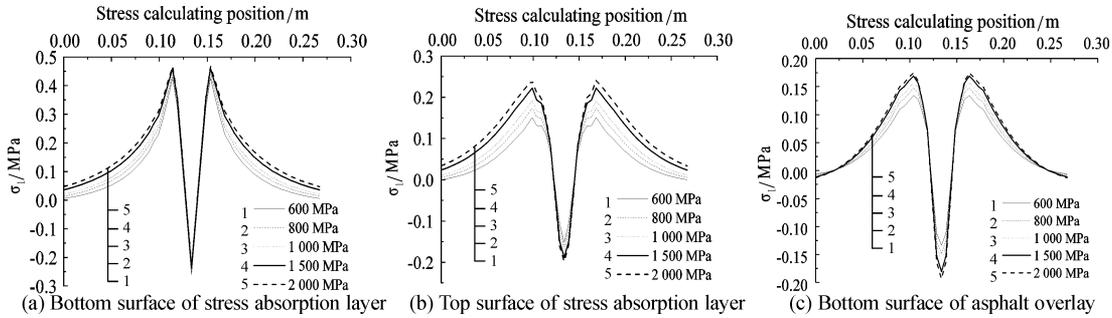


图5 不同沥青加铺层模量下的温度应力

Fig.5 Thermal stress under different modulus of asphalt overlay

由图可知,同一加铺层模量条件下,温度应力与图4变化规律相似.随着沥青加铺层模量的增大,温度应力逐渐增大.与600 MPa加铺层模量相比,三个计算位置的最大拉应力分别增加了2.96%~9.62%;15.31%~59.41%;9.99%~29.88%.

(3) 拟定应力吸收层厚度分别为1 cm、2 cm、3 cm、4 cm时的温度应力计算

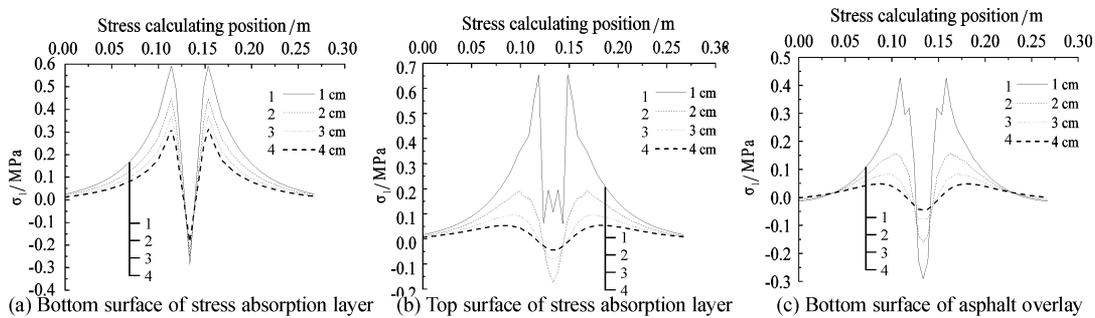


图6 不同应力吸收层厚度下的温度应力

Fig.6 Thermal stress under different thickness of stress absorption layer

由图可知,同一吸收层厚度条件下,与图4变化规律不同的是,温度应力达到峰值后,在降低过程的局部位置会增大,但并不会超过其峰值.随着应力吸收层厚度的增大,温度应力逐渐减小.与1cm吸收层厚度相比,三个计算位置的最大拉应力分别减小了24.29%~46.95%;88.28%~101.94%;65.72%~94.79%.

(4) 拟定应力吸收层模量分别为200 MPa、400 MPa、600 MPa、800 MPa、1 000 MPa时的温度应力计算

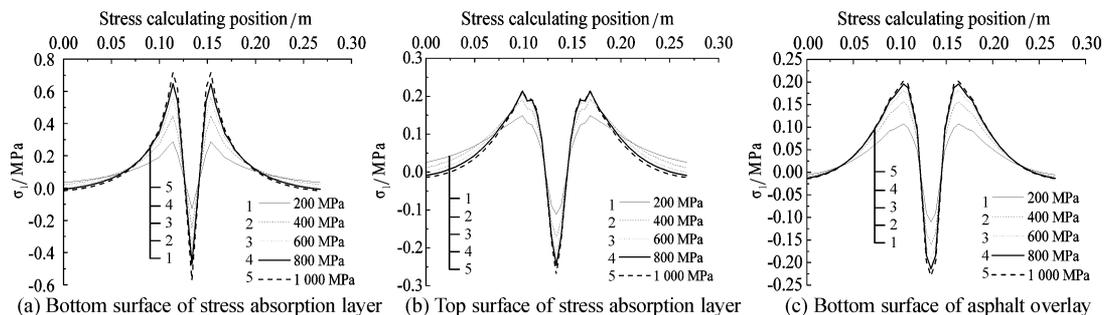


图7 不同应力吸收层模量下的温度应力

Fig.7 Thermal stress under different modulus of stress absorption layer

由图可知,同一吸收层模量条件下,温度应力与图4变化规律相似,随着应力吸收层模量的增大,温度应力逐渐增大.与200 MPa吸收层模量相比,三个计算位置的最大拉应力分别增加了56.44%~

150.10%;28.92%~44.45%;46.01%~89.12%。

### 3 温度-荷载耦合应力计算

按图 3 所示,在沥青加铺层上施加荷载,计算最不利情况下接缝中心两侧温度-荷载耦合应力.由于荷载作用不对称,接缝中心两侧路面结构层的耦合应力分布也不对称。

(1)拟定沥青加铺层厚度分别为 6 cm、8 cm、10 cm、12 cm、16 cm 时的温度-荷载应力计算

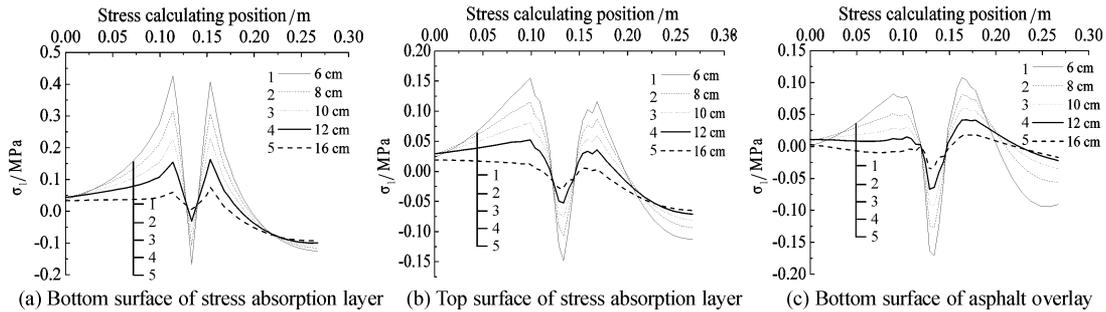


图 8 不同沥青加铺层厚度下的温度-荷载耦合应力

Fig. 8 Thermal-loading coupled stress under different thickness of asphalt overlay

由图可知,随着沥青加铺层厚度的增大,加铺层温度隔离效果不断增强导致温度应力不断降低,同时,厚度的增加也使得加铺层荷载传递能力不断得到加强,从而使面层内荷载应力进一步降低,最终导致温度-荷载耦合应力逐渐减小;但远离接缝中心一侧局部范围内的应力逐渐变大.与 6 cm 加铺层厚度相比,(a)中 0.114 m 处拉应力减小了 0.110~0.366 MPa;(b)中 0.099 处拉应力减小了 0.039~0.143 MPa;(c)中 0.163 m 处拉应力减小了 0.027~0.091 MPa。

沥青加铺层越厚,温度-荷载耦合应力越小,但是采用较大厚度的加铺层在经济上不合理,而且不能充分利用旧水泥混凝土路面的剩余强度.因此,根据实际工程应用情况,建议采取 8~15 cm 的加铺层厚度。

(2)拟定沥青加铺层模量分别为 600 MPa、800 MPa、1 000 MPa、1 500 MPa、2 000 MPa 时的温度-荷载应力计算

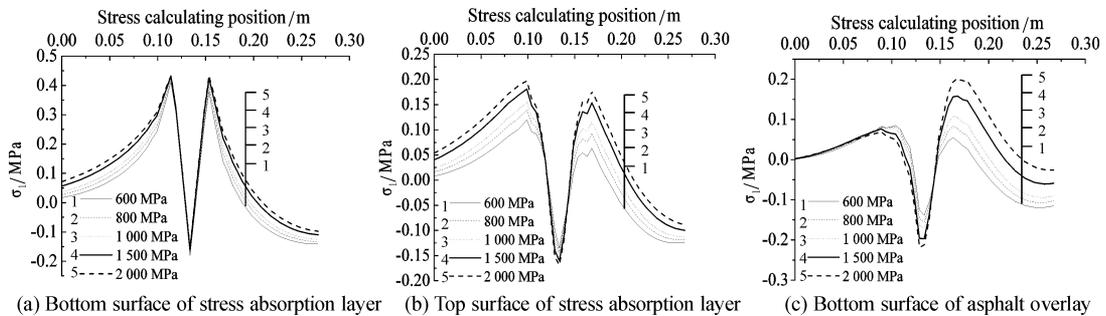


图 9 不同沥青加铺层模量下的温度-荷载耦合应力

Fig. 9 Thermal-loading coupled stress under different modulus of asphalt overlay

由图可知,随着沥青加铺层模量的增大,温度-荷载耦合应力逐渐增大.与 600 MPa 加铺层模量相比,(a)中 0.114 m 处拉应力增加了 0.009~0.022 MPa;(b)中 0.099 m 处拉应力增加了 0.020~0.078 MPa;(c)中 0.168 m 处拉应力增加了 0.031~0.156 MPa。

沥青加铺层模量的增大导致温度-荷载耦合应力增大,对沥青加铺层底层的影响最大,严重影响路面稳定性,因此应适当控制沥青加铺层的模量。

(3)拟定应力吸收层厚度分别为 1 cm、2 cm、3 cm、4 cm 时的温度-荷载应力计算

由图可知,靠近接缝中心的位置,随着应力吸收层厚度的增大,温度-荷载耦合应力逐渐减小.与 1 cm 吸收层厚度相比,(a)中 0.113 m 处拉应力减小了 0.148~0.284 MPa;(b)中 0.148 m 处,当吸收层厚度由 2 cm 增大为 3 cm 时,耦合应力由拉应力变为压应力,应力减小了 0.582~0.674 MPa;(c)中

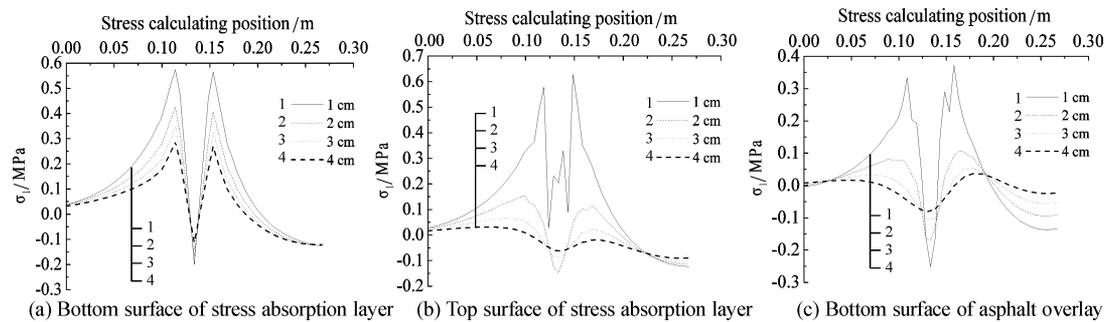


图10 不同应力吸收层厚度下的温度-荷载耦合应力

Fig. 10 Thermal-loading coupled stress under different thickness of stress absorption layer

0.158 m 处拉应力减小了 0.282~0.375 MPa.

增大应力吸收层厚度,拉应力减小且改善效果明显;当吸收层厚度为 4 cm 时,吸收层顶、加铺层底所受的耦合应力不大,变化起伏较小.然而,较厚的吸收层将会降低加铺层的作用,经济上不合理;同时,随着吸收层厚度的增大,对各层受力的改善能力逐渐减缓.综合考虑技术、经济要求,建议采用 2~3 cm 厚的应力吸收层.

(4) 拟定应力吸收层模量分别为 200 MPa、400 MPa、600 MPa、800 MPa、1 000 MPa 时的温度-荷载耦合应力计算

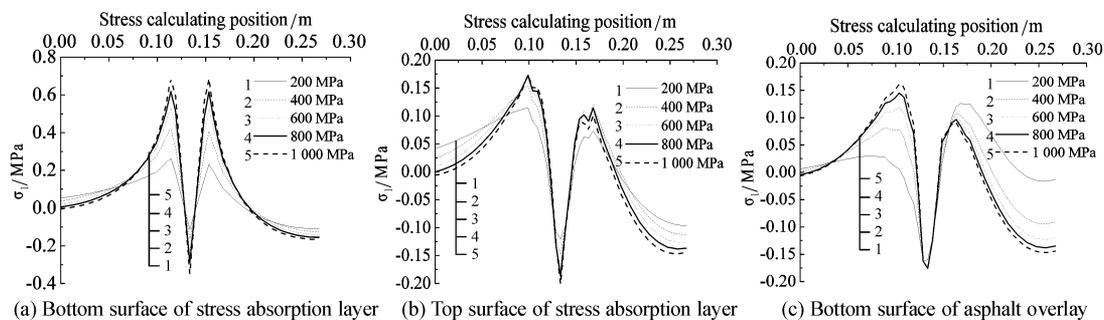


图11 不同应力吸收层模量下的温度-荷载耦合应力

Fig. 11 Thermal-loading coupled stress under different modulus of stress absorption layer

由图可知,靠近接缝中心的位置,随着应力吸收层模量的增大,温度-荷载耦合应力逐渐增大.与 200 MPa 吸收层模量相比,(a)中 0.114 m 处拉应力增加了 0.163~0.420 MPa;(b)中 0.099 m 处拉应力增加了 0.041~0.060 MPa;(c)中 0.104 m 处拉应力增加了 0.073~0.156 MPa.

随着应力吸收层模量的增大,温度-荷载耦合应力也逐渐增大且幅度较大,容易导致路面损坏,因而应采取较低的吸收层模量.

## 4 结 论

本文采用有限元软件,在路面结构层具有不同厚度、模量的情况下,对水泥混凝土加铺路面进行温度应力、温度-荷载耦合应力计算,得到以下结论:

(1) 随着沥青加铺层厚度的增大,吸收层底、顶和加铺层底应力逐渐减小.为符合工程、经济要求,建议采取 8~15 cm 的加铺层厚度.

(2) 随着应力吸收层厚度的增大,吸收层底、顶和加铺层底应力逐渐减小.综合考虑技术、经济要求,建议采用 2~3 cm 的应力吸收层.

(3) 随着沥青加铺层、应力吸收层模量的增大,吸收层底、顶和加铺层底应力逐渐增大,影响水泥混凝土加铺路面结构的稳定性.因此,在满足工程要求的前提下,建议采用较低模量的沥青加铺层与应力吸收层.

## 参考文献 References

- [1] MORIAN Nathaniel E. Effect of geotextile fabrics on reflective cracking of hot mix asphalt overlays in Washoe County, Nevada[D]. University of Nevada, 2007:187.
- [2] AMINI F. Potential Applications of Paving Fabrics to Reduce Reflective Cracking, partment of Civil and Environmental Engineering[D]. Jackson State University, 2005.
- [3] BUTTON J W, LYTTON R L. Guidelines for Using Geosynthetics with Hot Mix Asphalt Overlays to Reduce Reflective Cracking[C]// In Transportation Research Board 2007 Annual Meeting CD-ROM. Transportation Research Board of the National Academies:111-119.
- [4] 马庆雷,杨 斌,陈栓发.大粒径沥青碎石加铺层结构反射裂缝调查及应力分析[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2005,37(1):108-112.  
MA Qing-lei, YANG Bin, CHEN Shuan-fa. Investigation and stress analysis on reflection crack of large particle size gravel asphalt overlay structure [J]. J. Xi'an University of architecture & Technology; Natural Science Edition, 2005, 37 (1):108-112.
- [5] 王 乾,童申家,王选仓,等.桥面铺装温度场与温度应力分析[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2011,43(2):747-754.  
WANG Qian, TONG Shen-jia, WANG Xuan-cang, et al. Analysis on thermal field and thermal stress of bridge deck pavement [J]. Xi'an University of architecture & technology; Natural Science Edition, 2011, 43(2):747-754
- [6] 韦 俊,孟 浩,薛圣广.钢筋不均匀锈蚀引起的混凝土保护层开裂有限元分析[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2011,43(5):747-754  
WEI Jun, MENG Hao, XUE Sheng-guang. FEM Analysis on the crack process of concrete cover induced by uniform corrosion of re-bar [J]. Xi'an University of architecture & technology; Natural Science Edition, 2011,43(5):747-754.
- [7] 徐 玮.旧水泥混凝土路面沥青加铺层工作状态及力学分析研究[D].西安:长安大学,2007.  
XU Wei. Working state and mechanics analysis research of old cement concrete road asphalt overlay [D]. Xi'an: Chang'an University, 2007.
- [8] 曹东伟,胡长顺.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(5):1-8.  
CAO Dong-wei, HU Chang-shun. Mechanics analysis on asphalt overlay of old cement concrete pavement with sandwich structure against the crack [J]. China Journal of Highway and Transport, 1999(5):1-8.

## Analysis on stress of asphalt overlay on old Portland cement concrete pavement based on the stress absorption layer

LI Xia<sup>1,2</sup>

- (1. School of Management Engineering, Xi'an University of Finance and Economics, Xi'an 710061, China;  
2. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** In order to study the mechanic response of asphalt overlay structure which was set with stress absorption layer, the finite element methods were adopted to build a thermal-loading coupled model at the position of juncture on overlay cement concrete pavement under the most adverse temperature. Research is carried out on the thermal stress and the thermal-loading coupled stress under the condition of different modules and thicknesses of asphalt overlay and stress absorption layer. According to the study, a reasonable thickness range of asphalt overlay and stress absorption layer was presented. At the same time, the modules of asphalt overlay and stress absorption layer should be controlled properly.

**Key words:** cement concrete; asphalt overlay; stress absorption layer; mechanic response; thermal stress; thermal-loading coupled stress