

文章编号:1671-6833(2009)03-0082-05

贫混凝土基层沥青路面温度-荷载耦合应力分析

付其林¹, 陈拴发^{1,2}, 彭 翀³

(1. 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; 2. 长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710061; 3. 海南省交通厅, 海南 海口 570204)

摘 要: 为了分析贫混凝土基层沥青路面在不同路面结构和材料参数下的温度-荷载耦合应力状况, 通过三维有限元数值方法, 分析了沥青面层厚度和模量、贫混凝土基层厚度和模量及基层缩缝宽度对沥青路面温度-荷载耦合应力的影响。研究表明: 沥青面层厚度和基层缩缝宽度对路面温度-荷载耦合应力有显著影响; 基层厚度和模量对耦合应力的影响不显著。适当增加沥青面层厚度对预防反射裂缝十分有效; 改变贫混凝土基层的厚度和模量对预防反射裂缝作用不大; 适当宽度的基层缩缝对延缓反射裂缝效果显著。

关键词: 道路工程; 沥青路面; 耦合应力; 反射裂缝; 三维有限元; 贫混凝土基层

中图分类号: U 416.224

文献标识码: A

0 引言

为减少沥青路面的早期损坏并满足大交通量和重载交通的需要, 采用强度高、耐冲刷的贫混凝土基层是我国改进路面结构设计, 使其更加经久耐用的一个重要发展方向。贫混凝土基层沥青路面具有承载力高、路面柔顺、易维修等特点, 具有广阔的应用前景^[1]。但是贫混凝土基层刚度较大, 具有较强的温缩与干缩特性, 容易开裂。在温度与车辆荷载共同作用下, 裂缝逐渐向沥青面层延伸, 形成反射裂缝, 这就制约了贫混凝土基层沥青路面的推广应用^[2]。目前, 国内外道路工作者利用空间等参元、层状体系理论和断裂力学等理论, 对旧水泥混凝土路面加铺沥青面层复合式路面结构进行了广泛研究^[3,4]; 同时对贫混凝土基层沥青路面进行了一定的研究^[5,6], 但针对贫混凝土基层沥青路面在温度-荷载共同作用下受力的研究尚不多见。笔者采用扩大基础的三维有限元分析模型, 计算了贫混凝土基层沥青路面在温度和荷载共同作用下的耦合应力状况, 分析了沥青面层厚度和模量、贫混凝土基层厚度和模量及基层缩缝宽度对沥青路面形成反射裂缝的影响, 为合理进行路面结构设计提供理论依据。

1 路面结构计算模型及分析

1.1 结构计算模型及材料计算参数

将路面结构视为弹性层状体系, 研究对象由沥青面层、贫混凝土基层和基础组成, 沥青面层、贫混凝土基层和基础结构层采用三维 8 节点各向同性实体单元。基础采用扩大尺寸模拟, 并对各结构层作如下假定^[7]: ①各结构层为均匀、连续、各向同性的弹性体; ②各层层间竖向、水平位移均连续; ③基础底面各向位移为零, 基础侧面无约束; ④不计路面结构的自重影响; ⑤基层缩缝宽度为 1.0 cm, 且缩缝处无传荷能力。上下层间的接触状况为: 贫混凝土基层与基础之间假设为绝对光滑, 与沥青面层之间假设为完全连续。路面结构计算模型见图 1, 路面结构几何尺寸及材料计算参数见表 1。

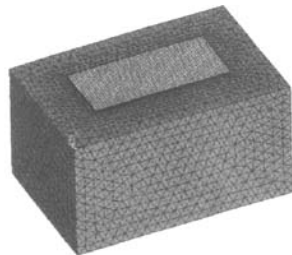


图 1 路面结构计算模型图

Fig.1 Structural calculation model of

收稿日期:2009-01-11; 修订日期:2009-02-20

基金项目:国家西部交通建设科技项目(2006 318 000 05)

作者简介:付其林(1982-)男,安徽界首人,长安大学博士研究生,主要从事路面结构与材料方面的研究。

表 1 路面结构几何尺寸及材料计算参数

Tab. 1 Geometry size of pavement structure and material parameter

结构层	几何尺寸($X \times Y \times Z$)/m	弹性模量 E /MPa	泊松比 μ	导热系数/($W \cdot m^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)	线膨胀系数/($^\circ C^{-1}$)
沥青面层	10.01 \times 4.5 \times 0.1	1 200	0.25	1.2	2.1×10^{-5}
贫混凝土基层	(5+5) \times 4.5 \times 0.20	20 000	0.15	1.5	1.0×10^{-5}
基础	16.01 \times 10.5 \times 9	120	0.30	1.0	0.5×10^{-5}

1.2 荷载与其临界荷位

车辆荷载参数:轴载为 BZZ-100 标准轴载,轮压为 0.7 MPa,双轮中心距为 32 cm,轮距为 182 cm,单个轮压作用范围为 18.9 cm \times 18.9 cm,接触面积为 357.21 cm². 车辆荷载的临界荷位^[8]如图 2 所示.

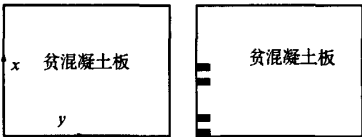


图 2 荷载位置示意图

Fig.2 Load position plan

1.3 温度与温度场

沥青路面温度应力主要由路面顶面温度降低使得路面结构产生收缩变形,而路面结构内的温

度梯度又使贫混凝土基层产生“凹形”翘曲,这两种变形叠加使得基层缩缝处产生张开变形,使与缩缝对应的沥青面层底面受拉. 在计算沥青路面自身的收缩时,考虑到全国各地区最大日温差一般不超过 20 $^\circ C$ ^[9],即以日平均气温为参考温度,每日的升温及降温近似为 10 $^\circ C$ 及 -10 $^\circ C$,所以在计算温度应力时取 $\Delta T = -10\text{ }^\circ C$. 计算贫混凝土基层翘曲变形,必须先确定该路面结构的温度场^[10]. 对于沥青面层、贫混凝土基层和基础的多层体系,利用三维有限元法的数值方法,计算贫混凝土基层沥青路面结构的温度梯度. 表 2 列举了沥青面层厚度 h_a 为 0~20 cm,贫混凝土基层厚为 20 cm 时,各自然区划内最大温度梯度变化范围推荐值. 当基层厚度 h_c 不等于 20 cm 时,可按表 3 进行修正.

表 2 不同自然区划最大温度梯度推荐值

Tab. 2 Range of maximum temperature gradient for highway's natural zoning

h_a /cm	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V	Ⅵ	Ⅶ
0	0.95~1.01	1.03~1.08	1.00~1.06	0.97~1.04	0.99~1.05	1.06~1.12
4	0.67~0.71	0.70~0.77	0.69~0.76	0.68~0.73	0.69~0.75	0.75~0.80
8	0.46~0.50	0.52~0.55	0.50~0.54	0.47~0.51	0.49~0.30	0.53~0.57
12	0.32~0.35	0.35~0.37	0.33~0.36	0.32~0.35	0.33~0.36	0.36~0.38
16	0.32~0.33	0.32~0.33	0.32~0.33	0.32~0.33	0.32~0.33	0.32~0.33
20	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32

表 3 温度梯度修正系数

Tab. 3 Correction coefficient of maximum temperature gradient

h_c /cm	16	18	20	22	24	26	28
修正系数	1.10	1.05	1.00	0.93	0.87	0.82	0.75

1.4 沥青路面最不利点位置的确定

对于沥青面层、贫混凝土基层和基础的多层体系,利用三维有限元法的数值方法,在上述力学模型和参数下,贫混凝土基层沥青路面结构的温度-荷载耦合应力分布云图见图 3. 由计算结果知,最不利耦合应力点为基层接缝处沥青面层底部靠近边缘的 A 点,如图 4 所示.

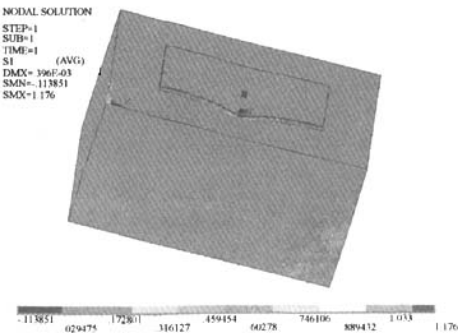


图 3 车辆荷载及温度耦合作用下应力分布云图

Fig.3 Load and temperature coupling stress model

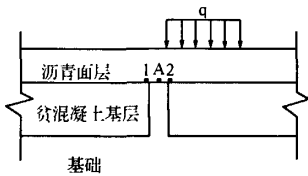


图4 耦合应力计算点A示意图

Fig.4 Coupling stress position A

2 温度与荷载共同作用下沥青面层的耦合应力分析

2.1 沥青面层厚度对沥青面层耦合应力的影响

沥青面层厚度是影响路面结构受力的重要参数,也是路面结构设计的重要参数.采用上述力学模型和参数,对不同沥青面层厚度下基层缩缝处沥青面层耦合应力进行计算,结果如图5所示.基层接缝处沥青面层的最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 和最大剪应力 τ_{max} 随面层厚度的增加呈显著减小的趋势.当面层厚度从6 cm增加到18 cm时, σ_1 、 σ_e 和 τ_{max} 减小的幅度很大,沥青面层厚度超过18 cm以后减小的幅度很小.这说明,适当增大沥青面层厚度能显著降低沥青面层的应力水平,改善路面结构受力情况.因此,适当增加沥青面层厚度,对预防反射裂缝是十分有效的.

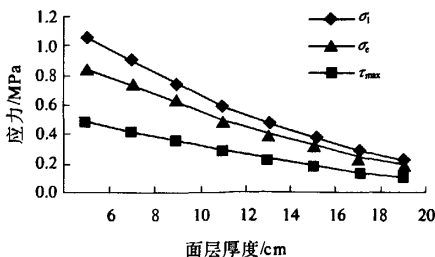


图5 面层厚度对耦合应力的影响

Fig.5 Effect of pavement' thickness on coupling stress

2.2 沥青面层模量对沥青面层耦合应力的影响

不同种类的沥青混合料模量是不同的,同种沥青混合料随其配合比的变化其模量也是变化的.采用上述力学模型和参数,对不同沥青面层模量下基层缩缝处沥青面层耦合应力进行计算,计算结果如图6所示.基层接缝处沥青面层的最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 和最大剪应力 τ_{max} 随面层模量的增加呈逐渐减小的趋势,但减小的幅度较小.这说明,随着沥青面层模量的增大,在一定程度上限制了贫混凝土板的翘曲变形,从而使得基层接缝处沥青面层的耦合应力有所减小.因此,通

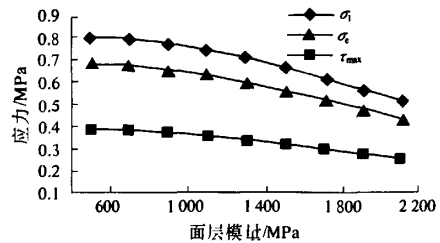


图6 面层模量对耦合应力的影响

Fig.6 Effect of pavement' modulus on coupling stress

过增加沥青面层模量的方法来预防反射裂缝,只能起到一定的作用.

2.3 贫混凝土基层厚度对沥青面层耦合应力的影响

贫混凝土基层厚度也是路面结构设计的重要参数,采用上述力学模型和参数,分析不同贫混凝土基层厚度下沥青面层的耦合应力状况,计算结果见图7.随着贫混凝土基层厚度的增加,基层缩缝处沥青面层最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 和最大剪应力 τ_{max} 逐渐增大,但增大的幅度很小.这说明,在一定范围内变化贫混凝土基层厚度对沥青面层底部受力状况影响不大.因此,通过调整贫混凝土基层厚度的方法来预防沥青路面反射裂缝,其效果不显著.

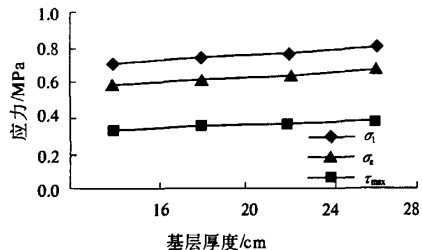


图7 基层厚度对耦合应力的影响

Fig.7 Effect of base' thickness on coupling stress

2.4 贫混凝土基层模量对沥青面层耦合应力的影响

不同的水泥掺量以及周围环境的变化会引起贫混凝土基层模量的变化,为分析在荷载与温度共同作用下基层模量变化对沥青面层受力的影响,计算贫混凝土基层模量从10 000 MPa增大到40 000 MPa时沥青面层的耦合应力,结果如图8所示.随着贫混凝土基层模量的增大,沥青面层最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 和最大剪应力 τ_{max} 呈线性增大,且增大的幅度很小.这说明,在一定范围内变化贫混凝土基层模量对沥青面层底部受力状况影响不大.因此,通过调整贫混凝土基层模量的

方法来预防沥青路面反射裂缝,其效果不明显。

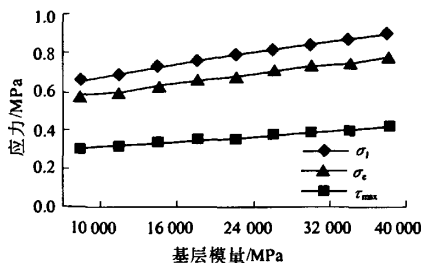


图8 基层模量对耦合应力的影响

Fig. 8 Effect of base' modulus on coupling stress

2.5 基层缩缝宽度对沥青面层耦合应力的影响

贫混凝土基层缩缝宽度也是路面结构设计的一个重要参数,采用上述力学模型和参数,计算了不同贫混凝土基层缩缝宽度下沥青面层的耦合应力状况,计算结果见图9。当缩缝宽度从0 cm增大至0.4 cm时,随着缩缝宽度的增大沥青面层所受最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 和最大剪应力 τ_{max} 剧烈增长,且在缩缝宽度为0.4 cm时出现最大值。当缩缝宽度为0.4~0.8 cm时,沥青面层层底的 σ_1 、 σ_e 和 τ_{max} 的值分别随缩缝宽度的增加有较大幅度的减小;当缩缝宽度大于0.8 cm时,其 σ_1 、 σ_e 和 τ_{max} 值分别随缩缝宽度的增加有小幅度的减小。这说明沥青面层在基层缩缝处的耦合应力比在非缩缝处的耦合应力显著增大,这是反射裂缝发生在缩缝处的原因所在;随着缩缝宽度的增大,应力集中现象有所减缓,应力变缓点为基层缩缝宽度0.8 cm处。因此,适当宽度的基层缩缝对延缓反射裂缝效果显著。

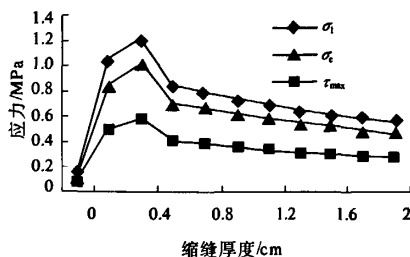


图9 基层缩缝宽度对耦合应力的影响

Fig. 9 Effect of base crack' width on coupling stress

3 结论

(1)建立了贫混凝土基层沥青路面三维有限元模型,计算了贫混凝土基层沥青路面结构的温

度-荷载耦合应力分布,确定了耦合应力最不利点为基层接缝处沥青面层底部。

(2)随着沥青面层厚度增大,温度-荷载耦合应力大幅度地减小;随着沥青面层模量增大,温度-荷载耦合应力小幅度地减小。适当增加沥青面层厚度对预防反射裂缝是十分有效的;提高沥青面层模量,对预防反射裂缝只能起到一定的作用。

(3)随着贫混凝土基层厚度或模量的增大,温度-荷载耦合应力略有增大。通过改变贫混凝土基层厚度或模量的方法来预防沥青路面反射裂缝,其效果不明显。

(4)沥青面层在基层缩缝处的耦合应力比在非缩缝处的耦合应力显著增大;随着缩缝宽度的增大,应力集中现象有所减缓,应力变缓点为基层缩缝宽度0.8 cm处。适当宽度的基层缩缝对延缓反射裂缝效果显著。

参考文献:

- [1] 陈拴发,彭 翀,王松根,等.贫混凝土基层沥青路面荷载应力有限元分析[J].长安大学学报:自然科学版,2007,27(6):1-5.
- [2] 武建民,伍石生.用三维有限元方法评价带接缝的旧水泥混凝土路面罩面[J].长安大学学报:自然科学版,2002,22(1):10-13.
- [3] DIYAR B. Three dimensional finite element analysis to evaluate reflective cracking potential in asphalt concrete overlays[D]. University of Illinois, PHD, 2002.
- [4] 马庆雷.基于刚性基层耐久性沥青路面结构研究[D].西安:长安大学博士学位论文,2006.6:114-169.
- [5] 赵伟诚,许志鸿,黄 文.混凝土面层与贫混凝土基层的层间作用对荷载应力和弯沉的影响[J].中国公路学报,2003,16(4):9-16.
- [6] 仰建岗,王秉纲.沥青路面贫混凝土基层应力计算[J].郑州大学学报:工学版,2006,27(1):59-63.
- [7] 杨 斌.旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构研究[D].西安:长安大学博士学位论文,2005:58-79.
- [8] 周富杰,谢晋光,孙立军.复合沥青路面临界荷位分析[C].上海市公路协会第四届年会学术论文集,1999:47-51.
- [9] 中央气象局.中华人民共和国气候图集[M].北京:气象出版社,1988:18-39.
- [10] 韩子东.道路结构温度场研究[D].西安:长安大学博士学位论文,2001.6:30-35.

Numerical Analysis of Coupling Stress for Asphalt Pavement on Lean Concrete Base

FU Qi-lin¹, CHEN Shuan-fa^{1,2}, PENG Chong³

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China; 3. Department of Communications, Hainan Province Government, Haikou 570204, China)

Abstract: In order to analyze coupling stress of asphalt pavement on lean concrete base under different road structure and material parameters, a 3D finite element method was used to analyze the effects of the thickness and modulus of asphalt pavement, the thickness and modulus of lean concrete base and the width of contraction joint on the coupling stress of asphalt pavement. The results show that: the thickness of asphalt pavement and the width of contraction joint have great effect on coupling stress, but the thickness and modulus of base have little effect on coupling stress. It is effective to avoid reflection crack to increase thickness of asphalt pavement properly, but it is little effective to change the modulus and thickness of base; the width of contraction joint has great effect on the reflection crack.

Key words: road engineering; asphalt pavement; coupling stress; reflective crack; 3D finite element; lean concrete base

(上接第81页)

- [2] 程常现, 张晓玲. 一回转平台印刷机滚筒版台主传动机构的优化设计[J]. 机械设计与研究, 2004, 20(2): 80-82.
- [3] 师忠秀, 蔡明正, 程强. 平面连杆机构的杆组法运动分析及仿真[J]. 青岛大学学报, 2003, 18(4): 22-26.
- [4] 王淑仁. 机械原理课程设计[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [5] 约翰. F. 加德纳. 机构动态仿真使用 MATLAB 和 SIMULINK[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.
- [6] 刘少刚, 韩继光. 偏置双曲柄滑块机构[J]. 林业机械与木工设备, 2004, 32(8): 30-32.

Kinematic Analysis for Two-crank-slider Mechanism Based on SIMULINK Kit

CHEN Jiang-yi, LIU Zhu-li, WANG Ying-jia

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: By virtue of SIMULINK kit of MATLAB software, the kinematic simulation of two-crank-slider mechanism is realized. As a kinematic system, the governing equations of mechanism can be transferred into simulate model easily. After setting the integral initial values corresponding to initial position of mechanism, the kinematic parameters are obtained. Finally, the treatment process is illustrated in detail though a main driving system of one-turn cylinder press. And the simulation results proved that presented method is feasible and effective.

Key words: two-crank-slider mechanism; kinematic analysis; SIMULINK