

水泥砼桥面沥青铺装受力特性研究^{*}

赵锋军, 杨鑫

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 以来马(来宾—马山)高速公路上林互通式立交桥沥青铺装工程为例, 建立梁体有限元模型, 在最不利荷位处加载, 以铺装层层顶拉应力和层间剪应力为计算指标, 分析不同铺装模量、厚度对沥青铺装受力的影响。结果表明, 根据不同模量组合下应力变化情况, 采用上粗下细的铺装方案更为合理; 增加铺装层厚度能改善铺装层的受力状况, 其中以合理增加铺装上层厚度为宜。

关键词: 桥梁; 水泥砼桥面铺装; 双层式铺装; 应力

中图分类号: U443.33

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)02-0143-04

对于桥面沥青铺装层, 在铺装层负弯矩区域, 最大拉应力出现在铺装层顶面, 当层顶拉应力超过极限值时, 将发生自上而下的开裂; 在高温季节, 层间粘结层材料抗剪强度较低, 当层间剪应力超过极限值时, 将使层间粘结失效, 并逐步发展成脱层、推移。由于病害问题严重, 桥面沥青铺装一直是研究热点, 如李江等以 T 梁桥为例, 分析了不同铺装层模量组合对层间剪应力的影响; 赵岩荆等以空心板桥和工字梁桥为例, 分析了大模量材料作为铺装下层的可行性; 李云良等通过简化桥梁上部结构, 以桥面铺装体系为研究对象, 分析了铺装层不同深度的应力情况。该文根据铺装层的主要病害形式, 以铺装层层顶拉应力和层间剪应力为计算指标, 以来马(来宾—马山)高速公路上林互通式立交桥为例, 分析不同铺装模量、厚度组合下沥青铺装体系的受力特性。

1 模型的建立

上林互通式立交桥上部结构采用预应力砼箱梁, 分左右两幅, 每幅由 4 个小箱室组成。箱梁高 1.5 m, 上开口宽 1.75 m, 下开口宽 1 m, 两相邻箱室中心距为 3 m, 肋板厚 0.18~0.20 m。跨径为 25 m, 在支座处设置横隔板。设计采用双层式沥青铺装。

横向选取一幅桥面, 纵向选取两跨建立三维有限元模型(见图 1)。受力所关注的沥青铺装层、砼现浇调平层和砼面板采用八节点单元, 箱室和横隔板采用四节点单元, 以减少单元数量, 提高计算效率。在轮载作用区域及其附近细化网格尺寸, 其余区域网格尺寸较粗。建模时作如下假定: 各结构层

之间完全连续, 不计结构自重的影响; 所有材料均为均匀且各向同性的线弹性材料; 对箱梁底部支座进行约束, 无横桥向(X 向)、纵桥向(Y 向)和竖向(Z 向)位移。

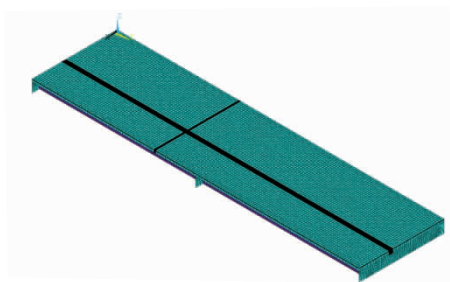


图 1 有限元模型

依照现行规范, 采用公路—I 级荷载, 考虑超载因素的影响, 取 30% 冲击系数, 轮载接地压力为 0.91 MPa。取双矩形均布荷载模拟单轴双轮荷载, 单轮接地面积为 $0.20 \times 0.25 \text{ m}^2$, 两轮间距为 0.10 m, 轮载模型见图 2。

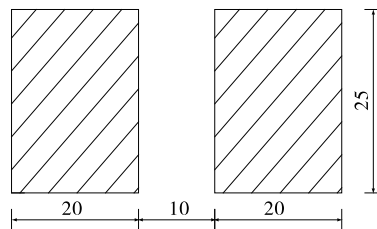


图 2 双轮均布荷载(单位: cm)

桥面板上的铺装结构分为水泥砼调平层、沥青混合料铺装下层及上层。铺装体系各结构层计算参数见表 1。

^{*} 基金项目: 道路结构与材料交通行业重点实验室(长沙)开放基金资助项目(kfj120202); 广西交通科技项目(2013-32)

表1 桥面铺装体系材料参数

结构层	厚度/cm	模量/MPa	泊松比
沥青混合料铺装上层	4	1400	0.3
沥青混合料铺装下层	6	1 200	0.3
水泥砼调平层	8	34 500	0.2
箱梁	—	34 500	0.2

2 最不利荷位的确定

在横向设置3种荷位工况:荷位1为轮载中心作用于一箱室正上方;荷位2为轮载中心作用于箱室肋板正上方;荷位3为轮载中心作用于两箱室搭接处正上方(见图3)。

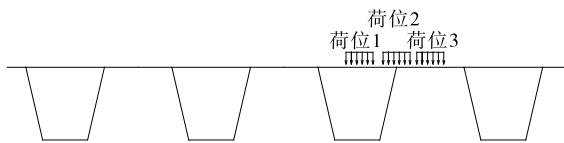


图3 横向荷位工况布置

针对每一种横向荷位工况,沿纵向设置4种荷位工况:荷位A为支座处;荷位B为1/4跨处;荷位C为1/3跨处;荷位4为跨中处(见图4)。

表2为桥面铺装在不同荷位工况下的层顶拉应

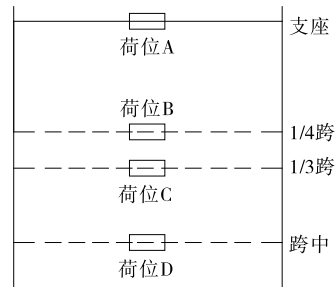


图4 纵向荷位工况布置

力、层间剪应力计算结果。

从表2可看出:1) 横向荷位变化对受力的影响大于纵向荷位变化的影响,这是由肋板的支撑作用所致。横向荷位2从支座处至跨中处变化,铺装上层应力呈现先增大后减小的趋势,与荷位1、荷位3处有所不同,这是因为荷载对称分布在肋板左右两侧,肋板的作用使铺装层产生负弯矩。2) 铺装上层的最不利荷位为2-B处,即横向位于箱室肋板正上方、纵向位于1/4跨处,且拉应力比剪应力大12.7%,说明铺装上层受力主要是拉应力,同时受到剪应力的影响。3) 铺装下层的最不利荷位为3-B处,即横向位于两相邻箱室搭接处正上方、纵向位于1/4跨处;无论何种荷位工况,剪应力均比拉应力大得多,说明铺装下层受力主要为剪应力。

表2 桥面铺装不同荷位工况下的应力计算结果

荷位	铺装上层计算结果				铺装下层计算结果			
	层顶拉应力/MPa		层间剪应力/MPa		层顶拉应力/MPa		层间剪应力/MPa	
	横向	纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向	纵向
1-A	0.136 8	0.056 1	0.166 1	0.084 1	0.007 8	0.001 7	0.168 8	0.082 4
1-B	0.101 5	0.030 2	0.166 8	0.081 0	0.010 7	0.000 6	0.177 2	0.079 3
1-C	0.100 5	0.029 4	0.166 8	0.081 0	0.010 1	0.000 9	0.177 2	0.079 3
1-D	0.099 8	0.028 7	0.166 8	0.081 1	0.009 7	0.000 9	0.177 2	0.079 4
2-A	0.186 1	0.067 4	0.166 0	0.084 7	0.002 3	0.001 3	0.166 9	0.083 1
2-B	0.192 2	0.054 2	0.167 8	0.083 5	0.006 1	0.000 9	0.169 8	0.081 8
2-C	0.191 4	0.053 5	0.167 8	0.083 3	0.005 7	0.001 1	0.169 8	0.081 7
2-D	0.190 9	0.052 9	0.167 7	0.083 5	0.005 3	0.001 1	0.169 8	0.081 8
3-A	0.150 4	0.066 1	0.166 2	0.084 6	0.001 6	0.001 3	0.167 3	0.083 0
3-B	0.109 3	0.036 5	0.166 7	0.080 9	0.011 3	0.000 9	0.177 4	0.079 2
3-C	0.108 3	0.035 6	0.166 7	0.080 9	0.010 9	0.001 1	0.177 4	0.079 3
3-D	0.107 5	0.034 8	0.166 7	0.081 1	0.010 7	0.001 1	0.177 3	0.079 5

根据荷位工况计算结果,铺装上、下层的最不利荷位不在同一位置,在后续计算中应根据所研究的结构层位,在对应最不利荷位处施加荷载求得应力计算结果。

3 桥面沥青铺装受力计算分析

3.1 不同铺装模量组合对受力的影响

沥青铺装层材料根据其集料粒径大小可分为上

粗下细、上细下粗及上下相同 3 种情况,当只有粒径由粗变细时,材料模量由小变大。为分析不同铺装模量组合对桥面铺装受力的影响,保持铺装上层模量不变(为 1 400 MPa),下层模量依次取 800、1 200、1 600、2 000 和 2 400 MPa 对铺装层的受力进行计算,结果见图 5;保持铺装下层模量不变(为 1 200 MPa),上层模量依次取 800、1 200、1 600、2 000 和 2 400 MPa 对铺装层的受力进行计算,结果见图 6。

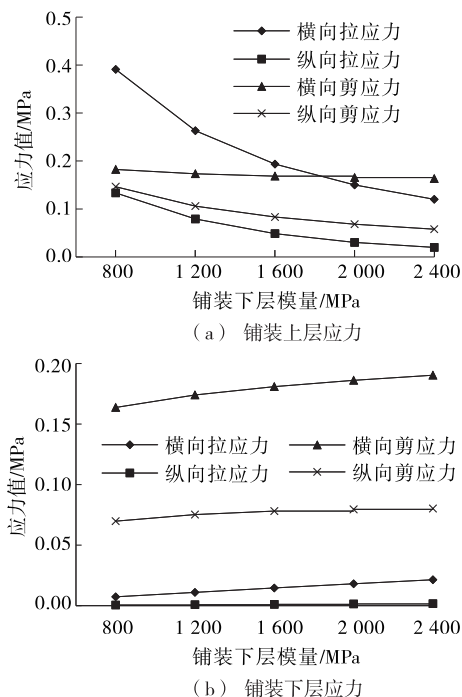


图 5 上层模量不变、下层模量变化工况下铺装层的应力状况

由图 5 可见:1) 随着铺装下层模量的增大,铺装上层各项应力呈下降趋势,这是由于铺装上层模量相对于铺装下层模量在减小,在整个铺装体系中所占刚度比例减小,使铺装上层能更好地适应铺装下层的变形,改善了受力状况。当铺装下层模量超过 1 900 MPa 时,铺装上层的主要受力形式由拉应力变成层间剪应力,在进行铺装层设计时要兼顾这两个指标。2) 铺装下层的应力变化与上层相反,随着铺装下层模量的增大,铺装下层各项应力呈上升趋势,这是因为铺装下层模量增大,提高了其刚度,承受荷载的程度不断加大,层间剪应力是铺装下层的主要应力形式,铺装下层材料随水泥砼层变形的能力减弱,导致层间横向剪应力增加,这是桥面铺装脱层、推移病害的成因之一。

由于模量组合不同,图 6 反映出来的变化趋势与图 5 相反。表明铺装下层模量较大能有效抑制铺

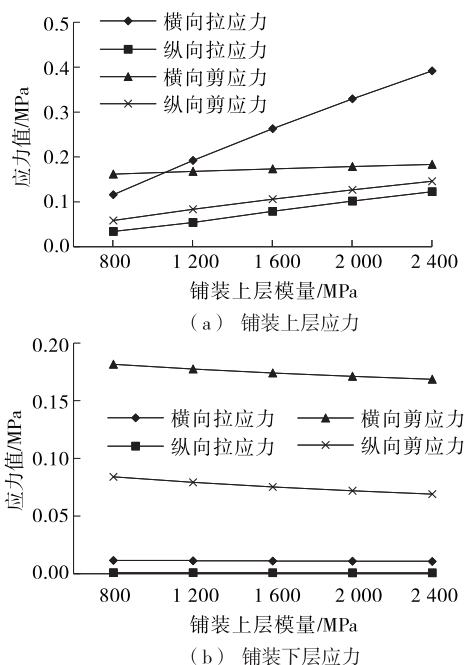


图 6 上层模量变化、下层模量不变工况下铺装层的应力状况

装层表面受拉产生的开裂,同时对层间抗剪性能有更高的要求,铺装上层模量较大时,应注意铺装上层材料的抗弯拉性能。综合图 5、图 6,模量组合的改变对层顶拉应力影响较大,采用上粗下细的组合对预防铺装层顶面产生疲劳开裂效果更明显。

3.2 不同铺装厚度组合对受力的影响

沥青铺装层厚度主要根据沥青铺装材料确定,对于双层式铺装层结构,各层厚度组合是重要设计内容。为分析不同铺装厚度组合对桥面沥青铺装受力的影响,保持铺装上层厚度不变(为 4 cm),铺装下层厚度依次取 4、5、6、7 和 8 cm 对铺装层的受力进行计算,结果见图 7;保持铺装下层厚度不变(为 6 cm),铺装上层厚度依次取 2、3、4、5 和 6 cm 对铺装层的受力进行计算,结果见图 8。

由图 7、图 8 可见:1) 增加铺装层厚度能改善桥面沥青铺装层的受力状况。随着铺装下层厚度的增加,铺装上层各项应力呈减小趋势;铺装下层层间横向剪应力呈先减小后增大的趋势,当下层厚度达到 6 cm 时应力反弹,说明铺装下层厚度过大时,铺装下层与水泥砼层之间将承受更大的剪应力。2) 随着铺装上层厚度的增加,各层的应力都减小。3) 增加铺装上层厚度对减小铺装上层层顶拉应力更有效;增加厚度对铺装下层层间剪应力的影响有限,甚至会使其加剧。说明可通过增加铺装上层厚度来缓

和上层受拉状况。

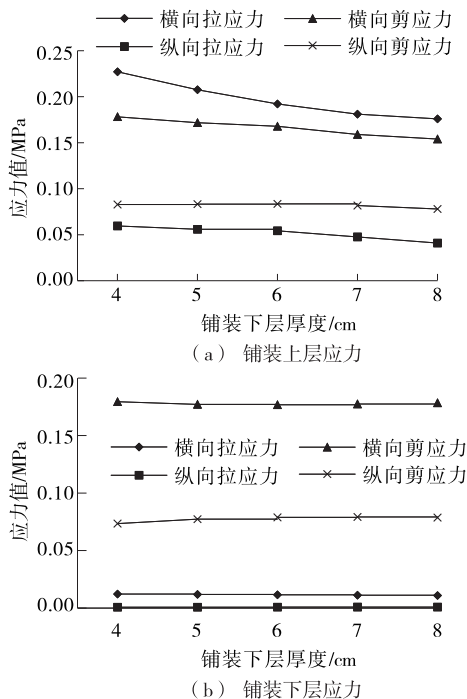


图7 上层厚度不变、下层厚度变化工况下铺装层的应力状况

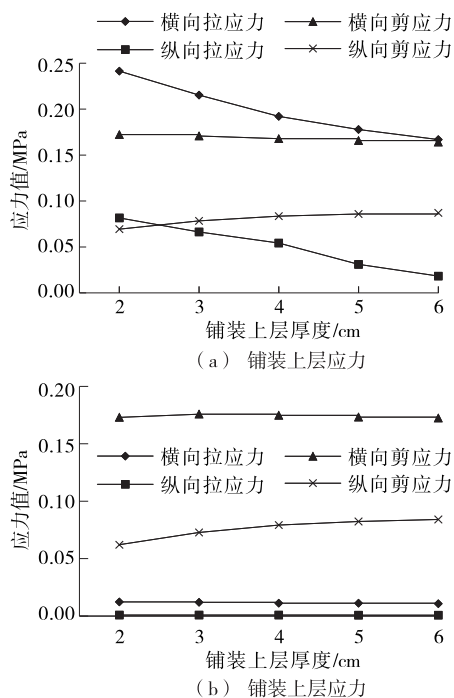


图8 上层厚度变化、下层厚度不变工况下铺装层的应力状况

4 结论

(1) 采用双层式桥面铺装层结构,铺装上、下层

的最不利荷位不在同一个位置。对于来马高速公路上林互通式立交桥,铺装上层的最不利荷位横向位于箱室肋板正上方、纵向位于1/4跨处,铺装下层的最不利荷位横向位于两相邻箱室搭接处正上方、纵向位于1/4跨处。

(2) 桥面铺装层材料模量组合变化引起的铺装上层顶拉应力变化更显著,采用上粗下细的铺装方案对改善层顶拉应力更有效,但需提高层间界面抗剪强度。

(3) 铺装层厚度变化引起的铺装上层各项应力变化比铺装下层各项应力变化更明显,可适当增加铺装上层厚度来改善铺装上层受拉情况。

参考文献:

- [1] 杨文明.沥青混凝土桥面铺装病害研究[D].西安:长安大学,2013.
- [2] 刘维.綦江大桥混凝土桥面铺装病害分析及处治方案研究[D].重庆:重庆交通大学,2014.
- [3] 李江,马佳奇,郝培文,等.T梁桥沥青混凝土铺装层剪应力状况有限元分析[J].公路交通科技,2012,29(2).
- [4] 赵岩荆,蒋玲.水泥混凝土桥梁双层桥面铺装结构力学分析[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2014,38(2).
- [5] 李云良,纪伦,刑超,等.水泥混凝土桥面铺装力学行为数值分析[J].哈尔滨工业大学学报,2013,45(10).
- [6] 张争奇,罗要飞,雷宗建.箱梁结构参数对铺装结构受力的影响分析[J].公路,2013(8).
- [7] 张海宾,李小建.基于综合工况的桥面铺装层间工作状态研究[J].中外公路,2012,32(6).
- [8] 刘云.重载交通作用下混凝土箱梁桥铺装结构动响应分析[J].公路,2014(2).
- [9] 刘云,于新,戴忧华,等.混凝土箱梁桥铺装防水粘结层力学性能[J].同济大学学报:自然科学版,2012,40(1).
- [10] JTG D50—2006,公路沥青路面设计规范[S].
- [11] 许社满.桥面沥青砼铺装层力学性能分析及施工质量控制[J].公路与汽运,2011(4).
- [12] 臧继成.重载交通水泥混凝土特大桥桥面铺装受力分析及关键技术研究[D].天津:河北工业大学,2014.
- [13] 于新,刘云,吴建涛.混凝土箱梁桥沥青混凝土铺装层温度应力分析[J].北京交通大学学报,2011,35(4).
- [14] 邹小魁.钢筋混凝土桥桥面铺装层应力分析与计算[D].西安:长安大学,2009.
- [15] 胡晓,苏凯,胡小弟,等.水泥混凝土桥桥面沥青铺装层的有限元分析[J].公路交通科技,2007,24(3).

收稿日期:2016-11-27