

连续钢箱梁桥面铺装层结构应力分析

李国芬, 曹 牧, 王宏畅, 朱华平

(南京林业大学土木工程学院, 南京 210037)

[摘要] 正交异性钢桥面的构造复杂,用理论算法对铺装层进行力学计算,较难得到精确的计算结果。本文利用有限元通用软件对曲线钢箱梁桥浇筑式沥青铺装层进行受力分析,将正交异性钢桥面板、铺装层作为整体,建立有限元模型,研究铺装层受力变形特点。根据钢桥面铺装层常出现的病害,并结合超载及刹车产生的水平荷载对铺装层受力的影响,提出相应的桥面铺装层破坏的综合控制指标。

[关键词] 桥面铺装;曲线钢箱梁;铺装层开裂;粘结滑移;应力应变特性

[中图分类号] TU745.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)08-0079-05

1 前言

钢桥面的沥青铺装一直都是一项较难解决的问题,因为正交异性板钢桥面的几何结构复杂,在重型车辆的荷载作用下,钢桥面板局部变形较大,并且在位于各纵向加劲肋和纵隔板与桥面板焊接处会出现明显的应力集中,这导致铺装层受力更复杂^[1]。本文结合一般钢桥面铺装常出现的病害,采用通用有限元程序Midas(civil)和ANSYS建立空间有限元模型,研究曲线连续梁桥的复合浇筑式沥青混凝土铺装层在行车荷载的不同荷位作用下应力和应变的分布规律。

2 有限元分析模型

桥面铺装层的受力分析需要考虑桥梁结构的整体变形对铺装层产生的影响,曲线梁桥在外荷载的作用下会同时产生弯矩和扭矩,并且相互影响,使梁截面处于弯扭共同作用的状态^[2]。本文应用Midas(civil)建立整桥模型,主梁采用梁单元进行模拟,可以较为方便地分析出在最不利活荷载作用下曲线钢箱梁桥的变形,得到桥面板所产生的最大弯矩和正应力,整桥有限元计算模型见图1。由计算结果发现桥面板产生的纵向应变都在 $150\ \mu\epsilon$ 以下,

因此桥面铺装层被动追随桥梁结构的变形也很小,远低于沥青铺装材料的疲劳极限,故桥梁结构的整体变形对桥面铺装层的影响可以忽略。



图1 整桥杆系模型

Fig.1 The bar system model of whole bridge

2.1 模型计算参数

分析模型中桥面顶板、加劲肋、纵隔板以及横隔板弹性模量为 2.1×10^5 MPa,泊松比为0.3,铺装上层的改性沥青厚度为35 mm,弹性模量为1 200 MPa,铺装下层的浇筑式沥青混凝土厚度为40 mm,弹性模量为5 000 MPa,铺装上下层泊松比为0.35。模型具体几何尺寸见表1。

2.2 模型的选择

用ANSYS建立钢箱梁的空间模型,为得到相应于曲线桥准确的力学特性,构建完整的横断面及半桥钢箱梁模型,并考虑对称施加边界条件以及实际支座约束,并在荷载作用区域进行网格加密,建立的模型如图2所示。

[收稿日期] 2013-05-20

[基金项目] 住房和城乡建设部科技项目(2012-K4-21)

[作者简介] 李国芬(1965—),女,江苏张家港市人,教授,主要研究方向为大跨径钢桥面铺装设计与施工研究;E-mail:lgf@njfu.edu.cn

表1 模型尺寸汇总

Table 1 The summary of model size

顶板板厚/mm	14	底板板厚/mm	12
横隔板板厚/mm	12	横隔板间距/m	2.9
上口宽/mm	320	上口宽/mm	320
下口宽/mm	320	下口宽/mm	320
顶板U形加劲肋高/mm	270	底板U形加劲肋高/mm	270
间距/mm	600	间距/mm	600
板厚/mm	6	板厚/mm	6

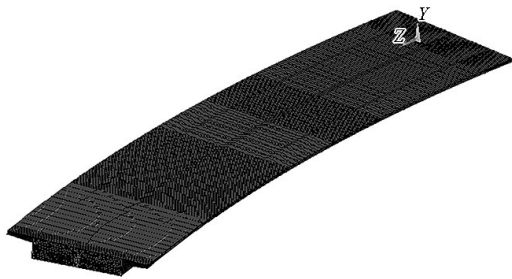


图2 有限元分析模型

Fig.2 The finite element analysis model

2.3 计算荷载

计算的车辆荷载依据《公路桥梁设计通用规范》(JTG D60—2004),采用公路-I级550 kN级的重车,行车荷载为双轮组单轴载140 kN,一个后轴车轮着地宽0.6 m,着地长度为0.2 m,并只取后轴的一个双轮的作用,取每个轮重70 kN,并考虑1.3的冲击系数,则每个车轮作用在桥面的均布荷载为 $1.3 \times 70 \div 0.6 \div 0.2 = 758 \text{ kN/m}^2$ 。

3 铺装层内部应力应变分析

铺装层的纵横向开裂破坏是钢桥面铺装最常见的一种破坏类型,铺装层表面的弯拉应力、应变将会导致疲劳裂缝^[3]。因此,铺装层的最大拉应力与拉应变是控制铺装层开裂破坏的重要设计指标,分析其分布变化规律可以了解铺装层开裂破坏的特性,以采取有效的防范措施。

根据钢桥面的几何特征,荷载的横向加载位置取3个特征荷位如图3所示:荷位1,均布荷载的合力作用线通过两加劲肋间距的中心;荷位2,均布荷载合力作用线通过U形加劲肋侧肋顶部;荷位3,均布荷载合力作用线通过U形加劲肋中心。纵向荷载位置取横隔板处,以及两横隔板间的1/8跨,1/4跨,跨中4个不同位置,如图4所示。铺装层内的最大拉应力与拉应变计算结果列于表2中。由于含有纵隔板,车轮荷载在纵隔板附近和远离纵隔板产生的应力可能会有所不同,故分开计算其主拉应力并进行比较,结果如图5所示。

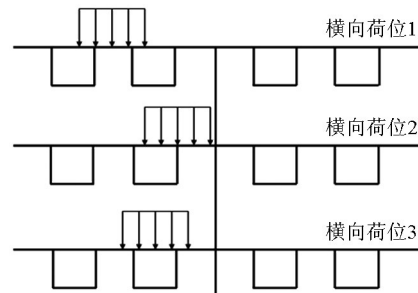


图3 钢桥面板荷载横向布置图

Fig.3 Deck transverse load

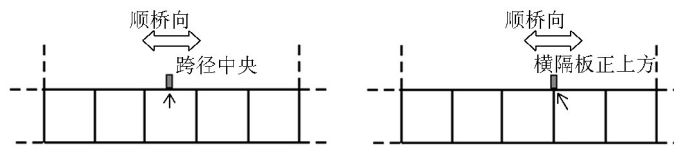


图4 钢桥面板荷载纵向布置图

Fig.4 Deck vertical load

表2 不同荷位下铺装层最大拉应力与拉应变

Table 2 Maximum tensile stress and the tensile strain of different load position

荷载工况	最大弯沉/mm	最大横向拉应力/MPa	最大横向拉应变/ $\mu\epsilon$	最大纵向拉应力/MPa	最大纵向拉应变/ $\mu\epsilon$
1-1	0.090	0.042	39.3	0.039	29.5
1-2	0.235	0.097	86.5	0.081	69.3
1-3	0.307	0.121	105.6	0.073	60.5
1-4	0.425	0.15	131.3	0.070	59.5
2-1	0.093	0.055	31.9	0.043	27.5
2-2	0.153	0.076	50.1	0.042	37.7

续表

荷载工况	最大弯沉/mm	最大横向拉应力/MPa	最大横向拉应变/ $\mu\epsilon$	最大纵向拉应力/MPa	最大纵向拉应变/ $\mu\epsilon$
2-3	0.302	0.107	89.7	0.076	64.7
2-4	0.423	0.134	115.4	0.072	62.8
3-1	0.09	0.032	27.5	0.034	20.2
3-2	0.232	0.086	75.8	0.079	60.9
3-3	0.311	0.108	95.1	0.072	60.7
3-4	0.432	0.140	122.3	0.068	60.3

注:对于荷载工况1-1,前面的数字1表示横向荷位1,后面的数字1表示纵向荷位1;其他工况依此类推

从以上计算结果汇总表可以得出如下的结论。

- 1)纵向不同的荷载位,在跨中处弯沉较大,向横隔板靠近时弯沉逐渐减小,横隔板处弯沉最小。
- 2)在各种荷载工况下,桥面铺装层内的横向拉应变均远大于纵向拉应变,可见横向拉应变是铺装层出现开裂破坏的主要原因。
- 3)同一纵向荷载位,横向荷位1所引起的横向拉应变数值最大,为横向拉应变最不利荷载位;同一横向荷载位,越靠近跨中,拉应变值越大。
- 4)对于横、纵向应变控制指标,最不利荷载工

况分别为1-4、3-2,横向最大拉应变为131.3 $\mu\epsilon$,纵向最大拉应变为90.9 $\mu\epsilon$ 。

5)从图5可以看出,荷载作用在钢箱梁纵隔板附近时,铺装层所受到的横向最大拉应变大于荷载作用在远离纵隔板的位置,并且横向荷位2引起的拉应变最大,其最大值达到197.7 $\mu\epsilon$ 。故虽然纵隔板增强了钢箱梁的纵向刚度,但由于其刚度较大,当车辆荷载作用在附近时,铺装层受力情况更为不利,此时的最大拉应变是远离腹板时的1.5倍。

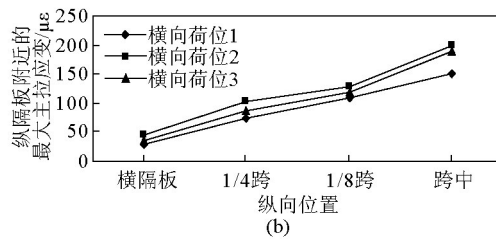
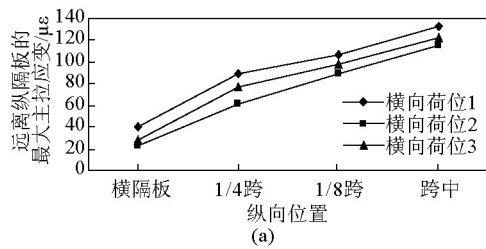


图5 纵隔板对主拉应变的影响

Fig.5 Effects of mediastinal plate on the principal tensile strain

4 铺装层与钢桥面板的层间剪应力分析

铺装层与钢板间的粘结破坏,是除裂缝外钢桥面板铺装层的另一种常见破坏类型^[4]。铺装层是柔性的,其与钢板共同受力变形,一般情况下,将粘结层和铺装层视为完全粘结。然而,当荷载作用下,铺装层与钢板间产生较大的剪应力时就会产生较大的剪切变形,倘若铺装层与钢板之间结合界面的粘结力差、抗水平剪切能力较弱,在水平方向便会产生相对位移致使粘结力丧失,粘结力的破坏又会加速铺装层本身的破坏。故将铺装层与钢桥面板的层间剪应力作为控制粘结破坏的主要控制指标,计算不同荷位下铺装层与钢板的层间最大剪应力,结果如表3所示。

表3 不同荷位下的铺装层最大剪应力

Table 3 The maximum shear stress of different loads

荷载工况	最大横向剪应力/MPa	最大纵向剪应力/MPa
1-1	0.045	0.074
1-2	0.076	0.051
1-3	0.117	0.055
1-4	0.110	0.069
2-1	0.055	0.060
2-2	0.101	0.050
2-3	0.153	0.058
2-4	0.118	0.074
3-1	0.061	0.065
3-2	0.105	0.060
3-3	0.125	0.054
3-4	0.123	0.070

考虑刹车的水平力作用对层间剪应力的影响,水平荷载大小等于竖向荷载乘以水平荷载系数^[5],模型中选择水平荷载系数为0.5,在竖向荷载的基础上加上水平荷载,比较其计算结果与无水平力的情况,如图6所示。

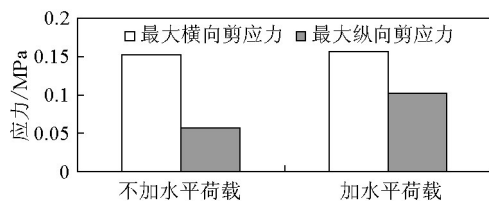


图6 水平荷载的影响

Fig.6 Influence of horizontal loading

由表3及图6的计算分析结果,可以得到如下结论:铺装层与钢板间的横向最大剪应力明显大于纵向最大剪应力,所以铺装层与钢桥面板的层间粘结破坏的主要控制指标就是层间横向剪应力,最大横向剪应力为0.153 MPa,在增加纵向水平荷载后,纵向剪应力和拉应变增加了约2倍,而横向剪应力和拉应变没变化,但值仍在横向拉应力和应变之下。

5 超载作用下的受力分析

超载现在已经成为造成铺装层破坏的一个不可忽略的因素,本文采用保持轮胎的接地面积不变,取改变集度的方式模拟超载,0.758 MPa的标准胎压对应的后轴重为13 t,增加胎压的集度最大至2倍,分别为16 t、19.5 t和26 t,计算结果见图7。

由图7可看出,改变等效均布荷载的集度,横向最大拉应力与轴重呈近似线性变化,而层间最大剪应力变化不大。故超载车运行下的钢桥面铺装层

疲劳开裂的几率大大提高,铺装层的寿命将会缩短。

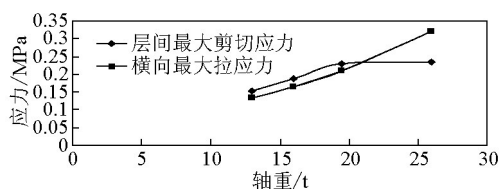


图7 超载对最大应力的影响

Fig.7 Effect of overload on the maximum stress

6 结语

曲线钢箱梁桥的整体变形产生的纵向应变对于铺装层的影响并不大。在车辆荷载作用下,铺装层内的最大横向拉应变要远大于最大纵向拉应变,并且受纵隔板的影响很大,在纵隔板附近的最大横向拉应变达 $197.7 \mu\epsilon$,是远离腹板处最大拉应变值的1.5倍;超载作用下,铺装层的最大拉应力会显著成倍增加。铺装层与钢板间的最大层间剪应力为0.153 MPa,在水平刹车荷载作用下纵向剪应力和拉应变增加了约2倍,而横向剪应力和拉应变基本没变化。

参考文献

- [1] 张磊. 大跨径桥梁钢桥面铺装动荷载响应研究[J]. 东南大学学报, 2007(4): 36-39.
- [2] 汪卫东. 浅谈连续弯梁桥设计[J]. 大众科技, 2005(8): 25-28.
- [3] 钱振东. 南京长江第二大桥钢桥面铺装层受力分析研究[J]. 公路交通科技, 2001(6): 39-42.
- [4] 黄贤顺. 正交异性钢桥面沥青混凝土铺装的力学行为分析[J]. 华中科技大学自然科学学报, 2006(3): 65-69.
- [5] 吴春颖. 复合沥青材料的钢桥面铺装力学计算[J]. 现代交通技术, 2006(7): 54-59.

Stress analysis of deck pavement of continuous steel box girder

Li Guofen, Cao Mu, Wang Hongchang, Zhu Huaping

(College of Civil Engineering Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

[Abstract] The geometric structure of steel deck plates is complex. So it is difficult to get precise results in the mechanics calculation of deck pavement with traditional methods. This paper adopts the finite element method for the mechanics analysis of the composite guss asphalt surfacing layer of curved steel box girder bridges. By taking the orthotropic steel deck and the pavement as a whole, a reasonable finite element model which established can be used to study the stress and deformation features of the surfacing layer. According to the common diseases in steel deck pavements and the effect of the overload and the horizontal load in braking to the pavement, this paper puts forward the comprehensive control indicators for pavement failures.

[Key words] bridge deck pavement; curved continuous steel box girder; surfacing cracking; bond slip; stress and the strain property