

大跨径钢桥桥道系协同作用试验模型研究

夏国星¹, 钱振东², 陈 春², 刘 龔²

(1. 江苏省公路长江大桥建设指挥部, 江苏泰州 225321; 2. 东南大学智能运输系统研究中心, 南京 210096)

[摘要] 建立了考虑整桥变形的局部梁段模型,对钢桥面铺装在整个桥及车载作用下的应力进行了计算,得到整桥变形的影响系数为1.17。建立初拟的两种协同作用试验方案的有限元模型,以局部梁段模型中铺装的最大应力应变值为参考值,对两种协同作用试验方案中相关结构参数进行了修正;在此基础上,为保证设计的协同作用试验模型与原型的一致性,将修正后的试验模型与局部梁段模型在控制点位应力值进行了对比;最终得到大跨径钢桥桥道系协同作用试验模型。研究成果可为钢桥面铺装室内试验模型的设计提供理论依据。

[关键词] 协同作用;试验模型;大跨径钢桥桥道系

[中图分类号] U441 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2012)05-0096-05

1 前言

桥梁结构模型试验研究是确定或探索复杂桥梁结构受力状态的重要手段之一。超大跨连续大柔度桥面板与铺装系协同作用的关系复杂,涉及的影响因素众多^[1,2],因此采用模型试验研究超大跨大柔度桥面板与铺装系协同作用关系具有现实可行性和客观必要性。

目前,国内外对桥面板与铺装系协同作用模型的试验研究主要集中于复合梁体系^[2~4]。该体系与正交异性板钢桥面铺装受力特性较为相似,且试验较为方便,应用较广。但由于模型简易,并不能较为真实地反映铺装的实际工作状况。文章采用应力等效来进行桥面板与铺装层协同作用试验模型研究,设计的思路如下:

1) 在整桥力学分析的基础上,将整桥力学响应作为边界条件,建立带桥面铺装的局部梁段模型,计算车载作用下局部梁段模型铺装层的力学响应。

2) 初拟桥面板与铺装层协同作用试验模型方案,并建立初拟方案的有限元仿真模型。计算在车载作用下初拟协同作用试验模型方案的铺装层力学

响应。

3) 以车载作用下局部梁段模型铺装层的应力响应作为参考值,依据应力等效准则,通过改变协同作用模型中结构参数、模型边界条件、试验荷载大小等指标,修正协同作用试验模型初拟方案,使修正后方案模型的铺装层应力响应与局部梁段模型计算得出的参考值相近。从而得到合适的桥面板与铺装层协同作用试验模型。

2 考虑整桥变形的局部梁段铺装仿真计算

2.1 计算模型

通过整桥模型计算得出泰州大桥最不利梁段(局部精细模型的边界部位)的位移及内力;建立局部梁段仿真模型,将整桥模型位移响应作为边界条件,采用线性插值法将其施加到局部模型相应的位置。建立考虑整桥变形的局部梁段铺装仿真模型包含4个标准钢箱梁段,全长64 m,宽39.1 m,局部梁段模型主要构件几何尺寸根据实际状况选取,顶板厚14 mm,U肋厚6 mm。根据泰州大桥钢桥面铺装材料和铺装结构研究提出的铺装方案,局部梁段铺装仿真模型采用了如下方案:3.5 m 浇注式沥青混

[收稿日期] 2012-03-06

[基金项目] 国家科技支撑计划资助项目(2009BAG15B03)

[作者简介] 夏国星(1963—),男,江苏泰兴市人,研究员级高级工程师,主要研究大跨径桥梁建设关键技术;E-mail:tzbridge@163.com

凝土(下层) + 2.5 cm 环氧沥青混凝土(上层)。

2.2 荷载参数

参考润扬大桥和江阴长江大桥的交通调查数据^[5]以及泰州大桥的交通预测数据,从安全角度考虑,后文的研究中分析计算时超载比取 1.5,采用轴载 150 kN、胎压 1.05 MPa 作为铺装层荷载,计算时考虑 30% 的冲击系数,单侧轮总重为 97.5 kN。大量的计算结果表明^[6,7],当钢板的模量和沥青混凝土铺装层模量的比值 $n \geq 50$ 时,荷载的横向最不利荷位为荷载中心落在加劲肋侧肋的正上方,因此以该位置作为铺装层复合结构力学响应的横向计算荷位。为分析计算考虑,取轮胎着地的形式为矩形,计算模型采用双轮矩形均布荷载。有限元模型及车载示意图见图 1。

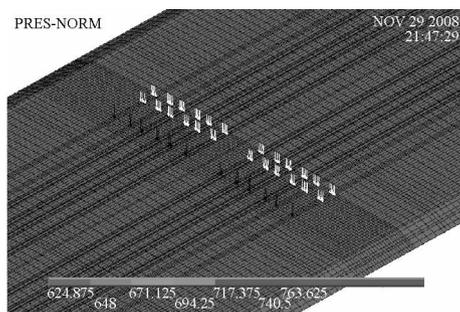


图 1 局部梁段及车载示意图

Fig.1 Local box girder FEM model and wheel load diagram

2.3 车辆荷载作用下铺装层力学响应结果

在车载作用下,计算考虑整桥变形的局部梁段铺装仿真模型铺装层力学响应,模型中铺装应力分布,如图 2 所示。表 1 列出了考虑整桥结构力学响应的局部梁段铺装仿真模型分析结果。结果表明,比只考虑局部梁段模型计算结果大 17%,可以认为泰州大桥的整桥变形对铺装层局部受力的影响系数为 1.17。

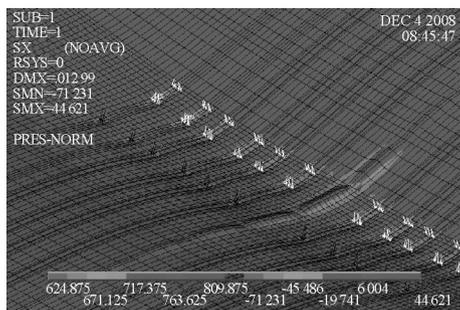


图 2 局部梁段铺装仿真模型应力分布图
Fig.2 Stress distribution of pavement on local box girder FEM model

表 1 局部梁段铺装仿真模型力学响应结果

Table 1 The mechanical response results of pavement on local box girder FEM model

最大拉应力/MPa		最大拉应变/(10E-6)	
横向	纵向	横向	纵向
0.873	0.342	736.2	319.5

为保证设计的协同作用试验模型与原型的一致性,在双轮荷载作用位置附近另选取 5 个具有代表性的点位(如图 3 所示):点位 1 为荷载轮迹中点,点位 2 为双轮荷载轮隙中点,点位 3、4、5 为轮迹各方向外延。由于双轮荷载的对称性,故而参考点位只取了单侧。局部梁段铺装仿真模型在相应点位铺装层的应力、应变值如表 2 所示。要求设计的协同作用试验模型在代表性点位铺装层的应力、应变值与局部梁段铺装仿真模型在相应点位的值相近。

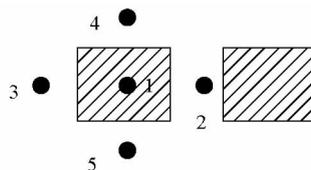


图 3 模型力学响应代表性点位分布图

Fig.3 The map of representative points of the mechanical response

表 2 局部梁段铺装仿真模型在相应点位铺装层的力学响应值

Table 2 The mechanical response of the representative points of pavement on local box girder FEM model

点位	横向拉应力 /MPa	纵向拉应力 /MPa	横向拉应变 /(10E-6)	纵向拉应变 /(10E-6)
1	-0.817	-0.083	-673	-261
2	0.873	0.342	736	319
3	0.415	0.059	439	129
4	-0.248	-0.058 3	-293	-83
5	-0.358	-0.054	-299	-83

3 桥面板与铺装层协同作用模型设计

以表 1 所列出的荷载作用下局部梁段铺装仿真模型的铺装层最大应力和最大应变作为主要参考值,对设计的协同作用试验模型进行修正,要求设计的协同作用试验模型铺装层的最大应力和最大应变响应值与参考值相近。同时为检验协同作用实体单位模型的整体相似性,将协同作用模型的铺装层在

代表性点位应力值与表 2 所列参考值进行比较。

3.1 初拟模型方案

综合考虑模型制作的力学边界条件、尺寸效应、加载条件以及试验条件等各种因素的影响,决定从泰州大桥钢箱梁整体结构中取出典型受力节段纵向长 3.2 m、横向宽 2.4 m,包括桥面顶板、U 型肋、横隔板和铺装层的结构作为桥面板与铺装层协同作用试验初始模型。初始模型主要构件几何尺寸、材料参数与局部梁段铺装仿真模型一致,按照实际尺寸选取。根据横隔板布置和边界条件的不同,桥面板

与铺装层协同作用初始模型包括两种方案。模型方案一:横隔板位于模型中部,且与地面不接触,模型沿纵向两端简支,如图 4 所示;模型方案二:横隔板位于模型两端,并且由于模型沿纵向两端固结,所以横隔板不可移动,如图 5 所示。

3.2 模型方案试算

建立桥面板与铺装层协同作用试验模型方案的三维有限元模型,模型主要构件的初始几何尺寸、材料参数与实际一致。建立的桥面板与铺装层协同作用试验模型方案的三维有限元模型如图 6 所示。

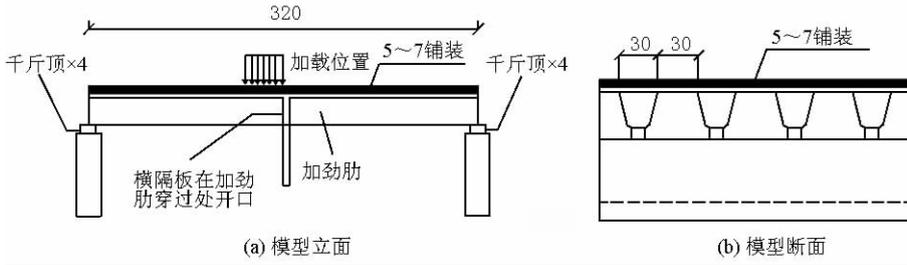


图 4 模型方案一示意图(单位:cm)

Fig. 4 Diagram of the first model program(unit: cm)

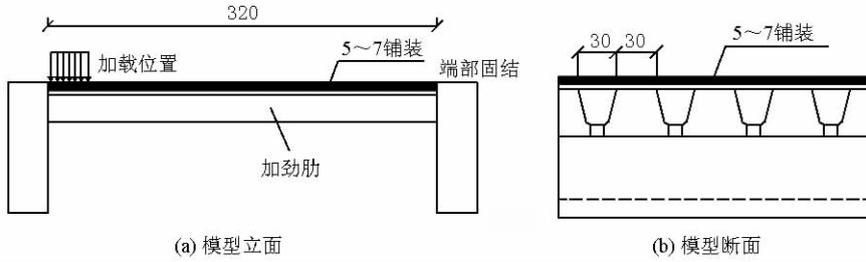


图 5 模型方案二示意图(单位:cm)

Fig. 5 Diagram of the second model program(unit: cm)

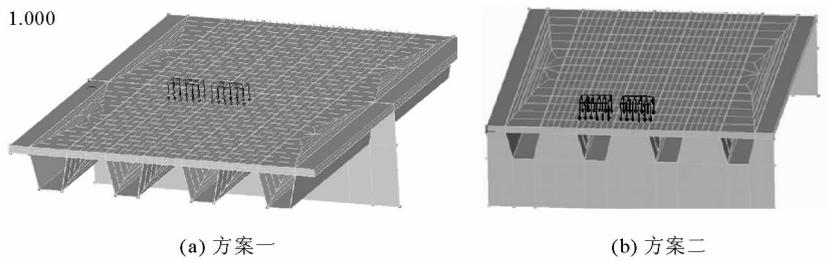


图 6 模型方案的三维有限元模型图

Fig. 6 3 - D FEM model of the model program

经过反复修改模型主要构件几何尺寸、加载荷位、荷载大小等参数,试算不同模型参数对应的铺装层应力、应变响应值,使得模型的铺装层最大应力、应变值与采用局部梁段铺装仿真模型计算得到的参考值相近,计算所得应力、应变见表3。

表3 修正后协同作用模型方案的铺装层最大应力、应变值

Table 3 The maximum value of the stress-strain on the synergistic FEM model after correction

模型方案	最大拉应力/MPa		最大拉应变/(10E-6)	
	横向	纵向	横向	纵向
方案一	0.865	0.127	726	145
方案二	0.889	0.335	753	338

修正后,模型方案一顶板钢板厚度为6 mm、横隔板厚度为6 mm、加劲肋厚度为4 mm,试验荷载为0.775 MPa,荷载位于距横隔板0.213 m,其他模型参数按初始值不变;模型方案二顶板钢板厚度为7 mm、横隔板厚度为10 mm、加劲肋厚度为6 mm,试验荷载为0.707 MPa,荷载位于距横隔板0.107 m,其他模型参数按初始值不变。

为检验协同作用实体单位模型的整体相似性,同时计算模型铺装层在代表性点位的应力、应变响应值,结果如表4所示,并将其与表3所列参考值进行对比。

表4 修正后协同作用模型方案的铺装层在代表性点位的应力、应变值

Table 4 The stress-strain on the representative points of the synergistic FEM model

模型方案	点位	横向拉应力	纵向拉应力	横向拉应变	纵向拉应变
		/MPa	/MPa	/(10E-6)	/(10E-6)
方案一	1	-0.793	-0.083	-637	-103
	2	0.865	0.127	726	145
	3	0.415	0.059	439	127
	4	-0.250	-0.053	-293	-43
	5	-0.250	-0.054	-289	-43
方案二	1	0.772	-0.084	-640	-263
	2	0.889	0.335	753	338
	3	0.420	0.059	439	127
	4	-0.250	-0.056	-292	-86
	5	-0.250	-0.056	-292	86

对比表中的数据与采用局部梁段铺装仿真模型计算得到的参考值,可以发现修正后的协同作用试验模型铺装层的最大拉应力、拉应变与局部梁段铺

装仿真模型计算得到的参考值相差不大。其中,模型方案一中各点位横向应力值与参考值相差均在2%以内,模型方案二中各点位横向应力值与参考值相差均在3%以内;而模型方案二中各点位纵向应力值与参考值更为相似。

4 模型方案确定

通过前面部分的计算分析,推荐采用以下两种试验模型方案进行超大跨连续大柔度桥面板与铺装系协同作用关系研究。最终结构尺寸值见表5,其结构设计方案见图7。

表5 协同作用模型主要构件几何尺寸

Table 5 Geometric dimensions of the main components of the synergistic experimental model

模型方案	钢板厚度/mm	横隔板厚度/mm	加劲肋厚度/mm	试验荷载/MPa	荷载位置/m
方案一	6	6	4	0.775	距横隔板0.213
方案二	7	10	6	0.707	距横隔板0.107

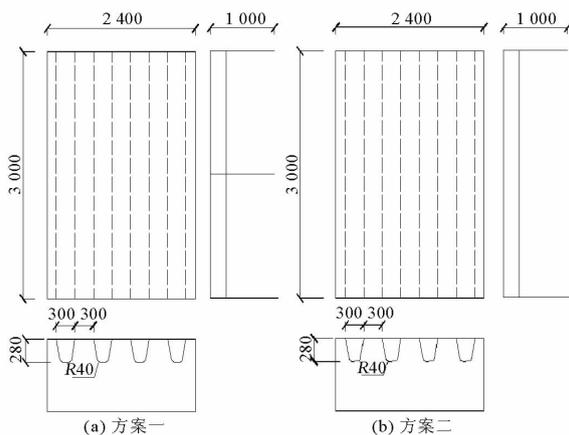


图7 模型方案正交异性桥面板结构图(单位:mm)

Fig. 7 Model program's orthotropic bridge deck structure diagram (unit: mm)

5 结语

利用有限元建立了考虑整桥变形的局部梁段及协同作用试验模型,并以局部梁段的结果为参考值,对试验模型结构尺寸进行了修正。修正后,桥道系协同作用试验模型与局部梁段铺装仿真模型中铺装的应力响应具有较好的相似性,能够较准确地反映超大跨连续大柔度桥面板与铺装系协同作用关系。但在试验模型研究中未考虑铺装材料的粘弹塑性;且试验模型较大,铺装成型及试件加载较为困难。

参考文献

- [1] Chen Xianhua, Huang Wei, Qian Zhendong. Interfacial behaviors of epoxy asphalt surfacing on steel decks [J]. Journal of Southeast University(English Edition), 2007, 23(4): 594 – 598.
- [2] 陈先华. 基于复合梁的钢桥面铺装层疲劳特性研究[D]. 南京:东南大学,2006.
- [3] 刘振清,黄卫,刘清泉,等. 钢桥面沥青混合料铺装体系疲劳特性的损伤力学分析[J]. 土木工程学报,2006,39(2): 117 – 121,129.
- [4] 陈先华,陈妍,黄卫,等. 环氧沥青混凝土钢桥面铺装的弯曲特性[J]. 公路交通科技,2007,24(11):5 – 8.
- [5] 施玉芬. 江苏省高速公路交通量与轴载分布特性研究[D]. 南京:东南大学,2010.
- [6] 钱振东,黄卫,等. 车载作用下大跨径缆索支承桥桥型对铺装层受力的影响研究[J]. 中国工程科学,2006,8(8): 35 – 41.
- [7] 刘振清. 大跨径钢桥桥面铺装体系设计理论关键技术研究[D]. 南京:东南大学,2004.

Study on the synergistic experimental model of long-span steel bridge deck-pavement system

Xia Guoxing¹, Qian Zhendong², Chen Chun², Liu Yan²

(1. Jiangsu Provincial Yangtze River Highway Bridge Construction Commanding Department, Taizhou, Jiangsu 225321, China; 2. Intelligent Transport System Center, Southeast University, Nanjing 210096, China)

[Abstract] In order to reflect the synergistic effect and working environment of the long-span steel bridge deck-pavement system truly in laboratory experiments, this paper studies the synergistic experimental model of flexible long-span steel bridge deck-pavement system. Firstly, the local box girder FEM(finite element method) model considering the whole bridge deformation is established. And the deck pavement's stress and strain are analyzed. The entire bridge effect parameter is 1.17. Then, the synergistic experimental model is established. Taking the maximum stress and strain value of local beam section as reference value, the related structure parameters of early model scheme are revised. On this basis, to ensure the consistency of designing for the synergy model and the prototype, stress value of the revised test model and local beam section model in the control point is compared. Eventually, the synergistic experimental model of long-span steel bridge deck-pavement system is obtained in this paper. The results may provide theoretical basis for designing of laboratory experiment model on steel bridge deck.

[Key words] synergistic; experimental model; long-span steel bridge deck-pavement system