

钢桥面铺装的有限元分析和环道模型设计

伍波, 方萍

(交通部重庆公路科学研究所 重庆市 400067)

摘 要: 主要介绍钢箱梁的桥面板和沥青混凝土铺装作为组合结构时的结构组成形式和计算分析模型, 简述钢桥面板和铺装共同作用时的受力特性和相互作用以及有限元分析的方法, 并介绍环道试验模型的设计和计算分析。

关键词: 正交异性钢桥面板; 沥青混凝土铺装; 夹层单元; 应力; 应变

近年来, 随着桥梁跨径的增加对桥跨结构的轻型化产生了进一步的要求。大跨径的吊桥、斜拉桥普遍都采用了钢箱梁和正交异性钢桥面板作为主梁结构和桥面系结构。由于钢桥面板的柔度很大和现有的经验化的正交异性钢桥面板的结构设计方法, 在正交异性钢桥面板上铺筑的沥青混凝土铺装容易在主梁腹板和有纵、横加劲肋的地方出现裂缝、车辙等损伤。作为钢桥面板和钢箱梁结构, 最忌讳铺装层产生裂缝而导致雨水渗透并锈蚀钢板表面, 从而影响作为主梁的钢箱梁的结构性能和使用寿命。本文着重讨论正交异性钢桥面板和加铺沥青混凝土铺装后的受力特性和计算分析方法, 并以环道模型试验设计和计算结果为例, 分析在汽车轮载作用下钢桥面板各个结构部位的应力、应变分布状况, 为桥面铺装层的结构设计和研究提供一些理论依据。

1 钢桥面板及铺装的结构形式

正交异性钢桥面结构既是钢箱梁的顶板同时又是主要的桥面系结构, 其力学性能十分复杂。钢桥面结构主要由桥面顶板和加劲顶板的纵、横肋构成。长期以来, 对正交异性钢桥面板的结构设计, 即桥面板厚度、纵、横加劲肋的厚度、结构尺寸和间距等, 已逐步形成经验的设计数据。日本、德国等国家为控制钢桥面铺装的裂缝, 对钢板厚度、加劲肋种类及其适用间距也有推荐值并纳入桥面铺装标准。因此正交异性钢桥面板的结构设计已趋于完善, 但沥青混凝土铺装的结构设计和沥青混合料的研究仍然是新的课题, 有必要进行深入的研究和发展, 从而将钢桥面

板和铺装的组合作用进行充分的考虑。

汽车荷载是通过桥面铺装传递到钢桥面板上的, 桥面铺装不仅起传递和分散汽车荷载的作用, 而且还对钢桥面板起一定的加劲作用, 铺装和钢桥面板形成组合断面, 与钢桥面板一起发挥协同效应。因此, 为了给桥面铺装体系的结构设计和研究以及沥青混合料的设计提供较为直接的理论依据, 必须将桥面铺装和钢桥面板结合在一起进行研究分析, 同时了解和掌握钢桥面板和铺装组合结构的共同受力状况和相互影响效应。

图 1 和图 2 分别是钢桥面板的一般构造示意图和钢桥面铺装体系的结构示意图。

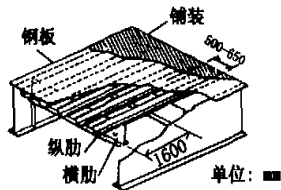


图 1 钢桥面板的一般构造示意

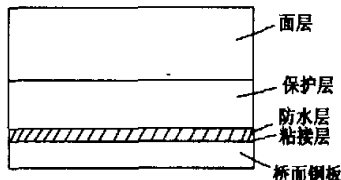


图 2 铺装体系结构示意图

2 钢桥面和铺装的力学模型

采用数值分析方法的有限元法对钢桥面板与沥青混凝土铺装的合成体系进行计算分析, 首先要假

定沥青混凝土铺装层和桥面钢板在常温 and 低温下都是匀质的、连续的、各向同性的弹性材料,且钢桥面板与铺装在其界面上发生相同的竖向变位,铺装体与桥面钢板通过粘接层连接(如图2)。分析模型中一般将钢桥面板处理成4节点的板壳单元,铺装为8节点的三维实体单元,分析程序可采用SAP5或SUPER SAP等有限元程序,但须对钢板与铺装的界面——粘接层进行特殊处理。

2.1 夹层单元模型

沥青铺装与桥面钢板在竖向荷载和水平荷载作用下有可能在界面粘接层——薄弱接触面上发生错动、滑移。为了充分反映这一特性,建立钢桥面板与桥面铺装体的计算模型时,引入Goodman模型的夹层单元,以模拟厚度很小的粘层所起的连接桥面钢板和铺装体的作用,并以法向劲度系数 K_z 、切向劲度系数 $K_s(K_s=K_x=K_y)$ 来表征和模拟沥青铺装体与钢桥面板之间完全连续、部分连续、完全光滑三种不同的接触状态。图3示出了夹层单元结构。

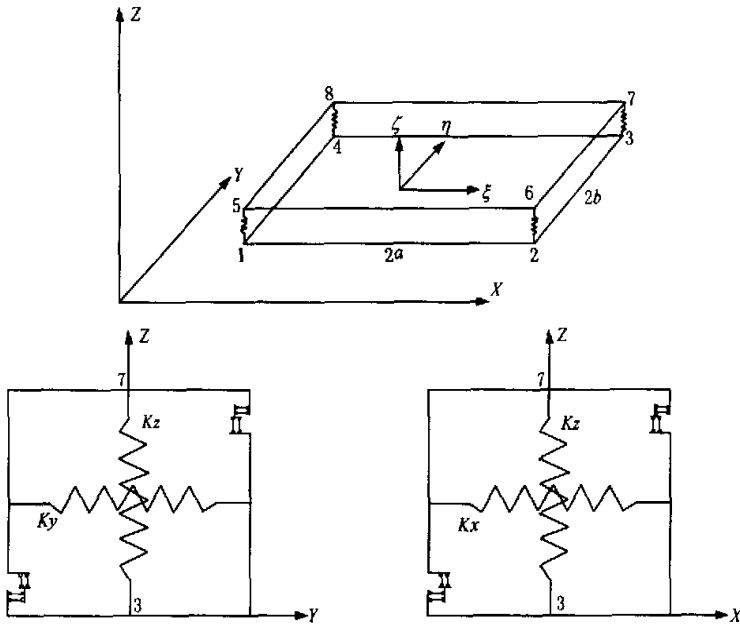


图3 夹层单元

夹层单元由面积为 $2a \times 2b$ 的两个面组成,两个面之间假想有无数微小弹簧连接,夹层单元厚度假定为0。夹层单元与相邻的夹层或铺装体单元之间,只在节点处有力的联系,每一接触面有4个节点,一个夹层单元共有8个节点,是一种二维单元。在线弹性假定下,应力 $\{\sigma\}$ 与位移 $\{\epsilon\}$ 成正比,其本构关系符合广义虎克定律:

$$\{\sigma\} = [K]\{\epsilon\}$$

式中: $[K]$ 为夹层单元的本构矩阵。

$$[D] = \begin{bmatrix} K_z & 0 & 0 \\ 0 & K_x & 0 \\ 0 & 0 & K_y \end{bmatrix}$$

K_z, K_x, K_y 分别为夹层单元的法向和切向劲度系数,类似于弹性常数,可由对粘接层材料的力学试验确定。

通过建立夹层单元的单元刚度矩阵,将钢桥面板和沥青铺装体这两种不同材质的结构有机地结合起来,并作为一个整体计算模型用三维空间有限元方法进行计算。

3 环道模型设计和计算

由交通部重庆公路科学研究所承担的湖北宜昌大桥和重庆鹅岩大桥的钢桥面铺装技术研究中,进行了室内环道模型试验,笔者为该环道模型试验进行了钢桥面模型结构设计和计算分析。环道模型试验是足尺试验,采用了11种沥青铺装结构方案,拟完成钢桥面板在加铺沥青混凝土铺装前后的动、静载作用下的变形和应变测试,以及疲劳和车辙试验,对我国现有的钢桥面铺装结构方案进行一次较全面的比较和总结,以达到较清楚地掌握钢桥面板

和铺装的受力状况的目的,并与理论计算的结果进行比较分析。

3.1 模型设计

3.1.1 设计要求

环道模型平面布置如图 4,结构 1~8 为钢桥面板环道模型结构部分,其轮弯中心线长度均为 3.0 m,环道宽 3.5 m。

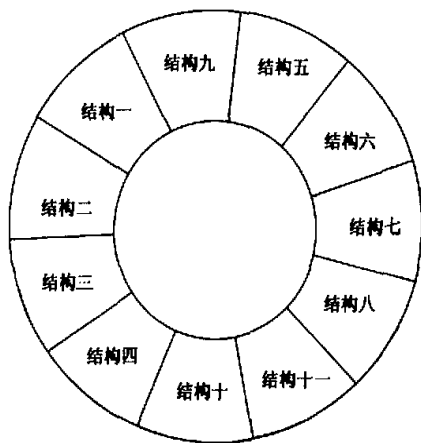


图 4 环道平面布置示意

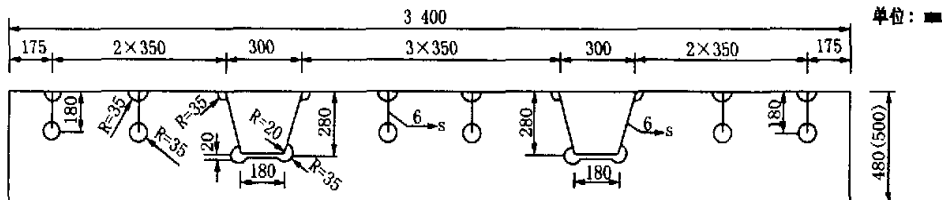


图 5 环道模型的横断面结构

3.2.2 有限元分析模型

对环道模型结构的计算分析,应用前面介绍的分析方法建立力学模型,利用有限元分析软件 SUPER SAP 对模型的变形和应变进行计算分析。与试验测试位置相对应,着重于跨中和支点断面的钢桥面板在纵、横加劲肋上方的位置处的应力和变形考察。计算时钢桥面板采用板壳单元建立有限元模型,计算模型的有限元网格划分如图 6。

3.3 计算结果

在实桥中,正交异性板的应力按传统的分析方法是主梁体系(结构系 I)、桥面体系(结构系 II)、盖板体系(结构系 III)这 3 个系统应力的组合。本文的试验模型结构主要体现了桥面体系和盖板体系的受力特征,故计算结果只反映桥面体系和盖板体系的荷载效应。

设计要求:

- (1) 铺装表面的高程一致;
- (2) 各段落钢板结构一致;
- (3) 铺装前钢板表面的拉应变运到 300 ~ 350 $\mu\epsilon$ 。

3.1.2 模型尺寸拟定

按照模型设计要求,将环道模型设计为四联,每两跨一联,每跨重心弧长 3.0 m,模型宽 3.4 m。钢桥面结构由盖板、2 个闭口纵肋和 6 个开口纵肋组成,每跨仅在支点两端设置横梁。钢桥面板模型采用屈服强度为 340 MPa 的 16 Mn 钢,环道模型的横断面如图 5。

3.2 模型计算分析

3.2.1 荷载及材料参数

计算中,以 BZZ-100 标准轴载的一对单轮荷载($P=5\text{ t}$)作为计算荷载,并按均布荷载进行加载。

环道模型钢桥面板的物理参数为:密度 $\rho=7.85\times 10^3\text{ kg/m}^3$,弹性模量 $E=2.0\times 10^5\text{ MPa}$,泊松比 $\mu=0.25$ 。本文仅对环道模型的钢桥面盖板进行计算分析。

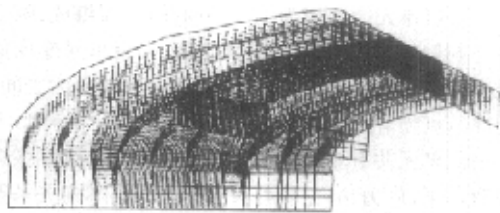


图 6 有限元分析模型网格

3.3.1 挠度

图 7 表示了环道模型在荷载作用下盖板的挠度变化。从图中可以看出,在荷载作用区域盖板的挠度陡然增大。这表明:荷载通过盖板在纵肋上进行横向传递分配时,主要局限在与荷载作用区域附近的几个纵肋。

3.3.2 盖板的应变分布

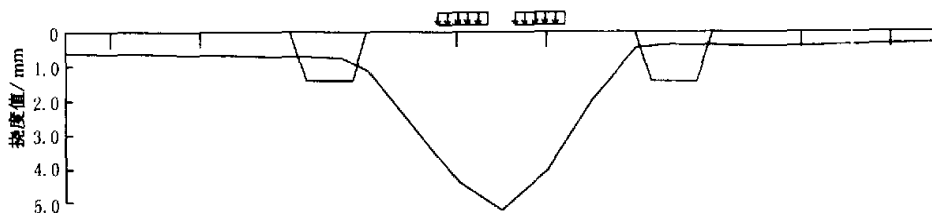


图7 模型量板的挠度示意

图8和图9分别表示了环道模型盖板表面的应变分布,图8显示了盖板表面的横向应变分布,图9显示了盖板表面的纵向应变分布。从图中可以看出,盖板表面的最大拉应变为 $328 \mu\epsilon$,满足设计要求,且盖板表面的横向应变均大于纵向应变。这说明对于正交异性钢桥面板结构,荷载更倾向于沿板的短跨方向(纵肋的间距方向)传递,在荷载作用下,纵肋上方的盖板总产生较大的横向拉应变,这也是沥青混凝土铺装容易产生裂缝的位置。

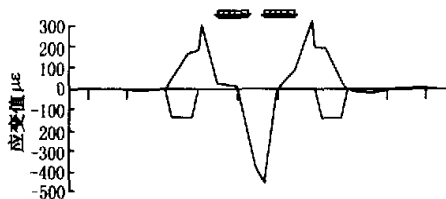


图8 盖板表面横向应变分布

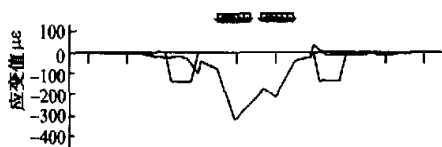


图9 盖板表面纵向应变分布

4 结语

本文提出的正交异性钢桥面和铺装的计算分析方法已用于厦门海沧大桥、汕头岩石大桥等的钢桥面铺装的计算分析中,为这几座大桥的钢桥面铺装的结构设计和铺装技术研究提供了较可靠的理论依据,并取得了良好的运行效果。由于室内环道模型试验还处于试验测试中,本文未将裸板的试验结果和加铺沥青混凝土铺装后的钢桥面和铺装试验结果与计算分析结果进行比较分析,这部分内容待见以后的文章。

参考文献:

- [1] 小西一郎. 钢桥: 第一分册. 北京: 人民铁道出版社, 1980.
- [2] 日本“ASPHALT”. 桥面铺装和钢桥面. 1996.
- [3] 童乐为. 正交异性钢桥面板静力试验和有限元分析. 同济大学学报, 1997(6).
- [4] 日本钢构造委员会. 沥青混凝土铺装对钢桥面疲劳的影响. 土木学会论文集, 1997(4).
- [5] 方萍, 伍波. 钢桥面板及铺装的静载试验和有限元分析. 华东公路, 2000(4).

Finite Element Analysis and Circular Model Design of Steel Deck Pavement

Wu Bo, Fang Ping

(Chongqing Highway Research Institute of the Ministry of Communications, Chongqing 400067, China)

Abstract: This paper mainly introduces a composite structural type and calculating analysis model for a composite structure consisting of the steel deck of steel box girder and the asphalt concrete pavement. It describes simply the working properties, mutual action and the finite element analyzing method for coaction of steel deck and pavement. The design and calculation analysis of a circular track test model have been presented too.

Key words: Steel orthotropic decking; Asphalt concrete pavement; Sandwich element; Stress; strain