

桥面铺装对钢桥面板疲劳应力幅的影响

吴冲¹, 刘海燕¹, 张胜利², 崔冰³, 丁文俊¹

(1. 同济大学桥梁工程系, 上海 200092; 2. 浙江省舟山连岛工程建设指挥部, 浙江舟山 316000;

3. 中交公路规划设计院有限公司, 北京 100088)

[摘要] 钢桥面板厚度小, 铺装层的相对刚度较大, 钢桥面板疲劳设计时, 应该考虑铺装层与钢桥面板的共同作用。假设桥面铺装与顶板没有相对滑移, 采用有限元方法探讨了桥面铺装弹性模量和厚度对正交异性钢桥面板疲劳应力幅的影响。

[关键词] 桥梁; 钢桥面板; 桥面铺装; 疲劳; 应力幅

[中图分类号] TE11 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2010)07-0039-04

1 前言

正交异性钢桥面板以其强度高、自重轻、整体性强等优点广泛应用于大跨径斜拉桥和悬索桥中。随着交通量和车辆荷载的增加, 国内外许多桥梁的正交异性钢桥面板都发现了疲劳损伤现象^[1], 如英国的 Seven Bridge, 美国的 Bronx - Whitestone Bridge, 巴西的 Rio - Niteroi Bridge, 荷兰的 Van Brienoord Bridge, 日本的 Kinuura Bridge 等。

目前钢桥面板常用铺装有浇注式沥青、SMA(沥青玛蹄脂碎石混合料)改性沥青混合料以及环氧沥青混合料 3 种形式^[2, 3], 一般厚度大致在 50 ~ 80 mm, 弹性模量不仅与材料有关, 而且受温度的影响很大, 通常在 500 ~ 10 000 MPa。由于钢桥面板厚度不大, 通常仅 12 ~ 16 mm, 铺装层的相对刚度较大, 钢桥面板疲劳设计时, 应该考虑铺装层与钢桥面板的共同作用。笔者采用有限元方法探讨桥面铺装弹性模量和厚度对正交异性钢桥面板疲劳应力幅的影响。

2 桥面板构造细节与计算方法

根据国内外正交异性钢桥面板的疲劳损伤调查结果^[1], 桥面板发生疲劳裂纹的构造细节可以归纳为如图 1 所示的 5 种类型: ①为顶板与 U 肋焊缝处的顶板纵向裂缝; ②为 U 肋与顶板焊缝的纵向裂

缝; ③为 U 肋下缘对接焊缝的裂缝; ④为 U 肋上端过焊孔处 U 肋的裂缝; ⑤为 U 肋下端过焊孔处横隔板裂缝。选取如图 2 所示的疲劳损伤出现最多的 4 个典型构造细节进行分析。其中, 疲劳细节 A 为 U 肋与横隔板交叉处顶板纵向裂缝; 疲劳细节 B 为横隔板之间 U 肋与桥面板焊接处顶板纵向裂缝; 疲劳细节 C 为纵向加劲肋对接焊缝; 疲劳细节 D 为过焊孔处横隔板裂缝。

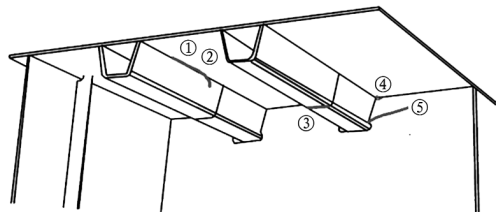


图 1 钢桥面板疲劳损伤典型构造细节

Fig. 1 Typical fatigue damage of orthotropic steel deck

以南京长江四桥为例, 采用 ABAQUS 有限元程序进行分析, 计算模型如图 3 所示, 顺桥向取 12.5 m, 横隔板间距 3.12 m; 横桥向取 4.5 m, U 型加劲肋间距 600 mm, U 肋尺寸为 300 mm × 280 mm × 8 mm; 顶板厚度为 14 mm, 横隔板厚度为 12 mm; 钢材的弹性模量为 $E = 210\ 000\ \text{MPa}$, 泊松比 $\gamma = 0.3$ 。钢桥面板采用 S4R 单元模拟; 桥面铺装假设为各向同性均匀的实体, 采用 C3D8R 单元模拟;

[收稿日期] 2010-04-22

[基金项目] 国家科技支撑计划课题(2008BAG07B04)

[作者简介] 吴冲(1962-), 男, 福建宁化县人, 同济大学教授, 主要研究方向为桥梁工程; E-mail: cwu@tongji.edu.cn

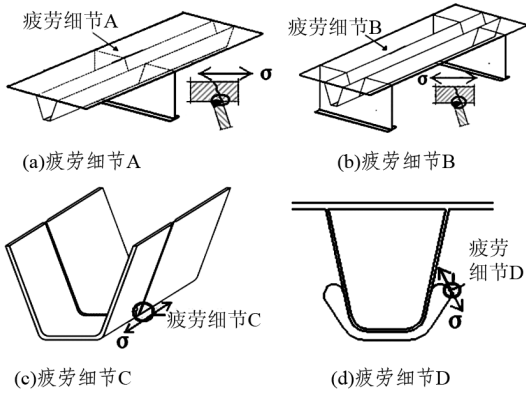


图2 疲劳细节示意图

Fig. 2 Constructional details of orthotropic steel deck fatigue

假设桥面铺装与桥面顶板无相对滑移。

计算荷载采用由江阴大桥、虎门大桥、南京二桥及南京三桥的调查统计得到的如图4所示的简化疲劳设计车辆荷载模型,车辆横向加载位置如图5所示。荷载影响线采用移动面荷载加载,车轮作用面积为 $0.6\text{ m} \times 0.2\text{ m}$ 。

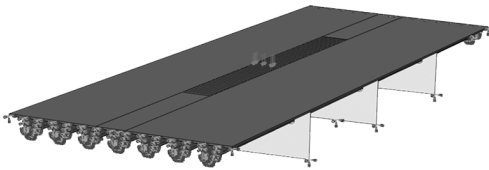


图3 应力幅计算模型

Fig. 3 Analysis model of stress range

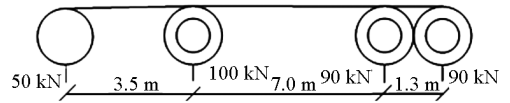


图4 疲劳车模型

Fig. 4 Fatigue vehicle load model

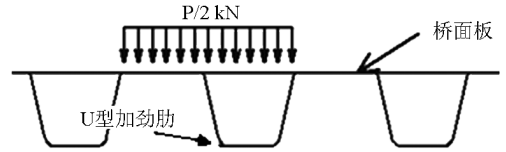


图5 车轮加载位置

Fig. 5 Loading position of wheel load

3 铺装层弹性模量对桥面板疲劳应力幅的影响

根据国内外相关研究表明,沥青混凝土桥面铺装弹性模量对温度非常敏感,其变化范围为在 $500 \sim 10\,000\text{ MPa}$,因此,选用如下铺装弹性模量值进行对比分析: 500 MPa , $1\,000\text{ MPa}$, $1\,500\text{ MPa}$, $3\,000\text{ MPa}$, $5\,000\text{ MPa}$, $10\,000\text{ MPa}$,铺装层厚度取为 60 mm 。计算得到各疲劳细节的影响线如图6所示。

采用图4所示的疲劳车对影响线加载,由于车轴之间距离较大,可以忽略车轴之间的相互响应,而将 100 kN 的单轴和 $90\text{ kN} + 90\text{ kN}$ 的双联轴单独加载。得到的应力历程采用雨流计数法计算疲劳应力幅及其相应的循环次数,然后采用Miner线性累积损伤准则计算等效应力幅,计算公式如式(1)所示:

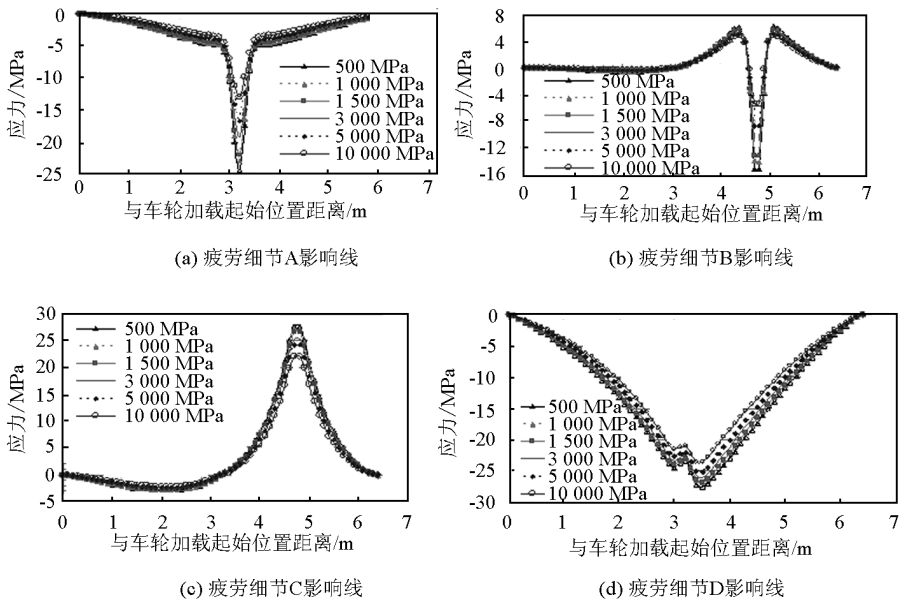


图6 不同铺装模量时各疲劳细节影响线

Fig. 6 Influence lines of constructional details with different modules of pavement

$$\Delta\sigma = \left[\frac{n_i \times \Delta\sigma_i^m}{N} \right]^{\frac{1}{m}} \quad (1)$$

式(1)中: $\Delta\sigma$ 为等效应力幅; $\Delta\sigma_i$ 为第*i*级应力幅; n_i 为第*i*级应力幅循环次数; N 为等效的应力幅循环次数; m 为*S-N*曲线的斜率,这里取 $m=3$ 。

应力幅计算结果如图7所示,所有细节的应力幅都在10~40 MPa,随着弹性模量的增加,应力幅逐渐减小。其中,与顶板直接相关的疲劳细节A和细节B变化比较明显,应力幅变化达到50%甚至更高,而疲劳细节C和细节D的应力幅变化不超过20%。由此可见,疲劳细节A和B对铺装层弹性模量变化更敏感,同时也会发现,图7中斜率随着铺装

层弹性模量增加逐渐减小,疲劳应力幅与铺装层弹性模量呈非线性递减关系。

4 铺装层厚度对桥面板疲劳应力幅的影响

钢桥面为焊接时桥面铺装较薄,通常为50~60 mm,而当钢桥面为螺栓连接时桥面铺装需稍稍加厚,通常为70~80 mm,大多数正交异性钢桥面板铺装层厚度都在40~80 mm,因此选用如下铺装层厚度进行对比分析:40 mm,50 mm,60 mm,70 mm,80 mm,铺装层弹性模量取3 000 MPa。计算得到各疲劳细节的影响线如图8所示。

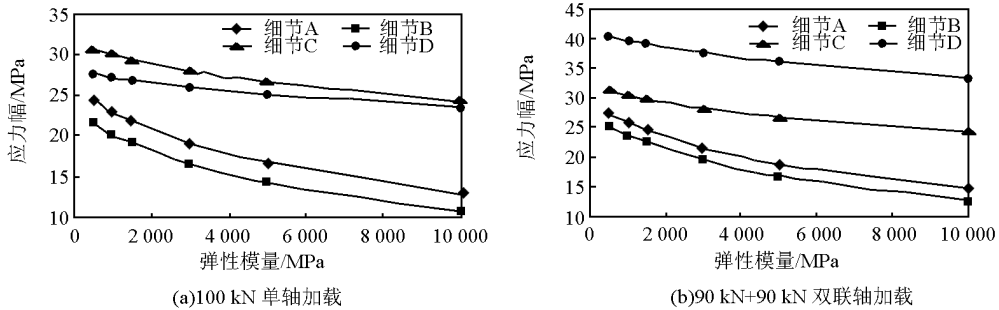


图7 应力幅随弹性模量变化趋势图

Fig. 7 Relationship of stress range with elastic module

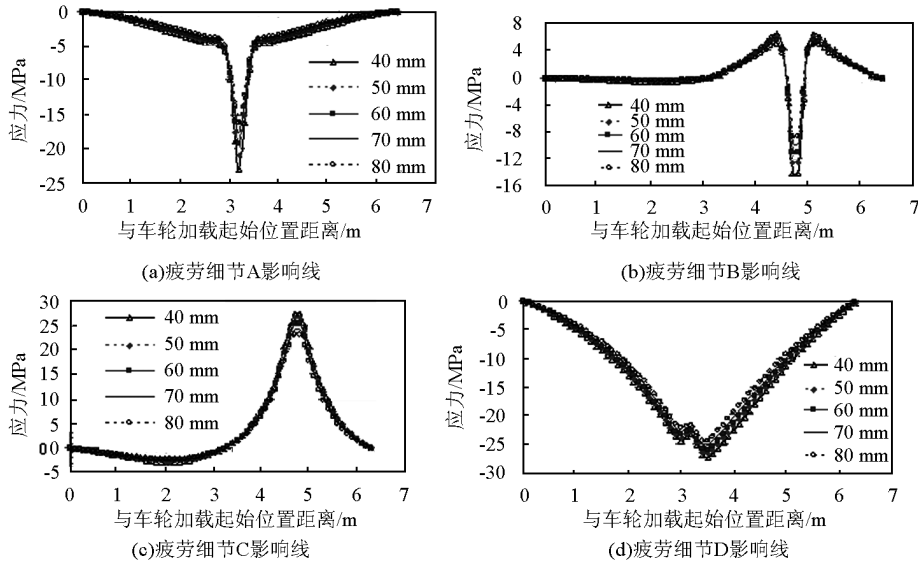


图8 不同铺装厚度各疲劳细节影响线

Fig. 8 Influence lines of constructional details with different thickness of pavement

采用前节中相同的方法进行加载计算等效应力幅,计算结果如图9所示。随着铺装层厚度的增加,各细节等效疲劳应力幅逐渐减小,且基本呈线性变

化关系。疲劳细节A,B的等效应力幅比细节C,D的等效应力幅受铺装层厚度影响稍大,相差不如3.1节中那么明显。疲劳细节D在两种不同的轴载作

用下,等效疲劳应力幅相差较大,细节 D 对车轴形

式较为敏感。

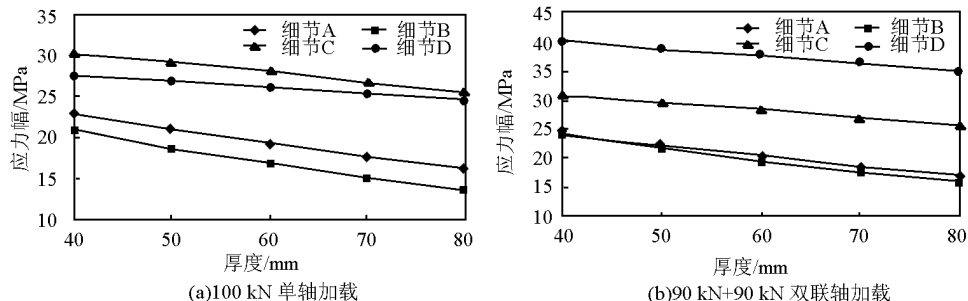


图9 应力幅随铺装层厚度变化趋势图

Fig.9 Relationship of stress range with pavement thickness

5 结语

借助 ABAQUS 有限元程序分析了桥面铺装弹性模量和厚度对正交异性钢桥面板典型疲劳细节应力幅的影响,主要结果如下:

1)随着桥面铺装弹性模量以及厚度的增加,正交异性钢桥面板典型疲劳细节应力幅将减小,其中与铺装层直接接触的细节 A 和细节 B 更容易受铺装层刚度影响,提高铺装层刚度可以有效地降低这两细节的应力幅。

2)疲劳应力幅与铺装层弹性模量呈非线性递减关系,与铺装层厚度近似呈线性递减关系。

3)疲劳细节 D 对车轴形式较为敏感,疲劳细节 A ~ C 在双联轴加载时,前后两轴叠加效应较小,而疲劳细节 D 影响线较长,在双联轴加载时前后两轴叠加效应较大。

参考文献

- [1] Wu Chong, Ding Wenjun. Fatigue of orthotropic steel deck under vehicle loads [A]. International Symposium on Steel Structures [ISSS'09] [C]. Seoul, Korea, 2009
- [2] 黄卫. 大跨径钢桥面铺装设计理论与方法 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006
- [3] 孙旭霞. 钢箱梁正交异性钢桥面板的构造对铺装层的影响研究 [D]. 上海: 同济大学, 2006

Influence of pavement on fatigue stress range of orthotropic steel deck

Wu Chong¹, Liu Haiyan¹, Zhang Shengli², Cui Bing³, Ding Wenjun¹

(1. Department of Bridge Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Zhejiang Provincial Construction Headquarters of Zhoushan Islands Link Project, Zhoushan, Zhejiang 316000, China; 3. CCCC Highway Consultants Co., Ltd., Beijing 100088, China)

[Abstract] Because the thickness of orthotropic steel deck is thin and the stiffness of pavement is relatively large, the interaction between orthotropic steel deck and pavement on it can not be neglected in the fatigue design of orthotropic steel deck. Based on the assumption of non-slip between pavement and the bridge deck, influences of elastic modulus and thickness of pavement on the fatigue stress range of four typical details in orthotropic steel deck were discussed according to FEM (finite element method) analysis results.

[Key words] bridge; orthotropic steel deck; pavement; fatigue; stress range