

横向异种类型混合桥面设计方法

戴昌源

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要:在重车道采用疲劳性能较优但重量或造价较高的桥面形式(如超高性能混凝土(UHPC)华夫板、超高性能混凝土(UHPC)钢组合板等),在快车道采用传统正交异性钢桥面,组成混合桥面系统,在提升桥面结构疲劳寿命的同时降低结构的自重或造价,又能充分利用材料性能。针对横向不同类型桥面组成的混合桥面,通过梁格模型参数分析得到了桥面板跨度、桥面板构造参数等对其各部分承担荷载比例和横向有效宽度的影响规律,并拟合分析数据得到了计算公式。基于此,提出了混合桥面的设计方法。

关键词:混合桥面;设计方法;有效宽度;荷载分布

中图分类号: U443.31

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)12-0117-04

0 引 言

在多车道桥梁中,不同车道行驶的车辆类型与轴重有较大差异。以目前较为普遍的双向 6 车道为例,根据杭州湾大桥一个月的动态称重(WIM)数据,轴重超过 48 t 的车辆中有 58%行驶在慢车道,中间车道此类车辆占比 41.4%,而内侧车道仅占 0.6%;文献[1]给出了青马大桥 12 a 的 WIM 数据,统计数据表明中间车道车流量最大,内侧和外侧车道车流相当,高峰时段单位时间内通过外侧车道的车辆总轴重是中间车道的 3 倍,是内侧车道的约 10 倍。外侧车道在重载车辆的反复作用下是疲劳破坏较为严重的区域。文献[2]对南京长江三桥运营近 20 a 时间后正交异性钢桥面产生的疲劳裂缝进行统计,共发现 998 处疲劳裂缝,其中有 57%分布在慢车道范围内。

相比正交异性钢桥面,研究表明超高性能混凝土(UHPC)华夫板和超高性能混凝土(UHPC)组合板的疲劳性能较为优异^[3-5],在重车道(亦可包括中间车道)采用疲劳性能更优的 UHPC 华夫板和 UHPC 组合板,在快车道(亦可包括中间车道)仍采用传统的正交异性钢桥面,组合成混合桥面形式,在满足桥面承载、传力以及疲劳性能要求的同时,可以有效降低结构自重、提升结构材料的利用效率。两种不同类型的桥面连接的位置可设置一个接缝构造以使两

种不同种类的桥面可以更好地协同受力。

目前国内外的规范中对桥面的设计方法仅针对同一种桥面类型,较少有对不同种桥面混合后设计计算方法的规定。在混合桥面中两种不同类型的桥面的各方向抗弯刚度等参数有较大不同,荷载作用下内力的分配以及等效后的有效宽度等设计参数不同于单一类型的桥面。为了明确混合桥面各部分协同受力机理,采用梁格模型对混合桥面进行了变参分析,分析了接缝、桥面各部分承担荷载比例与有效宽度的影响因素,并拟合了上述二者的计算公式,并基于此提出了混合桥面的设计方法。

1 参数化分析模型

限于篇幅,这里以采用 UHPC 华夫板的混合桥面为例进行参数化分析,分析模型构造如图 1 所示,虚线为划分梁格的位置。由于参数化分析需对大量的模型进行分析并提取结果分析整理,为了提高分析效率与稳定性,采用 ANSYS 参数化建模语言 APDL 建立混合桥面梁格模型,将桥面跨度、华夫板纵横肋间距和板厚、接缝 T 肋高度等设为可变参数,便于批量生成分析模型,模型纵梁一般断面如图 2 所示。

加载工况如图 3 所示,分为正弯矩加载和负弯矩加载两种情况。

2 各部分承担荷载比例

2.1 参数取值

参数的取值如表 1 所示,参数的默认取值为跨度 4 m、横肋间距 540 mm、纵肋间距 500 mm、板厚

收稿日期: 2022-03-03

作者简介:戴昌源(1990—),男,工学博士,工程师,从事桥梁设计工作。

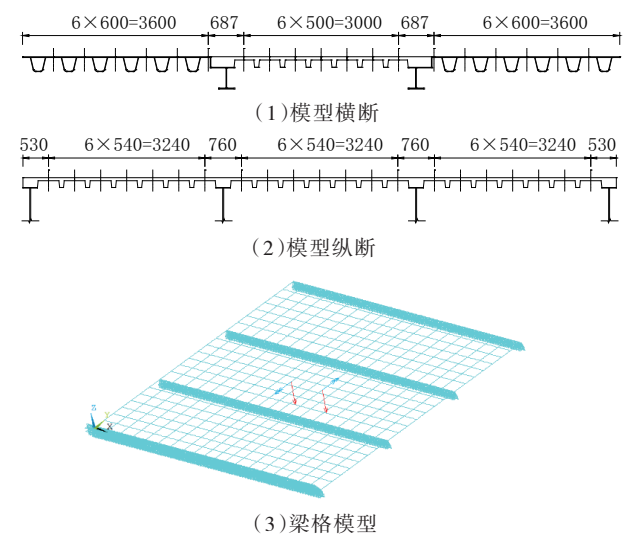


图 1 华夫板混合桥面模型(单位:mm)

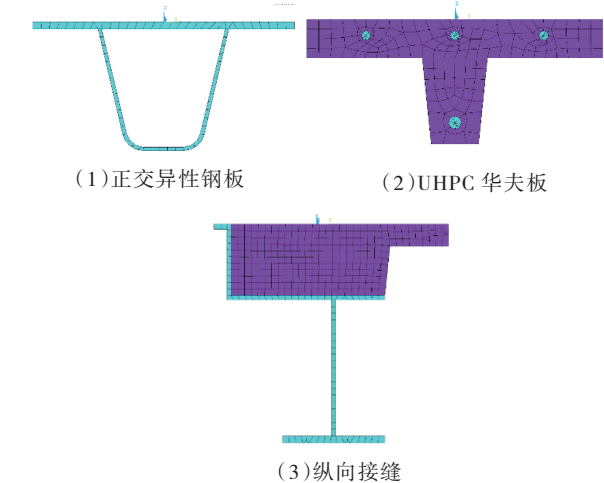


图 2 梁格模型纵梁断面

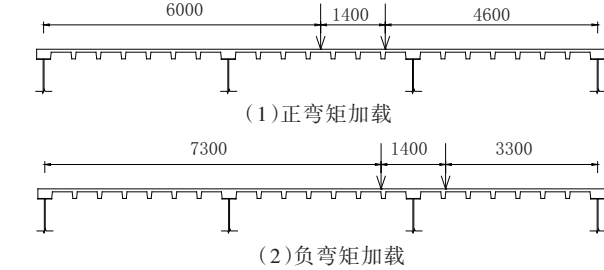


图 3 加载工况(单位:mm)

210 mm、纵向接缝 T 肋高度 400 mm,每次仅变化一个参数的取值,除变化参数外的其余参数按照默认取值,总计 58 个模型。

2.2 分析结果与回归分析

分析结果表明,当荷载作用于华夫板部分时荷载主要由纵向接缝部分和华夫板部分承担,只有很少比例传递到正交异性钢板部分(1%左右)。同样,当荷载作用于正交异性钢板部分时只有很少比例传递到华夫板部分。这是由于正交异性钢板纵向抗弯刚度远大于横向抗弯刚度导致。因此当荷载作用在

表 1 参数取值

参数	取值
桥面板跨度 /m	1.5、2、2.5、3、3.5、4、4.5、5、5.5、6
横肋间距 /mm	315、343.6、387、420、472.5、540、630、756、945、1260、1890
接缝 T 肋高 /mm	250、300、350、400、450、500、550、600
纵肋间距 /mm	300、375、500、600、750
桥面板厚 /mm	180、190、200、210、220、230、240

正交异性钢板上时可按现行规范规定的方法对正交异性钢板进行第二体系设计,而荷载作用于华夫板部分时需要明确华夫板部分与纵向接缝部分各自承担的荷载大小才能进行第二体系设计。篇幅所限,给出了两个影响较为显著的因素:横梁间距和桥面板跨度对接缝部分承担荷载比例的影响,如图 4、图 5 所示。

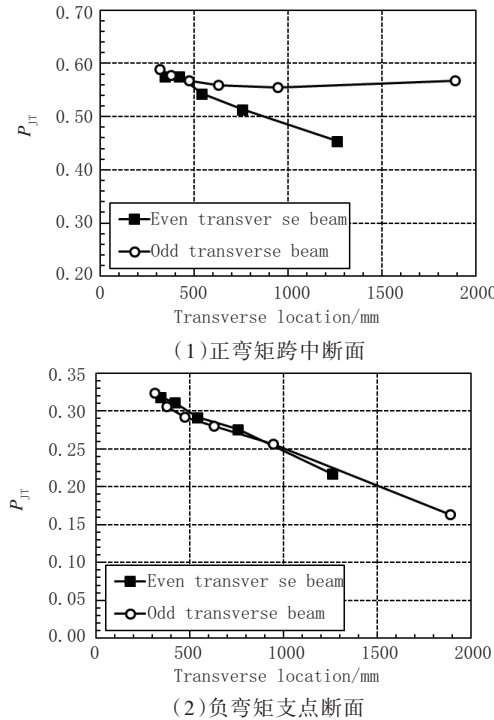


图 4 接缝所承担荷载比例随横梁间距的变化规律(单位:mm)

从图 4 可以看出,随着横梁间距的增加,纵向接缝承担的荷载比例降低,华夫板部分承担的荷载比例上升,这是由于横肋间距增加导致单位长度华夫板横向弯曲刚度降低。图 5 表明纵向接缝承担荷载比例随桥面板跨度的增加而增加,而华夫板承担荷载的比例逐渐减小。

采用多项式拟合的方法对上述分析数据进行回归分析。采用接缝与华夫板部分的抗弯惯性矩之比 $\beta = I_{jt} / I_{wf}$ 、跨度 L 、横向单位宽度抗弯惯性矩 $J = I_{wf} / b$ 三个参数作为回归分析的变量。同时考虑上述参数的二次项和常数项 C ,共计有 10 个变量。表达如式(1):

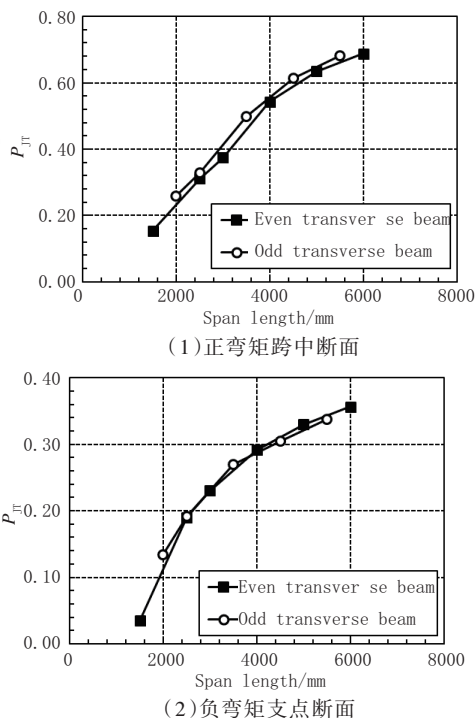


图5 接缝所承担荷载比例随桥面板跨度的变化规律(单位:mm)

$$P_{JT} = A_1 \beta^2 + A_2 L^2 + A_3 J^2 + A_4 \beta L + A_5 LJ + A_6 \beta J + A_7 \beta + A_8 L + A_9 J + C \quad (1)$$

得到纵向接缝承担荷载的比例 PJT 的计算公式,正弯矩区如式(2)所示,负弯矩区如式(3)所示(单位:m)。华夫板部分承担的荷载比例可通过 $1-P_{JT}$ 计算得到。

$$P_{JT} = 0.0209 \cdot L^2 - 2.627 \times 10^7 \cdot J^2 + 0.237 \cdot \beta L + 124.3 \cdot LJ - 0.943 \cdot \beta - 1.613 \cdot L + 7.021 \quad (2)$$

$$P_{JT} = 0.0177 \cdot L^2 - 2.539 \times 10^7 \cdot J^2 + 0.229 \cdot \beta L + 113.4 \cdot LJ - 0.943 \cdot \beta - 1.613 \cdot L + 6.828 \quad (3)$$

3 桥面板有效宽度

有效宽度的概念可以极大的简化板构件的设计,使其可以按照梁构件的设计方法进行设计。本节将基于前述 58 组梁格模型探讨混合桥面华夫板部分在活载作用下的横向和纵向有效宽度的影响因素和简化计算公式。首先对桥面板有效宽度 w_e 做如下定义:

$$w_e = S \cdot \sum_{i=1}^n M_i / M_{\max} \quad (4)$$

其中: S 为梁格模型中一根华夫板纵梁的截面的宽度; M_i 为梁格模型中第 i 根华夫板纵梁的弯矩; n 为华夫板纵梁的根数; $M_{\max}$ 为华夫板纵梁弯矩的最大值。

通过上述参数分析结果可以得到华夫板部分的有效宽度与两个主要影响参数:横梁间距和桥面跨

度之间的变化关系,如图 6 和图 7 所示。可以看出对于正弯矩断面,华夫板部分的有效宽度随横梁间距的增加先增加后减小,而对于负弯矩断面则呈单调递减的趋势。当跨径增加时华夫板部分有效宽度逐渐增加,但增加速率逐渐减小。

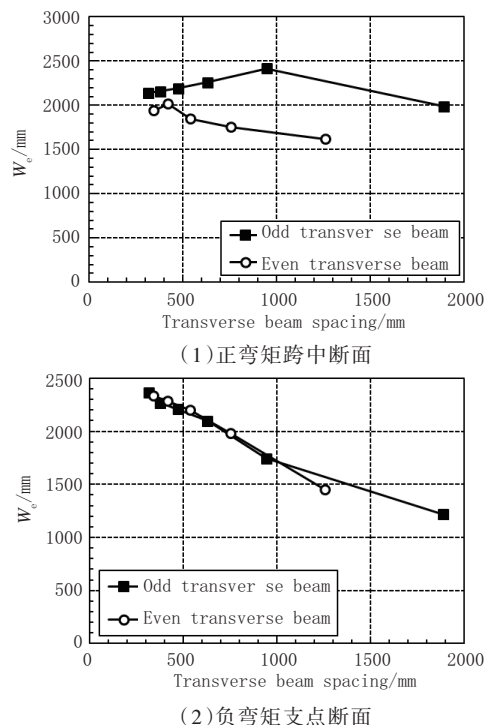


图6 横向有效宽度随横梁间距的变化规律(单位:mm)

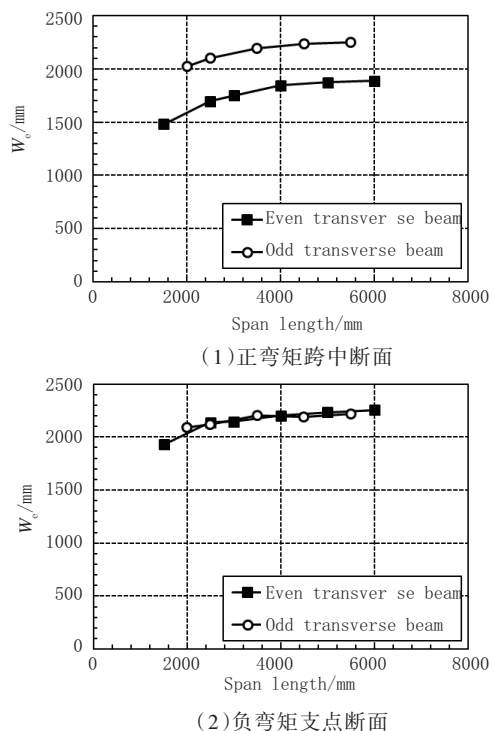


图7 横向有效宽度随桥面板跨度的变化规律(单位:mm)

对分析数据进行拟合,得到华夫板部分桥面有效宽度的计算公式,正弯矩区如式(5)所示,负弯矩

区如式(6)所示(单位:m)。

$$w_e = 2.251S_t^2 - 0.02764L^2 + 0.4020S_t^2 - 1.105S_tS_l + 0.2927L - 0.4795S_tS_l + 0.9936 \quad (5)$$

$$w_e = 3.946S_t^2 - 0.01662L^2 + 0.3189S_t^2 - 1.887S_t + 0.1872L - 0.4751S_l + 2.553 \quad (6)$$

4 混合桥面设计方法

综上,可以归纳出混合桥面进行第二体系设计的设计思路,如图8所示。总体分为两步,首先确定第二体系的设计荷载,恒载按照传统求解连续梁弯矩的方法即可得到,活载设计值的计算可通首先确定车辆荷载作用下整个桥面断面的第二体系总弯矩,再通过前述荷载比例计算公式计算华夫板各部分承担荷载的比例即可得到混合桥面各部分的活载内力设计值。最后进行断面的第二体系承载能力验算,计算断面的有效宽度,此后即可按照现行规范的设计方法对混合桥面各主要组成部分进行设计。这里虽然以UHPC华夫板混合桥面为例,但此方法同样适用于其他横向由两种类型桥面构成的混合桥面的设计。

5 结 语

本文以UHPC华夫板混合桥面为例通过参数化梁格模型分析了桥面板跨度、横、纵肋间距、接缝T肋高度、桥面板厚度等参数对混合桥面各部分承担荷载比例和华夫板有效宽度的影响。

(1)通过回归分析得到了UHPC华夫板混合桥面中各部分承担荷载比例和华夫板有效宽度的计算公式。

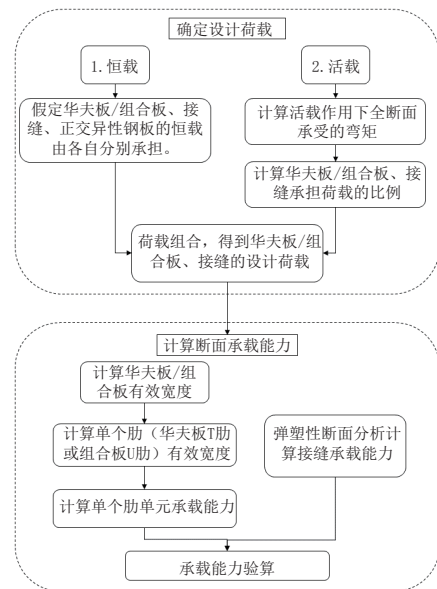


图8 混合桥面设计流程

(2)提出了一种对横向由两种类型桥面构成的混合桥面的设计方法。

参考文献:

- [1] F. Y. Wang, Y. L. Xu. Traffic Load Simulation for Long-Span Suspension Bridges[J]. Journal of Bridge Engineering, 2019, 24(5):16.
- [2] 王启迪. 正交异性钢桥面板典型疲劳病害评估与预测[D].北京:北京建筑大学,2019.
- [3] 刘益铭. 大纵肋正交异性钢—高性能混凝土组合桥面板疲劳失效机理研究[D].成都:西南交通大学,2019.
- [4] Sriram Aaleti, Sri Sritharan, Dean Bierwagen, et al. Structural Behavior of Waffle Bridge Deck Panels and Connections of Precast Ultra-High-Performance Concrete Experimental Evaluation [J]. Transportation Research Record, 2011 (2251): 82-92.
- [5] 曹君辉. 钢—薄层超高性能混凝土轻型组合桥面结构基本性能研究[D].长沙:湖南大学,2016.

(上接第116页)

设计具有一定的安全度。

本节段梁在试验荷载作用下,跨中挠度、应力等试验指标均与设计期望值相符,可满足桥梁在设计荷载下的正常使用要求,通过静载试验检验了节段梁结构设计理论和计算模型的准确性,验证了施工工艺的可靠性,为节段预制胶拼箱梁设计与施工提供借鉴。

参考文献:

- [1] 杨继光. 高速铁路节段预制胶拼连续梁设计研究[J].铁道建筑,2021(5):28-30.
- [2] 苏伟,周岳武,季伟强,等.铁路预应力混凝土连续梁节段预制胶拼法建造技术研究[J].铁道标准设计,2021,65(3):87-92.
- [3] PODOLNY W, MULLER J M. Construction and Design of Prestressed

Concrete Segmental Bridges[M].New Jersey: Wiley, 1982,

- [4] Bridge Rules:226011, Government of India Ministry of Railways[S].
- [5] TB/T 2092—2003, 预应力混凝土铁路桥梁简支梁静载弯曲试验方法及评定标准[S].
- [6] 翟静阳. 铁路客运专线900t箱梁静载弯曲试验浅析[J].交通科技, 2008(5):96-98.
- [7] 梁雪茜. 基于非对称弯曲理论的预制箱梁单梁静载试验应力研究[J].桥隧工程,2021(2):131-134.
- [8] 贾毅,田浩,李晓章,等.某宽幅连续箱梁桥承载能力评定[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2022,38(1):67-74.
- [9] 杨树民.节段预制胶拼铁路梁静力试验研究[J].国防交通工程与技术,2016(3):1-6.
- [10] 曾勇,孙旭东,肖光烈,等.单箱双室连续弯箱梁桥静载试验[J].洛阳理工学院学报(自然科学版),2021,31(3):30-38.