

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.240572

大、小横梁窄箱组合梁桥面板构造和受力分析

黄 枫¹, 李言坤²

[1. 深圳高速公路集团数字科技有限公司, 广东 深圳 518057; 2. 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 钢混组合梁具有钢结构和混凝土2种材料优势, 经济性好, 便于施工, 在工程中应用很多。对于多纵梁的组合梁而言, 桥面板与钢结构的的关系可分为大横梁体系和小横梁体系。为研究不同体系桥面板在活载下的受力特点, 基于深汕合作区通港大道项目, 分析了双窄箱组合梁结构采用大横梁不带钢悬臂、大横梁带钢悬臂、小横梁3种体系的桥面板构造与设计细节, 并以MIDAS FEA NX建立3种体系的桥面板结构有限元分析模型, 对比车辆荷载位于桥梁不同区域时桥面板的受力情况和纵梁内净距、横梁间距对桥面板受力的影响规律。结果验证了大横梁体系对于桥面板受力的改善作用, 并得出了桥面板较优的纵、横梁间距比和桥面板边界最大距离, 可为后续类似的工程建设提供有益参考。

关键词: 大、小横梁体系组合梁; 窄箱组合梁; 组合梁桥面板设计; 桥面第二体系受力; 有限元

中图分类号: U443.31

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)01-0080-06

Deck Structure and Force Analysis of Narrow-box Composite Beam Bridge with Large or Small Crossbeams

HUANG Feng¹, LI Yankun²

[1. Shenzhen Expressway Group Digital Technology Co., Ltd., Shenzhen 518057, China; 2. Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: The steel-concrete composite beam has the advantages of steel structure and concrete, good economy, easy construction, and is widely used in engineering. For the composite beams with multiple longitudinal beams, the relationship between bridge deck and steel structure can be divided into the large crossbeam system and the small crossbeam system. To study the force characteristics of bridge decks with different systems under live load, based on the Shenzhen and Shantou Cooperation Zone Tonggang Avenue Project, the bridge deck construction and design details of three systems such as large crossbeam without steel cantilever, large crossbeam with steel cantilever and small crossbeam for the double-narrow-box composite beam structure are analyzed. And the finite element analysis model of bridge deck structure with three systems is established by MIDAS FEA NX to compare the force of the bridge deck when the vehicle load is located in different areas of the bridge, and the influence of longitudinal beam clear distance and crossbeam interval on the force of the bridge deck. The results verifies that the large crossbeam system can improve the force of bridge deck. The optimal spacing ratio between longitudinal beam and crossbeam, and the maximum boundary distance of the bridge deck are obtained, which provides a useful reference for the subsequent construction of similar projects.

Keywords: composite beam with large or small crossbeam systems; narrow-box composite beam; design of composite beam bridge deck; force of second system of bridge deck; finite element

0 引 言

钢混组合梁是一种常见的桥梁结构, 其以整体受力的经济性、发挥2种材料各自优势的合理性以

及便于施工的突出优点, 在公路、铁路、城市立交或山区环境均有较多使用^[1]。

常见组合梁类型主要有组合钢板梁、组合钢箱梁和组合钢桁梁。在城市立交中, 为适应小半径弯曲匝道和异形变宽情况, 推出了一种适应性好的窄箱组合梁结构, 通过窄箱纵梁和横梁形成钢结构网格, 再与桥面板组合成整体结构^[2]。

对于多纵梁的组合梁, 桥面板与钢梁的结合形

收稿日期: 2024-05-22

作者简介: 黄枫(1974—), 男, 学士, 高级工程师, 从事公路及市政工程设计 and 建设管理工作。

通信作者: 李言坤(1994—), 男, 硕士, 工程师, 从事市政桥梁设计工作。电子邮箱: 1770245723@qq.com

式也可分为仅与钢梁纵向连接和与钢梁纵、横向均连接等方式。其中对于桥面板而言,不同钢梁类型的选择和钢混结构结合的形式将会影响桥面板的边界条件,从而影响其受力。关于组合梁桥面板的受力和构造设计,国内已有学者进行了相关研究,其中文献[3]对钢-UHPC 轻型组合梁桥面板受弯性能进行研究并分析其受力最不利位置;文献[4]研究了主梁数量、钢梁高度、曲率半径等参数对组合梁桥面板横向分布的影响规律,并给出主梁构造的合理参数范围建议。另一方面,为了研究桥面板边界支撑刚度对结构受力的影响,文献[5-8]根据不同的工程实例,采用数值模拟分析支撑钢梁的纵横向刚度参数对桥面板受力分配的影响及变化趋势。此外,文献[9]还通过有限元分析手段,研究了钢梁焊钉连接件对部分结合连续组合梁的桥面板受力的影响。

本文根据实际工程案例,针对3种类型的窄箱组合梁方案构造,研究其在局部车轮荷载下的桥面板受力情况并分析其规律。

1 工程概况

深汕生态环境科技产业园的基础设施及配套项目——园区配套市政道路工程(通港大道项目)位于深汕特别合作区西部。通港道路线南起红海大道,北至深汕大道,路线全长 10.6 km,北侧与望鹏大道快速路设置望鹏立交。望鹏立交为全互通立交,常规跨径 30~45 m,为考虑周边景观、施工运输和工程建设经济性,设计中采用双窄箱钢混组合梁结构(见图 1)。



图 1 通港大道项目窄箱组合梁效果图

图 2、图 3 所示为主线桥和匝道桥标准断面,均为大横梁带钢悬臂窄箱组合梁。

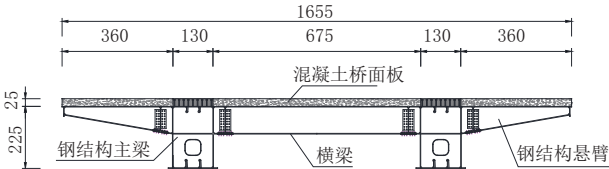


图 2 主线桥标准断面(单位:cm)

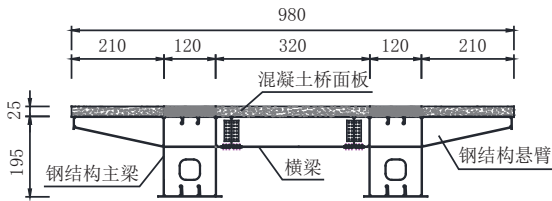


图 3 匝道桥标准断面(单位:cm)

2 不同横梁窄箱组合梁桥面板构造研究

2.1 桥面板构造形式

目前组合梁中采用双主梁结构是最常见的形式,而根据钢结构与混凝土桥面板的连接关系又可分为3种方案。

不同横梁窄箱组合梁典型断面见图 4。

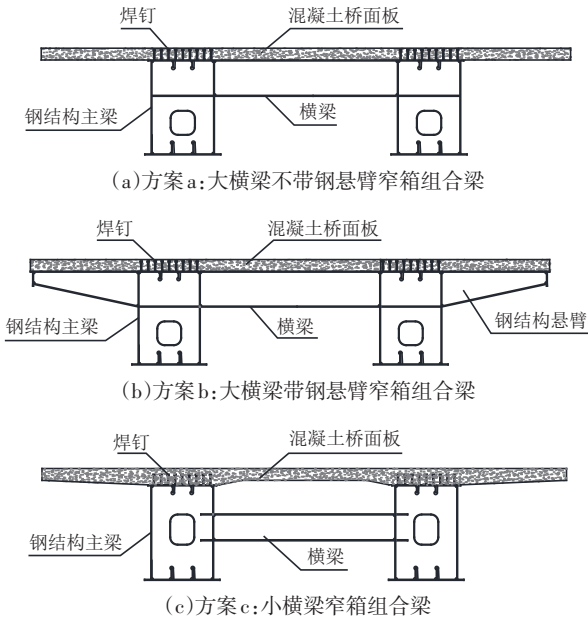


图 4 不同横梁窄箱组合梁典型断面

如图 4 所示,大横梁带钢悬臂、大横梁不带钢悬臂窄箱组合梁的中横梁对于桥面板有一定的支撑作用,此时中间桥面板的受力将得到一定改善,桥面板可设计为等厚度,方便施工,但其中大横梁不带钢悬臂窄箱组合梁的边桥面板没有横肋的支撑作用,悬臂长度不宜太长。而对于小横梁窄箱组合梁而言,由于只有纵向钢梁的支撑,则桥面板横向多为变高度板厚,此时横梁的作用主要是保证结构的侧扭稳定,不提供桥面板的支撑,所以桥宽不宜太宽;当桥宽超过 15 m 时,桥面板需要设置横向预应力来减轻混凝土厚度和重量。

2.2 桥面板配筋形式

不同横梁窄箱组合梁桥面板配筋形式见图 5。

如图 5 所示,大横梁体系窄箱组合梁桥面板纵向

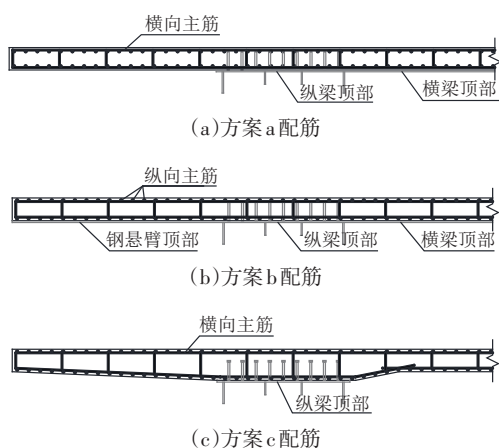


图5 不同横梁窄箱组合梁桥面板配筋形式

支承在主梁上,横向支承在横梁上,桥面板主要是在横梁间弯曲,因此纵向(主梁轴向)钢筋为主筋,布置在次要钢筋外侧,而不带悬臂的大横梁主要由桥面板悬臂部分控制;与此同时,小横梁体系桥面板仅支撑在主梁上,因此,横向钢筋为主筋,分布在外侧,有时候即使在跨中受压区桥面板的纵向钢筋也很重要,“欧规4”^[10]要求纵向钢筋配筋率接近1%,以控制裂缝宽度。

3 窄箱组合梁桥面板受力研究

3.1 桥面板的结构受力原理

混凝土结构设计规范中对于相同支撑刚度的矩形板件,以其长边与短边的比值 l_2/l_1 的大小(见图6)来判断板件为单向板或是双向板,长宽比不同的板件在受荷载时向不同边传递荷载的大小有区别。对于组合梁桥面板而言,研究板件的类型将有助于在工程中进行针对性设计。此外,对于大多数工程实际而言,不仅板件的长短边尺寸各异,且其支承刚度也有较大差异,为混合边界板。研究发现,在一定程度上,增大某一边的支撑刚度,将明显增大荷载在其边垂直方向上的分配比重^[11]。

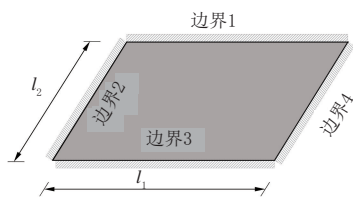


图6 桥面板简化分析模型

3.2 不同区域桥面板受力分析

由于在窄箱组合梁不同区域的桥面板支撑体系中,板件长短边比值均不同,所以在传递桥面荷载时具有不同的特性。为研究这种特性和规律,以望鹏

立交标准匝道桥为例进行分析。望鹏立交标准匝道桥的节段构造和荷载加载示意图见图7。

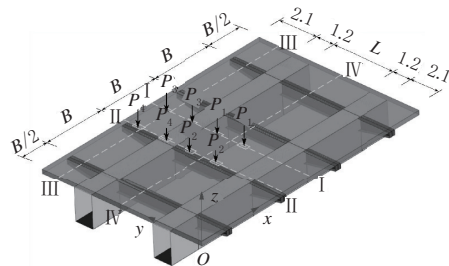


图7 标准匝道桥节段构造和荷载加载示意图(单位:m)

图7中,主梁标准横梁纵向间距 $B=4.0$ m,纵梁窄箱室宽1.2 m,悬臂长度2.1 m,纵梁内侧净距 $L=2.4$ m;桥梁横向取全宽,纵向取4个横梁间距范围,并同时对上述大、小横梁3种方案进行对比,其中大横梁体系桥面板厚25 cm,小横梁体系跨中段等厚25 cm,支点位置加厚至35 cm。

通过在桥面板上不同区域施加汽车轮载,比较不同区域的受力特点,荷载数值按《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—2011)(2019版)中的城—A车辆荷载的最大一组轴重取值,即 $P_1=P_2=P_3=P_4=100$ kN,车轮间距为1.8 m。不同荷载加载位置如下:

- P_1 : 车辆正载,车轮处于中间板跨中;
- P_2 : 车辆正载,车轮处于中间板横梁支点;
- P_3 : 车辆偏载,车轮处于边板跨中;
- P_4 : 车辆偏载,车轮处于边板悬臂横梁支点。

为对比桥面板顶面沿纵横方向的应力大小,将图7划分成4处区域:I—I为横梁间桥面板跨中横向剖面线、II—II为桥面板横梁支点横向剖面线、III—III为悬臂边桥面板跨中纵向剖面线、IV—IV为中间桥面板跨中纵向剖面线。

通过MIDAS FEA NX 2024(V1.1)软件建立方案a、b、c三维有限元分析模型,如图8所示。

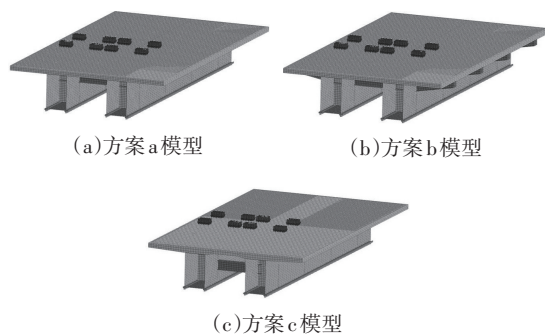


图8 不同横梁方案FEA NX三维有限元模型

桥面板采用实体单元模拟,钢梁采用板单元模拟;本文主要分析桥面板在第二体系局部荷载下的

受力特点,所以边界条件为腹板下翼缘铰接。

在 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 荷载下,桥面板 I-I~IV-IV 剖面的板顶应力见图 9~图 16。

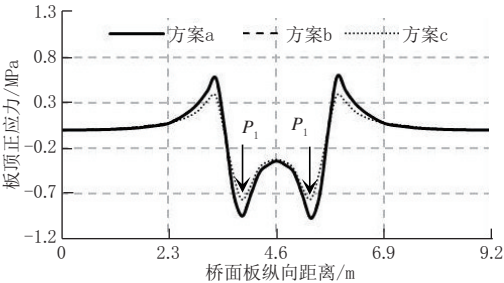


图 9 P_1 荷载下桥面板 I-I 剖面顶应力

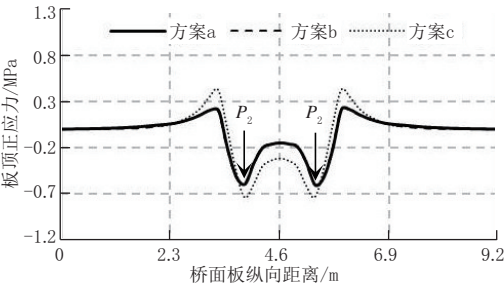


图 10 P_2 荷载下桥面板 II-II 剖面顶应力

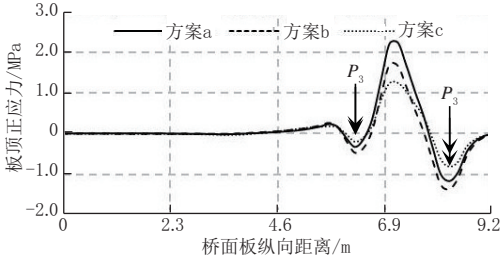


图 11 P_3 荷载下桥面板 I-I 剖面顶应力

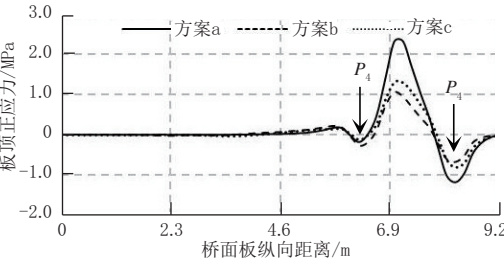


图 12 P_4 荷载下桥面板 II-II 剖面顶应力

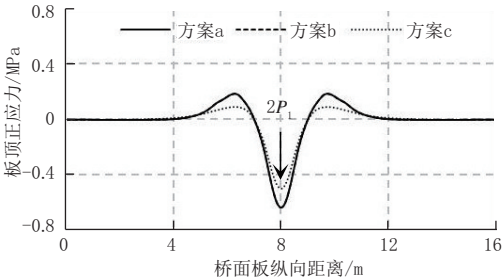


图 13 P_1 荷载下桥面板 IV-IV 剖面顶应力

图 9、图 10 计算结果显示,采用大横梁的方案 a、b,在中间桥面板跨中区域板顶的横向最大应力比小横梁方案 c 大,原因是小横梁横向采用了变板厚的设

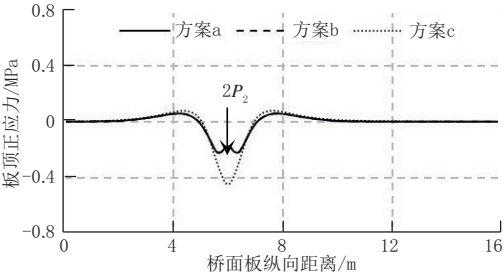


图 14 P_2 荷载下桥面板 IV-IV 剖面顶应力

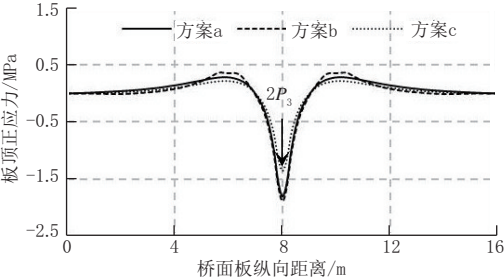


图 15 P_3 荷载下桥面板 III-III 剖面顶应力

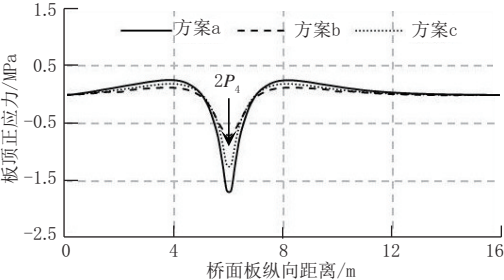


图 16 P_4 荷载下桥面板 III-III 剖面顶应力

计,可以较好地抵抗横向受力;而在横梁上方位置,采用大横梁的方案 a、b,板顶跨中最大应力减小约 37%,而小横梁几乎无变化,此时,大横梁体系桥面板横向最大应力比小横梁体系小。可见,横梁支撑桥面板可以在一定程度上改善桥面板的受力。

此外,在悬臂处的边桥面板位置有类似的规律。图 11、图 12 计算结果显示,当荷载位于横梁对应的外悬臂跨中位置时,横向最大应力对比结果为:方案 $c < \text{方案 } b < \text{方案 } a$;当荷载在横梁对应的外悬臂位置时,横向最大应力对比结果为:方案 $b < \text{方案 } c < \text{方案 } a$ 。由此可见,带钢悬臂的边桥面板和采用变高度的桥面板方案在不同位置优势不同,而仅采用等高度的桥面板方案对边桥面板受力最不利。

分析中间桥面板纵向受力。由图 13、图 14 可知:方案 a、b 板中心点纵向最大应力约为横向最大应力的 60%;方案 c 板中心点纵向最大应力约为横向最大应力的 66%。总体而言,中间桥面板均为双向板受力,但横向边界约束刚度更大,且传力途径更短,所以中间桥面板以横向受力为主导。

对于边桥面板而言,单个标准横梁间距范围内

为三边支撑。由图11、图12和图15、图16可见,方案a、b板中心点纵向最大应力约为横向最大应力的80%;方案c板中心点纵向最大应力与横向最大应力相当,但是由于板件外侧缺少约束,靠近外侧车轮作用的局部位置明显较内侧更大。

3.3 不同主梁间距对桥面板受力的影响

当组合梁横梁间距固定时,对于不同桥宽的桥梁,若保证主梁悬臂和钢纵梁板顶宽度不变,则中间桥面板的横向宽度将有明显不同,此时不仅板的长短边比值会发生变化,横梁的约束刚度也会改变。为研究不同纵梁内侧净距 L 对中板受力的影响,依然以上述望鹏立交标准匝道桥为例,保证其他参数不变,仅改变纵梁内侧净距 L ,对 $L=2.4$ 、 3.0 、 3.6 、 4.2 m这4种情况进行分析,比较中间桥面板纵向跨中位置、纵向支撑位置、横向跨中位置、横向支撑位置最大应力随参数 L 的变化规律。

方案a、b大横梁方案板顶最大应力见图17;方案c小横梁方案板顶最大应力见图18。

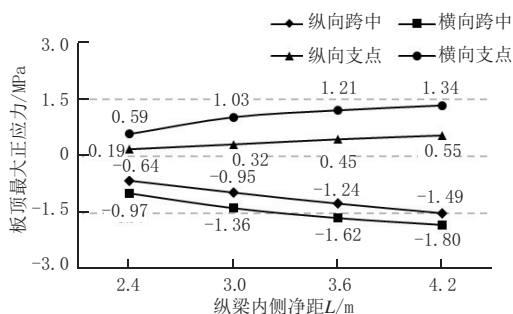


图17 方案a、b大横梁方案板顶最大应力

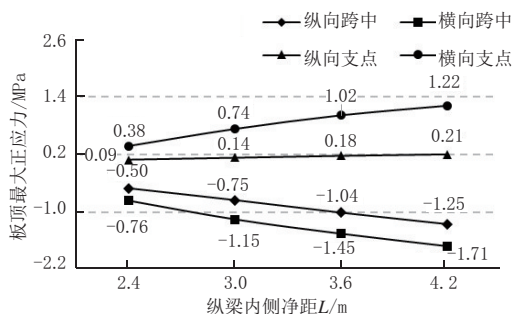


图18 方案c小横梁方案板顶最大应力

由图17、图18计算结果可知,当主梁间距 L 由2.4 m增至4.2 m时,中间桥面板的纵、横边之比由1.67减至0.95,此时采用大横梁、小横梁方案的桥面板纵、横向支点和跨中的应力均增加,但采用小横梁体系的桥面板应力最大值均小于采用大横梁体系的桥面板应力最大值;此外,虽然随着间距 L 的增加,中间桥面板的长短边比值越来越接近1,但由于窄箱纵梁的支撑刚度明显大于横梁的支撑刚度,所以在

汽车荷载作用下,桥面板沿横向承受的荷载占比更大。

另一方面,当纵梁内侧净距 L 小于3.0 m时,局部荷载下最大拉应力不大于1.0 MPa,但主纵梁间距过近时,横向抗扭和景观性都较差。所以对于匝道桥而言,窄箱组合梁纵梁内侧净距宜为3.0~3.6 m。

3.4 不同横梁间距对桥面板受力的影响

在结构整体设计计算中,横梁间距的设置主要是保证结构的侧扭稳定。此外,由于大横梁体系中横梁和桥面板的接触关系,横梁也影响着大横梁桥面板受力情况,而对小横梁体系组合梁的桥面板受力无明显影响。

在大横梁体系中,采用预制桥面板的组合梁,桥面板的分段尺寸也与横梁间距 B 直接相关。常规横梁间距为4 m左右,为研究不同中横梁间距和悬臂横梁间距 B 对中板和边板受力的影响,同样采用上述分析模型,纵梁间距 L 取3.6 m,其他参数不变,仅改变横梁间距 B ($B=3.0$ 、 3.6 、 4.0 、 4.5 m),分析其对桥面板受力的影响规律。中间桥面板为四边支撑板件,计算取纵向跨中位置、纵向支撑位置、横向跨中位置、横向支撑位置这4处进行比较;边桥面板为三边支撑板件,计算取纵向跨中位置、纵向支撑位置、横向支撑位置这3处进行比较。比较结果见图19、图20。

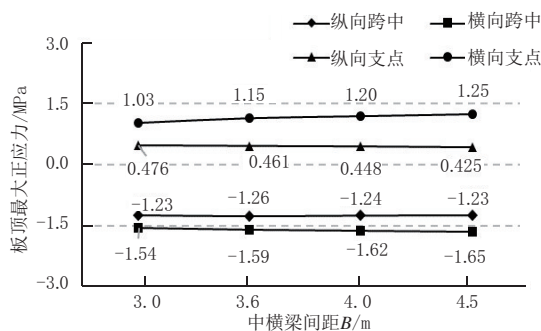


图19 不同中横梁间距 B 对中间桥面板顶最大应力的影响

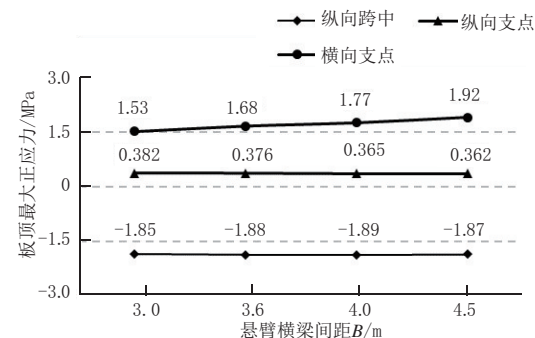


图20 不同悬臂横梁间距 B 对边桥面板顶最大应力的影响

由图 19、图 20 计算结果可知,当中横梁间距与悬臂横梁间距 B 由 3.0 m 增至 4.5 m 时,中间桥面板的纵、横边之比由 1.2 减至 0.8,此时桥面板纵向支点应力减小约 10%,纵向跨中应力变化不大,桥面板横向支点应力增加约 20%、跨中应力增加约 7%;对于边桥面板,其纵向支点应力减小约 5%,纵向跨中应力变化不大,桥面板横向支点应力增加约 25%。可见,在大横梁体系窄箱组合梁中,随着横梁间距减小,桥面板横向受力有较大改善,而纵向受力变化较小。

当横梁间距过大时,不仅桥面板和整体结构受力不利,同时会给施工运输带来很多问题;当横梁间距过小时,钢结构工程量会增加,同时会增加预制桥面板湿接缝的数量。所以,窄箱组合梁横梁间距宜为 3.6~4.0 m。

综上可知,窄箱组合梁各区域桥面板边界距离不宜超过 4 m,其中四边支撑的桥面板纵、横梁距离比宜为 0.8~1.0;对于非四边支撑的桥面板,宜控制其桥面板边界最大距离,此时桥面板的经济性和受力较佳。

4 结 语

(1)因传力特点不同,大、小横梁体系桥面板在构造配筋时需注意主筋和次要钢筋的方向及其分布位置。大横梁体系的横梁对桥面板有一定支撑作用,且桥面板相对较薄并等厚,施工更为便利,相比小横梁体系有一定优势。

(2)车轮荷载作用在中间桥面板跨中时,小横梁体系受力更好;车轮荷载作用在中间桥面板横梁上方时,由于横梁的支撑,大横梁体系桥面板受力得到明显改善,比小横梁更好。

(3)为改善悬臂位置的边桥面板受力情况,增加钢悬臂作支撑方案和边桥面板采用变高度设置的方

案均有一定优势,而仅采用等高度的桥面板方案对边桥面板受力最不利。

(4)随着纵梁内侧净距 L 的增加,桥面板纵、横向跨中和支点位置最大应力均增加;随着中横梁和悬臂横梁间距 B 的增加,边、中桥面板横向支点位置最大应力增加较明显,而其他位置应力变化不显著。分析可知,窄箱组合梁各区域桥面板边界距离不宜超过 4 m,其中四边支撑的桥面板纵、横梁距离比宜为 0.8~1.0;对于非四边支撑的桥面板,宜控制其桥面板边界最大距离。

(5)对于不同长、短边比的窄箱组合梁桥面板,由于纵梁的支撑刚度明显大于横梁的支撑刚度,所以在局部汽车荷载作用下,桥面板沿横向承受的荷载仍然占比较大。

参考文献:

- [1] 邵长宇. 梁式组合结构桥梁[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2015.
- [2] 张昱,程宏,边洪坡,等. 窄箱型主梁钢-混组合结构桥梁在山区公路建设中应用研究[J]. 水电站设计, 2020, 36(2): 10-14.
- [3] 孔令方,邵旭东,刘榕. 钢-UHPC 轻型组合梁桥面板受弯性能有限元分析[J]. 公路交通科技, 2016, 33(10): 88-95.
- [4] 程观奇. 钢板组合梁桥设计参数适应性与技术经济性分析[D]. 西安:长安大学, 2019.
- [5] 屈计划. 钢板组合梁桥混凝土桥面板精细化空间分析[J]. 工程与建设, 2021, 35(1): 52-53.
- [6] 冯沛芸,吴兵,傅学怡. 梁板刚度比变化对板内力的影响[J]. 广东土木与建筑, 2008(11): 17-19.
- [7] 房涛,朱凌峰,阮欣. 纵横梁格体系桥面板活载分配的支撑刚度参数分析[J]. 结构工程师, 2023, 39(5): 9-16.
- [8] 李党. 梁板协同工作的设计方法探讨[J]. 山西建筑, 2016, 42(1): 55-57.
- [9] 吕沛文,苏庆田,吴飞,等. 部分结合连续组合梁受力分析[J]. 结构工程师, 2019, 35(2): 66-74.
- [10] Eurocode 4 composite steel and concrete structures - Part 2: Bridges[S].
- [11] 王刚. 钢筋混凝土不连续约束板的试验研究[D]. 大连:大连理工大学, 2010.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: roadfloodbridge@163.com

