

钢-混组合桥面板钢筋布置优化研究

洪惠卿

[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:以某城市高架桥梁为算例,针对钢-混组合桥面板中的配筋问题,建立闭口钢箱-混凝土桥面梁段的实体有限元模型,分析混凝土桥面板中的纵横向钢筋在不同间距的排布情况下,钢桥面板与钢筋的应力分布情况。结果表明,钢桥面板与混凝土桥面板之间存在内力相互分配的关系,横向钢筋间距的变化会影响组合桥面板的内力分配比例;桥面板下排的纵向钢筋应力水平始终较低,且对钢筋间距变化不敏感,可适当进行优化设计,减少其用量。

关键词:组合结构;桥面板;钢筋布置;有限元分析

中图分类号: U448.21+6

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)08-0086-03

0 引言

钢-混凝土组合结构出现于20世纪20年代,是在钢结构和混凝土结构的基础上发展起来的,通过剪力连接件,钢梁和混凝土板连接成整体并且共同受力,结构充分结合了钢结构和混凝土结构各自特征,兼有两者的优点^[1-3]。我国在钢-混凝土组合桥梁结构方面的研究起步较晚,应用时间较短,钢-混凝土组合结构简支梁、连续梁桥的应用实例也不够丰富,一些工程实例大多零散出现在城市高架中,而且跨度不大。

常见的钢-混凝土组合梁形式一般有两种。一种采用闭口钢箱梁,在钢箱梁顶板上布满栓钉,通过栓钉来实现钢箱梁与混凝土板的结合。另一种是采用开口槽型断面,在梁中设置次纵梁、主横梁和次横梁等构件,形成一个“钢格子梁”,再通过“钢格子梁”顶板上的栓钉与混凝土板结合。对于大跨度桥梁来说,闭口钢箱梁形式在梁段抗扭稳定性和施工便捷性方面更胜一筹。

对于闭口钢箱形式的钢-混凝土组合梁来说,混凝土板底缘通过栓钉与钢梁顶板完全结合在一起,钢梁顶板将会协助混凝土板受力。此时采用一般的混凝土板配筋方式显然是不经济的。

本文以城市高架简支梁为例,对闭口钢箱-混凝土组合结构桥梁的桥面板受力性能进行研究。选

取混凝土板中的横、纵向钢筋间距为参数,对比采用不同的横、纵向钢筋布置间距时,钢筋及钢板的受力情况,对钢筋的布置方式进行优化,从而实现经济性的目标,研究成果为设计计算和结构构造提供参考。

1 工程概况

某城市高架快速路主线,采用跨径为60 m的简支钢-混凝土组合梁,桥面全宽32.5~34 m,梁高2.9 m,断面为单箱6室,共7道腹板。桥面横坡为2.0%,钢梁顶、底板同为2.0%坡;桥面板挑臂长为2.1 m。采用钢-混凝土闭口钢箱组合梁结构。组合梁断面如图1所示。

2 计算模型

采用大型通用有限元程序ANSYS建立闭口截面实体有限元节段模型。其中,桥面板采用solid65单元模拟;钢梁采用shell63板壳单元模拟;钢筋采用link8单元模拟,与桥面板混凝土单元共节点连接;剪力钉采用combin39单元模拟。计算荷载考虑恒载及车辆荷载作用。模型如图2所示。模型纵向长度为6.3 m,一端约束三向位移,另一端约束横向与竖向位移,模拟简支梁的边界形式。

3 钢筋布置优化分析

3.1 横向钢筋布置优化

图3展示的是模型中桥面板横向钢筋的结构。建立双排钢筋,钢筋中心位置分别距离混凝土桥面板上下表面各50 mm。

收稿日期: 2023-10-10

作者简介: 洪惠卿(1993—),女,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

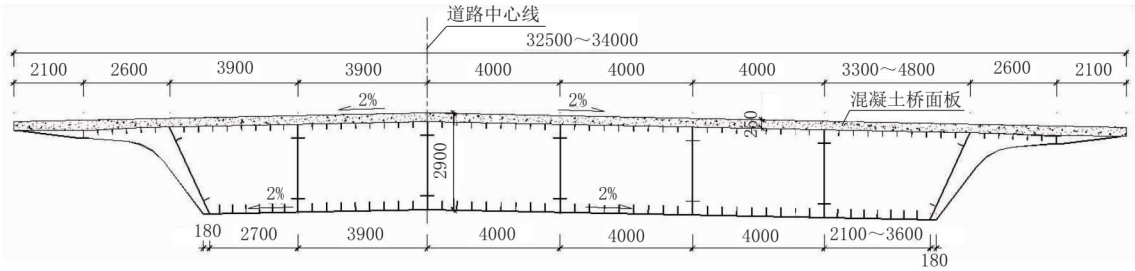


图 1 钢混组合梁一般断面布置(单位:mm)

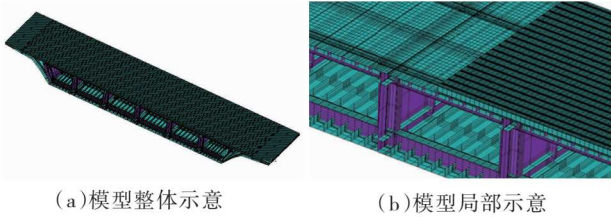


图 2 闭口钢箱梁+混凝土桥面板有限元模型

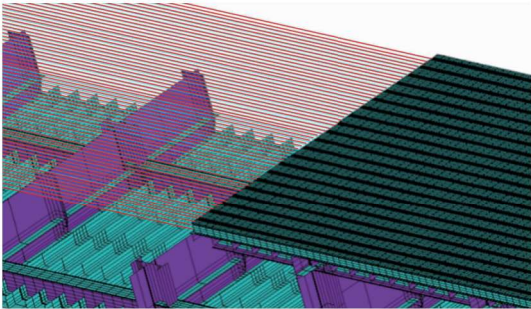


图 3 横向钢筋有限元模型

由于横向钢筋主要承担桥面板横向受力,汽车荷载以车辆荷载施加,车辆荷载通过车轮与桥面的接触面以面荷载的形式加载到桥面板单元上。加载形式如图 4 所示。

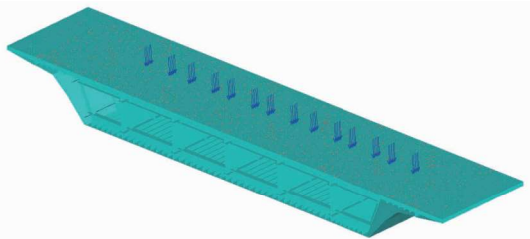


图 4 车辆荷载布置

为模拟梁段在简支条件下的受力状态,分别将两边横断面的底边和中间腹板的底边进行约束。约束情况见表 1。其中, U_x 为纵向自由度, U_y 为横向自由度, U_z 为竖向自由度。

表 1 梁段模型边界条件

项目	约束自由度
横断面 1 底边	U_x, U_z
横断面 2 底边	U_z
中间腹板底边	U_y

钢桥面板厚度取 14 mm,混凝土桥面板厚度取 250 mm,钢筋直径取 22 mm,分别选取钢筋间距

200、150、100 mm 进行计算。

图 5 是钢筋间距取 150 mm 时的上排横向钢筋应力云图。从中可以看出,悬臂根部以及腹板处的钢筋应力有明显的变化,与实际受力相符合。提取不同钢筋间距下,钢筋与钢桥面板的最大应力,结果见表 2。

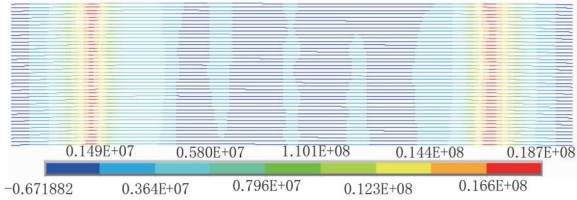


图 5 横向钢筋应力云图(单位:Pa)

表 2 不同横向钢筋间距时各构件应力对比

横向钢筋间距/mm	上排钢筋应力/MPa	下排钢筋应力/MPa	钢桥面板应力(max,min)/MPa
200	19.2	-14.6	71,-51.5
150	18.7	-14.9	60.9,-45.9
100	30.1	-17.7	50.6,-36.9

注:拉力为正,压力为负。

根据表 2 结果可知:

(1)钢筋应力随着钢筋间距的减小(由 200 mm 减小至 150 mm)变化并不明显,而刚桥面板应力出现较大降幅,最大拉应力降幅为 14.1%(由 71 MPa 降为 60.9 MPa),最大压应力降幅 10.8%(由 51.5 MPa 降为 45.9 MPa)。

(2)钢筋应力随着钢筋间距的继续减小(由 150 mm 减小至 100 mm)开始表现出明显增大。其中,上排钢筋具体增幅高达 60.9%(由 18.7 MPa 增至 30.1 MPa),下缘钢筋具体增幅为 18.8%(由 14.9 MPa 增至 17.7 MPa)。与之相反,钢梁顶板应力则表现出下降趋势,最大拉应力降幅 16.9%(由 60.9 MPa 降为 50.6 MPa),最大压应力降幅 19.6%(由 45.9 MPa 降为 36.9 MPa)。

当钢筋间距较为宽松(150~200 mm)时,钢筋的应力值变化有限。此时钢筋所承担的结构内力与横截面内的钢筋数量线性相关。但当钢筋间距逐渐加

密到 150 mm 以下时,钢筋应力出现明显提升,钢筋在整体桥面板中的刚度贡献出现显著增长。此时钢筋承担结构内力的比重增速明显提高,钢桥面板所分配到的结构内力则明显下降。

但当钢筋间距逐渐加密到 150 mm 以下时,钢筋在整体桥面板中的刚度贡献出现显著提升,钢筋应力开始增加,钢筋承担结构内力的比重持续增加,钢桥面板所分配到的结构内力持续减少。

3.2 纵向钢筋布置优化

图 6 展示的模型中桥面板纵向钢筋的结构。建立双排钢筋,钢筋中心位置分别距离混凝土桥面板上下表面 50 mm。

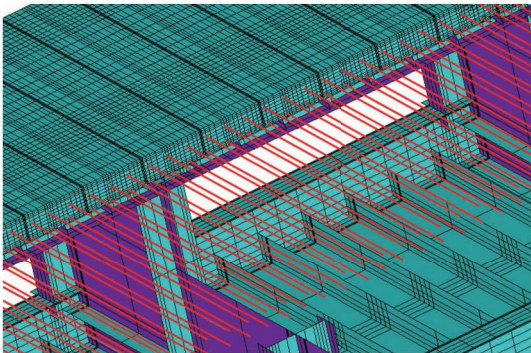


图 6 纵向钢筋有限元模型

由于纵向钢筋主要承担桥面板顺桥向受力,汽车荷载通过截面外荷载的形式施加。在全桥梁单元模型施加车道荷载,提取该梁段两端截面处的在活载工况下的内力,将此内力加载到该梁段模型上。外荷载具体数值见表 3。

表 3 梁段外荷载

项目	面内弯矩/(kN·m)
横断面 1	11 000
横断面 2	-11 000

为模拟梁段在简支条件下的受力状态,分别将两边横断面的底边和中间腹板的底边进行约束。约束情况详见表 4。其中, U_x 为纵向自由度, U_y 为横向自由度, U_z 为竖向自由度。

表 4 梁段模型边界条件

项目	约束自由度
横断面 1 底边	U_x, U_z
横断面 2 底边	U_z
中间腹板底边	U_y

钢桥面板厚度取 14 mm,混凝土桥面板厚度取 250 mm,钢筋直径取 22 mm,分别选取纵向钢筋间距

200、150、100 mm 进行计算。

图 7 是钢筋间距取 150 mm 时的下排纵向钢筋应力云图。从中可以看出,在梁段的中隔板处钢筋应力有明显的变化,与实际受力相符合。提取不同钢筋间距下,钢筋与钢桥面板的最大应力,结果见表 5。

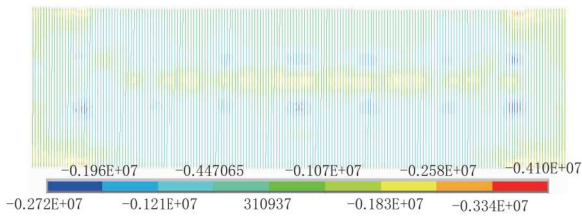


图 7 纵向钢筋应力云图

表 5 不同纵向钢筋间距时各构件应力对比

纵向钢筋 间距/mm	上排钢筋 应力/MPa	下排钢筋 应力/MPa	钢桥面板应力 (max,min)/MPa
200	-14.8	4.05	52.0,-62.2
150	-12.6	4.10	46.8,-56.4
100	-13	4.08	47.4,-57.0

注:拉力为正,压力为负。

根据表 5 结果可知:

(1)上排钢筋应力随着钢筋间距的减小(由 200 mm 减小至 150 mm)变化较为明显,应力降幅 14.8%(由 14.8 MPa 降为 12.6 MPa),下排钢筋应力变化不大(由 4.05 MPa 变为 4.10 MPa)。刚桥面板应力出现降幅,最大拉应力降幅 10.0%(由 52.0 MPa 降为 46.8 MPa),最大压应力降幅 9.3%(由 62.2 MPa 降为 56.4 MPa)。

(2)随着钢筋间距的继续减小(由 150 mm 减小至 100 mm),钢筋应力开始逐渐趋于稳定。其中,上排钢筋压应力增幅仅 3.1%(由 12.6 MPa 增至 13.0 MPa),下排钢筋拉应力降幅 0.5%(由 4.10 MPa 降至 4.08 MPa)。钢梁顶板应力变化也不明显,最大拉应力增幅 1.3%(由 46.8 MPa 增大为 47.4 MPa),最大压应力增幅 1.1%(由 56.4 MPa 增大为 57.0 MPa)。

可以看出,纵向钢筋主要为上排钢筋受力,下排钢筋的应力水平一直处于较低状态。当钢筋间距较为宽松(150~200 mm)时,上排钢筋应力增加,相应钢桥面板的应力降低。在钢筋间距逐渐加密到 150 mm 以下时,钢筋应力和钢桥面板的应力变化已经不明显。

4 结 语

(1)钢桥面板与混凝土桥面板之间存在内力相互分配的关系,横向钢筋间距的变化会影响组合桥

(下转第 97 页)



图 17 盖梁湿接缝处断面

建议设计人员在预制拼装盖梁的设计中,简化盖梁配筋(配束)形式,一方面提高预制效率,另一方面减少现场施工湿接缝的难度。对于湿接缝范围的预应力钢束应保证等间距平行布置,对于湿接缝范围的

钢筋应根据计算,尽量取消预制拼装湿接缝处传统斜筋布置,降低现场施工难度,对于剪力较大处可通过加强箍筋设计,以满足截面抗剪承载力的要求。

4 结 语

本文结合呼和浩特市昭乌达路哲里木路改造提升工程标准段盖梁,针对预制拼装倒 T 盖梁进行了计算分析。结果表明,预制拼装倒 T 盖梁计算结果均满足现行规范要求。结合施工情况,对盖梁设计和施工提出改进意见,对后续预制拼装大悬臂倒 T 盖梁的大规模推广具有一定参考意义。

参考文献:

- [1] DG/TJ 08-2160—2015, 预制拼装桥墩技术规程[S].
- [2] 刘书杰.全预制拼装技术在呼和浩特市某快速路改造提升工程中的应用[J].上海建设科技,2018(6):25-27.
- [3] JTG D60—2015, 公路桥涵设计通用规范[S].
- [4] JTG 3362—2018, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

(上接第 88 页)

面板的内力分配比例,不能单纯通过调整横向钢筋的疏密来控制横向钢筋应力,这在以后的设计中需给予更多的关注。

(2)根据本文系统分析结果,为兼顾钢筋应力状态,并同时充分利用钢桥面板的力学优势,在钢顶板厚度 14 mm、钢筋直径 22 mm 的情况下,宜将横向钢筋间距、纵向钢筋间距分别取为 150 mm,如此组合可认为是最优的钢筋布置方式。

(3)计算结果表面,桥面板底部纵向钢筋对间距

的变化较不敏感,并且整体始终处于较低的应力水平,因而可考虑对桥面板底部纵向钢筋进行优化设计,削减底部钢筋密度与用量,从而节约工程造价,优化桥梁结构。

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] 刘明虎.桥梁钢—混凝土结合技术工程实践与展望[J].桥梁建设,2022(52):18-25.
- [3] 赵路洋,郑凯锋.钢—混凝土组合梁桥设计方法和新结构形式[J].铁路与公路,2022(5):141-144.