

# 一种可整体吊装的装配式简支钢混组合梁研究

彤 辉

(中铁工程设计咨询集团有限公司郑州设计院,河南 郑州 450001)

**摘要:** 装配式简支钢-混组合梁利用混凝土桥面板的良好抗压性能及钢梁的优良抗拉、抗剪性能,经济跨径可做到60 m,主要用于跨越高速公路及城市干道,然而钢梁上翼缘局部刚度小导致钢梁整体吊装、桥面板混凝土施工过程中失稳风险大。以南昌市九洲高架东延工程为依托,通过加厚钢板、增加局部刚度来解决上翼缘钢板的局部稳定问题,进而实现钢梁的整体吊装,解决实际工程中特殊节点的施工难题。

**关键词:** 钢-混组合梁;失稳;局部稳定;整体吊装;特殊节点

**中图分类号:** U443.3;U445.4

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2025)02-0087-04

## Research on Integrally Hoisted Fabricated Simple-supported Steel-concrete Composite Beam

RONG Hui

(Zhengzhou Design Institute, China Railway Engineering Design Consulting Group Co., Ltd., Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** Owing to the good compressive performance of concrete bridge decks and the excellent tensile and shear resistance of steel beams, the fabricated simple-supported steel-concrete composite beam with an economic span of up to 60 meters is mainly used to span the expressways and urban trunk roads. However, the local stiffness of the upper flange of the steel beam is low, which will lead to the high risk of instability in the integral hoisting of the steel beam and the concrete construction of the bridge decks. Relying on the Jiuzhou Elevated East Extension Project in Nanchang City, the local stability problem of the upper flange steel plate is solved by thickening the steel plate and increasing the local stiffness in order to realize the integral hoisting of the steel beam and solve the construction difficulties of special nodes in practical projects.

**Keywords:** steel-concrete composite beam; instability; local stability; integral hoisting; special node

## 0 引言

随着公路市政交通的不断升级,钢材作为一种环保节能、可循环使用的建筑材料,符合节能建筑发展和可持续健康发展的理念,被称作21世纪的“绿色建筑”。贺立新等<sup>[1]</sup>介绍了钢-混结合梁桥的特点、分类、适用性及经济性比较,提出我国桥梁应向钢桥及钢-混结合梁桥发展。刘永健等<sup>[2]</sup>对中小跨径钢-混凝土组合梁桥技术经济性进行了系统分析。彭森等<sup>[3]</sup>通过分析比选认为同等跨径的钢混组合板梁与预制混凝土桥梁的全生命周期建设成本接近,同等跨径的钢混组合箱梁与现浇箱梁的全生命建设成本相近。朱晓栋<sup>[4]</sup>介绍了钢-混凝土组合梁桥在城市拼宽桥梁中的应用。周倩茹<sup>[5]</sup>研究了钢-混组

合梁横向分布系数的计算方法。万淑敏等<sup>[6]</sup>研究认为施工临时支墩的设置对槽型梁板厚设计影响较大,可有效控制槽型梁应力水平、降低用钢量、减小施工过程中挠度。成立涛等<sup>[7]</sup>对钢-混凝土组合梁施工阶段钢梁稳定性实用计算方法进行了研究,提出减小横梁间距更利于提高主梁整体稳定性。目前对钢-混组合梁施工过程中局部稳定性研究较少。

装配式简支钢-混组合梁桥的钢梁部分一般采用少支架施工,钢梁拼装完成后浇筑混凝土桥面板将钢梁连成整体,充分发挥钢材和混凝土这两种材料的特性,既能克服钢桥面铺装性能差、刚度小的弊端,又在一定程度上解决了混凝土梁自重大、易开裂的缺陷。相比装配式预应力混凝土小箱梁,钢-混组合梁存在造价偏高、后期钢梁养护费用偏高的缺点,因此城市高架桥中主要用来跨越较宽道路及河道。

目前,装配式简支钢-混组合梁桥的钢梁多采用I形断面或U形开口箱式断面,整体吊装时上翼缘钢

收稿日期: 2024-07-24

作者简介: 彤辉(1983—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

板均存在屈曲的风险,因此多采用少支架节段拼装法施工。但实际工程中发现,部分城市道路(尤其是老城区)交通导改非常困难,城市河道由于景观、排涝等要求不允许在河中搭设临时支架,因此急需探索一种可用于整体吊装的截面形式来解决此类工点的难题。

## 1 工程概况

南昌市九洲高架东延工程是中心城区东西向敷设的一条重要城市快速路,沿线跨越主要道路及河道的上部结构均采用装配式简支钢-混组合梁。桥梁标准横断面布置如图1所示。

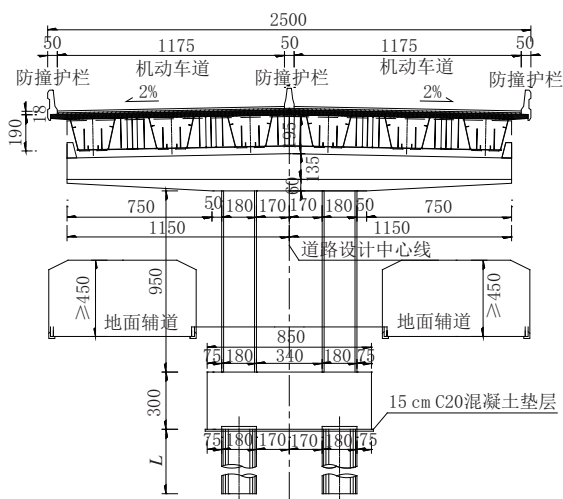


图1 桥梁标准横断面(单位:cm)

设计钢-混组合梁采用少支架节段拼装法施工,如图2所示。

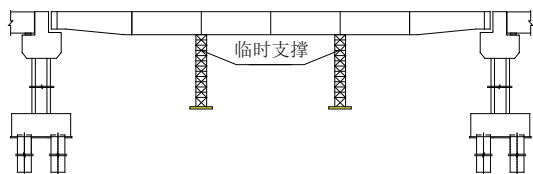
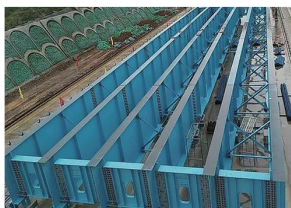


图2 施工支架示意图

## 2 组合梁钢梁断面选择

传统的装配式简支钢-混组合梁的钢梁部分采用I形断面或U形开口箱式断面,如图3所示。

### I形断面钢梁具有自重轻、对桥面变宽适用性强



(a) I形断面钢梁



(b) U形开口箱式钢梁

图3 传统组合梁钢梁断面

的优点,但存在自身抗扭刚度小、多片梁间横联间隔小、美观性差的缺点,因此I形断面钢梁多用于景观要求不高的公路工程。

U形开口箱式钢梁自重虽然偏大,但由于箱内横隔板的存在,自身抗扭刚度大;多片梁间横联间隔大、美观性较好,同时与邻近跨箱梁断面形式类似,全线桥梁上部结构景观协调性好,尤其适用于城市高架桥跨越被交道路。

### 3 整体吊装组合梁钢梁研究

### 3.1 问题剖析

装配式简支钢-混组合梁主要利用混凝土桥面板的良好抗压性能及钢梁的优良抗拉、抗剪性能,钢梁上翼缘板主要用来布置剪力键,以保证钢梁和混凝土桥面板之间协同受力<sup>[8]</sup>,因此上翼缘通常按构造设计采用较薄钢板以节约投资。采用这类断面构造的钢梁无法整体吊装,因为在吊装、浇筑混凝土桥面板等施工过程中,混凝土桥面板尚未与钢梁形成整体而无法承受相应的施工荷载,造成跨中区域上翼缘钢板由于压应力过大容易发生屈曲破坏;若钢梁与混凝土桥面板形成整体后再进行吊装,吊装重量会大幅度增加,一片40 m简支钢-混组合梁重约170 t,在交通繁忙且交通导改困难的老城区很难满足相应吨位吊机的站位需求。

由此可见,钢梁无法整体吊装的主要原因是上翼缘钢板刚度小,施工过程中存在屈服风险。针对这一问题,有以下两种解决方案:(1)通过在跨中有屈服风险区域增加临时支撑来解决上翼缘钢板的局部稳定问题,(2)通过增加跨中有屈服风险区域的顶板厚度来解决上翼缘钢板的局部稳定问题,进而实现钢梁的整体吊装,解决实际工程中特殊节点的施工难题。

### 3.2 钢梁有限元模型

有限元分析依托南昌市九洲高架东延工程中40 m跨径的装配式简支钢-混组合梁,混凝土桥面板部分长39.92 m,钢梁部分长38.7 m,单片钢梁宽2.9 m,梁间距4.08 m。钢梁采用自身抗扭刚度大的U形开口箱式断面,实腹式横隔板6 m一道,框架式横隔板2 m一道,组合梁一般构造如图4所示。

研究分别采用 12、16、20、24、28 mm 厚的上翼缘钢板及 16 mm 厚上翼缘钢板同时加劲,建立 MIDAS FEA NX 空间网格有限元模型,对钢梁部分进行施工阶段受力分析,荷载主要考虑钢梁自重、横联自重、

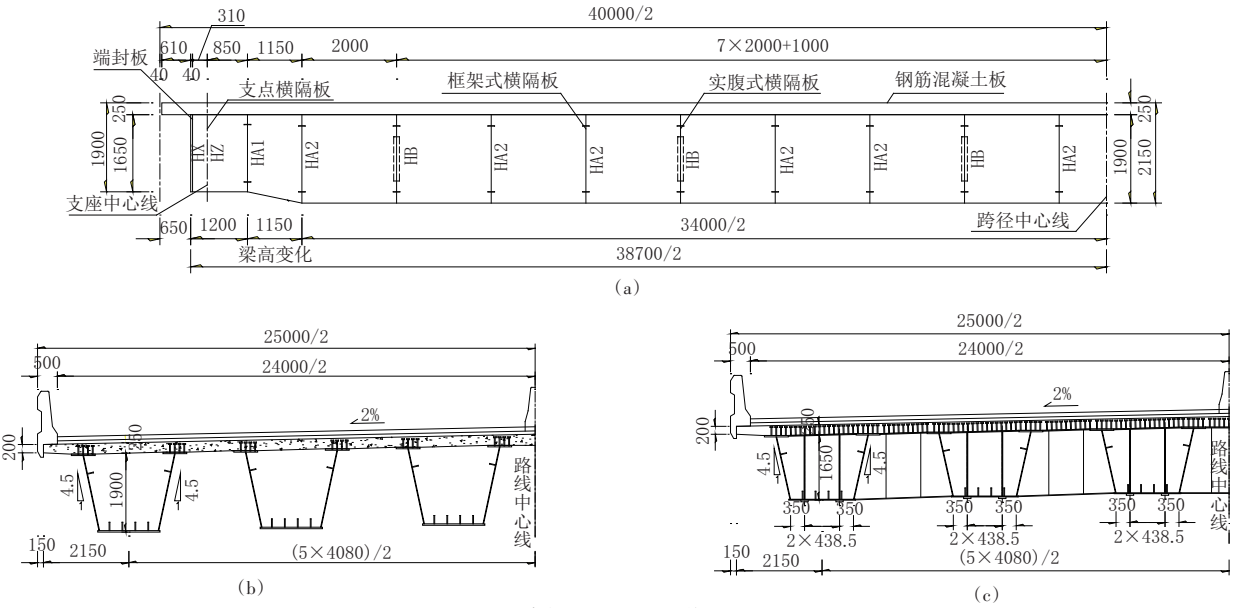


图4 组合梁立面、断面(单位:mm)

施工人员及设备荷载、倾倒混凝土产生的竖向荷载、模板重量、桥面板混凝土湿重。钢梁空间网格有限元模型如图5所示。

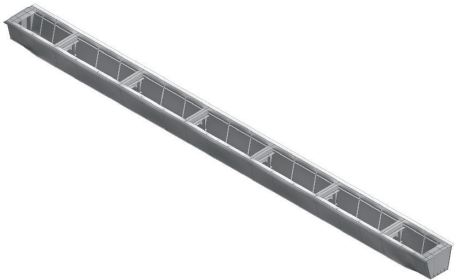


图5 组合梁空间网格有限元模型

3.3 钢梁空间网格有限元计算结果

依据 von Mises 屈服准则,判定钢梁是否发生屈服而进入塑性状态。

3.3.1 方案一:顶板增加临时支撑

通过 MIDAS FEA NX 空间有限元分析,将 16 mm 厚顶板在不加劲和加劲两种情况下的结果进行对比见表 1。

| 表 1 16 mm 顶板最大 von Mises 应力 单位:MPa |      |      |       |       |       |      |
|------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|------|
| 荷载类型                               | 钢梁自重 | 横联荷载 | 混凝土湿重 | 施工荷载  | 标准组合  | 屈服应力 |
| 顶板不加劲                              | 49.6 | 4.7  | 96.7  | 88.6  | 239.7 | 355  |
| 顶板加劲                               | 42.4 | 4.0  | 110.4 | 101.1 | 258.0 | 355  |

注:表中 von Mises 应力均为构件节点平均最大应力。

由表 1 可知,在顶板悬臂仅 292 mm 的情况下,通过顶板局部加劲可以改善钢梁自重工况下的应力,但浇筑桥面板混凝土时顶板应力反而略有增加;同时考虑到临时支撑的安拆不利于钢梁防腐涂装的修

补,以及在钢梁内狭小空间拆除临时支撑的不方便性,因此本项目钢梁不采用顶板增加临时支撑的方案。

3.3.2 方案二:顶板增加厚度

通过计算分析,从 MIDAS FEA NX 计算结果中提取各板件在不同顶板厚度下的标准组合 von Mises 应力,应力变化情况如图 6 所示。

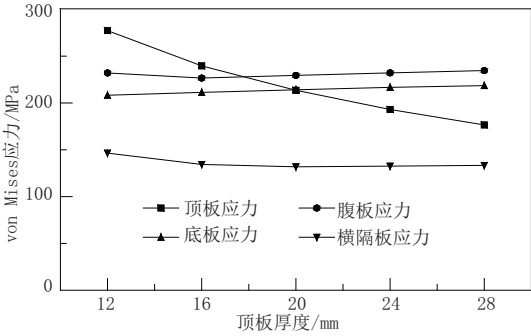


图6 钢梁各板件 von Mises 应力分布

由图 6 中 von Mises 应力分布情况可以得出以下结论:

- (1)随着顶板厚度的增加,顶板应力大幅减小,底板及腹板应力略微增大,横隔板应力基本持平。
- (2)底板及腹板应力的增大主要是由顶板自重增加引起。
- (3)针对当前组合梁构造,顶板厚 20 mm 时,顶板、底板和腹板应力最接近,各板件厚度配比最合理。

3.4 钢梁各板件应力分析

为了深入研究钢梁各板件应力分布规律,便于指导桥梁结构设计,采用 MIDAS FEA NX 建立板单元

空间网格有限元模型,对20 mm厚顶板的钢梁各板件进行细部受力分析<sup>[9]</sup>。

由图7至图10可知,顶板最大 von Mises 应力出现在靠近跨中的第一道实腹式横隔板位置,底板最大 von Mises 应力出现在靠近支点的钢梁变高位置,腹板最大 von Mises 应力出现在靠近跨中的第一道框架式横隔板位置,横隔板最大 von Mises 应力出现在靠近跨中的第一道实腹式横隔板与顶板相连位置。



图7 标准组合下顶板 von Mises 应力云图(单位:MPa)

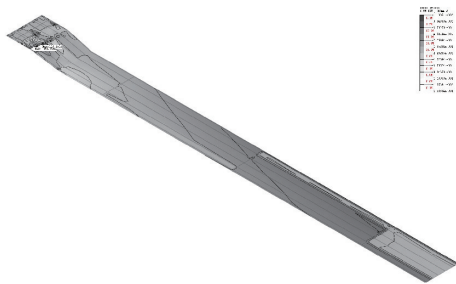


图8 标准组合下底板 von Mises 应力云图(单位:MPa)



图9 标准组合下腹板 von Mises 应力云图(单位:MPa)

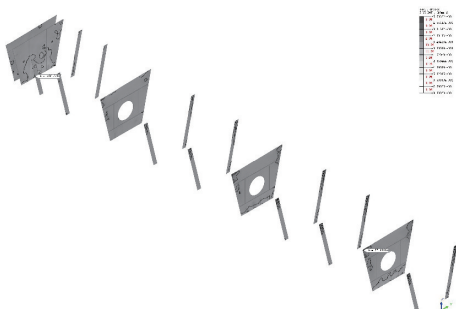


图10 标准组合下横隔板 von Mises 应力云图(单位:MPa)

钢梁主要构件在各荷载工况下最大 von Mises 应力见表2。

表2 钢梁主要构件最大 von Mises 应力 单位:MPa

| 荷载类型 | 钢梁自重 | 横联荷载 | 混凝土湿重 | 施工荷载 | 标准组合  | 屈服应力 |
|------|------|------|-------|------|-------|------|
| 顶板   | 44.6 | 4.3  | 85.9  | 78.7 | 213.0 | 355  |
| 底板   | 43.5 | 3.8  | 87.0  | 79.7 | 214.0 | 355  |
| 腹板   | 46.7 | 4.1  | 93.3  | 85.4 | 229.5 | 355  |
| 横隔板  | 26.9 | 2.4  | 53.5  | 49.0 | 131.8 | 355  |
| 整体钢梁 | 44.6 | 4.0  | 85.9  | 78.6 | 213.2 | 355  |

注:表中 von Mises 应力均为构件节点平均最大应力。

由表2可知,钢梁主要构件基本组合下最大 von Mises 应力出现在腹板靠近跨中的第一道框架式横隔板位置,应力值 229.5 MPa 小于屈服强度 355 MPa<sup>[10]</sup>,满足钢材强度设计限值要求,具有较高的安全储备。

## 4 结 语

本文依托南昌市九洲高架东延工程中一些不允许搭设临时支架的40 m跨径装配式简支钢-混组合梁,对可整体吊装的钢梁部分进行施工阶段受力性能研究,主要得出以下结论:

(1)通过增加钢板厚度、改善局部刚度可以解决上翼缘钢板的局部稳定问题,实现组合梁中钢梁部分的整体吊装。

(2)对于40 m跨径装配式简支钢-混组合梁,通过有限元分析,建议顶板厚采用20 mm,分析结果显示顶板、底板和腹板应力最接近,钢梁部分经济性较好。

(3)钢梁空间网格有限元模型计算结果显示,钢梁主要构件标准组合下最大 von Mises 应力出现在腹板靠近跨中的第一道框架式横隔板位置,虽满足钢材强度限值要求,仍需结合组合梁运营阶段受力分析合理确定合板件厚度并加强关键部位构造设计,以确保钢板材料性能得到充分发挥。

随着城市的飞速建设,高架桥的施工空间越来越紧凑,笔者提出的可整体吊装的装配式简支钢-混组合梁方案能为同类工程设计、施工提供有价值的参考。

## 参考文献:

- [1] 贺立新,宋雷.钢桥、钢-混结合梁桥的发展及其应用实例[J].西南公路,2014(1):2-10.
- [2] 刘永健,高诣民,周绪红,等.中小跨径钢-混凝土组合梁桥技术经济性分析[J].中国公路学报,2017,30(3):1-13.
- [3] 彭森,傅晨曦.中小跨径钢混组合梁桥经济技术性分析及设计优化比选[J].公路交通科技,2022,39(7):98-105.
- [4] 朱晓栋.钢-混凝土组合梁桥在城市拼宽桥梁中的应用[J].城市道桥与防洪,2017,115(5):115-119.

(下转第94页)