

重型热轧H型钢组合梁桥的设计与应用

俞明德

(上海城市交通设计院有限公司, 上海市 200092)

摘要: 以上海市军工路快速路工程为背景,总结了重型热轧H型钢组合梁桥的设计经验。与传统焊接钢板组合梁相比,重型热轧H型钢具有质量稳定、无焊接残余应力、快速施工等显著优势。虽然其钢材用量略高于焊接钢板梁,但加工时间大幅缩短近一半,焊接和检验工作量大幅减少,综合经济效益更优。该方法符合绿色高效桥梁建设的方向,具有广阔的应用前景。

关键词: 型钢组合梁;重型热轧H型钢;焊接钢板组合梁;快速施工;用钢量

中图分类号: U444

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)07-0223-04

Design and Application of Hot-Rolled Heavy H-Section Steel Composite Beam Bridge

YU Mingde

(Shanghai Urban Transportation Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: Based on the Shanghai Jungong Road Expressway Project, the design experience of hot-rolled heavy H-section composite beam bridge is summarized. Compared with traditional welded steel plate composite beams, the hot-rolled heavy H-section steel exhibits the significant advantages, including stable quality, no-welding residual stresses and rapid construction. Although its steel consumption is slightly higher than that of welded steel plate beams, the processing time is significantly reduced by nearly half, and the welding and inspection workloads are substantially decreased, resulting in better overall economic benefits. This method aligns with the direction of green and efficient bridge construction and demonstrates the broad application prospects.

Keywords: section steel composite beam; hot-rolled heavy H-section steel; welded steel plate composite beam; rapid construction; steel consumption

0 引言

过去国内由于经济落后,资源短缺,梁式桥中混凝土桥占绝大多数。而欧美日本等发达国家组合结构桥梁应用广泛,尤其法国,30~110 m跨径范围内的桥梁85%是组合结构桥梁^[1-3]。随着设计理论、规范体系与施工技术的发展,组合梁桥在材料利用效率与工程竞争力上显著提升。

在当前推动绿色建造与高质量发展的政策背景下,国务院、各部委连续发文进一步促进了钢结构及组合结构桥梁的发展,提出大力发展钢结构建筑,加大热轧H型钢等材料的应用^[4-5]。

目前,钢结构桥梁主要由钢板焊接而成,加工环节多,工序复杂;同时钢板焊接加工易产生焊接缺陷

和残余应力、钢板变形,对结构的疲劳性能、安全性和耐久性产生不利影响。

相较焊接成型的钢板梁,热轧H型钢无需焊接即可作为组合梁的主梁,材质均匀,无焊接残余应力,力学性能优异,质量稳定,免去了大量加工环节,其钢材单价较焊接钢板梁低^[6]。

近几年,重型热轧H型钢在国内的发展迅速,行业标准^[7]最大规格梁高达1 218 mm。目前,马钢已完成梁高1 172 mm重型热轧H型钢的供货。国内重型热轧H型钢的设备和工艺的显著进展为型钢组合梁的工程性能优化和新型结构开发创造了有利条件。上海军工路快速路新建工程在国内首次应用梁高达到1 158 mm规格的重型热轧H型钢作为组合梁的主梁。

本文总结了重型热轧H型钢组合梁桥的设计经验,同时通过与焊接钢板组合梁进行对比分析,探讨重型热轧H型钢在组合梁桥中的适用性与优势,论

收稿日期: 2025-12-23

作者简介: 俞明德(1984—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

证了其符合绿色高效桥梁建设的方向,具有广阔的应用前景。

1 工程概况

上海军工路快速路新建工程西起现状军工路-逸仙路交叉口,止于中环军工路立交,全长约7.31 km。主线高架道路等级城市快速路,主线设计车速80 km/h,匝道设计车速为40 km/h。高架桥梁荷载等级为城—B级。

重型热轧H型钢组合梁桥位于军工路逸仙路立交匝道上,跨径布置27.13 m+28 m+28 m(见图1),桥宽8.5 m,单向双车道布置。该联组合梁道路平曲线为直线,但整联均位于道路竖曲线上(竖曲线半径1 159.937 m),导致整联道路纵坡从3%变为-4.167%^[8]。

2 型钢组合梁构造设计

2.1 总体布置

本联桥宽较小,且平面基本位于直线段,主梁抗扭要求不高,直接采用工字型的热轧H型钢作为钢主梁。混凝土桥面板与H型钢整体预制成T形



图1 现场实桥照片

梁作为主梁,共同承受荷载^[9]。横向采用3片主梁布置,3片主梁的桥面板横向通过湿接缝进行连接。每跨纵向设2道支点小横梁,1道跨中小横梁。组合梁标准梁高1.495 m,主梁间距2.8 m(见图2),沥青铺装总厚度72 mm。型钢组合梁纵向布置见图3。

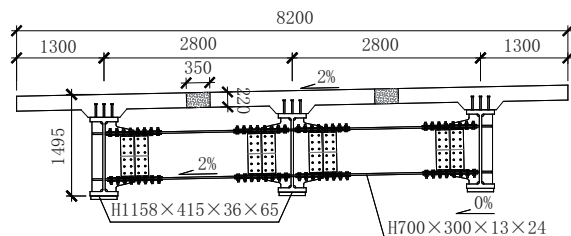


图2 型钢组合梁典型横断面布置图(单位:mm)

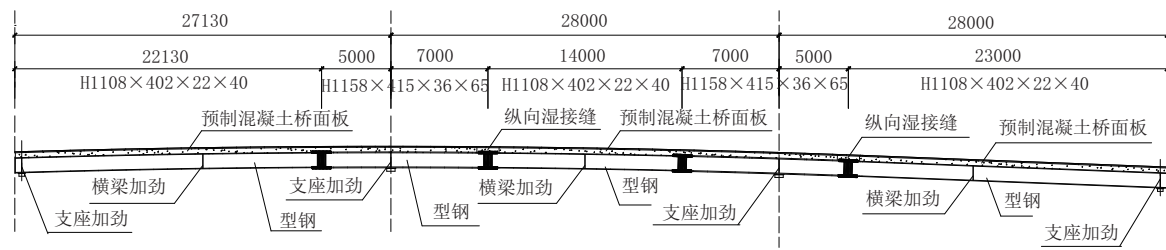


图3 型钢组合梁纵向布置图(单位:mm)

根据工艺试验结果,重型热轧H型钢进行竖弯、平弯时易产生翘曲、扭转、侧弯和横截面畸变等问题,且工艺复杂。本联组合梁平面为直线,钢主梁铅垂大地,桥面板等厚段平行道路横坡预制。竖曲线上钢梁采用以直代曲尽量拟合,剩余竖曲线弧高和预拱度通过调整混凝土桥面板承托高度进行拟合。本联重型热轧H型钢组合梁除横梁节点板采用焊接外,其他部分均采用高强螺栓连接。

2.2 钢梁设计

钢梁材质采用Q355D,共使用3种型钢规格,见图2、图3,分别为H1158×415×36×65(墩顶)、H1108×402×22×40(跨中)和H700×300×13×24(小横梁)。跨中、墩顶钢主梁均采用整根重型热轧H型钢加工而成,纵向连接时型钢内对齐,采用全螺栓连接。墩顶纵梁长度12 m,跨中纵梁最大长度23.042 m,均可整根交付。

钢主梁仅在设置横梁和支座处设置加劲。钢主

梁通过横梁处节点板与型钢小横梁采用高强螺栓进行连接。本方案型钢组合梁方案用钢量为213.8 kg/m²。

2.3 桥面板设计

预制桥面板采用C60混凝土,等厚段厚220 mm,在钢梁支撑处设置变高承托。

组合梁桥面板纵横向均按钢筋混凝土构件设计,通过配置钢筋控制裂缝宽度来满足规范限值要求。纵桥向根据弯矩大小支点和跨中钢筋采用不同配筋率,横桥向配筋率均一致。

三跨组合梁共设置纵向湿接缝2道,横向湿接缝3道。纵向湿接缝宽度300 mm,横向湿接缝宽度350 mm,采用U形钢筋交错布置,现浇C60钢纤维补偿收缩混凝土,收缩率不应大于 2×10^{-4} 。预制桥面板需在接缝板侧模板表面涂抹缓凝剂,并用高压水枪冲洗出石子,使之与湿接缝现浇混凝土充分结合。

桥面板通过型钢顶面连续布置焊钉与钢梁进行连接,焊钉纵向间距200 mm,与桥面板横向钢筋间

距匹配。梁端与墩顶剪力较大区域焊钉规格 D25×180,其余采用 D22×180。相邻预制桥面板上纵横向钢筋应错开布置,焊钉布置应与之匹配错开。

3 施工步骤

- 具体施工步骤如下:
- (1) 重型热轧 H 型钢完成厂内纵向连接后,在支架上浇筑桥面板形成预制 T 形梁;
 - (2) 依次架设首跨带挑臂纵梁和横梁、中间跨纵梁和横梁及尾跨纵梁和横梁,见图 4;

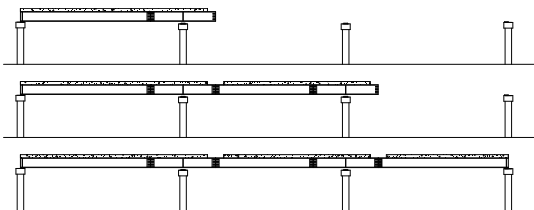


图 4 组合梁施工顺序图

- (3) 浇筑桥面板纵横向湿接缝;
- (4) 施工桥面铺装和栏杆。

4 结构计算

采用有限元软件 MIDAS 建立梁格模型进行计算分析,计算考虑施工方法及顺序的影响;整体分析中考虑桥面板剪力滞效应;考虑混凝土开裂的影响^[10-11],不计负弯矩区混凝土的抗拉贡献,但计入混凝土翼缘有效宽度内纵向钢筋的作用。有限元模型见图 5。作用基本组合($\gamma_0=1.1$)下应力和剪力包络图见图 6 至图 8。

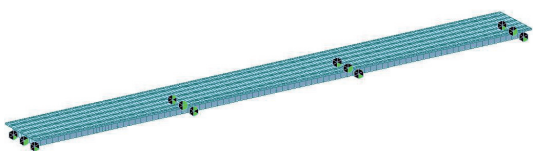


图 5 计算模型

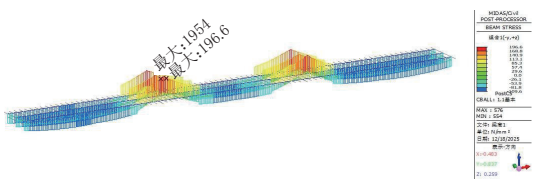


图 6 1.1 倍基本组合钢梁上翼缘正应力包络图(单位:MPa)

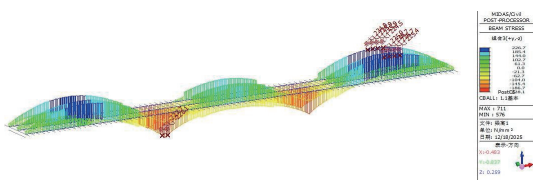


图 7 1.1 倍基本组合钢梁下翼缘正应力包络图(单位:MPa)

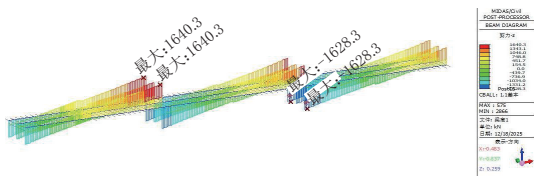


图 8 1.1 倍基本组合钢梁剪力包络图(单位:kN)

根据《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015),作用基本组合^[12]($\gamma_0=1.1$)下,钢梁上缘最大应力 196.6 MPa,下缘最大应力 228.1 MPa,应力满足规范要求(见表 1)。组合梁抗剪验算能力需求比为 2.9~3.5(见表 2),满足规范要求^[13]。

5 方案对比

若本方案采用钢板焊接组合梁,采用相同材质,钢梁相同应力水平下,组合钢板梁总梁高 1.688~1.700 m。横向双主梁布置,钢主梁高 1.288~1.3 m;顶板厚 20~35 mm,宽 800 mm;腹板厚 22 mm,底板厚 30~42 mm。每跨纵向设 2 道支点小横梁,3 道跨中小横梁。用钢量指标 167.4 kg/m²。混凝土桥面板厚 0.22 m,在钢梁支撑处设 0.15 m 的承托。横断面布置如图 9 所示。

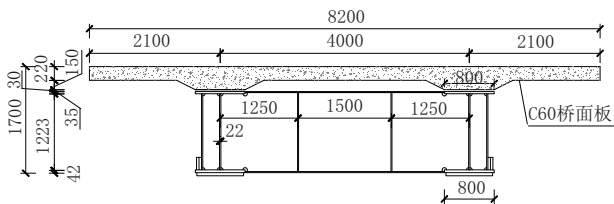


图 9 钢板焊接组合梁横断面布置图(单位:mm)

验算结果对比:

型钢组合梁、钢板组合梁钢梁应力验算及抗剪验算对比结果分别见表 1 和表 2。

表 1 型钢组合梁、钢板组合梁应力验算结果对比表

项目	型钢组合梁		钢板组合梁	
	边跨跨中	中支点	边跨跨中	中支点
上缘最大应力/MPa	109.6	196.6	162.3	216.2
下缘最大应力/MPa	226.7	228.1	219.0	227.6
下缘应力/上缘应力	2.068	1.16	1.35	1.05
钢材强度设计值/MPa	268	260	276	268

表 2 型钢组合梁、钢板组合梁抗剪验算结果对比表

结构形式	规格	h_w/t_w	抗剪能需比
钢板组合梁	边支点	56.54	2.38
	中支点	56.32	1.73
型钢组合梁	边支点(H1108×402×22×40)	46.72	2.90
	中支点(H1158×415×36×65)	28.55	3.50

作用基本组合^[12]($\gamma_0=1.1$)下,型钢组合梁上翼缘最大应力小于下翼缘最大应力。特别是边跨跨中,上翼缘最大应力仅为下翼缘最大应力的 1/2。由于

上下翼缘等厚,上翼缘钢材未能完全发挥作用。

钢板组合梁上下翼缘板厚、板宽可以根据需要调整,上、下缘应力差值较小。由于上翼缘板厚受构造控制,边跨跨中上翼缘最大应力为下翼缘最大应力比值为1/1.35,小于型钢组合梁的1/2。中支点上、下翼缘最大应力接近1/1。

根据规范^[13],不设横向加劲肋及纵向加劲肋时,腹板高厚比不应大于60。钢板组合梁腹板高厚比能接近60,抗剪能需比在1.73~2.38。由于生产线工艺原因,热轧H型钢梁腹板厚度不能小于翼缘厚度的1/2,腹板高厚比较钢板组合梁小,抗剪能需比较大,导致腹板钢材不能完全发挥作用,腹板用钢量较钢板组合梁有所增加。

重型热轧H型钢组合梁除横梁节点板采用焊接外,其他部分均采用高强螺栓连接,钢板组合梁合计焊缝长度是型钢组合梁的近5倍(见表3)。型钢组合梁可省去了大量加工环节和焊缝检测工作量。

表3 不同结构形式焊缝长度对比表

对比项	钢板组合梁 焊缝长度/m	型钢组合梁 焊缝长度/m	两者焊缝 长度比值
熔透焊缝	623.4	56.9	10.956
角焊缝	84.2	87.2	0.966
合计焊缝	707.6	144.1	4.91

本工程相同跨径、相同桥宽钢板组合梁为双主梁形式,钢结构加工周期约为30 d。本联重型热轧H型钢组合梁为3主梁形式,钢结构加工周期仅15 d。可见,重型热轧H型钢组合梁具有较强的快速施工优点。

由表4可知,鉴于目前型钢尺寸限制,型钢组合梁梁高,顶底板宽与焊接钢板梁相比有一定局限性,其用钢量略高,但加工时间短,质量稳定,综合造价型钢组合梁微低于钢板组合梁。通过研发和重型热轧H型钢推广应用,未来型钢组合梁经济性会更明显。

表4 2种组合梁优缺点对比表

优缺点	型钢组合梁	钢板组合梁
焊缝量	少	大
焊接检测量	少	多
构件质量	构件整体性好,质量稳定	
加工时间	短	长
线形适应性	差	好
耐久性	避免焊接缺陷,耐久性好	耐久性受焊接缺陷影响
疲劳性能	高	底
材料指标	较低(213.8 kg/m ²)	低(167.4 kg/m ²)

6 结 语

重型热轧H型钢组合梁代表了桥梁绿色、高效、快速施工的新方向。虽然当前在截面灵活性和材料用量上略有劣势,但其在施工速度、质量控制、耐久性和低碳属性上的综合优势显著。随着材料技术进步与工程经验积累,该结构形式有望在我国中小跨径城市桥梁中大规模推广应用,助力交通基础设施高质量、可持续发展。

未来可在以下几个方面对重型热轧H型钢组合梁提升其经济性和适用范围。

6.1 材料与截面优化

当前热轧H型钢截面仍受轧制工艺限制(如腹板厚度不小于翼缘1/2),导致抗剪效率偏低、钢材未充分利用。未来应推动定制化重型H型钢研发,优化宽厚比、提高截面效率,进一步降低用钢量。

6.2 标准化与模块化设计

推广标准化重型H型钢组合梁体系,形成适用于不同跨径的通用图集,提升设计效率与工业化水平。

6.3 复杂线形适应技术

针对平曲线或大纵坡桥梁,需发展分段预制+现场微调或局部冷弯技术,提升热轧型钢对空间线形的适应能力。

参考文献:

[1] 邵长宇.组合结构桥梁的发展与应用前景[J].城市道桥与防洪,2016(9):11-15;26.

[2] 张超,段亚军,胡祥森.钢板组合梁桥国内外设计探讨[J].城市道桥与防洪,2019(11):38-41.

[3] 陈宝春,牟廷敏,陈宜言,等.我国钢-混凝土组合结构桥梁研究进展及工程应用[J].建筑结构学报,2013,34(增刊1):1-10.

[4] 交通运输部关于推进公路钢结构桥梁建设的指导意见[J].公路,2016,61(8):271-272.

[5] 住房和城乡建设部等部门关于加快新型建筑工业化发展的若干意见[J].工程建设标准化,2020,262(9):18-21.

[6] 黄飞,冯岩青,邢磊,等.建筑钢结构用热轧H型钢与焊接H型钢的应用现状及展望[J].包钢科技,2024,50(2):52-57.

[7] YB/T 4832—2020 重型热轧H型钢[S].

[8] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.上海军工路快速路新建工程施工图[Z].上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2020.

[9] 张春雷,颜海,程斌.基于工业化建造的整体预制连续架设型钢-混凝土组合梁设计[J].城市道桥与防洪,2021(4):56-60.

[10] JTG/T D64—01—2015 公路钢混组合桥梁设计与施工规范[S].

[11] EN 1994-2:2005 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - Part 2: General rules and rules for bridges [S].

[12] JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范[S].

[13] JTG/T D64—2015 公路钢结构桥梁设计规范[S].