

钢混组合连续梁在互通立交桥中的应用

黄智华

(上海浦东建筑设计研究院有限公司, 上海市 201206)

摘要: 介绍了济阳路外环立交的桥梁工程总体设计,并对桥梁总体布置、跨径布置、结构型式选取、断面形式等做了介绍。该立交大量采用曲线连续钢混组合梁,介绍了结构的受力特点、断面构造型式、横隔板及加劲等的设计。对于组合梁的负弯矩区混凝土桥面板开裂问题,介绍了采取的处理方法,并对几项施工工艺措施进行受力对比分析,得出比较结果。最后,对施工期间开口槽形钢梁的设计进行介绍,对临时墩的作用进行了分析。

关键词: 济阳路;曲线连续钢混组合梁;开口槽形梁;负弯矩区;中支点顶升

中图分类号: U443.32;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)02-0215-04

Application of Steel-Concrete Composite Continuous Beams in Interchange Bridges

HUANG Zhihua

(Shanghai Pudong Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

Abstract: The overall design of the bridge engineering of the Outer Ring Interchange on Jiyang Road is introduced, and the general layout, span layout, structure type selection and section form of the interchange are also introduced. A large number of curved continuous steel-concrete composite beams are used in this interchange. The mechanical characteristics, sectional structure type, transverse partition and stiffening design of the structure are introduced. For the cracking of concrete bridge deck in negative moment area of composite beam, the treatment methods to be adopted are introduced. And the comparison and analysis of the stress are conducted on several construction process measures, and the comparison results are obtained. Finally, the design of the open channel steel beam during construction is introduced, and the functions of the temporary pier are analyzed.

Keywords: Jiyang Road; curved continuous steel-concrete composite girder; open channel beam; negative moment zone; mid-bearing point jacking

0 引言

近年来,伴随着城市高架桥的建设需要,大型互通立交桥应用越来越多,其主梁结构型式目前大多数采用混凝土结构,以文献[1]、[2]等为例,有不少互通立交桥大量采用钢箱梁结构,如龙东大道外环线立交^[3],也有采用波形钢腹板钢混组合梁^[4],但大规模采用钢混组合梁的结构较少见,部分是因为经济性原因。现以实际建成工程为例,对其设计及受力特点进行介绍和分析。

1 工程背景

济阳路(卢浦大桥—闵行区界)快速化改建工程

2标,需建设高架快速路。

原济阳路为地面道路,现需新建高架,需拆除既有立交,仅利用S20南侧原两根左转匝道与S20相接段,新建及改建外环线8条立交匝道,与济阳路高架转换形成新的互通立交。本立交范围内相关控制物众多,主要有运营中的轨道交通8号线、航油管、合流污水箱涵、规划机场联络线等。

立交匝道一般宽度为8.5~9.5 m。桥梁荷载等级为城—A级。

2 主桥总体设计

2.1 新建立交匝道桥上部结构选型思路

S20立交上部结构采用经济性好,有利于快速化施工、环保、结构耐久的结构。

为了快速化施工,而现浇梁搭设支架工作量较大,因此不采用现浇混凝土梁结构。

收稿日期: 2025-04-16

基金项目: 上海市自然科学基金(25ZR1401362)

作者简介: 黄智华(1981—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

从经济性角度考虑,预应力混凝土结构相对来说经济性最好,其次是钢混组合梁,钢结构梁相对来说造价最高。

从跨径实用性角度来看,跨径较大的,预制为主的上部结构,优先考虑钢箱梁或者钢混组合梁。

因此,对于条件较好的,跨径较小(不大于30 m)的,优先采用预制预应力混凝土小箱梁。对于跨径较大(大于30 m)的,需要跨越障碍物的,采用钢混组合梁。对于分合流变宽段,受力复杂的,采用钢结构箱梁。

2.2 新建立交匝道桥上具体结构型式

对于右转匝道一般位置,由于曲率半径较大,采用预应力混凝土小箱梁能够较好地适应且经济性较好。

S20南侧右转匝道,需跨越航油管和规划机场联络线,采用钢混组合连续箱梁。

四条左转匝道,跨径较大,且曲率半径较小,一般采用钢混组合连续箱梁。

与主线高架分合流位置,考虑减轻上部结构重量,减小对地铁8号线的影响,同时从变宽段受力角度,采用钢结构连续箱梁。

因此立交大部分采用钢混组合连续箱梁,该结构型式具有跨径较大,钢结构主梁施工架设方便、无需搭设满堂支架的优点,同时也具有混凝土桥面板耐疲劳性能好、噪声小、铺装不易损坏等优点。相比纯钢结构梁用钢量低,经济性好。

2.3 结构跨径选取

钢混组合连续箱梁标准跨径采用30 m,由于S20立交范围内管线、地面道路、下穿匝道、轨道交通等,桥梁结构跨越时跨径还需扩大,跨径范围为34~59 m不等,其中最大的跨径为59 m,共有14联。其中跨越S20的跨径布置为46 m+48.5 m+31 m,四跨一联的有2×41 m+45 m+44.5 m,两跨一联的有59 m+59 m等。

3 钢混组合梁设计

3.1 钢混组合梁总体断面

立交匝道钢混组合梁,大部分位于左转匝道上,标准曲率半径为150 m,最小半径为120 m。考虑到曲线桥梁扭矩较大,如果采用开口工字梁断面,由于抗扭惯性矩较小,受力较为不利,因此采用闭口箱型截面。桥面板宽度为9.2 m,腹板可以采用两道到三道,如果采用三道腹板,由于桥面板以腹板为支承,那么桥面板悬臂可以取到较小值,桥面板的跨径也

较小,对于桥面板横向受力和配筋均较为有利,但腹板道数较多,用钢量较大,故钢梁采用两道腹板。箱梁外侧采用较长的挑臂形式,桥面板悬臂长为2 m,钢梁腹板间距即桥面板横向支撑间距为5.2 m,见图1。

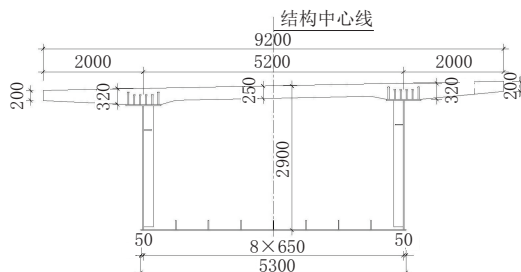


图1 钢混组合梁竖向加劲肋断面图(单位:mm)

箱型断面外形与保留的既有匝道外形类似,同时考虑到桥梁宽度较窄,抗倾覆稳定需要底板处支撑间距不宜太小,因此采用直腹板型式,底板宽度为5.3 m。组合梁上翼缘在成桥后,混凝土桥面板刚度较大,与钢顶板共同受力,因此钢顶板一般位置受力不太大,考虑到节省钢顶板,钢梁截面采用开口槽型断面。钢梁顶板与混凝土桥面板之间采用栓钉剪力键连接。浇筑混凝土桥面板后与槽型钢梁结合形成封闭的单箱室组合梁断面,具有较好的抗扭刚度,满足曲线钢梁受力需要。

3.2 钢混组合梁横隔板、加劲板

横隔板需要有足够的刚度抗畸变,钢混组合梁施工阶段仅为钢梁,为开口的单箱室槽型断面,浇筑混凝土桥面板后形成封闭的单箱室组合梁断面。同时,为减少材料用量,横隔板采用空腹式圆钢管K型横撑,一般跨径钢管规格为 $\phi 203\text{ mm}\times 16\text{ mm}$,同时对腹板和底板采用T形加劲,整体形成一个小框架,钢管K形横撑与小框架间采用节点板连接(见图2)。框架加劲同时对腹板和底板的局部稳定起到加劲作用。横隔板未与桥面板相连接,因此桥面板为单向受力板,受力较为明确。横隔板间距一般为4.5 m,两道横隔板之间腹板设置两道竖向加劲肋。K撑横隔板需满足抗畸变刚度要求。与实腹式横隔板相比,钢管K形横撑用钢量小,经济性好,但与箱室连接构造相对复杂。水平钢管与斜钢管之间采用相贯节点,斜腹钢管上端焊接在水平钢管上,下端插入节点板。

钢梁腹板的上缘,在正弯矩区设置一道纵向加劲肋,腹板的下缘,在负弯矩区设置纵向加劲肋。负弯矩区底板受压,设置T型加劲肋达到刚性加劲要求,

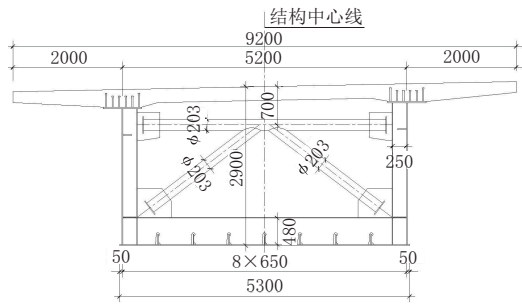


图2 钢混组合梁横隔板断面图(单位:mm)

满足局部稳定要求。

4 钢混组合梁负弯矩区受力问题

4.1 负弯矩区受力解决措施

对于中支点负弯矩区受力的问题,主要有施加预应力法、负弯矩区后结合施工法、支点升降法等^[5-6]。其中施加预应力法,由于混凝土收缩徐变导致预应力逐渐转移到钢结构承担,而且构造及施工较为麻烦,因此本桥不采用。支点升降法,相当于给钢梁一个预弯力,钢梁架设后顶升钢梁,形成组合截面后回落,构造措施相对简单。

因此,本工程采用支点升降法来增加负弯矩区桥面板的预压应力,同时考虑合理的负弯矩区桥面板混凝土的浇筑顺序来调整结构的受力。

通过上述施工措施来减小负弯矩区混凝土桥面板所受的拉力。同时,控制桥面板裂缝宽度,主要措施为增大负弯矩区纵向配筋率,同时相关研究表明,铣削型钢纤维能减少裂缝或阻止裂缝的开展^[7],故对负弯矩区混凝土掺入铣削型钢纤维。

4.2 中支点顶升的施工顺序

在具体施工步骤上,钢梁安装好后,对于支点顶升后浇筑正弯矩桥面板混凝土,还是正弯矩混凝土浇筑完后进行中支点顶升,两种施工方案怎么合理选取的问题,以2×59 m两跨连续组合梁为例建立MIDAS空间梁单元模型进行了试算比较。先浇筑正弯矩混凝土梁的,在中支点顶升10 cm后,支点处钢梁上缘应力为143 MPa,跨中下缘正应力为99.7 MPa,而且,混凝土桥面板还存在1.5 MPa纵桥向拉应力。先中支点顶升10 cm再浇筑正弯矩混凝土的,支点处钢梁上缘应力为131.3 MPa,跨中下缘正应力为87.1 MPa,且混凝土无纵桥向拉应力。因此合理的施工步骤应该是先中支点顶升。

具体的施工步骤为:吊装并安装钢梁形成钢结构连续梁;中支点顶升10~20 cm;浇筑跨中(除负弯矩区外)桥面板,与钢梁形成组合截面;浇筑中支点附近桥

面板,与钢梁形成组合截面;中支点顶升卸除,回落至设计标高;施工桥面铺装及防撞墙等附属结构。

4.3 中支点顶升对组合梁受力的影响

对于中支点顶升对结构受力的影响,同样以上述2×59 m连续梁为例进行对比研究,采用顶升10 cm的结构,在混凝土浇筑完成,顶升卸除后,钢梁中支点处最大拉应力为136.1 MPa,跨中最大压应力为87.1 MPa,见图3。而未采用顶升的钢梁的中支点最大拉应力为113 MPa,跨中最大压应力102 MPa,见图4。虽然从应力来说,采用顶升的中支点上缘拉应力比未采用的大了23.1 MPa,但该方案的混凝土桥面板在顶升卸除后存在2.56 MPa的压应力。因此综合来看,采用顶升的方案有利于减小混凝土负弯矩区的受力,从而减小裂缝宽度,因此采用顶升方案。



图3 顶升方案钢梁应力图

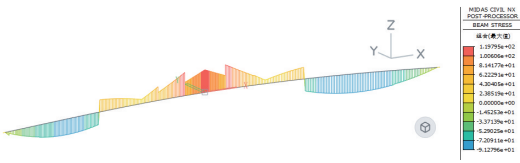


图4 不顶升方案钢梁应力图

4.4 混凝土桥面板浇筑次序

对于混凝土桥面板浇筑顺序对于结构受力的影响,同样以上述2×59 m连续梁为例,对于分两次浇筑和一次浇筑两种方案进行比较。分两次浇筑是先浇筑跨中及边支点处桥面板混凝土,达到设计强度后再浇筑负弯矩区桥面板混凝土。本工程小跨径钢梁下不设临时支墩,59 m跨径的设临时支墩,考虑曲线钢梁受力安全性,施工中间不拆除临时墩,待混凝土桥面板全部形成之后才拆除,因此不考虑临时墩的影响。分别建模进行对比,从计算结果上可以看出,两种浇筑方案的钢梁的应力差异很小,正常使用极限状态短期效应组合下,分两次浇筑负弯矩区混凝土最大拉应力为3.58 MPa,一次浇筑的为3.79 MPa,差异较小。如果采用一次浇筑,施工需要采取措施,达到初凝前一联桥混凝土全部浇筑完成,才能满足浇筑桥面板混凝土完成时,负弯矩区混凝土无拉应力。

由于混凝土凝结硬化需要时间较长,工程的工期较紧,因此施工需要采用一次浇筑的施工方案。实际施工大概一联桥桥面板在2~3 h内施工完成。

为了加快混凝土凝结硬化,现场采用蒸汽养护的施工工艺。

5 钢混组合梁施工期间钢梁受力问题

5.1 槽型断面曲线钢梁施工期间受力

组合梁的钢梁采用开口槽型梁,施工期间桥面板混凝土未能提供刚度,因此抗扭刚度较弱,而立交桥梁曲率半径较小,施工期间扭矩较大。为此,在钢梁顶面采取上平纵联,采用圆形钢管形成,有力的提高了抗扭刚度,保证了施工期间的安全性。

上平纵联的受力,需满足钢管受力的应力问题,同时,需要满足稳定要求。其采用圆形钢管,在横隔板位置与腹板和横隔板采用节点板连接,平面形成X形交叉,交叉处采用相贯焊接节点。

横隔板受力,施工期间,横隔板需提供足够的抗畸变刚度。

钢混组合梁钢结构现场照片见图5。



图5 钢混组合梁钢结构现场照片

5.2 施工期间采用临时支墩对梁体受力的影响

施工期间,钢梁架设需要使用临时支墩,钢梁架设完成后,浇筑混凝土桥面板仍可撤去临时支墩,有利于增强施工期间的钢梁的倾覆稳定性,同时减小了开口钢梁扭矩,增强了受力可靠性。

临时支墩对于钢梁的竖向受弯承载力也能提高^[8],通过对跨中临时墩设与不设,进行空间梁单元建模对比分析,得出钢梁承载能力极限状态的正应力见表1。可以看出,跨中设置临时墩,钢梁应力减小很多。

6 结 语

本立交工程曲线连续钢混组合梁其构造及工艺

表 1 基本组合下钢梁主要正应力值			单位:MPa	
计算工况	钢主梁正应力最值			
	上缘支点	上缘跨中	下缘支点	下缘跨中
不设临时墩	258	208	223	188
设临时墩	204	156	210	180

措施和受力特点总结如下。

(1)曲线连续钢混组合梁采取顶升工艺,负弯矩区采用铣削型钢纤维及加大配筋等措施来减小负弯矩区混凝土裂缝。

(2)中支点顶升的合理施工的顺序为,先中支点顶升后浇筑正弯矩桥面板混凝土。

(3)采用顶升的方案有利于减小负弯矩区混凝土的受力从而减小裂缝。

(4)在不考虑临时墩,且初凝前混凝土能全部浇筑完成等前提条件下,混凝土桥面板一次浇筑和分正负弯矩区两次浇筑差异不大。

(5)曲线组合梁钢主梁采用槽形开口梁,采用上平纵联提高施工期间的抗扭刚度。施工期间采用临时墩可提高结构受力安全性。

济阳路S20立交工程已于2020年12月竣工通车。工程大量采用钢混组合梁桥,采用的开口槽形断面用钢量较省,经济性较好,施工较为方便,但曲线钢混组合梁受力较为复杂。本工程已顺利实施,对于类似工程具有较好的推广借鉴意义。

参考文献:

[1] 陈勇.扬州市金湾路-华山路立交桥梁总体设计[J].城市道桥与防洪,2019(4):103-107.

[2] 李方明,黄小国.苏州春申湖路S228互通立交桥桥梁总体设计研究[J].隧道与轨道交通,2021(1):12-14.

[3] 刘海峰.上海市龙东大道快速化外环立交施工筹划方案研究[J].城市道桥与防洪,2022(3):119-123.

[4] 史爱红.中川机场立交波形钢腹钢箱-混凝土组合箱梁桥总体设计[J].城市道桥与防洪,2020(12):55-57.

[5] 邵长宇.大跨度钢-混凝土连续组合箱梁桥关键技术研究[D].上海:同济大学,2006.

[6] 邵长宇.梁式组合结构桥梁[M].北京:中国建筑工业出版社,2015

[7] 汪吉星,周传雄,刘玉擎.钢锭铣削型钢纤维在桥面铺装中的应用[C]//2018年全国桥梁学术会议论文集.北京:中国公路学会桥梁和结构工程分会,2018.

[8] 葛耀君,苏庆田.钢桥[M].北京:人民交通出版社,2010.