

武汉罗家港互通主桥总体设计

吴帅峰

(中铁大桥勘测设计院集团有限公司武汉分公司, 湖北 武汉 430074)

摘要: 武汉罗家港互通主桥采用85 m下承式简支桁架拱,为双向6车道城市桥梁。桁架拱桥横向布置2片拱肋,间距29.4 m,拱肋矢高16.9 m,矢跨比为1/6;拱肋、系杆及腹杆均采用带板式加劲肋的焊接箱型截面,拱肋间设置3道箱型截面风撑;桥面系采用密布横梁的正交异性板;桥墩采用m型门式墩,基础采用钻孔灌注桩群桩;拱桥采用支架拼装、顶推施工。

关键词: 桁架拱;拱肋;系杆;桥面系;结构分析;桥梁设计;施工方案

中图分类号: U442

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)05-0065-04

1 工程概况

武汉友谊大道快速化改造北段西起宏茂巷(徐东立交南),东至三环线友谊立交,规划全长约9.4 km,包括主线高架桥及2处互通立交。其中,罗家港互通主桥在与武汉二环线相交处采用1孔85 m桁架拱上跨罗家港明渠和二环线高架桥^[1]。

罗家港互通主桥平面布置图见图1。

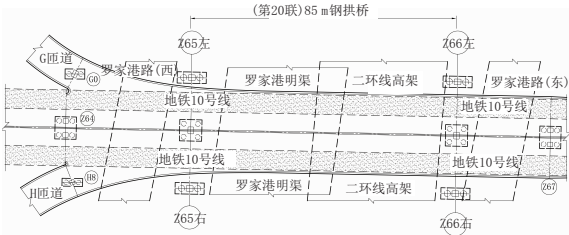


图1 罗家港互通主桥平面布置图(单位:m)

1.1 工程建设条件

罗家港互通主桥拟建桥址处外部条件复杂,该处主线桥跨布置主要受既有友谊大道跨罗家港桥梁、二环线高架桥、罗家港路、二环线罗家港立交匝道桥及轨道交通10号线控制。

根据调查资料,该处既有友谊大道上跨罗家港桥梁为2×18 m简支空心板梁,桥宽50 m。根据武汉市市政工程设计研究院有限责任公司提供的文件《罗家港整治工程》,该处过水断面仅30 m,为整个渠道的瓶颈地段;现状二环线友谊大道立交为40 m+58 m+40 m等截面变宽连续钢箱梁,桥宽37.5~43.4 m,因二环线为武汉市中心城区快速路,而友谊大道为进出城快速放射线,因此该节点车流量较大;

规划地铁10号线顺友谊大道布设,桥墩布置应保证桩基与区间隧道间距不小于3.0 m。

拟建场区地貌单元为长江一级阶地,根据钻探资料及土工试验成果,拟建场区除表层填土外,其下依次为第四系全新统冲积(Q₄^{al})黏土、淤泥质黏土、粉质黏土夹粉土粉砂、粉砂夹粉土、粉质黏土及冲洪积(Q₄^{al+pl})粉细砂、中细砂、中细砂夹卵砾石、中粗砂夹卵砾石,下伏基岩由白垩-下第三系(K-E)的泥质粉砂岩、砂砾岩组成,桥址处地质条件较好。

1.2 主要技术标准

- (1)道路等级:城市快速路。
- (2)设计车速:主线高架60 km/h。
- (3)设计使用年限:主体结构100 a,支座、桥面铺装、伸缩缝等15 a。
- (4)荷载等级:城-A级。
- (5)抗震标准:地震基本烈度6度,地震动峰值加速度0.05g。

2 设计方案

友谊大道上跨二环线处既有高架桥桥宽37.5 m,同时,罗家港立交设置了集散车道,需要对既有二环线高架桥进行帮宽(节点处帮宽5.5 m),综合考虑桩基桥墩施工及地面辅道等因素,跨二环线主线桥跨度不应小于50 m。综合考虑车辆通行、施工便利性、经济性及景观性等控制因素,提出2个设计方案。

2.1 方案一:连续钢箱梁

采用主跨跨度50 m跨越二环线,此节点处若采用混凝土结构,则上部结构梁高较高且施工工期较长,对交通的影响较大。若采用连续钢箱梁结构,可

收稿日期:2022-06-27

作者简介:吴帅峰(1981—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

采用顶推施工,施工工期较短,对交通的影响较小且景观效果较好。

钢箱梁立面见图2。

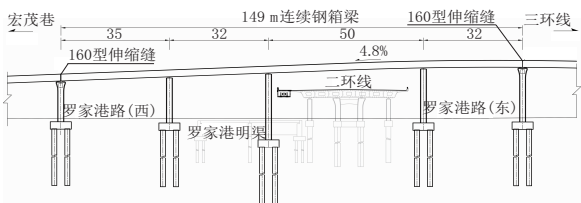


图2 钢箱梁立面(单位:m)

从桥型立面可知,该方案需拆除位于中央分隔带处的部分空心板梁,改变了既有桥梁受力状况,水中桥墩桩基及承台施工难度也比较大。另外,从前期与武汉水务局的沟通来看,该处立墩对整个罗家港渠道的压缩较大,渠道过流能力经过核算虽满足原设计要求,但对后期扩容有一定影响。

2.2 方案二:85 m 钢桁架拱

针对方案一需拆除位于中央分隔带部分空心板梁,桥墩桩基及承台施工难度大,同时新建桥墩又压缩了罗家港过水断面,对于已处于饱和运营状态的渠道影响极大等因素,本方案取消位于既有罗家港桥上的桥墩,将跨二环线桥梁孔跨调整为85 m。

对于主跨85 m的桥梁,一般采用钢结构、变截面预应力混凝土连续箱梁结构或拱桥结构。但因该处需跨越繁忙的二环线友谊大道立交,为减小对既有交通的影响,推荐采用施工工期短、跨越能力强的钢结构箱梁或者钢拱桥。

根据友谊大道罗家港立交的平纵断面设计和规划用地红线的限制,友谊大道跨既有二环线处梁高不应过高,如果超过3.0 m,两侧上下桥匝道的纵坡将达到4.8%,严重影响行车舒适性和安全性。按照连续钢箱梁支点梁高为1/22主跨的经验数据来看,主跨85 m的连续钢箱梁支点梁高为4.0 m,方案基本不可行。而同等跨度的钢箱拱桥,梁高一般在2.0 m左右,可以较好地符合整个罗家港立交的纵断面布置。同时,拱桥的布置可以有效改变该处的景观状况,与二七长江大桥遥相呼应,形成一道亮丽的风景线。

桁架拱桥立面、横断面见图3、图4。

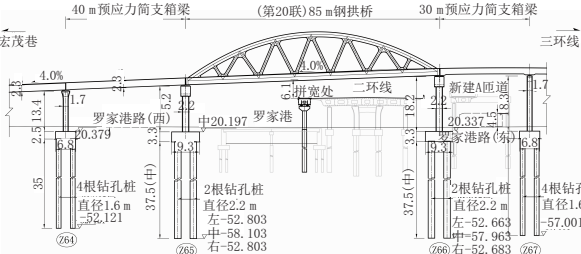


图3 桁架拱桥立面(单位:m)

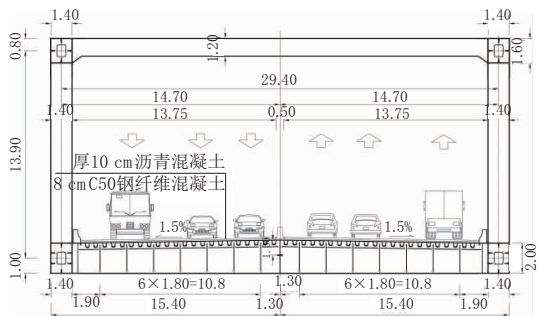


图4 桁架拱桥横断面(单位:m)

2.3 方案比选

上述2个方案均能满足跨越二环线节点的需要,表1从功能、经济、施工难度、景观等方面对这2个方案进行了对比。

表1 方案对比表

项目	方案一	方案二
桥型	等截面连续箱梁	下承式桁架拱
桥跨布置	35+32+50+32=149 m	32 m 预应力混凝土箱梁 + 85 m 拱桥 + 32 m 预应力混凝土箱梁
功能性	桥跨布置较好满足功能需要	桥跨布置较好满足功能需要
对既有罗家港桥影响	需拆除中央分隔带处部分板梁	无
对罗家港渠道影响	压缩既有过水断面	无
经济性	总投资7 150万元,相对较低	总投资7 670万元,相对较高
施工方案及施工难度	支架施工,对二环线通行有一定影响	顶推施工,技术成熟,实施难度小
景观效果	一般	较好

由表1可知,桁架拱较连续钢箱梁方案对既有罗家港桥和渠道基本没有影响且具有很好的景观效果,同时由于两侧引桥由钢箱梁改为预应力混凝土箱梁,总投资虽有增加,但不是很大。因此综合比选,选用方案二,即85 m钢桁架拱桥方案。

3 结构设计

3.1 拱肋片数

根据国内已建成桁架拱,桁架拱桥的主桁片数一般为2片或3片,表2列举了国内典型桁架拱的桥面宽度及主桁片数^[2]。

本项目为双向6车道,桥全宽30.8 m,拱肋间距29.4 m,结合以上工程经验,本桥采用2片拱肋。

3.2 拱肋、系杆及腹杆

拱桥横向布置2片拱肋,间距29.4 m,拱肋矢高16.9 m,矢跨比为1/6。拱肋轴线采用2次抛物线,采用带板式加劲肋的焊接箱型截面,内宽1 400 mm,内

表 2 国内典型桁架拱的桥面宽度及主桁片数一览表

序号	桥名	孔跨布置 /m	车道数	桥面宽度 /m	拱肋间距 /m	拱肋片数
1	常州京杭运河淹城大桥	30+100+30	6	36	25	2
2	柳州市维义大桥	108+288+108	8	43.5	37	2
3	宁波市弯头大桥	48+480+48	8	43.6	33.6	2
4	上海市蕴藻浜大桥	66+136	4	33.1	19.4	2
5	襄阳市苏岭山大桥	70+240+70	8	43.9	38.2	2
6	合肥市派河大桥	54+132+54	8	47	35.75	3

高 1 600 mm,箱内水平板及竖向板各设 1 道板式中劲肋;系杆内宽 1 400 mm,内高 2 000 mm,水平板设 1 道板式加劲肋,竖板设 2 道板式加劲肋;腹杆内宽 1 400 mm,内高 800 mm,水平板设 1 道板式加劲肋。拱肋、系杆及腹杆材质均为 Q345qD。根据受力需要,拱肋采用厚 32 mm 板;系杆采用厚 24 mm 板;腹杆采用厚 20 mm 板。为保证局部稳定性,在箱形截面的翼板和腹板均设置板式加劲肋。1 榀拱肋、系杆及腹杆布置见图 5。

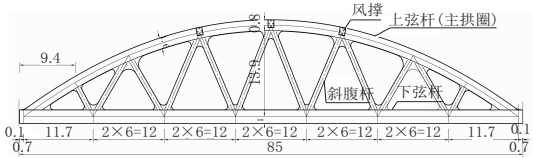


图 5 拱肋、系杆及腹杆布置(单位:m)

拼装式节点和整体式节点是目前钢桁架常用的节点构造形式^[3]。与拼装式节点相比,整体式节点连接处位于节点外,不管是焊接还是栓接,质量均容易控制,而且相对美观。结合本项目,桥梁体量不是很大,设计采用整体式节点,焊接施工。

3.3 横撑

横撑是保证拱桥横向刚度及其整体性的主要构件,其作用在于加强拱肋的横向刚度,并提高拱肋的横向稳定性;同时,桥面、吊杆及拱肋在外荷载下的横向水平力也由风撑承受。所以,横撑的布置数量与形式对桥梁结构的受力和位移起着至关重要的作用。

因桥梁跨度不大,经过分析计算后采用“一”字型横撑。横撑为带板式加劲肋的焊接箱型截面,内宽 1 000 mm,内高 1 200 mm,翼缘厚 20 mm,腹板厚 24 mm,翼缘及腹板均设 1 道板式加劲肋,材质均为 Q345qD。

横撑的设置数量对拱肋面外稳定有较大的影

响^[4]。比较了设置 1 道、3 道和 5 道风撑拱肋的面外稳定系数(分别为 30.5、35.5、36.9),结果显示:随着横撑数量减少,面外稳定系数有一定下降,但均能满足规范要求且富余量较大。综合考虑景观及安全富余,设置 3 道横撑,间距 12 m。

3.4 钢桥面

由于本桥相对较宽,为节省钢桥面用钢量,采用密布横梁的正交异性钢桥面板^[5],桥面荷载可直接由横梁传至系杆。这样虽然使系杆产生了节间弯矩,但可有效降低节点横梁的截面高度。桥面传力途径为:铺装层—钢桥面—U 肋—横梁—系杆—支点。

(1)钢桥面板及纵向加劲肋。拱肋之间设置厚 16 mm 钢桥面板,与系梁上翼缘伸出肢相连形成连续板桁结构;板下设“U”形纵向加劲肋,“U”形肋高 280 mm,板厚 8 mm,间距 600 mm;为防止横断面折角处应力集中,在该处增设 1 道小纵梁,小纵梁采用倒 T 型截面,下翼缘宽 150 mm,厚 16 mm;腹板高 1 000 mm,厚 14 mm,腹板上端与顶板熔透焊连接。

(2)跨中横梁。横梁采用倒 T 型截面,间距 3 m,下翼缘宽 880 mm,厚 36 mm;腹板高 2 000~2 195 mm,厚 16 mm,腹板上端与顶板熔透焊连接。

(3)支点横梁。横梁宽 3.75 m,采用单箱 3 室箱型截面,底板厚 36 mm;为便于后期人员检修,采用“U”形横隔板,隔板间距 1.8 m,板厚 14 mm。

桥面板布置见图 6。

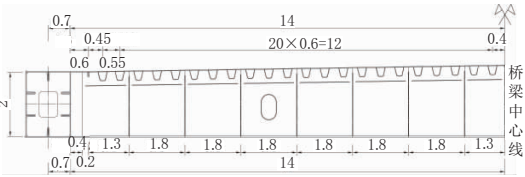


图 6 桥面板布置(单位:m)

3.5 下部结构设计

墩身布置于地面道路的中央绿化带及侧分带内,为避开规划地铁 10 号线,墩形采用 m 型门式墩。

墩柱边墩采用 2.8 m(横桥向)×2.8 m(顺桥向)矩形墩、中墩采用 2.2 m(横桥向)×2.2 m(顺桥向)矩形墩,墩身截面外侧边设直径 0.2 m 的圆倒角;两侧边柱基础采用 2 根直径 2.2 m 钻孔桩,承台尺寸为 3.3 m(高)×3.6 m(横桥向)×9.3 m(顺桥向);中柱基础采用 4 根直径 1.6 m 钻孔桩,承台尺寸为 3.0 m(高)×7.1 m(横桥向)×6.8 m(顺桥向);盖梁为 3.2 m(宽度)×2.6 m(高度)矩形断面,墩顶加高至 3.2 m,跨度为 17.1 m+18.1 m,采用预应力混凝土结构。

桥墩布置见图 7。

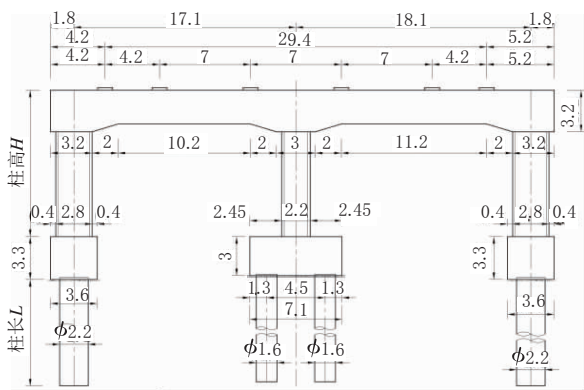


图 7 桥墩布置(单位:m)

4 结构静力验算

主桥上部结构采用 Midas/Civil 进行全桥静力分析,其中,拱肋、系杆、斜腹板、横撑及桥面系纵横肋均采用梁单元,桥面板采用板单元。全桥有限元模型见图 8。

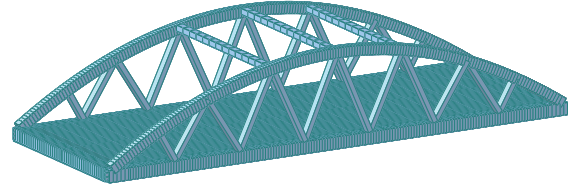


图 8 全桥有限元模型

模型严格按照施工流程模拟支架拼装、顶进施工、桥面铺装、成桥运营等各个阶段,考虑恒载、活载、温度、基础变位、风荷载等荷载,按照规范[6-7]的相关要求,对该桥在各种不利工况下的静力进行计算。

主桥静力计算结果见表 3。由表 3 可知:武汉罗家港互通主桥的各项指标均满足规范要求。

表 3 主桥静力计算结果

序号	设计指标	计算结果	规范限值
1	拱肋挠度 /m	9.2	166.8(L/500)
2	桥面系横梁挠度 /mm	31	56(L/500)
3	桁架拱正应力 /MPa	203.2	270
4	桁架拱剪应力 /MPa	28	160
5	桥面系正应力 /MPa	250	270
6	桥面系剪应力 /MPa	79	160
7	屈曲稳定	35.5	4

5 施工方案

结合本项目的地理位置和现场的具体情况,并结合本桥的结构特点,拱桥采用搭设临时支架拼装方案,顶推施工。具体施工步骤如下:(1)在桥位小里程侧安装临时钢管支架,搭设施工平台,安装滑道;(2)在施工平台上拼装桥面系,拼装焊接顺序为系

杆—横梁—桥面板;(3)再搭设拱肋拼装支架,拼装焊接拱肋、腹杆和导梁;(4)顶推施工、落梁、拆除导梁;(5)附属设施、桥面铺装施工,全桥整体涂装。

根据中交公路规划设计院有限公司检测中心出具的《2021~2022 桥隧设施检测项目第 2 包罗家港桥检测报告》,现状罗家港桥存在一定病害,武汉桥管处不建议在既有罗家港桥上搭设临时支架。同时,因二环线高架桥交通繁忙,交管也不同意在二环线高架桥上搭设临时支架。综合上述因素,设计采用大跨导梁,一次跨越罗家港桥和二环线高架桥。

为保证顶推过程平稳快速,本项目采用步履式顶推工艺。根据桁架拱桥结构特点,顶推过程滑动支点应布置在桁架节点位置,而桁架拱桥节点间距为 12 m,导梁长度按节点间距的模数确定。结合现场条件,导梁长度取 60 m,最大顶推跨度为 84 m,为目前武汉市顶推跨度之最。顶推过程见图 9。

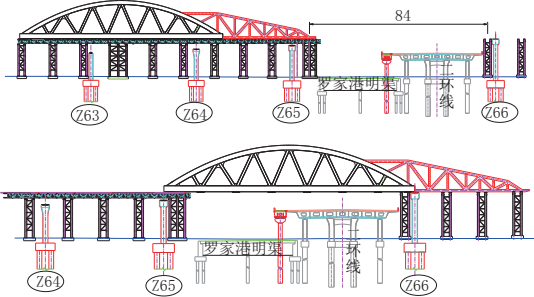


图 9 指导性施工示意图

6 结 语

武汉友谊大道北段快速化改造于 2021 年 10 月开工,罗家港互通主桥桥墩已施工完成,目前正在进行搭设临时支架工序。该桥采用 85 m 下承式简支桁架拱桥,避免了在罗家港明渠中布置桥墩,并有效降低了立交互通区桥梁纵坡,提高了桥梁景观。同时桥梁采用顶推法施工,缩短了工期,减小了施工对于二环线通行的影响。

采用空间有限元软件 Midas 对桥梁的各项指标进行了计算,结果均满足规范要求,结构型式亦具有简洁新颖、耐久性好和易检修等特点,为桁架拱的设计提供了一定的思路,亦可为以后类似工程提供设计参考。

参考文献:

[1] 中铁大桥勘测设计院集团有限公司. 友谊大道(三环线—宏茂巷)快速化改造工程第一标段施工图设计[Z]. 武汉:中铁大桥勘测设计院集团有限公司,2020.
[2] 袁鹏飞,黄从俊,王超.合肥市集贤路跨派河大桥主桥总体设计[J]. 城市道桥与防洪,2020(11):61-63.

UHPC 层,可避免布置 NC 层时出现开裂的现象。

表 5 UHPC 层的拉应力

内力组合	拉应力 /MPa	
	横向拉应力	纵向拉应力
组合一	5.37	-6.24
组合二	5.27	3.10
组合三	5.30	-5.47
组合四	5.29	2.38

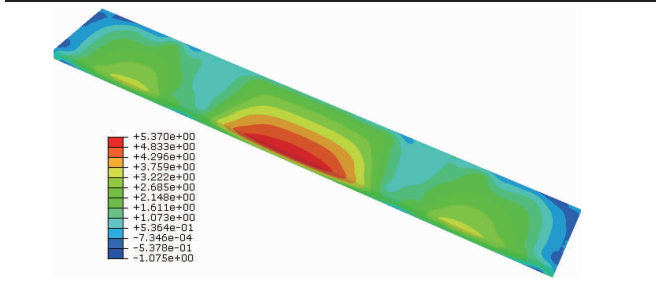


图 8 组合一中 UHPC 层的横向拉应力云图(单位:MPa)

4 结 语

(1)钢-混结合段中钢结构、混凝土和 UHPC 层的应力水平均较低,均能满足要求,不存在开裂的风险,且应力传递较顺畅,具有一定的安全储备。

(2)钢-混结合段中混凝土顶板的压应力较大,底板的压应力较小,可适当减少顶板的预应力钢筋

数量,增加底板的预应力钢筋数量。

(3)跨中采用钢-UHPC 组合梁可很好地减轻自重,且钢-混结合段上布置 UHPC 层,可避免布置 NC 层时出现开裂的现象。

参考文献:

[1] 黄细军. 超高性能混合梁钢-混结合段受力性能有限元分析[D].长沙:湖南大学,2016.

[2] 邵旭东,詹豪,雷薇,等. 超大跨径单向预应力 UHPC 连续箱梁桥概念设计与初步实验[J].土木工程学报,2013,46(8):83-89.

[3] 邵旭东,曹君辉,易笃韬,等. 正交异性钢板-薄层 RPC 组合桥面基本性能研究[J].中国公路学报,2012,25(2):40-45.

[4] 贺绍华. 混合梁斜拉桥高性能钢混结合段受力性能试验研究[D].长沙:湖南大学,2017.

[5] 周立兵,丁望星,张家元. 斜拉桥主梁钢-混结合段技术性能提升关键技术[J].桥梁建设,2019,49(2):30-35.

[6] 伍彦斌,黄方林. 红水河特大桥主梁钢-混结合段传力机理分析[J].桥梁建设,2018,48(4):56-61.

[7] 霍学晋,程曦. 钢-混结合段的极限承载力研究[J].公路交通科技,2017,34(3):52-61.

[8] 周阳,蒲黔辉,施洲,等. 铁路混合梁斜拉桥钢-混结合段传力及疲劳性能试验研究[J].土木工程学报,2015,48(11):77-83.

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

[10] Graybeal B. Material property characterization of ultra-high performance concrete [R]. US Department of Transportation,Federal Highway Administration; 2006.

(上接第 68 页)

[3] 徐林,徐欣,彭元诚. 苏岭山大桥主桥设计与施工[J].世界桥梁,2018,46(4):6-11.

[4] 张建功,翟晓亮,冯云成. 大跨连续钢桁架拱桥设计[J].中外公路,2016,36(1):153-158.

[5] 孙亮. 大跨度桁架拱设计关键技术[J].城市道桥与防洪,2021(4):61-64.

[6] JTG D30-2015,公路桥涵设计通用规范[S].

[7] JTG 3362-2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].