

扬州市仪扬河大桥主桥总体设计

王荣华

(华设设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210014)

摘要: 城市跨河桥梁场地条件复杂、控制因素多、要求高, 桥梁方案设计需要结合现场条件综合考虑多方面因素后才能确定。依托扬州市仪扬河大桥建设项目, 对可行的主桥桥梁方案进行了充分比选, 最终确定采纳所推荐的结构新颖、景观效果好的双层通行的矮塔斜拉桥设计方案。此外, 对推荐方案的主桥总体设计进行了介绍, 包括总体布置、结构设计、计算分析等内容, 以期对同类桥梁的总体设计有所帮助。

关键词: 主桥; 方案比选; 矮塔斜拉桥; 总体设计; 结构设计

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0095-04

Overall Design of Main Bridge of Yiyang River Bridge in Yangzhou City

WANG Ronghua

(Huashe Design Group Co., Ltd., Nanjing 210014, China)

Abstract: The site conditions of urban cross-river bridges are complex with multiple control factors and high requirements. The design of the bridge scheme needs to be determined by considering various factors in combination with the site conditions. Relying on the construction project of the Yiyang River Bridge in Yangzhou City, the feasible schemes of the main bridge are fully compared. Finally, the design scheme for a double-deck low-pylon cable-stayed bridge with novel structure and good landscape effect is recommended and adopted. In addition, the overall design of the main bridge in the recommended scheme is introduced, including overall layout, structural design, calculation and analysis in order to provide the assistance for the overall design of similar bridges.

Keywords: main bridge; scheme comparison and selection; low-pylon cable-stayed bridge; overall design; structural design

0 引言

城市道路项目沿线交叉道路、建筑物等控制因素多, 跨河桥梁不仅需满足通航、防洪水利要求, 还需满足规划、道路衔接、环保、景观和文物保护等要求^[1]。扬州市仪扬河大桥建设项目在选择主桥桥型方案^[2-3]时, 在充分考虑防洪、通航、道路衔接、文物保护、景观等多方面控制因素的基础上, 就满足条件的主桥桥型方案进行充分比选后, 推荐采用双层通行的矮塔斜拉桥方案。经相关部门评审后, 最终确定采纳推荐方案为主桥设计方案。本文论述了主桥桥型方案的比选过程, 并对推荐方案的主桥总体设计、结构计算等内容进行了介绍。

1 工程概况

仪扬河大桥是扬州市经济开发区朴席园区规划

纵向主干道纵一路上跨仪扬河的1座跨河桥梁。本项目北起花园路, 途经隆塔公路、隆觉路, 而后上跨仪扬河, 再向南下穿宁扬城际铁路后顺接现状兴席路并与通朴路平交, 道路全长约1.22 km。大桥的修建对于完善园区主干道路网, 加强南北区域沟通; 带动园区经济发展, 促进沿线产业开发; 连通园区外围道路, 方便园区对外沟通都具有十分重要的作用。

项目路线图见图1。

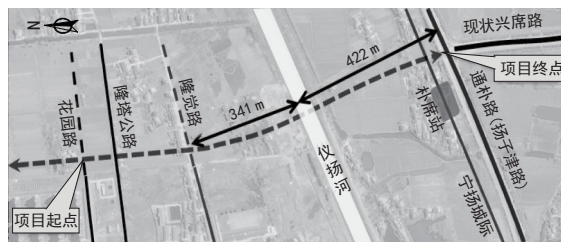


图1 项目路线图

2 建设条件

2.1 自然条件

桥址地处长江下游, 地貌类型单一, 地貌类型属

收稿日期: 2024-06-12

作者简介: 王荣华(1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事公路市政桥梁设计研究工作。

长江三角区平原区的新三角洲平原。场地多为农田、拆迁区、荒地等,除河道(塘)外地形略有起伏,地面高程3.31~8.71 m。本地区勘察揭露的地层主要为第四系地层。场地沿线断裂对工程无影响,场地属于区域地质稳定区,适宜本项目建设。

2.2 主要技术标准

(1)道路等级:城市主干路。

(2)汽车荷载:城-A级;人群荷载:按规范^[2]相关条款取用。

(3)设计车速:50 km/h。

(4)桥梁宽度:双向4车道及人非,共29.5 m。

(5)地震烈度:地震动峰值加速度为0.15g,地震基本烈度为7度。

(6)通航要求:仪扬河为规划V级航道,其通航净空尺度要求为45 m×5 m;最高通航水位为6.03 m,最低通航水位为3.33 m。

(7)防洪水位:7.28 m。

(8)桥梁设计基准期100 a;设计安全等级为一级。

3 主桥方案比选

仪扬河东接古运河,西入长江,全长25.7 km。桥位处河道口宽70 m,河底宽15 m,河底高程0.0 m,两岸堤防堤顶高8.2 m,顶宽5 m。

3.1 设计原则

(1)桥梁结构设计全面贯彻“安全、耐久、适用、环保、经济、美观”的建设方针^[2-3]。

(2)桥跨布置须满足通航、防洪、防汛和文物保护等要求^[2-3]。

(3)从桥梁全寿命周期出发,考虑其耐久性及其后期养护成本,选择总造价低的桥型方案。

(4)桥型方案应尽量选择建筑高度低的结构,减小桥梁规模,改善交叉口交通组织,节省工程投资。

(5)在满足功能要求、结构安全性和经济性的前提下,兼顾景观效果。

3.2 控制因素

3.2.1 通航、防汛要求

仪扬河为V级航道,河道总宽70 m,通航净高要求为5 m,净宽要求为45 m,最高通航水位为6.03 m,防洪设计水位7.47 m,规划堤顶高程为8.2 m。仪扬河两侧需设置净空为4.5 m的防汛通道。

3.2.2 文物保护要求

仪扬河为古运河的分支,此段河道在大运河遗

产保护范围内(保护区范围为:(1)遗产区,按河两岸线外扩5 m界划;(2)缓冲区,外扩30 m)。文物部门要求是:水中不能设墩,须1跨过河,桥梁方案应简洁,桥上避免设置与交通无关的古建阁楼装饰,保证大运河自然风光和原始风貌。

3.2.3 道路平交、顺接要求

现状隆觉路、通朴路距离仪扬河中心分别为341、422 m,间距相对较近,桥梁跨河后应尽快落地,纵断面设计应采用较大的纵坡,以便与相交道路平交并与现状兴席路顺接,方便两侧地块出行。

3.2.4 下穿宁扬城际要求

总体方案道路需要下穿距通朴路北侧55 m的规划宁扬城际铁路,在宁扬城际与朴席路交叉口,宁扬城际梁底设计标高为9.61 m。

3.3 方案设计

综合以上设计原则和控制因素,根据文物保护单位要求,主桥应1跨过河以避免遗产区;结合水利部门对防洪大堤的安全要求,主墩需要设置在防洪大堤堤脚之外,跨径需要102 m。另外,为使桥梁满足尽快落地平交和下穿铁路的净空要求,需要采用建筑高度小的结构,且纵坡在满足规范的基础上取大值。为进一步降低桥梁高度和规模,拟将桥下防汛通道设置于大堤外侧坡脚。堤顶道路桥下净空按2.5 m控制,保证小汽车和人非通行。满足以上跨度和建筑高度要求的桥型有连续梁、斜拉桥、梁拱组合、桁架桥等^[4],考虑文物部门对桥上建筑的限制要求,不宜采用梁拱组合和桁架桥。因此,以下对连续梁桥和矮塔斜拉桥方案进行比选。

3.3.1 方案一:65 m+102 m+65 m矮塔斜拉桥

本方案主桥跨径65 m+102 m+65 m,为双塔单索面部分斜拉桥^[5]。结构形式采用塔梁固结、墩梁分离的3跨连续体系,桥宽20.5 m,塔高20 m。方案一主桥立面布置图见图2。

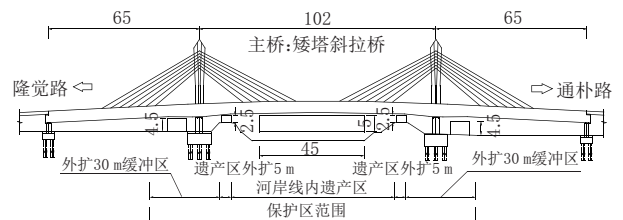


图2 方案一主桥立面布置图(单位:m)

混凝土矮塔斜拉桥主梁高度通常在支点处取 $(1/30 \sim 1/35)L$,跨中取 $(1/45 \sim 1/55)L$ ^[5-6]。结合各控制点高程衔接、净空要求,经计算,桥面设计纵坡须超过4%,不满足规范^[1-3]对于人非最大纵坡2.5%的要

求。基于此,设计考虑机非分层通行,主桥桥面仅通行机动车,人非设置在主梁悬臂下缘,这样可大大降低人非纵断面坡度,增加人非通行的舒适性。

方案一主桥上部横断面布置图见图3。

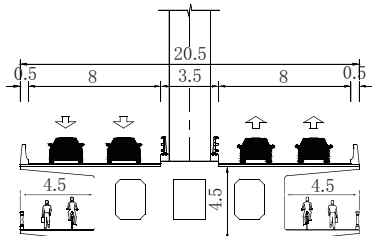


图3 方案一主桥上部横断面布置图(单位:m)

3.3.2 方案二:65 m+102 m+65 m连续钢箱梁

本方案主桥跨径为65 m+102 m+65 m,采用连续钢箱梁结构^[7],单幅桥宽17 m,分左右2幅桥布置。

方案二主桥立面布置图见图4。

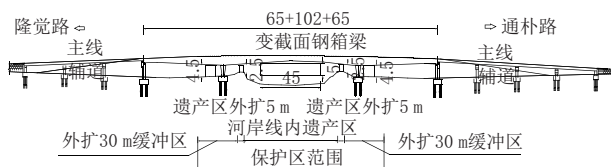


图4 方案二主桥立面布置图(单位:m)

钢箱梁跨中梁高2.8 m,支点梁高4.6 m;同样,为满足各控制点高程衔接和净空要求,纵断面纵坡接近5%,远超规范^[1-3]对于人非最大纵坡的要求。为保证人非过桥通行,需要控制坡长,此时需在主桥两侧设置1:12的推坡道,但人非通行舒适性不佳。或者如方案一一样,人非与机动车分层通行,主梁底缘外侧设置悬挑的人非通道。

3.4 方案比选

通过比较方案一、二的详细构造设计、计算结果和造价(限于篇幅所限,成果不一一列出)可知:2个方案均能满足通航、道路衔接和文物部门的要求,但方案一相比方案二,在人非通行的舒适性、交通组织安全性、经济性、后期养护方便性、景观效果及与现场环境协调等方面均更具优势。结合相关部门意见,推荐方案一作为本桥主桥方案;此方案亦得到评审与会专家的一致认可,均认为推荐方案经济合理、适用,整体造型简洁、优美、大气,从而确认为本桥的设计方案。

4 主桥总体设计

4.1 总体布置

桥梁平面为直线,桥面纵坡4%,人非系统纵坡

1.5%~2.45%。主桥结构采用预应力混凝土矮塔斜拉桥,体系为塔梁固结、墩梁分离,墩顶设置支承,结构受力明确,接近连续梁桥^[5-6]。主桥纵向跨径布置为65 m+102 m+65 m,横向整幅设计,桥宽20.5 m,双塔布置于桥面中央分隔带上,塔高20 m,拉索为单索面;桥面两侧为双向4车道机动车道,人非设置于主梁两侧悬臂下缘,单侧宽度4.5 m。

主桥两端引桥采用30 m跨径预制小箱梁,桥宽同主桥。两端引桥外侧设置人非辅道桥与主桥人非系统衔接,辅道桥宽度6.5 m,亦采用30 m跨径预制小箱梁。

4.2 主梁设计

主梁采用变高度预应力混凝土结构,截面为单箱3室异型箱型直腹板断面,顶板宽20.6 m,箱梁翼缘板悬臂长度4.5 m,悬臂端部厚20 cm,悬臂根部厚70 cm,桥面仅机动车通行;在主梁主跨及边跨中墩附近边腹板外侧底部设置下翼缘板作为人非通道,下翼缘板悬臂长4.5 m,端部厚20 cm,根部厚70 cm。边跨梁端和中跨跨中梁高4 m,中墩连续处梁高4.5 m。箱梁等高段箱梁底板厚28 cm,中墩墩顶0号块根部底板加厚至130 cm;箱梁跨中腹板厚50 cm,中墩支点附近加厚至95 cm;箱梁边箱室顶板厚28 cm,中箱室设置拉索需要加厚至80 cm。所有箱梁拉索锚固点设有厚50 cm的横隔板。为便于检修,在梁端各箱室内部分别设置1个高0.8 m的出入通道。

主梁施工采用挂篮悬臂浇筑法。0号块长13 m,合拢段长2 m,悬臂浇筑标准节段长4.0 m(1号节段长3.5 m除外)。在悬臂浇筑过程中浇筑的最大梁段重量为286.0 t。

4.3 桥塔设计

主塔结构高20 m,外形似宝剑状,采用实心截面,主塔顺桥向尺寸为3.5~4.5 m,横桥向尺寸为2.5 m,塔身外轮廓采用圆倒角处理。为增强塔身美感,在塔身立面开槽修饰,凹槽宽从底部30 cm变化至顶部157 cm,槽深15 cm。塔身设有鞍座便于斜拉索通过,塔身两侧拉索出口处设置的锚固装置能够有效克服运营期间可能出现的拉力不均现象。

鞍座采用分丝管形式,每根钢绞线分别穿过分丝管,便于后期单独换索需要。

4.4 斜拉索设计

全桥斜拉索共计56根,每根拉索由31股7φ5环氧涂层钢绞线构成,立面呈扇形排列,单索面,横桥向双排布置;拉索在塔柱和主梁上的索距分别为1 m

和4 m,拉索在塔柱鞍座内连续通过,在主梁上完成张拉锚固。单根钢绞线外层覆以环氧喷涂和油脂,并包裹PE护套,斜拉索外层使用高密度聚乙烯(HDPE)护套。

4.5 下部结构设计

主墩采用矩形实体墩,纵横向尺寸为3.5 m×11.5 m,四周倒角处理;墩接实体承台,群桩基础,承台纵横向尺寸为10 m×17.5 m,厚度4 m;单个承台下为15根直径1.5 m的桩基础。

4.6 减隔震设计

本桥场地地震动峰值加速度0.15g,主桥上部为混凝土结构,自重大,结构体系为塔梁固结,塔柱地震作用大,桥梁抗震设计至关重要。通过对几种常规减隔震体系进行比选后,选择在主桥各墩顶设置摩擦摆式减隔震支座的减隔震体系。此举可大大降低结构地震效应,解决桥梁抗震问题,并很好地控制工程造价。

5 结构计算

5.1 计算参数

(1)材料指标:主桥主梁、桥塔、主墩、承台、桩基等混凝土等级详见图纸。混凝土材料、预应力及拉索钢绞线性能指标均按规范^[7-8]采用。

(2)结构类型:主桥主梁纵向按全预应力构件设计,主桥横向预应力、竖向预应力按部分预应力A类构件设计。桥塔、墩台按钢筋混凝土设计。

(3)恒载:主要包括桥塔、主梁等自重,自重按材料容重和其自身体积按实际计算。二期恒载为防撞护栏、桥面铺装等。

(4)活载:包括汽车荷载和人群荷载。汽车荷载为城-A级,人群荷载按规范^[2]取值。其他可变荷载计算符合相关规范^[3]要求。汽车荷载冲击系数 $\mu=0.05$ 。

(5)基础变位:主墩按照2 cm取用,其他桥墩按照1 cm取用。

(6)温度力:整体体系升降温按 ± 25 °C取。斜拉索、混凝土主梁、索塔间的温差及塔身左右侧温差按规范^[6]取值。温度梯度按照规范^[3]取值。

(7)风荷载:100 a一遇基本风速27.1 m/s。

(8)地震作用:按规范^[9]和地震安全评价报告中的相关参数取值。

5.2 静力计算

全桥静力分析采用桥梁博士V4.4.1平面杆系模

式进行计算,以梁单元模拟主梁、桥塔和桥墩,以索单元模拟斜拉索。计算考虑了各个施工阶段的受力特点(计算分为42个施工阶段)和结构体系转换的作用。根据规范^[3]要求,进行了施工和运营状况下的承载力、应力、抗裂、挠度和疲劳分析等验算^[7-8]。

5.2.1 主梁

5.2.1.1 主梁持久工况正常使用状态验算结果

抗裂验算:主梁正截面上缘最小正应力0.04 MPa,下缘最小正应力0.31 MPa,最小主应力0.53 MPa。因此,主梁正、斜截面抗裂验算均满足规范^[8]要求。

应力验算:主梁正截面上缘最大正应力16.0 MPa,下缘最大正应力11.18 MPa,最大主应力10.17 MPa。因此,主梁正、斜截面应力满足规范^[8]要求。

挠度验算:汽车荷载(不计冲击力)和人群荷载频遇组合在中跨引起的最大下挠度为15.3 mm,最大上拱度为5.9 mm,位移绝对值之和为21.2 mm,小于 $L/500=204$ mm。因此,结构刚度满足规范^[6]要求。

5.2.1.2 主梁持久工况承载能力状态验算结果

从主梁最大、最小抗力及对应的内力包络图可知,主梁抗力均大于内力。因此,主梁正截面抗弯、斜截面抗剪承载力均满足规范^[8]要求。

5.2.2 桥塔

经计算,桥塔各截面上下缘均处于受压状态,正、斜截面应力、抗弯抗剪承载力均满足规范^[8]要求,塔顶最大水平挠度2.4 cm,满足要求。

5.2.3 拉索

基本组合斜拉索钢绞线最大应力1 028 MPa,小于斜拉索承载力 $1.5 \times 1 005 = 1 507.5$ MPa,强度满足规范^[6]要求。斜拉索最大应力幅2.7 MPa,远小于规范^[6-7]疲劳应力幅控制值80 MPa。

5.3 抗震分析

采用MIDAS Civil软件建立全桥空间杆系模型,主梁、桥塔、墩柱采用空间梁单元,斜拉索采用空间桁架单元模拟。地震作用根据地震安评批复的相关参数输入。在E2地震作用下,通过非线性时程分析,桥塔、墩柱、基础等构件强度均满足规范^[9]要求,结构抗震性能良好。

6 结 语

仪扬河大桥主桥建设条件复杂,受净空和顺接道路标高等限制。主桥方案设计在保证机动车和人非同时过河的基本前提下,还需要综合考虑水利、规划、城际铁路、文物等部门的要求。本文对基于现场

(下转第103页)