

上海青浦华为 1 号桥设计

许艳林

(华东建筑设计研究院有限公司, 上海市 200232)

摘 要: 上海青浦华为 1 号桥为中承式拱梁组合体系, 两侧拱肋朝内倾斜 74° , 拱肋与梁体固结, 跨径布置为 $(47.343+90+41.934)$ m, 拱轴线矢高 $f=24.9$ m, 矢跨比为 $f/l=1/3.61$ 。吊索两侧与斜拱肋对齐布置, 共设 9 组拉索, 拉索梁上间距 6 m。桥梁不单独设置桥台, 梁体两侧均搭在建筑结构上。桥梁拱肋为钢拱, 梁体为钢箱梁, 梁拱组合, 下部结构采用承台桩基础。设计 BIM 技术进行辅助正向设计, 确保结构设计的合理性; 采用 MIDAS Civil 进行结构性能分析, 结算表明该桥受力性能满足规范要求。该桥采用先梁后拱的总体施工方案。

关键词: 钢拱; 中承式; 梁拱组合; BIM 辅助设计

中图分类号: U448.22; U448.21+3 **文献标志码:** B

文章编号: 1009-7716(2024)08-0051-04

0 引言

拱桥是一种最古老的桥型, 与普通梁桥相比, 具有造型美观、跨越能力大等特点。拱桥的结构形式千姿百态, 在国内外桥梁工程中应用广泛。在国内拱桥技术发展过程中, 钢箱拱桥最先在国际上取得重要突破。2003 年卢浦大桥以 550 m 创造了拱桥跨径世界纪录^[1-3]以来, 陆续有一些钢箱拱桥建成^[4], 包括推力拱桥、飞鸟式拱桥、系杆拱桥, 还存在较大的发展空间。上海华为青浦研发基地内共规划 3 座跨越中央湖区的景观桥, 1 号桥为中央大道主桥, 该桥景观要求高, 桥型采用跨径布置为 $(47.343+90+41.934)$ m 三跨中承式拱梁组合体系桥, 全长 179.3 m, 矢跨比为 $f/l=1/3.61$ 。桥梁不单独设置桥台, 梁体两侧均搭在建筑结构上。

1 工程概况

上海华为青浦研发基地园区内共规划 3 座跨越中央湖区的景观桥, 1 号桥为中央大道主桥, 2 号、3 号桥均为景观人行桥。1 号桥位于湖区中央, 属于中央大道跨湖桥梁, 北接 GH 组团, 南接 CD 组团, 总体南北走向; 桥型采用中承式拱梁组合体系, 两侧拱肋朝内倾斜角度 74° , 拱肋与梁体固结, 跨径布置为 $(47.343+90+41.934)$ m, 拱轴线矢高 $f=24.9$ m, 矢跨比为 $f/l=1/3.61$ 。吊索两侧与斜拱肋对齐布置, 共设

9 组拉索, 拉索梁上间距 6 m。桥梁不单独设置桥台, 梁体两侧均搭在建筑结构上。两侧与建筑结构相接处设置 160 型伸缩缝。

该桥立面图如图 1 所示。

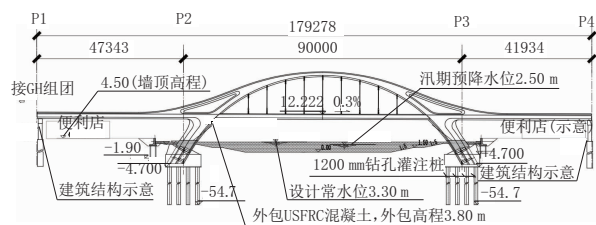


图 1 华为 1 号桥立面(单位: mm)

2 主要设计参数与建设条件

2.1 主要设计参数

- (1) 道路等级: 城市支路。
- (2) 设计速度: 30 km/h。
- (3) 桥面规模: 桥面横向布置, 1.73 m(拉索区)+1.277 m(栏杆及检修道)+14 m(车行道)+1.277 m(栏杆及检修道)+1.73 m(拉索区)=20.015 m(总宽)。
- (4) 设计荷载: 城-B 级。
- (5) 设计水位: 设计常水位 3.3 m。
- (6) 抗震标准: 场地抗震基本烈度为 7 度, 地震动峰值加速度 0.1g; 本桥抗震设防分类为乙类, 选用 A 类抗震设计方法。

2.2 建设条件

(1) 地形、地貌

根据勘察揭遇的地基土层及拟建工程地理位置分析, 其地貌属于上海地区五大地貌单元中的湖沼平

收稿日期: 2023-08-14

作者简介: 许艳林(1977—), 男, 硕士, 正高级工程师, 从事道路与桥梁工程设计工作。

原 I-1 区类型。

勘察期间,由于道路线路较长,现场情况较复杂,拟建道路沿线农田、空地、鱼塘、道路、河流混杂存在,拟建道路沿线地势有一定起伏,实测详勘勘探点的地面标高在 5.24~2.68 m,高差 2.56 m。

(2)工程地质

本拟建道路沿线地段勘察深度范围内揭遇的地基土属第四纪沉积物。本次勘察所完成技术孔的最大深度为 70.00 m,对此深度范围内揭遇的地基土,按结构特征、地层成因、土性不同和物理力学性质上的差异可划分为 6 层和不同的亚层。该拟建地段第 ⑦层地基土仅局部分布,层厚及层顶、底面均变化大,故不建议作为拟建桥梁的桩基持力层;而下部均分布有 ⑧₂层砂质粉土夹粉质黏土层,有较大的层厚,分布相对稳定,在该地段 ⑧₂土质较好,埋藏适中,是本工程较良好的桩基持力层。

3 桥梁结构设计

3.1 总体布置

1 号桥桥型采用中承式拱梁组合体系,两侧拱肋朝内倾斜角度 74°,拱肋与梁体固结,跨径布置为 47.343 m+90 m+41.934 m,拱轴线矢高 $f=24.9$ m,跨径 $l=90$ m,矢跨比为 $f/l=1/3.61$ 。吊索两侧与斜拱肋对齐布置,共设 9 组拉索,拉索梁上间距 6 m。桥梁不单独设置桥台,梁体两侧均搭在建筑结构上。两侧与建筑结构相接处设置 160 型伸缩缝。

3.2 拱肋

拱肋为焊接钢箱梁,钢材采用 Q390D,除拱肋的结合段外,根据拱肋截面不同分为 4 个部分,如图 2 所示。

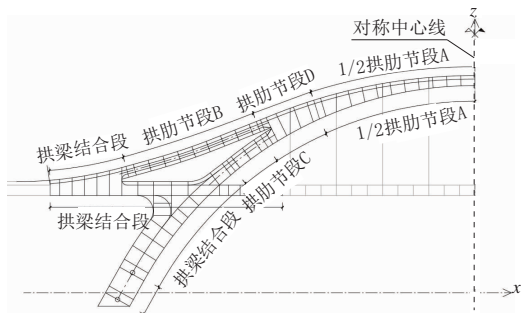


图 2 半拱肋节段划分(单位:mm)

(1)拱肋节段 A

拱肋节段 A 位于拱顶位置,拱肋宽 1.8 m,拱肋高 1.3~2.545 m;一般横隔板沿顶底板径向布置,吊杆横隔板铅垂布置。横隔板间距 0.5~2.14 m。断面如图 3 所示。

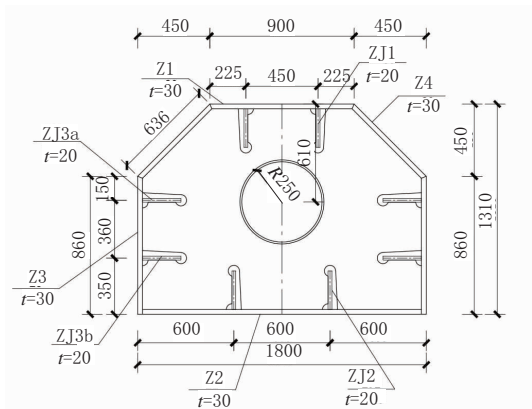


图 3 拱肋 A 断面(单位:mm)

(2)拱肋节段 B

拱肋节段 B 位于梁拱结合段处背拱位置,拱肋断面为等截面箱形,高 1.45 m,宽 1.8 m,横隔板间距 2.0 m。断面如图 4 所示。

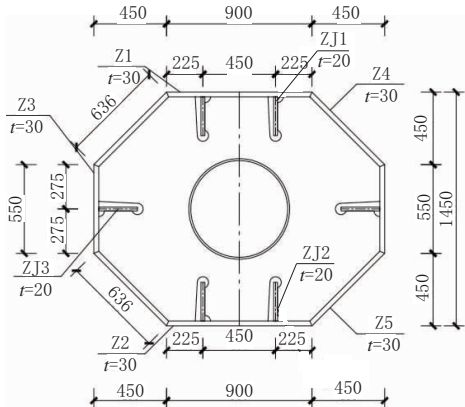


图 4 拱肋 B 断面(单位:mm)

(3)拱肋节段 C

拱肋节段 C 位于梁拱结合段处上方,拱肋断面为等截面箱形,高 1.8 m,宽 1.8 m,横隔板间距 1.8 m。断面如图 5 所示。

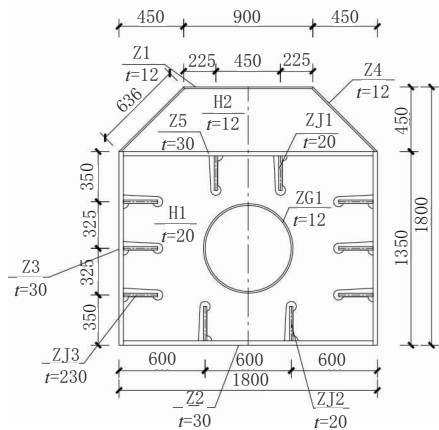


图 5 拱肋 C 断面(单位:mm)

(4)拱肋节段 D

拱肋节段 D 为节段 A、节段 B 和节段 C 相接处,拱肋断面为等截面箱形,高 1.8 m,宽 1.8 m,横隔板

间距 0.91 ~ 2.545 m。断面如图 6 所示。

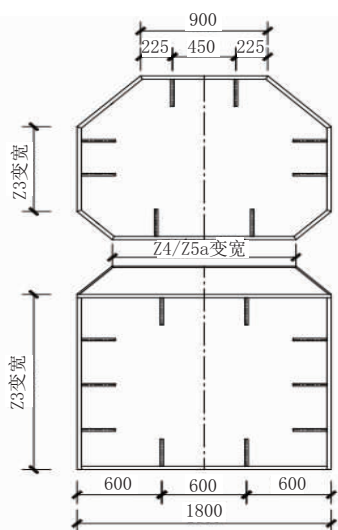


图6 拱肋D断面(单位:mm)

3.3 吊杆

吊杆纵向间距 6.0 m, 全桥共计 9 对, 吊杆长 6.983 ~ 12.921 m。拉索采用挤压锚固钢绞线拉索, 拉索型号为 GJ15BD-16, 索体采用 16 根 $\phi 15.2$ mm 钢绞线, 抗拉强度 1 860 MPa, 单根吊杆破断力 4 160 kN。施工最大吊杆力 673 kN, 最大吊杆应力 321 MPa。吊杆横桥向为倾斜布置, 倾斜角度 74° 。吊杆上端采用叉耳锚固与拱肋, 下端采用锚垫板锚固与主梁。

3.4 主梁、系梁

主梁为单箱双室钢箱梁,钢材采用 Q390D,箱梁高 1.403 m,腹板间距 6.6 m,横隔板间距 0.8 ~ 3 m。主梁外侧设置系梁,系梁为等截面箱形,梁高 1.35 m,宽 1.8 m,系梁与主梁夹角 74° ,系梁横隔板间距 1.3 ~ 3 m。主梁断面如图 7 所示,系梁断面如图 8 所示。

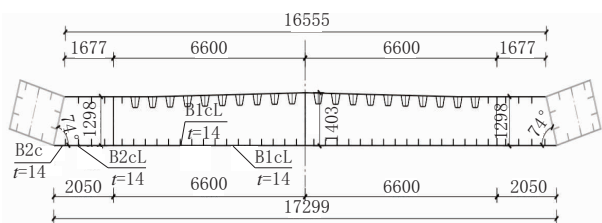


图 7 主梁标准断面(单位:mm)

3.5 横向联系

风撑采用焊接钢箱,钢材采用 Q390D,风撑采用空间扭 8 字造型,根据建筑造型风撑采用变截面箱形,考虑到景观效果,外包薄钢板。风撑截面顶、底尺寸随造型不同而变化。

3.6 下部结构

下部结构采用钢筋混凝土拱座,拱座高 3.2 m;下设承台,承台平面尺寸 11.4 m×11.4 m,厚 4.0 m。单个桥墩设置 16 根 D1200 钻孔灌注桩,桩长 50 m。持

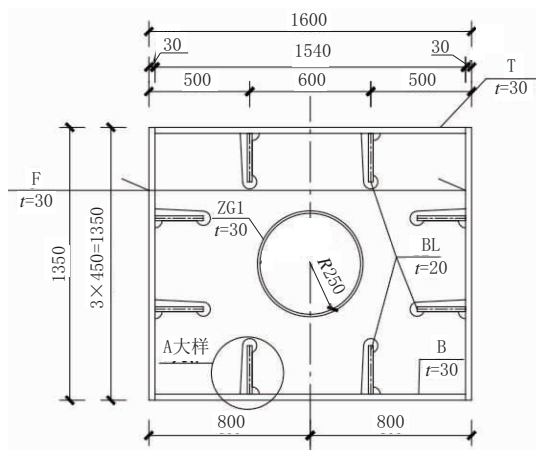


图 8 系梁标准断面(单位:mm)

力层为⑧₂₋₂层灰绿色~灰色黏质粉土夹粉质黏土。承台之间设置系梁,系梁宽4 m,高3 m,长10.6 m。

4 结构分析

4.1 计算模型

上部整体静力计算采用 MIDAS Civil 进行计算。主梁、主拱、承台和系梁均采用梁单元,吊杆采用只受拉桁架单元模拟,边墩处设置支座,中墩承台底模拟群桩基础刚度设置节点弹性支撑。计算模型如图 9 所示。



图 9 桥梁有限元模型示意图

4.2 主要计算结果

(1)静活载作用下,边跨最大挠跨比 1/1 353,中跨最大挠跨比 1/6 000,均小于 1/500,满足规范要求。

(2)边跨跨中位置,边主梁最大正应力 232 MPa,中梁最大正应力 175 MPa,满足规范要求。中支点位置,边主梁最大正应力 267 MPa,中梁最大正应力 128 MPa,满足规范要求。主梁最大剪应力 146.2 MPa,小于容许值 170 MPa,满足规范要求。考虑桥面板二系应力后,边跨跨中处最大应力 246 MPa,中支点处最大应力 281 MPa,总应力均小于 295 MPa,满足规范要求。

(3)端横隔板最大正应力 38.6 MPa,剪应力 43.5 MPa,均小于规范容许值,满足要求。普通横隔板最大正应力 11 MPa,剪应力 16 MPa,均小于规范容许值,满足要求。吊点横隔板最大正应力 69 MPa,剪应力 31 MPa,均小于规范容许值,满足要求。

(4)钢梁按照疲劳模型 I 验算疲劳,边跨跨中及

中支点处最大疲劳应力幅 30.9 MPa, 小于限值 38.2 MPa, 满足规范要求。

(5) 钢拱拱肋节段最大拉应力 109.7 MPa, 最大压应力 -166.1 MPa, 满足规范要求。拱腿局部计算最大应力 113.2 MPa, 满足规范要求。拱肋风撑结构最大拉应力 94.75 MPa, 最大压应力 -100.31 MPa, 均满足规范要求。

(6) 基本组合下吊杆最大内力 1 184 kN, 吊杆安全系数 $4\ 160/1\ 184=3.5$, 大于 2.5, 满足规范要求。

(7) 对使用阶段桥梁进行稳定性分析, 一阶屈曲系数 118, 大于 4.0, 满足规范要求。

(8) 基础设计考虑静力荷载和地震荷载进行验算, 桩顶位移 8.5 mm, 小于 10 mm; 裂缝计算值 0.16 mm, 小于 0.2 mm; 单桩水平承载力 565 kN, 小于 856 kN, 满足规范要求。

5 施工方案及 BIM 应用

该桥总体施工方案为先梁后拱。上部采用满堂支架施工, 在支架上拼接主梁。主梁拼装完成后, 在主梁上搭设支架安装拱肋, 拱肋合龙段设置与拱顶位置。拱肋安装完成后安装吊杆, 拆除拱肋支架; 分批张拉吊杆至设计索力; 拆除主梁支架, 施工桥面附属结构, 最后调整索力至成桥状态。

该桥拱腿与主梁为空间结构, 常规二维设计手段无法表达, 设计过程中采用 BIM 技术进行辅助设计, 在设计过程中充分考虑到结构的合理性与实施的便捷性。拱梁结合段施工图 BIM 设计如图 10 所示。

6 结 语

上海青浦华为 1 号桥为一座中承式拱梁组合体系桥, 拱肋内倾, 其拱轴线不是传统意义上的拱轴线, 拱肋在梁拱交接处分叉。两拱拱肋两侧拱肋朝内倾斜 74° , 拱肋与梁体固结。该桥造型新颖, 美观大

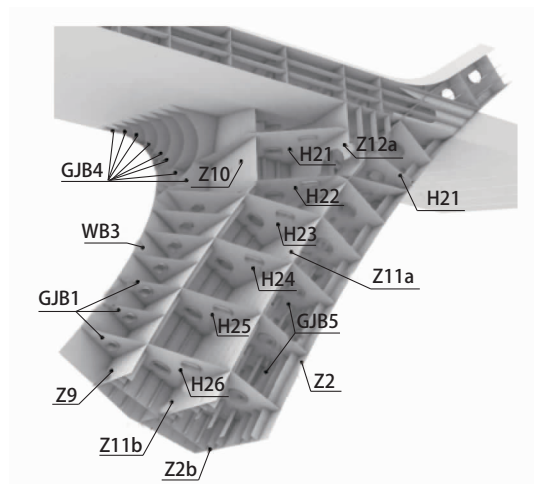


图 10 拱梁结合段钢结构 BIM 设计

方。运用 BIM 正向设计技术, 解决了二维设计手段无法出图的难题, 确保了结构构造设计的精确度与合理性。该桥于 2022 年 11 月开工, 预计 2023 年 10 月建成通车。该桥效果图如图 11 所示。



图 11 青浦华为 1 号桥效果图

该桥为同类桥梁在结构设计、工厂制造及施工架设等方面积累了丰富的经验。

参考文献:

- [1] 邵长宇. 现代拱桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 2021.
- [2] 曾春清, 徐勇, 曲健, 等. 成都西一线绛溪河大桥设计[J]. 桥梁建设, 2023, 53(2): 105-111.
- [3] 张洪金. 三官堂大桥主桥设计要点[J]. 城市道桥与防洪, 2022, 2(2): 73-76.
- [4] 吴冲. 现代钢桥(上册)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com