

DOI: 10.16799/j.cnki.csdqyfh.260163

空间竖琴形索面矮塔斜拉桥设计与实践

袁慧芳

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要: 金桂路跨浏阳河桥为主跨 120 m 的双塔双索面矮塔斜拉桥,采用塔梁固结,塔墩分离的结构型式。桥塔为 C60 钢筋混凝土结构,塔身以圆弧曲线外倾,横向双塔呈八字造型;主梁为三向预应力混凝土结构,单箱五室,桥梁标准宽度 37.5 m,桥塔处局部加宽为 40.4 m;斜拉索为双索面竖琴型空间索面,拉索采用填充型环氧钢绞线,菱形分丝管索鞍。通过对主梁和桥塔的极限状态计算分析,结构安全可靠;桥梁实施过程也表明采用的施工方案合理可行,可为同类桥梁建设提供参考。

关键词: 矮塔斜拉桥;八字弯塔;桥梁设计;主塔设计;竖琴形索面

中图分类号: U448.27;TU997 文献标志码: B 文章编号: 1009-7716(2026)09-0179-06

Design and Practice of Low-pylon Cable-stayed Bridges with Spatial Harp-type Cable Planes

YUAN Huifang

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: The Jingui Road Bridge crossing the Liuyang River is a double-ptylon double-plane low-ptylon cable-stayed bridge with the main span of 120 m. Its structural style is in the pylon-beam consolidation and pylon-pier separation. The bridge pylon is a C60 reinforced concrete structure. The pylon body leans outward in an arc curve, and the two horizontal pylons form an “figure-eight” shape. The girder is a three-way prestressed concrete structure with a single-box five-cell section. The standard width of the bridge is 37.5 m, locally widening to 40.4 m at the pylons. The stay cables are arranged in a double-plane harp-type spatial configuration. The stay cables are made of filled epoxy steel strands and diamond-shaped branch pipe saddles. Through the calculation and analysis of the limit states of the girder and the bridge pylon, the structure is safe and reliable. The implementation process of the bridge also indicates that the adopted construction scheme is reasonable and feasible, which can provide a reference for the construction of similar bridges.

Keywords: low-ptylon cable-stayed bridge; figure-eight curved pylon; bridge design; main pylon design; harp-shaped cable plane

1 工程概况

长沙高铁新城片区金桂路跨浏阳河大桥项目南起金桂路,止于火焰路(机场高速以南),由南到北依次跨越敢胜路、滨河东路,浏阳河,川河路,阳青东路,路线全长 1 401 m,其中桥梁全长 1 112.5 m,跨浏阳河设跨径组合 64 m+120 m+64 m 矮塔斜拉桥一座(见图 1 和图 2),南北两侧各设置南北引桥。

跨浏阳河主桥采用八字形桥塔,该桥的设计构思来自长沙这座楚汉名城,旅游之都,而微弯的八字形桥塔如张开的雄鹰翅膀腾跃在水面上,迎接八方

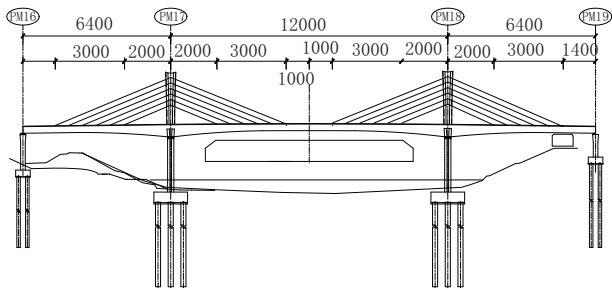


图 1 总体立面布置图(单位:cm)

来客;“川”字形主墩则寓意海纳百川,预示着今日之长沙融古通今,以开放和包容的姿态迎接来自五湖四海乃至全球友人(见图 3)。

2 设计技术标准

(1)道路等级:城市主干路;

收稿日期: 2026-03-01
作者简介: 袁慧芳(1975—),女,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

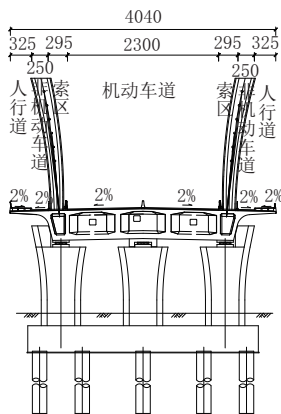


图2 横断面图(单位:cm)



图3 效果图

- (2)设计车速:40~50 km/h;
- (3)设计荷载标准:汽车荷载:城—A级,人群按照规范计算取用;
- (4)桥梁设计基准期:100年;
- (5)主体结构设计使用年限:100年;
- (6)安全等级:一级;
- (7)抗震设计标准:本工程地震基本烈度6度,设计基本地震动峰值加速度0.05g;
- 设防类别为丙类,抗震措施按7度设防;
- (8)环境类别:I类;
- (9)浏阳河通航标准:浏阳河规划航道等级为IV级,通航净宽为90 m,通航净高为8 m;
- (10)浏阳河设计水位。
- 根据防洪影响评价报告,桥位处100年一遇洪水水位40.05 m,200年一遇水位为41.03 m。
- 根据内河通航标准,IV航道最高通航水位为10年一遇,同时能满足最高通航水位20年一遇的通航要求。
- (11)主桥防撞等级
- 根据通航条件论证,按提高一级(Ⅲ级),1 000 t级船舶进行防撞设计。

3 结构设计

3.1 结构体系

主桥采用墩梁固结、塔墩分离体系^[1],18号主墩

的中间主墩顶设固定支座,其余两个设横向滑移单向支座,17号主墩的中间主墩设纵向滑移单向支座,其余两个设双向活动支座。边墩设置双支座,1个纵向滑移单向支座,1个双向活动支座。

3.2 桥塔设计

桥塔整体为圆弧曲线弯塔造型(见图4)。主塔自梁顶面总高为20 m,横桥向双塔呈八字造型,塔身以弧线型向外弯曲,中心线处曲线半径8.286 m,塔顶与塔底连线与铅垂线夹角7.4°。塔身为变截面,塔底尺寸2.0 m(横)×3.5 m(顺)(见图5),塔顶尺寸3.09 m(横)×4.5 m(顺)(见图6)。为丰富立面造型,塔身四面刻槽,槽深10 cm。塔身以奶白色为主,槽身采用淡天蓝色。

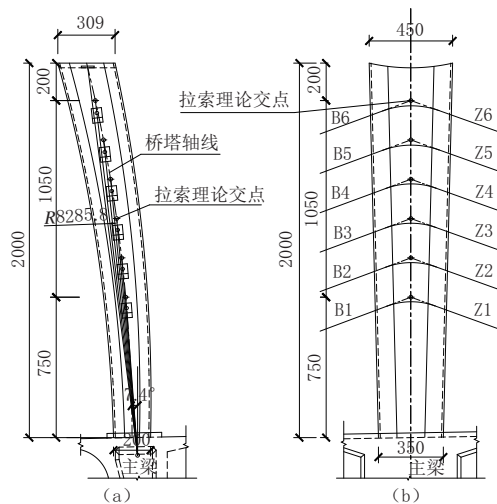


图4 桥塔立面(单位:cm)

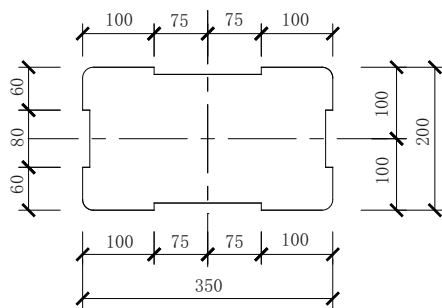


图5 塔顶断面(单位:cm)

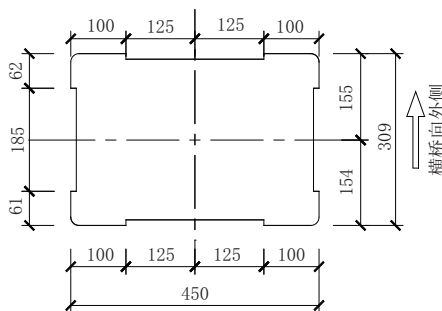


图6 塔底断面(单位:cm)

3.3 桥墩设计

主墩为三柱式墩,柱顶微扩,边立柱顶设外倾挡块。为保持桥墩整体统一,三立柱尺寸相同,顺桥向尺寸为满足 3‰ 的阻水率要求,仅可做到 2.7 m(见图 7),因此立柱底尺寸为 6.0(横)×2.7 m(顺),立柱顶尺寸为 7.6(横)×2.7 m(顺),倒角尺寸为 0.9(横)×0.75 m(顺)。

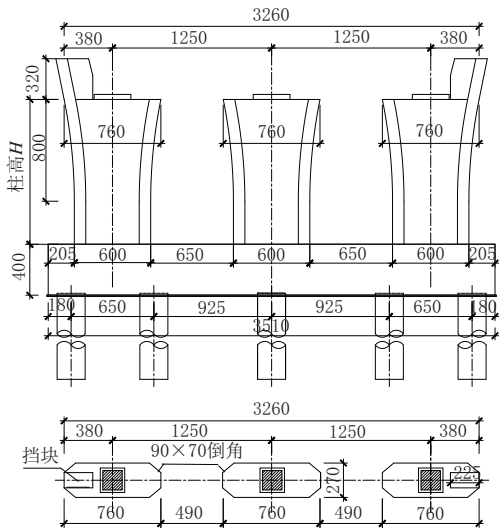


图 7 主墩横断面及柱顶平面图(单位:cm)

主墩承台为矩形钢筋混凝土承台,为减小阻水率,将承台埋入河床面以下 2 m,承台厚 4 m。承台平面尺寸 35.1(横)×14.6 m(顺)。承台下设 15 根 2.2 m 的灌注桩,桩长 30 m,桩底持力层为中风化泥质粉砂岩。

边墩为两柱式门形墩(见图 8),柱顶略向外扩,呼应引桥的花瓶墩。立柱尺寸底为 2.5m(横)×2.0 m(顺),柱顶为 2.95m(横)×3.1 m(顺)。承台为分离式方形承台,承台中心间距 13.45 m,承台尺寸为 6.3 m×6.3 m。每个承台下方设 4 根 1.5 m 钻孔桩,桩长 22 m(16 号墩)、26 m(19 号墩),桩底持力层为中风化泥质粉砂岩。

3.4 主梁设计

主梁横断面为单箱五室的斜腹板箱梁,断面共设 6 道腹板。箱梁顶板设 2.0% 横坡,底板同坡。箱梁底宽 28.558~27.698 m,顶宽 37.5~40.4 m(见图 9、图 10);顶板挑臂长度 4.00~5.75 m。中箱顶板厚度 0.3~0.4 m,底板厚 0.26~0.60 m。三个中箱中墩墩顶处腹板厚度为 0.9 m,跨中处腹板厚度为 0.6 m。两个小边箱为拉索锚固箱,顶板厚 0.5 m,底板厚 0.26~0.60 m。

箱梁立面为变高度梁,中支点梁高 4.3 m,跨中梁高 2.5 m,梁底曲线为 1.7 次抛物线。中墩墩顶和

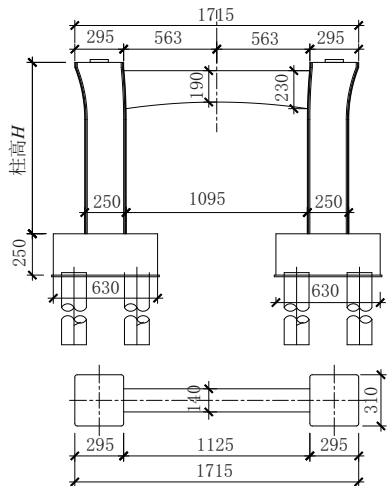


图 8 边墩横断面及柱顶平面(单位:cm)

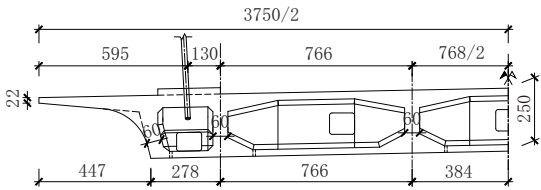


图 9 拉索断面(单位:cm)

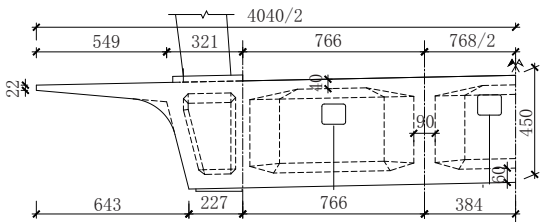


图 10 主墩顶断面(单位:cm)

边墩顶均设置横梁,中墩顶横梁厚 2.5 m,中墩横梁与桥塔塔身固结,固结点处横梁厚 4.5 m;边墩顶横梁厚 1.50 m。

对应拉索锚固区域,设置张拉和锚固斜拉索的锚固横隔梁,厚 0.45~0.60 m。横隔梁上均留有人孔,以方便施工和养护人员进出。

连续箱梁为三向预应力体系,设置有纵向预应力钢束,横梁及桥面板布置横向预应力钢束,腹板竖向布置预应力精轧螺纹钢筋。

3.5 斜拉索及锚固设计^[2]

斜拉索为空间双索面竖琴型结构,采用填充型环氧钢绞线拉索体系,其在箱梁上的中心距为 6.0 m,在桥塔上理论交点的中心距为 2.1 m。每个桥塔的每一索面设置 6 对斜拉索,每根拉索均采用 55 孔 $\phi 15.2$ 钢绞线。

塔上索鞍采用菱形分丝管结构。拉索的抗滑体系通过菱形分丝管与索股之间的自锁功能以及其间的抗滑摩擦共同组成,确保索股不产生滑移。

梁端锚固区(见图 11)在对应横隔板处设置锚

块,锚块内设置有70 mm厚锚垫板,拉索锚筒通过加劲板和焊缝连接在锚垫板上。为加强锚固节点性能,在锚筒上焊接有喇叭筋,锚固端设置有螺旋钢筋和弧形抗拉钢筋,箱梁顶缘设置有锚固钢板与锚筒焊接。

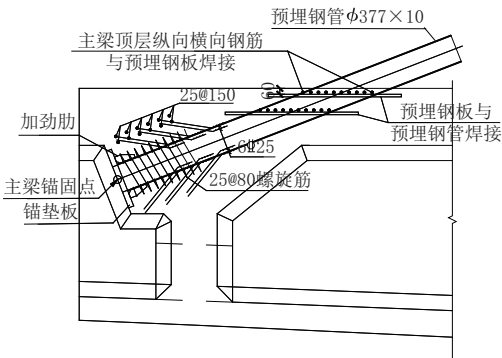


图 11 拉索锚固区构造

4 结构计算分析

4.1 结构建模

采用 MIDAS Civil V890 空间有限元程序对主桥进行分析,计算模型如图 12 所示。斜拉索采用桁架单元模拟,主塔、主梁采用梁单元模拟,支座按照实际滑动方向采用弹性支撑模拟。全桥共 378 个梁单元,96 个桁架单元,441 个节点。



图 12 计算模型

4.2 主梁承载能力验算

按照箱梁的配束进行截面极限承载力验算(图 13、图 14),支点弯-1 463 953.5 kN·m,跨中弯矩 399 183.9 kN·m,满足抗弯承载能力要求。

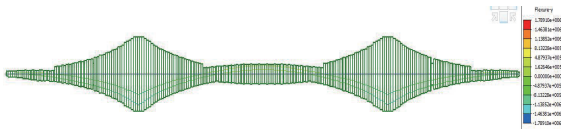


图 13 弯矩包络图及抗力包络图

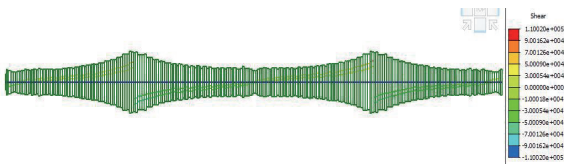


图 14 剪力包络图及抗力包络图

中支点最大剪力 9.0×10^4 kN,边支点最大剪力 5.0×10^4 kN,满足最大抗剪承载力要求。

4.3 主梁正常使用状态验算

主跨大于 100 m,主梁需按全预应力构件进行验

表 1 主梁承载能力验算 单位: 10^4 kN·m

位置	弯矩	抗力	位置	剪力	抗力
跨中 $M_{\max}$	40	48.0	边支点	-1.5	-4.1
支点 $M_{\max}$	-15	-18	中支点	-7.8	-10.5

算。主梁上缘在中支点处的拉应力(见图 15)为 1.04 MPa,按公路《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)中第 4.3.5 条对支点负弯矩进行消峰,可消峰应力 1.28 MPa,消峰后支点顶缘应力为 $1.04 - 1.28 = -0.24$ MPa,未出现拉应力,满足规范要求。主梁下缘(见图 16)全部处于受压状态,满足规范要求。

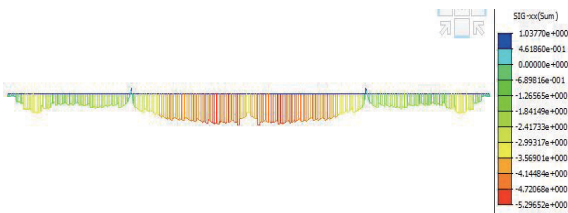


图 15 频遇组合效应上缘最小正应力图



图 16 频遇组合效应下缘最小正应力图

验算结构斜截面抗裂时应对构件斜截面混凝土的主拉应力进行验算,对于全预应力构件,在荷载频遇组合下应满足不大于 1.14 MPa,本桥最大主拉应力 0.87 MPa(见图 17),满足要求。

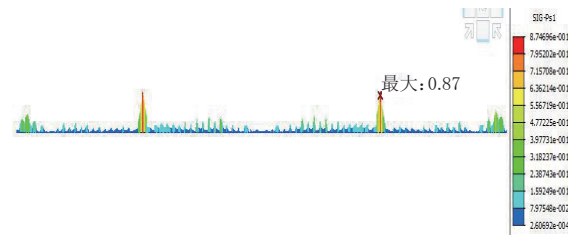


图 17 频遇组合主拉应力图

4.4 桥塔验算

本桥塔为外倾斜塔,通过调整桥塔的倾斜角度,将拉索的索力和桥塔的重力互相平衡,使塔底基本不出现恒载弯矩,极大降低了桥塔内力。采用 MIDAS Civil 对桥塔进行建模计算,其抗压和抗弯内力见图 18 及图 19),验算结果见表 2 及表 3。

在频遇效应组合下,桥塔最不利截面最小压应力为 0.58 MPa,全截面受压,不会出现裂缝。

期间混凝土处于潮湿状态,每节段混凝土养护并成强后,可施工下一节段。

5.3 主梁施工

主梁采用数控智能菱形挂篮悬浇施工,每侧共分为17个节段,最初节段3.75 m,最重梁段394 t。0#块施工完毕后,在0#块上安装挂篮,挂篮需进行预压重。断面采用全断面一次浇筑,对于主梁有索区5#~15#节段,每施工两个节段安装一对斜拉索。

先进行边跨合龙段施工,在浇筑边跨合龙段混凝土的过程中,边浇筑边拆除边跨配重,完成边跨体系转换。

中跨合龙施工前,为消除中跨下缘拉应力,两端分别施加220 t压重(不含对挂篮拆除前对挂篮的置换压重),边浇筑合龙混凝土边拆除配重,完成体系转换;必要时进行二次调索。

整个施工期间不中断浏阳河通航。

6 结 语

金桂路跨浏阳河大桥是一座跨径64 m+120 m+64 m八字弯塔矮塔斜拉桥,该桥已于2025年底建成

通车,至今已安全运行1年,该桥的建设极大地方便了浏阳河两岸的交通出行。本文从该桥的设计构造、结构分析及施工方案做了全面介绍,对类似桥梁的设计及施工具有一定的参考及借鉴意义^[4]。

参考文献:

- [1] 陆宏伟. A15大蒸港矮塔斜拉桥的设计及关键技术[J]. 城市道桥与防洪, 2010(4): 46-49.
- [2] 吴忠, 徐杰. 部分斜拉桥斜拉索塔上锚固技术[J]. 上海: 城市道桥与防洪, 2010(6): 28-30.
- [3] 齐新, 陆宏伟, 秘志辉, 等. 无锡市清宁大桥矮塔斜拉桥设计[J]. 城市道桥与防洪, 2010(8): 75-82.
- [4] 黄逸群. S形曲线双斜塔斜拉桥的总体设计及技术特点[J]. 城市道桥与防洪, 2025(4): 68-72.
- [5] 贾栋, 王建光, 黄蜂. 宽体矮塔斜拉桥设计与计算[J]. 桥梁结构, 2016(9): 132-134.
- [6] JTG D60—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].
- [8] JTGT 3365-01—2020 公路斜拉桥设计规范[S].
- [9] JTG D64-01—2015 公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [10] 范立础. 桥梁工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [11] 黄融. 东海大桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.

(上接第157页)

重庆: 重庆交通大学, 2016.

- [3] 宋翠颖, 王鹤玲, 田泽尚, 等. 需求响应式公交车辆调度模型和算法研究综述[J]. 北京交通大学学报, 2023, 47(4): 31-44.
- [4] 靳文舟, 杜昊, 巫威眺. 基于ALNS-TS算法的半灵活型需求响应公交调度问题[J]. 深圳大学学报(理工版), 2023, 40(4): 425-434.
- [5] 赫雪婷, 镇璐. 需求响应式公交中考虑即时订单的线路重调度优化[J]. 中国管理科学, 2023, 31(3): 113-123.
- [6] 尹婷婷. 基于大数据的公交调度规则研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [7] 张文波, 左珂璠, 王岳平, 等. 定制公交居民出行方式选择影响因素研究[J]. 山东科学, 2021, 34(6): 97-105.
- [8] 李文勇, 高斌, 棋廉冠. 基于层次聚类的微循环公交线网规划方法[J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44(11): 166-168.

- [9] 张长隆, 杨晓光, 戴金刚, 等. 车路协同环境下定制公交规划设计与运行效果评价——以长沙市通勤定制公交为例[J]. 城市交通, 2024, 22(6): 79-88.
- [10] Javier Alonso-Mora, Samitha Samaranayake, Alex Wallar, Emilio Frazzoli, Daniela Rus. On-demand high-capacity ride-sharing via dynamic trip-vehicle assignment[J]. PNAS, 2017, 114(3): 462-467.
- [11] Corinne Mulley, H Ma, Geoffrey Clifton. Performance assessment of demand-responsive feeder bus services in industrial suburbs[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2020, 139: 103247.
- [12] MESHKANI S M, FARAZMAND S, BOUGUILA N, et al. Innovative on-demand transit for first-mile trips: a cutting-edge approach[J]. Transportation Research Record, 2024, 2678(11): 122-136.