

本溪市小华山大桥主桥设计

荆友璋, 孙一鸣

[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: 结合本溪市小华山大桥工程实例, 介绍了桥梁的工程概况、总体布置、结构设计以及静动力计算分析过程, 对不同结构体系的混凝土斜拉桥进行了受力分析比较, 对塔梁固结固关键节点进行了实体有限元局部分析及优化设计, 可为日后近似跨径双主肋混凝土斜拉桥的设计提供参考。

关键词: 小华山大桥; 预应力混凝土斜拉桥; 双主肋; 塔梁固结

中图分类号: U422.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)02-0083-04

Design of Main Bridge of Xiaohuashan Bridge in Benxi City

Jing Youzhang, SUN Yiming

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

Abstract: Combined with the Benxi Xiaohuashan Bridge Project, the engineering situation, overall layout, structural design, and static and dynamic calculation and analysis of the bridge are introduced. The stress analysis and comparison of concrete cable-stayed bridges with different structural systems are carried out. The solid finite element local analysis and optimization of the key nodes of the pylon-beam consolidation are carried out, which can provide the reference for the design of similar span double-rib concrete cable-stayed bridges in the future.

Keywords: Xiaohuashan Bridge; prestressed concrete cable-stayed bridge; double main rib; pylon-beam consolidation

1 工程概况

小华山大桥地接明山区太子河的南北两岸, 是两大经济区之间跨越太子河的重要交通纽带。

主桥为(75+158+75)m的双塔双索面塔梁固结塔墩分离体系预应力混凝土斜拉桥, 桥宽29 m, 总长315.16 m。

主桥桥塔采用了对称的交叉曲线横梁, 造型独特, 好似绽放的烟花, 也如同茂盛的君子兰, 美丽而优雅。桥梁最终效果如图1所示。

2 主要技术标准

(1)设计荷载标准: 汽车荷载为城—A级; 人群荷载按现行《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—2011)^[1]取值为2.7 kPa。

(2)桥梁设计基准期: 100 a。



图1 小华山大桥效果图

(3)设计使用年限: 主梁、主塔、桥墩、桥台以及基础的设计使用年限均为100 a。

(5)抗震标准: 基本烈度为7度, 动峰值加速度为0.1g, 抗震设防类别为甲类, 按8度区抗震措施设防。

(7)太子河通航标准: 不通航。

(8)300 a一遇设计水位: 113.61 m。

3 总体布置

3.1 立面布置

跨径布置为(75+158+75)m, 三跨一联。桥塔为竖直双塔, 塔梁固结, 水中双主墩, 塔墩处分离设置支座, 无辅墩。

收稿日期: 2024-03-11

作者简介: 荆友璋(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。

通信作者: 孙一鸣(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。电子信箱: sunyiming@smedi.com

3.2 横断面布置

桥面为整幅布置:0.35 m(栏杆)+2.75 m(人行道)+0.25 m(护索栏杆)+2.1 m(护索区)+0.5 m(防撞护栏)+15.5 m(机动车道)+0.5 m(防撞护栏)+2.1 m(护索区)+0.25 m(护索栏杆)+2.75 m(人行道)+0.35 m(栏杆)=27.4 m。在桥塔处,人行道加宽至2.9 m,护索区加宽至2.75 m。

4 结构设计

4.1 主梁

主梁为三跨预应力混凝土双主肋梁,在梁顶设坡度为2%的双向横坡,梁底横坡的坡度为0。主梁道路中心线处梁高2.5 m,主肋中心处梁高2.308 m,主梁梁高全桥不变。桥梁立面布置图如图2所示。

主梁断面对称于道路设计中心线,梁肋标准宽度为2.1 m,至索塔处渐变为3.6 m。主梁顶板厚度为300 mm,在边跨压重范围设置底板,底板厚度为300 mm;在拉索处设置横隔板。桥梁横断面布置图如图3所示。

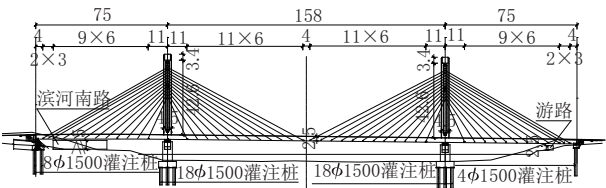


图2 小华山大桥立面布置图(单位:m)

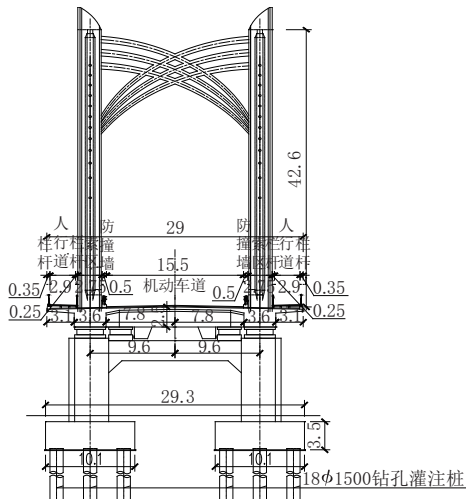


图3 小华山大桥横断面布置图(单位:m)

4.2 索塔

索塔横向为双柱分离式直塔,双塔中心距为19.2 m。索塔高度为42.792 m(不计塔冠),采用等截面五边形空心断面,横向宽度为2.65 m,纵向长度为4.5 m,塔底填芯段高度为1.5 m。

拉索锚固在塔壁内侧,采用齿块锚固的形式。

拉索锚固区使用环向预应力钢绞线,采用“井”字形布置;预应力钢绞线采用低回缩锚具并采用二次张拉工艺,以减小预应力损失。

塔冠采用三角形外形,高度设为3.4 m,在冠顶设置避雷针。

桥塔结构区位于车行道和人行道之间,桥塔间采用带有景观造型的钢结构横联连接。

主塔采用桩基承台基础,承台厚度为3.5 m,在每个桥塔下设置9根直径为1.5 m的钻孔灌注桩。

4.3 拉索系统

斜拉索使用双层防护的镀锌钢丝体系或其他同级产品,其在塔上理论交点的中心间距为11×1.5 m,在主梁上锚固点的中心距为2×3 m+9×6.0 m(边跨)和11×6.0 m(半中跨)。在每个桥塔的每一索面设置12对斜拉索。

5 不同结构体系受力分析

斜拉桥的结构体系可划分为漂浮体系、半漂浮体系、塔梁固结体系和塔墩梁固结体系。下文将对采用不同结构体系的主桥进行受力分析比较。

5.1 静力作用下不同结构体系受力分析

采用MIDAS Civil软件进行纵向整体计算,建立有限元模型如图4所示。对主梁、桥塔及桥墩采用梁单元模拟,对斜拉索采用桁架单元模拟。

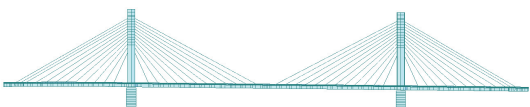


图4 塔梁固结斜拉桥有限元模型

(1)在标准组合下不同结构体系的主梁弯矩如图5至图7所示,主梁弯矩最大值如表1所列。



图5 塔梁固结体系主梁弯矩包络图



图6 塔墩梁固结体系主梁弯矩包络图



图7 半漂浮体系主梁弯矩包络图

表1 标准组合下主梁弯矩最大值表 单位:kN·m

位置	塔梁固结	塔墩梁固结	半漂浮
边跨跨中	36 466	39 523	49 278
中支点	33 642	52 910	23 578
中跨跨中	57 976	51 357	48 080

(2)标准组合下不同结构体系的主塔弯矩最大值如表2所列。

表2 标准组合下主塔弯矩最大值表 单位:kN·m

位置	塔梁固结	塔墩梁固结	半漂浮
塔柱底部	-29 140	-88 725	-101 763

(2)标准组合下不同结构体系的主墩弯矩最大值如表3所列。

表3 标准组合下主墩弯矩最大值表 单位:kN·m

位置	塔梁固结	塔墩梁固结	半漂浮
主墩墩底	7 100	1 179 274	150 604

由以上计算分析可见,在静力作用下,三种结构体系中主梁的受力状态较为接近,其中塔梁固结体系与半漂浮体系的受力略小;而采用塔梁固结体系时,上塔柱的底部弯矩和桥墩的底部弯矩均小于另两种体系。因此在静力工况下,采用塔梁固结体系斜拉桥能够使主体结构的受力更小。

5.2 地震作用下不同结构体系受力分析

利用有限元软件 MIDAS Civil,建立小华山斜拉桥全桥的动力分析模型。针对上部结构与桥墩之间的减隔震支座,根据支座的布置位置和支座特性用“线性连接”或“非线性连接”进行模拟。

(1)纵向地震作用下,不同结构体系的主梁弯矩如图8至图10所示,主梁弯矩最大值如表4所列。



图8 塔梁固结体系主梁弯矩包络图



图9 塔墩梁固结体系主梁弯矩包络图



图10 半漂浮体系主梁弯矩包络图

表4 纵向地震作用下主梁弯矩最大值

结构体系	塔梁固结	塔墩梁固结	半漂浮
弯矩极值/(kN·m)	14 084.2	17 443.66	24 500.5
增减幅度/%	—	23.85	73.96

(2)纵向地震作用下不同结构体系的主塔弯矩最大值如表5所列。

表5 纵向地震作用下主塔弯矩最大值表

结构体系	塔梁固结	塔墩梁固结	半漂浮
弯矩极值/(kN·m)	7 736.72	14 787.3	66 581.4
增减幅度/%	—	91.13	760.59

(3)纵向地震作用下不同结构体系的桥墩弯矩最大值如表6所列。

由以上计算分析可见,在纵向地震作用下,塔梁固结体系下主梁和主塔产生的内力小于其余两种结

表6 纵向地震作用下桥墩弯矩最大值表

结构体系	塔梁固结	塔墩梁固结	半漂浮
弯矩极值/(kN·m)	92 313.2	60 963.2	96 424.8
增减幅度/%	—	-33.96	4.45

构体系产生的内力;因此认为在塔梁固结体系下,主梁和主塔的受力相对更小。同时本项目中纵向地震不控制设计。

5.3 塔梁结合段结构的设计与分析

(1)塔梁结合段结构设计参数

小华山斜拉桥主梁为三跨预应力混凝土双主肋梁,标准桥宽为 27.4 m,桥塔处加宽至 29 m,梁肋标准宽度为 2.1 m,至索塔处渐变为 3.6 m。主梁顶板厚 300 mm,主墩横梁厚 3.50 m。索塔横向为双柱分离式直塔,桥面以上的塔柱高约 46 m,两主塔均采用塔、梁固结体系,采用双索面塔梁固结的结构形式。主梁为预应力钢筋混凝土梁,主塔为钢筋混凝土塔,在主墩顶设置支座。塔梁固结处的构造如图 11 所示。

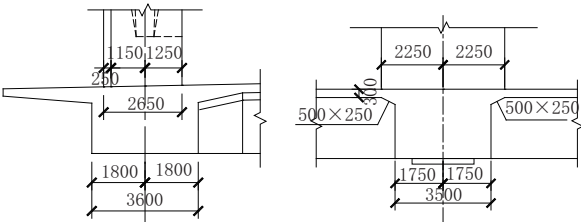


图11 塔梁固结段构造图(单位:mm)

(2)有限元模型的建立

采用大型通用有限元软件 ABAQUS 建立实体模型,分析塔梁固结处的结构受力情况,其空间局部模型如图 12 所示。

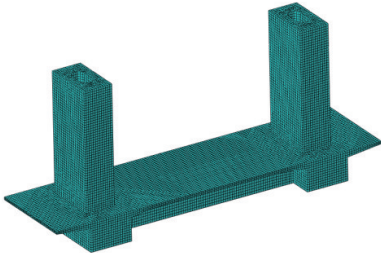


图12 塔梁固结段构造图

(3)计算结果分析

施加最大支座反力,作为最不利竖向压力荷载,分析得到桥塔和主梁的主应力,应力云图如图 13 所示。

由图 13 可见,塔底实心段顶面纵横向的拉应力分别为 4.192 MPa 和 3.075 MPa,塔梁结合面纵横向的拉应力为 3.184 MPa 和 1.323 MPa。综上,桥塔实心段

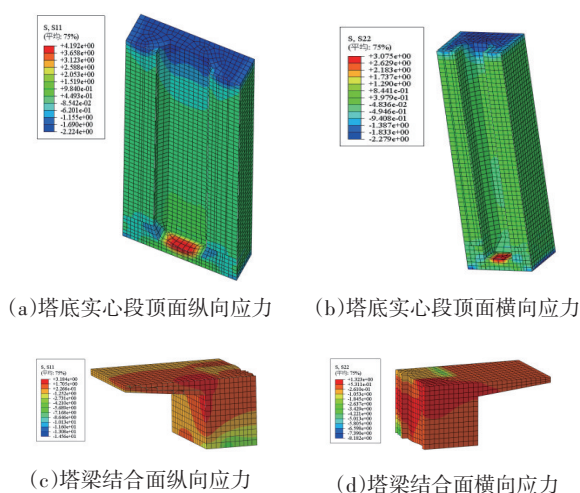


图13 极限工况下塔梁固结处局部应力云图(单位:MPa)

局部的纵向应力较大,仅通过配筋难以满足该结构受力要求,故需要对塔梁固结处构造设计进行优化。

(4)结构优化设计经采用不同倒角尺寸进行试算,得出当倒角宽度为550 mm、倒角高度为1 500 mm,实心段为1 000 mm时,各部位的应力能够得到较大优化,塔底实心段顶面的纵横向拉应力将分别为3.278 MPa和2.639 MPa,塔梁结合面的纵横向拉应力为2.952 MPa和1.272 MPa。

6 结 语

本工程项目为对本溪市小华山大桥主桥的设计,主要包含下列设计要点。

(1)本溪市小华山大桥为双塔双索面塔梁固结塔墩分离体系预应力混凝土斜拉桥,总体布置和桥梁结构受力合理,造型简洁明快,建成后得到了当地群众的认可,成为了地标性建筑。

(2)主梁设计为三跨预应力混凝土双主肋梁,在

主梁内设纵向预应力和竖向预应力,横梁和横隔板设横向预应力,纵向、横向按A预应力构件设计;索塔横向为双柱分离式直塔,塔梁固结、塔墩分离。

(3)通过利用有限元软件进行静力、动力计算分析,比较了斜拉桥在塔梁固结、塔墩梁固结和半漂浮三种结构体系下,上下部的结构受力情况,结果显示在静力作用下,三种结构体系的主梁受力状态较为接近,而采用塔梁固结体系时上塔柱底部弯矩和桥墩底部弯矩均相对较小;在纵向地震作用下,塔梁固结体系主梁和主塔产生的内力小于其余两种结构体系产生的内力;此外,本项目不进行对纵向地震力的控制设计。

(4)在初始的塔梁固结设计方案中,塔底实心段顶面纵向局部应力达到了4.192 MPa,难以满足结构受力要求,因此通过实体有限元分析试算,得到了更合理的固结倒角尺寸;优化方案相较原设计方案,塔底实心顶面纵向应力减小了21.8%,横向应力减小了14.2%,塔梁结合面纵向应力减小了7.3%,横向应力减小了3.7%。

参考文献:

- [1] CJJ 11—2011,城市桥梁设计规范[S].
- [2] 林元培.斜拉桥[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [3] 周孟波.斜拉桥手册[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [4] 刘士林,王似舜.斜拉桥设计[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [5] 王伯惠.斜拉桥结构发展和中国经验(上册)[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [6] 王伯惠.斜拉桥结构发展和中国经验(下册)[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [7] 白鑫.大跨预应力混凝土斜拉桥模态与地震响应分析[J].交通建设与管理(桥梁与隧道工程版),2015(8):183-185.
- [8] 崔楠楠.斜拉桥预应力混凝土索塔锚固区受力性能与设计方法研究[D].广州:华南理工大学,2016.

(上接第82页)

在结构设计上,围绕本项目的特点、难点,除了充分考虑结构的安全性,更兼顾了桥型的美观性、经济性及施工的便利性等因素。

菱湖大桥已于2023年底顺利通车。菱湖大桥的建设打通了菱湖大道跨运河断头路、实现菱湖大道作为城市结构性主干路,协调城市组团间快速联系的重要交通功能,同时也是完善城市主干路网,缓

解、优化地区交通的重要举措。

参考文献:

- [1] 邵长宇.现代拱桥[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2021.
- [2] 杨泽伟,胡华,冀苏伟,等.惠州鹅城大桥主桥总体设计[J].世界桥梁,2022,50(6):7-13.
- [3] 冯希利,徐利平,张丛.大跨度中城市拱桥结构体系[J].城市道桥与防洪,2013(7):69-72.
- [4] 顾安邦.桥梁工程.北京:人民交通出版社股份有限公司,2000.