

异形拱塔斜拉桥设计

刘兆丰^{1,2}, 张铭², 戴小冬²

(1. 湖南工程学院 建筑工程学院, 湖南 湘潭 411104; 2. 湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙 410008)

摘要:常德市紫菱西路奔桥河桥采用(90+90) m独塔双索面异形拱塔斜拉桥,主塔采用混凝土拱塔,线形为悬链线段及椭圆弧段组成的异形曲线,塔高71 m。主梁采用预应力混凝土双边肋主梁断面,宽度40 m。两侧斜拉索采用通索布置,通过索鞍与主塔锚固。基础为摩擦桩群桩基础。桥梁整体及局部实体模型的有限元分析结果表明,结构安全可靠。

关键词:斜拉桥;异形拱塔;拱轴线;双边肋主梁

中图分类号: U448.27

文献标志码: A

1 工程概况

常德市紫菱西路是常德市西城新区总体路网规划中的城市次干路,是构成常德市西城区干线的重要组成部分。奔桥河桥为次干道上的关键性控制工程,跨越新河水系奔桥河段。桥型为跨径(90+90) m的独塔双索面斜拉桥。索塔采用异形拱形索塔^[1-5],横梁以上拱顶为椭圆弧段,其余部位为两段悬链线曲线,主梁采用预应力混凝土双边肋主梁,双向预应力混凝土结构。桥梁效果图见图1,桥面布置见图2。



图1 桥型方案效果图

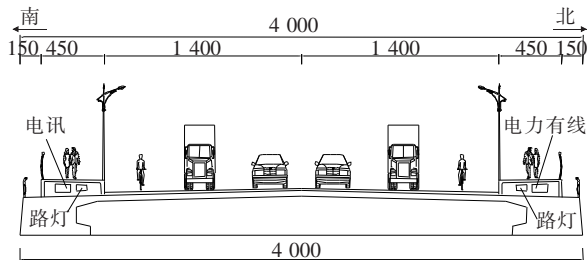


图2 桥面布置图(单位:cm)

桥梁宽度40.0 m,其中车道宽28.0 m,两侧人行道各宽4.5 m,两侧拉索区各1.5 m;设计荷载为城—A级;设计速度40 km/h;桥位区所在地域的地震动峰值加速度为0.15g,地震动反应谱特征周期为0.35 s。

2 景观构思

桥型方案力求美观、新颖、经济、实用,优先采用新技术、新工艺、新结构、新材料。方案构思新颖独特,造型美观、现代,拱塔如同新月,在碧绿的水面上,典雅、宁静。直线形的主梁、弧形的拱塔、曲面的斜拉索有机结合形成空间几何构图使结构立体感强,与周边环境交相辉映、浑然一体,在正面、侧面取得了桥外有景、桥内亦有景的立体景观效果,建成后将成为常德市的又一新地标性建筑。拱形桥塔结构符合中国古典拱门形式,烘托出拱门迎宾的感觉,展现出城市热情好客的情怀,预示着城市以自己宽广的胸怀,海纳国内外所有先进的事物和理念,象征着城市美好的发展前景。

3 结构设计

3.1 主梁

从降低工程造价、便于施工及后期维护考虑,采用双向预应力混凝土结构,标准段主梁宽度40 m,顶面设2%的横坡。

收稿日期:2021-07-23

基金项目:贵州省科技支撑计划项目(编号:黔科合支撑[2021]一般330);湖南省自然科学基金资助项目(编号:2021JJ50104);湖南省教育厅优秀青年科学研究项目(编号:2013127)

作者简介:刘兆丰,男,博士,高级工程师, E-mail: lzf1126@163.com

主梁截面采用预应力混凝土双边肋主梁断面,主梁中心高 2.5 m,全宽 40 m,顶板厚 0.32 m,桥面板设 2% 的双向横坡。风嘴部分宽为 0.25 m。主梁标准横断面见图 3。主梁由主肋、桥面板和横梁组成。

标准段主梁肋外侧高 2.105 m,内侧高 2.18 m,上缘宽 3.75 m,下缘宽 4.00 m。两主肋净距 32 m。索塔根部主肋下缘加宽到 5.0 m,设 22 m 长的直线过渡段。

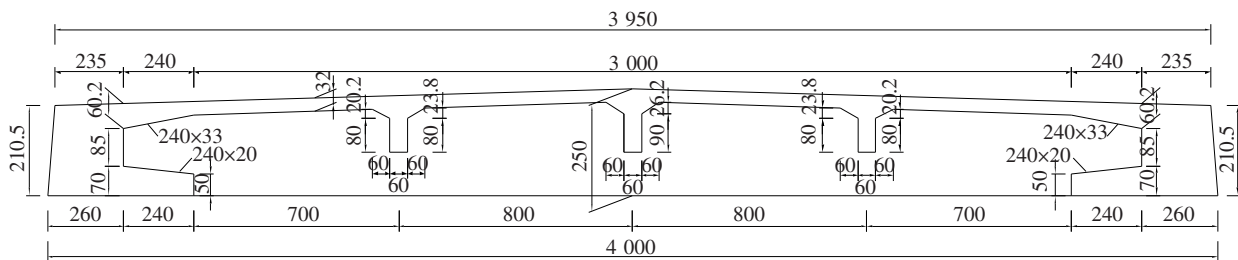


图3 主梁标准横断面(单位:cm)

每对斜拉索与主梁相交处、端部无索区、索塔区梁段均设横梁。拉索区横梁在桥梁中心线处高 2.3 m,端横梁及索塔处横梁在桥梁中心线处高 2.5 m。拉索区横梁厚度为 0.32 m,端横梁及索塔区梁段横梁厚 2 m。

主梁纵向共划分 17 个节段,分为索塔区 0[#]段、标准梁段和边支点段。0[#]段总长 10 m;标准段共 14 个,梁段长 12.0 m;边支点段 2 个,长 11 m。

主梁采用支架现浇施工,梁顶设 6 cm 现浇调平层。主梁按全预应力混凝土构件设计,采用 C55 混凝土。

3.2 拱塔

因桥梁跨径较小,考虑景观因素,不宜将索塔截面做得太大,结合该桥实际情况,索塔采用混凝土实体矩形断面,桥塔下塔柱在侧面分为两肢,形成“倒 Y”造型。索塔与基础固结,桥塔横向采用拱形造型,横向宽 3.0 m,纵向宽度上塔柱为 4 m,下塔柱分为两肢 231.8~380 cm,塔高 71 m,桥面以上索塔高 62 m。

横梁以上拱顶段为椭圆形,长轴半径 $a=2\,984.8$ cm,短轴半径 $b=1\,633.8$ cm。横梁以下塔柱为悬链线,跨径 $L=4\,435$ cm,矢高 $f=6\,850$ cm,拱轴系数 $m=30$ 。

3.3 斜拉索

斜拉索采用环氧涂层钢绞线拉索,采用四层防护体系,分别为钢绞线间外喷环氧涂层、钢绞线间无黏结筋专用油脂、钢绞线束的 HDPE 护层和整体索外包 HDPE 护套,斜拉索根据计算采用了 $\phi 15.2-91$ 、 $\phi 15.2-73$ 、 $\phi 15.2-55$ 三个规格的钢绞线,张拉端为拉索群锚体系。斜拉索为空间双索面双排索,梁上索距 6 m,塔上索距 2 m。斜拉索设计寿命为 30 年,并

考虑其可更换性。

索塔锚固方案:斜拉索穿过索塔,采用分丝管索鞍锚固结构,分丝管鞍结构由多根平行的导向钢管组焊而成,导向钢管根据梁端锚具孔位排布,拉索的每一根钢绞线穿过相应的导向钢管,形成分离布置,对称锚固于两侧主梁上。

3.4 下部结构

桥墩:墩身为矩形立柱,独立于桥塔,与承台固结。上、下游塔柱(墩身)下承台相互分离,承台为方形,厚 4 m,每个承台下设 2.0 m 的圆形桩 9 根,桩长 65 m,为摩擦桩群桩基础。

桥台:为下设带承台桩基的组合式桥台,桥台下设直径 1.5 m 的桩 10 根,为摩擦桩群桩基础。

4 施工方案

4.1 下部结构

采用比较常规的方法,搭设平台,插打钢护筒,钻孔,浇注混凝土成桩,然后下钢套管围堰、浇注封底混凝土后浇注承台混凝土,采用泵送浇注施工,浇注承台混凝土时,要有冷却管等降低混凝土内部水化热的相应措施。

4.2 上部结构

主梁:该桥施工先于河道开挖,采用满堂支架法现浇主梁,节省工程造价。

主塔:塔柱采用常规的分节段施工方法,承台施工后安装塔吊,拼装劲性骨架,立模并绑扎钢筋,自下而上分节段施工。由于桥塔外形为曲线,每节段模板外形都不相同,为减少模板用量,需合理安排施工组织,利用塔柱的对称性,采用塔柱错节段的施工方法,尽量

减少模板用量。由于塔柱内倾,每 5 m 左右设置一道临时横撑杆以平衡内倾力。塔顶处利用塔吊及横撑搭设支架浇筑塔顶混凝土。

5 结构分析

5.1 有限元模型

采用 Midas/Civil 对桥梁结构进行施工、运营阶段中的结构静力、自振及稳定分析^[6-10]。采用梁单元模拟主梁、拱塔等构件,采用桁架单元模拟斜拉索,采用等效弹簧模拟桩土共同作用。有限元模型见图 4。

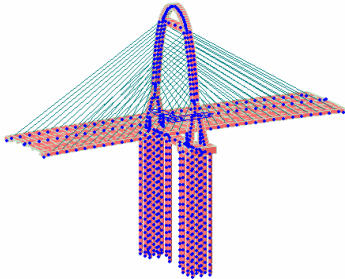


图 4 整体有限元模型

采用 Midas/FEA 建立主塔与斜拉索模型,进行拱塔空间有限元分析^[9-10],得到该区域详细的应力分布情况。主塔由 3D 实体单元模拟,斜拉索由 1D 梁单元模拟。模型底边界取塔柱底面,按前面整体有限元模型计算群桩基础整体支撑刚度对塔柱底面进行弹性约束。有限元模型见图 5。



图 5 拱塔实体有限元模型

5.2 整体受力分析

整体静力分析结果:主梁最大法向压应力为 14.00 MPa,最大法向拉应力为 1.27 MPa,最大主压应力为 12.79 MPa,最大主拉应力为 0.13 MPa。主塔最大法向压应力为 18.40 MPa,无拉应力,最大主压应力为 18.40 MPa,最大主拉应力为 2.65 MPa。均满足规范要求。

整体自振分析结果:桥梁自振基频为 0.58 Hz,振

型为主梁反对称竖弯。

整体稳定分析结果:1 阶失稳模态为主梁竖向失稳,相应的稳定安全系数为 33.92,整体稳定性满足规范要求。

5.3 拱塔空间受力分析

拱塔空间受力分析结果见图 6~10,拱塔横向最

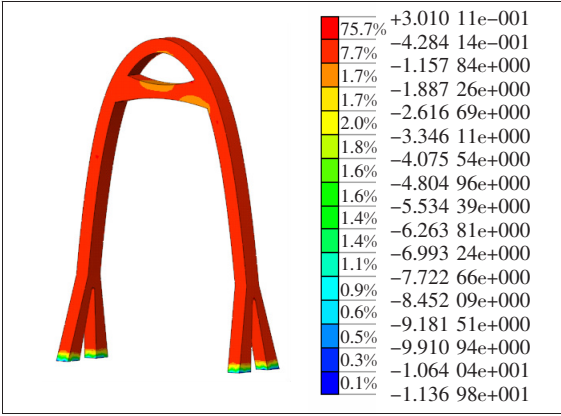


图 6 主塔横桥向正应力图(单位:MPa)

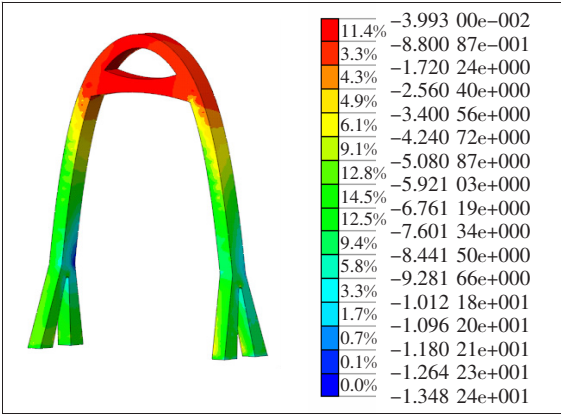


图 7 主塔竖向正应力图(单位:MPa)

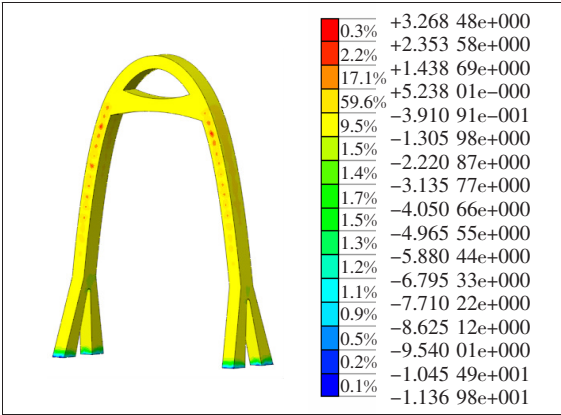


图 8 主塔纵桥向正应力图(单位:MPa)

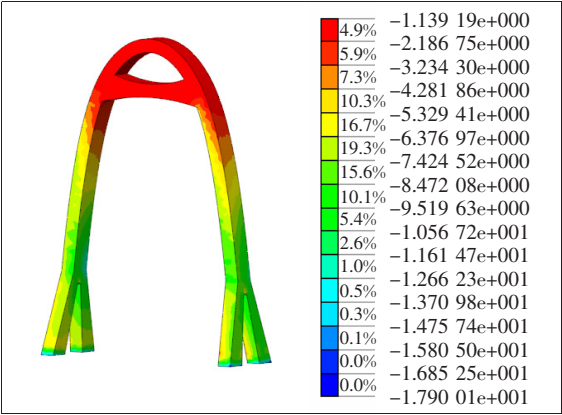


图9 主塔主压应力图(单位:MPa)

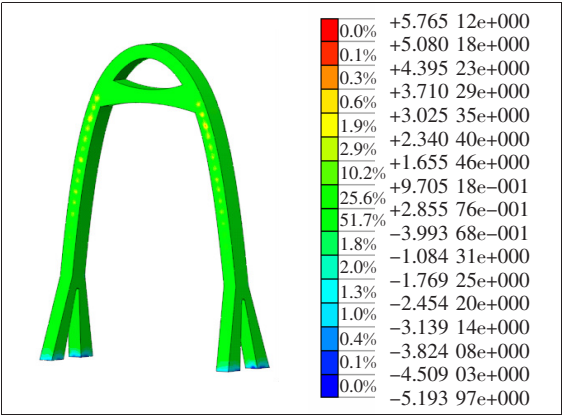


图10 主塔主拉应力图(单位:MPa)

大压应力为-11.40 MPa,最大拉应力为0.30 MPa;竖向最大压应力为-13.50 MPa,最大拉应力为0.04 MPa;纵桥向最大压应力为-11.37 MPa,最大拉应力为3.30 MPa(拉索锚固点应力集中处);最大主压应力为17.90 MPa、主拉应力为5.8 MPa(拉索锚固点应力集中处)。扣除拉索锚固点导致应力失真的位置,拱塔空间应力均满足规范要求。

6 结论

(1) 奔桥河桥在满足道路交通功能的前提下,兼顾景观效果,主桥设计为拱塔斜拉桥,结构布置合理,受力明确,体现了桥梁结构力与美的结合,结构整体静力分析、自振分析、整体稳定分析及拱塔空间受力分析结果表明,该异形拱塔斜拉桥结构安全可靠。

(2) 拱塔作为一个典型的空間异形结构,其受力状态是复杂、空間性的。必须建立空間实体模型,得出其空間受力状态,保证结构的安全。

参考文献:

[1] 罗志贤.三拱塔斜拉桥合理状态确定及施工控制研究[D].长沙:长沙理工大学,2012.

[2] 王晓波,苏中海,周永明,等.双套拱塔斜拉桥施工技术的研究与应用[J].建设科技,2012(S1):126-127.

[3] 李鑫,梁力,王福春,等.公路钢拱塔斜拉桥车致振动试验与数值分析[J].桥梁建设,2011,41(4):37-40,56.

[4] 李鑫.公路钢拱塔斜拉桥车致振动及地震响应研究[D].长春:东北大学,2011.

[5] 李冬,朱巍志,张哲.双套拱塔斜拉桥索力张拉优化及控制[J].桥梁建设,2012,42(4):107-112.

[6] 赵能亮.拱塔斜拉桥施工跟踪仿真计算与试验分析[D].合肥:合肥工业大学,2014.

[7] 雒建哲.拱塔斜拉桥设计参数及几何非线性分析[D].长沙:中南大学,2011.

[8] 霍学晋,韩立中.异型拱桥的几何非线性分析[J].公路交通科技,2013,30(7):46-53.

[9] 郝翠,王建国,曹新垒.拱塔斜拉桥预应力索塔锚固区节段应力分析[J].世界桥梁,2010,38(4):43-46,67.

[10] 郝翠,王建国,曹新垒.拱塔斜拉桥索塔锚固区应力分析[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2011,34(5):739-742,747.