

椭圆形钢塔双索面独塔斜拉桥设计

杨智贵

(广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510080)

摘要:灵新大道十七涌桥为椭圆形钢塔双索面独塔斜拉桥,是一种新颖独特的桥梁结构形式,主塔采用门拱构造,寓意经济腾飞,主梁采用鱼腹式断面,与主塔外形相呼应,整座桥梁造型优美。该桥为部分斜拉桥,主塔为钢混混合桥塔,下塔柱采用混凝土结构,其余为钢结构。主梁采用混凝土结构,墩梁处设支座连接,塔梁分离。该文从桥梁总体设计、结构设计两方面论述桥梁的设计思路 and 主要技术特点。采用有限元软件 Midas 建立梁格模型进行仿真分析,掌握了宽箱断面各腹板的受力特性,索力的传递规律与腹板受力不均匀性。其研究成果可为同类型桥梁设计、计算提供参考。

关键词:椭圆形钢塔;钢混混合塔;独塔斜拉桥;双索面

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)09-0064-03

1 工程概述

灵新大道工程位于南沙区珠江街、万顷沙镇,是一条西北至东南走向的道路。起点接二涌半番中公路,沿线跨越三涌~十八涌,下穿南沙港快速路,经百万葵园、南沙湿地,终点至十八涌半。全长约16.6 km。

十七涌桥位于灵新大道 K15+418.7 处,跨越万顷沙十七涌,桥轴线与航迹线正交。航道等级为内河 IX 级航道,单孔双向通航,通航孔净宽不小于 28.2 m,净高不小于 3 m,通航水位采用洪水重现期 5 a 一遇洪水位 5.966 m。

2 桥梁总体设计

2.1 需求定位

灵新大道改扩建工程属于广东省重点建设项目,道路连接自贸试验区明珠湾起步区、南沙枢纽、万顷沙保税港加工制造业区块,同时也为粤港深度合作区、南沙站综合交通枢纽提供交通支撑。其建设对解决区域交通问题、促进沿线经济发展有着非常重要的作用。根据规划,灵新大道是南沙新区南部重要的生态景观廊道。该工程结合区域发展规划、环境景观、地方历史文化特色等,按高标准、精细化建设全线跨河涌桥梁,全面提升道路景观标准,展现区域地方文化特色,打造城市文化新名片。

2.2 地形地貌

桥位处地势平坦,河涌水系发达,较好地保持了传统岭南水乡的地貌。

2.3 总体设计要点

2.3.1 平纵横布置

桥梁平面根据总体路线走向确定,位于半径为 1 500 m 的圆曲线上。桥梁南北侧纵坡均为 4.0%,竖曲线半径为 1 800 m。横断面考虑车道、人行道、拉索布置等,桥梁全宽 45.5 m,满足交通需求。

2.3.2 孔跨布置和桥型方案

桥梁为椭圆形钢塔双索面独塔斜拉桥,跨径布置为 (40+60+40) m,边中跨比为 0.667。主跨 60 m 跨越万顷沙十七涌,满足通航净空要求,见图 1、图 2 所示。

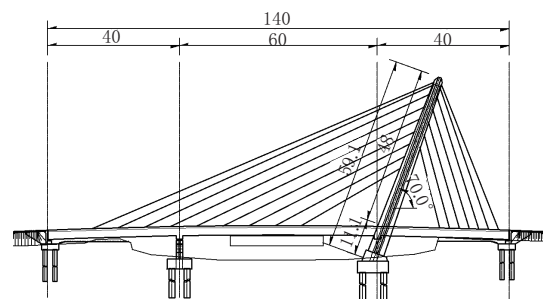


图1 桥梁桥型布置图(单位:m)



图2 桥梁效果图

收稿日期: 2021-12-30

作者简介: 杨智贵(1991—),男,本科,工程师,从事桥梁工程设计工作。

2.3.3 景观亮点设计

该桥的亮点在于采用拱辅斜拉桥结构,通过椭圆的“光门”桥塔造型,将视野导向广阔的天地,寓意着当地经济的腾飞。该桥的景观效果已获得业主认可。

3 桥梁结构设计

3.1 结构体系

该桥为部分斜拉桥,墩梁采用支座连接,塔梁分离。支座选用摩擦摆支座,规格有 7 000 kN、20 000 kN 两种,桥塔附近支座可约束主梁纵向变形,其余位置主梁可沿纵向自由活动。全桥共设置 16 对拉索,拉索水平力沿主梁轴向传递。

3.2 主墩

主墩采用流线型双柱墩,墩柱尺寸 2.0 m × 2.0 m,柱间设装饰横梁,横梁采用门拱造型,横梁宽 1.3 m,高 1.5~2.3 m。墩顶布置 20 000 kN 摩擦摆减隔震支座。

承台为工字型承台,厚度 3.0 m,承台下设 4 根直径 1.8 m 的桩基础,按嵌岩桩设计。

主墩构造见图 3 所示。

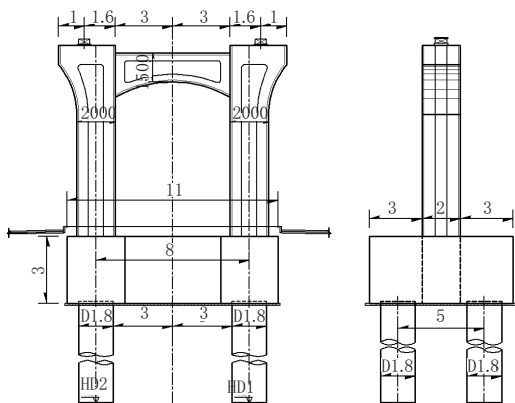


图3 主墩构造图(单位:m)

3.3 主塔及基础

主塔为变截面椭圆倾斜拱形结构,椭圆长轴 85.90 m,短轴 50.50 m。主塔在桥面以上部分为钢结构,桥面以下至主塔承台为钢筋混凝土结构。索塔横截面为不对称六边形,竖向外轮廓线条为椭圆造型。索塔于桥面以上部分斜高 48 m,以下混凝土塔斜高 11.1 m,索塔倾斜角度 70°。

下塔柱连接承台,承台厚度 3.5 m,承台下设 4 根直径 1.8 m 的群桩基础,承台相对于塔底设横向向外 1.0 m 的偏心,以抵消部分塔柱的不平衡弯矩。

主塔及基础构造见图 4 所示。

3.4 混合塔钢混结合段

钢混结合段作用是保证钢塔与混凝土塔刚度协

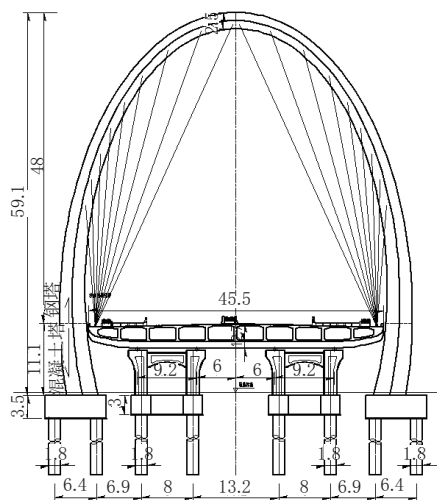


图4 主塔及基础构造图(单位:m)

调,保证传力顺畅,不出现应力集中和突变。该桥塔钢混段采用承压式连接,混凝土塔柱范围沿四周均布 28 根 $\Phi 15.2$ ~17 钢束,提供轴向压力,保证在承载力极限组合下混凝土段及钢混结合面处全截面受压。

结合段桥塔钢板厚 40 mm,沿纵向设置钢板肋条,肋条厚 24 mm,伸入混凝土 3.9 m,外露 2.4 m,伸入混凝土部分设置 $\Phi 60$ mm 钢筋孔,孔内穿 $\Phi 25$ mm 钢筋形成 PBL 剪力键。钢塔与混凝土塔之间设置 28 mm 钢板作为承压板,通过预应力与混凝土塔连接成整体。

3.5 主梁

主梁采用 C50 混凝土,跨径组合 40 m + 60 m + 40 m,截面形式为等高鱼腹式箱梁,梁高 2.7 m,中支点横梁位置局部加高 1.5 m,主梁高跨比 1/22.2。梁高自中心向外侧以 2% 的人字横坡变化,梁底水平。

主梁顶板宽 45.5 m,共分 10 个箱室,中间箱室宽 4.5 m,边箱室宽 3.25 m。主梁顶、底板厚 0.25~0.45 m,腹板厚 0.45~0.65 m,拉索区位于主梁最外侧,宽 1.5 m。

主梁按 A 类预应力构件设计,主梁钢束规格分别为 $\Phi 15.2$ ~12、15、17、18、21,分布在主梁腹板、中支点顶缘、跨中底缘位置。

主梁横断面图见图 5 所示。

3.6 斜拉索

拉索与主梁夹角为 23.1~76.3°,主跨侧梁上索距为 8 m,设拉索 9 对,边跨侧梁上索距为 3 m,设拉索 7 对。拉索采用整束挤压式钢绞线,钢绞线标准抗拉强度为 $f_{pk}=1\ 860$ MPa。斜拉索外裹热挤双层 PE 防护套,外层 PE 设置双螺旋线,以提高抵抗风振、雨振

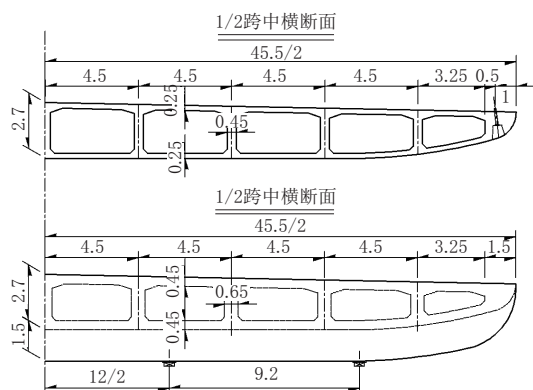


图5 主梁横断面图(单位:cm)

的能力。斜拉索在索塔端用叉耳式锚,在主梁端采用冷铸锚。拉索规格有 GJ15-5、15-7、15-9 三种,拉索设计安全系数大于 2.5^[4]。

4 整体结构计算

4.1 模型及参数

所示模型,根据桥梁实际几何尺寸,材料类型,施工顺序采用有限元软件 MIDAS 建立梁格模型进行分析。该模型共计 2 729 个单元,2 129 个节点。(见图 6)

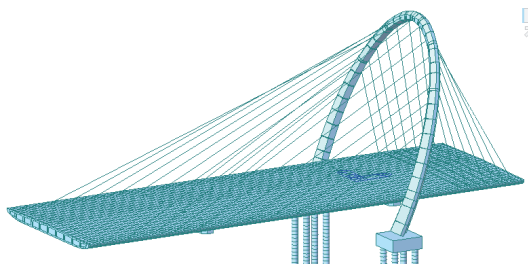


图6 全桥计算模型图

4.2 主要计算结果

4.2.1 主梁腹板内力

基本组合下主梁腹板内力结果见图 7 所示。

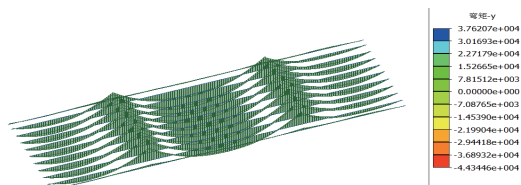


图7 基本组合下主梁内力结果图(单位:kN/m)

由图 7 可知,基本组合下,边腹板中支点处弯矩最大值为 37 300 kN·m,中腹板中支点处弯矩最大值为 44 260 kN·m,效应比值为 1:1.186,宽箱室腹板内力分布具有明显的不均匀性。

4.2.2 主梁应力

主梁按 A 类构件验算,频遇组合下,主梁顶、底缘均未出现拉应力,满足规范要求(见图 8)。其中:顶缘最小压应力为 1.6 MPa(中支点顶缘),底缘最小

压应力为 1.0 MPa(边支点底缘)。标准组合下,主梁最大压应力 11.1 MPa(中支点底缘) $<0.5 f_{ck}=0.5 \times 32.4=16.2$ MPa,均满足规范要求。

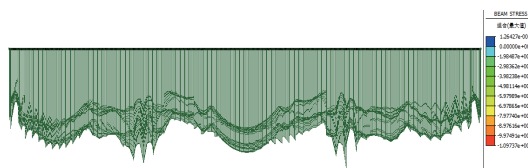


图8 频遇组合下腹板应力结果图(单位:MPa)

4.2.3 主塔应力

基本组合下,钢塔段最大应力为 94.8 MPa,小于 Q355C 钢容许应力值,下塔柱混凝土段最大拉应力为 4 MPa(见图 9)。下塔柱段共设置 24 束 17 孔钢绞线平衡拉应力,保证拱脚全截面受压。

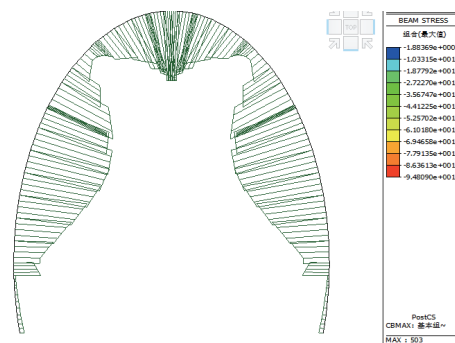


图9 基本组合下主塔应力结果图(单位:MPa)

4.2.4 拉索应力

该桥拉索与主梁夹角为 23.1~76.3°,主跨侧设拉索 9 对,边跨侧设拉索 7 对。主跨侧拉索最大拉应力 500.4 MPa,边跨侧拉索最大拉应力 504.5 MPa,拉索设计安全系数大于 2.5,均满足规范要求(见图 10)。

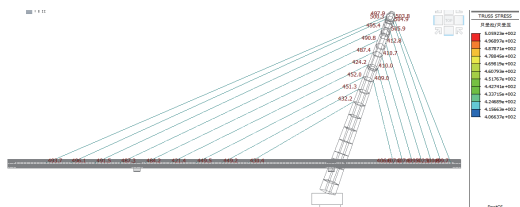


图10 基本组合下拉索应力结果图(单位:MPa)

4.2.5 必须加强局部效应的研究

随着国内交通运输事业的不断发展,中等跨径宽箱斜拉桥越来越多,宽桥空间效应明显,需重点关注轴力滞、剪力滞、弯扭耦合、横向计算等问题的研究,以能更好地指导设计。

5 结语

该桥作为灵新大道重要节点工程,其设计遵循“景观、功能”的原则,将桥塔设计为“光门”的造型,尽显桥梁柔性之美。整体结构在功能和形式上和谐统一,均衡稳定,给南沙区注入了新的生机与活力。

表 1 方案对比分析表

项 目	拆除新建拱桥方案	拆除新建斜拉桥方案	加固方案 + 两侧新建方案	加固方案	对比分析
造价 / 亿	彩虹桥主桥 7.2 引桥 4.0 匝道 2.1 总计 13.3	8.1 4.0 2.1 14.2	7.6 5.4 2.0 15	2.9 1.6 / 4.5	拆除新建方案造价高(包含完善京广路立交为全互通 2.1 亿元),但全寿命周期内相比更经济
工期 / 月	33	40	20	20	加固方案工期短,但使用寿命到期后仍需拆除,新建斜拉桥工期最长
使用年限 /a	100	100	加固(20~30)新建 100	20~30	拆除新建方案使用寿命更长
运营维护	正常养护	正常养护	正常养护 + 监测	正常养护 + 监测	加固方案除后期正常养护费外,增加连续监测,后期费用更高
对铁路影响	铁路净空 8.5 m	铁路净空 8.5 m	铁路净空 7.8 m	铁路净空 7.8 m	拆除新建方案铁路净空改善
交通功能	完善了科学大道 - 南阳路立交交通功能,立交与立交之间双向 8 车道	完善了科学大道 - 南阳路立交交通功能,立交与立交之间双向 8 车道	加固车道宽度双向 6 车道,新建双向 6 车道,两侧新建与京广快速路、南阳路立交不能衔接	加固后车道宽度双向 6 车道	拆除新建方案完善科学大道 - 南阳路交通功能,立交与立交之间双向 8 车道,完善京广路立交为全互通(或预留条件);两侧新建与京广快速路、南阳路立交不能衔接
荷载等级	城 -A 级	城 -A 级	加固城 -B 级 新建城 -A 级	城 -B 级(主桥) ^[2]	城 -B 级 =0.75 倍 × (城 -A 级)
行车速度	80 km/h	80 km/h	加固 50 km/h 新建 80 km/h	50 km/h(主桥)	
推荐意见	推 荐				

参考文献:

[1] 郑州铁路局郑州勘测设计院.郑州市北环路上跨铁路枢纽站 122 m+62 m+62 m+122 m 曲线下承式钢管混凝土桁梁立交桥施工图设计[Z].1994.
[2] 河南省交通规划设计研究院股份有限公司,中铁工程设计咨询集团有限公司.郑州市北环跨铁路编组站大桥主桥大修改造工程施工图设计[Z].2016.

[3] 郑州市政工程勘测设计研究院.彩虹桥引桥加固及交通优化方案汇报[R].2019.
[4] 河南省公路工程试验检测中心有限公司.郑州市北环跨编组站大桥定期检测及安全状态实时监控项目桥梁检查报告[R].2019.
[5] 陈宝春.钢管混凝土拱桥设计与施工[M].北京:人民交通出版社,1999.
[6] 王庭英,金志展.钢管混凝土桥梁钢结构制造与安装[M].北京:人民交通出版社,2003.

(上接第 66 页)

通过对大桥上、下部构造尺寸进行严谨的设计,并且通过仿真软件的验算分析,各项指标均满足规范要求,可为同类型桥梁设计、计算提供参考。

参考文献:

[1] 陈冠华.独塔斜拉桥组合桥塔设计与受力性能分析[J].中国市政工

程,2021(5):74-81.
[2] 牛伟迪.神农湖独塔斜拉桥设计分析[J].城市道桥与防洪,2021(6):79-84.
[3] 王子文,徐世文,邓露,郭金龙.变截面椭圆形独塔斜拉桥塔—梁结合段模型试验研究[J].中外公路,2019(4):83-88.
[4] JTG/T 3365-01—2020,公路斜拉桥设计规范[S].