

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.10.022

青岛墨水河大桥主桥设计

孙朝辉
[林同棧国际工程咨询(中国)有限公司, 重庆市 401121]

摘 要: 墨水河大桥主桥为 $2\times 90\text{ m}$ 单塔中央双索面斜拉桥。该桥采用塔梁墩固接体系。主梁采用分体式箱形截面钢主梁,桥面采用 STC 层铺装体系。桥塔采用矩形截面“人”字形钢结构塔,桥面以上塔高 48.6 m 。主墩为混凝土圆台式墩,承台为矩形截面,下设 12 根 $\phi 2.0\text{ m}$ 钻孔灌注桩。全桥共设置 36 根斜拉索,按中央双索面扇形布置,梁上索距 9 m ;塔上索距 $2.2\sim 2.628\text{ m}$,斜拉索采用 $\phi 7\text{ mm}$ 环氧喷涂钢丝拉索。采用 MIDAS Civil 有限元程序进行结构静力验算,结果表明该桥结构强度、刚度、稳定性均满足规范要求。

关键词: 斜拉桥;塔梁墩固接;钢塔;钢箱梁;中央双索面;桥梁设计

中图分类号: U448.27 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2021)10-0088-03

1 工程概况

长江路延伸工程南起东环路,北至正阳西路,全长 0.96 km 。墨水河大桥位于青岛市城阳区,为长江路跨墨水河新建桥梁。墨水河大桥对景观性要求较高,经方案设计论证后主桥采用两跨独塔中央双索面斜拉桥,桥梁造型取自展翅翱翔的白鹭之态,张力十足,轻盈优美。桥梁效果见图 1。



图 1 桥梁效果图

墨水河大桥全长 313 m ,主桥为 $2\times 90\text{ m}$ 单塔中央双索面斜拉桥。主桥立面布置见图 2。钢箱梁采用分体式箱形截面,桥梁中心线处梁高 3 m ,单幅桥宽 17.25 m ,联系横梁长度 5 m ,桥梁总宽度为 39.5 m 。桥塔采用“人”字形钢结构塔,塔高 48.6 m 。全桥共布置 18 对斜拉索,按中央双索面扇形布置。主墩采用圆台式墩,基础采用钻孔灌注桩基础;过渡墩采用 T 形花瓶墩,基础采用钻孔灌注桩基础。主梁采用顶推法施工,桥塔采用节段吊装后在空中焊接成形^[1]。

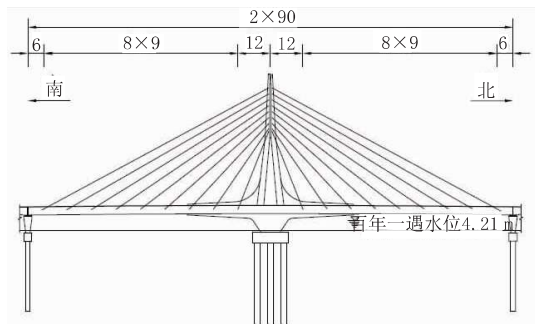


图 2 主桥立面布置图(单位:m)

2 主要技术标准

- (1)道路等级:城市主干路。
- (2)设计荷载:城-A 级。
- (3)设计行车速度: 50 km/h 。
- (4)设计车道:双向 6 车道。
- (5)桥面路幅分布: 2.5 m (人行道)+ 3.0 m (非机动车道)+ 11.75 m (车行道)+ 5 m (拉索区)+ 11.75 m (车行道)+ 3.0 m (非机动车道)+ 2.5 m (人行道)= 39.5 m 。
- (6)抗震设防:地震烈度为 7 度,地震动峰值加速度为 $0.1g$ 。
- (7)设计使用年限: 100 a 。

3 结构支承体系

斜拉桥的结构支承体系有:飘浮体系,塔墩固结、塔梁支承体系,塔梁固结、墩梁分离体系,塔梁墩固结体系 4 种结构支承体系^[2]。

飘浮体系的纵向水平力传力路径为:主梁→斜拉索→桥塔→下部结构^[2],因此桥塔下端须与主墩固接,

收稿日期: 2021-03-10
作者简介: 孙朝辉(1978—),男,本科,高级工程师,从事桥梁工程设计工作。

悬浮体系对抗震有利,但也有主梁位移量较大、对塔柱的压曲稳定不利的缺点。考虑到该桥为中央索面斜拉桥,桥面宽度 39.5 m,桥梁运行过程中的横向扭转振动问题不容忽视^[3]。塔、梁相互之间无联系将导致主梁约束较弱,不利于结构稳定,因此漂浮体系不适合。

由于该桥为独塔,且桥塔位于桥梁横桥向中心处,塔墩固结、塔梁支承体系在本设计中不可取。

塔梁固结、墩梁分离体系即塔柱下端与梁体固接后用支座支承在墩顶上。采用这种支承体系需采用大吨位支座,支座的养护、更换较困难。

塔梁墩固结体系对中小跨径的独塔双跨式斜拉桥比较适用,是独塔斜拉桥采用最多的支承体系^[4]。既避免了使用大型支座又增加了横向有效约束,结构整体刚度好。综合考虑,该桥采用塔梁墩固结体系。

4 结构设计

4.1 主梁

墨水河大桥主桥桥塔布置在桥面横向中心处,同时考虑景观镂空效果,因此主梁采用分体式箱形截面^[5],左右幅钢箱梁通过间隔布置的联系横梁连接,钢箱梁总宽 39.5 m。钢箱梁构造见图 3。斜拉索锚固在内主梁内边腹板外侧,锚点横向间距为 5 m,主梁单侧悬臂长度为 17.25 m,属于大悬臂结构。由于中央索面斜拉索提供的扭转约束比常规双索面小得多,在偏载作用下主梁扭转效应明显^[6]。因此钢主梁需提供较大的抗扭刚度。同时由于采用分体式钢箱梁构造,中间联系横梁是关键受力构件^[7],该横梁需承受横桥向的弯矩和轴力、活载偏载引起的扭转效应。因此主梁梁高由横向抗扭及横梁受力控制,梁高取 3 m。钢箱梁标准横断面见图 4。

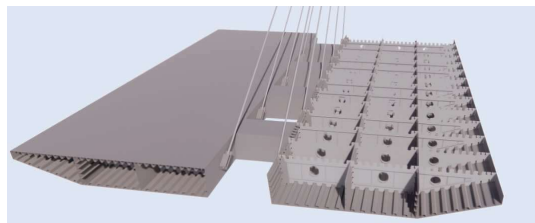


图 3 钢箱梁构造

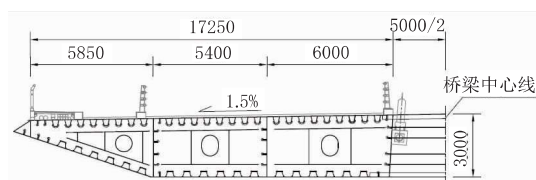


图 4 钢箱梁标准横断面图(单位:mm)

根据受力需要,顶板在顺桥向采用了 16 mm、24 mm、32 mm 三种不同的厚度。顶板采用 U 肋、板肋加劲,顶板 U 肋上口宽 320 mm,下口宽 180 mm,肋高 300 mm,U 肋厚度为 8 mm,U 肋基本间距 600 mm。

根据受力需要,底板在顺桥向采用了 12 mm、24 mm、32 mm 三种不同的厚度。底板采用 U 肋、板肋加劲,底板 U 肋下口宽 400 mm,上口宽 250 mm,肋高 260 mm,U 肋厚度为 6 mm,U 肋基本间距 800 mm。

中腹板、外边腹板厚度为 14 mm。内边腹板墩梁固结梁段厚度为 36 mm,其余梁段均为 30 mm。作为锚箱直接的传力构件,为保证其具有足够的抗压屈能力,通长设置了四道板肋加劲。在拉索锚固点腹板箱室内侧增设局部竖向和水平加劲板,以增大腹板刚度。内边腹板是钢锚箱直接锚固的板件,受力较为不利。局部存在面外变形以及板厚方向的应力,因此内边腹板采用 Z 向性能钢板,性能级别为 Z25。

横隔板采用实腹式。横隔板标准间距为 3.0 m。普通构造横隔板厚度为 12 mm、吊点位置横隔板厚度为 14 mm,横梁和主墩墩顶横隔板厚度为 24 mm。

横向联系横梁设置在两分离式钢箱之间,为箱形截面。横向联系横梁的腹板在纵桥向与钢箱梁横隔板相对应,顶底板与钢箱梁顶底板相接。标准段横向联系横梁顶板厚 16 mm,底板厚 12 mm,腹板厚 12 mm;端横梁及中墩处腹板厚均为 24 mm,顶底板分别为 32 和 24 mm。

为了提高桥面铺装的耐久性,钢箱梁铺装采用 50 mm 超高韧性混凝土(STC)+改性环氧树脂粘结层+40 mm 沥青铺装层。STC 层配置 $\phi 10@37.5$ mm 钢筋网片,钢箱梁顶板焊接规格为 13×40 mm 的剪力钉,剪力钉纵横向间距为 150 mm。

4.2 桥塔

钢塔柱纵横向均呈“人”字形结构,桥面以上桥塔高 48.6 m。为了方便现场安装架设,钢桥塔沿塔高方向划分节段,节段长度 3.9 ~ 11 m,最大节段重量约 35 t。桥塔构造见图 5。

拉索区塔柱为单箱双室箱形截面,下塔柱为四肢单箱单室箱形截面。塔根部单肢箱形截面尺寸为 $2.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ (顺桥向 $\times$ 横桥向),塔顶箱形截面尺寸为 $1.7 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$ (顺桥向 $\times$ 横桥向),中间截面尺寸按曲线和线性变化。

塔柱壁板厚度为 28 mm,横隔板的间距为 2.2 ~ 3.25 m,拉索区横隔板厚为 20 mm,非拉索区横隔板厚为 16 mm。

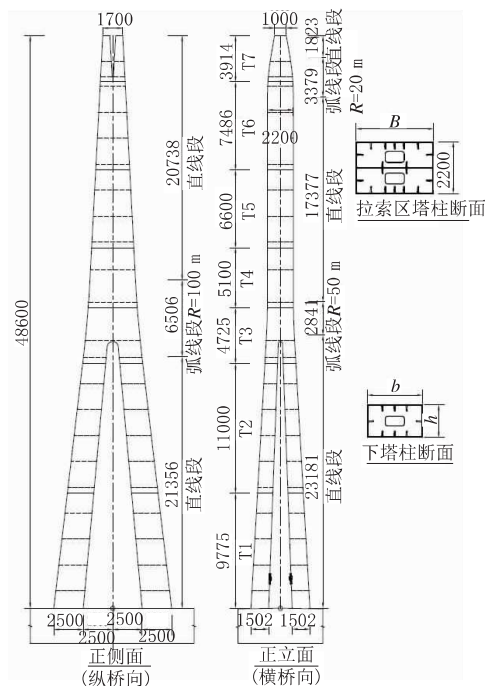


图5 桥塔构造(单位:mm)

4.3 塔梁墩固接段

塔梁墩采用钢-混凝土结合段的方式固结。在钢-混凝土接头处,桥塔钢结构锚固于桥墩混凝土内,锚固段钢构件上布置剪力键以及圆孔,圆孔内穿钢筋形成PBL剪力键,保证混凝土与结合段的传力和整体性。为增加钢混结合段处的刚度和可靠性,钢塔柱底部设置精轧螺纹预应力钢筋,精轧螺纹钢筋穿过垫板对应的开孔,通过预紧力使钢塔柱与混凝土桥墩紧密连接成一体。

4.4 斜拉索

全桥共设置18对共36根斜拉索。斜拉索采用中央双索面扇形布置,梁上索距9 m,塔上索距2.2~2.628 m。斜拉索采用 $\phi 7$ mm环氧喷涂钢丝,斜拉索规格为PES.E 7-127。钢丝标准强度为1 770 MPa。

斜拉索上锚点、下锚点均采用钢锚箱方式锚固,索梁锚固下锚点采用张拉端结构冷铸锚,索塔锚固上锚点采用固定端结构冷铸锚。

4.5 桥塔墩及过渡墩

桥塔墩为柱式墩,墩底为直径7 m圆形实心截面,向上渐变为直径13 m圆形实心截面。承台厚为4 m,基础采用12根直径2.0 m钻孔灌注桩。

交接墩采用T形花瓶墩,墩底截面尺寸为3 m $\times$ 1.5 m,基础采用2根直径1.8 m钻孔灌注桩基础。

5 施工方法

根据该桥施工条件和结构特点,主桥钢箱梁采

用顶推法架设^[8],主塔结构采用分段安装工艺,主塔施工完后,再进行斜拉索挂设,斜拉索按照距离主塔由近到远依次逐根张拉。

6 结构计算

6.1 计算模型

采用空间有限元程序MIDAS Civil进行结构静力计算,桥塔采用梁单元模拟,钢箱梁采用梁格单元模拟,斜拉索采用桁架单元模拟,桥塔和主梁之间采用刚性连接。全桥有限元计算模型见图6。

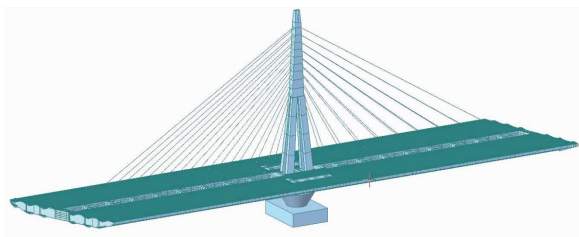


图6 有限元模型

6.2 有限元分析结果

(1)在活载作用下,主梁的正、负挠度最大绝对值之和为120 mm,挠跨比为1/750;塔顶纵向位移为12 mm,位移与桥塔高的比值为1/4 050。刚度均满足规范^[9]要求。

(2)基本组合下钢箱梁纵梁最大拉应力为177 MPa,最大压应力为218 MPa,最大剪应力为120 MPa;基本组合下钢箱梁的横隔板、横向联系梁最大拉应力为156 MPa,最大压应力为191 MPa,最大剪应力为82 MPa;基本组合下桥塔最大压应力为175 MPa,应力均满足规范^[9]要求。

(3)斜拉索成桥阶段最大索力为2 513 kN,基本组合下最大应力为677 MPa,疲劳应力幅为79 MPa,受力性能满足规范^[9]要求。

(4)对主桥进行第一类稳定分析,结果显示在永久作用、可变作用的作用下,主桥1阶失稳模态为桥塔横桥向屈曲,稳定安全系数为11.4,主桥整体稳定性满足规范要求^[5]。

7 结语

墨水河大桥结合建桥条件,采用了主跨90 m的独塔中央双索面钢斜拉桥,张力十足,轻盈优美,作为城市跨河桥梁,兼具景观标志作用。采用塔梁墩固结体系、STC铺装体系,克服了主桥结构整体稳定、宽幅主梁的扭转、钢桥面铺装耐久性等难题。该桥已于2020年开工,预计2022年建成通车。

(下转第94页)

混组合桥面板钢材需要 14 665 kg,施工工期为 5 d,可知在增加不多费用的情况下工期大幅减少,对桥下交通的影响也大幅减少,可产生较好的综合效益。

4 结论与建议

钢-混凝土组合桥梁中的传统现浇混凝土桥面板是桥梁上部结构的重要组成部分,同时也是桥梁上部结构施工中非常重要的工序。为解决钢-混凝土组合桥梁的桥面板传统浇筑方法施工带来的不足,本文依托深圳市东部过境高速公路翠宝路高架特大桥项目,创新性地提出一种新型钢-混凝土组合箱梁桥面板,并提出相应的新型施工工艺,提高施工效率并减少对桥下空间的影响。经数值分析计算,证明在实际工程中采用该新型桥面板的施工工期大幅减少,对桥下交通的影响也大幅减少,可产生较好的综合效益。目前,深圳市东部过境高速公路翠宝路高架特大桥已经顺利实施完成,上述措施成功解决了传统现浇混凝土桥面板现场施工的技术难题,为今后同类型桥面板施工带来新的选择及突破口,具有巨大的潜力。

参考文献:

- [1] 陈军刚,郭绍成,陈孔令,张皓.钢-混凝土组合桥梁在云南山区常规模大跨梁桥中的应用[J].中外公路,2019,39(2):193-197.
- [2] 张永康.大跨径简支钢-混凝土组合梁桥设计研究[J].城市道桥与防洪,2019(2):81-84+12.
- [3] 聂建国,陶慕轩,吴丽丽,等.钢-混凝土组合结构桥梁研究新进展[J].土木工程学报,2012,45(6):110-122.
- [4] 陈继.钢-混凝土组合结构在桥梁工程中的应用[J].中国公路,2018(1):118-119.
- [5] 蔡文平.基于钢管连接件的钢-UHPC组合桥面板抗剪性能研究[J].公路工程,2020,45(2):14-20.
- [6] 张万里.钢混组合连续刚构桥混凝土桥面板安装[J].公路,2019,64(10):152-156.
- [7] 成张佳宁.纤维品种和掺量对桥面板高性能混凝土耐久性能及微观结构的影响[J].公路工程,2019,44(6):183-190+233.
- [8] 蔡鑫.浇注式沥青混凝土在钢桥面铺装中的应用[J].城市道桥与防洪,2019(10):123-126+17.
- [9] 史占崇,苏庆田,戴昌源.钢-钢纤维混凝土组合桥面板轴拉性能试验研究[J].建筑结构学报,2019,40(S1):47-53.
- [10] 刘新华,周聪,张建仁,李立峰,石雄伟.钢-UHPC组合梁负弯矩区受力性能试验[J].中国公路学报,2020,33(5):110-121.
- [11] 张鸿,张永涛,王敏,夏昊,田飞.装配式组合梁桥一体化架设方法及装备[J].中外公路,2018,38(6):140-143.

~~~~~  
(上接第 90 页)

#### 参考文献:

- [1] 何奇钦,王碧波.柳州白沙大桥主桥设计[J].桥梁建设,2018,48(4):96-101.
- [2] 严国敏.现代斜拉桥[M].四川成都:西南交通大学出版社,2000.
- [3] 吴巨军,郑江敏,刘山林.钢管混凝土斜塔斜拉桥设计[J].世界桥梁,2020,48(2):6-9.
- [4] 杨征宇,宋桂峰,楼庄鸿.我国独塔斜拉桥[J].预应力技术,2007,62(3):7-17.
- [5] JTG/T 3365-01—2020,公路斜拉桥设计规范[S].
- [6] 赖亚平,王科,李锦.泸州沱江四桥主桥扭转、剪力滞效应及关键构造研究[J].桥梁建设,2016,46(4):17-22.
- [7] 丁磊,唐彪,华新,等.浦仪公路上坝大桥分离式钢箱梁设计[J].上海公路,2018(4):33-38.
- [8] 陈亚强.福州鼓山大桥钢箱梁顶推设计与施工[J].建筑技术,2010,41(7):670-672.
- [9] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].