

刚果(布)滨河大道斜拉桥主桥设计

叶成银, 庞彪

(中国路桥工程有限责任公司, 北京市 100011)

摘要: 刚果(布)滨河大道主桥采用 $(49+81+285+81+49)$ m 双塔双索面混凝土斜拉桥, 综合效益优于连续刚构桥和钢管拱桥方案。主桥结构采用半漂浮支撑体系, 横向设置抗风支座, 纵向设置支座挡块。主梁采用现浇预应力混凝土 II 形双边主梁, 中心梁高 2.3 m, 宽 22.0 m, 辅助墩处布置压重。采用钻石形索塔, 拉索锚固采用钢锚箱方案。斜拉索采用高强度钢绞线, 梁段张拉, 外表面设置螺纹和安装阻尼器以防止风雨振和涡激振动。主梁标准段采用挂篮现浇施工, 综合运用温度和顶推手段进行合龙位移控制。从施工方案、结构体系和索力控制 3 个方面降低和控制了平曲线弯曲段对桥梁的不利影响。

关键词: 曲线斜拉桥; 半漂浮体系; II 形混凝土主梁; 钢锚箱; 悬臂挂篮施工

1 工程概况

刚果(布)滨河大道项目是中国路桥在非洲的大型基建项目之一, 位于刚果共和国首都市中心, 毗邻刚果河, 建成后对于改善区域内交通环境具有重要意义, 同时将成为区域内地标性建筑。项目全长 2.6 km, 始于布拉柴纪念碑, 终于阿尔法萨大道, 其中高架桥段全长约 1 km, 由一座主跨 285 m 的双塔五跨混凝土斜拉桥与 PC 连续梁引桥组成。道路设计为双向四车道, 一侧设置 4 m 宽人行道。

2 主桥桥型方案

城市桥梁作为一种体形巨大的建筑物, 是人们生

活环境的重要组成部分, 其艺术造型和景观设计成为决策者和设计者主要关注点。滨河大道主桥所在的市中心, 既有总统官邸等国家主要行政机构, 也有布拉柴纪念馆等重要旅游景点, 对于桥梁的景观设计有较高的要求。由于道路设计要求, 主桥北侧位于半径 550 m 的平曲线上, 桥型选择需要考虑曲线段对于设计施工难度的影响。

滨河大道主桥设计之初曾提出过斜拉桥、连续刚构桥和钢管拱桥 3 种方案, 综合比较如表 1 所示。

钢管拱桥方案的施工工艺复杂, 平面弯曲段的存在增大了钢结构加工和安装难度, 工程造价高, 工期长, 不宜采用。连续刚构桥各项指标略优于斜拉桥, 但景观效果一般。综合比较后, 最终采用斜拉桥方案作为实施方案。

表 1 滨河大道主桥方案比选

桥型方案	景观性	施工工艺	施工工期/月	后期维护	建安费/亿元
斜拉桥	好	成熟	25	定期维护斜拉索	1.3
连续刚构桥	一般	简单	21	维护费用少	1.1
钢管拱桥	好	复杂	30	定期维护钢结构和吊杆	2.3

3 桥梁结构设计

3.1 总体布置

滨河大道主桥设计为双塔五跨混凝土斜拉桥。主

桥的边中跨比为 0.456, 属于混凝土斜拉桥较适宜的边中跨比。辅助墩处布置压重以平衡索力。桥跨布置为 $(49+81+285+81+49)$ m=545 m, 桥梁立面如图 1 所示。

竖向约束方面, 对比半漂浮体系和全漂浮体系, 全

收稿日期: 2018-12-03

作者简介: 叶成银, 男, 大学本科, 高级工程师, E-mail: yecy@crbc.com

漂浮体系无索区较长,索塔处正弯矩较大。采用半漂浮体系较有利,在索塔处设置竖向支座。辅助墩设置竖向拉压支座,以防止活载不利布置时支座脱空。横向约束方面,索塔处设置横向抗风支座,辅助墩和过渡墩处设置横向限位装置。纵向约束体系方面,对比了百年风载作用下,纵向自由、设限位挡块和设阻尼器3种情况的塔顶位移和塔底弯矩,后两种情况塔顶位移和塔底弯矩较优。考虑成本限制,选择在辅助墩和过渡墩处设置纵向限位装置。主桥的约束体系布置如图2所示。

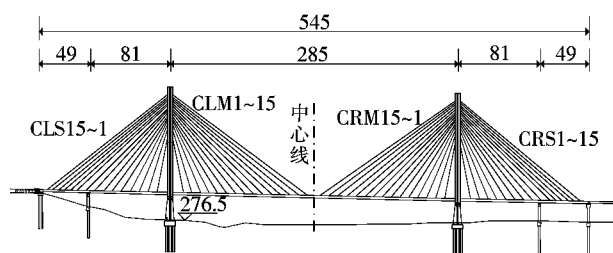


图1 滨河大道主桥立面图(单位:m)

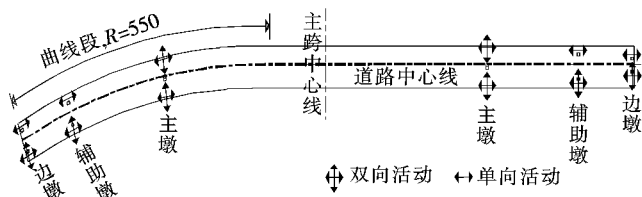


图2 滨河大道主桥约束系统布置(单位:m)

3.2 主梁

主梁采用现浇预应力混凝土Ⅱ形双边主梁,中心梁高2.3 m,桥宽22.0 m,顶面设置双向2.5%横坡。主梁断面横向左右侧不对称,西侧布设有人行道。主梁标准节段长9 m,边跨加密段梁段长6 m,横断面图如图3所示。标准断面边主梁底宽1.7 m,顶板厚28 cm;在辅助墩和主塔附近根据受力需求,梁底加宽至2.9 m,顶板加厚至40 cm。辅助墩处压重段主梁为箱形截面,内填铁砂混凝土作为压重。主梁在拉索锚固位置设置35 cm厚横隔板,在索塔处加厚至2 m,在过渡墩和辅助墩处加厚至2.5 m。



图3 主梁标准横断面图(单位:cm)

为防止主梁在正常使用阶段开裂,沿主梁纵向和

横向设置预应力钢束。纵向预应力钢束包括悬臂钢束、边跨现浇段钢束和合龙钢束3种,分别在悬臂浇筑、边跨浇筑和合龙时张拉。

3.3 桥塔

索塔采用钻石造形,造型典雅又不失稳重,由下塔柱、中塔柱、上塔柱、塔底实心段以及3道横梁构成,塔高122.2 m,桥面以上高度约96 m,如图4所示。塔柱采用空心单箱单室断面,下塔柱为变截面柱,上塔柱、中塔柱为等截面柱,横向外侧面出于景观考虑设置20 cm深槽口。塔柱截面如图5所示。

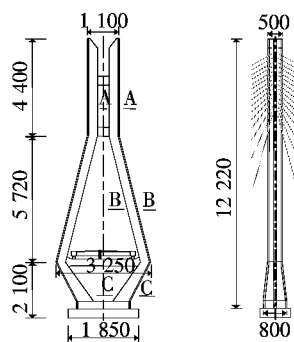


图4 索塔立面图(单位:cm)

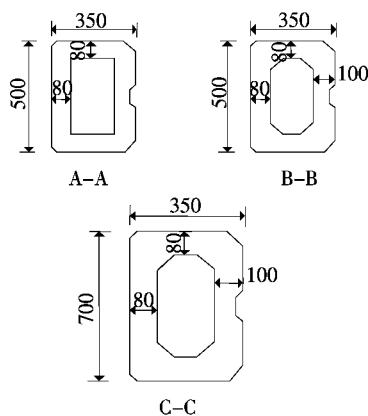


图5 塔柱截面图(单位:cm)

索塔基础采用群桩基础,材料为C30水下混凝土。共布置21根直径2 m的桩基,桩基持力层为中风化砂岩。承台平面尺寸为33.2 m×13.2 m(横桥向×顺桥向),承台厚4 m。索塔桩基示意图如图6所示。

3.4 斜拉索

全桥共120根斜拉索,标准段索距9 m,边跨加密段索距6 m。采用标准强度1 860 MPa的 $\phi 15.2$ 型的镀锌涂油带PE钢绞线,张拉方式为主梁端张拉。自内而外通过镀锌、防腐油脂、PE层和双层索套管4层防护手段防止钢绞线锈蚀。为抑制拉索的风雨激振和涡激振动,斜拉索最外层采用带双螺纹线和凹坑的

HDPE 索套管,同时在主梁和斜拉索之间安装外置阻尼器(图 7)。

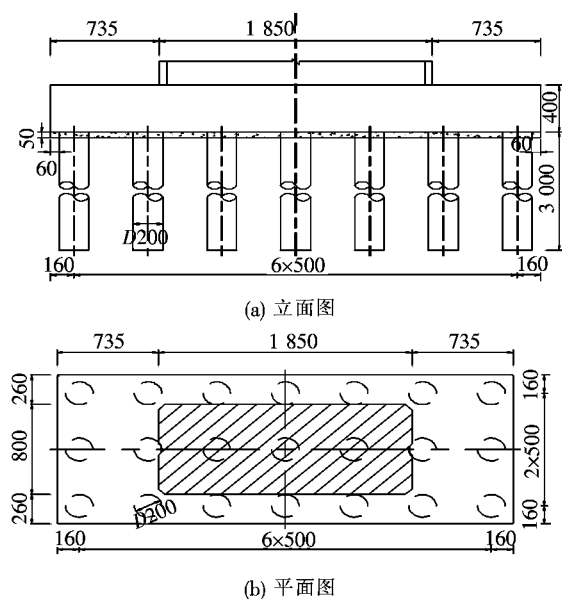


图 6 基础承台示意图(单位:cm)

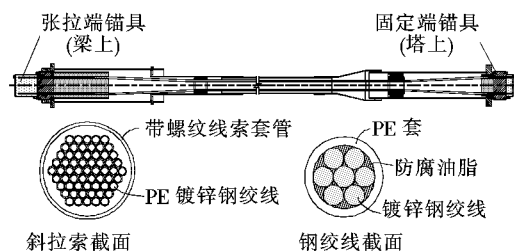


图 7 斜拉索大样图

斜拉索施工时采用标高与索力双控的方式控制施工,其中施工阶段控制标高允许偏差不大于 ± 20 mm,张拉力允许偏差不大于 $\pm 2.5\%$ 。

斜拉索在主梁端锚固于边肋底部,锚固槽口处布置钢筋网片以提高抗裂性能,锚块处沿拉索方向布置短钢筋以传递索力,沿拉索垂直方向布置箍筋提高抗裂性能。主梁处的锚固大样图如图 8 所示。

索塔处常用锚固方案包括钢锚箱、钢锚梁和环向预应力 3 种。钢锚箱方案具有受力方式明确、施工方便等优点,已在多座大跨度斜拉桥中得到应用。该工程塔柱内空间狭小,钢锚梁方案难以施工;环向预应力方案需要多次张拉,高空浇筑锚固区混凝土较为困难;最终选择施工较方便的钢锚箱方案。钢锚箱是由垫板、承压板、腹板、壁板、横隔板、开孔板、连接板及加劲肋等组成的空间箱形结构,如图 9 所示。同一位置的一对索力通过垫板→承压板→腹板→壁板的传力路径进行传递,其中索力水平分量由锚箱壁板承担,竖向分

量通过嵌入混凝土桥塔的开孔板传递到塔柱上,进而传递到下部基础上。

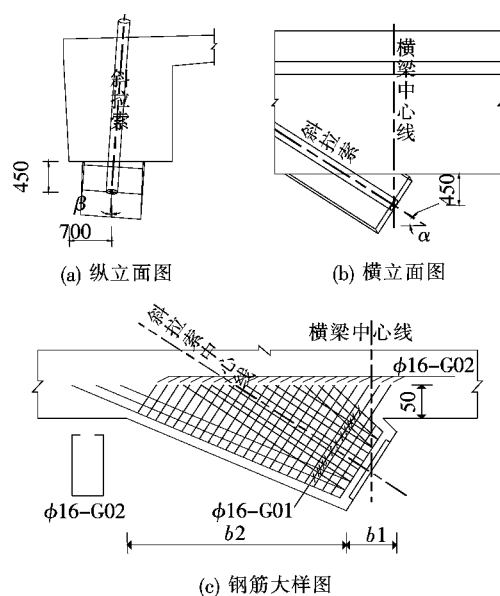


图 8 主梁锚固区大样图(单位:mm)

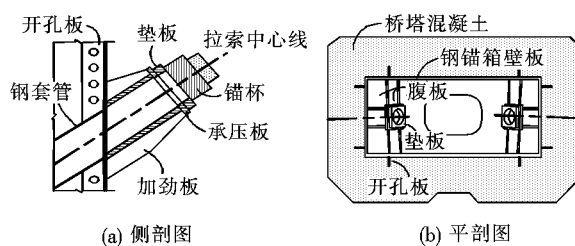


图 9 索塔处钢锚箱大样图

4 桥梁施工

斜拉桥的施工方法,除考虑现有的施工技术水平及施工设备、桥址地质水文等因素外,还应考虑斜拉桥的结构体系、索形、索距和主梁截面形式等因素。滨河大道主桥部分位于平面曲线段,采用预制拼装法不易控制施工,故选用挂篮法进行悬臂浇筑施工法。边跨段因水位较浅,采用支座浇筑法。

斜拉桥的施工过程按照索塔→0 号、1 号段施工→主梁和拉索标准段施工→边跨合龙→中跨合龙→桥面铺装顺序进行。标准段施工包括前移挂篮、施加压重、浇筑梁段、张拉预应力等过程,如表 2 所示。施工中斜拉索按索力和伸长量双控的方式控制张拉量,并严格控制挂篮立模标高。

中跨的合龙是控制全桥受力状况和线形的关键工序。合龙前,通过控制合龙温度($20\sim 25$ ℃)、压重和

在合龙口顶推等方式控制合龙口位移;当合龙位移满足要求时用劲性骨架进行合龙口临时固定,进行混凝土浇筑,具体施工过程如表 3 所示。

表 2 标准段浇筑施工流程

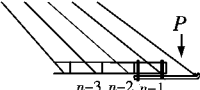
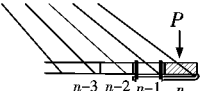

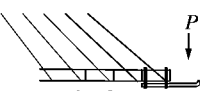
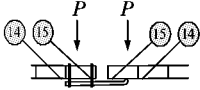
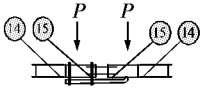
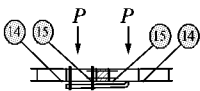
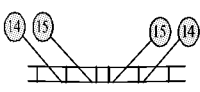
编号	图示	步骤说明
1		前移挂篮;将斜拉索锚固与挂篮上,并第一次张拉;施加压重
2		对称浇筑梁段;斜拉索第二次张拉;混凝土养护
3		主梁混凝土强度达 90%后张拉纵向预应力;斜拉索锚固点转移至梁段 n
4		挂篮和配重前移,准备浇筑 n+1 梁段;斜拉索第三次张拉(到位张拉)

表 3 合龙段浇筑施工过程

编号	图示	步骤说明
1		安装合龙段挂篮;施加压重
2		中跨预顶,安装合龙段劲性骨架,临时锁定;解除塔梁临时固结
3		在合龙温度范围内浇筑合龙段,同时卸载压重
4		合龙段混凝土强度达标后,张拉合龙段预应力;拆除挂篮和配重前移

5 平曲线弯曲段的处理措施

曲线斜拉桥作为斜拉桥的一个分支应用并不十分广泛,曲率的存在使斜拉桥受力和施工变得更加复杂:① 曲线段主梁扭转效应严重;② 曲线段不易施工控制;③ 曲线段索塔两侧的索力难以完全平衡,索塔受较大的径向力;④ 曲线段内外支座反力差异较大。

国内外学者曾提出一系列降低曲率对斜拉桥影响

的方法,如锚固点和支座偏移,采用密索体系,桥梁采用空间建模分析等。主桥设计时充分考虑了这些经验和桥址所在地的特点,提出对曲线段主梁采取如下措施:① 增加辅助墩,减小了曲线段的跨度;② 曲线段的内外侧采用不平衡索力,通过优化索力降低主梁的扭转效应;③ 曲梁部分采用支架现浇,降低施工难度;④ 分析采用空间模型,充分考虑桥梁的弯扭耦合效应。

6 结语

滨河大道主桥采用现浇预应力混凝土斜拉桥方案,综合效益优于连续刚构桥和钢管拱桥方案。方案设计时充分考虑了桥梁所在地的特点,从桥跨布置、结构体系选择、材料选择、施工方案和弯曲段处理措施等多方面进行了优化,在安全适用的基础上获得了美观性与经济性的平衡。斜拉桥主桥已于 2016 年 2 月通车,目前运营状态良好,出色的设计和施工质量已成为中国在海外基础建设项目的标杆。

参考文献:

[1] 张哲威,李青宁.现代城市桥梁结构的发展[J].中外公路,2008(2).

[2] 王似舜,刘士林.斜拉桥设计[M].北京:人民交通出版社,2006.

[3] 王修勇,陈政清,倪一清.斜拉桥拉索风雨振观测及其控制[J].土木工程学报,2003(6).

[4] 王修勇,陈政清,何旭辉,等.斜拉桥拉索风雨振控制的智能阻尼技术[J].振动与冲击,2002(3).

[5] 魏奇芬.钢锚箱在斜拉桥索塔锚固区中的应用[J].世界桥梁,2008(2).

[6] 高金.斜拉桥技术发展综述[J].城市道桥与防洪,2015(8).

[7] 李正仁,刘祖国.曲线斜拉桥的应用与展望[J].钢结构,2003(6).

[8] 孙测世,童建胜,周水兴.曲线斜拉桥锚固点与支座偏移受力影响[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2009(3).

[9] 吕福钢.斜交曲线斜拉桥力学性能研究[D].大连理工大学硕士学位论文,2005.

[10] 肖海珠,张强,高宗余.北京地铁五号线曲线斜拉桥设计[J].桥梁建设,2006(4).