

## 斜拉体系在景观桥梁设计中的应用

吕士军

天津城建设计院有限公司第六分公司, 安徽 合肥 231600

**[摘要]**随着社会经济的发展以及桥梁设计理念的不断更新, 桥梁美学设计在桥梁设计中的地位日益提高。单纯的功能性为主的桥梁造型已不能满足建设单位以及周边市民的使用及审美需求, 建设单位对新建桥梁的景观性越来越重视。斜拉体系多用于大跨度公路或市政道路桥梁上, 以增大桥梁的跨越能力。文中以赤峰市某城市桥梁为案例, 介绍了斜拉体系作为桥梁造型装饰结构的一种应用。本桥的设计与建成为城市景观桥梁的建设提供一定经验和借鉴。

**[关键词]**景观桥梁; 斜拉; 结构设计

DOI: 10.33142/aem.v3i2.3733

中图分类号: U442.5

文献标识码: A

## Application of Cable-stayed System in Landscape Bridge Design

LYU Shijun

The Sixth Branch of Tianjin Urban Construction Design Institute Co., Ltd., Hefei, Anhui, 231600, China

**Abstract:** With the development of social economy and the continuous renewal of bridge design concept, the status of bridge aesthetic design in bridge design is increasing. The simple functional urban bridge modeling can not meet the use and aesthetic needs of the construction units and the surrounding residents. The construction units pay more and more attention to the landscape of the new bridges. Cable-stayed system is mostly used in long-span highway or municipal road bridge to increase the span capacity of the bridge. Taking a bridge in Chifeng City as an example, this paper introduces the application of cable-stayed system as a bridge decoration structure. The design and construction of this bridge provides some experience and reference for the construction of urban landscape bridge.

**Keywords:** landscape bridge; cable-stayed; structural design

### 引言

随着社会经济的发展以及桥梁设计理念的不断更新, 桥梁美学设计在桥梁设计中的地位日益提高<sup>[1]</sup>。建设单位及市民对新建桥梁的要求, 不再只关注或者局限于跨越功能, 进而越来越关注桥梁造型的美观, 使其具有艺术观赏价值, 以满足人们精神方面的要求<sup>[2]</sup>。要做好景观桥梁的设计, 桥梁设计师不仅要具备基本的桥梁结构设计功底, 还要具有一定的风景美学设计的基本技能。桥梁在功能上和力学上的合理性是美的基本条件, 同时也符合美学法则, 从而体现当地人文特色并与周边环境很好的融合, 成为当地地标性景观标志。

赤峰市某城市桥梁为预应力混凝土现浇箱梁结构。为增加桥梁的景观性, 在桥梁中央分隔带内设置了月亮造型的装饰桥塔及斜拉索。本桥的设计与建成为城市景观桥梁的建设提供一定经验和借鉴。

### 1 项目背景及概况

桥梁所在道路起点为松山大街与银河路平交口, 终点为桥北大街与赤锡路平交口, 长约 1.02 公里, 其中桥梁全长约 295m, 桥宽 46m, 采用预应力混凝土箱梁结构, 为双主梁式断面形式, 桥中有一高 60m 的斜拉主塔, 主塔采用钢结构, 造型为“银河望月”, 设计为双向 8 车道, 项目总投资约 2.85 亿元。

### 2 桥梁整体布置

本项目大桥主桥跨径布置为 $(2 \times 40)m + (37 + 17 + 37)m + (3 \times 40)m$ , 全长 295.02m, 上部结构采用预应力现浇箱梁, 下部结构采用桩基接承台基础, 双柱式桥墩, 直立桥台。桥梁中墩与道路中心线正交, 边墩与道路中心线斜交, 斜交角度为 80 度。桥梁上下行分幅设置, 单幅桥梁宽 21.5m, 中央分隔带宽 3m, 横向总宽 46m, 具体横断面布置为: 2.5m (人行道) + 2.5m (非机动车道) + 11.5m (行车道) + 4.5m (有轨电车车道) + 0.5m (防撞护栏) + 3m (中央分隔带) + 0.5m (防撞护栏) + 4.5m (有轨电车车道) + 11.5m (行车道) + 2.5m (非机动车道) + 2.5m (人行道)。桥梁中央分隔带内设置 60m 高月亮造型的桥塔及斜拉索, 增加桥梁景观观赏性。

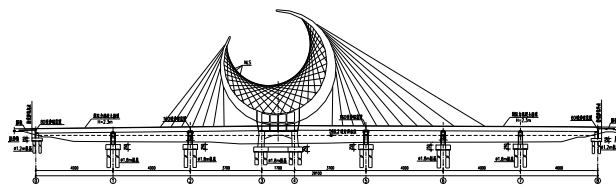


图1 立面图

### 3 力学分析

在 Midas Civil 中建立该桥的全桥有限元模型,斜拉索采用桁架单元模拟,采用梁单元模拟桥塔和主梁。全桥三维有限元模型见下图,其中梁单元 516 个,桁架单元 64 个,共计 728 个节点。斜拉索与桥塔、斜拉索与主梁采用刚性连接相连。有限元模型建立完成之后,分析了桥梁结构在恒载、汽车荷载、成桥索力、风荷载、温度变化等作用下的受力情况。经计算,本桥各个构件在各验算工况下均满足规范要求。

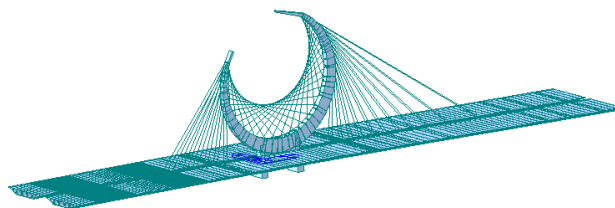


图2 有限元模型

### 4 结构设计

#### 4.1 上部结构设计

桥梁上部结构采用预应力混凝土现浇箱梁,梁高 2.3m,单幅桥上部结构采用单箱多室形式,顶板宽 21.5m,底板宽 11.7m,顶板厚 25cm,底板厚 22cm,跨中段腹板厚度 55cm,近支点范围腹板厚度 75cm,腹板过渡段长度为 3m。

#### 4.2 下部结构设计

主塔采用变截面曲线形墙式墩,相邻墩之间顺桥向设置曲线形系梁,主塔墩与系梁顺桥向共同形成拱门造型。主塔墩顺桥向宽 3~3.3m,系梁高 1.8~3.7m;中间位置主塔墩横桥向宽 6.3m,系梁宽 3m;两侧位置主塔墩横桥向宽 2m,系梁宽 1.5m。

主塔墩柱下设置矩形承台,中间位置承台平面尺寸为 7.5m×7.5m,两侧位置承台平面尺寸为 7.5m(顺桥向)×3m(横桥向),承台高 2.5m,承台下设置  $\Phi 1.8\text{m}$  钻孔灌注桩基础。主桥中墩采用曲线形柱式墩,单幅桥横桥向共设置两个墩柱,柱底间距 5.5m,柱顶间距 6.5m,柱顶设置横梁,系梁高 1.5~1.8m。中墩横桥向宽 1.5~2.0m,顺桥向宽 2m,连接墩位置柱顶加宽到 3m。其他墩位墩柱下设置哑铃形承台,承台平面尺寸为 7.5m(顺桥向)×8.5m(横桥向),承台高 2.5m,承台下设置  $\Phi 1.8\text{m}$  钻孔灌注桩基础,每个墩位下共设置 4 根。主桥采用一字型桥台,桥台与桥梁中心线成 80 度斜交,桥台全长 23.35m,左右幅桥台之间设置 2cm 真缝断开,缝内填充浸青软木板。桥台下设置钢筋混凝土承台,承台全长 23.35m,宽 5.3m,高 1.5m。承台下设置双排  $\Phi 1.2\text{m}$  钻孔灌注桩基础,单个桥台下设置 10 根。

#### 4.3 主塔设计

##### 4.3.1 主塔

主塔塔高 60m,立面轮廓由两个圆曲线组成,内弧半径 26.67m,外弧半径 30m。主塔为带凸面的矩形截面,凸面向外。横桥向塔脚宽 2.8m,塔顶宽 2m,中间范围横桥向宽呈线性过渡。

主塔桥面以上采用钢结构,塔脚采用混凝土结构,在桥面以上约 20m 长度范围内设置钢混过渡段。

钢塔断面为单箱多室结构,塔壁板厚根据受力情况布置,分别采用厚度为 16mm、20mm、25mm 的钢板。主塔钢结构采用 Q345qD 钢材。拉索区水平向隔板间距根据索间距设置,无索区水平向横隔板按标准间距设置。塔外壁钢板、纵腹板均设置加劲肋。

##### 4.3.2 塔脚

主塔塔脚为混凝土薄壁空心结构,顺桥向宽度由底部向顶部呈曲线形渐变,底部宽度为 20m,顶部宽度为 21.922m;

横桥向宽 2.4m, 钢混过渡段处宽 2.8m; 高度由 10.662m 向下渐变至 8.881m, 再向上渐变至 11.929m。横桥向断面为单箱双室结构, 顶板厚 30cm, 腹板厚 30cm, 在钢混过渡段处, 腹板厚度加宽至 47.5cm; 中间水平隔板厚 30cm。顺桥向断面为单箱四室结构, 顶底板厚度为 30cm, 在钢混过渡段处, 厚度加宽至 47.5cm; 腹板厚度为 30cm。

#### 4.3.3 斜拉索

本桥主塔采用斜拉索增加主塔稳定性, 同时对月亮形主塔也起装饰效果。斜拉索分为内拉索和外拉索两部分, 内拉索位于月亮造型内侧外拉索, 外拉索位于月亮造型外侧。内拉索梁端均锚固于主塔月亮造型上, 外拉索一端锚固于主塔月亮造型上, 一端锚固于主梁侧面。内拉索通过锚固位置和角度变化, 编制出网状结构, 平衡拉索给桥塔内力的同时, 也增加了桥塔的景观性。

内拉索全部采用 3 $\phi$ 15.2 的钢绞线, 共设置了 28 对斜拉索。外拉索全部采用 7 $\phi$ 15.2 的钢绞线, 桥塔西侧共设置 7 对斜拉索, 上锚点间距为 1.8m~5.2m, 下锚点间距为 5.5m; 桥塔东侧共设置 11 对斜拉索, 上锚点间距为 1.8m~8m, 下锚点间距为 5.5m~16m。

#### 4.3.4 索吊点

内外斜拉索吊点均采用叉耳式连接构造, 下锚固点预先在主梁内预埋钢板, 上锚固点将耳板焊接于钢桥塔上。

### 5 防腐设计

#### 5.1 钢结构防腐

钢结构表面在涂装前需进行除锈处理, 除锈方法采用喷砂法。根据国标 GB/T8923, 本项目钢板除锈喷砂等级应达到 Sa2.5 级, 对于不方便采用喷砂除锈的部位或者喷砂除锈达不到的位置可采用人工手动除锈, 除锈等级需不低于 St3 级, 钢材表面粗糙度 (Rz30~75 $\mu$ m)。本项目钢结构部分涂装全部采用长效型 (S07) 四层保护涂装, 按 C5-1 级环境控制。具体涂装方式如下表所示:

表 1 钢结构外涂装

序号	油漆名称	涂层道数	干膜总厚度 ( $\mu$ m)
1	环氧富锌底漆	1	80
2	环氧(云铁)漆	2	150
3	氟碳树脂漆	1	80
4	氟碳面漆	1	30
合计		300	

钢结构封闭环境内表面涂装, 由内到外依次为:

表 2 钢结构内涂装

序号	油漆名称	涂层道数	干膜总厚度 ( $\mu$ m)
1	环氧富锌底漆	1	50
2	环氧(厚浆)漆	---	300
合计		350	

对于钢结构部分其他的非封闭空间内表面也应采用与前文所述钢结构外表面相同的涂装。车间底漆未列入上述涂层配套体系中, 一般情况下, 所有配套都需要喷涂一道干膜厚度为 20 $\mu$ m~25 $\mu$ m 的车间底漆。

### 6 桥梁耐久性设计及措施

根据耐久性设计相关规范, 桥梁上部结构混凝土按环境作用等级 D 级设置, 桥梁下部结构墩柱、桥台、承台、桩基及通道箱涵的全体混凝土均按环境作用 D 级设置, 桥面防撞护栏及防水砼铺装层由于长期处于冻融环境, 且项目所在道路后期存在撒除冰盐的可能性, 使结构处于除冰盐环境, 故按结构环境作用等级 E 级设置。具体要求为:

#### 6.1 混凝土品质

在除冰盐环境作用下, 盐雾对混凝土结构腐蚀性较强。为了应对该腐蚀环境, 应在混凝土中加大掺量或较大掺量矿物掺和料, 胶凝材料不宜单独采用普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥, 并且适宜在混凝土中加入少量的硅灰。

对于 D 级和 E 级的环境作用等级, 水泥比表面积不宜超过  $350\text{m}^2/\text{kg}$ , 游离的氧化钙含量不宜超过 1.5%,  $C_3A$  的含量不宜超过 8%, 应采用品质稳定、来料均匀的材料作为水泥中的掺合料。掺合料的各项指标还应符合《混凝土用矿物掺合料应用技术规程》(J10527) 的要求。

(1) 混凝土的配合比应根据所处环境条件和作用等级考虑其抗冻耐久性, 相关参数应满足下表要求:

表 3 水胶比及凝胶材料参数表

环境作用等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
D	0.40	340
E	0.36	360

要提高混凝土的耐久性, 既要控制最小凝胶材料用量还要控制最大凝胶材料用量。C40 以下的混凝土, 凝胶材料最大含量不宜大于  $400\text{kg}/\text{m}^3$ ; C40~C50 的混凝土, 凝胶材料最大含量不宜大于  $450\text{kg}/\text{m}^3$ 。除此之外, 还需控制混凝土的含气量、抗冻耐久性指数 DF、氯离子扩散系数和混凝土保护层最小厚度。

(2) 结构混凝土同时应满足以下耐久性的基本要求:

表 4 氯离子含量及碱含量参数表

类别	预应力混凝土结构	钢筋混凝土结构
最大氯离子含量 (%)	0.06	0.10
最大碱含量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	3.0	3.0
抗渗等级	W6	W6

(3) 混凝土构件应满足如下耐久性质量标准:

表 5 氯离子扩散系数参数表

抗侵入指标环境作用等级	D	E
氯离子扩散系数 DRCM (28d 龄期) $10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$	<7	<4

## 6.2 外加措施

(1) 对于桥梁不同构件取不同的 DF 值, 桥梁的桥台、桩基、墩柱、承台、护栏地袱的耐久性指数 DF (%) 取 80%, 桥梁主梁梁体 DF 值取 60%。

(2) 对于桩基、承台、桥台结构尤其是存在地下水位变动部位的混凝土, 应掺加具有良好的气泡稳定性的引气剂或引气型外加剂。引气剂或者引气型外加剂应符合 (GB8076) 国家标准中有关快冻试验检测的要求。根据耐久性设计规范中相关规定, 混凝土拌和根据混凝土骨料粒径不同还应选择适宜的含气量、气泡间距系数。

(3) 对于桥面铺装混凝土、地袱、伸缩缝现浇砼和封锚混凝土、桥台、桩基等构件, 混凝土中应添加满足《钢筋阻锈剂》规范要求的钢筋阻锈剂, 阻锈剂采用粉末型, 添加量为每方混凝土添加 8kg。

## 7 结语

斜拉体系多用于大跨度公路或市政道路桥梁上, 以增大桥梁的跨越能力。本文所述赤峰市某城市桥梁, 以斜拉体系作为桥梁造型装饰结构, 增加桥梁景观艺术性。本桥的设计与建成为城市景观桥梁的建设提供一定经验和借鉴。

### [参考文献]

- [1] 石飞停, 蔡敏, 王慧. 现代城市景观桥梁设计[J]. 交通科技与经济, 2006(5): 59-60.  
 [2] 余恩跃. 城市建设中的桥梁景观设计分析[J]. 智能城市, 2020, 6(16): 27-28.

作者简介: 吕士军 (1973.11-), 男, 天津城建设计院有限公司第六分公司, 高级工程师。