

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.12.016

# 某景观斜拉桥的设计

叶志荣

[同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司,上海市 200092]

**摘要:**主桥采用80+110 m人字形独塔双索面景观斜拉桥,设计时分别对结构体系、主梁结构、桥塔结构、拉索布置方式进行比选,确定最优结构形式。对主梁、桥塔、拉索等部位进行计算分析,为类似景观斜拉桥设计提供借鉴。

**关键词:**斜拉桥;景观;结构体系;主梁;人字形索塔

**中图分类号:** U448.27

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)12-0074-04

## 0 引言

随着科技的进步和工程实践的不断完善,斜拉桥以其独特的结构特点和超大的跨越能力成为桥梁工程领域的技术突破,为城市的交通和发展提供了重要的支撑。近年来,人们对城市桥梁景观的要求逐步提高,斜拉桥作为景观桥的重要组成部分,得到了迅速发展,并逐渐成为现代桥梁建设的重要发展方向。

斜拉桥结构即造型艺术,其自带景观、受力合理,是力与美的诠释。如何将建筑艺术与结构技术融合是方案的关键,也是斜拉桥追求的目标。本文以某城市新区斜拉桥为背景,对斜拉桥景观与结构方案完美融合进行了探讨与研究。

## 1 工程概况

桥梁位于某城市新区核心位置,桥位处水面宽度约150 m,两岸绿化景观带宽度约320 m,桥梁所在位置是整个新区视觉最为集中的地方,根据设计任务书要求,设计桥梁要具有地标属性。

桥梁以“人”为设计元素,索塔在行车正面采用“人”字造型,主梁位于两下塔柱之间;索塔侧面也如一个人昂首站立于天地之间,该塔型喻示着“人定胜天”的力量和必胜的气势,也寓意着新城区人稠物穰。方案构思巧妙,造型新颖、大气,具有强烈的地标属性和现代气息。桥梁效果见图1。



图1 主桥效果图

全桥总长320 m,全桥跨径布置为:(2×25)m+(80+110)m+(26+28+26)m。主桥采用80 m+110 m不等跨的独塔双索面斜拉桥,采用全漂浮结构体系。桥梁采用整幅断面布置,标准段全宽29 m,在索塔区局部加宽。桥梁立面布置见图2。

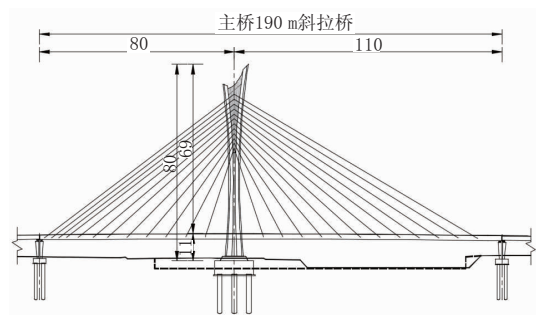


图2 主桥立面图(单位:m)

## 2 结构设计

### 2.1 主梁结构选择

斜拉桥主梁按照常用材料可以分为钢梁、混凝土梁、组合梁。本桥主跨110 m,受索塔造型的影响,塔底在恒活载和地震力作用下会产生比较大的横向弯矩,对主塔设计带来不利影响,采用混凝土主梁,主塔上的恒载及地震力会比较大。钢箱梁具有重量轻,

收稿日期:2023-12-21

作者简介:叶志荣(1982—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

抗扭抗弯刚度大的特点,但是正交异型钢箱梁在长时间使用过程中,特别在一些关键部位,容易出现疲劳裂纹。组合梁采用钢梁和混凝土的组合,充分发挥了两种材料的优点,因此主梁选择钢混组合梁主梁。

钢混组合梁斜拉桥主梁断面主要有钢板组合梁断面、分离式双箱槽型组合断面、封闭式箱型断面。由于采用人字形桥塔,斜拉索为空间斜索面,板式组合梁断面不适用。双索面采用封闭式箱形断面不经济,因此采用分离式断面比较合适。考虑到桥面较低,抗风要求容易满足,所以选择施工方便的双槽型组合梁断面,为了方便拉索与主梁锚固,槽型钢梁外腹板倾斜角度与斜拉索横桥向倾角相近。同时考虑桥面较宽,为了增强组合梁主梁桥面板纵横向受力的整体性,在主梁中心线处混凝土桥面板下设置工字钢小纵梁。

组合梁混凝土桥面板横桥向在槽型钢梁外腹板外侧结束,主梁两侧人行道和非机动车道采用钢桥面板的形式。这样做可以减少横向挑臂受到的恒载作用,简化挑臂的设计。断面形式见图3,在人行道最外侧基座下设置工字钢结构边纵梁增强挑臂的整体性。

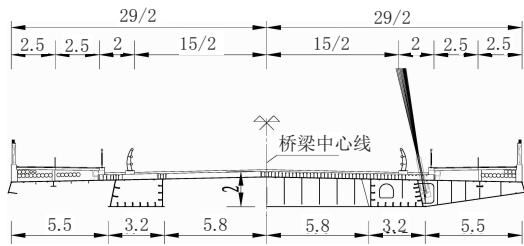


图3 1/2标准断面+1/2拉索断面(单位:m)

### 2.2 结构体系选择

斜拉桥按照塔、梁、墩相互结合方式,可划分为漂浮体系、半漂浮体系塔梁固结体系和刚构体<sup>[1]</sup>。表1对三种结构体系进行了比较<sup>[2]</sup>。

主梁采用钢混组合梁结构,混凝土桥面板适合受压,钢梁适合受拉,全漂浮体系主梁全段基本无负弯矩,可以充分发挥组合梁的优势,与组合梁完美搭配。

采用全漂浮体系,增加了结构自振周期,减小了地震力,对主塔与过渡墩结构抗震比较有利。综合考虑,选用全漂浮体系。

采用全漂浮体系,在主塔处不设置竖向支座时,主梁边主跨在活载下的竖向挠度均小于  $L/400$  ( $L$ 为跨度),满足规范要求<sup>[3]</sup>。

### 2.3 桥塔结构选择

索塔采用人字形索塔,顺桥向呈丫字形,横桥向

表1 斜拉桥结构体系比较

类别	结构体系		
	全漂浮	半漂浮	固结
边界条件	塔、梁处竖向无约束,只在横向限位	塔梁处,在竖向支撑,在横向限位	塔梁墩固结
地震影响	结构自振周期长,减小了地震力;纵横向地震力由主塔及过渡墩承担	纵横向地震力由主塔及过渡墩承担	塔梁固结无法耗能,主塔承担几乎所有地震力
对塔的影响	静力工况下,仅有风荷载,影响较小	静力工况下,仅有风荷载,影响较小	主塔承担几乎所有地震力,地震力最大
对梁的影响	主塔处主梁无竖向支点;桥面板负弯矩小,避免过度受拉	支点位置的混凝土桥面板易出现较大的受拉区	梁的重量增加了塔的受力和地震力作用
支座要求	减隔震支座,降低主梁位移		不需要特殊的支撑支座

呈人字形。斜拉索锚固段以下以受压为主,采用混凝土结构,根据索塔造型采用矩形空心断面。上塔柱为拉索锚固区,受力复杂,并且外轮廓有一定造型,上塔柱断面有三种方案分别为:(1)混凝土箱型断面;(2)工字型断面;(3)混凝土+钢箱组合断面。表2对各断面优缺点进行了比较。

表2 上塔柱断面形式比较

类别	上塔柱断面形式		
	混凝土箱型断面	混凝土工字型断面	钢混组合断面
断面特点	混凝土闭口箱室断面,在体内布设塔壁预应力,整体刚度较大,但塔壁断面较小,预应力施工和损失控制较困难	采用工字型开口断面,在体内布设塔壁预应力,整体刚度较小。塔壁断面较小,预应力施工和损失控制较困难	采用闭口箱室断面,整体刚度较好;不需要布设预应力,整体空间充足
景观效果	受侧壁混凝土厚度影响,侧面刻槽深度不够,景观效果较差	侧面槽口较深,景观效果较好	侧面槽口较深,景观效果较好

经过综合比较上塔柱采用钢混组合桥塔的结构形式(见图4)。由顺桥向的两个C字形混凝土塔壁与中间的单箱单室钢塔箱组合而成,C字形混凝土塔壁厚1m,内部钢箱与混凝土之间通过开孔板剪力钉的传力方式连接,主要用于承受斜拉索传递的竖向力。中间采用单箱单室钢塔,主要用于锚固斜拉索及传递斜拉索水平力。

### 2.4 拉索布置方式选择

在斜拉桥的设计过程中,我们希望主塔受到的斜拉索水平分力是平衡的,这样主塔在顺桥向不会受到弯矩的作用,可以减少主塔的设计难度。由于主

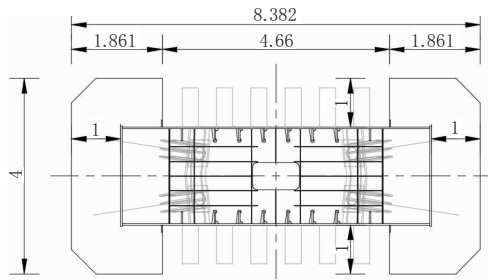


图4 上塔柱断面图(单位:m)

桥采用非对称的桥跨布置方式,主梁在主跨和边跨的恒载质量有差异,因此合理的拉索布置形式对于全桥的受力尤为关键。

不对称的桥跨布置势必会造成斜拉索的角度不同,拉索索力产生的竖向分力和水平分力也会不同。采用桥塔相同位置拉索的水平分力相等,主跨和边跨的拉索会产生不同的竖向分力,通过在边跨压重的方式平衡竖向分力。

常用的拉索布置有两种方案,方案一主边跨采用等间距布置形式,主跨由于跨度较大,拉索锚固间距8m,边跨由于跨度较小,拉索锚固间距6m。为了索塔和主梁在成桥状态下均只受到较小弯矩的作用,每根小跨的拉索附近均需要进行压重处理。拉索布置形式见图5。

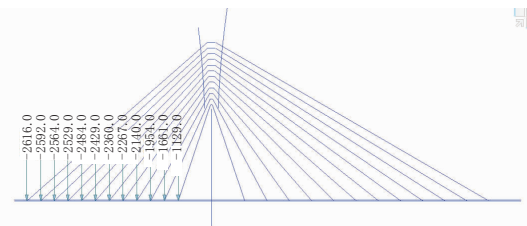


图5 斜拉索布置方式一(单位:kN)

方案二主跨拉索间距依然为8m,边跨拉索在靠近桥塔的拉索间距采用与主跨相同的8m。最外侧的拉索间距逐渐变小。采用这样的拉索布置,仅需要在外侧拉索处压重平衡竖向分力。拉索布置形式见图6。

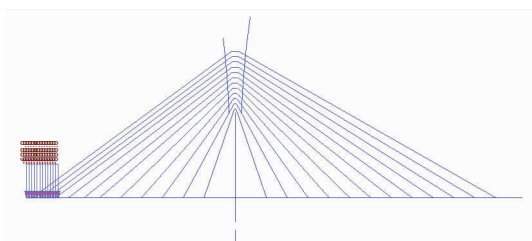


图6 斜拉索布置方式二(单位:kN)

通过比较,方案二压重范围比较小,一方面方便主梁的构造布置,另一方面减少压重的用量,使设计更加经济合理,因此选择方案二作为拉索的布置方式。

### 3 主要计算分析

#### 3.1 计算模型

主梁、桥塔采用空间梁单元模拟,斜拉索采用空间桁架单元进行模拟。主梁采用双梁单元模拟双主梁,横梁及挑臂也采用梁单元模拟,最终形成主梁梁格。

主梁采用全漂浮体系,主梁支座采用铅芯橡胶减隔震支座,主塔处设置主梁横向限位支座。

主桥计算模型见图7。

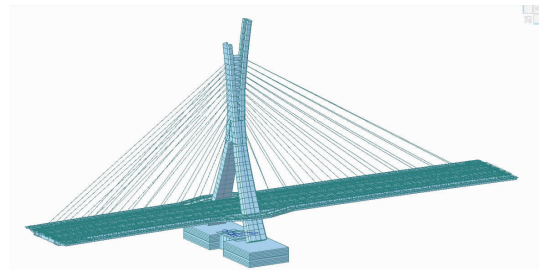


图7 主桥计算模型

#### 3.2 主梁强度验算

##### 3.2.1 组合梁钢梁部分

根据整体计算结果,分别验算成桥状态、成桥初期基本组合与十年后基本组合下钢梁应力。

成桥初期,钢梁应力水平比较低,最大应力出现在边跨最内侧拉索钢梁下缘。受混凝土桥面板收缩徐变的影响,十年与成桥初期基本组合下钢梁应力有比较大的变化,上缘最大压应力均在跨中,十年比成桥增加了36%;下缘最大压应力出现在主跨最内侧拉索,十年比成桥增加了60%,下缘最大拉应力出现主跨最外侧拉索位置,十年与成桥相差不大。

设计过程中要着重考虑混凝土桥面板收缩徐变对钢梁结构应力带来的影响,在各项工况下钢梁应力均满足规范要求<sup>[3]</sup>。

##### 3.2.2 组合梁桥面板部分

主梁桥面板在第一体系中为顺桥向受力构件,其内力主要由恒活载、混凝土收缩徐变及温度等工况共同控制。桥面板在第二体系中为横桥向受力构件,受力形式类似于支撑于两根斜拉索之间的组合梁混凝土桥面板,其内力同样由恒活载、混凝土收缩徐变及温度等工况共同控制。桥面板在第三体系中为承受车轮荷载的单向或者双向板件,其内力主要由车轮荷载控制。

桥面板顺桥向受力和横桥向受力分开,并分别叠加第三体系车轮荷载产生的内力,最终由最不利的受力状况指导桥面板配筋。第一与第二体系内力

