

天津滨海海河大桥总体设计

刘旭锴 华龙海

(天津市市政工程设计研究院 天津 300051)

摘要:天津海河大桥是天津海滨高速集疏港公路二期中段工程的重要节点,主桥采用独塔双索面混合梁斜拉桥,主塔采用钻石型塔,主跨采用正交异性桥面板钢箱梁,边跨为预应力混凝土连续箱梁,跨径布置为 $310+2 \times 50+2 \times 40\text{m}$ 。新建的海河大桥与现状海河大桥呈反对称布置。既满足了疏港功能要求,又兼顾了整体景观需要。介绍了该桥总体设计概况,以及设计中各项关键技术要点。

关键词:海滨 海河大桥 独塔斜拉桥

1 概述

1.1 工程概况

天津集疏港公路和海滨高速是天津为实施港城分离战略,进一步完善滨海新区的路网规划重点建设的“三横一纵”的重要组成部分。集疏港公路交通规划建设,是加快京津区域经济一体化、带动环渤海地区经济快速、协调发展的需要。

海河大桥是天津海滨高速集疏港公路二期工程的重要节点,桥址位于海河入海口处,新港船闸和防潮闸内侧,见图1。海河大桥桥址处现在有一座双向四车道的独塔混合梁斜拉桥,跨径布置为: $310\text{m}+3 \times 48\text{m}+46\text{m}$ 。鉴于现状海河大桥桥面窄,车道数少,不能满足疏港功能要求,需进行改扩建。本工程充分利用现有的桥梁结构,将其作为本工程的西半幅桥梁使用,在现状桥梁东侧新建一座桥梁作为东半幅。新建的海河大桥主桥与现状海河斜拉桥桥呈对称布置,跨径布置为:



图1 桥位示意图

$310\text{m}+2 \times 50\text{m}+2 \times 40\text{m}$ 。既满足了疏港功能要求,又兼顾了整体景观需要。如图2、图3所示。

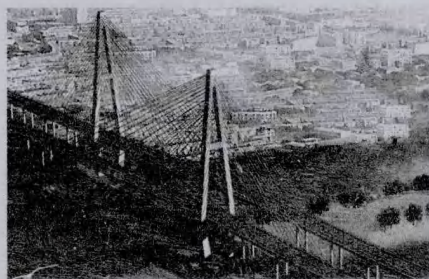


图2 海河大桥斜拉桥鸟瞰图



图3 海河大桥斜拉桥侧面效果图

新建桥梁规模及梁型与既有桥梁基本一致。桥梁起点位于海河南岸现状海河大桥收费站处,终点止于新港二号路,与城区段高架桥相接,新桥桥墩与原桥墩保持在同一墩位线上。为减少工程征地拆迁范围,引桥桥面间距2m,为满足桥塔施工条件,主桥桥面净距12m,中间设置过渡段。

1.2 主要技术标准

- (1) 道路等级: 城市快速路
- (2) 设计行车速度: 80km/h;
- (3) 设计车道: 主线双向八车道;
- (4) 主桥桥面宽度: 22m;
- (5) 汽车荷载: 公路-I;
- (6) 人群荷载: 无;

(7) 通航标准: 通航孔净宽: $\geq 160.0\text{m}$,
通航孔净高: $\geq 37.0\text{m}$;

(8) 洪水频率: 1/300, 最高洪水位2.5m。

(9) 地震烈度: 基本烈度为VII度, 结构物按VIII度设防。

2 桥梁总体设计

新建海河大桥全长2030m, 其中跨越海河主桥采用主跨310m的独塔混合梁斜拉桥, 主塔设在海河北岸, 与原斜拉桥主塔对称布置。新建斜拉桥主跨采用正交异性桥面板钢箱梁, 边跨采用预应力混凝土连续箱梁, 钢混结合段设置在主跨距主塔中线10m位置。见图4示。引桥结构采用预应力T梁结构。

主桥结构采用漂浮体系, 在桥塔处设置0号拉索。在塔柱下横梁和主梁之间安装两对纵向减震阻尼器, 在塔柱内侧和主梁侧面之间设置横向支座来限制主梁的横向位移。主梁在边墩和辅助墩设置盆式钢支座, 形成多跨连续梁体系。斜拉索在钢箱梁两侧锚固区域采用钢锚箱连接, 混凝土锚固区和桥塔锚固区采用混凝土楔形锚块。

主跨钢箱梁横断面布置为: 2.46m吊索带(含风嘴部分)+2m检修步道(含栏杆、防撞护栏)+16.5m车行道+2m检修步道(含栏杆、防撞护栏)+2.46m吊索带(含风嘴部分), 全宽25.42m(其中桥面宽22m)。

边跨混凝土箱梁断面布置为: 1.335m吊索带(含风嘴部分)+2m检修步道(含栏杆、防撞护栏)+16.5m车行道+2m检修步道(含栏杆、防撞护栏)+1.335m吊索带(含风嘴部分), 全宽23.17m(其中桥面宽22m)。

桥面采用双向1.5%横坡, 坡度由主梁顶面设置横坡形成。桥面铺装采用浇筑式沥青混凝土铺装。

3 桥梁结构设计

3.1 主塔结构

考虑景观效果需要, 新建斜拉桥主塔造型与原桥一致, 采用钻石型塔柱。主塔由塔靴、下塔柱、中塔柱、上塔柱、下横梁及上横梁组成, 塔座以上全高为164.798m, 桥面以上为126.365m。

下塔柱顺桥向宽8.0m, 壁厚1.2m; 横桥向宽为4.7~6.8m, 横桥向壁厚1.2m。上塔柱和中塔柱顺桥向宽6.0~8.0m, 从塔顶线性过度到下横梁顶面位置。上塔柱顺桥向壁厚1.5m, 中塔柱顺桥向壁厚0.8m。上塔柱和中塔柱横桥向宽3.0~4.0m, 从塔顶线性过度到下横梁顶面位置。上塔柱和中塔柱横桥向壁厚均为0.6m。

拉索C1~C18#斜拉索塔锚固区设在上塔柱塔壁内侧, C0#斜拉索塔锚固区设在上横梁箱室内。上塔柱为PC结构, 设置5 ϕ 15.20型预应力钢绞线井字型预应力钢束。由于井字型预应力钢束较短, 为有效控制预应力损失, 设计采用回缩量小于2mm低回缩预应力锚具, 并采用单端张拉施工工艺。

3.2 钢箱梁结构

主跨采用正交异性板的钢箱梁结构, 梁高3m。钢箱梁投影长共300m, 纵桥向共分20个节段, 采用全断面焊接悬拼工艺。标准节段长16m, 每隔3.2m设置一道横隔板, 最大吊装重量220t。合拢段为第19节段, 采用移动支架法进行合拢。

钢箱梁主梁采用单箱三室的扁平流线形断面形式。标准段顶板厚16mm, 钢锚箱位置局部加厚至30mm, 底板厚为14mm, 距离桥中线两侧3.1m处腹板厚度12mm, 两侧钢锚箱位置腹板厚度30mm。混凝土梁结合段11m长度内顶板加厚至18mm, 底板加厚至16mm, 腹板加厚至16mm。

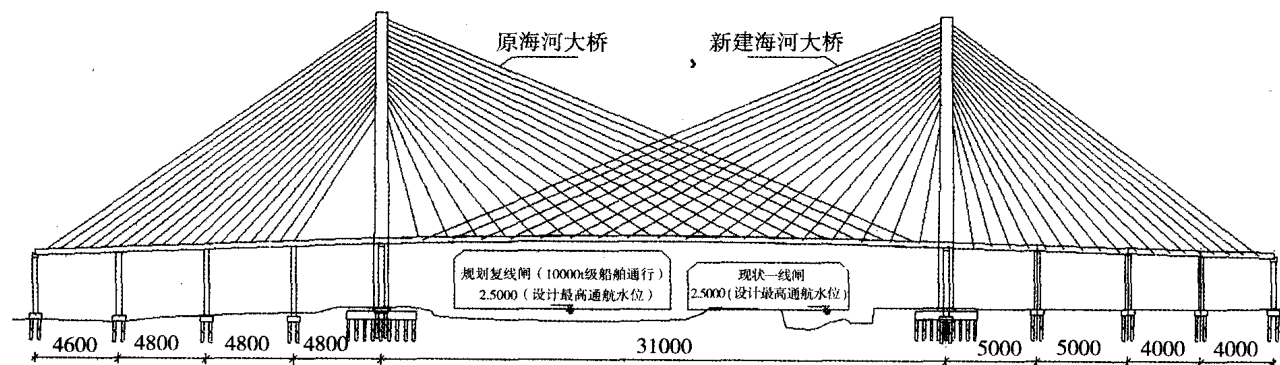


图4 海河大桥桥型布置

桥面板纵向采用U肋加强, U肋厚8mm。

普通横隔板钢板厚度为14mm。吊点横隔板钢板厚度为14mm, 吊点区域钢板加厚至24mm, 每个箱室处设置人孔。边墩支座横隔板加厚到16mm。

3.3 预应力混凝土箱梁

全部边跨以及主跨靠近主塔10m长度范围内梁段采用预应力混凝土梁结构。预应力混凝土箱梁采用单箱五室断面形式。梁高3.0m, 顶板厚0.3m, 底板厚0.3m, 支点处腹板厚度0.7m, 跨中腹板厚度0.5m, 在支点附近线性变化。结合段横梁、21#墩、25#墩横梁宽度均为2m, 22~24#墩横梁宽度为3m, 跨中横梁宽度均为0.4m。跨中横梁间距根据拉索间距不同而有所不同, 其间距在4~5.1m之间变化。除25#墩边横梁外, 其余横梁均设过人孔。横梁人孔位置为满足横梁预应力的布束要求进行相应调整。根据设计需要, 在21#、24#、25#墩设置混凝土压重。

3.4 钢箱梁与预应力混凝土结合段

钢混结合段设置在主梁弯矩和剪力均较小、主跨距主塔中心10m处, 结合段共2m长。钢混结合段钢箱梁箱室结构内设置剪力销, 待钢筋绑扎完成后, 填入C50自密实无收缩混凝土。预应力混凝土梁的纵向预应力锚固端设置结合段钢箱梁侧。同时为确保钢箱梁与预应力混凝土梁连成整体, 在结合段共设置66根 $\phi 32$ 精轧螺纹钢, 张拉端设在钢箱梁侧。

3.5 斜拉索

斜拉索采用双索面空间扇形布置, 全桥共有斜拉索37对、共74根。索面垂直方向在主塔上交点间距为1.5~2.5米, 在横桥方向上斜拉索锚点位于塔壁中心线。主梁上主跨侧的水平方向索距为16m, 斜拉索通过钢锚箱与梁体连接。主梁边跨侧索距为8m~10m, 斜拉索通过混凝土锚块与梁体连接。0号索上端锚固于上横梁内, 锚固点顺桥方向与桥塔中心线重合, 高度方向位于上横梁中心线。

斜拉索采用 $\phi 7$ mm的低松弛高强平行镀锌钢丝, 外层设置热挤双层高密度PE防护套。斜拉索两端采用冷铸镦头锚具, 冷铸锚头螺母前设置滑动球铰。拉索张拉端设置在塔上。

3.6 斜拉索锚固方式

斜拉索塔上锚固以及混凝土梁上采用混凝土

锚块连接, 钢箱梁上锚固采用钢锚箱连接。钢锚箱是目前广泛采用的索梁锚固形式。

钢锚箱主要由承锚板, 承压板, 锚垫板、锚箱加劲肋、边腹板和腹板内侧加劲肋等板件组成。承锚板焊接在钢梁最外侧斜腹板上并与腹板垂直, 是将索力传递给腹板的直接传力构件。承压板与主梁边腹板及承锚板焊接, 是连接两块承锚板, 并将索力传给承锚板的构件。承锚板和承压板均采用熔透角焊缝与边腹板连接。锚垫板与承压板采用磨光顶紧连接。

索梁锚固区是斜拉索与主梁之间传递索力的重要结构, 刚度变化大、局部应力大、传力复杂, 是斜拉桥控制设计的关键部位。设计过程中, 采用大型有限元分析软件Ansys, 建立空间有限元实体模型进行仿真分析。计算过程中, 考虑了钢锚箱的锚垫板与承压板之间为不焊接的紧压密贴关系。锚垫板与承压板一起参与抗弯, 同时通过与承压板之间的面面接触把作用在较小面积上的分布压力分散到较大面积上。分别采用等效板厚法和非线性接触算法对钢锚箱的受力进行分析, 确保了关键部位的安全。

3.7 阻尼装置

为保证斜拉桥在地震力作用下的结构安全, 与同济大学、上海材料研究所合作研究设计了两对最大阻尼力为340吨的纵向抗震阻尼器, 并安装在混凝土主梁的桥塔处横梁与桥塔下横梁之间。阻尼器参数为: $C=4000$, $\xi = 0.3$, 最大行程 ± 0.4 m。

同时, 为减小拉索风、雨振影响, 除0号索外, 其他斜拉索均在拉索下端安装了外置式减振阻尼装置, 全桥共72个。

3.8 抗风研究

该桥濒临渤海, 受季风环流的影响很大, 风速较高。由于原海河大桥和拟建海河大桥结构均轻而柔, 阻尼较小, 对风的作用十分敏感, 并且由于两桥桥面之间净距仅有12m, 相互间存在着显著的气动干扰效应, 因此很有必要对其进行气动性能的全面研究, 以保证两座桥梁结构的抗风安全及使用舒适性。为此, 同济大学土木工程防灾国家重点实验室开展节段模型风洞试验和全桥气动弹性模型风洞试验研究, 重点对既有桥单桥成桥状态、新建桥施工及建成后双桥状态下结

构的抗风性能以及两桥之间的气动干扰效应进行了详细的研究。通过改尖原桥风嘴和在桥面检修道栏杆上增设风障的涡振减振组合气动措施,对既有桥和新建桥的钢箱梁外形进行改良,成功使两桥的涡激共振性能满足规范的要求。确保了该桥的抗风安全性,也提高了行车舒适性。如图5所示。

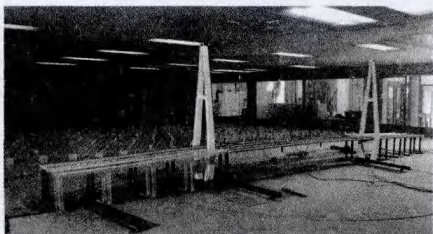


图5 风洞试验全桥模型

4 结语

新建的海河大桥与现状海河大桥呈反对称布置,既满足疏港功能要求,又照顾了景观需要。天津海河大桥斜拉桥是北方地区修建的跨径最大

(上接第13页)

4.2 抗风科研课题

安阳桥是新型的拱桥结构,本桥抗风的设计也是一项崭新的内容。现行通用设计规范、抗风规范静风荷载计算中都没有对应的风载阻力系数,而抗风规范的动风荷载验算主要是针对斜拉桥和悬索桥的,并没有对空间钢网拱这样的桥梁结构。在抗风设计中,不仅要进行基本风速统计分析和桥位风特性参数确定,还有对主梁和主拱做静风三分力系数测试和静风荷载计算,用于研究等效风荷载组合研究和静风稳定性分析。对于安阳桥抗风研究课题,与同济大学共同合作,将进行主拱节段模型试验、主梁节段模型试验和全桥气动弹性模型试验,以此来评价桥梁结构的动风稳定性。

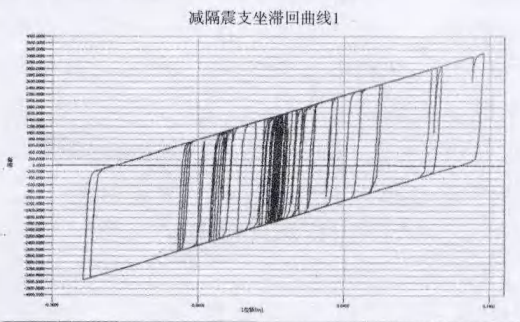


图16 减隔震支坐滞回曲线

的独塔混合梁斜拉桥,该桥于2008年11月开工建设;2010年1月开始主梁钢结构安装施工;2011年11月大桥建成通车,见图6。

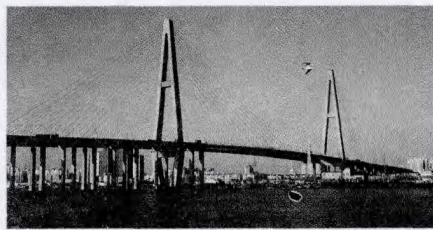


图6 海河大桥实景照片

参考文献

- [1] 天津市市政工程设计研究院. 天津海河大桥斜拉桥施工图设计[D]. 2008, 10.
- [2] 丁雪松, 熊刚, 谢斌. 大跨度钢箱梁斜拉桥索梁锚固结构的发展与应用[J]. 世界桥梁, 2007, 4: 70-73.
- [3] 邓文中, 任国雷, 杨春. 涪陵乌江二桥总体设计[J]. 桥梁建设, 2007, 1: 43-46.
- [4] 郑宗仕, 张强. 泉州晋江大桥主桥总体设计[J]. 桥梁建设, 2006, 4: 24-26.
- [5] 李坤丰, 叶长允, 陈洪涛. 徐州和平路斜拉桥设计[J]. 世界桥梁, 2009, 1: 26-28.

阻尼器滞回曲线1

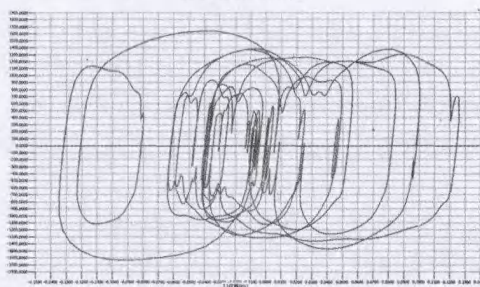


图17 阻尼器滞回曲线

滑动支坐滞回曲线1

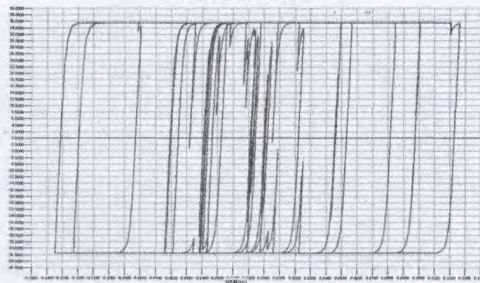


图18 滑动支坐滞回曲线

5 结语

安阳桥为新型的城市景观桥,在本桥设计遇到的一系列问题中,不但要考虑结构设计的强度、刚度和稳定性,而且要考虑结构构件的制作、加工、运输、吊装、焊接等施工可实现性的问题。在将来的安阳桥施工中,铸件、主拱的安装需更加详细的研究。