

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.11.004

天津市西中环跨海河桥工程总体设计及技术难点

刘旭锴^{1,2}, 项敬辉^{1,2}, 华龙海^{1,2}, 宋广君^{1,2}

(1.天津市市政工程设计研究总院有限公司,天津市 300457; 2.天津市道路桥梁科技创新基地,天津市 300051)

摘要:天津市西中环跨海河桥工程是滨海新区南北交通重要纽带——西中环快速路的重要组成部分,处于全线的“咽喉”位置,该项目建设对于加快滨海新区双城战略实施具有重要意义。基于桥位建设条件进行方案比选与设计,总结项目的技术难点并提出解决措施,对完善同类型桥梁的设计理论,解决关键技术和确保桥梁施工和运营的安全性和耐久性具有一定的指导意义。

关键词: 总体设计;方案比选;抗震技术;顶推施工

中图分类号: U442.5+4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)11-0013-03

1 项目背景

滨海新区位于天津东部沿海地区。西中环快速路作为新区快速路网的组成部分,是南北向大动脉,其北联塘承高速,南接南中环连接秦滨高速,是衔接河北省的重要通道。

目前,除跨海河桥节点外,西中环全线均已建成或在建,西中环快速路跨海河桥作为快速路全线的“咽喉”位置,亟需启动建设。

本项目建设对支撑天津港建设世界一流港口,促进京津冀协同发展,加快滨海新区双城战略实现,促进海河以南区域开发建设、提升土地价值、优化路网结构和完善城市基础设施具有重要意义^[1](见图 1)。

2 建设条件

2.1 沿线自然地理概况

滨海新区地处海河流域下游,拟建物场地地貌单元属华北平原东部滨海平原地貌,为海相与陆相交互沉积地层。

主桥跨越海河干流,拟建工程所在位置海河设计行洪流量 $800\text{ m}^3/\text{s}$,相应设计洪水位 3.66 m ,堤防超高 1.90 m ,设计堤顶高程 5.56 m 。

2.2 场地工程地质条件

本场地内不良地质作用不发育,地势平坦,地基



图 1 项目地理位置图

土分布尚稳定,无不良地质作用,场地稳定性差,适宜性差,经适当地基处理后可进行本工程建设。勘察深度范围内各层土总体上土质尚均匀,从上而下土质渐好。

该场地埋深 110 m 范围内,地基土按成因年代可分为以下 11 层,按力学性质可进一步划分为 25 个亚层。

人工填土层厚度为 $1.1\sim 3.3\text{ m}$,分为杂填土和素填土。主要分布有黏土、淤泥质土(厚度为 $2.5\sim 5.0\text{ m}$,呈灰色,流塑—软塑状态,仅在海河北侧分布),其下为粉土、粉质黏土和粉砂。

2.3 海河航运情况

考虑附近码头的作业区和过往船舶通航需要,主桥采用的通航净空标准为:净高 12.5 m ,净宽 261 m ^[2]。

2.4 场地地震效应

本场地土为软弱土,场地类别为 IV 类。综合判别

收稿日期: 2024-09-12

基金项目: 天津市交通运输科技发展规划项目(2021-01)

作者简介: 刘旭锴(1965—),男,工学硕士,正高级工程师,全国工程勘察设计师,从事桥梁工程设计工作。

通信作者: 项敬辉(1982—),男,工学硕士,高级工程师,从事桥梁工程设计工作。电子信箱: xiangjinghui@126.com

本场地对于建筑抗震属不利地段。

本场地抗震设防烈度为8度,设计基本地震加速度为 $0.20g$;本场地属设计地震第二组。场地内以局部分布的淤泥质土、一般黏性土和稍密~密实状态为主的粉土、粉砂为主,因此场地属抗震不利地段^[3]。

3 主要技术标准

- (1)道路等级:采用城市快速路标准。
- (2)主桥纵坡:3.5%。
- (3)道路横坡:双向1.5%。
- (4)设计速度:主线 80 km/h 。
- (5)主线基本车道数:主桥双向8车道+2个集散车道。
- (6)净空:航运等级为内河Ⅲ级,通航净宽 $\geq 261\text{ m}$,净高 $\geq 12.5\text{ m}$ 。
- (7)桥梁荷载等级:城-A级;人群:按照城市桥梁设计规范验算,非机动车道按照人群加载计算。
- (8)抗震设防标准:抗震基本烈度8度,设计地震动峰值加速度系数为 $0.2g$;甲类桥梁,抗震措施等级为9度。
- (9)设计基本风速:100 a 重现期风速 30.6 m/s 。

4 主桥总体设计

4.1 跨径布置

综合考虑规划、通航及上下游码头、两岸水利设施等条件,跨海河主桥采用一跨过河形式,需同时跨越海河和两岸河堤。根据现状条件,两岸河堤坡脚距离约 330 m ,考虑河堤维护和河道巡视的需要,同时考虑到桥梁基础尺寸及基坑开挖对河堤安全的影响,桥梁跨径采用 410 m 。

4.2 主桥方案

主跨 410 m 的可选桥型主要有悬索桥、斜拉桥、拱桥。但是,由于条件限制,适合的桥型较少。

(1)由于主桥北侧接匝道开口,为异形段,如果设置配跨,技术难度将大大增加,因此选用的桥型方案不宜在北侧设配跨。

(2)主桥南岸马上进入平曲线,如果在南岸设配跨,需采用对曲线有一定适应能力的桥型。

(3)滨海新区为软土地基条件,不适合采用大型“地锚式”结构,对于悬索桥宜采用自锚式结构。考虑到国内自锚式悬索桥的实践,结合配跨在曲线段上的实际情况,悬索桥方案的技术难度很大,不推荐。

综合以上因素,具有较好实施性的桥型方案主

要为下承式拱桥方案和独塔斜拉桥方案。

经综合方案比选,下承式系杆拱桥方案总体受力合理,抗震性能好,造型优美,标志性及现代感强,景观效果佳,且造价经济合理,可作为本桥的推荐方案,总体效果图如图2所示。



图2 主桥总体效果图

4.3 总体设计

采用刚性系杆刚性拱的下承式提篮拱桥结构,拱肋与主梁固结,梁底设置减隔震支座。

标准桥宽 60 m 。跨径布置 410 m ,拱肋高 82 m ,矢跨比为 $1:5$,拱轴线为 $m=1.3$ 的悬链线。拱肋内倾 12° ,两片拱肋间设置13道一字形横梁。

全桥设置43对吊杆,两侧钢系梁内分别布置9根水平系杆索。

总体布置如图3至图5所示。

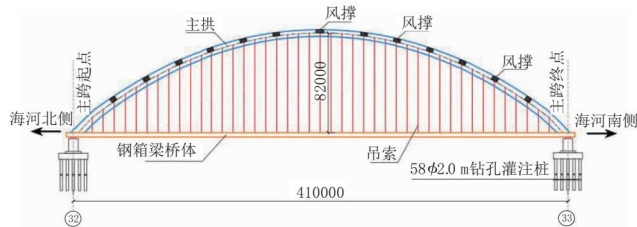


图3 主桥立面图(单位:mm)

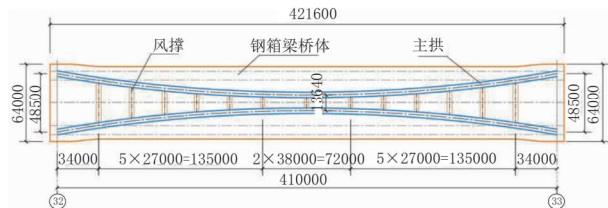


图4 主桥平面图(单位:mm)

5 主桥结构设计

5.1 主梁结构

如图6所示,主梁由两边钢系梁与中间正交异性桥面板及横梁、挑臂组成,采用全焊接结构,总长度 421.6 m ,道路中心线处梁高 3.6 m ,双边钢系梁截面尺寸为 $3.2\sim 3.3\text{ m}$ (高) $\times 7.23$ (宽) m 。钢梁标准宽度为 60 m 。

5.2 主拱结构

采用变高陀螺形截面,尺寸为 $5.5\sim 8.5\text{ m}\times 4.5\text{ m}$

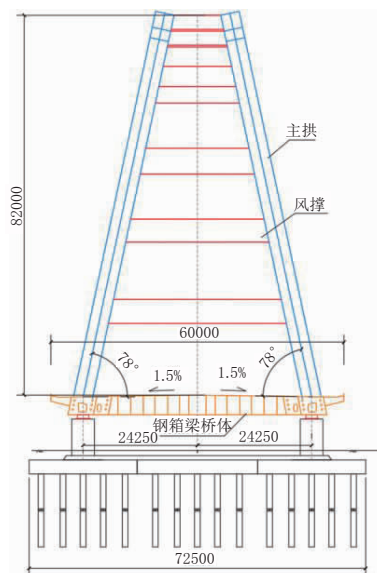


图5 主桥横断面图(单位:mm)

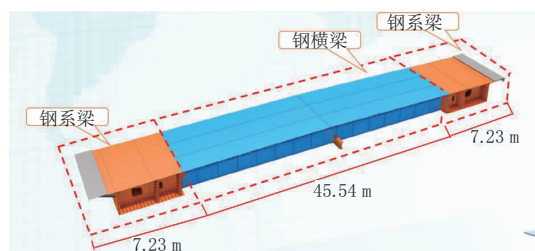


图6 标准段主梁横断面图

(高×宽),其中倒梯形部分竖直高度为3.0 m,保持不变(见图7)。拱肋高度为跨径的 $1/74 \sim 1/48$,按1.6次抛物线变化。拱肋顶板宽4.5 m,底板宽3.0 m,顶底板等厚,厚度60 mm,拱肋腹板厚度为40 mm。在拱肋上半部矩形截面与下半部倒梯形截面之间设置中板,厚度30 mm。

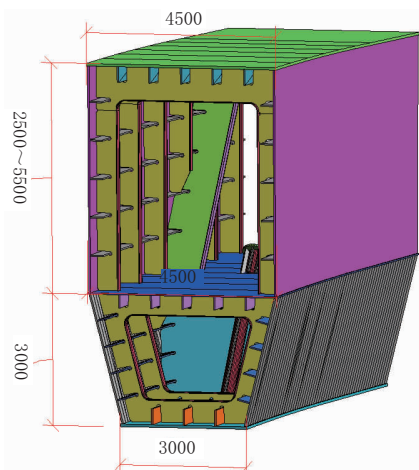


图7 主拱横断面图(单位:mm)

5.3 吊杆

顺桥向间距9 m布置。拱肋每侧各设置43根吊杆,共86根。吊杆在拱端和梁上均采用锚管式锚固构造,两端均采用冷铸锚。吊杆索体采用平行钢丝吊杆,规格为PES7-1770-121-Zn。

5.4 系杆

单侧钢系梁内设9根水平系杆,全桥共18根系杆,系杆采用XG15-37全防腐整根可调可换型钢绞线成品索体及配套锚具,系杆两端采用锚梁式锚固构造,两端张拉。

5.5 下部结构及基础

每个拱脚下各设置一个墩柱,全桥共4个。墩柱采用长8 m、宽8 m、壁厚1.2 m的矩形空心墩柱,柱顶实心段高4 m。

基础采用58根直径2 m长80 m群桩基础,承台呈“凹”字形,承台长72.5 m,宽24 m,高5 m。承台系梁宽9 m,长24.5 m,与承台同高。墩柱下设置1.5 m厚柱托。

6 技术难点

6.1 基于寿命期与性能的软土高震区大跨径拱桥的抗震技术^[4]

本工程位于软土高震区,抗震设防烈度为8度,设计基本地震加速度为 $0.20g$,场地土为软弱土,IV类场地。支座竖向承载力达到110 MN,地震力大,且地震工况下梁端位移较难控制。

通过采用速度锁定摩擦摆支座+叠层橡胶支座,实现“共同减震”的“两水准设防,两阶段设计”理念。

(1)叠层橡胶支座的作用提高桥梁的水平向刚度,减小桥梁在地震作用下的位移。位移消减率达到30%。

(2)速度锁定型单向活动摩擦摆支座在正常使用时,梁体纵向自由活动,摩擦摆不摆动;在地震工况下,锁定器约束梁体与支座相对位移,摩擦摆摆动耗能,与固定型摩擦摆共同减震。E2工况下,减震率能达到40%~60%。

(3)在取消横桥向地震限位装置的情况下,摩擦摆摆体可横向滑动,以释放对梁体横向温度变形的约束。

6.2 大跨径组合系杆下承式拱桥“先梁后拱”施工技术

钢箱梁宽度达60~64 m,主桥全长421.6 m,计算跨径410 m,采用“先梁后拱”施工工艺。

(1)376 m标准段钢箱梁整体顶推(顶推重量为13 000 t),两侧拱梁结合段采用支架拼装。采用新型的智能步履式顶推系统,施工过程中进行技术创新、设备研发、信息化技术应用。

(2)主跨拱肋采用低位卧拼成形+整体提工艺。主跨中279 m范围内拱肋采用在钢箱梁上搭设低位

(下转第21页)

- of the Art Report. 2011.
- [21] Yiwen Liu, Keshab R. Sharma Markus Fluggen, *et al.* Online dissolved methane and total dissolved sulfide measurement in sewers. *Water Research*, 2015(68): 109–118.
- [22] Anup Shah, John Willis, Lauren Fillmore. Quantifying Methane Evolution From Sewers: Results from WERF/Dekalb Phase 2 Continuous Monitoring at Honey Creek Pumping Station and Force Main [C]//*Proceedings of the Water Environment Federation*, 2011(6): 475–485.
- [23] Fries A.E., Schiffman L.A., Shuster W.D., *et al.* Street-level emissions of methane and nitrous oxide from the wastewater collection system in Cincinnati, Ohio[J].*Environmental Pollution*, 2018, 236: 247–256.
- [24] Wang S.Y. Control of nitrous oxide emissions in biological wastewater treatment process[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014(9): 1–10.
- [25] 中华人民共和国生态环境部. 中华人民共和国气候变化第三次两年更新报告[R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2023.
- [26] 中国城镇给排水协会. 城镇水务系统碳核算与减排路径技术指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.
- [27] T/CUWA 50055—2023, 城镇污水处理厂碳减排评估标准[S].
- [28] International Water Association. Quantification and Modelling of Fugitive Greenhouse Gas Emissions from Urban Water Systems[R]. London: International Water Association, 2022.
- [29] Haiyan Li, Liangfang You, He Du, *et al.* Methane and nitrous oxide emissions from municipal wastewater treatment plants in China: A plant-level and technology-specific study[J]. *Environmental Science and Ecotechnology*, 2024(20): 100345.
- [30] 戴晓虎, 张辰, 章林伟, 等. 碳中和背景下污泥处理处置与资源化发展方向思考. *给水排水*, 2021, 47(3): 1–5.
- [31] 张海亚, 李思琦, 黎明月等. 城镇污水处理厂碳排放现状及减污降碳协同增效路径探讨. *环境工程技术学报*, 2023, 13(6): 2053–2062.
- [32] 徐猛, 徐莹, 孙德兴. 原生污水源热泵的关键技术与工程实践[J]. *节能技术*, 2009, 27(1): 1181–1190.
- [33] 下水污泥エネルギー化技術 (市政污泥资源化技术指南)[R]. Tokyo: 日本国土交通省水管理与国土保全局下水道部, 2018.
- [34] 李哲坤, 张立秋, 杜子文, 等. 城市污泥不同处理处置工艺路线碳排放比较[J]. *环境科学*, 2023, 44(2): 1181–1190.
- [35] 湛宇辰. 取消化粪池对排水系统的影响研究——以重庆为例[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2023.
- [36] 杜睿, 彭永臻. 城市污水生物脱氮技术变革: 厌氧氨氧化的研究与实践新进展[J]. *中国科学·技术科学*, 2022, 52(3): 389–402.
- [37] 温汉泉, 潘元, 俞汉青. 低碳水处理与资源化技术: 厌氧膜生物反应器(AnMBR)的特性、应用与新技术简介[J]. *能源环境保护*, 2024, 38(1): 1–11.
- [38] 张辰. 基于海绵城市建设理念的排水工程设计. *给水排水*, 2019, 55(6): 1–5.

~~~~~  
(上接第 15 页)

低位拼装支架卧拼成型, 两侧靠近拱脚 65.5 m 处采用满堂支架架设, 吊装高度由 82 m 降低至 40 m。

## 7 结 论

本文系统地介绍了西中环跨海河桥工程的项目背景、建设条件、总体方案、桥型比选等内容, 推荐采用下承式系杆拱桥方案, 并介绍了主桥结构设计, 结合项目的技术特点及难点, 提出了相应的解决措施, 对完善同类型桥梁的设计理论, 解决关键技术问题和确保桥梁施工和运营的安全性和耐久性具有一定的指导意义。

## 参考文献:

- [1] 天津市政工程设计研究总院有限公司. 西中环快速路跨海河桥工程可行性研究报告[R]. 天津: 天津市政工程设计研究总院有限公司, 2022.
- [2] 天津水运工程科学研究所. 滨海新区西中环快速路跨海河桥梁工程航道通航条件影响评价报告[R]. 天津: 天津水运工程科学研究所, 2021.
- [3] 天津市地震灾害防御中心. 西中环海河南岸小梁子地区综合开发基础设施建设项目工程场地地震安全性评价报告[R]. 天津: 天津市地震灾害防御中心, 2021.
- [4] 阮欣, 李建中. 大跨径超宽拱桥静动力性能分析与设计优化[R]. 上海: 同济大学, 2023.