

跨海铁路50 m箱梁设计与建造关键技术

鞠建强

(中铁上海设计院集团有限公司, 上海市 200070)

摘要: 头门港支线二期铁路设计时速80 km/h, 深海区采用50 m简支箱梁作为设计跨径。现阶段50 m跨度简支箱梁尚未在客货共线铁路中应用, 为此进行设计研究。首先介绍项目的工程特点和建设条件; 其次对结构的上下部进行研究, 进行静力计算分析和海中顶板吊点实体计算分析, 确保结构安全性和海中顶板吊施工可行性; 再次海中风大浪高, 建设条件复杂, 对海中50 m简支箱梁施工方案进行探讨。通过跨海铁路50 m跨度简支箱梁设计, 对类似客货共线铁路项目提供参考。

关键词: 跨海铁路; 简支箱梁; 结构设计; 计算分析; 施工方案

中图分类号: U448.21; U442.5; U24

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)12-0101-05

Key Technologies of Design and Construction of 50-m Box Beam for Cross-sea Railway

JU Jianqiang

(China Railway Shanghai Design Institute Group Co., Ltd., Shanghai 200070, China)

Abstract: The design speed of the Toumen Port Branch Phase II Railway Project is 80 km/h. The 50-m simple-supported box beams are adopted as the design span in the deep sea area. At present, 50 m-span simple-supported box beams have not been applied in passenger-cargo joint railways. Therefore, the design research is carried out. First, the engineering characteristics and construction conditions of the project are introduced, and then the superstructure and substructure are studied, and the static calculation analysis and solid calculation analysis of roof suspension points in the sea are conducted to ensure the structural safety and the construction feasibility of the sea roof hanging. Secondly, due to the complex construction conditions of strong winds and high waves in the sea, the construction scheme of 50-m simple-supported box beams in the sea are discussed. The design of 50 m-span simple-supported box beams for cross-sea railways provides a reference for similar railway projects that share passenger and freight lines.

Keywords: cross-sea railway; simple-supported box beam; structure design; computational analysis; construction scheme

0 引言

新建头门港支线二期头门新区至头门港段位于台州市临海市, 场地位于东南沿海。线路起自头门新区站, 经大竹山岛、上头门岛。全线设头门港跨海特大桥一座, 全长12.1 km, 线路跨越台州湾, 建设条件复杂, 风大浪高, 设计时速80 km/h。深海区南侧邻近疏港公路一期工程, 疏港公路一期项目跨度采用50 m预应力混凝土连续箱梁。为确保海中两座平行桥梁对应里程跨径一致, 本项目采用50 m单线简支箱梁作为标准设计跨径。50 m跨径单线简支箱梁尚

未在客货共线铁路中应用^[1], 因此对结构进行设计研究, 对海中施工方案进行探讨, 确保结构安全和海中施工可行。

1 建设条件

1.1 工程地质

本工程地质较差, 上层主要为淤泥和淤泥质黏土层, 淤泥层平均厚度9 m, 淤泥质黏土层平均厚度16 m; 下层地层依次为粉质黏土、粉土、粉砂、含角砾玻屑凝灰岩等地层, 岩层较深, 岩石饱和抗压强度标准值为43.5 MPa。

1.2 气象条件

本工程位于东南沿海, 属于亚热带季风气候区, 气候温暖湿润, 雨水充沛, 最高气温41.2℃, 最低气温达-9℃, 区内历年平均气温17℃。

收稿日期: 2025-05-26

基金项目: 中铁上海设计院集团有限公司2023年度科技研究开发计划课题(集23-06)

作者简介: 鞠建强(1990—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁工程设计与研究工作。

2018—2022年气象监测统计,头门岛海域多年平均风速5.8 m/s,最大风为32.0 m/s(11级),极大风速42.5 m/s(14级),出现在2019年9号台风“利马奇”影响期间^[2]。

1.3 水文条件

工程各重现期水位根据相关关系由参考证站结果推算,设计高、低水位由2008年周年观测数据计算,设计高水位取10%高潮累积频率,设计低水位取90%低潮累积频率,计算结果见表1。

表1 工程区设计潮位情况

项目	工程区设计潮位/m
100 a一遇高潮位	5.63
50 a一遇高潮位	5.31
20 a一遇高潮位	4.87
10 a一遇高潮位	4.54
设计高水位	2.83
设计低水位	-2.37

工程所在的椒江河口海域,浅海分潮振幅之和远大于20 cm,浅海分潮显著,属非正规半日潮浅海海域;涨潮历时少于落潮历时,其涨落潮历时差值可达2 h以上,是我国潮汐较明显的海区之一。工程区平均高潮位为2.3 m,平均低潮位为-1.7 m,平均潮差为4 m^[3]。

1.4 波浪条件

头门岛附近海域东向面临外海,海浪开阔,波浪多为风浪和涌浪组合的混合浪。根据观测资料统计,头门岛浪向集中出现在NE-NS向,长浪向为E-ESE向^[4]。

50 a一遇风速组合100 a一遇重现期高潮位条件下,由浅岸至岛屿有效波高范围约2.2~3.9 m,整个工程海域波高较大,从空间分布来看,总体上由岸向岛波浪呈逐渐增大趋势。50 m梁体区域 $H_{1\%}$ 波浪高5 m左右^[5]。

2 结构设计

2.1 上部结构

桥梁上部结构采用单线50 m预制简支箱梁,标准梁长49.9 m,计算跨度48.5 m,顶板桥面宽7.4 m,底板桥面宽4.0 m,支座到梁端0.7 m,横桥向支座中心距为3.1 m,采用整孔预制架设,整孔梁海中吊装采用顶板吊。

顶板厚度为30 cm,底板厚度为34 cm,腹板厚度由40~70 cm过渡,结构跨中和支点横断面见图1和图2。

主梁腹板束采用8根17- ϕ 15.2 mm钢绞线,底板束采用11根15- ϕ 15.2 mm钢绞线,两端张拉,纵向按照全预应力混凝土构件设计^[6-7]。

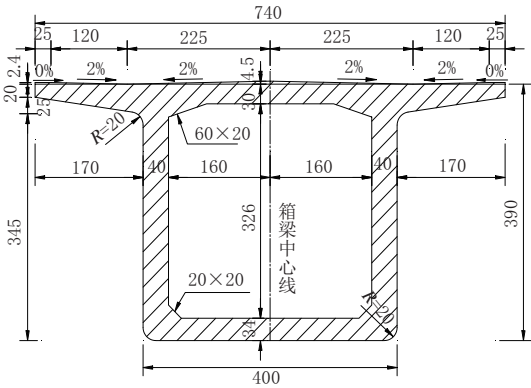


图1 跨中断面(单位:cm)

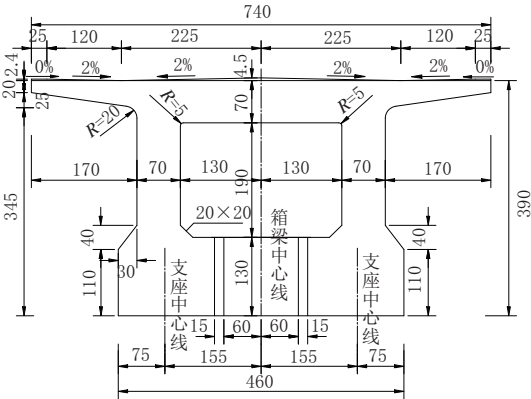


图2 支点断面(单位:cm)

2.2 下部结构

桥梁下部结构采用圆端形实体桥墩,墩身尺寸为3.6 m×5.6 m,墩身坡度采用1:35;顶帽为矩形截面,高0.6 m,宽5.6 m,长7.2 m。海中腐蚀环境严重,采用钢结构吊围栏,耐久性无法保证。基于后期运营维护的要求,采用混凝土吊围栏。在桥墩顶帽上设置高1 m,厚0.2 m的C50钢筋混凝土围板,围板每隔2 m左右设置一道2 mm的切缝,防止引起混凝土开裂^[8]。桥墩构造见图3和图4。

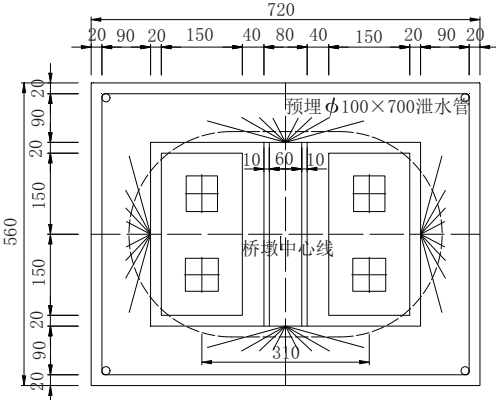


图3 桥墩顶部平面(单位:cm)



图4 桥墩现场实拍

2.3 结构计算

2.3.1 技术标准

- (1)铁路等级:客货共线,Ⅲ级。
- (2)设计速度:80 km/h。
- (3)线路情况:新建客货共线铁路,单线,直、曲线,最小曲线半径 800 m。
- (4)环境:具有氯盐侵蚀、化学侵蚀和盐类结晶破坏的特点,梁部作用等级为 L2。
- (5)轨道结构型式:有砟轨道。
- (6)施工方法:预制架设。
- (7)地震烈度:地震动峰值加速度 $A_g=0.05g$ 。

2.3.2 主梁结构计算

全长 49.9 m(含两侧梁端至边支座中心各 0.7 m),采用 BSAS 有限元软件建模计算,结构离散模型见图 5。

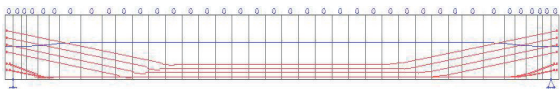


图5 计算模型

运营阶段强度验算:上下缘应力、主应力、剪应力,以及强度安全系数、抗裂安全系数均满足规范要求^[9-10]。计算结果见表 2。

表2 运营阶段强度验算

荷载类型	上缘应力/MPa		下缘应力/MPa		主应力/MPa	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
主力	10.91	1.33	10.06	1.12	11.41	-1.38
主+附	12.85	0.18	10.44	0.93	12.04	-1.44

荷载类型	最大剪应力/MPa	强度安全系数	抗裂安全系数
主力	1.53	2.10	1.33
主+附	1.53	2.10	1.32

运营阶段刚度验算:竖向挠度、梁端转角,以及工后徐变均满足规范要求,计算结果见表 3。

表3 运营阶段刚度验算

荷载组合工况	数值	限值
ZKH 静活载竖向挠度/mm	16.0	32.3
梁端转角/rad	1.04‰	3.0‰
工后徐变/mm	2.6	20

2.3.3 主梁吊点计算

预制梁吊点孔设在梁端腹板内侧桥面板上,梁上每端设置 4 个吊点(全梁共 8 个吊点),吊梁钢垫板尺寸不小于 70 cm×44 cm×4 cm。制梁过程中应保证吊孔的垂直度,以保证吊杆与承载面垂直受力。吊装过程中应采用整体提升装置,保证吊点受力均衡。吊点设计断面见图 6。

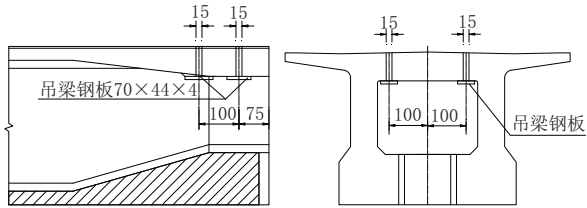


图6 吊点设计断面(单位:cm)

为确保结构安全,针对吊点设计情况进行受力专项检算,实体模型计算见图 7 至图 9。

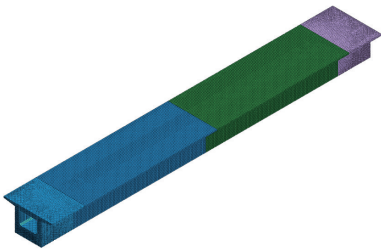


图7 实体单元划分网格

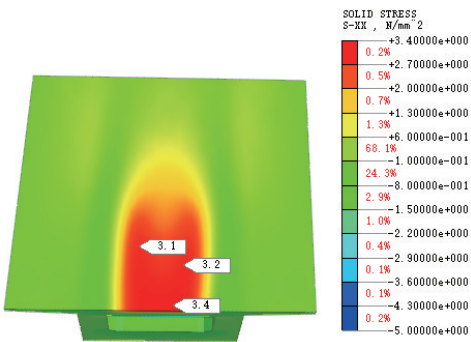


图8 横向应力 Sxx 云图(单位:MPa)

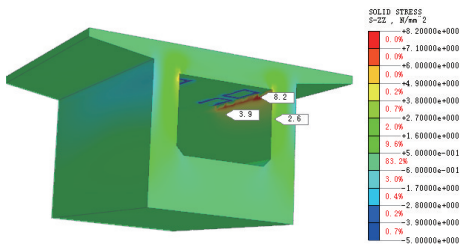


图9 竖向应力 Szz 云图(单位:MPa)

吊孔截面各项应力主要集中在上梗肋附近,在横向两吊孔之间的顶板上缘存在 3.4 MPa 左右的横向拉应力;竖向拉应力集中在上梗肋附近,最大值为 8.2 MPa。

各项应力均集中在吊孔与梗肋区域,在远离吊

孔的截面后,各项应力均迅速趋于平稳,在设计时应考虑加强吊孔及前后区域梗肋的配筋^[11]。

3 桥梁施工

本次整孔箱梁预制定于金塘预制场,位于舟山市定海区沥港镇和建村西侧,预制场占地面积310 hm²,总体上分为5大功能区:办公生活区、生产保障区、墩身生产区、箱梁生产区、水上箱梁提运站。

3.1 梁场设置

改建既有舟山金塘预制梁场,根据现场勘察情况,以充分利用既有梁场和尽快投产为原则,对既有舟山金塘预制场进行改造。预制内容:50 m标准简支箱梁113孔,整孔梁重996 t。

3.2 运架方案

箱梁在预制场内集中预制,存梁区存放满足设计要求后,利用搬运机移运箱梁至出海码头,将箱梁放置在运输船垫梁上锁定,按预定航线运输至待架墩位处,采用浮吊船进行整体起吊安装^[12]。运架采用的主要设备见表4。

表4 主要设备

序号	名称	型号	数量/台
1	搬运机	1 200 t	2
2	龙门吊	150 t	4
3	运输船	2 000 t	2
4	浮吊船	2 000 t	1
5	抛锚船	260 t	2

3.3 运输距离

运输距离约为110 n mile(1 n mile=1.852 km),运输时间大概16 h(8 n mile/h)。

3.4 架设工效

50 m梁整孔架设约为3 d/孔。全桥共计113孔。考虑台风天气影响,工期为420 d。

3.5 施工流程

3.5.1 箱梁预制

箱梁预制在预制场内进行,箱梁钢筋为钢筋绑扎台座整体绑扎,整体吊装。箱梁模板由专业厂家生产,外侧模为固定式整体结构,内模采用整体滑移式结构,通过滑移轨道实现内模安拆。底模与制梁台座固定,端模与外侧模采用外包端形式^[13]。箱梁预制主要流程见图10。

3.5.2 箱梁运输

箱梁在预制场内预制完成,通过2台搬运机从存梁台座运输至水上箱梁提运站处。箱梁海上运输选择2艘驳船运输,每艘运输驳现在均配置4套锚定系

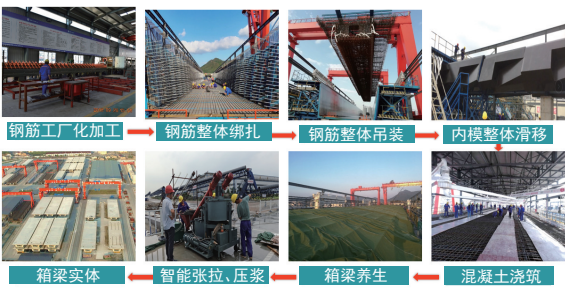


图10 梁场内箱梁预制流程

统,船艏和船艉各2套。箱梁运输出港时间选择在低平潮期,将箱梁运输驶出水上箱梁提运站,待编队完成后出发,高平潮前到达桥位处,出海气象条件为风力7级及以下^[14-15]。

3.5.3 箱梁架设

箱梁架设主要采用浮吊船进行。浮吊船抛锚定位主要由2艘抛锚艇来完成。浮吊船抛锚定位作业前与海事部门沟通确定海上作业区域,防止其他船只误入作业区域发生危险。浮吊船先在施工墩位附近定位,由两艘抛锚艇分别抛设船艏、船艉共7根缆绳,浮吊船绞锚收紧缆绳,箱梁运输船在拖轮的拖带下进入施工水域,由拖轮辅助定位于定位驳旁^[16]。浮吊船共抛锚7个锚(前3后4),浮吊抛锚定位见图11。

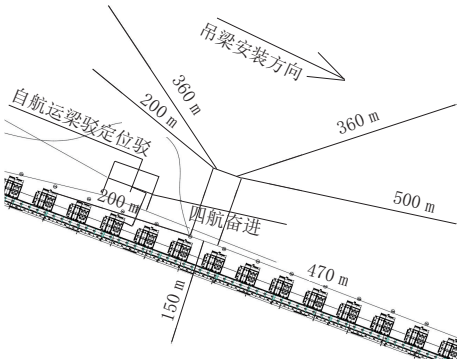


图11 浮吊船定位布置

箱梁架设主要流程如下:施工前墩顶正式、临时支座安装等准备工作→浮吊抛锚就位→定位驳船抛锚定位→箱梁运输驳就位→浮吊绞锚移位→浮吊下放吊梁专用吊具→将箱梁吊具与箱梁顶板吊点连接→起梁至架梁高度→浮吊绞锚移位至架设墩位前方→浮吊绞锚前移→落梁至临时支座→解除箱梁吊具与箱梁顶板的连接→提升箱梁吊具、绞锚移船后退→浮吊起锚、退出孔位至下一待架梁位→箱梁位置精调^[17]。海中箱梁运架流程见图12。

4 结 语

头门港支线二期铁路和南侧疏港公路线路平



图 12 海中箱梁运架流程

行,采用 50 m 单线箱梁既能满足两条线路对应跨径一致的特点,也能减少施工工期、降低工程造价。

通过对 50 m 单线简支箱梁的设计和海中施工方案的研究,实现了 50 m 跨径简支箱梁在客货共线铁路中的首次应用,同时对后续类似工程结构设计和海中施工提供了工程借鉴。

参考文献:

[1] 杨鹏健,周勇政,高策,等.铁路常用跨度标准梁技术发展与创新[J].铁道标准设计,2020,64(11):51-56.
[2] 李孟国,麦苗,李文丹,等.椒江口台州湾建港条件研究[J].水道港口,2015,36(5):369-377.
[3] 陆青,左军成,郭伟其,等.台州湾附近海域潮汐、潮流特性[J].河海大学学报(自然科学版),2011,39(5):583-588.
[4] 唐东跃,张沈阳,王璟,等.台州湾近海海域波浪要素特征分析[J].水利与建筑工程学报,2017,15(1):71-75;135.

[5] 胡华莹,陆凡,沈良朵.台州湾多海岛海域 50 a 一遇极端情况波浪数值模拟研究[J].浙江海洋大学学报(自然科学版),2024,43(3):243-250;267.
[6] 侯建军,徐升桥,邓运清.客货共线铁路简支箱梁设计研究[J].铁道标准设计,2018,62(10):68-73.
[7] 姚志江.40 m 大跨预制简支箱梁建造技术研究[J].四川水泥,2021(4):91-92.
[8] 许见超,陈浩瑞,班新林,等.客货共线铁路 40 m 跨度混凝土简支箱梁桥墩设计[J].铁道建筑,2021,61(2):24-28.
[9] 陈海涛,邓运清,石鲁宁.郑济高铁 40 m 整孔预制简支箱梁应用研究[J].铁道标准设计,2020,64(增刊 1):152-157.
[10] 班新林.高速铁路预制 40 m 简支箱梁设计理论研究[D].北京:中国铁道科学研究院,2021.
[11] 卢文良,李晓壮,马学朋.高速铁路 32m 整孔预制简支箱梁起吊状态裂纹分析[J].铁道标准设计,2021,65(6):56-61.
[12] 袁维达.青岛海湾大桥 60m 箱梁施工技术研究[D].大连:大连海事大学,2011.
[13] 王绍勇,黄培军,徐尚权.胶州湾跨海大桥 60m 箱梁预制施工技术[J].山东交通科技,2012(4):35-38.
[14] 叶昌勇.70 m 预应力混凝土箱梁整体预制和海上运输技术研究[D].西安:长安大学,2009.
[15] 余玮玮.跨海桥梁中大节段钢箱梁整体运输安装关键技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2020.
[16] 刘少志,王朝平.杭州湾跨海大桥 70m 箱梁架设施工技术的探讨[J].铁道工程学报,2006(8):58-61.
[17] 王毅.杭州湾跨海大桥 70 m 箱梁预制、运输及架设的关键技术[J].公路,2006(9):117-120.

(上接第 94 页)

防洪,2024(12):109-111.
[5] 蔡俊华,刘程洪.受限空间工况下的大悬臂隐形盖梁施工技术[J].工程建设与设计,2022(20):181-184.
[6] 刘彬,万淑敏.半倒 T 形盖梁设计初探[J].工程建设,2020,52(11):45-48.
[7] 汤振辉,胡琼.不等跨现浇箱梁中墩梁固结的预应力隐形盖梁的设计分析[J].黑龙江交通科技,2023,46(3):72-75.
[8] 林威.带隐形盖梁的装配式小箱梁桥力学特点研究[D].重庆:重庆交通大学,2022.
[9] 刘伟长.双柱式大悬臂倒 T 形隐式盖梁设计[J].城市道桥与防洪,2024(11):140-142.
[10] 钟瑾.桥梁倒 T 型盖梁分段预制后浇段吊模施工技术[J].低碳世

界,2023,13(11):157-159.
[11] 田周松.超大悬臂盖梁预制拼装方案分析[J].上海公路,2023(1):89-94,182.
[12] 李华.城市高架桥宽幅预应力盖梁优化设计分析[J].上海公路,2021(1):41-46;119.
[13] 程旭东,叶涛,邵斌磊,等.预应力盖梁张拉端裂缝成因分析及技术对策研究[J].城市道桥与防洪,2023(3):186-189.
[14] 黄本才,黄宇辰,张松.预制节段式倒 T 形盖梁干接缝截面抗剪性能研究[J].中外公路,2021,41(4):215-220.
[15] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
[16] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].