

上海轨道交通17号线西延伸高架区间总体设计

程伟, 金峰

(上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 上海市 200235)

摘要: 以上海轨道交通17号线西延伸工程为背景, 系统阐述了高架区间桥梁设计的关键技术。重点提出以30 m跨径为主的预制U型梁方案, 兼顾结构经济性、施工效率与景观协调性。针对特殊节点, 跨Ⅲ级航道拦路港采用(100+180+100)m中央索面矮塔斜拉桥, 结合江南水乡文化进行景观设计。跨沪渝高速公路采用(75+111+75)m曲线变宽连续梁, 通过结构优化, 实现复杂线形悬臂浇筑方式跨越。工程融合结构力学与美学理念, 形成标准化设计与特色化创新相结合的范例, 对同类工程具有参考价值。

关键词: 轨道交通; 高架区间; 桥梁; 总体设计

中图分类号: U448.28; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)12-0106-05

Overall Design of Elevated Section for West Extension of Shanghai Rail Transit Line 17

CHENG Wei, JIN Feng

(Shanghai Tunnel Engineering and Rail Transit Design Institute, Shanghai 200235, China)

Abstract: Taking the Shanghai Rail Transit Line 17 West Extension Project as the background, the key technologies in the design of elevated section bridges are systematically elaborated. The focus is on proposing a precast U-shaped girder scheme mainly with the 30m spans, which takes into account the structural economy, construction efficiency and landscape compatibility. For the special nodes, a (100+180+100)m central cable-plane low-pylon cable-stayed bridge is adopted to span the Lanlu Port of Grade III waterway, and the landscape is designed in combination with the water town culture of the Jiangnan region. A (75+111+75)m curved variable-width continuous girder is used to span Shanghai - Chongqing Expressway. Through structural optimization, the spanning in complex linear cantilever pouring methods is achieved. The project integrates structural mechanics with aesthetic concepts, forming an exemplary model combining standardized design with specialized innovation, which has a reference value for similar engineering projects.

Keywords: rail transit; elevated section; bridge; overall design

0 引言

轨道交通结构总体设计应符合技术先进、安全可靠、适用耐久、经济合理的要求, 同时应按照美观、环保和可持续发展的原则进行设计, 并考虑因地制宜、便于施工和养护。结构的选型应力求体现提升施工技术的发展方向与目标, 保证施工质量, 加快施工进度。充分贯彻以人为本的设计理念, 总体设计中必须注重对环境的保护, 减少对环境的影响。

1 工程概况

17号线西延伸工程由西岑科创中心至东方绿

舟。线路出西岑站后, 沿沪渝高速南侧走行, 与沪渝高速共通道跨拦路港, 后上跨沪渝高速路基段, 穿越倪家浜村、北夏村后向东北走行至沪青平公路南侧, 接入既有17号线东方绿舟站。17号线西延伸高架区间全部位于青浦区境内长度约6.377 km, 见图1。



图1 上海轨道交通17号线西延伸线路走向示意图

2 主要技术标准

正线数目: 双线, 标准线间距 5.0 m;

最小曲线半径: 650 m;

收稿日期: 2025-03-10

作者简介: 程伟(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。

设计速度:100 km/h;
设计荷载:采用 6 节编组,荷载总长 132.2 m,满载轴重为 160 kN,空车轴重为 95 kN;
轨道类型:无砟轨道,高等减震,轨道高度为 700 mm;
供电方式:DC15 kV 接触轨供电,桥面设接触轨;
抗震设防烈度:7 度。

3 高架区间桥梁方案设计

3.1 总体布置原则

- (1)桥位选择和桥跨布置应满足桥上和桥下交通的要求。设计时应结合轨道交通线路情况,按照被交道路规划断面或河道规划断面合理布置桥跨,并满足现状道路交通和现状河道水流要求。桥孔布置还应考虑尽量减少对现状地下管线或规划地下管线的影响。
- (2)区间高架桥孔跨布置应匀称、协调。如无特殊情况,大跨和小跨不应交替出现,跨径变化不宜太多。
- (3)本工程高架区间以 30 m 跨度作为标准跨径,25、35 m 跨度作为配跨使用。
- (4)桥墩类型应统一,并与上部结构相协调。
- (5)跨河桥应满足行洪和通航要求,不宜压缩河道和改变水流的天然状态。当有规划时,应按批准的规划河道及(或)航道整治规划进行布孔。
- (6)对于线路与河道或道路斜交的桥梁,宜按照斜桥正做的方式处理。
- (7)高架桥承台在平面布置时应尽可能控制在地面道路分隔带或分隔岛范围内,避免伸入地面的机动车道范围,如受条件限制无法避免时,应保证承台顶面至路面的埋深不小于 1.5 m。
- (8)曲线桥梁在满足结构受力条件下,中墩尽可能采用墩梁固结,或采用横向固定、纵向活动支座支撑,不得采用双向活动支座支撑。梁端应设置双支座,仅允许纵向滑动。
- (9)斜桥和弯桥梁端应在墩台顶设置防止侧向或径向位移的限位设施。
- (10)区间桥跨梁缝位置应避开道岔尖轨和心轨的范围。
- (11)本工程高架区间跨越了较多的横向道路和河流,在有条件的情况下,高架结构应一次跨越横向道路和河流,不宜在路中或者河中设墩,以充分保证河道通航、防汛及道路交通的需求。

3.2 标准上部结构选型^[1]

标准结构的方案比选应根据设计标准、施工和架设方法、建筑外观、施工质量和本工程的特点这几个方面来进行分析。一般的,轨道交通高架区间经济跨径为 25~35 m,可采用的上部结构形式主要有小箱梁、大箱梁和 U 型梁。因此针对这 3 种梁型进行比较,见表 1。

表 1 高架区间梁型比选表

梁型	结构性能	施工方法	造价	建筑外观
U 型梁	结构轻巧	工厂预制 公路运输	低	隐形盖梁梁高小
小箱梁	整体性差	工厂预制 公路运输	较高	梁+栏板高度大
大箱梁	整体刚度大	现浇或 沿线预制	高	梁+栏板高度大

使用预制的施工方法比使用现浇的施工方法有更多的优势,如造价、施工质量更易控制,需要的设备更少,对沿线居民的干扰更小,施工速度更快,可以使用蒸汽养护等。大箱梁由于体量大,无法进行公路运输,需在工程沿线新建梁厂。小箱梁横向接缝处易发生病害,结构整体性差。U 型梁的腹板可兼作栏板,因此上部结构的总高即为 U 型梁梁高,梁高与跨径之比远小于箱梁,景观效果好。根据本工程特点及以上各方面比选,本工程高架区间标准上部结构推荐采用预制 U 型梁方案。

3.2 标准下部结构墩型选择^[2]

高架桥墩台型式的选定,除应有足够的强度和稳定性外,同时应结合上部结构的选型,使上下部结构协调一致、轻巧美观,与城市环境和谐、匀称,尽量少占地、通透好等,保证桥下地面交通行车有较好的视线,给行人一种舒适感。根据节省造价、施工方便的原则,全线除特殊节点外,推荐采用独柱墩。独柱墩的特点是美观、占用桥下空间较小、材料用量较经济,墩形曲线变化丰富。墩型比选见表 2。

表 2 高架区间墩型比选表

分项	方案一	方案二	方案三
示意图			
景观效果	好	较好	差
施工难度	较小	较小	较大

通过对上述几种墩型的分析并结合本线特点,综合考虑结构受力、多角度景观效果、与城市周围环境的协调及经济性能等因素,推荐桥墩造型采用方

案一。本次考虑的墩形方案是独柱+隐形盖梁方案。隐形盖梁降低了梁下外露盖梁的厚度,增加了桥下净空高度,减弱了盖梁厚重感,见图2。

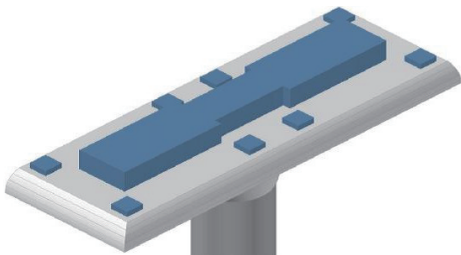


图2 隐形盖梁桥墩

4 主要节点桥梁方案设计

4.1 跨拦路港节点桥

4.1.1 建设条件

拦路港为市管Ⅲ级航道,主要位于青浦区朱家角镇,大致东西走向。桥址位置的河道蓝线宽度约116 m,陆域宽度两侧各15 m。桥梁与拦路港斜交29°,桥梁位于线路直线段。

航道标准及通航要求:Ⅲ级航道,通航净空101 m×7.5 m;最低通航水位标高2.14 m,最高通航水位标高3.73 m,通航净高不应小于7.5 m,考虑到与水流的斜交角,并建议预留1.0 m的安全余量。

4.1.2 方案一:矮塔斜拉桥

主桥采用塔梁固结体系的中央索面部分斜拉桥,跨径布置为100 m+180 m+100 m,边中跨径比0.55,主桥长380 m。主墩分别布置于防汛通道外侧,总体布置见图3、图4。

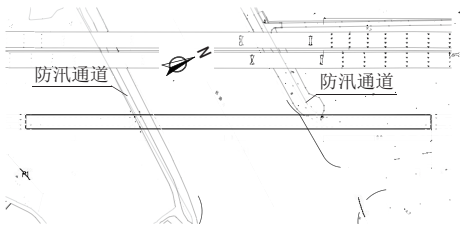


图3 跨拦路港节点桥桥位平面图



图4 矮塔斜拉桥方案效果图

索塔结构高度26.0 m。每个桥塔设置8对斜拉索,每对斜拉索为双股,索塔和斜拉索布置在双线之间。主梁采用预应力混凝土单箱双室直腹板箱梁,

中支点梁高7.6 m,中跨跨中及边支点梁高4.2 m,梁底按二次抛物线变化。箱梁顶板宽12.0 m,箱梁底板宽8.5 m。

4.1.3 方案二:连续梁-拱组合体系桥

主桥采用计算跨径100 m+180 m+100 m连续梁钢管混凝土拱桥,主墩分别布置于防汛通道外侧,与方案一相同。立面布置见图5。



图5 连续梁-拱组合体系桥方案效果图

拱肋矢跨比为1:5,矢高为36.0 m。拱轴线采用二次多项式方程。拱肋垂直布置,并设有5道横联。吊杆标准间距为8.0 m,全桥共19对吊杆。主拱肋为哑铃型钢管混凝土结构,桥面系为混凝土箱梁结构,标准桥面宽度为13.9 m。

4.1.4 方案比选

方案综合比选见表3。

表3 拦路港桥桥型比选表		
分项	方案一	方案二
结构体系	矮塔斜拉桥	连续梁-拱组合桥
工期	短	较长
施工工艺	采用挂篮悬臂浇筑施工,工艺成熟、难度较低	主梁采用挂篮悬臂浇筑施工,主拱肋安装难度较高。
运营维护	维护简单	维护难度大。
景观效果	景观效果佳	景观效果一般
造价	较低	较高

上述2个桥型方案均能满足拦路港通航要求。矮塔斜拉桥方案立面造型好,景观效果更佳,技术成熟,运营阶段维护简单,总工程造价低。钢管混凝土拱桥方案主拱施工难度较大,造价较高,施工阶段工期较长,运营阶段维护困难,拱肋钢构件及吊杆需定时维护。综合各项因素考虑,推荐矮塔斜拉桥方案。

4.2 跨G50节点桥

4.2.1 建设条件

G50沪渝高速在桥位处为东西走向,桥梁与道路斜交约32°。经过论证分析,桥梁的净空尺度最小要求为:道路路基宽度40.5 m,净高5.5 m,并预留2 m的施工安全余量;桥梁一跨跨越沪渝高速。

4.2.2 桥梁方案

本桥平面位于线路圆曲线、缓和曲线和直线段。

上行线线路中心线圆曲线半径 670 m。跨 G50 节点桥采用双线预应力变高变宽曲线连续箱梁,中墩布置于 G50 硬路肩外侧。本联对应上行线处跨径组合为(75+111+75)m,见图 6、图 7。

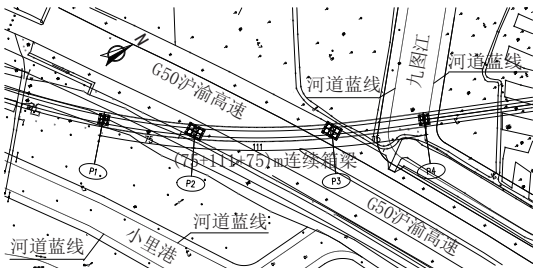


图 6 跨 G50 节点桥桥位平面图



图 7 跨 G50 节点桥方案效果图

连续箱梁采用直腹板单箱单室结构。主梁中支点梁高 6.8 m,跨中梁高 3.4 m,边支点梁高 3.4 m,箱梁顶板(桥面)宽度为 10.626~9.826 m,底板宽度为 6.2 m,挑臂 2.213~1.813 m,变宽通过翼缘外侧等厚段调整。梁底曲线采用 2 次抛物线,中墩及边墩顶设置横梁,中跨跨中、中跨 1/4 跨及边跨跨中设置横隔板。

跨 G50 节点桥为大跨径曲线变宽悬臂浇筑连续梁桥,较为少见,设计难度大。根据跨径布置,合理选取了最优梁高,减小梁体的厚重感。为满足挂篮施工,箱室设计为等宽度,通过顶板翼缘变宽实现桥面变宽度。悬浇节段内设置横隔板,增加弯桥的整体性。中墩设置横向偏心,使墩柱中心位于上部悬浇梁体的重心,减小梁体扭矩,同时减小下部结构的偏心受力。悬臂施工跨越交通量大的高速公路,挂篮采用全包防护,确保施工安全。

5 桥梁景观设计

5.1 景观概念分析

拦路港大桥进行了原创的景观设计。拦路港桥采用跨径(100+180+100)m 中央索面矮塔斜拉桥。整体结构为墩梁分离,塔梁固结体系。立足结构方案,景观设计考虑塔、梁、墩结构构造、塔索形状等自身的形态美。整体景观元素选取江南水乡油纸伞的造型。桥梁整体效果好似两把徐徐打开的油纸伞,

体现了江南水乡的秀美。景观概念设计流程见图 8。

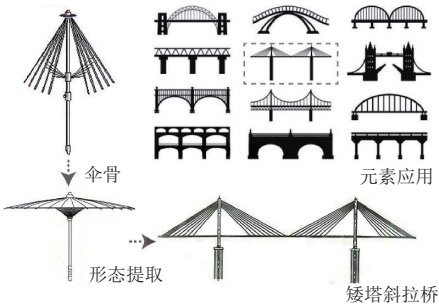


图 8 桥梁景观概念分析图

5.2 桥塔桥墩景观设计

桥塔采用简洁明快的设计,原则上采用大体块的混凝土原色,并对局部设置凹槽和涂色让桥塔形成更有细节的外观。桥塔立面进行塑形,形成一个纤细苗条的腰线。塔根部无索区形成镂空的三角区,索面整体更加通透。桥塔造型比选见图 9。

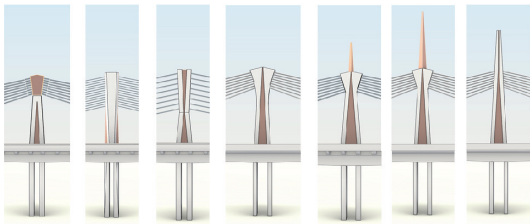


图 9 跨拦路港节点桥桥塔造型比选

桥墩承受巨大的荷载,墩截面尺寸很大。方案考虑采用分片、凹槽和分色的手法削弱桥墩的厚重感。设计同时考虑采用折面的手法弱化宽度方向的视觉单调性。桥墩造型见图 10。

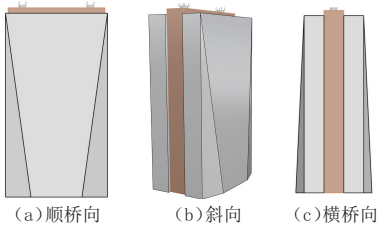


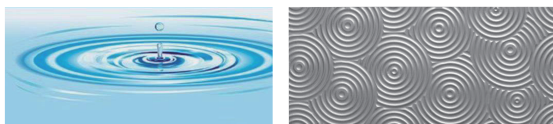
图 10 跨拦路港节点桥桥墩造型

桥塔和桥墩一体化设计,形成统一的立面设计语言。墩塔采用 17 号线橘红色一体式涂装。

5.3 水波纹装饰的理念与设计

梁身水波纹的设计创意采用浮雕效果的水波纹布置于箱梁立面下部,水波纹肌理采用粗糙毛面肌理实现。粗糙毛面肌理与清水光面混凝土对比的视觉辨识度高,远距离观看效果好。水波纹创意形象抽取见图 11。

为确保水波纹肌理在较远距离也有清晰的视觉辨识度,比较各悬浇节段水波纹肌理基本单元深化



(a)水波涟漪 (b)抽象水波纹图案

图11 水波纹创意图

设计效果见图12。确定水波纹单元最大直径2.46 m。



(a)4.5 m节段 (b)4 m节段 (c)3.5 m节段 (d)2 m节段

图12 水波纹直径比选

梁部立面采用水波纹装饰,优化了大跨桥梁的视觉效果,减小箱梁的厚重感,且装饰图案与主体结构一体形成,不增加运行后的维养工作量,见图13。



图13 跨拦路港节点桥实景

6 其他设计特色

(1)长大区间中点设置下桥疏散楼梯,衔接桥面

疏散平台与地面检修道。

(2)跨拦路港节点桥和跨G50节点桥采用减隔震设计。桥梁支座采用减隔震支座,可大幅减小地震工况下,上部结构传导给桥墩的地震力,减小了下部结构的规模,并可减小震害。

(3)针对轨道交通桥梁沉降控制要求严格的特点,采取钻孔灌注桩桩底注浆的措施,有效控制桥梁沉降。

(4)针对桥面电缆槽钢筋混凝土盖板掉块、缺角等常见问题,本项目改用玻璃纤维增强塑料盖板,避免老式盖板易损坏的问题。

(5)全线桥梁附属构件均采用制梁时预埋,避免后期梁体打孔作业,提高施工质量。

7 结 语

本工程2021年6月开工,2024年11月建成运营,实现了设计目标。本工程所涉及的标准U梁上下部设计、跨越Ⅲ级航道的矮塔斜拉桥设计、跨越高速公路的曲线变宽连续梁设计、桥梁景观设计等,均对同类工程具有参考价值。

参考文献:

- [1] 赵建军,李伟.上海城市轨道交通高架区间U形梁设计与施工[J].城市道桥与防洪,2009(5):113-116.
- [2] 范征,赵启儒.轨道交通高架区间桥梁结构选型的探讨[J].铁道标准设计,2006(12):30-33.

(上接第100页)

参考文献:

- [1] 陈致廷,李冬生.不同车桥模型下桥梁动力时程响应对比研究[J].山西建筑,2022(12):5-10.
- [2] 孙强.大跨度连续梁桥车桥耦合振动响应分析[M].淮南:安徽理工大学,2022.

- [3] 王伟.midas Civil桥梁荷载试验实例精析[M].北京:中国水利水电出版社,2017.
- [4] 吴刚.吴淞江大桥车辆激励对人非桥行人舒适性的影响研究[J].中国市政工程,2012(6):24-27.
- [5] Design of footbridges guideline EN03(2007)[S]. Germany, 2008.