

宁马市域(郊)铁路(南京段)高架区间总体设计

吴 亮, 吴 铭

(长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 市域(郊)铁路高架区间边界条件复杂、控制因素多,合理的总体设计方案至关重要。依托宁马市域(郊)铁路(南京段)项目,对高架区间桥梁结构体系、梁型、标准跨径、墩型及施工工法进行了研究。结合项目特点,区间标准跨桥梁采用 35 m 跨单箱单室简支箱梁、支架现浇施工,桥墩一般采用花瓶墩。简支箱梁预应力钢束采用梁端张拉,每片梁梁端设置后浇带,相邻梁体可同步施工,节省工期。跨越河流或路口采用连续梁或系杆拱桥,其中跨越 G205 国道桥采用 1-144.2 m 简支系杆拱桥,尼尔森体系,为国内城市轨道交通及市域(郊)铁路同类桥型跨度之最,可供类似工程参考借鉴。

关键词: 市域(郊)铁路;总体设计;标准跨桥梁;系杆拱桥

中图分类号: U442.5;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)11-0122-05

Overall Design of Elevated Sections in Nanjing-Maanshan Urban (Suburban) Railway (Nanjing Section)

WU Liang, WU Ming

(Changjiang Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., Wuhan 430010, China)

Abstract: The boundary conditions of elevated sections in the urban (suburban) railways are complex with multiple control factors. The rational overall design scheme is crucial. Relying on the Nanjing-Maanshan Urban (Suburban) Railway (Nanjing Section) Project, the structural systems, beam types, standard spans, pier types and construction methods for the elevated sections of the bridge are studied. Combined with the project characteristics, the standard bridge span of the elevated sections is the 35-m span single-box single-cell single-box simple-supported box beam constructed by cast-in-place method with supports. The bridge pier is a vase-shaped pier. The prestressed steel tendons of the simple-supported box beam is tensioned at the beam end. The end of each beam segment is equipped with a post-cast strip. The adjacent beams can be simultaneously constructed, which saves the construction time. The continuous beams or bowstring arch bridges are used to span the rivers or intersections, in which the bridge spanning the National Highway G205 is a 1-144.2 m simple-supported bowstring arch bridge, following Nielsen system. The bridge has the largest span of similar bridge types in domestic urban rail transit and urban (suburban) railways, and can be used as a reference for similar projects.

Keywords: urban (suburban) railways; overall design; standard-span bridge; bowstring arch bridge

0 引 言

市域(郊)铁路是一种服务功能和相关要求介于城际铁路与城市轨道交通之间的轨道交通系统,其运输组织方式具有编组灵活、高密度、公交化的特点,主要满足都市圈一小时快速通达的出行需求。市域(郊)铁路对发挥中心城市辐射带动作用、促进中小城市和小城镇协同发展以及优化城市功能布局均具有重要意义,因此国家和地方均积极推动市域

(郊)铁路加快发展。

1 工程概况

宁马市域(郊)铁路北起南京市西善桥站,南至马鞍山市当涂南站,线路有效串联南京板桥新城、滨江新城以及马鞍山花山区、雨山区、当涂县,线路全长约 54.23 km。其中南京段由西善桥站至苏皖省界,线路全长 26.511 km,其中地下线 10.825 km,高架线 15.136 km,过渡段 0.550 km。南京段共设 8 座车站,其中地下站 4 座、高架站 4 座,设滨江车辆基地 1 座。

高架区间地貌类型主要为冲积平原区~侵蚀堆

收稿日期: 2025-04-14

作者简介: 吴亮(1984—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计研究工作。

积波状平原区、河漫滩地貌单元及岗地地貌单元。

高架区间地层主要为全新统(Q_4)地层、第四系上更新统(Q_3)地层以及侏罗系大王山组基岩及侵入岩。全新统(Q_4)、第四系上更新统(Q_3)地层岩性主要为素填土、粉砂、淤泥质粉质黏土、粉质黏土夹粉土及粉质黏土;基岩为侏罗系大王山组(J3d)安山岩、凝灰岩及燕山期侵入闪长岩(δ_3^2)。

拟建场地的抗震设防烈度为7度,抗震设防地震动分档为 $0.10g$,场地类别为Ⅱ类、Ⅲ类。

2 技术标准

(1)铁路等级:市域(郊)铁路。

(2)正线数目:双线。

(3)设计速度:120 km/h。

(4)正线线间距:标准线间距4.0 m。

(5)设计活载:ZS活载,市域B型车;近期4辆编组,远期6辆编组。

(6)轨道类型:无缝线路无砟轨道,采用60 kg/m钢轨,轨道结构高度560 mm。

(7)供电方式:25 kV 架空接触网供电。

(8)正线最小曲线半径:800 m。

(9)最大纵坡:正线一般地段25‰。

(10)桥梁使用年限:100 a。

(11)基本地震加速度值 $0.10g$,对应抗震设防烈度为7度。

3 标准桥跨设计

3.1 结构体系

目前国内轨道交通及市域(郊)铁路桥梁采用的结构体系主要有简支体系、连续体系(连续梁与连续刚构),其中简支体系应用最广泛^[1]。结构体系选择应综合考虑受力特点、经济性及对工法的适应性。

小跨度连续梁、连续刚构与简支梁相比,在力学上不存在特别优势;连续体系无梁缝、刚度大的特点在轨道交通桥梁上并没有得到有效发挥。宁马市域(郊)铁路南京段主要位于南京滨江开发区,桥梁大部分敷设于景明大街路中绿化带内,简支梁体系相较于连续体系,施工简单、对城市环境影响小,对道路占用及交通影响周期较短,推荐采用简支梁作为区间标准梁。

3.2 梁型方案比选

目前国内轨道交通及市域(郊)铁路桥梁采用的主要梁型有箱梁和U形梁^[2]。几种梁型的主要特点

对比如下。

3.2.1 单箱梁

单箱梁采用闭合断面,截面刚度大、动力性能好,可适应多种施工工法。其外观简洁、大气,线条流畅、美观,与合适的桥墩搭配整体景观效果好,是国内城市轨道交通和市域(郊)铁路应用最广泛的梁型。

3.2.2 双箱梁

双箱梁由两个单箱组合而成,在两箱之间设置湿接缝现浇连成整体,一般采用预制架设施工。由于单片箱梁体量较小,对吊装设备要求低。由于有后浇湿接缝,需要进行现场浇筑,工序较多,施工较麻烦。双箱梁底部较宽,对应的桥墩顶部尺寸较大,及整体景观效果及经济性相对单线梁较差。

3.2.3 U形梁

U形梁最大优点是桥面结构建筑高度可以做得较低,为桥下提供更高的空间,且两侧梁板可起到隔声作用,降低轮轨噪声对周边环境的影响。但其结构受力复杂、梁体抗扭刚度小、施工复杂,工程造价略高。

虽然U形梁结构高度较低,可少量降低桥高,但其整体受力性能较差;且考虑到本线节点桥占比较高,而U形梁对节点桥的适应性较差,因此本线不采用该种梁型。本线大部分敷设于景明大街路中绿化带内,对景观要求较高,本线最终推荐采用单箱梁。

3.3 标准跨径

高架区间梁部结构大部分为简支梁,简支梁跨度的大小对高架区间桥梁的施工及造价均有较大影响。跨度大的简支梁,桥墩重复出现的次数少,连续性弱,视线通透度较好。由于本线高架桥大部分于路中分隔带敷设,视距直接影响车辆通行,因此建议跨度不宜小于30 m。从景观的角度考虑,桥梁墩高与跨度比例在1:2.5~1:4时景观效果较好,全线简支梁墩高5~20 m,平均高度约12 m左右,桥梁跨度宜取30~40 m。考虑到40 m跨径梁高较高,国内轨道交通较少采用,在此对30 m、35 m梁跨进行比选。

根据南京段桥梁墩高统计,以频率较高的 $H=12$ m桥墩为例,进行工程数量统计。区间上部结构标准梁采用单箱单室箱梁,桥墩采用花瓶墩,基础采用承台+钻孔桩基础,选取相同桥长的简支梁(7~30 m和6~35 m),分别计算梁部、桥墩、承台及桩基的工程数量,进行投资测算,工程造价见表1。

由表1可知,标准跨度为35 m时经济性较好,每

表1 工程造价对比表

项目	梁部/ 万元	桥墩+基础/ 万元	合计/ 万元	单价/ (万元·m ⁻¹)
7×30	661.5	717.6	1379.1	6.57
6×35	718.4	603.5	1321.9	6.29

延米造价可节省约0.28万元。因此本线标准简支梁跨度推荐采用35 m,局部位置采用30 m简支梁调跨。

3.4 施工工法选择

简支梁常用的施工方法有支架现浇、节段拼装、移动模架、整孔架设或吊装等工法,应结合项目技术特点、周边环境、工期要求等情况,选择合适的施工方法。本段高架区间线路较长、周边具备制梁场条件,标准简支梁理论上可采用预制架设法施工;但高架区间其中一处下穿 110 kV 高压线,且铜井站为岛式车站,不具备过站条件,另外区间连续梁、单线梁占比较大,预制架设施工不经济,考虑到沿线交通量较小,简支梁推荐采用支架现浇施工。

3.5 上部结构设计

区间双线标准简支梁采用预应力混凝土单箱单室箱梁,中心梁高 2.25 m,翼缘板处梁高 2.3 m。双线线间距 $S=4.0 \sim 5.0$ m,顶板宽 10.2 ~ 11.2 m,底板宽 5.0 m。箱梁顶板在箱梁中心两侧各 5 m 宽范围内采用双向 2%“V”形横坡,以外为平坡,采用加宽翼缘宽度适应线间距变化,翼缘宽 2.13 ~ 2.63 m。箱梁顶板厚 0.25 ~ 0.50 m,底板厚 0.25 ~ 0.70 m;腹板斜置,厚 0.37 ~ 0.90 m。梁端设置横隔梁,横隔梁厚 1.1 m。箱梁断面见图 1。

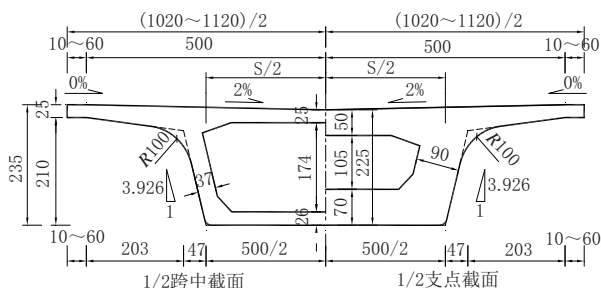


图1 双线简支箱梁横断面图(单位:cm)

简支梁预应力钢束采用梁端张拉。为节省工期,梁端预留后浇带,相邻跨简支梁可同步施工。

3.6 桥墩设计

梁和墩是桥梁的有机组成部分,桥墩不仅要上部结构相匹配、相映成辉,给人以美感,又要很好地表达其自身的力线。

区间一般桥墩采用景观性较好的花瓶墩,部分区间由路侧转至路中段桥墩采用门式墩。桥墩采用现浇结构,为满足安装支座构造要求,桥墩顶帽处纵

桥向最小尺寸应不小于 2.8 m。标准简支梁桥墩根据墩高采用不同墩身尺寸,其外形轮廓及尺寸见图 2 和表 2。

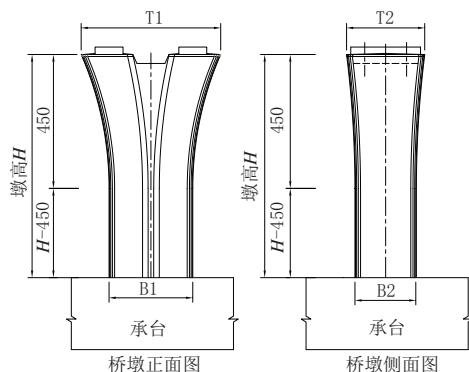


图2 标准双线简支梁桥墩图(单位:cm)

表2 标准双线简支梁桥墩尺寸表

编号	墩高 H/m	墩顶尺寸(T1×T2)/m	墩底尺寸(B1×B2)/m
1	4 ~ 12	5.6×2.8	3.0×1.8
2	12.5 ~ 14.5	5.6×2.8	3.0×2.2
3	15 ~ 17.5	5.6×2.8	3.0×2.6
4	18 ~ 20	5.6×3.0	3.0×3.0

4 重要节点桥设计

区间桥梁跨越河流、道路路口一般采用连续梁跨越。主跨小于等于 70 m 连续梁采用支架现浇施工,主跨大于 70 m 连续梁采用挂篮悬臂浇筑施工。

4.1 跨江宁河桥

江宁河属于通江河流,跨南京、马鞍山两市,流域面积约 199.6 km²。桥位处现状河口宽约 68.5 m,该段河道为等外航道。铁路线路与河道中心线成 58°夹角,线路曲线半径为 1 500 m。

为减小对通航、河道影响,宜一跨跨越河道。如桥墩均设置在背水坡外,跨度约 130 m,由于处于曲线上,采用拱桥难以适应曲线变化,而采用 (75+130+75)m 连续梁梁高较高,该处距离车站较近,堤顶高程难以满足。经与相关部门沟通,采用 (65+110+65)m 连续梁方案,其中小桩号侧主墩位于背水坡以外,大桩号侧主墩位于迎水坡,大桩号侧堤防适当改移以满足桥下净空。桥梁平面布置见图 3。

主梁为单箱单室箱梁,直腹板,中支点梁高7.5 m,跨中及边支点梁高3.5 m。箱梁顶板厚35 cm,腹板厚为50~95 cm,底板厚32~100 cm。箱梁梁高及底板厚度按1.8次抛物线变化。主梁采用挂篮悬臂浇筑,悬臂节段共14个,节段划分为 $6 \times 3.0 \text{ m} + 5 \times 3.5 \text{ m} + 3 \times 4 \text{ m}$ 。桥梁悬臂浇筑施工见图4。

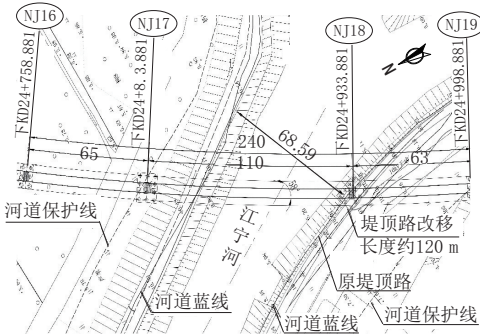


图3 跨江宁河桥平面布置图(单位:m)



图4 跨江宁河桥现场施工照片

4.2 跨 G205 国道桥

G205 国道是宁马间重要的货运通道,桥位段为双向四车道一级公路,设计速度 80 km/h,路幅宽度 26 m,区间线路与 G205 国道斜交角度为 38°。桥位区存在一道 L 型箱涵,箱涵长 172.27 m,宽 2×4 m,箱涵平行及垂直于 G205 国道布置。G205 西侧路基边坡外地下敷设军用光缆。

通过与相关产权单位对接,箱涵及国防光缆均无迁改条件,桥跨布置时应进行避让。如在 G205 国道中央分隔带设置桥墩,可采用 (50+90+50)m 连续梁方案。由于现状中央分隔带宽 2m,需对国道进行改造,改造长度约 600 m,新增占地面积约 5 100 m²,G205 国道改造总投资估算约 4 500 万。目前 G205 国道交通量较大,改造对交通影响大且投资较高,经综合比较采用一跨跨越方案。选择 1-144.2 m 系杆拱及 (80+140+80)m 连续梁进行比选,考虑到该处位于滨江开发区,对景观要求较高,最终采用 1-144.2 m 简支系杆拱方案。桥梁平、立面布置见图 5、图 6。

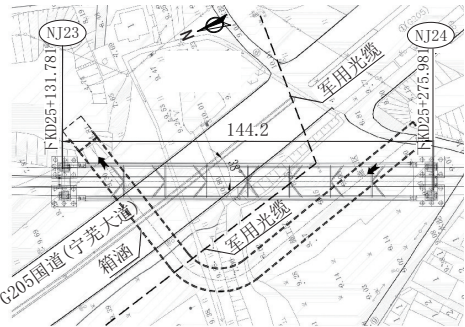


图5 跨 G205 国道桥平面布置图(单位:m)

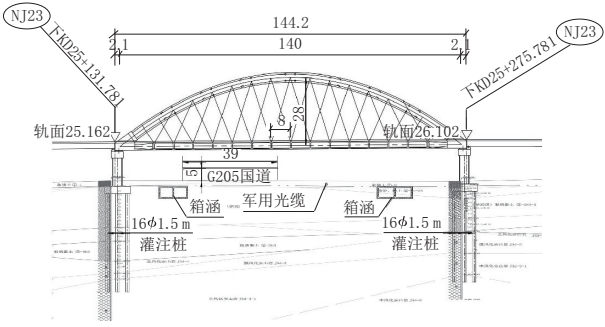


图6 跨 G205 国道桥立面布置图(单位:m)

简支系杆拱理论跨径 144.2 m,计算跨径 140 m,矢跨比 $f/L=1/5$,拱肋高 28 m,拱肋为抛物线线型。

拱肋为哑铃形截面,截面高 3.6 m。钢管直径 1 300 mm,壁厚 20 mm,每榀拱肋的两钢管之间采用 16 mm 厚腹板连接。钢管及腹腔内均填充 C55 自密实微膨胀混凝土。

系梁为单箱三室预应力混凝土箱梁,箱宽 14.5 m,箱高 3.0 m。

全桥共设 56 根通长系杆(含 4 根施工备用系杆),采用 12- ϕ 15.20 和 19- ϕ 15.20 高强度低松弛预应力钢绞线,系梁实体段设 32 根局部系杆,采用 12- ϕ 15.20 预应力钢绞线。系杆钢绞线分两批张拉,第一批系杆在横向预应力钢绞线张拉完成后开始张拉,第二批系杆在吊杆首次张拉完成后进行张拉。

本桥吊杆为尼尔森体系^[3],吊杆采用 85 根 7 mm 高强低松弛镀锌平行钢丝束,冷铸镦头锚,索体采用 PES(FD)低应力防腐索体。吊杆顺桥向间距 8 m、横桥向间距 12.7 m,两交叉吊杆横向中心距为 0.34 m,吊杆水平夹角为 56.79°~72.69°。

采用先梁后拱施工工艺,施工照片见图 7。



图7 跨 G205 国道桥现场施工照片

4.3 跨锦文路桥

铁路跨越锦文路段正线与出入线并行,现状锦文路宽 66 m,规划锦文路隧道宽 33.4 m,为减小对现状道路的影响及为规划隧道预留实施条件,该处采用 (45+70+45)m 连续梁方案,支架现浇施工,桥梁平面布置见图 8。桥墩采用三柱框架墩,中间墩柱位于景明大街中央分隔带内,两侧墩柱位于导流岛或人

行道上。框架墩墩柱中心距 21.5 ~ 27.7 m,为改善墩柱及盖梁受力,中间墩柱与盖梁固结,两侧墩柱设置单向活动支座支承盖梁,其中 S13 墩横断面见图 9。

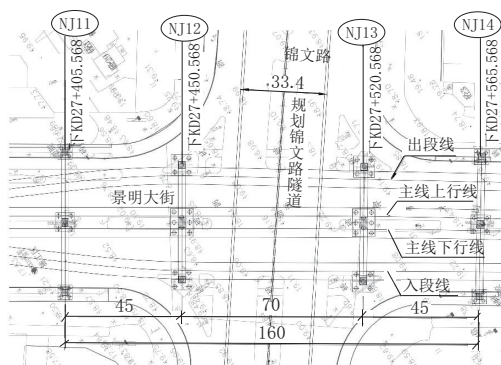


图8 跨锦文路桥平面布置图(单位:m)

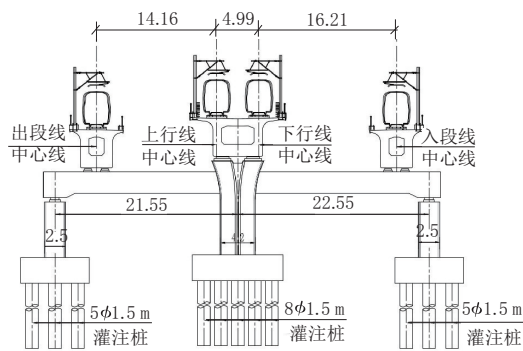


图9 跨锦文路桥 JS13 墩横断面图(单位:m)

5 结 语

(1)结合环境条件,高架区间标准桥跨采用 35 m 单箱单室箱梁,支架现浇施工。

(2)简支梁采用梁端张拉,梁端预留后浇带,相邻跨简支梁可同步施工。

(3)区间桥梁跨越河流、道路路口一般采用连续梁跨越。主跨不大于 70 m 连续梁采用支架现浇施

工,主跨大于 70 m 连续梁采用挂篮悬臂浇筑施工。

(4)跨 G205 国道桥采用 1-144.2 m 简支系杆拱桥,为国内城市轨道交通及市域(郊)铁路同类桥型跨度之最。

参考文献:

- [1] 王勇,贺英阁,姜海君,等.苏虞张市域(郊)铁路高架区间标准桥梁初步研究[J].铁道建筑,2024,62(2):55-60.
- [2] 鲁雪冬,周永礼,许志艳.深圳地铁6号线高架桥梁总体设计研究[J].成都大学学报(自然科学版),2022,43(3):325-330.
- [3] 李桂林.商合杭铁路1-140 m 先拱后梁法平行系杆拱结构设计[J].铁道标准设计,2017,61(3):75-81.
- [4] 张付宾,李辉.北京市大兴国际机场线高架区间总体设计[J].铁道标准设计,2020,64(4):83-88.
- [5] 杨新文,白唐瀛.雄安新区-北京大兴国际机场快线高架区间总体设计[J].市政技术,2024,42(6):174-181;220.
- [6] 赵会平.重庆轨道交通6号线一期工程高架区间总体设计[J].科技通道,2013,29(4):210-213.
- [7] 邢雨,左家强,万明.昌景黄铁路高框架墩设计关键技术研究[J].城市道桥与防洪,2022(9):86-90.
- [8] 吴亮,王伦文,赵胤儒.城市轨道交通上跨铁路特大桥方案研究[J].城市道桥与防洪,2021(12):41-44;74.
- [9] 唐亚琳.城市轨道交通高架桥的景观美学设计[J].都市快轨交通,2009,22(6):48-52.
- [10] 赵志宏.西安地铁三号线高架段景观设计研究[J].铁道工程学报,2019,248(5):59-63.
- [11] 吴炜.城市轨道交通连续U梁截面受力分析与优化设计[J].铁道建筑,2017,45(5):20-22.
- [12] 周德,叶梅新.高速铁路大跨度系杆拱桥结合梁构造形式[J].中南大学学报(自然科学版),2009,40(1):256-262.
- [13] 高波,钟跃.高铁140 m 系杆拱桥先拱后梁法施工关键技术[J].中国铁路,2020(6):136-143.
- [14] 邱绍峰,邱文展,王华成.我国市域铁路总体设计特点[J].中国铁路,2018(8):11-16.
- [15] 沙金硕,高伟君.市域快速轨道交通的线路设计特点[J].城市轨道交通研究,2021,24(8):100-102;108.

(上接第117页)

性的突降,加强现场的观察与监测。

参考文献:

- [1] 陈宝春,张梦娇,刘君平,等.我国混凝土拱桥应用现状与展望[J].福州大学学报(自然科学版),2021,49(5):716-726.
- [2] 喻文杰.大跨径连续梁不对称悬臂施工若干问题探讨[J].铁道建筑技术,2021(2):93-96;131.
- [3] 杨勇,刘涛.钢-混叠合梁斜拉桥塔周梁段不对称架设技术[J].世界桥梁,2021,49(6):28-33.
- [4] 吴健,温东昌,张玉平,等.斜拉桥同步不对称双悬臂主梁施工技

术研究[J].公路,2024,69(4):82-87.

- [5] 王昌喜,章斌,左翼.千米级不对称斜拉桥主跨合龙施工关键技术[J].桥梁建设,2021,51(5):116-122.
- [6] 肖洪波,赵俊逸,杨果林,等.曲线连续刚构桥非对称施工横向位移对比及截面应力研究[J].公路,2019,64(5):61-67.
- [7] 韦庆武.上跨郑万高铁超宽不对称T构转体施工技术研究[J].铁道建筑技术,2020(4):69-72.
- [8] 翁方文,吴成,鲁祖泽.大跨度不对称连续梁设计与施工关键技术[J].铁道建筑,2021,61(12):28-30.