

淄博市一环快速路桥梁总体方案设计

汤 虎¹,焦守法²,胡健琛¹,刘洪进²,陈 亮¹

[1.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092; 2.淄博市规划设计研究院有限公司,山东 淄博 255000]

摘 要:介绍淄博市一环快速路桥梁工程总体方案设计、桥梁结构设计及关键技术应用情况。针对淄博当地建设条件,提出了上部结构全部采用预应力小箱梁、组合梁等预制拼装结构的桥梁总体设计方案。其中立交区采用的双边箱组合梁、组合桥面板等,解决了立交桥梁预制装配难题;示范建设的轻型组合钢板梁结构用钢指标仅 150 kg/m²。同时,还采用了模块化折线梁底组合梁。主线及立交桥梁采用的多种形式组合梁丰富了工业化桥梁结构类型。桥墩采用流线形盖梁、隐蔽式挡块、隐蔽式排水管,采用盖梁深埋锚工艺,形成了该桥的独特外观。

关键词:桥梁工程;总体设计;组合结构;预制装配;工业化桥梁;景观设计

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)08-0060-05

1 工程概况

淄博市一环快速路建设地点位于淄博市张店区、周村区、高新区,由鲁泰大道—宝山路—昌国路—原山大道合围而成,总长约 39 km,围合面积约 87 km²。该工程是淄博市“二环五射”快速路网规划的重要组成部分,承担快速连接核心城区与周边组团交通功能,并与滨莱高速、济青高速、济淄潍高速等对外高速公路及高等级公路进行快速交通衔接。该项目的建设对进一步完善淄博市路网,加强张店区与周边组团的交通联系,促进淄博市社会经济发展具有非常重要的意义。图 1 所示为淄博市一环快速路路网结构图。



图 1 淄博市一环快速路路网结构图

收稿日期: 2023-07-06

基金项目: 上海市青年科技启明星计划(21QB1404700)

作者简介: 汤虎(1986—),男,工学博士,高级工程师,从事桥梁设计与科研工作。

其中,昌国路标段全长 10.754 km;宝山路标段中,宝山路全长 7.429 km,昌国路长 1.193 km;鲁山大道标段中,鲁山大道全长 3.77 km,昌国路长 2.36 km。3 条快速路总长 25.506 km,采用双向 6 车道高架+双向 6 车道地面辅路的建设规模,主路设计速度为 80 km/h^[1-2]。

2 建设条件

2.1 地形、地貌

淄博市是山地、丘陵、平原、河谷等诸类地貌景观齐全的地区。拟建项目属山前倾斜平原地貌单元,地势差异较小,地形稍有起伏,总体地势东高西低,地貌类型较单一。现状地面标高为 35.000~44.849 m,高差为 9.849 m。

2.2 工程地质

项目工程地质情况^[3]如下:上覆第四系覆盖层厚度不等,下伏上第三系泥岩、泥质砂岩、砂岩,侵入岩脉辉绿岩为主,场区第四系覆盖层东部深西部浅,呈渐变趋势,地层分布较连续。

沿线各桥梁处除采空区外,未发现液化土、滑坡、泥石流、崩塌等不良地质现象,场区附近断裂为非全新活动断裂,场区为建筑抗震一般地段,地质灾害危险性小,场地稳定性为基本稳定场地。

2.3 采空区

项目沿线穿越张店区车站办事处煤井、淄博煤田

泮水井田张赵煤矿、淄博煤田泮水煤矿等原有采矿权范围,场地位于多个煤层采空区上^[4]。受煤矿采空区影响并存在工程安全隐患的范围有:(1)昌国路标段,西起宝沣路口附近,东至鲁山大道;(2)宝山路标段,北起商家村,南至昌国路;(3)鲁山大道标段,北起张辛路立交桥,南至昌国路。

2.4 河流与水文

项目勘区主要属小清河水系,附近的河流主要为孝妇河、猪龙河、涝淄河、玉龙河等。孝妇河发源于淄博市博山区东南岱庄东北峪,蜿蜒西流,分别经过博山、淄川、淄博市张店区等区域,然后东流于博兴县。孝妇河长 135.9 km,流域面积 1 733 km²,河道平均比降 1.8/1 000。张店区境内的河流除猪龙河外,均为过境北向河流。沿线桥梁与上述河流均发生交叉,除孝妇河外可采用 30~40 m 标准跨跨越,不涉及水中设墩。

根据其含水特征,项目区地下水主要有第四系冲洪积物松散岩类孔隙水、喷出岩类孔洞裂隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水、碳酸盐岩裂隙岩溶水、块状岩类裂隙水。不同类型的含水层呈相互叠置关系。由于地下水的主要补给源为大气降水,故其补给动态特征随着季节和年际变化。

2.5 气候气象

淄博地处暖温带,属半湿润、半干旱的大陆性气候。淄博市累年平均气温 12.2~13.1℃。月平均气温以 7 月份最高,平均气温均在 26℃以上,极端最高气温为 42.1℃;月平均气温以 1 月份最低,平均气温均在 -2℃以下,极端最低气温为 -23.2℃。淄博市年平均降水量 575.4~686.7 mm,年平均降水日数 80~87 d。淄博市标准冻土层厚度为 0.50 m。

2.6 地震

拟建工程位于淄博张店区等区域,根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015),工程所在区的地震烈度为 7 度,依据现场波速试验,判断该场地为 II 类场地,基本地震动峰值加速度为 0.10g,基本地震动反应谱特征周期为 0.45 s。

3 工程设计标准

该项目主路为城市快速路,设计车速为 80 km/h;辅路为城市主干路,设计车速为 50 km/h。主要技术标准如下:

(1)荷载等级:高架桥梁采用城-A 级;人群及非机动车荷载按照《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—

2011)(2019 年版)^[5]取用。

(2)桥面宽度:主线标准桥宽 25.6 m,双向 6 车道;匝道桥宽 8.2 m。

(3)抗震设防:主线桥梁按乙类设防,地面辅道桥梁按丙类设防。

(4)桥梁设计基准期:100 a。

(5)桥梁设计使用年限:桥梁主体 100 a;栏杆、伸缩缝、支座等可更换部件不低于 15 a。

(6)设计安全等级:一级,结构重要性系数 $\gamma_0=1.1$ 。

(7)环境类别:上部结构为 IV-D 类(除冰盐环境);桥墩、盖梁、桩基础为 I-B 类;钢结构防腐为大气区腐蚀种类 C5-I(工业)。

(8)风速参数:地表类别为 B 类;设计基本风速为 28.9 m/s。

(9)桥梁护栏防撞等级:高架桥梁采用防撞护栏 SS 级、SAm 级;地面桥梁采用防撞护栏 SB 级、SB m 级。

(10)桥面防水:桥面防水等级 I 级;桥面防水层使用年限 ≥ 15 a。

4 桥梁总体方案

4.1 设计原则

(1)桥梁总体方案^[5]设计应符合“功能完善、技术领先、经济合理”的技术要求。

(2)桥梁结构选型应综合考虑部分路段存在采空区的特殊条件。

(3)桥梁结构设计应符合淄博快速路“系统性建设、积木式建造、智慧化运维”的建设模式。

4.2 桥梁总体方案

主线高架桥梁一般路段及平行匝道采用基本跨径 30 m,标准结构采用预应力混凝土小箱梁,结构简支、桥面连续,一般 3~4 跨一联,如图 2 所示。跨越路口或河道时,由于跨径增加,采用钢-混组合梁,以满足横向道路通行及河道防洪要求,如图 3 所示。立交上部结构一般采用简支小箱梁,变宽剧烈、部分半径较小、跨径较大或者桥宽变化剧烈的位置,上部结构采用组合梁。

5 桥梁结构设计

5.1 标准段小箱梁

主线上部结构标准段采用 30 m 跨预应力混凝土简支小箱梁。考虑到该项目部分区域存在采空区,简支结构可更好地适应不均匀沉降,同时淄博一环



图2 30 m跨标准跨小箱梁方案效果图



图3 跨路口折线底板组合梁方案效果图

快速路以小型交通为主,禁止大型车辆通行,因此最终采用了结构简支、桥面连续体系。

标准桥宽 25.6 m,横向由 8 片小箱梁组成,包括 B1 型边梁 2 片、Z1 型中梁 6 片,梁间距为 3.2 m,标准横断面如图 4 所示。小箱梁采用 C50 混凝土,按 A 类预应力构件设计。小箱梁梁高 1.6 m,顶板厚度为 0.18 m,底板厚度为 0.18~0.3 m,腹板厚度为

0.2~0.3 m,两端各设一道横梁,宽度为 0.3 m,不设中横梁。小箱梁两端各设一道横梁,宽度为 0.3 m,不设中横梁。梁底设置板式橡胶支座,其中每片梁梁端横桥向设置单支座。

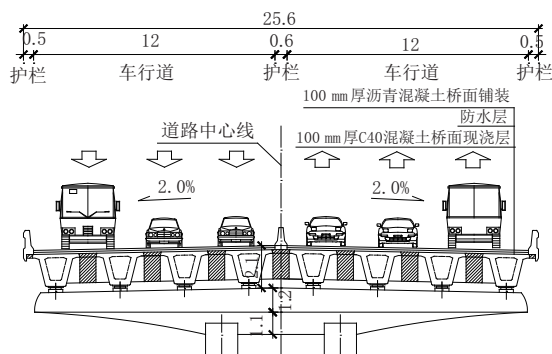


图4 主线标准桥宽小箱梁横断面布置图(单位:m)

5.2 跨路口折线底板组合梁

跨路口桥梁上部结构采用槽形钢箱组合梁,45 m 跨径以下采用简支结构,45 m 以上采用三跨折线底板连续梁。边跨、中跨等高段梁高 1.6 m,中墩支点处梁高取主跨跨径的 1/20(主跨 48 m 连续梁梁高 2.4 m),其余梁段斜腹板的横断面斜率保持不变,梁高按线性变化。需要说明的是,主跨 66 m 连续梁为减小支点处钢底板厚度,降低焊接难度,在中墩支点两侧各 7.2 m 范围内设置底板结合混凝土,厚 0.4 m,采用低收缩 C50 混凝土。图 5 所示为 30 m+48 m+30 m 三跨变梁高连续钢箱组合梁立面布置。

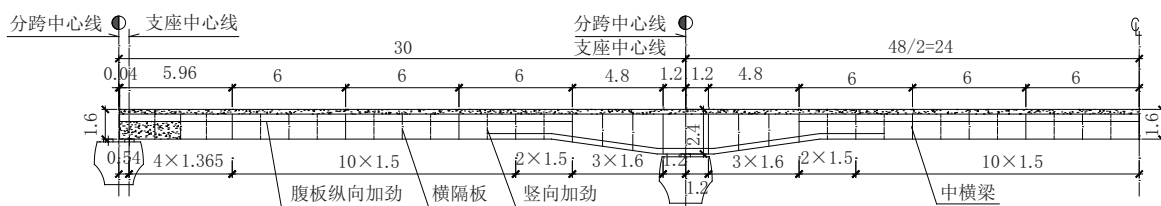


图5 30 m+48 m+30 m 三跨变梁高连续钢箱组合梁立面布置图(单位:m)

标准桥宽 25.6 m,组合梁横桥向布置 4 片槽型钢箱梁。钢边箱最外侧腹板与标准桥跨小箱梁边梁外侧腹板对齐,斜率 1:4。钢箱梁上翼缘宽度 0.7 m,腹板外侧边线通过上翼缘中点,单片钢梁上翼缘中点间距 2.9 m,腹板外侧边线与底板底缘线交点间距为 2.282 m,上翼缘与底板采用 2%单向坡。

组合梁标准横梁采用工字形断面,间距 6 m,梁高 0.7 m,两道中横梁中间布置一道钢箱梁横隔板,与中横梁间距 3 m,中横梁和横隔板中间布置一道腹板竖向加劲肋。中支点采用箱形横梁,与纵梁等高。

预制混凝土桥面板厚度 250 mm,钢梁和中横梁上翼缘设置剪力钉,湿接缝现浇。后浇接缝采用低收

缩 C60 混凝土,横向后浇接缝在支点附近的纵桥向采用钢筋焊接,其余范围内 U 型钢筋上层钢筋焊接。剪力钉采用圆柱头焊钉,规格为 $\phi 22 \text{ mm} \times 180 \text{ mm}$ 。

5.3 轻型组合钢板梁

昌国路西侧起桥段约 800 m 范围须连续跨越范阳河、孝妇河,地面限制条件多,采用了吊装重量轻、施工快捷的组合钢板梁。为与老桥桥墩对齐,标准跨径为 39 m,梁高 1.8 m,等高布置。桥面总宽 33.6 m,桥面设置双向横坡 2%,分幅布置,单幅布置 4 片工字形主梁。断面布置如图 6 所示,建成实景如图 7 所示。

钢主梁横向设置 8 片主梁,梁高 1.47 m,标准间距 4.2 m。钢主梁材质采用 Q345qD,部分采用 Q420qD。

如图 11 所示。



图 11 盖梁深埋锚工艺

综合考虑到预制拼装技术施工速度快、质量好、环保、安全等优点,以及快速施工带来的隐形社会效益,该项目对量大面广的主线标准路段桥墩盖梁、平行匝道桥墩盖梁以及全线立柱采用预制装配式施工方案(见图 12),桥墩与盖梁及承台均采用灌浆套筒连接。特殊路段或变宽路段桥墩盖梁采用现浇施工。



图 12 标准盖梁预制吊装施工

主线桥梁基础均采用钻孔灌注桩,分为 1.0、1.2、1.5 m 三种桩型。其中,25.6 m 宽小箱梁标准路段采用 4 根直径 1.5 m 桩基,长 25~30 m。陆上采用原地成孔工艺,孝妇河及范阳河高架桥采用填土围堰施工。

5.6 采空区措施

该项目沿线部分区域存在采空区。在结构选型方面,桥梁标准段采用结构简支、桥面连续体系,同时要求支座具有可调节标高功能。采空区勘察、处治设计、处治施工及处治监测与检测,除应满足《采空区公路设计与施工技术细则》(JTG/T D31-03—2011)^[6]相关条款的规定外,提出采空区经处治后的地表剩余变形容许值应符合表 1 要求。

表 1 桥梁结构运营期地表容许变形值

倾斜值 $i/$ ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$)	水平变形值 $\varepsilon/$ ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$)	曲率值 $K/$ ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-2}$)
0.3	0.15	0.02

该项目采空区勘察、处治设计、处治施工均已完成,监测与检测显示治理效果满足设计要求。

6 桥梁景观设计

淄博市一环快速路桥梁注重城市高架人文景观设计,桥墩采用“齐天下”设计理念,如图 13 所示。桥墩在盖梁交接处继续向上延伸到收缩面,让桥墩视觉效果更加挺拔。盖梁顺桥向采用“1”字倾斜倒圆角设计,直中带曲,横桥向的设计为分层向下、渐进收缩,一放一收,柔中带刚,颇具齐风鲁韵。凹槽里内嵌雨水管的设计,满足功能需要的同时,起到丰富线条和修饰侧面的作用。

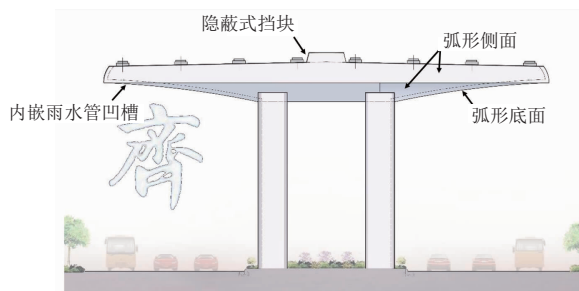


图 13 “齐天下”桥墩设计

高架桥梁上下部结构协调美观,线形流畅轻盈,消弭了桥梁对城市空间所造成的冲击与割裂,很好地融入了城市周边环境,有机融合了淄博的城市文化底蕴。主线桥梁建成实景如图 14 所示。



图 14 主线桥梁建成实景

7 结 语

该项目首次在淄博市采用上下部结构全预制装配技术。上部结构采用预制混凝土小箱梁、预制混凝土桥面板组合结构等全预制拼装结构,立柱、盖梁设计采用预制拼装技术,并考虑预制厂建设规模、周期,以及施工设备、工程造价等因素,兼顾了预制拼装和现浇两种工法。部分标段的预制装配率达 90%。项目首次在山省桥梁建设中大力推广新型组合结构,因地制宜地在跨河道、跨路口、立交变宽区等处应用了多项创新技术,破除了工业化组合结构在城

(下转第 72 页)

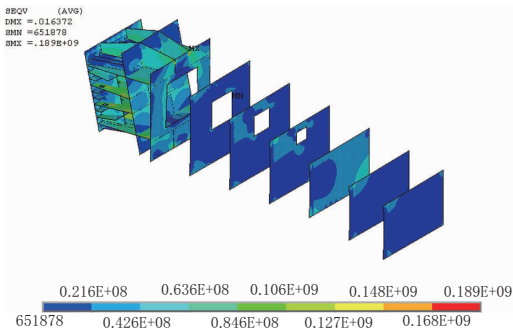


图 12 锚固区加劲板 Mises 应力(单位:Pa)

表 2 主缆锚固区主要板件应力对比 单位:MPa

板件	考虑锚体混凝土	不考虑锚体混凝土
顶板	-83/48	-88/49
底板	-94/60	-88/62
腹板	126	133
加劲	148	189

可见混凝土对加劲应力的减小起到了较大的作用。

3 结 语

主缆锚固区作为自锚式协作体系桥梁结构设计的关键点之一,决定着桥梁的安全性和可靠性。本文以 60 m 航空限高条件下主跨 420 m 自锚式悬索斜拉协作体系桥梁方案为工程背景,采用有限元法

对钢结构主缆锚固区的空间受力情况进行了研究,主要结论如下。

(1)计算分析表明,在主缆拉力和结构成桥恒载作用下,除个别应力集中点外,主缆锚固区的纵向应力、Mises 应力均满足要求,具备了一定的结构安全储备。

(2)不考虑锚体的混凝土效应,顶、底板与腹板的应力变化较小,但锚体加劲的应力变化较大,混凝土对锚体加劲板应力的减小起到了较大的作用。

参考文献:

[1] 肖汝诚,项海帆.斜拉-悬吊协作体系桥力学特性及其经济性能研究[J].中国公路学报,1999,12(3):43-48.
[2] 项海帆.高等桥梁结构理论[M].北京:人民交通出版社,2013.
[3] 李中培,袁明军,刘孝武,等.自锚式斜拉-悬索协作体系桥的合理成桥状态分析[J].公路,2018,63(7):132-137.
[4] 李明颖,欧光鲲,弓正,等.428 m 跨自锚式悬索桥主缆锚固区局部应力分析[J].公路交通科技,2021,38(增刊1):26-33.
[5] 狄瑾,曾奎,涂熙,等.鹅公岩轨道专用桥主缆锚固区模型试验研究[J].桥梁建设,2018,48(6):58-63.
[6] 秦凤江,涂熙,狄瑾,等.大跨度自锚式悬索桥主缆锚固区受力机理分析[J].建筑结构,2020,50(增刊2):209-215.
[7] 王宏博,陈国红.桃花峪黄河大桥主缆锚固段设计与受力分析[J].桥梁建设,2013,43(6):100-105.

(上接第 64 页)

市高架桥梁的技术瓶颈,解决了立交桥梁预制装配难题。项目于 2021 年 6 月实质开工,2022 年 11 月西半环已建成通车。除跨铁路段外,其余路段预计于 2023 年底具备通车条件。

参考文献:

[1] 周华保,焦守法,高原,等.淄博市快速通道系统构建研究[J].城市道桥与防洪,2022(4):22-26.
[2] 周华保,焦守法,张帅帅,等.淄博市一环快速路总体方案研究[J].城市道桥与防洪,2022(2):24-28.

[3] 山东明嘉勘察测绘有限公司,山东省交通规划设计院集团有限公司.淄博市城市快速路网建设一期工程岩土工程勘察报告(详细勘察阶段)[R].淄博:山东明嘉勘察测绘有限公司,2021.
[4] 山东明嘉勘察测绘有限公司.淄博市快速路一期建设工程采空区勘察报告[R].淄博:山东明嘉勘察测绘有限公司,2021.
[5] CJJ 11—2011,城市桥梁设计规范(2019 年版)[S].
[6] 张泉.淄博一环快速路昌国路-鲁山大道立交桥总体设计[J].城市道桥与防洪,2022(6):79-83.
[7] JTG/T D31—03—2011,采空区公路设计与施工技术细则[S].