

黄河大道(一期)工程智慧产业园通道总体方案设计

赵君委, 曹淋淋, 徐 瑞

[济南市市政工程设计研究院(集团)有限责任公司, 山东 济南 250003]

摘要: 以黄河大道(一期)工程智慧产业园通道为研究对象, 针对有轨电车与地下快速路共建设条件, 系统探讨了复合型地下交通廊道的规划设计和关键技术。重点分析了智慧产业园通道的线位、标准横断面布置及出入口设置; 通过对比不同箱涵结构体系的结构性能、施工成本和耐久性, 优选普通钢筋单箱三室箱涵方案, 并结合深基坑支护分级设计和全包防排水体系, 保障工程安全; 针对特长地下通道特性, 构建了“结构空腔疏散+车行匝道应急”的防灾救援系统。工程实践表明, 该工程方案可为类似地下道路建设提供理论依据和工程实践经验。

关键词: 地下快速路; 有轨电车共建; 箱涵结构; 深基坑支护; 防灾疏散系统

中图分类号: U412.3; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)12-0029-05

Overall Scheme Design of Intelligent Industrial Park Passage for Huanghe Avenue (Phase I) Project

ZHAO Junwei, CAO Linlin, XU Rui

[Jinan Municipal Engineering Design and Research Institute (Group) Co., Ltd., Jinan 250003, China]

Abstract: Taking the intelligent industrial park passage for Huanghe Avenue (Phase I) Project as the research object, the planning design and key technologies of composite underground transportation passage are systematically explored under the co-construction conditions of tram and underground expressway. The focus is on analyzing the alignment, standard cross-sectional layout, and entrance/exit settings of the intelligent industrial park passage. By comparing the structural performances, construction costs and durability of different box culvert structural systems, the single-cell three-chamber box culvert with conventional reinforcement is selected as the optimal scheme. Combined with a graded design for deep foundation pit support and a comprehensive waterproofing and drainage system, the engineering safety is ensured. For the characteristics of extra-long underground passages, a disaster prevention and rescue system integrating "structural cavity evacuation + vehicle ramp emergency response" is established. The engineering practices demonstrate that this engineering scheme can provide the theoretical basis and engineering experience for the construction of similar underground roads.

Keywords: underground expressway; tram co-construction; box culvert structure; deep foundation pit support; disaster prevention and evacuation system

0 引言

黄河大道快速路是济南新旧动能转换起步区“三横七纵”快速路网的核心线路, 同时也是济南市“八横八纵”快速路网的重要组成部分, 北接济阳城市组团, 西联桑梓店片区, 纵贯崔寨、大桥两大城市组团, 构建起支撑黄河北岸发展的交通主轴线。该道路通过串联市区现有及规划的十余条跨黄河通道, 形成服务济南“携河北跨”战略的多维交通网络,

强化了黄河北岸两岸城市组团的空间联系与协同发展能力。作为连接主城区与起步区的重要纽带, 其建设不仅为区域产业升级与产城融合提供交通保障, 更通过优化跨黄通道布局推动南北经济一体化, 助力济南实现从“大明湖时代”向“黄河时代”的城市空间转型。作为黄河北岸的交通主干线, 该工程通过完善现代化交通体系, 有效落实《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》对基础设施建设的战略要求, 对促进沿黄城市群协同发展具有关键支撑作用。

此次实施的黄河大道工程(一期)^[1]北起孙耿北路, 南至G104(鹊华东路), 全长16.2 km。道路采用

收稿日期: 2025-04-09

作者简介: 赵君委(1990—), 男, 硕士, 工程师, 从事道路桥梁设计工作。

主辅路的形式:主路为城市快速路,设计速度 80 km/h;辅路为城市主干路,设计速度 50 km/h。

黄河大道(一期)工程穿越多个城市组团,工程方案复杂,其中穿越崔寨北组团的智慧产业园通道为全国首例与有轨电车共建的特长地下道路,箱涵结构最大宽度约 68 m。本文将重点介绍崔寨北组团即孙耿北路—青银高速段工程方案。图 1 为工程全线线位图。

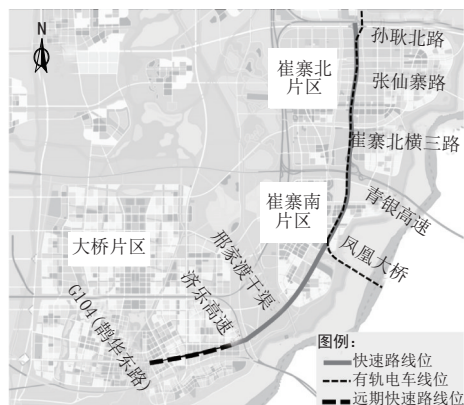


图1 黄河大道工程(一期)全线线位图

1 工程概况

1.1 主要技术标准

(1)道路等级

孙耿北路—济乐高速段:主路城市快速路,辅路城市主干路。济乐高速—G104(鹊华东路)段:城市主干路。

(2)设计速度

快速路主路 80 km/h,快速路辅路 50 km/h,出入口匝道 40 km/h。济乐高速—G104(鹊华东路)段 60 km/h。

(3)设计净高

主路 ≥ 4.5 m,辅路 ≥ 5.0 m。

(4)车道宽度

主路车道宽度:小车专用 3.5 m/车道,大型及混行车道 3.75 m/车道。匝道车道宽度:3.5 m/车道。辅路车道宽度:3.5 m/车道。

(5)路缘带

设计速度 ≥ 60 km/h,取 0.5 m;设计速度 < 60 km/h,取 0.25 m。

(6)地下道路主体结构设计使用年限:100 a。

(7)主体结构安全等级:一级。

(8)主体结构荷载标准:城—A级。

(9)抗震设防烈度为7度,设防分类为乙类(重

点设防类)。

(10)主要构件的耐火等级:一级。

(11)地道防水等级:一般为二级,重要设备用房处为一级。

1.2 线位走向

黄河大道工程(一期)线位基本沿规划线位走向。结合起步区基本建设条件,有轨电车的同步实施以及沿线地块开发情况,采用分段实施:

(1)孙耿北路—济乐高速段,根据规划按照快速路标准进行实施,一次性实施到位。

(2)济乐高速—G104段,受基本农田限制,按照既有道路改造进行实施,道路等级为城市主干路,远期同大桥段同步快速化。

1.3 敷设形式

该工程在规划建设阶段即确立了“世界标杆、国际规范、齐鲁底蕴、泉城标识”的战略定位,全面突破传统城市建设模式,通过构建绿色生态、低碳环保、产城融合、智慧现代的现代化新城,开创可持续城市发展新模式。

在创新建设理念指引下,城市建设规划策略实现四大突破:其一,将城市地下快速路与有轨电车有效结合,集约化实现特长隧道与轨道的共建体系;其二,转变传统基建思维,由高架路桥体系转向地下空间立体开发,形成集约高效的的城市空间结构;其三,推行“隐形城市”发展模式,通过地下交通廊道、商业空间的系统整合,释放地面空间资源;其四,创新城市形态管控机制,通过竖向空间优化配置,塑造开阔的城市天际线轮廓,构建视线通透的立体城市景观体系。

基于以上分析,黄河大道工程(一期)快速路采用“组团内部为地下快速路,组团间为地面快速路”的敷设形式^[2-3]。其中:大桥组团利用既有 G220 线位进行改造,采用地面快速路形式;崔寨南、崔寨北组团采用地下快速路形式,共设置 3 处地下通道,即智慧产业园通道(长约 3.8 km)、会展中心通道(长约 2.3 km)和体育中心通道(长约 2.2 km);崔寨南组团与大桥组团之间道路两侧为郊野绿地,采用地面快速路形式。

1.4 交通量预测和建设规模

根据交通量预测结果,黄河大道工程(一期)主路各组团内 2042 年高峰小时最大单向交通量分别为:崔寨北组团 3 234 pcu/h,崔寨南组团 3 368 pcu/h。黄河大道工程(一期)辅路各组团内 2042 年高峰小

时最大单向交通量分别为:崔寨北组团 1 654 pcu/h,崔寨南组团 1 783 pcu/h。

主路采用双向 6 车道规模。崔寨北组团饱和度 V/C 为 0.59,服务水平二级;崔寨南组团饱和度 V/C 为 0.62,服务水平三级。

辅路若采用双向 6 车道规模:崔寨北组团饱和度 V/C 为 0.78,服务水平二级;崔寨南组团饱和度 V/C 为 0.85,服务水平三级。

辅路双向 6 车道可满足交通需求,结合出入口交通组织、地面交叉口交通组织、公交专用道设置等因素,采用双向 8 车道。

1.5 标准横断面布置

(1)崔寨北组团

孙耿北路—青银高速段,智慧产业园通道有轨电车路中与地道共建,设置 3 孔箱涵,中间为有轨电车,两侧为快速路主路。采用地下快速路主路双向 6 车道,地面辅路双向 8 车道布置。图 2 为智慧产业园通道典型横断面图。

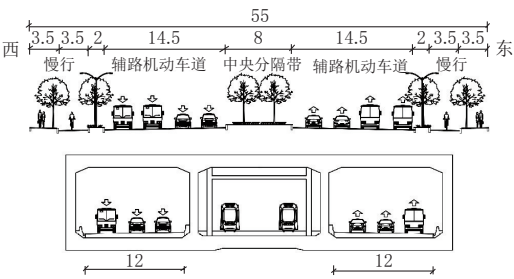


图 2 智慧产业园通道典型横断面图(单位:m)

(2)崔寨南组团

青银高速—邢家渡干渠段,其中会展中心通道有轨电车路中与地道共建,地下快速路双向 6 车道,辅路地道双向 6 车道。图 3 为会展中心通道典型横断面图。

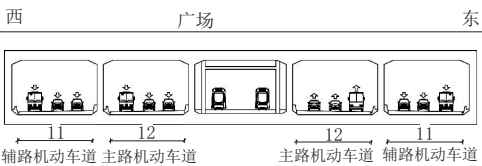


图 3 会展中心通道典型横断面图(单位:m)

体育中心通道,采用地下快速路双向 6 车道,设置 2 孔箱涵,地面辅路双向 8 车道。图 4 为体育中心通道典型横断面图。

(3)组团间郊野段

邢家渡干渠—济乐高速段,采用地面快速路,主辅路断面形式,主线双向 8 车道,辅路双向 4 车道。图 5 为组团间地面快速路典型横断面图。

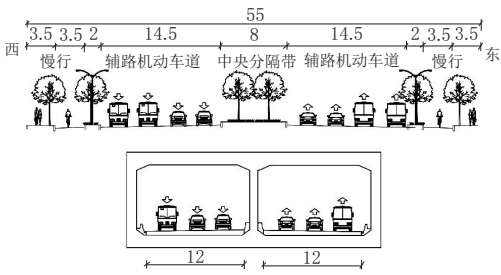


图 4 体育中心通道典型横断面图(单位:m)

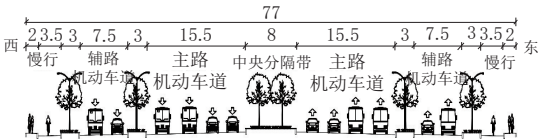


图 5 组团间地面快速路典型横断面图(单位:m)

(4)大桥组团

济乐高速—G104(鹊华东路)段,受建设条件限制,近期在现状公路基础上拓宽改造为双向 8 车道城市主干路,预留远期沿规划线位西延快速化条件。图 6 为大桥组团城市主干路典型横断面图。

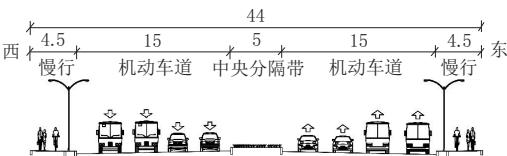


图 6 大桥组团城市主干路典型横断面图(单位:m)

1.6 与有轨电车关系

根据已批建的有轨电车总体方案,有轨电车线路自黄河南岸起始,沿凤凰黄河大桥线路过黄河后向北转向,至黄河大道(一期)工程东侧路段时,通过高架向地下转换。

经多轮方案比选与专家论证,推荐采用“轨道交通+快速路”地下共线共建模式。具体布设形式为:有轨电车设置在路中,两侧各布置快速路主线,形成复合型地下交通廊道。

共建工程主要是智慧产业园通道与会展中心通道。

2 总体设计方案

2.1 总体布置

孙耿北路—青银高速段,路段全长约 4.37 km,设置智慧产业园通道 1 处,全长约 3.8 km,敞口段总长度 592 m,暗埋段长 3 314 m。通道起点位于横干一路北侧,向南依次下穿规划西环路、横一路、张仙寨路、横二路、横三路等相交道路,在青银高速北侧接地。图 7 为智慧产业园通道总体布置图。

有轨电车布置结合组团发展和开发需求,与地



图7 智慧产业园通道总体布置图

下道路路中共建,设置3站2区间。在横干一路北侧,有轨电车转至路东地下,下穿孙耿北路,北向进济阳。

地下道路主路平面设计按左、右线分别设计线形,路线平面线形考虑与有轨电车之间的净距要求。线形指标满足80 km/h设计速度要求^[4]。

综合考虑车站位置有轨电车纵断面要求^[5],地下道路主路纵断面纵坡 $\leq 0.3\%$,保证与合建有轨电车纵断面的一致性。合理控制覆土深度,保证交叉口位置管线埋深。纵断面指标满足80 km/h设计速度要求^[4]。

地下道路主路及匝道建筑限界净高拟定为4.5 m。

地下道路主线限界净宽:12.5 m=0.25 m(安全带宽度)+0.5 m(路缘带)+[2×3.75 m+3.5 m](机动车道)+0.5 m(路缘带)+0.25 m(安全带宽度)。

地下道路匝道限界净宽:8 m=0.25 m(安全带宽度)+0.25 m(路缘带)+(2×3.5 m)(机动车道)+0.25 m(路缘带)+0.25 m(安全带宽度)。

2.2 出入口设置

沿线设置2对出入口,分别位于张仙寨路南侧和横三路北侧,出入口均为地下出入口。

张仙寨路出入口主要联系张仙寨路、崔寨横二路,服务崔寨北沿线产业园及安置区交通出行,鼻端距离北端洞口1.5 km。

横三路北侧出入口主要联系崔寨北横三路、横十二路、青银高速,服务临空经济区和大桥组团的交通出行,鼻端距离北端洞口1.44 km。

2对匝道出入口端部之间的距离,应大于或等于表1中的规定值^[6]。出入口最小间距见表1。

表1 出入口最小间距表				
主路设计车速/ (km·h ⁻¹)	出入口形式			
	驶出-驶入	驶出-驶出	驶入-驶入	驶入-驶出
80	210 m	610 m	610 m	1 020 m

本工程2对匝道出入口为“驶入-驶出”型,其间距为380 m(小于规范要求的1 020 m),因此,2对出入口之间设置集散车道,集散车道采用双车道。

3 结构设计方案

3.1 箱涵结构设计方案

本工程考虑周边建设条件、施工工期、施工方法、工程造价等因素影响,采用明挖法框架结构^[7-8]。

根据本工程地下道路总体要求,标准断面两侧箱室为地下快速路,单箱结构净宽为13.65 m,中间箱为有轨电车,结构净宽为14.65 m。

对单箱三室箱涵(普通钢筋)、单箱三室箱涵(部分预应力)、三箱单室箱涵(普通钢筋)进行比选。

(1)单箱三室箱涵(普通钢筋)结构型式

结构顶、底板厚度1.4 m,侧墙厚度1.2 m,中墙厚度1 m,总宽度46.35 m。施工时需要大开挖,底板一次浇筑,对交通影响较大;结构底板宽约46.35 m,地基的不均匀沉降对结构影响较大,地基的处理要求较高;通过计算分析,覆土较深时此结构承载能力受限。但是,结构的施工工序简单,施工周期短,工程造价较低,地下结构内行车景观较好。

(2)单箱三室箱涵(部分预应力)结构型式

结构顶板厚度1 m,底板厚度1.4 m,侧墙厚度1.2 m,中墙厚度1 m,总宽度46.35 m,顶板张拉预应力钢束。施工时需要大开挖,底板一次浇筑,对交通影响较大;结构底板宽约46.35 m,地基的不均匀沉降对结构影响较大,地基的处理要求较高;结构施工工序较复杂,预应力钢束张拉须待顶板混凝土强度达到要求后才能实施,施工周期长,并且预应力钢束后期更换困难,耐久性较差;结构顶板厚度虽然部分降低,但增加了预应力钢束,造价较高。通过计算分析,此结构承载能力较强,可应用于更深覆土的地下道路中。

(3)三箱单室箱涵(普通钢筋)结构型式

顶、底板厚度1.4 m,紧邻土体的外侧墙厚度1.2 m,内侧墙厚度0.8 m,总宽度47.55 m。中侧墙厚度增加,钢筋含量增加,结构造价较高;地下道路结构宽度增加,项目占地面积增大;结构施工工序复杂,三箱结构间的防水卷材施工困难,施工速度慢。结构分为三箱,单箱基础宽度为15.65 m、16.25 m,可抵消大部分地基不均匀沉降对结构的影响。

从表2看出,单箱三室箱涵(普通钢筋)结构型式虽然施工时需要整体开挖,对交通影响较大,但本工程周围有交通导改空间,可降低交通影响,同时具有经济性好、施工速度快、耐久性好等优点。因此,从功能性、经济性等因素考虑,本工程推荐采用单箱

表 2 结构设计方案比选

比较项目	单箱三室箱涵 (普通钢筋)	单箱三室箱涵 (部分预应力)	三箱单室箱涵 (普通钢筋)
施工对交通的影响程度	大	大	较大
施工速度	快	慢	较慢
施工难易与复杂程度	易	难	难
结构性能及耐久性	好	差	一般
行车条件	较好	好	好
每延米单价比例	1.0	1.1	1.06

三室箱涵(普通钢筋)结构型式。

为减轻结构自重,节省材料,在结构设计时,对箱涵结构顶板设置圆形孔,标准段顶板厚度 1.4 m,设置直径 0.8 m 的圆孔,沿道路纵向方向间距 1.2 m,横向方向设置在距离箱涵顶板倒角 1 m 范围外。

3.2 基坑支护设计

本工程基坑宽度大多在 45~70 m 之间,最大基坑开挖深度约 16 m。为便于施工,采用桩+锚拉式的支护方案,锚杆采用高压旋喷锚杆。

拟采用的围护结构型式及适用范围如下:

- (1) 基坑深度≤ 3.0 m,采用放坡支护;
- (2) 基坑深度 3~6.5 m,采用Ⅵ拉森钢板桩支护;
- (3) 基坑深度 6.5~12 m,采用直径 800 mm 钻孔灌注桩围护;
- (4) 基坑深度 12~16 m,采用直径 1 000 mm 钻孔灌注桩围护。

3.3 地下道路防排水设计

地下道路防排水设计采用全包防水,遵循“防、排、堵相结合”的基本原则^[9]。

(1) 防水措施

防水卷材:在支护与箱涵之间敷设自粘式高分子防水卷材,作为第一道防水措施;防水卷材采用全包的方式进行敷设,全地下道路满铺。

混凝土自防水:箱涵采用防水等级不低于 P8 的防水混凝土,作为第二道防水措施。

细部防水:箱涵的变形缝、施工缝采用外贴式橡胶止水带和中埋式钢边橡胶止水带。

(2) 排水措施

敞口段地下道路两侧设置 0.5 m×0.5 m 雨水边沟,主要收集敞口段道路雨水,流量计算同雨水管道流量计算,设计标准为 50 a 一遇,径流系数为 1,汇流时间为 5 min,坡度同敞口段道路纵坡,于最低点处排入设计的地下道路 d1 000 mm 横穿管,最终排入设

计雨水泵站,经泵站提升后排入周边河道。

暗埋段减少箱涵埋深,设置宽度 0.15 m、高度 0.15 m 的明沟,收集隧道内部冲洗用水。

4 地下道路防灾疏散系统

智慧产业园地下通道属超长地下快速路通道,其设计体系遵循“预防优先、防治协同、应急速散”的韧性防灾原则^[10-12],在设计层面系统整合了灾变场景下的多维安全要素,重点构建了涵盖疏散路径冗余度和救援通道可达性的安全矩阵。

(1) 人行疏散系统

人行疏散主要使用地下道路与有轨电车之间的结构空腔(净宽度为 1.4~2 m)作为人行疏散通道空间,满足规范要求的 1.2 m 净宽的疏散宽度。其中多个疏散出口成组,合并设置疏散厅,疏散厅通向地面道路路中绿化带。图 8 为人行疏散示意图。

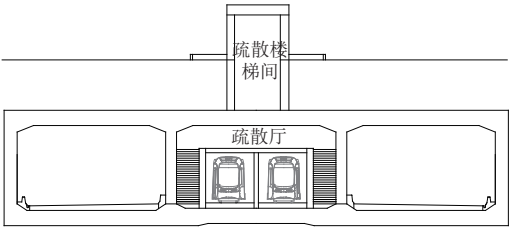


图 8 人行疏散示意图

其中在有轨电车车站位置,结构空腔挤压变小,在地下道路两侧设置直接出地面楼梯间作为人行疏散出口。

(2) 车行疏散系统

智慧产业园通道属于城市地道,灭火救援响应快,隧道内消防设施齐全,增设主动喷淋系统。车辆疏散利用地下道路暗埋段两对上下出入口匝道作为车行疏散出口,疏散间距 1.4~1.5 km,不再增设应急疏散口。

5 结 语

黄河大道快速路作为崔寨与大桥两大核心组团的重要连接纽带,通过整合交通廊道、景观廊道及经济走廊等多功能复合属性,可有效促进区域功能优化与空间格局重构。

黄河大道工程(一期)已于 2024 年 12 月实现通车运营,交通运行状态良好。

本文针对有轨电车与地下快速路共构建设条件,系统阐述总体设计原则与出入口布设方法,着重对共建箱涵结构体系设计、深基坑支护技术、地下道

(下转第 38 页)