

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.08.005

济南市玉函路地下道路总体设计

朱建方, 毛化冰, 郑召怡, 贾 栋

[济南市市政工程设计研究院(集团)有限责任公司, 山东 济南 250101]

摘 要: 济南市顺河高架南延长线玉函路地下道路地处城市核心区, 是济南市快速路网体系中的重要组成部分。在对玉函路地下道路的总体设计介绍中, 首先阐述了工程复杂的设计条件, 然后对项目总体平面线位方案、地下道路断面及施工工艺进行了多方案分析比选, 对地下道路南北洞口节点方案及地下道路附属工程解决方案进行了详细介绍。结论为: 地下道路采用箱涵+双连拱+超小净距隧道组合布置的结构形式, 在玉函路下方穿越; 设计、施工一体化, 采用明挖+暗挖组合施工工艺, 有效克服了施工交通组织困难、地质条件复杂、地下管网密集等诸多技术难题。

关键词: 地下道路; 浅埋暗挖隧道; 方案比选; 总体设计; 施工工艺

中图分类号: U412.37

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)08-0017-07

1 工程概述

济南市顺河高架路地处城市核心区, 是济南市快速路网体系中的重要组成部分。其北端以济南北立交连接济广高速, 向南依次通过北园立交、玉函立交、英雄山立交串联城区东西向的北园高架路、经十路、二环南高架路等快速路及主干路, 继而向南延伸连接望岳路; 其南端通过大涧沟互通立交接南绕城高速。由此, 实现高快一体转换。

顺河高架南延长线位于城区中段, 北端接玉函立交, 南端接英雄山立交, 全线总长约 5.16 km。按照上位规划, 其主要功能是加强高速路、快速路环线间的联系, 提高快速路网的通达性, 增强快速路对核心区的辐射范围, 对服务长距离交通、加强组团之间的联系、承担通过性交通具有十分重要的意义。图 1 为工程区域位置图。



图 1 工程区域位置图

按照总体建设方案, 本项目以玉函北路为界, 工程分两期进行建设: 一期工程向南沿英雄山路南段建设高架桥, 二期工程向北沿现状玉函路建设地下道路。地下道路总长 3.24 km, 双向 4 车道, 局部设置应急停车港湾。图 2 为顺河高架南延长线总平布置图。



图 2 顺河高架南延长线总平布置图(单位:m)

为保障地下道路运营安全, 同步配套建设管理中心、消防系统、通风系统、监控系统、照明系统、供电系统及排水泵站等附属设施^[1]。

2 设计条件

玉函路西侧为连绵的山体, 东侧毗邻玉绣河, 山体、河道之间密集分布居住小区。玉函路为南北向唯

收稿日期: 2021-03-13

作者简介: 朱建方(1979—), 男, 学士, 高级工程师, 从事市政工程设计工作。

一通道,承担着重要的城市交通干道功能,周边缺少有效的分流道路。设计方案需要充分考虑施工期内的交通组织以及施工对沿线居民交通出行的影响。

改造前,玉函路为双向6车道,道路沿线单位、居住小区密集。沿线建筑基本以20世纪80年代4~6层居民楼为主,楼房紧靠路边人行道,地面道路平均宽度仅32.5 m。图3为改造前玉函路地面道路及管线布置。

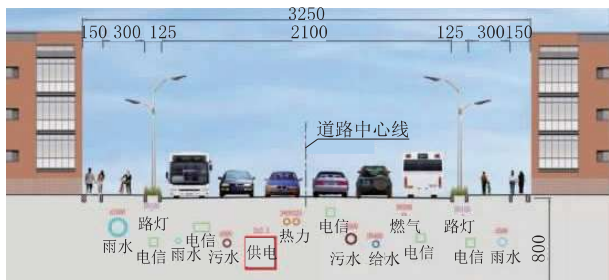


图3 改造前玉函路地面道路及管线布置(单位:cm)

工程沿线地下管网密集,水、电、气、热、排水、弱电等管线设施齐全,工程建设期间,需要确保管线的正常运营,保证沿线居民的生活不受影响。

沿线地质条件复杂。根据地勘资料,场地第四系地貌单元属于山前坡洪积群,地形总体为南高北低,高差约55 m。地下水类型为第四系松散岩类孔隙水及辉长岩风化裂隙水混合水,水位标高整体上呈南高北低的趋势。地下水补给主要为大气降水入渗、岩土层水平向渗流及玉绣河地表水下渗补给。图4为玉函路沿线工程地质图。

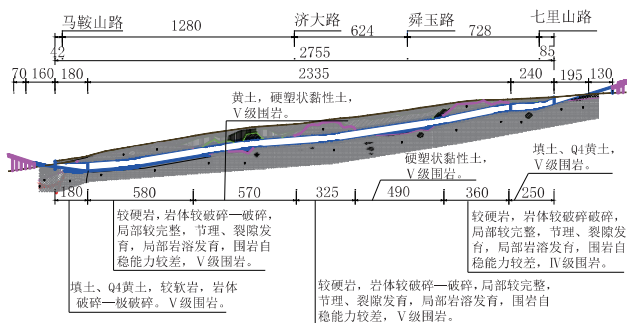


图4 玉函路沿线工程地质(单位:m)

第四系地层主要为人工填土、坡洪积成因的黄土、黏性土及碎石土,马鞍山路以南下伏奥陶系灰岩,马鞍山路以北为辉长岩侵入体。第四系地层厚度随基岩面起伏变化较大,基岩面埋深在地表下0.60~19.80 m。据统计,两段岩层埋深较深(济大路以北为360 m、舜玉路附近为425 m),黄土、黏土土层较厚,总长785 m,其余路段岩石埋深较浅,长1970 m。

工程沿线土质段和岩石段交错分布,地质差异

性较大,情况极其复杂。土质段多为湿陷性黄土和杂填土,岩石段部分为中风化石灰岩,岩质坚硬。工程地处城市居住敏感区,传统的岩石爆破开挖对周边影响大。

3 总体平面线位方案比选

鉴于顺河高架南延线周边地理环境的复杂条件,方案研究历时三年多,考察、借鉴了国内外多座城市先进的建设经验,探讨了全线高架桥、地下道路技术标准,从设计、施工、管理等方面多维度、多角度进行了方案论证、技术咨询及方案比选。

3.1 方案一:沿河地道+山岭隧道+高架桥

方案一线位北起经十路,南至英雄山立交,全线总长约5.86 km。全线共分为:三段高架,一段沿河地道,一段山岭隧道。其中,三段高架桥总长3.65 km,沿河地道长0.6 km,山岭地下道路长2.21 km。全线共设6条出入口(三进三出)匝道,其中玉函立交落地地点处1对,七里山南路南侧1对,英雄山路1对。图5为方案一总体平面线位图。



图5 方案一总体平面线位图(单位:m)

方案一需要对玉函立交南引桥(275 m)及引道拆除后新建,主线向东偏离地面道路,上跨马鞍山路后落地接沿河地道。沿河地道与玉绣河并行,穿越南郊宾馆,至华馨园小区北侧出地面,然后采用高架桥方式上跨玉绣河、玉函路,跨越中华女子学院,接山岭隧道。山岭隧道向南沿六里山、七里山布置,在盈峰翠邸小区位置出洞口接高架桥。高架桥沿玉函路南段、英雄山路建设,向南依次跨越七里山路、土屋路、万寿路等,向南接英雄山立交。

玉函立交引桥拆除重建,顺河高架路需要中断

交通。本线位方案穿越的区域涉及南郊宾馆、中华女子学院、盈峰翠邸、西八里洼片区等多个大型居住区,工程沿线拆迁量 122 450 m²,安置工作难度大,总投资估算约 41.15 亿元,工期测算 24 个月。

3.2 方案二:沿玉函路地下道路+高架桥

方案二全线总长约 5.16 km。其中,玉函立交至玉函北路全线采用地下道路的方式,下穿马鞍山路、六里山南路、舜玉路及七里山路交叉口,沿现状玉函路地下敷设。玉函北路至英雄山路立交采用高架桥方式,跨越土屋路、玉函小区南路及万寿路,向南接英雄山立交。图 6 为方案二总体平面线位图。



图 6 方案二总体平面线位图(单位:m)

全线共设 7 条出入口匝道及 1 条应急出口匝道。其中,马鞍山路交叉口北侧,结合现状玉函立交引道改造,设置 2 对匝道。北侧一对匝道连接经十路地面道路,实现经十路地面道路与顺河高架南延线工程主线地下道路的衔接;另外一条匝道衔接玉函立交西侧辅路,实现地面道路与现状南北向高架桥的衔接。七里山路南侧设置 1 对进出匝道,实现玉函路地面道路与地下道路的衔接。英雄山路高架桥段,在玉函小区南路北侧设置 1 对匝道,地面道路连接高架桥。

方案二基本沿现状玉函路、英雄山路中线居中布设,工程沿线涉及的拆迁主要集中在七里山路以南的西八里洼沿街商铺,多数为建成年代较早的低矮破旧民房,群众对于结合本项目建设同步提升区域城市景观及品质呼声较高,征收工作相对较容易,项目实施具有可操作性和实施性,工程沿线拆迁量

32 826 m²,总投资估算约 29.82 亿元,工期测算 18 个月。

3.3 方案三:全线高架桥

线位布置同方案二,高架桥沿玉函路、英雄山路布置,玉函立交桥南侧引桥及引道拆除新建,新建高架桥向南依次跨越马鞍山路、济大路、舜玉路、七里山路、土屋路,向南接英雄山路南段高架桥。

玉函路横断面布置如下:高架桥双向 4 车道,桥梁总宽 18 m;地面道路双向 4 车道(见图 7)。

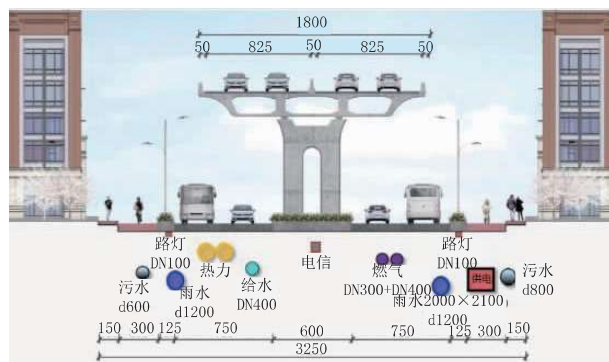


图 7 玉函路高架桥横断面方案(单位:cm)

玉函路断面较窄,两侧楼房紧贴道路边线,管线迁改及道路施工期间玉函路交通基本中断。项目建成后,地面交通单侧仅剩两个车道;高架与两侧楼房间距不足 7.5 m,噪声对道路沿线居民影响大。

工程沿线拆迁量约 41 150 m²,总投资估算约 25.63 亿元,工期测算 14 个月。

从建设规模、项目拆迁实施难度、投资估算、管线迁改实施难度、施工期交通组织及施工周期等方面对三个方案进行综合分析比较,选定方案二作为实施方案。

4 地下道路主要技术标准

- (1)通行车型及车道类型:小客车专用车道^[2]。
- (2)地下道路长度分类:长距离地下道路。
- (3)地下道路设计速度:路段 50 km/h。
- (4)路段车道宽度为 3.25 m、3.25 m,路缘带宽度为 0.5 m,安全带宽度为 0.25 m。
- (5)地下道路限界:机动车净高为 4.0 m,检修道净高为 2.5 m。
- (6)地下道路防火设计类别:“仅限通行非危险化学品等机动车”^[3]的二类。

5 玉函路地下道路断面及施工工艺比选

地下道路横断面的选取需要结合施工工艺综合确定。方案研究阶段,曾考虑地下道路设置双向 4 车

道加连续应急停车带横断面方案,但由于现状玉函路两侧楼房距离过近的条件限制,部分路段道路宽度不足 30 m,而理论上的开挖总跨度达到 31.12 m,局部路段将侵入现状楼房基底以下,基本不具备可实施性。

结合场地建设条件,深化研究明挖和暗挖两种施工工艺,以确定隧道横断面方案。

5.1 明挖施工工艺

明挖方案总的设计原则是控制地下道路的开槽深度和宽度,尽量加大与两侧建筑的距离,减少岩石开挖量,减小施工期间对两侧建筑及交通的影响。图 8 为明挖方案地下道路横断面方案图。

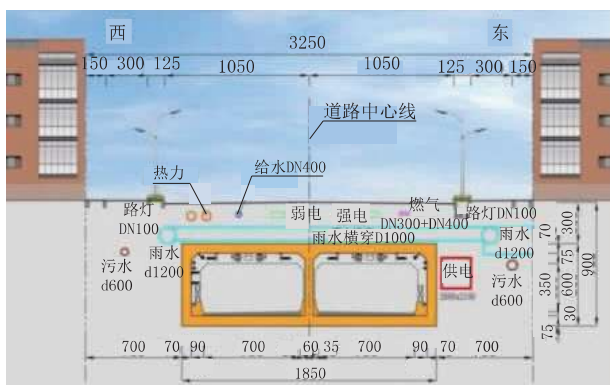


图 8 明挖方案地下道路横断面方案(单位:cm)

明挖方案的核心是需要解决既有管线的迁改以及施工期的交通组织问题,需要严格控制基坑开挖深度。从施工组织角度分析,管线采用直埋,先把大管径管线迁改到外侧,隧道顶设置小管径管线,通过优化管线布局控制埋深,路段范围覆土最小厚度 1.9 m。道路交叉口位置要满足管线横穿需求,最小覆土厚度 3 m 左右。图 9 是以单层式横断面为例进行隧道纵断面设计,经分析,基坑开槽深度为 9~10 m。

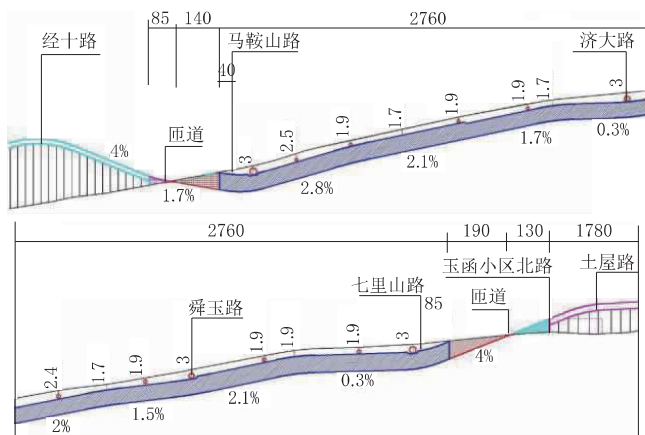


图 9 明挖地下道路纵断面图(单位:m)

结合路段地质、基坑深度、基坑周边环境情况,明挖方案需要分段采用不同的基坑开挖支护方式,

如喷锚、桩+内支撑支护等,分幅开挖施工,主体结构采用现浇。

道路两侧既有构筑物多为 20 世纪 80 年代老楼房,基础多为条形基础或者筏板基础,基础埋深较浅,大开槽施工对现状建筑的保护和施工控制难度大,现状部分地下管线需要进行全路段二次迁改,对两侧交通出行和居民生活影响大。半幅施工,管线需要进行两次迁改,隧道中墙施工期与运营期发生力学体系转换,钢筋连接、混凝土浇筑施工环节增多,施工周期长。

5.2 暗挖施工工艺

玉函路为城市主干路,地面交通量较大,沿线建筑物密集,地下管线复杂,为尽量减少施工对全线居民的影响,研究暗挖施工工艺。隧道断面采用复合式中隔墙连拱隧道结构及超小净距隧道结构,单侧隧道断面型式为五心圆曲墙拱。根据隧道建筑限界要求,在满足通风、消防、交通等附属机电设备安装尺寸空间的条件下,减小矢跨比,以减小开挖及衬砌工程量。隧道标准段内轮廓顶部拱圆半径 $R=6.0$ m,边墙圆半径 $R=11$ m,仰拱半径 $R=15$ m,顶部拱和边墙采用半径 $R=3.7$ m 的圆过渡连接,仰拱和边墙采用半径 $R=1.5$ m 的圆过渡连接,内轮廓净宽 9.19 m,净高 7.3 m。港湾式应急车道内轮廓顶部拱圆半径 $R=7.173$ m,边墙圆半径 $R=11$ m,仰拱半径 $R=20$ m,顶部拱和边墙采用半径 $R=3.7$ m 的圆过渡连接,仰拱和边墙采用半径 $R=1.5$ m 的圆过渡连接,内轮廓净宽 12.2 m,净高 8.4 m。图 10 为暗挖标准段单侧隧道内轮廓。

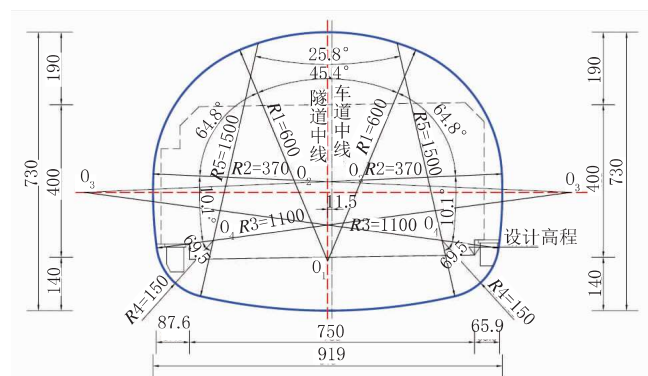


图 10 暗挖标准段单侧隧道内轮廓(单位:cm)

隧道纵断面设计需要综合考虑沿线地质及管线埋深的影响,以暗挖段埋深 6~8 m 为控制原则,除七里山以南主线按 4%纵坡下穿外,地下道路内最大纵坡 2.1%,最小纵坡 0.9%。明挖段最大埋深 4 m;暗挖段埋深为 6~8 m。图 11 为暗挖地下道路纵断面图。

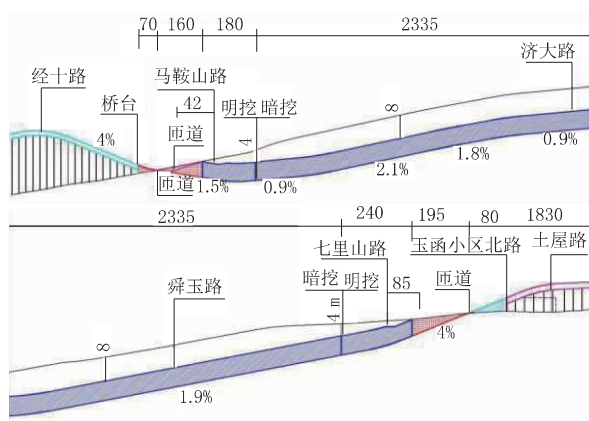


图 11 暗挖地下道路纵断面图(单位:m)

本隧道为城市复杂环境条件下超浅埋隧道,地质条件差,距离建筑物近,拱顶管线复杂,因此隧道的支护参数需要结合工程类比和计算综合确定。隧道支护体系按新奥法原理进行设计,衬砌采用复合式衬砌,初期支护采用系统锚杆、钢筋网、喷混凝土、钢拱架及超前支护等,二次衬砌采用模筑 C40 钢筋混凝土衬砌。

针对硬质岩石地段的特点,采用悬臂式掘进机冷开挖低音降噪技术施工工法,有效克服传统钻爆法在城市隧道建设中不适宜的问题;软土段采用机械配合人工开挖。图 12 为暗挖地下道路横断面方案。

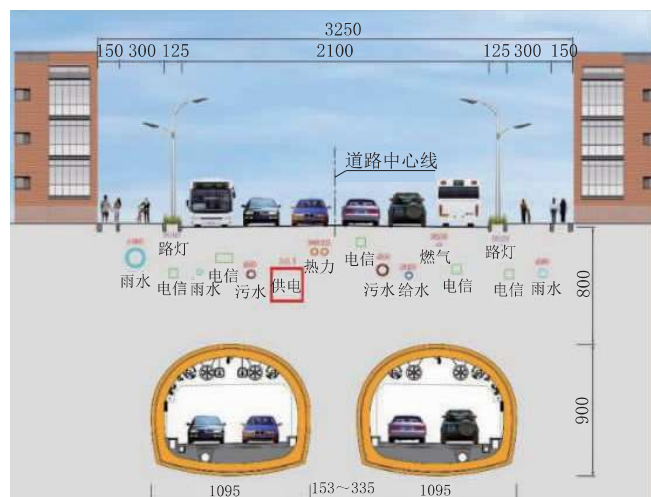


图 12 暗挖地下道路横断面方案图(单位:cm)

经多轮专家技术咨询论证,方案最终确定采用以暗挖为主、明挖为辅施工工艺,双向 4 车道,局部设置港湾式应急停车带,断面采用箱涵+双连拱+超小净距分段组合的方式。洞口段采用明挖法先行开工,快速恢复地面交通,减少对居民出行的交通影响,同时有效利用敞口段坡道为后续跟进的暗挖段提供渣料进出场地条件;其余路段采用暗挖施工。

6 地下道路洞口节点方案

6.1 北洞口

地下道路北洞口主线连接玉函立交引桥,设置 2 进 1 出 3 条匝道及 1 条应急车道衔接地面道路。中间 1 对上、下匝道实现玉函路立交与地面道路的联系,西侧设入口匝道加强西辅道与地下道路的联系,东侧设置 1 条应急出口匝道,保障隧道紧急情况下的应急疏散。图 13 为地下道路北洞口节点建成后实景。



图 13 地下道路北洞口节点建成后实景

6.2 南洞口

地下道路南洞口主线接高架桥,两侧设置 1 进 1 出 2 条匝道衔接地面道路。图 14 为地下道路南洞口节点建成后实景。



图 14 地下道路南洞口节点建成后实景

7 地下道路附属工程

为保障隧道运营安全,结合场地建设条件,同步配套建设一处管理中心(与管理控制室、地下消防泵房及办公用房合建,见图 15),两处排风塔(与地下风机房、变配电室合建,见图 16、图 17),两座地下排水泵站。总体布置见图 18。

考虑施工周期,需要增加工作面,全线设置 5 处斜井、2 处竖井,施工期作为工作通道,运营期作为人行疏散通道(见图 19),全线共设置 5 处人行紧急疏散通道,保障隧道运营安全。

结合场地条件,全线共设 5 处港湾式应急停车带(见图 20)、3 处车行横通道(见图 21)、6 处人行横



图 15 隧道管理中心与地下消防泵房合建



图 16 东线排风塔与地下风机房、变配电室合建



图 17 西线排风塔与地下风机房、变配电室合建

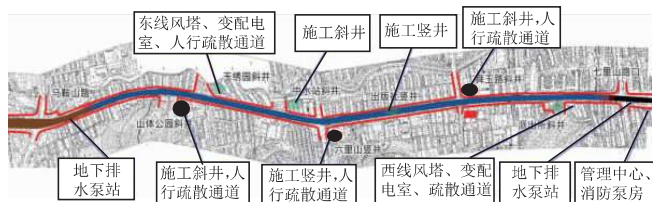


图 18 玉函路隧道附属设施总体布置图

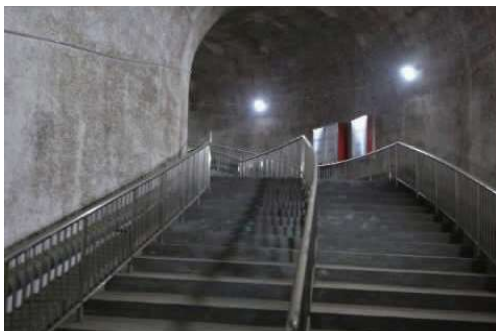


图 19 山体公园施工斜井建成后为人行疏散通道

另外,隧道内设置完善的信号系统、监控系统、交通诱导屏系统、违法超速检测系统、电子警察系统

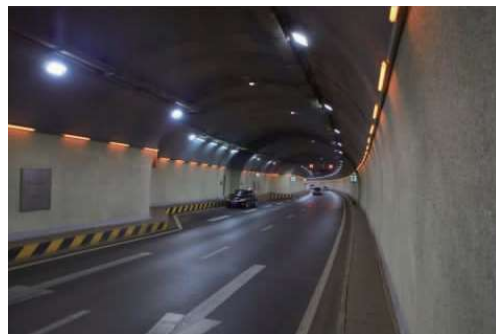


图 20 港湾式应急停车带



图 21 车行横通道

等设施,实现交通智能化管理。

8 设计理念及技术要点

(1)工程设计融入环保、和谐、可持续发展的设计理念。

结合沿线工程地质及周边环境建设条件,隧道采用明挖+暗挖组合施工组织方式,隧道接线段、洞口段采用明挖法先行开工,快速恢复地面交通,减少对居民出行的交通影响,同时有效利用敞口段坡道为后续跟进的暗挖段提供渣料进场地条件。

隧道暗挖施工通道的位置均设置在交通影响范围以外,通过暗挖通道进入正洞以后转向正洞施工。施工通道在后期建成人行疏散通道,节约工程投资的同时也保障后期隧道运营安全。

隧道段地质条件复杂,土质段与岩石段交错,施工工艺采用明挖+暗挖组合施工方式,针对硬质岩石地段,采用悬臂式掘进机冷开挖低音降噪技术施工工法,有效克服了传统的钻爆法在城市隧道建设中不适宜的问题。

(2)因地制宜,动态设计,优化工法及工序,保障建设周期。

隧道施工岩石段采用中导洞+左侧导洞台阶法开挖,土质段采用中导洞+左右导洞台阶法开挖。施工过程中坚持动态设计,信息化施工。施工过程中根据监控量测得地面沉降、洞内变形等数据进行分析,

及时调整开挖方法。

对应不同的地质情况,结合中间岩柱的厚度,采取不同的施工开挖方法及支护措施。充分利用中导洞的先行作用,根据中导洞施工开挖引起的掌子面前方及两侧围岩的位移变化情况以及地面沉降情况,提前预测左右线正洞开挖时引起掌子面前方及两侧围岩的位移变化情况,及时调整支护参数。

道路两侧建筑物距离隧道较近路段,对隧道周围土体进行加固处理。精细化计算,确定桩径、桩间距、桩长。加强施工过程中对周边环境的影响控制,确保施工安全。

9 结 语

本项目为构筑济南市快速路路网骨架的重要组成部分,该项目的建设完善了快速路网架构体系,可“盘活”已建顺河高架路、英雄山路立交,串联北园高架路、二环南高架路,优化区域交通路网格局。工程的建成对周边的道路起到有效分流作用,方便了居民交通出行,改善了区域交通环境,在一定程度上缓

解了城市交通拥堵问题。

玉函路地下道路目前已竣工通车。对于类似复杂条件下的隧道工程,设计方案与施工工艺的选择及衔接至关重要。隧道土建设计是一项动态设计与信息化施工紧密结合的工作,需要结合地质情况及隧道监控量测制定总体方案,特别是复杂地质条件下的隧道,应制定周密的地质预测方案,动态调整支护参数及施工方案。隧道支护衬砌、防排水、路面结构等主体结构设计需要与通风、照明、供配电、消防、交通安全设施等专业设计紧密衔接,统筹协调。另外,对于制约工期开展的隧道洞口明挖段、管理中心、地下风机房、施工通道的征地拆迁、管线迁改等工作,必须先期开展。同时,施工期间的交通组织十分重要,需要解决好周边区域及沿线居民交通出行问题。

参考文献:

- [1] JTG 3370.1—2018,公路隧道设计规范第一册土建工程[S].
- [2] CJJ 221—2015,城市地下道路工程设计规范[S].
- [3] GB 50016—2014(2018 版),建筑设计防火规范[S].

(上接第 12 页)

4 结 论

通过对 4 个路线方案的定性、定量分析和讨论,从与既有高速的衔接,带动地方经济、旅游产业的发展,工程规模、投资,施工难度以及地方政府意见等方面综合比较,综合得出 A 线方案为本阶段的推荐

方案。

参考文献:

- [1] 李新功.山区高速公路路线设计思路及选线方法的研究[J].交通世界,2018(9):148-149.
- [2] 张金龙,赵敬岚.正安至习水高速公路走廊方案研究[J].交通科技,2015(5):91-94.