

城市地下道路与轨道交通共建断面方案研究

卞国剑,刘建槟,单浩然

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:以济南济泺路黄河隧道工程和黄河大道快速路一期工程为例,在盾构和明挖两种工法下,地下道路与轨道交通共建断面方案进行研究。通过分析不同空间关系组合下的优缺点,得到了不同共建断面方案的适用场景。研究成果可供相关工程借鉴。

关键词:城市地下道路;轨道交通;结构共建;断面方案;盾构法;明挖法

中图分类号: U452.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)11-0038-05

0 引言

随着我国城市发展的不断深入,在城市道路网逐步完善的同时,城市地下道路与轨道交通共廊道和共建的案例越来越多。研究解决两者空间关系,提高地下空间利用效率,节约投资成本,有着愈发重要的意义。本文结合济南济泺路黄河隧道工程和济南黄河大道快速路一期工程 2 个案例,对盾构形式和明挖形式的共建断面方案进行研究。

1 盾构形式共建——以济泺路黄河隧道为例

1.1 工程案例概况

济泺路是济南市南北向城市主干路,设计车速 60 km/h,对于联系黄河两岸、衔接济北次中心与济南主城区、助力新旧动能转换起步区成形起势、支撑济南拥河和携河发展战略有着重要作用,是交通功能复合的重要廊道。轨道交通 M2 线与济泺路共廊道,是中心城区南北向骨干线,6A 编组,最高行车速度 80 km/h。

通过对占用地下空间资源、工程风险、运维安全、工程投资和社会影响等方面因素的综合分析,本工程方案选择车行隧道与轨道交通区间结构共建穿越黄河。

1.2 工法分析

盾构法是采用盾构机建造隧道的暗挖工法。盾构机前部用以平衡水土压力、保持开挖面稳定,尾部

则具有一定空间;盾构机周边装有利于掘进的千斤顶,每掘进一环距离,即在盾构机尾部支护下拼装一环管片衬砌;随着盾构机向前掘进,从开挖面向后排出土方,同时及时进行壁后同步注浆来填充管片衬砌环与地层间的空隙,以稳定地层。

盾构法于 1825 年英国伦敦泰晤士河的水底隧道工程中首次应用,距今已有近 200 年历史。在合适地层中穿越城市建筑密集区域以及穿越水域的隧道工程大多采用盾构法施工。盾构法隧道技术如今已成为我国重大基础设施建设中不可或缺的关键技术。

济泺路隧道下穿的黄河堤坝是在原民埝基础之上经过多次灌浆加固和加高而成,因此拟建通道穿越地层主要是粉土、黏土、粉质黏土,为软弱土层,孔隙比大、含水率高、压缩性高。工法比选时,对比研究了沉管法、矿山法、围堰明挖法和盾构法的优劣,并综合分析了工程地质、水文条件、交通需求、城市防汛、环境要求和施工风险等方面因素,最终推荐采用盾构法。

1.3 共建断面

1.3.1 限界

(1)城市地下道路建筑限界由道路净高线和两侧侧向净宽边线组成^[1]。本文研究对象为高等级城市地下道路,不考虑非机动车和人行通行,限界宽度为安全带宽度(或检修道宽度)+路缘带宽度+机动车道宽度+路缘带宽度+安全带宽度(或检修道宽度),如图 1 所示。

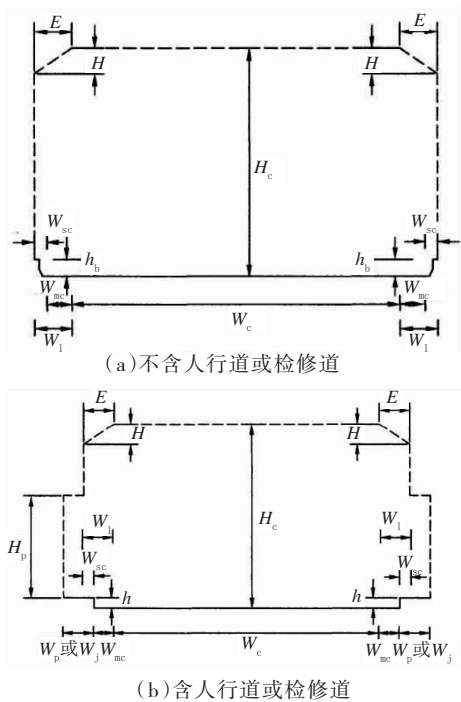
(2)地铁建筑限界的制定主要受接触导线安装高度、平面曲线参数、轨道超高、轨道结构高度等因素控制^[2]。济南市轨道交通 M2 线的建筑限界(宽×高)为

收稿日期:2023-12-31

基金项目:上海市政总院启明星课题(K2021K108)

作者简介:卞国剑(1986—),男,硕士,高级工程师,从事道路设计工作。

4.60 m × 4.55 m。



注: H_c —建筑限界高度; H_p —检修道或人行道最小净高; W_c —车行道宽度; W_l —侧向净宽; W_{mc} —路缘带宽度; W_p —人行道宽度; W_j —检修道宽度; W_{sc} —安全带宽度; h —缘石外露高度; h_b —防撞设施高度; E —建筑限界顶角宽度; H —建筑限界顶角高度。

图 1 城市地下道路建筑限界图

1.3.2 共建断面研究

地下道路车行限界是宽大于高的近似矩形限界; 轨道交通限界是宽与高基本相当的近似正方形限界, 因此上下布置机动车道和轨道交通可以更充分、合理地利用圆形盾构空间, 效率最高。由于轨道交通两岸接线往往为地下车站, 城市地道两端接线则需要与地面路网联系, 因此已建和在建的工程案例中, 通常机动车道在上, 轨道交通在下。

在不同道路限界的条件下, 道路限界的宽和高共同参与对于盾构直径的控制, 轨道交通的限界尺寸则相对固定。本文对机动车道不同限界尺寸进行了组合(通行机动车类型包括小客车专用、各种机动车和兼顾公路功能 3 种; 车道规模包括双向 4 车道 + 紧急停车带和双向 6 车道 2 种), 与轨道交通 A 型车限界(4.60 m × 4.55 m)进行了共建断面方案研究。

(1)小客车专用双向 4 车道 + 紧急停车带组合(DA1 类型)与轨道交通共建断面。该断面方案的限界尺寸为 10.5 m × 3.5 m, 故采用 13.5 m 直径盾构。盾构管片厚度为 550 mm, 内径为 12.4 m; 车行隧道上方设备空间最高为 2.7 m, 限界角点距离盾构管片 153 mm, 在两侧装饰板后方设置电缆桥架和水管桥

架; 下层中间为轨道交通仓, 两侧分别为逃生通道仓、电缆通道仓。该共建断面图如图 2 所示。

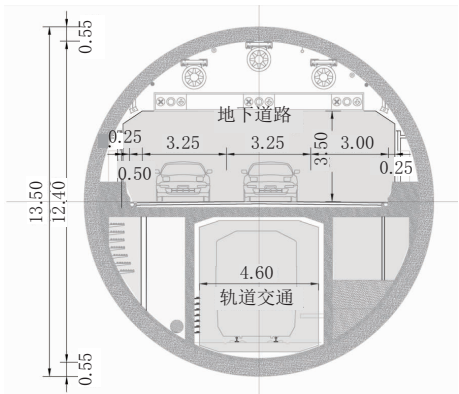


图 2 小客车专用双 4+ 紧急停, 不设检修道 (DA1 类型) 共建断面图 (单位: m)

(2)通行各种机动车的双向 6 车道组合(DB2 类型)与轨道交通共建断面。该断面方案的限界尺寸为 12.0 m × 4.5 m, 下层设置轨道交通, 采用 15.2 m 直径盾构, 管片厚度为 650 mm, 内径为 13.9 m; 车行隧道上方设备空间最高为 3.25 m, 限界角点距离盾构管片 150 mm; 其他布置同上。该共建断面图如图 3 所示。

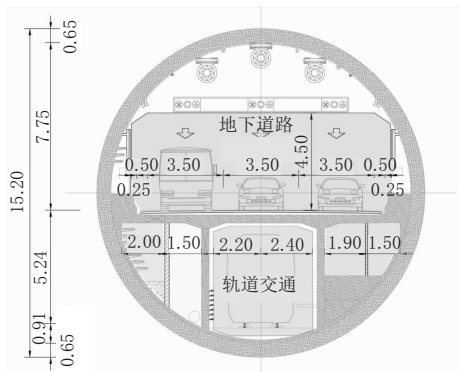


图 3 通行各种机动车双向 6 车道, 不设检修道 (DB2 类型) 共建断面图 (单位: m)

(3)兼顾公路功能的双向 6 车道组合(DC2 类型)与轨道交通共建断面。该断面方案的限界尺寸为 13.0 m × 5.0 m, 下层设置轨道交通, 采用 15.5 m 直径盾构, 管片厚度为 650 mm, 内径为 14.2 m; 车行隧道上方设备空间最高为 2.995 m, 限界角点距离盾构管片 346 mm; 其他布置同上。该共建断面图如图 4 所示。

济泺路隧道与轨道交通共建的断面方案对比表见表 1。

由表 1 可见:小客车专用隧道的盾构外径为 13.5、14.1 m; 各种机动车道的盾构外径为 14.7、15.2 m; 考虑兼顾公路功能的盾构外径为 15.0、15.5 m。

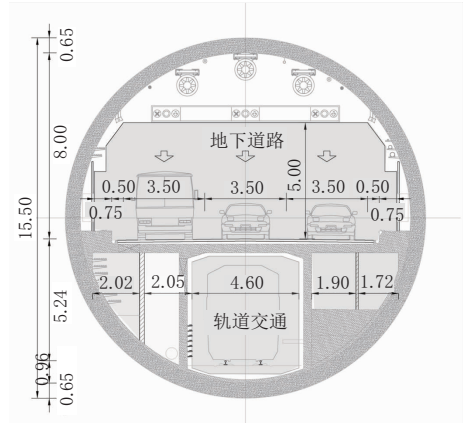


图4 兼顾公路功能双向6车道,设检修道(DC2类型)
共建断面图(单位:m)

表1 济泺路隧道与轨道交通共建的断面方案对比表 单位:m

类型编号	行驶交通类型	车道数	是否设检修道	限界宽度及构成	限界高度	盾构外径
DA1	小客车专用	双4+紧停	否	$10.5=0.25+0.5+3.25\times 2+3.0+0.25$	3.5	13.5
DA2	小客车专用	双6	否	$11.25=0.25+0.5+3.25\times 3+0.5+0.25$	3.5	14.1
DB1	各种机动车	双4+紧停	否	$11.0=0.25+0.5+3.5\times 2+3.0+0.25$	4.5	14.7
DB2	各种机动车	双6	否	$12.0=0.25+0.5+3.5\times 3+0.5+0.25$	4.5	15.2
DC1	兼顾公路功能	双4+紧停	是	$12.0=0.75+0.5+3.5\times 2+3.0+0.75$	5.0	15.0
DC2	兼顾公路功能	双6	是	$13.0=0.75+0.5+3.5\times 3+0.5+0.75$	5.0	15.5

表2 我国已建成的大直径隧道案例 单位:mm

工程名称	地点	衬砌外径	管片厚度	管片宽度
诸光路通道新建隧道	上海	14 000	600	2 000
上海军工路隧道	上海	14 500	600	2 000
周家嘴路越江隧道	上海	14 500	600	2 000
南京长江隧道	南京	14 500	600	2 000
北横通道新建工程	上海	15 000	650	2 000
深圳妈湾跨海通道	深圳	15 000	650	2 000
武汉三阳隧道	武汉	15 200	650	2 000
深圳春风路隧道	深圳	15 200	650	2 000
北京东六环隧道	北京	15 500	650	2 000
香港屯门-赤鱗角隧道	香港	17 000	700	2 000

合(DB2类型)与轨道交通共建的断面方案。兼顾公路功能的断面方案在增加盾构尺寸的同时,通行大型货运交通对隧道的机电系统和防灾救援影响也较大,经比选分析后未予采用。

1.3.3 结构设计

根据推荐断面方案,考虑施工误差、轴线拟合误差和结构不均匀沉降等因素,确定济泺路穿黄隧道内径为13.9 m,管片厚650 mm,分成10分块:1块小封顶块+2块邻接块+7块标准块。管片采用斜螺

目前我国已有较多的大直径盾构成功案例,16 m级别以下盾构隧道的设计和施工技术已经成熟,如表2所示。16 m级别以上的盾构隧道技术还需进一步积累,香港屯门-赤鱗角隧道直径虽然达到17 m,但隧道长度仅400 m;济南黄岗路穿黄隧道直径为16.8 m,是目前中国大陆直径最大的盾构隧道,但还未始发掘进。

济泺路穿黄隧道工程研究的盾构尺寸在13.5~15.5 m间,所处级别的盾构技术成熟,盾构尺寸的技术风险不是制约断面方案制定的主要因素。综合分析服务功能、通行能力、工程实施难度和工程造价等方面因素后,推荐通行各种机动车的双向6车道组

栓连接,环缝共设置30个M36螺栓,纵缝共设置28个M36螺栓。

盾构机开挖直径15.74 m,额定扭矩37 594 kN·m,推进油缸56根(28组),最大推力199 504 kN。刀盘刀具开口率50%,常压可更换刀具81把,普通刮刀128把,先行刮刀42把,周边铲刀12把,仿形刀2把。盾构机配备主驱动伸缩系统、碎石机。

2 明挖形式共建——以黄河大道一期为例

2.1 工程案例概况

黄河大道位于济南市黄河北岸,一期工程联系新旧动能转换起步区崔寨北、崔寨南和大桥组团,是设计速度80 km/h的双向6车道城市快速路。与黄河大道一期工程共线的是全独立路权、采用接触网供电的100%低地板钢轮钢轨现代有轨电车,其最高运行速度70 km/h,构造速度80 km/h,本段包含5站6区间^[3]。

为了集约利用地下空间资源,减小有轨电车结构保护距离内沿线地块开发的制约影响,经过综合比选,推荐采用结构共建方案。

2.2 工法分析

明挖法是从地表向下开挖基坑,在基坑中施工

主体结构、进行防水作业,再回填土方、恢复地面(或路面)的一种工法。明挖法施工应用广泛,优点是技术简单、施工快速、经济性高、受力条件好;缺点是需迁改管线、对交通影响大、噪声与震动对环境影响较大。

黄河大道一期工程为多点进出城市地下快速路,沿着既有 G220 敷设,所在区域属黄河冲积平原,地形平坦,第四系覆盖层厚,地下水稳定水位埋深为 3.9~7.0 m;地层岩性以黏土、粉质黏土、粉土等为主。经工法比选,推荐采用明挖法施工。

2.3 共建断面

2.3.1 限界

(1)黄河大道一期工程主路地道为双向 6 车道,限界高度为 4.5 m,限界宽度为:0.25 m+0.50 m+3.50 m+2×3.75 m+0.50 m+0.25 m=12.50 m。

(2)有轨电车的限界包括车辆限界、设备限界和建筑限界,限界制定主要受车辆参数、线间距、供电方式、设备和管线安全间距、接触网导线安装高度等因素控制^[4]。本工程有轨电车建筑限界(宽×高)为 4.45 m×4.55 m。

2.3.2 共建断面研究

本文对城市地下道路与有轨电车的地下空间关系进行了 5 种方案的研究(见图 5~9)。黄河大道快速路一期与有轨电车共建的断面方案对比见表 2。

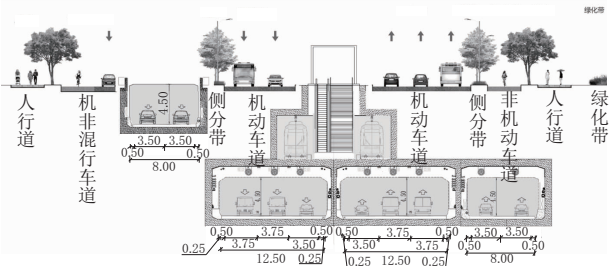


图 5 有轨电车在上,城市地道在下的叠层布置 (MA1 类型)断面图(单位:m)

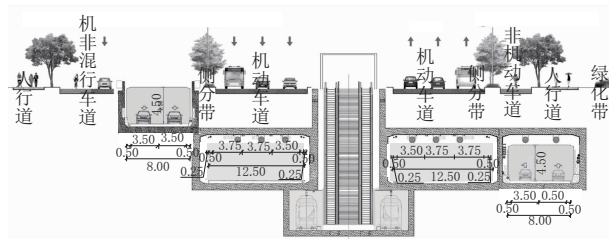


图 6 城市地道在上,有轨电车在下的叠层布置 (MA2 类型)断面图(单位:m)

由表 2 可见,叠层布置(MA1、MA2 类型)、平铺布置(MB1、MB2 类型)和共舱布置(MC 类型)有着各自的适用范围:

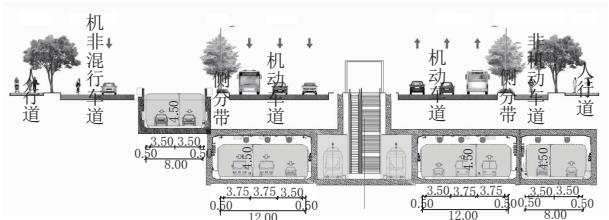


图 7 有轨电车居中,城市地道在两侧的平铺布置 (MB1 类型)断面图(单位:m)

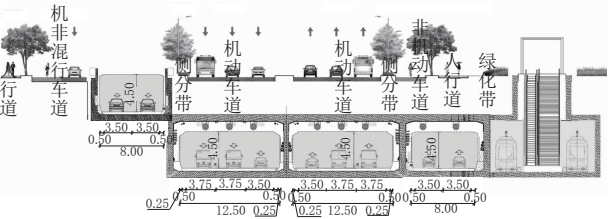


图 8 有轨电车布置于一侧的平铺布置(MB2 类型)断面图(单位:m)

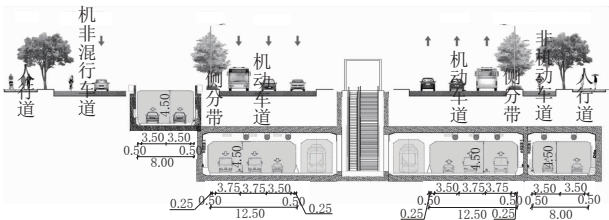


图 9 共舱布置(MC 类型)断面图(单位:m)

表 2 黄河大道快速路一期与有轨电车共建的断面方案对比表

类型 编号	共建断面 形式	方案特点
MA1	叠层布置,有轨电车在上,城市地道在下	基坑深度 11.5~17.5 m, 基坑宽度约 51 m;优点:有轨电车可设置成浅槽、开敞或地坪式,在中分带设置车站条件较好;缺点:基坑较深,开挖工程量较大,快速路匝道爬升高度大、规模大,经济性较差
MA2	叠层布置,城市地道在上,有轨电车在下	基坑深度 17.5 m, 基坑宽度约 60 m;优点:快速路出入匝道条件较好;缺点:有轨电车埋置深度较深,出站抬升高度较大,使用感受不佳
MB1	平铺布置,有轨电车居中,城市地道在两侧	基坑深度 11.5 m, 基坑宽度约 65 m;优点:快速路与有轨电车埋置深度均较浅,功能较好;缺点:与有轨电车埋置深度均较浅,地下空间占用较大,对管线及其他地下构筑物影响大
MB2	平铺布置,有轨电车布置于一侧	基坑深度 11.5 m, 基坑宽度约 65 m;优点:快速路与有轨电车埋置深度均较浅,便于有轨电车与城市地道分合;缺点:平面线形与地道匝道互相影响,车站位于地面道路一侧,服务侧重无法与需求挂钩
MC	共舱布置	基坑深度 11.5 m, 基坑宽度约 65 m;优点:快速路与有轨电车埋置深度均较浅,空间利用效率更高;缺点:需重点考虑共舱双方车速和防灾救援的差异,并做好相应设计,保障安全

(1)叠层布置基坑深度较深,宽度占用较小,平铺和共舱布置则相反。

(2)轨道交通位于上方的叠层布置(MA1 类型)适合与有轨电车共建,有轨电车可设置成浅槽、开敞或

地坪式,更符合《城市有轨电车工程设计标准》(CJJ/T 295—2019)中“线路应以地面敷设为主”的精神。

(3)轨道交通位于下方的叠层布置(MA2类型)较适用于城市地道较短、轨道交通与地道共建程度要求不高(如车站共建、区间分建)的形式,在明挖地道与地铁共廊道时常采用这种共建方式,如上海东西通道、青岛上合交大大道等工程。

(4)若采用轨道交通居中的平铺布置(MB1类型),则地道出入口匝道与轨道交通互不干扰,较适用于多点进出的城市主干路、快速路地道与有轨电车多站多区间的深度共建。这种共建形式对于两者平纵线形的相互适应性要求较高。

(5)轨道交通位于一侧的平铺布置(MB2类型)便于轨道交通与城市地道分合,因其平面线形与出入匝道互相影响,较适合与无匝道的地道共建。苏州金鸡湖公路隧道与轨道交通6号线采用了该形式^[5]。

(6)共舱布置(MC类型)是对地下空间资源利用效率较高的方式,但长、特长地下道路需要重点考虑共舱双方在设计车速以及防灾和救援上的差异,做好特殊设计以保障交通安全和运维安全,较适合于中短距离的有轨电车与主干路及以下的城市地道共建。

黄河大道快速路一期工程包含2段长地道和1段特长地道,与有轨电车5站6区间共建。综合上述分析,采用有轨电车居中的平铺共建方式(MB1类型)更适合本工程实际情况。

2.3.3 结构分析与设计

结构对比分析结论如下:

(1)城市地道在上的叠层布置(MA2类型)基坑最深,有轨电车在上的叠层布置(MA1类型)次之。基坑越深,实施难度越大,对周边环境的影响也越大,需加强围护设计,因此造价较高。

(2)叠层布置时,结构受力性能较差。有轨电车采用浅槽(MA1类型)布置时,隧道需采取抗拔桩等抗浮措施。城市地道在上的叠层布置(MA2类型)为倒“品”字形,隧道底板一侧作用在地基土上,一侧作用在侧墙上,两侧支承不同,易形成不均匀沉降。

(3)平铺明挖共建(MB1、MB2类型)为厚板结构,整体结构宽度大,当土层分布均匀时,结构受力较好。共舱布置(MC类型)单跨宽度大,结构受力相对较大,受力不合理。

本工程采用有轨电车居中的平铺共建方式(MB1类型),在地道分合流点处单跨宽度较大,可通过提高结构厚度和钢筋面积,或采用起拱设计来改善

共建结构的受力。起拱后覆土厚度减小1 m,同时由于拱形结构特性,大跨弯矩由3 742 kN·m减小为2 670 kN·m,结构受力有明显改善,如图10、11所示。

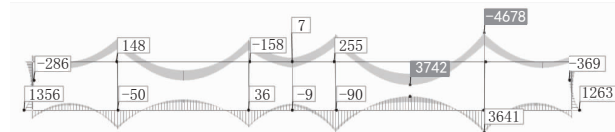


图10 MB1类型分合流点未起拱大跨结构弯矩图(单位:kN·m)

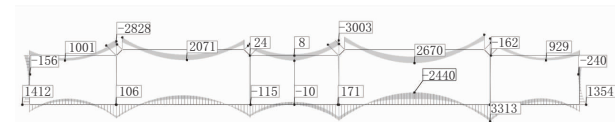


图11 MB1类型分合流点起拱大跨结构弯矩图(单位:kN·m)

3 结 语

(1)目前国内16 m级别以下的盾构隧道设计和施工的技术成熟,可以满足双向6车道城市地道与轨道交通双洞盾构共建的需要。兼顾公路标准通行也具备条件,但需要考虑隧道内通行的大货车对机电系统和防灾救援的要求。

(2)明挖形式共建方案中,轨道交通在上的叠层布置较适合于有轨电车浅槽和地面敷设;轨道交通在下的叠层布置较适合于中短地道与地铁共建;轨道交通居中的平铺布置较适合于多点进出城市地道与轨道交通多站多区间深度共建;轨道交通位于一侧便于分合,较适合于无匝道的地道与轨道交通共建;共舱布置较适合于中短距离共建。

(3)叠层明挖结构增加了基坑深度、实施难度和造价;有轨电车浅槽布置需要考虑抗浮措施;轨道交通在下的倒“品”字形叠层布置需要考虑减小不均匀沉降措施;共舱布置单跨宽度大,受力不及分舱平铺共建合理;管线覆土条件允许时,可以考虑通过起拱来改善平铺共建结构的受力。

(4)断面方案是共建隧道总体方案的一部分,需要结合城市地道与轨道交通的功能定位、规划走向、接线条件、站点设置、地质地形条件等各方面进行综合分析,与其他部分构成有机整体,才能形成功能完善、舒适安全、经济合理的总体方案。

参考文献:

- [1] CJJ 221—2015,城市地下道路工程设计规范[S].
- [2] GB 50157—2013,地铁设计规范[S].
- [3] 张春光. 路轨共建的城市地下快速路系统方案研究——以济南市黄河大道快速路为例[J]. 城市道桥与防洪, 2022(3):1-5.
- [4] CJJ/T 295—2019,城市有轨电车工程设计标准[S].
- [5] 刘皓,王仲林. 苏州轨道交通6号线与金鸡湖公路隧道共建方案分析[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(5):95-99, 110.