

城市地下互通立交方案设计的不研究与应用

李 敏

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要:城市地下互通立交的规划设计是一项复杂的系统工程,需要综合考虑城市地下道路系统的转换功能及需求、地形地貌、地质条件、交通安全、结构安全、防灾救援等多种因素。基于城市地下互通立交的建设发展需求,从对地下互通立交的特点入手,总结了地下互通立交的设置条件、关键技术指标及关键技术应用,结合深圳侨城东路工程实践进行佐证,进一步论证了地下互通立交工程的可行性及运行安全。

关键词:地下道路;地下互通立交;线形指标;隧道结构;防灾救援

中图分类号: U412

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)10-0007-04

0 引言

城市地下道路系统作为现代城市交通的重要组成部分,具有缓解地面交通压力、节约土地资源、减少环境污染等多重优势。国内外许多大城市已经在加快城市地下道路地建设发展。东京、香港和新加坡等高密度城市核心区均布设了大量的地下高快速路系统,如东京中央环线地下道路、香港中环湾仔绕道、新加坡的 KPE 通道等。北京市提出了“四纵两横”地下道路网规划,上海市已建北横通道、外滩隧道以及多条越江隧道,厦门、南京、广州、武汉等其他城市也陆续建成了多条城市地下道路,主要以穿越江河、山体等天然屏障的隧道和一些改善交叉口节点交通的下穿地道为主,但地下互通立交所涉及的不同地下道路间的多点联系实践尚少。国内外地下互通立交的建设还处于初期发展阶段,实际工程建设经验较少,相关规范对地下互通立交的规定还不够完善,而地下互通立交作为连接地下道路系统的关键节点,对于提升整个地下道路交通系统的效率和安全性具有至关重要的作用,因此本文结合深圳市侨城东路与宝鹏通道地下立交工程对地下互通立交的方案设计要点展开研究。

1 城市地下互通立交的特点

目前国内的道路设计规范体系主要区分为城市

道路和公路。道路按照所处的空间位置区分为地面道路、高架道路(或称桥梁)及地下道路(或称隧道)。立体交叉按照相交道路是否需交通转换又区分为互通式交叉和分离式交叉,按照相交道路所处的空间位置又分为地下立交和地上立交。因此,城市地下互通立交是两条地下道路主线的立交交叉,通过隧道匝道连接实现两条地下道路交通转换,形成路网系统中的一处地下交通枢纽节点。

地下互通立交与地上互通立交在空间环境、交通环境上有着明显的区别。地面道路的空间开放,道路使用者视野比较大。而地下道路空间封闭,存在不通视的特性,即道路使用者不能了解视距范围外的状况^[1]。地下互通立交内隧道尾气的污染对在地下道路内行车的驾驶员和旅客无论是身体还是心理都造成一定的影响,同时因交通条件复杂,道路安全的视距难以保证,极易诱发交通事故。因此,需要针对地下互通立交进行特殊的交通安全设计,完善相应的防灾救援措施。同时,地下互通立交的工程技术难度要远超于地上互通立交,且由于现行的技术规范还没有完全覆盖地下互通立交的相关内容,地下互通立交总体、路线、结构安全以及交通安全设计要求不同于一般的地上互通立交,必须充分考虑现行规范的总体要求,进行针对性的应用并合理确定相关的技术指标和措施;地下互通立交建设期间存在较大的安全风险,建设周期较长、建设投资较大;运营期间存在长期电气、自控、通风等运营维护要求,运营成本较高。

收稿日期: 2024-08-20

作者简介: 李敏(1986—),男,工学硕士,高级工程师,从事道路交通设计工作。

2 地下互通立交的设置条件

随着城市化进程地加速,城市交通拥堵问题日益严峻,传统的地面交通系统已难以满足日益增长的交通需求,城市地下道路地建设发展日益加快。随着城市快速交通网络化需求地增加,对地下道路系统性要求越来越高,呈多点进出、地下网络化发展的趋势。当两条地下道路交叉且存在交通转换需求时,采用地下平交的交通组织容易引发严重的交通安全事故,宜设置地下互通立交。因此,地下互通立交的设置应从以下几方面考虑。

(1)城市路网规划中基于地形地貌及周边建设条件地限制,两条道路相交节点经论证无法采用两条地面道路相交或者地下道路与地面道路相交时,仅可采用两条地下道路相交。如两条道路交叉处同时位于山体下方或水体下方处,或两条道路交叉处受地面生态环境影响、道路线形限制等导致两者均无法布置在地面等。

(2)两条地下道路相交节点转换的交通需求满足设置互通立交的情形,按照两条地下道路的道路等级以及转换交通流量分析确定^[2],经论证两条地下道路具有采用快速连接转换的必要性。

(3)相交节点处具备地下互通立交建设的工程可行性。由于地下互通立交的道路主线及匝道均采用隧道形式,首先,需充分论证节点处地质条件满足隧道建设的安全要求;其次,由于相邻或交叉隧道处的平面、竖向净距要求高于地上立交,导致立交占地范围较大,需充分论证地下立交建设对地下管线、周边建筑物的影响可控。

(4)相交节点需具备设置防灾救援设施的条件,设置直通地面的疏散通道、直通地面的通风设施等条件。

因此,应基于城市路网及交通需求分析,结合建设条件充分论证节点的交通安全、结构安全、运营安全等可行性,并综合技术经济分析确定地下互通立交的设置。

3 地下互通立交方案设计关键性技术分析

3.1 设计关键技术指标

地下互通立交的技术指标应根据总体规划及路网规划的要求,结合工程建设条件情况来合理确定,不能片面追求高标准,导致工程浪费,同时给工程实施带来更大的难度;也不能过分降低标准,达不到安

全要求及服务水平。

(1)设计速度

地下互通立交设计速度分为立交区主线设计速度及匝道设计速度两部分,其中,立交区主线设计速度根据现行规范应采用基本路段设计速度。在地下互通立交范围内,由于隧道内进出口前后主线范围有进出车辆的干扰,连续交通流受到干扰,立交区主线可能存在实际运行速度降低的情形,但是为避免在隧道内速度过快,造成严重的交通安全事故,因此,仍建议采用与基本路段一致的设计速度,基于设计速度的要求,严格控制立交范围的主线平纵线形指标,确保立交区的交通运行安全。目前国内已建或在建的厦门万石山地下互通立交工程(见图1)、厦门海沧疏港通道工程(见图2)、深圳东部过境高速连接线工程、深圳福龙路横龙山隧道工程、上海外滩隧道工程、南昌红谷隧道工程地下立交工程,其主线设计速度均采用了基本路段的设计速度。



图1 厦门万石山地下互通立交(建成)

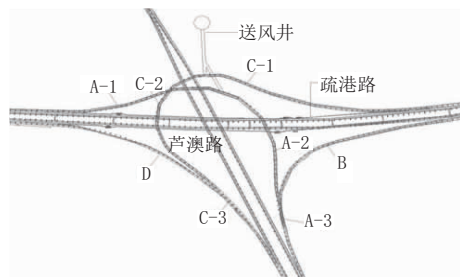


图2 厦门海沧疏港通道地下互通立交(在建)

地下立交匝道交通流属于紊流状态,由于用地等因素的限制线形条件往往较差,因此,匝道设计速度往往比路段小。现行规范中规定了不同匝道形式的设计速度建议取值或者规定了匝道设计速度为主线速度的0.4~0.7倍^[2]。本文认为地下立交匝道的设计速度除了考虑立交等级及连接形式的不同外,还应考虑地下道路的视距局限及行驶空间环境的影响,其设计速度一般取值按照主线的0.4~0.5倍比较合适。

(2)平纵线形指标

对于城市地下道路,不像地面道路需考虑与两侧街坊的衔接,可不必受限于 2% 的超高限制,但也不宜过大,因此超高大大会增加结构空间尺寸,半径过小也会影响线形和视距^[3]。因此,在地下道路中采用与《公路隧道设计规范》(JTG D70—2004)中对超高相同的规定值,一般不超过 4%,并根据此超高限制确定相应的圆曲线半径。因隧道内一般不出现积雪结冰情况,故认为低设计速度段依旧可以使用最大超高 4%。

由于城市地形环境较为苛刻,受既有地面和地下设施影响制约因素多,采用公路隧道最大纵坡不宜大于 4% 的标准规定会使得城市地下立交工程实施难度较大。因此,本文提出对城市地下互通立交道路纵坡的标准可根据不同情况适当放宽。具体参考《城市地下道路工程设计规范》(CJJ211—2005):最大纵坡不宜大于 5%。对于匝道纵断面,因设计速度一般较低,可进一步放宽标准。

(3) 其他关键技术指标

视距是地下道路安全运营的最关键性技术因素之一。在立交出入口设置的小半径平曲线以及凹曲线范围可能影响行车视距,应进行停车视距检查与验算,保证视距要求。

车道平衡方面,对于地下道路主线,因受地下结构限制,分合流三角区的通视条件较差,为满足必要的视距条件要求,在主线合流段不建议采用 $N_c = N_t + N_e - 1$,需采用 $N_c = N_t + N_e$,待满足视距要求后再进行收减车道的布置,并做好分流鼻端的预告提示,增强识别性,并结合交通安全措施,以加强端部的缓冲能力。

城市地下道路变速车道设计不宜仅靠增大变速车道长度来满足变速要求,而宜与衔接匝道的平纵线形进行综合考虑,减少匝道与主线设计速度差,在满足变速要求前提下,合理控制变速车道长度。

3.2 关键工程技术应用

地下互通立交与地上互通立交在交通转换、运行特征、安全因素等方面具有明显的区别。为保障地下互通立交交通运行的安全高效,可积极采用智慧管控技术,实现对重点路段的事故风险进行实时判别、预警及管控。包括建立地下立交交通流短临状态评估体系,建立响应的预警方法;综合运用声、光、电技术,提出地下互通立交预警方案;通过驾驶模拟实验对预警方案进行有效性评测和优化设计;采用交通安全运行的动态控制系统,对实时交通状态进行

干预,降低交通运行风险,提高交通事件疏散效率;针对事故高风险的重点路段,提出多源传感设施与预警设施的综合布设方案等。

地下互通立交隧道基本以明挖法隧道或钻爆法隧道为主,其中,明挖法隧道互通立交中隧道分叉、交叉部分围护、结构设计体系相对完整,与单条明挖法隧道差异较小。而钻爆法隧道互通立交实施难度极大,现行规范、文献内容均为单一的水平关系或竖向关系。水平关系主要表现为分离式隧道、小净距隧道、连拱隧道,竖向关系主要表现为隧道上跨、下穿^[4]。而地下互通立交项目隧道洞室关系更为复杂,围岩的应力及稳定性在空间也随之变化,现行规范及工程经验中的隧道支护参数仅具备一定的参考价值,需针对复杂空间位置关系洞室间围岩稳定性及支护参数进行深入地分析和取用,以保障隧道施工及运营期的结构安全。

目前,国内外针对地下互通立交疏散的相关研究工作尚未深入开展,一般根据自身隧道建设特点采用地面疏散、斜井疏散等方式解决^[5]。由于地下互通立交通过匝道将多条隧道串联,导致整个立交的烟气弥散,因此需采取必要的防火分隔技术将立交主线隧道、匝道隧道区分为不同的防火分区,并在有条件的情形下设置直通室外的出口或者独立的避难设施,以保障地下互通立交区域隧道各区域的人员安全疏散。

4 深圳侨城东路北延通道工程实例

4.1 工程概况

深圳侨城东路北延通道工程位于深圳中西部,总体呈南北走向,北起福龙立交、南至滨海立交,是深圳市八横十三纵干线路网的重要组成部分。项目采用城市快速路设计标准、主线双向 6 车道规模,总投资 165 亿。路线全长 15.7 km,其中,主线隧道总长 13.9 km,涉及盾构、矿山、浅埋暗挖、明挖、顶管等各类工法隧道,并设置 4 座地下互通立交。

4.2 建设条件

侨城东路与宝鹏通道相交节点位于南山与龙华交界处,现状周边为山体用地,地面起伏较大,节点上方为部九窝渣土场,东南角为长岭皮水库二级水源保护区用地。立交范围内渣土场地面标高平均为 150 m,渣土底面最低标高为 93 m,隧道最高设计标高约 88 m,隧道距离渣土最小竖向净距仅 5 m。渣土场主要填埋材料为淤泥渣土、盾构泥浆(排水风干处

理),场地杂填土、填石深厚,呈松散状态,填土中地下水对围岩地下水形成垂直补给,部分区域的隧道上方原状岩层厚度仅2 m,隧道洞身周边围岩自稳定性较差,隧道施工实施难度巨大。

4.3 交通需求预测

该节点为深圳市八横十三纵干线路网中两条干线道路在山体段相交的节点,两条相交道路均为城市快速路,节点主要流向为西-北和东-南方向,西-南方向为次要流向,东北方向基本无需求。预测未来年该节点高峰小时转向流量西转北约990 pcu/h,南转东约960 pcu/h,南转西约310 pcu/h。结合路网功能及交通分析,节点具有采用互通立交快速转换的需求,同时由于节点处位于山体区域,无法设置地面互通立交,因此设计提出侨城东路-宝鹏通道采用地下互通立交设计方案。

4.4 地下互通立交方案

根据交通功能分析,宝鹏通道主要考虑解决西-北、东-南和西-南方向交通联系功能,共设置6根匝道,左转交通东-南采用环圈匝道,西-北,南-西采用半定向匝道进行联系,右转交通采用定向匝道联系。采用地下布置的单环圈部分互通式立交,整个立交布置于部九窝渣土场正下方,采用钻爆法隧道形式,包括4座主线隧道、6座匝道隧道组成复杂空间关系隧道群,立交范围内各座隧道共有13处上跨或下穿、9处平面分岔,具体布置见图3。该条隧道最大埋深约90 m,其建设规模、技术难度均为国内罕见。



图3 侨城东路与宝鹏通道地下立交布置

侨城东主线以隧道形式上跨宝鹏通道隧道,立交范围内主线平面线形为直线,道路最大纵坡为-4%。宝鹏立交ES环形匝道为单车道,其余匝道均为双车道匝道,双车道匝道中SE匝道出口、WN匝道出口和NW匝道入口采用双车道,其余均为单车道出入口。匝道设计速度为40 km/h,最小平曲线半径为95 m(ES环形匝道),最大纵坡5.6%(上坡,ES

匝道)。设计时匝道进出主线车流其余均采用右进右出形式;匝道与主线分合流匝道,按照规范要求设置加减速车道。

侨城东路-宝鹏通道地下互通立交针对不同空间位置关系各洞室间围岩稳定性进行分析,提出不同空间位置关系各洞室支护参数,并拟定合理的施工分区、施工时序等,确保相互影响的隧道开挖的施工安全。同时针对地下互通立交的防灾救援困难,通过设置卷帘小室以解决火灾工况下隧道全域火灾分隔区域问题;采用了避难硐室等措施解决地下互通立交区域隧道各区域人员安全疏散问题。

4.5 交通驾驶模拟与安全评价

该工程采用交通行为与协同虚拟现实实验系统进行驾驶模拟测试,驾驶模拟器组成具体见图4。利用软件自带功能对隧道结构及附属设施进行建模,行驶场景大部分为全封闭式隧道。通过驾驶车辆自身行驶数据与和周围车辆时距等,进行地下互通立交驾驶行为研究、地下立交线形安全评价以及地下道路安全设施地有效性研究。

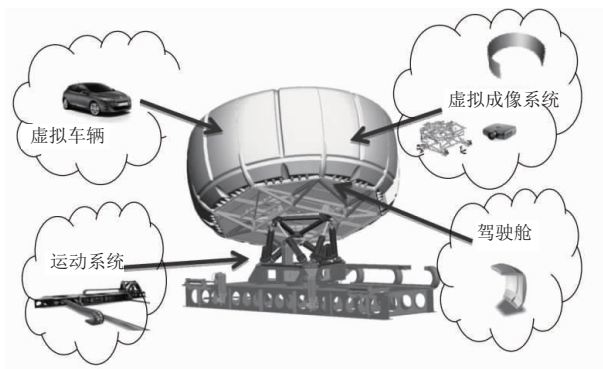


图4 驾驶模拟器组成示意

通过驾驶人对实验场景中平直路段、平曲线路段、纵坡路段、弯坡组合路段等路段及匝道的评分,分析不同路段对驾驶人主观感受的影响。以及结合基于模拟器采集的驾驶过程中的车速、加速度、侧向偏移等客观数据,对整个地下立交进行车速一致性、行车轨迹一致性、加速度一致性及动态视距进行检验,并通过分析鉴别得到潜在的安全隐患区段。模拟测试结果表明:宝鹏立交主线及匝道分合流点均没有产生严重的交通拥堵,主观安全性、舒适性较好,客观一致性整体较好,但是局部匝道弯坡组合处断面车速差、车速降低系数、横向偏移变化系数评价一般,建议采取诱导标志、减速标线、限速及测速标志等措施。

可靠性要求基础上兼顾舒适性,应建立人性化无障碍设施的规划、设计与建设技术标准。通过标准化手段,对各类人行横道、盲道、与交通设施接驳通道、与邻近绿化及休息点衔接等无障碍细节提出具体的人性化设计要求;利用先进的声控、感应等先进技术,配置好各类协同设施;同时应充分、科学借鉴国内外无障碍出行建设与管理的先进经验。

4.4 重视对无障碍出行行为的宣传教育

走访调查中发现,部分市民对无障碍出行设施的认识和使用存在一定的误区,对公共利益的侵占和影响认识不够,存在有意或者无意破坏、侵占无障碍出行设施的情况;特别是出行弱势群体对自身出行权益主动保护不足,缺乏维护自身权益的意识和途径。建立相应的宣传教育机制,作为国家重要的公益教育内容,并给予明确的经费保障,由民政、建设、城市管理等各相关机构分责管理。全社会应该创造良好的无障碍出行宣传和普教环境,把普通市民的生活与无障碍出行联系起来,提高群众对无障碍出行设施的认知,体现出无障碍出行设施的全民性及国家、社会对残障人群、出行弱势群体的社会关怀。

5 结 语

进入新时代,我国需要集中解决城市发展中的不平衡、不充分问题,实现全面的高质量发展。随着

中国社会老龄化的发展,无障碍出行环境建设显得尤为重要。通过调查分析,本文梳理了无障碍出行设施方面存在的突出问题和影响重要度,提出完善无障碍出行立法和技术规范标准、建立多元化社会监督体系、发展人性化设计与建设技术,以及加强无障碍出行权益宣传教育等发展对策与建议,以期促进我国城市交通无障碍设计、建设与管理的健康发展。

参考文献:

- [1] 潘海啸,华夏,施瑶露.基于包容性发展理念的无障碍交通环境建设[J].交通运输研究,2021,7(3):2-10.
- [2] 韩笑,聂婷婷,姜彩良,等.发达国家交通无障碍环境建设经验及对我国的启示[J].交通运输研究,2021,7(3):45-53.
- [3] 黄治龙.苏州轨道交通无障碍设施调查研究[J].城市道桥与防洪,2022(4):215-218.
- [4] 邹双招,谭炜,陈建斌,等.国内外城市人行过街无障碍设施建设状况与发展趋势[J].城市道桥与防洪,2017(5):47-51,59.
- [5] 洪小春,刘亚楠,季翔.多因素影响下的城市道路步行空间盲道评价体系构建[J].交通信息与安全,2020,38(1):107-117.
- [6] 肖书影,刘超,谷桂丽,等.基于韧性城市建设的市政道路无障碍设计[J].市政技术,2022,40(7):101-106,113.
- [7] 赵莉莉.北京地区城市道路施工图常见问题解析[J].城市道桥与防洪,2021(10):43-46.
- [8] 王草,吕军,谢辉,等.基于《无障碍设计规范》的超大城市道路交通人行道无障碍建设状况评价——以上海市为例[J].中国康复理论与实践,2021,27(10):1225-1232.
- [9] 张晓梅,于河海.新加坡城市交通无障碍设计及对我国的启示[J].综合运输,2021,43(2):138-142.

~~~~~  
(上接第 10 页)

## 5 结 语

本文在分析城市地下立交的定义及特点的基础上,提出了地下互通立交的设置条件,分析了地下立交的关键设计技术指标及结构安全、防灾救援等关键工程技术,并通过介绍侨城东路与宝鹏通道地下互通立交工程案例,进一步论证了地下互通立交工程的可行性及运行安全,为后续地下互通立交工程建设提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 游婷,林利安.大型地下互通式立交选型探讨[J].公路与汽运,2009(5):37-40.
- [2] 袁胜强.地下互通立交总体设计研究[J].上海公路,2018(1):1-5.
- [3] 唐樨.浅谈城市地下全互通立交方案设计[J].城市道桥与防洪,2011(7):13-16,26.
- [4] 周鸿翔.超大净距隧道结构设计与施工稳定性分析[J].西部交通科技,2019(11):93-98.
- [5] 邢文典,王明年,李珂,等.城市立交互通隧道纵向通风方案优化[J].四川建筑,2018(4):97-100,103.