

浅谈我国城市地下快速路地下互通立交研究及发展

赵 群, 罗建晖, 秦方方

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 随着城市地下道路逐渐呈现网络化发展趋势, 地下互通立交应运而生。对地下互通立交的选型、通行能力、平纵横线形、分合流端部结构研究及实践进行总结分析, 完善分析地下互通立交的特点, 初步提出地下快速路地下互通立交的适用性。结合建设案例的调研, 对建设案例的经验和创新点进行了总结分析, 提出城市地下快速路地下互通立交规划及设计的控制性建议, 以期为我国城市地下快速路地下互通立交的研究发展提供初步参考。

关键词: 城市地下快速路; 地下互通立交; 控制性建议

中图分类号: U412.1+2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)05-0015-06

Brief Discussion on Research and Development of Underground Interchanges on Underground Expressways in China

ZHAO Qun, LUO Jianhui, QIN Fangfang

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: With the gradual trend of networked development of urban underground roads, underground interchanges have emerged. The research and practice in the selection, traffic capacity, horizontal and vertical alignments, and dividing and merging end structures of underground interchanges are summarized and analyzed. The characteristics of underground interchange are perfected and analyzed. The applicability of underground interchanges on underground expressways is initially proposed. Combined with the research of construction cases, the experience and innovation points of the construction cases are summarized and analyzed, and the controlling suggestions for the planning and design of underground interchanges on urban underground expressways are proposed in order to provide the preliminary reference for the research and development of underground interchanges on urban underground expressways in China.

Keywords: urban underground expressway; underground interchanges; controlling suggestions

0 引 言

21世纪是地下空间的时代,从20世纪开始,美国、欧洲以及日本等地逐步进行了地下道路规划建设,以整合交通系统置换地面空间。我国北京、上海、深圳、广州、南京等大城市也开展了城市地下道路的规划及建设,地下道路逐步呈现网络化发展趋势,地下互通立交也随之出现。

城市地下快速路在节约土地资源、提升地面环境品质、改善人居环境等方面具备明显优势,在环境敏感区逐渐成为建设首选。地下快速路与快速路相交将形成地下枢纽互通,因交通功能定位重要,行车环境、通风消防和逃生系统方面和地上互通立交均

有明显的差异,因此地下快速路互通立交的研究建设面临诸多挑战,相关技术问题是地下快速路设计的重难点,也是当前的研究热点。

目前,对地下快速路枢纽互通立交的研究相对较少,多集中在对一般地下互通立交的特点、选型及部分线形标准、分合流鼻端分岔结构设计和施工方案、地下互通立交通行能力等方面,而对于地下快速路互通立交的适用性、规划设计控制性建议等较少,建成的案例也相对较少,系统性的建设案例调研总结也较缺乏。

对此,本文通过文献分析和建设案例调研,分析总结了城市地下互通立交的研究现状,完善了城市地下互通立交的特点总结分析,初步提出了城市地下快速路地下互通立交的适用性,并结合实际工程建设案例的调研分析,探讨总结了地下快速路互通立交的规划及设计的控制性建议。

收稿日期: 2024-06-24

作者简介: 赵群(1992—),男,硕士,工程师,从事道路设计工作。

1 地下互通立交研究现状

1.1 研究现状

目前针对城市地下互通立交的设计,现行规范体系中尚没有原则性规定,且国内外建设完成的地下互通立交极少,可供借鉴的实际工程建设经验很缺乏。利用有限的工程实践机会,国内诸多学者对地下互通立交也做了很多的前瞻性研究。

(1) 地下互通立交选型研究现状

袁胜强^[1]提出地下互通立交的选型应综合考虑节点交通条件(功能定位、交通流量、路网规划)、自然条件(地形、地质、水文及气候)、环境条件(用地规划、土地利用现状、现状建筑设施)、道路建设条件(相交道路的技术条件及主管部门意见等),对地下互通立交常用的T形和十字形互通立交的形式、特点和适用情况进行了详细研究,提出一般情况下建议尽可能采用T形互通,如需设置十字形全互通,则建议层次控制在不超过3层,同时建议尽量选择平面线形条件较好、诱导性强、方向明确且无交织的立交形态。

陈喆^[2]从地下互通立交空间关系特殊、立交层次受限、视野条件不佳三大空间环境特点出发,提出地下互通立交的选型应综合考虑道路规划条件、用地条件、地质条件和施工方法四方面因素,对常见的三路交叉(喇叭形、Y形)、四路交叉地下互通立交形式(环形、苜蓿叶形、喇叭形组合立交、混合型)的图示、立交层次、交通功能、占地、工程造价等进行了综合研究,并给出了推荐等级建议,给地下互通立交的选型提供了建设性的参考。

游婷^[3]从地下互通立交和地上互通立交的差异着手,对地下互通立交选型的主要影响因素进行了研究,提出了有别于地上立交的几点选型影响因素:线形和行车视距、诱导性、围岩等级、隧道间距、运营通风规模和排水。同时,对三路立交(全互通、部分互通、交织型)、四路立交的图示、特点、运营范围、优缺点进行了系统性分析,提出了地下互通立交选型应避免交织型。

马璐^[4]总结了综合考虑相交道路性质、与自然环相适应、近远期结合、结构形式应简单、便于施工和养护等5条选型原则,并对三路交叉和四路交叉的地下枢纽型互通立交型式的图示的优缺点进行了研究。

从地下互通立交选型研究现状可以分析出,地

下互通立交形式的选择应充分认识到地下互通立交物理运营环境复杂的特点,综合考虑交通功能、路网和用地规划条件、工程地质条件和造价因素,重视线形诱导并避免交织。

(2) 地下互通立交通行能力研究现状

袁胜强^[5]从车道通行能力机理出发,建立了基于期望车头时距的通行能力计算模型,并结合地下互通立交的实际工况和交通组织管理特点,提出了地下互通立交的主线基本路段、匝道基本路段、匝道分合流区的通行能力的计算方法,指出地下互通立交不同区段通行能力均较地下互通立交有所折减。

靳祥^[6]通过对厦门万石山地下互通立交的主线路段、匝道路段及分合流区域的交通流量及交通流特性进行调查,建立了该地下互通立交的交通流仿真模型,对立交主线、匝道、分合流区域的通行能力进行分析,给出了60 km/h主线设计速度、30 km/h匝道设计速度对应的通行能力建议值,并提出设置合理变速车道长度、增设分合流提示标志,以提高分合流区域通行通力的设计建议。

周灿等^[7]基于万石山地下互通立交实车实验,对地下立交合流区域的交通流特性进行了研究,并对地下互通立交加减速车道的设计进行了探讨。

从地下互通立交通行能力的研究现状可以看出,地下互通立交因复杂的物理运营环境导致通行能力有所折减,设计应加强地下立交分合流区域的变速车道设计、交通组织设计,以提高其通行能力。

(3) 地下互通立交线形研究现状

袁胜强在《地下互通立交关键技术指标体系研究》研究报告中对地下互通立交匝道的平纵横设计指标进行了研究,提出地下互通立交匝道不宜采用小半径曲线,以减少对视距、通风的不利影响,一般情况下应采用大于或等于不设超高最小半径值,并提出超高不应大于4%,缓和曲线与地面道路无差异。提出地下互通立交匝道纵断面设计应尽可能避免小半径曲线+大纵坡的组合,与地面道路衔接的匝道纵断面设计设置反向纵坡,形成“驼峰”,驼峰高程高出周边路面20~50 cm。针对地下互通立交匝道横断面设计,提出应与相衔接的地面匝道技术标准保持一致,并提出应根据服务车道类型和预期发挥功能来选择单车道匝道紧急停车带宽度的取值。

(4) 地下互通立交分合流端部大跨度结构研究

胡学兵^[8]、闫自海^[9]、王新刚^[10]、程栋^[11]分别结合长沙市营盘路湘江隧道、厦门市万石山地下立交工程、无锡高浪路学府立交工程,对地下立交平面分岔结构设计、围护和结构施工等关键性技术进行了研究,提出分合流端部大跨度结构设计和施工时地下互通立交建设的技术关键,应尽可能减少端部结构跨度、减少匝道交叉处结构基坑深度,以降低工程实施难度。

1.2 研究现状简析

目前对地下互通立交的研究多集中在以下几方面:

- (1)地下互通立交的特点分析;
- (2)地下互通立交选型影响因素分析,立交选型及部分线形标准研究;
- (3)地下互通立交通行能力理论分析;
- (4)地下互通立交分合流鼻端分岔结构设计和施工方案研究。

现状研究主要存在以下不足:

- (1)对地下立交的适用范围研究较少,对地下立交的规划设计控制性的建议较缺乏;
- (2)对工程建设案例的关键技术指标、重难点及创新点的系统性调研总结较少;
- (3)工程案例总结偏向于总体方案介绍,对地下立交的总体设计原则研究较缺乏。

2 地下快速路互通立交特点及适用性

2.1 地下互通立交特点

和地上互通立交相比,城市地下互通立交因地下物理环境的差异,呈现“视野条件不佳、空间关系特殊、立交层次受限”的空间环境特点。

同时,因需统筹交通功能、复杂的工程地质、施工工法、后期运维等因素,呈现“系统性强、实施难度较大、建设周期较长、工程投资大、运维成本高”等工程建设特点。

2.2 地下互通立交与地上互通立交差异

地下互通立交和地上互通立交的差异性主要体现在运营环境、交通环境、工程建设条件、工程投资等四方面,针对相关差异,地下互通可采取部分应对措施降低不利影响,确保地下互通方案的可行性,地下互通立交与地上互通立交差异的综合分析详见表1。

2.3 地下快速路地下互通立交适用性

对雄安新区、上海浦东新区东片片区、上海中心

表1 地下互通立交和地上互通立交差异综合分析表

比选项	地上立交	地下立交	对驾驶员的影响	地下互通应对措施
物理环境	光照	白天通过自然光照明 夜间利用路灯及车灯辅助照明	全天候利用隧道照明和车灯辅助照明	地下光照不足影响驾驶员的判断 加强照明
	噪声	噪声源:背景噪声和车辆噪声 传播特性:可扩散	噪声源:车辆噪声 传播特性:不易扩散,且易产生反射叠加	噪声导致注意力下降 降噪路面、具备吸声功能的侧墙装饰
	空气	空气质量较好	空气质量较差	空气污染损害驾驶员健康 加强通风系统设计
	温度和湿度	随外部环境变化	温度波动小,湿度较大	长期较大湿度影响隧道设施和运营安全 环境湿度检测和控制设计
	运营环境	随时间变化	建成后几乎不变	环境变化小易导致驾驶员疲倦 智慧化装饰装修
交通环境	视距	良好	较差	视距不足,易引发事故 确保视距、加强诱导和安全设施设计
	主线	速度快,可变道	速度较快,不宜变道	地下超车风险大 提升管理措施
	匝道	速度较快,不宜变道	速度慢,不应变道	地下超车风险大 提升管理措施
	分合流端	不应超车变道	严禁超车变道	分合流处风险大 加强分合流鼻端安全设计
	交通疏解及救援	相对简单	比较困难	地下封闭环境,紧急情况下驾驶员心理紧张 防灾救援专题设计
工程建设条件	地质条件	桥桩或路基段处理相对简单	地下连续结构,处理较复杂	— 加强地质勘察,根据地勘制定措施
	管线协调	多为桥桩与管线点状交叉,协调相对简单	地下结构开挖,协调相对复杂	— 采用低影响施工措施
	地下水	基本无影响	影响开挖,需考虑降水、结构防水	— 加强降水、防水设计
建设和运维成本	机电系统	相对简单	通风消防系统较复杂	— 专题设计
	建设成本	低	约为高架立交的2~3倍	— 简化方案、减少地下工程量
	运维成本	低:每年约20~30万元/km	高:每年约400万元/m	— 简化方案、减少地下工程量

城区、青岛、武汉等地快速路的规划建设情况进行调研发现,地下快速路一般适用于对景观品质要求高的新城区核心区、或者城市建成区有历史风貌保护特殊要求的区域。

地下快速路地下互通立交的适用性基本同地下快速路,主要如下。

(1)新城区高密度开发核心区,控制因素相对较少,为释放地面空间,提升新区核心区功能品质,可结合地下空间开发建设地下互通立交,实现地下快速路间的交通转换。

(2)在城市建成区核心区,早期建设的快速路多为高架或地面形式,在对噪声防治、历史风貌保护有

特殊要求,具备工程实施条件时,在能确保交通功能的条件下,可选择地下互通立交来实现新建地下快速路和现状高架或地面快速路的交通转换。

3 城市地下快速路互通立交建设案例

3.1 案例

对厦门、南京、深圳、杭州和无锡5个城市共计8座城市地下快速路与快速路相交形成的互通立交建设案例进行了调研,分析了案例的交叉形式、立交型式、地下层数、道路等级、设计速度等关键技术指标,具体分析统计情况详见表2。其中4座典型案例情况分析如下。

表2 地下快速路互通立交案例分析表

编号	工程案例	交叉型式	道路等级	主线设计速度/ (km·h ⁻¹)	匝道设计速度/ (km·h ⁻¹)	立交型式	立交层次
1	厦门海沧疏港通道-芦澳路立交	十字(四路)	快速路—快速路	80/60	40	T形-全地下部分互通	地下3层
2	南京青奥轴线-梅子洲隧道立交	十字(四路)	快速路—快速路	60/80	40	T形-全地下部分互通	地下3层
3	南京建宁西路-横江大道立交	十字(四路)	快速路—快速路	80/80	40	T形-全地下部分互通	地下3层
4	南京建宁西路-惠民路立交	十字(四路)	快速路—快速路	60/80	40	T形-全地下部分互通	地下3层
5	南京玄武湖隧道-九华山隧道立交	T形(三路)	快速路—快速路	60/80	40	喇叭形-地下+地面组合全互通	地下1层
6	深圳侨城东路-南坪快速路立交	十字(四路)	快速路—快速路	60~80/80	30~40	部分苜蓿叶形-地下+地上部分互通	地下2层
7	杭州紫金港路-文一西路立交	十字(四路)	快速路—快速路	60/80	30~40	部分苜蓿叶形-地下+地上组合全互通	地下1层
8	无锡高浪路-蠡湖大道学府立交	十字(四路)	快速路—快速路	80/80	40	全定向型-地下+地上组合全互通	地下3层

(1)南京建宁西路-横江大道立交

建宁西路与横江大道十字交叉,形成T形全地下部分互通,包含2条主线隧道和4条立交匝道,实现了西往南右转、西往北左转、北往西右转、南往西左转主要转向交通转换,最深层地下3层,如图1所示。

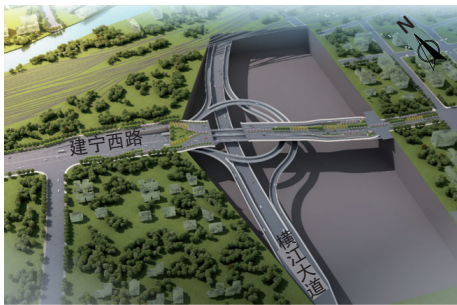


图1 南京建宁西路-横江大道地下互通立交效果图

横江大道作为南京江北新区东西向规划的快速路,江北大道为穿越长江的南北向快速路,江北大道

以南临近水域,区域用地开发多集中在横江大道以北区域,节点主要的转向交通需求为东西方向与北侧的联系。考虑到全地下全枢纽互通立交实施难度极大、工程造价极高,建宁西路-横江大道地下互通立交通过设置2对地下定向匝道实现节点北侧与横江大道的主流向转向交通的快速转换功能,同时局部结合设置出地半菱形互通,通过地面平交路口兼顾节点南侧滨江区域与江南主城区之间沟通。该地下互通立交通过“地下T形部分互通+地面半菱形互通”组合的形式,实现主要交通流向快快转换、次要交通流向软连接的交通功能,降低了实施难度和工程投资,实现了交通功能和工程实施难度的平衡。

(2)南京建宁西路-惠民路立交

建宁西路与惠民路十字交叉形成T形全地下部分互通立交,包含2条主线隧道和4条地下互通立交匝道,实现了西往南右转、西往北左转、北往西右转、

南往西左转4个主要的转向交通转换,最深层为地下3层,如图2所示。



图2 南京建宁西路-惠民路地下互通立交效果图

建宁西路-惠民路交叉节点为江北新区交通越江后的主要疏解节点,节点主要转向交通流向为江北新区越江交通往惠民路东西向转向交通。考虑到全地下全枢纽互通立交实施难度极大、工程造价极高,节点充分利用东南侧用地设置了4条匝道的“变形T形互通”,实现了主要转向交通的快快转换,并未盲目追求全互通,同时其中1条地下匝道采用“左出”模式,减少了地下匝道的交叉次数、减少了地下立交层数,实现了交通功能和工程规模的平衡。

(3)深圳侨城东路-南坪快速路立交^[12]

侨城东路与南坪快速路十字交叉,形成“桥隧组合”半地下部分互通,包含侨城东路主线隧道、南坪快速路高架和4条“地下+高架组合”立交匝道,实现了东-南方向和西-北方向主要流向的交通转换,最深层地下2层,如图3所示。



图3 深圳侨城东路-南坪快速路地下互通立交效果图

深圳侨城东路-南坪快速路半地下互通立交,通过强化交通需求分析,确保主要交通流向,适度舍弃次要交通流向,并巧妙利用靠近山体侧地形条件,通过“地下+高架”组合立交规避复杂的控制条件,简化了立交形式,实现了交通功能和工程规模的平衡。

(4)无锡高浪路-蠡湖大道立交

高浪路快速路与蠡湖大道快速路十字交叉,形成“桥隧组合”半地下全互通立交,包含高浪路主线隧道、蠡湖大道主线高架、4条地下匝道、4条高架匝

道,最深层为地下3层,如图4所示。



图4 无锡高浪路-蠡湖大道地下互通立交效果图

高浪路与蠡湖大道相交节点区位重要,各转向交通需求均较大,设置全互通必要性强。节点处,蠡湖大道快速路主线通过设置节点跨线桥,与高浪路地下快速路主线形成“桥隧组合”互通立交,巧妙地实现了全互通的交通功能,降低了实施难度和工程投资。该立交的巧妙构思,给地下快速路全枢纽互通立交设计提供了一种创新的解决思路。

3.2 案例总结

对现状建设案例的建设经验总结如下。

(1)全地下互通立交的交通功能齐全程度和立交地下层数是矛盾关系,功能既齐全、地下层数又少的多为T形、Y形等三路交叉立交。

(2)地下快速路与快速路十字相交形成的枢纽全互通立交多为“地下+地面”或“地下+桥梁”组合形式,尚未见全地下枢纽全互通立交,通过“桥+隧组合”“地面+地下”组合等简化的工程手段,可有效降低工程实施难度。

(3)考虑到地下立交运营环境的特殊性,匝道的设计速度均不高于40 km/h。

3.3 规划设计控制性建议

考虑到全地下枢纽互通立交建设及运营成本高、建设难度大,往往超出城市的财政承受能力,且目前理论研究和工程建设经验相对较少,全地下枢纽互通立交尚不能成为地下快速路规划建设的常规手段,需要在交通功能和工程建设难度、工程投资间寻找平衡点。因此,本文从交通需求、工程投资、工程实施难度等角度,提出几点针对性控制性建议。

(1)在规划阶段,建议从城市路网规划角度,通过路网形态和路网结构的控制,尽可能避免设置全地下互通立交;对确需采用枢纽互通立交的地下快速路与快速路交叉节点,应尽可能做好用地预留,创造后续方案简化的条件,同时做好全地下互通、地下+地面、地下+桥梁组合互通多方案规划条件预留,

给建设阶段预留充分的弹性和韧性。

(2)在设计阶段,应强化交通需求分析,区分主要交通流向和次要交通流向,以交通需求为导向,避免“一刀切”式的枢纽地下全互通,重点解决主要流向的交通需求,必要时可适度牺牲部分次要交通需求,以实现交通功能和工程投资、实施难度的平衡,增强工程可实施性。

(3)在设计阶段,应加强对周边地形、路网条件等控制因素的分析,建议充分利用地形条件,采取隧道合理分段、局部短跨线桥、组合互通等措施,尽量将全互通简化为“地下+地上”组合形式,既实现全枢纽互通的交通功能,又降低实施难度、节约工程投资。

(4)在设计阶段,从运行安全交通出发,不宜采用过高的设计速度,建议尽量采用视线诱导条件较好的平面线形,以改善视距条件,且不宜采用较大纵坡,有条件时建议通过立交图形诱导等手段,加强线形诱导。

(5)在设计阶段,建议加强隧道照明、通风、消防逃生系统的设计,强化隧道排水、防淹设计,并积极采用智慧化地下道路技术手段,确保地下互通立交运维安全。

4 结 语

城市地下快速路地下互通立交是解决城市地下道路网络化发展的重要手段,也是地下道路研究的一个重要方向。本文从分析我国地下互通立交

的研究现状出发,总结完善了地下互通立交特点,初步分析了城市地下快速路的地下互通立交的适用性,并综合国内5座城市8座典型的地下快速路地下互通立交建设案例,提出了城市地下快速路地下互通立交的规划设计的控制性建议,以期为城市地下快速路互通立交的建设发展提供初步参考。

参考文献:

- [1] 袁胜强.地下互通立交总体设计研究[J].上海公路,2018,147(1):1-5.
- [2] 陈喆.浅议地下道路互通立交选型[J].上海公路,2016,140(2):18-19.
- [3] 游婷,林利安.大型地下互通式立交选型探讨[J].公路与汽运,2009,134(5):37-40.
- [4] 马璐,蒋树屏,林志,等.大型地下互通式立交型式选择方法及实例[J].公路交通技术,2011,92(1):26-28.
- [5] 袁胜强,景啸,史程祥.城市地下互通立交通行能力计算[J].同济大学学报(自然科学版),2021,49(2):236-242.
- [6] 靳祥.地下立交设施通行能力模型与仿真[D].武汉:华中科技大学,2016.
- [7] 周灿,王红,陈勇.基于路上实验的地下互通立交合流区交通流特性研究[J].工程与建设,2020,34(3):404-406.
- [8] 胡学兵.地下立交设计施工关键技术研究[J].公路交通技术,2012,6(3):91-95.
- [9] 闫自海,章立烽,路军富,等.城市地下立交隧道交叉口施工方法研究[J].现代隧道技术,2019,56(1):176-183.
- [10] 王新刚,杨剑飞.无锡市某大型城市地下互通立交设计关键技术研究[J].现代交通技术,2017,14(6):49-52.
- [11] 程栋.地下快速路互通立交分岔隧道设计施工关键技术研究[D].北京:北京交通大学,2008.
- [12] 徐晓龙,谢海平.高强度开发城市复杂建设条件下半地下立交方案研究——以深圳市侨城东路与南坪快速立交节点为例[J].广东土木与建筑,2021,27(7):104-106.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadbridgeflood@163.com

