

城市地下道路与轨道交通共建研究

卞国剑, 刘 艺, 罗建晖

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要:为进一步研究城市地下道路与轨道交通的共建方案,从路网(线网)形态、功能定位和技术标准等角度进行对比分析,并结合上海、济南、武汉、青岛等地的多个共建工程案例,研究归纳当前城市地下道路与轨道交通共廊道布置的需求和趋势,提出了各种共建形式在技术标准上的可行性及适用性,总结了共建工程的优势和尚存的主要问题。

关键词:城市地下道路;轨道交通;盾构隧道;明挖地道;共建方案

中图分类号: U459.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)10-0001-06

0 引言

城市地面土地资源的紧缺促进了城市空间向地下发展,构建地下交通系统是集约利用土地、保障生态环境、解决“大城市病”、增强城市发展综合承载能力的有效途径。同时,发展绿色交通,尤其是发展以轨道交通为代表的公共交通,是促进城市交通健康持续发展的重要方向。随着城市地下道路与轨道交通共建工程案例的逐渐增多,对此类工程方案的研究也有着越来越重要的意义。

1 研究现状

2012年,上海市政总院俞明健等人^[1]对上海市东西通道与轨道交通14号线的上下一体化共建方案进行了研究,提出了共建工程系统性和集约化的设计理念。2013年,同济大学建筑设计研究院黄斌^[2]对上海地铁10号线同济大学站及其区间隧道、四平路—中山北二路下立交和过街通道相互关系进行了研究,提出了一体化设计施工的优势、要点与对策。2014年,中铁第四勘察设计院肖明清等^[3]对三阳路长江隧道公铁合建工程的平纵横、疏散救援等进行了分析,制定了合建盾构隧道的总体方案。2017年,铁道第三勘察设计院王婉莹^[4]对城市道路网与轨道交通线网的关系进行了研究,认为两者的形态存在

相似性。2018年,中铁第一勘察设计院李锐^[5]研究并提出了不同情况下的“路—轨—管廊”大断面共建的方案。2018年,中国电建集团华东勘测设计研究院金威等^[6]分析了义乌市商城大道的隧道、轨道交通与综合管廊的分合建方案,并最终推荐了合建方案。2019年,广州地铁设计研究院刘皓等^[7]分析了金鸡湖市政隧道与轨道交通6号线的合建工程,提出在有条件时应公轨合建。

在上述研究的基础上,本文进一步对城市地下道路与轨道交通的交通功能、路网相关性及标准适应性进行研究,并结合上海长江隧道(预留轨道交通)、济南济泺路黄河隧道工程(与轨道交通M2线共建)、济南黄河大道一期工程(与有轨电车共建)、上海东西通道(与轨道交通14号线共建)及青岛上合交大大道工程(与轨道交通12、16号线共建)等工程案例进行具体地分析。

2 共廊道分析

2.1 路网(线网)相关性

2.1.1 城市道路路网系统

城市道路网是城市社会经济活动及客货运输的载体,伴随着城市的建设与发展同步形成,与城市的气候、地理、历史、人文及环境等方面的特征息息相关,是城市总体空间格局中的重要组成部分,会和城市的空间结构、产业布局、职住布局及重大基础设施等相互作用。

城市道路系统有方格网、环形放射、自由式和混合式等典型布局形式^[4]。方格网道路系统通常沿南北

收稿日期: 2023-12-13

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,工学硕士,高级工程师,从事道路设计工作。

和东西方向交织布置,较常见于古老的、历史悠久的城市,如北京、南京、西安等;环形放射道路系统通过放射型道路联系中心区域与外围片区和组团,通过一层或多层环向道路串联外围片区和组团,同时对中心城区的交通形成保护,常见于大型城市,如上海、天津等;自由式道路系统结合城市的自然地形呈不规则状;混合式道路系统通常是在不同的城市发展阶段、根据不同的城市建设需求、由不同的规划思路主导形成。

2.1.2 轨道交通线网系统

轨道交通线网的规划需要依据城市总体规划和综合交通规划,综合考虑客流方向、大型集散点、线路密度、换乘便捷、规范标准及形式合理等因素而形成。

轨道交通线网形态主要有网格格式、无环放射式和有环放射式^[4]。网格格式线网呈棋盘状,线路之间呈十字形交叉或平行关系,分布较均匀,走向清晰,换乘站点较多,纵横线路之间的换乘较方便,但是对角线出行绕行较远。无环放射式线网由多条经过城市中心的放射线构成,中心与外围联系较方便,利于中心乘客疏散,但是中心点的换乘压力较大,环向出行不便捷。有环放射式系统由穿越城市中心的径向线与环绕中心区域的环形线构成,便于远离中心客流的环向出行交通,但线路建设的投资费用较高,因此,采用该线网形态要求环向出行的客流需求达到一定的规模。

2.1.3 相关性分析

轨道交通是城市综合交通的一部分,作为大运量公共交通客运走廊,其线网整体上以城市道路网为基础,同时根据敷设需求又可利用地下形式穿越地形地物等障碍的能力和优势进行路线调整。总体而言,轨道交通线网与城市道路网的形态具有高度相关性。

2.2 功能定位

2.2.1 城市地下道路交通功能定位

城市地下道路包括穿越铁路道路、江河、山岭等连接型地下道路和多点进出的系统型长距离地下道路^[8]。地下道路的主要功能包括完善路网、穿越难以连通的区域、补充地面或高架道路系统的不足、连接重要集散点、分离过境交通、保护城市风貌景观、节约土地资源等。

2.2.2 城市轨道交通的功能定位

城市轨道交通线网通过构建多层次且便捷高效的轨道交通网络,保障城市各个区域的内外通达,支撑城市空间发展。中心城区轨道交通是城市内部的

主要交通走廊,通过密集网络型线网服务中心城区通勤交通出行。市域轨道交通构建在城市外围,是联系城市及边缘组团的快速轨道交通系统,将外围组团和城市边缘与中心城区相连接,引导城市结构向多中心发展,支撑市域空间格局形成,也是支撑通勤交通和旅游交通出行的骨干^[9]。因城市功能、风貌及环境影响等方面需要,城市内部的轨道交通通常采用地下敷设形式。

2.3 小结

城市地下道路中,连接型通道是穿越江河、山岭、铁路等阻隔,支撑城市空间拓展、实现协同发展、打通交通走廊、完善路网体系的重要通路,对其研究和决策应是系统且严谨,并需考虑防洪、水文、生态环境要求及各自的管理要求;多点进出的系统型地下道路则常常是功能重要、贯通性强、功能复合的通道。

城市地下道路与轨道交通是大型城市综合交通系统中的两个重要组成部分。如前所述,两者在路网(线网)形态和功能定位上具有高度的相关性,常常同时占用稀缺宝贵的重要地下通道资源,因此功能重要、等级高的地下道路与轨道交通(含有轨电车)共廊道越来越成为城市综合交通建设的趋势。

3 共建分析

共建形式按照工法可分为明挖共建、盾构共建、矿山法和沉管共建等,按照空间关系可分为平铺共建、叠层共建等,按照共建范围可以分为区间共建、车站共建等。不同的共建形式对于技术标准适应的要求不同。

3.1 共建的技术标准可行性

3.1.1 车辆参数及限界

(1) 车辆参数

根据《城市地下道路工程设计规范》(CJJ 221—2015)^[8]、《地铁设计规范》(GB 50157—2013)^[10]和《城市有轨电车工程设计标准》(CJJ/T 295—2019)^[11]中的标准要求,城市地下道路、轨道交通和有轨电车的车辆设计参数^[8,10-11]如表1至表3所列。

表1 城市地下道路设计车辆参数

城市道路设计车辆	总长/m	总宽/m	总高/m
小客车	6.0	1.8	2.0
大型车	12.0	2.5	4.0
铰接车	18.0	2.5	4.0

(2) 限界

城市地下道路建筑限界是道路净高线和两侧侧

表2 轨道交通设计车辆参数

地铁设计车辆	计算长度/mm	最大宽度/mm	高度/mm
A型	22 100	3 000	3 800
B型	19 000	2 800	3 800

表3 有轨电车设计车辆参数

有轨电车设计车辆	基本长度/mm	宽度/mm	高度/mm
70%低地板有轨电车	≤30 000	2 650 或 2 400	≤3 700
100%低地板有轨电车	≤38 000		

向净宽边线组成的空间界线,主要受设计车型、设计车速和车道数等因素控制。

轨道交通建筑限界分为矩形、马蹄形和圆形隧道建筑限界、高架线及地面线建筑限界及车辆段车厂线建筑限界。地铁建筑限界的制定主要受到接触导线安装高度、平面曲线参数、轨道超高、轨道结构高度等因素控制。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、设备及管线安全间距、接触网导线安装高度等因素的控制。

3.1.2 平纵线形

城市地下道路的使用者为各个驾驶个体,相关指标的制定需要考虑设计速度、服务车型、车-路间的力学关系、气候条件、地道内光学条件以及个体驾驶行为等因素。在对于平纵线形指标的规定中,对城市地下道路的要求相对较高,包括平曲线最小半径、各单元最小长度、小偏角、超高加宽、最大最小纵坡、竖曲线、最大最小坡长、平纵线形组合等指标均有相关要求。

地铁正线段指标的制定以设计行车速度、列车车辆参数及车-轨道力学关系等为主要制约因素。对正线段圆曲线最小半径的要求相对较低,对车站段平面曲线标准的要求较高,且对于纵坡要求较高。有轨电车对平纵断面指标的要求相对较低。

以设计车速为80 km/h的城市地下道路和设计最高行车速度为80 km/h的8A编组列车以及行车速度为70 km/h的有轨电车为例,对比规范指标(取一般情况、一般值):(1)地下道路不设缓和曲线的最小半径为2 000 m,不设超高的最小半径为1 000 m,设超高的最小半径为400 m,缓和曲线最小长度为70 m,小偏角长度要求 $1\ 000/\alpha$;最大纵坡3%,最小纵坡0.3%;(2)地铁圆曲线的最小半径正线段为350 m、出入线联络线为250 m、车场线为150 m,车站曲线半径在无站台门情况下为800 m、在设站台门

情况下为1 500 m,缓和曲线长度为20~70 m(对应半径为3 000~450 m时,超高为25~120 mm);正线最大坡度为3‰,最小坡度为3‰,车站纵坡为2‰;(3)有轨电车的平曲线最小半径为正线50 m,车站长400 m,缓和曲线及超高设置同地铁,不设缓和曲线的最小半径为2 500 m;正线最大坡度5‰,最小坡度3‰,车站纵坡为2‰。

3.1.3 可行性分析

综合上述分析可得:

(1)高等级城市地下道路与城市地铁和有轨电车在车辆参数、限界以及平纵线形等指标等方面具备较好的适应性,地道与轨道交通的深度共建具备技术标准上的可行性;

(2)从技术指标的敏感程度来看,地铁车站最为敏感,有轨电车最为灵活,若按照灵活性排列,则为有轨电车>地铁正线>城市地道>地铁车站;

(3)盾构形式的共建受断面空间限制,属于区间共建,对车行和轨道交通建筑限界以及线形标准最为敏感,明挖形式的共建对限界不敏感;区间明挖共建对线形标准敏感,车站共建对此较不敏感;故按照灵活性排列,则明挖共建>盾构共建,车站共建>盾构共建。

3.2 共建的优势和制约问题

共建的主要优势在于能集约高效地利用地下空间资源、简化建设程序、节约工期、节省投资。

共建的主要问题是建设时序会互相制约,管理模式、设备系统等界面存在交叉,且防灾疏散救援是两套系统、要求差异较大,对于建设管理、统筹协调及防灾运维管理的要求更高。

4 共建工程案例分析

4.1 盾构隧道案例

以下对上海长江隧道、武汉三阳路隧道、济南济泺路隧道三个盾构共建的工程案例进行了对比分析。其中,上海长江隧道和武汉三阳路隧道穿越长江,济南济泺路隧道穿越黄河。

4.1.1 通道等级及设计车速

由于交通功能重要以及通道资源宝贵,穿越的地下道路通常为高等级道路,如长江隧道是高速公路,设计车速为80 km/h;三阳路和济泺路是城市主干路,设计车速为60 km/h。长江隧道预留轨道交通;三阳路隧道与武汉地铁7号线共建,7号线近期为6A编组,远期预留8A编组,设计最高行车速度达

100 km/h; 济南济泺路隧道与轨道交通 M2 线共建, M2 线为 6A 编组, 设计最高行车速度达 80 km/h。

4.1.2 断面形式

长江隧道限界为 12.75 m × 4.5 m, 三阳路和济泺路为 12.0 m × 4.5 m。三座隧道均采用圆形盾构, 长江隧道外径 15 m, 内径 13.7 m; 三阳路和济泺路外径 15.2 m, 内径 13.9 m。长江隧道预留轨道交通限界为 3.7 m × 4.2 m, 三阳路隧道轨道限界为 4.5 m × 4.5 m, 济泺路隧道轨道限界为 4.60 m × 4.55 m。根据限界和圆形盾构的几何特征, 共建断面均为上下布置, 长江隧道上层为烟道, 中层为机动车道, 下层预留轨道交通; 三阳路和济泺路隧道上层为机动车道, 下层为轨道、疏散廊道、排烟道及电缆廊道, 如图 1 所示。

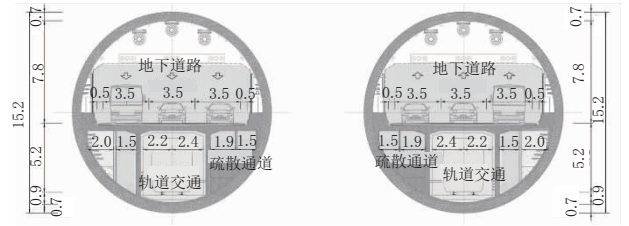


图 1 济南济泺路隧道共建断面图(单位:m)

4.1.3 线形指标

长江隧道的最小平曲线半径为 4 000 m, 最大纵坡为 2.90%; 三阳路隧道的最小平曲线半径为 1 200 m, 最大纵坡为 2.8%; 济泺路隧道的最小平曲线半径为 700 m。缓和曲线长度为 50 m, 最大纵坡为 2.8%。三个盾构隧道案例的共建方案、参考技术指标与线形设计取值如表 4 所示。

表 4 穿越江河共建盾构隧道案例表

项目 名称	地下道路	上海长江隧道	武汉三阳路隧道	济南济泺路隧道
轨道交通		预留	武汉地铁 7 号线	济南轨道交通 M2 线
通车时间		2009 年 10 月	2018 年 10 月	2021 年 9 月
长度规模		8.9 km, 越江段 7.5 km	4.7 km, 其中 2.7 km 同结构合建	3.9 km, 其中 2.5 km 盾构段共建
共建 方案	形式	双洞盾构断面; 上层烟道, 中层机动车道, 下层预留轨道交通	双洞盾构断面; 上层机动车道, 下层轨道, 疏散廊道、排烟道及电缆廊道	双洞盾构断面; 上层机动车道, 下层轨道, 疏散廊道、排烟道及电缆廊道
	尺寸	外径 15 m, 内径 13.7 m	外径 15.2 m, 内径 13.9 m	外径 15.2 m, 内径 13.9 m
地下道 路技术 标准	车道数	双 6	双 6	双 6
	道路等级	高速公路	城市主干路	城市主干路
	设计速度/(km·h ⁻¹)	80	60	60
	建筑限界(宽×高)/ (m×m)	12.75×4.5	12×4.5	12×4.5
	平面线形标准	最小平曲线半径 2 500 m	最小平曲线半径 600 m	最小平曲线半径 600 m, 最小缓和曲线长度 50 m
纵断面线形标准	最大纵坡 3%	最大纵坡 3%	最大纵坡 4%	
轨道交 通技术 标准	列车编组	—	近期 6A, 预留 8A	6A
	设计最高行车速度/ (km·h ⁻¹)	—	100	80
	建筑限界(宽×高)/ (m×m)	预留轨道交通内净尺寸 3.7×4.2	4.5×4.5	4.6×4.55
	平面线形标准	—	区间正线最小半径 550 m, 困难地段为 450 m	区间正线最小曲线半径 350 m, 困难地段为 300 m
纵断面线形标准	—	区间正线最大纵坡 30‰, 困难地段为 35‰; 地下站 2‰; 竖曲线半径 5 000 m, 困难时为 3 000 m	区间正线最大纵坡 30‰, 竖曲线半径 5 000 m, 困难时为 2 500 m	
平纵线形设计取值	最小平曲线半径 4 000 m, 最大纵坡 2.90%	最小平曲线半径 1 200 m; 最大纵坡 2.8%	最小平曲线半径 700 m, 缓和曲线长度 50 m; 最大纵坡 2.8%, 最小竖曲线半径 5 000 m	

4.2 明挖共建案例

下文是对济南黄河大道一期工程、上海东西通道和青岛上合交大大道三个明挖共建工程案例进行的对比分析。

济南黄河大道是支撑济南黄河北岸高质量发展的重要走廊, 是新旧动能起步区的交通轴、经济轴和功能轴, 也是实现济南“北起”战略定位的关键动脉。上海东西通道是穿越小陆家嘴片区、改善区域交通、

优化浦东路网布局、实现浦东浦西一体化交通的重要通道。青岛上合交大大道是贯通南北的交通动脉、串联五区的交通主轴、区域景观绿轴、区域地下空间的衔接纽带,也是公共交通支撑引领的客流走廊。三个共建工程均是区位重要、贯通性强的功能复合型通道。

4.2.1 共建断面形式

平铺共建是车行地道布置于两侧,轨道交通布置于中间的共建形式;叠层共建是车行地道与轨道交通上下的共建形式。

济南黄河大道一期工程为明挖矩形箱涵结构,采取平铺共建形式,中间为有轨电车,两侧为快速路车道,如图2所示;上海东西通道和青岛上合交大大道都是明挖地道与车站结构顶底板共建,如图3所示。

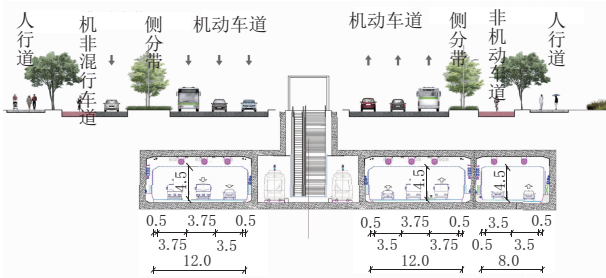


图2 黄河大道一期工程平铺共建横断面图(单位:m)

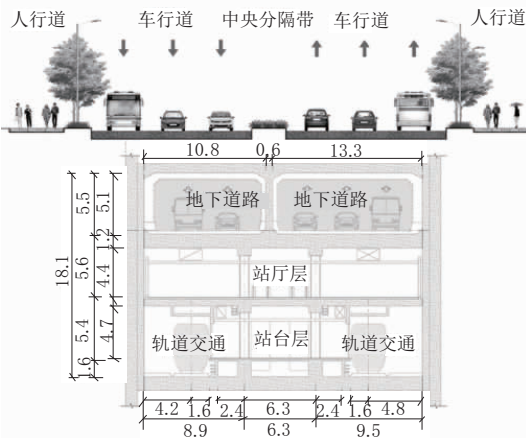


图3 东西通道叠层共建横断面图(单位:m)

4.2.2 设计标准与指标

黄河大道一期为双向6车道城市快速路,设计车速80 km/h,与最高行车速度为70 km/h的低地板钢轮钢轨现代有轨电车共建;上海东西通道为双向4车道城市主干路,设计车速50 km/h,与最高行车速度为80 km/h的8A编组轨道交通14号线共建;上合交大大道为双向6车道城市主干路,设计车速60 km/h,与最高行车速度为120 km/h的6B编组轨道交通12、16号线共建。三个明挖共建案例的共建方案、参考技术指标与线形设计取值如表5所列。

4.3 小结

由上述方案比对可见:

(1)高等级地下道路与轨道交通的线形指标适配性较好,技术标准上具备深度共建的可行性,在实际工程案例中已得到验证;

(2)盾构共建对限界和线形指标的适配要求较高,目前国内15 m级盾构技术成熟,可以较好地满足双向6车道地下道路与轨道交通区间共建的需求;

(3)案例包含了平铺共建(区间共建)和叠层共建(车站共建),其中平铺区间共建的共建程度最高,线形指标上的适配要求也更高,且结构较宽、占用地下空间资源更大;叠层共建是地道与车站的共建,共建程度较低、更灵活、空间资源利用率较高。

5 结语

本文分析了城市道路和轨道交通的路网(线网)形态及功能定位,对比了城市地道、地铁和有轨电车的技术标准,结合上海、济南、武汉、青岛等地的共建工程案例对共廊道和共建方案进行了研究,主要结论如下。

(1)城市道路与轨道交通是大型城市综合交通系统中两个重要组成部分,路网(线网)形态及功能定位具有高度相关性,城市高等级通道区位独特重要、资源稀缺宝贵、功能多样复合、沿线开发密集、交通-环境-品质多维需求集中,因此高等级城市的地下道路与轨道交通在通道线位选取上存在较高的一致性。

(2)高等级城市的地下道路与城市地铁和有轨电车在车辆参数、限界以及平纵线形等指标等方面具备较好的适应性,地道与轨道交通或有轨电车的深度共建具备技术标准上的可行性。

(3)盾构共建对限界和线形指标适配要求较高,目前国内盾构技术成熟,可以较好地满足共建需求。

(4)明挖共建包括平铺共建和叠层共建,平铺形式可进行多站多区间共建,共建程度最高,线形指标的适配要求也更高,结构较宽,占用地下空间资源更多;叠层共建的宽度较窄,地下空间资源利用率高,包含区间共建和车站共建,其中车站共建的共建程度最低、更灵活。

(5)共建的主要优势是集约高效地利用地下空间资源、节约工期、节省投资,现存的主要问题是建设时序互相制约,管理模式、设备系统等界面交叉,以及防灾疏散救援系统的差异较大,对未来建设管

表5 明挖共建地下道路案例表

项目	地下道路	济南黄河大道一期	上海东西通道	青岛上合交大大道
名称	轨道交通	有轨电车	上海轨道交通14号线	青岛轨道交通12、16号线
通车时间		2022年8月	2022年12月	—
长度规模		崔寨北地道、会展中心地道各约3.8 km、2.3 km,全段共建,5站6区间	地道6.1 km,共建6站6区间	两段地道各约2 km和1.1 km,各衔接1段地下环路;共建2线,4站5区间
共建方案	形式	明挖矩形箱涵,平铺共建,中间为有轨电车,两侧为快速路车道	明挖地道与车站结构顶底板共建	明挖地道与车站结构顶底板共建
	车道数	双6	双4	双6
	道路等级	城市快速路	城市主干路	城市主干路
地下道路技术标准	设计速度/(km·h ⁻¹)	80	50	主路60;环路20
	建筑限界(宽×高)/(m×m)	12.5×4.5	9.5×4.5	主路12.25×4.5;环路6.5×3.5
	平面线形标准	最小平曲线半径1000 m,最小缓和曲线长度70 m	最小平曲线半径200 m	平面为直线
	纵断面线形标准	最大纵坡3.5%	最大纵坡5%	最大纵坡4%
轨道交通技术标准	列车编组	低地板钢轮钢轨现代有轨电车	8A	6B
	设计最高行车速度/(km·h ⁻¹)	70	80	120
	建筑限界(宽×高)/(m×m)	4.45×4.55	—	—
	平面线形标准	正线最小平曲线半径50 m	—	—
	纵断面线形标准	正线最大纵坡50‰	—	—
	平纵线形设计取值	最小平曲线半径1282.65 m;缓和曲线长70 m;最大纵坡3.5%,最小竖曲线半径3000 m	最小平曲线半径380 m;最大纵坡5%	平面为直线,最大纵坡4%

理、统筹协调以及防灾运维管理要求更高。

参考文献:

[1] 俞明健,刘艺,孙巍.上海市东西通道与轨道交通一体化工程总体方案[J].城市道桥与防洪,2012(8):10-15.
 [2] 黄斌.轨道交通、市政地道和过街通道的地下空间一体化设计施工[J].建筑结构,2013,43(增刊2):84-87.
 [3] 肖明清,凌汉东,孙文昊.武汉三阳路公铁合建长江隧道总体设计关键技术研究[J].现代隧道技术,2014,51(4):161-167.
 [4] 王婉莹.城市道路网与轨道交通线网形态的关系研究[J].铁道工程学报,2017,34(2):81-86.
 [5] 李锐.地下轨道与城市道路及综合管廊大断面共建[J].西安科技大学

学报,2018,38(3):466-472.
 [6] 金威,尧云涛,濮成强,等.城市隧道、轨道交通、综合管廊三合一工程方案分、合建研究[J].中国公路(建设市场专刊),2018(19):113-115.
 [7] 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.
 [8] CJJ 221—2015,城市地下道路工程设计规范[S].
 [9] 赵瑞松.城市轨道交通线网布局及方案评价研究[D].西安:西安建筑科技大学,2018.
 [10] GB 50157—2013,地铁设计规范[S].
 [11] CJJ/T 295—2019,城市有轨电车工程设计标准[S].

《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

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com