

北京大兴国际机场高速公路公轨共线段重难点分析

廖若宇, 袁 蕾, 王 玉

(北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京市 100082)

摘 要:为实现北京大兴国际机场2025年旅客流量7200万人次的设计目标,北京市域内将建成包括轨道交通、城际铁路、高速公路等相关配套工程在内的“五纵两横”交通网络。为解决纵向通道内多线共走廊设计难题,首先对上海、宁波共线位案例进行了分析,然后对北京大兴国际机场高速公路公轨共线段特点进行了总结。在此基础上着重对共走廊段内公路与城市轨道共线位断面选择、竖向控制及交通组织等重难点进行分析研究,从设计指标、交通功能、社会经济效益等方面进行分析评价。结合项目从平面线位、纵断面、横断面等5个方面总结了公路与城市轨道共线位设计经验,可为今后推动多线路协同设计、优化设计、集约设计理念的发展提供借鉴。

关键词:共线位;集约布置;协同设计;共线段;高速公路

中图分类号:U412.37

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2021)06-0001-05

0 引言

北京大兴国际机场定位为大型国际航空枢纽、国家发展新动力源以及支撑雄安新区建设的京津冀区域综合交通枢纽。围绕新机场外部交通,北京市组织编制了《新机场外围综合交通规划》,构建了“五纵两横”的交通网络。主要包括3条纵向高速公路、1条横向高速公路、2条纵向轨道及1条横向轨道。在常规基础设施建设流程中,由于建设体制的独立性,即使功能及建设区域高度吻合,各项目也会各自为政,缺少统筹考虑,对未来城市建设及发展可能会带来不利影响^[1]。

本文以项目特点及思路演变为切入点,具体分析研究公轨共线位的设计重难点,并提出具体措施,最终对设计效果进行分析探讨。希望本文的研究成果可为其他地区多交通模式的交通枢纽建设提供参考,在类似项目建设中尽可能节约土地,为区域建设预留空间,减少重复性工程,最大化释放经济效益。

1 相关共线位设计案例

1.1 案例分析

(1)上海共和新路高架-地铁1号线北延

上海共和新路高架工程为“高架主线+地面辅路”形式。高架段为双向6车道,城市快速路标准,设计车速60 km/h,宽25.5 m;地面辅路段为双向6车

道+外侧慢行,城市主干路标准,设计车速40 km/h,无匝道段宽约50 m,有匝道段最宽约78.5 m。地铁1号线北延为城市轨道交通线,初期设计为6节编组,近期及远期设计为8节编组,最高行驶速度80 km/h。

上述两线于彭江路至呼玛路段形成一体化高架结构,长度约4.425 km。其中:高架快速路位于第三层,轨道线位于第二层,地面辅路位于第一层。区段内含互通式立交1座、上下匝道1对、轨道高架站4座。线路基本跨径为30 m,桥身墩身以Y型为基本型式,局部段采用H型。地面辅路位于桥墩两侧。高架与地面辅路于2002年底开通运营,地铁线路于2004年底开通运营。

(2)宁波北环快速路-地铁4号线

宁波北环快速路为“高架主线+地面辅路”形式。地上为桥梁结构段,双向6车道,城市快速路标准,设计车速80 km/h;地面辅路段为双向6车道+外侧慢行,城市主干路标准,设计车速50 km/h。地铁4号线为城市轨道交通线,列车采用6节编组B型列车形式,最高速度标准80 km/h。

上述两线于慈城连接线至江北大道段形成一体化高架结构,长度约6.4 km。其中:高架快速路位于第三层,轨道线位于第二层,地面辅路位于第一层。区段内含互通式立交1座、上下匝道2对、轨道高架站4座。线路基本跨径为30 m,桥身墩身以H型为基本形式。地面辅路位于桥墩两侧。高架和地面辅路于2014年底开通运营,地铁线路计划于2020年底开通运营。

收稿日期:2020-11-20

作者简介:廖若宇(1987—),男,硕士,高级工程师,从事公路及市政道路设计工作。

1.2 案例启示

(1)在土地资源紧缺的区域,交通设施的协同化、集约化布置将是未来发展趋势。

(2)竖向设置应在尽量降低桥梁高度的前提下,满足沿线地面道路的布设需求。

(3)在路轨分合流位置,对线位及桥跨结构进行合理处理,以满足线位的转换。

(4)高架与地面道路衔接选用平行式匝道,同时处理好与地面道路及被交路的交通组织。

(5)总体上统筹考虑周边相关交通设施之间的关系。

2 项目情况

2.1 相关工程介绍

该项目所有线路均为《新机场外围综合交通规划》中“五纵两横”的组成部分。共线段位于北京大兴南部区域,沿线用地以村镇、耕地、林地为主,控制物整体较少,远期为规划大兴新城南扩区域的重要组成部分。共线段主要涉及项目有以下3个。

(1)北京新机场高速公路(以下简称“高速路”)

设计标准为高速公路,双向8车道,标准断面宽度为38 m。共线段采用高架桥形式,设计车速为120 km/h。线路穿越京沪高铁后折向东南方向,进入共线段设计范围,向南跨越一级公路庞安路后,共线段结束。项目已于2019年7月投入使用。

(2)轨道交通新机场线(以下简称“轨道线”)

设计标准为城市轨道线,线路采用8D编组模式运营。共线段采用高架桥形式,线路运营最高时速为160 km/h,结构限界为11.8 m,采用大站快线模式。线路下穿京沪高铁后折向东南方向,进入共线段设计范围,向南跨越一级公路庞安路后,共线段结束。项目已于2019年9月投入使用。

(3)团河路

设计标准为一级公路,双向4车道。共线段位于地面层,考虑远期城镇化建设,外侧设置人行道,标准断面宽度为49.4 m,设计车速为60 km/h。线路穿越京沪高铁后折向东南方向,进入共线段设计范围,向南跨越一级公路庞安路后,共线段结束。项目计划于2020年底投入使用。

除上述项目,考虑整个区域用地的集约化,共线段范围周边还有两个项目与上述项目共走廊布置。

一是京雄城际。该项目设计标准为高速铁路,线路采用8~16节编组模式运营,线路设计时速为250 km/h,

结构限界为12.6 m,采用高架桥形式。线路自西北沿京沪高铁并行,上跨京九铁路后转向正南方向,开始与上述3条线路共走廊布置,与共线段设置安全保护净距,最小宽度为15 m。

二是新机场高速公路综合管廊。该项目是保障大兴国际机场和中心城方向能源供给的重要通道,采用地下结构形式进行敷设,采用双仓结构。结构内含给水、电力、电信、中水等相关管线,管廊结构宽度约9 m。线路下穿京沪高铁后折入共线段正下方,向南于一级公路庞安路北侧离开共线段范围。

2.2 要点总结

共线段全线约7.9 km,结构分3层(以下简称“三线”):最上层为高速公路,路面高度23~24 m;中间层为轨道线,轨面高度12.3 m;地面层为一级公路。桥梁结构采用H型结构,墩柱间距为17 m。一级公路布置于墩柱两侧,墩柱内侧地下埋置管廊,墩柱内侧桥下空间作为管廊附属结构及公路的养护工区。京雄城际位于三线结构标准段西侧29 m位置,两结构平行敷设。类比已有相关设计案例,该项目有以下特殊性。

(1)功能需求强。考虑北京市城镇化发展速度,须统筹考虑远期建设情况,同时还须考虑公路与沿线村镇的互通服务需求。

(2)设计标准高。高速公路及城市轨道线的设计标准基本达到了目前现行规范的上限,技术指标要求较高,可突破余地较小。

(3)影响因素多。除共线项目外,还有结构下方的管廊及西侧紧邻的京雄城际,各项目间的相关影响均须同步考虑。

3 重难点分析研究

该项目体量较大,受限于篇幅,本文仅对部分重点问题进行探讨。

3.1 断面选择

在传统模式中,工程建设受制于工期、建设单位及运营产权单位的不一致,不同项目往往采用不同线位甚至不同走廊进行敷设。该项目走廊带内包含公轨铁共4条线路,考虑自身断面需求及安全净距,常规模式下4条线路共需横向宽度约163.4 m,且同时将用地切分为5块。上述4条线路均主要承担为机场服务的功能,且贯通时间基本一致,建设时序基本相同。这就为线位与走廊整合提供了契机。

京雄城际设计车速为350 km/h,根据《铁路安全

管理条例》，线路运行限界两侧 15 m 范围不可有永久结构物侵入，故无法与其他 3 条线路严密整合，仅可放入同一走廊带内布置。剩余 3 条线路设计标准相差不大，可考虑共线位设计。

从功能上来看：高速路主要服务于中心城区与新机场的快速沟通，沿线通过互通立交对地方进行服务；轨道线也主要服务于中心城区与新机场的快速沟通，研究范围内无站点；团河路为集散型一级公路，主要服务沿线区域内部出行及对外联系。

根据相关研究成果，交通线路的路基段对城市的割裂作用十分明显，不利于区域的联通发展^[2]。远期，伴随大兴新城的南延、南中轴文化带的推进及临空经济区的发展，大兴南部区域要进行整体提升。为根本消除区域割裂，设计将高速路和轨道线置于二层以上位置，团河路为地方服务道路，因此置于地面层。

对于高速路与轨道线的层间关系，经初筛后主要对下列 3 种方案进行比选：一是高速路上－轨道线下；二是高速路轨道线平层－轨道线居中；三是高速路轨道线平层－轨道线外侧。上述方案中，京雄城际均置于最西侧，方案如图 1 所示。

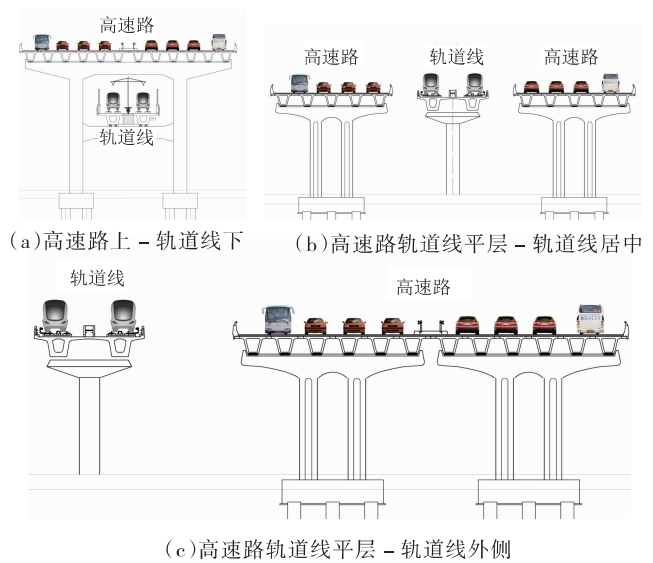


图 1 断面比选方案

具体分析比选结果见表 1。

高速路上－轨道线下设计方案：征地范围最小，节约征地面积约 12%（可节约 5.3～5.7 hm² 土地）；沿线立交布置灵活；与周边建筑间距拉大；工程投资相对较少；仅路轨上下层共构布置，立交布置匝道将增加展线长度，局部须增加占地范围。综上，选用高速路上－轨道线下设计方案。由于桥下存在地下管廊，桥下空间范围有大量管廊附属设施，因此最终将地面道路设置于墩柱两侧，三线整合共线后，京雄城

表 1 横断面比选分析表

比选项目	高速路上－ 轨道线下	高速路轨道线平 层－轨道线居中	高速路轨道线平 层－轨道线外侧
占地宽 /m	38	53.5	58
建筑高 /m	22	10	10
技术指标	指标统一；立交区增加展线长度；受力合理，基础节约	指标统一；立交区适当；受力合理，基础多	指标统一；立交区须绕行一侧，高程受限；受力合理，基础多
工程费 / 亿元	16.40	16.46	16.86
征地面积 /hm ²	38	43.3	43.7
实施难度	同步实施	独立实施有影响	独立实施
运营及应急	界限交叉	相互独立	相互独立

际位于三线西侧，所有线路布置于同一走廊带内（见图 2），总用地宽度仅 81.2 m（常规平铺需 163.4 m），可极大地减少拆迁，释放土地经济效益。

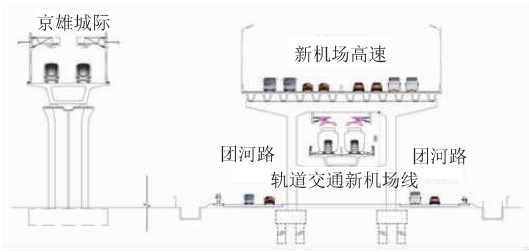


图 2 断面实施方案

3.2 竖向处理

3.2.1 共线起点段

三线设计标准均较高，若在直线段进行线位过渡处理，必然产生很长的 S 形曲线过渡段，对工程投资及结构设计均会带来很大影响，因此采用路线折点过渡为最佳选择。三线由不同位置通过折点形成共线段。距折点北侧仅 510 m 即为该项目重要控制节点京沪铁路走廊，三线上跨京沪铁路后，往北 130 m 处即分孔下穿京沪高铁（见图 3）。此节点三线均位于铁路上方二层，继续往北约 380 m 后，三线就须过渡为三层叠落标准形式，项目受控于技术指标，面临很大挑战。

根据各自建筑限界，高速路与轨道线须满足路轨高程大于 12.3 m，轨道线与团河路须满足路轨高程大于 10.9 m。为形成共线段“团河路地面、轨道线二层、高速路三层”的构型，团河路在上跨京沪铁路后须快速下降，高速路在下穿京沪铁路后须快速爬升。

高速路须在京沪高铁以南 380 m 范围内解决路轨 12.3 m 的高差，条件极为苛刻，故线路在下穿京沪高铁位置满足净空时仍须维持纵坡爬升构型，以减少坡长的浪费。现状京沪高铁轨面高 35.14 m，

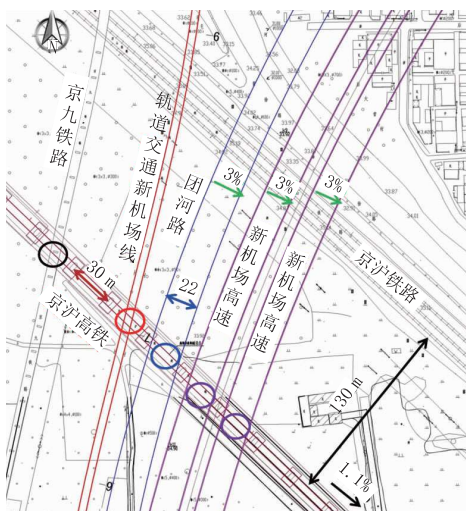


图3 铁路节点交叉示意图

盖梁底高 51.07 m,所需净空 7.96 m,下方所需净空 5 m,高铁桥梁厚 2.5 m,因此可调控竖向空间仅剩约 0.45 m。两条横向铁路线间距仅 130 m,因此爬升坡度必然不满足规范“不宜小于 0.3%”的要求。规范要求爬升坡度“不宜小于 0.3%”,主要是考虑路面排水能否顺畅。此处线位为弯道,线路设置 3%超高横坡,横向排水条件好,因此设计坡度减小至 0.15%,排水问题通过横向排水并加密雨水口解决。下穿京沪高铁后,纵坡增加至 2.8%,可于汇流点保证轨道线下穿净空需求。团河路仅须上跨京沪铁路后快速降坡即可,考虑北京为积雪冰冻区,最终采用了 3.2%纵坡至三线共结构段,以满足路轨间 10.9 m 的净空。团河路须于原地面下挖 1.2 m(最大),排水通过增设一体化泵站解决。图 4 为共线起点纵断示意图。

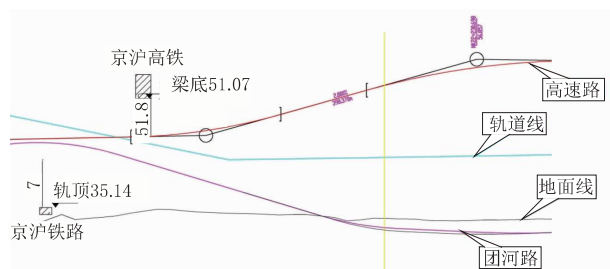


图4 共线起点纵断示意图(单位:m)

3.2.2 共线标准段

三线形成叠落结构后,将采用同一设计线向南共同布设 7.9 km 再分离。三线设计速度与标准均不相同。根据上文所述路轨之间最小净距要求,当底层团河路贴合地面线进行布设时,最上层高速路路面高程最小也需要 23.2 m。为减小建筑高度以降低投资和施工难度,该项目采用三线统一一坡长、坡度、竖曲线及变坡点位置的方式,在满足净空的前提下力求达到最小结构高度。下面对三线相关设计标准进

行梳理(见表 2)。

表2 三线竖向指标梳理

线路名称	坡度 /%	坡长 /m	最小凹曲线半径 /m	最小凸曲线半径 /m	最小竖曲线长度 /m
高速路	>0.3	>300	6 000	17 000	250
轨道线	<0.15	>远期列车长	10 000	10 000	—
团河路	>0.3	>150	1 500	2 000	120

高速路和轨道线为过境性线路,且均位于高架层,对地面干扰小。为保证三线竖向的一致性,同时降低结构设计难度,设计将两线标准统一,并采用两线指标中的大值进行控制。团河路服务于地方,受地形地物控制较大,设计时主要以控制物为基准,满足对应规范指标即可,无控制物时则与其他两线指标保持一致。表 3 为三线竖向指标标准。

表3 三线竖向指标标准

坡度 /%	坡长 /m	最小凹曲线半径 /m	最小凸曲线半径 /m	最小竖曲线长度 /m	变坡点
0.15	300	10 000 (16 000)	17 000 (45 000)	250	同位置

注:括号内为互通立交范围内标准值。

标准统一后,仅纵坡方面对道路排水可能产生不利影响。该项目道路横向坡度为 2%,设计合成坡度大于 0.5%,路面水亦可畅通排除。同时,在高速路两侧对雨水口进行加密,在团河路以同等规模加密路侧雨水口,可消除道路纵坡的影响。

3.3 交通组织

该项目共线段范围内存在两处一般式互通立交。共线段内结构高度较高,且地面层存在地方道路。综合征占地、造价及实施难度等因素,立交型式均采用菱形立交。

魏永路立交位于共线段起点,庞安路立交位于共线段终点。两处立交距地面高度分别约 25 m、31 m。北京市习惯做法为极限纵坡不大于 4%,规范要求收费站范围纵坡在极端条件下不大于 3%,因此魏永路匝道至少要在 800 m 左右,庞安路匝道则至少需要 900 m。受限于共线段结构的复杂性和经济性,立交的分合流点不宜布设于结构转换段。魏永路距结构转换位置约 900 m,庞安路距结构转换位置约 1 km,共线段东侧匝道落地及起坡段与被交路间距仅约 50 m,无法满足团河路路口交织需求。共线段西侧紧邻京雄城际,要求两侧 15 m 范围保护界限内不可存在结构物。为节约占地,共线段与京雄城际间距仅 29 m (15 m 保护间距 + 立交段平行匝道所需最小距离),匝道收费站宽 24.5 m,因此匝道须下穿京雄城际并

绕至其外侧布置,故共线段西侧形成间距约 70 m 的高速路匝道及团河路组合出口。最终路口构型如图 5 所示。

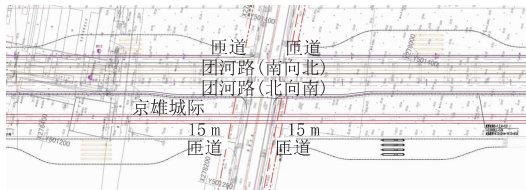


图 5 立交节点地面构型

针对上述路口交织距离短、进出口关系复杂的特点,提出两个方案进行比选。

(1)方案一为全转向方案

方案考虑设置组合灯控路口,为减少车流交织,提前将共线段西侧团河路进出口右转车流外绕至匝道外侧(见图 6)。

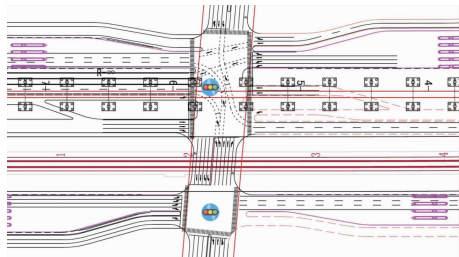


图 6 立交节点交通组织方案一

(2)方案二为部分转向方案

结合交通分析,团河路进出口道高峰小时流量约 1 800 pcu/h,匝道最大的高峰小时流量约 720 pcu/h,故团河路与被交路设置一处全转向灯控路口以满足地面交通转向,上下匝道的直行与左转交通采用远端 200 m 掉头方式,同时将被交路上两个调头路口间的车道拓宽至三上三下(见图 7)。

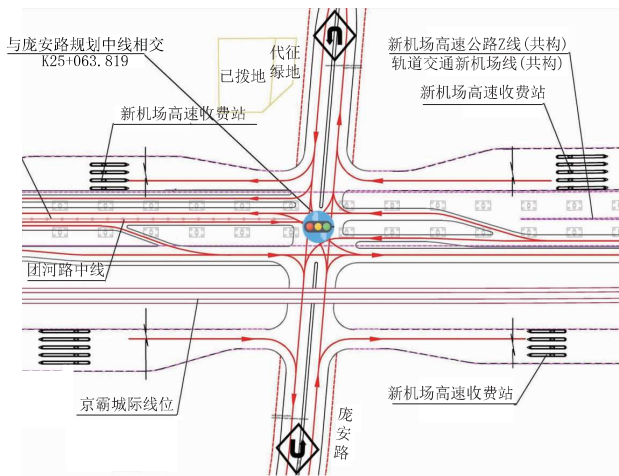


图 7 立交节点交通组织方案二

(3)方案比选

方案一可满足全转向交通,且其设置的右转外

绕方式及两个灯控路口减少了车流交织,但路口的进出口较多,共计 14 处,交通组织极为复杂,交通流流向不清,极易造成误入及恶性交通事故。方案二根据交通量解决主要矛盾,路口交通采用减量处理,交通组织合理,且可解决主要交通需求,但匝道的直行和左转交通进出均须通过路口掉头解决。

综合比较:方案二交通组织简单,可满足大部分交通需求,无安全隐患;方案一采用辅路外绕,须增加征拆工程,且交通组织十分复杂,安全风险大。在方案二中,匝道进出口直行与左转掉头的服务水平可通过拓宽路段车道及控制掉头间距进行完善。最终选择方案二为实施方案。

4 方案综述

(1)平面线位

高速路、轨道线及团河路穿越铁路节点后,通过折点形成共线段,长度约 7.9 km,跨过一级公路庞安路,通过线路折点三线分离,设计指标采用标准较高的轨道线指标。高铁于铁路节点西侧汇入同一走廊带,与共线结构段平行独立敷设,设计指标采用铁路自身标准。

(2)纵断面

共线段范围内,高架高速路与轨道线标准取两线中指标较高者为设计值。地面道路受限于地形地物影响:在有控制物时,考虑控制因素,设计指标满足地面道路指标即可;无控制物时,与高架线路指标保持一致。

(3)横断面

采用三层结构;高速路及轨道线为区域服务线路,地面沟通较少,置于上层;地面道路以服务地方为主,置于下层。由于共线段正下方为管廊及其附属设施,故地面道路置于墩柱两侧。同走廊带内存在高铁线路影响,断面布置应同步考虑横向安全距离,满足在最不利条件时(存在立交匝道),共线段结构不进入铁路安全保护限界。

(4)立体交叉

一般互通式立交考虑减少工程规模及征占地时,优先选择菱形立交。该项目中,受限于西侧高铁保护范围,为减少土地占用,出口匝道在满足出口车速轨迹要求的前提下采用平行式出口匝道。地面被交路口进出口过多且交通组织复杂时,可考虑“减法组织”理念,满足主要需求,次要需求通过工程手段予以补充。

(下转第 17 页)

绕轨道站点和对外枢纽的公交网络。

2.4 建设步行和自行车友好城市,补齐民生短板

在中产化和老龄化背景下,构建一个全民友好的交通系统尤为重要^[8]。在人口结构发生改变、收入水平不断提高和消费观念发生变化的社会背景下,交通发展目标应由满足经济发展的需要,逐步趋向服务于人的美好生活^[8]。依据综合交通调查数据,兰州市2017年全方式平均出行时耗为30 min,平均出行距离为4.5 km。在相对不长的出行距离下,步行和自行车的出行比例合计接近50%,优势突出。因此,依托社区生活圈的建设,大力改善步行和自行车交通环境,是兰州近期交通发展的重要任务,其中自行车出行环境的改善是当前重点。

3 结 语

随着我国城市化进程的加快,城市交通发展逐渐演变为经济发展的重要支撑,成为城市居民美好生活的重要基础和先决条件。在城市经济社会发展的作用下,日渐复杂的城市交通问题要求城市交通发展战略必须适应和服务于城市总体发展战略^[9]。兰州市独特的地理环境形成了天然的交通瓶颈,制约了市域道路网络的布局,导致城市交通与空间组织

极不协调,中心城区交通拥堵呈现出常态化趋势。本文结合兰州市经济社会发展及交通现状,提出了城市交通发展策略,以保证兰州市城市交通的发展在未来能继续带动城市经济的腾飞,同时给城市居民提供一个良好的交通环境,使交通真正成为兰州市发展的“先行官”。

参考文献:

[1] 徐蓓.兰州市城市交通问题的研究[J].现代企业教育,2011(12):159-160.
[2] 宋钢.兰州市城市交通发展战略研究[J].城市道桥与防洪,2011(9):4-7.
[3] 邓洪波.虹桥综合交通枢纽地区产业结构与产业空间的演化研究[D].芜湖:安徽师范大学,2018.
[4] 陆化普.《城市群交通一体化——理论研究与案例分析》解读[J].城市交通,2020,18(3):133-134.
[5] 申康.都市圈综合交通发展战略规划研究[D].西安:长安大学,2011.
[6] 杨宇星.快速公交系统新时期发展思考[J].交通与运输,2019,32(S1):186-191.
[7] 刘李红.轨道通勤系统对特大城市职住时空平衡的影响研究[D].北京:北京交通大学,2019.
[8] 张昱,刘学敏,张红.城市慢行交通发展的困境与思路[J].城市发展研究,2014,21(6):113-116.
[9] 汪光焘,王婷.贯彻《交通强国建设纲要》,推进城市交通高质量发展[J].城市规划,2020,44(3):31-42.

~~~~~  
(上接第5页)

(5)桥跨设计

考虑远期地面道路下穿,标准段跨径与西侧高铁线跨径对孔布置,采用32.7 m。桥墩为双柱H型直线墩,上方支撑上盖梁,搁置高速路。高速路主梁采用混凝土简支小箱梁,桥墩立柱中间设下横梁作为轨道梁体承重,亦兼作整个框架结构的横向联系。

5 结 语

随着综合交通体系服务半径的不断扩大以及城镇间和城市间的联系日益加强,公路、市政道路、轨道线、高铁线的交织和融合也会更加频繁,甚至成为

常态,同时城市化、城镇化规模的扩大也使土地资源日趋紧张。本文对北京大兴国际机场高速公路7.9 km公轨共线段范围内几条相关线路进行了统筹考虑和整合研究,并对区段内的断面选择、竖向处理、交通组织等重难点进行了分析论述,希望为日后推动多线路协同设计、优化设计、集约设计提供借鉴。

参考文献:

[1] 袁蕾.北京新机场高速公路前期概念设计研究[J].市政技术,2016(3):61-64.  
[2] 王涛.地面快速路阻隔交通研究[C]//2012中国城市规划年会论文集.昆明:中国城市规划学会,昆明市人民政府,2012.