

山地城市道路交通规划设计关键影响因素研究

——以重庆主城立体交通体系为例

张发才, 张鑫

(中机中联工程有限公司, 重庆市 400039)

摘要: 以重庆主城立体交通体系为研究对象, 系统探讨山地城市道路交通规划设计的关键影响因素。首先阐述山地城市的基本概念与城市结构, 分析其独特的道路交通特征, 包括路网体系、路网密度、道路运行及交通管理4个方面。通过道路网密度、道路面积率等多项道路物理属性评价指标的分析, 揭示山地城市在路网建设与运行效率中的先天不足和短板。针对山地的地形高差、山水湖泊带来的道路挑战, 结合多年工作的实例, 深入研究道路网规划设计在“独立成网、路网分隔、路网连通度、地块开口、左进左出”等方面的应对策略与措施, 研究成果可为同类城市交通规划设计提供理论参考与实践借鉴。

关键词: 山地城市; 道路规划设计; 路网结构; 评价指标; 重庆主城

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)09-0106-10

Research on Key Influencing Factors of Road Traffic Planning and Design in Mountainous Cities

ZHANG Facai, ZHANG Xin

(CMCU Engineering Co., Ltd., Chongqing 400039, China)

Abstract: Taking the three-dimensional transportation system in the main city of Chongqing as the research object, the key influencing factors of road traffic planning and design in mountainous cities are systematically explored. Firstly, the basic concepts and urban structure of mountainous cities are explained and their unique road traffic characteristics are analyzed, including road network system, road network density, road operation, and traffic management. Through the analysis of multiple road physical attribute evaluation indicators such as road network density and road area ratio, the inherent deficiencies and shortcomings of mountainous cities in road network construction and operational efficiency are revealed. In response to the challenges posed by the terrain height difference and the presence of mountains, rivers and lakes in mountainous areas, and based on years of work experience, the strategies and measures are derived for road network planning and design in terms of "independent network formation, road network separation, road network connectivity, plot opening, and left in and left out". The research results can provide theoretical and practical references for similar urban transportation planning and design.

Keywords: mountain city; road planning and design; road network structure; evaluation; downtown area of Chongqing

1 山地城市概述

1.1 基本概念

山地城市是相对于平原城市提出的新概念, 至今没有严格的定义。一般来讲, 山地城市是指主要建设在复杂山地地形环境中, 受复杂地形地貌和坡度坡向制约的城市类型。

山地城市通常位于坡度较大(普遍大于 10° ~

15°)的丘陵、山脉或高原地区, 地形起伏剧烈, 平坦用地稀缺, 导致城市空间呈现立体化、分散组团式布局, 建筑与交通设施需依山就势设计, 如台地建筑、盘山道路、山城步道、缆车系统等。其发展受到地质灾害风险、生态敏感性和工程成本等特殊挑战, 经济功能常与山地资源(如旅游、矿产、林业)紧密关联, 国内外典型代表包括重庆、贵阳、瑞士因特拉肯等。

1.2 城市结构

山地城市受地形条件限制, 城市用地被山脉、江河所分割, 高差起伏较大, 而当前随着桥梁、隧道技术的发展, 道路交通的规划建设又可以影响用地的选择和布局, 城市快速路和主干路往往不受地形制

收稿日期: 2025-06-14

作者简介: 张发才(1978—), 男, 硕士, 正高级工程师, 从事交通规划设计工作。

约,通过穿山架桥形成独特的路网结构,与平原城市集中式的布局模式有着明显区别。总体而言,根据地形适应性和空间布局特点,山地城市空间结构主要分为以下几类:组团式结构、带状结构、台地式结构、星形结构等。

重庆市中心城区位于川东平行岭谷区,主城九区四山三槽夹两江的天然地形地貌分隔格局,使得重庆中心城区的空间结构是“自然分割-组团聚合-立体链接”的典型(见图1),因此城市空间结构呈现出典型的“多中心、组团式、立体网络”形态,是中国山地城市空间结构的代表性案例。

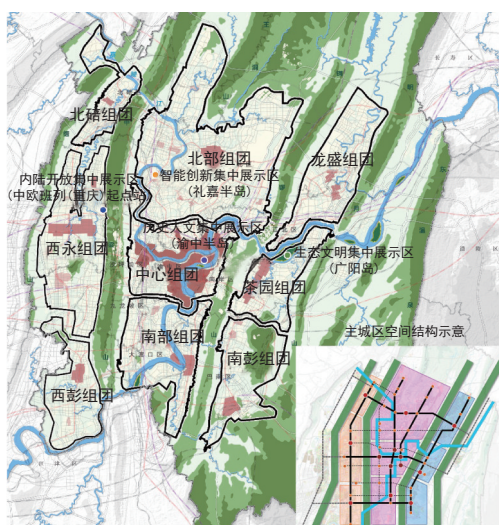


图1 重庆市主城区城市空间结构图

2 道路交通特征

山地城市由于地形复杂、高差显著、用地破碎等自然条件限制,其道路交通系统呈现出与平原城市截然不同的特征。

2.1 路网结构

城市道路网主要有方格网式、环形放射式、自由式和混合式4种,一个城市具体采用哪种形式取决于历史发展、地形条件、功能需求等因素。现代城市常采用混合式路网,以适应多样化的交通需求,山地城市更是如此。

对山地城市而言,其城市道路网发展可划分为3个阶段:一是初期阶段,二是扩张阶段,三是生态阶段。

(1)初期阶段,也就是机动化发展的早期阶段,汽车进入城市居民生活,主要满足公共运输需求,私家车还未进入家庭生活阶段,这时候工程建设水平还不是很高,因此,山地城市的道路还是依山就势,道路选线基本按照等高线布置设计,道路网络呈自

由式布局结构;

(2)扩张阶段,也就是机动化快速发展阶段,私家车已经进入百姓家庭,城镇化水平在迅速提高,城市规模在不断向外扩张;同时基建力量和技术水平也在大幅提升和进步。因此,道路选线就不再受地形地貌、江河湖泊的限制和约束,大开挖、高填方、穿山隧道、跨江桥梁、江底隧道等大型桥隧工程不断出现,城市干线道路网络根据城市扩张和用地开发需求来布局,呈现出混合式结构,这个阶段的城市骨架路网形态基本确定;

(3)生态阶段,城镇化水平发展的后期,随着国家提出“生态优化、绿色发展”、“共抓大保护、不搞大开发”的理念,道路规划建设又进入了“减少大规模挖填”,采用“低干预设计”的措施对策阶段。因此,山地城市道路网络又进入了另一个混合式结构的阶段,即不断更新完善的阶段,但这一阶段对骨架路网结构不会有大的改动或调整。

渝中半岛是重庆的母城和核心区,位于长江与嘉陵江交汇处,三面环水,形如“舌头”,是狭长半岛形陆地;整体地势沿山脊中间高,由西向东和由南北向两江,地形是逐级降低,是典型的山地半岛城市。单从渝中半岛来看,路网是呈“自由式”布局,随着重庆城市规模的扩大,突破了两江和四山的限制,山水两侧间的联系,通过穿隧架桥的干线路网来实现;局部区域的次支道路,采用依山就势,路网呈“自由式”形态。

因此,就重庆中心城区路网结构体系而言,也是随城市规模扩大而不断优化调整的。如图2所示,2014版重庆城乡总体规划深化,路网总体结构“片区网格自由式”道路网系统,“六横七纵多联络”的快速路网体系;2019版重庆市国土空间规划,构建“两环十六射八横七纵多联络”的高、快速路系统。

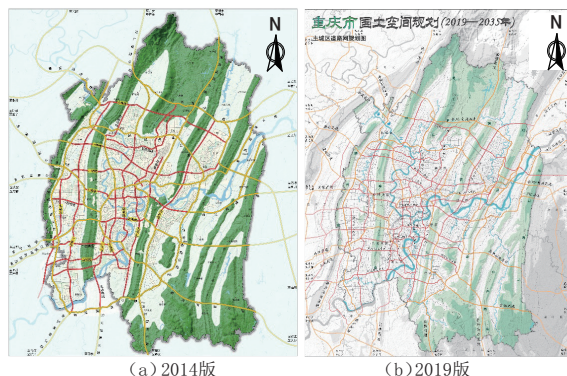


图2 2014与2019版重庆主城区路网规划图

2.2 路网密度

山地城市道路网络,受地形地貌限制和江河湖

泊的分隔,其规划建设的难度和投资成本大很多,因此与平原城市比起来,普遍存在路网密度偏低的问题,难以达到《城市综合交通体系规划标准》中推荐的 8 km/km^2 。据《中国主要城市道路网密度与运行状态监测报告(2024年度)》,截至2023年第四季度,全国36个主要城市(含直辖市4个、省会城市27个、计划单列市5个)平均道路网密度为 6.5 km/km^2 ,而其中9个典型山地城市的路网密度均值只有 6.1 km/km^2 (见表1)。

表1 典型山地城市路网密度表

城市名称	路网密度/($\text{km}\cdot\text{km}^{-2}$)
重庆	7.6
贵阳	6.5
昆明	6.9
兰州	4.5
南宁	7.8
太原	6.1
西宁	5.8
拉萨	4.1
青岛	5.7
平均值	6.1

山地城市在路网密度较低的情况下,会表现出以下几个特征。

2.2.1 等级结构失衡

根据《城市综合交通体系规划标准》(GB/T 51328—2018),合理的路网级配结构应呈现“金字塔”形,从快速路到支路的里程是逐级增加的。山地城市除了路网密度偏低,达不到规范要求外,还有一个重要特征就是次支道路严重不足,导致路网等级结构失衡。主要原因如下:

(1)受地形限制、江河分隔等,支路无法按平原城市网格化布局,规划上不能保证达标;

(2)山地城市支路难以自成体系、自成系统,从单条路来看发挥作用有限,得不到应有的重视;

(3)建设理念是优先建设贯通性干路系统,效果明显,而次支道路的建成效应不明显,决策者不积极主动;

(4)支路建设可能涉及穿山、拆迁,专项资金无法保障等原因,导致支路建设困难。

2.2.2 路网呈非均分布

道路一般集中在的开阔平坦区域,路网密度可能接近平原城市,而陡坡区域道路极少,起着不同台地间的连通作用,这部分道路无地块服务功能。因此,不能用规范中的干路间距和交叉口间距来评价

山地城市的道路网部分指标。

重庆市中心城区的渝中半岛,是典型的山地城市代表,其路网呈非均分布的特性非常明显,最顶端解放碑区域用地相对比较平坦,路网密度是最高的,与平原城市相当。东西向路网沿着不同等高线,且路网间距和交叉口间距没有规律可言。

2.2.3 线性走廊特征明显

在山地城市中,干线道路选线一般优先沿河谷或山脊、等高线形成,呈带状走廊,道路平行延伸;在这个发展阶段,城市是沿着道路带状发展起来的,因此交通也主要集中在这条线性走廊上;纵向道路间由于高差原因,一般缺乏横向连接。

2.2.4 路网非直线系数高

山地城市的两点间直线距离短,但实际路径需绕山或跨河,非直线系数(实际距离/直线距离)普遍 >1.5 (平原城市通常 ≤ 1.2)。

截至2023年底,重庆市中心城区路网密度为 7.6 km/km^2 ,其中,快速路网密度为0.68,主干路网密度为1.50,次干路网密度为2.03,支路网密度为3.38。由此可以看出,次支路网密度偏低,加上次支道路系统性不足,导致道路交通微循环不畅,加大了干路交通的压力。总体上,相较平面城市,山地城市的路网密度都偏低,即使达到了规范值,但次支道路的密度一般都还是达不到规范要求。

2.3 道路运行

根据《城市综合交通体系规划标准》(GB/T 51328—2018),干线道路和次支道路承担全网机动化交通周转量(车 $\cdot\text{km}$)应有的合理比值(见表2),带形城市取高值,组团城市取低值。

表2 干线道路的规模及承担的机动化交通周转量比例

规划人口规模/万人	≤ 50	50 ~ 100	100 ~ 300	≥ 300
周转量(车 $\cdot\text{km}$)	45 ~ 55	50 ~ 70	60 ~ 75	70 ~ 80
干线道路里程比例	10 ~ 20	10 ~ 20	15 ~ 20	15 ~ 25

从表2中数据可以看出,随着城市人口规模的增大,干线道路里程比例和承担的周转量都在大幅提升。而对山地城市而言,这两个指标都很难达到,对次支道路为什么达不到规范要求,后面会有分析阐述。正是由于山地城市次支道路里程比例不足,受地形条件制约,其结构性和系统性不强,难以承担中长距离的交通需求,因此承担的交通周转量都偏低。

据重庆市交通综合信息平台监测,现状机动化出行中,次支道路承担约15%的交通周转量。根据前文标准,重庆中心城区是多中心组团式超大城市,

次支道路应承担约30%的周转量,目前严重偏低,与上面所述中心城区次支道路密度不足,系统性不强等结论是一致的。

《2023 重庆市中心城区交通发展年度报告》显示,2023年快速路的高峰小时平均车速为30.4 km/h,主干路为22.7 km/h,次干路为20.1 km/h。中心城区路网拥堵总体集中在内环以内区域,交通性干路、过江桥梁、穿山隧道是拥堵集中分布区域(见图3)。同时进出主要商圈、网红旅游景点、内环以北区域等周边道路拥堵严重。

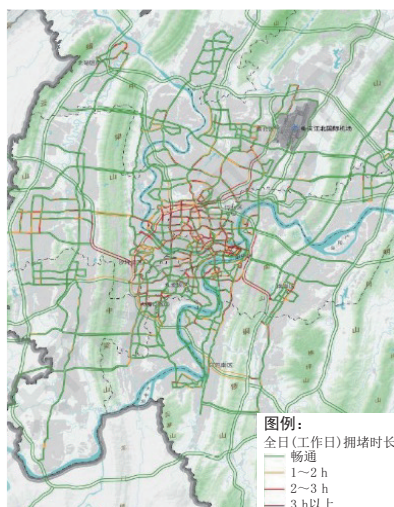


图3 重庆中心城区干路网全日拥堵时长分布

2.4 交通管理

山地城市的道路与平面城市相比,其路网有较大的差异性,如道路坡度大、道路狭窄(车道数少)、路口间距不均、畸形节点多、桥隧多、通道唯一等,所以整体上交通管理难度大、技术要求高,交通运行有许多山城独有的特点,主要表现在以下6个方面:

(1)针对坡陡弯急路段,采用限速、防滑或限货策略,确保人和车的交通安全;

(2)针对道路狭窄,车道数少而交通需求量大的情形,一般可采用单循环交通组织模式,减少车辆拥堵和提升道路运行效率;

(3)针对干道路路口间距不均情况,需要采用多车道汇入控制、智能管控(AI信号灯)技术,有效提升运行效率;

(4)针对畸形节点或交通量大的平交路口,可采用全天禁行或高峰时段限行某一方向,或设置可变车道方式来提高路口运转效率,防止单一节点成为片区拥堵点;

(5)针对通道唯一和桥隧多的路段,采用定向车道交通组织模式和高峰时段交巡警现场出警值守方

式,减少车辆变道和提升交通安全,从而确保通道的畅通;

(6)针对山地城市桥隧拥堵、干道拥堵和机动车保有量持续高增长情形,采用中心城区高峰时段桥隧错峰通行的政策,从而缓解早晚高峰跨区域出行拥堵情形。

3 道路评价指标

城市道路网评价指标一般指道路网的物理属性和交通功能,是衡量城市道路系统规划、设计、运营水平的重要依据。主要指标有:道路网密度、道路面积率、人均道路面积、路网连接度、干道网间距等。

3.1 道路网密度

定义:城市建成区或规划用地内,道路中心线总长度与用地面积的比值,单位为 km/km^2 。

作用:衡量道路网的发达程度和可达性,密度过高可能增加交叉口冲突,过低则影响交通效率。

规范要求:(1)《城市综合交通体系规划标准》(GB/T 51328—2018)中要求中心城区内道路系统的密度不宜小于 $8 \text{ km}/\text{km}^2$;(2)《山地城市道路交通规划与路线设计标准》(T/CECA 20053—2024)中要求城市集中建设区道路网密度不宜小于 $8 \text{ km}/\text{km}^2$,城市不同功能地区的道路密度,应结合用地布局和开发强度综合确定。居住区和服务型工业区、物流园区道路密度不宜小于 $8 \text{ km}/\text{km}^2$,商业区与就业集中的中心区道路密度宜为 $10 \sim 20 \text{ km}/\text{km}^2$,一般工业区、物流园区道路密度不宜小于 $4 \text{ km}/\text{km}^2$ 。

3.2 道路面积率

道路面积率的定义为城市道路用地面积占城市建设用地面积的比例,单位为%。

道路面积率的作用是反映城市道路空间资源的利用程度,与城市规模、交通需求匹配度相关。

规范要求:《城市综合交通体系规划标准》(GB/T 51328—2018)和《山地城市道路交通规划与路线设计标准》(T/CECA 20053—2024)中要求道路与交通设施用地面积应占城市规划建设用地面积的15%~25%。此处交通设施包含城市轨道交通、公共交通设施、交通枢纽站场、交通管理与服务设施等用地。

3.3 人均道路面积

定义:城市道路用地总面积与城市人口的比值,单位为 $\text{m}^2/\text{人}$ 。

作用:衡量居民平均可使用的道路资源,体现交通公平性和舒适性。

规范要求:《城市综合交通体系规划标准》(GB/T 51328—2018)和《山地城市道路规划与路线设计标准》(T/CECA 20053—2024)中要求人均道路与交通设施用地面积不小于 $12\text{ m}^2/\text{人}$ 。

3.4 路网连通度

定义:城市道路网络中实际连通的路段数与可能连通的路段数的比值,无量纲。

作用:评估道路网的连通效率和结构合理性,反映路网应对拥堵或事故的冗余能力。

说明:路网连通度与路网连接度是两个不同的概念,路网连通度是道路建成运行指标,衡量路网中节点之间连通的便捷性和可达性,反映路网的整体贯通程度。路网连接度是道路物理属性指标,衡量路网的成熟程度,反映路网成网性和可靠性。一般来讲,路网连通度是小于路网连接度数值的,通常用路网连接度指数来代替路网连通度数值。

规范要求:《山地城市道路规划与路线设计标准》(T/CECA 20053—2024)中要求路网连接度指数宜采用 $3.2\sim 4.0$ 。

3.5 干线网间距

定义:城市道路网络中干线道路(快速路和主干路)之间的平均空间距离,单位为 m 。

作用:衡量城市骨干路网空间布局的核心指标,直接影响长距离交通效率、城市空间结构及土地开发模式。

规范要求:《城市综合交通体系规划标准》(GB/T 51328—2018)中要求城市建设用地内部的城市干线道路的间距不宜超过 1.5 km 。

道路网物理属性评价指标还有等级比重、接入位阶差、非直线系数、交叉口间距等。山地城市受地形地貌、山水分隔影响,导致建设用地分散且局限,道路网规划布线时要遵循依山就势的特点。因此,道路评价指标应选取更能体现山地城市本底特征,弱化不符合山地城市特性的指标,比如山地城市路网要强调通达的概念,不能用非直线系数来评价,所以增加了路网连通度这一指标;此外,强调了城市不同功能地区的道路密度,应结合用地布局 and 开发强度综合确定,不能统一为不小于 $8\text{ km}/\text{km}^2$ 这一数值。

4 路网关键影响因素研究

道路网是城市最重要的交通基础设施之一,是城市形态与功能分布的骨架,也是交通运行的基础和载体。道路网的规划设计合不合理,将影响到后

期的交通运行和管理。下面结合山地城市道路交通基本特征,从“独立成网、干线阻隔、铁路分隔、立交分隔、路网连通度、地块开口、左进左出”七方面入手,对常见道路网规划设计关键因素进行分析研究,提出应对策略和措施。

4.1 独立成网

在城市道路网规划设计中,除了强调干线道路网的相互衔接外,也应重视次、支道路网的连通性和系统性。通过合理规划次、支道路的走向、密度和交叉口布局,实现区域内交通的“自成体系”,避免次、支道路过度依赖主干路,形成独立的“微循环系统”,提高区域内部交通效率,是优化城市交通结构、提升道路使用效率的关键措施和策略。

《重庆市城市规划管理技术规定(修订稿)》中要求,道路规划应当提高路网连通性,形成纵横成网,结构清晰的完整路网体系,次、支道路应当自成体系,跨区次、支道路应当加强衔接,保持次支路网连通性和系统性。

交叉口位阶差,是指路网中相连接的两条道路之间的位阶值的差值。它反映了相交道路的功能匹配程度,是检验交叉口结构合理性的重要指标之一。位阶差小(≤ 2)表示相交道路功能匹配较好,位阶差大(≥ 3)则表示相交道路功能不匹配,交通流量和运行速度差异大。《重庆市城市规划管理技术规定(修订稿)》中要求,快速路与主干路相交处应当设置立交,严格控制快速路出入口间距,快速路与次干路、支路等宜采用分离式相交方式,支路不得直接接入快速路。以上规定要求本质上是交叉口位阶差理论,强调次支道路不宜直接与快速路相接,要独立成网。

两江协同创新区道路网专项规划,项目提出的规划思想为分层分级、邻级相连、独立成网、人车分离。

(1)高-快-主系统(见图4):1高1快5主干,独立成网,区域路网的主骨架,承担长距离交通快速通过及快速对外的功能;

(2)次干路(见图5(a)):3横3纵,独立成网,片区间的联络性干道,以集散交通功能为主,兼有服务性功能;

(3)支路(见图5(a)):次干路和街坊路、公园路之间的连接线,服务功能为主;

(4)公园路(见图5(b)):1环、5横、4纵、 $11+N$,独立成网,路网等级的最末端,承担地块的到达性交通。

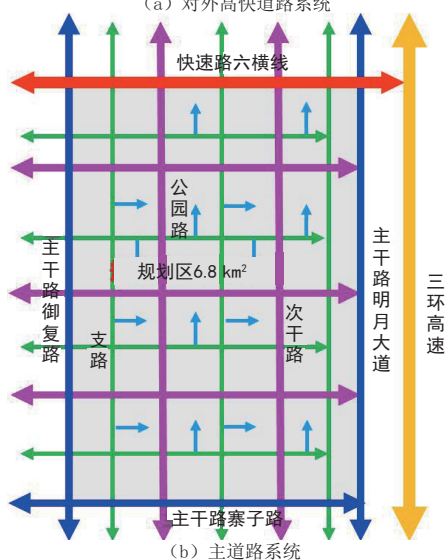


图4 协同创新区对外高快主道路系统规划图

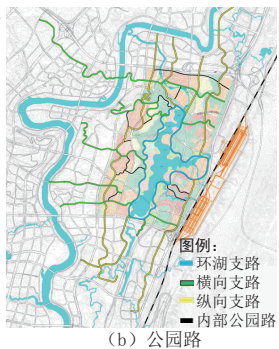
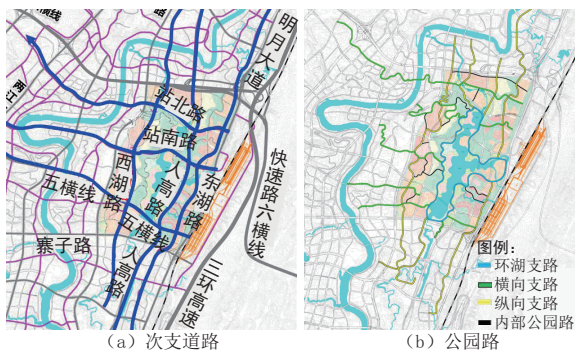


图5 协同创新区次、支道路以及公园路系统规划图

4.2 干线阻隔

山地城市地形复杂,干线道路两侧路网连通受阻。形成原因有:一是干线道路一般是最优先选线建设,沿平地布设,而两侧地块存在高差,连通的工程难度大,建设成本高;二是干线道路等级高,优选满足以通过性快速交通为主,两侧路网只有较高等级道路才能相衔接;三是干道与周边路网分阶段建设,缺乏系统性整合,或受产权、用地性质限制,后期建设存在较大困难,导致连通性差。在干线道路两

侧,应根据交通需求、路网间距等要求,连通两侧的次、支道路系统。

重庆市观音桥片区路网专项规划,观音桥商圈是西部第一大街,是重庆五大商圈之一,也是重庆市江北区的商业中心。当时商圈道路交通问题之一是建新南路、建新北路、建新东路、建新西路以及观音桥环道在路网中承担有过境交通功能,对路网有较大的分隔作用,使商圈几个象限间的联系极为不便,需要绕行较大距离(见图6(a))。

针对“十字干道”对路网分隔较为严重的问题,规划时提出“重建路网结构,分离过境通道”的思路,大胆地规划提出了4条大道(见图6(b)),即东大道、西大道、北大道和南大道,突破了路网结构的限制,形成了十字干道的平行分流通道,同时几个片区也能便捷联系。

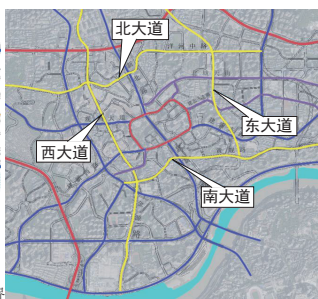
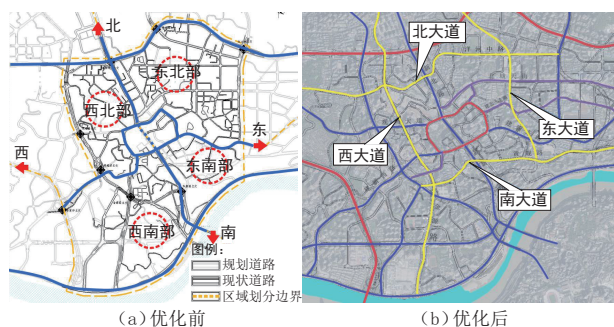


图6 观音桥片区路网优化前后对比图

4.3 铁路分割

铁路线路是国家重大的交通基础设施,其运营安全至关重要,因此在城市中的其他市政设施与其有交叉关系时,需要符合和满足相关规范要求。本文不考虑城市道路与铁路平面交叉这种形式,仅考虑立体交叉。

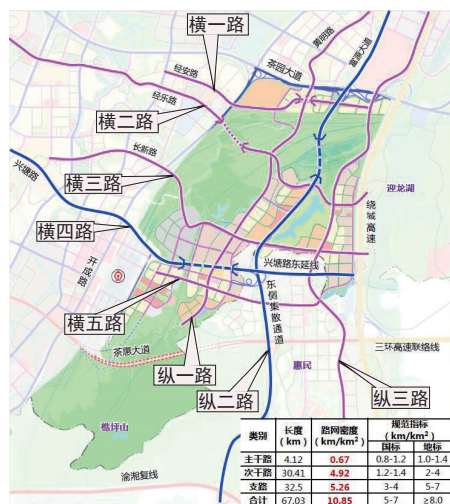
《城市道路交叉口规划规范》(GB 50647—2011)中要求,道路与铁路交叉道口的交叉形式选择,应根据道路和铁路的性质、等级、设计行车速度、交通量和安全要求、地形条件,以及经济效益等因素综合确定,应选用立体交叉。

《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012)(2016年版)中要求,道路与轨道交通线路交叉可分为平面交叉和立体交叉。交叉形式应根据道路与轨道交通线路的性质、等级、交通量、地形条件、安全要求等因素综合确定,应优先采用立体交叉。

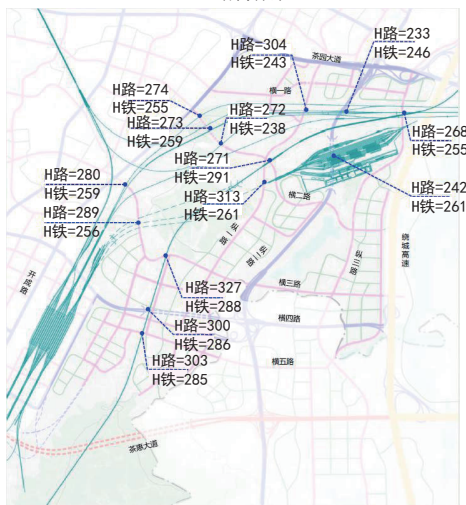
重庆市经开区拓展区道路交通规划,拓展区位于主城东部槽谷,长江之南,南岸区内东南部,紧邻巴南惠民,将建设“三生四宜”品质城、“产城景”融合

城示范区。规划范围内地形起伏大、山体禁建区、东站及相关铁路设施对用地分割严重。

基于片区用地服务及对外道路的互联互通,突破地形条件和铁路设施的分割,道路选线依山就势,同时综合考虑与铁路、相交道路的纵向衔接关系等,构建了传统“方格网”形“五横三纵”骨架路网(见图7),且路网密度达到了 10.85 km/km^2 。



(a) 结构体系



(b) 与铁路关系

图7 路网结构体系和与铁路关系图

在与铁路关系处理上,通过采用上跨、下穿形式,实现所有道路与铁路在空间上分离,保障铁路运行安全。铁路集中布设于拓展区内北部以及中部区域,与铁路相交干道共7条,其中北部以下穿分离为主,中部以上跨分离为主。方案编制过程中,保持了与业主、主管部门、中铁二院、其他相关单位的沟通对接,确保最后方案纳入规划管理和后期实施。

根据此项目总结经验可得,一是路网受铁路线路分割,根据用地需求,尽可能连通次干路以上的道路,突破铁路分割;二是及时与主管部门、铁路设计单位沟通对接,确保路网规划设计方案的可行;三是

道路与铁路线路交叉的关系处理,要参照国家相关规划设计规范。

4.4 立交分割

立交一般都是由两条重要干道相交形成,而干道对两侧的低等级次支道路起着阻隔作用,所以立交四个象限地块间的连通就非常困难,对山地城市而言一般需要绕行很长的通行距离。随着立交四周土地的开发成熟和交通需求越来越大,他们之间的便捷联系问题就非常突出。

《重庆市城市规划管理技术规定(修订稿)》中要求,道路立交周边,其他道路应当采用上跨或者下穿的方式保持连通。因此,在路网规划设计中,立交周边道路要通过次支路网优化来实现互联互通,弥补立交对路网的分隔作用。

(1) 案例分析1

重庆市北环立交,连接重庆市内环快速公路和三纵线快速路(渝武高速、余松路),这座立交以及衔接的四个方向的快速路及主干道对周边用地分隔严重,其联通绕行距离较长。于是,在北环立交桥下利用桥下空间新增跨越通道,连通银杉路、青竹东路及黄杨路,实现了立交第一、二、四象限用地的便捷联通(见图8(a))。

(2) 案例分析2

重庆黄桷湾立交,是重庆主城最大最复杂的立交之一,也是连接朝天门大桥、慈母山隧道、内环快速两个方向、机场专用快速路五个方向相交的重要节点。但立交对周边用地分隔严重,提出了要加强快速路两侧间的交通联系,突破快速路的分隔作用。于是立交优化改造时,提出了腾滨路延伸和学苑路延伸两个工程项目,其作用分别是突破了机场专用快速路(渝航大道)和内环快速路的分隔作用(见图8(b))。

4.5 路网连通度

根据文献[6]中的研究结论:城市道路网的连通度与城市整体形态有较强的相关性,平原地区路网主要采用方格网或环形放射式,道路网连通度普遍较高,均值为3.30;而山地城市受地理条件限制,城市往往因被水系或山脉分割,城市道路网的搭建较为困难,道路网连通度普遍较低,表3中列举了9个典型山地城市的路网连通度,均值为3.25。

沙坪坝区西永C分区道路交通规划调整,原控规路网的问题(见图9(a)):一是规划区内道路网密度较低,仅有 4.76 km/km^2 ,没有达到规范要求;二是规划区内T字形路口较多,路网连通度较低2.94。通



(a) 北环立交



(b) 黄桷湾立交

图8 北环立交和黄桷湾立交路网连接示意图

表3 典型山地城市的路网连通度

城市名称	路网连通度
重庆	3.24
贵阳	3.21
昆明	3.28
兰州	3.22
南宁	3.26
太原	3.23
西宁	3.22
拉萨	3.27
青岛	3.31
平均值	3.25

过优化后(见图9(b)),路网密度达到了要求,T形路口减少,连通度提高了15%,达到3.38。

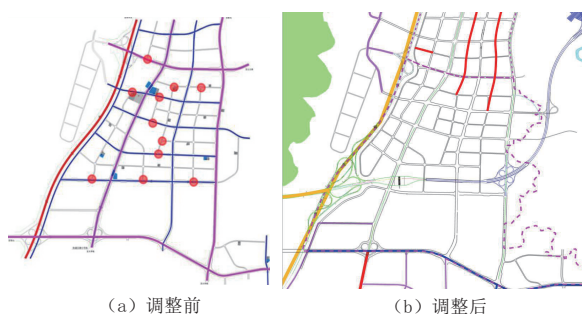


图9 西永C分区道路网调整前后对比图

4.6 地块开口

地块开口是指为满足车辆、行人进出或其他交

通需求而设置的与相邻地块连接的开口部分,开口形式有机动车道开口和人行道开口2大类。由于人行道开口对道路影响较小,本文仅讨论机动车道开口。

地块开口是道路为地块提供交通服务的链接口,是道路设施末端最后一道“防线”,因此在城市道路相关规划设计规范中,并没有明确的技术指标,但在城市规划管理技术规定^[3]中,一般对建设项目的车行出入口有比较明确的规定。

《重庆市城市规划管理技术规定(修订稿)》,其中,第七十五条(建设项目车行出入口)新建、改建、扩建建设项目,应当合理组织项目内部车行交通。(1)禁止在快速路、立交匝道上直接开口;不得擅自的主干路上开口,确需开口的,应当专题论证,有条件的,应当通过设置辅道开口,但人行道宽度不得减少;(2)当相邻道路为2条或者2条以上不同等级道路的,应当在较低一级城市道路上设置出入口;(3)道路交叉口路缘石半径的切点向主干路延伸70 m,向次干路延伸50 m,向支路延伸30 m范围内为限制机动车开口路段(见图10);交通、公用、消防等设施用地经批准可以开口。

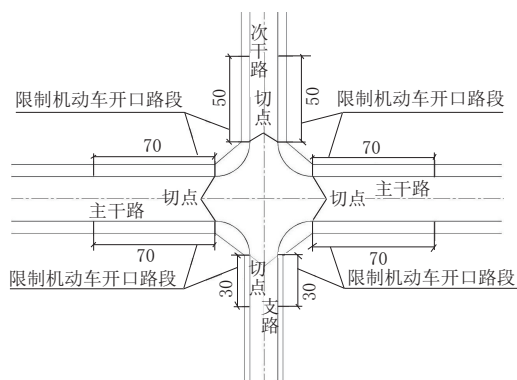


图10 限制机动车开口路段示意图

从重庆对地块开口技术规定来看,开口是有严格限制和规定的;特别是在山地城市,要严格执行这套技术规定标准,可以说行业主管部门和地块开发商两者在执行上难度都相当大。一是,在山地城市,一个地块不一定四面都临路,或都临次干路或支路;二是在道路上开口,还要满足距离交叉口、公交车站、同侧相邻开口等要求。

从技术规定来看,快速路和主干路上开口基本上是不可行的,只有在次干路和支路上选择开口。而前面已经分析,山地城市的路网特征是次支道路不成体系,且路网密度达不到规范标准,地块四周道路中主干路是有可能优于次支路建设的。所以地块开发过程中,业主单位是优先选择在干路上开口的,

这与技术管理规定又是矛盾冲突的。在山地城市,针对这一矛盾,在路网规划设计中,除了结构性的主干路体系外,要优先保证次支道路的路网密度和系统性,从而才能保证后期在地块开发过程中,变相降低地块开口的技术要求。

重庆东站片区路网站前片区呈现“小街区,密路网”道路形态(见图11),道路供给较为丰富,路网横纵向间距为200 m,道路面积占比38.9%,整体路网密度高达10.93 km/km²。如表4所示,主干路网密度为4.44 km/km²,严重偏高;次干路网密度为5.01 km/km²,供给较高;支路网密度较低,为1.31 km/km²。



图11 东站在前片区路网结构体系

表4 片区路网密度统计表

名称	快速路	主干路	次干路	支路	合计
数量/条	1	5	10	7	23
里程/km	0.33	8.62	9.72	2.55	21.22
路网密度/(km·km ⁻²)	0.17	4.44	5.01	1.31	10.93

从路网结构体系和级配来看,地块交通组织较为困难,因为路网密度大,道路间距为200 m,地块四周均临次干路。根据《重庆市城市规划管理技术规定(修订稿)》,首先,交叉口进出口展宽长约25 m+50 m=75 m(渐变段+展宽段);其次,地块开口距离交叉口路缘石半径的切点向次干路延伸50 m;再次,若设置公交车站,公交车站需要占用60 m;最后,地块开口可选择的余地就几乎没有空间了。另一方面,次干路相交的节点,都会考虑设置红绿灯,这些道路间距为200 m,行车连续性必将受到影响。因此,东站在前片区路网的交通组织会非常受限和困难。

通过以上分析,东站在前片区道路面积率和路网密度指标是偏高的,而交通组织反而困难,是因为路网结构不合理造成的,即主干路和次干路比例太

高,而支路严重缺失。需要把主干路和次干路的路网密度分别降至为1.5和2.5左右,这样支路网的密度可达到6.0以上。通过道路结构等级的合理级配,地块周边道路就从原来的次干路等级降为支路等级,地块开口条件就变得相对宽松了,这些支路相交的路口就可以采用无信号控制节点,使片区路网交通组织变得更加科学合理。

4.7 左进左出

左进左出是在道路规划设计中,采用从道路左侧进出的设计,即道路分线、并线设置在道路主线的左侧。由于在分幅式路基断面才有可能设置左进左出接线,且分幅式路基一般应用于地形条件适合的快主道路上,所以本文仅讨论快速路、主干路的左进左出问题。

左进左出的优点:(1)交通线路直接简单,减少通行距离;(2)左侧进出可能更符合自然地理条件,比起右侧进出减少工程建设成本。

左进左出的缺点:(1)与我国靠右行驶习惯相反,左侧进出的交通组织易导致误判或突然变道,增加交通事故风险;(2)需要配套设计一套清晰的诱导系统和安全设施(如提前预告、地面箭头);(3)适用场景有限,分幅式路基段是常用场景,左侧进出设计需保证足够的视距,尤其在弯道或坡道需谨慎使用。

古木峰立交,金山大道主线分幅式上跨桥,与之相交的金开大道,有两个左转匝道从分幅式上跨桥左侧接入,分别形成左进左出接口(见图12)。

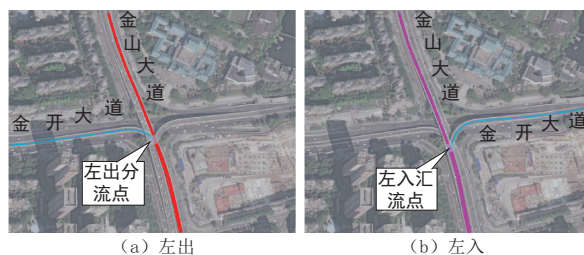


图12 古木峰立交左进左出交通组织节点

如图13所示,针对左出分流,车道数是匹配的,由于左出的位置在桥下,视距和诱导都受限,此处经常都有近距离变道需求,交通隐患较大。



图13 古木峰立交左出交通组织示意图

针对左进合流,车道数由单向4车道缩减为单向3车道(见图14),车道数不匹配,车辆汇合处,经常发生交通擦挂事故;交通管理方案也曾安装交替通行的电子显示屏,在高峰时段,车辆排队通行时能有效避免车辆汇入冲突,但在非高峰时间,交通隐患依然存在没有消除;目前交通管理方案是汇入匝道提前由2车道收缩成1个车道,然后再从左侧汇入主线高架,有效避免了交通安全隐患。

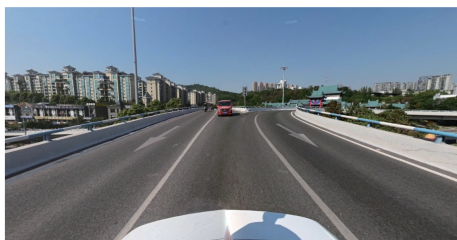


图14 古木峰立交左进交通组织示意图

内环快速路人和段,此段正采用分幅式路基方式。分流点1在主线平曲线外侧,视距良好,主线单向4车道,未设计减速车道,交通出口标志按快速路规范设置;分流点2也是在主线平曲线外侧,主线单向4车道,有相应的减速车道,交通出口标志按快速路规范设置,两个左侧出口运行良好(见图15)。

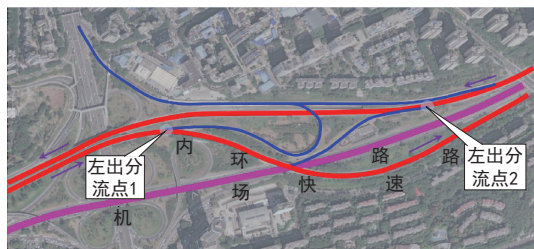


图15 人和立交左进左出交通组织节点示意图

总之,根据我国靠右的驾驶习惯,左进左出是一种较为特殊的布局方式,在山地城市特定条件下,强化安全措施和驾驶诱导,可以作为一种非常规的设计方案,但这种交通组织方式需谨慎评估后采用。

5 结 语

本研究以重庆主城立体道路交通体系为切入点,全面剖析了山地城市道路交通规划设计的关键影响因素问题。研究发现,山地城市因复杂地形与独特城市结构,其道路交通特征显著区别于平原城市,路网建设面临次支道路密度不足,路网连通度

低,难以自成体系,干线道路、城市立交、铁路走廊等对路网阻隔严重,地块开口以及交通管理等多重挑战。

在路网关键影响因素研究层面,通过分析次支道路的独立成网、连通度提升等技术的应用案例,介绍有效增强山地城市交通系统的网络性与可达性的具体措施与方法;针对干线阻隔、铁路分隔、立交分隔等难题,提出在路网规划或优化设计阶段,要创造条件、突破阻碍,尽可能连通次支道路。同时,详细阐述地块开口设计与左进左出设计等精细化交通组织技术,需要结合实际,灵活处理道路等级划分,从而提升道路利用效率与通行安全性。

然而,本研究仍存在一定局限性,主要探讨的是路网的物理属性指标偏多一些,在道路运行方面,如对新技术(如智慧交通、自动驾驶)与山地交通规划融合方面探讨较少。未来研究可进一步探索智能技术在山地城市交通规划中的创新应用,为推动山地城市交通高质量发展提供更全面的技术支撑与理论指导。

参考文献:

- [1] GB/T 51328—2018,城市综合交通体系规划标准[S].
- [2] T/CECA 20053—2024,山地城市道路交通规划与路线设计标准[S].
- [3] 重庆市城市规划管理技术规定(修订稿)[S].
- [4] 公安部道路交通安全研究中心.中国重点城市道路网结构画像报告[R].北京:公安部道路交通安全研究中心,2020.
- [5] 住房和城乡建设部城市交通基础设施监测与治理实验室.2024年度中国主要城市道路网密度与运行状态监测报告[R].北京:住房和城乡建设,2024.
- [6] 朱新宇,戴帅,刘金广.面向我国36大城市的道路网结构全息画像指标解析——城市道路网连通度[J].道路交通管理,2022(12): 32-35.
- [7] 重庆市规划和自然资源局.2023重庆市中心城区交通发展年度报告[R].重庆:重庆市规划和自然资源局,2024.
- [8] 重庆市交通规划研究院.中心城区次支路网系统优化提升规划[R].重庆:重庆市交通规划研究院,2023.
- [9] 重庆市政设计研究院.重庆东片区道路交通系统优化与交通组织专项[R].重庆:重庆市政设计研究院,2022.
- [10] 重庆通拓交通规划设计有限公司.重庆两江协同创新区道路网专项规划[R].重庆:重庆通拓交通规划设计有限公司,2020.
- [11] 重庆市城市交通规划研究所.重庆观音桥片区路网专项规划[R].重庆:重庆市城市交通规划研究所,2010.
- [12] 重庆通拓交通规划设计有限公司.重庆经开区拓展区道路交通专项规划[R].重庆:重庆通拓交通规划设计有限公司,2022.
- [13] 重庆市城市交通规划研究所.沙坪坝西永C分区道路交通规划调整报告[R].重庆:重庆市城市交通规划研究所,2011.