

城市立交桥交通组织优化与设计实践研究

武煜昕

新疆建业建筑安装工程有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：作为城市路网中的关键节点，立交桥承担着疏导多方向、大流量交通流的核心功能。然而，许多既有立交桥因规划前瞻性不足、设计标准滞后或后期管理缺位，已难以适应当前及未来的交通需求，导致通行效率低下、安全隐患突出、环境污染加剧等一系列问题。本文旨在系统探讨城市立交桥交通组织优化与设计的理论基础、核心原则与关键技术。研究首先梳理了立交桥的功能定位与常见类型，继而从交通流线组织、车道功能划分、标志标线系统、智能管控技术等多个维度，构建了一套以“安全、高效、绿色、韧性”为核心的优化设计框架。通过引入微观交通仿真、大数据分析等现代技术手段，对设计方案进行量化评估与迭代优化。最后，以某大型枢纽互通式立交的改造项目为例，详细阐述了从问题诊断、方案构思到效果验证的完整实践路径。研究表明，科学的交通组织优化与精细化设计是提升立交桥运行效能的关键，对于缓解城市交通压力、改善出行体验具有重要的现实意义。

关键词：城市立交桥；交通组织；优化设计；交通仿真；智能交通

引言

21世纪以来，中国城市化浪潮汹涌，截至2025年底城镇化率超68%，数亿人口进城带来经济活力，也给城市交通系统带来巨大压力。机动车保有量爆炸式增长，全国超4.5亿辆，汽车超3.5亿辆。有限城市空间内，高效安全组织庞大交通流成难题。城市立交桥作为关键枢纽，作用重大。设计优良、组织有序的立交桥能提升路网通行能力；反之则成“堵点”“事故黑点”，引发区域交通瘫痪。但我国大量已建立交桥问题普遍，早期受限于预测模型和技术标准，车道数不足等问题突出；后期周边开发强度大，交通生成量远超预期；交通组织粗放管理也加剧通行效率低下。因此，立交桥交通组织优化与精细化设计是保障城市交通健康运行的“必修课”。本研究旨在回应此需求，通过理论与实践结合，探索科学、系统、可操作的优化设计方法论，为城市交通治理提供支持参考。

1 城市立交桥的功能、类型与设计原则

1.1 立交桥的基本功能

城市立交桥的核心功能在于实现不同方向、不同速度交通流的空间分离，从而消除平面交叉口的冲突点，提高通行效率和安全性。具体而言，其主要功能包括：（1）分流与合流：将来自不同方向的车流按目的地进行分离，并引导至相应的出口匝道；同时，将来自入口匝道的车流安全、顺畅地汇入主线。（2）转向引导：为左转、右转及掉头等转向交通提供专用通道，避免与直行交通产生干扰。（3）速度协调：通过合理的线形设计（如变速车道、缓和曲线），使车辆能够平稳地完成加速、减速和

转向操作，保证行车舒适性与安全。

1.2 常见立交桥类型及其适用场景

根据交通流向复杂程度和用地条件，常见的城市立交桥可分为以下几类：（1）分离式立交：仅解决直行交通的上下跨越问题，所有转向交通仍需在地面平交口完成。适用于交通量不大、以直行为主的次要交叉口。（2）苜蓿叶形立交：通过四个环形匝道解决所有左转需求，结构紧凑，占地相对较小。但存在交织距离短、通行能力受限、行车轨迹迂回等缺点，适用于交通量中等、用地受限的区域。（3）喇叭形立交：通常用于高速公路与一级公路的交叉，通过一个半定向匝道和一个环形匝道处理左转，通行能力较高，但占地面积大。（4）涡轮形/定向式立交：所有转向均采用定向或半定向匝道，无交织冲突，通行能力最大，行车轨迹最直接。但结构复杂，造价高昂，适用于交通量巨大、对效率要求极高的城市核心枢纽。（5）组合式立交：根据实际交通流向，灵活组合上述形式的优点，是目前城市大型立交设计的主流趋势。

1.3 交通组织优化的核心设计原则

针对立交桥的交通组织优化，应遵循以下核心原则：（1）安全性优先原则：一切设计必须以保障行车安全为最高准则。这包括提供充足的视距、清晰的导向信息、合理的线形指标以及有效的安全防护设施。（2）效率最大化原则：在确保安全的前提下，通过优化流线、减少交织、缩短行程等方式，最大限度地提升立交桥的整体通行效率，降低平均延误^[1]。（3）用户友好原则：设计应充分考虑驾驶人的认知习惯和心理预期，提供简洁、明

确、连续的交通指引,降低驾驶人的决策难度和操作负担。(4)弹性与韧性原则:设计方案应具备一定的适应性和冗余度,能够应对未来交通量的增长、突发事件(如交通事故、恶劣天气)以及临时性交通管制等不确定因素。(5)绿色可持续原则:优化设计应有助于减少车辆不必要的启停、加减速和绕行,从而降低燃油消耗和尾气排放,促进城市交通的绿色低碳发展。

2 城市立交桥交通组织优化的关键技术与方法

2.1 交通流线精细化组织

交通流线组织是立交桥设计的灵魂所在,其优劣直接决定了立交桥的运行效率与安全水平。优化工作的起点是对交通需求的精准把握,必须通过详尽的OD调查和交通流量观测,精确掌握各转向交通量的时空分布特征。在此基础上,流线规划的核心思想是“理顺”而非简单地“堆砌”车道。这意味着要确立主线交通的绝对优先地位,确保其连续性和主导性,尽量减少来自匝道汇入或驶出的干扰。对于无法完全避免的交织区域,必须严格控制其长度和交织强度,并通过设置辅助车道、导流岛等物理隔离设施,对交织流进行有效引导和约束,将其负面影响降至最低^[2]。尤为重要的是,车道功能的延续性必须得到保障,上游路段的车道功能应合理、平滑地过渡到立交区域,例如上游最左侧车道应自然对应左转或直左功能,避免出现“车道功能突变”的现象,否则极易诱发驾驶人在临近出口时的紧急变道行为,形成安全隐患。

2.2 车道功能与断面精细化设计

车道功能的科学划分与断面的精细化设计是提升立交桥通行效率的物质基础。设计过程中,必须依据相关规范,对立交范围内的车道数进行严谨的平衡计算,确保上游车道供给与下游交通需求相匹配,既不能形成通行能力的“瓶颈”,也不能造成宝贵城市空间的“浪费”。作为连接主线与匝道的关键纽带,变速车道(包括加速车道和减速车道)的设计尤为关键,其长度必须经过周密计算,不仅要满足标准车型在平坡条件下的安全汇入或驶出需求,还需充分考虑实际交通流中的重型车辆比例、纵坡影响等因素,采用更为精细化的动态模型进行校验。此外,路权的清晰化是保障秩序的前提,必须通过物理隔离(如护栏、绿化带)、标线(如白色实线、导流线)以及配套的交通标志,共同构建一个边界清晰、归属明确的路权体系,彻底杜绝模糊地带,让每一位驾驶人能明确知晓自己所处车道的行驶路径和权利义务。

2.3 交通工程设施系统化设计

如果说道路结构是立交桥的骨架,那么交通工程设

施就是其传递信息、引导行为的神经系统。一个完善的交通工程设施系统对于保障立交桥安全、高效运行至关重要。标志系统的设计应遵循“预告-确认-指路”的逻辑,建立起三级甚至多级的预告体系,在距离出口足够远的位置(如1公里、500米、出口处)就向驾驶人清晰预告前方的路径选择信息,内容务必简洁明了,并尽可能采用主动发光或高反光材料,确保在夜间、雨雾等恶劣天气条件下依然具备良好的可视性,同时其信息内容应与主流导航地图数据保持高度协同,避免给用户造成困惑。标线系统同样需要超越常规,除了施划清晰的车道分界线外,还应在关键位置,如分合流端部、急弯路段,大量应用彩色防滑路面、震荡标线等新型材料,通过强烈的视觉冲击和独特的触觉反馈,起到双重警示作用,有效提醒驾驶人注意路况变化^[3]。此外,良好的夜间照明不仅能显著提升行车安全性,还能塑造现代化的城市门户形象,而适度的景观绿化则能起到美化环境、吸收噪音、防止对向车灯眩目的多重功效,共同营造一个安全、舒适、宜人的通行环境。

2.4 智能化管控技术的融合应用

首先,通过部署视频检测、毫米波雷达、地磁线圈等多源异构的传感器网络,可以实现对立交桥各关键断面交通状态(如流量、速度、占有率)的全天候、全息化感知,为后续的分析与决策提供坚实的数据底座。其次,微观交通仿真技术扮演着“数字沙盘”的角色,利用VISSIM等专业软件,可以高精度地构建立立交桥的数字孪生模型,将不同的优化方案置于虚拟环境中进行多情景(如平峰、高峰、节假日、事故应急)下的压力测试和量化评估,通过对比延误、排队长度、饱和度等核心指标,实现“方案比选-效果预演-参数调优”的科学闭环,极大降低了试错成本。在此基础上,动态信息发布系统成为连接管理者与出行者的桥梁,通过路侧的可变情报板(VMS)以及高德、百度等车载导航APP,能够将前方实时路况、临时车道管制、个性化路径建议等信息精准推送给驾驶人,引导其提前做出合理选择,从而实现交通流在路网层面的主动均衡^[4]。最后,对于立交桥衔接的地面平交口,引入自适应信号控制系统,能够根据上游立交桥的溢出风险和下游路口的实时交通流,自动调整信号配时方案,形成上下联动的协同控制,有效防止地面交叉口的排队回溢对立交桥主线造成二次冲击。

3 实践案例分析:某市“双龙枢纽”立交改造工程

3.1 项目概况与问题诊断

“双龙枢纽”位于某特大城市核心区,是连接城市快速路A与主干道B的大型互通式立交。原设计为改良苜蓿

叶形, 建成于2005年。近年来, 随着周边商务区和大型居住区的快速发展, 该立交日均交通量激增至12万辆(当量), 远超设计容量(8万辆)。主要问题表现为: (1) 西进口左转(A→B南)匝道严重拥堵: 高峰时段排队长度超过1.5公里, 经常回溢至上游主线, 导致A路全线瘫痪。(2) 东进口交织区冲突剧烈: 由B路北向南直行与右转(B→A西)车流在短距离内交织, 事故频发。(3) 交通指引混乱: 原有标志信息陈旧、层级不清, 驾驶人普遍反映“看不懂、来不及反应”。

3.2 优化设计方案

针对上述问题, 项目团队提出了一套综合优化方案:

3.2.1 结构性改造

将西进口的环形左转匝道拆除, 新建一条半定向式左转匝道。新匝道采用较大的转弯半径和独立的路权, 彻底消除了与主线的交织冲突, 并将通行能力提升了约40%。

3.2.2 流线重组

重新梳理东进口的车道功能。将原3车道断面拓宽为4车道, 最右侧车道专供B→A西右转, 中间两车道为B路南向直行, 最左侧车道为公交专用道兼B路北向掉头。通过增设中央分隔带和导流岛, 物理隔离了交织流。

3.2.3 交通工程升级

设置三级预告标志系统, 在上游1.5km、1km、500m处清晰预告各出口信息。在所有分合流区域铺设红色防滑路面, 并施划醒目的导流线。在关键弯道增设轮廓标和反光道钉, 提升夜间和雨雾天气的行车安全性。

3.2.4 智能化赋能

在立交各关键断面布设毫米波雷达, 实现全息交通感知。建立VISSIM微观仿真模型, 对改造方案进行多情景(平峰、高峰、节假日)下的效果验证。接入市级交通大脑平台, 通过VMS屏和高德/百度地图, 实时发布立交通行状态和诱导信息。

3.3 效果评估与验证

工程于2024年底竣工并投入使用。经为期半年的后评估, 效果显著: (1) 通行效率大幅提升: 西进口左转高峰小时通行能力从1800pcu/h提升至2600pcu/h, 平均延误时间由原来的15分钟降至4分钟。(2) 安全性显著改善: 东进口交织区的交通事故率同比下降65%。(3) 用户满意度提高: 第三方调查显示, 90%以上的受访者认为新的交通指引“清晰易懂”, 驾驶体验得到明显改善。仿真模型的预测结果与实际运行数据高度吻合, 验证了本研究所倡导的“数据驱动、仿真先行”优化方法的有效性。

4 结语

本文聚焦“城市立交桥交通组织优化与设计实践”, 阐述其理论基础、原则、技术并以“双龙枢纽”实证。研究结论有三: 一是立交桥效能依赖精细化交通组织管理, 软性交通流线组织等与硬性土建工程同等重要; 二是现代交通优化设计是多学科交叉融合的系统工程, 需结合传统经验与大数据分析等形成完整闭环; 三是优化实践要以人为本, 从驾驶人视角出发提升路网运行秩序与安全水平。展望未来, 自动驾驶等颠覆性技术将使立交桥设计理念变革, 其将成为信息交互智能节点, 为自动驾驶车辆提供支持是研究前沿; 同时, 在“双碳”目标下, 降低交通能耗与排放是永恒主题。城市立交桥优化设计需不断探索创新。

参考文献

- [1] 向曾哲. 城市立交桥设计实践经验探析[J]. 交通世界, 2021,(23):137-138.
- [2] 孙广远. 城市立交桥设计建设探究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2020,(11):35.
- [3] 许本勇. 立交桥仿真设计与流量控制研究[J]. 中国物流与采购, 2025,(21):103-104.
- [4] 李杰, 彭小明, 李毓坤, 等. 大型枢纽互通式立交桥梁设计探讨[J]. 山西建筑, 2024,50(03):161-164+190.