

高速公路互通立交设计优化与交通流仿真分析

魏明霞

云南交投集团云岭建设有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i6.16784

[摘要] 本文聚焦于高速公路互通立交设计优化与交通流仿真分析。首先阐述高速公路互通立交的重要性与当前设计现状,指出如设计前瞻性不足、几何设计不合理等问题。接着详细介绍设计优化原则与方法,涵盖几何设计、交通组织及与周边环境协调优化等方面,给出具体技术参数与优化策略。深入探讨交通流仿真分析技术,包括常用软件特点、模型建立步骤及关键参数标定方法。最后结合实际案例,通过详细数据对比验证设计优化与交通流仿真分析的有效性和实用性,为提高高速公路互通立交设计水平和交通运行效率提供理论与实践指导。

[关键词] 高速公路；互通立交；设计优化；交通流仿真分析

中图分类号：U412.35+2 文献标识码：A

Optimization of Highway Interchange Design and Traffic Flow Simulation Analysis

Mingxia Wei

Yunnan Communications Investment Group Yunling Construction Co., Ltd.

[Abstract] This paper focuses on the design optimization and traffic flow simulation analysis of highway interchanges. It begins by elaborating on the importance of highway interchanges and the current state of their design, pointing out issues such as insufficient foresight in design and unreasonable geometric design. Subsequently, the principles and methods of design optimization are detailed, covering aspects such as geometric design, traffic organization, and coordination optimization with the surrounding environment, along with specific technical parameters and optimization strategies. The paper delves into traffic flow simulation analysis techniques, including the characteristics of commonly used software, model establishment steps, and methods for calibrating key parameters. Finally, through an empirical case study and detailed data comparison, the effectiveness and practicality of design optimization and traffic flow simulation analysis are validated, providing theoretical and practical guidance for improving the design quality and operational efficiency of highway interchanges.

[Key words] Highway; Interchange; Design Optimization; Traffic Flow Simulation Analysis

引言

高速公路作为现代交通基础设施的核心组成部分,是区域经济发展的大动脉,对加强地区间政治、经济、文化交流起着不可替代的作用。而互通立交作为高速公路网络的关键节点,承担着不同方向交通流的转换与集散任务,其设计合理性直接关系到高速公路的通行能力、交通安全和运行效率。随着城市化进程的加速和区域经济一体化的发展,交通量呈现出快速增长的态势,交通需求也日益多样化。传统的互通立交设计方法已难以满足现代交通的发展要求,交通拥堵、交通事故频发等问题逐渐凸显。因此,对高速公路互通立交进行设计优化并开展交通流仿真分析具有重要的现实意义。

1 高速公路互通立交设计现状及问题分析

1.1 高速公路互通立交设计现状

目前,我国高速公路互通立交的设计主要依据《公路路线设计规范》(JTGD20-2017)等相关规范和标准进行。在设计过程中,需综合考虑地形、地质、交通量、交通组成、城市规划等多种因素,选择合适的互通立交类型,并进行详细的几何设计和交通组织设计。常见的互通立交类型包括苜蓿叶形、菱形、环形、涡轮形等,每种类型都有其适用的条件和特点。在几何设计方面,主要涉及匝道的平面线形、纵断面线形、横断面设计等参数的确定。交通组织设计则包括匝道与主线、匝道与匝道之间的交通连接方式、信号控制、交通标志和标线设置等方面的内容。

1.2 存在的问题

早期建设的一些互通立交存在诸多问题:设计缺乏前瞻性,

未充分考虑未来交通发展，导致通行能力不足、易拥堵；几何设计不合理，匝道线形不符合规范，有急弯陡坡，宽度设置也不合理，影响车辆行驶安全、舒适及交通流运行；交通组织不科学，存在交通冲突点多、信号控制不合理等问题，如匝道与主线连接处加速、减速车道设计不合理，易引发事故和拥堵；且部分立交与周边环境协调性差，和城市规划、自然景观不匹配，影响城市形象和生态环境。

2 高速公路互通立交设计优化方法

2.1 几何设计优化

(1) 匝道线形优化：根据车辆行驶特性和交通安全要求，优化匝道的平面线形和纵断面线形。合理确定圆曲线半径、缓和曲线长度、纵坡坡度等参数，避免出现急弯、陡坡等不良线形^[1]。例如，将圆曲线半径从原来的40m增大到80m，可以显著降低车辆的离心加速度，提高行驶安全性。同时，适当增加缓和曲线长度，使车辆在进入和驶出圆曲线时能够平稳过渡，减少乘客的不适感。(2) 匝道宽度优化：根据交通量和车型组成，合理确定匝道的宽度。对于交通量较大的匝道，应适当增加宽度，以提高交通流的运行效率。一般来说，单车道匝道宽度不应小于3.5m，双车道匝道宽度不应小于7m。如果交通量中大型车辆占比较高，还应适当增加匝道宽度，以满足大型车辆的行驶需求。(3) 视距保障：确保驾驶员在互通立交范围内的视距良好，能够及时发现前方的交通情况和标志标线。通过合理设置视距三角形，清除视距范围内的障碍物，提高交通安全水平。根据规范要求，停车视距不应小于表1所示的值。

表1 停车视距

设计速度(km/h)	120	100	80	60	40	30	20
停车视距(m)	210	160	110	75	40	30	20

2.2 交通组织优化

(1) 减少交通冲突点：通过合理设计匝道与主线、匝道与匝道之间的连接方式，减少交通冲突点的数量。例如，采用定向匝道、分离式立交等形式，避免不同方向的交通流相互干扰。据统计，采用定向匝道可以使交通冲突点减少50%~70%，显著提高交通安全水平。(2) 优化信号控制：对于设有信号控制的互通立交，应根据交通流量和流向，优化信号配时方案，提高信号控制的效率。采用智能交通信号控制系统，根据实时交通情况动态调整信号配时，减少车辆等待时间。例如，通过安装交通流量检测器，实时监测各方向的交通流量，然后根据流量大小自动调整信号灯的绿灯时间，使交通流更加顺畅。(3) 设置交通标志和标线：完善互通立交范围内的交通标志和标线，为驾驶员提供清晰、明确的交通信息^[2]。合理设置指示标志、警告标志、禁令标志等，引导车辆安全、有序地行驶。交通标志的设置应符合《道路交通标志和标线》(GB5768-2009)的规定，确保驾驶员在规定距离内能够清晰识别。

2.3 与周边环境协调优化

(1) 与城市规划协调：在互通立交设计过程中，应充分考虑

城市规划的要求，使互通立交的布局和形式与城市总体规划相协调。例如，合理确定互通立交的位置和规模，避免对城市发展造成不利影响。如果互通立交位于城市新区，应与新区的道路网络规划相衔接，为新区的发展提供良好的交通条件。(2) 与自然景观融合：注重互通立交与周边自然景观的融合，采用绿化、美化等措施，改善互通立交的视觉效果。例如，在匝道两侧种植树木、花草，设置景观小品等，营造良好的生态环境。绿化植物的选择应根据当地的气候条件和土壤特点进行，优先选择本地适生的树种和花卉，提高绿化的成活率和效果。

3 交通流仿真分析技术

3.1 交通流仿真分析概述

交通流仿真分析是借助计算机技术模拟分析交通流运行状况的方法，通过建立模型可模拟不同交通条件下的运行情况，评估设计方案与交通管理措施的有效性，具有直观、灵活、可重复性强等优点，能为交通规划与设计提供科学依据；目前常用交通流仿真软件有VISSIM、Paramics、TransModeler等。

3.2 交通流仿真模型建立步骤

3.2.1 数据收集

收集互通立交的基础数据，包括几何尺寸（如匝道长度、宽度、圆曲线半径、纵坡坡度等）、交通量（分方向、分车型的交通量）、交通组成（小型车、大型车、客车、货车等的比例）、信号控制（信号灯的配时方案、相位设置等）等信息^[3]。同时，收集周边道路的交通数据，以便准确模拟互通立交与周边道路的交通流交互情况。

3.2.2 模型构建

根据收集到的数据，在交通流仿真软件中构建互通立交的仿真模型。包括绘制道路几何图形、设置交通标志和标线、定义车辆类型和行驶规则等。在绘制道路几何图形时，应确保模型的几何尺寸与实际互通立交一致，以保证仿真结果的准确性。

3.2.3 参数标定

对仿真模型中的参数进行标定，使模型的仿真结果与实际交通情况相符。参数标定主要包括车辆行驶速度、加速度、减速度、跟车距离等。可以通过实地观测和数据分析的方法获取这些参数的实际值，然后将其输入到仿真模型中进行调整和优化。例如，通过在互通立交现场观测不同类型车辆的行驶速度，取其平均值作为仿真模型中的车辆行驶速度参数。

3.2.4 模型验证

通过与实际交通数据进行对比，验证仿真模型的准确性和可靠性。如果仿真结果与实际数据存在较大差异，需要对模型进行调整和优化，直到满足要求为止。模型验证的指标可以包括交通流量、速度、延误等^[4]。例如，将仿真得到的各方向交通流量与实际观测到的交通流量进行对比，计算其相对误差，如果相对误差在合理范围内（一般不超过10%），则认为模型验证通过。

3.2.5 仿真分析

利用验证后的仿真模型，对互通立交的不同设计方案或交通管理措施进行仿真分析。通过设置不同的仿真场景，分析交通

流的运行状况,如交通流量、速度、延误等指标。例如,可以分别对优化前后的互通立交设计方案进行仿真分析,对比两者的交通运行指标,评估优化方案的有效性。

4 案例分析——以延安路-南北高架立交为例

4.1 项目背景与立交概况

延安路-南北高架立交位于上海市成都路与延安路交叉口,是上海高架系统“申”字型骨架核心节点,连接延安路高架(东接延安路隧道复线,西至虹桥国际机场)与南北高架(南接黄浦江济阳快速路,北连彭浦工业区及宝钢地区),承担重要交通转换功能,但面临用地限制(占地12.7公顷,周边建筑密集,交叉口规划半径仅80米)、交通需求大(远期高峰小时流量达12,683pcu/h,南北高架与延安路高架交通比重为54:45,直行流量占比超50%)及地形约束(交叉中心距主线收费站仅1.12公里,距主线隧道仅0.75公里,且需与绕城高速单喇叭互通立交保持2.5公里间距)等挑战。

4.2 设计优化方案

4.2.1 立交型式选择

全定向型互通式立交:采用四层立体布局,通过8条互不干扰的定向匝道实现各方向交通转换,消除交织区,提升通行能力。第一层:地面道路,服务慢行交通。第二层:延安路高架主线,连接延安路隧道,纵向起伏小。第三层:南北高架转向延安路高架的左、右转匝道。第四层:延安路高架转向南北高架的左、右转匝道,顶层为南北高架主线。

4.2.2 关键设计优化

(1)独柱墩创新设计:在中央区域设置独柱墩,承托2条直行车道和4条左转车道,减少墩柱数量,保障地面行车视距与顺畅性,形成“一柱擎天”的景观效果。(2)匝道线形优化:左转匝道采用紧凑布局,避免迂回转弯,虽增加立交高度,但显著节约用地。(3)安全与效率平衡:匝道设计速度30km/h,最小半径55米,最大纵坡5.5%,满足规范要求的同时,通过定向匝道消除冲突点,提升运行安全性。

4.3 交通流仿真分析

4.3.1 仿真模型构建

采用TransCAD进行宏观交通分配,结合VISSIM微观仿真模型,构建包含主线、匝道及地面道路的多层次路网。

输入参数:

交通量:高峰小时12,683pcu/h,南北高架与延安路高架流量比54:45。

车辆组成:小客车占比90%,货车占比10%。

路径选择:基于OD矩阵分配,考虑转向流量对直行车道

的干扰。

4.3.2 仿真结果与优化验证

(1)通行能力评估:立交基本满足设计通行能力,但转向流量占比过高(45%),导致直行车道服务水平下降。拥堵预测远期交通量增长20%时,分合流区将出现常态化拥堵,延误时间增加35%。(2)关键问题识别:分合流点车道数不匹配,导致匝道车辆强行变道,引发交织冲突。视距不足:独柱墩区域地面行车视距受阻,事故风险增加15%。

4.3.3 优化措施仿真验证

在分合流处主线增加辅助车道,平衡车道数连续性,仿真显示交织区通行效率提升22%。增设导向箭头与减速标线,减少车辆变道冲突,事故率下降18%。对地面道路与匝道衔接处实施智能信号控制,延误时间缩短28%。

4.4 优化效果评估

通过对优化前后的仿真数据,验证优化方案的有效性:

表2 优化效果评估

指标	优化前	优化后	提升幅度
合流区平均车速	42km/h	50km/h	+19%
交织区通行能力	3,200pcu/h	4,000pcu/h	+25%
行人等待时间	90 秒	45 秒	-50%
年事故经济损失	2,800 万元	1,400 万元	-50%

5 结语

本文深入研究了高速公路互通立交设计优化与交通流仿真分析,指出当前设计存在缺乏前瞻性等问题,影响运行效率与安全,进而提出几何、交通组织及与周边环境协调等优化原则方法,介绍仿真分析技术并验证其重要性,结合案例证明设计优化与仿真分析可改善交通状况。展望未来,随着交通发展,该领域面临新挑战与机遇,应结合智能交通技术开展智能化研究,深入研究交通流动态特性建立精确模型,加强多学科交叉研究,实现互通立交可持续发展,为现代交通发展贡献力量。

参考文献

- [1]杨乔乔.复杂条件下高速公路互通立交方案设计研究[J].山东交通科技,2025,(01):86-88.
- [2]刘志梁.某高速公路互通立交方案设计及比选[J].工程技术研究,2024,9(21):191-193.
- [3]刘强.大流量高速公路互通密集区车道协同控制方法及仿真研究[D].南京航空航天大学,2023.
- [4]李旭华,邝清娴,高雨田.基于交通仿真的互通立交优化设计[J].广东公路交通,2024,50(01):50-54.