

# 高速公路互通立交匝道线形与通行能力协同设计

范程昕

浙江数智交院科技股份有限公司 浙江 杭州 310000

**摘要：**高速公路互通立交匝道是路网交通转换的核心枢纽，其线形设计与通行能力直接影响行车安全与效率。本文阐述匝道线形设计、通行能力的基础理论，分析二者协同设计的核心内涵与约束条件，提出线形指标匹配、分类匝道优化等关键技术，结合工程实例验证设计方案可行性。研究表明，协同设计可平衡线形合理性与通行高效性，缓解拥堵、降低事故率，为高速公路互通立交匝道设计提供理论支撑与工程参考。

**关键词：**高速公路；互通立交；匝道线形；通行能力；协同设计

引言：随着高速公路路网不断完善，互通立交匝道的交通转换压力持续增大，传统设计中线形与通行能力脱节的问题日益突出，易引发拥堵、追尾等安全隐患。部分匝道存在线形指标不合理、通行能力不匹配等问题，难以满足日益增长的交通需求。基于此，本文聚焦匝道线形与通行能力协同设计，结合基础理论与工程实践，探索科学设计技术与方案，提升匝道通行效能、保障行车安全。

## 1 高速公路互通立交匝道线形与通行能力基础理论

### 1.1 互通立交匝道线形设计基础

(1) 匝道线形设计核心指标：核心指标包括设计速度、平曲线半径、纵坡及坡长、缓和曲线参数等。设计速度需匹配匝道功能与衔接道路等级，平曲线半径需满足行车离心力要求，纵坡需兼顾行车安全与排水，缓和曲线则实现线形平滑过渡，保障行车舒适性，各指标需协同匹配，避免单一指标不合理导致安全隐患。(2) 匝道线形类型及设计要求：主要分为定向匝道、半定向匝道、环形匝道三类。定向匝道设计需保证直行优先，减少转向冲突；半定向匝道需优化转向角度，降低行车延误；环形匝道需控制半径与车速，避免低速拥堵，各类匝道均需满足视距要求，确保驾驶员视野良好。(3) 线形设计与行车安全的关联：合理的线形设计可减少驾驶员操作负荷，降低追尾、侧滑风险；平曲线过缓、纵坡过陡易导致车速失控，视距不足易引发碰撞事故，线形突变会增加驾驶员判断难度，因此线形设计需贴合行车轨迹，保障行车安全<sup>[1]</sup>。

### 1.2 高速公路匝道通行能力基础

(1) 通行能力定义与分类：指单位时间内匝道某断面能安全通过的最大车辆数，分为基本通行能力、可能通行能力和设计通行能力。基本通行能力是理想条件下的最大通行量，可能通行能力考虑实际路况修正，设

计通行能力结合工程需求确定，为匝道设计提供依据。

(2) 通行能力影响因素分析：主要包括线形条件、交通组成、驾驶员特性、天气环境等。线形平缓、无急弯陡坡的匝道通行能力更高；大型车辆占比过高会降低通行效率；恶劣天气会缩短视距，降低通行能力，各因素相互影响，共同决定匝道实际通行水平。(3) 通行能力计算方法：常用方法包括车头时距法、饱和流率法和仿真模拟法。车头时距法通过统计车辆间隔时间计算，饱和流率法基于车道饱和状态下的流量测算，仿真模拟法结合实际参数建模，精准模拟不同工况下的通行能力，满足设计需求。

### 1.3 线形与通行能力协同设计的核心内涵

(1) 协同设计的核心逻辑：以“安全优先、效率适配”为核心，将线形设计与通行能力测算深度结合，避免线形设计与通行能力脱节，确保匝道既满足行车安全要求，又能充分发挥通行效能，实现线形合理性与通行高效性的统一。(2) 协同设计的约束条件：受道路等级、地形地貌、交通流量、规范要求等约束。地形复杂区域需平衡线形指标与工程成本，交通流量大的匝道需优化线形以提升通行能力，同时需严格遵循高速公路设计规范，确保各项指标达标。(3) 协同设计的核心目标：最终实现“安全、高效、经济、舒适”的目标，保障匝道行车安全，提升通行效率，减少交通延误，降低工程建设与运营成本，满足高速公路路网的整体通行需求。

## 2 高速公路互通立交匝道线形与通行能力协同设计关键技术

### 2.1 匝道线形指标与通行能力的协同匹配技术

(1) 平面线形指标与通行能力的匹配关系：平面线形指标中，平曲线半径、缓和曲线长度直接影响车辆行驶速度与通行效率。半径越小，车辆需降低车速，通行能力随之下降，需根据设计速度合理确定平曲线半径，

确保车辆以稳定车速行驶；缓和曲线需与平曲线、直线平滑衔接，减少车速波动，避免因线形突变导致通行能力损耗，实现平面线形指标与通行能力的动态匹配。

(2) 纵断面线形指标与通行能力的协同优化：纵坡坡度、坡长是纵断面设计的核心，陡坡、长坡会降低车辆动力性能，尤其大型车辆易减速，导致通行能力下降。协同优化需控制纵坡坡度不超过规范限值，长坡路段设置缓坡段缓解车速衰减，同时结合通行能力需求，平衡纵坡指标与行车效率，避免纵坡设计与通行能力脱节，确保上下坡路段通行顺畅<sup>[2]</sup>。(3) 横断面线形与通行能力的适配设计：横断面设计需结合通行能力确定车道宽度、路肩宽度及分隔带设置。车道宽度需满足车辆安全行驶需求，过窄会增加车辆干扰，降低通行能力；路肩宽度需保障应急通行与车辆临时停靠，分隔带需有效隔离对向车流，减少冲突，通过优化横断面参数，适配不同通行能力需求，提升匝道整体通行效能。

## 2.2 不同类型匝道的协同设计技术

(1) 环形匝道协同设计要点：环形匝道以低速通行为主，核心是平衡线形指标与通行能力。需合理确定平曲线最小半径，控制设计速度在30-40km/h，优化匝道入口与出口的衔接线形，减少车辆汇入汇出冲突；同时根据交通流量，合理设置车道数量，避免单一车道导致的拥堵，确保线形设计适配环形匝道的通行特性。(2) 定向匝道协同设计要点：定向匝道以高速通行为核心，需优先保障线形平顺性。采用大半径平曲线、缓纵坡设计，减少车速损失，设计速度匹配主线高速公路等级；优化分合流段线形，延长渐变段长度，降低车辆交织冲突，同时通过精准计算通行能力，匹配车道配置，实现线形流畅性与通行高效性的协同。(3) 半定向匝道协同设计要点：半定向匝道兼顾转向效率与通行安全，需优化转向角度，避免急弯设计，确保车辆平稳转向；结合交通流量特征，合理确定线形指标，平衡通行能力与工程成本，重点优化分合流节点的线形设计，减少车辆冲突，提升匝道通行效率，适配半定向匝道的功能定位<sup>[3]</sup>。

## 2.3 匝道分合流段协同设计技术

(1) 分合流段线形设计要求：分合流段是交通冲突的高发区域，线形设计需满足视距要求，确保驾驶员清晰观察主线与匝道车辆动态；渐变段长度需根据设计速度确定，确保车辆平稳汇入汇出，避免急加减速；分合流点需避开曲线段，优先设置在直线段或缓曲线段，减少线形突变带来的安全隐患与通行损耗。(2) 分合流段通行能力计算与优化：采用饱和流率法结合分合流干扰系数，精准计算分合流段通行能力，明确通行瓶颈；针

对瓶颈区域，优化车道配置，增设辅助车道，延长渐变段长度，减少车辆交织干扰，同时控制大型车辆通行比例，提升分合流段通行效率，确保通行能力满足交通需求。(3) 分合流段线形与通行能力协同控制：以通行能力需求为导向，优化分合流段线形指标，确保线形设计与通行能力相适配；通过实时监测交通流量，动态调整线形参数或交通组织方式，缓解拥堵，实现分合流段线形合理性与通行高效性的协同，减少交通冲突，保障行车安全<sup>[4]</sup>。

## 2.4 协同设计中的仿真验证技术

(1) 仿真模型构建方法：结合匝道实际设计参数，采用专业仿真软件（如VISSIM）构建仿真模型。明确模型边界，涵盖匝道线形、车道配置、分合流区域等核心要素；导入交通流量、车辆组成等基础数据，还原实际交通运行场景，确保模型能够真实反映匝道线形与通行能力的协同关系。(2) 仿真参数设定与校准：根据匝道设计方案，设定设计速度、车辆行驶特性、交通流量等仿真参数；结合现场实测数据，校准模型参数，包括车辆加速度、减速时间、跟车距离等，确保仿真结果的准确性和可靠性，使仿真模型能够精准模拟不同线形方案下的通行能力表现<sup>[5]</sup>。(3) 仿真结果分析与优化调整：对仿真结果进行量化分析，重点评估通行能力、车速、延误、冲突点数量等指标，判断线形设计与通行能力的协同效果。针对仿真中发现的通行瓶颈、线形不合理等问题，调整线形指标（如曲线半径、纵坡、渐变段长度），重新进行仿真验证，直至实现线形与通行能力的最优协同。

## 3 实例分析与验证

### 3.1 实例工程概况

(1) 工程背景与地理位置：本实例为某高速公路互通立交改造工程，位于城市外围交通枢纽，衔接两条主干高速公路及一条城市快速路，是区域路网的重要节点。该立交原有匝道通行效率低、事故率偏高，亟需通过线形与通行能力协同设计进行优化升级，缓解交通拥堵，提升行车安全。(2) 匝道类型与设计条件：工程包含环形匝道2条、定向匝道3条、半定向匝道1条，设计速度为40-60km/h。设计条件受地形限制，部分区域地势起伏较大，同时需兼顾原有道路设施，避免大规模拆迁，严格遵循高速公路互通立交设计规范，确保设计方案可行。(3) 交通流量特征分析：通过现场监测，该立交日均交通量约1.2万辆，高峰时段（7:00-9:00、17:00-19:00）交通量达1.8万辆/日，大型车辆占比约25%。环形匝道高峰时段拥堵严重，定向匝道存在车速波动大、分

合流冲突多等问题,通行能力无法满足现有交通需求。

### 3.2 实例协同设计方案制定

(1) 线形指标初步设计:结合工程条件与交通需求,初步确定线形指标:环形匝道平曲线最小半径40m,缓和曲线长度30m;定向匝道采用大半径平曲线,纵坡控制在3%以内;分合流段渐变段长度60m,确保线形平顺,满足行车安全与舒适性要求。(2) 通行能力计算与评估:采用饱和流率法与仿真模拟法,计算各匝道通行能力,环形匝道原通行能力约1200pcu/h,定向匝道约2200pcu/h,均低于高峰时段交通需求。评估发现,线形不合理、分合流干扰是导致通行能力不足的主要原因。

(3) 协同优化方案确定:针对评估问题,优化线形指标,增大环形匝道平曲线半径至50m,调整定向匝道纵坡至2.5%,延长分合流渐变段至80m;同时优化车道配置,将环形匝道改为双车道,提升通行能力,形成最终协同优化方案。

### 3.3 协同设计方案仿真验证

(1) 仿真模型搭建与参数设置:采用VISSIM软件搭建仿真模型,导入工程线形参数、交通流量数据,设定车辆行驶特性、信号控制等参数,结合现场实测数据校准模型,确保仿真结果贴合实际运行场景。(2) 仿真结果对比分析:对比优化前后仿真数据,优化后环形匝道通行能力提升至1800pcu/h,定向匝道提升至2800pcu/h,高峰时段平均车速提升15%,交通延误减少30%,分合流冲突点减少40%,协同优化效果显著。(3) 设计方案可行性验证:仿真结果表明,优化后各匝道通行能力满足交通需求,线形指标符合规范要求,行车安全与效率大幅提升,无明显通行瓶颈,验证了协同设计方案的可行性与合理性。

### 3.4 实例设计效果评价

(1) 线形合理性评价:优化后匝道线形平顺,平纵横断面指标协同匹配,视距充足,车辆行驶平稳,驾驶员操作负荷降低,有效减少了车速突变、转向冲突等问题,线形设计符合安全与舒适要求。(2) 通行能力提升效果评价:优化后各匝道通行能力均满足高峰时段交通需求,拥堵现象得到有效缓解,高峰时段平均延误大幅降低,通行效率显著提升,达到了协同设计的核心目标。(3) 经济与社会效益评价:工程改造无需大规模拆迁,降低了建设成本;通行效率提升减少了车辆油耗与尾气排放,同时降低了交通事故率,保障了出行安全,兼具良好的经济效益与社会效益。

### 结束语

本文围绕高速公路互通立交匝道线形与通行能力协同设计展开系统研究,明确了协同设计的核心逻辑与目标,提出针对性关键技术,并通过实例验证了设计方案的合理性与有效性。协同设计实现了“安全、高效、经济、舒适”的目标,解决了线形与通行能力脱节的痛点。未来可结合智能交通技术,优化仿真验证方法、完善协同设计体系,为更多匝道设计提供针对性指导。

### 参考文献

- [1]倪雷.高速公路路线与互通设计及案例分析研究[J].江苏科技信息,2022,39(21):38-40.
- [2]游振纲.探讨互通式立交公路设计要点[J].中国战略新兴产业,2021,14(20):215-217.
- [3]陶云平.山区高速公路互通立交设计要点探讨[J].建材与装饰,2020,6(27):251-256.
- [4]王振,陈勇强.山区高速公路互通立交设计要点分析[J].建筑技术开发,2023,45(9):92-93.
- [5]邓小伟.某既有城市高架增设匝道桥梁总体设计[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2022,30(1):36-40.