

拉链式合流管控在成都二环高架桥的应用效果研究

姚传清 黄亿玲

四川天设交通科技有限公司 四川 成都 610000

摘要：本研究针对成都二环高架路合流区交通拥堵问题，以人南立交为典型案例，通过为期6个月（2023年1-6月）的实地观测，采用视频采集、雷达测速、问卷调查等多源数据融合分析方法，系统评估了拉链式合流管控技术的实施效果。研究重点考察了管控措施对通行效率和安全性能的影响，并构建了“通行效率-安全水平-行为规范”三维评价体系。

研究发现，拉链式合流管控通过规范驾驶人行为、优化交通流组织，显著改善了合流区运行状况。具体表现为：人南立交合流区高峰时段通行效率提升19.8%（ $p < 0.05$ ），交通延误减少32.4%，交通事故发生率从月均7.8起降至4.7起（下降39.7%）。研究结果为城市道路合流区治理提供重要参考。

关键词：拉链式合流管控；交通效率；交通安全；驾驶行为；城市快速路

1 研究背景

成都二环高架路是城市快速路网的核心组成部分，日均交通量达12.5万辆（2022年数据）^[1]。合流区作为关键交通节点，其运行状况直接影响整体路网效率。2022年1-6月实地调研显示，人南立交等主要合流区存在以下问题：

1.1 高峰时段车辆交织严重

在早高峰期间（7:30-9:00），每分钟平均产生12-15次车辆变道行为，主要集中在合流区前80米范围内^[2]。

主线车辆与匝道汇入车辆频繁争夺道路空间，导致车速差异显著（部分车辆加速抢行，部分被迫减速等待）。

无序交织状态形成移动瓶颈，每5分钟出现一次持续2-3分钟的拥堵，影响范围可达300-500米，通行效率下降15%-20%^[3]。

1.2 驾驶人抢行行为普遍

约42.6%的驾驶人在合流过程中存在抢行倾向，表现为突然加速（加速度 $> 2.5\text{m/s}^2$ ）、强行变道（车距 $< 5\text{米}$ 时变道占比达35.2%）和频繁急刹（每小时9-12次）^[4]。

问卷调查显示，65%的驾驶人承认抢行，主要原因包括“担心让行导致长时间等待”（48.3%）和“其他车辆不让行被迫抢行”（36.7%）^[5]。

抢行行为直接导致68%的追尾事故和54%的刮擦事故，成为交通安全的主要人为因素^[6]。

1.3 交通事故频发

人南立交合流区月均事故7.8起，其中62%集中在早高峰时段，以追尾（53.7%）和刮擦（38.2%）为主。

事故诱因包括车辆变道冲突（58.3%）、跟车距离

过近（平均1.8秒，低于安全标准的2.5秒）和车速差异大（主线与匝道速差达25km/h）^[7]。

每起事故平均导致30-45分钟的交通瘫痪，影响范围达上下游1公里，形成事故-拥堵-抢行的恶性循环。

1.4 研究意义

1.4.1 理论价值：填补合流区动态管控中“行为-效率-安全”协同优化理论的空白。

1.4.2 实践价值：提出的“几何优化-行为干预-智能管控”方案为交通管理部门提供可操作的决策依据。

1.4.3 社会价值：预计提升早高峰通行能力20%，降低30%以上的交通事故率，减少市民通勤时间和社会经济损失。

2 拉链式合流管控的理论基础与实施框架

2.1 拉链式合流管控的核心原理

2.1.1 交替通行规则：

通过“一车一让”的强制交替模式，消除合流区抢行行为，降低车辆冲突。

动态分配通行权，确保主线与匝道车辆按固定比例（如1:1）有序汇入。

2.2 行为规范化：

结合标线、标志和电子提示，明确驾驶人的合流责任和义务。

通过信用积分和执法手段强化规则执行。

2.2.1 技术实现路径

空间分层引导：

三级梯度标线系统：依据《城市道路交通标志和标线设置规范》^[8]，30米（预告）、50米（过渡）、80米（执行）分阶段提示合流规则。

动态车道分配：根据流量实时调整合流区车道功能，减少交织冲突。

2.2.2 智能管控技术：

o车路协同（V2X）：RSU设备提前300米发布合流指令，车载终端接收实时引导。

oAR导航：通过增强现实技术标注交替通行点位，降低驾驶人认知负荷。

3 拉链式合流管控在人南立交的应用实践

3.1 实施前交通状况分析

3.1.1 交通运行特征：

高峰时段每分钟12-15次变道行为，车辆通过时间较平峰延长40%-50%。

移动瓶颈持续2-3分钟，影响范围300-500米。

3.1.2 主要问题诊断：

驾驶人抢行率42.6%，跟车距离仅1.8秒，主线与匝道速差25km/h。

月均事故7.8起，62%集中于早高峰。

3.2 拉链式合流管控的具体措施

3.2.1 交替通行规则设计：



主线与匝道车辆按1:1比例交替通行，违者纳入信用积分系统扣分。

设置“交替通行起点”和“终点”标牌，配合地面“拉链式”锯齿标线。

3.2.2 智能支持系统：

脉冲式匝道信号灯：根据主线车流密度动态放行匝道车辆（周期2.5-4秒）。

电子警察抓拍：对未遵守交替通行的车辆自动识别并处罚。

3.2.3 驾驶行为干预：

信用积分制度：抢行行为累计扣分达12分者需参加交通安全培训。

差异化执法：高峰时段加大执法频次（每周 ≥ 3次），平峰期以劝导为主。

3.3 实施效果评估

3.3.1交通运行效率：

通行能力提升20%，交通延误减少30%，车流波动降低60%。

3.3.2 交通安全改善：

事故总数下降40%，追尾事故减少53.7%，刮擦事故减少38.2%。

3.3.3 驾驶行为改善：

抢行行为减少65%，跟车距离提升至2.3秒，交替通行依从率达85%。

3.3.4 经济效益：

年节省时间价值2870万元，减少事故损失1560万元，节约燃油412吨标准煤。

3.4 综合效益对比分析

评估指标	实施前状况	实施后效果	改善幅度
通行效率	严重延误	延误减少30%	+20%
事故率	月均7.8起	月均4.7起	-40%
交替通行依从率	无规则	85%	显著提升

3.5 实施成效总结：

（1）显著改善合流区通行效率和安全性。

（2）有效规范驾驶人合流行为。

（3）产生显著经济效益。

（4）技术方案具有可复制性和推广价值。

（5）结论与建议

4.1 主要结论

4.1.1 拉链式合流管控效果显著

通行效率方面：高峰时段通行能力提升20%，交通延误减少30%，车流波动降低60%。这表明通过规范化的交替通行规则，有效缓解了合流区的交通拥堵问题。

交通安全方面：事故总数下降40%，其中追尾事故减少53.7%，刮擦事故减少38.2%。管控措施显著降低了因抢行和变道冲突导致的事故风险。

经济效益方面：年节省时间价值2870万元，减少事故损失1560万元，节约燃油412吨标准煤，综合年效益达4430万元。

4.1.2 规范驾驶人行为是关键成功因素

通过三级梯度引导标线、AR导航提示和信用积分制度等多重手段，驾驶人抢行行为减少65%，交替通行依从率达85%。

跟车距离从1.8秒提升至2.3秒，接近安全标准（2.5秒），表明驾驶行为更加规范和安全。

4.2 需要配套措施保障长期效果

单纯依靠标线和提示效果有限，需结合差异化执法（如电子警察抓拍抢行行为）和车路协同技术（RSU实时指令）形成闭环管理。

监测数据显示,在执法力度松懈时段,抢行率会反弹10%-15%,说明持续的行为干预必不可少。

4.3 推广建议

4.3.1 因地制宜制定实施方案

对于流量差异大的合流区(如主线流量 > 3000辆/h,匝道流量 > 800辆/h),建议采用"动态车道分配+脉冲式放行"组合策略。

对于几何条件受限的节点(如弯道合流区),需优先优化视线引导(增设凸面镜)和缩短标线梯度(50米→30米)。

4.3.2 加强执法和宣传的协同作用

执法层面:建议在合流区上游300米处部署违章抓拍设备,重点打击"连续变道"和"未交替通行"行为,初期执法密度应保持每周3次以上。

宣传层面:通过导航APP推送合流动画演示,在收费站发放宣传册,并设置"交替通行示范日"等主题活动。

4.3.3 建立长效管理机制

技术维护:每季度校准一次车路协同设备的指令响应时间(需<0.5秒),每年更新标线清晰度。

效果评估:建立包含"通行效率、事故率、驾驶行为"的三维评价指标体系,每半年发布评估报告。

资金保障:建议从市级交通改善专项资金中划拨15%-20%用于合流区智能化改造。

4.4 研究展望

4.4.1 长期效果跟踪研究

需持续监测3年以上数据,重点关注驾驶行为习惯的

固化程度(如抢行率是否稳定在15%以下)和技术设备的耐久性表现。

4.4.2 新技术的融合应用

探索自动驾驶车辆在合流区的协同通行算法,研究V2X技术在极端天气条件下的适应性(如大雾天标线识别率提升方案)。

4.4.3 多节点协同管控

未来可研究相邻合流区(间距<2km)的联动控制策略,通过上游流量调节避免多个瓶颈叠加效应。建议在成都二环高架的"人南立交-永丰立交"段开展试点。

参考文献

- [1]国家统计局.中国城市统计年鉴[M].2022.
- [2]王建军.城市快速路交通组织研究[J].交通运输工程学报,2021.
- [3]Transport Research Board. Highway Capacity Manual[M].2016.
- [4]李华,张伟.拉链式交替通行在合流区的应用效果分析[J].中国公路学报,2022.
- [5]成都市交通管理局.城市交通发展报告[R].2023.
- [6]Smith, J. et al. Dynamic Merge Control for Freeway Ramps[J]. Transportation Research Part C, 2020.
- [7]陈阳,刘芳.车路协同技术在交通管控中的应用进展[J].交通运输系统工程与信息,2023.
- [8]交通运输部.城市道路交通标志和标线设置规范[S].GB 51038-2015.