

快速路合流区拥堵成因浅析及组织优化方案

熊帅 齐庆祥

中国市政工程华北设计研究总院有限公司

DOI:10.12238/bd.v5i2.3681

[摘要] 快速路合流区是决定快速路运行效率的关键区域,本文通过对比快速路与高速公路之间的差异,来揭示快速路合流区现有问题。将车辆汇入行为分为常态汇入、非常态汇入,运用博弈论理论研究不同车辆汇入行为所导致的合流区拥堵问题。并针对这种高峰期间常发性拥堵问题提出解决方案,用可升降隔离桩来控制合流区长度,进而保证高峰期间主路运行畅通,仿真结果表明,优化方案提高主路通行效率。

[关键词] 快速路; 合流区; 汇入行为; 拥堵

中图分类号: TF081 **文献标识码:** A

Analysis of expressway confluence area congestion causes and organizational optimization scheme

Shuai Xiong, Qingxiang Qi

China Municipal Engineering North China General Institute of Design and Research Co., Ltd

[Abstract] The expressway confluence area is the key area that determines the operating efficiency of the expressway. This paper compares the differences between the expressway and the highway to reveal the existing problems in the expressway confluence area. The merging behavior of vehicles is divided into normal merging and abnormal merging, and game theory is used to study the congestion problem in the confluence area caused by the merging behavior of different vehicles. In response to this frequent congestion problem during peak hours, countermeasures are proposed. Lifiable isolation piles are used to control the length of the confluence area to ensure smooth operation of the main road during peak periods. The simulation results show that the optimized countermeasures increase the traffic efficiency of the main road.

[Key words] Expressway; Confluence Area; Merging Behavior; Congestion

引言

快速路初始时期的设计标准主要参考高速公路,所以高速公路与城市快速路有着相似的道路结构,但是二者交通流特性有很大的差别,高速公路车流整体呈连续流特征,而城市快速路由于其与普通城市道路有平面交叉,导致快速路交通流呈间断流^[1]特征。此外,高速公路车速高,主线、匝道速度差较大,快速路交通量大,车速相对低,高峰现象显著,二者交通流特性不同。高速公路的匝道设计受环境制约较少,而快速路的匝道设计却要受到其所在城市环境的限制,所以,快速路匝道长度、合流区长度一般难以达到设计规范中的较优值,在高峰

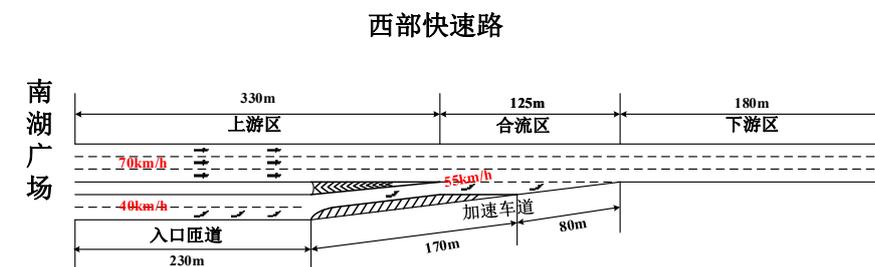


图1 研究地点示意图

期车辆驾驶行为混乱的情况下,容易形成严重的瓶颈。

城市快速路交织区^[2]车辆行驶自由度过高、驾驶行为混乱,已然无法保证主路优先权。现有的关于快速路合流区拥堵现象的分析中,要么是基于交通波理

论^[3],要么是基于“匝道车辆让行主路”的规则^[4],但是,这些仅研究车辆常态汇入的文章难以反映真实的高峰期车辆复杂驾驶行为,更难以揭示高峰期合流区拥堵成因。

为揭示快速路合流区拥堵成因,还

原车辆复杂驾驶行为, 本文利用大量实测数据, 通过高点视频获取整个合流区长度内的车辆时空信息, 揭示多种汇入行为, 再现车辆汇入导致的交通拥堵的过程。在此基础上, 提出了缓解匝道车辆汇入对主路造成干扰的合流区组织优化方案, 通过仿真分析所得数据, 验证了该方案的可行性。

1 数据采集

1.1 研究地点

本文选取长春市西部快速路南湖广场南部入口匝道作为研究地点, 快速路主路3车道, 匝道1车道, 图1给出了研究地点示意图。

1.2 数据获取

在快速路合流区附近高层建筑的顶层布设广角相机, 2台相机拍摄范围覆盖合流区及其上游路段。调查时间为2020年5月工作日期间, 时段为平峰15:00-16:00、早高峰7:00-9:00和晚高峰17:00-19:00。

使用自主研发软件Track Pro^[5]提取每辆车的像素坐标, 乘以标定系数转换得到车辆真实坐标, 进而获取车辆轨迹详细信息。车辆坐标提取如图2所示。



(a) 合流区



(b) 上游区

图2 车辆坐标提取示例图

2 拥堵成因浅析

对合流区车辆进行轨迹提取, 发现合流区车辆汇入行为可分为两种: 常态汇入和非常态汇入。常态汇入行为就是人们通常理解的车辆从匝道加速至与主路相匹配的速度, 然后选择汇入主路, 非常态汇入就是车辆不按照标线引导的路

西部快速路

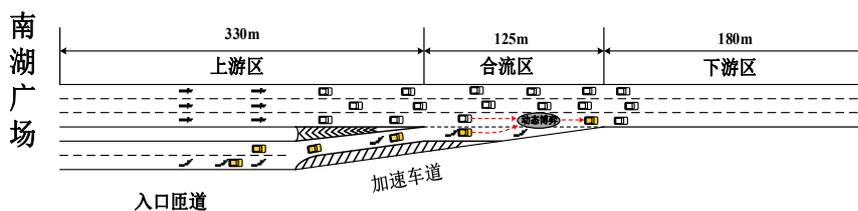


图3

西部快速路

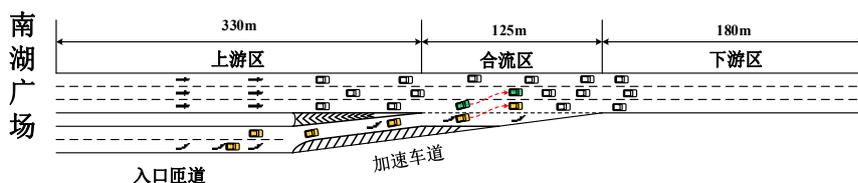


图4 外侧车道车辆受压换道示意图

西部快速路

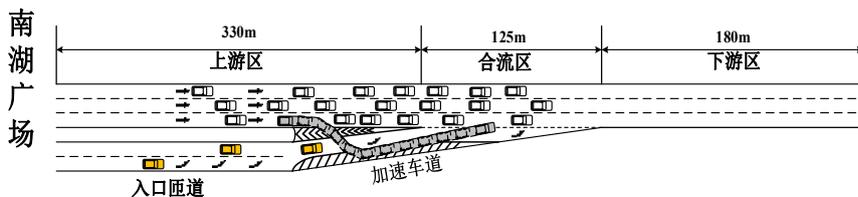


图5 绕行汇入示意图

西部快速路

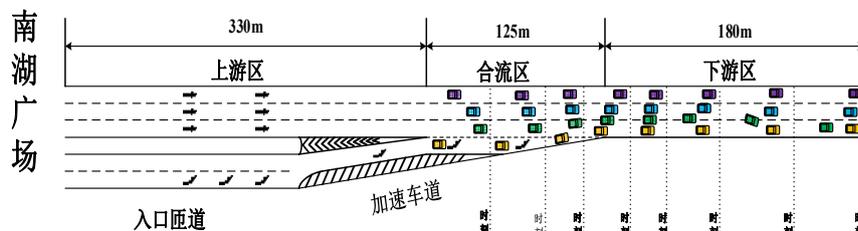


图6 并行汇入示意图

线行驶, 而是选择提前压线汇入或者从外侧超车汇入。

2.1 常态汇入

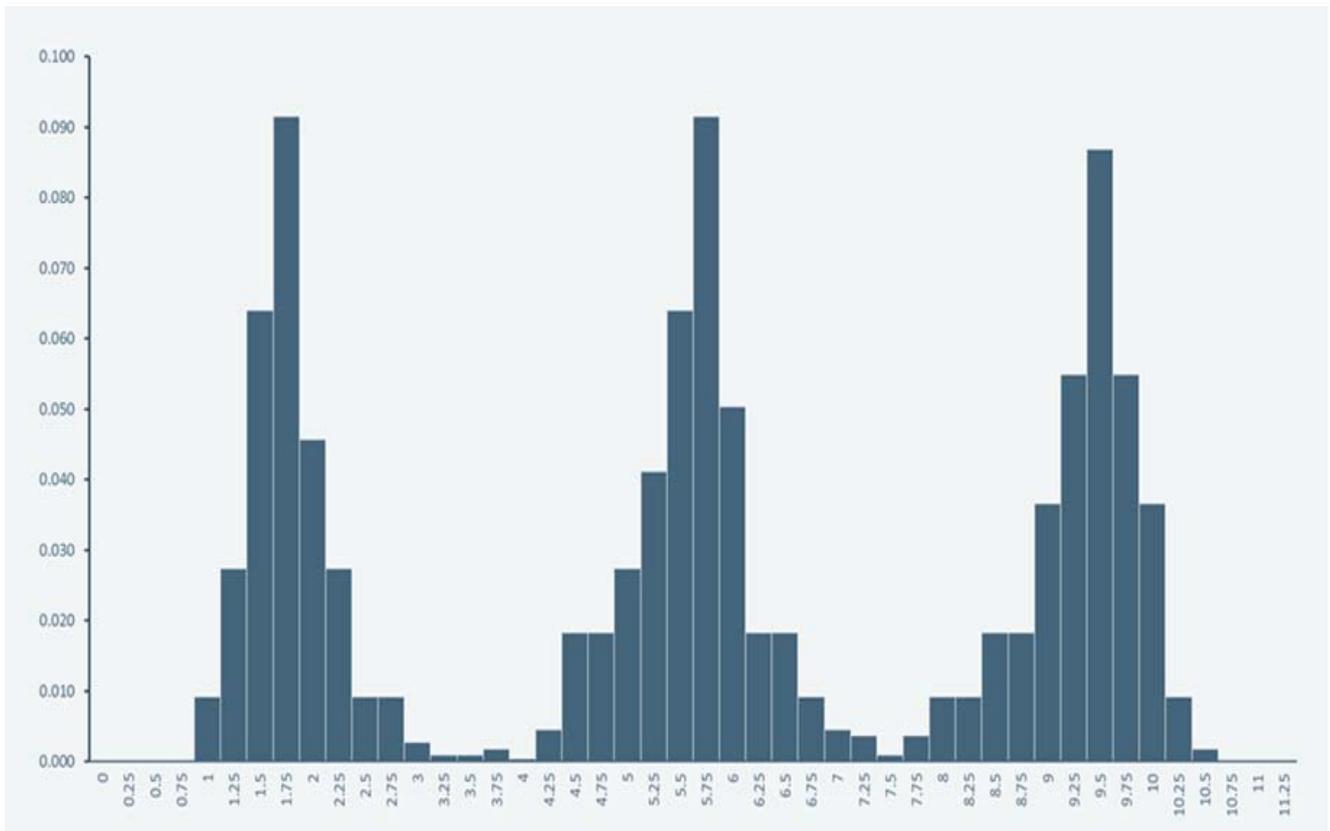
2.1.1 动态博弈

对合流区车辆轨迹进行记录观察, 发现绝大多数车辆的汇入过程实际是匝道车辆与主路车辆之间的动态博弈过程。会有一方抢行, 一方避让, 最终会前后依次驶入下游区。这个过程使车流降速, 断面密度增加, 是导致合流区成为瓶颈点的关键因素。

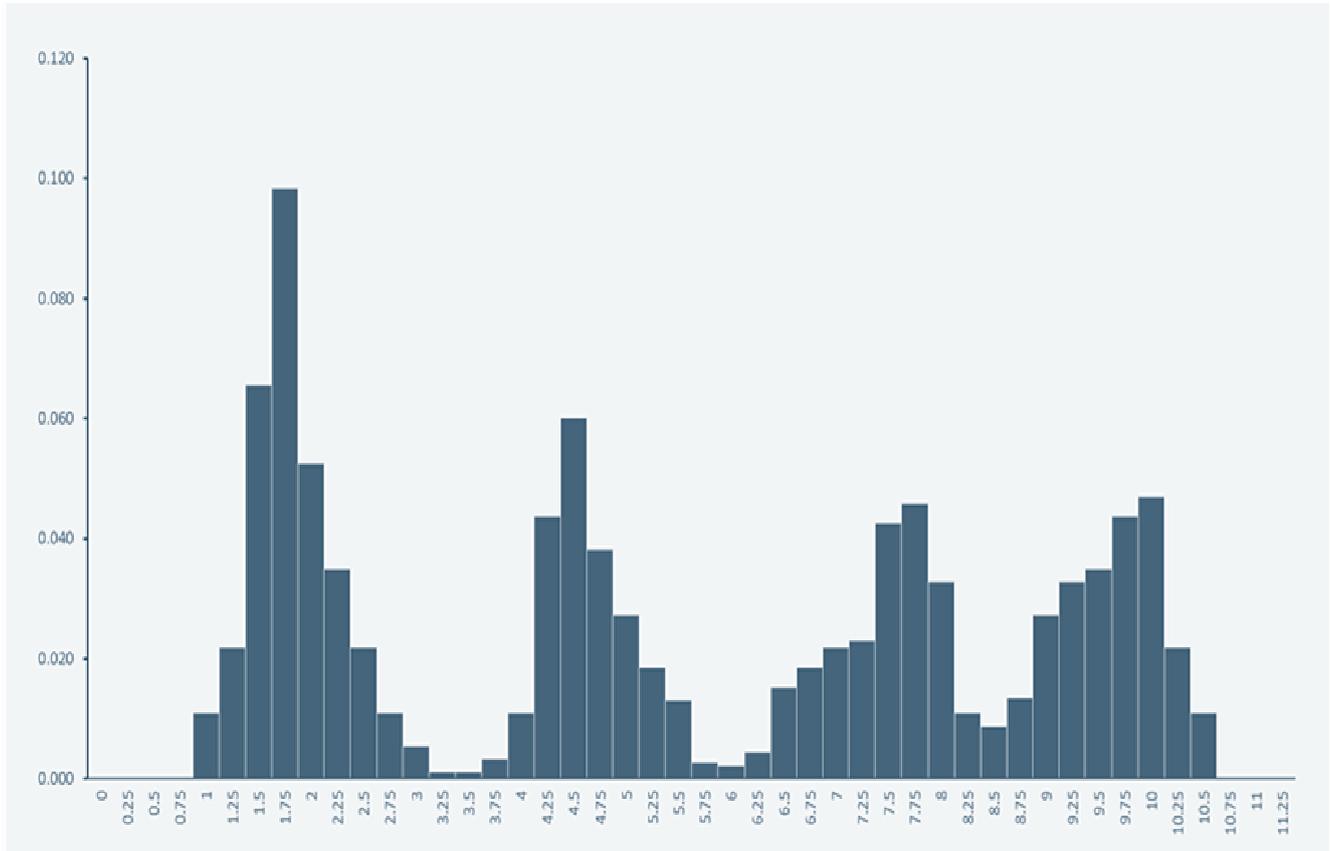
2.1.2 外侧车道受压换道

除了主路外侧车道车辆与匝道车辆动态博弈汇入之外, 还有一种常态汇入的形式, 就是主路外侧车道车辆受到较高密度的匝道车流的压迫, 保守型驾驶员会选择换道至中间车道, 为匝道车辆汇入提供空间, 而后匝道车辆汇入主路。这种外侧车道受压换道的现象, 看似没有动态博弈的过程, 实际上在主路外侧车道车辆选择换道前, 已经完成了心理博弈的过程, 只不过这种选择换道, 是主路车辆博弈失败之后的结果。

2.2 非常态汇入



(a)平峰



(b)高峰期 图 7 车辆轨迹频率分布直方图

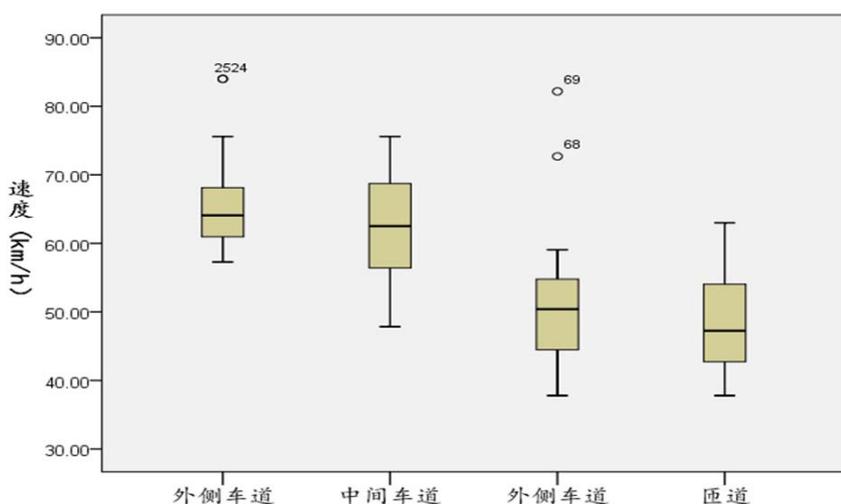


图8 速度箱线图

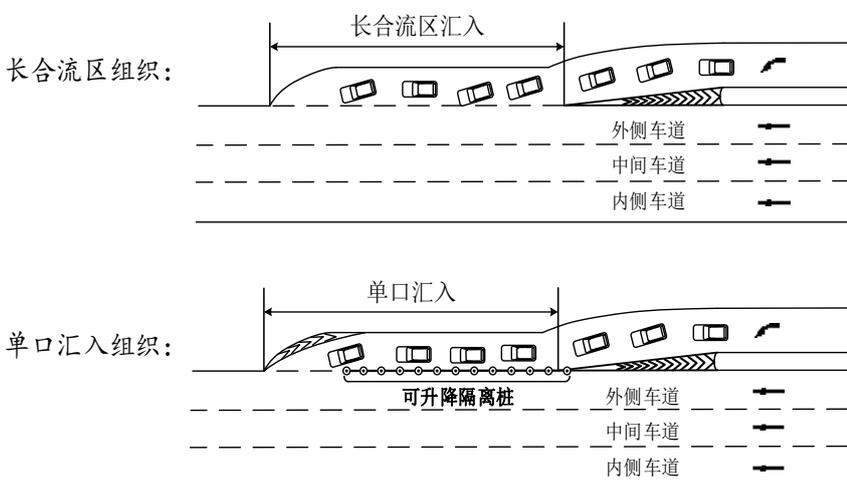


图9 两种组织形式示意图

以上两种汇入方式均为常态汇入，在高峰期间的合流区，车辆运行速度低，拥堵常发，驾驶人等待时间长，导致部分车辆会出现违法压线形式的现象，本文将这种合流区违法汇入的行为称为非常态汇入。

2.2.1 匝道车辆提前压线汇入

由于匝道车流受上游信号控制，所以匝道车流是严格意义上的间断流，当主路外侧车道出现较大间隙时，而且匝道车流处于排队状态时，激进的匝道车辆驾驶人可能会无视导流岛的存在，选择压线提前汇入主路，这种汇入方式对主路车流干扰严重，易发生事故。

2.2.2 绕行汇入

当主路交通状态拥堵，而匝道车辆较少时，激进型主路车辆驾驶人可能会

选择绕行匝道，而后再次汇入主路。这种汇入方式与整个合流区的车辆发生冲突，极易发生事故。

2.2.3 并行汇入

如图6所示，匝道车辆汇入至主路的过程中，还会发生一个较罕见的现象，汇入车辆在主路车流处于拥堵状态时强行挤入主路外侧车道，迫使主路车辆轨迹向内侧偏移，而后主路车辆与匝道车辆并行一段距离，形成“三道四车”的奇怪现象。至下游区，外侧两股车流经抢行、避让后合并成一股车流。此类自组织现象导致合流区上下游车流极为混乱，是交通瓶颈的成因之一。

采集图6中时刻4所在断面车辆轨迹数据，以内侧车道边缘线为0点，车辆轨迹距内侧车道边缘线的距离为轨迹距离

(单位：米)，绘制频率分布直方图如图7所示。

由图7可得，平峰时段出现3个波峰，说明车辆总体呈3股车流行驶，高峰时段，出现四个波峰，说明合流区末端有并行汇入行为，出现四股车流。第三个波峰在7.75米处，恰好处于中间、外侧车道分界线附近，说明外侧车道车流受汇入车流压迫，骑行行驶。

图8是主路3个车道与匝道的车辆速度箱线图，车辆的速度总体上是外低内高，外侧车道受到匝道车流干扰，速度较内侧、中间车道明显低。中间车道与内侧车道的差别则主要在拥挤流状态下，内侧车道由于在流量较大的情况下受到的干扰较少，因此速度相对较高，分布相对集中。

3 合流区组织优化方案

由前文所述的诸多汇入行为，可知平行式加速车道由于长交织区的存在，为匝道车辆提供了相对自由的汇入条件，进而对主路车流的干扰更为严重。为了避免匝道车辆对主路产生过多干扰，带来更大的延误，本文将提出一种合流区组织优化方案，以牺牲部分匝道车辆的通行效率的方式来保证主路车流优先通行。

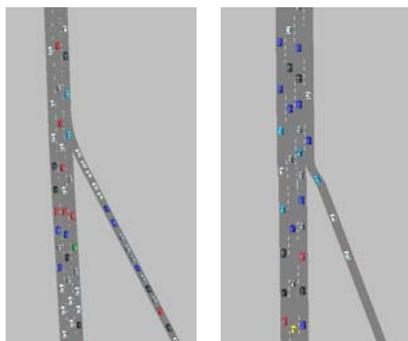
这个合流区组织优化方案为：①单口汇入组织：在高峰期间，采用可升降式防撞隔离桩将合流区的长度缩短，将平行式加速车道结构调整为直接式加速车道结构，迫使匝道车辆单口汇入。②长合流区组织：在平峰期间，降下隔离桩，恢复原先的平行式加速车道结构，使得匝道车辆能够在长合流区进行汇入。具体如图9所示。

这种单口汇入得组织方案会缓解汇入车辆对主路车流的冲突，但缺少量化依据，因此，本文对这两种组织方案进行仿真分析，以主路、匝道平均车速为指标，分析不同流量条件下，两种组织方式对通行效率的影响。

4 仿真分析

根据研究地点几何结构，构建两种组织方案的交通路网，如图10所示，并通过统计视频中的车流量、车速、汇入间隙、加速度等参数，设定仿真参数，使得

仿真场景与实际交通流状态保持一致。



(a)单口汇入合流 (b)长合流区

图10 两种组织方式的仿真路网

为达到“主路优先”这一目的,以主路车辆平均速度作为衡量组织方案优劣的指标。仿真通过VISSIM中COM接口功能实现多种流量组合的输入,输出行程时间,评价方法是行程时间评价。具体仿真输入参数见表1。

表1 仿真输入参数

变量	仿真输入
主路流量(veh/h)	1800至9000 间隔900
匝道流量(veh/h)	600至2100 间隔300
车辆组成	小型车 97%
	大型车 3%
主路车道数	3
匝道车道数	1
加速车道组织方式	单口汇入、长合流区

根据仿真输出数据,对不同流量组合条件下输出的主路平均速度进行数据拟合。图11为长合流区组织方式下主路车辆平均速度拟合曲面图。由图可得,随着主路流量增大,主路平均速度随着主路流量的增大呈缓降-骤降-趋于平稳的态势。且当主路输入流量很大(大于6600veh/h)时,随着匝道流量增大,主路平均车速先减后增,这是因为,匝道流量增大会加剧对主路车辆的干扰,使得主路车流延误增加,当匝道输入流量极大时,匝道车辆开始在匝道形成排队,在动态博弈中很难成功,无法抢得通行权,对

主路的干扰反而降低了。

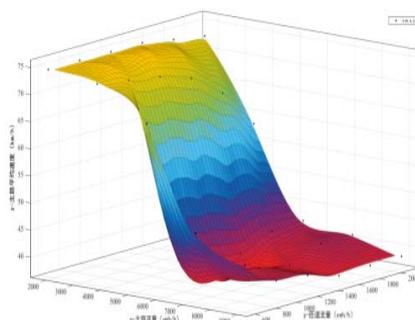


图11长合流区形式主路车辆平均速度

图12为单口汇入组织方式下主路车辆平均速度拟合曲面图。在主路输入流量小于6000veh/h时,主路车速随着主路流量的增大而线形减小,当主路输入流量很大时,主路车速波动明显,这是因为,当主路输入流量过大时,主路排队常发,整个合流区一直处于交通波集结-消散的循环过程,速度波动明显。但是,可以明显看出,主路输入流量极大时,单口汇入的通行效率要高于长合流区汇入。

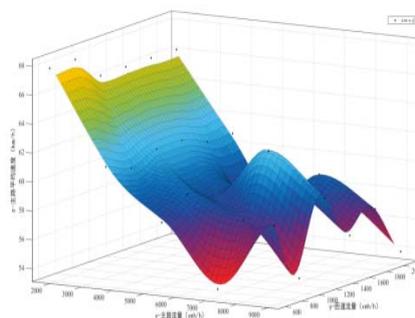


图12单口汇入形式主路车辆平均速度

将上述两种组织方案的拟合数据融入同一坐标系中,二者相较成一条曲线,如图13所示。在不同的流量组合状态下,两种组织方案输出的主路平均速度较高者,通行效率更高,方案更优。可以看出,当流量相对较小时,选择长合流区组织方案更优,当流量相对较大时,选择单口汇入组织方案更优,由此证明前文所提出组织方案是可行的。

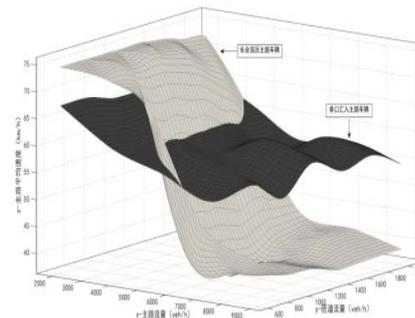


图13两种组织方式下主路车辆平均速度合图

5 结论

本文使用视频录像法获取整个合流区车辆时空信息,通过将合流区汇入行为分为常态汇入行为、非常态汇入行为来分析合流区拥堵成因,并提出高峰期间单口汇入的组织优化方案,通过仿真分析,验证了所提出方案的可行性。

【参考文献】

- [1]美国交通研究委员会.道路通行能力手册[M].人民交通出版社,2007.
- [2]陈小鸿,肖海峰.交织区交通特性的微观仿真研究[J].中国公路学报,2001,014(021):88-91.
- [3]杨少辉,马林,王殿海,等.城市快速路停车波模型修正[J].吉林大学学报(工),2012,38(04):808-811.
- [4]QU Z W, CAO N B, CHEN Y H, et al. Capacity model of on-ramp merging section of urban expressway [J].Journal of Southeast University (English Edition), 2016,32(2):226-232.
- [5]江晟,王殿海,曲昭伟.交叉口机动车运动轨迹特征提取与标定[J].西南交通大学学报,2012,47(5):784-789.

作者简介:

熊帅(1992--),男,汉族,河南省信阳市人,硕士,助理工程师,研究方向:交通控制,交通组织,交通设计。