

文章编号: 0451-0712(2007)02-0086-05

中图分类号: U491.112

文献标识码: A

# 交通流中临界车间作用的研究

张君纬<sup>1</sup>, 戴为民<sup>2</sup>, 张郃生<sup>1</sup>, 王福建<sup>3</sup>

(1. 河北交通职业技术学院 石家庄市 050091; 2. 河北省交通厅 石家庄市 050051;

3. 浙江大学 杭州市 310027)

**摘 要:** 利用摄像采集交通数据的方法, 通过在河北省境内不同公路结构几何断面获得的大量交通数据, 对交通流中车间相互作用机制和分布规律进行了分析研究, 并运用这些实验数据建立了车间相互作用的微观模型, 得出了具有我国混合交通特性的临界车间作用结果。

**关键词:** 交通流; 车头距; 车间作用; 数学模型

在道路交通运行分析中, 交通流中车间作用是跟驰车辆与引头车或排队车辆之间相互产生影响的量度。术语称车头距、车间距或车头时距等。美国在 1965 年、1985 年和 2000 年 HCM 中关于 pce、LOS 以及道路通行能力的分析与计算有很大一部分是借鉴采纳车头距数值的结果<sup>[1]</sup>。因此, 了解车间作用是微观交通流研究的一个核心问题。近 70 多年来, 除 Lightill 和 Whitham(1965)的流体动力学模型之外, 有许多交通流理论模型大都是基于分析临界车间作用建立起来的, 如 Normann(1942 年)的跟驰模型<sup>[2]</sup>; Herman(1963 年)和 Gipps(1976 年)的排队模型<sup>[3]</sup>; Miller(1963 年)的均衡排队模型<sup>[4]</sup>; 以及 Ovuworie 等人(1980 年)解释计算超车概率取决于跟驰车辆车头距分布模型<sup>[5]</sup>等等。然而, 在这些模型中, 许多理论计算结果之间仍出现了较大的误差, 有些甚至是相互矛盾的结果。至今, 这些理论模型应用的真实性和接受程度受到多方面的质疑, 为此后续研究者们仍在探讨和研究更为完善的描述交通流运行状态的数学表达式。

## 1 现场实验

本项目自 1998 年~2003 年陆续在河北省不同公路断面类型中, 利用数字摄像的方法在 210 个观测点进行实验数据采集, 其试验研究内容如下述。

(1)道路条件。试验公路选择在平直、无侧向交通干扰路段, 道路几何断面尺寸为 8 m、9 m、12 m、

15 m、18 m 和高速公路等 6 种形式。

(2)交通条件。试验研究的交通条件分为两种类型: 一种为阻车实验所形成的大规模排队交通; 另一种为自然交通流中抓拍随机排队(串车)的交通。

(3)车型分类。根据道路行驶车辆自身的空间体积和动力性能, 按照功率/质量比(W/kg), 将车辆分为大型载货汽车、中型载货汽车、小型载货汽车、小汽车、旅行面包、大型客车、中型拖挂和大型拖挂等 8 种类型。

## 2 数据分析研究

### 2.1 车间作用运行模式的确定

跟驰行驶行为是道路交通中常见的车辆运行现象, 通常以车辆彼此之间形成车队的形式出现, 也就是说, 在一般交通运行条件下, 当跟驰驾驶员充分感觉到自身的行驶受到前方车辆的阻抗时, 选择适当的最小车间距排队行驶<sup>[3]</sup>。但是, 大多数驾驶员总是根据道路与交通的实际情况, 选择适当的松弛跟车间距, 并依此调整车间距最终在左侧完成超车。其排队行驶模式构成如图 1 所示。

所以, 分析研究不同道路和交通条件下, 连续车辆之间车头距与运行特征的分布规律, 确定出代表典型驾驶员心理和临界车间作用的标准范围, 是微观交通流分析的一个基点。

### 2.2 实验数据分析研究

根据对交通流中实验观测的 8 种可能出现车型

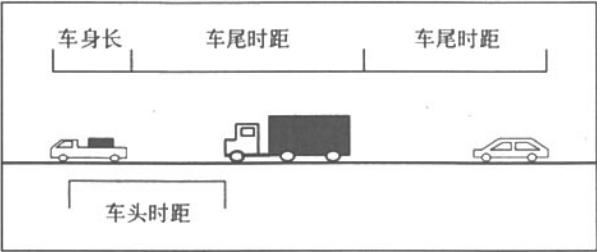


图 1 车辆排队行驶构成形式

的随机组合,共计有 64 种配对组合类型,如表 1 所示。实验观测分析实证分析表明<sup>[6]</sup>,组合车队运行中引头车的不同,对跟驰车车型的作用间距影响也不同。首先是产生对下游流量阻抗影响的车型必须是引头车型的动力性能和速度机动性应低于后续车辆,由此可生成的车型排队组合共有 28 种类型;其次是依据实测流量中车辆构成与平均速度中的车型分布,以及随机组合车型配对的数据量大小等,实际中可为数据分析研究提供 48 组类型数据。因此,为了全面弄清楚上述不同车型组合在不同公路运行中所表现出的车间相互作用分布规律,同时还考虑了引头车动力性能与运行速度明显优于后续车辆所产生的松弛作用和明显劣于后续车辆所产生的紧密作用的情况。研究中涉及到 6 种观测路段断面形式,共计提供了 288 组分析研究数据。以便有充分的对比数据用以描述它们之间的运行作用规律。

表 1 不同引头车与跟驰车类型的配对组合情况

小客与小客	大货与小客	中货与小客	小货与小客
小客与大货	大货与大货	中货与大货	小货与大货
小客与中货	大货与中货	中货与中货	小货与中货
小客与小货	大货与小货	中货与小货	小货与小货
小客与面包	大货与面包	中货与面包	小货与面包
小客与大客	大货与大客	中货与大客	小货与大客
小客与大拖	大货与大拖	中货与大拖	小货与大拖
小客与中拖	大货与中拖	中货与中拖	小货与中拖
面包与小客	大客与小客	中拖与小客	大拖与小客
面包与大货	大客与大货	中拖与大货	大拖与大货
面包与中货	大客与中货	中拖与中货	大拖与中货
面包与小货	大客与小货	中拖与小货	大拖与小货
面包与面包	大客与面包	中拖与面包	大拖与面包
面包与大客	大客与大客	中拖与大客	大拖与大客
面包与大拖	大客与大拖	中拖与大拖	大拖与大拖
面包与中拖	大客与中拖	中拖与中拖	大拖与中拖

2.3 车间作用的模型与临界值的确定

根据表 1 中不同引头车与跟驰车型的随机排队模式,对不同公路几何断面实验路段采集到的数据

进行拟合分析,现仅抽取其中以其他车型为引头车;小型客车为跟驶车辆的 9.0 m、12.0 m 和 18.0 m 三个实验路段中的数据分布为例,其分布如图 2~图 4 所示。

从图中分布结果可看出,车间距作用与速度数域关系明显地出现多个特征集点,即进入临界车间作用点和离去临界车间作用点,结合不同公路几何断面分析,继而构成一组呈非线性多项式关系群,其典型数学表达式为:

$$S_i=a_0+a_1v+a_2v^2+a_3v^3+\cdots+a_nv^n$$
 (1)

式中: $S_i$ 为车临界间作用或临界车头时距; $v$ 为排队车辆运行速度; $a_i(i=0,\cdots,n)$ 为无量纲系数。

通过对以上不同公路几何断面条件的数学表达式求二阶导数,得出的多个方程解,取其两个合理数解为数据分布的前点和后点。前者表现出车间作用阻抗界限;后者表现出车间松弛作用界限;中间为车间作用过程。这表明饱和流中车间作用明显地经历了阻塞→车间作用→松弛三种状态的区间分界或转换点。并表现出如下特征。

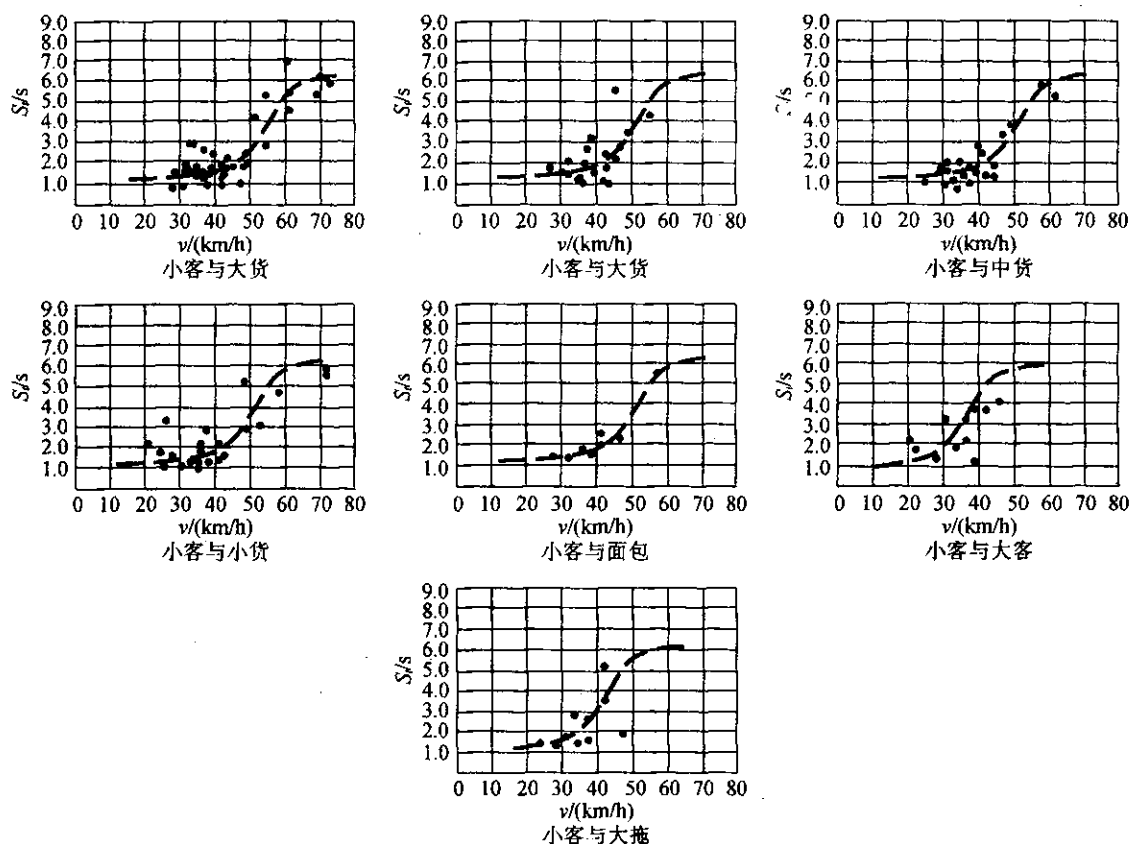
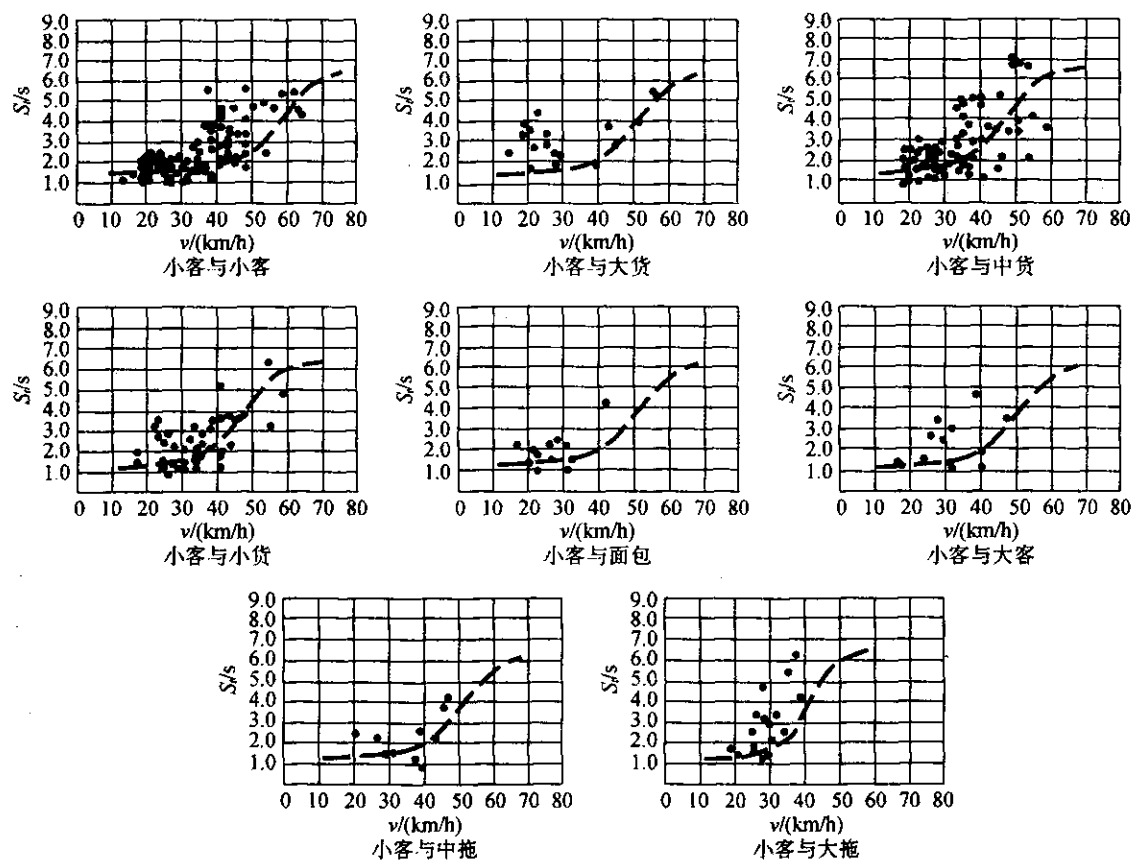
(1)对于断面小于 9 m 的双车道公路而言,车间作用的阻塞与松弛状态比较接近,即中间状态的车间作用稳定区间较狭窄,甚至有时会出现一个作用点(拐点),发生阻塞与松弛两个状态的重叠现象。这表明在该种道路条件下,车间作用空间对道路和流量等因素具有较大的敏感性,由于这些因素的作用,饱和流运行中的车间作用呈现出显著的不稳定性。

(2)对于断面 12 m 的双车道公路和 18 m 的四车道公路而言,阻塞与松弛状态区间明显地增大,即车辆在一个较宽泛的运行速度区域内,无论速度如何变化其车间相互作用仍呈现出相对稳定的作用状态。

(3)除不同断面对车间相互作用所体现出上述普遍的同性特征外,不同引头车类型在同一公路断面与不同公路断面条件中,同一引头车类型在同一公路断面与不同公路断面条件中,也都呈现出它们各自的共性规律和差异性特点。它们所表现出的规律特征有如下几个方面。

①同一车型组合在不同公路断面中,其交通运行的车间相互作用数值的大小,除车间相互作用的速度区域随公路断面宽度增大外,车间相互作用的数值随公路断面宽度的增大而递减。

②不同车型组合在同一路面宽度中,速度稳定区间明显趋于一致,但车间相互作用的数值随着

图2 以小客车为跟驰基准车的  $v \sim S/s$  拟合曲线(断面 9.0 m)图3 以小客车为跟驰基准车的  $v \sim S/s$  拟合曲线(断面 12.0 m)

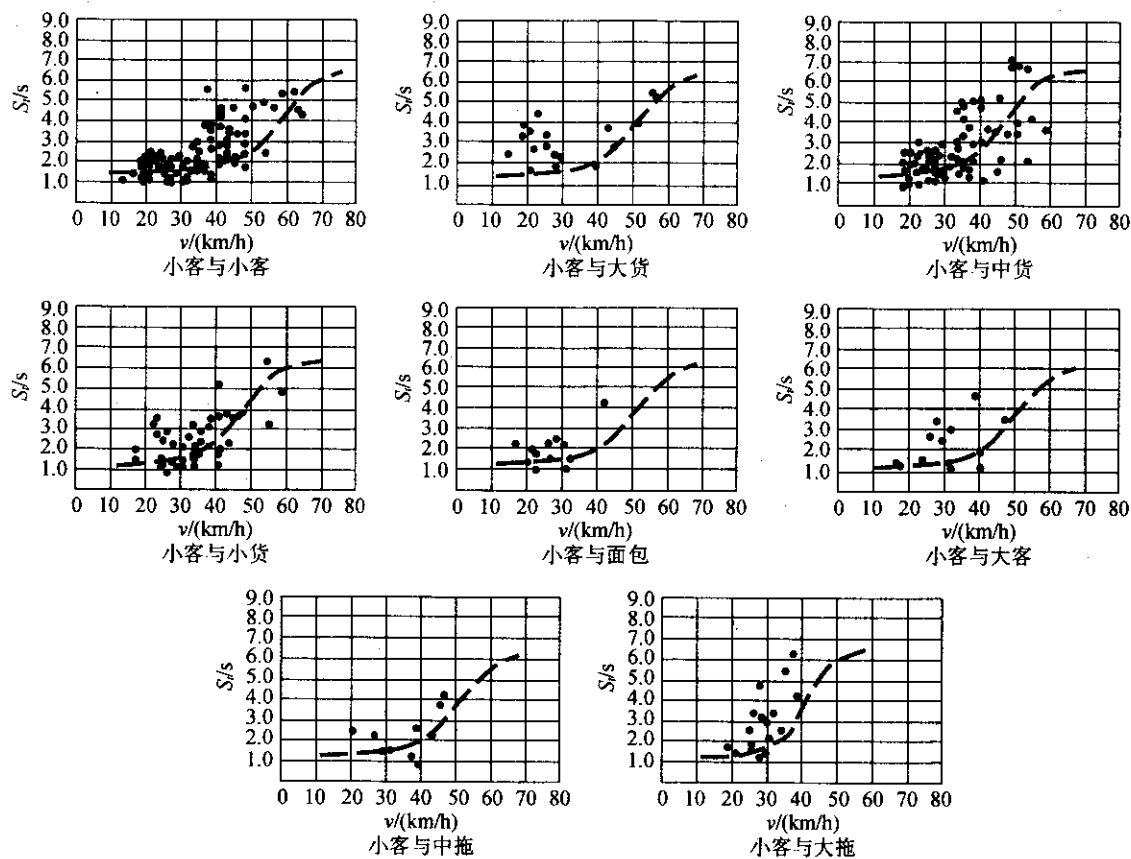


图 4 以小客车为跟驰基准车的  $v \sim S_f$  拟合曲线(断面 18.0 m)

不同车型组合中引头车的不同而有所差别。在这类条件中,车间相互作用的数值可明显地聚集为三类,即在以小客车为跟驰车辆中引头车为小客车、小货车、面包车自成一类,其车间作用值为 2.50 s 左右;以大型货车和中型货车为引头车一类,车间作用值为 3.50 s 左右;以大型拖挂和中型拖挂为引头车一类,分别为 1.60 s 和 1.70 s。其中,最后一类车间相互作用的数值出现显著的变异,并有减小的趋势,这可能是由于拖挂车型的一般行驶速度较慢,反而使其他跟驰车辆能以较小车间作用空间较近跟驶的缘故。

③ 在 12 m 的路面宽度中,无论车型组合如何,比较稳定的车间相互作用数值分布在 25~50 km/h 这样一个更为宽泛的速度稳定区域内,在以小客车型为跟驰车辆的组合中,小型客车、大型货车、中型货车、小型货车和面包车为引头车的自成为一类,车间作用值均在 2.30 s 左右。而以大、中型拖挂和大客车型为一类的速度稳定区间则有明显压缩的倾向,车间作用值变异较大,分别为 3.680 s 和 1.648 s,体现出了大型车辆与上述其他引头车型明显的不同,并具有一定的差别。

④ 在 18 m 的四车道公路(一级公路)或高速公

路中,无论车型组合如何,速度稳定区间分别在 25~50 km/h 和 25~70 km/h 这一区域内,而车间作用数值也无论引头车型有何不同,跟驰车辆的车间相互作用都明显地趋于一致,其作用值约在 2.800 s 左右。

通过上述模型推算出的饱和流临界车间作用值与美国 Messer 求得值<sup>[6]</sup>的比较结果如表 2 所示。并综合所有 6 种实验断面中的车间相互作用分布值示于图 5 中。

表 2 本文与 Messer(1989)得出车间作用值的比较				
车型	临界松弛速度	本文/s	临界松弛速度	Messer/s
小客	50 km/h	2.534	80 km/h	2.020
大货		3.821		2.370
中货		3.429		—
小货		2.872		—
面包		2.946		2.406
大客		3.668		
中拖		4.858		2.890
大拖		5.308		—

通过上面的比较分析可以证明,道路宽度的差别对饱和流量中速度稳定区间和车间作用数值的大

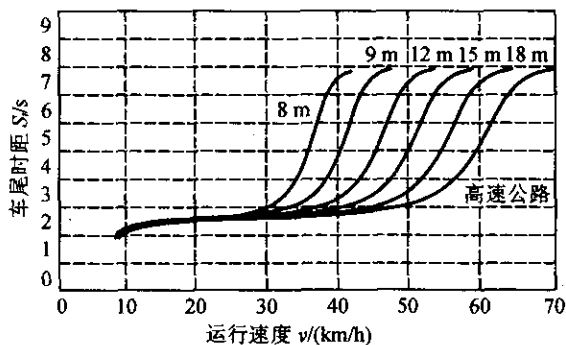


图5 不同公路断面以小汽车为跟车基准的  $S_h \sim v$

小均有着显著的影响,而相对于某种跟驰车辆,不同引头车类型的影响明显地保持着某一稳定的车间作用数值。只有像大型拖挂和大型客车这类与小型客车动力性能差别和外形尺寸差别很大的车型,其车间相互作用才会出现较大的变异性。对于这些更深入的研究可采用建立不同车型组合多元非线性方程组的参数分析得到分析结果<sup>[7]</sup>。

### 3 结论

本文得到的车间作用临界值是各种类型车辆所维持的车间作用最基本特征值,它的具体涵义是两连续车辆之间出现最小相互作用空间的临界线,即小于这个界限车辆之间就会发生碰撞或产生严重交通阻抗;大于这个界限则车辆与车辆之间就会出现不完全的干扰或松驰行驶。同时具备以下显著的交通运行特征。

(1)从微观交通流分析研究表明,实际上车头距是一个相当不稳定的数值,它只存在于交通运行中的瞬间。

(2)对于同一公路断面,同一跟驰行驶车型,其车间相互作用的速度范围分布接近于一致,但车间相互作用因引头车型的不同而有所差别。

(3)对于不同公路断面,同一跟驰行驶车型,维持车间作用的运行速度范围分布会发生变化,但车间作用数值趋于一致。

(4)在本质上,车尾时距与车头时距的概念相同,但在微观流分析中,车尾时距涵盖了我国车型结构多样化对微观流内在的影响。

### 参考文献:

- [1] McLean J R. Overtaking opportunity formulation for mathematical models of two lane flow[R]. Australian Road Research Board, Report 359.
- [2] Normann O K. Results of highway capacity studies [J]. Public Roads, 25(10).
- [3] Gipps P G. An abbreviated procedure for estimating queue lengths in rural two lane traffic[J]. Transportation Science, 10(4).
- [4] Millre A J. Analysis of bunching in rural two lane traffic[J]. Operations Research, 11(2).
- [5] Ovuworie G C, Darzentas J, McDowell M R C. Freemovers followers and others: A reconsideration of headway distributions[J]. Traffic Engineering and Control, 28(8/9).
- [6] Messer C J. Two lane and two way rural highway capacity[R]. Texas Transportation Institute, Texas A&M University, Final Report on NCHRP Project 3-28A.
- [7] 张君纬. 汽车道路作用空间与车辆当量换算系数技术研究报告[R]. 河北省道路通行能力课题组, 2002.

## Research on Critical Interaction Between Vehicles in Traffic Flow

ZHANG Jun-wei<sup>1</sup>, DAI Wei-min<sup>2</sup>, ZHANG He-sheng<sup>1</sup>, WANG Fu-jian<sup>3</sup>

(1. Hebei Communication Vocational College, Shijiazhuang 050091, China;

2. Department of Communications of Hebei Province, Shijiazhuang 050051, China;

3. Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** A lot of experiment data are selected by a camera method at different geometric section in highways of Hebei Province. And the mechanism and distributed regularity of interacting vehicles in traffic flow are analyzed and studied. The vehicle interaction mathematics model is established. The results of critical vehicle interactions of China's mixing traffic characteristics are obtained.

**Key words:** traffic flow; headway; vehicle-by-vehicle interactions; mathematics model