

城市快速路交通流特性分析

李悦^{1,2}, 陆化普¹, 蔚欣欣²

(1. 清华大学交通研究所, 北京 100084; 2. 交通运输部规划研究院, 北京 100028)

[摘要] 城市快速路是城市道路网的主骨架, 对交通状态进行状态划分及稳定性分析, 结合城市快速路交通信息采集系统的交通流检测数据, 对速度-流量关系模型进行分析, 建立了城市快速路快速交通流流量、速度、占有率关系模型, 并进行交通流基本参数时变特性和空间特性分析。首先利用基本图理论, 对3种城市快速路交通流状态进行稳定性分析。随后, 结合北京市典型路段实测数据散点图, 对各种速度-流量关系模型的适用范围和适用程度进行对比分析, 从而得出 Greenshields 模型的拟合效果最好。最后分析交通状态转换过程中的交通流参数时变特性和空间特性, 对实际交通疏导有指导意义。

[关键词] 城市交通; 城市快速路; 交通状态判别; 交通流特性; 交通波理论

[中图分类号] U 491.1⁺2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1674-0610(2013)06-0087-05

Research on Traffic Flow Characteristics of Urban Expressway

LI Yue^{1,2}, LU Huapu¹, YU Xinxin²

(1. Tsinghua university, Beijing 100084, China; 2. Transport Planning and Research Institute, Beijing 100028, China)

[Abstract] Urban Expressway is the skeleton of city road network. This paper utilizes traffic flow data through urban expressway traffic information system, and analyzes the dynamic features over urban expressway traffic flow. The paper establishes the correlation model among traffic flow rate, speed and occupation in urban expressway, and analyzes time-varying characteristics on fundamental parameters. The research will provide scientific accordance and data support for further urban expressway plan, organize and evaluation.

[Key words] Urban traffic; Urban expressway; Traffic status identification; traffic flow features; traffic wave theory

0 引言

在交通流合理分配中, 流密速3参数之间关系的建立有非常重要的作用^[1], 它是预测路段平均车速、路段平均出行时间的基本模型, 同时是划分和确定道路服务水平的必要条件, 是道路通行能力研究的基础, 是进行网络交通分配、网络交通质量评价、网络经济评价的基础^[2]。

对流量、速度、密度关系的研究起始于1935年 Greenshields^[3]的研究, 此后, 针对交通流三参数关系的研究相继出现了 Greenberg^[4] (1959) 速度-密度关系对数模型、Underwood^[5] (1961) 速度-密度关系指数模型、Edie^[6] (1961) 分段指数模型、Drew

(1965) 模型曲线族、Pipe (1967) 模型曲线族^[7]等等。1992年, Hall^[8]对此进行了全面的综述, 并指出速度-流量关系曲线的一般形式。

美国 HCM1965 版、1985 版、1994 修订版、2000 版也分别对速度-流量关系曲线进行了大量研究^[9]。

但是, 国外进行的交通流模型的研究主要是针对高速公路而言, 而针对城市快速路开展的研究, 尤其在我国实际道路条件下开展的交通流三参数研究还较少^[10]。本文试图通过对北京市城市交通流实测数据进行分析研究, 建立符合中国交通条件和交通特性的快速路流密速关系模型。

[收稿日期] 2013-03-07

[基金项目] 国家高技术研究发展计划(863计划)(2007AA11Z202和2007AA11Z233); 中国博士后科学基金资助(2012M510455)

[作者简介] 李悦(1986-), 女, 山东人, 博士生, 主要研究方向交通流理论。

1 数据来源

在道路交通流特征研究中,我们选取城市快速路典型路段进行研究(本论文选取北京市北四环万泉河桥和健翔桥之间从东向西的路段作为研究对象区域。该快速路路段长约 5.8 km,含一个立交连接

匝道 4 个入口匝道 4 个出口匝道;周边主要信号交叉口为中关村一桥、中关村三桥、保福寺桥和学院桥交叉口。除交织区外,研究对象区域快速路主线为 4 车道(见图 1)数据来源为北京市交通管理局在北京市快速路(二环、三环、四环、五环和放射线)埋设的感应线圈。

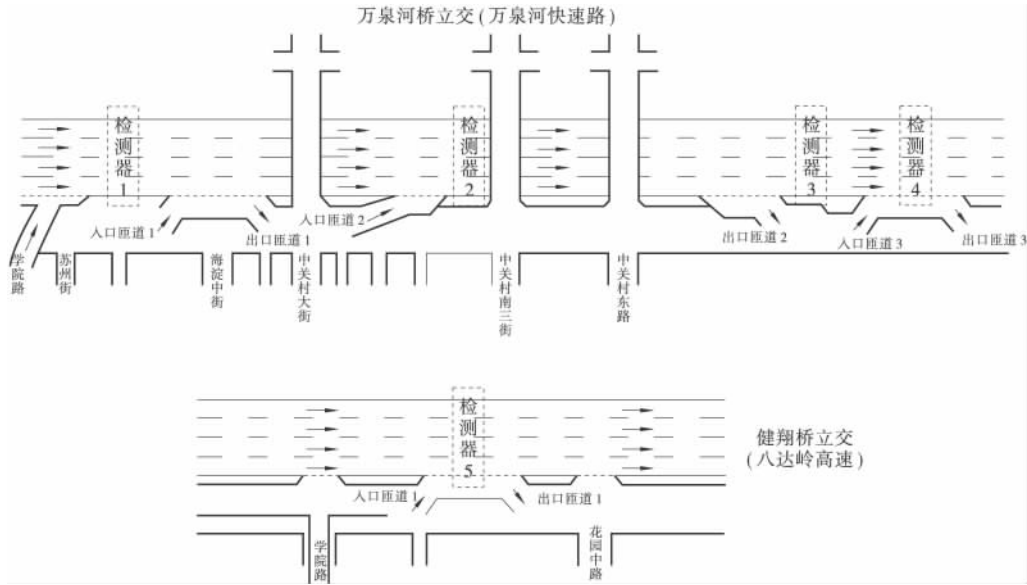


图 1 万泉河立交道路特征示意图
Figure 1 Characteristic of the Wan Quan-he grade separation

2 交通流基本图

2.1 交通状态划分

城市快速路交通流运行状态表征为连续流特性。连续流是指没有外部固定因素(如交通信号)影响的不间断交通流。交通流特性可用交通流状态描述,交通流在不同状态下呈现出不同的特征。城市快速路交通流流量-速度-占有率关系如图 2 所示,其中图 2(a)为流量-占有率关系图,图 2(b)为速度-占有率关系图,图 2(c)为流量-速度关系图。

基于交通流运行特性,结合基本图理论,按照交通流时空模式的不同,可将城市快速路交通流状态

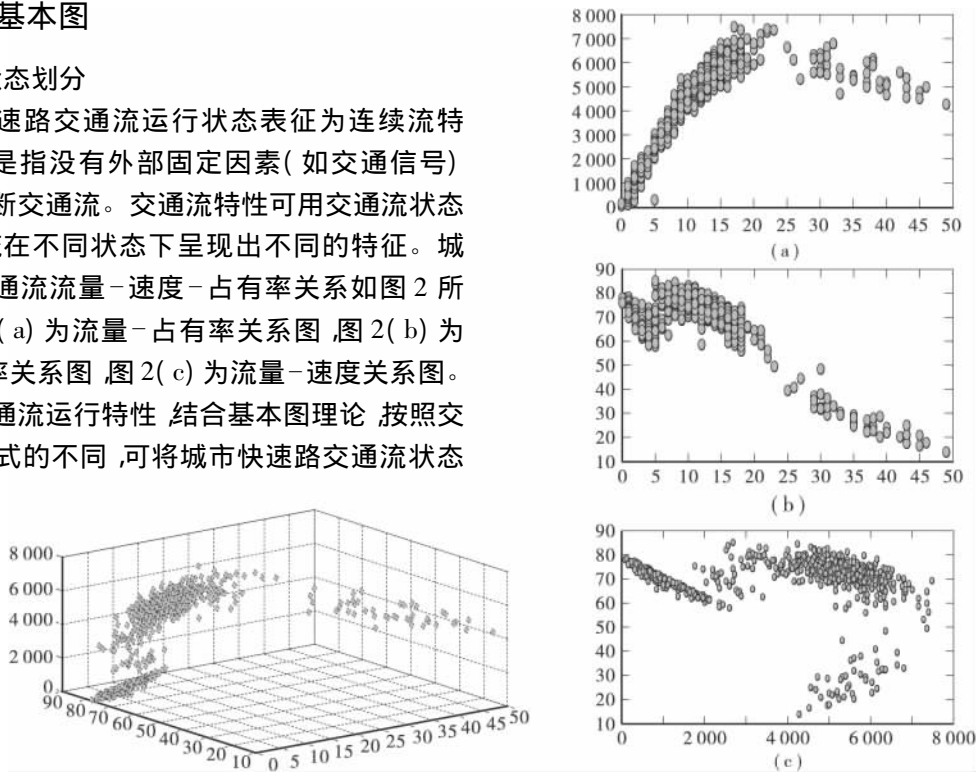


图 2 交通流基本参数关系图
Figure 2 Relationship of fundamental parameters in traffic flow

划分为自由流状态、拥挤流状态和阻塞流状态,见图3。交通流在不同状态下,其稳定性是不同的,图4显示了在不同状态下速度的稳定性。3种状态下的交通流特点如下:

① 自由流状态:低占有率、高速度,行驶车辆基本不受或者很少受到其他车辆的干扰,是一种稳定的状态,不会发生速度迁跃;

② 拥挤流状态:交通流稳定性随着占有率的增加先降低后增加,表现为车道减速度的同步性逐渐降低和速度迁跃概率逐渐升高,最终导致车道间速度差一件小,也就是形成阻塞流状态的过程。此时交通流处于亚稳定状态,交通流率和占有率之间不存在明显的函数关系;

③ 阻塞流状态:此时交通流速度很低,各车道速度趋于一致,交通流率产生较大幅度下降,在该状态下的交通流出现了或长或短的停顿现象。阻塞流状态下,交通流率大幅下降,占有率急剧增加,但是交通流率和占有率之间存在较为明显的函数关系。

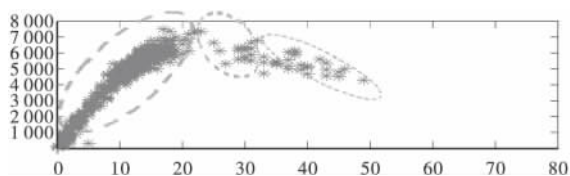


图3 交通状态划分

Figure 3 Traffic status partition

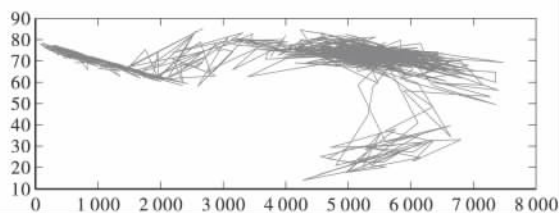


图4 速度-流量折线图

Figure 4 Polygram of speed-flow

2.2 交通流模型

对于流量-速度-占有率关系的研究已经有70多年的历史了,期间出现了很多模型,如表1所示。

一般认为,速度-占有率的关系是研究交通流流密速关系的基础,因为从驾驶员角度考虑,直接感知到的路况信息是速度和占有率的信息,他们会通过这一信息来调整行驶状态,从而直接影响到交通流状态。车速和占有率之间存在着很强的反比关系,因为速度越高时,驾驶员为了确保安全性,就会有拉大车辆间距的倾向,因此平均速度越大,占有率越小。

表1 流量-速度-占有率模型综述

Table 1 Reviews of flow-speed-density Relationship

建模方法	模型名称	适用道路类型
统计分析	英国 TRRL 模型	市中心区拥挤路段
	美国 HCM 模型	高速公路
统计分析 + 模型推导	BPR 模型	主干道
	Green-shields 抛物线模型	高速公路
	Greenberg 对数模型	高速公路 ^①
	Underwood 指数模型	高速公路 ^②
	Edie 分段指数模型	高速公路
	Drew 模型曲线族	高速公路
	Pipe 模型曲线族	高速公路
模型推导	基于交通流的动力学模型推导	各种道路
	基于车辆跟驰理论推导	各种道路
基于仿真	跟车模型模拟	各种道路
	元胞自动机模型模拟	各种道路

注:①密度大的路段;②密度小的路段。

对于 $K-V$ 关系的研究,出现了很多不同的模型,分别选取 Greenshields, Greenberg, Underwood 和 Edie 提出的速度-占有率关系模型,加之流密速的基本关系式 $Q = K \cdot V$,得到了基于 Greenshields, Greenberg, Underwood 和 Edie 模型的流量-速度关系模型:

Greenshields:

$$q = k_j(v - v^2/v_f) = 60(v - v^2/85)。$$

Greenberg:

$$u = u_m \ln(k_j/k) = 47 \ln(100/k)。$$

Underwood:

$$u = u_f e^{\frac{k}{km}} = 110 e^{\frac{k}{47}}。$$

Edie:

$$k \leq m \text{ 时, } V = V_f e^{\frac{k}{km}} = 110 e^{\frac{k}{47}};$$

$$k > m \text{ 时, } V = V_m \ln(k_j/k) = 47 \ln(100/k)。$$

基于以上拟合结果,可以绘制速度-流量关系曲线。结合北京市典型路段实测数据散点图,可以更为直观的对各种模型的适用范围和使用程度进行对比分析,如图5和表2所示。

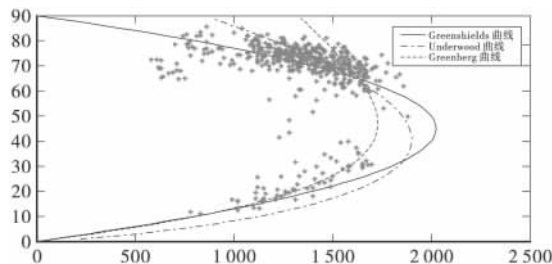


图5 速度-流量关系曲线拟合

Figure 5 Fitting curve of speed-flow relationship

表 2 经典速度-流量模型对比分析
Table 2 Amount of Samples in Observed Sections

模型	最大流量 veh/h/ln	畅行车速/ (km·h ⁻¹)	最佳速度/ (km·h ⁻¹)	阻塞时占有 率/%	最佳占有率/ %
北京市快速路实测数据	1 800 ~ 2 000	75 ~ 90	40 ~ 50	50 ~ 80	30 ~ 40
Greenshields	2 000	90	47	60	30
Greenberg	1 700	—	47	100	38
Underwood	1 900	110	42	—	47

由图 5 和表 2 可知: Greenshields 模型的拟合效果最好。

在此基础上,建立流量-占有率和速度-占有率关系模型(见图 6~图 8)。

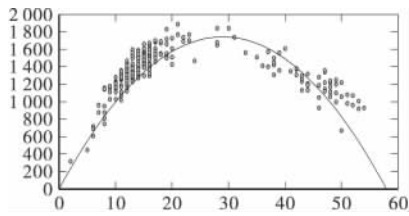


图 6 快速路流量-占有率关系图
Figure 6 Fitting curve of speed-occupancy relationship

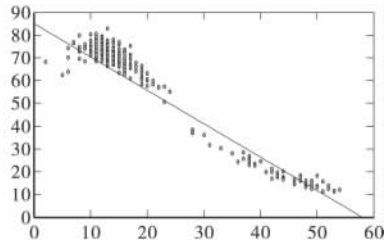


图 7 快速路速度-占有率关系图
Figure 7 Fitting curve of speed-occupancy relationship

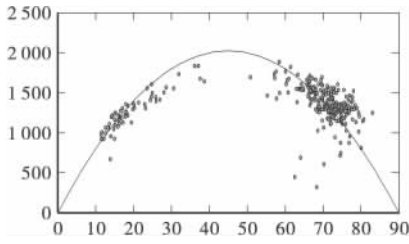


图 8 快速路速度-流量关系图
Figure 8 Fitting curve of speed-flow relationship

利用 matlab 进行流量-速度-占有率函数关系拟合,模型拟合结果见表 3。

表 3 流量-速度-占有率关系模型拟合
Table 3 Model of flow-speed-density Relationship

参数关系	公式
速度-占有率	$V = v_f(1 - \rho/\rho_j) = 85(1 - \rho/65)$
流量-占有率	$Q = 120(\rho - \rho^2/58)$
流量-速度	$Q = \rho_f(V - V^2/v_f) = 90(v - v^2/85)$

流量-速度-占有率关系模型的建立有非常重要的意义,关系模型中的参数有着各自实际的物理意义,例如,流量-占有率曲线中存在一个关键的临

界点,即处于通行能力时转折点,这一点所对应的车速和占有率分别成为临界车速和临界占有率,或最佳车速和最佳占有率,它们是评价交通流是否进入拥挤状态的重要指标,从本文所采用的数据来看,这一值大小为 30%,当占有率大于 30%时,将进入拥挤状态,在这一状态下的临界速度(最佳速度)值为 47 km/h。

3 交通流特性分析

研究交通状态转换过程中的交通流参数时变特性,对于阐释交通流运行机理,改善城市道路拥堵状态有非常重要的意义。

3.1 交通流时变特性分析

城市快速路速度、流量呈现出明显的时变特性,夜间和白天的速度、流量有各自显著的特点。

第 I 阶段为夜间行驶阶段,数据点主要出现在 23:00 至次日的凌晨 8:00,见图 9,这一时段的速度保持在 70~80 km/h 附近,速度受流量变化影响很小。

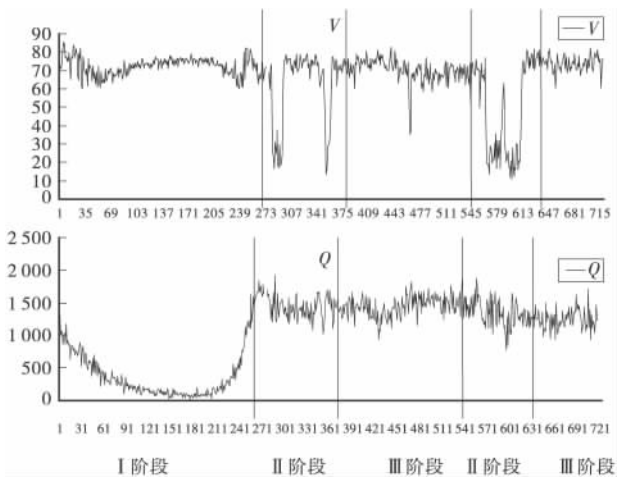


图 9 速度、流量时变特性图
Figure 9 time-varying feature of speed and flow

第 II、III 阶段共同表示了白天的速度-流量关系曲线,其中第 III 阶段表示了白天行驶状态中的自由流阶段,在这一阶段,交通状态比较稳定,速度可以保持在一个较高的水平(80 km/h),道路服务水

平较高,流量变化对速度的影响不大。第Ⅱ阶段表示了一个速度-流量关系的拥堵流阶段,这一阶段的交通状态极不稳定,容易受到干扰,轻微的扰动便可造成速度和流量的急剧下降。

3.2 交通流空间特性分析

交通流参数在空间上的分布特性表征为:上游断面交通流参数的传递影响;下游断面的回溯影响。为了验证上下游断面之间交通流参数分布的空间特性,以具有3个检测断面的路段为例进行分析,如图10所示。上游断面速度参数通过空间载体传递给下游断面,使下游断面经过一个时间延迟具有和上

游断面相似的速度参数分布特性。同时,下游断面的拥堵情况,也会向上回溯,影响上游断面的交通流,回溯时间与距离成正比。

4 研究结论

基于北京市快速路典型路段的实际数据,建立了流量-速度-占有率关系模型,分析了交通流参数相互关系特性。交通流参数散点图表明,夜间和白天的交通流具有明显不同,因此分时段交通流模型的建立更加符合实际情况。通过对城市快速路交通流参数的时变特性和空间变换特性的研究,揭示了不同交通状态下的流量-速度相互影响规律,并分析了断面间交通流参数的传递作用和回溯作用。

这些分析结果对于理解交通拥挤生成扩散机理、交通状况评价、以及交通组织方案的制定提供了理论依据。

【参考文献】

- [1] 孙煦,陆化普,吴娟.北京市快速路速度-流量-密度关系研究[J].公路工程,2011,37(1):43-48.
- [2] 王伟.公路交通流车速-流量实用关系模型[J].东南大学学报(自然科学版),2007(4):930-938.
- [3] Greenshields, B. D. A study of traffic capacity [C]. Highway Research Board, Proceeding Annual Meeting, 1935(14):448-477.
- [4] Greenberg, H. An analysis of traffic flow [J]. Operational Research, 1959(7):78-85.
- [5] Underwood, R. T. Speed, volume, and density relationship: Quality and theory of traffic flow [J]. Yale Bureau of Highway Traffic, 1961, 141-188.
- [6] Edie, L. C. Following and steady-state theory for non-congested traffic [J]. Operational Research, 1961(9):66-76.
- [7] 高超.北京市主、次干道基本路段速度-流量关系模型研究[D].北京:北京工业大学,2008.
- [8] May, A. D. Traffic flow fundamentals [M]. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1990, 288-290.
- [9] Highway capacity manual (HCM) (2000) [M]. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., 13-1-13-5.
- [10] 陆化普.交通规划理论与方法[M].北京:清华大学出版社,2006.

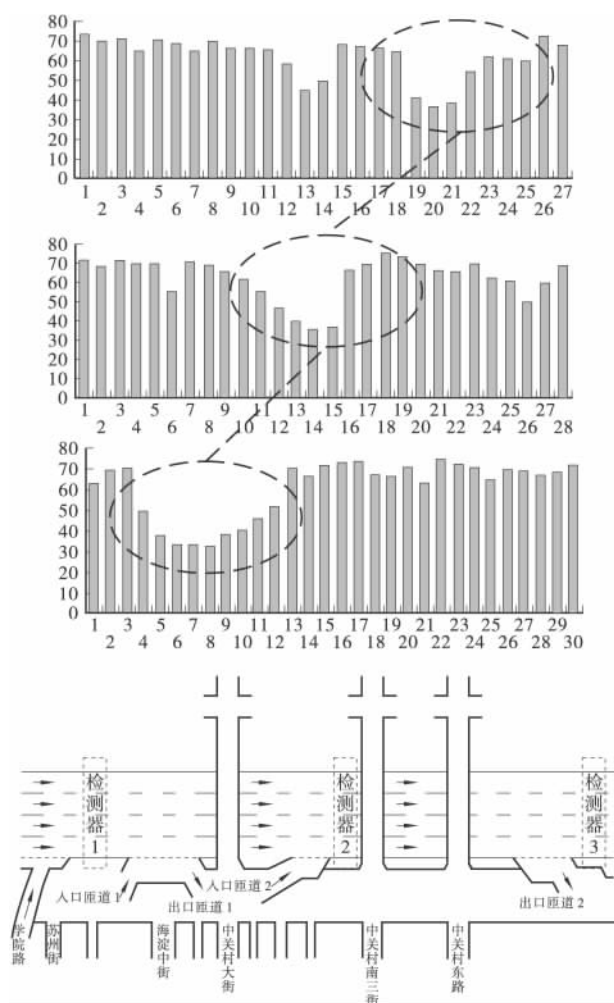


图10 相邻断面交通参数关系分析

Figure 10 Relation of traffic parameters among adjacent cross sections