

文章编号: 0427-7104(2014)05-0673-08

两条四车道城际高速公路交通流实测研究

郭明旻¹, 孙 樱¹, 吴 正¹, 许 谦²

(1. 复旦大学 力学与工程科学系, 上海 200433; 2. 嘉兴广播电视大学, 嘉兴 314000)

摘 要: 改进了交通流视频检测方法, 对 G2 京沪高速和 G60 沪昆高速交通流进行了实地拍摄、数据采集和分析. 发现高货车比例的城际高速公路交通流与城市快速路存在不同的特征, 客车与货车具有明显的分道行驶行为, 速度概率分布呈现“双峰”特征. 从远城段到近城段, 货车的平均速度变化不大, 客车则有明显的降速行为. “速度-密度”、“流量-密度”关系都具有强非线性的特征, 这种非线性在密度很低时就已出现. 实测速度数据的算术平均值与“按帧平均速度”、时间平均车速及空间平均车速差异都很小, 在工程计算中可以相互替代. 采用本文的密度测量方法, 能够准确计算流量, 为视频检测方法的在线应用提供了可能.

关键词: 交通工程; 视频检测; 城际高速道路

中图分类号: O 39; U 491.112

文献标志码: A

便捷的城市交通是城市经济快速发展的先决条件, 发达的城际高速公路网和城市市内交通网是城市交通的重要载体. 中国经济的快速发展和庞大的人口数量对交通条件提出了空前的发展需求, 城市和城际人流、物流的输运频率和密度不断增加, 然而相对不够完善的道路基础设施和管理方式, 使得交通仍是制约城市乃至整个国家可持续发展的一个严重问题.

交通流模型是描述道路上车辆速度、密度、流量等参数之间关系的数学模型, 它在交通规划、交通管理, 尤其是智能交通系统(Intelligent Traffic System, ITS)中具有重要的作用. 国内外大量实践早已证明: 通过以交通流模型为核心的交通科学研究, 能够在很大程度上事半功倍地缓解交通拥堵, 降低出行成本, 减少由于交通原因所导致的环境污染^[1]. 由于城际高速公路存在着更高的货车比例, 其交通流特征与城市快速路以及非快速道路具有较大的差异, 而且在城际高速公路接近城市的路段(本文以下简称近城段)和远离城市的路段(远城段)也有各自不同的特征, 而国内外关于高比例货车条件下的交通流模型研究相对还比较少. 因此, 有必要针对城际高速公路的不同路段开展与高比例货车相关的交通流问题研究.

交通流模型的建立过程都需要依赖对实际交通现象的大量观测和深入分析, 只有在采集大量数据基础上才能分析得到一定的结果. 早期的交通流参数检测基本上是人工检测, 包括定点记录流量、跟车测速、浮动车测速等方法. 20 世纪 80 年代以后, 随着电子传感器、通信、计算机和图像处理等技术的进步, 交通流参数自动检测出现了突飞猛进的发展, 包括环形线圈检测器、电磁检测器、微波检测器、超声波检测器、视频检测器等许多新技术新设备, 都被成功地应用于检测道路的车流量、车型、车速、占有率等数据. 其中, 交通流视频检测是一种重要方法. 从交通流视频检测的发展历史看, 早期的研究^[2-6]主要着眼于提取视频中运动的车辆对象, 利用视频图像序列进行车辆检测和交通事件监测, 包括背景提取、背景更新、目标分割、目标跟踪、阴影去除等技术难点. 国外的主流产品如法国的 Citilog、美国的 Autoscope 和比利时的 Traficon 等已经得到许多实际应用. 近年来, 美国联邦公路管理局(Federal Highway Administration, FHWA)实施的 NGSIM(The Next Generation Simulation Program)项目, 把主要目标转向从视频检测中得到车辆轨迹信息^[7], 其应用则在于通过轨迹信息进一步计算车速、流量、加速度、换道比例等参数, 并进行各种深入的统计分析, 用于解释交通现象, 研究交通管理问题^[8-13]. NGSIM 项目采用

收稿日期: 2013-07-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(11002035)资助

作者简介: 郭明旻(1976—), 男, 讲师, 博士, E-mail: mmguo@fudan.edu.cn.

7 台摄像机同时从不同角度拍摄一个路段(长度不到 1 km),并且把摄像机架设在上百米的高层建筑里作自上而下接近垂直的拍摄,以保证视频上车辆之间基本没有相互遮挡,也将由于车身高度造成的投影误差控制在极小范围.但是这种拍摄方式难以适用于那些周围没有高层建筑的城际高速路段.

比 NGSIM 稍晚,我们课题组也独立提出了一种交通流视频检测方法,在中国 4 个城市的多条城市快速路的应用中获得成功^[14-17].本文将这一方法推广到城际高速公路,以 G2 京沪高速上海江桥收费站附近路段和 G60 沪昆高速嘉兴王店休息区附近路段分别作为城际高速公路近城段和远城段的代表,通过长时间定点拍摄交通流录像,然后应用自行开发的软件辅助人工干预方式提取大量的速度、密度数据,并进行各种统计分析,得到关于高比例货车条件下城际高速公路交通流的一系列定性或定量结论.

1 测量方法及实测数据

上海是中国最大的城市和经济中心,其邻近的长江三角洲地区则是中国经济最发达的地区之一.这一地区城际高速公路纵横交叉,十分发达,G2 京沪高速和 G60 沪昆高速是其中重要的两条道路.由于道路建设的有关标准规定,除了延伸进入城市的部分路段之外,这些城际高速公路两侧上百米范围内都不允许建造高层建筑,因此无法实施类似于 NGSIM 的录像拍摄方案,也无法类似于我们之前在上海、郑州城市高架路沿线采用的拍摄方式^[17],而只能在道路上方具有跨线桥的路段,采用在跨线桥的某个固定位置架设摄像机进行长时间连续拍摄的方法.在 G2 京沪高速上海江桥收费站西侧和 G60 沪昆高速嘉兴王店休息区南侧都具有跨线桥,图 1 显示了拍摄位置和两个路段的交通实况录像截图,拍摄时间分别是 2012 年 6 月 6 日(星期三)上午和 2011 年 7 月 26 日(星期二)下午.由于 G2 跨线桥上存在铁丝网遮挡视线而只能从侧面拍摄.

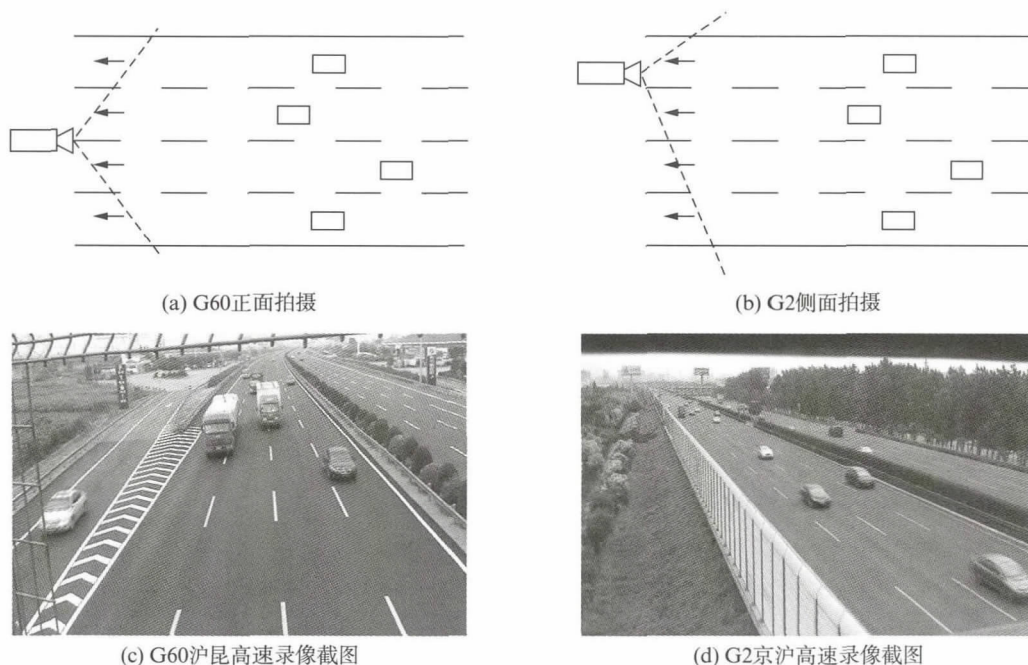


图 1 交通流录像拍摄示意图

Fig.1 Sketch of taking traffic video

本文仍采用之前在城市快速路交通流实测研究中提出的基本方法^[15-17],将录像资料按设定的时间间隔(0.5 s)截取成图像序列,然后用自行开发的数据采集软件并辅助人工干预技术,以截图画面上固定的分道线标志为参考系,确定车道上车辆的位置,计算出车辆速度和位于同一车道上相邻两辆车的车头间距,得到大量“速度-车头间距”数据对.根据城际高速公路特点,对测量方法进行了以下改进.

(1) 在城市快速路测量中,一般每幅截图只选择两辆车作为代表提取数据,得到一个“速度-车头间距”数据对.由于城际高速公路车速更高,车头间距更大,相互之间遮挡更少,所以把每幅截图上全部车辆

都提取了,增加了总体所得数据,并且有利于克服数据的代表性误差^[15,17]。

(2) 同样由于城际高速公路上车头间距更大,在截图的有效观测范围(100 m左右)内往往同一车道没有两辆车以上,虽然此时不能获得“速度-车头间距”数据对,但仍提取一辆车的位置、速度、加速度以及是否换道等信息。

(3) 由于城际高速公路存在较高比例的货车,所以进行分车种的数据提取,其中G60全部按分车种提取,G2则部分时段分车种提取,另一部分时段不分车种提取以提供对照。在辅助人工干预技术后,分车种的数据提取可以顺利实施。

(4) 在城市快速路测量中,通过车头间距的倒数得到单车道交通流密度(“点密度”),再乘以车速得到流量(“点流量”),并可以画出“流量-密度”基本图,但这种“点流量”和“点密度”一般需要经过修正才等同于交通工程中通常定义的该路段平均密度和流量^[15,17]。按照本文方法,密度即数据提取时记录下的截图上全部车辆数(包括没有速度只有位置信息的车辆)除以路段长度,所以是准确的,其平均值无需修正。至于平均速度和流量是否需要修正,后文将展开讨论。

根据上述测量方法,我们对拍摄的G2京沪高速和G60沪昆高速两个样本的交通流录像进行数据提取工作,表1给出了这些样本的基本信息。这些数据已经过筛选,筛选标准是:(1)车头间距标准: $d > 10$ m;(2)速度标准: $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \leq v \leq 40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;(3)一批数据中速度和车头间距不合理的比例不能超过10%,否则整批数据淘汰^[17]。

表1 G2京沪高速和G60沪昆高速交通流样本数据

Tab.1 Data samples of traffic flow on Jinghu Highway G2 and Hukun Highway G60

样本号	道路/方向	天气	平均车头间距(m)	平均车速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	车速数据量	车头间距数据量	时间范围/是否分车种
1	G60/向南	晴	39.9	26.3	17 002	961	14:14—18:12/是 07:47—09:37/否
2	G2/向西	晴	38.4	24.5	42 556	7 644	09:37—11:24/是 11:24—11:49 否

2 数据统计分析

2.1 车道使用情况

高速公路各车道承担的车流量随着道路总车流量的大小而有所变化,其平均速度也随车道的不同而有明显区别。表2,表3和图2,图3(见第676页)分别给出了不同车道车辆数量在总车辆数中所占比例和平均速度的变化,其中车道1至4从最左边的超车道开始向最右边的交织道依次排列。

从表2,表3和图2,图3中可以看出,车道1和2的车流量明显多于车道3和4,行车速度也较快,车速从1到4车道呈现出逐步下降的趋势。这是因为1,2车道主要行驶客车,车辆动力性能好,受进出口匝道处车流交织影响较小,所以速度比较快;而3,4车道主要行驶货车,车辆动力性能较差,而且受进出口匝道的影响较大,车流更容易受到扰动,因此速度较慢。比较图2和图3还可以看出,处于远城段的G60观测路段比近城段的G2观测路段这种差异更加明显,虽然两个路段3,4车道平均车速相差不多,但1,2车道有显著不同,说明客车受车流密度增大的影响,从远城段到近城段平均速度有较大的降低。

表2 G2车道使用情况

Tab.2 The usage of lanes on G2

车道	流量占比	平均速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	0.29	26.49
2	0.30	25.81
3	0.24	22.70
4	0.17	21.54

表3 G60车道使用情况

Tab.3 The usage of lanes on G60

车道	流量占比	平均速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	0.31	30.73
2	0.29	28.77
3	0.27	21.78
4	0.13	19.70

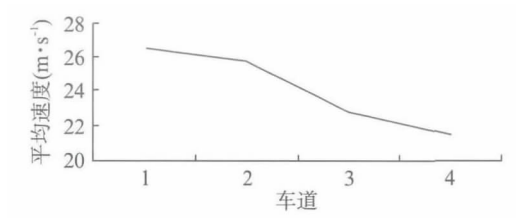


图 2 G2 平均速度按车道分布图

Fig. 2 Average speed on each lane, G2

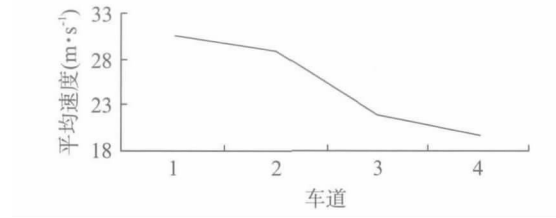


图 3 G60 平均速度按车道分布图

Fig. 3 Average speed on each lane, G60

2.2 不同车种的速度分布

客车和货车由于其车辆性能和承担功能的不同,在高速公路上的行为会有显著差异.为了研究这种差异,根据分车种提取所获数据,得到客车、货车及两种车辆合并后的速度概率密度分布曲线(图 4).

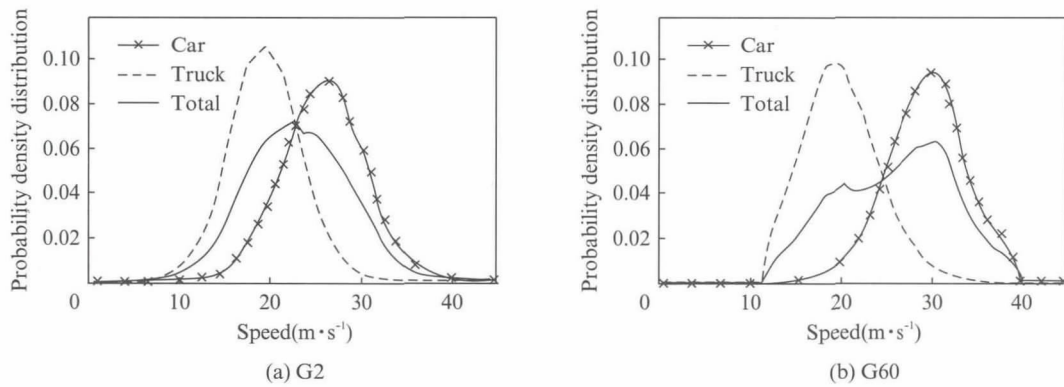


图 4 车速概率密度分布曲线

Fig. 4 Probability density distribution of speed

从图 4 可以看出,高速公路上货车和客车分别的速度分布都近似于正态分布,对于每一车种,都有一个峰值,其对应的速度区间车辆频数达到最大,简称为“峰值速度”,在其两侧,车辆频数单调递减. G2 客车的“峰值速度”是 24~28 m·s⁻¹,即 86.4~100.8 km·h⁻¹,货车的“峰值速度”是 18~20 m·s⁻¹,即 64.8~72 km·h⁻¹;G60 客车的“峰值速度”是 30~32 m·s⁻¹,即 108~115.2 km·h⁻¹,货车的“峰值速度”是 18~20 m·s⁻¹,即 64.8~72 km·h⁻¹.从录像中可知,近城段的 G2 车流量和车流密度均高于远城段的 G60,然而二者货车的“峰值速度”却是重合的,而客车的“峰值速度”则有一定差别.这一结论与上一节关于分车道统计的结果是完全一致的,可以说明这两种车基本上是分车道行驶的.

总而言之,对于同一高速公路而言,客车和货车的速度分布呈现出“双峰”的特性,客车的“峰值速度”高于货车的“峰值速度”.而与之形成对比的是,在城市快速道路上,由于客车和货车没有明显的分车道现象,车辆交织行驶,混杂度较高,因此城市快速路上车辆速度分布表现出“单峰”性,这是城市快速路与城际高速公路交通流行为的显著差异之处.

2.3 速度、密度和流量之间的关系

因为车头间距的倒数即单车道车流密度,实测得到的“速度-车头间距”数据对能够转换为单个车辆的“速度-密度”数据对,并画出二者之间的依赖关系(图 5).图 5 显示,这样计算得到的速度-密度关系表现出强烈的非线性特征,无论客车还是货车,对一个给定的密度值,对应的速度通常都不是一个值,而是一个相当宽范围内的多个不同值,反之亦然.而且,这种速度变化范围基本不随密度的变化而变化,但客车和货车的变化范围则有很大的不同.

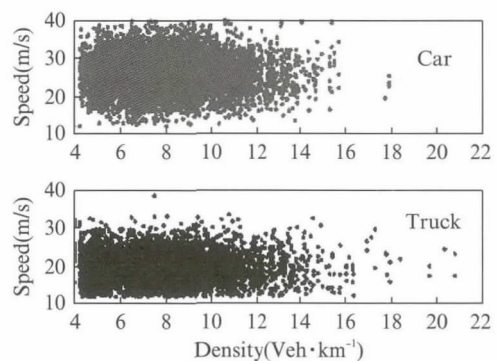


图 5 京沪高速分车种“车速-密度”分布图

Fig. 5 Relationship of speed-density grouped by vehicle class, G2

进一步可以推断,由速度和密度的乘积得到单车道流量值,再画出“流量-密度”二维基本图,其特征为:随着密度从小到大,流量也是在相当宽范围内的多个不同值,并且这种变化范围随着密度的增大而变得越来越宽.这也就是说,非线性特征从低密度时就已开始出现.这种特征与“三相交通流”理论指出的“反λ型”基本图^[18-22]有很大差别,而与我们之前在城市快速路视频检测中发现的第三种类型基本图^[17]非常相似.

3 平均速度与流量的计算

上一节中提及的平均速度,都是某一样本实测获得速度数据的算术平均值.交通工程中通常采用的时间平均车速,指的是通过某一地点的车辆速度(地点车速)的算术平均值,每辆车仅取一个速度值进行计算^[23].由于在本文的测量方法中,同一辆车可能出现在几幅截图上,所以上述两种平均速度一般并不相等,或者说实测得到的同一辆车几个速度需要先平均一次才能得到交通工程意义下的时间平均车速,我们下面把这种两次平均所得结果称为“按车平均速度”.另一方面,每帧截图上一般也有多辆车,因此又可以把同一帧截图上出现的几个车速平均一次,然后再总体平均而得到“按帧平均速度”.在城市快速路的研究中^[15-17],每帧截图取一辆车作为代表测速,然后求出平均速度,如果样本足够大而能够忽略取样代表性误差,则它和“按帧平均速度”等价.此外,交通工程中还通过求地点车速的调和平均值而得到空间平均车速,它和密度的乘积等于单车道流量^[23].很明显,这几种平均速度一般都是不相等的,本节研究它们之间的关系.

考虑一个实测样本,假定路段长度为 L ,录像截图的时间间隔为 Δt ,总帧数 K ,在 $T=K\Delta t$ 的时间段里通过路段的车辆总数为 N .在第 k 帧截图上,一共有 I_k 辆车,任一速度数据一般可写为 $u_{i,k}$ ($i=1,2,\dots,I_k$; $k=1,2,\dots,K$).另一方面,又可将这一辆车记为总车辆中的第 n 辆,它出现在总共 J_n 帧截图上,所以这一速度数据又可表示为 $u_{j,n}$ ($j=1,2,\dots,J_n$; $n=1,2,\dots,N$).于是就有上一节中出现的平均速度计算公式为

$$\bar{u} = \frac{1}{N^*} \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{I_k} u_{i,k} = \frac{1}{N^*} \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^{J_n} u_{j,n}, \quad (1)$$

其中 N^* 为该样本的数据量, $N^* = \sum_{k=1}^K I_k = \sum_{n=1}^N J_n$.如果忽略同一辆车在不同截图上的速度差异,即用

$u_n = \frac{1}{J_n} \sum_{j=1}^{J_n} u_{j,n}$ 代表其速度,则时间平均车速计算公式为

$$\bar{u}_1 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_n = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{1}{J_n} \sum_{j=1}^{J_n} u_{j,n}, \quad (2)$$

显然这也就是“按车平均速度”.同样忽略同一辆车在不同截图上的速度差异,又得到空间平均车速计算公式为

$$\bar{u}_2 = NL / \sum_{n=1}^N t_n = \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{1}{J_n} \sum_{j=1}^{J_n} \frac{1}{u_{j,n}} \right)^{-1}, \quad (3)$$

其中 $t_n = \frac{1}{J_n} \sum_{j=1}^{J_n} \frac{L}{u_{j,n}}$,表示第 n 辆车通过这一路段花费的时间.最后,“按帧平均速度”的计算公式为

$$\bar{u}_3 = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K u_k = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{1}{I_k} \sum_{i=1}^{I_k} u_{i,k}, \quad (4)$$

其中 $u_k = \frac{1}{I_k} \sum_{i=1}^{I_k} u_{i,k}$,表示第 k 帧截图的平均速度.

表4列出了用G2京沪高速实测数据组成的5个不同时间长度及分车道样本,分别计算了上述4种

平均速度以及它们之间的最大相对误差 $E_{r,\max}$. 这些样本中除了 7:47—7:52 这 5 min 时段 4 车道的车辆数为 29 之外,其他样本量都大于 30,满足交通工程中的大样本要求.

表 4 G2 平均速度比较
Tab. 4 Comparison of the values of average speed, G2

样本	N^*/Veh	$\bar{u}/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	N/Veh	$\bar{u}_1/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$\bar{u}_2/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	K/帧	$\bar{u}_3/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$E_{r,\max}/\%$
7:47—8:47	8265	25.66	3 172	26.18	25.62	4 728	25.84	2.19
1 车道	2 389	26.84	985	26.68	26.26	1 405	26.50	2.21
2 车道	2 674	26.24	1 024	26.32	25.86	1 526	26.00	1.78
3 车道	1 924	24.66	713	25.82	25.16	1 097	25.30	4.70
4 车道	1 278	23.74	450	25.35	24.46	700	24.45	6.78
7:47—8:02	1 824	25.74	801	26.28	25.72	1 131	25.93	2.18
1 车道	518	27.09	249	26.71	26.31	304	26.53	2.96
2 车道	601	26.39	261	26.35	25.98	380	27.00	3.93
3 车道	429	24.81	180	26.11	25.38	284	25.31	5.24
4 车道	276	23.24	111	25.44	24.46	163	24.45	9.47
8:17—8:32	1 786	25.99	775	26.49	25.97	1 126	26.20	2.00
1 车道	523	27.03	244	26.92	26.54	291	27.01	1.85
2 车道	546	26.62	246	26.91	26.52	373	27.00	1.81
3 车道	422	25.67	172	26.29	25.67	276	26.26	2.42
4 车道	295	23.45	113	24.99	24.17	186	24.19	6.57
7:47—7:52	537	26.33	241	26.82	26.28	349	26.64	2.05
1 车道	155	28.07	80	27.44	26.98	96	27.56	4.04
2 车道	186	26.72	81	26.75	26.43	121	27.00	2.16
3 车道	124	25.23	51	26.63	25.83	90	26.13	5.55
4 车道	72	23.50	29	25.63	24.86	42	25.61	3.10
8:42—8:47	1 438	25.63	252	26.59	26.14	514	25.92	3.75
1 车道	422	26.89	82	27.27	26.99	212	26.00	4.88
2 车道	498	26.49	88	26.97	26.66	167	26.11	3.29
3 车道	299	23.58	47	25.26	24.67	86	25.05	7.12
4 车道	219	24.08	35	25.82	25.08	49	25.71	7.23

从表 4 中可以看到,所有 25 组数据的最大相对误差 $E_{r,\max}$ 均在 10% 以下,其中 19 组数据的 $E_{r,\max}$ 在 5% 以下,说明几种平均方法之间虽有差异,但差异是比较小的,在工程应用中可以允许相互替代. 这 25 组数据中,平均速度最小的有 14 组是 \bar{u}_2 , 9 组是 \bar{u} , 2 组是 \bar{u}_3 ; 平均速度最大的有 18 组是 \bar{u}_1 , 4 组是 \bar{u} , 3 组是 \bar{u}_3 . 这进一步说明,用本文方法得到的 \bar{u} , 或者用我们之前提出的代表点测量方法得到的 \bar{u}_3 , 在大多数情况下都能落在时间平均车速和空间平均车速之间,它们与这两种常用平均方法的误差小于两种常用平均方法之间的误差. 一般而言,“按车平均速度”减小了低速车辆的权重,所以 \bar{u}_1 不小于 \bar{u} ; “按帧平均速度”则增大了低速车辆的权重,所以 \bar{u}_3 不大于 \bar{u} . 但由于每辆车在第一次出现的那帧截图上位置有随意性,并不能够保证快车出现的总次数一定小于慢车,所以也会得到相反结果.

图 6 给出了 7:47—8:47 这个 1 h 样本中,“按车平均速度”、“按帧平均速度”和原始速度三者概率密度分布曲线的比较. 可以看出,虽然平均值相差不大,但按车或按帧平均后的速度数据集中性都有了提高,按车平均提高更加明显. 这一样本未分车种提取数据,所以原始速度数据存在“双峰”,并且右峰(代表客车)高于左峰(代表货车). 按车平均速度不会改变客车与货车的差别,所以原始数据的这些特征都得以保持,只是增加了集中性. 按帧平均后的结果则不同了,因为每个数据里都可能混合了两种车的信息,所

以第二个峰基本消失。

最后,将 5 个样本的 4 种平均速度,分别与测量得到的平均密度(每间隔 10 s 提取一个密度数据的算术平均值)相乘,计算其与实际流量的误差,如表 5 所示.表 5 中, E_r, E_{r1}, E_{r2} 和 E_{r3} 分别表示与 $\bar{u}, \bar{u}_1, \bar{u}_2$ 和 \bar{u}_3 对应的误差,正负号则表示大于和小于实际流量.除了最后一个短时间(5 min)样本,这些流量计算的误差都是很小的,最后那个样本的误差在 10% 左右.这一结果说明,采用本文实测方法得到准确密度数据,可以准确推算流量,不必进行修正.由于 E_{r3} 与其他方法计算误差基本相同,所以测量速度仍可采用代表点方法,它与每间隔 10 s 提取一个密度数据相结合,能够达到工程应用中在线测量的时间要求.

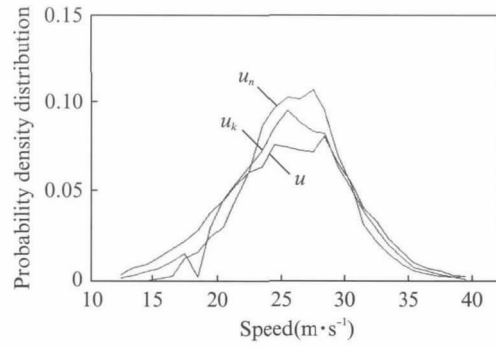


图 6 不同平均车速概率密度曲线比较

Fig. 6 Comparison of probability density distribution for different average speed

表 5 G2 流量计算误差比较

Tab. 5 Comparison of calculation errors of flow, G2

样 本	实际流量 (veh·h ⁻¹ ·lane ⁻¹)	密度 (veh·km ⁻¹ ·lane ⁻¹)	$E_r/\%$	$E_{r1}/\%$	$E_{r2}/\%$	$E_{r3}/\%$
7:47—8:47	803	8.576	-1.34	0.66	-1.50	-0.65
7:47—8:02	815	8.796	0.01	2.11	-0.07	1.01
8:17—8:43	785	8.356	-0.40	1.51	-0.48	0.40
7:47—7:52	732	7.500	-2.88	-1.07	-3.07	-1.74
8:42—8:47	759	7.292	-11.35	-8.03	-9.59	-10.35

4 结论与展望

本文通过对 G2 京沪高速和 G60 沪昆高速交通流的实地拍摄、数据采集和分析,得到以下结论。

- (1) 高货车比例的城际高速公路交通流与城市快速路存在不同的特征,客车与货车具有明显的分道行驶行为,因而从全部车辆速度概率分布图上看呈现“双峰”特征,一般不符合正态分布的假设。
- (2) 从城际高速公路的远城段到近城段,车流密度的增加对货车的平均速度影响不大,但客车有明显的降速行为。
- (3) 城际高速公路的“速度-密度”、“流量-密度”关系都具有强非线性的特征,无论客车还是货车,一个密度值对应的速度和流量都是一个相当宽范围内的多个不同值,并且这种非线性从低密度时就已出现。
- (4) 本文实测速度数据的算术平均值,与“按帧平均速度”、“按车平均速度”(时间平均车速)及空间平均车速差异都很小,在工程计算中可以相互替代。
- (5) 采用本文的密度测量方法,乘以平均速度,能够准确计算流量数据,无须进行修正,它为视频检测方法的在线应用提供了可能。

复旦大学力学与工程科学系 2011 级本科生石冰同学在 FDUROP 曦源项目的支持下,参加了本文的数据测量和分析,并起草了第二节的初稿.谨以本文对她的不幸逝世表示深切的悼念。

参考文献:

[1] 戴世强,冯苏苇,顾国庆. 交通流动力学: 它的内容、方法和意义[J]. 自然杂志, 1997, 19(4): 196-201.
 [2] Michalopoulos P G. Vehicle detection video through image processing: The autoscope system[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1991, 40(1): 21-29.

- [3] Hoose N. IMPACTS: An image analysis tool for motorway surveillance[J]. *Traffic Engineering and Control*, 1992, **33**(4): 140-147.
- [4] Koller D, Daniilidis K, Thorhallson T, *et al.* Model-based object tracking in traffic scenes[C]//Proc of ECCV'94. N Y, USA: Springer-Verlag, 1994.
- [5] Coifman B, Beymer D, McLauchlan P, *et al.* A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance[J]. *Transportation Research Part C*, 1998, **6**(4): 271-288.
- [6] Prati A, Micki I, Grana C, *et al.* Shadow detection algorithms for traffic flow analysis a comparative study[C]//IEEE Intelligent Transpn System Conf Proc, Oakland, USA, 2001.
- [7] Federal Highway Administration(FHWA). NGSIM data set: Freeway data set[R/OL]. [2005]. <http://ngsim-community.org>.
- [8] Chiabaut N, Buisson C, Leclercq L. Fundamental diagram estimation through passing rate measurements in congestion[J]. *IEEE Transaction on Intelligent Transportation System*, 2009, **10**(2): 355-359.
- [9] Chiabaut N, Leclercq L, Buisson C. From heterogeneous drivers to macroscopic patterns in congestion [J]. *Transportation Reseach Part B*, 2010, **44**(2): 299-308.
- [10] Moridpour S, Rose G, Sarvi M. Effect of surrounding traffic characteristics on lane changing behavior [J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2010, **136**(11): 973-985.
- [11] Moridpour S, Rose G, Sarvi M, *et al.* Influence of the surrounding traffic characteristics on lane changing decision of heavy vehicle drivers[J]. *Road and Transport Research*, 2012, **21**(3): 19-33.
- [12] Moridpour S, Sarvi M, Rose G. Lane changing models—A critical review[J]. *Transportation Letters: The International Journal of Transportation Research*, 2010(2): 157-173.
- [13] Aghabayk K, Sarvi M, Young W. Understanding the dynamics of heavy vehicle interactions in car-following[J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2012, **138**(12): 1468-1475.
- [14] 吴正,朱辉,贾楠.基于快速路交通录像的交通流模型参数测量方法研究[J].*复旦学报:自然科学版*,2008, **47**(2): 147-152.
- [15] 林展熙,吴正,杨朝晖,等.基于上海延安高架录像资料的交通流实测研究[J].*水动力学研究与进展 A*, 2010, **25**(5): 683-693.
- [16] Zheng X, Wu Z, Xu S, *et al.* Video-based measurement and data analysis on traffic flow of urban expressway[J]. *Acta Mechanica Sinica*, 2011, **27**(3): 346-353.
- [17] 吴胜春,郑贤清,郭明旻,等.国内典型大城市快速路交通流实测[J].*中国科学(物理学 力学 天文学)*, 2011, **41**(6): 791-800.
- [18] Kerner B S, Rehborn H. Experimental features and characteristics of traffic jams[J]. *Physical Review E*, 1996, **53**(2): 1297-1300.
- [19] Kerner B S, Rehborn H. Experimental properties of complexity in traffic flow[J]. *Physical Review E*, 1996, **53**(5): 4275-4278.
- [20] Kerner B S. Experimental features of self-organization in traffic flow[J]. *Physical Review Letters*, 1998, **81**(17): 3797-3800.
- [21] Kerner B S. Experimental features of the emergence of moving jams in free traffic flow[J]. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 2000, **33**(26): 221-228.
- [22] Kerner B S. Empirical macroscopic features of spatial-temporal traffic patterns at highway bottlenecks[J]. *Physical Review E*, 2002, **65**(4): 046138.
- [23] 李作敏. *交通工程学(第二版)*[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.

(下转第 688 页)

Optimization Design of Quasi-Streamlined EMU Head Shape and Aerodynamic Performance Analysis

WU Zhen-feng, CHEN Zhou-feng, DING Wang-cai

(School of Mechatronic Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In view of the structural features of head outer shape of quasi-streamlined EMU, it is redesigned by some improved measures including increasing the slenderness ratio and changing the outer shape. The streamlined head shape model is completed by creating main lines and middle control lines by using CATIA software, meanwhile the shape of control lines is optimized by adjusting the position of the control points with the help of curve curvature comb tool. The static smoothness evaluation of streamlined head shape show that the measured region has reached the surface smoothing requirements. CFD method is used to calculate the air resistance of the two types of trains under 3-compartment formation at six different velocities, the results show that the streamlined train has a better performance in reducing air resistance compared with the quasi-streamlined train.

Keywords: high-speed EMU; streamlined design; smooth evaluating; numerical simulation; aerodynamic resistance; CATIA

(上接第 680 页)

Study on Traffic Flow Measurements of Two 4-lane Intercity Highways

GUO Ming-min¹, SUN Ying¹, WU Zheng¹, XU Qian²

(1. Department of Mechanics and Engineering Science, Fudan University, Shanghai 200433, China;

2. Jiaxing Radio & TV University, Jiaxing 314000, China)

Abstract: The method of traffic video screening is improved and then is used to collect data from the traffic videos taken from Jinghu Highway G2 and Hukun Highway G60. The data reveals that the characteristics of traffic flow on intercity highways, where the proportion of trucks is remarkable, differ from those on urban expressways; cars and trucks distinctly segregate themselves into different lanes, resulting in double peaks in the probability density distribution of speed. The average speed of trucks changes little between the locations near and far from the urban area, while the average speed of cars significantly decreases at the former location. The relationships of speed-density and flow-density both show strong nonlinearity, which has emerged under low density. The algorithms of average speed is also compared, and it is found that the differences among the arithmetical average value, the frame-averaging value, the time-averaging value and the space-averaging value are so small that they can be substituted by each other in engineering calculations. The measuring method of density adopted in this paper can be used to calculate flow accurately, which offers possibility of online application of video screening method.

Keywords: traffic engineering; video screening; intercity highway