

交通流视频资料与特征参数检测*

吴正¹⁾ 郭明旻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, 浙江嘉兴 314000)

摘要: 本文提出一种基于交通流视频资料的特征参数检测方法, 对国内五个城市拍摄了总共 350 多小时具有不同路况、时段、气候及其他特征的实际交通录像。将上海内环一个路段上环形线圈检测器所获得的流量数据与视频资料进行对比, 研究了环形线圈数据的可靠性和误差, 发现存在 2% 以上的平均流量误差, 部分时段可能超过 5%。依据视频资料, 对多条道路上的堵塞密度值进行了计算, 并对其影响因素进行分析, 发现堵塞密度一般明显小于 143veh/km, 气候、坡度、车道宽度对其取值都能产生影响。

关键词: 交通工程; 视频资料; 特征参数检测; 环形线圈检测器; 堵塞密度

中图分类号: O39, U491.112 **文献标识码:** A

Video recordings and characteristic parameters screening of traffic flow

Zheng Wu¹⁾ Ming-Min Guo¹⁾ Qian Xu²⁾

¹⁾ (Dept. of Mechanics and Engineering Science, Fudan University, Shanghai 200433)

²⁾ (Jiaxing Radio & TV University, Jiaxing, Zhejiang, 314000)

Abstract A characteristic parameters screening method based on traffic flow video recordings is proposed in this paper. Over 350 hours actual traffic video recordings have been taken in five Chinese cities at the different roads, times, weathers and other situations. Comparing some data of traffic flow rate collected from loop detectors with the video recordings at a section of Shanghai Neihuan Road, we study the validity and error of loop data and come to the conclusion that there is an over 2% average error of flow rate in the loop data, and sometimes even over 5%. Furthermore the traffic jam's density values of several roads are calculated based on the video recordings and their dependent factors are analyzed. It is found that the values are usually much fewer than 143veh/km and are influenced by weather, slope and wide of road lane.

Keywords: Traffic engineering, video recording, characteristic parameters screening, loop detector, jam's density

引言

道路上的车流形成了交通流, 交通流定性和定量的特征称为交通流特征^[1], 交通流的重要特征参数有车流量、速度、密度、车头间距和车头时距等。车流量、速度和密度属于宏观交通流参数, 车流量可以度量车流的数量和对交通设施的需求情况, 速度和密度则可以反映交通流从道路上获得的服务质量。车头间距和车头时距属于微观交通流参数, 它们分别表示同一条车

*国家自然科学基金资助项目(10772050, 11002035)

吴正, 1956-, 男, 江苏, 副教授, 学士, Tel: 13818349474, Email: wuzheng@fudan.edu.cn

道上前后两辆车前保险杠之间的距离和通过车道上某一断面的时间差，在车型大小一致条件下车头间距和密度之间满足倒数关系。一般来说，建立一个科学合理的智能交通系统，首先必须全面收集道路交通流的特征数据作为其信息支撑，为交通管理提供决策依据，因而交通流特征参数检测的可靠性与精确性将直接影响道路交通系统的管理效果和控制效果。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。上世纪80年代以后，随着电子技术、传感器技术、通信技术、计算机技术和图像处理技术的进步，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、地磁检测器、电磁检测器、微波检测器、超声波检测器、视频检测装置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。

在这个发展过程中，交通录像监控设备得到越来越广泛的使用，如上海市延安高架、南北高架、内环、中环这四条总长 115 公里的快速路上，就有交通录像监控点 154 处，每天 24 小时不间断地把视频资料传送到城市快速路监控中心。但从目前的实际情况看，这些视频资料只起到为可变情报板提供预报信息、以及调整上下匝道及周边道路红绿灯配时方案等直接管理目的服务的作用，并且由于数据量太大而未能保存下来。如果能够采取适当的实测和数据处理方法，在录像资料和交通流特性之间建立起恰当的联系，就有可能方便、准确、可重复地收集大量即时变化数据并转换成各种模型参数，为交通流的理论研究、应用提供更多方面信息。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，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。而美国联邦公路管理局(FHWA)近年来实施的NGSIM(The Next Generation Simulation Program)项目，则把主要目标放在从视频检测中得到车辆轨迹信息，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。

我们课题组从 2008 年起，在国家自然科学基金支持下，对国内五个城市 13 条高速公路、城市快速路或高等级平面道路的多个不同路段、路况，拍摄了总共 350 多小时的实际交通录像，获得了具有各种典型意义的大量交通视频资料。本文将以这样的视频资料为依据，研究环形线圈检测器所获得的交通流特征数据的可靠性和误差大小，并对实际道路上的堵塞密度值及其影响因素进行讨论。

1 视频资料的取得

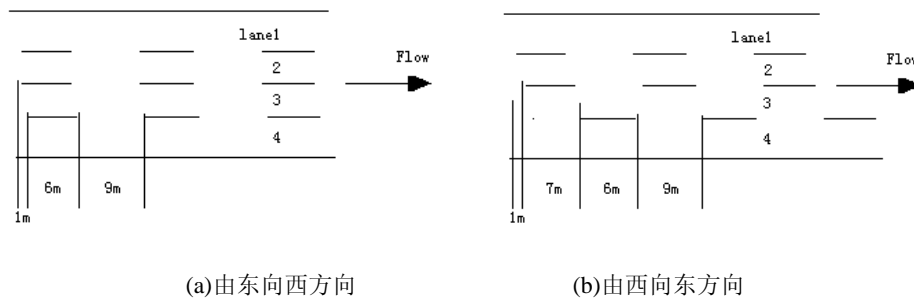


图 1 北京四环学院桥西过街天桥两侧分道线示意图

Fig.1 Lane line sites at the west of Xueyuan Bridge of Beijing Sihuan Road

(a)From east to west (b)From west to east

在这个课题的试研究期间，我们发现道路上的分道线标记可以作为视频信息提取的背景^[7]，因此确定采用在某一路段上方某个固定位置架设摄像机，对该路段交通流进行长时间连续拍摄的基本模式。分道线标记存在着不同长短、不同前后位置等复杂情况，图 1 显示了一个典型的例子。由于通过现成的监控视频往往不易获得确切的对应路段分道线位置，所以在本文的研究中，录像资料均由我们课题组自行拍摄，并完成相应路段分道线长度与位置的勘定。常用的拍

摄位置有两种^[8]：(a)在过街天桥上对前方路段正面拍摄；(b)在路旁高层建筑里对路段侧向拍摄。

2008 年以来，我们先后在上海、北京、郑州、西安、嘉兴五个城市共 13 条高速公路、城市快速路或高等级平面道路的多个不同路段，拍摄了 350 多个小时的实际交通录像。这些录像包括了以下不同交通条件：(1)上下班高峰时段与普通时段；(2)工作日和双休日，以及清明节小长假和上海世博会开幕等特殊日期；(3)四季的不同；(4)晴天、雨天和雪天；(5)二车道、三车道和四车道；(6)平直路段和有较大坡度或弯度的路段；(7)进口匝道前、后，出口匝道前、后，以及离匝道较远的路段等。在表 1 中，将这些录像资料按路段和不同路况组成 19 个样本，它们能够在相当程度上代表我国高速公路、城市快速路交通流的基本特征。

表 1 五个城市 19 个交通录像资料样本的基本情况
Table 1 19 traffic video recording samples from five Chinese cities

城市	道路，路段位置	录像日期（年/月/日）	时间长 度(h)	单向车 道数	备注
北京	东南三环十里河桥	09/10/27-09/10/30,11/07/06	45.7	3*	
	北四环学院桥西侧	08/01/10-08/01/14,08/11/02-08/11/04	17.0	4*	
	北四环海淀桥东侧	11/09/25	6.6	4*	
上海	京承高速芍药居车站北侧	11/07/07,11/09/26,12/09/14-12/09/15	25.5	2*	
	延安高架上海展览馆门前	08/01/30-08/02/02	7.1	4	雪天
	(同上)	08/07/21,08/07/27,08/09/05,10/07/25-10/07/26	46.6	4	
	(同上)	08/12/24,08/12/29	4.9	4	雨天
	(同上)	10/05/01-10/05/02	15.5	4	世博会开幕
	南北高架新闻路南侧	08/01/29	2.1	4	雪天
	(同上)	08/10/17-08/10/18	12.0	4	
	内环高架赤峰路车站西侧	09/07/12-09/07/14,10/01/26-10/01/27	35.7	2 或 3	
	广中路（凉城路西侧）	09/08/13	6.8	4*	非快速路
	长寿路（常德路东侧）	11/08/01-11/08/02	11.1	3*	非快速路
西安	京沪高速江桥收费站西侧	12/04/03	4.7	4*	清明小长假
	(同上)	12/05/04,12/05/26,12/06/06	29.9	4*	
	南二环雁塔立交至长安立交	08/11/26,09/08/04-09/08/05	14.3	3	
郑州	金水路高架省委东侧	08/08/25,09/08/06-09/08/07	25.7	2	
嘉兴	沪昆高速王店休息区南侧	11/07/26,12/09/08	8.9	4*	
	常台高速象贤大桥两侧	12/03/28,12/05/03,12/05/22,12/09/07-12/09/08	32.3	2	
总计	-	-	352.4	-	-

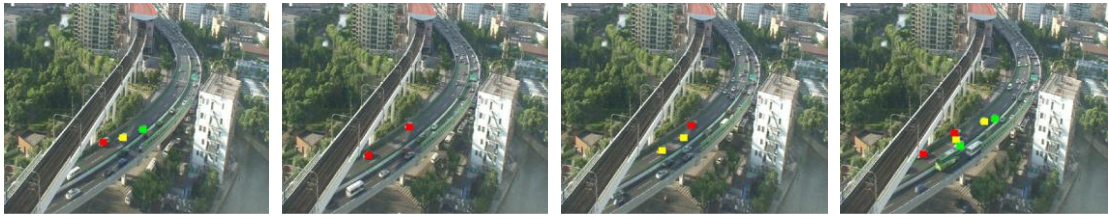
* 拍摄路段中有进出口交织区或平面交叉口待行区，局部增加 1 根车道

2 与环形线圈检测器的对比研究

环形线圈检测器是目前全世界使用最广泛的交通流特征自动检测装置，它直接测量的是道路上连续交通流的流量、速度、占有率数据，通过转换得到密度等其他数据，再用于各种数学模型对交通现象进行分析。上世纪 90 年代以后，Kerner 等人^[9-13]依据环形线圈探测器自动记录的德国高速公路上大批“流量-速度”数据，提出了“三相交通流”模型，以及亚稳态、同步流、宽运动堵塞、自组织、相和相变、幽灵式拥堵等一系列概念，引领了复杂交通现象的研究。近年来，Schonhof 和 Helbing^[14]对 Kerner 的实测数据进行了新的研究分析，在揭示“三相交通流”理论存在一些缺陷的同时，深刻地指出：需要更详尽的依托交通录像及相关信息处理技术的微观交通流实验数据，才能建立充分反映道路交通，尤其是拥堵形成阶段动力学特性的交通流数学模型。

环形线圈检测器等自动检测装置获得数据的有效性、误差大小，将直接影响到 ITS 或其他交通管理系统的工作质量和管理效果，因此也引起国内外许多研究者的重视。1976 年，Payne 等提出了五种检测器错误的类型^[15]；1990 年，Jacobson 等提出 ITS 数据有效性检验的“华盛顿算法”^[16]；2000 年，Turochy 等提出将参数阈值和交通流模型相结合的有效性检验规则^[17]；此后，美国德州交通研究所在年度报告中提出了类似的规则，并得到较多的应用。我国学者结合

中国道路特点，也对城市快速路^[18,19]和高速公路^[20]交通流数据有效性检验规则分别进行了一些研究。本节则试图通过一个将环形线圈检测器数据与录像资料对比的实际例子，揭示一些属于“合理范围”以内的检测数据错误，以期对这一问题有更深入的研究。



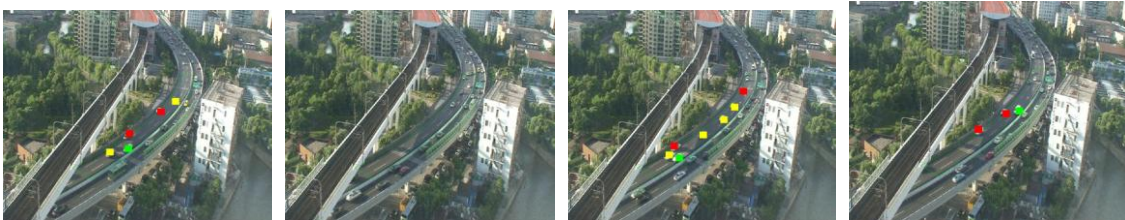
(a)17:20'00"-17:20'20", 绿-3, 黄-5, 红-6, 合计-14



(b)17:20'20"-17:20'40", 绿-8, 黄-5, 红-6, 合计-19



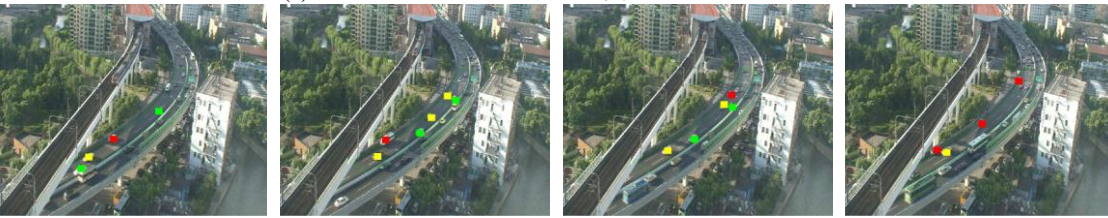
(c)17:20'40"-17:21'00", 绿-3, 黄-12, 红-8, 合计-23



(d)17:21'00"-17:21'20", 绿-3, 黄-6, 红-6, 合计-15



(e)17:21'20"-17:21'40", 绿-6, 黄-7, 红-10, 合计-23



(f)17:21'40"-17:22'00", 绿-6, 黄-7, 红-6, 合计-19



(g)17:22'00"-17:22'20", 绿-7, 黄-8, 红-9, 合计-24



(h)17:22'20"-17:22'40", 绿-6, 黄-7, 红-7, 合计-20



(i)17:22'40"-17:23'00", 绿-10, 黄-11, 红-6, 合计-27



(j)17:23'00"-17:23'20", 绿-6, 黄-7, 红-6, 合计-19



(k)17:23'20"-17:23'40", 绿-5, 黄-8, 红-7, 合计-20



(l)17:23'40"-17:24'00", 绿-5, 黄-9, 红-9, 合计-23

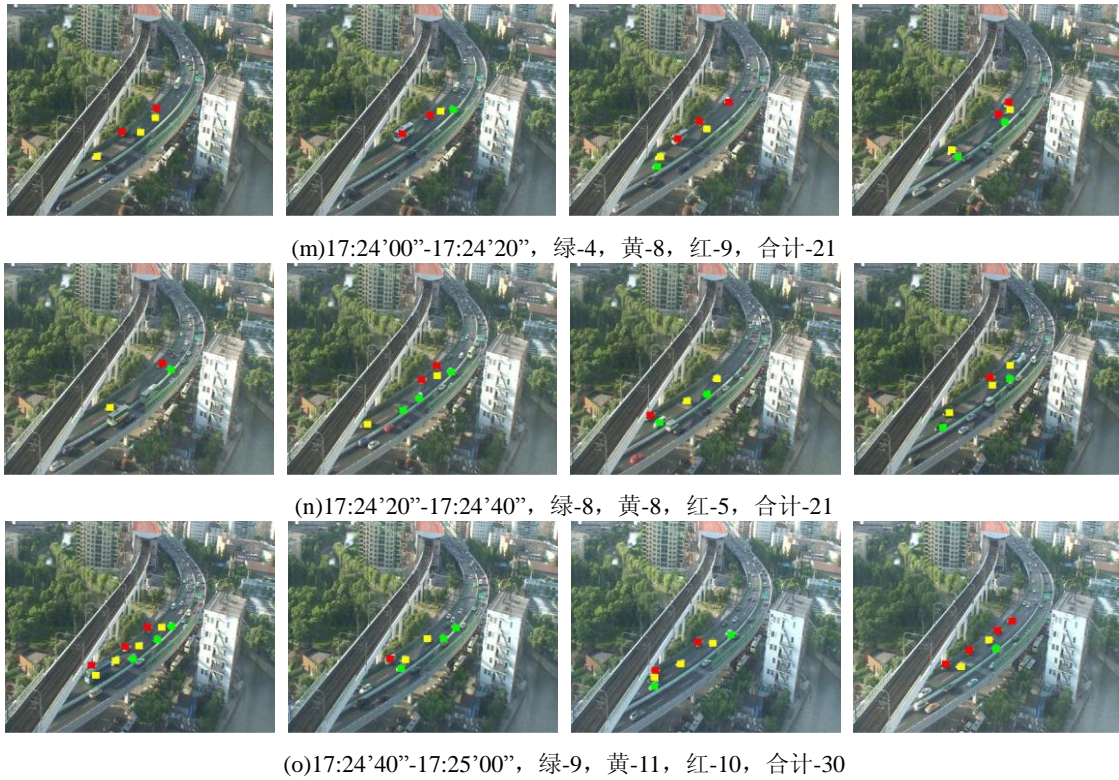


图 2 上海内环高架赤峰路站西侧路段 2009 年 7 月 13 日五分钟流量

Fig.2 Five minitrus traffic flow rate of Shanghai Neihuan Road at the west of Chifeng Road Station

表 2 NHWX58 号环形线圈检测器数据

Table 2 Data from loop detector NHWX58

时间	车道	大车数	中车数	小车数	大车速度 (km/h)	中车速度 (km/h)	小车速度 (km/h)	总流量	平均速度 (km/h)
17:05	1	0	2	99	0	61	64	101	64
	2	0	0	115	0	0	51	115	51
	3	1	3	82	65	58	61	86	61
17:10	1	1	5	97	57	68	62	103	63
	2	0	1	115	0	41	49	116	49
	3	2	1	102	61	67	58	105	58
17:15	1	1	5	115	64	53	58	121	58
	2	0	0	113	0	0	47	113	47
	3	2	4	112	56	58	57	118	57
17:20	1	0	2	107	0	59	61	109	61
	2	1	2	115	51	47	47	118	47
	3	5	6	108	58	55	57	119	57
17:25	1	4	1	101	59	65	62	106	62
	2	0	2	110	0	46	48	112	48
	3	4	4	88	49	59	57	96	57
17:30	1	0	3	94	0	61	61	97	61
	2	1	8	100	49	42	48	109	48
	3	9	5	85	54	63	59	99	59
合计	-	31	54	1858	-	-	-	1943	-

图 2 显示了上海内环高架赤峰路车站（图中上方红色建筑物）西侧路段 2009 年 7 月 13 日下午 17 点 20 分至 17 点 25 分的录像截图。为了保证相邻两帧之间没有车辆遗漏，每帧截图的

时间间距为 5 秒，5 分钟录像总共截图 60 帧。这一路段双向车道数不同，外圈（图中自上至下方向）为三车道，内圈则为二车道，绿色曲线框表示外圈三根车道的有效提取数据范围。在每帧截图上有一些绿、黄、红三色标记的小点，它们分别代表行驶在外圈从右至左三根车道上的一辆车。标记的原则是：当且仅当这些车在本帧截图上出现并且在下一帧截图上已经不再出现，一旦某个截图上存在车辆相互遮挡的情况，则通过录像播放确定补充点。因此，标记点的个数能够很精确地表示这两帧截图之间 5 秒内通过这一路段的流量。根据图 2 合计的结果，这 5 分钟内通过三根车道的流量依次为 89、119、110 辆，总流量 318 辆。

NHWX58 号环形线圈检测器位于图 2 所示的提取范围中，接近出口端，表 2 是它记录下的同一时间段交通特征数据。我们发现，17 点 20 分至 17 点 25 分的 5 分钟内，检测到的三根车道（次序与图 2 中的绿、黄、红小点相同）流量依次为 109、118、119 辆，总流量 346 辆，比图 2 所反映的多了 28 辆（1 车道多 20 辆，2 车道少 1 辆，3 车道多 9 辆），误差超过 8%。虽然表 2 中的数据都在“合理范围”之内，并且用交通流模型计算也未必能发现明显矛盾，但这样的误差是确实存在的！

表 3 录像资料中得到的半小时流量数据

Table 3 Half hour traffic flow rate from video recordings

时间	流量	时间	流量	时间	流量	时间	流量	时间	流量	时间	流量
17:05'00"	29	17:10'00"	22	17:15'00"	30	17:20'00"	26	17:25'00"	31	17:30'00"	23
17:05'30"	31	17:10'30"	33	17:15'30"	39	17:20'30"	30	17:25'30"	34	17:30'30"	27
17:06'00"	37	17:10'00"	32	17:16'00"	40	17:21'00"	24	17:26'00"	26	17:31'00"	42
17:06'30"	39	17:11'30"	35	17:16'30"	26	17:21'30"	33	17:26'30"	37	17:31'30"	37
17:07'00"	26	17:12'00"	17	17:17'00"	33	17:22'00"	32	17:27'00"	30	17:32'00"	36
17:07'30"	27	17:12'30"	15	17:17'30"	36	17:22'30"	39	17:27'30"	33	17:32'30"	23
17:08'00"	38	17:13'00"	32	17:18'00"	31	17:23'00"	30	17:28'00"	44	17:33'00"	29
17:08'30"	26	17:13'30"	35	17:18'30"	34	17:23'30"	32	17:28'30"	32	17:33'30"	31
17:09'00"	39	17:14'00"	38	17:19'00"	32	17:24'00"	31	17:29'00"	28	17:34'00"	27
17:09'30"	36	17:14'30"	32	17:19'30"	28	17:24'30"	41	17:29'30"	20	17:34'30"	24
合计	328	合计	291	合计	329	合计	318	合计	315	合计	299

表 4 录像资料与线圈数据的半小时流量比较

Table 4 Comparizon of half hour traffic flow rate data from loop detector to video recordings

时间段	日期	录像流量	线圈流量	相对误差(%)	日期	录像流量	线圈流量	相对误差(%)
07:00-07:30	2009/07/13	1840	1882	2.28	2010/01/27	1828	1828	0.00
07:45-08:15		1910	1959	2.57		1886	1944	3.08
08:30-09:00		1808	1906	5.42		1740	1782	2.41
11:00-11:30		1583	1584	0.06		1825	1864	2.14
12:30-13:00		1804	1772	-1.77		1683	1723	2.38
14:30-15:00		1753	1810	3.25		1723	1746	1.33
合计		10698	10913	2.01	合计	10685	10887	1.89

表 5 NHWX58 与 NHWX57 线圈的半小时流量比较

Table 5 Half hour traffic flow rate data from loop detectors between NHWX58 and NHWX57

时间段	日期	57#线圈	58#线圈	相对误差(%)	日期	57#线圈	58#线圈	相对误差(%)
07:00-07:30	2009/07/13	1888	1882	-0.32	2010/01/27	1787	1828	2.29
07:45-08:15		1953	1959	0.31		1934	1944	0.52
08:30-09:00		1910	1906	-0.21		1769	1782	0.73
11:00-11:30		1580	1584	0.25		1881	1864	-0.90
12:30-13:00		1758	1772	0.80		1643	1723	4.87
14:30-15:00		1803	1810	0.39		1751	1746	-0.29
合计		10892	10913	0.19	合计	10765	10887	1.13

这种误差会不会是由于录像拍摄时间和环形线圈检测器记录时间不一致所造成？因为线圈记录时间均为 5 分钟间隔，所以我们又用图 2 同样的方法，从 17 点 05 分至 17 点 35 分后半

小时录像中按 30 秒间隔计算出全部流量数据, 如表 3 所示。从表 3 中可以看出, 将时间向前或向后分别移动半分钟、一分钟、一分半钟, 这 6 种情况中流量最大的是向后移动一分半钟, 即从 17 点 21 分 30 秒至 17 点 26 分 30 秒, 流量为 329 辆, 与 346 辆相差 17 辆, 误差仍接近 5%。而如果继续向后移动时间区间, 则流量又将减小。另一方面, 整个 30 分钟累计, 环形线圈检测器所得流量为 1943 辆 (表 2), 而录像截图显示只有 1880 辆 (表 3), 相差 63 辆, 相对误差虽然不如上述 5 分钟大, 但也超过了 3%。

那么, 会不会由于该时间段 NHWX58 号环形线圈检测器恰好出现故障呢? 为此我们又做了两方面检验:

一、将当天其他 6 个时间段的半小时流量与录像资料做对比, 并在此后半年左右的 2010 年 1 月 27 日, 再次拍摄同一位置录像又与该天的线圈数据做对比, 两次对比的结果如表 4 所示。从表 4 中看出相对误差超过 3% 的情况并非仅见, 最大的相对误差达到 5.42%, 因此可以排除检测器故障的可能。其中, 大部分情况下相对误差为正, 表示线圈检测到的流量大于录像中的数据, 或者说线圈出现了超检, 但也有相反的情况, 即线圈出现了漏检。

二、调查位于 NHWX58 号线圈下游 500 米不到处的 NHWX57 号线圈同时段数据并进行比较, 结果如表 5 所示。从表 5 中可以看出, 2009 年 7 月 13 日的 6 个时段 (半小时), 两者数据都很接近, 相对误差不超过 1%。这两组线圈之间没有进出口匝道, 录像资料显示该天该路段没有发生明显的拥堵, 所以这样的结果是合理的, 同样可以排除检测器故障的可能。而 2010 年 1 月 27 日的 12 点 30 分至 13 点时段, 两者测得的流量值相差 80 辆 (意味着在这 500 米不到的路段上半小时内增加了 80 辆车), 这种明显趋向于拥堵的变化过程在录像中没有出现, 可以判断还是 NHWX58 号线圈发生了超检, 与表 4 的结论是一致的。

综上所述, 通过与基本精确的录像数据比较, 可以发现环形线圈检测器得到的流量数据虽然没有明显异常, 但一般都存在一定的超检或者漏检误差, 幅度通常不小于 2% (即半小时 40 辆左右, 最多可能超过半小时 100 辆)。在应用这种检测数据时值得重视这种误差, 并且需要对其形成原因继续进行深入的研究。

3 堵塞密度研究

堵塞密度, 即发生交通堵塞时每车道单位长度上的平均车辆数, 是一个很基本的交通流特征参数。这一参数在交通流模型中的应用, 可以追溯到将近 80 年前的 Greenshields 模型^[21]。一般而言, 对于混合交通路段, 取堵塞密度为 143veh/km; 对于单纯小汽车行驶的路段, 取堵塞密度为 200veh/km; 在近年一些文献中, 也有取堵塞密度为 300veh/km 甚至更高^[22,23]。那么, 在实际交通中这一参数值究竟接近多少呢?

表 6 几个路段实际堵塞密度计算

Table 6 Traffic jam's density values of several roads

道路与拍摄时间	考察路段长(m)	车道数	路段上车辆数	堵塞密度(veh/km)	备注
北京四环 20081103 上午	200	4	57	71	
南北高架 20080129 下午	240	8(双向)	124	65	雪天
延安高架 20081229 上午	100	4(单向)	34	85	雨天
京沪高速 20120403 下午	100	4*	40	100	清明小长假
北京三环 20110706 上午	150	3*	38	84	
西安二环 20090804 下午	80	3	21	87	
上海内环 20090713 上午	140	3	48	114	
京承高速 20120914 上午	140	2*	20	71	
长寿路 20110801 下午	90	3*	31	115	非快速路

* 拍摄路段中有进出口交织区或平面交叉口待行区, 局部增加 1 根车道



图3 几个路段典型拥堵画面

Fig.3 Several traffic jam road sections (a)Beijing Sihuan (b)Shanghai Nanbei Highway (c)Shanghai Yan'an Elevated Rd. (d)Shanghai Jinghu Highway (e)Beijing Sanhuan (f)Xi'an South Erhuan (g)Shanghai Neihuan (h)Beijing Jingcheng Highway (i)Shanghai Changshou Rd. cross Changde Rd.

密度的检测不同于流量和速度，自动检测手段相对比较少，通常采用定点观测法、出入流量法等人工检测手段获得数据。环形线圈检测器自动检测获得的流量、速度、占有率数据，通过转换能够得到密度，但误差比较大。相比而言，通过录像截图获得密度数据是最直接、最方便而且准确的方法，每帧截图某根车道上的车辆数除以该车道长度就是该车道该瞬时车流密度，同样方法可以计算几根车道平均密度。在我们课题的试研究期间，曾用这种方法研究过“流量-密度”平面上宽运动堵塞线的斜率^[7]，本节则将给出一些不同路况下堵塞密度的实际数据。

图3显示了几个不同路段拥堵阶段的录像截图，其中：北京四环、南北高架、延安高架是双向各四车道城市快速路；北京三环、西安二环是双向各三车道城市快速路；上海内环是一个方向二车道（没有拥堵）、另一个方向三车道的城市快速路；京沪高速、京承高速分别是双向各四车道和双向各二车道城际高速公路；长寿路则是双向各三车道（原为四车道，因地铁车站施工而压缩了道路宽度）平面交叉口。表6给出了它们相应的数据，其中前面三个“考察路段长”就是画面上路段的长度，后面六个由于远端车辆不易分辨，所以“考察路段长”表示两条红线

之间的距离(上海内环样本中的这一距离也就是上节用绿色曲线框表示的提取范围)。需要指出,在这些路段,类似的拥堵画面可以截出许多个,甚至说比比皆是,图 3 只是它们的代表,而不是特殊的一部分。从图 3 和表 6,可以得出下面几点结论:

一、中国道路(包括城市快速路、平面道路和城际高速公路)实际的堵塞密度值在 65veh/km 至 115veh/km 范围。由于这些路段都属于大型车比例较低的混合交通流情况,可比较的堵塞密度值是 143veh/km,实际数据明显低于这一取值。当然,这些路段虽然已经非常拥挤,但车流还能够慢慢向前“蠕动”,不能算是完全堵塞,完全堵塞时密度有可能再稍许大一些,不过很难想象能够达到 143veh/km 或者更高。

二、在所有观测到的堵塞密度值中,最小的是南北高架 20080129 下午的 65veh/km。这一天恰逢南方大雪(道路两侧建筑物有大片积雪,同时还在继续下雪),路面湿滑,能见度又较低,驾驶员必须保持比平时更大的安全车距,所以使堵塞密度变小。与此接近的是延安高架 20081229 上午的 85veh/km,这一天下着小雨,同样路面湿滑,能见度也较低,所以堵塞密度较小(如果仅用表 6 中五个上海的样本做比较,这一结论更加明确)。由此可知,堵塞密度这个交通流特征参数,不仅与车流组成有关,而且还与天气变化存在一定关系。

三、仍然考虑堵塞密度最小的南北高架 20080129 下午这个样本,除了雪天因素之外,我们注意到这一段道路存在着明显的坡度(上坡,跨苏州河)。在九个样本中,还有北京四环(下坡,从学院桥开始)和北京三环(上坡,十里河桥)也具有类似道路特征,而它们对应的堵塞密度值也都比较小(仅仅大于南北高架)。由此可知,道路存在坡度,无论上坡还是下坡,驾驶员都需要保持比平面道路更大一些的安全车距,所以也会影响堵塞密度这个特征参数。

四、高速公路或城市快速路进出口匝道前后一般都有一段进出口交织区(如图 3 中京沪高速、北京三环和京承高速),而城市平面道路的信号灯交叉口前面也往往设有待行区(如长寿路),这些局部路段都将比主线道路多一根车道,这根车道会改变局部堵塞密度值。另外,在一些车道宽比较大的路段,拥堵时每个道路截面上实际的车辆数也往往大于车道数,它也会影响堵塞密度值。在表 6 中,京沪高速的堵塞密度值是根据主线车道数 4 计算得到的,但图中可以明显看出车流实际上排成五列,如果按实际的列数计算则为 80veh/km。同样道理,长寿路交叉口车流实际可以排成四列,按实际列数计算得到的堵塞密度 87veh/km。在这些样本中,如果都按实际列数计算堵塞密度值,那么只有上海内环能够大于 100veh/km,其他都在 90veh/km 以下。不过,存在交织区的路段,拥堵时也不一定被车占满,北京三环和京承高速的截图中都是如此。因此,如何准确估计实际的堵塞密度值,还需要深入的研究。

五、对堵塞密度影响最大的当然是车流组成这一因素,车流中是否存在大型车以及大型车的比例多少,都会直接改变堵塞密度。从图 3 看,京沪高速、北京三环和长寿路三个样本有一定比例大型车存在,其他样本基本没有。但表 6 中的数据并没有显示两者存在显著区别。更进一步,仔细观察京沪高速录像截图,从实际存在的五列车自左向右看:第 1 列没有大型车,红线之间共 7 辆车;第 2 列有 1 辆大车,共 7 辆车;第 3 列有 1 辆大车,共 7 辆车;第 4 列没有大车,共 10 辆车(3 辆被遮挡);第 5 列有 1 辆大车,共 9 辆车(1 辆被遮挡)。这些数据还是说明有没有大车差别并不大。比较有趣的是,我们从录像中经常发现,大车(尤其是指大型货车),它们所占路长较多的原因,不仅是其自身长度比较长,而且是它们往往保持更大的安全间距。总体而言,对混合车流的堵塞密度计算,简单采用车身长度及其所占比例建模,是不够的。

4 结语与展望

本文对国内五个城市 13 条高速公路、城市快速路或高等级平面道路的多个不同路段、路况,采集了总共 350 多小时的实际交通录像资料,这些视频资料具有广泛的代表性,也比较容易长期保存,所以能为今后交通流特征检测的多方面工作提供基础。

以其中上海内环高架路一个三车道路段视频资料为依据,对位于视频范围内的一组环形线圈检测器所获得的交通流量数据进行了系统的比较研究,结果发现尽管线圈数据属于合理取值范围,但与更加精确无误的录像资料数据相比,则存在平均每半小时 40 辆左右的误差,既有超

检也有漏检,最大误差可以达到每半小时 100 辆。这样的检测误差在之前文献中未见报道,值得引起重视和深入研究。

又以九个路段拥挤时段的视频资料为依据,对实际道路上的堵塞密度值及其影响因素进行了一系列分析,结果发现除了车流中大小车组成比例这个常见因素之外,气候、坡度、车道宽度等因素也会影响堵塞密度值,而实际道路上混合车流的堵塞密度值往往明显小于 143veh/km。

在对上海内环环形线圈检测器所获数据进行比较研究时,我们还发现其中速度数据也有显著不合理之处,主要表现在中间车道速度任何时候都比其他车道小很多,甚至在深夜零点左右,整条路上没有几辆车的情况下都是如此。对此将以另文研究。

致 谢

本文工作得到上海市城市快速路监控中心张培源主任工程师等的大力支持,提供了相关的环形线圈检测数据,作者特此表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] 李作敏, 交通工程学. 北京: 人民交通出版社, 2002, 66-68.
- [2] Michalopoulos, P. G., Vehicle detection video through image processing: the autoscope system. *IEEE Transactions on Vehicular Tech.* 1991, **40**: 21-29.
- [3] Hoose, N., IMPACTS: an image analysis tool for motorway surveillance. *Traffic Engineering and Control* 1992, **33**: 140-147.
- [4] Koller, D., Daniilidis, K., Thorhallson, T., Nagel, H. H., Model-based object tracking in traffic scenes. *Proc. of ECCV'94, Springer-Verlag, NY, USA*, 1994.
- [5] Coifman, B., Beymer, D., McLauchlan, P., Malik, J., A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance. *Transpn. Res. C* 1998, **6**: 271-288.
- [6] Prati, A., Micki, I., Grana, C., Trivedi, M. M., Shadow detection algorithms for traffic flow analysis a comparative study. *IEEE Intelligent Transpn. System Conf. Proc., Oakland, USA*, 2001.
- [7] 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. 复旦学报(自然科学版), 2008, **47**: 147-152.
Wu Zheng, Zhu Hui, Jia Nan, Measuring method Study of the traffic flow model parameters based on video recording of expressway traffic. *J. Fudan Univ. (Nat. Sci.)* 2008, **47**: 147-152. (in Chinese)
- [8] 吴胜春, 郑贤清, 郭明旻, 吴正, 国内典型大城市快速路交通流实测. 中国科学(物理学 力学 天文学), 2011, **41**: 791-800.
Wu Shengchun, Zheng Xianqing, Guo Mingmin, Wu Zheng, Survey report on urban freeway traffic flow of several typical cities in China. *Scientia Sinica (Physica, Mechanica & Astronomica)* 2011, **41**: 791-800. (in Chinese)
- [9] Kerner, B. S., Rehborn, H., Experimental features and characteristics of traffic jams. *Phys. Rev. E* 1996, **53**: 1297-1300.
- [10] Kerner, B. S., Rehborn, H., Experimental properties of complexity in traffic flow. *Phys. Rev. E* 1996, **53**: 4275-4278.
- [11] Kerner, B. S., Experimental features of self-organization in traffic flow. *Phys. Rev. Lett.* 1998, **81**: 3797-3800.
- [12] Kerner, B. S., Experimental features of the emergence of moving jams in free traffic flow. *J. Phys. A-Math. Gen.* 2000, **33**: 221-228.
- [13] Kerner, B. S., Empirical macroscopic features of spatial-temporal traffic patterns at highway bottlenecks. *Phys. Rev. E* 2002, **65**: 6138-6167.
- [14] Schonhof, M., Helbing, D., Criticism of three-phase traffic theory. *Transpn. Res. B* 2009, **43**: 784-797.
- [15] Payne, H. J., Helfenbein, E. D., Knobel, H. C., Development and testing of incident algorithm.

Washington DC: Federal Highway Administration 1976.

- [16] Jacobson, L. N., Nihan, N. L., Bender, J. D., Detecting erroneous loop detector data in a freeway traffic management system. *Phys. Rev. Record* 1990, **1287**: 151-166.
- [17] Turochy, R. E., Smith, B. L., New procedure for detector data screening in traffic management systems. *Transpn. Res. Record* 2000, **1727**: 127-131.
- [18] 姜桂艳, 江龙辉, 张晓东等, 动态交通数据故障识别与修复方法. 交通运输工程学报, 2004, **4**: 121-125.
Jiang Guiyan, Jiang Longhui, Zhang Xiaodong, et al, Approach to dynamic traffic data identification and imputation. *J. Traffic & Transpn. Engng.* 2004, **4**: 121-125. (in Chinese)
- [19] 秦玲, 郭艳梅, 吴鹏, 等, 断面交通检测数据检验及预处理关键技术研究 公路交通科技, 2006(11): 39-41.
Qin Ling, Guo Yanmei, Wu Peng, et al, Key techniques research for station traffic data screening and pre-processing. *J. Highway Administration Res. & Development* 2006(11): 39-41. (in Chinese)
- [20] 朱雷雷, 张韦华, 聂庆慧, 干线公路交通流数据有效性检验规则. 东南大学学报(自然科学版), 2011, **41**: 194-198.
Zhu Leilei, Zhang Weihua, Nie Qinghui, Traffic data screening rules for highways. *J. Southeast Univ. (Nat. Sci.)* 2011, **41**: 194-198. (in Chinese)
- [21] Greenshields, B. D., A study of highway capacity. *Highway Res. Board Proc.* 1934, **14**: 448-477.
- [22] Siebel, F., Mauser, W., On the fundamental diagram of traffic flow. *SIMA J. Appl. Math.* 2006, **66**: 1150-1162.
- [23] Lu, Y., Wong, S. C., Zhang, M., et al, Explicit construction of entropy solutions for the Lighthill-Whitham-Richards traffic flow model with a piecewise quadratic flow-density relationship. *Transpn. Res. B* 2008, **42**: 355-372.