

文章编号: 1002-0268 (2003) 01-0114-04

高速公路合流区 1 车道车头时距分布特征

李文权¹, 王 炜¹, 周荣贵²

(1. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096 2 交通部公路科学研究所, 北京 100088)

摘要: 为揭示高速公路合流区 1 车道上车辆的运行规律, 利用摄像机于 2000 年在江苏、山西、河北、北京、天津、广东等地对高速公路合流区 1 车道上车辆的车头时距数据进行大量调查, 运用 AutoScope2004 图像处理系统对大量调查数据进行分析处理。在此基础上, 运用数理统计方法提出 1 车道车头时距分布为变化阶数的 Erlang 分布的分布特征, 运用拟合分析及 χ^2 检验技术对提出的分布特征进行了检验。该分布特征为合流区通行能力分析、交通管理和几何设计等进一步研究提供分析基础。

关键词: 高速公路; 合流区; 车头时距; 通行能力

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

Headway Characteristics of lane 1 on Expressway Merge Area

LI Wen-quan¹, WANG Wei¹, ZHOU Rong-gui²

(1. Transportation College, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China;

2. Research Institute of Highway, Ministry of Communications, Beijing 100088, China)

Abstract: In order to work out the first lane behavior regularity of the on-ramp freeway junction, we use video tape recorder to investigate the headway characteristics of lane 1 on expressway interchanges in many provinces and cities such as Jiangsu, Shanxi, Hebei, Beijing, Tianjin and Guangdong. Based on a lot of analysis and data processing by AutoScope 2004 image sensing system, the headway of variable k-th Erlang distribution is set up with probabilistic and statistical method. This hypothesis is carried out with fitting technique and test of goodness of fit. This is the analytical foundation to highway capacity, traffic management, and designing of expressway merge area.

Key words: Expressway; Headway; Traffic characteristics; Highway capacity

在设计新的高速公路设施或已有高速公路设施新的管理方案中, 都需要预测主路 1 车道交通流的车头时距分布特征, 并且希望能利用有限的的数据作出预测。目前最常用的方法是回归分析方法, 但是在利用回归分析方法时首先要确定 1 车道车头时距的分布特征, 才能按照特定模型回归出待定系数而得到具体的车头时距分布规律。本文将采用数理统计的方法, 通过现场的实地观测数据, 确定合流区主路 1 车道车流的车头时距的分布特征, 为合流区通行能力分析、交通管理和几何设计等进一步研究提供分析基础。

1 高速公路合流区主路车头时距分布模型

在高速公路基本路段上, 交通流比较稳定, 通行能力与服务水平一般能达到设计水平。而在合流区内, 随着交通量的增大, 由于加速车道上车辆的合流行为, 往

往会引起主线交通流紊乱, 行车速度降低, 延误增大。或由于加速车道上车辆强行汇入主路而引发交通事故, 形成高速公路的“瓶颈”路段。因此, 研究高速公路合流区交通流的运行特征引起人们的高度重视。如 Kou 与 Madhemehl 于 1997 年对高速公路合流区司机的合流行为进行了专门研究^[1], 罗霞于 2000 年对合流区车辆的运行模式进行了研究^[2], Evans、Elefteriadou、Gautam 等^[3]于 2001 年运用 Markov 链对合流失败而停车的概率进行了研究, 李铁柱、李文权、周荣贵等^[4]于 2001 年对合流区的交通统计特性进行了研究, 李文权、王炜、邓卫等^[5]于 2002 年对合流区匝道车辆的汇入模型进行了研究。所有这些研究都涉及高速公路主路 1 车道交通流的车头时距分布问题。合流区内的关键运行特征是主线与匝道入口车辆交替进入合流段, 驶入车辆的增加, 必然引起车头时距重新分布。这种重新分布是动态的, 对于车头时距

的分布模型, 国内外均作过大量研究。目前比较成熟和比较有代表性的模型主要有以下 3 种⁶⁾。

(a) 车流量很低, 车辆之间基本上是相互独立的, 这时的车头时距可以认为是随机的, 其概率一般服从负指数分布或移位负指数分布

$$P(h \geq t) = e^{-Qt/3600} \quad (1)$$

其中, $P(h \geq t)$ 为车头时距大于等于 t 的概率; Q 为交通流平均小时流量; t 为所选定的时间间隔; e 为常数 ($e = 2.71828 \dots$)。

(b) 车流量很大, 接近于通行能力, 这时的车头时距值基本上可以认为是恒定的, $t = 3600/Q$ 。

(c) 交通流量介于上述两种情况之间, 这时部分车辆独立行驶, 而另外一些车辆彼此影响, 这时的车头时距分布模型是 K 阶 Erlang 分布模型, 即

$$P(h \geq t) = \sum_{i=0}^{k-1} (\lambda t)^i \frac{e^{-\lambda t}}{i!} \quad (2)$$

其中, λ 为来车强度, veh/s ; $P(h \geq t)$ 为车头时距大于等于 t 的概率。

本文通过现场的实地观测数据, 采用数理统计的方

法, 确定合流区主路 1 车道车流的车头时距分布特征, 下面介绍数据采集及处理方法。

2 数据采集与处理方法

从 2000 年 6 月开始, 我们先后在太旧高速公路、京津塘高速公路、首都机场高速公路、北京东四环高速公路、广佛高速公路、佛开高速公路、沪宁高速公路、京沪高速公路江苏段进行了大规模的调查研究。采集数据的主要观测设备为摄像机、雷达测速仪、升降车等。处理数据的主要仪器为美国 AutoScope2004 视频处理系统, 分析处理摄像机在野外拍摄的交通画面, 自动判别车辆的车型、车速、车头时距等。

调查仪器布置如图 1。在高速公路合流区用摄像机实时拍摄, 以便在室内进行详细分析, 确定每辆车的具体特征, 得到车辆交通行为的相应参数, 为更深入的研究作好准备。现场进行如下工作: 高速公路合流区的位置、地形、几何尺寸; 高速公路合流区的平面简图及设备安装简图; 调查数据, 摄像机记录图像; 意外情况记录, 如出现交通事故、仪器发生故障等。

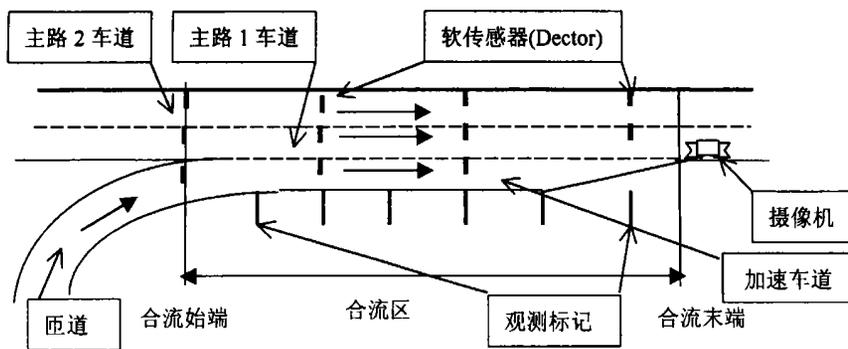


图 1 高速公路合流区观测设备布置示意图

野外观测主要是架设摄像机。摄像机的高度一般 8 ~ 10m, 要与观测区域的周围地形和架设条件相结合, 同时要保证一定的视野。对于比较长的加减速车道, 应分阶段架设多台摄像机。路肩上贴白色条带作为地面观测标记, 观测标记不能影响司机的驾驶行为。路肩上贴观测标记的主要作用是在处理录像时帮助识别合流点位置及设置软传感器位置。室内工作主要为运用美国 AutoScope2004 视频处理系统对录像资料进行处理, 获得所需的交通参数。软传感器的设置要考虑合流的始末端、中间阶段、主线、加速车道的不同合流阶段。以获得主线、加减速车道在合流前后、合流期间的车头时距等交通参数。

经过对大量调查数据的处理分析, 可以得到合流区 1 车道车辆在不同断面的车头时距分布是变化的 Erlang 分布模型, 主路 1 车道车头时距在合流区鼻前为移位负

指数分布; 在合流区范围内为变阶数的 Erlang 分布, 观测断面与合流区鼻端越远断面车头时距 Erlang 分布的阶数越高。下面以京津高速公路天津—北京段杨村—北京方向入口——平行式加速车道 (总长 200m) 为例分析高速公路合流区 1 车道车头时距的分布特征。

3 高速公路合流区 1 车道车头时距分布特征分析

以京津高速天津—北京方向杨村入口实测数据为依据, 对合流区 1 车道车辆不同断面的车头时距分布进行分析检验。

在京津高速天津—北京方向杨村入口加速车道合流区设置 5 列传感器, 主路 1 车道设置 5 个软传感器, 编号为 102、104、109、145、114, 其具体布置见图 2。1 车道 5 个传感器断面的交通量为 148veh/h、207veh/h、261veh/h、316veh/h、328veh/h; 车头时距观测统计结果见表 1。

天津-北京方向杨村入口合流区1车道车头时距统计结果

表1

序号	断面	车道	均值	方差	k	样本数
1	主线车道合流始端断面(传感器102)	主线1车道	16.66	197.57	1.40	434
2	合流区主线车道距离加速车道鼻端纵向40m处(传感器104)	主线1车道	14.99	185.11	1.21	576
3	合流区主线车道距离加速车道鼻端纵向92m处(传感器109)	主线1车道	13.26	117.64	1.50	753
4	合流区主线车道距离加速车道鼻端纵向140m处(传感器145)	主线1车道	11.18	75.01	1.67	921
5	主线车道合流结束点断面(传感器114)	主线1车道	18.45	150.46	2.26	538

表中, $k = M^2/D$ 为估计值, M 为均值, D 为方差。

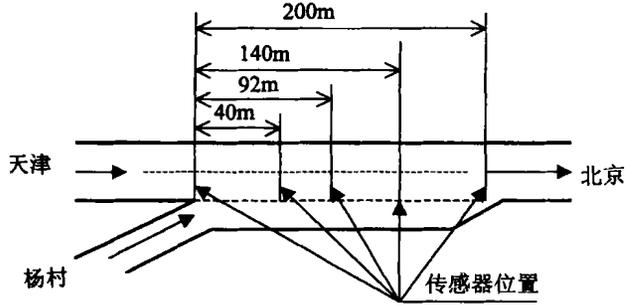


图2 京津高速公路北京方向杨村入口传感器布置示意图

对京津高速公路天津-北京方向杨村入口加速车道合流区1车道5个传感器断面的车头时距观测结果进行统计, 对应表1不同断面观测车头时距分布均值和方差下计算的理论拟合分布为负指数分布和2阶Erlang分布。实际观测到的累次概率分布函数值和拟合理论分布函数值绘制在同一图中, 可以看出不同断面上1车道车头时距的实际观测分布随其距合流区鼻端距离的增加而逐步有负指数分布向2阶Erlang分布移动, 具体拟合图形见图3的5个小图。5小图中虚线为对应2阶Erlang分布, 实线为对应负指数分布, 点为对应实际观测分布。图3的理论分布模型为公式(2)所示的Erlang分布, 其参数由下式计算

$$\lambda = \frac{1}{M} \quad (3)$$

$$k = \frac{M^2}{D} \quad (4)$$

其中, M, D 为表1中对应的均值和方差, 在0.05的置信水平下运用 χ^2 检验可以接受理论分布对实际分布的拟合, 具体检验方法见4节。

4 车头时距分布的 χ^2 检验

分布函数的拟合优度检验—— χ^2 检验有一定的法则。检验步骤为: 估计分布参数; 假定理论分布类型; 计算理论频数及 χ^2 检验法检验拟合优度; 确定接受或拒绝假定的理论分布。我们以102断面的实际观测数据为例进行分析。

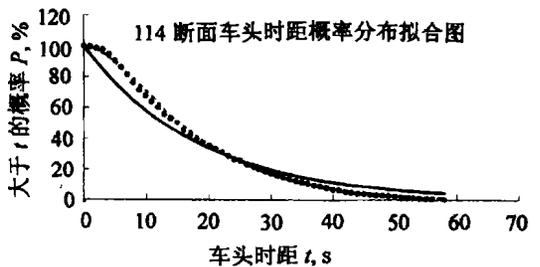
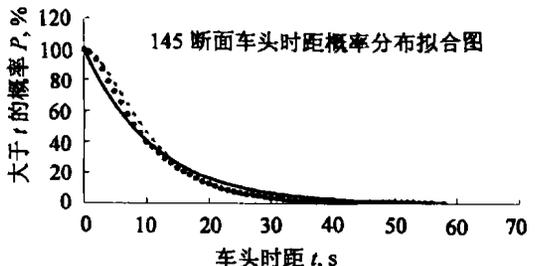
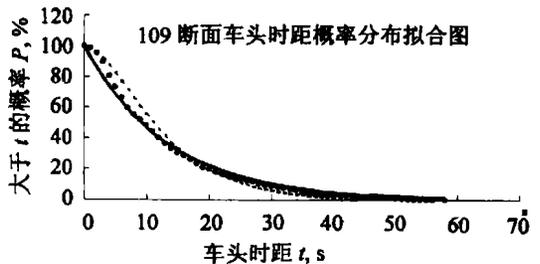
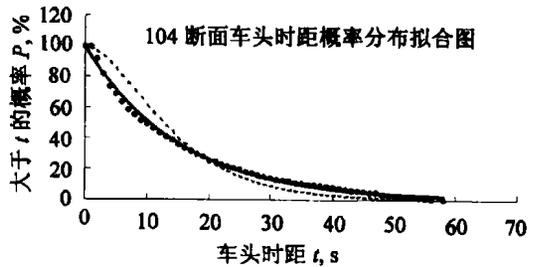
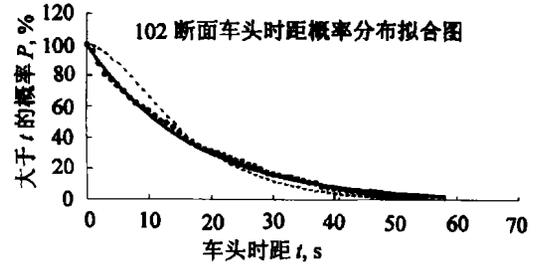


图3 杨村北京方向合流区1车道5个断面车头时距概率分布拟合图

计算实际观测分布参数

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{58} f_i t_i}{\sum_{i=1}^{58} f_i} = \frac{7230}{434} = 16.66$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{58} f_i t_i^2}{N-1} - \frac{\left(\sum_{i=1}^{58} f_i t_i\right)^2}{N(N-1)} = \frac{205994}{433} - \frac{205994^2}{434 \times 433} = 197.57$$

$$K = \frac{M^2}{D} = \frac{16.66^2}{197.57} = 1.40$$

取 $K=1$ 。于是,假设理论分布函数为负指数分布(1 阶 Erlang 分布)

$$P(h \geq t_i) = e^{-0.06t_i}$$

累计理论频数 = $434P(h \geq t_i)$, 理论频数 $F_j = 434[P(h \geq t_i) - P(h \geq t_{i+1})]$, 经具体计算车头时距从 29s 到 57s 的理论频数小于 5, 因此按照 χ^2 检验法则应将它们与临组结合为一组。本计算中将它们与车头时距大于 58s 的一组组合后再计算检验拟合优度。

用 χ^2 检验法检验拟合优度

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{28} \frac{f_i^2}{F_i} + \frac{\left(\sum_{i=29}^{58} f_i\right)^2}{\sum_{i=29}^{58} F_i} - N = 372 + 94 - 434 = 32$$

$DF = 29 - 2 = 27$ 取 $\alpha = 0.05$, 查 χ^2 分布表

$$\chi_{\alpha}^2 = 40.113 > 32$$

因此,断面 102 组观测数据符合负指数分布。

用同样的方法检验其余断面车头时距的观测分布,

检验结果为可以用理论分布拟合实际分布。

5 结论

用上述方法我们对调查数据进行了分析处理,发现 1 车道观测断面车头时距与观测断面的交通量息息相关。主路 1 车道交通小于 250veh/h 时,其车头时距符合负指数分布(1 阶 Erlang);主路 1 车道交通位于 250~500veh/h 时,其车头时距符合 2 阶 Erlang 分布;主路 1 车道交通位于 500~750veh/h 时,其车头时距符合 3 阶 Erlang 分布^[6]。

如果上述调查结果具有一般意义,那么合流区 1 车道车头时距分布特征的内在规律是值得理论界深究的问题。合流区内的关键运行特征是主线与匝道入口车辆交替进入合流段,匝道驶入车辆的增加,引起 1 车道车头时距重新分布。因此,研究合流区 1 车道不同断面交通量的变化规律也是很有意义的问题。

参考文献

- [1] Kou C C, Machemehl R. Modeling Driver Behavior During Merge Maneuvers [R]. Austin: Southwest Region University Transportation Research, The University of Texas at Austin, 1997.
- [2] 罗霞. 混合车流合流运行模式研究[J]. 西南交通大学学报, 2000, 35(4): 36-39.
- [3] Evans J L, Elefteriadou L, Gautam. Probability of Breakdown at Freeway Merges Using Markov Chains[J]. Transportation Research Part B, 2001, 35(3): 237-254.
- [4] 李铁柱, 李文权, 周荣贵等. 高速公路加减速车道合流分流特征分析[J]. 公路交通科技, 2001, 18(4): 89-91.
- [5] 李文权, 王炜, 邓卫等. 高速公路加速车道上车辆的汇入模型[J]. 中国公路学报, 2002, 15(2): 95-98.
- [6] 王炜, 周荣贵, 李文权, 刘兆斌等. 高速公路加、减速车道长度设计标准研究报告[R]. 南京: 东南大学交通学院, 2001.
- [4] 闵红星. 封闭式高速公路电脑收费系统的设计与实现[J]. 交通与计算机, 1998, 16(4): 15-19.
- [5] 刘珊. 计算机收费系统的分析和设计[J]. 交通与计算机, 1999, 17(3): 50-53.
- [6] 周存信, 彭刚. 太旧高速公路电子收费系统应用及通行费征收对策[J]. 山西交通科技, 1998, (3): 23-27.
- [7] 翁小雄, 施永灿, 任少. 高速公路收费系统选型评价[J]. 中国公路学报, 1998, 11(1): 95-101.
- [8] 李伟, 崔哲宝. 辽宁省高速公路网收费系统几个问题的探讨[J]. 东南大学学报, 1998, 28(3): 108-111.

(上接第 113 页)

参考文献:

- [1] 宋靖雁, 张毅, 杜海宁, 张雷, 王海东. 高速公路联网收费中的路网模型及数据处理[J]. 公路交通科技, 2001, 18(5): 51-54.
- [2] D Hanser. Electronic Toll Collection (ETC) [J]. Transportation Research, 1991, 25(1): 9-16.
- [3] The Electronic Toll Collection System: An Approach to Reduce the Delay at the Toll Station[C]. Dedicated Conference on Advanced Transport Telemetry, Intelligent Vehicle High System, 1993: 99-106.