

文章编号: 0451-0712(2005)12-0110-06

中图分类号: U491.4

文献标识码: A

高速公路施工区交通特性分析

何小洲¹, 过秀成¹, 吴平², 杨卫东²

(1. 东南大学交通学院 南京市 210096; 2. 江苏省交通厅公路局 南京市 210004)

摘要: 对高速公路施工区的控制区进行了划分,明确了施工区各控制区的主要功能及特征。施工区车辆运行特性表现为合流车辆会造成施工区交通流重分布、超车道车辆优先通行以及合流的强制性等。在大量交通调查的基础上,对施工区行车道、超车道、合流车道的车头时距分布,各控制区的地点车速的频率分布、空间分布,车道占有率以及车辆汇入特征进行了深入分析。

关键词: 高速公路; 施工区; 交通特性; 控制区

伴随着我国高速公路里程的快速增长,高速公路的交通量也呈不断增长的趋势,再加上高速公路上货车超载现象比较严重,许多高速公路的路面条件以及交通设施都不同程度地遭到了破坏,高速公路的施工养护作业变的越来越频繁,并成为高速公路发生经常性拥挤以及造成各类交通事故的重要原因。因此,开展对高速公路施工区的交通特性、通行能力、交通

安全、交通组织的研究具有重要的理论和实际应用价值。然而,由于种种原因,高速公路施工区研究在我国并没有得到应有重视,致使频繁养护施工极大地限制了高速公路经济效益和社会效益的正常发挥。本文拟对高速公路施工区的车辆运行特性、交通流特性进行分析,以期为今后开展高速公路施工区通行能力、交通安全以及交通组织等研究奠定基础。

收稿日期: 2005-06-13

[4] W M Chen, et al. Inline Sensing System for Multi-parameter Remote Measurement Bridge. International Symposium on Long Span Bridges research and Monitoring. Hong Kong, April, 2000.

[5] 刘士林,等. 斜拉桥[M]. 北京:人民交通出版社,2002.

Development and Realization of State Remote Monitoring System for Dafosi Bridge over Yangtze River

FU Yu-mei, ZHU Yong, CHEN Wei-min, HUANG Shang-lian

(Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: A state remote monitoring system is designed for Dafosi Bridge over Yangtze River. This system includes two subsystems, namely, local computer subsystem and remote monitoring computer subsystem. The local computer subsystem can gain the state informations of the bridge via sensors, which installed in the key parts of the bridge, such as the fiber-optic strain sensors, the photocell type deflection sensors and the temperature sensors. It also can store and transmit the state information via fiber optic cable to the remote monitoring computer to analyze and evaluate the health state of this bridge. This system was installed in the bridge in the end of 2002.

Key words: bridge; state monitoring; remote; Dafosi Bridge over Yangtze River

1 施工区交通控制区划分

高速公路的施工区是高速公路施工、养护、改造的活动场所。施工区一般设置了标志、渠化设施、障碍物、路面标线,并配备了施工作业车辆。它是从第一个施工警告标志到施工结束标志之间所包含的区域。

典型的双向四车道高速公路养护施工控制区一般划分为:警告区、渐变区、作业区和终止区^[1],如图 1 所示。其中,警告区包括交通标志警告区与路肩锥形区两部分,渐变区包括汇合锥形区,作业区包括上游缓冲区和施工作业区两部分,终止区则包括下游缓冲区和分流锥形区两个部分。

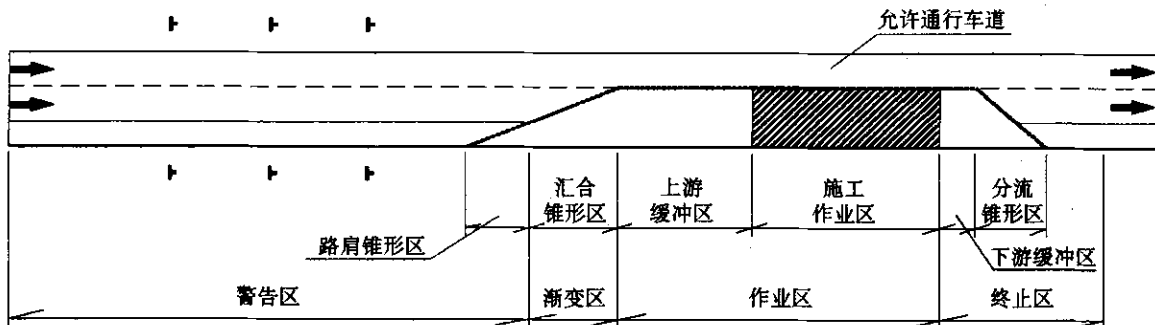


图 1 典型的双向四车道高速公路施工区交通控制区划分

(1)警告区:提示前方道路施工,使司机注意交通变化情况,及时采取相应措施。警告区内应设置限速标志、前方施工标志、前方车道变窄、禁止通行标志等。交通流逐渐由自由流转变为限制流。

(2)渐变区:提供行驶车辆改变行驶方向(变换车道)的空间。车辆进入此区域后如不在开放通行车道上,必须换车道行驶。

(3)作业区:是施工作业进行的区域。一般通过渠化设施或障碍物将施工作业活动与道路使用者隔离。上游缓冲区禁止施工作业以及存放施工设备、原材料、车辆等。当施工区由于处于凸曲线顶点或平曲线转角附近不能被前方车辆发现时,上游缓冲区应延长到可被发现的地方,一般在上游缓冲区开始点设视线诱导标和闪光灯信号。缓冲区内应设置路障,以保护施工作业人员的安全。驶入该区段的车辆不能超车,只能跟驰行驶。

(4)终止区:表示施工区的结束和施工限速的解除,位于施工区的末端。交通流逐渐恢复正常运行状态。

2 施工区车辆运行特性

行车道上的合流车辆要进入超车道,必须在超车道上寻找可接受间隙,在必要的情况下,还需要调整加速度大小,实施合流换车道操作,从而使合流车辆与超车道上的直行车辆共同行驶在一条车道上,直至通过施工区。高速公路施工区的合流运动特性很复杂,其主要特性可从以下几个方面分析。

2.1 汇入车辆造成施工区交通流的重分布

行车道车辆汇入超车道,对超车道上车流的影响非常大,其影响宏观表现为车辆在车道上的分布的变化。对高速公路的基本路段而言,车辆在高速公路上的行车道和超车道的分布是均衡、稳定的。当驾驶员看到施工区第一个提示标志时,为保持车辆能顺利通过施工区,部分行车道上的车辆就开始向超车道转移,这种情况在交通量较大的情况下表现的更加明显。从而引起交通量在不同车道上的重新分布,结果使行车道上越接近作业区,行驶的车辆越少。与此同时,由于行车道车辆的汇入,超车道上交通量明显增多,车速降低,车流出现紊乱现象。当高速公路通行车辆数小于施工作业区通行能力时,在路肩锥形区上游会形成一段车流真空;反之,则可能从路肩锥形区上游开始行车排队。

2.2 超车道上车辆优先

行车道合流车辆在汇入超车道的过程中,要与原来在超车道上行驶的车辆争夺行驶空间。据观测,二者在争夺时机会不均等,超车道车辆将享受优先权。因此,只有超车道出现足够大的空隙时,行车道上的车辆才能进行汇入;否则,行车道上的车辆只有等待下一个空隙,重复同样的判断,一直到出现可接受间隙,完成汇入行为。若合流车辆在行车道上一直无法找到合适的间隙,则合流车辆将在路肩锥形区顶端停止,等待下一个间隙的出现。

2.3 行车道合流的强制性

与匝道车辆必须在加速车道长度范围内完成合

流过程类似。当前方进行施工作业时,在行车道上行驶的车辆必须在施工区第一个提示标志与路肩锥形区顶端之间的这段长度内换车道至超车道,完成合流行为;否则,车辆就会出现排队。因此,行车道合流具有明显的强制性。在交通量比较大的情况下,这种强制性的合流行为对超车道车辆行驶将有较大的影响,因为合流车辆可能强制驶入超车道,而迫使紧随其后的超车道上的车辆减速,紧急跟驰行驶,以确保

行车安全。

3 施工区交通流特性

以 2004 年 9 月在京沪高速公路淮安段(K77+000~K118+000)部分路段路面专项治理过程中进行的施工区交通流调查分析为例,分析高速公路施工区交通流的统计分布特性,以揭示施工区交通流运行的内在规律。

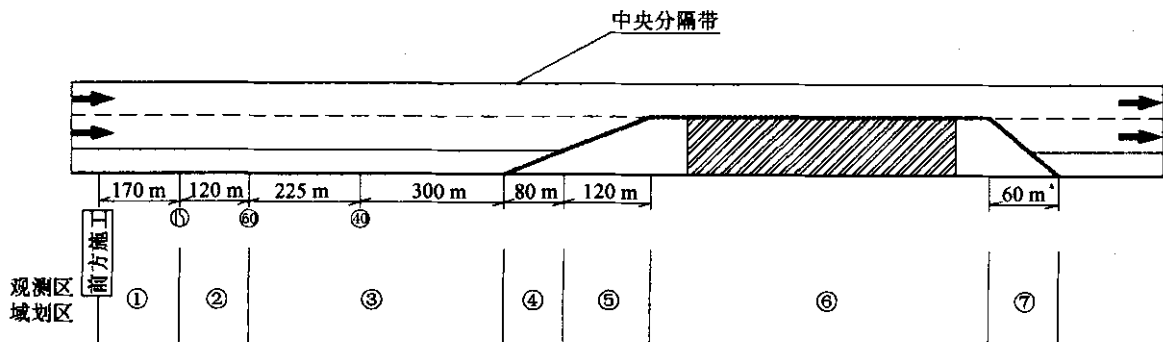


图2 施工现场交通组织方案及观测区域的划分

3.1 车头时距

图3~图6分别为高速公路施工区上游正常路段行车道和超车道的车头时距分布状况。经检验,一般路段交通流的车头时距在95%的置信度水平下符合移位负指数分布,行车道与超车道分布大致相似,50%位的车头时距基本相同,分别为28.55 s和27.98 s。这也说明我国高速公路目前普遍存在的问题:部分大型车辆总是长时间占据超车道,致使部分性能较好的汽车不能正常超车,只能以低速跟驰行驶或有时不得不从行车道超车,从而造成了行车道和超车道功能的混乱。图7和图8为施工区超车道合流段车头时距分布特征。由于高速公路单向由原来的2个车道变为1个车道,合流段的车头时距明显比一般正常路段小,其百分位曲线相对较为平缓,说明车头时距的离散性相对较大。合流段的车头时距平均值为14.62 s,约为一般正常路段行车道或超车道的1/2。

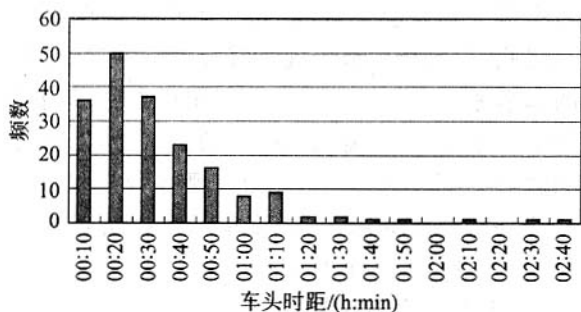


图3 正常路段行车道车头时距分布

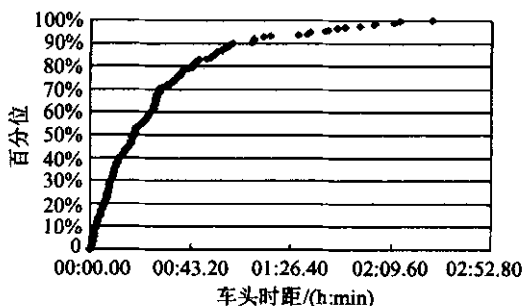


图4 正常路段行车道车头时距累积频率分布

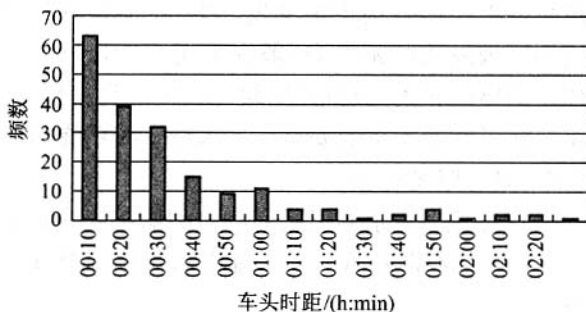


图5 正常路段超车道车头时距分布

3.2 车速

在 2004 年 9 月的交通调查中,我们将施工控制区分成 7 个区段,如图 2 所示。通过对各个区段的地点车速的调查发现,高速公路施工作业对车流速度影响非常明显,并且呈现出一定的规律。

(1)施工区地点车速频数分布。

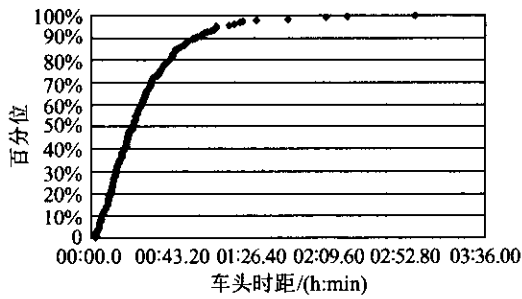


图 6 正常路段超车车道车头时距累计频率分布

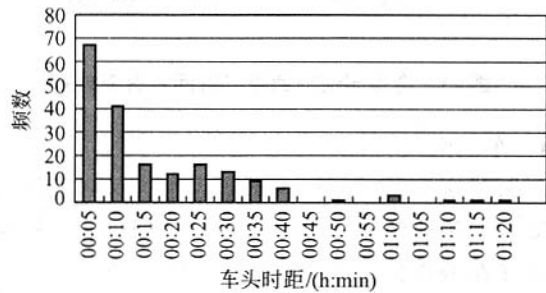


图 7 施工区合流段车头时距分布

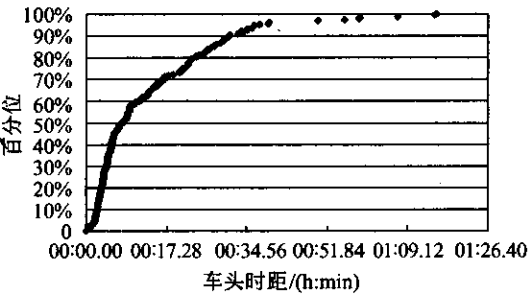


图 8 施工区合流段车头时距累计频率分布

以 2 号控制区为例,地点车速的频数分布和累计频率分布分别如图 9 和图 10 所示。采用 SPSS 数据统计分析软件对地点车速的频率分布进行 χ^2 拟合优度检验^[2],结果表明车速分布符合正态分布。

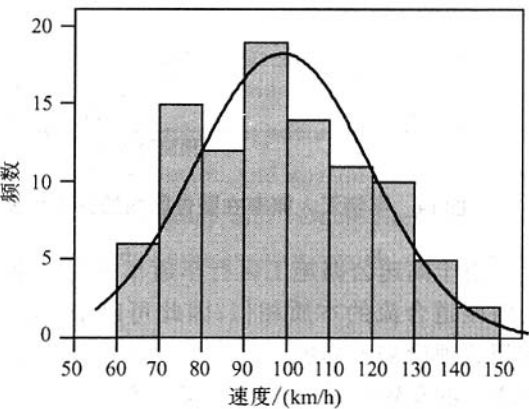


图 9 2 号控制区车速频率数分布

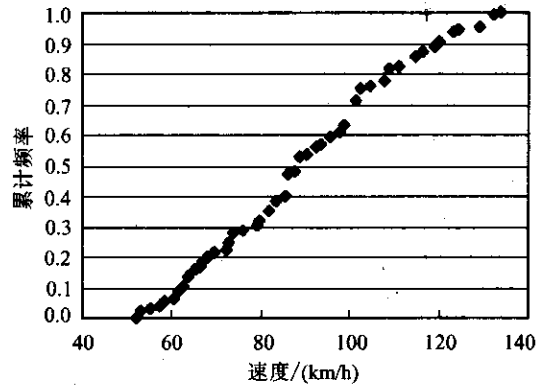


图 10 2 号控制区车速分布累计频率图

表 1 施工区各控制区地点车速统计描述

控制区代码	1	2	3	4	5	6	7
平均值/(km/h)	92.8	89.8	91.7	66.7	71.0	70.7	91.1
中位值/(km/h)	90.0	87.7	90.0	64.5	67.2	67.5	91.4
标准误差	2.3	2.1	2.0	1.5	1.3	1.8	1.6
标准偏差	23.3	20.7	20.4	14.4	12.9	18.2	16.1
样本方差	544.0	428.1	418.2	207.6	166.9	331.6	259.1

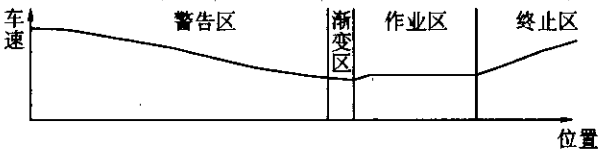


图 11 高速公路施工区内的车速分布状况示意

(2)施工区地点车速空间分布。

正常车速行驶的车辆在看到施工区第一个标志后,就有了减速行驶的驾驶意识,但是,驾驶员并不急于立刻减速或减速的幅度非常小;另外,从驾驶员采取制动到制动生效也需要一定的时间。因此,在车辆经过警告区始端时,减速并不明显。随着车辆距离作业区越来越近,以及警告标志、限速标志的频繁出现,车辆的减速幅度越来越大。当车辆到达警告区末端时,由于前方道路施工作业,车辆必须在此完成换车道过程,车辆寻求换车道间隙的过程对行车道和超车道的速度影响较大。当车辆驶入渐变区时,由原来 2 个车道车流汇合而成的车流,并没有形成紊流,车辆之间的车头间距以及车速仍处于不断变动的状态,车辆总体速度仍处于下降的态势。因此,在渐变区的末端附近,车流的速度在整个施工区内达到了最小值。车辆由渐变区进入作业区之后,逐步由不稳定流状态演变为稳定流,车流的速度有所上升,但仍受到周围道路、交通条件的限制,车辆行驶速度最终

将趋于匀速跟驰行驶。最后,当车辆驶离作业区,进入终止区后,道路交通条件重新恢复了正常状态,车流的速度逐渐提升,直至正常行驶速度。

(3) 施工区车辆组成与车速的关系。

仍以 2 号控制区为例,统计结果表明,在各车型的地点车速中,小客车的平均车速和车速的中位为最大,分别达到了 106.3 km/h 和 108.2 km/h,大货车的平均车速和车速的中位最小,分别为 72.1 km/h 和 69.6 km/h。各车型的地点车速大小关系为: $V_{\text{小客车}} > V_{\text{中客车}} > V_{\text{大客车}} > V_{\text{小货车}} > V_{\text{中货车}} > V_{\text{大货车}}$ 。此外,从表 2 还可以看出,小货车的地点车速标准偏差最大,说明小货车的速度离散性较大。

表 2 2 号控制区域不同车型的地点车速值

车型	小客车	中客车	大客车	小货车	中货车	大货车
平均值/(km/h)	106.3	104.9	93.9	90.8	82.9	72.1
中位值/(km/h)	108.2	101.4	101.4	88.5	85.6	69.6
标准误差	3.4	7.3	7.3	7.0	9.3	2.3
标准偏差	17.9	16.2	16.2	21.0	16.1	13.4
样本方差	318.8	263.3	263.3	441.7	259.8	178.8

3.3 车道占有率

高速公路施工区的车道占有率数据可以通过埋设于地下的环形检测线圈来获得。图 12 和图 13 显示了行车道和合流车道交通量与时间占有率之间的关系。从图中可以看出,无论是行车道还是合流车道的交通量与时间占有率的关系都为二次抛物线的关系(R^2 分别为 0.854 和 0.892)。由前面的地点车速的空间分布曲线可以看出,合流车道的车辆速度明显比警告区车辆速度要低。因此,即使在增加相同交通量的情况下,合流车道的时间占有率增加幅度明显比警告区的行车道或超车道的要高。

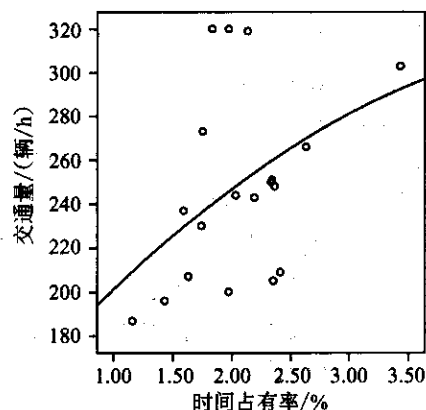


图 12 行车道交通量与时间占有率关系

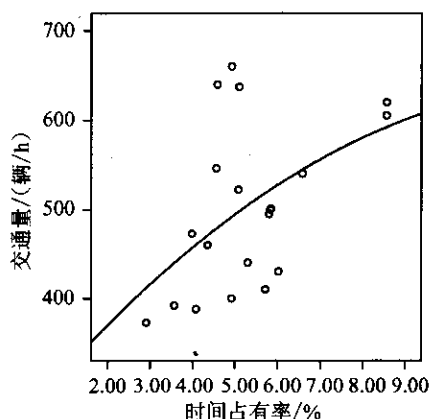


图 13 合流车道交通量与时间占有率关系

3.4 车辆汇入特征

如图 14 和图 15 所示,车辆在警告区内的汇入概率基本呈两端低、中间高的趋势,也即一般车辆都期望选择在警告区的中部,离渐变区有一定距离的地点完成车辆由封闭车道汇入到开放车道,这与驾驶员的实际驾驶心理是相一致的。因为当驾驶员进入施工区以后,如果外界条件没有迫使驾驶员立即改变其行驶状态时,驾驶员总是选择最有利的驾驶状态来行车,具体表现为其看到施工区警告标志或安全标志并不立刻进行换车道,而是当车辆接近到作业区一定程度的时候,驾驶员才会进行换车道,并且驾驶员的这种驾驶心理随着交通量的大小而有所变化。这直接导致了交通量较大与交通量较小时车辆汇入概率在警告区内的分布状况和警告区车辆完成汇入所需长度的概率的明显差异。

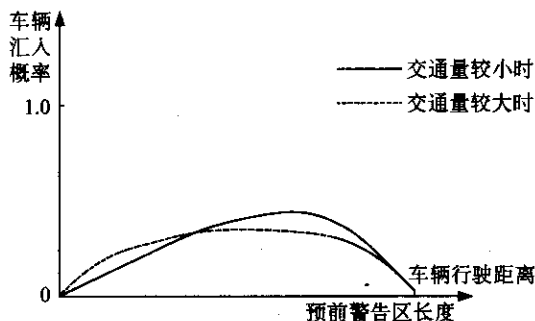


图 14 车辆汇入概率在警告区内的分布状况

由于高速公路施工区行车道车辆的合流与高速公路匝道合流的本质相似,因此可以采用匝道合流的相关理论来解释施工区车辆汇入特征。施工区行车道上的车辆在警告区汇入超车道主要取决于超车车道流的可接受间隙的概率分布状况。间隙的接受

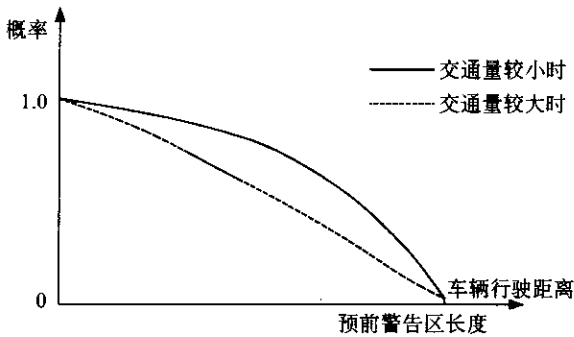


图 15 警告区车辆完成汇入所需长度的概率

除与司机的性格和心态、交通状况和道路条件有关外,车型对间隙的接受有较大的影响。当高速公路上游的到达流量强度符合二阶爱尔兰分布时,可接受间隙的均值较低,高速公路超车道能为行车道提供的间隙少。此时,描述一辆车合流过程的等待时间概率密度函数可以采用如下概率密度函数^[3]:

$$D(w_{(cx)}) = (1 - F(t_{(cx)}(x)))\sigma(w_{(cx)}) + (1 - F(t_{(cx)}(x))) \sum_{n=1}^{\infty} (f(w_{(cx)})) \quad (1)$$

式中: $\sigma(w_{(cx)})$ 是 δ 的函数; cx 为车型。

$$F(t_{(cx)}(x)) = \int_0^{t_{(cx)}(x)} f(t_1) dt \quad (2)$$

$$f(t_1) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t_1} & \text{自由流} \\ 4\lambda^2 t_1 e^{-2\lambda t_1} & \text{中密} \\ \lambda & \text{中高密(路驶状态)} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $f(t_1)$ 为车流到达分布函数; λ 为车流到达强度。

4 结语

本文首先对高速公路施工区的控制区进行了划分,明确了施工区各控制区的主要功能及特征。在大量交通调查数据的基础上,分别对高速公路施工区的车辆运行、车速、车道占有率以及车辆汇入特征进行了深入分析,揭示了施工区交通流运行的内在规律,对于今后开展施工区的相关研究具有重要的基础性作用。

参考文献:

[1] Federal Highway Administration. Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (2003 Edition) [S]. U. S. Department of Transportation, Washington D. C., 2003.

[2] 王建军,严宝杰. 交通调查与分析[M]. 北京:人民交通出版社,2003.

[3] Luo Xia. On confluence Movement Modes of Mixed Traffic Flow [J]. JOURNAL OF SOUTHWEST JIAOTONG UNIVERSITY, 2000,35(1).

Analyses of Traffic Characteristics of Expressway Work Zones

HE Xiao-zhou¹, GUO Xiu-cheng¹, WU ping², YANG Wei-dong²

(1. Transportation College, Southeast University, Nanjing 210096, China;
2. Highway Bureau, Communication Department of Jiangsu Province, Nanjing 210004, China)

Abstract: Through dividing the expressway work zone into several control zones, the function and character of the control zones in the work zone are expounded. The operation of the vehicles in the work zones is characterized by the redistribution of the traffic flow in the work zones, vehicles on the left lane priority and mandatory merging. On the basis of a large number of traffic investigations, this paper deeply analyzes the distribution patterns of time headway of vehicles on left lane, right lane and merging lane, the frequency distribution and spatial distribution of spot speed on each control zone, and the characteristics of the vehicle occupancy and vehicle merging.

Key words: expressway; work zones; traffic characteristics; control zones