

# Traffic Delay of Vehicles Caused by Curb-Lane Bus Stop

Yu Ding<sup>1</sup>, Tao Wang<sup>2</sup>, Xiaojun Shen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Guangdong Provincial Transport Technician Institute, Guangzhou

<sup>2</sup>School of Architecture and Transportation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin

<sup>3</sup>Zhenjiang Urban Planning and Design Institute, Zhenjiang

Email: wangtao\_seu@163.com

Received: Nov. 2<sup>nd</sup>, 2013; revised: Nov. 22<sup>nd</sup>, 2013; accepted: Nov. 29<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Yu Ding, Tao Wang. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** To enhance the utilizing efficiency and accessibility of curb-lane bus stop and minimize the impacts on dynamic traffic flow, the traffic delay models based on traffic flow wave theory were proposed by investigating and analyzing four curb-lane bus stops in Nanjing. Those models were used to describe traffic delay in the condition of no-signalized intersections flow, dissipated flow in green times, dissipated flow in a signal cycle and interacted flow in next signal cycle. Practical example of vehicle arrive shows that the vehicle arriving characteristic is continuous and interacted on urban roadway affected by signalized intersection flow. A compressional dilatational wave was found near curb-lane bus stop, which has three states of consciousness, expandability and dissipation. The proposed approach can be applied to describe the delay of traffic delay effectively.

**Keywords:** Traffic Delay; Curb-Lane Bus Stop; Traffic Flow Wave Theory; Compressional Dilatational Wave

## 直线式公交停靠站对路段交通延误的影响

丁瑜<sup>1</sup>, 王涛<sup>2</sup>, 沈小军<sup>3</sup>

<sup>1</sup>广东省交通运输技师学院, 广州

<sup>2</sup>桂林电子科技大学建筑与交通工程学院, 桂林

<sup>3</sup>镇江市规划设计研究院交通所, 镇江

Email: wangtao\_seu@163.com

收稿日期: 2013年11月2日; 修回日期: 2013年11月22日; 录用日期: 2013年11月29日

**摘要:** 针对城市道路中公交进出直线式停靠站对路段车流延误产生影响的问题, 运用车流波动理论相关成果, 分别建立无信号交叉口影响、绿灯时间内消散、一周期内消散和一周期内无法消散4种情况下交通流延误模型。结果表明: 在信号控制交叉口的影响下, 交叉口下游机动车交通流量波动表现近似周期性的特征, 公交停靠站影响区域内车辆纵向偏移呈现压缩、膨胀、扩散三个状态, 出现压缩膨胀波, 存在车流的波动现象。该模型的具有较高的精度和可靠性, 能够为城市道路管理和设计提供必要的参考依据。

**关键词:** 交通延误; 直线式公交停靠站; 交通波理论; 压缩扩张波

### 1. 引言

公交停靠站作为城市道路的基础设施, 直线式公

\*基金项目: 桂林电子科技大学广西信息科学实验中心(ID:30130320)。

交停靠站的设置占用部分道路空间, 并且当公交车出站汇入主线社会车流时, 会引起主线车速的下降, 影响主线车流的通行能力, 当社会车流量较高时易形成

时空上的瓶颈，造成交通阻塞。公交停靠站虽然只占很短的一段道路，却是道路交通路段延误的重要影响因素<sup>[1-3]</sup>。另外由于国内相关规范规定，一般情况下公交停靠站应设在交叉口下游，受信号灯控制的影响，交叉口下游交通流与一般路段交通流特性差异较大，因此，有必要对信号控制交叉口下游直线式公交停靠站对路段的延误进行研究。

为了解析路内停车对机动车流延误影响效应 J. P. Lebacqu 等人在相关研究中指出公交车在停靠站时，微观上经历了减速 - 跟驰 - 加速的过程<sup>[4]</sup>。此外，S. C. Wong 讨论了信号交叉口在上游附近有公交停靠站时的延误计算方法，认为延误的大小和公交停靠站与交叉口停车线之间的距离、路段的交通量、公交车的发车间隔、公交车的平均停靠时间以及交叉口的信号参数有关，并推导出了计算公式<sup>[5]</sup>。美国通行能力手册中，虽然有公交车辆进出停靠站时对道路通行能力影响的研究成果<sup>[6]</sup>，但应用此成果时，需要的参数是每次停靠的公交车数量，没有考虑公交车的平均停靠时间，以及进出站的加减速所需花费的时间。车流波动理论假定在车流中各单个车辆的行驶状态与前车相同，在描述车流的集结 - 消散过程有其独特效用。本文利用车流波动理论，建立有信号交叉口影响的设置公交停靠站路段的交通延误模型，为公交停靠站的设计提供科学依据，实现道路交通资源的合理配置。

## 2. 数据获取

为研究无信号交叉口影响和有信号交叉口影响的设置公交停靠站路段的交通延误的特性，在南京市选择了双向 6 车道(单向三车道)路段开展交通实验调查，具体信息如表 1 所示。

如图 1 所示，A~E 处放置摄像机，记录车辆在各处的运行状态。调查路段选择考虑的因素如下：

(1) 避免交叉口影响区对机动车流的影响。为避免交叉口附近的车流加速和减速的影响，选取的调查路段距两端的交叉口至少在 70~80 米以外。

(2) 避免非机动车与行人对交通流的干扰。论文选择具有中央分隔带和机非隔离的路段，同样，选择中间无人行横道的路段，避免行人穿越对机动车流影响；

(3) 选择路况较好的路段。避免因道路的坡度，线形和路面的质量而影响车速的正常运行。

调查方案实施时间段分别为 6:00~9:00 和 13:00~

Table 1. Detail information of chosen roads in the survey

表 1. 调查路段基本信息

道路	单车道宽度 (m)	单向车道数	距离交叉口位置	性质
龙蟠路	3.5	3	交叉口下游 95	受信号 交叉口影响
太平北路	3.5	3	交叉口下游 110	受信号 交叉口影响
北京东路	3.35	3	交叉口上游 130	受信号 交叉口影响

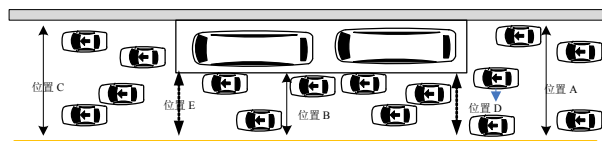


Figure 1. Investigate position of curb-lane bus stop

图 1. 直线式公交停靠站调查位置分布图

15:00，持续时间为一周内的 5 个工作日，覆盖了车流高峰和平峰运行时间段。调查中发现，社会车辆的组成 95% 以上为小型客车，因此统计分析时不再进一步对车型细分。

## 3. 机动车延误影响因素分析

在道路宽度和横断面形式满足设置公交停靠站的前提下，影响机动车延误的因素主要有：

(1) 交通条件(交通流量、速度、密度)，决定了交通阻塞的持续时间、排队长度的大小和延误大小。

(2) 公交停靠站占用道路宽度，使道路突然变窄，车辆间相互作用变为剧烈的相互制约。

(3) 机动车车流到达的周期性，车流到达的周期性主要受上游交叉口控制参数的影响。

### 3.1. 信号控制交叉口的影响下车流抵达周期性

本文给出受信号交叉口影响调查路段在不同统计间隔下到达流量随着时间变化关系。具体到达情况如图 2 所示。

当以 0.5 min 和 1 min 为统计间隔时，交通流量变化非常显著，呈现近似周期性的特征；由于统计间隔变大，流量周期性不明显，车流波动不显著，屏蔽了上游信号控制周期对非机动车流的影响。由此可见上游交叉口的信号控制参数是影响机动车流到达的主要因素。

当上游交叉口绿灯启亮后，交叉口排队车辆陆续起动车而形成一列具有适当密度、速度的车队驶入出口

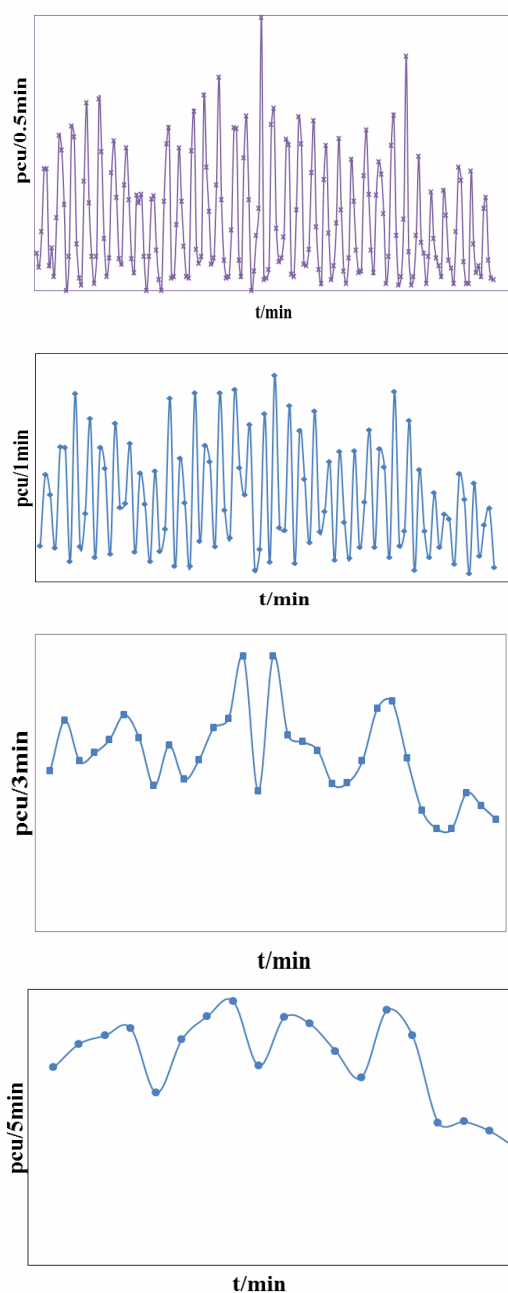


Figure 2. Flow over time under different statistical interval curve  
图 2. 不同统计间隔下流量随着时间变化曲线

道，此时交通流前车与后车的到达不是离散的、相互独立，而是连续的、相互影响的，此时车辆到达不能用概率模型描述，连续流情况下的交通流可以比拟为流体，用车流波动理论来描述车流的运行状况。

从交叉口进口道驶出进入到路段的连续交通流到达直线式公交停靠站影响区域时，由于道路有效宽度减少、路内停车摩擦和阻滞效应将迫使驾驶员倾向于内侧车道行驶而使连续流压缩和集结，驶过影响区

域后开始消散和膨胀，至此受停车带影响下的车流形成集结 - 消散或压缩 - 膨胀过程，这与车流波动理论所描述车流集结 - 消散过程有其共性。因此，本文运用车流波动理论描述这一过程并发挥其效用，构建公交停靠站影响下非机动车流延误模型。

### 3.2. 公交停靠对机动车横向位置的影响

为了更好的说明机动车遭遇公交停靠站时所产生的回波现象，本文给出受信号交叉口影响调查路段 1 在公交停靠站上游(位置 A)和公交车站点(位置 B)，如图 1，动车横向分布特性，以此考证公交停靠站使机动车流被迫压缩和横向偏移特性。具体横向偏移情况如图 3 所示。

由位置 A 可见，大多数机动车横向位置分布在车道中心位置，说明机动车更倾向于沿着车道中心位置行驶；靠两侧的机动车数量较少，在此区域内横向位置累计分布频率也极低，观察发现只有在行驶空间不足时，机动车才会利用这两个区域超车或避让其他车辆，从总体而言，无公交站台影响下机动车横向位置接近于单峰的正态分布的行驶分布在道路横断面上。

由位置 B 可见，由于道路宽度被公交停车带占用，机动车行驶空间受到压缩，机动车行驶受到严重影响，横向位置分布呈现出向路中方向偏移的趋势。

对比分析位置 A, B 可以发现，设置公交站前后的机动车横向位置分布存在较大差异。结合路内停车前后机动车流通过断面示意图 1，在 A 和 B 断面之间必然存在一个过渡段，用于完成车流横向位置分布的变化，这个“过渡段”类似于瓶颈路段如道路缩减所形成的瓶颈。此外，将停车带前后观测断面的交通密度进行对比发现，断面 A 交通密度小于断面 B 密度，两种不同密度的分界面最初在断面 D 产生，紧靠断面 D 那层车流最先被压缩，致使密度、速度发生变化，这层压缩后以一定速度运动的车流，对于第二层车流，就像断面 D 一样，又压缩第二层车流，使其密度、速度发生变化。同理，紧贴断面 E 的那层车流首先扩散或膨胀，致使其速度、密度发生变化，直到这层车流以一定速度前进时为止。由此可见，机动车流在遭遇公交停靠站时中存在车流的波动现象，因此车流波动理论可以用于描述公交停车影响下机动车流运行和延误状况。

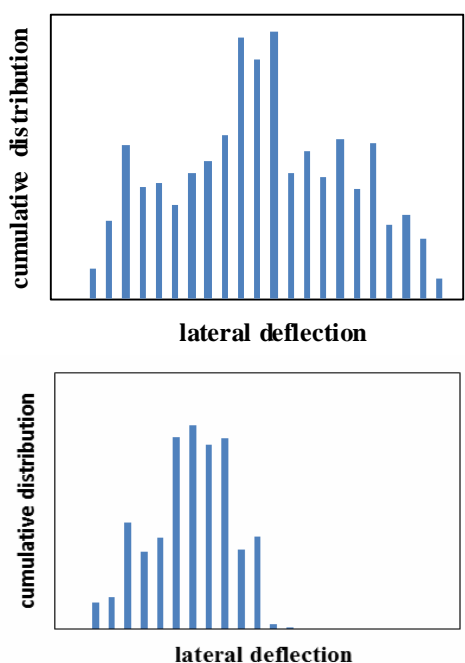


Figure 3. Vehicle lateral position distribution of different bus station positions  
图 3. 公交站不同位置机动车横向位置分布

#### 4. 交通延误模型的建立

机动车流通过公交停车带时一般要经过上游段自由流行驶、内压缩以及通过后逐渐变为稳定流等 3 个连续状态，此集结-疏散过程如图 4 所示。

上游信号交叉口影响，机动车成群以  $v_1$  驶入路内停车上游路段；当进入公交停车带影响区域时，机动车受到压缩或遭遇公交车停驶行为而集结成以速度为  $v_2$  的拥挤车流，此集结波并以  $w_1$  的速度向后扩散，车流行驶过长度为  $l_p$  的公交停车带后，道路扩张使机动车扩散并逐渐分离，拥挤车队随之消散形成具有速度  $v_3$  的状态，形成波速为  $w_2$  的消散波。

把驶过公交停靠站的车流经历的疏散 - 集结 - 疏散这个三个状态记为状态 1、2、3，相应的流量、速度、密度分别记为  $q_i, v_i, k_i, i = 1, 2, 3, l_p$  记为路内停车带长度。流量、密度、速度三参数的关系表示为  $q = v \cdot k$ ，式中  $k$  为机动车密度。

$$w_1 = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1}, \quad w_2 = \frac{q_3 - q_2}{k_3 - k_2}$$

调查表明，当驶过停车带的车队头车减速或刹车时，后续车辆依次采取同样的行为，此时一般会有

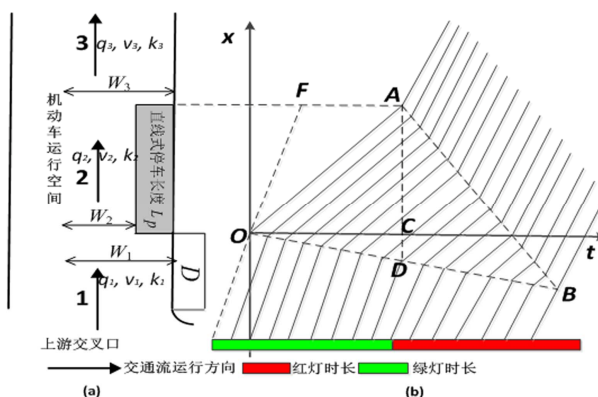


Figure 4. Traffic time-space trajectories in bus stops affected zone  
图 4. 公交停靠站影响区域车流运行情况及时间 - 空间轨迹图

$k_2 > k_1$  且  $q_2 < q_1$ ，则集结波波速  $w_1 < 0$ ，交通流界面向上游运动，即停车带上游交通流状态将受到影响而变差，形成的排队将向上游扩展。同理有  $k_2 > k_3$  且  $q_3 < q_2$ ，则消散波波速  $w_2 < 0$ ，即交通波向后运动，将对公交停靠站影响区域内交通状况有所改善。在上游交叉口红灯时间内，拥挤车辆继续消散，直至下次绿灯启亮为止。

图 4(b) 为停车带影响区前后段交通状态映射下的时空轨迹图，以公交停车带距上游交叉口最近的端点为坐标原点记为 O 点，横坐标为时间距离，纵坐标为空间距离，以连续车流的行驶方向(即由上游交叉口进口道至交叉口出口道方向)为 X 坐标轴正方向，建立时间 - 空间辅助直角坐标系。

在连续流的情况下，受拥挤的 N 辆车的时间 - 空间运行的轨迹线如图 4(b) 所示。O 点为第一辆车的变速点，虚线 OB 的斜率等于  $w_1$ ，虚线 AB 的斜率等于  $w_2$ ，以  $x_B, t_B$  表示图中 B 点的空间坐标和时间坐标，其他点亦然。从图 4(b) 可知，从  $t_0$  到  $t_A$ ，拥挤车队愈来愈长，最长时占路长度等于  $x_A - x_C$ ，过了时刻  $t_A$ ，拥挤排队愈来愈短，到时刻  $t_B$  拥挤完全消散，则由于停车带形成拥挤车队持续时间  $t_j = t_B$ ，消散时间  $t_s = t_B - t_A$ 。则：

$$t_A = \frac{l_p}{v_2}, t_s = \frac{l_p - w_1 t_A}{w_1 - w_2}, t_j = t_A + t_s, Q_{w_1} = \frac{v_2 - v_1}{\frac{1}{k_2} - \frac{1}{k_1}}$$

其中  $Q_{w_1}$  表示车流波  $w_1$  的波流量。

即受停车带影响的上游车流驶过停车带时，先形成集散波后形成消散波，在此时间段内拥挤车队达到最长时的车辆数  $N_m$ ，它等于集结波  $W_1$  在时段  $t_c - t_0$

内掠过的车辆数, 根据波流量计算公式, 可得:

$$N_m = (t_c - t_0) \cdot Q_{w_1} = t_A \cdot Q_{w_1} \quad (1)$$

则拥挤车队最长时占用的道路总长度  $L_s$  为:

$$L_s = \frac{N_m}{k_2 W_2} \quad (2)$$

#### 4.1. 不考虑信号控制条件下连续均匀到达情况

对于纯连续流情况下, 不考虑上游交叉口信号控制引起的机动车流集群的间断性, 则集结波  $w_1$  掠过的车辆总数  $N$  为:

$$N = Q_{w_1} \cdot (t_B - t_0) = Q_{w_1} \cdot t_j \quad (3)$$

$t_A - t_F$  为第一层车流的延误时间, 第  $N$  辆车无延误, 同时车辆时空轨迹图的各个折线是分段等距平行的, 由此可知遭遇拥挤的  $N$  辆车的延误构成等差级数, 总延误  $d_i$  为

$$d_i = N \cdot \frac{t_A - t_F}{2} = N \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{l_p}{v_2} - \frac{l_p}{v_1} \right) \quad (4)$$

#### 4.2. 考虑信号控制条件下周期间断到达情况

考虑信号控制的作用更贴近实际的交通运行状况, 事实上, 机动车流受信号控制影响, 红灯期在交叉口进口道排队, 当绿灯亮起后, 排队车流陆续起动车队驶入下游路段, 从而形成连续流。随着上游交叉口信号控制周期的变化, 通过停靠站的规模、延误均受到影响。因此, 针对不同信号控制条件进行延误模型的构建。

(1) 即受停车带影响的上游驶入出口道的车流驶过公交停靠站时, 先形成集散波后形成消散波且能在上游交叉口有效绿灯时间  $g$  内消散即  $g \geq t_B$  时, 车辆延误与完全连续情况相同。

(2) 当  $g + r \geq t_B \geq g$  时, 即如图 5 所示由于路内停车影响下所形成排队、阻塞无法有效绿灯时间  $g$  内消散, 但在一个周期内可以消散, 并不影响下一个周期车流的正常驶入。图 5 中各点代表的含义如下(图 6 同):

O 为坐标系原点, 对应交叉口下游出口直线式公交停靠站靠近交叉口一侧端点的空间坐标;

A 为坐标系中一轨迹点, 其横坐标对应于驶入交叉口出口道的连续车流中拥挤车队占用道路最长时的时间坐标, 纵坐标对应交叉口下游出口道公交停靠站远离交叉口一侧端点的空间坐标, 也即拥挤车队占

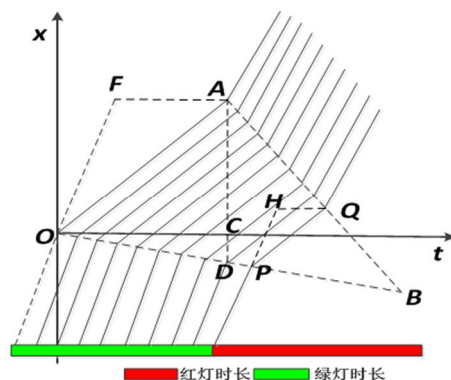


Figure 5. Traffic time-space trajectories when  $g + r \geq t_B \geq g$

图 5. 当  $g + r \geq t_B \geq g$  时车流时间 - 空间轨迹图

用道路最长时车队头车的空间坐标;

F 为坐标系中一轨迹点, 其横坐标、纵坐标分别对应于连续车流第一辆车以状态 1 运行的行车轨迹线(或其延长线)与 A 点横坐标轴线相交点的时间坐标、空间坐标;

H 为坐标系中一轨迹点, 其横坐标、纵坐标分别对应于有效绿灯时间内连续车流最后一辆车以状态 1 运行的行车轨迹线(或其延长线)与 Q 点横坐标轴线相交点的时间坐标、空间坐标;

P 为坐标系中一轨迹点, 其横坐标、纵坐标分别对应于有效绿灯时间内连续车流最后一辆车到达其第一个变速点(即由状态 1 变化到状态 2)的时间坐标、空间坐标;

Q 为坐标系中一轨迹点, 其横坐标、纵坐标分别对应于有效绿灯时间内连续车流最后一辆拥挤车消散点的时间坐标、空间坐标;

此时, 集结波  $w_1$  掠过的车辆总数  $N$  为

$$N = Q_{w_1} \cdot g \quad (5)$$

$t_A - t_F$  为第一层车流的延误时间, 假设第  $N$  辆车无延误, 车辆时空轨迹图的各个折线是分段等距平行的, 由此可知遭遇拥挤的  $N$  辆车的延误构成等差级数,  $t_Q - t_H$  为最后一辆车的延误时间, 总延误  $d_i$  为:

$$\begin{aligned} d_i &= N \cdot \frac{(t_A - t_F) + (t_Q - t_H)}{2} \\ &= N \cdot \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{l_p}{v_2} - \frac{l_p}{v_1} \right) + \left( \frac{x_A - w_2 t_A - w_1 g + g v_2}{v_2 - w_2} - \frac{x_Q - (w_1 - v_1) g}{v_1} \right) \right] \end{aligned}$$

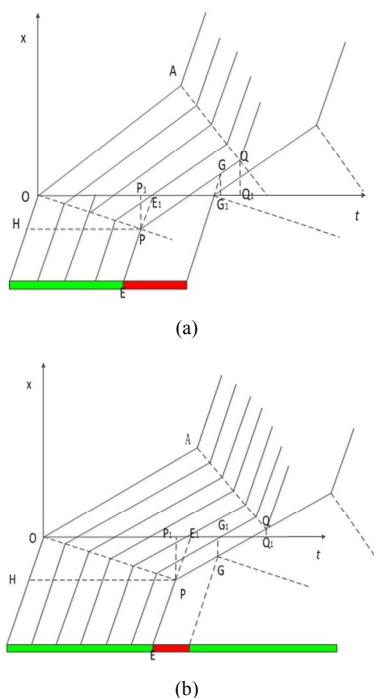


Figure 6. Traffic time-space trajectories,  $t_B \geq g + r$   
 图 6. 当  $t_B \geq g + r$  时车流时间 - 空间轨迹图

式中:

$$t_Q = \frac{x_A - w_2 t_A - w_1 g + g v_2}{v_2 - w_2}$$

$$x_Q = \frac{(x_A - w_2 t_A - w_1 g + g v_2) w_2}{v_2 - w_2} + x_A - w_2 t_A$$

$$t_H = \frac{x_Q - (w_1 - v_1) g}{v_1}$$

(3) 当  $t_B \geq g + r$ , 即如图 6(a)和(b)所示, 其中  $G$

为对应于下一周期有效绿灯时间内连续车流第一辆车以状态 1 运行的行车轨迹线(或其延长线)与上一周期有效绿灯时间内最后一辆车行车轨迹线(或其延长线)相交点, 当  $x_G \geq 0$  时, 表明了上一周期的拥挤排队最后一辆不会影响下一绿灯时刻车辆的驶入; 反之, 当  $x_G < 0$  时, 则会影响下一周期的车辆的正常驶入, 如下图所示:

针对图 6(a)所示的情况下, 即当  $x_G \geq 0$  时, 延误的计算方法与(2)的计算方法相同。

针对图 6(b)所示的情况下, 当  $x_G < 0$  时, 由于上一周期消散不及时, 导致车流变速点提前, 对应的延误也增加, 若此种情况持续了  $z$  个周期, 那么, 相应延误增加为

$$d_t = N \cdot \left[ z \frac{(t_A - t_F) + (t_H - t_Q)}{2} + (z - 1) X_G \left( \frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) \right] \quad (7)$$

式中:

$$t_G = \frac{w_1 g}{v_1 - w_1} - \frac{v_2 r}{v_1 - v_2}, \quad x_G = \left( \frac{w_1 g}{v_1 - w_1} - \frac{v_2 r}{v_1 - v_2} \right) v_1$$

综上所述, 连续流情况下直线式公交停靠站影响下机动流流的延误计算方法如下(见本页下方):

### 4.3. 模型参数值的确定

上述模型中, 流量、速度、密度分别记为  $q_i, v_i, k_i, i = 1, 2, 3$ , 直线式公交停靠站长度  $l_p$ , 公交车驶入、驶出次数, 上游交叉口信号控制参数信号周期  $C$ 、绿灯时长  $g$  等可由所研究路段的实际情况而定, 可通过实际调查获取。

$$d_t = \begin{cases} N \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{l_p}{v_2} - \frac{l_p}{v_1} \right) & \text{不受信号灯影响} \\ N \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{l_p}{v_2} - \frac{l_p}{v_1} \right) & g \geq t_B \\ N \cdot \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{l_p}{v_2} - \frac{l_p}{v_1} \right) + \left( \frac{x_A - w_2 t_A - w_1 g + g v_2}{v_2 - w_2} - \frac{x_Q - (w_1 - v_1) g}{v_1} \right) \right] & g + r \geq t_B \geq g \\ N \cdot \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{l_p}{v_2} - \frac{l_p}{v_1} \right) + \left( \frac{x_A - w_2 t_A - w_1 g + g v_2}{v_2 - w_2} - \frac{x_Q - (w_1 - v_1) g}{v_1} \right) \right] & t_B \geq g + r, x_G \geq 0 \\ N \cdot \left[ z \frac{(t_A - t_F) + (t_H - t_Q)}{2} + (z - 1) X_G \left( \frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) \right] & t_B \geq g + r, x_G < 0 \end{cases}$$

(1) 机动车的平均加速度和减速度城市道路车辆类型以小汽车为主, 参考行业标准<sup>[7]</sup>得出小汽车减速度值如表 2 所示。同时, 小汽车加速度差异非常大 1.75~5.2 m/s<sup>2</sup>, 相关文献给出了参考值 2.78 m/s<sup>2</sup><sup>[8]</sup>。综合考虑, 在不进行实地调查时, 机动车加速度  $aa$  取 2.78 m/s<sup>2</sup>, 减速度  $ad$  取 6.1 m/s<sup>2</sup>。

(2) 公交车驶入、驶出时对机动车流平均影响时间

通过对实际公交车进出站台的实际调查, 得出公交车驶入、驶出时对机动车流平均影响时间。驶入行为的合流点处阻断时间为 3.7 s, 分流点处阻断时间为 12.5 s; 驶出行为的合流点处阻断时间为 9.7 s, 分流点处阻断时间为 2.8 s。与国外文献<sup>[9]</sup>调查数据差异较大。

## 5. 结论

(1) 在信号控制交叉口的影响下, 车流波动现象非常显著, 表现近似周期性的特征, 呈现一种连续流的状态, 此时交通流可以比拟为流体, 用车流波动理论来描述车流的运行状况。

(2) 公交停靠站影响区域内交通横向偏移呈现压缩、膨胀、扩散三个状态, 出现压缩膨胀波, 存在车流的波动现象。

(3) 建立了无信号交叉口影响、绿灯时间内消散、

**Table 2. Braking deceleration of car**  
**表 2. 制动减速度要求**

机动车类型	制动初速度 km/h	空载检验充分发 出的平均减速度 m/s <sup>2</sup>	满载检验充分发 出的平均减速度 m/s <sup>2</sup>
乘用车	50	≥6.2	≥5.9

一周期内消散和一周期内无法消散四种情况下交通流延误模型。

## 参考文献 (References)

- [1] 杨晓光, 徐辉, 王健, 等 (2011) 港湾式公交停靠站设置条件研究. *中国公路学报*, **24**, 96-102.
- [2] 胡文婷, 陈峻, 万霞 (2010) 基于对交通流影响分析的直线式公交站选型优化. *西南交通大学学报*, **45**, 130-135.
- [3] 郭中华, 王炜, 陆建 (2005) 非港湾式公交停车对道路交通流的影响分析. *公路交通科技*, **22**, 138-143.
- [4] Lebacque, J.P., Lesort, J.B. and Giorgi, F. (2005) Introducing buses into first-order macroscopic flow models. *Transportation Research Record*, **1644**, 70-80.
- [5] Wong, S.C., Yang, H. and Yeung, W. (2008) Delay at signal-controlled intersection with bus stop upstream. *Journal of Transportation Engineering*, **134**, 229-234.
- [6] Transportation Research Board (2000) Highway capacity manual. Transportation Research Board, Washington DC.
- [7] GB 7258-2012 (2012) 机动车运行安全技术条件. 中国质检出版社, 北京.
- [8] 王炜 (2000) 交通工程学. 东南大学出版社, 南京.
- [9] Jilla, R. (1974) Effects of bicycle lanes on traffic flow. Purdue University, West Lafayette.