

城市大型活动车队行驶特征与交通影响分析

陈小鸿, 王翔, 钱昕午

(同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

摘要: 为保证城市大型活动专用大巴车队行驶过程中的安全稳定, 防止车队出现运行紊乱、前后脱节的现象, 基于车流波动理论, 以平均车辆延误、最小发车间隔、尾车追及距离为指标, 分析车队长度、发车间隔、运行速度对于车队通过瓶颈路段运行状况的影响, 并讨论大巴车队通过交叉口时对社会车辆产生的延误。最后, 以深圳“大运会”开幕式为例, 进行实证研究。研究结果表明, 车队通过瓶颈路段的行驶稳定性随着车队长度、正常段与瓶颈段行驶速度差的提高而降低; 交叉口社会车辆延误随着车队长度与发车间隔的增大而减小。

关键词: 城市大型活动; 车队行驶特征; 交叉口延误; 车流波动理论; 深圳“大运会”

中图分类号: U491

文献标志码: A

Platoon Driving in Urban Mega-events: Characteristics and Traffic Impacts

CHEN Xiaohong, WANG Xiang, QIAN Xinwu

(College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: To ensure the security of the platoons in urban mega-events and to prevent platoons from driving in disorder, the evaluation indexes were selected, including the average vehicle delay, the minimum departure interval and the chasing distance. On the basis of the traffic flow wave theory, the indexes were employed to analyze the impact of driving condition resulted from the change of platoon lengths, the departure intervals and the speeds when going through the bottleneck. The social vehicles' delay by the platoons' passing through the intersection was also discussed. At last, the opening ceremony of Shenzhen Universiade was taken as an example. The result shows the increasing length and the speed difference between the bottleneck and the normal section have a negative impact on the driving stability. It is also found that the intersection delay shortens when both the platoon length and departure interval increase.

Key words: urban mega-event; platoon driving characteristics; intersection delay; traffic flow wave theory; Shenzhen Universiade

近年来,我国举办了多次城市大型活动,如 2008 年 8 月北京第 29 届奥运会、2010 年 5 月上海第 41 届世博会、2010 年 11 月广州第 16 届亚运会、2011 年 8 月深圳第 26 届大运会以及 2014 年将在南京举办的第 2 届青奥会。大型活动的交通需求对城市交通系统形成短暂、集中的冲击,不仅要求交通设施具有相应的承载能力,更要通过特殊的交通组织,如开、闭幕式的大型公交车队集散人流等方式,保证交通运行的安全与可靠。

目前,关于城市大型活动的研究集中在交通需求预测与交通组织方法上。例如王振报等^[1]以不同路段在不同时刻的速度比系数作为主要评价指标来反映大型活动期间主要交通集散方向上不同路段的运行状况;姜桂艳等^[2]通过比较大型活动与大型商业建设项目交通影响评价的特点,以交叉口服务水平分析方法为基础,提出了大型活动交通影响评价方法;陆建等^[3]从大型活动的交通需求特征出发,提出了观众吸引总量预测技术和观众生成及分布预测技术,确定了大型活动交通研究范围的判断阈值;毛保华等^[4]认为大型活动期间需加强高效运输方式的利用,抑制个体交通出行水平,提出了设置活动专用车道与交通管控区域,并加强停车场管理等措施。

大型活动交通需求在特定地点、短时间内高强度集聚,为日常交通量的数十倍甚至数百倍,如世博会极端高峰日客流达 103 万,深圳大运会开幕式人流量约 5 万。常规的设施扩容和交通运行优化,既不经济也不可能。目前,减少个体机动车到达,以专用大巴车队在客流集中点和活动举办点接驳客流已成为主流的活动组织方式,车队以相同速度按一定发

收稿日期: 2012-03-13

第一作者: 陈小鸿(1961—),女,教授,工学博士,博士生导师,主要研究方向为交通运输规划与管理。E-mail: tongjicxh@163.com

通讯作者: 王翔(1987—),男,博士生,主要研究方向为交通运输规划与管理。E-mail: wx20060726@163.com

车间隔沿预定路径行驶.但是,关于大型活动专用车队运行特征的研究很少.通过对深圳“大运会”开幕式及预演情况的实地观察与录像分析,发现大型车队易出现发生脱节,尤其是车队通过瓶颈路段时,须先减速再加速,易增加首车与尾车之间的距离,导致车队后部车辆需加速追赶前车以防止脱节,使车队运行状况不稳定,影响车队调度计划执行与行使安全.

近年来已有学者对瓶颈路段的交通流特征与车队运行特征展开了研究,如 Yasuhiro Shiomi^[5]分析了高速公路瓶颈路段上单车道的交通流特征,建立了动态模型,能够准确模拟高速公路瓶颈路段车队的形成与行驶过程; Mitsuru Tanaka 与 Takashi Nakatsuji^[6]通过对车队车辆行驶轨迹的研究,提出了短距离车流波的传递与传统车流波动理论之间的区别;王殿海等^[7]将气体动力学中引入交通流研究中,以描述交通流的压缩性并确定交通流压缩系数,并根据交通流压缩系数定义其微分方程,建立了停车波模型.

与已有研究相比,城市大型活动车队行驶特征除了分析单个车队的行驶状态外,还需考虑多车队之间的整体运行情况,以防止前后车队相接形成大型车队;另外,车队需在规定时间内发车和到达,故对发车间隔与车队长度提出了更严格的要求.本文旨在分析城市大型活动车队的长度、运行速度与发车间隔在通过瓶颈路段时对车队行驶状况以及沿途交叉口社会车辆的影响,并提出车队运行组织方案建议,以保证车队安全、稳定地运行,同时降低沿途交叉口社会车辆延误.

1 基于车流波动理论的大型活动车队运行特征分析

1.1 大型活动车队运行特征

英国学者 Lighthill 和 Whitham^[8]提出车流波动理论,将交通流比作流体,假设车流中各单个车辆的行驶状态与其所跟随车辆完全一致.与普通车辆随机形成的车队相比,为了保证行驶过程中的安全性,大型活动车辆以车队的形式在交通管制的道路上按预定速度行驶,由于交通环境简单,各车辆的运行状况基本相同,符合车流波动理论的假设.

在通过瓶颈路段时,车队会经历“减速—保持慢速行驶—加速—按预定速度行驶”^[9]的行驶状态变化过程.车队长度将影响通过瓶颈路段的时间与延

误;同时,为了避免两列车队首尾相接形成大车队的情况,需要根据车队长度以及行驶速度对车队间的最小发车间隔进行研究.

车队长度 l 计算方法如下:

$$l = (n-1)hu + d \quad (1)$$

式中: n 为车队车辆数; u 为运行速度; h 为车辆按照速度 u 运行时的车头时距; d 为车辆长度.

规定车辆减速前的车头时距为 h_1 , 速度为 u_1 ; 减速后的车头时距为 h_2 , 速度为 u_2 ; 驾驶员反应时间为 T . 考虑车辆性能相近, 各车辆减速段距离相等, 则减速前后相邻两车头之间的距离变化为 $(u_1 - u_2)T$, h_2 与 h_1 的关系如下^[10]:

$$h_2 = \frac{u_1 h_1 - (u_1 - u_2)T}{u_2} \quad (2)$$

1.2 瓶颈路段车队延误

车队通过瓶颈路段可分为以下三个状态: ①状态 1: 未到瓶颈段, 按正常预定速度行驶; ②状态 2: 进入瓶颈段, 按瓶颈段预定速度行驶; ③状态 3: 驶出瓶颈段, 按正常预定速度行驶.

车队首车进入瓶颈路段后开始减速至瓶颈段预定速度, 产生集结波, 当波传递至队尾时, 尾车开始减速, 此时尾车尚未进入瓶颈路段. 当首车驶离瓶颈路段后, 加速至预定速度, 然后车队中第二辆车驶离瓶颈路段后加速至预定速度, 直至尾车驶离瓶颈路段并开始加速, 车队所有车辆都在瓶颈路段的终点开始加速.

图 1 为车队通过瓶颈路段的位置—时刻图. 其中: S 为瓶颈路段长度; W_1 为集结波的波速; W_2 为消散波的波速; A 点尾车开始减速; t'_n 和 x''_n 分别为尾车开始减速的时刻和位置; h_1, h_2, h_3 分别为状态 1、状态 2 与状态 3 的车头时距; t_1 与 t_n 分别为首车和尾车实际离开瓶颈段的时刻, t'_1 与 t'_n 分别为首车和尾车不减速时离开瓶颈段的时刻.

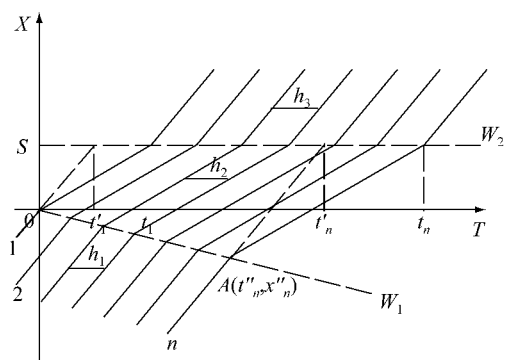


图 1 车辆位置—时刻图

Fig. 1 The location and moment of vehicles

首车通过瓶颈路段的延误为 $t_1 - t'_1$, 尾车通过瓶颈路段的延误为 $t_n - t'_n$, 车队通过瓶颈路段的总延误 D_c 与平均每车延误 d_c 为

$$D_c = \sum_{i=1}^n (t_i - t'_i) = \frac{1}{2} [(t_1 - t'_1) + (t_n - t'_n)]n = ns \left(\frac{1}{u_2} - \frac{1}{u_1} \right) + \frac{n^2 - n}{2} (h_2 - h_1) \quad (3)$$

$$d_c = s \left(\frac{1}{u_2} - \frac{1}{u_1} \right) + \frac{n-1}{2} (h_2 - h_1) \quad (4)$$

1.3 车队尾车追及距离

车队首车驶离瓶颈段时,最先开始加速至正常预定速度 u_1 , 此刻第二辆车仍在瓶颈段内按慢速 u_2 行驶,若第二辆车驶离后也加速至原先预定速度 u_1 , 则与进入瓶颈段前相比,前后两车之间的距离增加 $u_1(h_3 - h_1)$, 整个车队的长度增加 $(n-1)u_1(h_3 - h_1)$. 为了缩短车队长度,除首车外的车辆会采取比 u_1 高的速度行驶再减速至 u_1 以保持与前车适当的车距. 尾车需要保持较高速度行驶的距离最长,即车队增加的长度. 由于 $h_2 = h_3$, 结合式(2), 则车队尾车需要追击距离 S' 如下:

$$S' = \frac{u_1}{u_2} (n-1)(u_1 - u_2)(h_1 - T) \quad (5)$$

1.4 车队间最小发车间隔

车队在通过瓶颈路段时由于减速会缩短与后续车队之间的距离,此时容易造成前队尾车与后队首车相接. 假设 G_1 和 G_2 分别为正常行驶过程与减速过程中前队尾车与后队首车的间距. 判断前后车队是否相接的临界情况是当前队尾车运行至瓶颈段起点时,前队尾车与后队首车之间的距离 G_2 为 0.

正常行驶时车队间距:

$$G_1 = u_1 t - l_1 \quad (6)$$

式中: t 为前后车队首车的发车间隔; l_1 为正常行驶速度 u_1 下的车队长度.

减速行驶时车队间距:

$$G_2 = G_1 - (u_1 - u_2)t_{1s} \quad (7)$$

式中, t_{1s} 为前队尾车减速行驶时间.

前队尾车刚经过 B 点时, G_2 最小, 此时:

$$t_{1s, \max} = (n-1)h_2 - t'_n \quad (8)$$

从图 1 中可以建立以下方程组:

$$\begin{cases} x''_n = u_1 t'_n - u_1 (n-1)h_1 \\ x''_n = u_2 t'_n - u_2 (n-1)h_2 \end{cases}$$

可得:

$$t''_n = \frac{(n-1)(u_1 h_1 - u_2 h_2)}{u_1 - u_2} \quad (9)$$

因此,前队尾车与后队首车之间的距离为

$$G_{2\min} = G_1 - (u_1 - u_2)t_{1s, \max} =$$

$$u_1 t - d - \frac{u_1}{u_2} (n-1)[u_1 h_1 - (u_1 - u_2)T] \quad (10)$$

当 $G_{2\min}$ 为 0 时, 车队间最小发车间隔 t_{\min} 为

$$t_{\min} = \frac{d}{u_1} + \frac{n-1}{u_2} [u_1 h_1 - (u_1 - u_2)T] \quad (11)$$

1.5 车队最小长度要求

假设活动中某个地点的大巴车辆总数为 M_a , 需在时间 T_a 内全部发车, 每列车队由 n 辆车构成, 则车队数 $N = M_a/n$, 发车间隔 $t \leq T_a/(N-1)$. 据 1.4 的分析, 车队发车间隔 t 需要大于式(11)中的最小发车间隔 t_{\min} , 以避免形成大车队, 且发车总时间不应超过 T_a , 故发车间隔 t 应满足如下关系:

$$t_{\min} \leq t \leq \frac{T_a}{\left(\frac{M_a}{n} - 1\right)} \quad (12)$$

式(12)对车队长度提出了要求, 即

$$n \geq \frac{t_{\min} M_a}{t_{\min} + T_a} \quad (13)$$

2 车队行驶路径沿途交叉口影响分析

2.1 交叉口受影响时间

在实施临时交通管制的交叉口, 仅放行与车队行驶方向相交的直行社会车辆. 车队到达交叉口的时间间隔为车队发车间隔 t , 社会车辆禁止通行时间 T_s 包括车队驶入交叉口提前禁行时间 Δt_1 , 车队通过交叉口时间 t_R 与车队离开交叉口延后通行时间 Δt_2 . 交叉口宽度为 d_I . 因此, 在前后两列车队到达交叉口的间隙内, 社会车辆可通行时间 t_s 为

$$t_s = t - T_s = t - (\Delta t_1 + \Delta t_2 + t_R) \quad (14)$$

$$t_R = \frac{l_1 + d_I}{u_1} \quad (15)$$

2.2 交叉口进口道社会车辆延误

交叉口进口道根据其饱和度区分为非饱和、临界饱和与过饱和三种交通状况. 本文分别针对非饱和状态与饱和状态的进口道展开讨论.

(1) 非饱和状态

根据已有研究^[11], 当注册车队通过交叉口时, 进口道在非饱和状态下社会车辆的延误如图 2 所示. 图中: q 为社会车辆到达率, S_I 为进口道的饱和流率, x 为社会车辆通行后至无车辆滞留所需时间. 图 2 中阴影部分面积即为一列车队通过时, 进口道社会车辆的总延误时间 D_{ns} . 由于: $h = S_I x = q(T_s + x)$, 可得:

$$x = \frac{qT_s}{S_I - q} \quad (16a)$$

$$h = \frac{qT_s S_I}{S_I - q} \quad (16b)$$

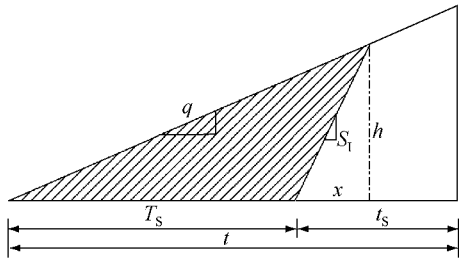


图 2 非饱和状况下进口道社会车辆延误
Fig.2 Delay of social vehicles at unsaturation intersection

则社会车辆总延误时间为

$$D_{ms} = \frac{1}{2} T_s h = \frac{q S_I}{S_I - q} T_s^2 \quad (17)$$

(2) 饱和状态

进口道处于饱和状态时,如图 3 所示,社会车辆在交叉口的延误由正常停车延误与过饱和延误组成,前者是当社会车辆到达率等于交叉口进口道的通行能力时产生的正常停车延误;后者是由于车辆到达率大于通行能力而产生的延误。

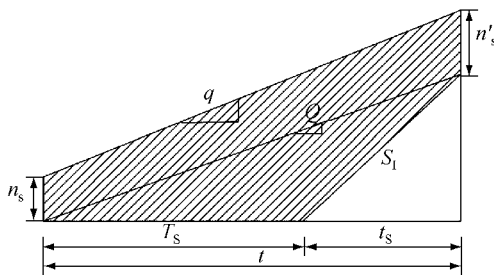


图 3 饱和状况下进口道社会车辆延误描述
Fig.3 Delay of social vehicles at saturation intersection

图 3 中: n_s 为车队到达前进口道滞留的社会车辆数; n'_s 为前队离开至后队到达时滞留的社会车辆数; Q 为交叉口进口道的通行能力.其他变量含义与图 2 相同.图 3 阴影部分面积即为一列车队通过时进口道社会车辆的总延误时间 D'_{ms} . 易得:

$$D'_{ms} = \frac{1}{2} T_s S_I t_s + \frac{1}{2} (n_s + n'_s) t \quad (18)$$

式中: $n'_s = n_s + qt - S_I t_s$, 因此

$$D'_{ms} = n_s t + \frac{1}{2} (qt^2 - S_I t_s^2) = -\frac{1}{2} (S_I - q) t^2 + (n_s + S_I T_s) t - \frac{1}{2} S_I T_s^2 \quad (19)$$

当有 N 列由 n 辆车构成的车队经过交叉口,在 Nt 时间内,社会车辆的总延误 D'_{msN} 为

$$D'_{msN} = \frac{n}{2} T_s S_I t_s + \frac{N^2}{2} (qt - S_I t_s) t \quad (20)$$

3 深圳“大运会”车队组织方案

3.1 组织方案与参数

2011 年 8 月 12 日,深圳市举办了第 26 届世界大学生夏季运动会(深圳大运会)开幕式,其中运动员注册大巴车共 381 台,车长 11.5 m. 20 辆车为一队,每队尾车启动与下一队首车启动相隔 30~60 s; 16:45 第一批车队发车,17:30 前最后一批车队发车,总发车时间 45 min.

根据开幕式现场监控视频记录的地点、时间信息,以及开道警车速度记录,得到车队正常运行速度为 $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,经过互通立交时车速降低至 $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. 通过车队启动时的观测,首车启动至尾车驶出停车廊需 90~100 s,当车队发车间隔为 120~160 s. 选取深南大道—沙河西路互通立交长度为 380 m 的瓶颈路段,测得车辆驾驶员反应时间为 1 s; 正常行驶过程中平均车头时距为 2.5 s.

车队途径非管制区的交叉口 A 信息见表 1.

表 1 交叉口 A 基本信息
Tab.1 The information about intersection A

项目	值
进口道社会车辆到达率 $q/(\text{veh} \cdot \text{s}^{-1})$	0.25
交叉口宽度 d_1/m	30
车队驶入提前禁行时间 $\Delta t_1/\text{s}$	30
车队驶离延后通行时间 $\Delta t_2/\text{s}$	20
进口道直行车辆饱和和流率 $S_I/(\text{veh} \cdot \text{s}^{-1})$	0.8

3.2 注册车队运行状况分析

(1) 车队长度

延误,发车间隔和尾车追及距离分别随车队长度变化见图 4—6.

图 4 中,车队通过瓶颈路段时,总延误与平均每车延误都随车队长度的增大而增大. 车队长度越长,总延误的增长速度越快,这是因为未进入瓶颈段即减速行驶车辆增多且按低速行驶距离延长. 图 5 中,发车间隔始终大于最小发车间隔,故本例情况下车队长度的变化不会导致大车队的形成. 车队长度增大,实际发车间隔与最小发车间隔差距变大,这是由于车队车辆数的增加,当车辆总数一定时车队数量减少,则发车间隔增加,根据式(11)最小发车间隔亦增加. 图 6 中,尾车追及距离与车队长度成正比关系,这是由于尾车未进入瓶颈路段前低速行驶距离

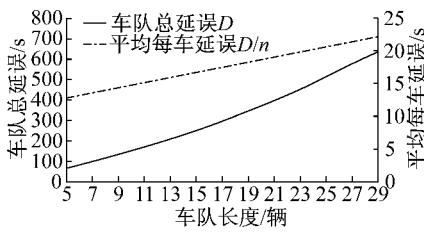


图 4 延误随车队长度变化

Fig.4 The change of delay with platoon lengths

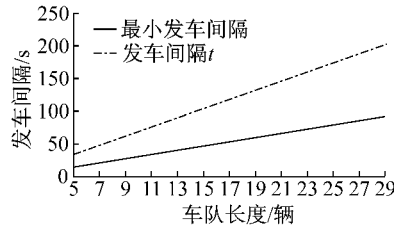


图 5 发车间隔随车队长度变化

Fig.5 The change of departure intervals with platoon lengths

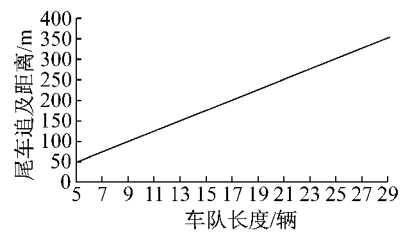


图 6 尾车追及距离随车队长度变化

Fig.6 The change of chasing distance with platoon lengths

延长,造成首车与尾车的间距不断扩大,导致尾车离开瓶颈路段后需提速追及的距离增加。

综上所述,当车队长度增加时,延误增加,可用发车间隔与最小发车间隔增加,尾车所需追及距离增加,车队运行状况不稳定。

(2) 行驶速度

正常路段行驶速度 u_1 与瓶颈路段行驶速度 u_2 的差异影响车队运行稳定性.分三种情况进行比较分析: u_1 变化, u_2 不变; u_1 不变, u_2 变化; u_1 与 u_2 分别变化.车队以 20 辆大巴为一队,发车间隔取 140 s.当行驶速度变化时,车队运行状况如下:

u_1 变化, u_2 不变:若正常行驶速度提高,则平均车辆延误、最小发车间隔、尾车追及距离都随行驶速度增加,车队运行稳定性降低.由于瓶颈路段行驶时间不变,故平均延误随正常行驶速度提高而增加(图 7);由于正常行驶速度提高,前队尾车从开始减速至进入瓶颈段所需时间与减速地点不变,而后队首车从前队尾车减速处驶入瓶颈段的时间变短,故最小发车间隔增大,以避免车队相接(图 8);同时,正常行驶车速提高使离开瓶颈路段的首车与低速行驶的尾车速度差变大,尾车驶离瓶颈路段后所需追及距离增加(图 9)。

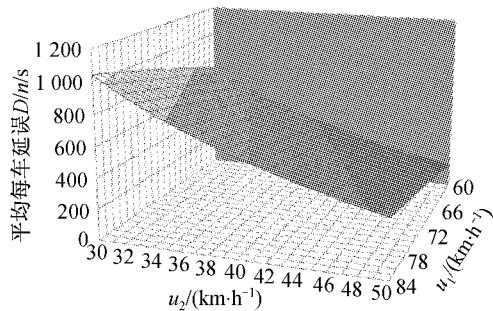


图 7 平均车辆延误变化趋势

Fig.7 The change of average delay with speeds

u_1 不变, u_2 变化:若瓶颈段车队运行速度提高,则平均车辆延误、最小发车间隔与尾车追及距离减

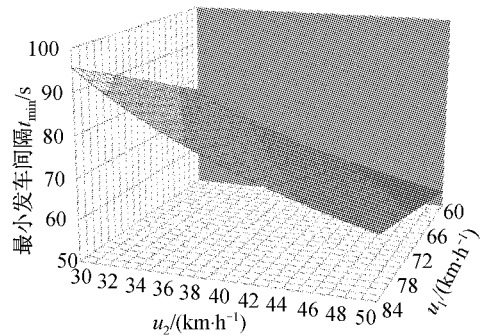


图 8 最小发车间隔变化趋势

Fig.8 The change of minimum departure interval with platoon speeds

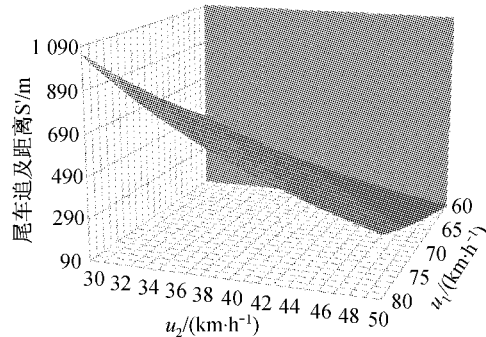


图 9 尾车追及距离变化趋势

Fig.9 The change of tail vehicle's chasing distance

小.车队在瓶颈段加速、减少了通过瓶颈段时间,增加了前队尾车与后队首车的相隔时间.尾车在瓶颈段内行驶速度提高,与已通过瓶颈段按正常速度行驶的首车之间速度差减小,故尾车所需追及距离也随着瓶颈段运行速度的增加而减少。

u_1 与 u_2 分别变化:从图 7—9 发现,三个指标均随着 u_1 提高且 u_2 降低时增大, u_1 降低且 u_2 提高时减小,即车队运行速度差越小越稳定.实际情况中为确保瓶颈段行驶安全性,会限制其最高行驶速度,因此,车队正常行驶时车速不应过高,以免使通过瓶颈路段时减速而导致车队运行状况不稳定。

(3) 发车间隔

当车队长度与运行速度确定后,结合式(11)与

式(12),确定发车间隔.在允许范围内,发车间隔的变化不影响车队通过瓶颈路段时产生的延误、最小发车间隔与尾车追及距离;但发车间隔越大,实际情况中前后车队首尾相接的可能性越小.

3.3 沿途交叉口影响分析

(1) 车队长度

根据表 1,不同长度车队通过交叉口时对社会车辆影响情况如图 10—11 所示.

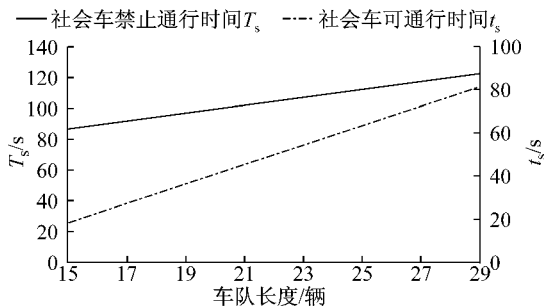


图 10 社会车辆通行时间随车队长度变化

Fig. 10 The change of social vehicles' available time for passing with platoon lengths

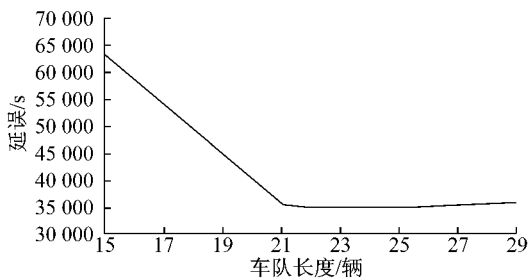


图 11 社会车辆延误随车队长度变化

Fig. 11 The change of social vehicles' delay with lengths

图 10 中,车队长度增加,社会车辆通行周期延长,且可通行时间比例增加.车队长度较短时,社会车辆的可行通行时间比例较小,社会车辆延误较大.图 11 中,交叉口进口道社会车辆延误随车队长度增加而减少.当车队达到一定长度,社会车辆可通行时间比例较大,交叉口进口道由饱和状态变为非饱和状态,此时车队长度若继续延长,则社会车辆总延误增加.

车队较短时发车间隔较小,交叉口处于饱和状态,社会车辆总延误随车队长度的提高而降低;车队较长时发车间隔较大,交叉口处于非饱和状态,社会车辆总延误随车队长度的提高而增加.

(2) 行驶速度

社会车辆延误随行驶速度变化如图 12 所示.

随着车队正常行驶速度的提高,通过交叉口所需时间减少,社会车辆可通行时间增加,延误降低.

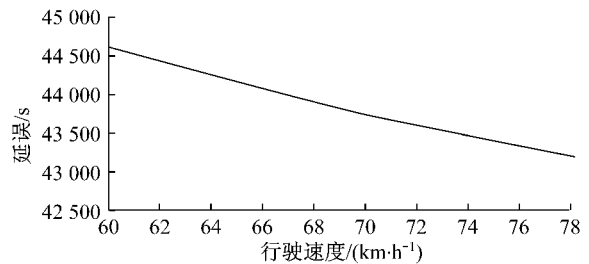


图 12 社会车辆延误随行驶速度变化

Fig. 12 The change of social vehicles' delay with platoon speeds

但是,对于单个交叉口而言,提高车队速度来降低交叉口社会车辆延误的效果不显著,以车队正常行驶车速由 $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 提高至 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 为例,车速提高 33%,延误仅降低 3.3%.

(3) 发车间隔

车队由 20 辆大巴车组成,正常行驶速度为 $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,瓶颈路段行驶速度为 $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,参照式(12),发车间隔的取值范围为 $63 \sim 149 \text{ s}$.车队通过交叉口 A 需 50 s ,提前禁行与延迟放行时间共 50 s ,因此当车队发车间隔大于 100 s 时,社会车辆才可能在前后两列车队到达的间隙通过交叉口.发车间隔在 $100 \sim 149 \text{ s}$ 范围时,交叉口社会车辆延误情况如图 13 所示.

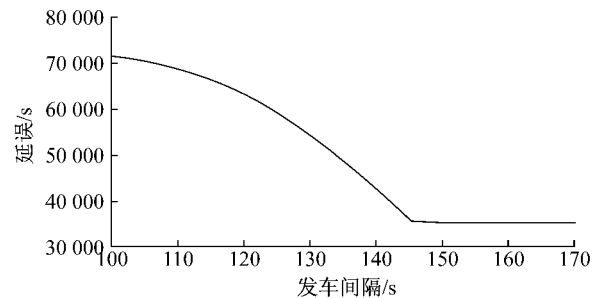


图 13 社会车辆延误随发车间隔变化

Fig. 13 The change of social vehicles' delay with the platoons' departure intervals

车队长度与运行速度不变时,发车间隔增大,社会车辆可通行时间比例增加从而延误降低.图 13 中,发车间隔处于 $140 \sim 150 \text{ s}$ 时,交叉口进口道状态发生变化.处于饱和状态的进口道社会车辆延误受发车间隔影响显著,当发车间隔较大时,交叉口进口道由饱和状态变为非饱和状态,此时发车间隔继续增加对于进口道社会车辆的延误影响较小.

3.4 大运会开幕式交通组织方案评估

在开幕式之前的预演中,一列车队由 25 辆大巴车组成,运行出现脱节现象,沿途交叉口拥堵严重.按第 1 节中各式调整方案:以 20 辆大巴为一个车

队,车队长度为 803 m,最小发车间隔为 62 s,车队最小长度要求为 9 辆,实际平均发车间隔为 142 s,车队长度与发车间隔满足要求.综合考虑车队瓶颈路段运行状况以及对交叉口社会车辆的影响,开幕式大巴车队运行组织规则如下:

(1) 车队正常运行速度不应过快,以保证车队通过瓶颈路段时的运行稳定性,车队正常行驶速度保持在 $60\sim 70\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 为宜;

(2) 车队长度适中,以保证行驶稳定性及最小发车间隔,以 15~20 辆大巴车长度为宜;

(3) 车队发车间隔在保证所有车辆按时出发前提下应尽量延长,以降低相邻车队间干扰、减少交叉口社会车辆的延误,发车间隔不小于 2.5 min.

开幕式当日车队通过深南大道—沙河西路互通立交时总延误为 370.5 s,平均每车延误 18.5 s.驶离瓶颈路段后,尾车所需追及距离为 237.5 m.车队经过交叉口 A,交叉口 A 处于饱和状态,平均社会车辆延误为 58 s.通过方案调整,大巴车队运行状况良好,沿途交叉口拥堵情况较预演得到缓和.

4 结论

(1) 城市大型活动车队组织需保证在规定时间内完成特定人群的运送,以提高运行效率与安全为主要目标,尽量降低对城市交通的影响.车队长度、发车间隔、运行速度是车队运行稳定性的主要影响因素.

(2) 车队长度越长,瓶颈段延误越大,运行状况越不稳定;车队正常行驶与瓶颈段行驶的速度差越小,车队运行状况越稳定;发车间隔不影响车队通过瓶颈段时运行状况,但较大发车间隔能够降低形成大车队的可能性.

(3) 在所有车队通过交叉口期间,交叉口处于饱和状态时,车队越长,发车间隔越大,社会车辆在交叉口的总延误越小,交叉口处于非饱和状态时社会车辆延误情况相反;发车间隔增大能够降低社会车辆延误,当交叉口进口道变为非饱和状态时,发车间隔对于社会车辆的影响减弱;车队正常行驶速度越快,交叉口社会车辆的延误越小,但影响程度小.

(4) 受实际检测数据限制,仅以深圳“大运会”车队运行情况来确定驾驶员反应时间、车头时距可能存在误差,进一步的研究将通过观测国内其他大型活动车队的运行状况,来明确参数的取值,同时进一步分析车队在停车场内部的行驶特征.

参考文献:

- [1] 王振报,李金山,陈艳艳.大型活动期间交通影响分析方法研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2010,34(4):758.
WANG Zhenbao, LI Jinshan, CHEN Yanyan. Research on traffic impact analysis method under special events[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2010,34(4):758.
- [2] 姜桂艳,李继伟,赵佳琪.大型活动交通影响评价方法[J].城市交通,2008,6(5):59.
JIANG Guiyan, LI Jiwei, ZHAO Jiaqi. Traffic impact evaluation for large special events[J]. Urban Transport of China, 2008,6(5):59.
- [3] 陆建,崔洪军,潘建芳.大型活动交通研究范围确定方法[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2009,33(3):422.
LU Jian, CUI Hongjun, PAN Jianfang. Traffic research area delimitating method of large activities[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2009,33(3):422.
- [4] 毛保华,郭谨一,陈振起,等.大型活动期间城市交通组织方法研究[J].交通运输系统工程与信息,2007,7(1):18.
MAO Baohua, GUO Jinyi, CHEN Zhenqi, et al. Research on traffic schemes for special important activities[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007,7(1):18.
- [5] Shiomo Yasuhiro, Yoshii Toshio, Kitamura Ryuichi. Platoon-based traffic flow model for estimating breakdown probability at single-lane expressway bottlenecks[J]. Social and Behavioral Sciences, 2011(17):591.
- [6] Tanaka Mitsuru, Nakatsuji Takashi. Shock waves and speed peak propagations in stop and go car-following conditions[C/CD]//TRB 90th Annual Meeting Compendium of Papers CD-ROM. Washington D C: Transportation Research Board, 2011.
- [7] WANG Dianhai, LIANG Chunyan. Study on compressibility of traffic flow [J]. Journal of Southeast University: English Edition, 2009, 25(2): 262.
- [8] Lighthill M J, Whitham G B. On kinematic waves II: a theory of traffic flow on long crowded roads[J]. Proceedings of the Royal Society A, 1955, 229:317.
- [9] 张鹏,吴冬艳,黄仕进,等.交通流瓶颈效应的运动学描述[J].应用数学和力学,2009,30(4):399.
ZHANG Peng, WU Dongyan, HUANG Shijin, et al. Kinetic description of bottleneck effects in traffic flow[J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2009,30(4):399.
- [10] 王欣,王炜,李文权,等.用密度-流量关系模型解释交通流量陡降现象[J].西南交通大学学报,2009,44(1):141.
WANG Xin, WANG Wei, LI Wenquan, et al. Interpretation of traffic flow breakdown with density-flow model[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2009,44(1):141.
- [11] 刘广萍,裴玉龙.信号控制下交叉口延误计算方法研究[J].中国公路学报,2005,18(1):104.
LIU Guangping, PEI Yulong. Study of calculation method of intersection delay under signal control [J]. China Journal of Highway and Transport, 2005,18(1):104.