

# 路内停车对交通流的延误影响模型

Modeling On-street Parking Impacts on Traffic Flow Delays

葛 兴<sup>1</sup>, 姜 波<sup>2</sup>, 王殿海<sup>3</sup>, 陆 键<sup>1</sup>

(1.东南大学交通学院,江苏 南京 210006;2.湖州市城市规划设计研究院,浙江 湖州 313000;3.吉林大学交通学院,吉林 长春 130025)

GE Xing<sup>1</sup>, JIANG bo<sup>2</sup>, WANG Dian-hai<sup>3</sup>, LU Jian<sup>1</sup>

(1.Transportation College, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210006, China; 2.Huzhou Institute of Urban Plan & Design, Huzhou Zhejiang 313000, China; 3.Transportation College, Jilin University, Changchun Jilin 130025, China)

**摘要:** 探讨路内停车对路段交通流产生阻碍造成的延误,能够为评价路段服务水平、确定合理的路阻提供理论支持。针对双向两车道路内停车路段,分析车辆运行特性。在流量较小、流量较大两种情况下,研究由路内停车影响产生的延误。流量较小情况下,将停放车辆看作一个服务台,利用排队理论、间隙理论建立了路内停车对交通流延误影响模型;流量较大情况下,结合车辆到达-离开图示,建立了相应的延误影响模型。最后,通过应用算例验证了模型的有效性。

**Abstract:** Investigation of delay impacts as a result of on-street parking that hampers traffic flows may lay a theoretical foundation upon which the level of services and the impedance of a street segment can be evaluated more or less reasonably. In light of a 2-lane two-way street segment installed with on-street parking spaces, this paper analyzes traffic operational characteristics, in particular, traffic delays caused by on-street parking activities, under both low and high volume conditions. Regarding the on-street parking process as a service platform, the paper develops, in the low volume case, an impact model of traffic flow delays induced during the process based on theories of queuing and clearance intervals. While in the high volume case, an arrival & departure chart of parking vehicles is consulted to formulate a corresponding delay impact model. The validity of the models is tested through application examples.

**关键词:** 交通管理;路内停车;排队理论;间隙理论;延误

**Keywords:** traffic management; on-street parking; queuing theory; clearance theory; delay

中图分类号: U491.1<sup>12</sup> 文献标识码: A

收稿日期: 2008-05-30

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50338030)

作者简介:葛兴(1980—),女,河南驻马店人,博士研究生,主要研究方向:交通安全、交通控制。E-mail:gx7980@yahoo.com.cn

## 0 引言

路内停车是城市中常见的一种停车方式,尤其是在城市中心区域,设置路内停车可以提供大量的停车泊位,在一定程度上缓解停车难的问题。但是路内停车会对路段上的交通流产生负面影响,如停放车辆的驶入、驶出对路段交通流造成干扰,导致延误,易引起交通事故和阻塞等等。不合理的路内停车还会使其成为交通瓶颈、事故多发点以及交通的拥堵源<sup>[1]</sup>。因此,路内停车设施设计需要对停车产生的延误影响进行合理评价。

由于城市道路空间的限制以及对路段交通流的延误影响,路内停车泊位通常设置在双向两车道的支路上。目前,国内外学者在路内停车对机动交通影响方面进行了一系列的研究<sup>[2-4]</sup>,在对双向两车道路段停车延误研究时,通常将两个方向的车流运行单独进行考虑,不能很好地应用于我国的实际情况,且很多模型参数不易实施。鉴于此,本文针对双向两车道路段,对车辆运行特性进行分析,并建立路内停车对交通流的延误影响模型。

## 1 路内停车路段车辆运行特性

道路空间不仅是路内停车的停放空间,还是车辆进出的通道。路内停车的停靠方式

分为平行式、斜立式和垂直式。不同的停靠方式对道路宽度的占有率不同, 对同向和相邻车道交通流的影响也不同<sup>[5]</sup>。以平行式停靠方式为例, 说明路内停车路段车辆运行特性。如图1所示, 当同向车流中有车辆停放时, 后续到达车辆通常会减速等待通过, 一旦可利用对向车流间隙, 就会超越停放车辆, 继续向前行驶。尤其是在机非混合车道, 车辆停放还会干扰非机动车通行, 造成更多的后续车辆急于利用对向车道通过。而车辆驶出泊位时, 同样会对同向和相邻车道行驶车辆产生阻滞影响。

## 2 路内停车对交通流产生的延误

双向均有路内停车时, 道路两侧同一相对位置同时出现车辆停放或驶出的概率较小, 且车流之间的相互影响较为复杂, 很难量化, 因此, 构建路内停车对交通流的延误影响模型时对于这一情况不再考虑。路段流量不同, 车辆的到达和运行特性也不同, 以下分两种情况进行研究。

### 2.1 流量较小的情况

双向两车道路段, 将停放车辆看作一个服务台, 后面跟随的车辆则相当于进入一个排队系统, 利用对向车辆间隙离开相当于接受服务, 否则继续排队。因此, 由停车产生的延误影响与整个路段的流量有关, 同向流量越大, 停车出入时受干扰的车辆越多; 对向流量越大, 排队车辆可穿越的间隙越少, 所能提供的服务次数也越少。双向流量大小可分别用车辆的到达率和服务率来描述。根据排队理论, 服务强度

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (1)$$

式中:  $\lambda$ 为到达率/(辆·s<sup>-1</sup>);  $\mu$ 为服务率/(辆·s<sup>-1</sup>)。通过经验公式计算可得到系统内平均排队长度、平均等待时间以及车辆在排队期间产生的延误等指标。

双向两车道路段流量均较小时, 车流密度不大, 车辆间的相互影响较弱, 排队系统处于平稳状态。一定时间间隔内到达的车辆数是随机的, 通常认为当不间断流量  $\leq 500$  辆·h<sup>-1</sup>·车道<sup>-1</sup>时, 用泊松分布描述较为合适<sup>[6]</sup>。当单车道路段流量  $< 500$  辆·h<sup>-1</sup>, 双向两车道路段流量  $< 1000$  辆·h<sup>-1</sup>时, 由排队理论和间隙理论计算可知  $\lambda < \mu$ , 即  $\rho < 1$ 。

泊松分布的概率描述为: 对路段上某一点,  $\Delta t$ 时间内到达  $k$ 辆车的概率

$$p_k(\Delta t) = \frac{(\lambda \cdot \Delta t)^k}{k!} e^{-\lambda \Delta t}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (2)$$

式中:  $\Delta t$ 为时间区间的长度/s;  $e$ 为自然对数的底, 取2.71828。

由间隙理论可知<sup>[7-8]</sup>, 排队等待间隔为相邻两事件发生的间隙, 非间隙为车辆或行人不能穿越的间隙。当车辆到达服从泊松分布时, 车辆或行人平均等待间隔数

$$N = \frac{1}{e^{-\tilde{q}\tau} - 1} = \frac{1 - e^{-\tilde{q}\tau}}{e^{-\tilde{q}\tau}}, \quad (3)$$

式中:  $\tilde{q}$ 为被穿越车流的流量/(辆·h<sup>-1</sup>);  $\tau$ 为车流穿越所需的临界间隙/s。

非间隙平均持续时间

$$\bar{T} = T - \frac{\tau e^{-\tilde{q}\tau}}{1 - e^{-\tilde{q}\tau}}, \quad (4)$$

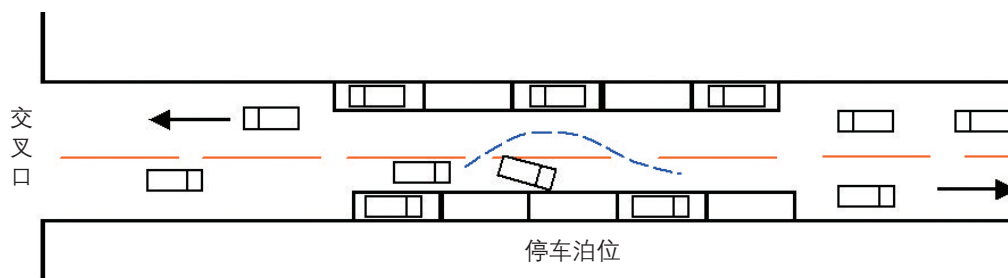


图1 双向两车道停车路段交通流运行示意图

Fig.1 Traffic operation on 2-lane two-way street segment installed with on-street parking spaces

式中： $T$ 为非阻塞的平均持续时间/s,  $T = \frac{1}{q}$ 。

平均服务时间  $E(U)$  为平均等待间隔数与非间隙平均持续时间之积，即车辆在排队处等待可穿越间隙的时间，

$$E(U) = \frac{1}{\mu} = N\bar{T} = \left(\frac{1 - e^{-q\bar{T}}}{e^{-q\bar{T}}}\right) \left(T - \frac{\tau e^{-q\bar{T}}}{1 - e^{-q\bar{T}}}\right) \quad (5)$$

以往的研究表明，在无信号交叉口，若直行车流到达服从泊松分布，则直行车流中可供左转车辆穿越的间隙符合负指数分布<sup>[9]</sup>。考虑对向车流到达服从泊松分布，可认为对向车流提供的间隙符合负指数分布，即对向车流提供的服务时间服从负指数分布。因此，参考  $M/M/1$  系统的延误模型<sup>[10-11]</sup>，根据排队系统中车辆的平均等待时间，可知一次路内停车产生的车辆平均延误为  $\bar{d} = \frac{\rho}{\mu - \lambda}$ 。

若 1 h 内车辆驶入  $n_1$  次，驶出  $n_2$  次，每次停车驶入耗费时间为  $\Delta t_1$ ，驶出耗费时间为  $\Delta t_2$ ，一次停车驶入、驶出产生的延误分别为  $\bar{d}_1$  和  $\bar{d}_2$ 。则 1 h 内由停车造成的路段交通流延误为

$$D = \lambda (n_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \bar{d}_1 + n_2 \cdot \Delta t_2 \cdot \bar{d}_2) \quad (6)$$

### 2.2 流量较大的情况

当路段流量增大时，将会出现  $\rho > 1$  的情况，排队不再是一个平稳过程，因此不能用排队理论计算延误。随着流量增加，只有极少的车辆可以利用对向间隙，多数车辆将继续排队直至停车完成才继续行驶。此过程如图 2 所示， $\Delta t$  为一次停车驶入、驶出时间， $\Delta t'$  为排队车辆释放耗

费的时间， $q_0$  为停车完成后排队车辆的释放流率，直线 OB 斜率为  $\mu$ ，直线 OD 斜率为  $\lambda$ 。由于  $\mu < \lambda$  ( $\mu = P(t \geq \tau) = e^{-\lambda\tau}$ )，排队车辆不能完全利用对向间隙离开，停车完成后仍有车辆排队，因此假定  $q_0$  为车辆饱和释放流率。图中阴影部分为由于停车导致后续车辆不能及时离开所耗费的时间，即车辆排队产生的延误。

在停车驶入、驶出时间内，到达车辆流量  $Q_1 = \lambda(\Delta t + \Delta t')$ ，离开车辆流量  $Q_2 = \mu \cdot \Delta t + q_0 \cdot \Delta t'$ 。由流量平衡可知  $Q_1 = Q_2$ ，即  $\lambda(\Delta t + \Delta t') = \mu \cdot \Delta t + q_0 \Delta t'$ ，可以得到

$$\Delta t' = \frac{(\lambda - \mu) \cdot \Delta t}{q_0 - \lambda} \quad (7)$$

随着流量增加，由于红灯期间交叉口对车流的挤压作用，车流常常呈组团行驶状态，用 M3 分布描述比较适合<sup>[12]</sup>。M3 分布假设一部分车辆以车队状态行驶，另一部分车辆以自由流状态行驶。当车辆以车队状态行驶时，车辆之间保持均一的车头时距  $\tau_0$ 。当车辆以自由流状态行驶的概率为  $\alpha$  时，M3 分布函数为：

$$F(t) = 1 - \alpha e^{-\lambda(t - \tau_0)}, \quad t \geq \tau_0 \quad (8)$$

对于每一种状态，一次路内停车造成的车辆平均延误可以由车辆到达-离开图示得到：

$$S_{\Delta OCD} = \frac{1}{2} \lambda (\Delta t + \Delta t')^2, \quad (9)$$

$$S_{\Delta OAB} = \frac{1}{2} \mu \cdot \Delta t^2, \quad (10)$$

$$S_{ABCD} = \frac{1}{2} (\mu \cdot \Delta t + \lambda \cdot \Delta t + \lambda \cdot \Delta t') \cdot \Delta t' \quad (11)$$

则一次路内停车造成的延误为：

$$\bar{d} = S_{\Delta OCD} - S_{\Delta OAB} - S_{ABCD} = \frac{1}{2} \lambda (\Delta t + \Delta t')^2 - \frac{1}{2} \mu \cdot \Delta t^2 - \frac{1}{2} \Delta t' (\mu \cdot \Delta t + \lambda \cdot \Delta t + \lambda \cdot \Delta t') \quad (12)$$

根据车辆到达情况，可以统计出每种状态下车辆的到达率，由对向车流情况，利用同样的方法可以得到服务率，进而得到每种情况下一次路内停车造成的延误以及 1 h 内产生的总延误。设对向车流以车队状态行驶时：①同向车流以车队状态行驶，一次停车驶入、驶出产生延误分别为  $\bar{d}_{11}$  和  $\bar{d}_{12}$ ；②同向车流以自由流状态行驶，一次停车驶入、驶出产生延误分别为  $\bar{d}_{21}$  和  $\bar{d}_{22}$ 。对向车流以自由流状态行驶时：①同向车流以车队状态行驶，一次停车驶入、驶出产生延误分别为  $\bar{d}_{31}$  和  $\bar{d}_{32}$ ；②同向车流以自由流状态行驶，一次停车驶入、驶出产生延误分别为  $\bar{d}_{41}$  和  $\bar{d}_{42}$ 。则 1 h

$\bar{d}_{11}$  和  $\bar{d}_{12}$ ；②同向车流以自由流状态行驶，一次停车驶入、驶出产生延误分别为  $\bar{d}_{21}$  和  $\bar{d}_{22}$ 。对向车流以自由流状态行驶时：①同向车流以车队状态行驶，一次停车驶入、驶出产生延误分别为  $\bar{d}_{31}$  和  $\bar{d}_{32}$ ；②同向车流以自由流状态行驶，一次停车驶入、驶出产生延误分别为  $\bar{d}_{41}$  和  $\bar{d}_{42}$ 。则 1 h

内由停车造成的路段交通流延误为:

$$D = [(1 - \alpha)\bar{d}_{11} + \alpha\bar{d}_{21}](1 - \alpha)n_1 + [(1 - \alpha)\bar{d}_{31} + \alpha\bar{d}_{41}](1 - \alpha)n_1 + [(1 - \alpha)\bar{d}_{12} + \alpha\bar{d}_{22}]an_2 + [(1 - \alpha)\bar{d}_{32} + \alpha\bar{d}_{42}]an_2 \quad (13)$$

### 3 应用算例

某双向两车道路段设置有路内停车泊位, 1 h 内车辆驶入泊位  $n_1 = 8$  次, 驶出泊位  $n_2 = 8$  次。可设定模型中的参数: ① 车辆驶入泊位耗时  $\Delta t_1 = 15$  s; ② 车辆驶出泊位耗时  $\Delta t_2 = 10$  s; ③ 流量较小时, 车辆穿越对向车流的临界间隙  $\tau = 9$  s; ④ 流量较大时, 车辆穿越对向车流的临界间隙  $\tau = 12$  s。

1) 流量较小(设路段双向流量均为  $400 \text{ 辆} \cdot \text{h}^{-1}$ )

$$\text{① 到达率 } \lambda = \frac{400}{3600} = \frac{1}{9}$$

② 平均服务时间  $E(U) = 6.46$  s

$$\text{服务率 } \mu = \frac{1}{E(U)} = \frac{1}{6.46}$$

③ 一次停车产生的车辆平均延误

$$\bar{d} = \frac{\rho}{\mu - \lambda} = 16.4 \text{ s}$$

④ 1 h 内由停车产生的总延误

$$D = \lambda(n_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \bar{d}_1 + n_2 \cdot \Delta t_2 \cdot \bar{d}_2) = 364 \text{ s}$$

2) 流量较大(设路段双向流量均为  $750 \text{ 辆} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $\alpha = 0.5$ ,  $\tau_0 = 3$ )

车辆到达呈两种状态: 同向车辆以车队状态行驶时, 车流量为  $1200 \text{ 辆} \cdot \text{h}^{-1}$ ; 以自由流状态行驶时, 车流量为  $300 \text{ 辆} \cdot \text{h}^{-1}$ 。当对向车流以车队状态行驶时, 服务率  $\mu = 0$ ; 以自由流状态行驶时, 服务率  $\mu = 0.0153$ 。利用式(12)计算可得:

① 对向车流以车队状态行驶

$$\bar{d}_{11} = 112.5 \text{ s}; \bar{d}_{12} = 50 \text{ s};$$

$$\bar{d}_{21} = 11.2 \text{ s}; \bar{d}_{22} = 5 \text{ s}$$

② 对向车流以自由流状态行驶

$$\bar{d}_{31} = 104 \text{ s}; \bar{d}_{32} = 46.2 \text{ s}$$

$$\bar{d}_{41} = 8 \text{ s}; \bar{d}_{42} = 4 \text{ s}$$

利用式(13)可得: 1 h 内停车产生的总延误

$$D = 684 \text{ s}$$

实际中, 非机动车、行人流量的大小, 以及车辆驶入、驶出方式的不同, 都会导致路内停车对路段交通流的延误影响不同, 因此, 上述各参数应根据具体的道路状况设定。

### 4 结语

目前路内停车在城市中心区的停车结构中占有相当大的比例, 通过研究设置路内停车带前后交通流的特性, 分析路内停车是否可行, 将路内停车对动态交通造成的不利影响尽量降到最低是迫切需要解决的问题。本文针对双向两车道路段, 分析了车辆停放或驶出时车流的实际运行特征, 运用间隙理论、排队理论以及车辆到达-离开图示等方法, 分别给出不同流量情况下, 路内停车对交通流的延误影响模型, 通过应用算例验证了模型的可行性。该模型可用于定量分析路内停车对路段交通流的延误影响, 从而更准确地确定路段的服务水平, 同时, 对正确地确定路阻具有重要意义。文中涉及的参数如车辆停放耗费时间、穿越对向车流的临界间隙等是假设的, 但通过统计调查数据, 这些参数不难得到。

参考文献:

References:

[1] 杨中良. 城市中心路边停车的规划与管理[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2001.

YANG Zhong-liang. Planning and Management on

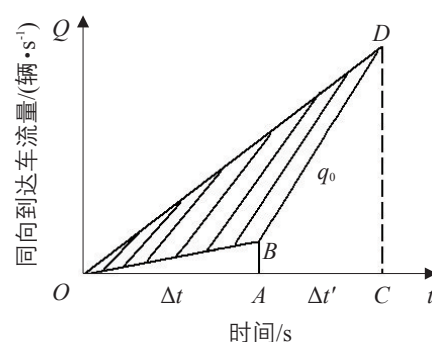


图2 车辆停放时间内后续车辆到达-离开图示  
Fig.2 An arrival & departure chart of parking vehicles during parking time

- Curb Parking in City Center Area[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2001.
- [2] Paul C Box. Curb Parking Findings Revisited[DB/CD]. Washington DC: Transportation Research Board, 2000.
- [3] 吴俊. 路内停车对动态交通影响研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- WU Jun. Study on the Effect of Curb Parking to Dynamic Traffic[D]. Nanjing: Hehai University, 2007.
- [4] 梁军, 李旭宏, 于洪君, 等. 路边停车对路段交通流影响研究[J]. 公路交通科技, 2003, 20(2): 85-87.
- LIANG Jun, LI Xu-hong, YU Hong-jun, et al. Study on Road Traffic Delay Caused by Roadside Parking [J]. *Journal of highway and transportation research and development*, 2003, 20(2): 85-87.
- [5] 中国公路学会编委会. 交通工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- China Highway Institute Editorial Committee. *Transportation Engineering*[M]. Beijing: China Communications Press, 1998.
- [6] 王殿海. 交通流理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- WANG Dian-hai. *Traffic Flow Theory*[M]. Beijing: China Communications Press, 2002.
- [7] 丹尼尔 L 鸠洛夫, 马休 J 休伯. 交通流理论[M]. 蒋璜, 等. 北京: 人民交通出版社, 1983.
- Gerlaugh D L, Huber M J. *Traffic Flow Theory*[M]. JIANG Huang. Beijing: China Communications Press, 1983.
- [8] Gartner N, Messer C J, Rathi A K. *Monograph on Traffic Flow Theory*[M]. Washington DC: The Federal Highway Administration (FHWA), 1996.
- [9] 王建军, 严宝杰. 交通调查和分析(第二版)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- WANG Jian-jun, YAN Bao-jie. *Traffic Survey and Analysis (Edition II)*[M]. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [10] 孙荣恒, 李建平. 排队论基础[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- SUN Rong-heng, LI Jian-ping. *Queuing Theory Basis*[M]. Beijing: Science press, 2002.
- [11] 陆凤山. 排队论及其应用[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1984.
- LU Feng-shan. *Queuing Theory and its Application* [M]. Changsha: Hunan Science and Technology Press, 1984.
- [12] 王明文. 非机动车对路段交通流影响的研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2004.
- WANG Ming-wen. Study on Road Traffic Delay Caused by Non-motorized Vehicle[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2004.

(上接第6页)

- [4] Moshe Ben-Akiva, Steven Lerman. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand* [M]. USA: MIT Press, 1985.
- [5] Moshe Ben-Akiva, Takayuki Morikawa. Estimation of Mode Switching Models from Revealed Preferences and Stated Intentions[J]. *Transportation Research A*, 1990, 24A(6): 485-495.
- [6] Don H Pickrell. Urban Rail Transit Projects: Forecast versus Actual Ridership and Costs[R]. USA: Urban Mass Transportation Administration, 1989.
- [7] John F Kain. Deception in Dallas: Strategic Misrepresentation in Rail Transit Promotion and Evaluation[J]. *Journal of American Planning Association*, 1990, 56(2): 184-196.
- [8] World Bank. Urban Transport[R]. Washington DC: World Bank, 1986.
- [9] World Bank. Cities on the Move: A World Bank Urban Transport Strategy Review[R]. Washington DC: World Bank, 2002.
- [10] Roger Allport. A Tale of Three Cities: Urban Rail Concessions in Bangkok, Kuala Lumpur, and Manila[R]. Washington DC: Asian Development Bank, Japan Bank for International Cooperation, and World Bank, 2005.