

双向两车道路内停车影响下的阻滞延误模型

裴玉龙, 杨远帆

(东北林业大学交通学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 为定量研究设置路内停车引起的路段机动车交通流延误, 将延误的产生阶段划分为减速驶入和加速驶离路内停车路段以及低速行驶在路内停车路段3个阶段。根据车辆到达路内停车路段是否相互影响, 以一幅路双向两车道路为研究对象, 分别应用排队理论和交通波理论, 构建以速度、密度为主要参数的阻滞延误模型, 且将机动车驶经路内停车路段时是否有车辆进出路内停车位这两种情况分开考虑。分别计算机动车仅与非机动车发生冲突时导致的延误, 机动车与非机动车和停放车辆同时发生冲突时由车辆进出停车位诱增的延误。在此基础上, 通过实测数据先后建立相应的速度—流量模型和速度—密度模型对阻滞延误模型的参数进行标定。最后通过应用算例验证模型的可行性。

关键词: 交通管理; 路内停车; 排队理论; 交通波理论; 延误

Block Delay Model Under the Influence of On-Street Parking in Two-Way Two-Lane Road

Pei Yulong, Yang Yuanfan

(School of Traffic and Transportation, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang 150040, China)

Abstract: In order to quantitatively study the delay of motorized vehicles caused by on-street parking, this paper divides the generation of the delay into three stages, named as decelerate entering, accelerate departing, and lower speed driving in the on-street parking segment. In light of whether the vehicles arrive on the segment with on-street parking were influenced each other, taking a two-way two-lane road as an example, the paper develops block delay models with speed and density as the main parameters using the theory of queuing and traffic wave respectively. Meanwhile, the paper considers whether there were vehicles drive into or pull out of parking space when vehicles drove through the parking segment. Separately, the paper calculates the delay induced by the conflict between motorized vehicles and non-motorized vehicles, and the delay induced by vehicles entering and leaving the parking segment when the conflict occurs among the motorized vehicles, non-motorized vehicles, and parking vehicles. On this basis, the corresponding velocity-flow model and velocity-density model are established to calibrate the parameters of block delay model through the measured data. Finally, the applicability of the models is demonstrated through example application.

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

收稿日期: 2018-03-25

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“基于广义交通枢纽的城市多模式交通网络协同规划理论与方法”(51638004)

作者简介: 裴玉龙(1961—), 男, 黑龙江桦川人, 博士, 教授, 主要研究方向: 交通规划、交通安全。E-mail: peiyulong@nefu.edu.cn

0 引言

城市拥堵问题频发, 引发人们对交通问题的重视。作为车辆的停放场所, 路内停车场拥有快捷方便、节约空间、减少停车步行时间等优点。但是, 路内停车的副作用也比较突出。由于其需要占用道路空间资源作为停车载体, 同行驶车辆存在冲突, 容易对交

通流的正常运行产生干扰, 造成行程延误的同时存在一定的交通安全隐患。鉴于此, 定量研究路内停车对交通流运行的影响, 可为路内停车的设置提供有效依据。

文献[1]针对双向两车道路在考虑流量大小的情况下, 应用排队理论和间隙理论, 基于本向车辆和对向车辆的到达特性给出了不同状态下的延误计算模型。文献[2-4]基

于元胞自动机考虑了路内停车影响,分析了车辆换道概率、待停车概率和交通阻塞概率等的相互关系。文献[5]利用M/M/∞排队模型描述路内停车行为和不规则停放车辆的影响,分析了不同次数的路内停车行为下平均行程时间的改变。文献[6]依据交通流中机动车和非机动车发生冲突时的空间和时间特性,对路内停车路段不同干扰形式下的平均延误进行了建模分析。文献[7]利用VISSIM对比分析了设置路内停车前后车辆经过相应路段的行程时间,得到相应的延误和能否设置路内停车的临界交通量。文献[8-9]考虑路内停放车辆及信号控制的共同作用,分析了路内停车设置在不同位置时对延误的影响。目前对于路内停车影响下阻滞延误的研究往往未将非机动车的影响和停放车辆进出的影响区分开,将延误认作两者共同造成的结果。但由于车辆进出路内停车位具有多次、短时特点,当不存在车辆进出时机动车交通流仅受非机动车干扰,同时机动车运行速度在有无停放车辆进出时不完全一样,故应对其分开考虑。

对于三幅路和四幅路道路,由于机非隔离带的存在且路内停车一般设置在非机动车道上,因此其对机动车流运行影响不显著。对于二幅路道路和一幅路单向行驶道路,由于不存在对向机动车和非机动车的影响,相较一幅路双向通行道路路内停车对交通流运行的影响更为简单。一幅路双向通行道路一般为支路或次干路,根据《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012)对道路功能的要求,其一般为设置路内停车最为普遍的道路形式。因此,本文选取常设置路内停车位的一幅路双向两车道道路为研究对象,根据是否有停放车辆进出路内停车位将非机动车和停放车辆对交通流运行的干扰区分开,进而构建阻滞延误模型,计算路内停车造成的机动车行程延误。

1 路内停车路段车辆运行特性

路内停车对路段交通流的影响主要来自2个方面:1)路内停车对道路资源的占用;2)进出路内停车位的车辆与正常行驶的车辆发生冲突。因此,可分为无车辆进出路内停车位时有车辆进出路内停车位时两种情况对路内停车造成的延误进行考虑。

将路内停车路段看作冲突区域,通过冲突区域的交通流包括直行机动车交通流、进

出停车位的交通流和非机动车交通流。在驶入路内停车路段影响范围前,不考虑其他因素对交通流运行的影响,机动车和非机动车相互干扰较小,机动车以正常速度行驶。在驶入路内停车路段影响范围后,当无车辆进出路内停车位时,由于路内停车挤占道路车辆通行空间,致使机动车可能受到非机动车干扰,此时直行机动车交通流可能与非机动车交通流发生冲突;当有车辆进出路内停车位时,机动车不仅可能受非机动车干扰,还与正在进出路内停车位的停放车辆发生冲突,此时直行机动车交通流将与进出停车位的交通流以及非机动车交通流同时发生冲突。在上述冲突发生过程中,直行车辆往往能够利用对向车流的安全间隙进行换道、超车以绕行通过冲突区,此时往往主要受对向机动车交通流影响。

从行驶速度来看,机动车在由正常行驶速度变为机非混行速度后,还将进一步减速,跟驰停放车辆直至停放车辆驶入或驶出过程完全完成,在这之后再以机非混行速度前行。如果机动车在驶离路内停车路段之前,遇到多次停放车辆的进出,则这一过程将不断重复,直至最后加速离开路内停车影响范围,又以另一速度稳定行驶。

在上述过程中,车辆将经历减速驶入路内停车路段一路内停车路段低速行驶一加速驶离路内停车路段这3个阶段并产生相应的延误,且在停放车辆进出路内停车位时,在路内停车路段低速行驶时经历不断的减速和加速过程。如果以 d_d 表示路段机动车交通流在减速驶入路内停车路段时产生的延误, d_{μ} 表示路内停车路段低速行驶产生的延误, d_a 表示加速驶离路内停车路段时产生的延误, d_t 表示总延误,则机动车在整个过程中受一次停放车辆进出干扰时的空间轨迹如图1所示。

2 路内停车影响下的阻滞延误模型

2.1 减速驶入和加速驶离路内停车路段

路内停车一般设置在城市中较低等级的道路上,这些道路受宽度等道路条件限制,在其上行驶的车辆基本以小型车辆为主。因此,本文不考虑其他交通环境、车型、车辆性能和驾驶人技术的影响,认为所有车辆在减速阶段和加速阶段的加速度大小基本一致。

假设车辆在减速驶入路内停车路段之前

以速度 v 正常行驶, 则车辆以加速度 a_d 减速行驶且在速度由 v 减小至机非混行速度 v_f 时, 其减速行驶距离 $s = \frac{v^2 - v_f^2}{2a_d}$, 减速行驶时间 $t_d = \frac{v - v_f}{a_d}$ 。作为对比, 当未设置路内停车时, 不存在路内停车影响路段, 车辆正常通过减速行驶距离 s 需要花费的时间 $t_n = \frac{s}{v} = \frac{v^2 - v_f^2}{2a_d v}$ 。因此, 每辆车在驶入路内停车路段之前的减速过程中产生的延误

$$d_d = t_n - t_d = \frac{(v - v_f)^2}{2a_d v} \quad (1)$$

同理, 在机动车以加速度 a_a 加速驶离路内停车路段时, 其速度由机非混行速度 v_f 加速至稳定速度 v_e , 这一过程中产生的延误

$$d_a = \frac{(v_e - v_f)^2}{2a_a v_e} \quad (2)$$

2.2 低速行驶在路内停车路段

2.2.1 车辆的到达相互独立

当路段流量较小时, 车辆的到达相互独立, 即任意时刻车辆到达数量的变化是随机的。此时可用离散型分布中的泊松分布对车辆的到达情况进行描述。针对路段上的某一点, 车辆的到达可描述为

$$p_k(\Delta t) = \frac{(\lambda \Delta t)^k}{k!} e^{-\lambda \Delta t}, k = 0, 1, 2, \dots, \quad (3)$$

式中: λ 为车辆到达率/(辆·s⁻¹); Δt 为时间/s; k 为到达车辆数/辆; $p_k(\Delta t)$ 为 Δt 时间内到达 k 辆车的概率。

因此, 假设直行机动车交通流受路内停车影响时, 第一辆车以机非混行速度 v_f 通过路内停车路段所花费的时间为 t_f /s, 则 t_f 时间内到达路内停车路段起点 A 的车辆数量 $E_1(t_f) = \lambda t_f$, 式中: $E_1(t_f)$ 为到达的车辆数/辆。

车辆的到达和离开是同时进行的, 因此在相同时间内从路内停车路段起点 A 驶离的车辆数量 $E_2(t_f) = \mu t_f$, 式中: μ 为车辆离开率/(辆·s⁻¹); $E_2(t_f)$ 为离开的车辆数/辆。

把车辆驶入路内停车路段看作驶入一个服务台, 则由排队论可知车辆排队过程中平均停留时间 $t = \frac{E_1(t_f) - E_2(t_f)}{\lambda} = \frac{(\lambda - \mu)t_f}{\lambda}$ 。

1) 当无车辆进出路内停车位时。

此时, 直行机动车交通流与非机动车交通流发生冲突。在 0 到 t_f 时段内, 直行机动车交通流因为受到非机动车交通流干扰而产生

的总延误

$$d_{\mu} = [E_1(t_f) - E_2(t_f)] \left(t - \frac{v_f t}{v} \right) = \frac{(\lambda - \mu)^2 t_f^2}{\lambda} \times \left(1 - \frac{v_f}{v} \right) \quad (4)$$

2) 当有车辆进出路内停车位时。

此时, 直行机动车交通流、非机动车交通流与进出停车位的交通流发生冲突。假设机动车交通流因受停放车辆进出路内停车位的影响而被阻滞的时间 $t = n_1 t_1 + n_2 t_2$, 式中: n_1, n_2 为统计间隔 t_i 时段内停放车辆驶入和驶出路内停车位的次数/车次; t_1, t_2 为机动车交通流分别受停放车辆驶入和驶出影响一次被阻滞的时间^[10)]/s, 其中 $t_1 = 4.3$ s, $t_2 = 3.5$ s。因此, 间隔 t_i 时段内直行机动车交通流受路内停车影响产生的总延误

$$d_{\mu} = \frac{(\lambda - \mu)^2 t_i^2}{\lambda} \times \left(1 - \frac{v_f}{v} \right) + n_1 t_1 + n_2 t_2 \quad (5)$$

由于交通流具有较强的随机性, 在时间分布上不均且由不同的统计间隔统计得到停放车辆进出次数不一样, 本文选取 5 min 作为统计间隔。

2.2.2 车辆的到达相互影响

此时, 道路交通流中前车与后车的到达不是离散的, 而是连续的, 车辆的到达相互影响。根据车辆到达的连续性, 可用流体形象地描述此时的交通流, 用交通波理论来阐述其运行状况。

当路段交通流在某处受到外界干扰时, 该处相应的交通密度发生改变, 并对其前后路段的交通流产生影响, 可将这一过程用波的传播进行比拟。

1) 当无车辆进出路内停车位时。

假设直行机动车交通流在驶入路内停车路段前以速度 v 正常行驶时, 流量为 q_1 , 密度为 f_1 。当其驶入路内停车路段时, 车流受

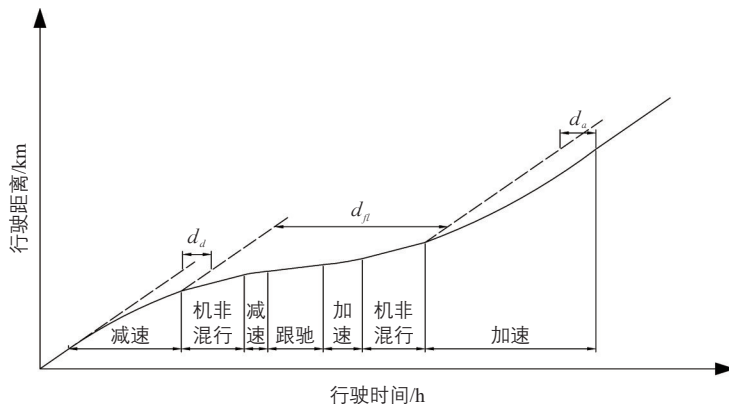


图1 车辆受路内停车影响时的空间轨迹

Fig.1 Space trajectory of vehicles under the influence of on-street parking

路内停车影响开始集结, 形成交通流集结波, 波速为 v_{s1} 。此时直行机动车交通流速度变为机非混行速度 v_f , 流量变为 q_2 , 密度变为 f_2 。而当直行机动车交通流离开路内停车路段后, 交通流开始消散, 形成交通流疏散波, 波速为 v_{s2} 。此时直行机动车交通流速度变为 v_e , 流量变为 q_3 , 密度变为 f_3 。根据交通波理论可知, 波速分别为

$$v_{s1} = \frac{q_1 - q_2}{f_1 - f_2}, \quad (6)$$

$$v_{s2} = \frac{q_2 - q_3}{f_2 - f_3}. \quad (7)$$

直行机动车交通流进入受路内停车影响路段后, 尾端向后速度为 v_{s1} , 前端向前速度为 v_f , 因此, 在 t_f 时间内拥堵车队车辆逐渐增加到最大值 $N_{\max} = f_2(v_f - v_{s1})t_f$ 。

假设从直行机动车交通流进入路内停车影响路段开始计时, 则 t 时刻直行机动车交通流中受到干扰的车辆数量 $N(t) = \frac{N_{\max}}{t_f}t, 0 \leq t \leq t_f$ 。当 Δt 足够小时, 在时段 $(t, t + \Delta t)$ 内, $N(t)$ 辆车产生的延误 $\Delta d = N(t)\Delta t \left(1 - \frac{v_f}{v}\right)$ 。

继而求得在 $(0, t_f)$ 时段内的延误 $d_1 = \int_0^{t_f} N(t) \left(1 - \frac{v_f}{v}\right) dt = \left(\frac{1}{2}v_f - \frac{1}{2}v_{s1}\right)f_2t_f^2 \left(1 - \frac{v_f}{v}\right)$ 。推导可得在 $((n-1)t_f, nt_f)$ 时段内的延误 d_n 为 $\left(v_f - \frac{2n-1}{2}v_{s1}\right)f_2t_f^2 \left(1 - \frac{v_f}{v}\right)$, 则在统计间隔时间 t_i 内的延误

$$d_N = \left(1 - \frac{v_f}{v}\right)f_2t_f^2 \left[\left(\frac{t_i}{t_f} - \frac{1}{2}\right)v_f - \frac{1}{2}\left(\frac{t_i}{t_f}\right)^2v_{s1}\right]. \quad (8)$$

2) 当有车辆进出路内停车位时。

直行机动车交通流除在驶入路内停车路段时集结一次外, 又开始新的集结, 形成新的交通流集结波。设想新的集结波速度为 v_{s3} , 此时直行机动车交通流速度由 v_f 变为跟驰速度 v_1 , 流量由 q_2 变为 q_s , 密度由 f_2 变为 f_s 。则新的速度

$$v_{s3} = \frac{q_2 - q_s}{f_2 - f_s}. \quad (9)$$

当有车辆驶入路内停车位时, 在阻滞影响时间 t_1 内, 受干扰的机动车数量为 $f_s(v_1 - v_{s3})t_1$ 。当有车辆驶出时, 在阻滞影响时间 t_2 内, 受干扰的机动车数量为 $f_s(v_1 - v_{s3})t_2$ 。因此在统计间隔 t_i 内, 当有停放车辆出入路内停车位时, 由其造成的延误

$$d_H = f_s(v_1t_1 - v_{s3}t_1)n_1t_1 + f_s(v_1t_2 - v_{s3}t_2)n_2t_2. \quad (10)$$

统计间隔内的总延误 $d_{\text{总}} = d_N + d_H$ 。

3 阻滞延误模型参数标定

3.1 车辆加速度

当不存在非机动车干扰或其他突发情况时, 小型车辆在减速和加速行驶时的加速度大小为 $1.39 \sim 1.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 且当其速度超过一定临界值后, 两者呈负相关关系^[11]。文献[12]根据车辆将要到达道路交叉口时的速度变化图像, 按照线性方法计算其加速度绝对值约为 $2.0 \sim 2.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。而在混合交通流条件下, 小汽车占交通流组成的 75% 时其加速度分别为 $-3.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 和 $2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ^[13]。因此, 本文将机非混行交通流中机动车在减速和加速行驶时的加速度 α_d 和 α_a 取值为 $-2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 和 $2.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

3.2 车辆速度

3.2.1 建立速度—流量模型

根据路内停车路段尽量避免、平高峰流量变化不大和路内停车活动不频繁, 尽量避免受道路路面质量和线形的影响等原则, 选取哈尔滨市红霞街作为调查路段。对车辆运行速度、路内停车设置形式、停放车辆进出方式、停放车辆进出频率等内容进行调查。为使调查时间与调查目的相对应, 具有典型性和代表性, 避开了周末及其前后、重大节假日或活动日, 并在充分考虑哈尔滨市道路交通流和路内停车设施利用平、高峰变化情况, 选择 8:00—12:00, 13:30—17:30 连续调查。在后期数据处理过程中, 根据统计间隔时间内有无停放车辆进出将数据对应的分为两大类。

参考 BPR 模型及文献[14]基于路内停车设置的路段车速阻滞模型, 对于一幅路双向通行道路, 考虑同向机动车和非机动车以及对向机动车流量的影响, 构造速度—流量模型。

1) 当无车辆进出路内停车位时。

速度与流量的关系可以表示为

$$v = \frac{(1 - k_1 R_b)v_0}{\left[1 + a_1 \left(\frac{q}{c}\right)^{b_1}\right] \left[1 + a_2 \left(\frac{q_b}{c_b}\right)^{b_2}\right] \left[1 + a_3 \left(\frac{q_l}{c_l}\right)^{b_3}\right]}, \quad (11)$$

式中: v 为路段机动车实际行驶速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$); v_0 为畅行速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$); q/c 为同向机动车饱和度; q_b/c_b 为同向非机动车饱和度; q_l/c_l 为对向机动车饱和度; R_b 为道路空间折减率, 即路内停车位占用宽度与道路宽度

(不含人行道)的比值; k_1 , a_1 , b_1 , a_2 , b_2 , a_3 , b_3 为对应参数。

利用实测数据对相应参数进行标定, 得到 k_1 为 1.56, a_1 为 1.864, b_1 为 0.044, a_2 为 -0.769, b_2 为 -0.032, a_3 为 0.499, b_3 为 2.213。

2) 当有车辆进出路内停车位时。

在式(11)基础上, 考虑车辆进出路内停车位造成的影响, 速度与流量的关系可以表示为

$$v = \frac{(1 - k_1 R_b - k_2 R_T^2) v_0}{\left[1 + a_1 \left(\frac{q}{c}\right)^{b_1}\right] \left[1 + a_2 \left(\frac{q_b}{c_b}\right)^{b_2}\right] \left[1 + a_3 \left(\frac{q_t}{c_t}\right)^{b_3}\right]}, \quad (12)$$

式中: R_T 为时间障碍率, 即统计间隔 t_i 时间内停放车辆进出对机动车交通流形成的阻滞时间占统计间隔比例; k_2 为时间障碍率对应参数。

利用实测数据对相应参数进行标定, 得到 k_1 为 1.56, k_2 为 2.57, a_1 为 -0.534, b_1 为 -0.078, a_2 为 -0.552, b_2 为 -0.058, a_3 为 -0.826, b_3 为 -0.028。

当车辆正在进出停车位时, 其后方机动车的跟驰速度 v_1 可根据调查采用实测数据进行标定。为保证车速在 0.05 的显著性水平下的误差在可接受范围内, 根据统计学原理, 样本数量应尽可能多于 48 个。利用 SPSS 分析样本数据得到图 2 和图 3。由此可知, 调查得到的 v_1 服从正态分布。

为进一步依据有限样本数据判定跟驰速度总体数据是否服从正态分布, 利用单样本 K-S 检验跟驰速度是否服从正态分布, 得到表 1。概率 p 值为 0.2, 在 0.05 的显著性水平下可以认为跟驰速度服从均值为 $12.83 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的正态分布, 即可将 v_1 取值 $12.83 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

3.2.2 建立速度—密度模型

计算延误时要涉及车辆速度变化前后交通流密度参数, 因此在速度—流量模型建立的基础上, 可以得到每一个速度和流量所对应的密度, 再进行回归分析即可得到速度和密度的关系模型。

针对不同的速度—密度模型的适用范围, 在不同密度区间可结合使用不同模型提高模型精确性^[15], 本文采用 Edie 的分段指数

形式。

当无车辆进出路内停车位时, 拟合曲线

$$\begin{cases} v = -15.68 \ln k + 73.928 & k \geq 24 \\ v = 36.774e^{-0.019k} & k < 24 \end{cases}, \quad (13)$$

式中: v 为速度/ $(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$; k 为交通密度/ $(\text{pcu}\cdot\text{km}^{-1})$ 。各模型拟合情况见图 4。

当有车辆进出路内停车位时,

$$\begin{cases} v = -6.753 \ln k + 37.723 & k \geq 30 \\ v = 30.299e^{-0.029k} & k < 30 \end{cases}. \quad (14)$$

4 应用算例

某一幅路双向两车道道路总长度为 320 m,

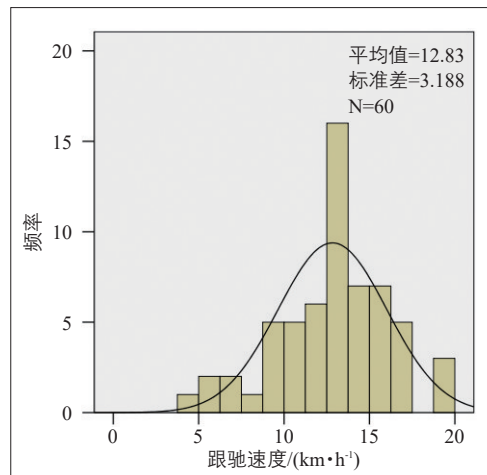


图2 跟驰速度频率分布直方图

Fig.2 Frequency distribution histogram of following speed

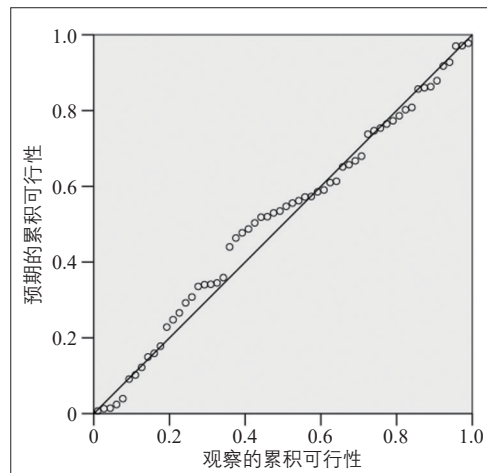


图3 跟驰速度的常规 P-P 图

Fig.3 Normal P-P graph of following speed

表1 单样本 K-S 检验

Tab.1 Kolmogorov-Smirnov test of single sample

项目	样本数	正态参数		最极端差分			检验统计	渐进显著性 (双侧)
		平均值	标准偏差	绝对	正	负		
跟驰速度	60	12.832 0	3.188 07	0.097	0.044	-0.097	0.097	0.200

在其一侧有平行式路内停车位32个,路内停车路段长192 m,且设置路内停车位一侧上一个交叉口的绿信比为0.45。道路宽度为11 m(不含人行道,机动车道宽度 2×3.5 m,非机动车道宽度 2×2 m,机非之间无物理分隔),停车位设置宽度为2 m。道路有停车位一侧机动车交通量和非机动车交通量分别为 $450 \text{ pcu} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $180 \text{ 辆} \cdot \text{h}^{-1}$,同时对向机动车交通量为 $400 \text{ pcu} \cdot \text{h}^{-1}$ 。机动车减速驶入路内停车影响路段前速度 v 为 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,加速驶离路内停车影响路段后速度 v_e 为 $34 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,1 h内有48辆机动车前进式驶入路内停车位,与驶出停车位车辆数相等。

路段实际通行能力和畅行车速难以直接调查获取,先根据经验公式^[16]求得该路段通行能力 $c = 680.70 \text{ pcu} \cdot \text{h}^{-1}$,并假定畅行速度 $v_0 = 40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。再利用Origin软件基于BPR模型进行迭代计算和参数标定(见图5)。可以求得该路段实际通行能力和畅行速度分别为 $680.47 \text{ pcu} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $35.16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

道路空间折减率 $R_b = \frac{2}{5.5} \times 100\% = 36.36\%$ 。时间障碍率 $R_T = \frac{48 \times 4.3 + 48 \times 3.5}{3600} \times 100\% = 10.4\%$ 。

根据速度—流量模型,求得无车辆进出路内停车位时,机动车在路内停车路段行驶速度 v_f 为 $26.96 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$;当有车辆进出路内停车位时,由前面分析可知 v_1 取值为 $12.83 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。因此,根据式(1)和(2)计算得到机动车在减速驶入和加速驶离路内停车路段过程中的延误 d_d 和 d_a 分别为0.02 s和0.10 s。

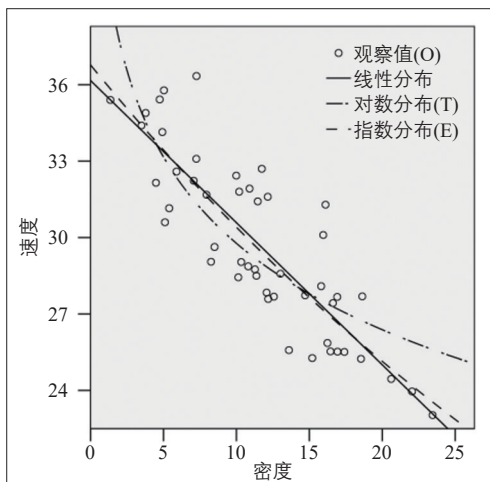
由于设置路内停车一侧机动车流量较大,车辆的到达相互影响,故采用交通波理论计

算相应的机动车在路内停车路段的跟驰延误。

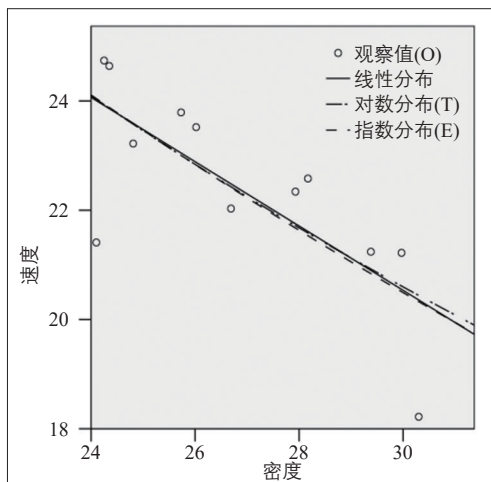
1) 当无车辆进出路内停车位时, $t_f = \frac{192}{v_f} = 25.63 \text{ s}$ 。机动车行驶速度为 $v = 30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时, $q_1 = 450 \text{ pcu} \cdot \text{h}^{-1}$,因此, $f_1 = q_1/v = 15 \text{ pcu} \cdot \text{km}^{-1}$;机动车行驶速度为 $v_f = 26.96 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,根据式(13)可知 $f_2 = -\ln(v_f/36.774)/0.019 = 16.34 \text{ pcu} \cdot \text{km}^{-1}$,继而可得流量 $q_2 = f_2 v_f = 440.53 \text{ pcu} \cdot \text{h}^{-1}$ 。当直行机动车交通流驶入路内停车路段时,根据式(6)得到受路内停车影响形成的集结波波速 $v_{s1} = 7.06 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。根据式(8)统计间隔时间 t_i 内产生的延误 $d_N = 0.06 \text{ h}$ 。

2) 当有车辆进出路内停车位时,机动车行驶速度由机非混行速度 v_f 变为跟驰速度 v_1 。根据式(14)可知相应交通密度 $f_s = -\ln(v_1/30.299)/0.029 = 29.63 \text{ pcu} \cdot \text{km}^{-1}$,继而可得流量 $q_s = f_s v_1 = 380.15 \text{ pcu} \cdot \text{h}^{-1}$ 。根据式(9)可知受车辆进出停车位影响,直行机动车交通流形成的新的集结波波速 $v_{s3} = -4.54 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。此时,在统计间隔内停放车辆驶入和驶出路内停车位一次的延误根据式(10)计算,分别为0.014 h和0.011 h。因此,1 h内的总延误是所有车辆低速行驶在路内停车路段时的延误 d_{μ} 与减速驶入和加速驶离路内停车路段过程中的延误 d_d 和 d_a 之和,为1.92 h。

基于延误值,可结合不同的道路服务水平要求规定相应阈值,来计算不同机动车和非机动车饱和度、道路空间折减率、车辆进出路内停车位频率等条件下是否允许设置路内停车的推荐值,为路内停车位的规划设计



a $k \geq 24$



b $k < 24$

图4 各模型拟合曲线

Fig.4 Fitting curves of each model

提供参考。

5 结语

本文根据是否有车辆出入路内停车位将非机动车和路内停车这2个影响机动车正常行驶的因素分开进行考虑。在分析无车辆出入造成延误的基础上,计算当有车辆进出路内停车位时增加的延误,并建立了有无车辆进出路内停车位2种状态下的速度—流量模型和速度—密度模型。

在机动车驶入路内停车路段时,由于停放车辆的进出具有时限性,机动车交通流在车辆进出路内停车位过程完全完成后,将不再与其发生冲突,即停放车辆与机动车的冲突是暂时性的、多次的。因此,本文将机动车在运行过程中的状态分为3类:无任何冲突时,与非机动车发生冲突时,与非机动车和进出路内停车位的车辆同时发生冲突时。据此建立阻滞延误模型,有效区分停放车辆与非机动车对机动车交通流的影响,提高了延误预测的准确度。同时,通过给出算例说明延误计算方法在实际中的应用。在对各参数进行初步分析的基础上,可对设置路内停车位路段的机非交通流饱和度和时间障碍率等参数进行分析,并考虑一个可接受的延误阈值,结合不同的服务水平以形成直观的标准,作为路内停车位设置的定量依据。基于延误的分析,在对交通流运行造成影响的可接受范围之内,可进一步利用符合条件的支路、次干路、主干路部分路段空间规范增设路内停车位并实时动态调整已有路内停车位,尽量减少路内停车对动态交通的干扰,强化停车时序管理,满足道路周边实际停车需求,为加强监管奠定基础,促进路内停车的有序化。

本文仅针对城市路内停车设置比较普遍的一幅路双向两车道道路进行分析,且由于调查误差的存在,可能在模型参数的标定过程中精度不够。同时本文未对在某一时刻多辆机动车同时停放在相邻位置时造成的相互影响,以及车辆停放过程可能占用对向车道和对向交通流的相关影响进行充分考虑,下一阶段可从这一方面进行深化研究。

参考文献:

References:

[1] 葛兴,姜波,王殿海,等.路内停车对交通

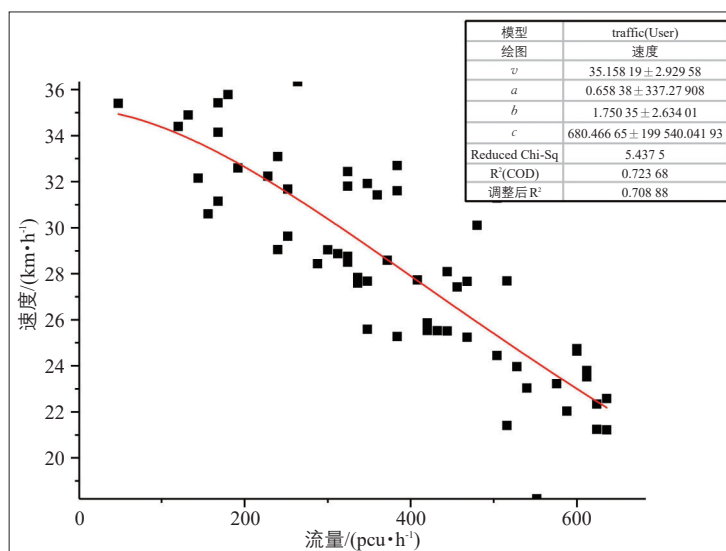


图5 速度—流量曲线

Fig.5 Speed-flow curve

流的延误影响模型[J]. 城市交通, 2009, 7(2): 28-32.

Ge Xing, Jiang Bo, Wang Dianhai, et al. Modeling On- Street Parking Impacts on Traffic Flow Delays[J]. Urban Transport of China, 2009, 7(2): 28-32.

[2] 刘小明, 王力. 考虑路内停车的元胞自动机交通流模型[J]. 吉林大学学报(工学版), 2012, 42(2): 327-333.

Liu Xiaoming, Wang Li. Celluar Automaton Traffic Flow Model Considering On- Street Parking[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2012, 42(2): 327-333.

[3] 韦兰香, 梁玉娟. 延迟概率和路内停车带长度对道路交通的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(5): 115-121.

Wei Lanxiang, Liang Yujuan. On Delay Probability and Influence of Inside Road Parking Area Length on Traffic[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2016, 41(5): 115-121.

[4] 韦兰香, 梁玉娟. 考虑路内停车的元胞自动机交通流能耗模型[J]. 科技通报, 2017, 33(1): 216-220.

Wei Lanxiang, Liang Yujuan. Celluar Automaton Traffic Flow Energy Loss Model Considering Curb Parking[J]. Bulletin of Science and Technology, 2017, 33(1): 216-220.

[5] Portilla A I, Orena B A, Berodia J L M, et al. Using M/M/ ∞ Queueing Model in On- Street Parking Maneuvers[J]. Journal of Transportation

- Engineering, 2009, 135(8): 527-535.
- [6] 高利平, 孙全欣, 刘明君, 等. 基于路边停车的机非混行延误模型与仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(3): 804-808.
- Gao Liping, Sun Quanxin, Liu Mingjun, et al. Delay Models and Simulation on Mixed Traffic System with Curb Parking[J]. Journal of System Simulation, 2010, 22(3): 804-808.
- [7] 李娅, 龚翔, 王运霞, 等. 基于 VISSIM 仿真设置路内停车位的交通量条件[J]. 城市交通, 2016, 14(6): 55-59.
- Li Ya, Gong Xiang, Wang Yunxia, et al. A Simulation-Based Approach to Determine the Relationship Between Traffic Flow Conditions and On-Street Parking[J]. Urban Transport of China, 2016, 14(6): 55-59.
- [8] 叶晓飞, 陈峻, 朱仁伟, 等. 信号控制交叉口出口道路内停车最佳距离设置方法[J]. 公路交通科技, 2012, 29(9): 110-117.
- Ye Xiaofei, Chen Jun, Zhu Renwei, et al. Modeling Optimal Distance Between Curb Parking Location and Exit of Signal-Controlled Intersection[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29(9): 110-117.
- [9] 陈峻, 贺晓琴. 信号交叉口影响区路边停车的交通流延误模型[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(5): 130-135.
- Chen Jun, He Xiaoqin. Road Traffic Delay Caused by Curb Parking Set in the Influence Area of Signalized Intersection[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2009, 41(5): 130-135.
- [10] Federal Highway Administration. Safe Aspects of Curb Parking (FHWA- RD- 79- 76) [M]. Tennessee: Tennessee University, 1978.
- [11] 任福田, 刘小明, 荣建, 等. 交通工程学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [12] 王武宏, 孙逢春, 曹琦, 等. 道路交通系统中驾驶行为理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [13] Oketch T, Eng P. Modeled Performance Characteristics of Heterogeneous Traffic Streams Containing Non-Motorized Vehicles [J]. Traffic, 2003: 1-16.
- [14] 陈峻, 梅振宇, 王炜. 混合交通流条件下基于路内停车设置的路段车速阻滞模型[J]. 土木工程学报, 2007, 40(9): 95-100.
- Chen Jun, Mei Zhenyu, Wang Wei. Road Resistance Model Under Mixed Traffic Flow Conditions with Curb Parking[J]. China Civil Engineering Journal, 2007, 40(9): 95-100.
- [15] 邵春福, 魏丽英, 贾斌. 交通流理论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [16] 王炜, 过秀成, 等. 交通工程学(第2版)[M]. 南京: 东南大学出版社, 2011.

(上接第102页)

- [6] 崔忠亮. 我国多式联运市场发展对策研究[J]. 铁道运输与经济, 2017, 39(7): 62-66.
- Cui Zhongliang. Study on Countermeasures of Developing Inter-Model Transportation Market in China[J]. Railway Transport and Economy, 2017, 39(7): 62-66.
- [7] 佚名. 《国家物流枢纽布局和建设规划》印发[J]. 城市规划通讯, 2019(1): 14.
- [8] 程欣. “一带一路”背景下我国贸易便利化水平及发展策略[J]. 中国流通经济, 2016, 30(6): 110-116.
- Cheng Xin. Research on Trade Facilitation and Development Strategy Under the Background of the Belt and Road Initiative[J]. China Business and Market, 2016, 30(6): 110-116.
- [9] 郭竹学. 关于铁路物流运输组织管理创新的研究[J]. 铁道运输与经济, 2015, 37(5): 1-8.
- Guo Zhuxue. Study on Management Innovation of Railway Logistic Transport Organization[J]. Railway Transport and Economy, 2015, 37(5): 1-8.
- [10] 杨卫红. 新时代加快发展铁路集装箱运输的必要性及建议[J]. 综合运输, 2018, 40(5): 34-37.
- Yang Weihong. Necessity and Proposal of Accelerating the Development of Railway Container Transport in Chinese New Era[J]. China Transportation Review, 2018, 40(5): 34-37.
- [11] 柳建波, 熊万红, 王伟龙, 等. 我国铁路多式联运发展对策探讨[J]. 铁道运输与经济, 2017, 39(12): 96-99.
- Liu Jianbo, Xiong Wanhong, Wang Weilong, et al. A Discussion on Multimodal Transportation in China: A Railway-Based Study[J]. Railway Transport and Economy, 2017, 39(12): 96-99.