

站点处非机动车对公交车辆停靠过程影响分析

韩志玲¹, 严亚丹², 王东炜²

(1. 北京工业大学城市交通学院, 北京 100124; 2. 郑州大学土木工程学院, 郑州 450001)

摘要: 以公交停靠站处非机动车对公交车辆停靠过程的交通影响为研究对象, 分析由于非机动车的干扰导致公交车辆进站、停靠、出站延误增加的机理。在停靠时间与上下客数量之间线性模型的基础上, 引入非机动车辆的干扰影响, 分别构建公交停靠站点处的车辆服务时间、停靠时间, 以及单个停靠车位的通行能力计算模型。以郑州市2处公交站点为例, 验证计算模型的可行性与合理性, 并对直线式公交停靠站和准港湾式公交停靠站处, 非机动车干扰影响程度的差异进行了对比分析。计算结果表明: 非机动车对公交停靠的影响是显著的; 直线式公交停靠站点处, 单个停靠车位通行能力降低13%; 准港湾式公交停靠站点处, 单个停靠车位通行能力降低6%。直线式停靠站点处受到的非机动车干扰影响更大; 若考虑人均延误最小原则, 对于直线式公交停靠站而言, 公交车辆的最佳停靠位置为非机动车道宽度的1/3至2/3处。从而为公交停靠站点的设置及运行状况分析提供参考。

关键词: 城市交通; 公交停靠站; 非机动车; 线性模型; 服务时间; 停靠时间

中图分类号: U 491

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2016)07-1077-05

doi: 10.11936/bjgtxb2015070063

Impact Analysis of Non-motor Vehicles on Buses' Stopping Process at Bus Stops

HAN Zhiling¹, YAN Yadan², WANG Dongwei²

(1. College of Metropolitan Transportation, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Centered around the traffic impact of non-motor vehicles on buses at bus stops, the increase of bus delay was analyzed when the buses were approaching and leaving the bus stop and serving passengers. Based on the linear model of dwell time, the number of boarding and alighting passengers, calculation models of service time, dwell time and loading area capacity were proposed by adding the interference of non-motor vehicles. Finally, cases of calculation models at two bus stops in Zhengzhou were provided, and comparative analysis of influence degree of non-motor vehicles at not-bay bus stop and bus bay stop was made. Results show that non-motor vehicles have significant influences on buses. Loading area capacity respectively reduces by 13% and 6% at the not-bay bus stop and bus bay stop. The interference of non-motor vehicles at not-bay bus stops is larger. The best loading area at not-bay bus stops is 1/3 to 2/3 of the width of bicycle lane with the smallest average people delay. The research can provide technical support for the design of bus stops and the operation of buses.

Key words: urban traffic; bus stop; non-motor vehicles; linear model; service time; dwell time

作为常规公交线路的重要节点, 公交停靠站是 实现公交车辆上、下客的区域。在机动车道和非机

收稿日期: 2015-07-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51278468)

作者简介: 韩志玲(1988—), 女, 博士研究生, 主要从事交通运输工程方面的研究, E-mail: hanling222@126.com

动车道之间以交通标线形式分离的道路上,非机动车流和机动车流易形成混合交通流.尤其在公交停靠站点点范围内,使得公交车辆的进、出站以及停靠上、下客过程受到非机动车的干扰影响,导致公交车辆延误的增加.

非机动车相互之间以及对其他交通方式的运行均具有较大影响. Zhang 等^[1]指出,有电动自行车的混合流的速度高于纯自行车流. 贾宁等^[2]采用元胞自动机模拟了考虑摩擦干扰的自行车和机动车混合交通流. 李珊珊^[3]对交叉口处行人、自行车、机动车相互干扰的微观行为进行了建模研究.

公交车辆的停靠运行受到多种因素的共同作用. Tirachini^[4]分析了不同收费方式、车门高度、乘客年龄等因素影响下停靠时间模型. González 等^[5]基于西班牙 2 条公交线路的停靠数据,得出上车乘客人数为停靠时间预测模型的主要相关参数. Meng 等^[6]调研加拿大一个直线式公交停靠站的公交停靠数据,采用概率论方法建立了考虑站点多次开关公交车门情况下,公交停靠时间与开关门次数及上下车乘客人数关系的预测模型. Chen 等^[7]指出,串车使在站停靠时间增加,并通过相关性分析得出,无串车时上下车总乘客数或者其中的较大值起决定性作用,而串车时上车乘客数起决定性作用.

本文侧重于分析停靠站点处非机动车对公交车辆停靠过程的影响.在停靠时间计算模型中,引入非机动车的干扰影响,探讨由于干扰影响导致的停靠站点通行能力的损失,从而为城市道路上公交停靠站点的设置和运行状况评估提供借鉴.

1 停靠站点处非机动车对公交车辆干扰作用机理

沿人行道设置的非港湾式和准港湾式公交停靠站点处,机动车道和非机动车道之间无物理隔离时,大部分非机动车为便于自由超车,紧靠或占用内侧机动车道.公交车辆进站前,非机动车占用公交停靠区域.公交车辆变道减速进站时,行驶在机非分隔线附近的非机动车对公交车辆形成摩擦和阻滞干扰,阻碍公交车辆进站,即进站减速度变小(见图 1);而非机动车流受到进站公交车辆的挤压,车流密度增加,相互间摩擦增大,速度降低,使公交停靠区域清空时间增加.上述过程均导致公交车辆进站延误增加,并使公交车辆进站停靠后,车辆停靠位置无法近距离(在道路断面横向上)靠近站台.公交车辆进站停靠后,非机动车从公交车辆与站台之间穿

行,对乘客造成影响.

公交车辆服务乘客上下车过程中,乘客流与穿行的非机动车流形成冲突点(如图 2 所示),乘客上下车过程的连续性被破坏.非机动车对乘客的影响,降低了乘客上下车的速度,并可能使得乘客在车门或非机动车道上驻足等待,引起乘客服务时间增加,导致公交车辆停靠延误,停靠站通行能力下降.

在出站过程中,行驶在其前方与侧面附近的非机动车对公交车辆形成阻滞干扰与摩擦干扰,使其出站加速度变小(见图 1),导致车辆出站延误增加.

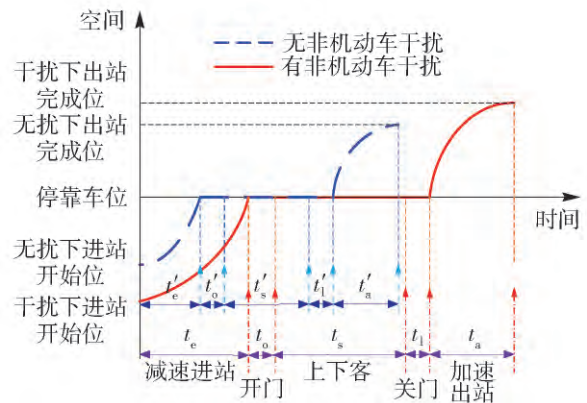


图 1 有非机动车影响的公交车辆进站、停靠、出站过程时空轨迹对比

Fig. 1 Space-time trajectory of buses' stopping process with and without impacts of non-motor vehicles

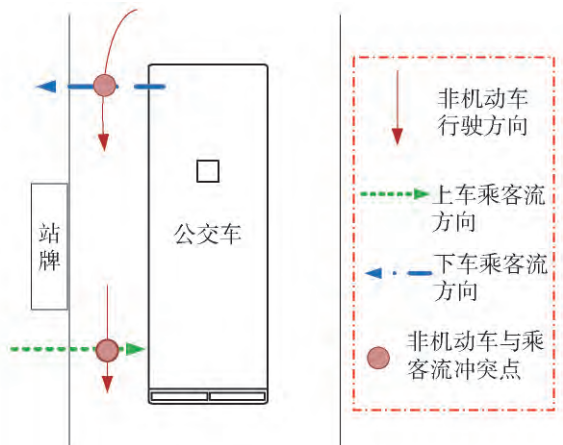


图 2 公交车上、下客过程中非机动车与乘客流冲突

Fig. 2 Boarding and alighting passengers conflict with through non-motor vehicles

站点范围内,非机动车影响下公交车辆进站、停靠、出站 3 阶段时空轨迹如图 1 所示,非机动车的干扰引起公交车辆延误增加.无非机动车影响时,公交车辆匀减速进站 t_c 为减速时间, t_o 为开门时间, t_s 为服务乘客时间, t_f 为关门时间.出站为匀加速过

程 t'_a 为加速时间. 非机动车影响下, 公交车辆进站为匀减速 t'_c 为减速时间 t'_o 为开门时间 t'_s 为服务乘客时间 t'_l 为关门时间. 出站为匀加速过程 t'_a 为加速时间.

2 非机动车影响下公交车辆停靠时间和站点通行能力模型

停靠时间为公交车辆在站点处停靠, 供乘客上下车的时间, 包括公交车开关门时间与服务时间. 假设服务时间与上下车乘客人数呈线性关系, 服务时间模型中考虑非机动车影响时, 为简化计算, 亦假设该干扰影响导致的服务时间增加与其间穿行的非机动车总和呈线性关系, 则非机动车影响下服务时间模型为

$$t_s = \max(P_a, P_b) t_p + N_E \Delta_E \quad (1)$$

式中: t_s 为公交车辆服务时间 s ; P_a 为下车乘客人数; P_b 为上车乘客数; t_p 为每位乘客服务时间 $s/人$; N_E 为服务乘客上下车期间穿行的非机动车数量; Δ_E 为每辆非机动车的影响系数 $s/辆$.

式(1)中第 1 部分为乘客上下车所用的时间; 第 2 部分表示非机动车对服务乘客的影响而导致的公交车辆服务时间增加量.

将公交车辆开关门时间加入服务时间计算模型中, 即得到停靠时间计算模型为

$$t_d = t_r + \max(P_a, P_b) t_p + N_E \Delta_E \quad (2)$$

式中 t_r 为公交车辆开关门时间 s .

平均停靠时间为影响公交停靠站通行能力的重要参数. 美国 TCQSM(2003) 中给出的每小时每个停靠车位的车辆通行能力为^[8]

$$B_1 = \frac{3\,600(g/C)}{t_n + t'_d(g/C) + t_m} = \frac{3\,600(g/C)}{t_c + t'_d(g/C) + Zc_v t'_d} \quad (3)$$

式中: B_1 为停靠车位车辆通行能力, 辆/h; 3 600 为每小时的秒数; g/C 为绿信比 (g 为有效绿灯时间; C 为信号周期时长, 无信号控制的交叉口和公交设施取值为 1.0); t_n 为清空时间 s ; t'_d 为平均停靠时间 s ; t_m 为运行时间裕量 s ; Z 为满足期望进站失败率的标准正态变量; c_v 为停靠时间波动系数.

假设某站点的某停靠位置处, $\max(P_a, P_b)$ 与 N_E 相互独立, 并分别服从参数为 (μ_1, σ_1) 、 (μ_2, σ_2) 的正态分布, t_r, Δ_E 为定值, 由式(2)可知

$$E(t_d) = t_r + \mu_1 t_p + \mu_2 \Delta_E \quad (4)$$

在非机动车影响下, 每小时每个停靠车位车辆通行能力 B_1 为

$$B_1 = \frac{3\,600(g/C)}{t_n + t'_d(g/C) + Zc_v t'_d} =$$

$$\frac{3\,600(g/C)}{t_n + (t_r + \mu_1 t_p + \mu_2 \Delta_E)(g/C) + Zc_v(t_r + \mu_1 t_p + \mu_2 \Delta_E)} \quad (5)$$

由式(5)可知, 公交车辆停靠过程中, 右侧穿行的非机动车数量愈多, 将使得停靠时间延误愈增加, 进而导致每小时每个停靠车位车辆通行能力降低.

3 实例应用

选取郑州市区内河南博物院站(非港湾式公交停靠站)和农业路文化路站(准港湾式公交停靠站)进行实例分析. 早晚高峰时段, 采用摄像机进行视频数据采集, 并通过视频处理软件 Corel Video Studio Pro X5 提取上下客数量、服务时间、停靠时间、车辆开关门时间、非机动车数量等数据.

3.1 服务时间计算

3.1.1 河南博物院站

河南博物院站为直线式公交停靠站. 基于视频提取得到的 98 组有效数据, 对该站点处的公交车辆服务时间与上下客数量、期间穿行的非机动车数量进行回归分析, 得

$$t_s = 1.81 \max(P_a, P_b) + 0.41 N_E \quad (6)$$

判定系数 $R^2 = 0.875$, 统计量的观察值 $F = 392.33$. 因 $F = 392.33 > F(2, 114)_{0.01} = 4.81$, 故式(6)在 $\alpha = 0.01$ 的水平下回归效果显著. 该站点处每位乘客的平均服务时间为 1.81 s, 非机动车影响系数为 0.41 s/辆, 即公交车服务乘客期间每增加 1 辆穿行的非机动车, 乘客服务时间增加 0.41 s.

统计数据显示, 该站点处每辆公交车服务乘客过程中, 平均有 7 辆非机动车从公交车辆与站台间穿行, $\max(P_a, P_b)$ 的平均值为 6 人. 代入式(6)可知, 每辆公交车由于非机动车的干扰, 服务时间平均增加 2.87 s, 即非机动车的干扰影响使得公交车辆的服务时间增加 26.43%.

车辆平均开关门时间为 4.04 s, 得到无非机动车影响时的停靠时间为 14.90 s. 非机动车影响下的停靠时间为 17.77 s. 非机动车的影响导致停靠时间增加 3.68 s, 即比无非机动车影响时增加 24.70%.

取 $g/C = 0.6$, $t_n = 10 s$, $Z = 1.280$, $c_v = 0.6$, $t_r = 4.04 s$. 计算得到非机动车影响下每小时每个停靠车位车辆通行能力为 62.95 辆/h. 无非机动车影响时, 每小时每个停靠车位车辆通行能力 72.25 辆/h, 非机动车的影响使得每小时每个停靠车位通行能力减少 9.3 辆/h, 即每个停靠车位的通行能力降

低 12.87%.

3.1.2 农业路文化路站

农业路文化路站为准港湾式公交停靠站. 基于视频提取得到的 84 组有效数据, 通过回归分析得到该站点处服务时间与上下客数量、穿行的非机动车数量间的关系式为

$$t_s = 1.99\max(P_a, P_b) + 0.23N_E \quad (7)$$

式(7)的 $R^2 = 0.905$ $F = 370.06$ 则 $F = 370.06 > F(2, 80)_{0.01} = 4.92$, 故式(7)在 $\alpha = 0.01$ 的水平下回归效果显著. 每位乘客的平均服务时间为 1.99 s, 非机动车影响系数为 0.23 s/辆, 即乘客上下公交车期间, 每增加 1 辆非机动车从其右侧通行, 乘客服务时间增加 0.23 s.

该站点处公交车停靠期间, 平均有 5 辆非机动车穿行, 每次停靠过程中平均最多有 3 位乘客上车或下车. 由于非机动车的影响, 公交车辆的服务时间增加 1.15 s, 增加比例为 19.26%. 有非机动车和无非机动车影响时的停靠时间分别为 11.16、10.01 s. 该站点处, 非机动车的影响导致公交车辆停靠时间增加 1.15 s, 即 11.49%. 无非机动车影响时每小时每个停靠车位车辆通行能力为 91.16 辆/h; 由于非机动车的影响, 每小时每个停靠车位通行能力减少 5.7 辆/h, 即非机动车的干扰使单个停靠车位通行能力降低 6.22%.

3.2 非机动车干扰影响情况对比

2 个公交停靠站点处, 非机动车的干扰影响情况对比如表 1 所示. 非机动车对公交车服务时间、停靠时间、单个停靠车位通行能力影响显著, 且在非港湾式停靠站处对公交车辆产生的影响更大. 具体表现为: 非港湾式停靠站点处公交车的服务时间、停靠时间、单个停靠车位通行能力变化百分比比较大.

3.3 不同停靠位置下停靠时间及延误分析

公交车辆停靠位置至站台的道路断面横向距离不同, 受到非机动车的干扰程度不同. 距离站台较

表 1 2 个公交停靠站点处非机动车干扰影响情况对比

站点类型	服务时间	停靠时间	单个停靠车
	增加百分比	增加百分比	位通行能力减少百分比
河南博物院站 (直线式)	26.43	24.70	12.87
农业路文化路站 (准港湾式)	19.26	11.49	6.22

近时, 非机动车从中穿行难、速度慢, 乘客受到影响大. 距离较远时, 非机动车穿行顺畅、通过速度快, 但乘客在公交车进站时已在非机动车道上排队等待车辆到达. 公交车辆开门服务乘客时, 上车乘客与非机动车流的冲突减少; 非机动车通过的同时, 下车乘客亦有足够空间实现连续下车. 故非机动车对服务乘客的影响程度随着停靠位置的不同而变化.

将公交车辆停靠位置与站台间的横向距离划分为 3 个等级: 1) 近, 公交车辆占用非机动车道宽度的 2/3 以上, 无可穿行空隙或仅允许单列非机动车勉强穿行; 2) 中, 占用非机动车道宽度方向的 1/3 ~ 2/3, 一列非机动车可顺畅穿行; 3) 远, 占用小于 1/3 宽的非机动车道, 允许几列非机动车同时穿行. 以河南博物院站为例, 分析结果如表 2 所示. 其中: d 为公交车停靠时距离站台的横向距离; W 为公交停靠位所在的非机动车道宽度. 非机动车对公交车辆服务时间的影响程度与公交停靠位置到站台的距离成负相关. 此外, 当非机动车穿越数量大致相等时, 与中等停靠位置相比, 近距离停靠时人均服务时间较大; 而在中等距离和远距离下, 虽非机动车穿越量相差较大, 人均服务时间却相等. 故在不对社会车辆形成较大影响的情况下, 公交车辆停靠时, 横向上可适当离站台稍远些.

表 2 不同公交车辆停靠距离下服务时间模型

Table 2 Equations of service time with different dwell distance

等级	距离范围	占总样本的百分比/%	穿越的非机动车平均数量/辆	$\frac{t_s}{\max(P_a, P_b)}$ / (s/人)	服务时间模型
近	$d > 2/3W$	43.7	5	2.72	$t_s = 1.59\max(P_a, P_b) + 1.03N_E$
中	$2/3W > d > 1/3W$	30.4	6	2.58	$t_s = 1.43\max(P_a, P_b) + 0.81N_E$
远	$1/3W > d > 0$	25.9	12	2.58	$t_s = 1.34\max(P_a, P_b) + 0.46N_E$

然而,考虑到公交车辆停靠位置对机动车道上社会车辆的交通影响,对出行者总体出行延误而言,公交停靠位置距离站台并非越远越合理。停靠距离较远时,可能导致小汽车的延误增加。为确定公交车辆距离站台的合理停靠位置,可根据人均延误最小的原则进行计算。人均延误计算公式为

$$D = \frac{D_b + D_c}{P_b + P_c} = \frac{Q_b \alpha_b d_b + Q_c \alpha_c d_c}{Q_b \alpha_b + Q_c \alpha_c} \quad (8)$$

式中: D 为人均延误; D_b 为站点范围内公交乘客延误; D_c 为站点范围内社会车辆出行者延误; P_b 为公交车载客人数; P_c 为社会车辆载客人数; Q_b 为公交车流量; Q_c 为外侧机动车道社会车流量; α_b 为每辆公交车载客人数; α_c 为每辆社会车辆载客人数; d_b 为每辆公交车延误均值; d_c 为每辆社会车辆延误均值。

采用仿真软件 VISSIM 对公交车辆的停靠运行进行模拟,仿真时间为 600 s,获取站点范围内所有机动车辆的延误。改变公交停靠位置与站台的距离,得到不同情景下公交车辆与小汽车的延误。公交车辆的停靠延误为仿真输出的延误值与停靠时间的总和。仿真结果显示,公交车辆停靠位置至站台距离等级为近、中、远时,对应的人均延误分别是 8.41、8.28、8.71 s。基于人均延误最小的停靠位置为中等距离,即非机动车道宽度的 1/3 ~ 2/3 处为最佳停靠距离。该情况下,非机动车对公交车辆产生的干扰影响和公交车停靠导致的社会车辆的延误达到了某种程度的均衡。

4 结论

本文以公交停靠站点处,非机动车对公交车辆停靠过程的影响分析为研究对象,采用时空轨迹图分析了非机动车导致公交车辆停靠延误的形成机理。构建了考虑非机动车干扰影响的停靠站点处公交车辆服务时间、停靠时间计算模型,并推导出单个停靠车位通行能力计算模型,从而为公交时刻表的制定提供理论参考。郑州市 2 处公交停靠站的案例分析表明,非机动车对公交停靠的影响是显著的;直线式公交停靠站点处较准港湾式公交停靠站点处的影响更大;并对比分析了不同停靠位置情况下非机动车对公交车辆的影响程度,从而为公交停靠站点的设置及运行状况分析提供基础支撑。

对一块板式城市道路上的公交停靠站点进行设

计或者改迁时,非机动车交通量较大,且由于用地限制难以设置港湾式停靠站时,尽量考虑将公交停靠站设计成准港湾式。当人行道或非机动车道宽度允许时,可适当压缩人行道或非机动车道,将非港湾式公交停靠站改设为准港湾式,以减少非机动车对公交车停靠、运行的影响。

参考文献:

- [1] ZHANG S, REN G, YANG R. Simulation model of speed-density characteristics for mixed bicycle flow: comparison between cellular automata model and gas dynamics model [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2013, 392(20): 5110-5118.
- [2] 贾宁,马寿峰. 考虑摩擦干扰的机非混合交通流元胞自动机仿真[J]. *系统仿真学报*, 2011, 23(2): 390-393.
JIA N, MA S F. Simulation of mixed traffic flow with friction interference using cellular automata [J]. *Journal of System Simulation*, 2011, 23(2): 390-393. (in Chinese)
- [3] 李珊珊. 平交路口机动车自行车行人及其相互干扰微观行为模型研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
LI S S. Research on the microscopic behavior models of vehicle, bicycle, pedestrian, and their interactive interferences at the signalized plane intersection [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2013. (in Chinese)
- [4] TIRACHINI A. Bus dwell time: the effect of different fare collection systems bus floor level and age of passengers [J]. *Transportmetrica A: Transport Science*, 2013, 9(1): 28-49.
- [5] GONZÁLEZ E M, ROMANA M G, ÁLVARO O M. Bus dwell-time model of main urban route stops [J]. *Transportation Research Record*, 2012(2274): 126-134.
- [6] MENG Q, QU X. Bus dwell time estimation at bus bays: a probabilistic approach [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2013, 36: 61-71.
- [7] CHEN X, FANG X, LIN B. The research on the interaction between mopeds and bicycles using cellular automata method [J]. *Sensors and Transducers*, 2013, 161(12): 493-499.
- [8] Kittelson & Associates Inc, KFH Group Int, Parsons Brinckerhoff Quade & Donglass, Inc, et al. Transit capacity and quality of service manual [M]. 2nd ed. Washington D C: Transportation Research Board, 2003: 245-260.

(责任编辑 郑筱梅)