

文章编号: 1002-0268 (2009) 04-0128-05

综合客运枢纽车道边通行能力分析

李旭宏, 唐怀海, 吴 炼, 朱彦东
(东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 基于对南京火车站车道边出租车流、社会车流的调查, 通过分析车道边交通流特性, 运用交通流理论建立一定条件下的车道边通行能力计算方法。提出了车道边基本通行能力的定义, 分析调查数据获得车辆落客时间的统计分布规律, 运用可接受间隙理论计算车辆汇入等待时间, 完成对车辆占用停车位时间的调整; 接着考虑停车及入口选择行为的影响, 对车道边通行能力计算公式进行修正, 并将其应用于郑州市综合客运交通枢纽车道边的规划设计。结果表明, 当枢纽车道边到达车流服从泊松分布时, 方法能够有效定量的计算综合客运枢纽车道边的通行能力。

关键词: 交通工程; 车道边通行能力; 交通流理论; 综合客运枢纽

中图分类号: U491.1⁺14

文献标识码: A

Study on Curbside Capacity of Comprehensive Passenger Transportation Terminal

LI Xuhong, TANG Huaihai, WU Lian, ZHU Yandong
(School of Transportation, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096 China)

Abstract: Based on the survey of taxi flow and social vehicle flow in curbside of Nanjing railway station and by analyzing feature of curbside traffic flow, the calculation method of curbside capacity under some condition was constructed with help of traffic flow theory. The definition of curbside basic capacity was proposed, and statistical distribution of the drop-off time of vehicles was obtained by analyzing the investigated data. Furthermore, gap acceptance theory was applied to calculate the time that vehicle used to get into outer lane, then the adjustment on the time of vehicle occupying parking space was completed. With consideration of the influence of parking and entrance choice behaviors, the constructed capacity calculation formula was revised. At last, the proposed method was applied in the planning and designing of Zhengzhou comprehensive passenger transportation terminal curbside. The result shows that method is effective when the arrived vehicle flow obeys Poisson distribution.

Key words: traffic engineering; curbside capacity; traffic flow theory; comprehensive transportation terminal

0 引言

建设综合化一体化的客运交通枢纽成为城市综合客运交通体系的发展趋势。通过高架桥将客运枢纽站房与外围快速路系统有机衔接, 实现枢纽客流快速的集散, 为国内外许多综合客运枢纽所采用。在高架桥与枢纽站房的结合部, 到达或出发客流上下车进出枢纽站房的区域通常称为车道边, 是枢纽交通运行的重要组成部分。车道边的规模及交通组织直接关系到枢纽交通运行的效率, 而车道边规模的确定在很大程度上

上取决于对车道边道路通行能力的正确分析。国外学者对机场航站楼路边的通行能力研究较多, 考虑两者的相似性可以借鉴相关方法与结论。国内同济大学的余朝玮等运用仿真软件 (vissim) 对上海虹桥综合交通枢纽车道边的集散效果进行了评价^[1], 笔者试图在深入分析枢纽车道边交通流特性的基础上, 运用交通流理论提出适用于车道边通行能力的计算方法。

1 车道边交通流特性分析

车道边是枢纽所特有的一种交通设施, 是为实现

收稿日期: 2008-03-07

作者简介: 李旭宏 (1963—), 男, 四川自贡人, 教授, 博士生导师, 从事交通规划及区域物流研究. (lixuhong@263.net)
©1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

进出站人流与车流转换而集中设置的车辆上客、落客区域。综合客运枢纽通常采用进站客流与出站客流分离的规划思路, 相应地车道边也就分出发车道边与到达车道边, 本文将主要对出发车道边进行分析。除走错方向的车辆外, 可以认为驶入车道边的车辆都有停车落客的需求, 在停车-落客-驶离过程中车辆需完成加速、减速及变换车道等操作。在车道边长度范围内, 一侧式停车位的设置使得刚到达的车流与完成落客而离去的车流交织运行, 车辆之间的相互影响增加, 行驶缓慢; 当因一股行车道不能满足需求而设置多股行车道时, 外侧行车道下车的进站客流与内侧(靠近站房)的车流之间产生冲突, 也使车辆行驶速度较低, 一般不超过 25 km/h。车辆的交织冲突, 车辆与行人的冲突的增多, 使得要完成落客的车辆在车道边的延误增加, 车流的离去率小于车流的到达率, 导致车道边通行能力下降。若把车道边区域看作一个漏斗, 则出水的速度小于进水的速度, 势必造成水的外溢, 在车道边则将形成交通拥堵。双车道与四车道车道边示意图见图 1、图 2。

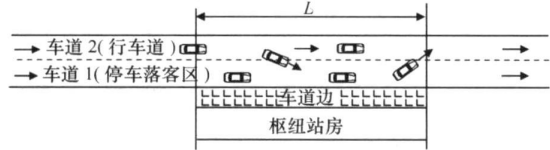


图 1 双车道车道边示意图

Fig 1 Layout of curbside with two lanes

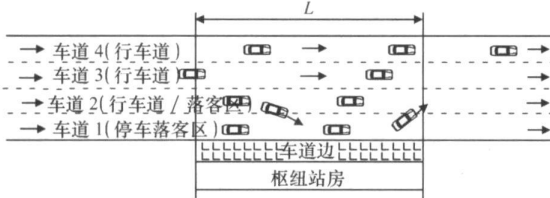


图 2 四车道车道边示意图

Fig 2 Layout of curbside with four lanes

2 车道边通行能力计算

车道边道路通行能力与一般道路通行能力有所不同, 到达车道边的车辆都有停车落客的需求, 这一过程决定了车道边道路的通行能力主要取决于车辆停车落客时间的长短, 因此不单独考虑落客区与外侧行车道的通行能力, 而将外侧行车道与内侧停车落客区视为一体, 计算车道边的通行能力。本文主要研究车道边一股道包含两个行车道一个落客区, 车辆不允许在落客区外侧的行车道停车落客的情况。由于车道边的落客区通常会通过交通标志标线对停车位进行施划,

固定其位置, 这里提出车道边车位通行能力的定义, 即为单位时间车道边一个停车位内完成落客的最大车辆数^[2], 记为 c 。

$$c=\frac{3\,600}{T}, \tag{1}$$

其中, T 为落客车辆占用停车位的时间; 若车道边的落客区共布设 N 个停车位, 且各停车位相互独立, 则车道边的基本通行能力 C 为:

$$C=Nc. \tag{2}$$

落客车辆占用停车位的时间可以认为包括驶入停车位时间 T_{hr} , 落客时间 T_k 及汇入外侧行车道等待时间 T_{dd} 三个部分。落客车辆从外侧行车道分流驶入停车位的时间相对落客时间及汇入外侧行车道等待时间较小, 在这里予以忽略, 则有:

$$T=T_k+T_{dd}, \tag{3}$$

其中, T_k 为自车辆进入车位停车至完成落客启动车辆准备离开的时间; T_{dd} 为自车辆启动准备离开至完全汇入外侧行车道的等待时间。

乘出租车或社会车辆到达枢纽车道边的乘客下车时, 需完成付钱、司机找零、下车、后备箱拿行李、开关门等动作过程, 由于此过程中受多种因素影响, 不同的乘客与司机会有不同的情况发生, 故可以认为停车落客所消耗的时间是随机的, 即 T_k 是随机变量; 另外, 除落客区端头停车位的车辆外, 所有完成落客的车辆一般情况下均须变换车道, 从停车位汇入外侧行车道离开车道边。这里将在车道边端头完成落客的车辆忽略(到文章后面会发现这一数量较小), 即认为所有的车辆均须汇入外侧行车道离开。完成落客的车辆要汇入外侧行车道, 就要等可以汇入的外侧车道车流间隙, 鉴于外侧行车道车头时距的随机性, T_{dd} 亦是随机变量。虽然落客过程与等待汇入过程在时间上具有连续性, 但却由于影响因素的不同而可以看作是两个相互独立的两个阶段, 也即 T_k 、 T_{dd} 两个变量是相互独立的。由(3)式可知, T 也是随机变量, 根据概率统计理论可知在计算中可以采用随机变量的期望值。由此(2)式变为:

$$C=N\frac{3\,600}{E(T_k)+E(T_{dd})}. \tag{4}$$

2.1 落客时间 T_k

由公式(4)可知, 要确定车道边的基本通行能力则需先求出 T_k 、 T_{dd} 的期望值。车辆落客时间是受多种因素影响的随机变量, 但较容易通过调查获得。以车辆进入停车位停车与车辆完成落客再次启动为观察计时点, 随机地抽取南京火车站出发车道边落客区的

180 辆出租及社会车辆进行落客时间的调查, 整理调查数据并进行落客时间分布函数的 χ^2 检验^[3]。整理分析结果见表 1 和图 3; 调查落客时间最大值为 75 s, 最小值为 12 s, 均值 37.2 s, 方差 13.25。

表 1 南京火车站出租、社会车落客时间

Tab. 1 Drop-off time of taxi flow and social vehicle flow in Nanjing railway station

分组	频数	概率	分组	频数	概率
0~15.5	7	0.0505	40.5~45.5	19	0.1363
15.5~20.5	11	0.0516	45.5~50.5	15	0.1081
20.5~25.5	21	0.0820	50.5~55.5	11	0.0795
25.5~30.5	23	0.1106	55.5~60.5	9	0.0493
30.5~35.5	30	0.1379	60.5~65.5	5	0.0268
35.5~40.5	25	0.1467	65.5~∞	5	0.0082

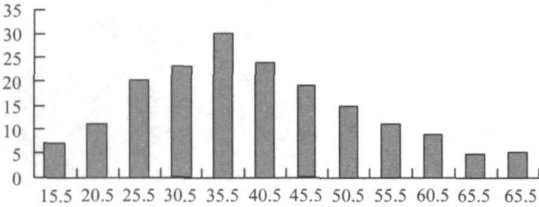


图 3 落客时间频数直方图

Fig. 3 Frequency histogram of drop-off time

给定显著性水平 $\alpha=0.05$, 自由度为 $12-2-1=9$, $\chi^2=5.93<16.919$, 通过分析检验得出结论: 车辆落客时间 T_k 近似服从正态分布。

2.2 汇入等待时间 T_{dd}

车辆完成落客后启动离开停车位时, 可以选择沿车道边落客区直行, 或汇入外侧行车道。因为车道边各车道具有明显的层流现象, 即外侧行车道的车流速度大于内侧(靠近落客区)车道的速度。车辆为避免前方落客区落客车辆的干扰, 在离开时总是希望汇入外侧行车道尽快驶离车道边。在汇入外侧行车道时, 与外侧行车道车流侧向摩擦、合流, 与无信号交叉口情形相似, 对汇入等待时间的研究可以借鉴无信号交叉口通行能力相关理论^[4-8]。假设外侧行车道车流基本不受落客车辆汇入行为的影响, 类似主路车流; 完成落客离开的车辆利用外侧行车道车流间隙(车头时距)汇入, 当外侧车流的车流间隙小于可接受间隙时, 车辆需等待直至大于等于可接受间隙的时距出现; 另外, 对于每一到达车道边停车落客的车辆, 忽略其入位停车引起的外侧车道交通量变化; 同时将外侧两行车道交通流视为一股, 假设到达服从泊松分布, 到达率为 λ 辆/s, 车头时距为 h , 可接受间隙为 t_c , 则外侧行车道车头时距大于可接受间隙的概率为:

$$p(h \geq t_c) = e^{-\lambda t_c} \tag{5}$$

若以 K 表示落客车辆汇入外侧行车道需等待的车辆数, 则 K 为一个离散变量, 其取值为 $0, 1, 2, \dots, n, \dots$ 。若汇入车辆等待的车辆数为 0, 即车辆启动就可汇入, 此时外侧行车道车头时距大于 t_c , 概率为 $e^{-\lambda t_c}$; 等待的车辆数为 1, 则表示第 1 个车头时距小于 t_c 而第 2 个车头时距大于 t_c ; 根据泊松流的无后效性, 外侧行车道车辆的车头时距也具有独立性, 则其概率为 $(1 - e^{-\lambda t_c}) e^{-\lambda t_c}$; 等待车辆数为 2 的概率为 $(1 - e^{-\lambda t_c})^2 e^{-\lambda t_c}$, 依次类推, 等待 n 辆车的概率为 $(1 - e^{-\lambda t_c})^n e^{-\lambda t_c}$ 。由此 K 的期望值为:

$$E(K) = \sum_{k=0}^{+\infty} k \cdot (1 - e^{-\lambda t_c})^k \cdot e^{-\lambda t_c} = \frac{1 - e^{-\lambda t_c}}{e^{-\lambda t_c}} \tag{6}$$

汇入 T_{dd} 等待时间等于等待车辆数与到达率 λ 的比值, 则其期望值由下式计算:

$$E(T_{dd}) = \frac{E(K)}{\lambda} = \frac{1 - e^{-\lambda t_c}}{\lambda e^{-\lambda t_c}} \tag{7}$$

3 停车及入口选择行为对基本通行能力的修正

3.1 停车选择行为修正

至此, 在上述分析中始终认为所有停车位的利用率都是相同的, 即认为车道边各停车位对驾驶员的效用是相同的, 没有考虑驾驶员的停车偏好, 而这与调查的实际情况并不相符。调查发现, 不同停车位因为距离站房入口的远近不同其被利用程度也不同。距离站房入口近的停车车位, 由于乘客下车后的步行距离较短单位时间内(1 d)停靠的车辆多, 利用率高; 距离入口较远的车位, 由于乘客下车后步行距离较远而利用率低。当乘客携带较多行李物品或者雨雪天气时, 这一因素的作用就更加明显, 导致车道边的实际有效的停车位小于提供总停车位, 因此计算车道边通行能力时, 需对停车位进行一定的折减才更加符合实际的情况。停车位编号反站房入口序号见图 4 所示。

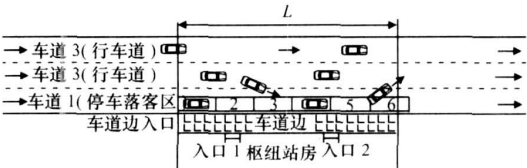


图 4 停车位及入口序号

Fig. 4 Serial numbers of parking spaces and entrances

Parizi, Braaksma 等通过对美国几个机场航站楼路边的调查得出交通量在路边各停车位的分布服从二项分布, 具体如下式所示:

$f_x = C_n p^x (1-p)^{n-x}, x=0, 1, 2, 3, \cdots, n-1, \quad (8)$

其中, f_x 为车道边落客区第 x 个停车位所承担的车道边交通量百分比; x 为从车道边入口处编排的停车位的序号; n 为车道边落客区停车位的总数; p 为站厅入口距车道边入口的长度与车道边总长度比值。

3.2 入口选择行为修正

同理, 枢纽站房在车道边范围内的入口可能不仅有一个, 经调查发现, 距离车道边入口较近的站房入口附近停靠的车辆较稍远的入口要多, 因为驾驶员们不知道前方的车位占有情况, 驾驶员总是倾向于在其发现的第 1 个空位停车; 乘客总是也希望在步行距离较近的入口位置下车, 总之不同的站厅入口对乘客的效用不同。Parizi 等分析认为站厅各入口客流量的分布服从改进的二项分布:

$$w_y = C_k q^y (1-q)^{k-y} + \frac{(1-q)^k}{k}, y=1, 2, 3, \cdots, k, \quad (9)$$

其中, w_y 为第 y 个站厅入口停靠量占车道边交通量的比例; y 为从车道边入口开始编排的站房入口序号; k 为站房入口的总数; q 为第 1 入口相对所有入口总数的位置, $q=1/k$ 。

综合上述, 可计算得出各车位所承担的比例 G_x , 假定每一车位分担比例不能小于某一最小值 $\theta(1\%, 2\%)$, 由此得到车道边有效停车位(分担比例大于 θ)个数:

$$G_x = f_x \circ w_y \geq \theta, \quad (10)$$

综合上述各式可以得到车道边通行能力计算公式:

$$C = N_E \frac{3\,600}{E(T_{lk}) + \frac{1 - e^{-\lambda t_c}}{\lambda e^{-\lambda t_c}}}, \quad (11)$$

其中, N_E 为 $G_x \geq Q$ 车位数。

4 实例应用

郑州综合交通枢纽位于郑州市郑东新区, 规划建设北京—广州和徐州—兰州 2 条高速铁路客运专线在此交汇, 是集高速铁路、公路长途客运, 城市轨道交通, 常规公交, 出租于一体的综合化交通枢纽。枢纽站房采用上进下出交通流线组织, 铁路线在高架 1 层, 候车厅设在高架 2 层, 高架桥架至 2 层, 高架车道边利用枢纽站房东西向落客。

由于枢纽地区交通规划与枢纽站房的规划设计不是由同一家设计单位承担, 车道边规划设计受站房条件的约束。车道边总长度 200 m, 站房设有 2 个进站大厅入口。由上述公式 (8)、(9)、(10) 可知, 对于

长度一定的车道边, 其站房入口的位置及个数将决定着枢纽车道边落客区停车位的有效率, 国外已有学者进行相关研究, 具体见参考文献 [9]。对于郑州枢纽采用相关程序计算得到站房入口相对于车道边入口的位置分别为 $(0.15L, 0.64L)$ 。出租、社会车辆车道边一股道包含 2 个行车道, 1 个落客区, 落客区采用一侧平行式停靠, 停车位平行于行车方向的宽度取 8 m; 垂直方向宽度 $2.5\text{ m}^{[10]}$, 每条行车道宽 3.5 m。

根据《郑州市综合交通枢纽核心区综合交通规划》预测结果^[11], 南北两侧高架高峰小时交通吸引量如表 2 所示。

表 2 郑州综合交通枢纽出发车道边高峰小时交通吸引量 (单位: 辆/h)

Tab 2 Departure curbside peak hour traffic demand of Zhengzhou comprehensive transport junction (unit: veh/h)			
车道边位置	车种	2020 年	2030 年
		交通需求	交通需求
北侧	出租、社会车	1 029	1 609
南侧	出租、社会车	1 161	1 815

以 2030 年出租、社会车交通需求量为车道边规划设计交通量。2030 年南侧高架车道边高峰小时小车需求量为 1 815 辆/h, 可接受间隙 t_c 取 7 s。当车道边仅布置一股道时, $\lambda = Q/600 = 0.5$ 辆/s。考虑地区因素对落客时间的影响并不明显, 在规划设计郑州枢纽车道边时引用南京火车站的调查样本数据。假定各有效停车位的最小分配量为 1%, 通过 2 个入口分配计算得有效停车位为 18 个 (总共 25 个), 则:

$$C = N_E c = 630 \text{ 辆/h},$$

$C = 630 \text{ 辆/h} < 1\,815 \text{ 辆/h}$, 显然不能满足需求。由于站房条件限制不可增加车道边长度, 那么需考虑设置多股出租车、社会车道。

当车道边布置两股出租、社会车道时, 若两股道平均分配交通需求, 每股道交通需求为 908 辆/h, $\lambda = 0.252$ 辆/s。则:

$$C = 2N_E c = 2\,268 \text{ 辆/h},$$

以饱和度作为评价指标: $s = \frac{1\,815}{2\,268} = 0.8$, 远期服务水平较好。

5 结束语

本文根据对南京火车站车道边的实地调查分析, 得到出租、社会车辆落客时间服从正态分布的结论, 运用交通流理论, 借鉴国内外相关成果, 提出了一定条件下的车道边通行能力计算方法, 并以郑州综合客

运枢纽车道边规划设计为例对模型予以了验证。本文对车道边通行能力的分析是通过对比汇入车流与行车道车流及各停车位车位间作用机理的一些假设,将车道边交通流运行过程进行了一定的简化,并未能完全反映车道边系统特征,有待于进一步研究。

参考文献:

References:

- [1] 余朝玮, 柳伍生, 晏克非. 虹桥综合客运枢纽车道边规模论证与仿真评价[J]. 交通与运输, 2007 (7): 45—48.
YU Chaowei, LIU Wusheng, YAN Kefei The Fit Size Demonstration and Simulation Estimate for the Curbside of Hongqiao General Transportation Terminal [J]. Traffic and Transportation, 2007 (7): 45—48.
- [2] 王伟, 过秀成. 交通工程学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2000.
WANG Wei, GUO Xiucheng Traffic Engineering [M]. Nanjing: Southeast University Press, 2000.
- [3] 唐鸿岭, 张元林, 陈浩球. 应用概率[M]. 南京: 南京工学院出版社, 1988.
TANG Hongling, ZHANG Yuanlin, CHEN Haoqiu Application of Probability [M]. Nanjing: Nanjing Institute of Technology Press, 1988.
- [4] 陈宽民, 严宝杰. 道路通行能力分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
CHEN Kuanmin, YAN Baojie Analysis of Road Traffic Capacity [M]. Beijing: China Communications Press, 2003.
- [5] TRB Highway Capacity Manual [M]. TRB National Research Council, 2000.
- [6] 赵月, 杜文. 公交站点设置对道路通行能力的影响分析[J]. 公路交通科技, 2007, 24 (8): 136—139.
ZHAO Yue, DU Wen Study on Effect of Bus-stop on Capacity of Road Section [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (8): 136—139.
- [7] 梁军, 李旭宏, 于洪军, 等. 路边停车对路段交通流的影响研究[J]. 公路交通科技, 2003, 20 (2): 86—95.
LIANG Jun, LI Xuhong, YU Hongjun, et al Study on Road Traffic Delay Caused by Roadside Parking [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20 (2): 86—95.
- [8] 曾小明, 李朝辉, 罗旗帜, 等. 路上停车对道路通行能力的影响分析[J]. 中南公路工程, 2003, 28 (2): 58—67.
ZENG Xiaoming, LI Chaohui, LUO Qizhi, et al Analysis of Influence of Stall on Road Capacity [J]. Central South Highway Engineering, 2003, 28 (2): 58—67.
- [9] PARIZI M S, BRAAKSMA J P. Optimum Design of Airport Enplaning Curbside Areas [J]. Journal of Transportation Engineering, 1994, 120 (4): 536—551.
- [10] 中华人民共和国建设部. JGJ 100-98 汽车库建筑设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
P. R China Ministry of Construction JGJ100-98 Design Code for Garage [S]. Beijing: China Communications Press, 1998.
- [11] 东南大学. 郑州综合交通枢纽核心区综合交通规划[R]. 南京: 东南大学, 2007.
Southeast University. Zhengzhou General Transportation Terminal Core Area Comprehensive Transportation Planning [R]. Nanjing: Southeast University, 2007.
- [7] 彭鹏菲, 刘忠, 张建强. 基于评价指标模糊集的复杂系统效能评估方法研究[J]. 指挥控制与仿真, 2007, 29 (3): 58—61.
PENG Pengfei, LIU Zhong, ZHANG Jianqiang Effectiveness Evaluation Method for Complicated System Based on Fuzzy Set of Evaluation Index [J]. Command Control & Simulation, 2007, 29 (3): 58—61.
- [8] 肖龙, 戴宗坤. 信息系统风险的多层模糊综合评判模型[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2004, 36 (5): 98—101.
XIAO Long, DAI Zongkun Model of Multilevel Fuzzy Comprehensive Risk Evaluation of Information System [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, 2004, 36 (5): 98—102.
- [9] 黄广龙, 余忠华, 吴昭同. 基于证据推理与粗集理论的主客观评价方法[J]. 中国机械工程, 2001, 12 (8): 930—934.
HUANG Guanglong, YU Zhonghua, WU Zhaotong A Method of Comprehensive Evaluation with Subjective and Objective Information Based on Evidential Reasoning and Rough Set Theory [J]. China Mechanical Engineering, 2001, 12 (8): 930—934.
- [10] 郭捷, 胡美新. 改进的项目风险模糊评价研究[J]. 工业工程, 2007, 10 (3): 86—90.
GUO Jie, HU Meixin The Improvement on Project Risk Fuzzy Evaluation [J]. Industrial Engineering Journal, 2007, 10 (3): 86—90.