

# 城市公交中途站合理规模研究

A Study on Reasonable Size of Urban Bus Stops

张晓达<sup>1</sup>, 景 啸<sup>2</sup>

(1.武汉市城市规划设计研究院,湖北 武汉 430070;2.华中科技大学土木工程与力学学院,湖北 武汉 430074)

ZHANG Xiao-da<sup>1</sup>, JING Xiao<sup>2</sup>

(1.Wuhan Planning & Design Institute, Wuhan Hubei 430070, China; 2.School of Civil Engineering and Mechanics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430074, China)

**摘要:** 泊位数与可容纳公交线路数的确定是公交中途站优化设计的重要部分,但国内外相关研究还不成熟。根据武汉市实际交通状况,改进了排队论计算模型,提出确定公交中途站泊位数与可容纳线路数关系的计算方法。以武汉市调查数据为基础,对可超越前车进出站和依次进出站两种情况的可容纳线路数进行计算,建议可超越前车进出站时,泊位数不超过4个,可容纳线路数为17~20条;依次进出站时,直线式中途站泊位数不超过3个,可容纳线路数为9~11条,港湾式中途站泊位数不超过4个,可容纳线路数为13~16条。

**Abstract:** Treated as key components of bus stops optimization design, existing researches about the number of parking space and parking capacity for bus lines at a bus stop in China still need further study. In light of existing transportation conditions in Wuhan, this paper, through improving queuing theory models, presents the computational method to determine the relation between the number of parking space and parking capacity for bus lines. In the case that following vehicle passing leading vehicle in/out bus stop is permitted and not permitted, the paper respectively calculates the parking capacity for bus lines, based on survey data in Wuhan. The paper concludes with suggestions for bus stops: in former case, no more than 4 parking spaces with parking capacity of 17 - 20 bus lines; while in latter case, no more than 3 parking spaces for common bus stops with 9 - 11 bus lines, and the suggestion for bay-style bus stops is 4 parking spaces and 13 - 16 bus lines.

**关键词:** 交通工程; 公共交通; 中途站; 排队论; 泊位数; 可容纳线路数  
**Keywords:** traffic engineering; public transportation; bus stops; queuing theory; the number of parking space; parking capacity for bus lines

中图分类号: U492.1+1 文献标识码: A

收稿日期: 2009 - 06 - 16

作者简介: 张晓达(1969—), 男, 湖北罗田人, 硕士, 副院长, 高级工程师, 主要研究方向: 城市交通系统规划与设计。

E-mail: zhangxd1010@yahoo.com.cn

公交中途站是城市公交线网中的重要节点,是公共汽车停靠的重要设施<sup>[1-2]</sup>。中途站规模包括泊位数、可容纳公交线路数等,规模大小直接关系到中途站服务水平以及对道路交通的影响。若泊位数较少,公交车辆高峰期间集中到达时,车辆排队和停在站外的情况将非常普遍,会影响相邻道路的交通;若泊位数较多,会造成站台区域过长,乘客不易确定车辆停靠的确切位置,且浪费道路空间。为此,需要研究合理的公交中途站规模,提供合理的停靠能力以满足停靠需求。我国现行的多线路公交中途站的通行能力计算方法以及对泊位数与可容纳线路数的关系确定还不完善,本文根据已有研究方法<sup>[3-5]</sup>进行更新改进。

## 1 研究方法

### 1.1 基础理论

公交车辆到站服从泊松分布,在多泊位情况下,假设前后车辆服务时间服从负指数分布,可近似认为公交车站与到达车流构成了“单路排队多通道服务系统”(M/M/N)。

采用排队论模型检验现状车站泊位数是否符合要求, 同时得到不同设计泊位数及停留时间条件下的可容纳线路数。

根据排队论可知, 公交中途站无车辆停靠的概率

$$P(0) = \left[ \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^N}{(1-\rho/N) \cdot N!} \right]^{-1}, \quad (1)$$

中途站有  $k$  辆公交车辆的概率

$$\begin{cases} P(k) = \frac{\rho^k}{k!} P(0) & (k < N) \\ P(k) = \frac{\rho^k}{N! N^{k-N}} P(0) & (k \geq N) \end{cases}, \quad (2)$$

中途站的平均车辆数

$$\bar{n} = \rho + \frac{P(0)\rho^{N+1}}{N!N(1-\rho/N)^2}, \quad (3)$$

式中:  $k$  为排队车辆数/辆;  $N$  为公共汽车泊位数/个;  $\rho$  为服务强度或利用系数,  $\rho = \lambda / \mu_e$ , 其中,  $\lambda$  为公交车辆总到达率/(辆·h<sup>-1</sup>),  $\mu_e$  为中途站有效服务率/(辆·h<sup>-1</sup>), 即单位时间内一个停车泊位实际可服务的平均车辆数。

若  $\rho / N < 1$ , 表示系统是稳定的, 到站的公交车辆能够逐步消散, 反之, 等候进站的公交车辆排队长度会越来越长。因此, 确保系统正常工作的条件是  $\rho / N < 1$ , 即  $N > \lambda / \mu_e$ 。

### 1.2 有效服务率确定方法

公交车辆进出站时间由减速进站时间、乘客上下车时间与加速离站时间组成。通常情况下, 多泊位车站平均每泊位的服务率要低于只有一个泊位的车站的服务率, 因此, 对不同类型的中途站有效服务率应取不同值。同时, 信号控制交叉口附近的公交中途站, 其有效服务率还会受信号控制的影响。因此, 影响有效服务率的参数包括泊位有效利用率、公交车辆停靠时间、有效绿信比等。中途站有效服务率<sup>[6]</sup>

$$\mu_e = \frac{3600(g/c)E_N R}{t_c + t_d(g/c)}, \quad (4)$$

式中:  $g/c$  为有效绿信比, 无信号影响时取 1;  $E_N$  为多泊位中途站每泊位的平均有效率, 即有效泊位数与实际泊位数的比值;  $R$  为停靠时间和到达时间波动的折减因子, 反映车辆停靠时间与进站时间的变化程度对中途站容量的影响, 车辆到站

与停靠时间越均匀, 其值越大, 据美国经验, 其值最大不超过 0.833, 这里取 0.833;  $t_c$  为消散时间/s, 其值为前车开始离站到下一车辆进站到达同一位置所需的最短时间;  $t_d$  为乘客上下车时间/s。

### 1.3 泊位数确定方法

1) 各线路公交车辆到达率  $\lambda_i$  取该线路发车频率  $f_i$  的倒数, 中途站公交车辆总到达率  $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ , 为简化计算, 取总到达率  $\lambda = m\bar{\lambda}$ , 其中  $m$  为车站可容纳的总线路数,  $\bar{\lambda}$  为各线路的平均发车频率;

2) 计算  $\rho$  值, 为保证系统稳定, 中途站初始泊位数  $N$  取大于  $\rho$  的整数;

3) 根据式(1)和式(3), 计算泊位数为  $N_i (i \geq 0)$  时中途站的平均车辆数  $\bar{n}_i$ ;

4) 根据式(2), 计算到达车辆数大于停车泊位数的概率  $P(k > N)$ ;

5) 判断是否满足  $\bar{n}_i \leq N$  且  $P(k > N) < \theta$ ,  $\theta$  为中途站允许出现站外停车的概率, 通常取 5%~10%。若满足则计算结束, 此时的  $N_i$  为该中途站的设计泊位数; 若不满足, 则  $N_{i+1} = N_i + 1$ , 返回步骤 3) 循环计算, 直到满足为止。

### 1.4 可容纳线路数确定方法

1) 根据式(1)和式(3), 计算中途站可容纳线路数为  $m_i (i \geq 0)$  时的平均车辆数  $\bar{n}_i$ , 初始值  $m_0$  取 1;

2) 根据式(2), 计算概率  $P(k > N)$ ;

3) 判断是否满足  $\bar{n}_i \leq N$  且  $P(k > N) < \theta$ , 若满足则返回步骤 1) 重新计算,  $m_{i+1} = m_i + 1$ ; 若不满足, 此时的  $m_i$  减 1 为该中途站的设计可容纳线路数。

## 2 参数调查

### 2.1 调查概况

计算公交中途站合理规模, 必须获得公交车辆到达率、停靠时间、乘客上下车时间、消散时间等参数。对武汉市多线路、多泊位、不同类型、代表性强的中途站进行调查, 时间为星期五晚高峰时段 16:30—19:30, 调查内容包括公交车辆到达率和中途站服务时间。

## 2.2 数据分析

### 1) 公交车辆到达率。

取鲁巷广场站每分钟到达车辆数的调查数据,  $\chi^2$ 检验运行结果见表1。公交车辆每分钟的到达率服从泊松分布, 根据调查数据计算到达率为10辆·h<sup>-1</sup>。

### 2) 中途站服务时间。

由游程检验结果(表2)可以看出, 公交车辆接受服务时间均服从随机分布。将调查得到的减速进站和加速离站时间进行统计分析, 得到平均值

表1 每分钟到达车辆数 $\chi^2$ 检验

Tab.1 Chi-square test for arriving buses per minute

$\chi^2$	自由度	显著性值
4.249	5	0.514

表2 公交车辆接受服务时间游程检验

Tab.2 Run test for service time of bus vehicles

检验值	抽样值小于检验值的频数	抽样值大于或等于检验值的频数	
25.000	69	81	
总样本数	运行次数	Z值	显著性值
150	70	-0.910	0.363

表3 乘客上车总时间及上车乘客数统计表

Tab.3 Total time of getting on/off buses and the number of passengers getting on bus

统计量	最小值	最大值	平均值	方差
$t/s$	4	50	18.54	11.33
$n/\text{个}$	0	21	6.22	5.83

表4 可超越前车进出站时车站可容纳线路数

Tab.4 Parking capacity for bus lines in the case that following vehicle passing leading vehicle in/out bus stop is permitted

允许出现站外停车的概率/%	泊位数/个				
	1	2	3	4	5
5	2	6	11	17	23
10	3	8	14	20	27

分别为4 s和6 s, 即消散时间平均值为10 s。

通过对50个样本的乘客上车总时间 $t$ 和上车乘客数 $n$ 进行统计分析(表3), 得到平均每个乘客的上车时间为3 s, 其值较大主要是因为考虑了高峰小时乘客的不连续上车及部分车辆以下车乘客为主的情况。根据调查数据取高峰小时平均上下客时间为20 s。

## 3 应用示例

由于车站情况的复杂性, 有效服务率必须根据实际情况选取不同值。以下选取调查得到的合理参数取值, 对不同类型中途站的合理规模进行计算。

### 3.1 可超越前车进出站

当路段车流量较小或公交专用车道路幅较宽时, 中途站停靠车辆可超越前车进、出站, 即后车在完成上下乘客后不受前车影响, 可直接加速出站; 前车出站产生空挡后, 后车也会前进填补空挡。这种情况下, 停靠车辆间相互干扰较少, 有效泊位数近似等于实际泊位数, 即 $E_N=1$ , 式(4)

$$\text{简化为 } \mu_e = \frac{3600(g/c)R}{t_c + t_d(g/c)}。$$

武汉市大部分公交中途站位于路段或交叉口下游, 因此, 在分析中途站可容纳线路数时, 可取 $g/c=1$ , 高峰小时公交车辆到达率为10辆·h<sup>-1</sup>,  $t_d$ 取20 s,  $t_c$ 取10 s, 允许出现站外停车的概率分别取5%和10%。运用排队论方法, 计算得到可容纳线路数, 见表4。

### 3.2 依次进出站

在路段车流量较大或路幅较窄的情况下, 停靠车辆间相互干扰较大, 公交车辆只能依次出站。对于有多个泊位的公交车站, 乘客不会均匀地分布在每个停车泊位, 公交车辆也不可能均匀到达各泊位, 因此泊位的利用率是有限的, 多泊位中途站泊位有效利用率见表5<sup>[7]</sup>。每泊位的平均有效效率 $E_N$ =累计有效泊位数/实际泊位数, 见表6, 进而得到直线式、港湾式中途站可容纳线路数, 见表7、表8。

### 4 结论

1) 对于可超越前车进出站的中途站, 随着泊位数的增加, 可容纳线路数也随之明显增加, 理论上可通过增加泊位数获得更大的容纳线路能力。但是泊位数增多、车站长度增加会给乘客带来极大不便, 不符合“以人为本”的设计理念。建议此类车站泊位数最多不超过4个, 即可容纳线路数为17~20条。

2) 对于依次进出站的中途站, 泊位数大量增加不仅给乘客带来不便, 可容纳线路能力的增加也越来越不显著。建议直线式中途站泊位数最多不超过3个, 港湾式中途站泊位数最多不超过4个。此时, 前者可容纳线路数为9~11条, 后者为13~16条。

由于参数取值为武汉市的平均值, 上述公交中途站泊位数与可容纳线路数的关系只适用于武汉市一般情况下的路段中途站, 对新建中途站或改建中途站具有普遍参考价值。而对于特定车站, 可先通过客流量统计或预测确定车站的平均服务时间, 从而取得具体参数, 再根据具体取值得到更精确的结果。

参考文献:

References:

[1] Wirasinghe S C. Spacing of Bus Stops for Many to Many Travel Demand. Transportation Science[J]. 1981, 15(3): 210 - 221.

[2] Rodrigo Fernandez. A New Approach to Bus Stop Modeling[J]. Traffic Engineering and Control, 2001, 21(9): 240 - 246.

[3] 蒋文涛. 公交站点选址与平面布置探讨[J]. 公共交通, 2006(7): 81 - 84.

JIANG Wen-tao. Discuss about Where to Place Bus Station and How to Lay It[J]. Traffic & Transportation, 2006(7): 81 - 84.

[4] 石红文, 罗良鑫, 鲍同振. 公交中途站类型与规模的确定方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7(2): 83 - 87.

SHI Hong-wen, LUO Liang-xin, BAO Tong-zhen. Research on the Way to Determine Type and Scale of

Bus Stops[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7 (2): 83 - 87

[5] 杨晓光, 等. 城市道路交通设计指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.

表5 多泊位中途站泊位有效利用率  
Tab.5 Effective utilization rate of parking space

泊位数 /个	直线式中途站		港湾式中途站	
	有效利 用率/%	累计有效 泊位数/个	有效利 用率/%	累计有效 泊位数/个
1	100	1	100	1
2	85	1.85	85	1.85
3	60	2.45	75	2.6
4	20	2.65	65	3.25
5	5	2.70	50	3.75

表6 每泊位的平均有效率  
Tab.6 Average effective utilization rate  
per parking space %

泊位数/个	直线式中途站	港湾式中途站
1	100	100
2	92.5	92.5
3	81.7	86.7
4	66.3	81.3
5	54.0	75.0

表7 直线式中途站可容纳线路数  
Tab.7 Parking capacity for bus lines at common bus stops

允许出现站外 停车的概率/%	泊位数/个				
	1	2	3	4	5
5	2	6	9	11	12
10	3	7	11	13	15

表8 港湾式中途站可容纳线路数  
Tab.8 Parking capacity for bus lines at bay-style bus stops

允许出现站外 停车的概率/%	泊位数/个				
	1	2	3	4	5
5	2	6	9	13	17
10	3	7	12	16	20

(下转第26页)