

文章编号: 0258-2724(2010)01-0130-06 DOI: 10.3969/j.issn.0258-2724.2010.01.022

基于对交通流影响分析的直线式 公交站选型优化

胡文婷, 陈峻, 万霞
(东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 为了进行直线式公交站选型优化,根据南京市某公交站台的调查数据,考虑交通负荷、公交车占用站台时间及停靠频率因素,比较虚拟港湾式公交站与普通直线式公交站对交通流的影响,建立了沿机非分隔带虚拟港湾公交站的车流速度模型.该模型可计算车延误,并结合通行能力进行公交站选型.研究表明,单车道路段设置虚拟港湾式公交站有利;两车道路段根据交通负荷等参数确定公交站选型;公交车平均停靠时间不超过1 min时,3车道路段设置普通直线式公交站有利.

关键词: 公交停靠站;交通流速度;影响分析;选型设计

中图分类号: U491.17 文献标识码: A

Beeline Bus Stop Type Selection Based on Analysis of Influence on Traffic Flow

HU Wenting, CHEN Jun, WAN Xia

(School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: For type selection of beeline bus stop, the influences of virtual-bay bus stop (i. e., a bus stop with reverse harbor on line) and common beeline bus stop on traffic flow was compared according to the investigation data from a bus stop in Nanjing in terms of the influential factors such as traffic load, bus dwell time, and bus arrival rate at the stop. Then, an overall traffic flow speed model was established under the influence of a virtual-bay bus stop along side divider. This model can be used to calculate the delay of traffic at the bus stop, which, together with the traffic capacity, can be used to optimize the selection of beeline bus stop types. Calculation results based on this model show that for single lane roads, virtual-bay bus stop works better; for two-lane roads, type selection needs to be made according to multiple traffic factors such as traffic load; and for three-lane roads, given the average dwell time of buses shorter than 1 min, common beeline stop wins.

Key words: bus stop; traffic flow speed; influence analysis; type selection design

公交停靠站台按几何形式可分为直线式和港湾式^[1].对普通直线式公交停靠站(图1),可通过压缩机动车道宽度辟出公交停车区,即虚拟港湾式停靠站^[2](图2).明确适合设置该站型的道路、交通条件能降低公交站点道路正常交通的影响,为公交站点的优化设计提供依据.以往公交停靠站类

型的影响分析,都着重于港湾式与普通直线式站点以及两者的比较,通过速度修正或直接使用观测值,分析对路段通行能力和交叉口延误的影响^[3,4],但缺乏针对虚拟港湾式站点的研究.

本文研究在确定站址后,不允许设置港湾式公交停靠站时,无公交专用道路段沿路侧的普通直线

收稿日期: 2009-04-07

基金项目: 国家973计划资助项目(2006CB705500)

作者简介: 胡文婷(1986-),女,博士研究生,研究方向为交通运输规划与管理,E-mail:ahale@163.com

通讯作者: 陈峻(1972-),男,教授,研究方向为交通运输规划与管理,E-mail:chenjun@seu.edu.cn

式和虚拟港湾式公交停靠站的选型. 通过比较不同站点形式、不同道路断面, 研究公交停靠对交通流的影响.

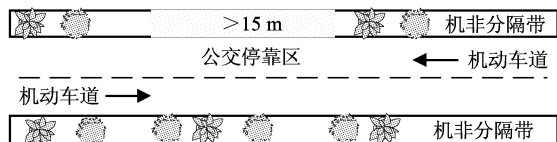


图 1 普通直线式公交停靠站
Fig. 1 Common beeline bus stop beside road side

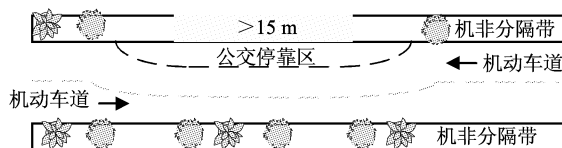


图 2 虚拟港湾式公交停靠站
Fig. 2 Virtual-bay bus stop

1 公交站点对机动车交通流的影响

1.1 公交停靠对社会车辆运行速度的影响过程

公交车辆中途停靠过程包括进站、停站和加速过程^[5]. 在进站过程中, 公交变道或减速会影响正常车流; 在停站过程中, 普通直线式停靠站的影响路段会产生交通瓶颈; 而虚拟港湾式停靠站的停靠能力满足要求时, 对路段通行能力的影响较小. 在离站加速过程中, 直线式站点的公交车汇入交通流时, 对其影响不大^[3,5], 因此, 本文不讨论离站过程.

公交车辆进站停靠过程对社会车辆运行速度的影响主要与下列因素有关^[6]:

(1) 同向机动车流量 q

道路交通负荷度为路段交通流量与通行能力

的比值, 它反映了交通流的运行质量, 也是交通流速度最直接的影响因素.

(2) 反向机动车流量 q'

对没有设置中央分隔的道路, 双向车流会车时, 车辆会适当减速.

(3) 公交停靠频率 f

公交车停靠频率越大, 与其它车辆的交织机会越大.

(4) 公交占用站台时间 t_0

在普通直线式站点, 公交车辆停靠将降低路段通行能力; 在虚拟港湾式站台, 社会车辆可能因为受车道线形影响而减速.

本文采取基于实测数据的实验模型, 分析公交车停靠的影响. 其实用性强, 易于在工程实践中进行操作. 研究对象为 3 幅路路段沿机非分隔带设置的直线式公交停靠站.

1.2 调查设计

选取南京市某公交停靠站, 公交车停靠影响路段为公交开始减速、加速到正常行驶的地点. 选择调查起、终点 (图 3 中 1 和 2) 约 200 m 的范围^[7].

调查时间涵盖高峰与平峰, 统计时间间隔为 5 min^[8,9]. 对社会车辆采用抽查车牌照的方法, 如图 3 所示. 记录经过调查点 1 和点 2 的时间和车牌号. 站点影响路段的交通流速度 v 由影响段长度 (200 m) 除以车辆 (以车牌末位数字确定, 本调查选定末位数为 2、6 和 8) 经过时间得出. 在调查点 3 处, 记录公交车占用站台时间 t_0 并计算停靠频率 f , 同时, 统计同向交通量 q 、反向交通量 q' 、路段畅流速度 v_0 .

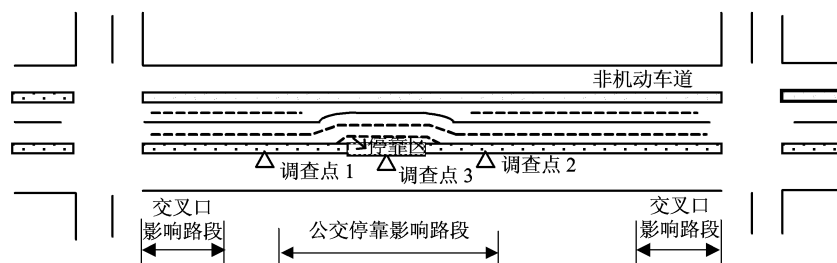


图 3 调查地点布置
Fig. 3 Layout of investigate locations

1.3 调查结果分析

借助统计软件 SPSS, 计算虚拟港湾式公交停靠站影响变量与交通流运行速度之间的相关系数和偏相关系数, 结果见表 1.

表 1 中 P 值为结果的显著性水平. 由表 1 可知, 对于虚拟港湾式停靠站, q 、 f 与 v 显著相关; 而 t_0 与 v 的相关系数和偏相关系数都小于临界值 (0.05), 相关性不显著; q' 与 v 的相关系数和偏相

关系数都大于临界值。

采用变量筛选,进一步确定因变量 v 的影响变量。用逐步回归法和前进法,得出 v 与 q 、 q' 和 f 显著相关的线性模型,检验参数:

$$F = 18.523, \\ P = 0.000 < 0.05.$$

用后退法和移除法,变量 q 、 q' 、 f 和 t_0 都与 v 相关。

反向流量与流速相关性显著,调查路段反向车道被压缩后,通行能力减小,反向车辆会占用同向内侧车道。占用站台时间 t_0 的影响不明显,因为社会车辆可以利用弯过停靠区的车道行驶,但由于占用时间和停靠次数的显著线性相关性,相关检验中 P 值为 0.051,只略大于临界值,偏相关检验消除了停靠次数对交通流速度关系的影响。

表1 各影响因素与交通流速度之间的相关检验和偏相关检验

Tab.1 Correlation test and partial correlation test between influential factors and overall speed

| 影响因素 | 相关检验 | | 偏相关检验 | |
|-------|--------|-------|--------|-------|
| | 相关系数 | P 值 | 相关系数 | P 值 |
| q | -0.514 | 0.000 | -0.382 | 0.000 |
| q' | -0.338 | 0.000 | -0.211 | 0.031 |
| t_0 | -0.189 | 0.051 | 0.171 | 0.081 |
| f | -0.376 | 0.000 | -0.267 | 0.006 |

通过以上分析,确定沿机非分隔带设置的虚拟港湾式公交停靠站模型的变量为 q 、 q' 、 f 、 v_0 和 c (路段实际通行能力);普通直线式公交停靠站变量为 q 、 t_0 、 f 、 v_0 和 c ^[6]。

2 沿机非分隔带公交站点的路段交通流模型

2.1 建立流速-流量的基本模型

本文以路阻函数模型为基础构造站点公交车辆停靠影响模型,基本形式^[10]为:

$$v = \frac{v_0}{\prod_i [1 + \alpha_i (q_i/c_i)^{\beta_i}]},$$

式中: α 和 β 为待定参数;

i 为各类交通变量(包括同向、反向机动车)。

$$v(q, t_0, f, v_0, c) = \frac{v_0}{1 + (\lambda f + \alpha) \left[\frac{q}{(1 - 0.0025(f t_s)^{0.677} r_{bus} / \sum r_i) c} \right]^\beta}. \quad (2)$$

城市道路反向交通负荷 ≥ 0.6 时,反向交通量对速度的影响显著,可作为影响因素;反向交通负荷 < 0.6 时,对速度的影响不显著^[10]。因此,当反向交通负荷 > 0.6 时,在模型中引入反向流量修正。

2.2 公交占用站台时间的修正

普通直线式公交停靠站所在路段通行能力等于路段通行能力减去公交停靠时外侧车道损失的通行能力,计算公式为:

$$c' = \frac{c - t_0 r_{bus}}{\sum r_j c},$$

式中: c' 为有公交停靠时,公交站点所在路段的修正通行能力, pcu/h;

r_j 为城市道路第 j 个车道的利用系数;

r_{bus} 为公交停靠占用的最外侧车道利用系数。

虚拟港湾式停靠站模型中不必考虑占用时间的影响,修正通行能力 $c' = c$ 。

2.3 公交停靠频率的修正

根据前述分析,比较许多引入公交停靠频率 f 后满足条件的模型形式,用 SPSS 分析 v 与 f 的关系,比较拟和优度参数与残差正态 $Q-Q$ 图发现,其他曲线的正态性和误差独立性都比生长曲线模型相差很多。因此,采用生长曲线模型:

$$v = \exp(\lambda f^\varphi), \\ \lambda < 0, \quad \varphi \geq 0,$$

式中: λ 为交叉口影响的修正系数; φ 为待定系数。3 幅路沿机非分隔带设置的虚拟港湾式停靠站交通流速度为:

$$v(q, q', f, v_0, c) = \frac{v_0 \exp(\lambda f^\varphi)}{1 + \alpha \left(\frac{q}{c}\right)^\beta}, \\ \delta = \begin{cases} 1, & \frac{q'}{c'} < 0.6, \\ \frac{1}{1 + \alpha' \left(\frac{q'}{c'}\right)^{\beta'}}, & \frac{q'}{c'} \geq 0.6, \end{cases} \quad (1)$$

式中: α 、 β 和 α' 、 β' 分别为同向和反向的路阻函数参数对(关于停靠频率修正的待定参数)。

普通直线式停靠站交通流速模型表达式^[6]为:

3 模型参数的回归标定及回归效果分析

(1) 数据筛选

基于 2σ 法则筛选采集数据,舍弃的数据占总实测数据的 6.48%,经过筛选,预测车速均值改变仅为 -1.48%,均方差降低了 46.3%。筛选处理并未影响数据的变化趋势,但明显改善了数据质量。对筛选后的数据进行回归分析。

(2) 交通流自由速度 v_0 和路段通行能力 c 的确定

路段实际通行能力和畅行车速需结合实地观测和专业经验确定。根据文献[11]:

$$c = \gamma\xi\eta\theta c_0, \quad (3)$$

式中: c 、 c_0 分别为路段实际通行能力和一条车道理论通行能力;

γ 、 ξ 、 η 、 θ 分别代表非机动车、车道宽度、车道数和交叉口影响的修正系数。

本文改动“计算-标定-扰动-标定”^[12]法,求路段实际通行能力和畅行车速。通过式(3)计算 c ,实地测定 v_0 的初始值,然后小幅度增减 c 与 v_0 ;选取参数相对误差及相关性较小、模型相关性大的 c 和 v_0 的标定值。

(3) 模型参数的回归标定及回归效果

利用筛选后的数据及上节标定的 c 和 v_0 等数据,对式(1)模型进行初标定,发现参数 λ , φ 的相关系数高达 0.998。因此删除模型参数 φ 。参数标定结果和回归方程的检验指标分别见表 2 和表 3。

由表 2 和表 3 可知,统计得到的回归方程为:

$$v(q, q', f, v_0, c) = \frac{v_0 \exp(-0.000985f)}{1 + 0.850(\frac{q}{c})^{1.240}} \delta,$$

$$v(q, t_0, f, v_0, c) = \frac{v_0}{1 + (0.00091f + 0.595) \left[\frac{q}{(1 - \frac{0.0025(ft_s)^{0.677} r_{bus}}{\sum r_i})c} \right]^{1.65}}. \quad (5)$$

4 沿机非分隔带的普通直线和虚拟港湾式公交停靠站设置

4.1 规划公交站点的选型设置

在城市快速路及交通性主干道,为保证车辆运行的快速和连续性,应采用车辆延误最小的选型分析方法。而在城市客运主干道及城市次干道,主要承

$$\delta = \begin{cases} 1, & \frac{q'}{c'} < 0.6, \\ \frac{1}{1 + 0.405(\frac{q'}{c'})^{12.507}}, & \frac{q'}{c'} \geq 0.6. \end{cases} \quad (4)$$

表 2 模型参数标定值
Tab. 2 Calibration values of model parameters

| 参数名称 | α | β | λ | α' | β' |
|------|----------|---------|-----------|-----------|----------|
| 标定值 | 0.850 | 1.240 | -0.00099 | 0.405 | 12.507 |
| 标准误差 | 0.179 | 0.177 | 0.00034 | 0.195 | 5.018 |

担城市客运交通。应保证总体出行者的延误最小,采用人延误最小的选型分析方法。限于篇幅,本文不讨论该分析法。

回归模型的决定系数为 0.565,可以通过显著水平为 0.05 的 F 检验。模型参数中仅 α 与 β 、 α' 与 β' 的相关系数较大,其他参数两两相关性很小,相关系数最大不超过 0.200。

表 3 统计回归指标及 F 检验
Tab. 1 Regression indexes and F test

| | 自由度 | 平方和 | R^2 | F 检验 |
|------|-----|-------------|-------|------|
| 回归分析 | 5 | 215 049.050 | 0.565 | 通过 |
| 残差 | 96 | 904.383 | | |

(4) 模型的验证

选取另一处虚拟港湾式公交停靠站进行补充调查,检验模型的精度。调查方法和对象如前所述。得到 48 组数据, c 和 v_0 分别为反向 1450 pcu/h、同向 1680 pcu/h 和 61 km/h。将自变量观测值和 c 和 v_0 初始值代入模型,预测交通流速 v 与实测值平均相对误差(绝对值)为 4.4%。

检验结果表明即使不重新标定 c 和 v_0 ,模型的预测值也能达到精度要求。参数初始值变化时,模型稳定性良好。3 幅路沿机非分隔带设置的普通直线式停靠站交通流速模型统计回归方程^[6]为:

停靠站处车辆延误包括公交的停靠延误与公交停靠引起的交通流的运行延误^[13]:

(1) 在同样的道路交通、公交停靠和客流需求情况下,虚拟港湾式与普通直线式公交站点的公交

实际停靠延误并无明显差别. 可以视两者延误的差为0.

(2) 利用式(4)、(5)分别计算停靠站影响下的交通流速, 进而计算由公交停靠引起的社会车辆延误^[14].

设公交站点影响路段长度为 L_{bus} , 无公交停靠时交通流通过 L_{bus} 的平均速度为 v_{base} , 运行时间为 t_{base} . 有公交停靠时, 普通直线式站点影响路段的交通流平均运行速度为 v_{common} , 通过 L_{bus} 的时间为 t_{common} ; 虚拟港湾式站点影响路段的交通流速为 $v_{virtual}$, 通过 L_{bus} 的时间为 $t_{virtual}$. 单位时间内, 虚拟港湾式站点对交通流的延误为 $D_{virtual}$, 普通直线式公交停靠对交通流的延误为 D_{common} .

当交通量为 q , 在普通直线式与虚拟港湾式站点, 单位小时内公交停靠导致车流的延误时间差为:

$$\begin{aligned} \Delta D &= D_{common} - D_{virtual} = \\ &= (t_{common}q - t_{base}q) - (t_{virtual}q - t_{base}q) = \\ &= \left(\frac{L_{bus}}{v_{common}} - \frac{L_{bus}}{v_{virtual}} \right) q. \end{aligned}$$

根据上述分析, 普通直线式站点与虚拟港湾式站点产生的总车辆延误时间差为:

$$\Delta D' = \Delta D + 0 = \Delta D. \quad (6)$$

将式(4)得到的 $v_{virtual}$ 和式(5)得到的 v_{common} 代入式(6), 得到3幅路沿机非分隔带设置的普通直线式公交停靠站与虚拟港湾式公交停靠站产生的车辆延误时间差为:

$$\begin{aligned} \Delta D' &= \left(\frac{L_{bus}}{v_{common}} - \frac{L_{bus}}{v_{virtual}} \right) q = \\ &= L_{bus}q \left(\frac{1}{v_{common}} - \frac{1}{v_{virtual}} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

当 $\Delta D' > 0$ 时, 普通直线式停靠站导致的车辆延误大于虚拟港湾式停靠站. 按照车辆延误最小的选型原则, 应该选择虚拟港湾式停靠站; 当 $\Delta D' < 0$ 时, 应选择普通直线式公交停靠站.

根据式(7), 设置停靠站的方案见表4.

4.2 现有站点需要改造的道路

以上判断标准用于道路及周围用地条件充裕的情况下. 许多城市道路条件受到制约. 此时, 应在制约条件下选择方案.

由1.2(4)的分析可知, 设置普通直线式停靠站以后, 公交停靠使其道路通行能力折减. 则:

$$k' = \frac{q}{c'} = \frac{q}{\left(1 - \frac{0.0025(ft_s)^{0.677} r_{bus}}{\sum r_i}\right) c}, \quad (8)$$

其中: k' 为直线式公交停靠站所在路段的交通负荷水平.

若该路段有严格规定的服务水平, 则应保证路段交通负荷不超过规定值. 对一般要求, 可以依据城市道路的服务水平划分标准^[11,15]: 当路段服务水平达到 F 级, 开始出现强制车流, 交通严重堵塞. 因此, 由式(8)计算得到高峰小时的 $k' \geq 0.9$ 时, 需要改造普通直线式停靠站的站点形式.

先验算改造成虚拟港湾式停靠站的交通负荷水平 $k' = q/c$. 若仍旧拥堵, 即使现有道路条件制约, 也不应设置直线式停靠站, 应考虑改造道路及周围用地条件, 设置港湾式停靠站或沿人行道设置公交停靠站.

表4 停靠站方案选择
Tab.4 Bus stop scheme selection 次 · h⁻¹

| 交通负荷 (q/c) | t_s/s | 车道数 | | |
|-------------------|---------|-----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 0.5 | 20 | 86 | ○ | ○ |
| | 40 | 38 | 152 | ○ |
| | 60 | 24 | 89 | ○ |
| 0.75 | 20 | 52 | 220 | ○ |
| | 40 | 25 | 87 | 237 |
| | 60 | 16 | 54 | 134 |
| 0.9 | 20 | 40 | 154 | ○ |
| | 40 | 19 | 65 | 166 |
| | 60 | 13 | 42 | 98 |

注: ○表示适宜设置普通直线式停靠站; 数字表示虚拟港湾式停靠站优于普通直线式停靠站的临界停靠频率.

5 结论

研究了3幅路沿机非分隔带的虚拟港湾式公交停靠站对路段交通流的影响, 得出受虚拟港湾式公交停靠站影响的交通流速度模型. 反向流量虽被选入模型, 但其作用不大.

本文还对虚拟港湾式公交停靠站与普通直线式公交停靠站进行了比较. 从标定的模型可见, 单车道路段设置虚拟港湾式公交停靠站比普通直线式公交停靠站更有利. 而3车道路段设置普通直线式站点更有利. 但公交平均停靠时间超过1 min时, 普通直线式公交停靠站将不适合, 应设置其他形式的公交停靠站. 单向两车道则要根据交通负荷, 公交停靠的相关参数(t_s, f)具体比较.

对无机非分隔带的道路情况, 需要进一步讨论.

另外,设置虚拟港湾式公交停靠站后,反向车道压缩,通行能力减小,应重新验算反向车道的负荷水平.采用双向虚拟港湾站点的相互影响还有待研究.

参考文献:

- [1] DEJEAMMES M, COFFIN F. Bus stop design and automated guidance for low-floor buses[J]. Transportation Research Record, 1999, (1666): 85-91.
- [2] 葛宏伟,王炜,陈学武,等. 城市公交停靠站规划设置方法综述[J]. 现代城市研究,2004,11: 53-57.
GE Hongwei, WANG Wei, CHEN Xuewu. The design and adaptability of urban bus stop[J]. Modern Urban Research, 2004, 11: 53-57.
- [3] FERNANDEZ R. A new approach to bus stop modeling [J]. Traffic Engineering and Control, 2001, 21(9): 240-246.
- [4] SHALABY A. Simulating performance impacts of bus lanes and supporting measures[J]. J. Transp. Engrg, 1999, 125(5): 390-397.
- [5] 吴洋,罗霞. 公交车辆站停时间与乘客行为的关系 [J]. 西南交通大学学报,2007,42(2): 243-248.
WU Yang, LUO Xia. Relationship between bus stoppage time and passenger behavior[J]. Journal Of Southwest Jiaotong University, 2007, 42(2): 243-248.
- [6] 葛宏伟. 城市公交停靠站点交通影响分析及优化技术研究[D]. 南京:东南大学,2006.
- [7] 张翼,赵月. 关于公交停靠站影响区范围的研究[J]. 交通科技与经济,2008,10(46): 111-113.
ZHANG Yi, ZHAO Yue. Research on the incidence of bus stop[J]. Technology Economy in Areas of Communications, 2008, 10(46): 111-113.
- [8] GEORGE K A. Transportation compatible land use and bus-stop location[C]//Urban Transport and the Environment for the 21st Century, 2000: 459-468.
- [9] WONG S C, YANG Hai. Delay at signal-controlled intersection with bus stop upstream [J]. Journal of Transportation Engineering-ASCE, 1998, 124 (3): 229-234.
- [10] 尹红亮. 城市交通管理规划理论体系与关键问题研究[D]. 南京:东南大学,2002(9):.
- [11] Transportation Research Board Executive Committee. Transit capacity and quality of service manual [M]. Washington D. C.: Transportation Research Board, 2002: 22(part 3), 75(part 5).
- [12] 郭中华. 城市道路路段交通流特性分析与模型研究 [D]. 南京:东南大学,2005.
- [13] FEMANDEZ R. A new approach to bus stop modeling [J]. Traffic Engineering and Control, 2001(9): 240-246.
- [14] 周望东,马国忠,杨键. 公交停靠站点车辆延误研究 [J]. 城市公共交通,2008(12): 26-28.
ZHOU Wangdong, MA Guozhong, YANG Jian. Analysis of vehicle delay at bus stops[J]. Urban Public Transport, 2008, (12): 26-28.
- [15] 王炜,过秀成. 交通工程学[M]. 南京:东南大学出版社,2001: 202.

(中文编辑:秦萍玲 英文编辑:兰俊思)