

城市主干道公交专用道设置交通条件研究

李铁柱¹, 建友^{1,2}, 孙云峰², 何 炜³

(1 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096; 2 昆明市规划设计研究院, 云南 昆明 650041;

3 许昌市规划设计院, 河南 许昌 461000)

摘要: 论文就城市主干道公交专用道设置中公交流量条件进行较为系统的研究, 提出设置公交专用道的公交流量判断标准. 论文将城市主干道路段分为纯路段、公交站点影响路段和交叉口影响路段. 对于纯路段设置专用道的公交流量比例, 论文结合路阻函数模型以路段人均出行时耗最小为目标建立模型求解设置专用道的最佳公交流量比例, 并给出了不同车道数和交通量条件下的最佳流量比例值; 对于交叉口设置专用道的公交流量比例, 论文结合交叉口停车延误公式以人均延误最小为目标建立模型求解设置专用道的最佳公交流量比例, 并给出了不同进口道数量、交通量条件和典型信号配时条件下设置专用道的最佳公交流量比例.

关键词: 公交专用道; 路阻函数; 停车延误; 车流量

中图分类号: U116.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2010)01-0056-05

Traffic Condition for Bus Lane Setting on Urban Arteries

LI Tie-zhu¹, DING Jian-you^{1,2}, SUN Yun-feng², HE Wei³

(1 College of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China

2 Kunming Urban Planning and Design Institute, Kunming 650041, China

3 Xuchang Planning and Design Institute, Xuchang Henan 461000, China)

Abstract The volume condition of bus lane setting on arteries is examined systematically and the setting criteria of bus lane are presented in this paper. The roadway is divided into three sections: pure link, bus station impacted link and intersection impacted link. To the bus ratio of pure link, a model of minimum average travel time based on the road performance function is established. The most appropriate bus ratio for bus lane setting under different road number and traffic volume is offered. To the bus ratio of intersection, a model of minimum average person delay based on the stop delay model is established. The most appropriate bus ratio for bus lane setting under different lane number, traffic volume and signal timing is also suggested.

Key words bus lane; link performance function; stop delay; vehicle flow

0 引言

优先发展城市公共交通已经成为城市交通发展的基本战略, 在城市主干道上布设公交专用道是公交优先的一种基本形式. 从开辟公交专用道的实践上看, 有些城市公交专用道设置后取得的效果不明显, 部分专用线的设置不够合理, 开辟公交专用道存在盲目性和随意性, 目前, 在公交专用道设置的交通条件方面, 国内研究者提出了一些定量判断指标^[1~4], 但没有从效率角度论述这些定量指标确定的本质原因, 许多指标的确定只是凭借研究人员的经验或简单的交通调查, 各个研究机构得出的设置公交专用道定量指标差异较大.

收稿日期: 2009-06-22 基金项目: 江苏省建设系统科技计划项目“城市主干道公交车辆优先通行设施设计与管理技术”(项目编号: JS2007H21).

第一作者简介: 李铁柱(1971-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 交通运输规划与管理. E-mail: litiezhu@seu.edu.cn

针对公交专用道设置上存在的盲目性和随意性, 分析公交专用道设置前后车流运行特性, 通过效益对比的方法, 提出城市主干道设置公交专用道交通条件定量判断标准, 以期为公交专用道的设置提供参考依据。

1 公交专用道实施前后路段交通流特性分析

城市道路路段机动车流运行规律可以用交通流模型来描述, 交通流模型中最常用的是描述路段车辆行驶时间与路段交通负荷之间的函数关系模型, 这类模型称为路阻函数。目前国内常用的是美国联邦公路局路阻函数模型——BPR 函数, 其形式如下:

$$T(q) = T_0 [1 + \alpha (\frac{q}{c})^\beta] \tag{1}$$

式中: $T(q)$ ——当流量为 q 时路段上的行程时间; T_0 ——0 流量时车辆在路段上的行驶时间; c ——路段的可能通行能力; α β ——模型参数。

其中, 参数值 $\alpha = 0.15$ $\beta = 4$ 的模型被称为经典 BPR 模型, 模型以 1965 版 HCM 的速度 - 流量曲线为基础, 该参数取值下模型存在的问题在于当 $v/c > 1$ 时所预测的速度值偏大, 而对于 $v/c < 1$ 时所预测的速度值偏小。后来国外一些研究者对 BPR 模型参数取值进行了一些修正^[5-7], 国内也有部分研究者结合我国城市道路特点对路阻函数模型进行过探讨, 对国外模型进行扩展和改进并提出了相应的阻抗函数模型。

虽然目前国内外提出的交通流模型很多, 但多数模型认为大型车辆和小型车辆在相同长度的路段上行驶时间是一样的。对于我国多数城市而言, 由于道路交通流构成复杂, 车辆性能相差较大, 因此在相同交通负荷条件下, 大型车和小型车辆行驶相同长度的路段所消耗的时间是不相同的, 用同一路阻函数模型来计算各类车辆的速度或路段行驶时间存在不合理性。鉴于这种不合理性, 东南大学黄艳君^[8]在南京市和深圳市交通调查的基础上分车型建立了公交专用道设置前后的路阻函数模型。

2 主干道设置公交专用道的公流量条件

客流量和公流量是设置公交专用道的基本依据, 如果公交车流量过小, 设置公交专用道将导致道路资源的浪费, 同时可能导致非公交专用道车辆通行状况恶化。对于特定车道数和交通流量的城市主干道, 存在设置公交专用道的最佳的公流量比例。

2.1 基本规定

将上下游交叉口停车线之间的范围作为基本路段, 基本路段上各区段的车流运行状况存在较大差异, 主要影响因素为交叉口和公交站点。故将基本路段划分为纯路段 (不受站点和交叉口影响)、交叉口影响路段、公交站点影响路段, 见图 1 所示。

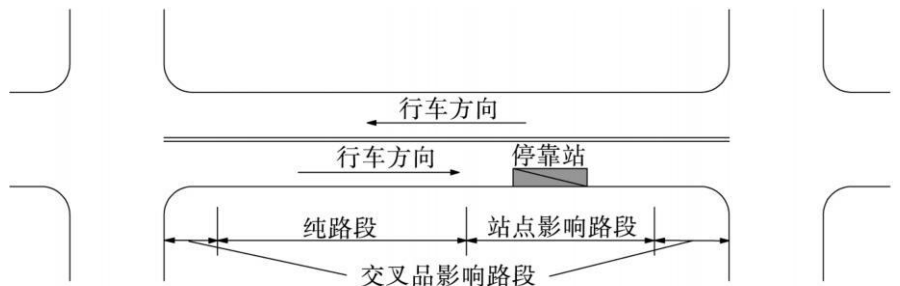


图1 道路基本路段组成示意图
Fig.1 The sections of basic roadway link

并分别研究确定纯路段和交叉口设置公交专用道的公流量标准。

2.2 纯路段开辟公交专用道的最佳公流量条件

路段开辟公交专用道以前, 公交车与社会车辆混合行驶, 相互之间存在干扰, 公交车与社会车辆的运行特性可以用路阻函数来描述, 公交车与社会车辆在特定长度路段上的运行时间 t_b 和 t_s 分别如下^[8]:

$$t_b = t_{b0} [-0.229(q/nc) + 1.00366]^{-1} \tag{2}$$

$$t_s = t_{s0} [-0.3619(q/nc) + 1.0205]^{-1} \tag{3}$$

式中: t_{b0} ——路段公交车自由流运行时间 (min); t_{s0} ——路段社会车辆自由流运行时间 (min); q ——路段车流量 (pcu/h); n ——路段单向车道数; c ——每车道通行能力 (pcu/h)。

设置公交专用道后, 公交车辆与社会车辆分道行驶, 相互之间的干扰大大降低, 公交车辆与社会车辆在特定长度路段上的运行时间 t'_b 和 t'_s 分别如下^[8]:

$$t'_b = t_{b0}[-0.4136(q_b/c) + 1.0659]^{-1} \quad (4)$$

$$t'_s = t_{s0}[-0.229(q - 2q_b)/(n-1)c + 1.0834]^{-1} \quad (5)$$

式中: q_b ——路段公交车流量 (veh/h); 公交车相对于标准小汽车的换算系数取 2.0 上式已经过转换; 其余符号意义同前。

设置公交专用道之后, 公交车辆与社会车辆分道行驶, 公交车辆的车速可以得到提高, 因此公交车辆在特定长度路段的运行时间将减少, 由于社会车辆的通行空间受到限制, 因此社会车辆在特定长度路段上的运行时间会增大。

出行者在特定长度路段上花费的时间总量与出行者数量和车辆的运行速度有关。假设高峰小时公交车辆平均载客量为 40 人, 社会车辆的平均载客量为 2.5 人, 结合上面的路阻函数模型可以得到设置公交专用道前后路段人小时总量的变化。

设置公交专用道以前, 路段人小时总量 T 为:

$$T = \frac{40q_b t_b}{60} + \frac{2.5(q - 2q_b) t_s}{60} \quad (6)$$

设置公交专用道以后, 路段人小时总量 T' 为:

$$T' = \frac{40q_b t'_b}{60} + \frac{2.5(q - q_b) t'_s}{60} \quad (7)$$

于是可以得到设置公交专用道前后路段人小时总量的变化值 ΔT 为:

$$\Delta T = T' - T \quad (8)$$

在设置公交专用车道时, 有一个最佳的公交车流量比, 在此流量比下, 通过路段的所有出行者的平均时耗最小。设公交车流量占道路交通总流量的比例为 x , 即 $x = q_b / (q_b + q_c)$, 则公交流量 $q_b = qx / (x + 1)$ (q 为标准小汽车交通量, 公交车辆对小汽车的换算系数取 2.0)。设置公交专用车道后的人小时总量 T' 可以表示成:

$$T' = \frac{40qx t_{b0}}{60(-0.4316qx/c + 1.0689)} + \frac{2.5q(1-x) t_{s0}}{60[-0.2731q(1-x)/(n-1)c + 1.119]} \quad (9)$$

通过道路路段的出行总人数 N 可表示为:

$$N = 40qx / (x + 1) + 2.5q(1-x) / (x + 1) \quad (10)$$

可以得到设置公交专用道后道路路段人均出行时耗:

$$T = T'_2 N \quad (11)$$

以人均出行时耗最小为目标, 通过选取典型参数值标定上述符号代数式, 可以得到设置公交专用道的最佳流量比例 x , 城市主干道各车道数条件和车流量条件下设置专用道的最佳流量比例见下图 2。

城市主干道设置公交专用道的最佳公交流量比例主要受道路交通量、车道数和车道通行能力的影响, 不同的道路交通条件下, 最佳公交流量比是不一样的。不同路段因其机动车道数和通行能力的不同, 其最佳的公交车流量比例不同。对于某一确定的路段, 当其他条件不变时, 随着路段总交通量的增加, 最佳的公交车流量比例逐步上升。

2.3 交叉口开辟公交专用道的最佳公交流量条件

交叉口开辟专用道以前, 公交车辆与社会车辆混合行驶, 流向一致的车辆在交叉口通常会选择在车流量小的车道上排队, 这样交叉口流向一致的车辆平均排队长度一致, 公交车辆与社会车辆在交叉口处的平均停车延误相同。车均延误值大小可以用下式计算:

$$d_1 = d_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left\{ 0.38c \frac{(1 - g_i/c)^2}{1 - (g_i/c)x_i} + 173x_i^2 [(x_i - 1) + \sqrt{(x_i - 1)^2 + 16x_i/c_i}] \right\} \quad (12)$$

式中: d_1 ——设置专用道前公交车辆在交叉口的平均停车延误; d_2 ——设置专用道前社会车辆在交叉口

的平均停车延误; n ——专用道方向某进口道的车道数; c ——该交叉口的信号周期长 (s); g_i ——该进口道第 i 条车道的绿灯时长; C_i ——该进口道第 i 条车道的通行能力; x_i ——该进口道第 i 条车道的饱和度。

设置公交专用道后, 公交车与社会车辆分道行驶, 专用车道和社会车辆车道有着不同的交通量, 对应着不同的饱和度, 因此, 公交车与社会车辆在交叉口处的延误不同。公交车在交叉口处的延误如下式所示:

$$d'_1 = 0.38c \frac{(1 - g_1/c)^2}{1 - (g_1/c)x_1} + 173x_1^2 [(x_1 - 1) + \sqrt{(x_1 - 1)^2 + 16x_1/C_1}] \quad (13)$$

式中: d'_1 ——设置专用道后公交车辆在交叉口的平均停车延误; g_1 ——该进口道公交专用车道的绿灯时长; C_1 ——该进口道公交专用车道的通行能力; x_1 ——该进口道公交专用车道的饱和度。

社会车辆在交叉口的延误如下式所示:

$$d'_2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \{0.38c \frac{(1 - g_i/c)^2}{1 - (g_i/c)x_i} + 173x_i^2 [(x_i - 1) + (x_i - 1)^2 + 16x_i/C_i]\} \quad (14)$$

式中: d'_2 ——设置专用道后社会车辆在交叉口的平均停车延误; g_i ——该进口道除公交专用道外的 $(n-1)$ 条车道中第 i 条车道的绿灯时长; C_i ——该进口道除公交专用道外的 $(n-1)$ 条车道中第 i 条车道的通行能力; x_i ——该进口道除公交专用道外的 $(n-1)$ 条车道中第 i 条车道的饱和度。

设置公交专用道后, 使得公交专用车道的饱和度下降。一般情况下, 公交车的平均延误将明显减少, 公交车的行驶状况有明显好转。设置专用道后公交车与社会车辆分道行驶, 致使可供社会车辆使用的车道减少了 1 条, 这将产生 2 方面的影响: ① 社会车辆与公交车分车道行驶, 这就改变了以往由于公交车在交叉口前启动慢造成的绿灯时间损失对社会车辆造成的影响; ② 由于通行空间的限制, 社会车辆车道的饱和度将上升。这样社会车辆延误通常会增大。

交叉口延误总量不仅与车辆数有关, 而且与乘客数量有关。设公交车流量占道路交通总流量的比例为 x , 假设高峰小时公交车辆平均载客量为 40 人, 社会车辆的平均载客量为 2.5 人, 结合上面的延误函数模型可以得到设置公交专用道前后交叉口人小时延误总量的变化。

设置专用道前交叉口处人小时延误总量如下式所示:

$$D'_1 = 40 \cdot d_1 \cdot q \cdot x / (x + 1) + 2.5 \cdot d_2 \cdot q \cdot (1 - x) / (x + 1) \quad (15)$$

设置专用道后交叉口处人小时延误总量如下式所示:

$$D'_2 = 40 \cdot d'_1 \cdot q \cdot x / (x + 1) + 2.5 \cdot d'_2 \cdot q \cdot (1 - x) / (x + 1) \quad (16)$$

设置公交专用道后, 通过道路交叉口进口道的出行总人数 N 为:

$$N = 40qx / (x + 1) + 2.5q(1 - x) / (x + 1) \quad (17)$$

可以得到设置公交专用道后交叉口人均出行延误:

$$T = D'_2 N \quad (18)$$

以人均出行时耗最小为目标, 通过选取典型参数值标定上述符号代数式, 可以得到设置公交专用道的最佳流量比例 x 。为了计算简便, 设交叉口入口处仅有直行车辆, 对于交叉口有多种转向车流的情况, 可采用文中介绍的方法分别进行分析。由上面模型可以看出, 城市主干道交叉口设置公交专用道最佳公交流量比例与车辆的载客数、信号配时 (周期时长和绿信比)、交叉口进口车道数、进口车道通行能力、进口交通

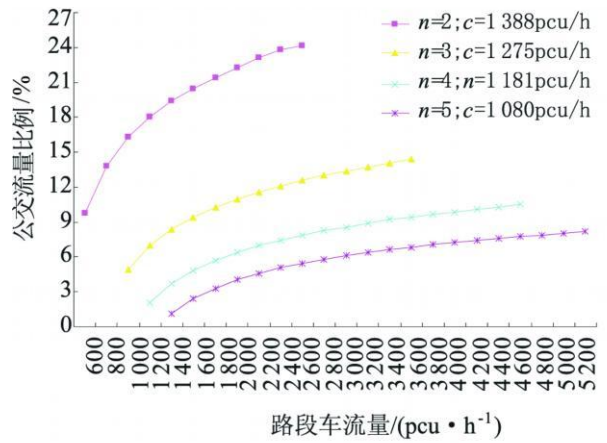


图2 城市主干道路段开辟公交专用道最佳公交流量比例
Fig.2 The bus ratio of pure link for bus lane setting on urban arteries

① 图 2 中, n 为单向车道数; c 为单车道通行能力, 可以在理论通行能力的基础上修正得到。
© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

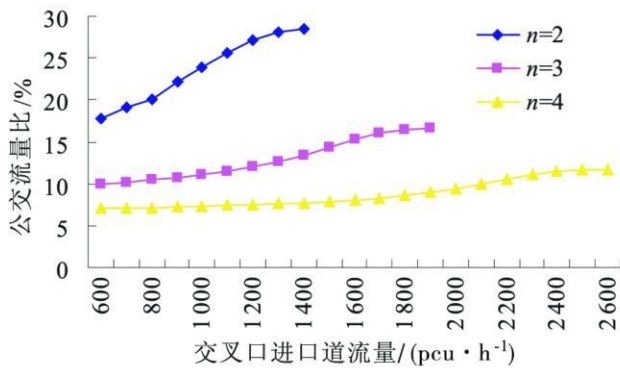


图3 交叉口设置公交专用道的最佳公交流量比例(绿信比 $g/c=0.45$)

Fig.3 The bus ratio of intersection for bus lane setting (split $g/c=0.45$)

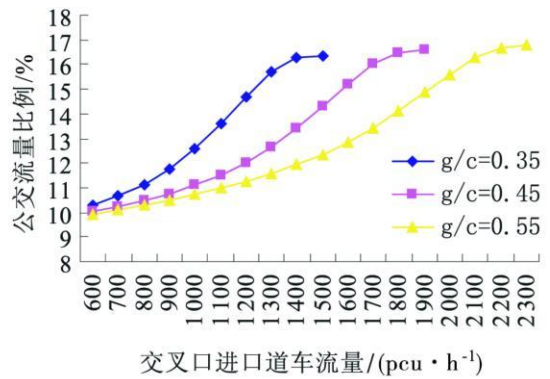


图4 交叉口设置公交专用道的最佳公交流量比例(单向车道数 $n=3$)

Fig.4 The bus ratio of intersection for bus lane setting (number of lanes for one direction $n=3$)

量有关。其中,进口车道数与交叉口进口道绿信比的影响尤为明显,图 3、4 描述了车道数和绿信比对设置公交专用道最佳公交流量比的影响。

交叉口进口车道数目对设置公交专用进口道最佳公交流量比例影响较大,随着进口车道数的增加,设置公交专用道所需公交车流量逐渐降低,这反应出道路条件对设置公交专用道的制约性,拓宽城市道路交叉口以增加进口车道为开辟公交专用道提供了有利条件。在城市道路交叉口车道数相同的条件下,不同的信号配时方案对公交专用道的开辟影响较大,随着进口道绿信比的增大,设置公交专用道所需公交流量比例逐渐降低,在周期时长一定的情况下延长交叉口公交主流向的绿灯时间可以减少交叉口人均延误,提高交叉口运行效益。另外,当其他条件不变时,随着交叉口进口车流量的增加,最佳公交流量比例逐渐上升。

3 结 语

开辟公交专用道是一项系统工程,需要综合考虑多方面的因素。以微观效益分析为基础探讨设置公交专用道的交通条件,研究发现纯路段设置公交专用道的最佳公交流量比例主要受道路交通量、车道数和车道通行能力的影响,交叉口设置公交专用进口道的最佳公交流量比例主要受交叉口进口交通量、进口车道数、进口道通行能力和交叉口信号配时的影响。在考虑设置公交专用道的公交流量条件时,建立的模型没有包括公交站点的影响。事实上,由于公交站点的存在,公交车辆和社会车辆路段行程时间都受到影响,建立模型时如何将公交站点影响因素加入,如何量化公交站点对车辆行程时间的影响,这是需要考虑的一个重要因素。同时,公交专用道的开辟可能导致非公交专用道通行状况恶化,在考察公交专用道设置条件时,还应结合路段通行能力考虑交通负荷度。

参考文献:

- [1] 叶欣,陈学武,李文勇.城市公共交通专用道的设置研究与应用[J].中国市政工程,2006(2):16-18
- [2] 张卫华,黄艳君,胡刚.城市公共交通专用道设置标准的探讨[J].交通标准化,2003(7):33-36
- [3] 丁卫东,柳祖鹏,刘明.城市公交专用车道系统规划与设置研究[J].交通科技,2004(4):96-98
- [4] 李彬,郭冠英,杨东援.城市公共交通专用道规划研究[J].合肥工业大学学报,1999,22(3):57-61
- [5] Dowling R, A Skabardonis. Improving Average Travel Speeds Estimated by Planning Models[C]. Transportation Research Record 1366, TRB, National Research Council, Washington DC, 1992: 68-74
- [6] Singh R. Beyond the BPR Curve: Updating Speed-Flow and Speed-Capacity Relationships in Traffic Assignment[R]. 5th Conference on Transportation Planning Methods Applications, Seattle, 1995
- [7] Skabardonis A, R Dowling. Improved Speed-Flow Relationships for Planning Applications. Transportation Research Record 1572[C], TRB, National Research Council, Washington DC, 1997: 18-23
- [8] 黄艳君.城市公共道路路段优先通行技术及评价方法研究[D].南京:东南大学,2003