

基于时间效益的城市公交专用道设置流量条件

王 涛^{1,2}, 陈 峻¹

(1. 东南大学 交通学院, 210096 南京; 2. 桂林电子科技大学 建筑与交通工程学院, 541004 广西 桂林)

摘 要: 为了精确分析公交专用道设置临界条件,在基本路段车速模型适用性分析的基础上,引入公交车流量、社会机动车流量、公交车比例等参数,分别建立了改进的混行机动车运行速度模型和设置公交专用道后机动车运行速度模型,并选取单向三车道路段进行实验调查,用采集的数据对改进模型进行标定.运用改进的模型,对公交专用道设置前后车辆运行速度差异性的分析可以发现,随着路段车流量(饱和度)的变化,车辆速度差异的变化呈现无差异、差异变大两个显著的阶段.进而从总出行时间的最小的角度,建立时间效率模型,用于计算设置公交专用道的临界条件.试算结果表明在公交比例较小时公交专用道设置的临界条件低于传统标准,公交比例较大时公交专用道设置的临界条件高于传统标准,公交比例变量的引入有助于细化公交专用道设置的临界条件.

关键词: 公交比例;速度模型;公交专用道;时间效益;流量条件

中图分类号: U491 文献标志码: A 文章编号: 0367-6234(2014)04-0115-07

Traffic volume conditions of setting bus lane on urban roadway based on time utility

WANG Tao^{1,2}, CHEN Jun¹

(1.School of Transportation, Southeast University, 210096 Nanjing, China; 2.School of Architecture and Transportation, Guilin University of Electronic Technology, 541004 Guilin, Guangxi, China)

Abstract: To analyze the condition of setting bus lane more accurately, a basic road speed model was introduced with its applicability. The model's formulation of vehicle and bus was modified by considering different traffic parameters as vehicle volume, bus volume and ratio of bus. To calibrate road speed models respectively, the empirical data from two three-lanes one-way road section with and without bus lane was collected. Comparing the regulation of different speed between the traffic flow with and without bus lane, shows that the speed varied for two distinct intervals of no difference and the difference increased with the change of road traffic volume (saturation). Furthermore, the time utility models were set up to describe the traffic volume condition of setting bus lane. The conclusion shows that the traffic volume condition is lower than traditional standard when the proportion of bus is low and vice versa. The proportion of traffic in the composition of public transportation would help refine the different discrimination of setting bus lane.

Keywords: ratio of bus; speed model; bus lane; time utility; volume conditions

为了缓解城市交通拥堵问题,优先发展公共交通已经成为世界各国进行交通系统优化的重要

内容,其中公交专用道作为一种常见的公交优先的手段,已经在很多城市开始实施.而公交专用道的设置在提高公交车运行效率的同时可能会降低社会车辆(本文指小汽车)的运行效率,另外,如果公交专用道设置不当可能会使公交专用道的利用率较低,设置公交专用道之后交通参与者的人均出行时间反而升高.为提高道路综合利用效率,科学合理的配置道路资源,有必要根据公交车辆

收稿日期: 2013-03-25.
基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51238008);国家自然科学基金资助项目(51268006);桂林电子科技大学广西信息科学实验中心资助项目(20130320).
作者简介: 王 涛(1985—),男,博士研究生;
陈 峻(1972—),男,教授,博士生导师.
通信作者: 王 涛, wangtao_seu@163.com.

和社会车辆运行特性的差异,确定公交专用道设置的临界条件.而行程时间或速度是体现道路交通状态的综合性指标,最常用的是描述路段车辆行驶时间或速度与路段交通负荷之间的函数关系模型,如 BPR 模型 (bureau of public roads function)^[1]、基于流量守恒法的模型^[2]、圆锥形流量-延误模型^[3]和 HCM (highway capacity manual) 模型等^[4],但是上述研究方法,将公交车转换成单位小汽车来进行交通流分析,并不能真实反映公交车和社会车辆自身的运行状态.文献[5-6]采用交通模拟仿真软件对公交车流和社会车流的速度、流量等参数进行模型,量化两者之间的相互作用关系,但是其结论更多基于仿真软件提供的模型,而车流运行状态的真实性有待检验.文献[7-10]分别从交通流饱和度、公交车流量、公交和社会车辆道路断面乘客数量等多个角度研究城市公共交通专用车道设置的条件,这些成果缺少严格的定量分析依据.

本文以城市道路路段公交专用道设置前后交通流运行特性的差异为研究对象,通过交通调查的设计和数据处理分析,构建考虑公交比例的专用道设置前后公交车与社会车辆运行的车流速度模型,进而分析各种速度变化特征,从两种出行方式出行者总时间效益最大化的角度,研究不同公交比例条件下公交专用道设置的流量条件.

1 基本车速模型的建立

1.1 考虑公交影响的路段车速模型

在基于地点交通参数估计平均行程时间或速度的方法中,流量函数模型的研究与应用最为广泛.其中 BPR 路阻函数模型^[1]是最具代表意义的一个研究成果,其数学表达式为

$$t = t_f \cdot \left[1 + a \left(\frac{q}{c} \right)^\beta \right]. \quad (1)$$

式中: t 为路段上车辆的行程时间, t_f 为零流量时车辆在路段上的行程时间, q 为道路流量, c 为道路路段实际通行能力, α, β 为模型参数.

BPR 模型虽然只是一种描述道路交通通畅程度的经验模型,具有一定的缺陷,但是其仍然可以作为一种重要的行程时间或速度估计模型.

文献[11]对式(1)进行重新构建,考虑不同车型的相互影响,其通用模型可表示为

$$v(q_1, \dots, q_i, \dots) = \frac{v_f}{\prod_i [1 + \alpha_i \cdot (q_i/c_i)^{\beta_i}]}. \quad (2)$$

式中: v_f 为零流量下的小汽车、公交车等车辆运行车速, i 代表同向小汽车、同向公交车等因素.

虽然目前的路阻函数模型已有很多,但是大部分模型对速度的定义均为路段车辆的平均速度.即在应用速度模型计算车辆在指定路段上的行驶时间时,大型车辆和小型车辆的行驶时间相同.图 1 给出通过实际调查得到的南京中山路单向三车道公交车与社会车辆混合行驶下的车速与车流饱和度关系.可以看出,公交车辆的速度与社会车辆的速度在相同和不同路段饱和度情况下均存在差异.因此将路段所有车辆平均速度作为公交车的平均速度或社会车辆的平均速度均不合理,有必要通过数据分析分别建立两者的速度模型.

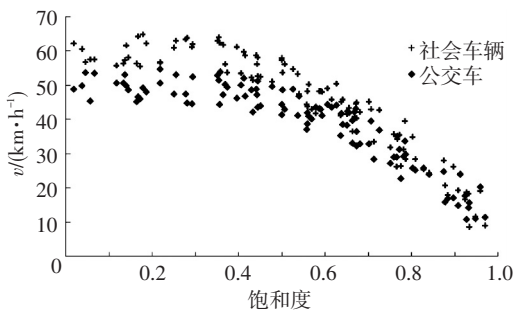


图 1 公交车与社会车辆在混行路段车速、饱和度关系图

1.2 改进的公交与社会车辆速度模型

设置公交专用车道前车辆速度模型.对于混合车流,理论上在计算道路上交通量时,通常将公交车乘以对应的车辆换算系数转换成标准车辆来计算,但是这种换算方法忽略了公交车和社会车辆之间的差异性和相互影响对道路上交通流运行特性的影响.在实际应用中,由于混合车流的车辆组成和跟驰序列都是随机的,不同车型组合情况下的车头时距、车头间距等都各不相同.因此,为了更好地体现公交车对混行车流的影响,本文在计算交通量时不进行大车修正系数的换算,而采用车流绝对数量.同时现有的车辆类型单位转化都是在固定的比例条件下进行的,但是在混行交通流中,公交车和社会车辆的比例是连续变化的,因此上述方法也不合理.

为此,本文对式(1)进行改进,建立一种能够反应公交车比例对混行交通流运行状态影响的改进模型.将式(1)中 α 用公交比例 η 的线性关系来描述,因此本文建立一种改进的车辆速度模型为

$$v = \frac{v_0}{1 + (a + b \cdot \eta) \cdot \left(\frac{q}{c} \right)^\beta}. \quad (3)$$

式中: q 为混合车流量, v 为公交比例为 η 时路段上的车辆(社会车辆或公交车辆)行驶速度, v_0 为零

流量时车辆在路段上的行驶速度, c 为路段通行能力, η 为混行交通流中的公交比例, a 、 b 、 β 为待定参数,可通过实测数据拟合标定。

本文在对式(3)中的通行能力进行估算时,不考虑车型差异,仍基于现有道路通行能力估算方法, q/c 与通常的饱和度数值含义不同,但这并不影响式(3)中公交比例对混行交通流运行状态影响的描述。

设置公交专用车道后车辆速度模型.设置公交专用道后车道的功能重新分配,公交车和社会车辆速度主要受自身交通流的影响.如果公交专用道采用标线隔离,由于驾驶员视觉和心理作用,公交车辆和社会车辆仍然会相互影响^[11],特别是当交通流饱和度较大时,影响更为显著.但是这种影响和混行交通流的影响不同,因此本文基于式(2)建立一种同时考虑公交专用道与非公交专用

道饱和度的改进模型,即

$$v(q_c,q_b)=\frac{v_0}{\left[1+\alpha_1\left(\frac{q_c}{c_c}\right)^{\beta_1}\right]\cdot\left[1+\alpha_2\left(\frac{q_b}{c_b}\right)^{\beta_2}\right]}.$$

(4)

式中: v 为受公交车和社会车辆影响时的车辆(社会车辆或公交车辆)行驶速度, q_c 、 c_c 分别为社会车流量和非公交专用道实际通行能力, q_b 、 c_b 分别为公交车流量和公交专用道实际通行能力, α_1 、 β_1 、 α_2 、 β_2 为待定系数。

2 数据调查与采集

本文通过在南京市和深圳市选择了有无公交专用车道的双向6车道(单向3车道)典型路段共4条开展交通实验调查,具体结果如表1所示。

表1 调查路段具体信息表

路段名称	单向车道数/条	公交车道数/条	单车道宽度/米	社会车辆(混行路段)通行能力/(pcu·h ⁻¹)	公交专用道路段通行能力/(pcu·h ⁻¹)	公交车平均自由流速度/(km·h ⁻¹)	社会车辆平均自由流速度/(km·h ⁻¹)
笋岗西路	3	1	3.35	2 600	720	49	57
龙蟠中路	3	1	3.5	2 200	720	47	61
太平北路	3	—	3.5	3 000	—	45	57
中山路	3	—	3.35	2 800	—	44	63

调查路段选择考虑的主要因素有:1)为避免交叉口附近的车流加速和减速的影响,选取的调查路段距两端的交叉口至少在80 m以外,并距离公交中途停靠站点上游80 m以外;2)本文选择具有中央分隔带和机非隔离的路段,避免非机动车与行人对交通流的干扰.同样,选择中间无人行横道的路段,避免行人穿越对机动车流影响;3)选择路况较好的路段,避免因道路的坡度,线形和路面的质量而影响车速的正常运行。

调查方案实施时间段为6:00—22:00,覆盖车流高峰和平峰运行时间段.本文应用交通数据采集数据的仪器为Metrocount 5600气压管式车辆分型统计系统。

3 改进车速模型的建立及特性分析

3.1 设置公交专用车道前车速模型

利用调查得到的单向三车道混行路段社会车辆的车速、公交车辆车速、机动车交通量、道路通行能力、公交车比例等数据对式(3)进行标定。

设置公交专用车道前社会车辆速度模型为

$$v_c=\frac{v_{c0}}{1+(3.976+3.424\cdot\eta)\cdot\left(\frac{q}{c}\right)^{5.232}}.$$

(5)

设置公交专用车道前公交车辆速度模型为

$$v_b=\frac{v_{b0}}{1+(3.424+2.075\cdot\eta)\cdot\left(\frac{q}{c}\right)^{5.889}}.$$

(6)

检验结果:式(5)、(6)相关系数 R^2 分别为0.826、0.804,可以很好地反应调查数据所呈现的函数关系,回归参数的显著性检验可以通过显著水平为5%的检验。

为直观的展现设置公交专用道前车辆实际运行状态和模型的拟合程度,将公交比例为0.5~1.5时实际调查速度数据散点与假定公交比例为0.1的模型曲线对比,如图2、3所示,图中纵坐标为车辆实际速度与路段自由流速度比值.从图2、3可见,改进的模型的速度-饱和度曲线与实际调查数据拟合度较高,可以描述实际道路车辆运行状态。

3.2 设置公交专用车道后车速模型

利用调查得到的单向三车道设置公交专用道路段社会车辆的车速、公交车辆车速、机动车交通量、道路通行能力、公交车比例等数据对式(4)进行标定。

设置公交专用车道后社会车辆速度模型为

$$v_c' = \frac{v_{c0}'}{[1 + (\frac{1.716q_c}{c_c})^{4.014}] \cdot [1 + (\frac{0.291q_b}{c_b})^{2.965}]}$$

(7)

设置公交专用车道后公交车辆行驶速度模型为

$$v_b' = \frac{v_{b0}'}{[1 + (\frac{0.197q_c}{c_c})^{3.286}] \cdot [1 + (\frac{1.013q_b}{c_b})^{3.121}]}$$

(8)

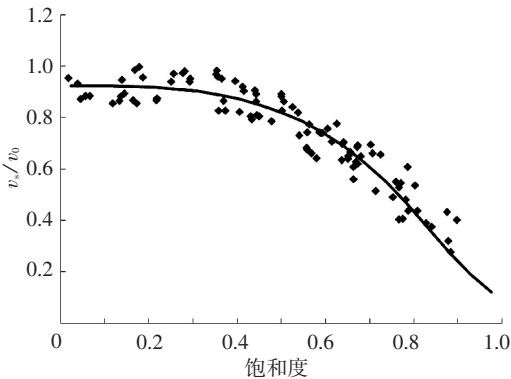


图 2 设置公交专用道前社会车辆实测速度散点图

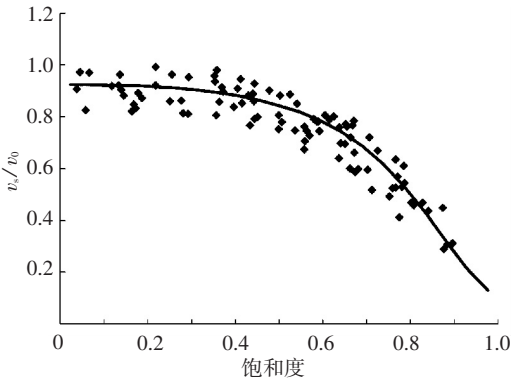


图 3 设置公交专用道前公交车辆实测速度散点图

检验结果:式(7)、(8)相关系数 R^2 分别为 0.708、0.733,可以很好地反应调查数据所呈现的函数关系,回归参数的显著性检验可以通过显著水平为 5%的检验。

为直观地展现设置公交专用道后车辆实际运行状态和模型的拟合程度,将公交比例为 1.5~2.5 时实际调查速度数据散点与假定公交比例为 0.2 的模型曲线对比,如图 4、5 所示,图中纵坐标为车辆实际速度与路段自由流速度比值。从图 4、5 可见,改进的模型的速度-饱和度曲线与实际调查数据拟合度较高,可以描述实际道路车辆运行状态。

3.3 社会车辆和公交车速度差异性分析

为了进一步对比分析公交专用车道设置前后社会车辆和公交车辆速度随总车流饱和度增加的变化趋势,本文依据式(5)、(7),设定公交比例为 0.3,公交专用道饱和度为 0.5,绘制公交专用道设置前后社会车辆、公交车辆速度变化图,如图 6、7 所示,取 $v_{c0} = 60 \text{ km/h}$, $v_{b0} = 50 \text{ km/h}$ 。

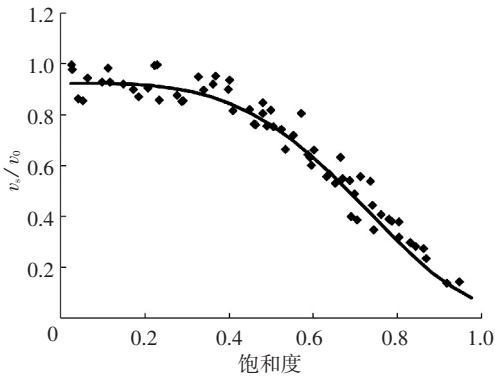


图 4 设置公交专用道后社会车辆实测速度散点图

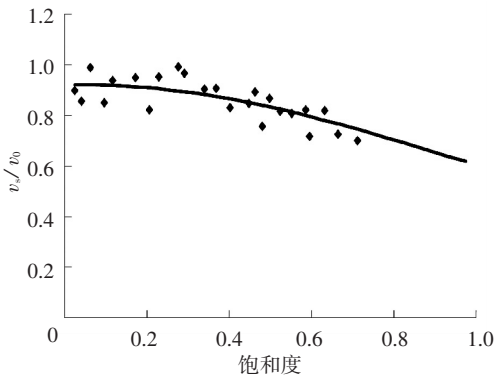


图 5 设置公交专用道后公交车辆实测速度散点图

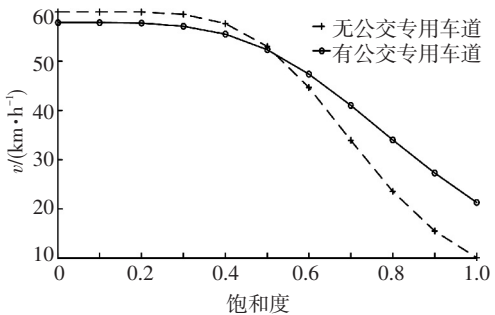


图 6 设置公交专用道前后社会车辆速度变化趋势图

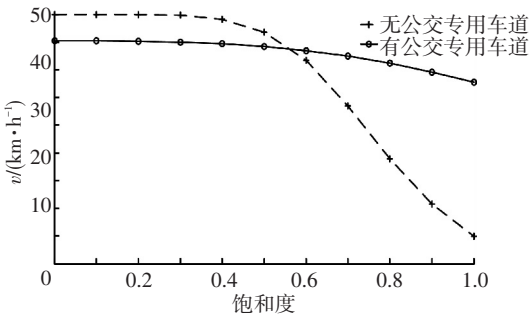


图 7 设置公交专用道前后公交车辆速度变化趋势图

从图 6、7 可以看出:对于社会车辆而言,设置公交专用道前后社会车辆的速度运行特性的变化呈现两个阶段:在饱和度较小时,设置公交专用道前后车辆速度变化差异不大,是否设置公交专用道对道路交通速度运行特性影响不大;在饱和度较大时,未设置公交专用道路段车辆速度随着饱和度的增加速度迅速下降,此时设置公交专用道路段车辆运行速度大于未设置公交专用道路段车辆速度.公交车运行状态呈现类似变化特点.

依据式(6)、(8),设定公交比例 0.3,非公交专用道饱和度 0.5,绘制公交专用道设置前后车辆速度变化趋势图如图 8、9 所示.图中纵坐标为车辆速度与自由流速度比值.

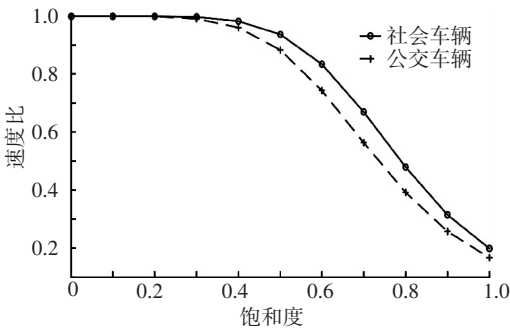


图 8 设置公交专用道前社会车辆与公交车辆速度变化趋势图

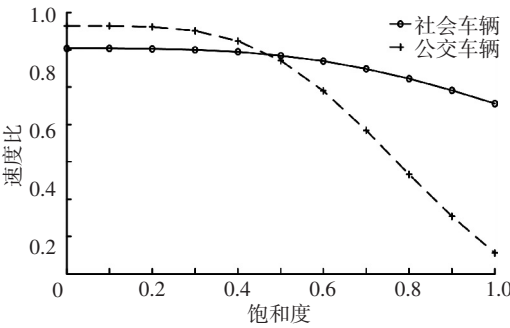


图 9 设置公交专用道后社会车辆与公交车辆速度变化趋势图

从图 8、9 可以看出,未设置公交专用道前,相对于社会车辆,公交车的速度比曲线随着饱和度变化更平缓,公交车对路段饱和度的敏感性相对较差.可以解释为,对于混行流,由于社会车辆的速度相对公交车较大,速度较大的车辆更容易受到周围环境的影响,因而公交车的速度相对而言受公交比例的影响较小.未设置公交专用道前,随着饱和度的增加,社会车辆和公交车的速度差异逐渐变小,最终到达一致,在公交比例较大时公交车的速度在高饱和度的情况下甚至可能大于社会车辆的速度,这是因为此时路段交通流速度

由公交车速度决定,社会车辆处于跟驰状态速度小于公交车速度.设置公交专用道后,在饱和度较低时,社会车辆与公交车速度对饱和度的敏感性差别不大;在饱和度较大时,公交车和社会车辆的速度特性才呈现明显差异.

由此可见,在一定的流量条件下设置公交专用道才对提高道路交通运行质量有利,为此需要明确设置公交专用道的临界流量条件.

4 基于时间效益的单向三车道道路公交专用道设置流量临界约束

对比设置公交专用道前后两种出行方式出行者总时耗,以实现路段交通出行时间效率的整体提高为目标,提出一种基于出行者时间效益的公交专用道设置流量临界约束模型.

设定社会车辆的平均载客人数为 a ,公共汽车的平均载客人数为 b ,为方便比较,本文取速度模型倒数 $1/v$ 作为车辆平均运行时间.利用上文建立的三车道道路设置公交专用道前后社会车辆和公交车速度模型,计算公交专用道设置流量临界流量.

4.1 未设置公交专用车道道路的出行时耗

社会车辆出行时耗.对于未设置公交专用道路段,社会车辆方式出行者通过路段总时耗可表达为

$$t_c = (1 - \eta)a \cdot q \cdot \frac{1}{v_c}. \tag{9}$$

式中: $1/v_c$ 为公交专用车道设置前社会车辆上的每位乘客通过路段平均所需的时间,可由式(5)计算.

公交车出行时耗.对于未设置公交专用道路段,公交车方式出行者通过路段总时耗可表达为

$$t_b = \eta b \cdot q \cdot \frac{1}{v_b}. \tag{10}$$

式中: $\frac{1}{v_b}$ 为未设置公交专用道路,公交车上的每位乘客通过路段平均所需的时间,可由式(6)计算.

由式(9)、(10)可知,未设置公交专用道路,社会车辆出行方式和公交车出行方式的出行者总消耗时间为

$$t = t_c + t_b. \tag{11}$$

4.2 设置公交专用道道路的出行时耗

社会车辆出行时耗.对于设置公交专用道路段,社会车辆方式出行者通过路段总时耗可表

达为

$$t_c' = (1 - \eta)a \cdot q \cdot \frac{1}{v_c}.$$

(12)

式中: $\frac{1}{v_c}$ 为未设置公交专用道道路,公交车辆上的每位乘客通过路段平均所需的时间,可由式(7)计算.

公交车辆出行时耗.对于设置公交专用道路段,公交车方式出行者通过路段总时耗可表达为

$$t_b' = \eta b \cdot q \cdot \frac{1}{v_b}.$$

(13)

式中: $\frac{1}{v_b}$ 为未设置公交专用道道路,公交车辆上的每位乘客通过路段平均所需的时间,可由式(8)计算.

出行者总时耗为

$$t' = t_c' + t_b'.$$

(14)

4.3 设置公交专用道的时间效益临界约束

公交专用道设置之后,通过路段的人均出行时间要小于未设置公交专用道的情况下的人均出行时间,即

$$t' \leq t.$$

(15)

其次,设置了公交专用道后,社会车辆的平均行驶速度在自身流量较大的情况下会比公交车辆的平均行驶速度要小,考虑城市的公交优先的发展支持程度,由于设置公交专用道引起社会车辆运行速度的降低要在其可接受范围以内,即

$$v_c' \geq \delta \cdot v_b'.$$

(16)

式中: δ 为公交车优先系数,反映在公交优先政策下,社会车辆对延误增加的承受度.

影响公交车优先策略的因素主要有城市交通的发展理念、城市形态、政府意愿等,另外城市内部不同区域的功能定位也会影响公交车优先策略^[12].以上影响因素在交通系统的直观的表现为规划年公共交通和非公交机动车的出行比例.因此,公交优先系数可以解释为规划年非公交机动车出行比例与公交出行比例的比值,另外 δ 应小于 1.

以珠海市为例,规划至 2030 年,珠海市居民公共交通出行比例为 35%,非公交机动车出行比例为 25%,则珠海市公交优先系数为 0.72.

由此本文建立单向三车道道路,在不同公交比例下,设置公交专用车道的流量临界约束模型为

$$\begin{cases} t' \leq t, \\ v_c' \geq \delta \cdot v_b'. \end{cases}$$

(17)

为了检验约束条件对应的计算结果,假定社会车辆的平均载客人数 a 为 3、公交车辆的平均载客人数 b 为 30,假定未设置公交专用道道路通行能力为 3 000 pcu/h,设置公交专用道道路,非公交专用道通行能力为 2 200 pcu/h、公交专用道通行能力为 720 pcu/h^[13], δ 为 0.85,则单向三车道道路不同公交比例下设置公交专用道的临界交通条件的计算结果如表 2 所示.

表 2 单向三车道道路设置公交专用道的临界条件

公交比例	q	q/c
0.1	2 193	0.731
0.2	2 046	0.682
0.3	1 851	0.617
0.4	1 506	0.502

从上表可以看出:1) 不同公交比例条件,单向三车道道路设置公交专用道的临界流量不同.2) 道路交通流公交车所占比例越高,设置公交专用道的临界饱和度越低.对比文献[13](设置公交专用道标准饱和度大于 0.69),式(17)给定的饱和度临界条件在公交比例为 0.1 时高于文献[13]的标准,但是公交比例大于 0.2 时,式 18 给定的饱和度临界条件要低于文献[13]的标准.这是因为本文给定的设置公交专用道的临界值考虑了公交比例的影响,所以临界饱和度针对不同公交比例应该有所差异.3) 公交专用道设置的临界条件与道路的通行能力有关,道路的通行能力越大,能够通行的车辆越多,设置公交专用道所要求的公交车流量就越大,以达到公交专用道的利用率不比非公交专用道的利用率低太多.公交车和非公交车的载客人数对专用道设置的临界条件也有影响,根据模型建立的约束条件知道,公交车的平均载客人数越多,公交专用道设置临界模型的最佳公交车比例就越小.

本文提出的模型形式具有较高的普适性,但给出的具体标定模型是在特定试验路段上得到的,在应用于其他道路时,需要对模型参数进行专门标定;本文将公交优先系数解释为规划年非公交机动车出行比例与公交出行比例的比值,公交优先政策下社会车辆对延误增加的承受度可通过问卷调查进行验证.

5 结 论

1) 构建了改进的公交车与社会车辆混合运

行的车流速度模型,设置公交专用道车流速度模型,并通过分析交通运行状态可知,设置公交专用道前后车辆的速度运行特性的变化呈现两个阶段,且具有显著性.

2) 随着路段车流量(饱和度)的变化,公交车速和社会车辆速度差异的变化同样表现为两个较为明显的区间,对这种区间的量化研究有助于解析交通运行状态.

3) 从总出行时间最短出发,提出公交专用道设置临界条件的计算方法并进行不同公交比例对应的计算,相对传统服务水平计算结果而言,成果更为丰富,更能够反映不同公交比例对公交专用道设置的要求.

参考文献

[1] Bureau of public roads traffic assignment manual[R]. Washington, DC: Department of Commerce, 1964.

[2] NAM D H, DREW D R. Automatic measurement of traffic variables for intelligent transportation systems applications[J]. Transportation Research B, 1999, 33: 437-457.

[3] SPIES S H. Conical volume-delay functions[J]. Transportation Science, 1990, 24(2): 153-158.

[4] Transportation research record special report 209: highway capacity manual[R]. Washington, DC: National Research Council, 2000.

[5] LI H, MAO B. Evaluating the impacts of bus facility design features on transit operations in Beijing, China: a

simulation approach[C]//The 87th Annual Meeting Transportation Research Board. Beijing: [s. n.], 2008.

[6] ARASAN V T, VEDAGIRI P. Bus priority on roads carrying heterogeneous traffic: a study using computer simulation European[J]. Journal of Transport and Infrastructure Research, 2008, 8(1): 45-64.

[7] ZHU H B. Numerical study of urban traffic flow with dedicated bus lane and intermittent bus lane[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2010, 389(16): 3134-3139.

[8] 马红江, 赵雅秀, 李政, 等. 公交专用车道设置效益分析[J]. 交通信息与安全, 2011, 1(29): 86-88.

[9] LEI Liangui, SUN Quanxin. Relationship between length of bus-only lane and operational efficiency[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2009, 9(5): 160-165.

[10] LI Tiezhu, DING Jianyou, SUN Yunfeng, et al. Traffic condition for bus lanesetting on urban arteries[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology: Science and Technology, 2010, 35(1): 56-60.

[11] 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.

[12] 杨希锐. 考虑公交优先的城市道路时空资源优化方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.

[13] 刘伟, 别牧, 张建旭, 等. 设置公交专用道的流量条件研究[J]. 重庆交通学院学报, 2005, 24(6): 129-132.

(编辑 魏希柱)