

城市灯控平面交叉口的 自行车交通设计研究

王 庆 陈学武

东南大学，交通规划与管理江苏省重点实验室，南京 210096

摘 要：城市灯控平面交叉口混合交通流安全和效率的核心研究对象应该是自行车与机动车交通流间的相互影响。本文在大量的理论分析和实践的基础上，探讨时空分离法的自行车交通设计的基本原则和交通空间设计方法，即自行车右转弯专用车道设计、左转自行车二次过街以及自行车与行人过街一体化设计，并进行了南京市太平北路与珠江路交叉口的应用实例分析。本文的城市灯控平面交叉口自行车的交通设计方法可为解决城市灯控平面交叉口混合交通问题提供借鉴。

关键词：灯控平面交叉口；自行车；时空分离法；交通设计

中图分类号：U491.1

文献标识码：A

文章编号：1672-4747(2008)04-0014-08

On the Bicycle Traffic Design at the Urban Signal Intersection

WANG Qing CHEN Xue-wu

Jiangsu Provincial Key Laboratory of Transportation
Planning and Management,

Southeast University, Nanjing 210096, China

Abstract: The key research object of safety and efficiency of the mixed traffic flow should be the interaction influence between the bicycle flow and motor vehicles'. Based on the theoretic analysis and practice, a basic principle for traffic design at a signal intersection and a method for the traffic space design according to the space time separate method, i. e. the bicycle right turn lane, bicycle left turn across two road, bicycle and passenger incorporated design are put forward, and an application to the intersection from

收稿日期：2007-11-05.

基金项目：“十一五”国家科技支撑计划（2006BAJ18B07）。

作者简介：王 庆（1969-），女，汉族，河南南阳人，工学硕士，东南大学交通学院副研究员，研究方向：交通运输规划与管理。

North Taiping Road to Zhujiang Road of Nanjing was then made. The method for designing the bicycle traffic on the city's signal intersection presented here would be a good reference for solving the mixed traffic problems of the urban signal intersection.

Key words: Signal intersection, bicycle, the space time separate method, traffic design

0 前 言

现阶段自行车(含电动自行车,下同)交通仍是我国城市的主要交通方式之一,城市灯控平面交叉口以混合交通为其最显著的特征。而混合交通流安全和效率的核心研究对象应该是自行车与机动车交通流间的相互影响。灯控交叉口的通行能力和服务水平很大程度上取决于交通管理方式(特别是对于自行车的管理方式)和信号控制方案,有关不同管理模式下自行车的交通设计研究对提高灯控交叉口的服务水平具有十分重要的意义。

1 现行城市灯控平面交叉口自行车放行方法分析

观察显示通过交叉口停车线的自行车平均速度为 4.06 km/h,在无警察和协勤人员管理时,易出现闯红灯和在交叉口内抢行的违章现象。从实际观察情况看,自行车的延误一般可分交叉口停车线前的延误

与过停车线后在交叉口内滞留的延误,前者为红灯时间造成,后者为各种车辆和行人相互干扰影响所造成。根据北京 8 个交叉口高峰小时的观测资料,自行车在灯控平面交叉口的延误时间为 18.8~25.2 s^[1]。2006 年南京的 4 个灯控平面交叉口高峰小时延误调查结果显示为 21.3~31.2 s^[2],详见表 1。

表 1 南京市 4 个灯控平面交叉口的自行车延误时间/s

Tab.1 Bicycle delay time at an intersection controlled by 4 signal lights in Nanjing/s

交叉口	湖北路 —云南路	中山北路 —湖南路	中山北路 —新模范马路	马台街 —湖南路
延 误	22.5	24.2	31.2	21.3

灯控交叉口减少延误提高通行能力的关键是消除冲突点。综合考虑灯控交叉口机动车、自行车、行人通过交叉口时的通行权、先行权、占用权要求,自行车的放行方法有三种:时间分离法、空间分离法、时空分离法。它们的方法、适用条件及应用现状见表 2。

表 2 时间分离法、空间分离法、时空分离法三种自行车放行方法的比较^[4]

Tab.2 Comparison among the three kinds of bicycle's green-light methods

比 较	类 别		
	时间分离法	空间分离法	时空分离法
方 法	设一专有相位,此相位行人和自行车可以从不同方向上迅速通过交叉口,即机动车信号灯为全红,自行车和行人信号灯为全绿,其他相位行人和自行车信号灯为全红。	自行车按机动车相位走,交叉口只设机动车信号灯和行人信号灯。	在交叉口中间划定一块面积为自行车禁驶区并设置实体隔离。进入交叉口的自行车只能在自行车过街横道内按信号控制行驶。
适用条件	自行车流量很小、行人流量大、机动车流量中等且对角线行人过街时间<30 s的交叉口。	行人、自行车严格做到看信号灯走。交叉口面积大,自行车与机动车流量大且设有专用左转相位的交叉口。	左转自行车流量较低或范围较大的两相位控制交叉口,设置隔离护栏且安装自行车专用信号灯。
应用现状	设置条件不易满足,应用较少。	应用较多,但在左转绿灯初期和尾部时,左转自行车抢行或利用直行机动车的间隙穿越的情况较突出。	由于相关的设计方法不全面,目前仅在北京、南京、成都试用。

以 20 m 宽道路相交的交叉口为例,在信号周期时长、直行自行车相位时间、自行车进口道宽度均相

等的条件下,空间分离法与时空分离法相比,单进口道自行车通行能力和交叉口自行车通行能力分别降

低了30%以上^[3]。时空分离法比目前相关的设计方法不全面且实际使用不多,故笔者将在下面重点研究时空分离法的自行车交通设计方法。

2 城市灯控平面交叉口自行车的交通设计方法

针对时空分离法的特点,笔者提出了灯控平面交叉口自行车交通设计的基本原则如下:

(1)使机非交通的冲突点尽量远离机动车交通间的冲突点,使自行车处于危险状态的时间最少;

(2)使自行车以适宜的速度(10 km/h以下)有序地通过交叉口;

(3)使机动车驾驶员明确自行车在交叉口的行驶路线与方向;

(4)尽量给自行车等候区提供实物隔离,以确保停车安全。

根据以上原则,围绕灯控平面交叉口自行车的右转、左转、直行需求,本文重点探讨了自行车右转弯专用车道设计、左转自行车二次过街设计及时空分离法的特例——自行车与行人过街一体化设计等设计方法。

2.1 自行车右转弯专用车道设计

通常在右转自行车流量较大,且用地条件许可时设置自行车右转弯专用车道。以绿化岛、交通岛或隔离墩等与其它方向的自行车行驶空间加以区分;骑车人严格遵守“各行其道”规则。自行车右转专用道入口离交叉口停车线的距离由红灯期间自行车的排队长度确定。

如果没有条件将右转自行车在空间分离,可以在时间上将其与右转机动车分离,其时间设计对策与方法主要包括绿灯时间禁止机动车右转弯或对右转弯机动车实行迟启控制。

当机动车右转车流量较大时,易导致直行和左转弯的自行车被阻,从而造成交通拥挤混乱。此时,可采用绿灯信号期间禁止机动车右转弯,而将其改在红灯期间通行,从而消除自行车高峰期间机动车对自行车

的干扰,提高交叉口的通行效率。但是,在绿灯时间内完全禁止右转弯机动车的通行,必然会导致右转弯机动车延误的增加,考虑到直行和左转弯的自行车在绿灯中后期的密度明显比初期降低,因此,可以将右转弯机动车信号相对于冲突流向的自行车信号迟启,让右转弯机动车在绿灯中后期与自行车穿插通行,以减少右转弯机动车的延误。

2.2 左转自行车二次过街设施设计

左转自行车二次过街一般适用于自行车流量较大、左转自行车流量较低或范围较大的交叉口,运行情况见图1。自行车过街横道和自行车等候区设计是关键内容。这里以正十字灯控交叉口为例进行说明。

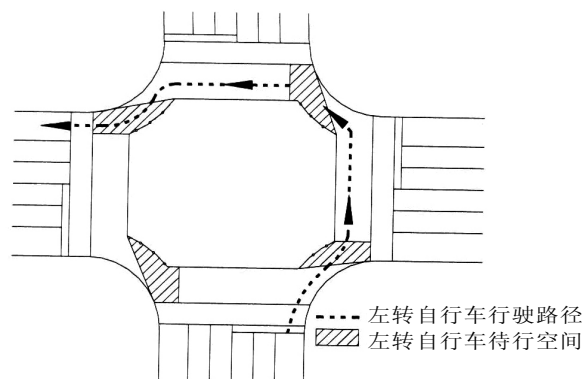


图1 左转自行车二次过街走行示意

Fig. 1 Left turn process of the bicycles across two roads at a intersection

2.2.1 自行车过街横道的设计

(1) 自行车过街横道宽度的确定

由实例观测可知,自行车在交叉口排队至绿灯起亮后依次启动通过停车线后,自行车间横向间距要求增大,针对这一特征,本文引入膨胀系数 K_p 表征其空间“膨胀”的客观要求。于是,交叉口内自行车流膨胀后的宽度 W_{bpi} 和自行车过街横道宽度 D_i 可以用以下公式计算^[5]:

$$K_{pi} = \frac{Q_p}{Q_0} \quad (1)$$

$$W_{bpi} = W_i \times K_{pi} \quad (2)$$

$$D_i = \frac{W_{bpi} + W_i}{2} \quad (3)$$

式中：

K_{pi} —— i 进口自行车流通过停车线后的膨胀系数；

Q_p ——在进口道未过停车线的 3.5 米路面宽度内包含的自行车静态停车时的车辆数；

Q_0 ——越过停车线在交叉口内 3.5 米路面宽度内包含的自行车行驶时的车辆数；

W_{bp} —— i 进口自行车流通过停车线后的宽度 ($i = 1, 2, 3, 4$), m；

W_i —— i 进口路段的自行车道宽度 ($i = 1, 2, 3, 4$), m；

D_i —— i 进口自行车过街横道宽度 ($i = 1, 2, 3, 4$), m。

如图 2 所示, W_i 为各进口道的自行车道宽度 ($i = 1, 2, 3, 4$)。AB、CD、EF、GH 为交叉口内转角处的圆弧, 此圆弧的曲线半径要满足右转机动车的行驶要求, 圆弧的长度则要满足自行车停放空间的需求, 即能够使自行车完全停放。此圆弧可用隔离栅栏分隔或路面标线标出。

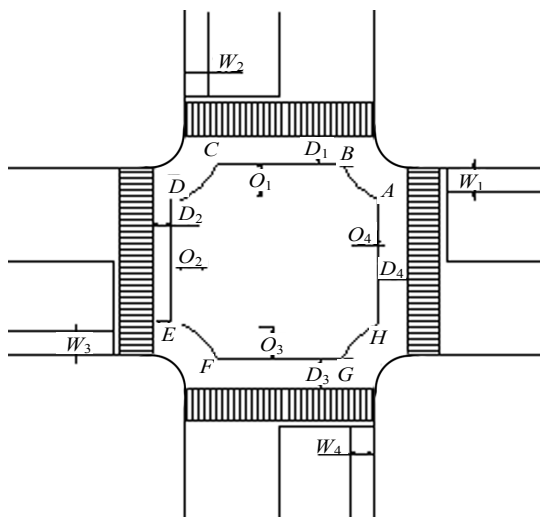


图 2 时空分离法的自行车二次过街的左转过街横道设计示意

Fig.2 Left turn lane design for the bicycles across two roads according to the space time separate method

(2) 自行车过街横道偏移量的检验

为检验自行车在交叉口内的运行宽度是否会影

响到机动车的直行, 或自行车过街横道宽度 D_i 设置的合理性, 笔者取自行车过街横道的横向偏移量 O_i 作为评价指标, 如图 2 所示。 O_i 应满足

$$O_i \geq \min O_i \quad \min O_i = \frac{W_{bpi} - D_i}{2} \quad (4)$$

式中：

O_i —— i 进口自行车过街横道的横向偏移量 ($i = 1, 2, 3, 4$), m；

$\min O_i$ —— i 进口自行车过街横道偏移量的最小值 ($i = 1, 2, 3, 4$), m；

W_{bpi} 、 D_i 意义同前。

(3) 左转自行车二次过街绕行距离的限值

由于左转自行车二次过街增加了左转自行车的过街绕行距离, 左转自行车的绕行距离一般应控制在 50 m 左右, 尽量不超过 100 m。因此, 从交叉口的几何形状分析入手, 以 20 m 宽道路相交的交叉口为例, 分析左转自行车二次过街适用于相交道路的角度 $\geq 70^\circ$ 的交叉口, 详见表 3。

表 3 左转自行车二次过街的绕行距离分析

Tab.3 Analysis on the roundabout distance for a bicycle turned left across two roads

相交道路角度/ ($^\circ$)	90	75	70	60	45
自行车绕行距离/m	45	80	95	125	165

2.2.2 自行车等候区的设计

在自行车和人行过街横道宽度确定后, 确定进口道停车线的位置。在自行车进口道的前面, 综合考虑左转自行车的运行方式及左转自行车等候区的设置方法计算等候区的面积。

(1) 左转自行车的运行方式

以进入十字交叉口的南进口道处的左转自行车为例, 一般左转自行车有三种运行方式:

① 左转自行车在南进口道处遇绿灯, 则随直行自行车运行至北面左转候车区内, 待东西方向的绿灯亮时再向西前进;

② 左转自行车在南进口道处遇红灯, 则在停车线处等待绿灯, 后随直行自行车运行至北面左转候车区内, 待东西方向的绿灯亮时再向西前进;

③ 左转自行车在南进口道处遇红灯，则先向西横向过街，在西进口道处等待南北绿灯，后运行至西出口道再向西前进。

目前①、②两种方式应用较多，而方式③实际上是左转自行车逆向二次过街，其与正常直行过街的自行车流发生两次正面冲突，加上与左右转机动车的冲突，使得自行车流在交叉口内的运行速度基本和行人过街速度相当，且自行车对交通规则的遵守程度较低，逆向过街使得自行车的管理难度加大，故不建议应用。

表 4 典型的正交十字路口转角拓展后交叉口面积的变化

Tab. 4 Intersection area change of a typical intersection with broaden corners

相交道路宽/m	正常转角半径/m	方案 A 转角半径/m	交叉口原面积/m ²	最大拓宽尺寸/m		增加面积/m ²		面积增大比例/(%)	
				方案 A	方案 B	方案 A	方案 B	方案 A	方案 B
30	25	40	4 500	6.2	7.3	800	700	18	16
20	20	35	2 500	6.2	5.8	700	450	28	18

注：A 指增大转角方案；B 指切角方案。

(3) 自行车等候区的面积计算

下面以切角方案 B 为例说明自行车等候区的面积计算方法。此时设计的等候区近似为以 GH 圆弧、左转自行车排队长度 h、南进口的自行车的停车线 S₁、西进口的左转自行车二次过街的停车线 S₂ 所围成的梯形。此梯形的面积 A 需满足左转自行车的等候需求，应留有供直行（右转）自行车通过的至少 0.5 m 的空间宽度，如图 3 所示。

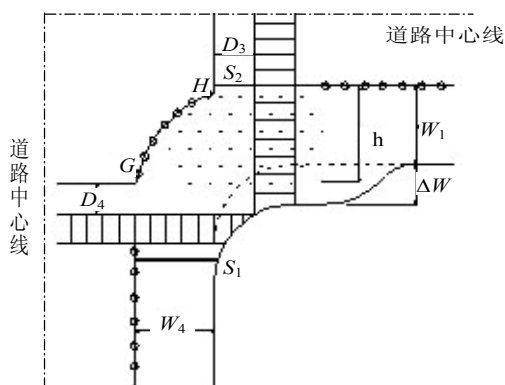


图 3 时空分离法的自行车左转二次过街等候区切角方案示意

Fig. 3 The cut-corner plan sketch of bicycle waiting area for the bicycles turning left across two roads according to the time-space separate method

(2) 自行车等候区的设置方法

为增大交叉口转角处自行车等候区的面积，交叉口转角的路缘石线形通常采用增大转角半径和直接切去转角两种方案。从石家庄市典型的正交十字路口拓展后交叉口面积的变化可以看出，增大转角的半径或直接切去转角后交叉口均可增加 16% 以上的面积，当然，实际拓展的空间还要受到交叉口周围建筑的制约，详见表 4^[2]。

图中：

- GH —— 圆弧（栅栏）的长度，m；
- W₁、W₄ —— 1、4 进口自行车道的宽度，m；
- S₁ —— 南进口自行车停车线，m；
- S₂ —— 西进口左转自行车二次过街的停车线，m。

$$A \geq N_{Li} \times a$$

$$\Delta W + W_i - h \geq 0.5 \quad (5)$$

式中：

- A —— 左转自行车等候区的面积，m²；
- N_{Li} —— i 进口左转自行车每周期的到达量，veh/周期；
- a —— 每辆自行车等候时所需的面积，m²/veh；
- ΔW —— 交叉口路缘石切角后增加的宽度，m。
- h —— 左转自行车排队长度，m；
- W_i 意义同前。

2.3 自行车与行人过街一体化设计

如果路段上自行车道与人行道之间用可穿越的行道树或不同颜色的路面进行柔性隔离；机动车道与自行车道、人行道之间通过不可穿越的灌木或栅栏进

行隔离,那么,在交叉口处就自然的将自行车和行人作为一个慢行交通体来设计,如图4所示。

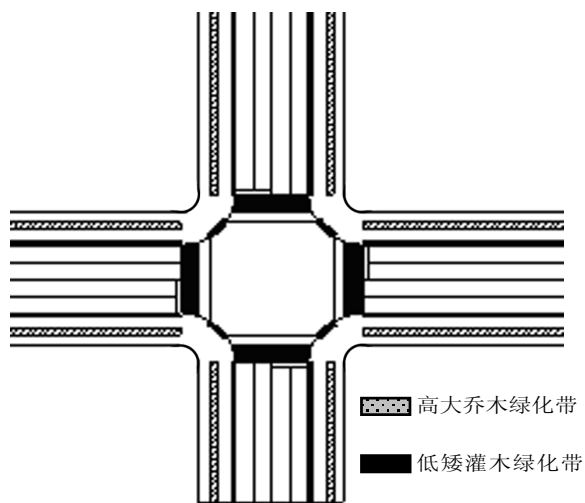


图4 灯控交叉口自行车与行人一体化设计示意

Fig. 4 The sketch map of the bicycle and pedestrian incorporated design at a signal intersection

如果路段上自行车道和人行道之间用不可穿越的灌木或栅栏进行隔离,对自行车流量较小的交叉口,可以在交叉口处合并自行车流和行人流,让自行车行驶在人行横道上,通过交叉口后自行车再重新行驶在自行车道上。此时要考虑在自行车高峰期,自行车与行人混行的过街横道的宽度可用自行车道通行能力来控制。

3 应用实例分析

处于南京闹市区的珠江路—太平北路交叉口,交通量和面积均较大,通过调查数据对现状自行车空间分离法的自行车左转等候区的使用效果进行评价,认为有必要对该交叉口自行车放行方法改为时空分离法。

3.1 采用时空分离法优化自行车交通设计的必要性分析

(1) 左转自行车与直行、左转机动车的相互干扰降低了交叉口通行的安全和效率

观察发现驶入左转等候区的部分左转自行车频繁寻找空档穿行,这样不仅导致直行机动车的通行时间损失,还易与直行右转车辆相交织,形成冲突;而且一些自行车会停在左转等候区靠近路缘石的区域,干扰右转车辆以及行人的通过。

另外交叉口的机动车的黄灯时间仅为2s,由于自行车启动快,经常在交叉口内部出现机动车清场未结束左转自行车已启动的情况,不仅干扰同相位的左转机动车,且降低本身的安全性。

(2) 左转自行车流量和现状自行车等候区的利用率均较低

数据显示该交叉口平均每周期通过的37辆自行车,其中9辆左转,即1/4的自行车左转。与该交叉口的机动车流量相比,该交叉口的自行车流量相对较低。

平均每个周期内,以左转自行车在交叉口等候时越过自行车左转等候区边缘线的自行车与全部等候自行车的比为自行车左转等候区越线率;以在自行车左转等候区内等候的左转自行车交通量与全部左转自行车交通量的比为自行车左转等候区利用率。那么,整个交叉口自行车左转等候区的平均越线率为28.81%;其中东进口的越线率则达到51.27%;整个交叉口自行车左转等候区的平均利用率为65.93%;其中北进口的利用率为59.02%。

通过以上定性定量的分析,说明对该交叉口的自行车进行时空分离法放行是必要的。通过设计自行车过街横道,将交叉口左转自行车使用空间分离法的左转等候区转变为使用时空分离法的自行车过街横道完成左转。

3.2 交叉口自行车过街横道宽度的设计

据调查,该东、北方向自行车进口道宽度均为 $W_i=3.5\text{ m}$,西、南方向均为 $W_i=5\text{ m}$,根据调查数据,由公式(1)计算得到膨胀系数 K_p ,如表5所示。

由公式(2)计算得到膨胀宽度 W_{bpi} ,根据公式(3)计算得自行车过街横道的宽度 D_i ,公式(4)计算自行车过街横道的偏移量临界值 $\min O_i$:

表5 各进口道膨胀系数 K_F 一览

Tab.5 The expanding coefficients K_F of each intersection inlet

进 口	周 期										均 值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
东	1.33	1.60	1.33	1.33	1.33	1.14	1.33	1.33	1.14	1.33	1.32
西	1.14	1.33	1.33	1.33	1.14	1.14	1.33	1.14	1.33	1.33	1.25
南	1.33	1.33	1.33	1.14	1.33	1.33	1.60	1.60	1.14	1.33	1.43
北	1.14	1.33	1.33	2.00	1.14	1.33	1.33	1.14	1.14	1.33	1.32

$$W_{bp1} = 3.5 \times 1.32 = 4.62 \text{ (m)} \quad W_{bp2} = 5 \times 1.25 = 6.25 \text{ (m)} \quad W_{bp3} = 5 \times 1.43 = 7.15 \text{ (m)} \quad W_{bp4} = 3.5 \times 1.32 = 4.62 \text{ (m)}$$

$$D_1 = \frac{4.62 + 3.5}{2} = 4.06 \text{ (m)} \quad D_2 = \frac{6.25 + 5.0}{2} = 5.62 \text{ (m)} \quad D_3 = \frac{7.15 + 5.0}{2} = 6.07 \text{ (m)} \quad D_4 = \frac{4.62 + 3.5}{2} = 4.06 \text{ (m)}$$

$$\min O_1 = \frac{4.62 - 3.5}{2} = 0.56 \text{ (m)} \quad \min O_2 = \frac{6.25 - 5.00}{2} = 0.63 \text{ (m)} \quad \min O_3 = \frac{7.15 - 5.00}{2} = 1.07 \text{ (m)} \quad \min O_4 = \frac{4.62 - 3.5}{2} = 0.56 \text{ (m)}$$

根据对交叉口尺寸以及区域面积大小的调查,可知该交叉口自行车过街横道偏移量 $O_i \geq \min O_i$,膨胀后的自行车流不会影响直行机动车的通行。自行车过街横道设计如图5所示。

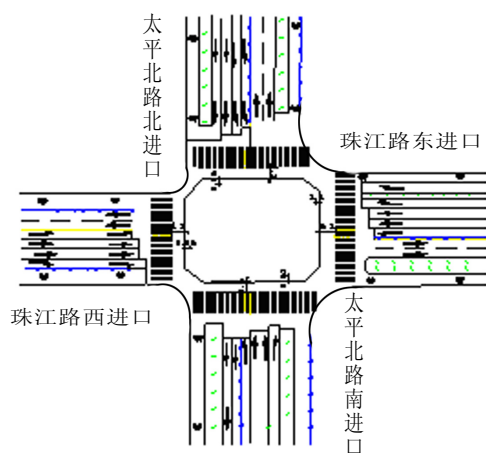


图5 珠江路—太平北路交叉口自行车过街横道设计

Fig.5 The bicycle cross-lane plan of the intersections in the North Taiping Road-Zhujiang Road

需要强调的是,为保障各种交通流严格做到“抬头看信号,低头看车道,停车不挡道”的要求,必须用交通标志标线、信号明确表现出相应的路权,即以交通标线显示通过交叉口时应该行驶或等待的空间,以交通信号显示通过交叉口的时间。

4 结束语

本文在理论分析和实践调查的基础上,通过对灯控平面交叉口自行车交通流的运行特征进行分析,探讨了时空分离法的自行车交通设计的原则和自行车交通空间设计的方法,即自行车右转弯专用车道设计、左转自行车二次过街以及自行车与行人过街一体化设计并进行了实例应用,可为解决城市灯控平面交叉口混合交通问题提供参考。

参考文献

[1] 刘东, 韩凤春, 陈永胜. 灯控交叉口自行车交通流运行特性研究[J]. 中国人民公安大学学报(自然科学版) 2004, (2): 89-92.
 [2] 赖元文. 大城市自行车交通特性及设施规划研究 [D]. 南京: 东南大学, 2006.
 [3] 孙明正, 杨晓光. 机非混行平面交叉口交通设计理论研究[J]. 公路交通科技, 2004, (8): 82-86.
 [4] 翟忠民著. 道路交通组织优化[M]. 北京: 人民交

运公交线网规划[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2005, (4): 98-100.

计站长计算初探[J]. 土木工程学报, 2003, 36(7): 76-81.

[8] 李娜, 陈学武. 公交车中途停靠站停靠能力及设

(中文编辑: 刘娉婷)

上接第9页

problem. In: Proceedings of the Integer Programming and Combinatorial Optimization the 6th International Conference (IPCO). Houston: 1998. 325-337.

[13] 徐周波, 古天龙, 赵岭忠. 网络最大流问题求解的符号 ADD 增广路径算法[J]. 计算机科学, 2005, 32(10):38-54.

(中文编辑: 吴继屏)

上接第20页

通出版社, 2004.

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

[6] [G] Talor D. Analysis of traffic signal clearance interval requirements for bicycle-automobile mixed traffic[J]. Transportation Research Record, 1993, (1405): 13-20.

(中文编辑: 吴继屏)