

信号交叉口非机动车 及行人交通控制研究

徐良杰^{1,2} 王 炜¹ 俞 斌¹

1. 东南大学, 交通学院, 南京 210018

2. 武汉科技大学, 交通运输工程系, 武汉 430070

摘 要: 本文简述了我国信号交叉口混合交通流特征和研究现状。针对我国典型四相位(双向左转)信号控制交叉口, 分析了行人、非机动车以及机动车的运行特征, 给出了计算行人和非机动车通行能力的公式和信号控制方法, 并结合南京市太平北路—珠江路交叉口的几何尺寸和流量数据进行了计算。计算结果表明, 通过设置行人、非机动车专用信号, 能够有效避开混合交通流在交叉口的冲突, 提高了交叉口的交通安全性及其通行能力。该研究的应用前景较为广泛。

关键词: 交通控制; 交叉口; 混合交通流; 冲突点; 通行能力; 信号配时

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2004)02-0102-08

Study on the Control of the Non-mobile and the Pedestrian at Signalized Intersection

XU Liang-jie^{1,2} WANG Wei¹ YU Bin¹

1. Transportation College, Southeast University, Nanjing 210018, China

2. Traffic Engineering Department,

Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430070, China

Abstract: The characteristics and the recent researches on signalized intersection with mixed traffic flow in our country is briefly stated. After analyzing the moving features of the pedestrian, non-mobile and mobile at a typical four-phase (bi-left-turning)

收稿日期: 2004-01-06.

基金项目: 国家自然科学基金资助(50378016).

作者简介: 徐良杰(1968-), 女, 武汉人, 东南大学交通学院博士研究生, 研究方向为交通信息工程与交通规划管理。

signalized intersection, formulas for calculating the capacities of pedestrian and non-mobile and a control method are presented in this paper. A calculation example according to the geometry dimension and the traffic flow data of Taiping Beilu-Zhujiang Lu intersection in Nanjing is given. The results show that the conflicts among mixed traffic flows at the intersection is avoided effectively and the traffic capacity and the safety could be enhanced through setting appropriate signal for the pedestrian and the non-mobile. The study is with wide application prospect.

Key words : traffic control, intersection, mixed traffic flow, conflict points traffic capacity, signal dispensation

0 引言

交叉口作为城市路网中的结点,汇聚了不同方向的交通流。由于绿灯时间的损失、机非混行等因素,交叉口的通行能力远远低于路段,成为滞留来自路段的过量交通流的瓶颈,是城市路网最常见、最普遍、最直接的交通拥挤发生源。我国的城市交通与发达国家相比,有两个显著特征:一是道路上运行的车辆车型复杂,各类车辆之间机动性能和几何尺寸差别大,车辆之间存在严重的纵向干扰;二是机动车、非机动车共用道路,横向干扰突出。我国道路网络不规则,有的城市网络稀疏(如北京),有的城市,又过于集中(如上海)。要改变原有的道路布局是极其困难的。而且,中国素有“自行车王国”之称,据资料显示,不少城市街道上自行车交通量超过1万辆/h^[1]。自行车流成了交通流的重要组成部分。混合交通流(机动车交通流,自行车交通流和行人流)是中国交通流的一个重要特点。

对机动车的研究^{[2][3]}表明:道路流量与车流密度的大小决定着车辆的行驶行为。对于非机动车来说,情况比较复杂。非机动车流量较少时,它们对机动车行驶的干扰也较少;而随着非机动车流量的增加,它们对机动车行驶的干扰急剧增加。我国大多数交通拥挤城市的道路自行车流量规模远大于西方多数国家,尤其是在城市地区,大多数街道上有专门的自行车行驶车道,而西方多数国家道路上自行车车道较窄,甚至没有专门的行驶车道。不难看出;非机动

车与机动车在交叉口范围内形成了众多的交叉点。在同一相位内,非机动车流量较大时,所有交通流要在给定时间内全部通过交叉口具有很大的复杂性。国内外专家均已认识到:在自行车流量较大条件下,现行(如HCM)方法^[2]严重地高估了道路平面交叉口的通行能力。因此,很难完全照搬国外研究成果,必须研发符合中国国情的信号交叉口混合交通控制模型。

1 基础理论

设置控制信号的关键之一是:确定合理的绿灯间隔时间,来确保车辆与行人在冲突点能有效地交叉。

1.1 信号交叉口交通冲突分析

本文将针对我国典型四相位(双向左转)信号控制交叉口(相位图见图1)可能存在的冲突情况进行分析研究。图2、图3所示分别为四相位(双向左转)信号控制交叉口相位变换时南北向处于直行绿灯末期和左转绿灯末期控制信号可能存在的冲突情况。图2、图3中A、B、C、D、E、F各点为最不利冲突点。其中,图2中A点为绿灯末期进入交叉口的直行机动车与对向绿灯初出发的左转机动车的冲突点;图2中C点为绿灯末期进入交叉口的直行机动车与绿灯初出发的左转非机动车的冲突点;E点为绿灯末期走出人行道缘石的行人与该道路绿初出发的右转机动车的冲突点。图3中B点为绿灯末期进入交叉口的左转机动车与相交道路绿灯初出发的直行机动车的冲突点;D点为绿灯末期进入交叉口的左转非机动车与

相交道路绿灯初出发的直行非机动车的冲突点；F点为绿灯末期进入交叉口的机动车与相交道路绿灯初出发的行人的冲突点。

从图2中可以看出机动车与机动车冲突点为A点。若要车辆能安全地通过冲突点A，必须满足以下条件^[4]：

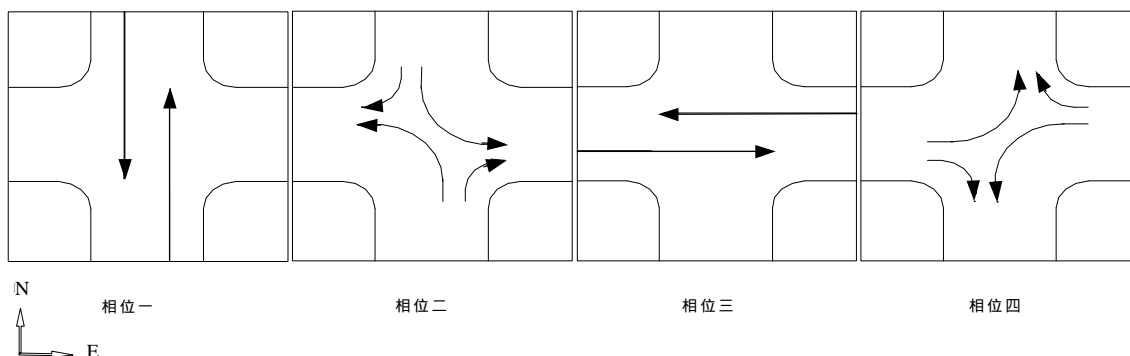


图1 典型四相位(双向左转)信号控制交叉口相位示意

Fig.1 The phase demonstration of typical 4-phase (bi-left-turning)signalized intersection

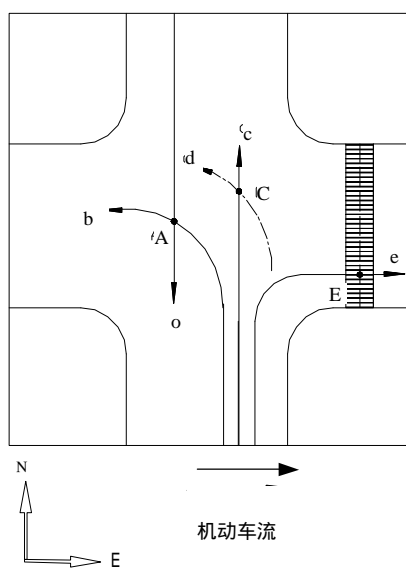


图2 南北向直行绿灯末期

Fig.2 The end of green light in North-South direct cross

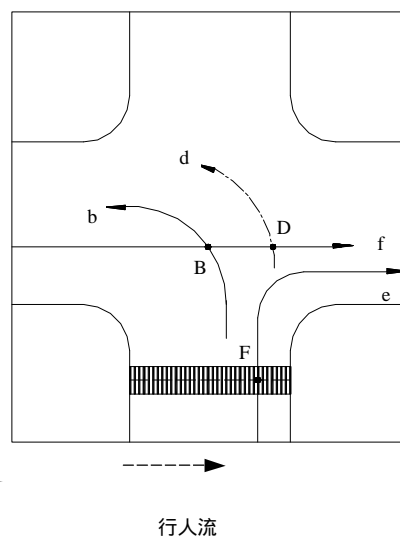


图3 南北向左转绿灯末期

Fig.3 The end of green light in North-South left-turn

$$t_z + t_{wA} + t_x \quad t_{jA} + t_q + t_{hA}$$

即 $t_{jA} = t_z + t_{wA} + t_x - t_q - t_{hA}$

该绿间隔时间可近似为：

$$t_{jA} = 5 + t_{wB} - t_{hA} \quad (1)$$

显然 t_{jA} 与冲突交通流的停车线位置有关。

同理车辆安全地通过冲突点 B、C、D、E、F 的

条件分别为：

$$t_{jB} = 5 + t_{wB} - t_{hB} \quad (2)$$

$$t_{jC} = 2.5 + t_{wC} \quad (3)$$

$$t_{jD} = t_{wD} - t_{hD} - 1 \quad (4)$$

$$t_{jE} = t_y - t_{hE} - t_q \quad (5)$$

$$t_{jF} = t_x + t_z + t_f - t_n - t_s \quad (6)$$

式(1)到式(6)中:

t_z ——进口道正常行驶车辆的制动时间, 机动车的制动时间常取 2.0 s;

t_x ——车辆安全交叉的时间, 一般机动车间的安全交叉时间为 5 s; 机动车与非机动车、机动车与行人安全交叉时间建议取 1 s;

t_q ——车辆启动、反应时间, 机动车一般取 1.8 ~ 2.0 s, 非机动车一般取 0.5 s;

t_{wi} ——尾车由停车线驶至冲突点 $i(i = A, B, C, D, E, F)$ 的行驶时间, 由其行驶的距离和车速来确定;

t_{ji} ——车辆安全通过冲突点 $i(i = A, B, C, D, E, F)$ 的绿灯间隔时间(包括黄灯时间)(s);

t_{hi} ——头车自停车线驶至冲突点 $i(i = A, B, C, D, E, F)$ 所用的时间(s), 一般由头车运行状态曲线(S-T曲线)确定;

t_y ——本向行人沿人行道走过与车辆产生冲突的车道的时间;

t_F ——左右转尾车由停车线驶过人行横道时间, $t_F = (s_F + d + l_c) / v$, s_F , d , l_c 和 v 分别为停车线至人行横道的距离、人行道宽度、车身长度和车速;

t_n ——第一排行人的反应时间, 可近似为 0;

t_s ——相交道行人自人行道缘石边缘走到冲突点 F 的时间, 可用 l_F / v_1 计算, 其中 l_F 为人行道缘石边缘至冲突点 F 的距离, v_1 为步行速度, 可取 1.2 m/s^[5]。

公式(5)中, $t_y = (l_e + l_k) / v_1$; l_e 为人行道缘石边缘至对面产生冲突车道的距离; l_k 为产生冲突的车道总宽度; $l_e + l_k$ 可近似的取路面的车道宽; v_1 为步行速度, 可取 1.2 m/s; 则 t_y 大于 10 s。若仅考虑人一车冲突, 绿间隔 t_{he} 至少应满足: $t_{he} = 10 - 2 - 2 = 6$ s。当路面较宽(机动车道超过 6 车道)时, t_{he} 更大, 这显然不合理, 所以当路面较宽时应在交叉口人行横道中间设置行人安全岛, 令其二次过街。

1.2 信号控制方法

我国典型四相位(双向左转)信号控制交叉口(相位图见图 1)一、三相位中, 用机动车控制信号同时

兼顾了机动车、非机动车和行人交通的运行特征, 绿间隔时间 T_{j1} 为

$$T_{j1} = \max(t_{jA}, t_{jC}, t_{jE}) \quad (7)$$

一般而言, 机动车绿间隔时间 t_{jA} 最小, 所以兼顾控制行人、非机动车绿灯时间 T_{g1} 为

$$T_{g1} = t_g - [\max(t_{jC}, t_{jE}) - t_{jA}] \quad (8)$$

同理, 二、四相位中, 机动车信号灯兼控行人、非机动车的绿间隔时间 T_{j2} 为

$$T_{j2} = \max(t_{jB}, t_{jD}, t_{jF}) \quad (9)$$

兼顾控制行人、非机动车绿灯时间 T_{g2} 为

$$T_{g2} = t_g - [\max(t_{jD}, t_{jF}) - t_{jB}] \quad (10)$$

式中: t_g ——各相机动车交通需求设置的绿灯时间。

从式(8)和(10)中可以看出, 用机动车信号灯兼控行人、非机动车必须的绿间隔时间, 虽满足了行人和非机动车交通的需要, 但对机动车而言, 绿间隔有所增加, 减少了可通行的绿灯时间。

2 信号配时优化设计

在确定机动车的信号相位相序的前提下, 计算行人和非机动车的通行时间, 进行行人和非机动车信号配时, 并有效地确定行人和非机动车的信号相位及通行时间。

2.1 非机动车信号配时设计

(1) 最大通行能力

图 4 为自行车车头间距示意图, 最小的纵向安全车头间距 L , 可按下式计算^{[6][7]}:

$$L = \frac{v_t}{3.6} + \frac{v^2}{254(j \pm i)} + l_0 + l_{\#} \quad (11)$$

$$\text{则 } N_{\text{理}} = \frac{1000v}{L} = \frac{1000v}{\frac{v_t}{3.6} + bv^2 + l_0 + l_{\#}} \quad (\text{辆/h}) \quad (12)$$

式中: v ——车速(km/h), 大多数自行车在 15 km/h;

t ——反应时间, 一般为(0.5 ~ 1.0)s, 平均用 0.7 s;

b ——制动系数, 可按 $b = 1/254(j \pm i)$ 计算;

j ——轮胎与路面间的粘着系数, 多在 0.3 ~ 0.6 之间;

i —— 道路纵坡度，在平坦城市可取 0；
 l_0 —— 安全间距，可取 1 m；
 $l_{车}$ —— 自行车的车身长度，常用 1.9 m。

将各参数代入上式，可得到一条车道的通行能力。现将计算结果列于（表 1），由表中数字可知其通行能力约为（1300 ~ 2020）辆/h。

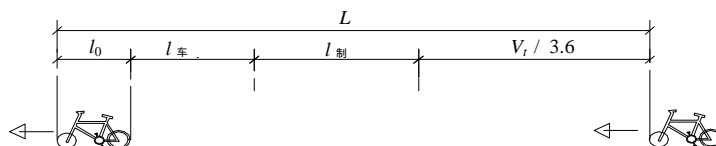


图 4 自行车车头间距示意

Fig.4 Demonstration of the bicycle head interval

表 1 一条自行车道的最大通行能力计算

Tab.1 The count of the maximum capacity in a bicycle lane

自行车速 / (km/h)	$\frac{V_t}{3.6}$	$b = \frac{1}{254(j \pm i)}$	bv^2	$L = \frac{V_t}{3.6} + bv^2 + l_0 + l$	$N_L = \frac{1000v}{L}$	附注
很慢速 (5)	0.97	0.007 9	0.20	4.07	1 229	$T = 0.7$
慢速 (10)	1.94	0.007 9	0.79	5.63	1 776	$j = 0.5$
中速 (15)	2.91	0.007 9	1.78	7.58	1 979	$i = 0$
较快 (17)	3.31	0.007 9	2.28	8.44	2 002	$l_0 = 1.0$
快速 (20)	3.88	0.007 9	3.16	9.94	2 012	$L_{车} = 1.9$

(2) 实际最大通行能力

实际最大通行能力是以较长时间连续通过断面的自行车数量（此时车流不过分密集和拥挤）除以统计时间，再换算为单车道的通行量，又称为路段平均通过量，算式如下：

$$N_{可} = \frac{N_t}{B - 0.5} \times \frac{3600}{t} \quad (13)$$

式中： $N_{可}$ —— 小时内连续车流的平均通过量(veh/h)；

N_t —— 单位时间通过观测断面的自行车数量。

据测分为有分隔带和无分隔带两种，无分隔带的路段 $N_t = 0.51 \text{ veh/s} \cdot \text{m}$ ，有分隔带的路段 $N_t = 0.58 \text{ veh/s} \cdot \text{m}^{[7]}$ ；

B —— 自行车道的宽度 (m)；

t —— 为连续车流的通行时间 (s)。

考虑到城市街道的路段通行能力与交叉口间距、行人过街道及红绿灯周期的关系很大，路口的通行能力往往控制了路段通行能力，故设计城市街道自行车

道通行能力时应考虑路口信号灯等的影响因素。故可得出交叉口路段上自行车道设计的通行能力公式：

$$N_{路段设} = N_{可} C_1 g_{自} \frac{N_t}{B - 0.5} \times \frac{3600}{t} \quad (14)$$

式中： $N_{路段设}$ —— 交叉口路段上自行车道设计的通行能力 (veh/h)；

C_1 —— 考虑到街道的性质、重要性和使用要求规定的街道等级系数，根据城市道路规范编写组的研究，快速干道、主干道的 C_1 定为 0.8，次干道和支路的 C_1 定为 0.9^[8]；

$g_{自}$ —— 自行车的绿信比。

2.2 行人交通信号配时设计

2.2.1 行人过街最短绿灯时间 G_{min}

一般人行信号灯大多只能分离行人与侧向直行车辆的冲突，仍不能避免同左、右转弯车辆的冲突。为了避免同左、右转弯车辆的冲突，需设置行人专用信号相位。

信号控制交叉口上人行信号灯的配时,按交叉口信号灯组的配时统一安排。行人过街所需的最短绿灯时间 G_{\min} 根据人行横道长度 D 及行人过街步行速度 V_t 确定。

$$G_{\min} = 7 + \frac{D}{V_t} - Y \quad (15)$$

式中： G_{\min} —— 行人过街所需的最短绿灯时间 (s)；

V_t —— 采用第 15 百分位步行速度，中国可
1.2 m/s；

Y —— 绿间隔时间 (s)；

D —— 人行横道长度 (m)。

在主次干道相交的交叉口上，当主街很宽，步行所需最短绿灯时间超过次街车辆通过交叉口所需绿灯时间，以致主街车辆绿灯时间不敷应用时，可考虑在主街中央设置安全岛，让行人分两段过街，以缩短步行最短绿灯时间。

2.3 人行横道的通行能力

(1) 理论最大通行能力

理论最大通行能力是指过街行人均匀到达，按正常步速行走，不受机动车及行人干扰，每小时穿过行人横道终点断面处最大的行人通过量。

在行人横道上一条人行带在行人绿灯时间期间，其理论通行能力按下式计算^[10]：

$$q_{PR} = \frac{3600}{C} \cdot \left(\frac{R - b/V_p - l}{b_1/V_r} + 1 \right) \quad (16)$$

式中： C —— 信号灯周期 (s)；

R —— 行人过街绿灯时间 (s)；

b —— 行人过街道长度 (m)；

b_1 —— 前后行人间距 (m)；中国行人步幅为
0.66 m 左右，考虑到行人之间有一步半的自由度，以保证行人按正常速度行走，故将 b_1 值确定为 1 m；

V_p —— 行人过街正常速度 1.2 m/s；

b/V_p —— 第一名行人过街时间 (s)；

b_l/V_p —— 连续人流中前后行人通过某一断面的时距 (s)；

l —— 行人损失时间 (s)。

行人损失时间分为二部分： l_1 为在横向车辆绿灯期间等待过街的行人对色灯变为红灯需反应时间，所造成的损失 l_1 很短，可忽略不计。 l_2 为红灯末，行人因安全感而使流量未达到饱和所造成的损失，经实测 $l_2 = 2$ s。

(2) 实际最大通行能力

事实上行人过街时受到右转车辆、行人到达的不均匀性及对向行人间的干扰影响，使理论通行能力值大为降低，故实际的行人通行能力应按以上影响因素分别予以折减。

$$C_{\text{实}} = a b g q_{PR} \quad (17)$$

式中： $C_{\text{实}}$ —— 人行横道每米宽度的实际通行能力；

a —— 由于车辆干扰使通行能力降低的折减系数；

\hat{a} —— 由于行人到达的不均匀性的折减系数；

\bar{a} —— 由于对向行人干扰的折减系数。

3 算 例

3.1 非机动车信号配时

以南京市太平北路—珠江路交叉口为例，计算各路口自行车交通流通过交叉口所需的绿信号时间。调查各路口的自行车交通量数据为：东路口：1524 辆/h；南路口：1731 辆/h；西路口：1347 辆/h；北路口：1866 辆/h；有分隔带的路段 $N_t = 0.58$ veh/s·m，道路宽度为 $B = 6.0$ m，交叉口信号周期为 $C = 133$ s，采用交叉口路段上自行车通行能力公式 (14) 计算信号配时如下：

$$R_{\text{南}}^E = 18 \text{ s} \quad R_{\text{南}}^S = 20 \text{ s} \quad R_{\text{南}}^W = 16 \text{ s} \quad R_{\text{南}}^N = 22 \text{ s}$$

按其通行能力，东西向自行车所需的最小绿灯时间： $G_{\text{南}}^{W-E} = \max(R_{\text{南}}^W, R_{\text{南}}^E) = 18$ s。

实际东西向自行车通行随机机动车信号控制，通行绿灯时间为 42 s > 18 s。因此，东西向自行车实际可通行时间远大于自行车最小通行时间的要求。

同样，南北向自行车所需的最小绿灯时间：

$$G_{\text{南}}^{N-E} = \max(R_{\text{南}}^N, R_{\text{南}}^S) = 22 \text{ s}$$

实际南北向自行车通行随机动车信号控制, 通行绿灯时间为 $38\text{ s} > 22\text{ s}$ 。因此, 南北向自行车实际可通行时间也大于自行车最小通行时间的要求。

3.2 行人交通信号配时设计

以太平北路与珠江路典型十字路口为例, 计算其各路口行人过街所需的最小绿灯时间 G_{\min} 以及满足其行人交通量的行人过街绿信号时间。

(1) 路口行人过街所需的最短绿灯时间 G_{\min}

根据前面公式(15)以及实测的太平北路与珠江路交叉口各路口人行横道长度, $D_{\text{东}} = 15.6\text{ m}$, $D_{\text{南}} = 19.3\text{ m}$, $D_{\text{西}} = 18.1\text{ m}$, $D_{\text{北}} = 21.5\text{ m}$, 步行速度取 1.2 m/s , 绿灯间隔时间 Y 取 5 s , 计算各口行人过街所需的最短绿灯时间 G_{\min} 为:

$$G_{\min}^{\text{E}} = 14\text{ s} \quad G_{\min}^{\text{S}} = 17\text{ s} \quad G_{\min}^{\text{W}} = 15\text{ s} \quad G_{\min}^{\text{N}} = 19\text{ s}$$

(2) 人过街信号配时

通过调查, 太平北路 - 珠江路交叉口各口的行人交通量如下: 东路口: 720 人/h ; 南路口: 528 人/h ; 西路口: 269 人/h ; 北路口: 311 人/h ; 交通信号周期为 $C = 133\text{ s}$ 。根据式(16)(17), 取: $\hat{a} = 0.81$, $\hat{a} = 0.90$, $\bar{a} = 0.80$ 得各路行人所需的绿信号时间:

$$G_{\text{行}}^{\text{E}} = 23\text{ s} \quad G_{\text{行}}^{\text{S}} = 18\text{ s} \quad G_{\text{行}}^{\text{W}} = 14\text{ s} \quad G_{\text{行}}^{\text{N}} = 16\text{ s}$$

按其通行能力, 东西向行人所需的绿信号时间:

$$G_{\text{行}}^{\text{W-E}} = \max(G_{\text{行}}^{\text{W}}, G_{\text{行}}^{\text{E}}) = 23\text{ s}$$

实际东西向行人通行随机动车信号控制, 通行绿灯时间为 $42\text{ s} > 23\text{ s}$ 。因此, 东西向行人实际可通行时间远大于行人通行所需的绿信号时间要求。同样, 南北向行人所需的绿信号时间:

$$G_{\text{行}}^{\text{N-S}} = \max(G_{\text{行}}^{\text{N}}, G_{\text{行}}^{\text{S}}) = 18\text{ s}$$

实际南北向行人通行随机动车信号控制, 通行绿灯时间为 $20\text{ s} > 18\text{ s}$ 。因此, 南北向行人实际可通行时间能满足行人通行所需的绿信号时间要求。

参考文献

- [1] 郑祖武, 李康, 等. 现代城市交通[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998. 209-211.
[2] Dijker T., et al. Car-following under congested

3.3 算例分析

由上述计算结果来看: 自行车实际可通行时间远大于自行车最小通行时间的要求, 且东西向与南北向分配不均衡, 客观上造成了交叉口自行车与机动车相互之间过多的干扰。实际上, 可考虑设置单独的自行车相位信号, 以减少自行车对机动车的干扰, 提高交叉口的通行能力; 而行人东西向实际可通行时间远大于东西向行人最小通行时间的要求, 南北向行人实际可通行时间能满足行人通行所需的绿信号时间要求。但是, 在实际交叉口信号相位中, 绿间隔时间为黄灯 2 s , 而行人过街信号亦未考虑绿间隔时间能否清空过街行人, 显然 2 s 绿间隔时间不足以清空过街行人, 这不仅将导致行人过街交通流与其冲突流的机动车和非机动车交通流间的相互影响, 降低了各自的通行能力, 而且客观上造成了交叉口行人在自行车与机动车中穿越, 存在着潜在的不安全性。

4 小结

本文针对我国典型四相位(双向左转)信号控制交叉口, 分析了行人、非机动车以及机动车的运行特征, 通过设置行人、非机动车专用信号, 在考虑尽量不损失机动车通行绿信号的情况下, 减少了机动车通过交叉口所受到的行人、非机动车交通流的干扰, 避开了混合交通流在交叉口的冲突, 有效地提高了交叉口的交通安全性, 同时大大提高了城市信号交叉口的通行能力, 应用前景较为广泛。对于其他类型交叉口, 可以按照本文的研究思路, 对其可能存在的冲突做具体分析。但是, 对于机动车信号相位相序确定的前提下, 运用“迟起”、“早断”等交通控制方式, 进行机动车、非机动车和行人混合交通流配时优化设计, 本文没有深入探讨, 有待日后进一步研究。

conditions[J]. TRR, 1998; (1644): 2-28.

- [3] Schuurman H., Vermijs R. G. M. M. The use of micro simulation for the design of weaving sections [C]. In:

下转第 114 页

参考文献

- [1] 姚雪珍. 城市公共交通规划评价指标体系初探[J]. 西北建筑工程学院学报, 1999; (1) : 46-47.
- [2] 毛蒋兴, 阎小培. 我国城市交通系统与土地利用互动关系研究述评[J]. 城市规划汇刊, 2002; (4) : 34-37.
- [3] 陈燕萍. 城市交通问题的治本之路: 公共交通社区与公共交通导向的城市土地利用形态[J]. 城市交通, 2000; (3) : 15-18.
- [4] 周峻, 徐志刚. 轨道交通的廊道效应与城市土地利用分析——以上海市轨道明珠线(一期)为例[J]. 规划与汇刊, 2002; (1) : 77-78.
- [5] 张帆. 玉溪市中心城区土地利用布局及其优化研究[J]. 云南环境科学, 2002; (8) : 67-68.
- [6] 杨明, 曲大义, 等等. 城市土地利用与交通需求相关关系模型研究[J]. 公路交通科技, 2002; (2) : 72-74.
- [7] 范炳全, 周溪召, 等等. 城市土地利用与交通综合规划研究[J]. 城市交通, 1999; (11) : 48-50.
- [8] 过秀成. 城市集约土地利用与交通系统关系模式研究[D]. 博士学位论文. 南京: 东南大学交通学院, 2002. 77.

上接第101页

够在一个区间范围内消除列车晚点传播影响, 兼顾“车站发到间隔”、“列车追踪间隔”的双重均衡目标,

同时保障“列车运行质量(追踪间隔)”与“车站服务水平(车站间隔)”。

参考文献

- [1] 吴洋, 王月明, 曾理. 晚点情况下地铁列车间隔的实时调整方法[J]. 电力机车与城轨车辆, 2003; (5).
- [2] 吴洋. 晚点情况下地铁列车实时运行调整及速度控制模式研究[D]. 西南交通大学, 2004.
- [3] 中国铁道第二勘察设计院. 成都市地铁一期工程可行性研究报告[R]. 中国铁道第二勘察设计院, 2001.

上接第108页

- U. Brannolte, ed. Highway Capacity and Level of Service, Karlsruhe. 1991. 41-427.
- [4] Wu J. P. A fuzzy logic microscopic simulation model for interurban ATT assessment [A]. 10th European Simulation Symposium 2-28th October 1998 [C]. Nottingham, UK. 1998. 34-354.
- [5] 杨晓光, 彭国雄, 杨佩昆. 混合交通条件下交通控制信号相位变换问题的研究[C]. 中国人类工效学学会第三次学术年会暨中外驾驶适应性与神经行为学学术会议论文集. 合肥安徽: 人民出版社, 1995. 78-802.
- [6] 郑祖武, 李康, 徐吉谦, 等等. 现代城市交通[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [7] 杨晓光, 陈白磊, 彭国雄. 行人交通控制信号设置方法研究[J]. 中国公路学报, 2001; 14(1) : 7-76.
- [8] 王伟, 过秀成. 交通工程学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2000.
- [9] 全永燊. 城市交通控制[M]. 北京: 人民交通出版社, 1989.
- [10] 徐立群, 吴聪, 杨兆升. 信号交叉口通行能力计算[J]. 交通运输工程学报, 2001; 1(1) : 82-85.
- [11] National Research Council. Special Report 209, Highway Capacity Manual[R]. TRB, Washington D. C.: National Research Council, 2000.