

信号控制交叉口左转非机动车过街模式适用性

Non-motorized Vehicle Left-turn Design at Signalized Intersections

杨晓光, 杨 静, 史玉茜

(同济大学交通运输工程学院, 上海 201804)

Yang Xiaoguang, Yang Jing, Shi Yuqian

(School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

摘要: 为分析信号控制交叉口两种左转非机动车过街模式(机动车和非机动车一体化模式以及行人和非机动车一体化模式)的适用条件,在动态交通条件下,定量分析两种模式对典型两相位和四相位信号控制交叉口通行效率和安全性的单独与综合影响。在通行效率方面,选取机动车通行能力作为评价指标;在安全性方面,引入一个可比选交通设计方案的指标——交通当量冲突。通过理论与实例分析,从通行效率和安全性两方面给出了两种模式的适用性。结果表明:两种模式在上述方面均有单独优势;两相位信号控制交叉口,在相应的左转非机动车和机动车交通量条件下两种模式均能同时提高交叉口通行效率和安全性;四相位信号控制交叉口,两种模式均不能同时起到积极作用。

Abstract: To discuss the implementation conditions for two for non-motorized vehicle left-turn designs (integration of motorized and non-motorized vehicles and integration of pedestrian and non-motorized vehicles) at signalized intersection under dynamic traffic flow, this paper quantitatively analyses the impact of two designs options on the safety and efficiency of the 2-phase-controlled and 4-phase-controlled signalized intersections. The motorized vehicle traffic capacity is selected as the traffic efficiency evaluation index, and equivalent traffic conflicting is used as roadway safety evaluation index. Through the theoretical and practical analysis, the implementation condition for both types of design is investigated. The analysis results show that each type of design has its advantages in traffic efficiency and safety. Both designs can enhance the efficiency and safety at the 2-phase signalized intersections, while both designs do not show any benefits at 4-phase signalized intersections.

关键词: 交通工程; 左转非机动车; 通行能力; 交通当量冲突; 适用性; 机动车和非机动车一体化; 行人和非机动车一体化

Keywords: traffic engineering; left-turn non-motor vehicles; capacity; traffic equivalent conflict; applicability; motor and no-motor integration; pedestrian and non-motor integration

中图分类号: U491.2⁺3

文献标识码: A

收稿日期: 2012-03-19

作者简介: 杨晓光(1959—), 男, 江苏宿迁人, 博士, 教授, 主要研究方向: 交通信息工程及控制。E-mail: yangxg@mail.tongji.edu.cn

交叉口是城市道路的重要组成部分, 交通拥堵、交通流的中断、交通事故主要发生在交叉口。通过技术手段提高交叉口的通行效率与安全是交叉口交通设计的重点工作之一^[1]。选择合适的交通设计模式可有效提高交叉口的通行效率和安全性, 但前提是清楚认识其适用条件即适用性, 主要指静态的道路条件和动态的交通条件、控制条件。本文将分析左转非机动车过街模式在不同条件下对交叉口通行效率和安全性产生的影响, 从而明确其适用性。

1 左转非机动车过街模式及研究现状

目前, 对信号控制交叉口非机动车(主要是左转非机动车)过街方式的处理主要有两种模式: 1) 机动车和非机动车一体化模式, 即交叉口左转非机动车与机动车以相同方式过街, 这种模式比较符合交通参与者的习惯, 如图 1a 所示。2) 行人和非机动车一体化模式, 这种模式基于非机动车流与行人流在信号交叉口交通流特征的相似性, 将非机动车和行人看作一体的交通流, 让左转非机动车与行人以相同方式过

街,变非机动车左转为两次直行,减少交叉口内部的机非干扰,如图1b所示。

国内针对上述两种模式的适用性研究主要包括:1)集中分析两种模式适用的几何条件,而在动态交通、信号控制条件下对交叉口通行效率和安全性影响未进行定量分析^[2]。2)定量分析采用两种模式时两相位和四相位信号控制交叉口的安全性,但未考虑动态交通条件,同时缺乏交叉口通行效率分析^[3-4]。3)研究两种模式对两相位信号控制交叉口通行效率的影响,但未考虑动态控制条件及不同模式对交叉口安全性的影响^[5]。

对于具有中国特色的交通设计理念——行人和非机动车一体化模式,在交通发展相对成熟的欧美、日本等并没有采用,因此,国外研究主要与机动车和非机动车一体化模式有关,且着重研究信号控制交叉口通行能力计算方法及安全性评价方法。例如,以HCM 2000为代表的文献主要关注非机动车对交叉口转向交通通行能力的影响,对直行交通通行能力的影响并没有进行相关分析,而这种情况在中国城市较为常见^[6];文献[7]通过估计表征交叉口安全水平的交通事故数量,得到导致交通事故发生的主要因素是交通量、交通控制方式和交通设计;文献[8]通过预测影响交叉口安全的交通冲突数量,表明交通冲突与交通量存在正相关关系。

综上,现有研究的特点和不足主要包括:1)设计模式的适用条件主要以两相位信号控制交叉口为主,缺乏对四相位信号控制条件的分析。2)机动车和非机动车一体化模式对交叉口通行效率与

安全性的影响研究较多,行人和非机动车一体化模式则较少。3)交叉口效益仅以通行效率或安全为侧重点,缺乏对两者综合效益的考虑。基于此,本文将在适用条件分析中加入动态控制条件和交通条件,并从交叉口通行效率与安全性两方面分析两种模式的差异。

2 两相位信号控制交叉口

本文两相位信号控制交叉口选用直行相位+左转许可相位的控制方式,这是典型的两相位信号控制类型。一般情况下,道路等级较低、相交成十字形的交叉口多设置为两相位。

2.1 通行效率

两相位信号控制条件下,两种模式的机非干扰情况如图2所示,本文以交叉口南进口为例进行分析。机动车和非机动车一体化模式下,南进口的直行与右转机动车分别受左转与直行非机动车的干扰,因此通行能力受到影响。行人和非机动车一体化模式下,左转非机动车采用两次直行过街,直行机动车未受其干扰,通行能力不受影响;与此同时,与右转机动车相干扰的非机动车交通量增大,该交通量不仅包括南进口的左转和直行非机动车,还包括上一相位西进口需要左转的非机动车,因此右转机动车的通行能力可能受到干扰。

通行能力是饱和交通条件下表征交叉口通行效率的重要指标,常用于评价和分析交叉口交通

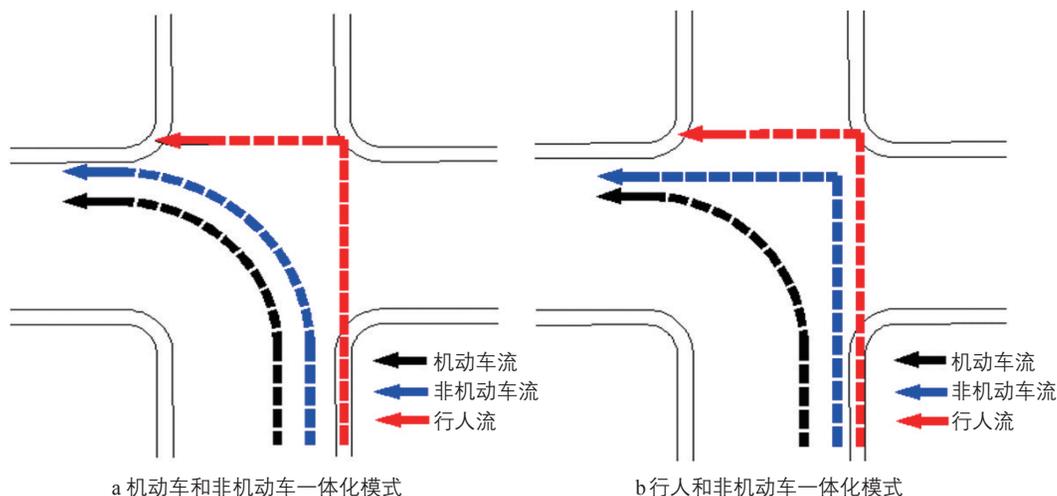


图1 左转非机动车两种过街模式

Fig.1 Two across the street types of left-turn non-motor vehicles at signalized intersection

管理、控制措施的效果。通过对比两种模式下直行和右转机动车的通行能力，可分析两种模式对交叉口通行效率的影响。鉴于国外通行能力手册(如HCM 2000)中信号控制交叉口通行能力计算方法在国内并不完全适用，有关学者研究了适用于中国城市的信号控制交叉口通行能力计算方法。本文采用文献[9]中非机动车影响下直行和右转机动车通行能力计算公式进行相关计算。

$$c_T = s_o \prod f_{Tb} \lambda_T, \quad (1)$$

$$f_{Tb} = 1 - \frac{1 + \sqrt{b_L}}{g_e}, \quad (2)$$

$$c_R = s_o \prod f_{pb} \lambda_R, \quad (3)$$

$$f_{pb} = \min[f_p, f_b], \quad (4)$$

式中： c_T, c_R 分别为直行和右转机动车的通行能力/(pcu·h⁻¹)； s_o 为基本饱和流率/(pcu·h⁻¹·车道⁻¹)； $\prod f$ 为不考虑非机动车交通影响的车道组饱和和流率修正系数之积； f_{Tb} 为左转非机动车影响下直行车道组饱和和流率修正系数； λ_T, λ_R 分别为机动车直行和右转相位的绿信比； b_L 为直行机动车绿灯初期的左转非机动车数量/(辆·周期⁻¹)； g_e 为有效绿灯时间/s； f_{pb} 为非机动车或行人影响下右转车道组饱和和流率修正系数； f_b 和 f_p 分别为非机动车和行人影响下右转车道组饱和和流率修正系数。

以图2为例，假定交叉口各进口道左、直、右车道各1条，对机动车采用两相位信号控制，信号周期为90s，南北和东西相位机动车有效绿灯时长均为40s，红灯时允许右转。机动车直行和右转饱和流率分别为1650 pcu·h⁻¹和1550 pcu·h⁻¹，

各方向进口道非机动车左转与直行的比例为2:8，行人小于20人·周期⁻¹。

如图3所示，两种模式下进口道直行与右转机动车通行能力之和存在一个交点K(左转非机动车交通量约500辆·h⁻¹)，以K为界点将左转非机动车交通量条件划分为两个范围，在I区域内，行人和非机动车一体化模式下机动车通行能力较大；在II区域内，机动车和非机动车一体化模式下机动车通行能力较大。因此，在仅考虑通行效率的前

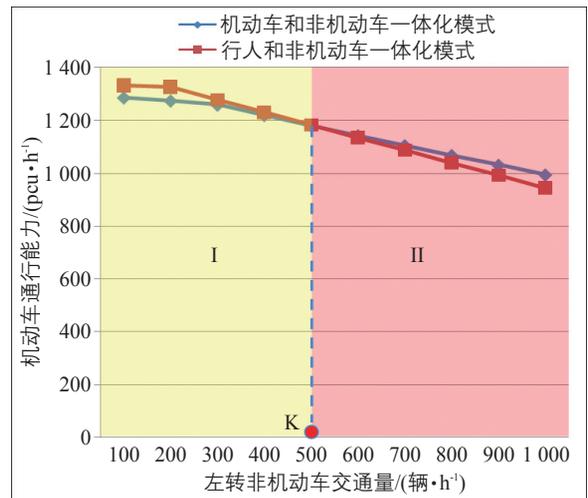


图3 两种模式直行和右转机动车通行能力之和

Fig.3 Through and right-turn combined vehicular capacity of two types

表1 冲突折算系数

Tab.1 Conflict conversion factor

冲突点类型	冲突折算系数
机机冲突点	2
机非冲突点	1
非非冲突点	0.5

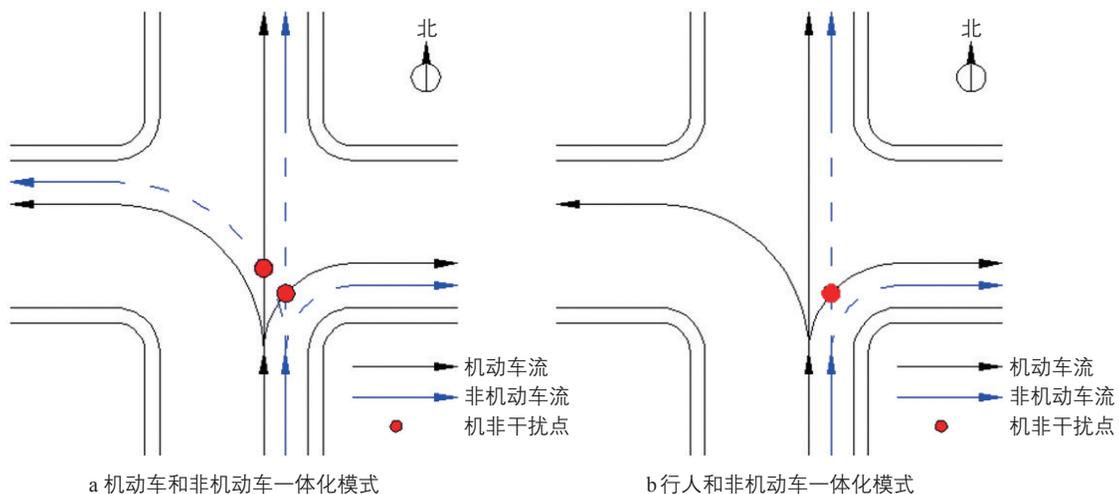


图2 两种模式交叉口机非干扰示意

Fig.2 Common non-motor vehicles-vehicle conflicts of intersection involving two designing types

提下，行人和非机动车一体化以及机动车和非机动车一体化模式的适用范围分别为I区域和II区域。

2.2 安全性

交通冲突技术是一种有效评价交叉口安全性的方法。交通冲突与交通事故存在正相关关系。现有文献对交叉口交通冲突次数的估计有统计回归法和理论分析法两种^[10]，前一种方法需要观测实际的冲突数据，对于设计模式的安全性预评价，显然不现实；后一种方法需要假设各种车流的到达分布，但对于各种交通流的到达分布，现有研究还不成熟，难以应用。

交叉口交通冲突相关研究表明，交通冲突不仅与交通量正相关^[8]，还与冲突点的冲突严重程度有关^[10]，因此，本文引入交通当量冲突作为比选交叉口交通设计方案安全性的指标，而不是准确估计交叉口的交通冲突次数。计算公式为

$$c = k \sum_{i=1}^n \alpha_i Q_i, \quad (5)$$

式中： c 为交叉口交通当量冲突/(次·h⁻¹)； k 为修正系数，是定值，本文取1%； n 为交叉口交通冲突点的总个数； α_i 为交通冲突点*i*的冲突折算系数，其值与冲突严重程度即冲突点类型有关，见表1； Q_i 为冲突点*i*处的总交通量/(pcu·h⁻¹)。

图4为两种模式下交叉口冲突点分布图。机动车和非机动车一体化模式下，交叉口冲突点比较分散，在交叉口内部，冲突点较多，若某一点发生冲突，对周围冲突点影响较大；行人和非机

动车一体化模式下，交叉口冲突点比较集中。假定图2所示的交叉口(条件与2.1节相同)进口道左转、直行、右转的机动车交通流量比为 $q:8q:q(q>0)$ ，左转、直行的非机动车交通流量比为 $2b:8b(b>0)$ ，此时，行人和非机动车一体化模式与机动车和非机动车一体化模式的交通当量冲突之差见图5。在I区域机动车和非机动车一体化模式交通当量冲突比行人和非机动车一体化模式少，安全性较好；同理，在II区域行人和非机动车一体化模式的安全性较好。

2.3 综合适用性

综合两种模式在通行效率与安全方面的效益，给出两相位信号控制交叉口条件下两种模式的适用范围和适用性，见图6和表2。

在I, IV区域的左转非机动车与机动车交通流量范围内，两种模式仅在通行效率或安全性一方面存在积极作用。在II, III区域的左转非机动车与机动车交通流量范围内，两种模式均能同时提高交叉口的通行效率和安全性。

3 四相位信号控制交叉口

本文四相位信号控制交叉口选用南北直行+南北左转+东西直行+东西左转的控制方式，这是典型的四相位信号控制类型，常应用于城市干路相交的十字形交叉口。

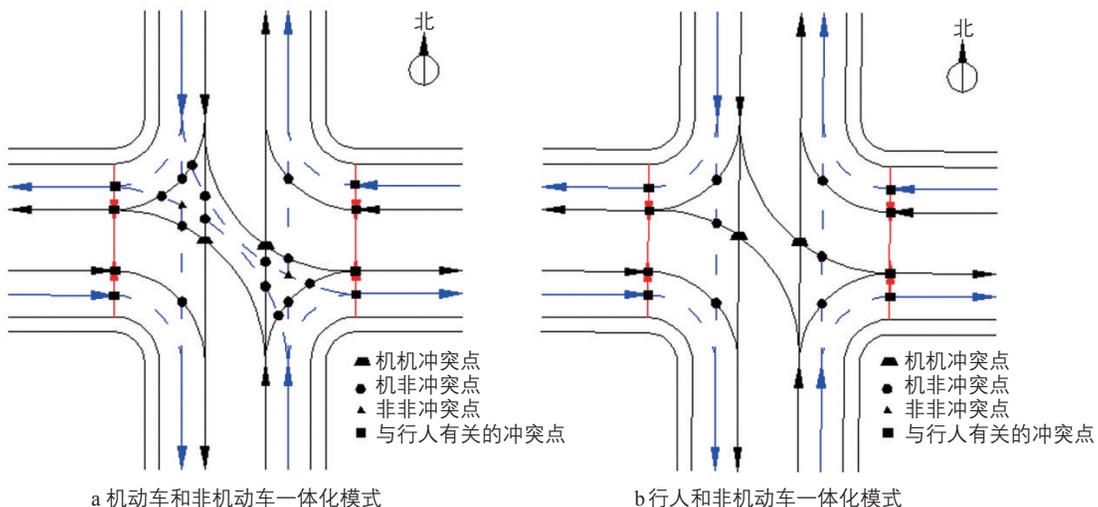


图4 两种模式交叉口冲突点分布

Fig.4 Common conflict dots of intersection involving two designing types

3.1 通行效率

图7为两种模式下四相位信号控制交叉口的机非干扰示意图，仍以南进口为例进行分析。机动车和非机动车一体化模式下，只有右转机动车受非机动车干扰，且由于左转非机动车对右转机动车的干扰在停车线附近^[10]，因此只考虑直行非机动车干扰下右转机动车的通行能力。行人和非机动车一体化模式下，只有直行相位时间内直行非机动车对右转机动车存在干扰，因此仅考虑该相位时间内右转机动车的通行能力；同时，相对于机动车和非机动车一体化模式，直行非机动车交通流量变大，该交通流量不仅包括南进口左转和直行非机动车，还包括上一相位西进口需要左转的非机动车。

假定图7所示的交叉口对机动车采用四相位信号控制，信号周期为120s，南北、东西直行和左转相位的有效绿灯时长均为30s和20s，红灯时允许右转。机动车直行和右转的饱和流率分别为1650pcu·h⁻¹和1550pcu·h⁻¹，非机动车左转和直行的比例为2:8，行人小于20人·周期⁻¹。如图8所示，当左转非机动车交通流量增大时，两种模式下右转机动车通行能力均趋于0，但机动车和非机动车一体化模式下机动车的通行能力始终

大于行人和非机动车一体化模式。因此，四相位信号控制交叉口条件下，机动车和非机动车一体化模式的通行效率比行人和非机动车一体化模式高。

3.2 安全性

两种模式下，四相位信号控制交叉口的冲突点分布见图9。直行相位时间内，两种模式在冲突点处的交通流量存在差异，而左转相位时间内，冲突点个数及交通流量均存在差异。

假定图7所示的交叉口条件与3.1节相同，进口道机动车左转、直行、右转的比例为 $q:8q:q(q>0)$ ，非机动车左转、直行比例为 $2b:8b(b>0)$ ，计算两种模式下交叉口的交通当量冲突。结果表明，机动

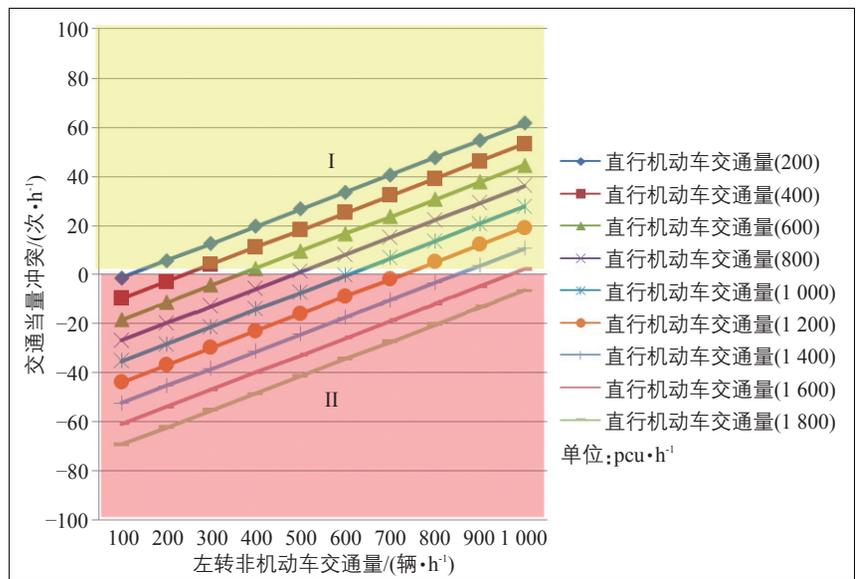


图5 两种模式的交通当量冲突之差

Fig.5 D-value of Intersection conflicts of intersection involving two types

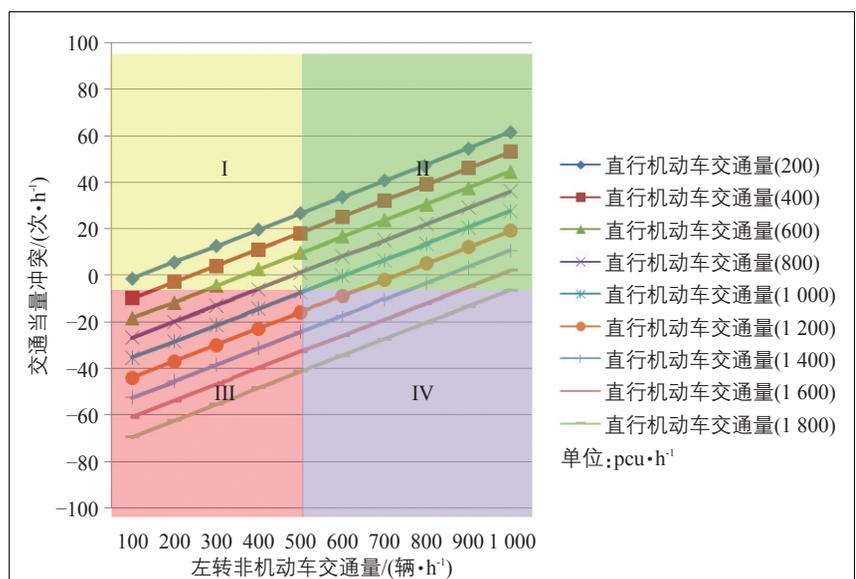


图6 两种模式的适用范围

Fig.6 Applicability of two designing types

车和非机动车一体化模式下交叉口的交通当量冲突始终大于行人和非机动车一体化模式 ($4q+16b$)，即不论交叉口机动车与非机动车交通量如何变化，行人和非机动车一体化模式的安全性始终比机动车和非机动车一体化模式高。

3.3 综合适用性

两种模式的适用性见表3。若仅考虑通行效率或安全性，对四相位信号控制交叉口来说，两种模式均有其适用的交通量条件；但若综合考虑通行效率

表2 两种模式的适用性

Tab.2 Applicability of two designing types

效益分析	设计模式	适用范围
通行效率	机动车和非机动车一体化	II, IV
	行人和非机动车一体化	I, III
安全性	机动车和非机动车一体化	I, II
	行人和非机动车一体化	III, IV
综合适用性	机动车和非机动车一体化	II
	行人和非机动车一体化	III

和安全性，则没有两种模式均适用的交通量条件。

4 结论

1) 在两种模式的适用性分析中，考虑了交叉口的动态控制条件和交通条件。

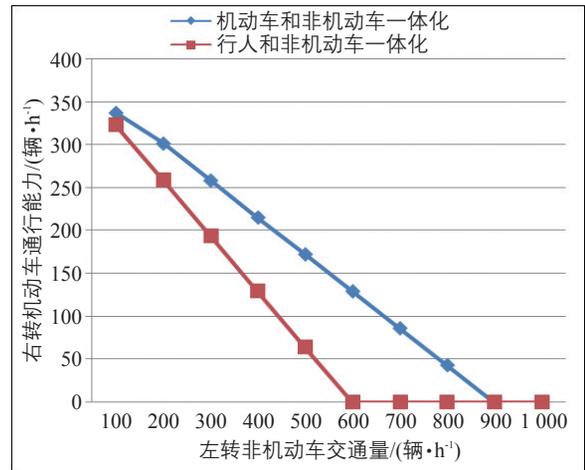


图8 两种模式交叉口南进口右转机动车通行能力

Fig.8 Right-turn vehicular capacity of two types

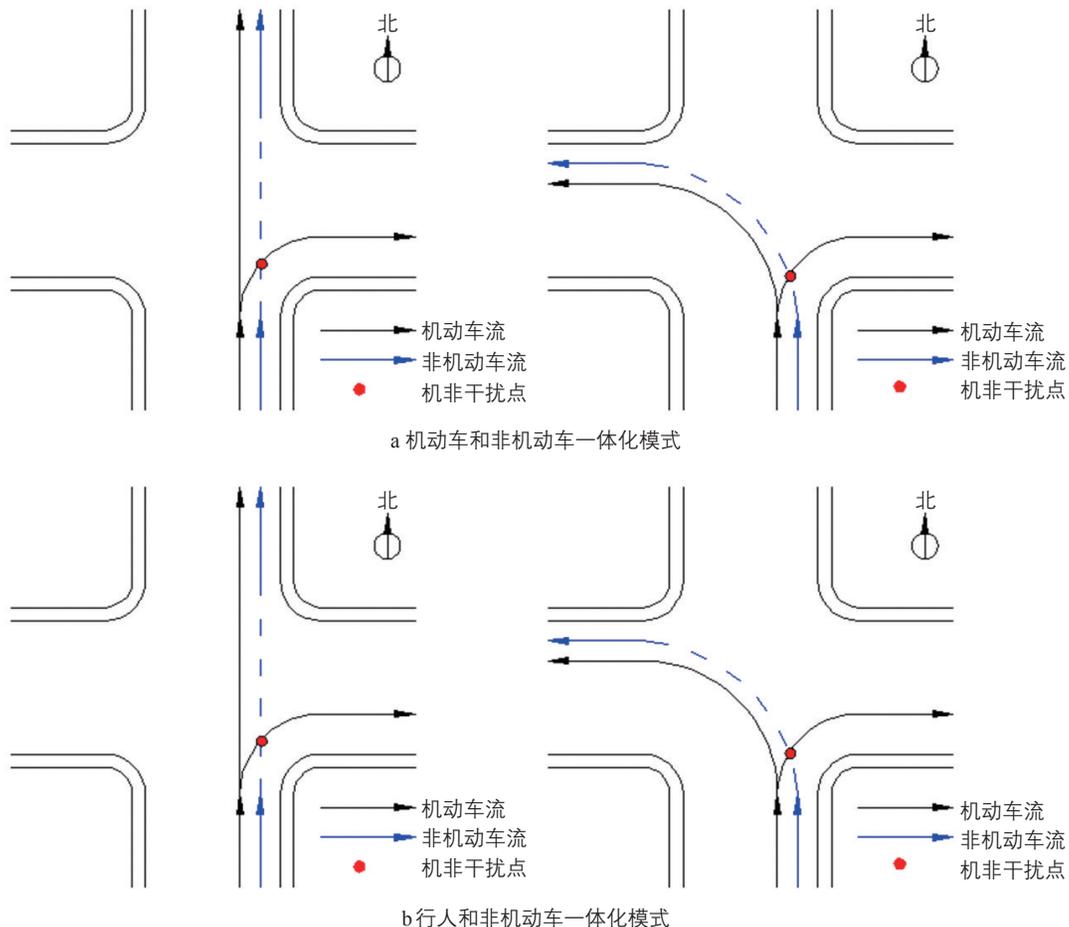


图7 两种模式交叉口直行和左转相位的机非干扰示意

Fig.7 Common non-motor vehicles-vehicle conflicts of intersection involving two designing types

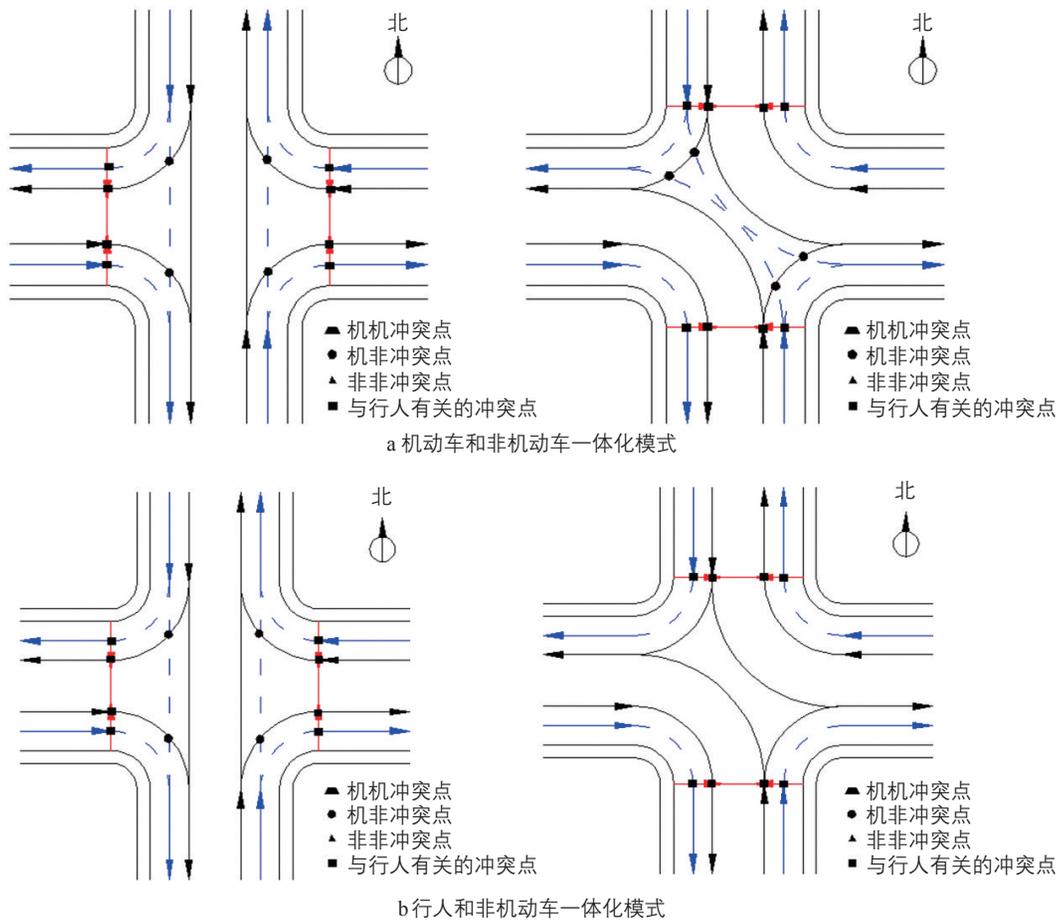


图9 两种模式交叉口直行和左转相位的冲突点分布

Fig.9 Common conflicts of intersection involving two design types for non-motorized vehicles' left-turn

表3 两种模式的适用性

Tab.3 Applicability of two left-turn non-motor designing types

效益分析	设计模式	适用范围
通行效率	机动车和非机动车一体化	任何交通量情况下
	行人和非机动车一体化	
安全性	机动车和非机动车一体化	任何交通量情况下
	行人和非机动车一体化	
综合适用性	机动车和非机动车一体化	
	行人和非机动车一体化	

2) 引入了比选交叉口设计模式安全性的评价指标——交通当量冲突。

3) 通过理论和实例分析，从通行效率与安全性两方面给出了交叉口两种模式的适用性。

4) 对于两相位信号控制交叉口，在相应的左转非机动车和机动车交通量条件下，两种模式均能提高交叉口的通行效率和安全性；而对于四相位信号控制交叉口，两种模式均没有双赢的交通量条件。

未来研究中，还应分析两种模式对信号控制

交叉口通畅、便利、节能及环保等方面的影响，完善适用性分析。

参考文献：

References:

[1] 杨晓光, 白玉, 马万经, 等. 交通设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.

[2] 孙明正. 信号控制交叉口自行车交通设计理论研究[D]. 上海: 同济大学, 2003.

Sun Mingzheng. Research on the Theory of Bicycle Traffic Design at Signalized Intersections[D]. Shanghai: Tongji University, 2003.

[3] 马万经. 城市道路平面行人过街交通设计与控制理论研究[D]. 上海: 同济大学, 2004.

Ma Wanjing. Study on the Traffic Design and Control Theory of Pedestrian Crossing[D]. Shanghai: Tongji University, 2004.

[4] 张海雷. 信号控制交叉口转向交通设计适应性研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.

(下转第18页)