

对角斑马线改进后行人通行能力研究

庞亚凤, 郑元勋*

(郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 基于现实的对角斑马线处行人通行能力的研究, 提出对目前已运用于现实的需设专供行人过街相位信号灯的“对角交叉口”做出信号灯相位调整和一定程度的导流处理的思路, 目的在于通过交叉口处时间上、空间上的分流, 以有效减少行人、车辆的冲突区域, 从“以人为本”的角度出发, 进一步提高交叉口处行人的通行能力。利用 Vissim 仿真技术, 分别对改善前后对角交叉口进行微观分析, 对比研究改进前后行程时间、排队长度以及行程延误等指标的变化, 以验证对角斑马线改进后行人通行能力的优化情况。结果表明: 在设有对角人行横道的交叉口, 信号灯相位改进后行人的通行能力得到显著提高。

关键词: 对角人斑马线; Vissim 仿真; 行程时间; 排队长度; 行程延误

交叉口是车流与人流汇集所在地, 是城市道路重要的交通枢纽。近年来, 随着国民经济的日益增长, 交叉口处的交通安全事故屡见不鲜, 据不完全统计: 步行事故出行死亡率占总事故死亡率的 25%, 其中 90% 的步行出行事故是在穿越交叉口时发生的。目前中国广泛采用且能够较为彻底的措施便是设立立体交叉, 从根本上实现人车分离, 以有效增加行人和车辆的通行能力和安全性。但在现实生活中, 由于种种客观因素的限制, 与平面交叉相比, 立体交叉的造价显著增大, 且可能影响居民的日常生活。因此, 如果能够在平面交叉中实现人、车的有效分离, 将在很大程度上解决交叉口处行人的通行能力和过街的安全性。

目前平面交叉中除环形交叉外, 绝大多数城市的十字交叉采用信号灯控制, 所谓信号控制, 即利用车辆和行人的行与停, 以实现空间的分离, 这种方式操作简便且经济性好。然而, 随着经济的发展, 中国人口数量的急剧增加, 普通两相位信号灯控制的交叉口难以满足如今城市的交通量。所以, 现阶段陆续出现三相位、四相位的信号控制系统甚至人工智能化的交叉口。智能化是未来任何行业发展的趋势, 但能够利用已有的交叉口从基本上进行优化设计, 以提高行人通行能力及安全性更加迫在眉睫, 鉴于此, 该文基于现有对角斑

马线的不足, 通过对相位进行一定的调整以提高行人的通行能力, 并通过微观仿真研究对交叉口改善情况进行验证。

1 设置对角斑马线交叉口交通特性

1.1 传统的对角斑马线交叉口

目前, 城市中最普遍的是两相位信号控制的交叉口, 但为了解决城市交叉口处行人通行能力及安全性的问题, 已有专供行人通行的新相位的设置, 早在 2007 年中国第一条设有对角斑马线的十字交叉口问世, 如图 1 所示。

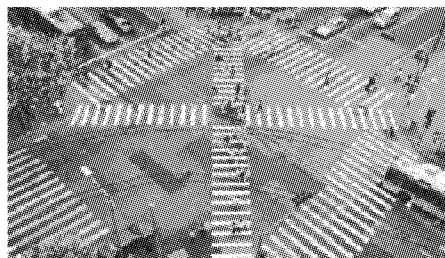


图 1 设有对角斑马线的交叉口

该交叉口在原有的基本斑马线的基础上, 增设相互交叉的对角斑马线, 利用三角形中“两边之和大于第

收稿日期: 2018-10-22

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(编号: 162300410248); 河南省交通运输厅科技攻关项目(编号: 2013-2-12); 河南省交通运输厅科技项目(编号: 2014K37-2)

作者简介: 庞亚凤, 女, 硕士研究生, E-mail: 543722904@qq.com

* 通信作者: 郑元勋, 男, 副教授, E-mail: yxzheng@zzu.edu.cn

三边”的原理,变行人二次过街为一次过街,由于行程路途的缩短,在一定程度上可提高行人的通行能力;又因为行人与车辆在时间上的完全隔离,所以这一方式同时提高了行人过街的安全性。

对角斑马线早在欧日盛行,中国于 2007 年在杭州的延安路出现了首条对角斑马线,先后于 2008 年在深圳的华强北路、振兴路交叉口,2010 年南通的濠东路、人民路交叉口,2011 年常州的南大街与双桂坊,2013 年济南泉城街对角斑马线相继问世。然而,由于“四红四绿”即专用行人相位的设置,与原有的两相位的信号系统相比,其信号周期必然增大。在每一周期中,只有 4 个方向的车辆全部通行完毕,行人才可通行。由于信号周期的增加,在某一段时间内需要过街行人的等待时间必然增加,当等待时间增加到某一极限值时,将会出现“闯红灯”行为。如此分析,从信号灯周期增加的角度而言,行人通行能力并未提高且其安全性显著降低。所以,此交叉口仅满足于面积较小、车流量不大、行人流量较大的信号交叉口。

1.2 改进后交叉口交通特性

与传统的设有专供行人通行相位的交叉口处通行方式不同。信号灯相位改进后,行人如需过街,并无需满足“四红四绿”的条件。改进前后,两者的相同点在于均在普通十字交叉口基础上增设对角斑马线,即利用“两边之和大于第三边”的原理,其最大的不同为信号灯相位的差异。改进后,交叉口处行人、车辆的运行方式具体如下:① 任意方向行人随同方向车辆的通行而通行,但一旦某一方向车辆通行时,另一方向的车辆和行人均不可通行;② 在四方向的直行车辆通行完毕后,其中一对角斑马线处行人方可通行,同时,位于其两侧的左转车辆通行且另一方向的行人及左转车辆均不可通行;③ 随着四方向直行、左转车辆通行完毕,各方向的行人通行完毕,一次通行即一个周期需要四个相位调控。

改进后的交叉口处,一方面,由于不同方向的行人、车辆通行的冲突点很少,所以,其在时间和空间上可有效减少人、车间的干扰,一定程度上提高了行人的通行能力及过街的安全;另一方面,就信号周期而言,变三相控制为四相位控制,运行周期的减少缩短了行人过街的等待时间,行人在此相位设置的交叉口处通行不易达到其心理的极限状态;且由于行人的分批通行,使得每次通行人数减少,减少了行人过街时的相互干扰,更大程度地增加了交叉口处行人的通行能力和过街的安全性。

2 行人延误模型的建立

考虑到在设有对角斑马线的交叉口处设置行人专用相位后,虽然变行人二次过街为一次过街,减少了行程距离但由于专用相位的设置会使行人的等待时间增加。基于两者的矛盾,根据交通流理论中“排队论”的原理,提出以下模型来研究对角斑马线的设置对行人通行能力的影响。原设有行人专用相位交叉口的三相位和改进后的四相位设计分别如图 2、3 所示。

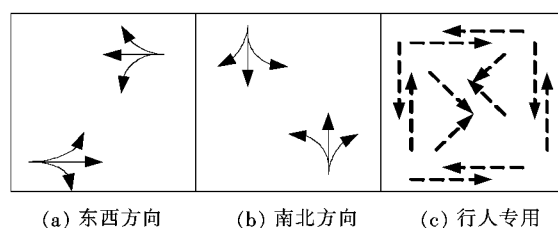


图 2 改进前设行人专用相位的交叉口通行

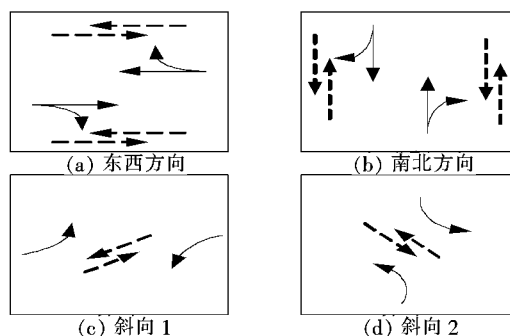


图 3 改进后四相位交叉口通行

基于排队论原理的交叉口处行人通行能力的研究具体如下:

假设十字路口宽为 d ,红灯时行人的到达率 λ 为常数,绿灯时行人的消散率为 μ ,其中行程距离 d 与行人等待时间 t (红灯时间) 都会影响着通行初始时刻的行人流量 Q ,且均与 μ 成负相关,对于任何方向的行人来说其只有在绿灯时间伴随着排队的消散。红灯时间伴随着排队的集结过程,要使排队消失,须保证 $\mu > \lambda$,且消散时间足够集结的队伍消失。如图 4 所示,图中 $\triangle OAB$ 的面积代表着行人过街的延误 D 。

对于改进后交叉口行人的延误,计算如下:延误越短,意味着通行能力的增加。

(1) 直行时

$$D_1 = \frac{1}{2} (\lambda \cdot \sum_{i=1}^3 t_i + \mu \cdot t_n) \quad (1)$$

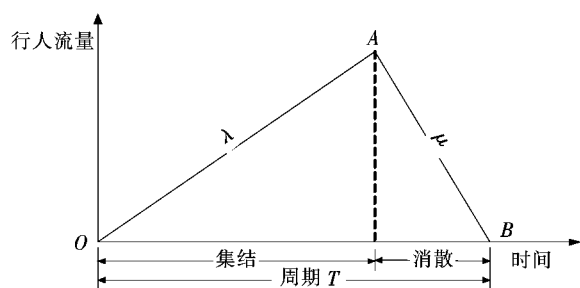


图 4 行人过街排队过程

$$\mu = \frac{\lambda}{d \cdot e^{\sum_{i=1}^3 t_i}} \quad (2)$$

式中: n 为在整个周期中行人可通行相位; t_n 为在通行相位中可通行时间; i ($i=1,2,3$ 为改进后除通行相位 n 外的另外 3 个不可通行相位) 为行人不可通行相位; 假设行人消散率 μ 经 d 和 $e^{\sum_{i=1}^3 t_i}$ 组合后与 λ 量纲及数量级一致。

(2) 斜向穿行

$$D_2 = \frac{1}{2} Q(\lambda \cdot \sum_{i=1}^3 t_i + \mu \cdot t_n) \quad (3)$$

$$\mu = \frac{\lambda}{\sqrt{2} d \cdot e^{\sum_{i=1}^3 t_i}} \quad (4)$$

假设过街行人中直行与斜向穿行的比例为 $\beta_1 : \beta_2 = 0.6 : 0.4$,

则行人平均延误率为: $D = \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2$

改进前, 设有三相位的行人专用相位的延误如下:

$$D' = \frac{1}{2} Q(\lambda \cdot \sum_{i=1}^2 t_i + \mu_n \cdot t_n) \quad (5)$$

$$\mu_n = \frac{\lambda}{d_n \cdot e^{\sum_{i=1}^2 t_i}} \quad (6)$$

式中: $\sum_{i=1}^2 t_i$ 为改进前的三相位中除行人专用相位外的另外 2 个相位。

比较改进前后的延误情况 $D - D' < 0$ 即可验证设有对角斑马线交叉口相位改进后通行能力的提高。

根据现实情况, 假设直行时行人的通行时间为 30 s, 左转时行人通行时间为 15 s, 每一相位的黄灯时长为 3 s (黄灯在绿灯结束时显示), 交叉口改进前后的相位设置分别见表 1、2。

很明显由于专用相位的设计, 使得周期增加到 135 s, 而改进后的交叉口周期为 117 s (由于在绿灯结束后会有 3 s 的黄灯时间, 所以改进前后周期分别为 135、117 s), 具体代入求解得:

表 1 原三相位交叉口设计

序号	相位	红灯持续时间/s	红灯结束时间/s	绿灯结束时间/s	类型
1	直行	48	48	63	循环
2	左转	99	99	114	循环
3	行人	117	117	132	循环

表 2 改进后四相位交叉口设计

序号	相位	红灯持续时间/s	红灯结束时间/s	绿灯结束时间/s	类型
1	直行 1	15	15	45	循环
2	直行 2	48	48	78	循环
3	左转 1	81	81	96	循环
4	左转 2	99	99	114	循环

改进后:

$$D = \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 = \frac{1}{2} Q \{ 0.6 [(117 - 30) \lambda - \frac{\lambda}{d \cdot e^{0.01(117-30)}} \times 30] + 0.4 [(117 - 15) \lambda - \frac{\lambda}{\sqrt{2} d \cdot e^{0.01(117-15)}} \times 15] \} = \frac{1}{2} Q(93\lambda - 12.5 \frac{\lambda}{d})$$

改进前:

$$D' = \frac{1}{2} Q(\lambda \cdot \sum_{i=1}^2 t_i + \mu_n \cdot t_n) = \frac{1}{2} Q \left[\lambda \cdot 117 - 2 \cdot \left(\frac{0.6\lambda}{d \cdot e^{0.01(135-15)}} + \frac{0.4\lambda}{2d \cdot e^{0.01(135-15)}} \right) \times 15 \right] = \frac{1}{2} Q(117\lambda - 7.2 \frac{\lambda}{d})$$

$$\text{求解得 } D - D' = -\frac{1}{2} Q \left(\frac{5.3}{d} - 24 \right) \lambda < 0.$$

3 PTV-VISSIM 仿真分析

3.1 PTV-VISSIM 简介

PTV-VISSIM 是一种微观的、基于时间间隔和驾驶行为的仿真工具, 用于城市交通和公共交通运行的交通建模。它可分析各种交通条件下, 如车道设置、交通构成、交通信号、公交站点等城市交通和公共交通的运行状况, 是评价交通工程设计和城市规划方案的有效工具。

该文将利用 PTV-VISSIM 对改进前后的设置有对角斑马线交叉口进行仿真模拟, 以行程时间、排队长度及行程延误作为评判交叉口处行人通行能力指

标,以验证改善后交叉口处行人通行能力的提高。

3.2 仿真模型假设

仿真模型假设如下:

- (1) 假设车辆进入路网后各行其道:不换道,不掉头行驶。
- (2) 假设所有车辆和行人均遵守交通信号及交通规则,且无意外发生。
- (3) 假设行人与车辆通行时均满足仿真软件的基本假设与运行模式。
- (4) 假设行人过街比通行车辆更具有优先权。

3.3 仿真模型构建流程

仿真流程包括路网建立、交通参数输入、交通状况信息的输出等,具体流程如图 5 所示。

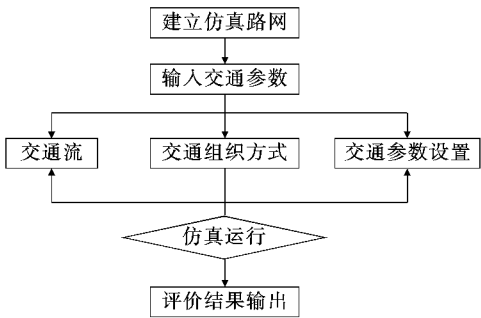


图 5 仿真流程

3.4 仿真路网、基本数据及仿真运行

3.4.1 仿真路网

为进行有效仿真,设置的仿真路网如图 6 所示。

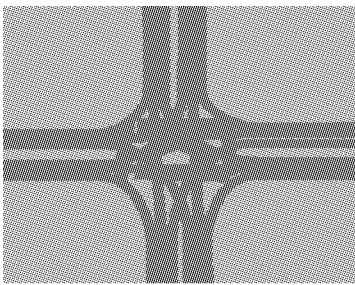


图 6 仿真路网

3.4.2 仿真基本数据

在该文的仿真模拟中所采用的基本数据如下:车道为双向六车道(单车道宽度 3.75 m);交通构成为小汽车 0.98,货车 0.02;采用两主路相交的模式;车辆、行人交通流进行分段设置,随着仿真时间分段设置且假设直行、左转、右转行驶的车辆及对向过街和交叉过街行人数量有所差异,具体数据如表 3、4 所示。

假设改进前采用三相位控制,信号周期为 135 s,

表 3 直行、左转、右转车流分布

仿真时间/ s	不同方向车流分布/pcu		
	直行	左转	右转
0~1 800	1 000	1 200	800
1 800~3 600	800	1 000	600
3 600~99 999	500	700	300

表 4 对向、交叉过街人流分布

仿真时间/ s	不同方向人流分布/人	
	直行	对向
0~1 800	80	60
1 800~3 600	60	40
3 600~99 999	50	30

其中直行绿灯时间 30 s,红灯 15 s,黄灯 3 s;改善后采用四相位控制,信号周期为 117 s,信号灯时长与改善前相同。

3.5 仿真分析

在完成仿真流程中所需步骤后,进行仿真运行。其中某一瞬时的运行如图 7 所示。

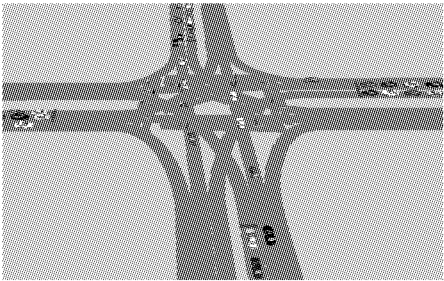


图 7 仿真运行

该文在对信号灯相位进行调整后对改进前后交叉口进行微观模拟,仿真时间为 3 600 s,输出仿真评价文件后,由于数据较多,因此选取仿真运行时间为 600~3 600 s,每隔 600 s 为单位统计其行人在不同路段内的行程时间、排队长度、平均延误时间作为交叉口处行人通行能力的量化指标,以验证改进后交叉口处行人通行能力的提高程度。

3.5.1 行程时间

行程时间指车辆通过某一长度的路段所需的平均时间,由于该文研究对象为过街行人,因此利用在人行道处一定长度范围内行人通行所用的平均时间代表行人的行程时间,其中行人的行程时间越短,通行能力越强。改善前后交叉口处行人的行程时间如表 5 所示。

表 5 改进前后对向、对角行人行程时间及缩短率

仿真时 间/s	对向				对角				缩短率/%	
	改进前		改进后		改进前		改进后		对向	对角
	交通 量/人	行程时 间/s	交通 量/人	行程时 间/s	交通 量/人	行程时 间/s	交通 量/人	行程时 间/s		
600	9	24.0	11	15.1	6	124.8	9	81.2	37	35
1 200	30	74.4	28	57.4	23	124.5	28	97.0	23	22
1 800	13	21.7	26	10.4	10	17.6	17	15.3	52	13
2 400	47	24.0	57	13.6	32	84.9	47	78.7	43	7
3 000	8	21.5	12	6.4	3	100.8	10	95.6	70	5
3 600	3	6.8	13	6.8	0	19.9	8	13.8	0	30

注:缩短率= $\frac{t_{改进前}-t_{改进后}}{t_{改进前}}\times 100\%$ 。

表 5 的结果显示:① 在仿真全过程中,除对向 3 600 s 以外,改进后交叉口处行人的行程时间均有所减小;② 改进后交叉口处行人通行能力明显改善,且对向方向的行人通行能力改善更加显著。

3.5.2 排队长度

排队长度指某一时刻在道路某一确定的位置处车辆或行人等待通行的数量。该文在仿真运行后,提取改善前后交叉口处不同方向(对向、对角方向)行人某些位置的平均排队长度,并通过公式计算量化分析交叉口处行人通行能力。

交叉口处改进前后不同方向(直行、对角方向)的平均排队长度计算数据如表 6、7 所示。

表 6 改进前后对向行人平均排队长度及缩短率

方向	排队长度/m		缩短率/ %
	改进前	改进后	
W~E	5.7	3.1	46
E~W	4.5	3.3	27
N~S	4.6	2.8	39
S~N	4.5	3.7	18

表 7 改进前后对角交叉方向行人平均排队长度及缩短率

方向	排队长度/m		缩短率/ %
	改进前	改进后	
WS~EN	4.4	3.9	11
EN~WS	4.0	3.8	5
WN~ES	3.9	3.3	15
ES~WN	5.9	2.5	58

由表 6、7 可知:在交叉口改进后不同方向(直行、对角方向)行人的平均排队长度均有所减少,并且在西进口和南进口处的行人在直行及对向通行时其平均排队长度的缩短率大于另外两方向。纵向比较得出,改进后,行人直行通行能力改善效果更佳。

3.5.3 延误时间

延误时间指由于各种交通的相互干扰而发生的延误,一段时间内车辆或行人在某条道路上的行驶时间与理想行驶时间差的平均值,而该文中仅分析交叉口行人的延误,即行人通过交叉口范围内的时间延误的长短,时间延误越短,行人通行效果越好。

改进前后不同方向(直行、对角方向)行人延误时间数据如表 8 所示。

表 8 改进前后直行方向行人延误时间

仿真时 间/s	直行方向/s		对角方向/s		缩短率/%	
	改进前	改进后	改进前	改进后	对向	对角
600	117.7	75.5	0	0	36	0
1 200	123.9	62.9	115.7	70.6	49	39
1 800	3.8	3.8	0	0	0	0
2 400	0	0	78.7	0	0	100
3 000	74.6	34.5	30.7	14.1	40	54
3 600	14.9	5.8	100.7	58.3	61	42

由表 8 可知:在整个仿真过程中,大部分时间内,改进后不同方向(直行、对角方向)交叉口处行人的延误时间均有一定程度的缩短,排除仿真试验的误差性,从延误时间的角度考虑,行人无论是直行过街,还是到对角方向通行,其通行能力的优化程度基本相同。

4 改进后交叉口处车辆通行能力简析

对于交叉口改进后车辆通行能力的研究,以行程时间为例进行 VISSIM 仿真得到结果如表 9 所示。

表 9 改进前后车辆行程时间对比分析

仿真时间/s	改进前		改进后	
	交通量/pcu	行程时间/s	交通量/pcu	行程时间/s
600	9.5	18.5	9	4.6
1 200	6.2	11.2	6	9.8
1 800	4.3	22.2	11	8.6
2 400	7.5	8.9	7	4.8
3 000	8.0	8.8	12	4.1
3 600	7.3	11.2	13	4.2

由表 7 可知:交叉口改进后车辆的通行能力得到明显的改善,且改善效果高达 50% 左右,进一步说明通过相位的调整对设置有行人专用相位的交叉口处行人与车辆的通行能力均有大幅度提高。

5 结论

首先依据现实已存在的设有行人专用相位的交叉口以交通信号灯相位的调整作为改进方式,然后通过 PTV-VISSIM 仿真运行后以 600 s 为间隔,分别提取 600~3 600 s 的数据或者是 W、E、N、S 共 4 个不同方向行人通行情况的数据结果,以行程时间、排队长度、延误时间作为评价行人通行能力指标,得到以下结论:

(1) 从行程时间角度考虑,改进后,行人从任何方向任何路线通行其缩短率在 50% 左右,但高出 50% 的幅度不大。说明改进后,设有对角斑马线交叉口处行人通行能力得到一定改善,行人的行程时间明显缩短。

(2) 从平均排队长度角度考虑,改进后,直行方向相比于对角方向而言,平均排队长度的缩短率改善效果更佳。与行程时间类似缩短率超过 50% 的情况较少,且超过幅度不大。

(3) 从延误时间角度考虑,改进后,直行与对角方向,行人通行时延误时间的缩短程度基本相同,但缩短幅度不大。说明交叉口改进后,直行与对向方向行人通行的延误时间有基本相同的改善趋势。

(4) 通过对行人通行时的行程时间、排队长度、延误时间的综合分析以及改进前后车辆行程时间的仿真得出:在设有对角斑马线的交叉口经过交通信号灯相位调整后,交叉口处行人以及车辆的通行能力得到明显的改善。并且,交通信号灯相位调整的基本措施,可在城市人流量突然增大时通过临时举措来缓解交通压力,更好地服务居民的正常出行,体现“以人为本”的理念。

参考文献:

- [1] 连培昆,李振龙,荣建,等.基于 VISSIM 微观交通仿真软件的导流岛机非冲突元胞自动机模型[J].计算机应用,2016(6).
- [2] 甘露,郑元勋.斜拉式半立交十字路口概念设计研究[J].郑州大学学报:理学版,2017(4).
- [3] 王占中,赵利英,焦玉玲,等.信号交叉口自行车和行人混合交通流社会力模型[J].吉林大学学报:工学版,2018(1).
- [4] 王雪元,邵春福,黄士琛.典型信号控制交叉口行人专用相位设置阈值研究[J].交通信息与安全,2017(4).
- [5] 高彦生.基于效率与安全的两相位 T 型交叉口人行横道设置[D].西南交通大学硕士学位论文,2017.
- [6] 李昕,唐海波,刘兆强.信号交叉口人行横道行人过街服务水平研究[J].公路与汽运,2017(3).
- [7] Zhao J, Ma W, Head K L, et al. Optimal Operation of Displaced Left-Turn Intersections: A Lane-Based Approach[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2015, 61: 29-48.
- [8] 沈旅欧,刘好德.信号交叉口控制延误算法的适应性研究[J].同济大学学报:自然科学版,2012(4).
- [9] Lim S. Analysis of Travel Time Distribution for Measures of Travel Time Reliability[C]. Computing and Networking Technology (ICCNT), 2012 8th International Conference on. IEEE, 2012: 139-142.
- [10] 王进,白玉,杨晓光.关联信号交叉口排队长度计算模型[J].同济大学学报:自然科学版,2012(11).
- [11] 赵韩涛,郭栋.有行人专用相位交叉口行人过街时间模型[J].哈尔滨工业大学学报,2012(8).
- [12] 刘泳玲.行人影响下信号交叉口专用右转车道通行能力研究[J].道路交通与安全,2015(5).
- [13] 李硕,李玲,李昂.信控道路交叉口过街行人流影响下的右转车辆延误模型研究[J].湘潭大学学报:自然科学版,2015(3).
- [14] 郑元勋,李桐.卫星岛式内嵌双环形交叉口概念设计[J].郑州大学学报:工学版,2016(2).
- [15] 裴玉龙,平永青.设有行人专用相位的交叉口行人闯红灯行为及应对策略研究[J].交通信息与安全,2011(5).