

基于环境影响的交叉口控制方式综合评估研究^{*}

刘永红, 廖瀚博, 余志, 蔡铭

(中山大学工学院//广东省智能交通系统重点实验室, 广东 广州 510275)

摘要: 采用交通成本效益、能耗成本效益、环境成本效益作为指标, 建立交叉口综合指标评价模型。利用微观交通仿真平台, 结合微观排放模型 CMEM 对不同流量条件下, 让路控制、环形交叉口、信号控制等三种控制方式进行仿真并评价相应的交叉口综合运行成本。结果表明: 能耗成本在综合经济成本所占的比例最高; 在低流量条件下, 让路控制的综合成本最低; 对于中高流量的交叉口, 信号控制的综合成本优于其他两种控制方式。

关键词: 环境影响、交叉口控制方式、微观交通仿真、综合评估、CMEM

中图分类号: U491 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2013) 01-0012-05

Study of Intersection Control Mode Evaluation Based on Environmental Effect

LIU Yonghong, LIAO Hanbo, YU Zhi, CAI Ming

(School of Engineering//Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System,
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Transportation costs, energy costs and environmental costs were used as indicators for the development of comprehensive index evaluation model. Paramics and CMEM model were used as the basic tools for simulating the scenarios of different flow levels. Yield-regulated control mode, roundabout mode and signal control mode were simulated in each condition and evaluated respectively. The results show that the proportion of energy cost is the highest in the total economic cost, and the economic cost of yield-regulated control mode in low flow level is the lowest while the total cost of signal control mode is lower than the others in middle or high flow levels.

Key words: environmental effect, intersection control mode, microscopic traffic simulation, comprehensive evaluation, CMEM

城市交叉口是道路网络的关键点, 通过交叉口使不同道路相互连接, 从而实现路网中车流的正常移动。由于车流之间的相互交汇和冲突, 交叉口成为城市路网中的交通瓶颈。同时, 车辆间相互干扰和交通信号控制使得车辆在通过交叉口的过程中速度和加速度频繁波动, 导致车辆燃油消耗水平升高, 尾气排放加重, 在能源紧缺、城市空气质量恶化的情况下, 已经成为了一个不可忽视的问题。

城市交叉口的运行效率评价一直是国内外专家学者研究的热点问题。国内外相关专家选取了交通

运行效率、交叉口安全性等不同方面的指标, 对城市交叉口的运行情况进行评价^[1-5]。在综合评价体系构建中, 评价指标权重的选取对评价效果具有重要的影响。湖南大学的李嘉^[6]利用灰色聚类的方法评价混合交通流状况下信号交叉口的综合质量。北京交通大学的余柳^[7]采用专家打分法对交叉口综合评价体系中的指标权重进行标定。重庆交通大学的刘燕^[8]从运行效率和安全角度出发, 采用层次分析法对城市平面交叉口进行综合评价。微观交通仿真与排放模型的结合一直是相关领域的研究热

* 收稿日期: 2012-02-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51108471); 广东省科技计划资助项目 (2011A080803007)

作者简介: 刘永红 (1978 年生), 女, 博士, 讲师; E-mail: liuyh3@mail.sysu.edu.cn

点之一。维吉尼亚理工大学的 Ahn 使用了多元回归模型和神经网络模型建立了基于瞬时速度和加速度的机动车微观排放和油耗模型^[9]。科隆大学的 Stephan 通过微观仿真研究了交通分配、车辆行驶状态与机动车排放之间的关系^[10]。

由于交叉口运行过程中存在多种问题,因此仅仅从单一角度进行分析,往往无法综合反映交叉口的实际运行情况。以往的交叉口评价模型主要从交通角度出发,较少从节能环保角度进行考虑。由于交叉口地形结构的特殊性,机动车速度变化频繁,导致油耗性能和排放性能恶化,交叉口成为了机动车尾气污染的重灾区。在优化交通运行性能的基础上,综合分析环境影响,对于节能减排具有重要的意义。本文从交通运行效益、能源消耗效益以及环境成本效益等角度出发,建立交叉口综合指标评价体系,采用微观交通仿真的方式对不同的交叉口控制方式进行评估研究。

1 交叉口综合指标评价模型

为了反映城市交叉口的综合成本效益,本文选取了多个方面的指标进行综合评价模型构建。在评价体系构建过程中主要包括评价指标选取和指标权重标定两个方面。

1.1 评价指标的选取

城市交叉口的车辆延误,即车辆实际通过交叉口所需的时间与正常通过交叉口所需时间之差,是评价交叉口交通运行效率的重要指标。在 HCM2000 中,车辆平均延误是进行交叉口服务水平选择和控制方案评价的主要依据^[11],因此本文选取车辆通过交叉口的平均延误作为交叉口交通成本效益指标的代表。

由于车流的相互干扰和冲突,大部分机动车在通过城市交叉口的过程需要经历减速、匀速、加速的过程。车辆运行状态的变化,对车辆油耗性能和排放性能具有重要的影响。频繁的变速将导致车辆燃油经济性下降,燃油消耗升高。本文选取通过交叉口的车辆燃油消耗总量作为交叉口能耗成本效益指标的代表。

机动车尾气排放已经成为了城市大气的一个重要污染源。与普通路段相比,交叉口是城市路网中尾气排放水平较高的区域。通过合理的控制方案,减少交叉口的机动车尾气排放,对于降低环境成本具有重要的意义。因此选择机动车尾气排放量作为交叉口环境成本效益指标的代表。机动车尾气中包括了多种污染物成分,其中 CO、NO_x、HC 和 PM

是发动机燃烧过程中产生的主要污染物^[12],因此本文选择这四种污染物作为机动车尾气的代表。

1.2 指标权重的确定

在综合指标评价体系中,不同的指标的计量单位不同,因此需要将不同单位的指标统一为相同的单位。本文采用经济指标作为统一化指标,将其他类型指标统一转换为经济成本指标。

对于交通成本效益指标,首先根据城市交叉口车流的特点,将机动车类型分为轻型车和重型车两个类型。其中选择轻型小客车作为轻型车的代表,选择公交车作为重型车的代表。采用这两种车型最大载客数的半数作为车辆通过交叉口过程中的载客人数。因此可以得到通过交叉口的所有乘客延误总量,如式 1 所示:

$$D_T = D_L \times n_L + D_H \times n_H \quad (1)$$

其中: D_T 为所有乘客通过交叉口的延误总量,单位: hour; D_L 为所有轻型车的延误总量,单位: hour; D_H 为所有重型车的延误总量,单位: hour; n_L 为轻型车的平均载客人数,取 2 人; n_H 为重型车的平均载客人数,取 20 人;

由于时间成本收到多种因素的影响,在衡量选取的过程中存在一定的难度。本文研究中选用最低工资标准作为时间成本衡量的基础。不同地区之间最低工作标准存在差异,本文采用 2010 年 5 月 1 日推行的广州市最低工资标准^[13],通过下式 2 将通过交叉口过程中所有乘客的延误总量转换为经济指标。

$$E_D = D_T \times W \quad (2)$$

其中: E_D 为交通经济成本指标,单位: 元; W 为广州市最低小时工资,取 5.92 元/h。

对于能耗成本效益指标,统计通过交叉口过程中的所有机动车的燃油消耗总量,结合 2010 年 10 月广州市 93#汽油的单位价格,根据下式 3 计算出相应的能耗经济成本指标。

$$E_F = F_T \times P_F \quad (3)$$

其中: E_F 为能耗经济成本指标,单位: 元; F_T 为通过交叉口的所有机动车的燃油消耗总量,单位: L; P_F 为当前的燃油价格,取 6.54 元/L。

对于环境成本效益指标,根据不同的污染物类型,统计所有通过交叉口车辆的尾气排放总量。不同的污染物对人类健康的影响程度不同。因此根据国家颁布的《排污费征收标准管理办法》,采用下式 4 将不同类型污染物排放量转换为统一的当量数^[14]。

$$N_i = P_i / K_i \quad (4)$$

其中: N_i 为污染物排放当量数, 单位: kg; P_i 为污染物排放总量, 单位: kg; K_i 为污染当量值; i 为不同的污染物类型。

表 1 分别列出了 CO、NO_x、HC 和 PM 的排放当量值^[14]。将不同污染物排放总量转换成相应的排放当量数后, 根据下式 5 可以计算得到环境成本效益指标。

$$E_E = \sum_{i=1}^m N_i \times P_E \quad (5)$$

其中: E_E 为环境经济成本指标, 单位: 元; P_E 为污染物当量排放征收单价, 取 0.6 元/kg, m 为污染物类型的总数量。

表 1 不同污染物类型的污染当量值列表

Table 1 Equivalent values of different pollutants

污染物类型	CO	NO _x	HC	PM
污染当量值	16.7	0.95	0.3	0.59

在选定评价指标以及标定相应的权重之后, 建立了综合评价模型, 如下式 6 所示。

$$PI = E_D + E_F + E_E \quad (6)$$

其中: PI 为交叉口运行过程的综合经济成本指标。

在建立了综合指标评价模型之后, 利用微观交通仿真平台对不同的交通场景进行仿真实验, 得到相应的车辆平均延误、燃油消耗总量数据和尾气排放总量数据, 并应用评价模型进行分析, 获得交叉口运行的综合经济成本指标。

2 仿真分析

2.1 仿真流程

CMEM 是美国加州大学河滨分校开发的一个综合标准排放模型, 能够计算和预测微观尺度下机动车的尾气排放和燃料消耗数据。本文采用的并行微观仿真器 Paramics 作为微观交通仿真平台, 同时使用了兼容的 CMEM 插件进行机动车微观排放计算。其中 Paramics 是由英国 Quadstone 公司开发的一款建立在成熟仿真引擎基础上的软件包, 具有实时动态的三维可视化用户界面, 对单一车辆进行微观处理的能力, 以及功能强大的应用程序接口, 能够用于模拟各种交通和运输问题。

微观仿真过程的工作流程图如下图 1 所示。首先输入交叉口结构参数、交通流量等基本数据, 选择交叉口控制方式, 建立仿真场景。然后进行微观交通仿真。在仿真的过程中, Paramics 逐秒记录路网中车辆的基本属性数据、运行状态数据和相应的

位置数据, 并将这些数据输出至 CMEM 插件。根据 Paramics 与 CMEM 车辆类型之间的关系进行对应匹配, 应用上述数据计算得到机动车的逐秒尾气排放量和燃油消耗量。接着将逐秒计算结果与车辆位置数据相结合, 从而计算出相应路段的最终排放和油耗结果。

利用 Paramics 平台和 CMEM 模型对不同流量水平下的交叉口运行情况进行仿真。针对每一种交通量情况, 评价不同交通控制方式下交叉口的运行综合经济成本。

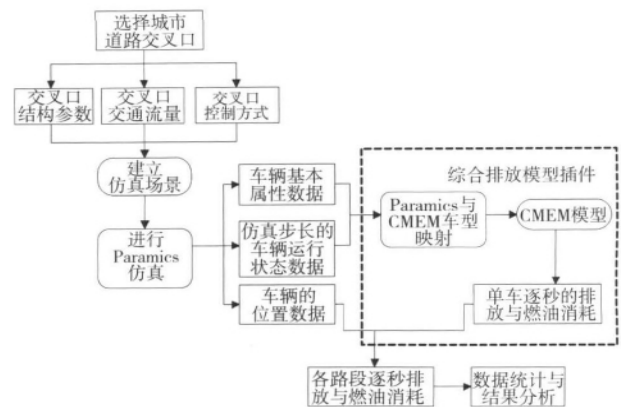


图 1 微观交通仿真工作流程图

Fig. 1 Flow chart of microscopic traffic simulation

2.2 仿真实验

本文选择主次干道相交的城市交叉口作为仿真场景, 其中主干道为双向八车道, 次干道为双向四车道, 仿真时长为 1h。对交叉口由低至高等比例加载交通流量, 表 2 具体列出相应的交叉口总流量。

表 2 交通仿真中交叉口交通总量列表

Table 2 Total flows of intersection in traffic simulation

	辆/h							
序号	1	2	3	4	5	6	7	8
交叉口总流量	550	1 100	1 650	2 200	2 750	3 300	3 850	4 400

针对每一种流量条件, 分别采用让路控制、环形交叉口以及信号控制进行仿真。其中环形交叉口中心岛的直径为 30 m, 信号控制方案中采用经典的韦伯斯特方法进行配时方案设计。

本文分别从交通成本效益角度、能耗成本效益角度、环境成本效益角度以及综合经济成本效益角度评价不同控制方案条件下交叉口运行情况, 具体如下图所示。其中图 2-4 分别显示了交叉口总流

量与车辆平均延误、车辆通过交叉口过程中总耗油量以及产生的环境成本之间的关系。采用综合指标评价模型, 将不同指标转换为经济成本指标, 得到了不同控制方式下交叉口综合经济成本与交叉口总流量的关系, 具体如图 5 所示。

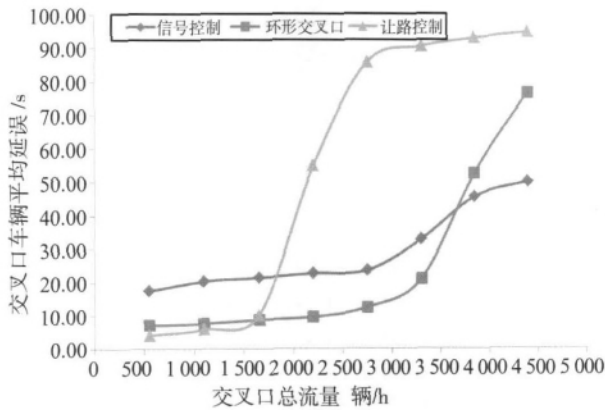


图 2 车均延误与总流量关系图

Fig. 2 Relation of average delay and total flow

从图 2 可以看出: 从交通成本效益的角度出发, 交叉口的车均延误随着车流的增加呈现上升的趋势。在低流量水平下, 车辆间相互干扰较小, 采用让路控制的方式效果最好。随着车流量的增加, 车辆间冲突增大, 采用环形交叉口的方式能够减少交叉口的冲突点, 车辆的平均延误低于其他方式。在高流量水平下, 根据流量比进行信号控制, 能够更好地分配通行权, 使车均延误保持相对较低水平。

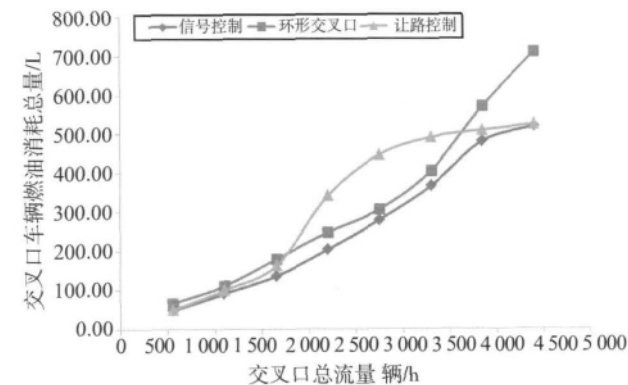


图 3 燃油消耗总量与总流量关系图

Fig. 3 Relation of total fuel consumption and total flow

对比图 3 和图 4 可以发现: 能耗成本效益和环境成本效益的情况相似。从这两个角度出发, 采用信号控制方式的效果最好。影响机动车燃油消耗和尾气排放总量的主要因素有两个。一个是车辆的行驶距

离, 另一个是燃油消耗率。对于环形交叉口, 车辆需要经过环道才能经过交叉口, 车辆行驶距离的增加是车辆能耗和排放增大的主要原因。车辆行驶的稳定性的对于燃油消耗率和排放水平具有重要的影响。让路控制交叉口的交通不确定性程度高, 频繁的速度波动, 导致了车辆通过交叉口过程较高的燃油消耗和尾气排放。

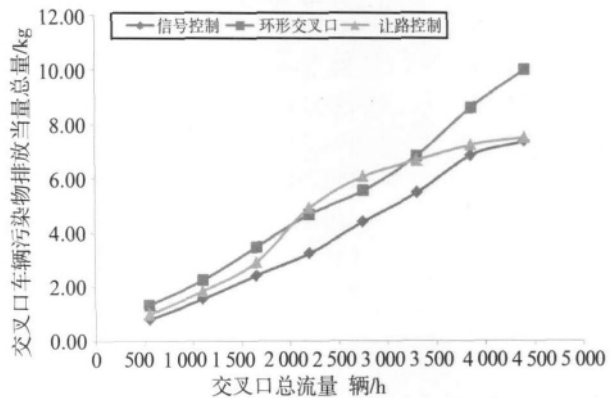


图 4 污染物当量总量与总流量关系图

Fig. 4 Relation of total equivalent number and total flow

与图 2 不同的是: 在图 5 中, 在低流量水平下, 让路控制的效果略优于信号控制; 随着交通量的增加, 在中高流量水平下, 信号控制的成本低于其他两种方式。造成这种变化的主要原因是信号控制方式在能耗成本效益和环境成本效益方面的优势。因此与采用交通效益作为单一指标相比, 采用综合指标进行评价, 选择信号控制方式的流量阈值范围变大, 信号控制方式的经济成本优势更加明显。

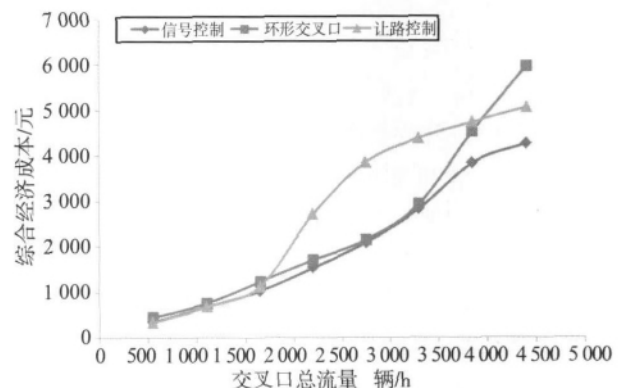


图 5 综合经济成本与总流量关系图

Fig. 5 Relation of total economic cost and total flow

表 3 列出了综合经济成本中各个方面指标的组成情况。其中能效成本所占的比例最大, 其次是交通成本, 比例最小的是环境成本。燃油价格高是能

耗成本所占比例较大的主要原因。随着居民工资的提高,由于交通延误带来的时间成本将呈现上升的趋势。另外,由于特殊的地形结构,交叉口的机动车尾气扩散情况较差,在高峰时段形成浓度累积,

加剧了空气质量的恶化,对交叉口内部及周边的行人和居民的健康带来了不利的影响。然而在《排污费征收标准管理办法》中并没有考虑到这方面的因素,从而导致了评价中过低的环境成本。

表 3 综合经济成本结构组成表

Table 3 Construction of comprehensive economic cost

/元

交叉口总流量 辆/h	信号控制			环形交叉口			让路控制		
	交通	能耗	环境	交通	能耗	环境	交通	能耗	环境
550	37.59	315.76	0.47	15.43	435.94	0.79	8.90	329.01	0.58
1 100	87.39	598.26	0.92	32.87	730.06	1.34	25.32	656.64	1.10
1 650	137.29	891.60	1.44	56.29	1 180.22	2.07	65.19	1 070.55	1.73
2 200	194.32	1 335.84	1.93	82.14	1 620.31	2.79	468.99	2 236.44	2.94
2 750	252.30	1 825.21	2.63	133.41	2 003.30	3.32	915.91	2 918.32	3.63
3 300	420.96	2 392.66	3.27	269.71	2 646.69	4.09	1 159.54	3 205.22	3.99
3 850	681.48	3 138.86	4.09	786.07	3 725.41	5.15	1 388.81	3 324.79	4.33
4 400	855.33	3 389.07	4.40	1 308.01	4 627.52	5.98	1 617.77	3 421.04	4.49

3 结 论

本文从交通、能耗和环境等角度出发,以经济效益为统一标准,采用综合指标评价方法对不同流量水平下交叉口交通控制进行评估。应用综合指标评价方法进行评估,可以根据研究区域的实际情况选择时间成本和环境成本权重,满足不同地区和城市的应用需要。本文以广州为例,通过研究发现:在综合经济成本组成中,能耗成本所占比例最大;与采用车辆平均延误表征交通效益的单指标评价相比,采用综合指标进行评价,选择信号控制方式的流量阈值范围变大,在中高流量情况下,其经济成本优于让路控制和环形交叉口这两种控制方式。

将不同方面的指标转换为经济指标进行评价,能够更好的反映交叉口的实际运行成本。同时还有其他效益指标,包括安全效益指标、交叉口设施维护费用指标以及交通噪声指标,对于交叉口的实际运行过程也有重要的影响。因此,在日后的研究中,也将进一步完善综合指标评价体系,使之能够更加合理和全面的评价交叉口的实际运行情况。

参考文献:

- [1] GREENSHIELDS B D, SCHAPIRO D, ERICKSEN E L. Traffic performance at urban street intersections [R]. Tech Rpt 1, 152, 1946.
- [2] WHITEHEAD P C, AVISON William R. Comprehensive Evaluation: The Intersection of Impact Evaluation and Social Accounting [J]. Canadian Journal of Program Evaluation/La Revue canadienne, 1999, 14(1): 65-83.
- [3] LEE C, ABDEL-ATY M. Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections in Florida [J]. Accident Analysis & Prevention, 2005, 37(4): 775-786.
- [4] 吴海燕, 金东星. 城市道路平面交叉口综合评价 [J]. 北京建筑工程学院学报, 2001, 17(3): 50-55.
- [5] 颜桃为, 马健霄, 魏永平. 信号交叉口运行状况评价研究 [J]. 山东交通学院学报, 2010, 18(1): 22-25.
- [6] LI J, YUE Z O, WONG S C. Performance evaluation of signalized urban intersections under mixed traffic conditions by gray system theory [J]. Journal of Transportation Engineering, 2004, 130(1): 113-121.
- [7] 余柳, 于雷, 万涛, 等. 综合环境因素及延误的信号配时优化仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(11): 3016-3019.
- [8] 刘燕, 吴波, 唐彩梅, 等. 基于运行效率与安全的城市平面交叉口综合评价研究 [J]. 交通科技, 2008(4): 88-90.
- [9] AHN, KYOUNGHO. Microscopic fuel consumption and emission modeling [D]. Virginia Polytechnic Institute and State University, 1998.
- [10] ROSSWOG S, WAGNER P, EISSFELDT N. Microscopic traffic simulation tools and their use for emission calculation [R]. In Proceedings of WAC 2000, 2000.
- [12] 李岳林, 王生昌. 交通运输环境污染与控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [13] 广东省人民政府. 关于调整我省企业职工最低工资标准的通知 [EB/OL] (粤府函[2010]44号) [2010-03-18]. http://www.gd.lss.gov.cn/gdllss/zcfg/zxcfg/t20100318_116025.htm.
- [14] 李克国, 魏国印, 张象枢. 环境经济学 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.