

文章编号:1005-0523(2017)03-0103-06

考虑排放的桥梁交叉口不同控制方式效果研究

陈黎明¹, 姚世瑞¹, 郭建钢¹, 李佳杰², 李林¹

(1.福建农林大学交通与土木工程学院, 福建 福州 350002; 2.北京交通大学交通运输学院, 北京 100000)

摘要:以福清市玉融大桥及两侧桥头交叉口为研究对象,选取车辆在桥面上的排队长度和排放量为评价指标,分别构建单点优化信号控制和协调优化控制系统的多目标配时模型。运用改进的遗传算法设计模型的求解步骤,选用 Vissim 仿真软件对无信号控制、单点信号控制、信号协调控制等三种不同信号控制方式进行碳排放和排队长度效果研究分析。结果表明:与无信号控制相比,采用单点优化信号控制系统后,排放量减少了 4.2%,排队长度降低 16%;采用协调优化控制系统后,排放量减少了 7.1%,排队长度降低了 25%。

关键词:桥梁交叉口;排放量;排队长度;优化控制系统

中图分类号:U491

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.03.016

1 问题的提出

我国步入经济、信息、交通事业等共同发展的时代,而交通事业的蓬勃发展必然与交通拥堵和环境污染挂钩,且现象愈演愈烈。同时作为城市交通命脉的交叉口,承载着大量车流的低速集散,且多种工况转变频繁,尾气污染较路段更为严重。当务之急是权衡交叉口的通行效率和交通污染之间的关系,将“环境指标”纳入交叉口的评价范畴^[1]。而城市规模的不断扩大,作为过江通道的桥梁被纳入城市路网已成常态,其衔接功能的重要性不言而喻。但桥梁两端交叉口的既定道路条件无法匹配日益增长的交通压力,其通行效率和负荷程度是当前交通研究的热点,亦是桥梁所需要权衡的中心^[2]。郭建钢等基于实地调查数据,应用 Synchro-Vissim 软件对桥梁两端交叉口单点信号控制和信号协调控制进行优化设计,并对不同控制方式下的控制效果进行仿真评价,有效地降低了桥上的排队长度^[3-5],但并未考虑排放。

而国内外有关考虑排放的交叉口不同控制方式效果研究较少,大多数理论研究只针对单一的控制方式。修伟杰等针对单点信号交叉口,提出以车辆延误与排放为综合指标的信号配时优化控制模型^[6]。陈金山等运用 Synchro 仿真配时软件,以金山大道为研究对象建立了基于碳排放的城市干道信号协调控制^[7]。Meszaros 等针对排放和延误两个指标情况下对单个交叉口信号配时优化控制提出了建议^[8]。同时 Madireddy 等结合了排放估计软件 VERSIT+与微观交通仿真软件 Paramics 进而探讨信号协调控制与交通排放的影响关系^[9-11]。

本文以福建省福清市玉融大桥两端交叉口为研究对象,基于实地调查数据,分别提出考虑排放和排队长度的桥梁两端交叉口单点信号控制和信号协调控制优化方法,建立以减少排放和排队长度为目标桥梁两端信号配时优化模型,使用改进的遗传算法求解目标函数最优结果,对比研究不同控制方式下排放以及排队长度的运行效果,进而达到控制碳排放进而保护桥梁的双重目的。

收稿日期:2017-01-03

基金项目:国家青年科学基金(51608123);福建省自然科学基金(2017J01682)

作者简介:陈黎明(1991—),女,硕士研究生,研究方向为道路交通安全工程。

通讯作者:郭建钢(1962—),男,教授,博士,研究方向为道路交通安全工程,智能交通和交通管理规划。

2 模型的构建

2.1 交叉口污染物排放模型

不同的行驶工况情况下车辆产生的污染物排放量是具有一定的差异,有学者认为车速是车辆排放因子最为敏感的因素之一,因此提出了车辆的排放因子与速度之间的函数关系,具体公式如下^[12]

$$\begin{cases} E_{CO}=7.344+\frac{318.445}{V} \\ E_{HC}=0.825+\frac{33.875}{V} \\ E_{NOX}=3.897-0.099V+0.002V^2 \end{cases} \quad (1)$$

式中: E_{CO}, E_{HC}, E_{NOX} 分别为 CO, HC, NO_X 的排放因子; V 为车辆速度, m/s。

同时有学者在现有车辆排放因子的理论基础上提出车辆在交叉口的某种污染物排放量 E , 具体公式如下^[13]:

$$E = \sum_i (EF^{PCU} \times q_i \times L_0) + \frac{1}{3600} \sum_i (EFT^{PCU} \times q_i \times d_i) \quad (2)$$

式中: E 为交叉口某种污染物排放量,由于本文选取 CO 排放量,因此 E 为交叉口 CO 排放量, kg; i 为交叉口信号相位; q_i 相位 i 内到达的交通流量, pcu; d_i 为车辆在相位 i 内的平均延误, s; L_0 为交叉口进口道长度, m; EF^{PCU} 为标准小汽车单位排放因子, EFT^{PCU} 为标准小汽车单位怠速排放因子,由于本文只研究碳排放,根据相关研究,通常 EF^{PCU} 取 45 g/(pcu·km), EFT^{PCU} 取 45 g/(pcu·km)。

2.2 排队队长模型

对于排队长度计算,由于当前城市交叉口饱和度较大,因此选择 HCM2000 中的排队长度计算公式。该公式不仅考虑了红灯结束时当前交叉口的车辆排队长度,同时考虑了绿灯开始后队列末端新加入排队的车辆,更符合当前交叉口的现状。具体公式如下^[14]

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (3)$$

$$Q_1 = \frac{\frac{v_L C}{3600} (1 - \frac{g}{C})}{1 - [\min(1.0, X_L) \frac{g}{C}]} \quad (4)$$

$$Q_2 = 0.25 c_L T [(X_L - 1) + \sqrt{(X_L - 1)^2 + \frac{8k_B + X_L}{c_L T} + \frac{16k_B Q_{BL}}{(c_L T)^2}}] \quad (5)$$

式中: Q 为交叉口平均排队长度, m; Q_1 为交叉口均匀排队长度, m; Q_2 为交叉口增量平均排队长度, m; X_L 为一条车道饱和度; v_L 为一条车道机动车流量, pcu; C 为信号周期, s; g/C 为绿信比; k_B 为感应控制的增量延误系数,根据国内相关研究, k_B 对于定周期,取 0.5,对于感应周期,取 0.3; c_L 为一条车道机动车的通行能力; T 为时段长度, s; Q_{BL} 为一条车道开始时的排队长度, m。

2.3 交叉口总体运行效率模型

这里运用效率最优化模型,通过函数协调使多目标规划转变为传统的单目标规划问题,建立如下模型:

$$P_I = \alpha \times \frac{D_I}{D_0} + \beta \times \frac{E_I}{E_0} \quad (6)$$

式中: P_I 为第 I 种配时方案下的综合评价指标; E_I 为第 I 种配时方案下的路网 CO 排放量, kg; D_I 为第 I 种配时方案下的路网平均排队长度, m; D_0 为现状配时条件下的路网平均排队长度, m; E_0 为现状配时条件下的路网 CO 排放量, kg; α 和 β 优化程度的权重,参考文献[15-16]等,确定了 α 取 0.4, β 取 0.6。

3 方案及优化

3.1 研究对象

为了对本文中提出的方法进行验证,选取了福清市玉融大桥两侧交叉口进行实地调查。玉融大桥年代

久远,作为主要的过江通道,高峰时段拥堵严重,桥面排队长度大,对桥梁具有较大的损害。桥梁两端交叉口的现状交通渠化方案见图 1,高峰时段现状信号配时和流量调查数据见表 1~表 3。

表 1 高峰小时流量
Tab.1 Traffic flow at peak hours

pcu/h

交叉口名称	西进口		南进口		北进口	
	左	右	左	直	直	右
玉融大桥南侧交叉口	—	119	139	1517	1839	122
玉融大桥北侧交叉口	312	1268	1108	422	523	343

表 2 北侧交叉口现状配时方案
Tab.2 The timing scheme for intersections at the north side

相位	方向	绿灯时长/s	总周期/s
第一相位	南北直行	20	110
第二相位	南向直行西向左转右转	27	
第三相位	南向左转西向右转	28	
第四相位	南向左转	23	

表 3 南侧交叉口现状配时方案
Tab.3 The timing scheme for intersections at the south side

相位	方向	绿灯时长/s	总周期/s
第一相位	南北直行	57	95
第二相位	南向直行左转	19	
第三相位	西向右转	10	

3.2 信号控制设计方案

3.2.1 无信号控制设计

无信号控制方式采用“主路优先控制”。根据高峰时段实际调查得到的交通量为判别主次道路的标准。南侧桥头交叉口北进口和南进口的直行车流和北侧桥头交叉口南进口的左转、西进口的右转为主路车流,其他各方向车流为次路车流。仿真结果见表 6。

3.2.2 单点信号控制系统优化设计

以高峰时段交通量为基础,利用式(1)~式(6)采用 Matlab 软件的遗传算法工具箱对其进行代码编写求解,分别求得桥梁两端交叉口最佳优化周期和绿信比。北侧和南侧交叉口单点信号控制系统优化设计迭代图见图 2,图 3;北侧和南侧交叉口优化配时方案见表 4,表 5。

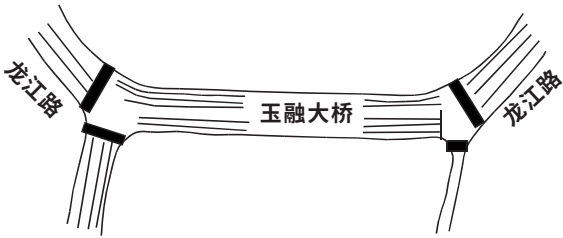


图 1 交叉口现状渠化方案
Fig.1 Current situation of intersections

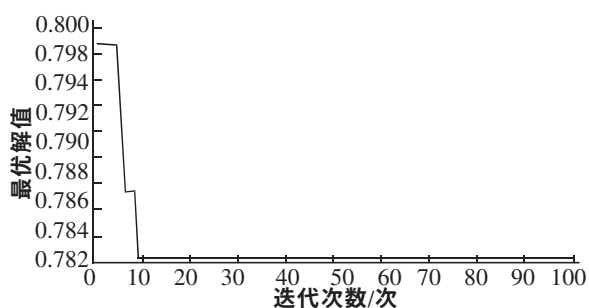


图2 北侧桥头交叉口迭代 100 次后的最佳值
Fig.2 The optimal value after 100 iterations at the north side

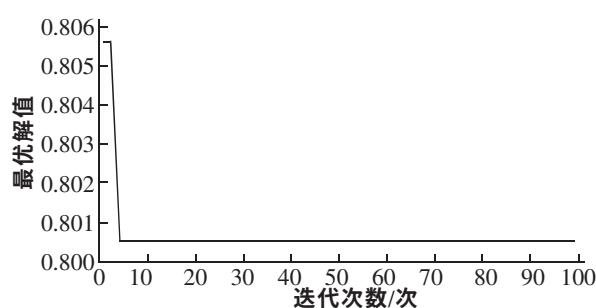


图3 南侧桥头交叉口迭代 100 次后的最佳值
Fig.3 The optimal value after 100 iterations at the south side

表4 北侧交叉口优化配时方案
Tab.4 Optimization scheme of north intersections

相位	方向	绿灯时长/s	总周期/s
第一相位	南北直行	19	105
第二相位	南向直行西向左转右转	25	
第三相位	南向左转西向右转	29	
第四相位	南向左转	20	

表5 南侧交叉口优化配时方案
Tab.5 Optimization scheme of south intersections

相位	方向	绿灯时长/s	总周期/s
第一相位	南北直行	51	91
第二相位	南向直行左转	20	
第三相位	西向右转	11	

3.2.3 信号协调控制系统优化设计

以高峰时段交通量为基础,以北侧桥头交叉口为关键交叉口,以北侧桥头交叉口南进口的左转和南侧桥头交叉口南进口的直行作为关键相位。利用式(1)~式(6)采用 Matlab 软件的遗传算法工具箱对其进行代码编写求解,求得最佳共同周期以及绿信比。信号协调控制系统优化设计迭代图见图 4。

通过优化得到的绿灯时间和信号周期,计算其相位差和绿波带,得到 2 个交叉口的相位差为 17 s,共用周期时长为 100 s,信号协调控制优化系统的设计车速为 40 km/h。信号协调控制优化系统的时距图见图 5。

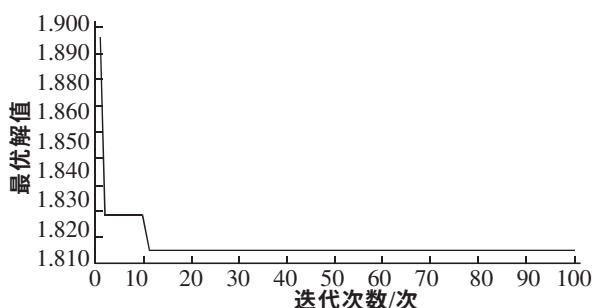


图4 迭代 100 次后的最佳值
Fig.4 The optimal value after 100 iterations

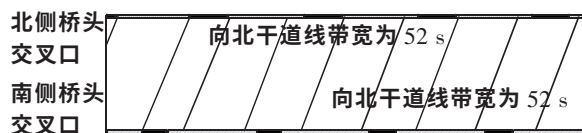


图5 高峰信号协调控制优化方案时距图
Fig.5 The time-space diagrams of the optimal signal coordination control at peak hours

4 控制效果比较

综合运用仿真配时软件 Vissim 和 Synchro 分别对 3 种方案进行仿真,输出路网总排放量和路网平均排队长度的优化指标,见表 6。

表 6 三种控制方式指标对比
Tab.6 Comparison of indexes for three control methods

方案	路网 CO 排放量/kg	路网平均排队长度/m
无信号控制	8.84	50
单点信号控制	8.46	42
信号协调控制	8.21	40

从表 6 可以看出,经信号协调控制后,路网排放量为 8.21 kg,路网平均排队长度为 40 m,与无信号控制状态相比路网排放量减少了 7.1%,路网平均排队长度减少了 25%;单点信号控制优化系统的路网排放量为 8.46 kg,路网平均排队长度为 42 m,与无信号控制状态相比路网排放量减少 4.2%,路网平均排队长度减少 16%。可见信号控制系统能在一定程度上控制碳排放。

5 结束语

信号控制优化系统与无信号控制状态相比,高峰时段的路网排放量得到一定的改善,同时可知信号协调控制系统优化程度高于单点信号控制系统。

1) 与无信号控制方式相比,设置单点信号控制优化系统后,路网排放量减少了 4.2%;设置信号协调控制优化系统,路网排放量减少了 7.1%。可见对于控制碳排放,信号控制方式(尤其信号协调控制)优于无信号控制。

2) 与无信号控制方式相比,设置单点信号控制优化系统后,路网平均排队长度降低了 16%;设置信号协调控制优化系统,路网平均排队长度降低了 25%。可见对于提高桥梁路段的通行效率,信号控制方式(尤其信号协调控制)优于无信号控制。

3) 与其它 2 种控制方式相比,设置信号协调控制系统后路网排放量和路网平均排队长度得到明显降低。可见建立科学合理的信号协调控制系统能最大程度控制碳排放,进而达到保护环境和桥梁的双重目的。

参考文献:

- [1] 姚世瑞,郭建钢,陈黎明,等. 桥梁两端交叉口信号协调控制与碳排放关系研究[J]. 公路与汽运,2016(4):44-47.
- [2] 陈俊,翁小雄,李莹. 城镇桥梁两端交通拥堵现状及对策研究[J]. 公路与汽运,2016(4):47-49.
- [3] 郭建钢,陈必太,黄海南,等. 桥梁两端交叉口不同控制方式效果的比较[J]. 福建农林大学学报:自然科学版,2014,43(5):556-560.
- [4] 郭建钢,张文星,陈必太,等. 基于 VISSIM 的桥头交叉口改造优化设计[J]. 公路与汽运,2013(1):44-47.
- [5] 郭建钢,林文燦,陈必太,等. 基于 Synchro 的厦门市白鹭洲路信号协调控制的优化设计[J]. 华东交通大学学报,2013,30(3):50-54+88.
- [6] 修伟杰,张立立,李凯龙,等. 基于车辆排放的交叉口信号配时优化控制[J]. 交通运输研究,2016,2(2):6-11.
- [7] 陈金山,陈黎明,张华,等. 基于碳排放的城市干道信号协调控制[J]. 莆田学院学报,2016,23(5):100-104.
- [8] MESZAROS FERENC,TOROK ADAM. Theoretical investigation of emission and delay based intersection controlling and synchronizing in Budapest[J]. Periodica Polytechnica:Transportation Engineering,2014,42(1):37-42.

- [9] MADIREDDY M, DE COENSELL B, CAN A, et al. Assessment of the impact of speed limit reduction and traffic signal coordination on vehicle emissions using an integrated approach[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2011, 16(7): 504–508.
- [10] LV J, ZHANG Y L. Effect of Signal Coordination on Traffic Emission[J]. Transportation Research Part D, 2012, 17(2): 149–153.
- [11] DE COENSELL B, CAN A, DEGRAUWE B, et al. Effects of traffic signal coordination on noise and air pollutant emissions[J]. Environment Modeling & Software, 2012(35): 74–83.
- [12] 王芳. 基于低碳交通的信号交叉口优化控制研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2014.
- [13] MA T. Genetic algorithm-based combinatorial parametric optimization for the calibration of traffic microscopic simulation models[D]. Toronto: University of Toronto, 2009.
- [14] TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Highway capacity manual[R]. Washington DC: TRB, National Research Council, 2000.
- [15] 杨兆升, 曲鑫, 林赐云, 等. 考虑低排放低延误的交通信号优化方法[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2015, 43(10): 29–34.
- [16] 赵伟涛, 杨威, 岳一博. 考虑车辆排放的城市信号交叉口优化控制研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2012, 36(5): 911–915.

Study on Effects of Different Control Modes of Bridge Intersections Considering Emission

Chen Liming¹, Yao Shirui¹, Guo Jiangang¹, Li Jiajie², Li Lin¹

(1. College of Transportation and Civil Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiao Tong University, Beijing 100000, China)

Abstract: Taking the Yurong bridge and intersections on both sides in Fuqing City as the research object, this study adopted the queue length of the vehicles on the bridge and CO emission as the evaluation index, and established the multi-objective optimization model with single-point optimization signal control and coordinated control system. By using genetic algorithm, it designed the solution steps for the improved model. Then it evaluated effects of carbon emission and queue length under the conditions of three different control methods including no signal control, single point control, signal coordination control by way of Vissim simulation software. The results showed that compared with no signal control, for the signal control system of single point optimization, the CO emissions was reduced by 4.2%, and the queue length decreased by 16%; for the coordinated control system, CO emissions was reduced by 7.1%, and the queue length was reduced by 25%.

Key words: bridge intersection; CO emission; queue length; optimized control system

(责任编辑 姜红贵)