

# 基于关键交通流向的道路交叉口信号配时方法

Critical Movement Based Intersection Signal Timing Approach

张雷元, 树爱兵, 谌华金

(公安部交通管理科学研究所, 江苏 无锡 214151)

Zhang Leiyan, Shu Aibing, Chen Huajin

(Traffic Management Research Institute of Public Security Ministry, Wuxi Jiangsu 214151, China)

**摘要:** 研究适合道路交通现状的信号配时方法,对于提高道路交叉口信号配时的科学性、改善城市交通安全、缓解城市交通拥堵具有重要意义。首先,总结分析了现有信号配时方法的特点及其局限性。然后,针对当前具有代表性的 Webster法和ARRB法的缺陷,考虑行人对信号配时的影响,引入关键交通流向概念和判断流程,并以此为基础计算交叉口信号周期和绿灯时间。最后,选取无锡市梁清路和钱荣路上的7个交叉口进行仿真验证和实地测试。结果显示,采用基于关键交通流向的道路交叉口信号配时方法能减少21.7%的车辆平均延误,23.9%的最大排队长度,以及12.8%的平均停车次数。

**Abstract:** Proper signal timing design is critical to improve urban traffic safety, and relieve urban traffic congestion at intersections. This paper first analyzes the characteristics and limitations of existing signal-timing design approaches. Then, it introduces the concept of critical movement and the corresponding decision process in view of the deficiencies of the commonly used Webster and ARRB methods with the consideration of pedestrian impact. Based on the proposed concept, this paper further calculates the cycle length and green time allocation. Finally, the paper selects 7 intersections at Liangqing Road and Qianrong Road in Wuxi for simulation and field tests. The results show that the critical movement based signal timing design approach yields reductions in average delay, maximum queue length, and mean vehicle stops by 21.7%, 23.9% and 12.8%, respectively.

**关键词:** 城市交通管理; 信号控制; 配时方法; 关键交通流向; 信号周期; 信号相位

**Keywords:** urban traffic management; signal control; signal setting approach; critical traffic movement; signal cycle; signal phase

中图分类号: U491 文献标识码: A

收稿日期: 2012-04-05

作者简介:张雷元(1978—),男,江西宜春人,助理研究员,主要研究方向:交通控制技术。E-mail:zhangleiyuan@163.com

## 0 引言

近年来,随着城市机动化的快速发展,城市道路交通问题愈加突出,碰撞事故和交通拥堵频繁发生,且大多发生在道路交叉口。据统计,2010年,中国城市道路交叉口发生交通事故39 945起,死亡9 175人,事故起数和死亡人数分别占城市道路交通事故总量的42.24%和49.09%<sup>[1]</sup>。大量案例表明,引起道路交叉口交通事故和拥堵的主要原因是交叉口渠化设计不合理、信号配时不科学和交通违法等,可采取的治理措施包括改进交叉口渠化设计、科学配置信号灯时间、提高交通参与者的素质、加大执法力度等。其中,科学配置信号灯时间是短期内见效最快的一种措施。

当前具有代表性的信号配时方法或理论有英国的F·韦伯斯特(Webster)-B·柯布(Cobb)理论(简称“Webster法”)、澳大利亚ARRB(Australian Road Research Board)法、美国HCM(Highway Capacity Manual)法、德国配时规范以及国内的“冲突点”法等。Webster法以整个交叉口延误最小为目标,采用“等饱和度”原理计算信号周期和绿信比<sup>[2]</sup>。ARRB法在Webster法基础上引入了“停车补偿系数”,通过设置不同的停车补偿系数实现

燃油消耗量、运营费用及车辆延误时间等最小的目标，并采用“不等饱和度”原理计算信号周期和绿灯时间<sup>[3-4]</sup>。HCM法在 Webster 法的基础上引入关键车道组，各相位绿灯时间按关键车道组流率比进行分配<sup>[5]</sup>。德国配时规范则利用“绿灯间隔时间”代替 Webster 法的相位损失时间计算信号周期<sup>[6]</sup>。国内“冲突点”法是以“冲突点”为考察断面，分析整个相位的实际交通运行情况，确定本向直行车、对向左转车通过“冲突点”所需要的各类时间，并使各类时间的总和小于或等于设计绿灯时长，以此来研究信号配时和通行能力<sup>[7]</sup>。

从各种配时方法的原理看，Webster 法和 ARRB 法是基础方法，这两种方法应用广泛，但又存在局限性。Webster 法仅以延误最小为优化目标，不适合以通行能力最大为目标的高峰时段。ARRB 法虽然可根据情况设置不同的优化目标，但与 Webster 法一样未考虑行人情况。本文针对这些不足，并综合 Webster 法和 ARRB 法的优点，同时考虑行人影响，提出一种基于关键交通流向的道路交叉口信号配时方法。

## 1 引入信号相位和交通流向

在交叉口信号配时中，引入信号相位的主要目的是适当分离相互冲突或干扰严重的交通流。目前国内外对信号相位的定义还不统一，对相位的理解也不甚相同。为清楚描述信号相位和交通流向的关系，本文将信号相位定义为在一个信号周期内分配给一股或多股交通流向通行权的信号状态；此处交通流向是指交叉口某个进口方向具有相同转向或通行权的交通流集合。根据该定义，在一个信号相位中可以有多股交通流向获得通行权；在多股流向中，对整个交叉口通行能力和信号配时设计起决定作用的流向为关键流向，其余流向为非关键流向。在信号相位循环运行过程中，一股交通流向也可能会在多个相位中获得通行权，这样的流向称为叠加交通流向；若交通流向仅在单个相位中获得通行权，则称为非叠加交通流向。

为了更好地说明交通流向和信号相位的关系，结合实例进行分析。图 1 为一个 T 字型交叉

口，按照交通流向定义，交叉口包含 9 个交通流向，见表 1。该交叉口采用三相位控制，相位和放行交通流向关系见图 2，流向 1 在 A 和 B 相位中获得通行权，流向 5 在 A 和 C 相位中获得通行权，因此流向 1 和 5 为叠加交通流向。

## 2 关键流向判断

ARRB 法提出了关键相位的判断流程，本文采用类似 ARRB 法的判断机制对关键流向进行判断，具体步骤如下：

1) 构建相位一流向矩阵。如表 2 所示，矩阵要描述出每个交通流向的起始相位和结束相位，并且包含调查流量、饱和流量、损失时间和理想饱和度等数据。

2) 计算每个交通流向的流量比，并按周期为 100 s 试算各流向所需时间，见表 3。其中包含行

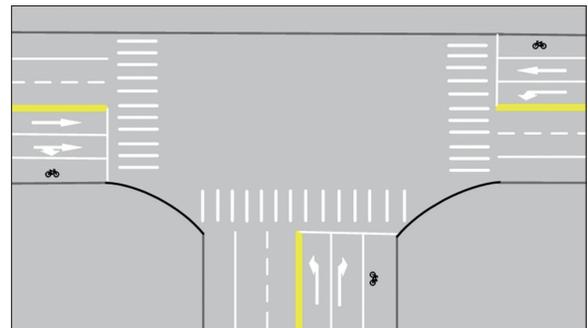


图 1 T 字型交叉口示意图

Fig.1 T intersection

表 1 交通流向列表

Tab.1 Traffic movement list

交通流向	流向名称	图示
1	东进口直行	←
2	东进口左转	↙
3	西进口直行	→
4	西进口直行右转	↘
5	南进口右转	↑
6	南进口左转	↖
7	南进口行人	↔
8	西进口行人	↕
9	东进口行人	↕

人流向的相位，其绿灯时间采用行人过街最小绿灯时间代替。

行人过街最小绿灯时间是指行人步行通过人行横道到达二次过街安全岛或横穿交叉口所需的最短绿灯时间。为了保障行人过街安全，包含人流向的相位绿灯时间必须大于行人过街最小绿灯时间  $g_{\min}^{[5]}$ ：

$$g_{\min} = \begin{cases} t_{ps} + \frac{d}{v_p} + 0.81 \frac{N_{ped}}{w} \quad (w > 3.0), \\ t_{ps} + \frac{d}{v_p} + 0.27 N_{ped} \quad (w \leq 3.0), \end{cases} \quad (1)$$

式中： $t_{ps}$  为行人启动时间/s； $d$  为行人横道长度/m； $v_p$  为行人步行速度/( $m \cdot s^{-1}$ )； $N_{ped}$  为一个信号周期内过街的行人数； $w$  为行人横道宽度/ $m^{[4]}$ 。

$$N_{ped} = \frac{q_{ped}(c-g)}{c}, \quad (2)$$

式中： $q_{ped}$  为行人过街流量/(人次·(15 min)<sup>-1</sup>)； $c$  为信号周期时长/s； $g$  为未设行人绿灯情况下的绿灯时间/s。

行人步行速度受人群中老年人(大于65岁)比例的影响，若其比例小于20%，则平均步行速度

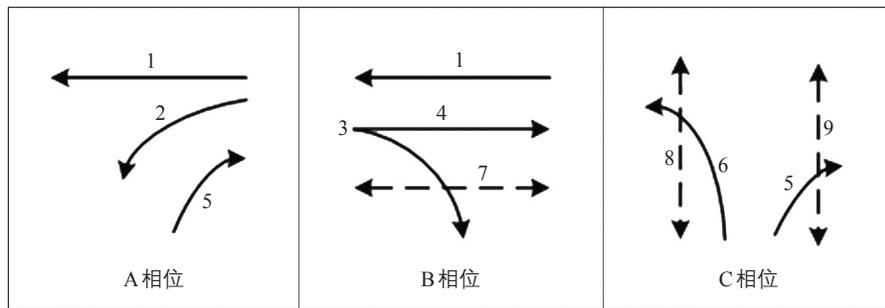


图2 三相位示意图

Fig.2 Diagram of three signal phases

表2 交通流向和相位矩阵

Tab.2 Traffic movement and phase matrix

交通流向	起始相位	结束相位	损失时间 $l$ /s	调查流量 $q$ /(辆·h <sup>-1</sup> )	饱和流量 $s$ /(辆·h <sup>-1</sup> )	理想饱和度 $x$
1	A	C	6	325	1 740	0.90
2	A	B	6	240	1 510	0.92
3	B	C	5	460	1 630	0.90
4	B	C	5	120	1 240	0.85
5	C	B	5	580	1 240	0.85
6	C	A	5	170	1 490	0.92
7	B	C	5			
8	C	A	5			
9	C	A	5			

表3 交通流向绿灯时间试算

Tab.3 Traffic movement green time

交通流向	流量比 ( $y=q/s$ )	绿信比 ( $u=y/x$ )	绿灯时间( $t=100u+l$ ) /s
1	0.19	0.21	27
2	0.16	0.17	23
3	0.28	0.31	36
4	0.10	0.12	17
5	0.47	0.55	60
6	0.11	0.12	17
7			19
8			22
9			22

为  $1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ；若超过 20%，则平均步行速度降至  $1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。如果设置了行人二次过街，则式(1)中的  $d$  用二次过街长度代入计算。

3) 绘制流向图。若一个相位有多个非叠加交通流向，应先比较其所需时间大小，保留所需时间最大的流向。以相位号为节点画圆圈，交通流向用实箭线表示，行人流向用虚箭线表示，形成交通流向图，见图 3。

4) 查找最长路径。在流向图中查找循环一周的最长路径(各流向试算时间之和最大)，其上的流向即为关键流向。如图 3 所示，循环一周的路径可以从 A 相位到 A 相位，也可以从 B(C)相位到 B(C)相位。

寻找最长路径时采用 Dijkstra 算法。将相位设置为节点，交通流向设置为连线，分配给交通流向的绿灯时间则为连线的权重。算法的目标是找到具有最大权重的路径。图 3 中各个路径的长度计算如下：

$$\begin{aligned} T_{1,8} &= t_1 + t_8 = 27 + 23 = 50, \\ T_{2,3,8} &= t_2 + t_3 + t_8 = 23 + 36 + 22 = 81, \\ T_{3,5} &= t_3 + t_5 = 36 + 60 = 96. \end{aligned}$$

流向 3 和 5 组成的路径权重最大，因此流向 3 和 5 为关键流向。

### 3 信号周期和绿灯时间计算

#### 3.1 交叉口总损失时间、流量比和绿信比

交叉口总损失时间  $L$  为关键流向损失时间之和：

$$L = \sum_{i=1}^n l_i. \quad (3)$$

流量比  $Y$  为关键流向流量比之和：

$$Y = \sum_{i=1}^n y_i. \quad (4)$$

交叉口总绿信比  $U$  为关键流向绿信比之和：

$$U = \sum_{i=1}^n u_i. \quad (5)$$

#### 3.2 周期计算

周期采用 Webster 法计算，分别计算最小周期、最佳周期和实用周期<sup>[3]</sup>。

最小周期  $C_m$ ：到达交叉口的车辆恰好在一

个周期内放行完，既无滞留车辆，信号周期时间也无富余，

$$C_m = \frac{L}{1-Y}. \quad (6)$$

最佳周期  $C_o$ ：当交叉口总延误最小时的周期时长，

$$C_o = \frac{1.5L+5}{1-Y}. \quad (7)$$

实用周期  $C_p$ ：

$$C_p = \frac{L}{1-U}. \quad (8)$$

当  $U=1$  时，即所有相位绿灯时间正好等于相位最小绿灯时间和延误时间之和时，采用以下修正公式<sup>[3]</sup>：

$$C_m = \sum_{i=1}^n (g_{mi} + l_i) = \sum_{j=1}^k (G_{mj} + I_j), \quad (9)$$

式中： $g_{mi}$  为第  $i$  个关键流向的最小绿灯时间； $G_{mj}$  为第  $j$  相位绿灯最短显示时间； $I_j$  为第  $j$  相位绿灯间隔时间。

#### 3.3 关键流向和非关键流向绿灯时间

关键流向绿灯时间

$$g_i = \left( \frac{C-L}{U} \right) u_i + l_i. \quad (10)$$

当不存在叠加交通流向时，非关键流向的绿灯时间等于关键流向的绿灯时间；当存在叠加交通流向且非关键流向是叠加交通流向时，非关键流向需综合多个关键流向的绿灯时间进行计算；若非关键流向只在一个相位运行，则用该相位对应的关键流向的绿灯时间计算。

#### 3.4 相位绿灯时间

根据相位和交通流向图，以及各流向绿灯时间计算相位绿灯时间。对于含有非叠加交通流向的相位，其绿灯时间为关键交通流向的绿灯时

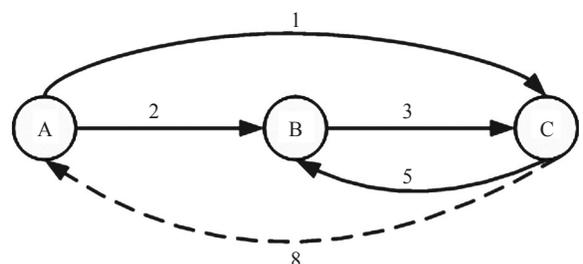


图 3 相位和交通流向图

Fig.3 Phase and traffic movement diagram

间。对于仅含叠加交通流向的相位，则需用周期时间与其他相位绿灯时间进行综合计算。

$$G_j = g_j - I_j \quad (11)$$

式中： $G_j$ 为第  $j$  相位绿灯显示时间； $g_j$ 为第  $j$  相位对应关键流向的绿灯时间； $I_j$ 为第  $j$  相位绿灯间隔时间。

### 4 实例验证

采用实测数据和交通仿真相结合的方式验证上述信号配时方法。选择无锡市滨湖区梁清路和钱荣路上的7个交叉口作为验证交叉口，如图4



图4 测试交叉口位置示意图  
Fig.4 Locations of test intersections

所示。

本文实地调查了交叉口的几何特征、全天各时段交通流数据以及当前采用的信号配时方案。将相关数据输入交通仿真软件PTV Vissim中，分别运行本方法计算得到的配时方案和交叉口当前采用的配时方案，对比其运行效果。选用的评价指标有交叉口平均延误、最大排队长度和平均停车次数，其中平峰期各交叉口的评价结果见图5~7。与交叉口当前采用的配时方案相比，车辆平均延误降低2~8 s，最大排队长度缩短2~10 m，平均停车次数减少0.1~0.2次，缩减比例分别为21.7%，23.9%，12.8%。

### 5 结语

本文针对 Webster 法和 ARRB 法的缺陷，改进

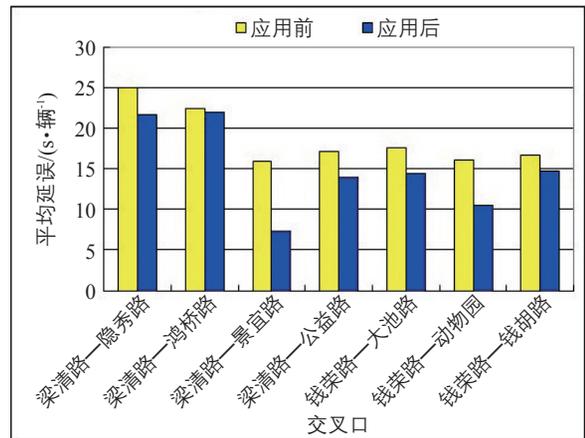


图5 车辆平均延误对比  
Fig.5 Comparison of vehicle average delays

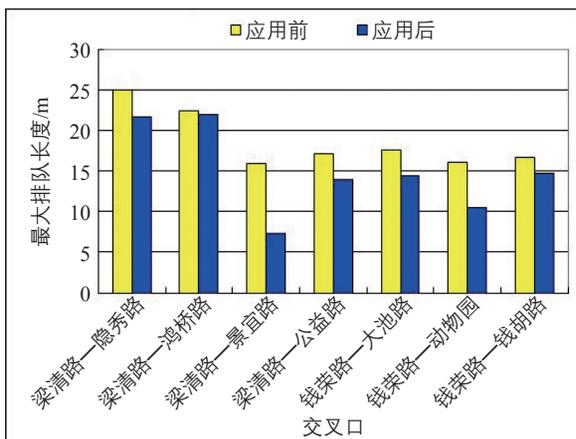


图6 车辆最大排队长度对比  
Fig.6 Comparison of maximum queue lengths

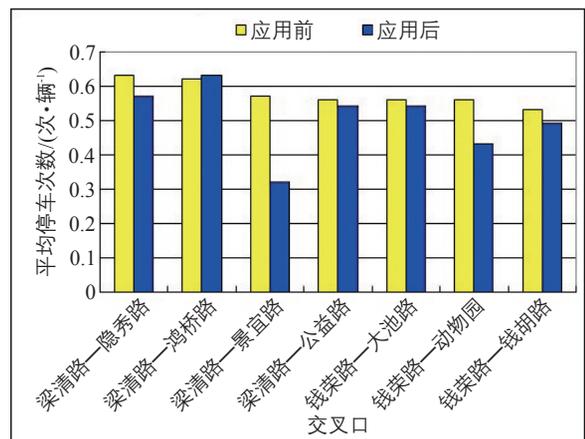


图7 平均停车次数对比  
Fig.7 Comparison of mean vehicle stops

道路交叉口信号配时方法。以关键交通流向为基础计算信号周期和绿灯时间, 并考虑行人对信号配时的影响, 应用该方法后交叉口车辆平均延误、最大排队长度和平均停车次数均明显降低。但是, 由于条件限制, 该方法未考虑天气、畸形交叉口等因素的影响, 具有一定的局限性。未来需结合多种因素、选择更多交叉口进行测试, 根据不同时段调整和完善相关算法参数, 如理想饱和度、行人步行速度等, 提高其普适性。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计年报(2010年度)[R]. 北京: 公安部交通管理局, 2011.
- [2] Webster F V. Traffic Signal Settings[R]. Road Research Technical Paper No.39, London: Road Research Laboratory, Department of Scientific and Industrial Research, 1958.
- [3] AKCELIK R. Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis[R]. Research Report ARR No.123, Melbourne: Australian Road Research Board, 1998.
- [4] 全永燊. 城市交通控制[M]. 北京: 人民交通出版社, 1989.
- [5] 美国交通研究委员会. 道路通行能力手册[M]. 任福田, 刘小明, 荣建, 等, 译. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- Transportation Research Board. Highway Capacity Manual 2000[M]. Ren Futian, Liu Xiaoming, Rong Jian, et al, translated. Beijing: China Communications Press, 2007.
- [6] 德国道路与交通工程研究会. 交通信号控制指南—德国现行规范[M]. 李克平, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [7] 韩加蓬, 房晓艳, 李辉照. 单点定时信号配时和通行能力的“冲突点”法分析[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2003, 17(4): 68-70.
- Han Jiapeng, Fang Xiaoyan, Li Huizhao. Simple Point Timing Signal Time Assignment and Traveling Capability Analysis by “Conflict Spot” Method [J]. Journal of Shandong University of Technology (Sci & Tech), 2003, 17(4): 68-70.
- 
- (上接第89页)
- 参考文献:
- References:
- [1] Duncan J Watts, Steven H Strogatz. Collective Dynamics of “Small-world” Network[J]. Nature, 1998(393): 440-442.
- [2] 陈永州. 城市公交巴士复杂网络的实证与模拟研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007.
- Chen Yongzhou. Empirical and Simulation Research on the Complex Networks of Urban Bus-Transport Systems[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2007.
- [3] 杨扬. 北京市公共交通网络复杂性分析[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- Yang Yang. Analysis of Complexity of Beijing Public Transportation Network[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2011.
- [4] 韩光鹏. 城市最优乘车方案算法研究[J]. 武汉理工大学学报, 2004, 26(6): 92-94.
- Han Guangpeng. An Algorithm Research on the Optimal Transfer Strategy for City Traveling[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2004, 26(6): 92-94.
- [5] Sienkiewicz J, Holyst J A. Statistical Analysis of 22 Public Transport Networks in Poland[J]. Physical Review E, 2005, 72(4): 1-11.
- [6] 王波, 王万良, 杨旭华. 一种基于复杂网络的最优公交换乘算法[J]. 武汉理工大学学报, 2008, 32(6): 1113-1116.
- Wang Bo, Wang Wanliang, Yang Xuhua. An Optimal Bus Transport Transfer Algorithm Based on Weighted Complex Networks[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2008, 32(6): 1113-1116.
- [7] 汪江洪. 公交换乘系统研究及其评价[D]. 成都: 西南交通大学, 2003.
- Wang Jianghong. Study on Transfer System of Urban Passenger Transportation and Its Evaluation [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2003.