

基于修正饱和和流量模型的交叉口信号配时研究

张萌

(陕西交通职业技术学院, 陕西 西安 710018)

摘要: 从中国道路交通的实际情况出发, 分析了美国 HCM 饱和和流量模型的不足, 提出了直行车道、左转车道、右转车道及各进口道的修正饱和和流量模型; 以西安某 T 形交叉口为例, 用该模型进行信号配时, 并运用 VISSIM 仿真软件对两种模型的信号配时结果进行对比分析, 结果表明修正后模型的各项评价指标均优于 HCM 模型。

关键词: 城市交通; 饱和和流量; 交叉口; 信号配时

中图分类号: U491.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)02-0035-04

近年来中国汽车拥有量飞速增长, 截至 2015 年底, 全国机动车保有量 2.79 亿辆, 其中汽车 1.72 亿辆; 机动车驾驶人 3.27 亿人, 其中汽车驾驶人超过 2.8 亿人。以西安市为例, 汽车拥有量达 219 万辆, 按西安市人口 862.75 万人计算, 平均每 4 个人拥有一辆汽车, 城市交通压力显而易见。中国社科院的相关研究成果表明, 由交通拥堵造成的损失每天达 4 000 万元, 每年增加的社会成本为 146 亿元, 解决交通拥堵问题迫在眉睫。而交叉口作为城市交通网络的重要组成部分, 是城市交通拥挤的主要发生地, 通过信号控制缓解交通拥堵具有重要意义。

1 交叉口信号配时方法研究现状

目前, 常用的计算交叉口信号配时的方法有美国 HCM 法、英国 TRRL 法、澳大利亚 ARRB 法、停车线断面法、中国《城市道路设计规范》推荐方法及冲突点法。英国 TRRL 法是由韦伯斯特建立的延误模型; 澳大利亚 ARRB 法是对韦伯斯特延误模型进行改进后提出的新模型; 中国停车线法以进口处车道的停车线作为基准面; 冲突点法以冲突点作为基准面; 美国 HCM 法以饱和和流量作为基础数据计算各相流量比, 从而确定最佳周期, 饱和和流量的准确性决定信号配时的准确性。但饱和和流量值无法实时获取和调整, 主要以研究国外的基础数据、模型及修正系数为主导, 并未考虑到中国的道路交通条件、交通流特性、驾驶员驾驶习惯及各影响因素之间的相关性。考虑中国交通特性的实际情况, 同济大学吴震对交叉口右转车道、左转车道饱和和流量进行了研究, 北京工业大学董方对车道宽、车道数、公交车混入率对直行车道饱和和流量的影响等进行了研究。这

些研究的主要特点是依据实测数据建立模型并把影响饱和和流量的因素进行数据分析, 得出适用于中国道路交通环境的修正系数。该文引入修正的饱和和流量模型进行交叉口信号配时, 并以西安市丰禾路某 T 形交叉口为例应用该模型进行信号配时设计。

2 HCM 模型的缺陷

美国 HCM 中的饱和和流量是假定引道在全绿灯条件即绿信比为 1 的情况下所能通过的最大流量, 根据大量调查数据分析与处理, 确定理想的饱和和流量为 1 900 pcu/h, 然后根据实际道路交通状况对该值进行修正, 从而得到实际饱和和流量。模型如下:

$$S = S_0 f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{rt} f_{lt} N$$

式中: S 为车道组的饱和和流量; S_0 为每车道理想条件下的饱和和流量, 一般取 1 900 辆/(绿灯小时·车道); f_w 为车道宽度修正系数; f_{HV} 为重型车辆修正系数; f_g 为引导坡度修正系数; f_p 为邻近车道组停车情况及该车道停车次数修正系数; f_{bb} 为公共汽车停在交叉口范围内阻塞影响作用修正系数; f_a 为地区类型修正系数; f_{rt} 为车道组中右转车修正系数; f_{lt} 为车道组中左转车修正系数; N 为车道数。

该模型存在以下不足: 1) 不同行驶方向的饱和和流量的影响因素并不相同, 应独立建模, 确定不同的修正系数; 2) 建模过程中各修正系数直接相乘, 没有考虑因素之间是否相互影响, 可能导致理想饱和和流量折减不足或折减过度; 3) 没有考虑车道数对饱和和流量的影响; 4) 没有考虑转弯半径对左转或右转车道饱和和流量的影响。因此, 有必要进行修正。

3 修正饱和和流量模型

在 HCM 饱和和流量模型的基础上, 通过对 80 个

信号交叉口早晚高峰车道数、车型比例、车道宽度、交通量、饱和车头时距等数据的采集,运用 Excel、SPSS 等软件进行数据处理与分析,建立不同行驶方向的饱和流量模型,分别为直行车道饱和流量模型 S_s 、左转车道饱和流量模型 S_l 及右转车道饱和流量模型 S_r ,其表达式如下:

$$S_s = S_{bs} f_n f_g f_{wb} n \quad (1)$$

式中: S_{bs} 为直行车道的理想饱和流量, $S_{bs} = 1\ 980$ pcu/h; f_n 为车道数修正系数(见表1); f_g 为坡度及大车校正系数, $f_g = 1 - (g + HV)$; g 为道路纵坡; HV 为大车率; f_{wb} 为车道宽度及公交车混入率综合修正系数(见表2); n 为车道数。

$$S_l = S_{bl} f_{wrl} f_g n \quad (2)$$

式中: S_{bl} 为左转车道的理想饱和流量, $S_{bl} = 1\ 800$

pcu/h; f_{wrl} 为左转车道宽度及转弯半径综合修正系数(见表3)。

$$S_r = S_{br} f_{wrr} f_g n \quad (3)$$

式中: S_{br} 为右转车道理想饱和流量, $S_{br} = 1\ 650$ pcu/h; f_{wrr} 为右转车道宽度及转弯半径综合修正系数(见表4)。

表1 直行车道组中车道数量修正系数

| 直行车道组 中车道数/条 | 理想饱和 流量/pcu | 修正系数 f_n |
|-----------------|----------------|---------------|
| 1 | 1 930 | 1.07 |
| 2 | 1 800 | 1.02 |
| 3 | 1 770 | 1.01 |
| 4 | 1 745 | 1.00 |

表2 车道宽度及公交车混入率综合修正系数

| 车道宽度 W/m | 不同直行车道公交车混入率(%)下的综合修正系数 f_{wb} | | | | | | |
|-------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 3.50 | 0.95 | 0.86 | 0.71 | 0.66 | 0.61 | 0.58 | 0.55 |
| 3.25 | 0.89 | 0.81 | 0.69 | 0.64 | 0.60 | 0.57 | 0.54 |
| 3.00 | 0.84 | 0.77 | 0.67 | 0.63 | 0.59 | 0.56 | 0.53 |
| 2.80 | 0.80 | 0.74 | 0.65 | 0.62 | 0.58 | 0.55 | 0.52 |

表3 左转车道宽度及转弯半径综合修正系数

| 左转车道宽度 W/m | 不同转弯半径(m)下的综合修正系数 f_{wrl} | | | | | | |
|---------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| 2.70 | 0.93 | 0.96 | 0.99 | 1.02 | 1.05 | 1.08 | 1.11 |
| 2.80 | 0.93 | 0.96 | 0.99 | 1.02 | 1.05 | 1.08 | 1.11 |
| 2.90 | 0.94 | 0.97 | 1.00 | 1.03 | 1.06 | 1.09 | 1.12 |
| 3.00 | 0.94 | 0.97 | 1.00 | 1.03 | 1.06 | 1.09 | 1.12 |
| 3.25 | 0.95 | 0.98 | 1.01 | 1.04 | 1.07 | 1.10 | 1.13 |
| 3.50 | 0.96 | 0.99 | 1.02 | 1.05 | 1.08 | 1.11 | 1.14 |
| 3.75 | 0.96 | 0.99 | 1.02 | 1.05 | 1.08 | 1.11 | 1.14 |
| 4.00 | 0.97 | 1.00 | 1.03 | 1.06 | 1.09 | 1.12 | 1.15 |

表4 右转车道宽度及转弯半径综合修正系数

| 右转车道宽度 W/m | 不同转弯半径(m)下的综合修正系数 f_{wrr} | | | | | | |
|---------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 2.70 | 0.88 | 0.93 | 0.98 | 1.03 | 1.08 | 1.13 | 1.18 |
| 2.80 | 0.89 | 0.94 | 0.99 | 1.04 | 1.09 | 1.14 | 1.19 |
| 2.90 | 0.89 | 0.94 | 0.99 | 1.04 | 1.09 | 1.14 | 1.19 |
| 3.00 | 0.90 | 0.95 | 1.00 | 1.05 | 1.10 | 1.15 | 1.20 |
| 3.25 | 0.91 | 0.96 | 1.01 | 1.06 | 1.11 | 1.16 | 1.21 |
| 3.50 | 0.93 | 0.98 | 1.03 | 1.08 | 1.13 | 1.18 | 1.23 |
| 3.75 | 0.94 | 0.99 | 1.04 | 1.09 | 1.14 | 1.19 | 1.24 |
| 4.00 | 0.96 | 1.01 | 1.06 | 1.11 | 1.16 | 1.21 | 1.26 |

各进口道实际饱和和流量计算模型如下:

$$S_i = S_{bs} f(F_s) + S_{br} f(F_r) + S_{bl} f(F_l) \quad (4)$$

式中: $f(F_s)$ 为直行车道各类修正系数; $f(F_r)$ 为右转弯车道各类修正系数; $f(F_l)$ 为左转弯车道各类修正系数。

利用修正饱和和流量模型对交叉口进行信号配时的步骤见图 1。该模型的适用条件:1) 交叉口设有

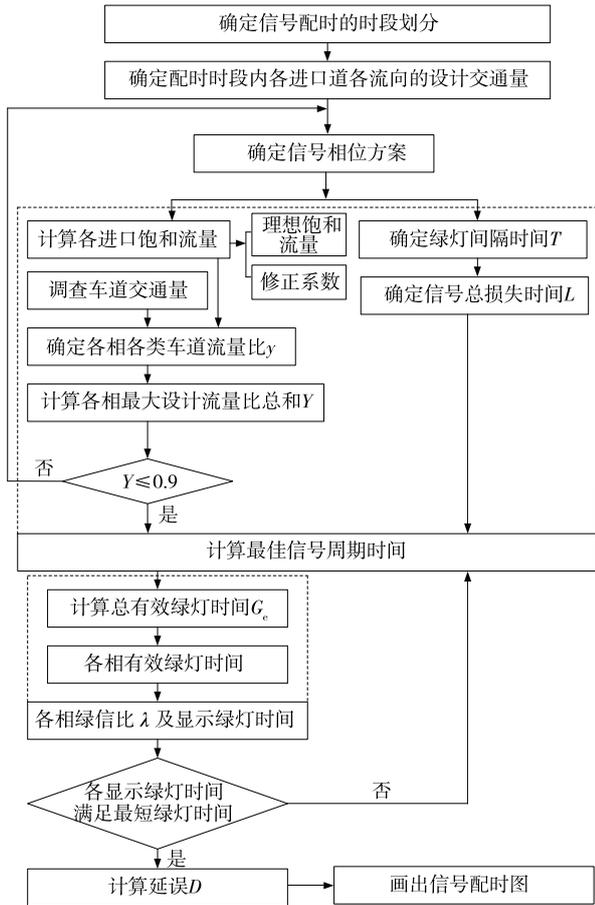


图 1 交叉口信号配时流程

专用左转弯车道及专用右转弯车道;2) 信号相位未设置专用左转弯相位及专用右转弯相位。

4 应用实例

西安市丰禾路某 T 形交叉口的东进口设有专用左转弯车道,东西方向直行车道数均为 2 条,各进口道纵坡为零,车道宽度均为 3.25 m,右转弯车道转弯半径为 25 m,左转弯车道转弯半径为 35 m。调查所得高峰小时各进口交通量见表 5。

表 5 某 T 形交叉口各进口交通量 pcu

| 进口方向 | 车道方向 | 车道交通量 | 进口交通量 |
|------|------|-------|-------|
| 南进口 | 左 | 320 | 385 |
| | 直 | 0 | |
| 东进口 | 直 | 1 081 | 1 267 |
| | 右 | 0 | |
| 西进口 | 左 | 0 | 730 |
| | 直 | 652 | |
| | 右 | 78 | |

根据调查数据,确定该 T 形交叉口为两相位(见图 2)。接上述方法计算各进口饱和和流量,结果见表 6、表 7。

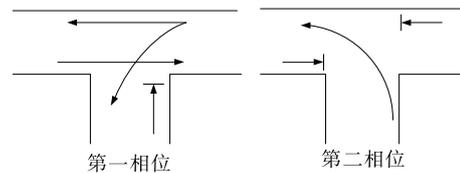


图 2 某 T 形交叉口相位示意图

表 6 某 T 形交叉口各进口直行车道饱和和流量计算结果

| 进口方向 | S_{bs}/pcu | f_n | f_{wb} | f_g | $n/条$ | S_s/pcu | 流量比 y_{is} |
|------|--------------|-------|----------|-------|-------|-----------|--------------|
| 南进口 | — | — | — | — | — | — | — |
| 东进口 | 1 800 | 1.02 | 0.87 | 0.94 | 2 | 3 003 | 0.36 |
| 西进口 | 1 800 | 1.02 | 0.89 | 0.95 | 2 | 3 105 | 0.21 |

表 7 某 T 形交叉口各进口左转弯车道饱和和流量计算结果

| 进口方向 | S_{bl}/pcu | f_{wrl} | f_g | $n/条$ | S_l/pcu | 流量比 y_{il} |
|------|--------------|-----------|-------|-------|-----------|--------------|
| 南进口 | 1 800 | 1.04 | 0.95 | 1 | 1 778 | 0.18 |
| 东进口 | 1 800 | 0.98 | 0.96 | 1 | 1 693 | 0.11 |
| 西进口 | — | — | — | — | — | — |

$$Y = y_{第一相位} + y_{第二相位} = \max\{0.36, 0.21,$$

$$0.11\} + 0.18 = 0.54$$

每周周期总损失时间为:

$$L = \sum (I_s + I - A) = 10 s$$

式中: I_s 为起动损失时间, $I_s = 3 s$;A 为黄灯时间,

$A=3\text{ s}$; I 为绿灯间隔时间,全红时间为 2 s ,故 $I=3+2=5\text{ s}$ 。

最佳周期时长为:

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} = 43\text{ s}$$

有效绿灯时间为 33 s ,计算得第一相位绿灯时长为 20 s ,第二相位绿灯时长为 13 s 。

利用 HCM 流量模型对该交叉口进行信号配时,计算结果为最佳周期时长 37 s ,有效绿灯时间 27 s ,

第一相位绿灯时长 16 s ,第二相位绿灯时长 11 s 。

5 VISSIM 仿真评价

利用 VISSIM 仿真软件,导入该 T 形交叉口的相关数据,为交叉口设置信号灯,创建信号控制机,分别输入 HCM 模型配时结果及修正饱和流量模型信号配时结果。根据该交叉口的实际交通现状,选取平均停车次数、平均排队长度及平均延误作为评价指标,评价结果见表 8。

表 8 饱和流量模型修正前后交叉口信号配时评价指标值

| 进口方向 | 平均停车次数/次 | | | 平均排队长度/m | | | 平均延误/s | | |
|------|----------|------|-------|----------|------|------|--------|------|------|
| | HCM 模型 | 修正模型 | 变化幅度 | HCM 模型 | 修正模型 | 变化幅度 | HCM 模型 | 修正模型 | 变化幅度 |
| 东进口 | 0.61 | 0.48 | -0.18 | 19.8 | 12.3 | -7.5 | 18.3 | 15.7 | -2.6 |
| 西进口 | 0.58 | 0.52 | -0.06 | 17.5 | 11.7 | -5.8 | 16.7 | 13.2 | -3.5 |
| 南进口 | 0.43 | 0.29 | -0.14 | 6.2 | 7.8 | -1.6 | 11.8 | 7.4 | -4.4 |
| 平均值 | 0.54 | 0.43 | -0.11 | 14.5 | 10.6 | -3.9 | 15.6 | 12.1 | -3.5 |

从表 8 可以看出:利用修正饱和流量模型进行信号配时,平均停车次数比 HCM 模型减少 0.11 次,下降幅度为 25.6%;平均排队长度缩短 3.9 m,下降幅度为 36.8%;平均延误减小 3.5 s,下降幅度为 28.9%。三项评价指标均显示利用修正饱和流量模型进行信号配时所得结果更合理,这是因为饱和流量的准确性决定信号配时的准确性,传统的 HCM 模型在考虑修正系数时存在一定不足,可能导致折减不足或折减过度,与实际道路交通情况有一定出入,从而影响信号配时结果。

6 结语

该文在 HCM 饱和流量模型的基础上,根据中国道路交通环境的实际情况,提出了修正饱和流量模型,并将其应用于西安某 T 形交叉口信号配时。利用 VISSIM 仿真软件,从平均停车次数、平均排队长度及平均延误三方面对修正饱和流量模型与 HCM 模型的信号配时结果进行对比,结果显示修正饱和流量模型的配时结果均优于 HCM 模型,修正模型更适于中国交叉口信号配时设计。

参考文献:

- [1] 朱明皓,李洁.交通拥堵的社会经济影响分析[J].北京交通大学学报:社会科学版,2012,11(1).
- [2] 吴震,杨晓光.基于 VISSIM 仿真的城市信号交叉口交通组织优化研究[D].西安:长安大学,2015.

- [3] 王秋平,谭学龙,张生瑞.城市单点交叉口信号配时优化[J].交通运输工程学报,2006,6(2).
- [4] 吴震,杨晓光.信号交叉口右转车道饱和流量研究[J].同济大学学报:自然科学版,2008,36(1).
- [5] 董方.北京城市交叉口饱和流量及通行能力研究[D].北京:北京工业大学,2010.
- [6] 樊爱龙,马文阁,宋华.单交叉口混合交通流预测与信号配时研究[J].辽宁工学院学报:自然科学版,2007,25(4).
- [7] 吴震.车道宽度、转弯半径对左转饱和流量的影响研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2009,33(5).
- [8] 游黄阳,许伦辉.基于排队紧张系数的瓶颈交叉口信号配时研究[J].公路与汽运,2012(4).
- [9] 孙超,徐建闽.城市单点交叉口的信号配时优化研究[J].交通与计算机,2008,26(6).
- [10] 龙琼,胡列格,张谨帆,等.考虑交通管理策略的交叉口信号控制多目标优化[J].中南大学学报:自然科学版,2014,45(7).
- [11] 刘祥鹏,隋树林.单交叉口交通信号控制方法现状及其展望[J].科技信息,2012(32).
- [12] 沈建武.信号控制交叉口通行能力分析:关于左转弯比例系数的探讨[J].武汉大学学报:工学版,2001,34(6).
- [13] 刘金明.基于多目标规划的城市道路交叉口信号配时研究[D].北京:北京交通大学,2011.