

信号交叉口直行车道饱和流率研究

刘 意 张 永 任 刚

东南大学, 江苏省交通规划与管理重点实验室, 南京 210096

摘 要: 为了提高城市信号交叉口车辆运行效率, 本文分析了直行车道饱和流率的影响因素。基于长沙市典型信号控制交叉口直行车道在不同车道宽度、大车率和车道数情况下饱和车头时距的采集数据, 分别建立了饱和流率与车道宽度、大车率、车道数的一元回归关系模型和饱和流率关于车道宽度、大车率和车道数的三元回归线性模型, 最后并将拟合的模型放入南京典型信号控制交叉口的应用环境中。结果表明交叉口延误和饱和度值减少, 进而说明所得到的模型具有一定的适用性。

关键词: 信号交叉口; 饱和流率; 车头时距; 信号配时

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2010)03-0062-06

Analysis of Saturation Flow Rate of the Through Lanes at Signalized Intersections

LIU Yi ZHANG Yong REN Gang

Jiangsu Provincial Key Laboratory of Transportation Planning and Management,
Southeast University, Nanjing 210096, China

Abstract: In order to improve operation efficiency of vehicles at a signalized intersection, this study focused on saturation flow rate of the through lanes at several typical intersections in Changsha city. Based on analysis of the collected data of various lane widths, cart rates, and lane numbers, some quantitative mathematical models between saturation flow rate and lane width, cart rate, as well as lane number were separately derived. At the same time, a mathematical regression model was established with the effects of lane width, cart rate, lane number being taken into consideration. Finally, the model has been applied to a typical intersection in Nanjing city, and the results showed that the delay and saturation value was reduced, so the model is feasible.

收稿日期: 2009-09-02.

基金项目: 公安部应用创新计划项目资助(2007YYCXJSS043); 住房和城乡建设部科学技术项目资助(2008-K5-11)。

作者简介: 刘 意(1985-), 女, 汉族, 湖南常宁人, 东南大学交通学院研究生。

Key words: Signalized intersections, saturation flow rates, signal timing

0 引 言

饱和和流率是指在一轮的绿灯时间内,某进口道或冲突点上连续车队能通过停车线或冲突点的最大流率^[1]。饱和和流率是信号交叉口信号配时中最基本的交通参数,反映了信号交叉口车流的运行状况。

目前,已有许多国家都建立起适合本国国情的信号交叉口饱和和流率的计算方法,例如美国的 HCM (Highway Capacity Manual) 2000^[2]、澳大利亚的“Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis”、加拿大的“Canadian Capacity Guide Signalized Intersection”等。一般城市道路交通控制系统,仍然无法实时获取和调整饱和和流率值,并且,我国城市的交通组成、交通管理方式与国外有明显的不同,不能、也很难直接引进国外的研究成果。

在我国,计算信号交叉口饱和和流率的方法主要有三种: HCM 推荐饱和和流率法、停车线法以及冲突点法^[3]。上海市工程建设规范《城市道路平面交叉口规划与设计规程》提出了饱和和流率的估算方法^[4]。杨晓光教授^[3]基于我国目前交通的实际情况,针对城市中典型性交叉口车流运行的不确定性,通过对上海市内不同车道度下的典型性信号控制交叉口实地调查研究,给出信号交叉口进口车道上车流的分布特性,并对进口车道宽度对初始时距、饱和时距、启动延误和饱和和流率定量分析,给出了适用于交通规划设计和交通服务水平划分的理论计算模型。

随着城市的发展、交通规划设计和交通控制要求的不断提高,交通情况变得越来越复杂,上述方法已经远远跟不上发展的需要,急需适合我国国情的有效的饱和和流率计算方法,所以,开展城市信号交叉口饱和和流率研究,对合理进行平面交叉口规划设计、提高交通管理科学水平、改善城市交通状况和提高车辆运行效率具有积极意义。

因此,笔者对长沙市具有典型意义的信号交叉口直行车道进行现场测定,通过数据处理和分析,建立饱和和流率与车道宽度、大车率和车道数的一元回归模

型和饱和和流率的三元回归模型,并举例说明了模型的适用性。

1 饱和和流率影响因素分析

1.1 相关概念

饱和和流率是由饱和和车头时距表示,如公式(1)所示:

$$S_0 = 3600 / h_s \quad (1)$$

式中, S_0 为饱和和流率 ($\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$); h_s 为饱和和车头时距 (s)。

1.2 影响因素

影响饱和和流率的因素很多,除车辆本身的性能对其有影响外,如在不考虑对向车流的影响时,车道位置、大车率、车辆不同转向比例、转弯半径、进口道坡度、车道宽度、车道数及不同车道功能划分等因素对饱和和流率均有影响;在考虑对向车流的影响时,除上述因素外,同向车流的饱和度、对向车流比例及交叉口中可停放左转车的数量等因素对饱和和流率也有很大影响^[2,5]。

在本文中,主要研究直行车道车道宽度、大车率、车道数对饱和和流率的影响。

2 数据采集与处理

如上所述,饱和和流率的影响因素诸多,为了保证调查数据的可行性,实地调查了长沙市某典型信号交叉口。调查的内容为:交叉口类型、车道宽度、车道数、车道功能划分、中央分隔带类型、有无黄灯时间、周边交通设施情况等。

在调查的过程中,本文采用文献[6]中介绍的饱和和流率改进的观测方法。选择在红灯期间停车数量较多的周期进行观测,每车道为一组,每组需2人:一人报时,一人记录。一个车队为一个样本。观测样本

数可根据实际情况确定。样本的选择原则为：停车线上游有充足的交通量，在红灯期间内车辆排队等待的车辆超过 9 辆；在绿灯放行期间，交叉口上游不存在交通拥挤现象，车辆启动后能以相对较稳定的车速通过交叉口停车线；车道受行人、非机动车侧向干扰较小^[3]。在绿灯启亮时刻观测员按下秒表，当首辆车通过停车线时，观测员报告车辆通过的时刻，同时记录员立即记录该时刻，并将车型记录下来。依次类推，直到一个样本观测完。

在进行观测数据处理时，由于启动延误带来的时间和统计车辆数的误差，需要去掉前四个观测数据，从第五个数据开始使用。将观测数据录入到 EXCEL 表中进行处理，可得到不同的车道功能、不同车辆组合的饱和和车头时距和饱和流率值。结合调查得到的数据，得到饱和流率与大车率、进口道宽度、车道数的数据关系表（表 1、2、3、4）。

表 1 直行车道各大车率所对应的饱和流率

Tab.1 Saturation flow rates under different cart rates

大车率/(%)	饱和时距/s	饱和流率/(pcu·h ⁻¹)
0	1.95	1 846
11	2.10	1 714
20	2.18	1 651
33	2.87	1 254
45	2.72	1 324
54	2.69	1 338
61	2.67	1 348

表 2 直行各车道宽度所对应的饱和流率

Tab.2 Saturation flow rates under different lane widths

车道宽度/m	饱和时距/s	饱和流率/(pcu·h ⁻¹)
2.5	2.15	1 674
2.7	2.09	1 722
2.8	2.08	1 731
3.0	2.06	1 748
3.2	1.94	1 856
3.5	1.83	1 967

表 3 直行车道不同车道数对应的饱和流率

Tab.3 Saturation flow rates under different lane numbers

车道数	饱和流率/(pcu·h ⁻¹)
2	3 457
3	5 325
4	6 655

表 4 直行车道饱和流率的多元分析数据

Tab.4 Multivariate data of saturation flow rates on through lanes

大车率	车道宽度/m	车道数	车头时距/s	饱和流率/(pcu·h ⁻¹)
6.67	2.8	4	2.20	1 636
8.33	2.8	4	2.28	1 579
0.00	2.8	4	1.73	2 081
5.56	2.8	4	1.83	1 967
13.33	2.8	4	1.99	1 809
27.27	3.2	3	2.28	1 579
15.38	2.7	5	2.42	1 488
38.46	3.0	5	2.46	1 463
5.88	3.0	5	2.10	1 714

3 统计分析 with 模型构建

3.1 饱和流率与大车率影响分析

大车率是指大车在所有车型中所占的比例。车型分为小车和大车。小车主要包括小轿车、小面包车等；而大车主要是指公交车与大型货车。

分别对大车率与饱和流率进行二次函数、三次函数等拟合检验，在 95% 的置信水平下，统计结果如图 1、图 2 所示：

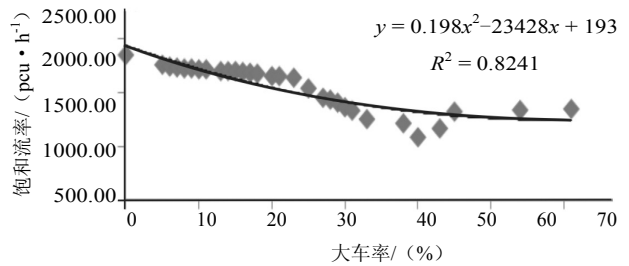


图 1 饱和流率与大车率二次函数拟合

Fig.1 Fitting quadratic function between cart rate and saturation flow rate

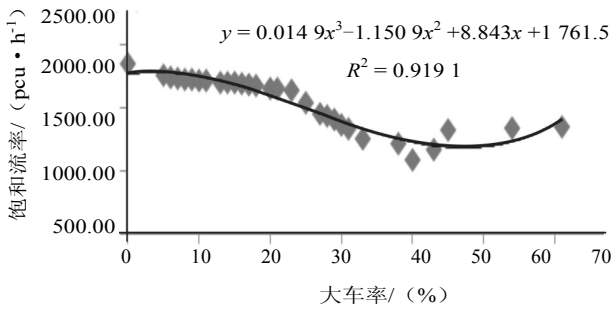


图 2 饱和流率与大车率三次函数拟合

Fig. 2 A fitting cubic function between cart rates and saturation flow rate

由图 1, 2 可知, 三次函数能够更好地描述大车率与饱和流率两者之间的关系。拟合曲线具有函数形式:

$$y = 0.0149B^3 - 1.1509B^2 + 8.843B + 1761.5 \quad (2)$$

式中: y 为饱和流率 ($\text{pcu}\cdot\text{h}^{-1}$); B 为大车率 (%)。

由图 2 可知, 当大车率增大时, 饱和流率会减少; 随着大车率不断增大, 接近 50% 时, 饱和流率反而开始增大。这表明一个车队中大车率越大, 大车对饱和流率影响程度反而减少。

3.2 饱和流率与车道宽度影响分析

运用同样的方法, 分别进行二次函数、指数函数等拟合检验, 在 95% 的置信水平下, 统计结果如图 3、图 4 所示:

由图 3、4 可知, 二次函数能够更好地描述大车率与饱和流率两者之间的关系。当车道宽度大于 3.5m 时, 车辆行驶空间宽敞, 车辆行驶时受到的侧向干扰

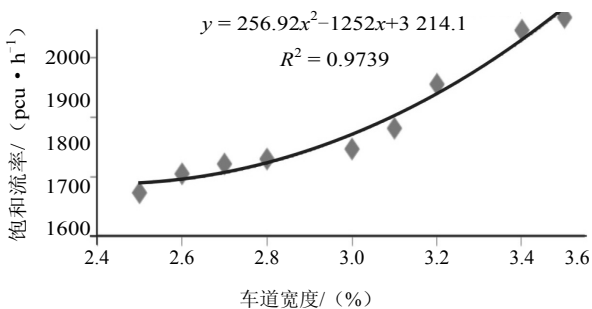


图 3 饱和流率与车道宽度二次函数拟合

Fig. 3 A fitting quadratic function between lane width and saturation flow rate

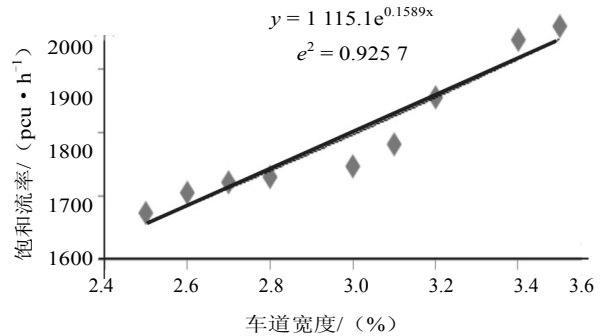


图 4 饱和流率与车道宽度指数函数拟合

Fig. 4 A fitting exponential function between lane width and saturation flow rate

很小, 车道宽度对饱和流率的影响程度也相对减少, 此时饱和流率保持在 1965 veh/h 左右。综上所述, 可以得到车辆宽度与饱和流率的函数关系式:

$$y = \begin{cases} \text{无定义} & 0 < W < 2.5 \\ 256.92W^2 - 1252W + 3214.1 & 2.5 \leq W \leq 3.5 \\ 1979 & W > 3.5 \end{cases} \quad (4)$$

式中: y 为饱和流率 ($\text{pcu}\cdot\text{h}^{-1}$); W 为车道宽度 (m)。

3.3 饱和流率与车道数影响分析

同理, 进行饱和流率与车道数的一元线性、二次函数拟合检验, 在 95% 的置信水平下, 统计结果如图 5、图 6 所示:

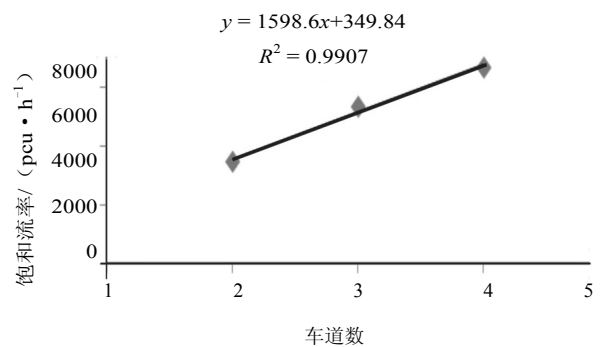


图 5 饱和流率与车道数一次函数拟合

Fig. 5 A fitting linear function between lane number and saturation flow rate

由图 5, 6 可知, 无论是一次线性函数拟合, 还是二次函数, 都能很好地拟合饱和流率与车道数的关系。它们的数学关系式为:

$$y = 1598.6N + 349.84 \quad 2 \leq N \leq 4 \quad (5)$$

$$y = 268.61N^2 + 3210.2N - 1888.6 \quad 2 \leq N \leq 4 \quad (6)$$

式中: y 为饱和流率 ($\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$); N 为车道数。

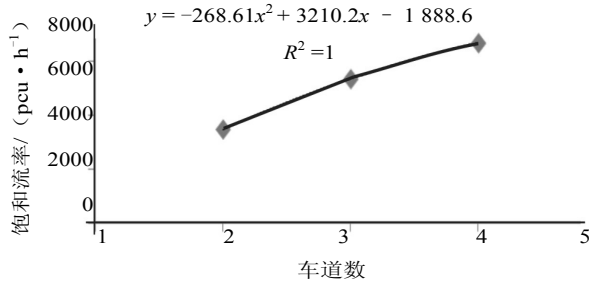


图6 饱和流率与车道数二次函数拟合

Fig. 6 A fitting quadratic function between lane number and saturation flow rate

3.4 饱和流率多元回归模型

基于饱和流率的影响因素,进行饱和流率三元线性回归分析,在95%的置信水平下,统计结果如图7所示:

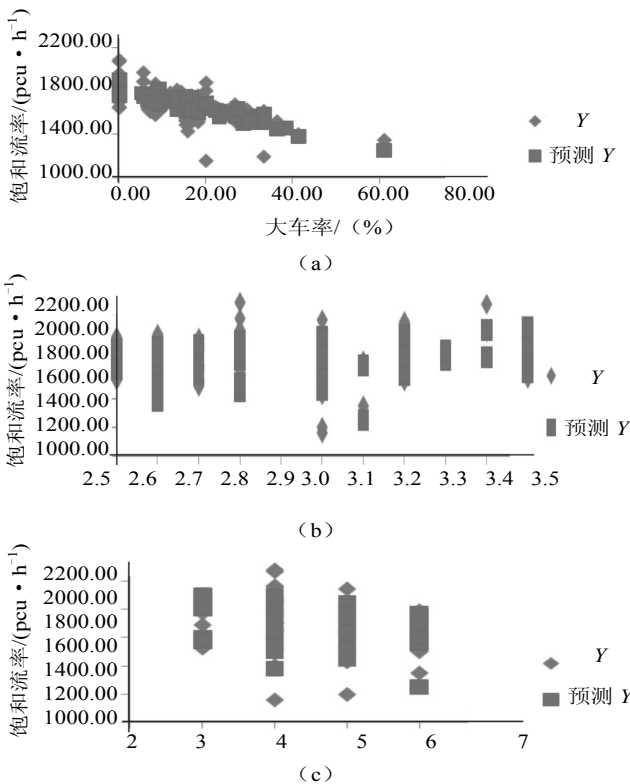


图7 饱和流率三元回归

Fig. 7 Three variate regression model of saturation flow rate

由图7可以看出,实际值与预测值能较好地吻合,说明该饱和流率的三元线性回归模型能较好地反映饱和流率与大车率、车道宽度、车道数之间的关系。其回归系数如表5所示。

表5 回归系数

Tab. 5 Regression coefficients

影响因子	回归系数	标准误差
常数项	1 430.85	153.37
大车率	-9.54	0.90
车道宽度	138.96	41.57
车道数	-5.41	14.17

由此可知三元线性回归模型为:

$$y = -9.54B + 138.96W - 5.41N + 1430.85 \quad (7)$$

式中: y 为饱和流率 ($\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$); B 为大车率 (%); W 为车道宽度 (m); N 为车道数。

4 实例应用

针对得到的饱和流率与大车率、车道宽度、车道数之间的三元线性回归模型,重新调查南京市洪武北路—长江路交叉口。选取该交叉口作为应用对象的原因是该交叉口为十字型规则典型信控交叉口,并且,相交的道路为城市干道,交通量比较大,各进口道都是专用左、直、右车道,满足该模型适用的条件。

该实例应用主要调查该交叉口直行车道车道宽度、大车率、车道宽度和饱和流率。在信号交叉口的配时过程中,一般是采用我国的经验值,为此,用该理论值与饱和流率三元回归模型值相比较,最后根据这两种方案得到的关键车流所在的进口的单车延误值和饱和度为指标来评价所得到的模型的适用性。

通过计算,得到该交叉口的两种配时方案。其配时方案为四相位,分别依次是东西直行、东西左转、南北直行和南北左转。其配时结果、关键车流所在的进口到的单车延误值和饱和度值分别如表6、表7和表8所示:

表 6 不同饱和流率模型下配时方案结果

Tab.6 Signal timings under the different models of saturation flow rates

	周期 C	G_e	G_1	G_2	G_3	G_4
经验值	125	113	30	26	28	29
模型值	120	108	28	27	26	27

表 7 不同饱和流率模型下进口道单车延误值

Tab.7 Delays under the different models of saturation flow rates

方案	相位一	相位二	相位三	相位四
经验值	46.25	49.45	48.45	47.79
模型值	43.96	43.56	45.74	45.22

表 8 不同饱和流率模型下进口道饱和度

Tab.8 Saturations under the different models of saturation flow rates

方案	相位一	相位二	相位三	相位四
经验值	0.897	0.989	0.989	0.989
模型值	0.822	0.791	0.901	0.904

参考文献

[1] 王 炜, 过秀成. 交通工程学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2000: 68-71.
 [2] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual 2000[S/CD]. Washington D C: National Research Council, 2000.
 [3] 杨晓光, 庄 斌, 李克平. 信号交叉口饱和流率和启动延误的影响分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2006, (06).

表 6 中, C 为信号周期 (s); G_e 为总的有效绿灯时间 (s); G_i 为相位显示绿灯时间 (s); i 为表示信号相位。

通过经验值与饱和流率模型值对比可知, 单车延误值与饱和度值都有所减少, 特别是东西左转相位, 两值降低了约 20%, 说明该模型在一定范围内具有一定的适用性。

5 结束语

本文通过对长沙市区 18 个典型交叉口的饱和流率的调查, 深入研究饱和流率的影响因素, 得到饱和流率的一元模型和三元回归模型, 并且将模型在南京市洪武北路—长江路交叉口进行了应用分析。由于只研究了其中大车率、车道宽度、和车道数这三个影响因素, 而实际的影响因素远不止三个, 因此, 进一步建立饱和流率多元回归模型, 能得到适合我国实际的饱和流率的计算方法, 这对我国城市交通有着更积极的意义。

[4] 陈锦秀, 陈小鸿, 林航飞. 《城市道路平面交叉口规划与设计规程》基本饱和和流量与大车校正系数检验研究[J]. 城市交通, 2004, (03).
 [5] 陆化普. 城市交通现代化管理[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
 [6] 吴 震, 杨晓光. 信号交叉口右转车道饱和和流量研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2008, (1).

(中文编辑: 吴继屏)