

文章编号:1671-6833(2016)03-0060-04

基于通行效率最优的交叉口控制方式优选

沈家军, 王 群

(扬州大学 建筑科学与工程学院, 江苏 扬州 225127)

摘 要: 为了实现交叉口时空资源的最佳利用,以流量、速度及延误3个参数建立了交叉口交通流的通行效率模型,在此基础上考虑到多冲突点情形构建了整个交叉口通行效率模型,并以普遍采用的无控制、两相位、三相位及四相位4种控制方式为对象,提出了4种控制方式下交叉口通行效率的计算方法,同时,基于具体数据求解了不同流量条件和不同控制方式下交叉口的通行效率数值.结果表明:当每个进口道流量小于100 veh/h时,无控制方式的通行效率最大;当流量位于100~400 veh/h时,两相位控制的通行效率最大;当流量大于400 veh/h时,四相位控制的通行效率最大.

关键词: 交通工程;交叉口;通行效率;控制方式

中图分类号: U491.2 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2016.03.014

0 引言

交叉口是城市道路网络的节点,同时也是道路交通的瓶颈所在.由于交叉口交通流的多样性以及时空资源的有限性,使得不同类型不同方向的交通流之间存在较大的竞争性,如何科学合理地分配这些资源,其本质就是个目标优化的问题,而采用不同的优化目标将会生成不同的控制策略和控制方式.目前,就交叉口优化目标而言,近期的研究成果主要包括:以延误控制为优化目标^[1]、以通行能力为优化目标^[2]、以公交优先为优化目标^[3]、以环境效益为优化目标^[4]以及若干目标的综合优化^[5-6].鉴于交叉口是一个时间-空间二维系统,笔者前期基于时空资源利用建立了交叉口通行效率模型^[7],并以通行效率为指标研究了两相位与四相位的临界流量^[8].

在此基础上,笔者拟从交叉口多冲突点角度,建立无控制、两相位、三相位及四相位这4种常见控制方式下交叉口通行效率模型,研究交叉口不同控制方式下的优选方法,从而为交叉口的控制与管理提供理论支撑与决策支持.

1 交叉口通行效率模型

1.1 单冲突点通行效率模型

德国学者 Werner Brilon 将交通流的通行效

率表示为^[9]

$$E_t = Qv. \quad (1)$$

式中: E_t 代表交通流通行效率,veh·km/h; Q 代表单位时间内交通流流量,veh; v 代表交通流平均通行速度,km/h.该模型表明,在单位时间内越多的车辆以越快的速度运行则其通行效率越高.

对于交叉口而言,交通冲突可能会在较大程度上影响交通流的通行速度,故需将交通冲突因素在模型中反映出来,笔者在前期研究中建立了考虑交通冲突的交叉口通行效率模型,如式(2)所示:

$$E_t = Q \cdot v = Q \cdot S/t =$$

$$Q \cdot S/(t_0 + d) = (Q \cdot v)/(1 + d/t_0). \quad (2)$$

式中: S 为交通流行驶轨迹长度; t 为交通流在交叉口的通行时间; t_0 、 v_0 分别为交通流在未发生交通冲突情形下的通行时间和通行速度; d 为交通冲突产生的延误,若无交通冲突发生, $t = t_0$,否则 $t = t_0 + d$.

1.2 多冲突点通行效率模型

以上研究是针对单个冲突点而言的,即单股交通流只与另外一股交通流发生冲突的情形,而实际情况下可能存在单股交通流与多股交通流均发生冲突的情况,此时需将单冲突情形拓展为多冲突情形,如图1所示.

收稿日期:2015-10-17;修订日期:2015-12-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51208451);2014年度江苏省“青蓝工程”项目;扬州市重点研发计划(社会发展)项目(YZ2015083)

作者简介:沈家军(1979—),男,江苏扬州人,扬州大学副教授,博士,主要从事交通工程研究,E-mail:jjshen@yzu.edu.cn.

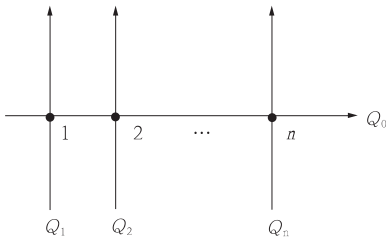


图1 多冲突点情形示意图

Fig. 1 Diagram of multi-traffic conflict points

假设第0股交通流同时与n股交通流发生冲突,冲突点分别用1,2,⋯,n表示.由于第i个冲突点的存在使得第0股交通流穿越交叉口的时间为 t_{0i} ,则

$$d_{0i} = t_{0i} - t_{00}.$$

因此,第0股交通流的通行效率为

$$E_{00} = \frac{v_{00} \cdot Q_0}{\left(\sum_{i=1}^n d_{0i}/t_{00}\right) + 1}. \quad (3)$$

假设交叉口有m股交通流,则交叉口通行效率为

$$E = \sum_{i=1}^m E_{fi} = \sum_{i=1}^m \frac{v_{0i} \cdot Q_i}{\left(\sum_{j=1}^n d_{0j}/t_{0j}\right) + 1}. \quad (4)$$

2 不同控制方式下交叉口通行效率

2.1 无控制方式

对于无控制交叉口而言,直行与直行、直行与左转均存在交通冲突,根据公式(4),此时交叉口通行效率为

$$E = \sum_{i=1}^2 E_{fi} = \sum_{i=1}^2 \frac{Q_{i0j} Q_{ij}}{\sum_{k=1}^n (d_{i0k}/t_{i0k}) + \sum_{l=1}^o (d_{i0l}/t_{i0l}) + 1}. \quad (5)$$

式中: E_{f1} 、 E_{f2} 分别代表直行车和左转车通行效率;m代表交通流数目;n、o代表该交通流分别与直行车以及左转车的冲突点数目.

2.2 两相位控制方式

对于一般的两相位交叉口而言,对向交通流同时放行,相邻交通流分别放行,此时不存在直行与直行以及左转与左转之间的交通冲突,根据公式(4),此时交叉口通行效率为

$$E = \sum_{l=1}^2 \sum_{i=1}^2 g_l E_{fil}/T = \sum_{l=1}^2 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 g_l \frac{Q_{i0l} Q_{ij}}{\sum_{k=1}^n (d_{i0k}/t_{i0k}) + 1}. \quad (6)$$

式中: g_l 代表相位的绿灯时间; T 代表周期长度,其他符号如上所示.

2.3 四相位控制方式

四相位交叉口直行车流与左转车流分开放行,不存在直行车与左转车之间的交通冲突,根据公式(4),此时交叉口通行效率为

$$E = \sum_{l=1}^4 \sum_{i=1}^2 g_l E_{fil}/T = \sum_{l=1}^4 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^m g_l v_{i0j} Q_{ij}/T. \quad (7)$$

其中所有符号如上所示.

2.4 三相位控制方式

对于三相位交叉口而言,一个方向采用单相位控制,另一方向采用两相位控制,此时交叉口通行效率为

$$E = \sum_{l=1}^2 \sum_{i=1}^2 g_l E_{fil}/T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 g_1 \frac{v_{i0j} Q_{ij}}{\sum_{k=1}^n (d_{i0k}/t_{i0k}) + 1} / T + \sum_{l=2}^3 \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^m g_l v_{i0j} Q_{ij}/T. \quad (8)$$

式中: g_1 、 g_2 和 g_3 分别代表单相位的绿灯时间和两相位的直行与绿灯时间;其他符号如上所示.

3 算例应用

为了确定交叉口在不同流量条件下的最佳控制方式,以宁海路-汉口西路十字型交叉口为例,南北向直行车辆平均行驶时间分别用 t_{c1} 和 t_{c2} 表示;南北向左转车辆平均行驶时间分别用 t_{c3} 和 t_{c4} 表示.所有数据均以周期为单位进行统计,通过视频数据可以确定所有直行及左转车辆驶入和驶出交叉口的时刻,计算时刻差则可以得到每辆车在交叉口内的行驶时间,从而可以求得每个周期所有车辆的平均行驶时间,而直行车和左转车的流量可通过计数获取.采集的数据显示:车辆平均行驶时间 t_{ci} 不仅与该股交通流本身的流量相关,同时也与其冲突交通流的流量相关,可表达为 $t_{ci} = g_i(Q_{i1}, Q_{i2})$.将所有实际采集到的数据进行统计分析发现:南北进口直行车在与对向左转车发生交通冲突情况下的行驶时间分别为

$$t_{c1} = 0.125Q_1 + 1.097Q_2 + 1.133;$$

$$t_{c2} = 0.124Q_1 + 0.388Q_2 + 1.733.$$

南北进口左转车在与对向直行车发生交通冲突情况下的行驶时间分别为

$$t_{c3} = 0.266Q_1 + 1.756Q_2 + 0.269.$$

$$t_{c4} = 1.713Q_1 + 1.526Q_2 + 0.275.$$

式中: Q_1 和 Q_2 分别表示进口交通流流量和对向冲

突交通流流量.

另外,通过视频采集直行与左转未发生交通冲突的情形,此时直行车和左转车的平均行驶时间 t_{0r} 和 t_{0l} 分别为 2.22 s 和 4.84 s, 直行车与左转车的行驶时间仅与该股交通流自身的流量有关. 通过视频采集的数据进行统计发现: 直行车和左转车在无交通冲突情况下的行驶特性分别为

$$v_{0r} = -0.334Q_l + 13.284;$$

$$v_{0l} = -0.456Q_l + 11.132.$$

经过统计得到左转车流量平均比例为 20%. 通过公式(5)~(8)可以计算出在每个进口道不同流量和不同控制方式下的交叉口通行效率, 如表 1 所示.

表 1 不同控制方式下交叉口通行效率

Tab.1 Efficiency of intersection under different control modes

序号	流量 $Q/(veh \cdot h^{-1})$	通行效率 $E/(veh \cdot km \cdot h^{-1})$			
		无控制	两相位	三相位	四相位
1	100	100	85	63	50
2	200	91	142	91	97
3	300	90	182	110	141
4	400	68	191	114	181
5	500	60	198	117	218
6	600	55	202	118	251
7	700	51	203	118	281
8	800	48	202	117	307
9	900	45	199	115	330
10	1 000	42	195	112	350
11	1 100	40	190	109	366
12	1 200	38	183	105	379
13	1 300	36	176	101	388
14	1 400	33	169	96	394
15	1 500	31	160	91	396
16	1 600	29	152	86	395

将表 1 的数据描绘于图中, 得到不同控制方式下交叉口通行分布效率如图 2 所示. 从图 2 可以看出, 在同一流量条件下不同控制方式的通行效率均存在一定的差异. 当每个进口道流量较低时(小于 100 veh/h), 无控制方式的通行效率最大; 随着流量进一步增大(100~400 veh/h), 两相位控制的通行效率最大; 当流量增大到一定程度时(大于 400 veh/h), 四相位控制的通行效率变为最大. 图 2 显示的规律符合交叉口交通流运行的基本特性, 当流量较低时车辆可以合理地利用间隙穿越, 此时车辆之间的交通冲突较少, 所以无控制方式通行效率最大. 随着流量的加大, 交通冲

突越发频繁, 此时应将不同进口以及不同方向的车辆分离, 因此宜采用相位控制的方式, 流量越大, 相位数宜越多.

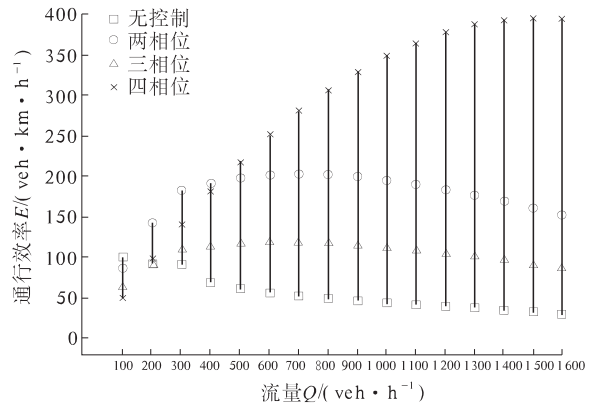


图 2 不同控制方式下交叉口通行效率分布图

Fig.2 Distribution graph of efficiency of intersection under different control modes

5 结束语

流量、运行速度与延误是构成交叉口通行效率的 3 个重要参数, 这些参数全面反映了交叉口时空资源的利用程度, 因此, 通行效率的优化是实现其时空资源最佳利用的途径. 笔者以目前普遍采用的四种控制方式为对象, 研究了交叉口在不同流量条件下通行效率的变化趋势及规律, 从而能够为交叉口的控制管理提供理论指导.

参考文献:

- [1] 张惠玲, 王益, 尹宝计, 等. 基于实时延误的交叉口控制方案优化分析[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2015, 40(1): 149-154.
- [2] CHANG Yulin, CUI Yibo, ZHANG Peng. Multi-phase signal setting and capacity of signalized intersection [J]. Journal of southeast university (english edition), 2009, 25(1): 123-127.
- [3] 马万经, 吴明敏, 韩宝新, 等. 考虑可变速度调节的单点交叉口公交信号优先控制方法[J]. 中国公路学报, 2013, 26(2): 127-133.
- [4] 刘永红, 廖瀚博, 余志, 等. 基于环境影响的交叉口控制方式综合评估研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2013, 52(1): 12-16.
- [5] 肖婧, 王科俊, 毕晓君. 交叉口混合交通流高维多目标信号优化控制[J]. 公路交通科技, 2014, 31(11): 108-115.
- [6] 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):2503-2508.
- [7] SHEN Jiajun, TIAN Zhongzong, WANG Wei. Correlation between degree of complexity and efficiency for intersections in China [J]. Journal of transportation engineering, 139(2):193-199.
- [8] 沈家军,王炜. 基于交叉口通行效率的两相位与四相位控制方式临界流量研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2014,14(4):53-58.
- [9] 沈家军,王炜. 道路交叉口通行效率与冲突强度模型研究[J]. 公路交通科技,2010,27(8):91-95.

Control Modes of Intersection Based on Efficiency Optimization

SHEN Jiajun, WANG Qun

(College of Civil Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: In order to achieve optimum utilization of time-space resources at intersections, volume, speed and delay were selected as three parameters to develop an efficiency model for traffic flow. In addition, the efficiency model for intersection was constructed based on multi-traffic conflict points. Four efficiency-oriented models for four popular control modes including uncontrolled intersection mode, two-phase mode, three-phase mode and four-phase mode were proposed, and the efficiency values were calculated according to the field volumes and control modes. The results indicate that the condition for an intersection under un-controlled mode, two phases mode and four phases mode to reach its optimal efficiency is that the maximum volume is smaller than 100 vehicles, between 100 and 400 vehicles, and bigger than 400 vehicles, per hour per approach, respectively.

Key words: traffic engineering; intersection; efficiency; control mode

(上接第59页)

Study on the Seismic Performance of SRC Column-Steel Beam Hybrid Frame Structure

CHU Liusheng, CUI Zhongmin, ZHANG Junfeng, ZHAO Jun

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou450001, China)

Abstract: In this paper, a static nonlinear analysis of SRC frame has been made, and the analytical results agree well with those of the tests. In the same parameter settings, the static nonlinear analysis of a 2-span, 3-story SRC column-steel beam hybrid frame is then carried out to learn its seismic performance when the steel ratio of SRC column and linear stiffness ratio of beam to column is different. The results show that the bottom story of SRC column-steel beam hybrid frame achieve the strong column-weak beam failure mode, so the overall structure experienced a long plastic deformation stage and exhibited good ductility. With the increase of the linear stiffness ratio of beam to column, the failure of hybrid frame gradually turned from the overall "strong column-weak beam" mode into "strong beam-weak column" mode, and the structure ductility reduced significantly. According to the calculation results, a reference value range 0.3~0.4 is suggested for line stiffness ratio of beam to column in SRC column-steel beam hybrid frame design.

Key words: hybrid frame; SRC column-steel beam; seismic performance; static nonlinear analysis