

探讨左转车运行规律 提高平面交叉路口的通行能力

陆秉

(新疆农业大学 乌鲁木齐 830052)

摘要 提出针对路口具体情况,采用不同方法安排左转车辆运行,提高平交路口交通安全和通行效率。
关键词 平交路口 车头时距

Probing into the Operation Regularity of Left-trun Vehicles so as to Raise the Capacity of Crossings at Grade

Lu Bingkun

(Xingjiang Agriculture University, Wulumuqi)

Abstract Based on actual layout of grade crossing, the paper discusses different methods to arrange the left-turning traffic to improve traffic safety and efficiency.
Key words Tntersection Headway

目前我国城市道路的路口 90% 以上仍是平面交叉, 交通繁忙的平交路口大都采用信号控制型式, 因此如何管理交叉路口 (特别是信号控制的路口), 挖掘潜力, 提高交通安全程度和通行能力已成为投资少, 见效快, 现实意义大的一项工作。

拓宽路口流入段, 设置左、右转弯专用车道、港湾式停车站; 修建过街天桥、地下通道, 对左转机动车比率小的平交路口有较显著作用, 但在左转车比例大的平交路口则效果不明显。由于左转车辆的影响, 路口通行效率下降, 延误时间长, 车辆排队造成交通阻塞, 发动机长时间低速、怠速运转排放废气加剧。因此, 研究平交路口左转车运行规律, 针对实际情况采取不同对策十分必要。

1 理论分析

根据我国交通法规的规定“绿色信号允许车辆直行和左转弯, 左转车辆不得妨碍对向车直行。”因此, 左转车只能在绿色信号初期在对向直行车未到达冲突

点的时间内左转弯, 或在冲突点附近等待直行车流出现允许穿越的车头时距, 穿插通过。如初绿时段和直行车流中允许穿越车头时距能满足本信号周期左转车的需要, 路口交通秩序较好, 不易发生交通阻塞。反之迫使左转车等待, 延误时间过长, 左转车驾驶员就会贸然插入直行车流, 迫使对向直行车减速, 加大车头时距, 满足穿越要求。双方后续车就有可能缺乏相互配合造成交通阻塞或交通事故发生。

左转车在路口可能面临三种状态, 一是利用初绿期通过路口; 二是恰遇可穿越车头时距, 通过冲突点; 三是没有机会通过冲突点停车等待。3 种状态的选择取决于路口各方向车流随机变量函数的参数。

利用初绿时间实现左转与对向直行车停车线至冲突点距离、直行车行驶速度有关。车辆利用初绿时间实现左转概率为

$$\begin{cases} P_1=1 & n \leq m \text{ (S, V) 时} \\ P_2=\frac{m}{n} & \text{黄三} \leq m \text{ (S, V) 时} \end{cases}$$

n ——某入口要求左转机动车数;
 m ——车从入口停车线到对向左转冲突点行驶时间内允许左转的最大车辆数;
 S ——入口停车线到对向左转冲突点的距离;
 V ——直行车通过路口平均车速。
左转车利用直行车间可穿越车头时距实现左转与每个周期出现可穿越车头时距的长短、次数、要求左转车数与它们的分布规律有关, 其实现左转概率为

$$P_3=\sum_{k=1}^{\infty} k \cdot S(k) P(n) \cdot F(T) (n=m+1, \dots)$$

路口某入口机动车顺利实现左转概率则为

$$P=\sum_{n=0}^m P(n)+\sum_{k=1}^{\infty} 3 \sum_{n=m+1}^{\infty} k \cdot S(k) P(n) \cdot F(t \geq T)$$

T —— $n-m$ 辆车穿越空挡实现左转所需最小车头时距;
 k ——一个信号周期内出现可穿越空挡的次数;
 $S(k)$ ——一个周期内出现 k 次可穿越空挡的概率;
 $P(n)$ ——一个周期出现 n 辆左转车的概率;
 $F(t \geq T)$ ——出现穿越空挡时间大于等于 T 的概率。

2 实地调查

1995 年 9 月非节假日上午, 笔者对乌鲁木齐市某主干道信号控制的平交路口进行了调查, 选择流量较大的南北直行车流与由南向西左转车流为对象, 调查了由北向南直行机动车车头时距的分布资料 (见表 1); 由南向西左转车数分布资料 (见表 2), 每个信号周期出现可穿越车头时距的次数分布资料 (见表 3)。从而分析该路口左转车对通行能力的影响。此路口南北流入路段均为三车道, (左转、直行、右转各为一车道), 西端流出段为双车道, 北端流入段停车线距直行与左转冲突点 34.5 米, 路口信号周期 120s, 南北绿信长 59s (无黄灯)。通行车辆中 88% 为小轿车, 南北方向交通为主交通流。由北向南直行车头时距见表 1。

表 1

组序号	车头时距	观测次数	各组组长值 t_i	理论概率 f_i	理论次数 n_i'	累计概率 $F(t \geq T)$
i	$t(s)$	n_i				
1	≤ 3	—		0		
2	3~4	201	3.5	0.1274	209	1.0000
3	4~5	347	4.5	0.2090	343	0.8736
4	5~6	380	5.5	0.2180	357	0.6636
5	6~7	281	6.5	0.1792	294	0.4456
6	7~8	198	7.5	0.1240	203	0.2664
7	8~9	119	8.5	0.0740	122	0.1424
8	9~10	66	9.5	0.0391	64	0.0684
9	10~11	25	10.5	0.0180	30	0.0293
10	11~12	13	11.5	0.0073	12	0.0113
11	12~13	8	12.5	0.0039	6	0.004
12	> 13	2	—	—	—	
合计		$N=1640$			1640	

第 12 组因次数少合到第 11 组观测次数为 10, 车头时距 t 为连续随机变量, 以韦布尔分布函数拟合。

$$F(t > T) = e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\beta-\gamma}\right)^{\alpha}} \quad \gamma \leq T \leq \infty$$

$F(t > T)$ ——车头时距大于 T 的概率;
 γ ——起点参数;
 α ——形状参数;
 β ——尺度参数。
首先计算平均车头时距

$$m_t = \frac{\sum t_i n_i}{\sum n_i} = 5.997 \approx 6(s)$$

标准差 $S_t = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^k (t_i - m_t)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 1.825(s)$
偏倚系数 $C_s = \frac{\sum (t_i - m_t)^3}{(N-3) S^3} = 0.77$
根据 C_s 查表得 $\alpha = 1.818$
 $A(\alpha) = 0.2195$ $B(\alpha) = 1.975$
 $\beta = m_t - S_t A(\alpha) = 6.4$
 $\gamma = \beta - S_t B(\alpha) = 2.796$

然后计算出服从韦布尔分布 ($\alpha = 1.818, \beta = 6.4, \gamma = 2.796$) 落在各车头时距数据组的理论次数 n_i' 。

进行 χ^2 检验, 计算得 $\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n_i')^2}{n_i} = 5.783$
取显著水平 $\alpha = 0.05$
自由度 $DF = g - c - 1 = 8$
 $\chi_{0.05}^2 = 15.5$ $\chi^2 < \chi_{0.05}^2$

所以观察实测车头时距服从韦布尔分布 $F(t > T) = e^{-\left(\frac{t-2.796}{6.4-2.796}\right)^{1.818}}$

调查时小轿车占绝大多数, 以小轿车分析路口由南向西, 左转车辆数调查资料见表 2。

表 2

组序号	左转车数/周期	观测次数	理论概率 $P(x)$	理论次数 q_i'
i	x_i	q_i		
1	0	1	0.0045	0
2	1	3	0.0244	4
3	2	10	0.0659	10
4	3	15	0.1185	19
5	4	28	0.1600	25
6	5	31	0.1728	28
7	6	26	0.1555	25
8	7	16	0.1200	19
9	8	14	0.081	13
10	9 及以上	16	0.097	17
合计		160		160

计算每周期平均左转车数 $m_x = \frac{\sum q_i x_i}{\sum q_i} = 5.4$ 辆

方差 $S^2 = \frac{1}{Q-1} \sum_{i=1}^{10} (x_i - m_x)^2 q_i = 4.42$

$m_x/S^2 \approx 1$, 故选离散型泊松分布拟合。
取置信度 $\alpha \approx 0.05$ $\chi^2 = 5.783$
查表 $\chi^2_{0.05} = 15.5$ $\chi^2 < \chi^2_{0.05}$
检验通过, 故左转车数/周期服从泊松分布。
左转车数概率 $P(x) = \frac{\alpha^k}{k!} e^{-\alpha} = \frac{(5.4)^k}{k!} e^{-5.4}$
一个信号周期内观测到可穿越空档的次数与频率见表 3。

表 3

空档次数/周期 k	0	1	2	3	4	5 及以上
出现频率 $S(k)$	0.13	0.46	0.33	0.06	≈ 0.01	≈ 0

影响左转交通完成的重要因素是直行车流的车头时距, 它与车型、车况、路口环境、天气、驾驶员等因素有关。据测定小型车相交叉穿越时间呈正态分布, 第一辆车从起步到加速通过必须满足: 穿越空档的车头时距 $t_{穿} \geq 3.5s$, 后续车如将车头时距缩短为最低限为 $2s$, 现有一辆车左转, 穿越空挡需 $3.5s$ 以上, 而两辆车需 $5.5s$ 以上……。左转车利用初绿期先行通过, 与对向停车线位置有关, 据测量该路口北段停车线距冲突点 $34.5m$, 车辆若以 $20km/h$ 时速通过 (从 0 到 $30km/h$ 加速) 从停车线到冲突点约 $6.2s$, 加上驾驶员反应时间约 $7s$ 预先停在冲突点右侧, 利用初绿时间最多可通过 3 辆左转车, 如每周期左转车 ≤ 3 辆, 不利用直行车可穿越空挡即可完成左转。

通过调查该路口由南向西左转实现的概率为

$$P = \sum_{n=0}^3 P(n) + \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=4}^{\infty} k S(k) P(n) F(t \geq T)$$
$$= 0.2133 + 0.3180$$
$$= 0.5313$$

从结果可以看出, 初用初绿期实现左转概率为 0.2133 , 利用直行车可穿越空挡实现左转概率为 0.318 。每信号周期无延误, 顺利左转概率为 0.531 , 还有近一半时间左转不能顺利完成。延误时间过长,

后续左转车则采用缩小与前车时距, 强行左转, 以期延长初绿期或可穿越车头时距, 造成交通混乱。
该路口由南向西左转车占总左转车的比例较大。为了改善路口通行能力, 在交通高峰和繁忙期, 交警则给该方向左转车单独指挥信号, 以利车辆通过。

3 建议

- (1) 平交路口尽量设置左转车道, 将直行与左转车分离, 提高运行效率, 并在路口中心区划出左转车候驶区。
- (2) 左转车数量不大时, 科学合理计算停车线位置, 适当加大初绿时间, 满足左转车的需要。
- (3) 左转车数量大的路口, 可考虑在左转车多的路段设置左转相位, 将左转车与直行车在时间上分离。据计算上述路口如设置 $12s$ 左转相位, 信号周期改为 $132s$, 则 λ 每周期左转车平均增加到 5.9 辆, 其左转运行实现概率可提高到 0.88 。
- (4) 在繁忙、交通多变路口, 利用检测器测量相交路段车辆参数, 调整相序经相位、周期、绿信比, 以期达到各相位饱和交通状态。
- (5) 个别路口径上述努力如效果仍不明显, 相交车辆干扰仍然较大, 可考虑采用立交分流。
- (6) 每个路口由于道路、交通条件、地理位置不同都有自己的独立交通规律, 所以每个路口要实现满意的信号控制, 都可采用上述方法进行分析计算, 找出在当前条件下, 减少左转车的干扰, 提高运行效率的方法。若要实施线、面控制则分析对象更为复杂, 不在此文阐述。

参考文献

- 1 郭冠英. 交通工程. 上海: 同济大学出版社, 1994 07
- 2 张在民, 任福田, 肖秋生. 城市中心商业区用地与交通优化分析方法. 中国公路学报, 1995 (增 1)
- 3 徐吉谦. 交通工程总论. 人民交通出版社, 1991