

信号交叉口直行与左转车辆分时优化方法研究

A Time-sharing Optimization on Through and Left-turn Movements in Signalized Intersection

文 / 王宏哲 朱 鸣



作者简介：王宏哲（1982-），男，安徽合肥人，中国人民公安大学交通运输规划与管理专业在读硕士研究生。

编者按：信号交叉口是最常见的交叉口形式，其通行能力大小直接影响城市交通的运行，对信号交叉口进行合理有效的交通组织十分重要。以往交叉口交通组织研究较多地关注交叉口内部的组织，而对交叉口临近路段的交通组织的研究很少见。为了增加交叉口临近空间的利用率，提高交叉口通行能力，降低交叉口的延误，本文针对设置左转专用车道的信号交叉口，设计了一种直行和左转的分时交通组织优化方案，并根据方案对交叉口进行了相应的改造，最后，使用TransModeler 仿真软件对其可行性进行了验证。

在城市路网中，信号交叉口最常见，它是路网的基本节点，也是网络交通流的瓶

颈所在。在交叉口有限空间内，汇集着几条道路不同流向的交通流，致使交叉口的交通错综复杂^[1]。城市的交通阻塞，很多都是由于交叉口通行能力不足造成的。平面交叉口的合理设计以及交通管理与组织，不仅关系到整个城市路网的安全与畅通，而且影响整个城市路网的通行能力和运输效力的发挥。

现在常用的增加交叉口通行能力、降低延误的方法是拓宽交叉口。这是一种行之有效的方法，但是对于有些路口来说，有一定局限性。例如，两边红线已经确定不能往右侧拓宽，而对向车道流量大且不宜削减对向车道进行左侧拓宽，同时车道较窄不宜再缩减车道宽度增加一个车道等情况下，不适用路口拓宽的方法。针对这种情况，本文提出了一种时间分离的方法，让直行车在适当情况下利用左转车道通行，以提高交叉口的通行能力和降低延误。

为便于研究，本文选择双向六车道，并设置专门左转车道的十字路口作为研究对象。

1 问题的提出

本文针对的十字信号交叉口的特性如下：

- 入口直行车道通行能力不足；
- 最左边的车道为专用左转车道；
- 中间一条为直行车道；
- 最右侧的车道是专门的右转车道，但该车道不在本文讨论的范围内；
- 交叉口的信号相位为先直行后左转。

在直行车道放行的时候，左转车道的左转车禁止通行。此时交叉口只有直行车道和右转车道两条车道被利用，左转车道对于通行能力没有贡献。因此本文研究在左转放行时诱导部分直行车进入左转车道，并在其后的直行放行时通过。

2 交通组织优化方案

2.1 改造条件

平面交叉口进口道直行车道数计算公式^[3]为：

$$n = \frac{N_h}{N_s} \quad (1)$$

式中： n ——直行车道数；

N_h ——交叉口进口设计小时交通量 (veh/h)；

N_s ——交叉口直行车道设计通行能力 (veh/h)。

$$N_s = \frac{3600f_s}{t_c} \left(\frac{t_2 - t_1}{t_s} + 1 \right) \quad (2)$$

式中： f_s ——考虑绿灯时每个信号周期通过车流的不完全连续性及其他影响的综合折减系数；

t_c ——信号周期 (s)；

t_g ——一个信号周期内的有效绿灯时间 (s)；

t_1 ——第一辆车启动并通过停车线的时间 (s)，可取 3s；

t_s ——直行车辆通过停止线的平均间隔时间 (s)，交叉口设计通行能力，一般以小客车为计算单位，取 2.5s。

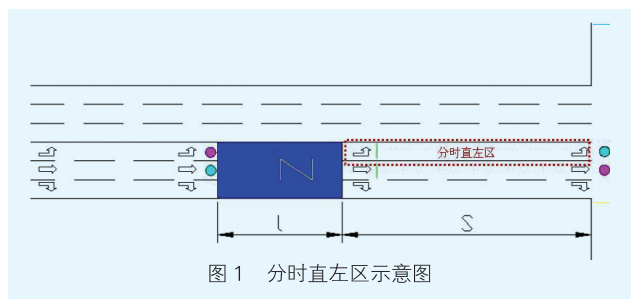
当 $n \leq 1$ 时，说明一条直行道已经基本满足需求，不必改造。

当 $n > 1$ 时，说明一条直行道不能满足需求，需要改造。

下文介绍在 $n > 1$ 的情况下，交叉口的具体改造措施。

2.2 分时直左区

在距离路口停车线 S 米处施设一区域 S ，称为分时直左区，如图 1 所示。



S 的大小应等于左转绿灯时间 $G_{左}$ 内能通过的车队长度的最大值 $MAXS(G_{左})$ 。由于车辆由停止到通过停车线的时间是相对固定的，因此 S 的大小可以简单地由多次观测计算得出。

在实际中建议 S 的距离取 $MAXS(G_{左}) - 5$ (一辆标准车长约 5m)，保证如果有车辆在 N 区绿灯变红的最后一刻驶过 N 区停车线，其可以在交叉口绿灯结束之前通过交叉口，避免分时直左区的车辆不能在下个相位之前清空。

2.3 交叉口配时

交叉口的信号周期可以按原来的设置，不必调整。交叉口各相位绿灯时间根据“流量/车道数”按比例配时。

配时原则如下：

a) 左转绿灯时间：直行绿灯时间 = (左转流量 / 左转车道数) : (直行流量 / 直行车道数)；

b) 左转绿灯时间 < 直行绿灯时间，因为要保证占用左转

车道的所有直行车都要在绿灯时顺利通过。这里假设右转车全相位通行。

2.4 N 区

如图 1 所示，在 S 之后设置一区域，让直行车有足够的转弯空间转入左转区域。

2.4.1 N 区长度的确定

N 区的长度应使一般车辆变道通过，不宜太长，否则造成空间浪费；不宜太短，否则不利于车辆安全变道。

由直行道移到左转弯车道所需长度可采用横移一个车到所需时间 $3s$ 计算^[3]，计算公式为：

$$l = \frac{V}{3.6} \times 3 \quad (3)$$

式中： l ——变换车道所需的长度 (m)；

V ——路段主要设计车辆的计算行车速度 (km/h)。

2.4.2 设置 N 区信号灯

需要设置 N 区信号灯提示直行驾驶员进入分时直左区的时间。假设交叉口采用常见的四相位配时，即设置专门的左转专用相位和直行专用相位，由于研究不考虑右转车道，故假设右转车全相位通行。具体设置情况如表 1 所示。

表 1 东西方向相位表

交叉口相位				
N 区相位				
描述	此时分时直左区内的车辆直行，N 区后方的左转弯驶入分时直左区。	此时分时直左区内的车辆左转，N 区后方的直行车尾随前方的左转弯进入分时直左区，N 区后方左转弯等候。	此时分时直左区内的车辆等待，N 区后方的直行车驶入分时直左区，N 区后方左转弯等候。	此时分时直左区内的车辆等待，N 区后方的直行车驶入分时直左区，N 区后方左转弯等候。

注： N 区第二个相位中 表示禁止驶入分时直左区，此时直行车仍可以驶入直行车道。

南北方向相位表类似可得，不再列出。

2.4.3 N 区禁止停车

N 区应该禁止停车，防止因车辆停在 N 区之内阻挡后车，使后车不能进入左转车道直行。

3 方案的仿真测试与验证

TransModeler 微观仿真软件于 2005 年底由美国 Caliper 公司发布，是融合了 MIT 的杨齐博士等开发的 MITSimLab 仿真系统的思想的混合仿真系统。由于使用了先进的驾驶员行为模型，其仿真结果真实可信。本文使用 TransModeler 中的微观交通仿真模型对单个交叉口的情况进行仿真模拟。

3.1 参数设置

车道宽度取值 3.6m。

车流量比例，如表 2 所示。

表2 车流量比例表

	普通轿车	SUV	摩托车	公共汽车
所占比例	80%	9.7%	10%	0.3%

车道基本通行能力取值 1 900 veh/h。

3.2 给定车流量

为研究方便,各入口道车流量均设为左转 200 veh/h、直行 400 veh/h、右转 200 veh/h。由式 2 计算得各入口道的通行能力为 345 veh/h,由式 1 计算出 $n=1.16$,满足改造条件。

3.3 计算车道通行能力

交叉口各相位绿灯时间根据“流量/车道数”按比例分配,左转绿灯时间/直行绿灯时间 $= (200/1):(400/2)=1:1$ 。

故对于某进口车道,其改造前后信号配时如表 3 所示。

表3 某进口车道改造前后信号配时表

	周期 (s)	直行相立 (s)	左转相立 (s)
改造前	80	25	15
改造后	80	20	20

3.4 S长度的确定

通过观察仿真时左转车辆的运行状况,发现在左转绿灯时间 $G_{左}$ 内能通过的车队长度的最大值 $MAXS(G_{左})$ 约为 30m。故将分时直左区的长度 S 值设为 $:30-5=25(m)$ 。

3.5 N区的设置

在仿真过程中,把 N 区后方的中间车道通过车道连接线和 N 区前方的左侧车道和中间车道相连,结合 N 区信号灯的配时,达到让直行车辆和左转车辆分时到达分时直左区的目的。

3.6 仿真建立和数据输出

使用 TransModeler 建立改造后交叉口模型,其截图如图 2 所示。

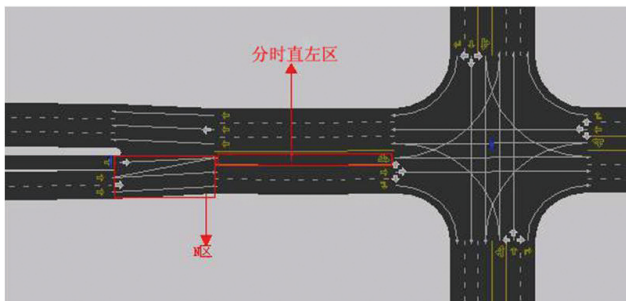


图2 TransModeler 截图

仿真数据输出如表 4 所示。

表4 输出仿真数据表

	通过车辆数 (veh/h)	平均车速 (km/h)	平均延误 (s/km)	平均停车时间 (s/km)	平均停车次数 (stops/km)
改造前	3 123	14.9	184.1	142.3	3.1
改造后	3 156	20.4	129.4	94.4	2.7

由仿真结果可知,经过改造的交叉口各项数据均优于改造前,仿真的一小时内较改造前的交叉口,其通过车辆数增

加了 1.1%,平均车速增加了 36.9%,平均延误降低了 29.7%,平均停车时间降低了 33.7%,平均停车次数降低了 13.9%。

仿真过程中有以下情况需要重点注意。

a) 分时直左区的长度 S 和 N 区处的信号灯配时必须适合,否则易造成分时直左区内左转车/直行车未能在上一个周期清空,导致直行/左转绿灯时仍滞留在分时直左区内,阻碍后面直行车/左转车的通行,造成混乱和阻塞。

b) 条件允许的情况下可以使用感应配时,解决可能存在的分时直左区不能清空的问题。

c) 如果左转车流量较大,且大于左转车道的通行能力,可以考虑将左转和直行两个车道作为分时直左区使用,让左转车利用直行车道左转,以增大左转车的通行能力。

4 结语

本文通过对信号交叉口左转和直行车道进行分时改造,并利用 TransModeler 仿真软件进行仿真,结果显示,对于符合改造条件的交叉口,通过对交叉口重新进行配时,确定分时直左区长度、设置 N 区等改造措施,相对于原交叉口,改造后的交叉口在平均车速、平均延误、平均停车时间、平均停车次数等方面都有较明显改善,证明该方法有效可行。

参考文献

[1] 张起森,张亚平.道路通行能力分析[M].北京:人民交通出版社,2002.
 [2] 袁振洲,魏丽英,谷远利.道路交通管理与控制[M].北京:人民交通出版社,2007.
 [3] 徐家钰,程家驹.道路工程[M].上海:同济大学出版社,2004.
 [4] TransModeler User's Guide[R].Caliper Corporation, Newton, MA, 2006.

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)课题(编号:2007AA11Z237)

作者单位:中国人民公安大学

收稿日期:2009-03-12

