

基于相位相序的交叉口信号配时优化研究

卢顺达 徐正全 杨宇星

【摘要】 交叉口是城市交通网络的瓶颈地带，交叉口信号配时优化是提高交叉口通行能力，改善道路运行状况的重要方法。本文分析了相位相序对信号配时的影响和非对称相位的适用条件，针对部分交叉口非对称交通流的特征，改变通常情况下使用的对称相位的设置方法，设置非对称相位，通过对进口车道渠化、相位相序的优化来提高绿灯时间的使用效率，提高交叉口的服务水平。使用 SYNCHRO 软件对交叉口对称相位配时方案和本文提出的优化方案进行仿真，结果表明，非对称相位对于非对称交通流的交叉口延误的减少和服务水平的提高有着显著的效果。

【关键词】 交通工程；信号配时；非对称交通流；非对称相位；SYNCHRO 仿真

1 引言

城市交通拥堵有诸多诱因，经过研究表明，交叉口不合理的信号配时是导致道路拥堵的重要原因之一。为提高道路通行能力，减少交通延误，合理利用道路资源，有必要科学、合理地优化交叉口信号配时，这是缓解交通拥挤最有效的方法之一。在交叉口定时信号配时方面，国内外学者通过不同的模型和算法对传统配时方法进行研究和改进。

在国内，交叉口定时信号配时主要采用“冲突点法”和“停车线法”^[1]，国际上有 HCM 法^[2]、Webster 法^[3]、ARRB 法^[4]等。经典的 Webster 模型^[5]能更好地设计信号周期时长、绿信比等参数，并不能直接优化信号相序，在 HCM 延误模型等中也没有涉及信号相序的优化与设计^[6]。目前，大部分学者在优化交叉口设计时，主要采用优化交叉口信号配时（包括最佳信号周期、绿信比等）、交叉口交通组织渠化等措施，很少涉及相位相序这个重要的参数^[7]。其实，相位相序与交叉口的关系非常密切，交叉口相位、相序设计的合理与否直接决定了信号交叉口道路通行能力的大小。即使信号周期时长、绿信比达到了最优设计，但不合理的相位、相序设计也会导致交叉口的拥挤，最终影响与之适应的控制方法的效果^[8-9]。因此，为了更科学的解决道路交叉口信号配时问题，笔者重点分析相位相序优化对交叉口配时的影响，进一步研究两者之间的关系，为道路交叉口信号配时优化提供根据。

2 信号配时优化方法

2.1 相位相序对配时的影响

针对典型的十字交叉口,我国目前常用的相序方案大都是基于单环(Single Ring)结构的,

通常有三种情况：“两相位”、“三相位”和“四相位”，如图 1 所示。可以看出,图中任何一种配时方案中,至少会有两个方向的车流共用一个信号相位。由于城市道路交通流存在时间、空间分布的不均衡性,某一个方向的交通流在同一个相位中并不能完全有效的利用全部绿灯时间,造成绿灯时间的浪费,从而降低了通行时间的利用率,增加延误。因此,在图 1 所示单环结构对称的相位相序基础上,提出了采用非对称双环结构 NEMA 相位对非对称交通流的交叉口进行信号配时优化^[10-11]。

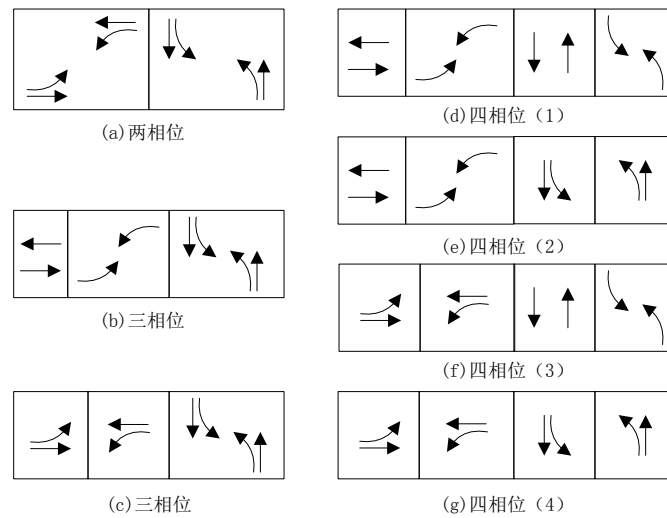


图 1 单环结构相位相序方案示意图

NEMA 双环相位^[12]结构由双环、双段(Stage)共 8 个相位构成(见图 2)。交叉口中相位的正常运行并不会因为同环、同段中 2 个相位的时长和顺序的随意调整而产生不良影响,与传统的“四相位”方案相比, NEMA 相位在主路先行的情况下,其潜在相序方案由 4 种提升至 16 种,极大提高了相序优化的可操作性。如图 2 所示,假设相位 Φ_2 和 Φ_6 (东西向)为干道中直行相位,相位 Φ_6 控制的直行方向车流量较大,则该交叉口的相位相序可设置为以下 4 种情况:左转提前、左转滞后和提前—滞后 1、提前—滞后 2,如图 3 所示。

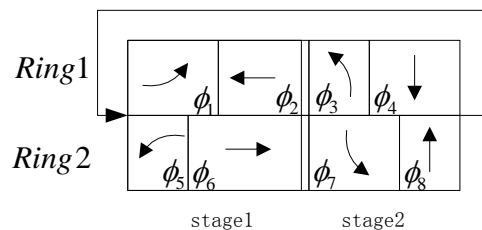


图 2 双环结构 NEMA 相位示意图

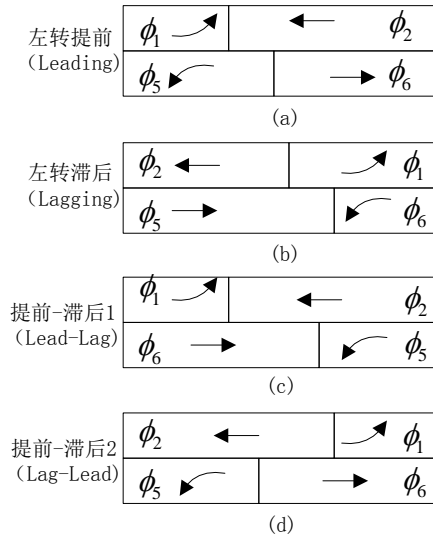


图 3 NEMA 双环结构中 4 种相位相序方案示意图

与传统单环结构配时方案相比，结合 NEMA 相位的上述特征表明：非对称的 NEMA 相位的适用性更强，可以根据交叉口各进口道交流的特点灵活设置信号相位，从而减少交叉口的延误，提升服务水平。

2.2 NEMA 相位的适用条件

对于非对称交通流信号交叉口，利用 NEMA 相位配时有显著效果。非对称交通流^[13]是指在满足指定条件下，在同一相位相对流向交通量差值较大的交通流。以普通的十字路口南北方向直行交通为例，假设南进口道直行交通量为 q_{st} ，北进口道直行交通量为 q_{nt} ，且 $q_{st} > q_{nt}$ ，两个进口道直行车流的差值 a 和饱和度 b 可表示为：

$$a = \frac{|q_{st} - q_{nt}|}{\max(q_{st}, q_{nt})} \quad (1)$$

$$b = \frac{\max(q_{st}, q_{nt})}{S} \quad (2)$$

若 $0.5 < a < 1$ 且 $0.2 < b < 0.9$ ，则可称南北方向交通流 q_{st} 和 q_{nt} 为非对称交通流。(2) 式中 S 为 $\max(q_{st}, q_{nt})$ 对应全部直行进口道饱和流量之和。

2.3 进口道渠化优化

进口道渠化^[13]根据各个非对称交流交叉口中进口道各转向交通量的情况对车道功能进行划分，对增加车流量大的转向车道，减少车流量小的转向车道。一般依据 2 种条件进行考虑。

- (1) 若非对称交流中流量较小方向的交通量 q_{min} 满足以下条件：

$$0 < \frac{Cq_{\min}}{3600} < 2 \quad (3)$$

则， q_{\min} 的进口车道取消，与直行车道组合（ q_{\min} 是直行车道则与左转车道组合）。（3）式中 C 为信号周期长度，单位为 s。

（2）若非对称交流中流量较小方向的交通量 q_{\min} 满足以下条件：

$$f = Cq_{\min} / 3600 > 2 \quad (4)$$

在一般情况下，建议不改变原有转向车道，否则与直行车道组合。

3 实例分析

以成都市高升桥交叉口为例子，分别使用传统 4 相位配时方法和结合道路渠化条件的 NEMA 相位设计对其进行了仿真研究。交叉口的车道设置和交通量（图上所示交通量分别为右转、直行、左转高峰小时交通量）如图 4 所示。交叉口现有相位和信号配时图如图 5 所示。东西向的交通流量较大，因此分配较多的绿灯时间，现有的配时为标准的传统 4 相位配时方案，周期为 90s，黄灯时间均为 3s。

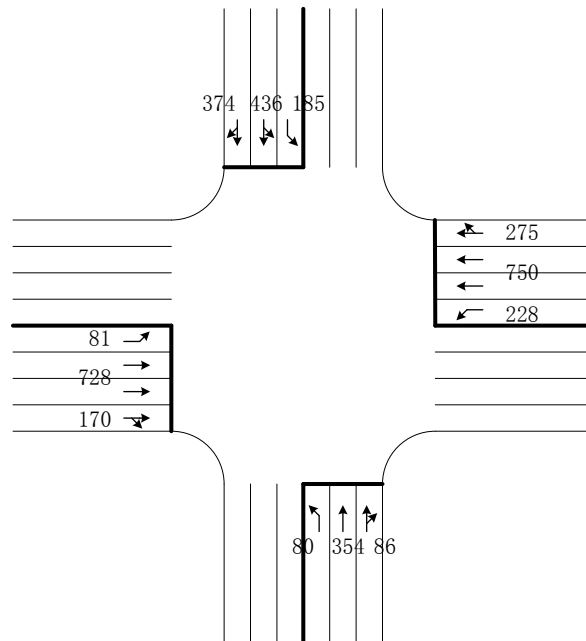


图 4 交叉口的车道设置和交通流量图

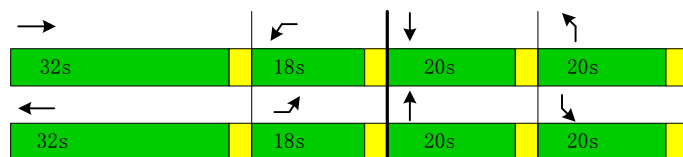


图 5 交叉口现有相位和信号配时图

由图 4 可知，交叉口南北方向左转交通量分别为 80 和 185，东西方向左转交通量分别

为 228 和 81，均符合非对称交通流定义条件，可以考虑采用 NEMA 相位设计，可采用图 3 中左转滞后的相位设计。南北向中最小左转交通量 $q_{min} = 80$ ，东西向中最小左转交通量 $q_{min} = 81$ 。满足（3）式，可将南进口道和西进口道的左转车道都改成直左车道。如图 6 所示。采用 NEMA 相位设计信号配时后，得到新的交叉口信号配时图如图 7 所示。信号周期为 90s，黄灯时间均为 3s。

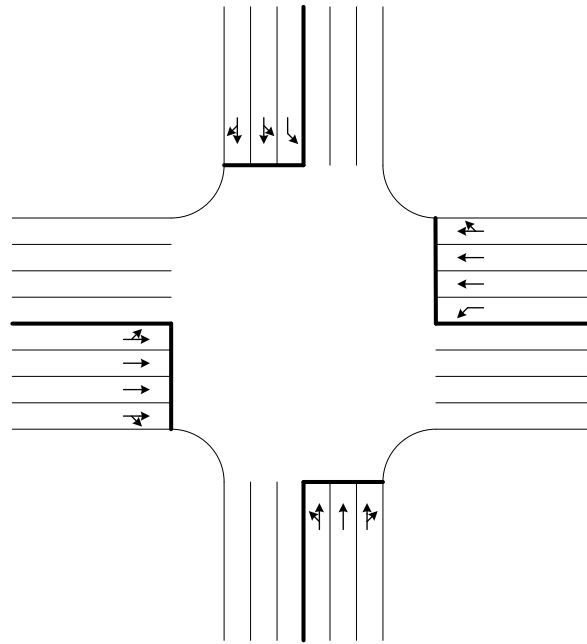


图 6 交叉口优化方案

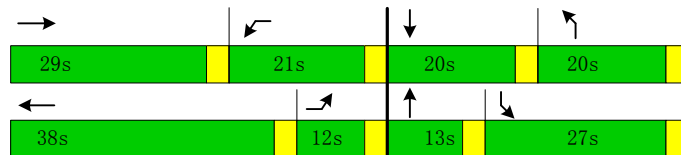


图 7 优化后的信号配时图

采用 synchro 进行交通仿真，两种配时方法的仿真结果评价如表 1 所示。

表 1 交叉口总体指标

参数	总平均 延误/s	总服务 水平	东进口	东进口	西进口	西进口	南进口	南进口	北进口	北进口
			道延误 /s	道服务 水平	道延误 /s	道服务 水平	道延误 /s	道服务 水平	道延误 /s	道服务 水平
优化前	72.6	E	57.3	E	33.0	C	62.3	E	136.2	F
优化后	37.0	D	36.0	D	24.3	C	27.1	C	55.8	E

结果表明，与传统相位配时方法相比，在相等条件下，此交叉口使用结合道路渠化条件的 NEMA 相位设计信号配时后能大大减少交叉口的延误，提高交叉口的服务水平。

4 结语

本文介绍了 NEMA 相位设计配时的方法，并提出了其适用的条件。通过 synchro 软件

仿真，对某交叉口分别采用传统 4 相位配时法和结合道路渠化条件的 NEMA 相位设计的配时方案的各项评价指标进行了对比分析，研究表明 NEMA 相位设计的配时法适用该类型的交叉口，能大大减少交叉口的延误，提高交叉口的服务水平。

【参考文献】

- [1]徐立群, 吴聪, 杨兆升. 信号交叉口通行能力计算方法[J]. 交通运输工程学报, 2001, 1(1): 83.
- [2]National Research Council. Highway Capacity Manual: 2000[M]. Washington DC: Transportation Research Board, 2000: 10.
- [3]WEBSTER F V. Traffic Signal Settings[J]. Road Research Laboratory Technical Paper, 1958, 39(1): 1.
- [4]AKCELIK R. Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis[R]. Sydney: Australia Road Research Board, 1981.
- [5]Webster F V, Cobbe B M. Traffic signals[R]. London: Road Research Laboratory, 1966.
- [6]Transportation Research Board. Highway capacity manual 2000[R]. Washington D C: National Research Council, Federal Highway Administration, 2000.
- [7]王浩, 彭国雄, 杨晓光. 相位相序安排与交叉口设计之间的关系[J]. 公路交通科技, 2004, 21(2): 92-94.
- [8]杨佩昆, 吴兵. 交通管理与控制[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004: 94-152.
- [9]曲大义, 管德永, 刘志刚, 等. 中国城市混合交通流特性研究[J]. 青岛理工大学学报, 2007, 28(3): 81-86.
- [10]马楠, 邵春福, 赵熠. 基于双向绿波带宽最大化的交叉口信号协调控制优化研究[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2009, 39(Sup 2): 19-24.
- [11]马楠, 邵春福, 赵熠. 干道信号交叉口群协调控制系统中的影响因素[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, 43(Sup 6): 112-117.
- [12]National Electrical Manufacturers Association. TS 2-2003[S]. Rosslyn, VA: NEMA Standards Publication, 2003: 96-98.
- [13]丁恒, 郑小燕, 张卫华. 基于伴随相位的非对称交通流交通信号改善研究[J]. 合肥工业大学学报, 2008, 31(3): 356-359.

【作者简介】

卢顺达, 男, 硕士, 深圳市城市交通规划设计研究中心有限公司, 工程师。电子信箱: 421153389@qq.com