

内嵌式左转交通组织优化及评估系统开发

高 荷, 莫天明, 张子珺, 栗顺友, 沈艺梦, 李英帅*

南京工业大学交通运输工程学院, 江苏 南京

收稿日期: 2025年4月23日; 录用日期: 2025年7月18日; 发布日期: 2025年7月29日

摘 要

为了对左转交通流交通组织进行优化与优选, 文章设计了内嵌式左转交通组织优化方案, 进而开发了左转优化评估系统。提出了一种基于内嵌式左转待行区的借同向直行车道左转交通组织优化方案, 明确了待转区域长度、预信号与交叉口信号协同方案; 进一步开发了左转优化评估系统, 该系统根据输入的交叉口交通流量、几何结构、信号配时等参数, 自动评估并推荐最优的左转优化方案并说明理由。研究结果表明, 内嵌式左转交通组织优化方案可以在交叉口进口道左转专用车道数量受限、左转车流量较大且单周期放行受限的情况下, 有效提升左转交通流通行效率; 左转优化评估系统能够有效提供对左转交通组织的方案推荐。研究成果可为左转交通流交通组织优化提供理论依据与技术支持。

关键词

交通工程, 内嵌式左转交通组织, 交通仿真, 信控交叉口, 左转优化

Development and Evaluation System for Optimized Embedded Left-Turn Traffic Organization

He Gao, Tianming Mo, Zijun Zhang, Shunyou Su, Yimeng Shen, Yingshuai Li*

School of Transportation Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing Jiangsu

Received: Apr. 23rd, 2025; accepted: Jul. 18th, 2025; published: Jul. 29th, 2025

Abstract

To optimize and select the best traffic organization for left-turn traffic flow, this paper designs an embedded left-turn traffic organization optimization scheme and develops a left-turn optimization evaluation system. A left-turn traffic organization optimization scheme based on an embedded left-turn

*通讯作者。

文章引用: 高荷, 莫天明, 张子珺, 栗顺友, 沈艺梦, 李英帅. 内嵌式左转交通组织优化及评估系统开发[J]. 交通技术, 2025, 14(4): 533-545. DOI: 10.12677/ojtt.2025.144053

waiting area that borrows the same-direction straight-through lane is proposed, and the length of the waiting area, the pre-signal, and the coordination scheme with the intersection signal are clarified. Further, a left-turn optimization evaluation system is developed. This system automatically evaluates and recommends the optimal left-turn optimization scheme based on the input parameters such as intersection traffic flow, geometric structure, and signal timing, and provides reasons for the recommendation. The research results show that the embedded left-turn traffic organization optimization scheme can effectively improve the efficiency of left-turn traffic flow when the number of left-turn lanes at the intersection entrance is limited, the left-turn traffic volume is large, and the single-cycle release is restricted. The left-turn optimization evaluation system can effectively provide scheme recommendations for the organization of left-turn traffic flow. The research results can provide theoretical basis and technical support for the optimization of left-turn traffic flow traffic organization.

Keywords

Traffic Engineering, Embedded Left-Turn Traffic Organization, Traffic Simulation, Signalized Intersection, Left-Turn Optimization.

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市化进程的加快,城市交通流量的不断增长使得交叉口成为制约道路通行能力的瓶颈区域。尤其是左转通行能力的不足,容易导致交叉口排队延误、通行效率下降,进而影响整个路网的运行状态。针对这一问题,国内外学者提出了多种左转优化方案,以提高交叉口的通行能力。现有的左转优化方式主要包括专用左转相位、借对向车道左转、移位左转、远引左转及 U 型左转等。一些学者[1]-[3]研究了借道左转的适用条件和优化方案,提出了基于车流波动、信号配时等因素的设计方法,并通过仿真分析验证了其对于减少排队和延误的有效性。还有一些学者[4]-[6]研究了移位左转方案,发现通过优化信号配时和车道设置,可以显著提高交叉口通行能力,减少车均延误。此外,张卫华[7]等探讨了远引左转的适用条件和优化效果,提出在特定交通条件下,远引车道能够减少信号相位和延误。邓明君[8]、张国[9]等研究了 U 型左转,指出该方案在高交通负荷下可减少延误,尤其是 V/C 值大于 0.5 时效果更为显著。

在左转优化方案的研究中,借道左转因其在不增加额外车道的前提下提升左转通行能力,成为较为广泛应用的优化方式。然而,当前研究多集中于借对向车道左转,其局限性在于存在较大的交通安全隐患,且易受对向直行流量的限制。而借同向直行车道左转作为一种更具优势的方案,研究相对较少。相比之下,该方案利用现有直行车道资源,在特定信号控制条件下,提高左转通行能力,并减少对直行流的干扰。

本文提出了一种基于内嵌式左转待行区的借同向直行车道左转交通组织优化方案。通过合理设置借道区域长度和预信号控制策略,使左转车辆能够在安全可控的前提下高效通行。此外,考虑到不同交叉口的交通需求差异,本文进一步开发了一套左转优化评估系统,结合交叉口流量、几何条件及信号配时等参数,实现左转优化方案的智能评估与推荐。该系统不仅可以辅助交叉口信号优化,还能为城市道路交通管理提供技术支持。

2. 左转交通流特征分析

左转交通流具有显著的动态性与冲突复杂性,其运行特征主要体现在以下方面:

(1) 左转流量呈现明显的潮汐特性,即在不同时段具有显著的方向性变化。早、晚高峰期间,左转需

求的方向分布通常存在较大差异,导致固定的车道设置(如专用左转车道)难以匹配动态变化的流量需求,进而可能导致车道资源利用率低或局部拥堵加剧。虽然可变导向车道等优化措施能够在一定程度上实现动态调整,但由于缺乏与信号控制的实时协同,其资源分配仍然存在优化空间,尤其在左转流量较大的情况下,左转车辆排队过长的问题依然突出。

(2) 左转车流与对向直行机动车之间存在复杂的冲突关系,交叉口交织区域易形成通行瓶颈。特别是在无专用左转相位或待行区的情况下,左转车辆必须在较短的绿灯时间内完成通行,导致冲突点密度显著增加,不仅降低了通行效率,还增加了交通安全风险。此外,当交叉口车道功能与流量需求不匹配时,左转流的消散速度较慢,易造成排队过长、二次停车甚至多次停车,从而加剧交叉口的整体延误。

3. 研究假设与方法

基于上述特征分析,为提升交叉口左转通行能力并减少对直行车流的干扰,本文提出一种基于内嵌式左转待行区的借同向直行车道左转交通组织优化方案。现有研究表明,交叉口通行能力受借道长度影响,呈现先增大后减小的非线性变化趋势。借鉴传统借对向车道左转的研究规律,分析出借同向直行车道左转亦存在最优借道长度并给出借道长度公式。据此构建研究假设: H1: 借道左转的实际通行能力随借道长度的变化呈现先增大后减小的趋势,且存在一个最优借道长度范围。为验证上述假设,本文构建了不同借道长度的微观仿真模型,通过 VISSIM 仿真模拟不同方案下左转通行能力的变化趋势,并结合数据进行分析,验证了最优借道长度设置的合理性以及借道效果随借道长度的趋势变化规律。同时,针对信号配时方案,结合借道区域特性与安全清空需求,优化预信号控制策略,确保左转车辆高效、安全通过交叉口。

由于交叉口交通特征存在差异,单一方案难以普适,本文进一步开发左转优化评估系统,结合交叉口流量、几何结构及信号配时参数,自动评估并推荐最优左转优化方案,为交叉口左转组织优化提供智能化决策支持。具体思路如图 1 所示。

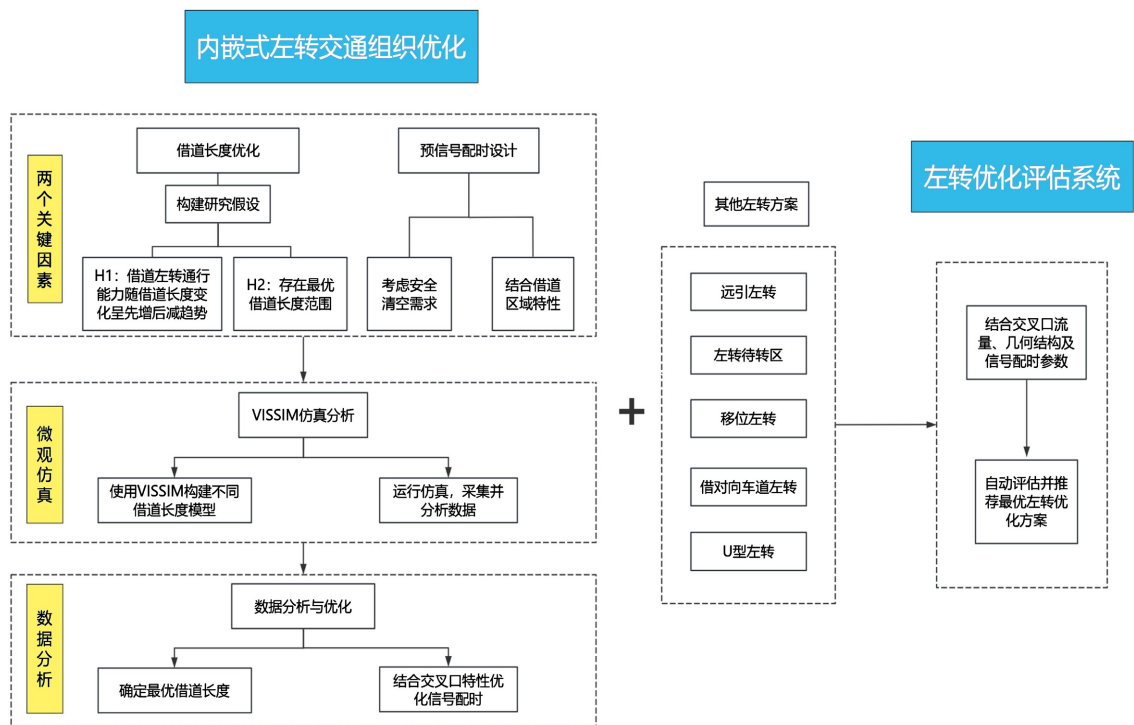


Figure 1. Overall technology roadmaps
图 1. 总体技术路线图

4. 内嵌式左转方案设计研究

4.1. 内嵌式左转适用条件

内嵌式左转主要适用于十字型或 T 型交叉口，特别是当进口道有多个车道且左转流量较大，无法在一个信号周期内完成左转时。此方式通过临时借用同向直行车道容纳左转车辆，避免对交叉口结构进行大幅修改，进而缓解排队和拥堵问题。

4.1.1. 交叉口空间条件

为确保借道左转的安全与顺畅，交叉口空间应符合以下要求：

(1) 进出口车道数合理匹配：进口道的车道数需与出口道合理匹配。出口道车道数应足够，以容纳左转车道、借道左转车道以及右转车道车辆，防止车流交织。如图 2 所示，设置有借道左转车道的左转车流相对传统设计多了一股或多股左转车流，此外北进口道也有右转车流汇入，因此借道左转车道数还应满足公式(1)。

$$n_{EL} \leq n_1 - n_L - n_2 \quad (1)$$

式中： n_1 ——左转车辆转弯对应出口道数量；

n_2 ——对向右转车道的数量；

n_L ——常规左转车道数量；

n_{EL} ——内嵌式左转待行车道数。

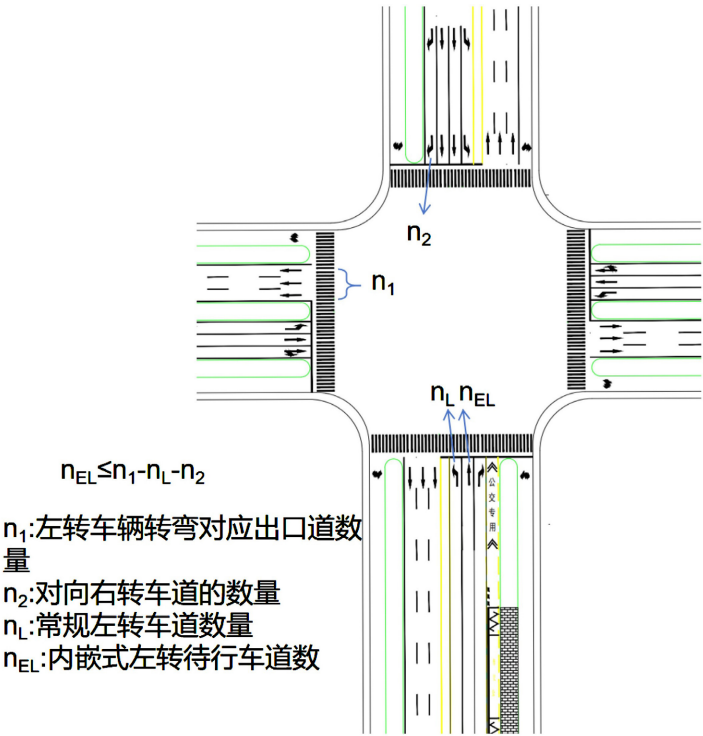


Figure 2. Diagram of the number of entrances and exits at intersections
图 2. 交叉口进出口道数量关系图

(2) 左转与直行车道的有效分隔与衔接：停止线前方应设计黄线网格线禁止停车(见图 3)，防止车辆冲突。

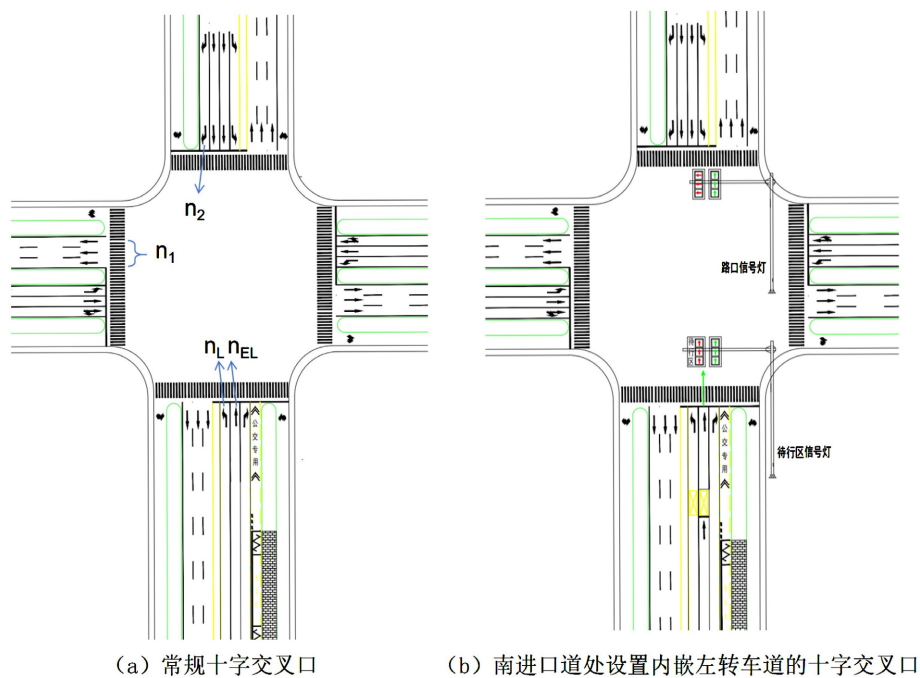


Figure 3. Schematic diagram of the front and rear of the embedded left-turn lane
图 3. 设置内嵌式左转车道前后示意图

4.1.2. 交通信号控制设置

信号控制是确保借道左转顺利进行的关键。具体要求包括：

(1) 信号预控与借道区域的启用：

左转待行标志牌引导左转车辆进入待行区域；待直行预信号灯控制直行车辆何时进入待行区域，确保直行车流在借道左转前无法进入借道区域，以避免与左转车辆发生交织，如图 4 所示。



Figure 4. Pre-signal setup pattern
图 4. 预信号设置图样

(2) 信号配时控制：

借道左转过程中的信号配时应确保左转车流与直行车流能够在不同的时间段内通行，避免在同一信号相位内发生冲突。

4.1.3. 交通流量条件

内嵌式左转车道主要应用于左转流量较大的交叉口。对于左转流量较小的交叉口，常规左转车道已

能满足需求,此时不必设置借道左转。在决策时,需调查交叉口的左转流量和饱和度。若信号配时或车道调整可缓解交通问题,则无需设置借道左转;但当进口道饱和度超过 0.8,交通饱和度达到 D 级及以上,且信号配时无法缓解拥堵时,可考虑设置内嵌式左转车道,城市交叉口服务水平划分表见表 1。

Table 1. Service level classification table at urban intersections

表 1. 城市交叉口服务水平划分表

服务水平	饱和度(V/C)	交通状况
A	<0.4	畅行车流,基本上无延误
B	0.4~0.6	稳定车流,有少量延误
C	0.6~0.75	稳定车流,有一定延误,但司机可以接受
D	0.75~0.9	接近不稳定车流,有较大延误,但司机还能忍受
E	0.9~1.0	不稳定车流,交通拥挤延误很大,司机无法忍受
F	>1.0	强制车流,交通严重阻塞,车辆时开时停

4.2. 内嵌式左转运行过程

内嵌式左转运行过程可分为五个阶段(如图 5),同时,每个阶段的交通信号控制都需经过精确设计,以保证左转车辆能够顺利通行,同时避免与直行车辆发生冲突。

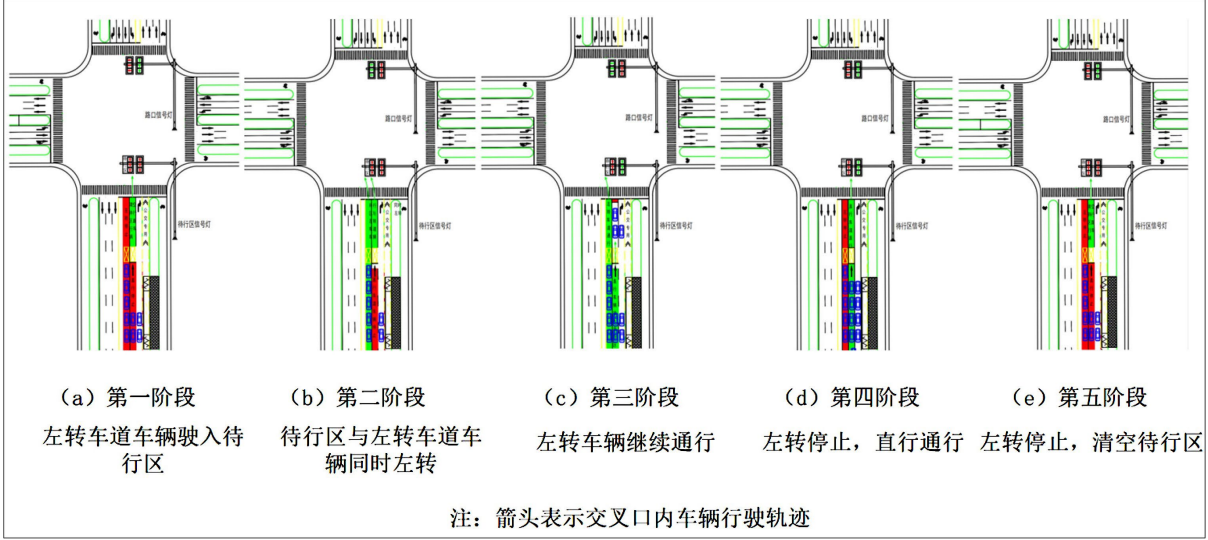


Figure 5. Five-stage process diagram of turning left in the same direction straight lane
图 5. 借同向直行车道左转五阶段过程图

4.3. 停止线处预信号灯控制方案

以左转先放的对称放行方式为例,将交叉口南进口道实施借道左转。
在信号配时方案中,主要研究预信号相位配时。为充分利用左转待行区、防止车辆冲突且保证内嵌左转待转区车辆安全清空: Δt_1 保证最后一辆左转车安全驶出,且左转区域清空,同时避免了固定左转车道车辆与直行车辆发生车辆刮擦; Δt_2 保证不影响直行车辆通行,避免直行车通行时间的浪费; Δt_3 为安全清空时间,保证借道区域的清空,车辆等待进入下一个信号周期(如图 6 所示)。

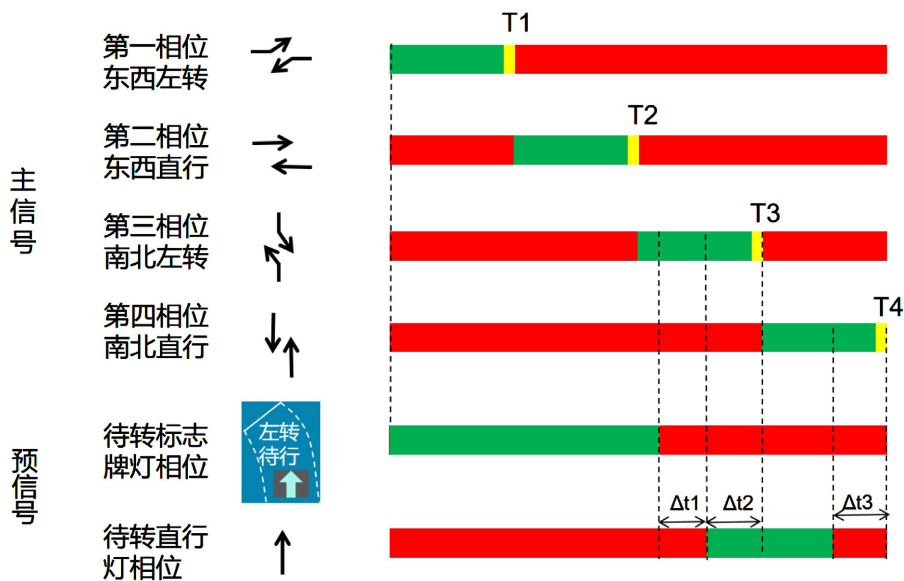


Figure 6. Left turn waiting sign and waiting straight pre-signal light control phase diagram
图 6. 左转待行标志牌及待直行预信号灯控制相位图

Δt_1 、 Δt_2 与 Δt_3 可视为待行区域车道清空安全时间，则有公式(2)：

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = \frac{l_j + l_h}{V} + t_s \tag{2}$$

式中： l_j 为借道左转车道长度； l_h 为黄色网格线区域长度； t_s 为清空内嵌左转待转车道的安全时间间隔； V 为在借道区域内最后一辆车的平均车速。

综上，由公式分析可得，在固定的交叉口空间结构和信号配时条件下，借道左转预信号灯配时方案的关键在于借道车道长度 l_j 的选择。

4.4. 内嵌式左转待行区域车道长度

目前， l_j 的取值并无规定，通常由交通管理部门根据需要判断。现假定存在最优长度 l_b ，使得单位时间内，借道区域内通过的左转车辆数最多。

4.4.1. 内嵌式左转车道长度影响分析

借道左转车道长度要根据高峰时段左转交通量和交叉口几何尺寸确定，如果借道长度过短，信号周期内左转排放能力低，失去设置意义。如果借道长度过长，左转相位时长(主信号和预信号)增加的同时，还可能造成借道车辆无法清空而影响同向直行车流运行的后果。分析结果如表 2 所示。

Table 2. Analysis of the limiting factors for the length of the left-turn lane in the byway
表 2. 借道左转车道长度的限制因素分析表

描述		分析	借道区域车辆数 主要限制因素
$l_j < l_b$	借道左转车道长度不足	借道区域内停满排队等候车辆时，剩余左转车辆无法进入借道区域，左转待转预信号灯绿灯时间被浪费	借道区域长度
$l_j > l_b$	借道左转车道长度过大	借道区域内车辆排队长度未达到最大，但剩余左转车辆已无法进入借道区域，划定的借道区域被浪费	左转预信号相位 绿灯时间控制
$l_j = l_b$	借道左转车道长度最优	借道区域和左转预信号绿灯时间均无浪费	其他

在交叉口物理条件不变的情况下,借道左转车道的使用效果与 l_b 的取值密切相关。在 l_b 的取值较小时,借道左转的效果与借道长度呈正相关;当 l_b 取值达到某一数值时,借道左转的效果达到最佳; l_b 继续增加后,借道左转的效果将随着取值的增加而减小。

4.4.2. 内嵌式左转车道长度设置

根据以上分析,当在借道左转车道的车流排队长度适宜,且与现有的左转车道排队长度相等时,交叉口控制效果较好。左转车道车辆排队长度采用 HCM2010 中相应公式:

$$L_j = L_{s1} = \frac{h_s q_L C_0 \left(1 - \frac{g_{el}}{C_0}\right)}{3600 N \left[1 - \min(1, y_L) \frac{g_{el}}{C_0}\right]} \quad (3)$$

式中, h_s 为左转排队车辆平均车头间距,可取 7 m/辆; q_L 为左转车流量(pcu·h⁻¹); g_{el} 为左转相位有效绿灯时间(s); C_0 为信号控制最佳周期长(s); N 为左转车辆能利用的左转车道数(条); y_L 为左转车道组的饱和度。

4.5. VISSIM 仿真分析与验证

为了验证借同向直行车道左转车道长度对实施效果的影响,并评估最优借道车道长度 l_b 的合理性,本研究基于微观交通仿真方法,分析不同车道长度下的左转通行能力。

4.5.1. 仿真模型建立

(1) 仿真环境与参数设定

采用左转先放的对称式四相位信号控制的标准十字路口,该交叉口南进口方向设置左转车道 1 条,直行车道 1 条,右转车道 1 条。并在中间直行车道上设置内嵌式左转待行车道,其长度为 l_j 。交叉口的其他物理条件均满足借道左转车道的实施要求。基于现实条件,现设定南进口道左转车道流量 500 veh/h。为确保仿真结果的稳定性和代表性,设定仿真时间为 4 个完整信号周期。

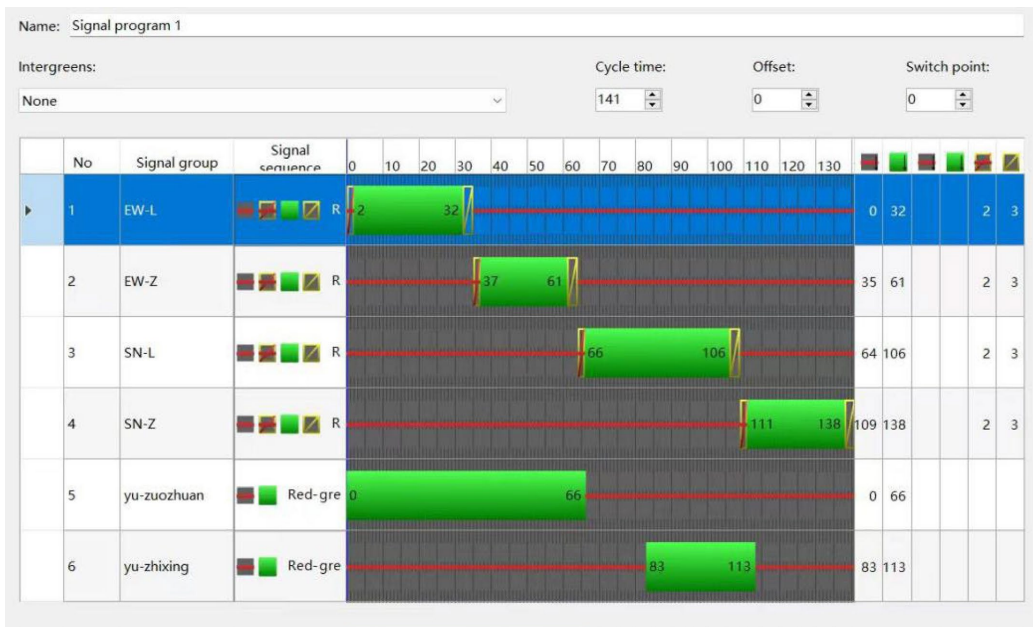


Figure 7. The specific time diagram of the main signal timing at the intersection
图 7. 交叉口主信号配时具体时间图

采用 Webster 配时方法对交叉口主信号配时进行设计。信号周期总长度为 141 秒。每个相位的黄灯时间设置为 3 秒，且每相位结束后预留 2 秒的全红时间，以确保交叉口的安全清空。交叉口结构及车辆运行参数设置： V 取 6 m/s，排队车辆平均车头间距 h_s 取 6.5 m，安全间隔 t_s 取 3 s。现设置交叉口主信号配时方案如图 7 所示。

- (2) 变量设定
- ① 借道左转车道长度 l_j ：取值范围： $l_j \in [40, 140]$ ，每次递增 10 m 进行仿真实验。
- ② 左转通行能力评价指标：
- N_{j4} ：4 个信号周期内借道左转车道通过的车辆数。
- N_{O4} ：4 个信号周期内固定左转车道通过的车辆数。
- N_l ：左转总通行能力， $N_l = N_{j4} + N_{O4}$ 。

4.5.2. 仿真结果及分析

(1) 借道车道长度对左转通行效果影响

当 l_j 从 40 m 增加至 70 m 时， N_{j4} 随借道长度增加而增大，表明借道左转的通行能力受车道长度限制，车道越长可容纳的左转车辆越多，左转通行能力提高；根据公式计算得到最优长度值为 76.4 m，仿真结果显示当 l_j 接近 70~80 m 时，接近最优长度， N_{j4} 达到最大值。当 l_j 从 80 m 增加至 140 m 时， N_{j4} 逐渐随借道长度增加而减小，表明借道车道长度过长后，借道区域的部分空间未被有效利用，信号配时成为通行能力的主要限制因素。仿真结果符合原设想。从表 3 中可以明显观察到，优化后的交叉口左转通过总数明显多于正常交叉口左转通过车辆数，说明优化方案在提升交叉口左转通行能力的有效性。

Table 3. During the four-week period, the number of vehicles that turned left before and after optimization was analyzed
表 3. 四周期内优化前后左转通过车辆数分析表

左转车 流量 (veh/h)	借道 长度 (m)	4 个周期通过车辆数/veh				优化后左转通过 增加车辆数/辆
		正常交叉口		优化交叉口		
		左转通过数/辆	左转通过总数/辆	借直行车道通过 左转车辆数/辆	专用左转车辆通 过数/辆	
500	40	47	56	27	29	9
	50	49	60	29	31	11
	60	44	66	33	33	22
	70	41	76	39	37	35
	80	52	77	39	38	25
	90	51	74	36	38	23
	100	42	70	32	38	28
	110	38	67	28	39	29
	120	41	67	26	41	26
	130	39	67	25	42	28
	140	19	64	23	41	45

(2) 结果分析

在具体实施过程中，可根据交叉口的实际条件灵活调整借道左转车道的长度。以文中研究的交叉口为例，建议内嵌式左转车道长度可设置为 70~80 米。在保障交通安全和通行顺畅的基础上，这些长度选项能够最大程度地发挥内嵌式左转的优势，尤其在南进口方向可实现最优的左转效果。此外，与之配套

的左转预信号相位方案应根据选定的借道车道长度进行针对性设计，以确保整个借道左转系统的高效运行。通过这种方式，可以形成一套完整且适应性强的借道左转实施方案，为城市交通管理提供参考。

5. 左转交通组织方案评估推荐系统

5.1. 系统概述

本研究设计并开发了一套交叉口左转优化评估系统，该系统结合交通流量、交叉口几何结构及信号配时等关键参数，对不同左转方案的适用性进行评估，并自动推荐最优方案。系统的核心目标是提高交叉口左转通行效率以优化整体交通运行状态。

5.2. 主要功能

该系统主要包括以下四大模块(见图 8)。

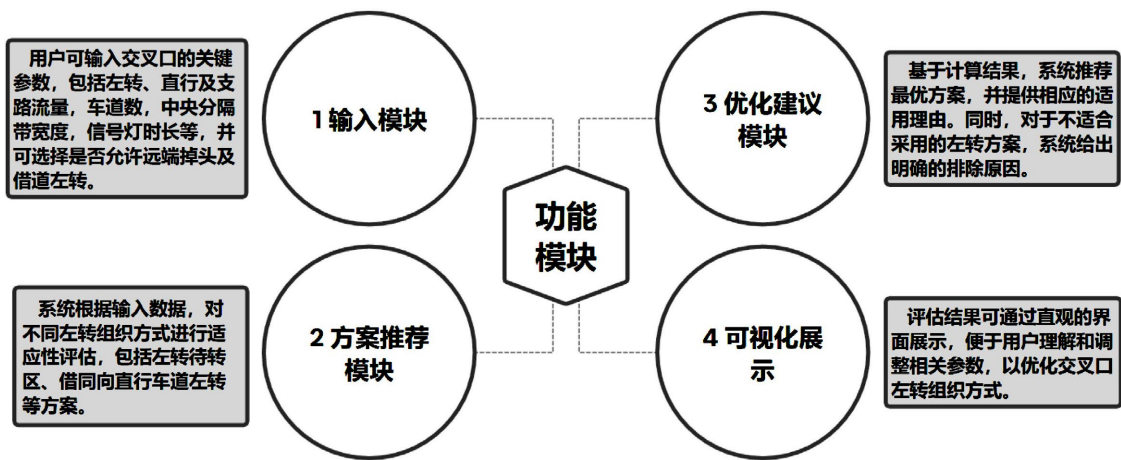


Figure 8. Diagram of the functional modules of the evaluation system
图 8. 评估系统功能模块图

5.3. 评估逻辑与原则

评估逻辑基于以下原则：

- (1) 流量匹配性：左转与直行流量的大小决定了是否适合借道左转、移位左转或设置左转待行区。
- (2) 道路几何条件：包括左转车道数、直行车道数、中央分隔带宽度等，确保推荐方案具备可实施性。
- (3) 信号配时适配性：如绿灯时长、预信号设置等，影响不同左转方案的通行效率。
- (4) 交通安全与通行效率：避免不合理的左转方案导致交叉口冲突增加或通行能力下降。

依据上述原则，制定评估逻辑与原则表(如下表 4)。系统首先筛选出可行方案，再依据优先级排序，最终推荐最优左转优化方案，并提供不推荐方案的原因说明，以确保评估结果科学合理。

Table 4. Evaluation logic and principle tables
表 4. 评估逻辑与原则表

方案	适用条件	推荐理由	不推荐理由	推荐优先级
远引左转	主路车道数 ≥ 6 ，且支路流量 ≤ 500 ，且允许远端掉头	适用于主干路与支路交叉，且支路流量较小的情况，可减少主路交通干扰，提高通行能力。	主路车道数不足 6 条或支路流量超过 500 或不允许远端掉头。	1

续表

移位左转	直行车道数 ≥ 3 且左转车道数 ≥ 1	适用于直行车道充足并且左转车道较少的情况,可减少左转相位,提高通行效率。	直行车道数不足 3 条或左转车道数不足 1。	2
左转待转区	左转车道数 ≥ 1 且绿灯时长 ≥ 20	适用于左转车道充足且信号灯时长较长的情况,有助于提高左转通行效率。	左转车道数不足或绿灯时长过短。	3
借对向车道左转	左转车流量 ≥ 500 且直行车流量 ≤ 1000 (主路宽度小于 6 车道时不推荐借对向左转)	适用于左转流量较大且对向直行流量较小的情况,能提高左转效率,但需控制对向干扰。	左转车流量不足 500 veh/h 或直行车流量超过 1000 veh/h。	4
借同向直行车道左转	左转车流量 ≥ 400 且直行车流量小于等于 1500	适用于左转流量较大且同向直行车流量也较大的情况,能提升交叉口利用率。	左转车流量不足 400 veh/h 或直行车流量不足 1500 veh/h。	5
U 型左转	主路车道数 ≥ 6 且中央分隔带宽度 ≥ 2.5 且允许远端掉头	适用于主路车道较宽且中央分隔带较宽的情况,可减少交叉口冲突点,提高安全性。	主路车道数不足 6 条或中央分隔带宽度不足 2.5 m 或不允许远端掉头。	6

5.4. 系统运作思路

该系统的运作思路如图 9 所示。用户输入交叉口各项参数,系统依据评估逻辑与原则表进行第一轮初步筛选,得到一种或多种左转优化方案;再依据左转延误与交叉口整体通行能力评价指标进行第二轮筛选,最终输出左转最优方案。



Figure 9. System operation diagram
图 9. 系统运作思路图

5.5. 界面展示示例

5.5.1. 方案输入界面示例

用户输入交叉口各项参数以及选择是否允许远端掉头等(输入界面如下图 10 所示)。

交通延误时间预测与交叉口优化方案推荐

左转车道数:
1

直行车道数:
2

绿灯时长 (秒):
30

左转车流量 (辆/小时):
600

直行车流量 (辆/小时):
2000

主路车道数 (双向):
4

中央分隔带宽度 (米):
2.5

支路流量 (辆/小时):
400

允许远端掉头:
☐ 是 ☒ 否

是否允许借道:
☐ 是 ☒ 否

提交

预测的延误时间 D: 18.43 秒/辆车

Figure 10. Enter the interface design
图 10. 输入界面设计图

5.5.2. 方案推荐输出界面示例

(1) 初步筛选结果展示(见图 11)

第一轮筛选结果	
方案	推荐理由
左转待转区	适用于左转车道充足且信号时长较长的情况，有助于提高左转通行效率。
移位左转	适用于直行车道充足并且左转车道较少的情况，可减少左转相位，提高通行效率。
借道左转	适用于左转流量较大且对向直行流量较小的情况，能提高左转效率，但需控制对向干扰。

Figure 11. Preliminary screening results display
图 11. 初步筛选结果展示图

(2) 最终筛选结果展示

第二轮筛选结果（最佳方案）	
最推荐方案: 移位左转 预测延误时间: 48.57 秒/辆车 交叉口整体通行能力: 371.03 辆/小时 适用于左转流量较高且道路条件允许的情况，可有效减少交叉口冲突，提高通行效率。 权威依据: 参考《城市道路交叉口设计规范》(CJJ 152-2010)	
不推荐方案及理由	
方案	不推荐理由
左转待行区	左转流量不在200-500pcu/h范围内或交叉口几何条件不满足。
U型左转	主路流量超过200pcu/h或道路条件不满足要求。

Figure 12. Final screening results display
图 12. 最终筛选结果展示图

根据输入参数，结合预定义的规则，推荐适合的左转车道优化方案。如图 12 所示，某交叉口输入参数包括：左转流量 600 辆/小时，直行流量 2000 辆/小时，绿灯时长 30 秒等。系统经过两轮评估后，最终推荐移位左转方案，并给出推荐理由。同时，系统排除了借道左转、设置左转待行区等其他左转方案，并给出了不推荐理由。

6. 结论

本研究围绕交叉口左转通行能力优化问题，提出了一种基于内嵌式左转待行区的借同向直行车道左转交通组织优化方案，并结合预信号控制策略，以提高左转通行效率并减少对直行流的干扰。通过假设检验方法，验证了借道长度与左转通行能力之间的关系，研究发现当借道长度在 70 m~80 m 范围时，左转通行能力达到最优。同时，合理的预信号配时方案能够有效减少直行车流的干扰，使交叉口整体通行效率得到提升。进一步地，为了提高优化方案的适用性和可操作性，本文开发了一套左转优化评估系统，该系统能够综合考虑交叉口的交通流量、几何结构及信号配时参数，自动评估并推荐最优左转优化方案，从而为交叉口的左转组织提供智能化决策支持。

本研究的成果不仅丰富了借道左转优化的理论体系，也为交叉口信号控制和交通管理提供了实践指导。未来的研究可以进一步结合不同类型交叉口的交通特征，优化预信号控制策略，并引入更加智能化的优化算法，以提升系统的适应性和优化能力，从而更广泛地应用于复杂城市交通环境。

基金项目

南京工业大学青年教师科研启动基金项目(3827400205)。

参考文献

- [1] 张生, 滕康明, 苏伟鹏. 信控交叉口借道左转设计的延误优化研究[J]. 交通科学与工程, 2024, 40(1): 107-115.
- [2] 赵展轮, 汤雅杰. 信号交叉口借道左转设计方法研究[J]. 交通与运输, 2024, 40(1): 12-16.
- [3] 罗丹丹, 陈群. 借道左转交叉口的适用条件与特性分析[J]. 计算机工程, 2019, 45(6): 21-25, 31.
- [4] 王满福, 潘福全, 张丽霞, 等. 对称式移位左转交叉口优化设计与仿真[J]. 交通工程, 2023, 23(3): 44-51.
- [5] 刘晓佳, 李子木. 设置移位左转车道的不对称交通流信号交叉口设计及优化[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2023, 42(2): 86-92.
- [6] 郑应成. 基于移位左转设计的交叉口信号配时多目标优化[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2022.
- [7] 张卫华, 陈靖生, 董瑞娟, 等. T 型交叉口主路左转远引设置方法及延误研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2018, 37(11): 91-96.
- [8] 邓明君, 曲仕茹, 秦鸣. 基于延误的 U-turn 交通组织可行性分析方法[J]. 公路工程, 2014, 39(6): 119-123.
- [9] 张国. 不同交通状况对 U 型左转影响研究[J]. 黑龙江交通科技, 2022, 45(12): 173-175.