



Y1730231

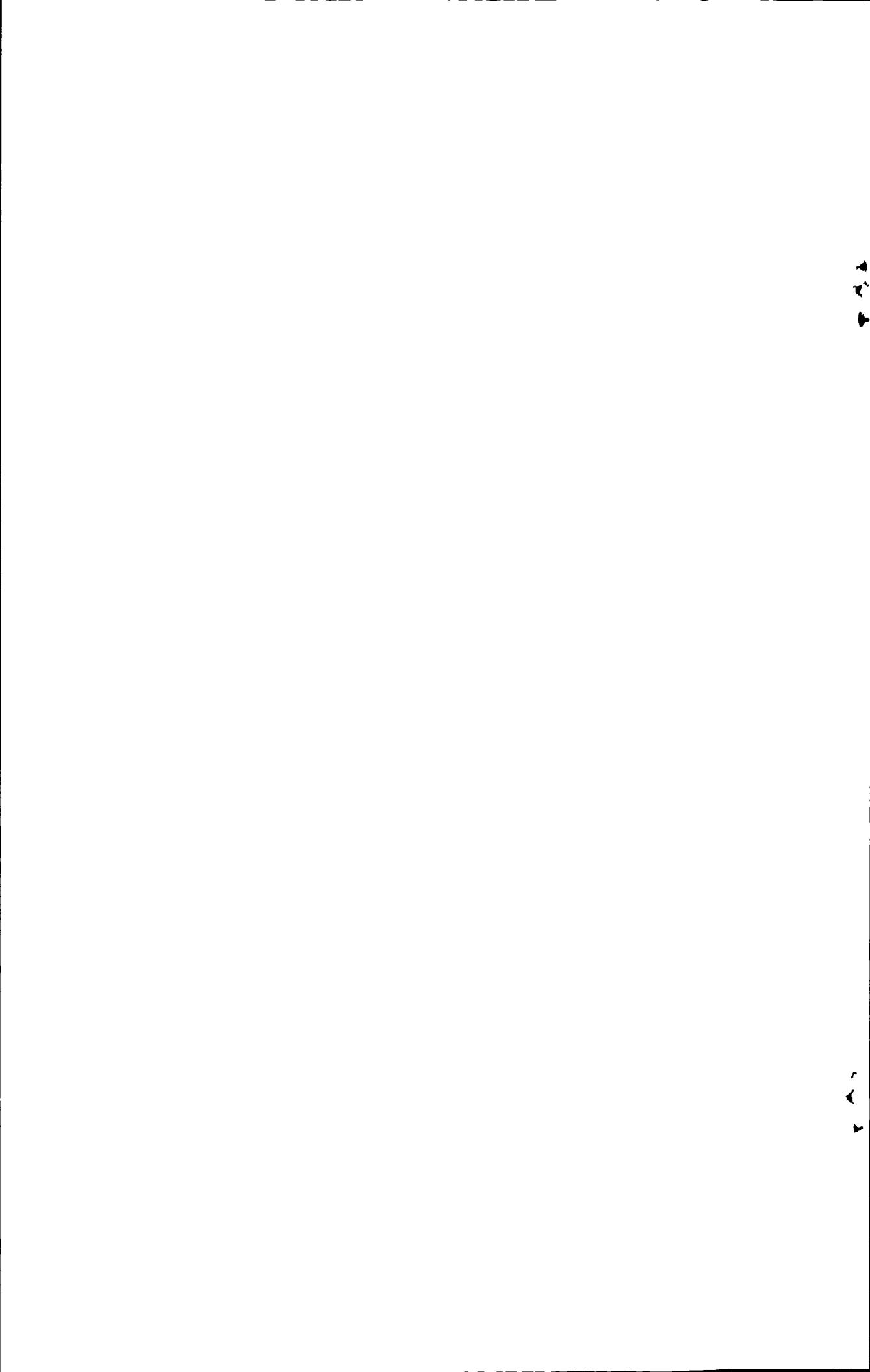
**Research on the Organization and Management of
Left-turn Traffic at the Urban Road Signalized
Intersectons**

A Dissertation Submitted for the Degree of Master

Candidate: Luo Rongfeng

Supervisor: Prof.Zhang Biqin

Chang'an University, Xi'an, China



论文独创性声明

本人声明：本人所呈交的学位论文是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表的成果。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：罗荣锋

2010年6月10日

论文知识产权权属声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属学校。学校享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为长安大学。

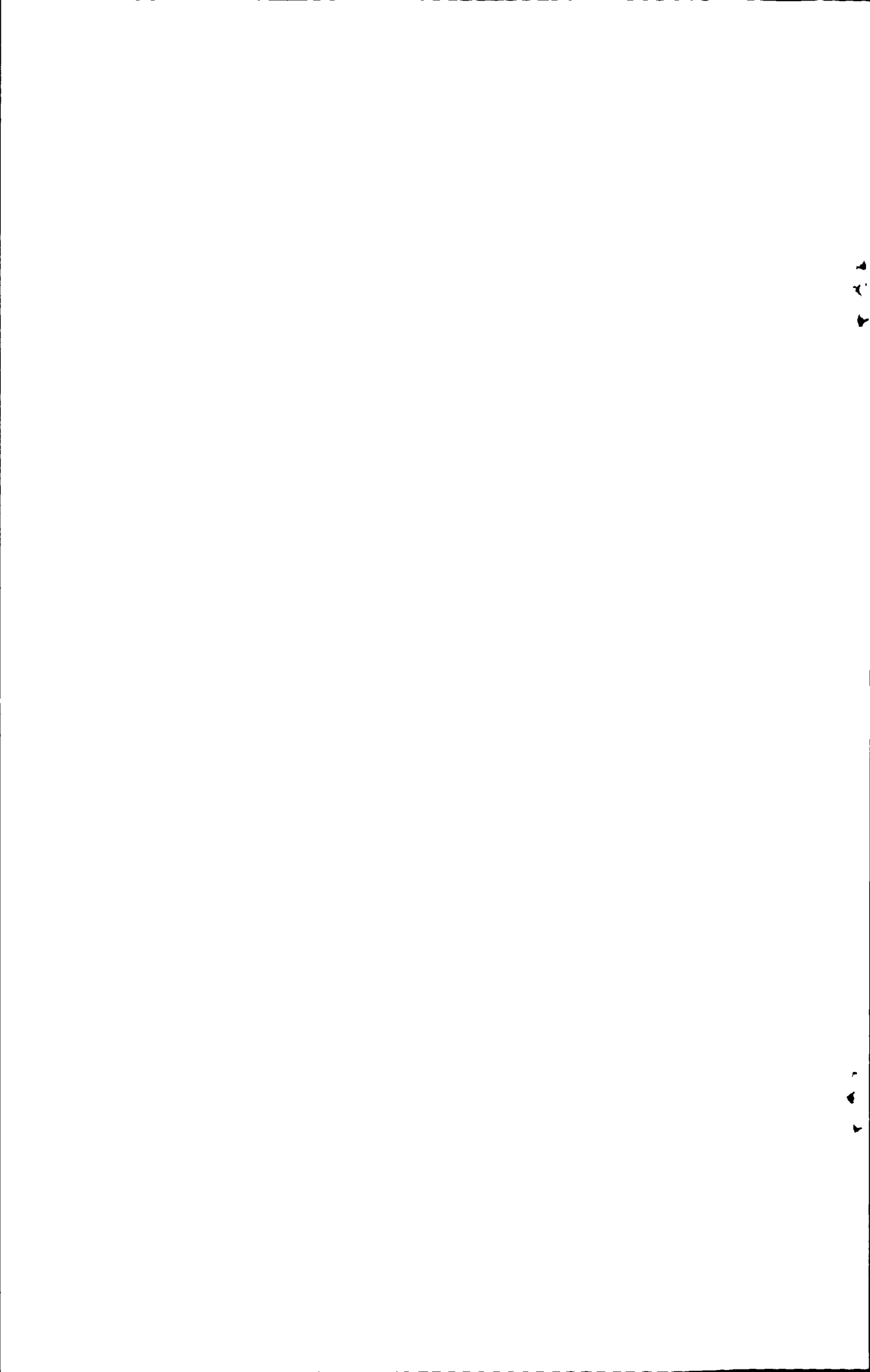
(保密的论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名：罗荣锋

2010年6月10日

导师签名：张碧兴

2010年6月10日



摘 要

随着我国城市化进程的进一步加快,城市道路建设得到了快速发展,随之而来的问题是交通公害日益严重,而尤以交叉口为甚。在交叉口中最为重要的是左转交通流的组织与管理,原因在于左转车流产生的冲突点最多。因而,左转车流的组织正确与否是改善交叉口交通秩序的关键,也是平面交叉口交通流组织与管理的难点。

论文针对目前交叉口左转交通流组织管理的交通现状,具体应用了概率论、交通工程学、数学等学科的知识,通过理论总结和实际分析相结合的方法,研究城市道路平面信号交叉口左转车流的交通运行特性,较为详细地提出了左转交通流处理的各种思路与方法。阐述了交叉口复杂度的理论来证明禁止左转的必要性,提出禁止左转可通过交通量的疏导来处理平面交叉口的左转冲突,具体方法有:远引交叉,利用街道先右转后实现左转,立交平做和设置环岛;针对目前我国对特定平面交叉口都采用禁止左转不太现实,提出了设置左转专用车道的理论依据、措施、左转专用车道的数量、设置方式和长度的确定方法,从而在道路空间资源上优化了整个交叉口;讨论了保护式左转相位的设置依据和基于保护式左转相位的相位类型;提出了左弯待转区的几何上和信号配时上的设置的约束条件,提高了交叉口的交通运行的效率与安全。最后,本文以西安市高新十字平面交叉口为例,运用上述方法对其进行了交通组织,证明本文所述左转交通流组织方法的合理性与可行性。

本文的研究为城市道路平面信号交叉口的左转交通流的组织和管理有借鉴意义。

关键词:信号交叉口、左转交通流、左转冲突、左转专用车道、保护式左转相位、左弯待转区

Abstract

As China further accelerate the process of urbanization, urban road construction has been rapidly developed, and which followed by a more serious traffic hazard, and especially at the intersection. In the organization and management of traffic flow at the intersection, the most important part is the left-turn traffic. Because the left-turn traffic flow generates the most conflicts of traffic. Thus, the appropriate organization of the left-turn traffic plays the important role to improve traffic order of the intersection, which is also hard to deal with.

With the application of probability theory, traffic engineering, mathematics and other disciplines of knowledge, this paper analyzes the situation of the current organization and management of left-turn traffic flow in the intersection, and explains the characteristics of the left-turn traffic, through the method of combining of theoretical summary and practical analysis, proposes various ideas and method of dealing with the left-turn traffic flow. In this paper the complexity theory of the intersection is used to explain the prohibition of left-turn traffic. And by the way of diverting traffic volume to deal with the intersection conflicts, some means are used, which are distracting crossing to further point, to achieve the need of turning left by the way of turning right through the streets, using overpass, using circular traffic island. Obviously, it is not properly to prohibit left-turn in each intersection in our country. The precautions of setting the left-turn lane in the intersection is put, and some notes are commented also, including the number, setting manner, length and width of the left-turn lanes, thus the entire intersection is optimized by the road space resources. Later the basis of protected left-turn phasing is discussed and some phase types are explained. And then the concept of waiting area for left-turning is mentioned. Some constraints are discussed including geometry and signal timing constraints. Finally, after using the method put in this article, Xi'an Gao-xin cross intersection is carried out to prove the method of organization and management of left-turn traffic is reasonable and feasible.

This research is referenced to the organization and management of the left-turn traffic in the urban road signalized intersections.

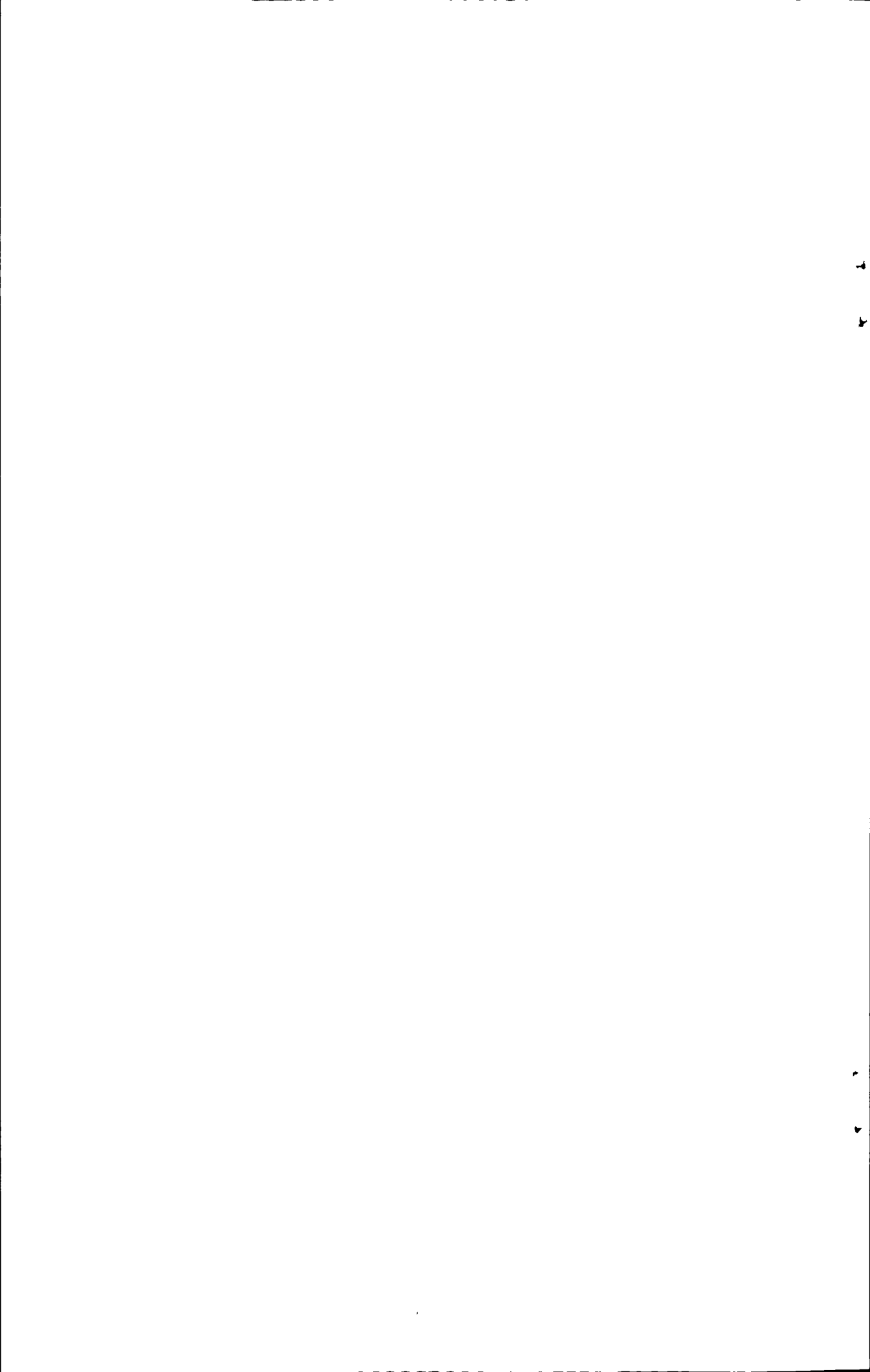
Key words: signalized intersection; left-turn traffic; the conflict of left-turn; Left-turn lane; protected left-turn phasing; waiting area for left-turning

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究意义.....	3
1.2 国内外研究现状.....	3
1.3 本课题的研究内容和思路.....	6
1.3.1 研究内容.....	6
1.3.2 研究技术路线.....	7
1.4 本章小结.....	7
第二章 信号交叉口左转交通流组织原则与方法.....	8
2.1 平面交叉口左转交通流的交通影响分析.....	8
2.1.1 交通流的相关概念.....	8
2.1.2 交通冲突.....	8
2.1.3 左转车流的冲突点分析.....	9
2.1.4 左转车流的时空冲突点分析.....	9
2.1.5 左转车流的时间冲突分析.....	11
2.1.6 左转交通流的交通影响分析.....	11
2.2 禁止左转的理论与实践.....	12
2.2.1 禁止左转的理论分析.....	12
2.2.2 禁止左转的优点.....	14
2.2.3 禁止左转的交通组织方法.....	15
2.2.4 禁止左转的适用条件.....	18
2.3 本章小节.....	19
第三章 信号交叉口左转专用车道的设置.....	20
3.1 左转专用车道设置的理论.....	20
3.1.1 设置左转专用车道的必要性.....	20
3.1.2 左转车道的设置依据.....	21
3.2 左转专用车道的几何设计.....	22

3.2.1 左转专用车道的数量	22
3.2.2 左转专用车道的设置方式	23
3.2.3 左转专用车道的长度	27
3.2.4 左转专用车道的宽度	32
3.3 本章小结	32
第四章 信号交叉口左转相位设计	33
4.1 单个交叉口信号控制概述	33
4.1.1 交通信号灯及其设置依据	33
4.1.2 信号控制的类型	34
4.1.3 信号控制的基本参数	35
4.2 信号配时计算方法	36
4.2.1 计算信号配时常用公式	36
4.2.2 定时信号配时基本方法	37
4.3 左转相位设计	39
4.3.1 左转相位的分类	39
4.3.2 保护式左转相位的设置条件	40
4.3.3 保护式左转相位的设置依据	40
4.3.4 保护式左转相位形式的判定	46
4.3.5 保护式左转相位方案的类型	47
4.4 本章小节	53
第五章 左弯待转区的设置	54
5.1 引言	54
5.2 设置左弯待转区的临界条件	56
5.2.1 左弯待转区设置的几何上的要求	56
5.2.2 左弯待转区设置交通流量上的要求	58
5.2.3 左弯待转区设置在信号配时上的要求	59
5.3 本章小结	62
第六章 工程实例	63
6.1 实例概况分析	63
6.1.1 调研内容	63

6.1.2 调研结果整理与分析.....	63
6.2 左转交通流的组织方案.....	65
6.3 微观模拟与分析.....	68
6.4 结论.....	70
结论与建议.....	71
1.本文主要结论.....	71
2.进一步研究的建议.....	71
参考文献.....	72
读研期间发表的论文和完成的科研成果.....	74
致 谢.....	75



第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

随着我国国民经济的迅猛发展和城市化进程的推进,我国居民汽车保有量迅猛提高(见图 1.1),我国城市道路交通量也急剧飙升,随之而来的是交通拥挤日益严重,交通事故频发,且噪声污染和大气污染加剧。尤其是道路交通安全问题更为引人关注(见表 1.1 和图 1.2)。

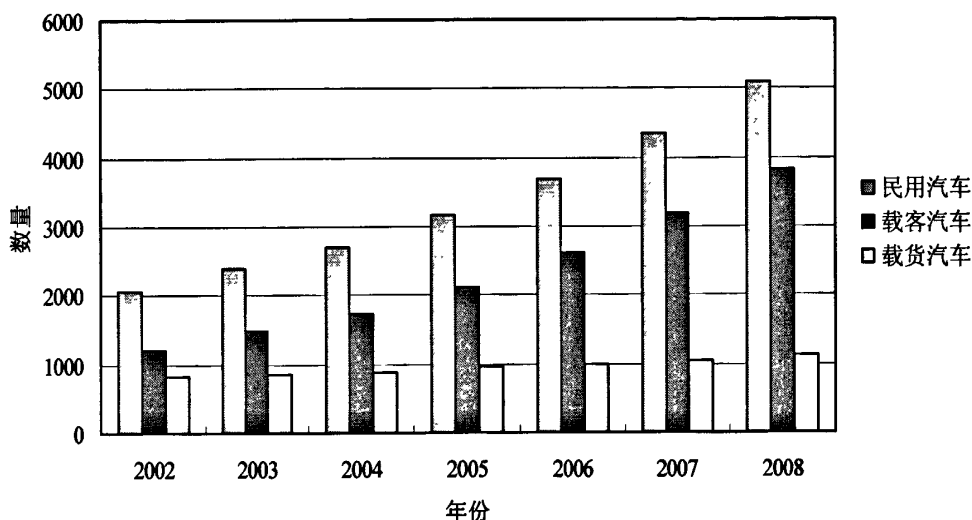


图 1.1 2002-2008 年中国民用汽车拥有量^[1]

表 1.1 1993-2000 年北京市道路交通事故情况^[2]

年份	次数	死亡/人	受伤/人	直接财产损失/元
1993	6966	462	2878	41502360
1994	9683	459	3645	60132287
1995	11035	457	3834	68119918
1996	14686	851	4237	93784534
1997	25144	927	5674	135890657
1998	35778	1487	8488	164546223
1999	32291	1502	10607	155392510
2000	32378	1459	10583	137775078

1970~2008年道路交通事故示意图

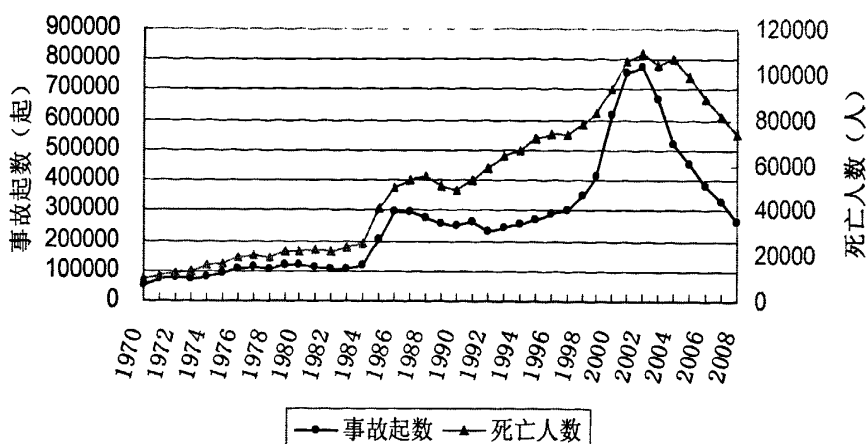


图 1.2 1970-2008 年我国道路交通事故情况表^[2]

造成我国城市道路上上述交通问题的原因主要有以下几个方面^[3,14]：①道路交通基础设施建设速度跟不上交通需求增长速度是造成大城市道路交通拥挤的直接原因；②交通管理措施跟不上城市交通的发展的需要，现有道路利用率不高，加重了城市的道路交通紧张状况；③居民出行交通结构不合理，道路通行优先权不明确，诱发了大量的路面使用需求量，加重了城市的道路交通压力；④市民的现代化交通意识淡薄，交通违纪现象严重，交通秩序混乱，使已紧张的城市道路交通雪上加霜。

与国外西方发达国家的道路交通环境相比，我国的道路交通环境别具一格，其特征是混合交通，即道路上各种车型都占有一定的比例。这种现象在城市道路中尤为突出。机动车、自行车和行人互相干扰，这种现象在城市道路中尤为突出。混合交通更易于引发交通秩序混乱，导致堵车，带来交通事故。另一方面，相对于路段而言，在交叉口处有三个不同方向的交通流：右转交通流、直行交通流和左转交通流。这三股车流引发的合流、分流、交叉与冲突等行为使交叉口的交通秩序显得十分复杂，造成交叉口中发生的交通事故在整个交通事故数量的比重居高不下（见图 1.3），因此，交叉口往往成为城市交通问题治理的关键点。

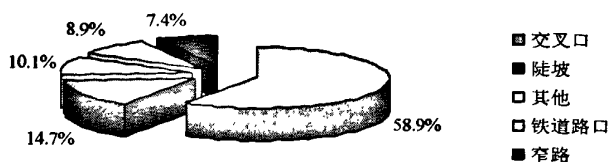


图 1.3 道路交通事故分类图^[4]

1.1.2 研究意义

相关统计资料表明,在平面交叉口中,左转交通引发的交通事故在平面交叉口中总的事故比例中占有很大比重(见表1.2)。

表 1.2 西安市交叉口事故与左转车相关的统计表^[5]

交叉口 事故描述	小寨十字	太白与二环路 交叉口	北大街十字	纬二街与 长安南路 交叉口	汉城南路与 丰镐西路交 叉口
事故数量	21	15	14	27	11
与左转弯车辆相 关事故数	6	4	5	8	2
所占比例(%)	28	27	35	30	18

同时,研究表明,车行道超过 2/3 的交通事故与左转车辆有关,左转车流不但增加了冲突和也是引发交叉口交通事故的主要原因之一^[6]。因此,左转车流的组织正确合理对于平面交叉口,不论是无信号交叉口或信号交叉口,在提高交叉口安全性方面都具有显著的效果。据已有的文献报道,将左转车辆从直行车道中分离,可以使事故率降低 18-77%,对于信号交叉口,不同的相位设置,这一数据不相同;而对于无信号交叉口,设置左转车道的平均事故率(每百万左转车)仅是无左转车道的 23%,对于信号交叉口这一比例是 46%^[6]。

综上所述,交叉口的交通事故与左转交通流密切相关。所以无论是提高交叉口的通行能力,还是从保证交通安全来讲,左转交通流组织合理与否极为关键。因此,对平面交叉口左转交通组织方法进行研究,有着十分重要的现实意义。

1.2 国内外研究现状

◆ 禁左交通

国外学者的主要代表性成果有: Herbert S. Levinson. 在第四次 AM 学术年会报告《Indirect Left Turns—the Michigan Experience》中采用远引调头取代直接左转的交通组织方法。即对有足够宽度的中央分隔带(12m 以上)的情况,改直接左转为远引调头措施。研究结论表明:①在通行能力方面,远引调头的路口的通行能力比设置两个左转专用车道的交叉口的通行能力要高出近 14%-18%;②事故率方面,采用远引调头的是直接左转的三分之二;③在延误方面,仿真后表明远引调头的平均延误值要比直接左转的平均延误值小许多,且随着路网饱和度的增加这一趋势更加明显^[7]。

国内的学者的主要代表性成果有:袁静,张生瑞^[8],以平面交叉口总延误最小为目标,对有中央分隔带的交叉口,利用分隔带实现左转,计算得到渠化设置的交叉口流量

条件, 并得到中央分隔带左转入口的具体位置设置方法。葛怀群^[5], 对禁止左转交通的组织理论进行了分析, 并对禁止左转后交叉口的通行能力变化、服务水平和交通量的重新分配进行了分析, 指出禁左的优越性。贾朝坡^[9]对信号控制交叉口讨论了禁左交通组织的实施条件、组织方式及各组织方式的适用条件, 并评价了其优缺点。最后, 提出了禁左交通效果的评价原则并推导出了“系统”评价的计算方法。

◆ 左转专用车道

国外学者的主要代表成果有: HCM2000^[10]主要从对向交通量、左转交通量、安全三个方面来考虑左转车道的布置, 建议在以下情况设置左转专用车道: ①交叉口空间场地条件充分, 且左转交通量超过 100veh/h; ②采用左转保护相位; ③如果左转交通量超过 300veh/h, 应考虑设置两条左转专用车道。

国内学者的主要代表成果有: 深圳大学的王京元, 庄焰^[11], 运用排队论、概率论和交通流理论, 以交叉口运行效率为目标, 对信号交叉口的左转车道设置依据进行了研究。

吉林大学的林丽丽^[12]对左转车道设置的流量临界条件进行了理论分析。

◆ 左弯待转区

国内学者的主要代表成果有: 吉林大学的李丽丽^[12], 运用累计曲线法、交通波理论分析得到左转车流的排队长度, 总结了左弯待转区设置的临界条件: 几何条件、流量条件、信号配时条件并对左弯待转区的运行效果进行了分析。东南大学的王京元^[13], 总结了左弯待转区设置与相位的关系。倪颖、李克平、徐洪峰^[14]运用“冲突点法”和交通流波动理论, 分析了设置左弯待转区对左转车平均停车次数、通行能力的影响。金勇^[15]在其硕士论文中对实际应用左弯待转区的优缺点进行了详尽的分析, 指出在实际工程设计中的应该注意的事项。

◆ 左转保护相位

国外有代表性的研究成果: 国外的专家学者在寻找设置左转相位的标准时, 各执一端未能达成一致的设置依据。

1988年Edmond Chin-Ping Chang从影响左转相位的因素: 左转交通量、左转交通量与对向直行交通量的乘积、对向直行车道数、对向行车速度、交叉口视距以及左转事故数量等入手, 将左转相位分为保护式、允许式、保护/允许式三类, 认为设置左转保护相位, 只要满足以下条件时即可^[16,35]:

- 1) 视距受到明显阻碍, 不能满足运行需要;
- 2) 左转事故频繁;

- 3) 每周期有不少于2辆左转车辆的情形;
- 4) 对向行车速度不小于45mph;
- 5) 对向直行车道数量不少于3条数。

1996年Pline基于延误、左转车流量、交叉口的通视情况和安全状况提出了设置左转保护相位的准则, 阈值如下^[17]:

- 1) 进口道上每个周期有多于2辆左转车辆在绿灯末期等待通过时;
- 2) 在高峰小时内, 对向直行车流量与左转车流量的乘积大于100000时;
- 3) 在高峰小时内, 左转车流量大于100时。

2001年AI-Kaisy从延误的思路分析并通过数学回归分析的方法得到左转保护相位下左转车流量的阈值, 结论如下^[18]:

设一个左转车道时:

$$Y = 935 - 94.4 \ln X_1 - 0.99 X_2 \quad (1.1)$$

直左转共有车道时:

$$Y = 1060 - 324 (\ln X_1)^{0.5} - 0.29 X_3 \quad (1.2)$$

式中:

- Y ——左转车流量的阈值 (veh/h);
- X_1 ——交叉车流量 (veh/h);
- X_2 ——对向直行车流量 (veh/h);
- X_3 ——同行直行车流量 (veh/h)。

美国的交通信号设计手册对设置左转保护相位的最小要求、混合条件规定如表1.3所示^[19]。

表1.3 设置左转保护相位的条件规定

设置左转保护相位的最小要求	说明
1) 左转视距受限; 2) 对向直行车道不小于3条; 3) 采用保护/允许式相位, 3年内交叉口的交通事故中, 每年有多于5起与左转行为有关。	当满足条件之一, 考虑设置左转保护相位。
左转保护相位设置的混合条件	说明

表1.3 设置左转保护相位的条件规定(续)

左转保护相位设置的混合条件	说明
1) 有两条左转专用车道; 2) 采用保护/允许式相位, 3年内交叉口的交通事故中, 每年有多于5起与左转行为有关; 3) 左转视距受限时; 4) 高峰期内左转车流量不小于 240veh 或左转车流量与对向直行车流量的乘积不小于 80000; 或当有两条对向直行车道时, 乘积不小于 100000)。	当满足两个或以上条件的时, 考虑设置左转保护相位。

国内有代表性的研究成果: 吉林大学的李丽丽^[13]通过排队论等方法, 建立了左转车延误模型, 推导了在不同左转相位形式设置的临界条件。成卫^[20]根据数学线性回归方法, 计算了左转专用车道和直左共用车道的交通量阈值。

1.3 本课题的研究内容和思路

1.3.1 研究内容

综合前述分析, 本论文旨在通过对左转交通流特性进行分析, 考察左转交通流引发交通事故的综合原因和症结, 并运用交通工程学, 数学, 概率论、计算机科学等知识, 通过国内外相关文献与著作的阅读, 理论分析与实际交通调查相结合, 提出了交叉口左转交通流进行管理与控制的措施, 以达到减少延误, 降低交叉口交通事故率, 提高交叉口通行能力的目的, 从而保证整个路网交通运行的安全与畅通。

本论文研究的主要内容如下:

(1) 信号交叉口左转交通流的组织原则与方法: 通过对城市道路信号交叉口左转交通流的交通特征进行分析, 概括左转交通流的时间与空间特性, 阐述禁止左转通行的理论依据, 从而提出禁左的交通组织方法, 并提出相应的交通流组织方法;

(2) 信号交叉口左转专用车道的设置: 介绍交叉口左转专用车道设置的基本理论依据, 探讨交叉口左转专用车道的设置方法, 包括左转专用车道设置的方式、设置的数量和长度的确定方法。提出增加左转专用车道进口处可视性的措施, 以及左转专用车道的宽度的要求;

(3) 信号交叉口左转相位的设计: 分析左转相位的分类, 根据影响交通流左转的相关因素, 推导交叉口中设置保护式左转相位的设置条件和依据, 并介绍信号交叉口保护式左转相位设置的判定流程和相位方案类型, 并详细地分析各种左转相位设置的注意

事项；

(4) 信号交叉口左弯待转区的设置：介绍左弯待转区的优点，信号交叉口中设置左弯待转区与相位的关系，左弯待转区设置时对交叉口的几何条件、交通流量和信号配时的约束条件；

1.3.2 研究技术路线

课题的研究技术路线为通过国内外相关资料查阅与工程实际调查相结合、理论分析与数值分析相结合等技术手段，对信号交叉口左转交通流组织方法进行研究。本课题研究的主要技术路线如图 1.4 所示。

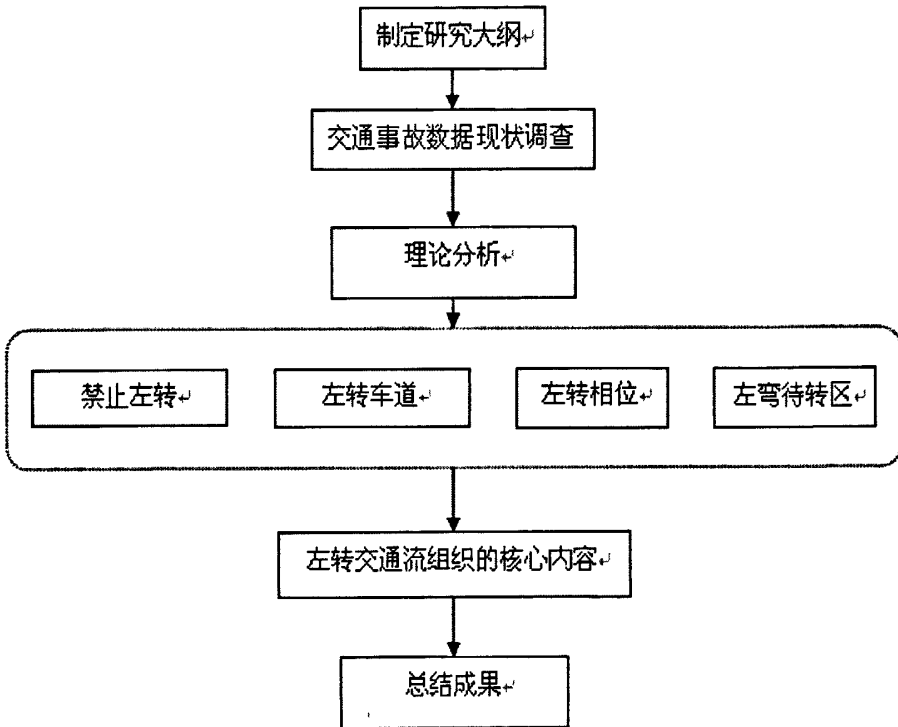


图 1.4 技术路线图

1.4 本章小结

本章介绍了本课题的研究背景及意义，并回顾了国内外对于左转交通流组织和管理的研究现状，最后概括了本论文的研究内容与研究的技术路线。

第二章 信号交叉口左转交通流组织原则与方法

2.1 平面交叉口左转交通流的交通影响分析

2.1.1 交通流的相关概念

交通流,即是在道路上通行的车流与人流的统称。根据组成成分的性质,交通流可分为非机动车流、机动车流和行人流;考虑交通设施的影响,又可分为间断流和连续流。

间断流指由于外界因素,如交叉口标志或信号的原因,使道路上行驶的车辆停车,车流中断;连续流是指没有外部固定因素(如交通信号)影响的不间断交通流,如高速公路的基本路段、双车道和多车道的交通流^[21]。

在道路上行驶的各种车辆,随着交通环境、道路条件和驾驶员特性不同其运行状态表现各不相同。尽管如此,但通过大量交通观测、调查、分析后,发现它们在宏观上是有规律性的。这种交通流运行状态的定性、定量特征称为交通流特性。

为了研究的方便,交通工程师常用交通流参数的物理量来描述和反映交通流特性。交通流参数又分为宏观参数和微观参数。宏观参数是描述交通流作为一个整体表现出来的特性。微观参数是描述交通流中彼此相关的单个车辆之间的运行特性。

2.1.2 交通冲突

纵观城市道路交通问题,交叉口时常出现交通拥堵,引发交通事故。而交通冲突是导致交通延误和交通事故的根源。在城市道路平面交叉口,当两股不同流向的交通流同时通过空间某点时,就会产生交通冲突,而该点就称为冲突点。

交通冲突按其形成方式不同可分为交叉冲突、合流冲突、分流冲突三种类型。

因此,冲突点可分三类:交叉冲突点、合流冲突点和分流冲突点,如图 2.1 所示。后两种统称为交织冲突点。按发生地点分可分为固定冲突点和随机冲突点。

由此可见,城市道路交叉口的交通问题根源有:一、城市道路系统中,平面交叉口占有相当大的比重;二、从交通流特性来看,来自不同方向的车流在交叉口分、合流或交叉冲突。因而,平面交叉口是制约城市道路通行能力的“瓶颈”,也是城市道路交通问题治理的关键。

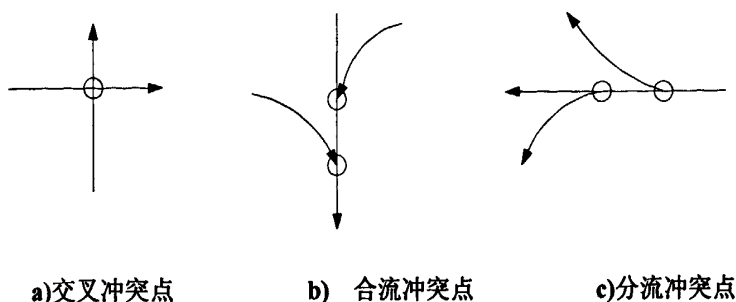


图 2.1 交通冲突的三种形式

2.1.3 左转车流的冲突点分析

城市道路平面交叉口汇集着来自各进口道的交通流，各股交通流在交叉口内实现转向，因此存在三个方向的交通流：右转车流、直行车流与左转车流。

在没有采取交通措施的情况下，交叉口处左转车辆与左转弯车辆、左转弯车辆与对向（横向）的直行车辆在交叉口处，均会产生交叉冲突点。并且，通常情况下交叉冲突点对交叉口处的行车安全的影响比分、合流点要大得多，对行车安全更具危险性。因此，必须对左转车流的交通特性进行分析以更好地认识左转交通组织方法。

2.1.4 左转车流的时空冲突点分析

以全转向的双车道相交道路进行分析，不限制左转，如图2.2所示，则有3个交叉冲突点；限制某一方向左转，交叉冲突点降至1个，如图2.3所示；但是，限制左转，如图2.4所示，显然无交叉冲突点。

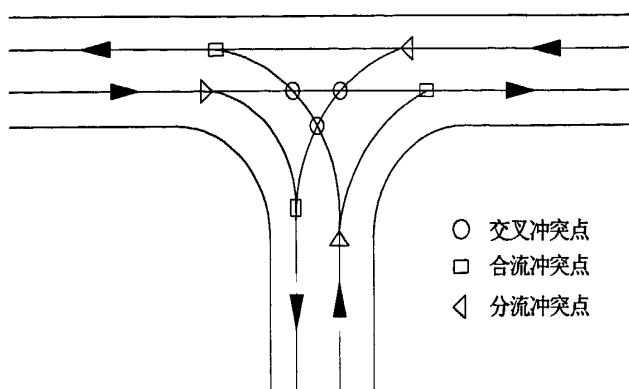


图2.2 不限制左转(三路交叉)

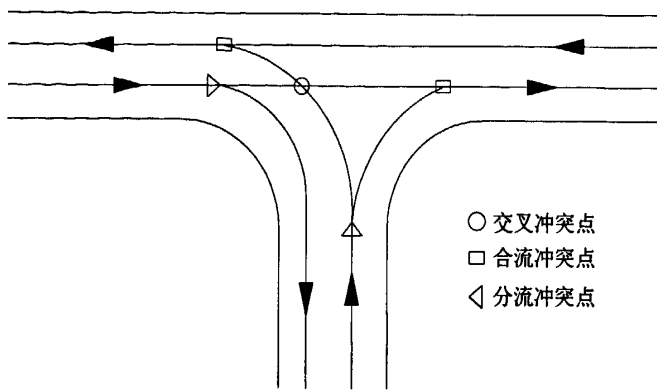


图2.3 部分限制左转（三路交叉）

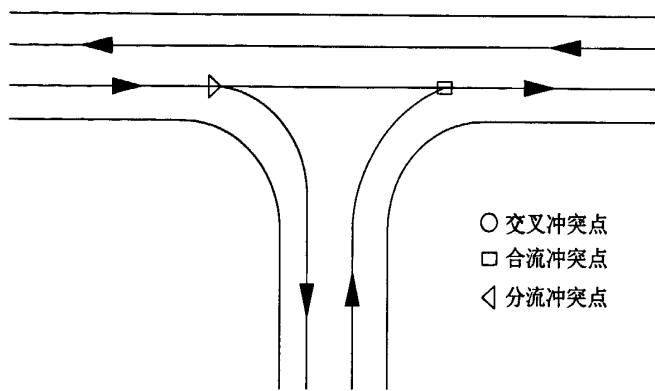


图2.4 限制左转（三路交叉）

同样，对十字形交叉口进行分析，如图2.5所示，当其不限制左转时，交叉冲突点有16个；禁止任意2个方向左转，其数量就从16个降至9个，如图2.6所示；如图2.7所示，完全限制左转，则只有4个。

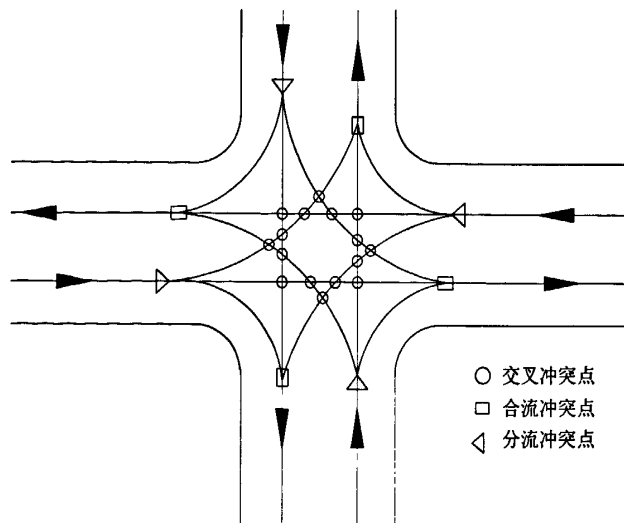


图2.5 不限制左转（四路交叉）

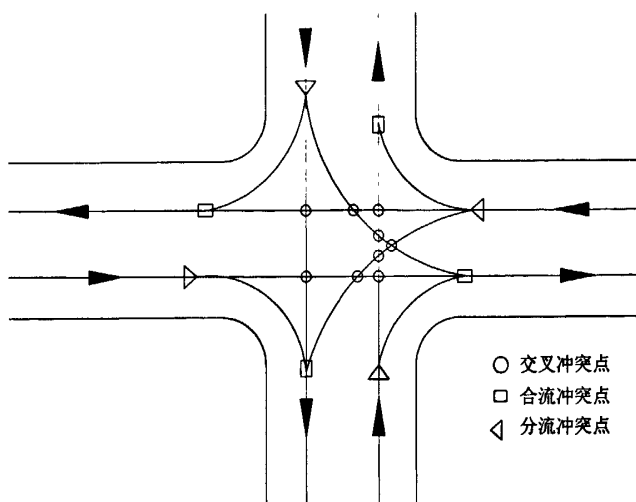


图2.6 部分限制左转（四路交叉）

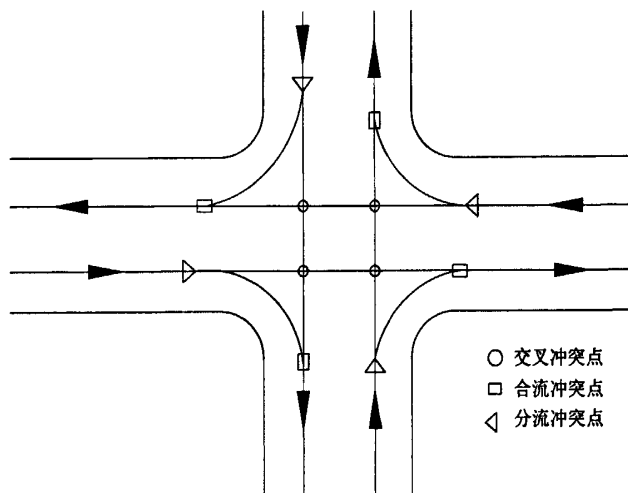


图2.7 限制左转（四路交叉）

由上面的分析，从反面可以说明，通常情况下交叉口交叉冲突点数是随相交道路条数增加而呈几何级数增加，其中尤以左转交通产生冲突点最多。因此，对左转交通流的管理与控制有非常重要的现实意义。

2.1.5 左转车流的时间冲突分析

当左转车流通过平面交叉口时，由于停车标志、交通信号、让路标志以及平交道口等原因造成的时间延误，即为左转车流的时间冲突。另外的情形是，没有左转保护相位的情况下，左转交通流要利用对向直行交通流的“空档”通过，当直行车流量大时，左转车流可能没法在绿灯时间内清空，从而造成延误。

2.1.6 左转交通流的交通影响分析

综上，可见左转交通流引发的主要交通问题有^[22]：

- 1) 使平面交叉口中的交叉冲突点剧增。
- 2) 左转车流不能及时清空, 造成交通拥堵和绿灯时间损失。当平面交叉口内的直行交通量远大于左转交通量时, 左转交通则不容易找到可穿越间隙, 如果左转交通量亦很大时, 在单位信号周期内左转车辆不能及时完全清空, 影响了下一相位的车辆的通行, 造成交通滞留, 形成拥堵。
- 3) 对非机动车和行人过人行横道的影响。在两相位控制的情况下, 左转车辆恰好与同相位放行的非机动车和行人在人行横道处形成冲突, 危机行人的出行安全。

2.2 禁止左转的理论与实践

同前面的分析, 我们知道平面交叉口的冲突点形式有三种(如图 2.8 所示): 分流点、合流点和交叉点。假设我们可以通过较为科学且合理的折算方法, 将三种的冲突点以一定的标准进行折算, 这样就可以客观地比较平面交叉口的复杂性了。下面将阐述这种方法。

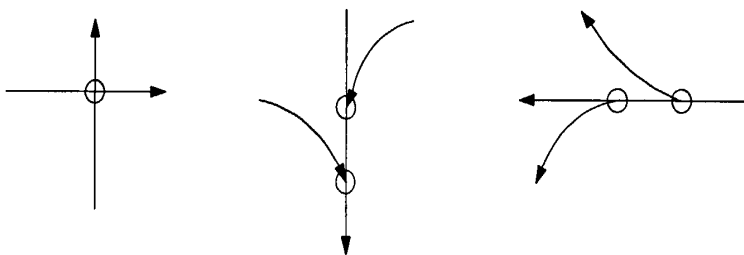


图 2.8 交通冲突点(从左至右, 依次为交叉冲突点, 合流冲突点和分流冲突点)

2.2.1 禁止左转的理论分析

前苏联的研究报告指出, 对于三类冲突点有下面换算关系, 如表 2.1 所示。

表 2.1 冲突点换算关系表

冲突点类型	分流点	合流点	交叉点
换算系数	1	3	5

用 A 表示交叉口的复杂程度指标, 由上面分析有下式:

$$A = K_B n_B + K_M n_M + K_C n_C \quad (2.1)$$

式中: K_B ——分流点换算系数;

K_M ——合流点换算系数;

K_C ——交叉点换算系数;

n_B ——分流点个数;

n_M ——合流点个数;

n_C ——交叉点个数。

于是根据表 2.1, 式 (2.1) 可简化为下式:

$$A = n_B + 3n_M + 5n_C \quad (2.2)$$

下面以三、四、五路交叉口为例进行说明, 且假设相交道路均为双车道, 如图 2.9 所示。

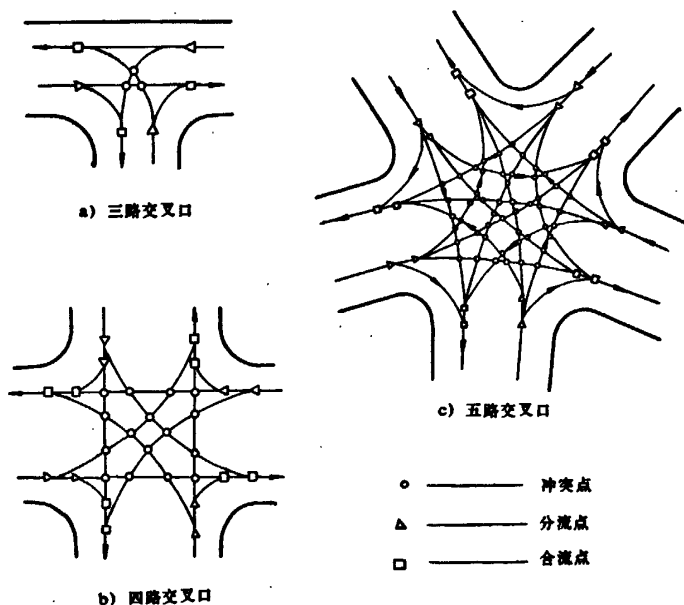


图 2.9 平面交叉口冲突点 (冲突点即为上面所述的交叉点)

据公式 (2.2), 可得出禁止左转后, 各交叉口复杂程度指标表 (表 2.2)

表 2.2 禁左前后不同道路平面交叉口复杂程度表

交错点类型	禁止左转前			禁止左转后		
	相交道路的条数			相交道路的条数		
	3 条	4 条	5 条	3 条	4 条	5 条
分流点	3	8	15	1	4	4
合流点	3	8	15	1	4	4
交叉冲突点	3	16	50	0	4	5
折算后的总数	27	112	310	4	36	41

从上面的表可以看出, 禁止左转后平面交叉口的复杂程度指标值大为下降, 随着道路相交条数的增加, 下降趋势越发明显。这就为对平面交叉口实行禁止左转交通管理方式提供了依据。

2.2.2 禁止左转的优点

一、减少甚至是消除平面交叉口的冲突点数量^[5]

如表 2.2 所示, 在无交通管制的平面交叉口, 一般是存在三类的冲突点。上面情况, 各冲突点的数量可用下式计算:

$$N_A = N_B = n(n-2) \quad (2.3)$$

$$N_C = \frac{n^2(n-1)(n-2)}{6} \quad (2.4)$$

式中: N_A ——分流点个数;

N_B ——合流点个数;

N_C ——交叉点个数;

n ——相交道路条数。

实行禁止左转交通管理后, 见表 2.2, 左转车流形成的各类冲突点数量都显著减少。这对于改善交叉口的交通秩序, 提高行车安全无疑是有利的。

二、能有效提高整个交叉口通行能力^[5]

通行能力又称道路容量 (Capacity), 是指在一定时间段和通常道路、交通和管制条件下, 能合理地期望人和车辆通过车道或道路的一点或均匀断面上的最大小时流率。

一般情况下, 左转车头时距为 3.0~4.0s, 直行车头时距为 2.0~3.0s。平面交叉口禁左后, 左转车流消失而直行车流通行更为顺畅、便捷。对于一条进口车道, 当其为左转专用车道时, 假设左转车车头时距平均为 3.0s, 直行车车头时距平均为 2.0s, 不妨设绿信比为 0.4 时, 可以计算出当其为一条直行车道时比左转车道通力能力要高约 170veh/h, 提高了约 49%。

三、提高了平面交叉口交通安全

相关研究表明, 交通冲突与交通安全存在关联性^[23], “事故与冲突存在着一定的相互关系”。它们可用替换系数 π 表示, 且有如下的换算关系:

$$\pi = P \cdot \frac{C_i}{A_i} \quad (2.5)$$

式中: C ——小时冲突纪录数;

A ——小时事故记录数;

P ——泊松分布, 用最大似然估计计算有:

$$P = \frac{\sum C_i}{\sum A_i} \quad (2.6)$$

运用上述原理,研究表明:一次冲突导致事故发生的概率是 0.000124,即平均 80000 次冲突导致一次事故发生。所以,从本质上讲,冲突数量的降低,意味着交通事故的减少。

四、有利于信号交叉口的交通组织,精简相位^[5]。

特别对于交通量大的多路交叉口,由于左转交通流的存在,其相位、相序组织往往比较复杂,且由于左转专用相位的存在,导致信号周期变长,绿信比下降,从而造成延误增加,通行能力下降。实行禁左管理后,交通流流向减少,相位相序安排更加精简和紧凑,有利用改进交叉口的交通运行状况。

2.2.3 禁止左转的交通组织方法

禁左对于单个交叉口交通组织获益良多,然“路口禁左表面上是节点问题,但由于流向禁限会带来交通压力的转移,会造成相关路口转弯流量增加而导致拥堵,实质上是区域交通组织问题”^[24]。对于路口采取流向禁限后,禁限流向上的交通压力一般会转移到邻近路口,引发新的交通问题。大量的研究表明,禁左交通组织方式是要具备一定条件的。如果路网具备分流绕行条件时,可利用远引交叉、利用街道先右转后实现左转、立交平做或设置环岛交通的方式,将路网容量从局部饱和地点转移至不饱和位置。

一、远引交叉

所谓远引交叉,就是把路口内左转弯车流和对向直行车流之间存在的交叉冲突点从平面交叉口内转移。即左转弯车通过先右转后直行,再在路段内左转后直行通过交叉口,完成路口左转弯,也就是把路口内的交叉冲突引到路段上来解决的方式,如图 2.10 和 2.11 所示。



图 2.10 远引调头立面图

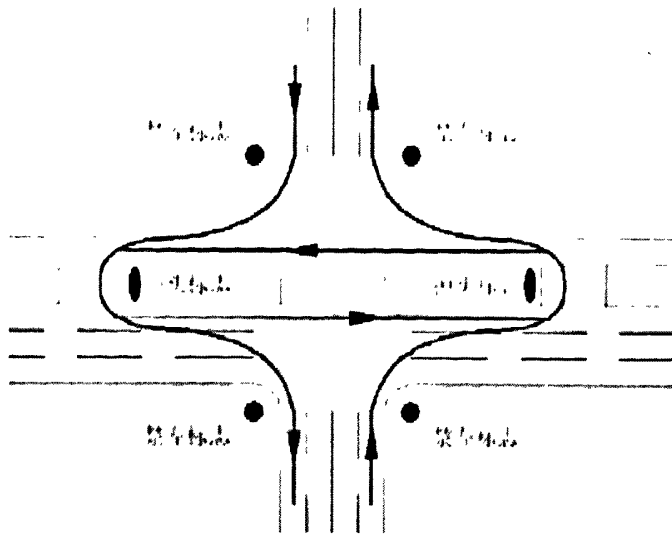


图 2.11 远引调头平面图

远引交叉在城市道路中的高架桥道路下面尤为常见。其作用可有效地减少路口内的冲突点，提高路口的通行能力。但是要成功运用远引交叉的交通组织方式，通常要求路段上要有掉头条件，比如有中央分隔带。

二、利用街道先右转后实现左转

这种处理方式是先在交叉口前直走，然后找到适当的街道右转转圈后，汇入原交叉口的横向交通流，从而实现左转的目的。如图 2.12 所示。

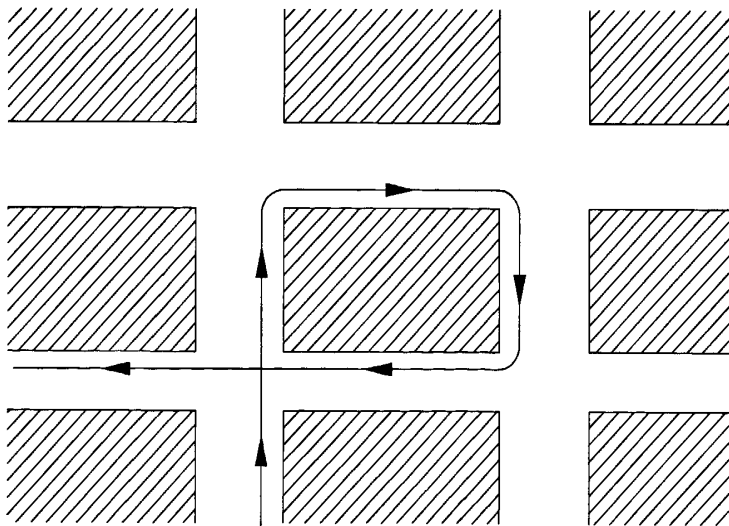


图 2.12 绕街道右转来实现左转

三、立交平做

立交平做，也就是当禁左路口周边路网有条件的情况下，用类似互通式立交的匝道方式进行交通组织。即把让左转车流先直行通过路口后右转进入“匝道”（指路口周边

能够连通相交道路的支路),再右转绕回原路口后从相交方向直行通过交叉口,如图 2.13 所示。

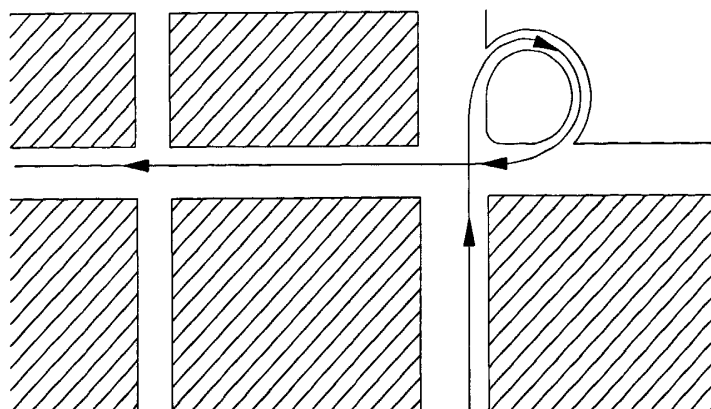


图 2.13 利用“匝道”实现左转

四、设置环岛

环岛就是在交叉口中央设置一个圆形的中心岛,用环道组织渠化交通,如图 2.14 所示。车辆驶入交叉口后,不论是要左转、直行还是右转,只允许按一个方向,绕中心岛一律作逆时针行驶,至所要去的路口离开。在运行过程中,交通流只有合流、交织、分流,在交叉口内形成交织交通。从而,消灭交叉口上的冲突点。

由此可见,环形交叉口的优点有:

- 1) 车辆驶入交叉口不用停车,可连续不断通行,减少了延误时间;
- 2) 只存在交织运行,没有交叉冲突点,有利于行车安全;
- 3) 交通组织简便易行,不需要过多的管理设施,尤其对畸形交叉口或五路以上道路交叉很有效;
- 4) 环岛可以绿化成为一个景点,起到美化城市的作用。

尽管如此,利用环岛组织交通也有如下缺点:

- 1) 占地面积大,城区改建较难实现;
- 2) 增加车流绕行距离,特别对左转弯车辆而言;
- 3) 一般造价高于其他平面交叉。

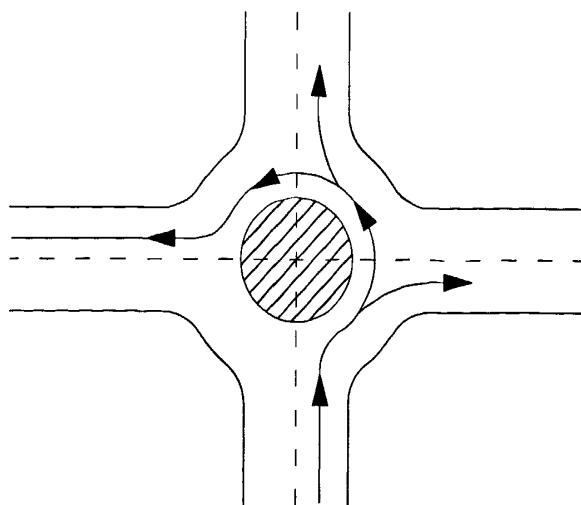


图 2.14 环岛交通

环岛的适用条件：是多用于多条道路相交或转弯交通量较大，且地形较平坦的交叉口。在快速道路和交通量大的干线道路、有大量非机动车和行人交通、位于斜坡较大地形以及桥头引道上均不宜利用。按规划需修建立交处，近期可采用平面环形交叉作为过渡形式，并预留远期改建为立交的可能性。“入口让路”的环形交叉，一般适用于一条四车道路和一条双车道道路相交或两条高峰小时不明显的四车道道路相交且行人和非机动车较小的交叉口。

2.2.4 禁止左转的适用条件

要实施禁左交通组织方式，并利用远引交叉、利用街道先右转后实现左转、立交平做组织交通，并要取得效果一般要有如下条件^[5,9,24]：

一、道路系统条件

由于实施禁左是一个特定的道路路网中进行的，而禁左又会引起其他交通流量的转移，从根本上说，是将交通量从局部饱和区域引导至非饱和区域，所以交叉口周边必须具备一定的道路辅助设施来完成交通流的疏导。一般而言，路网系统要求比较高，棋盘式路网络局较合适，而自由式或线条式路网不易组织。

二、路段条件

绕行距离：绕行路段的距离必须适中，过短可能起不到效果；而绕行距离过远，也失去了禁左管理的目的。通常司机的心理接受能力要求，绕行距离不能大于 1200m。

对于绕中央分隔带实现左转的情况，当中央分隔带有 10 米宽及以上时，且掉头视距良好，对实现左转是比较容易的。

2.3 本章小节

本章从交通流的相关概念入手，分析了左转交通流冲突的时间与空间特性，以及其对于平面交叉口交通的影响。进而分析了禁止左转的理论依据，顺便提出禁止左转的常用的远引交叉、利用街道先右转后实现左转、立交平做和设置环岛的交通组织方法，并相应提及了它们的优缺点和适用条件。

第三章 信号交叉口左转专用车道的设置

本章首先介绍了信号交叉口左转专用车道设置的理论依据,然后重点探讨了左转专用车道的几何设计方法。

3.1 左转专用车道设置的理论

3.1.1 设置左转专用车道的必要性

一、左转交通流对交叉口交通运行影响

在不设置左转专用车道的情况下,左转与直行车或左转车,直行车和右行车共用车道混行,在通过交叉口的过程中,左转与直行车辆或对向交通产生相互干扰:①左转车与对向交通相互冲突;②左转车对紧跟其后的直行车产生阻碍(具体见图3.1)。

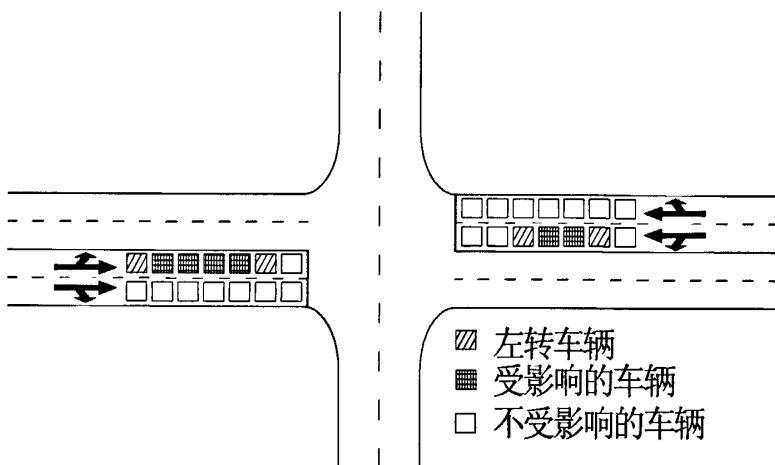


图 3.1 交叉口直左混行车道的交通运行图

由图可以看出,受阻滞或延误的直行车辆数量与左转车辆的在直行交通流中的比例和左转车辆在车道上的位置有关;大量的调查结论表明,在城市道路平面交叉口中直行车辆中,由于受到干扰,停车或减速的比例是对向交通量和本向左转比例的函数;这一比例随着左转比例、对向交通量和本向交通量的增加而增加^[14,25]。

二、设置左转专用车道的优缺点

左转专用车道的设置,可以带来以下优点:

- 1) 有利于交叉口的交通运行安全。将左转车辆从直行车道中分离出来最直接、最明显的效果是减少了追尾碰撞,并且也减少了正面碰撞的危险。
- 2) 有利于提高交叉口的交通运行效率。事实上,当交叉口的交通量接近饱和和流量时,且左转车比例又较高时,只要他们中的值有一个波动时,整个交叉口的延误会急剧上升。这种情形下,只要设置有足够长度的左转专用车道,则交叉口

中的延误就会有很大降低。

- 3) 可以与信号相位设置相配合,提高交叉口的时空资源有效利用率。譬如,设置左转专用车道的交叉口中,交叉口相位设计方案也更为灵活多样,增加了交通组织管理的措施和手段。在这下一章有专门详细的论述。
- 4) 设置多条左转专用车道,缩短了左转车流通过交叉口所用的绿灯时间,从而可以分配给交通量大的其它方向的车流,有益于整个交叉口通行能力的提高。

3.1.2 左转车道的设置依据

一、国外规范和标准

美国交通工程领域方面的典范著作 HCM2000^[3,11,19]中对左转车道设置的建议如下:

- 1) 采用左转保护相位的特殊地点,应设置专用左转车道;
- 2) 场地条件充裕,且左转交通量超过 100 辆/h,应考虑设置左转专用车道。根据需要以及州或地区的实践,对较小交通量也可设置专用左转车道;
- 3) 左转交通量超过 300 辆/h 时,就可以考虑设置两条专用左转车道。

二、国内规范和标准

中国在国家标准 GB5768-1999《道路交通标志和标线》^[26]中对专用左转车道的规定为:

- 1) 高峰小时一个信号周期进入交叉口左转车辆多于 3~4 辆时,应增辟左转专用车道。可以通过合理调整中心(线)护栏设置,施划左转导向车道,要避免直行车道对着对向直行护栏的现象发生。
- 2) 当分隔带尺寸允许时(大于 3 米)可缩窄或中断分隔带从而增加一条左转车道。
- 3) 如果对向车流量较小,可占用一条对向出口道做左转专用道。

中国在国家标准 GB5768-2009《道路交通标志和标线》^[39]中对专用左转车道的规定为:

- 1) 除左转弯交通量非常小的情况外,应积极开辟左转弯专用车道。

三、设置左转专用车道的依据

综上所述,是否设置专用左转车道主要从交叉口的左转交通量、交通运行效率和交通安全来考虑。由上面的研究结果可得,在下面的情况需设置左转专用车道:

- 1) 从保证交叉口交通运行安全角度考虑,建议设置左转专用车道;
- 2) 当交叉口左转交通量达到一定条件时,应设置左转专用车道;

- 3) 即便没有设立专门保护左转相位, 如果信号交叉口进口道中央分隔带宽度允许时, 也应设置专用左转车道;
- 4) 如果采用左转保护相位, 应设置左转专用车道。

3.2 左转专用车道的几何设计

3.2.1 左转专用车道的数量

处理步骤为先尝试设置 1 条左转专用车道, 此时交叉口的相位设置有两种可能: 当左转交通量较小时, 可与直行共用相位, 即采用允许冲突式相位; 当左转交通量较大, 且达到某一数值时, 则可为左转提供保护式相位或采用保护/许可相位(在下面的章节讨论相位的设置)。而在采用保护左转相位后, 1 条左转专用车道还不能满足左转通行能力的需要或造成左转所用的绿灯时间过长时, 则可以考虑增加左转专用车道的数量。

换言之, 只有当 1 条左转专用车道在采用保护式左转相位后, 仍不能满足左转交通流的通行要求, 才考虑设置多条左转专用车道。

所以, 设置多条左转专用车道要与交叉口几何条件、交通流量流向、相位设置相结合权衡后做出决定的。如图 3.2 所示, 给出了增设左转车道的判断流程^[13]。

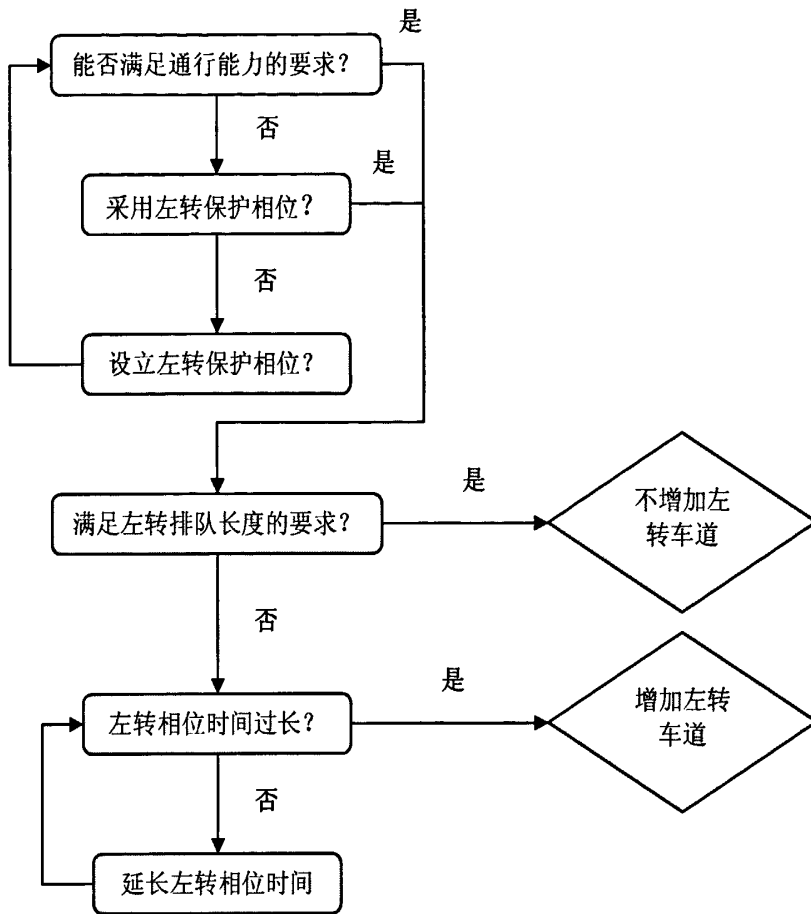


图 3.2 信号交叉口增设左转专用车道的判断流程图

3.2.2 左转专用车道的设置方式

左转车道的设置不妥当，一旦有直行车辆误入左转左用车道，必然需要变更车道，从而产生交通紊流。可见，左转车道的设置方式应当使整个交叉口交通流运行简单化和具有直观性，以免造成驾驶员在临近交叉口误判、误入左转车道，这样有助于提高车辆运行效率和安全。

通常采用屏蔽保护式的设置方式，这样有利于避免直行车辆误入“陷阱”车道^[27]。所谓“陷阱”车道是指不是屏蔽设置的专用转弯（左转）车道。

因此，左转车道的设置形式通常如下所示情形，如图 3.3 所示。通常用导流带或中央分隔带起“屏蔽”作用使左转车辆必须变更车道进入左转车道，而直行车辆可以顺着直行向径直通过交叉口。同时“屏蔽”又分为“全屏蔽”与“部分屏蔽”的两种样式（见图 3.4）。

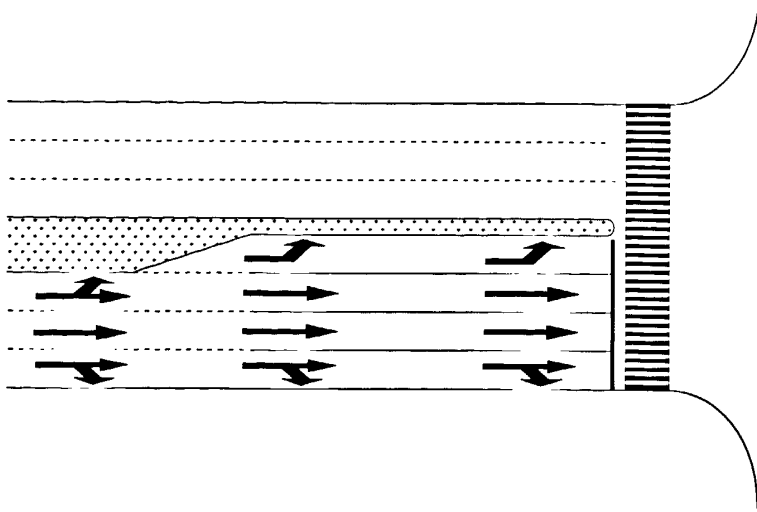


图 3.3 左转专用车道的设置原则

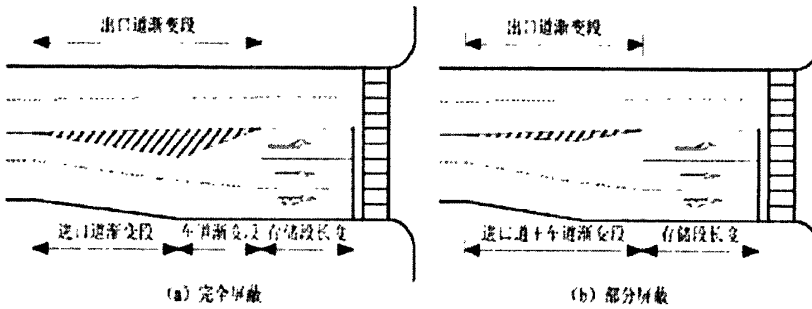


图 3.4 屏蔽的两种形式

一、左转专用车道的设置形式

1) 中央分隔带足够宽

如图 3.5 所示，当中央分隔带宽度充裕时，可以在满足左转车道长度范围，直接在中央分隔带上开辟出左转专用车道。

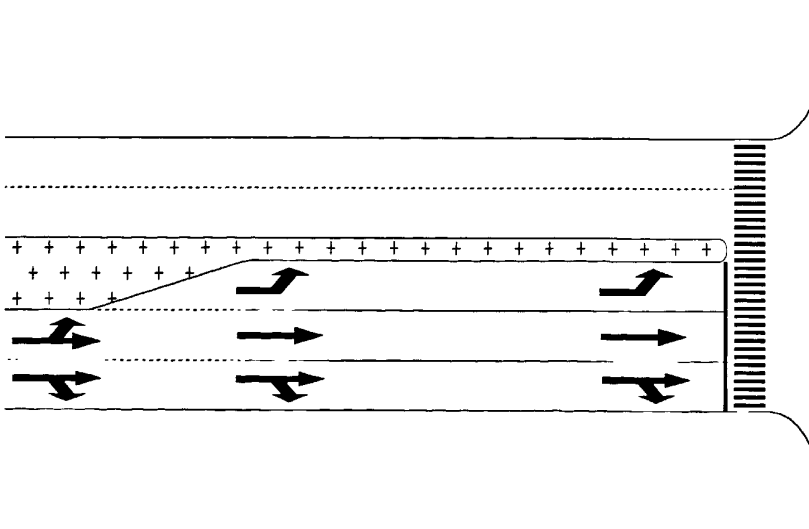


图 3.5 左转专用车道的设置方式

2)中央分隔带存在但较窄

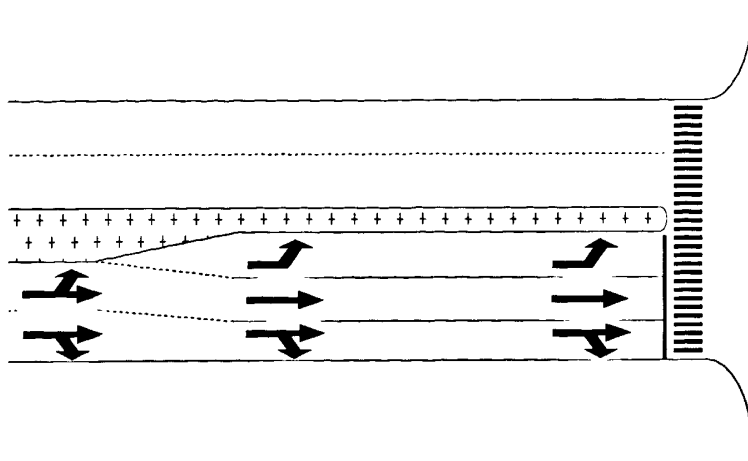


图 3.6 左转专用车道的设置方式（挤占部分中央分隔带，并且缩小车道宽度）

如图 3.6 所示，可以采取部分压缩中央分隔带的宽度，同时减少行车道宽度来实现。也就是说，左转车道的宽度是靠部分中央分隔带的宽度加上压缩出来的直行或直右车道宽来保证的。在这种情况下，为确保交通安全，分隔左转专用车道和对面行车道的中央分隔带的宽度最小必须有 0.5m。

3)无中央分隔带

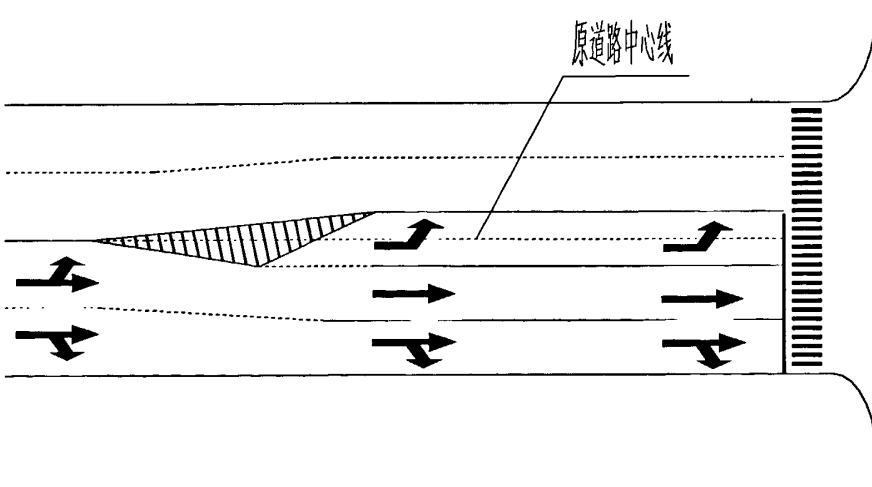


图 3.7 左转专用车道设置方式（偏移车道中心线+压缩行车道宽度）

如图 3.7 所示，可以通过适当偏移进口段左转车行道的中心线和压缩两个方向的行车道的宽度来实现。或者仍无法满足要求，则在平面交叉口附近拓宽车道，合理地压缩非机动车道和人行道的宽度，如图 3.8 所示。此时，交叉口内的标志、信号灯和人行交通量也必须考虑，权衡后做出决定。

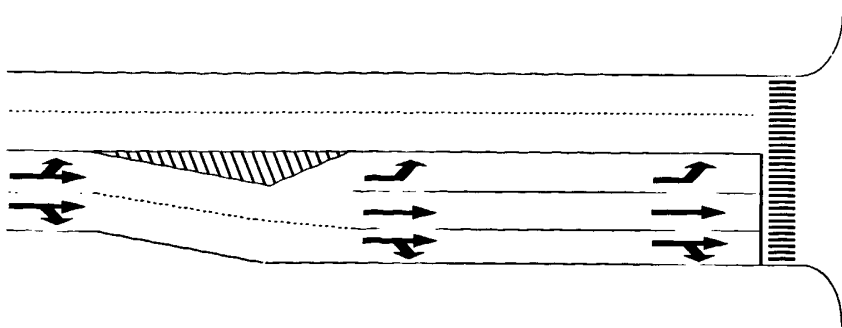


图 3.8 左转专用车道设置方式 (拓宽路口+压缩行车道宽度)

二、左转专用车道出口车道数的匹配问题

为了发挥交叉口的运行效率，一般要求出口段的车道数量大于进口道左转专用车道数量。

三、增加左转专用车道进口处可视性的措施^[13]

1) 正面偏移，提高可视性

在没有设置左转专用车道的情况下，左转车辆会阻挡对向左转车辆的视线，这样当交通信号允许左转车辆和直行车辆同时通过交叉口时，有可能产生冲突。如图 3.9 (a) 所示，对向左转车阻碍了左转与对向直行车辆的通视性。通常，当采用削减中央分隔带的方式或偏移中心线来设置了左转专用车道后，左转与对向直行车辆间的通视性大为改观，如图 3.9 (b) 所示。

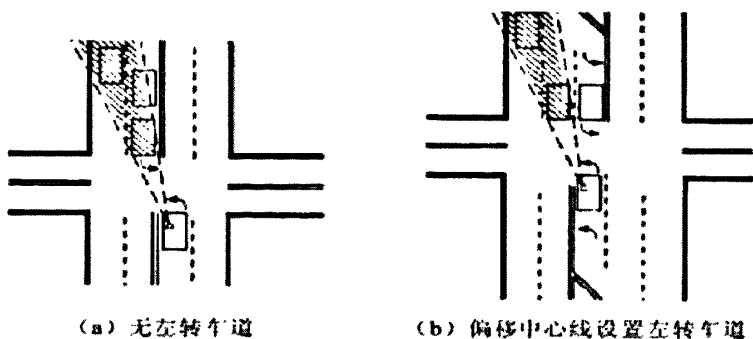


图 3.9 提供左转专用车道增加可视性

但是左转专用车道采用错位设置也不能完全解决上述问题，如图 3.9 (b) 所示，当中央分隔带比较宽时，且左转专用车道设置较宽时，转弯车辆可在车道中的位置摆动较大，特别是靠近右侧时，左转视线受阻依然突出。在这种情况下，可通过以下措施来解决问题：把左转专用车道正面偏移，如图 3.10 所示。压缩左转专用车道临近进口的部分，并且在左转专用车道的右侧画上交通标线，从而迫使左转车辆在靠近中央分隔带的位置行驶。压缩的宽度越大效果越明显，线宽常在 0.15~0.9m 的范围。当中央分隔带大于 5.5m 时，并且左转采用允许相位或允许/保护相位时，更应如此。

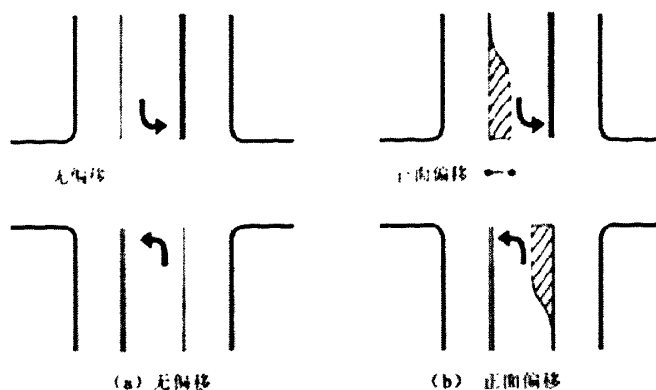


图 3.10 左转专用车道的正面偏移

3.3.3 左转专用车道的长度

对于左转专用车道长度的组成，目前国际上各个国家没有统一的标准。比如，我国《公路路线设计规范》(JTG D20-2006)^[28]中，认为左转专用车道应由渐变段、减速段和等候段组成；上海市 2001 年的《城市道路平面交叉口规划与设规程》^[29]中，将展宽渐变段长度和展宽段长度之和作为左转专用车道的长度；美国运输部把左转专用车道分为车道渐变段、减速段和排队存储区，等等。

一、左转专用车道的长度的构成

从交通流运行的过程可以知道，左转交通流在临近交叉口时必须经过判断，在适当时机经过一系列的操作，边减速边横移进入左转专用车道，因此，左转专用车道应该由横移所需的长度（渐变段长度 l_d ）、减速所需长度 l_b 和等候车队长度 l_s 组成，见图 3.11。如果渐变段长度 l_d 大于减速所需长度 l_b ，则减速段包含在渐变段里，渐变段的长度即为减速段的长度；反之，如果渐变段长度 l_d 小于减速所需长度 l_b ，则相差部分长度取为与整个左转车道等宽的形式，此时左转专用车道长度取为减速所需长度 l_b 与等候车队长度 l_s 之和^[14]。

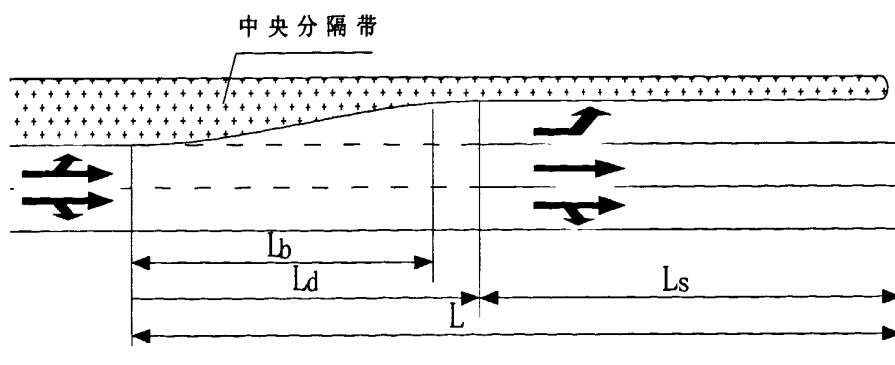


图 3.11 左转专用车道的构成示意图

1) 渐变段长度 l_d

渐变段长度 l_d 可按转弯车辆以路段平均行驶速度 V_A 侧移行驶计算, 即^[30]:

$$l_d = \frac{V_A}{3.6J} B(m) \quad (3.1)$$

式中:

V_A ——路段平均行驶速度 (km/h);

B ——左转车道宽度 (m);

J ——车辆行驶时变换车道的侧移率 (m/s), 一般取 $J=1.0m/s$ 。

对于上式, 左转车道常宽度 $B=2.75\sim 3.50m$, 为了兼顾经济性和安全性, 取 $B=3.0m$, 于时 (3.1) 又可简化为下式

$$l_d = \frac{V_A}{1.2} (m) \quad (3.2)$$

大量的交通调查结果证实, 车道渐变段要满足减速的需要, 其渐变率不得小于 10:1, 即每横移单位宽度 1.0m, 渐变段长度不能小于 10m。对于 $B=3.0m$, l_d 取值为 30m。以下特制定下面表格, 如表 3.1 所示, 以备查用。

表 3.1 左转车道渐变段最小长度 (B=3.0m)

车速 V (km/h)	计算值 (m)	取值
	$V_A/1.2$	
20	16.7	30
30	25	30
40	33.3	35
50	41.7	45
60	50	50
70	58.3	60
80	66.7	70

注: 其中, “取值”一栏, 依据最小渐变率为 10:1 的要求, 对计算值小于 30.0m 的取为 30.0m, 并且对计算结果以 5m 为倍数向上取整得到。

2) 减速所需长度 l_b

左转专用车道减速所需长度 l_b 可用下式计算:

$$l_b = \frac{V_A^2 - V_R^2}{26a} \quad (m) \quad (3.3)$$

式中:

V_A ——减速时进口道处路段平均行驶速度 (km/h);

V_R ——减速后的末速度或加速前的初速度 (km/h);

a ——减速度或加速度 (m/s^2), 减速度 $a = -2.5m/s^2$ 。

为了分析方便制定下面表格, 如表 3.2 所示。采用值以表 3.2 类似方法处理后得到。

表 3.2 左转车道减速段最小长度的取值表

车速 (km/h)	减速所需长度 l_b (m), $a = -2.5m/s^2$ (m/s^2)	
	计算值	采用值
20	6.2	30
30	13.8	30
40	24.6	30
50	38.5	40
60	55.4	55
70	75.4	75
80	98.5	100

因此, 综合上述表格, 减速段取用上面两个表格数值大的一个, 得到下列减速段的长度表格。

表 3.3 左转专用车道减速段最小长度取值表

车速(km/h)	20	30	40	50	60	70	80
减速段长度 (m)	30	30	35	45	55	75	100

3) 等候车队长度

(1) 左转专用车道中的等候车队长度 l_w

等候车队长度是左转专用车道设计中一个很关键的因素, 它的设计合理与否关系到交叉口的通行能力和交通安全。如果等候车队长度设计不足, 则溢出车辆会挤占直行车道, 交通放行时会引起交通紊流, 使直行车道通行能力下降; 反之, 等候车队长度过长, 可能会造成有限的交叉口道路资源的浪费 (如图 3.12 所示) [31]。下面给出了左转专用车道中的等候车队长度的三种确定方法。



图 3.12 左转专用车道长度设置不合理示意图

①方法一:

等候车队的长度, 可用下式计算^[30]:

$$l_s = nl_n \quad (\text{m}) \quad (3.4)$$

$$n = \frac{\text{一条车道的通行能力} \times \text{车道数} \times \text{左转车比例}}{\text{每小时的周期数}}$$

式中: l_n ——左转专用车道等候车辆所占的长度, 一般取6~12m, 小型车取低值, 大型车取高值, 车型比例不明确时, 一般可取7m。

②方法二 (经验公式法), 计算式如下^[14,32]:

$$L_s = 0.3DHV \quad (3.5)$$

上式中:

L_s ——储存段的长度(m);

DHV ——设计小时左转交通量(veh/ph);

③方法三, 计算式如下^[14,32]:

$$L_s = Kl \frac{DHV}{N} \quad (3.6)$$

式中:

L_s ——存储段的长度(m);

K ——存储段长度修正系数, 与置信度有关, 如表 3.4 所示;

l ——车辆的间距 (m), 它随着设计车型或队列中车辆的组成而不同;

DHV ——高峰小时左转交通量(v/ph);

N ——每个高峰小时周期的数量, 在不知周期时长的情况下, 采用默认值

$N = 30$ 。

表 3.4 置信水平不同对应的 K 值表

K	置信水平
2.0	>0.98
1.85	0.98
1.75	0.95

对队列中车头间距 l 的使用说明: 如队列中不含卡车, 且以标准小汽车为设计车型, $l = 7.6\text{m}$; 如卡车含量超过1%, l 取值见表 3.5 所示。

表 3.5 修正表

卡车含量 (%)	l (m)
<2.0	7.6
5.0	8.2
10.0	9.0

对于其它的卡车含量，可通过下式予以修正：

$$TM = 1.0 + T \quad (3.7)$$

式中：

TM ——卡车含量对存储长度的修正系数；

T ——转弯车道中卡车的含量。

当设计车辆为标准小汽车时，通常采用的简化的计算式为：

$$L_s = \frac{(7.6) \times (2.0) DHV}{N} = \frac{15.2 DHV}{N} \quad (3.8)$$

(2) 多条左转专用车道的存储段长度的计算^[14]

多条左转专用车道的存储长度可以用下面的方法求解：先按 1 条左转专用车道的情况用上述方法计算所需的存储长度 L_s 。为简单起见，可采用 L_s / N 作为每条左转专用车道的存储长度，其中 N 为左转车道数量。事实上，由于车辆在车道上的分布情况表明，不同的车道其利用率通常有差异。所以，应予以修正。可以将上面求得的数值除以表 3.6 中车道利用校正系数，或者直接用 L_s 乘以重交通利用系数。研究表明，双条左转专用车道存储段长度可以用 L_s 除以 1.8 得到。

表 3.6 HCM2000 中车道利用系数的值

车道组	车道数	重交通车道的比例 (%)	车道利用校正系数
直行或混行	1	100.0	1.000
	2	52.5	0.952
	3	36.7	0.908
左转专用车道	1	100.0	1.000
	2	51.5	0.971
右转专用车道	1	100.0	1.000
	2	56.5	0.885

二、左转专用车道的长度

综上，左转专用车道的长度 L ，可用下式求出：

$$L = \max(L_b, L_d) + L_s \quad (3.9)$$

3.2.4 左转专用车道的宽度

在交叉口的驶入段,由于车速降低,容易按车道线行驶,因此每条车道的宽度可以适当缩减。在交叉口入口渠化过程中,设置左转专用车道和右转专用车道往往受道路宽度的限制,可以通过缩减车道宽度来实现增加车道数量。

车道宽度的设定以保证交通安全、提高运行效率、便于车辆行驶、舒适为原则。一般车道宽度为2.75~3.50m。当交叉口渠化设计中道路宽度有困难时,直行车道的宽度可以缩减到2.75m(小型车辆)或3.00m(大型车辆),左转、右转专用车道可以3.00m为基准,根据实地情况适当调整,但一般不小于2.75m,最小不得小于2.50m^[33]。

3.3 本章小结

本章先论述了信号交叉口左转专用车道设置的必要性,提出了左转专用车道的设置依据。在此基础上,详细地探讨了左转专用车道设计时,其数量的确定方法,设置过程中常用的几种形式,左转专用车道长度的确定方法,最后分析了左转专用车道的宽度的选用原则。

第四章 信号交叉口左转相位设计

本章主要论述了左转专用相位设置依据、判定准则和保护式左转相位的类型，同时也介绍了交叉口信号设置的相关概念。

4.1 单个交叉口信号控制概述

交通工程师在长期的工程实践中发现交叉口的信号控制是交通管理与控制的一项有效措施，目前应用最广的是单个交叉口的定时信号控制。由于它设备简单、维护方便和投资经济，使其成为目前道路交叉口最普遍的交通管理形式，也是最基本的方法之一。

路口信号控制的作用是：减少路口内的冲突点，明确不同流向、不同种类交通流通过路口的时间路权。使各类、各向交通流有序、高效地通行。一个交叉口若其车流量较小时，通过设置停车或让路标志就可解决交通分离问题；一旦当交叉口交通量接近其通行能力时，若不设置交通控制信号，就会因车流不畅而大大增加车辆的停车次数与延误时间。因此，正确设计、合理设置和有效运用交通控制信号，不仅可以达到提高交叉口的通行能力、疏散交通、保证交通畅通的目的，而且兼有改善交通安全的效果。

4.1.1 交通信号灯及其设置依据

一、交通信号灯

我国 2003 年 10 月颁布的《中华人民共和国道路交通安全法》中对信号灯含义有如下规定。

- 1) 绿灯亮时，准许车辆、行人通行，但转弯的车辆不准妨碍直行的车辆和被放行的行人通行。
- 2) 黄灯亮时，准许车辆、行人通行，但已越过停止线的车辆和进入人行横道的行人，可以继续通行。
- 3) 红灯亮时，不准车辆、行人通行。
- 4) 绿色箭头亮时，准许车辆按箭头所示方向通行。
- 5) 黄灯闪烁时，车辆、行人须在确保安全的原则下通行。

对人行横道灯信号有如下规定：

- 1) 绿灯亮时，准许行人通过人行横道。
- 2) 绿灯闪烁时，不准行人进入人行横道，但已进入人行横道的，可以继续通行。
- 3) 红灯亮时，不准行人进入人行横道。

二、交通信号灯的设置依据

迄今为止,交通工程界尚未对交叉口是否设置交通控制信号达成较为一致的理论依据。原因有二:一,主要是交叉口交通运行中时空影响因素众多,要定量分析比较困难;其二,世界上不同国家交通情况各异。但从总的来说主要是根据交叉口的通行能力和延误来确定是否采用。

我国于1994年颁布实施了国家标准《道路交通信号灯安装规范》(GB14886—94)。该规范对我国各道路交叉口和路段上交通信号灯的安 装依据、安装方法和安装要求作出了规定,依据如下^[34]:

- 1) 当进入同一交叉口高峰小时及12h交通量超过表4.1所列数值及有特别要求的交叉口,可设置机动车信号灯。
- 2) 设置机动车道信号灯的交叉口,当道路具有机动车、非机动车分道线且道路宽度大于15m时,应设置非机动车道信号灯。
- 3) 设置机动车道信号灯的交叉口,当通过人行横道的行人高峰小时流量超过500人次时,应设置人行横道信号灯。
- 4) 实行分道控制的交叉口应设置车道信号灯。

在交叉口间距大于500m、高峰小时流量超过750辆以及12h流量超过8000辆的路段上,当通过人行横道的行人高峰小时流量超过500人时,可设置人行横道信号灯及相应的机动车道信号灯。

表4.1 交叉口设置信号灯的流量标准

主道路宽度 (m)	主路交通流量 (辆/h)		支路交通流量 (辆/h)	
	高峰小时	12h	高峰小时	12h
小于 10	750	8000	350	3800
	800	9000	270	2100
	1200	13000	190	2000
大于 10	900	10000	390	4100
	1000	12000	300	2800
	1400	15000	210	2200
	1800	20000	150	1500

注:1.表中交通流量按小客车计算,其他车辆应折算为小客车当量;

2.12h交通流量为7:00~19:00的交通流量。

4.1.2 信号控制的类型

交通信号控制的分类方式多种多样,按照控制范围可以分为以下3种。

一、单点交叉口交通控制

每个交叉口的交通控制信号只按照该交叉口的交通情况独立运行,不与其邻近交叉

口的控制信号有任何联系，称为单个交叉口交通控制，也称单点信号控制，俗称“点控制”。这是交叉口交通信号控制的最基本形式。从技术上讲，它又分为离线点控制和在线点控制。

二、干线交叉口信号联动控制

把干道上若干连续交叉口的交通信号通过一定的方式联结起来，同时对各交叉口设计一种相互协调的配时方案，各交叉口的信号灯按此协调方案联合运行，使车辆通过这些交叉口时，不致经常遇上红灯，称为干道信号联动控制，也叫“绿波”信号控制，俗称“线控制”。

根据相邻交叉口间信号灯联结方法的不同，线控制可分为有电缆线控和无电缆线控。

①有电缆线控：由主控制机或计算机通过传输线路操纵各信号灯间的协调运行；

②无电缆线控：通过电源频率及控制机内的计时装置来操纵各信号灯按时协调运行。

三、区域交通信号控制系统

以某个区域中所有信号控制交叉口作为协调控制的对象，称为区域交通信号控制系统，俗称“面控制”。

4.1.3 信号控制的基本参数

一、信号相位方案

信号相位方案即信号灯轮流给某些方向的车辆或行人分配通行权的一种顺序安排。把一种控制（即对各进口道不同方向所显示的不同色灯的组合）称为一个信号相位。

可以用有向线段表示相位，有向线段的箭头方向与车辆运动方向一致。

二、周期长度 C

各个行车方向完成一组色灯变换所需总时间，它等于红灯时间、绿灯时间和黄灯时间之和。

三、绿信比

在一个信号周期中，各相位的有效绿灯时间与周期长度的比值称为绿信比。若设 g_{ei} 为第 i 相位信号的有效绿灯时间， C 为周期长度，则该相信号的绿信比 λ_i 为：

$$\lambda_i = g_{ei} / C \quad (4.1)$$

显然， $0 < \lambda_i < 1$ 。绿信比反映了该信号相位交通流在一个周期中需要绿灯时长的

小。经过优化的绿信比能够恰当地把绿灯时间分配给各相位的交通流，从而使总延误或总停车次数等指标达到最小。

式(4.1)中第*i*相信号的有效绿灯时间按下式计算：

$$g_{ei} = g_i + Y_i - l_i \quad (4.2)$$

式中： g_i 、 Y_i 、 l_i ——分别为第*i*相位信号的绿灯时间、黄灯时间和损失时间。

在一个信号相位上，绿灯时间和黄灯时间之和为车辆的可通行时间。然而，可通行时间并不能全部得到充分利用，当绿灯信号开启时，排队车辆需要起动和加速，因而开始时车辆的驶出率是不高的，于是导致了起动损失时间 l_{i1} 。在绿灯关闭、黄灯开启时，车辆已不允许越过停车线，只有绿灯期间已经越过停车线的车辆可以继续通行。因此，这段时间时原车流量由大变小，逐渐下降到零，所以黄灯时间亦有一部分被损失掉，于是导致了损失时间 l_{i2} 。第*i*相信号的损失时间为这两个损失时间之和，即：

$$l_i = l_{i1} + l_{i2} \quad (4.3)$$

在实际工作中，精确地确定损失时间是非常困难的，有时也是没有必要的，因此常用某一相位的绿灯时间代替其有效绿灯时间，于是得到绿信比的近似计算公式为：

$$\lambda_i = g_i / C \quad (4.4)$$

4.2 信号配时计算方法

4.2.1 计算信号配时常用公式

一、信号周期^[24]：各相位信号灯轮流显示一次所需时间的总和，可用下式计算：

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad (4.5)$$

式中：

C_o ——信号最佳周期 (s)；

L ——周期总损失时间 (s)，其计算如下：

$$L = \sum_{i=1}^n (l_i + I_i - A_i) \quad (4.6)$$

式中：

l ——车辆启动损失时间，一般为 3s；

I ——绿灯间隔时间，即黄灯时间加全红灯清路口时间，一般黄灯为 3s，全红灯为 2~4s；

A ——黄灯时间，一般为 3s；

n ——所设相位数；

Y ——组成周期全部相位的最大流量比之和，即

$$Y = \sum_{i=1}^n \max(y_1, \dots, y_i, \dots) \quad (4.7)$$

式中： y_i ——第 i 相位的最大流量比，即

$$y_i = \frac{q_i}{s_i} \quad (4.8)$$

式中：

q_i ——第 i 相位实际到达流量（调查得到）；

s_i ——第 i 相位流向的饱和流量（调查得到）。

二、绿信比^[24]：各相位所占绿灯时间与周期时间之比。

$$g_e = G_e \frac{\max(y_i, y_i', \dots)}{Y} \quad (4.9)$$

式中： G_e ——周期有效绿灯时间（s）；

$$G_e = C_0 - L \quad (4.10)$$

各相位实际显示绿灯时间：

$$g = g_e - A + L \quad (4.11)$$

每一相位换相时四面清路口全红时间：

$$r_i = I_i - A_i \quad (4.12)$$

式中：

r_i ——第 i 相位全红时间（s）；

I_i ——第 i 相绿灯间隔时间（s）；

A_i ——第 i 相黄灯时间（s）。

4.2.2 定时信号配时基本方法

单个交叉口定时交通信号配时设计，要按照不同的流量时段来划分信号配时的时段，在同一时段内确定相应的配时方案。改建、治理交叉口，具有各流向设计交通量数据时，信号配时设计的流程应如图 4.1 所示。

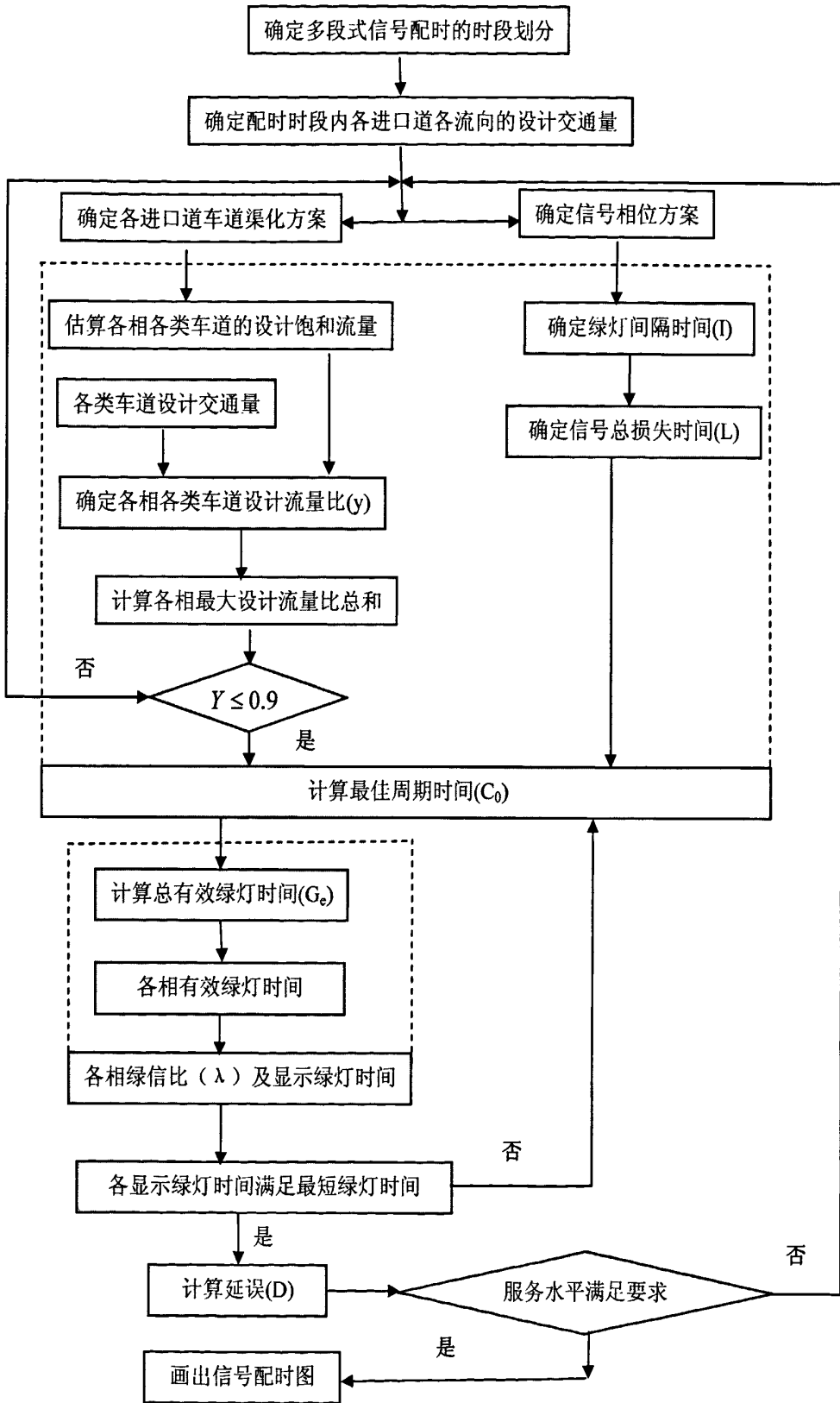


图 4.1 信号配时设计流程

4.3 左转相位设计

4.3.1 左转相位的分类

根据相位的设置是否允许左转车流与其他车流发生冲突，可以将相位分成允许冲突式左转相位和保护式左转相位两类^[23]。①允许冲突式左转相位：指左转车流与对向直行车流在同一绿灯时间内通行，且左转车辆利用对向直行车流的间隙穿插通过，实现转弯需要。如图 4.2 所示。②保护式左转相位，又称为“左转专用相位”：指在相位方案中，左转车流不受任何其它方向交通流影响，可以径直通过交叉口。如图 4.3 所示。

左转相位的类型多种多样，但经过分析后大致有三种类型^[14]：保护式左转相位、保护/许可式左转相位、许可/保护式左转相位。选择相位类型的原则：在兼顾通行能力和安全的要求下，首先考虑允许冲突式左转相位，如不妥，进而分析设置左转专用相位。

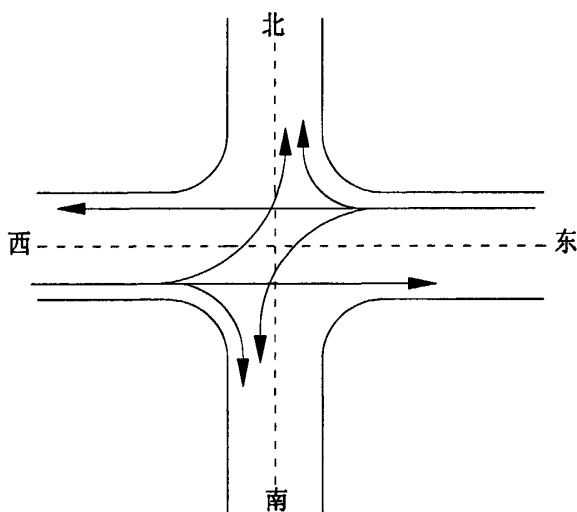


图 4.2 允许冲突式左转相位

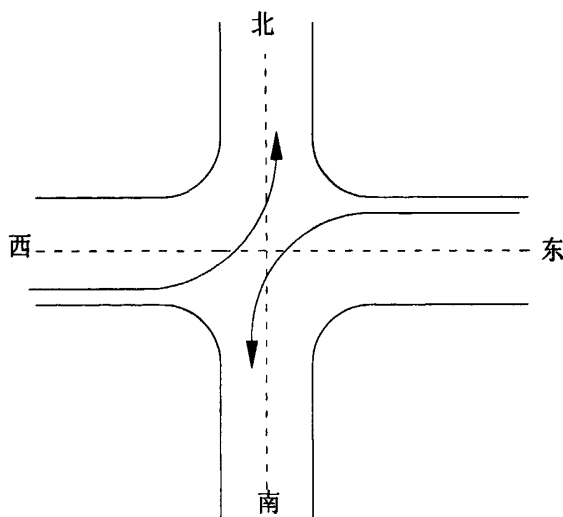


图 4.3 保护式左转相位

4.3.2 保护式左转相位的设置条件

如前面所述,左转交通流是交通管理与控制的重点与难点,因此,左转相位的设置合理与否是信号控制交叉口信号相位方案中重要方面。在信号交叉口的配时设计中,由于左转流量对交叉口的影响最大,所以在许多情况下,相位数、相位类型、相位次序等常常要依据左转流量的要求来确定。

对左转车辆的交通运行组织方式的又一思路是设置左转专用相位,但是,由于左转专用相位设置依据不明确,使我国很多城市的信号交叉口会出现以下两种现象^[35]:

- 1) 流量不大的情况下设置左转专用相位,导致一个行驶方向空放,绿灯时间的浪费,而另一个竞争方向的车辆出现排队等待的情况,从而造成排队等待的车辆不必要的延误;
- 2) 流量较大的情况下没有设置左转专用相位,由于左转车和直行车在交叉口内的冲突比较严重,而导致整个交叉口的通行能力严重下降,也造成了车辆在交叉口的延误增加,同时还大大增加了交叉口的不安全因素。

再者,在信号交叉口设置左转专用相位,对于交通运行方面,确实可以起到减少交通冲突、提高通行能力、提高交通安全的作用。但是,是不是说,左转专用相位设得越多越好呢?事实上,根据相关研究表明^[14]:

- 1) 通行能力方面:左转相位的出现,增加了左转通行能力,但是直行通行能力却下降;
- 2) 行车延误方面:在高峰时段左转车辆的延误减少,而在平峰时段,左转车辆的延误也可能增加,因此,整个交叉口的延误也会增加。

因此,在信号交叉口满足什么条件下设置左转专用相位?并且选择何种形式的左转相位?首要问题是明确交叉口保护式左转相位的设置依据。是否设置保护式左转相位目前还没有明确统一的标准,下面将建立保护式左转相位的设置依据。

4.3.3 保护式左转相位的设置依据

一、基于车道数的保护式左转相位设置依据^[35]

1) 交通事故与对向车道数量的关系

在交叉口中,在相同的进口道,同一相位的情况下,随着对向直行车道数量增加,则左转车流要实现左转的难度也增加,左转潜在事故率也越高。因此有必要考虑当对向车道数增加到何种程度时,设置保护式左转相位。

根据美国交通学者 Upchurch 在 1991 年对美国亚利桑那州 523 个交叉口进行交通事

故调查分析,并整理出了在不同类型相位的情况下,不同对向车道事故率报告(每百万辆左转车发生左转事故数),见表 4.2 和图 4.4。从表中可见在相同的左转相位形式的情况下,当对向车道数增加时,事故率也随着增加。

表 4.2 不同对向车道数平均事故率对比(%)

相位形式 \ 车道数量	允许式	保护/允许式	保护式
2	2.6	2.0	1.1
3	3.8	2.7	1.3

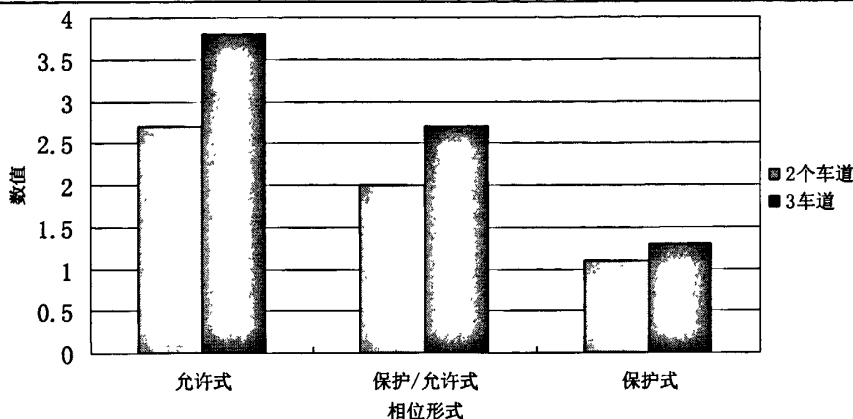


图 4.4 不同对向车道数在不同左转相位形式下的平均事故率对比图

2) 左转冲突机率

为了分析对向进口道车道数量对左转交通流运行的影响,提出了左转冲突机率的概念,也就是进口道路*i*左转潜在冲突的概率。

首先计算左转车辆实际运行需要的时间*t*。如图 4.5 所示,左转运行轨迹*R*用近似方法求出。为简化问题,假设所有的左转车辆都是在满意的位置进行转弯,左转距离可通过公式(4.13)计算,并通过公式(4.14)计算左转距离和左转需要的时间关系来计算出*t*。

$$R = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{D_1^2 + D_2^2}{2}} \quad (4.13)$$

式中:

D_1 ——左转车辆进入交叉口的半径 (m);

D_2 ——左转车辆离开交叉口的半径 (m);

并且假设左转车是以加速的状态实现左转,有下式:

$$R + L = \frac{1}{2}at^2 \quad (4.14)$$

式中:

L ——车辆长度 (m);

a ——加速度 (m/s^2)。

根据公式(4.14)可计算出 t :

$$t = \sqrt{\frac{2(R+L)}{a}} \quad (4.15)$$

假设车辆的感知、反应时间 (t_0), 则左转车辆运行的时间为 ($t+t_0$), 且有:

$$t_1 = t + t_0 - 2 \quad (4.16)$$

$$t_2 = t + t_0 + 2 \quad (4.17)$$

式中:

t_1 ——导致左转潜在冲突 gap 的下限值 (s);

t_2 ——导致左转潜在冲突 gap 的上限值 (s)。

当对向车辆车头时距 h 在 t_1 和 t_2 之间时, 则有可能发生潜在的左转冲突, 当 h 小于 t_1 或大于 t_2 时, 则不会发生冲突。假定对向车头时距符合负指数分布, 则车头时距在 t_1 和 t_2 之间的概率为:

$$P_I = P(t_1 < t < t_2) = e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2} \quad (4.18)$$

式中:

P_I ——进口道 I 左转潜在冲突的概率;

λ ——为 $V/3600$, 某进口道 I 对向交通流率 (veh/s);

V ——对向小时流率 (veh/h)。

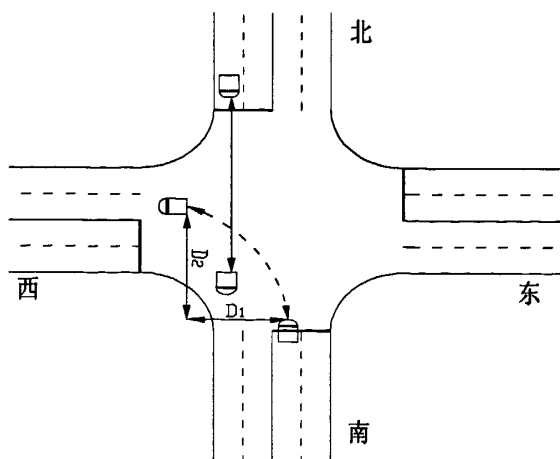


图 4.5 左转车辆与对向直行车辆冲突示意图

3) 左转冲突概率与对向车道数的关系

为讨论对向车道数与左转冲突概率的关系, 需假设一个交叉口对向交通量为 3600

辆/h, D_2 是固定值(10m), 对向车道为1车道(不包括对向专用左转车道), 加速度为 1.32m/s^2 , 车辆长度 L 为 4.5m, 根据公式(4.18)可计算出当增加一个对向车道, P_l 值的变化情况, 如表 4.3 图 4.6 所示^[35]。

表 4.3 当车道数变化时 P_l 取值表 (%)

对向车道数	P_l 取值	
	有左转车道	无左转车道
1	0.012	0.01
2	0.02	0.014
3	0.17	0.151
4	0.19	0.175
5	0.19	0.18
6	0.195	0.185
7	0.196	0.189

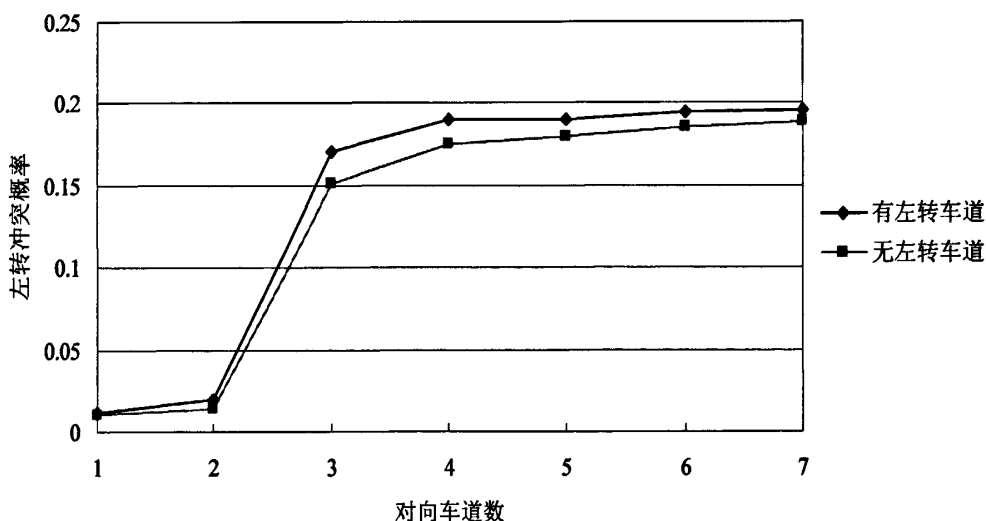


图 4.6 对向车道数与左转冲突概率的关系

4) 基于对向车道数量的保护式左转相位的设置依据

从图 4.6 可以看出, 当对向车道数为 3 时, 在转冲突概率有个突变, 说明发生交通事故的可能性增加。因此, 当平面交叉口中, 对向车道数量有 3 条或以上, 考虑设置保护式左转相位。

二、基于速度的保护式左转相位设置依据^[35]

1) 速度与交通事故的关系

定性上的分析为：

- 汽车在道路上行驶，速度越高，制动距离则越长；
- 车速越高，驾驶员遇到突发情况，作出有利于安全的决策时间也随之减少，并且目测所需的距离误差也越大，从而造成交通事故的危险性也越大；
- 速度越高，一旦发生碰撞则能量越大，从而易造成严重的交通事故。

国外内的不少交通工程学者从定量上研究了速度与事故间的关系：例如，Solomon(1964)对车速与事故做了相关的研究，他选取了1000个交通事故样本，根据数理统计的方法，将车速与事故的关系如图4.7所示。

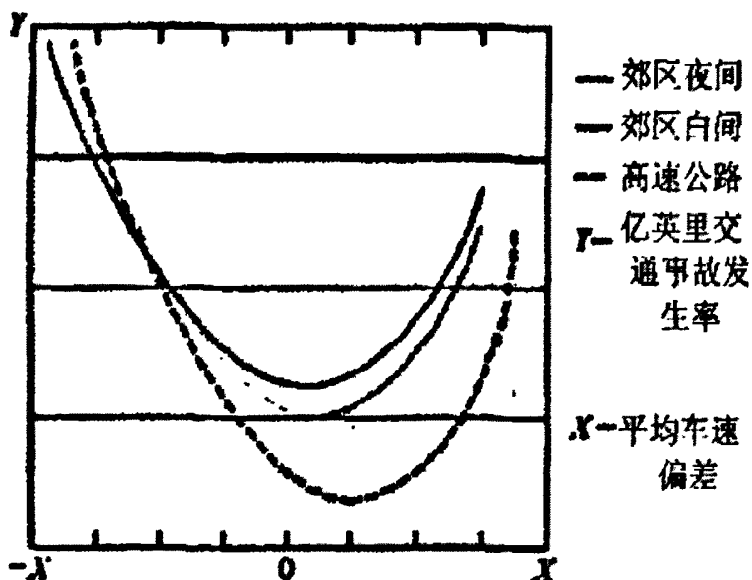


图 4.7 平均车速偏差与交通事故的关系

从上图可以得出结论：交通事故呈凹形曲线变化，当车速接近平均车速时，事故率最小，而且车速随着平均的车速偏差越大，事故率也增大。

2) 速度与伤亡事故风险的关系

相关研究表明，速度增加，伤亡事故风险也增加，从而速度与伤亡事故风险存在着联系，并且可以用数学回归分析方法来描述。其关系如下所示：

$$R = e^{(-0.001492681V^2 + 0.338714562V - 14.949222376)} \quad (4.19)$$

式中：R——事故伤亡风险值；

对V赋值，从40(km/h)到95(km/h)以5km/h为空格，得到表4.4和图4.8。

表 4.4 车速与伤亡事故风险值的关系

V:车速 (km/h)	R:伤亡事故风险值
40	0.023
45	0.065
50	0.175
55	0.434
60	1.000
65	2.140
70	4.249
75	7.831
80	13.394
85	21.261
90	31.324
95	42.829

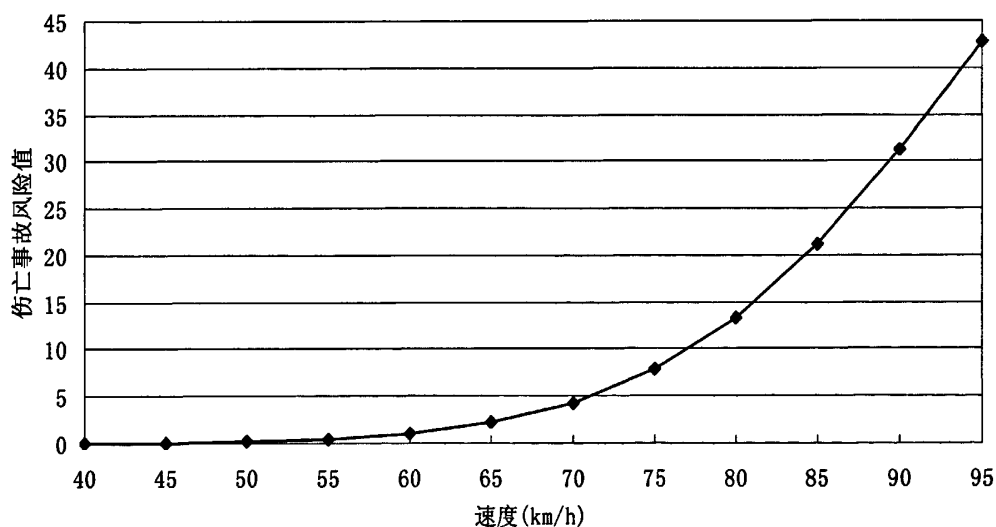


图 4.8 伤亡事故风险值与车速的关系

从上图可以看出，速度 V 从 65km/h 开始，每增加 5km/h，伤亡事故风险值则翻倍增长。

3) 基于速度的保护式左转相位设置准则

鉴于车辆在靠近交叉口时左转，当对向直行车流与本向左转车流车速快时，可能引发交通事故，此时可考虑设置保护式左转相位分开车流。因此，建议在对向车流速度 $V \geq 65\text{km/h}$ 时，设置保护式左转相位。

三、基于流量的保护式左转相位设置依据

美国2000版《道路通行能力手册》(HCM2000)中,关于设置左转专用相位的建议^[11]:

- 1) 任何一个进口的左转车流量超过240veh/h,推荐设置保护式左转相位;
- 2) 如果一个进口的左转专用车道超过一条,就推荐设置保护式左转相位;
- 3) 将左转车流量和对向冲突车流量相乘,得到 Cross-product 值,如果此值超过表 4.5 中值,推荐设置保护式左转相位。

表 4.5 建议设置保护式左转相位的 Cross-Product 最小值

车道数量	Cross-Product
1	50000
2	90000
3	110000

四、基于事故数量的保护式左转相位设置依据

当信号交叉口采用允许冲突式左转相位时,左转交通流易于与其他方向车流产生碰撞冲突,所以从“以人为本”的角度考虑,必须设置保护式左转相位。据国外研究报告^[14],信号交叉口每年发生的与左转有关的交通事故超过 6 起,建议设置保护式左转相位。

五、基于视距的保护式左转相位设置依据

在平面交叉口,由于视距受到限制,造成左转交通运行安全受到影响时,建议设置保护式左转相位^[20]。

4.3.4 保护式左转相位形式的判定

综上所述,设置保护式左转相位判定流程如图 4.9 所示。

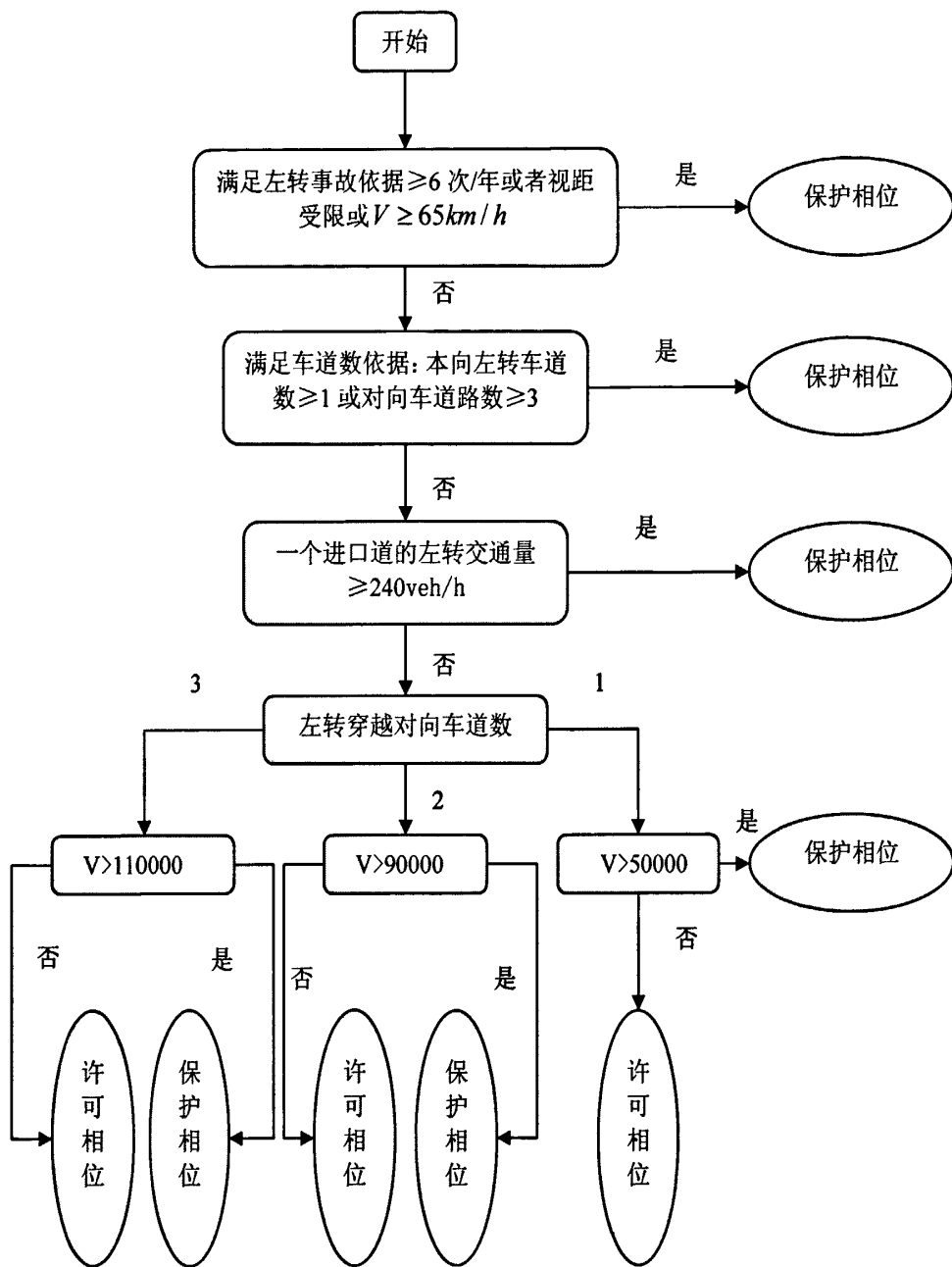


图 4.9 判断流程图

4.3.5 保护式左转相位方案的类型

保护式左转相位由于获得通行权的交通流组合形式的不同,可分为三种模式^[14, 35]:单路口放行、双向左转相位、左转保护与许可混合式相位。且如果左转相位在直行相位之前称之为前导左转相位,如果在直行相位之后称作滞后左转相位。

一、单路口放行

1) 理论背景

无论是早期的相位控制理念还是目前的整体控制理念,在交叉口信号相位优化设计

过程中都讲究车流均衡这一重要原则。车流均衡理论有两方面的内容：各相位之间饱和均衡和相位内部各流向之间的饱和均衡。

相位控制理念是指在某一相位开始时让某些车流同时获得通行权，并在该相位结束时同时终止通行权，不存在搭接相位。这类控制方法一般按照“相位等饱和度”的原则进行相位配时，可以使各相位关键流向之间的饱和度均衡；但易造成各个相位内部各流向车流之间饱和度的不均衡，关键流向需要较长的通行时间，而另外的流向则可能早就放完，形成交叉口时空资源浪费。针对这一缺陷，人们提出了车流控制以及整体控制的理念，通过搭接相位解决这一问题，即允许某些流向的车流在多个相位内得到通行权，力求达到相位内各流向饱和度的均衡。但在有些情况下，搭接相位所起到的均衡效果较差。于是从追求各车流流向之间的饱和度均衡这一角度出发，提出了各进口单独放行的相位设计方法，简称单路口放行方法。

单路口放行方法指：先放行一个进口道的车流，中止其它方向的车流，然后放行对向进口道的车流。如图4.10所示。其中 $\phi 1$ 和 $\phi 2$ 分别代表第一相位和第二相位。

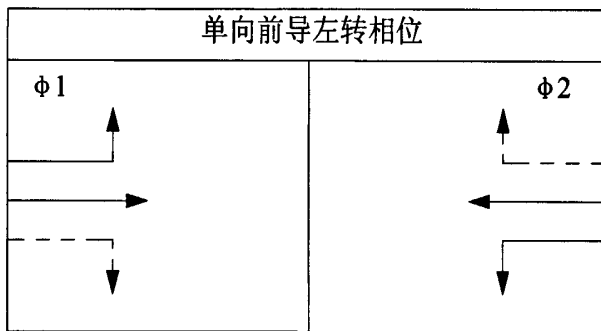


图4.10 单路口放行左保护相位示意图

2) 优缺点及适用条件

与对称流向放行的相位设计方法相比，单路口放行的相位设计方法有其优缺点，其优点为^[35]：

- (1) 每次仅放行一个进口道的车流，没有其它向交通流的干扰，安全性大大提高；
- (2) 无须用相位搭接技术，控制方法简单，各车道的车流饱和度较为均衡。

缺点为：

- (1) 当平面交叉口几何条件对称时，单路口放行的相位方式，跟双向同时放行相比，交叉口通行能力较低，且交叉口延误和饱和度都较大；
- (2) 明显存在左转非机动车跟直行机动车冲突，易引起左转自行车2次停车后待行。

因此，在非机动车交易量很大的进口道不宜采用单路口的放行方式。

故单路口放行一般被限制在如下情况下使用^[35]：

- (1) 受几何条件的限制，对向两进口道的左转轨迹重叠；
- (2) 在没有左转专用车道的情况下，左转需要设置保护相位；
- (3) 左转专用车道和共用车道并存；
- (4) 对向左转之间的交通事故频繁；
- (5) 对向两进口道错位偏移大于 20m；
- (6) 对向左转车流都需要设置左转保护式相位，左转车流量差值 > 75vph。

3) 使用的注意事项^[14]

单路口放行方法与对称流向放行方法相比，相位损失一般较大。并且相位衔接顺序不同引发的冲突点数量和相位损失时间不同。因此，相位衔接是单路口放行的必须重视的问题。在单路口放行方法中，一般采用逆时针方向衔接或对向进口衔接，避免采用顺时针方向衔接，较为有利。

在采用单路口放行的交叉口，同一进口道的直行和左转同时放行，为提高车道利用率，使进口内部各车道的饱和度达到均衡，最好设置一条直行左转合用车道。

二、单向左转保护相位

对左转交通量大的方向设置左转保护式相位，并与同一进口的直行、左转车流同时采取保护式信号相位，禁行其它可能冲突的交通流通行。考虑左转相位与相邻相位的关系，又分为提前和滞后左转保护相位(见图4.11)，其中 ϕ_1 和 ϕ_2 分别代表第一相位和第二相位。

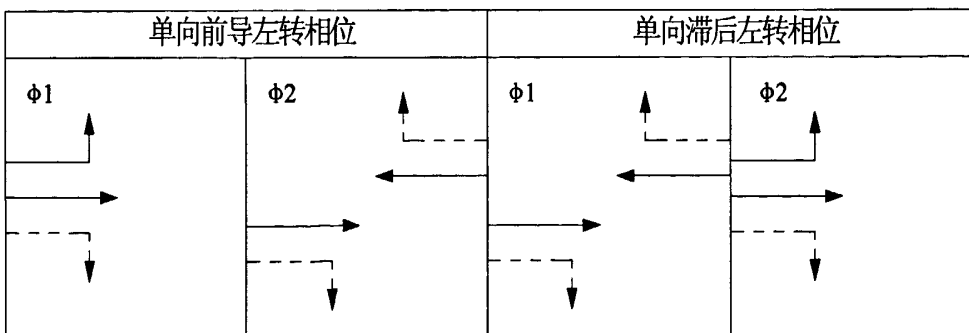


图4.11 单向左转保护相位示意图

基本适用条件：

- (1) 对向两进口道的直行车流量很大并且有所差异，但差值一般小于100vph/ln；
- (2) 在平面交叉口中，只有一个进口道的车流需要设置左转保护式相位。

三、双向左转相位

双向左转相位指相对向的左转车流同时利用保护式相位完成左转。

1) 叠加式相位

信号相位切换是指一个相位向另一个相位的转换过程，与交通流的运行特征及相位的设置有很大的相关性。由此可给出叠加相位的初步定义：叠加相位就是在某相位结束前提前启动另一个相位的一股或多股车流（或者说在某相位开始前提前结束其前期相位的一股或多股车流）。换言之，两个相位之间存在部分重叠。或者说，在信号周期中增加了一种特别的“小相位”。正是这种“小相位”的存在，使得总流量比得以降低，通行能力得以增加。

叠加式相位又可分为前导和滞后左转保护相位两种。该相位形式是双向左转保护相位与单向左转保护相位的叠加。前导式叠加双向左转保护相位（如图4.12所示），首先，双向左转同时放行，然后终止对向左转，继续同时放行本向左转和直行（即单路口放行），终止左转放行，同时放行双向直行。

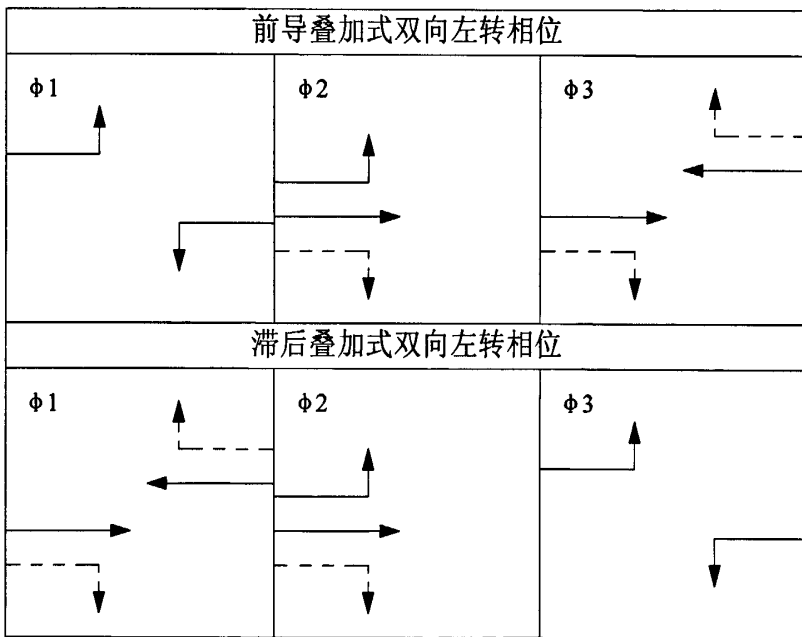


图4.12 叠加式双向左转保护相位示意图

2) 无叠加式相位

无叠加式左转相位又分为前导和滞后两种相位，见图4.13。

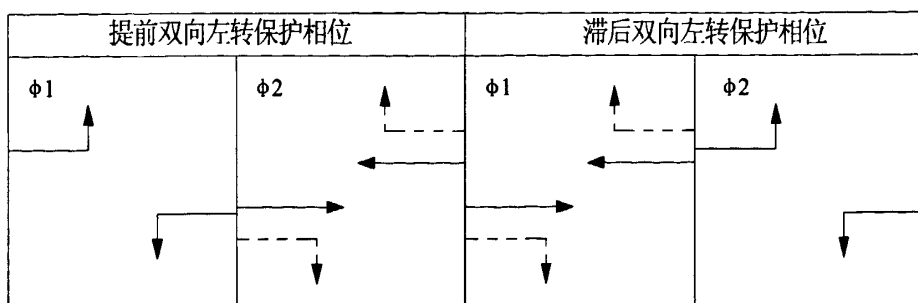


图4.13 无叠加式双向左转保护相位示意图

适用条件:

- (1) 相对向的左转车流量相差不大, 且差值小于75veh/ph;
- (2) 平面交叉口两对向左转车流都需要设置左转保护式相位。

四、保护与许可混合的左转相位 (P/P)

该相位方式是指在直行相位时允许左转相位通行, 并且设置左转保护相位。包括保护+许可左转相位和许可+保护左转相位两种形式。左转保护相位在许可相位之后, 称之为许可+保护左转相位; 反之称为保护+许可左转相位(见图4.14)。

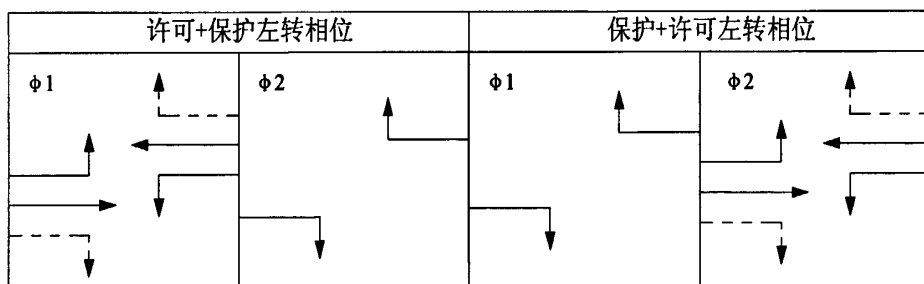


图4.14 保护与许可混合左转相位示意图

1) P/P左转相位的特点

这种左转相位方式主要有以下特点, 如表4.6所示:

表4.6 P/P左转相位的特点

相位类型	特点	具体说明
保护与许可混合的相位	优点	<p>(1) 许可左转相位时间左转车辆经常可以利用直行车流的空档通过交叉路口。单纯的左转保护式相位将会牺牲其它相位时间。而混合式相位将会大大减少牺牲其它相位时间的比率, 从而利于提高了交叉路口的时空利用率;</p> <p>(2) 可减少交叉路口直行车辆或左转的延误;</p> <p>(3) 可以依据交通流的变化状况, 灵活的调节混合式相位中的冲突式左转和保护式左转的比例, 以便得到最优控制信号相位方案。</p>

表 4.6 P/P 左转相位的特点 (续)

相位类型	特点	具体说明
	缺点	(1)实际应用中, 由于该相位方式有一定的问题, 造成驾驶员不易理解这种相位信号, 从而容易造成交叉口的交通混乱; (2)当平面交叉口有多条左转车道或直行车道时, 应谨慎使用。因为左转车道或直行车道较多时左转车辆驾驶员的视线容易被阻挡, 造成穿越空档困难或者判断失误, 引起交通事故和交叉口秩序的混乱。
	适用条件	因此, 该相位方式主要适用于高峰时间外的时段, 左转车流流量很大且大于直行车流的情况。如果提供完全的左转保护相位, 则有可能导致信号相位时间过长。采用该形式可有效减少搭接相位车辆等待时间, 以减少延误。

选用左转保护式相位与左转保护与许可相位 (P/P) 原则: 通常情形是在无法明确用左转保护与许可相位 (P/P) 还是左转保护相位 (P) 时, 如果能够满足运行的要求, 则采用左转保护与许可相位, 保护加许可左转相位既可以提高通行能力又可以降低延误; 否则, 采用左转保护式相位 (P)。

2) 左转陷阱

提前-滞后相位与左转许可相位结合易引发交通事故, 也就是存在着所谓的“左转陷阱”。如图4.15所示, 假如第一相位采用提前左转保护相位, 第二相位为许可左转相位, 第三相位为滞后左转保护相位。

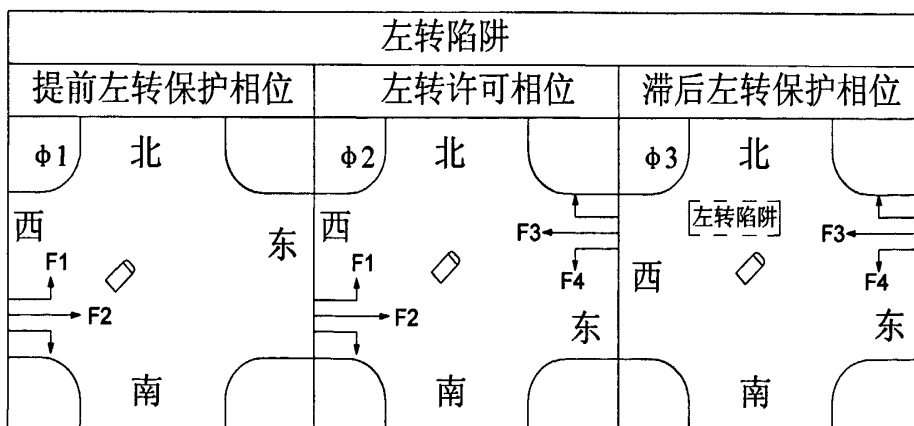


图4.15 左转陷阱示意图

下面以东西方向的车流为例对交通流运行过程进行说明:

- (1) 在 ϕ_1 相位期间: 西向进口为提前左转保护相位, 获得绿灯显示, 车流F1和F2同时放行, 而东向进口为红灯信号。
- (2) 在 ϕ_2 相位期间: 东、西向进口道为左转许可相位, 两个进口道均获得绿灯显

示, 左转车辆在交叉口利用可穿越间隔通过。在本相位末端, 车流F1为黄灯显示, 由于左转司机面对的是黄灯, 会误认为东向进口也获得黄灯显示, F3应停车, F1试图通过交叉口。

- (3) 在 ϕ_3 相位期间: 东向进口道为滞后左转保护相位, 获得绿灯箭头显示, 西向进口为红灯信号。在这个相位期间F3利用黄灯时间继续通行, 将与在 ϕ_2 和 ϕ_3 相位转换期间试图通过交叉口的F1发生碰撞, 造成左转陷阱。

在上图的交通流的运行过程可以看出, 左转陷阱会出现以下局面: ①东向的左转被卡在交叉口中央, 进退维谷; ②东向左转司机以为对向车辆会停车而强行通过, 从而与继续通行的对向直行车辆发生冲突。

可见, 只有当左转许可相位与对向直行相位结束的时间不同时, 才会产生左转陷阱。所以, 在设置提前-滞后相位时, 要谨慎使用左转许可相位, 只有在确定不引起左转陷阱时, 方能使用P/P左转相位。而消除“左转陷阱”的方法有:

- (1) 将交叉口经过特殊处理成T形交叉口, 且禁止U转;
- (2) 将交叉口的进口道禁止左转, 或者是全部采用保护式左转相位;
- (3) 通过交通调查, 如果交叉口进口道全天左转交通量变化不明显时, 相位设置时不采用叠加方式。

五、三种相位形式的比较

对于单纯的左转保护相位、单纯的左转许可相位、左转保护/许可混合相位的安全和延误的研究有如下结论:

- (1) 延误指标: 单纯的左转许可相位 < 左转保护/许可混合相位 < 单纯的左转保护相位;
- (2) 安全性: 单纯的左转保护相位 > 左转保护/许可混合相位 > 单纯的左转许可相位;

4.4 本章小节

本章先概述了单个交叉口信号控制的基本知识和信号配时计算方法。着重讨论了左转专用相位设计。从左转专用相位的分类入手, 然后详细讨论了左转专用相位的设置依据、设置左转保护式相位判定的程序, 最后分析了左转保护式相位方案的几种类型且比较了它们的异同点, 及各种方案的优缺点和适用场合。

第五章 左弯待转区的设置

近年来,在我国许多大城市运用了一种新的称作“左弯待转区”的交叉口渠化方式(见图 5.1 和 5.2)。当交叉口左转车辆较多,左转车道长度有限,在左转相位红灯期间,当左转车道长度容纳不下左转车辆排队需要,则左转车会部分溢出左转车道,从而干扰直行车道的交通运行。所在,当城市道路平面交叉口具备相应的几何条件时,可在不用延长左转专用车道长度和增加左转专用车道数量的情况下,将左转专用车道的停车线提前到交叉口适当位置,即设置“左弯待转区”,对平面交叉口予以改善。

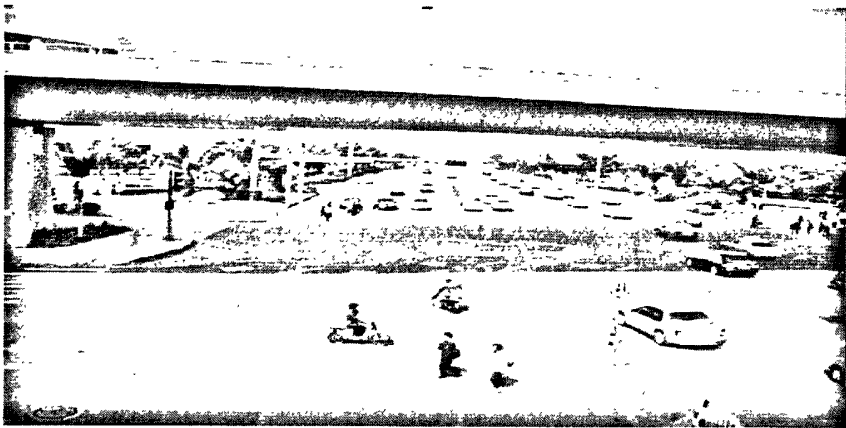


图 5.1 厦门嘉禾路与仙岳路交叉口左弯待转区示意图

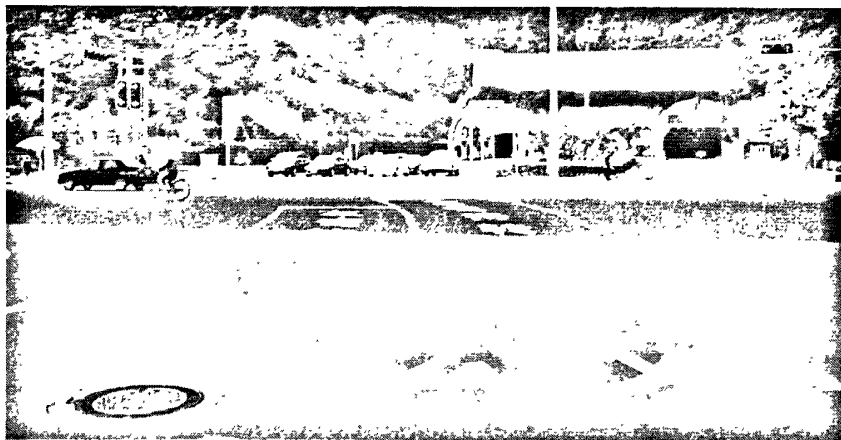


图 5.2 厦门华荣路与仙岳路交叉口左弯待转区示意图

本章主要讨论左弯待转区设置的临界条件,即对交叉口设置的几何上的要求,以及信号配时上的要求。

5.1 引言

1999 年,交通部、公安部制订并颁布了中华人民共和国国家标准《道路交通标志和标线》^[26](GB5768-1999),里面新增了一种指示标线——左弯待转区,但是并没有

明确它的适用条件和设置方法。由于左弯待转区的设置与相位设置有密切的联系，下面将阐述相关内容。

一、前导相位和滞后相位^[35]

目前我国许多地区叉口信号相序设计时基本是先放行直行车，再放行左转车(滞后相位)；而国外倾向于选择提前左转相位，调查显示，在使和保护/许可混合左转相位时，83%使用提前左转相位，11%为滞后左转相位，6%为提前一滞后左转相位。两者的优劣并不取决于相位本身。而是与在相位转换期间车辆在交叉口的运行特性、交叉口几何条件等有关。

1) 左转车和直行车到达冲突点的时差

相位设置必须保证在相位末端进入交叉口的车辆先于在下一相位开始进入交叉口的头车到达冲突点。如果用 T_L 和 T_S 分别表示相互冲突的左转和直行车辆达到冲突点的时间，则：

(1) 若 $T_S > T_L$ ，采用前导保护左转相位；

(2) 若 $T_S < T_L$ ，采用滞后保护左转相位。

相位转化对车辆运行过程为：先放行的车辆在绿灯末期尾车以正常的速度驶过停车线，经过绿灯间隔时间 T_g ，后放行的车辆的头车经历一定的反应和启动加速时间进入交叉口。可见，先放行的尾车到达冲突点的时间只包括车辆以正常速度行驶从停车线到冲突点距离的时间，而后放行的头车到达冲突点的时间不仅包括正常的行驶时间，还包括反应和启动损失时间，到达冲突点的时差包括上面两时间之差和 T_g 。在交叉口几何条件一定的情况下，对通过冲突点时差的要求主要影响 T_g 长短。已有研究认为，在一般情况下，左转尾车到达冲突点的时间短于直行头车到达冲突点的时间，应先放行左转车再放行对向直行车，安全性较好。只需设置较短的 T_g ，时间利用率较高。

二、相位上的要求^[35]

设置左转等待区(见图5.3)的主要目的是，在直行相位的末期，让左转车辆在待行区中等待通过，减少了左转车流通过交叉口的时间，研究表明，滞后左转相位的启动损失时间低于提前左转相位。在设置左转等待区的情况下，只有先放行直行车辆，左转等待区才能发挥作用。如果先放左转，将会造成左转陷阱。所以设置左转等待区时，需要有相应的相位来适应，同时在设有左转等待区的交叉口，对相位的选择也是一个限制。南京等大城市在重要的交叉口都设置了左转等待区，这也是我国普遍采用滞后左转保护

相位的一个主要原因。

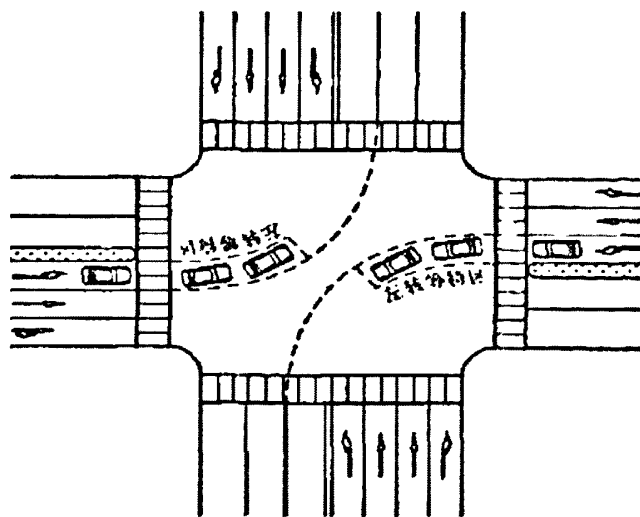


图5.3 左弯待转区

5.2 设置左弯待转区的临界条件

5.2.1 左弯待转区设置的几何上的要求

由上所述，可以看出左弯待转区的设置要满足一定的几何要求。倘若交叉口几何上不具备相应条件而生搬硬套设置左弯待转区是无助于缓解左转车辆的溢出，并且会引发交叉口内的交通秩序混乱。

为了分析的方便，以图 5.4 为例进行分析。

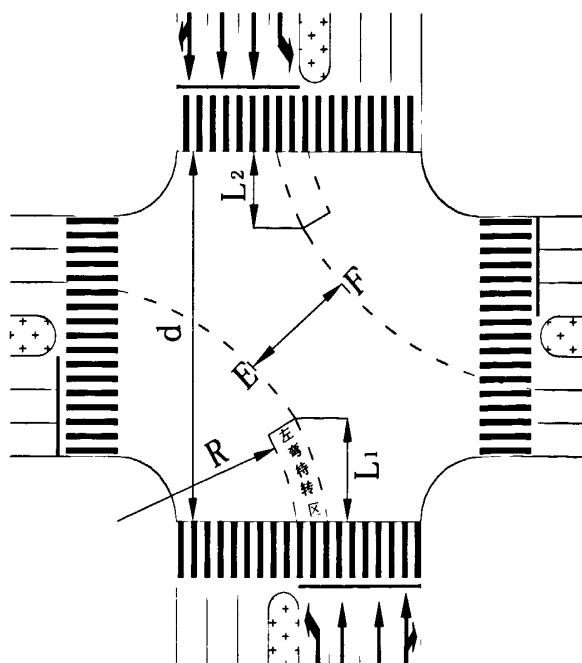


图 5.4 左弯待转区几何设置示意图

左弯待转区是在交叉口左转专用车道进口道前用标线画出一块区域作为等待区，当

直行绿灯亮时,同一进口的左转车辆随直行车辆运行至交叉口内的左弯待转区,等待左转绿灯亮时再前进,从而通过交叉口。这样,在信号时间和左转车道数不变的情况下,却可使通过左转车辆数增多。可见这种方式,不但充分利用了交叉口的空间区域,而且减少左转信号的时间,缩短了整个周期时间。

如图 5.4 所示,当交叉口设置了左弯待转区后,必须保证在左弯待转区中的左转车辆不会影响横向的直行车流的运行。即有约束条件如下:

$$d > L_1 + L_2 \quad (5.1)$$

其次,必须满足两进口道的左转车流在交叉口中运行是有一定的安全距离,从而不至于发生碰撞冲突。即:

$$|EF| \geq d_{\min} \quad (5.2)$$

式中: d_{\min} —机动车辆在交叉口中交叉运行所需要的最小安全距离,一般取 2m;

再者,必须考虑车辆运行时的转弯半径上需求,左弯待转区内侧的半径不能小于设计车辆的最小转弯半径,可用下式计算^[30]:

$$R = \frac{V^2}{127(\mu \pm i_h)} \quad (5.3)$$

式中:

R ——内侧左转车道的圆曲线半径(m);

V ——计算行车速度(km/h),国外一般采用路段设计速度的 0.7 倍。我国实测资

料:公共汽车为 0.5 倍,载重汽车 0.6 倍,供参考;

μ ——横向力系数,建议大客车 $\mu = 0.10 \sim 0.15$,小客车 $\mu = 0.15 \sim 0.20$;

i_h ——横坡度,一般采用 1.5%,有正负之分,同常规处理方法。

将 $\mu = 0.10$, $i_h = 0.015$ 带入上式计算,有下式(相应地计算出表 5.1,可供查用):

$$R = \frac{V^2}{127(0.10 + 0.015)} = 0.06847V^2 \quad (5.4)$$

表 5.1 左转车道转弯最小半径

车速 V (km/h)	15	20	25	30	35
半径 R^* (m)	15	30	45	60	80

综上所述,交叉口要设置左转待转区,其几何尺寸必须满足以下约束条件。即:

$$\begin{cases} d > L_1 + L_2 \\ |EF| \geq d_{\min} \\ R \geq R^* \end{cases}$$

$$\text{即有: } \Delta t = \frac{qr}{S-q} \quad (5.7)$$

式中:

N ——左转最大排队车辆数 (veh);

q ——左转车的到达率 (veh/h);

r ——左转相位红灯时长 (s);

S ——左转相位的饱和流率 (veh/h);

Δt ——排队车辆全部通过交叉口的时间 (s);

在绿灯启亮时, 左转排队车辆开始起动, 形成起动波, 起动波以速度 v 从前向后传播, 假定交叉口处于未饱和状态, 那么所有的排队车辆都可以在一个周期内放完, 所以左转车距交叉口排队最远位置为:

$$X = v\Delta t = v \frac{qr}{S-q} \quad (5.8)$$

根据信号配时基本理论^[13,37]:

$$r = C(1-u) \quad (5.9)$$

式中: C ——周期时长;

u ——绿信比。

由(5.8)和(5.9)得:

$$X = C \frac{qv(1-u)}{S-q} \quad (5.10)$$

当 $X = L_1$ 时, 临界流量 $q_1 = \frac{L_1 S}{L_1 + ur} < q < q_2 = \frac{(L_1 + L_2) S}{(L_1 + L_2) + ur}$; 当 $X = L_1 + L_2$, 左转车为避免溢出允许最大排队所对应的流量值 $q_2 = \frac{(L_1 + L_2) S}{(L_1 + L_2) + ur}$ 。

综上: 只有当 $q_1 = \frac{L_1 S}{L_1 + ur} < q < q_2 = \frac{(L_1 + L_2) S}{(L_1 + L_2) + ur}$, 设置左弯待转区可以起到避

免左转车辆的溢出的目的。

5.2.3 左弯待转区设置在信号配时上的要求

由上面所述可知, 设置左弯待转区必须有左转专用相位。左弯待转区的通行在信号灯启用顺序上的要求是: 左转车辆在直行相位绿灯起亮时, 驶入左转待转区, 等到左转

相位绿灯起亮后实行左转。所以在相序上要求是：先直行后左转。

一、左转相位所需的最短绿灯时间^[13]

设置左弯待转区后最短绿灯时间上的要求是：能够清空交叉口范围内的左转车辆最大排队长度的车辆，也就是左转车道的长度与左弯待转区的长度之和的车辆。于是：

$$g_{\min} = \frac{L_1 + L_2}{S * J} \quad (5.11)$$

式中：

g_{\min} ——设置左弯待转区后的左转相位所需要的最短绿灯时间 (s)；

J ——平均每辆车的长度 (m/veh)。

二、左转相位最长红灯时间^[13]

左转相位所允许的最长红灯时间是由左转车道所允许的最大排队长度来确定的，也就是由左转车道的长度与左弯待转区的长度之和来确定。因此左转相位的最长红灯时间可由下式求得：

$$r_{\max} = \frac{L_1 + L_2}{q * J} - \frac{L_1 + L_2}{u} \quad (5.12)$$

式中：

r_{\max} ——设置左弯待转区后的所允许的最长红灯时间 (s)；

u ——起动波波速(km/h)，一般取 20km/h。

三、与上一相位的绿灯间隔时间^[13]

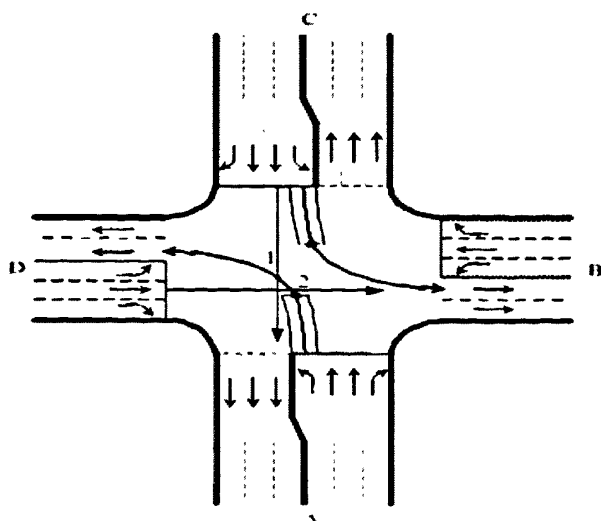


图 5.6 设置左弯待转区后车辆冲突示意图

左弯待转区的设置使左转停车线提前了,从而左转车辆前面的车辆到达潜在冲突点时间变少了。因此,必须对绿灯间隔时间进行分析,使其满足安全要求。

如图 5.6 所示, A 进口道左转绿灯相位与本向的上一次直行相位有可能存在以下的交通冲突:当绿灯间隔时间短时,左转相位绿灯灯起亮后左弯待转区中的头辆车与上一次直行相位绿灯末期从停车线驶出的尾车在冲突点 1 处有冲突。因此, A 进口道在转相位与上一相位 C 进口道直行相位的绿灯间隔时间须满足以下条件:

$$t_L + t_J \geq t_Z + t_s \quad (5.13)$$

式中:

t_L ——左转相位中在左弯待转区中的头辆车从停车线驶出到达冲突点 1 所用的时间;

t_J ——左转相位与上一个直行相位之间的绿灯间隔时间,包括黄灯时间和全红时间;

t_Z ——C 进口道上直行相位中直行尾车从停车线驶出到达冲突点 1 所需的时间;

t_s ——预留的安全间隔时间:确保冲突车辆能够顺利通过冲突点而设置的安全间隔时间,通常为常数。

设置左弯待转区后绿灯间隔时间为:

$$t_J' \geq t_Z' + t_s - t_L' \quad (5.14)$$

式中:

t_J' ——设置左弯待转区后,左转相位与上一个直行相位之间的绿灯间隔时间,包括黄灯时间和全红时间;

t_Z' ——设置左弯待转区后, C 进口道上直行相位直行尾车从停车线驶出到达冲突点 1 所需的时间;

t_L' ——设置左弯待转区后,左转相位左转头车从停车线驶出到达冲突 1 的时间。

为了简化分析,通常情况下认为左转车流在设置在转待转区前后的行驶轨迹没有变化,而对向直行车的行驶轨迹也没有变化,所以这两股车流的冲突点的位置也可以认为是不变的。但是设置左弯待转区后,左转车辆停车线位置提前,于是有: $t_Z' = t_Z$ 和 $t_L' < t_L$, 又 t_s 不变,因此有下式:

$$t_j' > t_j \quad (5.15)$$

综上所述,相比较而言,由于左弯待转区的存在,为了避免左转车流与上一相位直行车流之间的冲突,必须延长左转相位与上一直行相位的绿灯间隔时间,其值大小由左弯待转区长度决定,且成正比。

同样可以分析,设置左弯待转区以后,左转相位与下一直行相位的绿灯间隔时间不变。

5.3 本章小结

本节分析了国内外“左弯待转区”的研究现状,并指出其优点,并对其设置的要求主要从交叉口的几何条件、交通流量条件及具体信号配时的相关要求作了分析。

第六章 工程实例

6.1 实例概况分析

6.1.1 调研内容

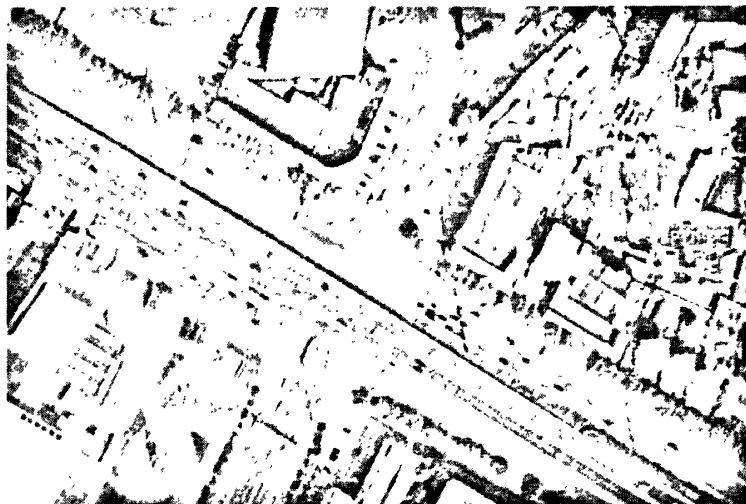


图 6.1 高新十字平面交叉口

为了说明本文的左转交通组织方法的可行性，本文选择高新路十字路口作为调研对象，如图 6.1 所示。调研的内容有：

- 1) 交叉口的具体的几何数据，包括各进口道的车道布置、各车道的宽度、绿化带的尺寸等；
- 2) 各个进口道机动车交通流向与流量，及非机动车中的自行车和行人的流向、流量；
- 3) 各条进口道的机动车延误（交叉口各个进口的机动车延误：所调研的机动车延误通过排队车辆的停驶次数来计算，采集红灯变成绿灯瞬间停在停车线后面的排队车辆数）^[38]。

6.1.2 调研结果整理与分析

一、交叉口几何现状

平面交叉口东西向为南二环，北进口为劳路，南进口为高新路。该平面交叉口位于高架桥下。平面交叉口内有四个桥墩，位于平面交叉口东西两侧，对行车视线有影响，尤其是南北方向上的车流而言。南二环为四块板断面，高新路为四块板断面，而劳动路为一块板断面，中间设分隔护栏。

二、交通量现状

早高峰取 7:30~9:30，中午取 11:30~13:30，晚高峰取 16:30~18:30，它们的平均小时交通流整理后，如表 6.1 所示。

表 6.1 交叉口流量流向表

进口道		车道数	饱和流量 (辆/h)	流量			流量比(取高 峰期)
				早高峰	午高峰	晚高峰	
东进口	直行	2	3300	660	521	630	0.20
	左转	2	2880	604	489	587	0.21
	右转	1	1550	513	457	508	—
西进口	直行	3	4650	976	745	877	0.21
	左转	2	2880	547	453	532	0.19
	右转	1	1550	612	489	563	—
南进口	直行	3	4650	1865	1375	1793	0.41
	左转	0	0	0	0	0	0
	右转	1	1550	632	542	598	—
北进口	直行	3	4650	1767	1537	1662	0.38
	左转	0	0	0	0	0	0
	右转	1	1550	578	463	542	—

备注: 1.由于右转车流不参与信号配时,所以不予以计算;

2.南北进口由于实现禁左交通流组织,所以不予以计算;

3.高峰期为早高峰。

三、交叉口延误参数

通过交通调查,整理得到高新十字交叉口平均排队长度表(表 6.2),平均停车次数表(表 6.3),平均延误计算表(表 6.4)。

表 6.2 高新十字交叉口平均排队长度表

		早高峰平均排除长度 (pcu)	中午高峰平均排除长度 (pcu)	晚高峰平均排除长度 (pcu)
东进口	直行	18.2	16.4	17.2
	左转	16.3	14.9	15.3
	右转	5.3	3.5	4.3
西进口	直行	16.4	14.7	15.4
	左转	15.7	13.2	14.3
	右转	6.3	3.2	4.4
南进口	直行	14.8	9.6	12.4
	右转	5.1	4.5	4.7
北进口	直行	13.7	11.3	12.6
	右转	6.7	4.8	5.3

表 6.3 高新十字交叉口平均停车次数表

		早高峰平均停车次数	中午高峰平均停车次数	晚高峰平均停车次数
东进口	直行	1.32	1.13	1.23
	左转	0.93	0.74	0.86
	右转	0.53	0.25	0.45
西进口	直行	0.83	0.64	0.85
	左转	1.21	0.97	1.12
	右转	0.63	0.34	0.68
南进口	直行	1.65	0.89	1.54
	右转	0.76	0.42	0.74
北进口	直行	1.58	1.03	1.53
	右转	0.53	0.23	0.59
交叉口平均值		0.997	0.664	0.959

表 6.4 高新十字交叉口平均延误计算表

进口	平均延误(s)		
	早高峰	中午高峰	晚高峰
东进口	32.43	23.58	34.36
西进口	35.62	24.78	33.87
南进口	24.45	20.21	23.65
北进口	26.73	18.86	25.95
交叉口平均值	29.81	21.86	29.46

6.2 左转交通流的组织方案

一、专转专用车道的设置

对东西向均采用，拓宽路口和压缩车道的方法，各设置两条左转专用车道。机动车道具体布置是如下：

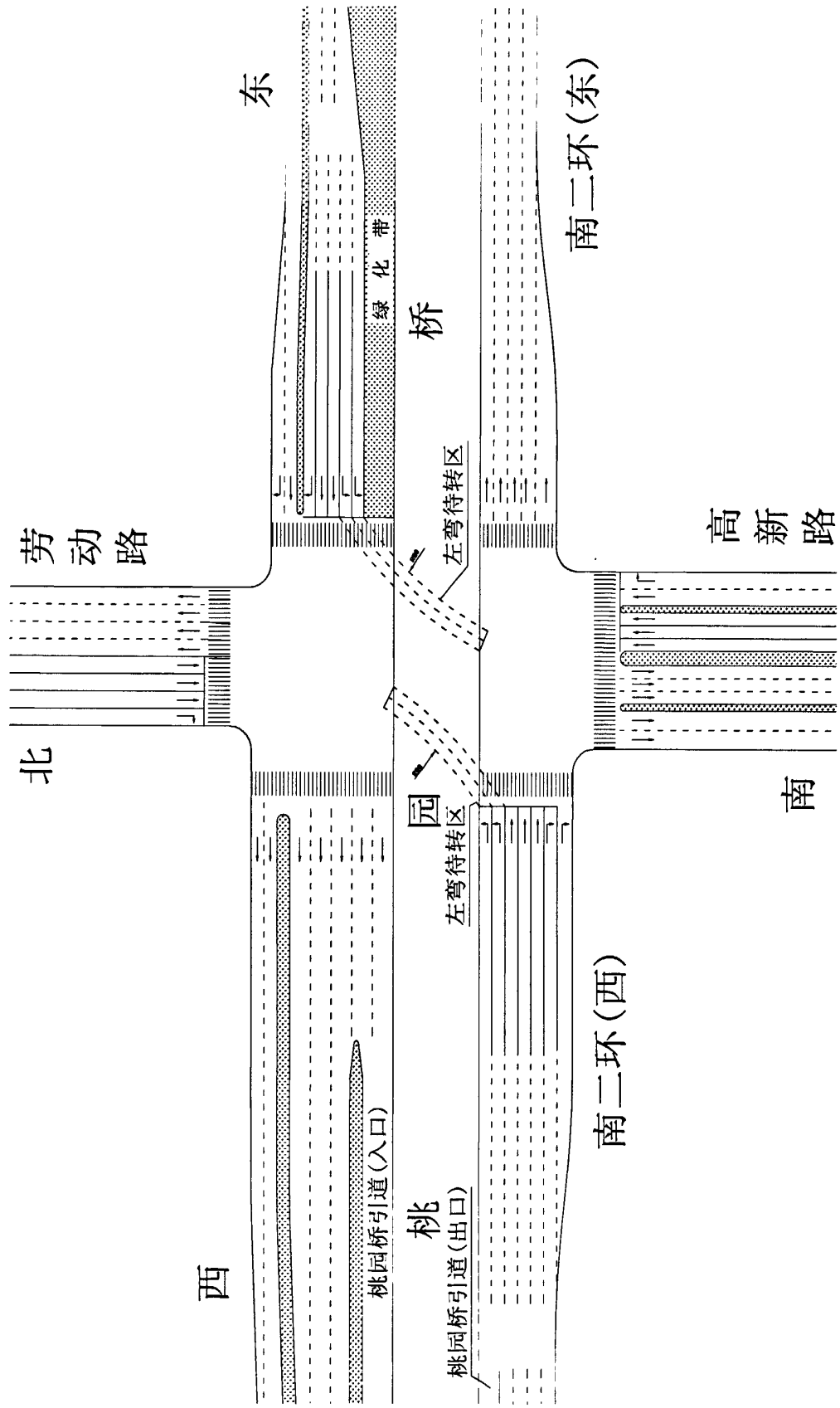
东进口：两条左转专用车道+两条直行车道+一条右转车道；

西进口：三条直行车道+两条左转专用车道+一条右转车道；

南进口：三条直行车道；

北进口：三条直行车道+一条右转车道。

对左转车更具体的几何布置，见图 6.2。



二、保护式左转相位的设置

首先，考虑到本交叉口的交通流量流向情况，及交叉口的几何条件，对行车视线极为不利的南北左转车实行禁止左转。其次，西进口有引道从高架桥上下来，东、西向的左转交通流量都很大（如表 6.1 所示），且用“乘积准则”判定，已达标；南北向直行车道数均为三条；本向直行车道数均为两条。根据第四章的判定准则，对于东西向左转交通流，采用双向保护式左转相位。同时，依据第五章的知识，对左弯待转区也进行了设置。所以，东西向，先考虑直行后实行左转，最后是南北向的直行通行，整个相位安排，如表 6.5 和图 6.3 所示。

表 6.5 信号交叉口配时所需数据表

进口 项目	东进口直 行	西进口直 行	东进口左 转	西进口左 转	南进口直 行	北进口直 行
交通量 $q(\text{pcu/h})$	660	976	604	547	1865	1767
饱和流量 $s(\text{pcu/h})$	3300	4650	2880	2880	4650	4650
流量比 y	0.20	0.21	0.21	0.19	0.41	0.38
最大流量比 y_{\max}	0.21		0.21		0.41	
相位划分 n	第一相位		第二相位		第三相位	

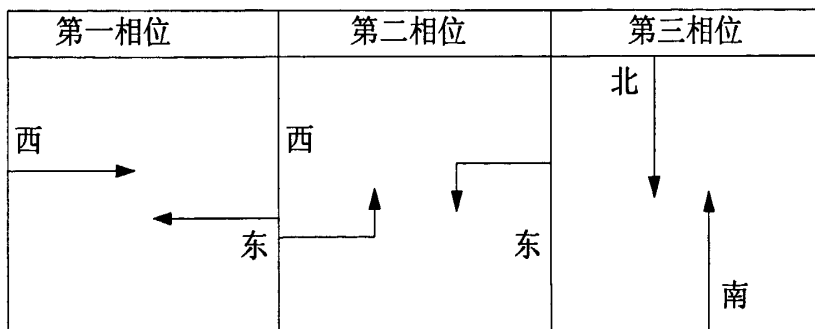


图 6.3 高新十字相位图

三、信号配时表

根据平面交叉口信号配时的原理，把车辆启动损失时间取为 3s，黄灯时间取 3s，全红时间为 0，按 4.2.1 中的公式，对本交叉口信号进行配时，结果用表 6.3 列出。具体配时过程不再详述。

表 6.6 配时方案表

相位顺序 配时内容	第一相位 (东西 直行)	第二相位 (双向左 转: 东至南, 南至北)	第三相位 (南北直 行)
显示绿灯时间 (s)	26	26	49
黄灯时间 (s)	3	3	3
四面全红时间 (s)	0	0	0
合计时间 (s)	29	29	52
周期时间 (s)	110		

6.3 微观模拟与分析

一、仿真介绍

结合调查的交通量, 用 VISSIM 软件对本交叉口进行交通运行仿真模拟。仿真流程如图 6.4 所示。仿真过程图如 6.5、6.6、6.7 等。

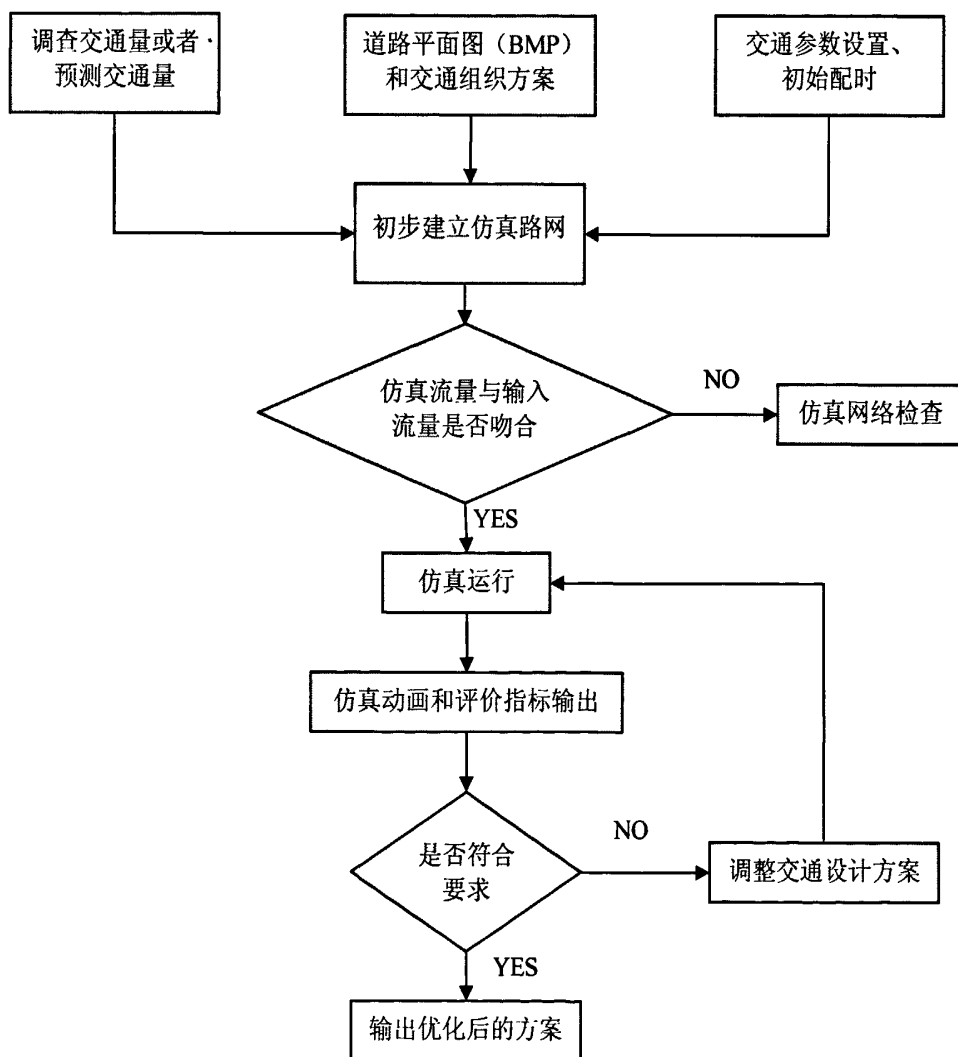


图 6.4 仿真流程图

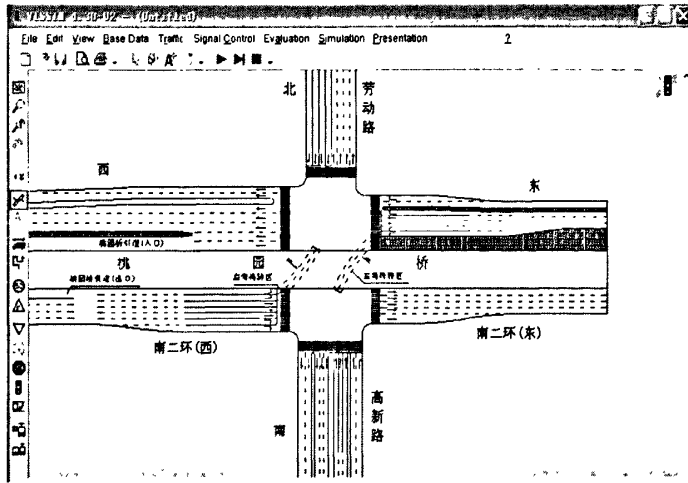


图 6.5 仿真图导入

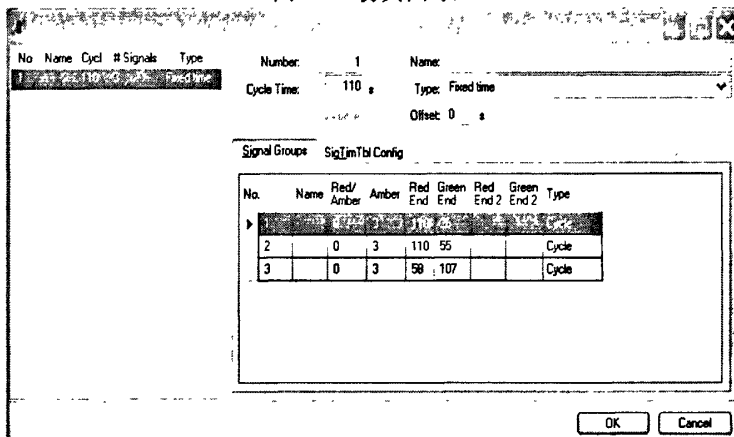


图 6.6 仿真时信号配时参数录入图

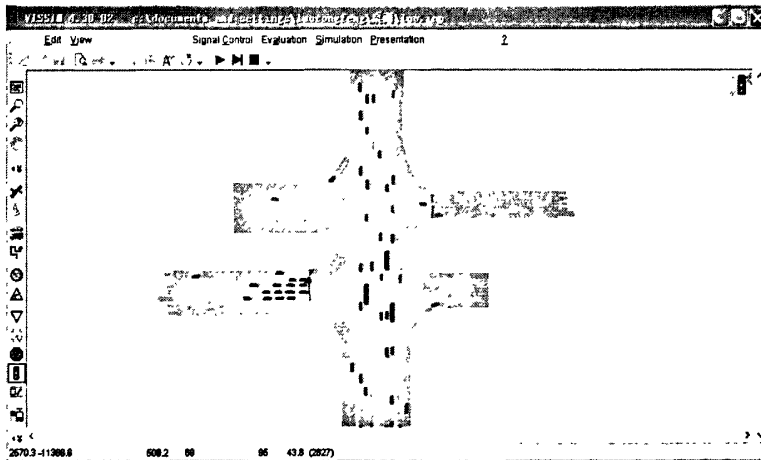


图 6.7 仿真过程运行图

二、评价指标的选择

VISSIM 仿真软件中存在多种类型的评价指标，本文仅选用排队长度和延误作为评价指标，它们的作用如表 6.7 所示^[38]。它们可以有效地分析信号交叉口处各种交通流渠化配时的效果。

表 6.7 模拟评价指标的作用

评价指标	作用
排队长度	延误是信号交叉口的容量和服务水平评价的重要指标, 道路交叉口的通行能力取决于交叉口的车辆平均延误及交叉口的交通负荷。
延误	排队长度反映信号交叉口各个进口的饱和度, 结合设定的交通量可以反映交叉口的饱和容量。

三、模拟结果及效果分析

根据仿真结果数值, 对方案前后进行效果对比, 如表 6.8 和表 6.9 所示。从结果中可以看出如下结论:

- 1) 从平均排队长度上看: 各个进口的直行、和左转车道的数值有明显的下降, 而右转交通流的平均排队长度值下降不太明显;
- 2) 从平均延误上看: 各个进口道的数值均有大副度下降, 尤其是东西向交通流更为明显, 原因是左转交通流进行了有效的组织, 冲突情况大为改善。

表 6.8 高新十字路口平均排队长度对比表

		现状 (取早高峰平均排除长度 (pcu))	方案后
东进口	直行	18.2	6.2
	左转	16.3	4.7
	右转	5.3	3.4
西进口	直行	16.4	6.7
	左转	15.7	4.9
	右转	6.3	5.9
南进口	直行	14.8	3.6
	右转	5.1	4.3
北进口	直行	13.7	5.3
	右转	6.7	3.3

表 6.9 高新十字路口平均延误对比表

进口	平均延误 (s)	
	现状 (取早高峰)	方案后
东进口	32.43	8.7
西进口	35.62	7.3
南进口	24.45	7.6
北进口	26.73	8.8
交叉口平均值	29.81	8.1

6.4 结论

综合上述分析, 可以看出, 本文提出的左转交通流组织方法, 有一定的合理性和可行性, 其对平面交叉口左转交通流的管理和控制有一定的参考价值。

结论与建议

1. 本文主要结论

主要包括以下几个方面：

- (一)从理论层次上较为系统地分析了信号交叉口左转交通流的交通特性和组织方法。分析在采用禁止左转组织通行问题，提出在道路网条件许可的情况下，可以通过远引交叉或立交平做等措施减轻左转交通对信号交叉口的影响，从而提高整个交叉口的通行能力。
- (二)讨论了左转专用车道的设置依据、设置的常用方式和适用条件，并从理论上分析了左转专用车道几何设计上的要求，从而在道路空间资源上优化了整个交叉口，并为下一章左转信号相位设置服务。
- (三)通过从影响左转相位设置的各种重要的相关因素进行分析，从理论上分析设置保护式左转相位的依据和方法，及相位与相序上设置的注意事项，从而更好地提高交叉口的交通运行的效率与安全。
- (四)分析了左弯待转区的优点，以及设置时对平面交叉口几何、交通流量、信号配时上的要求。
- (五)以高新十字的平面交叉口为例，运用本文提出的方法进行了渠化和信号相位设计，并运用仿真软件，把现状与改造方案进行了对比，初步证明本文的左转交通流组织方法的可行性和科学性。

总之，本文系统分析了交叉口左转车流的特性和组织方式，较为详细地分析了左转车流处理的各种思路与方法，对新、改、扩建交叉口的左转交通流的组织有借鉴意义。

2. 进一步研究的建议

由于时间仓促以及作者水平有限，本文尚有很多不足。笔者认为以下问题需要进一步研究：

- (一)对禁左时采用远引立交的方法疏导左转交通流时，只是定性地作了分析，没有从定量上更为深入具体地阐述该方法的适用条件；
- (二)在分析左转专用车道的设置时，没有同时考虑与相位设置上的联系；
- (三)考虑设置保护式左转相位时，基本没有考虑行人和非机动车等因素的影响；
- (四)在分析左弯待转区时，没有深入分析其与相位设置的关系，且模型过于单一，对于形状不规则的平面交叉口可能其约束条件不尽适用。
- (五)以西安市高新十字平面交叉口为例进行分析时，工程设计比较粗糙，且用仿真软件进行模拟时也忽略了一些交通影响因素。

参考文献

- [1] 民用汽车拥有量 <http://www.chinautc.com/information/newsshow.asp?newsid=2831> 15~26
- [2] <http://www.chinautc.com/information/newsshow.asp?newsid=310>
- [3] 任刚.交通管制下的交通分配算法研究[D].南京:东南大学,2003
- [4] 金勇.平面交叉口转弯车流交通组织优化方法研究[D].吉林:吉林大学,2006
- [5] 葛怀群.城市道路禁左交通组织研究[D].西安长安大学,2004
- [6] TRB.NCHRP420:Impacts of access management techniques[R].National Research Council,Washington,DC,1999
- [7] HerbertS,Levinson.Indirect Left Turns—the Michigan Experience[C].In:4thAnnual Access Management Conference,2000
- [8] 袁静,张生瑞.信号交叉口利用中央分隔带左转的优化研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版):2006,38(6),842-846
- [9] 贾朝坡.交叉口禁左通行控制[D].上海:同济大学,2008
- [10] National Research Council.Highway Capacity Manual[R].Washington,D.C.2000
- [11] 王京元,庄焰.信号交叉口左转车道设置研究,深圳大学学报理工版[J].2007,24(1):41-46
- [12] 李丽丽.信号交叉口左转交通流组织中的临界问题研究[D].吉林:吉林大学,2009
- [13] 王京元.信号交叉口时空资源综合优化实用方法研究[D].南京:东南大学,2006
- [14] 倪颖,李克平,徐洪峰.信号交叉口机动车左转待行区的设置研究,交通设计[J].2006,32(4):32-36
- [15] 金勇.平面交叉口转弯车流交通组织优化方法研究[D].吉林:吉林大学,吉林大学交通学院,2006
- [16] Edmond Chin-Ping Chang.Deciding Alternative Left-Turn Signal Phase using Expert Systems.ITE Journal 58,1988,(21):20-29
- [17] Pline.J.L,Left-Turn Treatments at Intersections.Synthesis of Highway Practice.1996
- [18] AI-Kaisy,A.E and Stewart,J.A New Approach for Developing Warrants of Protected Left-Turn Phase at Signalized Intersections. Transportation Research-A 35. 2001: 561-574
- [19] Mn/DOT.Mn/DOT Signal Design Manual. Mn/DOT,2005
- [20] 成卫,张瑾,姜华平.信号交叉口左转保护相位—许可相位转换阈值研究[J].昆明理工大学学报,2003

- [21] 周商吾.交通工程学[M].北京:人民交通大学出版社,1998
- [22] 陈宽民,罗志忠.平面交叉口左转车流的特性分析及对策研究,公路交通技术[J].2006,6(2),114-118
- [23] 张苏.中国交通冲突技术[M].成都:西南交通大学出版社,1998
- [24] 翟忠民,景东升,陆化普.道路交通实战案例[M].北京:人民交通大学出版社,2007
- [25] Research Management Center.Florida intersection design guide for new consgtruction and major reconstruction of at-grade intersections on the state highway system[R].FDOT,Florida,2002
- [26] GB5768—1999,道路交通标志和标线[S].北京:人民交通出版社,1999
- [27] 陆化普.城市现代化交通管理[M].北京:人民交通出版社,1999
- [28] JTGD20-2006,公路路线设计规范[S].北京:人民交通出版社,2006
- [29] 同济大学,上海市工程建设规范—城市道路平面交叉口规划与设计规程[S].上海:同济大学,2001
- [30] 杨少伟等 道路勘测设计[M].北京:人民交通出版社,2009
- [31] 赵伟,肖贵平,苑红伟.对城市道路交叉口左转专用车道设计的探讨[J].北京:工业安全与环保,2006,32(11),25-27
- [32] Corvallis.Left-turnbays[R].TransportationResearchInstitute,Oregon State University,1996.
- [33] 王伟.城市道路交通管理规划指南[M].北京:人民交通出版社,2003
- [34] 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
- [35] 袁黎.公路平面交叉口交通控制安全保障技术的研究[D].南京:东南大学,2007
- [36] 王殿海.交通流理论[M].北京:人民交通出版社,2002
- [37] 杨佩昆,张树升.交通管理与控制[M].北京:人民交通出版社,1997
- [38] 白立琼.有信号交叉口左转交通流的组织方法研究[D].北京:北京交通大学,2006
- [39] GB5768—2009,道路交通标志和标线[S].北京:人民交通出版社,2009

读研期间发表的论文和完成的科研成果

读研期间发表的论文

- [1]张碧琴,王大伟,罗荣锋,潘敏.武汉城市道路养护机械配置可行性分析[J].筑路机械与施工机械化,2009.(05):20-23

致 谢

本文从论文的开题、具体撰写到最后成稿，都是在尊敬的导师张碧琴教授的悉心指导下完成的，老师也付出大量的劳动。三年来，导师孜孜不倦的治学态度、前沿的视野、开明宽容而豁达的处世哲学，给我以极好的陶冶，使我受益良多。为此，谨向导师张碧琴教授致以最真诚的谢意！

同时，特别感激公路学院雒应教授、秦建平教授和机械学院院长焦生杰教授在生活和学习上给予我大量的关心和帮助，使我愉快地完成三年的研究生学习生活。

感谢课题组的马光花和李志平同学，朝夕相处了三年，和谐而默契。还有研一、研二的师弟师妹们，有了他们的参与，生活增添了许多乐趣。

最后，还要感谢我的家人对我多年来生活和学习的鼓励与支持，他们是我努力追求进步的力量源泉。

作者：罗荣锋

2010. 4. 26 于长安大学公路学院

