

交叉口交通组织优化设计研究

摘要

随着我国经济建设的不断发展，机动化进程的不断加快，城市交通拥堵问题越来越严重，已成为制约城市发展的重要原因。交叉口是城市道路网的咽喉，是交通堵塞和事故的多发地。因此，解决城市交叉口的交通拥堵及安全问题是解决城市交通拥堵问题的重要环节。解决城市交通拥堵问题的关键在于如何合理地组织城市交通，同样，解决城市交叉口的交通拥堵及安全问题的关键在于如何合理地进行交通组织。论文首先对交叉口的交通组织优化设计做了一些理论研究，总结了目前国内外关于交叉口交通组织优化设计的一些方法；然后从硬件设计、软件设计两方面详细论述了平面交叉口的交通组织优化设计；最后，针对立体交叉出入口交通运行存在的主要问题，提出了解决的方案。

关键词：交叉口 交通组织 硬件 软件

Study on Traffic Organization Optimized Design of Intersection

Abstract

As our country economy is developing continuously and the process of mobility is speeding up constantly, the problem of the urban traffic jam is becoming more serious and turns to be the important reason of restricting urban development. Intersection is the throat of urban road net and the place in which the traffic jam and the accident often occur. Thereby, how to solve the traffic jam and safe of the urban intersection is the key of sloving urban traffic jam. The key of sloving urban traffic jam is how to organize urban traffic. As the same, the key of sloving the traffic jam and safe in urban intersection is how to organize traffic. Firstly, the thesis elaborates some theoretical research of the optimized design of traffic organization in intersection, and summarizes some methods of the optimized design of the traffic organization of the intersection at home and abroad; Secondly, the thesis elaborates the optimized design of the traffic organization of the planimetric intersection from the hardware and software design; Lastly, the thesis puts forwad some methods in order to solve the main problem of the traffic mobility of the entrance and the export of the fly-over junction.

Keywords: intersection traffic organization hardware software

插图清单

图 1- 1 交通岛	2
图 1- 2 交通标线	2
图 1- 3 指示标志	3
图 1- 4 导流设施	3
图 1- 5 研究流程图	6
图 2- 1 平面交叉口的主要形式	7
图 2- 2 上跨式和下穿式立体交叉示意图	8
图 2- 3 菱形立体交叉	10
图 2- 4 部分苜蓿叶形立体交叉	10
图 2- 5 苜蓿叶形立体交叉	11
图 2- 6 带有集散车道的苜蓿叶形立体交叉	11
图 2- 7 喇叭形立体交叉	12
图 2- 8 梨形立体交叉	12
图 2- 9 环形立体交叉	13
图 2- 10 定向式立体交叉	14
图 2- 11 信号交叉口自行车与机动车冲突区示意图	15
图 3- 1 时间分离法交叉口渠化图和信号相位图	17
图 3- 2 空间分离法交叉口渠化图和信号相位图	18
图 3- 3 北京市交叉口的时空分离法	19
图 3- 4 成都市交叉口的时空分离法	19
图 3- 5 南京市交叉口早期的时空分离法	20
图 3- 6 综合放行法交叉口渠化图和信号相位图	21
图 3- 7 两相位信号放行时的机动车左转弯待转区渠化图及相位图	22
图 3- 8 常见的交叉口导向车道线的设置	24
图 3- 9 交叉口扩宽方式示意图	27
图 3- 10 扩宽交叉口	28
图 3- 11 交通岛渠化交通示意图	29
图 3- 12 指路标志	30
图 3- 13 导向车道指示标志	30
图 3- 14 禁令标志	30
图 3- 15 掉头标志	30
图 4- 1 饱和流率和有效绿灯时间	35
图 4- 2 相位设计流程图	37

图 4- 3 不同的时间分离法信号相位图	38
图 4- 4 空间分离法信号相位设置	38
图 4- 5 时空分离法两相位配置图	38
图 4- 6 时空分离法多相位配置图	39
图 4- 7 时间分离法加空间分离法相位图	39
图 4- 8 空间分离法加时空分离法相位图	39
图 4- 9 轮放方式信号相位图	39
图 4- 10 常规四相位信号相序	40
图 4- 11 定时控制信号配时流程图	47
图 4- 12 机非单行交叉口内的冲突点情况	48
图 4- 13 两相位信号时冲突关系图	49
图 4- 14 两相位信号交叉口机动车四面禁左时的冲突关系图	49
图 4- 15 远引式交叉	50
图 4- 16 街坊绕行	50
图 4- 17 开放环岛时行人与非机动车的交通组织	53
图 4- 18 非对称环岛拥堵与交通事故高发部位	53
图 4- 19 环岛人行道外侧布置示意图	54
图 4- 20 环岛进口信号控制渠化与信号相位设置	55
图 4- 21 环岛进口信号控制渠化与信号相位设置	56
图 4- 22 大型非对称环岛信号控制渠化与信号相位设置	56
图 5- 1 主路上跨式高架桥	62
图 5- 2 上跨主路的分离式高架桥	62
图 5- 3 主辅路路段匝道口交通组织优化方案	63

插表清单

表 1- 1 信号优化设计系统概况表	4
表 4- 1 交叉口类型与停车控制方式的关系	33
表 4- 2 交通量、事故情况与停车控制的关系	34
表 4- 3 某交叉口各进口交通流量表	44
表 4- 4 信号交叉口穿越人行横道的步行者饱和交通量	46

独 创 性 声 明

本人郑重声明我所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含本人或其他人在其它单位已申请学位或为其它用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的所有贡献均已在我论文中作了明确的说明并表示了致谢。

学位论文作者签名：张改

签字日期：07年6月17日

学 位 论 文 版 权 使 用 授 权 书

本学位论文作者完全了解 合肥工业大学 有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权 合肥工业大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后适用本授权书)

学位论文作者签名：张改

导师签名：杨晓军

签字日期：07年6月17日

签字日期：07年6月17日

学位论文作者毕业后去向：

工作单位：合肥学院

电话：13965123443

通讯地址：

邮编：

致 谢

本论文是在我的导师杨成斌教授的悉心指导下完成的。在攻读硕士学位的三年时间里导师严谨的治学态度、求实的工作作风和渊博的学识都令我深感钦佩，并将受益终生。在此谨向导师致以深深的谢意！感谢导师为本文所倾注的心血和三年来对我的辛勤培养、学业上的悉心指导以及生活上无微不至的关怀！

感谢攻读硕士学位期间同门师兄弟在学业和生活上给予我的关怀与帮助，感谢所有支持和关心过我的老师和同学！

感谢父母和亲人多年来对我的抚养和培育，是你们的支持才使我能够顺利地完成学业！

感谢所有关心和帮助过我的人！

作者：张 政
二〇〇七年五月

第一章 绪论

1.1 研究背景

随着我国经济建设的不断发展，机动化进程的不断加快，城市交通拥堵问题已越来越严重。我国 80 年代以前，城市建设发展缓慢，机动车增长也不是很快，城市交通比较通畅。这个时期，国人对发达国家城市交通公害大惑不解，甚至还为自己的城市不曾有此等公害而暗自庆幸。然而，城市交通拥堵就像人体内凶恶的癌细胞悄然滋生与扩散一样，开始“侵害”我们几乎所有的大城市。主要是 80 年代之后，城市基础设施建设投资不足，造成严重的供需失调，各大中城市普遍出现交通问题，同时由于机动车开始剧增，交通堵塞严重，特别是 90 年代以来，机动车增长最快，车流更加集中，走不动、停不下，交通矛盾极其尖锐，交通拥堵问题已成为制约城市发展的重要因素。

1.2 问题的提出

造成城市交通拥堵的根本原因是“供不应求”，对于交通设施的供给满足不了交通的需求。据资料显示，北京路年递增不足 4%，而车年递增超过 10%，供需矛盾不断激化，交通拥堵日益严重已成为不争的事实。那么如何解决城市的交通拥堵问题呢？不少城市采取了多修路的办法，结果却事与愿违，路越修越多，可城市的交通却越来越拥挤。这是因为道路的修建导致了新的交通需求，间接刺激了汽车行业的发展，结果车的增长速度远远大于路的增长速度，形成了恶性循环。所以解决城市交通拥堵问题的关键不仅仅在于多修路，也在于如何合理地组织城市交通，使车流、人流安全、快速地行进，使得“供”满足“求”。

交叉口是城市道路网的咽喉，是交通堵塞和事故的多发地。如日本大城市中的机动车在市中心的旅行时间约 1/3 发生在交叉口，交通事故的 60% 以上发生在平面交叉口及其周围；美国交通事故约一半以上发生在交叉口。^[1] 我国交叉口的交通问题更为严重，首先，我国许多城市路网密度较低，干道间距过大，支路短缺，功能混乱，属于低级的交通系统，难以适应现代汽车交通的需要；其次，许多城市路口由于道路占地有限，面积较小，且存在大量的非机动车流和人流，导致机动车、非机动车、行人常常交织在一起，形成混合交通流，严重影响了交叉口的通行能力。因此，解决城市交叉口的交通拥堵及安全问题是解决城市交通拥堵问题的重要环节。同样，解决城市交叉口的交通拥堵及安全问题关键在于如何合理地进行交通组织。

1.3 国内外研究概况

1.3.1 平面交叉国内外研究概况

下面从交叉口渠化交通、信号设计两方面对国内外研究情况进行概述。

1.3.1.1 交叉口交通渠化设计的国内外研究概况

1986 年, 曾静康对深圳的平交路口进行了综合控制实验, 在考察行人、机动车、自行车相互之间冲突的基础上, 以每一交通流通过路口可能遇到的“冲突点串”为单位, 提出了“综合模式”的控制方法, 其关键是寻求渠化、相位和灯色三者的协调。1991 年陈洪仁在道路交叉设计中提出了交叉口渠化的措施。2001 年, 邹联赐和薛博在深圳市交通整治工程的基础上, 总结了交叉口渠化的方法。2001 年, 上海市出版了工程建设规范《城市道路平面交叉口规划与设计规程》, 对平面交叉口的规划与设计作了规定, 规定平面交叉口应采用交通岛、路面标线及交通流向标志作渠化设计。

对于渠化的手段, 我国学者也做了不少的研究, 其中最为有效的是高出路面的各种交通岛, 如分流岛、中心岛、方向岛和安全岛等 (如图 1-1 所示), 许多岛可以一岛多用。在交叉口还必须有一定的标志标线来引导车辆行驶, 一般交叉口常用的标志标线如图 1-2, 1-3 所示。

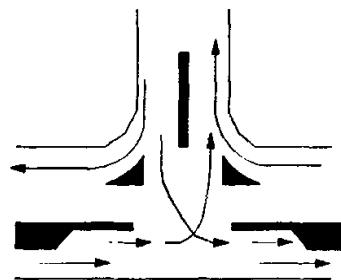


图 1-1 交通岛

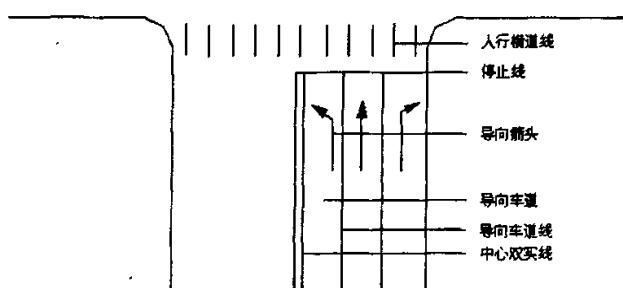


图 1-2 交通标线



图 1-3 指示标志

国外的渠化设计研究较为成熟，一般都形成了规范或手册。如美国的 MUTCD 手册，介绍了各种渠化措施以及设施的尺寸、颜色和使用时需注意的问题。日本的《平面交叉路口的规划与设计》中对交叉口的渠化作了很多论述，认为渠化对解决交通拥堵非常有效。其中，渠化的定义是：“为了减轻、改善平面交叉路口处交通流的交错数量及性质，在正常交通流不利用的位置设置适当的‘岛’，规定车辆的行驶位置，诱导车辆按正常方向行驶，为行人提供避车场所，以整顿交通流为目的，这就叫平面交叉路口的渠化。”^[2]

渠化的主要目的是规范车辆的行驶，减少车流的冲突，保护行人和非机动车。国外所用的渠化手段一般有交通岛、导流设施、路障等。^[3] 各种不同形式的交通岛如中间岛、安全岛可以有效地分隔车流、保护行人。导流设施可以使行驶车辆明确行驶路线，提高安全水平，如图 1-4 所示。路障的设置主要是阻隔禁止通行的车辆，让现有设施为特定的对象服务。

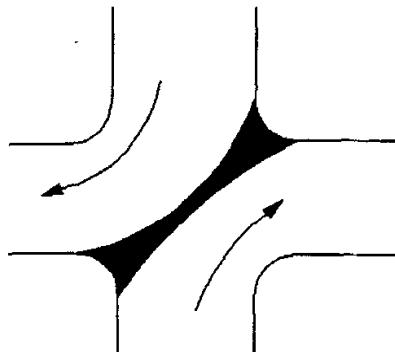


图 1-4 导流设施

1.3.1.2 交叉口的交通信号设计

我国在交通信号控制系统开发与应用方面起步较晚，1973 年开始进行单点信号机的研制，1985 年在北京“前三门大街”实现城市交通线控系统控制。作为“七五”国家重大攻关项目，南京市在同济大学的协助下开发了一套国产智能交通信号控制系统，但由于种种原因，一些重要功能如实时自适应配时等没有使用。天津大学 1989-1991 年研究开发的城市交通控制系统 TICS(Traffic Intelligent Control System)首次成功地把自学习智能原理应用于交通信号控制系统中，其产生也是受到人工智能和知识工程在其它领域成功应用的启发。^[4]

国外在交叉口信号控制方面的研究开始较早，1868 年英国伦敦燃气信号灯的问世，标志着城市路口信号控制的开始。之后，人们对城市路口信号控

制的研究经历了从固定周期到可变周期、从定时到实时、从点控到线控再到面控的发展阶段。对于交叉口信号设计，世界各国都展开了相当多的研究，其中比较典型的是英国交通与道路研究所（TRRL）于 1966 年开始研发的交通网络研究系统（Traffic Network Study Tool, TRANSYT），澳大利亚从上个世纪 70 年代开始研发的悉尼协调自适应交通控制系统（Sydney Coordinated Adaptive Traffic System, SCATS）和英国交通与道路研究所（TRRL）于 1973 年开始研发的绿信比、信号周期及相位差优化技术（Split-Cycle-Offset Optimization Technique, SCOOT）。

这三种系统的主要研究内容及特征如表 1-1 所示。

表 1-1 信号优化设计系统概况表

系统名称	研究单位	特征	原 理
TRANSYT	英国 TRRL	脱机操作的定时控制	由仿真模型和优化模型组成，仿真用于评价配时优劣，优化用于优化配时
SCATS	澳大利亚	实时自适应控制	以子系统为计算单位，根据车辆检测的数据对多种方案进行优选
SCOOT	英国 TRRL	路网实时协调自适应控制	具有实时交通预测模型，根据实测参数，对交叉口作定量预测，再确定信号设计方案的路网运行指标

1.3.2 立体交叉国内外研究概况^[5]

我国修建立体交叉起步较晚，50 年代初，乌鲁木齐巧用地形在火车站前修建了完整的环形立交，揭开了建设城市立交的序幕。1956 年，北京开始在京密引水滨河路修建了三处苜蓿叶形部分互通式立体交叉。80 年代以前，我国城市机动车的数量不多，有限的道路设施尚能容纳，只是在车流和人流特别集中的个别交叉口因塞车严重而建设立交，这些立交的形式比较简单，以满足主要道路的交通流畅为目的，对周围道路的互通性要求不高，在主要道路上常建一座跨线桥或地道，匝道布置成苜蓿叶形，使机动车和非机动车皆可通过，例如北京市早期建设的立交。这时由于我国高等级公路还没有发展起来，所以在公路交通中，立交修建的很少。80 年代，城市机动车开始大量增加，非机动车趋向饱和，且居高不下，由于全国城市道路网规划和建设中支路与干路的比例严重失调，各种交通都集中在主干路上，交叉口处机动车、非机动车和行人相互干扰，交通堵塞经常发生。在这种情况下建设的立交，往往是将机动车与非机动车分层处理，或建造人行天桥，消除相互干扰，从而提高交通安全水平与道路的通行能力，其形式以环形、苜蓿叶形立交为主。如北京建成的我国第一座机动车与非机动车分行的三层苜蓿叶形立体交叉——建国门立交桥。

90 年代以后，我国城市机动车增长更快，平均年增长率达到 15% 左右，城市中主要道路的交通趋于饱和，市内机动车的行驶速度明显下降。在这种情

况下，一些城市开始改造主干路，建成专供机动车行驶的快速路，并且在这些道路上建设了大量的立交。由于快速路的立交必须满足车速快、流量大的要求，所以原来习惯采用的环形立交、机非合用的苜蓿叶形立交普遍出现了问题，交叉口的进口道或交织段前出现了车辆滞留现象，一些城市开始在快速路上或主干路上建设互通式立交，或在主次路上建设菱形立交，有的城市启动建设高架的快速路或全互通式定向立交。例如，上海以浦东开发，内环线和高架路的建设为契机，城市立体交叉的建设速度突飞猛进，立交的形式和功能都有了进一步的发展，其中以内环线的漕溪路立交，浦东地区的罗山路立交和龙阳路立交以及南北高架和东西高架交汇处的延安路立交最为著名。

在国外，上个世纪 20 年代初，新建城市中构想采用多层空间交叉的高速快速交通系统就已提出。1925 年，德国最早开始修建公路立交，在此之后，立交发展迅速，应用最广的是美国。1928 年美国在新泽西州的两条道路交叉处修建了第一座苜蓿叶形立交，这座立交不仅利用跨线桥将两条主线从空间上分离开来，而且利用四条小环道巧妙地将两条主线连成一个整体，实现主线之间的车流转换，这是一个跨时代的创造。1930 年，美国又在芝加哥建成了第一座拱式立体交叉桥，到 1936 年已建成 125 座立交，随后，为适应交通量日益增长的需要，美国在洛杉矶建成第一座四层半定向式立体交叉，使立体交叉开始向多层定向型方向发展。1931 年～1935 年，瑞典在斯德哥尔摩建成了著名的斯鲁先立体交叉，该立交采用了 3 个小环道的部分苜蓿叶式立交解决交通问题。1938 年加拿大在阿尔里格顿城附近建成第一座四路环形立体交叉。二次世界大战后，随着汽车保有量的急剧增加，人类活动时空观发生转变，要求运输方式快速化，高速公路应运而生，传统的平面交叉已不能适应高速公路特性的要求，代之而起的是空间立体交叉。

从上世纪 50 年代中期开始，美、英、法、德和日本等国开始大量修建高速公路，立体交叉向多层化方向发展。进入 60 年代，澳大利亚、西班牙、墨西哥、加拿大、南斯拉夫以及一些发展中国家也加入了大量修建立体交叉的行列。到目前，各国陆续修建了大量的立体交叉，并逐步形成了不同的风格。

纵观立体交叉几十年的发展历程，我们可以看到，立交经历了一个从低级到高级，从简易立交到大型立交，从形式单一到形式多样化发展的过程。立交的规划与设计理论取得了相当多的研究成果，并积累了一定的实践经验。但目前有的城市对立交方案的选择以及立交的交通组织缺乏研究，使得修建的立交难以充分发挥交通功能。本文将对立交的选型以及其进出口处的交通组织进行重点分析。

1.4 研究内容与安排

论文主要解决交叉口交通组织优化设计问题。通过对我国交叉口混合交通流特性的分析，从硬件设计（渠化交通）、软件设计（停车控制、信号设计、交通管制）两方面解决平面交叉口机动车、非机动车、行人的交通冲突，并对

立体交叉的交通组织进行了研究。

论文共分为五章，如下所示：

第一章 通过对城市交叉口交通重要性的分析，提出解决交叉口交通问题的关键在于如何合理地进行交通组织，对国内外在此方面的研究概况进行了简要论述，并介绍论文的主要内容及安排。

第二章 介绍交叉口的主要形式，对平面交叉与立体交叉进行对比分析，明确交通组织优化的概念原则，分析我国混合交通流在交叉口处的交通特性，提出交叉口交通组织优化需解决的主要问题。

第三章 提出平面交叉口交通组织的硬件优化设计方法。论文主要对渠化交通的具体措施进行研究。

第四章 提出平面交叉口交通组织的软件优化设计方法。从停车控制、信号设计及交通管制三方面分别对平面交叉口的交通组织进行分析，并对环岛交通进行研究。

第五章 对立体交叉的的交通组织优化问题进行研究。

第六章 对论文进行总结，并提出不足之处。

研究流程图如下：

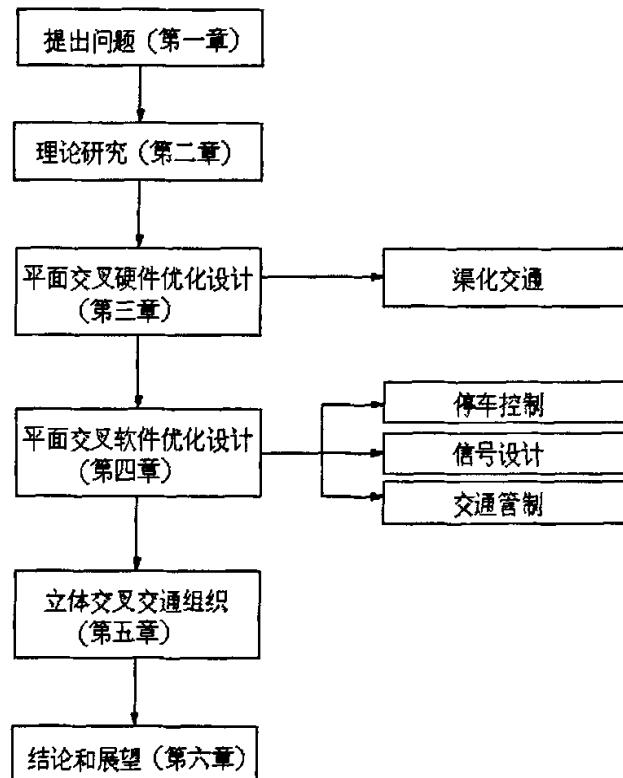


图 1-5 研究流程图

第二章 交叉口交通组织优化设计的基本理论

2.1 交叉口的主要形式^[6]

交叉口根据道路是否在同一平面内相交分为平面交叉及立体交叉，下面分别介绍平面交叉和立体交叉的主要形式及其对比分析。

2.1.1 平面交叉口的主要形式

平面交叉的形式取决于道路系统规划、交通量、交通性质、交通组织，以及交叉口用地及其周围建筑的情况。平面交叉口的主要形式有：十字形交叉，X形交叉、T形交叉、Y形交叉、错位交叉和多路交叉（五条路或五条路以上的道路交叉口）等，如图 2-1 所示。

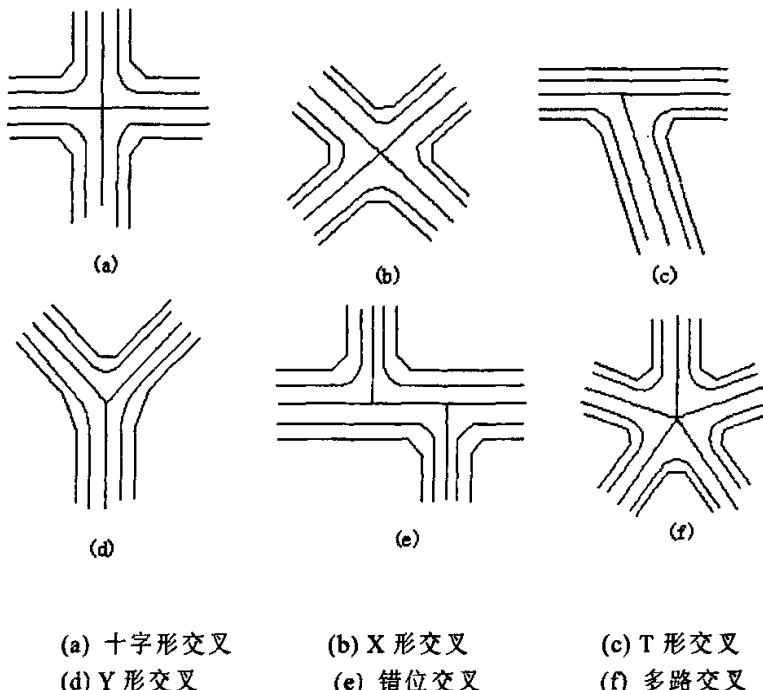


图 2-1 平面交叉口的主要形式

(1) 十字形交叉

十字形交叉的相交道路互相垂直或近于垂直。这种路口形式简单，交通组织方便，街角建筑易处理，适用范围广，是最常见的交叉口形式。

(2) X形交叉

X形交叉是相交道路交角小于 75 度的四路交叉。当相交的锐角较小时，将形成菱形加长加宽的交通冲突带，一方面使车辆通过时间较长，另一方面使驾驶员视线不畅，对交通极为不利，而且锐角街口的建筑也难处理，所以设计时尽量使相交的锐角大一些。

(3) T形交叉

T形交叉的相交道路是在道路交叉处互相垂直或近于垂直的三路交叉。这种形式的交叉口视线良好，行车安全，也是常见的交叉口形式，如北京的T形交叉口约占30%，十字形交叉约占70%。

(4) Y形交叉

Y形交叉是相交道路交角小于75度的三路交叉。Y形交叉与X形交叉均为斜交路口，其交叉口夹角不宜过小，角度小于45度时，视线受到限制，行车不安全，所以，一般夹角宜大于60度，适用于入城道路。

(5) 错位交叉

两条道路从相反方向终止于一条贯通道路而形成两个距离很近的T形交叉所组成的交叉即为错位交叉。由于其距离短，交织长度不足而使进出错位交叉口的车辆不能顺利行驶，从而阻碍贯通道路上的直行交通。因此在规划与设计时，应尽量避免此类交叉。

(6) 多路交叉

多路交叉是由五条或五条以上道路相交而成的交叉口，又称为复合型交叉。在城市路网规划中，应尽量避免或减少多路交叉，以免造成路网交通组织的复杂化。

2.1.2 立体交叉的主要形式

立体交叉的形式很多，目前世界上已建成的共有180多种，其中最广泛应用的有10多种。立体交叉可分为分离式立体交叉和互通式立体交叉两大类。按跨越方式可分为上跨式立体交叉和下穿式立体交叉两种。

(1) 上跨式和下穿式立体交叉

上跨或下穿指用于分离式或互通式立体交叉中的直行交通对地面线的相对位置。



(a) 上跨式立体交叉



(b) 下穿式立体交叉

图 2-2 上跨式和下穿式立体交叉示意图

上跨式立体交叉的主要交叉构筑物高于地面交通设施（见图 2-2a），而下穿式立体交叉的主要交叉构筑物低于地面交通设施（见图 2-2b）。

（2）分离式立体交叉

分离式立体交叉是指上下层道路之间互不连通的立体交叉形式。在相交路线的交叉处，无需建造转向匝道，仅需建造供直行车流通过的立交桥或地道，这种立体交叉称为分离式立体交叉。

分离式立体交叉一般适用于道路与铁路的立体交叉或高速公路与三、四级公路之间的立体交叉，即适用于道路等级、性质或交通量相差悬殊的交叉口。例如，在高速路与次要道路或支路相交时，采用分离式立体交叉可不受转弯交通的干扰，保证主要道路的交通快速通畅。在旧城区，由于路网密度大，交叉口的间距短，为了增大互通式立体交叉的间距，在以直行交通为主的交叉口，左转弯交通可绕其它道路绕行时，常兴建这种形式的立交桥。如上海大西路立交桥，广州的洪德路同福路立交桥，均属此类型。

（3）互通式立体交叉

上下层之间用匝道或其它方式连接的立体交叉称为互通式立体交叉。互通式立体交叉的设置取决于交通量、远景规划及其在道路网中的作用，并且需要结合地形、用地条件、投资量等因素。

下列情况一般需要设置互通式立体交叉：

（a）汽车专用公路间互相交叉，以及汽车专用公路与交通繁忙的一般公路相交处；

（b）高速公路、一级公路与通往大城市，重要政治、经济中心，重点工矿区的公路相交处，通往重要港口、机场、车站和游览胜地的公路相交处，通往重要交通源的支路起点；

（c）快速路与快速路相交，快速路与交通量大的重要主干路交叉口；

（d）对于主干路与主干路交叉口，当现有交通量达到 3000~4000 辆/小时，预测交通量达到 5000~6000 辆/小时，且通过路网调整，分流也难收效时。

互通式立体交叉依据交通组织是否在次要道路保留平面交叉又分为部分互通式立体交叉和完全互通式立体交叉。

（a）部分互通式立体交叉

部分互通式立体交叉是用部分匝道连通上下道路，或因受地物限制，或因某方向交通量极少而不设匝道，仍然保留次要道路上的平面交叉，常用的形式有菱形立体交叉和部分苜蓿叶形立体交叉。

（i）菱形立体交叉

菱形立体交叉即用四条匝道呈菱形连接相交道路的立体交叉。主线上的左右转弯只有单一的进出口，便于司机识别，主线上的直行交通不受干扰快速通过。次要道路与匝道连接处存在两处平面交叉，每处有三个冲突点（如图 2-3

所示), 需设置信号灯管制。菱形立体交叉占地少, 结构简单, 造价低, 适用于主次道路相交, 次要道路上交通量不大的交叉口。

(ii) 部分苜蓿叶形立体交叉

主要道路的出入均为立体交叉, 次要道路由于少设一条或几条环形匝道而保留平面交叉或限制部分左转车通行。适用于主次道路相交的交叉口, 或城市用地拆迁困难的立体交叉口。此种形式的立体交叉, 工程造价不高, 但却能获得显著提高交通效率, 该形式的立体交叉又称为半苜蓿叶形立体交叉, 如图 2-4 所示。

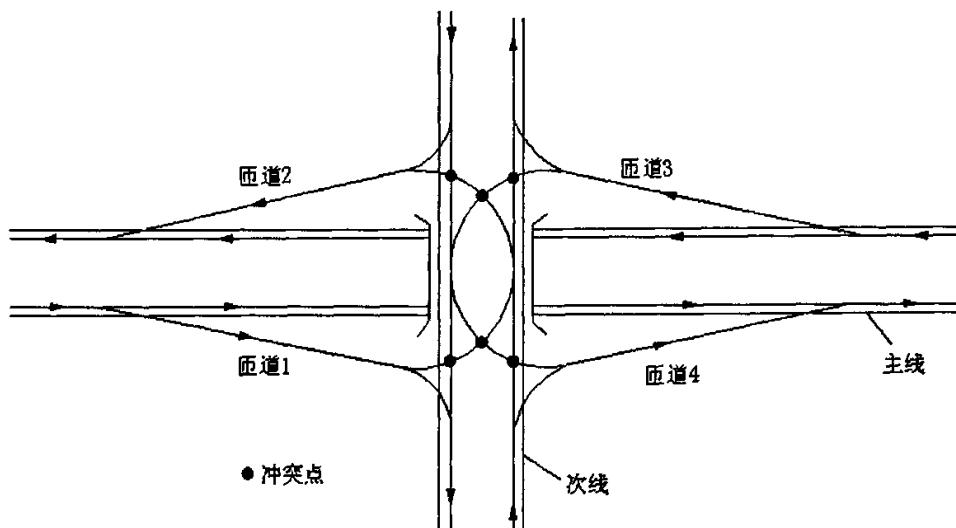


图 2-3 菱形立体交叉

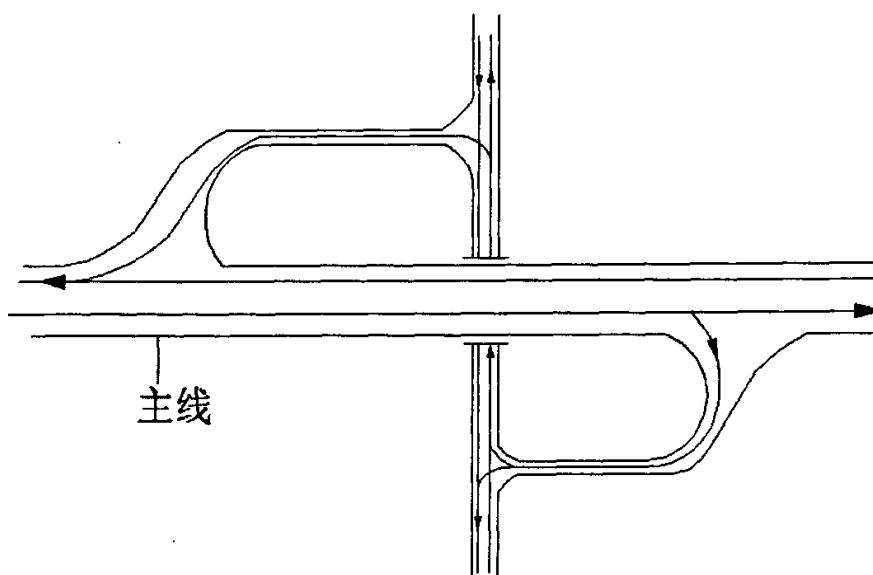


图 2-4 部分苜蓿叶形立体交叉

(b) 完全互通式立体交叉

完全互通式立体交叉，根据匝道形式的不同，可分为下列基本形式：

(i) 首蓿叶形立体交叉

苜蓿叶形立体交叉即交叉的右转弯均用外侧直接匝道连接，而左转弯均用环形匝道连通。这种立体交叉平面图形似苜蓿叶，左、右转弯匝道分设在四个象限中，左转车辆与直行车辆交织，过桥后转入匝道，沿匝道右转 270 度，再穿越交叉中心，即可驶入相交道路，如图 2-5 所示。

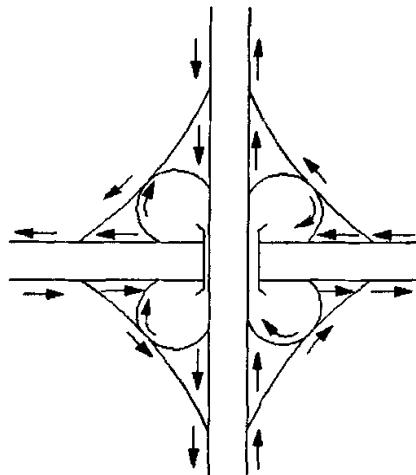


图 2-5 苜蓿叶形立体交叉

为了保证干线上直行车辆的高速行驶，不受转弯车辆进出匝道的影响，国内多采用带有集散路的苜蓿叶形立体交叉，以减少立体交叉范围内直行车与左转车的交织，如图 2-6 所示。

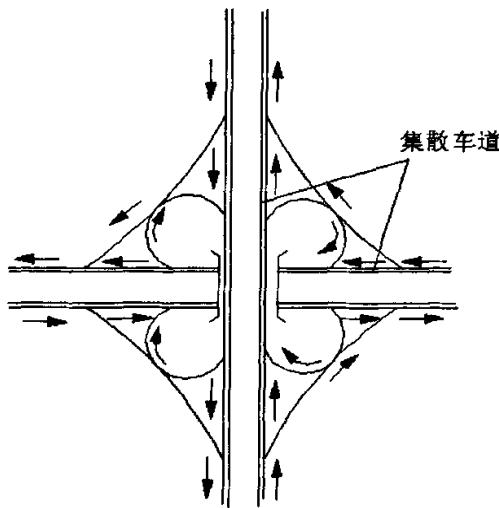


图 2-6 带有集散车道的苜蓿叶形立体交叉

(ii) 喇叭形立体交叉

喇叭形立体交叉即以喇叭形匝道连接的三岔道互通式立体交叉，如图 2-7 所示。喇叭形立体交叉常用于 T 形或 Y 形交叉口，结构简单，行车安全方便，但占地面积较大。喇叭形应设在左转弯车辆较多的道路一侧，以利于主流方向行车。

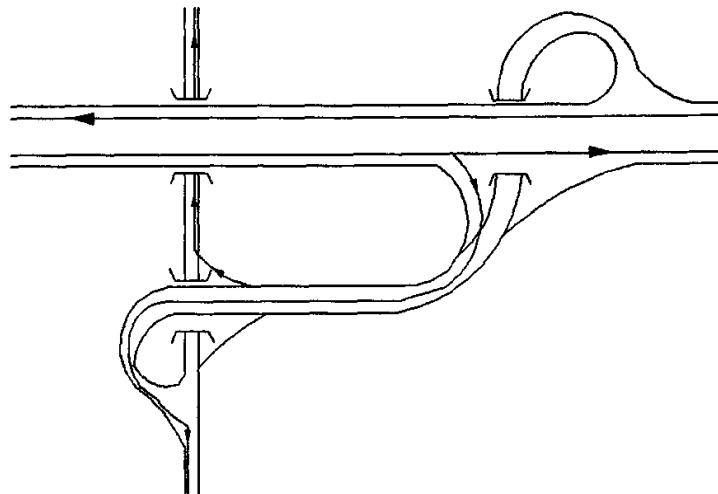


图 2-7 喇叭形立体交叉

(iii) 梨形立体交叉

当相交道路成 T 形立体交叉时，可采用此种交叉形式，如图 2-8 所示。梨形立体交叉对主要道路的车流直通，其余车辆一律绕环道单向行驶，这种绕环道行驶的交通组织易为驾驶员熟悉，行车安全、方便。但因车辆在环道上需要交织行驶，故环道的通行能力受到一定的限制。

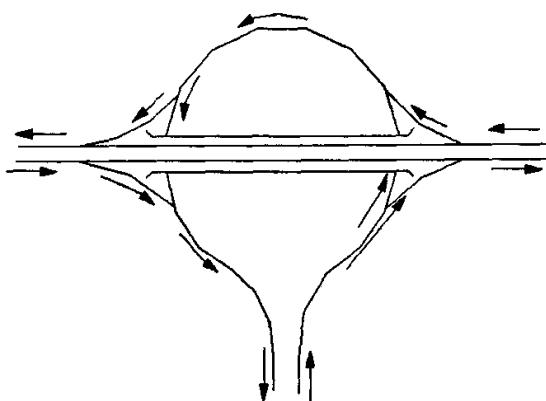


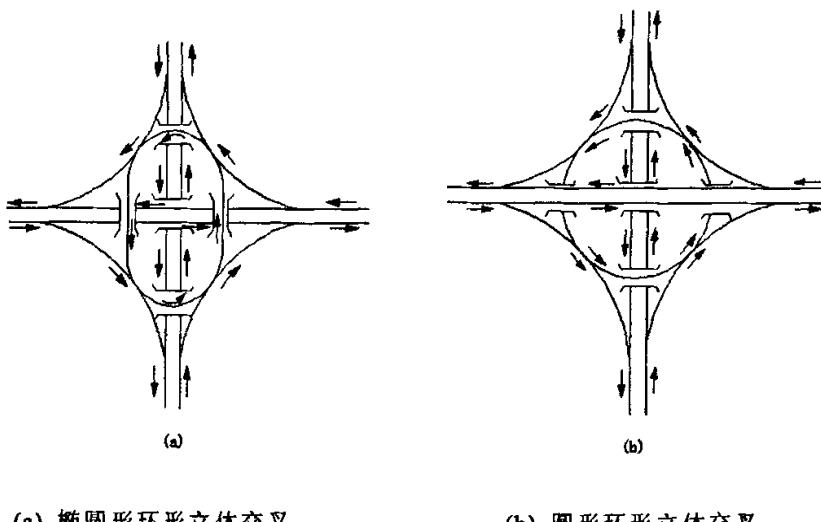
图 2-8 梨形立体交叉

(iv) 环形立体交叉

环形立体交叉对直行车辆的行驶没有影响,但左转弯的车辆需要绕环道行驶才能转向,除了环道上还有平面交织外,其它部位完全消灭了平面交叉,如图 2-9 所示。此种形式的立体交叉占地大小介于菱形立体交叉和苜蓿叶形立体交叉之间,适用于高速公路与其它干道相交或两条高速公路相交。特别是交叉口改建,对于四周建筑物不能大量拆迁,交叉口用地受到很大限制时,宜采用此种立体交叉形式。

高速公路与其它干线相交时,其交叉环道可以设计为圆形或椭圆形。如果交叉点的左转弯车辆较少,则椭圆形环道的效果比较好。应使其短轴方向沿高速公路方向,以缩短隧道(或跨路桥)长度;长轴则沿其它干线方向,便于直行车辆行驶。

相交道均为高速公路时,圆形环道的效果较好,可以保证各条高速公路的车辆行驶通畅,但立体交叉结构物则相应增多。



(a) 椭圆形环形立体交叉

(b) 圆形环形立体交叉

图 2-9 环形立体交叉

(v) 定向式立体交叉

定向式立体交叉为各个方向均设有直接的连接匝道的立体交叉形式,保证了交通的便捷、通畅和安全,提高了通行能力,是互通式立体交叉的最高形式,如图 2-10 所示。由于这种立体交叉的桥梁多,工程量大,造价高,一般用于直行与转弯交通量大的高等级道路相交处。上海延安路——重庆路交叉处就采用了此种交叉形式。

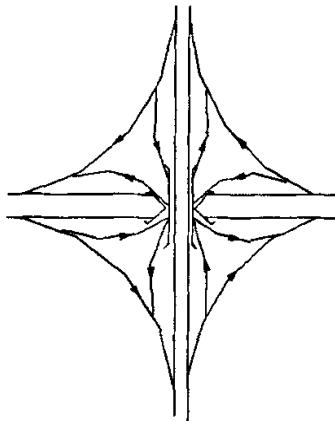


图 2-10 定向式立体交叉

与其它形式的立体交叉相比，定向式立体交叉的转弯匝道更流畅，转弯半径大，更适合快速运行。由于四条左转匝道两两向背，各占两个层面，加上直行交通的两个层面和地面交通层（公交车、自行车、行人），故总体高度较高，最上层桥面标高为32~35m。其造型简洁、美观，但桥梁集中设置构造较复杂，需要大跨度、多层次的交叉结构物，是各种立体交叉中造价最高，交通最完善的一种立体交叉形式。

2.1.3 立体交叉与平面交叉的对比分析

立体交叉以空间分隔车流的方式，虽能避免车流在交叉口形成冲突点，减少延误，保证交通安全，提高通行能力和运输效率，可解决因平面交叉而产生的问题，但却不能完全替代平面交叉。首先，立交工程浩大，修建费用高，占地面积大，修建工期长；其次，由于相交道路的性质、占地、工程投资等限制，还不可能全部修筑完全互通式立交，有时还需建造部分互通式立交，此类立交保留了部分平面立交，平面交叉问题依然存在；再次，在城市内修建立交，还会带来分割城区、影响街区日照条件、干扰电波、妨碍视线、破坏景观，给行人带来不便等问题。^[7]因此，平面交叉口仍是我国交叉口的主要形式。

2.2 交通组织优化的概念与原则^{[8] [9]}

2.2.1 交通组织优化的概念

交通组织优化是指在有限的道路空间上，科学合理地分时、分路、分车种、分流向使用道路，使道路交通始终处于有序、高效的运行状态。

对于交叉口的交通组织优化的基本要求是：尽量扩宽路口增加进口导向车道和出口车道，使之与路段行车道的通行能力相匹配；尽量在车道渠化上做到寸土必争，在信号配时上做到分秒必争，不让路口出现空闲面积和空闲时间；尽量简化标线和信号，使之能明确地突出空间路权和时间路权；尽量地完善标志信息，使驾驶员有充分的反应时间。

2.2.2 交通组织优化的原则

在进行交通组织优化时必须考虑以下原则：

(1) 交通分离原则

在交叉口内将不同类型、不同方向、不同速度的车辆，以及行人与车辆，在时间或空间上进行分离。比如标线渠化的作用是明确不同交通流的空间路权，而信号相位的作用是明确不同交通流的时间路权。

(2) 交通量控制与调节原则

在交叉口对不同交通性质的车辆进行引导、限制。比如交叉口禁左、限速、设置专用道等。

2.3 混合交通流的交通特性

我国城市交通拥挤的原因除了供需不平衡外，主要归结于我国城市交通本身具有混合交通流特性。由不同车流、不同车型和不同转向构成的混合交通流所造成的交通问题是目前我国城市交通较突出的问题之一。

混合交通流是由机动车流、非机动车流和人流中的两种以上混合而成。混合交通流的实体构成包括公共汽车、自行车、出租汽车、私家车及行人等。各种交通流在通过交叉口时互相干扰，造成交叉口秩序混乱，通行效率下降，交通事故不断发生。其中最为严重的是机非之间的冲突以及行人与机动车之间的交通冲突。^[10]

(1) 机非之间的冲突

在我国，城市中的非机动车主要是自行车。与机动车相比，自行车具有尺寸小、转向灵活的特点，但其稳定性差，没有安全防护设备。它所形成的交通流不均匀，特别是在信号交叉口，不像机动车那样呈线性跟随并保持一定的横向和纵向距离，而是呈现出一种“集团状”的交通流，成团向前行驶，与其它交通流易产生冲突，并形成一个冲突区，如图 2-11 所示。^[11]^[12]

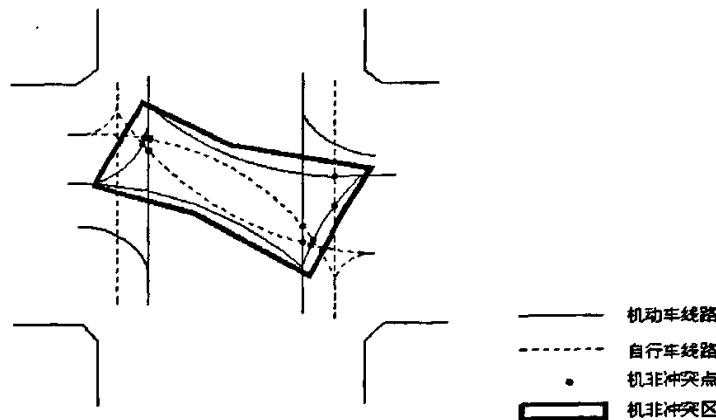


图 2-11 信号交叉口自行车与机动车冲突区示意图

（2）行人机与动车之间的交通冲突

行人与机动车的交通冲突主要原因有两个：行人违章和交通管理设施不完备。

在我国，行人违章现象比较普遍，具体表现为红灯期间强行穿越机动车流的现象时有发生。对于两相控制的信号交叉口，转弯车流量较大时，行人要等待相当长的时间才能过街，时间一长，行人往往不愿等待，一旦转弯车流出现“可穿越空挡”即冒险穿越，不但影响了后继车辆的速度，而且对交通安全造成很大的影响。

除此，我国许多地方的交通管理设施的不完备也是造成行人与机动车的交通冲突的重要原因。我们在平面交叉口经常可以看到这样的现象：行人在与其同向行驶的机动车绿灯期间过街，刚走上人行道时绿灯转为黄灯，在过交叉口处转为红灯，此时，机动车启动，行人往往处于毫无安全保障的车道上，只能等候车辆空挡穿越，或乘机动车启动速度较慢之时，强行穿越。另外，当绿灯亮时，行人开始穿越，而此时往往对向绿灯末期驶入的车辆还未完全通过交叉口，不可避免地形成了行人与机动车的交通冲突。

为了避免机非冲突和行人与机动车的交通冲突，除了加强安全教育和监督以外，很重要的一方面就是合理地进行交通组织。

2.4 本章小结

（1）根据形式和功能的不同，交叉口分为平面交叉口和立体交叉口。平面交叉口的主要形式有：十字形交叉，X形交叉、T形交叉、Y形交叉、错位交叉和多路交叉等；立体交叉可分为分离式立体交叉和互通式立体交叉两大类。通过对平面交叉与立体交叉的对比分析，指出目前我国交叉口的主要形式为平面交叉口。

（2）阐述交通组织优化的概念与原则。

（3）通过对混合交通流特性的分析，指出我国的交通组织不仅需要解决机动车之间的冲突，还需解决机非冲突和行人与机动车的交通冲突。

第三章 平面交叉口交通组织的硬件优化设计

3.1 交叉口放行方法的研究

3.1.1 放行方法的分类及适用条件^[8]

交叉口放行方法的确定,即选择交叉口机动车放行方法与非机动车放行方法的组合。由于我国是混合交通结构,交叉口放行方法仅选择机动车是两相位还是多相位是远远不够的,而是需要按照交叉口的几何条件和机动车、非机动车流量特点,来选择机动车放行与非机动车放行的组合形式。也正因为我国是混合交通结构,所以无论路段上机动车流与非机动车流的分离有多彻底,在交叉口内总有机动车、非机动车和行人的冲突存在,因此,交叉口放行方法就成了减少交通冲突的关键。

平面交叉口的放行方法有以下四种:时间分离法、空间分离法、时空分离法和综合放行方法。

(1) 时间分离法

时间分离法实质上是在信号周期内拿出一个专有相位放行行人和非机动车。在此相位中,机动车信号灯为全红灯,非机动车和行人信号灯为全绿灯,行人和非机动车可以从不同方向上迅速通过交叉口。该放行方法的交叉口渠化图和信号相位图如图 3-1 所示。

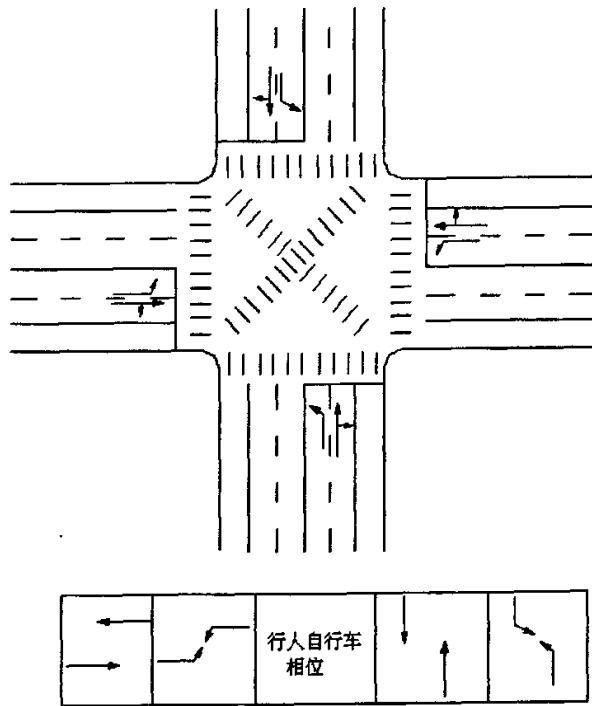


图 3-1 时间分离法交叉口渠化图和信号相位图

该放行方法起源于日本，适用条件为行人流量大、机动车流量适中、非机动车流量小的交叉口。我国山东威海市采用此种放行方法，由于适合威海市的流量条件，效果较好。上海市在淮海路上的三个交叉口采用这种放行方式试验，由于非机动车含量高，在行人相位中放不空交叉口各方向上的非机动车，致使交叉口内秩序混乱，交叉口的通行能力下降了 20%左右。在试验了一年后，这种放行方式正式撤销。北京市于 2000 年在月坛北街首汽交叉口进行这种放行方法试验，由于交叉口较大、非机动车含量高，在行人相位中不同流向的非机动车交叉冲突严重，不仅影响了交叉口秩序，而且降低了交叉口的通行能力。

由此可见，该种放行方法适用于没有非机动车或非机动车流量很小的小交叉口。如果交叉口太大，对角线上行人过街时间超过 30 秒，会大大减少机动车通过的有效绿灯时间，降低通行能力。

（2）空间分离法

空间分离法实质上是让非机动车按机动车相位走，不设单独的非机动车信号灯，只设机动车信号灯和行人信号灯。该放行方法的交叉口渠化图和信号相位图如图 3-2 所示。

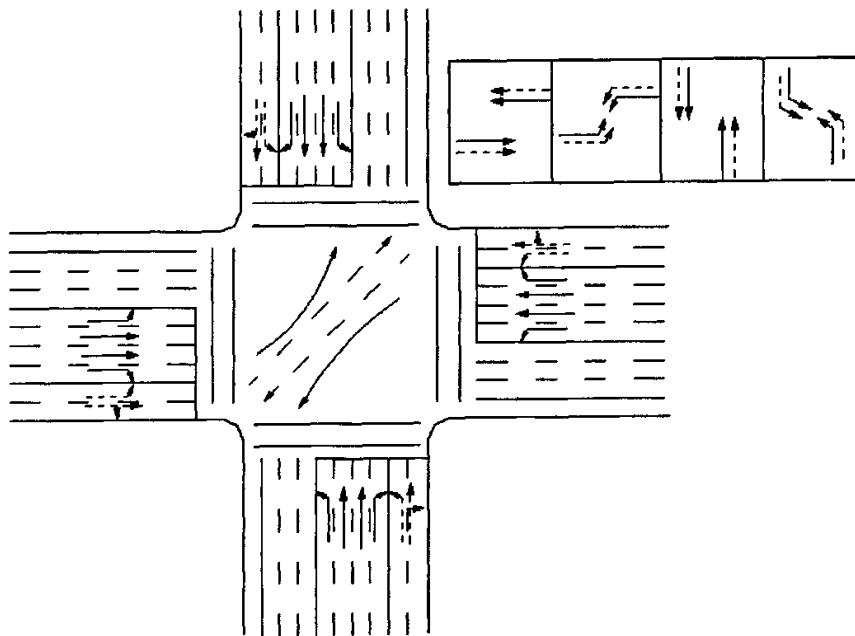


图 3-2 空间分离法交叉口渠化图和信号相位图

空间分离法要求行人、非机动车严格按照信号灯的指示行进，不在交叉口中间停留。由于交叉口各信号相位放行的不同交通流流向相同，又没有在交叉口中间等候放行的非机动车，故通行阻力小，路口内秩序好。

该种放行方法适用于交叉口面积大，非机动车与机动车流量大的交叉口。我国昆明、上海、太原、深圳等城市采用此种放行方法，效果很好。

(3) 时空分离法

时空分离法实质上是为了减少左转弯非机动车对直行机动车通过交叉口的影响，在交叉口中间划定一块面积为非机动车禁驶区，左转非机动车在区外二次停车，让直行机动车先行通过，即延迟左转非机动车到达冲突点的时间，以利于直行机动车优先通过交叉口。

时空分离法有以下几种形式，如图 3-3 至 3-5 所示。

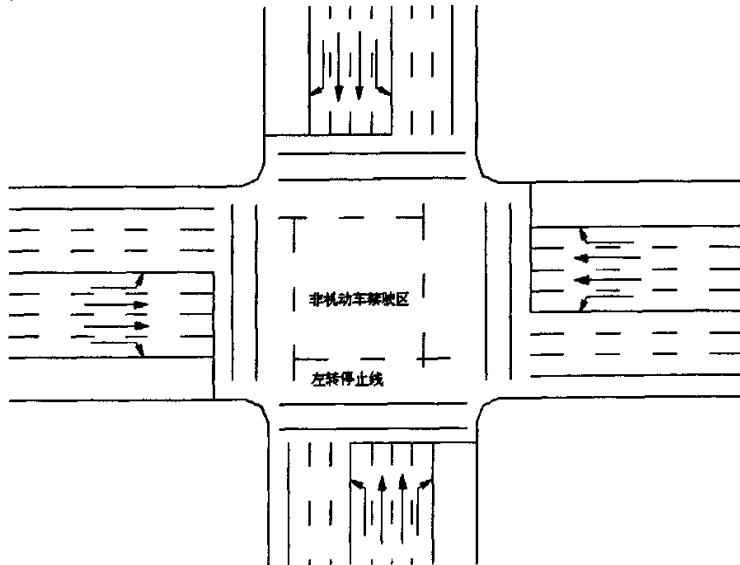


图 3-3 北京市交叉口的时空分离法

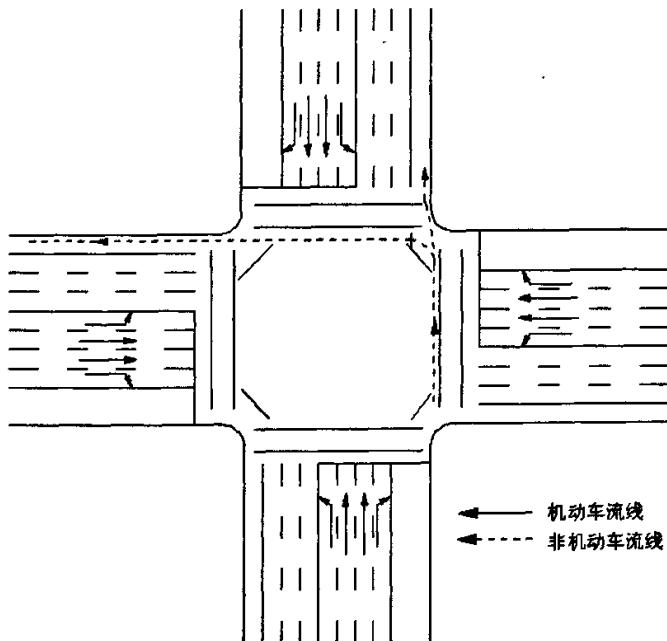


图 3-4 成都市交叉口的时空分离法

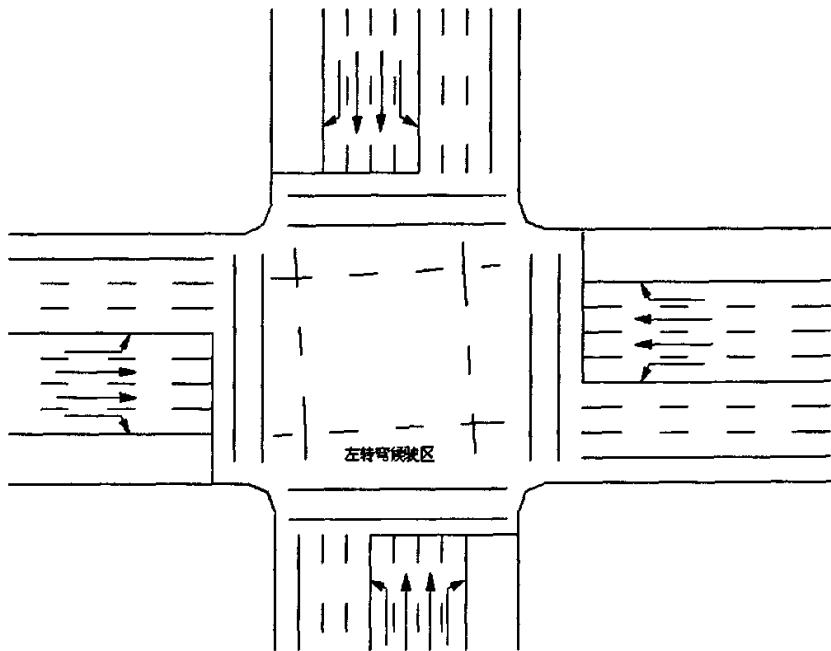


图 3-5 南京市交叉口早期的时空分离法

对于北京市交叉口的时空分离法，比较适用于两相位信号、交叉口面积较大、且机动车、非机动车流量都较大的交叉口。由于左转弯非机动车的二次停车（多相位时为三次停车），致使交叉口内秩序较乱，管理难度较大。当左转弯非机动车流量大时，在交叉口内候驶的非机动车密度大，造成直行车通过交叉口的阻力加大。在多相位条件下，左转弯非机动车在交叉口内候驶时间过长，容易挤占机动车的行车轨迹，造成交叉口机动车通行能力的下降。因此，在使用过程中，必须配备一定的警力加强管理。

对于成都市交叉口的时空分离法，比较适用于面积较大的两相位控制交叉口。由于遇到放行信号时机动车照常行驶而非机动车绕环岛行驶，所以要求左转弯非机动车流量不宜太大，以免堵死交叉口出口而引起交叉口内秩序混乱。

对于南京市交叉口的时空分离法，适用于各种路口，但对于多相位信号控制时，也存在左转弯机动车三次停车问题，候驶时间较长。

（4）综合放行方法

以上几种放行方法，对交叉口的线型、几何形状、面积大小、信号相位设置均有具体要求，但在实际道路条件中，很少有非常标准、规范的交叉口符合具体的适用条件。因此经常把几种放行方法综合运用，形成一种放行规则，如图 3-6 所示。

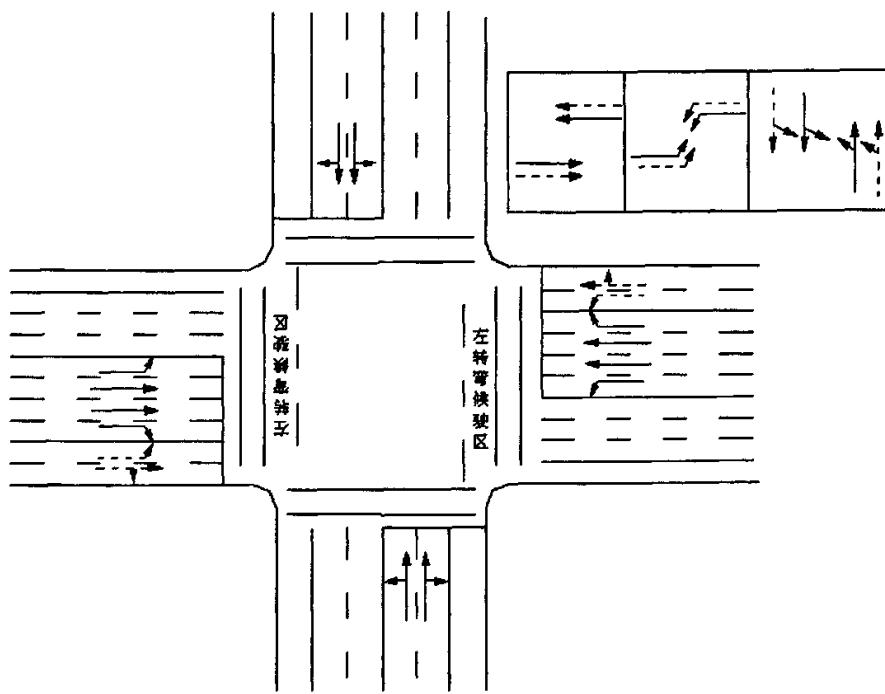


图 3-6 综合放行法交叉口渠化图和信号相位图

此图为主次干道相交的交叉口示意图，次干道方向由于无法划设专用车道，因此无法分出左转相位。此时在沿次干道方向上设置非机动车候驶区，信号灯使用圆形交通指挥灯，非机动车在绿灯时随机动车进入交叉口，左转非机动车在二次停车线外候驶，让直行机动车先行。在主干道设置箭头信号灯指示放行流向，非机动车按放行方法分别通过交叉口。综合规则为：见到圆形信号灯，左转非机动车按候驶区规则通行；见到箭头信号灯，左转非机动车按空间分离法通行。

对于行人流量特大的交叉口，也可以按时间分离法加空间分离法放行。即机动车与非机动车按空间分离法放行；在空间分离法信号相位中，专门设置行人专用相位，用于行人通过交叉口。这种方式多用于机动车流量不大且行人秩序混乱的交叉口。

从上所述，可以看出放行方法的选择取决于通过交叉口处的交通流量中非机动车所占的比重。一个城市最好只选一种放行方法，最多不宜超过两种。否则，市民无法适应，交通秩序必然会混乱。

3.1.2 左转机动车放行方法的研究

在常规两相位信号放行的交叉口，由于绿灯时直行和左转的机动车都有通行权，但左转车没有先行权，需要给对向直行车让行，左转机动车需在交叉口

内二次停车，所以应在交叉口内划定左转弯待转区，如图 3-7 所示。左转弯待转区的作用就是利用交叉口空闲面积来换取机动车通过交叉口的绿灯时间，对提高交叉口的通行能力很有帮助。

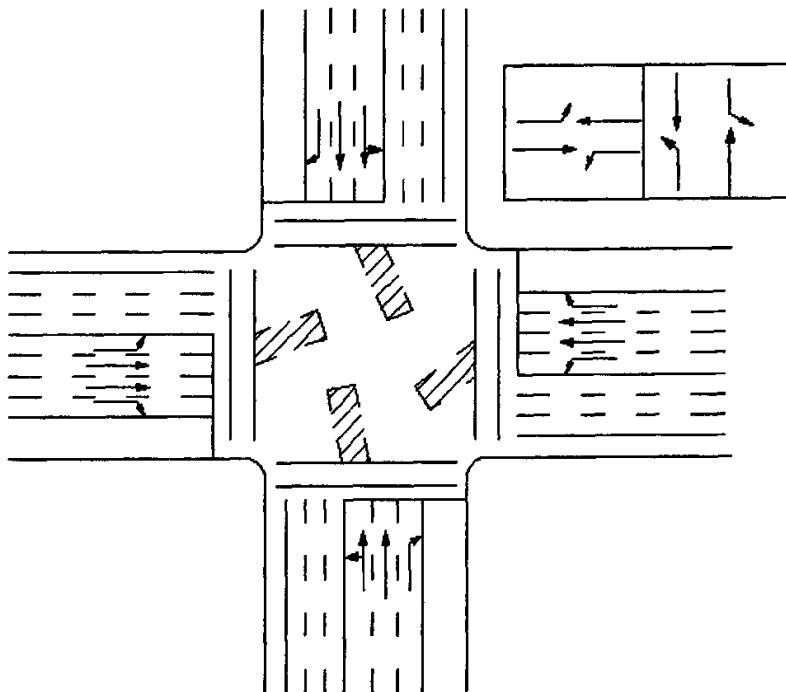


图 3-7 两相位信号放行时的机动车左转弯待转区渠化图及相位图

对于多相位信号控制的交叉口，由于设置了专向左转相位，交叉口内不存在左转车让行问题，故一般可不设置机动车左转弯待转区。如果需要增加交叉口的通行能力，也可调整左转弯待转区的放行规则，规定在直行绿灯亮时，允许左转弯车辆进入待转区内等候放行。此时左转相位的信号配时基准已从停止线提高到交叉口内冲突点处，能够大大减少绿灯损失时间，可有效地提高交叉口的通行能力。采用此种规则时，放行的顺序必须是先放直行后放左转，否则左转弯待转区的设置毫无意义。^[8]

3.1.3 交叉口放行方案的制定程序^[15]

一种放行方法只有在其适用的交叉口才能发挥出应有的效能，选择适用的放行方法，制定科学的放行方案，对于平面交叉口的交通组织至关重要。交叉口放行方案的制定按照以下程序进行：

(1) 交叉口调查

调查的目的是了解交叉口的交通状况，确定影响交叉口运行效率的主要问题，调查包括以下几个方面：交通量调查，包括机动车流量、非机动车流量、车辆流向比例以及在高峰、平峰期间的差异；交通设施调查，包括交叉口渠化、

道路几何参数、车道数以及其它道路设施的设置情况；信号配时调查，包括路口信号周期（高峰、平峰）、相位数、各相位绿灯时间以及全红时间等。

（2）定性分析

在分析交叉口交通特征的基础上，明确交叉口的大致类型，根据前述的放行方法的适用条件，选择适合交叉口交通状况的放行方法，并以此为基础提出交叉口的放行方案。

（3）定量评价

本阶段的主要工作是对备选方案进行定量评价，为备选方案的选择提供全面、可靠的依据。评价方法有交叉口试验、计算机仿真等，前者需要大量的人力、物力支持，而且试验结果受外界及人为因素影响较大；而计算机仿真具有简便易操作、数据全面准确、可多次重复、无交通干扰等特点，所以在技术条件允许的情况下，选用计算机仿真对备选方案进行评价优于交叉口试验的方法。

（4）获得最佳方案

在确定最后方案之前，必须考虑到未来交通发展的趋势对交叉口交通组织的影响，所确定的方案必须满足未来的交通需求，有利于城市交通的可持续发展。除此，还需考虑到该方案是否便于管理，是否符合道路使用者的心理，这点对于交通管理者和道路使用者都十分重要。

3.2 渠化交通

渠化交通即通过设置交通标线、标志和交通岛等，引导车辆和行人各行其道的方法。组织渠化交通可以有效地解决城市道路上的交通拥挤和阻滞，提高行车能力，保证交通安全。^{[6][16]}

3.2.1 渠化交通的特点及适用条件

渠化交通有以下特点：^[17]

（1）实用性：能有效缩短车辆和行人通过路口的距离，大大改善了交叉口的通行能力及交通安全。

（2）经济性：规模小、投资少、工期短、效果好。

（3）安全性：实行人车分流，右转、直行、左转各行其道。

（4）美观性：在导流岛上种植各种花草美化了城市环境，能使行人、司机缓解疲劳。

（5）综合性：交通信号灯、照明灯、各种地下管线的协调布局。

渠化交通一般适用于以下几种交通形式：^[6]

（1）两条道路交通量不大的交叉口；

（2）一条道路交通量很大，一条道路交通量很小；

（3）畸形交叉口；

（4）丁字形路口。

渠化交通对解决畸形交叉口的复杂交通问题，尤为有效。

3.2.2 渠化交通的作用

通过合理地进行渠化交通，可起到如下作用：^[18]

(1) 通过渠化，车辆可以被限制在规定的路线上，有效规范了车辆和行人的运行轨迹，避免产生混乱、拥挤和交通事故。

(2) 使相交的交通流以直角或近似直角相交，不仅缩短了交叉时间和距离，还减少了交通事故的产生。

(3) 通过调整进口车道数目和宽度，对进入交叉口的车辆进行速度控制，防止因速度过快而发生交通事故。

(4) 通过渠化交通，可以为转弯车辆提供较好的行驶路线和条件，为行人提供安全岛。

3.2.3 渠化交通的原则

渠化交通时应遵循以下原则：

- (1) 便于出入的原则；
- (2) 人车分离的原则；
- (3) 各行其道的原则。

3.2.4 渠化交通的措施

3.2.4.1 交叉口导向车道的设置^{[8] [19] [20] [21] [22]}

在交叉口内，对车道重新划分后的进口车道即为导向车道。它一般与导向车道线、机非分隔线、导向箭头等标线合用，常见的交叉口导向车道线的设置如图 3-8 所示。

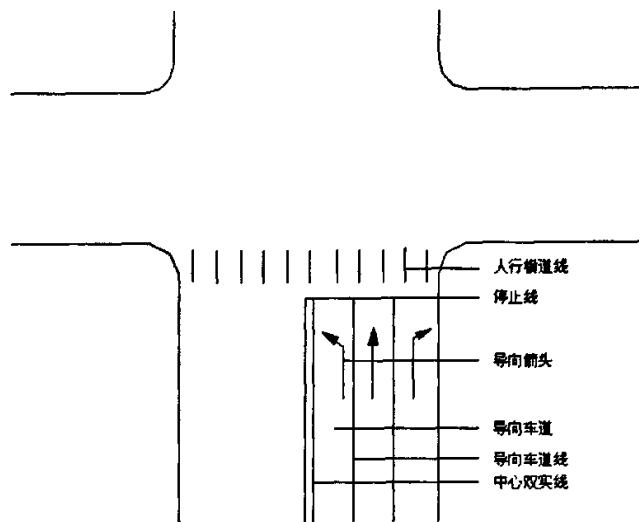


图 3-8 常见的交叉口导向车道线的设置

平面交叉口进口车道数若与路段相同，则在信号控制下，其通行能力只有

路段的一半，故一般有条件时交叉口进口车道数应大于路段车道数。只有在道路等级较低（如次干路以下等级）的交叉口，其扩宽用地受限或通行能力有富余或信号周期在 50s 以下时才可考虑不增设车道。

导向车道的设置对于交通组织十分重要，在设置时应注意以下问题：

一、道路的宽度与交叉口导向车道设置的关系

（1）宽度为 12m~18m（不含）的交叉口，渠化应不少于 1 条机动车导向车道，此时，可以不设导向箭头。

（2）宽度为 18m~24m（不含）的交叉口，渠化应不少于 2 条机动车导向车道，根据该方向的流量数据设置相应的导向箭头。

（3）宽度为 24m~30m（不含）的交叉口，渠化应不少于 3 条机动车导向车道，根据该方向的流量数据设置相应的导向箭头。

（4）宽度为 30m（含）以上的交叉口，渠化应不少于 4 条机动车导向车道，根据该方向的流量数据设置相应的导向箭头。

二、导向车道的宽度

按国家标准规定，小型车道宽度为 3.25m/条，大型车道宽度为 3.75m/条，但多指路段行车道。交叉口导向车道处车速一般较低，故可适当压缩车道宽度。一方面可以强制降低车速，保证车辆通过交叉口时的交通安全；另一方面可以通过增加交叉口进口导向车道的数量，提高交叉口通行能力。

一般导向车道的宽度可以参照以下数据：

- （1）小型汽车直行导向车道：2.8 m/条，不得小于 2.7m/条。
- （2）混合专用直行车道：2.8~3.0 m/条。
- （3）混合专用左（或右）转车道：3.0m/条。
- （4）机动车出口车道宽度 \geq 3.0m/条。
- （5）非机动车进出口车道宽度 \geq 3.0m/条。

三、左转导向车道的设置

规范规定，高峰小时一个信号周期进入交叉口的左转车辆多于 3~4 辆时，应增设专用左转导向车道。

在设置专用左转导向车道时应注意以下问题：

- （1）合理调整中心（线）护栏位置，避免直行车道对着对向中心护栏。
- （2）在设置专用左转导向车道时，可使用多相位信号灯控制；在设置直左导向车道时，应使用两相位信号灯控制。
- （3）在两相位信号灯交叉口，左转或直左车道应划左转弯待转区；多相位信号灯交叉口，左转弯导向车道应划导流线；对于先放直行后放左转的多相位信号交叉口，专用左转导向车道前端可划设左转弯待转区。

四、右转导向车道的设置

规范规定，高峰小时一个信号周期进入交叉口的右转车辆多于 4 辆时，应

增设专用右转导向车道。一般在交叉口线形宽度允许的情况下，都应施划专用右转导向车道。根据右转车辆的行驶轨迹，施划右转弯导流线。

划分主辅路的交叉口，应尽可能利用辅路（不小于 6m）开辟专用右转导向车道。

五、机非分隔的设置

根据交叉口非机动车流量及行驶秩序，渠化非机动车禁驶区和非机动车左转弯停止线；在交叉口非机动车流量较大经常占用右转弯机动车道、严重干扰右转弯机动车行驶时，为规范行车秩序，可在进口方向设置机非隔离设施。

3.2.4.2 交叉口扩宽的设计

如果原有车行道宽度不够，会使左转弯车辆的停候影响直行和右转弯车辆的通行。此时，可以在靠近交叉口的一定距离范围内扩宽行车道，以便让进入交叉口的车辆分道停候和行驶。

交叉口扩宽的方式有以下几种：^[23]

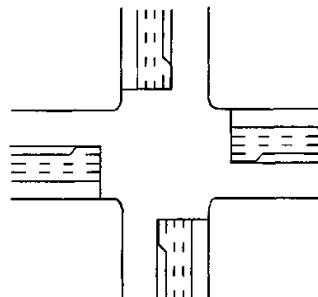
(1) 有较宽中央分隔带时，压缩分隔带宽度以设左转车道，如图 3-9a 所示；

(2) 有中央分隔带，但宽度不够时，可将驶入段车道线适当向内偏移以设左转车道，如图 3-9b 所示；

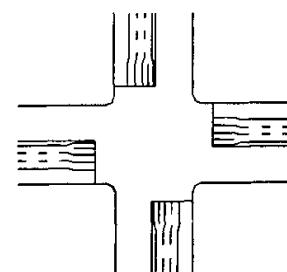
(3) 无中央分隔带，必要时可用扩宽路口方式增设左转车道，如图 3-9c 所示；

(4) 右转车道一般采用扩宽路口的方法设置，如图 3-9d 所示；

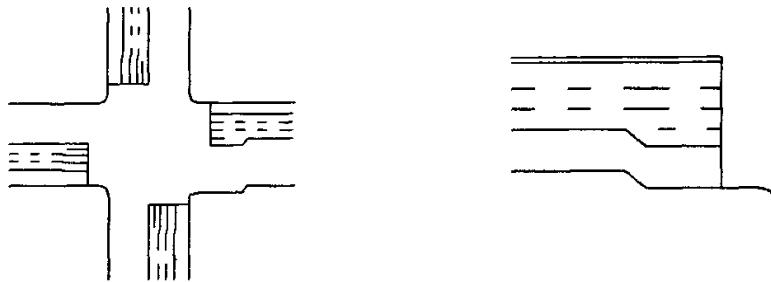
(5) 根据车辆大小，也可压缩原路段车道宽度以增设进口车道，如图 3-9e 所示。



(a) 压缩中央分隔带

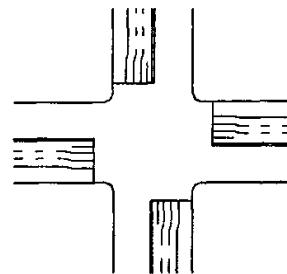


(b) 驶入段车道线偏移



(c) 扩宽路口增设左转车道

(d) 扩宽路口增设右转车道



(e) 压缩路段车道宽度

图 3-9 交叉口扩宽方式示意图

中央分隔带压缩或车道线偏移后的进口车道的宽度以不影响车辆安全行驶为准，进口车道宽度的具体数值见 3.2.4.1 中导向车道的宽度。

扩宽交叉口的车道宽度时，其增设车道的长度应按下述原则：^[6]

(1) 进口段长度

根据红灯停车等候的直行车辆数量决定，主要使转弯车辆便于从停车等候的最后一辆直行车辆后面驶入增设车道，但不宜过长，进口段长度 y 一般为 50~75m。

进口段长度计算步骤如下：

- (a) 通过调查得到交叉口的高峰时段直行、左转、右转交通量 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 ；
- (b) 结合信号控制，求出在一个信号周期相应红灯时间内的直行、左转、右转交通量 q_1 、 q_2 、 q_3 ；
- (c) 计算每条直行车道的交通量 q_1/n_1 (n_1 为直行车道数)；
- (d) 比较 q_1/n_1 与 q_2 、 q_1/n_1 与 q_3 的大小，取大值即得到增设的左转或右转车道的交通量；
- (e) 根据得到增设的左转或右转车道的交通量以及一个 pcu 车辆所需的

停靠长度，就可计算出进口段的长度。

（2）出口段长度

为了使通过交叉口后速度很慢的转弯车辆不影响道路上的直行车流，出口段长度 y' 一般为 20~40m。

y 及 y' 如图 3-10 所示。

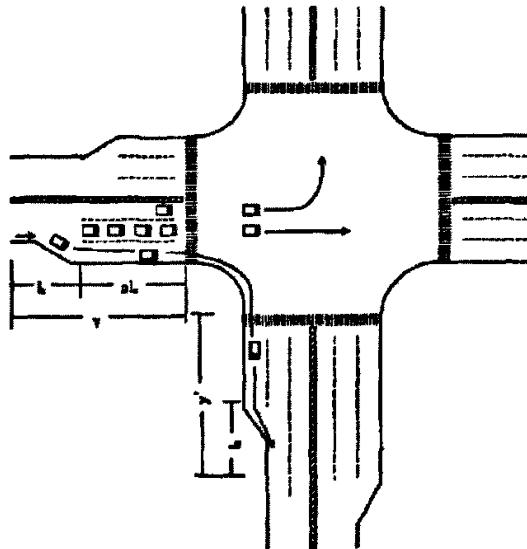


图 3-10 扩宽交叉口

在交叉口扩宽车道时，任何情况下均不能压缩原有人行道的人行带宽度，只能采取压缩人行道上的绿化带或车行道分隔带，以及退后交叉口附近的建筑来实现。

3.2.4.3 交通岛的设置^[6]

利用高出路面的交通岛对交通进行组织管理，是渠化交通的有效手段。交通岛的设置一方面可以限制车辆的行驶方向，使斜交对冲的车流变为直角或同方向的锐角交织，如图 3-11a、b 所示；另一方面可以限制车道宽度，控制车速，防止超车，并可在其上设立交通标志，同时也可作为行人过街时避车用的安全岛，如图 3-11c 所示；还可以防止车辆在交叉口转错车道，如图 3-11d 所示。

交通岛按作用不同可分为方向岛、分隔岛、中心岛和安全岛等。

（1）方向岛：又称导向岛，在交叉口用以指示行车方向。在渠化交通中作用较大，对于复杂的交叉口，往往只用几个简单的方向岛，就能较好地组织交通、消灭冲突点。

（2）分隔岛：用来分隔机动车和非机动车、快速车和慢速车，以及对向行驶的车流，能够保证行车速度和交通安全的一种长条形交通岛。有时也可在路面上画线来替代分隔岛。

(3) 中心岛：设在交叉口中央，用来组织左转弯车辆和分隔对向车流的交通岛。

(4) 安全岛：作为行人过街时避让车辆之用。

交通岛一般设置在车行道的死点处，即无车辆行驶的部位，往往可以一岛多用。

交通岛的设置应注意以下几个问题：

(1) 在交通量大、车速较高的交叉口利用交通岛组织渠化交通时，还需考虑设置变速车道和候驶车道，以利于左转弯车辆转向行驶和等候的需要，如图 3-11e 所示。

(2) 在交叉口布置交通岛时，应使行车自然方便，一般采用比较集中的大岛比混乱分散的小岛效果要好。

(3) 各种交通岛的面积不宜过小，一般应大于 $7m^2$ ，交通岛上可布置绿化，但不得种树，以保证司机的视线能够通视。交通岛的路缘必须醒目，其高度不宜超过 12~15cm。

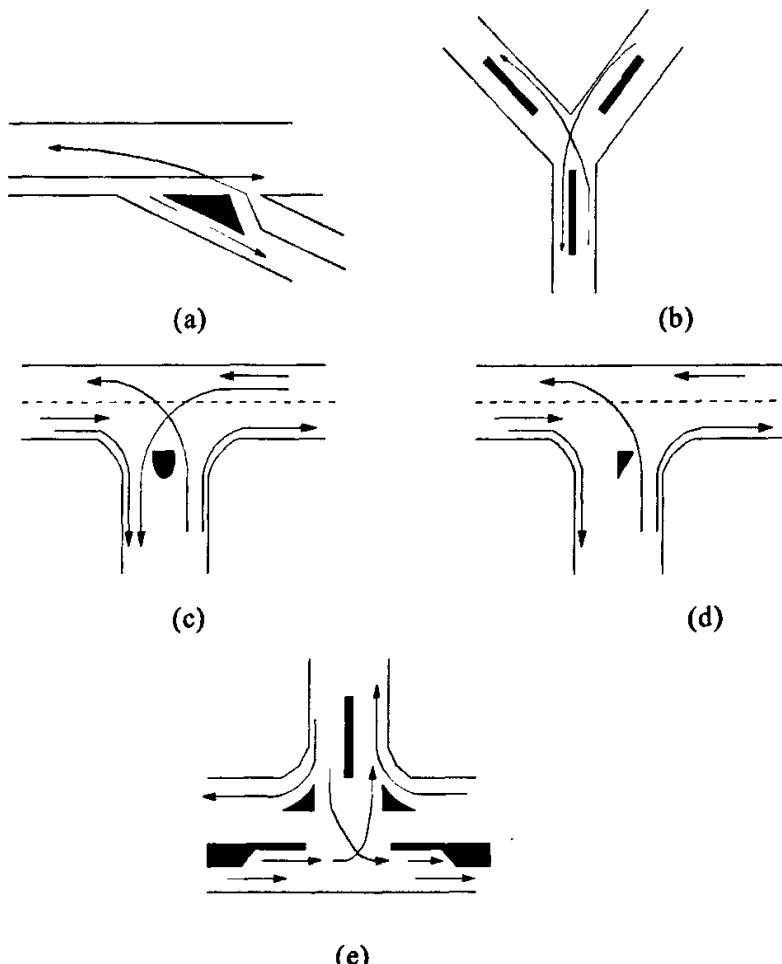


图 3-11 交通岛渠化交通示意图

3.2.4.4 交通标志及交通标线^[6]^[22]

一、交通标志

交通标志是通过用图形符号和文字来传递特定信息，进行交通安全管理和指示设施。交通标志给司机及行人以确切的交通情报。正确地设置交通标志，可以提高道路的通行能力，调整车辆运行秩序，引导司机和行人的行径，使道路发挥最大的使用效率，达到安全、通畅、低公害、节能的目的。

在交叉口用于渠化交通的交通标志通常有以下几种：

- (1) 指路标志（如图 3-12 所示）
- (2) 导向车道指示标志（如图 3-13 所示）
- (3) 禁令标志（如图 3-14 所示）
- (4) 掉头标志（如图 3-15 所示）

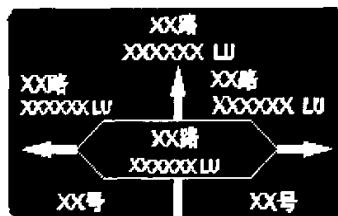


图 3- 12 指路标志



图 3- 13 导向车道指示标志



禁止向左转弯 禁止向右转弯 禁止直行

图 3- 14 禁令标志



禁止掉头 准许掉头

图 3- 15 掉头标志

交通标志的设置有以下原则：

（1）根据客观实际设置

各类交通标志都有自身的含义，有一定的设置条件，使用中应根据实际需要，结合具体情况合理设置，以达到交通通畅和行车安全的目的。

（2）交通标志应设在司机和行人易见的位置

交通标志既可设置在中央分隔带内及行车方向的右侧人行道边，也可设置在车行道上方。

同一地点需要几种标志时，可以安装在同一根立柱上，但交通标志不宜超过三块。

（3）交通标志的照明

交通标志除少数仅白天起作用外，多数标志昼夜都起作用。交通标志应设在照明条件较好的位置。

二、交通标线

交通标线是在道路行车车道的路面上用瓷砖、金属片或油漆等方法，标出车道线、中心分隔线等，从而达到管理和引导交通流向的作用。

在交叉口用于渠化交通的交通标线通常有以下几种：

（1）路面中心线：一般为黄色实线，用于分隔对向车流。

（2）车道分界线：虚线用以引导车辆行进，一般用于出口道的车道划分；实线是导向车道划分线，一般设在进口道，规范车辆分道而行，禁止变换车道和借道超车。

（3）车行道边缘线：白色实线，用来指示机动车道的边缘，或用来划分机动车道与非机动车道的分界。

（4）左转弯待转区线：白色虚线，用来指示左转弯车辆可在直行时段进入待转区，等待左转。

（5）左转弯导向线：白色虚线，用来表示左转弯的机动车与非机动车的分界线，左转弯的机动车在导向线的左侧行驶，非机动车在导向线的右侧行驶。

（6）导向箭头：表示车辆的行驶方向，设在导向车道内、出口道附近，引导渠化交通。

（7）人行横道线：白色平行粗实线，表示准许行人横穿街道的标志。

（8）文字标记：利用文字指示或限制车辆行驶。如可在交叉口相应的车道内标记大型车、小型车，以规范行驶。

（9）停止线：白色实线，表示车辆等候放行的停车位置。

（10）非机动车禁驶区标线：用于告示骑车人在路口内禁止驶入的范围。左转弯非机动车需沿禁驶区外围绕行，以保证交叉口内机动车安全侧向净空。

（11）导流线：白色实线，表示车辆需按规定的路线行驶，不得压线或越线行驶，其作用类似于各种交通岛。

(12) 车种专用车道线：由黄色虚线及文字组成，用以指示仅限某车种行驶的专用车道，其它车种及行人不得进入。

交通标线的设置应根据交叉口的形式、交通量、行车道宽度、转弯车辆的比例、非机动车流量与比例等因素，综合考虑后进行设置。其需遵循以下原则：

(1) 单向交叉口机动车道的数量，不应小于与其相连路段上的车道数。

(2) 在交叉口驶入段的车道内，应设置导向箭头、标明各车道的行驶方向。

(3) 导向车道线与停止线连接，其最小长度为 30m。

3.3 本章小结

(1) 平面交叉口的放行方法有时间分离法、空间分离法、时空分离法和综合放行法四种方法。论文介绍了每种方法的适用条件及放行方案的制定程序。

(2) 介绍了渠化交通的概念、特点、适用条件、作用及原则。

(3) 提出了渠化交通的具体措施：交叉口导向车道的设置、交叉口扩宽的设计交通岛和标志标线的设置。

第四章 平面交叉口交通组织的软件优化设计

4.1 无信号控制交叉口的停车控制

交叉口根据控制方式的不同分为无信号控制交叉口和信号控制交叉口。在我国，目前无信号控制交叉口仍占有一定的比例，无信号控制交叉口主要采用停车控制来进行交通组织。

4.1.1 停车控制的方式^[23]

停车控制指车流进入或通过交叉路口时，必须先停车，观察到达路口的车流情况后再进入或通过，一般可分为以下五种方式：

(1) 多路停车

多路停车是在交叉口所有入口的右方设立停车标志，让所有到达交叉口的车辆必须先停车而后等待出现空挡再通过，此方式也称为全向停车或四路停车，多为临时措施。

(2) 二路停车

二路停车是在次要道路进入交叉口的入口处设立停车标志，使次要道路来的车必须先停车，等候间隙出现再通过，此方式也称为单向停车。

(3) 让路

在次要路口或车辆较少的入口处设让路标志，使司机放慢车速，看清相交道路有无来车，有适当间隙时再通过。

(4) 自行调节

即采用中央岛，让各路进入车辆按逆时针方向统一、连续形式通过。

(5) 不设管制

交通量很小的交叉口一般不设管制，如居民区内部的交叉口等。

4.1.2 停车控制方式的选择

停车控制方式的选择主要取决于以下两个方面：

(1) 相交道路的性质、类型（如表 4-1 所示）

表 4-1 交叉口类型与停车控制方式的关系

交叉口类型	停车控制的方式
快速干道与支路	二路停车
主干道与次干道	二路停车
主干道与支路	二路停车
次干道与次干道	多路停车、二路停车或让路
次干道与支路	二路停车或让路
支路与支路	二路停车、让路或不设管制

(2) 交叉口交通量的大小及事故情况（其中交通量以当量小汽车计）（如

表 4-2 所示) [24]

表 4-2 交通量、事故情况与停车控制的关系

项目		停车控制的方式			
		不设管制	让路	二路停车	多路停车
交通量	主要道路 (辆/小时)				300
	次要道路 (辆/小时)				200
	合 辆/小时	100	100~200	300	500
	计 辆/天	≤1000	<3000	≥3000	5000
每年直角碰撞 (或人身伤害) 事故次数		<3	≥3	≥3	≥5

4.2 信号控制交叉口的信号设计

4.2.1 信号控制的目的及分类^{[25] [26]}

一、信号控制的目的

- (1) 在时间上分隔交叉口不同方向的车流，控制车流的运行秩序；
- (2) 使在平面交叉的道路网络上人和物的运输达到最高效率。

二、信号控制的分类

按控制范围可分为三类：

- (1) 单点交叉口交通信号控制（点控）；
- (2) 主干路交通信号协调控制（线控）；
- (3) 区域交通信号系统控制（面控）。

按控制方法可分为两类：

- (1) 定时控制

交叉口信号控制机构均按事先设定的配时方案运行即为定时控制，也称为定周期控制。根据一天内采用配时方案的多少，可分为单点定周期控制（即一天只用一种配时方案）和多段定周期控制（即一天按照不同时段的交通量采用几种配时方案）。定时控制的基本方式是单个交叉口的定时控制。线控、面控也都可用定时控制的方式，称为静态线控系统、静态面控系统。

定时控制主要适用于交通量不大、变化较稳定、相邻交叉口距离较远的交叉口。

- (2) 感应控制

感应控制是在交叉口进口道上设置车辆检测器，信号灯配时方案可随检测器检测到的车流信息而随时改变的一种控制方式。根据检测器设置方式的不

同，可分为半感应控制（即只在交叉口部分进口道上设置检测器的感应控制）和全感应控制（即在交叉口全部进口道上都设置检测器的感应控制）。感应控制的基本方式是单个交叉口的感应控制。线控、面控也都可用感应控制的方式，称为动态线控系统、动态面控系统。

感应控制的适用性如下：

- ① 感应控制适用于交通量变化大且不规则的交叉口；
- ② 感应控制还适用于多个流向交通量变化大的复杂交叉口。

4.2.2 信号设计的相关概念

（1）信号相位

交叉口各进口道不同方向所显示的不同灯色的组合称为一个信号相位。我国目前多采用两相位或三相位控制方案。

（2）信号周期

信号灯显示一个循环所用的时间称为信号周期。一个交叉口的所有相位均采用同一信号周期。

（3）饱和流率和有效绿灯时间

当绿灯开始时，停在停车线后面的车辆不可能立即通过停车线，而是有一个启动延误时间，驶入率不是立即达到最大，而是从零开始，逐渐达到最大；当绿灯结束时，驶出交叉口的车辆也不可能立即终止，而是在绿灯结束后，驶出率有最大逐渐降为零，图 4-1 中实线下面的面积就是绿灯时间通过停车线的车辆数。为便于计算，取一个等面积的矩形套在曲线上，即图 4-1 中的矩形 ABCD。这个矩形的高即为饱和流率，底就是有效绿灯时间。

有效绿灯时间 = 实际绿灯时间 + 黄灯时间 - 总损失时间

（总损失时间包括起动损失时间和清尾损失时间）

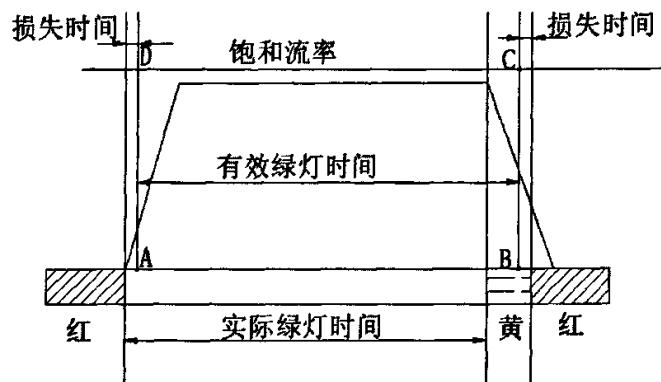


图 4-1 饱和流率和有效绿灯时间

(4) 绿信比

在一个周期时间内，有效绿灯时间与周期时间之比即为绿信比。

(5) 相对相位差

在各交叉口的周期时间均相同的联动信号系统中，相邻两交叉口同相位的绿灯起始时间之差称为相对相位差。

(6) 绝对相位差

在联动信号系统中选定一个标准交叉口，规定该交叉口的相位差为零，其它交叉口相对于标准交叉口的相位差称为绝对相位差。

(7) 绿灯间隔时间

从失去通行权的上一个相位绿灯结束到下一个相位另一方向绿灯开始的时间称为绿灯间隔时间。

(8) 交通流量

交通流量是指道路上某一段内实际通过的车辆数。

(9) 饱和流量

饱和流量是指排队车辆加速到正常行驶速度时通过停车线的稳定车流量。饱和流量取决于道路条件（车道宽度）和车辆状况（车型与车流方向）。

(10) 通行能力

通行能力是指在现有饱和流量和绿信比配置下，车辆以能够接受的行车速度，单位时间内一条道路或道路某一截面所能通过的最大车辆数。

通行能力 = 饱和流量 * 绿信比

(11) 饱和度

饱和度是指道路的实际流量与通行能力之比。兼顾到交叉口通行效率与绿灯时间利用率，饱和度一般设置在 0.9 左右。

饱和度 = 交通流量 / 通行能力

= 交通流量 / (饱和流量 * 绿信比)

(12) 车道交通流量比

车道交通流量比是指道路的实际流量与饱和流量之比。

车道交通流量比 = 交通流量 / 饱和流量

在饱和度取 1 时，车道交通流量比等于绿信比。在每个信号相位中，具有最大交通流量比的车道所对应的车流称之为该信号相位的关键车流。关键车流对整个交叉口的通行能力和信号配时起决定作用。

4.2.3 信号相位的设计^{[8][27][28]}

4.2.3.1 信号相位设计的原则和方法

相位设计的原则是安全、畅通以及尽量减少冲突点。

在相位设计时分为相位初选和相位调整。相位初选是在得到路口放行方法、渠化条件、路口各方向达到的流量等信息后，初步确定相位顺序；相位调

整是在相位初选的基础上，计算各相位的饱和度，分析各相位的饱和度是否平衡，再对相位进行相应的调整。

相位设计流程图如下：

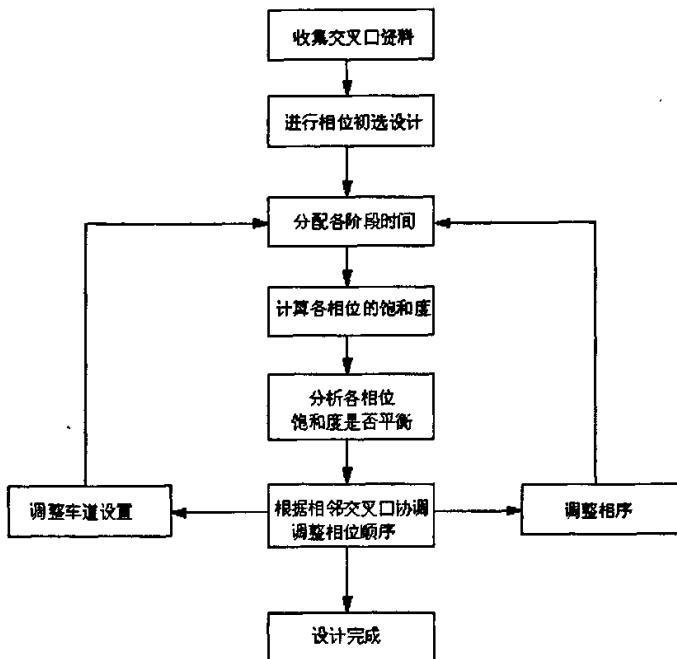


图 4-2 相位设计流程图

4.2.3.2 信号相位的确定

两相位信号控制方式适用于各种渠化条件，但根据我国城市交通的特点，发现两相位控制方式有如下不足：

(1) 绿灯初期，同一相位中机动车与非机动车冲突严重，导致绿灯开始阶段机动车流损失时间过大，甚至超过 10 秒；

(2) 绿灯中期，左转非机动车穿越直行机动车流，导致机动车流通行能力下降，同时难以保证安全，成为机动车与非机动车之间交通事故的主要原因；

(3) 绿灯末期，进入交叉口的非机动车与相交道路绿灯初期进入交叉口的机动车形成极为混乱的集团，对机动车流的运行干扰极大，严重影响了交叉口的通行能力，容易引发交通事故。

导致以上不足的原因在于两相位信号控制方式主要为机动车流的运行服务，而忽略了非机动车和行人流对机动车流通行能力的影响，具体表现为：

(1) 信号相位的设计缺乏合理性，机动车和非机动车在同一相位内运行，机、非交通流之间的矛盾不可避免，如左转非机动车严重影响机动车流的通行。此外，绿灯期间右转机动车与直行非机动车之间的冲突也很严重；

(2) 相位绿灯间隔时间的设计对混合交通流的特性考虑不够，仅以机动

车的安全交叉为目标，造成绿灯末期进入交叉口的非机动车流还未驶出交叉口时，就与相交道路的机动车和非机动车交通流发生冲突，形成混乱的集团。

多相位信号控制方式可有效解决两相位控制方式的不足之处，它需要根据交叉口放行方法、渠化条件和路口各方向到达流量的均衡性来进行确定。

（1）按照交叉口放行方法确定信号相位

（a）对于按时间分离法放行的交叉口，至少需要三个信号相位，其中一相为行人相位，如图 4-3 所示。

设置时间分离法放行相位时，行人和非机动车等候时间不宜过长，一般行人相位时间间隔宜控制在 120 秒以内，否则易引起交叉口秩序混乱。

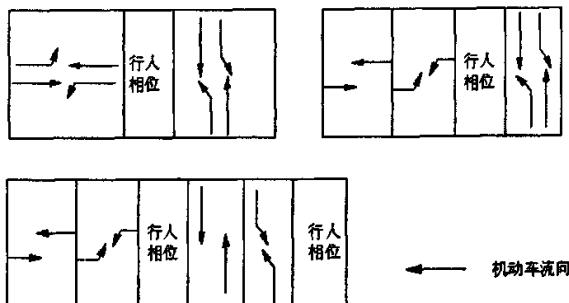


图 4-3 不同的时间分离法信号相位图

（b）对于按空间分离法放行的交叉口，可以按照常规四相位设置，行人相位可按直行相位配置，不单设非机动车相位，如图 4-4 所示。

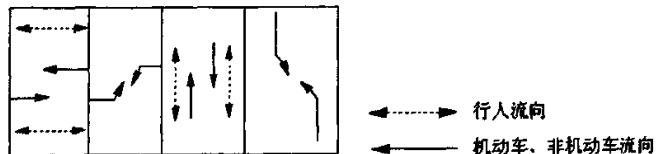


图 4-4 空间分离法信号相位设置

（c）对于按时空分离法放行的交叉口，非机动车应单设信号相，一般采用两相位配置，较少采用多相位配置，如图 4-5 所示。对于多相位时空分离法，非机动车相位与直行机动车相位应组到一个相位中，机动车左转相位时，非机动车不宜通行，如图 4-6 所示。



图 4-5 时空分离法两相位配置图

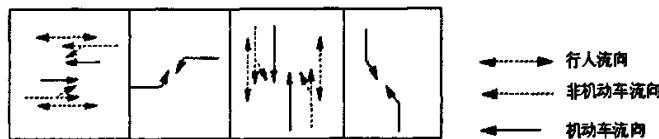


图 4-6 时空分离法多相位配置图

(d) 对于采取综合放行法的交叉口，按放行方法要求设计信号相位，如图 4-7、图 4-8 所示。

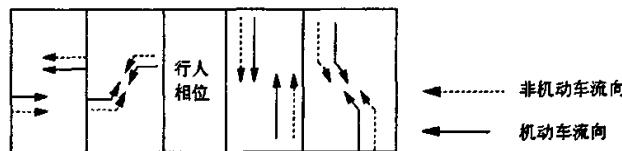


图 4-7 时间分离法加空间分离法相位图

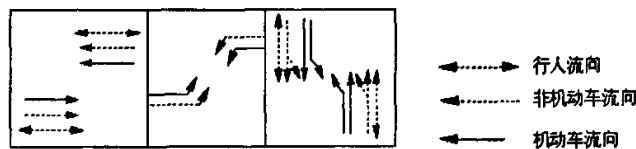


图 4-8 空间分离法加时空分离法相位图

(2) 按照交叉口导向车道渠化确定信号相位

交叉口施划有专左车道的，信号上才能设置专左相位；交叉口是直左车道的，不能设置专左相位。交叉口的渠化要与信号相位设置统一。

(3) 如果交叉口各方向上来车不均衡，则按各方向轮放方式组织信号相位采用此种方式时，交叉口通行能力在流量大时损失较多。但其适应性强，做信号绿波协调时可按单行交通方式进行信号相位差组织，绿波带明显宽于双行方式，故此种方式适用于中低峰条件下的信号协调控制。如图 4-9 所示。

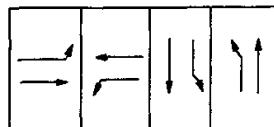


图 4-9 轮放方式信号相位图

4.2.4 信号相序的设计

对于两相位信号控制，不存在相序问题。而对于多相位信号控制，则需按交叉口秩序不乱、交叉口内空闲时间最少来确定相序。按照此要求，一般宜先放直行后放左转。如图 4-10 所示。

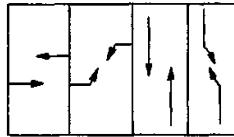


图 4-10 常规四相位信号相序

如果交叉口机动车放行方式为专左相位加左转弯待转区的，则需先放直行后放左转。

4.2.5 信号配时的设计^{[29][30][31][32][33]}

信号配时的设计主要是信号周期及绿信比的设计。

4.2.5.1 信号周期的计算

传统的信号周期设计单纯考虑机动车在信号交叉口的交通运行特性，忽略了非机动车的影响。这样，在信号交叉口非机动车流量较大的情况下，往往造成交叉口交通秩序混乱。因此，在我国混合交通条件下，对信号周期需要进行优化设计，充分考虑非机动车的影响。

周期越长，则单位时间内交叉口相位变换次数越少，因此可减少单位时间内信号损失时间，提高交叉口的通行能力。但周期并非越长越好，周期过长会存在以下缺陷：

(1) 调查和研究均表明，一般当周期过长后，通行能力反而提高缓慢甚至减少，而延误却增长很快。

(2) 周期时长增加后，各相位红灯时间也会相应增加，每个相位红灯期间排队等候的车辆也会相应增多，因此需要设置较长的进口车道，这在实际中往往难以实施，尤其转向车道是采用拓宽交叉口来获得的情况下，如果进口道长度不够，则会导致转向车辆进入不了转向车道，或因转向车辆占据直行进口道而使直行车辆无法进入进口道。

(3) 较长的红灯等待时间往往会使交通参与者失去耐心，容易出现交通参与者尤其是行人、非机动车违章通行的情况。调查表明，大多数交通参与者能接受的红灯时间在 60~80 秒之间。

基于以上分析，信号周期可按如下方法确定：

(1) 首先由各进口方向所允许的最大排队长度来确定各相位允许的最长红灯时间。

一个进口方向所允许的最大排队长度等于其进口的平均长度，因此其允许的最长红灯时间按机动车辆确定为：

$$r_{ijv} = \frac{n_{ijv} L_{ijv}}{Q_{ijv} l_v} \quad (4-1)$$

式中 r_{ijv} —— 第 i 相位第 j 个进口方向机动车所允许的最大红灯时长 (s)

n_{ijv} ——第 i 相位第 j 个进口方向机动车车道数量

L_{ijv} ——第 i 相位第 j 个进口方向机动车进口道平均长度 (m)

Q_{ijv} ——第 i 相位第 j 个进口方向到达的机动车交通量 (pcu/s)

l_v ——一个 pcu 车辆所需的停靠长度 (取值 8m)

在同一相位内, 非机动车流量较大时, 应考虑非机动车的影响, 非机动车允许的最大红灯时长为:

$$r_{ijb} = \frac{L_{jb}}{Q_{jb} l_b} \quad (4-2)$$

式中 r_{ijb} ——第 i 相位第 j 个进口方向非机动车所允许的最大红灯时长 (s)

L_{jb} ——第 i 相位第 j 个进口方向非机动车进口道的长度 (m)

Q_{jb} ——第 i 相位第 j 个进口方向到达的非机动车交通量 (pcu/s)

l_b ——一辆非机动车所需的停靠长度 (取值 3m)

因此, 第 i 相位第 j 个进口方向所允许的最大红灯时长为:

$$r_j = \min(r_{ijv}, r_{ijb}) \quad (4-3)$$

相位 i 所允许的最大红灯时长等于其相位中各个进口方向所允许的最大红灯时长的最小值, 即:

$$r_{i\max} = \min(r_{i1}, \dots, r_{ij}, \dots, r_{in}) \quad (4-4)$$

式中 $r_{i\max}$ ——第 i 相位允许的最大红灯时长 (s)

(2) 由各相位允许的最大红灯时长确定信号周期

各相位的有效绿灯时间与周期时长存在如下关系:

$$\sum_{i=1}^n g_i + L = C \quad (4-5)$$

式中 g_i ——第 i 相位的有效绿灯时间 (s)

L ——周期总损失时间 (s)

C ——信号周期时间 (s)

将 $g_i = C - r_i$ 代入上式, 可以得到:

$$C = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n r_i - L \right) \quad (4-6)$$

将各相位允许最长红灯时间 $r_{i_{\max}}$ 代入式 (4-6)，可得到最长周期 C_{\max} ：

$$C_{\max} = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n r_{i_{\max}} - L \right) \quad (4-7)$$

调查和研究表明，当周期长超过 120s 时，交叉口通行能力提高缓慢，因此当式 (4-7) 计算出的最大周期大于 120s 时，建议取 120s。

周期时长也不宜过短，由于非机动车通过交叉口的时间较长，最短周期时长应考虑非机动车能够安全通过信号交叉口所需最短绿灯时间和行人过街所需最短时间，即最短周期由各相位最短绿灯时间决定：

$$C_{\min} = \sum_{i=1}^n g_i^{\min} + L \quad (4-8)$$

式中 C_{\min} ——最短周期时长 (s)

g_i^{\min} ——相位 i 所需最短绿灯时间 (s) (一般用实测数据确定)

综上所述，考虑非机动车的信号周期设计如下：

以延误作为交通效益指标，利用 Webster 定时信号交叉口延误公式得到使车辆通过交叉口的总延误最小的最佳周期：

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad (4-9)$$

式中： C_0 ——信号最佳周期 (s)

L ——周期总损失时间 (s)

Y ——组成周期全部相位的最大流量比之和

约束条件： $C_{\min} \leq C \leq C_{\max}$ (4-10)

4.2.5.2 绿信比的计算

传统信号配时方案中绿信比是按流量比分配的，即相位绿信比正比于该相位的机动车流量比，这种方法可以确保各进口方向具有相同的饱和度。但此种方法并未考虑到非机动车的影响，在非机动车交通量较大的情况下，往往因不能满足非机动车需求而导致交叉口秩序混乱。

在非机动车流量较大的情况下，绿信比应由非机动车流量和机动车饱和度共同确定。为避免考虑非机动车而使某一相位机动车出现饱和或过饱和的情况，将机动车相位不大于某一给定值和相位时间不小于最小绿灯时间为约束条件。

即 $x_i = \frac{y_i}{\lambda_i} \leq x_p$ (4-11)

$$\lambda_i \geq \frac{g_i^{\min}}{C}$$
 (4-12)

式中: x_i ——i 相位机动车饱和度

y_i ——i 相位关键机动车流量比

λ_i ——i 相位的绿信比

g_i^{\min} ——满足 i 相位非机动车和行人通行的最小绿灯时间

令 $\frac{g_i^{\min}}{C} = \lambda_i^1$, $\frac{y_i}{x_p} = \lambda_i^2$, 则 i 相位的最小绿信比为:

$$\lambda_i^{\min} = \max(\lambda_i^1, \lambda_i^2)$$
 (4-13)

由下式可判断在交叉口满足各相位最小绿信比的前提下, 是否有过剩的绿灯时间。

$$\Delta G = C - L - C \sum_{i=1}^n \lambda_i^{\min}$$
 (4-14)

式中: ΔG ——交叉口过剩的绿灯时间

如果 $\Delta G < 0$, 表示交叉口通行能力不能满足现有交通需求, 没有过剩的绿灯时间; 如果 $\Delta G = 0$, 表示交叉口通行能力恰好能满足现有交通需求, 没有过剩的绿灯时间; 如果 $\Delta G > 0$, 表示交叉口通行能力能满足现有交通需求, 有过剩的绿灯时间。

当交叉口有过剩的绿灯时间时, 将过剩的绿灯时间按各相位非机动车流量在交叉口总的非机动车流量中所占的比例分配给各相位。

$$\Delta g_i = \Delta G \frac{b_i}{b_z}$$
 (4-15)

$$b_i = b_{ii} + g_i^{\min} b_{ii}' - \frac{g_i^{\min} - t_i}{H}$$
 (4-16)

式中: Δg_i ——分配给 i 相位的过剩绿灯时间 (s)

b_i ——i 相位的关键非机动车流量 (辆/s)

b_z ——交叉口总的关键非机动车流量 (辆/s)

b_i ——i 相位绿灯启亮前关键非机动车流的排队车辆数

b_i' ——i 相位关键非机动车流的到达率 (辆/s)

t_i ——非机动车启动损失时间

H ——非机动车车头时距

如果将按最小绿信比确定的相位绿灯时间定义为相位基本绿灯时间，则相位总的绿灯时间就等于基本绿灯时间与过剩绿灯时间之和，即：

$$g_i = \lambda_i^{\min} C + \Delta g_i \quad (4-17)$$

此方法适用于非机动车流量较大的交叉口。

4.2.5.3 具体算例

一个两相位信号控制交叉口，各进口交通量和饱和流量见表 4-3：

表 4-3 某交叉口各进口交通流量表

项目	北进口	南进口	东进口	西进口
非机动车交通量 (bic/h)	980	1000	720	840
机动车交通量 (pcu/h)	620	720	390	440
机动车饱和流量 (pcu/h)	2400	2400	1000	1000
机动车流量比	0.26	0.3	0.39	0.44
机动车最大流量比	0.3		0.44	
相位划分	第一相位		第二相位	

该交叉口各进口方向机动车车道数均为 2 车道，机动车及非机动车进口车道的长度均为 50 米，绿灯间隔时间 I 为 7 秒，启动损失时间 t 为 3 秒，黄灯时间 A 为 3 秒，相位数 n 为 2。

该交叉口信号周期计算如下：

$$L = \sum_{i=1}^n (l_i + I_i - A_i) = (3+7-3) + (3+7-3) = 14 \text{ s}$$

$$Y = 0.3 + 0.44 = 0.74$$

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} = \frac{1.5 * 14 + 5}{1 - 0.74} = 100 \text{ s}$$

$$r_{1Nv} = \frac{2 * 50}{(620 / 3600) * 8} = 73s$$

$$r_{1Nb} = \frac{50}{(980 / 3600) * 3} = 61s$$

$$r_{1N} = 61s$$

$$r_{1Sv} = \frac{2 * 50}{(720 / 3600) * 8} = 63s$$

$$r_{1Sb} = \frac{50}{(1000 / 3600) * 3} = 60s$$

$$r_{1S} = 60s$$

$$r_{2Ev} = \frac{2 * 50}{(390 / 3600) * 8} = 115s$$

$$r_{2Eb} = \frac{50}{(720 / 3600) * 3} = 83s$$

$$r_{2E} = 83s$$

$$r_{2wy} = \frac{2 * 50}{(440 / 3600) * 8} = 102s$$

$$r_{2wb} = \frac{50}{(840 / 3600) * 3} = 71s$$

$$r_{2w} = 71s$$

约束条件: $C_{\max} = 60 + 71 - 14 = 117s$
 $C_{\min} = 30 + 40 + 14 = 84s$

$C_{\min} < C_0 < C_{\max}$, 符合条件

$$\lambda_1^1 = \frac{30}{100} = 0.3$$

$$\lambda_1^2 = \frac{0.3}{0.9} = 0.33$$

$$\lambda_1^{\min} = 0.33$$

$$\lambda_2^{\min} = \max\left(\frac{40}{100}, \frac{0.44}{0.9}\right) = 0.49$$

$$\Delta G = 100 - 14 - 100(0.33 + 0.5) = 4s$$

该交叉口通行能力能满足现有交通需求, 有过剩的绿灯时间。

4.2.5.4 行人专用信号配时

我国目前大部分城市对于行人过街都采用了行人过街专用信号, 行人相位时间由行人绿灯时间和行人绿闪灯时间构成。

行人相位时间可用下式计算：

$$t_p = \frac{L_p}{V_p} + \frac{P}{S_p \times W} \quad (4-18)$$

式中： t_p ——行人相位时间最小值 (s)

L_p ——人行横道长度 (m)

P ——行人绿信号开始时等待的人数 (人)

S_p ——过街行人的交通流量 (人/m/s)

V_p ——行人步行速度 (m/s)

W ——人行横道宽度 (m)

对于过街行人的饱和交通量还没有确定的值，日本根据通勤、游玩、购物等不同步行目的得到饱和交通量调查数据如表 4-3 所示。

表 4-4 信号交叉口穿越人行横道的步行者饱和交通量

步行目的	流量 (人/m/s)	步行目的	流量 (人/m/s)
通勤	0.92	游玩	0.72
购物	0.69	大型活动	0.52

穿越人行横道的步行速度因行人的性别、年龄、行走形态的差别而不同。在日本对市内 12000 人进行调查，结果表明，9% 的最慢的行人步行速度约为 1m/s。所以通常将 1m/s 作为步行速度的设计值，但根据需要，可以进行实测调查改变步行速度值。

为了清理过街行人，设置绿灯闪信号。绿灯闪信号的时长取步行速度为 1.2m/s 时行人过完人行横道所需的时间，或者从横道一端走到安全地带所需的时间。此时间不宜过长，否则会使行人容易无视信号，因此需设定一个上限值，一般取 10s 左右。

行人绿灯时间是从行人相位时间中去掉行人绿灯闪时间得到，此值若比 5s 小则取 5s，可通过增加相位时间或不得已时减少绿灯时间来保证。

4.2.5.5 信号配时设计流程^[25]

下面以定时控制为例介绍信号配时设计流程。

设计流程如图 4-11 所示。

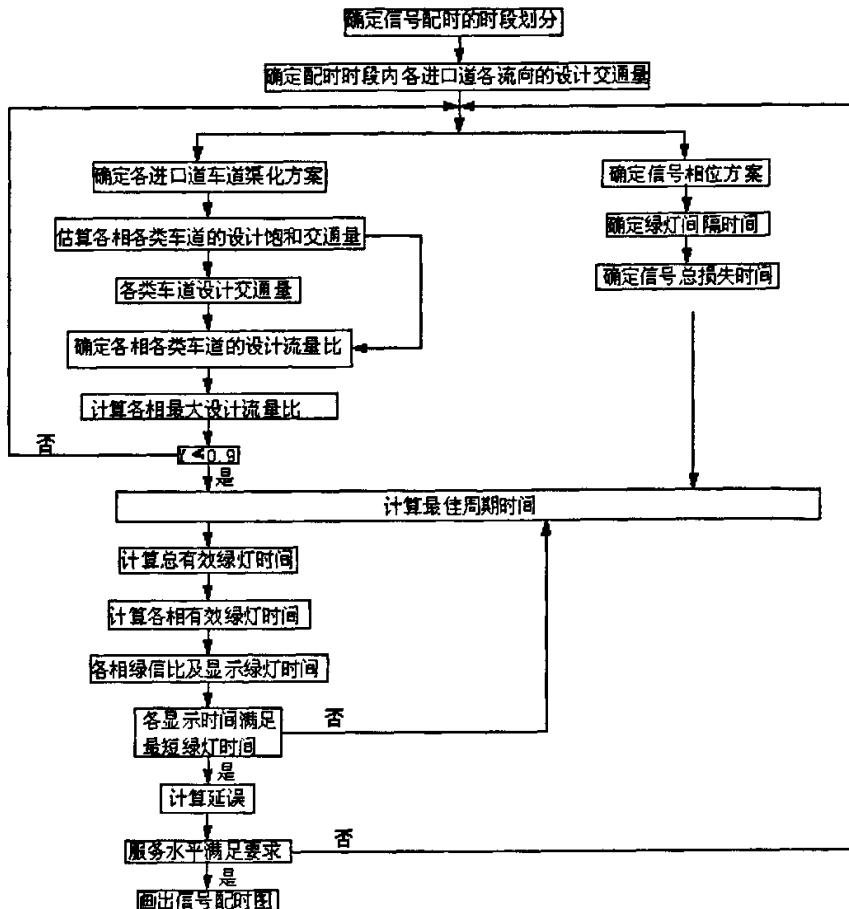


图 4-11 定时控制信号配时流程图

4.3 交通管制

交通管制是通过限制部分交通的方法来减少交通拥堵和交通事故的一种手段。本文从对机动车与非机动车的交通管制、行人过街的交通管制两方面来阐述我国常用的交叉口交通管制方法。

4.3.1 机动车与非机动车的交通管制^{[6][8]}

(1) 车种禁限

(a) 限制部分机动车辆交通(如限制或定时限制大型货车进入市中心区);

(b) 定时限制非机动车交通, 即除上下班高峰可通行自行车外, 其它时间在某些主要交通干道上禁止通行自行车。

(2) 封闭多路交叉口的某条次要道路的交通

(3) 组织单行交通

由于单行道路路口内冲突简单、冲突点少(如图 4-12 所示), 不易形成拥堵, 路口信号设置成两相位即可满足冲突分离的要求, 而且车流向一个方向行驶, 行人过街相对安全, 所以单行道路的通行能力远远高于双行道路。

但单行交通也有不利之处，首先是增加了车辆的绕行距离；其次是增大了路网的无效流量；再次公交单行后换乘困难。因此，单行交通需要满足一定的路网条件。

适合单行交通组织的路网，密度一定要大，路口间距不宜大于 200m。路口间距过大，绕行距离过长，会引起交通流量压力过于集中，一般绕行距离应控制在 600m 以内。要组织好单行交通，路网最好是棋盘格局，瓶颈路和断头路少，路之间有对偶关系，有丰富的支路连接平行道路，而对于路宽的要求不高，只要能通过汽车就可以。在我国，香港、青岛、大连、上海的路网条件较适合单行交通，其单行交通组织得比较好。因此，是否组织单行交通关键要看路网的密度和道路的通达性是否满足单行的条件。

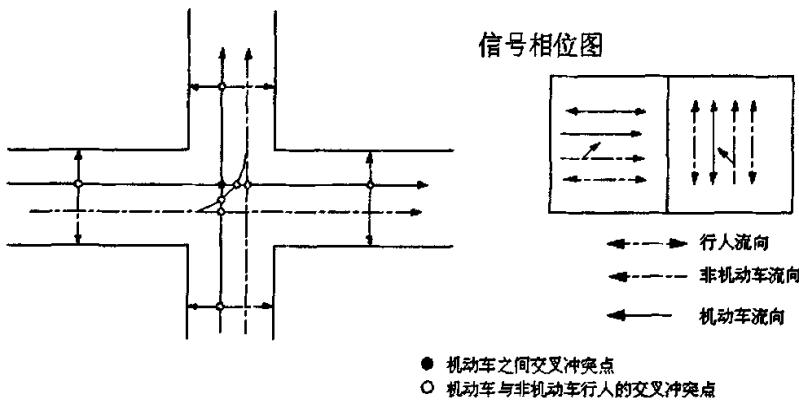


图 4-12 机非单行交叉口内的冲突点情况

(4) 禁止左转弯交通

交叉口禁止左转弯的直接作用是可以大大提高对向直行车道的通行能力，当一个交叉口某一方向的交通压力过大时，可以考虑在此方向的相对方向上禁止车辆左转弯，以减轻本方向直行车流的压力。交叉口禁止左转弯的结果是减少交叉口内冲突点的个数。

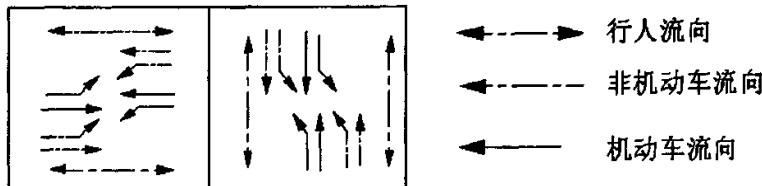


图 4-13 两相位信号时冲突关系图

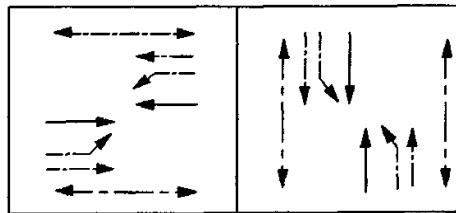


图 4-14 两相位信号交叉口机动车四面禁左时的冲突关系图

从图 4-13 中可以看出，在每一个信号相位中，有 2 个机动车之间的交叉冲突点，6 个机动车与非机动车之间的交叉冲突点，2 个机动车与行人之间的交叉冲突点，4 个非机动车之间的交叉冲突点，2 个非机动车与行人之间的交叉冲突点。其中对交通影响最大的冲突点是与机动车有关的交叉冲突点，在交叉口内共有 10 个。一旦当机动车流量较大时，必然会引起交叉口内秩序混乱，难免不发生交通拥堵和交通事故。此时解决方法有两种：一是在交叉口产生拥堵时，可以利用多相位信号减少交叉口内的交叉冲突点；二是交叉口已拥堵严重用其它方法不能有效疏堵时，可以考虑在交叉口实行禁止左转弯的交通组织。

从图 4-14 中可以看出，由于禁止了机动车的左转弯，在每一个信号相位中，已没有了机动车之间和机动车与行人之间的交叉冲突点，机动车与非机动车之间的交叉冲突点也减少到 4 个，交叉口的通行条件和安全条件大为改观。

交叉口采取禁止左转的措施后，左转流向上的交通压力一般会转移到相邻交叉口，引发出新的交通问题。此时可以利用远引交叉和街坊绕行的方式，解决因禁左所带来的路网交通压力转移问题。

(a) 远引交叉

远引交叉就是把交叉口左转弯车流通过先右转后再掉头直行的方式通过交叉口，从而来消除左转弯车流和对向直行车流之间存在的交叉冲突点，如图 4-15 所示。

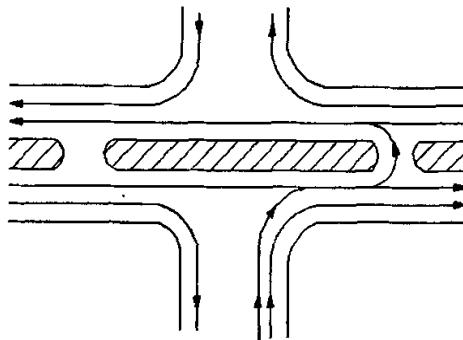


图 4-15 远引式交叉

远引交叉只有在一条次要道路与一条很宽的干道（宽度在 40~45m 以上）相交时才能采用。这种方式的优点是交叉口只有右转车辆和直行车辆交叉，左转弯车辆可以在交叉口不停留而通过。缺点是要求在交叉口相交道路中有一条很宽的道路；左转弯车辆通过交叉口的行程距离增长；左转弯车辆要穿过几条直行车道才能回头，不安全，也影响靠中线的快速车辆的行驶。

（b）街坊绕行

此种方法的前提是要有相距不远的平行道路，如图 4-16 所示。由于绕行距离增长，通常仅在左转车辆比例不大，旧城道路交叉口扩宽困难的情况下采用。

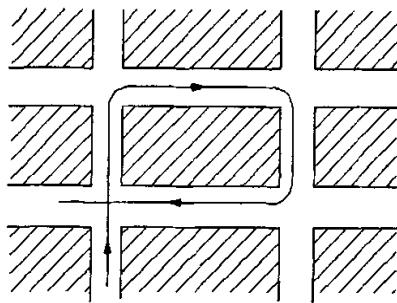


图 4-16 街坊绕行

4.3.2 行人过街的交通管制

交叉口范围内除了车流汇集以外，还常常是人流密集的地方，因此，在对机动车与非机动车进行交通管制的同时，还需对行人过街进行交通管制。

行人过街一般有三种方式：人行横道、人行天桥、地下通道。

（1）人行天桥和地下通道^{[23][32][33]}

按照行人交通心理来选择，人行横道是大多数人愿意选择的通行方式，但若行车道较宽，交通量较大，行人等待穿越的时间较长，容易导致行人冒险穿越的情况。因此必须依据行车道宽度、机动车平均饱和度、行人过街待行时间

等因素考虑是否设置人行天桥和地下通道。

在我国实际的道路规划中，一般当满足以下条件之一时，宜设置人行天桥或地下通道：

(a) 横过交叉口的一个路口的步行人流量大于 5000 人次/小时，且同时进入该路口的当量小汽车交通量大于 1200 辆/小时；

(b) 通过环形交叉口的步行人流总量达到 18000 人次/小时，且同时进入环形交叉的当量小汽车交通量达到 2000 辆/小时。

地下通道有以下设置规则：

(a) 尽可能结合交叉口四周建筑物设置，充分利用临近建筑的内部空间，将上下梯道设在建筑物内，提高其与建筑物的使用效率；

(b) 满足人行交通的净空要求；

(c) 通道宽度应根据人流量确定并不得小于 3m；

(d) 应考虑将来以机械代步装置解决垂直交通的可能，进出口附近应留有足够的客流集散场地和醒目的标志；

(e) 不宜考虑自行车骑行，但应考虑轮椅、童车的推行，单独或结合梯道设置缓坡道；

(f) 在地震多发地区的城市宜采用地下通道的形式。

人行天桥和地下通道虽功能相近，但各有优缺点。与地下通道相比，人行天桥的优点如下：

(a) 投资少：建设时比地下通道花费少，建成后的维修费也很少；

(b) 施工期短：可以采用组装结构，甚至在施工期间不中断交通；

(c) 不受地下管道的影响；

(d) 机动灵活：可以比较容易地拆除或搬迁；

(e) 不需要复杂的排水设施。

与地下通道相比，人行天桥的缺点如下：

(a) 上下人行天桥消耗能量大；

(b) 对周边环境影响较大。

(2) 人行横道

交叉口人行横道的设置应遵循以下原则^{[23][34]}：

(a) 人行横道最好向交叉口外侧移一段距离，使其不占用街道转角，留出这段空间给右转车等候行人过街之用。这段距离应视转角半径大小而定，一般从侧石延长线外移不小于 5m，且考虑避开雨水口。

(b) 人行横道的宽度，应根据高峰小时的设计人流量来确定。我国规范规定人行横道最小宽度为 4m；

(c) 人行横道的长度，我国规范规定最大不超过 30m。超过时，在中间应设置安全岛。为便于童车及轮椅的通过，安全岛不必高于路面。

(d) 有中央分隔带的道路, 人行横道应设在分隔带端部向后 1~2m 处, 这部分分隔带还可兼作行人安全岛。

(e) 人行横道的位置设置必须醒目, 宜加以警告标志, 提醒司机注意前方行人。

4.4 环岛交通组织优化设计^{[6] [8] [37]}

环岛是平面交叉口的一种特殊形式, 它是以改变冲突形式来进行冲突分离的。在各种冲突形式中, 对交通影响最大的是交叉冲突, 环岛的作用就是把交叉冲突转化为一次合流与一次分流的交织冲突。

4.4.1 环岛的适用条件

环岛对于相交道路、交通量、地形都有一定的条件限制。由于其通行能力低, 环岛一般不适用于快速路与主干路, 也不适用于有大量非机动车和行人的交叉口。相交道路宜为大城市的支路、中等城市的次干路和支路、小城市的各级道路。交叉口的相交道路有 4 条以上, 且相邻道路中心线的交角宜大致相等。在对交通量的要求上, 环岛常适用于左转交通量比例较大(接近于直行交通量的 50%); 各进口道的直、左交通量之和比较均匀, 且进入环道运行的直、左交通总量不超过环岛的设计通行能力。在地形上通常要求竖向上平坦, 环道的纵坡度不大于 2%, 平面上要求满足环岛的布置。

从交通组织形式上来说, 环岛对多道路交叉(4~6 条)和畸形交叉口尤其适用。当采用信号灯控制时, 四路交叉的冲突点为 16 个, 五路交叉的冲突点为 50 个, 六路交叉的冲突点为 120 个, 可见五路、六路交叉时, 冲突点太多, 对交通的干扰和发生交通事故的可能性大大增加。而采用环岛时, 所有的直行、左转、右转车辆均沿同一方向行驶, 消灭了交叉冲突点, 仅存在车辆进出交叉口的交织冲突点, 从而保证了交通安全, 节约了时间, 提高了通行能力。所以环岛对四路以上的道路交叉比采用信号灯管制具有明显优势。但如果相交道路的条数超过 6 条, 为了保证一定的交织长度, 环岛的半径就必须加大, 这样不仅占地面积大, 而且车辆绕行太长, 既不经济也不合理。

4.4.2 环岛交通存在的主要问题

环岛交通主要存在以下两个问题:

(1) 非机动车及行人的交通组织问题

我国是混合交通结构, 非机动车及行人在通过环岛时需增加绕行距离, 因此有些城市把环岛开放, 将街心绿地变为街心公园, 供非机动车、行人穿行。这样虽然缩短了非机动车及行人的绕行距离, 但将非机动车及行人引入环岛中心后, 不利于机动车在环岛内完成交织, 加剧了环岛的交通拥堵, 如图 4-17 所示。

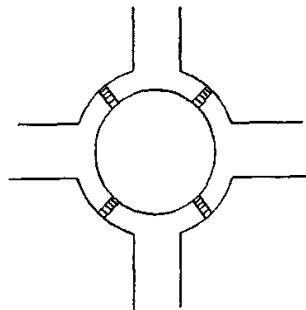


图 4-17 开放环岛时行人与非机动车的交通组织

（2）通行能力低，易产生拥堵

环岛的通行能力一般低于信号控制交叉口，主要原因是由于环岛的面积不大，交织段过短。按照交织冲突对交织段长度的要求，完成一次交织需要不少于 70m 的交织段，即环岛的直径必须大于 150m。而在我国，很少有这么大的环岛，国外也不多见。

有一些非对称式环岛，虽然面积很大，但通行能力也很低，并且容易发生交通事故。究其原因是，虽然环岛面积很大，但由于相交道路为非对称式布置，或是畸形交叉口，或是多于四条路相交的交叉口，环岛内的交织段总会有长有短。一般交织段长的称为长轴，长轴方向的通行能力高，流量积累的速度快；交织段短的称为短轴，短轴方向的通行能力低，流量消散的速度慢。因此在环岛交织段短的一侧，最容易发生交通拥堵和事故，如图 4-18 所示。

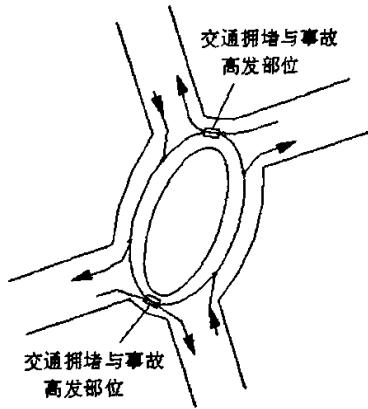


图 4-18 非对称环岛拥堵与交通事故高发部位

4.4.3 环岛交通组织设计

针对环岛交通存在的问题，提出以下解决方案：

（1）在环岛外侧布置人行道

为了避免对环岛内机动车的影响，宜将人行道在环岛外侧布置，如图 4-19 所示。

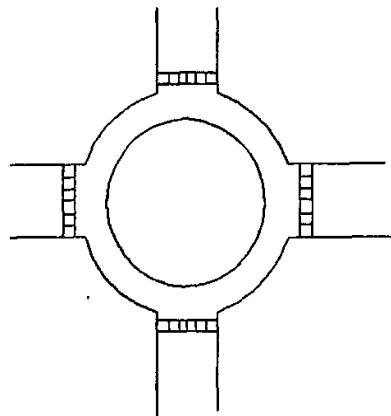


图 4-19 环岛人行道外侧布置示意图

（2）加入信号灯控制

以前环岛发生交通拥堵时，总认为是岛内车道数不够而造成拥堵，所以往往希望通过增加岛内车道数来解决拥堵问题，但其结果却事与愿违，岛内车道数越多拥堵越严重，甚至造成环岛瘫痪。在环岛设计时，一般靠近环岛中心的一条车道作为绕行之用，最外边的一条车道作为右转之用，中间的 1~2 条车道提供直行及左转车辆的交织使用。因此，环道上的车行道数一般只需 3~4 条。实践证明，当环道上的车行道从 2 条增加到 3 条时，通行能力提高得最为显著，当车道数增加到 4 条以上时，通行能力增加较少，而且由于车道数的增加，进出环岛得车流需要交织的次数增多，环岛内的交织情况更加复杂，以致加剧了环岛的拥堵。

缓解环岛拥堵的最有效的方法是加信号灯进行控制。信号灯控制有两种方式：进口控制和进出口控制方式。

（a）环岛进口信号控制方式

环岛进口信号控制方式要求环岛在原渠化的基础上，在环岛入口处施划停止线，设置信号灯，一般采用两相位放行方式或四面轮流放行方式，如图 4-20 所示。信号配时周期不宜过长，避免环岛内车辆积累造成拥堵。按此种方式放行，岛内堵车的机会很少，秩序较好，冲突点多集中在环岛出口处，环岛的通行能力不会有很大提高，只解决了环岛的秩序问题。环岛进口信号控制方式主要用于环岛内容易发生堵塞导致环岛瘫痪的小环岛。

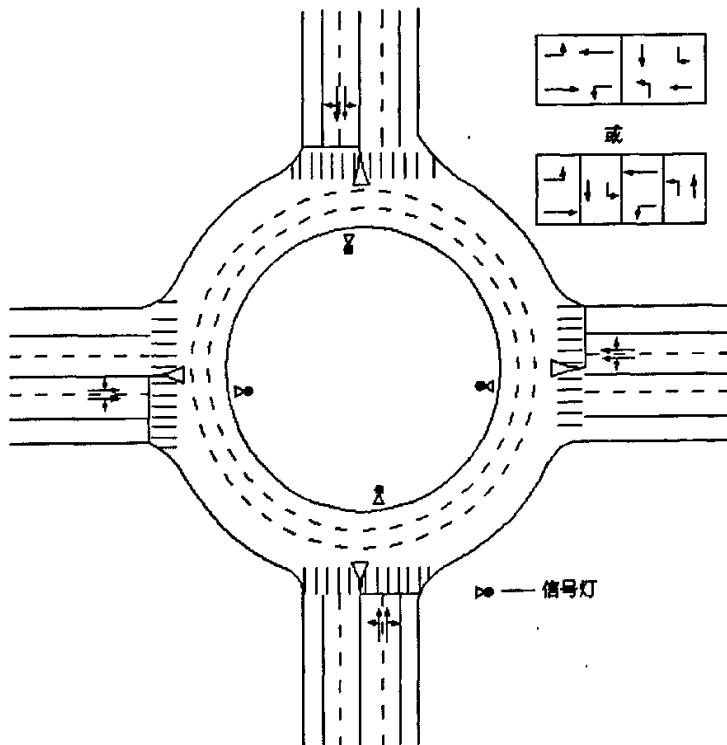


图 4-20 环岛进口信号控制渠化与信号相位设置

(b) 环岛进出口信号控制方式

对于小型环岛，可采取进口信号控制方式来保证岛内正常运转。而对于大型环岛（岛的直径或长轴大于 100m），由于岛内有一定的交织段，如果仅用环岛进口控制方式，会出现环岛的车流与上一进出口进环岛的车流相冲突，同样会造成拥堵。因此，对于大型环岛，不仅入口需要进行信号灯控制，在出口也需进行信号灯控制，把环岛的四对进出口组织成四个信号灯单元控制的交叉口，这样不仅减少岛内空间的浪费，而且岛内运行有序，很少发生拥堵，效果明显好于进口信号控制方式。如图 4-21 所示。

对于大型非对称畸形环岛，由于非机动车按环岛通行方式绕岛行驶需要绕较远的距离，不符合骑车人省时省力的心理需要，故多在环岛短轴方向采用逆行方式通过交叉口，这样易造成环岛短轴方向秩序混乱，既影响畅通，又容易发生事故。因此，对于大型非对称环岛，可以将短轴连接的进出口组成一个路口，用长轴对短轴路口进行连接，通过对短轴路口信号灯进行协调，以长轴为信号相位差方向，即把大型非对称环岛变成一个信号线控系统。这样，一可以改善环岛秩序，二可以提高环岛通行能力，三可以有效减少交通事故。具体如图 4-22 所示。

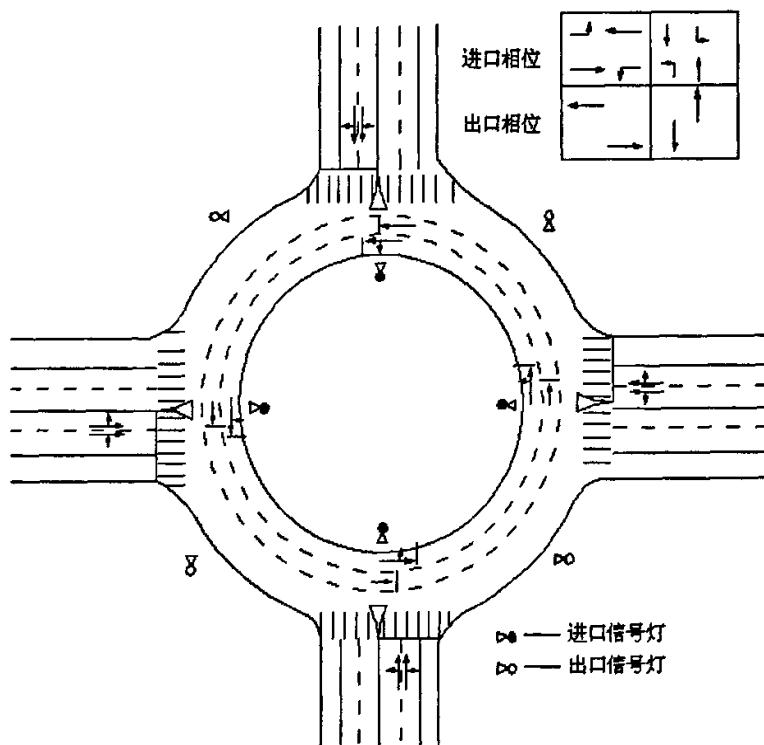


图 4-21 环岛进口信号控制渠化与信号相位设置

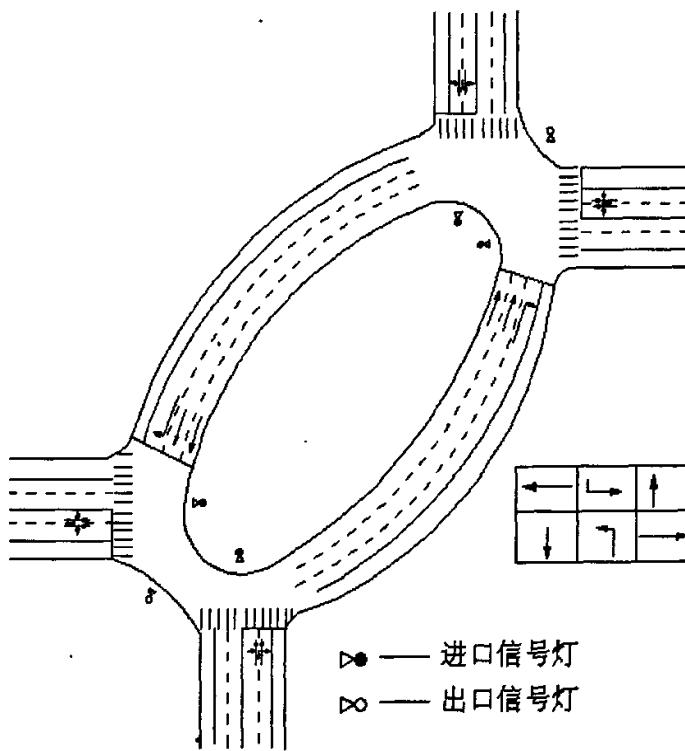


图 4-22 大型非对称环岛信号控制渠化与信号相位设置

4.5 本章小结

(1) 交叉口根据控制方式的不同分为无信号控制交叉口和信号控制交叉口。无信号控制交叉口主要采用停车控制来进行交通组织。停车控制有多路停车、二路停车、让路、自行调节、不设管制五种方式。停车控制方式的选择主要取决于相交道路的性质、类型和交叉口交通量的大小及事故情况两方面。

(2) 介绍信号控制的目的、分类及信号设计的相关概念。

(3) 阐述信号相位设计的原则和方法，分析如何确定信号相位及相序。

(4) 提出考虑非机动车影响下的信号周期及绿信比的计算，并对行人专用信号的配时进行了研究。

(5) 从对机动车与非机动车的交通管制、行人过街的交通管制两方面来阐述了我国常用的交叉口交通管制方法。对机动车与非机动车的交通管制方法有车种禁限、封闭多路交叉口的某条次要道路的交通、组织单行交通、禁止左转弯交通等。

对行人过街的交通管制方法有三种：人行横道、人行天桥、地下通道，并对三种方法进行了对比分析。

(6) 介绍了环岛的适用条件，提出了环岛交通的主要存在问题，并针对存在的问题提出了解决方案。

第五章 立体交叉的交通组织优化设计

5.1 立体交叉的设置条件^[4]

由于立体交叉占地面积大、施工复杂、投资额大，因此，兴建立体交叉桥需有一定的交通条件。

一般设置立体交叉需要有如下条件：

(1) 相交道路等级高

高速公路或快速路与各级道路相交，一级公路或主干路与交通繁忙的其它道路相交，并通过技术经济论证，可设置立交桥。

(2) 交叉口的交通量大

交通量超过 4000~6000 辆/小时，相交的道路为四车道以上，并在平面交叉口采取措施难以奏效时，可设置立体交叉。

(3) 道路与铁路的交叉，符合下列条件时，可设置分离式立体交叉：

(a) 高速公路、快速路与铁路交叉，应设置。

(b) 一般公路、城市道路与铁路交叉，道口交通量较大或铁路调车作业繁忙致使封闭道口的累计时间较长，应设置。

(c) 高等级公路、城市主次干路与铁路交叉，而且在道路交通高峰时间内经常发生一次封闭时间较长时，应设置。

(d) 中小城市被铁路分割时，道口交通量虽不大，但考虑城市的整体需要，可选择合适位置设置一两处立体交叉。

(e) 铁路路段旅客列车行车速度达 120km/h 以上的地段与各级城市道路交叉，必须设置。

(f) 地形条件不利于采用平面交叉形式时，可设置。

5.2 立体交叉的选型^{[8] [38] [39] [40]}

5.2.1 立体交叉选型的影响因素

为了提供行车效率高、安全舒适、适应设计交通量和计算行车速度，满足车辆转弯需要并与环境相协调的合理的立交形式，在做立交设计时，需要对立体交叉的形式进行选择。立体交叉形式的选择是否合理，不仅影响立体交叉本身的功能，如通行能力、行车安全和工程经济等，而且对地区整体规划、地方交通的发展及市容环境等都有密切关系。由此可见，立体交叉形式的选择需要慎重考虑。然而，立体交叉形式的确定并不是一个简单的工程，它同时要涉及到许多制约因素，主要有以下几个方面：

(1) 交通运输系统特征

立体交叉作为一个单体工程在交通运输系统中的位置、作用应予以考虑，如高速公路上的立体交叉设置应考虑所经过重要城镇的互通联系，并应以城边

相切而过；在城市地区交通系统中则要考虑立体交叉在路网中的地位。需从宏观着手，全面规划，形成系统。

（2）道路条件

（a）相交道路等级及交叉口的性质

立体交叉的形式与交叉口的性质密切相关。如当快速路与快速路相交时，对立交的要求是能保证快速行车、连续通畅，需要选择高等级的立体交叉；当快速路与次干道相交时，对快速路上的车流要保证快速、连续、通畅、行车路线短捷，为节省投资，对次干道上的车流可适当降低要求，可以采用等级不高的立体交叉。

（b）相交道路设计车速

为了使车辆能够快速、通畅地通过立交，要求匝道的设计车速与相交道路的设计车速一致，即相交道路设计车速高，匝道的设计车速也要高；相交道路设计车速低，匝道的设计车速也应较低。而不同的匝道形式，其能达到的设计车速是不一样。如左转弯的定向型匝道，由左边高速车道驶出，直接转向 90 度，没有反向运行，线形条件好，因此能达到较高的设计车速；而环形匝道要达到较高的设计车速，不仅要有很大的用地面积，而且路线增长，造价较高，营运费用也不经济，故一般情况下其设计车速较小；半定向型匝道，其设计车速则介于二者之间。由此可见，当设计车速拟定后，立交的形式也就大致确定了，所以设计车速是影响立交类型选择的重要因素。

（c）道路是否收费

不收费立交和收费立交是完全不同的两种形式。如常见的四路苜蓿叶形立交、半定向型立交等，这些立交有四个出口，如果收费，就必须设置四个收费站。由于每个收费站每天 24 小时都需设置收费人员，其管理费用和设备费用也非常昂贵，每增加一个收费站就要增加一倍以上的费用。因此一般应尽量减少收费站的个数，力求管理方便，设备集中，不干扰主要道路交通。一座立交以设置一个收费站为宜。这些要求使不收费立交与收费立交在形式上有较大差别。收费立交通常设置在城市快速道路系统上，由于可供选择的形式少，从而使立交的选型和设计大大简化；而不收费立交通常设置在城市主、次干道上，可供选择的类型较多，加之受到环境、空间、地上地下建筑物、管线等的限制，立交的选型和设计要复杂得多。

（d）互通式立体交叉的相互协调性

一条道路（尤其是高速公路）上往往有一系列的互通式立体交叉。这些立交由于通过能力大、车流连续、行车速度高，驾驶员在接近立体交叉时需要在较短的时间内来了解行驶路线、调整其驾驶操作，这对于外地司机尤其重要。因此，为了确保交通安全，要求一条道路上的立体交叉的规划设计应尽可能做到协调统一，在设计上满足运用功能的简单性和一致性，符合行车趋势，让司

机清晰地作出判断，而不应采用突变的设计。

(e) 分期修建规划

由于费用、建设时间上的不一致等因素，互通式立体交叉的修建应考虑分期进行的问题。因此，立交选型要注意近远期结合，既要考虑近期交通要求、减少投资费用、加快工程进度，又要考虑远期交通发展后需要改建提高的可能。例如，为合理利用资金，使用交通量增长的需要，近期可选用部分互通式立体交叉，远期可再改建为完全互通式立体交叉。设计时要注意前期工程能为后期工程所利用，以免造成不必要的浪费。

(3) 交通条件

(a) 交通量

交通量的大小是决定是否修建立交和修建什么形式立交的重要依据。首先，当主要干道的平面交叉在目前或规划年限内，交通量将达到或超过饱和，并且采取路网分流及其它综合治理措施也难以缓解高峰期间的车流阻塞时，则应考虑修建立交，或者预留立交在规划期末修建；其次，当决定修建立交时，交通量的大小，包括直行交通量及转弯交通量的大小是决定立交匝道形式的重要依据。为了保证道路的通行能力，必须在交叉口选择与道路通行能力相匹配的匝道类型，因此交通量的大小就成为决定立交形式的一项基本因素。

(b) 交通组成

交通组成是指交通流中各类运行单元的种类及其在数量上的比例关系。不同的车种，其行车速度、爬坡能力、转弯半径等都是不同的。因此，车辆的种类及其在车流中所占的比例对立交的类型有较大的影响。选型时，在满足一般要求的基础上，还要考虑个别交通的特性需求。目前在我国平原城市中，存在着大量的非机动车交通（主要是自行车），承担着相当的运输任务，而且在今后相当长的一段时间内，其作用不可替代。由于机、非同时存在，车速差异大，为了避免非机动车对机动车的干扰，降低道路通行能力，需设置机非分行的立交。非机动车道应不变或少变，行驶在地面上或路堑内，以有利于行人及自行车交通。若是单一的机动车，如果以大型车为主，由于其爬行能力比小型车小，要求纵坡小、转弯半径大、立体交叉层数不宜过多；如果以小型车为主，由于小型车行驶速度高，爬坡能力强，机动灵活，纵坡可大一些，层数可以多一些。

(4) 环境条件

(a) 可提供的用地范围

在城市中心地区或建筑密集地区，用地往往是决定立交形式的关键。因此，在用地受限制的情况下，占地较小的立交，往往是最佳方案。

(b) 立交在城市中所处的位置

在立交形式的选择中，要注意城市中心干道立交与郊区干道立交在使用性

质上的差异。城市中心干道立交占地面积受限，交通功能以“通”为主，在几何线形及速度上的要求并不高，但对景观要求较高。如果在寸土寸金的中心城区修建大型的互通式立交，会占用大片土地，不仅造价昂贵，而且会使城市整体风貌受到破坏，使立交区附近行人通过条件恶化，土地的使用价值严重下降；而郊区干道立交用地面积较宽裕，要求有较高的运行速度，对几何线形要求标准也相对较高，对景观要求则不太高。因此，处于不同位置的立体交叉，考虑的因素各不相同，也将影响立交的选型。

总之，立体交叉的选型既要满足交通功能的需求，符合道路的性质布局，又要考虑到与周围环境的协调，并且需充分考虑到立体交叉设计的经济合理性及技术可行性。

5.2.2 新建立体交叉选型的一些建议

(1) 由于立交桥具有占地面积大，对景观的影响较大等特点，所以立交桥主要用于高速公路、快速干道等高等级道路上，在市区路网中一般不提倡修建立交桥。

(2) 定向式立交一般多用于快速道路与快速道路相交的节点，较少用于快速道路与信号灯控制的主干道路相交的节点。如果在快速道路与信号灯控制的主干道路相交的节点采用定向式立交，由于信号灯交叉口与定向式立交桥通行能力相差过大，势必会因信号灯交叉口流量积累快消散慢而导致拥堵。

(3) 互通式立交宜用在快速道路与普通道路的节点上。由于转向匝道的通行能力有限，一般不会给路网造成太大的流量冲击，相交道路上相邻的信号灯平面交叉口基本上都能承受。

(4) 对于城市环路，宜采用主路高架的菱形高架桥形式。一方面可以通过桥下路口信号灯把交通压力控制在环路以外；另一方面，桥下路口机动车和非机动车交通组织相对简单，如图 5-1 所示。如果采用环路相交道路上跨环路的定向式高架桥形式，则桥下各方向的机动车、非机动车难以组织左转弯。如图 5-2 所示。

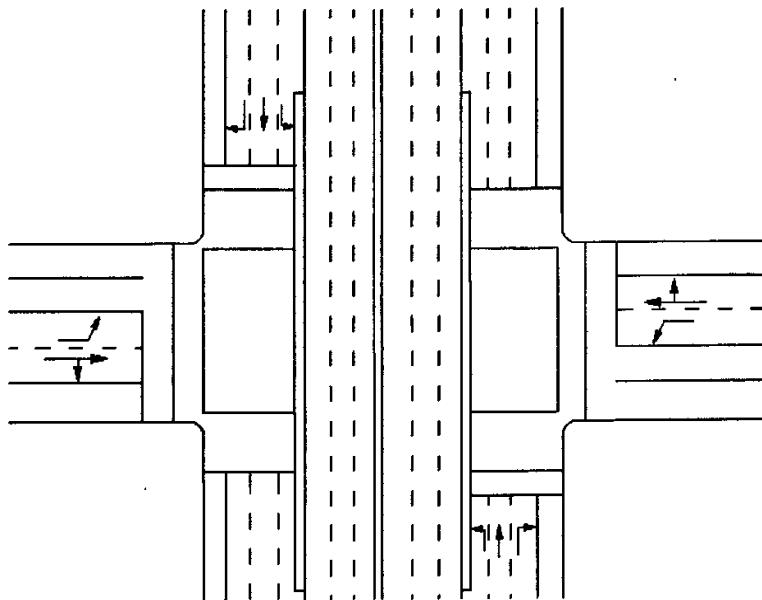


图 5-1 主路上跨式高架桥

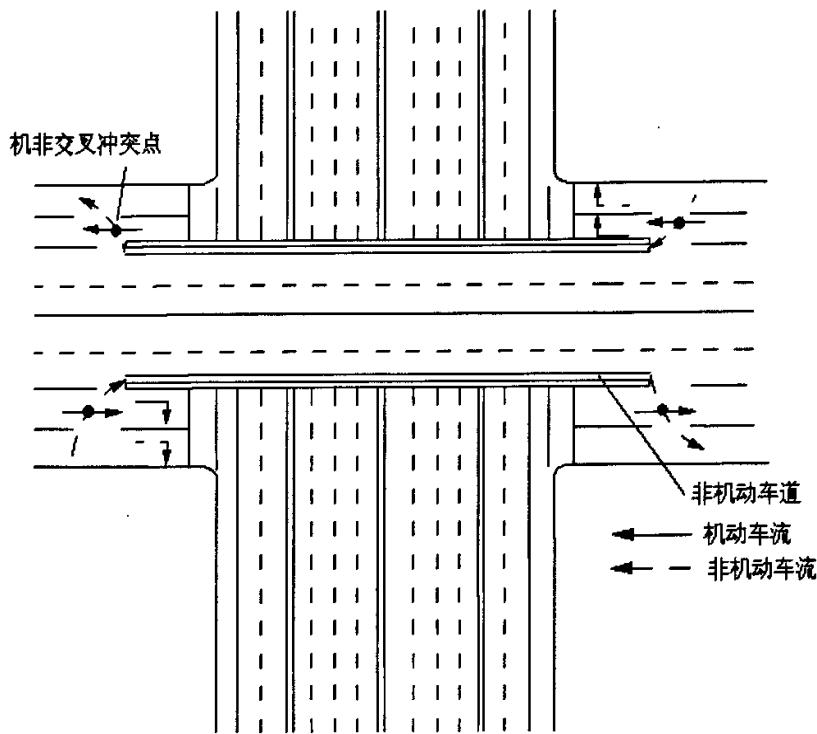


图 5-2 上跨主路的分离式高架桥

在不同形式立交桥的通行能力上，定向式立交最高，互通式立交次之，菱形高架桥最差。立体交叉的选型，原则上通行能力接近的快速路相交选定向式立交，通行能力相差较小的主干道相交选用互通式立交，而对路网流量调控有

要求的选用菱形高架桥。

5.3 立体交叉出入口的交通组织^[8]

立体交叉的交通冲突点多发生在匝道口，匝道口是交通堵点和事故黑点。因此，立体交叉口的交通组织主要是匝道口的交通组织。

如果路段为三块板，外侧是非机动车道，即有机非隔离带的，立体交叉的交通组织主要是控制匝道口的机非冲突点；如果三块板外侧是辅路的，即有主辅路隔离带的，由于机动车与非机动车同在辅路行驶，立体交叉的匝道口存在大量进出主路不同流向的机动车之间的交叉冲突，此时立体交叉的交通组织不光要控制匝道口的机非冲突点，还要控制辅路直行机动车与进出主路的机动车之间的冲突。

现以主辅路为例，提出控制匝道口冲突点的交通组织方案：

(1) 将原出主路的立交匝道口封闭，改在原匝道口上游的主辅隔离带处新开主路出口，这样把原立交匝道口处辅路直行机动车与进出主路的机动车之间的交叉冲突变成主路出口至立交匝道口处直行机动车与转弯机动车之间的交织冲突。

(2) 采用渠化交通的方法，把发生在立交匝道口处的机非冲突点转换成交织冲突点。具体如图 5-3 所示。

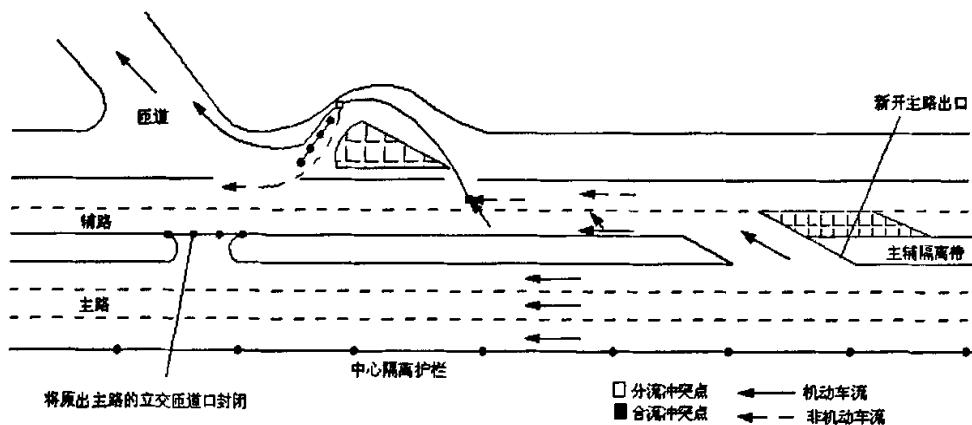


图 5-3 主辅路路段匝道口交通组织优化方案

5.4 本章小结

(1) 介绍了立体交叉的设置条件，列举了影响立体交叉选型的因素，并对新建立体交叉选型提出了一些建议。

(2) 针对三块板路段及主辅路路段的立体交叉出入口的交通冲突，提出了解决方案。

第六章 结论与展望

6.1 结论

随着我国经济建设的不断发展，机动化进程的不断加快，城市交通拥堵问题越来越严重，已成为制约城市发展的重要原因。交叉口是城市道路网的咽喉，是交通堵塞和事故的多发地。因此，解决城市交叉口的交通拥堵及安全问题是解决城市交通拥堵问题的重要环节。解决城市交通拥堵问题的关键在于如何合理地组织城市交通，同样，解决城市交叉口的交通拥堵及安全问题关键在于如何合理地进行交通组织。鉴于此，本文对交叉口的交通组织做了一些理论研究，从平面交叉口交通组织的软件、硬件优化设计和立体交叉口交通组织优化设计三方面详细论述了如何进行交叉口的交通组织管理。主要研究成果包括：

(1) 交叉口交通组织优化设计的理论研究。介绍了交叉口的主要形式，对平面交叉与立体交叉进行了对比分析，明确了交通组织优化的概念原则，分析了我国混合交通流在交叉口处的交通特性，提出了交叉口交通组织优化需解决的主要问题，并总结了目前国内外对于交叉口交通组织优化设计的一些方法。

(2) 平面交叉口交通组织的硬件、软件优化设计方法。硬件设计主要研究了渠化交通，软件设计从停车控制、信号设计及交通管制三方面分别对平面交叉口的交通组织进行了分析，并对环岛交通进行了研究。

(3) 分析了立体交叉出入口的交通运行主要存在的问题，提出了解决的方案。

6.2 展望

交叉口的交通组织优化设计是一个非常复杂的问题，本文有些方面只是涉及了一些皮毛而已。论文的研究侧重于交通组织的具体措施，但未对某一具体交叉口进行全面设计，因此，建议在本文的基础上开展更详细的研究，将理论知识应用到具体实践中。

参 考 文 献

- [1] 陈望德, 汤淑明, 宫晓燕, 刘小明. 城市交叉口交通信号控制研究的发展与展望[J]. 自动化博览, 2002 (1) .
- [2] [日]交通工程研究会编, 刘春华, 刘璟译.平面交叉口的规划与设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.5.
- [3] U.S. Department of Transportation. Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD), December 2000.
- [4] 贺瑞华.CORSIM和SIMTRAFFIC模型在北京的适用性研究[硕士学位论文 D].北京工业大学, 2003.
- [5] 杜殿虎.道路立体交叉适应性研究[硕士学位论文D]. 长安大学, 2002.
- [6] 岑乐陶. 城市道路交通规划设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.7.
- [7] 陈洪仁.道路交叉设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.7.
- [8] 翟忠民. 道路交通组织优化[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.6.
- [9] 马建明等. 信号交叉口交通组织优化设计[J]. 北京工业大学学报, 2001(2).
- [10] 黄建中, 蔡军.对我国城市混合交通问题的思考[J].城市规划学刊, 2006(2).
- [11] 池利兵. 信号交叉口混合交通流特性与交通组织改善研究[硕士学位论文 D]. 哈尔滨工业大学, 2002.
- [12] S.Teply,L.Fu.Vehicular,Person and Pedestrain Delays at Signalized Intersections. IFAC Transportation System.1997:1339~1344.
- [13] JamesH.Banks. Performance Measurement for Traffic Management Systems. Washington ,DC:77th Annual Meeting of the Transportion Research Board,January 1998.
- [14] 路峰, 钱劭武, 侯刚. 混合交通条件平交路口放行方法的比较分析[J]. 公安大学学报, 2003 (1) .
- [15] 郑志坚. 浅谈城市道路交叉口的渠化与美化[J]. 广州公路交通, 2000 (3) .
- [16] 黎国强.浅议平面交叉路口的交通渠化法[J]. 广州公安交通科技, 2001(3).
- [17] 彭力, 李旭宏, 陈大伟. 城市道路交叉口交通治理措施[J]. 河南科技大学学报, 2004.8.
- [18] 苗秋丽, 张婷婷.浅谈城市道路的交通组织[J]. 黑龙江交通科技, 2005(10).
- [19] 李晋华.城市道路平面交叉口设计[J]. 常德师范学院学报, 2003.1.
- [20] 白玉琼, 章洪庆, 黄俊.平面交叉口左转交通组织方式的探讨[J].上海公路, 2003 (4) .
- [21] 陆秉. 探讨左转车运行规律提高平面交叉口通行能力[J]. 公路交通科技, 1998 (1) .

- [22] 国家标准GB5768—1999《道路交通标志和标线》.
- [23] 刘德武.平面交叉口的交通组织与管制[J].公路与汽运, 2002 (6).
- [24] 罗文.城市道路平面交叉口交通组织与景观艺术设计初探[硕士学位论文 D].华中科技大学, 2002.
- [25] 杨晓光等.城市道路交通设计指南[M].北京:人民交通出版社, 2003.
- [26] 李江等.交通工程学[M].北京:人民交通出版社, 2002.
- [27] 马庆.信号控制交叉口优化设计及数字网络控制系统[硕士学位论文 D].吉林大学, 2002.
- [28] 张国华.信号交叉口设计及微观仿真研究[博士学位论文 D].北京交通大学, 2001.
- [29] 董向辉.考虑非机动车和行人的交叉口信号控制优化模型研究[硕士学位论文 D].哈尔滨工业大学, 2004.
- [30] 葛亮.信号控制交叉口配时优化技术研究[硕士学位论文 D].东南大学, 2003.
- [31] 杨晓光, 陈白磊.行人交通控制信号设置方法研究[J].中国公路学报, 2001 (1).
- [32] 马建明.信号交叉口优化设计及其微观仿真[博士学位论文 D].北京工业大学, 2001.
- [33] 孔明正, 杨晓光.机非混行平面交叉口交通设计理论研究[J].公路交通科技, 2004.8.
- [34] 中华人民共和国建设部.城市道路交通规划设计规范[S].北京:中国计划出版社, 1995.
- [35] 李子玉.大庆火车站站前交通设施规划研究[硕士学位论文 D].哈尔滨工业大学, 2003.
- [36] 周荣沾.城市道路设计[M].北京:人民交通出版社, 1998.10.
- [37] 王扬振.道路平面交叉口中环形交叉口设计[J].有色冶金设计与研究, 2006.4.
- [38] 张平.影响城市立交类型选择的主要因素分析[J].规划与建设, 2005 (7).
- [39] 杨满.浅谈立体交叉的组成[J].黑龙江交通科技, 2005 (9).
- [40] 包晓雯.世纪之交论我国城市立体交叉的发展[J].中国市政工程, 1999 (1).