

湖南大学

硕士学位论文

城市道路单向交通方案设计研究

姓名：朱桃丽

申请学位级别：硕士

专业：道路与铁道工程

指导教师：李硕

20070508

## Abstract

With the fast development of the economy of our country, the promotion of the urbanization process, urban population is increasing constantly, and the ownership of motor vehicle is increasing doubly. The urban traffic problems become the bottleneck restraining the city from developing further. One-way roadway system is a kind of simple and effective traffic management means. It has the advantages of increasing road capacity, raising vehicular speed and reducing traffic accident. Therefore, one-way roadway system has been used extensively to solve the problem of urban traffic congestion problems. Based on the analysis of urban traffic problems in China, the adaptation of one-way roadway at home and abroad is combined; some aspects are studied and analyzed, such as one-way roadway theory, one-way roadway impact, one-way design, and they are concluded as follows:

(1) According to the traffic engineering and traffic management & planning theory, one-way roadway theory is summarized in this thesis. The one-way roadway lane utilization effect, its weakness and strengths, the traffic characteristics of one-way roadway are analyzed from the aspects such as the complexity of intersections, the traffic signal effects, the arterial-control effects, the clockwise and anticlockwise one-way rings are discussed. The conclusions regarding as advantages and disadvantages of the one-way roadway are also involved.

(2) The situation that some of drivers would change their routes on their trips with longer distance is studied in detail. And the problems of the detour routes and some other detailed are analyzed. This thesis initiates the calculation methods and the solution measures of the one-way roadway detour distance, also applies the principle of bus priority in the one-way roadway in order to reduce the adverse effect produced by it. To make sure that the emergency vehicles such as the first aid, fire fighter and so on can go through, developing traffic facilities and guarantee measures, reducing the adverse effect of commercial activity of the one-way street both sides, as well as enhancing the roadsides utilization of the one-way street at night and so on, these aspects are taken into consideration in the thesis.

(3) Design method of the one-way roadway project is proposed. Simultaneously, based on the profound understanding of the advantages and disadvantages and the traffic characteristics of it, the principles of one-way roadway system design have been presented. In the design, techniques on O-D trip matrix inversion estimation and traffic distribution in the traffic analysis theory are applied; the traffic volumes on road links

are assigned in the one-way roadway system. On the process, transit lines have some influence on the assigned volume. Some traffic simulation models are proposed. The road networks are simulated before or after one-way roadway plan is implemented. Then one-way roadway plan is synthetically evaluated and analyzed, and the system of the evaluation index is generalized.

Finally, taking Changsha as an example, this thesis has proposed the design method of the one-way roadway project, carried on the design of the road, and evaluated traffic results.

**Key Words:** Urban road; One-way roadway; Schematic design; Detour distance;  
Traffic assignment; Traffic simulation; Evaluation index

## 插图索引

图 2.1	道路交叉口交错点形式 .....	10
图 2.2	双向交通与单向交通交叉口的复杂程度比较 .....	10
图 2.3	单向交通与双向交通交叉口冲突点比较 .....	11
图 2.4	没有冲突车流的交叉口 .....	12
图 2.5	信号控制交叉口单向交通与双向交通运行比较 .....	13
图 2.6	单向与双向交通车辆间距示意图 .....	13
图 2.7	有效绿灯时间和损失时间 .....	16
图 2.8	顺时针方向环行与逆时针方向环行单向交通比较 .....	17
图 3.1	道路单向交通系统中绕行示意 .....	22
图 3.2	一条道路单向交通绕行示意 .....	22
图 3.3	考虑路侧出入口右进右出绕行示意 .....	23
图 3.4	道路单向交通减小绕行距离示意 .....	24
图 3.5	道路单向交通系统中公交绕行示意 .....	29
图 4.1	城市道路单向交通方案设计所需资料调查总体框架 .....	32
图 4.2	道路交通预测分配流程 .....	35
图 4.3	跟车时空分析图 .....	41
图 4.4	道路单向交通方案效果评价因素 .....	47
图 4.5	道路单向交通方案评价指标 .....	48
图 5.1	实例道路单向交通方案设计影响范围 .....	57
图 5.2	道路单向交通设计方案示意图 .....	60
图 5.3	道路单向交通设计方案解放路和人民路平面布置图 .....	60
图 5.4	影响范围内各道路交叉口对应的交通小区编号 .....	61

## 附表索引

表 2.1	按双向和单向组织交通 4 个交叉口的总复杂程度 .....	11
表 2.2	双向行驶和单向行驶车道安全间隔与车道宽 .....	14
表 2.3	按不同的速度和从停车线到冲突点的距离 $s$ 计算绿灯间隔时间 .....	15
表 4.1	《城市道路设计规范》建议的一条车道理论通行能力 .....	48
表 4.2	车道宽度影响系数 $\eta$ 与车道宽度 $W_0$ 关系表 .....	49
表 4.3	车道数修正系数 $n'$ 采用值 .....	49
表 4.4	城市道路路段服务水平评价技术标准 .....	50
表 4.5	建议的 $e$ 值 .....	51
表 4.6	道路交叉口平均每车信控延误—信号控制道路交叉口服务水平关系 .....	52
表 5.1	影响范围内现状道路一览表 .....	57
表 5.2	影响范围内现状道路网调查交通量 .....	58
表 5.3	现状道路网路段饱和度和服务水平 .....	59
表 5.4	影响范围内各道路交叉口对应的交通小区编号 .....	61
表 5.5	先验 O-D 矩阵 .....	62
表 5.6	高峰小时车辆出行 O-D 矩阵 .....	62
表 5.7	方案交通分配道路路段交通流量 .....	63
表 5.8	单向交通方案道路网路段饱和度和服务水平 .....	64
表 5.9	单向交通方案与现状道路路段交通量和服务水平对比 .....	67
表 5.10	单向交通方案与现状道路路段行程车速对比表 .....	68
表 5.11	单向交通方案与现状道路交叉口信控延误和服务水平对比表 .....	69
表 5.12	单向交通方案与现状车辆燃油消耗量对比表 .....	70
表 5.13	单向交通方案与现状废气排放量对比表 .....	71

# 湖 南 大 学

## 学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。对本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。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名：

日期： 年 月 日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权湖南大学可以将本学位论文的全部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和汇编本学位论文。

本学位论文属于

1、保密□，在\_\_\_\_\_年解密后适用本授权书。

2、不保密☑。

（请在以上相应方框内打“√”）

作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 研究背景及意义

随着我国国民经济的快速发展，特别是城市经济的发展，城市人口不断增加，城市的机动车保有率也不断增加。但由于各种原因，城市道路的发展速度严重滞后于机动车的发展，导致道路资源紧张，交通拥挤问题日益突出，针对此种情况，许多大中城市采取相应的一些交通管理措施，期望能缓解交通拥挤的问题。

具体措施主要体现在以下几个方面：

(1) 拓宽旧路，新建新路，改造交叉口，建设立交和快速干道等，积极地改善城市道路交通现状；

(2) 大力发展公共交通，修建地铁、轻轨，推行“公交优先”，增加市民公交出行的比例，减少私家车的出行，有效地降低城市道路上汽车的数量；

(3) 将现代电子技术、通讯技术用于城市交通，对交通流进行合理的诱导，如 ITS、GIS、GPS 的研究应用，对缓解城市交通拥挤起到了积极的作用；

(4) 通过合理地组织交通，加强交通管理和控制，使交通得到改善。

然而旧路拓宽、建路建桥、修建地铁轻轨，需要投入大量的资金以及占用大量的城市用地，造价高、拆迁大，会受到土地和财力的限制，在目前的经济状态下不符合我国国情。而先进的电子信息技术和通讯技术用于城市交通，目前我国只有深圳等几个特大城市稍有涉足，还没有普及应用。

因此，充分利用现有道路的道路条件，采用比较科学的交通管理手段来合理疏导交通流，挖掘潜在的通行能力，提高道路利用率，是目前实现城市交通畅通、舒适、安全和环保比较现实的方法。根据国内外多年的实践经验，认为最有效的、而可行的措施之一就是在城市中心区内变部分双向通行道路为单向通行<sup>[1]</sup>，或将一些因宽度不足而无法双向通行的道路开辟为单向交通道路，即实施单向交通管理措施。道路单向交通在交通拥堵区域的实践已经证明：实行单向交通，小范围小缓解，大范围大缓解。实行单向交通对于改变城市道路拥挤，对缓解乘车难，交通流量不均（集中在少数几条主干道上）和道路通行能力低下能起到较好的作用<sup>[2]</sup>。对减少拆迁、节约投资、提高经济效益的意义也是巨大的。

道路单向交通是在城市道路交通系统中，缓解城市交通拥挤，充分利用现有城市道路网容量的一种经济、有效的交通管制措施<sup>[3]</sup>。目前，许多城市认识到单向交通对组织城市交通、改善城市交通状况的有效性，开始尝试对城市一部分道路实行单向交通，来解决交通拥挤问题。但是，都还处于试验阶段，没有完善的理论进行指导。现行我国很多城市的单向交通都是当地交警在长期观察的基础上，

根据当地道路交通的实际情况，凭借经验来挑选道路路段设置单向交通，进而根据观察设置后的交通状况和市民反映情况来判断设置的合理性。经过一段时间的检验，如果不能明显缓解交通压力，就重新改变路段的交通管制方式，单行线更换频率太快，必然给机动车驾驶员和市民出行带来诸多不适应。一些城市对其一部分道路路段实行单向交通，并没有完全解决整个道路网的交通拥挤问题，反而加剧了交通的混乱。这样的实例说明，需要对城市道路实施单向交通的方案设计过程进行研究，通过深入分析和总结城市道路单向交通的交通特性，对单向交通实施后的影响进行深入的分析，以期能帮助城市道路交通管理决策部门科学有效地实施单向交通。

## 1.2 国内外研究和实施概况

### 1.2.1 国外研究和实施概况

#### 1.2.1.1 国外研究现状

早在上个世纪初，美国就开始研究单向交通，随着城市交通的迅猛发展，从20世纪70年代至今，道路单向交通在世界各国得到了广泛的重视和应用，其理论研究也迅速发展起来。道路单向交通作为一种投资少、见效快、操作简单的交通管理措施，相关理论研究正在向纵横两个方向延伸，并普遍地应用于大多数的城市之中。下面是国外道路单向交通在近期内较为有代表意义的几方面研究内容。

在国外，尤其是美国，对道路单向交通的优、缺点分析及其设置条件等方面的分析已经有较为深入的研究。现已将计算机知识应用到单向交通领域中，例如Porsche. H，运用计算机知识分析了与单向交通道路相交的交叉口处信号灯的设置情况<sup>[4]</sup>。此外，Vasquez, Gabriel M.和Taylor, Maureen提出传统的单向交通实施方法已经不再适应现代化城市的发展，只有在科学地分析与规划的基础上，才能更好地发挥单向交通的作用<sup>[5]</sup>。否则，即使将某些道路实施了单向交通，也不能解决日趋严重的交通拥挤状况。因此，他们提出：科学的单向交通方案规划方法才是解决这一问题根本所在。

Davies和Martin详细分析了单向交通实施后可能带来的各种有利和不利的的影响<sup>[6]</sup>，并且用美国各城市的具体数据说明了各种影响形成的原因，这对分析单向交通经济效益的各种影响因素提供了可靠数据。但是，文中没有对各种利弊影响进行量化分析和建立经济效益模型，并进行相应的评价。

Jain等人提出运用非线性动力学技术解决道路单向交通对周围环境的影响问题，特别是噪声对环境的影响<sup>[7]</sup>。这一研究结果对环境影响因素的效益分析和建模都具有参考价值，但是非线性动力学在计算噪声影响值时误差过大。



### 1.2.1.2 国外实施概况

采用单向交通来解决城市道路交通拥挤问题，在许多国家均被认为是切实可行的有效措施，很早便受到世界各国的重视，得到广泛的应用。

1617年8月，伦敦市议会通过立法程序，在报纸上宣布“台姆兹、染织小巷等17条狭窄街道上实施单向交通规则”，这就是世界上最初单向交通的萌芽。

进入汽车时代以后，欧美各国大街小巷也先后重蹈交通堵塞覆辙，于是，纷纷效仿英国伦敦在狭窄街道上实施单向交通。美国在1906年开始采用单向交通的办法解决城市中心区道路交通问题，并推行到各州和城市，人口在5万以上的城市有半数以上的道路已采用单向交通，100万人口以上的城市有80%左右的道路实行了单向交通。一些城市（费城、纽约、波士顿等）先在两条毗邻的街道上实行单向交通，到20世纪20年代就出现了整个城市中心区域内的道路单向交通系统<sup>[8]</sup>。目前美国一半以上的城市道路被定为单行线。同期，欧洲各国（如英国、法国、意大利、瑞典、瑞士、希腊）以及其他国家城市也开始推广了道路单向交通，法国巴黎已有1400多条道路实行单向交通，有的单行道甚至宽达6车道，其单行道路总长超过400km，巴黎和伦敦的中心区几乎全部是单向交通道路<sup>[9]</sup>。

原苏联在20世纪50年代开始推广组织道路单向交通，已在莫斯科、圣彼得堡、巴库、图拉、里加、考纳斯等许多城市大量采用单向交通，并规定凡宽度不足18m的道路原则上均应采取单向交通。归纳谢尔巴科夫对苏联20个城市的调查资料，说明道路单向交通从根本上改善了道路交通：车速提高10~20%，减少了在道路交叉口的延误时间，交通事故平均减少20~30%，有的减少二分之一以上。

日本于1956年开始在一些城市中采用道路单向交通方式，东京有30%的道路、大阪有38%的道路采用了单向交通。在发展中国家如泰国的首都曼谷，其旧城区的中心地带已有50%以上的道路采用单向交通。菲律宾等国的许多城市也广泛地采用道路单向交通<sup>[9]</sup>。

世界上公认的单向行驶（向左或向右）的标志直到1949年才在日内瓦召开的联合国道路交通世界大会上诞生，并被各国和地区在单行道上采用，成为指导驾驶员单向行驶的指南。

## 1.2.2 国内研究和实施概况

### 1.2.2.1 国内研究现状

国内，吴元祥运用系统学理论，采用整体和局部、定性与定量相结合的方法，系统研究了道路单向交通方案设计的基本框架，分析了不同的自行车交通组织方式对单向交通网络实施效果的影响，以及理想单向交通网络形成后，公交乘客步行距离增加的定量计算模型<sup>[10]</sup>。可是，文中提出的单向交通网络的设计框架过于笼统，不能详细给出制定单向交通规划方案的具体步骤和过程，以及规划方案的

评价方法。另外，定量给出的计算模型，只能从某些特定角度反映系统的特征，与单向交通理论的复杂性相比过于片面。

李荣波以双向双车道为例，分析并讨论了单向交通道路交叉口及道路路段的通行能力，其结论是：单向交通具有提高道路交叉口、道路路段通行能力以及减少交通事故、提高行车速度等优点，同时也存在不容忽视的缺点，如增加绕行距离、给乘客出行带来不便等<sup>[2]</sup>。文中以双向双车道道路实施单向交通前后通行能力计算模型为依据，说明局部区域实现单向交通投资少、见效快，是解决道路交通拥挤的较为有效的方法之一。但是，双向双车道的道路不具有普遍性，其通行能力的降低或提高只能用于分析和讨论某一条道路或道路交叉口的交通组织状况。就单向交通道路网而言，有失代表性。

此外，马俊来对单向交通条件下信号交叉口通行能力的计算进行了探讨<sup>[11]</sup>。在进行单向交通对道路交叉口交通影响分析的基础上，对不同信号相位、不同单向交通设置形式进行分类讨论并给出计算公式。

裴玉龙对城市单向交通组织方案设计及其评价进行了研究，在总结了设计城市单向交通方案一般性方法与步骤的基础上，重点介绍了模糊综合评价法的评价体系和评价方法<sup>[12]</sup>。

赖比尔对城市道路单向交通规划设计进行了研究，重点用层次分析法进行城市道路交通质量各类指标单向评价及综合评价，确定实行单向通行前后的交通质量和经济效益<sup>[13]</sup>。

李岚在道路单向交通设置方法上，借鉴公交线路规划的基本思想，在网络中形象的引进“饱和路段截面”来代替最大流最小割定理中的“最小割”概念<sup>[14]</sup>。然后通过交通分配在路网中寻找“饱和路段截面”，对路网中的“饱和路段截面”所在路段，在遵循单向交通引入的基本原则的基础上，分析路段设置单行线的不同组合。对每种组合形式的路网，通过交通分配来寻找该特定路网的“饱和路段截面”，估算该路网容量。如果所得路网容量大于原路网容量，则说明设置合理。继续对“饱和路段截面”所在路段设置单行线，对新路网进行交通分配，寻找“饱和路段截面”，估算路网容量。如此反复，“逐步布设，优化成网”。

伊新苗对单向交通方案实施后的效益进行了研究分析，分别从社会、个体、商业三个方面建立相应的效益分析模型，将指数函数和生长曲线函数应用到商业经济效益的建模中，通过综合分析，建立了一条单向交通道路的效益分析模型<sup>[15]</sup>。通过单向交通网络效益分析方法同传统的供给方法进行比较分析，综合考虑城市实施单向交通后各种潜在的影响，建立了单向交通网络效益分析模型。此外，他还通过比较分析三种评价方法：价值分析法、单纯矩阵法、层次分析法，选择单纯矩阵法对单向交通各方案进行了综合评价。

### 1.2.2.2 国内实施概况

1900年初春,中国清政府巡警部总司许世英下令在北京大栅栏实行车辆只许东进西出的单向交通,这可能是我国最早的单行线。

我国从20世纪50年代开始使用单向通行来管理城市道路交通,近年来,随着城市社会经济的发展,城市道路基础建设的步法不断加快和城市道路交通量的快速增长,我国北京、上海、广州、天津、重庆、南京等许多大中型城市积极推广应用单向交通组织<sup>[16]</sup>。到1980年为止,北京有24条,上海有20条单向通行线路。1982年香港岛拥挤的北角地区成功地实施了单行循环线计划(One-way gyratory scheme)<sup>[17,18]</sup>。据1991年资料,国内城市实行单向交通的道路数为:广州84条、北京156条、上海76条、哈尔滨12条、天津77条、南京33条、济南10条、贵阳5条,还有沈阳、兰州等城市也都大量采用了单向交通。

1997年青岛市结合本市道路特点大胆改革,采用整体规划,分布实施的方法,自4月1日至9月6日先后8次对106条道路实施了单向交通,次年又配合市政工程建设成功地对29条道路实施了单向交通,使青岛市区单行线道路达到135条,基本形成了纵穿南北、横贯东西新的单向环绕交通格局,成功实施了单向交通,使交通状况得到了明显改善,取得了较好的经济效益和社会效益<sup>[19]</sup>。至2006年3月,青岛市共有单行线141条。

到2003年6月止,上海中心城区实施的单行道共388条,总长度约为204公里,约占全市城市道路的12%。这些单行道主要集中在浦西内环线内,共有312条,长度约为171公里,占单行道总长的84%;浦东有9条,总长不到4公里。根据2006年11月“上海市中心城单向交通网络规划研究”课题报告,在综合参考和分析上海市中心城区现状和规划的道路和交通条件下,对上海中心城进行近、中、远期单向交通规划。其中,近期(2007年前)规划单行道92条,中期(2007-2009年)45条,远期(2010年后)69条,届时上海中心城单行道总条数将达614条,总里程将达505.8公里。

此外,南京市至2006年8月8日,总共有149条单行线,长沙市于2007年3月9日单行线增至37条。

城市发展,规划先行。要发展城市道路单向交通,必须有缜密的规划与分析作为实施依据。各国城市情况不尽相同,仅仅效仿不是可行途径。因此,针对各个城市的不同特点,制定详细的道路单向交通规划方案分析方法,是实现单向交通发挥其最大效能的最佳途径。

### 1.3 研究内容

本论文研究内容主要包括以下几个方面：

(1) 探讨城市道路单向交通研究的意义，对单向交通实施效果进行深入分析，并概况总结道路单向交通的优缺点。

(2) 详细地研究道路单向交通增加绕行的情况，分析绕行路线和一些绕行的细节问题，首次提出单向交通绕行距离的计算方法和解决措施；将公交优先应用于道路单向交通中，以减轻单向交通对公交运行的不利影响；对解决道路单向交通不利影响的方法和措施进行研究。

(3) 将交通规划、交通仿真、方案评价等方法应用到道路单向交通方案设计中，提出单向交通方案设计行之有效的方法。

## 第 2 章 道路单向交通基本理论

### 2.1 道路单向交通的定义和分类

#### 2.1.1 单向交通的定义

道路单向交通（One-Way Roadway），或称单向通行、单行线、单行道、单向路（街），是指只允许车辆按某一方向行驶的道路交通<sup>[20]</sup>。在城市道路系统中，如果组织多条道路实施单向交通，形成互相衔接的系统，则称为道路单向交通系统。

#### 2.1.2 分类

##### 1. 固定式单向交通

某条道路的所有车道上，在全部时间内，各种车辆只允许沿着规定的一个方向行驶，称为固定式单向交通。常用于一般辅助性的道路上，如立体交叉中的匝道交通多是固定式单向交通。

##### 2. 定时式单向交通

规定在某一时间段内只允许车辆单一方向行驶、其余时间为双向行驶，称为定时式单向交通。如城市道路交通在高峰时间段内，规定道路上的车辆只能按重交通流方向单向行驶，而在非高峰时间内，则恢复双向通行。所谓重交通流方向是指道路交通流方向分布系数  $K_D > 2/3$  的车流方向。其中  $K_D$  用如下公式来表示：

$$K_D = \frac{\text{主要行车方向交通量}}{\text{双向交通量}} \times 100\% \quad (2.1)$$

##### 3. 定车种式单向交通

规定某种车辆(如公交车辆)可以双向行驶，其他车辆只允许单方向行驶，或者规定只允许某种车辆单方向行驶，称为定车种式单向交通。这种单向交通通常应用于具有明显的方向性及对社会秩序、居民生活影响不大的车种，如货车。实行这类单向交通的同时，对公共汽车和自行车仍可维持双向通行，目的是利用现有道路的通行能力。

##### 4. 可逆性单向交通

可逆性单向交通是指道路上的车辆在一部分时间段内按一个方向行驶，而在另一部分时间段内则按相反方向行驶的交通。这种可逆性单向交通通常用于车流流向具有明显时段不均匀性的道路上。其实施时间应依据全天的车流量及方向分布系数确定，一般当  $K_D > 3/4$  时，即可实行可逆性道路单向交通。

### 2.1.3 分级

#### 1. 专用道路

专用道路指行驶的车辆全部为机动车，路旁不允许设置停车位的道路。

#### 2. 准专用道路

准专用道路指行驶的车辆全部为机动车，路旁一侧可设置单向停车泊位的道路。

#### 3. 混行道路

混行道路指机动车辆与非机动车辆混合行驶，路旁一侧可设置单向停车泊位的道路；或机动车与非机动车分离行驶的道路；或采用可逆行车道，机动车与非机动车分离行驶的道路。

## 2.2 道路单向交通的设置条件

### 2.2.1 道路路网条件

#### 1. 棋盘形道路

棋盘形道路系统是最适合组织单向交通的城市道路网络，可以由相邻两条道路配对组织单向交通，也可将部分道路系统组织成单向交通，但道路网密度应较大，道路间距应不大于300m。

#### 2. 带状形道路

带状城市道路系统是较容易组织单向交通的道路网，可选择局部区域有可能配对的道路组织单向交通，条件是有相邻或相距不远的道路可以配对，道路之间呈对偶关系。

#### 3. 其它形状道路网

当道路网中有两条相邻环路且长度较短（1km~2km），可考虑组织单向交通。两条相邻的放射性道路也可组织单向交通。

### 2.2.2 道路路段条件

在特殊情况下，当两条平行道路不是同一等级时，可考虑将低等级的道路设为单向交通，另一道路仍为双向交通。

道路网密度很大而道路宽度不足的旧城区道路，满足以下条件时可考虑设为单向交通：

- (1) 道路宽度小于10m而流向比大于1.2时；  
(流向比，道路上某一行车方向大的交通量与另一行车方向小的交通量之比。)
- (2) 道路宽度小于12m而流向比大于2，且有平行道路可以配对时；
- (3) 道路宽度不足以同时设置人行道、车行道时；

(4) 对于只能布置奇数车道的道路，在采用双向通行不利于发挥其道路资源作用时；

(5) 平行于大流量主干道的一组支路、次干道；

(6) 宽度狭窄不适合固定交通工具如有轨道车双向通行的道路，可布置为单向通行的行车路线。

### 2.2.3 道路交叉口条件

5条或5条以上的道路相交时，交叉口难于处理，宜将部分或全部相交道路设置为单向交通。

### 2.2.4 交通流条件

#### 1. 潮汐交通

潮汐交通的道路，可设置为定时式单向交通。

#### 2. 交通组成

交通组成非常复杂时，可设置为定车种式单向交通。

#### 3. 交通流向

根据O-D调查数据，可对某些方向的大流量道路配合设置单向交通。

#### 4. 环境条件

城市某一区域无法解决车辆停放时，可将一些次干道、支路设置为单向交通，道路一侧或两侧设置为临时停车场。

## 2.3 道路单向交通实施效果分析

### 2.3.1 道路交叉口的复杂性

在城市中，由于城市道路网的纵横交错而形成许多交叉口，交叉口是道路交通的咽喉，相交道路的各种车和行人都要在交叉口处汇集、通过，形成冲突点、合流点、分流点<sup>[21]</sup>，如图2.1。

道路交叉口中不同的车流交错点形式对交通的影响不同，为了对其进行统一分析，可以把分流点的数量作为一个标准，用换算系数把其他两种情况换算成分流点数，从而来评价交叉口的复杂性。根据前苏联的研究，对于分流点换算系数  $K_B=1$ ，对于合流点换算系数  $K_M=3$ ，对于冲突点换算系数  $K_C=5$ 。这样，可以用交通枢纽复杂性指标  $A$  来评价道路交叉口的复杂程度<sup>[22]</sup>，计算详见式(2.2)。

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

式中： $n_B$ 、 $n_M$ 、 $n_C$ ——分别为交通流在交叉口内的分流点、合流点和冲突点数。

当交通枢纽复杂性指标  $A$  取值10~20之间时，认为枢纽是简单的；当  $A$  取值25~55时，认为枢纽属于中等复杂程度；当  $A$  取值大于55时，则枢纽为复杂的。

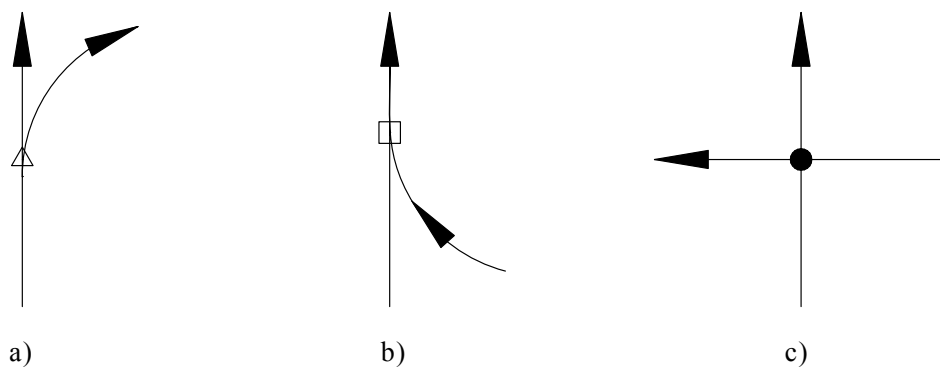


图2.1 道路交叉口交错点形式

a)分流; b)合流; c)冲突

△一分流点; □一合流点; ●一冲突点

对于不同的道路交叉口,可以根据实际车流在道路交叉口的运行情况按照上述方法分析其复杂程度,同时对该交叉口实行单向交通后,再计算其道路交叉口的交通复杂程度,从而分析在单向交通与双向交通组织下,道路交叉口的复杂程度的变化。比较按双向和单向原则组织交通的道路网的一个局部,如图2.2,就能算出这两种情况下4个交叉口的总复杂程度。

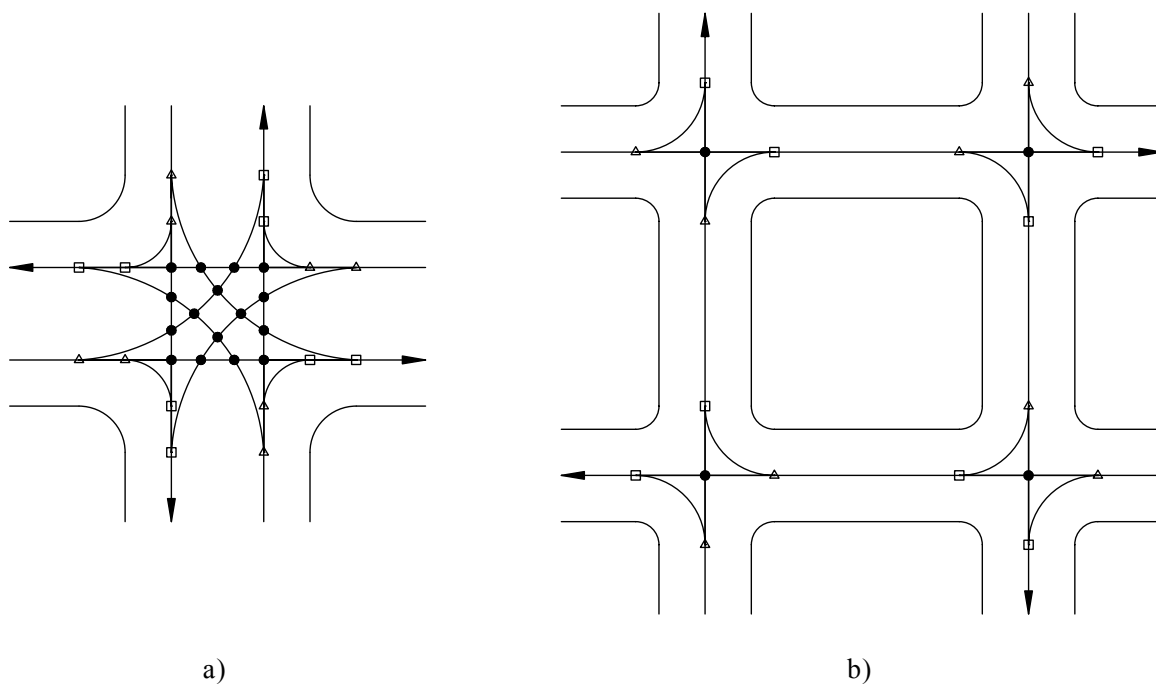


图2.2 双向交通与单向交通交叉口的复杂程度比较

a)双向交通; b)单向交通

△一分流点; □一合流点; ●一冲突点

通过计算,可以发现在道路上实行单向交通和双向交通两种情况下,交叉口的复杂程度有明显不同,单向交通所有4个交叉口的复杂程度仅为双向交通4个交叉口的12%,见表2.1。



表2.1 按双向和单向组织交通4个交叉口的总复杂程度

名称		交错点数							
		双向交通				单向交通			
		冲突点 ( $n_C$ )	合流点 ( $n_M$ )	分流点 ( $n_B$ )	合计	冲突点 ( $n_C$ )	合流点 ( $n_M$ )	分流点 ( $n_B$ )	合计
一个枢纽点	实际数值	16	8	8	32	1	2	2	5
	考虑换算系数时	80	24	8	112	5	6	2	13
四个枢纽点	实际数值	64	32	32	128	4	8	8	20
	考虑换算系数时	320	96	32	448	20	24	8	52

将道路双向交通改为单向交通，可大大减少道路交叉口各交通流向的冲突点。以最简单的十字交叉口为例，2条2车道相交道路双向交通时，交叉口的冲突点有16个；如其中1条改为单向交通，则冲突点可减少至7个；如2条道路均改为单向交通，那么冲突点可减少到4个，如图2.3所示。

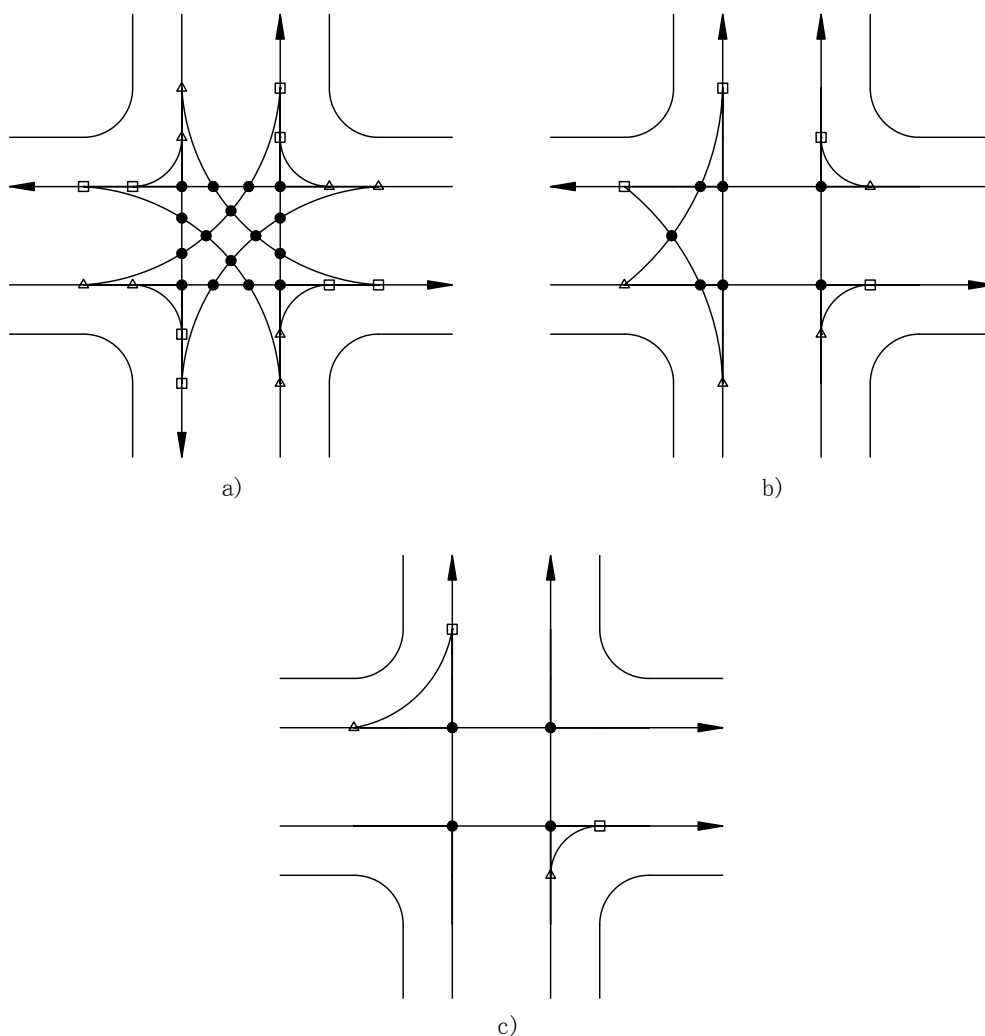


图2.3 单向交通与双向交通交叉口冲突点比较

a) 两条双向道路交叉 ( $n_C=16$ ); b) 单向与双向道路交叉 ( $n_C=7$ );

c) 两条单向道路交叉 ( $n_C=4$ )

$\triangle$ —分流点;  $\square$ —合流点;  $\bullet$ —冲突点

在某些情况下，利用道路单向交通可完全排除交叉口上的车流冲突点，如图2.4所示。

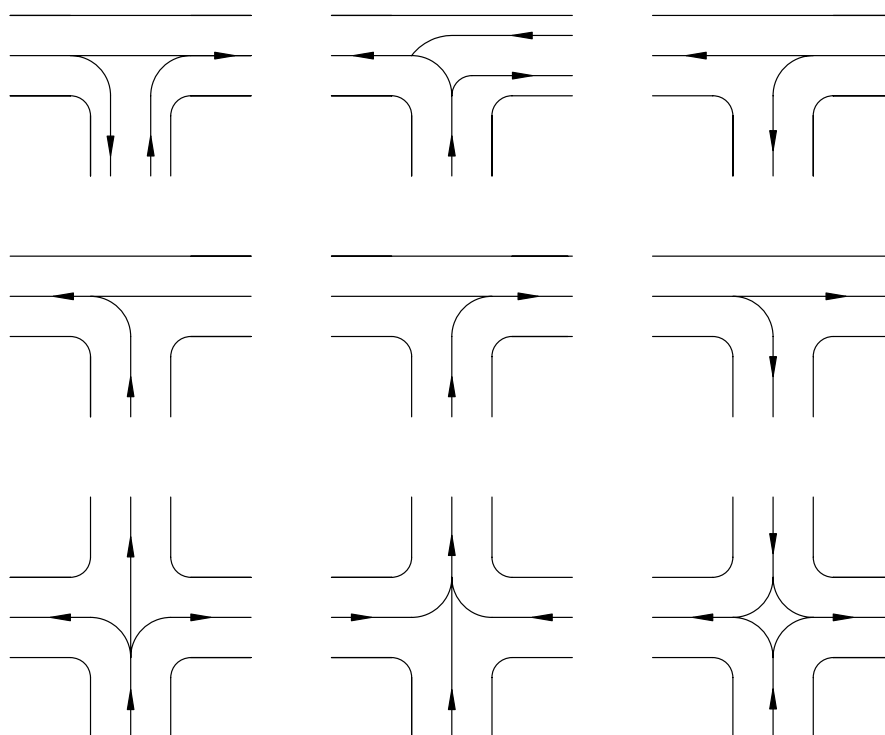


图2.4 没有冲突车流的交叉口

城市道路，特别是道路网密度较高的市中心，各道路交叉口车流量大，为了安全起见，在交叉口往往采用信号控制，将各个方向的交通流在时间上和空间上隔离开，以避免车流行驶中的冲突。图2.5是典型十字路口在两相位信号控制下主要道路(双向4车道)与次要道路(共2个车道)交叉口交通冲突情况比较。

图a)为双向行驶情况，东西向绿灯放行时，还存在4个冲突点、4个合流点和4个分流点，它的复杂性指标为36。

图b)为单向交通情况，冲突点一个也没有，只剩下1个合流点和1个分流点，它的复杂性指标为4。

图c)为次要道路单向交通与主要道路双向交通交叉情况，主要道路东西方向绿灯放行时，有2个冲突点、1个合流点和2个分流点，复杂性指标为15；次要道路南北方向绿灯放行时，没有冲突点，有1个合流点和2个分流点，复杂性指标为5。

### 2.3.2 车道利用效果研究

在道路网路段上实行单向交通，由于避免了双向行驶车辆在中心线迎头相撞，可以减少因对向行驶比同向行驶需要保持的车道间间隔距离，使得单向交通可以有效利用道路宽度，提高路段通行能力。由于没有对向车流的干扰，靠近道路中心线的车道上的路段通行能力明显提高。特别是在允许路边停车的情况下，单向交通通行能力提高更为明显。

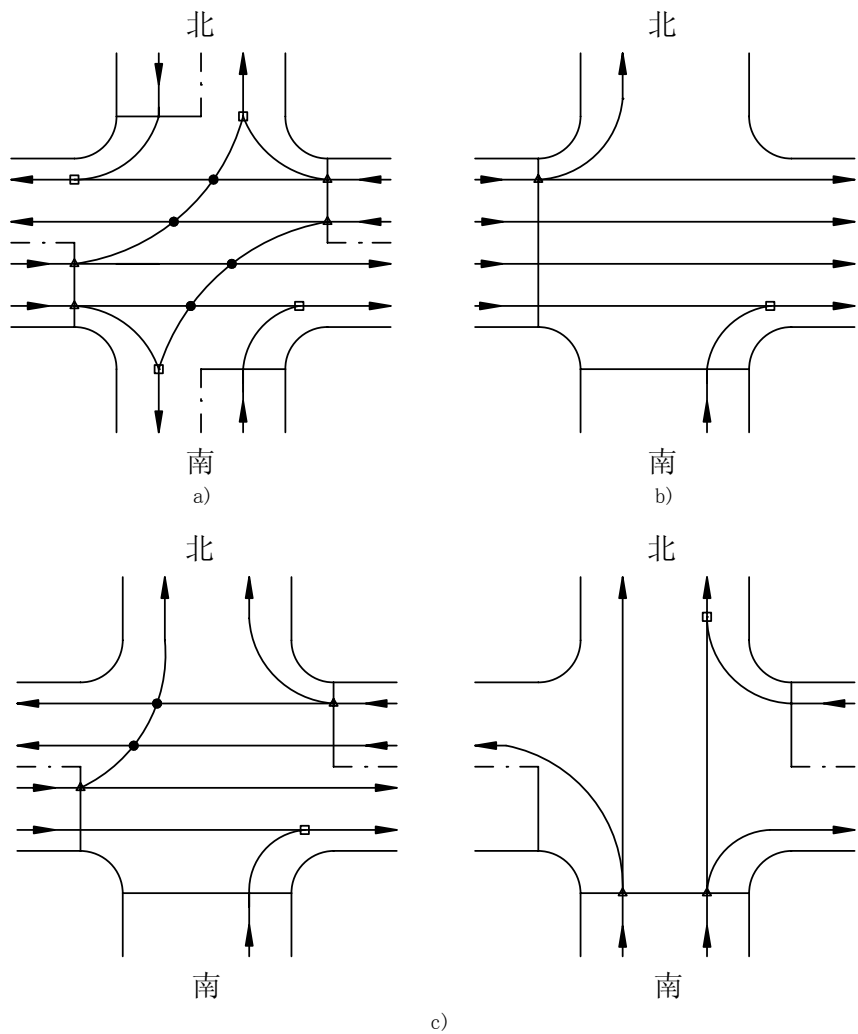


图2.5 信号控制交叉口单向交通与双向交通运行比较

a)双向道路交叉；b)单向道路交叉；c)单向与双向道路交叉

△一分流点；□一合流点；●一冲突点

如图2.6是同一道路横断面上布置的双向和单向行驶的车道间距(4车道布置),靠中间车道宽 $b_1$ 、 $b_2$ ,靠边车道宽 $b_0$ ,车身边缘横向安全间距在双向(对向)行驶下的 $x$ 比单向行驶(同向)情况下的 $d$ 要大。道路设计车速愈大,横向安全间距的差异也愈大。根据我国编制城市道路设计规范进行的调研分析数据如表2.2(指标准中型车,其车身宽 $a=2.46\text{m}$ )。

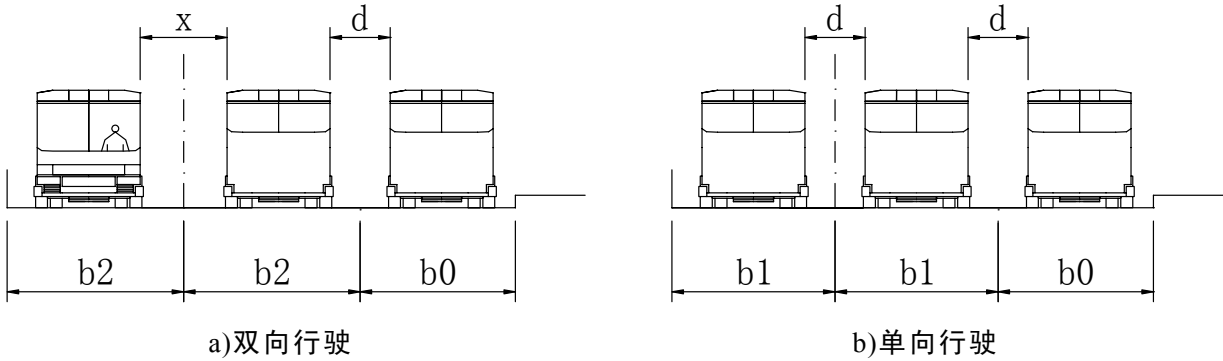


图2.6 单向和双向交通车辆间距示意图

表2.2 双向(对向)行驶和单向(同向)行驶车道安全间隔与车道宽

V(km/h)	横向安全间距 (m)		中间车道宽度值 b (m)	
	x (双向行驶)	d (单向行驶)	双向行驶 $b_2$	单向行驶 $b_1$
40	1.23	1.02	3.59	3.48
50	1.33	1.08	3.67	3.54
60	1.43	1.13	3.74	3.59
70	1.51	1.18	3.81	3.64
80	1.6	1.24	3.88	3.7

从表2.2中可以看出,在现行城市道路设计速度范围,单向行驶要比双向(对向)行驶的安全间距减少0.2~0.3m。单向交通道路上车流行驶的安全性比双向交通要好得多,而在道路使用面积上也会带来巨大的投资节省。而且如果在道路宽度适当的条件下,设置单向交通后,由于所需单向通行道路宽度减少,就可以开辟一条专用自行车道或公交专用道。

另一方面,在单向交通路段上行驶的车辆,由于行驶方向一致,车流的波动小,行车速度较为稳定和均匀,行车时间变动系数小,假设时间变动系数为 $K$ ,则 $K$ 可用如下公式来度量:

$$K = \frac{t_l - t_s}{t_m} \quad (2.3)$$

式中:  $t_l$ ——车辆在路线上行驶所花最长时间(min);

$t_s$ ——车辆在路线上行驶所花最短时间(min);

$t_m$ ——车辆在路线上平均行驶时间(min)。

据有关资料记载,在伦敦市观测统计,公共汽车在双向交通的街道上行驶,时间变动系数 $K=0.37$ ,而在单向交通的街道上,时间变动系数下降到 $K=0.17$ ,即下降54%,路段通畅性大大提高。

### 2.3.3 信号(灯)控制实效

对于城市复杂的道路交叉口,一般都采用信号灯来对通过的车流进行时间上的管理,通过不同的相位使得不同方向的车流顺利通过。当交叉口的车行道较多,又实行双向交通时,在交叉口必须采用多信号相位来管理,此时车流在交叉口的延误将随之增加,车辆在交叉口的排队等待延误时间也会延长,必将影响到交叉口的通行能力。如果交叉口的各条道路采用单向交通,在交叉口的车流将变得简单很多,则信号灯控制将得到简化,信号控制的相位数减少,就可以非常明显地减少交叉口的延误和提高其通行能力<sup>[23]</sup>。

下面分析每个周期总的时间损失( $L$ )与有效绿灯时间。

#### 1. 信号损失时间

在一次信号周期内,任何方向车辆都不能通行的时间,属于信号损失时间,包括绿灯间隔时间和起动损失时间<sup>[24]</sup>。

(1) 绿灯间隔时间：是指上一相位结束到下一相位绿灯启亮之间的间隔时间。  
绿灯间隔时间为：

$$I = \frac{s}{v} + t \quad (2.4)$$

式中：  $I$  ——绿灯间隔时间(s)；

$s$  ——从停车线到冲突点的距离(m)；

$v$  ——车辆在进口道上的行驶车速(m/s)；

$t$  ——车辆制动时间(s)；

$$t = \frac{v^2}{2g\phi v} = \frac{v}{2g\phi} \quad (2.5)$$

$g$  ——重力加速度( $9.8\text{m/s}^2$ )；

$\phi$  ——汽车轮胎和路面的纵向摩阻系数。

按不同的车速和 $s$ 计算绿灯间隔时间如表2.3所示。

表2.3 按不同的速度和  $s$  计算绿灯间隔时间(s)

从停车线到冲突点的距离 $s$ (m) 车速(km/h)	20	25	30	35	40
15	5.30	6.50	7.70	8.90	10.10
17	4.80	5.90	6.96	8.02	9.08
20	4.31	5.21	6.10	7.00	7.80
25	3.77	4.49	5.21	5.93	6.65
30	3.46	4.06	4.66	5.26	5.86
35	3.30	3.81	4.33	4.84	5.35
40	3.22	3.67	4.12	4.57	5.02
45	1.61	3.59	3.99	4.39	4.79

单向交通能提高车辆运行速度，所以能减少绿灯间隔时间和损失时间。在信号配时上，一般当计算绿灯间隔时间  $I < 3\text{s}$  时，取黄灯时间为  $3\text{s}$ ； $I > 3\text{s}$  时，则  $3\text{s}$  黄灯时间外，其余时间一般配以红灯。

(2) 启动损失时间：每个相位绿灯初期，车辆因启动而实际并未用于通车的一段绿灯时间，为相位绿初损失时间。据英国实测此时间为  $1.35\text{s}$ 。黄灯末尾的一段时间，属于相位黄灯末期损失时间，据实测为  $0.13\text{s}$ 。把绿初损失时间同黄末损失时间合在一起，统称为启动损失时间。

## 2. 有效绿灯时间

有效绿灯时间按式(2.6)计算：

$$g_e = g + A - I \quad (2.6)$$

式中：  $g_e$  ——有效绿灯时间(s)；

$g$  ——实际显示绿灯时间(s)；

$A$ ——黄灯时间(s);

$l$ ——启动损失时间(s)。

图2.7所示为模拟绿灯与黄灯期间的通车实际情况,从图中可以看出信号各段时间之间的关系。

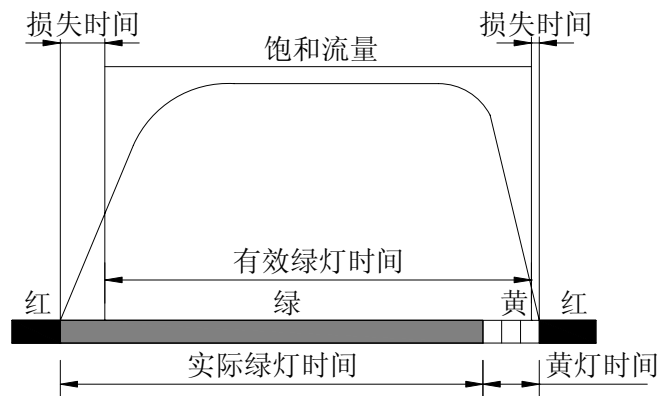


图2.7 有效绿灯时间和损失时间

每个周期总的时间损失  $L$  可用式(2.7)表示:

$$L = \sum_{i=1}^n (l + I - A) = nl_1 + \sum_{i=1}^n l_2 \quad (2.7)$$

式中:  $L$ ——每个周期的总损失时间(s);

$l$ ——绿灯间隔时间(s);

$A$ ——黄灯时间(s);

$n$ ——信号相位数;

$l_1$ ——绿灯初显时,启动延误的损失时间(s);

$l_2$ ——绿灯间隔时间内的损失时间(s)。

实施单向交通简化了信号机的信号程序,减少了控制的相位数,非常明显地减少了每周期总的时间损失( $L$ )。

分析证明,组织单向交通便于信号灯控制配时。表现在以下几点:

- (1) 在保证主流方向绿灯信号时间不变的情况下,缩短红灯和黄灯时间,从而缩短信号周期;
- (2) 由于减少黄灯信号的损失时间而提高交叉口的有效通车时间;
- (3) 因与交通主流方向同时解决左转和右转交通而提高绿灯信号的利用率。

#### 2.3.4 干道线控效果

在城市道路网中,由于交叉口相距很近,各交叉口分别设置单点信号控制时,车辆经常遇到红灯,时停时走,造成行车不畅,也因而使环境污染加重。为了使车辆减少在各个交叉口上的停车时间,特别是使干道上的车辆能够畅通,人们想到使用线控。

式中： $O_f$ ——相邻信号间的相位差(s)；  
 $D$ ——相邻信号间的间距(km)；  
 $V$ ——线控系统车辆可连续通行的速度(km/h)。

(2) 绿灯时间得到充分利用而加宽通过带宽, 使绿灯时间与带宽完全一致<sup>[25]</sup>。

(3) 绿波带宽与绿灯时间的比值, 称为线控交通效率系数, 用 $\eta_c$ 表示, 单向交通情形,  $\eta_c=1$ ; 双向交通情形,  $\eta_c<1$ , 甚至 $\eta_c<0.5$ 。

一对运行方向相反的单向通行道路与另一对双向通行的道路组织交通时,其组织运行方式有两种(如图2.8)。图a)为逆时针方向环行单向交通,分流点、合流点、冲突点各4个,复杂度指标为36;图b)为顺时针方向环行单向交通,没有冲突点,仅有分流点、合流点各4个,复杂度指标为16。因此,与双向通行道路组成环行单向交通中的顺时针方向旋转的单向环行交通有很大优点,其复杂性指标是逆时针方向旋转的单向环行交通的1/2.25。

图2.8 顺时针方向环行与逆时针方向环行单向交通比较

### 2.3.6 道路单向交通经济效益

实行单向交通能保证提高车速和减少道路交通事故，经济效益显著。其估算公式为：

$$B_l = B_D + B_A \quad (2.9)$$

式中： $B_l$ ——实行单向交通的经济效益(元)；

$B_D$ ——减少延误和提高车速的经济效益(元)；

$B_A$ ——减少交通事故的经济效益(元)。

$B_D$ 和 $B_A$ 的估算公式如下：

$$B_D = 365Q[(C_2 - C_1)L + (t_{2D} - t_{1D})R] \quad (2.10)$$

$$B_A = 365QLa(A_{1B} - A_{1A}) \times 10^4 \quad (2.11)$$

式中： $Q$ ——日交通量(辆/d)；

$C_1$ 、 $C_2$ ——分别为单向及双向交通的营运成本(元/车公里)；

$L$ ——道路长度(km)；

$t_{1D}$ 、 $t_{2D}$ ——分别为单向及双向交通车辆在不熄火行驶时的总延误时间(h/辆)；

$R$ ——车辆不熄火停车的平均消耗定额(元/(车·h))；

$A_{1B}$ 、 $A_{1A}$ ——分别为实行单向交通以后和以前的相对交通事故数(起/百万车公里)；

$a$ ——每起交通事故的平均代价(元/起)。

## 2.4 道路单向交通利弊分析

### 2.4.1 道路单向交通主要优点

通过对单向交通实施效果的分析与研究，结合国内外单向交通的实施情况，总结单向交通的主要优点如下：

#### 1. 提高通行能力

据有关统计资料表明，国外单行道可提高通行能力达20%~80%左右，国内一般在15%~50%之间。

#### 2. 提高车辆运行速度和降低行车延误

日本在5.5m以下宽度的道路组织单向交通，使机动车车速由12.9km/h提高到27.4km/h，美国运输与交通工程手册指出，实施单向交通的路段一般行程时间可减少10~50%，行驶速度可提高20~100%。

#### 3. 降低交通事故率

国外研究表明，实行道路单向交通，交通事故率减少30~60%。由于单向交通车辆不会在车道中心线与对向车辆发生正面冲突；夜间行驶时没有对向车头眩



光所造成的影响；行人过街只需要注意一个方向的来车；改善和提高了车辆通过交叉口的安全性<sup>[26,27]</sup>；即使发生交通事故也多为追尾事故，恶性事故及事故伤亡和损失下降。因此，行车的安全性有明显的提高。

#### 4. 能有效挖掘区域潜力，提高道路利用率

道路实行单向交通，通过人为的规则，调整交通流量、流向，缓解交通流的不均衡性，使道路利用更为合理，提高了道路的利用率<sup>[23]</sup>。

#### 5. 可获得系统收益

(1) 实施单向交通充分利用了现有道路资源，可少拓宽道路、少拆迁房屋、路边绿化、地下管线等，节省了投资。

(2) 对城市环境有利，有利于减少城市交通污染。单向交通因减少停车次数和车辆加、减速次数，从而降低废气排放、轮胎磨损、行车油耗等，减少环境污染。

(3) 道路单向交通有利于路边停车规划，解决停车问题，为城市停车问题提供一条新出路。

(4) 道路单向交通有利于交通控制信号灯的配置和管理。

(5) 单向交通因改善交通条件，缓和交通拥挤，减少车辆延误和运行时间，提高车辆运行速度，节省出行费用，降低交通事故损失，而获得经济上的收益；

(6) 单向交通技术难度低、操作简单，减少交通规划管理维护费用，尤其是减轻了警力要求。

### 2.4.2 道路单向交通主要缺点

道路单向交通虽然在优化道路网结构、挖掘道路资源、提高道路通行能力等诸多方面都有积极的作用，但也有不利一面，主要表现在以下几个方面：

(1) 增加了部分车辆的绕行距离和经过交叉口的次数，从而增加了车辆的运行时间和道路网上附近道路和交叉口的交通量，有可能把原来的问题转移到一个新的地方，产生新的矛盾点，给交通管理和控制带来新的问题。

(2) 不便公共交通线网布线，增加了乘车步行距离。

(3) 对于急救车、消防车等特种车辆以及过境车的通行可能造成一定困难，有时也得绕道而行才能到达目的地。

(4) 增加了为单向交通管制所需要的道路交通公用设施的投入。

(5) 单向交通道路的末端常常使交通组织复杂化，可能产生交通拥挤。

(6) 可能产生交通运行混乱，驾驶员不易适应和习惯，特别是对于初次到达的，更不易适应，造成不必要的交通违章。单行道沿线单位的车辆和人员进出较麻烦。

(7) 给单向交通道路两侧的商业活动带来影响。

(8) 可能影响部分居民区的生活环境。本来一些狭窄的街道无汽车通行比较安静和安全，实行道路单向交通后，利用此街道行车会影响当地居民的居住环境。

## 2.5 本章小结

本章首先介绍了道路单向交通的定义、分类和设置条件，然后对道路单向交通的实施效果进行研究，包括交叉口的复杂性、车道利用效果、信号控制实效、干道线控实效、经济效益等，最后，在对单向交通有了深入了解的基础上，总结出道路单向交通主要的优点和缺点，为方案设计提供理论依据。

## 第3章 道路单向交通不利因素解决措施研究

### 3.1 绕行路线分析和绕行距离计算

实施单向交通会增加车辆的绕行距离，增加经过道路交叉口的次数，从而增加了车辆的延误时间和道路网单向交通道路附近道路上的交通量。尽管对于驾驶员来说，重要的是运行时间，而不是运行距离，但是行驶距离增加过多，会使驾驶人员心理上难以接受，而且会影响社会效益，失去了实行单向交通的意义。绕行距离可以认为是实施道路单向交通的最不利因素，也是最易引起市民反对的一个理由。如果配对的单行线之间的距离太远或者道路网密度太小，驾驶员绕行的距离就比较远，出行时间较长，不利于市民出行。因此，单向交通的实施需考虑到车辆的绕行距离，尽可能选择在道路网密度较大的地方设置单行线，且配对的单行线间距尽可能小，尽量使绕行距离减小，方便出行。为了能够对实施单向交通后道路网车辆的绕行距离进行分析评价，有必要对绕行路线和绕行距离的计算进行研究，并提出使绕行距离减小的一些措施，本节中将开展这方面的研究工作。

#### 3.1.1 绕行路线分析

##### 1. 道路单向交通系统绕行路线分析

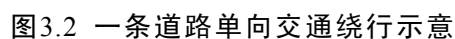
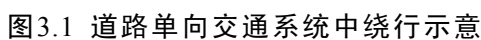
在如图3.1所示的道路网中，多条单行线构成了道路单向交通系统，虽然单向交通系统能有效地缓解道路交通拥挤，改善交通状况，但也极大的增加了绕行距离。在图3.1中，若从T点到S点，就必须经过T→G→H→C→B→S，而在道路均双向行驶的情况下，只需经过T→B→S；若从U点到S点，便更麻烦了，必须经过U→I→M→L→H→C→B→S，而在双向通行时，只需经过U→E→C→B→S，可见，在单向交通系统中，绕行距离增加了很多。

##### 2. 一条道路实行单向交通道路网上绕行路线分析

图3.2所示道路网中，假设只有路段GH实行由G到H的单向交通，其他路段均为双向行驶。若从单行线GH上O点到路段FG上D点，寻找从O点到D点的最短路径，行驶路线为O→H→C→B→G→D，或O→H→L→K→G→D，行驶距离分别记为 $L_{\text{OHCBGD}}$ ， $L_{\text{OHLKGD}}$ 。当GH路段为双向行驶时，从O点到D点的行驶路线为O→G→D，行驶距离记为 $L_{\text{OGD}}$ ，则绕行距离 $\Delta L$ 计算见式(3.1)。

$$\Delta L = \min(L_{\text{OHCBGD}} - L_{\text{OGD}}, L_{\text{OHLKGD}} - L_{\text{OGD}}) \quad (3.1)$$

当起点O和终点D在其他位置时，绕行路线的分析和绕行距离的计算与例相似。



### 3. 考虑路侧出入口右进右出绕行路线分析

图3.3所示，是对现实道路网更详细的简化。由于在实际行车过程中，双向行驶路段路侧出入口进出车辆遵循右进右出的行车规则，即车辆只能右转弯进入出入口，从出入口右转弯出来进入路段。特别是主次干道两侧的出入口，一般绝不允许车辆左进左出，以免对路段交通流产生大的干扰，同时避免发生交通事故。在图3.3所示道路网中，同为从单行线GH上O点到路段FG上D点，由于考虑出入口位置的不同，以及遵循右进右出的行车规则，而使绕行路线的分析和绕行距离的计算发生变化。

S和T分别是单行线GH左右两侧的出入口，V和W分别是路段FG左右两侧的出入口。起点O可能是S或T，终点D可能是V或W。当起点为T时，车辆从T点右转弯进入路段GH，方向与单行方向相同，因为即使GH为双向行驶道路，从T出来的车也是这么走，所以从T出来的车辆在图3.3所示道路网中不考虑绕行问题。故主要研究车辆从S点出来驶向V和W的情况。

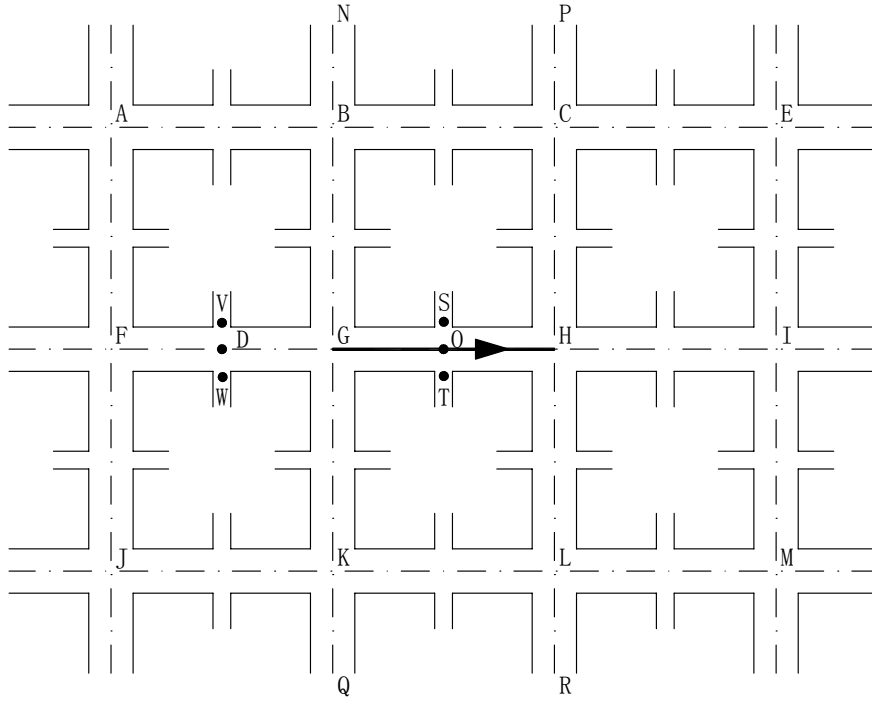


图3.3 考虑路侧出入口右进右出绕行示意

车辆从S点去V点，GH双向行驶时，行驶路线为 $S \rightarrow G \rightarrow V$ ，行驶距离为 $L_{SGV}$ ，GH单向行驶时，行驶路线为 $S \rightarrow H \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow G \rightarrow V$ ，或 $S \rightarrow H \rightarrow L \rightarrow K \rightarrow G \rightarrow V$ ，行驶距离分别记为 $L_{SHCBGV}$ ， $L_{SHLKG V}$ ，则绕行距离 $\Delta L$ 计算见式(3.2)。

$$\Delta L = \min(L_{SHCBGV} - L_{SGV}, L_{SHLKG V} - L_{SGV}) \quad (3.2)$$

这与在图3.2所示道路网上从O点到D点的分析结果相同。

车辆从S点去W点，GH双向行驶时，行驶路线为 $S \rightarrow G \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow F \rightarrow W$ ，或 $S \rightarrow G \rightarrow K \rightarrow J \rightarrow F \rightarrow W$ ，行驶距离为 $\min(L_{SGBAFW}, L_{SGKJFW})$ ，GH单向行驶时，行驶路线为 $S \rightarrow H \rightarrow L \rightarrow K \rightarrow J \rightarrow F \rightarrow W$ ，或 $S \rightarrow H \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow F \rightarrow W$ ，行驶距离为 $\min(L_{SHLKJFW}, L_{SHCBAFW})$ ，则绕行距离 $\Delta L$ 计算见式(3.3)。

$$\Delta L = \min(L_{SHLKJFW}, L_{SHCBAFW}) - \min(L_{SGBAFW}, L_{SGKJFW}) \quad (3.3)$$

#### 4. 考虑道路交叉口车辆可以掉头绕行路线分析

在实际行车过程中，不仅双向行驶路段路侧出入口进出车辆遵循右进右出的行车规则，在有些道路交叉口车辆还可以掉头，从而使绕行路线的分析和绕行距离的计算又有不同。

仍以图3.3所示道路网为例，假设车辆在F交叉口和H交叉口均可以掉头。车辆从S点去W点，GH双向行驶时，行驶路线变为 $S \rightarrow G \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow W$ ，GH单向行驶时，行驶路线为 $S \rightarrow H \rightarrow L \rightarrow K \rightarrow J \rightarrow F \rightarrow W$ ，或 $S \rightarrow H \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow F \rightarrow W$ ，或 $S \rightarrow H \rightarrow L \rightarrow K \rightarrow G \rightarrow F \rightarrow W$ ，或 $S \rightarrow H \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow G \rightarrow F \rightarrow W$ 。

车辆从T点去V点或W点，在仅考虑道路路侧出入口进出车辆右进右出的情况下，因GH单向行驶或双向行驶对T点的出行一样，故不考虑绕行问题，但当车辆

在道路交叉口还允许掉头时，便存在车辆绕行。

车辆由T点去V点，GH双向行驶时，行驶路线为 $T \rightarrow H \rightarrow G \rightarrow V$ ，GH单向行驶时，行驶路线为 $T \rightarrow H \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow G \rightarrow V$ ，或 $T \rightarrow H \rightarrow L \rightarrow K \rightarrow G \rightarrow V$ 。

车辆由T点去W点，GH双向行驶时，行驶路线为 $T \rightarrow H \rightarrow G \rightarrow F \rightarrow W$ ，GH单向行驶时，行驶路线为 $T \rightarrow H \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow G \rightarrow F \rightarrow W$ ，或 $T \rightarrow H \rightarrow L \rightarrow K \rightarrow G \rightarrow F \rightarrow W$ ，或 $T \rightarrow H \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow F \rightarrow W$ ，或 $T \rightarrow H \rightarrow L \rightarrow K \rightarrow J \rightarrow F \rightarrow W$ 。

在现实道路网中还可能有很多其他情况出现，影响车辆的行驶路线，如禁左、禁右等。可见，现实道路网中车辆绕行过程很复杂。

### 5. 道路单向交通减小绕行距离绕行路线分析

在上述分析中，道路实行单向交通后，均是增加了绕行距离。其实，实施单向交通还可以使一些车辆的绕行距离减小。在如图3.4所示道路网中，仍依据路侧出入口右进右出的原则，且不考虑交叉口可以掉头的情况。由X点去S点，GH双向行驶时，行驶路线为 $X \rightarrow G \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow H \rightarrow S$ ，GH实行单向交通后，行驶路线为 $X \rightarrow G \rightarrow S$ ；由S点去Y点，GH双向行驶时，行驶路线为 $S \rightarrow G \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow H \rightarrow Y$ ，或 $S \rightarrow G \rightarrow K \rightarrow L \rightarrow H \rightarrow Y$ ，GH实行单向交通后，行驶路线为 $S \rightarrow H \rightarrow Y$ ，可见因实施单向交通，行驶路线简化了很多，从而缩短了绕行距离。

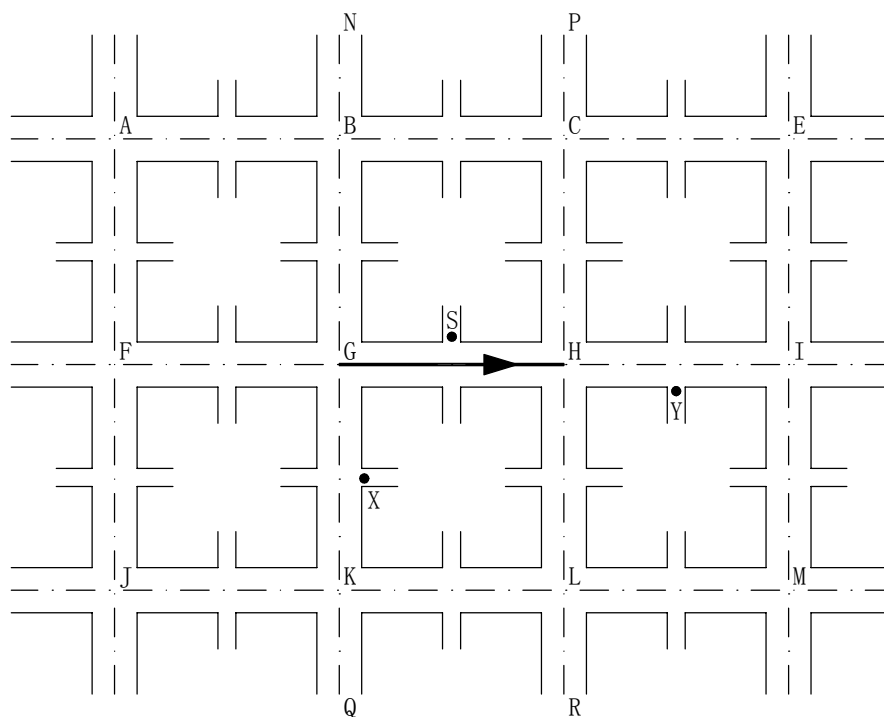


图3.4 道路单向交通减小绕行距离示意

由上述分析可见，道路实施单向交通后，绕行路线的分析和绕行距离的计算比较复杂，逐点分析很不现实，故道路单向交通绕行距离的计算，不能从微观的、具体的出行着手，需要寻求其他的方法，本文将从道路网总体出发，用最短路径算法和道路网总出行距离差值法，宏观地提出道路单向交通绕行距离的计算方法。

### 3.1.2 最短路径算法计算绕行距离

道路网任意一对节点之间最短路径是指连接它们之间总的综合出行阻抗最小的一串依次相连的路段。

在影响范围内，以主要的道路交叉口划分为一个交通小区，各小区的形心为对应的道路交叉口，作为O-D出行交通网络的各节点。交通阻抗(即路权)，取各节点(即交叉口)间路段的距离。

影响范围一般为拟制定单向交通道路的所有道路交叉口以及与其相邻的两个道路交叉口区域内<sup>[20]</sup>。

最短路径算法计算绕行距离的思路为：采用Label Correcting快速最短路径算法计算实施道路单向交通之前影响范围内各节点之间的最短路径→计算实施道路单向交通之后影响范围内各节点之间的最短路径→计算实施道路单向交通前后影响范围内各节点间最短路径长度(即最小阻抗)的差值作为各节点间的绕行距离→将各节点间的O-D出行量与各节点间绕行距离的乘积作为各节点间总绕行距离→将各节点间总绕行距离相加作为影响范围道路网总绕行距离。

用最短路径算法计算绕行距离见式(3.4)：

$$S_0 = \sum X_{ij} \cdot L_{ij} = \sum X_{ij} \cdot (A_{ij} - B_{ij}) \quad (3.4)$$

式中：  $S_0$ ——道路网总的绕行距离(veh · km/h)；

$X_{ij}$ ——节点  $i$  到节点  $j$  的出行量(veh /h)；

$L_{ij}$ ——节点  $i$  到节点  $j$  的绕行距离(km)；

$A_{ij}$ ——实施道路单向交通之后节点  $i$  到节点  $j$  的最短路径长度(km)；

$B_{ij}$ ——实施道路单向交通之前节点  $i$  到节点  $j$  的最短路径长度(km)。

将用最短路径算法计算得到的影响范围内道路网总绕行距离除以道路网总O-D出行量，可以得到平均每车绕行距离，见式(3.5)。

$$s = \frac{S_0}{T} = \frac{\sum X_{ij} \cdot L_{ij}}{\sum X_{ij}} = \frac{\sum X_{ij} \cdot (A_{ij} - B_{ij})}{\sum X_{ij}} \quad (3.5)$$

式中：  $s$ ——道路网平均每车绕行距离(km)；

$T$ ——影响范围内道路网总O-D出行量(veh/h)。

最短路径算法计算绕行距离是在以下两个假设的基础上得到的：

(1) 假设影响范围与外界的交通出行不受实施道路单向交通的影响，即进出影响范围的交通量在实施单向交通前后相同；

(2) 假设实施道路单向交通前后各节点出行量不变。

因为最短路径算法计算绕行距离在实施单向交通前后采用了最短路交通分配，存在的问题。为此，需要寻找其他更加合理的方法来计算绕行距离，使

得交通分配不受此方法的限制。本文提出用道路网总出行距离差值法计算绕行距离，比最短路径法更加科学。

### 3.1.3 道路网总出行距离差值法计算绕行距离

用道路网总出行距离差值法计算绕行距离的思路为：计算实施道路单向交通之前影响范围内道路网总出行距离→计算实施道路单向交通之后影响范围内道路网总出行距离→绕行距离为实施道路单向交通前后影响范围内道路网总出行距离的差值。

实施单向交通之前道路网总出行距离可用各道路路段分配交通量与路段长度乘积求和得到，对于现状道路网，道路路段交通量可以通过现状调查得到。

实施单向交通之后道路网总出行距离可用各道路路段实施单向交通后重新分配交通量与路段长度乘积求和得到。

绕行距离的计算公式如式(3.6)：

$$S_0 = S' - S = \sum N'_{ij} l_{ij} - \sum N_{ij} l_{ij} \quad (3.6)$$

式中：  $S_0$ ——道路网总的绕行距离(veh·km/h)；

$S'$ ——道路实施单向交通之后道路网总出行距离(veh·km/h)；

$S$ ——道路实施单向交通之前道路网总出行距离(veh·km/h)；

$N'_{ij}$ ——道路实施单向交通之后路段  $ij$  的分配交通量(veh/h)；

$N_{ij}$ ——道路实施单向交通之前路段  $ij$  的分配交通量(veh/h)；

$l_{ij}$ ——道路路段  $ij$  的长度(km)。

若仅对实施单向交通前后绕行距离增量情况进行了解，由公式(3.6)计算得到的道路网总绕行距离便已足够，若需将绕行距离作为对单向交通方案进行评价的一个指标，或对不同单向交通方案之间进行比较的一个指标，只知道道路网总绕行距离还不够，还需引入绕行距离变化系数的概念，用  $K_s$  来表示，可用公式(3.7)来计算。

$$K_s = \frac{S_0}{S} = \frac{S' - S}{S} \quad (3.7)$$

式中：  $K_s$ ——绕行距离变化系数。

用道路网总出行距离差值法也可以求得每车平均绕行距离，计算公式如下：

$$s = \frac{S_0}{T} = \frac{S' - S}{T} = \frac{\sum N'_{ij} l_{ij} - \sum N_{ij} l_{ij}}{\sum X_{ij}} \quad (3.8)$$

式中：  $s$ ——道路网平均每车绕行距离(km)；



$T$ ——影响范围内道路网总O-D出行量(veh/h);

$X_{ij}$ ——节点*i*到节点*j*的出行量(veh/h)。

采用道路网总出行距离差值法计算绕行距离,虽然也是在假设影响范围与外界的交通出行不受实施道路单向交通的影响,以及实施道路单向交通前后各节点出行量不变的情况下得到的,但对实施道路单向交通之后的交通分配方法没有限制,算法简单,易作为一个评价指标应用到道路单向交通方案设计中。

### 3.1.4 减小绕行距离的措施

在实施道路单向交通之前,必须作准确的O-D调查和路径调查,很好的预测其他道路交通量增减趋势,尽量减少实施道路单向交通之后道路网的绕行距离。具体方法为按道路单向交通方案依最短路径计算影响范围内各节点间的绕行距离,调整单向交通方案尽量减小交通出行量大的两个节点间的绕行距离,避免交通出行量最大的点对之间绕行距离最大的情况出现。

此外,道路由双向交通改为单向交通后,车速提高和交叉口延误减少所节省的时间,可以补偿距离增长所花去的时间。因此,在研究道路网单向交通系统时,选择道路交叉口的合理间距,尽量使车辆绕行距离所增加的时间与车速的提高和交叉口的延误减少时间相平衡。

## 3.2 在道路单向交通条件下实行公交优先

### 3.2.1 道路单向交通对公交运行影响

道路实施单向交通之后,由于道路路段通行条件的改善,交叉口复杂性降低,车辆运行速度提高,改善了公交线路的通行条件,由此带来单向交通道路上公交车运行速度明显提高,减少了乘客总的出行时间。对于道路实施单向交通后对公交运行的不利影响归纳起来有以下几点。

#### 1. 对公共交通乘客的影响

实施单向交通后,对一些在单行道上的出行者必然会带来不便,增加出行者的步行距离。道路双向通行时,只需横穿马路就行,而单行道换乘时,步行距离就变成该单行道站台到与之配对的单行道站台之间的距离。道路实施单向交通给公交乘客带来的不便,会降低公交对乘客的吸引力,使一些选择公交的出行者转向其它的交通方式,引起公交出行比例的下降。

#### 2. 对公交线路的影响

若单行道配对不合理,公交车需要迂回绕行,才能到达单行道上的站点。公交公司从本身的利益出发,就有可能改变线路走向,不经过单行道,降低了单行道上公交线路的密度,使单行道两侧的公交可达性下降,公交局部线路的改变有可能改变整个路网的效率。

### 3. 对公交企业的影响

由于道路实施了单向交通，公交公司就必须相应的调整公交线路走向并重新布置站点，这两件都是相当麻烦的工作，尤其是调整电车线路。因线路调整和站点的搬迁也增加了工程投资费用。

#### 3.2.2 在道路单向交通条件下实行公交优先

公交优先就是从城市规划、投资力度、税费政策、交通管理以及科技进步等诸多方面优先发展城市交通<sup>[28]</sup>。

在单向交通条件下实行公交优先目标是：在单向交通组织条件下，结合公共交通发展规划，综合利用现有道路交通设施资源，最大程度消除单向交通对公交运行的影响，充分发挥单向交通条件下公交运行的优势，以保持单向交通组织下公交服务水平不下降或提高，体现公交优先。

本文主要从宏观和微观两个方面，应用公交优先解决道路单向交通对公交运行的不利影响。宏观方面总结公交在配合单向交通实施时的基本思路，微观方面将公交优先的方法和措施与单向交通的道路交通条件相结合，实现公交优先。

##### 3.2.2.1 宏观思路

(1) 实施道路单向交通之前，必须进行详尽的公共交通调查，了解经过单行道线路的公交流量，乘客换乘或中转的数量以及换乘步行距离的变化。通过这些调查可以规划辅助系统的设置，公共交通专用道的设置以及单行道上公共交通逆向行驶。

(2) 交通发展战略上，仍需确立公交优先的策略，单向交通的规划应以不降低公共交通服务水平为原则，充分发挥公共交通在单向交通条件下的优势，吸引乘客，方便乘客，缩短乘客步行距离，减少乘客出行时间。

(3) 掌握道路单向交通影响范围内公共交通发展规划，将公交线路调整与各种交通方式的接驳有机结合，考虑公交线网的整体性和合理性，为乘客创造便捷的交通条件。

(4) 充分考虑现有服务范围并相应扩大其服务面，理顺公交线路，正常行车秩序，提高公交服务水平。

##### 3.2.2.2 微观应用

(1) 可以考虑在单向交通道路上设置公交专用道，允许公交车及单位班车等公交车辆的逆向行驶，即设置顺向式或逆向式公交专用道。

(2) 为了减少乘客换乘步行的距离，可以让公交车辆绕行，迂回行驶，条件是区域内具有较成熟的单向交通道路网(如图3.5)。

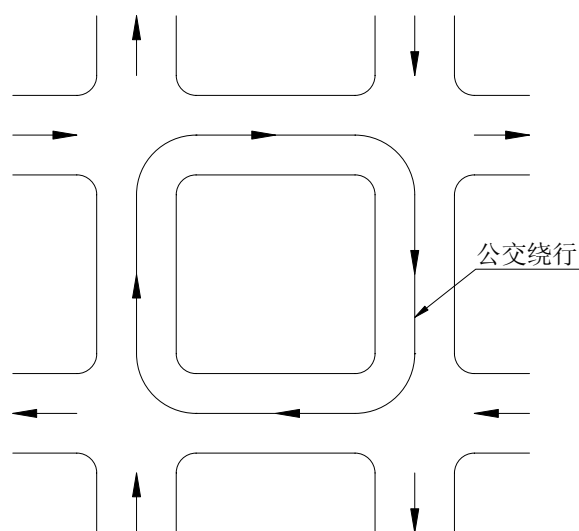


图3.5 道路单向交通系统中公交绕行示意

(3) 可以将单向交通道路网与以公交专用道网络为基础的城市公交优先通行网络相结合，在单向交通道路网上很好地实现公交优先。

(4) 对单向交通条件下的道路交叉口应用公交优先措施，包括交通信号的公交优先和进口道公交优先两个部分。

单向交通条件下道路交叉口交通信号的公交优先可采用调整信号周期、增加公交车通行次数、使用基于检测器的为公交车提供优先通行权的实时感应信号控制<sup>[29,30]</sup>、使用交叉口进口道双停车线的预信号设置<sup>[31]</sup>或基于公交专用道的公交专用信号设置等方法。

单向交通条件下道路交叉口进口道公交优先可以采用进口道拓宽、公交专用进口道<sup>[32]</sup>、公交专用进口道设置回授线以及设置锯齿型进口道等方法。

此外，道路实施单向交通时必须充分考虑对乘客的影响程度，尽量避免在工作岗位密集、公交流量大及商业繁华的区域实施单向交通。在机动车道不宽或交通量大的街道上，应设置港湾式停靠站，充分保证车辆在单行道上的畅通。还可以在公交线路的站点上考虑换乘时与其它交通方式的衔接，如在公交站点附近设置自行车、摩托车保管站，方便乘客从这条道路到相邻的另一条道上去换乘。

### 3.3 解决急救消防等特种车辆通行问题

当道路单向交通设逆向的公交专用道时，对急救车、消防车等时间性要求很高的车辆可以视情况允许其在公交专用道上逆向行驶，而过境车因交通量较大只得绕道而行。

### 3.4 增加道路交通设施和保障措施

道路单向交通是一种交通管制措施，它的实施不可避免地增加很多道路交通

设施的投入。各种道路交通设施的科学应用是单向交通成功实施的保障，同时能有效地减轻其他一些不利因素的影响。首先是道路单向交通的起、终点，即末端，因是单、双向交通的转换处，常使交通组织复杂化，应适当加宽、渠化，根据行车要求设置足够的、标准的交通标志、标线来引导交通，使司机一目了然。如在每条单行道的每个入口处设置单向行驶的标志，在出口处设置禁止入内标志，每条单行道上均施画单行标线等。初期，部分路口还需交警或交通协管员指挥和讲解。

此外，为了使市民和驾驶员能够了解单行道的设置，配合支持道路单向交通方案的实施，交警部门在实施过程中应加强宣传教育，积极争取新闻部门的大力支持，利用广播、电视、报纸、网络等新闻媒介，公示新设置的各条单行道的情况，大张旗鼓地宣传实行道路单向交通的意义，同时广泛征求市民的意见，解答群众关心的问题，尽量使之家喻户晓。此外旅游部门还可以将城市道路中设置的单行线在城市旅游图中表现出来，以方便外来驾驶员的出行。

同时，为了保障道路单向交通的顺利实施，交警部门必须加大执法查处力度，严格执法。为了杜绝单行道沿线违法停车及机动车逆行，可在单行道路段安装电子警察，抓拍交通违法行为。

### 3.5 降低对单行道两侧商业活动不利影响

单向交通的实施会给道路两侧的商业活动带来影响。由于道路实行单向交通，取消了对向车流，使人们不便到单行道的两侧进行商业活动，从而影响商家的经济效益，特别是逆向的那一侧。为了消弱这种不利影响，增加客流量，在道路条件和交通条件允许的情况下，可以让公交车逆向行驶，以满足市民到单行道两侧购物和娱乐的要求。

在停车设施不完善的区域内，为了方便市民驾车消费停车的要求，可以根据单行道的宽度在路边设置合适数量的停车位，也可以一定程度上减轻单行道对临街商业的影响。

单行道上公交车双向通行、在路侧设置停车位等等，这些措施对道路单向交通的实施效果是有影响的，但在满足单向交通有效缓解交通拥堵，提高运输效能等主要功用的同时，坚持交通服务于大众，尽可能地减轻单向交通给民众带来的不利影响，方便市民，也具有重要的现实意义。

### 3.6 提高单行道夜间道路资源利用率

目前国内城市道路实行的多为固定式单向交通和定车种式单向交通，一般均为全部时间实施，定时式单向交通使用得较少，几乎没有。全天候实行单向交通

有一个缺点，即单行道夜晚资源浪费。白天交通量大道路交通拥堵，实行单向交通可以缓解交通压力，但在夜间车流稀少，单行道已失去它的作用。对设置逆向公交专用道的单行道，因很多公交车运营到11点结束，夜间公交车数量很少，发车频率一般很低，多为半个小时一班，甚至更长，公交专用道显得十分冷清。因此，夜间单行道资源浪费。若单行道实行限时，夜间交通低谷时期不限制车辆通行，能大大方便夜间司机出行，不会影响道路的畅通。

分时段定时单行有一个困难，假如夜间10点到早上7点双行，其余单行，那么早上6:55车辆逆向驶入路段，到7点单行后还在逆向行驶该如何解决。方法是根据单行线的长度估算车辆在其上行驶的时间，留足够的缓冲期，如半个小时，若要保证夜里10点到早上7点双行，其余单行，可以规定早上6:30开始单行，但此时该路段双行不算违规，但如果7点后还逆向行驶，就算交通违章。同时设置电子警察，自动摄像。

### 3.7 本章小结

本章在深刻认识道路单向交通不利因素的基础上，研究缓解各种不利影响的方法和解决措施。详细地探讨了道路单向交通增加绕行的情况，分析了绕行路线和一些绕行的细节问题，首次提出单向交通绕行距离的计算方法和解决措施。提出将公交优先应用于道路单向交通中，以削弱单向交通对公交运行的影响。对解决急救消防等特种车辆通行、增加道路交通设施和保证措施、降低对单行道两侧商业活动的不利影响、以及提高单行道夜间道路资源利用率等等的方法和措施进行研究。

## 第4章 道路单向交通方案设计

### 4.1 设计思路

本章在对道路单向交通设置条件、交通特性、利弊等进行深入研究的基础上，提出道路单向交通方案设计的步骤和方法。

道路单向交通方案设计步骤为：对影响范围内单向交通方案设计所需各项资料进行调查分析→制定初步设计方案→单向交通方案实施后交通分配预测→单向交通方案实施前后进行交通仿真→依交通仿真结果进行单向交通方案评价。

### 4.2 现状调查

对道路单向交通方案设计所需的各项资料进行调查分析，是道路单向交通方案设计的基础工作。调查资料是否全面、准确、真实，将直接影响道路单向交通预测及现状交通评价的准确性，进而影响其方案设计与评价的合理性。

交通资料调查分析是一项十分繁重的工作，涉及到交通的源和流、交通设施以及与交通有关的社会、经济、自然、土地利用等多项基础资料。

城市道路单向交通方案设计资料调查的总体内容详见图4.1。

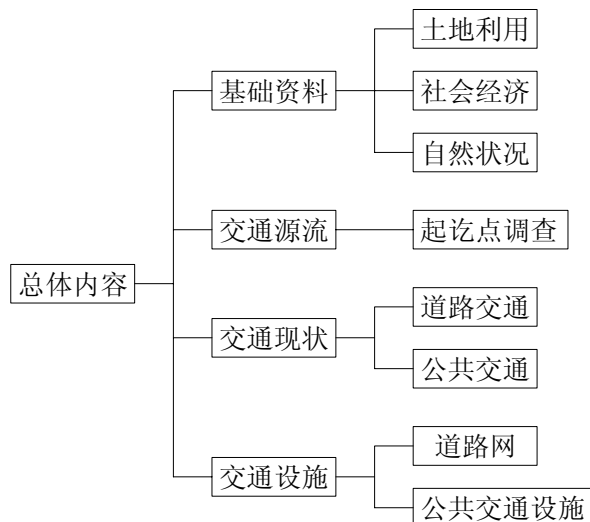


图4.1 城市道路单向交通方案设计所需资料调查总体框架

因本文仅针对现状城市道路实施单向交通进行方案设计，不需要考虑交通量和出行量的年度变化。所以，在交通资料调查的总体内容中，交通源流调查、交通现状调查、交通设施调查比较重要。具体来说，交通调查资料主要包括现状影响范围内的道路网状况、道路路段情况、交通管理与控制措施、道路路段与交叉口的交通量、行车速度、延误、排队长度、交通事故率、公交线路和公交站点布设情况、道路车辆出行O-D量等交通基础资料。

## 4.3 初步方案设计

### 4.3.1 方案设计目标

合理设置道路单向交通可以解决城市道路交通拥挤问题，反之，则会导致运行混乱，得不偿失。道路单向交通方案设计的目标之一是使城市道路产生最佳的社会经济效益<sup>[33]</sup>；目标之二是使实施道路单向交通后，各种交通方式能相互协调、密切配合，充分发挥各自的优势；目标之三则是充分发挥现有道路网通行能力，提高车辆运行速度，减少交叉口延误，增加行驶安全性，从而改善了交通条件，刺激交通出行，使交通状况发生好的变化。同时，使车辆绕行距离和乘坐公交车的步行距离增加程度最小。

归纳起来，道路单向交通方案设计目标就是最大限度地发挥有限道路基础设施的效能<sup>[34]</sup>，使城市道路交通系统达到最佳运行状态。

### 4.3.2 方案设计与实施原则

道路单向交通是一项复杂的系统工程，牵涉到方方面面，它必须依据城市道路交通的特点，坚持交通服务于大众，进行科学设计和有效实施。结合道路单向交通的优缺点，为了避免盲目性和随意性，总结方案设计与实施原则如下：

(1) 道路单向交通的实施必须符合城市交通发展政策，与城市交通规划和建设相协调，须经科学规划和研究论证，并进行动态管理。

(2) 实施道路单向交通应主要应用于交通供需矛盾突出、采取一般交通管制措施后仍然存在交通拥堵现象、道路网密度高的区域。

(3) 必须有利于提高道路通行能力和行车速度，改善道路交通运行状态和交通环境，减少交通事故，增加安全感，解决双向交通所不能解决的交通矛盾。

(4) 要从整个实施单向交通区域及周边区域的流量、流向特点来考虑单向交通的车流方向，车流方向与主要流向尽可能一致，使区域内流量达到均衡。

(5) 清除违章占道和非交通性占道，保证单向交通的连续性。

(6) 采取工程措施贯通部分道路，加强支路的维修，改善道路网络通行条件，使单行道网络具有很好的连通性，从而提高单行道系统的整体效益。

(7) 单行道的长度应尽可能长，否则由于单行道两端干扰，实施效果将受到影响。单行道末端应尽量放在交通组织容易的主要道路上。

(8) 无论东西向或南北向道路，其来去方向的条数总体上应基本平衡，或者车道数应基本上均衡，以保证道路交通主流向不受影响。

(9) 原则上不对原有实行的单行道作变更，这是因为社会大众已适应原有单行道的走向，频繁变更容易引起交通混乱。

(10) 对道路单向交通网络所涉及到的占路停车均需要重新统一规划，以保证

单行道通畅为主。有条件道路，可结合公交专用道和路边停车同时实行。

(11) 道路单向交通的实施必须与其他交通管理措施协调一致，如禁左、禁右等。

(12) 为提高单向交通效益，应对非机动车流量大的单行道上非机动车进行交通组织，组织方式根据实际交通情况和非机动车影响程度决定。

(13) 以机动车专用道或主干道作主要通行、集散和疏导车流的道路，各单行道的设计可穿越这些道路，也可将单行道的起点或终点放在单行道与这些道路的交叉口上，将它们看成单行道的分流或合流点。

(14) 单行道配对原则：有上行，则必有下行，且均为相邻道路，但同向单行道必须间隔一条反向单行道。

(15) 公交线路原则上按单向行驶，此时应合理调整单行道沿线公交停靠站点，减少公交乘客步行距离。但考虑沿单行道居民的逆向出行和换乘公交的方便，也可采取逆向公交专用道的方法。

### 4.3.3 初步方案设计

根据道路交通调查资料，分析评价现状道路交通系统的状况，找出其存在的主要问题，结合道路单向交通方案设计目标，依据设计与实施的原则，初步制定道路单向交通方案。

## 4.4 交通分配

由于公共汽电车是按固定路线行驶的，不能自由选择行驶路径，故交通分配不包括这部分车辆。交通分配的对象只是走行线路不固定的机动车分布量，以标准小汽车(pcu)为单位。所以，本文道路单向交通方案设计交通分配所需调查资料主要为高峰小时除公交车外的车辆出行O-D调查，以及高峰小时道路路段交通量(pcu/h)。高峰小时交通量调查过程中，将路段公交车流量与其他机动车流量分开调查。本文主要针对除公交车外的车辆出行O-D进行交通分配，文章的最后会考虑公交车的影响。

### 4.4.1 道路交通量预测分配流程

道路单向交通方案设计中的交通量预测分配的思路为：以对影响范围现状城市道路网高峰小时车辆出行O-D部分调查量作为先验O-D出行矩阵，与调查所得高峰小时交通量一起反推道路网车辆出行O-D矩阵，然后将所得到的现状道路网车辆出行O-D矩阵在实行单向交通方案的道路网上重新交通分配，得到新的道路网流量，作为道路单向交通方案交通仿真数据来源和方案评价的基础。道路交通量预测分配流程如图4.2所示：



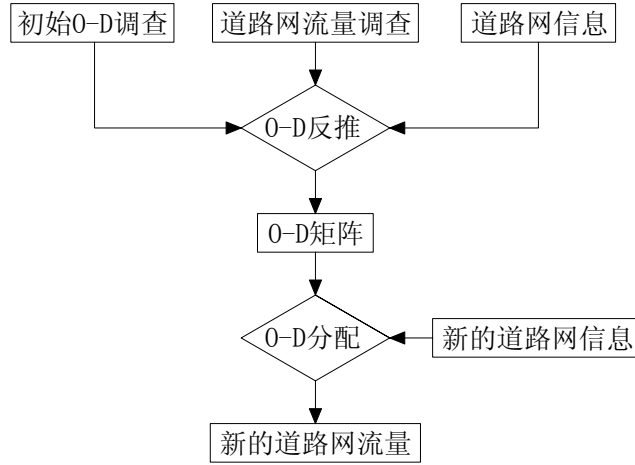


图4.2 道路交通预测分配流程

#### 4.4.2 O-D 出行矩阵反推算法

##### 4.4.2.1 O-D 出行矩阵的容量限制推算算法概述

在交通拥挤道路网中，由于受到道路路段和交叉口容量的限制及其他因素的影响，道路路段分配率矩阵  $P$  随着O-D出行矩阵中各元素的不同而发生变化，即

$$P = f(T, C, \zeta) \quad (4.1)$$

式中：  $P$  ——道路路段分配率；

$T$  ——实际O-D出行矩阵或推算矩阵；

$C$  ——道路路段及交叉口通行能力(pcu/h)；

$\zeta$  ——其他影响因素。

在实际道路网中，道路路段分配率矩阵  $P$  随O-D矩阵的不同而变化。本文采用容量限制推算法<sup>[35]</sup>计算道路单向交通方案设计的道路网的O-D出行矩阵，即在计算O-D出行矩阵时，考虑道路容量对交通的限制。

容量限制O-D出行矩阵推算模型如下所示：

$$\begin{aligned} \min_{v, T} & F_1(t, T) + F_2(v, V) \\ \text{s.t.} & v = M(T, P) \\ & P = f(T, C, \zeta) \end{aligned} \quad (4.2)$$

式中：  $t$  ——先验O-D出行矩阵；

$T$  ——推算O-D出行矩阵；

$v$  ——按推算O-D出行矩阵分配的道路路段交通量(pcu/h)；

$V$  ——道路路段观测交通量或实际交通量(pcu/h)；

$P$  ——道路路段分配率矩阵；

$C$  ——道路路段及交叉口通行能力(pcu/h)；

$\zeta$  ——其他影响因素。

$F_1(t, T)$  和  $F_2(v, V)$  是求解的模型目标函数。O-D出行矩阵的容量限制推算法主要包括容量限制—增量加载推算法和容量限制—迭代平衡推算法。本文主要采用容量限制—增量加载推算法。

#### 4.4.2.2 容量限制—增量加载法

采用容量限制—增量加载法推算O-D出行矩阵时，先将每一个交通量观测值  $V_{m \times m}$  和先验出行矩阵  $t_{n \times n}$  分解成  $K$  个部分，即将原  $V_{m \times m}$  ( $m \times m$  阶) 分解成  $K$  个交通量观测值矩阵  $V_{m \times m}^1, V_{m \times m}^2, \dots, V_{m \times m}^K$ ，先验出行矩阵  $t_{n \times n}$  也按相同的比例分解成  $K$  部分  $t_{n \times n}^1, t_{n \times n}^2, \dots, t_{n \times n}^K$ ，使得

$$V_{m \times m} = V_{m \times m}^1 + V_{m \times m}^2 + \dots + V_{m \times m}^K \quad (4.3)$$

$$t_{n \times n} = t_{n \times n}^1 + t_{n \times n}^2 + \dots + t_{n \times n}^K \quad (4.4)$$

对于  $\forall i(i=1, 2, \dots, k)$  有：

$$\frac{V_{m \times m}^i}{V_{m \times m}} = \frac{t_{n \times n}^i}{t_{n \times n}} \quad (4.5)$$

然后分  $K$  次推算O-D出行矩阵  $T$ ，并在每推算一次后，用O-D出行推算矩阵进行交通分配，用以修正分配率矩阵  $P$ 。

每一次推算O-D出行矩阵，即求解模型目标函数  $F_1(t, T)$ ， $F_2(v, V)$ ，可以采用极大熵模型、最小信息模型、最小二乘推算模型和贝叶斯模型等。本文采用极大熵模型。

#### 4.4.2.3 极大熵模型

极大熵原理认为车辆的出行是随机的，每种可能出现的O-D出行分布状态，都有一个相应的存在概率。实际存在的O-D出行分布状态，就是存在的概率最大的那一个<sup>[36]</sup>。由于存在概率函数大多有概率熵的形式，所以此模型称为极大熵模型(Maximum Entropy, 简称ME)。

车辆出行总数为  $T$ ，O-D出行分布为  $\{T_{ij}\}$  的概率为

$$W(\{T_{ij}\}) = \frac{T!}{\prod_{ij} T_{ij}} \quad (4.6)$$

设  $E = \ln W(\{T_{ij}\})$ ，使用近似公式，当  $x$  较大时， $\ln x! \approx x \ln x - x$ ，得

$$E = \ln T! - \sum_{ij} (T_{ij} \ln T_{ij} - T_{ij}) = T \ln T - T - \sum_{ij} T_{ij} (\ln T_{ij} - 1) \quad (4.7)$$

假设  $T$  为常数，则极大熵模型为

$$\begin{aligned}
 \max E &= -\sum_i \sum_j (T_{ij} \ln T_{ij} - T_{ij}) \\
 s.t. & \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^{(a)} = V_a \\
 & T_{ij} \geq 0
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

考虑到推算的精确性，可以在模型中加入先验O-D出行矩阵 $t_{ij}$ ，此时极大熵模型为

$$\begin{aligned}
 \max E &= -\sum_i \sum_j \left( T_{ij} \ln \frac{T_{ij}}{t_{ij}} - T_{ij} \right) \\
 s.t. & \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^{(a)} = V_a \\
 & T_{ij} \geq 0
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

使用拉格朗日乘子法，得拉格朗日函数 $L$ 为

$$L = -\sum_i \sum_j \left( T_{ij} \ln \frac{T_{ij}}{t_{ij}} - T_{ij} \right) + \sum_a \lambda_a \left( v_a - \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}^{(a)} \right) + a \left( T - \sum_i \sum_j T_{ij} \right) \tag{4.10}$$

对 $T_{ij}$ 求导数，得

$$\frac{\partial L}{\partial T_{ij}} = -\ln \left( \frac{T_{ij}}{t_{ij}} \right) - \sum_a \lambda_a p_{ij}^{(a)} = 0 \tag{4.11}$$

由此可得到 $i$ 区到 $j$ 区的出行量为

$$T_{ij} = t_{ij} \exp \left( -\sum_a \lambda_a p_{ij}^{(a)} \right) \tag{4.12}$$

令 $X_a = e^{\lambda_a}$ ， $K = e^a$ ，则

$$T_{ij} = K t_{ij} \cdot \prod_a X_a^{p_{ij}^{(a)}} \tag{4.13}$$

从式(4.13)可以看出，反推的O-D出行矩阵可以看作是利用道路观测流量对先验O-D出行量进行修正而得到的。

ME模型从系统的观点出发，根据极大熵原理建立模型。它充分利用了道路路段交通量信息以及先验O-D出行信息，模型结构简单，推算精度较高。

#### 4.4.3 O-D 出行矩阵交通分配

交通分配旨在把各交通小区之间的OD出行量分配到具体的道路路段上，本文采用非均衡模型中的容量限制—多路径分配法对实施道路单向交通后影响范围内道路网交通量进行分配。

##### 4.4.3.1 路权的计算

交通分配中的路权(即两交叉口之间的行程时间)等于道路路段行驶时间与交叉口延误之和。

$$T(i, j) = t(i, j) + d(i, j) \quad (4.14)$$

式中:  $T(i, j)$ ——路段  $[i, j]$  的路权(min);

$t(i, j)$ ——路段  $[i, j]$  的行驶时间(min);

$d(i, j)$ ——在  $i$  交叉口与  $j$  交叉口相邻进口道上的车辆平均延误(min)。

#### 4.4.3.2 多路径交通分配法

##### 1. Dial多路径概率分配模型

Dial于1971年提出了初始的概率分配模型<sup>[37]</sup>, 模型中反映了出行路线被选用的概率随着该线路长度的增加而减小的规律。Florian及Fox于1976年对Dial模型进行了修正<sup>[38]</sup>, 认为出行者从连接两交通区路线的可行子系统中选用路线  $k$  的概率为:

$$P(k) = \exp(-\sigma T_k) / \sum_i \exp(-\sigma T_i) \quad (4.15)$$

式中:  $P(k)$ ——选用路线  $k$  的概率;

$T_k$ ——路线  $k$  上的行程时间(min);

$\sigma$ ——交通转换参数。

##### 2. 多路径分配模型的改进

最短路因素与随机因素存在于出行者的整个出行过程中, 两因素所处的主次地位取决于可供选择的出行路线的路权差(行驶时间差或费用差等)。因此, 各出行路线被选用的概率可采用Logit型的路径选择模型<sup>[39,40]</sup>计算。

$$P(r, s, k) = \exp[-\sigma t(k)/\bar{t}] / \sum_{i=1}^m \exp[-\sigma t(i)/\bar{t}] \quad (4.16)$$

式中:  $P(r, s, k)$ ——0-D量  $T(r, s)$  在第  $k$  条出行路线上的分配率;

$t(k)$ ——第  $k$  条出行路线的路权(行驶时间)(min);

$\bar{t}$ ——各出行路线的平均路权(行驶时间)(min);

$\sigma$ ——分配参数; 对通常的城市交通网络,  $\sigma$  在3.00~3.50之间;

$m$ ——有效出行路线条数。

##### 3. 有效路段与有效路线

有效路段  $[i, j]$  被定义为路段终点  $j$  比路段起点  $i$  更靠近出行目的地  $s$  的路段, 即沿该路段前进能更接近出行终点。因此, 有效路段的判别条件<sup>[41]</sup>为:

对于路段  $[i, j]$ , 如果  $L_{\min}(j, s) < L_{\min}(i, s)$ , 则它为有效路段,  $L_{\min}(a, b)$  为节点  $a$  至节点  $b$  的最短路权。

有效出行路线  $L(i-j, s)$  的长度被定义为有效路段  $[i, j]$  的路权  $d(i, j)$  加上有效路段终点  $j$  至出行终点  $s$  的最短路权  $L_{\min}(j, s)$ , 即

$$L(i-j, s) = d(i, j) + L_{\min}(j, s) \quad (4.17)$$

有效路线长度确定后，便可计算各有效出行路线的分配率及有效路段的分配交通量。

#### 4.4.3.3 容量限制—多路径交通分配法

容量限制—多路径交通分配法，考虑了路权与交通负荷之间的关系及交叉口、路段通行能力的限制。采用容量限制—多路径方法分配交通出行量时，先将原O-D表( $n \times n$ 阶)分解成 $K$ 个车辆出行O-D分表( $n \times n$ 阶)，然后分 $K$ 次按照多路径分配模型分配O-D量，每次分配一个O-D分表，并且每次交通分配完成之后将道路网络的所有路权修正一次，直到把 $K$ 个O-D分表全部分配到道路网络上。

#### 4.4.4 考虑公交车运行影响的交通分配

在上述道路单向交通方案交通分配过程中，没考虑公交车辆的交通分配，也没考虑公交车运行对交通分配的影响。

由于公交车辆运行线路固定，在运行车次、发车频率不变的情况下，即使道路路段和交叉口的运行状况时时在变化，但公交车在道路网中各个路段的流量变化不大，无需也不适合用交通分配方法去重新分配公流量，所以本文假设单向交通情况下公交车在道路网中各个路段的流量不变，不受道路单向交通道路网交通重新分配的影响。具体为在道路单向交通方案设计中，若公交线路和公交站点不变，公交车保持原运行状态，在单行道上可以逆向行驶，则方案实施后道路网中各路段公交车流量与方案实施前保持不变；若公交线路发生改变，则重新布设公交站点，本文假设根据公交车新的发车频率、运行线路长度、发车次数等求出的公交车在道路网中各路段的流量为实施道路单向交通方案后道路网上的实际流量。

实际中，公交车运行肯定会受到道路单向交通方案实施的影响，一方面由于道路路段和交叉口分配交通量的变化、延误不同、平均车速变化等运行条件改变，会使公交车运行时间不同，在各个路段上的流量会发生变化；另一方面，在单向交通路段上交通运行条件改善，运行车速提高，公流量也会发生变化；此外，公交优先的实施都会影响道路路段上公流量，等等。

考虑公交车运行对道路单向交通方案交通分配的影响，即认为在交通分配过程中，道路路段上已有公流量，所以用容量限制—增量加载法推算O-D出行矩阵和用容量限制—多路径分配法进行交通分配过程中，路阻函数的计算需考虑道路网中已有公流量的影响。具体为在多次求路阻的过程中，始终将道路单向交通方案实施前路段和交叉口进口道上的公流量看作是道路网中已有的流量，与每一次交通分配的交通量合在一起，作为每一次分配后路段或交叉口进口道上的流

量，计算路阻。

所以，道路单向交通方案道路网各路段交通量由两个部分组成，一是单向交通方案实施后除公交车外的其他车辆出行O-D分布在各路段上的交通分配量，另一部分为在单向交通方案实施前各路段上公交车流量。

在道路单向交通方案设计过程中，可应用交通分析软件进行O-D出行矩阵反推和交通分配计算。

## 4.5 交通仿真

虽然道路单向交通方案是在充分联系实际的道路交通情况，对单向交通的利弊有了充分认识，且严格遵循设计原则的基础上设计的，但仍不能保证其实施后能完全达到设计目标和预期效果，缓解城市道路交通拥挤。所以，若能对道路单向交通方案借助于交通分析软件进行交通仿真，通过交通仿真对实施方案后的道路网动态交通状况进行分析与研究，找出方案设计存在的不足，并对方案进行交通影响分析与评价，将给道路单向交通方案设计提供极大的帮助，提高方案的科学性与合理性。

### 4.5.1 微观交通仿真模型

道路单向交通方案设计由于无法进行现场实验，或现场实验的经济成本和社会成本太高，需要应用交通仿真技术对城市现状道路网交通运行状况以及在实施单向交通方案后的道路网交通运行状况进行再现和对比分析与研究，其中牵涉到道路交通流量、交通密度、个体车辆的车速、停车率、交叉口延误、车与车之间的车头时距和车头间距、交通占有率、各种车型的交通构成、道路几何线形、车道划分、车道宽度、交通标志标线、交通信号控制、禁行(道路交叉口的禁左转、禁右转、大货车的禁行)管理、以及已经实施的交通管理措施和设施等等微观的和具体的交通对象和交通参数，道路单向交通方案实施效果的优劣与这些微观交通运行行为和现象息息相关，而交通仿真模型的科学性和交通仿真结果的准确性将直接影响道路单向交通方案的设计、评价与确定。因此，为了达到道路单向交通方案设计的目标，本文建议采用微观交通仿真模型对道路单向交通设计方案进行交通仿真系统的分析与研究。

微观交通仿真模型是采用描述交通运行微观规律的技术参数来设计交通流模型而进行交通仿真的，它通过考察单个驾驶员及其车辆和相互作用特征来描述系统的运行状态，对交通系统的要素及行为的细节描述程度最高<sup>[42~44]</sup>。跟车模型、车道变换模型是在城市道路网中对道路单向交通设计方案进行微观交通仿真的两个基本的动态模型，其中跟车模型描述的是车辆在所在车道上跟随前车的行驶行为，车道变换模型描述的是车辆因各种需要而进行车道变换的行驶行为。

#### 4.5.1.1 跟车模型

交通仿真系统跟车模型采用安全距离模型，基本思路是在前后车辆不发生追尾碰撞的前提下使车辆行进。在每个仿真步长内，前车首先实现状态更新，推进至新的位置。然后将后车更新到新的位置，此位置必须保证在前车紧急制动的情况下不致于发生车辆追尾。

连续性跟车模型将前后车之间的期望距离描述为它们的间距、相对速度或相对加速度之间的函数。因为时间扫描法约定，在每个扫描时段末，车辆根据当时所处的状态来决定下一时刻的驾驶行为，并通过选择下一时刻的加速度/速度来实施。因此跟车模型的最终目的是确定下一时刻后车的加速度/速度。可以用一些对驾驶行为的一般感性假设来标定模型，大多数情况下只需知道驾驶员将采用的最大制动减速度，就能满足整个模型的需要，这是该模型的最大优点。式(4.18)给出了跟车模型的算法。

$$h = h_j + \Delta s + \Delta r + S_F - S_L \quad (4.18)$$

式中:  $h$ ——前后两车的车头间距(m);

$h_j$ ——车辆完全停止前进状态下的车头间距(m);

$\Delta t$ ——仿真步长，即扫描时间间隔，一般为1s;

$\Delta s$ ——仿真步长  $\Delta t$  内后车行驶的距离(m);

$\Delta r$ ——反应时间  $T$  内后车行驶的距离(m);

$S_F$ ——后车完全停止需要通过的距离(m);

$S_L$ ——前车完全停止需要通过的距离(m)。

图4.3是式(4.18)跟车过程的时空分析，其中  $T$  为后车驾驶员反应时间。

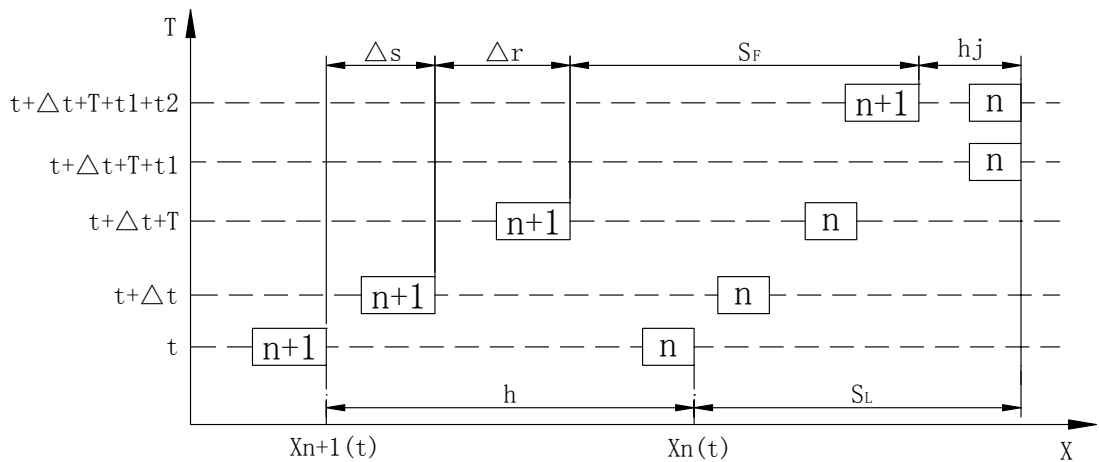


图4.3 跟车时空分析图

车队在城市道路上的前进状态可以分为两种，其一，车队中各车辆的速度大致相同，车头间距变化不大，为稳定车流；其二，车队中车辆速度差异大，车头间距变化频繁，为非稳定车流。两种状态下的跟车模型有差别，以下将分别讨论。

### 1. 稳定车流的跟车模型

在稳定车流状态下，由于前后两车速度相同， $S_F = S_L$ ，已明确给出了他们的停车距离，并且后车也不需要反应时间，从而式(4.18)简化为(4.19)。

$$h = h_j + \Delta s = h_j + u\Delta t \quad (4.19)$$

式中： $u$ ——后车的车速（m/s）。

稳定车流状态下交通仿真系统跟车模型进行模型标定时，只需要标定两个参数，即自由流车速 $u_f$ 以及车辆完全停止前进状态下的车头间距 $h_j$ 。

### 2. 非稳定车流的跟车模型

仿真步长为 $\Delta t$ ，每隔 $\Delta t$ ，先实现前车的速度、加速度以及位置的更新，然后计算后车的位置、速度、加速度等。根据运动学基本公式，得式(4.20)、式(4.21)：

$$v_F(t) = v_F(t - \Delta t) + a(t - \Delta t)\Delta t \quad (4.20)$$

$$x_F(t) = x_F(t - \Delta t) + v(t - \Delta t)\Delta t + \frac{1}{2}a(t - \Delta t)\Delta t^2 \quad (4.21)$$

式中： $v_F(t)$ ——后车在 $t$ 时刻的速度(m/s)；

$x_F(t)$ ——后车在 $t$ 时刻的位置(m)；

$v_F(t - \Delta t)$ ——后车在 $t - \Delta t$ 时刻的速度(m/s)；

$x_F(t - \Delta t)$ ——后车在 $t - \Delta t$ 时刻的位置(m)；

$a(t - \Delta t)$ ——后车在 $t - \Delta t$ 时刻的加速度(m/s<sup>2</sup>)。

由式(4.18)得，

$$x_L(t) - x_F(t - \Delta t) - \Delta s - \Delta r + S_L - S_F - h_j = 0 \quad (4.22)$$

式中， $x_L(t)$ ——前车在 $t$ 时刻的位置(m)。

$\Delta s$ 按下式计算：

$$\Delta s = v_F(t - \Delta t)\Delta t + \frac{1}{2}a(t - \Delta t)\Delta t^2 \quad (4.23)$$

$\Delta r$ 按下式计算：

$$\Delta r = v_F(t)T = (v_F(t - \Delta t) + a(t - \Delta t)\Delta t)T \quad (4.24)$$

前车完全停止通过的距离按下式计算：

$$S_L = \frac{v_L^2(t)}{2d_L} \quad (4.25)$$

式中： $v_L(t)$ ——前车在 $t$ 时刻的速度(m/s)；

$d_L$ ——前车的最大减速度(m/s<sup>2</sup>)。

后车完全停止通过的距离按下式计算：



$$S_F = \frac{v_F^2(t)}{2d_F} \quad (4.26)$$

式中：  $d_F$ ——后车的最大减速度( $m/s^2$ )。

将式(4.21)代入式(4.26)，并忽略  $a^2(t-\Delta t)\Delta t^2$  的小项，得到：

$$S_F = \frac{v_F^2(t-\Delta t) + 2v_F(t-\Delta t)a(t-\Delta t)\Delta t}{2d_F} \quad (4.27)$$

将式(4.23~4.27)代入式(4.22)，得到加速度表达式：

$$a(t-\Delta t) = \frac{F_1}{F_2} \quad (4.28)$$

其中：

$$F_1 = x_L(t) - x_F(t-\Delta t) - (\Delta t + T)v_F(t-\Delta t) + \frac{v_L^2(t)}{2d_L} - \frac{v_F^2(t-\Delta t)}{2d_F} - h_j \quad (4.29)$$

$$F_2 = \frac{1}{2}\Delta t^2 + T\Delta t + \frac{v_F(t-\Delta t)\Delta t}{d_F} \quad (4.30)$$

根据式(4.28~4.30)可以计算出后车的加速度，回代至式(4.20)、(4.21)即可完成后车状态的更新。

综上，在交通仿真系统跟车模型中，起影响作用的主要参数为自由流车速  $u_f$  以及车辆完全停止状态下的车头间距  $h_j$  以及驾驶员反应时间  $T$ 、车辆最大减速度  $d$  等。

#### 4.5.1.2 车道变换模型

车辆在道路上的车道变换行为是除跟车行为之外的又一个最常见的微观交通现象，引起车辆变换车道的的原因很多，但总体上可将车辆的车道变换行为分为判断性车道变换行为和强制性车道变换行为两类：

(1) 判断性车道变换行为一般指车辆在遇到前方速度较慢的车辆时为了提高自己的车速所发生的变换车道行为，一般没有固定的目标车道。

(2) 如车辆在选择适合自己转向的进口车道、绕过前方停车堵道车辆、行驶至所在车道的尾部等情况时，必须在到达前方某一关键点之前变换车道。这种车道变换行为即为强制性车道变换行为，一般都有明确的目标车道。

车道变换模型需要考虑等待车道变换时当前车与相邻车道前后车的空档情况，其中主要包括当前车及相邻车道上前、后车的车速、车道变换的类型(强制性或判断性)、当前车的动力特性以及驾驶员的冒进程度。

##### 1. 判断性车道变换模型

在判断性车道变换模型中，首先要判断是否有换车道的需求，即由预设的评分机制根据驾驶员特性评价对当前车道是否满意，若不满意，产生换车道需求。

需求产生后,由普通的间隙接受理论检测相邻车道的前间隙、后间隙是否能够实现换车道行为,如果间隙不接受,此次需求结束;如果间隙接受,换车道行为执行,主车成功汇入目标车道<sup>[45]</sup>。

城市道路单向交通设计方案交通仿真系统中仿真车辆按照判断性车道变换模型进行变换车道的操作,主要可从如下几个方面来考虑。

(1) 前车速度相对较慢,后车驾驶员就会产生变换车道的动机。即如果前车车速低于某一临界值,后车驾驶员就打算变换车道,产生需求。用式(4.31)表示驾驶员容忍前车行驶车速的上限值 $V_i$ 。

$$V_i = V_f \cdot (0.7 \times DAF) \quad (4.31)$$

式中:  $V_f$ ——路段的自由流车速(m/s);

$DAF$ ——驾驶员冒进系数,用式(4.32)表示;

$$DAF = 1.0 + (DTC - 5.5) / F_{DA} \quad (4.32)$$

$DTC$ ——驾驶员类型因子,为1, 2, ……10;

$F_{DA}$ ——驾驶员倾向性指标,无量纲。

$F_{DA}$ 描述因前车的相对速度太慢而在多大程度上促使后车驾驶员试图变换车道。随着 $F_{DA}$ 减少,将增大不同驾驶员类型差异之间无法忍受的速度差值。即对于前车的某一给定的行驶车速,冒进的驾驶员就会无法忍受而更趋向于喜欢变换车道,胆怯的驾驶员相对能够容忍而继续跟随行驶。

(2) 在驾驶员考虑是否变换车道时,用可接受的风险大小来评价间隙是否接受,这种风险表示为因目标车道的前车紧急刹车时驾驶员愿意接受的最大减速度。最大减速度定义如下:如果前面车辆紧急制动,为了防止车辆追尾后车必须采取的减速度。车辆与迫使它产生车道变换的对象的距离越近,驾驶员可接受的减速度就越大。车道变换的可接受风险( $AR$ )用式(4.33)计算:

$$AR = D_{\min} + (D_{\max} - D_{\min}) \frac{\sqrt{U - U_t}}{1 - U_t} \quad (4.33)$$

式中:  $D_{\min}$ ——在 $x_0$ 处变换车道驾驶员最小可接受减速度( $m/s^2$ );

$D_{\max}$ ——驾驶员最大可接受减速度( $m/s^2$ );

$U$ ——风险系数;

$U_t$ ——风险系数阈值,缺省值为0.2。

其中 $U$ 按式(4.34)计算

$$U = \frac{DAF \cdot NLC \cdot V_f^2}{20(x - x_0)} \quad (4.34)$$

式中:  $NLC$ ——变换到目标车道所需的次数,判断性换车道为1;

$x_0$ ——引起车辆车道变换的位置(m);

$x$ ——当前车辆所在的位置(m)。

随着  $AR$  的增加, 驾驶员增大接受的减速度, 车道变换的机会增加。

(3) 当进行车道变换时, 相邻车道的后车驾驶员将降低其车速, 以便使变道车能安全汇入当前车道; 或在近交叉口溜行排队过程中, 相邻车道的驾驶员停车让其汇入当前车道。

(4) 在判断性车道变换操作中, 还需标定驾驶员可接受的车间距的上限值与下限值, 其用两车间的车头时距表示。即当与前车的车头时距大于上限值时, 所有的驾驶员不会产生变换车道的想法, 因为变换车道不会增大行驶的效益。而当与前车的车头时距小于下限值时, 驾驶员会为了提高行驶速度绕过车速相对较慢的前车而变换车道。

道路单向交通方案设计交通仿真系统根据我国城市道路车辆运行的实际情况标定以上参数如下:

(1) 车道变换的时长: 连续两次车道变换之间所需间隔的时长,  $2\sim 8s$ ;

(2) 驾驶员因前车忽然减速的反应时间(平均): 从前车忽然减速到后车驾驶员刹车的反应时间,  $0.2\sim 3s$ ;

(3) 车道变换的最小减速度  $D_{\min}$ , 取值范围  $1\sim 3m/s^2$ ; 强制性或判断性车道变换最大减速度与最小减速度的差值  $(D_{\max} - D_{\min})$ ,  $2\sim 4m/s^2$ ;

(4) 驾驶员倾向性指标  $F_{DA}$ ,  $15\sim 50$ , 无量纲;

(5) 驾驶员试图变换车道的车头时距下限值与上限值, 下限值通常为  $2s$ , 上限值通常为  $5s$ 。

## 2. 强制性车道变换模型

强制性车道变换模型一般均采用强制请求的方式。即假设车辆初始化时就具有换车道需求并不停地检测目标车道的车辆接受间隙从而尝试完成换车道。若此时刻接受间隙不满足条件, 下一时刻继续发送这样的请求, 直至条件满足, 换车道行为成功完成为止。整个过程是一个不断发送请求直至请求满足的连续过程。执行程序如下:

(1) 与判断性车道变换类似, 车辆对目标间隙进行前、后安全距离检核;

(2) 主车与目标车道前车间隙是否满足跟车模型中防止追尾碰撞的约束条件;

(3) 目标车道跟车与主车间距是否满足跟车模型中防止追尾碰撞的约束条件。

实施车道变换行为的时间为  $2s$ , 若  $2s$  前后的安全距离检核都满足要求, 以与判断性换车道相同的方式更新车辆状态到目标车道, 若有一次安全距离检核不满足要求, 换车道行为终止。下一仿真步长中再次重复上述过程直至换车道行为成功为止。

### 4.5.2 基于交通仿真技术的交通分析优点

相对于其他道路交通分析与研究技术，道路交通仿真技术具有许多优点，如：

(1) 不需要真实道路交通系统的参与，因此不需要现场实验，具有经济方便的特点，特别适用于对尚不存在的，如对规划中的道路交通系统未来运行的行为进行研究；

(2) 通过道路交通仿真，能清楚地了解道路交通流中哪些交通变量是重要的，以及它们之间是如何相互作用和相互影响的；

(3) 不仅能提供道路交通流参数的均值和方差，还能提供交通流参数的时间—空间的序列值，为掌握交通实体在道路交通网中的动态运行状况打下了坚实的基础；

(4) 系统动态交通模型的时间尺度可以与实际交通系统的时间尺度不同，因此既可以进行实时交通仿真，也可以进行超前交通仿真或滞后交通仿真；

(5) 针对道路交通系统中可能出现的某些危险情况或灾难性后果，道路交通仿真是很有效的研究手段，可以预测危险事件发生的时间和地点，为预先防范事件的发生提供了有效的解决途径；

(6) 能够重复提供同样的道路交通运行条件，从而可以针对不同的道路交通规划设计方案进行公正的比选分析与研究；

(7) 能够不断改变系统运行条件，从而可以预测道路交通系统在各种运行情况下的交通行为；

(8) 能够随时间和空间改变道路交通需求，掌握动态的交通需求状况，从而能够对道路交通拥堵作出事先的预测，并事先采取相应的应对措施；

(9) 能够处理车辆之间相互影响、相互作用的排队交通现象；

(10) 当道路网交通流中的车辆到达和驶离方式不符合传统的数学分布模型时，可以采用道路交通仿真系统进行交通仿真来解决；

(11) 当其它道路交通分析技术不适应时，道路交通仿真往往能够有效地解决问题；

(12) 道路交通仿真系统研究问题的系统性和全局性使得便于发现道路交通网全局性问题的根本之所在，而不仅仅是发现道路网的局部交通问题；

(13) 交通仿真系统由于能够进行动画演示，故更加形象逼真，直观有效。

### 4.5.3 道路交通仿真分析与研究的目标

采用交通仿真软件对道路单向交通方案设计进行分析与研究，应达到以下目标：

(1) 建立影响范围城市道路网信息系统；

(2) 建立现状道路网交通仿真系统模型及动画演示系统；

(3) 为不同的城市道路单向交通方案及其相应的交通组织方案建立道路交通仿真系统模型；

(4) 对不同的道路单向交通方案进行应对交通状况敏感性分析与研究；

(5) 根据道路交通仿真系统模型和输出成果对不同的道路单向交通方案及其相应的道路交通组织方案进行对比分析与研究及其评价，并提出科学合理的交通信号控制和交通管理措施的建议，作为道路单向交通方案选取和实施的技术参考依据。

## 4.6 方案评价

在单向交通方案实施之前，评价的主要用途是进行现状分析，实际上是将现状作为方案设计之一，即维持现状，通过评价分析，确定现状道路网对于设计目标是否满足要求，满足程度如何，存在什么问题，有多少潜力可挖。就城市道路单向交通网络而言，通过对现状的分析评价，可以确定城市与区域现有道路交通网络的建设水平、运营状况、存在问题和可能的潜力。在方案设计过程中，评价可以作为设计者的一个辅助工具，引导决策者作出较优的方案。评价不等于决策，而是决策的一个必备的辅助工具。在方案实施以后，对实施方案的使用效果、营运状况的监测反馈也要借助于评价分析。

合理的、经济的道路单向交通方案可以有效地提高交通效率、减少交通事故、减轻环境污染。为了验证道路单向交通设计方案的合理性、科学性，从中择优选出推荐方案，必须对单向交通设计方案进行评价分析。

本文主要是对道路单向交通方案实施前后交通分配和交通仿真结果进行评价，以确定单向交通方案设计的优劣及可行性。

### 4.6.1 评价指标确定

影响单向交通方案实施效果的因素很多，如图4.4所示，这些因素都从不同角度影响着某一方面的特性。由于因素众多且相互之间又存在着复杂的关系，同时这些因素难以量化，所以要对全部影响因素进行调查评价在实际中既不可能，也没必要，而应根据评价的对象、范围、目的和方法分别选择具有代表性的因素来作为评价指标体系。

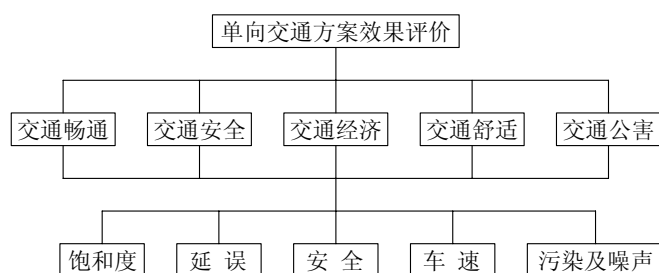


图4.4 道路单向交通方案效果评价因素

运用系统工程理论和方法, 本文道路单向交通设计方案实施效果评价主要由技术评价、经济评价和社会环境评价三个子系统组成, 其中技术评价指标包括道路路段饱和度和服务水平、路段行程车速、交叉口信控延误和服务水平、绕行距离; 经济评价指标主要为燃油消耗量; 环境评价指标主要为汽车一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)的排放量, 如图4.5所示。

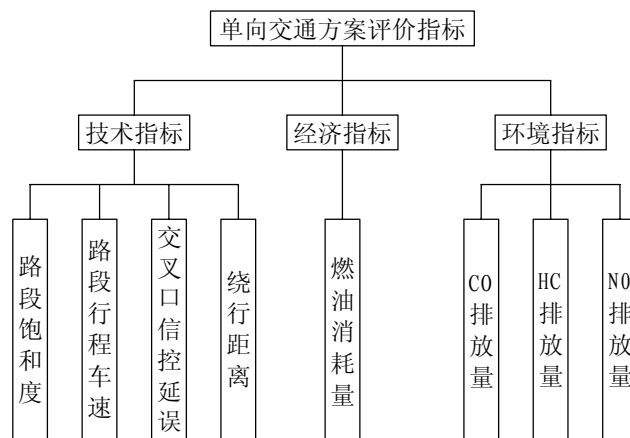


图4.5 道路单向交通方案评价指标

#### 4.6.1.1 道路路段通行能力和饱和度计算

##### 1. 道路通行能力计算

城市道路某路段的通行能力, 可根据一个车道的理论通行能力修正而得<sup>[46]</sup>。对理论通行能力的修正应包括车道数、车道宽度、自行车影响及交叉口影响四个方面。即:

$$C_D = C \cdot \gamma \cdot \eta \cdot \beta \cdot n' \quad (4.35)$$

式中:  $C_D$ ——设计通行能力(pcu/h);

$C$ ——理论通行能力(pcu/h);

$\gamma$ ——自行车影响修正系数;

$\eta$ ——车道宽影响修正系数;

$\beta$ ——交叉口影响修正系数;

$n'$ ——车道数修正系数。

《城市道路设计规范》建议的一条车道的理论通行能力如表4.1所示。

表4.1 《城市道路设计规范》建议的一条车道理论通行能力

计算行车速度(km/h)	50	40	30	20
理论通行能力(pcu/h)	1690	1640	1550	1380

##### 2. 道路通行能力影响因素

###### (1) 自行车影响折减系数

当机动车道与非机动车道之间有分隔带或隔离墩时, 取  $\gamma = 1$ ;

当机动车道与非机动车道之间无分隔带或隔离墩,但自行车道负荷不饱和时,取  $\gamma = 0.8$ ;

当机动车道与非机动车道之间无分隔带或隔离墩,且自行车道负荷超饱和时,其影响系数为:

$$\gamma = 0.8 - \frac{\frac{Q_{\text{bike}}}{C_{\text{bike}}} + 0.5 - W_2}{W_1} \quad (4.36)$$

式中:  $Q_{\text{bike}}$ ——自行车交通量(辆/h);

$C_{\text{bike}}$ ——每米宽自行车道的实用通行能力(辆/h);通常,在连续车流条件下(有分隔带),每米宽自行车道的理论通行能力为  $C_{\text{bike}} = 2000$  辆/h;

《城市道路设计规范》建议:每米宽自行车道的可能通行能力为 800~1000 辆/h;

$W_2$ ——单向非机动车道宽度(m);

$W_1$ ——单向机动车道宽度(m)。

## (2) 车道宽度影响系数 $\eta$ 的确定

车道宽度与影响系数  $\eta$  之间的变化关系如表4.2所示。

表4.2 车道宽度影响系数  $\eta$  与车道宽度  $W_0$  关系表

$W_0$ (m)	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
$H$ (%)	50	75	100	111	120	126	129	130

## (3) 车道数修正系数 $n'$ 的确定

车道数修正系数  $n'$  如表4.3所示。

表4.3 车道数修正系数  $n'$  采用值

单向车道数	1	2	3	4
车道数修正系数 $n'$	1	1.87	2.60	3.20

## (4) 道路交叉口影响修正系数 $\beta$ 的确定

道路交叉口影响系数可采用下式计算:

$$\beta = \begin{cases} \beta_0 & s \leq 200\text{m} \\ \beta_0 (0.0013s + 0.73) & s > 200\text{m} \end{cases} \quad (4.37)$$

式中:  $s$ ——交叉口间距(m);

$\beta_0$ ——交叉口有效通行时间比,视道路路段起点交叉口控制方式而定,信号交叉口即为绿信比。

## 3. 道路路段饱和度V/C比计算

道路路段饱和度是道路路段交通量与通行能力的比值。它用以表明交通车流状态负重程度。

城市道路路段服务水平评价技术标准参见表4.4。

表4.4 城市道路路段服务水平评价技术标准

道路服务水平等级	V/C 比	运行情况
A	<0.35	自由流
B	0.35~0.55	接近稳定车流
C	0.55~0.75	稳定车流
D	0.75~0.90	接近不稳定车流
E	0.90~1.00	不稳定车流
F	>1.00	阻塞车流

#### 4.6.1.2 行程车速

行程车速：车辆驶过的某段道路路程的长度与所用的总时间(包括中途停车损失时间在内，但不包括客、货运车辆在起、终点的掉头时间)之比。

#### 4.6.1.3 道路交叉口信控延误和服务水平计算

信号控制道路交叉口的设计与交通信号控制技术参数的服务水平是根据计算的交通信号控制所产生的平均每车延误时间来确定的。作为道路交叉口服务水平评价的主要技术指标——交通延误是以15min分析周期内的平均每车交通信号控制延误时间（简称信控延误）的大小来确定的。

道路信号控制交叉口的交通延误是反映车辆在道路信号控制交叉口上受阻、减速、停车等交通阻碍事件所造成的行车时间增加的技术评价指标。车辆在道路交叉口引发交通延误的影响因素众多，涉及道路交叉口几何设计、交通渠化设计、道路交通管理措施、以及交通信号控制技术参数设计的各个方面，是一个能够综合反映道路交叉口交通运行优劣的综合技术评价指标。

##### 1. 道路交叉口平均信控延误计算方法

道路交叉口各进口道分别计算各车道的每车平均信控延误；进口道每车平均信控延误是进口道中各车道平均信控延误之加权平均值；整个道路交叉口的每车平均信控延误是各进口道平均信控延误之加权平均值。

(1) 各车道平均信控延误可用下式计算：

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \quad (4.38)$$

式中：  $d$  ——各车道每车平均信控延误(s/pcu)；

$d_1$  ——均匀延误，即车辆均匀到达所产生的每车平均信控延误(s/pcu)；

$d_2$  ——随机附加延误，即车辆随机到达并引起超饱和周期所产生的附加每车平均信控延误(s/pcu)；

$d_3$  ——初始排队附加延误，即在延误分析期初停有上一时段留下剩余车辆的初始排队使后续车辆承担的附加每车平均信控延误(s/pcu)。



对于  $d_1$ ，可按下式计算：

$$d_1 = d_s \frac{t_u}{T} + f_a d_u \frac{T - t_u}{T} \quad (4.39)$$

式中： $d_s$ ——饱和延误(s/pcu)，可用下式表示：

$$d_s = 0.5C(1-\lambda) \quad (4.40)$$

$d_u$ ——不饱和延误(s/pcu)，可用下式表示：

$$d_u = 0.5C \frac{(1-\lambda)^2}{1 - \min[1, x]\lambda} \quad (4.41)$$

$t_u$ ——在  $T$  中剩余车辆的持续等候时间(h),可用下式表示：

$$t_u = \min \left[ T, \frac{Q_b}{CAP[1 - \min[1, x]]} \right] \quad (4.42)$$

$Q_b$ ——分析期初始剩余车辆排队数（辆），须现场实测；

$f_a$ ——绿灯期车流到达率校正系数，按下式计算：

$$f_a = \frac{1-P}{1-\lambda} \quad (4.43)$$

$P$ ——绿灯期到达车辆占整周期到达量之比，可实地观测；

$T$ ——分析时段的持续时长(h)，取0.25h，即15min；

$C$ ——周期时长(s)；

$\lambda$ ——所计算车道的绿信比；

$x$ ——所计算车道的饱和度；

$CAP$ ——所计算车道的通行能力(pcu/h)。

对于  $d_2$ ，可用下式计算，即：

$$d_2 = 900T \left[ (x-1) + \sqrt{(x-1)^2 + \frac{8ex}{CAP \cdot T}} \right] \quad (4.44)$$

式中： $e$ ——单个道路交叉口信号控制类型校正系数，定时信号取  $e=0.5$ ；感应信号  $e$  随饱和度与绿灯延长时间而变，当绿灯延长时间为2~5s时，建议的平均  $e$  值列于表4.5。

表4.5 建议的  $e$  值

$x$	$e$	平均值	$x$	$e$	平均值
$\leq 0.5$	0.04~0.23	0.13	0.6	0.13~0.28	0.20
0.7	0.22~0.34	0.28	0.8	0.32~0.39	0.35
0.9	0.41~0.45	0.43	$> 1.0$	0.5	0.5

对于  $d_3$ ，其随前式计算的在  $T$  中剩余车辆的持续等候时间  $t_u$  而定，按下式计

算：

$$d_3 = \begin{cases} 3600 \frac{Q_b}{CAP} - 1800T \{1 - \min[1, x]\} & \text{若 } t_u = T \\ 1800 \frac{Q_b t_u}{T \cdot CAP} & \text{若 } t_u < T \end{cases} \quad (4.45)$$

## (2) 道路交叉口各进口道的平均每车信控延误

按进口道中各车道每车平均信控延误的加权平均数计算，如下所示：

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^i d_i q_i}{\sum_{i=1}^i q_i} \quad (4.46)$$

式中： $d_A$ ——进口道 A 的平均每车信控延误(s/pcu)；

$d_i$ ——进口道 A 中第  $i$  车道的平均每车信控延误(s/pcu)；

$q_i$ ——进口道 A 中第  $i$  车道的小时交通量换算为按高峰15min计算的高峰小时交通流率(pcu/15min)。

## (3) 整个道路交叉口的平均每车信控延误

按道路交叉口中各进口道平均每车信控延误的加权数计算，如下所示：

$$d_l = \frac{\sum_{A=1}^A d_A q_A}{\sum_{A=1}^A q_A} \quad (4.47)$$

式中： $d_l$ ——道路交叉口的平均每车信控延误(s/pcu)；

$q_A$ ——道路交叉口进口道 A 按高峰15min计算的高峰小时交通流率(pcu/15min)。

## 2. 道路交叉口交通服务水平

道路交叉口平均每车信控延误数值与信号控制道路交叉口服务水平的对应关系列于表4.6中。

表4.6 道路交叉口平均每车信控延误—信号控制道路交叉口服务水平关系

交叉口服务水平	平均每车信控延误(s)	交叉口服务水平	平均每车信控延误(s)
A	≤10	B	10~20
C	20~35	D	35~55
E	55~80	F	>80

### 4.6.1.4 绕行距离

道路实施单向交通后会增加影响范围道路网上车辆的绕行距离，这是单向交

通的一个最不利因素，若绕行距离增加太多，会失去实施单向交通的意义，所以将绕行距离作为评价道路单向交通方案好坏的一个技术指标非常重要，方案的设计应尽量减小绕行距离。绕行距离的计算方法详见本文第3章。

#### 4.6.1.5 燃油消耗量

车辆在道路行驶过程中要消耗燃油，车辆燃油消耗量的大小也可从另一个角度反映出道路交通状况的好坏，故把它作为衡量道路交通状况及其经济性的指标。技术评价中采用碳平衡法计算每车燃油消耗<sup>[47]</sup>，见式(4.48)。

$$F_u = (0.273 \times M_{CO_2} + 0.429 \times M_{CO} + m_{HC} \times M_{HC}) / (d_F \times M_{FC} \times 10) \quad (4.48)$$

式中： $F_u$ ——平均燃油消耗量(L/100km)；

$d_F$ ——燃油密度(kg/L)；

$M_{FC}$ ——燃油中的碳质量比；

$M_{CO_2}$ ——CO<sub>2</sub>平均排放量(g/km)；

$M_{CO}$ ——CO平均排放量(g/km)；

$M_{HC}$ ——HC化合物平均排放量(g/km)；

$m_{HC}$ ——HC化合物中的碳氢比，可以下式表示：

$$m_{HC} = 12 / (12 + X) \quad (4.49)$$

$X$ ——HC化合物中氢原子的个数。

#### 4.6.1.6 大气污染

结合我国城市交通环境现状和国家机动车排放标准，以道路上汽车排放的一氧化物(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化合物(NO<sub>x</sub>)等机动车排放污染物的含量来衡量对大气污染的严重程度。

交通仿真软件一般都有其自己一套机动车尾气排放模型，这个模型是通过考虑排放率、车速和加速度之间变化关系来确定每个时间段内各种车型车辆产生的污染物排放量，然后将数据收集汇总编入到一个模块中，进行仿真计算。

### 4.6.2 综合评价方法

道路交通系统的评价是由环境、经济评价和技术评价三个子系统所组成，每个子系统又包括若干个指标，分别从某一方面描述道路网系统(方案)的特性。各个单项指标，乃至某一个子系统，均还难以对整个系统作出令人满意的评价，甚至于某些单项指标和子系统的定性分析和定量分析结果是相互矛盾的。为了能够全面系统地反映设计方案的总体性能，对方案作出可信的优劣评价，有必要建立一个科学合理的综合评价指标体系，开发相应的简单可行的综合评价方法。

目前用于道路系统综合评价的方法包括价值分析法、单纯矩阵法、层次分析法、主成分分析法、专家调查法等。前三种是目前比较有效且被广泛应用的评价方法，现简单介绍如下。

### 1. 价值分析法

价值分析法是考虑各单项指标对系统总体的影响程度，确定各项指标在系统综合评价中的权重，通过加权即得出综合评价指标，其数学模型为：

$$V = \sum_i w_i \cdot v_i = \sum_i w_i \cdot f_i(x_i) \quad (4.50)$$

式中：V——综合评价指标；

$w_i$ ——第*i*项单项评价指标的权重；

$v_i$ ——以第*i*项指标为标准时，系统的价值(效果)。

各单项指标权重的确定，可采用专家调查法。因此，价值分析法在很大程度上依赖于人的主观意愿和判断。

### 2. 单纯矩阵法

基本思路是避开方案中各种指标之间错综复杂的关系，而主要着眼于判断各指标之间两两比较的相对重要程度，以及判断分别考虑各项单项评价指标时各方案之间两两比较的相对优劣程度。设有*m*个单项评价指标 $a_1, a_2, \dots, a_m$ ，*n*个方案 $G_1, G_2, \dots, G_n$ ，对于方案 $G_j(j=1, 2, \dots, n)$ ，其综合评价指标为：

$$V_j = \sum_{i=1}^m (w_i \cdot V_{ij}) \quad (4.51)$$

式中： $V_j$ ——第*j*个方案的综合评价指标；

$w_i$ ——第*i*项指标的权重；

$V_{ij}$ ——第*j*个方案第*i*项指标的价值。

$V_j$ 越大则方案越优。

### 3. 层次分析法

层次分析法通过分析复杂问题所包含的因素及其相互关系，把复杂的问题分解成各个组合因素，并将这些因素按支配关系组成有序的递阶层次结构。在每一层次，可按某一规定准则，对该层要素进行两两比较，建立判断矩阵。通过计算判断矩阵的最大特征值以及对应的正交化特征向量，得出该层要素对于该层准则的权重。在这个基础上，计算出各层次要素对于总体目标的组合权重，从而得出不同指标的权值。

## 4.7 本章小结

本章在对道路单向交通设置条件、交通特性、利弊等进行深入研究的基础上，提出道路单向交通方案设计原则、步骤和方法。将交通分析理论引入到道路单向

交通方案设计研究中, 研究分析了O-D出行矩阵反推算法以及交通分配方法, 并探讨了公交运行对交通分配的影响。将交通仿真系统应用于道路单向交通方案设计中, 探讨了微观交通仿真模型。提出通过对交通仿真结果进行分析评价来确定设计方案优劣的方法。

## 第5章 单向交通方案设计实例

### 5.1 实例概况

长沙市主城区的道路交通现状已经成为制约长沙市社会经济发展的一个重要障碍。目前长沙市政府及其有关主管部门十分重视城市道路交通建设，采取加大道路交通设施投资力度、修建新的城市道路、改建拓宽老的道路、开展交通秩序整顿等措施来改善城市交通，期望能够完全解决道路交通拥挤的问题。但道路设施的增长远远跟不上机动车保有量的增长速度，且由于大部分主城区道路网络格局已定，受限于城市用地和旧城区已有的建筑布局，已不太可能对中心城区的道路网络进行大规模的改扩建，且新建道路造价高、拆迁费用大，完全依赖大规模修建新路显然是行不通的。因此，考虑在城市中心区道路网内的部分道路实行单向交通，是目前可以改善长沙市现有道路交通，缓解交通拥挤问题，提高通行能力的一种经济、有效的交通管理手段。

本文以对长沙市中心区人民路和解放路实施单向交通方案设计为例，阐述道路单向交通方案设计的方法和过程。将交通分配方法、交通仿真技术应用到实例道路单向交通方案设计中，并对文中提到的各评价指标结合实例进行分析，充分论证道路单向交通的优缺点。

人民路和解放路是长沙市核心区南侧的东西向城市干道，沿线企事业单位密集，商业铺面林立，承担着大量的城市内部集散交通流，流量很大。同时，人民路还是向东进出长沙市的一条主要通道，承担着相当多的进出境交通。

为了满足道路单向交通方案设计及其对周边道路网影响分析与研究的需要，人民路和解放路实施单向交通方案设计影响范围为东到车站路、西到韶山路、北到五一路、南到城南路所围合的区域，详见图5.1所示。该区域处于长沙市的中心地带，社会经济发达，人口和建筑密度大，交通便捷且复杂，人流和车流密集，很多道路既承担着城市交通又承担着过境交通，道路通行压力很大，是长沙市道路交通中最敏感的区域，其道路交通运行的畅通对长沙市中心区的发展和社会经济日常运行至关重要。

影响范围现状道路基本情况详见表5.1。影响范围内道路网现状已有朝阳路和车站路的部分路段实行单向交通，具体为朝阳路的五一路至人民路段机动车由北向南单向行驶，车站路的人民路至五一路段机动车由南向北单向行驶，其中五一路设置了逆行的由北向南的公交专用道。其他道路均为双向行驶。

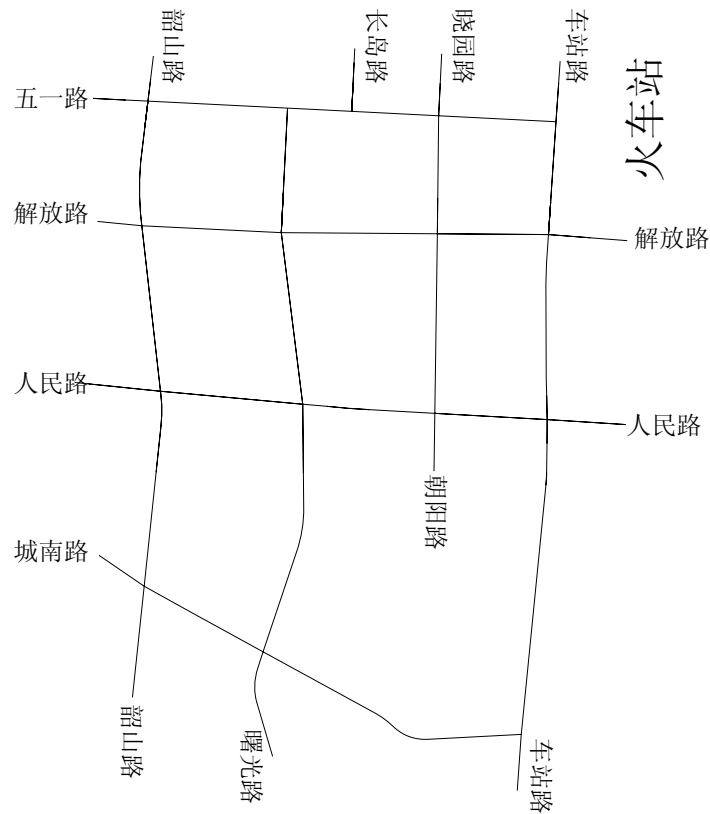


图5.1 实例道路单向交通方案设计影响范围

表5.1 影响范围内现状道路一览表

道路等级	道路名称	道路走向	路段	车行道设置
主干道	五一路	东西向	韶山路—车站路	双向八车道
	人民路	东西向	韶山路—朝阳路	双向四车道
			朝阳路—车站路	双向六车道
	韶山路	南北向	五一路—城南路	双向八车道
次干道	车站路	南北向	五一路—解放路	由南向北单向六车道+逆向公交专用道
			解放路—人民路	由南向北单向三车道+逆向公交专用道
			人民路—城南路	双向四车道
	解放路	东西向	韶山路—车站路	双向四车道
	城南路	东西向	韶山路以西	双向六车道
			韶山路—车站路	双向四车道
次干道	曙光路	南北向	五一路—城南路	双向四车道
	长岛路	南北向	五一路以北	双向两车道
	晓园路	南北向	五一路以北	由北向南单向两车道
	朝阳路	南北向	五一路—人民路	由北向南单向两车道

影响范围内现状道路网交通量调查资料详见表5.2

表5.2 影响范围内现状道路网调查交通量(pcu/h)

道路名称	路段	公交车流量		调查交通量 (除公交车)		交通总量	
		上行	下行	上行	下行	上行	下行
五一路	韶山路以西	288	288	2351	2483	2638	2771
	韶山路—曙光路	236	288	2473	2037	2709	2325
	曙光路—长岛路	213	287	1901	1951	2114	2237
	长岛路—朝阳路	219	287	2155	1645	2374	1931
	朝阳路—车站路	199	342	1782	919	1981	1261
解放路	韶山路以西	72	72	1037	1323	1109	1395
	韶山路—曙光路	144	109	760	858	904	967
	曙光路—朝阳路	181	128	404	554	586	682
	朝阳路—车站路	308	109	409	493	716	602
	车站路以东	—	—	123	167	123	167
人民路	韶山路以西	178	162	945	1158	1124	1320
	韶山路—曙光路	125	109	899	1319	1023	1428
	曙光路—朝阳路	146	126	1216	1421	1363	1547
	朝阳路—车站路	142	54	1904	1399	2046	1453
	车站路以东	161	216	1823	2529	1984	2745
城南路	韶山路以西	18	16	1879	1993	1897	2009
	韶山路—曙光路	54	50	1564	1319	1618	1369
	曙光路—车站路	72	72	1169	974	1241	1046
韶山路	五一路以北	18	—	1381	1537	1399	1537
	五一路—解放路	108	145	1946	1984	2053	2129
	解放路—人民路	179	181	1859	1695	2038	1876
	人民路—城南路	143	146	1480	2038	1623	2184
	城南路以南	180	179	1782	1988	1962	2167
曙光路	五一路—解放路	0	18	578	783	578	801
	解放路—人民路	55	55	713	893	768	948
	人民路—城南路	72	72	789	788	861	860
	城南路以南	90	89	852	777	942	866
长岛路	五一路以北	—	—	254	573	254	573
朝阳路	五一路以北	—	108	—	1448	—	1556
	五一路—解放路	—	179	—	1092	—	1271
	解放路—人民路	—	36	—	739	—	775
车站路	五一路以北	254	90	2364	—	2618	90
	五一路—解放路	398	108	1555	—	1953	108
	解放路—人民路	252	144	1540	—	1792	144
	人民路—城南路	126	126	1182	869	1308	995
	城南路以南	90	91	902	882	992	973

注：“—”表示没有量；上行方向指由南向北，由西向东；下行方向指由北向南，由东向西。



现状道路网路段饱和度和服务水平详见表5.3。

表5.3 现状道路网路段饱和度和服务水平

道路名称	路段	交通总量 (pcu/h)	通行能力 (pcu/h)	V/C 比	服务水平
五一路	韶山路以西	5409	7351	0.74	C
	韶山路—曙光路	5034	7266	0.69	C
	曙光路—长岛路	4351	7547	0.58	C
	长岛路—朝阳路	4305	7547	0.57	C
	朝阳路—车站路	3242	6746	0.48	B
解放路	韶山路以西	2504	3359	0.75	C
	韶山路—曙光路	1871	2820	0.66	C
	曙光路—朝阳路	1267	2973	0.43	B
	朝阳路—车站路	1318	2559	0.52	B
	车站路以东	290	1984	0.15	A
人民路	韶山路以西	2444	3435	0.71	C
	韶山路—曙光路	2451	3332	0.74	C
	曙光路—朝阳路	2910	3220	0.90	E
	朝阳路—车站路	3499	6207	0.56	C
	车站路以东	4728	5689	0.83	D
城南路	韶山路以西	3906	5458	0.72	C
	韶山路—曙光路	2987	3252	0.92	E
	曙光路—车站路	2288	3926	0.58	C
韶山路	五一路以北	2935	7441	0.39	B
	五一路—解放路	4182	6957	0.60	C
	解放路—人民路	3914	7885	0.50	B
	人民路—城南路	3806	8602	0.44	B
	城南路以南	4129	8653	0.48	B
曙光路	五一路—解放路	1379	3137	0.44	B
	解放路—人民路	1716	3657	0.47	B
	人民路—城南路	1721	3926	0.44	B
	城南路以南	1808	3926	0.46	B
长岛路	五一路以北	827	1984	0.42	B
朝阳路	五一路以北	1556	2624	0.59	C
	五一路—解放路	1271	2624	0.48	B
	解放路—人民路	775	2624	0.30	A
车站路	五一路以北	2708	6215	0.44	B
	五一路—解放路	2061	6433	0.32	A
	解放路—人民路	1935	3649	0.53	B
	人民路—城南路	2303	3710	0.62	C
	城南路以南	1965	3710	0.53	B

## 5.2 初步方案设计

解放路与人民路单向交通初步方案设计为解放路由西向东单向通行，人民路由东向西单向通行。具体为解放路以3条机动车道由西向东单行，起点从与韶山路的交叉口开始，至与朝阳路的交叉口结束，另外设置1条逆行的公交专用车道；而人民路则以4条机动车道由东向西单向通行，起点从与朝阳路的交叉口开始，至与韶山路的交叉口结束，另外设置1条逆行的公交线路专用车道。单向交通方案设计示意和影响范围已设单向交通如图5.2所示，解放路与人民路平面布置如图5.3所示。

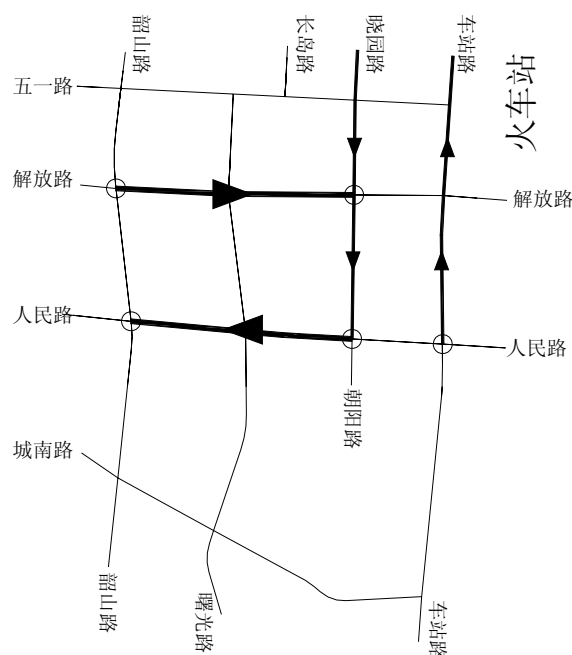


图5.2 道路单向交通设计方案示意图

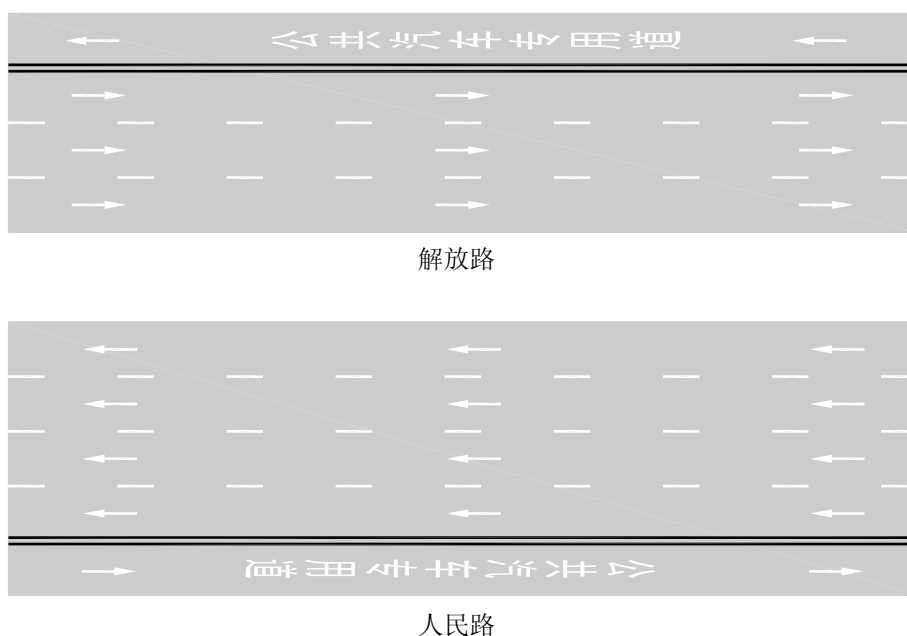


图5.3 道路单向交通设计方案解放路和人民路平面布置图

5.3 交通分配

1. 先验O-D出行矩阵

在影响范围内，以主要的道路交叉口划分为一个交通小区，故调查区域可划分为16个交通小区，交通分区情况如图5.4所示：

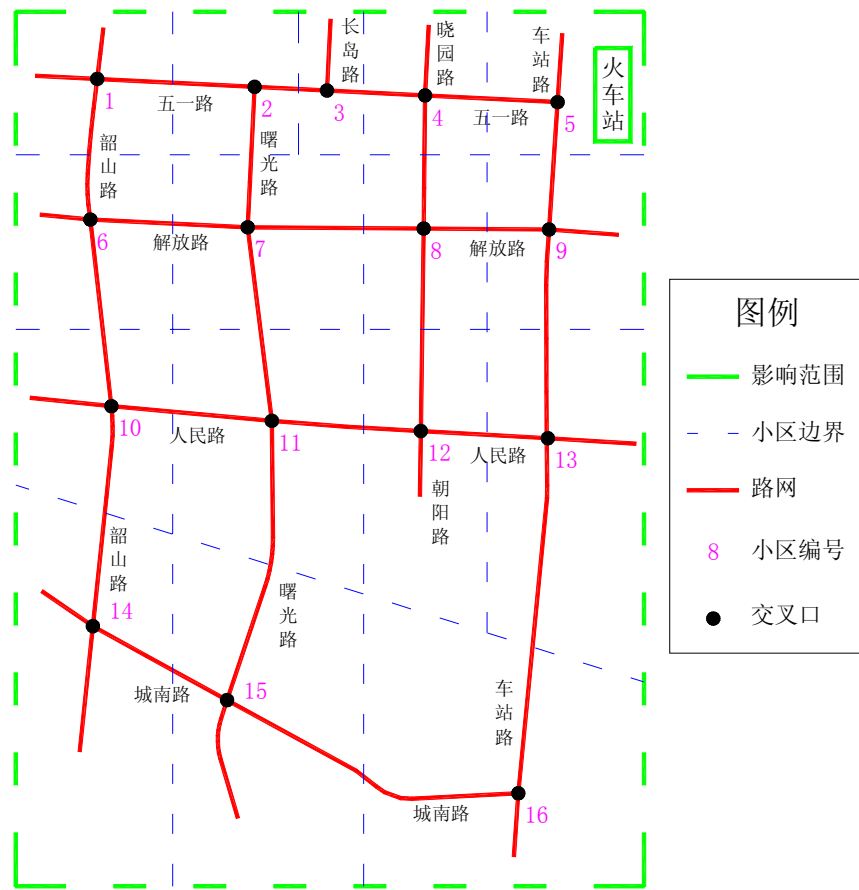


图5.4 影响范围内各道路交叉口对应的交通小区编号

与影响范围内各道路交叉口对应的交通小区编号如表5.4所示：

表5.4 影响范围内各道路交叉口对应的交通小区编号

编号	交叉口	编号	交叉口	编号	交叉口	编号	交叉口
1	五一路—韶山路	5	五一路—车站路	9	解放路—车站路	13	人民路—车站路
2	五一路—曙光路	6	解放路—韶山路	10	人民路—韶山路	14	城南路—韶山路
3	五一路—长岛路	7	解放路—曙光路	11	人民路—曙光路	15	城南路—曙光路
4	五一路—晓园路	8	解放路—朝阳路	12	人民路—朝阳路	16	城南路—车站路

现状交通调查高峰小时车辆出行O-D矩阵，即先验O-D矩阵如表5.5所示。

表5.5 先验O-D矩阵(pcu/h)

<b>O \ D</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
<b>1</b>	0	17	14	11	5	14	14	7	15	10	17	7	17	18	12	10
<b>2</b>	11	0	8	16	19	13	16	11	12	19	13	19	7	14	19	12
<b>3</b>	13	12	0	18	16	13	11	17	15	15	17	11	7	9	15	17
<b>4</b>	14	18	5	0	14	15	12	7	13	12	14	11	6	13	14	7
<b>5</b>	17	14	18	11	0	12	11	16	16	17	13	14	9	11	17	10
<b>6</b>	11	15	17	19	13	0	15	13	6	17	11	7	20	12	18	10
<b>7</b>	16	10	15	5	8	9	0	16	20	13	14	11	9	17	18	13
<b>8</b>	18	14	16	20	10	15	14	0	5	10	10	7	12	8	9	13
<b>9</b>	13	18	18	14	17	10	11	16	0	17	18	13	20	15	18	20
<b>10</b>	15	15	18	14	15	8	12	17	17	0	9	5	13	19	12	19
<b>11</b>	14	11	12	9	18	17	17	7	7	12	0	9	7	11	17	20
<b>12</b>	19	17	10	15	8	17	16	18	18	8	9	0	11	12	12	15
<b>13</b>	10	19	13	14	10	15	14	5	15	12	9	12	0	17	19	8
<b>14</b>	1473	644	12	8	736	920	11	19	6	184	9	17	8	0	184	17
<b>15</b>	14	13	20	19	15	12	11	9	12	18	9	17	17	13	0	14
<b>16</b>	12	12	9	19	16	16	10	20	16	13	6	10	5	14	15	0

## 2. 反推O-D矩阵

结合影响范围先验矩阵和高峰小时路段交通量，由交通分析软件采用容量限制一增量加载法反推计算高峰小时车辆出行O-D矩阵如表5.6所示。

表5.6 高峰小时车辆出行O-D矩阵(pcu/h)

<b>O \ D</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
<b>1</b>	0	55	50	507	36	20	21	62	7	37	50	25	27	69	31	36
<b>2</b>	67	0	78	55	117	51	317	214	173	247	49	34	230	68	307	165
<b>3</b>	5	55	0	4	3	6	4	53	5	3	43	4	73	7	69	4
<b>4</b>	14	41	25	0	9	17	18	27	10	19	26	4	24	375	25	14
<b>5</b>	45	117	83	20	0	36	94	197	137	64	101	13	63	53	88	76
<b>6</b>	30	48	46	91	34	0	24	54	14	35	45	26	28	400	30	34
<b>7</b>	21	197	84	31	70	20	0	149	69	134	119	19	37	37	76	97
<b>8</b>	70	83	18	53	3	56	158	0	126	215	35	33	185	69	125	152
<b>9</b>	7	132	81	30	98	12	76	123	0	99	97	17	46	31	74	293
<b>10</b>	42	204	73	20	51	34	227	159	121	0	91	13	64	51	128	71
<b>11</b>	82	213	102	59	152	62	277	1309	180	626	0	34	1508	78	254	264
<b>12</b>	15	50	38	15	15	16	41	47	39	29	41	0	39	40	44	24
<b>13</b>	64	116	99	34	85	49	252	190	156	297	84	21	0	65	31	135
<b>14</b>	80	62	56	272	48	338	39	66	31	49	57	43	38	0	44	52
<b>15</b>	46	647	125	45	98	36	334	303	140	200	164	28	19	54	0	140
<b>16</b>	35	156	67	12	37	29	131	108	264	52	77	8	68	49	108	0

## 3. 交通出行O-D矩阵交通分配

由交通分析软件采用容量限制一多路径增量分配法分配得到的道路路段交通

量如表5.7所示。

表5.7 方案交通分配道路路段交通流量(pcu/h)

道路名称	路段	公交车流量		分配交通量		分配交通总量	
		上行	下行	上行	下行	上行	下行
五一路	韶山路以西	288	288	2363	2535	2650	2823
	韶山路—曙光路	236	288	2314	2209	2550	2496
	曙光路—长岛路	213	287	1756	2182	1969	2469
	长岛路—朝阳路	219	287	2026	1887	2245	2174
	朝阳路—车站路	199	342	1698	1147	1897	1489
解放路	韶山路以西	72	72	1034	1132	1106	1204
	韶山路—曙光路	144	109	1726	—	1869	109
	曙光路—朝阳路	181	128	1572	—	1753	128
	朝阳路—车站路	308	109	553	290	861	398
	车站路以东	—	—	121	167	121	167
人民路	韶山路以西	178	162	945	1464	1123	1627
	韶山路—曙光路	125	109	—	2215	125	2324
	曙光路—朝阳路	146	126	—	1892	146	2018
	朝阳路—车站路	142	54	1693	1515	1835	1569
	车站路以东	161	216	1732	2528	1893	2744
城南路	韶山路以西	18	16	1856	1892	1874	1908
	韶山路—曙光路	54	50	1702	1263	1756	1313
	曙光路—车站路	72	72	1354	881	1426	953
韶山路	五一路以北	18	—	1425	1533	1443	1533
	五一路—解放路	108	145	1812	2088	1920	2232
	解放路—人民路	179	181	2668	1420	2847	1601
	人民路—城南路	143	146	1379	2027	1522	2173
	城南路以南	180	179	1763	1949	1943	2128
曙光路	五一路—解放路	—	18	568	795	568	813
	解放路—人民路	55	55	698	995	753	1050
	人民路—城南路	72	72	744	820	816	892
	城南路以南	90	89	856	776	946	865
长岛路	五一路以北	—	—	270	571	270	571
朝阳路	五一路以北	—	108	—	1458	—	1566
	五一路—解放路	—	179	—	1060	—	1239
	解放路—人民路	—	36	—	2213	—	2249
车站路	五一路以北	254	90	2390	—	2644	90
	五一路—解放路	398	108	1881	—	2279	108
	解放路—人民路	252	144	1515	—	1767	144
	人民路—城南路	126	126	1314	771	1440	897
	城南路以南	90	91	906	934	996	1025

注：“—”表示没有量；上行方向指由南向北，由西向东；下行方向指由北向南，由东向西。

单向交通方案道路网路段饱和度和服务水平见表5.8。

表5.8 单向交通方案道路网路段饱和度和服务水平

道路名称	路段	交通总量 (pcu/h)	通行能力 (pcu/h)	V/C 比	服务水平
五一路	韶山路以西	5474	7351	0.74	C
	韶山路—曙光路	5046	7266	0.69	C
	曙光路—长岛路	4438	7547	0.59	C
	长岛路—朝阳路	4418	7547	0.59	C
	朝阳路—车站路	3386	6746	0.50	B
解放路	韶山路以西	2310	3359	0.69	C
	韶山路—曙光路	1978	3411	0.58	C
	曙光路—朝阳路	1881	3596	0.52	B
	朝阳路—车站路	1259	3094	0.41	B
	车站路以东	288	1984	0.15	A
人民路	韶山路以西	2750	3435	0.80	D
	韶山路—曙光路	2448	4222	0.58	C
	曙光路—朝阳路	2164	4081	0.53	B
	朝阳路—车站路	3404	6207	0.55	B
	车站路以东	4637	5689	0.82	D
城南路	韶山路以西	3782	5458	0.69	C
	韶山路—曙光路	3069	3252	0.94	E
	曙光路—车站路	2380	3926	0.61	C
韶山路	五一路以北	2975	7441	0.40	B
	五一路—解放路	4153	6957	0.60	C
	解放路—人民路	4448	7885	0.56	C
	人民路—城南路	3695	8602	0.43	B
	城南路以南	4071	8653	0.47	B
曙光路	五一路—解放路	1382	3137	0.44	B
	解放路—人民路	1803	3657	0.49	B
	人民路—城南路	1708	3926	0.44	B
	城南路以南	1811	3926	0.46	B
长岛路	五一路以北	841	1984	0.42	B
朝阳路	五一路以北	1566	2624	0.60	C
	五一路—解放路	1239	2624	0.47	B
	解放路—人民路	2249	2624	0.86	D
车站路	五一路以北	2734	6215	0.44	B
	五一路—解放路	2387	6433	0.37	B
	解放路—人民路	1911	3649	0.52	B
	人民路—城南路	2336	3710	0.63	C
	城南路以南	2021	3710	0.54	B

## 5.4 交通仿真

### 1. 现状道路交通仿真

根据对现状道路交通调查获得的道路与交通方面的数据资料进行交通仿真，确定交通仿真的各个技术参数，具体交通仿真过程如下所示：

(1) 模拟仿真现状影响范围内所有道路的几何线形，包括道路的走向、转弯角度、长度等；

(2) 在定出所有道路几何线形的基础上，模拟仿真道路几何条件资料，包括道路路段的车道数、车道宽度、纵坡等；

(3) 模拟仿真区域内所有的道路交叉口，包括道路平面和立体交叉口的型式、规模、具体尺寸、入口车道数、以及车道划分和布置。对于平面信控交叉口，根据现状道路交通调查资料对道路交叉口信号进行配时计算；

(4) 根据调查得到的高峰小时的交通量资料，将道路交通流量、车型比例、各道路交叉口的转向比例输入到道路交通仿真系统中；

(5) 根据影响范围内各条道路的等级、现状路段车速调查资料和道路交叉口的型式、间距、控制方式，将各条道路的理论自由流车速输入到道路交通仿真系统中；

(6) 根据现状影响范围内道路网公交系统的运行状况，将公交线路、发车频率、布设公交停靠站点，包括在路段的位置、站点的型式、候客时间等输入到道路交通仿真系统中；

(7) 设置交通标志标线，如禁止左转、停车让行、减速让行标志等；

(8) 运行现状高峰小时道路交通仿真系统，对照现状道路交通运行状况对系统运行进行纠正和调整，提高仿真的真实可靠性，对关键技术参数进行标定；

(9) 交通仿真系统运行标定检验完毕后，连续运行系统10次，输出高峰小时道路交通仿真数据，包括道路路段交通流量、行程车速、信控延误、道路网燃油消耗、废气排放等。

### 2. 单向交通设计方案交通仿真

在现状道路网交通仿真的基础上，对单向交通方案进行高峰小时的交通仿真，具体交通仿真过程如下所示：

(1) 在现状交通仿真道路条件的基础上调整解放路与人民路各路段的车道数、车道功能划分等，使解放路与人民路满足单向交通通行的道路条件，即解放路从韶山路至朝阳路之间由西向东单向行驶，人民路从朝阳路至韶山路之间由东向西单向行驶，且均设有1条逆向公交专用道；

(2) 根据实行单向交通方案后的道路网流量交通分配状况，对各个道路信号交叉口重新进行信号相位和信号配时设计，确定方案中各道路交叉口与信号设计相

对应的入口车道数及入口车道划分，对与方案相冲突的现状交通控制和管理措施进行调整。将这些变动情况输入方案的交通仿真基础数据中；

(3) 根据高峰小时道路单向交通方案的道路网流量交通分配结果，将分配后的交通量资料输入方案的交通仿真系统中；

(4) 在方案的交通仿真过程中，公交车的运行状况与现状保持一致，不参与流量的重新交通分配，公交线路及公交停靠站点均与现状保持不变；

(5) 重新设置方案交通仿真系统道路网的交通标志标线，如禁止左转、停车让行、减速让行标志等；

(6) 运行道路单向交通方案的高峰小时交通仿真系统，根据系统运行状况对个别道路交叉口的控制信号设计、车道划分和道路网的交通控制与管理措施进行调整和优化；

(7) 道路单向交通方案高峰小时交通仿真系统运行优化完毕后，连续运行10次，输出道路单向交通方案高峰小时道路交通仿真数据，包括道路路段交通流量、行程车速、信控延误、道路网燃油消耗、废气排放等。

## 5.5 方案与现状交通仿真数据对比分析

### 5.5.1 道路路段交通量和服务水平对比分析

道路单向交通方案与现状道路路段交通量和服务水平对比分析详见表5.9。

根据道路交通调查数据与道路单向交通方案分配交通量的数据来看，实行单行线的解放路与人民路上的交通量有很大变化。方案中解放路的由东向西流量分别分流至五一路和人民路上，绝大部分的分流流量由人民路来承担；人民路的由西向东的流量分别分流至解放路和城南路上，绝大部分的分流流量由解放路承担。

以现状的道路交通量为基准来衡量道路单向交通方案交通量的变化及其影响程度，对于实施单向交通的解放路与人民路来说，单向交通方案的实施极大的提高了它们的单向通行能力，解放路上行方向的交通量在韶山路到曙光路段比现状增加了106.75%，在曙光路到朝阳路段比现状增加了199.15%；人民路下行方向的交通量在韶山路到曙光路段比现状增加了62.75%，在曙光路到朝阳路段比现状增加了30.45%。

人民路与解放路实行单向交通后，道路网流量重新分配对周边道路产生了一定的影响。解放路由东向西行驶方向的一部分流量会分流至五一路，使五一路下行方向交通量增加；人民路由西向东行驶方向的一部分流量分流至城南路，使城南路上行方向交通量增加。由于车站路由南向北单行，朝阳路由北向南单行，解放路由西向东驶向人民路的车流需经朝阳路向南行驶，使得朝阳路单行方向交通量在解放路到人民路之间增加190.19%，增加得很多。人民路由西向东行驶的车流



表5.9单向交通方案与现状道路路段交通量和服务水平对比

道路名称	路段	上行交通总量(pcu/h)			下行交通总量(pcu/h)			服务水平	
		现状	方案	方案与现状比较	现状	方案	方案与现状比较	现状	方案
五一路	韶山路以西	2638	2650	0.45%	2771	2823	1.88%	C	C
	韶山路—曙光路	2709	2550	-5.87%	2325	2496	7.35%	C	C
	曙光路—长岛路	2114	1969	-6.86%	2237	2469	10.37%	C	C
	长岛路—朝阳路	2374	2245	-5.43%	1931	2174	12.58%	C	C
	朝阳路—车站路	1981	1897	-4.24%	1261	1489	18.08%	B	B
解放路	韶山路以西	1109	1106	-0.27%	1395	1204	-13.69%	C	C
	韶山路—曙光路	904	1869	106.75%	967	109	-88.73%	C	C
	曙光路—朝阳路	586	1753	199.15%	682	128	-81.23%	B	B
	朝阳路—车站路	716	861	20.25%	602	398	-33.89%	B	B
	车站路以东	123	121	-1.63%	167	167	0.00%	A	A
人民路	韶山路以西	1124	1123	-0.09%	1320	1627	23.26%	C	D
	韶山路—曙光路	1023	125	-87.78%	1428	2324	62.75%	C	C
	曙光路—朝阳路	1363	146	-89.29%	1547	2018	30.45%	E	B
	朝阳路—车站路	2046	1835	-10.31%	1453	1569	7.98%	C	B
	车站路以东	1984	1893	-4.59%	2745	2744	-0.04%	D	D
城南路	韶山路以西	1897	1874	-1.21%	2009	1908	-5.03%	C	C
	韶山路—曙光路	1618	1756	8.53%	1369	1313	-4.09%	E	E
	曙光路—车站路	1241	1426	14.91%	1046	953	-8.89%	C	C
韶山路	五一路以北	1399	1443	3.15%	1537	1533	-0.26%	B	B
	五一路—解放路	2053	1920	-6.48%	2129	2232	4.84%	C	C
	解放路—人民路	2038	2847	39.70%	1876	1601	-14.66%	B	C
	人民路—城南路	1623	1522	-6.22%	2184	2173	-0.50%	B	B
	城南路以南	1962	1943	-0.97%	2167	2128	-1.80%	B	B
曙光路	五一路—解放路	578	568	-1.73%	801	813	1.50%	B	B
	解放路—人民路	768	753	-1.95%	948	1050	10.76%	B	B
	人民路—城南路	861	816	-5.23%	860	892	3.72%	B	B
	城南路以南	942	946	0.42%	866	865	-0.12%	B	B
长岛路	五一路以北	254	270	6.30%	573	571	-0.35%	B	B
朝阳路	五一路以北	—	—	—	1556	1566	0.64%	C	C
	五一路—解放路	—	—	—	1271	1239	-2.52%	B	B
	解放路—人民路	—	—	—	775	2249	190.19%	A	D
车站路	五一路以北	2618	2644	0.99%	90	90	0.00%	B	B
	五一路—解放路	1953	2279	16.69%	108	108	0.00%	A	B
	解放路—人民路	1792	1767	-1.40%	144	144	0.00%	B	B
	人民路—城南路	1308	1440	10.09%	995	897	-9.85%	C	C
	城南路以南	992	996	0.40%	973	1025	5.34%	B	B

注：“—”表示没有量；上行方向指由南向北，由西向东；下行方向指由北向南，由东向西。

经韶山路右转进入解放路，使得芙蓉路上行方向交通量在解放路与人民路之间增加39.70%。说明实施单向交通方案后将增加五一路、朝阳路的下行方向以及城南路的上行方向和韶山路的通行压力。此外，由于解放路与人民路实行单向交通后，

单向通行能力提高，对平行道路的车辆产生吸引作用，使五一路由西向东方向和城南路由东向西方向的一部分交通量分别转移到解放路与人民路上，使五一路上行方向和城南路下行方向交通量减少。

由于实行单向交通的人民路与解放路地处市中心区，且分别为主、次干道，现状路段交通量已很大，实行单向交通后并不能使服务水平提高很多，对降低周边道路的服务水平帮助有限，只能实现路网交通量的重新优化分配。

### 5.5.2 道路路段行程车速对比分析

由于在单向交通道路上车辆通行中无对向行驶车辆会车和左转弯车的冲突干扰，车辆行驶速度不仅比较稳定，而且减少了车辆在道路交叉口排队等候的延误时间，加上超车容易，减少了道路交通阻车压车的情况，从而大大提高了在道路上行驶车辆的速度。单向交通方案与现状道路路段高峰小时车速仿真数据结果对比详见表5.10。

5.10 单向交通方案与现状道路路段行程车速对比表

道路名称	行车方向	行程车速 (km/h)		方案与现状比较	结论
		现状	单行方案		
五一路	上行	33.93	34.29	1.06%	无变化
	下行	34.42	33.77	-1.89%	无变化
解放路	上行	26.44	28.62	8.25%	变化较小
	下行	26.25	27.01	2.90%	无变化
人民路	上行	28.76	31.44	9.32%	变化较小
	下行	33.89	37.36	10.24%	变化较大
城南路	上行	25.11	24.27	-3.35%	无变化
	下行	23.89	26.86	12.43%	变化较大
韶山路	上行	32.63	33.21	1.78%	无变化
	下行	35.37	35.17	-0.57%	无变化
曙光路	上行	24.22	24.76	2.23%	无变化
	下行	31.30	30.46	-2.68%	无变化
长岛路	上行	43.24	42.92	-0.74%	无变化
	下行	38.97	38.75	-0.56%	无变化
朝阳路	上行	—	—	—	—
	下行	29.09	26.93	-7.43%	变化较小
车站路	上行	35.51	36.19	1.91%	无变化
	下行	29.43	29.32	-0.37%	无变化
路网总平均	上行	31.23	31.96	2.35%	无变化
	下行	31.40	31.74	1.07%	无变化

注：1.车速变化小于±5%的，视为无变化；车速变化小于±10%的，视为变化较小；车速变化小于±20%的，视为变化较大；车速变化大于±20%的，视为变化很大。

2. “—”表示没有量；上行方向指由南向北，由西向东；下行方向指由北向南，由东向西。

从高峰小时道路的行程车速变化来看，对于欲实行单向交通的解放路与人民

路,单向交通方案显示了模拟道路行程车速的提高。解放路上行方向的模拟车速由现状的26.44km/h,提高至28.62km/h,提高了8.25%,人民路下行方向的模拟车速由现状的33.89km/h提高至37.36km/h,提高了10.24%;逆向的公交专用道上,因只有公交车运行,没其他车辆干扰,车速也有提高,其中解放路下行方向的模拟车速由现状的26.25km/h,提高至27.01km/h,提高了2.90%,人民路上行方向的模拟车速由现状的28.76km/h提高至31.44km/h,提高了9.32%。

道路网中其他道路的行程车速,单向交通方案与现状相比,五一路、韶山路、曙光路、长岛路、车站路,两个方向均基本没变化。城南路的上行方向,因部分原人民路由西向东的车流分流到城南路而使上行方向交通量增加,车速有所下降;下行方向,因部分由东向西的交通流被吸引到单向交通的人民路上,交通量减小,车速提高了12.43%。朝阳路的下行方向,因交通量增加很多,车速由现状的29.09km/h下降到26.93km/h,下降了7.43%。

关于道路网总平均车速,单向交通方案的模拟值与现状相比,略有提高,基本没变化,说明实施单向交通方案后道路网总平均模拟车速比较稳定。

### 5.5.3 道路交叉口信控延误和服务水平对比分析

道路单向交通方案与现状道路交叉口信控延误和服务水平对比详见表5.11。

表5.11 单向交通方案与现状道路交叉口信控延误和服务水平对比表

编号	交叉口名称	信控延误(s/veh)		服务水平	
		现状	单行方案	现状	单行方案
1	五一路与韶山路	20.1	20.36	C	C
2	五一路与曙光路	9.85	9.16	A	A
3	五一路与晓园路	20.57	16.7	C	B
4	五一路与车站路	33.01	29.95	C	C
5	解放路与韶山路	29.77	25.43	C	C
6	解放路与曙光路	23.63	21.32	C	C
7	解放路与朝阳路	11.03	8.44	B	A
8	解放路与车站路	22.15	6.44	C	A
9	人民路与韶山路	32.84	29.04	C	C
10	人民路与曙光路	28.97	24.51	C	C
11	人民路与朝阳路	25.82	13.93	C	B
12	人民路与车站路	3.24	2.45	A	A
13	城南路与韶山路	44.68	50.94	D	D
14	城南路与曙光路	24.72	30.61	C	C

由表5.11可以看出,与现状相比,实施道路单向交通方案后影响范围内各交叉口的信控延误,除了五一路与韶山路交叉口、城南路与韶山路交叉口、城南路与曙光路交叉口有些增加外,其他交叉口都有所减小,解放路与人民路沿线交叉口均有改善。信控延误增加的交叉口虽然延误时间增加了,但服务水平并没有降低,而其他交叉口服务水平或不变或提高,充分体现了实施道路单向交通方案后在降

低影响范围内道路交叉口信控延误方面的优越性。

#### 5.5.4 绕行距离计算

对实施道路单向交通方案前后绕行距离  $S_0$  按照本文第3章提出的道路网总出行距离差值法计算得

$$S_0 = S' - S = 37775.81 - 36225.59 = 1550.226 \text{ (veh} \cdot \text{km/h)},$$

计算绕行距离变化系数  $K_s$

$$K_s = \frac{S_0}{S} = \frac{S' - S}{S} = \frac{1550.226}{36225.59} = 4.28\%,$$

每车平均绕行距离  $s$ ，计算公式如下：

$$s = \frac{S_0}{T} = \frac{1550.226}{20174.4} = 0.0768 \text{ (km)}。$$

可见，实行单向交通后增加了绕行距离，但增加的并不大，影响范围内平均每车增加了76.8m，绕行距离变化系数为4.28%。

考虑实施道路单向交通车速提高和交叉口延误减少所节省的时间，可以补偿距离增长所花去的时间，绕行距离的阈值建议取绕行距离变化系数为10%。实例中，每车平均绕行距离为76.8m，对车辆来说，若以40km/h的车速只需7s的时间，相当小。

#### 5.5.5 车辆燃油消耗量对比分析

燃油消耗是经济评价中的一个重要指标，本文根据尾气排放量、车型、车辆性能(速度、加速度)以及道路情况建立燃油消耗模型，然后进行微观交通仿真，结果反映出的道路单向交通方案与现状车辆燃油消耗量对比详见表5.12。

表5.12 道路单向交通方案与现状车辆燃油消耗量对比表

编号	道路名称	行车方向	模拟燃油消耗量(L/h)		方案与现状对比
			现状	单行方案	
1	解放路	上行	318.68	463.69	45.50%
		下行	278.06	122.98	-55.77%
		双向	596.74	686.66	15.07%
2	人民路	上行	666.33	423.62	-36.42%
		下行	635.19	898.19	41.40%
		双向	1301.52	1321.81	1.56%
3	整个路网	双向	8715.01	8426.33	-3.31%

注：上行方向指由南向北，由西向东；下行方向指由北向南，由东向西。

实施道路单向交通方案后，道路网流量进行了重新分配，影响范围内道路网中各条道路的模拟燃油消耗也发生了相应的变化，有增加也有减小。从人民路和解放路分流的交通量所经过的道路路段，其模拟燃油消耗量有所增加，因为道路

交通量有所增加，但增量不大；而受道路单向交通方案影响较小的道路路段，则表现为燃油消耗量基本无变化。

从表5.12可以看出，模拟实施道路单向交通方案后，解放路与人民路的模拟燃油消耗变化规律明显。解放路和人民路单行方向均由于通行能力的提高，交通量的增加，使得燃油消耗量较现状来说增加了不少，而逆单向交通方向行驶的公交车模拟燃油消耗量则大幅下降。

从表中还可以看出，高峰小时模拟实施单向交通方案后与现状情况道路网模拟总燃油消耗量相比减小了3.31%，说明实施单向交通方案有利于减小整个道路网的车辆燃油消耗，可以取得一定的经济效益。

### 5.5.6 车辆废气排放量对比分析

城市道路交通对环境的污染主要体现在机动车废气排放、交通扬尘、机动车制动和行驶所带来的交通噪声。本节主要从大气污染的角度来分析和评价模拟实施道路单向交通方案后影响范围内道路路段及整个道路网的环境影响。由于目前绝大部分的机动车都是内燃机型的车辆，油料燃烧后排放出一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化合物(NO<sub>x</sub>)、以及各种微小颗粒物改变大气成分的组成结构，造成严重的空气污染。本文选用CO、HC和NO<sub>x</sub>的排放量作为评价模拟实施道路单向交通方案后对影响范围内道路网大气污染的环境指标。

表5.13 道路单向交通方案与现状废气排放量对比表

道路名称	行车方向	模拟 CO 排放量 (g/h)			模拟 HC 排放量 (g/h)			模拟 NO <sub>x</sub> 排放量 (g/h)		
		现状	单行方案	方案与现状对比	现状	单行方案	方案与现状对比	现状	单行方案	方案与现状对比
解放路	上行	17.36	19.99	15.15%	1.25	1.46	16.80%	3.14	3.75	19.43%
	下行	18.79	14.10	-24.96%	1.26	0.95	-24.60%	3.17	2.30	-27.44%
	双向	36.15	34.09	-5.70%	2.51	2.41	-3.98%	6.31	6.05	-4.12%
人民路	上行	67.27	31.99	-52.45%	5.55	3.31	-40.36%	9.95	5.49	-44.82%
	下行	66.38	91.20	37.39%	5.39	6.80	26.16%	9.78	12.91	32.00%
	双向	133.65	123.19	-7.83%	10.94	10.11	-7.59%	19.73	18.40	-6.74%
路网	双向	699.05	661.49	-5.37%	26.64	24.48	-8.11%	70.80	65.50	-7.49%

从表5.13可以看出，模拟实施道路单向交通方案后，解放路与人民路废气模拟排放量变化规律明显。解放路和人民路单行方向均由于通行能力的提高，交通量的增加，使得燃油消耗量增加，废气排放量也相应地增加了不少，而逆单向交通方向行驶的公交车废气模拟排放量则大幅下降。此外，模拟实施道路单向交通方案后人民路与解放路双向总的车辆废气模拟排放量均比现状有所减小。

道路网总废气模拟排放量，单向交通方案比现状减少很多，其中CO排放量减少了5.37%，HC排放量减少了8.11%，NO<sub>x</sub>排放量减少了7.49%；说明实施单向交通方案有利于研究区域内道路网废气排放量的减少。

### 5.5.7 道路网交通运行指标分析总结

根据道路交通调查数据与道路单向交通方案分配交通量的数据来看，单向交通方案的实施极大地提高了解放路与人民路的单向通行能力，单行方向的交通量均增加很多。对周边道路的影响包括五一路下行方向交通量增加、城南路上行方向交通量增加、朝阳路单行方向交通量在解放路到人民路之间增加很多。此外，五一路由西向东方向和城南路由东向西方向的一部分交通量分别转移到解放路与人民路上。由于实行单向交通的人民路与解放路地处市中心区，现状路段交通量已很大，实行单向交通后并不能使服务水平提高很多，只能实现道路网交通量的重新优化分配。

从高峰小时道路的行程车速变化来看，对于欲实行单向交通的解放路与人民路，显示了模拟道路行程车速的提高。逆向的公交专用道上，车速也有提高。道路网中其他道路的行程车速发生改变，与交通量变化趋势相似。而道路网总平均车速，实施单向交通方案前后，基本没变化。

实施道路单向交通方案后影响范围内各交叉口的信控延误，除个别交叉口有些增加外，都有所减小，解放路与人民路沿线交叉口均有改善。交叉口服务水平或不变或提高，充分体现了实施道路单向交通方案后在降低影响范围内道路交叉口信控延误方面的优越性。

实行单向交通后增加了绕行距离，但增加的并不大，影响范围内平均每车绕行了76.8m，绕行距离变化系数为4.28%，此两数据说明实施单向交通方案后所产生的绕行距离总体上是在可以接受的水平上。

高峰小时模拟实施单向交通方案后与现状情况道路网模拟总燃油消耗量相比减小了3.31%，说明实施单向交通方案有利于减小整个道路网的车辆燃油消耗，可以取得一定的经济效益。

从模拟实施单向交通方案后的与现状的道路网总废气排放量的对比可以看出道路网总废气模拟排放量，单向交通方案比现状减少很多，说明实施单向交通方案有利于研究区域内道路网废气排放量的减少。

## 结 论

本文根据我国城市道路交通的特点,结合国内外道路单向交通研究和实施现状,对道路单向交通理论及其影响、道路单向交通方案设计方法等方面进行系统的分析和研究,取得以下成果:

(1) 从道路交叉口的复杂性、车道利用效果、信号灯控制实效、干道线控效果、与对偶干道组成逆时针与顺时针环行单向交通、经济效益等方面分析了道路单向交通的实施效果和交通特性,总结了实施道路单向交通优缺点。

(2) 详细地研究道路单向交通增加绕行的情况,分析绕行路线和一些绕行的细节问题。从道路网总体出发,用最短路径算法和道路网总出行距离差值法,首次提出道路单向交通绕行距离的计算方法。因为最短路径算法计算绕行距离在实施单向交通前后采用了最短路交通分配,存在一定的问题。采用道路网总出行距离差值法计算绕行距离,虽然也是在假设影响范围与外界的交通出行不受实施道路单向交通的影响,以及实施道路单向交通前后各节点出行量不变的情况下得到的,但对实施道路单向交通之后的交通分配方法没有限制,算法简单,易作为一个评价指标应用到道路单向交通方案设计中。此外,还提出降低绕行距离的关键技术措施,即按道路单向交通方案依最短路径计算影响范围内各节点间的绕行距离,调整单向交通方案尽量减小交通出行量大的两个节点间的绕行距离,避免交通出行量最大的点对之间绕行距离最大的情况出现。

(3) 提出将公交优先应用于道路单向交通中,以减轻单向交通对公交运行的不利影响。对解决急救消防等特种车辆通行、增加道路交通设施和保证措施、降低对单行道两侧商业活动的不利影响、以及提高单行道夜间道路资源利用率等等的方法和措施进行研究。

(4) 提出道路单向交通方案设计的方法和步骤,在对道路单向交通优缺点和交通特性有深刻认识的基础上,总结出道路单向交通设计的原则;将交通分析理论中的O-D出行矩阵反推技术、交通分配技术应用到道路单向交通方案设计中,对实施单向交通后的道路路段交通量进行预测分配;分析公交运行对道路单向交通方案预测交通量分配的影响,将道路单向交通方案道路网各路段分配交通量分成单向交通方案实施后除公交车外的其他车辆出行O-D分布在各路段上的交通分配量和在单向交通方案实施前各路段上公交车流量两个部分。

(5) 应用交通仿真技术,对方案实施前后进行交通模拟仿真,提出交通仿真模型,对微观交通仿真模型中的跟车模型和车道变换模型进行研究。微观交通仿真模型是采用描述交通运行微观规律的技术参数来设计交通流模型而进行交通仿真的,它通过考察单个驾驶员及其车辆和相互作用特征来描述系统的运行状态,对

交通系统的要素及行为的细节描述程度最高。跟车模型描述的是车辆在所在车道上跟随前车的行驶行为，车道变换模型描述的是车辆因各种需要而进行车道变换的行驶行为。本文分别讨论了稳定车流状态和非稳定车流状态下的跟车模型。将车道变换模型分为判断性车道变换模型和强制性车道变换模型进行分析研究。

(6) 提出道路单向交通设计方案评价指标，对交通分配和交通仿真结果进行方案的对比分析。本文道路单向交通设计方案实施效果评价主要由技术评价、经济评价和社会环境评价三个子系统组成，其中技术评价指标包括道路路段饱和度和服务水平、路段行程车速、交叉口信控延误和服务水平、绕行距离；经济评价指标主要为燃油消耗量；环境评价指标主要为汽车一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化合物(NO<sub>x</sub>)的排放量。应用评价指标对方案进行评价，分析其利弊，确定最优方案。

本文提出了绕行距离的计算方法，引入绕行距离变化系数的概念，但对其评价标准未进行深入研究，即每车平均绕行距离为多大，绕行距离变化系数为多少，才可认为方案是合适的，有待进一步改进和解决。

由于论文研究时间较短及水平有限，本文中仍存在许多不足与缺陷，敬请各位老师、读者批评指正。



## 参考文献

- [1] 宋景禄. 交通工程学概论. 北京: 机械工业出版社, 1984, 338-346
- [2] 李荣波. 关于单向交通通行能力的探讨. 中国市政工程, 1998, (3): 1-6
- [3] 吴兵, 李晔. 交通管理与控制. 北京: 人民交通出版社, 2005, 59-64
- [4] Porsche, H. Velocity changes of the Giotto spacecraft induced during the flybys of the comets P/Halley and P/Grigg-Skjellerup. Aerospace Science and Technology. February, 1999,3(2):107-110
- [5] Vasquez, Gabriel M.; Taylor, Maureen. What cultural values influence American public relations practitioners? Public Relations Review. 1999,25(4):433-449
- [6] Davies, Marin J. One-Way Traffic. Trends in Biotechnology. July 1, 2001,19(7):244-260
- [7] Jain, V.K., Srivastava, A.K., Anup, Rai, Vikas. Evidence of Low-Dimensional Dynamics in a Traffic Noise Time Series. Chaos, Solitons and Fractals. January 4, 2001,12(5):859-864
- [8] 王湛湛. 单向交通—解决北京城市交通堵塞的有效办法. 公路, 2002, (3): 110-114
- [9] 王克新. 充分发挥单向交通管理优势解决城市的交通拥挤. 新疆工学院学报, 1999, (3): 214-217
- [10] 吴元祥. 单向交通网络系统分析. 科技管理, 1999, 25-28
- [11] 马俊来, 王炜, 边扬. 单向交通条件下信号交叉口通行能力通行能力计算方法. 公路交通科技, 2005, 22(4): 103-107
- [12] 裴玉龙, 伊新苗. 城市单向交通组织方案规划及其评价研究. 东北公路, 2003, 26(3): 118-120
- [13] 赖比尔. 城市道路单向交通规划研究: [西安公路交通大学硕士学位论文]. 西安: 西安公路交通大学, 2000, 47-81
- [14] 李岚. 城市道路单向交通设置方法研究: [吉林大学硕士学位论文]. 吉林: 吉林大学, 2001, 33-50
- [15] 伊新苗. 城市单向交通效益分析与方案评价: [哈尔滨工业大学硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2002, 44-77
- [16] 张宇飞. 城市单向交通组织的发展和特点. 中国市政工程, 2003, (5): 5-7
- [17] 黄良会, 叶嘉安. 保持城市交通畅通—香港城市交通管理. 中国建筑出版社, 1996, (4): 66-70
- [18] David Laque. One-Way traffic. Far Eastern Review, HongKong:2001,(6):17-19

- [19]高臣辉.单向交通盘活了城市道路资源.管理百业, 2000, 20(1):63
- [20]GA/T486-2004.城市道路单向交通组织原则.北京:中国标准出版社, 2004, 4-5
- [21]张雨化.道路勘测设计.北京:人民交通出版社, 2001, 189-191
- [22]姚祖康,张树升.道路与交通工程系统分析.北京:人民交通出版社,2001,37-52
- [23]徐吉谦.交通工程总论.北京:人民交通出版社, 1996, 144-147
- [24]杨佩昆, 张树升.交通管理与控制.北京:人民交通出版社, 1995, 24-29
- [25]James A.Bonneson & Joel W.Fitts. Delay to Major Street through vehicles at two-way stop-controlled intersection. Transportation Research Part A 33, 1999,237-253
- [26][美]W.S.Homburgor, J.H.Kell. 交通工程基础.北京: 中国建筑工业出版社, 1990, 218-222
- [27]Wolfgang S.Homburger & James H.Kell. Fudermamentals of Traffic Engineering, 1988,33-1—33-11
- [28]李京, 武伟.对城市公交优先的思考.内蒙古:内蒙古出版社, 2000, 21-23
- [29]张卫华, 陆化普, 石琴等.公交优先的信号交叉口配时优化方法.交通运输工程学报, 2004, (9): 49-53
- [30]季彦婕.交叉口公共交通优先通行方法研究: [东南大学硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2003, 10-21
- [31]张卫华,王炜.基于公交优先通行的交叉口预信号设置方法研究.公路交通科技, 2004, 21(6): 101-104
- [32]陈学武, 李淑娟.城市公共交通优先权的目标、效果与措施.中国市政工程, 2001, (2): 15-17
- [33]Chua, C.S., Fisher, A.J. Performance measurements of local area traffic management: a case study. Australian Road Research. 1991,21(2):16-34
- [34]吴元祥.上海单向交通系统.科技管理, 1999, (2): 14-18
- [35]王炜, 邓卫, 杨琪等.公路网络规划建设与管理办法.北京: 科学出版社, 2001, 48-51
- [36]Wong S.C., Tong C.O. Estimation of time-dependent origin-destination matrices for transit networks. Transportation Research, 1998,32B:121-133
- [37]Dial R.B. A probabilistic multipath traffic assignment model which obviates path enumeration. Transportation Research 5, 1971,83-111
- [38]Florian M, Fox B. On the Probabilistic Origin of Dial' Multipath Assignment Model. Transpn. Res-B, 1976,10B:339-341
- [39]Wang Wei. An Improved Method for Estimating O-D Matrix from Traffic Counts. Procs.of 6th WCTR,1992,15-18

- [40]王炜. 路段交通量与 O-D 出行量互算关系的研究. 南京工学院学报, 1988, (1): 34-35
- [41]王炜, 徐吉谦, 杨涛等. 城市交通规划. 南京: 东南大学出版社, 1999, 92-93
- [42]金双泉. 微观交通仿真原理在城市道路系统中的研究: [湖南大学硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2003, 1-13
- [43]刘小兰. 交通仿真技术在道路交通工程中的应用研究: [湖南大学硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2005, 7-20
- [44]贺寒辉. 基于仿真的交通瓶颈研究: [湖南大学硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2006, 41-47
- [45]吴娇蓉. 交通系统仿真及应用. 上海: 同济大学出版社, 2004, 58-63
- [46]任福田, 刘小明, 容建等. 交通工程学. 北京: 人民交通出版社, 2003, 171-174
- [47]何光里. 汽车燃油经济性检测技术关键. 汽车维护与修理, 2006, (11): 38-39