

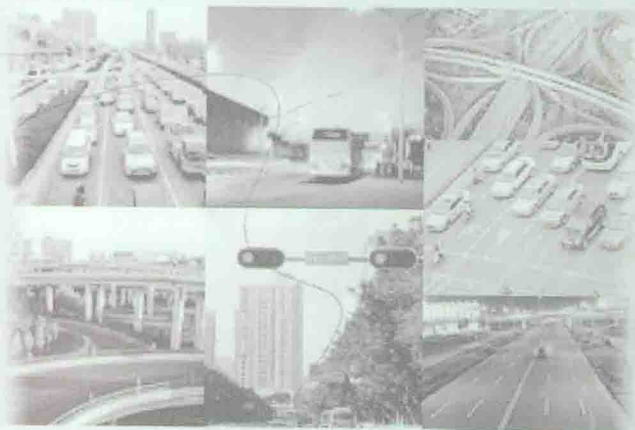


THE FINE MANAGEMENT
METHODS AND APPLICATIONS OF
URBAN ROAD INTERSECTION

向怀坤 张鹏鹏◎著

城市交叉口

精细化管理方法及应用



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

城市交叉口精细化管理方法及应用

向怀坤 张鹞鹏 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书以城市道路交叉口精细化管理方法为主线,在总结论述现有的交叉口点控、线控和面控方法的基础上,重点围绕以下几个方面的内容展开研究:交叉口通行能力计算方法;公交专用道交叉口信号优先控制方法;交通大数据下交叉口信号控制评价方法;交叉口精细化设计研究与实践。

本书可以作为交通运输工程类专业学生的课外参考书,也可以作为高等院校、科研院所和企事业单位从事交通管理与控制工程的技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

城市交叉口精细化管理方法及应用 / 向怀坤, 张鹏
鹏著. —北京:人民交通出版社股份有限公司, 2017. 1
ISBN 978-7-114-13191-2

I. ①城… II. ①向… ②张… III. ①城市道路—交
叉路口—交通信号—自动控制 IV. ①U412.37②U491.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 155123 号

书 名: 城市交叉口精细化管理方法及应用

著 作 者: 向怀坤 张鹏

责任编辑: 任雪莲

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×980 1/16

印 张: 10.25

字 数: 214 千

版 次: 2017 年 1 月 第 1 版

印 次: 2017 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13191-2

定 价: 39.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

城市交叉口精细化管理是相对传统的粗放式管理而言的,主要包括广义与狭义两个方面的含义。广义而言,城市交叉口精细化管理是指采用精益求精的理念和态度,全面而细致地实施城市交叉口的设计、施工、控制及养护等工作;狭义而言,城市交叉口精细化管理是指对交叉口信号灯配时的精细化管理处理。

我国城市道路交通经过30多年的快速、粗放式发展,虽然满足了大部分城市交通运行的基本需求,但与国际先进水平相比,其精细化管理水平尚存在较大的差距。粗放型的规划与管理导致交通无序混乱、效率低、安全无保障;精细化才是节约用地、保障安全、提高效率的必经之路。

本书在分析总结现有城市交叉口管理方法的基础上,重点围绕与交叉口信号控制相关的精细化管理方法和实践内容进行了论述。第1章主要介绍当前我国城市交通及城市交叉口管理中面临的主要问题,并简要分析了当前城市交叉口精细化管理的研究现状和发展趋势。第2章从精细化设计的角度对城市交叉口的构成要素进行了介绍。第3章综合论述了当前城市交叉口信号控制的基本方法,包括点控、线控和面控及评价等。第4章论述了精细化管理下的城市交叉口通行能力计算方法。第5章对公交优先条件下的交叉口信号配时优化方法进行了研究。第6章研究了以浮动车大数据为支撑的城市交叉口信号控制评价方法。第7章列出了城市交叉口精细化管理方法的应用实例。

本书由深圳职业技术学院向怀坤博士和深圳市综合交通设计研究院张鹏鹏博士联合撰写。书中所论述的城市交叉口精细化管理方法中,有些来自于团队科研成果的总结,有些来自于实际应用项目的提炼,还有些引自于同行的研究成果。限于篇幅,未能一一列出各参考论文、著作和网络资料,敬请予以谅解。

城市交叉口精细化管理是一项宏大的系统工程,由于时间仓促和作者水平有限,书中难免存在疏漏和错误,恳请同行专家和广大读者不吝批评指正。

作 者
2016年10月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 城市交通问题	1
1.2 道路交叉口问题	3
1.3 国内外研究现状	7
1.4 本书的主要内容	11
第2章 城市道路交叉口类型与要素	12
2.1 道路交通节点与道路交叉口	12
2.2 平面道路交叉口类型	13
2.3 平面道路交叉口范围与构成要素	16
第3章 城市道路交叉口控制方法概论	21
3.1 城市道路交叉口控制主要参数及模型	21
3.2 交叉口点控/线控/面控方法	31
3.3 双停车线法(“排阵式”控制法)	45
3.4 交叉口信号控制方法的选择及评价	50
第4章 交叉口通行能力计算	60
4.1 通行能力的基本定义	60
4.2 交叉口通行能力计算	65
4.3 车辆折算系数	70
4.4 通行能力其他影响因素的修正	73
4.5 某交叉口通行能力算例	75
第5章 公交专用道的沿线优先控制	79
5.1 公交优先的概念	79
5.2 公交优先的一般方法	80
5.3 我国公共交通系统存在的特有问题的	86
5.4 面向专用道的交叉口单点优先控制	88
5.5 面向公交专用道沿线交叉口群的优先控制	100
第6章 交通大数据应用与交叉口优化	105
6.1 交通大数据的概念及应用	105
6.2 交通大数据的获取渠道	106
6.3 传统的交叉口优化技术存在的问题	107
6.4 交通大数据在交叉口优化中的应用前景	109

6.5	交通大数据应用于交叉口优化中的关键技术	111
6.6	软件实现与算法设计(以深圳某路口延误计算为例)	114
第7章	交叉口精细化设计研究与实践	120
7.1	单个交叉口精细化设计案例	120
7.2	关于左转车辆的优化处理案例	130
7.3	交叉口公交设施整体优化案例	139
7.4	路段交叉口整体优化与改善案例	142
参考文献		155

第1章 绪 论

1.1 城市交通问题

1.1.1 城市交通与城市交通系统

城市交通是指在城区范围内各种用地之间的人和物的流动。城市交通是一个独具特色、由多种类型交通组合而成的交通系统。这些“流动”都是以一定的城市用地为出发点,以一定的城市用地为终点,经过一定的城市用地而进行的。

城市交通系统是城市社会经济系统的一个子系统。现代城市交通系统已经发展为一种立体化、综合化的系统。城市交通系统主要由三部分构成:一是城市交通基础设施系统,包括城市道路、桥梁、轨道系统等;二是城市客货运输系统,包括公共汽车、电车、出租汽车、地铁、轻轨、人力三轮车、自行车、摩托车、私人汽车、个体客运系统及城市内部的货运系统;三是城市交通控制系统,包括交通标志、信号系统,以及交通信息采集、传输、控制系统等。

城市交通是一个集经济性与社会公益性于一体的领域,包括管理体制、城市规划布局、投融资体制、交通方式选择、公共交通运营组织、交通需求管理、交通流量管理与控制等方面的内容,涉及管理、法规、规划、工程、财政、教育、环境、能源、信息以及人文等社会经济诸多学科领域。这些方面集成在一起,形成一个错综复杂的城市交通系统。

1.1.2 城市交通问题与交通拥堵

随着经济社会的不断发展、城市化进程的快速推进,城市机动车保有量持续增长。同时,城市交通系统各要素发展不均衡,如交通需求管理不到位、公共交通发展滞后、交通设施用地供应不足或难以落实等。受此影响,城市交通供需矛盾日益凸显,由此带来的交通拥挤、交通噪声、交通事故频发、交通堵塞、环境污染、对居民区的不良影响等问题日趋严峻。

交通拥堵是当前最为突出和最受关注的城市交通问题之一。从城市交通系统的角度分析,按照交通拥堵的类型,其成因可归纳为如下几个方面,如图 1.1 所示。

(1) 常发性拥堵

造成常发性拥堵的因素主要包括城市形态、交通需求、交通供应和运行秩序 4 个方面。其中,城市形态方面,城市规模不断突破城市发展规划、中心城区功能聚集与居住外迁造成的职住分离现象突出;交通需求方面,机动车保有量快速增长与高强度使用、公交

和慢行分担比例过低,人均占用道路资源过多等;交通供应方面,路网整体结构存在缺陷,路网密度偏低、次支道路不足造成微循环不畅、道路节点设计不合理,存在局部交通瓶颈;运行秩序方面,主要包括执法管理不到位、交通组织欠合理等,造成交通干扰严重,整体效率低下。

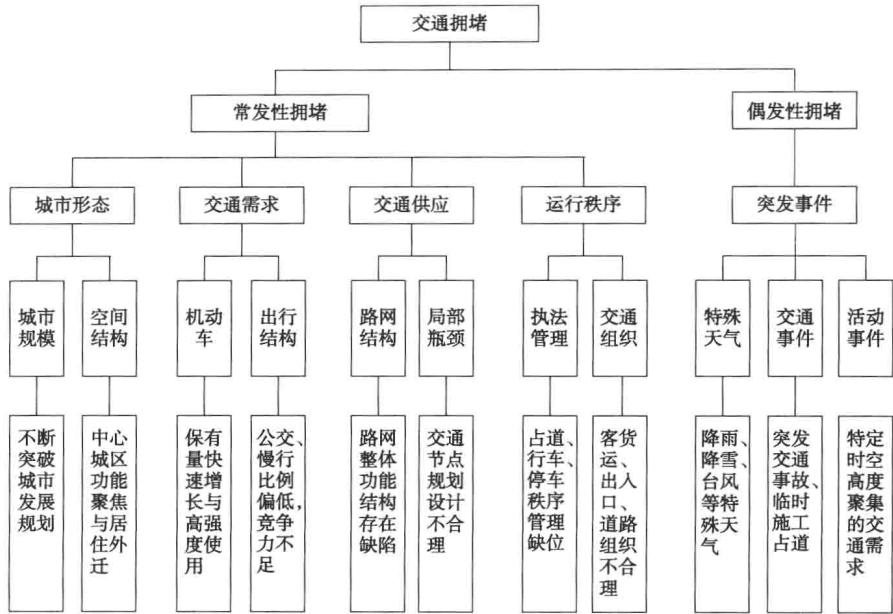


图 1.1 交通拥堵成因分析示意图

(2)偶发性拥堵

偶发性拥堵主要是指突发事件造成的交通拥堵,如交通事故、临时施工、大型活动及特殊天气等,都可能造成偶发性拥堵。

(3)拥堵治理的主要举措

宏观层面,交通拥堵的核心原因在于交通供需失衡,对于交通拥堵的治理措施可主要归纳为增加供给、调节需求两大方面。对于发展较早的成熟建成区,在城市建筑、路网结构与布局已基本定型的情况下,难以通过继续大规模增加设施供给来满足日益增长的交通需求。因此,大中城市未来交通拥堵的治理重点应侧重于调节交通需求、优化交通结构,促进小汽车交通向公共交通、慢行交通转变,利用集约化、绿色出行方式实现交通系统的可持续发展。

从伦敦、新加坡、北京、上海等 8 个国内外主要城市在交通拥堵治理方面的发展历程及经验来看,国内外城市在宏观、中观层面的交通治堵上可归纳为均衡发展、鼓励集约化出行、限制小汽车拥有和使用 3 个方面,如表 1.1 所示。

①均衡发展。主要是整合交通与用地规划,鼓励 TOD 开发,促进城市组团式发展,从源头上降低长距离跨组团出行需求。

国内外主要城市交通拥堵治理措施概览(宏观、中观层面)

表 1.1

交通拥堵治理措施 (宏观与中观层面)		国外城市			国内城市				
措施类别	具体措施	伦敦	新加坡	首尔	北京	上海	广州	杭州	香港
优化土地利用模式	整合交通与用地规划	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
优化交通结构	大力发展公共交通	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
	鼓励停车换乘(P+R)	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆
削减通勤出行需求	鼓励小汽车合乘或施画HOV车道				☆				
限制车辆拥有	机动车配额供给		☆		☆	☆	☆	☆	
	通过车辆税费控制车辆增长		☆	☆		☆		☆	☆
限制车辆使用	交通拥挤收费	☆	☆	☆					
	提高中心区停车收费			☆	☆	☆	☆		☆
限制通行时间与空间	区域或路段分时段限行		☆		☆	☆		☆	

②鼓励集约化出行。主要是大力发展公共交通,鼓励停车换乘(P+R),鼓励小汽车合乘或施画HOV车道等。

③限制小汽车拥有和使用。主要包括机动车配额供给、通过车辆税费控制车辆增长、交通拥堵收费、提高中心区停车收费、区域或路段分时段限行等。

微观层面,道路节点和瓶颈路段也是造成交通拥堵的主要因素。道路节点设置合理与否直接关系到相关道路乃至整个路网交通功能的发挥,对于城市道路的机动性、通行能力、路网容量以及交通安全都有较大的影响。其中,关键节点起到的作用更大,其交通运行状况的好坏,直接影响到整个城市交通系统的运行。

为此,各大城市在积极采取宏观、中观交通拥堵治理措施的同时,越来越关注道路交叉口改善与提升等微观精细化整治措施,如中山市开展了《中山市道路交通关键节点研究》,深圳市开展了《典型灯控路口信号配时系统优化调整研究》等,以积极消除道路网络交通瓶颈,提升道路整体交通服务水平。

1.2 道路交叉口问题

1.2.1 道路交叉口对路网系统的负面影响

对于城市道路交通而言,道路交叉口的存在对于道路交通功能的发挥有着正负两方面的影响。一方面,节点是路网的咽喉部位,各方向交通可以在节点处进行方向变换和路径选择,组织有序的节点可以提高路网的可达性和可控性;反之,则会产生交通拥堵。

另外,节点处由于各向交通流汇集而引发冲突,导致车辆运行速度降低,延误增大,路网通行能力下降。

交叉口对于道路网络系统的负面影响主要表现在时间延误增加和稳定性变差两个方面。

(1) 时间延误增加

道路交叉口处常见的的时间延误可分为固定延误、运行延误、停车延误等。

固定延误是指由交通控制装置引起的延误,它不受交通流运行状态的影响。常见的固定延误如交叉口处红灯等待时间。运行延误是指由于各种交通组成间相互干扰而产生的延误,例如停车等待横穿、交通拥挤、连续停车,以及由于行人和转弯车辆影响而损失的时间。停车延误是指车辆由于某种原因而处于静止状态所产生的延误,等于停车时间,包括车辆由停止到起动时驾驶员的反应时间。

根据上述分析,道路交叉口的时间延误明显高于路段时间延误。对于城市道路网络,为保证不同方向车流的转换,一般交叉口均较为密集。以深圳为例,部分中心城区道路交叉口间距小于 200m,根据 2015 年调查数据,高峰时段约 60% 的信号控制交叉口处于非常拥堵状态,交叉口延误约占总延误的 30%,交叉口时间延误已成为交通拥堵的重要原因。

(2) 稳定性变差

根据交叉口的控制类型,交叉口对路网稳定性的影响可分为如下两类:

①对于联网协调信号控制交叉口,某个交叉口交通运行状况将直接影响与其联网控制的其他交叉口。若其中一个交叉口发生严重交通拥堵,极易影响其他联网控制交叉口,甚至整个路网系统的瘫痪。

②对于独立控制的交叉口,主要是某个交叉口在排队严重的情况下,排队“倒灌”至上游交叉口,进而引发大面积交通拥堵。如某个立交匝道拥堵严重,排队至上游主路,引起关键路段的拥塞。

1.2.2 道路交叉口典型问题

造成道路交叉口时间延误增加和稳定性变差的问题成因包括多个方面,但经过长时间观测和统计分析,其典型问题及成因主要包括以下 5 个方面。

(1) 几何设计不合理

主要是对交叉口范围空间资源的配置不合理,具体表现在以下几个方面:

①沿用“老式”低速道路规范,没有设置独立的左转车道和右转车道。

多为直左或直右车道,左转或右转车辆与直行车辆合用一条进口道,大量左转或右转车辆阻挡直行车流的通行,交叉口通行能力大大降低,形成交通瓶颈地段,同时交叉口成为交通拥堵源。

②将直行车道在交叉口前直接改为左转车道或右转车道,严重降低直行交通的通行能力。

如主路段为双向6车道的主干道,在交叉口前变成“一左一直一右”3条进口道,从而直行交通通行率降低了66%。但一般情况下交叉口某个进口道的车流以直行车流为主,这种设计迫使直行车流在交叉口前改换车道,既增加了安全隐患也因为改变车道而与直行车道交通流冲突,降低了整个交通流通行效率。

③交叉口进出口不规则,交叉口进出口车道形成一定折角。

大量不规则的交叉口被错误地设计成直行车道在交叉口前后形成折角转弯形式,这种折角交叉口相当程度上降低了直行车流的安全性和通行率,也是形成交叉口交通拥堵的一个因素。

④车道线在交叉口前段“断续”,形成在一段区间内没有车道线和没有车道“路权分配”的问题。

这种现象往往是因为交叉口需要增加左转车道,但是又未掌握正确设计地面标线渠化、必须确保直行车道的连续性和平滑性等原则,错误地将左侧直行车道与中间车道断开一定距离(如10m),然后将前方接近交叉口处分成“左转”“直行”“右转”车道,“人为”迫使交通流在此路段形成“无路权分配”的混乱现象,从而降低了安全性、通行速度和通行率。

⑤部分交叉口用地范围过大。

一方面浪费了土地资源,同时增加了车辆在交叉口处交通组织的复杂程度,易造成交叉口交通运行混乱、车辆之间干扰严重的现象。另外,交叉口过宽,增加了行人和非机动车过街距离,降低了其过街安全性。因此,在保证正常车道渠化和合理展宽的情况下,应合理控制交叉口用地范围。

(2)“绿波带”设计不合理

目前我国很多城市道路交叉口实现了“绿波带”控制(干线协调控制或区域协调控制),但“绿波带”优化控制需要具备完整的交通流检测、实时建模和实时优化计算控制等功能才能够真正实现。部分城市所谓的“绿波带”控制,往往是一种“单向绿波带”控制,即对主干道某一个方向的交通流给予连续运行中的绿灯放行。这仅仅是一种简单的加减算法,将一个方向的放行交通流在交叉口停顿的结果。这种控制完全没有实现每一个交叉口对各个方向交通流优化控制和主干道双向交通流优化控制的内容。其结果是在不正确的参数设置情况下,为了实现某一个方向交通流的“优化”而全然“牺牲”70%~80%交通流的优化控制,往往是某一个方向的交通顺畅了,但另一个反方向道路交通和各个交叉口横向道路的交通却拥堵不堪。这种“单向绿波带”控制是一种牺牲大部分交通通行率来满足某一个单方向交通流畅通目的的极其不科学的控制方法。

不合理的干线协调控制也是造成交叉口通行效率低下、整体路网严重拥堵的重要原因之一。

(3)交叉口通行时间和空间资源不匹配

交叉口通行时间和空间资源不匹配以及时空资源配置与实际通行需求不匹配是交叉口运行效率低下的又一主要影响因素。

①通行时间与空间不匹配。

随着交叉口精细化管理进程的不断推进,大型交叉口相位控制日趋复杂,因此“箭头”信号灯应用越来越广泛。但因此也带来了交叉口设计与控制中的诸多问题,尤其是通行时间和通行空间不匹配的问题。如部分交叉口设置了专用左转相位,但地面车道功能划分却无左转专用车道,而是“直左车道”,即左转车流和直行车流共用一条车道,由于左转车流和直行车流是单独的相位控制,因此经常发生最前端的左转车(或直行车)挡住后续的直行车(或左转车),造成通行时间或空间的浪费。

②通行时间、空间资源与实际需求不匹配。

目前多数交叉口的拥堵多是某一个方向的车流的拥堵严重,尤其以左转车流表现最为突出。交叉口中,左转车流与其他车流的冲突最多,因此通行效率相对较低,有时还有部分车速很低的掉头车辆夹杂其中,进一步降低了左转车流的通行速度。

但在交叉口实际设计和控制中,往往对左转车流考虑不足,经常会产生其他方向车流绿灯空放(即绿灯时间内无车辆通过),而左转车辆排队过长需等候多个信号周期方可通过。其主要原因是左转车道不足或信号配时不合理,即实际的交叉口通行时间和空间资源在左转车流方向的配置不足造成的。

(4)“禁左”或“禁右”管理措施缺乏充分论证

目前我国许多城市交叉口在缺乏充分的交通工程和交通流分析的基础上,人为大量设置了道路“禁左”或“禁右”的措施,很大程度上造成了城市道路的交通流在一个小范围内兜圈循环,无法正确释放交通流压力,人为增加了区域道路的交通流数量。虽然表面上解决了个别道路在某些交叉口的交通拥堵,但实际上是在增加交通流总体数量的基础上,增加了能源消耗、空气污染,同时又增加了区域性交通拥堵问题。

原则上,城市道路设计应该更加注重从直行车道分离出来的单独左转车道设置,从而减少左转车对直行车流的干扰。但不正确的“禁左”措施,尤其是对一些左转车流较大的交叉口实施“禁左”管理,实际上将会扩大交通拥堵矛盾范围、增加周边道路交通压力,是不可取的。

考虑到右转车辆与其他车流冲突相对较小,主要是与行人过街会产生一定干扰,因此“禁右”措施一般情况下不会采用,且实施“禁右”措施后将迫使这部分交通流扩散到下一个道路右转,同时增加返回后再左转的交通压力,极大程度上扩散了不应该存在的交通流压力,将矛盾扩大化和复杂化。

总之,“禁左”或“禁右”设置实际上是迫使需要左转或右转的交通流在周边道路上绕行兜圈,形成与单向交通类似的负面作用。因此,实施“禁左”或“禁右”措施,应经过认真考虑、分析其优缺点。

(5)行人、非机动车干扰严重

城市交叉口形成交通瓶颈的另一个重要因素是机动车与行人、非机动车过街的冲突,增加了机动车在交叉口的延误,降低了通行效率。由于交叉口信号灯控制必须考虑行人过街的安全性,每一个路口绿灯时间都必须保证行人过街的最小时间。在很多情况

下,行人信号的“确保时间”对整体信号灯控制的优化会产生很多负面作用。另外,行人和非机动车经常会影响机动车通过交叉口,对机动车通行率的提高形成较大阻碍。

这种干扰在大型交叉口更加严重,为了减少行人、非机动车对机动车的通行影响,对于大的交叉口应尽量考虑设置与机动车分离的人行天桥或地下通道,以减少对机动车通行的干扰,增加机动车通行率,增加行人、非机动车的交通安全。

目前我国许多城市在大力推进道路建设的过程中,对城市交叉口行人、非机动车交通重视不足,造成主干道机动车交通被行人、非机动车交通干扰的同时又增加了安全隐患。为减少行人、非机动车对机动车交通的干扰,一般情况下考虑采取如下措施:

①交叉口设置行人过街天桥或地下通道,将行人、非机动车交通完全与机动车交通分离。

②道路如果有中央分隔带,应尽量考虑将行人过街分两次完成。在中央分隔带设置可以停留的安全等待停留岛,使行人过街分两次完成,提高行人过街安全性,同时又增加了信号灯的控制效率,增加了主干道机动车绿灯时间。

城市交叉口在设计与控制中存在的问题还有很多,需根据实际道路交通条件和实际需求进行总结和分析,通过深入研究,提出切实可行的有针对性的措施,提升交叉口的通行能力及其所在路网的整体通行效率。

1.3 国内外研究现状

对于城市道路交叉口的精细化管理、优化交通组织设计,国内外的学者以及研究人员都做了大量的工作,进行了深入的研究,并取得了很多研究成果。归结起来,主要包括交叉口空间资源的优化(如渠化设计)和时间资源的优化配置(交通控制及信号配时等)两个方面。

1.3.1 国外城市道路交叉口研究现状

关于交叉口的渠化设计,其核心原则是通过对各方向的车道进行划分,将机动车、非机动车、行人分道分方向行驶,是一种较为朴素的管理控制思想。目前,美国、日本等国家在交通工程领域走在世界的前列,早在 20 世纪 50 年代,美国就制定了《道路通行能力手册》,美国的《道路通行能力手册》经过多次修订,目前使用版本的是 HCM2000。该手册主要是关于交通专业基础知识的介绍和推导,包括对交通流、高速公路交通控制与管理、城市交通控制与管理、行人以及非机动车交通管理等内容的详细介绍,在很多时候,该手册被认为是交通专业的基础。除了经典的《道路通行能力手册》以外,美国还制定了一系列的交通专业的规范,如美国统一交通控制手册(Manual on Uniform Traffic Control Devices,简称为 MUTCD)等,其中对各种交通设施等内容作了详细的说明,系统介绍了路障、导流设施、交通岛等各种渠化措施,其内容包括渠化设施的颜色、尺寸、规格等,对各种设施的适用环境和使用注意事项也作了介绍,该规范已经修改更新过多次,目前的最新版本是 2009 版。同济大学李克平教授翻译的《交通信号控制指南:德国现行规范 RIL-

SA》,介绍了德国交通信号控制以人为本和公交优先的理念(充分考虑行人、自行车的利益,公交优先措施),以及对控制技术实施的精细化和实用化要求,是我国城市交叉口信号控制应该充分学习和借鉴的典范。日本在交通领域的研究也走在世界的前列,日本在《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,这就称为平面交叉路口的渠化。”各种不同形式的交通岛可以有效地分隔交通流、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;路障的功能主要是阻隔禁止通行的车辆,让交通设施为特定的交通对象服务。

除此之外,国外许多学者也进行了一些专项研究。1976年,David和Norman研究发现,通过合理的交通渠化设计和交通设施设计,能够提升道路交叉口的安全水平。同时,这两位学者也对交通量和交叉口车道数与交通安全的关系进行了研究。1985年,针对右转车辆在交叉口处于红灯期间的运行特征,Lin详细研究了右转专用车道的设置条件,并采集了16个交叉口红灯期间车辆右转时的一系列交通数据,通过仿真模型分析,指出在红灯期间允许车辆右转时必须设置右转专用车道。1994年,Kenneth和W. Acheret以连续的道路交通流为前提对进口道的渠化进行了研究,主要包括左转专用道和右转专用道的设置条件,进口道的宽度以及车道数等内容。在研究交通渠化设施的同时,这两位学者还综合利用交通渠化控制和信号控制方法,如采用多信号相位搭接控制、禁左、禁右以及禁止掉头通行等措施,从而改善道路交通安全状况,同时也能提升原有道路的通行能力。

在交叉口信号控制方面,国外的研究起步也较早。世界上第一台交通信号灯诞生于1868年伦敦Westminster街口,开启了城市交通信号灯控制的先河。最初的信号灯只有红绿两种颜色,随着交通控制科学的发展,世界上第一盏红黄绿三色、四方向的交通信号灯于1918年出现在纽约街头。随着“硬件”的完善,西方学者在“软件”即交通控制方法中的研究也在不断进步。从20世纪50年代开始,经过FV. Webster, R. E. Allsop, R. Akcelik等学者的努力,建立了相应的理论体系,主要是关于单点控制信号交叉口的配时理论和方法,并开发了相应的应用软件。其中,FV. Webster和B. M. Cobbe在20世纪60年代提出的TRRL法,也称Webster法或F-B法,这是最经典的交通信号配时方法。在此之后,Allsop以交叉口延误最小化理论为指标提出了一种单点信号控制方法(SIGSET法),并由伦敦大学开发的Fortran程序完成。该方法的主要思想是在Webster法的基础上引入了提前和迟滞相位,这一变化充分地利用了有限的绿灯时间,能进一步减小交叉口的延误。因此,SIGSET法计算出的信号配时方案一般要优于Webster法计算出的信号配时方案。在这一方法以后,Allsop于1972年又提出了一种叫SIGCAP法的信号配时方法。在优化目标的选取上,将交叉口的通行能力考虑在其中,建立了交叉口通行能力最大化的线性规划模型。1981年,澳大利亚学者Akcelick在Webster方法的基础上引入“停车补偿系数”,在考虑了交叉口延误的基础上,结合交叉口停车次数,建立了多目标规

划模型,这也为后来的交叉口信号配时方法的发展提供了一种新的思路。1997年,Suvra-jeet Sen 和 K. Larry Head 提出一种基于动态规划的信号控制算法,该方法以交叉口的延迟、车辆的排队长度等指标为优化目标,能够实现动态实时控制。2001年,美国普渡大学土木工程系 Abbas 和 Moniasir 在同时考虑了交通量和占有率对交叉口信号配时方法的影响的情况下,提出了一种转换交通信号相位差的计算方法,并在适应传统的信号协调控制系统方面进行了大量研究,大大提高了该方法的实用性。

1.3.2 国内城市道路交叉口研究现状

在交叉口渠化设计方面,经过十几年的潜心研究,我国也推出了一系列的交通设计规范。1991年在原建设部的组织下,北京市政设计研究院等单位编写了《城市道路设计规范》(CJJ 37—90),为了方便城市道路交叉口的设计,该规范的编制人员从设计的角度出发,研究了城市道路交叉口形式、横断面布置、设计车速、分隔带布置、平面设计、竖向设计、道路材料以及渠化设计等基本要素,并提出了一些具有指导性的经验数据。

随着研究的深入,我国出台了《道路交通标志和标线》(GB 5768—1999),并根据运行情况作了更新,目前的版本是《道路交通标志和标线》(GB 5768—2009)。目前,该规范是我国城市道路交通建设在标志标线方面最直接的参考规范。2001年,上海市出版了《城市道路平面交叉口规划与设计规程》,该规范是我国首部专门针对城市平面交叉口的工程设计建设而编制的规范,规范中具体规定了城市新建与改建道路平面交叉口的规划、设计原则与方法,并对原有道路平面交叉口的优化设计也作了较为详细的规定。

除了以上一些研究成果之外,国内的许多学者在交叉口渠化方面也进行了一些专项研究。1986年,曾静康博士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。2005年,佟炳勋针对“饱和、超饱和”状态下运行的城市道路网,为充分利用平交路口交通空间、信号灯时间,在疏导交通、缓解平交路口交通阻塞时,传统的路口渠化设计方法,已部分不能适应当前城市道路交通量骤增的形势,对路口渠化长度和拓宽车道渐变段长度的确定,提出了新的补充意见。2006年,北京交通大学赵伟等人在参考国内外设计经验的基础上,从左转弯车道设置的原则、设置左转弯车道的常用方式、左转弯车道的长度和宽度等角度对左转弯车道的设计问题进行了探讨,提出对左转弯车道进行合理偏移可有助于提高驾驶员的视距。2007年,窦瑞军从理论上分析了交叉口处产生交通阻塞的原因,并结合具体工程提出在交叉口范围内采取渠化交通管理措施,讨论了渠化交通的适用原则、技术要求和应用方法,实现了引导车流按一定路径行驶,从根本上消除或减少了冲突点、分流点和合流点,提高了交叉口的通行能力,真正实现了人车分流。

国内对于交叉口设计优化较为系统的研究主要集中在以下文献著作中:同济大学杨晓光教授于2003年编著了《城市道路交通设计指南》,在国内首次从交通设计层面对于平面交叉口的渠化设计、信号配时等总结了改善设计的方法和技术。北京工业大学马建

明博士提出了一种集几何设计、渠化设计以及交通组织设计为一体的信号交叉口优化专家系统。该专家系统确定的交叉口交通组织方案制订的方法是首先对交叉口进行系统调查,对交叉口现状进行分析,根据交叉口的道路条件,通过对现有交叉流的合理汇集与再分配以及交通仿真分析方法,制订出能对车流运行状态产生控制作用的、由多种多样的交通管理措施组成的实施方案。

在交叉口信号控制方面,目前主要还是运用 Webster 公式来计算信号周期,但该公式在饱和度接近 1 时,其延误会变得无限大,与实际情况不相符,故其运用有一定的限制。由于现实中交通运行情况复杂,需要考虑的因素较多,基于此,1998 年,顾怀中教授与王炜教授提出了一种新的多目标规划交叉口交通信号配时方法,该方法将延误、停车次数及通行能力等作为模型的优化目标,以模拟退火全局优化算法作为计算方法,建立了相应的模型;该方法的优点在于各优化目标的加权系数可随交通状况的变化而实时变化,可以自适应不同交通状况下的信号配时优化的要求。到目前为止,多目标规划渐渐成为解决交叉口信号配时优化问题的一种新思路,而各种人工智能算法也被运用于求解这些多目标规划模型。2006 年,颜艳霞以车辆的平均延误、停车次数以及交叉口的通行能力为综合优化目标,建立了多目标规划模型,并利用蚁群算法对模型进行了求解。2009 年,马莹莹等从机动车效益、行人效益和环境效益三个指标出发,建立了单点信号控制交叉口的多目标规划信号配时模型,并利用蚁群算法对该模型进行了求解。2011 年,刘金明建立了以交叉口总延误、总停车次数和总通行能力为指标的多目标规划模型,通过模糊折中思想,将多目标规划模型转化成单目标规划模型,最后利用蚁群算法进行了模型求解。2012 年,陈小红建立了以机动车延误、慢行交通延误、交叉口停车次数和交叉口通行能力为指标的多目标规划模型,并将饱和度作为模型的约束条件加入到模型中,该模型对于混合交通下的交叉口信号配时计算具有一定的理论和实际意义。

1.3.3 国内外研究现状小结

目前交叉口的精细化管理主要集中在渠化优化设计和信号控制优化设计两个方面,均达到较深的研究程度,并制定了相应的工作规范。随着城市交通的发展和新技术的应用,大部分研究成果的“精细化”程度还存在一定的欠缺。主要表现在以下几个方面:

(1) 公交优先与道路交叉口优化控制之间的协调仍需进一步深化。

“公交优先”已成为实现城市交通可持续发展的重要举措,但“公交优先”往往以牺牲其他社会车辆的通行资源为代价,如何在通行空间和时间上赋予公共交通特别是公共汽车交通的优先通行权和保障,且实现交叉口通行资源的最优利用是交叉口精细管理过程中亟待解决的重要课题。

(2) 交叉口的通行能力研判及挖掘仍需进一步论证。

交叉口通行能力影响因素众多,目前使用的车辆类型、车道宽度、车道坡度等修正系数均沿用之前规范,随着车辆制造技术、道路设计技术的发展,诸多修正系数已难以准确描述和计算实际通行能力,为此,必须结合实际具体情况,研究探讨交叉口的“极限通行

能力”,以研判交叉口的优化和改善空间。

(3)大数据背景下的交叉口优化仍需进一步探讨。

对交通大数据进行深度分析,挖掘大数据蕴含的价值,熟悉大数据应用的数学处理模型,也对新的时代背景下如何做好交通控制提供了新的手段、工具和方法。在此背景下,如何依托交通大数据实现交叉口空间和时间资源优化配置、提升道路网络整体运行效率仍需进一步的深入研究和探讨。

1.4 本书的主要内容

本书共分为7章,各章主要内容如下:

第1章:绪论。主要介绍城市交通系统的基本概念、城市交通存在的普遍问题、交通拥堵及其成因分析。在此基础上,提出道路交叉口作为城市道路通行能力的短板,其对道路网络的负面影响及存在的典型问题,并综述国内外研究现状,为本书后续研究指明了方向。

第2章:城市道路交叉口类型与要素。主要论述道路交通节点与交叉口的主要区别与联系,明确道路交叉口的主要类型及适用条件,同时确定道路交叉口的功能区范围和主要参数,界定了本书的主要研究范围和研究对象。

第3章:城市道路交叉口控制方法概论。研究提出交叉口控制的主要参数和相关模型,论述了平面交叉口点控、线控与面控的主要方法,探讨了新型交叉口控制方法——“排阵”控制法的基本概念和使用条件,并研究提出了交叉口信号控制方法的选择和评价方法,为交叉口精细化管理和控制提供了参考和指导。

第4章:交叉口通行能力计算。在梳理总结国内外交叉口通行能力计算方法的基础上,进一步优化了饱和车头时距、车辆折算系数及其他交叉口通行能力影响因素影响系数的修正,并通过算例进一步说明了交叉口通行能力的计算步骤与方法。

第5章:公交专用道的沿线优先控制。在论述目前被动式、主动式和实时公交优先三种基本策略的基础上,针对我国在实施公交优先过程中存在的主要问题,研究提出了面向专用道的交叉口单点优先控制和面向公交专用道沿线交叉口群的优先控制两种公交优先实施策略和方案。

第6章:交通大数据应用与交叉口优化。针对传统交叉口优化技术存在的主要问题,研究提出了交通大数据在交叉口优化应用中的关键技术,并以深圳市某路口延误计算为实例,说明了大数据在交叉口优化中的软件实现与算法设计。

第7章:交叉口精细化设计研究与实践。在明确交叉口渠化的基本概念、原则与方法的基础上,结合深圳市的实践,详细说明了交叉口渠化设计、交叉口左转车辆的处理、交叉口邻近公交设施的整体优化、路段多个邻近交叉口的优化管理等方面的精细化管理与应用。