



中华人民共和国交通部资助出版  
交通类学科(专业)学术著作

**D**<sub>ynamic</sub>

# 城市动态交通流分配模型与算法

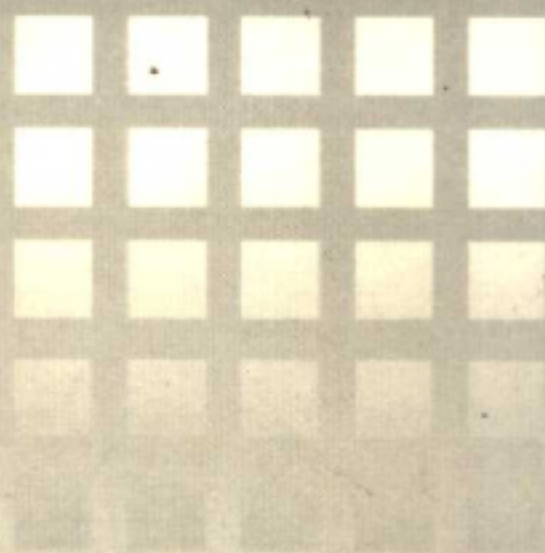
Traffic Assignment Problems in Urban Transportation Networks: Models and Methods

● 高自友 任华玲 著



人民交通出版社





高自友：男，1963年出生，安徽人，北京交通大学教授、博士、博士生导师、俄罗斯自然科学院外籍院士、国家杰出青年科学基金获得者、全国优秀教师。现任北京交通大学校学术委员会副主任，交通运输学院学术委员会主任；兼任中国交通运输系统工程学会副理事长，国家自然科学基金委管理学部专家评审组专家，国际学术期刊《Transportmetrica》编委，国内多所大学名誉和兼职教授。主要研究领域：优化理论与方法、交通流的建模与分析、城市交通网络设计理论与方法、交通运输网络的复杂性研究。在国内外学术期刊上共发表（含合作）论文100余篇，其中SCI和EI收录60余篇；已在交通领域出版学术专著3本。



任华玲：女，1975年出生，安徽人，北京交通大学交通运输学院讲师、博士。主要从事交通运输规划与管理、智能交通系统的研究，现已参加多项国家自然科学基金及部级科研项目的工作，并在国内外重要刊物上发表论文10余篇。

ISBN 7-114-05552-8



9 787114 055522 >

ISBN 7-114-05552-8

定 价：38.00 元



U12  
4



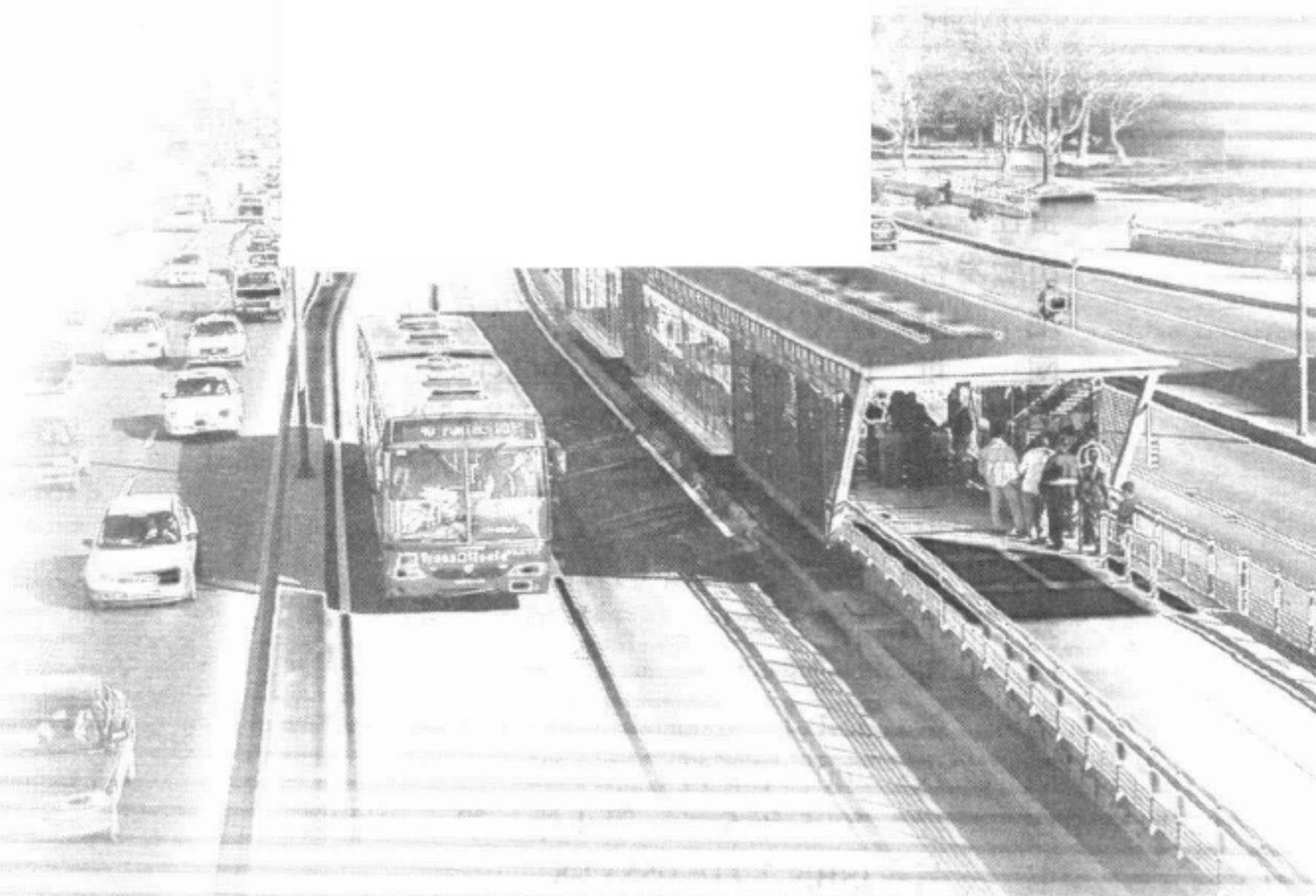
中华人民共和国交通部资助出版  
交通类学科(专业)学术著作

**D**  
ynamic

# 城市动态交通流分配模型与算法

Traffic Assignment Problems in Urban Transportation Networks: Models and Methods

● 高自友 任华玲 著



人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书系统介绍了城市动态交通流分配理论与方法方面的国内外前沿课题与最新研究成果,集成~~了~~包括作者近期成果在内的先进模型和求解算法。本书力求用定量分析的方法建立相关数学模型和设计求解算法,以便为智能交通系统中的交通诱导提供必要的、可靠的理论基础。本书系统地介绍了动态交通流分配的理论及各种不同的研究方法,重点介绍了道路交通流模型与网络交通流理论相结合的动态交通配流方法和模型,并设计了有效的求解算法。其主要内容是运用变分不等式这一新的数学工具来描述城市动态交通流最优分配问题,并通过设计合理的求解算法以使用来解决实际交通问题。

本书可作为大专院校交通运输规划与管理、交通信息工程及控制、智能交通、城市交通工程等专业的研究生教材和高年级本科生选修教材,也可供政府的交通管理部门、智能交通系统研究与开发部门的技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

城市动态交通流分配模型与算法/高自友,任华玲著.  
北京:人民交通出版社,2005.5  
ISBN 7-114-05552-8

I.城... II.①高...②任... III.市区交通—交通  
流—分配 IV.U12

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第041891号

书 名:城市动态交通流分配模型与算法

著 作 者:高自友 任华玲

责任编辑:蔡培荣

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)85285656,85285838,85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×960 1/16

印 张:23.25

字 数:354千

版 次:2005年5月 第1版

印 次:2005年5月 第1版 第1次印刷

书 号:ISBN 7-114-05552-8

印 数:0001—2000册

定 价:38.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

城市交通系统是承载人类活动的基本构件之一,是城市繁荣、有序和高速发展的主要支撑条件。然而,现代城市在快速发展过程中遇到了日益严重的交通问题,不但严重影响了城市的经济建设和运行效率,也给人们的生活和工作带来了种种不便与损害,已经成为制约城市可持续发展的主要瓶颈。交通拥堵及其伴生的交通环境污染、交通安全和交通能耗等问题已引起社会各界的广泛关注。

智能交通系统(Intelligent Transportation System,简称 ITS)或智能车辆道路系统(Intelligent Vehicle Highway System,简称 IVHS),将先进的检测、通信、控制、计算机技术、交通科学和交通工程学综合应用于汽车和道路系统,形成一个令人、车、路及交通环境都“聪明”起来的系统,能最大限度地发挥现有交通基础设施的潜力,缓解拥堵、保护环境、改进安全、降低能耗、提高效率,被认为是本世纪解决交通问题最重要的措施之一。对城市来说,将空中的卫星、地面的总控中心、路口的检测设备、车内的计算机及道路上的控制系统等,连接起来形成一个立体的全方位交通系统,出行者只要在车载计算机上输入起终点,就可以实时地得到最佳行驶路线等等。欧美日等国家和地区为此投入了大量的人力、物力和财力,研制出的初级系统或子系统在应用上已经显示出非常卓越的品质。

美国交通部(DoT)1992年启动的 IVHS 包含 6 个方面,即先进的交通管理系统 ATMS、先进的出行信息系统 ATIS、先进的车辆控制系统 AVCS、商用车辆运作 CVO、先进的公交系统 APTS 和先进的乡村交通系统 ARTS。围绕发展 IVHS,美国已形成相应的产业,以发表 ITS 相关研究成果为主的国际刊物也已经有多种。

ITS 涉及许多技术领域,但其理论体系的核心之一是动态交通分配模型及算法。实现向车辆提供实时、最优的交通信息,并诱导交通流,取决于该模型的正确设计和运行,因此在国际上受到了空前的重视。自 20 世纪 90 年代以来,各国学者纷纷对这一热点问题进行了研究,在理论与应用方面已取得了不少有效的研究成果。到目前为止,借助于计算机模拟方法、数学规划方法、最优控制理论方法以及变分不等式、互补问题和不动点理论等方法已建立了多种城市交通的动态交通流分配模型。国际上最为著名的管理、运筹以及交通运输等方面的各种学术权威刊物上都



不断有探讨动态交通流分配理论与方法的好文章发表,如《Operations Research》、《Transportation Science》、《Transportation Research》和《Transportation Research Record》等。为推动动态交通配流方面的科学研究,有关学者和专家还纷纷撰写书籍,如Ran和Boyce的《Modeling Dynamic Transportation Networks》(1996),以及Chen的《Dynamic Travel Choice Model》(1999)等。

城市动态交通分配模型要考虑时变的OD需求、时变的交通条件下的交通行为,这样的模型显然是极其复杂的,但由于其对ITS中的动态路径诱导的直接作用,相关研究具有非常重要的意义。

我国ITS的现实市场已初现端倪,潜在市场蕴含丰富,北京市已经建立了比较完善的综合信息网络系统、交通指挥调度系统、交通执法系统和办公自动化系统。广州市的公交信息主平台、公交车定位调度管理和停车诱导等项目也正在紧锣密鼓地筹建或建设之中。与此同时,上海、重庆、济南、深圳、青岛等城市也都在发展有自己城市特点的ITS项目。

近年来,虽然我国在ITS的应用方面发展迅速,但是“重技术、轻科学”和“重硬件、轻软件”的现象仍然普遍存在。交通科学的研究大大滞后于交通工程的进展,科学性预研的投入在交通建设中的比例微乎其微,造成的后果是交通理论成果难以指导交通实践。虽然目前我国在ITS的应用实施上投入了大量的资金和力量,但城市的交通拥堵现象却仍不时发生,交通安全、交通污染与交通能耗等问题还是没能得到有效的缓解。一些投资巨大的技术设备并没能发挥其应有的作用。如北京市从2001年开始在二环和三环路上安装了148台远程交通微波传感器(Remote Traffic Microwave Sensor,简称RTMS),用于采集交通实时数据,每2分钟一个采样周期,RTMS实时向交通指挥中心传输检测断面的流量、速度和占有率数据,使得北京市交通管理部门每天能够实时获取海量的交通数据。然而由于交管部门缺乏对动态交通流数据进行实时处理和进行数据挖掘的有效手段,导致目前北京市城市道路中的可变信息显示系统(Variable Message Sign,简称VMS)一般只能提供静态交通信息,还不能提供城市动态交通的预测信息,更无法实现科学的交通诱导,使投资巨大的RTMS和VMS的作用没能得到有效的充分利用。究其原因,当然是多方面的,但从理论与方法上看,主要是因为对动态实时交通流的预测和估计方面的理论与方法缺乏深入的研究。因此深入开展城市动态交通配流理论与方法的研究,不但可以从科学角度加深人们对交通网络复杂系统运行机理的了解,而且又可以从实践角度为交通预测和诱导提供理

论支持,在理论和实践两方面都有重要的意义和价值。

以上的内部与外部环境共同决定了研究和发展城市动态交通流分配系统的重要性和必要性,同时提高 ITS 在我国的发展和应用效率也迫切需要一大批精通各种现代交通流理论与方法,深谙现代交通系统特性和运行规律的人才。然而,目前我国还没有一本系统讲述城市动态交通流分配问题的理论和方法方面的书籍,所以亟需一本全面系统地介绍城市动态交通配流理论和方法方面的参考书籍,以便能为指导交通实践在理论上提供决策参考。

本书在介绍数学规划方法、最优控制理论以及变分不等式等问题的基础上,主要阐述了用变分不等式这一新的数学工具来描述动态出行选择问题的各种城市交通流分配模型及其应用。相比国内外同类书籍而言,本书的主要特点是:系统地介绍了动态交通流分配的理论及各种不同的研究方法,重点介绍了道路交通流模型与网络交通配流理论相结合的动态交通配流方法和模型,并设计了有效的求解算法。

本书的结构如下:第 1 章讲述了动态交通系统的定义、特征以及城市动态交通系统的发展现状和未来研究趋势等;第 2、3 章介绍了本书所用到的最优化理论、最优控制理论和变分不等式问题等;第 4 章列举了城市动态交通配流模型所涉及的基本概念和所要考虑的各种约束,以及动态交通配流的几种原则;第 5 章介绍了现有的城市动态交通配流的数学规划模型及求解算法;第 6 章介绍了三种常见的城市动态交通配流的最优控制模型及求解算法;第 7 章给出了最基本的城市动态交通用户最优配流的变分不等式模型及求解算法;第 8、9 章是第 7 章的推广,分别考虑有路段能力限制和出发时间选择的情况,并给出了相应的城市动态交通配流模型和求解算法;第 10、11 章是城市动态交通配流模型在 ATIS 市场占有率问题和公交网络设计方面的应用,分别建立了双层规划模型并设计了基于混沌优化的求解算法;第 12、13 章介绍了用道路宏观仿真模型估计交通网络上的阻抗的方法,在此基础上,分别介绍了基于元胞传输模型(CTM)的变分不等式(VI)模型和弹性需求条件下的基于 CTM 模型的 DTA 模型;第 14 章借助于 Greenshields 模型和排队延误原理,设计了适用于动态交通配流的显式动态路段出行阻抗函数表达式,建立了基于 Greenshields 速—密关系模型的 DUO 配流问题;第 15 章介绍了城市动态交通配流模型发展和应用的若干问题,包括相关的数据要求和应用实施问题等。

本书系统地论述了城市动态交通流分配模型的建立及其求解算法,不仅

在理论研究上具有重要价值,而且可以为实际城市交通问题的解决提供有力的理论支持,可以作为大专院校交通运输规划与管理、交通信息工程及控制、智能交通、城市交通工程等专业的研究生教材和高年级本科生选修教材,也可供政府的交通管理部门、ITS研究与开发部门的技术人员参考。

本书的内容一部分取自当前已较为成熟以及最新的研究成果,作者对这些成果进行了系统总结,更多的内容主要取自作者近年来的研究成果。在撰写本书时,作者亦查阅了大量的国内外相关文献,力求做到内容新颖,取材丰富。

本书中有关科研工作的完成得益于国家杰出青年科学基金项目(70225005)、国家自然科学基金项目(70471088)、北京市自然科学基金项目(9042006)及高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划项目(2001年)的大力资助。本书的出版得益于交通部对普通高校交通类学科(专业)学术著作出版的资助,谨此致谢。

本书的完成还得益于与国内外同行专家的广泛学术交流与探讨,特别得到了北京航空航天大学黄海军教授、香港科技大学杨海(Yang H)教授和罗康锦(Lo H K)博士、香港理工大学林兴强(Lam H K)教授及香港大学黄仕进(Wong S C)博士的大力支持与帮助,写作过程中还得到了北京交通大学张国伍教授、孙全欣教授、刘军教授和毛保华教授的大力支持,在此表示诚挚的感谢。北京交通大学系统科学研究所的连爱萍博士和任伟硕士对本书的部分内容做了大量有益的工作,在此一并表示感谢。

作 者

2005年2月于北京





<b>第 1 章 绪论</b>	1
1.1 智能交通系统的概念与研究背景	1
1.2 城市交通配流模型的意义与特征	14
1.3 城市动态交通配流理论的发展现状与趋势	18
1.4 城市动态交通分析的展望	25
1.5 本书的结构	32
1.6 小结	35
<b>第 2 章 最优化与最优控制问题</b>	36
2.1 最优化基本概念	36
2.2 线性规划	37
2.3 非线性规划	39
2.4 双层规划	57
2.5 变分法的基本概念	64
2.6 最优控制基本理论	66
2.7 连续最优控制问题	70
2.8 离散最优控制问题	74
2.9 最优控制问题的求解	78
2.10 小结	80
<b>第 3 章 变分不等式问题</b>	81
3.1 变分不等式及其相关的数学问题	81
3.2 变分不等式问题解的存在性和惟一性	86
3.3 求解算法介绍	86
3.4 小结	97
<b>第 4 章 动态交通网络约束条件及配流原则</b>	98
4.1 符号与定义	98
4.2 阻抗的概念	100
4.3 基本约束	102
4.4 非负约束	103
4.5 流量守恒约束	104
4.6 先进先出问题	104

4.7	流量传播约束 .....	106
4.8	路段能力限制约束问题 .....	113
4.9	动态交通网络配流原则 .....	114
4.10	小结 .....	115
<b>第5章</b>	<b>动态路径选择的数学规划模型 .....</b>	<b>117</b>
5.1	介绍 .....	117
5.2	模型的推导 .....	118
5.3	最优性条件 .....	121
5.4	模型的求解情况 .....	123
5.5	本章附录 .....	124
5.6	小结 .....	126
<b>第6章</b>	<b>动态路径选择的最优控制模型 .....</b>	<b>127</b>
6.1	动态交通网络约束 .....	128
6.2	动态交通系统最优控制模型 .....	129
6.3	动态交通用户最优控制模型 .....	134
6.4	随机动态交通用户最优控制模型 .....	140
6.5	小结 .....	147
<b>第7章</b>	<b>动态路径选择的变分不等式模型 .....</b>	<b>148</b>
7.1	概述 .....	148
7.2	瞬时 DUO 状态的定义 .....	150
7.3	动态交通网络约束条件 .....	151
7.4	基于瞬时路径阻抗的 VI 模型 .....	152
7.5	基于瞬时路段阻抗的 VI 模型 .....	155
7.6	求解算法设计 .....	163
7.7	数值实验 .....	168
7.8	小结 .....	169
<b>第8章</b>	<b>带有路段能力限制的 DUO 配流模型 .....</b>	<b>171</b>
8.1	概述 .....	171
8.2	路段能力限制的约束 .....	173
8.3	带有路段能力限制的动态路径选择模型 .....	174
8.4	求解算法 .....	178
8.5	数值算例 .....	180
8.6	路段能力限制模型的进一步推广应用 .....	183
8.7	小结 .....	185



<b>第 9 章</b>	<b>出发时间和路径选择的组合 DUO 配流模型</b>	186
9.1	概述	186
9.2	新增的变量和约束	187
9.3	出发时间与动态路径选择的双层 VI 模型	188
9.4	求解算法	191
9.5	小结	194
<b>第 10 章</b>	<b>城市动态交通系统中 ATIS 市场占有率问题</b>	195
10.1	ATIS 系统介绍及研究背景	195
10.2	假设条件及相关约束	196
10.3	下层问题	201
10.4	上层问题	205
10.5	双层规划模型	206
10.6	求解算法	207
10.7	小结	209
<b>第 11 章</b>	<b>城市动态公交网络设计问题</b>	213
11.1	概述	213
11.2	城市公交网络描述	215
11.3	相关符号及约束	217
11.4	城市动态公交网络设计的双层规划模型	222
11.5	求解算法设计	223
11.6	数值实验	225
11.7	基于时刻表的动态公交配流方法的其他应用	227
11.8	小结	227
<b>第 12 章</b>	<b>基于 CTM 模型的 DUO 配流问题</b>	228
12.1	概述	228
12.2	符号及定义	232
12.3	元胞传输模型	233
12.4	动态用户最优的 VI 问题	236
12.5	实际路径阻抗的计算	238
12.6	先进先出条件	241
12.7	基于交替方向法的求解算法	242
12.8	算例分析	244
12.9	模型的展望	253
12.10	小结	253

<b>第 13 章 基于 CTM 模型的弹性需求条件下的 DUO 配流问题</b>	255
13.1 概述	255
13.2 符号及定义	256
13.3 弹性需求条件下的出发时间和路径选择的 DUO 模型	257
13.4 解的存在性和惟一性	260
13.5 先进先出条件	260
13.6 基于投影算法的求解算法	261
13.7 数值算例	263
13.8 小结	272
<b>第 14 章 基于 Greenshields 速-密关系模型的 DUO 配流问题</b>	274
14.1 概述	274
14.2 动态交通网络约束	275
14.3 基于 Greenshields 速-密关系模型的路段阻抗计算	276
14.4 基于瞬时路段阻抗的 VI 模配流型	279
14.5 求解算法设计	280
14.6 小结	282
<b>第 15 章 数据要求及应用实施问题</b>	284
15.1 数据要求	284
15.2 应用实施问题	288
15.3 将来的研究工作	295
15.4 小结	296
<b>附录 A 数学基础知识</b>	297
A.1 变量和矩阵	297
A.2 矩阵运算和范数定义	298
A.3 函数的基本性质	301
A.4 凸集、凸函数及函数的单调性	303
A.5 小结	306
<b>附录 B 道路交通流理论模型</b>	307
B.1 道路交通流理论模型的研究进展概述	309
B.2 道路交通流的基本特征	312
B.3 现有道路交通流理论模型简介与评述	316
B.4 道路交通流理论模型的发展趋势	329
B.5 小结	331
<b>参考文献</b>	332