



交通运输行业博士文库

*Regional Transport Network Hierarchical Property
and Optimization Design*

区域交通网络层次性与优化设计

曾明华◎著



人民交通出版社
China Communications Press



交通运输行业博士文库

*Regional Transport Network Hierarchical Property
and Optimization Design*

区域 交通网络层次性与优化设计

曾明华◎著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书系统、定量地研究交通网络时空结构演化规律与基于层次性的综合交通网络设计规划问题,试图构建交通网络分层次规划理论研究的支撑平台。全书共分9章,分别为绪论,可持续区域综合交通运输系统,区域交通网络层次性实证,区域交通网络演化下的层次性与网络性能,多层次多模式综合交通网络设计,区域综合交通网络设计的扩展模型与算法,基于层次性的交通网络资源优化配置方法,区域交通网络层次规划方法研究,结论与展望。

本书适合于交通运输规划与管理领域的科研技术人员、研究生和高年级本科生研读,也可供城市规划、管理科学与工程、运筹学与控制论、系统工程等相关专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

区域交通网络层次性与优化设计/曾明华著. —北京:
人民交通出版社,2011.5

ISBN 978-7-114-08981-7

I. ①区… II. ①曾… III. ①交通运输网—区域规划
IV. ①U113

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 051814 号

书 名: 区域交通网络层次性与优化设计

著 作 者: 曾明华

责任编辑: 张征宇 郭红蕊

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.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757969、59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京科印技术咨询服务公司

开 本: 880×1230 1/32

印 张: 6.375

字 数: 163 千

版 次: 2011 年 5 月 第 1 版

印 次: 2011 年 5 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08981-7

定 价: 35.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

进入 21 世纪后,中国城市化进程提速,区域经济得到史无前例的发展,并向协调平衡发展转变。如何大力发展区域性交通基础设施,使得交通系统与区域经济在发展的时间维和空间维上相互匹配,从而进一步加强各地域之间的分工与协作,实现区域统筹发展,这是当今的发展所面临的重大课题。

现实中存在这样的情况,同种交通运输模式在一定区域内的空间配置格局不合理,不同交通运输模式的配置结构不合理,各种交通运输模式之间的衔接、换乘不顺畅。这些都会导致局部地区和部分交通模式的交通能力过剩,而整体供给能力不足,交通能源消耗和环境污染问题严峻。如何从整体上进行系统地有效配置各种资源,包括交通运输网络资源,提高整体运输效率和可持续发展潜力,是亟待解决的问题。

经济建设的快速发展,给交通行业带来了前所未有的发展机遇。目前,我国正从单一模式独立发展向多模式交通的综合协调发展转变,多模式、立体化、一体化、可持续的综合交通网络建设已经提上了议事日程。

层次性是许多自然系统和社会系统的一大基本特性,是交通运输网络的基本特征,是多模式交通的伴生特征。层次结构与功能结构、布局结构等有着密切的联系,它伴随交通网络的演化而出现并不断向更高级阶段发展。因此,层次性可视为交通运输网络的内在属性。然而,具有层次性的交通网络是否能很好地体现可持续性,是否能将交通网络引向可持续发展的轨道呢?

交通网络的演化过程就是层次性出现和演化的过程。研究交

通网络层次性的演化及与交通网络性能的关系,对把握交通网络自组织规律,有针对性地提出交通网络规划方法具有重要意义。交通网络本身是开放性的自组织的复杂网络,20世纪90年代提出的复杂网络概念及其近年得以迅速发展、深入研究和广泛应用的多种理论,在交通领域已经成为重要的研究工具。本书试图利用复杂网络理论论证交通网络层次性的存在性;在交通复杂网络的宏观架构下刻画用户行为、交通流分配,刻画交通系统自身和环境对交通网络演化的影响,揭示交通网络性能与层次性的动态变化关系。这些定量建模研究突破了现有的某些研究框框。

在工程实践中,对某一种模式交通网络的规划与建设通常采用分层次规划的方法。而对综合交通网络而言,因其有多种交通模式参与,所以具有多层次的特点,其规划更应该采用层次规划方法,这才符合事物发展的自然规律。但是,当前许多这方面的规划设计与工程实践均建立在经验认识的基础之上,需要必要的理论支持,缺少指导性的分层次规划与设计的基础理论。

中国高速城市化伴生一对亟须解决的矛盾,即区域人口剧增与区域交通供给之间的矛盾,研究交通网络层次特征变化及其与交通需求变化的关系便显得颇为重要。随着城市化进程的加快,城市人口进一步迁移和集聚,城市空间结构发生较大变化,交通需求总量快速增长、分布呈现复杂变化,交通需求数量及分布模式的变化与交通设施建设的不同步性和非完好匹配,导致了城市交通拥挤并有加剧态势。生物层次性网络(如植物枝干网、动物的呼吸系统和血管系统)在最大化代谢能力方面为最优的典型案例,启发作者推演交通层次性网络在适应交通需求等方面的能力。

由于在交通工程实践中,规划师进行交通网络规划(最典型的如城市道路网络规划)时,经常用到分层规划思想,所以本书重点研究了综合交通网络设计的层次均衡问题,以及层次交通分配和层次规划方法等问题。

本书共分9章。第1章阐述研究背景及意义,评述研究现状,并提出研究目标、研究思路、研究线路和基本框架;第2章阐述可

持续区域综合交通运输系统,划分交通模式和运输服务模式的层次;第3章提出复杂网络的一些概念,对区域交通网络层次性结构进行实证分析;第4章利用无标度网络、交通网络配流理论、空间经济联系等刻画区域交通网络的时空结构演化过程,研究交通网络性能的层次特征相依性;第5章基于各交通模式与运输服务模式之间和内部的层次化、协调性以及融合思想,研究多层次多模式综合交通网络设计问题,重点探讨体现可持续特征的层次交通网络对需求增长的适应性问题;第6章研究弹性需求下带能力约束的多层次多模式区域交通网络设计问题的随机均衡模型及其等价变分不等式和相应的算法,研究区域物流网络设计问题的双层规划模型,并设计嵌入Lagrange对偶的遗传算法;第7章研究层次随机交通分配算法与基于层次性的交通网络资源优化配置方法;第8章研究基于交通系统与城市空间结构之间的动态互馈机制的交通产生预测方法,尝试研究和提出区域交通网络层次规划方法框架,并以长江三角洲城市群的区域交通网络与北京市西城区三里河区域交通网络为例,分析和阐述层次规划方法在交通规划实践中的应用;第9章总结全书研究结果并提出未来研究方向。

本书是作者多年学习探索的成果积累,凝聚着作者及博士生导师李夏苗教授的心血,部分内容包含作者最新的研究成果。本书的撰写工作得到毛保华教授、陈艳艳教授、史峰教授、符卓教授、王忠伟教授、张汉江教授等的指导和支持;本书的撰写与出版也得到“交通运输行业博士文库”出版项目、国家自然科学基金项目(No. 71071165)、华东交通大学教材(专著)基金资助项目和湖南省研究生科研创新基金项目(No. 3340-74236000003)的资助,作者在此表示衷心感谢。本书试图揭开可持续交通网络层次规划理论研究的“朦胧面纱”,作者期待借此书的出版与同行或有共同兴趣的朋友交流探讨,使相关研究理论更趋完善。

曾明华
2010年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 研究现状评述	3
1.3 研究目标、主要内容及框架	17
第 2 章 可持续区域综合交通运输系统	23
2.1 综合交通运输系统	23
2.2 交通运输网络系统	29
2.3 交通运输系统协调可持续发展	39
第 3 章 区域交通网络层次性实证	42
3.1 复杂网络的基本拓扑性质概念	43
3.2 复杂网络的网络性能	46
3.3 交通网络特性实证分析	47
3.4 结论与展望	57
第 4 章 区域交通网络演化下的层次性与网络性能	59
4.1 交通网络层次性的演化机理	60
4.2 交通网络演化模型构建	65
4.3 交通网络演化算法设计	70
4.4 交通网络性能评价指标	71
4.5 交通网络演化规律及性质评价	72
4.6 结论与思考	75
第 5 章 多层次多模式综合交通网络设计	77
5.1 综合交通网络设计问题	77

5.2	多模式多层次的综合交通网络设计	79
5.3	层次性对交通网络适应交通需求的影响分析	86
5.4	结论与思考	92
第6章	区域综合交通网络设计的扩展模型与算法	94
6.1	基于层次性的带能力约束多模式区域交通 网络均衡	94
6.2	长株潭区域立体物流网络规划模型与算法	103
6.3	结论	114
第7章	基于层次性的交通网络资源优化配置方法	116
7.1	构建交通网络系统	116
7.2	交通网络结构优化算法	118
7.3	层次性与交通网络性能及资源配置的 定量关系(一)	124
7.4	层次性与交通网络性能及资源配置的 定量关系(二)	127
7.5	交通网络资源优化配置方法	131
7.6	结论与思考	131
第8章	区域交通网络层次规划方法研究	133
8.1	交通运输网络层次规划方法评述	133
8.2	交通系统与城市空间结构间的动态互馈机制	136
8.3	城市道路网络的层次规划	140
8.4	基于交通系统与城市空间结构互馈机制的 交通产生预测方法	146
8.5	区域交通网络层次规划典型案例分析	149
8.6	结论	160
第9章	结论与展望	162
9.1	主要研究结论	162
9.2	研究展望	165
	参考文献	167



第1章 绪论

1.1 研究背景和意义

1.1.1 研究背景

目前,区域综合交通网络空间布局并没有形成一个比较系统的能满足规划需要的理论体系^[1]。有关综合交通运输网络结构、交通运输网络资源合理配置等体现可持续发展特征的综合交通运输网络研究相对滞后^[1]。为统筹协调地发展交通运输网络系统,需要从交通运输网络自身的系统特性入手,研究其规划与设计问题。

层次观点是现代系统论的3大支柱观点之一,层次性是交通运输网络的系统特性之一,是交通网络重要的基本特征,而多模式联合的出行中交通模式和服务类型的变化通常与网络层次相联系的特点使得层次网络自然成为处理多模式交通的途径之一。因此,本书从研究交通网络性能与层次性的演化过程及演化关系入手,尝试将层次性应用于交通网络优化设计与交通网络规划。

在国内外交通规划实践中,层次性特征已经得到了广泛应用。美国在1950年提出了“市区道路网规划中根据高速道路、干线道路、局部道路的不同功能赋予明确的特性分工,按一定层次构成网络”的思路^[2]。我国在交通运输网络规划实践中特别是在城市公交网络规划方面也普遍采用这种方法,例如,陆建、胡刚(2004)^[3],

肖滨、范炳全等(2005)^[4]。

实践证明,具有层次性的交通运输系统是交通运输系统结构优化设计的重要方向,层次性有助于完善系统功能和提高系统效率,是实现可持续多模式一体化交通运输体系发展的有效途径。需要指出的是,有关综合交通网络分层规划的工程实践,基本上是建立在实践经验之上的,缺乏必要的基础理论支持。

层次性作为交通网络重要的基本特征,在以往的研究成果中较少得以体现。关于层次性的研究中,大多数成果侧重于定性研究^[5-7],定量研究只有如 Horner 和 O' Kelly (2001)^[8]、Yamins 和 Rasmussen 等(2003)^[9]、Yerra 和 Levinson (2005)^[10]等少数几篇文献。国内外在综合交通网络分层规划的理论研究方面同样较为缺乏,相对于大量的工程实践是远远不够的^[3,4,11,12]。

交通系统是一个复杂的巨系统,解决区域交通问题是复杂的系统工程。当前,得到普遍接受、研究和应用的交通运输网络规划与设计理论及方法基本上是基于单一层次的思想,对交通运输网络自身特性和内在演化规律的研究不够深入。现有的规划理论面对综合交通运输体系的发展要求,尤其是可持续一体化综合交通网络的建设,无论是理论的完备性还是指导实践的有效性均显不足。

本书将始终把握“外因是变化的条件,内因是变化的根据,外因通过内因起作用”的哲学思想,定量建模研究层次性演化机理、交通网络演化规律以及可持续交通网络规划理论。从实际区域交通复杂网络所受到的社会经济、自然环境、区域空间结构等多方面主要因素的动态作用出发,特别融合交通系统与区域空间结构的动态互馈作用原理,协调交通运输供需动态平衡过程,构造由多种动力机制协同主导的网络演化动力系统,通过定量建模途径科学地论证交通网络层次性并刻画其演化规律。这些研究将为综合交通网络规划与设计提供理论基础。此外,基于交通网络的层次特征,在交通网络结构优化算法、(综合)交通网络规划与设计等方面开展应用研究。研究与探索结果将有助于深入认识多模式一体化



交通系统,进而完善综合交通运输体系的规划建设理论,更好地为综合交通运输工程实践服务。

1.1.2 研究目的及意义

交通运输网络规划是综合交通运输系统发展的基础,属于综合交通运输体系规划理论的研究范畴,是交通规划科学研究基本内容之一。本书将围绕区域交通网络的结构特性开展基础性理论和相应的应用研究。

层次性作为交通网络的基本特征,刻画其演化机理对研究一种面向可持续区域交通网络设计与规划具有重要意义。由于交通网络层次特征的演化是发生在动态时空中、由很多因素交互作用的极其复杂的过程,很难建立某种单纯的数学模型给予描述,因此,必须寻求建立一种科学合理、切合实际的定量模型来刻画其演化机理,并研究交通网络的演化规律。

对交通网络层次性及网络演化规律的研究会有助于更深刻地理解和研究区域交通网络规划与设计相关问题。在上述研究基础上,区别于传统意义上单纯从交通用户基于广义(理解)出行费用最小的路径和活动终端选择行为出发而进行的交通配流,设计出一种更体现实际情况、具有可持续特征的交通网络配流算法,从层次性视角研究交通网络资源合理配置途径,将为交通网络规划与设计提供新的解决方案和途径。

本书的研究将为实现可持续发展的区域一体化交通网络的规划与设计提供一种新的途径和方法,对丰富与完善现代综合交通运输规划理论,具有较大的理论价值与工程应用价值。

1.2 研究现状评述

交通网络层次性的演化机理与规律以及基于层次性的交通网络规划与设计研究属于综合交通运输体系规划理论的研究范畴,涉及交通工程、交通规划、城市规划、地理经济学、社会经济学、复

杂系统、数学规划等学科领域。综合利用相关学科理论与方法研究解决本课题所提出的问题,是交通规划基础理论研究领域的具有一定挑战性的工作。

层次性作为自然界的一种常见现象,是资源分配网络的基本特征^[13,14],如植物的分枝、动物的呼吸和血管系统等。West 等人于 1999 年在《科学》(Science)上发表的论文^[14],从最大化代谢能力即最大化资源交换场所表面面积和最小化内部运输距离方面证明了这种生物层次性网络是最优的。West 等人的文章总结说这种网络结构具有优势,它决定了生物中多种基本关系。

由于交通网络和生物网络之间存在重要差别,即生物网络具有一到多的结构或多到一的结构,而交通网络中多到多的形式是最主要的。因此,West 等人的思想与原理并不能照搬到交通网络。但这种研究成果给交通研究一种启发——交通网络的层次性作为交通网络的一大常见现象,是否也具有与生物层次性网络相似的系统特性;所具有的特性如何应用于交通网络规划与设计中。相关的研究成果可借鉴用于研究交通网络层次特征,并进一步研究体现可持续发展特点的交通网络配流算法以及交通网络设计与规划的方法。

1.2.1 交通网络层次性研究综述

国外学者较早注意到了交通网络层次性的问题,如 Taaffe、Morrill 等(1963)^[5]定性地解释了交通网络如何增长及道路层次性的出现。目前,已经有一些研究在对交通网络层次性进行定性分析^[6,7],但对层次特征的复杂演化机理进行定量建模分析较少,例如 Yamins 和 Rasmussen 等人(2003)^[9]、Yerra 和 Levinson(2005)^[10]、Lammer 和 Gehlsen 等(2006)^[15]。Horner 和 O' Kelly(2001)^[8]对航空运输服务网络的分析表明,在流量较大的情况下,如有某些导致较低运输费用的机制,那么将自动导致流量聚集到有限数量的服务线路上。较高需求量的交通或服务线路要求有较高层次的基础设施与之相适应,最后在供给方的干预下,

便会促成交通运输网络层次特征出现。Yerra 和 Levinson (2005)^[10]在特定的假定条件下对给定道路网络结构和土地使用分布建立了一个演化模型来捕捉导致道路分层的动力学原理。对网络层次性的定量建模研究的不足,无疑关闭了人们通往综合交通系统探索的另一扇门,因此,有必要定量建模以刻画交通网络及其层次特征的演化机理。

区域交通网络作为开放的复杂系统,其演化是一个在社会经济、自然环境、区域空间结构等多种因素与区域交通系统内部各要素之间相互动态反馈作用下的复杂漫长的过程。要对实际交通网络演化机理进行深入定量建模研究,需要跳出传统研究框架,将这个动态互馈关系置于特殊重要位置,并分析网络中交通用户的微观行为特征及交通分配的动态平衡过程。这就需要清晰地梳理空间层次性、系统科学(特别如复杂网络)、交通网络平衡分析等以及将它们应用于研究交通网络层次性的研究现状与存在的问题。

1.2.2 区域空间层次性研究综述

区域空间层次性分析,是本书研究问题不可或缺的思考维度,可以为交通运输网络层次性研究提供基础,启发思维。任何一个区域或国家都有各种各样的居民聚落,可以根据规模、居民数、密度或特殊功能(显然,这些标准之间有着很强的相关性)分成不同的类型或水平。这些种类或水平的级别导致了空间结构的层次。如果从功能的角度来分类这些居民聚落,空间层次的定义和交通网络的层次是相似的。这种层次性的起源本身是一个复杂的课题。许多机制以不同方式决定了居民聚落的大小和级别。这些机制和现实约束共同推进平衡进程,并因产业和城市功能变化而变化,且随时间波动。许多研究试图从集计的层面描述和解释空间层次性。描述性的研究有诸如城市分层^[16-18]、形态分析^[19,20]、分形分析(例如 Becker 和 Brenner 等(1994)^[21])等技术。解释性的研究大多数建立在经济原理之上^[18,22,23],而其他一

些研究强调空间发展机遇的重要性^[24,25]。解释性研究为描述性研究提供了支持,二者在空间层次性的研究方面具有重要的意义,进而对交通网络的层次性研究有一定启发。一些研究者利用城市人口演化情况对城市层次性进行了探讨(例如 Blank 和 Solomon(2000)^[26])。

1.2.3 应用复杂网络研究交通网络(性质)的研究综述

交通运输网络基础理论的研究不但对于丰富复杂网络理论及其他相关理论具有重要意义,而且对于交通运输网络规划实践具有重要指导意义。Watts 和 Strogatz 于 1998 年在《自然》(*Nature*)上发表的一篇文章中引入一个比规则网络和随机网络更接近现实的网络——小世界网络模型,也称为 WS 小世界模型^[27]。1999 年,Barabási 和 Albert 提出无标度网络模型,简称 BA 模型,指出许多实际网络的度分布具有某种幂指数的形式^[28]。自复杂网络提出至今,已经成为物理、数学、系统科学等领域的研究热点,取得了较大研究进展。人们对大量不同领域的实际网络进行了实证研究,如演员网络^[29]、万维网^[30]、科学家合作网^[31]和新陈代谢网^[32]。

近几年,复杂网络在交通领域的应用研究也越来越广泛,就具体交通网络拓扑特征进行统计分析的研究层出不穷,关于交通网络中存在的许多实际问题尚处于研究初期,但不断出现新的创新成果。高自友、赵小梅等(2006)^[33]在综述了当今关于小世界网络、无标度网络以及复杂加权网络的最新研究成果后,从城市交通系统的角度出发,指出综合利用复杂网络理论、动力系统理论、现代控制理论及交通科学和工程等多学科理论与方法来解决城市交通问题,对交通实践具有指导意义。

城市公共交通网络是交通网络大家庭中非常重要的一员,作为城市机体运转的输血管,发挥着实现城市功能的至关重要的作用。近年来,已有一些研究利用复杂网络分析了其拓扑性质、小世界性质、无标度性质等^[34-36]。Wu 和 Gao 等(2004)^[34]通过构建 O-D 网络分析了北京市公交网络的无标度及小世界特性。Sienk-

iewicz 和 Holyst(2005)^[35]研究了波兰 22 个城市的公交系统,采用两种网络模型对其进行分析。Xu 和 Hu 等(2007)^[36]在 L-空间和 P-空间中给出了中国北京、上海、南京的公共汽车运输网络的统计性质。李英、周伟等(2007)^[37]以上海市的公共汽车交通系统中的停靠站点网络为研究对象,计算了网络的度分布、平均路径长度、聚集系数等指标,表明上海市公共交通网络是一个无标度复杂网络。城市铁路、地铁等因其低能耗、低污染、低噪声、大容量、高速度等优良特性而越来越受欢迎,交通学者对城铁网络、地铁网络等也进行了与城市公共交通网络相似的研究^[38,39]。Latora 和 Marchiori(2002)^[40]研究了波士顿的地铁网络特性。Seaton 和 Hackett(2004)^[38]计算了波士顿和维也纳等两个城市铁路线路网络的拓扑特征,并将该结果与相应的随机二部图的理论预测结果进行比较。Angeloudis 和 Fisk(2006)对世界地铁网络复杂性进行了研究^[39]。由于交通效率是现代交通系统运营中一个非常重要的评价指标,人们对其也给予了一定的关注,例如, Wu 和 Gao 等(2006)^[41]基于复杂网络研究了公交网络的效率问题。

研究交通复杂网络的拓扑指标,揭示其所呈现的某些复杂网络性质,一定程度上可以为决策者提供有关交通网络全局特征的信息。目前,面向交通网络本身所固有的特性(如层次性)所开展的研究较为少见,本书的基础研究部分需要首先对交通网络层次性进行论证。已有一些数值研究表明,网络层次性与聚集系数 $C(k)$ (关于连通度 k 的函数)、网络匹配关系^[42-44]具有显著的联系;这些研究和前述中的内容一起,可以为本书论证交通网络层次性的存在性提供一定理论依据。大量实证结果表明,随机网络和 BA 无标度网络的 $C(k)$ 独立于 k ,网络不具有等级拓扑^[45];同时,也揭示出现实中除交通网络外的很多自然网络和社会网络一般具有层次模块性^[46]。有研究表明演员网络^[29]和万维网^[30]满足 $C(k) \sim k^{-1}$, AS 层次的 Internet 网络满足 $C(k) \sim k^{-0.75}$ ^[47]。Ravasz 和 Barabási 认为,聚集系数 $C(k)$ 和连通度 k 之间存在的这种标度律 $C(k) \sim k^{-\alpha}$ 量化了节点的聚集程度差异和层次性的共存性,指出

“‘在层次网络中,节点的聚集程度刻画了网络中存在不同群体,并服从严格的标度律’,这可以用来辨识现实网络中的层次组织”^[48]。Chen 和 Yu 等(2007)^[49]引入了一个简单的伪树形网络模型——一个理想化的复杂网络演化模型,研究表明生成的确定性复杂网络具有层次结构。

由于交通网络作为现实环境中的开放复杂系统,仅仅研究拓扑网络是远远不够的。以加权复杂网络为载体,还可以对交通复杂网络中普遍存在的用户交通行为^[50,51]和交通流动力学问题如混沌现象^[52,53]、分形特征^[54]等开展研究。例如, Wu、Sun 等(2008)^[50]利用网络拓扑结构和动力学性质研究了动态交通模型中的路径选择行为,刻画了从自由流到拥挤状态的相变过程,发现较大的度分布指数可以减轻或避免拥挤发生并且在该模型中无标度网络能承担更大交通量。这些微观层面的研究对解决拥堵问题具有实际意义。由于层次性网络作为现代交通网络的普遍特征,它的演化过程、产生机理以及与社会经济大系统中的其他因素之间的相互影响情况等,对于交通系统规划具有重要意义。因此,需要基于交通加权复杂网络,宏观与微观相结合地进行剖析。

1.2.4 交通网络分析的研究综述

到目前为止,基于交通网络层次特征研究网络平衡配流问题仍然是国内外一个尚待开发的课题;而与交通网络层次规划相关的问题,也只有少量文献涉及。Kirchhoff 和 Friedrich 等(1996)^[55]研究了包括连接和服务类型变量的公共运输网络,提出了放射线、弹性线路和需求响应运输系统的层次化结构。陆建、胡刚(2004)^[3]提出了基于“逐条布设、优化成网”方法和公交线路功能等级划分的常规公交线路布局层次规划法。

尽管如此,国内外在交通网络规划与设计方法、交通网络平衡分析理论及相应的决策支持系统等方面的大量成果都可以借鉴来研究基于层次性特征的交通网络设计与规划。

1.2.4.1 交通网络规划与设计方法

关于区域交通运输网络规划设计理论与实践,荣朝和、陆化普



和王炜等系统地总结了国内外关于交通运输规划的理论成果和工作经验,提出了类似的综合交通网络规划内容与流程^[1],关于区域网络结构优化方案、区域内各组团间运输通道网络优化设计、区域交通网络评价指标体系有大量研究成果^[56-62]。王媛媛、陆化普(2004)^[59]研究了在新的城市交通规划理论中将城市的资源和环境容量作为约束,最大化城市交通运输效率的交通网络与土地利用一体化模型,整个规划过程能够更好地反映城市结构与城市交通系统的动态关系,寻找有利于城市可持续发展的土地利用形态和交通结构状态。沈未、陆化普(2005)^[63]研究了基于土地利用的城市交通结构(方式分担)。林震、杨浩(2005)^[64]针对城市交通结构问题,运用 Logistic 方程来描述公共交通和私人交通这对基本矛盾的演化过程,建立了在城市交通生态承载力限制下交通竞争的微分方程模型。杜进有(2007)^[65]给出了区域交通网络结构优化的步骤,基于路网上双向、空重车流路径同时进行优化的多目标线性优化模型,并采用基于满意度原理的多目标优化算法^[66]研究了一个实例。赵航、何世伟等(2007)^[61]运用离散优化方法研究了区域内各组团间运输通道网络优化设计问题,使综合运输通道满足规划年的客货运需求以及各种运输方式的平均出行时间满足要求,分析说明客货运需求与运输通道建设的关系,构造了综合运输通道投资建设总费用的简单优化模型。刘晓佳、李友好等(2007)^[67]为了克服基于静态的多元 Logit 随机效用的选择模型的不足,假设交通方式出行广义费用关于其出行量和旅客时间价值(随机变量)的双参数模型,进而描述运输通道内各运输方式交通量的时间空间演化特征。

关于交通网络设计问题(NDP, Network Design Problem),主要包括连续网络设计问题(CNDP)^[68]和离散网络设计问题(DNDP)^[69],国外的研究已比较成熟。自 Morlok 于 1973 年首次提出定量的交通网络设计问题并展开研究以来,此后在国际上许多学者如 Morlok、LeBlanc、Sheffi、Friesz、Marcotte、Bell 等对交通网络设计问题展开了深入的定量化研究,提出了描述网络设计的数学