

张 华 李卫东 杨 雪 著

高速公路网络优化 理论及应用



科学出版社

高速公路网络优化 理论及应用

张 华 李卫东 杨 雪 著

科学出版社

北 京

内 容 提 要

本书首先对公路网络设计的方法给予了介绍,在此基础上着重介绍了高速公路交通量预测研究的思路和方法。其次,建立了一种基于效用分解的路网节点分类模型,从而求得节点的重要度。通过建立待建路段的综合评价指标体系,提出了基于证据理论的路段排序方法。再次,以交通量的预测为基础,提出了分阶段分析方法和系统分析方法,确定道路的调整策略。同时利用不确定性理论包括粗糙集和模糊熵建模,研究了不确定环境下的公路货运枢纽布局问题和货运站场选址问题。最后,利用前面的理论方法和收集的数据资料,对京港澳高速公路河南段的改扩建进行了分析,提出了相应的调整策略。

本书适合高等院校及科研院所相关专业人员、高速公路经营企业管理人员、政府工作人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路网络优化理论及应用 / 张华, 李卫东, 杨雪著. —北京: 科学出版社, 2011.11
ISBN 978-7-03-032602-7

I. ①高… II. ①张… ②李… ③杨… III. ①高速公路-公路网-最佳化-研究 IV. ①U412.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 216092 号

责任编辑: 荣洁莉 / 封面设计: 陈思思

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码: 100717
<http://www.sciencep.com>

四川煤田地地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年12月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2011年12月第 一 次印刷 印张: 7 1/4

字数: 120千字

定价: 38.00元

前 言

交通运输是国民经济的基础性、服务性产业，是合理配置资源、提高经济运行质量和效率的重要基础。早在18世纪，亚当·斯密在《国富论》中就深刻地指出：“在一切改良中，以交通运输改良最为有效。”人类社会发展的历史证明，交通运输对于一个国家或地区的经济与社会发展至关重要。国内外经验表明，高速公路具有行车速度快、通行能力大、运输成本低、行车安全舒适等经济技术特点，有利于集约利用土地资源、降低能源消耗、减少环境污染、提高交通安全性，对实现社会经济可持续发展具有积极作用。

近10年来，伴随着综合国力的全面提升，我国陆路、航空、水路交通建设实现了历史性跨越，高速公路建设成就尤其令世人瞩目。除西藏外，各省、自治区和直辖市都拥有了高速公路。高速公路的快速发展，大大提高了我国公路网的整体技术水平，优化了交通运输结构，对缓解交通运输的“瓶颈”发挥了重要作用，有力地促进了我国经济发展和社会进步。但是，我国地域辽阔，人口众多，经济总量和民用汽车保有量都处于高速增长时期，运输需求还有很大的增长空间，目前交通紧张状况的缓解还是相对于较低的社会经济发展水平和运输水平而言的，公路交通总体上仍然是低水平的、不全面的、不稳定的。

2004年9月，交通部出台了《国家高速公路网规划》。这是中国历史上第一个“终极”的高速公路骨架布局，同时也是中国公路网中最高层次的公路通道。各省将围绕这个指导性纲领，提出本省

的高速公路建设规划。在我国构筑完善的国家高速公路网，是全面建设小康社会和实现现代化建设目标的客观需要和迫切要求；对于促进国家经济增长、提高人民生活质量、维护国家安全等都具有重要价值；不仅对交通发展具有划时代意义，而且对整个社会经济发展都将产生深远和积极的影响。

就高速公路网的现状而言，其建设耗资巨大，建设资金严重短缺，为了有效地利用资金，提高公路建设投资的社会经济效益，必须对区域公路网的合理规模加以研究。如果高速公路网建设规模超过实际公路交通需求，将导致大量建设资金的过早占用，并造成土地等资源浪费和大量拆迁损失，这有悖于我国处于发展中国家、建设资金短缺的国情；而建设规模过低，则规划建设的公路在投入使用后会因为实际交通量的迅速增加而产生交通饱和、车辆拥挤、运输效率低下、交通事故频繁等一系列后果，成为制约区域社会经济持续健康发展的瓶颈。因此，根据经济的发展情况，从宏观上把握公路建设投资的总体规模，调整投资强度，对于合理利用资金，以最小的代价来缓解交通运输的供需矛盾，改变当前被动局面，从而保证公路交通的可持续发展，具有非常重要的现实意义。

从理论上讲，区域高速公路网发展是区域公路网规划理论的重要组成部分，是路网优化的前提和基础。该项研究有利于促进公路网规划理论的进一步完善，提高公路网规划的可靠性和科学性。

在本书中，我们主要采用定量方法对区域高速公路布局优化和结构调整进行了系统地研究和分析。在进行理论探讨的同时，通过数据调查、搜集和分析，根据本书提出的方法和模型，对河南省高速公路网进行了实证研究，提出了相关的解决方案和决策建议。具体有以下方法：

(1) 预测方法。用于对高速公路所在区域的交通需求、人口、经济、运输量、车量拥有量等指标进行预测。

(2) 多准则决策理论。用于对高速公路网中的节点层次进行

分类。

(3) 优化理论和智能优化算法。建立路网容量扩张的双层规划模型,设计遗传算法求解。

(4) 模糊集和粗糙集理论。对公路货运交通枢纽进行选址规划。

(5) 证据理论。对高速公路路段的建设时序进行分析。

本书共分8章。第1章总结、评述了高速公路网络优化布局的国内外研究现状。第2章介绍了高速公路网布局中常用的交通需求的预测与分配模型,并分析其相应的特点。第3章研究了高速公路网中节点层次划分问题。针对现有的节点层次划分方法的不足,提出了信息不完全下的公路网节点层次划分模型,从而确定节点的重要度,进行公路网的布局优化。第4章研究了高速公路网中路段重要度的计算问题,通过对路段进行定性和定量相结合的分析,利用证据理论对信息不确定情形下的路段重要度进行建模,求解后确定路段的建设时序。第5章研究了高速公路网的调整策略问题。第6章研究了公路货运枢纽选址问题。第7章以京港澳高速公路河南段为例,运用前面章节的理论方法对其改扩建技术选型作了实证研究。第8章对全文进行了总结。

本书不仅是作者个人的科研成果,还凝聚了广大同行和学子的智慧和成果,在此表示诚挚谢意!由于作者的学识水平、时间和精力有限,书中的一些思想和观点难免存在不足。在此,恳请广大读者和专家批评指正。

目 录

前 言	(1)
第 1 章 引论	(1)
1.1 国内外高速公路发展概况	(1)
1.1.1 国外高速公路发展概况	(1)
1.1.2 中国高速公路发展概况	(4)
1.2 公路网络规划理论发展历程	(5)
第 2 章 高速公路网络的交通量预测	(7)
2.1 交通量预测简介	(7)
2.2 交通量预测思路	(7)
2.3 交通量单项预测法	(9)
2.3.1 预测的内容	(9)
2.3.2 交通量转移的影响因素分析	(11)
2.3.3 转移交通量预测模型	(12)
2.3.4 诱增交通量预测模型	(13)
2.3.5 收费对预测流量的影响分析	(14)
2.4 四阶段法	(15)
2.4.1 交通生成预测	(15)
2.4.2 交通分布预测	(17)
2.4.3 交通方式划分预测	(19)
2.4.4 交通分配	(20)
第 3 章 高速公路网络的节点分类	(21)
3.1 节点分类的内涵与意义	(21)
3.2 基于 UTADIS 的节点分类方法	(22)

3.2.1	前提条件	(22)
3.2.2	效用	(22)
3.2.3	分类模型	(23)
3.2.4	灵敏度分析与分类	(24)
3.3	实证研究	(24)
第 4 章	高速公路网络的建设排序	(28)
4.1	公路网络建设排序的意义	(28)
4.2	待建路段综合评价指标体系	(29)
4.2.1	综合评价指标体系	(29)
4.2.2	定性指标的表示方法	(30)
4.2.3	定量指标的表示及转化	(31)
4.3	基于证据理论的路段排序方法	(32)
4.3.1	证据的概念	(32)
4.3.2	证据的数学理论	(32)
4.3.3	基于证据理论的公路网建设排序方法	(33)
4.4	实证研究	(35)
第 5 章	高速公路网络的货运枢纽布局	(37)
5.1	公路运输枢纽	(37)
5.1.1	公路运输枢纽的概念	(37)
5.1.2	公路运输枢纽的分类	(38)
5.1.3	公路运输枢纽的层次	(38)
5.1.4	公路货运枢纽	(39)
5.2	公路货运交通枢纽布局模型	(40)
5.2.1	规划公路货运交通枢纽的一般步骤	(40)
5.2.2	模糊熵权	(41)
5.2.3	模型建立	(42)
5.2.4	模型求解	(43)
5.3	货运站场选址方法	(44)
5.3.1	背景	(44)
5.3.2	备选配送中心的综合评价价值	(45)
5.3.3	模型建立及求解方法	(49)

5.3.4 算例分析	(50)
第 6 章 高速公路网络的优化策略	(54)
6.1 公路网络优化的决策分类	(54)
6.1.1 优化布局的内容	(54)
6.1.2 基本思路和流程	(54)
6.2 结构优化方法	(57)
6.2.1 分阶段优化方法	(57)
6.2.2 系统优化方法	(57)
6.2.3 方法的比较	(61)
第 7 章 典型案例——京港澳高速公路河南段改扩建项目	(62)
7.1 准备工作	(62)
7.1.1 基本情况	(62)
7.1.2 交通小区划分	(63)
7.1.3 交通量调查	(64)
7.1.4 基年路网和特征年路网设定	(64)
7.1.5 客货运输量发展的基本趋势	(65)
7.1.6 社会经济和交通量预测思路	(66)
7.2 社会经济预测	(67)
7.2.1 概述	(67)
7.2.2 项目影响区社会经济预测	(68)
7.3 交通生成预测	(72)
7.3.1 交通经济回归模型	(72)
7.3.2 公路客货运弹性系数	(73)
7.3.3 交通量增长率预测	(75)
7.4 交通分布预测	(76)
7.5 诱增和转移交通量预测	(77)
7.5.1 诱增交通量预测	(77)
7.5.2 转移交通量预测	(78)
7.6 交通分配预测	(78)
7.6.1 交通分配参数准备	(78)
7.6.2 交通分配	(80)

7.7 分阶段分析	(81)
7.7.1 设计速度的选定	(81)
7.7.2 车道数确定	(81)
7.7.3 主要结论与建议	(87)
7.8 容量扩张模型	(88)
第 8 章 总结与展望	(89)
8.1 总结	(89)
8.2 展望	(90)
参考文献	(92)
附 录	(97)

第1章 引 论

交通运输是国民经济的基础性、服务性产业，是合理配置资源、提高经济运行质量和效率的重要基础，是将世界联系在一起的纽带。早在18世纪，亚当·斯密就在《国富论》中深刻地指出：“在一切改良中，以交通运输改良最为有效。”人类社会发展的历史证明，交通运输对于一个国家或地区的经济与社会发展至关重要。国内外经验表明，高速公路具有行车速度快、通行能力大、运输成本低、行车安全舒适等经济技术特点，有利于集约利用土地资源、降低能源消耗、减少环境污染、提高交通安全性，对实现社会经济可持续发展具有积极作用。

1.1 国内外高速公路发展概况

1.1.1 国外高速公路发展概况

20世纪50年代以来，西方发达国家交通运输发展的重要特点之一是大规模地建设高速公路。50年代中期，西方发达国家逐渐从第二次世界大战虚弱的经济状态中走出来，向经济的快速发展和社会的现代化建设大步迈进。社会运输需求不仅总量增长，需求结构和需求形式也在日益变化。有限的交通运输容量已逐渐成为一个国家甚至是世界交通运输的发展瓶颈。同时，公路的运输需求不断增长，而铁路运输需求则不断减少。这主要表现在，发达国家由于私人小汽车拥有量的不断增加，使得小汽车成为主要的客运工具。建设普通的公路已不能满足交通量增长以及客运时效性的需要，而高速公路以其安全、舒适、全立交、全天候运行、全部控制出入、隔离双向行驶的特点，使得客运通行能力和运输速度大幅度提高，高速公路已逐渐成为发达国家公路交通以及公路建设的发展重点。高速公路不仅是交通运输现代化的标志，

也是一个国家现代化的重要标志。因此,建设高速公路是提高交通运输能力和适应经济社会发展需要的必然选择。目前,全世界已有 80 多个国家(地区)拥有高速公路,高速公路通车里程达到 22 万多公里。发达国家由于拥有雄厚的资金实力、先进的公路管理体制以及悠久的发展历史,已经构筑起与本国经济发展相适应的大规模高速公路网。

1. 欧洲高速公路发展概况

欧洲是世界上经济发展平均水平最高的地区,为了适应经济的快速发展,各国都在大力改善交通条件。高速公路以其安全、快速、舒适的特点更是后来居上,蓬勃发展。

德国是世界上最早正式修建高速公路的国家。1932 年,德国建成通车的波恩至科隆高速公路,是世界上第一条高速公路。当时,德国为解决 1929 年“大恐慌”造成的社会失业问题,计划于 1933 年开始建设以柏林为中心通往各边境的辐射式道路以及与之相连接的环形道路,总长约 7500 公里。由于战争原因,这一工程后来不得不终止。从 1950 年开始,随着经济的飞速发展,德国高速公路的建设进入了一个新的历史阶段。当时的西德按照 1959 年的公路建设 12 年发展计划,要修建 3000 公里高速公路和 12000 公里的联邦道路。到 1970 年,总计大约完成 4500 公里的高速公路。随着经济的发展和国民收入的增加,旅游业在德国也逐渐兴旺起来,这又进一步促进了国家高速公路网的建设。1990 年德国统一后,制定了 1991~2010 年州际高速公路发展计划,计划建设与周边国家和地区相贯通的高速公路系统。德国高速公路由联邦交通局负责制订计划,委托各州的公路局建设和管理境内的高速公路。联邦政府利用油税收入资助高速公路建设,州政府主要利用汽车保有税和其他收入投资公路建设。在道路安全管理方面,通过道路交通部门和公路管理部门的分工协调工作实现最好的管理效果。

法国政府于 20 世纪 20, 30 年代开始建造高速公路,二战期间被迫中断。二战后,法国在恢复国民经济的基础上,加速公路建设,大力发展高速公路。70 年代法国实行私营高速公路特许公司制,大大加快了高速公路建设步伐,到 1985 年已逐步建成了运输畅通的全国公路网。法国高速公路无论是建设、运营还是维护,主要以特许经营进行。这种自主投资经营的制度,使得高速公路建设资金更加充裕,服务质量更加优质。

意大利位于欧洲南部,其地形以丘陵和山岭重丘为主。二战后,由于经济发展的需要和意大利的地理特点,其公路建设特别是高速公路建设任务十分繁重和艰巨。但经过几十年的努力,截至2005年,意大利高速公路通车总里程已超过6300公里,高速公路承载的交通量在全国总交通量中占据很高的比例。另外,意大利也是世界上最早发展特许经营公路的国家之一。1924年建成的第一条米兰至莱克斯公路,就采取了特许经营的方式。这些公路上市公司在高速公路事业的快速发展中发挥着巨大的作用。

在全球一体化的今天,为了发展区域性经济,更好地发挥高速公路优势,加强国际间的联系,欧洲一些国家正在把高速公路连接起来,从而构成国际高速公路网,如纵贯全欧,北至丹麦的哥本哈根,经德国和奥地利,南至意大利的罗马,全长达2100公里的高速公路等。

2. 美国高速公路的发展概况

在美国,几乎户户有车,人们已习惯了“车轮上的生活”。路和汽车的完美结合极大地推动了这个国家的高速公路建设事业。美国高速公路起步虽然比德国、意大利、法国晚,但它是目前高速公路最多、总里程最长和路网最发达的国家。1937年美国在加利福尼亚州建成第一条高速公路,这条路只有11.2公里。1939年,美国议会通过了“州际国防公路网计划”,开始了高速公路建设。二战后,为了国防的需要,美国政府构思要在全美范围内的大都市间修建高速公路网,并于1944年提出在全美大约要建设5.47万公里高速公路来连接所有超过30万人口的城市和80%人口在5万以上的城市。但后来由于资金短缺,这些规划只是局部完成,并且由于当时的技术标准有限,这些公路在20世纪70、80年代因为各方面的缺陷都纷纷进行了重建。

1960年以后,以连通和改善交通干线为重点的州际高速公路建设取得重大进展。目前,全美公路里程约650万公里,其中高速公路8.9万公里,约占世界高速公路总里程的一半,连接了全美所有5万人以上的城镇。任何一个地区,甚至是相当偏僻的山区,都可以方便地利用高速公路实现驾车出行。

作为一个联邦制资本主义国家,美国的高速公路建设与管理有自己鲜明的特点。高速公路的建设和管理体制可归纳为联邦资助、地方所有的分权体制,即由联邦政府投资资助各州境内州际公路项目的建设,建成后由各州依据自身情况进行管理和养护。在高速公路建设中,政府采用一次性征地,分

阶段实施的方法,避免因交通量增加而出现二次征地或新建道路的现象。在道路发展和保护方面,美国的高速公路从定线、设计和构筑物的设置方面都充分体现了环境保护的特点。在高速公路管理中,美国采用业主项目管理的管理模式,即由业主将工程设计、环保再定居计划和监理工程师统领起来,并通过监理工程师对承包人实行管理。在业主统一领导下,通过各部门的协调工作来达到最好的工程完成效果。在高速公路建成后改扩建方面,美国尽量采用最低的经济成本来满足交通量的需求。为缓解交通堵塞,美国许多州和城市除科学地解决路与路之间交叉的问题以及采用先进的疏导手段外,还积极提倡小汽车 2 人以上乘坐。有的高速公路按法规设置了供乘坐 2 人以上汽车行驶的专用车道,有的则规定必须是乘坐 3 人以上的车辆才能进入专用车道,对擅自占用专用车道的给予相应的处罚。这种强制性的管理手段,提高了车辆利用率,降低了车辆使用数量,在缓解交通堵塞方面发挥着重要作用。

1.1.2 中国高速公路发展概况

在工业化转向逐渐成熟的发展阶段时,大规模建设高速公路成为各国交通运输发展的共同规律。许多经济振兴的发展中国家也继发达国家之后于 20 世纪 60、70 年代开始大规模兴建高速公路,同样产生了巨大的运输效益和社会经济效益。

就我国而言,1978 年,台湾第一条高速公路——中山高速公路通车,全长 373 公里,当地居民首次享受到了高速公路的便利性。1988 年大陆第一条高速公路——沪嘉高速公路通车,南起上海市区祁连山路,北迄嘉定南门,全长约 20.5 公里,实现了大陆高速公路建设的“零”的突破。此后 20 年间,我国高速公路建设突飞猛进,进入疯狂发展的阶段。据统计,到 2007 年年底全国高速公路通车里程超过 5.4 万公里。除西藏外,各省、自治区和直辖市都拥有了高速公路。

高速公路的快速发展,大大提高了我国公路网的整体技术水平,优化了交通运输结构,对缓解交通运输的“瓶颈”制约发挥了重要作用,有力地促进了经济发展和社会进步。但是,由于我国地域辽阔,人口众多,经济总量和民用汽车保有量都处于高速增长时期,运输需求还有很大的增长空间,所

以目前交通紧张状况的缓解还是相对于较低的社会经济发展水平和运输水平而言的,公路交通总体上仍然是低水平的、不全面的、不稳定的。

2004年9月,交通部出台了《国家高速公路网规划》。这是中国历史上第一个“终极”的高速公路骨架布局,同时,也是中国公路网中最高层次的公路通道。各个省将围绕这个指导性纲领,提出本省的高速公路建设规划。在我国构筑完善的国家高速公路网,是全面建设小康社会和实现现代化建设目标的客观需要和迫切要求;对于促进国家经济增长、提高生活质量、维护国家安全等都具有重要价值;不仅对交通发展具有划时代的意义,而且对整个社会经济发展都将产生深远的、积极的影响。

1.2 公路网络规划理论发展历程

交通规划理论的产生和发展大致可分为4个阶段(刘灿齐,2001)。萌芽阶段:从有人类文明开始,就有了交通问题。在工业化时代以前,特别是汽车出现之前,交通问题都很简单,但交通规划仍然存在。例如我国古代的城市,道路都是纵横交错的,类似于棋盘。随着汽车业的迅猛发展,道路容量和汽车出行之间的供需矛盾日益突出。早在1944年,美国就做了交通出行方面的数据统计分析,随后,他们还利用系统分析方法对城市道路的布局进行了规划。1950年,日本也对东京的机动车出行进行了调查。以上都是各国对交通规则初步探索和尝试,在这个阶段,交通规划尚未形成系统的理论,因此属于萌芽阶段。四阶段法阶段:1962年美国芝加哥市发表的《Chicago Area Transportation Study》标志着交通规划理论的诞生。美国的联邦公路法规定凡5万人口以上城市,必须制定以城市综合交通调查为基础的城市圈交通规划,才能获得联邦政府的公路建设财政补贴。这项法律直接促成了交通规划理论的形成和发展。最开始,交通预测仅仅是对交通量的发生、交通量的分布以及交通量的分配3个阶段进行预测。20世纪60年代后,日本广岛首先通过划分交通方式对都市圈做了规划。此后,交通发生、交通分布、交通发生划分和交通分配这4个步骤组成了交通规划的主要内容,称为四阶段法理论。人们又将交通发生划分与其他3个步骤做了不同形式的结合,相应的得出不同的预测方法。非集合模型(Disaggregate model)阶段:20世纪60

年代后期,出现了非集合模型的研究。起初非集合模型主要用于交通方式的划分,70年代后,McFadden等学者对它进行了深入的研究,并将其推向实用化。非集合模型与四阶段法有着根本的区别:四阶段法按交通分区来统计个人交通活动的的数据资料,因此是以交通分区为单位的模型;而非集合模型的分析单位是个人,对调查得到的数据不进行统计处理,通过建立个人的效用函数,引入效用理论和概率论法进行直接分析研究。非集合模型至今仍在发展之中。平衡模型加计算机技术阶段:自1975年LeBlanc提出Beckmann平衡交通分配模型的算法以来,人们借助各种现代的应用数学工具,特别是计算智能(包括神经网络方法、遗传算法、粒子群算法等)对平衡问题的数学模型及其算法进行研究。随着计算机技术的快速发展,求解大规模的、复杂的非线性数学规划模型越来越容易实现。特别是后来得到了欧洲和我国港台等地学者的响应,近30多年来取得了可喜的成果,基本上形成了一个新的研究方向——交通网络设计(NDP-Network Design Problem)。这个领域是近30多年来交通规划的一个主要研究内容。

第2章 高速公路网络的交通量预测

2.1 交通量预测简介

交通量是高速公路规划与设计的基本依据。交通量的预测在高速公路规划与设计的整个过程中,始终都是一项具有重要意义的工作。从高速公路规划的基本程序来讲,区域公路交通、社会经济发展等情况的调查及现状分析与评价是规划的基础,对公路交通量的预测是规划工作的关键,规划方案的设计与优化是规划工作的核心。交通量预测准确与否,对高速公路规划与设计的影响巨大而深刻。如果交通量预测过大,规划设计的高速公路因技术标准较大幅度地超过实际需求,必然过早占用大量资金,并造成土地等资源的浪费和大量拆迁损失。如果交通量预测偏小,则规划设计建设的高速公路在投入使用后会因实际交通量的迅速增加而产生交通饱和、车辆拥挤、运行效率降低、交通事故频繁等后果。所以,充分重视高速公路远景交通量预测工作,提高预测的准确程度,可以大大减少规划设计失误所造成的损失与浪费,显著提高社会效益。交通预测模型是交通状况同有关因素之间的定量描述。交通预测模型使规划的定量分析成为可能,有了定量分析,才能对定性分析所得到的概念进行量化界定,对由定性分析得出的结论进行测试检验。而最优化模型可以利用现代计算机技术在海量数据中找出最优值或满意值,有着定性分析所不能比拟的优势。

2.2 交通量预测思路

高速公路交通量预测方法一般分为单项分别预测法和基于OD调查资料的四阶段预测法。单项分别预测法从交通运输通道的角度来分析通道内高速