

2012年度宁波市社会科学学术著作出版资助项目

黄柯
著

考虑环境污染控制的 城市交通网络优化问题研究

Optimization Model and Algorithm of
Urban Traffic Network Considering Environmental Pollution Control



经济科学出版社
Economic Science Press

2012年度宁波市社会科学学术著作出版资助项目

黄柯
著

考虑环境污染控制的 城市交通网络优化问题研究

Optimization Model and Algorithm of
Urban Traffic Network Considering Environmental Pollution Control



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

考虑环境污染控制的城市交通网络优化问题研究/
黄柯著. —北京: 经济科学出版社, 2015. 5
ISBN 978 - 7 - 5141 - 5740 - 6

I. ①考… II. ①黄… III. ①城市交通网 - 交通规
划 - 研究 IV. ①U491.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 095748 号

责任编辑: 李 雪 刘 莎
责任校对: 王苗苗
版式设计: 齐 杰
责任印制: 邱 天

考虑环境污染控制的城市交通网络优化问题研究

黄 柯 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http: //jjkxcbs. tmall. com](http://jjkxcbs.tmall.com)

北京季蜂印刷有限公司印装

787 × 960 16 开 14.25 印张 150000 字

2015 年 5 月第 1 版 2015 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 5740 - 6 定价: 48.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191502)

(版权所有 侵权必究 举报电话: 010 - 88191586)

电子邮箱: [dbts@ esp. com. cn](mailto:dbts@esp.com.cn))

前 言

随着经济的发展和生活水平的提高，交通机动化程度加剧，引起的大气污染、噪声污染成为影响城市环境质量的主要污染源之一。另外，城市交通网络设计必须考虑降低交通污染这一不容忽视的问题。因此，从系统和全局的角度将环境污染控制和交通网络设计有机融合，是解决环境问题最迫切最有效的方法之一，这也是本书将两者结合研究的主要原因。

本书首先从宏观角度分析交通网络中的环境污染控制机理，提出了基于“共生效益”和“均衡供需”的环境污染控制手段，构建了共生理论视角下的交通环境承载力的测度模型和评价模型，为中观角度的研究提供指导思想和理论依据。而后为更精确地控制交通环境污染，从中观角度研究了城市交通网络中的尾气排放控制策略和噪声污染控制策略。其主要原理是通过分析城市某区域的车辆运行与环境污染的关系，采取某些措施和手段，以提高交通运行效率，缓解交通环境污染。本书的研究范畴仅限于以静态交通分配固定需求为基础的交通网络中环境污染管理和控制措施，采用数学规划类方法、智能算法、计算机模拟仿真相结合的方法来分

析和解决问题。研究的主要内容如下:

(1) 首先对国内外研究现状进行了分析,包括考虑环境因素的道路网络优化方法,尾气排放模型、噪声预测模型、环境污染控制方法和粒子群算法,在此基础上归纳和总结了当前研究存在的问题。并据此确定了本书研究的范围、方法、内容和技术路线。

(2) 分析了城市交通网络领域和环境污染控制领域的理论和方法,包括城市交通网络平衡分析、双层规划模型、尾气排放模型、噪声预测模型,为构建复杂的优化模型打下坚实的理论基础。

(3) 针对求解复杂交通网络优化问题的粒子群算法研究,主要通过引入免疫选择、混沌搜索、多种群演化、自适应繁殖等策略对粒子群算法改进,提出基于免疫选择的自适应繁殖混沌粒子群算法(ICPSO算法)。通过交通网络优化算例和针对交通网络特征的性能仿真,证明改进算法在加快收敛速度、增强粒子多样性、防止早熟现象等方面的有效性,为构建复杂交通网络的优化模型提供便捷的求解途径。

(4) 将共生理论和供需平衡原理引入交通网络的环境污染控制中,分析了由共生单元、共生模式、共生环境三要素构成的城市交通共生网络,提出了基于“共生效益”和“均衡供需”的环境污染控制手段,阐述了其概念和作用范围、目标和实现方式。利用DPSIR模型从驱动力、压力、状态、影响、响应环节筛选出环境压力

的关键因子：土地利用、能源消耗、尾气排放、噪声污染，据此从共生理论视角定义了城市交通环境承载力的内涵和外延，构建了交通环境承载力的测度模型和评价模型，为从宏观角度控制城市机动车规模提供了决策依据，同时也为城市交通网络的优化模型中约束条件所参照的环境阈值提供了量化手段。

(5) 在共生效益思想指导下，采取多种手段组合优化的策略来控制城市交通网络中的尾气排放。首先构建了考虑行驶工况和信号配时的尾气排放模型，分析了路段能力增量和信号配时对怠速时间和阻抗函数的影响，在此基础上构建了道路拓宽费用调节下的双层规划模型，利用 ICPSO 算法求解并进行算例仿真分析，最后是所做工作总结和针对性措施。

(6) 在共生效益思想指导下，构建了考虑重车比例和临街建筑物布局类型的噪声污染模型，据此构建了噪声分区控制思想下的双层规划模型，利用 ICPSO 算法求解并进行算例仿真分析，最后是所做工作总结和针对性措施。

希望上述研究能为制定科学合理的交通管理和控制措施提供决策依据，为交通规划方案设计考虑环境污染控制提供定量方法，为衡量 ITS 智能交通系统是否先进合理提供主要手段。

黄 柯

2015 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究的背景及意义	1
1.1.1 研究的背景	1
1.1.2 研究的意义	3
1.2 国内外研究现状	4
1.2.1 考虑环境因素的道路网络优化方法	5
1.2.2 尾气排放模型	9
1.2.3 噪声预测模型	12
1.2.4 环境污染控制方法	14
1.2.5 粒子群算法	17
1.3 当前研究存在的问题	24
1.4 研究的范围界定和方法	24
1.5 研究的内容和技术路线	25
第 2 章 城市交通网络和环境污染控制理论与方法	28
2.1 交通网络平衡分析	28
2.1.1 系统最优模型	29
2.1.2 用户平衡模型	29
2.2 双层规划模型	30

2.3	尾气排放模型比较	32
2.4	噪声预测模型比较	35
第3章 求解复杂交通网络优化问题的粒子群算法设计		38
3.1	传统粒子群算法	39
3.1.1	基本粒子群算法	39
3.1.2	混沌粒子群算法	41
3.2	基于免疫选择的自适应繁殖混沌粒子群算法	43
3.2.1	问题的提出	43
3.2.2	基于免疫选择的自适应繁殖	44
3.2.3	防止亲近繁殖的多种群演化优选机制	46
3.2.4	考虑部分不可行解的约束处理机制	49
3.2.5	改进的 ICPSO 算法步骤	50
3.2.6	交通网络优化算例	54
3.3	针对交通网络特征的性能仿真	58
3.3.1	多峰函数优化	59
3.3.2	带高维复杂约束条件函数优化	63
3.3.3	双层规划函数优化	65
3.3.4	性能仿真小结	68
第4章 城市交通网络环境污染控制机理		70
4.1	基于“共生效益”和“均衡供需”的环境污染 控制手段	70
4.1.1	供需平衡原理	70
4.1.2	基于共生理论的城市交通网络	74
4.1.3	环境污染管控手段的概念和作用范围	82
4.1.4	交通环境污染控制的目标和实现方式	84

4.2 基于共生理论的城市交通环境承载力测度	86
4.2.1 DPSIR 模型	87
4.2.2 交通环境承载力的内涵和外延	89
4.2.3 城市交通环境承载力测度	89
4.3 基于供需原理和共生理论的交通环境承载力 评价	92
4.3.1 层次分析法确定权重	93
4.3.2 评价指标的确定及无量纲化	95
4.3.3 模糊识别法计算最优相对隶属度	97
第5章 考虑尾气排放控制的交通网络优化策略	99
5.1 问题的提出	99
5.2 基本假设和符号定义	100
5.3 考虑行驶工况和信号控制的尾气排放模型	102
5.4 路段能力增量和信号配时影响下的怠速时间和阻抗 函数	104
5.5 道路拓宽费用调节下的双层规划模型	106
5.6 求解算法	108
5.7 算例分析	110
5.8 小结及针对性措施	115
第6章 考虑噪声污染控制的交通网络优化策略	118
6.1 问题的提出	118
6.2 基本假设和符号定义	119
6.3 考虑重车比例和建筑物布局类型的噪声污染模型	120
6.4 噪声分区控制思想下的双层规划模型	122
6.5 求解算法	124

6.6 算例分析	127
6.7 小结及针对性措施	133
结论及展望	136
附录	158
参考文献	182
后记	214

第1章 绪 论

1.1 研究的背景及意义

1.1.1 研究的背景

1. 交通机动化程度加剧引起的大气污染、噪声污染，已成为影响城市环境质量的主要因素之一

随着经济的快速发展和生活水平的不断提高，机动车增长迅猛（如图1-1所示），根据中国环境保护部发布的《2013年中国机动车污染防治年报》中公布的2012年全国机动车污染排放状况：我国已连续4年成为世界机动车产销第一大国，与2011年相比，全国机动车保有量增加了7.8%，达到22 382.8万辆。随着机动车保有量的快速增长，机动车污染已成为我国空气污染的重要来源，是造成灰霾、光化学烟雾污染的重要原因。2012年，全国机动车排放污染物4 612.1万吨，其中氮氧化物（ NO_x ）640.0万吨；颗粒物（PM）62.2万吨；碳氢化合物（HC）

438.2 万吨；一氧化碳（CO）3 471.7 万吨。汽车是污染物总量的主要贡献者，其排放的 NO_x 和 PM 超过 90%，HC 和 CO 超过 70%。另一方面，机动车保有量的不断攀升也加重了城市交通拥挤现象，使机动车行驶维持在低速水平，并不断重复减速、怠速、加速过程，不仅增加了燃料消耗，而且由于不完全燃烧，使得单位行驶距离的尾气排放量迅速上升。

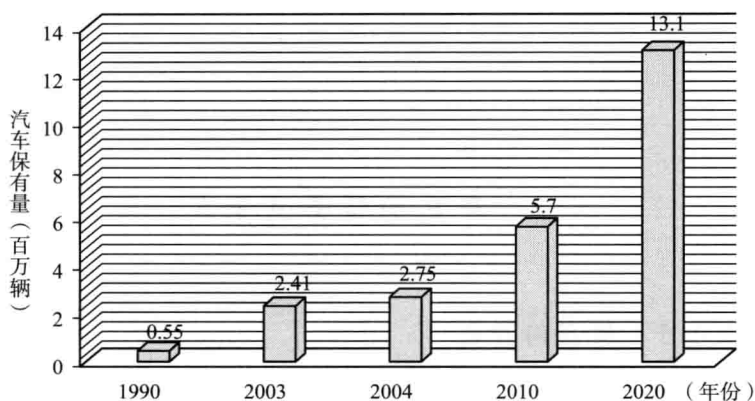


图 1-1 我国汽车保有量增长情况

与此同时，工商业的发展、人口的流动、机动车的增加，使城市噪声污染问题日益突出，其中交通噪声占到了环境噪声的 90% 以上。大部分城市的主要干道噪声均超过了 65dB，某些城市道路噪声超标率甚至达到 90% 以上，2/3 的城市居民生活在噪声超标的环境中（王伟，2004）。

2. 城市交通网络设计必须考虑缓解不容忽视的交通污染问题

目前，对于解决我国特大中心城市普遍存在的交通拥挤状况和环境污染等问题，研究城市交通网络设计是最迫切最行之有效的对策和方法。在具体规划时应权衡利弊，避免交通网络改善反而导致交通拥挤状况恶化（Braess, 1968）、交通尾气排放悖论

(Nagurney, 2000a) 等现象。

因此,从系统和全局的观点将环境污染控制和交通网络优化有机融合,是解决环境问题最迫切最行之有效的方法之一,也是本书研究将两者结合起来的主要原因。

1.1.2 研究的意义

1. 为制定科学合理的交通管理和控制措施提供决策依据

降低环境污染的途径包括运用交通管理和控制方法、改变单车结构、规划改善道路交通环境三类,发达国家经验证明,第一种方法的潜力巨大,深受重视,特别是研发环境因素下的交通管理和控制措施已经成为近年来研究的热点(周申培, 2009)。同时,本着可持续发展的理念,对交通管理下的交通分配问题、交通管理措施的优化问题研究应考虑能源消耗、环境影响等因素(任刚, 2007)。另外,对交通控制策略的有效评估应兼顾考虑其对改善交通运行状况和减少尾气排放的影响(于雷, 2005)。因此,在城市交通网络中,环境污染治理问题与交通管理和控制措施息息相关,考虑环境污染控制的交通网络设计问题能为制定科学合理的交通管理和控制措施提供决策依据。

2. 为交通规划方案设计考虑环境污染控制提供定量方法

交通规划的设计流程涵盖交通调查、交通预测、规划方案设计和方案评价。在工程领域的实际操作中,一般依据感性和经验知识采用定性方法进行网络设计,在几套方案中择优,不能实现全域择优,缺乏定量方法和与环境污染控制真正结合的最优方案。因此,

在交通网络设计中考虑环境污染控制因素能提供规范定量方法和全局最优方案，是实现城市交通规划成功的关键一步。

3. 衡量 ITS 智能交通系统是否先进合理的主要手段之一

美国清洁空气法（Clean Air Act）规定，对交通设施的设计方案、现行交通网络运行、管理控制措施的改变都必须经过交通环境评价。严格的环境控制是美国保持良好的交通排放状况的根本原因之一（US EPA，1993）。近年来，随着智能交通系统（Intelligent Transportation System，ITS）的逐步发展和应用，交通排放已经成为衡量 ITS 系统技术是否先进合理的主要手段之一（US EPA，1993）。例如，构成 ITS 之一的环境保护管理系统（Environment Protection Management Systems，EPMS）实现的基础和衡量的手段是依据交通网络中的大气污染和交通噪声情况。

综上所述，考虑环境污染控制的都市交通网络优化不仅能为政府部门、交通规划人员的决策提供参考依据，同时也能指导交通管理部门科学有效地工作，更重要的是能够促使城市交通的发展达到经济效益、社会效益、环境效益三者的统一，引导城市交通向可持续方向健康发展。因此，既具有重大的理论研究价值，又能解决实际交通、环境、社会问题，具有研究的必要性和深远的现实意义。

1.2 国内外研究现状

本书对考虑环境因素的道路网络优化方法、尾气排放模型、噪声预测模型、环境污染控制方法、粒子群算法五个方面的国内

外研究现状进行了述评。

1.2.1 考虑环境因素的道路网络优化方法

20 世纪 90 年代以来,城市交通网络设计问题与交通污染控制结合起来,研究更具有实际应用价值问题,取得了一定进展。刚开始是一些定性的研究,例如巴顿 (Button, 1990) 阐述了在拥挤的城市交通网络上车辆行驶时释放尾气的严重危害。一些学者分析了影响交通网络中污染因子的各种因素及其影响程度 (De Corla, 1995; Anderson, 1996; Allen, 1996)。

随后展开定量的研究中主要有以下几种方法:一是受环境阈值限制的交通网络优化;二是利用经济学原理调控交通需求以满足环境要求,例如道路收费、排放收费等;三是通过交通管理和控制手段,例如信号控制、速度限制等;四是采用多目标的方法和手段。

1. 受环境阈值限制的交通网络优化

赖利特和贝内德克 (Rilett & Benedek, 1994) 在考虑环境因素的数学模型中提出两点:一是路段污染物容量不超过一个安全上界,二是整个路网中的污染物量尽可能均衡。费拉里 (Ferrari, 1995) 讨论了需求变动的受环境能力限制的用户平衡配流模型。国内的学者随之展开研究,例如考虑环境因素的用户平衡和系统最优配流模型 (杨文国、高自友, 2003), 考虑部分路段一氧化碳排放量限制的弹性平衡配流模型 (杨文国、高自友, 2004), 环境因素下备用能力增加的优化模型 (赵彤, 2005)。焦朋朋和陆化普 (2005) 考虑建设费用、污染物排放和能源消耗的约束,

建立了广义交通费用最小化的双层规划模型,通过实例证明该模型能达到满足交通需求和环境保护的双重目标。李铁柱(2008)建立了路段通行能力和污染物浓度控制标准为约束条件路段交通流量最大为目标的最优化模型。一些学者研究了受交通环境承载力限制的交通网络设计(李阳,2005;侯德劭,2008)。另一些学者提出了考虑环境容量以及诸如交通容量、停车容量多重限制的双层规划模型(吕智林,2006;陈茜、王伟,2006)。

2. 利用经济学原理调控交通需求以满足环境要求

(1) 道路收费。道路收费被认为是交通需求管理、减少环境污染的有效手段。费拉里(Ferrari, 1995)提出对某些道路采取收费的方法限制路段流量,进而将交通需求量限制在给定的环境要求之内。杨和贝尔(Yang & Bell, 1997)构建了弹性需求下通过路段收费方式消除排队延迟,同时满足环境容量限制的路网均衡模型。米切尔(Mitchell, 2005)通过交通分配与车辆排放及扩散的动态仿真模型,指出路网使用收费有利于改善环境公平性。尹(Yin, 2006)指出存在一种最优的路网收费方案能同时降低交通路网排放和拥堵。

(2) 拥挤收费。比弗斯(Beever, 2005)发现拥挤收费大大提高了中心城区的车辆行驶速度,使用瞬时排放模型和车辆暂态排放仿真软件(Vehicle Transient Emissions Simulation Software, VT-ESS),分析了拥挤收费前后,车辆排放与驾驶行为变化之间的关系,表明在伦敦拥挤收费中心城区驾驶行为对机动车污染物 NO_x 和 CO_2 的影响较小,但 PM_{10} 的影响较大。王(Wang, 2006)讨论了弹性需求下通过公交收费、拥堵收费和交通污染收费来优化路网结构和出行行为的多模式路网均衡问题,并以广州市为例进行了

计算。一些学者研究了拥挤定价问题（王健，2006；刘南，2007），通过经济手段控制流量从而间接减少环境污染。

（3）排放收费。排放收费（emission pricing）的概念是通过采用一种收费机制来同时满足交通网络平衡和环境的要求，以达到路网的可持续性。贝内德克和赖利特（Benedek & Rilett, 1998）提出对可能会产生较大排放路段上的车辆进行收费，通过引导出行路径选择行为，使某一特定地段或地区的交通污染物总量达到最小。纳格利（Nagurney, 1998）考虑公平原则引入污染许可证概念，利用变分不等式理论建立了排污限制条件下的多模式交通网络平衡模型。纳格利（2000b）在交通分配模型的约束中增加了环境约束条件，引入路段和路径两类排放收费。

（4）用户盈余。经济学原理中的用户盈余概念由科库尔（Kocur）于1982年提出，威廉姆斯（Williams, 1991）、杨和贝尔（1997）引入用户盈余来评测交通系统产生的社会效益。孟和杨（Meng & Yang, 2002）通过公平约束（equity constraint）建立了保证利益分配公平性的双层规划模型。黄亚飞（2006）建立了以用户盈余最大化为目标的弹性需求下多模式随机用户平衡模型。

相比之下，在城市交通网络中，利用经济学原理进行噪声污染控制的研究非常有限。康晓红（2008）应用经济学边际原则和道路交通外部成本，建立了声屏障降噪的最佳控污量模型。

3. 通过交通管理和控制手段进行调控

（1）信号控制。王和杨（Wang & Yang, 1997）强调了信号配时优化与环境能力的协调。赵彤（2006）建立了环境污染限制及最优信号控制条件下的离散路网均衡模型，但该模型不能避免