

城市交通污染分时段 管理措施建模及优化

Time-section Management Measures
Modeling and Optimization for lowering
Urban Traffic Emissions

杨艳妮 著

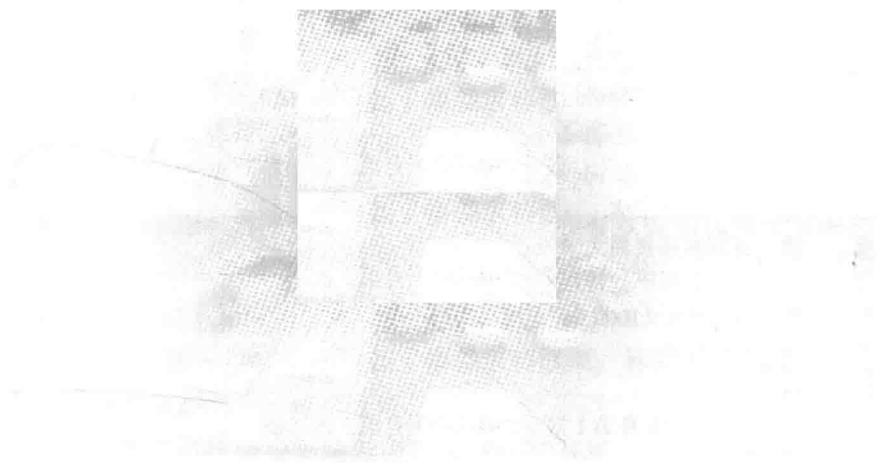


 首都经济贸易大学出版社
Capital University of Economics and Business Press

城市交通污染分时段 管理措施建模及优化

Time-section Management Measures
Modeling and Optimization for lowering
Urban Traffic Emissions

杨艳妮 著



 首都经济贸易大学出版社
· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

城市交通污染分时段管理措施建模及优化/杨艳妮著. —北京: 首都经济贸易大学出版社, 2016. 11

ISBN 978 - 7 - 5638 - 2588 - 2

I. ①城… II. ①杨… III. ①汽车排气污染—大气污染—污染防治—研究
IV. ①X734.2 ②X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 276543 号

城市交通污染分时段管理措施建模及优化

杨艳妮 著

责任编辑 小尘

封面设计 小尘

出版发行 首都经济贸易大学出版社

地 址 北京市朝阳区红庙 (邮编 100026)

电 话 (010) 65976483 65065761 65071505 (传真)

网 址 <http://www.sjmcbs.com>

E-mail publish@cueb.edu.cn

经 销 全国新华书店

照 排 首都经济贸易大学出版社激光照排服务部

印 刷 北京九州迅驰传媒文化有限公司

开 本 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

字 数 176 千字

印 张 10.5

版 次 2016 年 11 月第 1 版 2016 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5638 - 2588 - 2/X · 15

定 价 28.00 元

图书印装若有质量问题, 本社负责调换

版权所有 侵权必究



前 言

近年来交通污染排放问题日益加剧,给人们的生活环境和身体健康造成了严重影响,如何减少交通污染排放已经成为日常交通管理工作的重要课题。本书提出了高峰时段排放收费、平峰时段路段限速的交通管理措施组合体系,采用模型构建、算法设计和算例验证相结合的方法研究减排目标下的分时段交通管理措施优化问题,以提高交通系统的整体性能和道路交通管理的科学性。

首先,本研究分析了交通管理措施的作用机理,在此基础上建立了减排目标下交通管理措施优化基本模型。鉴于目前交通网络设计模型中污染排放计算方法过于简化的不足,本书提出了基于交通污染排放模型 MOVES 的路网减排优化流程,为后续研究奠定了重要基础。

接着,对高峰时段排放收费的方案优化设计进行了深入研究,以路网污染排放最低为优化目标,建立了基于路段的最优排放收费设计模型,并在模型中加入了区域环境政策约束,从而增强了实用性。由于假设条件过于严苛,建立了带互补约束的次优排放收费设计模型,采用了多重子优化算法进行求解。考虑到基于区域的排放收费模式更具备可操作性,建立了带互补约束的区域排放收费设计模型。算例表明,区域排放收费在有效控制区域排放的同时,能够在更大程度上缓解交通拥堵和减少路网污染物排放。本书利用 MOVES 估算污染排放,提高了优化方案的可靠度,建立了区域排放收费双层规划模型,并基于 SID-PSM 算法构建了模型求解框架。算例表明,区域排放预算过紧会影响整体路网污染减排效果。

随后,本研究将排放收费和路段限速进行对比分析,表明路段限速仅在交通需求较小的平峰时段能够调整路网流量分布,合适的限速方案有助于减少交通污染排放,提高路网性能。由于平峰时段交通需求的不确定性,建立了鲁棒限速设计模型,采用割平面法和多重子优化相结合的算法进行求解。算例表明,鲁棒限速方案能够在最坏需求情景下实现网络性能最优。考虑到



鲁棒限速难以适应多种外界环境的变化,本书建立了任意战略情景下的多目标可变限速设计模型。模型中运用 MOVES 估算污染排放,并构建了以 NSGA - II 算法为基础的求解框架。算例表明,天气条件能够影响最佳路段限速方案。

最后,以北京二环路网为对象进行应用研究,表明书中提出的排放收费和路段限速的优化方法能够有效减少交通污染排放,显著改善路网性能。

本书是作者对自身博士论文及相关研究整理的成果。撰写期间得到了首都经济贸易大学校级项目“科研基地建设—科技创新平台—首都经济贸易大学科学研究公共平台(2015)”(项目号:00791562723007)和“2015年提高定额—青年教师科研启动基金”(项目号:00791554410265)的项目资助,作者在此表示感谢。

杨艳妮

2016年9月



目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景	3
1.1.1 交通污染问题	3
1.1.2 交通减排相关政策与措施	5
1.2 研究目标及意义	7
1.3 国内外研究动态	8
1.3.1 减排目标下的交通网络配流模型概述	8
1.3.2 交通排放模型概述	9
1.3.3 基于市场机制的交通管理措施模型概述	13
1.3.4 常规交通管理措施模型概述	16
1.3.5 现有研究存在的问题	19
1.4 研究方法与内容	20
第二章 减排目标下交通管理措施设计模型框架	25
2.1 交通管理的概念和目标	27
2.2 交通管理措施作用机理	27
2.3 减排目标下交通管理措施的制定及优化	29
2.3.1 交通管理措施选取	29
2.3.2 交通管理的减排目标内涵	30
2.3.3 减排目标下交通管理措施设计基本模型	31
2.4 本研究涉及的分时段交通管理措施	36
2.4.1 高峰时段排放收费措施	36
2.4.2 平峰时段路段限速措施	36
2.5 本章小结	37
第三章 基于 MOVES 的交通排放计算和优化	39
3.1 MOVES 2010 计算原理	41



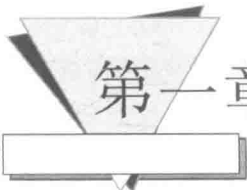
3.2 主要参数影响机理分析	43
3.2.1 平均速度	44
3.2.2 温度	45
3.2.3 道路特征参数	46
3.3 基于 MOVES 的路网排放计算方法和优化流程	48
3.3.1 交通污染排放模型与交通分配模型的关系	49
3.3.2 基于 MOVES 的路网交通排放优化流程	50
3.4 本章小结	51
第四章 基于路段的高峰时段排放收费设计模型	53
4.1 引论	55
4.2 环境政策约束下最优路段排放收费模型	56
4.3 环境政策约束下次优路段排放收费模型	60
4.4 求解算法	61
4.4.1 多重子优化算法简介	61
4.4.2 算法流程	61
4.5 算例分析	62
4.6 本章小结	66
第五章 基于区域的高峰时段排放收费设计模型	67
5.1 带互补约束的区域排放收费模型	69
5.2 模型求解及算例	73
5.2.1 多重子优化算法	73
5.2.2 算例分析	74
5.3 区域排放收费双层规划模型及算法框架	76
5.3.1 区域排放收费双层规划模型	77
5.3.2 算法框架	78
5.4 算例分析	80
5.5 本章小结	86
第六章 平峰时段鲁棒限速设计模型	87
6.1 限速下的用户均衡模型	89
6.2 路段限速与排放收费措施对比分析	93



6.2.1 路段限速与排放收费原理对比	93
6.2.2 算例分析	95
6.3 带互补约束的鲁棒限速设计模型	96
6.4 求解算法及算例分析	98
6.4.1 割平面法	98
6.4.2 算例验证	100
6.5 本章小结	102
第七章 平峰时段可变限速设计模型	103
7.1 限速措施对于路网性能的影响分析	105
7.2 可变限速方案设计	108
7.3 求解算法框架和流程	109
7.3.1 NCSA - II 算法简介	110
7.3.2 求解框架	111
7.3.3 算法流程	111
7.4 算例分析	113
7.4.1 参数设置	113
7.4.2 计算结果	115
7.5 本章小结	118
第八章 实例研究	121
8.1 概况	123
8.2 数据预处理	125
8.3 高峰时段区域排放收费方案优化设计	131
8.3.1 参数设置	131
8.3.2 计算结果	132
8.4 平峰时段可变限速方案优化设计	133
8.4.1 参数设置	134
8.4.2 计算结果	136
8.5 本章小结	139
第九章 结论与展望	141
9.1 研究结论	143



9.2 研究创新点	145
9.3 研究展望	145
参考文献	148



第一章

绪论



1.1 研究背景

1.1.1 交通污染问题

从 20 世纪 50 年代至今,伴随着全球范围内的快速城市化和机动化进程中机动车数量的急剧增加,交通拥挤现象日益突出、机动车废气排放难以遏制、事故数及伤亡率逐年攀升已成为世界各国面临的三大交通难题。其中,如何解决交通拥堵问题一直是城市交通发展急需解决的首要难题。然而近年来,交通污染排放问题日益突出,已经引起了世界范围的广泛关注。

首先,交通排放的温室气体日益增加。如图 1-1 所示,与 1990 年相比,除日本等少数国家外,其他国家在 2012 年源自交通的二氧化碳(CO_2)排放量均有一定涨幅,而我国增长最为显著。众所周知,过量温室气体排放是全球气候变暖的首要原因,根据科学家预测,全球气候变暖可能造成海平面上升,危及沿海地区,破坏自然生态系统^[1]。

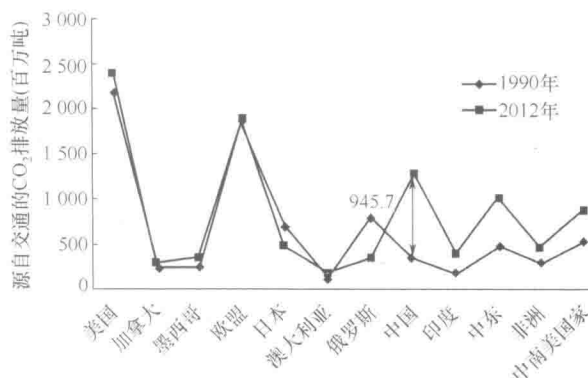


图 1-1 世界主要国家源自交通的 CO_2 排放量

其次,交通所排放的有害物质能够导致空气环境和人们健康状况恶化,其中某些物质被人体吸收后,会破坏造血机能,造成贫血、神经衰弱,尤其是在太阳光照射下,因光化作用所形成的化学烟雾容易致癌^[2]。可见,交通排放对社会发展造成的负面效应远远高于交通拥堵。根据美国 2012 年全国各行业所占各主要污染物的绝对值及比例(见表 1-1),可以看出交通运输行



业排放的空气污染物一氧化碳 (CO) 和氮氧化物 (NO_x) 占全部排放量的比例均已超过 50%，其中公路运输的机动车污染物排放量所占比重最高。鉴于交通污染排放量如此之高、危害如此之大，如何降低机动车尾气排放量已经成为急需解决的重要课题。

表 1-1 美国 2012 年全国各行业所占各主要污染物的绝对值及比例^[3]

污染源	CO	NO_x	VOC	PM_{10}	$\text{PM}_{2.5}$	SO_2
机动车	24.77	3.96	1.97	0.29	0.17	0.01
	38.3%	34.7%	12.6%	1.3%	2.9%	0.3%
其他交通方式	11.52	2.45	1.60	0.19	0.18	0.01
	17.8%	21.5%	10.2%	0.9%	3.0%	0.2%
交通运输 (机动车 + 其他交通方式)	36.28	6.40	3.57	0.48	0.35	0.03
	56.1%	56.2%	22.8%	2.2%	5.9%	0.5%
固定源燃料燃烧	4.32	3.65	0.53	0.97	0.82	4.56
	6.7%	32.0%	3.4%	4.5%	14.0%	82.7%
工业生产	1.73	0.98	6.69	1.27	0.48	0.77
	2.7%	8.6%	42.7%	5.9%	8.2%	13.9%
废物处理和回收	1.38	0.1	0.19	0.24	0.21	0.02
	2.1%	0.9%	1.2%	1.1%	3.5%	0.4%
其他项	20.96	0.26	4.69	18.48	4.01	0.14
	32.4%	2.3%	30.0%	86.2%	68.4%	2.5%
全部污染源	64.68	11.4	15.67	21.44	5.86	5.51
	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

对于我国而言，城市交通污染问题更为严峻。随着我国城市化进程的加快，机动车保有量近年来始终保持强劲的增长势头。截至 2011 年年底，全国机动车保有量约 2.25 亿辆，机动车保有量的迅速增长必然导致污染物排放量的不断增加。2010 年在我国不同地区监测的空气污染物中，来自机动车的排放量占有较高的分担率，其中源自机动车的 CO 排放量占总排放量的 65% ~ 80%，一氧化氮 (NO) 排放比重达到 50% ~ 60%^[4]。

从 2012 年年底至今，雾霾天气频繁光临北京等特大城市，给我国的交通污染治理工作敲响了警钟。经分析表明，造成这种天气的主要原因是，空气中可吸入颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 含量过高，而机动车排放物为北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 的主要来源之一。此外，交通拥堵导致机动车频繁处于急速或低速运行状态，从而造成污染物排放量增加 5 ~ 10 倍。在 2013 年 1 月中旬的雾霾天气中 (参见图 1-2)，北京城



区典型的机动车排放源 NO 一度高达 310 微克/立方米,是平日的 4.5 倍;CO 浓度高达 12 微克/立方米,是平时的 8 倍。硝酸盐颗粒的指数达到了 40~50 微克/立方米,也超过了 PM_{2.5} 的日均值 35 微克/立方米的标准线^[5]。这些微小颗粒物会对呼吸系统造成刺激和损害,从而导致呼吸困难,诱发支气管炎以及加剧现有的呼吸系统疾病;严重情况下,会损伤肺组织,诱发肺癌^[2]。因此,“减少交通污染排放、还城市一片蓝天”已经成为我国交通研究必须解决的课题。



图 1-2 北京雾霾天气

1.1.2 交通减排相关政策与措施

针对交通污染问题日益严峻的现状,各个国家和城市相继出台了一些交通减排相关政策和举措。

美国从 1977 年颁布清洁空气法案开始,就已建立并不断完善交通运输行业污染控制方案 (Transportation Conformity Program, TCP),该方案要求交通运输活动所排放的废气必须符合国家或地方的空气质量标准,每种污染气体的区域总排放量不得超过相应的排放预算。同时,交通运输管理部门负责降低不合格区域内的交通排放量直至符合标准。美国各州及地区为减少交通排放、满足 TCP 要求,通常采取以下四类措施^[6]。

(1) 控制车辆及燃油标准。在控制车辆方面,主要是避免其长时间处于怠速状态、淘汰 1980 年以前的机动车等。在燃油标准方面,美国环保局采用了 II 级机动车和汽油含硫量标准,在该标准控制下车辆所排放的硫化物减少 20% 左右。另外,CO 污染严重的区域车辆在冬季时期必须使用含氧汽油。



(2) 定期检查和维护。民航局要求对某些臭氧 (O_3) 和 CO 不达标的地区实施定期检查和维护, 该措施有助于短期内减少交通排放, 达到排放预算要求。

(3) 常规交通管理措施 (Transportation Management Measures, TMMs)。包括改善公共交通、限制某些路段和车道的使用、设置高占有率路段或车道、限制高峰时段进入市区内或污染超标区内的车辆数等。

(4) 基于市场机制的交通管理措施 (Market-based Transportation Management Measures)。包括道路拥挤收费、车辆行驶里程费、停车收费等, 这些措施通常仅在高峰时段实施。很多交通研究者认为, 基于市场机制的交通管理措施是目前最有效的缓解交通问题的措施。但是, 在许多地区公众对基于市场机制的交通管理措施的接受度比较低, 导致其实施难度较大^[7]。

我国在 1987 年颁布的《中华人民共和国大气污染防治法》中规定了机动车向大气中排放的污染物不能超过所规定的标准值, 国家环保局、交通运输部等部门联合相继颁布了《汽车排气污染监督管理办法》《防治汽车、摩托车排气污染的技术政策》; 此外, 针对机动车个体制定和颁发了排放标准, 如《汽油车怠速污染物排放标准》《汽车排放污染物限值及测试方法》等, 目的是通过不断提高单车排放标准实现交通污染排放总量的降低。但是, 目前国家在交通污染排放控制方面的政策和措施主要局限于微观层面机动车个体排放标准的制定、监督和管理以及车辆技术的改进方面, 缺乏从区域、网络宏观层面制定减排政策。

具体到城市交通管理层面, 我国某些城市已制定和采取了具体的交通减排措施。例如, 北京市在 2012 年建立了城市空气质量和交通污染监控点, 并在 2013 年针对改善空气质量制定了 69 项措施, 其中与交通相关的措施包括: 继续实施机动车尾号限行措施, 用于控制车辆使用强度; 增加清洁能源公交车的数量; 淘汰和提前报废污染排放率高的老旧机动车、出租车; 推广使用新能源汽车等^[8]。其中, 机动车尾号限行、区域限行属于常规交通管理措施。此外, 北京市环保部门于 2013 年 7 月制定和发布了《北京市清洁空气行动计划》, 由环保局和交通委员会负责研制交通拥堵区域收费政策及具体实施方案, 差别化的区域停车收费方案由北京市交通委员会、交通管理局以及城管执法局共同制定, 旨在减少中心城区机动车的数量和使用强度^[9]。道路收费、停车收费属于基于市场机制的交通管理措施。



可见,制定合适的交通管理措施是城市交通管理部门减少交通污染排放的重要途径。

1.2 研究目标及意义

本研究针对目前日益严峻的交通污染排放形势以及交通管理措施制定过程中存在的不足,综合运用交通规划理论、运筹学、经济学、环境学及交通工程学的最优化理论和方法,构建减排目标下的交通管理措施优化设计模型,以为可持续、绿色交通规划和管理研究领域奠定理论基础,为城市交通科学化管理提供决策参考。

本研究的意义可概括为三点。

(1) 从实际交通管理的角度,根据交通需求的时空分布特点和各种交通管理措施的技术特性,选择和制定能够降低交通污染排放的科学化交通管理方案,对于提高交通系统运行效率,改善城市交通环境,提升人民健康幸福生活指数具有重要意义。

(2) 从理论研究价值的角度看,减排目标下的交通管理措施优化设计问题研究进一步丰富了科学化、现代化交通管理的基础理论。从 20 世纪 90 年代至今,我国科学化、现代化交通管理的方向主要集中在减少交通事故和缓解交通拥挤问题,并做了很多相关基础理论的研究工作,包括信号配时方案、拥挤收费方案等最优决策问题。随着近年来对交通污染问题关注度的增加,我国开始逐步倡导“可持续交通”“绿色交通”“低碳交通”“生态交通”等理念,科学化、现代化交通管理的内涵也更为丰富。但目前这些主要停留在战略规划和定性分析设计层面,相应基础理论研究较为缺乏,本研究有助于填补这一方面的不足。

(3) 从交叉学科发展的角度,交通管理措施和方案优化设计的目标定位在于降低交通污染排放、改善空气质量,其中不仅要运用到交通规划与管理相关知识,也需要环境学科的一些知识储备。将交通管理措施设计问题与空气污染问题有机结合,从而寻求新的解决方法和途径属于交叉学科的研究领域。本书研究了交通污染排放量的计算方法和在环境政策约束条件下交通管理措施的设计等问题,希望能够为交通和环境学科的交叉研究起到抛砖引玉的作用。



1.3 国内外研究动态

与本研究相关的已有研究成果集中在三个方面：减排目标下的交通网络配流模型、交通污染排放计算模型以及交通管理措施设计和优化模型。其中，交通管理措施因其基础特性不同，分别从基于市场机制的交通管理措施和常规交通管理措施这两大类别进行综述。

1.3.1 减排目标下的交通网络配流模型概述

交通网络配流是交通领域研究最为深入、广泛的问题之一，通常以系统走行时间最短作为优化目标^[11]，随着社会对交通污染排放问题的日益关注，一些研究者试图以最小化交通排放作为配流模型的目标函数，如：

Teng 和 Tzeng (1996) 将交通分配写为系统最优条件下的多目标决策模型，目标之一为交通排放最少^[12]。

Nagurney (2000a) 建立了多目标交通网络模型，最小化交通排放是目标之一。Nagurney (2000b) 通过一个假想的小路网展示了三个不同的与直觉矛盾的现象，并证明了交通网络的改进可能导致交通排放增加^[13-14]。

Sugawara 和 Niemeier (2002) 建立了基于排放优化的交通分配模型，用于估计道路不同拥挤程度下 CO 的减少程度^[15]。

Yin 和 Lawphongpanich (2006) 提出了最小化交通排放模型，并证明了当污染物排放率函数是流量的单调递增函数时，必然存在一组非负的路段排放收费解，可以使得路网的排放量最小^[16]。

Sharma 和 Mathew (2007) 对基本的交通网络设计双层规划模型进行改进，优化目标为出行成本和交通排放成本之和最小^[17]。

近来，Bektas 和 Laporte (2011) 提出了污染—路径问题 (Pollution - Routing Problem, PRP)，以交通污染排放最低为目标搜索最优路径^[18]。Demir 等 (2014) 进一步讨论了以交通污染排放最低和走行时间最短作为双目标的最佳路径搜索问题，为后续研究基于污染—路径问题的网络均衡配流模型奠定了基础^[19]。

此外，国内很多学者也在交通配流模型中引入交通污染排放约束，或将最小化污染排放量作为优化目标，代表性成果如下。