

微观尺度下 城市 交通CO₂排放过程和机理研究

——以北京市奥林匹克中心区为例

郑吉李宇 著

STUDY ON THE PROCESS AND
MECHANISM OF URBAN
TRAFFIC CO₂ EMISSIONS AT MICRO-SCALE:

*A Case Study of The Olympic Central Area
In Beijing, China*



中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

微观尺度下城市交通 CO₂ 排放过程和机理研究

——以北京市奥林匹克中心区为例

郑吉李宇 著



中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

微观尺度下城市交通 CO₂ 排放过程和机理研究: 以北京市奥林匹克中心区为例 / 郑吉, 李宇著.

北京: 中国经济出版社, 2017. 9

ISBN 978-7-5136-4798-4

I. ①微… II. ①郑… ②李… III. ①城市—汽车排放污染—研究—北京 IV. ①X734. 201

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 183982 号

责任编辑 余静宜

责任印制 马小宾

封面设计 华子图文

出版发行 中国经济出版社

印刷者 北京力信诚印刷有限公司

经销者 各地新华书店

开 本 710mm×1000mm 1/16

印 张 10.5

字 数 86 千字

版 次 2017 年 9 月第 1 版

印 次 2017 年 9 月第 1 次

定 价 42.00 元

广告经营许可证 京西工商广字第 8179 号

中国经济出版社 网址 www.economyph.com 社址 北京市西城区百万庄北街 3 号 邮编 100037

本 版 图 书 如 存 在 印 装 质 量 问 题, 请 与 本 社 发 行 中 心 联 系 调 换 (联 系 电 话: 010-68330607)

版权所有 盗版必究 (举报电话: 010-68355416 010-68319282)

国家版权局反盗版举报中心 (举报电话: 12390)

服务热线: 010-88386794

序

《国家新型城镇化规划（2014—2020）》和《2015 年中央城市工作会议》明确要求城市建设必须“加强城市精细化管理”，“推动形成绿色低碳的生产生活方式和城市建设运营模式”，我国大城市迫切需要分类指导内部合理布局和绿色低碳运营。城市交通 CO₂ 排放一直以来都是城市碳排放领域持续关注的热点问题，国际城市交通 CO₂ 排放研究重点正在从宏观向中观，并进一步向微观深入。因此，基于微观视角揭示大都市交通 CO₂ 排放过程的一般性和特殊性，对于更为精准地指导城市交通碳减排具有重要意义。

在国家自然科学基金面上项目：“基于微观尺度的典型大都市功能区碳排放过程模拟及优化调控研究”（批准号：41271186）的资助下，本书作者及所在团队以北京市奥林匹克中心区为案例，在国内比较早地开展了微观时空尺度大城市人类活动与碳排放效应的连续定位监测实证研究。在归纳总结国际微观尺度城市交通 CO₂ 排放理论体系、研究方法基础上，建立了我国微观尺度城市交通 CO₂ 排放研究框架，探讨了微观尺度城市交通 CO₂ 排放研究空间边界；基于多源实地监测数据和问卷调研数据，对国际交通 CO₂ 排放 MOVES 模型进行本地化修正，揭示了不同时间尺度下的城市

交通 CO₂ 排放过程和机理，开展了交通 CO₂ 排放与城市 CO₂ 通量耦合分析，为理解交通 CO₂ 排放对城市生态系统的影响提供新思路。

该研究成果丰富，在 *Energy Policy* 等国内外核心期刊发表 10 余篇 SCI、CSCD 论文；核心研究成果支撑的咨询建议报告 1 份得到国家领导人批示，2 份分别被中国科学院信息专报、北京社会科学院要报采用。《微观尺度下城市交通 CO₂ 排放过程和机理研究——以北京市奥林匹克中心区为例》一书就是作者对上述研究成果的凝练和总结。该研究成果对于加强微观尺度下城市碳循环研究，人文地理学与生态学、环境科学以及系统科学交叉融合及方法创新，构建城市微观尺度交通 CO₂ 排放研究框架和方法具有重要的理论和实践价值。这也是我国人文地理学关于人类活动的环境影响研究由传统的定性描述走向定点监测、精确定量的积极探索和创新突破，对于人文地理学理论与方法创新具有重要意义。

因此，我很高兴为本书作序。希望本书能为国内城市交通 CO₂ 排放研究提供参考，能为中国低碳城市建设有所裨益，希望作者继续开拓创新，取得更多优秀成果。

中国生态经济学会副理事长

中国科学院地理科学与资源研究所首席研究员



2017 年 9 月

前 言

城市地区贡献了全球 70% 以上的二氧化碳排放，已经对全球碳循环和气候变化产生了深远的影响。交通 CO₂ 排放量仅低于电力与供热部门，占全社会总排放量的 23%（International Energy Agency, 2014），是城市终端消费 CO₂ 排放的重要源头，也是导致气候变化和空气污染的重要原因。2007 年，我国道路交通 CO₂ 排放占交通 CO₂ 排放的 86.32%，是交通 CO₂ 排放的绝对主体。随着经济的快速发展、城镇化进程的不断加快和人民生活水平的日益提高，城市道路交通 CO₂ 排放量上升空间巨大。面对沉重的碳减排压力，城市道路交通将成为实现低碳目标的关键部门。因此，城市交通 CO₂ 排放研究已经成为城市地理学、城市生态学、资源经济学和系统科学等多学科交叉研究的重要命题。

在积极应对气候变化的今天，发展低碳经济和低碳城市逐渐成为全球共识。北京市作为第二批国家低碳省区和低碳城市试点之一，已经进入全面建设现代化国际大都市的新阶段，未来 20~30 年是北京建设低碳世界城市的关键时期。然而，目前北京人口、资源、环境协调发展压力巨大，改善生态环境和提升资源环

境综合承载能力任务艰巨，这些都是北京建设低碳世界城市的突出瓶颈。2013年，北京市机动车保有量达537.1万辆，位居全国之首，由此带来的交通拥堵、环境污染和CO₂排放问题十分严峻。《2015年北京市政府重点工作情况汇编》提出“进一步推进交通节能减排工作”“初步建成交通能耗排放统计监测体系”“实现对能耗排放数据的采集、分析、展示和辅助决策”，将交通碳减排作为一项重要工作。

国际上已有城市宏观尺度交通CO₂排放成果为北京市与世界大都市之间比较、评估低碳世界城市和城市碳减排提供了一定的方法借鉴科学依据，但对于精细化城市碳减排政策的制定具有局限性。因此，微观尺度的城市交通CO₂排放研究已经成为城市碳排放微观尺度研究的新热点。

本书基于微观视角，以典型大都市功能区——北京市奥林匹克中心区为例，基于通量贡献区KM模型分别确定北五环和大屯—北辰西路相交路口两个典型路段的交通CO₂排放估算区域，应用多层次递进回归模型对北京市七座及七座以下私人汽油乘用车的排放因子进行重估算，结合交通流量监测分车型解译数据，应用本地化修正后的MOVES模型对交通CO₂排放进行估算，系统分析2014年两个典型路段交通CO₂排放在不同时间尺度和不同限行条件下的变化特征，揭示不同类型车辆的贡献特征，并结合CO₂通量观测数据，对交通CO₂排放与CO₂通量的关系进行探索研

究。研究成果有利于建立基于微观视角的城市交通 CO₂ 排放分析框架，为理解交通对城市碳排放贡献、城市化进程对城市生态系统的影响提供新思路，对于完善城市交通 CO₂ 排放统计核算制度和制定精细化的低碳交通发展政策具有重要的实践意义。

本书得到国家自然科学基金面上项目：“基于微观尺度的典型大都市功能区碳排放过程模拟及优化调控研究”（批准号：41271186）资助、“通量贡献区视角下北京市不同区域二氧化碳排放过程及影响机制研究”（批准号：41771182），及科技基础资源调查专项“中蒙俄国际经济走廊城市化与基础设施考察”（课题编号：2017FY101303）资助。本书由中国科学院地理科学与资源研究所郑吉博士生、李宇副研究员共同撰写完成。中国生态经济学会副理事长、中国科学院地理科学与资源研究所董锁成研究员，中国生态系统研究网络（CERN）综合研究中心主任于贵瑞研究员在本书的研究方案方面给予指导；北京市奥林匹克公园管委会委领导以及发展处、市政处领导为该项目的顺利开展提供了全方位的支持；中国科学院地理科学与资源研究所温学发研究员，张雷明副研究员，北京林业大学查天山教授、贾昕博士在碳通量观测数据方面给予支持；环境保护部环境与经济研究政策中心吴玉萍研究员、冯相昭副研究员，交通运输部规划研究院彭虢研究员，北京师范大学赵晗萍副教授、金建君副教授，中国科学院地理科学与资源研究所李泽红副研究员、李富佳副研究员、李飞助理研究员都给予本书指导和帮助；北京工商大学侯晓丽副教授在问卷调

微观尺度下城市交通 CO₂ 排放过程和机理研究

——以北京市奥林匹克中心区为例

研方面提供了支持。本书在撰写过程中借鉴和引用了相关科研工作者的研究方法、结论，在此一并表示衷心感谢。

郑 吉 李 宇

2017 年 9 月

目 录

序 / 1

前 言 / 1

第一章 绪 论	1
1.1 选题背景	1
1.1.1 北京市建设低碳世界城市的迫切性	2
1.1.2 实现奥林匹克中心区低碳发展的重要路径	3
1.1.3 国际城市碳排放微观尺度研究的热点领域	4
1.2 研究意义	5
1.2.1 研究的理论意义	5
1.2.2 研究的现实意义	5
1.3 研究区域典型性	6
1.4 研究内容	8
1.4.1 基于微观视角的城市交通 CO ₂ 排放研究框架	9
1.4.2 奥林匹克中心区交通 CO ₂ 排放估算研究	9

1.4.3 奥林匹克中心区典型路段交通 CO ₂ 排放时间变化 特征研究	10
1.4.4 交通 CO ₂ 排放与碳通量关系研究	11
1.5 研究技术路线	11
第二章 城市交通 CO₂ 排放研究进展	13
2.1 城市化与交通 CO ₂ 排放相互作用	13
2.2 城市交通 CO ₂ 排放估算方法	15
2.3 交通 CO ₂ 排放车辆分类体系研究	19
2.4 城市交通 CO ₂ 排放因子	23
2.4.1 城市交通 CO ₂ 排放因子估算方法	23
2.4.2 国内外交通 CO ₂ 排放因子/油耗系数	25
2.5 交通 CO ₂ 排放估算模型	30
2.5.1 交通 CO ₂ 排放模型研究进展	30
2.5.2 MOVES 模型选择及软件介绍	34
2.6 交通 CO ₂ 与通量观测值相互关系研究进展	36
第三章 城市道路交通 CO₂ 排放实证研究方法	41
3.1 研究区域范围的界定	41
3.1.1 大屯—北辰西路相交路口	41
3.1.2 北五环	43
3.2 数据来源	44
3.2.1 交通节点车流量视频采集	44

3.2.2 车辆分类解译统计	48
3.3 MOVES 模型本地化处理和估算	53
3.3.1 数据来源	55
3.3.2 三层递进回归模型	56
3.3.3 第一层回归模型	60
3.3.4 第二层回归模型	62
3.3.5 第三层回归模型	63
3.3.6 CO ₂ 排放因子估算公式及经验参数	65
3.3.7 排放因子清单	67
第四章 北五环交通 CO₂排放实证研究	69
4.1 北五环交通 CO ₂ 排放的变化特征	69
4.1.1 昼夜变化特征	69
4.1.2 周内限行条件下的变化特征	71
4.1.3 月度变化特征	74
4.2 北五环不同车辆类型交通 CO ₂ 排放贡献率	75
4.2.1 不同车辆类型交通 CO ₂ 排放总体贡献特征	75
4.2.2 载重汽车限行条件下交通 CO ₂ 排放贡献特征	76
第五章 大屯—北辰西路案例区交通 CO₂排放实证研究	79
5.1 大屯—北辰西路相交路口案例区交通 CO ₂ 排放的变化 特征	79

5.1.1	昼夜变化特征	79
5.1.2	周内限行条件下的变化特征	83
5.1.3	月度变化特征	88
5.2	不同车辆类型交通 CO ₂ 排放贡献率	91
5.3	不同等级城市道路交通 CO ₂ 排放特征比较分析	92
5.3.1	排放总量及变化特征比较	92
5.3.2	排放结构比较	94
5.4	低碳交通政策建议	96
 第六章 交通 CO₂排放与碳通量关系研究		99
6.1	城市生态系统碳通量构成	99
6.2	数据来源与碳通量拆分	100
6.2.1	数据来源	100
6.2.2	通量数据处理与拆分	102
6.3	大屯—北辰西路相交路口生态系统碳输出通量变化 特征分析	103
6.3.1	昼夜变化特征	103
6.3.2	月度变化特征	104
6.4	北五环生态系统碳输出通量变化特征分析	105
6.4.1	昼夜变化特征	105
6.4.2	月度变化特征	106

6.5 不同类型城市下垫面生态系统碳输出通量比较	
分析	108
6.5.1 昼夜变化特征	108
6.5.2 月度变化特征	109
6.6 大屯—北辰西路相交路口生态系统输出通量与	
交通 CO ₂ 排放关系研究	111
6.6.1 研究数据选取	111
6.6.2 研究结果	112
6.7 北五环生态系统输出通量与交通 CO ₂ 排放关系	
研究	113
6.7.1 研究数据选取	113
6.7.2 研究结果	114
第七章 结论和展望	117
7.1 结论	117
7.2 展望	120
参考文献	123
附 录	135

图目录

图 1-1	研究区域（奥林匹克中心区）所在位置	7
图 1-2	技术路线	12
图 2-1	交通 CO ₂ 排放生命周期	16
图 3-1	大屯—北辰西路相交路口交通 CO ₂ 排放研究区域范围	42
图 3-2	北五环交通 CO ₂ 排放研究区域范围	43
图 3-3	奥林匹克中心区交通流量监测点位置示意	45
图 3-4	大屯路面交通流量监测情况（2014 年 1 月 4 日 8: 00）	45
图 3-5	大屯隧道交通流量监测情况（2014 年 3 月 17 日 20: 00）	46
图 3-6	北五环交通流量监测情况（2014 年 6 月 7 日 19: 30）	46
图 3-7	大屯路面限行条件下分车型流量	50
图 3-8	大屯隧道限行条件下分车型流量	51
图 3-9	北五环限行条件下分车型流量	52

图 3-10	MOVES 估算过程项目数据管理器本地化修正界面	54
图 3-11	问卷调查分布情况	56
图 3-12	车辆 CO ₂ 排放因子三层递进回归模型示意	57
图 4-1	2014 年北五环案例区交通 CO ₂ 排放量昼夜变化	70
图 4-2	2014 年北五环案例区周一交通 CO ₂ 排放变化特征	73
图 4-3	2014 年北五环案例区周三交通 CO ₂ 排放变化特征	73
图 4-4	2014 年北五环案例区周六交通 CO ₂ 排放变化特征	74
图 4-5	2014 年北五环案例区交通 CO ₂ 排放月度变化特征	75
图 4-6	2014 年北五环案例区分车型交通 CO ₂ 排放贡献特征	76
图 4-7	新的限行规定实施前后载重汽车 CO ₂ 排放占总交通 CO ₂ 排放比重比较分析	77
图 5-1	2014 年大屯—北辰西路相交路口案例区交通 CO ₂ 排放量昼夜变化	80
图 5-2	2014 年大屯—北辰西路相交路口隧道案例区交通 CO ₂ 排放量昼夜变化	82
图 5-3	2014 年大屯—北辰西路相交路口案例区周内限行 条件下交通 CO ₂ 排放变化特征	84
图 5-4	2014 年大屯隧道周内限行条件下交通 CO ₂ 排放变化 特征	86
图 5-5	2014 年大屯—北辰西路相交路口案例区交通 CO ₂ 排放月度变化特征	89

图 5-6	2014 年大屯路和北辰西路路面交通 CO ₂ 排放月度变化特征	90
图 5-7	2014 年大屯隧道交通 CO ₂ 排放月度变化特征	91
图 5-8	2014 年大屯—北辰西路相交路口案例区分车型交通 CO ₂ 排放贡献特征	92
图 5-9	不同等级城市道路交通 CO ₂ 排放变化特征比较	94
图 5-10	不同等级城市道路交通 CO ₂ 排放结构特征比较	95
图 6-1	案例区监测站碳通量塔	101
图 6-2	某时刻通量贡献区示意	101
图 6-3	2014 年 9 月 3 日监测站通量塔 1 的碳通量贡献区	102
图 6-4	2014 年大屯—北辰西路相交路口案例区生态系统碳输出通量昼夜变化	103
图 6-5	2014 年大屯—北辰西路相交路口生态系统碳输出通量月度变化	105
图 6-6	2014 年北五环案例区生态系统碳输出通量昼夜变化	106
图 6-7	2014 年北五环案例区生态系统碳输出通量月度变化	107
图 6-8	不同城市功能下垫面生态系统碳输出通量昼夜变化	108
图 6-9	不同城市功能下垫面生态系统碳输出通量月度变化	110