

QUYU GAOFENBIANLV

DAQI PAIFANGYUAN QINGDAN JIANLI DE
JISHU FANGFA YU YINGYONG

郑君瑜 王水胜 黄志炯 尹沙沙 叶斯琪

著

区域高分辨率

大气排放源清单建立的

技术方法与应用



科学出版社

区域高分辨率大气排放源清单 建立的技术方法与应用

郑君瑜 王水胜 黄志炯 尹沙沙 叶斯琪 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书针对目前我国快速发展城市群地区面临的区域性大气复合污染问题,系统阐述了大气污染物排放源清单在区域空气质量预报预警、空气质量管理策略制定中的重要性和作用。围绕区域高分辨率大气排放源清单方法学的建立,着重阐述大气排放源分类的制定、排放源清单估算方法的建立、源排放时空特征识别与分配、符合模型需求污染源成分谱建立、排放清单不确定性分析与校验,以及满足区域空气质量模型需求输入的源清单处理模型系统的开发方法等几个方面的内容;并以珠江三角洲为实例进行深入浅出的介绍。

本书可供大专院校和科研院所从事大气环境研究等相关专业的研究生及科研人员阅读,还可供政府环境保护等部门及事业单位有关科研及技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

区域高分辨率大气排放源清单建立的技术方法与应用 / 郑君瑜等著. —北京: 科学出版社, 2013.11

ISBN 978-7-03-038911-4

I. ①区… II. ①郑… III. ①高分辨率-大气污染物-污染源-研究-中国 IV. ①X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 247378 号

责任编辑: 莫永国 / 责任校对: 李 娟
责任印制: 邱志强 / 封面设计: 杨 洋

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>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年1月第一版 开本: 720×1000 B5

2014年1月第一次印刷 印张: 27 3/8

字数: 480千字

定价: 98.00元

前 言

改革开放以来,随着我国城市化、工业化、区域经济一体化的进程不断加快,机动车保有量和城市人口数量的急剧膨胀,污染物的高强度集中排放以及污染物在不同城市和地区间的相互输送、反应和转化,使得以氮氧化物为代表的机动车尾气污染、以臭氧为代表的光化学烟雾污染以及以细粒子为代表的雾霾污染等大气污染问题接踵而至。大气污染正从局地、单一的城市空气污染逐步转变为区域复合型大气污染,特别是在经济快速发展的城市群地区(如京津冀、长江三角洲和珠江三角洲等地区)以及其他部分城市群(辽宁中部城市群、华中地区、长株潭,以及成渝地区),复合型区域大气污染特征日益明显并呈现出令人堪忧的蔓延趋势,严重制约着我国区域社会经济的可持续发展,严重影响了人民群众的日常生活和公众的身体健康,引起了各级政府、公众以及研究学者的广泛关注。如何应对严峻的空气污染防治挑战正逐渐上升为一个民生层面的焦点议题。

目前,我国城市群地区大气污染典型表现为明显的区域性和整体性特征。因而,在进行大气污染控制的时候,需从区域角度出发,在把握区域整体环境特征的基础上,对影响区域空气质量的诸多因素进行综合分析和系统研究,提出全面综合的联防联控防治策略,从而达到防治区域大气污染恶化、实现区域空气质量整体提升的污染控制目标。在此过程中,对污染物排放来源进行识别,并对其排放大小进行准确定量表征显得尤为迫切和重要,它既是大气污染综合防治的基本出发点,也是最终评估污染控制策略实施效果的根本落脚点。其中,区域大气排放源清单作为对某一地理区域在某一时期内,基于污染源分类的由各种污染源排放到大气中的一种或几种污染物排放大小列表的集合,是识别区域大气污染物排放来源、利用区域空气质量模型研究区域大气污染形成机制、预警预报空气质量、制定污染控制对策的关键输入数据。然而,由于区域大气复合污染是近年来我国出现的新型大气污染问题,相关数据积累、技术方法和能力建设极为薄弱,可以说,缺乏高质量、高时空分辨率大气污染物排放源清

单是目前我国开展区域大气复合污染研究、空气质量预警预报与污染控制面临的关键数据瓶颈问题之一。

作者于 20 世纪末至 21 世纪初赴美国学习和工作,开始了大气排放源清单建立方法与不确定性分析的相关研究工作,并在 2004~2005 年有幸加入了由 NARSTO(北美对流层臭氧研究组织:一个由美国、加拿大、墨西哥三国的政府、企业、研究机构共同组成,致力于改善北美空气质量的组织机构)组织的北美地区大气排放源清单评价专家小组(由 30 多位来自北美地区从事大气排放源清单相关研究与管理的专家学者、教授和政府管理人员组成),全程参与了为期一年多的北美地区大气排放源清单现状评估、未来改进工作路线图讨论的专家研讨会。此次专家小组评估工作经历加深了作者对大气排放源清单研究的全面认识和未来发展方向的了解,至今想来,此次经历是作者学习和职业生涯中最为宝贵的经历和知识财富。2006 年初回国工作以后,在清华大学郝吉明院士、粤港两地环保部门、美国国家环保署的支持下,作者组织召开了首届中国区域大气排放源清单能力建设国际学术研讨会,为作者了解国内大气污染排放源清单的研究进展、能力建设与现状提供了极佳的平台和机会。此次会议之后,广东省环境监测中心钟流举教授(现广东省环保厅大气环境首席专家)、中国气象局华南热带海洋研究所吴兑教授邀请作者加入广东省环保专项资金“珠江三角洲光化学烟雾预报预警系统”项目,开启了作者在国内开展区域大气排放源清单建立的研究工作。此后,又适逢北京大学张远航教授领衔的国家“十一五”“863”重大项目“重点城市群大气复合污染综合防治技术与集成示范”将珠江三角洲作为示范地区开展,有幸加入了清华大学贺克斌教授领衔的动态排放源清单研究团队,并在期间获得了多个国家自然科学基金科研项目的资助,开始了适合我国环境管理体制与现有数据相匹配的区域高分辨率大气排放源清单建立方法与应用研究,以及珠三角区域高时空分辨率排放源清单建立的系统性研究工作。相关研究成果借助 2010 年广州亚运会和 2011 年深圳大运会的契机得到了检验和应用。在这些工作的基础上,逐步形成了适合我国国情的区域高时空分辨率大气排放源清单建立的技术方法框架体系。

过去的十年,是我国大气污染最为严峻的时期,也是从事大气污染防治工作与大气环境研究科研人员最为活跃的时期,作者深感生逢其时,能将在国外学到的知识技能应用在国内的科研与环境保护需求上。过去这些年的工作,不仅加深了作者对我国空气质量和大气污染特征的科学认知,也引发了作者对我

国大气污染防治、空气质量管理中存在的诸多科研与管理问题的思考。在清华大学环境学院贺克斌教授等著名科学家的带动下,作者一直致力于区域高时空分辨率大气排放源清单建立的技术方法与应用的研究工作,也欣喜地看到了越来越多的研究团队开始关注、从事大气排放源识别和排放清单的科学研究,政府管理人员开始重视排放源清单在大气污染控制和空气质量管理中的重要作用,相关人员也逐渐认识到大气污染排放源识别与定量表征是一个重要的系统性科学问题,而不再简单地将排放源清单研究与现有政府部门环境统计、污染源普查或总量控制划等号。

然而,毕竟区域性大气复合污染是近十年来我国在经济快速发展过程中凸显出来的问题,作为开展大气复合污染研究与控制的重要基础性研究工作,排放源清单研究的相关工作,目前我国可以说仍然停留在起步或者说刚刚上路的阶段。现有的相关研究还较为零散,尤其是针对区域大气排放源清单建立的技术方法和应用研究尚未完全形成一套完整规范的方法体系。很多基础性的研究工作,比如:规范统一的排放源分类体系、本土排放因子和化学成分谱库建立、本土排放源估算模型和排放定量表征方法、排放时空分配技术与方法、排放源清单不确定性分析与验证、排放源清单预测方法等研究工作还亟待深入和规范化。特别是在国家新环境空气质量标准颁布的背景下,未来国家空气质量的科学管理将会更加依赖高质量的排放源清单和环境空气质量监测数据。有感于此,在吸收和借鉴作者在欧美地区学习和访问期间对欧美地区大气排放源清单研究进展的了解和经验教训的基础上,作者根据过去几年来研究团队在珠三角地区开展区域高分辨率排放源清单研究所取得的研究成果、应用实践与经验教训,总结和提炼出了本书的主要核心内容,希冀能为我国区域大气排放源清单研究走向深入、系统和规范化、提升区域大气排放源清单研究的水平和编制质量助一臂之力,为解决我国区域大气复合污染问题提供一定的帮助和参考。

全书共 10 章,其中第 1 章介绍本书的写作背景、大气排放源清单研究进展和我国区域排放源清单面临的主要问题及相关概念的厘清和介绍;第 2 章介绍区域高时空分辨率大气排放源清单建立需解决的主要科学问题,以及构架区域高分辨率大气排放源清单方法框架体系的总体思路和缘由;第 3 章至第 8 章围绕第 2 章介绍的方法框架体系涉及的主要内容进行分别详细介绍,具体涵盖了大气排放源分类、排放源清单定量表征方法、时间与空间分配方法、化学成分谱与模型需求物种谱建立、排放源清单不确定性分析与验证、排放源清单处理模

型等内容；第9章以珠江三角洲地区为研究案例，介绍了本书构建的方法框架体系在珠三角地区高时空分辨率大气排放源清单建立的实践以及建立的区域排放源清单在支撑珠三角区域空气质量管理、联防联控规划以及大气污染防治策略制定等方面的应用；最后第10章是作者对未来我国区域大气排放源清单研究与发展的思考、建议和展望。

全书由郑君瑜负责书稿总体设计、撰写、审核和最终定稿工作，作者研究团队全体博士和硕士研究生全程参与了书稿的资料准备、撰写、审校工作。其中，第1章由郑君瑜和尹沙沙执笔撰写，第2章由郑君瑜执笔撰写，第3章由叶斯琪执笔撰写，第4章由潘月云执笔撰写，第5章和第6章由黄志炯和区家敏执笔撰写，第7章由郑君瑜、王水胜执笔撰写，第8章由王水胜和黄志炯执笔撰写，第9章由沈兴玲执笔撰写，第10章由郑君瑜执笔撰写。郑君瑜组织和参与了所有章节书稿的修改、审校和定稿工作。此外在读研究生李成、杨杨、杨静、李泽琨、高宗江、黄晓波、朱文波、刘郁葱参与了书稿资料准备、校订工作。已毕业研究生何敏、卢清、郑卓云、车汶蔚、冯小琼、余宇帆、彭康、付飞参与了部分章节资料准备、书稿讨论与校稿等工作。作者所有研究生包括已毕业的张礼俊、刘潘炜、柯钊跃、李志成、覃小玲、王佳等在实验室学习期间都对书稿涉及的研究工作做出了贡献。作者在此对每位学生的辛勤工作、努力付出和在书稿撰写期间放弃无数个节假日的牺牲精神，表示衷心的感谢，大家辛苦了！同时也感谢香港科技大学袁自冰博士对本书第6章的审校工作。

回国这些年的工作与科研经历，是作者人生中一段倍感辛苦但却弥足珍贵的记忆，也是作者职业生涯中最为重要的一个阶段之一。能够有今天这样的书稿面世，离不开众多前辈、同行、朋友、亲人的支持。写到这里，脑子里浮现的是一长串感谢名字。感谢清华大学郝吉明院士在学生回国工作以来一路上的指导、支持和鼓励。感谢广东省环境监测中心钟流举教授、中国气象局华南热带海洋研究所吴兑教授，是您们给予了作者回国后开启大气排放源清单研究科研“第一桶金”的机会。感谢北京大学张远航教授、清华大学贺克斌教授、中国环境科学研究院柴发合教授，是您们让作者很快融入了国内生机勃勃的大气复合污染研究科研队伍。感谢中国科学院大气物理研究所王自发教授，感谢您在作者人生关键时刻给予的鼎力支持和帮助。感谢北京大学邵敏教授、胡敏教授，中国科学院遥感应用研究所陈良富教授，中国科学院地球化学研究所王新明教授，中山大学王雪梅教授、范绍佳教授，暨南大学王伯光教授，广州市

环境保护科学研究院张宝春高工等同行与朋友，感谢您们这些年来给予作者的同志加朋友般的温暖和科研工作的大力支持。特别感谢香港环境局陆恭惠女士，香港环保署雷国强博士，香港中华电力公司吴芷茵博士，香港科技大学刘启汉教授、陈泽强教授、冯健雄教授，香港理工大学王韬教授、郭海教授、李顺诚教授，香港中文大学林晖教授、李蓉蓉博士等香港朋友和同行，感谢您们这些年对作者参与粤港区域大气环境研究的大力支持和鼓励，是您们让我获得了坚守在这个地区的力量。感谢美国北卡罗莱纳州立大学 H. Christopher Frey 教授——我的博士导师，以及我在美国国家环保署和国际应用系统分析研究所 (IIASA) 学习、工作访问时期的境外同行朋友们，是您们为我开启了大气环境研究领域的大门，指明了我学术领域研究和前进的方向。

如果说这些年自己的科研工作有所成绩的话，这些成绩的取得离不开众多机构和政府的科研资金支持。在此一并感谢这些年为作者研究团队提供科研经费资助的国家自然科学基金委员会、科技部“863”项目、广东省环境保护专项资金、环保部公益项目、佛山市环保局、深圳市人居环境委员会、广州市环保局、广东省科技厅、香港环保署等机构和基金会的支持。

本书在撰写和定稿过程中得到了家人的充分理解和众多朋友的关心支持，作者在此对他们表示衷心的感谢。特别感谢科学出版社编辑莫永国先生，没有您的督促和鼓励，本书的书稿还不知道何时能够面世。此外，本书在撰写过程中参考了许多国内外学者优秀的研究成果，书中涉及的多项工作也是建立在参考和改善前人工作的基础之上，因此十分感谢所有在大气环境研究领域尤其是大气排放源清单研究领域内兢兢业业、呕心沥血的同行前辈们，正是站在您们这些优秀科研工作者的肩膀之上，才使我们得以在学术研究道路上占据更高的起点，少走弯路！作者在这里对您们取得的优秀科研成果和至深的学术造诣致以崇高的敬意！

作者深知本书由于自己学术水平、学术视野的限制，以及认识的高度和深度不够，加之时间仓促，难免存在诸多不足之处，在此权当抛砖引玉，恳请广大读者、老师批评指正。

作者

2013 年 11 月 12 日于广州大学城

目 录

前言

第1章 绪 论	1
1.1 区域大气污染现状与需求	1
1.2 大气污染物排放源清单	4
1.2.1 排放源清单定义与类型	4
1.2.2 区域排放源清单需求与特征	6
1.3 排放源清单发展与现状	8
1.3.1 欧美地区	8
1.3.2 亚洲地区	12
1.3.3 我国大气排放源清单发展历程	13
1.3.4 我国区域大气排放源清单研究工作的不足	20
1.4 排放源清单与受体模型来源解析	22
1.5 排放源清单与环境污普数据的关系	24
1.6 本书写作目的与内容架构	25
主要参考文献	26
第2章 区域高时空分辨率大气排放源清单建立的框架体系	32
2.1 区域高分辨率排放源清单建立的关键科学与技术问题	32
2.2 区域高分辨率排放源清单建立的方法框架体系构建	33
2.3 小结	38
主要参考文献	39
第3章 区域大气排放源分类	40
3.1 引言	40
3.2 区域大气排放源分类的重要性	41
3.3 区域大气排放源分类的原则	42
3.4 区域大气排放源分类体系	43
3.4.1 固定燃烧源	47
3.4.2 工业过程源	49
3.4.3 道路移动源	51
3.4.4 非道路移动源	54

3.4.5	有机溶剂使用源	55
3.4.6	存储与运输源	58
3.4.7	扬尘源	60
3.4.8	农牧源	63
3.4.9	生物质燃烧源	64
3.4.10	天然源	66
3.4.11	其他排放源	66
3.5	区域大气排放源分类代码编制	68
3.5.1	排放源分类代码编制的必要性	68
3.5.2	排放源分类代码编制的原则与方法	69
3.6	区域大气排放源分类及代码示例	73
	主要参考文献	82
第4章	区域大气污染源排放定量表征方法	87
4.1	排放源清单的定量表征方法概述	88
4.1.1	物料衡算法	88
4.1.2	排放因子法	88
4.1.3	实际测量法	89
4.1.4	模型估算法	90
4.1.5	定量表征方法选取原则	91
4.2	主要大气污染源排放估算方法	92
4.2.1	固定燃烧源	92
4.2.2	工业过程源	96
4.2.3	道路移动源	98
4.2.4	非道路移动源	99
4.2.5	有机溶剂使用源	105
4.2.6	存储与运输源	108
4.2.7	扬尘源	112
4.2.8	农牧源	113
4.2.9	生物质燃烧源	116
4.2.10	天然源	117
4.2.11	其他排放源	120
4.3	活动水平数据来源与收集	122
4.3.1	固定燃烧源	122
4.3.2	工业过程源	123
4.3.3	道路移动源	123

4.3.4 非道路移动源	124
4.3.5 有机溶剂使用源	126
4.3.6 存储与运输源	126
4.3.7 扬尘源	127
4.3.8 农牧源	128
4.3.9 生物质燃烧源	129
4.3.10 天然源	130
4.4 排放因子来源与收集	131
4.4.1 固定燃烧源	132
4.4.2 工业过程源	132
4.4.3 道路移动源	132
4.4.4 非道路移动源	138
4.4.5 有机溶剂使用源	140
4.4.6 存储与运输源	140
4.4.7 扬尘源	142
4.4.8 农牧源	144
4.4.9 生物质燃烧源	146
4.4.10 天然源	146
4.5 排放源清单的质量保证与质量控制(QA/QC)	147
4.5.1 质量控制(QC)程序	147
4.5.2 质量保证(QA)程序	149
4.5.3 质量验证(verification)程序	150
主要参考文献	150
第5章 区域大气污染源排放源清单时间与空间分配方法	162
5.1 区域大气排放源清单时空分配的重要性	162
5.2 区域排放源清单时间分配方法	164
5.2.1 排放时间特征识别	165
5.2.2 时间特征谱建立	172
5.3 排放源清单空间分配	174
5.3.1 空间特征识别	174
5.3.2 区域排放源清单空间分配方法与技术	178
5.4 标准道路长度空间分配方法	188
5.5 区域大气污染源排放源清单时间与空间分配案例研究	192
5.5.1 时间分配案例研究	192
5.5.2 空间分配案例研究	203

主要参考文献	215
第 6 章 大气污染源排放化学成分谱	217
6.1 排放源化学成分谱的作用	217
6.1.1 空气质量模型	218
6.1.2 受体模型来源解析	218
6.1.3 生成潜势	219
6.2 大气排放源化学成分谱研究概况	219
6.2.1 挥发性有机化合物 VOC	220
6.2.2 细颗粒物(PM _{2.5})	224
6.2.3 SPECIATE 数据库	228
6.2.4 国内大气排放源化学成分谱研究的局限性	230
6.3 基于模型需求的物种谱建立	232
6.3.1 基于排放源分类和基于化学机理的重要性	232
6.3.2 常见的大气化学机理	234
6.3.3 基于模型化学机理物种谱建立方法	237
6.4 源排放模型物种谱的建立	
——以重点 VOC 工业行业为例	243
6.4.1 重点 VOC 工业行业化学成分建立	243
6.4.2 基于化学机制的重点 VOC 工业行业化学物种谱建立	246
主要参考文献	249
第 7 章 大气排放源清单不确定性分析与验证	258
7.1 不确定性概念及来源识别	259
7.1.1 不确定性分析相关概念	259
7.1.2 不确定性来源识别	260
7.2 排放源清单不确定性分析方法简介	261
7.2.1 定性分析方法	261
7.2.2 半定量分析方法	261
7.2.3 定量分析方法	262
7.3 排放源清单定量不确定性分析方法	262
7.3.1 排放源清单定量不确定性分析概念框架	262
7.3.2 模型输入不确定性定量分析方法	263
7.3.3 排放源清单模型不确定性传递方法	270
7.3.4 关键不确定性源识别技术—敏感性分析方法	272
7.4 定量不确定性分析工具 AuvToolPro	273
7.4.1 AuvToolPro 简介	273

7.4.2	AuvToolPro 的关键算法	274
7.4.3	主要功能模块介绍	276
7.5	排放源清单校验方法	279
7.5.1	排放源清单横向比较	280
7.5.2	排放源清单的趋势校验方法	281
7.5.3	基于受体模型的排放源贡献率验证	282
7.5.4	基于卫星遥感观测的排放源清单验证方法	284
7.5.5	反演模型验证清单	285
7.6	案例研究	286
7.6.1	案例一:天然源 VOC 排放源清单不确定性估算	286
7.6.2	案例二:基于专家判断的加油站 VOC 排放不确定性估算	294
7.6.3	案例三:VOC 排放源清单源贡献率验证(基于受体模型)	299
	主要参考文献	300
第 8 章	大气排放源清单处理模型系统	306
8.1	排放源清单处理模型	306
8.2	常见的排放源清单处理模型系统	309
8.2.1	SMOKE 模型系统	309
8.2.2	CONCEPT 模型系统	311
8.2.3	EMS-HAP	312
8.2.4	小结	314
8.3	SMOKE 排放源清单处理模型本地化方法	314
8.3.1	排放源清单处理的方式	315
8.3.2	大气排放源分类及匹配	317
8.3.3	区域划分与代码编制	318
8.3.4	排放源清单输入准备	319
8.3.5	空间分配处理(spatial allocation)	322
8.3.6	排放垂直分层处理(layer assignment)	326
8.3.7	时间分配处理(temporal processing)	327
8.3.8	化学物种分配处理(chemical speciation)	331
8.3.9	小结	334
8.4	天然源排放估算模型的在线耦合	335
8.4.1	MEGAN 模型估算方法及输入数据	336
8.4.2	MEGAN 模型的组成模块	337
8.4.3	MEGAN 模型与 SMOKE 系统耦合	338
8.5	实例研究:SMOKE-PRD 排放源清单处理模型	338

8.5.1	SMOKE-PRD 系统框架	339
8.5.2	SMOKE-PRD 系统的建立方法	341
8.5.3	SMOKE-PRD 处理结果检验与分析	343
	主要参考文献	353
第 9 章	珠三角区域高分辨率大气污染源排放源清单建立与应用	355
9.1	区域概况	355
9.2	大气污染源排放源清单估算	357
9.3	2006 年珠江三角洲区域大气排放源清单	361
9.3.1	大气污染源排放源清单	361
9.3.2	大气污染源贡献分担率	363
9.4	珠江三角洲大气排放源时空特征	365
9.4.1	空间分布特征	365
9.4.2	时间分布特征	369
9.5	珠江三角洲大气排放源清单不确定性与校验	373
9.5.1	不确定性分析	373
9.5.2	遥感反演	376
9.5.3	时间趋势分析	379
9.5.4	与其他清单对比	382
9.6	珠江三角洲区域高分辨率大气排放源清单应用	383
	主要参考文献	385
第 10 章	建议与展望	387
附录		395
索引		423

第1章 绪论

城市化和工业化的快速发展以及机动车保有量的迅速增加,大量污染物在短时间内被排放到大气中,导致的大气污染问题和引起的城市或区域空气质量恶化已成为一个被广泛关注的环境问题。按照国际标准化组织(ISO)的定义,“大气污染通常指由于人类活动或自然过程引起某些物质进入大气中,呈现出足够的浓度,达到足够的时间,并因此危害了人体的舒适、健康和福利或环境污染的现象。”可以说,由各种排放源排放到大气中的污染物是造成大气污染的关键因素,加之空气的流动性,污染物在气象因素的驱动下,使得大气污染往往可进行长距离跨界传输,成为典型的跨行政边界的区域性乃至全球性问题,如著名的多诺拉烟雾、伦敦烟雾和洛杉矶烟雾便是这样的大气污染事件。

在区域性大气污染综合防治过程中,由于大气污染具有明显的区域性、整体性特征,往往需要从区域环境整体出发,对区域内的大气污染形成迁移及转化过程进行了解,充分考虑区域的环境特征,并在考虑区域内的能源结构、工业发展、交通管理、城市建设布局等基础上,对影响大气质量的多种因素进行综合系统分析,建立综合的控制对策及防治措施,以期达到区域大气环境质量控制目标。在这一过程中,污染物排放、污染形成机制、污染控制对象及最后的效果评估,都依赖于对区域内大气污染排放源的污染物排放特征识别及定量表征,只有在摸清污染物的排放量、排放特征等基础上,才能够综合制定有效的减排措施及分析空气达标的可行性。可以说对污染物排放源的识别既是大气污染综合防治的出发点,也是最终评价控制措施实施效果的落脚点。

本章针对在开展大气综合防治过程中对污染物排放源特征识别和量化的需求,对区域大气污染现状、大气污染源排放源清单定义与需求特征进行介绍,并阐述国内外大气排放源清单研究进展、现状与不足,以及介绍本书的研究目标及框架结构。

1.1 区域大气污染现状与需求

早期的大气污染,一般发生在城市、工业区等局部地区,在一个较短的时间内大气中的污染物浓度显著增高,使人或动植物受到伤害。然而,随着城市

化进程加快,机动车保有量增加,人口迅猛增长,城市与城市之间的扩张与快速链接,经济增长带来的高强度污染排放,引发的区域空气质量问题已成为一个全世界普遍关注的问题。区域大气污染在世界上很多地方均出现过,特别是美国从20世纪40年代初期开始,以洛杉矶市经历的一种棕色、朦胧又有刺激性气味的空气污染为代表,这类比起18世纪开始发生在欧洲大城市的浓烟污染更加持久的空气污染,引起了美国联邦政府对区域空气污染问题的重视,并出台了在美国空气污染防治历史上最为重要的《清洁空气法》(Clean Air Act, CAA)。它将空气质量的进步归功于全面的空气质量管理体系,包括计划、规则、许可证、执行和监测五个方面。具体来说,就是不同层面(州内、州与州之间)构建具有跨界治理职能的“空气质量管理特区”或“专业治理委员会”,首先明确污染源是什么,然后制定相应规则,随后发放排放许可,之后是执行对污染源的控制管理,最后靠现场稽查来评估污染防治的落实情况。

我国自20世纪70年代末改革开放以来,随着城市化、工业化、区域经济一体化的进程加快,机动车保有量和人口的激增,大气污染正从局部、单一的城市空气污染向区域、复合型大气污染转变,部分地区出现了大范围的空气重污染现象,特别是在经济迅猛发展的城市群地区(如京津唐、长江三角洲和珠江三角洲地区)及其他部分城市群(辽宁中部城市群、华中地区以及成渝地区)已表现出明显的区域大气污染特征,并呈现蔓延和加重的趋势。大气污染制约了区域社会经济的可持续发展,威胁人民群众身体健康。我国目前面临的区域性大气复合污染问题引起了政府及公众的广泛关注,已经成为我国目前以及今后一段时期内面临的主要环境问题之一。我国的区域大气污染典型表现为煤烟型与机动车污染共存的新型大气复合污染,颗粒物为主要污染物,霾和光化学烟雾频繁,NO₂浓度居高不下,酸沉降转变为硫酸型和硝酸型的复合污染,二次污染愈加明显。大量污染物通过大气在城市中心和城乡复合带输送,造成各城市环境污染相互关联以及多种高浓度污染物在时空上重叠。

目前,在我国区域大气复合污染过程中,高浓度颗粒物污染成为我国许多地区大气环境问题的重要特征,成为影响我国许多城市空气质量的首要污染物,其导致的灰霾污染现象在我国许多地方频繁出现,其中又以京津冀、长三角和珠三角地区尤为严重。自2012年以来细颗粒物(PM_{2.5})逐渐成为中国环境治理其中的一个社会热点,成为政府及公众最为关注的环境问题之一。特别是,2013年元旦以来京津冀地区持续出现的近两个月灰霾污染,期间共计发生5次强霾污染,整个1月份北京市只有4天晴朗,成为本世纪以来中国最严重的环境污染事件。在随后的污染物成分的详细分析和轨迹追踪研究中,反映出区域输送是造成此次强霾最大的因素。近年来,大气污染的区域性特征表现明显,已成为大气复合污染的重要代表特征。

另外,每年7~8月份,区域光化学烟雾污染频繁发生,作为光化学烟雾污

染的标识指标—— O_3 往往超越颗粒物成为首要污染物，成为夏季影响我国空气质量的一个重要环境问题。从广东省环保厅和香港环保署公布的《粤港珠江三角洲区域空气监控网络 2011 年监测结果报告》中获悉，2006~2011 年，珠三角区域整体空气质量逐步改善，6 年间监控网络记录的 SO_2 、 NO_2 及可吸入颗粒物 (PM_{10}) 的年平均浓度均有所下降，但 O_3 浓度则上升了 21%，成为唯一上升的大气污染物指标。由于 O_3 并不是从污染源直接排放，而是由氧气、 NO_x 及挥发性有机化合物在阳光作用下发生光化学反应形成的二次污染，其产生来源更为复杂，其中森林植被自然源排放的挥发性有机物贡献不容忽视。因此，相对于 $PM_{2.5}$ ， O_3 污染的治理也许更为复杂和具有挑战性。

近年来，尽管通过实施一系列的大气环境治理措施，我国在控制 SO_2 方面取得了明显的进展，但从污染物浓度的绝对值、新颁布的《环境空气质量标准》(GB 3095—2012) 及未来面临的压力来看，我国的大气污染依然形势严峻。比如，①大部分城市 PM_{10} 浓度仍然维持高值。经过多年对一次排放颗粒物的大幅治理， $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中所占比例将愈来愈高，无疑将进一步加大颗粒物污染控制工作的难度。②霾污染问题日益突出。近年来我国区域性霾污染天气日益严重，以 $PM_{2.5}$ 为代表的细颗粒是其主要成因。由于约 50% 左右甚至更多的 $PM_{2.5}$ 来自气态污染物的化学转化，组分构成复杂，污染来源广泛，对颗粒物污染控制提出了新的更高的要求。③许多城市环境大气的 NO_2 浓度不降反升。 NO_x 不仅直接对人体健康产生危害，同时也是造成 O_3 污染、二次颗粒物和酸雨的重要前体物。新的《环境空气质量标准》将 NO_2 二级标准年均值从原来的 0.08 mg/m^3 修订为 0.04 mg/m^3 ，全国许多大城市和经济发达地区的 NO_2 将处于超标状态。④ O_3 污染超标频繁。大气总体氧化性增强， O_3 是光化学烟雾的代表性污染物，近年来我国许多城市机动车保有量激增，导致 NO_x 和挥发性有机物浓度迅速上升，高浓度的 O_3 超标频繁出现，京津冀地区、长三角和珠三角地区已呈现区域性光化学污染。

可以说，目前以 $PM_{2.5}$ 灰霾及 O_3 污染为代表的区域性大气复合污染，已经成为我国目前以及今后一段时期内持续且普遍面临的主要环境问题，并随着城市化进程的加快，区域性大气复合污染环境问题将愈来愈突出。这一污染已不能视为某一城市的单一因素影响所致，必须看作是涉及整个区域及国家的系统性问题。而由于大气污染的区域性和公共性特征，这对过去城市各自为政、分割型的环境治理体制提出了严峻的挑战。在推动经济增长方式转型的大背景下，如何构架合理的区域空气质量管理安排，建立针对性的管理机制并落实相关措施，协同解决日渐严重的环境跨界污染问题，改善区域空气质量，理应成为我们努力建设美丽中国的一个重要的现实议题。

为了研究及解决区域大气复合污染，越来越多的工作开始关注利用数值模