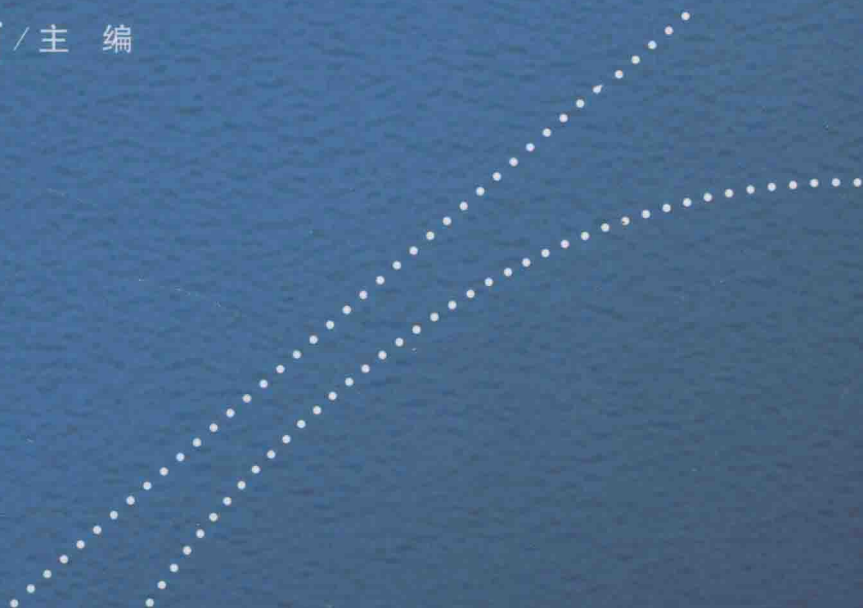




国家自然科学基金应急项目系列丛书

控制PM_{2.5}污染： 中国路线图与政策机制

王金南 / 主 编

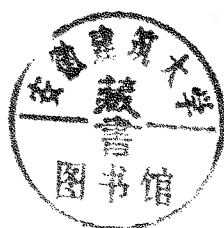


科学出版社

国家自然科学基金应急项目系列丛书

控制 $\text{PM}_{2.5}$ 污染： 中国路线图与政策机制

王金南 / 主 编



科学出版社

北 京

内 容 简 介

细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$) 已经成为影响我国空气质量的最主要的污染物指标。本书梳理国内外 $\text{PM}_{2.5}$ 污染控制的主要措施, 分析社会经济驱动因素以及污染物跨界传输对 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的影响, 探讨我国以控制 $\text{PM}_{2.5}$ 污染为目标, 需要着力建设的政策机制, 以及控制 $\text{PM}_{2.5}$ 污染的中长期路线图。本书以自然科学分析入手, 落脚于政策机制设计, 综合大气科学、流行病学、管理学、经济学等多学科的研究手段和研究成果, 涉及面较广。

本书适合于希望全面了解我国 $\text{PM}_{2.5}$ 污染控制政策的科研人员与管理人员阅读及参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

控制 $\text{PM}_{2.5}$ 污染: 中国路线图与政策机制/王金南主编. —北京: 科学出版社, 2016.12

(国家自然科学基金应急项目系列丛书)

ISBN 978-7-03-050107-3

I. ①控… II. ①王… III. ①可吸入颗粒物—污染防治—研究—中国 IV. ①X513

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 235549 号

责任编辑: 魏如萍 / 责任校对: 徐榕榕
责任印制: 霍 兵 / 封面设计: 蓝正设计

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 12 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2016 年 12 月第一次印刷 印张: 22

字数: 444 000

定价: 132.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

国家自然科学基金应急项目系列丛书编委会

主 编

吴启迪 教 授 国家自然科学基金委员会管理科学部

副主编

李一军 教 授 国家自然科学基金委员会管理科学部

高自友 教 授 国家自然科学基金委员会管理科学部

编 委 (按拼音排序)

程国强 研究员 国务院发展研究中心

方 新 研究员 中国科学院

辜胜阻 教 授 中国民主建国会

黄季焜 研究员 中国科学院地理科学与资源研究所

李善同 研究员 国务院发展研究中心

李晓西 教 授 北京师范大学

汪寿阳 研究员 中国科学院数学与系统科学研究院

汪同三 研究员 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所

魏一鸣 教 授 北京理工大学

薛 澜 教 授 清华大学

杨列勋 研究员 国家自然科学基金委员会管理科学部

本书课题组名单

总课题：我国 $\text{PM}_{2.5}$ 控制路线图及其政策机制研究

承担单位：环境保护部环境规划院

课题主持人：王金南

课题组成员：雷宇、杨金田、陈潇君、宁淼、董战峰、燕丽

分课题一：我国典型区域 $\text{PM}_{2.5}$ 理化分布特征及其对灰霾的影响研究

承担单位：中国科学院大气物理研究所

课题主持人：王跃思

课题组成员：唐贵谦、温天雪、吉东生、潘月鹏、刘子锐、王永宏

分课题二：中国人为源 $\text{PM}_{2.5}$ 及其前体物排放的社会经济驱动力研究

承担单位：清华大学

课题主持人：霍红

课题组成员：赵红艳

分课题三：针对 $\text{PM}_{2.5}$ 跨界输送的重点区域协同控制机制研究

承担单位：环境保护部环境规划院

课题主持人：雷宇

课题组成员：薛文博、唐贵谦、蒋春来、付飞、武卫玲

分课题四：控制 $\text{PM}_{2.5}$ 的排污收费与环保综合电价政策研究

承担单位：环境保护部环境规划院

课题主持人：董战峰

课题组成员：郝春旭、李红祥、秦颖、李晓琼

分课题五：我国 $\text{PM}_{2.5}$ 控制的社会成本与效益评估方法研究

承担单位：北京大学

课题主持人：王奇

课题组成员：刘巧玲、蔡昕好、冯琳

分课题六：机动车柔性限行政策及其对 $\text{PM}_{2.5}$ 的改善作用研究

承担单位：南京信息工程大学

课题主持人：樊曙先

课题组成员：张凯

总 序

为了对当前人们所关注的经济、科技和社会发展中出现的一些重大管理问题快速做出反应,为党和政府高层科学决策及时提供政策建议,国家自然科学基金委员会于1997年特别设立了管理科学部主任基金应急研究专款,主要资助开展关于国家宏观管理及发展战略中急需解决的重要的综合性问题的研究,以及与之相关的经济、科技和社会发展中的“热点”与“难点”问题的研究。

应急研究项目设立的目的是为党和政府高层科学决策及时提供政策建议,但并不是代替政府进行决策。根据学部对于应急项目的一贯指导思想,应急研究应该从“探讨理论基础、评介国外经验、完善总体框架、分析实施难点”四个主要方面为政府决策提供支持。每项研究的成果都要有针对性,且满足及时性和可行性要求,所提出的政策建议应当技术上可能、经济上合理、法律上允许、操作上可执行、进度上可实现和政治上能为有关各方所接受,以尽量减少实施过程中的阻力。在研究方法上要求尽量采用定性与定量相结合、案例研究与理论探讨相结合、系统科学与行为科学相结合的综合集成研究方法。应急项目的承担者应当是在相应领域中已经具有深厚的学术成果积累,能够在短时间内(通常是9~12个月)取得具有实际应用价值成果的专家。

作为国家自然科学基金的一个特殊专项,管理科学部的“应急项目”已经逐步成为一个为党和政府宏观决策提供科学、及时的政策建议的项目类型。与国家自然科学基金资助的绝大部分(占预算经费的97%以上)专注于对管理活动中的基础科学问题进行自由探索式研究的项目不同,应急项目有些像“命题作文”,题目直接来源于实际需求并具有限定性,要求成果尽可能贴近实践应用。

应急研究项目要求承担课题的专家尽量采用定性与定量相结合的综合集成方法,为达到上述基本要求,保证能够在短时间内获得高水平的研究成果,项目的承担者在立项的研究领域应当具有较长期的学术积累。

自1997年以来,管理科学部对经济、科技和社会发展中出现的一些重大管理问题做出了快速反应,至今已启动45个项目,共323个课题,出版相关专著16部。其他2005年前立项、全部完成研究的课题,其相关专著亦已于近期出版发行。

从2005年起,国家自然科学基金委员会管理科学部采取了新的选题模式和管

理方式。应急项目的选题由管理科学部根据国家社会经济发展的战略指导思想和方针，在广泛征询国家宏观管理部门实际需求和专家学者建议及讨论结果的基础上，形成课题指南，公开发布，面向全国管理科学家受理申请；通过评审会议的形式对项目申请进行遴选；组织中标研究者举行开题研讨会，进一步明确项目的研究目的、内容、成果形式、进程、时间结点控制和管理要求，协调项目内各课题的研究内容；对每一个应急项目建立基于定期沟通、学术网站、中期检查、结题报告会等措施的协调机制以及总体学术协调人制度，强化对于各部分研究成果的整合凝练；逐步完善和建立多元的成果信息报送常规渠道，进一步提高决策支持的时效性；继续加强应急研究成果的管理工作，扩大公众对管理科学研究及其成果的社会认知，提高公众的管理科学素养。这种立项和研究的程序是与应急项目针对性和时效性强、理论积累要求高、立足发展改革应用的特点相称的。

为保证项目研究目标的实现，应急项目申报指南具有明显的针对性，从研究内容到研究方法，再到研究的成果形式，都具有明确的规定。管理科学部将应急研究项目的成果分为四种形式，即一本专著、一份政策建议、一部研究报告和一篇科普文章，本丛书即应急研究项目的成果之一。

为了及时宣传和交流应急研究项目的研究成果，管理科学部决定将 2005 年以来资助的应急项目研究成果结集出版，由每一项目的协调人担任书稿的主编，负责项目的统筹和书稿的编撰工作。

希望此套丛书的出版能够对我国管理科学政策研究起到促进作用，对政府有关决策部门发挥借鉴咨询作用，同时也能对广大民众有所启迪。

国家自然科学基金委员会管理科学部

前 言

中国正面临着十分严峻的大气污染形势，大范围、高浓度的大气细颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ）是其最突出的特点之一。近年来的空气质量监测数据表明，中国超过 70% 城市的 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度不能达到国家环境空气质量标准，全国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度水平是美国的 6 倍左右。高浓度的 $\text{PM}_{2.5}$ 是造成中国区域灰霾重污染和大气能见度下降的最主要因素。特别是近年来，中国华北、东北、华东等地的秋冬季区域性灰霾事件呈现出发生频率高、覆盖范围广、污染程度高、危害人群多的特征，在全球均属罕见。长期暴露在高浓度的 $\text{PM}_{2.5}$ 环境中会对人体造成非常严重的健康损害。据估计，中国约 85% 的人口生活在 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度不达标的环境中。美国健康影响研究所（Health Effects Institute, HEI）的《全球疾病负担报告 2010》指出，2010 年中国环境大气 $\text{PM}_{2.5}$ 的暴露所导致的过早死亡高达 120 多万例，是中国第四大致死风险因素。由于 $\text{PM}_{2.5}$ 在中国区域大气污染中扮演的重要角色，无论是短期的灰霾重污染预防，还是长期的空气质量改善，都必须把控制 $\text{PM}_{2.5}$ 作为首要目标。

为了应对 $\text{PM}_{2.5}$ 污染，我国政府已经开始采取了一系列措施。2012 年 2 月 29 日，环境保护部发布了新的《环境空气质量标准》（GB3095—2012），首次把环境空气中的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度限值纳入标准，并已分三批逐步建立了覆盖全国 338 个地级及以上城市的监测网络；2012 年 10 月，国务院批准实施了《重点区域大气污染防治“十二五”规划》，提出了京津冀、长三角地区和珠三角地区等重点区域的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度控制目标；2013 年 9 月，国务院发布了《大气污染防治行动计划》，强化了重点区域的 $\text{PM}_{2.5}$ 控制目标，并在污染防治、产业转型、能源结构、保障支撑等方面提出了一系列措施，全国大气污染防治全面展开。《大气污染防治行动计划》要求，到 2017 年，全国地级及以上城市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度比 2012 年下降 10% 以上，优良天数逐年提高；京津冀、长三角地区、珠三角地区等区域 2017 年 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度分别比 2012 年下降 25%、20%、15% 以上，其中北京 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度控制在 60 微克/米³ 左右。《大气污染防治行动计划》提出了全社会以“同呼吸、共奋斗”的准则，体现了我国大气污染防治思路正在由传统的以总量减排为主的模式向改善空气质量和总量减排相结合的模式转变，并且把提高环境的公共服务功能和公众健康水平作为环境保护工作的核心目的。

然而，鉴于 $\text{PM}_{2.5}$ 的化学组成复杂，既有直接来自各种排放源的一次颗粒物，

又有由二氧化硫 (SO₂)、氮氧化物 (NO_x)、氨 (NH₃)、挥发性有机物 (volatile organic compounds, VOCs) 等气态污染物在大气中发生化学反应转化形成的二次颗粒物；其在大气中存在的时间也比传统的气态污染物更长，更容易传输数百甚至上千千米，因此 PM_{2.5} 污染具有复合性和区域性两大特征。这两大特征决定了，与传统的气态污染物控制相比，PM_{2.5} 的控制策略必须更加注重系统化。为了有效对我国严重的 PM_{2.5} 污染加以控制，保持空气质量长期持续明显改善，需要研究制定一个中长期控制路线图，协调《大气污染防治行动计划》、五年规划、政府五年目标以及中长期的关系；同时充分体现区域化、差异化和精细化的特点。

面向空气质量和公众健康的 PM_{2.5} 污染系统治理需要全面的管理技术支持。在现阶段，我国亟须的 PM_{2.5} 防治管理技术支持主要体现在以下八个方面：一是总结发达国家在控制大气污染，特别是针对 PM_{2.5} 污染控制的经历以及可供我国借鉴的经验和教训，同时通过对国内大气污染防治政策的评估分析，识别出这些政策对 PM_{2.5} 控制的有效性。二是对我国 PM_{2.5} 污染特征、产生机理、来源解析等方面的研究成果进行总结。通过对这些自然科学研究的大量成果进行总结，可以提炼 PM_{2.5} 污染的自然特征，为制定区域化和差异化的控制目标提供直接依据。三是研究社会经济活动和主要大气污染物排放量间的定量关系。通过建立影响一次 PM_{2.5} 直接排放量和二次 PM_{2.5} 前体污染物排放量的驱动力模型，模拟并预测不同社会经济情景驱动下一次 PM_{2.5} 和二次 PM_{2.5} 前体污染物的排放量，为提出 PM_{2.5} 中长期控制目标提供基础。四是研究 PM_{2.5} 污染的区域传输规律。通过建立区域大气污染物传输模型，模拟分析全国各省区市之间以及典型区域（如京津冀区域）城市之间的 PM_{2.5} 一次和前体污染物的传输和贡献矩阵，为提出区域大气污染协同控制政策提供依据。五是研究经济手段对于控制 PM_{2.5} 的作用。大气污染防治的手段是多元化的，既包括行政命令和法律措施，也包括经济激励。需要研究针对灰霾污染问题，如何运用经济手段控制 PM_{2.5} 污染，特别是如何利用排污收费制度、电力环保综合电价、排污交易等制度促进大气污染防治，降低污染控制的社会成本。六是研究 PM_{2.5} 控制的成本和效益。通过建立 PM_{2.5} 污染控制的成本和效益评估方法学，针对具体控制方案进行效益评估，包括控制措施的健康效益评估、PM_{2.5} 污染的健康损失评估等。七是对我国 PM_{2.5} 控制的中长期技术路线提出建议。在产业、能源等相关方面提出支撑政策，建立与末端控制系统耦合的 PM_{2.5} 污染综合防治体系，为我国实现 PM_{2.5} 污染长期持续大幅度减轻提出预期和方向。八是针对《大气污染防治行动计划》提出具体的支撑政策。《大气污染防治行动计划》的落实需要强有力的政策措施支撑和政策措施矩阵，如区域煤炭消费总量控制、区域污染产能控制、信息公开和公众参与等政策措施使其能够落地实施。

为此，2013 年 8 月，国家自然科学基金委员会管理科学部设立了“PM_{2.5} 的影响因素分析与控制对策研究”应急研究项目。经过科学论证和严格筛选，最终

确定由环境保护部环境规划院、中国科学院大气物理研究所、清华大学、北京大学、南京信息工程大学五家单位组成的课题组联合进行研究。其中各课题名称、承担单位、负责人的信息见本书课题组名单。

在各课题组成员的共同努力下,历经2013年10月召开的项目开题论证会、2014年3月召开的项目中期汇报会、2014年9月召开的项目结题验收会,项目最终圆满结题,顺利通过评审。本书针对我国亟须的 $\text{PM}_{2.5}$ 污染防治管理技术支持的八方面内容开展了深入研究,并在此基础上提出相应的对策建议。尽管此次应急项目的研究成果大多数已通过不同渠道报送给了有关政府部门,产生了良好的环境管理效果,但是为了更全面地反映研究的成果,现特将各分课题组的研究成果汇总整理、出版。当然,考虑到结构的合理性,我们对部分课题研究成果进行了整合,最终形成了本书的总体框架。

本书各部分分工如下:第1章由王金南、雷宇撰写;第2章由雷宇、武卫玲、唐贵谦、王跃思、孙亚梅撰写;第3章由燕丽、贺晋瑜、宁森、刘伟、汪旭颖、王金南撰写;第4章由赵红艳、霍红撰写;第5章由董战峰、郝春旭、李红祥、秦颖、璩爱玉撰写;第6章由薛文博、雷宇、许艳玲、武卫玲、蒋春来、王金南撰写;第7章由董战峰、陈潇君、郝春旭、李红祥、秦颖撰写;第8章由张凯、樊曙先撰写;第9章由王奇、刘巧玲、蔡昕好、冯琳撰写;第10章由董战峰、李红祥、郝春旭、周全、李娜撰写;第11章由王金南、雷宇、宁森、燕丽、蒋春来撰写。全书的统稿由王金南和雷宇负责,由王金南担任主编;具体王金南负责第1章和第11章,雷宇负责第2章,燕丽负责第3章,霍红负责第4章,董战峰负责第5章、第7章和第10章,薛文博负责第6章,张凯负责第8章,王奇负责第9章。

在此,要特别感谢国家自然科学基金委员会管理科学部对此次课题研究给予的高度重视和大力支持;感谢国家自然科学基金委员会管理科学部高自友副主任、杨列勋处长、方德斌处长等对课题研究定位和总体思路提出的重要指导意见和全程支持;感谢他们和各位评委专家在百忙之中抽出时间参加课题研究的开题、中期和结题验收会,为课题研究提出了许多真知灼见。

另外,还需要特别感谢的是武卫玲和丁哲,他们不仅进行了专业的研究助理工作,而且为本书的整理编纂做出了很多贡献;感谢科学出版社魏如萍编辑等为本书出版提供的帮助和支持。在此衷心地向他们一并表示诚挚的谢意!

尽管我们在课题研究的过程中秉承扎实、可靠、科学和高度负责的态度,力求从长远性和总体性两方面把握观点,在整理编纂书稿的过程中也力求认真仔细,在编辑的帮助下也反复修改多次,但是书中仍不可避免地存在不足之处,恳请读者批评指正!

王金南

2016年9月24日

目 录

第 1 章	概述	1
1.1	本书的写作背景	1
1.2	PM _{2.5} 污染的国内外现状	3
1.3	本书的内容	4
1.4	本书的技术路线	7
第 2 章	中国 PM _{2.5} 污染现状与影响评估	9
2.1	近 10 年空气质量变化趋势	9
2.2	中国 PM _{2.5} 污染特征分析	13
2.3	PM _{2.5} 及其前体物主要污染源	15
2.4	典型区域 PM _{2.5} 理化特征分析	22
第 3 章	发达国家 PM _{2.5} 污染控制经验分析	35
3.1	欧盟 PM _{2.5} 污染防治经验	35
3.2	美国 PM _{2.5} 污染控制经验	41
3.3	发达国家经验及对中国的启示	50
第 4 章	PM _{2.5} 及其前体物排放的驱动力分析	56
4.1	PM _{2.5} 及其前体物排放的驱动力模型建立	56
4.2	影响 PM _{2.5} 及其前体物排放的关键驱动因素	67
4.3	贸易隐含排放影响: 京津冀案例	85
第 5 章	PM _{2.5} 控制政策的有效性评估	91
5.1	大气污染防控政策进展	91
5.2	政策有效性评估方法框架	105
5.3	治理 PM _{2.5} 政策有效性评估	108
5.4	综合评估结论与建议	129
第 6 章	基于跨界输送的 PM _{2.5} 区域协同控制机制	133
6.1	PM _{2.5} 区域协同控制的实践和经验	133
6.2	PM _{2.5} 跨界输送模型与参数设置	135
6.3	PM _{2.5} 及其前体物省际输送关系	139

6.4	京津冀区域 PM _{2.5} 输送关系与减排重点	143
6.5	建立基于跨界输送的 PM _{2.5} 协同控制机制	154
第 7 章	降低 PM _{2.5} 的 VOCs 收费和环保电价政策	157
7.1	现行排污收费与环保电价政策分析	157
7.2	基于 PM _{2.5} 控制的 VOCs 排放收费政策设计	162
7.3	基于 PM _{2.5} 控制的环保电价政策设计	178
7.4	VOCs 收费和环保电价政策费用效益分析	203
第 8 章	降低拥堵和 PM _{2.5} 污染的机动车柔性限行政策	210
8.1	中国主要城市交通环境需求管理政策分析	210
8.2	发达国家城市交通环境管理经验借鉴	217
8.3	机动车对 PM _{2.5} 污染的影响：南京案例	221
8.4	基于降低 PM _{2.5} 的机动车柔性限行政策	231
第 9 章	PM _{2.5} 污染控制的成本和效益评估方法	234
9.1	PM _{2.5} 污染控制的成本分析方法	234
9.2	PM _{2.5} 污染控制的健康效益分析方法	243
9.3	PM _{2.5} 污染控制的能见度效益分析方法	251
9.4	北京控制 PM _{2.5} 污染的健康效益估算	257
第 10 章	实施《大气污染防治行动计划》的政策体系	263
10.1	政策矩阵与路线图构建	263
10.2	“两阶段”实施方案与政策清单	267
10.3	推进《大气污染防治行动计划》实施政策路线图	287
10.4	若干重要政策方案建议	294
第 11 章	中国 PM _{2.5} 控制中长期目标与技术路线图	301
11.1	中国城市空气质量达标面临的挑战	301
11.2	大气污染物排放控制的中长期战略	310
11.3	PM _{2.5} 浓度达标的目标路线图	315
11.4	PM _{2.5} 达标的技术政策路线图	318
参考文献		323

第 1 章 概 述

1.1 背景

2013 年的监测数据表明,在我国已经开始进行 $\text{PM}_{2.5}$ 环境质量浓度监测的 74 个城市中,仅有 3 个能够达到《环境空气质量标准》(GB3095—2012)对 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度的要求;74 个城市的平均 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度为 72 微克/米³,超过年均浓度标准的 2.1 倍,高于世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 的指导值 7 倍以上;其中京津冀地区城市的平均 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度为 106 微克/米³,超过年均浓度标准的 3 倍。

$\text{PM}_{2.5}$ 除了对城市空气质量造成影响外,还是造成我国区域灰霾重污染和大气能见度下降的最主要因素。特别是 2013 年 1 月发生的灰霾事件覆盖了我国整个华北地区及华东大部分地区,涉及的区域超过 130 万平方千米,影响人口约 8.5 亿人,其中 2.5 亿人暴露在严重污染的区域内。这次灰霾事件的持续时间之长、覆盖范围之广、污染程度之高、危害人群之多在全球均属罕见。

长期暴露在高浓度的 $\text{PM}_{2.5}$ 环境中会对人体造成非常严重的健康损害。美国健康效应研究所发布的《全球疾病负担报告 2010》的结果指出,2010 年在中国,环境大气 $\text{PM}_{2.5}$ 的暴露所导致的过早死亡高达 120 多万例,是中国第 4 大致死风险因素;造成的健康生命年损失超过 2 500 万人 (Lim et al., 2013; Murray et al., 2012)。此外,高浓度 $\text{PM}_{2.5}$ 造成的严重灰霾污染还大幅降低了能见度,影响了航空、公路、水运等交通系统的正常运行,给社会生活的正常进行造成了极大的负面影响。由于 $\text{PM}_{2.5}$ 在我国区域大气污染中扮演着重要角色,因此无论是短期的灰霾重污染预防,还是长期的空气质量改善,都应必须把控制 $\text{PM}_{2.5}$ 作为首要目标。

为了应对 $\text{PM}_{2.5}$ 污染,我国政府已经开始采取一系列措施。2012 年 2 月 29 日,国家环境保护部发布了新的《环境空气质量标准》(GB3095—2012),首次把环境空气中 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度限值纳入标准,并已建立了覆盖 74 个城市的监测网络;2012 年 10 月,国务院批准实施了《重点区域大气污染防治“十二五”规划》,提出了

京津冀、长三角地区和珠三角地区等重点区域的 PM_{2.5} 浓度控制目标；2013 年 9 月，国务院发布了《大气污染防治行动计划》，强化了重点区域的 PM_{2.5} 控制目标，并在污染防治、产业转型、能源结构、保障支撑等方面提出了一系列措施，全国大气污染防治全面展开。《大气污染防治行动计划》要求，到 2017 年全国地级及以上城市 PM₁₀ 浓度比 2012 年下降 10% 以上，优良天数逐年提高；2017 年京津冀、长三角地区、珠三角地区等区域 PM_{2.5} 浓度分别比 2012 年下降 25%、20%、15% 以上，其中要求北京 PM_{2.5} 年均浓度控制在 60 微克/米³。《大气污染防治行动计划》提出了全社会以“同呼吸、共奋斗”的准则，在未来 5 年投入 1.75 万亿元治理空气污染。总体上看，无论是《重点区域大气污染防治“十二五”规划》还是《大气污染防治行动计划》，都体现了我国大气污染控制思路正在由传统的以总量减排为主的模式向改善空气质量和总量减排相结合的模式转变，而且这种转变以提高公众环境健康水平为目标。有别于传统的大气污染减排，PM_{2.5} 构成的多元性和来源的广泛性决定了其控制策略必须系统化，需要研究制定一个中长期控制路线图，协调五年规划、政府五年目标以及中长期的关系，控制方案也需要充分体现区域化、差异化和精细化的特点。

面向空气质量和公众健康的 PM_{2.5} 污染治理急需全面的管理技术支持，主要表现如下：①发达国家已经基本解决了 PM_{2.5} 污染，目前，迫切需要总结发达国家在控制大气污染，特别是针对 PM_{2.5} 污染控制的经历以及可供我国借鉴的经验和教训，同时通过对国内大气污染防治政策的评估分析，识别出这些政策针对 PM_{2.5} 控制的有效性。②总结我国 PM_{2.5} 污染特征、产生机理、来源解析等方面的研究成果，为制定区域化和差异化的控制目标提供依据。③通过建立影响一次 PM_{2.5} 直接排放量和二次 PM_{2.5} 前体污染物排放量的驱动力模型模拟，预测不同驱动力情景下的一次 PM_{2.5} 和前体污染物排放量，提出 PM_{2.5} 中长期控制目标。④建立区域大气污染物传输模型，模拟分析重点区域以及典型区域（如京津冀区域）城市之间的 PM_{2.5} 一次和前体污染物的传输和贡献矩阵，为建立区域大气污染协同控制提供依据。⑤控制 PM_{2.5} 的手段是多元化的，经济手段得到了高度的关注。需要研究针对灰霾污染问题，如何运用经济手段控制 PM_{2.5} 污染，特别是如何利用排污收费制度、电力环保综合电价、排污交易等制度促进大气污染防治，降低污染控制的社会成本；⑥研究控制 PM_{2.5} 污染的成本和效益评估方法学，特别是针对具体控制方案进行效益评估，如控制措施的健康效益评估、PM_{2.5} 污染的健康损失评估等；⑦研究提出我国控制 PM_{2.5} 的中长期路线图，在产业、能源等相关方面提出支撑政策，建立 PM_{2.5} 污染综合防治体系，为我国实现 PM_{2.5} 污染长期持续大幅度减轻提供政策保障。⑧《大气污染防治行动计划》的落实需要强有力的政策措施进行支撑，需要通过研究提出关键性的政策措施矩阵，如区域煤炭消费总量控制、区域污染产能控制、信息公开和公众参与等政策措施。

1.2 PM_{2.5}污染的国内外现状

从 20 世纪 90 年代开始,我国开始开展一系列针对 PM_{2.5} 污染特征的科学研究;进入 21 世纪以后,先后有一批学者研究探讨我国空气污染防治,论述了针对 PM_{2.5} 污染的防治措施。特别是对 PM_{2.5} 前体污染物的控制技术路线做了大量的研究,包括大气污染物的总量控制与环境质量之间关系研究,如“基于环境影响的中国 NO_x 排放总量控制研究”和“国家大气污染物总量减排管理技术体系研究”等项目。这些研究的成果对我国《重点区域大气污染防治“十二五”规划》和《大气污染防治行动计划》等现有国家政策的制定提供了支撑。目前,国家启动了“大气污染成因与控制技术研究”重点研发计划,计划通过 6 项重点任务科研攻关,为大气污染防治和节能环保产业发展提供科技支撑。

关于 PM_{2.5} 污染特征和态势方面,国内外研究者通过长期连续观测、加密观测等手段,分析了我国不同地区 PM_{2.5} 化学组分的差异(Chan and Yao, 2008; He et al., 2001; Yang et al., 2011);通过研究城市 PM_{2.5} 浓度变化的同步性特征,描述了我国 PM_{2.5} 的区域污染本质(Cao et al., 2012)。通过对 PM_{2.5} 浓度和大气能见度进行关联研究,分析了 PM_{2.5} 浓度和灰霾污染的关系(陈训来等, 2007; 吴兑, 2012)。通过卫星反演等手段,分析了我国 PM_{2.5} 的空间分布态势和时间变化趋势(van Donkelaar et al., 2010)。这些观测信息从时间和空间等纬度描述了我国 PM_{2.5} 的污染特征,并指出了硫酸盐、硝酸盐等二次气溶胶在我国东部 PM_{2.5} 污染防治中的重要性,以及区域性控制措施在我国的 PM_{2.5} 污染控制中必不可少,为我国目前 PM_{2.5} 污染控制措施的制定提供了重要的科学依据。

关于我国污染物排放对 PM_{2.5} 污染的影响方面,国内研究者通过建立基于全行业或单个污染源关键技术信息的排放清单,从技术方面定量分析了生产工艺和污染物控制技术的发展对一次 PM_{2.5} 和二次 PM_{2.5} 前体污染物排放量的影响(Lei et al., 2011; Lu et al., 2011; Zhang et al., 2009; Zhao et al., 2013);通过综合使用空气质量模型、地面监测和卫星遥感等手段,分析和验证了能源、经济、技术方面的政策对 PM_{2.5} 污染造成的短期或长期影响(Lin et al., 2010; Wang et al., 2010)。

上述研究的结论在一定程度上推动了我国已有的 PM_{2.5} 防治政策的制定和实施。针对我国控制措施的研究表明,通过“十一五”和“十二五”期间针对以电力、钢铁、水泥等行业为代表的固定源推进治污工程,以及实施移动源污染控制,有效缓解了 PM_{2.5} 污染快速恶化(Lei et al., 2011; Wang et al., 2012;

Xue et al., 2013); 而且由于我国拥有极大体量的工业生产部门和煤炭消费量, 要进一步长期持续大幅度地改善空气质量, 减少 PM_{2.5} 污染, 必须在深化污染防治的同时, 大幅调整工业结构和能源使用的结构和方式(Wang et al., 2012; Zhang et al., 2012)。

与中国的 PM_{2.5} 控制策略研究相比, 欧美等发达国家和地区的研究更加深入, 更加强调定量化和精细化, 并且已经转化为控制对策, 构建了一套 PM_{2.5} 污染控制的政策体系。欧洲于 2008 年开始把 PM_{2.5} 纳入环境空气质量标准, 并在《远距离越境空气污染公约》(Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, CLRTAP) 和《哥德堡协议》的框架下, 通过设定不同国家 2020 年 SO₂、NO_x、NH₃、非甲烷挥发性有机物(non-methane volatile organics, NMVOCs) 和一次 PM_{2.5} 的排放控制目标(United Nations Economic Commission for Europe, 2012); 与此同时, 通过在能源供应、交通运输、工业过程、畜牧业、种植业和废物处置等领域实施综合措施, 加强排放控制, 以帮助欧洲各国达到空气质量改善的目标。美国于 1997 年开始把 PM_{2.5} 纳入《环境空气质量标准》, 并充分应用州实施计划(state implementation plan, SIP) 的机制, 要求各个不能达标的地区根据自身情况, 采取措施降低 PM_{2.5} 浓度(United States Environmental Protection Agency, 2012); 与此同时, 在联邦层面, 通过强化跨州污染物, 主要是硫酸盐和硝酸盐的防治及针对机动车污染的防治, 帮助州和地方降低 PM_{2.5} 浓度。

1.3 研究内容

本书的研究立足于我国现有的大气污染控制框架和政策基础, 从我国 PM_{2.5} 污染的主要影响因素入手, 结合关于我国 PM_{2.5} 污染的主要特征、构成和影响机制等方面的研究成果, 提出控制 PM_{2.5} 污染的策略、政策机制和中长期路线图, 并就目前颁布的《大气污染防治行动计划》保障政策和措施提出建议。具体目标如下: ①通过总结发达国家 PM_{2.5} 污染控制经验, 为制定我国控制路线图和政策提供借鉴; ②评估分析现行大气污染控制政策, 提高控制政策针对的有效性; ③根据国家社会经济发展情景预测和环境保护中长期目标, 提出控制的路线图及其政策建议; ④针对目前正在实施的《大气污染防治行动计划》, 提出煤炭消费总量控制、区域联防联控、经济鼓励手段等政策方案建议。

研究包括总课题和分课题两部分。其中总课题的研究内容如下。