

# 环境与气候 协同治理

— 中国及其他国家的成功实践



---

©2019 联合国环境规划署版权所有  
ISBN: 978-92-807-3770-7

如出于教育或非赢利目的,可以以任何形式转载本出版物的全部或部分内容,无需版权所有者特别许可,但转载方应注明出处。如转载方能提供任何引用本出版物内容的出版物副本,联合国环境规划署将深表感谢。

未经联合国环境规划署事先书面许可,不得将本出版物再次出售或用于任何商业目的。

#### **免责声明**

本出版物所提及的名称及所用的资料,凡涉及任何国家、领土、城市、地区或其当局的法律地位,或疆域划界的内容,不代表联合国环境规划署的任何观点。本出版物不一定反映联合国环境规划署的观点或既定政策,也不代表对商品名称或商业程序的引用构成认可。

**建议引用:** UNEP (2019)。环境与气候协同治理--中国及其他国家的成功实践。

中文版翻译由洛克菲勒兄弟基金会资助。文本由清华大学编写组翻译。任何查询将由负责翻译准确性的翻译人员处理。

# 致谢

本项目的最初构思来自于解振华院长（中国气候变化事务特别代表、清华大学气候变化与可持续发展研究院院长）、海伦娜·莫林·瓦尔德斯女士（气候和清洁空气联盟负责人）以及刘健博士（联合国环境署首席科学家）在《联合国气候变化框架公约》缔约方大会第23次会议期间的一次谈话。非常感谢洛克菲勒兄弟基金会慷慨地资助了报告的研究和编写。此外，清华大学气候变化与可持续发展研究院（ICCS）为本项目提供了管理和协调支持。

本报告基于近年来清华大学多个团队的研究成果，由来自于清华大学与气候和清洁空气联盟（CCAC）的团队共同编写而成。其他国家案例研究部分由CCAC负责协调，内容由智利、芬兰、加纳、墨西哥、挪威和英国的多个研究小组提供。

## 研究项目负责人

何建坤、齐晔、李政

## 清华大学编写组

常世彦、董文娟、惠婧璇<sup>1</sup>、刘洋、欧训民、齐晔、宋祺佼<sup>2</sup>、王海林、赵小凡

## 气候和清洁空气联盟编写组

Nathan Borgford-Parnell, Tiy Chung, Hanxiang Cong

## 清华大学研究团队

地球系统科学系：张强、罗勇、惠婧璇<sup>1</sup>、同丹、刘洋

能源与动力工程系：麻林巍、田善君

气候变化与可持续发展研究院：何建坤、李政、董文娟

能源环境经济研究所：张希良、滕飞、常世彦、欧训民、王海林、顾阿伦、周剑、侯静

经济与管理学院：曹静、齐伟、刘庆丰

环境学院：贺克斌、王灿、刘欢、丛建辉、张燕妮

公共管理学院：齐晔<sup>2</sup>、宋祺佼<sup>2</sup>、赵小凡、刘天乐<sup>2</sup>、陆健<sup>3</sup>

现地址：<sup>1</sup>国家发展和改革委员会能源研究所、<sup>2</sup>香港科技大学公共政策研究院、<sup>3</sup>中国政法大学公共管理学院

## 国家案例研究团队

智利：Carmen Gloria Contreras Fierro (智利环境部)

芬兰：Ville-Veikko Paunu (芬兰环境研究所)、Niko Karvosenoja (芬兰环境研究所)

加纳：Daniel Benefor (加纳环境保护署)、Gyimah Mohammed (加纳环境、科学、技术和创新部)

墨西哥: Graciela B. Raga (墨西哥国立自治大学)、 José Abraham Ortínez Alvarez (墨西哥国家生态与气候变化研究所)

挪威: Vigdis Vestreng (挪威环境署)、 Maria Malene Kvalevåg (挪威环境署)、 Figenschau Skjellum (挪威环境署)

英国: Martin Williams (伦敦国王学院)

### 技术评审

Abiodun Aderibigbe (尼日利亚可持续环境粮食与农业倡议)、 Ange Benjamin Brida (科特迪瓦环境与可持续发展部)、 Beba Sanchez (湾区空气质量管理区)、 Beatriz Martins Carneiro (联合国环境署)、 Chelsea Kealey (加拿大环境与气候变化部)、 Charlotte Unger (德国高级可持续发展研究所)、 Dale M.Evarts (美国环境保护署)、 Drew Shindell (杜克大学)、 Jack P.Broadbent (湾区空气质量管理区)、 Johan C.I.Kuylenstierna (斯德哥尔摩环境研究所)、 Josh Miller (国际清洁运输理事会)、 Peter van Velthoven (荷兰皇家气象研究所)

### 科学编辑

Bart Ullstien (Banson)、 Ravi Shankar (中国日报)

### 项目协调

孟朔 (清华大学)、 张健 (清华大学)、 Hangxiang Cong (CCAC)

### 媒体与发布策略

王彬彬 (清华大学)

### 翻译与编辑

释贤慧、 付亚男 (清华大学)、 孙烁 (清华大学)、 罗诺 (清华大学)、 赵瀚之 (哥伦比亚大学)

### 特别感谢

气候和清洁空气联盟科学咨询委员会、 Johan C.I.Kuylenstierna (斯德哥尔摩环境研究所)、 姜克隽 (国家发展和改革委员会能源研究所)。此外, 项目组还向所有帮助和支持过本报告研究和编写的个人和组织致以诚挚的谢意。

## 序言

全球气候变化危机带来的影响笼罩着世界的每个角落。而与此同时，受到严重污染的空气也正威胁着数百万人民的日常生活，从城市到乡村，从田间到我们当中的许多人被迫呼吸着肮脏的空气，我们别无他法，只能选择应战——同水资源污染和土地污染、生物多样性的丧失，以及同日益严重的气候变化影响而战。这些问题都并非孤立存在着：它们紧密相连，它们的解决方案也是如此。

作为气候和清洁空气联盟的创始合作伙伴之一，联合国环境规划署帮助引导各国政府采取整体方案，解决相互联系的环境问题。这些方案为社会和生态系统的各个层面都带来了诸多益处：例如，减少短寿命气候污染物（如甲烷、黑碳与氢氟烃）可以迅速为公共卫生、粮食安全、生物多样性、可持续发展和短期气候保护带来巨大的切实利益。同时，减少短寿命气候污染物的浓度也能帮助实现其它的气候和发展目标。

正如本报告展示的那样，越来越多的国家开始采用整体方案来解决其环境问题，这些方案可以带来多重效益。处于不同经济发展阶段的多个国家，包括少数富裕国家在内，尽管其监管和法律体制各不相同，都在采取相似的解决方案。通过将气候政策与清洁空气政策相结合，这些先行国家不仅可以取得更加全面的成果，还可以避免重复、改进决策，在政策制定者中建立信心。

本报告中来自中国和世界各地的案例研究展示了环境气候综合评估和协同治理如何帮助政府制定具有成本效益和连贯性的政策，从而降低政策成本，增加成功率，识别出能获得双赢的解决方案。这些方法提供的多重效益有助于实现财政、技术和人力资源的合理分配。因此，本报告中的成功案例可以鼓励政治领导人果断而迅速地采取行动应对气候变化。综上，这些鼓舞人心的案例构成了一个日益增加的优秀实践体系，可以用来帮助人类解决所面临的诸多紧迫的环境挑战。

我强烈建议各级治理机构（国际、区域、国家和地方机构）的从业者参考本报告中案例，融会贯通，进而找到适合本土的一套清晰完整的综合环境治理方案。如本报告所述，环境治理领域存在诸多的多方共赢的机会，正待你我把握：这是环境气候的“共赢”、这是地球母亲的“共赢”、更是以这个美丽星球为家的所有人的“共赢”。



英格·安德森 (Inger Andersen)  
联合国环境署执行主任



# 序言

四年前，中美两个国家领导人发布《气候变化联合声明》，为达成《巴黎协定》奠定了基础，号召全世界联合起来应对人类面临的巨大挑战。今天，联合国秘书长呼吁全世界领导人携起手来，为实现《巴黎协定》确定的目标而众志成城、并肩奋斗。各国实践表明，如果能够将对气候变化与解决经济、社会发展和环境等国内问题协同起来，就能取得最佳成效。这些实践探索出应对气候变化的新途径——即气候变化与其他可持续发展问题，特别是环境挑战的协同治理。

空气污染就是这样的挑战之一。多数情况下，化石燃料燃烧是导致空气污染的主要原因，也是产生温室气体排放的源头。因此，减少化石燃料的使用能够同时减少二氧化碳和其他空气污染物的排放，带来气候和环境的协同效益。

与气候变化一样，空气污染也是人类所面临的一个全球性挑战，特别是在发展中国家。世界卫生组织数据显示，每天有90%的人口呼吸着污染的空气，每年空气污染导致700万人死亡，这意味着世界上每千人中就有一人死于空气污染。中国生态环境部的研究显示，这700万受害者中可能有50万来自中国。

基于科学研究，中国政府制定了一系列应对空气污染和气候变化的政策。这些政策旨在通过优化能源结构、发展清洁能源、提高能源效率，最终减少化石燃料的使用。2008-2018年的十年间，中国可再生能源发电量增长了两倍，风能和太阳能发电量在这十年中更是快速增长了25倍。目前，30%的电力来自非化石能源发电。从2005年到2018年，中国的碳强度降低了45.8%。在实现减排的同时，中国空气质量也得到显著改善。2013-2017年这四年中，京津冀地区大气PM<sub>2.5</sub>浓度降低了40%，碳强度降低了18-27%。

近年来，中央政府制定了煤炭峰值政策，严格限制煤炭使用，从污染最严重的地区入手，逐步扩大到更大的范围，最终覆盖全国。当然，气候行动的协同效益远远不止空气质量的改善——减少空气污染造成的死亡人数、减少医疗费用、改善公共健康、提高城市的宜居性和竞争力，这些都是很重要的协同效益。事实上，应对气候变化的行动带来了更好的环境，更好的经济和更好的生活。

许多政府逐步意识到协同治理是一种有效方法，能够协助获得中央、地方和社会各界的支持，促使达成低碳的气候战略共识。一般情况下，人们很难直观地看到气候战略的利益，但大多数人都能看到并感受到防治空气污染、改造城市基础设施、发展清洁能源的好处。此外，协同治理气候、环境与发展问题可以

一举两得，其成本效益显然会更高，可以获得更大的经济、社会、环境和气候效益。实践证明，协同治理在中国行之有效，我相信它在其他国家也会取得良好的效果。

2017年10月，清华大学气候变化与可持续发展研究院在北京成立，由我担任创始院长。研究院聚焦战略研究、国际对话与交流、教育与培训三大版块内容，为国家的低碳转型提供基于科学的解决方案，为推进全球气候治理的多边进程做贡献。这份报告是研究院与联合国环境署、气候与清洁空气联盟等机构合作的第一份研究产出。解决气候、环境和发展这些挑战需要协同治理，这是我们的基本共识。希望这份报告可以为更多国家提供参考。



解振华  
中国气候变化事务特别代表  
清华大学气候变化与可持续发展研究院院长  
2019年8月28日于北京

## 执行摘要

### (一) 环境与气候：从协同效益到协同治理

气候变化是当今人类面临的最大的环境挑战。与此同时，其他环境问题也在威胁人群健康和人类赖以生存的生态系统。在联合国框架下，应对气候变化的《巴黎协定》和《2030可持续发展目标》是应对全球环境挑战的基本途径。目前，各国政府正在结合本国优先政策议程积极应对气候变化。在几乎所有国家中，气候政策最重要的驱动力不仅来自避免气候变化的长期影响，还包括实现近期的可持续发展目标，其中最为紧迫的就是解决国内空气污染问题（IPCC, 2014）。由于空气污染和气候变化的来源和影响紧密相连，因此，寻求能够减缓气候变化、并同时减少空气污染等多重协同效益的政策或行动方案，将使各国能够更好地结合近期可持续发展目标和远期全球减缓气候变化目标，从而采取更有力度的减排行动。许多国家的实践已经证明，协同的政策和行动，即协同治理，是一个有效多赢的途径（IPCC, 2018）。针对一类问题而采取的政策措施也可能同时解决其它问题，因此协同效益能够放大政策效果，提高行动的接受度和可持续性，并激发更有力度的减缓气候变化的目标与行动。

尽管协同治理收益多多，但仍有许多国家未认识到这一点，往往割裂地处理空气污染、气候变化和发展问题，从而错失政策良机，既有政策间的关联度也较低。在政策制定和实施中，如果没有认识到空气质量、气候变化和公共卫生之间的关联，还可能会带来不可预见的消极后果，阻滞行动的进程并抑制行动的效果。另一方面，协同治理气候变化和空气污染的政策却可以放大政策效果，提高行动的接受度和可持续性，并激发更有力度的减缓气候变化的目标与行动。

《全球变暖1.5°C特别报告》强调气候变化、空气污染和可持续发展密切相关（IPCC, 2018）。早在1990年，政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布的《第一次气候变化科学评估报告》中，就指出空气污染物，例如颗粒物（PM）、一氧化碳（CO）和二氧化硫（SO<sub>2</sub>）会间接和直接地影响气候（IPCC, 1990a）（图1.1）。这些影响气候强迫的空气污染物往往和CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>等温室气体同根同源并混合在一起，其来源包括化石燃料开采和燃烧、工业生产、农业和畜牧业、废弃物处理和土地利用变化等。这些污染物被排放后，会以复杂的方式相互作用，从而影响气候系统并污染空气。例如，CH<sub>4</sub>有助于对流层臭氧（O<sub>3</sub>）的形成，而后者是一种强大的空气污染物和温室气体。这些污染物不仅影响气候，也对人群健康有直接影响。

空气污染和气候变化的内在联系意味着，为应对气候变化或减少空气污染而采取的许多措施对于可持续发展和减缓气候变化来说可能在短期内带来多重效益。然而，有些措施可能会在减少某类温室气体排放的同时，增加另一类温室气体的排放量，从而对其它可持续发展目标产生负面影响。如果政策设计时没有考虑到这些内在联系，可能会在无意中增加我们当前这条高风险路径的成本。了解这些因素之间的关系非常关键，可以帮助决策者筛选气候变化减缓和适应政策以及协调各类政策，最大限度地发挥气候与可持续发展之间的协同作用和尽量减少二者之间的取舍。

近期的许多研究表明，减缓气候强迫排放的行动可以通过改善公众健康和生态系统可持续性，迅速对经济和社会福利产生积极影响。例如，最近的一项模型分析发现，与2°C路径相比，1.5°C路径下更严格的短期气候减排措施，可以减少1.1亿至1.9亿人因空气污染而过早死亡（Shindell et al.,

2018)。类似地，最近一项对亚太地区空气污染和减缓气候变化的综合评估发现，通过实施25项改善空气质量的措施，到2050年为止可以减少近20%的CO<sub>2</sub>排放（UNEP & CCAC, 2018）。根据联合国欧洲经济委员会（UNECE）的一项研究，全球每减少一吨二氧化碳排放的健康效益的平均财务价值在58美元至380美元之间。减少二氧化碳排放所产生的健康效益在发展中国家更为显著。到2030年，东亚地区的健康效益将是减排边际成本的10-70倍（UNECE, 2016）。2011年，联合国环境署和世界气象组织对短寿命气候污染物（Short-lived climate pollutants, SLCPs）控制措施进行了综合评估，发现采取这些措施可使全球变暖的速度减缓一半，同时避免每年价值40-320亿美元的农作物产量损失（使用世界市场价格），并避免每年2-10万亿美元的健康损害支出（UNEP and WMO, 2011）。减缓气候变化还带来了提高能源效率和可再生能源发展的协同效益，这些领域的协同效益相当于项目投资的50%至350%。研究还表明，某些森林项目可以实现相当于其总收入53%至92%的非气候协同效益（Urge-Vorsatz et al., 2014）。

## (二) 中国实践

近十年来，中国在应对气候变化与生态环境保护方面取得长足进展。人口加权PM<sub>2.5</sub>年平均浓度从2005年的66 μg/m<sup>3</sup>降低至2017年的53 μg/m<sup>3</sup>（Health Effects Institute, 2019）。与2005年相比，2018年的单位国内生产总值CO<sub>2</sub>排放下降了45.8%，已超2020年比2005年下降40%-45%的目标（生态环境部, 2019）。在此过程中，各级政府以及各主要用能部门所采取的协同治理政策和措施发挥了关键作用。中国经验可归纳为四个主要方面，即制定和实现国家目标、强化法律法规及标准、建立国家试点以求政策扩散和创新、以及关键区域和部门的突破。

国家目标反映在国民经济和社会发展的五年规划中。2005年以来的三个五年规划不断增加应对环境和气候变化挑战的具体目标，同时反映了国际气候谈判中做出的承诺。为强调环境与气候变

化的重要性，相关目标往往设为约束性指标，与其他预期性指标相区别。针对这些目标，设定了执行、考核和问责的规则和程序。

近年来，与环境和气候变化相关的法律法规不断得以强化。1987年开始实施的《大气污染防治法》于1995、2000、2015和2018年多次修订或修正。2015年的修订强调通过调整产业结构和能源结构从而在源头减少大气污染物排放。其中，特别提出温室气体和污染物排放的协同治理。1997年开始的《节约能源法》也于2007、2016和2018再次修订或修正，加强了节能标准和覆盖范围。2006年开始实施的《可再生能源法》也于2009加以修正，强调加快能源系统的低碳转型，减少化石能源的使用。

中央政府安排的地方试点是政策创新和扩散的关键途径。与环境和气候相关的试点项目包括国家低碳城市试点、可再生能源试点和“海绵城市”试点。其中，低碳城市试点从2010年开始，2012和2017分别追加两批试点，全国共有78个城市在试点范围。其中72个低碳城市试点宣称将于2020年实现碳排放达峰。全部试点圆满完成了“十二五”规划的减排目标（Chen and Zhuang, 2018）。

中国的协同治理在重点地区、重点城市和关键领域取得了突破。京津冀地区之所以重要不仅在于它是首都所在，更由于这一地区在全国各大都市区域中空气污染最为严重。通过煤炭总量控制和高耗能产业调整，实现了碳减排和大气污染治理双赢。北京市PM<sub>2.5</sub>的年平均浓度从2013年的89.5 μg/m<sup>3</sup>急剧下降到2018年51 μg/m<sup>3</sup>，相比2013年降低了43%。同时，北京市制定了到2020年CO<sub>2</sub>排放达峰的目标。在珠三角地区，深圳经济高速发展，在1990和2000年代曾有过一段高耗能、高排放、高污染的历史，2004年灰霾天数高达187天。但2018年，年平均PM<sub>2.5</sub>浓度为26 μg/m<sup>3</sup>，低于国家标准的35 μg/m<sup>3</sup>。2013年，深圳市宣布原则上不再新建燃煤电厂。目前全市仅余一家燃煤电厂，而且其发电量也在迅速缩减。天然气和可再生能源发电作为燃煤发电的替代，目前已占全市总发电量的约90%。全市公共交通，包括公交车和出租车，基本实

现电动化。这座年轻的城市计划将于2022年实现碳排放达峰。

电力系统规模巨大，温室气体和大气污染物排放突出，是中国协同治理的关键部门。该部门生产了全球四分之一的电力，消耗全国一半的燃煤。电力部门排放的SO<sub>2</sub>占全国SO<sub>2</sub>排放的比例从2005年的51%下降至2016年的9.7%，电力排放的NO<sub>x</sub>占全国NO<sub>x</sub>排放的比例从2005年的54.9%下降至2016年的8.7%。同时，协同治理措施也有效地减缓了电力部门二氧化碳排放量的增长。以2005年为基准年，2006-2018年电力部门累计减少CO<sub>2</sub>排放约137亿吨（中电联，2018）。2017年全国碳市场首先在电力部门实施，作为一项综合措施，将进一步减少该部门温室气体和污染物排放。

### (三) 中国的未来目标和行动

中国中长期清洁空气的目标分为两个阶段（图3.2）（Tsinghua University, 2017）。第一阶段的目标是到2030年重点城市和地区的PM<sub>2.5</sub>浓度都要达到35μg/m<sup>3</sup>的国家标准，第二阶段的目标是到2050年，全国重点城市和地区的PM<sub>2.5</sub>浓度都要达到15μg/m<sup>3</sup>的标准。中国政府在《巴黎协定》下的国家自主决定贡献（NDC）目标中承诺，到2030年，GDP的二氧化碳强度将比2005年的水平下降60%-65%，非化石能源在一次能源消费中的比重提高到20%，并在2030年左右实现CO<sub>2</sub>排放达峰并努力早日达峰。

中国中长期环境和气候协同治理可带来显著的协同效益。若以环境质量改善为目标，采取排放控制政策，使中国在2015-2050年期间实现SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>每五年减排8%和10%，那么到2050年可以实现协同减少CO<sub>2</sub>排放最高达200亿吨（Nam et al., 2013）。若中国2030年全面实现国家自主贡献中的各项目标，届时的SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和PM<sub>2.5</sub>排放也将比2010年分别降低78.85%，77.56%和83.32%（Yang et al., 2017）。碳定价这类经济政策可以通过市场的作用对减少能源消费、促进技术升级产生积极反馈，带来污染物的协同减排。2015-2030年间，在碳定价的作用下中国CO<sub>2</sub>排放强度可实现

年均4%的下降，到2030年与无碳定价情景相比，可以实现SO<sub>2</sub>减排25%，NO<sub>x</sub>减排19%，全国人口加权平均PM<sub>2.5</sub>浓度下降12%的协同效益，同时可以避免9.4万人的过早死亡（Li et al., 2018）。总体而言，中长期环境和气候的协同治理的整体路径为“2030年之前蓝天带动低碳，2030年之后低碳带动蓝天”。

巴黎气候大会之后，中国政府迅速制定了《能源生产与消费革命中长期发展战略（2016-2030）》。该战略确立了2030年能源消费总量控制在60亿吨标准煤以下、非化石能源发电占总电量比重达50%，非化石能源占一次能源消费总量的20%左右，天然气占比达15%左右的能源结构优化目标，实施严格控制和减少煤炭消费总量的目标和措施，确保2030年单位GDP的二氧化碳强度比2005年下降60%-65%，2030年左右二氧化碳排放总量达峰并努力早日达峰的NDC目标实现。到2030年水电、风电、太阳能发电装机均将超过5亿千瓦，单位GDP的二氧化碳强度年下降率将提升到5%左右，在保障届时4.0%-5.0%GDP潜在增长率的情况下，实现二氧化碳排放早日达峰。届时，电力结构的优化和发电效率提升可实现单位发电量的CO<sub>2</sub>和SO<sub>2</sub>比2015年减排1/3左右。而若在2030年实现太阳能光伏发电装机达4亿千瓦，可以减少全国范围内4.2%的CO<sub>2</sub>排放以及避免1.2%的空气污染导致的过早死亡（Yang et al., 2018）。

在工业部门，假设2030年钢铁需求量为6.4亿吨，如果废钢的回收率提高50%，则可以回收1.9亿吨废钢，与不采取任何节能措施延续当前发展的基准情景相比，可以实现CO<sub>2</sub>减排6770万吨的同时，SO<sub>2</sub>减排11万吨，NO<sub>x</sub>减排2万吨，PM<sub>10</sub>减排3万吨。同时，废钢回收还可以带来巨大的健康效益和经济效益，包括避免2.85~7.1万人因空气污染过早死亡，避免经济损失3.86~8.54亿美元（Ma et al., 2016）。而在交通部门，通过提高效率和优化运输结构在2050年相比基准情景可以分别实现CO<sub>2</sub>减排38%和35%，同时避免12万人和10.2万人因空气污染导致的过早死亡（Liu et al., 2018）。民用建筑的燃料替代可以实现巨大的空气和健康改善效益。在2010-2030年期间采取燃料

替代措施可以将与空气质量相关的过早死亡人数减少4%，室内空气污染的死亡率降低31%（Liu et al., 2018）。

#### (四) 国际案例

越来越多的国家将气候变化、空气污染与发展的协同治理视为一项关键战略，它不仅推动国内发展议程，同时能够实现可持续发展和气候变化等国际承诺。这些国家虽然处于不同的经济发展阶段，有不同的国内发展重点，采取了不同的方式进行一体化协同治理，但其良好实践和经验都值得借鉴。

每个国家都采用了不同的工具和方法对政策措施开展综合评估，研究减缓气候变化、健康、社会经济发展和实现可持续发展目标的协同效益。为确保采取协调一致的行动以带来最大收益并减少政策失败的风险，需要对所有空气污染物和温室气体排放进行综合评估。加纳和墨西哥案例均表明，对短寿命气候污染物和温室气体的综合评估能够减少联合排放，而挪威的案例则强调了综合评估在识别双赢和输赢局面中的作用。所有国家的案例都证明，综合评估有利于合理决策，也便于对决策实施情况加以监督。

对于许多国家而言，政府都高度关注改善空气质量和减缓气候变化所能产生的局部效益和直接效果，这也决定了它们未来提高减排力度的决心。在所有案例中，量化的公共健康影响都是采取行动的关键动力，即使在芬兰这样空气质量相对较好的国家也是如此。英国案例的重要经验是强调政策措施的分配效应，特别是对社会经济弱势群体造成的负担。挪威的案例强调了评估不同时间尺度的政策影响的重要性。研究发现，NO<sub>x</sub>相关减排措施会导致短期变暖，但会带来健康和环境的收益。这个案例表明，尽管公共卫生近期收益是采取行动的重要诱因，但气候变化影响可以帮助政策制定者权衡不同目标，例如通过加强其他领域的行动来抵消负面影响，或者选择替代性政策以实现更好的正面效果。

可以帮助政策制定者权衡不同目标，例如通过加强其他领域的行动来抵消负面影响，或者选择

替代性政策以实现更好的正面效果。

特定地方或区域对排放的脆弱性可以在政策制定中发挥重要作用，并且成为采取协同行动的动力。对于芬兰和挪威而言，北极地区容易受到黑碳和其他污染物排放的影响，这种脆弱性是协调气候变化和空气污染行动的关键动力。

许多案例显示，跨部门合作或政府全面行动对实现持续有效的协同治理至关重要。以加纳为例，跨部门工作组的成立确保了用于综合评估的数据和方案的协调性，并且保障措施在全政府范围内得以迅速采纳和实施。墨西哥和挪威也建立了类似的跨部门工作组。智利的案例凸显了多利益相关方协作和多重效益评估方法的重要性，它可以确保政策被广泛接纳和持久有效，从而在一定程度上弥合理论分析与实际效果之间的巨大差距。

这些案例还表明，综合评估和协同治理是一个有效工具：它能够提高政策的成本效益和协调性，既节省公共资金，又提高政策的成功机率。协同治理还能够帮助决策者合理分配财政、技术和人力资源，说服政府官员采取果断而迅速的行动。

#### (五) 基本结论

近几十年的科学研究表明，气候变化与环境污染之间是紧密相联的。许多空气污染物会影响气候，并且通常与温室气体（例如二氧化碳）同根同源。这种高度关联性为协同治理气候变化与空气污染问题提供了契机。如果在制定政策和减排行动时充分考虑这种关联性，可以显著地增加收益并降低成本。气候与环境协同治理可以增强政策的可行性、连贯性和可持续性，并激发更强的减排决心，因而可以显著地提高政策效率。

尽管协同治理效益显著，但是由于各种原因，各国政府长期以来割裂地处理气候变化和环境污染问题。本报告中的案例和实践表明，越来越多的国家开始重视气候变化、空气污染与发展问题三者之间的协同治理，将之视为可以同时满足国际可持续发展和气候承诺及国内目标的关键战略。尽管这类案例数量不断增加，但目前尚未成为国际通行的做法。要成功地实现人类在气

候、环境和可持续发展方面的共同目标，我们还需要继续探索协同治理理论和实践，从而激发各行各业更大的减排决心。

### (六) 对中国的政策建议

(1) 将环境与气候协同治理的理念和中长期战略纳入国家“十四五”规划，实现气候与环境双赢；

(2) 扩大煤炭消费总量控制实施范围，推动沿海省市碳排放尽早达峰，鼓励能源密集型行业深度脱碳；

(3) 加快建设全国碳市场，扩大覆盖范围至全部重点排放行业；

(4) 利用政府职能转隶契机，全面提升生态环境部的协同治理能力；

(5) 积极促进绿色“一带一路倡议”的协同治理。

### (七) 对各国的政策建议

(1) 各国政府应持续探索并实施气候和环境的协同治理，使环境与气候政策和行动更趋协同；

(2) 国际和组织及机构和机构应促进国家及地区间的环境与气候协同治理经验和资源共享；

(3) 将气候与环境综合治理的综合评估纳入决策过程。

# 图表目录

图1.1	气候系统的全球平均辐射强迫（2000年相对于1750年）	14
图2.1	2013年和2017年京津冀地区年平均PM <sub>2.5</sub> 浓度空间分布	20
图2.2	北京地区2013年到2017年间不同措施对于降低主要污染排放的贡献	22
图2.3	2010年到2017年北京不同各类能源消费量	23
图2.4	2000年到2015年中国286个城市碳排放强度和PM <sub>2.5</sub> 浓度	26
图3.1	中国空气质量标准变革历程	32
图3.2	中国中长期清洁空气总体目标	32
图4.1	基于芬兰国家气候战略和政策规划的健康影响评估： 2015年PM <sub>2.5</sub> 浓度（左）和2030年额外气候措施情景（右）	39
图4.2	芬兰的小规模住宅木柴燃烧	40
图4.3	挪威短寿命气候污染物排放与二氧化碳排放的全球气候影响（2011年、2020年和2030年）	41
图4.4	胡须海豹（Kongsfjorden, Spitsbergen地区，挪威）	41
图4.5	2011年二氧化氮浓度分布，2011年基线和其他情景下的Carstairs 2011年贫困五分位数， 其中1为最小贫困，5为最大贫困；NRPO为核电情景，LGHG为低温室气体情景（英国）	43
图4.6	政策包的排放影响（加纳）	44
图4.7	通过2030年前全部安装颗粒过滤器（左）并将甘蔗渣含水率从50%降至41%和35%（右） 来减少制糖业黑碳排放（2010~2051年）（墨西哥）	46
表2.1	历次“五年”规划中体现环境与气候协同治理理念的主要指标	18
表2.2	2018年深圳市CO <sub>2</sub> 和PM <sub>2.5</sub> 主要排放来源	24
表2.3	中国七个碳排放交易试点概览	27
表2.4	电力部门具有环境与气候协同效应的措施	28
表3.1	各部门清洁空气目标下的行动	33
表4.1	芬兰PM <sub>2.5</sub> 导致的过早死亡	40
表4.2	不同情景下二氧化氮和PM <sub>2.5</sub> 浓度（英国）	42
表4.3	选定的减缓措施（加纳）	44

# 目录

## 第一章 引言

1.1 气候变化与环境问题的联系 .....	13
1.2 气候行动的协同效应 .....	14
1.3 从协同效应到协同治理.....	15

## 第二章 中国实践

2.1 中国自“十五”计划以来的协同治理政策措施.....	17
2.2 京津冀地区的协同治理探索 .....	19
2.3 城市行动.....	22
2.4 中国的碳排放交易市场.....	27
2.5 部门实践：电力.....	27

## 第三章 未来发展战略

3.1 前言 .....	31
3.2 中国中长期清洁空气发展目标 .....	31
3.3 中国减缓气候变化的承诺与行动.....	33
3.4 中国协同治理的中长期战略 .....	34
3.5 实现中国能源领域的气候与环境协同治理 .....	34
3.6 中国终端部门的案例研究.....	36

## 第四章 国际案例

4.1 引言 .....	38
4.2 案例研究.....	38
4.3 结论及政策启示.....	46

## 第五章 结论与政策建议

5.1 结论 .....	48
5.2 政策建议—国内篇 .....	48
5.3 政策建议—国际篇 .....	49

附录 名词解释.....	51
--------------	----

# 第一章 引言

2015年，全球共196个国家签署了《巴黎协定》，旨在通过改变各自的发展路径，将全球变暖温升控制在工业化前水平 $2^{\circ}\text{C}$ 以下，使世界走上可持续发展的道路。这是有史以来第一次，国际社会就发展的优先领域达成协议，并制定到2030年的可行方案。由此，各国共同确立了协调气候、环境和社会发展的共同目标，并认识到人类为了实现气候目标所采取的发展路径至关重要。

同样，2015年通过的《联合国2030年可持续发展议程》强调了社会、经济和环境领域之间的互相关联和不可分割的特点。例如，与空气质量有关的可持续发展目标与健康、可持续城市、生产模式和减缓气候变化等优先政策议程密切相关。此外，气候行动和气候损害恢复是实现可持续发展的核心议题，其影响贯穿整个可持续发展议程。

各国政府正在结合本国优先政策议程积极应对气候变化。在几乎所有国家中，气候政策最重要的驱动力不仅来自避免气候变化的长期影响，还包括实现近期的可持续发展目标，其中最为紧迫的就是解决国内空气污染问题（IPCC，2014）。由于空气污染和气候变化的来源和影响紧密相连，因此，寻求能够减缓气候变化、并同时减少空气污染等多重协同效益的政策或行动方案，将使各国能够更好地结合近期可持续发展目标和远期全球减缓气候变化目标，从而采取更有力的减排行动。

尽管气候变化和环境问题紧密相连，但仍有许多国家未认识到这一点，依旧割裂地处理空气污染、气候变化和发展问题，从而错失政策机会，政策间的关联也比较差。在政策制定和实施时，如果没有认识到空气质量、气候变化和公共卫生之间的关联，还可能会带来不可预见的消极后果，阻滞行动的进程并抑制行动的效果。另一方面，协同治理气候变化和空气污染的政策却可以放大政策效果，

提高行动的接受度和可持续性，并激发更大的减缓气候变化的目标与行动。

## 1.1 气候变化与环境问题的联系

《全球变暖 $1.5^{\circ}\text{C}$ 特别报告》强调气候变化、空气污染和可持续发展密切相关（IPCC，2018）。早在1990年，政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布的《第一次气候变化科学评估报告》中，就指出空气污染物，例如颗粒物（PM）、一氧化碳（CO）和二氧化硫（ $\text{SO}_2$ ）会间接和直接地影响气候（IPCC，1990a）（图1.1）。这些影响气候强迫的空气污染物往往和 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CH}_4$ 等温室气体同根同源并混合在一起，其来源包括化石燃料开采和燃烧、工业生产、农业和畜牧业、废弃物处理和土地利用变化等。这些污染物被排放后，会以复杂的方式相互作用，从而影响气候系统并污染空气。例如， $\text{CH}_4$ 有助于对流层臭氧（ $\text{O}_3$ ）的形成，而后者是一种强大的空气污染物和温室气体。

这些环境污染物不仅会对气候系统产生近期和长期的影响，而且会直接影响人类健康。根据世界卫生组织的数据，全球每年有近700万人因长期暴露于空气动力学直径等于或小于 $2.5$ 微米（ $\text{PM}_{2.5}$ ）的颗粒物而过早死亡（WHO，2016）。长期暴露于 $\text{PM}_{2.5}$ 容易导致的不良健康影响包括：哮喘、其它呼吸道疾病和心脏病，此外它还和癌症、糖尿病、增加痴呆症风险、认知发育受损、较低智力水平有关（UNICEF，2017）。当另外一些环境污染物（如 $\text{SO}_2$ 、CO和 $\text{CH}_4$ ）在阳光下发生反应时，会形成对流层 $\text{O}_3$ ，这种气体对儿童、老年人、肺病或心血管疾病患者特别危险，并可能加重支气管炎、肺气肿和哮喘，并可能对肺组织形



## 专栏1.1 短寿命气候污染物

联合国环境署和世界气象组织对黑碳和对流层臭氧的综合评估基于以下理解：虽然空气质量和气候的变化通常发生在不同的时间和空间尺度上，但两个议题的许多方面密切相关（UNEP & WMO, 2011）。评估从大约2000项潜在措施中，选取了400项能够对气候和空气质量产生短期多重净效益的措施，以及16项能够减少90%的气候影响并减少空气污染的减排措施。这些措施的重点是减少CH<sub>4</sub>和黑碳排放，它们与氢氟碳化合物（HFCs）一起被称为短寿命气候污染物。

全面部署16项短寿命气候污染物减排措施，可使目前的全球变暖的速度降低一半，可使到2050年预期的温升比不采取这些措施降低0.5°C，使250万人避免因暴露于室外PM<sub>2.5</sub>而过早死亡，并避免因O<sub>3</sub>污染而导致的作物减产5200万吨。同样，之后关于氢氟碳化合物的报告指出，逐步淘汰氢氟碳化合物到2050年可以进一步避免0.1°C的温升（Xu et al., 2013）。

响。国际货币基金组织（IMF）的一份报告建议，前20个温室气体排放大国征收每吨二氧化碳排放约57美元的国内碳税，以应对目前普遍存在由于化石能源补贴和低能源价格而导致的政策扭曲问题。该措施可产生相当于这20个国家约2%国内生产总值的税收收入。在这种情况下，这些国家得以有能力削减诸如所得税在内的税收，并且在减少税收总额的情况下改善财政结构。这些效益加上与化石燃料排放减少相关的健康效益，往往大于碳定价造成的减排成本（Parry et al., 2014）。

一些案例研究表明，减缓气候变化还带来了提高能源效率和可再生能源发展的协同效益。这些领域的协同效益相当于项目投资的50%至350%。研究还表明，某些森林项目可以实现相当于其总收入53%至92%的非气候协同效益（Urge-Vorsatz et al., 2014）。此外，协同效应还反映在宏观经济

中。例如，增加与气候相关的资本和劳动力投入将影响经济增长和劳动力市场。在分配方面，气候政策可能对不同的收入群体产生不同的福利影响，减少收入不平等，增加人力资本投资。

值得注意的是，由于一些效益难以货币化，例如生态系统、水资源和自然环境恢复力的改善，大多数关于气候政策和碳的社会成本之间的协同效应研究目前只包括如公众健康改善这类易于计算的协同效应。例如避免通过气候临界点（如北极夏季海冰崩塌），或避免由气候驱动的灾害和极端天气事件所增加的经济效益在模型中都没有很好地体现。因此，协同效益的实际经济价值可能高于这些研究中所估计的价值。

## 1.3 从协同效应到协同治理

尽管自上世纪90年代以来，协同效应这一概念便出现在学术论文和官方文件中，但直到2001年，IPCC的《第三次气候变化科学评估报告》才正式将其定义为“减缓温室气体排放政策的非气候效益”。自那时以来，协同效应的概念不断演变，也更具包容性和更为平衡。例如，除了经常讨论的环境、健康和经济协同效应外，减缓气候政策对粮食生产也有协同效应（Chuwah, 2015）。2018年，IPCC将协同效应的概念扩大到“针对某一目标的政策或措施对其它目标产生的积极影响，从而增加社会或环境的总收益”（IPCC, 2018）。本报告遵循IPCC的定义，并聚焦于协同政策所产生的多重效益。

协同效应概念的演变对综合治理气候和环境问题具有重要的政策含义。首先，它强调双赢或多赢策略，试图通过实施一项政策而实现多个目标。第二，它强调协调气候和空气污染政策的联合执行。从经济角度来看，这种协同可以降低政策实施成本，从而有助于优化政策的成本（谭琦璐等，2018）。通过关注行动的眼前利益和长期利益，决策者和规划者可以量化和宣传采取行动的重要性，这些行动的效益不仅包括控制全球气温上升，还可以改善当地空气质量、生计和经济。

气候与环境协同治理可以协调全球温升目标与地方/国家层面的政策优先议题，在应对气候变

化的框架下减少温室气体排放、实现可持续发展、控制空气污染。协同治理应基于对这环境和气候议题特点的充分理解。空气污染和气候变化有不同的时空范围。空气污染对人类健康和生态系统的影响是局地的和短期的，但气候变化的影响却是全球性的和中长期的，并且是累积的。在政策制定的早期阶段，应综合考虑短期和长期行动。对于空气污染严重的国家，空气污染治理措施在短期内对减少温室气体排放的效益显著。然而，从长期来看，单靠空气污染治理措施不可能实现全球二氧化碳净零排放目标，还需要采取碳捕获和储存等技术措施。

自20世纪90年代初开始，由于综合评估、工具和良好实践越来越多，国际社会对采用协同治理措施解决气候、环境和发展问题的兴趣大大增加。目前许多国家正在评估协调气候和空气污染战略和措施的好处。例如，2017年加拿大颁布了全球第一个协同治理气候和空气质量问题的《短寿命

污染物国家战略》（Government of Canada, 2019）。另外一个例子是中国实施的空气污染控制政策（具体内容见第2章和第3章），这些政策已成为中国应对气候变化、推动向更清洁能源和经济结构绿色转型、实现其他可持续发展目标的最重要驱动力之一。

本报告介绍了来自中国和其他国家的地方和国家实践，这些实践表明了世界各国对环境与气候协同治理的兴趣日益浓厚。报告由五章组成：第一章介绍了气候变化、环境和可持续发展协同治理的背景。第二章介绍了来自中国的在国家、区域、城市和产业层面的气候与环境协同治理实践。第三章探讨中国未来的气候与环境协同治理措施及其影响。第四章提供了全球其他六个国家--智利、芬兰、加纳、墨西哥、挪威和英国的良好实践。第五章总结了报告的结论，并为中国和整个世界提供协同治理方面的政策建议。

## 参考文献

Chuwah, C., Noije, T. V., Vuuren, D. P. V., Stehfest, E., and Hazeleger, W. 2015. Global impacts of surface ozone changes on crop yields and land use. *Atmospheric Environment* 106(161), pp. 11-23.

Government of Canada. 2019. *Short-lived climate pollutants*. <https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-action/short-lived-climate-pollutants.html> (accessed 2 August 2019).

IPCC. 1990a. *First Assessment Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. 1990b. *First Assessment Report (AR1) Working Group I, Summary for Policy Makers*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

IPCC. 2018. *Global Warming of 1.5. C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5. C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Parry, I., Veung, C. and Heine, D. 2014. *How much carbon pricing is in countries' own interests? The critical role of co-benefits*. International Monetary Fund. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2014/wp14174.pdf> (accessed 28 August 2019).

Shindell, D.T., Faluvegi, G., Seltzer, K., and C. Shindell 2018. Quantified, localized health benefits of accelerated carbon dioxide emissions

reductions. *Nature Clim. Change* 8, pp. 291-295, doi:10.1038/s41558-018-0108-y.

UNECE Programmes. 2016. *The Co-benefits of Climate Change Mitigation*. United Nations Economic Commission for Europe. [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/Sustainable\\_Development\\_No.\\_2\\_Final\\_Draft\\_OK\\_2.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/Sustainable_Development_No._2_Final_Draft_OK_2.pdf) (accessed 28 August 2019).

UNEP and WMO. 2011. *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone*, United Nations Environment Programme and the World Meteorological Organization.

UNEP and CCAC. 2018. *Air Pollution in Asia and the Pacific: Science-based Solutions*. United Nations Environment Programme and Climate & Clean Air Coalition.

UNICEF. 2017. *Danger in the air: How air pollution can affect brain development in young children*, United Nations Children's Fund.

Urge-Vorsatz, D., Herrero, S.T., Dubash, N.K. and Lecocq, F. 2014. Measuring the co-benefits of climate change mitigation. *Annual Review of Environment and Resources* 39, pp. 549-582.

WHO. 2016. *Burden of disease from the joint effects of Household and Ambient Air Pollution for 2012 – V2 Updated for 2016*. World Health Organization. [https://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/AP\\_jointeffect\\_BoD\\_results\\_Nov2016.pdf?ua=1](https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AP_jointeffect_BoD_results_Nov2016.pdf?ua=1) (accessed 18 July 2019).

Xu Y., Zaelke D., Velders G.J.M. and Ramanathan, V. 2013. The role of HFCs in mitigating 21st century climate change. *Atmospheric Chemistry and Physics* 13, pp. 6083-6089. <https://doi.org/10.5194/acp-13-6083-2013> (accessed 28 August 2019).

谭琦璐, 温宗国, 杨宏伟. (2018). 控制温室气体和大气污染物的协同效应研究评述及建议. *环境保护*, 46(24), 53-59.

## 第二章 中国实践

过去四十年，中国的社会和经济得到快速发展。从1979年到2018年，中国的国内生产总值年均增长速度为9.4%，远高于同期2.9%的世界平均水平（国家统计局，2019）。与此同时，中国的人口数量从大约9.8亿增长到约14亿，民用汽车保有量也从160万辆急剧增长到2.32亿辆。伴随这些增长的是不可避免地环境污染和大量温室气体排放。常规大气污染物和温室气体来源基本相同，因此，探索二者的协同治理措施，对中国应对气候变化和防治大气污染有着十分重要的意义。

在缓解大气污染的迫切需求以及应对气候变化国际承诺的联合推动下，中国政府在应对环境和气候挑战方面做出了巨大努力，在国家和区域层面以及重点排放部门都采取了具体的协同治理措施。中国的人口加权PM<sub>2.5</sub>的年平均浓度从2005年的66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降低至2017年的53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （Health Effects Institute, 2019）。与2005年相比，2018年的单位国内生产总值CO<sub>2</sub>排放下降了45.8%（生态环境部，2019）。

### 2.1 中国自“十五”计划以来的协同治理政策措施

#### 2.1.1 国家战略规划中的协同治理

“国民经济和社会发展规划纲要”是中国最重要的国家战略规划。五年规划会明确未来五年的经济社会发展目标、主要任务以及重大举措。自“十五”以来（2001年到2005年），历次五年规划目标都在不同程度上体现出环境与气候协同治理的理念。

“十五”规划强调“要把改善生态、保护环境作为经济发展和提高生活质量的重要内容”，期间制定了少量一些与环境 and 气候相关的

目标，包括主要污染物排放总量减少（主要是SO<sub>2</sub>）和森林覆盖率提高等（表2.1）。森林覆盖率提高目标在“十五”规划期间得以顺利达成，但是SO<sub>2</sub>排放量不降反增，2005年比2000年增加了27.8%。这在很大程度上促使中国实行更加严格的节能减排措施，也促进了环境约束性指标的出现（王金南等，2018）。

“十一五”规划（2006年到2010年）期间，“单位国内生产总值能源消耗降低比例”作为一个新增目标被纳入，用以评估能源的利用效率。这一规划中，第一次将经济和社会发展的量化指标划分为“预期性”和“约束性”两类。“预期性指标”是国家期望的发展目标，主要依靠市场主体的自主行为实现；“约束性指标”是在预期性基础上进一步明确并强化了政府责任的指标，是中央政府在公共服务和涉及公众利益领域对地方政府和中央政府有关部门提出的工作要求，政府要通过合理配置公共资源和有效运用行政力量，确保实现（全国人民代表大会，2006）。“十一五”之后，五年规划中的大多数环境和气候目标都被列为“约束性指标”。

2009年，中国政府提出到2020年单位国内生产总值CO<sub>2</sub>排放比2005年下降40%-45%的目标。该目标作为约束性指标被纳入了“十二五”规划（2011年到2015年），体现为两个新增指标：“单位国内生产总值CO<sub>2</sub>排放降低比例（%）”和“非化石能源占一次能源消费比例（%）”。此外，在“主要污染物排放总量减少（%）”指标中增加了氮氧化物排放（NO<sub>x</sub>），扩大了对大气污染物的控制范围。显然，“十二五”规划同时涵盖了大气污染物和温室气体两个方面的治理目标。

考虑到改善空气质量的迫切需求，中国政府在“十三五”规划（2016年到2020年）期间又增加了两个新的指标：“地级及以上城市空气质量优良

表 2.1 历次“五年”规划中体现环境与气候协同治理理念的主要指标

经济社会发展 主要指标	规划目标				实现情况		
	“十五” (2001-2005)	“十一五” (2006-2010)	“十二五” (2011-2015)	“十三五” (2016-2020)	“十五” (2001-2005)	“十一五” (2006-2010)	“十二五” (2011-2015)
单位GDP能源消耗降低 (%)		20.0 <sup>①</sup>	16.0 <sup>①</sup>	15.0 <sup>①</sup>		19.1 <sup>①</sup>	18.2 <sup>①</sup>
非化石能源占一次能源消费比重 (%)			11.4 <sup>②</sup>	15.0 <sup>②</sup>			12.0 <sup>②</sup>
单位GDP二氧化碳排放降低 (%)			17.0 <sup>①</sup>	18.0 <sup>①</sup>			20.0 <sup>①</sup>
SO <sub>2</sub> 排放总量减少 (%)	10.0 <sup>①</sup>	10.0 <sup>①</sup>	8.0 <sup>①</sup>	15.0 <sup>①</sup>	-27.8 <sup>①</sup>	14.3 <sup>①</sup>	18.0 <sup>①</sup>
NO <sub>x</sub> 排放总量减少 (%)			10.0 <sup>①</sup>	15.0 <sup>①</sup>			18.6 <sup>①</sup>
地级及以上城市 <sup>③</sup> 空气质量优良天数 <sup>④</sup> 比率 (%)				>80 <sup>②</sup>			
细颗粒物 (PM <sub>2.5</sub> ) 未达标地级及以上城市浓度下降 (%)				18.0 <sup>①</sup>			
森林覆盖率 (%)	18.2 <sup>②</sup>	20.0 <sup>②</sup>	21.66 <sup>②</sup>	23.04 <sup>②</sup>	18.2 <sup>②</sup>	20.36 <sup>②</sup>	21.66 <sup>②</sup>
森林蓄积量 (亿立方米)			143 <sup>②</sup>	165 <sup>②</sup>			151 <sup>②</sup>

注：①五年累积量；②“五年”规划期末未完成量；③地级及以上城市包括直辖市、地级市、地区、自治州和盟；④空气质量优良天数指空气质量指数 (AQI) 在0-100之间的天数。

天数比率 (%)”和“细颗粒物 (PM<sub>2.5</sub>) 未达标地级及以上城市浓度下降 (%)”。这反映了中国政府的环境治理模式从以总量控制为核心向以环境质量改善为核心的转变 (解振华, 2019)。

《“十三五”节能减排综合工作方案》中又进一步提出了控制能源消耗总量的目标。总体而言, 逐步完善的五年规划目标明确反映了中央政府加强空气污染和气候协同治理的理念。

### 2.1.2 法律法规与制度体系建设

中国政府建立和不断完善法律法规体系, 以提高空气质量、减缓温室气体排放、增加可再生能源利用以及提高能源利用效率。这些法律法规主要包括《大气污染防治法》, 《可再生能源法》和《节约能源法》等。

《大气污染防治法》确立于1987年, 并分别于

1995年、2000年、2015年和2018年进行了修订, 其主要作用是“保护和改善环境, 防治大气污染, 保障公众健康, 推进生态文明建设, 促进经济社会可持续发展”。在该法律的早期版本中, 主要通过制定建设项目、工业设施、火电厂、机动车船等排放标准的方式来控制SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、粉尘和废气的排放。在2015年和2018年的修订版本中, 空气污染治理理念由对污染物排放控制转向对区域空气质量的整体提升, 这突出表现在强调“坚持源头治理”, 而不仅仅关注末端控制。此外, “重点区域大气污染联合防治”作为一项重要举措也被着重强调。在新修订的《大气污染防治法》中还首次提出了“对颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物、氨等大气污染物和温室气体实施协同治理”。

为了加强环境与气候的治理, 中国政府建立了目标考核责任制。中央层面制定的政策目标, 会

分解落实到各省。《节约能源法》为实施“节能目标责任制”和“节能考核评价制度”提供了依据，要求“将节能目标完成情况作为对地方人民政府及其负责人考核评价的内容”，“省、自治区、直辖市人民政府每年向国务院报告节能目标责任的履行情况”。未能完成节能目标的地方政府和官员将面临多项处罚，例如“相关领导不得参加年度评奖、授予荣誉称号等”，同时，年内暂停对该地区新建高耗能项目的审批和核准。《大气污染防治法》也规定了“对省、自治区、直辖市大气环境质量改善目标、大气污染防治重点任务完成情况进行考核”。重点大气污染物排放总量的控制目标，由国务院下达到省、自治区、直辖市人民政府。“对超过国家重点大气污染物排放总量控制指标或者未完成国家下达的大气环境质量改善目标的地区，地区人民政府的主要负责人会被约谈，该地区新增重点大气污染物排放总量的建设项目环境影响评价文件也会暂停审批”。“十一五”期间，能源消耗强度降低和SO<sub>2</sub>排放减少的全国目标被分解到各省；“十二五”期间，碳排放强度降低和NO<sub>x</sub>排放减少的全国目标也被分解到各省。《“十三五”节能减排综合工作方案》又将“能源消费总量和强度控制目标分解到各省。

中国政府在采取严格的行政措施的同时，也在积极推广基于市场的政策措施。从2013年起，中国政府先后在“两省五市”（湖北、广东、北京、上海、天津、重庆、深圳）开展了碳排放权交易试点工作，涵盖超过3000家主要的碳排放企业。2017年，国家发展和改革委员会印发了《全国碳排放权交易市场建设方案（电力行业）》，标志着全国碳排放权交易体系正式开始建立（详见2.4节）。2019年，生态环境部起草并发布了《碳排放权交易管理暂行条例（征求意见稿）》。

随着法律法规的不断完善，中国的机构建设也在不断调整完善。2018年之前，应对气候变化和大气污染的治理工作分属于两个不同的部委：国家发展和改革委员会应对气候变化司负责制定并执行应对气候变化的相关政策，环境保护部负责制定除应对气候变化之外的环境保护政策措施。2018年，环境保护部改组为生态环境部，原国家发展和改革委员会应对气候变化司整体转隶到生态环境部。此次

气候与环境部门合并，将大幅减少机构间的协调成本，提高行政效率，促进环境和气候相关问题的解决（Wang et al., 2019）。

得益于上述措施，中国政府圆满完成了“十二五”规划的所有目标。能源消耗强度、碳排放强度、主要污染物排放量明显降低，非化石燃料占一次燃料消费比例、森林覆盖率和森林蓄积率迅速增长。据估算，“十三五”规划的大部分目标都能如期甚至提前完成。例如，非化石能源占一次能源消费比重在2018年底增加到14.3%，非常接近2020年到达15%的目标；2018年单位国内生产总值CO<sub>2</sub>排放量与2005年相比下降了45.8%，意味着原计划到2020年比2005年下降40%-45%的目标已经提前完成；338个城市在2018年的空气质量平均达标天数比例为79.3%，与2015年相比上升了2.6个百分点（生态环境部，2019年；环境保护部，2016年）。

## 2.2 京津冀地区的协同治理探索

除了国家层面的行动，中国政府还积极推动区域层面的协作。京津冀地区的协同治理就是一个很好的案例。京津冀地区仅占全国国土面积的2%；但是，2017年，8%的人口，9.5%的国内生产总值，10%的能源消耗，以及7%的煤炭消耗集中在京津冀地区（国家统计局能源统计司，2018；国家统计局，2018）。由于人口密度高，能源需求强度大，对煤炭又高度依赖，“京津冀及周边地区（包括北京市、天津市、河北省、山西省、内蒙古自治区、山东省）是我国大气污染最严重的区域”（环境保护部等，2013）。京津冀地区在2013年的年平均PM<sub>2.5</sub>浓度大约为106μg/m<sup>3</sup>，三倍于国家空气质量的35μg/m<sup>3</sup>。国务院于2013年9月公布的《大气污染防治行动计划》指出，到2017年，京津冀区域PM<sub>2.5</sub>浓度要比2012年下降25%，其中，北京市PM<sub>2.5</sub>年均浓度要控制在60μg/m<sup>3</sup>左右。

由于空气污染物在不同区域间会发生传输和扩散，北京市、天津市和河北省需要协同合作以解决其所面临的严重空气污染问题。2013年，环境保护部、国家发展和改革委员会、工业和信

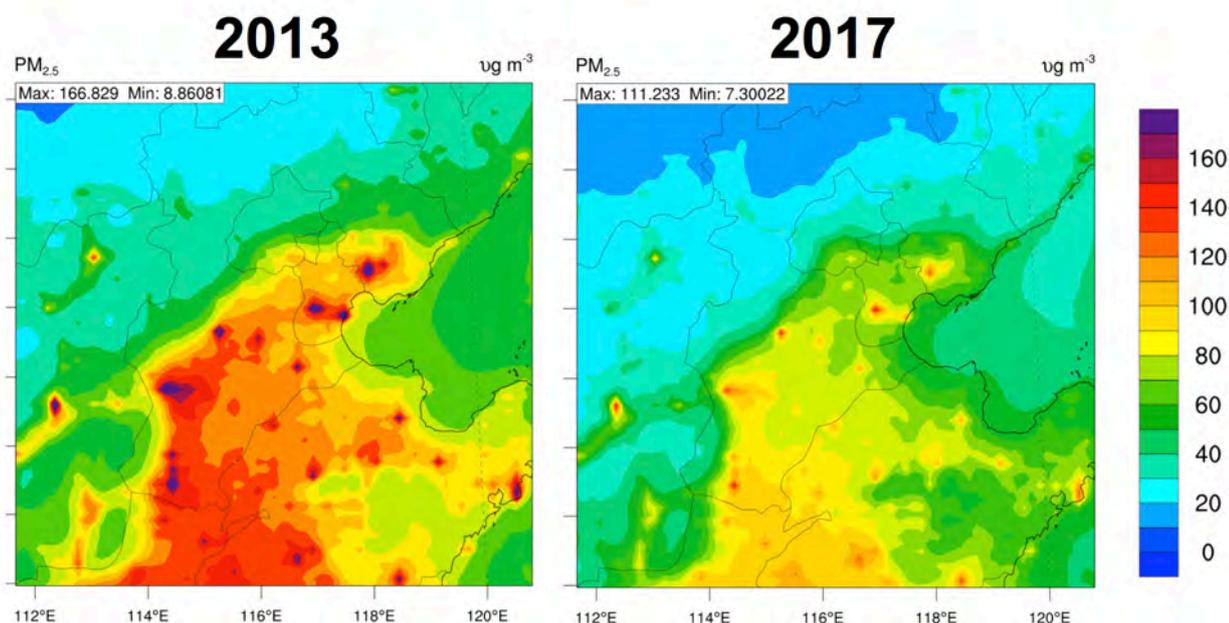


图2.1 2013年和2017年京津冀地区年平均PM<sub>2.5</sub>浓度空间分布

来源：联合国环境署，2019

息化部、财政部、住房和城乡建设部、国家能源局等六部委联合发布了《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》（环境保护部等，2013），启动了京津冀地区的大气污染防治行动计划，在区域内统一部署了多项治理措施。这些措施包括减少煤炭消费量、调整产业结构和减少机动车燃油消耗等。到2017年，京津冀地区的PM<sub>2.5</sub>年平均浓度已经降低至64µg/m<sup>3</sup>，相比于2013年减少了39.6%（图2.1）；达标天数比例提高49.3%，重污染天数由2013年的75天下降至28天（亚洲清洁空气中心，2018a）。同时，在2013年到2017年期间，北京市、天津市、河北省的单位国内生产总值CO<sub>2</sub>排放强度约分别下降了27%、21%和18%。

### 2.2.1 减少煤炭消费量

煤炭燃烧是造成京津冀地区空气污染和大量CO<sub>2</sub>排放的主要原因。《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》要求北京市、天津市和河北省到2017年底相比2012年净削减煤炭消

费共6300万吨。实际上，北京市、天津市和河北省共完成煤炭削减7100万吨，超额完成了目标。

《十三五生态环境保护规划》进一步要求到2020年各地相比2005年削减原煤10%，这意味着届时北京市、天津市和河北省的煤炭消费量将分别不超过1000万吨、4100万吨和2.6亿吨。北京市在此基础上制定了更加严格的目标，即到2020年煤炭消费量不超过500万吨。

2013年起，京津冀地区严格执行了淘汰燃煤小锅炉的任务安排，10蒸吨以下燃煤小锅炉基本清零，预计将于2020年关停建成区35蒸吨及以下燃煤锅炉。仅2017年一年，北京市就淘汰了2.7万余台燃煤小锅炉，天津市改燃关停燃煤锅炉1.09万台，河北省淘汰3.9万台5.8万蒸吨燃煤锅炉，提标改造311台2.1万蒸吨燃煤锅炉（亚洲清洁空气中心，2018b）。省市级政府采取了多项具体政策保障推进小型燃煤锅炉的关停工作。例如，河北省对燃煤锅炉改造、淘汰给予补助，单独取缔拆除的3万元/蒸吨，实施清洁能源改造的8万元/蒸吨。

京津冀地区还实施了“煤改电”和“煤改

气”计划，以逐步淘汰居民散煤使用。在2016年和2017年就完成约474万户的“煤改电”、“煤改气”改造，共替代散煤约1200万吨，约占该地区散煤消费量的30%（亚洲清洁空气中心，2018a）。不同地区为用户提供了50%到100%不等的设备购置补贴，以及0.15-0.3元/kWh不等的电价补贴和0.5-1.5元/m<sup>3</sup>不等的天然气价格补贴。例如，北京市为每个“煤改电”采暖用户提供最多1.2万元的补贴，同时提供0.2元/kWh的电采暖补贴（中国煤控项目散煤治理课题组，2018）。

### 2.2.2 调整产业结构

京津冀地区工业分布密集。2015年京津冀地区生产了全国26%粗钢和23%的平板玻璃。河北省作为中国钢铁生产最多的省份，仅2017年一年的粗钢产量就达到了1.9亿吨，超过整个欧盟的粗钢总产量。为了缓解京津冀地区的空气污染问题，需要强制淘汰主要能源密集型产业的过剩产能。河北省制定了到2020年将钢铁、水泥和平板玻璃分别控制在2亿吨、2亿吨和2亿重量箱以下的生产目标。2017年，河北省的炼钢、炼铁产能由2011年的峰值3.2亿吨、3.17亿吨分别减至2.39亿吨、2.44亿吨（河北省人民政府，2018）。

为了指导过剩产能的有序退出，政府采取了一系列具体的政策措施，包括严格限制对高污染、高能耗和产能过剩行业的企业提供贷款，强制淘汰落后产能，以及设立了专项奖励资金和补偿资金，为淘汰落后产能的企业提供职工安置和产业转型的资金支持（亚洲清洁空气中心，2018a）。

同时，京津冀地区积极培育战略新兴产业，包括但不限于新一代信息技术、生物、高端设备制造、新能源、新材料、新能源汽车、节能环保产业等。预计到2020年，北京市、天津市和河北省的战略新兴产业占地区生产总值的比例将分别达到30%、20%和12%。

### 2.2.3 降低机动车燃油消耗

京津冀地方政府已经采取了多项措施淘汰低能效高污染车辆。北京市和天津市在2015年淘汰了所有黄标车（排放水平低于国一排放标准的汽油车和排放水平低于国三排放标准的柴油车<sup>1</sup>）。河北省也于2017年淘汰了所有黄标车。政府为符合条件的报废车辆的车主提供一定数额的补贴。

同时，政府采取了相关措施推广新能源汽车，新能源汽车的增长量已被列为政府工作目标。北京市和河北省分别计划到2020年将新能源汽车的保有量增加到约40万辆和30万辆，天津市已经制定了2018年到2020年每年新增2万辆新能源汽车的目标。在公共交通、环卫、邮政和物流领域优先推广新能源汽车的同时，也积极鼓励私人电动汽车的推广。购买私人电动汽车的车主可享受一定补贴。

此外，为了减轻交通拥堵和空气污染，北京市和天津市通过尾号限行等方式限制车辆运行时间。

### 2.2.4 京津冀地区的其他措施

除了上述协同措施之外，电力、工业、交通等部门的大气污染物末端排放控制对于改善空气质量也至关重要。京津冀地区收紧了对燃煤锅炉和天然气锅炉末端排放的要求，所有燃煤电厂都已经按照10mg/m<sup>3</sup>、35mg/m<sup>3</sup>、50mg/m<sup>3</sup>的PM、SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>排放浓度完成了超低排放升级。一些大型燃煤锅炉也被要求按照燃煤电厂超低排放标准进行改造。天然气锅炉的改造要求为NO<sub>x</sub>排放浓度达到30-80mg/m<sup>3</sup>。钢铁行业也采取了相关措施控制末端排放，京津冀地区已经启动了多个钢铁行业超低排放示范项目，在烧结烟气和球团焙烧烟气中的PM、SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>每小时平均排放浓度被分别限制到10 mg/m<sup>3</sup>、35 mg/m<sup>3</sup>、50 mg/m<sup>3</sup>。此外，机动车排放标准的收紧也有效抑制了机动车污染。北京市、天津市和河北省已经于2019年7月起执行国六排放标准。

1. 国家第五阶段机动车污染物排放标准，简称为“国五标准”，国家标准一到五相当于欧洲的第1-5阶段排放标准。国标6a与欧标6基本一致，但国标6b比欧标6要严格。

## 2.3 城市行动

中国城市积极地探索协同治理措施，北京、深圳等已经取得很大进展。中央政府也正在通过一系列城市试点计划，支持城市层面的创新和行动。

### 2.3.1 北京的协同治理经验

北京在过去几十年中经历了快速的经济增长。2017年，北京的GDP、人口数量和机动车保有量分别是1998年的11.78倍、1.74倍和4.35倍（联合国环境署，2019），其中人均GDP已经超过20000美元，常住人口数量为2170万，保有量机动车为599万辆。城市经济的快速发展导致了空气质量的恶化。在2013年，北京市PM<sub>2.5</sub>的年平均浓度为89.5μg/m<sup>3</sup>，超过了35μg/m<sup>3</sup>的国家空气质量标准，远远超过了世界卫生组织制定的10μg/m<sup>3</sup>的标准。经过严格的污染防治行动，2018年北京PM<sub>2.5</sub>的年平均浓度急剧下降到51μg/m<sup>3</sup>，相比

2013年降低了43%。同时，北京市非常重视CO<sub>2</sub>的排放控制，制定了到2020年CO<sub>2</sub>排放达峰的目标。

北京市采取了综合的空气污染治理措施。联合国环境署在2019年发布了一份报告，评估北京市在2013年到2017年间的32项关键措施的空气质量改善贡献，这些措施分为7类，包括：燃煤锅炉整治、民用燃料清洁化、产业结构调整、移动源排放管控、工业提标改造、扬尘综合治理、挥发性有机物治理等（联合国环境署，2019），各类措施对减少主要污染物的贡献如图2.2所示。结果表明，燃煤锅炉整治是减少SO<sub>2</sub>排放的最主要因素，同时也是减少NO<sub>x</sub>和一次PM<sub>2.5</sub>排放的主要因素；民用燃料清洁化有助于减少大部分的一次PM<sub>2.5</sub>排放，并且是减少SO<sub>2</sub>排放的主要因素；管控移动源排放是减少NO<sub>x</sub>排放的最主要因素，也是减少VOCs排放的主要因素，也是减少VOCs排放的主要因素。

燃煤曾是北京市空气污染的主要来源。2014年发布的北京市PM<sub>2.5</sub>来源解析研究成果显示，燃煤占本地污染贡献的22.4%（北京市环保局，

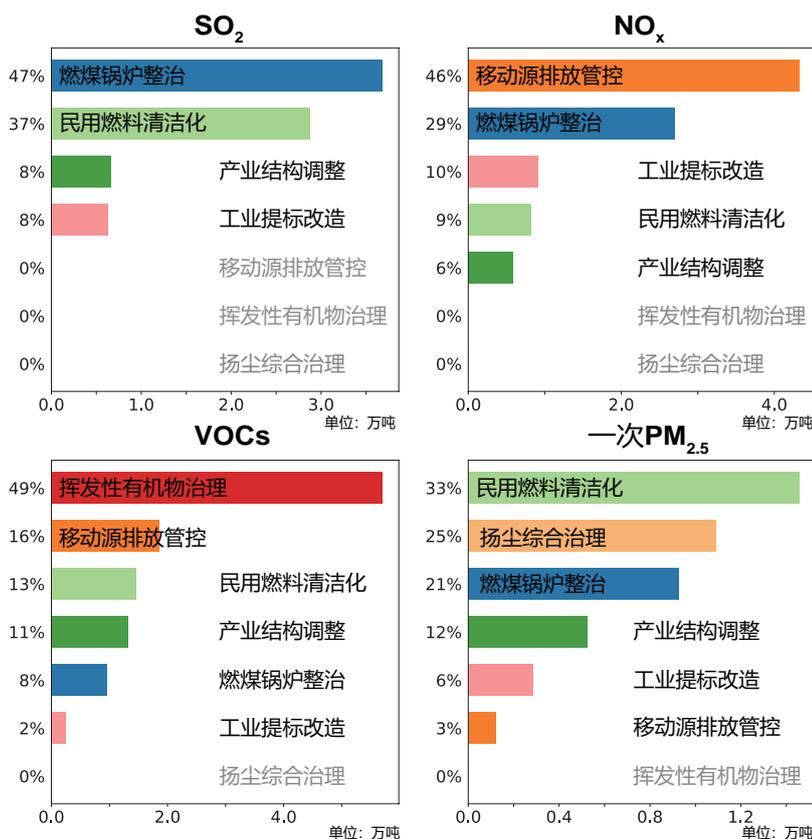


图2.2 北京地区2013年到2017年间不同措施对于降低主要污染排放的贡献  
数据来源：联合国环境署，2019

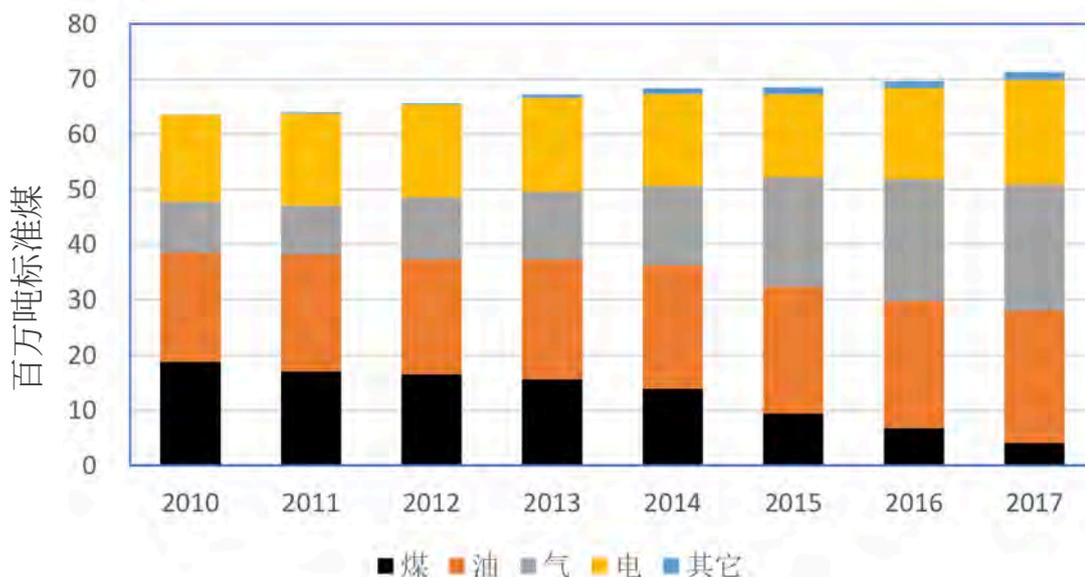


图2.3 2010年到2017年北京能源消费量

数据来源：北京市发改委，2018。注：电力指净进口电量与区域内非化石燃料发电量总和

2014)。北京市采取了有力的措施削减燃煤消费，例如关停燃煤电厂和燃煤锅炉，实施“煤改电”和“煤改气”项目。到2017年，北京市已经关停所有主要的燃煤电厂，淘汰了10蒸吨及以下的燃煤锅炉，以及城市建成区35蒸吨及以下的燃煤锅炉。结果显示，北京市煤炭消费量已经从2010年的1880万吨标准煤降低到2017年的400万吨标准煤，仅占北京市能源消费总量的6%左右（图2.3）。根据2018年新发布的北京市PM<sub>2.5</sub>来源解析研究，2017年燃煤占本地排放贡献的比例已经下降到约3%，这意味着燃煤已经不再是北京市PM<sub>2.5</sub>污染的主要来源（北京市生态环境局,2018）。

### 2.3.2 深圳的协同治理经验

深圳位于粤港澳大湾区的珠江口东岸，是中国四个一线城市之一，人口密度高，经济和社会活动活跃。深圳的GDP在2008年到2018年期间几乎增长了两倍，达到了约2.4万亿元，首次超过了香港（深圳市统计局,2018）。

过去十年，深圳坚持转型升级、质量引领、创新驱动、绿色低碳的发展战略。2010-2013年期间，深圳GDP保持在10%以上的年增长速度，

2014-2017年年均增速维持在8%以上，战略性新兴产业年增长速度为全市GDP增长速度2倍以上。

“十二五”期间淘汰、转型低端企业超过1.7万家，高端制造、智能制造、服务制造、绿色制造相关产业发展迅速。万元GDP能耗强度由2010年的0.51吨标准煤/万元下降至2017年的0.38吨标准煤/万元，下降幅度达26.3%；万元GDP碳排放强度由2010年的0.87吨二氧化碳当量/万元下降至2015年的0.64吨二氧化碳当量/万元，下降幅度超过26%。2015年深圳市提出要在2022年左右达到碳排放峰值，远远早于国家预计在2030年达峰的目标。与此同时，深圳市空气质量显著提升。2018年，深圳市年平均PM<sub>2.5</sub>浓度为26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，达到了国家标准（35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），在生态环境部重点监测的169个城市中排名第六，空气质量优良天数比例达到了94.5%。

深圳市政府很早就意识到环境与气候协同治理的重要性，识别出交通和电力是两个主要排放部门（表2.2），并实施了针对性的政策。

2013年8月，深圳市宣布原则上不再新建燃煤电厂。目前全市仅余一家燃煤电厂，而且其发电量也在迅速缩减。天然气和可再生能源发电作为燃煤

表2.2 2018年深圳市CO<sub>2</sub>和PM<sub>2.5</sub>主要排放来源

部门	CO <sub>2</sub> 排放 (%)	PM <sub>2.5</sub> 排放 (%)
道路交通	49	41
非道路交通	12	11
电力和热力	23	8
非能源行业	3	15
其他	13	25

数据来源：徐路易，2019

发电的替代，占全市总发电量的约90%。深圳市已建成垃圾焚烧发电厂6座，垃圾焚烧发电量居全国大中城市前列。分布式能源的快速发展也正在推动深圳实现低碳电力。

深圳积极推动新能源汽车、公共交通和快速公交的发展，以实现绿色、低碳转型。目前深圳市已累计推广新能源汽车7.2万辆，是全球新能源汽车推广规模最大的城市之一；截至2017年，全市共有电动公交车16359辆，公交充电站510座，充电桩约5000个（深圳市交通运输局，2018）。2019年，深圳又进一步实现了出租车的纯电动化。

深圳是我国七个碳排放交易试点之一，建立了全国首个碳排放交易市场，碳排放交易体系覆盖了城市碳排放总量的40%，配额累计成交量1807万吨、累计成交额5.96亿元。2013年首批纳入管控的企业数量为635家，2016年管控范围进一步扩大达到881家，是目前覆盖企业数量最多、交易最活跃、减排效果最显著的试点之一。碳市场的建立促进了电力供应的清洁化和低碳化。2013年-2017年，深圳市电源结构持续优化，煤电发电量在全市发电总量中的占比由46.5%下降至39.1%，气电由53.7%上升至60.9%；煤电碳排放强度在领先国内同类型机组的基础上进一步下降了2.5%，气电则大幅下降了8.9%，电力部门的整体碳排放强度下降了约10%；煤电不仅碳排放强度显著下降，年度碳排放总量也下降了50万吨左右。同期，碳排放交易体系覆盖的制造业企业平均碳强度由0.43下降至0.29吨CO<sub>2</sub>/万元，下降幅度为34.8%。在碳排放交易体系覆盖的制造业行业中，碳排放强度最低的五个子行业（计算机通信及电子设备制造业、医药制造业、机械设备制造业等）增加值占比规模稳步提升，由2013年

的88.8%提升至2017年的92.1%，在制造业总产出中占据绝对主导地位；碳排放强度最高的五个子行业（金属表面处理和电镀业、线路板、橡胶和塑料制品业等）增加值占比则显著下降。碳排放管控和更严格的环境标准，加快了落后、低端产能的淘汰或升级。2013-2017年期间管控制造业企业中有20余家低附加值、高能耗、高污染企业关停或转产。

以绿色发展为导向，深圳在碳排放强度大幅下降和空气质量显著改善的同时，实现了更有质量、更具竞争力的经济增长，初步探索出了一条经济社会和生态环境协同共进的可持续发展道路。

### 2.3.3 国家试点城市

中央政府已经启动了多个试点项目，旨在以发展低碳城市，提高城市的可再生能源利用份额，并增强城市抵抗洪水和其他气候变化影响的能力。

#### 2.3.3.1 低碳城市试点

国家发展和改革委员会实施的低碳城市试点工作是一项重大举措，该项目在2010年、2012年和2017年启动了第三批低碳城市试点，涉及78个城市（国家发展改革委，2010；2012；2017）。低碳城市试点的十个关键任务是：

- (1) 建立健全低碳发展制度；
- (2) 推进能源优化利用；
- (3) 打造低碳产业体系；
- (4) 推动城乡低碳化建设和管理；
- (5) 加快低碳技术研发与应用；
- (6) 形成绿色低碳的生活方式和消费模式；
- (7) 探索低碳发展的模式创新、制度创新、技术创新和工程创新；
- (8) 强化基础能力支撑；

(9) 开展低碳试点的组织保障工作；

(10) 引领和示范全国低碳发展。

三批试点城市的选择，综合考虑了中部、东部和西部不同类型城市的特点，比较看重各地的低碳自主创新 (Wang et al., 2013)。例如，甘肃省敦煌市开展了碳中和项目；青海省西宁市探索了居民碳信用体系；陕西省安康市探索了碳汇生态补偿机制和低碳扶贫项目；宁夏回族自治区银川市计划依托其能源化工产业优势，回收余热以供农村住房采暖 (专栏2.1)。在78个低碳试点城市中，有72个宣布其CO<sub>2</sub>排放量将在2020年或2025年左右达峰。2010年到2015年期间，所有三批试点城市均实现了CO<sub>2</sub>和PM<sub>2.5</sub>排放量的减少 (陈楠，庄贵阳，2018)。

#### 2.3.3.2 可再生能源示范城市

2030年，中国可再生能源和核能发电量占总发电量的比例将增加到40%以上 (Cai et al., 2018)。可再生能源的使用不仅对缓解气候变化至关重要，而且在控制环境污染和保护人类健康方面也将发挥关键作用。为了推广可再生能源，国家能源局批准了第一批89个新能源示范城市 (产业园区) (国家能源局，2014)，以及一些高比例可再生能源示范县 (北极星风力发电网，2016，2018)。示范城市 (产业园区) 旨在探索可再生能源的创新商业模式，强调市场的决定作用，并为各种投资者和购买者提供优惠政策。每个示范城市都有着各自的发展目标和发展路径。山西省大同市在2015年通过发展可再生能源，替代了超过100万吨标准煤的煤炭，建设了分布式光伏发电、大型光伏电站、分散式接入风电、风电规模化开发利用等工程 (国家能源局，2014)。建设高比例可再生能源示范县的目的在于探索可再生能源的规模化生产消费模式，为将来全国范围内的高比例可再生能源推广提供经验。国家能源局还计划启动能源革命试点项目，寻求适用于复杂、低碳、安全、高效的能源生产消费的系统性解决方案 (第一财经日报，2019)。

#### 2.3.3.3 海绵城市试点

为了控制雨水径流，增强城市防涝能力，减少对生态环境的影响，国务院印发了《关于推进海绵城市建设的指导意见》，并于2015年选择了30个城

### 专栏2.1 银川市工业余热回收

在城市房屋中使用回收的余热可以在减少碳排放的同时改善空气质量。宁夏回族自治区计划利用其庞大的宁东能源化工基地，通过“东热西送”工程，将东部余热接入目前正在建设中的西部中央供热管网。该项目“一期”和“二期”工程完成后，预计可以利用宁夏东部发电厂的回收热能服务于银川市超过8000万平方米的住房以及约150万人口。据估计，该项目将帮助银川市每年减少能耗约130万吨标准煤，降低能源成本5亿元人民币，以及减少CO<sub>2</sub>排放量200万吨 (银川市发改委，2019)。

市作为海绵城市建设试点 (国务院办公厅，2015)。2017年，国家发展和改革委员会和住房城乡建设部又联合发布了《关于印发气候适应型城市建设试点工作的通知》，批准28个地区作为气候适应型城市建设试点 (国家发展改革委，住房城乡建设部，2017)。海绵城市试点工程的主要目的是在考虑整个城市水循环，保障居民和生态用水需求的前提下，探索增强城市抵御洪涝灾害能力的综合性方法 (Wang et al., 2018)。近年来，海绵城市建设已经取得了积极的成果。例如，常德市区的穿紫河曾一度成为一条黑臭水体，严重影响两岸约30万居民的生活；自从该市成为海绵试点城市以来，市政府采取了多项综合性措施，包括调整河道，提高蓄水能力，净化雨水管道等，这大大改善了河流的生态环境，提高了周边地区的居住价值 (国务院办公厅，2015)。

基于海绵城市试点项目提供的经验，气候适应型城市在建设过程中不仅注重水资源的管理，同时制定了一系列的城市基础设施的设计和建设标准，以应对诸如夏季高温、冬季暴风雪、干旱和洪涝等极端天气和气候事件。这些气候适应型城市正在努力建设监测和预警平台以服务于应对气候变化、气象灾害、数据收集和大数据应用；同时建立涉及政府、企业、社区和居民等多个方面的气候适应机制，以加强气候灾害管理，提高城市应

急响应能力。安徽省合肥市建立了一个用于气候变化和气象灾害的综合监测预警系统，包含256个监测站，平均站间距离为6.7公里，其三维综合气象灾害监测网络覆盖辖区内所有街道和乡镇。基于气象局的技术和数据支持，新疆石河子提升了城市规划，实验了棉花生长和桃子质量的实时监测，收集了支持城市发展的环境适应性决策的必要数据（国家发展改革委，住房城乡建设部，2017）。

### 2.3.4城市行动取得的进展

通过区域间协同管理、国家试点计划以及地方政府的政策革新，中国的环境与气候协同治理已经取得了一定进展。一项针对中国286个城市在2005年到2015年间的数据分析显示，碳排放强度和 $PM_{2.5}$ 浓度越来越多的城市呈现共同下降的趋势（图2.4）（环境保护部环境规划院气候变化与环境政策研究中心，2018。van Donkelaar et al., 2018）：2000年到2005年，72%的城市的碳排放强度和 $PM_{2.5}$ 浓度成共同上升的趋势，只有菏泽、铜川和榆林这三个城市呈现共同下降的趋势；2005年到2010年，有45%的城市实现了碳排放强度和 $PM_{2.5}$ 浓度同时降低，但有48%的城市在碳排放强度降低的同时， $PM_{2.5}$ 的浓度却反而升高了；2010年到2015年，碳排放强度和 $PM_{2.5}$ 浓度同时下降的城市比例升高了13个百分点，达到了58%，但是仍有41%的城市在碳排放强度降低的同时 $PM_{2.5}$ 浓度升高。这表明需要进一

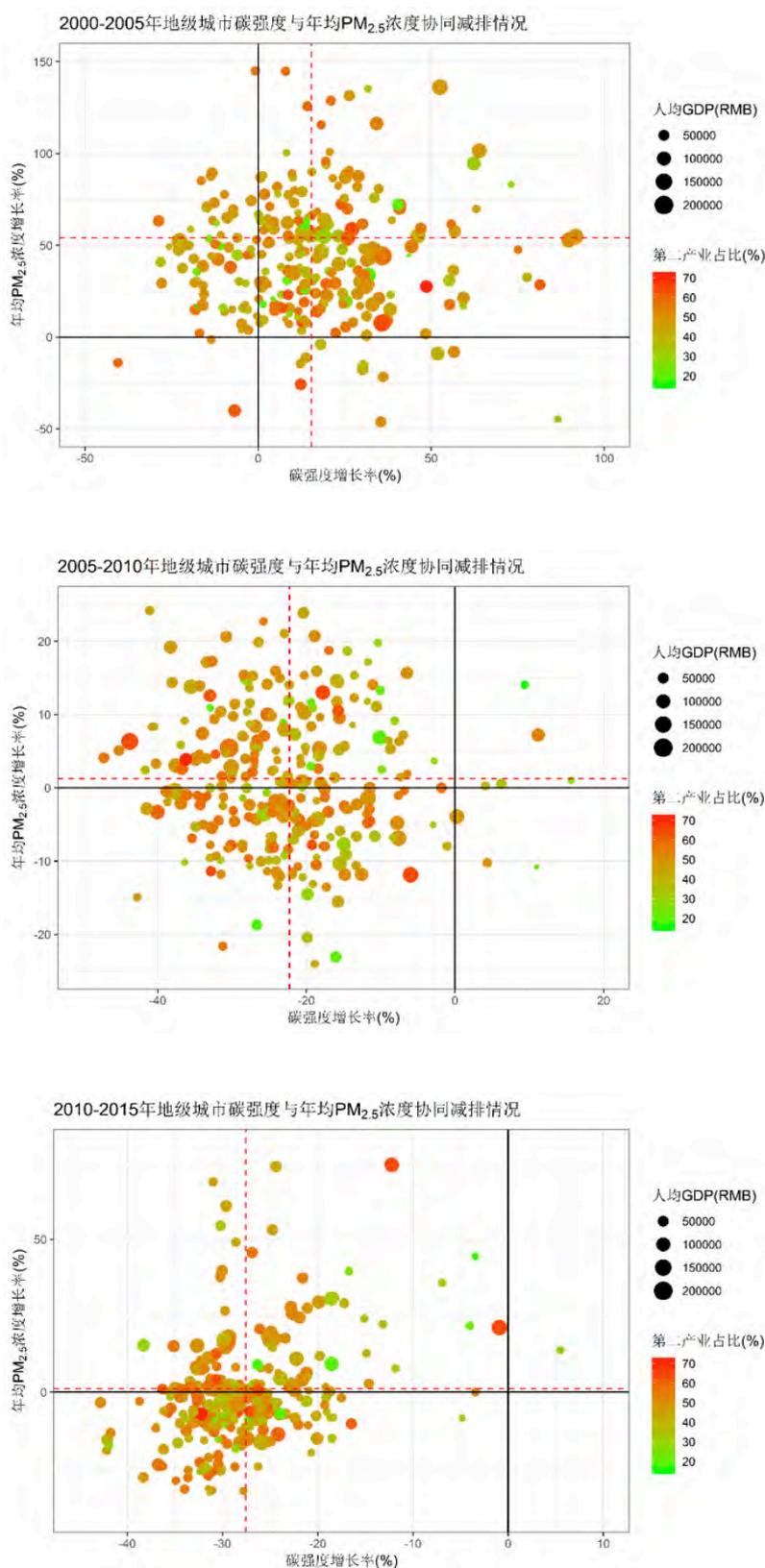


图2.4 2000年到2015年中国286个城市碳排放强度和 $PM_{2.5}$ 浓度

表2.3 中国七个碳排放交易试点概览

	开放时间	截至2019年7月累计交易量 (百万吨)	截至2019年7月累计交易额 (百万元)
广东省	2013年12月	112.30	1588.80
湖北省	2014年4月	322.19	7452.12
北京市	2013年11月	29.69	642.02
重庆市	2014年6月	8.91	32.99
上海市	2013年11月	36.76	443.21
深圳市	2013年6月	62.50	1795.60
天津市	2013年12月	6.83	89.90

步加强对城市化石燃料消耗和末端污染物排放的控制力度。

## 2.4 中国的碳排放交易市场

2011年10月,中国在广东、湖北、北京、天津、上海、深圳、重庆等“五市两省”开展了碳排放交易试点工作。自2013年6月以来,这七个试点先后启动交易(表2.3)。截至2019年5月,这七个试点市场共覆盖行业20余个,包括电力、水泥、钢铁、化工等,重点排放单位近3000家,累计成交量近5.8亿吨CO<sub>2</sub>,累计成交额超过120亿人民币。

2017年12月,国家发展改革委正式印发了全国碳排放权交易市场建设方案,预计全国范围内将纳入二氧化碳排放量超过30亿吨,使中国成为世界上最大的碳排放交易市场。全国碳排放权交易市场以化石能源发电行业作为起点,将逐步推进,分步骤有序纳入其他行业,包括化工、石化、钢铁、有色金属、建材、造纸、航空业等。预计纳入的二氧化碳排放量将占全国总排放量的45%左右。

中国试点实践表明碳市场具有促进当地经济高质量发展等协同效益。碳市场促进了企业节能减排,增强了低碳转型意识,提高了碳资产管理能力,增加了低碳技术研发和低碳项目投资资金来源,催生了碳核查、碳会计、碳审计、碳资产管理、碳金融、碳交易等新业务和就业岗位。

中国试点碳市场也具有改善生态环境和减少贫困的协同效应。比如湖北省贫困地区农林项目已

通过碳市场累计产生收益1278万元,其中55个户用沼气项目促进了农村能源清洁化;毛竹碳汇项目协助贫困山区实现绿色脱贫。

## 2.5 部门实践: 电力

电力部门在中国能源低碳转型中发挥着关键作用。中国拥有全球最大的电力生产部门,2018年全国发电量为6.99万亿千瓦时,约占全球的四分之一。中国约50%左右的煤炭用于发电,电力部门是中国碳排放量最大的部门,2016年电力部门加上供热占中国能源相关碳排放比重超过40%。需要指出的是,2013-2016年间尽管中国电力生产仍以年均3.6%的速度增长,但是由于清洁电力的迅速增长以及火电机组效率的提高,电力部门的碳排放却呈现下降趋势,在2017年和2018年碳排放虽小幅增长,但其增幅也低于发电量增速。

电力部门一直是中国节能减排、能源结构优化政策的重点目标部门之一。从“十一五”开始,为应对日益严重的环境问题,中国政府全面实施对节能和环境污染减排的协同治理。作为节能减排的重点部门,国家发改委和能源局针对电力部门出台了一系列政策法规,包括《可再生能源法》、《可再生能源发展中长期规划》、《关于加快关停小火电机组的若干意见的通知》等。另一方面,在环境污染减排方面,从1991年开始,环境部门就开始积极推进并不断提高火电机组的污染物排放标准,2014年开始在燃煤发电行业推行超低排放标准(即在基准氧含

量6%条件下,烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于10、35、50毫克/立方米),该标准已经接近燃气发电排放标准,并使所有现役电厂每千瓦时平均煤耗低于310gce/kWh、新建电厂平均煤耗低于300gce/kWh。

在各类政策措施的推动下,电力部门节能减排取得了显著的效果,并带来了显著的减少CO<sub>2</sub>排放的效益。根据中国电力企业联合会(中电联)的测算,电力部门排放的SO<sub>2</sub>占全国SO<sub>2</sub>排放的比例从2005年的51%下降至2016年的9.7%,电力排放的NO<sub>x</sub>占全国NO<sub>x</sub>排放的比例从2005年的54.9%下降至2016年的8.7%。从单位火发电量污染物排放量来看,2016年烟尘、二氧化硫和氮氧化物的排放量分别为0.06g/kWh、0.26g/kWh和0.25g/kWh,已经接近燃气机组排放水平(中电联,2017)。同时,这些措施也有效地减缓了电力部门二氧化碳排放量的增长,以2005年为基准年,2006-2018年电力部门累计减少CO<sub>2</sub>排放约137亿吨,其中供电煤耗降低(提高能效)的贡献率为44%,非化石能源发展(改善能源结构)的贡献率为54%(中电联,2018)。目前,

电力部门通过传统节能和提高能效技术手段降低二氧化碳排放空间已经不大,而电力部门的工作重点也正在从煤电常规污染物控制、能效控制转变到二氧化碳排放控制的路径上来(王志轩,2019)。

源头控制、提升能效和系统优化措施有着显著的减少二氧化碳排放的协同效应,而末端治理措施例如安装脱硫脱硝装置却不具备正向协同效应,甚至会产生负向协同效应。研究发现,采用更加严格的燃煤电厂和钢铁厂削减二氧化硫排放措施,虽然能够显著地减少环境污染物的排放,但是由于增加了电厂的用电量和钢铁厂的用煤量,却会在一定程度上造成二氧化碳排放的增加(顾阿伦等,2016)。因此,需要对政策可能产生的影响进行多领域评估,寻求具有更好的协同效应的政策。表2.4提供了相关研究中证明的电力部门切实可行的具有环境与气候协同效应的政策措施。

中国政府采取的环境和气候协同治理的政策措施包括:

推进非化石能源发展:2006年出台的《可再生能源法》和上网电价政策极大地促进了可再生能

表2.4 电力部门具有环境与气候协同效应的措施

类别	政策措施
碳排放总量控制	碳市场
源头控制	改善电源结构,鼓励可再生能源和核电发展
	煤炭燃烧前处理(洗煤)
	鼓励各省增加清洁能源输入
	优化煤电机组结构—建设大容量高参数机组,关停小火电
	推广热电联产机组
能效提升	推广先进技术
	推行节能技术改造
	资源循环利用(例如废热利用)
系统优化	燃煤电厂灵活性改造,智能调度
	优化过程管理和信息管理

来源:顾阿伦等,2016;王志轩,2015;Wang et al.,2015;侯建朝,史丹,2014;毛显强等,2012

源的大规模开发利用,核电行业则致力于核电技术的引进、吸收和自主研发。受益于一系列的鼓励非化石能源的政策,中国非化石能源发电机组占电力部门总装机容量的比例从2005年的24.3%上升至2018年底的40.8%,非化石能源发电量占电力部门总发电量的比例从2005年的18.1%增加至2018年的30.9%;同期火电装机容量占比从2005年的75.7%下降到2018年的59.2%,火电发电量占比从2005年的81.9%下降到2018年的69.1%。

优化火电机组结构:2005年,中国单机10万千瓦及以下的小火电机组共1.15亿千瓦,占火电装机容量的29.4%,小火电机组的二氧化硫和烟尘排放量分别占电力部门总排放量的35%和52%。中国政府决定通过建设大容量、高参数机组,并逐渐关停服役期满的10万千瓦以下的常规小煤电机组。2007年出台《关于加快关停小火电机组的若干意见》,强力启动关停小火电工作。截至2016年年底,中国累计关停小火电机组达到1.1亿千瓦,相当于德国装机容量的1.2倍。另一方面,新建机组的容量和性能都不断提高,截至2018年底,30万千瓦及以上火电机组

占比已达到80.1%(中电联,2018)。

推广热电联产机组:热电联产机组的热效率显著高于一般工业锅炉和供热锅炉。中国热电联产项目最早出现在一些北方大型城市,主要集中在工业领域,后来逐渐发展到北方居民集中供暖。为解决我国北方地区冬季供暖期空气污染严重的问题,2016年和2017年国家发改委等多部委先后出台《热电联产管理办法》和《北方地区冬季清洁取暖规划(2017-2021)》,提出用热电联产等清洁供暖措施替代散烧煤和低效小锅炉,提高北方地区清洁取暖率的具体目标。截至2018年底,热电联产机组占火电机组的比例达到43.6%,而2005年这一数据仅为17.8%(王志轩,2019)。

鼓励节能技术改造:设立节能技术改造专项基金,鼓励节能技术改造和节能服务行业发展。对现役机组开展汽轮机通流改造、泵与风机变频改造、微油点火、等离子点火等节能技术改造,持续降低机组能耗(王志轩,2014)。从2006-2014年,工业领域仅中央财政投入的节能技改资金就达到572.1亿元(约合85亿美元),有效地撬动了全社会投资<sup>2</sup>。

## 参考文献

Cai W., Hui J., Wang C., Zheng Y., Zhang X., Zhang Q. and Gong, P. 2018. The Lancet countdown on PM 2.5 pollution-related health impacts of China's projected carbon dioxide mitigation in the electric power generation sector under the Paris Agreement: a modelling study. *Lancet Planetary Health* 2(4), pp. 151-161. [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(18\)30050-0/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(18)30050-0/fulltext) (accessed 9 September 2019).

Gu A., Teng F. and Feng X. 2016. Effects of pollution control measures on carbon emission reduction in China: evidence from the 11th and 12th Five-Year Plans. *Climate Policy* 18(2), pp. 1-12. <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1258629> (2019.10.31).

Health Effects Institute. 2019. State of Global Air 2019. [www.stateofglobalair.org](http://www.stateofglobalair.org) (accessed 29 August 2019).

van Donkelaar, A., Martin, R.V., Brauer, M., Hsu, N.C., Kahn, R.A., Levy, R.C., Lyapustin, A., Sayer, A.M. and Winker, D.M. 2018. Global Annual PM 2.5 Grids from MODIS, MISR and SeaWiFS Aerosol Optical Depth (AOD) with GWR, 1998-2016. NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/>

H4ZK5DQS (accessed 27 August 2019).

Wang C., Guan D. and Cai Wenjia. 2019. Grand challenges cannot be treated in isolation. *One Earth*, 2019,1(1).

Wang C., Lin J., Cai W. and Zhang, Z. 2013. Policies and practices of low carbon city development in China. *Energy & Environment* 24(7&8), pp. 1347-1372.

Wang C., Yang Y., Zhang J. 2015. China's sectoral strategies in energy conservation and carbon mitigation. *Climate Policy* 15, pp. S60-S80.

Wang H., Mei C., Liu J. and Shao W. 2018. A new strategy for integrated urban water management in China: Sponge city. *Science China Technological Sciences* 61(3), pp. 317-329.

北京市发改委, 2018, 北京能源发展研究报告(2017)。

北京市环保局, 2014, 北京市正式发布PM2.5来源解析研究成果. <http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/tpxw/606141/index.html> (2019.10.31)

北京市生态环境局, 2018, 最新科研成果新一轮北京市PM2.5来源解析正式发布. <http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/xxgk/jgzj/jgsz/jjgjszjzz/xcyj/xwfb/832588/index.html> (2019.10.31)

2. 根据《中国低碳发展报告2014》和2013-2015年《中国应对气候变化的政策与行动》相关数据整理。

- 北极星风力发电网, 2016, 能源局支持安徽建国家高比例可再生能源示范县. <http://news.bjx.com.cn/html/20160118/702244.shtml> (2019.10.31)
- 北极星风力发电网, 2018, 江苏金湖县创建国家高比例可再生能源示范县工作方案: 到2020年光伏装机500MW以上. <http://guangfu.bjx.com.cn/news/20180820/922052.shtml> (2019.10.31)
- 陈楠, 庄贵阳. 中国低碳试点城市成效评估[J]. 城市发展研究, 2018, 25(10): 88-95+156
- 第一财经日报, 2019, 中央推出能源革命综合改革试点 山西因何入选? [http://www.sohu.com/a/317491988\\_114986](http://www.sohu.com/a/317491988_114986) (2019.10.31)
- 顾阿伦, 滕飞, 冯相昭. 主要部门污染物控制政策的温室气体协同效果分析与评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(2): 10-17
- 河北省人民政府, 2018, 河北省钢铁行业去产能工作方案(2018—2020年). [http://www.sohu.com/a/239403485\\_100142901](http://www.sohu.com/a/239403485_100142901) (2019.10.31)
- 环境保护部, 国家发展和改革委员会, 工业和信息化部, 财政部, 住房和城乡建设部, 国家能源局, 2013, 京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则. [http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201309/t20130918\\_260414.htm](http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201309/t20130918_260414.htm) (2019.10.31)
- 环境保护部, 2016, 2015中国环境状况公报. <http://www.cnemc.cn/jcbg/zghjzkgb/201706/W020181008686115965643.pdf> (2019.10.31)
- 环境保护部环境规划院气候变化与环境政策研究中心, 2018, 城市温室气体. <http://www.cityghg.com/index.html> (2019.10.31)
- 国家发展改革委, 2010, 国家发展改革委关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知. [http://www.gov.cn/zwgk/2010-08/10/content\\_1675733.htm](http://www.gov.cn/zwgk/2010-08/10/content_1675733.htm) (2019.10.31)
- 国家发展改革委, 2012, 我委印发关于开展第二批国家低碳省区和低碳城市试点工作的通知. [http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201212/t20121205\\_517506.html](http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201212/t20121205_517506.html) (2019.10.31)
- 国家发展改革委, 2017, 国家发展改革委关于开展第三批国家低碳城市试点工作的通知. [http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201701/t20170124\\_836394.html](http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201701/t20170124_836394.html) (2019.10.31)
- 国家发展改革委, 住房和城乡建设部, 2017, 关于印发气候适应型城市建设试点工作的通知. [http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201702/t20170224\\_839212.html](http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201702/t20170224_839212.html) (2019.10.31)
- 国家能源局, 2014, 国家能源局关于公布创建新能源示范城市(产业园区)名单(第一批)的通知. [http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201402/t20140212\\_1762.htm](http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201402/t20140212_1762.htm) (2019.10.31)
- 国家能源局, 2019, 2018年可再生能源并网运行情况介绍. [http://www.nea.gov.cn/2019-01/28/c\\_137780519.htm](http://www.nea.gov.cn/2019-01/28/c_137780519.htm) (2019.10.31)
- 国家统计局, 2018, 国家数据. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01> (2019.10.31)
- 国家统计局能源统计司, 2018, 中国统计年鉴2013-2017. <http://tongji.cnki.net/kns55/Nav/HomePage.aspx?id=N2018110025&name=YINFN&floor=1> (2019.10.31)
- 国家统计局, 2019, 沧桑巨变七十载 民族复兴铸辉煌——新中国成立70周年经济社会发展成就系列报告之一. [http://www.stats.gov.cn/ztjc/zthd/bwcljjsm/70znxc/201907/t20190701\\_1673373.html](http://www.stats.gov.cn/ztjc/zthd/bwcljjsm/70znxc/201907/t20190701_1673373.html) (2019.10.31)
- 国务院办公厅, 2009, 温家宝主持召开国务院常务会议研究决定我国控制温室气体排放行动目标. [http://www.gov.cn/ldhd/2009-11/26/content\\_1474016.htm](http://www.gov.cn/ldhd/2009-11/26/content_1474016.htm) (2019.10.31)
- 国务院办公厅, 2015, 国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见. [http://ghs.ndrc.gov.cn/zttp/xxczhjs/ghzc/201605/t20160505\\_800852.html](http://ghs.ndrc.gov.cn/zttp/xxczhjs/ghzc/201605/t20160505_800852.html) (2019.10.31)
- 侯建朝, 史丹. 中国电力行业碳排放变化的驱动因素研究[J]. 中国工业经济, 2014(6):44-56.
- 联合国环境署, 2019, 北京二十年大气污染治理历程与展望, 联合国环境规划署. 内罗毕, 肯尼亚
- 毛显强, 邢有凯, 胡涛, 曾校, 刘胜强. 中国电力行业硫、氮、碳协同减排的环境经济路径分析[J]. 中国环境科学, 2012(4):748-756.
- 全国人民代表大会, 2016, 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要. [http://www.gov.cn/xinwen/2016-03/17/content\\_5054992.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2016-03/17/content_5054992.htm) (2019.10.31)
- 全国人民代表大会, 2006. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要. [http://www.gov.cn/gongbao/content/2006/content\\_268766.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2006/content_268766.htm) (2019.10.31)
- 生态环境部, 2019, 2018中国生态环境状况公报. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lzghjzkgb/201905/P020190619587632630618.pdf> (2019.10.31)
- 深圳市交通运输局, 2018, 深圳推广纯电动公交车16359辆专营公交车实现纯电动化. [http://jtys.sz.gov.cn/zwgk/jtzz/gzdt/gjdt\\_80994/201712/t20171228\\_10630454.htm](http://jtys.sz.gov.cn/zwgk/jtzz/gzdt/gjdt_80994/201712/t20171228_10630454.htm) (2019.10.31)
- 深圳市统计局, 2019, 深圳市2018年国民经济和社会发展统计公报. [http://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/zfxxgj/tjsj/tjgb/201904/t20190419\\_16908575.htm](http://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/zfxxgj/tjsj/tjgb/201904/t20190419_16908575.htm) (2019.10.31)
- 王金南, 万军, 王倩, 苏洁琼, 杨丽阁, 肖旸. 改革开放40年与中国生态环境规划发展[J]. 中国环境管理, 2018, 10(06): 5-18
- 王志轩. 中国电力低碳发展的现状问题及对策建议[J]. 中国能源, 2015(7): 5-10
- 王志轩. 中国碳市场建设的几个关键问题[J]. 电力决策与舆情参考, 2019年8月2日第28、29期.
- 解振华. 中国改革开放40年生态环境保护的历史变革——从“三废”治理走向生态文明建设[J]. 中国环境管理, 2019, 11(04): 5-10+16
- 徐路易, 2019, 治理空气污染和控制碳排放会影响经济发展吗? 看看深圳怎么做. [http://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/zfxxgj/tjsj/tjgb/201904/t20190419\\_16908575.htm](http://www.sz.gov.cn/cn/xxgk/zfxxgj/tjsj/tjgb/201904/t20190419_16908575.htm) (2019.10.31)
- 亚洲清洁空气中心, 2018a, 突破: 中国清洁空气之路2013-2017. <http://www.allaboutair.cn/a/reports/2018/1227/527.html> (2019.10.31)
- 亚洲清洁空气中心, 2018b, 大气中国2018: 中国大气污染防治进程. <http://www.allaboutair.cn/uploads/soft/181227/ChinaAir2018-CN.pdf> (2019.10.31)
- 银川市发改委, 2019, 学思践悟提认识 勇毅笃行敢担当 推动银川市发改工作走高质量发展之路. [http://fgw.yinchuan.gov.cn/fzgggz/hgjj/201903/t20190319\\_1319831.htm](http://fgw.yinchuan.gov.cn/fzgggz/hgjj/201903/t20190319_1319831.htm) (2019.10.31)
- 中国电力企业联合会, 2017, 中国煤电清洁发展报告. 北京: 中国电力出版社.
- 中国电力企业联合会, 2018, 中国电力行业发展报告2018. 北京: 中国电力出版社.
- 中国煤控项目散煤治理课题组, 2018, 中国散煤综合治理调研报告2017. <http://coalcap.nrdc.cn/pdfviewer/web/?15180772751437518672.pdf> (2019.10.31)

## 第三章 未来发展策略

### 3.1 前言

2012年，中国共产党第十八次全国代表大会提出，要把建设生态文明作为党的政治思想中心，提出建设“美丽中国”的愿景。当前“美丽中国”的愿景已全面融入到经济、政治、文化和社会建设的方方面面。“美丽中国”的愿景目标当前已经纳入到国家“十三五”发展规划当中，要在实现其他社会经济发展目标的同时更好地实践生态环境保护。2017年，中国共产党第十九次全国代表大会提出了2035年和2050年“两步走”发展战略，在2035年要达到生态环境根本好转，美丽中国目标基本实现；到2050年要建成社会主义现代化强国，生态文明全面提升，美丽中国全面建成。

中国统筹应对气候变化和保护环境工作，努力早日实现“美丽中国”目标。第二章详细介绍了中国在环境保护与气候治理方面的整体工作和所取得的工作进展。截至目前，中国在保护环境和应对气候变化二者的协同治理方面已经取得了显著的成绩，但面临的挑战仍然十分严峻，实现“美丽中国”愿景目标仍将需要付出巨大努力。随着化石能源消费的增长，中国已是世界上最大的温室气体排放国，尽管2017年全国人口加权PM<sub>2.5</sub>平均浓度降至53 μg/m<sup>3</sup>，但仍远高于世界卫生组织(WHO)的指导标准。本章将重点介绍中国未来中长期空气质量和应对气候变化的目标、政策和实践，以及二者发挥协同效应以实现“美丽中国”的愿景目标。

### 3.2 中国中长期清洁空气发展目标

#### 3.2.1 中国空气质量标准的演变

中国环境空气质量标准的修订历程历时近40年(图3.1)。1979年中国颁布了第一部《环保法》

(试行)，随后1982年颁布了首个环境空气质量标准《大气环境质量标准》(GB 3095-82)，1996年进行了第一次修订(《环境空气质量标准》(GB 3095-1996))，并于2000年发布了《〈环境空气质量标准〉(GB 3095-1996)修改单》(环发〔2000〕1号)。之后经过多番论证和意见征求，在2012年再次修订发布了《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)。空气质量标准的不断修订的过程体现了中国环境政策与社会经济发展之间的协调统一。

中国环境空气质量标准的修订历程反映了大气污染治理重点的转变，逐渐从颗粒物、二氧化硫、氮氧化物的治理转移到了PM<sub>2.5</sub>和臭氧的治理。1982年的《环境空气质量标准》(GB 3095-82)仅涵盖了总悬浮颗粒物(TSP)，二氧化硫(SO<sub>2</sub>)，氮氧化物(NO<sub>x</sub>)和光化学氧化剂。在1996年的标准中纳入了更多的污染物，包括直径小等于10微米的细颗粒物(PM<sub>10</sub>)，臭氧(O<sub>3</sub>)和二氧化氮(NO<sub>2</sub>)。在2012年的标准中又新增了直径小于等于2.5微米的可吸入颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)和臭氧(O<sub>3</sub>)的8小时平均浓度限值。中国在环境空气质量标准修订过程中充分借鉴了美国、欧盟、WHO等发达国家、地区和国际组织的优良经验，既符合我国当前的经济发展水平以及大气环境污染特征，又实现了与国际标准的接轨。

#### 3.2.2 中国中长期清洁空气目标

中国中长期清洁空气目标是实现“美丽中国”愿景的重要组成。在党的十九大报告中提出了“两步走”战略，即到2035年实现生态环境质量根本好转，美丽中国目标基本实现；到本世纪中叶，建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国，生态文明全面提升。在两步走战略的背景下，中国中长期清洁空气的目标分为两个阶段(图3.2)(清华大学，

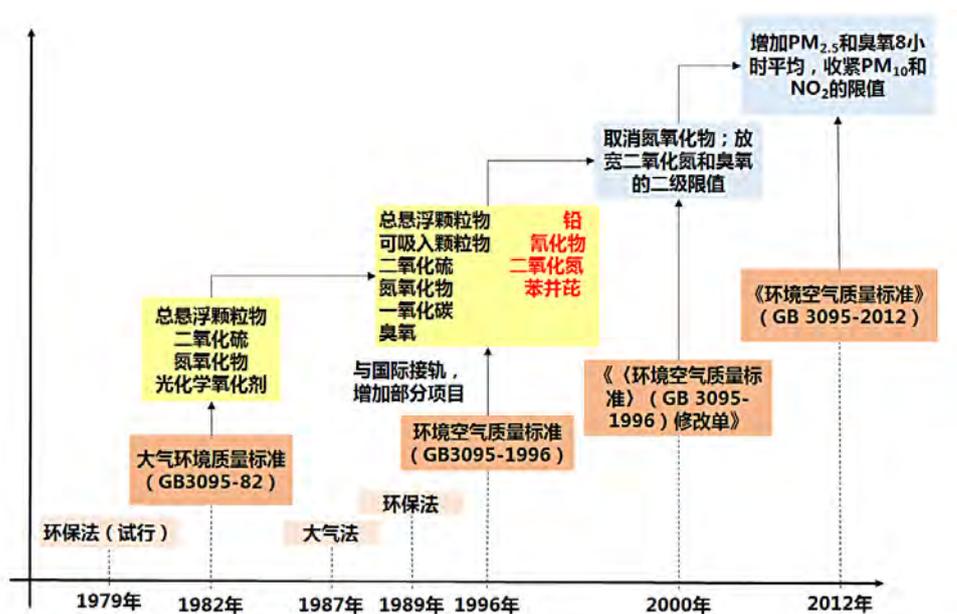


图3.1 中国空气质量标准变革历程  
来源:根据相关法规和环境质量标准整理。

2017)。第一阶段的目标是到2030年全国重点城市和地区的PM<sub>2.5</sub>浓度都达到35 μg/m<sup>3</sup>的国家标准,第二阶段的目标是到2050年,全国重点城市和地区的PM<sub>2.5</sub>浓度都达到15 μg/m<sup>3</sup>的标准。同时,针对京津冀及周边地区、长三角地区、汾渭平原地区以及珠三角地区四个重点区域,根据其当前所处的不同阶段设定了相应的目标和完成时间。其中,珠三角地区第一阶段目标为在2025年前后PM<sub>2.5</sub>浓度达到25 μg/m<sup>3</sup>;由于2018年长三角地区41个城市的PM<sub>2.5</sub>平均浓度为44 μg/m<sup>3</sup>,尚未达到国家标准,所以长三角地区第一阶段目标设定为在2025年前实现达标;而对于当前污染比较严重的汾渭平原(2018年PM<sub>2.5</sub>浓度为58 μg/m<sup>3</sup>)和京津冀及周边地区(2018年PM<sub>2.5</sub>平

均浓度为60 μg/m<sup>3</sup>),由于其当前空气质量距离国家标准差距较大,其目标实现时间相应延后,连同其他地区在2030年前后实现PM<sub>2.5</sub>浓度达标。

中国在“十三五”期间为实现清洁空气目标制定发布了一系列政策,主要包括《大气污染防治行动计划》(国务院,2013年),《打赢蓝天保卫战三年行动计划》(国务院,2017)和《“十三五”节能减排综合工作方案》等政策和规划(国务院,2018),所采取的具体行动见表3.1。

实现清洁空气中长期目标还需要相应政策的大力支持。既需要制定、修订相关行业污染物的排放标准,从源头严格控制相关企业的污染物排放;又需要制定与之相协调和配套的市场及财税等政策,充分

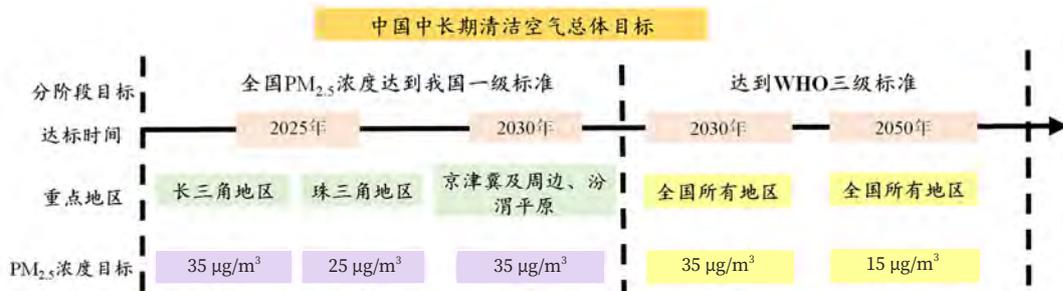


图3.2 中国中长期清洁空气总体目标  
来源:清华大学,2017,中国如何在2030年实现PM<sub>2.5</sub>空气质量全面达标——基于能源及末端控制情景的数值模拟探讨。能源基金会。

表3.1 各部门清洁空气目标下的行动

部门	行动
电力部门	<ul style="list-style-type: none"> <li>控制煤电规模;</li> <li>加速发展新能源和可再生能源;</li> <li>降低单位发电量的煤耗, 增加风电和太阳能发电的装机;</li> <li>继续推动燃煤电厂向超低排放技术转型。</li> </ul>
工业部门	<ul style="list-style-type: none"> <li>调整产业结构, 优化产业布局, 控制产能过剩产业, 淘汰落后产能, 改造重污染企业;</li> <li>加大对能源密集型产业的研发投入, 提高能源效率;</li> <li>推动钢铁、水泥等重点行业的脱硫、脱硝和除尘, 加强末端处理。</li> </ul>
交通部门	<ul style="list-style-type: none"> <li>优化运输结构, 将大型货物从公路运输转向铁路运输;</li> <li>提高机动车的排放标准;</li> <li>推进车辆排放标准的实施和执行;</li> <li>加快淘汰排放标准过时的老旧车辆。</li> </ul>
民用部门	<ul style="list-style-type: none"> <li>继续推广中国北方地区清洁供暖;</li> <li>在农村地区用电力和天然气替代煤炭作为取暖燃料;</li> <li>加快城镇集中供热燃煤锅炉改造升级;</li> <li>控制来自废弃物和农业的氨排放, 以及挥发性有机化合物(VOC)排放。</li> </ul>

运用市场机制和政府手段, 引导企业重视并做好污染物减排工作; 还需要加强污染物控制方面的相关立法, 对任何破坏环境的行为进行依法严肃处理。

### 3.3 中国减缓气候变化的承诺与行动

#### 3.3.1 中国减缓气候变化的国际承诺

在2009年哥本哈根举行的第十五次缔约方大会(COP 15)上, 中国政府提出了2020年减排目标, 即到2020年, GDP的二氧化碳强度比2005年的水平下降40%-45%, 非化石能源在一次能源消费中的比重提高到15%, 森林蓄积量比2005年增加13亿立方米。2015年底巴黎气候大会上达成了《巴黎协定》的共识, 中国政府也于2016年正式提交了国家自主决定贡献(NDC)目标。在NDC中, 中国承诺到2030年, GDP的二氧化碳强度将比2005年的水平下降60%-65%, 非化石能源在一次能源消费中的比重提高到20%, 并在2030年左右实现CO<sub>2</sub>排放达峰并努力早日达峰。

#### 3.3.2 国内应对气候变化的政策措施及其影响

为全面落实2020年减排承诺, 中国政府在其五年发展规划中制定了减排相关的约束性指标。其

中, 在“十一五”规划中制定了能源强度降低20%左右的约束性指标, 扭转了“十五”期间能源强度快速上升的趋势; 在“十二五”和“十三五”规划中进一步设定了将能源强度分别下降16%和15%、GDP的二氧化碳强度分别下降17%和18%的约束性指标。

截至2018年底, 中国GDP的二氧化碳强度比2005年下降幅度超过了2009年哥本哈根气候大会上承诺的45%的上限目标, 非化石能源在中国一次能源中所占比重也达到14.3%。按照当前的发展趋势测算, 到2020年, GDP的二氧化碳强度预计将比2005年下降幅度超过50%, 非化石能源在国家一次能源消费中的份额也有望提升到15%以上, 超过中国在COP15大会上所做的减排承诺。

2020年前的减排成绩将为中国进一步落实和实施2030年国家自主贡献目标奠定坚实的基础。根据最新研究(Wang and He, 2019), 基于中国经济增长和能源结构优化的预期, 2030年中国GDP的二氧化碳强度将比2005年下降65%以上, 二氧化碳排放峰值也有望在2030年之前出现。上述的研究结论基于的假设条件包括: 到2030年, GDP年均增长率将回落到至5.0%左右, 能源强度的年下降率将维持在3.0%至3.5%, 届时煤炭、石油、天然气和非化石能源在中国一次能源消费中所

占的比重将分别达到46%、15%、17%和22%。如果经济增速的回落更快，或者能源结构低碳化的进程更为显著，二氧化碳排放的峰值水平也将更低。通过“十四五”和“十五五”的积极部署，中国有能力超额完成既定的NDC目标，并有可能进一步强化和更新2030年国家自主贡献目标。

到2020年底，中国将全面制定和提出面向本世纪中叶深度脱碳的低排放发展战略。制定中长期温室气体低排放发展战略，不仅是中国践行减缓全球气候变暖的主动出击，同时也是国内资源环境约束下的战略选择。在长期低排放发展战略的指导下，中国将避免高碳基础设施的锁定效应；加快建设清洁低碳的能源体系；促进氢能、储能、智能电网、二氧化碳捕获和封存等先进技术的研发和产业化；并倡导低碳的消费模式和生活方式。

### 3.4 中国协同治理的中长期战略

中国中长期气候和环境的协同治理可以带来巨大的协同效益。从历史上看，全球和中国的空气污染控制政策主要集中在对污染物的末端控制。但是，末端控制措施通常不能减少温室气体的排放，在某些情况下甚至会增加温室气体的排放。同时，随着大气污染治理的不断推进，末端污染治理所能发挥的效果也将越来越小。

减缓气候变化的政策通常着重于对能源结构、运输结构和工业结构的调整，例如用可再生能源发电来代替化石能源发电。这样的结构性转变对于实现长期气候目标是必要的，并且也可以带来空气污染物减排的协同效益。因此，能源结构、运输结构和工业结构的优化将是协同减排的重要着力点。但是，诸如此类的结构调整往往需要数年甚至数十年的时间，因此短期内对减少空气污染的效果并不显著。

中国中长期环境和气候协同治理可带来显著的协同效益。若以环境质量改善为目标，采取排放控制政策，使中国在2015-2050年期间实现SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>每五年减排8%和10%，那么到2050年可以累积实现协同减少CO<sub>2</sub>排放最高达200亿吨(Nam et al., 2013)。若中国2030年全面实现国家自主贡献中的各项目标，届时的SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和PM<sub>2.5</sub>排放也

将比2010年分别降低78.85%、77.56%和83.32%(Yang et al., 2017)。碳定价这类经济政策可以通过市场的作用对减少能源消费、促进技术升级产生积极反馈，带来污染物的协同减排。2015-2030年间，在碳定价的作用下中国CO<sub>2</sub>排放强度可实现年均4%的下降，到2030年与无碳定价情景相比，可以实现SO<sub>2</sub>减排25%，NO<sub>x</sub>减排19%，全国人口加权平均PM<sub>2.5</sub>浓度下降12%的协同效益，同时可以避免9.4万人的过早死亡(Li et al., 2018)。

为了实现中长期的协同治理，需要综合考虑清洁空气目标和碳减排目标的时间表，结合中国的国情和发展阶段特征，提出综合治理的总体规划。当前，需在落实《打赢蓝天保卫战三年行动计划》和《“十三五”节能减排综合工作方案》等政策规划基础上，强化各部门节能减排降碳的目标和措施。2030年之前我国大气污染严重、环境治理压力较大，应当以环境治理为抓手，带动碳减排目标的实现；而在2030年之后，随着我国环境问题得到根本改善，我国也要承担与发展阶段相适应的碳减排责任，要以气候治理带动国内环境的进一步改善。总而言之，中长期环境和气候的协同治理的整体路径为“2030年之前蓝天带动低碳，2030年之后低碳带动蓝天”。

### 3.5 实现中国能源领域的气候与环境协同治理

2018年，中国一次能源消费达到32.5亿吨标准油(toe)，其中煤炭、石油和天然气的占比分别为59%、18.9%和7.8%(国家统计局，2019年)。化石能源在中国一次能源消费中占比很大，这也是造成我国包括NO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub>和CO<sub>2</sub>在内的空气污染物和温室气体排放较高的主要原因，已成为我国环境改善和气候治理的一大挑战。因此，在能源领域开展协同行动将对实现中国的环境目标和气候目标都具有重要意义。

#### 3.5.1 能源领域协同治理的当前政策与措施

在中国，化石能源消费已成为大气污染物和温室气体排放的最主要来源。快速的工业化和城市化使得中国能源消费总量从2000年的10.3亿toe迅速增加到2018年的32.5亿toe，年均增长率高达6.6%。

中国在“十三五”期间出台了許多政策措施加速能源供给结构和产业结构的优化,要求“2020年非化石能源、天然气和煤炭消费分别占一次能源消费总量的15%以上,超过10%和58%以下”。

中国GDP的能源强度在2005年达到峰值后,在气候政策的干预下不断呈下降趋势。2005-2017年期间,中国GDP能源强度累积下降了39.6%,年平均下降率达到4.3%。这些成绩与中国不断推进能源效率提升和能源结构优化的努力是分不开的。2008年至2018年,全国燃煤发电(含厂用电)的平均效率从345克标准煤每千瓦时(gce/kWh)下降到308 gce/kWh,同期天然气和非化石能源在全国能源消费中所占份额分别从2.2%和7.5%提高到7.3%和14.3%,煤炭所占份额也从72%降至59%。

在一系列控制煤炭消费量措施的干预下,中国2005以来关闭小火电机组带来的煤炭节约量超过9.5亿吨。这也意味着减少了约1518万吨SO<sub>2</sub>排放和超过20亿吨CO<sub>2</sub>排放(Yang and Teng, 2018)。中国能源转型有效地遏制了能源相关污染物和二氧化碳排放的过快增长。

2017年,国家发改委编制了《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录(2016版)》(国家发改委,2017),加速能源结构调整,促进中国战略性新兴产业的稳定增长。从实施效果看,能源与产业结构调整的目标将超额完成。产业结构调整方面,2017年规模以上工业战略性新兴产业增加值同比增加11%,高技术制造业增加值增长13.4%,占规模以上工业增加值的12.7%。

在提高能效方面,2018年国家发改委在《国家重点节能低碳技术推广目录》中公布了13个行业的260项节能技术。2017年发布了《循环发展引领行动》,对加快发展循环经济做出指导。交通行业也在2017年先后发布了《推进交通运输生态文明建设实施方案》《关于全面深入推进绿色交通发展的意见》,全面推进绿色交通基础设施建设,推广清洁高效的交通装备和运输方式创新。

为加快能源转型,中国自2014年起实施了能源消费革命、能源生产革命、能源技术革命、能源体制革命、全面加强国际能源合作“五位一体”的能源发展战略。通过节约能源、提高效率、建立多种能

源供应体系、推进技术创新、促进能源市场的有效竞争、加强国际能源合作,进一步提高公众的节能减排意识,有效遏制能源消费的过快增长。该战略还促进了绿色低碳能源技术的研发、扩散和投资,从而加速了中国能源结构的去碳化。作为能源改革的重要组成部分,节能提高能效和能源结构的去碳化将共同降低中国的化石燃料消耗,改善中国的空气质量,为建设“美丽中国”,积极参与全球气候治理,履行国际减排承诺奠定坚实的基础。

### 3.5.2 能源领域协同治理的未来发展

党的十九大报告提出了到2035年基本实现社会主义现代化的目标。届时,环境质量根本好转,美丽中国的目标基本实现。2035年实现社会主义现代化的目标与《巴黎协定》下落实2030年国家自主决定贡献目标在时间上高度重合。

中国在2016年颁布了《能源生产和消费革命战略(2016-2030)》,提出中国要在2030年初步构建清洁、低碳、安全、高效的现代能源体系,要以此显著改善生态环境质量,大幅削减各种污染物排放、有效防治水、土、大气污染,促进能源与环境绿色和谐发展。该战略确立了2030年能源消费总量控制在60亿吨标准煤以下、非化石能源发电占总电量比重达50%,非化石能源占一次能源消费总量的20%左右,天然气占比达15%左右的能源结构优化目标,实施严格控制和减少煤炭消费总量的目标和措施,确保2030年单位GDP的二氧化碳强度比2005年下降60-65%,2030年左右二氧化碳排放总量达峰并努力早日达峰的NDC目标实现。到2030年水电、风电、太阳能发电装机均将超过5亿千瓦,单位GDP的二氧化碳强度年下降率将提升到5%左右,在保障届时4.0—5.0%GDP潜在增长率的情况下,实现二氧化碳排放早日达峰。同时加强化石能源利用的污染防治措施和末端治理手段,我国2030年前后以京津冀为代表的城市和城市群PM<sub>2.5</sub>浓度具有可行的途径达到35 μg/m<sup>3</sup>的现行空气质量标准目标(Tong, Geng et al. 2019),体现了减排二氧化碳与改善环境质量的协同对策和协同效应。

党的十九大报告还指出,中国将在2035-2050年实现社会主义现代化建设第二阶段目标,到2050

年建设富强、民主、文明、和谐、美丽、自由的社会主义现代化强国。届时人们生活环境全面好转，“美丽中国”全面建成。实现该长期目标与全球努力实现本世纪中叶深度脱碳的目标在时间上一致。

建设绿色、低碳的现代能源体系是实现上述两个长期目标的重要抓手，可在实现空气质量改善和减少温室气体的协同目标方面发挥十分重要的作用。截止目前，中国政府尚未正式颁布面向2050年能源中长期发展规划，但在《能源生产与消费革命战略(2016-2030)》中勾勒出中国2050年能源改革和低碳发展前景：即到2050年中国能源消费将稳定在60亿吨标准煤以下，非化石能源在一次能源消费中的占比份额将超过50%，煤炭占比将降至20%以下。基于此进行粗略测算，2050年的二氧化碳排放量可比排放峰值减少约50%（何建坤，2018）。目前，为了进一步落实《巴黎协定》提出的努力将全球升温控制在工业革命前2°C以下，中国正在努力地实施更加严格的脱碳政策，全面推进以新能源和可再生能源为主体的现代化零碳能源体系建设。这也将进一步有效遏制SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和PM<sub>2.5</sub>等污染物排放。现代零碳能源体系将是中国2050年PM<sub>2.5</sub>浓度降至15μg/m<sup>3</sup>目标的根本性举措（Li et al., 2019）。

## 3.6 中国终端部门的协同案例

### 3.6.1 电力部门

在中国，煤电是温室气体和空气污染物的主要来源。电力部门要实现协同治理，主要的措施集中于两个方面：发电结构的优化和发电效率的提升。其中，发电结构的优化主要通过降低煤电的占比，提高可再生能源发电的比例来实现；发电效率的提升要通过煤电机组的升级改造，“上大压小”，淘汰落后小机组，新建大机组持续降低发电煤耗。

在提升发电效率方面，如果中国在2015-2030年采取小型低效火电机组提前淘汰政策（早于正常40年服役寿命），可以使2030年大型机组（600MW）的占比超过80%。相比机组正常40年淘汰的情景，小型低效机组提前淘汰带来的发电效率提升可以实现SO<sub>2</sub>减排25%左右，CO<sub>2</sub>减排5%左右（Tong et al., 2018）。

在优化发电结构方面，如果到2030年实现非

化石能源发电在总发电量中的比例提升到50%，电力结构的优化和发电效率提升可实现单位发电量的CO<sub>2</sub>和SO<sub>2</sub>比2015年减排1/3左右。而若在2030年实现太阳能光伏发电装机达400 GW时，可以减少全国范围内4.2%的CO<sub>2</sub>排放以及避免1.2%的空气污染导致的过早死亡（Yang et al., 2018）。当电力部门中的煤-生物能源气化系统装机达到410MW时，可以实现CO<sub>2</sub>减排9.3%，PM<sub>2.5</sub>减排12%（Lu et al., 2019）。

### 3.6.2 工业部门

中国的工业部门是能源消耗最多的部门，同时也是能源强度最高的部门。工业部门的协同治理主要包括两方面的措施：一是通过技术升级降低能源需求，二是通过燃料替代提高清洁能源占比。例如2017年水泥行业能效对比中，能效领跑企业的熟料综合能效达到95.7 kgce/t，提前3年完成《建材工业发展规划（2016-2020年）》中105 kgce/t的指标，体现了较大的能效提升潜力。

研究表明，在2030年钢铁需求量6.4亿吨的情况下，如果废钢的回收率提高50%，则可以回收1.9亿吨废钢，与不采取任何节能措施延续当前发展的基准情景相比，可以实现CO<sub>2</sub>减排6770万吨的同时，实现SO<sub>2</sub>减排11万吨，NO<sub>x</sub>减排2万吨，PM<sub>10</sub>减排3万吨。同时，还可以带来巨大的健康效益和经济效益，包括避免因空气污染导致的早逝28500~71000人，避免经济损失3.86~8.54亿美元（Ma et al., 2016）。

### 3.6.3 交通部门

近年来，随着汽车保有量的快速增长，特别是城市人口中汽车保有量的增长，汽车运输业的能源消耗迅速增加，导致大量排放空气污染物和温室气体。通过采取能效提升和运输结构优化相结合的方式可以减少交通部门的碳排放，减少大气污染物的排放改善环境质量。能效提升方面，客运公路运输，货运公路运输，水运，民航，私人交通，铁路和公共交通的单位周转能耗可实现每五年下降3%，7%，6%，4%，1%，0.1%和0.1%。运输结构优化方面，可减少私人汽车和出租车的使用，促进公共交通发展，提高新能源汽车的使用和铁路电动机的占比。对以上能效提升和

运输结构优化措施的实施效果分析表明,通过提高能效和优化运输结构在2050年相比基准情景(能效和交通运输结构仍然维持在2010年水平)可以分别实现CO<sub>2</sub>减排38%和35%,同时避免了12万人和10.2万人因空气污染导致的过早死亡(Liu et al., 2018)。

### 3.6.4 民用部门

民用部门能源消费中建筑能源消费对中国环境治理和应对气候变化形成了巨大压力。通过燃料

替代解决中国广大农村地区散煤的使用将是民用部门实现环境气候协同治理的关键。对民用部门燃料替代的效益分析显示,用天然气取代所有城市和郊区商业活动中的煤炭的消费,用液化石油气和风力发电取代农村炊事活动中使用的煤和生物质燃料,可以实现巨大的空气和健康改善效益。在2010-2030年期间采取这些替代燃料措施可以将与空气质量相关的过早死亡人数减少4%,室内空气污染的死亡率降低31%(Liu et al., 2018)。

### 参考文献

- Liu, J., Kiesewetter, G., Klimont, Z., Cofala, J., Heyes, C., Schopp, W., Zhu, T., Cao, G., Sanabria, A.G., Sander R., Guo, F., Zhang, Q., Hguyen, B., Bertok, I., Rafaj, P. and Amann, M. 2019. Mitigation pathways of air pollution from residential emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei region in China. *Environment International* 125, pp. 236-244. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.09.059> (accessed 29 August 2019).
- Liu, L., Wang, K., Wang, S., Zhang, R. and Tang, X. 2018. Assessing energy consumption, CO<sub>2</sub> and pollutant emissions and health benefits from China's transport sector through 2050. *Energy Policy* 116(C), pp. 382-396. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.02.019> (accessed 29 August 2019).
- Li, M., Zhang, D., Li, C-H., Mulvaney, K.M., Selin, N.E. and Karplus, V.J. 2018. Air quality co-benefits of carbon pricing in China. *Nature Climate Change* 8, pp. 398-403.
- Li, N., Chen, W., Rafaj, P., Kiesewetter, G., Schoepp, W., Wang, H., Zhang, H., Krey, V. and Riahi, K. 2019. Air Quality Improvement Co-benefits of Low-Carbon Pathways toward Well Below the 2. C Climate Target in China. *Environmental Science and Technology* 53(10), pp. 5576-5584.
- Lu, X., Cao, L., Wang, H., Peng, W., Xing, J., Wang, S., Cai, S., Shen, B., Yang, Q., Nielsen, C.P. and McElroy, M.B. 2019. Gasification of coal and biomass as a net carbon-negative power source for environment-friendly electricity generation in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116(17), pp. 8206-8213. <https://doi.org/10.1073/pnas.1812239116> (accessed 29 August 2019).
- Ma, D., Chen, W., Yin, X. and Wang, L. 2016. Quantifying the co-benefits of decarbonisation in China's steel sector: An integrated assessment approach. *Applied Energy* 162, pp. 1225-1237.
- Nam, K.M., Waugh, C.J., Paltsev, S., Reilly, J.M. and Karplus, V.J. 2013. Carbon co-benefits of tighter SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> regulations in China. *Global Environmental Change* 23(6), pp. 1648-1661.
- Tong, D., Geng, G., Jiang, K., Cheng, J., Zheng, Y., Hong, C., Yan, L., Zhang, Y., Chen, X., Bo, Y., Lei, Y., Zhang, Q. and He, K. 2019. Energy and emission pathways towards PM<sub>2.5</sub> air quality attainment in the Beijing-Tianjin-Hebei region by 2030. *The Science of the Total Environment* 692, pp. 361-370. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.218> (accessed 29 August 2019).
- Tong, D., Zhang, Q., Liu, F., Geng, G., Zheng, Y., Xue, T., Hong, C., Wu, R., Qin, Y., Zhao, H., Yan, L. and He K. 2018. Current Emissions and Future Mitigation Pathways of Coal-Fired Power Plants in China from 2010 to 2030. *Environmental Science and Technology* 52(21), pp. 12905-12914.
- Tsinghua University. 2017. How to Reach Air Quality Standard of PM<sub>2.5</sub> in China by 2030 - a numerical simulation discussion based on energy and end-of-pipe control scenarios. Energy Foundation (China Office).
- Wang, H. and He, J. 2019. China's pre-2020 CO<sub>2</sub> emission reduction potential and its influence. *Frontiers in Energy* 13(3), pp.571-578. <https://doi.org/10.1007/s11708-019-0640-0> (accessed 29 August 2019).
- Xi, J. 2014. *The Governance of China, Volume 1*. ICP Intercultural Press.
- Yang, J., Li, X., Peng, W., Wagner, F. and Mauzerall, D.L. 2018. Climate, air quality and human health benefits of various solar photovoltaic deployment scenarios in China in 2030. *Environmental Research Letters* 13(6), 064002. <https://penstate.pure.elsevier.com/en/publications/climate-air-quality-and-human-health-benefits-of-various-solar-ph> (accessed 29 August 2019).
- Yang, X. and Teng, F. 2018. Air quality benefit of China's mitigation target to peak its emission by 2030. *Climate Policy* 18(1), pp. 99-110. <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1244762> (accessed 29 August 2019).
- 国家统计局, 2019, 中国统计摘要 2019. 中国统计出版社。
- 国家发展改革委, 2019, 战略性新兴产业重点产品和服务指导目录(2016版)。中国统计出版社。 [http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201702/t20170204\\_837246.html](http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201702/t20170204_837246.html) (2019.8.29)
- 国务院, 2013, 国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知。中国统计出版社。 <http://www.jingbian.gov.cn/gk/zfwj/gwywj/41211.htm> (2019.8.29)
- 国务院, 2017, 国务院关于印发“十三五”节能减排综合工作方案的通知。 [http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201701/t20170105\\_834501.html](http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201701/t20170105_834501.html) (2019.8.29)
- 国务院, 2018, 国务院关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知。 [http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/03/content\\_5303158.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/03/content_5303158.htm) (2019.8.29)
- 何建坤, 2018, 新时代应对气候变化和低碳发展长期战略的新思考, 武汉大学学报(哲学社会科学版) 71(4), pp.13-21.

## 第四章 国际案例

### 4.1 引言

本章关注智利、芬兰、挪威、英国、加纳和墨西哥的协同治理案例。在这些案例中，政府对空气、气候和环境污染采取了一体化的解决方案。尽管这些国家处于不同的经济发展阶段，关注点也有所不同，但普遍愿意在气候和空气污染方面采取协同治理的措施和行动。这些国家通过在综合框架下系统评估气候和空气污染的影响，力求统筹实现《2030年可持续发展议程》以及《巴黎协定》的目标。

### 4.2 案例研究

#### 4.2.1 智利

智利长期以来致力于探索改善国内空气质量并实现国际气候治理目标的一体化政策。2013年，智利加入了气候与清洁空气联盟(CCAC)，力求提高应对气候变化与空气质量政策之间的协同度。

20世纪90年代，圣地亚哥首都大区颁布《首都大区污染治理计划》，旨在减少交通运输部门的污染排放(Ministry of Environment of Chile, 2014)。该计划通过实施柴油脱硫以及提高车辆排放标准，使得圣地亚哥PM<sub>2.5</sub>年平均浓度比1992年减少近70%。尽管该计划已取得突出成效，但人口的增长和车辆拥有量的增加意味着该计划必须定期更新，不断提高排放标准，才能维持或加速空气质量的改善。2017年该计划再度更新时，特别关注了改善空气质量所产生的气候协同效益，例如在努力降低PM<sub>2.5</sub>浓度的同时降低当地较高的黑碳排放量。2017年，智利还出台了一项新的“绿税”，旨在减少主要工业源的温室气体和空气污染物排放(专栏4.1)。

2015年智利提交《巴黎协定》的国家自主贡

献就是一个气候与空气污染协同治理的典型案列。智利认识到，通过将黑碳纳入其2015年国家自主贡献中，可以减少短寿命气候污染物排放，获得可持续发展、城市空气质量改善和应对气候变化的多重效益(Government of Chile, 2015)。在2015年承诺的基础上，智利将在其最新的2020年国家自主贡献中纳入量化的黑碳减排目标。

#### 专栏4.1 智利的绿税

2017年智利政府出台绿税，以减少来自大型排放源及新轻型和中型客运车辆的空气和气候污染物排放(Departamento de Estudios, 2018)。智利政府还建立了排放报告和验证机制，包括一系列监管手段和测量协议。对于大型工业排放源，绿税根据颗粒物(PM)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、二氧化硫(SO<sub>2</sub>)和二氧化碳(CO<sub>2</sub>)的年度总排放量收取费用。颗粒物、氮氧化物、二氧化硫的税率基于许多变量，包括每种污染物的局部环境浓度、排放源影响人数及排放影响的社会成本。二氧化碳排放的税率定为每吨5美元。

据估计，2018年4月绿税涉及的公司为其二氧化碳排放支付了约1.68亿美元的费用，其中79%来自煤炭燃烧。颗粒物、氮氧化物、二氧化硫的排放也带来2300万美元的税收。

新轻型和中型客运车辆的购置税依据车辆的城市燃油效率及氮氧化物排放量征收。2017年，汽车绿税缴纳额共计0.99亿美元，其中40%来自柴油车，60%来自汽油车。与2015年相比，智利车辆平均氮氧化物排放量下降了10.5%。

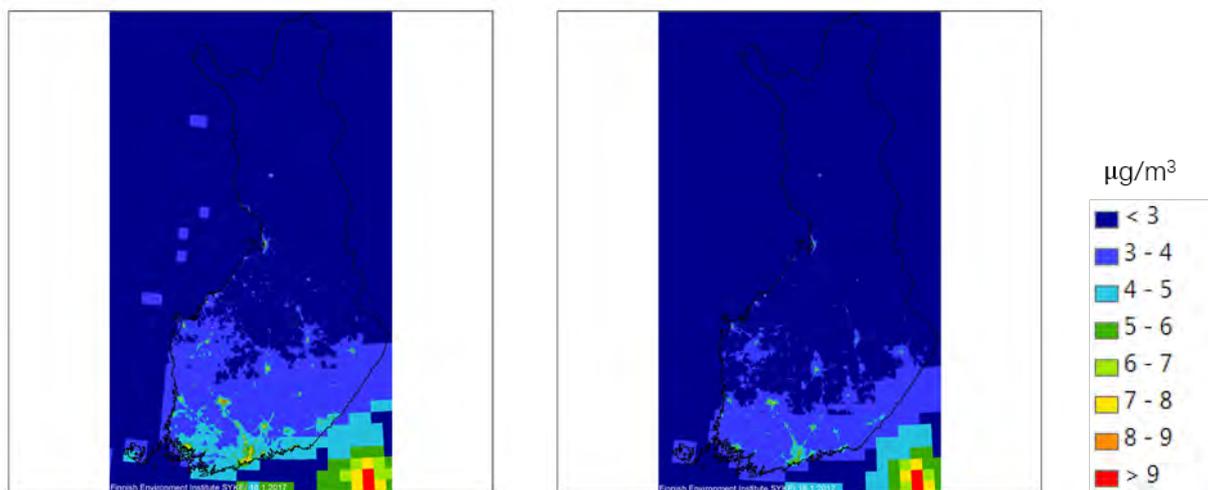


图4.1 基于芬兰国家气候战略和政策规划的健康影响评估：2015年PM<sub>2.5</sub>浓度（左）和2030年额外气候措施情景（右）  
资料来源：(Karvosenoja et al., 2017)

\*过早死亡在现行法规与额外措施之间的主要区别是由于电动汽车和汽油车数量增加，交通方式的变化（例如骑自行车和步行增加），以及车辆效率的提高。

智利的这些实践表明，协同治理政策已经渗透到各级政府的行动中，有效地影响了国内和国际政策，并且整合了空气污染和气候变化两大阵营的力量。对于智利这类发展需求巨大、空气污染问题严重、温室气体排放相对较低的国家而言，政治、经济和社会问题的优先级变化会极大地影响其国内气候政策。各级政府和相关部委如果能统筹规划气候、空气质量和发展议程，可以有效改善政策的协调性，使其免受政治焦点转移的影响。

#### 4.2.2 芬兰

2016年，芬兰环境研究所(SYKE)对芬兰《国家能源与气候战略》(Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland, 2017)和《中期气候变化政策规划》(Ministry of Environment of Finland, 2017)开展了环境影响评估研究，主要目的是评估两项政策对PM<sub>2.5</sub>、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、非甲烷挥发性有机化合物(NMVOCS)、黑碳(BC)等空气污染物排放的影响，以及PM<sub>2.5</sub>浓度变化对公众健康的影响。芬兰环境研究所曾在2005年、2008年和2013年开展过类似的环境影响评估。

关于《国家能源和气候战略》，仅有2013年

战略纳入了空气污染物减排目标，2016年战略第一次对健康影响进行了详细评估。评估采用“芬兰区域排放情景模型(FRES)”，发现无论是战略还是政策规划，都不会大幅减少国内黑碳排放量(Karvosenoja, 2008)。而且无论气候政策如何，芬兰黑碳排放量均会从2015年的5300吨减少至2030年的3400吨。类似地，这两项政策对于PM<sub>2.5</sub>暴露所导致的过早死亡也影响不大。

然而，该研究确定了住宅木材燃烧是芬兰PM<sub>2.5</sub>排放的最大来源，也是引起健康问题的最主要原因(表4.1)。住宅木材燃烧通常被认为是一种气候友好的供暖方法，但是本研究 and 类似研究发现其负面的健康影响，导致芬兰开始重视对这一排放源的控制。

这项研究结果成为“芬兰国家空气污染控制项目(NAPCP)”的基础。“芬兰国家空气污染控制项目”是芬兰为落实欧盟的国家排放上限指令(指令编号2016/2284/EU)而启动的一项工程。它通过采取一系列措施，目的是减少住宅木材燃烧排放及其影响，包括开展公共宣传活动，为居民提供指导，以及为污染区地方官员提供最新指南。同时，芬兰还开始制定排放测量标准，以便为出台木质桑拿炉排放标准提供参考。

表4.1 芬兰PM<sub>2.5</sub>导致的过早死亡

死亡原因	2015	既有气候措施		附加气候措施*	
		当前人口	2030年预计人口	当前人口	2030年预计人口
能源生产和工业	9	7	8	7	8
小规模燃烧	205	186	208	186	208
公路交通	77	11	13	10	11
机械和越野运输	74	10	12	10	12
交通尘埃	55	58	67	53	61
其他来源	53	55	64	55	64
芬兰来源合计	473	327	372	321	364
远程来源	961	834	931	834	931
总计	1434	1161	1303	1155	1295

资料来源：Karvosenoja et al. (2017)

该案例研究表明，即使在芬兰这样空气质量相对较好的国家，气候、空气污染和健康影响的综合评估研究也能对公众舆论和政策制定产生重要影响。这项研究在国家气候政策评估中纳入了公众健康影响指标，因而提高了公众意识，改善了芬兰的国家空气污染控制项目。

#### 4.2.3 挪威

2013年，挪威环境局代表环境部发布了一项研究成果，该研究针对挪威短寿命气候污染物，综合评估其减排措施在短期和长期内所产生的气候、健康和环境影响（Norwegian Environment Agency, 2013）。由于短寿命气候污染物对全球



图4.2 芬兰的小规模住宅木柴燃烧  
图片来源：HSY / Justiina Niemi

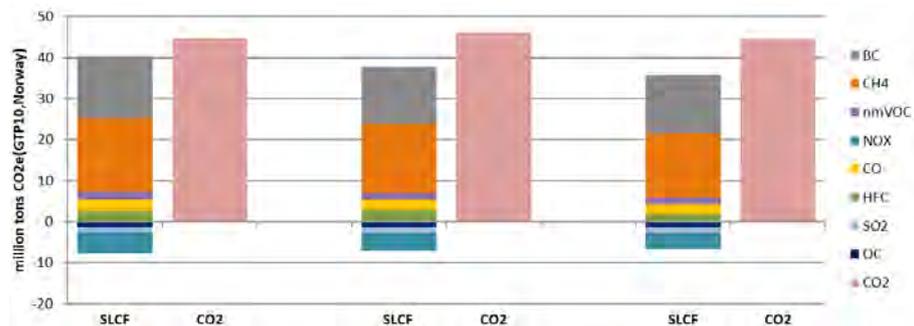


图4.3 挪威短寿命气候污染物排放与二氧化碳排放的全球气候影响（2011年、2020年和2030年）  
资料来源：Norwegian Environment Agency (2013)

气候的影响取决于排放源所在处，挪威环境局利用模型评估了挪威排放量对全球气候的影响。为了评估减排措施的短期成本效益（单位二氧化碳当量减排成本），这项研究采用了全新的气候度量标准“GTP10-Norway”。

研究发现，挪威每吨黑碳排放所产生的气候影响大约是全球平均水平的1.5倍，这主要是由于挪威靠近北极，容易形成冰雪层黑碳沉积(Hodnebrog et al., 2013)。挪威短寿命气候污染物排放的短期气候影响固然很大，但二氧化碳排放的短期气候影响高于短寿命气候污染物短期气候影响的总和。研究结果还表明，由于PM<sub>2.5</sub>对城市居民健康的影响，减少挪威的黑碳排放十分重要，且将健康收益纳入评估体系可以大大降低黑碳减排的社会经济成本。

这项研究没有评估温室气体的减排措施。鉴

于二氧化碳具有较高的短期气候影响，研究假设碳减排措施与短寿命气候污染物减排措施具有同等效益。因此，对短寿命和长期气候污染物的综合评估可能有助于全面了解这些措施对气候的净影响以及对健康的影响。

为了进一步说明这一问题，挪威环境局随后开展了几项综合研究，系统评估短寿命气候污染物和温室气体的减排效益。最新研究(Norwegian Environment Agency, 2019)发现，甲烷和黑碳减排措施的短期气候影响远大于长期影响。评估的具体措施包括减少食物浪费、减少石油生产部门的泄放、居民供暖采用更清洁的锅炉等。新的道路交通运输措施不会显著减少黑碳排放，因为现有气候和环境政策措施已经有望在2030年之前实现黑碳的近零排放。

气候措施综合评估对研究具有重要短期影响



图4.4 胡须海豹（Kongsfjorden, Spitsbergen地区）  
图片来源：Vigdis Vestreng

的措施比较有效,但对于实现长期气候目标却效果甚微。如果既要评估短期降低升温速度的措施,又要研究如何实现《巴黎协定》的长期目标,则需要更为全面的评估工具箱。在这种情况下,气候措施综合评估这种类型的分析工具可作为工具箱的一部分。

挪威历年来的温室气体研究都纳入了健康收益评估。政策措施的短期气候影响已经成为常规评估中越来越常见的一个指标。例如,挪威政府目前委托开展的一项温室气体减排措施研究就包括了对各项措施的短期气候评估。这项研究针对欧盟排放交易计划(EU-ETS)未涵盖的排放物,评估各种能够使挪威2030年排放量比2005年至少减少50%的政策措施。这项研究也对挪威的国际气候政策产生了影响。例如,挪威在其向联合国气候变化框架公约(UNFCCC)提交的第七次国家信息通报中加入了黑碳和有机碳排放情况的报告。此外,挪威2018年提交联合国气候变化框架公约塔拉努阿对话的文件中,呼吁采用多重收益法分析所有温室气体和短寿命气候污染物的短期和长期气候影响(Government of Norway, 2018)。

#### 4.2.4 英国

长期以来,英国的气候政策与空气质量政策整合度不佳,尽管这一情况最近开始改善。2008年颁布的《英国气候变化法案》(CCA)规定,2050年温室气体排放量要比1990年减少80%(UK Climate Change Act, 2008)。同时,英国还受到空气质量法规的约束,尤其是《欧盟空气质量指令》(Directive 2008/50/EC)和《国家排放上限指令》(Directive 2016/2284/EU)。

英国要实现《气候变化法案》所规定的大幅减排,能源和运输基础设施必须进行彻底的改革。尽管这些改革措施中许多可能会带来空气质量和公共卫生的实质性协同收益,但最近一项专门针对《气候变化法案》措施开展的综合评估发现,有些措施可能对空气质量和公共卫生产生重要的负面影响。这项研究模拟了三种未来情景:(i)除了目前商定的第四次碳预算行动之外,不采取其他气候行动;

(ii)限制核电建设,将2050年的核电容量上限设在当前水平;(iii)不设置核电建设的政策上限。

《气候变化法案》的减排目标,但情景(i)显然不能。在情景(ii)和情景(iii)中,生物质(木材)使用大幅提升,2035年达到峰值。要实现《气候变化法案》的减排目标,所有情景的关键因素都是车辆大量电气化,这可以促使城市二氧化氮浓度大幅降低(表4.2)。

虽然2050年PM<sub>2.5</sub>总浓度预计会大幅降低,但该研究发现,国内小规模木材燃烧的推广会大大增加PM<sub>2.5</sub>对人类的影响,并在2035年达到峰值。此外,研究发现PM<sub>2.5</sub>和二氧化氮排放量的增加对低收入人群的影响最大,并将持续到2050年(Williams et al., 2018)。生物质燃烧可能有益于减少二氧化碳排放量,但也要关注如何最大程度地减少其对空气质量和健康的不利影响。如果一定要利用生物质,那么最好在发电厂等大型装置中燃烧,这样燃烧效率更高,而且更方便减排技术的应用。

该研究强调了仔细评估气候减缓政策潜在利弊的必要性,以便在充分了解情况的前提下确定最佳的政策选择,实现多重收益,特别是对弱势群体的关照。尽管英国过去几乎没有采取过任何措施

表4.2 不同情景下二氧化氮和PM<sub>2.5</sub>浓度

	NO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )
2011	9.53-14.4	9.31
2050		
基准情景(i)	6.43-11.25	5.77
核电情景(ii)	2.55-7.08	5.36
低温室气体情景(iii)	1.33-5.65	5.20

资料来源: Williams et al. 2018

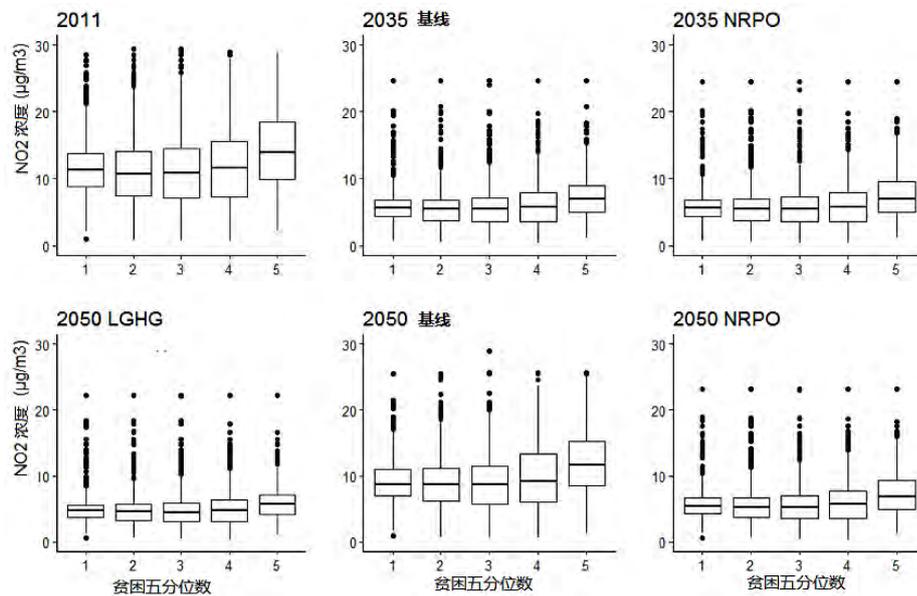


图4.5 2011年二氧化氮浓度分布，2011年基线和其他情景下的Carstairs 2011年贫困五分位数，其中1为最小贫困，5为最大贫困；NRPO为核电情景，LGHG为低温室气体情景  
资料来源：Williams et al. 2018

系统地评估协同效应并避免气候变化和空气污染政策之间的冲突，目前这一情况正在改善。英国政府于2019年1月发布了《清洁空气战略》(Defra, 2019)，其中一个战略就是减少家庭生物质燃烧，并进一步整合空气质量和气候变化的相关政策措施。例如，在《巴黎协定》影响下，2019年英国气候变化委员会发布了一份报告，阐明了实行净零气候政策的理由，强调量化评估更高减排方案的空气污染收益非常重要(UK CCC, 2019)。在英国首相特蕾莎·梅(Theresa May)任期的最后几天，英国政府修正了《气候变化法》。修正后的《气候变化法》大大加强了英国的温室气体减排力度，承诺到2050年二氧化碳当量净排放减少100%(Climate Change Act Amendment, 2019)。

#### 4.2.5 加纳

与其他中低收入国家一样，加纳也正在努力应对各种复杂的社会经济和环境问题。从长远来看，这些发展过程中的问题将随着空气污染和气候变化的加剧而变得更为严峻，对公共卫生和加纳人民总体福祉产生更大的负面影响。加纳的气候变化战略主要体现在其《国家气候变化政策》(NCCP)(MEST

of Ghana, 2012)和《国家自主贡献》(Government of Ghana, 2015)中。《国家气候变化政策》和《国家自主贡献》的总体目标是使加纳未来发展方向调整到可持续路径，实现经济增长、改善空气质量、减缓气候变化等多重目标。为了继续推进这些政策，加纳建立了协同治理气候变化和空气质量的战略(Government of Ghana, 2018)。

首先，加纳政府建立了一个跨学科、跨部委的工作组，这个工作组的使命是识别数据来源，并就使用哪些数据库和建模工具进行综合评估达成共识。事实证明，这一步至关重要，因为它促使各方商定了共同的情景和结果，反映了每个部门的政策实际情况，也有利于每个部委后期加快方案的实施并及时通报实施结果。财政部是工作组的重要参与者，因为财政部能够将已确定的减排措施迅速纳入其内外资源调动战略中。

该团队采用“远程能源替代计划综合收益计算器(LEAP-IBC)”模型，评估了所有温室气体和空气污染物的排放量，量化了加纳当前政策对气候变化、空气污染、公共卫生和农业生产的影响，并确定了加纳的政策优先级清单，这些政策用来落实加纳国家自主贡献所承诺的减排政策

表4.3 选定的减缓措施

排放情景	描述	减排措施
国家自主减排措施 (PAM+)	加纳2015年国家自主减排措施所包括的政策行动	用于烹饪的液化石油气 (LPG)
		太阳能系统
		减少森林燃烧
		沼气
		推广压缩天然气燃料公交车
		停止露天焚烧
		垃圾填埋气管理
		改良炉灶
		天然气发电
		环保电力
		高效木炭窑
针对短寿命气候污染物的其他措施(PAM++)	额外采用并有效实施短寿命气候污染物措施	优质家畜饲养
		车辆检测标准
		尖端炉
		塑料工业中的气体

(Government of Ghana, 2015) 和短寿命气候污染物的相关减排政策 (表4.3)。

通过评估加纳国家自主贡献减排承诺的多重影响, 该研究全面展示了加纳政策措施对近期空气质量、公共卫生、食品安全和避免气候变暖所能带来的实质收益 (图4.6)。同理, 分析表明针对短寿命气候污染物的空气污染防治措施, 在全面执行国家自主贡献措施基础上同时还能增加近20%的二氧化碳减排量。

实践证明, 这项研究结果成为政府规划和沟通的重要工具。这表明, 为实现地方发展而精心设计的行动也可以同时为减缓气候变化这一全球公益事业做出有意义的贡献。得益于跨部委工作组的协调, 这些研究结果引起了政府部门的广泛关注,

目前该研究所建议的部分措施已经开始实施。例如, 加纳已将柴油含硫标准从300 ppm降低到50 ppm, 并且在全国各地推广应用了200万多个家用清洁炉灶。

对一体化解决方案的重视也对加纳的国际合作和信息通报产生了积极影响。例如, 尽管作为发展中国家, 加纳按规定不必向UNFCCC提交排放清单或报告前体物和空气污染物排放情况, 但加纳向UNFCCC提交的第四次国家清单报告中依然包括了前体气体、短寿命气候污染物和空气污染物的排放, 因为这些物质“不仅影响到气候变化, 而且与人类生活、农业生产、生态系统和可持续发展都密切相关, 因此有着重要的意义和影响” (Ghana NIR4, 2019)。



图4.6 政策包的排放影响

资料来源: Government of Ghana (2018)

目前加纳政府重点关注如何确保这些措施都能够迅速有效地执行，并且努力寻找适当的资源促进其落实，以及开展执行效果的评估工作。

#### 4.2.6 墨西哥

墨西哥是拉丁美洲和加勒比海地区相对较早地认识到温室气体和短寿命气候污染物减排重要性的国家。近年来，墨西哥率先采取了协调一致的一体化战略应对温室气体和短寿命气候污染物减排。作为2012年气候与清洁空气联盟(CCAC)的共同创始人，墨西哥于2013年首次开展了全国温室气体和短寿命气候污染物的综合诊断。国家规划报告(INECC, 2013)的研究为墨西哥政策制定提供了支持。墨西哥在其首个国家自主贡献中设定了雄心勃勃的减排目标，并成为第一个建立黑碳量化减排目标的国家(2050年降低51%)。2013年，墨西哥首先批准了联邦级《气候变化法》(Ley General de Cambio Climatico)，2018年进行了最新修订，旨在协调不同公共政策和战略，加强国家和地方层面的气候变化适应和减缓行动。《气候变化法》要求成立一个跨部委气候变化委员会，主要目标是促进和协调各部委和联邦机构之间的气候变化行动与战略。墨西哥意识到短寿命气候污染物是导致气候变化的驱动因素之一，因此通过《国家气候变化战略》(Estrategia Nacional de Cambio Climatico)和《国家空气质量战略》(Estrategia Nacional de Calidad del Aire)形成了应对气候变化和改善空气质量的综合策略。协同治理必须在空气质量管理 and 州级气候变化行动的各种项目中明确体现。在这些项目中，同一排放源的减排策略需要带来空气质量、气候变化适应和健康等多重收益。

通过国家规划，墨西哥探索出了一条在空气质量、公共卫生、气候变化和能源效率方面实现多重收益的发展路径。墨西哥还开展了许多关于行业排放和不同减排策略潜在协同收益的研究。这些研究整体评估了空气质量和气候变化的综合因素如何影响健康、植被和生态系统，估算了排放行业实施不同减排措施收益。

交通运输行业，特别是大城市的交通，很早就被确定为重点减排领域之一(Molina and Molina, 2006)。墨西哥城已采取一系列行动改善其城市流动性，减少臭氧(O<sub>3</sub>)和颗粒物(PM)浓度及其对气候的影响。目前墨西哥城将城市交通电气化列为下一步行动的重点，并计划出台更严格的能效标准，这将有效促进黑碳减排。墨西哥还采用了多种家庭供热制冷和烹饪新技术，以及推广低污染燃料，目的是协同实现能效标准、室内健康影响、空气质量和减缓气候变化等挑战，并确保实现国家自主贡献所规定的黑碳减排目标。

2019年底，墨西哥将发布第二代国家规划，该规划提出了一系列有助于实现多重收益、同时实现国家减排承诺(CCAC-INECC, 2019)的新措施。这些新措施包括针对甘蔗业排放的具体建议——甘蔗业是墨西哥的第三大能源消耗产业，也是黑碳的主要排放源，尤其是燃料油和甘蔗渣<sup>3</sup>的燃烧。根据联邦政府及学术界开展的五项研究的建议，墨西哥估算了不同情景下带来最大协同效益的具体减排措施[CONUEE / CRE / GTZ, 2009], [INECC-BID, 2012], [CRUZADO, 2017], [CONUEE / EUEI PDF / GIZ, 2018], [Rojas, 2014]。这些措施包括：

安装控制系统以减少颗粒物排放。逐步推广效率高达90%的颗粒过滤器，2020年实现40%的工厂安装过滤器，2025年普及率进一步达到60%。

对蔗渣进行燃烧前干燥预处理以提高能源效率，将含水率从目前的50%降至41%或35%。

燃烧室蒸汽气压提高到42或65 bar，以提高产能效率。

研究评估了通过调整过滤器组合、降低含水率、提高压力水平而得到的九种具体措施。研究表明，最大限度减少黑碳排放的措施组合包括引入颗粒过滤器、将发电厂现场的甘蔗渣含水率降至41%，以及蒸汽压提高至65 bar。实施这些措施可使甘蔗业2030年黑碳排放量减少88%。

此类综合评估可以为寻找最佳减排方式提供专业的建议，不过关于实施过程中的实际障碍还需要开展更多的研究。经济效益估算将为行业转型和

3. 甘蔗压榨取汁后的残留物。

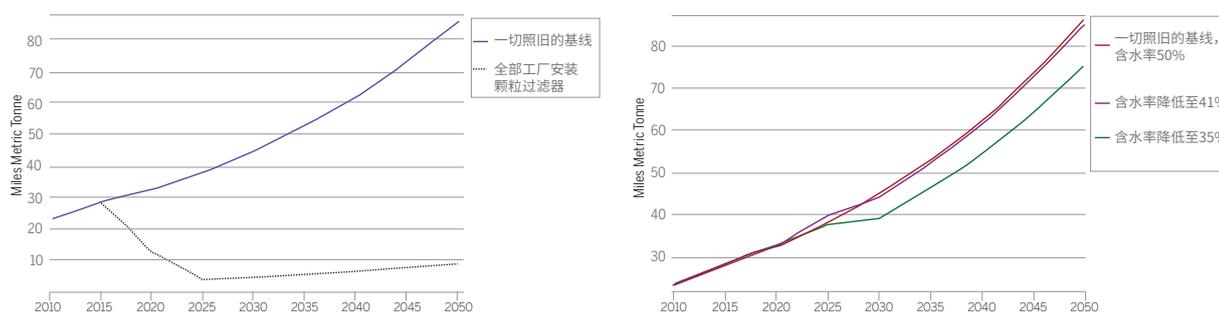


图4.7 通过2030年前全部安装颗粒过滤器（左）并将甘蔗渣含水率从50%降至41%和35%（右）来减少制糖业黑碳排放（2010~2051年）

资料来源：LEAP-IBC-Mexico

政策实施提供更切实的激励。

### 4.3 结论及政策启示

本章的国际案例表明，越来越多的国家将气候变化、空气污染与发展的协同治理视为一项关键战略，它不仅推动国内发展议程，同时能够实现可持续发展和气候变化等国际承诺。这些国家虽然处于不同的经济发展阶段，有不同的国内发展重点，采取了不同的方式进行一体化协同治理，但其良好实践和经验都值得借鉴。

每个国家都采用了不同的工具和方法对政策措施开展综合评估，研究减缓气候变化、健康、社会经济发展和实现可持续发展目标的协同效益。为确保采取协调一致的行动以带来最大收益并减少政策失败的风险，需要对所有空气污染物和温室气体排放进行综合评估。加纳和墨西哥案例均表明，对短寿命气候污染物和温室气体的综合评估能够减少联合排放，而挪威的案例则强调了综合评估在识别双赢和输赢局面中的作用。所有国家的案例都证明，综合评估有利于合理决策，也便于对决策实施情况加以监督。

对于许多国家而言，政府都高度关注改善空气质量和减缓气候变化所能产生的局部效益和直接效果，这也决定了它们未来提高减排力度的决心。在所有案例中，量化的公共健康影响都是采取行动的关键动力，即使在芬兰这样空气污染排放量相对较低的国家也是如此。英国案例的重要经验是强调政策措施的分配效应，特别是对社会经济

弱势群体造成的负担。

特定地方或区域对排放的脆弱性可以在政策制定中发挥重要作用，并且成为采取协同行动的动力。对于芬兰和挪威而言，北极地区容易受到黑碳和其他污染物排放的影响，这种脆弱性是协调气候变化和空气污染行动的关键动力。

挪威的案例强调了评估不同时间尺度的政策影响的重要性。研究发现，氮氧化物相关减排措施会导致短期变暖，但会带来健康和环境的收益。这个案例表明，尽管公共卫生近期收益是采取行动的重要诱因，但气候变化影响可以帮助政策制定者权衡不同目标，例如通过加强其他领域的行动来抵消负面影响，或者选择替代性政策以实现更好的正面效果。无论是哪种情况，这种分析都有助于提高决策者的判断能力，增强他们对资源投入的效果和效率的信心。

许多案例显示，跨部门合作或政府全面行动对实现持续有效的协同治理至关重要。以加纳为例，跨部门工作组的成立确保了用于综合评估的数据和方案的协调性，并且保障措施在全政府范围内得以迅速采纳和实施。墨西哥和挪威也建立了类似的跨部门工作组。智利的案例凸显了多利益相关方协作和多重效益评估方法的重要性，它可以确保政策被广泛接纳和持久有效，从而在一定程度上弥合理论分析与实际效果之间的巨大差距。

这些案例还表明，综合评估和协同治理是一个有效工具：它能够提高政策的成本效益和协调性，既节省公共资金，又提高政策的成功机率。通过对气候变化和空气污染措施的综合分析和效果跟

踪，能够得出双赢或赢输的解决方案。此外，此类分析还能识别出减排措施的多重收益，包括防止由于信息不完整而做出错误决策，帮助社会大众、企

业和政策制定者建立对减排措施的信心并支持这些措施，合理分配财政、技术和人力资源，说服政府官员采取果断而迅速的行动。

## 参考文献

CCAC-INECC. 2019. Estrategias integradas en contaminantes climaticos de vida corta para mejorar la calidad del aire y reducir el impacto al cambio climatico. Under review. Climate & Clean Air Coalit - Instituto Nacional de Ecologia y Cambio Climatico.

Climate Change Act. 2008, UK, Order 2019, 2050 Target Amendment. United Kingdom.

Defra. 2019. Clean Air Strategy 2019. Department for Environment, Food and Rural Affairs, United Kingdom.

Departamento de Estudios. 2018. Principales aspectos legales del Impuesto Verde a las Fuentes Fijas. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. Official Journal of the European Union, L 152/1.

Directive (EU) 2016/2284 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2016 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, amending Directive 2003/35/EC and repealing Directive 2001/81/EC. Official Journal of the European Union, L 344/1.

Hodnebrog, O., Aamaas, B., Berntsen, T.K., Fuglestedt, J.S., Myjre, G., Samset, and B.H. and Sovde, A. 2013. Klimaeffekt av norske utslipp av kortlevde klimadrivere, CICERO report to the Norwegian Climate and Pollution Agency (KLIF).

Government of Chile. 2015. Intended Nationally Determined Contribution of Chile Towards the Climate Agreement of Paris 2015. United Nations Framework Convention on Climate Change.

Government of Ghana. 2015. Ghana's Intended Nationally Determined Contribution and accompanying explanatory note. United Nations Framework Convention on Climate Change.

Government of Ghana. 2018. National Action Plan to Mitigate Short-lived Climate Pollutants. Republic of Ghana.

Government of Mexico. 2013. National Climate Change Strategy, 10-20-40 Vision. Federal Government of Mexico.

Government of Mexico. 2015. Intended Nationally Determined Contribution. United Nations Framework Convention on Climate Change.

Government of Norway. 2019. Talanoa-dialogue Norway. United Nations Framework Convention on Climate Change.

INECC. 2013. Apoyo a la Iniciativa de Planificacion Nacional sobre Contaminantes Climaticos de Vida Corta en Mexico. Molina Center for Energy and the Environment - Instituto Nacional de Ecologia y Cambio Climatico. (MCE2 - INECC). Mexico City, Mexico.

Karvosenoja, N. 2008. Emission scenario model for regional air

pollution. Monographs of the Boreal Environment Research 32.

Karvosenoja N., Savolahti M., Lanki T., Salonen R. and Tiittanen. Luku Vaikutukset ilmanlaatuun. Raportissa: Soimakallio S., Hilden M., Lanki T., Eskelinen H., Karvosenoja N., Kuusipalo H., Lepisto A., Mattila T., Mela H., Nissinen A., Ristimaki M., Rehunen A., Repo A., Salonen R., Savolahti M., Seppala J., Tiittanen P., Virtanen S. 2017. Energia- ja ilmastostrategian ja keskipitkan aikavalin ilmastopolitiikan suunnitelman ymparistovaikutusten arviointi (Environmental impact assessment of the Energy and Climate strategy and Medium-term Climate Change Policy Plan). Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 59/2017.

MEST of Ghana. 2012. Ghana National Climate Change Policy. Ministry of Environment, Science and Technology, Republic of Ghana.

Ministry of Environment of Chile. 2014. Planes de Descontaminacion Atmosferica Estrategia 2014-2018.

Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland. 2017. Government Report on the National Energy and Climate Strategy for 2030.

Ministry of Environment of Finland. 2017. Government Report on Medium-term Climate Change Plan for 2030 - Towards Climate-Smart Day-to-Day Living.

Mugica-Alvarez, V., Santiago-de la Rosa, N., Figueroa-Lara, J., Flores-Rodriguez, J., Torres-Rodriguez, M. and Magana-Reyes, M. 2015. Emissions of PAHs derived from sugarcane burning and processing in Chiapas and Morelos Mexico. Science of the Total Environment. DOI 10.1016/j.scitotenv.2015.04.089.

Norwegian Environment Agency. 2013. Proposed Action Plan for Norwegian emissions of short-lived climate pollutants. M98/2013.

Norwegian MTC. 2017. Meld. St. 33 (2016-2017) Report to the Storting (white paper), National Transport Plan 2018-2029. Norwegian Ministry of Transport and Communications.

Schreier, M., Mannstein, H., Eyring, V. and Bovensmann, H. 2007. Global ship track distribution and radiative forcing from 1 year of AATSr data. Geophysical Research Letters 34:17. <https://doi.org/10.1029/2007GL030664>.

Williams, M.L. 2012. Tackling climate change: what is the impact on air pollution? Carbon Management 3:5, pp. 511-519.

Williams, M.L., Lott, M.C.L., Kitwiroon, N., Dajnak, D., Walton, H., Holland, M., Pye, S., Fecht, D., Toledano, M.B. and Beevers, S.D. 2018. The Lancet Countdown on health benefits from the United Kingdom Climate Change Act: a modelling study for Great Britain. The Lancet Planetary Health 2(5), pp. E202-E213.

UK CCC. 2019. Net Zero: The UK's contribution on stopping global warming. UK Committee on Climate Change.

UK Climate Change Act. 2008. Part 1.1 The target for 2050.

## 第五章 结论与政策建议

### 5.1 结论

气候变化与空气污染是我们这个时代所面临的最大的环境挑战。近几十年的科学研究表明，气候变化与环境污染之间是紧密相联的。许多空气污染物会影响气候，并且通常与温室气体（例如二氧化碳）同根同源。这种高度关联性为协同治理气候变化与空气污染问题提供了契机，如果在制定政策和减排行动时充分考虑这种关联性，可以显著地增加收益并降低成本。气候与环境协同治理可以增强政策的可行性、连贯性和可持续性，并激发更强的减排雄心，因而可以显著地提高政策的效率。

尽管协同治理效益显著，但是由于各种原因，以前各国政府对气候变化和环境污染问题还是分别管理的。本报告中的案例和实践表明，越来越多的国家开始重视气候变化、空气污染与发展问题三者之间的协同治理，将之视为可以同时满足国际可持续发展和气候承诺及国内目标的关键战略。

通过发展支持协同治理的一系列政策、制度和管理办法，中国在同时实现环境和发展目标方面取得了明显的进展，例如限制了煤炭消费量，促进了非化石能源开发，限制了人均碳排放，并改善了空气质量。尽管仍然存在挑战，但中国经验已经证明，通过设定全国目标、建立气候和环境相关政府部门之间的合作决策机制、实施兼顾地区与行业差异的最佳政策，可以实现气候变化和空气污染的协同治理（参见第2章）。

来自智利、芬兰、挪威、墨西哥、加纳和英国的国际案例表明，气候与环境协同治理也正在全球范围内处于不同经济发展阶段的国家中迅速展开。这些案例表明，协同治理是一个反复的过程，而且实现气候、环境与发展目标协同治理的途径也是多样化的。

本报告中所提供的案例仅代表全球协同治理丰富实践经验中的一小部分。尽管这类案例数量不断增加，但目前尚未成为国际通行的做法。要成功地实现人类在气候、环境和可持续发展方面的共同目标，我们还需要继续探索协同治理理论和实践，从而在各行各业释放更大的减排雄心。

### 5.2 政策建议—国内篇

(1) 部署中长期协同战略，实现气候与环境双赢

中国应契合美丽中国、建设社会主义现代化强国、全球2度温升和NDC目标，制定中长期协同治理战略。这一战略应该与第十九届全国代表大会制定的目标——实现“一个经济富裕、政治民主、文化先进、社会和谐的国家”，建设“美丽中国”，保持高度一致。作为一项长期战略，“美丽中国”的目标分为两个阶段实现，第一阶段的目标是从根本上改善生态环境，在2035年时基本实现建成“美丽中国”的目标；第二阶段的目标是在2050年达到生态文明的新高度（IEA，2019）。

就中长期协同治理战略的目标而言，在2035年之前，中国应以国内环境治理目标促进气候变化治理，实现包括降低空气污染浓度在内的国内环境效益的最大化，同时实现《巴黎协定》下的国家自主贡献目标。从具体措施来看，中国应加快实现低碳和零碳能源系统的步伐，努力使经济增长与碳排放与常规空气污染物排放脱钩，尽快实现碳排放达峰。

2035年后，中国应以气候变化治理引领国内环境治理，战略重点转移到气候变化治理和逐步淘汰化石能源，做全球应对气候变化的贡献者和引领者，深化环境治理。该战略旨在通过深度脱碳来同时实现“美丽中国”的蓝图和全球气候行动目标。

(2) 建言“十四五”规划：扩大煤炭消费总量控制实施范围，推动沿海省市碳排放尽早达峰，鼓励能源密集型行业深度脱碳

“十四五”规划时期(2021-2025)对于实现可持续发展至关重要，也是实现能源系统转型、空气污染物和温室气体减排目标的关键时期。这些目标需要通过以下方式实现：一是在确保经济增长的同时，提高能源效率和调整产业结构，减缓能源需求的增长。二是发展可再生能源和新能源，如水电、风能、太阳能、生物质能和核能，优化能源结构，在确保能源供应的同时逐步减少化石能源占比，限制二氧化碳排放量。此外，还必须控制能源消费总量，特别是要加强煤炭消费总量控制。碳定价措施可以促进能源节约，激励对低碳技术的投资。

中国正在积极制定“十四五”规划，以设定2021-2025年的可持续发展目标。在这一时期，设定更高的气候环境目标和加速能源转型至关重要。“十四五”规划应考虑将当前的煤炭消费总量控制从污染最严重的地区扩展到更大的地理区域，并最终扩展至全国；加快能源系统的转型，推动东部发达沿海省市和八大高耗能产业率先实现碳排放达峰。

(3) 加快建设全国碳市场，扩大覆盖范围至全部重点排放行业

中国政府应发展碳定价机制，进一步完善全国碳市场。2011年中国在七个省市建立了碳市场试点，并于2017年12月正式启动全国碳市场，但目前仅覆盖了电力行业。接下来，全国碳市场应逐步扩大到其他行业，包括化工、石化、钢铁、建材、造纸、有色金属和航空业等。

(4) 利用政府职能转隶契机，全面提升生态环境部的协同治理能力

目前气候变化管理职能从国家发改委转移到了新成立的生态环境部。经过长期的努力，生态环境部已经建立了基于点源的全国性污染物监测网络和数据报送系统。气候变化管理职能重组为环境和气候变化协同治理提供了良好的契机，生态环境部可以趁此机会整合气候变化和空气污染的监测报送体系，将CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>等温室气体纳入污染物监测体系，改善空气污染物和温室气体的协同监管。

生态环境部应考虑将CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>等温室气体纳

入其清单编制和污染物监测体系中。此外，应建立监测数据共享机制，利用全社会的研究力量，促进科学研究和技术创新，实现公众监督，加强环境治理。另一方面，应该鼓励技术创新，例如利用传统的清单编制方法与点源实时测量方法相互验证以提升数据质量，使用大气测量气象反演方法与地面测量方法相互验证。对温室气体排放和大气污染物实现精准测量，为精准治理提供数据基础。

(5) 促进“绿色一带一路”倡议的协同治理

中国政府应提高“一带一路倡议”建设项目的的环境标准，加强环境与气候变化的协同治理。遵循“一带一路”绿色投资原则，强调投资者责任。同时，中国政府应加强海外投资项目监管，防止环境和气候的负面影响。另一方面，中国应通过国际合作，积极推动“一带一路”沿线国家的能力建设，防范气候和环境风险。面对“一带一路”沿线国家和地区脱困和发展的要求，中国可以提供包含资金、技术、规划在内的系统解决方案，共同走上低碳发展道路。

### 5.3 政策建议—国际篇

(1) 各国政府应持续探索和实践气候和环境的协同治理

面对前所未有的气候、环境和发展挑战，各国比任何时候都更加需要采取协同治理措施以实现多重收益。IPCC在《全球变暖1.5°C特别报告》中指出，实现《巴黎协定》的目标，“要在全球、区域、国家、地方、社区等各个层面实现1.5°C的温升控制目标和人类与自然系统可持续发展目标，涉及到更具包容性的进程、机构整合、充足的资金和技术，以及权力、价值、公平等种种议题，以及如何实现这些议题的协同效益最大化”（IPCC，2018）。正如本报告中的众多案例所示，许多政府正在积极探索协同治理的路径，这种努力应该持续进行并不断拓展。

各国应整合空气污染物和温室气体的清单及模型，以便于评估气候和空气治理政策和措施的效果。各国政府也可以相互合作，分享优秀的实践、工具和经验。目前有一些正式的公约和联合国机构

可以作为政府间合作平台，例如联合国环境大会、世界卫生大会、联合国气候变化框架公约等。各国政府也可以通过区域性公约和自愿伙伴关系进行合作，例如气候与清洁空气联盟。此外，还有一些地方政府和城市领导力的组织，例如“C40城市气候领导联盟”和“地方可持续发展协会”（中文简称“宜可城”，英文简称“ICLEI”），也有一些致力于改变政策和行为模式的全球性宣传项目（例如Breathe Life），这些都是支持协同治理和信息共享的机构和倡议。此外，各国政府还可以通过国际援助项目及双边或多边协议开展合作。

制定并提交《巴黎协定》下国家自主贡献为各国政府提供了重要的机会，来促进近期的气候与环境协同治理。为增强下一轮国家自主贡献的力度，各国可以综合评估减缓和适应气候变化政策的多重影响和收益，这样有益于释放实现《巴黎协定》所需的政治积极性。

2019年9月联合国秘书长组织召开的“全球气候行动峰会”也是一个良好的契机，各国可以展示其国家政治意愿的提升和经济政策动向，其中协同治理将是实现《巴黎协定》及可持续发展目标的关键措施。

(2) 国际和区域组织应促进国家及地区间的经验和资源共享

国际和区域合作在推动各国加强协同治理能力方面可以起到关键的作用。国际组织和区域机构应积极促进协同治理领域综合政策和良好实践的分享与交流，并通过综合工具的开发应用来支持各级政府的能力建设。合作平台可以帮助政府发现最适

合本地情况的协同治理策略。

气候组织及开发性金融机构需要发挥更大的作用，评估并公开所投资项目的多重收益，筹建专项资金支持协同治理项目融资。金融机构可以在新项目投资评估标准中设立多重收益指标，并要求已投资项目进行综合评估并报告其多重收益。例如，2013年绿色气候基金（GCF）提议，已资助的减缓气候变化项目除了要报告其温室气体减排量（吨），还要报告至少一项协同效益（GCF，2013）。通过要求所资助的空气污染协同控制项目同时报告温室气体减排和公共健康的预期效益，绿色气候基金促进了协同治理方法和工具在地方层面的推广。

(3) 将气候和空气质量治理策略的综合评估常规化，作为决策的有力支撑

气候和空气质量战略综合评估是具有巨大潜力的工具，能为决策者提供更为全面的信息，比较项目在不同时间段对全球温度和空气质量的影响。综合评估是开展协同治理的第一步，有助于政府统筹气候和空气质量方面的相关政策，发现能够最大程度改善公众健康并实现其它发展目标战略，同时有效地减少温室气体排、减缓近期和远期气候变暖的速度。

目前有很多可以帮助各国进行综合评估、支持政策制定的工具，例如智利、加纳和墨西哥综合规划中所采用的“长期能源替代计划综合收益计算器”（LEAP-IBC）（Kuylenstierna et al., 2017，以及智利、加纳和墨西哥联合开发的“多收益路径框架”（CCAC，2019）（参见第4章）。

## 参考文献

- CCAC. 2019. Multiple Benefits Pathway Framework. Climate & Clean Air Coalition. <https://www.ccacoalition.org/en/content/multiple-benefits-pathway-framework> (accessed 5 September 2019).
- IEA. 2019. *China power system transformation – assessing the benefit of optimized operations and advanced flexibility options*. International Energy Agency.
- IPCC. 2018. *Global Warming of 1.5°C*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/sr15/> (accessed 5 September 2019).
- GCF. 2013. *Business Model Framework: Objectives, Results and Performance Indicators*. Green Climate Fund. [https://www.greenclimate.fund/documents/20182/24934/GCF\\_B.04\\_03\\_-\\_Business\\_Model\\_Framework\\_Objectives\\_Results\\_and\\_Performance\\_Indicators.pdf/961512a9-1ba3-4023-a5e4-2aa4e48054bb](https://www.greenclimate.fund/documents/20182/24934/GCF_B.04_03_-_Business_Model_Framework_Objectives_Results_and_Performance_Indicators.pdf/961512a9-1ba3-4023-a5e4-2aa4e48054bb) (accessed 5 September 2019).
- Kuylenstierna, J.C.I., Heaps, C., Malley, C.M., Vallack, H.W. and Hicks, W.K. 2017. *The Long-range Energy Alternatives Planning – Integrated Benefits Calculator (LEAP-IBC)*. Factsheet. Stockholm Environment Institute. <https://www.sei.org/mediamanager/documents/Publications/SEI-Factsheet-LEAP-IBC-2.pdf> (accessed 5 September 2019).

## 附录 名词解释

### 大气污染防治行动计划

在大气污染形势严峻的情况下, 国务院于2013年印发了《大气污染防治行动计划》, 又称“大气十条”。该计划通过分别设定2017年和2020年的具体污染物减排目标, 制定了中国大气污染控制的路线图。大气污染防治的重点区域包括京津冀、长三角、珠三角地区。《大气污染防治行动计划》是中国制定的第一个国家层面的空气质量目标的行动计划。

### 大气污染防治法

《中华人民共和国大气污染防治法》于1988年通过, 1989年正式施行, 并于1995年、2000年、2015年、2018年分别修订。该法的目的是保护和改善环境, 防治大气污染, 保障公众健康, 推进生态文明建设, 促进经济社会可持续发展。该法在2015年进行了一次较大规模的修订, 针对大气污染的治理做出了更为严格的规定。

### 黑碳

黑碳是指一类基于光吸收、化学反应和/或热稳定性测量而定义的气溶胶物质。它有时被称为煤烟。黑碳主要由化石燃料、生物燃料和生物质的不完全燃烧形成, 但有时也会自然产生, 通常只在大气中停留几天或几周。黑碳是颗粒物中吸光能力最强的一类, 当沉积在雪或冰上时, 它通过吸收空气中的热量和降低反射率起到增温作用。

### 二氧化碳当量(CO<sub>2</sub>e)

二氧化碳当量是基于二氧化碳单位比较各种温室气体对自然温室效应影响的量度单位。它描述了在特定时间范围内, 对于给定的温室气体构成和数量, 相当于具有相同的全球变暖能力的二氧化碳的量。就本报告而言, 温室气体排放量(除非另有说明)是指《京都议定书》附件A中所列的一揽子温室气体的总和, 用100年全球变暖升温势的二氧化碳当量表示。

### 协同效应

针对一个目标的政策或措施可能会对其它目标产生的积极影响, 但没有包括对总体社会福利的净影响。协同效益往往存在不确定性, 并取决于当地情况和实施方法。协同效应通常被称为辅助效应。

### 节约能源法

《中华人民共和国节约能源法》该法于1997年通过, 1998年正式施行, 并于2007年、2016年、2018年分别进行修订。该法旨在为了推动全社会节约能源、提高能源利用效率、保护和改善环境、促进经济社会全面协调可持续发展制定的。该法对节能做出了一般规定, 并对工业、交通、建筑、公共机构、重点用能单位的节能做出规定, 鼓励节能技术进步, 明确了节能的激励措施和相关法律责任。

### 温室气体

温室气体是指导致全球变暖和气候变化的一类气体。主要的温室气体是二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)和一氧化二氮(N<sub>2</sub>O)。此外还有氢氟碳化合物(HFCs)、全氟化碳(PFCs)和六氟化硫(SF<sub>6</sub>), 虽然不太普遍, 但温室效应极强。

### 治理

治理是关于决定、管理、执行和监测政策和措施的各种手段的全面而包容的概念。虽然政府是严格按照民族国家来定义的, 但更具包容性的治理概念承认各级政府(全球、国际、区域、次国家和地方各级政府)、私营部门、非政府组织和民间社会对解决全球社区面临的诸多问题的贡献。

### 预期的国家自主贡献(INDC)

预期的国家自主贡献(INDC)来自各国递交的文件, 介绍了其为实现《巴黎协定》长期温度目标(将升温限制在2°C以下)而承诺做出的努力。一

个国家批准《巴黎协定》后，除非该国选择继续更新，否则其预期的INDC将自动转换为国家自主贡献（NDC，见下文）。

### 国家自主贡献（NDC）

国家自主贡献（NDC）是已批准《巴黎协定》的国家提交的文件，其中介绍了各国为实现《巴黎协定》的长期温度目标（将升温限制在2°C以下）而承诺做出的国家努力。2020年将提交新的或更新的NDC，此后每五年提交一次。因此，NDC代表了一个国家目前在全国范围内减少排放的雄心或目标。

### 巴黎协定

《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）下的《巴黎协定》于2015年12月在法国巴黎的UNFCCC缔约方大会（COP）第二十一次会议上通过。该协议由196个UNFCCC缔约方通过，并于2016年11月4日生效。截至2018年5月，已有195个签署国，并得到177个缔约方的批准。《巴黎协定》的目标之一是“将全球平均气温较工业化前水平升高幅度控制在远低于2°C的目标，并为1.5°C温控目标而努力”，同时认识到这将大大减少气候变化的风险和影响。此外，《巴黎协定》旨在加强各国应对气候变化影响的能力。该协定拟于2020年全面生效。

### 可再生能源法

《中华人民共和国可再生能源法》是为了促进可再生能源的开发利用、增加能源供应、改善能源结构、保障能源安全、保护环境、实现经济社会的可持续发展而制定的。该法在2005年审议通过，2006年1月正式施行，并于2009年修订。该法明确国家将可再生能源的开发利用列为能源发展的优先领域，通过制定可再生能源开发利用总量目标和采取相应措施，推动可再生能源市场的建立和发展。

### 海绵城市

海绵城市也被称为“水弹性城市”，指有能力将城市水资源管理纳入城市规划和设计的城市。海绵城市应具备适当的规划、法律框架和工具，以建

设或改造、维护、调整基础设施来存储和处理（多余）雨水。海绵城市不仅要解决“水太多”的问题，还要重复利用雨水，帮助缓解“水太少”或“水太脏”的问题。

### 可持续发展目标

联合国所有成员国于2015年通过了《2030年可持续发展议程》，为人类与地球的和平与繁荣提供了共同的蓝图。它的核心是17个可持续发展目标（SDGs），这是所有国家（无论是发达国家还是发展中国家）在全球伙伴关系中迫切需要采取的行动。可持续发展目标认识到，消除贫困必须与改善健康和教育、减少不平等和刺激经济增长的战略携手共进，同时需要应对气候变化、保护海洋和森林。

### 国民经济和社会发展五年规划

国家五年计划为中国未来五年的国民经济和社会发展设定总体目标。中央人民政府于1953年发布了第一个五年计划，最近的一个五年计划是第十三个五年计划。每一个五年计划的制定一般要经过两年多的时间。在此期间，国家发改委提出规划前期重大问题，向全社会公开招标，加上直接委托研究和发改委系统内部研究，选题大约有数百个之多，参与专家数千人、研究人员达上万人，形成几百万字的研究报告，上述研究成果直接为起草“五年计划”服务。在经过了课题研究阶段、思路形成阶段、规划纲要起草和专项规划形成阶段、广泛征求意见和充分衔接阶段后，最终定稿并提交全国人民代表大会讨论审议。

### 联合国气候变化框架公约

《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）于1992年5月获得通过，同年6月在巴西里约热内卢地球峰会期间开放签署。该协定于1994年3月生效，截至2018年5月，已有197个缔约方（196个国家和欧盟）。UNFCCC的最终目标是“将大气温室气体的浓度稳定在某一水平，从而防止人类活动对气候系统产生危险影响”。UNFCCC的具体规定通过《京都议定书》和《巴黎协定》两项条约执行。

扫码可下载报告电子版



