



中国科学院科技战略咨询研究院
Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences



中国城市空气质量达标规划评 估及强化措施研究报告

Assessment of Urban Air Quality
Attainment Plans in China and
Strengthening Measure Research Report

中国科学院科技战略咨询研究院

2021.9

关于作者

中国科学院科技战略咨询研究院：

张华威，刘大川，郭心怡，王溥，顾佰和，王毅

致谢

本研究由能源基金会低碳城市项目提供资金支持。

免责声明

- 若无特别声明，报告中陈述的观点仅代表作者个人意见，不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性，不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。
- 凡提及某些公司、产品及服务时，并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐，或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。

目 录

执行摘要.....	1
一、项目背景.....	3
1.1 空气质量达标规划的基本内涵.....	3
1.2 中国与欧美治理模式下空气质量达标规划的不同定位.....	3
1.3 城市空气质量达标与碳达峰、碳中和目标的协同效益.....	5
二、我国城市空气质量达标规划制定现状.....	6
2.1 我国城市制定空气质量达标规划的法律与政策依据.....	6
2.2 2013-2020 年全国主要污染物浓度达标情况.....	7
2.3 2020 年地级及以上城市空气质量达标情况.....	9
2.4 城市空气质量达标规划制定情况.....	11
三、我国多数城市未制定空气质量达标规划的原因分析.....	15
3.1 空气污染较严重城市普遍未制定达标规划.....	15
3.2 产业结构偏轻、地区生产总值较高城市制定达标规划比例较高.....	18
3.3 不同省份重视程度.....	21
3.4 部分城市重短期措施与效果，轻中长期规划.....	21
四、已制定的达标规划存在的问题分析.....	23
4.1 空气质量达标规划内容分析方法.....	23
4.2 空气质量达标规划内容分析.....	25
4.3 空气质量达标规划案例分析.....	27
五、城市空气质量达标路径与健康收益的定量分析.....	30
5.1 城市空气质量达标的路径分析.....	30
5.2 城市空气质量达标与碳达峰、碳中和的协同效益.....	48
5.3 城市空气质量达标的健康效益分析.....	51
六、推进实施城市空气质量达标规划面临的问题与挑战.....	61
6.1 城市达标规划制定比例过低，相关法律规定未被严格执行.....	61
6.2 现有城市达标规划大多形式大于内容，缺乏可操作性.....	61
6.3 多数城市当前空气污染治理中重短期措施，轻长期规划的问题突出.....	61
6.4 末端治理未来潜力有限，结构调整中跨部门协同不足.....	62

6.5 区域协同与联防联控有待加强	62
七、强化中国城市空气质量达标规划制定与实施的政策建议	63
7.1 细化达标规划相关法律法规，严格实施执法检查	63
7.2 出台达标规划编制规范，大幅提高达标规划的科学性与规范性	63
7.3 转变空气质量治理思路，由重短期措施改为短期措施与长期规划并重，实现我国空气质量稳定达标与持续改善	63
7.4 加强部门统筹协调，将城市空气质量达标与碳达峰、碳中和进行有效衔接	64
7.5 加强区域统筹协调，将城市达标规划与区域达标规划相结合	64
参考文献	65

执行摘要

城市空气质量达标规划通过将国家空气质量标准作为约束性指标，对城市的重点排放源提出有效治理措施，并对产业、能源与交通发展进行科学规划，从而使城市空气质量在限定时间内达标。在改善地方空气质量的同时，达标规划也会带来温室气体减排与产业绿色低碳转型的协同效益。我国法律法规明确要求，“生态环境质量不达标地区的市、县级政府，要于 2018 年年底制定实施限期达标规划，向上级政府备案并向社会公开。”但是到 2020 年底为止，在中国 337 个地级以上城市中，除 186 个 2020 年已达标城市不需要制定达标规划外，151 个未达标城市中发布空气质量达标规划的城市只有 38 个，仅占未达标城市的 25%。本报告梳理我国城市空气质量达标规划的制定进程，找到达标规划制定比例低的核心原因，分析空气质量达标的路径以及相应的健康收益，并提出通过制度设计与法律手段促进达标规划制定与实施的政策建议。

经分析发现，我国城市空气质量达标规划制定比例过低，相关法律规定未被严格执行。根据调研，未制定达标规划主要由以下原因导致：（1）部分经济发展较落后、产业结构偏重、能源消耗量大的城市从经济角度出发，认为短期内实现空气质量达标会造成较大经济与财政负担，从而不愿意出台达标规划。

（2）以华北地区为主的部分城市目前空气污染严重，距离达标差距大，预期达标日期过长，担心制定与公布达标规划之后产生不利的舆论影响。（3）部分省市仍存在对生态环境重要性认识不足的问题，空气质量在政府工作中处在次要位置，未给予足够的重视与相关的组织与财政资源保障。（4）我国目前《环境保护法》和《大气污染防治法》中对达标规划制定的相关描述过于简单，国家层面没有出台正式的达标规划编制要求与技术规范，导致法律执行效率低下，且缺少相关执法检查。此外，多数城市当前空气污染治理中重短期措施、轻长期规划，末端治理未来潜力有限、结构调整中跨部门协同不足，缺乏区域协同与联防联控等问题也较为突出。

通过对 55 份达标规划内容的详尽分析，发现现有达标规划普遍存在严重的“形式大于内容”的问题。大多数达标规划未能在准确的污染物排放清单与溯源分析的基础上，对未来排放情景与减排效果进行定量分析。对于末端排放治

理、产业结构调整、能源结构调整等具体治理措施，主要以笼统定性描述为主，缺乏分部门、分时段、针对重点污染源的定量减排措施。在能力建设与实施保障方面，未能明确相关措施的责任主体与相关奖惩措施。使用 GEOS-Chem 模型进行达标路径模拟发现，即使在高强度的减排措施下，要在 2035 年实现全国所有城市达标也将面临很大挑战。未来末端排放治理对污染物减排的贡献有限，必须通过产业结构、能源结构与产业布局的大幅调整实现重点区域城市的达标，而结构调整将带来显著的碳减排协同效益，因此可以在城市层面将空气质量达标与碳达峰、碳中和目标进行有机统筹。使用健康经济学模型的分析表明，城市空气质量达标将带来显著健康效益，城市平均健康效益价值可达城市 GDP 的 11%。

本课题建议我国出台与细化达标规划相关法律与规范，严格实施执法检查。

(1) 在《环境保护法》和《大气污染防治法》中进一步明确对地方制定空气质量达标规划的要求，限定城市在被划定为“未达标”状态两年之内完成并发布符合内容格式要求的达标规划，提高空气质量达标规划的法律地位，使达标规划政策制度化、规范化、程序化。(2) 国家层面出台正式的达标规划编制规范，对地方的规划编制内容与格式进行明确要求；提高达标规划编制单位的资质门槛，从而提升地方达标规划的规范性与科学性。(3) 要求生态环境部与省生态环境厅分别对直辖市、地级市规划内容进行事前审批和规划执行的事后评估，增强达标规划的可行性以及执行的权威性。(4) “十四五”是实现 2030 年碳排放达峰与 2035 年空气质量达标的关键时期，建议全国人大以及省级人大对达标规划相关法律开展年度定期执法检查，确保全国所有市级政府在“十四五”期间完成达标规划的编制与发布。此外，我国需要在“十四五”期间转变空气质量治理思路，由重短期措施改为短期措施与长期规划并重，实现全国空气质量稳定达标和持续性改善；加强部门统筹协调，将城市空气质量达标与碳达峰、碳中和进行有效衔接；加强区域统筹协调，将城市达标规划与区域能源规划、产业发展布局规划相结合。

中国城市空气质量达标规划评估及强化措施研究

一、项目背景

1.1 空气质量达标规划的基本内涵

城市空气质量达标规划是实现地方空气质量改善的重要政策手段。空气质量达标规划通过将国家空气质量标准作为约束性指标，对城市的重点排放源提出有效治理措施，并对产业、能源与交通发展进行科学规划，从而使城市空气质量在限定时间内达标。一个典型的城市空气质量达标规划通常包括以下几方面的内容：（1）城市空气质量现状和污染源排放清单分析；（2）污染物排放形势预测；（3）分部门、分时段减排措施与减排潜力分析；（4）模拟预期减排量可实现的空气质量改善效果；（5）评估减排的社会经济成本与收益；（6）制定城市空气达标期限与阶段目标；（7）制定相关实施保障政策。

为了保障达标规划的实施与目标达成，需要一系列立法、科技、经济与制度的支持。首先，规划必须具有立法依据，在法律层面上规定规划编制、审批、执行、评估、问责与惩罚的规范性程序¹。第二，规划的制定需要保证科学性、技术可行性与经济有效性。达标规划的制定应建立在对可获得的最佳数据的科学分析基础之上，需要数据、软件、模型分析等一系列科技支撑²。空气质量改善行动方案（包含产业和能源结构调整措施、末端排放治理措施、产业布局调整措施等）的制定需要考虑多方面因素，反复验证方案中措施的减排效果，以实现在最经济的条件下达到空气质量标准的目标。第三，达标规划的制定需要政府、排污企业和公众共同参与，确保规划内容的信息公开和公众意见表达³。第四，达标规划的执行需要相应的财政保障，明确相关措施的责任人，以及明晰的管理体制和实施机制。

1.2 中国与欧美治理模式下空气质量达标规划的不同定位

欧美国家经验表明，有法律约束力的空气质量达标规划是改善地方空气质量的有效手段⁴。在美国与欧盟，以联邦立法设立空气质量标准，要求州/成员国制定限期达标规划，并通过司法追责确保达标规划的实施与达成的治理框架，

是空气质量管理的核心手段。以美国为例，环境保护署（EPA）根据《国家室外空气质量标准（NAAQS）》将不同地域划分为“达标”（attainment）和“未达标”（nonattainment）区域。如果一个州内存在未达标区域，该州需要向 EPA 提交《州执行计划》（State Implementation Plan），确保在限定时间内采取有效措施使空气质量达标。与之类似，欧盟《环境空气质量指令》责成成员国对空气质量的达标做出规定的阶段性目标和时间表，并通过立法保障达标规划的实施。可以看出，美国联邦政府与欧盟层面的最关键作用是制定标准与相关立法，而达标规划制定与实施的责任则在州/成员国层面，因此欧美整体空气质量的达标具有一定程度的“自下而上”的特征。虽然上级政府对下级政府不具有直接管辖权，但由于其强大的法律问责制度，美国和欧盟都成功地改善了空气质量。

与欧美相比，传统上我国的空气质量治理以“自上而下”的行政治理模式为主⁵。中央政府制定的五年计划和《大气污染防治行动计划》等其他政策文件在空气污染治理中起着关键作用。由中央政府在文件中制定减排或污染物浓度目标，然后再将这些目标层层分解落实到省、市、县层面。这些强制性目标通过“垂直问责”体系来保障执行，即上级政府有权对下级政府目标实现的情况进行评估，并采取相应的行政奖惩措施。这种“自上而下”的行政治理模式在我国空气质量治理中占据主导地位，并且在过去十年为我国的空气质量改善做出了巨大贡献。而相对来说，“自下而上”、强调司法问责的空气质量达标规划制度在我国空气质量治理体系中处于次要地位。

由于这种定位的不同，虽然我国相关法律法规明确规定空气质量未达标的城市需要发布限期达标规划，但是我国城市达标规划制定的比例与实施的力度都严重不足。我国在《大气污染防治法》第十四条规定，“未达到国家大气环境质量标准城市的人民政府应当及时编制大气环境质量限期达标规划，采取措施，按照国务院或者省级人民政府规定的期限达到大气环境质量标准。”2018年发布的《中共中央、国务院关于全面加强生态环境保护，坚决打好污染防治攻坚战的意见》中要求，“生态环境质量不达标地区的市、县级政府，要于2018年年底制定实施限期达标规划，向上级政府备案并向社会公开。”但是到2020年底为止，在中国337个地级以上城市中，除186个城市环境空气质量达标不

需要制定达标规划外，发布空气质量达标规划的城市只有 38 个，仅占未达标城市的 25%。梳理我国城市空气质量达标规划的制定进程，找到达标规划制定比例低的核心原因，并通过制度设计与法律手段促进达标规划的制定与实施，是加速改善地方与全国空气质量的重要制度保障与政策抓手。

1.3 城市空气质量达标与碳达峰、碳中和目标的协同效益

空气质量达标规划在改善地方空气质量的同时，也会带来温室气体减排与产业绿色低碳转型的协同效益⁶。空气污染物与二氧化碳排在很大程度上具有同源性，主要都是来源于电力、工业、交通和居民生活中化石燃料的燃烧⁷。空气质量治理的几项主要措施，包括产业结构调整、能源结构调整、末端排放治理、产业布局优化，都和地方碳达峰、碳中和目标与措施具有高度重合性⁸。我国 2030 年碳达峰、2035 年空气质量全面达标与 2060 年碳中和目标，需要在城市层面统筹规划⁹。因此，制定空气质量达标规划，通过优化产业结构、能源结构、交通结构和用地结构，可以在减少空气污染物的同时，帮助地方尽早实现碳排放达峰目标，并为 2060 年碳中和目标奠定良好基础。

二、我国城市空气质量达标规划制定现状

本章依据我国与空气质量达标规划相关的法律法规和中央政府政策文件、《中国生态环境状况公报》、地方政府空气污染治理文件以及全国污染物监测数据，对我国未达标城市需制定空气质量达标规划的法律与政策依据（2.1）、我国地级及以上城市空气污染历史趋势与现状（2.2、2.3）以及我国空气质量达标规划制定现状（2.4）进行了讨论分析，为进一步探究空气质量达标规划指定比例低的原因分析、已制定达标规划存在的问题分析、实现全国空气质量达标的路径分析提供数据基础。

2.1 我国城市制定空气质量达标规划的法律与政策依据

《中华人民共和国环境保护法》是我国在保护和改善环境，防治污染和其他公害而制定的核心法律，对环境质量的达标做出了整体要求。根据《环境保护法》规定，“未达到国家环境质量标准的重点区域、流域的有关地方人民政府，应当制定限期达标规划，并采取措施按期达标”。

在《环境保护法》的框架下，《中华人民共和国大气污染防治法》对防治大气污染、改善空气质量做出了更加明确的规定。根据《大气污染防治法》，“未达到国家大气环境质量标准城市的人民政府应当及时编制大气环境质量限期达标规划，采取措施，按照国务院或者省级人民政府规定的期限达到大气环境质量标准”。

中央政府发布的其他文件也对达标规划制定工作提出了相应的要求。其中，《“十三五”生态环境保护规划》于 2016 年发布，针对空气质量达标规划提出“未达标的城市，应确定达标期限，向社会发布，并制定实施限期达标规划，明确达标时间表、路线图和重点任务”。

2018 年出台的《中共中央、国务院关于全面加强生态环境保护，坚决打好污染防治攻坚战的意见》对达标规划的制定进一步提出了明确的期限与公开要求：“生态环境质量不达标地区的市、县级政府，要于 2018 年年底制定实施限期达标规划，向上级政府备案并向社会公开”。

以上法律与政策文件说明，我国未达标城市制定空气质量达标规划有法可

依，且属于强制性要求。然而，目前我国《环境保护法》和《大气污染防治法》等法律文件中对达标规划制定的相关描述过于简单，国家层面没有出台正式的达标规划编制要求与技术规范，导致法律执行效率低下，且缺少相关执法检查与达标规划的实施保障以及追责惩罚规定，不利于后续的跟进和监督。

2.2 2013-2020 年全国主要污染物浓度达标情况

《2020 中国生态环境状况公报》对环境空气质量达标定义为：参与评价的六项污染物（PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、O₃ 和 CO）浓度均达标，即为环境空气质量达标。其中，PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂ 和 NO₂ 按照年均浓度进行达标评价，O₃ 和 CO 按照百分位数浓度进行达标评价。

表 2.1 环境空气污染物基本项目浓度限值

序号	污染物项目	平均时间	浓度限值		单位
			一级	二级	
1	二氧化硫 (SO ₂)	年平均	20	60	μg/m ³
		24 小时平均	50	150	
		1 小时平均	150	500	
2	二氧化氮 (NO ₂)	年平均	40	40	
		24 小时平均	80	80	
		1 小时平均	200	200	
3	一氧化碳 (CO)	24 小时平均	4	4	mg/m ³
		1 小时平均	10	10	
4	臭氧 (O ₃)	日最大 8 小时平均	100	160	μg/m ³
		1 小时平均	160	200	
5	颗粒物 (粒径小于等于 10μm)	年平均	40	70	
		24 小时平均	50	150	
6	颗粒物 (粒径小于等于 2.5μm)	年平均	15	35	
		24 小时平均	35	75	

在环境空气质量标准中，不同的环境空气功能区对于污染物的浓度限值标准不同。环境空气功能区可分为两类：一类区为自然保护区、风景名胜和其他需要特殊保护的区域；二类区为居住区、商业交通居民混合区、文化区、工业

区和农村地区。一类区使用一级浓度限值，二类区使用二级浓度限值。针对主要环境空气污染物，一、二类环境空气功能区质量要求见表 2.1。本报告中的“城市空气质量达标”，是指达到中国《环境空气质量标准（GB3095-2012）》中的二级浓度限值。

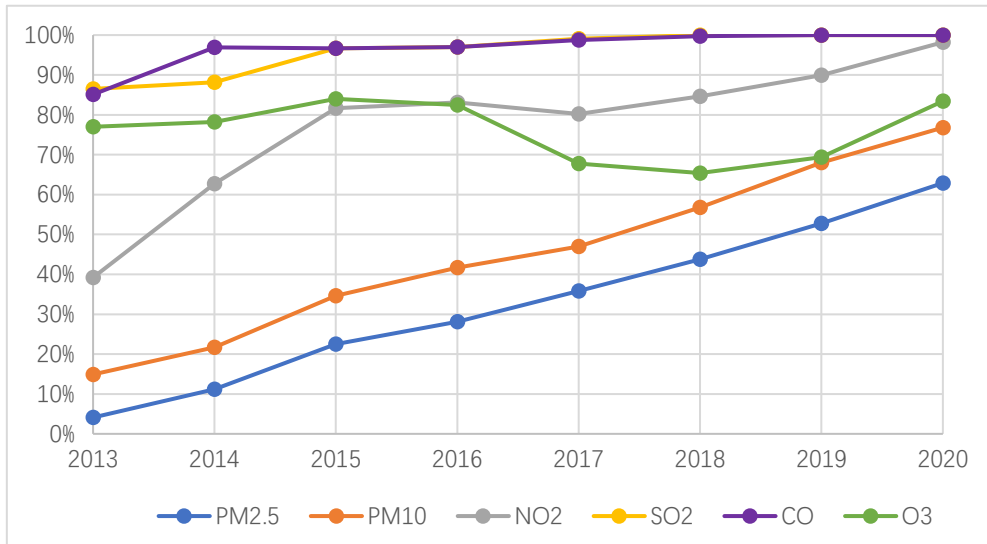


图 2.1 2013-2020 年全国六项主要污染物浓度达标城市占比

根据历年中国环境状况公报（2013-2020），六项主要污染物达标城市的比例与逐年变化趋势如图 2.1 所示。总体来看，除 O_3 外，我国各项污染物浓度水平均出现了不同程度的下降。其中， $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 污染物浓度达标城市占比在 2013 年均低于 20%，分别为 4.1%与 14.9%，近年来一直稳步增长，到 2020 年达标城市占比分别为 62.9%和 76.8%。虽然近年来我国年均颗粒物浓度指标改善显著，但是 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 仍然是导致我国许多城市空气质量无法达标的主要空气污染物。

NO_2 污染物浓度达标城市占比在 2013-2020 年期间大幅增长，由 2013 年的 39.20%增长至 2020 年的 98.2%，意味着绝大多数城市的 NO_2 浓度都已达标，同时较快的达标城市占比上涨趋势反映出我国持续有效的污染防治措施。但 NO_2 作为二次 $PM_{2.5}$ 和臭氧生成的前体物，同时也是具有多种危害的污染物，仍是大气污染治理中需要重点关注的对象。 SO_2 和 CO 污染物浓度达标城市比例一直较高，至 2019 年以后，全国所有城市都实现了两种污染物浓度的达标。

与其他污染物的达标城市比例稳步上升趋势不同， O_3 污染物达标城市占比

呈现出波动的态势，2013年至2016年保持在80%上下，2016年之后呈现出快速下降趋势，2018年之后又有所好转，于2020年达到83.4%。由于臭氧污染的形成机制较为复杂，对其进行治理和管控的策略有别于其他五项污染物，因此很多城市在实现PM_{2.5}达标之后，仍然面临臭氧达标的挑战。

2.3 2020年地级及以上城市空气质量达标情况

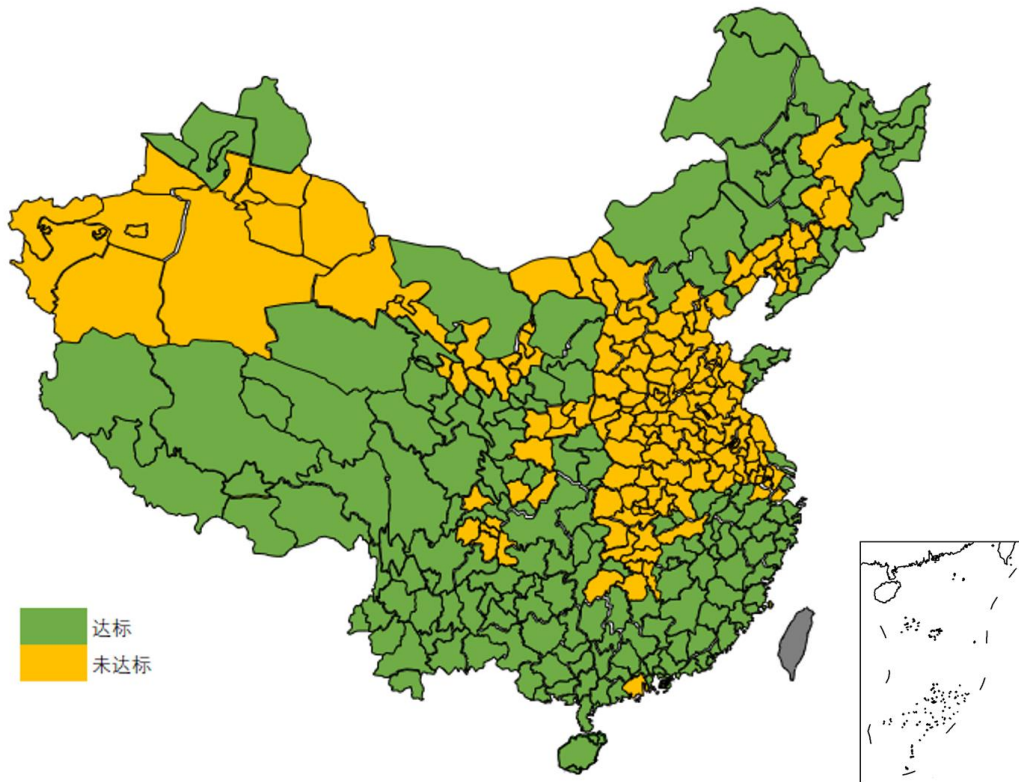


图 2.2 2020 中国地级及以上城市环境空气质量达标情况

本报告以《2020 中国生态环境状况公报》定义为标准，根据中国环境监测总站在全国城市空气质量实时发布平台公布的 2020 年六项污染物浓度监测数据，对 337 个地级及以上城市环境空气质量是否达标进行了判定。2020 年，全国 337 个地级及以上城市中，186 个城市环境空气质量达标，151 个城市环境空气质量不达标（在计算 PM_{2.5}、PM₁₀ 年均浓度未扣除沙尘影响的条件下）（图 2.2）。

其中，环境空气质量不达标的城市，华北地区有 26 个，占该地区城市的 72%；东北地区有 16 个，占该地区城市的 44%；华东地区有 38 个，占该地区城市的 49%；华南地区有 35 个，占该地区城市的 42%；西南地区有 8 个，占该地区城市的 15%；西北地区有 18 个，占该地区城市的 35%。西北地区部分城市 PM_{2.5}、

PM₁₀ 未达标是由于自然的沙尘因素，而非人为排放导致。

从省份分布来看，在 151 个环境空气质量未达标的城市中，除去直辖市，未达标城市数较多的省份是河南省、山东省以及江苏省，分别有 17、13 以及 12 个城市的空气质量在 2020 年处于未达标的状态，其中，河南省所有地级及以上城市的空气质量皆未达标，而山东省以及江苏省的未达标城市数分别占省份总地级及以上城市数的 76%和 92%。未达标城市数较少的省份是江西省以及广东省，都仅有一个城市的空气质量未达标。上海、天津、福建省、广西壮族自治区、海南省、贵州省、云南省以及西藏自治区已经实现了省内或区域内所有城市的空气质量都达标。

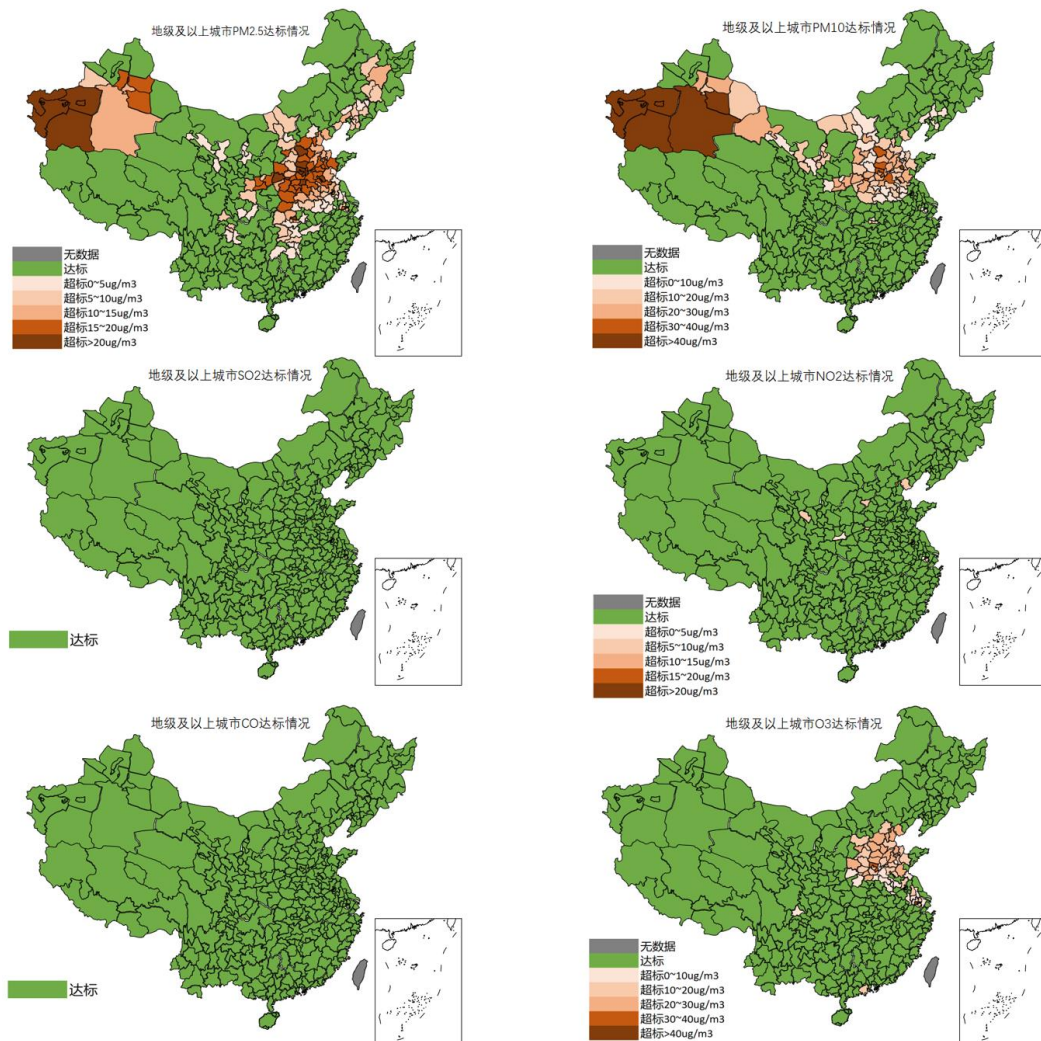


图 2.3 2020 年地级及以上城市 6 项污染物 (PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO、O₃) 达标情况

从图 2.3 可以看到，2020 年，所有地级及以上城市的 SO₂、CO 污染物浓度基本都已达标。在不考虑沙尘影响的情况下，PM_{2.5}、PM₁₀ 未达标的城市主要集中在华北及周边地区，这些地区城市的 PM_{2.5}、PM₁₀ 浓度距离标准值仍有较大的差距。O₃ 浓度未达标城市则除了华北地区外，也少量分布在长三角及珠三角地区，是导致华北以外城市空气质量不达标的最重要原因。

从区域分布来看，除去受自然沙尘因素影响的西北地区，绝大多数未达标城市均集中在京津冀、汾渭平原及其周边地区。作为“打赢蓝天保卫战”的重点区域，京津冀和汾渭平原的空气质量相较于之前已经得到了明显的改善，但是从图 2.3 可以看出，其 PM_{2.5} 浓度水平仍远高于国内其他地区的平均水平，与国家二级标准（35μg/m³）相比仍存在较大差距。同时，由于大气污染存在区域传输的特性，若一个区域的污染较为严重，则可能会对其周边城市的空气质量造成影响，导致该城市空气质量无法达标。因此，在今后的大气污染防治工作中，京津冀和汾渭平原仍应作为污染治理的重点区域。在推动区域内城市实现空气质量达标的同时，可以帮助周边城市实现达标和空气质量改善。

2.4 城市空气质量达标规划制定情况

对达标规划文件的整理分析表明，截至 2020 年底，全国 337 个地级及以上城市中，104 个城市已经制定并发布了空气质量达标规划，约占所有地级及以上城市的三分之一。但是在 151 个环境空气质量未达标的城市中，已发布空气质量达标规划的城市仅有 38 个，占未达标城市的 25%。对于不同省份未达标城市的达标规划制定呈现出两种极端情况，一是同一省份绝大多数未达标城市都制定了达标规划，二是同一省份绝大多数未达标城市都不制定达标规划。其中，未达标城市拥有达标规划文件最多的省份为四川省，有 8 个城市呈现空气质量未达标的状态，而达标规划文件有 7 份。其次是湖南省，同样包含 8 个空气质量未达标的城市，其中有 6 个城市制定了达标规划。与其形成对比的是河南省，有 17 个空气质量未达标的城市，而其中仅有 2 个城市制定了达标规划文件。制定比率比较低的还有山西省，包含 11 个空气质量未达标城市，而达标规划仅制定了 2 份。

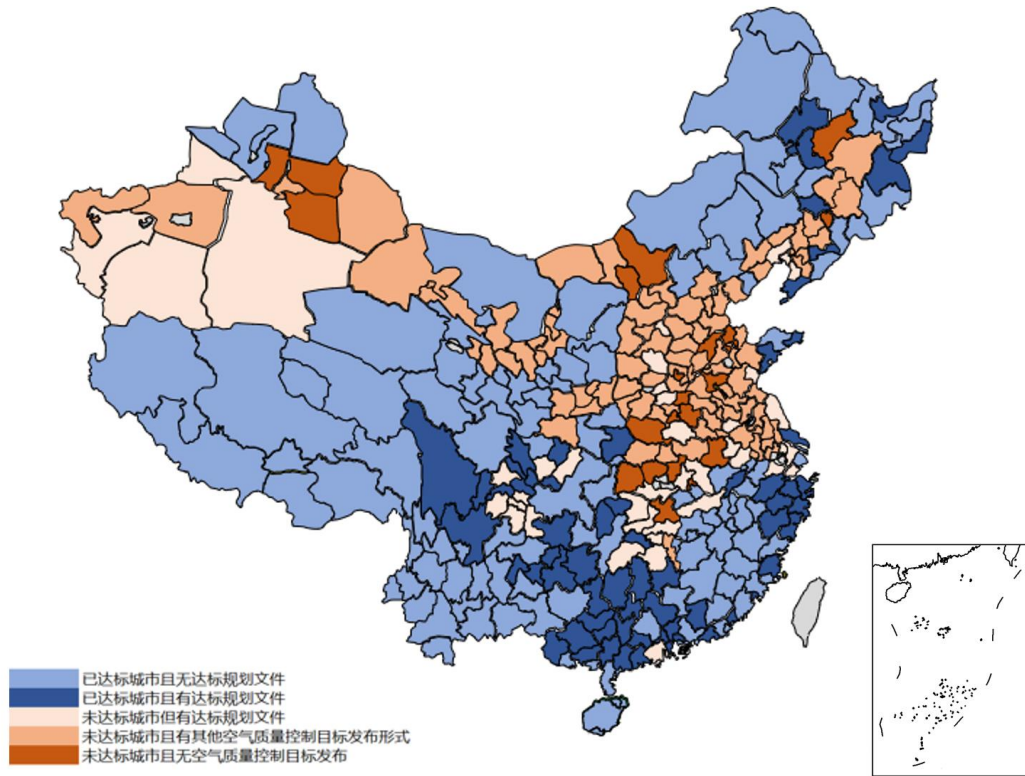


图 2.4 已制定达标规划文件的地级及以上城市地域分布状况

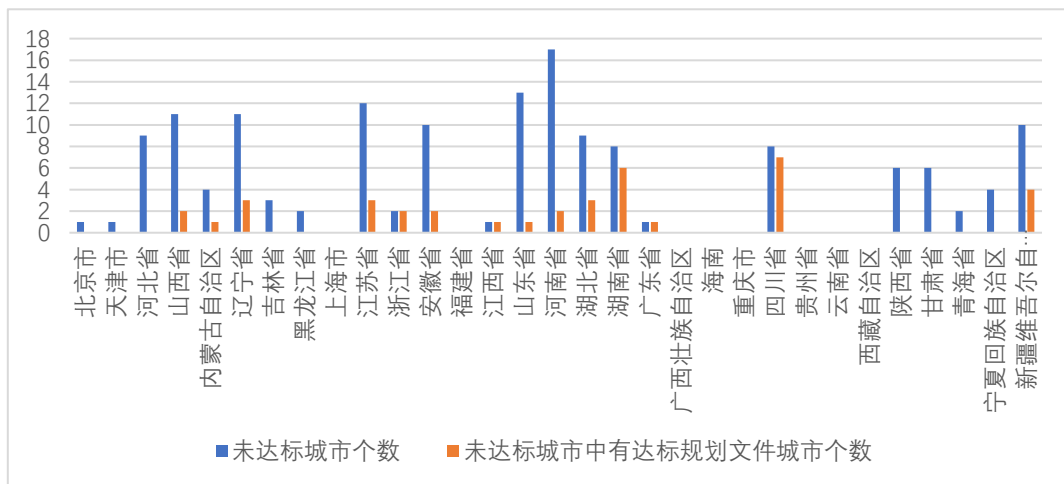


图 2.5 2020 年各省级行政区未达标城市的达标规划文件制定情况

除了空气质量达标规划，城市也可能以其他形式发布中短期的城市空气污染治理相关文件，例如，《承德市打赢蓝天保卫战三年行动计划》、《上海市清洁空气行动计划（2018-2022 年）》等等。对于空气质量未达标且未制定达标规划的 113 个城市中，有 91 个城市发布了中短期的空气污染治理文件，占空气质量未达标且无达标规划城市的 80%，而无任何空气污染控制相关文件发布的未达标城市有 22 个。可以看出，大多数未达标城市偏向于制定和发布中短期的空气

污染治理文件。

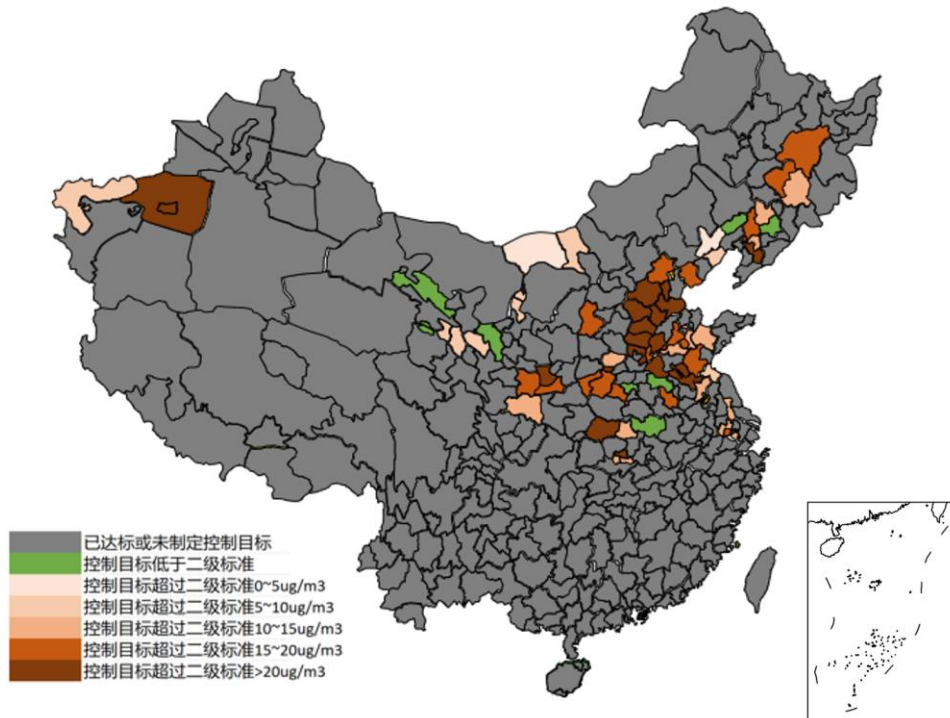


图 2.6 未达标且无空气质量达标规划城市的 PM_{2.5} 控制目标与二级标准差距

对于以其他形式发布空气质量控制目标的未达标城市，一般仅针对 PM_{2.5} 浓度提出了控制目标。在 91 个这样的城市中有 61 个城市发布了具体的 PM_{2.5} 浓度控制目标数值。结合图 2.6 和各个文件内容可见，仅有少部分城市将 PM_{2.5} 控制目标设定在二级标准以下，并且绝大多数文件只发布了短期的空气质量控制目标和规划。这类以其他形式发布的空气污染控制文件与达标规划相比，主要着重于近期的空气污染治理措施和效果，缺乏对城市空气污染治理的长期目标和规划，无法指导未达标城市实现空气质量达标。

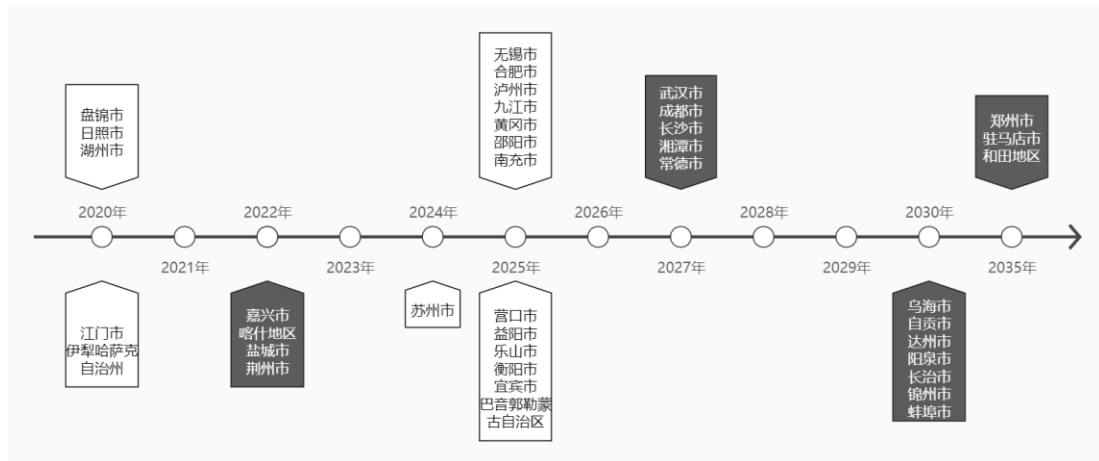


图 2.7 城市空气质量达标预期时间表

通过对 38 个未达标城市的空气质量达标规划文件进行分析，得到了如图 2.7 所示的城市空气质量达标预期时间表。达标预期时间的跨度为 2020 年至 2035 年。有 23 个城市计划在 2025 年之前实现空气质量达标，12 个城市计划在 2030 年之前达标，驻马店市、郑州市、和田地区则计划在 2035 年完成空气质量达标。为实现到 2035 年，生态环境根本好转，美丽中国目标基本实现，所有已制定达标规划的城市都将达标期限设定在 2035 年之前。对于一部分未制定达标规划的城市，可能无法在 2035 年前实现达标，为避免不利的舆论影响，选择不发布达标规划。

表 2.2 各地区达标规划文件制定情况

地区	已达标城市且无达标规划文件	已达标城市且有达标规划文件	未达标城市但有达标规划文件	未达标城市且有其他空气质量控制文件	未达标城市且无任何空气质量控制文件
华北 (36)	9 (25%)	1 (3%)	3 (8%)	21 (58%)	2 (6%)
东北 (36)	12 (33%)	8 (22%)	3 (8%)	11 (31%)	2 (6%)
华东 (77)	26 (34%)	13 (17%)	9 (12%)	24 (31%)	5 (6%)
华南 (83)	20 (24%)	28 (34%)	12 (14%)	13 (16%)	10 (12%)
西南 (54)	30 (56%)	16(30%)	7 (13%)	1 (2%)	0 (0%)
西北 (51)	23 (45%)	0 (0%)	4 (8%)	21 (41%)	3 (6%)

括号内为该类型城市占该地区地级及以上城市的百分比

三、我国多数城市未制定空气质量达标规划的原因分析

总结我国达标规划文件的制定情况，到 2020 年，337 个地级及以上城市中，仅有 104 个城市制定并发布了空气质量达标规划文件。在 2020 年空气质量未达标的 151 个城市中，仅有 38 个城市发布了空气质量达标规划，占未达标城市的 25%。从中可以看到，尽管我国的法律和中央政府文件对未达标城市制定达标规划文件这项工作都提出了相关的要求，但是该项工作并没有在未达标城市中全面地开展和落实。

根据调研与文献分析，我们对地方政府未出台达标规划的原因总结为以下几类：（1）由于中国区域间发展高度不均衡，东、中、西部城市在经济发展阶段、产业结构和地方财政状况上有较大差距，现阶段空气质量也有较大差别。部分产业结构偏重、能源消耗量大的城市可能从经济角度出发，认为短期内实现空气质量达标会造成较大经济与财政负担，从而不愿意出台达标规划。（2）部分城市仍存在对生态环境重要性认识不足的问题，空气质量在政府工作中处在次要位置，未给予足够的重视与相关的组织与财政资源保障。（3）部分城市虽然有制定达标规划的意愿，但由于达标规划的编制工作需要专业的数据、模型与分析工具，而该城市不具备相关能力，且缺少专业技术人员和专家的支持。（4）由于预期达标日期过长，担心公布之后产生不利的舆论影响。（5）过去几年，由于城市大气治理任务的紧迫性，现有目标考核体系和治理方式存在重短期措施和效果，轻中长期规划的问题。（6）其他原因。

为探究我国多数未达标城市没有制定空气质量达标规划的主要原因，本章节通过对 337 个城市的空气质量状况、人口经济以及达标规划制定情况数据，并结合 Logit 计量模型进行分析，重点对以下几类原因的相关重要性进行了评估，同时结合相关文献和对相关部门的调研，从国家、省级和地方三个方面进一步明确了核心原因。

3.1 空气污染较严重城市普遍未制定达标规划

根据数据分析，已制定空气质量达标规划的城市大部分都是空气质量相对

较好的城市，当前空气质量距离达标差距相对较小。对于空气污染严重的城市来说，一方面空气质量达标的预期时间可能会较长，发布达标规划可能会产生不利舆论影响；另一方面空气质量达标可能会造成较大经济与财政负担，因此可能造成这类城市不愿意出台空气质量达标规划。

如表 3.1 所示，有达标规划文件的 104 个城市 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 O_3 平均浓度为 $30.5\mu g/m^3$ 、 $49.9\mu g/m^3$ 、 $135\mu g/m^3$ ，与 233 个无达标规划文件城市相比，三项污染物平均浓度值分别低了 $3.5\mu g/m^3$ 、 $11\mu g/m^3$ 、 $5\mu g/m^3$ ；环境空气质量未达标且有达标规划文件的 38 个城市 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 O_3 平均浓度为 $39\mu g/m^3$ 、 $60.78\mu g/m^3$ 、 $146\mu g/m^3$ ，与 163 个环境空气质量未达标且无达标规划文件城市相比，三项污染物平均浓度值分别低了 $6\mu g/m^3$ 、 $20\mu g/m^3$ 、 $10\mu g/m^3$ 。

表 3.1 不同类型城市空气污染物浓度均值

	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)		PM_{10} ($\mu g/m^3$)		O_3 ($\mu g/m^3$)	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
未达标且无达标规划文件城市(113 个)	45	7.84	80.4	19.86	156.4	19.98
未达标且有达标规划文件城市 (38 个)	39	9.28	60.78	11.57	146.3	19
无达标规划文件城市 (233 个)	34	13.13	61	25.33	140	23.78
有达标规划文件城市 (104 个)	30.5	7.9	49.9	12.6	135	19.62

对于已制定达标规划文件的 104 个城市，66 个城市环境空气质量已达标，38 个城市环境空气质量仍未达标。从图 3.1、3.2、3.3 可以看到，这 38 个城市的空气污染物浓度绝大多数都已达到或接近标准值。对于 $PM_{2.5}$ ，7 个城市已达标，15 个城市已接近标准值，两者占总数的 58%；对 PM_{10} ，27 个城市已达标，6 个城市已接近标准值，两者占总数的 87%；对于 O_3 ，28 个城市已达标，6 个城市已接近标准值，两者占总数的 89.5%。

对于环境空气质量未达标的 151 个城市，113 个城市仍未制定空气质量达标规划。从图 3.1、3.2、3.3 可以看到，仍有一部分城市的空气污染物浓度与标准值存在较大差距，而在这些与标准值存在较大差距的城市中，仅有少数几个城市制定了空气质量达标规划。根据统计发现，在 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 O_3 浓度值排名前 15 的城市，例如安阳市、邯郸市、邢台市等等，都没有制定空气质量达标规划。Logit 计量模型的结果也显示，当前空气污染水平对是否制定达标规划的影响显著。

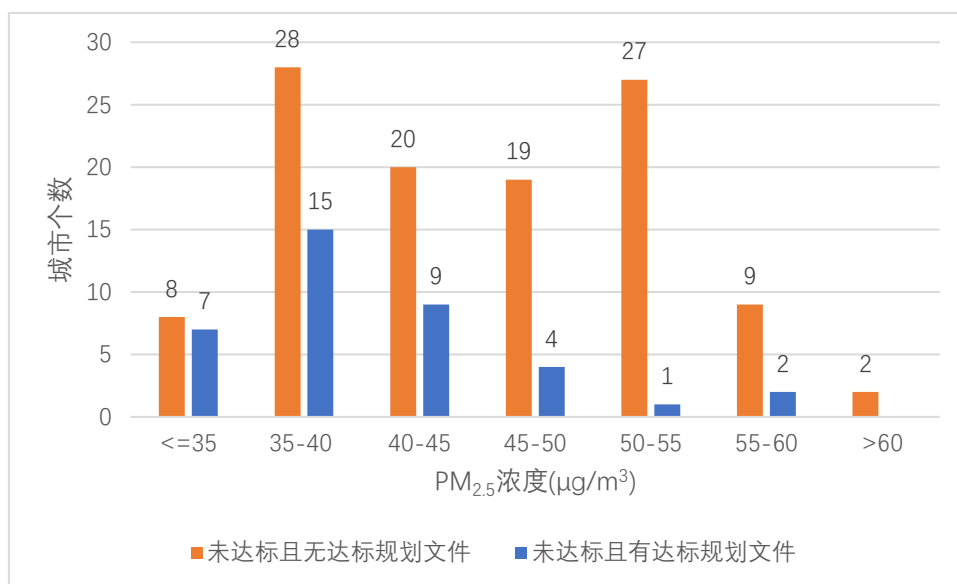


图 3.1 不同类型城市 $PM_{2.5}$ 浓度分布状况

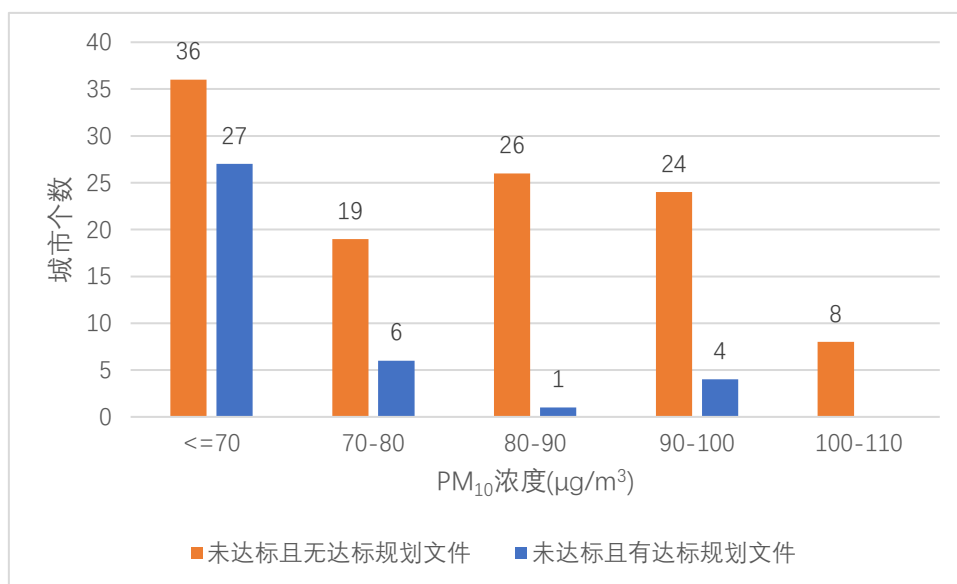


图 3.2 不同类型城市 PM_{10} 浓度分布状况

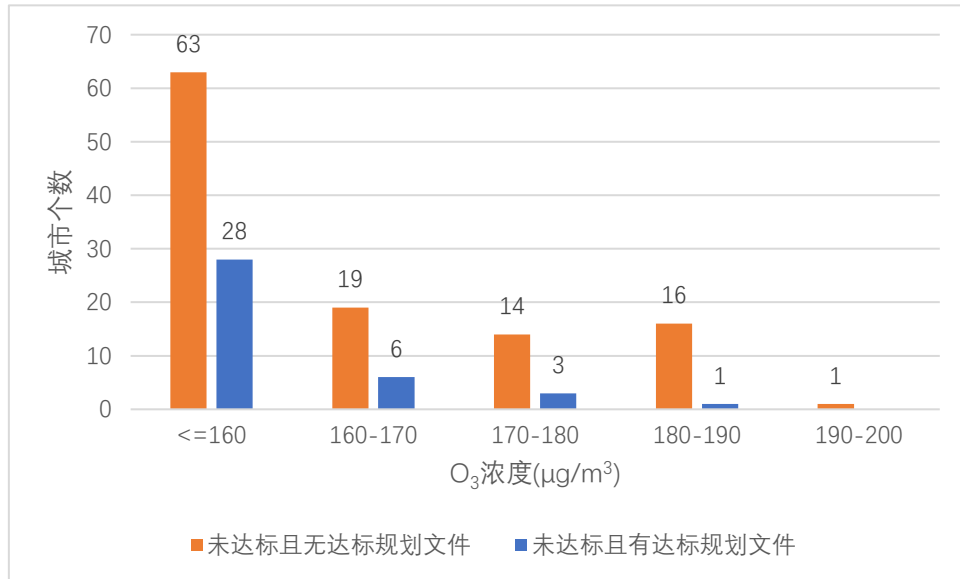


图 3.3 不同类型城市 O₃ 浓度分布状况

3.2 产业结构偏轻、地区生产总值较高城市制定达标规划比例较高

从城市产业结构角度看，第二产业包括采矿业、制造业、电力、热力、燃气生产和供应业、建筑业等等，是空气污染物的主要来源。由表 3.2 可以得出，在有达标规划文件的 104 个城市中，76 个城市的第二产业占比低于 45%，占该类型城市的 73.07%；在环境空气质量未达标且有达标规划文件的 38 个城市中，24 个城市的第二产业占比低于 45%，占该类型城市的 63.2%。这说明绝大部分已制定达标规划文件的城市为产业结构偏轻的城市。从表 2 可以看到，仍有少数产业结构重的城市，依然制定了空气质量达标规划。进一步探索这类城市的特征，能够更好地总结影响城市制定空气质量达标规划的因素。通过对第二产业结构占比排名前 50 的城市进行研究发现，这 50 个城市的人均 GDP 均值为 8.711 万元，GDP 均值为 2724.732 亿元。而在这 50 个城市中，共有 15 个城市制定了空气质量达标规划，这 15 个城市的人均 GDP 均值为 9 万元，GDP 均值为 3898.762 亿元。这说明，对于产业结构偏重的地区来说，经济发展水平是影响产业结构偏重城市是否制定达标规划的因素之一。虽然第二产业比例低的城市制定规划比例略高，但计量模型的结果不显著。

表 3.2 不同类型城市产业结构分布状况

第二产业占 GDP 的比重 (%)	<=30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	>60	总计 (个数)
未达标且无达标规划文件	11	12	25	31	20	6	6	2	113
未达标且有达标规划文件	5	3	6	10	7	6	0	1	38
	63.2				36.8				100%
无达标规划文件	21	58	43	49	32	14	9	7	233
有达标规划文件	21	20	16	19	18	7	2	1	104
	73.07%				26.92%				100%

从地区经济发展程度的角度看，由于达标规划的编制工作需要专业的数据、模型、分析工具以及专业技术人员和专家的支持，并且达标规划的实施可能会造成较大经济与财政负担，经济较发达的城市制定达标规划的比例可能会更高。从表 3.3 可以看出，在人均 GDP 大于 11 万元的 35 个城市中，有 18 个城市制定了空气质量达标规划，占该类型城市的 51%。在空气质量未达标且人均 GDP 大于 11 万元的 15 个城市中，有 47% 的城市都制定了空气质量达标规划。这两者的比重要明显高于其他人均 GDP 区间内空气质量达标规划的制定比率。但是，由表 3.4 可以得出，在有达标规划文件的 104 个城市中，79 个城市的地区生产总值低于 4000 亿元，11 个城市的地区生产总值高于 10000 亿元，分别占该类型城市的 76% 和 11%；在环境空气质量未达标且有达标规划文件的 38 个城市中，29 个城市的地区生产总值低于 4000 亿元，6 个城市的地区生产总值高于 10000 亿元，分别占该类型城市的 76% 和 16%。在空气质量未达标并且地区生产总值高于 10000 亿元的 9 个城市中，有 67% 的城市都制定了空气质量达标规划。从以上分析可以得出，制定空气质量达标规划的城市主要分布在地区生产总值较低和较高的城市。对于地区生产总值较低的城市，可能其产业结构偏轻、能源消

耗量相对较小，因此这类城市相对来说更容易实现空气质量达标。对于地区生产总值低于 4000 亿元并且制定了达标规划的 79 个城市，PM_{2.5}、PM₁₀、O₃ 的平均浓度分别为 31μg/m³、53μg/m³、131μg/m³，均低于各项污染物的标准值。因此地区生产总值较低并且愿意制定达标规划的城市绝大部分属于空气质量较好的城市。由于一份完整达标规划文件的编制需要专业的数据、模型和分析工具，以及专业技术人员和专家的支撑，地区生产总值高的地区相对来说更有能力在人力、物力上对制定达标规划文件这项工作提供支持和保障。对于地区生产总值高于 10000 亿元并且制定了达标规划的 11 个城市，PM_{2.5}、PM₁₀、O₃ 的平均浓度分别为 34μg/m³、55μg/m³、157μg/m³。尽管这类城市的空气污染相对来说比较严重，但仍有大部分城市制定了空气质量达标规划。这说明，在空气污染比较严重的城市中，经济相对较发达的城市制定空气质量达标规划的比率会更高。计量模型的结果也显示经济水平的影响显著。

表 3.3 不同类型城市人均地区生产总值分布状况

人均地区生产总值(万元)	<3	3~5	5~7	7~9	9~11	>11	总计
未达标且无达标规划文件	9	43	25	19	9	8	113
未达标且有达标规划文件	3	12	9	4	3	7	38
未达标且有达标规划文件城市占未达标城市的比重	25%	22%	26%	17%	25%	47%	
无达标规划文件	29	94	37	40	16	17	233
有达标规划文件	11	41	18	10	6	18	104
有达标规划文件城市占该范围总城市比重	28%	30%	33%	20%	27%	51%	

表 3.4 不同类型城市地区生产总值分布状况

地区生产总值(亿元)	<2000	2000-4000	4000-6000	6000-8000	8000-10000	>10000	总计
未达标且无达标规划文件	52	39	12	5	2	3	113
未达标且有达标规划文件	13	16	2	0	1	6	38

无达标规划文件	145	56	16	7	3	6	233
有达标规划文件	51	28	8	2	4	11	104

3.3 不同省份重视程度

根据报告第二部分的图 2.5，浙江省、广东省、四川省、湖南省环境空气质量未达标城市制定空气质量达标规划的比率分别达到了 100%、100%、87.5%、75%。而河北省、山西省、安徽省等省份，虽然有许多城市空气质量未达标，但是空气质量达标规划的制定比率几乎为零。在 2020 年 4 月之前，能够搜集到的湖南省未达标城市的空气质量达标规划数量为 0 个，但是到 2021 年 7 月，能够搜集到的达标规划数量已经变为 6 个，占湖南省为达标城市数量的 75%，而其他省份的数量相对来说并没有特别大的变化。这说明如果一个省对达标规划制定进行重视，则会推动该省内大部分的未达标地级市制定达标规划。因此，不同省份对于空气质量达标规划制度的重视程度不同，也是环境空气质量未达标城市是否制定空气质量达标规划的影响因素之一。部分省份仍存在对生态环境重要性认识不足的问题，空气质量在政府工作中处在次要位置，未给予足够的重视与相关的组织与财政资源保障，导致该省所属城市制定达标规划比例偏低。有些情况下，部分城市虽然有制定达标规划的意愿，但由于达标规划的编制工作需要专业的数据、模型与分析工具，而该城市不具备相关能力，且缺少专业技术人员和专家的支持，导致达标规划未能如期完成。而对于一些污染严重较为严重的省份，例如河北省、山西省、河南省，其很少制定空气质量达标规划的原因是这些省份的城市本身和空气质量达标的差距很大，地级市或者省级行政单位很难通过自身的政策制定来确保空气质量达标，或者国家本身对其空气污染治理有中长期的规划，因此就会导致这些省份制定达标规划的比例较低。

3.4 部分城市重短期措施与效果，轻中长期规划

根据统计，在 337 个地级及以上城市中，共有 229 个城市发布了短期的城

市空气污染治理文件，例如，《北京市打赢蓝天保卫战三年行动计划》、《承德市打赢蓝天保卫战三年行动计划》等等。在环境空气质量未达标且未制定达标规划的 113 个城市中，有 91 个城市发布了短期的城市空气污染治理文件。发布短期空气污染治理文件的城市数量明显多于已制定空气质量达标规划的城市数量。出现这种情况的主要原因是，对于短期空气污染治理来说，各地级市能够通过加强末端排放治理、控制高污染企业短期内的运作时间等手段，完成国家或者省级下达的月、季、年度考核任务。而对于空气质量长期治理规划来说，规划制定者需要考虑城市能源结构、产业结构调整以及与区域城市联防联控等措施，实现空气质量的长期达标。对于这一类措施，一方面很难通过某一个部门统筹落实，另一方面措施的有效性需要相当长的一段时间才能提现出来。同时，过去几年，由于城市大气治理任务的紧迫性，现有目标考核体系和治理方式存在重短期措施和效果，轻中长期规划的问题。这导致与制定中长期规划相比，大部分城市更加偏重于发布短期的空气质量控制目标和空气污染治理措施。

四、已制定的达标规划存在的问题分析

4.1 空气质量达标规划内容分析方法

本章对 2019 年空气质量未达标的地级及以上城市的空气质量达标规划进行整理，最终收集到 55 份正式发布且内容完整的达标规划。为了便于分析，本研究将达标规划的内容划分为以下十大部分，如表 4.1 所示：空气质量现状及溯源研究、未来情景及减排目标设定、工业末端排放治理、产业结构调整、能源结构调整、交通运输结构调整、挥发性有机物控制、面源污染治理、能力建设以及实施保障措施。每个部分可以被细化为更具体的二级指标以及三级指标项目。随后，本研究针对不同内容项目制定打分细则，如表 4.2 所示，对各项内容进行评分后，计算每一个城市各个项目、以及一个项目中所有城市的分数总和，并得到指标的归一化分数（将一个指标下的所有内容项目的得分进行求和并除以这些内容项目的满分），随后将一个城市的所有归一化分数进行求和，计算每个一级指标所有城市得分的均值，并据此展开分析。

表 4.1 达标规划评估指标分类

序号	一级指标名称	二级指标名称	三级指标名称
1	空气质量现状及溯源研究	空气质量现状及污染物排放特征	
		PM2.5 污染源贡献研究	
2	未来情景及减排目标设定	未来情景模拟	
		分阶段分部门具体减排目标	
3	工业末端排放治理	工业排污许可	
		排放综合控制	
		火电	
		工业锅炉	
		钢铁	
		水泥	
		焦化	
4	产业结构调整	工业集中供热及散煤治理	
		工业园区建设与治理	
		工业窑炉综合治理	
		“散乱污”企业集中整治	
		控制第二产业比例发展或升级	火电、工业锅炉、钢铁、水泥、焦化、其它行业及综合概述
		发展第三产业或新能源产业	

		建设	
5	能源结构调整	煤炭消费	强化煤质管控、煤炭消费总量及结构控制
		能源消费总量控制	
		大力发展清洁能源或新能源	
6	交通运输结构调整	油品质量监管及回收治理	
		交通结构优化	
		道路交通工具管理	机动车环保管理、推广新能源车
		非道路交通工具管理	港口船舶及机场大气污染治理、非道路移动机械污染控制
7	挥发性有机物控制	提高挥发性有机物污染企业环境准入门槛	
		推进污染源排放清单建立工作	
		推进重点行业挥发性有机物综合整治	
8	面源污染治理	扬尘面源污染控制	扬尘排放综合治理、强化施工扬尘监管、控制道路扬尘污染、推进堆场、矿山、码头及采石场扬尘监管、加强城市绿化建设
		农业面源污染控制	建立大气氨源排放清单、引导农药铵肥以及氮肥科学施用、推进畜禽养殖规模化、标准化和资源化发展、严控秸秆焚烧推进综合利用
		生活面源污染控制	清洁取暖取热、烟花爆竹、祭扫、以及焚烧垃圾、推进餐饮业油烟治理
9	能力建设	加强监测能力建设	完善空气质量监测网络、加强污染源监控能力建设
		强化监测数据质量控制	
		强化重污染天气预警及应急	
		全面提高环境管理能力	
10	实施保障措施	组织保障	
		考核评估	
		财政保障	
		法律保障	
		科技保障	
		社会保障	
		制度政策保障	
		区域协作	

表 4.2 空气质量达标规划各项内容打分标准

项目及得分	0	1	2
空气质量现状及污染物排放特征	未提及	有关于污染物浓度特征的定量描述	有统计各类污染物排放量与浓度变化趋势
污染物溯源贡献研究	未提及	有提及贡献来源以及占比	有详细分析各部门排放量与贡献占比
未来情景模拟	未提及	有预计污染物排放量	根据预计污染物排放量对未来空气质量进行模拟
减排目标	未提及	有分阶段减排目标	有分阶段、各部门减排目标
减排策略措施	未提及	有定性的策略措施描述或简单定量描述	有具体的定量及定性减排策略措施描述
能力建设/保障措施	未提及	提及内容不够详细（行动点与具体措施无法兼顾）	内容详细，行动点全面，可落实到具体责任主体，有量化目标

4.2 空气质量达标规划内容分析

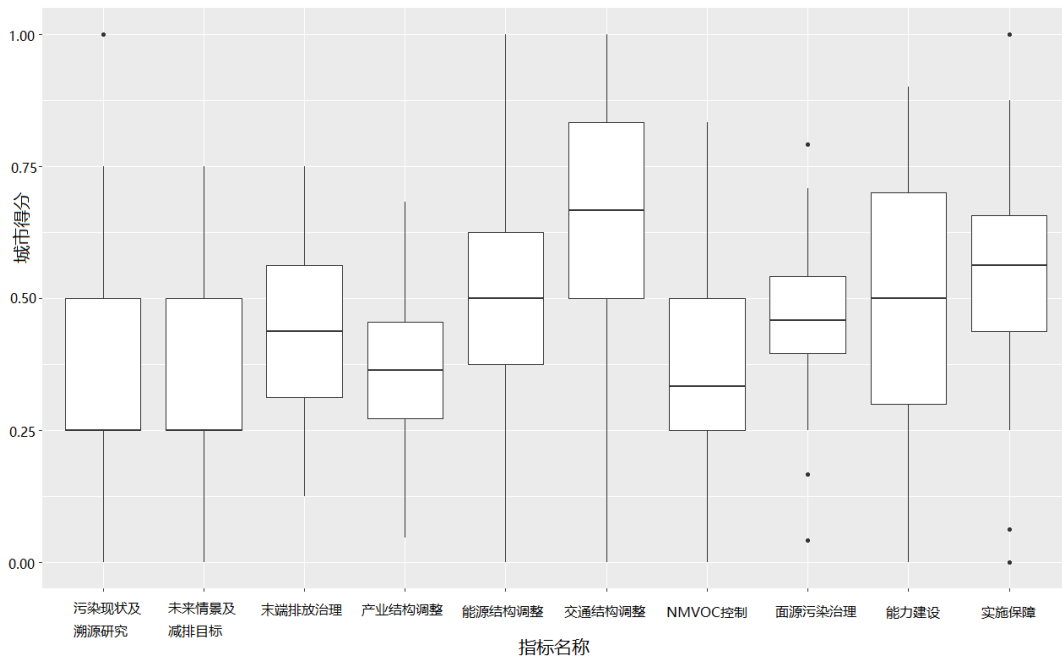


图 4.1 未达标城市空气质量达标规划内容得分箱型图

以一级指标为横坐标，每一个城市的指标归一化分数为纵坐标，55 个地级及以上城市的达标规划内容得分箱型图如图 4.1 所示。由图可知，空气质量现状及溯源研究，和未来情景及减排目标设定指标的中位数在十个指标中最低。由此可见两个指标对应达标规划内容的完整性以及具体程度都比较低，未得到

足够重视，只有少数城市对于两个指标较为关注，例如：长沙市的空气质量达标规划在污染现状以及溯源研究指标的得分为 1 分，表明此规划有统计各类污染物的排放量以及详细分析 PM_{2.5} 贡献与占比。苏州市的达标规划在未来情景及减排目标设定上的得分为 0.75，其内容有预计污染物排放量，也制定了分阶段分部门的减排目标。

箱型图表明，交通结构调整的中位数及上下四分位数是所有指标中最高的，可见多数城市的达标规划在交通结构调整方面关注最多，且内容提及详细的二级、三级指标，包含较多定量信息、目标以及可执行性强的具体定性措施。作为我国实现碳达峰以及空气质量达标的重点治理举措，末端排放治理、产业结构调整以及能源结构调整这三个指标的中位数以及上下四分位数较低，所对应的规划内容以笼统定性描述为主，缺乏分部门、分时段、针对重点污染源的定量减排措施。

在 NMVOC 控制与面源污染治理中，挥发性有机物作为我国城市需要重点关注的空气污染物，其得分普遍较低，表明大部分城市对于挥发性有机物的治理关注较少。NMVOC 控制包含 3 个二级指标，有 80% 的城市未提及其中两种二级指标的治理措施，剩余 20% 的达标规划虽然提及，但内容较为空泛，行动点以及责任主体不明确，缺少具体的定量目标以及行动措施。相比于 NMVOC 控制，面源污染治理分数较高，其规划内容对更详细的二级和三级指标进行叙述，包含较多的定量目标与可有效实施的定性举措。

在能力建设以及实施保障方面，其箱型图得分处于中等水平，对应达标规划内容来看，涉及到这两个方面的定量目标较少，主体部分大多依赖定性描述，其中部分城市的叙述相对笼统，未能明确相关措施的责任主体与相关奖惩措施。少数城市在实施保障措施方面给予了全面的关注，例如：合肥市的达标规划在这项指标的得分为 1 分，其指标下所有项目都被提及且行动点明确，内容具体且有量化目标。

从城市的角度进行分析，在 55 个空气质量未达标的城市中，总分最高的城市是嘉兴市与苏州市，其对应的达标规划总体提及内容较多，且各项目叙述完整具体，兼顾定量以及定性目标措施。总体来说，江苏、浙江等东部沿海省份

的城市普遍得分较高，其特点是经济水平较高，且第二产业占比较大，对于空气质量达标规划的需求以及制定能力较高。西部城市相对得分较低，其对应的达标规划内容上呈现出项目覆盖面窄、缺乏定量目标以及定性举措执行性低的特点。

以人均 GDP 是否大于 11 万元为标准，人均 GDP 大于 11 万元的城市有 13 个，而人均 GDP 小于 11 万元的城市有 42 个。经过对比分析，人均 GDP 大于 11 万元的城市达标规划得分显著更高，其对应的达标规划总体而言定量目标以及定性措施更加完整，内容更加具体详细。由于达标规划的编制工作需要专业的数据、模型、分析工具以及专业技术人员和专家的支持，并且达标规划的实施会造成较大经济与财政负担，经济发展程度较高的地区更可能会投入一定的精力以及资金来编制规划，提升当地的空气质量，所呈现的达标规划相对而言会具有更明确的量化目标以及实施性强的定性措施。

4.3 空气质量达标规划案例分析

在对 55 份未达标城市的达标规划进行系统分析后，本研究筛选了以下 3 份在内容和结构上比较有代表性的达标规划，便于进一步说明不同规划的特点以及存在的问题。

《伊宁市大气环境质量限期达标规划（2018-2020 年）》是新疆维吾尔自治区的伊犁哈萨克自治州制定的空气质量达标规划，在 55 份所研究的规划中，它的得分相对较低（1.19 分），且未提及的内容项目占总项目数的 80%。伊宁市的达标规划方案的主体内容针对工业面源的污染治理，整份方案关注的指标较为局限，方案的重点大多专注在产业结构调整指标，却又无法涵盖这个方面所有的内容项目，使得产业结构调整指标分数虽然较为突出，但与其他省市相比处于较低水平。此外，这份达标规划没有提及空气质量现状和溯源研究，对于污染物未来情景和减排目标设定叙述较少，使得识别伊犁的核心空气污染问题更加困难，给治理措施的提出以及有效执行造成了一定阻碍。

《永州市环境空气质量限期达标规划》得分为 4.98 分，处于中等水平。在这份规划中，分数最高的指标是工业末端排放治理，得分为 0.75，也是 55 份规

划中此指标的最高分，而在未来情景及减排目标设定方面得分为 0。在结构方面，这份达标规划的主体内容整体按照时间顺序制定，并据此分为两大部分：2020 年空气质量达标常规控制措施，以及 2021 年空气治理达标加严控制措施，此结构有助于明确规划在不同年份的措施重点。在内容方面，永州市的空气质量限期达标规划中含有各县区重点治理措施，尤其体现在工业末端排放控制指标，内容不仅提及较多定量目标，也包含突出重点且具体的定性措施，使得工作与责任得到了落实，提高了规划的可执行度。然而此空气质量达标规划也存在较多问题，例如没有提及未来情景以及减排目标设定指标，使得规划在整体上缺少定量目标的指导，不利于措施的有效制定以及完成情况的后续跟进。

《嘉兴市大气环境质量限期达标规划》在所有研究的达标规划中相对较高（6.44 分）。此规划得分最高的指标为能源结构调整（1 分），而空气质量现状及溯源研究，和未来情景及减排目标设定指标得分都为 0.25，处于较低水平。嘉兴市的达标规划由与大多数城市规划的结构相似，治理措施分部门制定，时间范围横跨整个规划周期。其优势是报告的同一指标项目的内容和行动点较为集中，治理措施涉及定量工作目标，利于推进行动落实核查，定性内容的叙述较为完整，行动点多且具体详细。然而从报告主体内容无法看出不同时间段的治理重点，需要另附表格才能进一步做出说明。此外，嘉兴市的达标规划在空气质量现状及溯源研究，和未来情景及减排目标设定两个方面重视不足，会对明确当前及未来的污染状况造成一定阻碍，并削弱治理措施的目标性和针对性，不利于后续的跟进监督。

经研究发现，虽然不同达标规划的内容具体程度与定量指标方面差别较大，但是大部分规划的总体结构较为类似，与 2013 年 9 月国务院发布的《大气污染防治行动计划》里的多数内容项目相同。因此可知，大多数规划都直接或者间接参考了行动计划。其中，55 份规划中最早发布的是《武汉市城市环境空气质量达标规划(2013—2027 年)》，发布时间为 2014 年 6 月，在这份规划中有明确说明“根据《大气污染防治行动计划》（国发〔2013〕37 号）、环保部、国家发展改革委、财政部制发的《重点区域大气污染防治“十二五”规划》（环发〔2012〕130 号）和《省人民政府关于贯彻落实国务院大气污染防治行动计划

的实施意见》（鄂政发〔2014〕6号）规定，结合本市实际，特制订本规划”。可见，一份优质“模板”对我国的城市空气质量达标规划的制定质量具有重要指导意义。另一方面，较少的城市在编写规划时能够跳脱出“模板”的内容划分结构，部分内容结构只是在此基础上根据城市的实际状况进行了细微的修改，可见大部分城市的规划有必要根据当地情况进行较大幅度的针对性创新。

五、城市空气质量达标路径与健康收益的定量分析

5.1 城市空气质量达标的路径分析

本章根据共享社会经济路径（Shared Socioeconomic Pathways, SSPs）情景提供的经济、人口、城镇化率等定量参数，以及代表性浓度路径（Representative Concentration Pathway, RCP）情景提供的温室气体排放趋势，对我国未来社会产业结构、能源结构、电力结构、末端排放治理技术发展进行了合理假设，设置了三个社会经济发展和污染物排放情景，通过 GEOS-Chem 空气质量模型模拟了不同情景下我国 2035 年地级及以上城市的大气污染物浓度时空分布水平，得出了不同情景下 2035 年我国城市空气质量的达标情况，探究了我国实现城市空气质量达标的具体路径。

5.1.1 情景介绍

共享社会经济路径（Shared Socioeconomic Pathways, SSPs）提供了五种人类社会未来发展的可能途径，包括 SSP1（可持续路径）、SSP2（中间路径）、SSP3（区域竞争路径）、SSP4（不平等路径）以及 SSP5（高化石燃料消耗路径）。这些社会发展情景包括了定性和定量两部分：量化部分为人口、经济增长和技术变化率等要素提供了具体的设想，对这些要素进行了有意义地量化，并且可以作为能源使用、土地使用、排放和其他结果的模型输入；定性部分描述了社会发展中难以量化方面的演变（例如体制的质量、政治稳定性、环境意识等），并为那些可以量化的情景要素（以及它们之间的关系）提供了基本逻辑，为用户进一步阐述情景提供基础。^{10,11} 代表性浓度路径（Representative Concentration Pathway, RCP）是 IPCC 所采用的一系列温室气体浓度轨迹。¹² RCP1.9 是将全球变暖限制在 1.5°C 以下的路径，是《巴黎协定》的理想目标；RCP2.6 是根据 IPCC 要求，CO₂ 排放量到 2020 年开始下降，到 2100 年降为 0，同时将全球温度上升控制在 2°C 以下；RCP3.4 代表了到 2100 年升温 2 至 2.4 摄氏度；RCP4.5 为中间方案，CO₂ 的排放量在 2040 年左右达到峰值，然后下降，到 2100 年，可能的全球气温上升为 2 至 3°C；RCP6 中，排放量在 2080 年左右达到峰值，然后下降；RCP7 为基线情景；RCP8.5 为最坏情况的气候变化情景。

通过结合我国社会经济发展的战略方针、SSPs 情景的定性和定量描述以及一些相关领域的文献^{6,13-23}，选定了 SSP1-26 和 SSP2-45 情景作为研究我国城市空气质量达标路径分析的情景假设。

(1) SSP2-45 情景

在 SSP2 情景下，全球社会、经济和技术趋势并没有明显偏离历史模式；发展和收入增长是不平衡的，一些国家取得了相对较好的进展，而另一些国家则没有达到预期；大多数经济体在政治上较为稳定；全球的市场运作并不完善；全球和国家机构努力实现可持续发展目标，但进展缓慢；环境系统出现退化，但有一些改善，例如资源和能源的使用强度下降；尽管对化石燃料的依赖性缓慢下降，但人们并不排斥使用常规化石资源；全球人口的增长是适度的，并在本世纪下半叶趋于平稳；教育投资不够高，无法加速低收入国家向低生育率的过渡，并迅速减缓人口增长的速度。在 SSP2 情景下，这种增长以及持续存在或改善缓慢的收入不平等、持续的社会分层和有限的社会凝聚力，不利于减少社会和经济的脆弱性，并限制了可持续发展方面的重大进展。

在 SSP2 情景假设下，我国的社会经济发展仍将按照现有的模式继续发展。从 2020 年到 2035 年每 5 年的时间间隔里，GDP 分别以 6%、4.2%、3% 每年的增速增长。到 2035 年，我国 GDP 将达到 1939893 亿元。人口发展呈现先增后减的趋势，到 2035 年，我国总人口为 13.97 亿人，城镇化率达到 74%。

结合 SSP2、RCP4.5 的目标以及我国的实际战略发展目标，对产业结构、能源结构、电力结构进行了以下的假设和推算。

在产业结构方面，在 SSP2-45 情景下，产业结构仅出现了小幅的调整，第一产业增加值占比维持在 7.8% 左右，第二产业增加值占比从 2017 年的 40% 下降到 2035 年的 35%，第三产业增加值占比则上升了 5%。总体来看，产业结构的调整较为缓慢，2017 年到 2035 年的产业结构基本上维持在相同的水平。

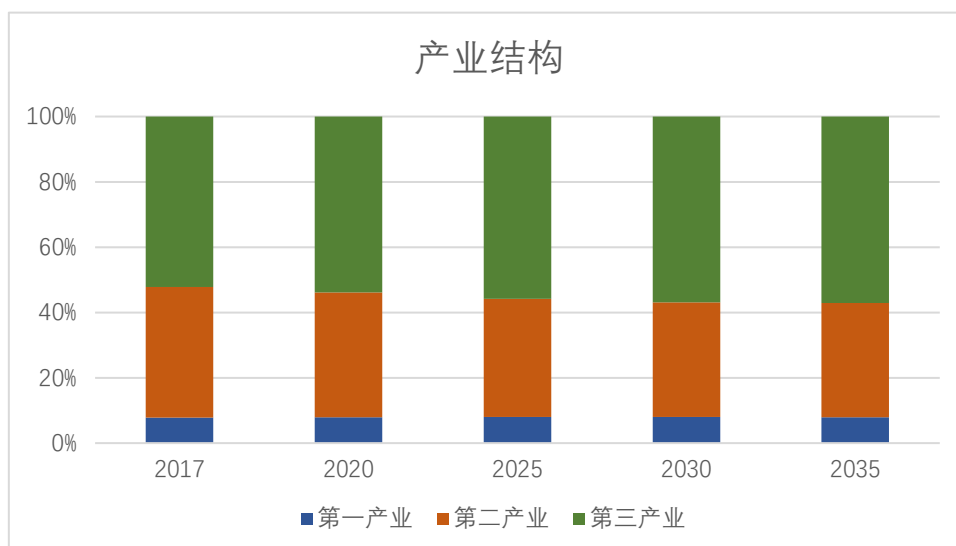


图 5.1 SSP2-45 情景下的产业结构

从能源消费来看，主要从能源消费总量以及能源消费结构两方面进行了假设。能源消费总量上，在 SSP2-45 情景下，假设单位 GDP 能耗每五年分别下降 15%、16%、13%、10%，从 2017 年的 0.535 万吨标煤/亿元下降到 2035 年的 0.296 万吨标煤/亿元，对应的能源消耗总量从 2017 年的 446006 万吨标煤增加到 2035 年的 573787.5 万吨标煤。能源结构上，非化石能源的消费占比逐年增加，到 2035 年，非化石能源的占比达到 33.45%。化石能源中煤、石油占比分别从 2017 年的 60.27%、18.88% 下降到 2035 年的 36.41%、15.96%，而天然气的占比则上升了 7%。在此情景下，我国到 2035 年的能源消费仍依赖于化石能源，非化石能源的发展和利用相对来说较为缓慢。

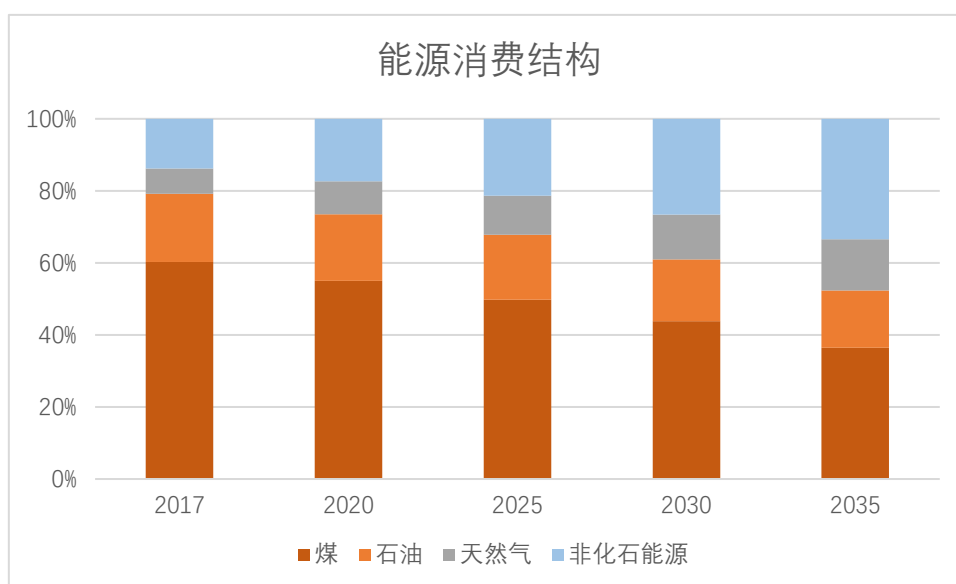


图 5.2 SSP2-45 情景下的能源消费结构

在电力方面，随着各行业电气化进程的不断推进，电力消耗总量从 2017 年的 64821 亿 kwh 增加到 2035 年的 109455 亿 kwh。从电力结构上看，煤电发电量占比出现了大幅的下降，从 2017 年的 65.51% 下降到 2035 年的 37.8%。风电和光电装机容量出现了快速的增长，装机容量占比从 2017 年的 16.5% 上升到 2035 年的 53%，发电量占比到 2035 年已经达到了 30.7%。尽管风电、光电等装机量从 2017 年到 2035 年有了较大的提高，但是随着经济社会的发展，电力消耗量不断增加，非化石能源的新增发电仍无法完全满足新增电力消耗量，因此在 SSP2-35 情景下，虽然煤电的发电占比相对来说出现了大比例的下降，但是煤电的发电总量相对来说没有出现明显的变化。

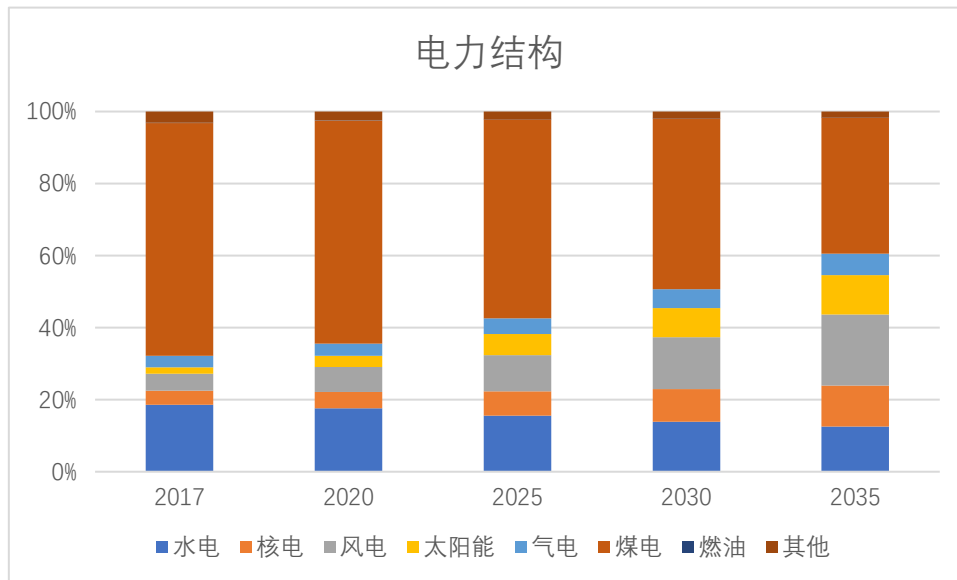


图 5.3 SSP2-45 情景下的电力结构

(2) SSP1-26 情景

在 SSP1 情景下，世界普遍地转向一条更可持续的道路，强调更具包容性的发展；得益于地方、国家和国际组织和体制、私人部门、以及其他机构之间有效合作，全球公域的管理得到改善；教育和健康投资加速了人口结构的转型，导致人口相对较少；从高收入国家开始，对经济增长的强调转向了对人类福祉的强调，甚至以较慢的经济增长为代价；国家之间和国家内部的不平等现象都得到了缓解；环境技术的投资和税收结构变化提高了资源效率，减少了能源和

资源的总体使用，改善了长期的环境状况；消费被引向低物质增长和低资源、能源强度。

在 SSP1 情景假设下，我国的社会经济发展将按照更加可持续的道路发展。从 2020 年到 2035 年每 5 年的时间间隔里，GDP 分别以 7%、6%、4.5% 每年的速率增长。到 2035 年，我国 GDP 将达到 2362613 亿元。人口发展呈现下降的趋势，到 2035 年，我国总人口为 13.78 亿人，城镇化率达到 78%。

结合 SSP1、RCP2.6 的目标以及我国的实际战略发展目标，对产业结构、能源结构、电力结构进行了以下的假设和推算。

在产业结构方面，在 SSP1-26 情景下，产业结构出现了大幅的调整，第一产业增加值占比从 2017 年的 7.8% 上升到 2035 年的 8.67%，第二产业增加值占比从 2017 年的 40% 下降到 2035 年的 29.5%，第三产业增加值占比则从 2017 年的 52.2% 上升到 2035 年的 61.7%。在此情景下，2035 年我国的产业结构与 2017 年相比，出现了较为明显的变化，其中对污染物排放贡献较大的第二产业占比出现了较为明显的下降，同时先天具有低碳化和清洁化的新兴产业出现了高速的发展，我国的产业结构转向绿色低碳的发展方式。

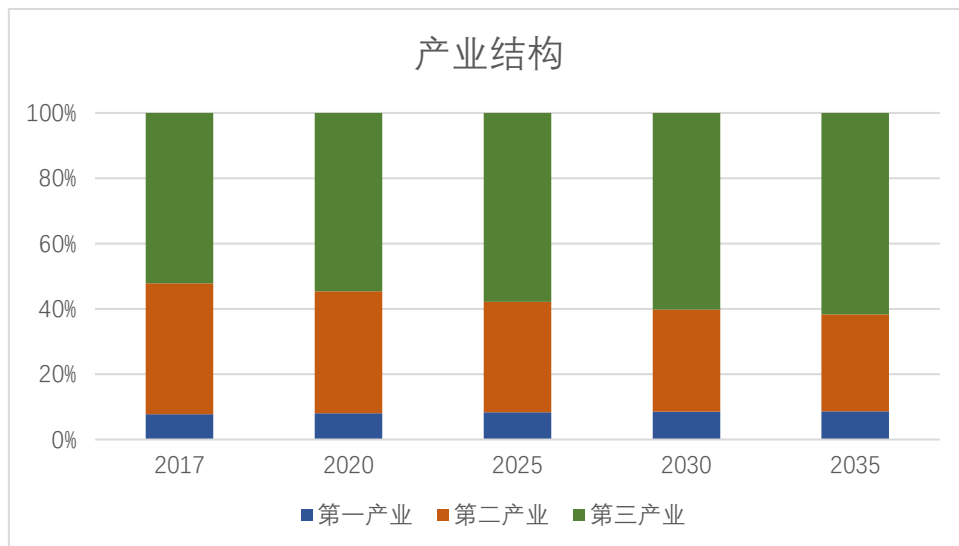


图 5.4 SSP1-26 情景下的产业结构

在 SSP1-26 情景下，能源消耗总量上，假设单位 GDP 能耗每五年分别下降 19%、22%、19%、17%，从 2017 年的 0.535 万吨标煤/亿元下降到 2035 年的 0.229 万吨标煤/亿元，对应的能源消耗总量从 2017 年的 446006 万吨标煤增加到 2035 年的 540730.8 万吨标煤。能源结构上，非化石能源的消费占比增速逐年上

升，到 2035 年，非化石能源的占比达到 40%。化石能源占比逐年下降，其中煤、石油占比分别从 2017 年的 60.27%、18.88% 下降到 2035 年的 33.18%、10.14%，天然气的占比从 2017 年的 7% 上升到 2035 年的 16.5%。在 SSP1-26 情景下，能源消费对于化石能源的依赖相对于 SSP2-45 来说出现更为明显的下降。

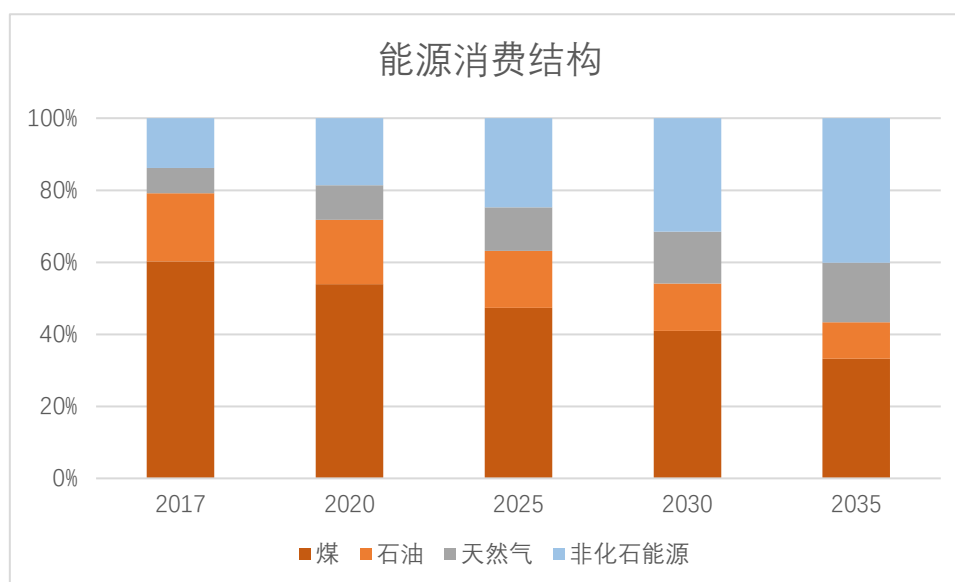


图 5.5 SSP1-26 情景下的能源消费结构

在电力方面，在 SSP1-26 情景下，各部门电气化进程进一步加快，尽管与 SSP2-45 相比，2035 年能源消耗总量略有下降，但是电力消耗总量从 2017 年的 64821 亿 kwh 增加到 2035 年的 127333 亿 kwh，与 SSP2-45 情景下 2035 年的 109455 亿 kwh 相比，增加了大约 17000 亿 kwh。从电力结构上看，煤电发电量占比出现了大幅的下降，从 2017 年的 65.51% 下降到 2035 年的 36.65%。风电和光电装机容量出现了快速的增长，装机容量占比从 2017 年的 16.5% 上升到 2035 年的 55.62%，发电量占比到 2035 年已经达到了 31%。在此情景下，电气化进程进一步加快，对于一次化石能源的消费逐渐转向电力消费，同时电力结构出现了快速调整，可再生能源发电的占比不断提高，电力结构在社会发展进程中不断向清洁化和低碳化推进。

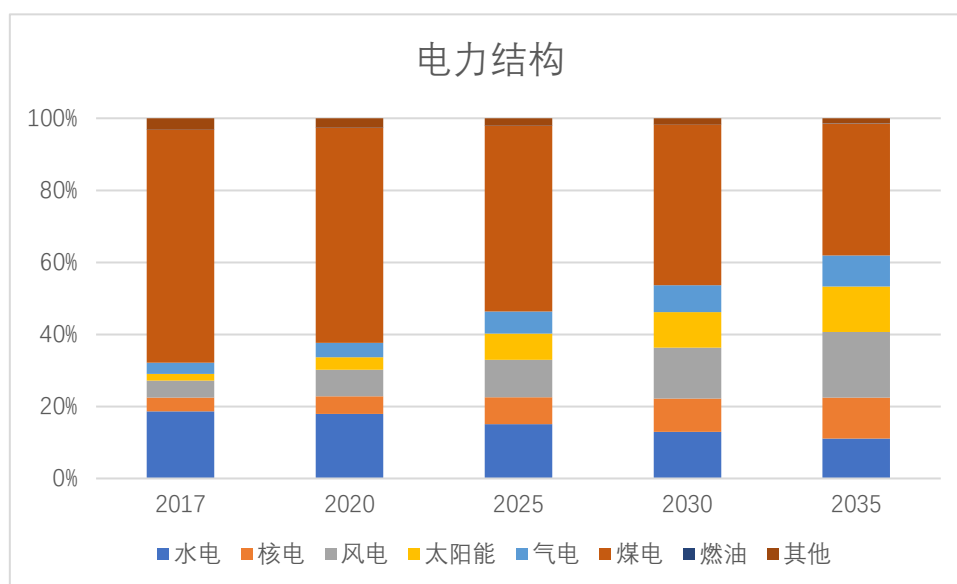


图 5.6 SSP1-26 情景下的电力结构

(3) SSP1-26-ProvADJ 情景

SSP1-26-ProvADJ 情景在 SSP1-26 情景假设的基础上，对于工业和电力部门，进行了较大幅度的产业区域布局调整。对于污染较为严重的区域，在保持全国污染物削减总量不变的前提下，对这些地区的削减比例进行了一定的增加，探究通过产业转移、区域政策加强等措施是否能够帮助一些污染较为严重的地区达标。其中，河北、河南、山东在 SSP1-26 情景基础上进一步采取高强度的削减政策，山西、陕西在 SSP1-26 情景基础上进一步采取中等强度的削减政策，安徽、宁夏在 SSP1-26 情景基础上进一步采取低强度的削减政策。同时，对于空气质量较好的区域，采取与 SSP1-26 情景相对较弱的削减政策。其中福建、贵州、云南、西藏、广东的削弱幅度最大，黑龙江、浙江、内蒙、湖南、吉林次之，辽宁、江西、江苏、青海、甘肃、湖北最小。该情景模拟了我国在 SSP1-26 情景基础上针对污染物较为严重区域采取更加严厉的政策措施的情况下 2035 年的大气污染物时空分布。

5.1.2 情景参数化、空气质量模型使用

(1) 情景参数化

本研究以清华大学中国多尺度排放清单模型 (Multi-resolution Emission

Inventory for China, 简称 MEIC) 2017 年排放清单为基础²⁴, 结合上述三种情景对于我国 2035 年的产业结构、能源结构、电力结构以及末端治理强度的合理假设, 计算得到了不同情景下我国 2035 年 SO₂、NO_x、NMVOC、NH₃、CO、PM₁₀、PM_{2.5}、BC、OC 这 9 项污染物的排放水平。在对末端治理强度的假设中, 由于 SSP2-45 情景下产业结构仍偏重, 同时对于化石能源的依赖相对于 SSP1-26 仍偏高, 因此在 SSP2-45 情景中, 对于不同污染物的排放设定了比 SSP1-26 更为严格的末端排放治理程度。SSP2-45 中 SO₂ 的末端排放治理强度比 SSP1-26 高出 2%, NO_x 高出 15%, NMVOC 高出 39%, NH₃ 高出 25%, CO 高出 18%, PM₁₀、PM_{2.5}、BC、OC 均高出 22%。尽管如此, 从下表中可以发现, SSP1-26 中 2035 年污染物排放的削减比例仍要显著高出 SSP2-45。因此, 对于我国未来空气质量治理的规划中, 应当更多地注重产业结构、能源结构的调整, 这样才能进一步提高我国城市空气质量的达标率, 同时能够深层次地改善空气质量已达标地区的空气质量。

表 5.1 SSP1-26 情景下各种污染物的减排量 (百万吨)

SSP1-26	SO ₂	NO _x	NMVOC	NH ₃	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	OC
2017	10.50	21.90	28.60	10.20	136.20	10.20	7.60	1.20	2.10
2020	9.11	20.00	25.95	9.99	129.49	8.76	6.55	1.07	1.85
2025	6.94	16.80	24.36	10.46	114.33	7.10	5.34	0.92	1.54
2030	5.24	13.58	21.56	9.68	101.19	5.68	4.29	0.78	1.27
2035	3.52	10.26	17.67	7.44	84.58	4.09	3.11	0.60	0.95
2035 相对与 2017 年削减 比例	-66.5%	-53.2%	-38.2%	-27.1%	-37.9%	-59.9%	-59.1%	-49.6%	-54.6%

表 5.2 SSP2-45 情景下各种污染物的减排量 (百万吨)

SSP2-45	SO ₂	NO _x	NMVOC	NH ₃	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	OC
2017	10.50	21.90	28.60	10.20	136.20	10.20	7.60	1.20	2.10
2020	9.82	21.43	28.08	10.43	137.47	9.41	7.03	1.14	1.96
2025	8.28	17.39	24.95	10.42	123.33	7.96	5.97	1.01	1.68
2030	6.86	14.15	21.95	9.66	109.61	6.41	4.82	0.85	1.38
2035	5.46	11.05	18.92	8.43	95.37	5.05	3.82	0.71	1.13
2035 相对与 2017 年削减 比例	-48.0%	-49.5%	-33.9%	-17.4%	-29.9%	-50.5%	-49.7%	-41.0%	-46.3%

(2) 空气质量模型使用

在此基础上，我们通过使用 GEOS-Chem 空气质量模型，对能源结构、产业结构、电力结构以及末端治理的调整能够带来的空气质量改善进行模拟，探索城市空气质量达标的合理路径。GEOS-Chem 是由 GEOS(the Goddard Earth Observing System)观测得到的气象数据驱动的全球大气化学三维模型。通过使用 GEOS-Chem 空气质量模型，结合排放清单、气象数据，就能得到指定年份中国空气污染物的时空分布。

通过将四组不同的排放清单输入 GEOS-Chem,得到了 2017 年以及不同情景下 2035 年我国的城市空气污染物的时空分布，模拟分辨率均为 $2^{\circ}\times 2.25^{\circ}$ ，气象数据均为 2017 年。

(1) 基础模拟：使用 2017 年的 MEIC 网格化排放清单，对 2017 年中国空气污染物的时空分布进行了模拟。根据 GEOS-Chem 的模拟结果，可以得出 2017 年 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 、 CO 、 O_3 这五项污染物的时间和空间分布。其中， $PM_{2.5}$ 、 O_3 的 2017 年污染物年均浓度分布如下图所示（由于 2017 年为基础年份，因此对其进行了分辨率为 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 的模拟）。从图 5.7 可以看到，除去模拟值偏高的四川盆地地区，污染较为严重地区的分布与监测数据显示的区域分布基本吻合。

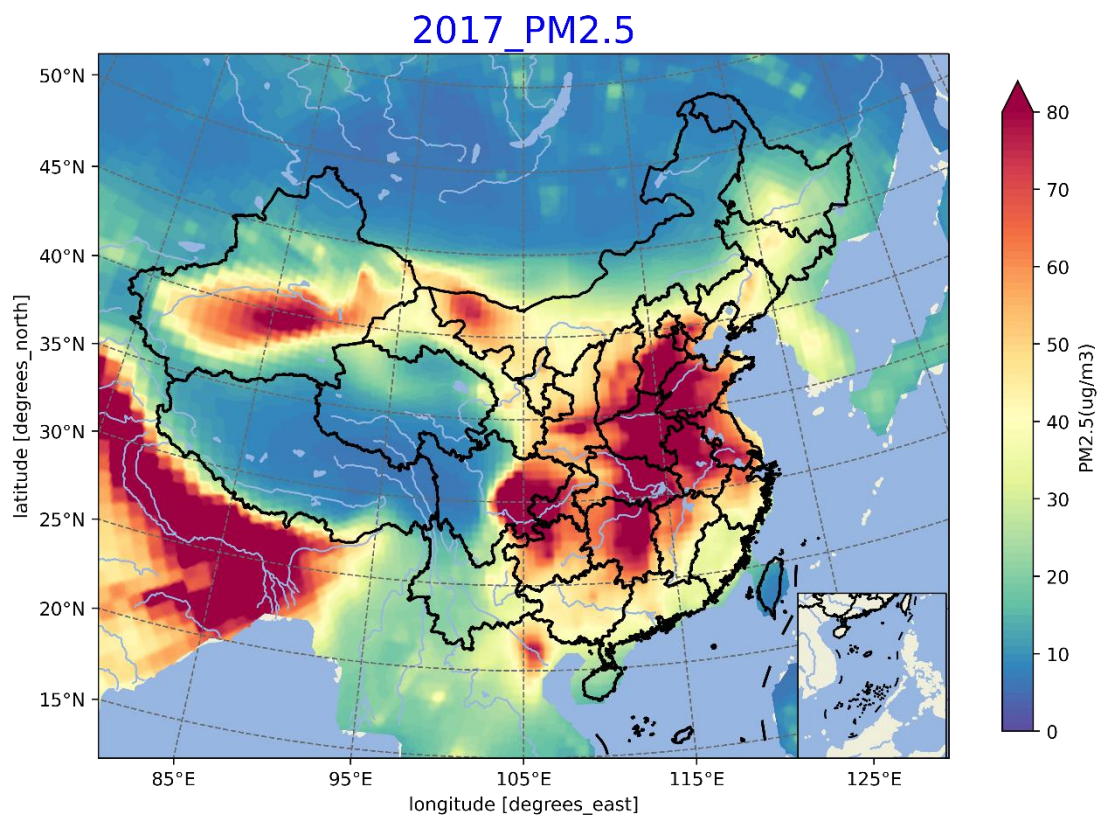


图 5.7 2017 年 PM_{2.5} 年均浓度，模拟分辨率 0.5°x0.5°

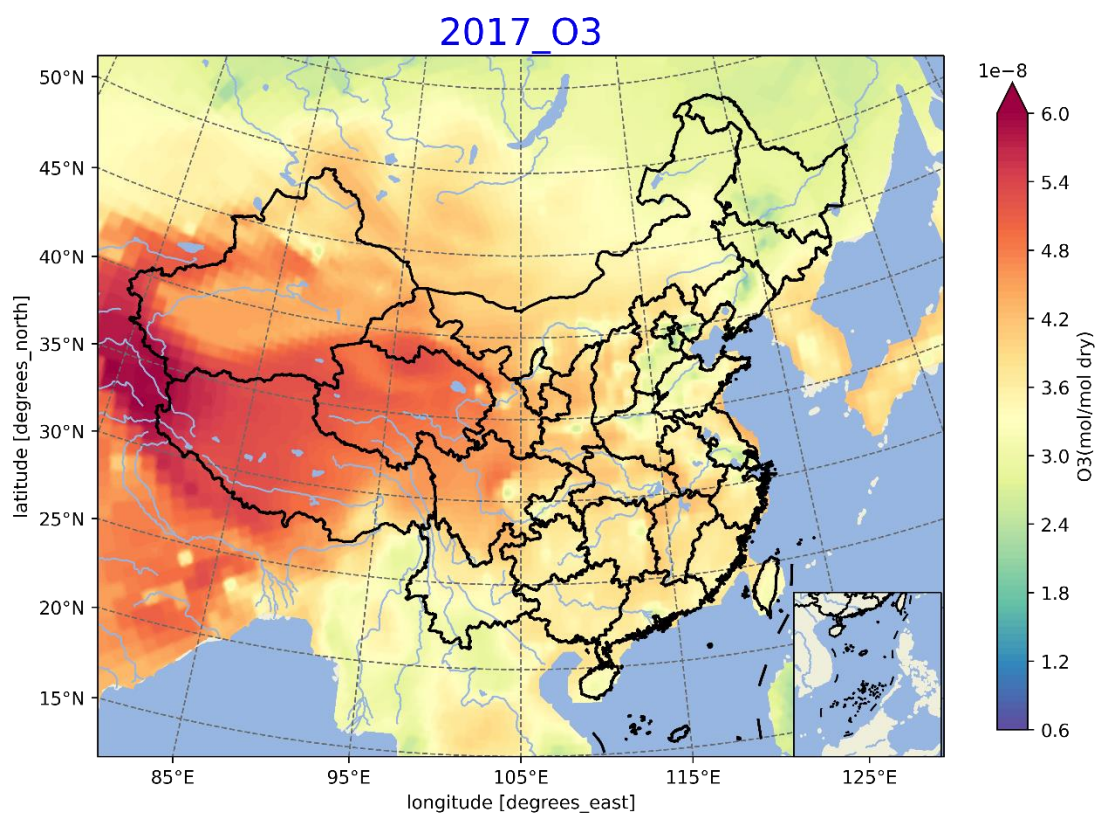


图 5.8 2017 年 O₃ 年均浓度，模拟分辨率 0.5°x0.5°

SSP2-45: 结合 SSP2 情景和 RCP4.5 情景的分析计算, 将工业、电力、农业、居民、交通部门到 2035 年相对于 2017 年排放量的削减比例分配到 2017 年的 MEIC 各部门网格化清单中, 模拟我国在 SSP2-45 情景下 2035 年的大气污染物时空分布。

SSP1-26: 结合 SSP1 情景和 RCP26 情景的分析计算, 将工业、电力、农业、居民、交通部门到 2035 年相对于 2017 年排放量的削减比例分配到 2017 年的 MEIC 各部门网格化清单中, 模拟我国在 SSP1-26 情景下 2035 年的大气污染物时空分布。

SSP1-26-ProvADJ: 结合 SSP1 和 RCP26 情景的分析计算, 将工业、电力、农业、居民、交通部门到 2035 年相对于 2017 年排放量的削减比例分配到 2017 年的 MEIC 各部门网格化清单中。对于工业和电力部门, 进行了细分到省级削减比例计算, 对于污染较为严重的区域, 例如河南、山西、山东等, 在保持全国污染物削减总量不变的前提下, 对这些地区的削减比例进行了一定的增加, 探究通过产业转移等措施是否能够帮助一些污染较为严重的地区达标。该情景模拟了我国在 SSP1-26 情景基础上针对污染物较为严重区域采取更加严厉的政策措施的情况下 2035 年的大气污染物时空分布。

以下是 2017 年以及三个情景的 $PM_{2.5}$ 和臭氧污染模拟值年均浓度分布对比。从 $PM_{2.5}$ 年均分布图来看, 三个情景下 $PM_{2.5}$ 浓度都出现了大幅下降。对比 SSP2-45 和 SSP1-26, 在 SSP1-26 情景中, 污染较为严重的地区, 例如京津冀等, $PM_{2.5}$ 浓度出现了相对明显的下降。对比 SSP1-26 和 SSP1-26-ProvADJ 情景, 在对空气质量较为严重的区域采取较为严格的能源、产业结构调整, 则更进一步的降低了这些地区的 $PM_{2.5}$ 浓度。

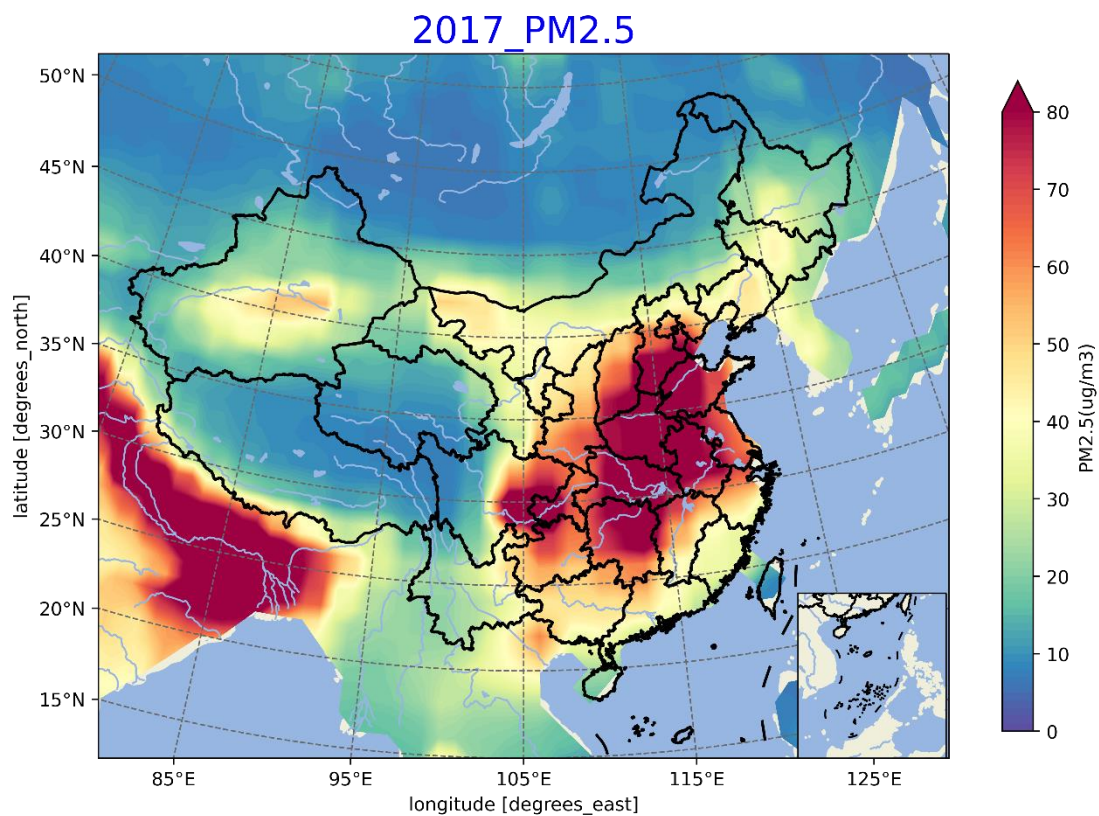


图 5.9 2017 年 PM_{2.5} 年均浓度，模拟分辨率 2°x2.25°

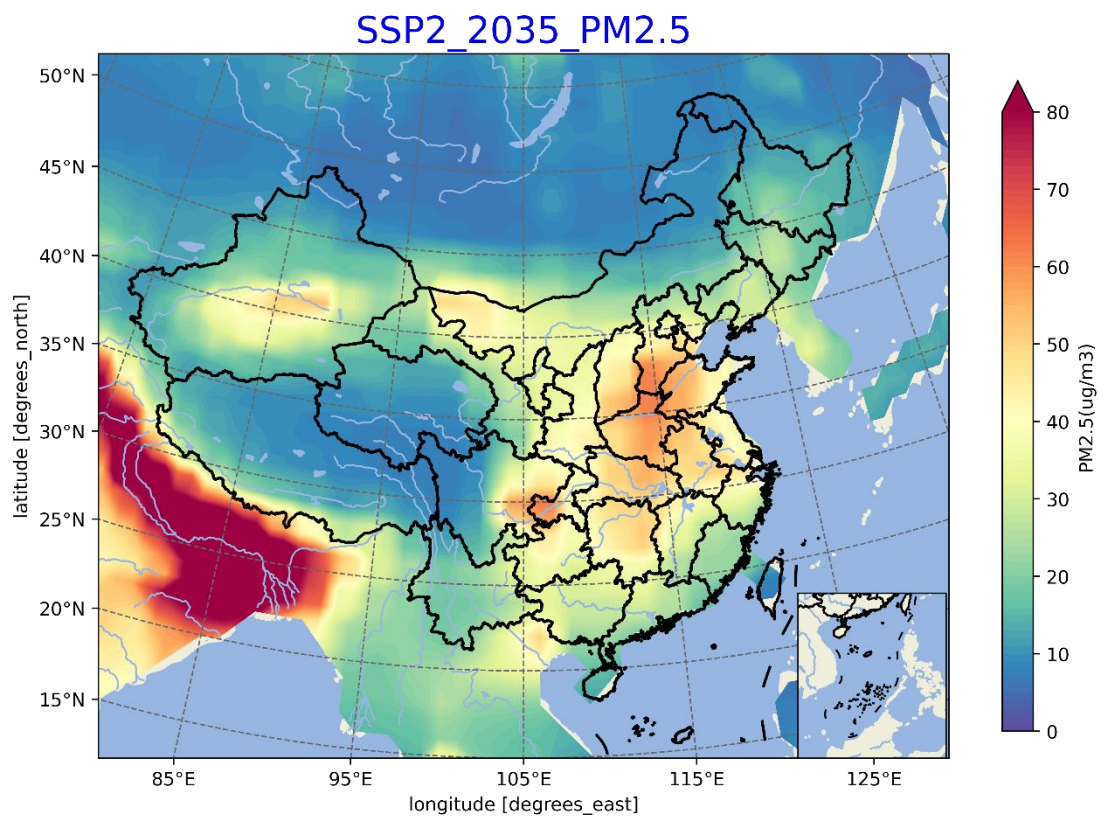


图 5.10 SSP2-45 情景下 2035 年 PM_{2.5} 年均浓度，模拟分辨率 2°x2.25°

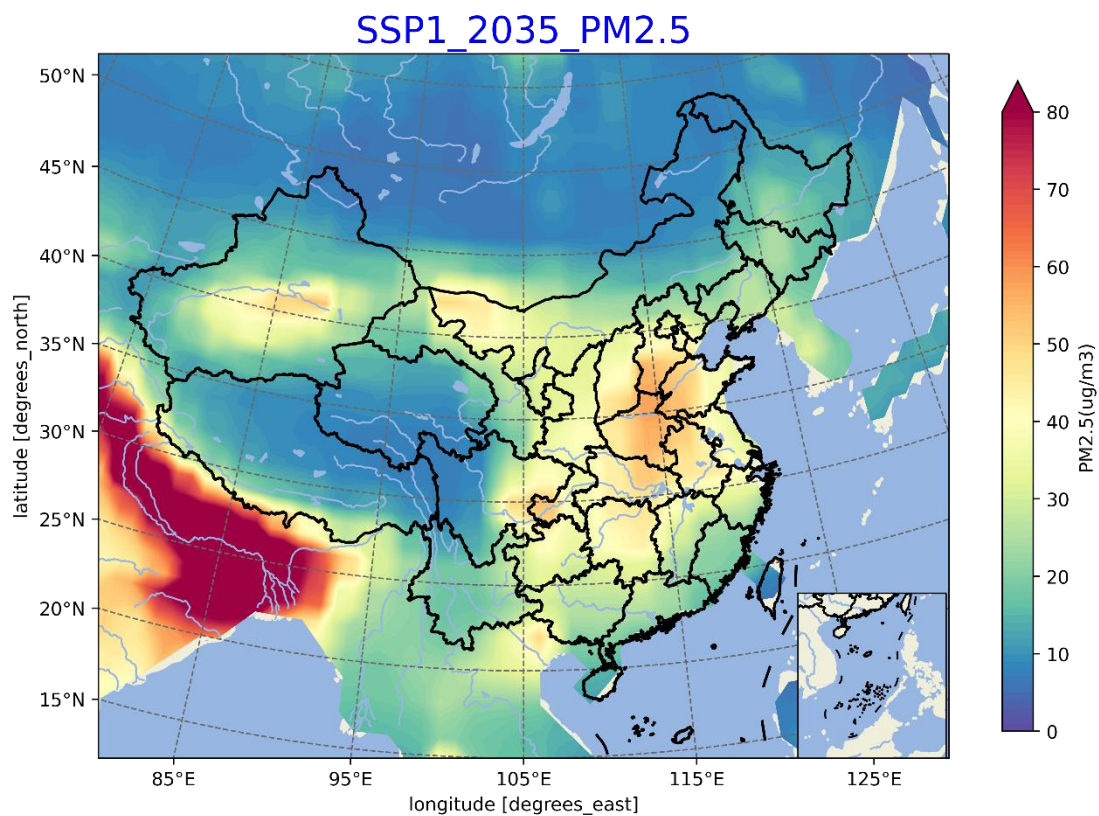


图 5.11 SSP1-26 情景下 2035 年 PM_{2.5} 年均浓度，模拟分辨率 2°x2.25°

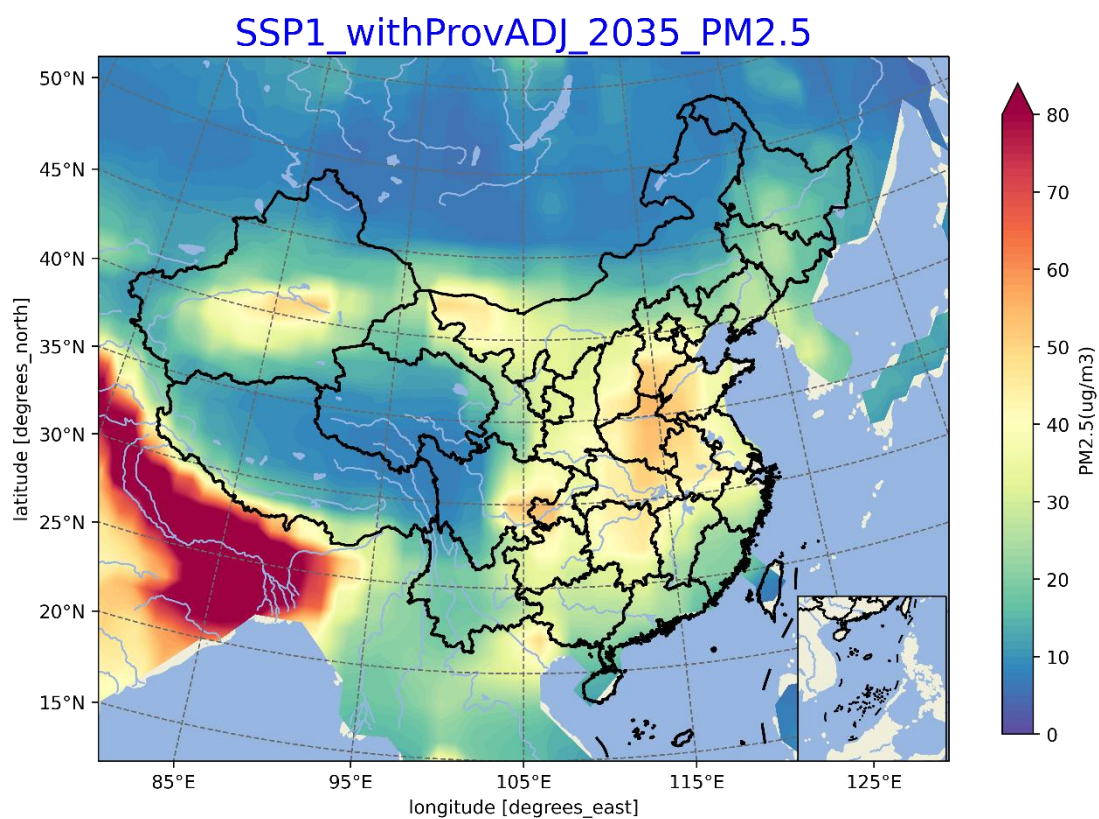


图 5.12 SSP1-26-ProvADJ 情景下 2035 年 PM_{2.5} 年均浓度，模拟分辨率 2°x2.25°

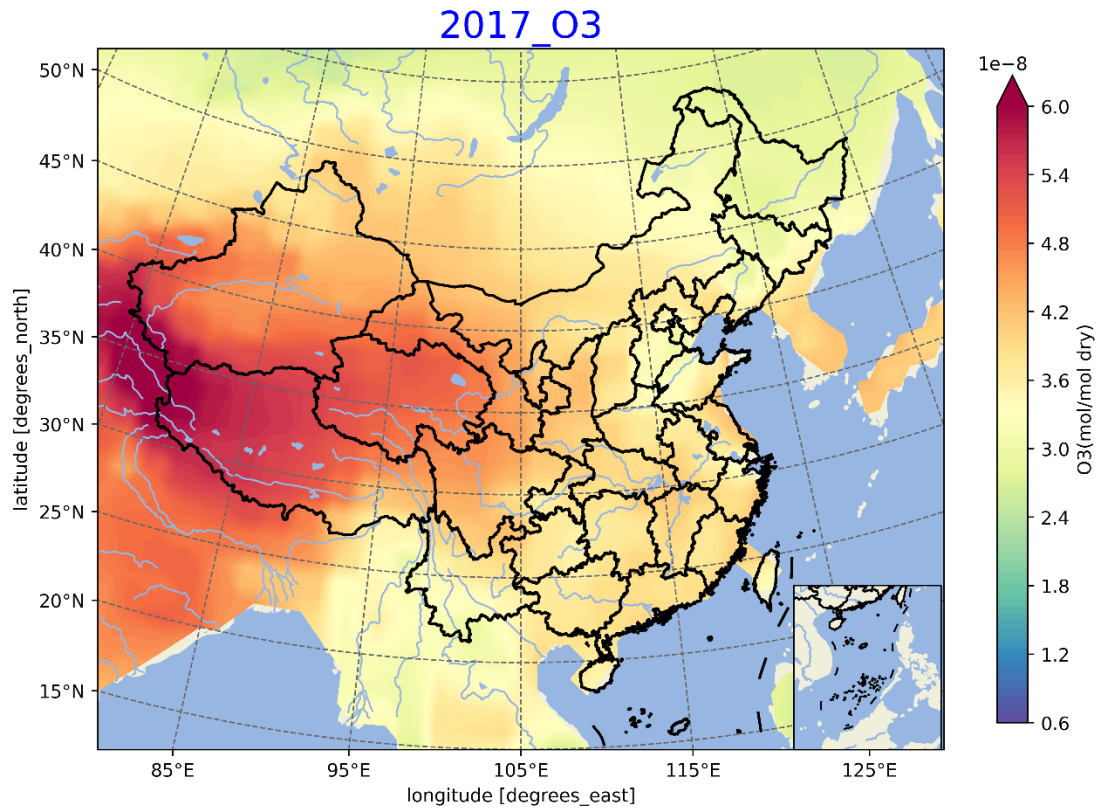


图 5.13 2017 年 O₃ 年均浓度，模拟分辨率 2°x2.25°

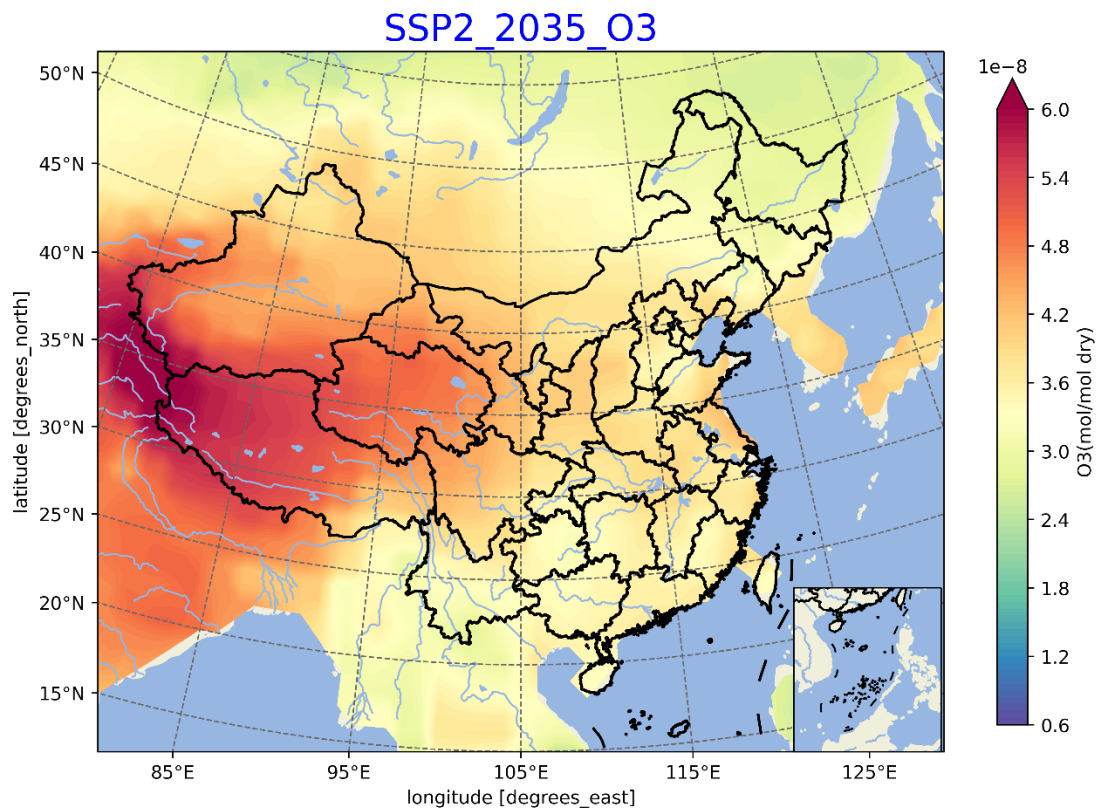


图 5.14 SSP2-45 情景下 2035 年 O₃ 年均浓度，模拟分辨率 2°x2.25°

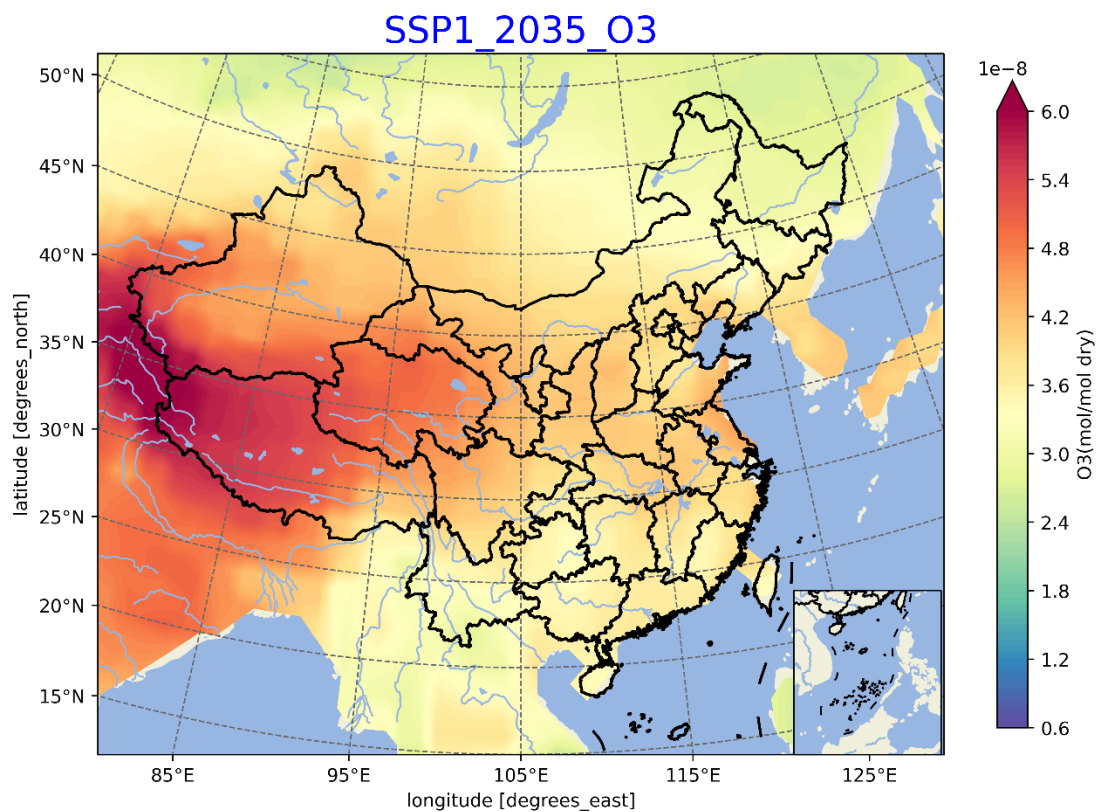


图 5.15 SSP1-26 情景下 2035 年 O₃ 年均浓度，模拟分辨率 2°x2.25°

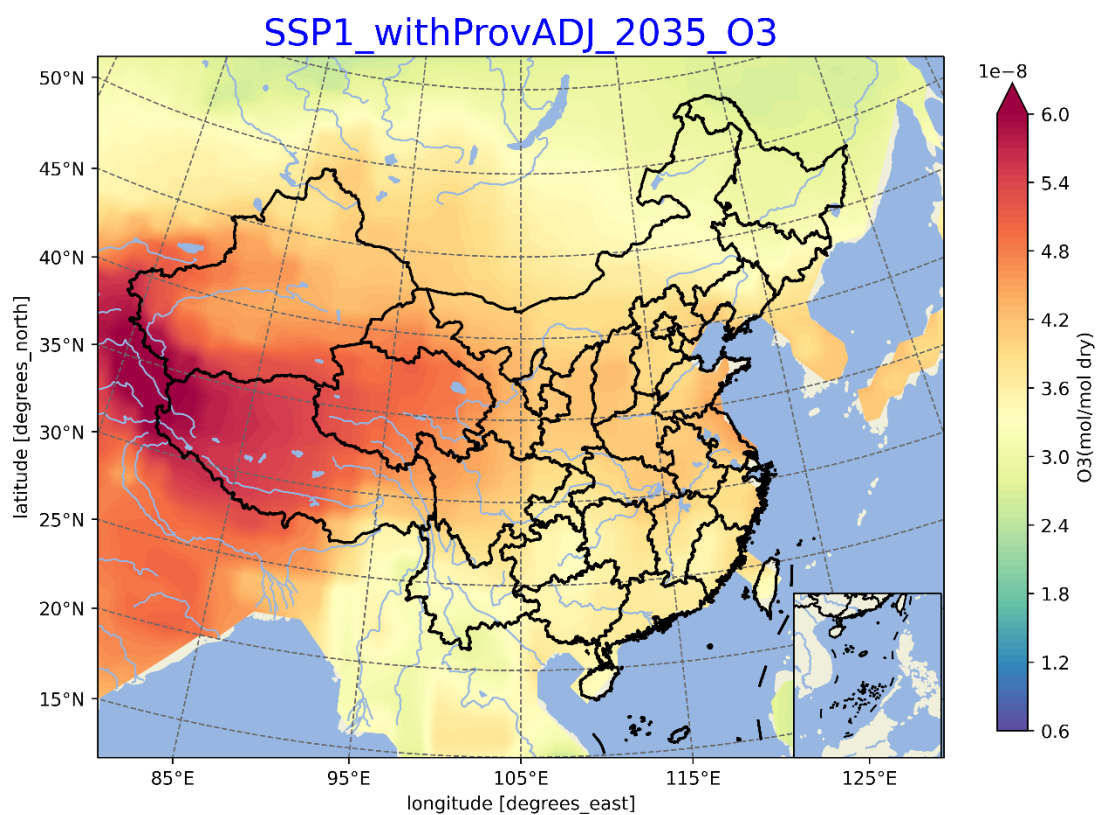


图 5.16 SSP1-26-ProvADJ 情景下 2035 年 O₃ 年均浓度，模拟分辨率 2°x2.25°

为了将模型模拟得到的 2035 年污染物浓度数据与当前实际的污染物浓度数据进行比较，根据以上公式¹⁴对模拟值进行了校正，一是为了方便与 2017 年监测数据显示的空气质量进行比较，二是减少模型的系统性误差。

$$C_{2035_校正} = C_{2035_模拟} * \frac{C_{2017_监测}}{C_{2017_模拟}}$$

其中 $C_{2035_校正}$ 为经过校正以后不同情景下 2035 年的污染物浓度， $C_{2035_模拟}$ 为使用不同情景排放清单经过 GEOS-Chem 模型模拟得到的 2035 年大气污染物浓度模拟值， $C_{2017_监测}$ 为根据 2017 年实际监测数据计算得到的污染物浓度， $C_{2017_模拟}$ 为使用 2017 年 MEIC 清单经过 GEOS-Chem 模型模拟得到的 2017 年大气污染物浓度模拟值。

5.1.3 数据分析比较

(1) 不同情景下 2035 年各地级市 PM_{2.5} 达标情况

根据第 2 章描述可知，2020 年我国 PM_{2.5} 浓度未达标的地级市仍有 136 个。在三个情景下，2035 年我国 PM_{2.5} 浓度未达标的地级市分别减少到 67、53、41 个。在情景 SSP2-45 下，大部分 PM_{2.5} 未达标的城市主要集中在河北省、山西省、安徽省、山东省和河南省。其中安徽省和山东省未达标城市 PM_{2.5} 浓度相对较低，均已接近二级标准值 35μg/m³，而河北省、山西省和河南省仍有一些城市的 PM_{2.5} 浓度值相对较高，例如石家庄市为 55μg/m³、临汾市为 54μg/m³、安阳市为 51μg/m³。在情景 SSP1-26 下，PM_{2.5} 未达标的城市仍就集中在河北省、山东省和河南省，但各城市的污染物浓度水平有了明显的降低。在情景 SSP1-26-ProvADJ 下，大部分未达标的城市 PM_{2.5} 浓度都已达到 40μg/m³ 以下，41 个城市中有 8 个城市 PM_{2.5} 浓度已达到 36μg/m³，接近达标。

表 5.3 三个情景下 2035 年 PM_{2.5} 浓度未达标城市

SSP2-45				SSP1-26				SSP1-26-ProvADJ			
编号	省份	城市	PM _{2.5}	编号	省份	城市	PM _{2.5}	编号	省份	城市	PM _{2.5}
1		北京市	37	1	河北省	石家庄市	48	1	河北省	石家庄市	45
2		天津市	38	2		邯郸市	49	2		邯郸市	46
3	河北省	石家庄市	55	3		邢台市	46	3		邢台市	43

4		唐山市	42	4		保定市	49	4		保定市	47
5		邯郸市	53	5		沧州市	37	5		衡水市	39
6		邢台市	51	6		衡水市	41	6		太原市	39
7		保定市	54	7		太原市	42	7		阳泉市	38
8		沧州市	41	8		阳泉市	40	8		晋城市	38
9		廊坊市	37	9		长治市	36	9	山西省	晋中市	36
10		衡水市	48	10		晋城市	40	10		运城市	42
11		太原市	47	11	山西省	晋中市	38	11		忻州市	38
12		阳泉市	43	12		运城市	45	12		临汾市	46
13		长治市	41	13		忻州市	39	13	内蒙古	包头市	38
14		晋城市	43	14		临汾市	48	14	自治区	乌海市	36
15		朔州市	39	15		吕梁市	37	15	江苏省	徐州市	36
16		晋中市	42	16	内蒙古	包头市	38	16		淮北市	38
17		运城市	49	17	自治区	乌海市	36	17	安徽省	阜阳市	38
18		忻州市	45	18	江苏省	徐州市	38	18		宿州市	40
19		临汾市	54	19		淮北市	39	19		济南市	36
20		吕梁市	41	20		阜阳市	39	20		德州市	37
21	内蒙古自治区	包头市	41	21	安徽省	宿州市	41	21	山东省	聊城市	39
22		乌海市	38	22		亳州市	36	22		菏泽市	38
23	黑龙江省	哈尔滨市	36	23		济南市	38	23		郑州市	39
24	江苏省	徐州市	40	24		淄博市	37	24		开封市	37
25		蚌埠市	36	25		德州市	39	25		洛阳市	42
26		淮南市	36	26	山东省	聊城市	42	26	河南省	平顶山市	38
27		淮北市	39	27		滨州市	37	27		安阳市	46
28	安徽省	铜陵市	37	28		菏泽市	40	28		新乡市	36
29		阜阳市	39	29		郑州市	41	29		焦作市	43
30		宿州市	43	30		开封市	39	30		濮阳市	38
31		亳州市	37	31		洛阳市	44	31	湖北省	襄阳市	36
32		济南市	41	32		平顶山市	40	32	西藏自治区	那曲市	41
33		淄博市	41	33		安阳市	48	33		西安市	42
34		枣庄市	38	34		鹤壁市	37	34	陕西省	宝鸡市	36
35		东营市	36	35		新乡市	38	35		咸阳市	46
36	山东省	潍坊市	36	36	河南省	焦作市	46	36		渭南市	43
37		德州市	43	37		濮阳市	40	37		兰州市	37
38		聊城市	46	38		许昌市	36	38	甘肃省	武威市	37
39		滨州市	42	39		漯河市	37	39	青海省	海东市	40
40		菏泽市	43	40		三门峡市	36	40		银川市	37
41		郑州市	44	41		商丘市	36	41	宁夏回族自治区	石嘴山市	36
42		开封市	41	42	湖北省	襄阳市	36				
43		洛阳市	47	43	西藏自治区	那曲市	41				
44		平顶山市	42	44		西安市	43				
45	河南省	安阳市	51	45		铜川市	36				
46		鹤壁市	40	46	陕西省	宝鸡市	36				
47		新乡市	41	47		咸阳市	48				
48		焦作市	50	48		渭南市	44				
49		濮阳市	43	49		兰州市	37				
50		许昌市	38	50	甘肃省	武威市	37				
51		漯河市	38	51	青海省	海东市	40				

52		三门峡市	39	52	宁夏回族自治区	银川市	37
53		商丘市	38	53		石嘴山市	36
54		周口市	37				
55	湖北省	襄阳市	40				
56	四川省	自贡市	38				
57	西藏自治区	那曲市	41				
58	陕西省	西安市	46				
59		铜川市	38				
60		宝鸡市	39				
61		咸阳市	52				
62		渭南市	48				
63	甘肃省	兰州市	39				
64		武威市	36				
65	青海省	海东市	37				
66	宁夏回族自治区	银川市	40				
67		石嘴山市	38				

(2) 分析不同参数对于城市空气质量达标的贡献

对比 SSP1-26 和 SSP2-45，尽管 SSP1-26 情景下我国的社会经济发展水平要高于 SSP2-45 情景，但是到 2035 年，SSP1-26 情景下我国的城市空气质量仍要好于 SSP2-45。在走可持续发展道路的情景中，能源消费、产业发展、电力消费都会转向更加清洁、绿色的发展路径，从源头上控制了大气污染物的排放。在 SSP2-45 情景中，尽管末端排放治理的水平相对于情景 2 来说更加严格，但是从 2035 年的模拟结果可以看出，其能够产生的污染物控制效果是有限的。从下表也可以看出，尽管 SSP2-45 情景加大了末端治理排放力度，但是由于在能源结构、产业结构、电力结构上的调整力度不够，主要污染物的削减量明显低于 SSP1-26 情景。在 SSP1-26 情景中，结构调整贡献了主要污染物的大部分削减量。而在 SSP2-45 情景中，对于一些污染物，例如 NO_x 、 NH_3 、CO 等，若没有高强度的末端排放治理技术，在未来社会的发展过程中，其排放量会出现一个逐渐增加的趋势。因此，在我国目前多数末端排放治理潜力用尽的情况下，如果要进一步提升我国的空气质量，需要转向能源结构、产业结构、交通结构等的调整，这样既能够从根本上解决我国空气污染的问题，同时从长远角度来看能够减少空气污染治理和空气质量进一步改善的成本。对比 SSP1-26 情景和 SSP1-26-ProvADJ 情景，在确保全国污染物削减总量相同的前提下，SSP1-26-

ProvADJ 情景对污染较为严重的省份设置了进一步的产业结构调整 and 转移，增加了这些省份的污染物削减比例，在此情景下，更多的城市 PM_{2.5} 浓度达标，并且一些污染较为严重的城市 PM_{2.5} 浓度有了明显的下降。因此，在我国整体的达标路径设计中，要对重点城市或区域进行有侧重的产业和能源结构调整，这样才能我国尽早实现全面的、有质量的空气质量达标。

表 5.4 不同情景下结构调整和末端治理对污染物排放量削减的贡献占比

	SO ₂	NO _x	NM VOC	NH ₃	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	OC
SSP1-26 削减量 (百万吨)	6.98	11.64	10.93	2.76	51.62	6.11	4.49	0.60	1.15
结构调整贡献	77.23%	42.50%	100.00%	100.00%	64.23%	85.41%	84.92%	77.85%	81.88%
末端排放治理贡献	22.77%	57.50%	0.00%	0.00%	35.77%	14.59%	15.08%	22.15%	18.12%
SSP2-45 削减量 (百万吨)	5.04	10.85	9.68	1.77	40.83	5.15	3.78	0.49	0.97
结构调整贡献	47.43%	-5.20%	5.19%	-35.58%	-13.40%	43.83%	41.97%	17.56%	33.55%
末端排放治理贡献	52.57%	105.20%	94.81%	135.58%	113.40%	56.17%	58.03%	82.44%	66.45%

5.2 城市空气质量达标与碳达峰、碳中和的协同效益

5.2.1 不同情景下碳排放的变化趋势

SSP1-26 和 SSP2-45 情景下各行业 CO₂ 排放量的变化如下图所示。在 SSP2-45 情景下，从 2020 年到 2030 年，其间 CO₂ 排放量先略有上升，然后下降，基本维持在一个比较稳定的水平，从 2030 年开始出现了相对显著的降低。在 SSP1-26 情景下，CO₂ 排放量从 2025 年开始就出现了较为明显的下降，从 2030 年开始下降的速度有所加快。到 2035 年，SSP1-26 情景下 CO₂ 排放量仅为 SSP2-45 下 CO₂ 排放量水平的 80%。从行业减排上看，SSP1-26 中工业部门碳排放量从 2020 年到 2035 年出现了一个较大幅度的削减，一方面是因为产业结构转型，从依赖于化石燃料的重工业产业结构逐渐转向偏重第三产业的产业结构，另一方面工业生产过程逐渐转向电气化，直接排放的 CO₂ 量减少。而电力部门的碳排放则维持在一个相对稳定的水平，这主要是因为随着社会的发展和各行业电气化进程的推动，社会总体的电力消费总量在逐年增加。但是在 SSP1-26 情景下，我国的发电结构逐渐的偏向以风电和光电为主、煤电和气电为辅的电

力系统，因此即使在电力需求快速增长的同时，电力部门的碳排放仍然稳定在一个稳定的水平。而在 SSP2-45 情景中，能源结构、产业结构和电力结构的调整速度较为缓慢，因此各个行业的碳排放水平在 2020 年至 2030 年都出现了不同程度的上升。到 2030 年时，通过长期的结构调整积累，产业结构开始由重转轻，各行业对化石能源的依赖逐渐较小，同时风电光电装机容量的累计增加扩大了非化石能源的发电比例，因此从 2030 年开始，碳排放达到峰值，开始出现下降趋势。

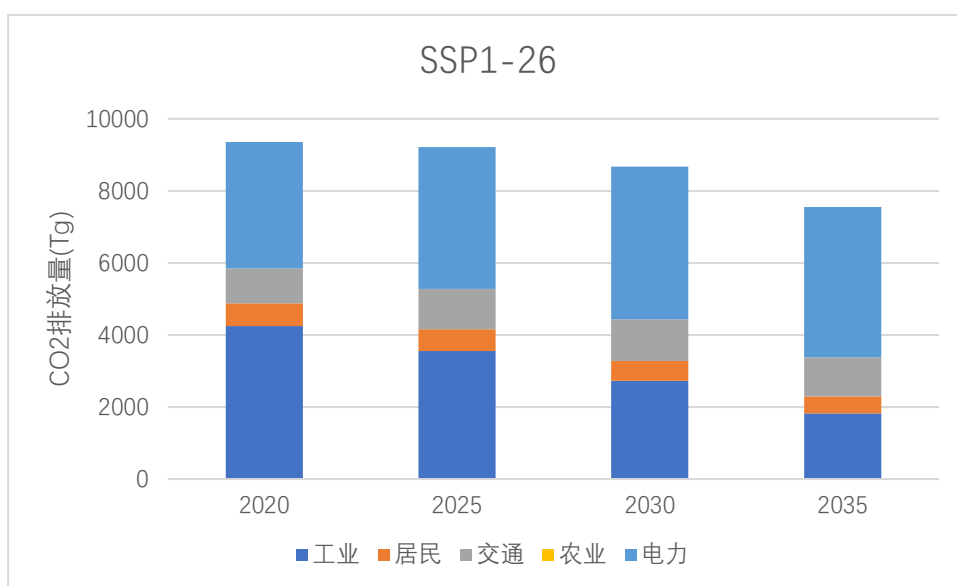


图 5.17 SSP1-26 情景下分行业碳排放量预测

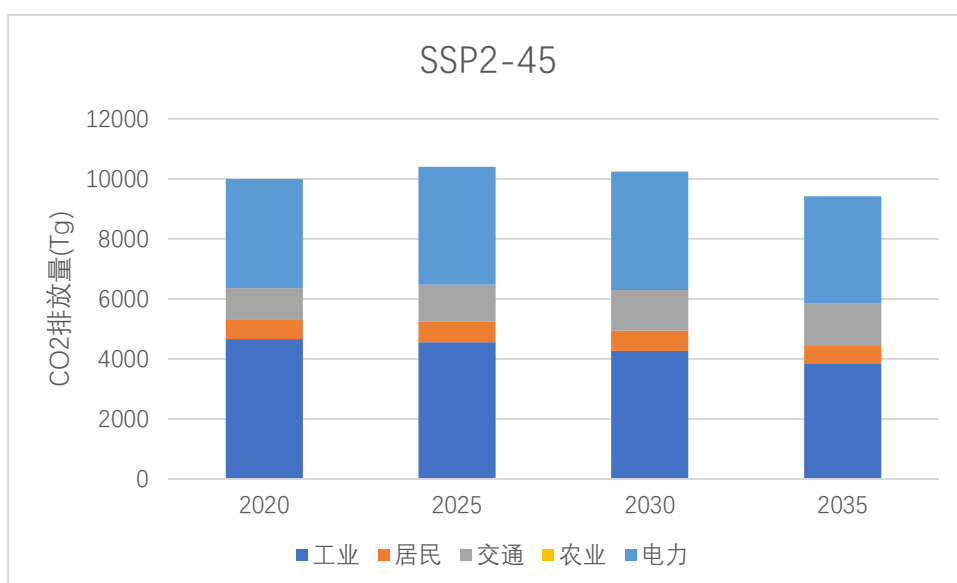


图 5.18 SSP2-45 情景下分行业碳排放量预测

5.2.2 城市空气质量达标与碳达峰、碳中和的相互促进作用

一方面，从城市空气质量达标的角度出发，能源结构、产业结构、电力结构的调整以及末端治理水平的提高对于城市空气质量达标都具有重要作用。从碳达峰、碳中和的角度来看，能源结构、产业结构的低碳化以及碳捕集技术、负排放技术的发展则是实现碳达峰、碳中和的主要路径。从对于城市空气质量达标和碳达峰、碳中和的实现路径来看，两者在产业结构、能源结构和电力结构等的调整上具有高度的重合性。在产业结构上，通过产业结构的优化升级，不断推进第三产业的比例，降低第二产业的比例，能够降低依赖于化石能源的行业比例。在能源消费结构上，提高各个行业的电气化率，例如交通部门推广使用新能源车等，减少煤炭、石油等化石能源的直接使用。在电力结构上，增加风电、光电等清洁能源的发电比例，降低煤电的发电占比。这些结构方面的调整措施在减少各行业污染物排放水平的同时，从源头上减少了化石能源的使用，减少了碳排放，对我国实现碳达峰、碳中和具有重要的促进作用。²⁵

另一方面，在碳达峰、碳中和的背景下，产业结构的低碳化调整、以化石能源为基础的能源体系和相关基础设施的重构必然会加快进行，从而帮助我国未达标城市实现空气质量达标、已达标城市实现空气质量持续改善。对于城市环境空气质量的改善和提升，主要是由市生态环境局来负责和落实。对于短期的空气污染治理措施来说，市生态环境局能够发力的点相对较多，能够落实的空气质量改善措施也相对较多。而对于未来的空气污染治理，末端治理的潜力空间并不是很大，深层次地空气质量提升需要依靠城市能源结构、产业结构、用地结构等方面的调整。在这些方面，往往需要做较长期的规划，同时相关政策的落实需要协调城市各个行政部门。因此，生态环境局往往很难制定和落实一些长期的空气污染治理措施。而碳达峰、碳中和目标的提出，能够有效地调动城市各部门相互合作的积极性，推动城市在能源结构、产业结构上实现绿色低碳转型相关政策的制定和落实。这一过程会帮助城市在各行各业减少对于化石能源的依赖，从而在源头上减少大气污染物的产生和排放，从而实现城市的空气质量稳定达标和持续改善。

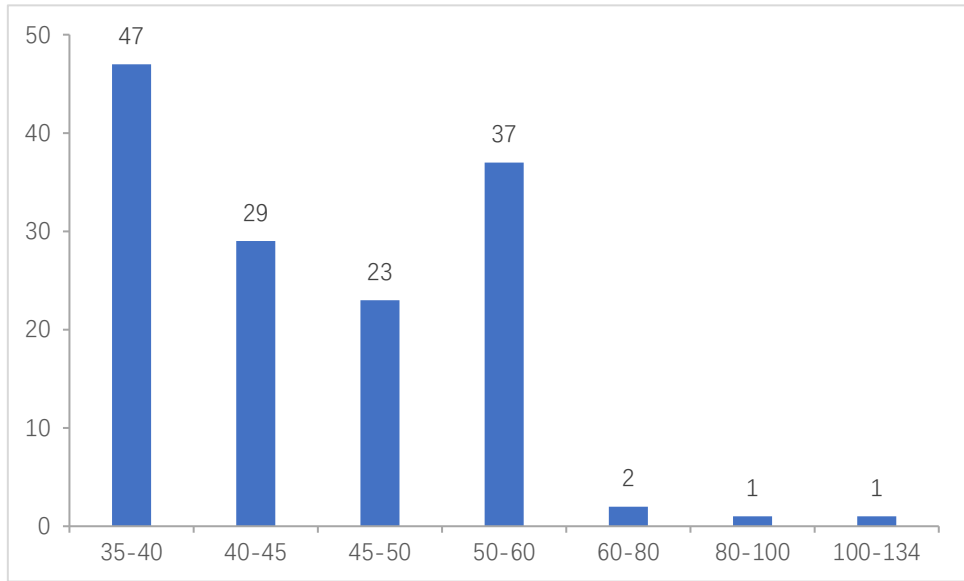


图 5.20 2020 年中国不达标城市数量 PM_{2.5} 年平均浓度分布

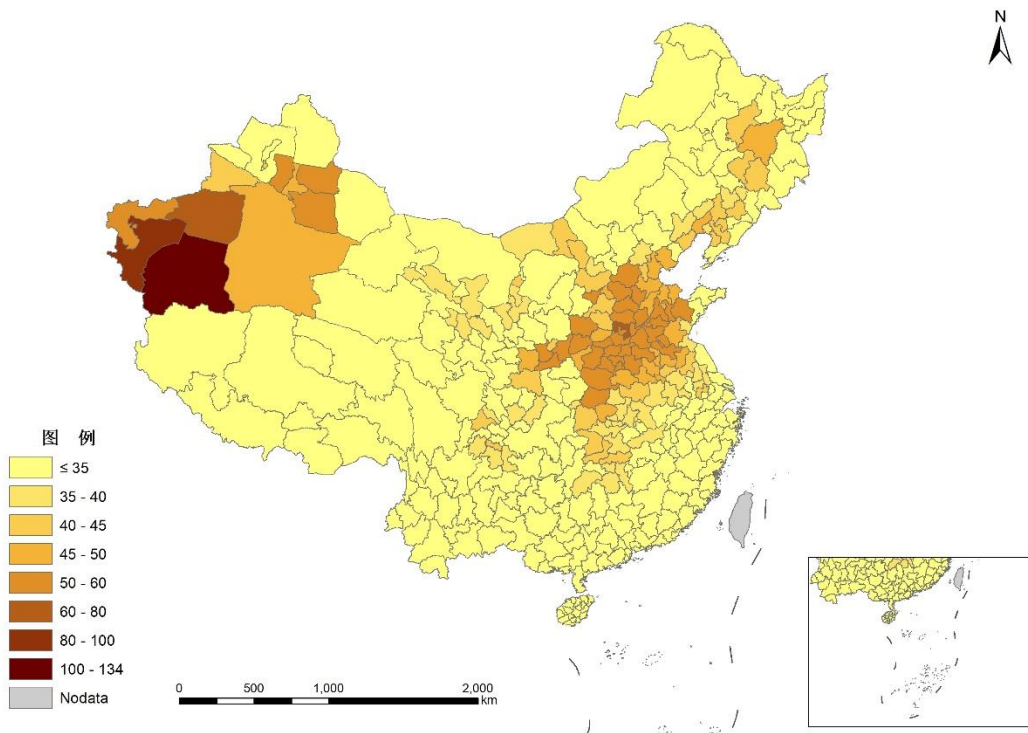


图 5.21 2020 年中国地级市 PM_{2.5} 年平均浓度 (单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

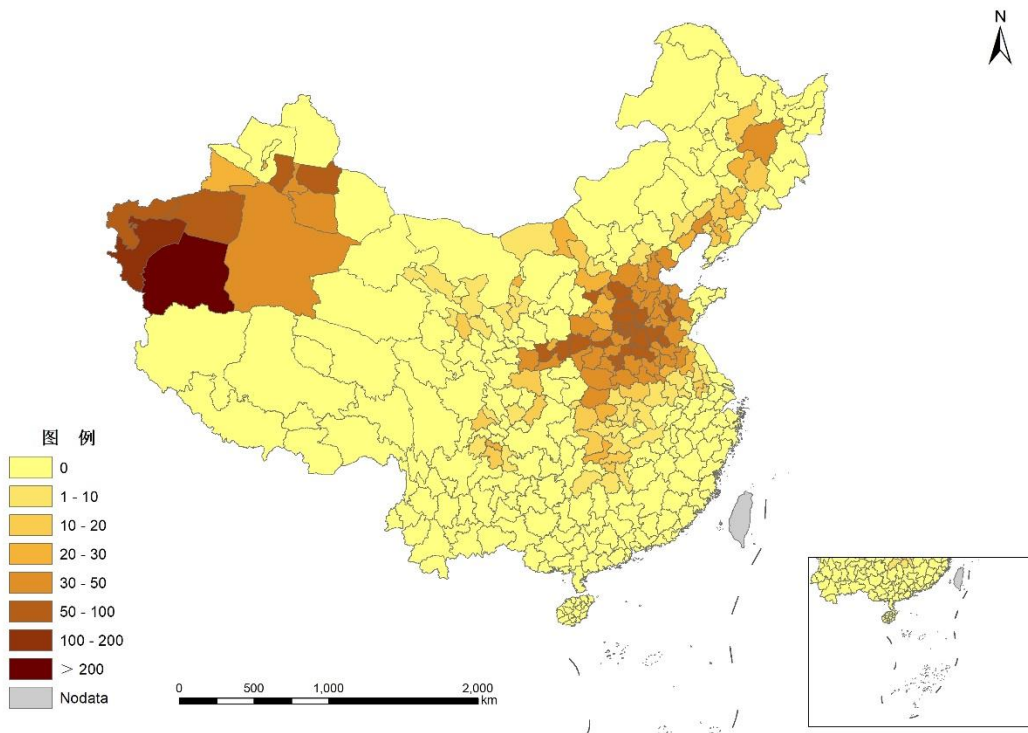


图 5.22 2020 年中国地级市 PM_{2.5} 年平均浓度超标幅度（单位：%）

（2）相关疾病死亡人口数量

空气污染是影响公众健康的重要因素²⁶，PM_{2.5}浓度上升会使缺血性心脏病、慢性阻塞性肺病和肺癌三种疾病的死亡率增加²⁷（表 5.5）。因此，不达标城市通过采取各项措施使其 PM_{2.5}浓度达标（即 PM_{2.5}浓度降至 35μg/m³以下），PM_{2.5}浓度的下降将使相关疾病死亡人口数量减少。

通过 140 个未达标城市 2020 年 PM_{2.5}年平均浓度与二级标准的差值计算三种相关疾病总体死亡率的下降，再结合城市人口数量计算得到空气质量达标减少的相关疾病死亡人口数量。结果显示，所有未达标城市 PM_{2.5}浓度达标共减少相关疾病死亡人口 20.35 万人，其中河南省减少的死亡人口数量最多，约为 4.59 万人，山东省和河北省次之，分别为 3.64 万人和 2.77 万人，新疆、陕西和山西减少的死亡人口也都超过了 1 万人。

在城市层面，140 个城市平均减少死亡人口 1453 人，石家庄市、喀什地区、邯郸市减少的死亡人口最多，均超过 5000 人。由于庞大的人口规模（1088 万）和较高的 PM_{2.5}浓度（58.49μg/m³），石家庄市减少的死亡人口最多，为 6196 人；

虽然喀什地区 $PM_{2.5}$ 浓度高 ($82.78\mu\text{g}/\text{m}^3$), 但其人口规模相对较小 (465 万), 减少的死亡人口为 5937 人; 与石家庄市类似 (人口 951 万, $PM_{2.5}$ 浓度 $57.06\mu\text{g}/\text{m}^3$), 邯郸市减少的死亡人口为 5289 人。

表 5.5 $PM_{2.5}$ 浓度上升 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 增加的总体死亡人数 (死亡人数/10 万人)

省	死亡人数	省	死亡人数
安徽省	26.13	江西省	27.11
北京市	22.96	吉林省	30.60
重庆市	31.80	辽宁省	29.81
福建省	25.03	澳门特别行政区	14.50
甘肃省	32.11	宁夏回族自治区	30.16
广东省	26.33	青海省	37.06
广西壮族自治区	32.36	陕西省	25.76
贵州省	33.60	山东省	30.48
海南省	22.51	上海市	16.31
河北省	27.13	山西省	25.77
黑龙江省	34.16	四川省	31.58
河南省	29.88	天津市	24.69
香港特别行政区	12.66	西藏自治区	18.26
湖北省	26.29	新疆维吾尔自治区	37.48
湖南省	27.19	云南省	31.49
内蒙古自治区	32.36	浙江省	18.33
江苏省	20.80		

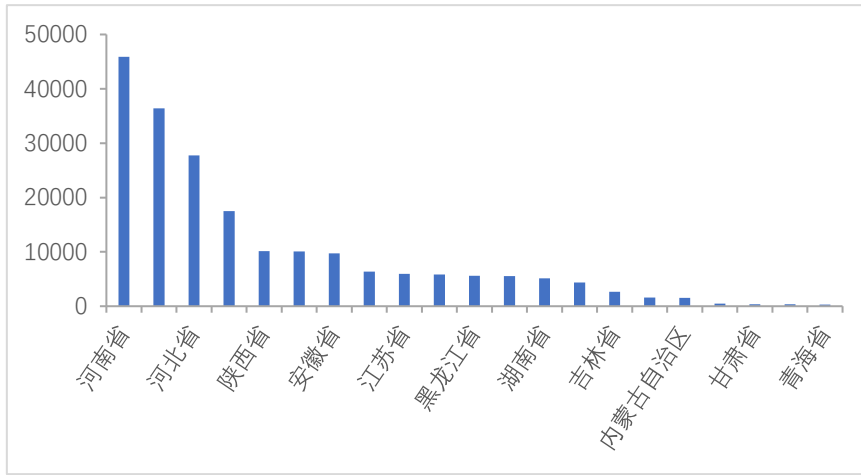


图 5.23 各省死亡人口减少量

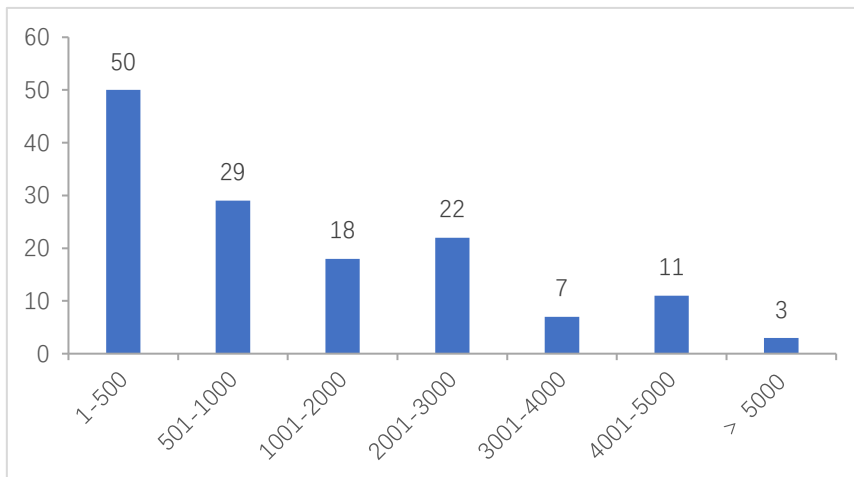


图 5.24 城市死亡人口减少量分布

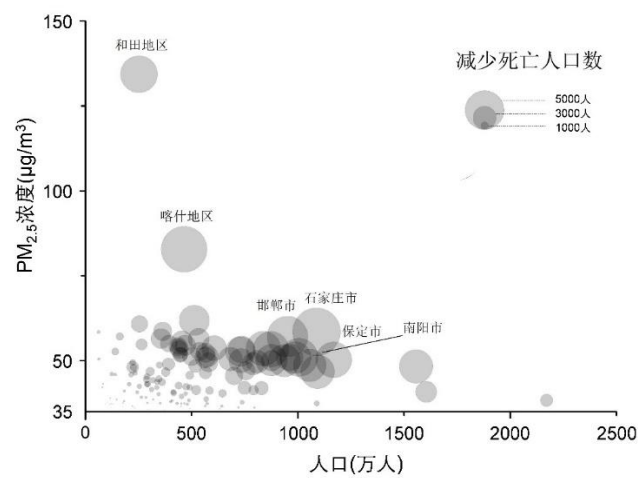


图 5.25 不同城市人口规模和 PM_{2.5} 浓度对应的死亡人口减少量

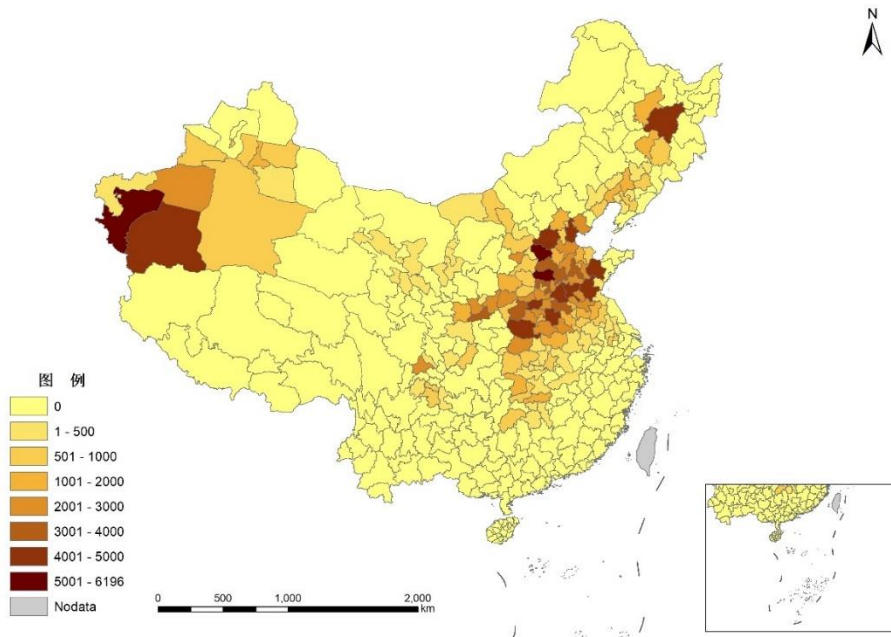


图 5.26 死亡人口减少量

(3) 统计生命价值 (Value of Statistics Life, VSL) 计算

为了评估各种自然或人为事故可能导致的生命损失，需要对人的生命进行统计学意义上的“定价”，这就是“统计生命价值”²⁸。支付意愿法通过直接问卷调查的形式来询问人们为规避死亡风险所愿意支付的最大金额，从而间接算出人们对自我生命价值的评定，是一种较为全面、公平地表征一个人生命价值的方法²⁹，本报告采用这一方法来评价统计生命价值。

使用美国环保署推荐的 VSL 作为基准，即 2006 年每人 740 万美元，考虑通货膨胀率和汇率将其调整为 2017 年的人民币价值，再结合 2017 年 140 个不达标城市的人均 GDP，选择收入弹性系数 0.5，分别计算每个城市的 VSL。

结果表明，空气质量达标能够带来显著的健康效益，健康效益总计为 4.52 万亿元，其中河南省的健康效益最高，约为 0.97 万亿，其次为山东省和河北省，分别为 0.89 万亿元和 0.58 万亿元，新疆、陕西和山西的健康效益也都超过了 2000 亿元。在城市层面，天津市、石家庄市、郑州市、济宁市、潍坊市、哈尔滨市的健康效益都超过了 1000 亿元，其中天津市、石家庄市甚至超过了 1400 亿元，分别为 1497 亿元、1472 亿元，天津市主要是由于较高的 VSL，而石家庄市则是由于减少的死亡人口数量更多。

从空气质量达标的健康效益占 GDP 比例来看，140 个城市平均为 11.45%。新疆和田地区、喀什地区健康效益占 GDP 的比例分别为 183%、95%，这主要是由于 2020 年 PM_{2.5} 年平均浓度过高，分别为 134.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 83.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，达标所需的 PM_{2.5} 浓度降幅过大；此外，克孜勒苏柯尔克孜自治州和阿克苏地区健康效益占 GDP 的比例也较高，分别为 51%和 45%；其余城市的比例均在 37%以下。

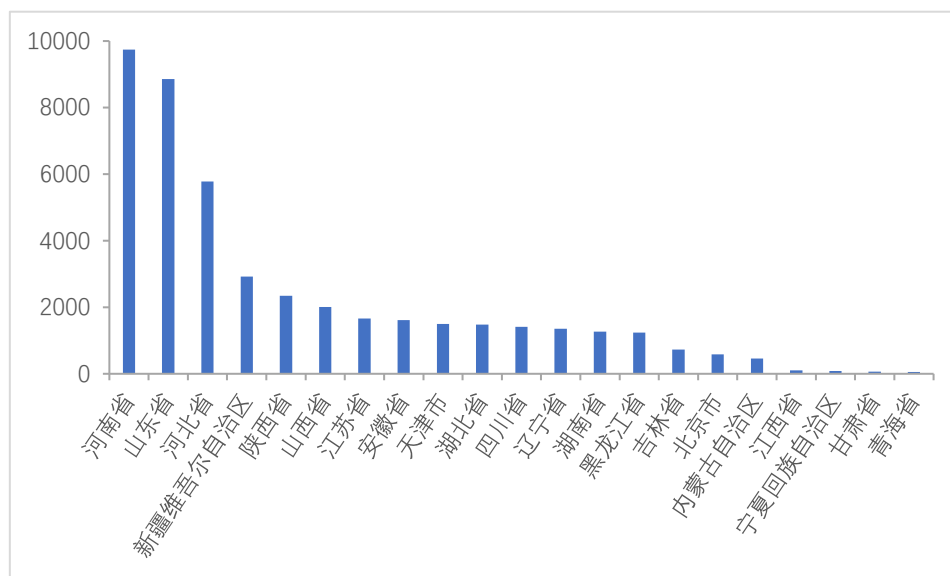


图 5.27 各省空气质量达标的健康效益

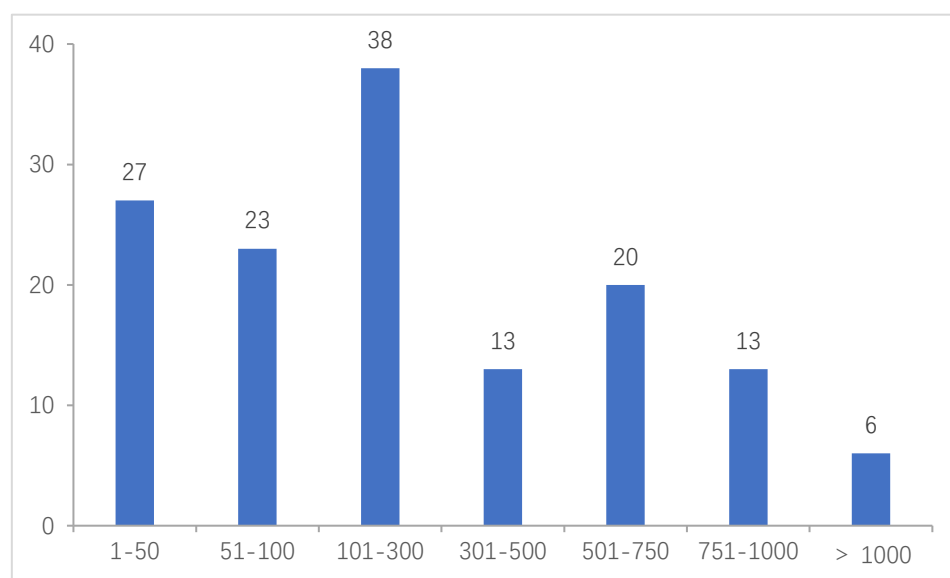


图 5.28 城市空气质量达标的健康效益分布

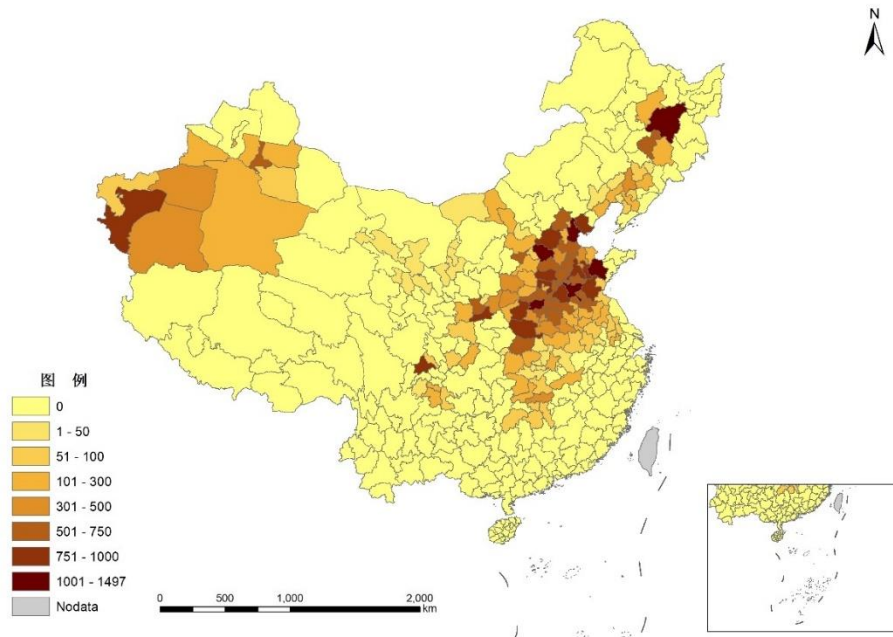


图 5.29 空气质量达标的健康效益（单位：亿元）

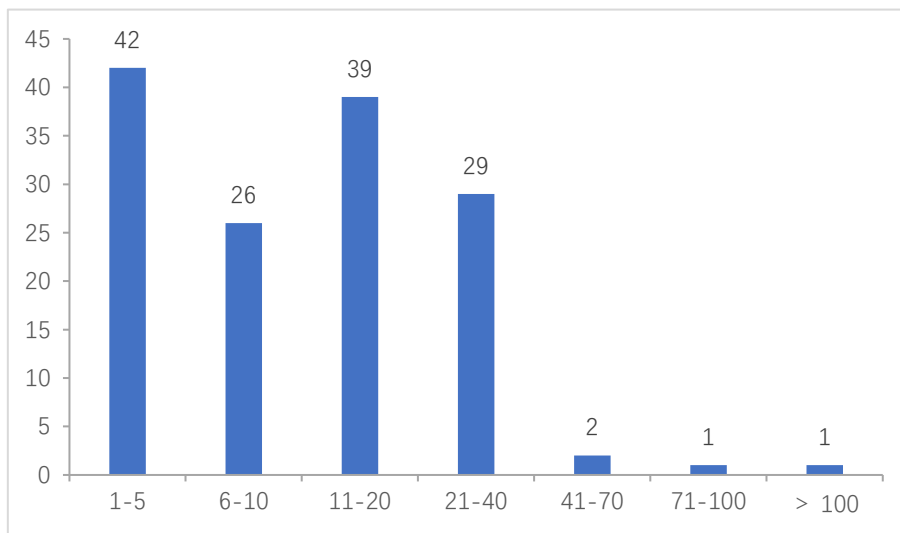


图 5.30 空气质量达标健康效益占 GDP 比例分布

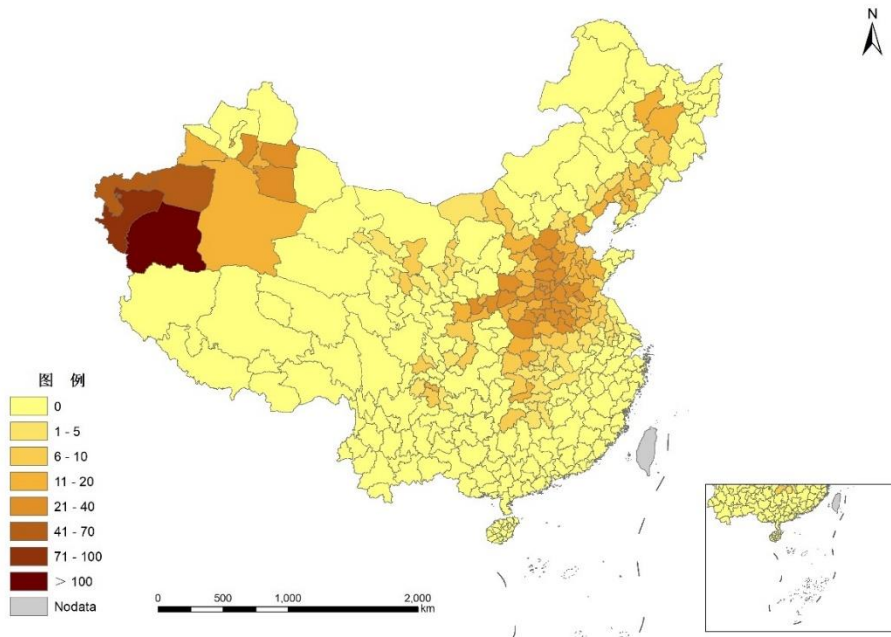


图 5.31 空气质量达标健康效益占 GDP 比例（单位：%）

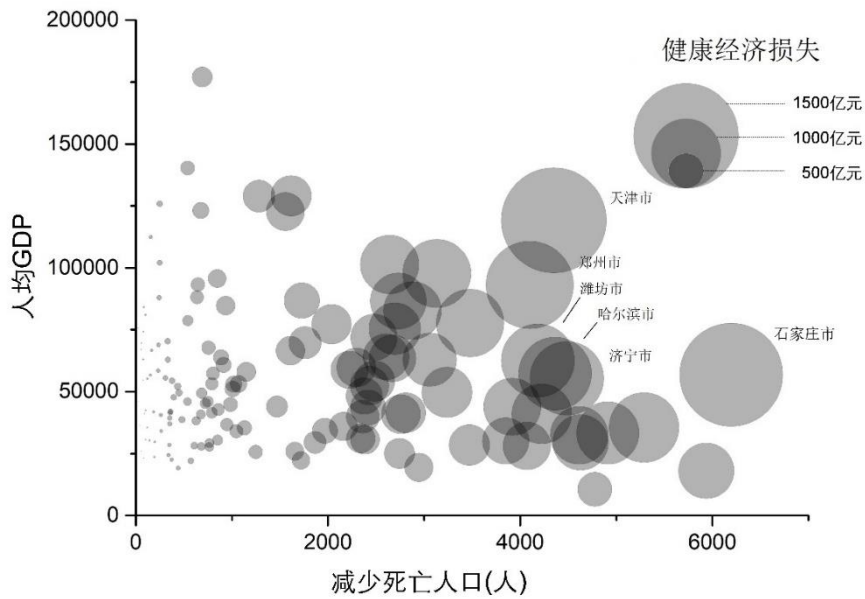


图 5.32 不同城市死亡人口减少量和人均 GDP 对应的健康经济损失

(4) 对不同达标标准的分析

相比于 WHO 对 $PM_{2.5}$ 浓度的指导值 $10\mu g/m^3$ ，《环境空气质量标准 GB3095-2012》制定的 $PM_{2.5}$ 二级标准仍然较高，因此，增加 $PM_{2.5}$ 一级标准 $15\mu g/m^3$ 和 WHO 的指导值 $10\mu g/m^3$ 作为空气质量达标的标准进行分析。

不同标准的结果对比表明，随着标准越来越严格，空气质量达标减少的死亡人口数量和健康效益都大幅增加（表 5.5）。但这并不意味着标准越严格越好，需要考虑各项污染物控制措施的成本增加情况，综合比较成本与收益做出决策。

另外，考虑到新冠疫情对社会经济和工业生产的影响，2020 年的污染物浓度较正常年份异常偏低，因此，包括不达标城市数量、达标减少的死亡人口数量和健康效益等指标可能存在一定程度的低估。

表 5.5 敏感性分析

	二级标准	一级标准	WHO 标准
PM _{2.5} 浓度	35μg/m ³	15μg/m ³	10μg/m ³
不达标城市数量	140	318	327
不达标城市人口	6.7 亿	13.6 亿	13.8 亿
达标减少的死亡 人口数量	20.35 万	72.98 万人	88.19 万
健康效益	4.52 万亿	16.88 万亿	20.43 万亿

六、推进实施城市空气质量达标规划面临的问题与挑战

6.1 城市达标规划制定比例过低，相关法律法规未被严格执行

根据调研，未制定达标规划主要由以下原因导致：（1）部分经济发展较落后、产业结构偏重、能源消耗量大的城市从经济角度出发，认为短期内实现空气质量达标会造成较大经济与财政负担，从而不愿意出台达标规划。（2）以华北地区为主的部分城市目前空气污染严重，距离达标差距大，预期达标日期过长，担心制定与公布达标规划之后产生不利的舆论影响。（3）部分省市仍存在对生态环境重要性认识不足的问题，空气质量在政府工作中处在次要位置，未给予足够的重视与相关的组织与财政资源保障。（4）我国目前《环境保护法》和《大气污染防治法》中对达标规划制定的相关描述过于简单，国家层面没有出台正式的达标规划编制要求与技术规范，导致法律执行效率低下，且缺少相关执法检查。

6.2 现有城市达标规划大多形式大于内容，缺乏可操作性

通过对已发布的达标规划内容的总结分析，发现绝大多数达标规划在内容上都存在以下三个方面的问题：一是缺乏对城市现有污染源以及大气污染特征的系统定量分析，二是缺少对城市未来发展规划的情景分析以及对不同减排措施效果的模拟预测，三是没有明确相关治理措施的责任主体与奖惩手段。这三方面的问题导致了达标规划中对于末端排放治理、能源结构调整等治理措施只能以笼统定性为主，无法落实到具体部门、具体时段、具体污染源，无法对未来的排放情景和减排效果进行事前分析，也无法保证对达标规划实施的事后评估，导致达标规划方案的可靠性和可行性无法得到保证。

6.3 多数城市当前空气污染治理中重短期措施，轻长期规划的问题突出

过去几年我国空气污染治理注重短期措施与效果，忽视长期的达标规划。为了压实地方政府责任，快速改善空气质量，生态环境部和省生态环境厅给各城市下达年度、季度、月度目标，乃至对每周空气质量进行排名。在自上而下的目标分解过程中，层层加码的现象较为严重。如果城市空气质量达不到阶段

性目标，该市政府和生态环境局会面临严重的追责。在这种情况下，地方政府和生态环境局通常会优先选择停产、限产、错峰生产等短期见效的措施，而对产业与能源结构调整等需要进行长期规划的措施重视不足。

6.4 末端治理未来潜力有限，结构调整中跨部门协同不足

2013 年以来，以对重点排放源安装脱硫、脱硝、除尘等技术为主的末端排放治理措施在空气质量的改善中贡献最大。但是近两年来，末端治理的边际成本越来越高，对空气质量的改善空间越来越小。要进一步从根本上治理大气污染，必须推动城市实现产业结构、能源结构和交通结构的调整，并与城市碳减排目标进行统筹规划。但是作为城市空气污染治理的主管部门，生态环境局的权限往往局限于末端治理，在结构调整上能够发力的地方相对较少。产业与能源规划主要由发改部门负责，“公转铁”、“公转水”等交通结构调整措施主要由交通部门负责；对于一些重工业集中的城市，污染型企业也往往是这些城市的支柱产业，企业的搬迁或关停涉及到城市经济发展与就业，需要政府整体决策。在缺乏跨部门统筹协调的情况下，地方生态环境局无法独立制定与落实长期的空气质量达标规划，只能将重点放在短期的大气污染治理措施。

6.5 区域协同与联防联控有待加强

部分城市虽然自身排放量很小，但是由于处在污染物传输通道上，导致空气质量不达标。因此，在制定空气质量达标规划时，需要考虑周边城市对于大气污染治理的长期规划以及未来大气污染物的传输趋势。现有的法律规定空气质量达标规划由每个地级市的人民政府来制定，在多数情况下缺乏对于区域联防联控的机制安排。在这种情况下，如果周边的城市没有建立源排放清单，没有对污染治理进行长期规划，单独一个城市就很难制定长期的空气质量达标规划。

七、强化中国城市空气质量达标规划制定与实施的政策建议

7.1 细化达标规划相关法律法规，严格实施执法检查

(1) 在《环境保护法》和《大气污染防治法》中进一步明确对地方制定空气质量达标规划的要求，限定城市在被划定为“未达标”状态两年之内完成并发布符合内容格式要求的达标规划，提高空气质量达标规划的法律地位，使达标规划政策制度化、规范化、程序化。(2) 要求生态环境部与省生态环境厅分别对直辖市、地级市规划内容进行事前审批和规划执行的事后评估，增强达标规划的可行性以及执行的权威性。(3) “十四五”是实现 2030 年碳排放达峰的关键时期，建议全国人大以及省级人大对达标规划相关法律开展年度定期执法检查，确保全国所有市级政府在“十四五”期间完成达标规划的编制与发布。

7.2 出台达标规划编制规范，大幅提高达标规划的科学与规范性

(1) 国家层面出台正式的达标规划编制规范，对地方的规划编制内容与格式进行明确要求，确保达标规划在内容上的科学性和完整性，在实施上的可操作性和可执行性，确保每项治理措施都有相应的责任主体和相关的奖惩制度；

(2) 提高达标规划编制单位的资质门槛，对于负责城市达标规划文件编写的编制单位，国家应当给予系统性的培训和考核，确保编制单位有能力、有实力编制出符合城市实际情况的高质量达标规划文件，从而提升地方达标规划的科学性与规范性。

7.3 转变空气质量治理思路，由重短期措施改为短期措施与长期规划并重，实现我国空气质量稳定达标与持续改善

(1) 建议将“全国所有地级市完成城市空气质量达标规划”写入《生态环境保护“十四五”规划》之中，推动地方政府实现治理思路转变。过去几年重点区域重污染天气的污染峰值与总天数大幅下降，空气质量治理的重心需要由防控短时间内的严重污染事件转变为实现空气质量的长期持续改善。空气质量治理的政策需要由侧重年度方案、秋冬季攻坚方案等短期政策，转变为侧重以长期稳定达标为目标的达标规划政策。(2) 调整“十四五”期间对地方空气治

理的考核指标。过去月度、季度等短期的污染物浓度变化受气象条件影响较大，不能准确反应地方减排的实际成效。随着空气质量的改善以及短期防控压力的减缓，建议在“十四五”规划中将三年滑动平均浓度等长期指标作为城市空气质量的考核标准，促进引导地方对空气质量治理进行合理规划，形成长效机制，最终实现稳定达标。

7.4 加强部门统筹协调，将城市空气质量达标与碳达峰、碳中和进行有效衔接

(1) 以达标规划作为政策抓手推动地方实现碳达峰、碳中和。在空气质量达标规划中，增加达标对于城市碳减排的贡献分析，在进一步发掘末端治理潜力的同时，大力推动以减少化石燃料消费量为目标的产业与能源结构调整，通过空气污染的深度治理来促进经济发展的绿色低碳转型。(2) 在国家出台的达标规划编制规范中，明确要求城市将碳达峰、碳中和目标与空气质量达标目标对接，利用碳达峰、碳中和目标对城市发展路径的引导作用，以及对多部门的统筹协调作用促进空气质量达标。通过双碳目标全面调动生态环境、发改、能源、财政、交通等多部门的力量，将达标规划作为城市整体发展规划的有机组成，切实增强达标规划与各重点行业发展路径的衔接，实现多层次的结构调整。

7.5 加强区域统筹协调，将城市达标规划与区域达标规划相结合

(1) 在坚持以城市为政策落地实施的基本单元与责任主体的前提下，将城市与所在区域大气污染防治有机结合，统筹安排。对于京津冀、汾渭平原等污染较严重的城市群，通过区域性的达标规划来指导各个城市的达标规划；综合考虑长距离污染物传输因素对区域范围内各个城市的影响，从区域尺度规定各个城市的污染治理进程和达标期限，再将任务分别落实到各个城市，由各个城市来制定城市达标规划。(2) 在城市达标规划中，结合区域达标规划，加强对区域空气污染物传输机制的分析，综合考虑本地节能减排与区域传输的贡献，制定合理的达标期限与路径。(3) 加强区域尺度空气质量与碳排放、产业规划统筹协调，将城市达标规划与区域能源规划、产业发展布局规划紧密结合。

参考文献

- 1 宋国君 & 何伟. 研究制定城市空气质量达标规划. *环境经济*, 10 (2013).
- 2 李振亮 *et al.* 城市空气质量达标规划编制中的关键技术及其案例应用. *中国环境管理* **11**, 80-86 (2019).
- 3 何伟 & 宋国君. 论空气质量达标规划制度. *环境保护*, 37-40 (2017).
- 4 Kuklinska, K., Wolska, L. & Namiesnik, J. Air quality policy in the US and the EU - a review. *Atmospheric Pollution Research* **6**, 129-137 (2015).
- 5 Wang, P. China's air pollution policies: Progress and challenges. *Current Opinion in Environmental Science & Health* **19**, 100227, doi:<https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.100227> (2021).
- 6 Tong, D. *et al.* Dynamic projection of anthropogenic emissions in China: methodology and 2015 - 2050 emission pathways under a range of socio-economic, climate policy, and pollution control scenarios. *Atmospheric Chemistry and Physics* **20**, 5729-5757, doi:10.5194/acp-20-5729-2020 (2020).
- 7 Cheng, J. *et al.* Pathways of China's PM_{2.5} air quality 2015 - 2060 in the context of carbon neutrality. *National Science Review* (2021).
- 8 柴麒敏, 傅莎, 郑晓奇, 赵旭晨 & 徐华清. 中国重点部门和行业碳排放总量控制目标及政策研究. *中国人口资源与环境*, 7 (2017).
- 9 Shi, X. *et al.* Air quality benefits of achieving carbon neutrality in China. *Science of The Total Environment* **795**, 148784 (2021).
- 10 O' Neill, B. C. *et al.* The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change* **42**, 169-180, doi:10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004 (2017).
- 11 O' Neill, B. C. *et al.* A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change* **122**, 387-400, doi:10.1007/s10584-013-0905-2 (2013).
- 12 Moss, R. H. *et al.* The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* **463**, 747-756, doi:10.1038/nature08823 (2010).
- 13 Purohit, P. *et al.* Mitigation pathways towards national ambient air quality standards in India. *Environ Int* **133**, 105147, doi:10.1016/j.envint.2019.105147 (2019).
- 14 Shi, X. *et al.* Air quality benefits of achieving carbon neutrality in China. *Sci Total Environ* **795**, 148784, doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148784 (2021).

- 15 Lacey, F. G. *et al.* Improving present day and future estimates of anthropogenic sectoral emissions and the resulting air quality impacts in Africa. *Faraday Discuss* **200**, 397–412, doi:10.1039/c7fd00011a (2017).
- 16 Liu, C., Zhu, B., Ni, J. & Wei, C. Residential coal-switch policy in China: Development, achievement, and challenge. *Energy Policy* **151**, doi:10.1016/j.enpol.2021.112165 (2021).
- 17 Liu, H., Zhang, Z., Zhang, T. & Wang, L. Revisiting China's provincial energy efficiency and its influencing factors. *Energy (Oxf)* **208**, 118361, doi:10.1016/j.energy.2020.118361 (2020).
- 18 Cui, W., Li, J., Xu, W. & Güneralp, B. Industrial electricity consumption and economic growth: A spatio-temporal analysis across prefecture-level cities in China from 1999 to 2014. *Energy* **222**, doi:10.1016/j.energy.2021.119932 (2021).
- 19 Tong, D. *et al.* Current Emissions and Future Mitigation Pathways of Coal-Fired Power Plants in China from 2010 to 2030. *Environ Sci Technol* **52**, 12905–12914, doi:10.1021/acs.est.8b02919 (2018).
- 20 Shen, W., Han, W., Wallington, T. J. & Winkler, S. L. China Electricity Generation Greenhouse Gas Emission Intensity in 2030: Implications for Electric Vehicles. *Environ Sci Technol* **53**, 6063–6072, doi:10.1021/acs.est.8b05264 (2019).
- 21 Ou, X., Xiaoyu, Y. & Zhang, X. Life-cycle energy consumption and greenhouse gas emissions for electricity generation and supply in China. *Applied Energy* **88**, 289–297, doi:10.1016/j.apenergy.2010.05.010 (2011).
- 22 Qin, Y. *et al.* Air quality, health, and climate implications of China's synthetic natural gas development. *Proc Natl Acad Sci U S A* **114**, 4887–4892, doi:10.1073/pnas.1703167114 (2017).
- 23 He, G. *et al.* Rapid cost decrease of renewables and storage accelerates the decarbonization of China's power system. *Nat Commun* **11**, 2486, doi:10.1038/s41467-020-16184-x (2020).
- 24 Zheng, B. *et al.* Trends in China's anthropogenic emissions since 2010 as the consequence of clean air actions. *Atmospheric Chemistry and Physics* **18**, 14095–14111, doi:10.5194/acp-18-14095-2018 (2018).
- 25 Xing, J. *et al.* The quest for improved air quality may push China to continue its CO₂ reduction beyond the Paris Commitment. *Proc Natl Acad Sci U S A* **117**, 29535–29542, doi:10.1073/pnas.2013297117 (2020).
- 26 Cohen, A. J. *et al.* Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet* **389**, 1907–1918, doi:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6) (2017).

27 West, J. J. *et al.* Co-benefits of Global Greenhouse Gas Mitigation for Future Air Quality and Human Health. *Nature Climate Change* **3**, 885–889, doi:10.1038/NCLIMATE2009 (2013).

28 Viscusi, W. K. & Aldy, J. E. The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world. *Journal of risk and uncertainty* **27**, 5–76 (2003).

29 Cao, C. *et al.* Estimating the Value of Statistical Life in China: A Contingent Valuation Study in Six Representative Cities. Preprint at https://assets.researchsquare.com/files/rs-199197/v1_stamped.pdf?c=1612551473. (2021).