

《蓝天保卫战》 目标下的新机遇



中国清洁空气政策伙伴关系
China Clean Air Policy Partnership

中国空气质量改善的协同路径（2019）



《蓝天保卫战》 目标下的新机遇

中国清洁空气政策伙伴关系
2019年11月21日

中国空气质量改善的协同路径（2019）

《蓝天保卫战》 目标下的新机遇

编写单位：_____

中国清洁空气政策伙伴关系
China Clean Air Policy Partnership

清华大学
Tsinghua University

资助单位：_____

 能源基金会
ENERGY FOUNDATION
能源基金会 Energy Foundation China

中国清洁空气政策伙伴关系
2019 年 11 月 21 日

目录

CONTENTS

前 言	3
第一章 2018 年空气质量状况	5
2018 年空气整体质量持续改善，细颗粒物污染进一步缓解	5
全国 PM _{2.5} 污染有待进一步改善，全国臭氧污染仍呈增长态势	6
秋冬季大气污染情况仍频发，重污染天气未曾走远	11
全国重点区域空气质量持续改善，区域差异性显著	12
第二章 “蓝天保卫战” 减排政策和措施	17
产业供给侧改革效果初显，产业结构优化调整	18
深化污染末端治理，扩大深度治理领域	18
能源消费绿色转型，新能源消纳成效显著	18
北方清洁取暖稳步推进，需地方统筹、科学实施、抓好落实	20
交通运输结构调整提速，发展绿色交通体系	20
强化柴油车管控，淘汰老旧车辆，新能源汽车领跑全球	21
挥发性有机物废气治理成为工作重点和难点	23
“互联网+” 治理监管新模式，推进智慧环保	25
第三章 “蓝天保卫战” 实施效果评估	26
全国及重点地区主要措施减排效果评估	27
全国及重点地区空气质量改善情况评估	33
2018 年排放现状及减排潜力分析	36
第四章 空气污染与气候变化：协同控制的新起点	38
协同控制的概念	38
我国温室气体减排和控制气候变化的现行政策	38
温室气体减排和污染物控制政策的协同作用	39
进一步推动协同控制和效益的政策建议	40
参考文献	42

前言

中国在幅员 960 多万平方公里的土地上，承载了 5000 多年的历史文 化、经济与社会发展。我国国土面积位居世界第三，人口数量一直高居世界前列，但人均国民生产总值一直处于世界落后水平。截止到 2018 年底，我国总人口达到 13.95 亿人，人均生产总值 6.46 万人民币（= 0.96 万美元）。

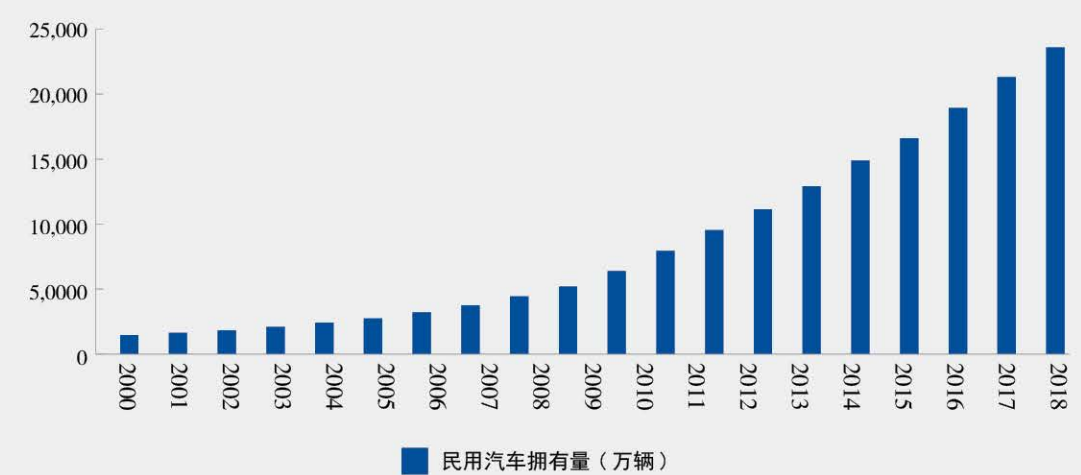


从 80 年代实行改革开放以来，中国的迅猛发展带来了翻天覆地的变化。与 2000 年相比，2018 年全国国内生产总值（GDP）增长了 894%，人口增长了 11%，并长期保持 0.5% 的同比增长率。城镇化发展迅速，2010 年城镇人口首次超过农村人口，城镇人口占比保持增长趋势。同时期，民用汽车拥有量增长了 1337%，能源消耗量增长了 216%。这些数字代表了这个发展中国家的经济腾飞，也记录着其承载的巨大的环境压力。

“1952 伦敦烟雾”、“1943 洛杉矶光化学烟雾”等发生在世界发达国家快速工业化时期的大气污染公共事件，仿佛还历历在目。我国与它们类似，迅速的城市化和经济发展，逐渐形成了以煤炭消耗为主的能源结构，以公路运输为主的运输形式，以钢铁、水泥等重工业为主的产业结构和以沙尘污染、裸露矿山、秸秆焚烧以及农业源氨排放造成面源污染的占地结构。我国主要大气污染物排放量巨大，并呈现了更广泛的区域性和更复杂的复合性。2012 年，我国颁布了环境空气质量新标准（GB3095-2012），将 PM_{2.5} 浓度限值纳入中国空气质量标准，并修改了多种大气污染物的浓度限值。2013 年，《大气污染防治行动计划》（以下简称“大气十条”）正式发布。这“一修改与一发布”宣告了中国正式向大气污染宣战。随着国家和地方政府的积极努力，以空气质量改善为目标、多种污染物协同减排、多种污染源法治监管的大气污染防治体系逐渐形成。2013-2017 年期间，我国空气质量明显改善，“大气十条”圆满收官。2018 年，国务院出台并实施了《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（以下简称“蓝天保卫战”），进一步以京津冀及周边地区、长三角地区、汾渭平原等区域为重点，持续开展大气污



2018 年空气质量状况



染防治行动，综合运用经济、法律、技术和必要的行政手段，大力调整优化产业结构、能源结构、运输结构和用地结构，强化区域联防联控，狠抓秋冬季污染治理，统筹兼顾、系统谋划、精准施策，坚决打赢蓝天保卫战，实现环境效益、经济效益和社会效益多赢，大气污染防治攻坚战全面展开。

本报告由中国清洁空气政策伙伴关系 (China Clean Air Policy Partnership, CCAPP) 与伙伴关系成员清华大学编写，总结了 2018 年全国空气质量状况，梳理了 2018 年“蓝天保卫战”的主要政策与措施的落实情况，评估了 2018 年政策措施实施效果，探讨了“蓝天保卫战”下空气质量改善的协同路径和协同效益。

2018 年空气整体质量持续改善 细颗粒物污染进一步缓解

2018 年是《大气污染防治行动计划》（以下简称“大气十条”）顺利收官后的第一年，也是《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（以下简称“蓝天保卫战”）的开局之年。较以往相比，2018 年全国空气整体质量延续了改善的势头。

通过对全国 338 个地级及以上城市的国控站点数据进行分析，2018 年全国城市空气质量呈以下特点：全国 338 个地级及以上城市的空气整体质量持续改善，除 O₃ 外，主要污染物 PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂ 和 CO 浓度均保持下降趋势，空气质量达标率增加，优良天数增加，重污染频次减少。全国空气整体质量持续改善，“蓝天保卫战”第一年成绩显著。

2018 年，全国 338 个城市重度以上污染天数为 2.2%，较 2017 年下降了 1.1%。优良天数比例从 2017 年的 78.0% 增加至 79.3%。

2017-2018 年，全国 338 个地级及以上城市（以下简称 338 个城市）中，PM_{2.5} 浓度由 43μg/m³ 下降至 39μg/m³，PM₁₀ 浓度由 75μg/m³ 下降至 71μg/m³，SO₂ 浓度由 18μg/m³ 下降至 14 μg/m³，NO₂ 浓度由 31μg/m³ 下降至 29 μg/m³，CO 浓度由 1.7mg/m³ 下降至 1.5 mg/m³。而 O₃ 日最大 8 小时平均第 90 百分位数浓度持续上升，由 149μg/m³ 上升至 151μg/m³。总体来看，除 O₃ 外，各污染物浓度均有不同程度的下降。较 2017 年相比，338 个城市 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO 年平均浓度分别下降了 9.3%、5.3%、22.2%、6.5% 和 11.8%。O₃ 日最大 8 小时浓度第 90 百分位数均值同比上升了 1.3%。2017-2018 年 338 个城市各污染物浓度达标率变化趋势各异，PM_{2.5}、PM₁₀ 达标率较 2017 年分别增长了 33%、29%，达到 NO₂、CO 国家二级标准的城市数量增加了 6% 和 1%。SO₂ 浓度达标城市数量与 2017 年持平。O₃ 达标城市数量较 2017 年有所下降，减少了 3.9%。

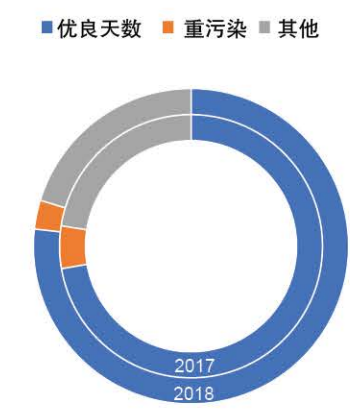


图 1-1 2017-2018 年
全年优良天数与重污染天数



图 1-2 2017 年至 2018 年全国各污染物平均浓度、变化率

全国 PM_{2.5} 污染有待进一步改善 全国臭氧污染仍呈增长态势

全国空气质量整体改善明显，2018 年全国 338 个地级及以上城市，PM_{2.5} 年均浓度范围在 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 到 74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间。其中，148 个城市 PM_{2.5} 年均浓度达到现行的国家空气质量二级标准，同比 2017

年增长了 33.3%。89 个城市超标控制在 30% 以内；63 个城市超标在 50% 以上，其中，3 个城市的 PM_{2.5} 年均浓度超标 1 倍以上。总体而言，全国 PM_{2.5} 污染问题仍然严峻，PM_{2.5} 年均浓度超标城市多集中在我国北方地区。因此，在未来相当长的时期内，PM_{2.5} 仍是我国（特别是东部地区）大气污染防治的重点（图 1-3）。

PM_{2.5}

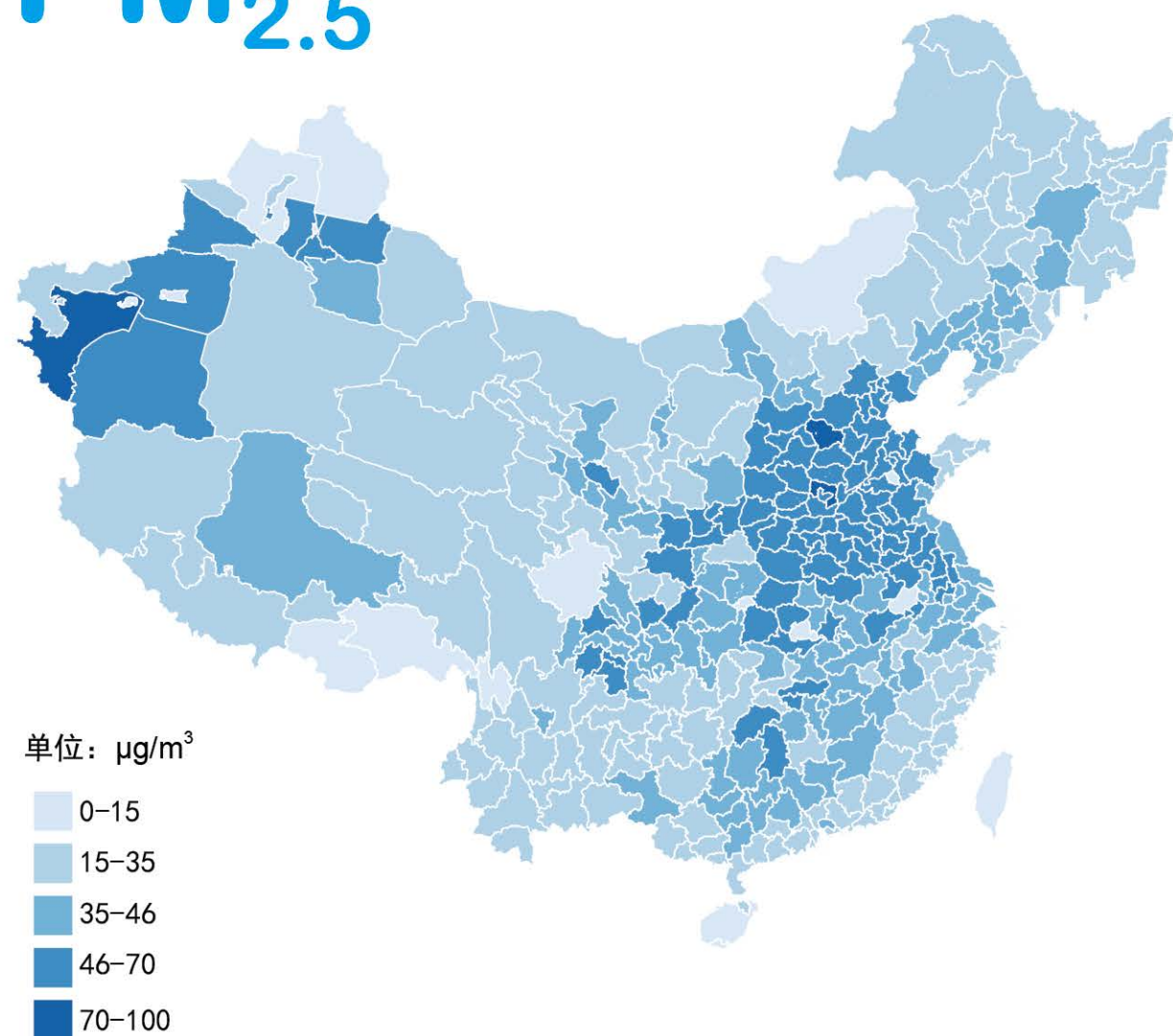


图 1-3 2018 年各城市主要污染物浓度分布图 - PM_{2.5}

PM₁₀

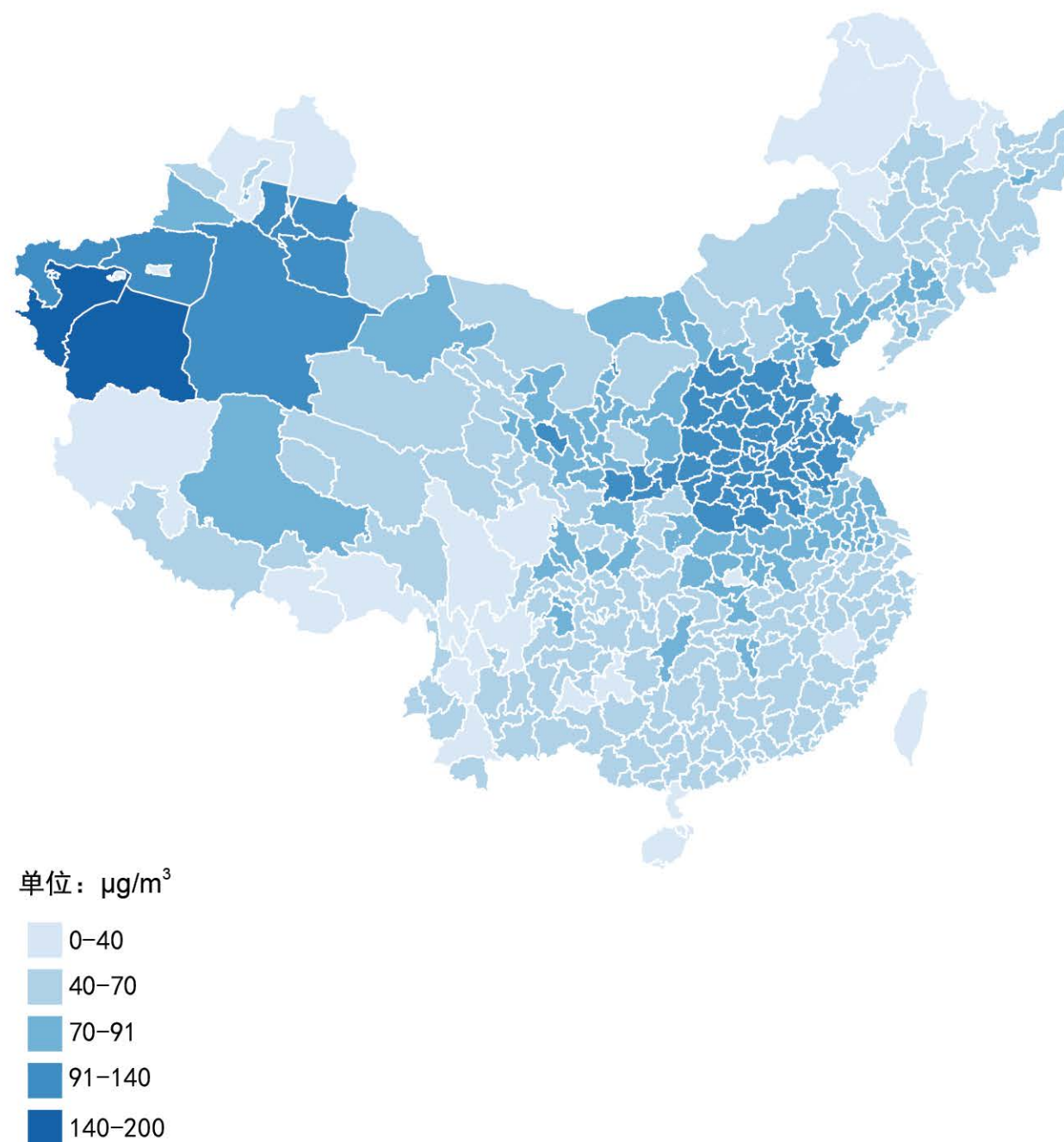
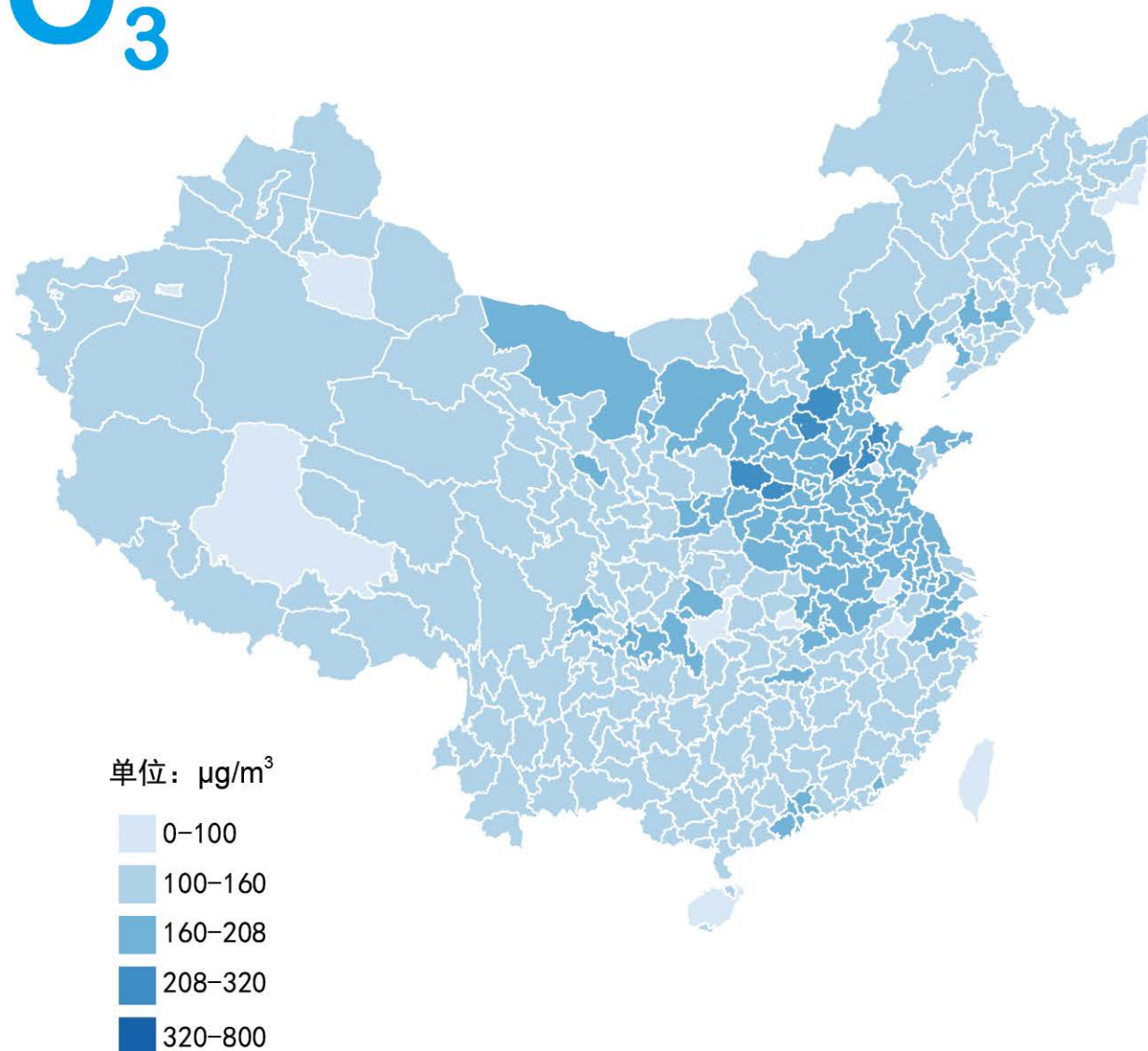


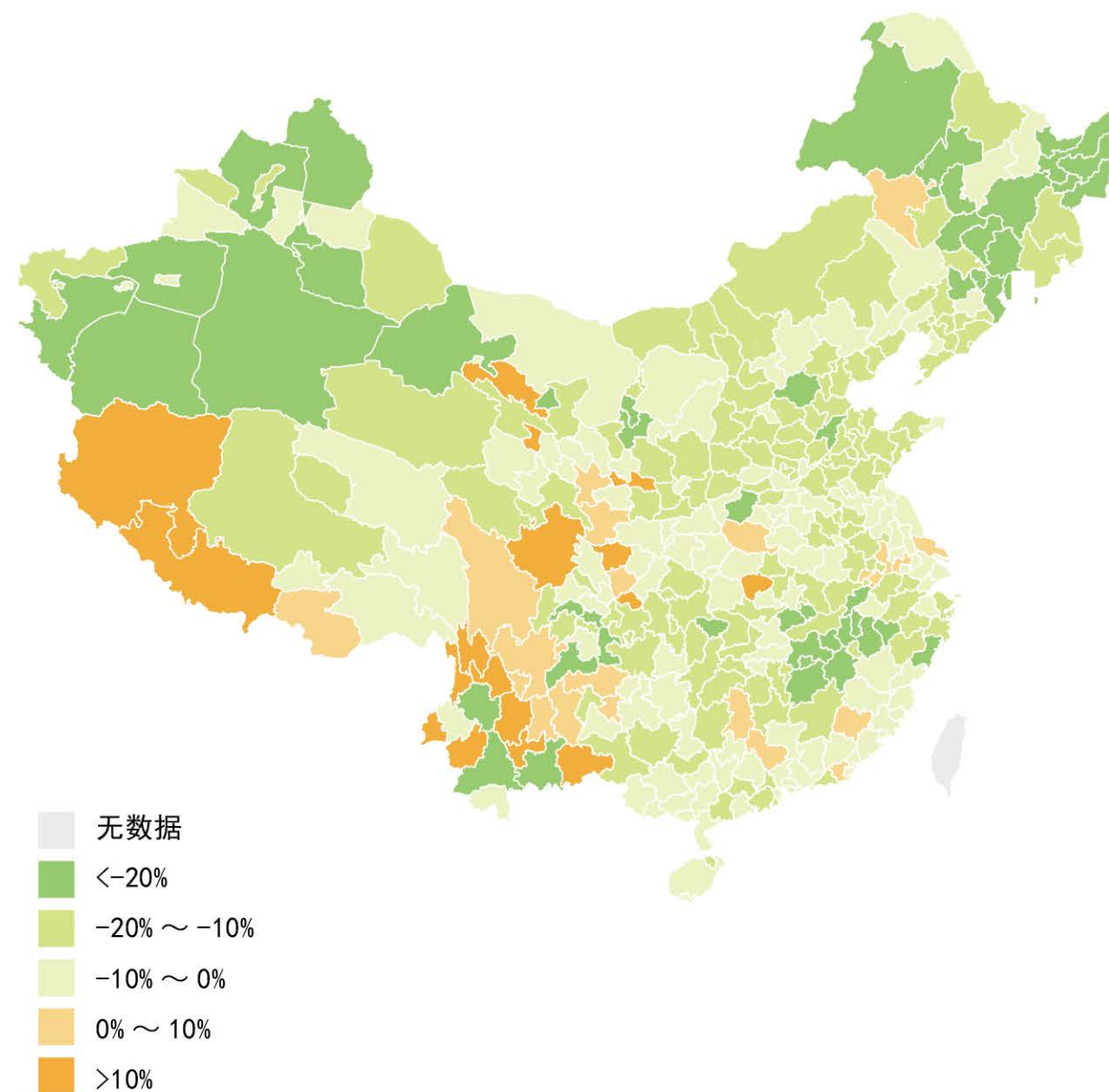
图 1-4 2018 年各城市主要污染物浓度分布图 - PM₁₀

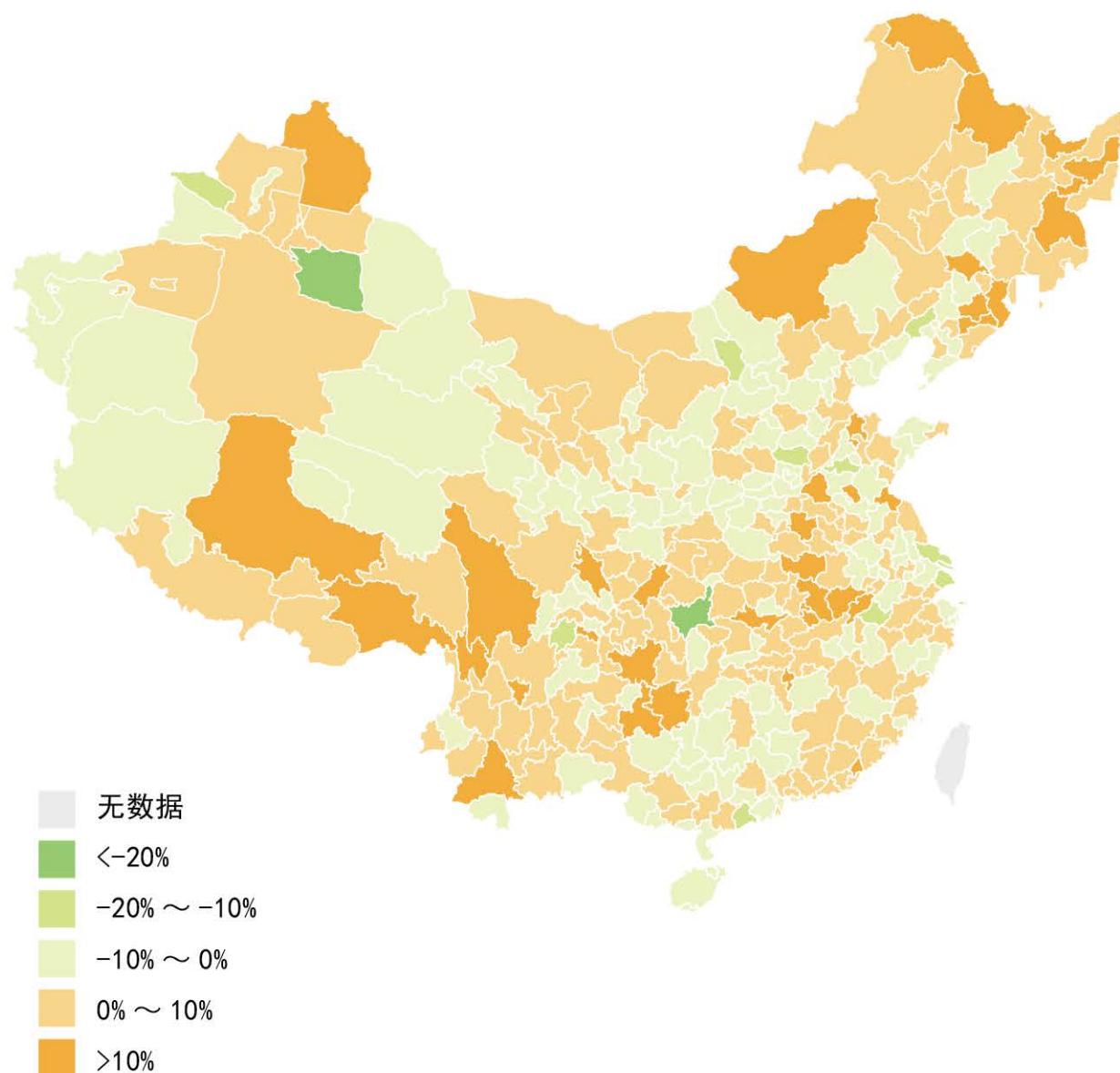
O₃图 1-5 2018 年各城市主要污染物浓度分布图 - O₃

继 2017 年后, 2018 年全国 338 个城市 O₃ 浓度持续走高。在超过国家二级标准的 116 个城市中, 有 113 个城市超标控制在 30% 以下, 7 个城市超标在 30% 以上。全国 338 个城市的臭氧超标天数比例为 8.4%, 较 2017 年相比, 增加了 1.3%。

现有研究结果阐明, PM_{2.5} 和 O₃ 污染是彼此关

联的大气二次污染问题, 只有有效控制 PM_{2.5} 和 O₃ 的前提物 (NO_x 和 VOCs) 的排放, 才能协同控制 PM_{2.5} 和 O₃ 两种污染物的浓度, 达到协同减排的最大效益。特别是强化 VOCs 的减排, 不仅可以降低大气细粒子中二次有机物的生成, 还可降低大气 O₃ 的浓度水平。

PM_{2.5}图 1-6 2017-2018 年 PM_{2.5} 浓度变化率

O₃图 1-7 2017 年 -2018 年 O₃ 浓度变化率

秋冬季大气污染情况仍频发 重污染天气未曾走远

近年来，我国各污染物排放总量均有大幅度下降，但总量绝对值仍居高。有研究表明，气象条件是大气污染物累计、重污染过程形成的必要外部条件。特别

是在我国秋冬季，相对静稳的天气条件易导致污染物积累，这一过程会促进近地面气象条件进一步转差：如边界层底层降温、湍流强度下降、边界层高度明显下降，转差的气象条件又进一步加剧 PM_{2.5} 爆发式的增长，形成“双反馈”，最后导致重污染过程。因此，秋冬季大气污染综合治理的任务尤为艰巨。

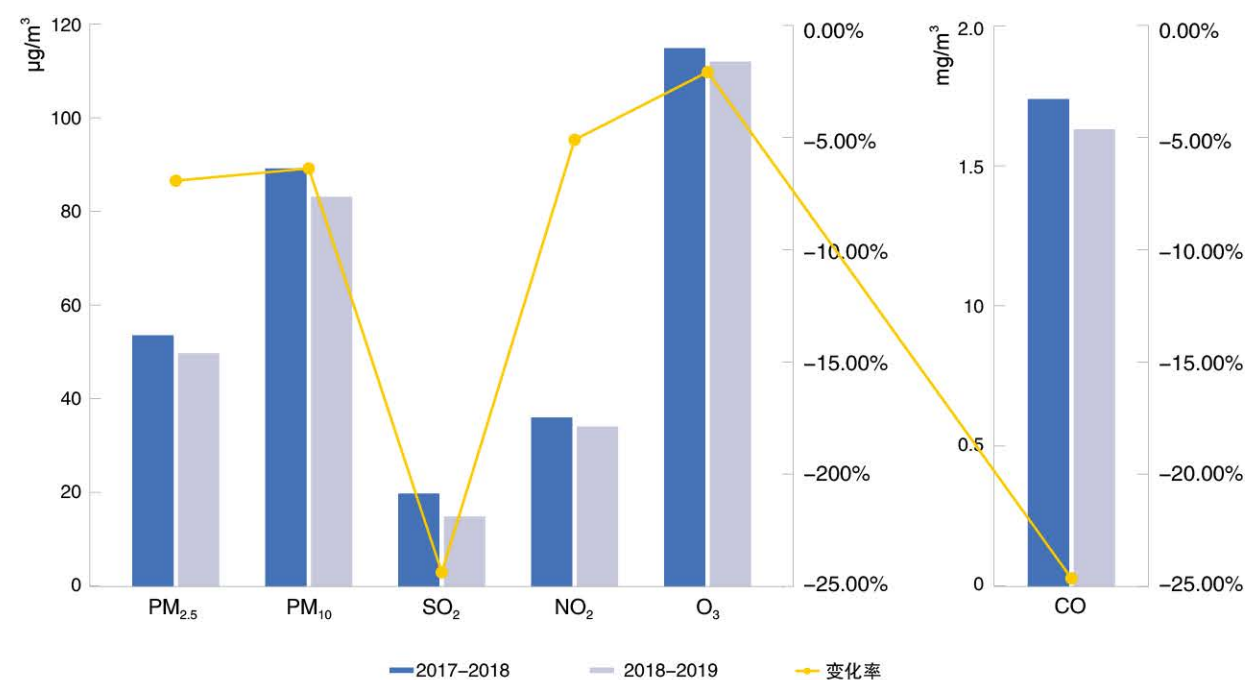


图 1-8 2017 年、2018 年秋冬季各污染物浓度及变化率

2018 年秋冬季，全国 338 个地级及以上城市，秋冬季空气整体质量有所改善，主要污染物 PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂、CO 和 O₃ 年均浓度均保持下降，空气质量达标率增加，优良天数增加，重污染频次减少。2017 年至 2018 年秋冬季，全国 338 个城市平均重污染比率下降，从 5.2% 下降到 3.0%。338 个城市优良率从 72.2% 增加至 76.8%。

从 338 个城市的各个污染物浓度来看，PM_{2.5} 浓度由 53.5µg/m³ 下降至 49.7µg/m³，PM₁₀ 浓度由 89.1 µg/m³ 下降至 83.0µg/m³，SO₂ 浓度由 19.8µg/m³ 下降至 14.9µg/m³，NO₂ 浓度由 36µg/m³ 下降至 34µg/m³，

CO 浓度由 1.7 mg/m³ 下降至 1.6 mg/m³，O₃ 日最大 8 小时浓度第 90 百分位数平均值由 114.7µg/m³ 下降至 111.9µg/m³。较 2017 年秋冬季，2018 年秋冬季 PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO、O₃ 分别下降了 7.2%、6.8%、24.8%、5.5%、6.2% 和 2.5%。除 SO₂ 和 NO₂ 外，其他污染物秋冬季浓度下降比例均不及全年平均浓度下降比例明显。2018 年秋冬季，我国整体空气质量有所改善，但秋冬季各类污染物浓度下降幅度不及其他季节显著。因此在秋冬季，应加强各类大气污染物的管控，采取强有力的措施和执法手段，对各类污染物进行综合治理。

全国重点区域空气质量持续改善
区域差异性显著

在京津冀（13个城市）、“2+26”城市、汾渭平原（11个城市）、长三角地区（41个城市）、珠三角地区（21个城市）、成渝地区（22个城市）重点区域，主要污染物PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂和CO（除O₃外）浓度均持续下降，空气质量达标率增加，优良天数增加，重污染频次减少。各个重点区域内空气整体质量持续改善。

2017年-2018年，京津冀及周边、汾渭平原、长三角地区、珠三角地区、成渝地区的PM_{2.5}年均浓度均有所下降。其中，京津冀、“2+26”城市与汾渭平原——“蓝天保卫战”关注的重点区域下降幅度显著，分别下降了15.04%、13.92%和12.37%，高于全国平均水平；但PM_{2.5}浓度仍为国家空气质量二级标准1.5倍左右。长三角、成渝地区2018年PM_{2.5}年均浓度较2017年分别下降了9.81%和11.68%。珠三角地区PM_{2.5}年均浓度在2017年达到国家空气质量二级标准的基础上，继续下降了7.42%。

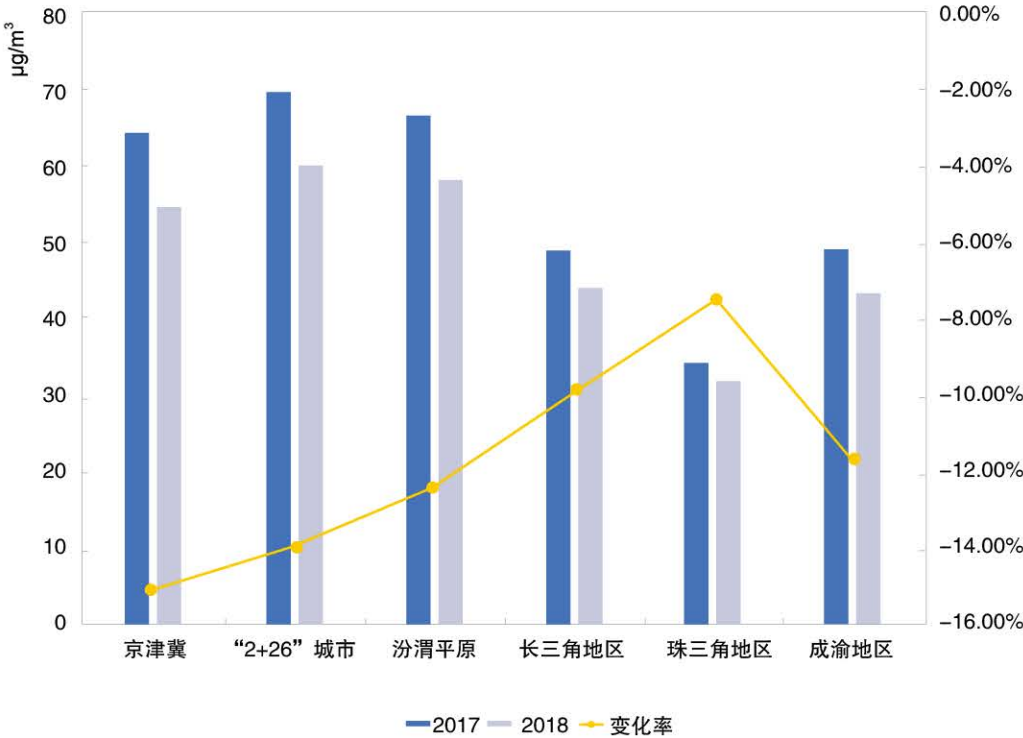


图 1-9 2017 年 -2018 年 重点地区 PM_{2.5} 浓度及变化率

2018 年，重点区域中，京津冀、“2+26”城市及汾渭平原 PM₁₀ 浓度较 2017 年分别下降了 13.36%、12.66% 和 11.36%，但这些区域 PM₁₀ 污染仍然严重，均为国家空气质量二级标准 1.5 倍。包含珠三角地区、长三角地区及成渝地区，PM₁₀ 年均浓度均不超过 70 μg/m³，达到了国家空气质量二级标准。

2018 年，各重点区域 SO₂ 浓度在 2017 年达到国家空气质量二级标准的基础上，继续下降。整体来看，“2+26”城市及汾渭平原的 SO₂ 浓度较 2017 年下降幅度最大，分别下降了 31.17% 和 29.95%，但这两个区域对全国整体 SO₂ 年均浓度的影响仍高达 50%。2018 年，珠三角地区和成渝地区 SO₂ 浓度降幅并不明显，分别为 11.46% 和 16.58%。

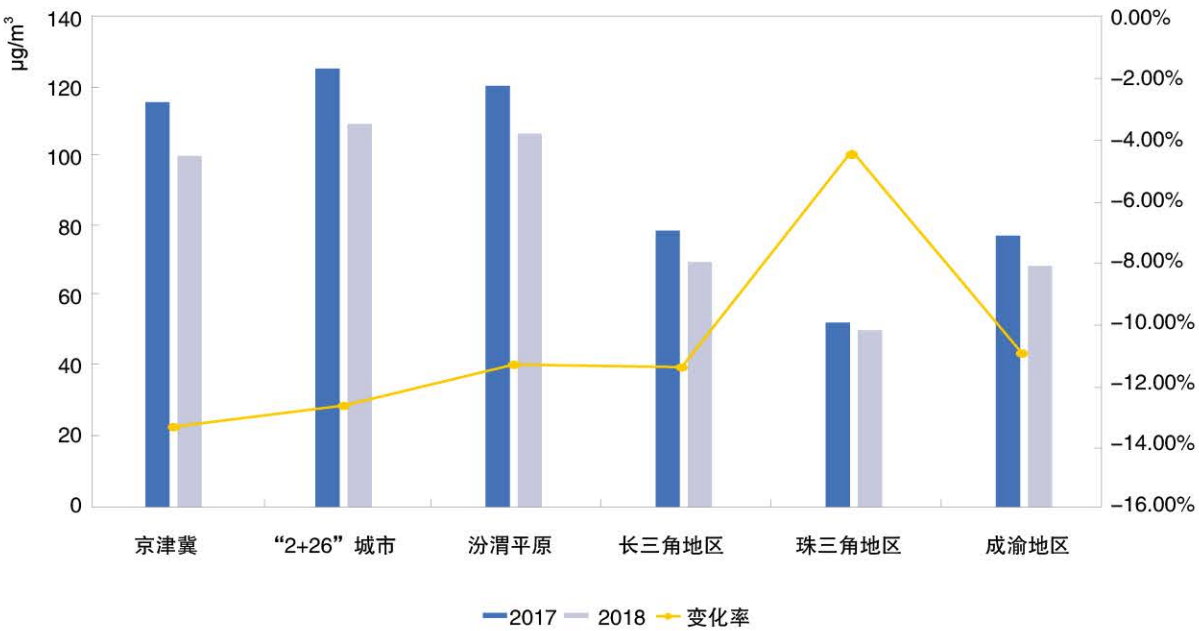


图 1-10 2017 年 -2018 年 重点地区 PM₁₀ 浓度及变化率

全国各区域 NO₂ 浓度的变化也呈现不均匀的特点。2017-2018 年，“2+26”城市与汾渭平原 NO₂ 年均浓度分别下降了 7.71% 和 4.27%，但其浓度在所有区域中位居前两位，且为最后

两个未达标的区域。全国各重点区域 CO 浓度均达到了国家空气质量二级标准，2018 年又较 2017 年进一步降低，降幅在 1.96% 至 23.6% 之间。

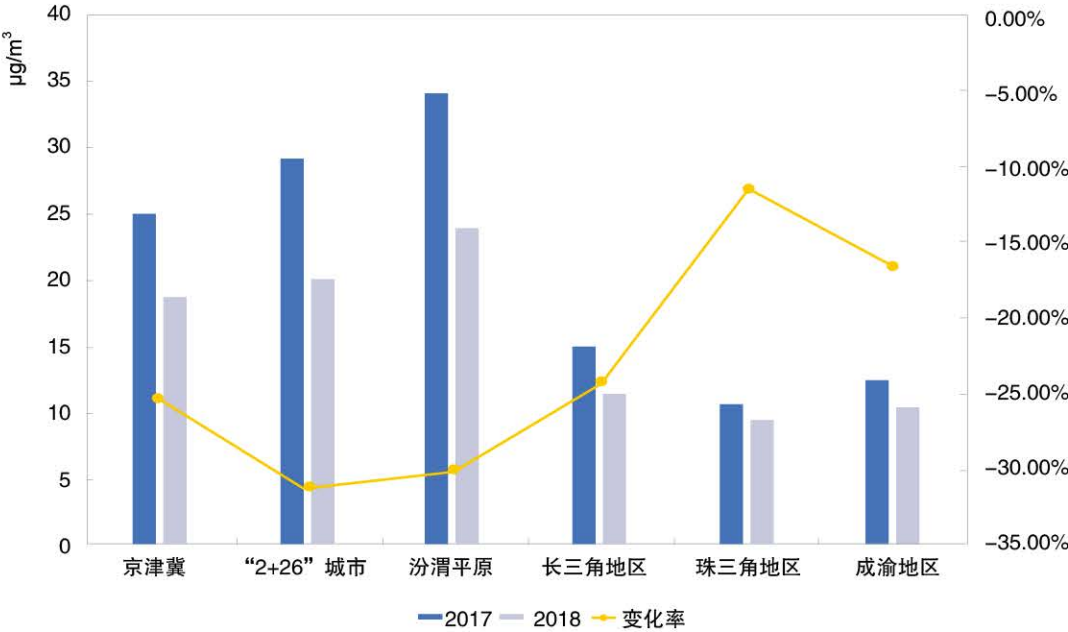


图 1-11 2017 年 -2018 年 重点地区 SO₂ 浓度及变化率

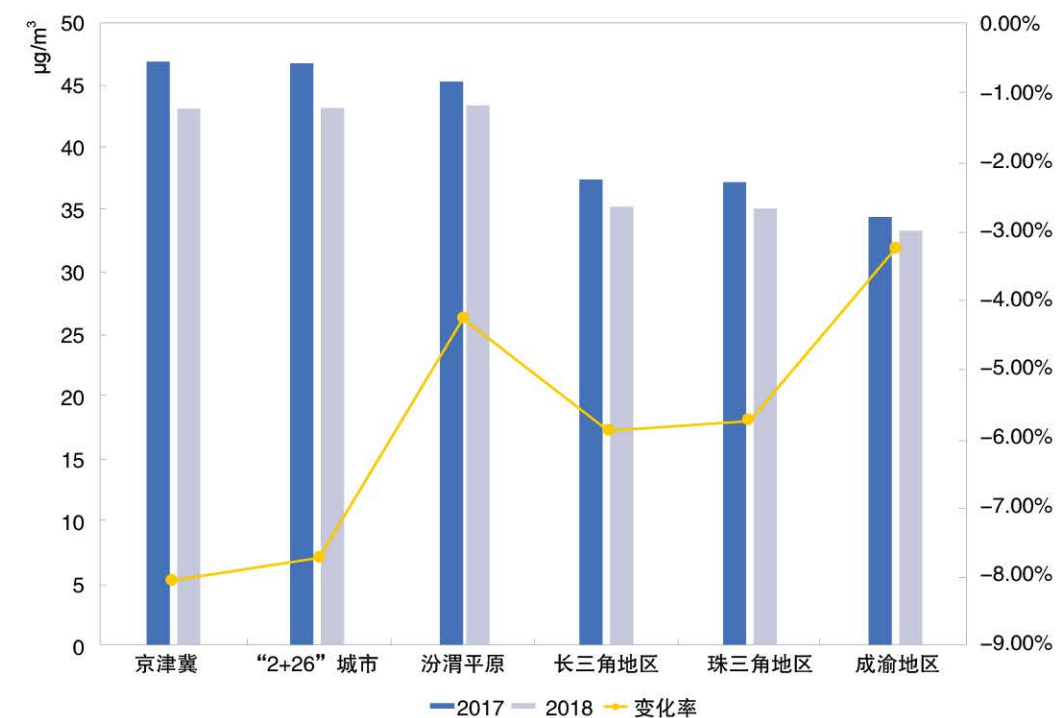


图 1-12 2017 年 -2018 年 重点地区 NO₂ 浓度及变化率

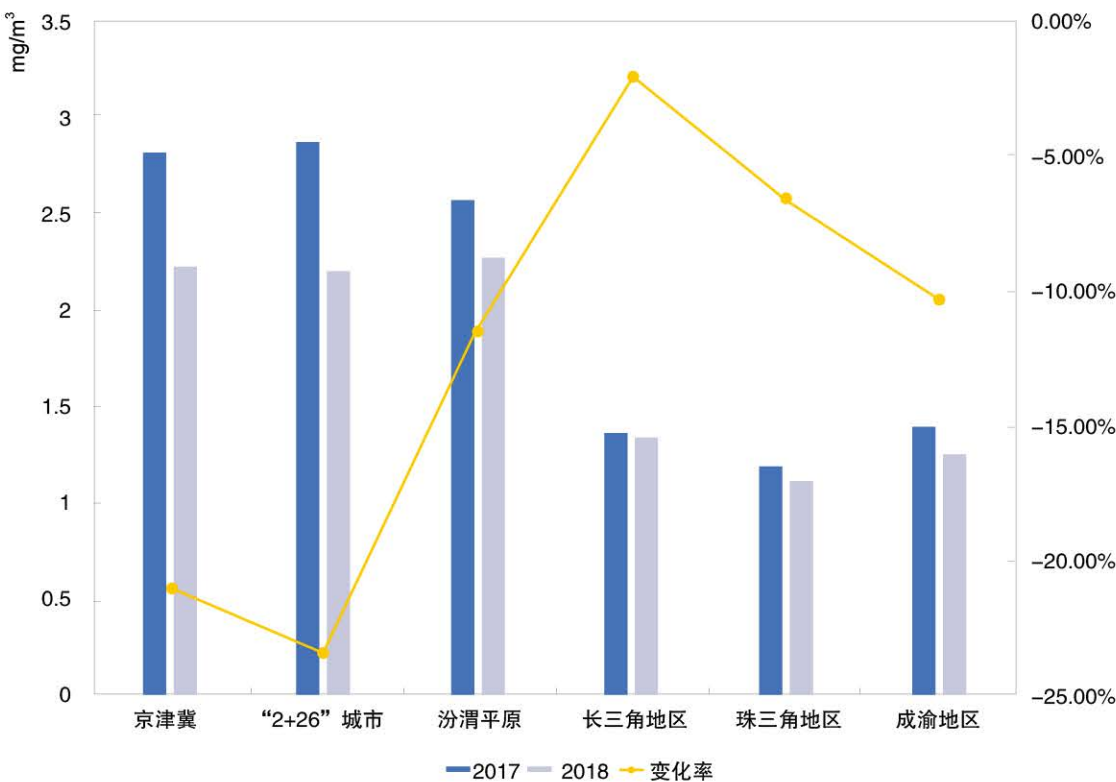


图 1-13 2017 年 -2018 年 重点地区 CO 浓度及变化率

从各重点区域的 O₃ 日最大 8 小时浓度第 90 百分位数来看，区域臭氧污染问题在全国范围内普遍存在。“2+26”城市、汾渭平原、长三角地区及珠三角地区的 O₃ 浓度均超过了国家空气质量的二级标准。而且，2018 年全国区域性的 O₃ 污染问题继续呈现了增长态势。2018 年，“2+26”城市、汾渭平原、长三角地区及珠三角地区 O₃ 日浓度涨幅均在 0.16% 至 1.58% 之间以下。在所有重点区域内，成渝地区 O₃

浓度涨幅最高，O₃ 污染成为影响成渝地区空气质量的重要因素之一。

从各污染物浓度的区域分布来看，“2+26”城市、汾渭平原地区内各类污染物浓度普遍偏高，对全国空气质量的整体水平起到了较重要的影响。从各污染物区域浓度来看，颗粒物，特别是细颗粒物 PM_{2.5}，仍然是 2018 年首要污染物，对重点区域空气质量的影响突出。其次，区域 O₃ 污染较 2018 年有所增长。

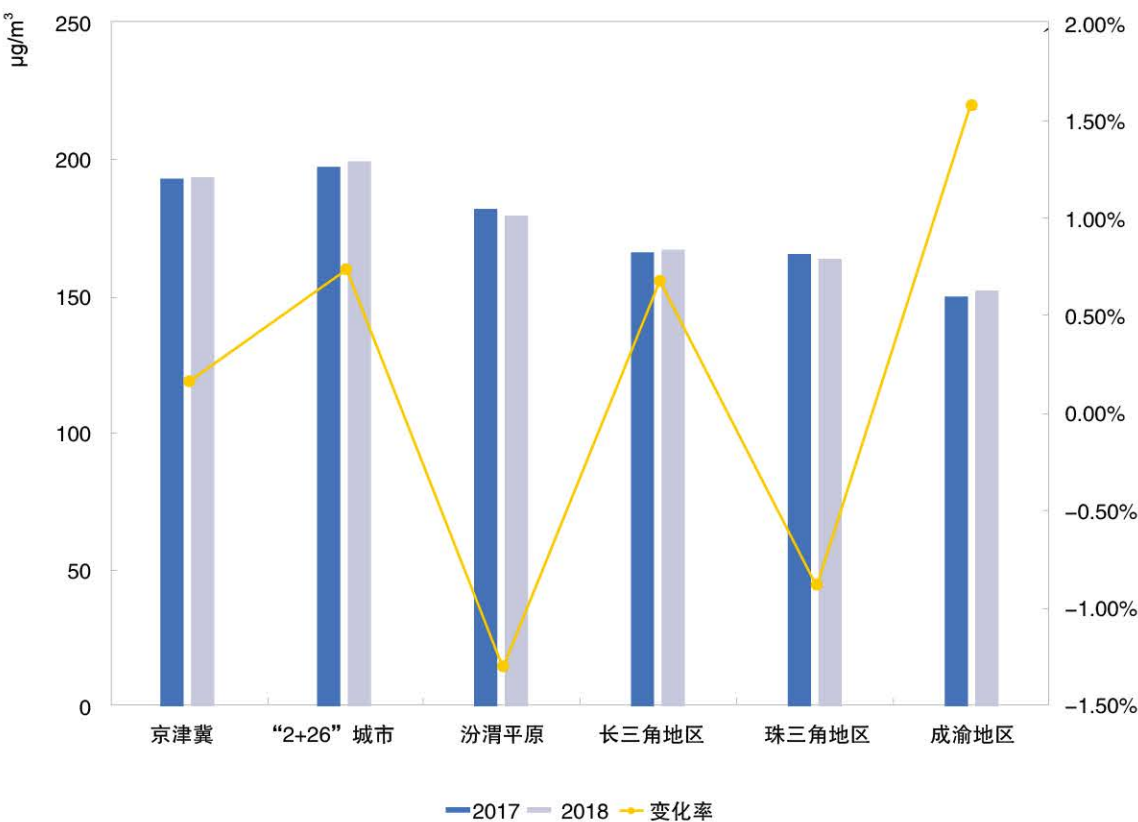


图 1-14 2017 年 -2018 年 重点地区 O₃ 浓度及变化率

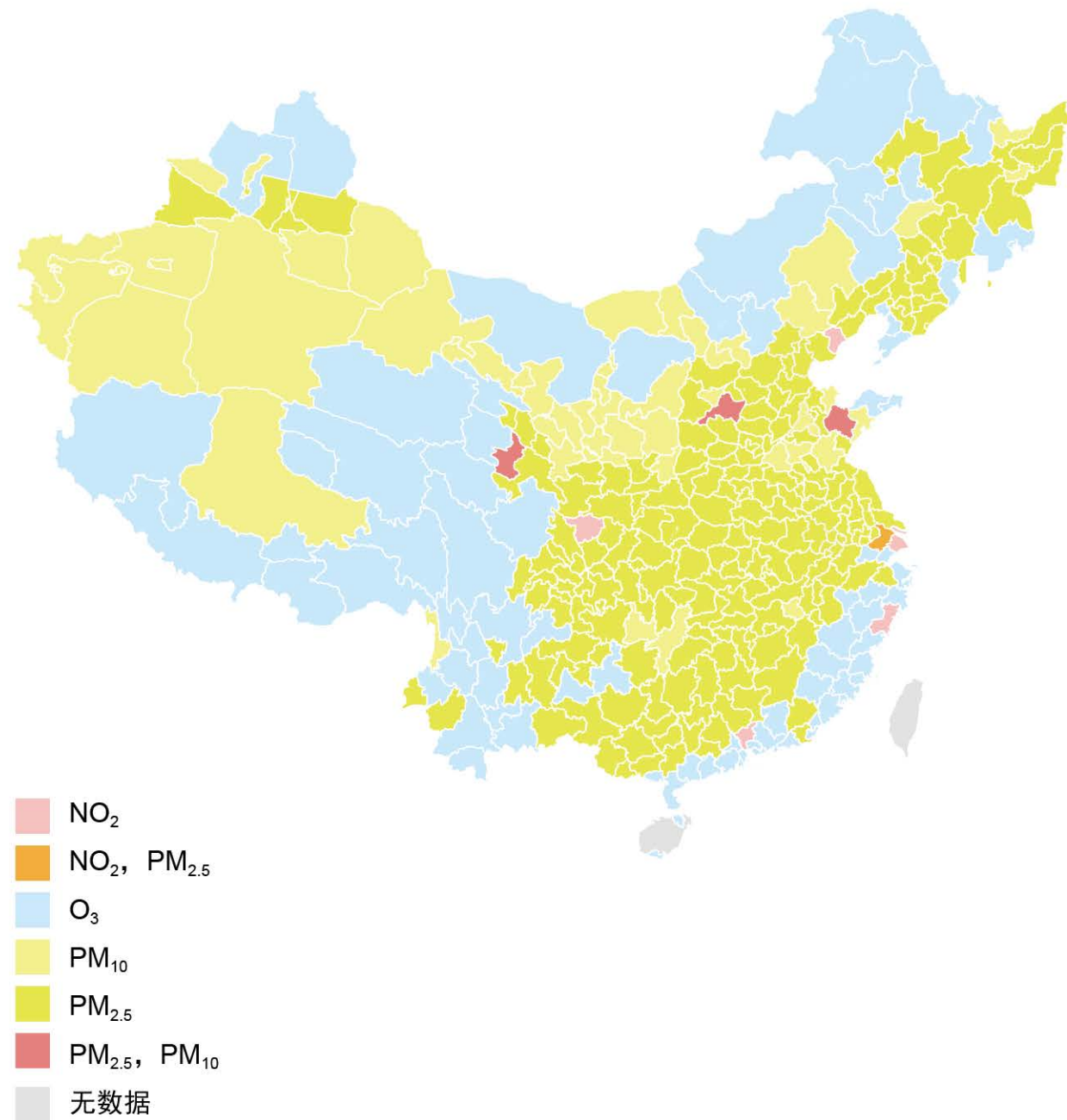


图 1-15 2018 年各城市主要污染物

“蓝天保卫战”减排政策与措施

2018 年，继“大气十条”之后，生态环境部发布实施“蓝天保卫战”，制订了未来三年内，我国在大气污染防治方面的任务、目标及计划。从国家顶层设计，进一步部署我国大气污染治理的任务及具体路径。

目标更明确，治理更精确。与“大气十条”一致，“蓝天保卫战”仍聚焦于主要影响我国空气质量的细颗粒物（PM_{2.5}），集中解决首要污染物的问题。根据“大气十条”实施过程中所积累的成果与经验，在地域尺度上，“蓝天保卫战”将重点区域中，京津冀区域调整为京津冀大气传输通道“2+26”城市，增加了汾渭平原。在时间尺度上，强化秋冬季污染防治。在措施方面，突出强调抓好工业、散煤、柴油货车和扬尘四大污染源的治理，明确实施四大专项行动，包括“开展

重点区域秋冬季攻坚战行动”、“打好柴油货车污染治理攻坚战”、“开展工业炉窑治理专项行动”、“实施 VOCs 专项整治方案”。

注重源头控制，健全长效机制。为改善空气质量的长效机制提供了指导方向，我国大气污染治理逐步从治“标”进入“标本兼治”的新阶段。在产业结构、能源结构、运输结构、用地结构调整方面，更强调应以解决主要矛盾为出发点，逐步调整优化四大结构，完成我国经济的绿色化升级。

治理空气污染，协同应对气候变化。“蓝天保卫战”首次明确提出，在大幅减少主要大气污染物排放总量的同时，协同减少温室气体排放，为实现我国改善空气质量，协同应对气候变化指出了方向。

表 2-1 2018 年大气污染治理、气候变化应对大事件

2018 年	大气污染防治	气候应对
1 月	1 月 1 日起，《中华人民共和国环境保护税法》正式施行，环保税由此成为我国的第十八个税种。环保税法是我国首部“绿色税法”，主要针对企业排污多少来征税，形成有效约束和激励机制，有利于减少污染物排放，促进生态文明建设。 1 月 10 日，出台实行《排污许可管理办法（试行）》。2018 年累计完成 18 个行业 3.9 万多家企业排污许可证核发。	
3 月	组建生态环境部，不再保留环境保护部。将环境保护部的职责，国家发展和改革委员会的应对气候变化和减排职责归属于新组建的生态环境部。 通过《中华人民共和国宪法修正案》。十三届全国人大一次会议第三次全体会议 11 日下午经投票表决，通过了《中华人民共和国宪法修正案》，将“生态文明建设、美丽中国”等正式写入宪法。	
6 月	6 月 24 日生态环境部印发了《2018-2019 年蓝天保卫战重点区域强化督查方案》。提出针对重点领域，重点区域，抓住环保薄弱环节，明确打好“蓝天保卫战”为首的三大污染防治攻坚战。 第一批中央环境保护督察组进驻完成，开展为期一个月的“回头看”。生态环境部共派出六个中央环境保护督察组进驻河北、河南、内蒙古、宁夏、黑龙江、江苏、江西、广东、广西、云南等地开展重点区域大气污染防治强化督查。	
7 月	国务院正式印发实施《打赢蓝天保卫战三年行动计划》。对未来三年国家大气污染防治及协同应对气候变化工作进行部署。	
8 月	生态环境部发布实施《京津冀及周边地区 2017-2018 年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》。强化“秋冬季”这一重点时间段的大气污染防治工作。	
10 月 11 月	第二批中央环境保护督察组进驻完成，开展为期一个月的“回头看”。生态环境部共派出五个中央环境保护督察组进驻山西、辽宁、吉林、安徽、山东、湖北、湖南、四川、贵州、陕西等 10 发省份实施督查进驻。截至 11 月 26 日，五个督察组均完成下沉督查任务。	

产业供给侧改革效果初显
产业结构优化调整

近年来，我国产业结构“高端供给不足、低端供给过剩，供需不匹配”特点逐渐突出。为彻底解决这一供给矛盾，实现产业可持续性发展，我国以“生态优先，绿色发展”的理念为立足点，淘汰出清落后过剩产能，提高工业产能利用率，优化调整产业结构，坚持绿色发展之路。

化解过剩产能，提高产能利用率。2018 年，在保持规模以上工业增加值增长 6.2% 的前提下，压减钢铁产能 3000 万吨以上，淘汰 10 蒸吨 / 小时以下燃煤小锅炉 3 万余台，退出煤炭产能 1.5 亿吨以上。钢铁、煤炭年度去产能任务提前超额完成。工业产能利用率保持在 76% 以上，其中电力、热力、燃气等产能利用率为 73.4%，煤炭开采和洗选业产能利用率明显增长，增幅 2.4%，黑色金属冶炼和压延加工业产能利用率达到 78.0%，增幅 2.2%。行业运行质量和效率明显提升。

第三产业贡献持续增长，经济新动能发展壮大，坚持“低能耗”之路。全国全年第三产业增加值 469575 亿元，同比增长 7.6%，占国内生产总值的比重为 52.2%，比上年提高 0.3%，高于第二产业 11.5%；对国内生产总值增长的贡献率为 59.7%，比上年提高 0.1%。我国产业结构逐步优化，向“新兴、高技术”方向发展。2018 年，规模以上工业中，战略性新兴产业增加值较 2017 年增长 8.9%；高技术制造业增加值增长 11.7%，占规模以上工业增加值的比重为 13.9%；装备制造业增加值增长 8.1%，占规模以上工业增加值的比重为 32.9%。规模以上服务业中，战略性新兴产业营业收入比 2017 年增长 14.6%。全年高技术产业投资比 2017 年增长 14.9%，工业技术改造投资增长 12.8%。2018 年，万元国内生产总值能耗比上年下降 3.1%，实现下降 3% 以上的预期目标。

深化污染末端治理
扩大深度治理领域

2014 年，国家发改委、环保部、能源局等印发《煤电节能减排升级与改造行动计划（2014-2020 年）》，拉开燃煤电厂实施超低排放的序幕，极大推动了燃煤电厂深度减排和治理。2018 年，全国新增超低排放的燃煤电机组约 1.1 亿千瓦时，累计煤电超低排放装机容量占全国煤电总装机容量 80%，东、中部地区基本实现超低排放改造，河南、安徽、甘肃等省份提前完成超低排放改造目标。此外，全国 6000 千瓦及以上火电厂平均供电标准煤耗 307.6 克 / 千瓦时，较 2017 年下降 1.8 克 / 千瓦时，煤电机组供电煤耗保持世界先进水平。

2018 年 5 月，生态环境部就《钢铁企业超低排放改造工作方案（征求意见稿）》广泛征求各地方及企业意见，拟对钢铁行业和企业提出全过程、全系统、全产业链绿色产业的要求。超低排放，是“提高污染排放标准”的主要措施，是“推动钢铁等行业超低排放改造、提高污染排放标准、实行限期达标”的重要抓手。截至 2018 年底，安钢、河钢邯钢、德龙钢铁、中天钢铁已先后实现超低排放，太钢超低排放改造重点项目已经投运，中冶节能环保有限责任公司承建的津西钢铁烧结机烟气脱硫脱硝项目热负荷试车成功。已经投入运营的邯钢烧结机超低排放改造项目，实现超低排放，污染排放量减少 60% 以上。山西、河南、湖北、江苏、陕西、山东等地区钢铁企业正处于制定改造方案阶段，进一步有序推进钢铁企业超低排放改造。钢铁工业离“用矿不见矿”“用煤不见煤”“运料不见料”“出铁不见铁”的目标越来越近，非电行业污染深度治理陆续拉开序幕。

能源消费绿色转型
新能源消纳成效显著

我国拥有世界最大的水电、风电和太阳能装机，



截至 2018 年年底，无碳能源装机占全部电力装机的 39.8%，清洁能源发电量占全部发电量 30%。全国风、光、水、核清洁能源总发电装机达 7.56 亿千瓦，同比增长 12%，占全球的 30%；发电量达 2.08 万亿千瓦时，同比增长约 1700 亿千瓦时。2018 年，光伏发电新增

装机 4426 万千瓦，仅次于 2017 年新增装机，为历史第二高。

2018 年，煤炭消费量占能源消费总量 59.0%，较上年下降 1.4%，有望早于 2020 年，实现“蓝天保卫战”提出的“全国煤炭占能源消费总量比重下降到 58% 以下”目标。天然气、水电、核电、风电等清洁能源消费量占能源消费总量的 22.1%，提高约 1.3%。在未来相当长的一段时间内，煤炭仍在我国能源市场占据主导地位，但煤炭行业绿色转型势头强劲。2018 年，煤制油、煤制烯烃、煤制气、煤制乙二醇产能分别达到 1138 万吨、1112 万吨、51 亿立方米、363 万吨。煤炭深加工行业提升了煤炭附加值和利用率，促进煤炭行业向高质量发展。

我国包括水电、风电、光伏发电、生物质发电等在内的可再生能源利用率显著提升，“弃水”“弃风”“弃光”状况得到缓解。2018 年，我国弃水电量约 691 亿千瓦时，全国平均水能利用率达到 95% 左右。弃风电量 277 亿千瓦时，弃风率下降 5%，风电利用率高于 88%。弃光电量 54.9 亿千瓦时，光伏发电利用率高于 95%。

现阶段，我国能源消费绿色化、清洁化逐步推进，但仍需加快能源消费绿色化转型进程，倡导煤炭清洁利用及高附加值利用，并提高清洁能源消费占比。

表 2-2 2018 年国家电网促进新能源消纳主要措施

措 施	完成情况
电网建设	清洁能源送出线路 5430 千米，满足 506 个新能源发电项目并网和省内输送需要
调度运行	实行全网强化统一调度，完善区域和跨区域转备用共享机制，推动省间电网调峰互济
市场交易	清洁能源省间交易电量 4373 亿千瓦时，较 2017 年增长 7.1%；新能源省间交易电量 718 亿千瓦时，同比增长 46%
分布式光伏	累计介入分布式光伏发电并网容量 4701 万千瓦，同比增长 67%
技术创新	建成多个示范工程：江苏同里综合能源服务中心，张北柔性变电站及交直流配电网、镇江电网侧储能电站

北方清洁取暖稳步推进 需地方统筹、科学实施、抓好落实

2018 年，根据财政部、生态环境部、住房城乡建设部、国家能源局联合印发的《关于扩大中央财政支持北方地区冬季清洁取暖城市试点的通知》，中央财政支持北方地区清洁取暖试点城市由 12 个增加至 35 个，遵循“宜电则电、宜气则气、宜煤则煤、宜油则油、宜热则热”原则，进一步大范围、科学的推进我国北方地区冬季清洁取暖项目。

2018 年，我国天然气消费量为 2803 亿立方米，比上年增长 18.1%；在供暖季消费量为 1090 亿立方米，增长 17%；日最高用气量 10.37 亿立方米，增长 20%。北方地区冬季清洁取暖完成“煤改气”“煤改电”等散煤治理任务 480 万户以上。其中，排查京津冀及周边地区和汾渭平原 39 个城市“煤改气”村庄 22480 个，燃气公司 883 家，现场帮助查办供暖举报问题 141 件，及时解决相关问题，确保群众冬季供暖，实现平稳供气。至此，北方地区新增清洁取暖面积约 15.5 亿平方米，清洁取暖率约达 46%。以北京市为例，截至 2018 年，已有 2963 个村庄、约 110 万户实现了“无煤化”，在全国范围内率先实现了平原地区基本“无煤化”。

北方冬季清洁取暖“散煤复燃”问题，仍亟待破题。2019 年 6 月 13 日，生态环境部就 2018-2019 年秋冬季大气污染综合治理问题约谈河北省保定、廊坊，河南省洛阳、安阳、濮阳，山西省晋中等六市政府。其中，保定市已完成清洁取暖工程的村庄散煤复燃比例高达 36.1%，大量散煤游离监管之外。“清洁供暖的煤改气、煤改电成本高于燃煤取暖；相当多用户依赖传统、落后的供热方式满足取暖需求、一些地区现有供热改造缺乏统筹优化、污染防治治理目标与群众实际需求存在不匹配、清洁取暖补助资金筹集不到位、管理不规范，划拨不及时”等现存问题，诱导了秋冬季部分地区散煤复燃。清洁取暖是系统工程，需逐步脱离国家

补贴，创造可持续发展的清洁取暖市场环境，遵循市场导向，平衡供需。在国家部门顶层设计的指引下，制定适合地方的清洁取暖模式，抓好落实，引导企业和社会加大资金投入。企业成为承担供暖责任的主体，在市场竞争中提供优质服务。

交通运输结构调整提速 发展绿色交通体系

长期以来，我国交通运输结构存在不平衡、不合理的问题：以柴油车为主的公路运输承担了过多的中长距离大宗物资运输，铁路及水路运输其长距离、大运量和低排放、高效能的技术经济优势未能充分发挥。近年来，公路运输承担量高居不下。2018 年，公路运输承担了 76.2% 和 76.9% 的服务性旅客运输和货物运输。为打赢“蓝天保卫战”、打好污染防治攻坚战，推动运输行业高质量发展，2018 年 9 月，国务院办公厅印发《推进运输结构调整三年行动计划（2018—2020 年）》，明确运输结构调整目标，从源头控制大气污染排放总量；2018 年 10 月，交通运输部、生态环境部等九部门印发《贯彻落实国务院办公厅〈推进运输结构调整三年行动计划（2018—2020 年）〉的通知》，分解行动任务。以京津冀及周边地区、长三角地区、汾渭平原三大区域为主战场，以推进大宗货物运输“公转铁、公转水”为主攻方向，提出将在全国范围实施六大行动：铁路运能提升行动、水运系统升级行动、公路货运治理行动、多式联运提速行动、城市绿色配送行动、信息资源整合行动。

2018 年，公路货运量占比为 76.9%，较上年增加 0.1%。公路货运量仍保持增长态势，但增速有所减缓。总体来说，2018 年我国重点区域内，铁路、水路及多式联运承担的大宗货物运输量增加明显，有效缓解公路承压压力。

铁路客货运输成绩显著，发挥优势。2018 年，全

国铁路固定资产投资额为 8028 亿元，继续保持增长势头。投产新线 4683 公里，较 2017 年，增长 54.1%。庞大的铁路路网规模已逐步形成。全国铁路营业历程达到 13.1 万公里，全国铁路路网密度 136.9 公里/万平方公里，较 2017 年，分别增长 3.1% 和 4.7 公里/万平方公里。同时，全国铁路货车拥有量增长 3.4 万辆。

高速的铁路交通建设及发展为客货运输结构的优化提供了强大基础。2018 年，全国铁路旅客发送量 33.75 亿人，较 2017 年，增长 2.91 亿人，增幅达 9.4%。全国铁路货运总发送量 40.26 亿吨，较 2017 年增加 3.38 亿吨，增幅达 9.2%，是几十年来增量最大的一次，占货运总量比例达到 7.8%。与公路完成同样货运量相比，预计可减少 229 万吨标准煤的使用量。

水路客货运量稳中有降。2018 年，水路全年完成客运量 2.80 亿人，较 2017 年的 2.83 亿人，下降 0.5%；完成货运量 70.27 亿吨，较 2017 年，增长 5.2%，提速 0.6%。全国港口完成集装箱吞吐量 2.51 亿 TEU，比上年增长 5.3%。

公路运输减负稳步推进，货运占比增速减缓。截至 2018 年末，全国拥有公路营运汽车 1435.58 万辆，较 2017 年下降 1.0%。其中，载客汽车数量下降 2.4%，客位下降 2.4%。载货汽车拥有 1355.82 万辆，同比下滑 0.9%，总吨位保持增长态势，同比增长 9.3%。其中，普通货车数量及吨位均大幅下滑。在“公转铁，公转水”与“多式联运”政策大力推动下，2018 年，公路客运量较上年下降 6.2%，公路货运量增长 7.3%，但增速减缓 3%。

以铁路专业物流为核心，“多式联运”全面实践，营造我国高效、绿色物流新形态。2018 年，中国多式联运呈现全面发展的良好势头，内贸运输以“散改集”为突破口快速增长，铁路系统全线发力，成为多式联运的主力军。重点通道、重点区域的大宗货物多式联运成为“蓝天保卫战”中交通结构改革的战略重点之一。

2018 年，中国铁路铺画 209 条长途铁路集装

箱班列线，铁路集装箱装车数占货运装车数比接近 15%。中国铁路集装箱发送量为 1375.1 万 TEU，同比增长 33.4%，连续三年实现铁路集装箱发送量增幅 30% 以上；占铁路总运量的 7.16%，较 2017 年，增长 1.7%。商品汽车、冷链专业铁路运输分别增长 25.1% 和 52.3%。我国规模以上港口完成集装“铁水”联运量 450 万 TEU，增长 29.4%，占规上港口集装箱总吞吐量 1.80%。近五年年均增长率 27.8%，超过《推进运输结构调整三年行动计划（2018—2020 年）》等相关政策中“集装箱铁水联运量年均增长 10% 以上”的目标。天津等 7 个重点港口集装箱“铁水”联运量同比增长 25.5%。

围绕山西、陕西、内蒙古西部、新疆等煤炭主产区，大力组织开行万吨重载列车，坚持铁路直达、铁水联运等多种方式，西煤东运、北煤南运能力增强。2018 年，唐呼、瓦日铁路首次开行万吨重载列车，大秦、唐呼、瓦日铁路运量分别完成 45100、5405、3395 万吨，同比增长 4.3%、491.6%、75.6%，陕煤外运和疆煤外运分别同比增长 24.3%、44.9%。以环渤海及山东、苏州北部沿海 17 个港口为重点，“一港一策”制定矿石铁路运输方案。2018 年，沿海主要港口疏港矿石运量完成 3.11 亿吨，同比增长 11.2%，曹妃甸港、黄骅港两个港口的疏港矿石铁路运量分别同比增长 352.4%、65.2%。

强化柴油车管控，淘汰老旧车辆， 新能源汽车领跑全球

2018 年，全国柴油货车保有量为 1818.0 万辆，呈显著增长态势。较 2017 年相比，2018 年轻、中、重型柴油货车占比无明显变化。2018 年，柴油车治理管控逐步推进，相关标准进一步强化。有多部涉及柴油车治理的规范及标准发布，旨在从制造、排放、运行及运营标准规范柴油车市场，加大力度推进柴油车“清洁化”。

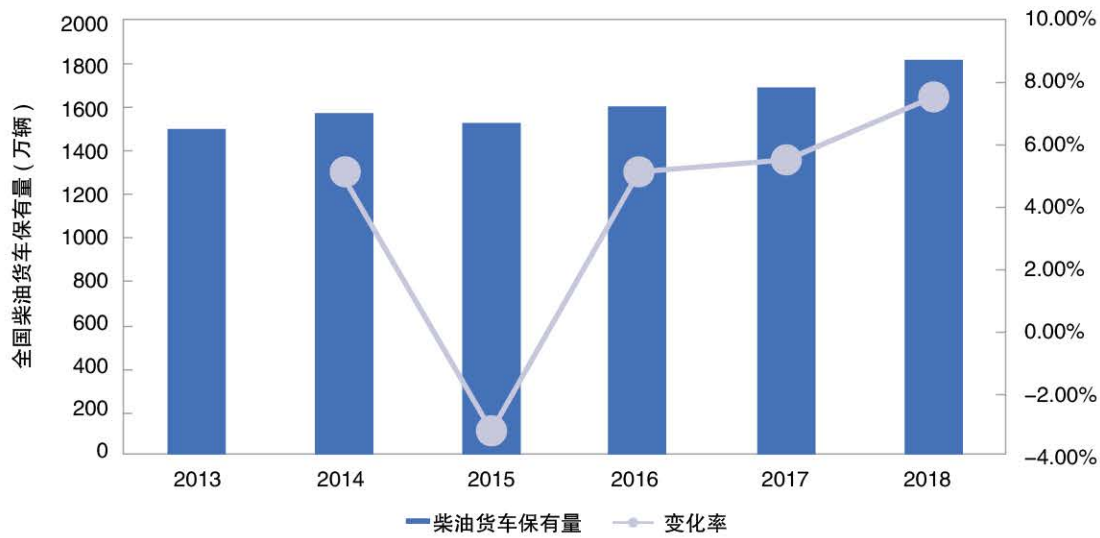


图 2-1 全国柴油货车保有量及变化率

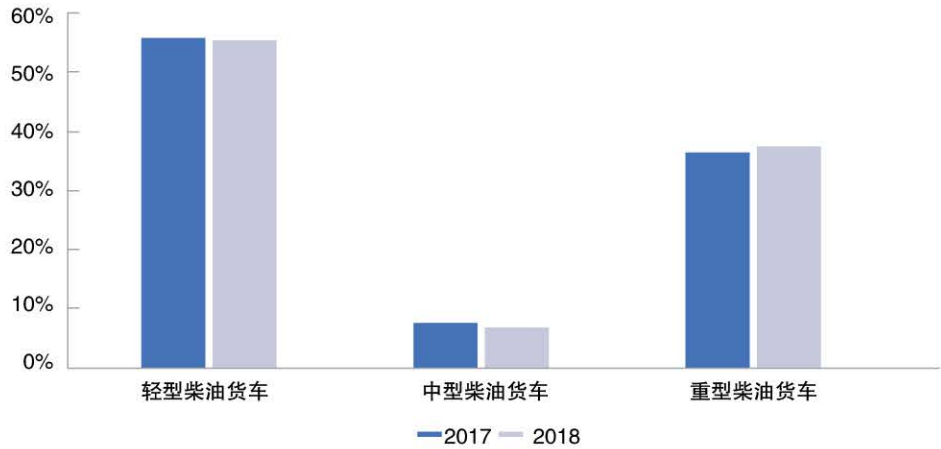


图 2-2 2017-2018 年轻、中、重型柴油货车占比

表 2-3 2018 年柴油货车治理相关国家政策、标准及规范

国家质检总局和国家标准化管理委员会（1 月）	《机动车运行安全技术条件》实施
交通运输部办公厅、公安部办公厅、工业和信息化部办公厅（5 月）	《关于推进车辆运输车治理工作的通知》
生态环境部（6 月审议通过）	《柴油货车污染治理攻坚战行动计划》
生态环境部（6 月公告）	《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》(GB 17691-2018)
生态环境部联合国家市场监督管理总局(11 月)	《柴油车污染物排放限值及测量方法（自由加速法及加载减速法）》(GB 3847-2018)
	《汽油车污染物排放限值及测量方法（双怠速法及简易工况法）》(GB 18285-2018)
	《非道路移动柴油机械排气烟度限值及测量方法》(GB 36886-2018)
交通部（12 月）	《取消总质量 4.5 吨及以下普通货运车辆道路运输证和驾驶员从业资格证的通知》

2018 年，我国积极推进政策调控、经济补贴、环境保护等方案政策的实施和保障，淘汰老旧机动车 200 多万辆。新能源汽车全年产销分别达到了 127 万辆和 125.6 万辆，同比增长分别为 59.9% 和 61.7%。

新能源汽车保有量达 261 万辆，占汽车总量 1.09%，较 2017 年，增加 107 万辆，增幅达 70%。其中，纯电动汽车保有量增加 211 辆，占新能源汽车总量 81.06%。

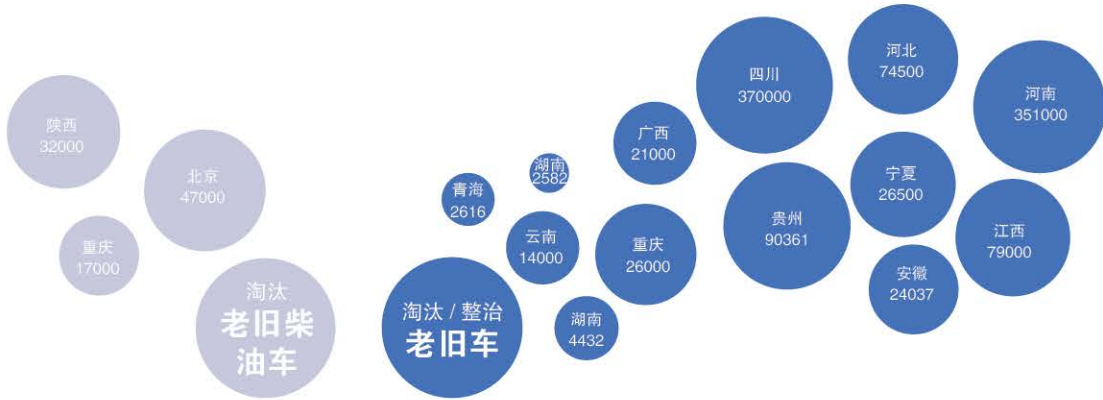


图 2-3 2018 年部分省市淘汰、整治老旧柴油车、老旧车数量

挥发性有机物废气治理成为工作重点和难点

自“大气十条”《大气污染防治法（修订版）》《重点行业挥发性有机物削减行动计划》《“十三五”节能减排综合工作方案》发布以来，挥发性有机物废气治理一直是我国大气污染防治的工作重点和难点之一。2017 年，《“十三五”挥发性有机物污染防治工作方案》更是为重点地区、重点行业的重点挥发性有机物污染物减排工作提出了指导性意见和建议。“蓝天保卫战”进一步强调并要求京津冀及周边地区、长三角地区、汾渭平原等区域挥发性有机物全面执行大气污染物特别排放限值，强化工业企业无组织排放管控，大力推进 VOCs 和氮氧化物协同治理。

积极颁布或修订国家及地方排放、监测标准。长久以来，我国挥发性有机物排放标准体系存在着“涉业杂、缺项多”的问题，严重制约了各个行业 VOCs 治理的进程。2018 年，我国已基本完成“挥发性有机物无组织排放标准”和“恶臭污染物”两项排放标准以

及涂料油墨及胶黏剂、医药、农药、饮食业油烟、皮革制品和制鞋、铸造、电子七个行业大气污染物排放国家标准的制修订工作，除常规污染物排放标准普遍加严外，涉及 VOCs 控制项目已扩展到 76 项，实行排放限值与管理性规定并重的原则，明确了无组织排放的管理要求。各地方也新增了多个排放标准，2018 年新发布相关标准 10 个（表 2-4），拟发布标准 5 个。

我国监测标准及技术逐步规范。2018 年，生态环境部发布了 4 项涉及 VOCs 污染气体监测标准：《环境空气挥发性有机物气相色谱连续监测系统技术要求及检测方法》（HJ1010-2018）《环境空气和废气挥发性有机物组分便携式傅里叶红外监测仪技术要求及检测方法》（HJ1011-2018）《环境空气和废气总烃、甲烷和非甲烷总烃便携式监测仪技术要求及检测方法》（HJ1012-2018）《固定污染源废气非甲烷总烃连续监测系统技术要求及检测方法》（HJ1013-2018）。炼焦工业、农药制造工业、汽车制造业、人造板制造业、家具制造工业、印刷工业、涂料油墨工业等“污染防治可行技术指南”正在制订中。

表 2-4 2018 年地方新增及拟增涉 VOCs 污染物排放标准

省（市）	政策、标准
北京市	《北京市餐饮业大气污染物排放标准》
	《北京市加油站油气排放控制和限值标准（征求意见稿）》
	《北京市电子工业大气污染物排放标准（征求意见稿）》
天津市	《恶臭污染物排放标准》
山东省	《山东省挥发性有机物排放标准第 5 部分：表面涂装行业》
	《山东省挥发性有机物排放标准第 6 部分：有机化工行业》
	《有机化工企业污水处理厂（站）挥发性有机物及恶臭污染物排放标准》
浙江省	《浙江省工业涂装工序大气污染物排放标准》
福建省	《福建省工业挥发性有机物排放标准》
	《福建省工业涂装工序挥发性有机物排放标准》
	《福建省印刷行业挥发性有机物排放标准》
辽宁省	《辽宁省印刷业挥发性有机物排放标准（征求意见稿）》
	《辽宁省工业涂装工序大气污染物排放标准（征求意见稿）》
广东省	《广东省电子设备制造业挥发性有机化合物排放标准（征求意见稿）》
	《广东省电子工业挥发性有机物排放标准（征求意见稿）》
贵州省	《贵州省工业企业挥发性有机物排放控制标准（征求意见稿）》

地方制定 VOCs 强化治理计划。截至 2018 年年底，VOCs 治理更精细化，目前，大部分地区相继出台了省市级行动计划，其中工业源挥发性有机物专项治理是工作重心之一。上海、广东、四川、湖南、湖北、浙江、天津等省市还专门出台了针对挥发性有机物污染防治的行动实施方案。针对重点地区的重点行业，各地科学制订、实施重点时期的 VOCs 治理攻坚行动计划及措施，摒弃环保“一刀切”。以石油、化工、汽车、家具、包

装印刷等行业为整治重点，按照“分业施策、一行一策”的原则，开展有效、精准的挥发性有机物治理行动。

VOCs 治理任务仍艰巨。2018 年，全国共完成 2.8 万家涉及挥发性有机物污染企业的综合治理。根据不完全统计，VOCs 排放涉及行业至少 120 个以上（根据工业行业分类表进行统计），有的行业如包装印刷等排放量巨大，需要进行治理的行业和企业数量之多在其他国家的发展史上是没有过的，VOCs 治理任务艰巨。



图 2-4 2018 年全国部分省市涉 VOCs 治理、整治项目数量

“互联网+”治理监管新模式
推进智慧环保

大数据和信息化科学集成了多途径数据，助力实现督查巡查的精准化。我国在污染源自动监控方面，基本建成了覆盖全国的自动监控网络体系，已掌握超过 8000 家重点企业污染物排放情况；利用大气热点污染热点网格，提高了大气污染监管执法的精准性；利用 12369 举报平台，分析发现解决环境热点问题；统计企业工业用电信息，筛选督查巡查重点。

“千里眼计划”提高环境监管效能。京津冀及周边“2+26”城市、汾渭平原 11 城市、长三角 41 城市纳入范围，实现对大气污染防治三大重点区域的热点网格监管全覆盖，“2+26”城市全行政区域按照 3000 米×3000 米划分网格，共计 36793 个，并从中筛选出 PM_{2.5} 浓度较高、排放较重的 3600 个网格作为热点网

格，进行污染源的实时动态监控管理。

“重点排污单位名录”逐步壮大。新《环境保护法》明确了建立重点排污单位名录，并实时监督和监管这些企业的排污情况。2018 年，列入名录的涉气企业数量不断增加，特别是在重点区域，增幅明显。2018 年，京津冀及周边地区共有 2111 家涉气单位被纳入重点排污单位名录，加强对其大气污染物排放的在线监督监管（表 2-5）。

“12369 环保举报联网管理平台”。2018 年，全国共接到公众通过电话、微信、网上形式举报 710117 件，较 2017 年增长 14.7%，江苏、广东、重庆、河南、辽宁、山东、上海等东中部地区举报最集中。其中，大气污染举报占比最高，达 54.1%，但较 2017 年相比，占比下降了 2%。恶臭异味问题及烟粉尘污染最为突出，占大气污染举报的 41.8% 和 33.2%，且呈现显著的季节特点。

表 2-5 2017-2018 年北京、天津、河北、山东纳入涉气重点监控企业

重点区域	2017 年（家）	2018 年（家）
北京市	38	169
天津市	105	23
河北省	378	1919
山东省	1200	1496

“蓝天保卫战”实施效果评估

2018 年是“蓝天保卫战”的开局之年，本章将对“蓝天保卫战”首年实施效果进行评估，旨在量化各项主要政策措施对污染物减排和空气质量改善的贡献，对现阶段工作主要面临的困难和存在的不足进行阶段性的总结并提出有针对性的对策建议。

本章主要评估了减排政策措施执行效果及气象条件对空气质量变化影响，评估现阶段工作提出建议，技术路径如图 3-1 所示。依托清华大学建立的中国多尺度排放清单模型 (Multi-resolution Emission Inventory for China, 简称 MEIC)，根据地方政府执行“蓝天保卫战”的详细配套政策及逐年措施落实情况，定量分析“蓝天保卫战”主要减排措施对全国和重点区域环境空气质量变化的贡献。其中，本评估从能源结构调整、产业结构调整、交通结构调整、用地结构调整和重大减排工程 5 个方面提取细化措施，将

其梳理汇总为发电结构调整、燃煤锅炉整治、民用燃料清洁化、落后产能淘汰、“散乱污”企业治理、交通结构优化与排放管控、扬尘源综合治理、农业源综合治理、工业源末端升级改造、燃煤电厂超低排放改造和挥发性有机物治理共 11 项具体措施及其他(表 3-1)。随后，结合气象观测资料分析 2018 年的天气气象状况，评估气象条件的变化。结合气象与污染物观测数据，分析极端不利气象条件对重污染形成过程的影响。评估所用数据主要由生态环境部、中国气象局、中国科学院、清华大学和相关科研单位提供。数据资料包括污染物浓度观测数据、气象参数观测数据、颗粒物成分观测数据以及政府报告和公文。

本章节旨在为“蓝天保卫战”下一阶段的目标对策、措施和机制建议提出有针对性的建议，以进一步加强和提升我国大气污染防治工作。



图 3-1 “蓝天保卫战” 2018 年实施效果评估研究框架和技术路线

◆ “蓝天保卫战”实施效果评估 ◆

表 3-1 《行动计划》各项措施解读

措施	描述
落后产能淘汰	包括产能严重过剩行业产能控制、落后产能淘汰等措施。
“散乱污”企业治理	指对“证照不全、违法建设、违规经营、污染环境及不符合当地产业布局规划的“散乱污”企业进行全面整治。
燃煤电厂超低排放改造	指对燃煤电厂进行超低排放改造达到新的排放限值标准。
工业源末端升级改造	指对钢铁、水泥、玻璃等重点行业进行脱硫脱硝除尘等末端控制措施提升改造。
燃煤锅炉整治	包括燃煤小锅炉淘汰、燃煤锅炉高效脱硫、除尘器升级改造等措施。
民用燃料清洁化	包括煤炭洗选加工、散煤清洁化治理、煤改气、煤改电等措施。
交通结构优化与排放管控	包括机动车数量总量控制、淘汰黄标车及老旧车及非道路机械整治等措施。
扬尘源综合治理	包括建筑工地扬尘污染控制、道路扬尘污染控制、港口码头扬尘污染控制等措施。
挥发性有机物治理	涉 VOCs 排放的工业行业进行挥发性有机物治理。
农业源综合治理	包括畜禽养殖业治理，化肥综合利用率的提升。

全国及重点区域首年 主要措施减排效果分析

依托清华大学建立的中国多尺度排放清单模型 (MEIC)，以 2018 年各项措施改变量为指标，本节核算了全国及京津冀、长三角地区、山西陕西区域重点地区的主要减排措施带来的减排量，评估了首年工作成效，分析了各项政策措施对空气质量改善的作用。

2017 年至 2018 年，全国主要大气污染物排放总

量持续下降。较 2017 年相比，2018 年 PM_{2.5}、SO₂、NO_x 排放量分别下降 75.3 万吨、91.1 万吨、114.9 万吨，同比降低 8.4%，8.8%，5.2%。与 2017 年减排降幅相比（6.1%、21.5% 和 2.4%），SO₂ 减排降幅趋于饱和，PM_{2.5} 和 NO_x 减排降幅有所提升。

分部门来看，2018 年，工业及民用部门对一次 PM_{2.5} 和 SO₂ 减排量贡献最大，工业部门贡献了 52.5 万吨 SO₂，民用部门贡献了 20.9 万吨 SO₂。交通部门对 NO_x 减排贡献较大，贡献了 36.9 万吨的减排，比例达到 32.4%，其次为工业与电力部门。

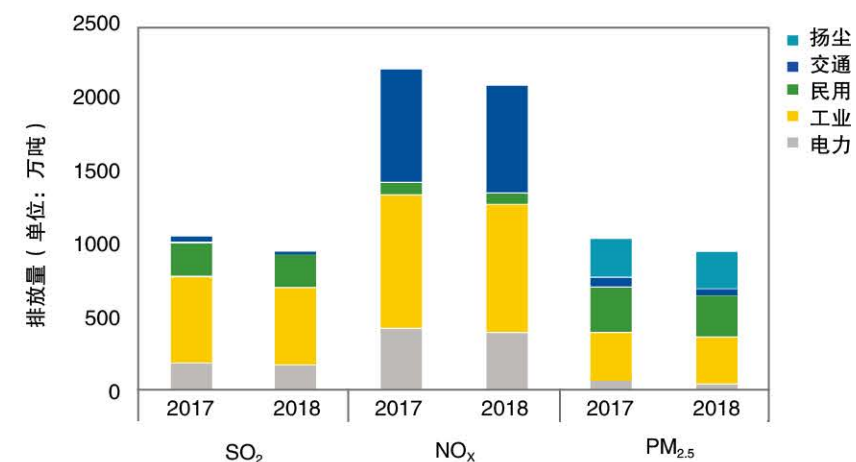


图 3-2 2017-2018 年各部门各项污染物减排情况

对重点区域来说，京津冀，长三角地区和山西陕西的SO₂、NO_x和一次PM_{2.5}展现出不同的降幅，京津冀减排11.5万吨SO₂、12.1万吨NO_x和9.7万吨一次PM_{2.5}，减排幅度达到14.6%、5.4%和13.3%；长三角地区减排9.3万吨SO₂、15.9万吨NO_x和8.8万吨一次PM_{2.5}，减排幅度达到11.2%、4.3%和7.8%；山西陕西减排17.7万吨SO₂、12.5万吨NO_x和12.1万吨一次PM_{2.5}，减排幅度达到13.4%、8.2%和15.5%。

表 3-2 “蓝天保卫战”措施对 2017-2018 年主要污染物减排贡献量（单位：万吨）

措施	全国			京津冀		
	SO ₂	NO _x	PM _{2.5}	SO ₂	NO _x	PM _{2.5}
燃煤锅炉整治	22.8	17.2	8.1	2.0	1.6	1.1
民用燃料清洁化	20.0	3.3	12.3	3.2	0.8	2.6
落后产能淘汰	9.3	14.5	7.9	1.8	2.5	1.3
燃煤电厂超低排放改造	15.0	30.0	6.5	0.3	1.5	0.7
散乱污企业治理	14.3	6.8	11.1	1.9	0.5	0.8
工业源末端升级改造	9.5	6.2	14.0	2.2	1.8	1.5
挥发性有机物治理	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
交通结构优化与排放管控	0.2	36.9	3.9	0.0	3.4	0.4
扬尘源综合治理	0.0	0.0	11.6	0.0	0.0	1.4
农业源综合治理	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
总减排量	91.1	114.9	75.3	11.5	12.1	9.7
减排比例（%）	8.7%	5.2%	8.4%	14.6%	5.4%	13.3%
措施	长三角地区			山西陕西区域		
	SO ₂	NO _x	PM _{2.5}	SO ₂	NO _x	PM _{2.5}
燃煤锅炉整治	3.2	2.8	1.2	3.1	2.1	1.0
民用燃料清洁化	1.4	0.2	1.0	5.6	0.7	3.2
落后产能淘汰	0.3	0.7	0.3	1.2	1.9	0.8
燃煤电厂超低排放改造	0.9	4.4	0.8	2.1	2.4	0.7
散乱污企业治理	2.6	0.7	1.1	3.8	1.8	2.7
工业源末端升级改造	1.0	1.0	2.5	1.9	1.1	1.2
挥发性有机物治理	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
交通结构优化与排放管控	0.0	6.2	0.7	0.0	2.5	0.3
扬尘源综合治理	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	2.2
农业源综合治理	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
总减排量	9.3	15.9	8.8	17.7	12.5	12.1
减排比例（%）	11.2%	4.3%	7.8%	13.4%	8.2%	15.5%

分解各项减排措施对减排量的贡献发现，在全国范围内，工业源末端治理、燃煤锅炉整治、民用燃料清洁化、燃煤电厂超低排放改造、扬尘源综合治理和交通结构优化与排放管控是2017-2018年对污染物减排效果最显著的措施。落后产能淘汰的减排贡献占比

下降，民用散煤清洁化的减排贡献上升。其中，燃煤锅炉整治、民用散煤清洁化、燃煤电厂超低排放改造、散乱污企业治理四项措施是SO₂减排贡献最大的措施，在2017-2018年间分别减排SO₂22.8万吨、20.0万吨、15.0万吨和14.3万吨，贡献了减排量的25.1%、

21.9%、16.4%和15.7%。减排NO_x效果显著的措施有交通结构优化与排放管控、燃煤电厂超低排放改造和燃煤锅炉整治，分别减排了36.9万吨、30.0万吨和17.2万吨NO_x，贡献了减排量的32.4%、26.3%和15.1%。对于一次PM_{2.5}，减排效果明显的措施有工业源末端升级改造、民用燃料清洁化和扬尘源综合整治，分别减排了14.0万吨、12.3万吨和11.6万吨一次PM_{2.5}，贡献了减排量的18.6%、16.3%和15.4%。

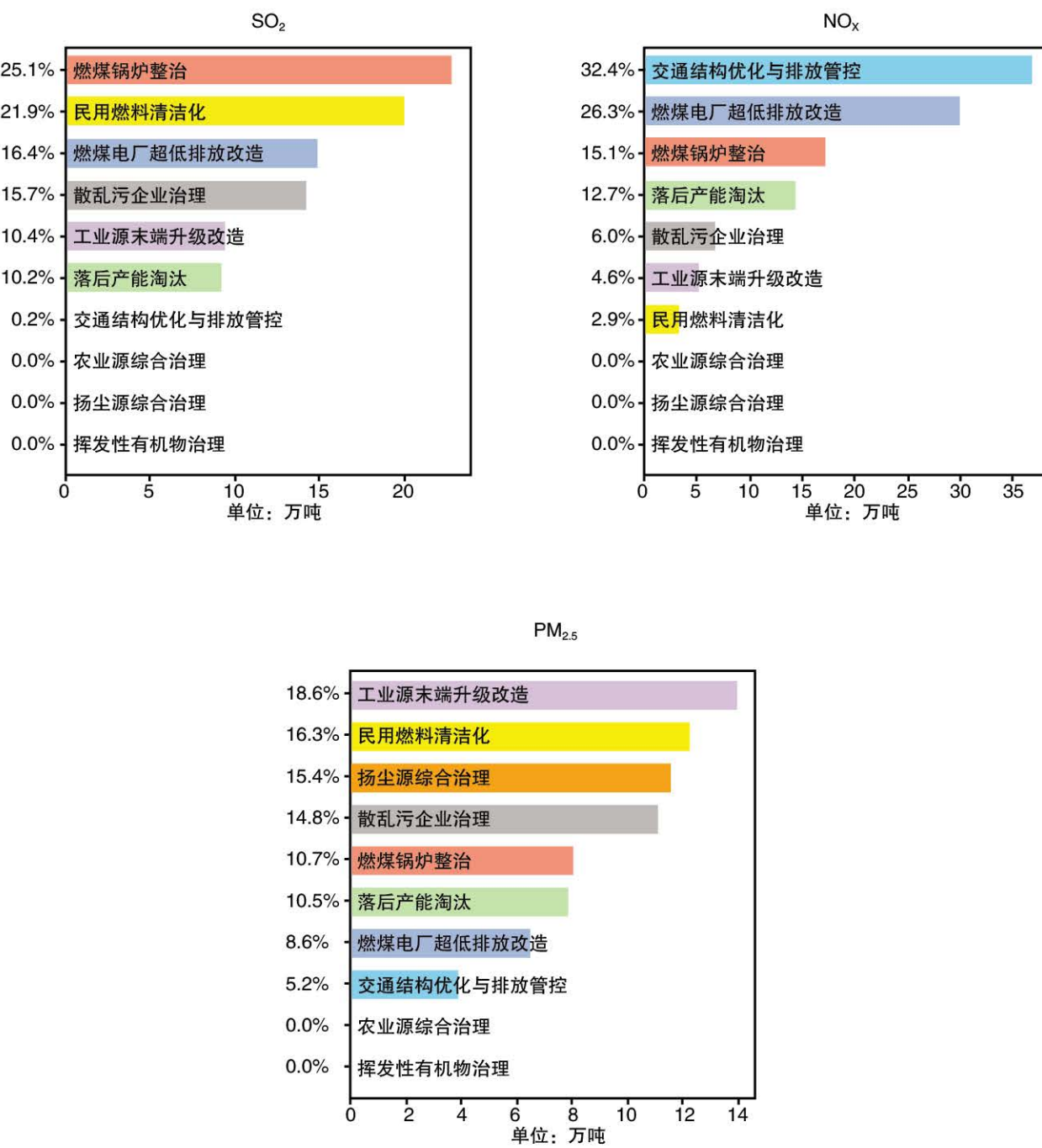


图 3-3 全国主要污染物重点减排措施贡献

对于重点区域，由于产业结构和污染源结构存在差异，各项措施发挥的作用不同。京津冀地区，SO₂减排效果最明显的措施是民用燃料清洁化和工业源末端升级改造，分别减排 SO₂ 3.23 万吨和 2.24 万吨，贡献了减排量的 26.2% 和 19.6%。减排 NO_x 效果显著的措施有交通结构优化、落后产能淘汰和工业源末

端升级改造和，分别减排了 3.38 万吨、2.51 万吨和 1.81 万吨的 NO_x，贡献了减排量的 26.0%、20.8% 和 15.0%。对于一次 PM_{2.5}，减排效果明显的措施有民用燃料清洁化、工业源末端升级改造和扬尘综合治理，分别减排一次 PM_{2.5} 2.57 万吨、1.49 万吨和 1.39 万吨，对总减排量的贡献为 26.3%、15.3% 和 14.3%。

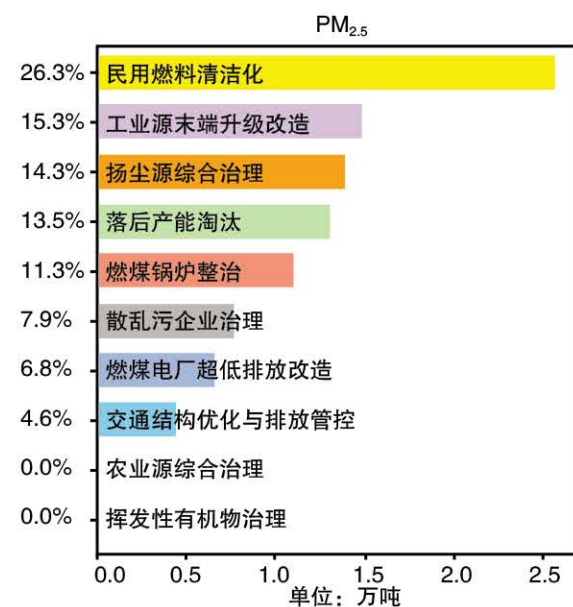
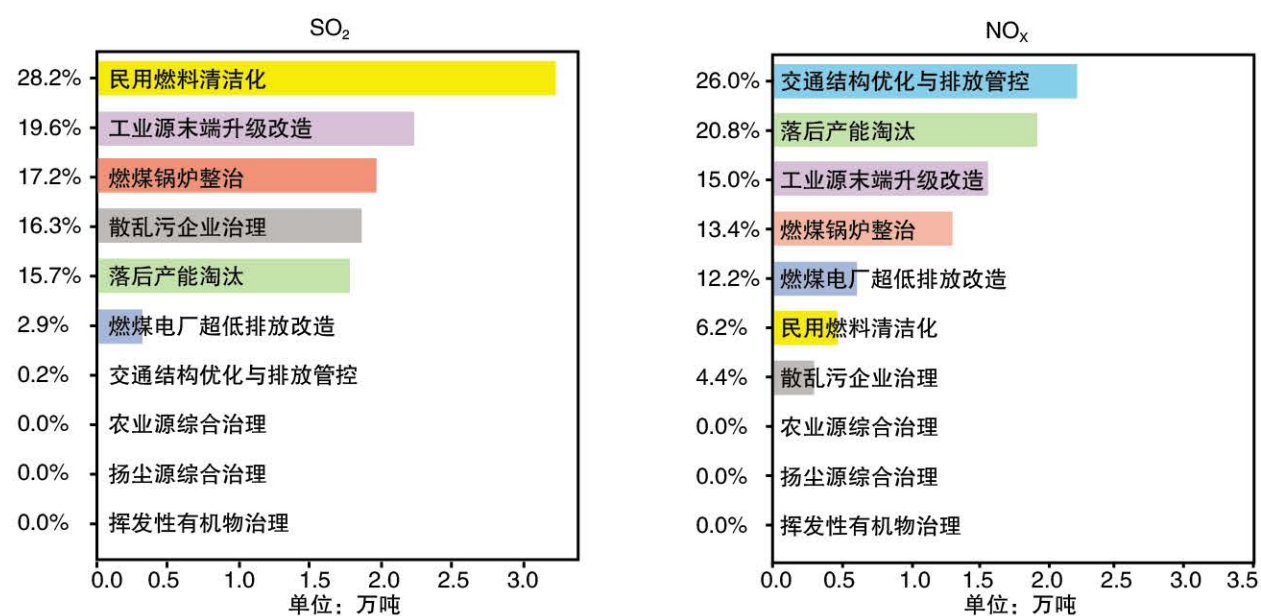


图 3-4 京津冀地区主要污染物重点减排措施贡献

对长三角地区，SO₂ 减排效果最明显的措施是燃煤锅炉整治和散乱污企业治理，分别减排 SO₂ 3.16 万吨和 2.60 万吨，贡献了减排量的 33.9% 和 27.8%。减排 NO_x 效果显著的措施有交通结构优化与排放管控、燃煤电厂超低排放改造和燃煤锅炉整治，分别减排了 6.24 万吨、

4.37 万吨和 2.77 万吨的 NO_x，贡献了减排量的 39.1%、27.4% 和 17.3%。对于一次 PM_{2.5}，减排效果明显的措施有工业源末端升级改造、燃煤锅炉整治和扬尘综合治理，分别减排一次 PM_{2.5} 2.49 万吨、1.23 万吨和 1.17 万吨，对总减排量的贡献为 26.4%、14.0% 和 13.4%。

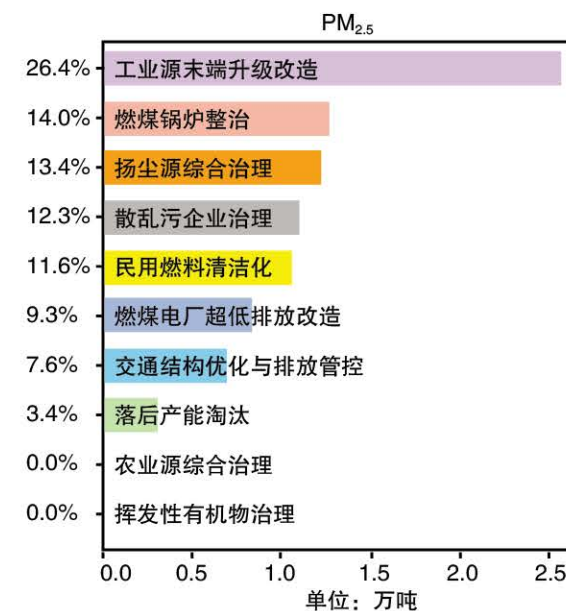
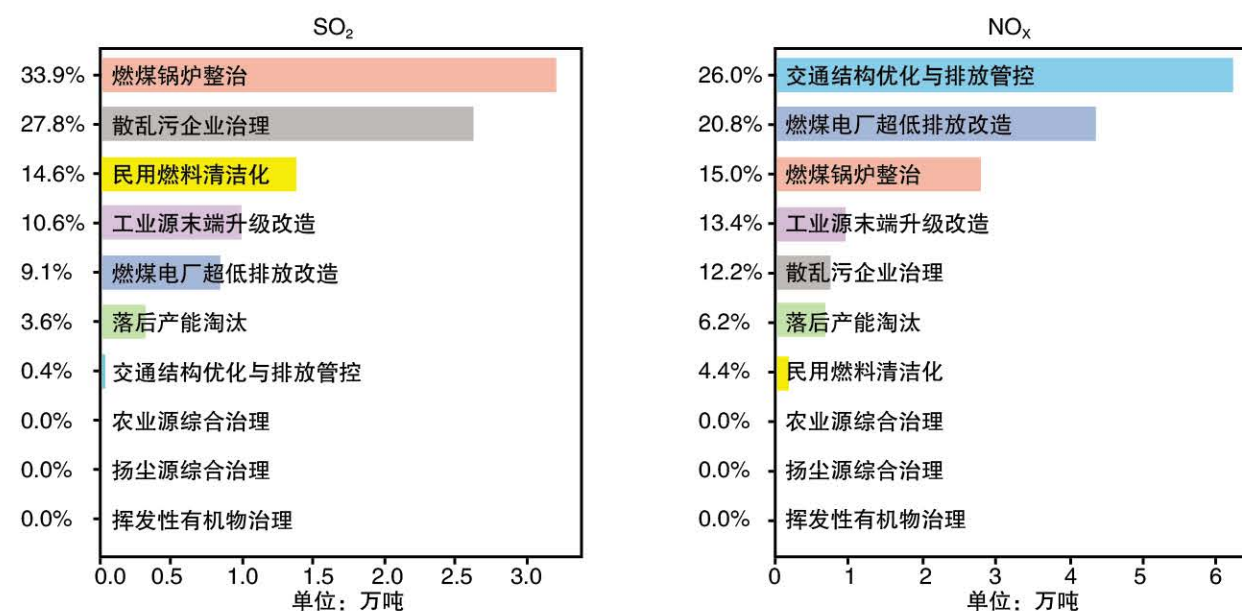


图 3-5 长三角地区主要污染物重点减排措施贡献

对山西陕西地区，SO₂减排效果最明显的措施是民用燃料清洁化、散乱污企业治理和燃煤锅炉整治，三项措施在2018年分别减排SO₂ 5.6万吨、3.84万吨和3.05万吨，贡献了减排量的31.5%、21.7%和17.2%。减排NO_x效果显著的措施有交通结构优化与排放管控、燃煤电厂超低排放改造和燃煤锅炉整

治，分别减排了2.50万吨、2.36万吨和2.06万吨的NO_x，贡献了减排量的20.0%、19.0%和16.5%。对于一次PM_{2.5}，减排效果明显的措施有民用燃料清洁化、散乱污企业治理和扬尘源综合治理，分别减排一次PM_{2.5} 3.20万吨、2.65万吨和2.22万吨，对总减排量的贡献为26.6%、22.0%和18.4%。

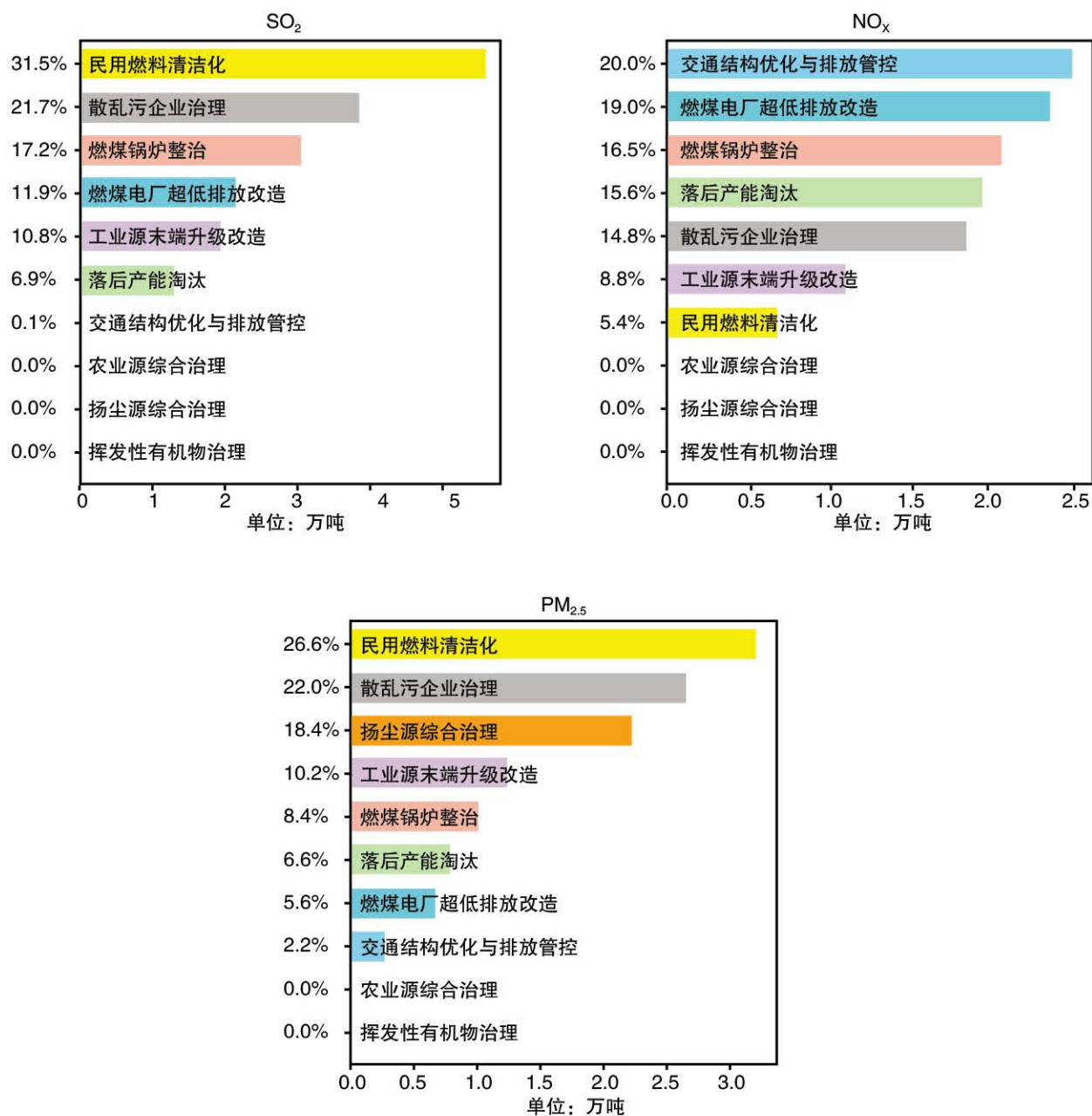


图 3-6 山西陕西区域主要污染物重点减排措施贡献

燃煤电厂超低排放对全国SO₂和NO_x减排均有显著贡献。全国范围上看，2018年燃煤电厂超低排放改造带来15万吨SO₂和30万吨NO_x的减排。燃煤电厂超低排放对重点区域的SO₂和NO_x减排也有显著贡献，其中对长三角地区的NO_x减排贡献达到27.4%，对山西陕西地区SO₂和NO_x减排贡献分别达到11.9%和19.0%。民用燃料清洁化在SO₂和一次PM_{2.5}的减排贡献相较于2013-2017年有所上升，特别得体现在京津冀和山西陕西为代表的北方地区城市，民用燃料清洁化对京津冀地区一次PM_{2.5}和SO₂的减排贡献分别为26.2%和26.3%，对山西陕西地区的一次PM_{2.5}和SO₂的减排贡献分别为31.5%和26.6%。此外，交通结构优化与排放管控对NO_x的减排贡献较大，扬尘综合治理对一次PM_{2.5}的贡献也表明作为重大减排工程，扬尘综合治理对空气质量改善卓有成效，但相较前几年，效果有所下降。

2017-2018年，全国能源消费量从44.9亿吨标煤上升到46.2亿吨标煤，其中天然气占比从6.9%提升到7.4%，非化石能源占比从13.8%提升到14.3%，煤炭消费量占比下降到59%，清洁能源占比22.1%，能源结构不断优化，带来的减排贡献巨大，2017-2018年间能源结构调整优化总共带来45.3万吨SO₂、26.3万吨NO_x和21.1万吨一次PM_{2.5}的减排。而民用散煤的主要大气污染物排放强度是超低排放改造后燃煤机组的5至10倍，从评估核算的结果上看民用燃料清洁化在重点区域和全国范围内的一次PM_{2.5}的贡献较大。

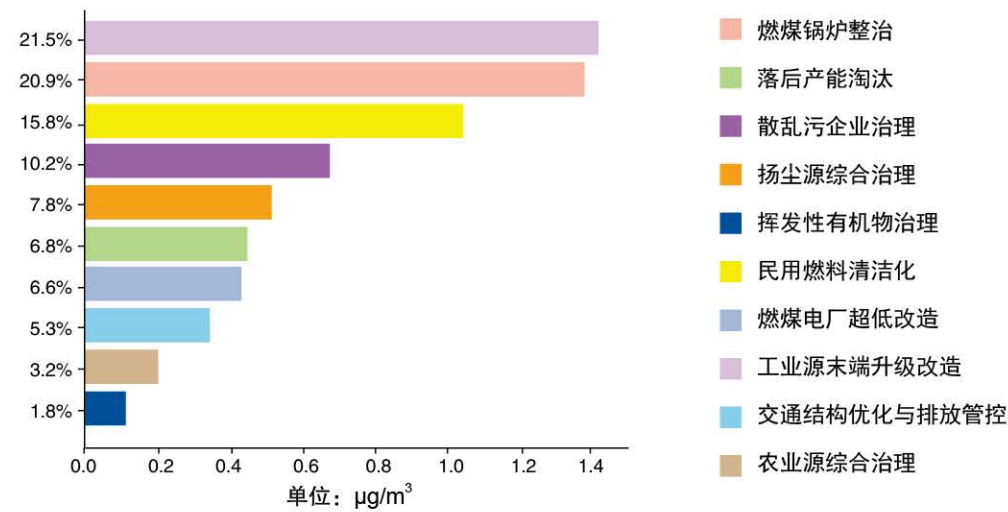
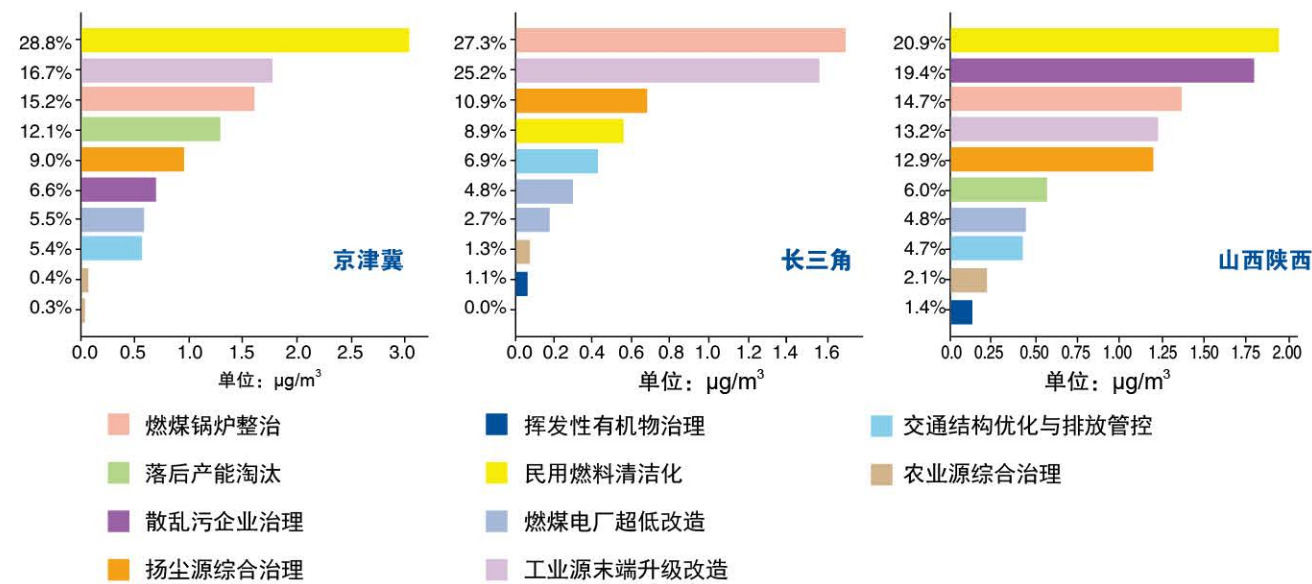
而在产业结构调整方面，以煤电机组、钢铁、水泥和玻璃等为代表的主要减排行业的减排贡献相对下降，表明在落后产能淘汰和置换方面的减排潜力不断下降。在蓝天保卫战中，在继续巩固推进移动源综合整治的基础上，推进优化调整货物运输结构，从铁路货运、多式联运几个方面，对全国范围内的货运排放进行控制。同时加快车船结构升级，大力发展新能源汽车和公共汽车，从源头上减少交通行业带来的排放。

2017-2018年间，交通结构优化与排放管控总共带来36.9万吨NO_x的减排。

重大减排工程方面，蓝天保卫战针对挥发性有机物在重点区域全面执行大气污染物特别排放限值，加大对挥发性有机物排放企业综合治理，2017-2018年间总共治理2.8万余家企业，其中溶剂使用源、移动源和工业过程源的整治措施贡献了最多的VOCs减排，分别占减排的27%、27%和19%，共减排49.6万吨。在农业源排放控制方面，在畜禽养殖业综合利用率、化肥综合利用率和测土配方施肥面积推广方面加大技术提升力度，全国范围内2017-2018年减排了16.0万吨NH₃排放。

全国及重点地区空气质量改善情况评估

本章节基于WRF-CMAQ (Weather Research and Forecasting Model-Community Multiscale Air Quality Modeling System) 模型定量估算主要减排措施对空气质量改善效果的贡献。首先，利用美国国家气候中心 (NOAA's National Climate Data Center, 简称NCDC) 提供的全球地面国际交换站气象监测信息对WRF模式模拟的气象场结果进行验证，结果表明WRF模型对主要气象参数的模拟效果基本可靠。通过MEIC排放清单对基准年各项大气污染物浓度进行模拟，并利用国控站点监测数据对基准模拟效果进行验证。验证结果表明本评估使用的模型框架能够良好地表征全国和重点区域空气质量的时空变化情况，并良好地再现了2017-2018年间全国及重点区域各项污染物浓度的下降情况，模拟结果可靠，模型框架可以应用于后续评估。基于测算获得的“蓝天保卫战”首年主要措施对大气污染物的减排量贡献，评估共设计10个敏感性实验以逐一确定10项主要减排措施对空气质量改善的贡献，并使用2017至2018年间国控站点实际观测到的年均PM_{2.5}浓度下降量对敏感性实验

图 3-7 全国主要减排措施对空气质量改善 ($\text{PM}_{2.5}$) 贡献图 3-8 重点区域主要减排措施对空气质量改善 ($\text{PM}_{2.5}$) 贡献

结果进行归一化，获得每一项减排措施对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降的贡献。

从气象变化看，2018 年全国范围内污染气象条件较 2017 年的波动较小，2018 年全年平均风速较 2017 提升 2.3%，其余气象条件较为接近。从秋冬季看，2018 年秋冬季的相对平均湿度较 2017 年高约 10%，平均风速波动较小，扩散条件相对不利，平均温度和

总降水量等指标波动较小，其中 11 月份平均风速同比降低、相对湿度同比上升，使得污染扩散条件较差，到 12 月份平均风速同比提高且降水增多，整体污染扩散条件转好。分重点区域来看，京津冀地区 2018 年全年平均风速较 2017 年上升 4.3%，平均气温下降 1.5%，相对湿度和降水量波动较小，其中 2018 年秋冬季整体污染扩散条件较 2017 年更差，11 月份平均

风速同比降低 26%，温度同比上升 43%，相对湿度同比上升 31.3%，其中主要由降雨造成，整体污染扩散条件较好，而到 12 月份，平均风速同比下降 3.3%，温度同比降低 150%，污染扩散条件变差；长三角区域 2018 年全年平均风速同比上升 2.9%，相对湿度上升 3.3%，平均气温基本保持不变，其余各项指标年际变化波动较小，整体扩散条件接近，但其中 2018 年秋冬季的相对湿度同比 2017 年上升 15.8%，超过 80%，有利于重污染天气的生成，但秋冬季总降水量是 2017 年同期的 2.5 倍，一定程度上缓解了污染物聚集，其中 11 月份污染扩散条件较差，平均风速同比下降 6%，相对湿度增加 13%，而到 12 月份开始转好，平均风速同比上升 19% 且平均气温上升 9%；山西陕西区域 2018 年全年各项气象指标与 2017 年相比波动较小，但 2018 年秋冬季平均气温较 2017 年同期降低 50% 以上，平均风速同比降低 5.5%，相对湿度同比上升 5.2%，其中 11 月份污染扩散条件较差，平均风速、温度等均同比低于 2017 年水平，相对湿度同比提升 11.4%，到 12 月份温度进一步降低，但平均风速和相对湿度情况有所好转，但污染扩散条件仍较差，整体秋冬季的污染扩散条件相较 2017 年更差。

总体而言，全国及京津冀、汾渭平原等重点区域 2018 年的污染扩散条件略优于 2017 年，但 2018 年秋冬季，尤其是 11 月份的平均风速、相对湿度等气象要素相较 2017 年更利于重污染的形成和聚集；12 月的气象条件有所好转。

2018 年全国 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度为 $39.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，2017 年全国 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度为 $45.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，2017 年到 2018 年 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降 $6.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，同比下降 14.5%。京津冀地区 2017 年和 2018 年 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度分别为 $63.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $53.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，长三角地区 2017 年和 2018 年 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度分别为 $48.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $42.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。山西陕西两省 2017 年和 2018 年 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度分别为 $60.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $51.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

模型测算结果表明，工业源末端升级改造是对全国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降贡献最大的措施，各项工业源末

端升级措施使全国 $\text{PM}_{2.5}$ 平均浓度下降 $1.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，占 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降总量的 22.0%。工业源末端升级改造对三个重点区域的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度改善有重要贡献，在京津冀、长三角、山西陕西省分别为对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降的贡献第二、第二和第四大的措施。2018 年全国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降贡献第二大的措施，使得全国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度均值下降 $1.39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，占 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降总量的 20.9%。民用燃料清洁化是对全国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降贡献第三大的措施，使得全国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度均值下降 $1.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，占 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降总量的 15.9%，相较往年其减排贡献有较大比例的上升。散乱污企业治理和扬尘源综合整治分别为对全国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降贡献第四和第五的措施，使得全国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度均值下降 $0.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $0.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，贡献了 10.2 和 7.8%。

由于产业结构和大气污染物排放结构存在较大差异，“蓝天保卫战”各项相关措施在三大重点区域发挥了不同的作用，对各区 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降的贡献存在差异。民用燃料清洁化是对京津冀地区 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降贡献最大的措施，2018 年京津冀地区民用散煤清洁化整改力度较大，共实施双散替代改造 221 万户，各项散煤整治措施使得京津冀地区 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降 $3.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，贡献了 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降总量的 29.0%。其次为工业源末端升级改造和燃煤锅炉整治，分别使得京津冀地区 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降 $1.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $1.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降总量的贡献为 16.8% 和 15.2%。

对 2017 年至 2018 年长三角地区 $\text{PM}_{2.5}$ 平均浓度下降贡献较大的前三项措施依次为燃煤锅炉整治、工业源末端升级改造和扬尘源综合治理。2017 至 2018 年长三角淘汰燃煤锅炉 3833 台，较以往而言尽管数目减少但蒸吨数增大，仍有较大的减排贡献，实施燃煤锅炉整治措施使得长三角 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降 $1.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，贡献 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降的 27.6%。江浙沪陆续启动重点行业超低排放改造，安徽省也不断加强工业排放监管以达到特排限值，长三角地区通过工业源末端升级改

造使 PM_{2.5} 平均浓度下降 1.58 μg/m³，贡献了 PM_{2.5} 浓度下降总量的 25.6%。扬尘源综合治理和散乱污企业治理分别使长三角地区 PM_{2.5} 浓度下降 0.684 μg/m³ 和 0.681 μg/m³，各贡献 PM_{2.5} 浓度下降总量的 11.0%。

对山西陕西两省而言，2018 年仅汾渭平原地区实施双散替代户数可达 177.7 万户，民用燃料清洁化对山西陕西省 PM_{2.5} 浓度下降贡献最大的措施，

使得 PM_{2.5} 平均浓度下降 1.96 μg/m³，贡献占比为 20.9%。2018 年共整治“小散乱污”企业 3.6 万家，散乱污企业综合治理对 PM_{2.5} 污染改善贡献第二的措施，使得 PM_{2.5} 浓度均值下降 1.82μg/m³，贡献了 PM_{2.5} 浓度下降总量的 19.4%。其次为燃煤锅炉整治，使得 PM_{2.5} 平均浓度下降 1.38 μg/m³，贡献了 PM_{2.5} 浓度下降总量的 14.7%。

表 3-3 《行动计划》措施对 2018 年 PM_{2.5} 浓度下降的贡献（μg/m³）

具体措施	京津冀	长三角	山西陕西	全国
燃煤锅炉整治	1.62	1.71	1.38	1.39
民用燃料清洁化	3.06	0.56	1.96	1.05
落后产能淘汰	1.29	0.17	0.56	0.45
燃煤电厂超低排放改造	0.58	0.30	0.45	0.44
散乱污企业治理	0.70	0.68	1.82	0.68
工业源末端升级改造	1.78	1.58	1.24	1.43
挥发性有机物治理	0.03	0.07	0.12	0.12
交通结构优化与排放管控	0.57	0.43	0.44	0.35
扬尘源综合治理	0.96	0.68	1.21	0.52
农业源综合治理	0.04	0.08	0.20	0.21

2018 年排放现状及减排潜力分析

2018 年，全国共计排放 959.2 万吨 SO₂、2024.2 万吨 NO_x、924.3 万吨一次 PM_{2.5}、2812.1 万吨 VOCs（如图 3-8 所示）。主要污染物 2018 年排放量较 2017 年均有所下降，降幅分别达到 8.7%、5.2% 和 8.4%。2018 年，工业锅炉、移动源、民用源和溶剂使用分别是全国 SO₂、NO_x、PM_{2.5} 和 VOCs 排放贡献最大的行业，各自贡献的排放比例分别为 24.1%、35.0%、35.1% 和 36.6%。此外，民用源

排放的 SO₂，工业锅炉排放的 NO_x，扬尘源排放的 PM_{2.5} 和其他工业行业排放的 VOCs 也均是主要的排放贡献源。京津冀、长三角和珠三角地区各行业的排放占比存在较大差异。例如京津冀地区的电力 SO₂ 排放占比仅为 6%，远低于长三角的 16% 和山西陕西区域的 21%。京津冀地区的钢铁贡献了 14% 的一次 PM_{2.5} 排放，但该行业对长三角 PM_{2.5} 排放的贡献为 4%，对山西陕西区域的 PM_{2.5} 排放贡献仅为 5%。三个区域的工业锅炉排放贡献均相对较高。

执行“蓝天保卫战”之后，各污染物排放发生了

不同幅度的变化，但总体排序与 2017 年基本保持一致。电力行业 2018 年超低排放改造率已达 80%，整体排放占比和减排潜力较之前有所下降。工业锅炉对 SO₂ 和 NO_x 排放贡献巨大，在 2018 年贡献了 25.1% 的 SO₂ 减排，在所有措施中占比最高，充分利用了其巨大的减排潜力。从 2017 年起，移动源对 NO_x 排放贡献超过其它部门，2018 年对重型和中型柴油车实施污染控制是行动计划的重点，全年贡献了 32% 的 NO_x 减排。全国范围内民用燃料清洁化在“蓝天保卫战”发布后，相对其他措施来说力度加强，对

SO₂ 和一次 PM_{2.5} 分别贡献了 23% 和 35% 的减排，从图 3-8 可以看出，民用 PM_{2.5} 排放占比最高，民用部门仍有较大的减排潜力。2018 年 VOCs 排放量开始下降，主要原因在于对溶剂使用行业的控制和交通结构优化与排放管控，且溶剂使用的增长较之前有所放缓。“蓝天保卫战”落实过程中各省均采取了挥发性有机物治理措施，如开展油气回收治理工作，石化与炼油行业展挥发性有机物综合整治工作，黄标车淘汰等。但 VOCs 总排放量较大，且减排量较小，仍然是今后落实工作的重点和难点。

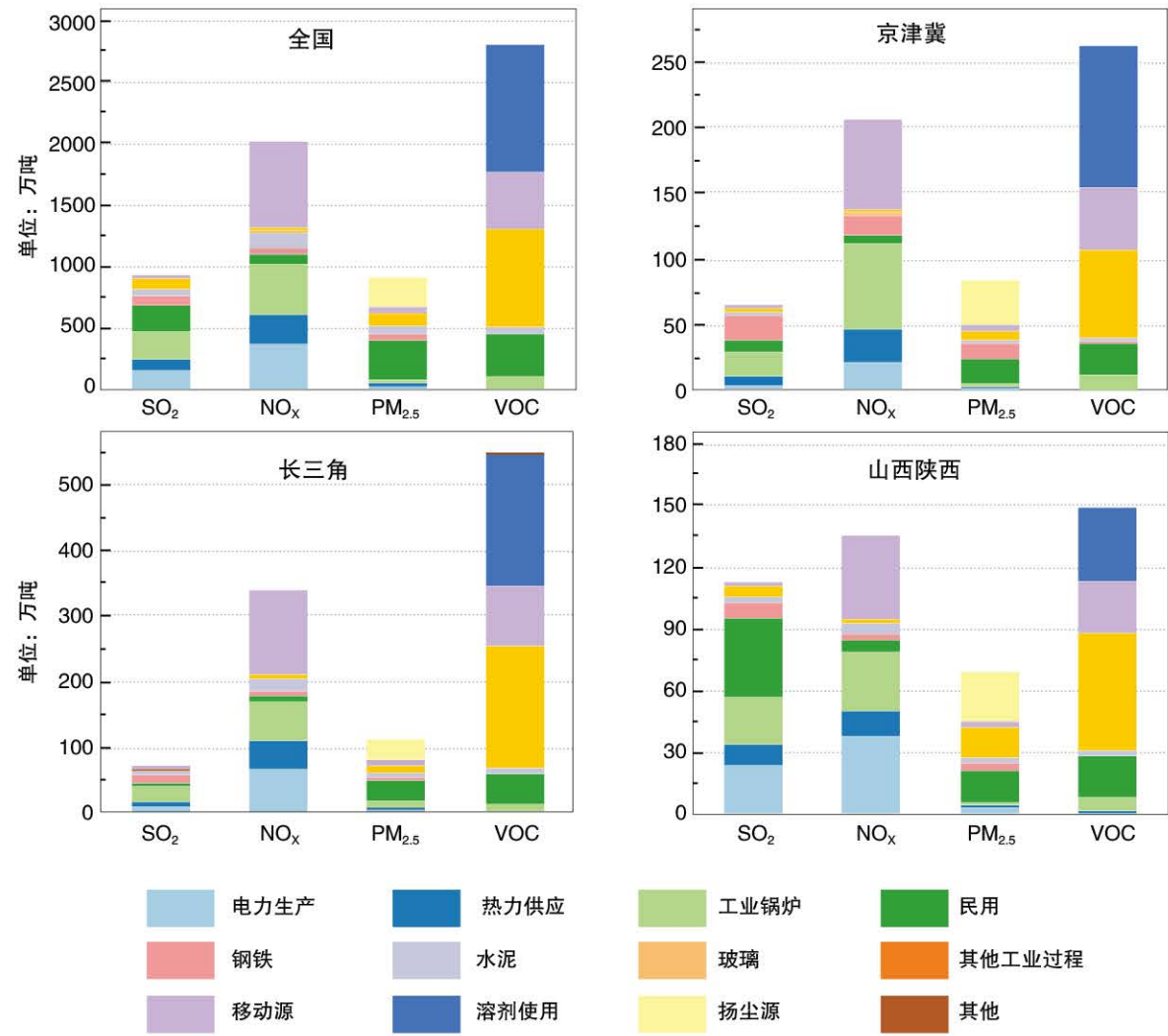


图 3-9 2018 年全国及重点区域主要大气污染物排放特征

空气污染与气候变化：协同控制的新起点

协同控制的概念

空气污染和气候变化均与人为源排放密切相关。从温室气体（如 CO₂、CH₄、N₂O 等）与大气污染物（如 SO₂、NO_x、PM、NMVOCs 等）的产生原因看，两者具有高度的同源性，大多是由矿物燃烧排放生成的；而且二者的排放变化趋势也具有显著的同步性。从对环境的影响效果看，许多大气污染物同时也是气候辐射强迫物，如黑碳、硫酸盐、硝酸盐、有机气溶胶、臭氧等。IPCC 第五次评估报告显示，气溶胶 - 辐射交互过程以及气溶胶整体的有效辐射强迫分别为 -0.45（-0.95+0.05）W/m² 和 -0.9（-0.95+0.05）W/m²。与温室气体相比，气溶胶辐射强迫的数量级和不确定区间都相当可观。此外，气候变化也会在一定程度上影响大气环境质量，可能会加剧空气污染对人体健康、农业生产、以及生态系统的影响。温室气体与大气污染物的同源性为二者的协同控制提供了基础和可能性。

协同控制是应对环境污染和气候变化的一个新理念。国际上对协同控制的研究最早起源于对温室气体减排次生效益的评估（胡涛等，2012）。IPCC 第二次评估报告中指出了控制温室气体的同时对局地大气污染物的减排效益。之后逐步认识到大气污染控制与温室气体减排之间存在双向影响，IPCC 第三次评估报告中首次提出“协同效应”的概念，广泛讨论了温室气体减排的协同效益。为使协同效益最大化，协同控制的概念应运而生。2007 年 IPCC 发布的第四次评估报告即提出了将温室气体减排与大气污染物控制相结合的政策，通过采取适当的减排措施，可以同时削减温室气体与大气污染物的排放，并获得一些其他方

面的效益，使净效益最大化，开展协同控制可以实现更好的减排效果，并且有助于降低控制成本。协同控制措施包括从源头控制、过程控制到末端控制的所有技术措施，以及包括结构调整、规模控制以及相应的政治、经济、贸易措施等。

总体而言，应对气候变化的低碳政策通过控制能源使用的相关活动，可以协同减排大气污染物，带来额外的空气质量改善和健康效益，具有显著的环境友好属性；污染控制政策以燃煤、机动车、工业企业等化石燃料燃烧活动为主要控制对象、以颗粒物和臭氧为主要控制物种，同样具有显著的温室气体减排效益和气候友好属性。

我国温室气体减排和控制气候变化的现行政策

在应对气候变化方面，我国早在 2007 年时已提出《中国应对气候变化国际方案》，并在之后提出了《“十二五”控制温室气体排放工作方案》、《中国中长期节能减排规划》等具体的实施方案。近年来，随着全球气候变化形势的加剧以及我国大国形象的不断深化，作为全球主要的碳排放国之一，我国进一步在哥本哈根大会和《巴黎协定》中做出中国承诺。在《京都议定书》的修正案中，中国提出在 2020 年时全国碳排放强度较 2005 年降低 40%-45%，非化石能源占比提升至 15% 左右，森林存储量增加 13 亿立方米；在随后的“国家自主减排贡献（NDC）”目标中，中国进一步提出努力在 2030 年（及之前）实现碳达峰，2030 年时碳排放强度较 2005 年降低 60%-65%，非化石能源占比提升至 20% 左右，森林储蓄量增加 45

亿立方米。

为确保碳减排国际承诺的顺利实现，以及全球变化趋势下我国的能源、社会、经济发展转型，国务院 2016 年底印发了《“十三五”控制温室气体排放工作方案》，从低碳能源革命、低碳产业体系、城镇低碳化发展、低碳科技创新、建立碳排放交易市场等方面细化了具体要求。在能源转型方面，方案明确指出要加强能源碳排放的控制指标，至 2020 年时全国的能源消费总量控制在 50 亿吨标煤以内，能源强度较 2015 年下降 15%；碳排放强度较 2015 年下降 18%，一方面大型发电集团的碳排放控制在 550g CO₂/kwh 以内，另一方面积极有序推进水电、核电、风电、太阳能发电以及地热能、生物质能、海洋能等新型清洁能源；此外大力推进天然气、电力替代交通燃油。在产业调整方面，一方面要加快淘汰落后和过剩产能，另一方面有序推进产业结构的低碳转型，力争至 2020 年新兴产业增加值占国内 GDP 的比重达到 15%，服务业比重达到 56%；同时积极推广新工艺新技术与企业管理手段，有效控制钢铁、建材等重点工业行业的排放，“十三五”期间累计减排 CO₂ 当量 11 亿吨以上。在低碳城镇发展方面，要加强城乡低碳化建设和管理，强化建筑节能，至 2020 年城镇绿色建筑占新建建筑比重达到 50%；要建设低碳交通运输体系，加快发展铁路、水运等低碳运输方式，发展低碳物流，至 2020 年，运营货车、客车、船舶的单位运输周转量 CO₂ 排放较 2015 年分别降低 8%、2.6%、7%；城市客运的单位运输周转量 CO₂ 排放较 2015 年下降 12.5%。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》推进我国战略性新兴产业稳步增长。从实施效果来看，能源和产业结构调整的目标都将超额实现。煤炭消费保持总体下降的趋势，预计到 2020 年可超额完成“十三五”煤炭消费占比降至 58% 以下的目标。非化石能源消费在 2017 年底占一次能源消费总量比重的 14.2%，预计可提前实现 2020 年 15% 的目标。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 个行业共计 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 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。

经济政策可以通过市场杠杆调节、调动企业减排的积极性。近年来，我国也在积极推行全国碳排放权交易市场的减少和运行，计划出台《碳排放权交易管理体系》及相关细则，制定覆盖石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、电力和航空等 8 个工业行业中年能耗 1 万吨标准煤以上企业的碳排放权总量设定与配额分配方案，实施碳排放配额管控制度。在现有碳排放权交易试点交易机构和温室气体自愿减排交易机构基础上，根据碳排放权交易工作需求统筹确立全国交易机构网络布局，至 2020 年力争建成制度完善、交易活跃、监管严格、公开透明的全国碳排放权交易市场。

温室气体减排和污染物控制政策的协同作用

我国面临着大气污染治理和应对气候变化的双重挑战，而大气污染物和温室气体具有同源性，我国已出台的温室气体减排和污染物控制政策也体现出较强的协同治理效果。

从电力部门看，长期以来我国以煤为主的发电结构造成了严重的环境问题，电力行业也因此成为中国温室气体和大气污染物的主要排放源之一。电力行业温室气体与污染物控制协同性较强的政策措施主要体

现在两个方面：发电结构的调整和发电能效的提升。其中，发电结构的调整主要指降低煤电的占比，提高可再生能源发电的比例；发电效率的提升包括煤电机组的改造，以及通过采取“上大压小”，淘汰落后小机组，新增大机组持续降低单位发电煤耗。大量研究表明，发电结构优化与发电效率提升可以带来显著的协同效益，若 2030 年非化石能源发电量占比提升至 50%，则 CO₂ 和 SO₂ 排放较 2015 年可降低 30% 以上。在发电结构方面，Yang et al (2019) 的研究指出，在 2030 年实现 400GW 的太阳能光伏发电装机容量可以在全国减少 4.2% 的 CO₂ 排放，且因空气污染导致的过早死亡可以减少 1.2%。Lu et al (2019) 的研究表明，当电力行业煤-生物能源气化系统达到 410MW 装机容量时，可以实现 9.3% 的 CO₂ 减排和 12% 的 PM_{2.5} 减排。在提升发电效率方面，中国在 2015-2030 年通过采取小型、低效机组的提前淘汰政策（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%。此时相比机组正常 40 年淘汰情景，机组提前淘汰可使 SO₂ 减排 25%、CO₂ 减排 5% 左右（Tong et al., 2018）。

从工业部门看，工业是我国能源消耗量最大、GDP 能源强度最高的部门，也是污染物和温室气体的主要排放部门之一。工业部门温室气体与污染物协同控制的政策措施主要体现为：（1）通过技术升级降低能源需求；（2）通过燃料替代提高清洁能源占比。以水泥行业为例，在 2017 年水泥行业能效对比中，排名靠前企业的熟料综合能效达到 95.7kgce/t，提前三年完成了《建材工业发展规划（2016-2020 年）》中 105kgce/t 的指标。Ma et al (2016) 的研究表明，在 2030 年 6.4 亿吨钢铁需求量的情况下，50% 的废钢回收率的提升可以带来 1.9 亿吨废钢回收量，进而可以减少 6770 万吨的 CO₂ 排放，同时实现 11 万吨、2 万吨、3 万吨的 SO₂、NO_x 和的减排。该举措可以带来巨大的健康效益和经济效益，因空气污染导致的早逝可避免 28529-70624 人，减少经济损失 3.86-8.54

亿美元。

从交通部门看，随着中国经济的快速发展，人民生活水平的不断提高，汽车保有量、能耗量迅速增加，由此带来大量的温室气体和大气污染物排放。交通部门温室气体减排和污染物控制的相互推动作用主要体现于交通运输的结构优化和能效提升。在结构优化方面，近年来政府大力推动公共交通发展，减少私人汽车、出租车的使用，倡导绿色出行方式，显著提升新能源汽车和铁路电动機車的占比。在能效提升方面，客运公路运输，货运公路运输，水运，民航，私人运输，铁路和公共交通的单位周转能耗以每五年约 3%，7%，6%，4%，1%，0.1% 和 0.1% 的速度下降。Liu et al (2018) 评估了相关措施的实施效果，表明相较基准情景，能效提升和运输结构优化在 2050 年时可以分别实现 38% 与 35% 的 CO₂ 减排，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。

从民用部门看，随着中国经济社会的发展，人民对生活质量的要求不断提高，未来民用燃烧、民用建筑的巨大能源需求将给中国的大气污染治理和气候变化应对带来巨大压力。中国广大农村地区散煤的清洁燃料（电力、天然气、新型生物质能）替代是实现民用部门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，采用天然气取代所有商业部门和城市、郊区固态燃料消费；采用风力发电取代农村炊事活动中使用的煤和传统生物质燃料可以带来巨大的空气改善和健康效益。Liu et al (2018) 的研究显示，在 2010-2030 年期间采取民用燃料清洁替代可以减少 4% 由于空气污染导致的过早死亡，室内空气污染的死亡率降低更为显著，达到 31%。

进一步推动协同控制和效益的政策建议

自“大气十条”、“蓝天保卫战”实施以来，我国的空气质量有所好转，但 PM_{2.5} 年均浓度较发达国家

仍有很大差距，区域性、结构性污染问题仍然突出。中国生态环境部提出了力争到 2030 年全国所有城市达到国家空气质量二级标准（PM_{2.5} 年均值为 35 μg/m³）的目标。同时，作为全球应对气候变化的重要参与者，中国积极应对气候变化，提出了力争 2030 年之前实现碳达峰的自主减排贡献目标。

为实现我国 2030 年的清洁空气目标和自主减排贡献承诺，需在落实“蓝天保卫战”和《“十三五”节能减排综合工作方案》等政策规划的基础上，强化各部门节能减排措施，硬化节能减排降碳指标。电力部门应通过调整发电结构和提高发电能效推动建设清洁低碳电力体系。工业部门应着力于高耗能

产业的结构优化，同时推进全行业节能减排升级改造。交通部门则应通过推广新能源汽车、优化运输结构及发展公共交通相结合的方式构建低碳清洁交通体系。

同时，应综合考虑实现清洁空气目标和温室气体减排目标的时间和动力，提出协同治理的总体规划。针对我国大气污染严重、环境治理压力大的现状，在 2030 年之前应当以环境治理为抓手，带动温室气体减排目标的实现；而在 2030 年之后，我国环境问题将得到本质好转，考虑我国应承担的与发展阶段相适应的碳减排责任，要以应对气候变化和温室气体减排为主导，带动环境质量的进一步改善。

- 1.《2018 年全国电力工业统计快报一览表》，中国电力企业联合会
- 2. 国家能源局网
- 3.《今年我国北方地区新增清洁取暖面积约 15.5 亿平方米》新华网
- 4.《生态环境部 2019 年新年首场例行新闻发布会》
- 5.《国家电网有限公司服务新能源发展报告（2019）》-- 国家电网
- 6.《中国可再生能源发展报告 2018》- 水电水利规划设计总院
- 7.《中国电力行业年度发展报告 2019》- 中国电力企业联合会
- 8.《2018 年 VOCs 减排控制行业发展评述和 2019 年发展展望》中国环境保护产业协会 栾志强
- 9.《有机废气治理行业 2018 年度发展报告》— 中国环境保护产业协会废气净化委员会
- 10.《2018 钢铁“绿意盎然”》- 中国冶金报
- 11.《2017 年铁道统计公报》，国家铁路局
- 12.《2018 年铁道统计公报》，国家铁路局
- 13.《2017 年交通运输行业发展统计公报》，中华人民共和国交通运输部
- 14.《2018 年交通运输行业发展统计公报》，中华人民共和国交通运输部
- 15.《2017 年国民经济和社会发展统计公报》，国家统计局
- 16.《2018 年国民经济和社会发展统计公报》，国家统计局
- 17. 中国铁路总局
- 18.《2018 年国内沿海货运船舶运力分析报告》水运局
- 19.《中国集装箱与多式联运发展报告 2018》
- 20.《2018 年中国移动源环境管理年报》- 中华人民共和国生态环境部
- 21.《2019 年中国移动源环境管理年报》- 中华人民共和国生态环境部
- 22.《2018 年 12 月份及 2018 年全年汽车产销数据》- 中国汽车工业协会
- 23.《2018 年中国经济年报》- 中国政府网
- 24.《强化大气污染综合治理攻坚行动督查巡查中的支撑作用》-- 生态环境部应急中心副主任马建华
- 25.《生态环境部通报 2018 年度全国“12369”环保举报情况》— 生态环境部
- 26.《渐成常态——2017-2018 年度 120 城市 PITI 报告发布》-- 蔚蓝地图

- 27.《散煤复燃比例高达 36.1%，保定清洁供暖被指“走过场”》- 中国能源报
- 28.2018 北京市生态环境状况公报
- 29.2018 天津市生态环境状况公报
- 30.2018 重庆市生态环境状况公报
- 31.2018 年河北省生态环境状况公报
- 32.2018 年度辽宁省生态环境状况公报
- 33.2018 年安徽省生态环境状况公报
- 34.2018 年福建省生态环境状况公报
- 35.2018 年江西省生态环境状况公报
- 36.2018 山东省生态环境状况公报
- 37.2018 河南省生态环境状况公报
- 38.2018 广东省生态环境状况公报
- 39.2018 年海南省生态环境状况公报
- 40.2018 贵州省生态环境状况公报
- 41.2018 年甘肃省生态环境状况公报
- 42.2018 年青海省生态环境状况公报
- 43.2018 内蒙古自治区生态环境状况公报
- 44.2018 宁夏生态环境状况公报
- 45. 新疆维吾尔自治区 2018 年环境状况公报
- 46. 关于四川省 2018 年度环境状况和环境保护目标完成情况的报告
- 47. 云南省 2018 年环境状况公报
- 48.2018 年陕西省生态环境状况公报
- 49.2018 年广西壮族自治区生态环境状况公报
- 50.《“十三五”控制温室气体排放工作方案》国务院
- 51.IPCC, IPCC Second Assessment Report
- 52.IPCC, IPCC Third Assessment Report

- 53. IPCC, IPCC Fourth Assessment Report
- 54. Liu, L., Wang, K., Wang, S., Zhang, R., & Tang, X. (2018). Assessing energy consumption, CO₂ and pollutant emissions and health benefits from China's transport sector through 2050. *Energy policy*, 116, 382-396.
- 55. Liu, J., Kiesewetter, G., Klimont, Z., Cofala, J., Heyes, C., Schöpp, W., ... & Guo, F. (2019). Mitigation pathways of air pollution from residential emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei region in China. *Environment international*, 125, 236-244.
- 56. Lu, X., Cao, L., Wang, H., Peng, W., Xing, J., Wang, S., ... & 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*, 116(17), 8206-8213.
- 57. Ma, D., Chen, W., Yin, X., & Wang, L. (2016). Quantifying the co-benefits of decarbonisation in China's steel sector: An integrated assessment approach. *Applied energy*, 162, 1225-1237.
- 58. Tong, D., Zhang, Q., Liu, F., Geng, G., Zheng, Y., Xue, T., ... & Yan, L. (2018). Current Emissions and Future Mitigation Pathways of Coal-Fired Power Plants in China from 2010 to 2030. *Environmental science & technology*, 52(21), 12905-12914.
- 59. Yang, X., & Teng, F. (2018). Air quality benefit of China's mitigation target to peak its emission by 2030. *Climate Policy*, 18(1), 99-110.
- 60. Yang, J., Li, X., Peng, W., Wagner, F., & 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.
- 61. 胡涛, 田春秀, 毛显强. 协同控制: 回顾与展望. [J] 环境与可持续发展, 2012, 1.