

# 能源基金会 清洁空气战略进展

总第19期

2021.07-2021.09

# 目录

|  |           |
|--|-----------|
| <b>一、空气、气候与健康</b> .....  | <b>2</b>  |
| 1. 环境健康战略研讨会暨“制定基于健康保护的中国环境空气质量标准”开题会召开——以健康驱动空气污染与气候变化协同治理.....           | 2         |
| <b>二、空气与气候协同治理规划</b> .....   | <b>5</b>  |
| 1. “十四五北京空气质量改善目标和路径研究”中期评审——指导区域大气污染联防联控及优化北京市实施大气污染控制措施.....             | 5         |
| 2. “粤港澳大湾区‘十四五’能源结构优化目标与路径及其环境效益评估”完成中期评审——用环境目标优化能源结构.....                | 7         |
| 3. “海南省‘十四五’大气污染控制对策研究”项目中期评审会顺利召开——支持编制‘十四五’期间空气质量改善措施.....               | 9         |
| <b>三、行业减污降碳</b> .....  | <b>10</b> |
| 1. “机场排放管控和可持续发展的国际经验”——为北京市两大机场的排放管控提供政策及技术建议 10                          | 10        |
| 2. “十四五典型建材行业结构优化调整和污染防治对策研究”项目中期会顺利开展——强化陶瓷、砖瓦行业调控.....                   | 12        |
| 3. “‘十四五’农村散煤治理形势与新思路”学术沙龙顺利举办——探索农村散煤综合治理方法路径 14                          | 14        |
| 4. “十四五期间石化行业 VOCs 排放与碳排放协同控制策略研究”中期评审——石化行业 VOCs 排放与碳排放协同控制策略.....        | 17        |
| 5. “北京工业园区 VOCs 管控新技术与政策研究”项目顺利结题——石化及溶剂使用工业园区排放精细化管理.....                 | 19        |
| 6. “中国农村生物质供热典型案例与技术综合分析”学术沙龙顺利举办——探索生物质清洁高效利用模式.....                      | 20        |
| <b>四、协同管理的制度与机制</b> .....  | <b>24</b> |
| 1. “基于大数据的大气污染防治决策技术方法及应用框架研究”开题——探索构建以近实时数据为基础的决策支持.....                  | 24        |
| 2. “北京市大气污染防治条例”开题会顺利开展——为精准治污、科学治污、依法治污提供参考借鉴 26                          | 26        |
| 3. “温室气体与传统空气污染物排放权交易：加州经验的启示”项目立项会——为中国相关项目提供经验.....                      | 27        |
| 4. “中国履行《基加利修正案》减排 HFC-23 对策研究”结题——为 HFC-23 排放管控工作提供科技支撑 28                | 28        |
| 5. 《大型活动可持续性绩效评价指标体系研究》与《北京冬奥会可持续性典型案例选编与分析》项目顺利开题——总结北京冬奥可持续性管理和实践经验..... | 30        |
| <b>五、协同管理的策略传播</b> .....   | <b>31</b> |
| 1. “北京国际大都市清洁空气与气候行动论坛”顺利召开——减污降碳，协同增效.....                                | 31        |
| 2. CCAPP 年度会议“碳中和与清洁空气协同路径”顺利召开——《中国碳中和与清洁空气协同路径（2021）》报告正式发布.....         | 33        |
| <b>六、空气质量分析</b> .....  | <b>35</b> |
| 1. 2021 年三季度全国 PM <sub>2.5</sub> 浓度情况.....                                 | 35        |
| 2. 2021 年三季度全国 O <sub>3</sub> 浓度情况.....                                    | 36        |

# 一、空气、气候与健康

## 1. 环境健康战略研讨会暨“制定基于健康保护的中国环境空气质量标准”开题会召开——以健康驱动空气污染与气候变化协同治理

2021年9月15日至16日，北京大学环境科学与工程学院与能源基金会（中国）共同在京举办了环境健康战略研讨会暨“制定基于健康保护的中国环境空气质量标准”项目开题会。会议召集了空气、气候、健康等领域顶尖科研机构与决策支撑单位专家，通过线上与线下相结合的方式共同探讨相关重要研究议题的立项和研究思路，并就共建空气-气候-健康交流平台开展专题研讨。



图1-1 会议合影

北京大学环境科学与工程学院院长朱彤教授和能源基金会（中国）项目副总裁李洁女士致辞，强调了在国家空气污染与气候变化协同治理的背景下，环境健康领域以及基准标准领域面向国家重大需求开展前沿科学研究的必要性和重要性。

会议邀请了环境科学研究所吴丰昌院士、北京大学城市与环境学院陶澍院士、中国疾病预防控制中心环境所施小明所长做主旨报告。

吴丰昌院士以“我国环境与健康若干重点问题”为主题，系统全面地回顾了国内外环境与健康领域学科发展趋势及我国当前面临的形势与需求。他指出环境标准与健康是国内外研究热点和前沿问题，当前我国应以健康风险防控为导向，开展环境基准与标准、

环境健康风险评估的方法，聚焦污染防控技术、安全阈值理论、环境暴露、健康风险评估方法、影响机理、防控对策等方面的研究。

陶澍院士以“生活源排放及室内PM<sub>2.5</sub>污染与危害”为主题，围绕农村生活能源转型及其环境、健康和气候效应，讲述了团队多年来在生活源能耗对环境及健康的影响方面所做的工作，并基于此强调了清洁取暖对健康保护的重要意义。

施小明所长以“我国大气污染的急性健康风险”为主题，详细介绍了多家单位联合攻关，在全国监测地区及典型污染地区建立了多种大气污染物急性健康效应的暴露-反应关系、研发大气复合污染风险评估预警技术和工具相关工作及成果，并对持续开展大气污染对人群健康急慢性影响的系统性研究、进一步推进大气污染的健康影响机制研究进行了展望。

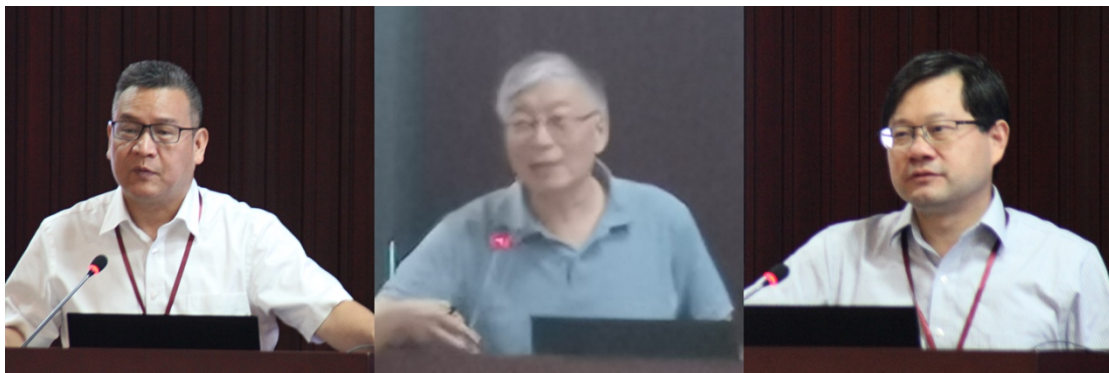


图1-2 主旨报告专家（左：吴丰昌；中：陶澍；右：施小明）

随后，能源基金会（中国）环境管理项目主任刘欣对基金会环境健康战略制定和项目设置背景进行介绍。今年能源基金会围绕推动建立基于健康保护的空气质量标准体系研究，邀请了北京大学、中国疾病预防控制中心、中国环科院、复旦大学、环境部政研中心等设立了环境空气基准研究、就环境空气标准的制定方法及地方实践、经济分析方法、空气质量评价指数、大气污染防治政策的健康效益评估、空气-气候-健康领域交流平台搭建等多项子课题。中国环境科学研究院魏永杰研究员、中国疾病预防控制中心环境所李湉湉研究员、生态环境部经济与政策研究中心韦正崢副研究员、北京大学环境科学与工程学院张世秋教授、复旦大学公共卫生学院阚海东教授、北京大学公共卫生学院薛涛副研究员分别就上述课题做了开题报告。

与会专家对项目开题报告、环境健康战略制定的前瞻性和技术性做了充分的肯定。最后，朱彤教授进行会议总结，他非常感谢与会专家对七个项目报告做了全面的评价。朱彤教授指出环境健康战略目标是通过空气污染与气候变化协同治理，提出空气质量标准修订的日程，提出基于健康效应优化的碳中和路径，从而减少与空气污染、气候变化相关的过早死亡和疾病负担，提高中国居民健康的预期寿命。希望未来能够基于健康风险以及效益分析，来引导双碳目标路径的制定和选择。

## 以健康引领的空气-气候战略初步框架

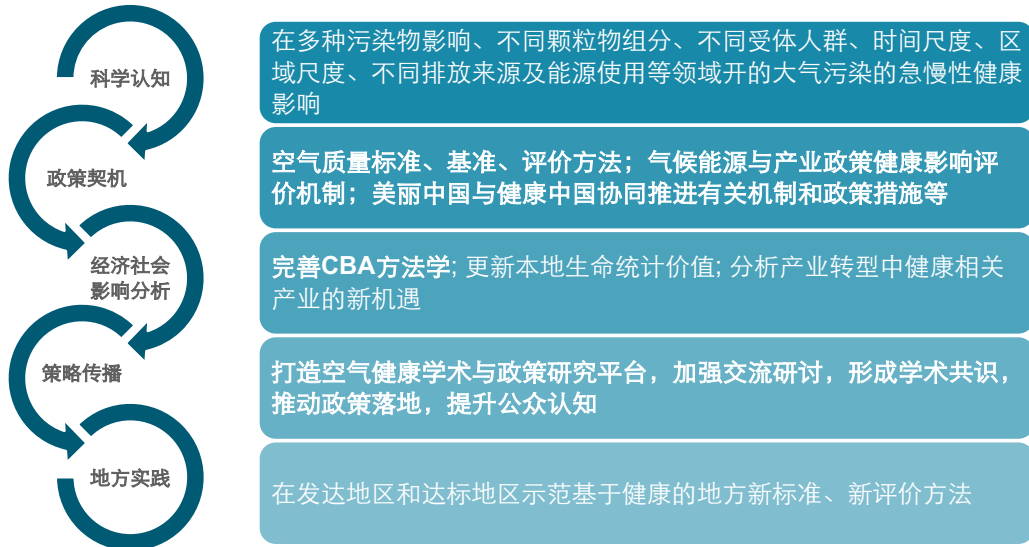


图 1-3 能源基金会健康战略初步框架

## 二、空气与气候协同治理规划

### 1. “十四五北京空气质量改善目标和路径研究”中期评审—— 指导区域大气污染联防联控及优化北京市实施大气污染控制 措施

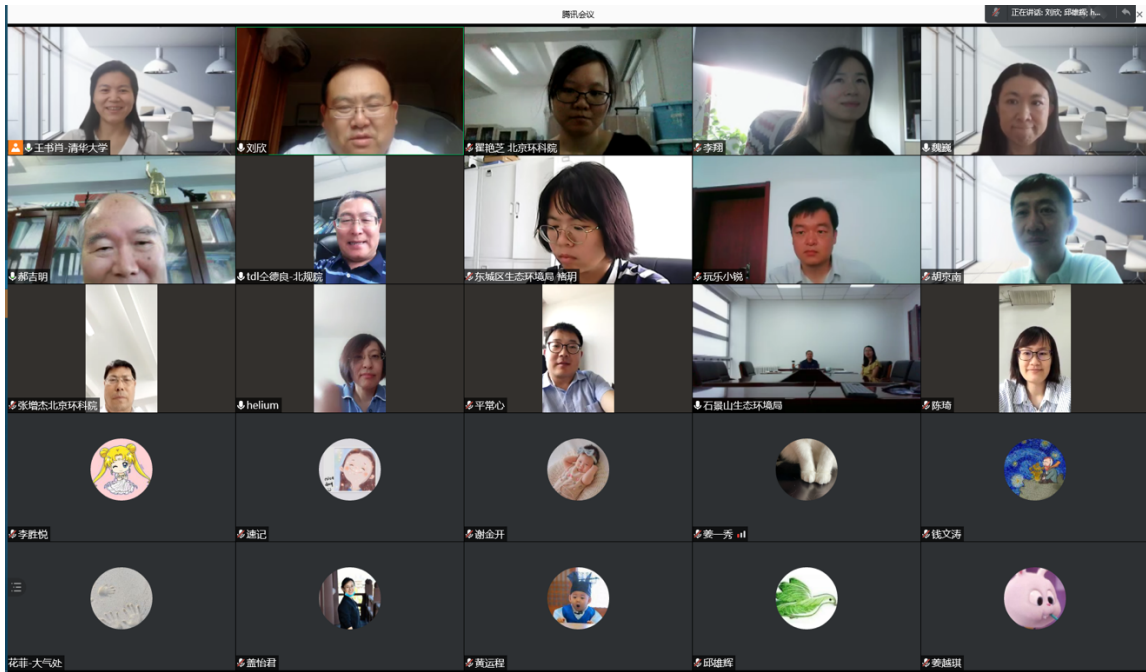


图2-1 会议线上合影

2021年7月30日下午，能源基金会支持清华大学的“十四五’北京空气质量改善目标和路径研究”召开。

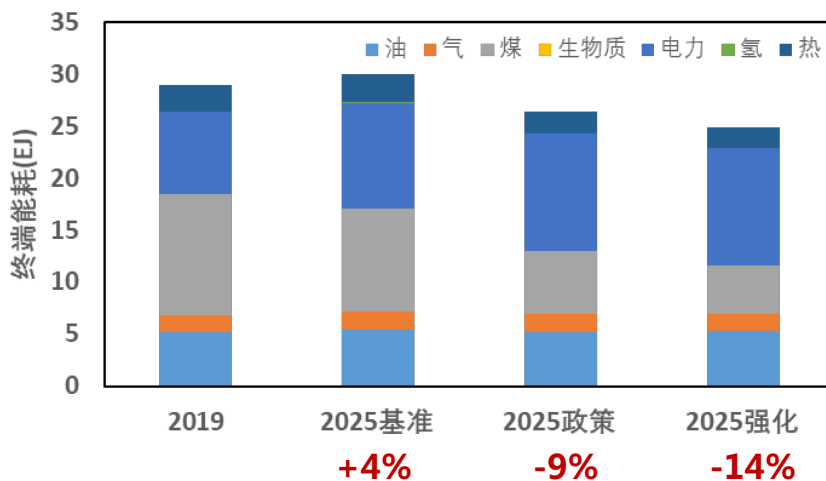
该项目旨在研究十四五期间北京市空气质量目标及实现途径，为北京市空气质量改善提供技术支撑。北京市生态环境局大气处李翔处长、花菲，东城区、石景山区生态环境局领导参与本次会议。评审专家包括郝吉明院士、胡京南研究员、仝德良高工、柴麒敏研究员、薛文博研究员、魏巍教授、李昕研究员。

近年来，北京市空气质量显著改善，但PM<sub>2.5</sub>年均浓度和臭氧8小时90分位仍然高于国家标准，且在秋冬季，重污染现象仍时常发生。此外，周边区域对于北京市的传输贡献越来越明显，北京市大气污染形势更加复杂。“十四五”是北京市空气质量改善的重要窗口，冬奥会等大型赛事的举办对于空气质量达标存在迫切需求。制订十四五期间空气质量目标以及相应大气污染控制措施实施非常重要。

项目基于 2017 年排放清单以及 2017-2019 年发布的大气污染防治政策，更新了北京市周边省市 2019 年的大气污染源排放清单。基于 2019 年排放清单，设计了基准、政策延续、强化控制三种情景。基于建立的响应曲面模型（RSM），评估了不同情景下空气质量以及不同措施的空气质量改善效果。研究发现，政策延续情景下，北京市可以接近达标水平，强化控制情景下，可实现稳定达标。臭氧在十四五期间，目前情景下无法达标， $O_3$  受气象条件影响很大，还需进一步分析和评估。周边区域减排对北京市空气质量改善非常重要，施工扬尘和道路扬尘减排对  $PM_{2.5}$  浓度下降的贡献较大，而北京本地排放中机动车减排是最有效的  $O_3$  治理措施。该结果可指导开展区域大气污染物联防联控及优化北京市实施大气污染控制措施。

## 2、区域大气污染物与 $CO_2$ 协同减排情景分析

### 不同情景下六省市2025年终端能耗



**基准、政策和强化三种情景下，终端用煤分别减少16、48和60%，终端用电分别增加29、43和43%，终端用气分别增加10、8和3%，终端用油消费分别增加4、1和3%**

16

图 2-2 区域大气污染物与  $CO_2$  协同减排情景分析初步结论

与会各方建议明确北京市“十四五”大气  $PM_{2.5}$  和  $O_3$  空气质量和碳减排目标，为 2022 年冬奥会空气质量保障提供支撑；综合考虑京津冀及周边“十四五”规划目标，完善能源情景，提出减污降碳协同措施。加强研究，体现结果前瞻性。进一步分析大气污染物和  $CO_2$  协同减排措施及情景，加强冬奥会空气质量保障分析并提出建议。

## 2. “粤港澳大湾区‘十四五’能源结构优化目标与路径及其环境效益评估”完成中期评审——用环境目标优化能源结构

2021年8月19日，由能源基金会支持广东省环境科学研究院的项目“粤港澳大湾区‘十四五’能源结构优化目标与路径及其环境效益评估”项目中期会顺利召开，该项目旨在量化评估“十三五”期间能源环境政策实施成效，分析“十四五”期间能源供应体系转型升级目标、路径以及环境效益，为大湾区下一阶段能源结构优化策略的选择提供支撑。参加本次评审的领导有广东省生态环境厅气候与交流处四级调研员周颖，广东省生态环境厅大气环境管理处科长崔今山。参与本次评审的专家有，中国环境科学研究院首席科学家柴发合，暨南大学环境与气候研究院教授王雪梅，北京大学环境科学与工程学院教授谢绍东，中国科学院广州能源研究所研究员赵黛青，广东省技术经济研究发展中心研究员于文益，国家应对气候变化战略研究部主任柴麒敏，英国儿童投资基金会中国办公室项目主任刘强。

近年来广东省和粤港澳大湾区空气质量明显改善，大湾区PM<sub>2.5</sub>率先达标，但臭氧浓度总体仍呈上升趋势，成为首要污染物，下一阶段空气质量持续改善难度较大；同时，在全国2030年碳达峰和2060年碳中和的目标下，广东省和大湾区需要力争提前达峰，也面临很大的压力。能源消费是空气污染物和温室气体排放的主要来源，能源系统的转型升级是改善空气质量，减少碳排放的关键，项目开展大湾区“十四五”能源结构优化目标与路径及其环境效益评估研究有重要意义。

项目组通过文献调研、现场调研、专家咨询、资料收集整理、模型模拟和数据综合分析等多种技术方法开展研究工作。在中期阶段，完成了如下工作：基于PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>等关键指标，分析了大湾区各城市在“十三五”期间空气质量和二氧化碳排放变化趋势；梳理了大湾区各城市“十三五”期间实施的主要环境与能源政策及其实施情况，量化了各项政策对空气污染物和二氧化碳的减排贡献，并分析了各项措施的协同性；建立了珠三角能源情景分析框架，以广东省和各地市能源政策和规划为依据，结合对“十四五”能源规划阶段性结果的调研和对接，设置基准情景和两个转型调整力度不同的控制情景开展了能源消费总量和消费结构预测。相关研究为进一步细化“十四五”期间大湾区能源结构优化提供了良好的基础。

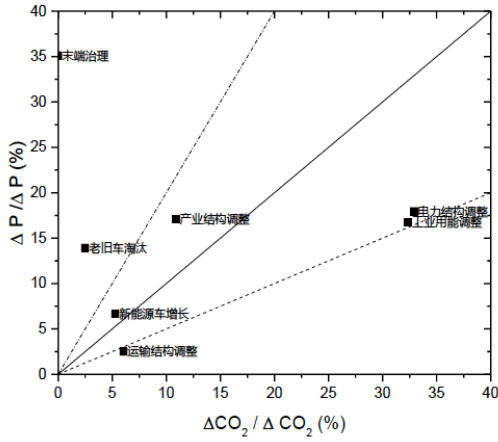
与会各方建议，一是对十三五的评估要进一步深化。特别是要结合大湾区的特点，重点分析双控目标下的协同关系和空气质量改善和温室气体减排效益；二是情景设计应考虑国家已发布的相关政策和规定，明确不同情景的目标愿景，特别是空气质量目标和碳减排目标。综合平衡现有排放的削减潜力和拟建重大工程的增量，提出切实可行的实现情景目标的情景方案；三是进一步加强与相关部门和研究机构的沟通，使研究成果及时落地应用。

下一步，项目组将细化分析“十三五”期间大湾区能源结构相关措施的贡献与协同性，同时从减排延伸到对空气质量改善贡献；并明确空气质量和温室气体排放指标，充分考虑未来的目标愿景，综合广东省未来社会经济的发展和重大项目的影 响，设置不同的能源情景，提出优化的能源结构发展路径并分析环境效益。



## 阶段性成果

### (2) 大湾区“十三五”空气污染物和二氧化碳协同减排成效-协同性分析



**新能源车替代和增长**是协同性最好的控制措施，对污染物和CO<sub>2</sub>减排贡献分别为6.7%和5.3%，协同性指标在1.26左右；

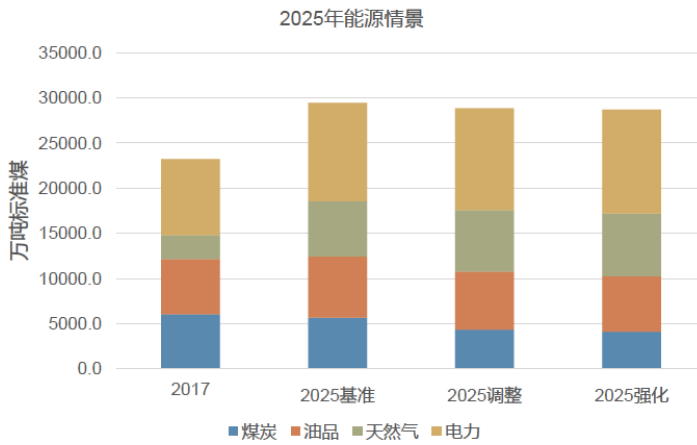
**产业结构调整、电力结构调整和工业用能调整**协同性相对较好，其中产业结构调整相对有更高的污染物减排效益，电力结构调整和工业用能调整对CO<sub>2</sub>减排贡献更大；

**末端治理和老旧车淘汰**则主要有助于污染物的减排，对CO<sub>2</sub>减排贡献相对较小。

12

## 阶段性成果

### (3) 珠三角地区“十四五”能源结构情景分析-能源消费情景



多情景分析结果显示，2025年珠三角的能源消费总量达到2.8~2.9亿吨标准煤，年均增长率达到3.0%；其中煤炭消费占比从2017年的27%降到14-19%，天然气消费增长到21-23%。

18

图 2-3 大湾区十三五措施协同性分析及十四五基于空气质量改善目标的能源消费情景分析

### 3. “海南省‘十四五’大气污染控制对策研究”项目中期评审会顺利召开——支持编制‘十四五’期间空气质量改善措施

2021年9月8日，能源基金会、海南省环境科学研究院联合召开能源基金会资助的“海南省十四五大气污染控制对策研究”项目中期评审会，就项目已完成研究成果进行了研讨。参加会议的有清华大学、北京大学、暨南大学、中国环境科学研究院、生态环境部环境规划院、香港环保署、北京市环境科学研究院、海南省生态环境监测中心等单位的8位专家、能源基金会环境管理项目组相关负责人、海南省生态环境厅相关处室负责人、项目技术团队海南省环境科学研究院和中国科学院大气物理研究所相关成员。

会上，项目承担单位项目负责人徐文帅汇报了该项目已完成研究主要结论和产出，主要包括以下内容：一是分析了2016-2020年空气质量时间变化规律和空间分布特点；二是建立了2019年海南省大气污染源排放清单；三是分析了海南省污染过程主要影响因素；四是在产业结构、能源结构、交通结构、VOCs和NO<sub>x</sub>排放控制、面源强化管控等方面初步编制了海南省“十四五”空气质量全面改善政策措施。

专家组在听取项目中期汇报后，一致认为该项目系统性梳理了海南省空气质量存在的问题，根据存在问题编制了十四五期间空气质量改善措施；技术路线和方法合理可行；工作进度达到项目要求。

专家组建议项目在编制空气质量全面改善十四五规划时，进一步加强空气质量改善和双碳措施之间的融合；结合海南自由贸易港建设背景，进一步核算污染物减排和未来发展之间的关系，加强十四五期间与海南省空气质量中长期战略规划的探索；细化源解析分析，以提升控制对策的精准性。

- ✓《水泥工业污染控制标准》（DB 46/524—2021）正式实施。  
预计2021年12月31日开始，水泥行业各项污染物减排50%。
- ✓《海南省生活垃圾焚烧污染控制标准》（DB46/484—2019），2023年12月31日前达到污染物浓度排放标准。  
颗粒物减66.7%；SO<sub>2</sub>达70%；NO<sub>x</sub>减50%，HCL减83.3%。
- ✓《餐饮业大气污染物排放标准》在十四五期间即将出台。  
餐饮业颗粒物和三甲烷总烃预计减排50%。
- ✓2021年7月，柴油货车实施国六标准。预计老旧车淘汰4万辆。  
预计可减少机动车NO<sub>x</sub>和PM排放量60%左右。
- ✓海船进入沿海控制区海南水域，应使用硫含量不大于0.1%的船用燃油。《国际防止船舶造成污染公约》第三阶段氮氧化物排放限值。  
船用油二氧化硫减排80%。氮氧化物约减少76%
- ✓实施最严格锅炉排放地方标准。燃气锅炉推行低氮燃烧改造，排放不高于50毫克/立方米。  
燃气锅炉氮氧化物减排50%。（按约60%的锅炉低氮燃烧改造）
- ✓重点行业码头、罐区VOCs回收升级改造。造纸行业燃煤锅炉超低排放改造

图2-4 海南十四五大气治理主要工程措施测算

### 三、行业减污降碳

#### 1. “机场排放管控和可持续发展的国际经验”——为北京市两大机场的排放管控提供政策及技术建议

2021年8月20日，由能源基金会支持的“机场排放管控和可持续发展的国际经验”结题会顺利召开，该项目由英环（上海）咨询有限公司承担，旨在为北京市两大机场的排放管控提供政策及技术建议。清华大学环境学院刘欢教授、中国民航科学技术研究院贾全星研究员、生态环境部机动车排污监控中心尹航主任、香港环保署雷国强主任、广东省环境科学研究院朱倩茹高级工程师、中国船级社质量认证公司绿色低碳业务部李翠平总监、北京理工大学王欣教授、北京市环境保护科学研究院武彤冉研究员作为专家组成员应邀参加了此次开题会，能源基金会环境管理方向项目管理人员等出席会议。

随着世界航空业的快速发展，飞机及机场产生的空气污染和碳排放也受到了更多的关注。一项研究显示，从2000至2016年，中国民用航空器排放主要空气污染物的总量从28,588吨增长至151,369吨，年排放增长率在0.08%至25.84%之间。其中，NO<sub>x</sub>是最主要的空气污染物，2016年总排放量为75,246吨，占总污染物排放的49.71%；CO为第二大污染物，2016年总排放量为42,219吨，占总排放的27.89%；HC为第三大污染物，2016年总排放量为12,379吨，占总排放量的8.18%。对于温室气体排放，航空运输也是重要的排放源之一。根据2020年的《中国移动源环境管理年报》，2014年，航空运输占总交通运输温室气体排放的6.1%，低于道路运输的84.1%，和水路运输的8.5%，位列第三。考虑到航空业的发展趋势，机场排放的影响还会继续增加。目前包括中国在内的世界各国均已开始制定相关政策和目标，对机场减排/减碳提出要求。对于北京市来说，北京首都国际机场已跻身全球20个最繁忙的机场之一，北京大兴国际机场也已于2019年9月开始运营，这两大机场对北京市空气质量和碳排放的影响是不容忽视的。因此，北京的两大国际机场应适时建立一套系统的策略，来进一步降低其空气质量/气候影响，并保证其长期的可持续发展。

根据以上背景，该项目的主要目标即设定为参考国际上其他大型机场在空气质量/气候和可持续发展上所做的工作，同时考虑到北京机场的实际情况，为北京两大国际机场建立起一套可行和有效的空气质量/气候和可持续发展策略提供国际经验的支持。该项目包括三项主要内容：一是对国际主流排放清单计算工具及方法进行梳理和分析；二是总结国际上有代表性机场施行的减排及减碳策略；三是收集国际典型机场的可持续发展方案和报告，并总结其可持续发展的主要考量内容和策略。英环（上海）有限公司隶属于安博集团（Ramboll），在机场排放管控和可持续发展策略开发上拥有丰富的项目经验，主持或参与了诸如美国达拉斯国际机场、美国西雅图国际机场、英国希思罗国际机场等多个大型国际机场的减排/减碳和可持续发展策略开发工作。此项目很好地体现了安博集团在总结和运用现有经验上的能力，以及在运用国际经验解决富有挑战性的当地问题上的独特优势。

会上，英环（上海）咨询有限公司的首席咨询顾问艾濛和高级顾问韩凤麟就项目背景、国际主流机场排放清单编制工具和方法、机场地面支持设备和机动车的减排策略、机场可持续发展的概念和典型案例以及针对北京市两大机场的建议等内容进行了详细汇报。与会专家认真听取了项目组汇报，认为项目组研究思路清楚，研究成果深入、系统、全面、细致，很好的满足了项目结题的要求，为北京市两大机场乃至全国机场未来的减排和可持续发展工作提供了国际经验的参考和本地化思路。在建议方面，专家组希望课题组进一步提升报告的可读性，并在结论部分对加强机场空气质量监测和减排提出进一步建议。同时，与会专家还指出，北京市进行机场排放和可持续发展的研究很有意义，应该从北京市的工作需求出发，尽快开展对北京市两大机场减排有针对性的研究。

### 对北京机场可持续发展策略的思考 - 减排策略

|      | 北京首都国际机场  | 北京大兴国际机场  |
|------|---|---|
| 总体情况 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 近年来已经开展了大量减排工作，取得了很多成果</li> <li>◆ 在场内车辆电动化上还有一定空间</li> <li>◆ 可以继续推进可再生能源的使用及建筑节能</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 新建机场，在基础设施及能源的清洁化程度上都非常领先</li> <li>◆ 场内车辆电动化程度高，减排空间相对较小</li> <li>◆ 货运吞吐量目前远小于首都机场，相对的货车流量会较小，减排空间也相对较小</li> </ul>   |
| 减排思路 | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 继续推进GSE的电动化和基础设施改造</li> <li>◆ 继续推进可再生能源的使用及建筑节能</li> <li>◆ 提前淘汰老旧的高功率GSE/重型卡车，或对这部分车辆进行改造，或采用策略降低这部分车型的排放（如低排放区）</li> <li>◆ 与大兴国际机场合作，在技术和运营策略上保持同步</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 继续完善基础设施改造</li> <li>◆ 依托自身优势，开展试点项目，推动可替代能源GSE/GAV发展（如氢燃料车辆试点）</li> <li>◆ 与利益相关方合作，探索飞机主引擎的减排策略（可持续航空燃油、空中流量优化、更清洁的飞机引擎）</li> <li>◆ 设置激励项目，鼓励GAV采用清洁能源</li> <li>◆ 积极进行碳排放认证，寻找碳中和方案</li> </ul> |

图3-1 对北京机场可持续发展策略的思考

## 2. “十四五典型建材行业结构优化调整和污染防治对策研究”

### 项目中期会顺利开展——强化陶瓷、砖瓦行业调控

2021年8月27日由能源基金会支持中国环境科学研究院开展的“‘十四五’典型建材行业结构优化调整和污染防治对策研究”项目中期会顺利召开，该项目旨在通过课题研究，评估分析陶瓷、砖瓦行业“十三五”生态环境保护规划大气污染控制措施、结构调整措施和管理制度对燃煤削减和污染物及二氧化碳减排效果，梳理出针对陶瓷、砖瓦行业的管控措施，提出“十四五”期间陶瓷、砖瓦行业污染控制相应的对策措施，为陶瓷、砖瓦行业调控和污染治理提供支撑。参与评审的专家有北京市劳动保护科学研究所研究员庄德安，北京航空航天大学教授朱天乐，生态环境部华南环境科学研究所研究员岑超平，中国砖瓦工业协会秘书长周炫，景德镇陶瓷大学教授冯青。

建材行业中砖瓦行业相对来说管理比较粗放，陶瓷行业各个产区发展不平衡，而且这两个行业还没有形成比较完善的技术体系，相关措施不完善，还涉及到产能淘汰、区域调整、单位产品能耗和碳减排空间比较大，因此砖瓦和陶瓷行业是“十四五”关注的重点。通过分析两个行业的现状及存在的问题，从减污降碳的方面提出有针对性的减排措施建议。

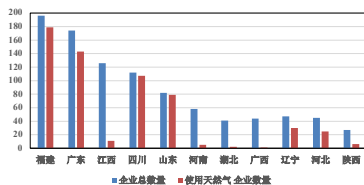
项目组将通过对行业背景情况调查，结合现场实地调研，分析陶瓷和砖瓦两个行业的产业结构、能源使用、污染防治技术现状以及存在的问题；通过“十四五”减污降碳情景分析，预测不同情景下的减污降碳效果及治理减排成本，并从减污降碳方面提出“十四五”针对性的减排措施。目前，课题组已按照任务书和能源基金会要求，开展了陶瓷和砖瓦行业的产业现状、污染物排放特征、防治技术现状、“十三五”大气污染控制措施效果、“十四五”减污降碳情景等分析，形成了《“十四五”陶瓷、砖瓦行业结构优化调整和污染防治措施研究》中期报告。

与会各方建议，补充和完善选定陶瓷和砖瓦行业作为本课题研究重点的理由；并进一步梳理陶瓷和砖瓦行业发展面临的问题，提出针对性的减污降碳对策建议。此外，强调分析空间分布重点。分析行业区域聚集程度，变化趋势及原因；能源消耗现状分析。包括消费结构，消费总量，地区分布，变化成因，重点分析燃煤消耗，加强情景和措施的研究。建议结合目标（减排目标或碳的目标，空气的目标）建立目标和措施之间的有效关联，并建议增加一些国际经验的分析。

下一步，课题组将根据专家及能源基金会要求，从产业分布、污染物排放、政策要求等方面补充和完善选定陶瓷和砖瓦行业作为本课题研究重点的理由；进一步梳理陶瓷和砖瓦行业发展面临的问题，提出针对性的减污降碳对策建议。在行业现状分析中，补充陶瓷和砖瓦行业区域聚集程度，变化趋势及原因。结合目标（减排目标或碳的目标，空气的目标）建立目标和措施之间的有效关联。

## 建筑陶瓷行业燃料结构

各主要陶瓷产地天然气使用情况表



| 省份 | 企业数量 | 使用天然气企业数量 | 天然气使用率 (%) |
|----|------|-----------|------------|
| 广东 | 174  | 143       | 82.20      |
| 福建 | 196  | 179       | 93.10      |
| 江西 | 126  | 11        | 8.70       |
| 四川 | 112  | 107       | 95.50      |
| 山东 | 82   | 79        | 96.30      |
| 河南 | 58   | 5         | 8.60       |
| 湖北 | 41   | 2         | 4.90       |
| 广西 | 44   | 1         | 2.30       |
| 辽宁 | 47   | 30        | 63.80      |
| 湖南 | 32   | /         | /          |
| 河北 | 45   | 25        | 55.60      |
| 陕西 | 27   | 6         | 22.20      |

- ◆ 建筑陶瓷行业“煤改气”加快建筑陶瓷行业向绿色制造、清洁生产发展
- ◆ 福建、广东、江西、四川、山东的陶瓷企业较多，除江西的使用天然气的企业数较低外，其他省份使用天然气的比例较高，**福建、四川、山东的比例均大于93%**。河南、湖北、广西等地的天然气使用率较低，均在10%之下
- ◆ 2020年陶瓷砖行业煤炭消费量比2015年下降80%、用户天然气达到50%以上
- ◆ 2020年建筑陶瓷行业二氧化碳排放量达1.25亿吨，“十三五”以来二氧化碳排放量减少2700万吨

建筑陶瓷“十三五”能源消费及单位产品综合能耗情况

| 年份                  | 2015         | 2016  | 2017  | 2018  | 2019 | 2020   |      |
|---------------------|--------------|-------|-------|-------|------|--------|------|
| 产量 (亿平方米)           | 101.8        | 102.6 | 101.5 | 90.11 | 82.2 | 85 (估) |      |
| 能源消费量               | 天然气 (万吨标煤)   | 1297  | 1401  | 1570  | 2027 | 2406   | 2869 |
|                     | 天然气占比 (%)    | 25.2  | 27.0  | 30.7  | 45.0 | 58.6   | 67.6 |
|                     | 其中用电量 (万吨标煤) | 3335  | 3270  | 3046  | 2028 | 1295   | 956  |
| 用电量 (亿千瓦时)          | 414          | 417   | 411   | 365   | 331  | 340    |      |
| 单位产品综合能耗 (千克标煤/平方米) | 5.05         | 5.05  | 5.05  | 5.00  | 4.99 | 4.99   |      |
| 二氧化碳排放量估算 (亿吨)      | 1.52         | 1.53  | 1.51  | 1.33  | 1.22 | 1.25   |      |

## 砖瓦行业燃料结构

砖瓦行业“十三五”能源消费及单位产品综合能耗情况

| 年份                  |                 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| 产量 (亿标块体积比)         |                 | 8300 | 8300 | 8200 | 8200 | 8100 | 8100 |
| 能源消费量               | 商品化石能源 (万吨标煤)   | 1740 | 1680 | 1600 | 1580 | 1560 | 1520 |
|                     | 废弃能源 (万吨标煤)     | 6960 | 6720 | 6400 | 6320 | 6240 | 6080 |
| 单位产品综合能耗 (千克标煤/吨制品) |                 | 57   | 55   | 53   | 52   | 51   | 50   |
| 碳排放量                | 商品化石能源碳排放量 (万吨) | 4350 | 4200 | 4000 | 3950 | 3900 | 3800 |

- ◆ 砖瓦燃料主要使用**煤矸石、粉煤灰、炉渣、生物质**等废弃能源，大约占80%以上
- ◆ 部分使用燃煤，极少数高档烧结砖使用天然气，消费量低于20%
- ◆ 随着清洁能源应用技术的广泛推广、环保要求的不断提升、高品质产品的发展，**天然气等清洁能源应用比例在逐步提高**

## 初步对策建议

### 减污降碳措施

01

优化地区、全国产业和能源结构，推动综合整治

参考重点区域陶瓷、砖瓦行业绩效分级技术指南，开展行业综合整治

02

通过工艺技术优化，降低污染排放和单位产能耗

- ① 推广应用清洁生产工艺和技术
- ② 探索低碳清洁能源利用技术，实现从源头削减污染物及碳排放

03

加速开展污染物深度控制技术的研发、示范和推广

研究开发适用的低氮燃烧技术、高效烟气脱硝技术及组合工艺，通过示范并在行业内推广应用

图3-2 建筑陶瓷及砖瓦用能排放现状及减污降碳措施

### 3. “‘十四五’农村散煤治理形势与新思路”学术沙龙顺利举办——探索农村散煤综合治理方法路径

2021年8月29日，“中国农村清洁用能推动乡村振兴”系列活动第1期暨CCAPP2021年第8期学术沙龙在线顺利举办，本期沙龙主题为“‘十四五’农村散煤治理形势与新思路”。会议由能源基金会环境管理项目主任兼中国清洁空气政策伙伴关系执行主任刘欣主持。能源基金会项目副总裁李洁博士在致辞中指出，国家空气污染治理推动散煤治理取得明显进展，但仍面临财政补贴的可持续性、高寒地区去煤的经济性和融资的多元性等挑战，需寻找有效解决方案。

国务院发展研究中心研究员、中国建筑节能协会清洁供热产业委员会周宏春主任，清华大学环境学院王书肖教授与清华大学建筑学院副院长杨旭东教授三位专家受邀分别从“双碳目标下全面推进乡村振兴的战略契机”“中国民用燃料清洁化的环境健康收益”及“中国农村清洁能源体系及技术支撑”三个领域作主旨发言。

周宏春主任剖析了双碳目标的内涵及我国实现双碳目标面临的挑战，指出农村清洁供暖替代散煤对于实现乡村振兴战略中的生态宜居、有效治理和生活富裕等要求意义重大，要因地制宜地实施农村生物质等资源综合利用，确保清洁供暖成为民生和民心工程。

王书肖教授系统阐述了中国民用燃煤等固体燃料使用带来的大气PM<sub>2.5</sub>影响、室内污染及人体健康影响，并结合案例调研分析了清洁采暖改造措施的费用效益。建议开展基于颗粒物健康风险的源排放精准控制，持续推进民用采暖和炊事燃料的清洁化进程，并考虑环境公平加大对低收入人群的支持力度。

杨旭东教授系统分析了我国农村能源结构现状、存在问题，结合实际案例介绍了我国农村清洁取暖应遵循清洁供、节约用、能承受、可持续的原则与“四一模式”，以及农村光储直柔、生物质清洁利用、低温空气源热泵热风机等先进技术，并探索了未来以开发清洁可再生能源为主的农村低碳发展新模式；建议农村需加快创建商品化的新能源产供用及监测网络，实现低碳产能和智慧用能，为农村能源结构低碳转型、乡村振兴提供产业化解决思路。

随后，与会专家针对散煤治理技术路径、财政支持、管理模式等方面内容进行深入交流与讨论。北京市政协人口资源和建设委员会副主任、北京市环境保护局原副局长、总工程师周扬胜建议将散煤替代从农村农民清洁供暖拓展到农业生产用能，加大农村分布式能源开发力度。农业农村部农业生态与资源保护总站首席专家李景明主任建议要从燃料可获得性、农民生活习惯、农村社会化服务能力和运行维护经济性等多角度，因地制宜、因人制宜、因时制宜、因事制宜地稳步实施农村清洁供暖，特别是要就地就近地发挥生物质燃料的固碳减排作用。中国建筑科学研究院有限公司教授、中国建筑节能协会首席专家宋波，建议提高农村建筑节能标准，因地制宜推动可再生能源建筑利用与末端采暖技术结合，优先实施建筑节能改造，做好围护结构节能工作。生态环境部环境规划院环境与能源政策研究室陈潇君主任建议研究制定

基于不同资源和气候条件的清洁取暖技术指南。国家发改委能源研究所能源与气候变化研究中心熊华文主任建议进一步明确“十四五”散煤治理的目标、驱动力，解决经济可持续性问题。儿童投资基金会中国办公室项目主任刘强提出要强调碳对农村能源革命的引领，同时政府的目标政策引领和灵活有效的市场机制和商业模式要协同发力。

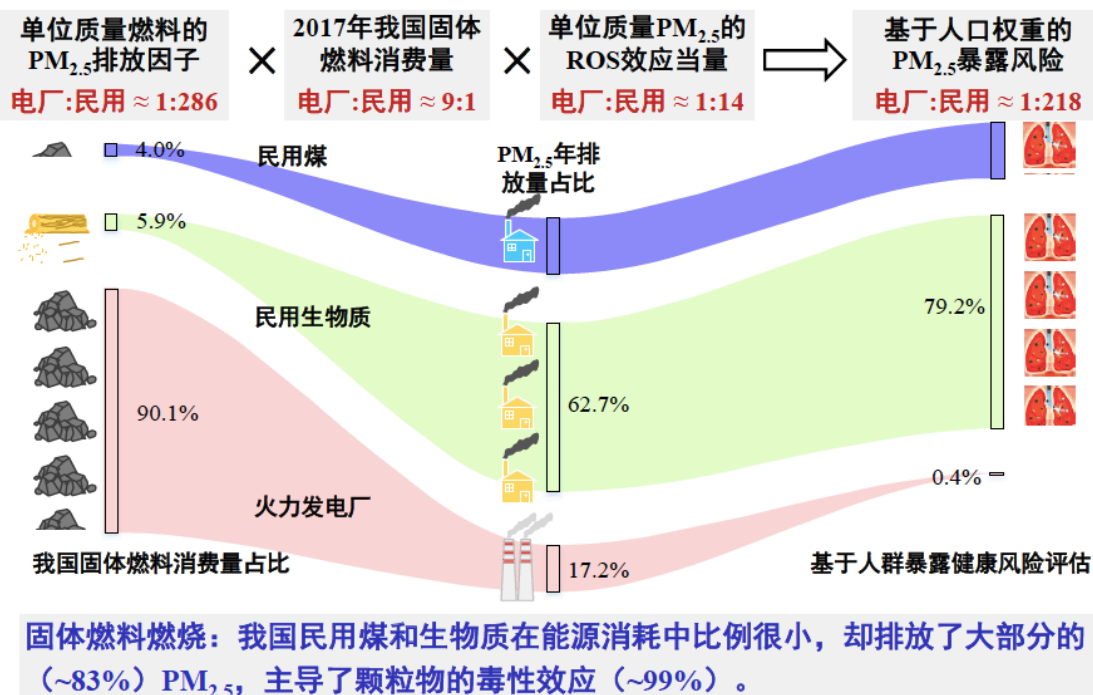
能源基金会环境管理项目主任刘欣在会议总结中指出，一是提高认识程度，要深刻认识当前政策背景下农村散煤替代工作的重要性，将其作为推动经济社会高质量发展和实现乡村振兴，协同生态环境保护和应对气候变化，促进农村农业清洁用能和可再生能源产业开发利用的重要突破口；“十四五”散煤治理实现从重点地区到非重点地区、从平原到山区、从供暖到农业生产、从改燃气到改用可再生能源等四个方面的突破。二是加强顶层设计，突破现有管理模式，建立由发改、环境、住建、能源、农业农村、财政及健康等部门共同参与综合管理机制，打造农村可再生能源产供用体系，尽快出台国家新一轮农村清洁供暖和散煤替代的工作计划，明确目标、重点战略、路线图和“施工图”，实现农村可持续发展、农业绿色生产和农民健康富裕生活的三农统筹。三是创新技术路径，自下而上开展以村为单位的光储直柔、生物质收集加工利用、低温高效空气源热泵等新技术示范和技术迭代，实现技术可行性、经济可承受和碳及污染物零排放。四是完善激励机制，优化财政资金支持方式，优先支持节能改造，精准支持低收入人群，同时积极引入社会化资金和金融机构资金，探索合同能源管理等可持续商业模式，并考虑通过碳交易提升低碳改造的收益。五是积极宣传引导，通过宣传散煤健康危害、将散煤替代纳入绿色村庄、美丽乡村评比等活动，引导农民自觉减少散煤使用，杜绝散煤复燃。



图 3-3 周宏春主任关于清洁供热产业发展建议



## 民用固体燃料主导了一次颗粒物的毒性效应



Submitted to Nature Energy, Toxic potency-adjusted control of air pollution for solid fuel combustion (under review)

37

图 3-4 王书肖教授 关于民用燃煤等固体燃料对人体健康影响分析

## 北方农村清洁取暖“四一模式”



- ◆ 目标：清洁、节能、低碳、舒适
- ◆ 约束：百姓能承受、政府能承受、资源能承受

“适宜” = “四一”



总投资：1万元 年运行费：1千元 使用：1键式 推广：1规划

“四一”成功案例：河南鹤壁市（补初装不补运行）、山东商河县、其他

《中国建筑节能年度发展研究报告2020》，中国建筑工业出版社

图 3-5 杨旭东教授关于北方农村清洁取暖“四一模式”分析

## 4. “十四五期间石化行业 VOCs 排放与碳排放协同控制策略研究”

### 中期评审——石化行业 VOCs 排放与碳排放协同控制策略

2021年8月30日，由能源基金会支持北京国环清华环境工程设计研究院的项目“‘十四五’期间石化行业 VOCs 排放与碳排放协同控制策略研究”中期评审会顺利召开，该项目旨在提出我国石化行业 VOCs 排放与碳排放协同控制策略。清华大学院士贺克斌，北京市生态环境局总工程师周扬胜，中国环境科学研究院研究员张国宁，中国石油和化学工业联合会安全环保部副部长庄相宁，北京化工大学教授伯鑫，上海市环境科学研究院副研究员张钢锋，北京市环境保护科学研究院副研究员李国昊。

“十三五”期间石化行业得到了较大发展，在原有石化企业的基础上，新建了一系列新兴石化基地，且地方炼油增长势头强劲。石化行业作为 VOCs 和碳排放的重点源，产能的增长必将带来污染物和碳排放的增加。为响应当前治理空气污染和应对气候变化两个目标管控政策的要求，本研究旨在通过调研，摸清石化行业 VOCs 的排放，以及不同环节减排的潜力，在统筹考虑污染物减排潜力和碳减排潜力的基础上提出面向“十四五”的协同对策。

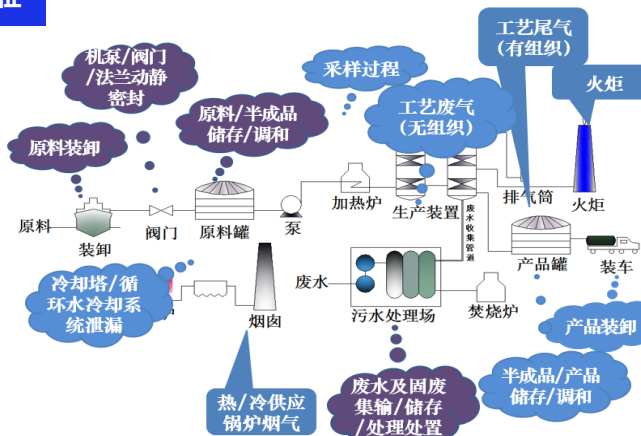
项目组对国内 12 家典型石化企业进行了实地和资料调研，从属性上涵盖国企和地方炼油，从原油加工量上涵盖 500 万吨级到 2000 万吨级。研究主要从企业的工艺流程、生产装置、污染治理技术与设施、VOCs 排放现状、碳排放现状、单位能耗 VOCs 排放量和单位能耗 CO<sub>2</sub> 排放量等方面进行了详细的梳理和对比分析，并在此基础上初步制定了协同控制指标体系和政策建议，可对“十四五”期间石化行业 VOCs 排放与碳排放协同控制提供政策支持。

与会各方建议项目组进一步收集分析发改委、工信部、行业协会和企业已发布政策、规划等，充分掌握行业未来发展情景。处理好调研材料分析与结果建议的相关性逻辑，确保分析结果可充分支撑政策建议，政策建议的提出应统筹协调行业与企业的近期目标和远期目标。进一步剖析 VOCs 与碳排放的协同点，应考虑从行业级别、生命周期或者瞄准重点环节整合 VOCs 排放和碳排放的最大贡献点，从而形成重点控制项。结合行业特点，进一步完善指标体系。并将现有企业分类整理分析，进一步梳理细化指标体系。

## 石化行业VOCs排放来源识别

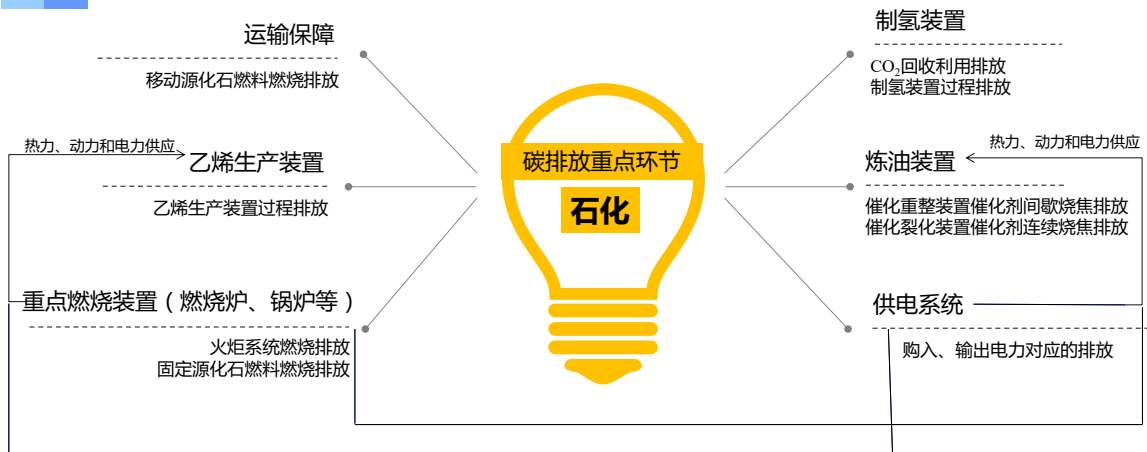
未干预状态下各排放环节的排放形式和工况特征

| 序号 | 排放源项             | 主要排放形式 | 主要排放工况 |
|----|------------------|--------|--------|
| 1  | 设备动静密封点泄漏        | 无组织    | 正常     |
| 2  | 有机液体储存与调和挥发损失    | 无组织    | 正常     |
| 3  | 有机液体装卸挥发损失       | 无组织    | 正常     |
| 4  | 废水集输储存处理处置过程逸散   | 无组织    | 正常     |
| 5  | 工艺有组织排放          | 有组织    | 正常     |
| 6  | 工艺无组织排放          | 无组织    | 正常     |
| 7  | 燃烧烟气排放           | 有组织    | 正常     |
| 8  | 冷却塔、循环水冷却系统释放    | 无组织    | 正常     |
| 9  | 采样过程排放           | 无组织    | 正常     |
| 10 | 火炬排放             | 无组织    | 正常/非正常 |
| 11 | 非正常工况（含开停工及维修）排放 | 无组织    | 非正常    |
| 12 | 事故排放             | 无组织    | 非正常    |



石化行业涉VOCs排放的主要工艺环节

## 石化行业碳排放来源识别



石化行业涉碳排放的重点环节

图 3-6 石化行业 VOCs 和碳排放主要环节

## 5. “北京工业园区 VOCs 管控新技术与政策研究”项目顺利结题

### ——石化及溶剂使用工业园区排放精细化管控

2021年9月27日，由能源基金会支持的“北京工业园区 VOCs 管控新技术与政策研究”结题会顺利召开，该项目由英环（上海）咨询有限公司承担，旨在为北京市工业园区 VOCs 排放管控提供政策及技术建议。中国环境科学保护研究院张国宁研究员、北京大学环境科学与工程学院曾立民教授、广东省环境科学研究员大气环境研究所廖程浩所长、北京市环境保护科学研究院聂磊研究员、生态环境部环境规划院郑伟副研究员、北京国环清华环境工程设计研究院朱帅副院长、上海市环境科学研究院张钢锋高级工程师应邀作为专家评审参加了此次开题会。能源基金会环境管理项目刘欣主任和相关项目管理人员、北京市生态环境局大气处及科技与国际合作处领导出席会议并作出点评。

控制近地面臭氧已成为当前及未来一段时期北京市空气质量改善的新重点之一，而控制作为臭氧前体物的 VOCs 排放是此项工作的重中之重。工业源是北京市 VOCs 的最大排放源之一。虽然近年来由于政策和环境变化，许多工业企业已经外迁，且北京市已经取得了治理 VOCs 污染的巨大成就，但工业源 VOCs 排放在北京仍占有重要地位。近年来，对于工业企业的集群化和园区化工作也得到了有效开展，因此研究工业园区 VOCs 排放控制管理技术和政策具有非常重要的意义。

该项目结合北京市的实际情况，对北京市工业园区的分布以及现状进行了详细调研，并选取燕山石化和北京经济技术开发区两大典型园区，通过实地调研的形式，走访园区、管理部门和典型企业，了解园区企业的实际情况、相关问题和需求。项目还对国内外典型工业园区包括日本北九州生态工业园、新加坡裕廊工业园、台湾新竹科学工业园、德国赫斯特工业园和上海化学工业区在不同环节 VOCs 治理上的经验进行了梳理总结，针对性地归纳了这些园区的先进技术和政策经验，为北京市工业园区的 VOCs 管控提供了借鉴。此项目很好地体现了安博集团在运用国际经验，结合当地实际情况解决富有挑战性的环境问题的独特优势。

会上，英环（上海）咨询有限公司首席顾问艾濛和高级顾问韩凤麟就项目背景、调研结果、国际经验、意见建议等内容进行了详细汇报。与会专家认真听取了项目组汇报，认为项目组研究思路清楚，研究成果深入、系统、全面、细致，很好的满足了项目结题的要求，并针对项目研究重点给出了进一步完善课题的建议，一是将针对项目成果，按照不同工业园区类型，从技术和政策两方面进一步凝练研究成果，形成明确的结论；二是结合北京市园区实际情况和环境管理的迫切性，将现有建议进一步进行提炼。能源基金会及北京市生态环境局领导也根据项目内容和成果进行了点评，并提出了下一步建议。

## 6. “中国农村生物质供热典型案例与技术综合分析”学术沙龙 顺利举办——探索生物质清洁高效利用模式

2021年9月27日，能源基金会、清华大学与中国清洁空气政策伙伴关系共同发起“中国农村清洁用能推动乡村振兴”系列沙龙暨能源基金会煤炭转型圆桌系列会议系列活动第2期暨CCAPP2021年第9期学术沙龙——“中国农村生物质供热典型案例与技术综合分析”顺利举办。会议由能源基金会环境管理项目主任、中国清洁空气政策伙伴关系执行委员会主任刘欣主持。

清华大学建筑学院副院长、中国城镇供热协会农村清洁供热委员会主任杨旭东教授在致辞中指出，生物质能应用有助于解决减少碳排放、保障能源供应、加强环境治理等多方面难题，也可为农民生活水平和经济收入的提高、乡村振兴提供切实可行的发展路径。

清华大学建筑学院夏建军副教授、国能生物发电集团有限公司朱建军副总经理、北京化工大学环境科学与工程系主任李秀金教授、南京林业大学新能源科学与工程系主任周建斌教授以及山东省阳信县农业农村局傅志鹏副局长五位专家受邀作主题发言。



图3-7 会议现场

清华大学建筑学院夏建军副教授围绕“欧洲生物质采暖利用现状”，介绍了欧洲生物质利用政策及其在集中供热、分散住宅供热及工业用能方面的现状。受碳税、禁止废弃物填埋等政策影响，欧洲生物质集中供热近年增长明显。因此，他建议制定合理的政策机制和价格体系，推动我国生物质资源进一步开发利用。

国能生物质发电集团有限公司朱建军副总经理以“生物质能源助推国家碳中和与乡村振兴战略落地实施”为题，指出生物质能具有供给清洁化、种类多样化、消费个性化等特点，需建立以生物质能为核心的未来农村能源供应体系。建议开辟生物质综合化、高值化利用路径，加强基础研究，开发新型技术，促进生物质能行业发展，助力实现乡村振兴和碳中和目标。

北京化工大学环境科学与工程系主任李秀金教授以“基于沼气的农村能源全方位供给模式——以村镇和县域为例”为题，指出农业农村用能是我国能源供给的“短板”，亟需解决。通过不同村镇县域的模式案例分析，他指出沼气可实现农村能源“全方位”供给，有助于解决废物处理、农村供能问题，并促进发展生态农业，对建设美丽乡村、实现乡村振兴意义重大。

南京林业大学新能源科学与工程系主任周建斌教授围绕“生物质城镇清洁供暖联产炭技术助力国家双碳目标早日实现”，结合河北省平泉市和滦平县的典型案列，介绍了生物质气化多联产技术，指出生物质气化多联产技术减排效益显著（可实现 CO<sub>2</sub> 负排放）、能源利用效率较高、经济效益较高（可实现供热零成本），将助力国家双碳目标尽早实现。

山东省阳信县农业农村局傅志鹏副局长分享了“山东省阳信县生物质应用探索与实践”，详细介绍了山东省阳信县的“112345”模式，即一个规划；一套专班；炉具采购和燃料供应两个体系；分散式取暖、集中供暖和分布式取暖三种模式；专家技术、四级服务、燃料质量和安全应急四种运行保障以及政治、经济、生态、社会和产业五大效益，为全国生物质应用与发展提供了优秀范例。

在点评与讨论环节，与会专家针对生物质能的发展现状、未来方向等展开深入交流与讨论。中国产业发展促进会生物质能产业分会张大勇秘书长指出，目前我国生物质能利用仍存在社会认识不足、缺乏系统的政策体系支撑等问题，未来应因地制宜，多元化利用，调整前端支付处理费模式并发展高值化利用。中国农村能源行业协会民用清洁炉具专委会任彦波秘书长指出，生物质能市场潜力巨大，应首要解决政策的持续性、稳定性与统一性问题，需分阶段、分层次、分级推进相关政策制定，完善标准体系，加大技术、模式创新的支持力度。国网能源研究院有限公司唐伟高级工程师指出，应因地制宜地推动多能互补的农村能源网络建设，以分布式热电联产作为生物质发电的主要方向，完善环保标准监管方式。清华大学建筑学院单明助理研究员指出，我国生物质能存量较大、利用率低，其在科学燃烧下可供应较清洁能源，需加强生物质燃烧利用技术的研发和应用，推进相关监测体系建设和排放标准制定。

刘欣主任在会议总结中指出，生物质能利用是散煤替代战略重要的路径选择之一，应加强顶层设计，突破现有管理模式，建立由发改、农村农业、生态环境等多部门共同参与的统一管理模式，并结合新技术手段研究配套可持续的经济政策，因地制宜开展试点示范工作，推广生物质能，以逐步推进农村清洁用能、绿色低碳转型，改善农村环境，助力实现我国乡村振兴战略和“双碳”气候目标。

## 2 欧洲生物质供热概况



### □ 欧洲生物质供热概况——各国生物质供热量及占比

#### ➢ 欧盟各国生物质供热发展存在较大差异

- 6个国家生物质供热占比低于10%，半数国家低于20%
- 瑞典、芬兰、拉脱维亚等国森林资源丰富，生物质供热占比高于50%

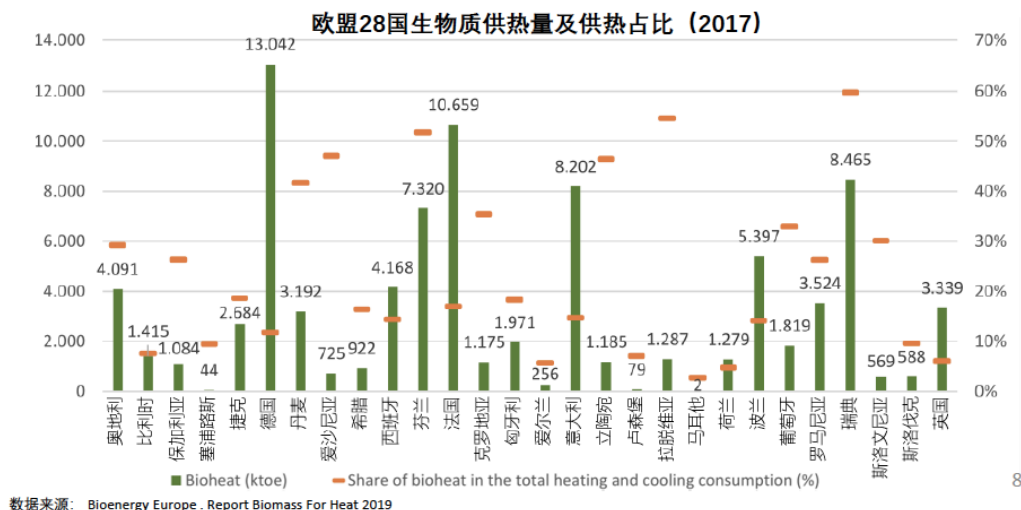


图 3-8 夏建军教授介绍欧洲各国生物质供热量及占比

## 农村能源革命推动力—就地取材高效利用

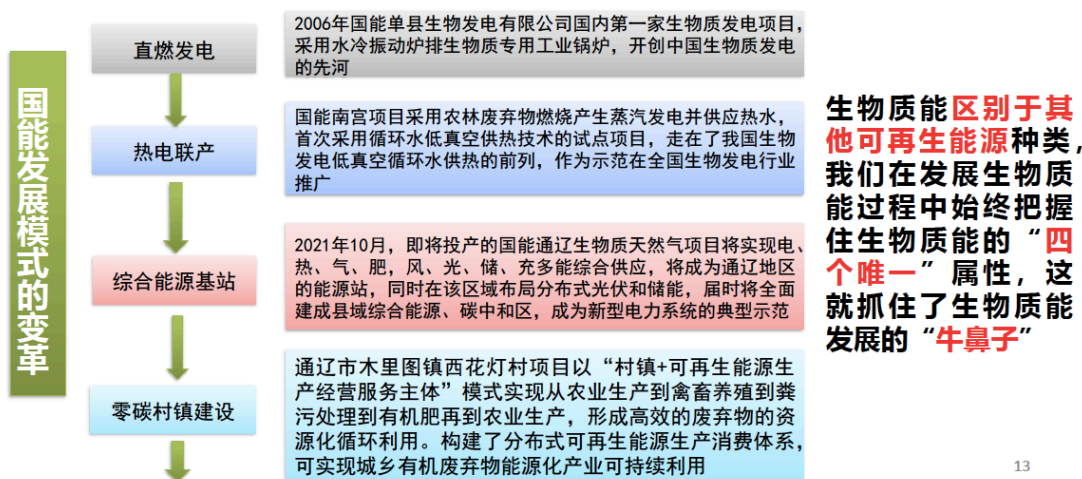


图 3-9 傅志鹏副局长分享山东省阳信县生物质应用探索与实践

#### 4、生物质气化多联产技术产品示意图

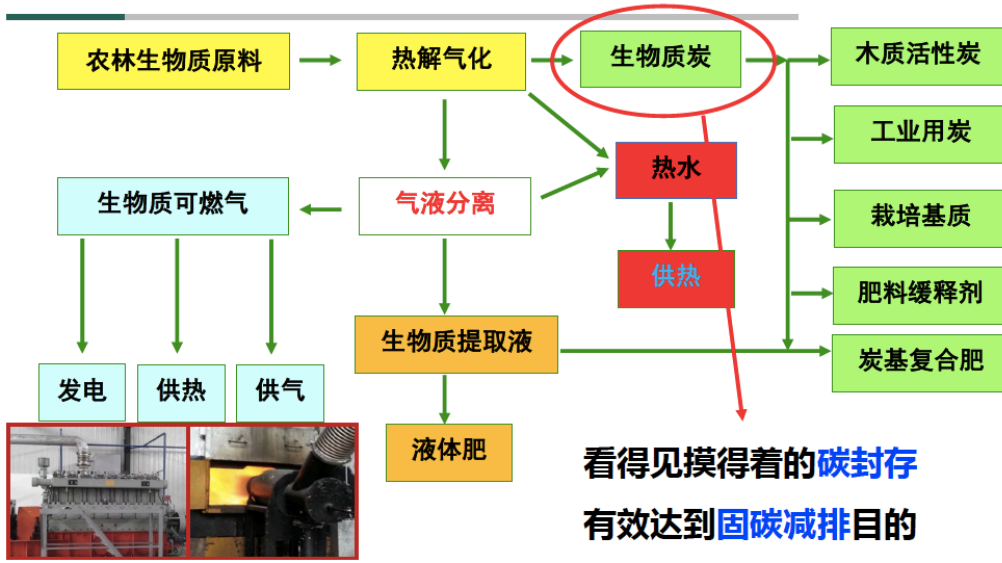


图 3-10 周建斌教授介绍生物质气化多联产最新技术

## 阳信生物质清洁取暖试点经验做法

“112345”，即一个规划、一套专班、两个体系、三种模式、四个保障、五大效益，积极争创全国首个农村生物质清洁取暖示范县。



图 3-11 周建斌教授介绍生物质气化多联产最新技术



## 四、协同管理的制度与机制

### 1. “基于大数据的大气污染防治决策技术方法及应用框架研究”

#### 开题——探索构建以近实时数据为基础的决策支持

2021年8月18日下午，由能源基金会支持中国环境科学研究院开展的“基于大数据的大气污染防治决策技术方法及应用框架研究”项目顺利开题，该项目旨在支撑大气污染防治科学决策和精准施策，探索构建以近实时数据为基础的防治决策支持技术框架并应用于业务化管理。参加本次开题评审的专家有中国环境科学研究院研究员柴发合、北京工业大学教授程水源、河北省环境应急与重污染天气预警中心研究员王晓利、上海市环境科学研究院研究员黄成、北京环丁环保大数据研究院高级工程师吕广丰、北京市环境监测中心研究员李令军。

为提升大气污染防治工作的科学化、精准化与信息化水平,本项目拟开展基于生产生活高频大数据的排放动态化分析技术研究,建立京津冀及周边地区典型行业的污染源排放高时间分辨率的动态化分析方法;建立冬季重污染天气预警应急、夏季臭氧污染防治攻坚等真实情境下典型行业(领域)的污染物减排量(或减排比例)测算分析方法;建立基于多源大数据的大气污染防治决策支持技术;形成一套以社会生产生活高频大数据为基础的污染源排放动态量化方法和以近实时数据为支撑的动态化排放量化及其在环境管理中的应用技术框架。并选取典型城市开展示范应用。本研究将会进一步聚焦动态化分析方法应用对象,明确数据的时间和空间边界,加强研究成果的业务化应用。

项目以获取低门槛、高频、高颗粒物且能够反映典型大气污染源排放相关信息的大数据为切入点,通过数据挖掘、数据融合、关联分析等手段探索城市大数据与典型行业污染源生产活动、污染物排放变化之间的相关关系,提炼动态化指标。结合现有污染源数据以及污染源排放动态化、重污染应急管控、排放校核等环境管理技术,建立表征污染源活动水平和污染物排放量的指标体系,实现部分典型污染源的动态管理。基于2020年/2021年真实情况的分析,选取为非预警时段的平均值作为基准,与预警应急时段对比,评估减排量(或减排比例),并对照生态环境部最新发布的重污染天气应急减排措施指导意见,分析应急预案落实有效性。利用上述典型行业排放动态化技术,和应急评估技术在示范城市开展示范应用,为城市大气污染源管控/重污染应急调控/臭氧污染防治提供技术支持,通过整合动态化排放清单技术与重污染应急调控技术、减排方案动态评估等技术方法,归纳出一套涵盖大数据数据污染源信息挖掘,动态行业污染物排放变化分析,空气质量预警预报,重污染天气个性化调控方案,措施有效性后评估等内容的大气污染防治决策支撑技术方法框架。探索解决目前大气污染防治决策中存在的时间滞后和空间精度低的问题。总体技术路线见下图:

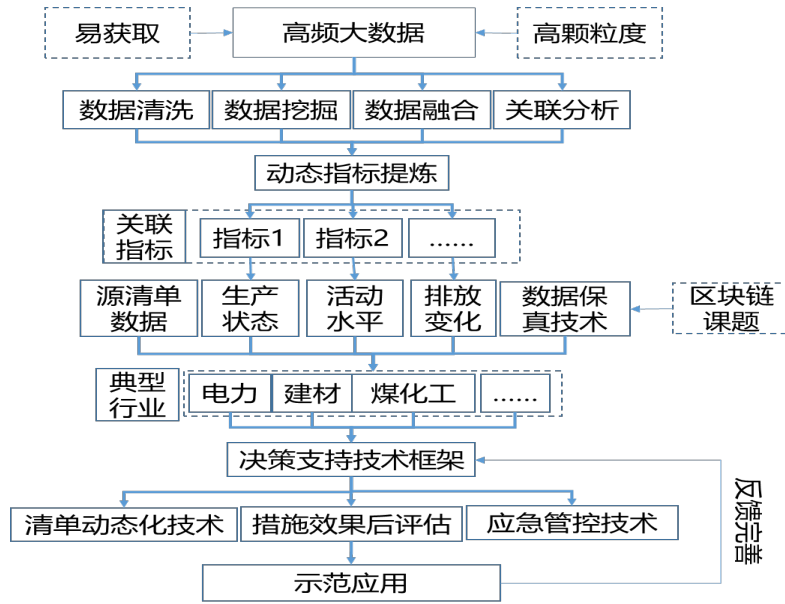


图4-1 技术路线

与会各方建议，项目研究应当进一步聚焦,明确数据挖掘的对象,明确研究数据的时间和空间边界，重点突破多源数据融合的方法。需要梳理出数据评价方法体系，为地方精细化管理提供支撑，突出应用化体系建设，加强研究成果与业务化应用需求的衔接。

## 2. “北京市大气污染防治条例”开题会顺利开展——为精准治污、科学治污、依法治污提供参考借鉴

2021年9月13日，由能源基金会支持北京市环科院的“北京市大气污染防治条例”开题会顺利开展。参与本次开题会的评审专家有中国政法大学胡静教授，生态环境部环境规划院燕丽研究员，北京市应对气候变化研究中心主任邱大庆；生态环境部环境工程评估中心研究员杜蕴慧，北京市城市规划设计研究院高工全德良，生态环境部机动车排污监控中心高工郝春晓。

自2014年《北京市大气污染防治条例》发布实施以来，为清洁空气行动计划、打赢蓝天保卫战三年行动计划等的顺利实施提供了有力的法制保障，全市大气污染治理取得明显成效。随着污染治理工作的不断深入，污染防治制度体系也发生了较大变化，现有条例存在一定的不适应性。在能源基金会的资助下，市生态环境局启动了条例修订调研工作，对条例实施的问题和不足进行充分调研，结合新的防治形势和要求提出条例修订的建议，为精准治污、科学治污、依法治污提供参考借鉴。

会上项目组人员对课题准备情况及前期初步研究情况进行了详细汇报，包括项目实施背景和必要性、《条例》实施以来取得的成效、国内外大气污染防治立法进展、工作目标和主要内容、预期成果、进度安排等。

与会专家一致同意项目的开题评审，并提出工作建议，包括加强《条例》实施效果评估，结合未来大气污染防治重点和工作难点聚焦关键立法问题，重点强化机动车、应对气候变化、排污许可等领域的法规衔接等方面。

市生态环境局大气处分别从研究方式多样性、研究内容精准精细化等方面提出了要求，能源基金会从大气污染与温室气体协同控制的角度提出了相关建议。

最后，项目组表示，将根据专家组建议及市生态环境局大气处和能源基金会的要求，深入开展项目调研工作。

### 3. “温室气体与传统空气污染物排放权交易：加州经验的启示”

#### 项目立项会——为中国相关项目提供经验

北京时间 2021 年 8 月 31 日，能源基金会和加州大学洛杉矶分校法学院 Emmett 气候变化与环境研究所主办了一个新项目的启动活动，介绍加州的排放权交易机制及加州经验对中国相关项目的启示。

能源基金会中国环境管理项目主任刘欣、项目主管钱文涛，加州大学洛杉矶分校的王立德教授，研究员申思怡、柯丹尼参加了会议。

刘欣主任致开幕辞后，王教授和申研究员介绍了研究的初步发现，谈论了报告中将介绍的两个项目：南加州区域清洁空气激励市场（RECLAIM）及加州碳市场，并且提供了一些初步建议，包括：使用排放上限而非基准系统，积极推进电力部门改革并利用高效益方案替代燃煤发电，拍卖排放权并将收益用于温室气体减排项目，加快电力市场改革以支持碳市场发挥作用。

会议还邀请到中国政法大学民商经济法学院教授王灿发、天津大学法学院院长孙佑海、中国人民大学环境学院副教授王克、生态环境部环境与经济政策研究中心能源环境政策研究部副主任冯相昭、生态环境部环境工程评估中心高级工程师吴铁、国家应对气候变化战略研究和国际合作中心战略规划研究部主任柴麒敏、生态环境部环评司处长杨龙、北京市生态环境局污染源管理处处长刘炜、陕西省生态环境厅排污许可管理处（应对气候变化处）处长张清香等中国专家和领导。听取立项报告后，他们提出以下几点意见和建议：

- 环保监管需要同时运用命令-控制手段、财政补贴和在市场机制，如何协调这些政策值得研究；
- 讨论一般污染物监管和温室气体减排之间的协同；
- 关注排放权交易的社会影响，以及如何将拍卖收入用于减少危害；
- 关注排放量数据监测、报告和核查的技术问题

另外，Resources for the Future 访问学者、前美国联邦环保局排放权市场分析师 Jeremy Schreifels 也参加了会议并分享了对加州排放权市场的看法。Schreifels 认为，排放权市场运行中的问题，如南加州区域清洁空气激励市场（RECLAIM）中的问题，究其本因是设定的排放总量上限缺乏野心，而非市场机制的局限性。他还指出，命令-控制手段的行政负担可能比排放权交易计划更大。理论上，排放权交易可以促进环境正义，因为在受气候变化打击最大的社区中替换旧设备并减排往往成本最低。

## 4. “中国履行《基加利修正案》减排 HFC-23 对策研究” 结题—— 一为 HFC-23 排放管控工作提供科技支撑

2021年8月31日下午，环境科学与工程学院和生态环境部对外合作与交流中心在北京大学环境大楼组织召开了由能源基金会资助的“中国履行《基加利修正案》减排 HFC-23 对策研究”项目的结题评审会。以北京化工大学李春喜教授为组长的9名评审专家组，生态环境部大气司、能源基金会管理组以及项目工作组出席了本次会议。

能源基金会环境管理项目刘欣主任和生态环境部大气司董文福处长做开幕致辞和总结发言。他们强调在今年9月15日《基加利修正案》正式对中国生效后，政府安排和部署 HFC-23 减排任务的紧迫性，希望本项目的研究成果能为国家未来开展 HFC-23 排放管控工作提供科技支撑。

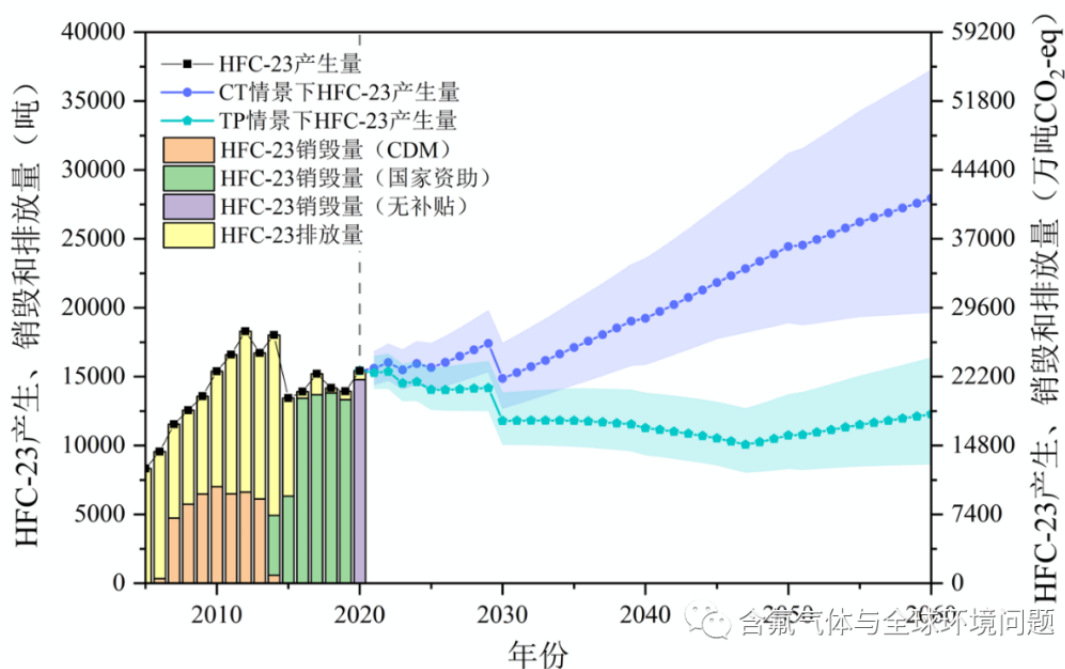


图 4-2 HCFC-22 生产企业减排 HFC-23 及未来产生量预测 (研究预测)

结题会首先北京大学胡建信教授介绍了项目的研究情况。项目工作组对全国 20 家（在册 21 家，其中 1 家在建）HCFC-22 企业函调，并先后走访山东东岳、四川中昊晨光等多家企业做了深入的调研工作，因此对 HCFC-22 企业现有生产能力、处置、存储和监测设施等情况掌握扎实，并了解了 HCFC-22 企业对未来 HFC-23 处置工作开展的诉求；这使得工作组的政策设计更准确。项目取得以下 4 项研究工作的成果：（1）HFC-23 历史排放和处置情况；（2）HFC-23 减排需求分析；（3）管理政策和措施的需求评估；（4）HFC-23 减排路线成本效益分析；并提出了系统、逐步减排 HFC-23 的对策建议。胡建信教授指出如果能够实现建议措施，预计至 2060 年中国可减排 HFC-23 约 120 亿

吨 CO<sub>2</sub> 当量；在转化技术可行的情景下，减排 HFC-23 将获得经济效益，实现资源节约和经济有效的双重收益。



图4-3 胡建信教授做结题汇报

接着生态环境部对外合作与交流中心王开祥首席分析了当前 HFC-23 减排面临的主要问题，并给出国家减排 HFC-23 总体战略和政策行动的建议。



图4-4 王开祥首席做结题汇报

与会专家肯定了团队的工作思路和方法的先进性和前瞻性，一致认为项目产出具有较强的学术性，对未来履行《基加利修正案》减排 HFC-23 的工作具有重要参考价值。

## 5. 《大型活动可持续性绩效评价指标体系研究》与《北京冬奥会可持续性典型案例选编与分析》项目顺利开题——总结北京冬奥可持续性管理和实践经验

2021年9月2日，在北京冬奥组委办公区召开了《大型活动可持续性绩效评价指标体系研究》、《北京冬奥会可持续性典型案例选编与分析》项目的开题评审会，北京冬奥组委总体策划部、能源基金会相关人员同来自国家体育总局冬季运动管理中心、环境保护部大气司、北京市政府参事室、中国人民大学环境学院、交通部环境保护中心、中科院科技战略咨询研究院可持续发展研究所、对外经济贸易大学国家对外开放研究院和国际经济研究院等单位的专家一同对项目实施提出了评审意见，联合国环境署驻华代表涂瑞和全程参与，对项目提出指导意见。

课题承担单位责扬天下（北京）管理顾问有限公司的代表首先就《大型活动可持续性绩效评价指标体系研究》、《北京冬奥会可持续性典型案例选编与分析》项目研究目标、研究任务、研究思路以及取得的阶段成果进行了汇报。前者项目以留下北京冬奥会可持续性遗产、打造可持续性管理创新实践、促进奥运会可持续性水平提升等为目标，深入研究了国内外可持续发展指标体系、社会责任评价指标体系等可持续性相关评价指标体系，全面梳理了北京冬奥会的可持续性工作成果的基础上，系统分析了国际奥委会可持续性相关文件、往届奥运会可持续性内容等，初步构建了具备科学性、客观性、可比性、可行性及可获得性的大型体育赛事活动可持续性评价指标体系，后者以展示奥运会可持续性样本、发挥大型活动可持续性示范、促进公众可持续性意识和能力提升为总体目标，系统梳理了北京冬奥会可持续性工作内容，总结北京冬奥可持续性管理和实践经验，并进一步围绕国际奥委会对可持续性相关要求及国内外可持续发展领域重点关注，提炼了22个北京冬奥会可持续性典型案例。

评审专家首先对项目实施给予了肯定，对于指标体系，专家评审认为课题着眼推动北京冬奥会及未来大型活动可持续性意识与管理提升，具有重要的实践意义。课题组前期准备充分，详细分析了项目实施背景和目标，制定了明确的实施路径，通过大量的研究和讨论已初步形成部分项目成果。专家提议，指标选取要考虑科学性、适用性和先进性，厘清指标背后的逻辑，保证全面不重复，同时兼顾传统指标和创新指标，能够覆盖环境、经济、社会三个可持续发展维度。建议指标属性要突出客观性，减少主观性，注重指标含义表达的准确性，补充相关指标说明，并进一步完善指标评价办法。对于案例集，项目初期遴选出的22个案例紧扣可持续发展主题，全面展示了北京冬奥会可持续性工作成绩，回应了国际奥委会对可持续性工作的要求，也响应了联合国环境署《可持续基础设施国际良好实践方针》内容，成果已初显。同时，评审专家提出了回应当前可持续发展关注重点、完善案例表述体例、补充项目背景信息等内容的建议以及邀请相关领域专家参与的工作建议。

## 五、协同管理的策略传播

### 1. “北京国际大都市清洁空气与气候行动论坛”顺利召开——

#### 减污降碳，协同增效

2021年9月6日，能源基金会支持北京市生态环境局主办的“北京国际大都市清洁空气与气候行动论坛”在北京国家会议中心拉开帷幕。论坛以“国际大都市碳中和战略与清洁空气目标——减污降碳，协同增效”为主题，是2021年中国国际服务贸易交易会生态环境服务领域的重要活动。

北京市副市长杨斌在论坛致辞中表示，北京市在中央领导下，以市民关注的大气污染等突出问题为突破口，下大力气治理大气污染，积极应对气候变化，取得了积极成效。刚刚过去的“十三五”，全市空气质量全面、持续改善，特别是细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）年均浓度连续五年大幅度下降，2020年降至38微克/立方米，今年5、6、7月的PM<sub>2.5</sub>月均浓度又分别只有20、18、16微克/立方米，连创历史最好水平。万元GDP二氧化碳排放强度保持在全国最好水平，2020年为0.41吨，比2015年下降26%以上，超额完成国家下达的“十三五”任务（20.5%）；同时，北京市将坚持首善标准，以降碳为‘牛鼻子’，以更高标准打好蓝天保卫战，努力做到大力度地协同治理PM<sub>2.5</sub>和臭氧污染、大尺度地协同本地治污与区域协作、高水平地协同控制大气污染物和温室气体排放，努力实现空气质量改善、城市绿色低碳转型的目标。

大会上发布了第三轮细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）来源解析最新研究成果，北京市现阶段PM<sub>2.5</sub>主要来源中本地排放占六成，区域传输占四成。本地排放中移动源占比（46%）仍最大，生活源占比（16%）凸显并成为第二大源。相较上一轮源解析结果，本地排放中各类源绝对量实现“瘦身”，区域传输对北京市影响增加近一成，且随着污染级别增大，占比上升，重污染日区域传输占比超过六成。

现阶段北京市PM<sub>2.5</sub>主要来源中本地排放近六成，其中移动源、生活源、扬尘源、工业源和燃煤源分担率分别为46%、16%、11%、10%和3%，农业及自然本底等其他源约14%。移动源中柴油车与汽油车占比较大；生活源中溶剂使用和汽修等服务业贡献突出；扬尘源主要以道路扬尘和施工扬尘为主；工业源中石油化工、水泥建材等行业占比较大。

和上一轮相比，现阶段PM<sub>2.5</sub>本地排放主要来源类型保持不变，仍然是移动源、生活源、扬尘源和工业源，累计占比为83%。经过三年大幅减排，PM<sub>2.5</sub>本地排放源中，各类源的绝对量均大幅下降，实现“瘦身”。与2017年相比，扬尘源降幅最大，其次是工业源和移动源。

生态环境部大气环境司副司长张大伟表示，“十四五”空气质量全面改善行动计划工作目标已经基本确定，主要是三个指标：优良天数比例达到87.5%，PM<sub>2.5</sub>浓度下降10%，基本消除重污染天气。到2035年，PM<sub>2.5</sub>平均浓度达到25微克/立方米，95%左右的城



市达标。在具体措施上，整个计划还在征求意见过程中，在方向上，首先是坚持减污降碳协同增效，推动大气污染物和温室气体协同减排；坚持绿色发展、高质量发展，推动形成绿色发展方式和生活方式；突出精准、科学、依法治污，坚决反对各种形式的“一刀切”，提升大气污染治理精细化水平。

能源基金会总裁兼首席执行官邹骥做题为“实现碳达峰国家目标的地方进展观察”。表示北京市早已进入了碳达峰的状态，会有进一步的目标，就是走向“碳中和”，北京在中国‘碳中和’的道路上要发挥引领作用。下一阶段，北京碳减排的重点是电力、交通、建筑三部分。



图5-1 能源基金会邹骥总裁做主旨发言

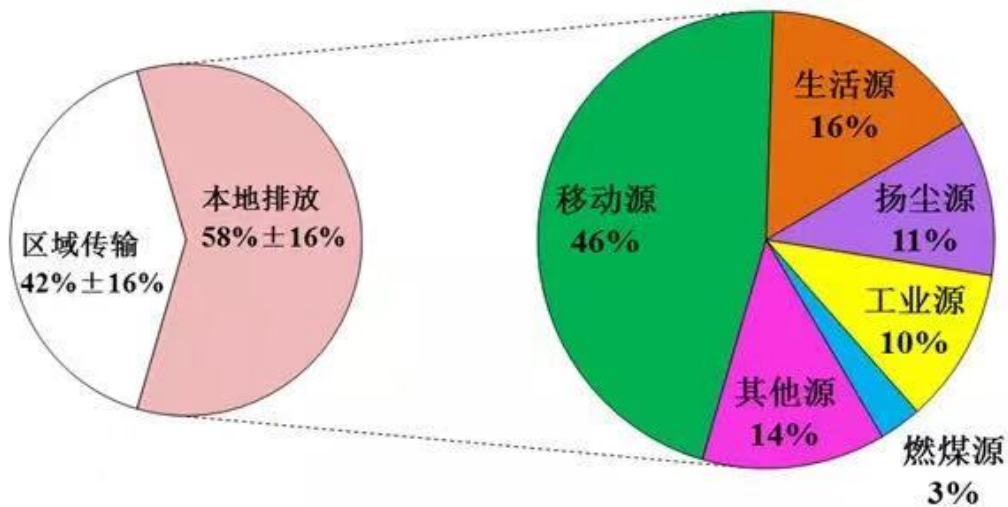


图5-2 北京市新一轮PM2.5源解析

## 2. CCAPP 年度会议“碳中和与清洁空气协同路径”顺利召开—— 《中国碳中和与清洁空气协同路径（2021）》报告正式发布

2021年9月28日，在能源基金会、清华大学碳中和研究院、清华大学全球变化研究院、北京大学环境科学与工程学院和生态环境部环境规划院的共同支持下，中国清洁空气政策伙伴关系2021年度会议——“碳中和与清洁空气协同路径”在京顺利举办。



图5-1 线下与会人员合照

CCAPP 指导委员会主席郝吉明院士、清华大学地球系统科学系主任罗勇教授及能源基金会首席执行官兼中国区总裁邹骥致辞。中国工程院原副院长杜祥琬院士、生态环境部大气环境司张大伟副司长、中科院生态环境研究中心贺泓院士、生态环境部环境规划院严刚副院长、中国气象科学研究院张小曳院士、北京大学环境科学与工程学院朱彤院长、清华大学碳中和研究院贺克斌院士、国家应对气候变化战略研究和国际合作中心徐华清主任受邀先后作主旨报告。会上，清华大学地球系统科学系副主任张强教授介绍了 CCAPP2021 年度报告《中国碳中和与清洁空气协同路径》的主要内容。来自国内相关领域30余位知名专家学者受邀并围绕“气候变化、空气污染与健康影响”、“碳中和与清洁空气协同路径”两大主题展开交流与讨论。

本次会议由能源基金会环境管理项目主任刘欣先生主持，南京信息工程大学大气科学学院尹志聪教授与北京大学环境科学与工程学院宫继成研究员、清华大学环境学院鲁玺副教授与生态环境部环境规划院大气所所长雷宇研究员分别主持两大主题论坛。来自各科研院所、行业协会的250余人出席会议，线上观看观众近1万人次。

郝吉明院士在致辞中强调，我国蓝天保卫战取得跨越式胜利，但环境空气污染问题仍非常严峻。为推进空气质量持续改善，需在双碳目标下大力推进结构转型工作，实现减污降碳协同增效。

罗勇教授在致辞中表示，气候变化和空气污染协同治理是清华大学全球变化研究院的重点研究方向并取得了一定科研成果。未来将继续深化二氧化碳与大气污染物减排、协同保护人体健康相关政策路径的研究，助力实现我国气候和空气质量相关目标。

邹骥总裁在致辞中指出，中国实现碳中和目标是一项伟大的征程，将助力推进全球气候治理，促进中国实现世界级空气质量。无论是科学上还是工程上，空气质量提升和气候变化治理，两者目标密不可分，需要选择成本效益最优的协同路径予以实现。



图5-3 《中国碳中和与清洁空气协同路径（2021）》

会议期间，CCAPP 年度报告《中国碳中和与清洁空气协同路径（2021）》正式发布。该报告由国内顶级专家团队编写，上百位专家参与研讨和报告评审，基于良好的合作平台与工作机制，以空气污染和气候变化协同治理监测指标为基础，以自然科学和社会科学深度交叉融合为导向，共设定 18 个指标并定期追踪指标进展，初步建立了碳中和与清洁空气协同治理理论体系。该报告识别了中国在二者协同路径上面临的挑战，并提出解决思路，助力形成政策制定、评价与优化的闭环，推动协同治理政策的落地实施。

在总结环节中，刘欣主任指出，本次会议回顾了“十三五”以来气候变化应对和空气污染协同治理进程，总结了经验，分析了形势，深入讨论了“十四五”及中长期协同治理具体路径措施。下一步，建议聚焦以下六个方面开展相关工作：

一是优化空气质量标准和目标体系，加强相关政策的健康影响效益分析；二是瞄准世界级空气质量和碳中和长期目标，建立系统的减污降碳协同增效顶层制度框架；三是在能源、产业、交通、用地四大领域积极探索协同减排路径，以实现效益最大化；四是推进城乡减污降碳同步治理，开展城市双达、农村可再生能源开发助推乡村振兴等重点工作；五是创新政策、技术和机制，统筹运用许可证、成本效益分析、价税财金等手段；六是加强交流与沟通，提升科学认知、管理能力与公众意识，向世界传播中国减污降碳协同增效的成功经验。

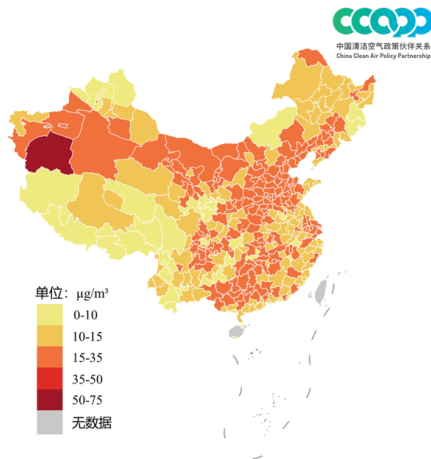
## 六、空气质量分析

### 1. 2021 年三季度全国 PM<sub>2.5</sub> 浓度情况

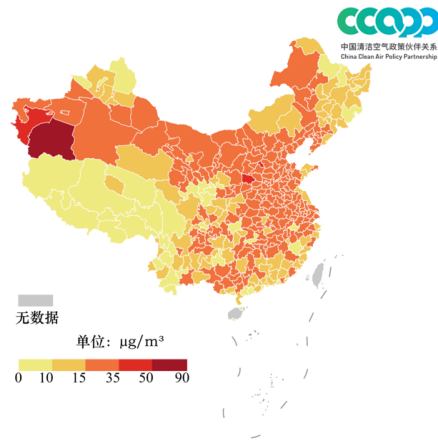
2021 年 7 月，全国各地级及以上城市 PM<sub>2.5</sub> 平均浓度为 16 μg/m<sup>3</sup>，同比下降 15.8%。京津冀及周边地区、汾渭平原地区、长三角地区和苏皖鲁豫地区 PM<sub>2.5</sub> 平均浓度均同比下降。

2021 年 8 月，全国各地级及以上城市 PM<sub>2.5</sub> 平均浓度为 17 μg/m<sup>3</sup>，同比持平。汾渭平原地区 PM<sub>2.5</sub> 平均浓度（25 μg/m<sup>3</sup>）同比上升；长三角地区 PM<sub>2.5</sub> 平均浓度同比持平；京津冀及周边地区和苏皖鲁豫地区 PM<sub>2.5</sub> 平均浓度同比均下降。

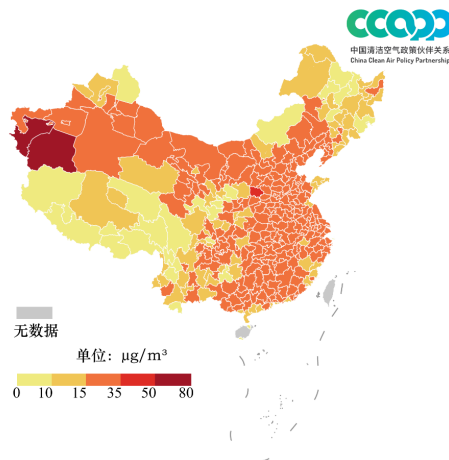
2021 年 9 月，全国各地级及以上城市 PM<sub>2.5</sub> 平均浓度为 19 μg/m<sup>3</sup>，同比下降 9.5%，相较于 7 月（16 μg/m<sup>3</sup>）、8 月（17 μg/m<sup>3</sup>）PM<sub>2.5</sub> 平均浓度略有上升。京津冀及周边地区、汾渭平原地区、长三角地区及苏皖鲁豫地区 PM<sub>2.5</sub> 平均浓度均同比下降。



2021 年 7 月全国 PM<sub>2.5</sub> 浓度图



2021 年 8 月全国 PM<sub>2.5</sub> 浓度图



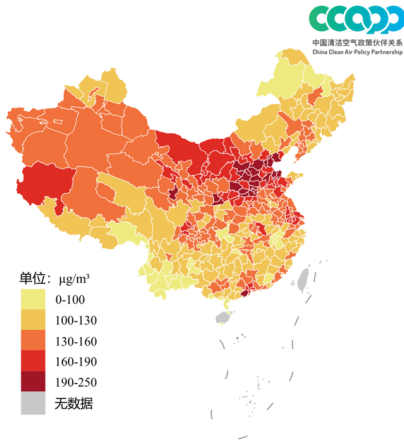
2021 年 9 月全国 PM<sub>2.5</sub> 浓度图

## 2. 2021 年三季度全国 O<sub>3</sub> 浓度情况

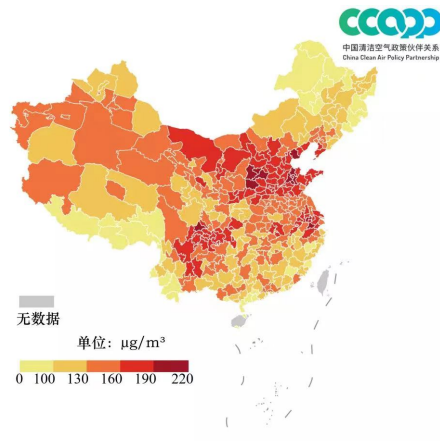
2021 年 7 月，全国各地级及以上城市 O<sub>3</sub> 浓度为 139 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，同比上升 1.5%。值得注意的是，除京津冀及周边地区、长三角地区和苏皖鲁豫地区 O<sub>3</sub> 浓度同比下降之外，其余重点区域均同比上升。河北省、河南省、山西省等地区 O<sub>3</sub> 污染问题较为突出。

2021 年 8 月，全国各地级及以上城市 O<sub>3</sub> 浓度为 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，同比上升 1.4%。其中，珠三角地区 O<sub>3</sub> 浓度同比下降幅度较大（23.4%）。值得注意的是，除珠三角地区以外，其余重点区域 O<sub>3</sub> 浓度均高于全国平均水平；京津冀及周边地区、汾渭平原地区与成渝地区 O<sub>3</sub> 浓度均超过 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

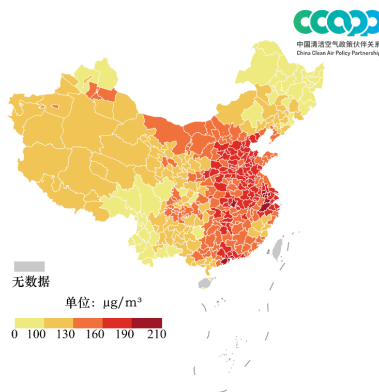
2021 年 9 月，全国各地级及以上城市 O<sub>3</sub> 浓度为 138 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，同比上升 3.8%。汾渭平原地区、成渝地区和珠三角地区 O<sub>3</sub> 浓度同比均有所上升（幅度分别为 1.3%，15.8%和 10.8%）。京津冀及周边地区、长三角地区、苏皖鲁豫地区 O<sub>3</sub> 浓度虽同比下降，但浓度仍处高位（分别为 172 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 164 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。



2021 年 7 月全国 O<sub>3</sub> 浓度图



2021 年 8 月全国 O<sub>3</sub> 浓度图



2021 年 9 月全国 O<sub>3</sub> 浓度图

责任编辑：姜一秀、梁斯炜、张容尔

审核：刘欣、钱文涛