

# 京津冀如何实现空气质量达标？

基于情景分析的京津冀地区PM<sub>2.5</sub>达标情景研究



# CAAC政策报告

## CAAC Policy Report

“CAAC政策报告”专注于对中国大气污染防治政策及管理机制进行解读、分析，提出建议，以支持清洁空气工作的开展。“CAAC政策报告”由中国清洁空气联盟秘书处联合联盟成员与专家共同编制。

### 作者

清华大学

贺克斌，张强，同丹

国家发展和改革委员会能源研究所

姜克隽

清洁空气创新中心（中国清洁空气联盟秘书处）

解洪兴，王丽莎

### 支持机构：

能源基金会

赵立建，尹乐，才婧婧，藺苑，周嵘



能源基金会（EF）是本次报告的支持机构。

**免责声明：**本报告仅代表作者个人观点，不代表作者所在机构、支持机构、以及中国清洁空气联盟及其成员的观点。中国清洁空气联盟不保证本书中所含数据的精确性，而且对使用这些数据所产生的任何后果不承担责任。在注明来源的前提下中国清洁空气联盟鼓励出于个人和出于非商业目的对本报告所含信息进行印刷或复制。本研究报告由清洁空气创新中心（柯灵爱尔（北京）环境技术中心）所有，未经同意，使用者不得出于商业目的销售、传播或制作相关衍生作品。

## 主要结论

2013年9月，国务院发布《大气污染防治行动计划（2013-2017）》，提出到2017年，京津冀地区细颗粒物（ $PM_{2.5}$ ）浓度下降25%，其中北京市 $PM_{2.5}$ 年均浓度控制在 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右。根据环保部在2013年提出的全国城市空气质量达标时间表<sup>1</sup>，京津冀地区需要制定中长期达标规划，力争2030年所有城市达到国家标准（ $PM_{2.5}$ 年均浓度 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）<sup>2</sup>。据此，图1展示了京津冀地区各城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度的分阶段下降目标。

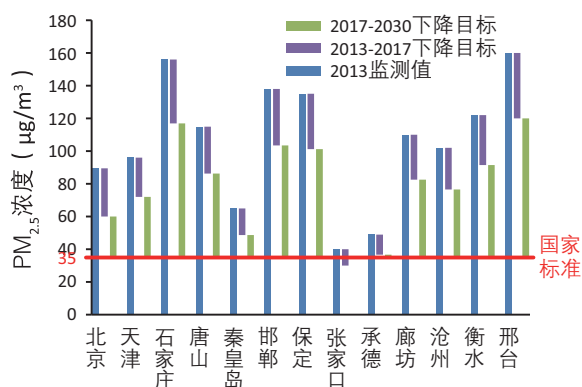


图1 京津冀地区各城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度分阶段下降目标

为了实现2030年京津冀地区所有城市空气质量达标的中长期目标，本研究对京津冀地区2030年 $PM_{2.5}$ 的达标情况进行了情景分析。设置三个不同情景：基准情景、最佳技术情景（在基准情景的基础上强化末端控制）和强化情景（在最佳技术情景的基础上强化能源、产业结构调整），据此构建2013年及2030年京津冀地区大气污染源排放清单，并运用空气质量模型模拟，定量评估不同大气污染防治措施对京津冀地区 $PM_{2.5}$ 的削减效果，为京津冀地区2030年空气质量达标提供科学参考。模拟结果表明，基准情景、最佳技术情景、强化情景均可明显

改善京津冀地区的空气质量，但仅有强化情景可使京津冀地区全面达标（见图2）。在强化情景下，北京市、天津市和河北省的 $PM_{2.5}$ 年均浓度将由2013年的 $89.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $96\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $108\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至2030年的 $23.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $28.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $28.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，相应降幅分别为74%、71%、74%。虽然在此情景下，北京市、天津市及河北省平均的 $PM_{2.5}$ 年均浓度达到了 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下，但河北省的部分城市，如衡水、邯郸、石家庄等则是刚刚达标，仅略低于 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ （见图3）。

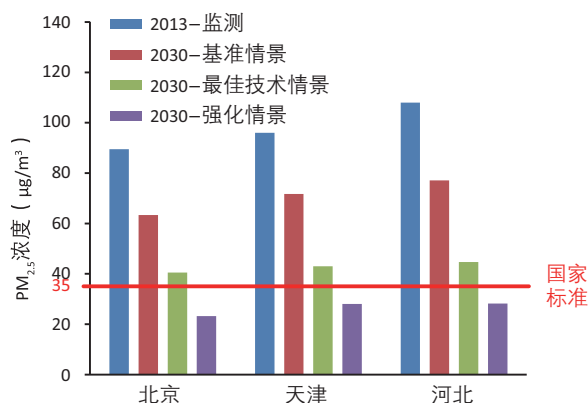


图2 不同情景下的京津冀地区 $PM_{2.5}$ 年均浓度改善

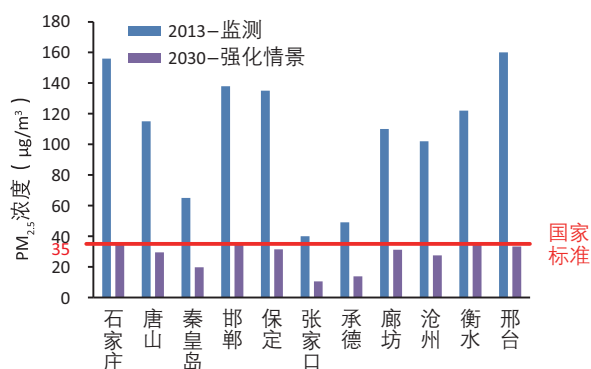


图3 河北省各城市强化情景下的 $PM_{2.5}$ 年均浓度改善

1. [http://www.chinadaily.com.cn/hqgj/jryw/2013-01-25/content\\_8124505.html](http://www.chinadaily.com.cn/hqgj/jryw/2013-01-25/content_8124505.html)。环保部力争2030年前全国所有城市达到二级空气质量：首要大气污染物超标不超过15%的城市，力争2015年达标；首要大气污染物超标15%以上、30%以下的城市，力争2020年达标；首要大气污染物超标30%以上的城市，要制定中长期达标计划，力争到2030年全国所有城市达到空气质量二级标准。

2. 根据《环境空气质量标准》（GB3095-2012），城镇规划中确定的居住区、商业交通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区执行二级标准，相应的 $PM_{2.5}$ 年均浓度限值为 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。因为京津冀地区的首要污染物为 $PM_{2.5}$ ，所以本研究在进行空气质量达标分析时以 $PM_{2.5}$ 达标为准。

根据上述模拟结果，为实现京津冀地区所有城市2030年空气质量全面达标，需要实现以下主要改变：

1. **产业结构大幅调整。**京津冀地区未来长期发展模式走向以服务业为主的经济发展格局，高耗能工业产量不再增长或者开始下降，重工业占主导位置的模式在2030年之前实现转型。

- 北京除了环境友好、低资源消耗的以城市为最终服务群体的城市工业以外，其他工业基本不再存在。
- 天津市已有的大型重工业将不再继续发展，不再新建类似产业。2030年钢铁年产量控制在2000万吨以内，水泥年产量控制在4000万吨以内，平板玻璃年产量控制在2300万重量箱以内。
- 河北将持续发展综合性的工业体系，高耗能、高污染的“两高”行业产品产量得到控制，2030年钢铁年产量控制在12000万吨以内，水泥年产量控制在7000万吨以内，平板玻璃年产量控制在28000万重量箱以内。

2. **能源结构进一步清洁化。**相比2012年，京津冀地区2030年煤炭占一次能源消费比例从73.1%下降到30.7%，天然气比例从7.8%上升到28.6%，调入电比例从4.4%上升到15.3%，可再生能源比例从1.1%上升到3.7%。民用散煤污染得到全面控制：如用天然气、可再生能源或清洁型煤替代煤炭，同时硫含量高于0.6%的煤炭全部禁止使用。

- 北京市2030年的煤炭占一次能源消费比例相比2012年从29.2%下降到1.9%，天然气比例从25.2%上升到39.7%，调入电比例从13.6%上升到18.8%，可再生能源比例从0.4%上升到1.5%。
- 天津市2030年的煤炭占一次能源消费比例相比2012年从62.0%下降到24.2%，天然气比例从9.3%上升到30.8%，调入电比例从2.5%上升到10.5%，可再生能源比例从0.3%上升到1.1%。
- 河北省2030年的煤炭占一次能源消费比例相比

2012年从84.5%下降到40.8%，天然气比例从4.0%上升到24.9%，调入电比例从3.0%上升到16.0%，可再生能源比例从1.5%上升到5.3%。

3. **末端控制措施全面实施到位：**

- 京津冀地区所有燃煤发电实现超低排放。
- 河北、天津的钢铁企业全面升级改造安装高效除尘器，如袋式除尘器、电袋复合除尘器等，加强无组织排放管控。钢铁企业烧结机全面安装脱硫设备，脱硫效率不低于85%。
- 河北、天津的工业窑炉全面升级改造为袋式除尘器或电袋复合除尘器，水泥行业全部开展低氮燃烧技术和末端脱硝治理。
- 京津冀地区全面淘汰中小锅炉及落后炉型，剩余大型锅炉全面开展脱硫、脱硝及除尘升级改造。
- 天津、河北的炼焦、表面涂装、包装印刷等重点行业的挥发性有机物（VOCs）平均去除效率不低于70%。
- 氨排放管控得到有效加强。2030年，天津、河北的畜牧养殖业集约化比例大于70%，化肥施用量得到有效控制，新型肥料缓释和控释技术得到大范围推广。

4. **交通污染得到有效控制：**

- 2030年，汽柴油油品升级工作全面完成，在用车均可实现“国VI”或更严格的排放标准。
- 2030年，北京的机动车保有量控制在676万辆以内，城市公交承担率达到41%以上，节能小汽车比例达到50%以上，电动汽车比例达到40%以上。
- 2030年，天津的机动车保有量控制在449万辆以内，城市公交承担率达到41%以上，节能小汽车比例达到50%以上，电动汽车比例达到35%以上。
- 2030年，河北的机动车保有量控制在2053万辆以



内，城市公交承担率达到36%以上，节能小汽车比例达到50%以上，电动汽车比例达到35%以上。

### 其他发现和建议：

- 1. 实现空气质量达标必须大幅调整产业、能源结构。**本研究通过对比不同情景发现，单靠末端治理，即使最佳可行技术全部实施，也不可能实现京津冀地区2030年空气质量达标的目标，要实现达标必须同时大幅调整产业结构和能源结构。此外，产业结构的调整相应的也会带来能源需求格局的变化，随着京津冀一体走向高端经济模式，其能源需求量也将在2030年基本达到峰值。
- 2. 尽快编制和实施科学的空气质量达标规划。**本研究以京津冀地区2030年空气质量达标为目标提出了相应的政策措施建议，但具体的空气质量达标管理工作还需要各地方政府根据自身情况做出更详细的措施计划。京津冀及周边地区应尽快基于污染源排放清单和空气质量模型等科学手段，在系统评估措施减排效果和减排成本的基础上编制区域空气质量达标规划，并在此基础上建立系统的空气质量达标管理机制。
- 3. 能源、产业、交通规划应与空气质量达标规划一致。**本研究的一个重要结论是要实现空气质量达标，能源结构、产业结构、交通都需要做重大调整，不然无法实现空气质量达标。因此，如果要确保空气质量达标，必须确保能源、产业、交通规划与空气质量达标规划要求基本一致。
- 4. 加强环境监管和违法处罚，将排污许可制度建设成为固定点源环境管理的核心制度。**本研究假设各个情景下所有的相关措施将全部落实，但措施的执行和监管仍然面临挑战。通过排污许可制度的改革，可以将环境影响评价、企业运行阶段的环境管理、排污监管、排污申报、环境信息公开、污染普查、环境统计、排污权交易、环境评级等多种机制串联起来，使得许可证成为企业开展环境管理，以及政府对企业进行监管的核心依据，让企业的环境责任
- 得到真正的落实，同时还有利于推进公众对企业排污的监督。
- 5. 京津冀以外周边地区也需要大力改善空气质量。**京津冀周边地区如果维持现状，即使京津冀地区采用强化情景，也不能实现空气质量达标。本研究评估不同情景下京津冀区域的减排效果时，考虑了全国其他地区的空气质量改善情况，但若全国其他地区的排放水平与基准情景相同，在强化情景中，将使北京、天津、河北的2030年PM<sub>2.5</sub>年均浓度分别增加22 μg/m<sup>3</sup>、21 μg/m<sup>3</sup>、16 μg/m<sup>3</sup>，也即北京、天津和河北的PM<sub>2.5</sub>年均浓度下降幅度减少15~25个百分点。
- 6. 推动环保服务业的发展、撬动社会资本的投入。**本研究提出的各项措施的落实均离不开相应的人员和资金的投入。在人员方面，我国目前无论在中央层面还是地方层面，从事空气质量研究、管理、执法的人员数量都严重不足。为了解决这一困境，一方面需要增加政府人员和资金的投入，另一方面需要推动环保服务业的发展，将部分管理支持性工作委托第三方的专业咨询机构开展。在资金方面，政府一方面可以为空气质量达标管理增加稳定的多元化的资金（如排污费、排污权有偿获得、资源税等），还可以通过引导私营投资，更好地撬动社会资金投入到大气污染治理中。
- 7. 京津冀地区的大气污染防治同时可以带来温室气体的减排效果。**在本研究的强化情景下，2030年京津冀地区将在2013年排放基础上减排约2.1亿吨二氧化碳，下降率达19%。能源结构减排措施（包括“煤改气”、外输电、发展非化石能源等）和产业结构减排措施（包括削减钢铁、水泥、焦化产能等）对京津冀地区二氧化碳减排的贡献分别为78%和22%。
- 8. 力争2030年以前实现空气质量达标。**本研究使用2030年作为目标年，但是如果本研究强化情景中提到的措施能提前得到实现，再考虑到未来技术进步的可能性（如可再生能源加速发展等），京津冀地区则可以在2030年以前更早地实现空气质量达标。

# 目录

CAAC政策报告第VI期

2016年2月

---

主要结论 .....	1
1. 研究方法 .....	5
2. 情景设置 .....	6
2.1 基准情景 (BAU) .....	7
2.2 最佳技术情景 (BAT) .....	8
2.3 强化情景 (EES) .....	8
3. 京津冀2030年污染物减排分析 .....	10
3.1 京津冀地区PM <sub>2.5</sub> 的主要来源 .....	10
3.2 不同情景下京津冀地区的污染物减排量 .....	10
3.3 不同情景下京津冀地区分行业的污染物排放量 .....	10
3.4 强化情景下各项措施的减排贡献 .....	12
3.5 强化情景下温室气体减排的协同效应 .....	12
4. 京津冀2030年空气质量改善效果分析 .....	13
4.1 不同情景下京津冀地区2030年的PM <sub>2.5</sub> 年均浓度 .....	13
4.2 强化情景下京津冀地区PM <sub>2.5</sub> 年均浓度下降中各组分的贡献 .....	13
5. 政策措施建议 .....	17
6. 不确定性分析 .....	18

# 1. 研究方法

首先基于基准年（2013年）排放清单和区域空气质量模型（CMAQ<sup>3</sup>）进行基准年空气质量模拟并验证模拟结果；其次考虑结构调整措施和末端控制措施设置三个情景，其中在进行能源需求预测时采用IPAC-AIM/技术模型<sup>4</sup>；之后在基准年排放清单的基础上，根据不同情景下的末端控制措施、经济社会发展水平、能源消耗、产品产量和交通情景等的参数化结果，得到目标年（2030年）的排放清单；最后进行目标年空气质量模拟，得到不同情景下的空气质量改善效果（见图1-1）。

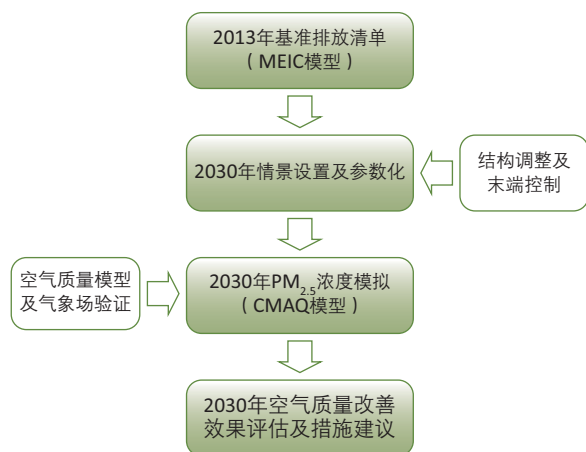


图1-1 研究方法

将基准年排放清单<sup>5</sup>输入区域空气质量模型（CMAQ）模拟出2013年京津冀地区空气质量。模拟时采用2013年气象场，并将结果与2013年的监测资料进行对比验证<sup>6</sup>，如图1-2所示。总体而言，模型能够较为准确地模拟PM<sub>2.5</sub>浓度的绝对值及其空间分布差异，可作为大气污染控制措施效果的评价工具。

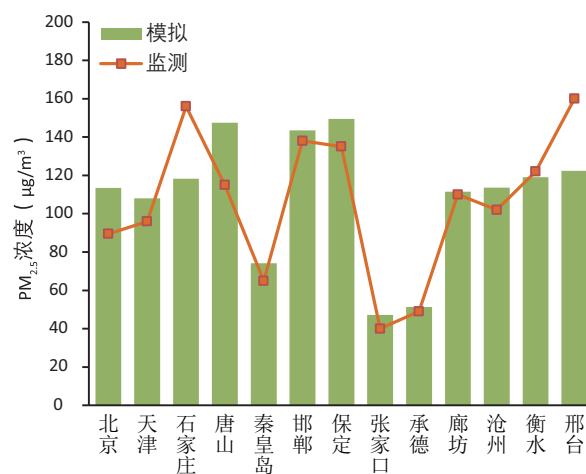


图1-2 京津冀地区各城市基准年PM<sub>2.5</sub>年均浓度模拟值与监测值比较

3. 公众多尺度空气质量模型（Community Multiscale Air Quality, CMAQ）是由美国环保署发展的欧拉型空气质量模型，它主要关注对流层臭氧、酸沉降、能见度和颗粒物等污染物，描述这些污染物在区域和城市尺度中的化学反应和传输。

4. IPAC-AIM/技术模型由发改委能源研究所开发，目的是对能源服务及其设备的现状和未来发展进行详细描述，对能源消费过程进行模拟。

5. 来自清华大学开发的中国多尺度排放清单模型（Multi-resolution Emission Inventory for China, MEIC，数据访问地址：<http://www.meicmodel.org>）。

6. 数据来源于国家环境空气质量监测网中的城市空气质量评价点位监测数据。

## 2. 情景设置

为定量分析京津冀地区不同能源、产业结构和末端控制措施对目标年（2030年）大气污染物排放的控制效果及空气质量改善情况，本研究建立了三个情景，并对不同情景下的能源消费、产品产量等活动水平和控制技术分布进行预测，相应的建立了三套目标年大气污染物排放清单。

大气污染防治措施分为两大类：结构调整措施和末端控制措施，产业结构调整 and 能源结构调整是结构调整的两个立足点，是可以从源头削减排放的措施。末端控制措施是在污染物排放至大气中之前削减排放的措施。

据此，本研究根据结构调整和末端控制两个关键因素设置了三个情景。首先，基于2013年能源消费量、产

品产量及末端控制技术分布，根据现有防治措施的执行，量化2030年结构措施和末端控制措施，设置为基准情景；其次，建立最佳可行技术数据库，在基准情景的基础上，采用最佳可行技术替换原有末端控制技术，建立最佳技术情景；最后，基于最佳技术情景，强化能源、产业结构调整，建立强化情景。通过三个情景的设置，逐步评估末端控制措施和能源、产业结构调整措施对未来空气质量的改善效果（见图2-1）。本研究目标区域为京津冀地区，但由于空气质量改善效果受其他周边地区改善效果的影响较大，因此本研究对京津冀地区以外的全国其他地区也相应的设置了三个情景。情景设置方案及数据参考见表2-1。

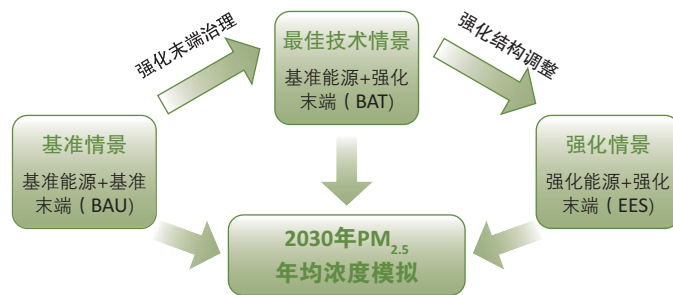


图2-1 情景设置

表2-1 情景设置方案及数据参考

情景	设置方案	数据参考
基准情景 (BAU)	基准能源	京津冀地区 其他地区
	基准末端	京津冀地区 其他地区
		《中国2050低碳发展情景研究》 <sup>7</sup> 中的基准情景
		《大气污染防治行动计划》，环保部重点行业大气排放标准及编制说明

7. 姜克隽等，《中国2050低碳发展情景研究》。该报告给出了全国整体的能源情景，本研究的京津冀地区和其他地区的能源情景根据2013年地区的能耗量按比例分配得到。



最佳技术情景 (BAT)	基准能源	京津冀地区 其他地区	同基准情景
	强化末端	京津冀地区 其他地区	《环保部污染防治最佳可行技术指南》，欧盟：BREFs <sup>8</sup> ，美国环保局：AirControlNET <sup>9</sup>
强化情景 (EES)	强化能源	京津冀地区 其他地区	《京津冀大气雾霾排放情景研究》 <sup>10</sup> 《中国2050低碳发展情景研究》中的低碳情景
	强化末端	京津冀地区 其他地区	同最佳技术情景

## 2.1 基准情景 (BAU)

基准情景下的京津冀地区和其他地区的能源、产业结构调整措施参考《中国2050低碳发展情景研究》中的基准情景。

### 主要基准结构调整措施包括：

- 优化产业结构。严控“两高”行业新增产能，全面淘汰落后产能；加速现有落后产能淘汰，新增产能需以等价落后产能替代，实现高耗能产业的产能逐渐下降。
- 控制煤炭消费总量。
- 发展清洁煤电。2030年京津冀地区煤电技术以超临界和超超临界为主。
- 民用部门推广洁净煤和型煤，充分利用清洁能源，普及节能家用电器，农村生活用能转向商品能源。
- 机动车总量控制，提高燃油经济性，降低柴油和汽油消费量。

基准情景下的京津冀地区和其他地区的末端控制措施参考《大气污染防治行动计划》和环保部重点行业大气排放标准及编制说明，主要包括：

- 所有燃煤电厂安装脱硫设施，烟气脱硫设施按照

规定取消烟气旁路，燃煤电厂综合脱硫效率均达到90%以上；除循环流化床锅炉以外的燃煤机组均安装脱硝设施。燃煤电厂除尘升级提标，烟气颗粒物排放浓度限值从50mg/m<sup>3</sup>降低到30mg/m<sup>3</sup>，推广静电除尘和湿法脱硫联用、袋式除尘等。

- 钢铁企业的烧结机和球团生产设备安装脱硫设施。钢铁行业除尘升级提标，转炉二次烟气和电炉烟气均执行20mg/m<sup>3</sup>的颗粒物排放浓度限值，全面推广高效布袋除尘器。
- 燃煤锅炉安装脱硫设施。现有除尘设施升级改造，新建锅炉执行50mg/m<sup>3</sup>的烟气颗粒物排放浓度限值，以布袋除尘、电除尘、电袋除尘等高效除尘技术为主。新建锅炉采用低氮燃烧技术。
- 新型干法水泥窑实施低氮燃烧技术改造并安装脱硝设施，水泥行业除尘升级提标，执行20~30mg/m<sup>3</sup>的烟气颗粒物排放浓度限值，进一步推广高效静电和布袋除尘器。
- 工业窑炉现有除尘设施实施升级改造。
- 机动车排放控制标准进一步推进，全面实施“国V”标准，逐步推行“国VI”标准；加快淘汰黄标车和老旧车辆；加快推进低速汽车升级换代；大力推

8. EUROPEAN COMMISSION: Reference Document on Best Available Techniques (最佳可行控制技术参考文件)。

9. U.S. Environmental Protection Agency: Air Control NET DOCUMENTATION REPORT(Version 4.1), 该文件是用于支持污染物排放控制策略和成本分析的数据库。

10. 姜克隽等,《京津冀大气雾霾排放情景研究》。

产新能源汽车。

- g. 综合整治石化、有机化工、表面涂装、包装印刷等行业VOCs，在石化行业开展“泄漏检测与修复”技术改造，限时完成加油站、储油库、油罐车的油气回收治理。完善涂料、胶粘剂等产品挥发性有机物限值标准，推广使用水性涂料，鼓励生产、销售和使用低毒、低挥发性有机溶剂。

## 2.2 最佳技术情景 (BAT)

最佳技术情景下的京津冀地区和其他地区的能源、产业结构调整措施与基准情景相同。

最佳技术情景下的京津冀地区和其他地区的强化末端控制措施依据《环保部污染防治最佳可行技术指南》、欧盟的BREFs和美国环保局的Air Control NET等设定，具体包括：

- a. 燃煤电厂超低排放，通过先进的烟气综合治理技术，使燃煤发电的污染物排放达到甚至低于燃气发电的排放水平，烟尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>的排放浓度分别低于5、35、50 mg/m<sup>3</sup>。
- b. 工业锅炉：参照《锅炉大气污染物排放标准》（征求意见稿）编制说明，2030年工业锅炉以布袋除尘、电除尘、电袋除尘等高效除尘技术为主。燃煤锅炉全面实施脱硫，京津冀地区实施低氮燃烧技术改造，工业锅炉安装脱硝设施。
- c. 水泥行业：新型干法水泥窑实施低氮燃烧技术改造并安装脱硝设施，参照《水泥工业大气污染物排放标准（GB4915-2013）》，水泥行业全面应用高效静电和布袋除尘器。
- d. 钢铁行业：钢铁企业烧结机全面安装脱硫设备，脱硫效率不低于85%。参照美国、日本、英国标准和欧盟控制水平，炼钢工业烟气颗粒物排放水平控制

在0.05kg/t钢以内。

- e. 机动车：从“欧五”升级到“欧六”排放标准。其中，北京市2016年实施“国VI”（“京VI”）标准，天津市、河北省2022年实施“国VI”标准。
- f. VOCs相关排放源：2030年炼焦、表面涂装、包装印刷、等重点行业VOCs排放相比2013年都明显下降，油气储运相关行业的下降幅度达到90%~95%，炼焦和化工行业的下降幅度超过50%。
- g. NH<sub>3</sub>相关源：2030年，天津、河北的畜牧养殖业集约化比例大于70%，化肥施用量得到有效控制，新型肥料缓释和控释技术得到大范围推广。

## 2.3 强化情景 (EES)

基于最佳技术情景，强化情景进一步调整京津冀地区及其他地区的产业、能源结构。

强化情景下的京津冀地区产业、能源结构参考《京津冀大气雾霾排放情景研究》报告。京津冀地区未来长期发展模式将走向以服务业为主的经济格局，高耗能工业发展基本达到峰值，产量不再增长或者开始下降，重工业占主导位置的模式在2030年之前实现转型。

京津冀地区涉及到的具体结构调整措施主要有：

- a. 调整优化产业结构，北京除了城市工业<sup>11</sup>以外，其他工业基本不再存在。天津市已有的大型重工业将不再继续发展，不再新建类似产业。河北将持续发展综合性的工业体系，进一步削减粗钢、平板玻璃、水泥、焦炭等产品的产量，提高产业技术水平。
- b. 控制煤炭消费总量。河北省重点削减发电供热、炼焦及工业高耗能行业（冶金、建材等）的煤炭用量。天津和北京也大幅度削减煤炭用量，削减重点

<sup>11</sup> 城市工业指具有环境友好、低资源消耗特性，同时以城市为最终服务群体的工业。城市工业的行业范围比较广泛，主要包括电子信息产品研究、开发和组装、软件开发、制造，服装服饰、广告印刷与包装、工艺美术品和旅游品、钟表眼镜、模型及模具设计制造、食品加工、室内装饰装修产品设计、开发与组装、化妆品及日用洗涤用品等。

为高耗煤行业和发电供热行业。

- c. 清洁能源替代。加大天然气、液化石油气、太阳能等清洁能源的供应和推广力度，逐步提高城市清洁能源使用比重。
- d. 提高外购电和新能源发电比例。
- e. 机动车总量限制，大力推广新能源汽车，建立更加便捷的交通网络，提高城市公共交通承担率。

强化情境下的京津冀以外其他地区产业、能源结构参考《中国2050低碳发展情景研究》报告中的低碳发展情景，主要结构调整措施在基准情景的基础上加强了：

- a. 进一步优化产业结构，新兴工业和第三产业发展快速。
- b. 进一步控制煤炭消费总量。
- c. 2030年先进用能技术得到普遍应用，中国工业和其他用能技术成为当时世界领先；同时中国也成为世界先进节能技术领先者，技术效率比目前提高40%左右。
- d. 低碳、环境友好住宅广泛利用。
- e. 燃油经济性进一步提高。

Spring...



## 3. 京津冀 2030 年污染物减排分析

### 3.1 京津冀地区PM<sub>2.5</sub>的主要来源

根据京津冀地区基准年排放清单，工业过程和民用部门是京津冀地区一次PM<sub>2.5</sub>的主要来源，分别贡献了51%和30%，其中工业过程排放主要来自于钢铁、水泥、炼焦等行业，民用部门排放主要来自于民用燃煤和生物质燃烧；此外，电力、供热、工业锅炉和交通部门分别贡献了4%、4%、7%和4%。

二次PM<sub>2.5</sub><sup>12</sup>的前体物主要包括SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、VOCs、NH<sub>3</sub>。根据京津冀地区基准年排放清单，工业锅炉、工业过程（主要是钢铁烧结和工业窑炉）、电力、民用和供热部门是SO<sub>2</sub>排放的主要来源，分别贡献了38%、19%、17%、16%和9%；交通、工业锅炉、电力、供热和工业过程（主要是水泥行业）是NO<sub>x</sub>排放的主要来源，分别贡献了28%、28%、23%、11%和6%；溶剂使用、工业过程、民用和交通部门是VOCs排放的主要来源，分别贡献了38%、29%、17%和8%。NH<sub>3</sub>则主要来自于农业部门的化肥施用和畜禽养殖<sup>13</sup>。

### 3.2 不同情景下京津冀地区的污染物减排量

本研究重点关注SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、一次PM<sub>2.5</sub>和VOCs等四种污染物的排放变化。基于2013年京津冀地区排放清单，通过上述三个情景的污染防治措施构造不同情景下2030年排放清单，得到京津冀地区四种污染物的减排量，如

图3-1所示。在三个省份中，河北省由于排放量远高于其它两个直辖市，因此对京津冀地区污染物减排的贡献最大，强化情景中河北约贡献了京津冀地区SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、一次PM<sub>2.5</sub>、VOCs减排量的83%、75%、82%、64%。

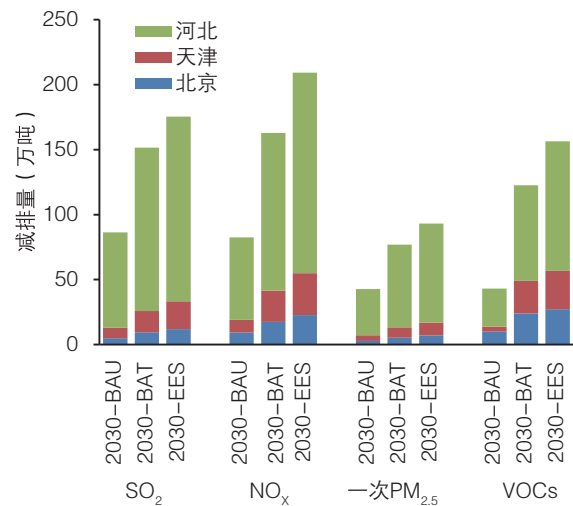


图3-1 不同情景下京津冀地区污染物的减排量

### 3.3 不同情景下京津冀地区分行业的污染物排放量

不同情景下北京、天津、河北分行业的四种污染物排放量变化情况如图3-2所示。

12. 二次PM<sub>2.5</sub>主要包括硫酸盐、硝酸盐、铵盐等无机粒子和二次有机气溶胶，二次PM<sub>2.5</sub>是由各种气态污染物（前体物），如SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、VOCs、NH<sub>3</sub>等，经过复杂的大气化学反应转变成的颗粒物。

13. Huang X, Song Y, Li M, et al. A high-resolution ammonia emission inventory in China[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2012, 26(1): 239-256.

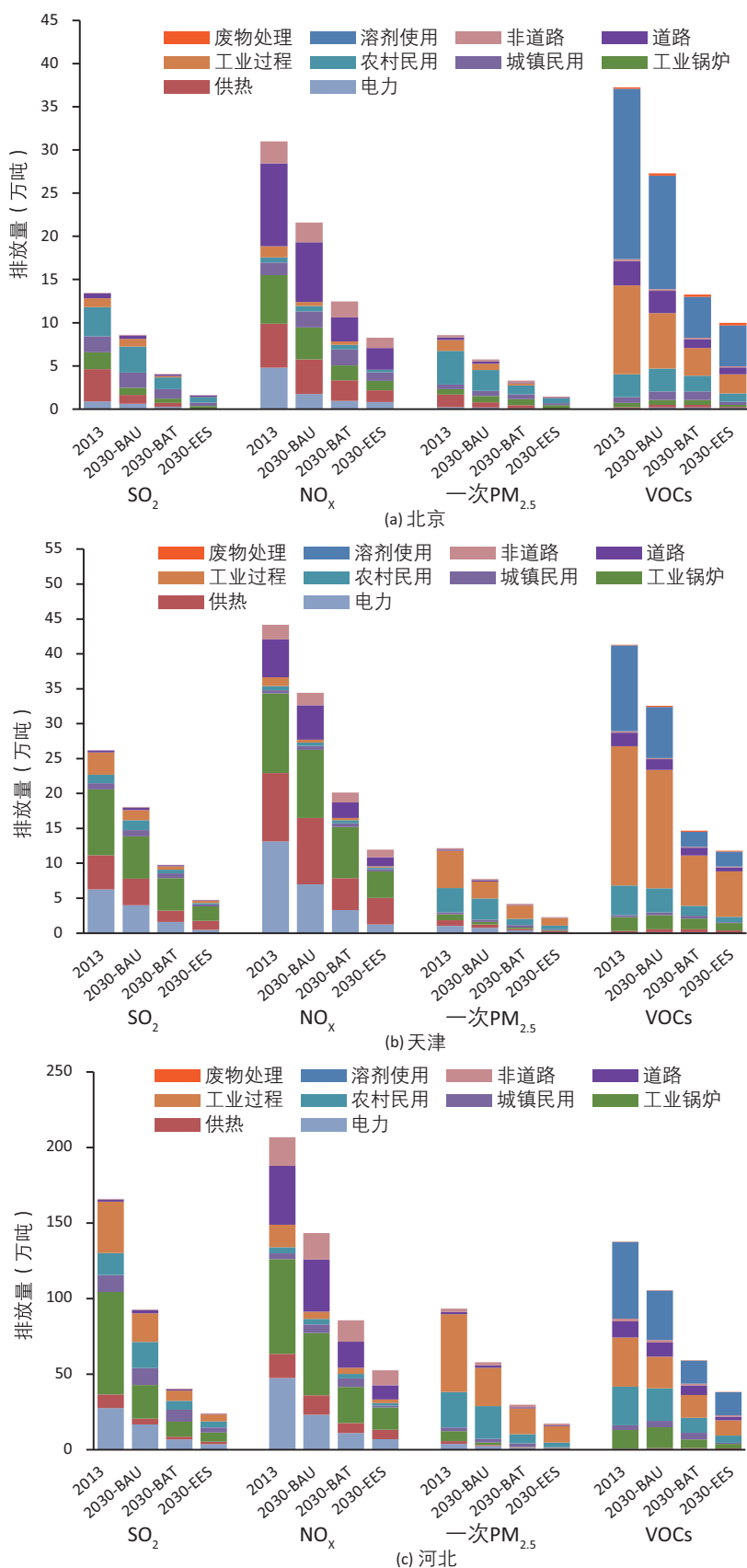


图3-2 不同情景下京津冀地区分行业的污染物排放量变化



从图3-2可以看到，基准情景下，现有政策可将2030年的SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、一次PM<sub>2.5</sub>、VOCs排在2013年基础上削减1/3左右。最佳技术情景下，强化末端控制、提高控制效率可使SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、一次PM<sub>2.5</sub>、VOCs排在2013年基础上分别削减约73%、58%、67%、57%。强化情景下，进一步调整京津冀地区能源、产业结构，可使SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、一次PM<sub>2.5</sub>、VOCs排在2013年基础上分别削减约85%、74%、82%、72%。

从图3-2还可以看到，结构调整对SO<sub>2</sub>、一次PM<sub>2.5</sub>的减排效果比较明显，强化末端控制对NO<sub>x</sub>、VOCs的减排效果比较明显。

### 3.4 强化情景下各项措施的减排贡献

强化情景各项措施对京津冀地区SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、一次PM<sub>2.5</sub>、VOCs的减排贡献如图3-3所示。可以看到，燃煤锅炉脱硫对SO<sub>2</sub>减排贡献最大（35%），能源结构调整次之（26%）；机动车减排、电厂脱硝、燃煤锅炉脱硝对NO<sub>x</sub>减排贡献相当，分别为25%、24%、22%；对一次PM<sub>2.5</sub>减排贡献最大的是工业窑炉除尘升级（27%），其次是能源结构调整（23%）；溶剂使用减排对VOCs减排贡献最大（39%），其次是重点行业VOCs末端控制（26%）。

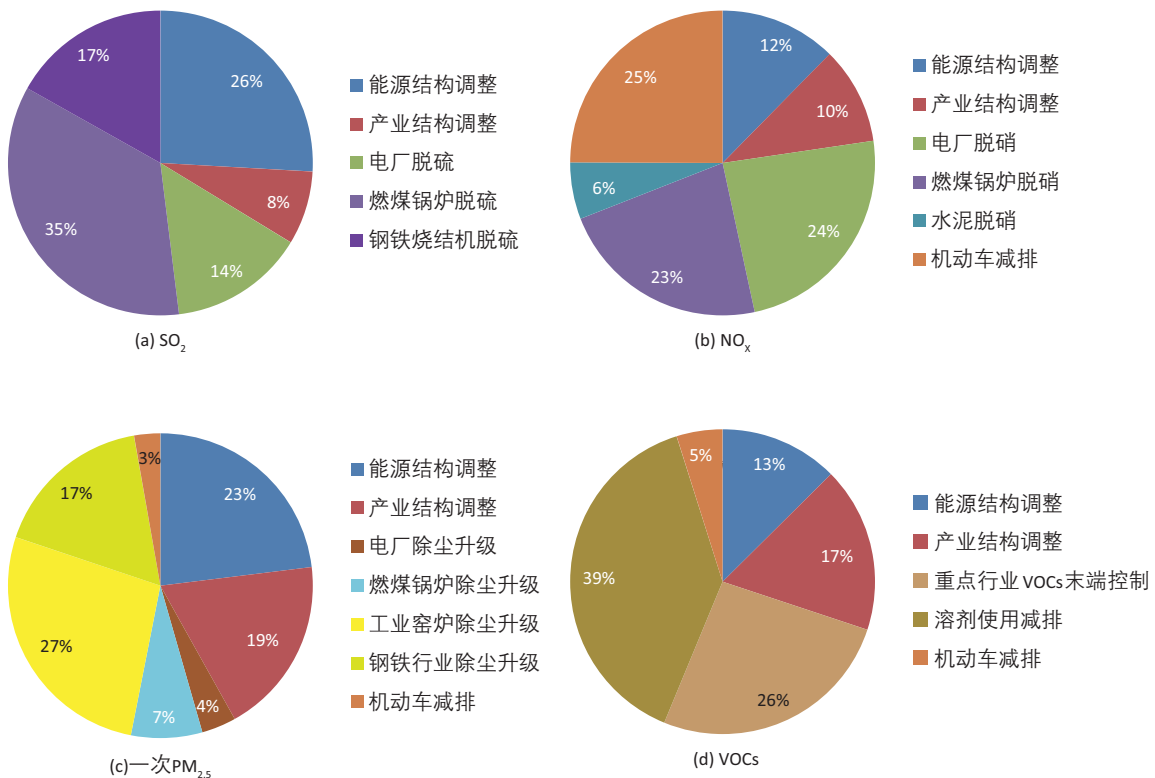


图3-3 强化情景各项措施对京津冀地区主要污染物减排的贡献

### 3.5 强化情景下温室气体减排的协同效应

京津冀地区大气污染治理同时可以带来温室气体（CO<sub>2</sub>）的减排。强化情景下，2030年京津冀地区将在2013年排放基础上减排约2.1亿吨CO<sub>2</sub>，下降率达19%。

能源结构减排措施（包括“煤改气”、外输电、发展非化石能源等）和产业结构调整减排措施（包括削减钢铁、水泥、焦化产能等）对京津冀地区CO<sub>2</sub>减排的贡献分别为78%和22%。

## 4. 京津冀 2030 年空气质量改善效果分析

### 4.1 不同情景下京津冀地区2030年的PM<sub>2.5</sub>年均浓度

基于建立的2013年和2030年排放清单，采用CMAQ模型模拟不同情景下2030年京津冀地区PM<sub>2.5</sub>污染状况，结果如图4-1所示，目标年和基准年采用相同的气象条件（2013年气象场）。

模拟结果显示，基准情景、最佳技术情景、强化情景均可明显改善京津冀地区的空气质量，但仅有强化情景可使京津冀地区全面达标。强化情景下，北京市、天津市和河北省PM<sub>2.5</sub>年均浓度将由2013年的89.5μg/m<sup>3</sup>、96μg/m<sup>3</sup>、108μg/m<sup>3</sup>降至2030年的23.2μg/m<sup>3</sup>、28.0μg/m<sup>3</sup>、28.2μg/m<sup>3</sup>，相应降幅分别为74%、71%、74%。但由于河北省各个城市PM<sub>2.5</sub>年均浓度差异较大，因此改善效果也存在差异，2030年强化情景下河北省各城市PM<sub>2.5</sub>浓度如图4-2所示。从图中可以看到，各城市均能达标，但部分城市与标准限值非常接近，存在一定超标风险。

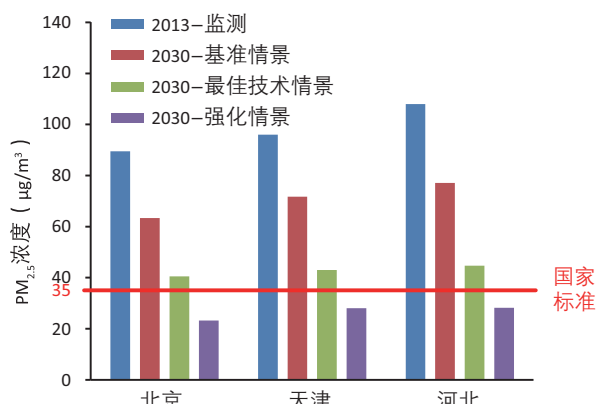


图4-1 不同情景下的京津冀地区PM<sub>2.5</sub>年均浓度改善

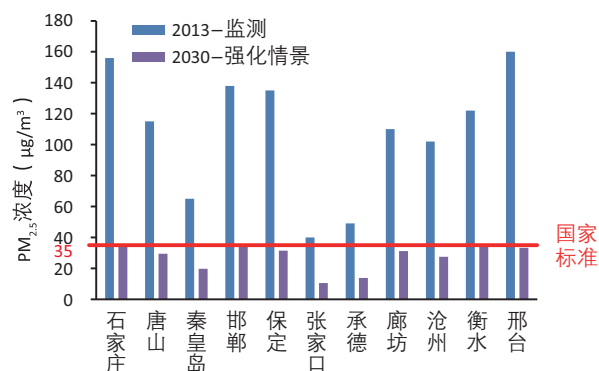


图4-2 河北省各城市强化情景下的PM<sub>2.5</sub>年均浓度改善

### 4.2 强化情景下京津冀地区PM<sub>2.5</sub>年均浓度下降中各组分的贡献

颗粒物各不同组分，包括元素碳（EC）、硝酸盐（NO<sub>3</sub><sup>-</sup>）、硫酸盐（SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>）、铵盐（NH<sub>4</sub><sup>+</sup>）、有机组分（OM）、其他组分（其他），在强化情景下对北京、天津、河北PM<sub>2.5</sub>年均浓度下降的贡献如图4-3所示。可以看出，京津冀地区PM<sub>2.5</sub>年均浓度下降中，有机组分和其他组分的贡献最大，硫酸盐和硝酸盐的贡献也相对较明显；北京市元素碳的贡献也较明显。

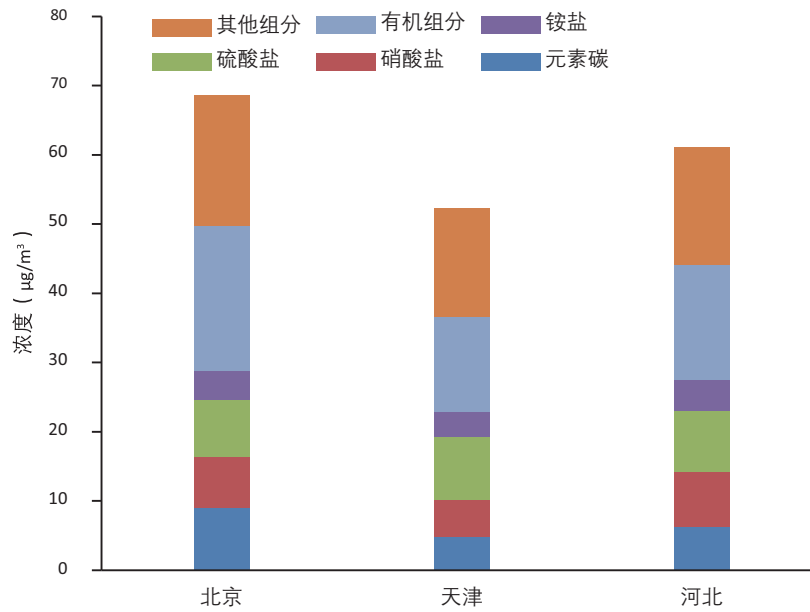


图4-3 强化情景下京津冀地区PM<sub>2.5</sub>年均浓度下降中各组分的贡献

进一步分析对比PM<sub>2.5</sub>各组分2030年相比2013年的绝对、相对变化情况（图4-4）和SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、VOCs等污染物排放量的变化情况（图3-2），可以发现：

1. 硫酸盐在三个省份的降幅明显，分别为66.9%、64.2%、65.1%，但低于SO<sub>2</sub>排放的降幅（约80%）。
2. 硝酸盐在三个省份的降幅较为显著，分别为44.3%、37.4%、41.9%，但远低于NO<sub>x</sub>排放的下降幅度（70~75%）。
3. 京津冀地区有机组分的下降幅度与VOCs排放的降幅基本一致，约为70%。

PM<sub>2.5</sub>

SO<sub>2</sub><sup>-</sup>

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

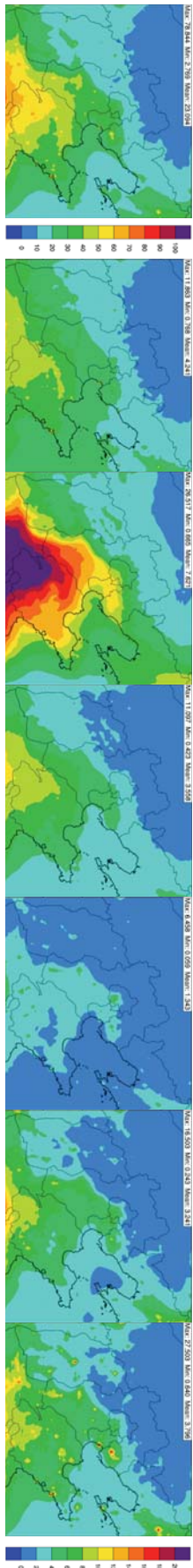
NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

EC

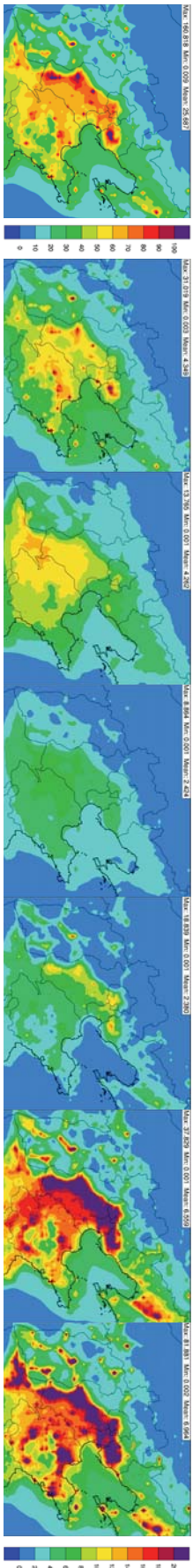
OM

其他

2030 单位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



(2013-2030) 单位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



(2013-2030) / 2013

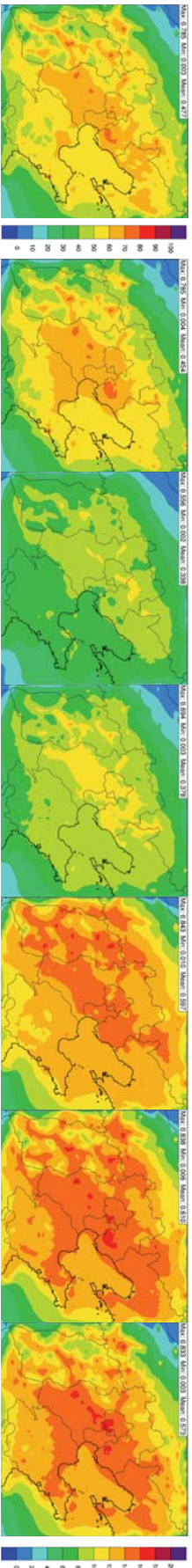


图4.4 强化情景下京津冀地区2030年PM<sub>2.5</sub>及其各组分年均浓度的空间分布及与2013年的绝对、相对变化







## 5. 政策措施建议

根据不同情景下的污染物减排量及相应的空气质量改善效果，本报告建议在2030年前强化并落实以下政策措施：

### 1. 产业结构大幅调整，一次能源需求增长放缓：

- 京津冀地区未来长期发展模式走向以服务业为主的经济发展格局，高耗能工业产量不再增长或者开始下降，重工业占主导地位的模式在2030年之前实现转型。
- 北京除了城市工业以外，其他工业基本不再存在。天津市已有的大型重工业发展将不再继续发展，不再新建类似产业。河北将持续发展综合性的工业体系，“两高”行业产品产量得到控制。
- 京津冀地区一次能源需求量增速放缓，一次能源需求量在2030年基本达到峰值。

### 2. 能源结构进一步清洁化，煤炭消费比例大幅下降：

- 控制煤炭消费总量。河北省重点削减发电供热、炼焦及工业高耗能行业（冶金、建材等）的煤炭量。天津和北京也大幅度削减煤炭用量，削减重点为高耗煤行业和发电供热行业。
- 清洁能源替代。加大天然气、液化石油气、太阳能等清洁能源的供应和推广力度，逐步提高城市清洁能源使用比重。

- 提高外购电和新能源发电比例。

### 3. 全面实施最佳可行技术：

- 京津冀地区所有燃煤发电实现超低排放。
- 河北、天津的钢铁企业全面升级改造安装高效除尘器，如袋式除尘器、电袋复合除尘器等，加强无组织排放管控。钢铁企业烧结机全面安装脱硫设备，脱硫效率不低于85%。
- 河北、天津的工业窑炉全面升级改造为袋式除尘器或电袋复合除尘器，水泥行业全部开展低氮燃烧技术和末端脱硝治理。
- 京津冀地区全面淘汰中小锅炉及落后炉型，全面开展脱硫、脱硝及除尘升级改造。
- 天津、河北的炼焦、表面涂装、包装印刷等重点行业的VOCs平均去除效率不低于70%。
- 氨排放管控得到有效加强。2030年，天津、河北的畜牧养殖业集约化比例大于70%，化肥施用量得到有效控制，新型肥料缓释和控释技术得到大范围推广。

### 4. 大力控制交通污染：

- 机动车总量限制，大力推广新能源汽车，建立更加便捷的交通网络，提高城市公共交通承担率。

## 6. 不确定性分析

本研究立足结构调整和末端控制两类措施，设置了基准情景、最佳技术情景和强化情景三种不同情景，并量化得到了不同情景下的能源消费、产业结构以及末端控制水平，进而采用CMAQ模型模拟了京津冀地区不同情景下2030年PM<sub>2.5</sub>年均浓度的降低效果，在进行空气质量改善效果评估时采用了偏于保守的方式。为鉴别影响京津冀地区PM<sub>2.5</sub>污染的其他影响因素，本研究进行了简单的不确定性分析，主要有：

### 1. 气象条件年际变化的影响

本研究模拟时采用了2013年气象条件，已有研究表明2013年的气象条件较为极端。建议在进行目标考核时增加气象条件的修正系数，或者借鉴国际经验采用三年空气质量平均值作为考核依据，以更客观地反映污染物减排程度。

### 2. 全国其他地区减排的影响

本研究评估不同情景下京津冀区域的减排效果时，考虑了全国其他地区的空气质量改善情况，但若全国其他地区的排放水平与基准情景相同，在强化情景中，将

使北京、天津、河北的2030年PM<sub>2.5</sub>年均浓度分别增加22 μg/m<sup>3</sup>、21 μg/m<sup>3</sup>、16 μg/m<sup>3</sup>，也即2030年北京、天津和河北的PM<sub>2.5</sub>年均浓度下降幅度减少15~25个百分点。

### 3. VOCs的减排措施较难量化

工业过程和溶剂使用是VOCs的主要来源，本研究情景分析中加强了对重点工业过程及溶剂使用的VOCs排放控制，但目前我国仍然缺乏健全的排放标准体系和监测体系，因此执行力差，量化困难，制定重点行业挥发性有机物排放标准和完善在线监测系统是PM<sub>2.5</sub>浓度改善的保障。

### 4. NH<sub>3</sub>的减排措施较难开展

化肥施用和畜禽养殖是NH<sub>3</sub>排放的重要来源。我国目前对农业面源治理尚未出台明确的方案或标准，因此针对农业面源NH<sub>3</sub>的减排措施较难开展，改善效果较难评估。需重视和强化农业面源污染治理，确保措施执行的有效性，以达到PM<sub>2.5</sub>浓度显著下降的环境目标。

# 中国清洁空气联盟

中国清洁空气联盟由十家中国清洁空气领域的核心科研院所共同发起，拟为中国的省市提供一个有效的平台，一方面以推广国内外先进的理念、经验、技术、工具；另一方面，加强省、城市以及科研机构之间的交流协作。联盟的目标是支持中国的省和城市改善空气质量，减少空气污染对公共健康的危害。联盟的参与方包括科研院所、相关省市、以及关注清洁空气的公益机构和相关企业等。联盟由指导委员会指导工作，并下设秘书处开展日常的管理和协调工作。

**十家发起机构包括：**清华大学、环保部环境规划院、环保部环境工程评估中心、复旦大学、南京大学、北京师范大学、环保部环境科学研究院、北京大学、环保部机动车排污监控中心、中国人民大学

**发起支持机构：**能源基金会



# CAAC



## 中国清洁空气联盟秘书处

北京市朝阳区建外大街甲24号东海中心709

电 话：+86-10-65155838

电子邮箱：cleanairchina@iccs.org.cn