



第十四届中国城市空气质量管理研讨会

# 中国空气质量政策治理费用效益综合评估：以河北为例

张少辉<sup>1,2</sup>, Markus Amann<sup>2</sup>, Jens Borken-Kleefeld<sup>2</sup>, Janusz Cofala<sup>2</sup>, Adriana Gomez-Sanabria<sup>2</sup>, Zbigniew Klimont<sup>2</sup>, Gregor Kiesewetter<sup>2</sup>, Wolfgang Schoepp<sup>2</sup>, Fabian Wagner<sup>2</sup>, Wilfried Winiwarter<sup>2</sup>, 衣博文<sup>1</sup>, 谢杨<sup>1</sup>, 徐萌<sup>1</sup>, 王洪华<sup>3</sup>, 陆雅静<sup>3</sup>

1 北京航空航天大学

2 International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) 国际应用系统分析研究所

3 河北省环境科学研究院

2019年12月13日，成都

# 项目背景

- 中国发布了《大气污染与控制行动计划》，并首次将环境细颗粒物 (PM2.5) 浓度降低18%作为2016 - 2020年“十三五”规划的约束性目标。
- 河北省政府共同启动了《河北省大气污染防治规划》和《河北省打赢蓝天保卫战三年行动方案》，目标是减少河北省重点领域中特定空气污染物的排放。

## 河北省结果导向型贷款大气污染防治项目

实施在线监测系统标准操作规程的省级和市县级环保部门数量

在线监测系统中国控和市控企业在河北省国控和市控企业中所占的比例

符合技术排放标准并得到世行认可的清洁炉具安装数量

应用测土配方肥后，氮肥利用率提高到37%

新能源公交车替代柴油公交车的数量

建立河北省综合大气污染物排放清单

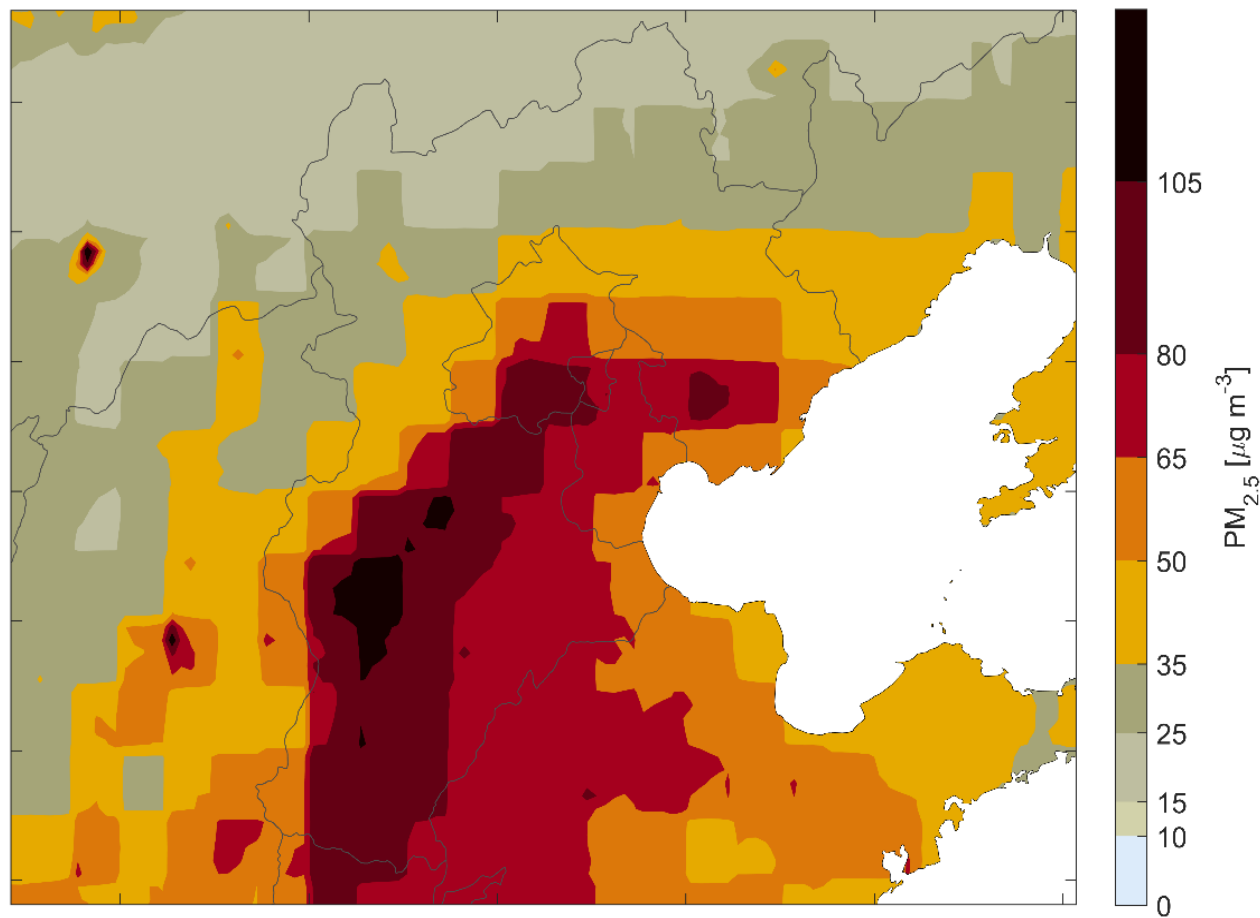
河北省制定基于费用效益评估的大气污染治理五年计划

 IIASA GAINS HEB

河北省空气质量管理  
费用效益综合评估

# 项目目标

- ❖ 在国际应用系统分析研究所（IIASA）支持下，北京航空航天大学与河北省环境科学研究院利用开发的GAINS-河北模型，评估实施三年行动计划下河北省空气质量改善方案的潜力，为河北省未来空气质量控制制定一个具有成本效益的综合计划提供支撑。

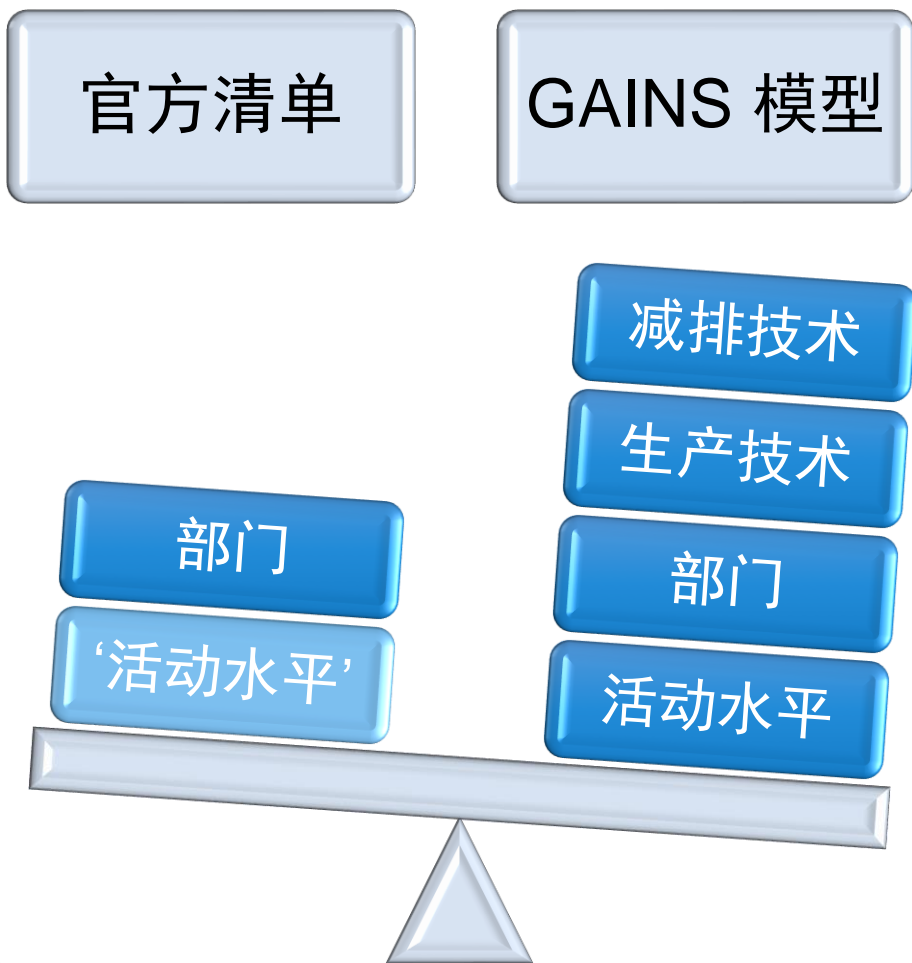


2015年河北省PM<sub>2.5</sub>年均浓度分布

通过此项目的实施使河北省环境科学研究院在GAINS模型进行大气质量费用效益政策评估方面队伍建设，为其他省份提高经验借鉴。

# 温室气体-空气污染协同与费用效应分析系统综合评估模型 Greenhouse gas-Air pollution Interactions and Synergies (GAINS)

## 官方清单与GAINS模型清单特征



GAINS 广泛应用于全球，欧洲，亚洲，荷兰，德国，法国，瑞典等国家和地区；

GAINS-中国（北京大学，北京航空航天大学，清华大学，发改委能源所等高校和研究机构）；

GAINS-京津冀（中国环境科学研究院，北京航空航天大学，各省环境科学研究所）；

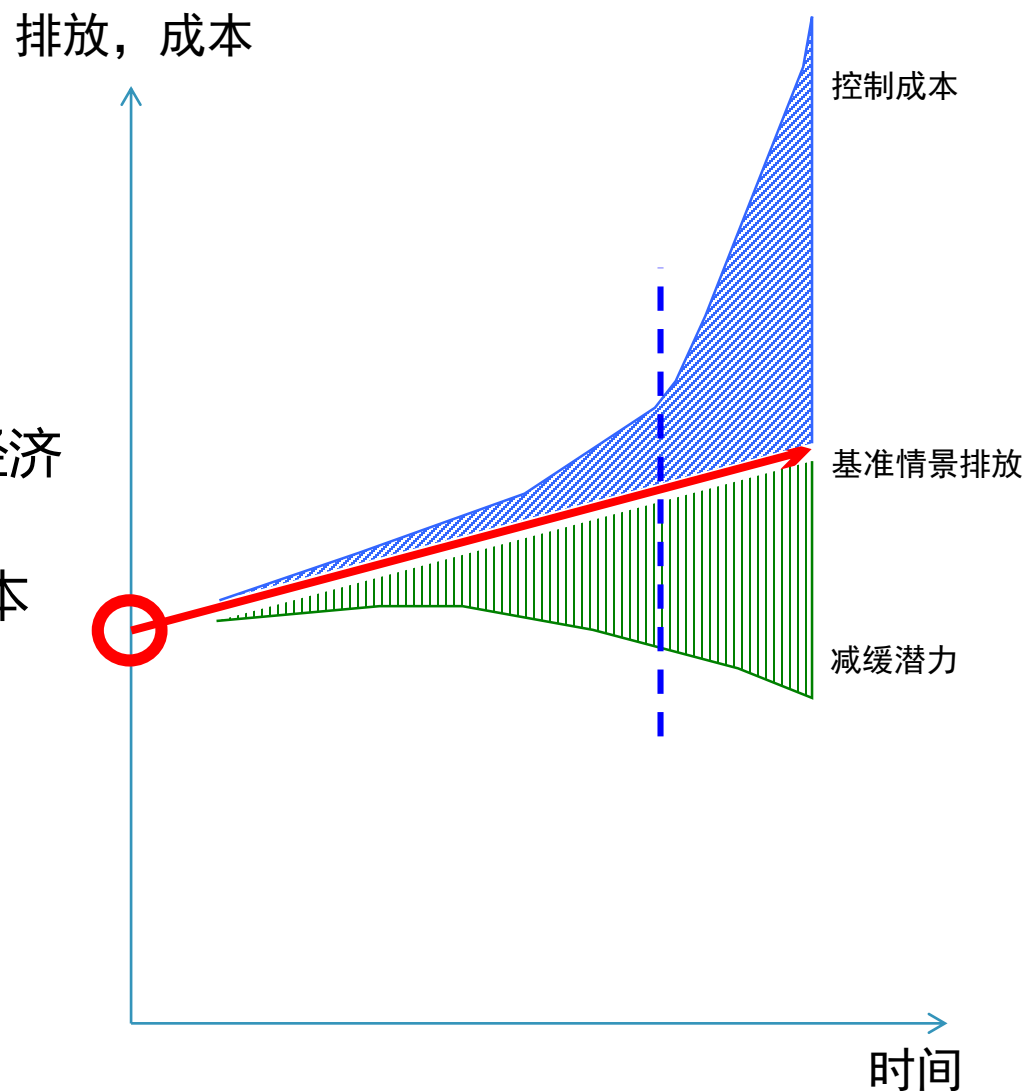
GAINS-河北（北京航空航天大学，河北省环境科学研究所）。

# 温室气体-空气污染协同与费用效应分析系统综合评估模型

## Greenhouse gas-Air pollution Interactions and Synergies (GAINS)

### 模型应用

- 理解/重现 报告污染物清单,
- 预测未来排放量,
- 评估减排潜力,
- 计算减排成本,
- 考量不同污染物的物理指标和经济指标之间的关联关系
- 评估实现指定约束/目标下的成本最优策略。

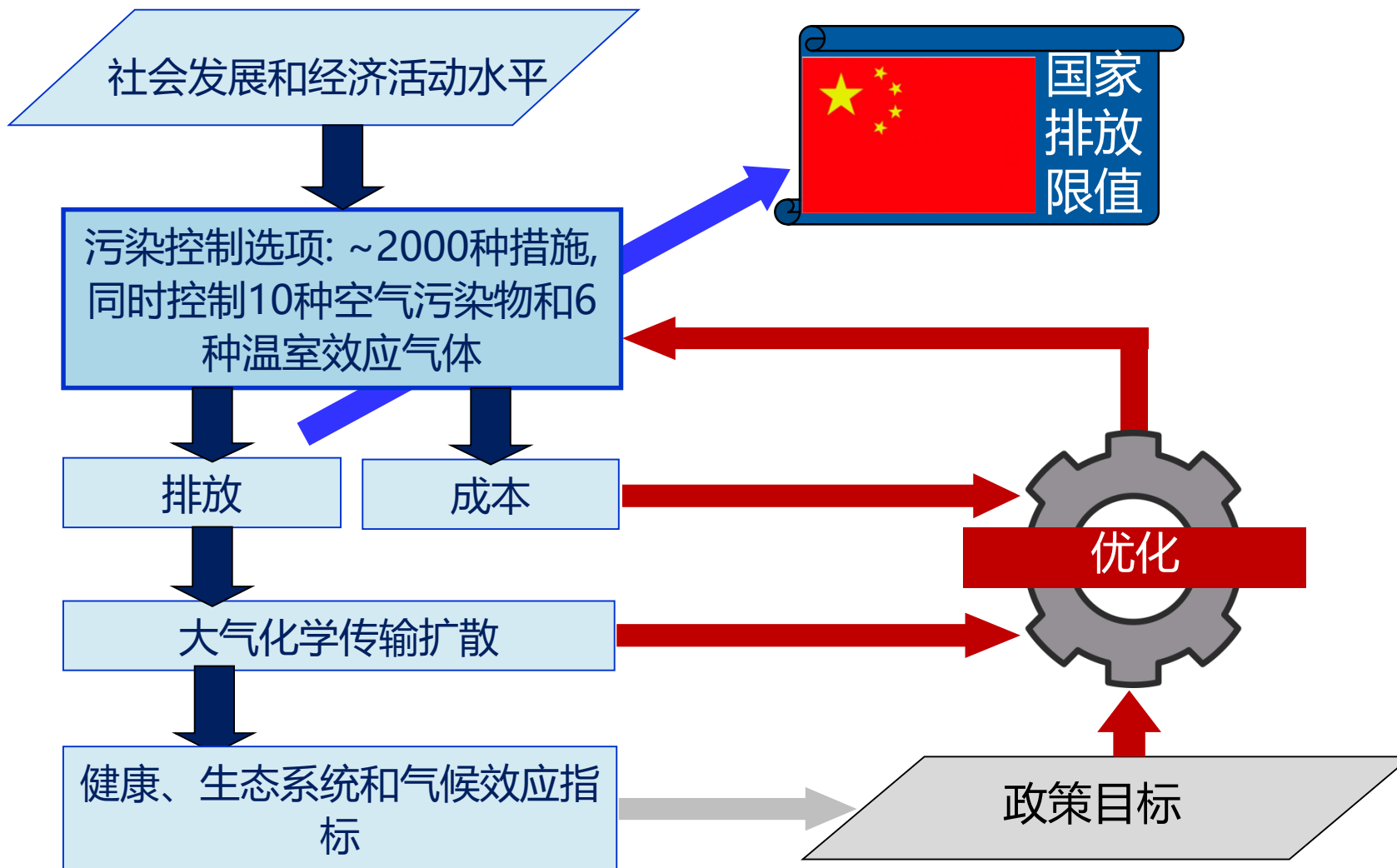


# 政策决策者关注的核心问题

如：2020年污染物减排量达到何种水平比较合理？

- 如果没有进一步的政策，2020年的排放量和影响将在哪里？
- 哪些减排量在技术上是可行的？
- 减排付出的成本？ -最优/非最优（是否经济有效？）
- 谁（哪个国家/地区）付钱？
- 他们愿意付多少钱？
- 谁受益？
- 是否公平？

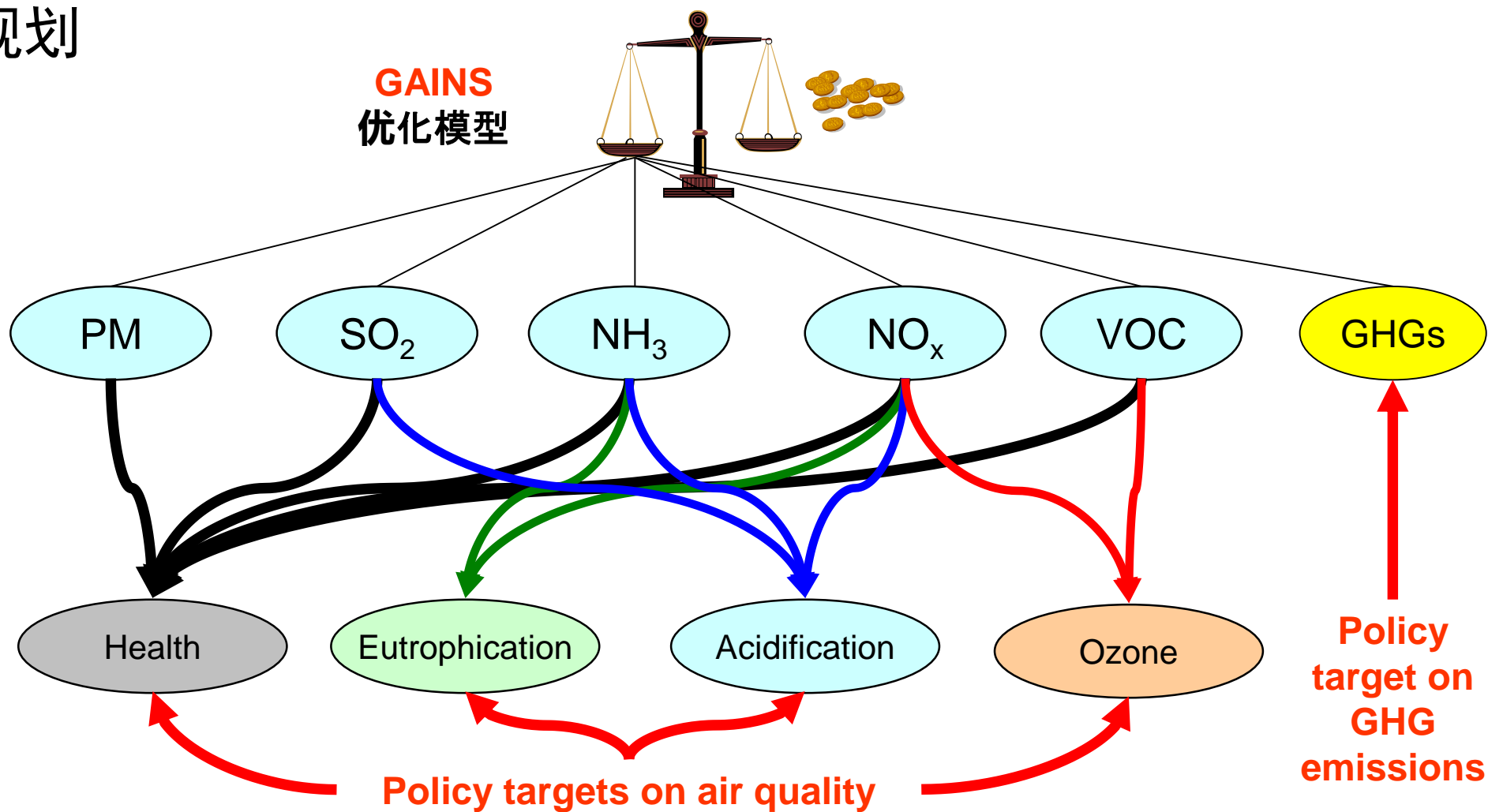
# 温室气体-空气污染协同与费用效应分析系统综合评估模型 Greenhouse gas-Air pollution Interactions and Synergies (GAINS)



# GAINS模型工作原理

## 评估温室气体-空气污染物的协同效应及其费用效益综合治理

### 战略规划





# 温室气体-空气污染协同与费用效应分析系统综合评估模型

## Greenhouse gas-Air pollution Interactions and Synergies (GAINS)

### 多污染物/多效应的系统分析视角

	PM (BC, OC)	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	VOC	NH <sub>3</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFCs PFCs SF <sub>6</sub>
<b>健康效应:</b>										
PM (预期寿命损失)	√	√	√	√	√					
O <sub>3</sub> (过早死亡)			√	√		√		√		
<b>植被损害:</b>										
O <sub>3</sub> (AOT40/通量)			√	√		√		√		
酸化 (酸沉降超临界负荷)		√	√		√					
富营养化 (超临界负荷)			√		√					
<b>气候效应:</b>										
长期效应 (GWP100)	(√)	(√)	(√)	(√)	(√)	(√)	√	√	√	√
短期效应	√	√	√	√	√	√	(√)	√	(√)	(√)
黑炭沉降对极地和冰川影响	√									

# 温室气体-空气污染协同与费用效应分析系统综合评估模型

## Greenhouse gas-Air pollution Interactions and Synergies (GAINS)

### 成本有效性分析

GAINS模型协助解决政策与科学之间的障碍:

决策者

GAINS模型

制定

评估措施的成本有效性和其鲁棒性:

中长期目标  
(如环境目标)

- 不同国家，部门和污染物之间的平衡
- 区域差异
- 已实施政策的影响
- 最大限度量化与政策的协同效应
- 寻找稳健策略

• 可接受的风险

• 可接受的支付成本

# 温室气体-空气污染协同与费用效应分析系统综合评估模型

## Greenhouse gas-Air pollution Interactions and Synergies (GAINS)

### GAINS排放计算原理

$$E_i = \sum_{j,k,m} E_{i,j,k,m} = \sum_{j,k,m} A_{i,j,k} ef_{i,j,k} (1 - eff_m) X_{i,j,k,m}$$

$i,j,k,m$	国家, 部门, 燃料, 减排技术
$E_i$	$i$ 国家排放
$A$	指定部门活动水平
$Ef$	“原气体/燃料” 排放因子
$eff_m$	减缓技术 $m$ 的去除率
$X_m$	减缓技术 $m$ 的普及率

# 温室气体-空气污染协同与费用效应分析系统综合评估模型

## Greenhouse gas-Air pollution Interactions and Synergies (GAINS)

### A 活动水平

#### 能源与产量数据

- 国际能源署国家统计数据(1990-2010)
- 国际能源署能源技术展望 (IEA/OECD, 2012) 全球预测至2050
- GAINS模型各子行业/部门的假设, 如, 交通工具分类, 炉子类型, 窑类型, 电力技术类型等。

#### 农业数据

- 历史数据 - 国际粮农组织, 联合国气候变化框架公约
- 预测数据 - 国际粮农组织全球展望 (FAO, 2012)
- GAINS模型将其分解成不同的生产系统

上述官方源数据需转换为GAINS模型所需的若干假设; 区域行业知识和国家专家的建议对这一过程至关重要, 尤其是交通与居民取暖部门。

# 温室气体-空气污染协同与费用效应分析系统综合评估模型

## Greenhouse gas-Air pollution Interactions and Synergies (GAINS)

*ef*

### SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, and PM排放因子

能源相关的排放因子:

- 原始排放因子取决于燃烧装置/设备, 燃料类型和燃料质量
  - 根据燃料质量指标进行计算
  - 基于典型装置的测量数据

交通部门排放:

- 基于实际交通工具活动情况 (燃油等级和燃油质量)

过程排放:

- 基于典型装置的测量数据

# 温室气体-空气污染协同与费用效应分析系统综合评估模型

## Greenhouse gas-Air pollution Interactions and Synergies (GAINS)

*eff*

*X*

### 控制措施（污染物控制技术）

- **控制措施特征**；综述当前控制措施的研究，捕捉区域差异，使其更加真实的反映现实情况
- 量化控制措施的多污染物影响，评估多污染物持续减排的协同与冲突。
- **当前控制措施普及率与研究周期内的实施空间。**（如，静电除尘技术在某一行业当前的普及率，静电除尘在延续当前政策下研究周期内的实施潜力）
- **控制措施最大的实施潜力** – 技术可行但不考虑经济因素的情况下，控制措施研究周期内理论上最大的实施潜力，评估减排情景中技术最大的减排潜力。
- **控制措施的区域成本可获取性？**

# 温室气体-空气污染协同与费用效应分析系统综合评估模型

## Greenhouse gas-Air pollution Interactions and Synergies (GAINS)



### GAINS模型中污染物之间的关联特征

- *Particulate matter (PM) – NO<sub>x</sub> – NMVOC – CO – NH<sub>3</sub>*:  
移动源具有共同的控制措施
- *PM – NMVOC – CH<sub>4</sub> – CO*:  
居民取暖具有共同的控制措施
- *N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> – NH<sub>3</sub>*:  
控制措施包含对其他污染物的影响
- *NO<sub>x</sub> – NH<sub>3</sub>*:  
选择性催化还原技术 (SCR) 与选择性非催化还原 (SNCR) 安装增加NH<sub>3</sub>排放
- *NO<sub>x</sub> – SF<sub>6</sub>, HFC, CO<sub>2</sub>*:  
相同特征交通工具中Nox控制措施对SF<sub>6</sub>, HFC, CO<sub>2</sub>的影响



# GAINS模型情景开发

情景类型	情景特征	
	共同特征	不同特征
基准情景 (Baseline, BL)	1) 研究周期: 2015年、2017年、2018年、2020年, 2022年和2025年;	维持2015年政策保持不变
政策情景 (Policy Scenario, PS)	2) 利用河北大气污染物排放清单, 统计数据 and 已有文献报道对GAINS模型2015年清单进行校正;	三年行动计划方案政策: 1) 调整产业结构, 打好去产能和退城搬迁攻坚战 2) 调整能源结构, 打好散煤整治和清洁替代攻坚战 3) 调整运输结构, 打好机动车(船)污染防治攻坚战 4) 调整用地结构, 打好扬尘面源污染综合治理攻坚战 5) 推进污染减排, 打好工业污染深度治理攻坚战

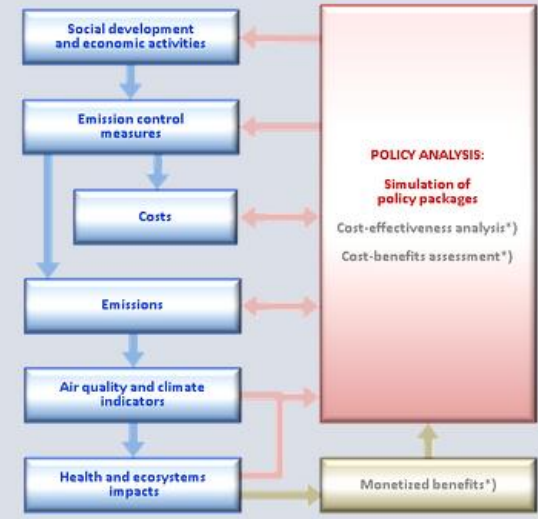


Greenhouse Gas - Air Pollution Interactions and Synergies

You are logged in as **shaohui** [Logout](#)  
[Basic mode](#) [Advanced mode](#)

- ▶ Activity data
- ▶ Emission controls
- ▶ Costs
- ▶ Emissions
- ▶ Help center

## The GAINS Basics mode



The GAINS model simulates the flow of pollutants from their sources to their multiple effects, and estimates costs and impacts of policy interventions.

**GAINS Basics mode** allows rapid exploration of the key features of pre-defined) policy intervention scenarios, inter alia:

- macro-economic assumptions,
- projected future energy use, agricultural activities, transport volumes and industrial production,
- assumed emission controls,
- costs of these measures,
- resulting air pollutant and greenhouse gas emissions,
- ambient air quality, and
- health and ecosystems impact indicators.

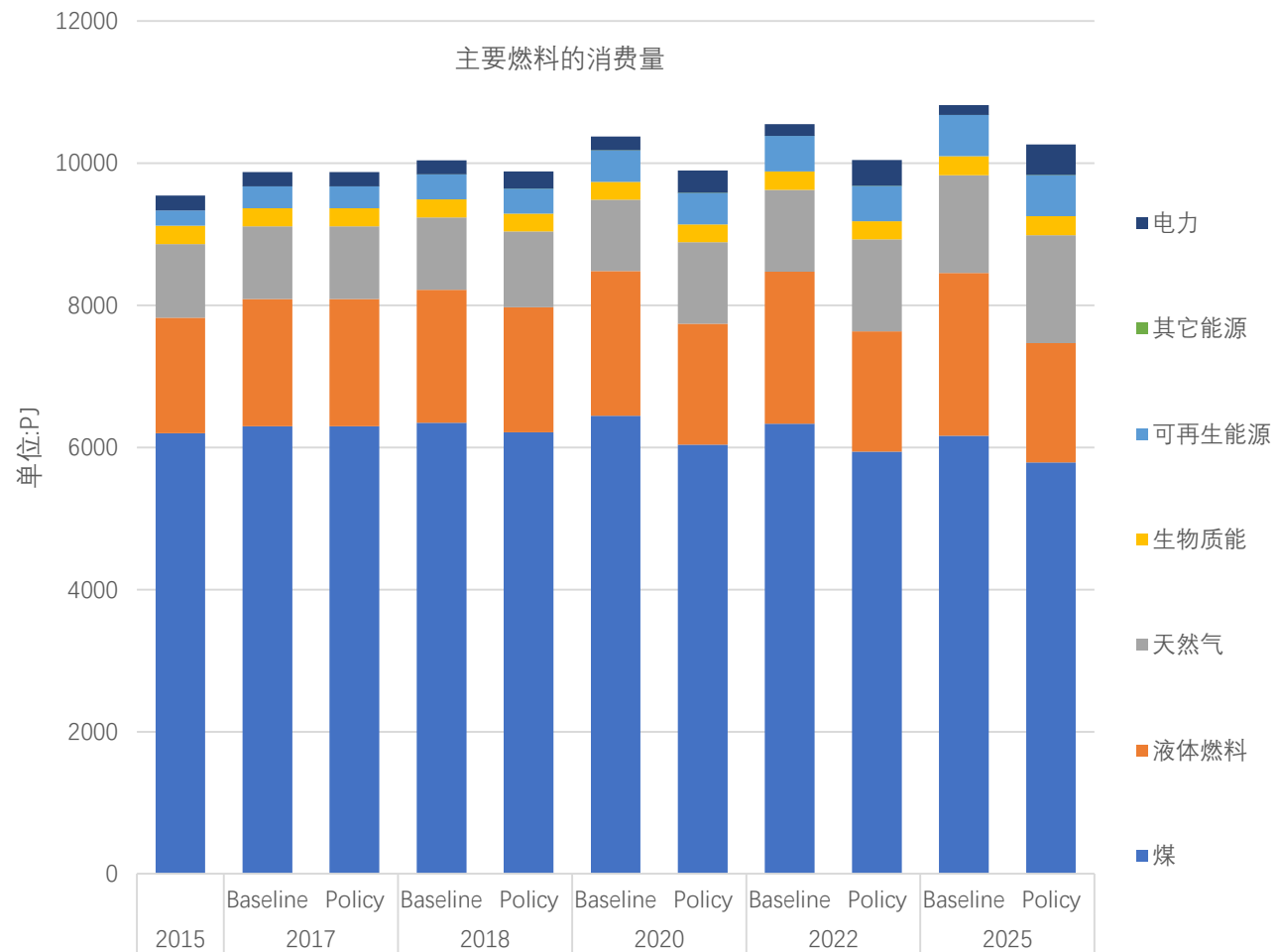
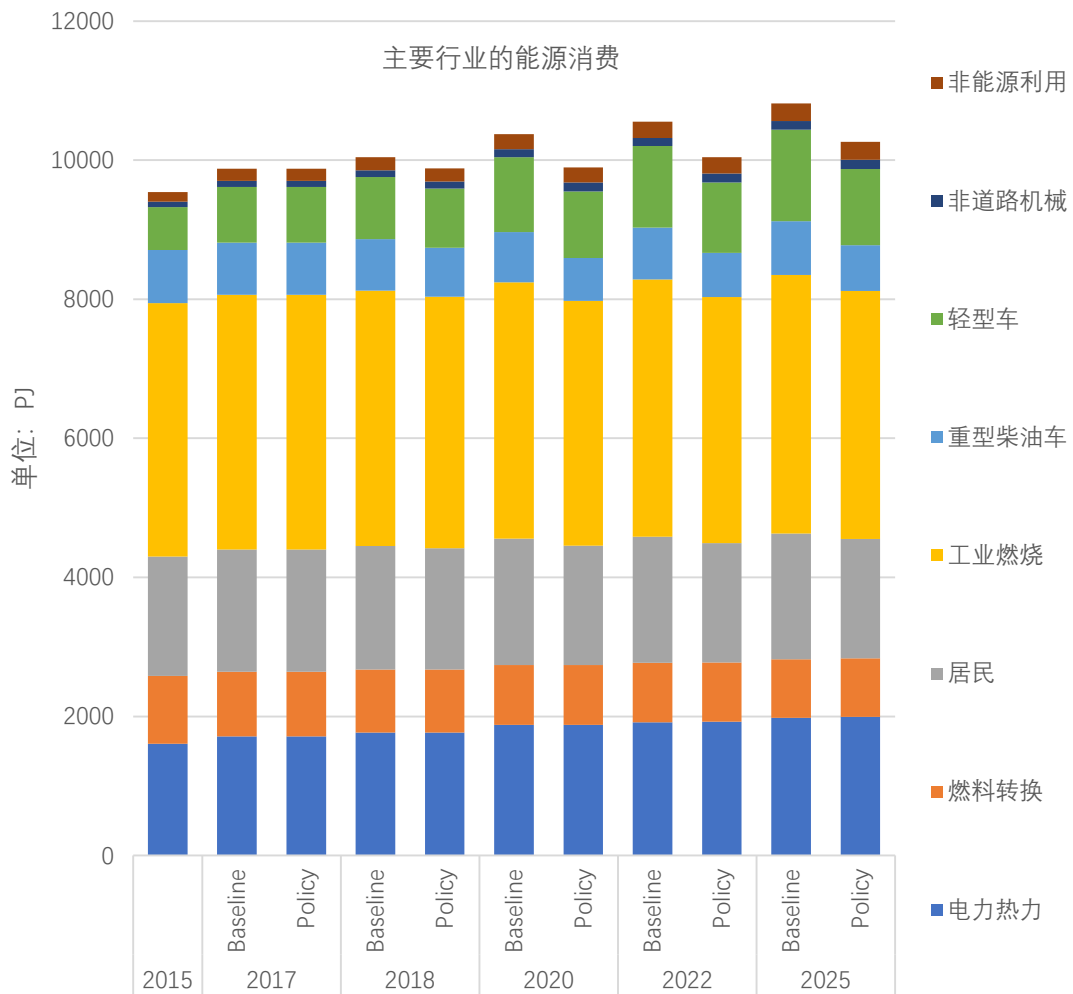
By choosing from the left menu, you can assess, for alternative policy intervention scenarios, assumptions, measures, costs and benefits for different regions and economic sectors and compare them with policy targets.



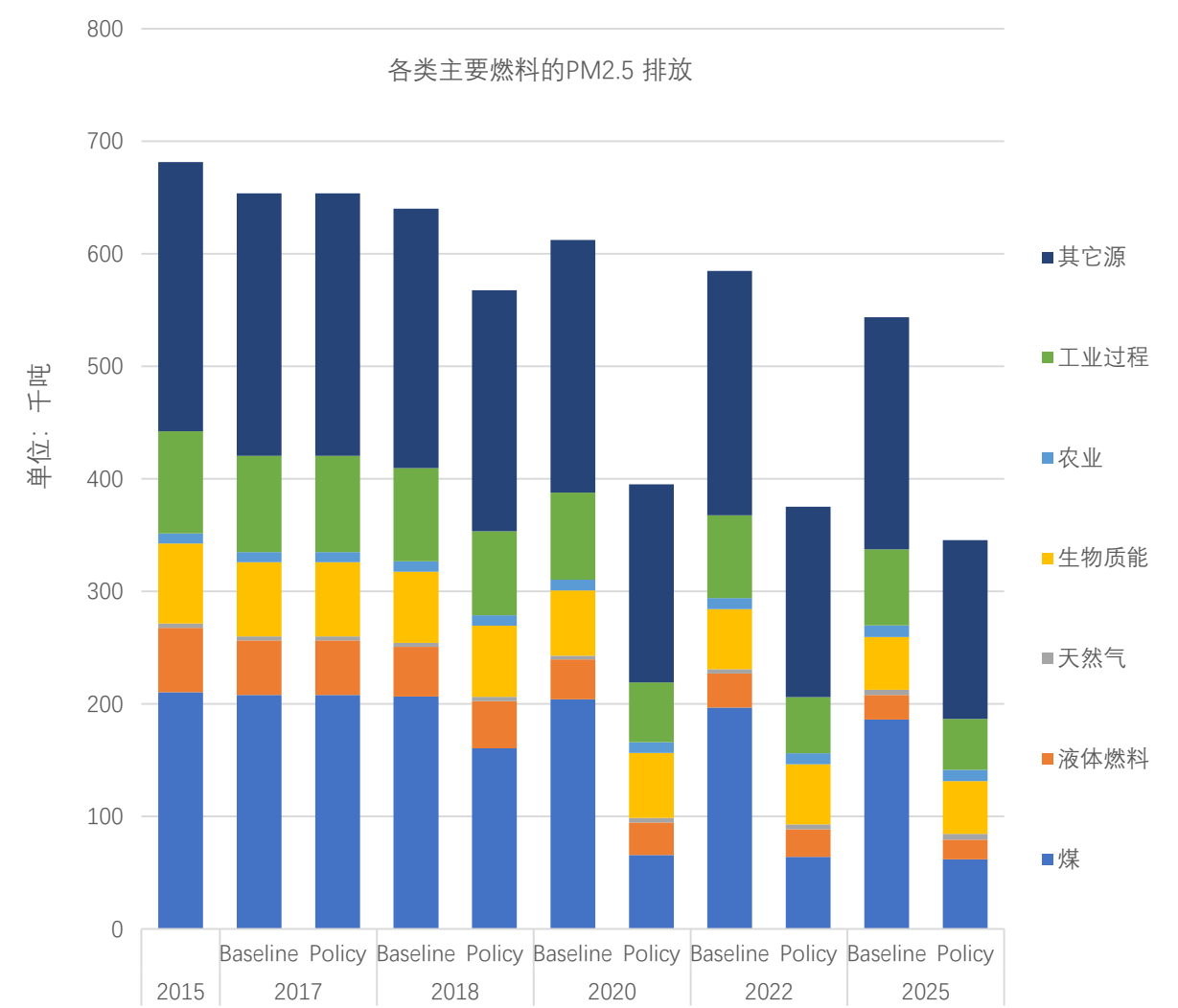
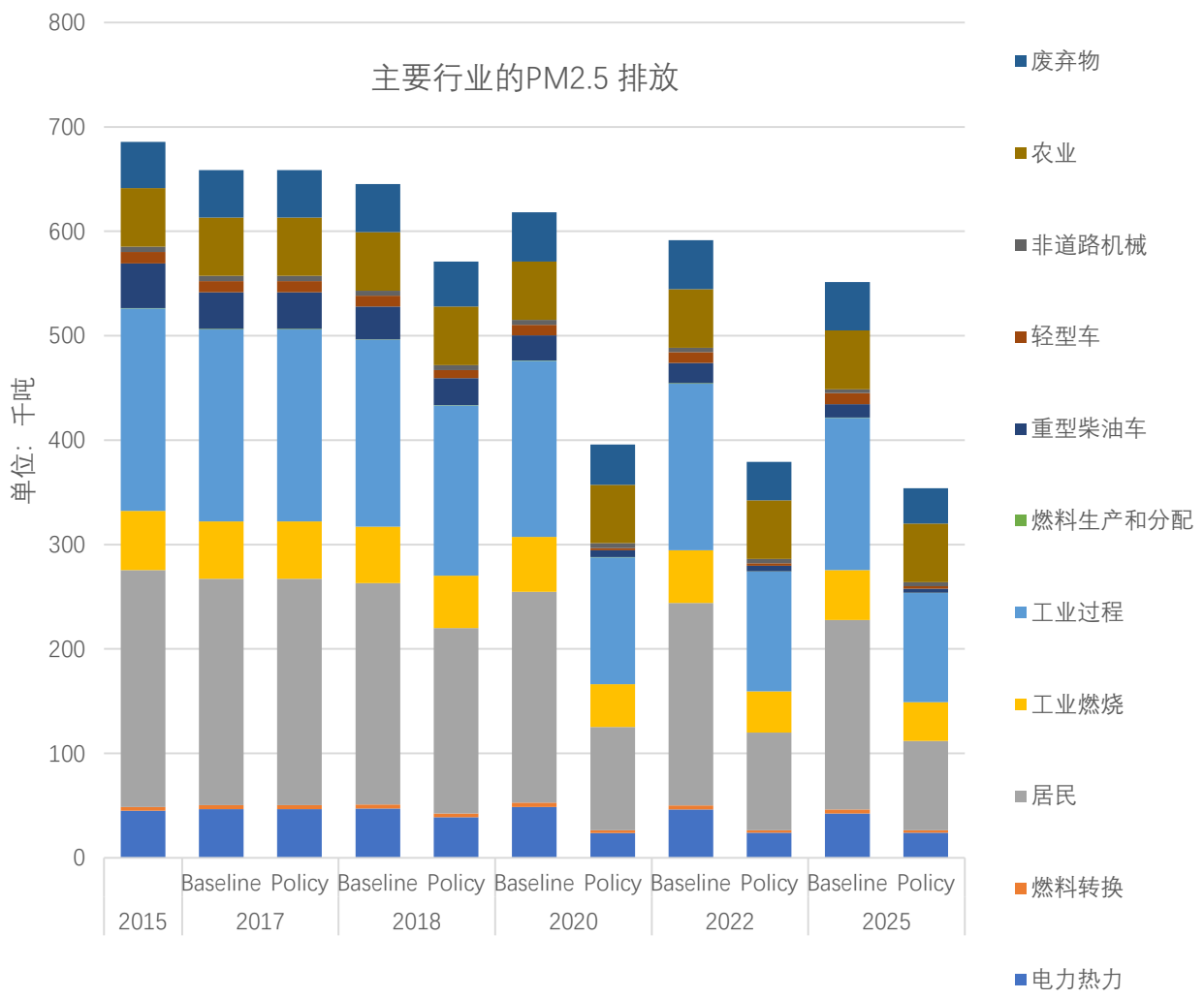
# GAINS 河北数据准备与需求

数据需求	IIASA GAINS 模型初始数据 (国际/官方数据)	根据国家专家建议进行改进
基准年和未来的活动水平	GAINS模型中部署的数据(国际能源署, 国际粮农组织, 联合国,等)	河北省清单数据, 经济年鉴与行业发展规划
排放因子	GAINS模型当前数据库包含反映区域特征的排放因子	基于河北省的控制技术措施进行矫正
排放控制; 去除率; 成本	GAINS模型当前数据库包含反映区域特征的排放因子	基于当地区域的技术措施进行矫正
已有/理论最大控制措施普及率	GAINS模型当前数据库包含反映区域特征的排放因子	基于河北省的空气污染物排放清单进行更新
大气扩散模式	GAINS 模型基于全球 & 区域大气扩散模型	利用河北省的监测站点数据对GAINS模型已有的扩散模块进行校正

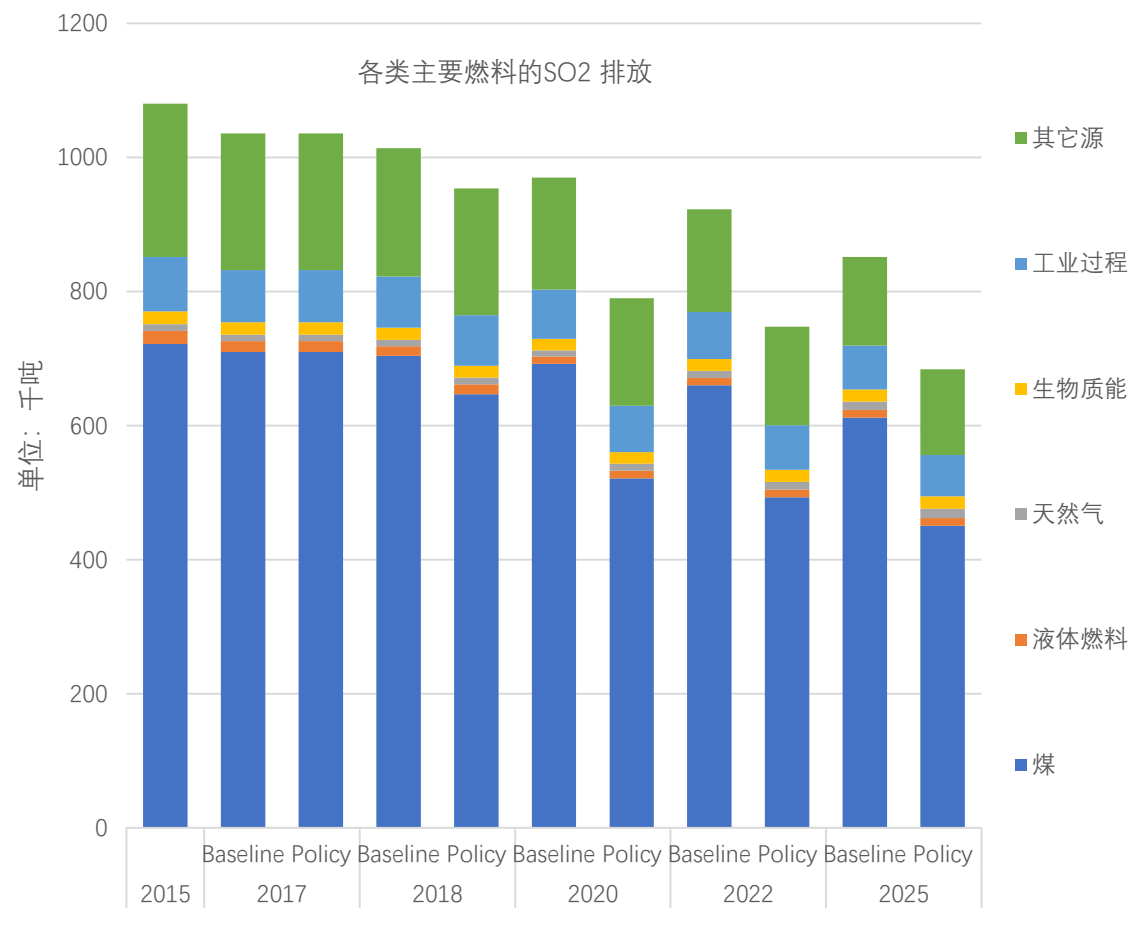
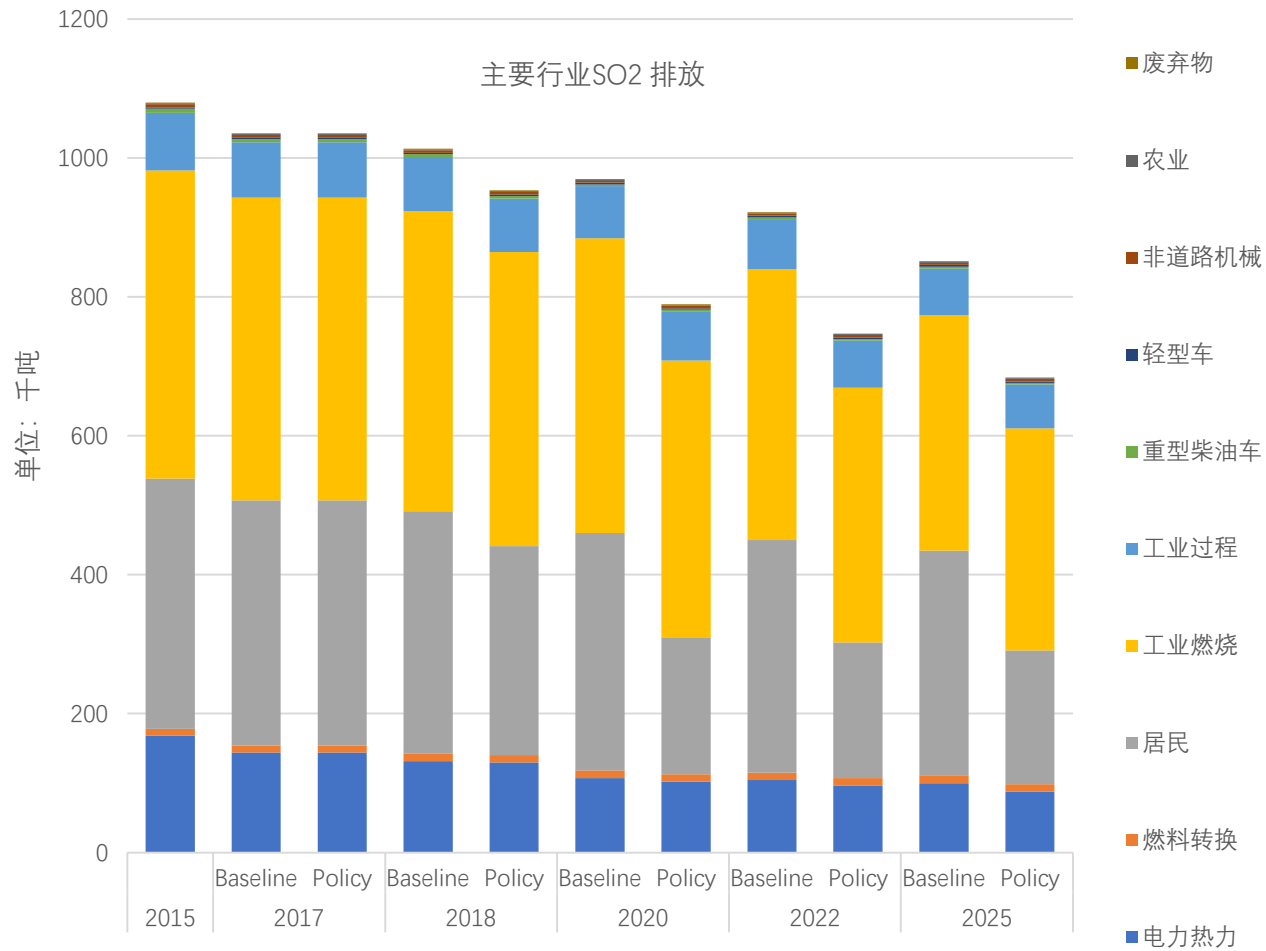
# 河北重点行业能源消费量



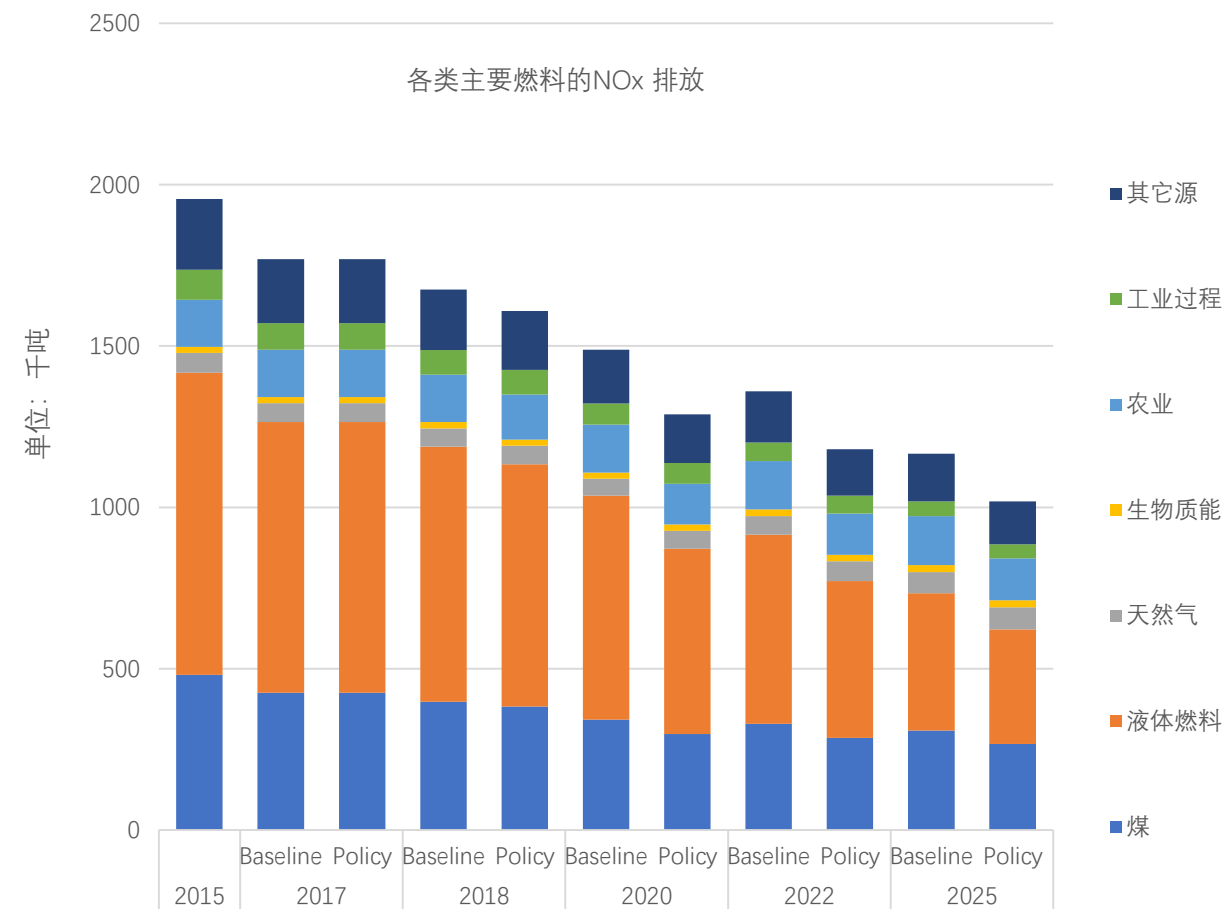
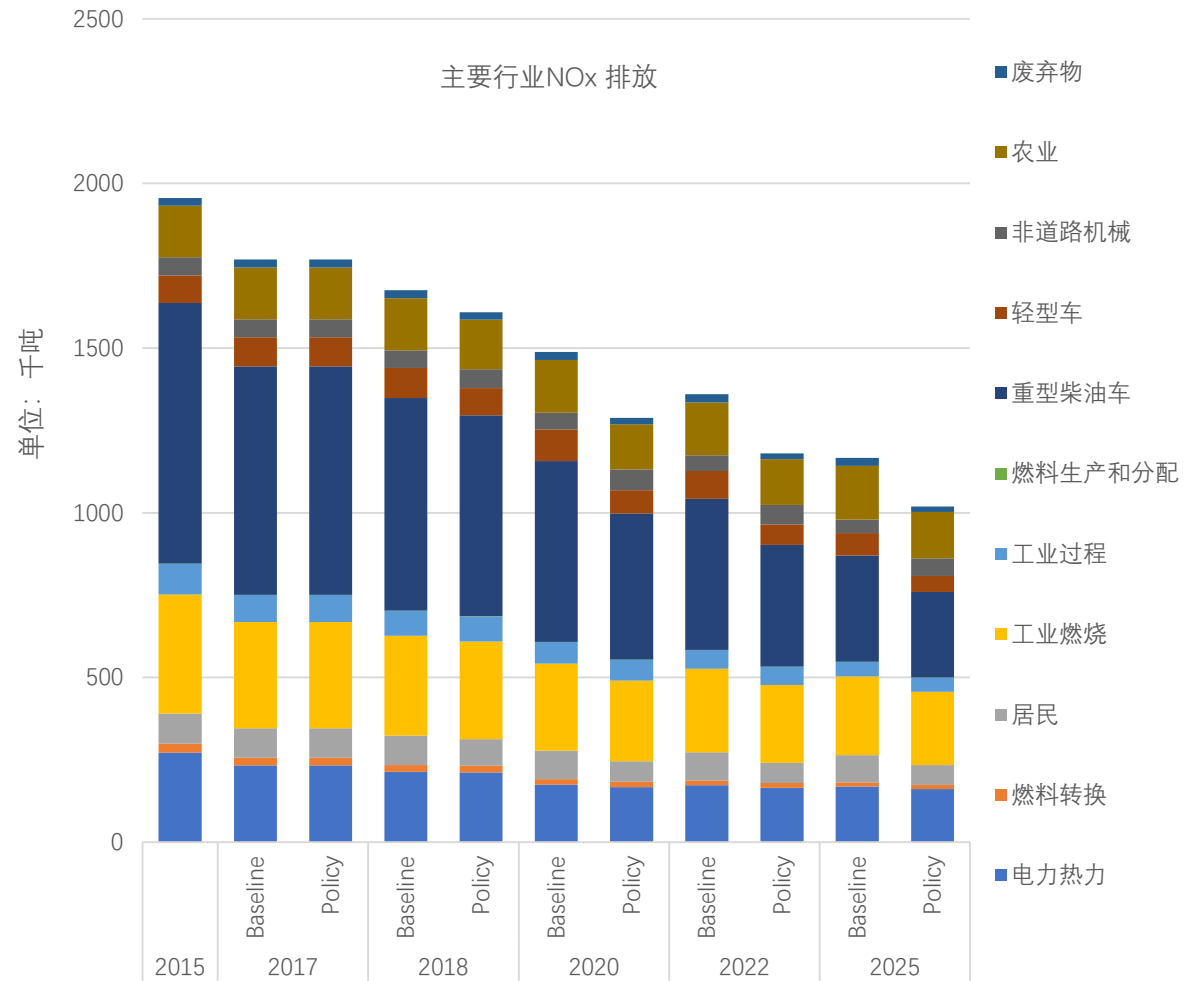
# 河北PM2.5重点行业排放量

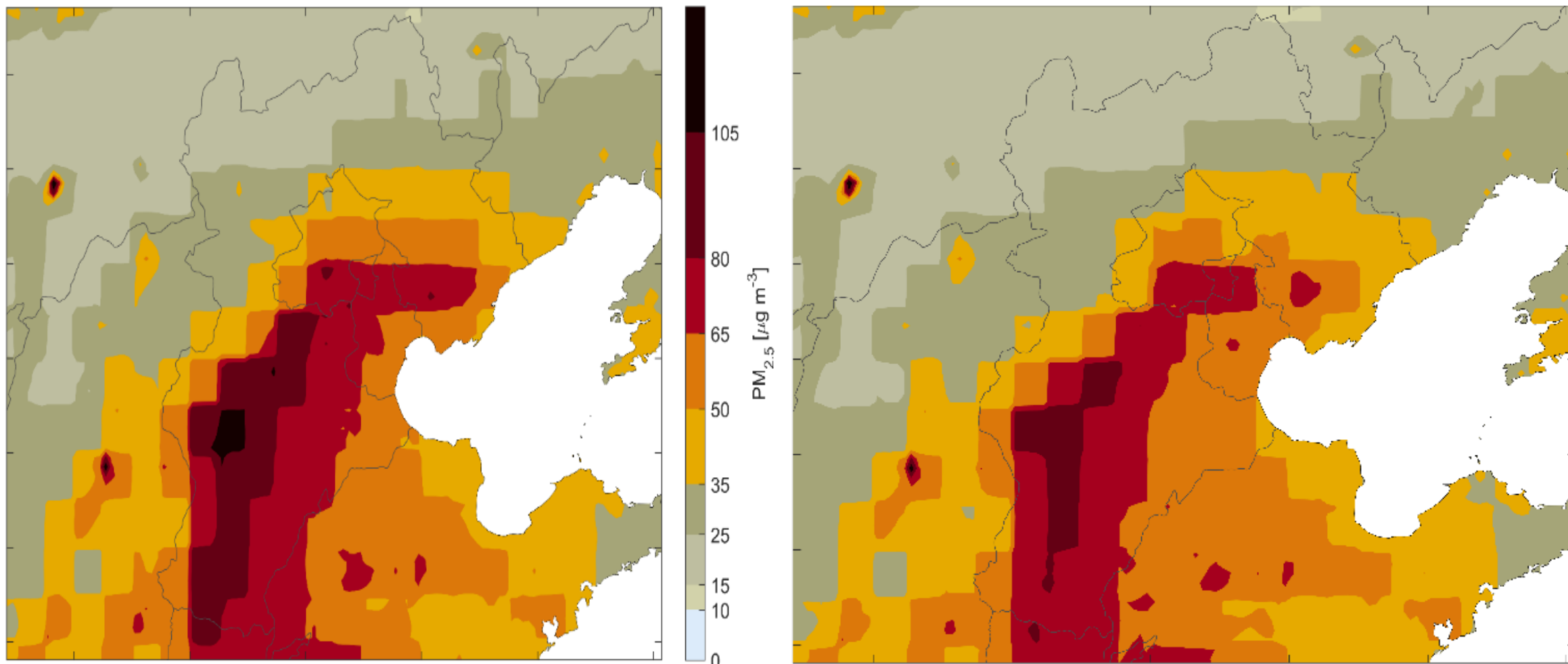


# 河北SO2重点行业排放量



# 河北NOx重点行业排放量

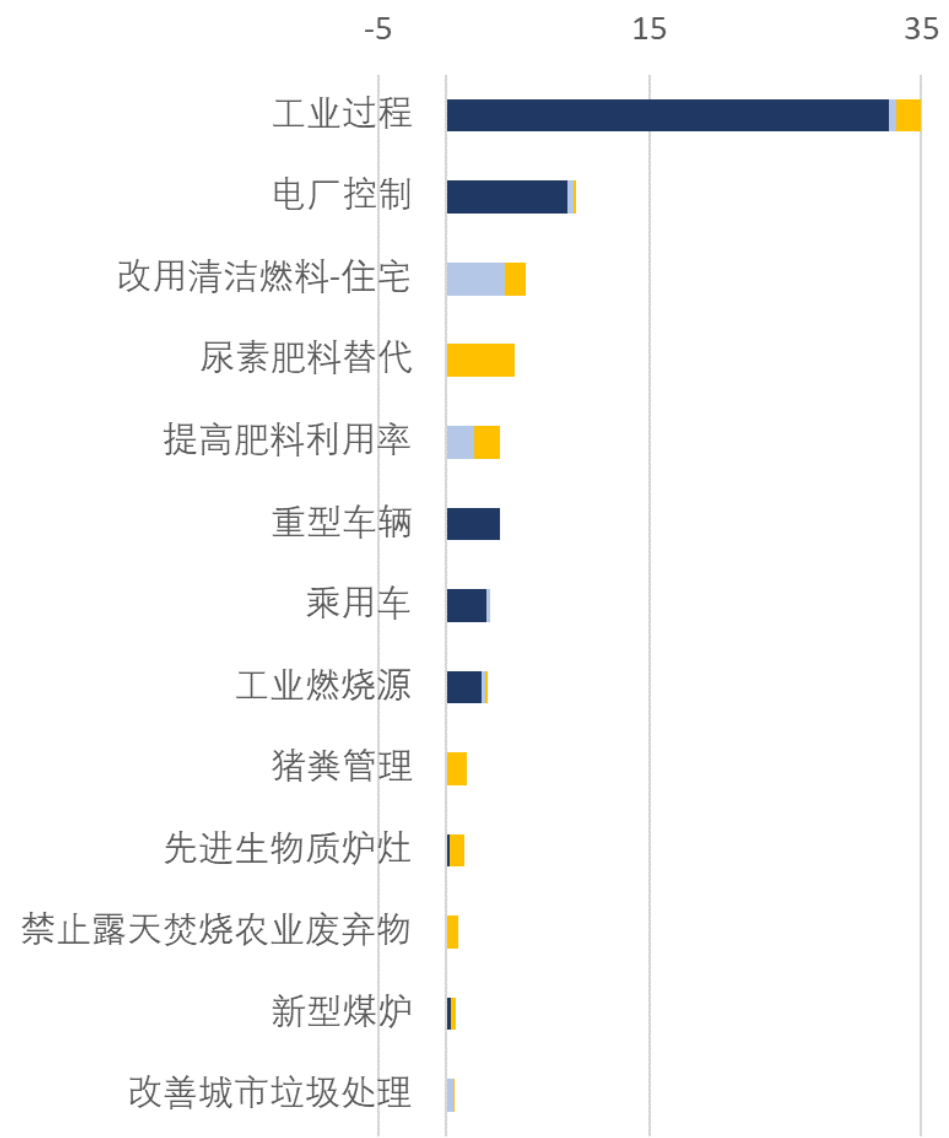


Ambient concentrations of PM<sub>2.5</sub> for 2020

图：基准情景(左图)与蓝天保卫战三年行动计划实施后（右图） 2020年PM<sub>2.5</sub>浓度排放分布

# 行动方案对PM2.5浓度的影响

三年行动计划实施后PM2.5浓度下降潜力 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



■ 2018年之前的政策    ■ 三年行动方案    ■ 额外措施

# 河北2021-2025 空气质量计划推荐措施



通过建筑翻修，提高能源效率



使用现有工业或可再生能源对城市或街区进行集中供暖

## 以PM为例



实施清洁生产措施和行业结构调整



可靠、价廉、清洁的公共运输(如电动公交车、电车、中国第六标准)



加快取代老旧、重污染的煤炉灶及锅炉，在家用取暖及烹煮使用清洁能源



# 河北2021-2025 空气质量计划推荐措施



以NO<sub>x</sub>为例



可靠、价廉、清洁的公共运输

(如电动/氢气公交车、电车、中国第六标准)

覆盖广、安全的骑行网络, 充裕的  
自行车停放设施、与公共交通的  
快速接驳



交通限制(如低排放区、行驶:  
度限值及拥堵费)



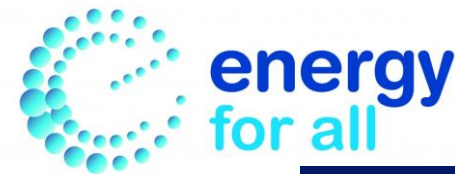
实施清洁生产措施和行业

结构调整



更为清洁高效的运输, 如电动汽车  
/公交车、替代污染的汽车及船只,  
提高铁路运输比重替代货运燃油车

# Clean Air action offers synergies 清洁空气行动的协同效应



**能源安全与气候变化挑战.....**例如 通过促进可再生能源的使用, 以及通过用更清洁的燃料取代煤来减少使用煤炭;

**农业挑战.....**例如 通过改善牲畜和粪便管理, 并使用低排放肥料;



**运输挑战.....**例如 通过鼓励可持续的出行选择, 通过制定标准来改善燃料质量, 减少车辆排放;

**城市挑战.....**例如 通过投资更清洁的交通方式, 并考虑鼓励使用低排放车辆的交通准入条件, 增强绿色低碳生产生活方式意识, 完善生活垃圾分类, 收集, 运输, 利用体系。





Thanks for your time !

非常感谢！！



张少辉，博士  
副教授  
北京航空航天大学

\*\*\*\*\*

研究员  
国际应用系统分析研究所(IIASA)

联系方式:s\_zhang@buaa.edu.cn;shaohui.zhang@iiasa.ac.at

[https://www.researchgate.net/profile/ShaoHui\\_Zhang](https://www.researchgate.net/profile/ShaoHui_Zhang)

