

# 天然气在改善中国大气环境中作用的研究

A Study on the Role of Natural Gas in Improving China's Atmosphere Environment





# 项目背景 Background

## Misinterpretation & Questions on the Cleanliness of Natural Gas

- 燃煤机组达到“超低排放”或“近零排放”比燃气机组要清洁?
- Coal-fired plants achieving "ultra-low emissions" or "near-zero emissions" are cleaner than gas-fired plants?

超低排放燃煤电厂排放的烟尘、SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>的浓度达到或低于燃气轮机执行的特别排放限值。

- 天然气燃烧助长雾霾的形成?
- Does natural gas combustion contribute to the formation of smog?

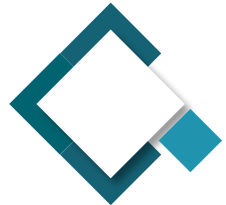
天然气燃烧产生水分，可能加重雾霾，产生的氮氧化物会变成二次化学反应的重要氧化剂，会加重雾霾形成。



煤的利用比天然气的  
利用更清洁?

Clean coal is cleaner  
than natural gas?





# 项目背景 Background

## ➤ 项目缘起 Background of the project

- 天然气清洁性受质疑
- 中国加速能源转型，提出建设美丽中国的号召
- 倡导低碳高效、环保清洁的发展路线

## ➤ 课题组织 Project organization



- **合作单位:** 壳牌、中国城市燃气协会、北京燃气集团、北京燃气集团研究院、睿观咨询、北京大学能源研究院等
- **专家团队:** 合作单位及行业内专家共同组成
- **支持单位:** 多家燃煤电厂、燃气电厂、燃煤锅炉和燃气锅炉供热企业、行业组织和科研机构

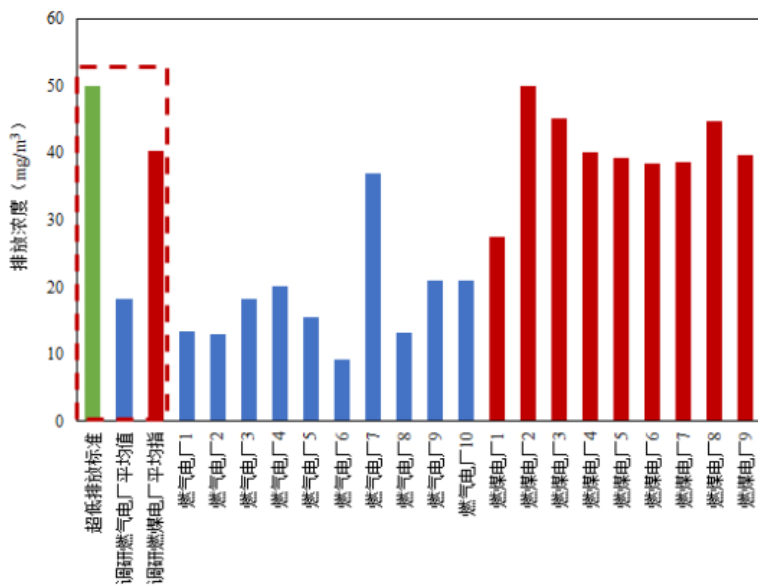
## ➤ 研究亮点 Highlights

- **采取实地调研的研究路线 Onsite research**  
实地调研、问卷调研、文献调研等多种方式结合，获取实际运行数据，作为课题研究的数据支撑。
- **构建多维度指标研究体系 Multi-dimensional indicator system**  
构建涵盖排放浓度、排放绩效、污染当量、减排成本、综合效益（投资收益、占地、水耗、能耗）、碳排放等多指标的评价体系，多维度、多层次的对比研究天然气和煤炭在发电和供热领域的环境效益。
- **选取供能端的视角，探讨天然气和煤炭的环境效益**  
**Discussing environmental benefits of natural gas and coal from the perspective of energy supply**  
从供能端作为切入点，探讨天然气和煤炭在发电和供热领域的环境效益。
- **开拓天然气发电和燃煤发电为可再生能源调峰的研究新思路**  
**Developing a new research idea of using gas and coal power on peak shaving for renewable energy**  
通过量化分析的方法，研究分析天然气发电和燃煤发电为可再生能源调峰过程中的环境效益。
- **探索新的合作模式 Exploring a new collaboration model, involving research institutes, gas companies and industry associations**  
搭建研究机构、国际能源公司与国内燃气企业和行业协会共同开展研究的合作机制。

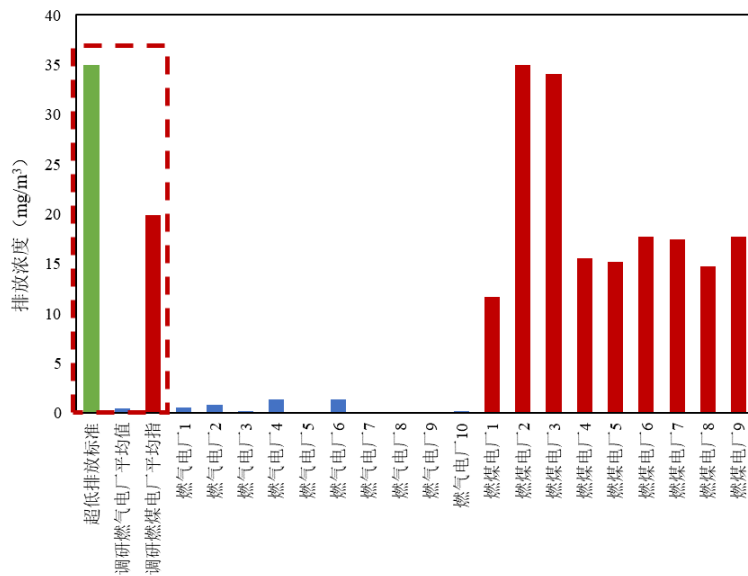


# 发电领域——排放浓度

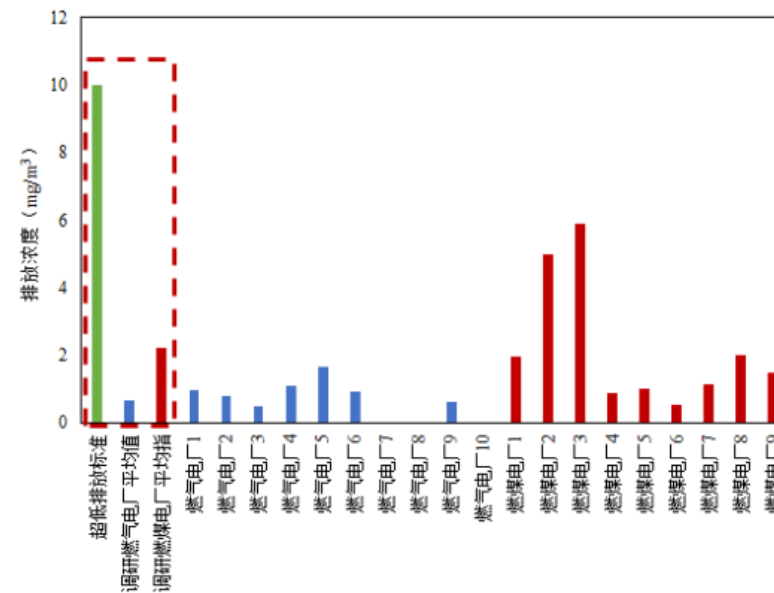
## Power Generation – Emission Concentration



NOx



SO<sub>2</sub>



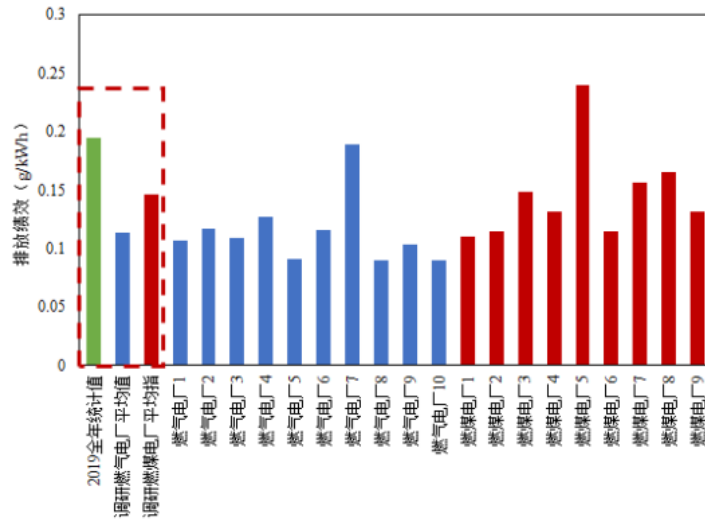
烟尘 Dust

■ Coal fired plants  
■ Gas fired plants

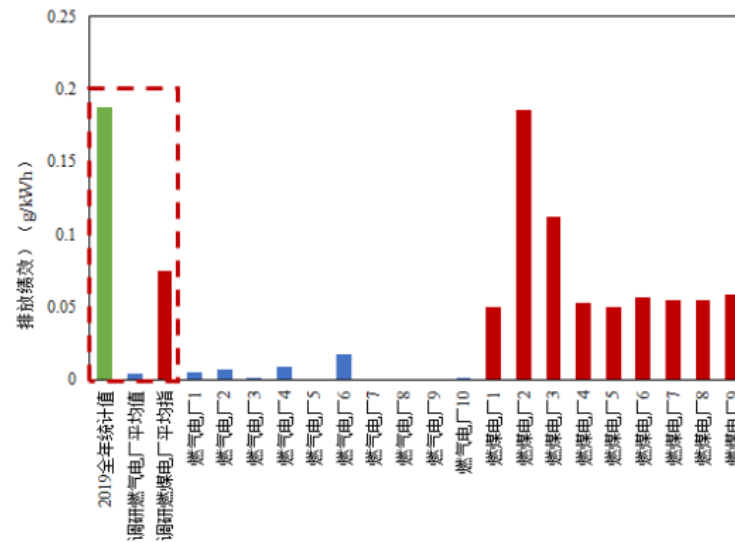


# 发电领域——排放绩效

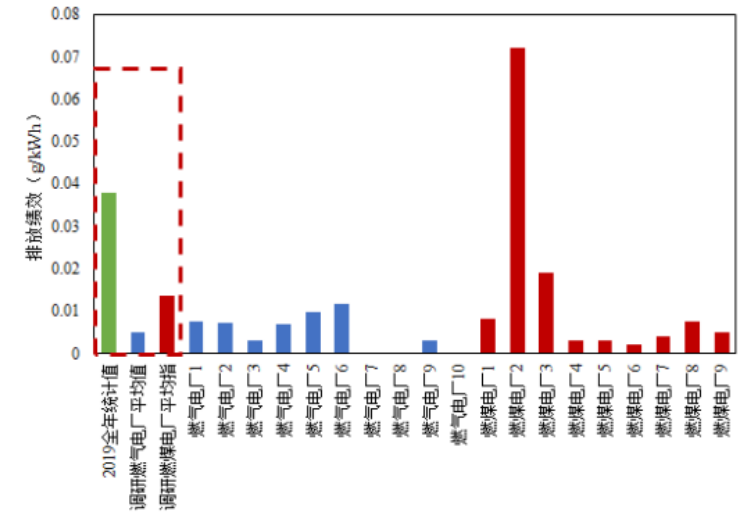
## Power Generation – Emission Performance



NOx



SO<sub>2</sub>



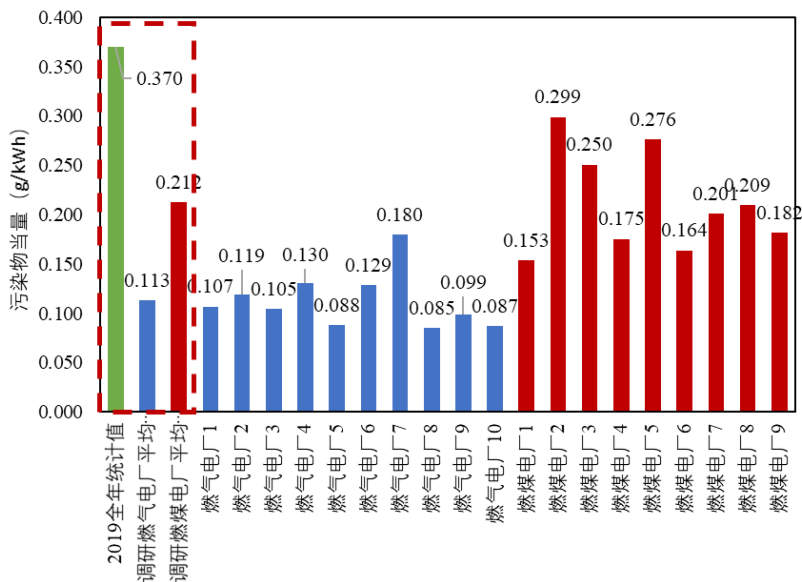
烟尘 Dust

■ Coal fired plants  
■ Gas fired plants



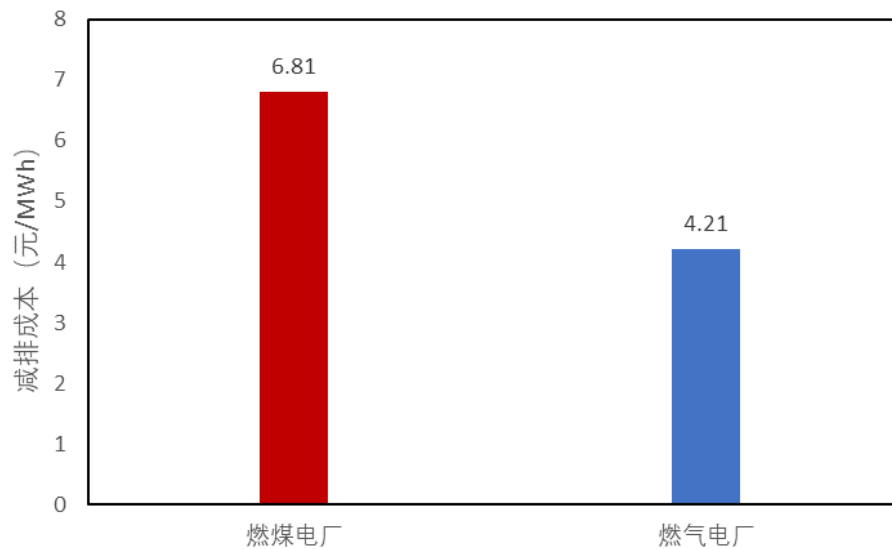
# 发电领域——污染物当量及减排成本

Power Generation – Pollutant Equivalent and Emission Reduction Cost



污染物当量

Pollutant Equivalent



减排成本

Emission Reduction Cost



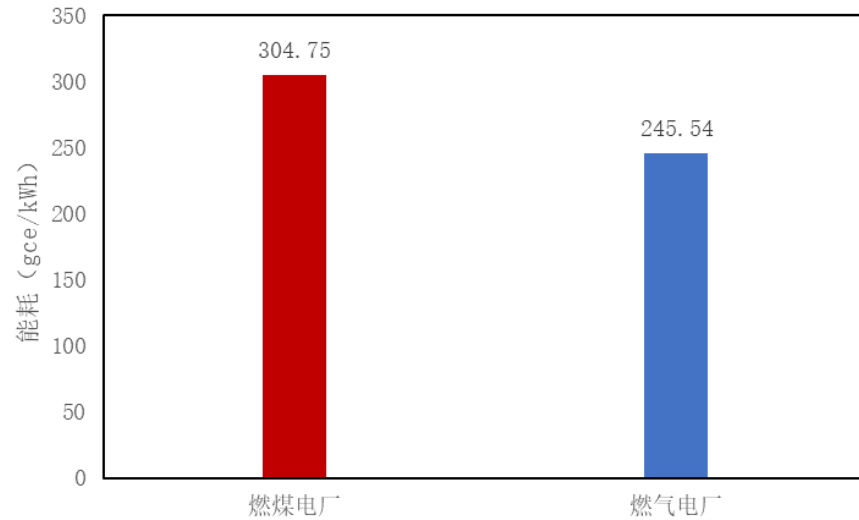
Coal fired plants

Gas fired plants



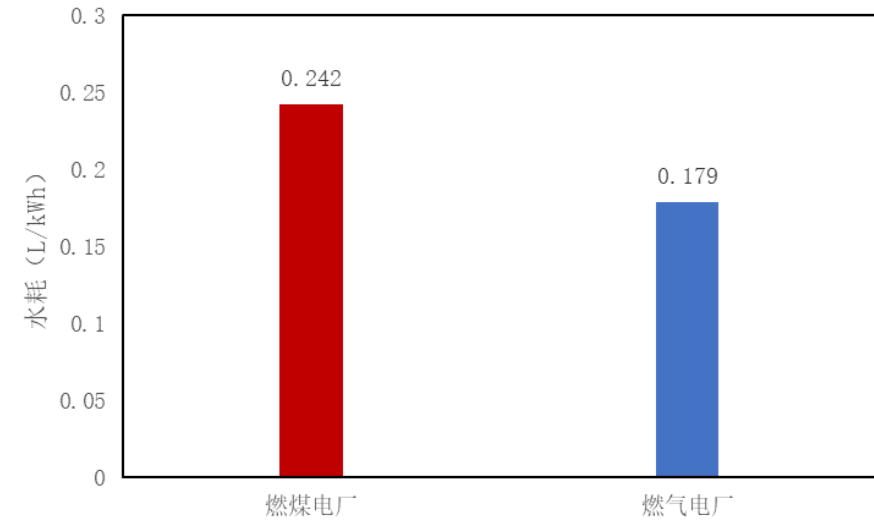
# 发电领域——能耗

## Power Generation – Energy Consumption





能耗

Energy Consumption



水耗

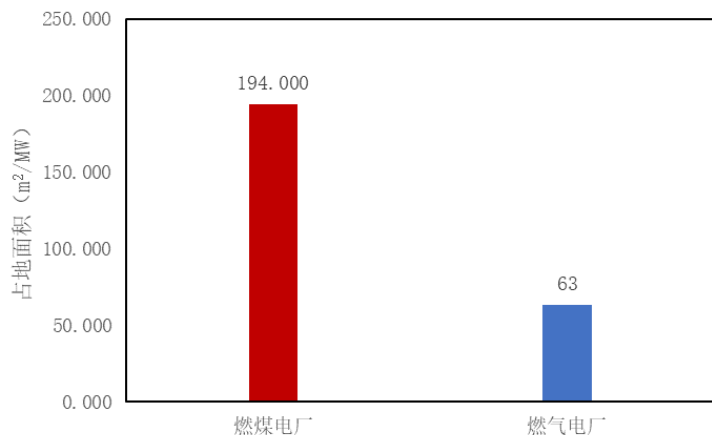
Water Consumption

-  Coal fired plants
-  Gas fired plants

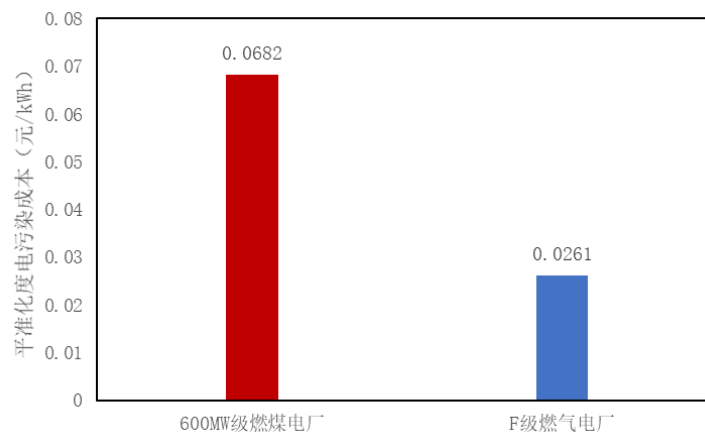


# 发电领域——综合效益

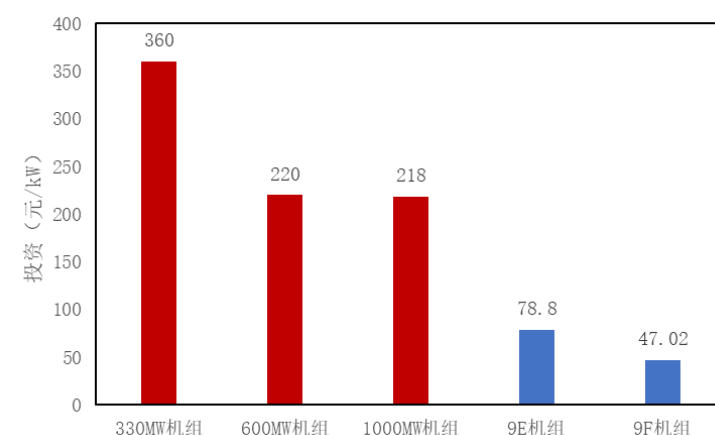
## Power Generation – Comprehensive Comparison



占地面积  
Floor Space



平准化度电污染成本 (LEOE)  
Levelized Expenditure of Electricity



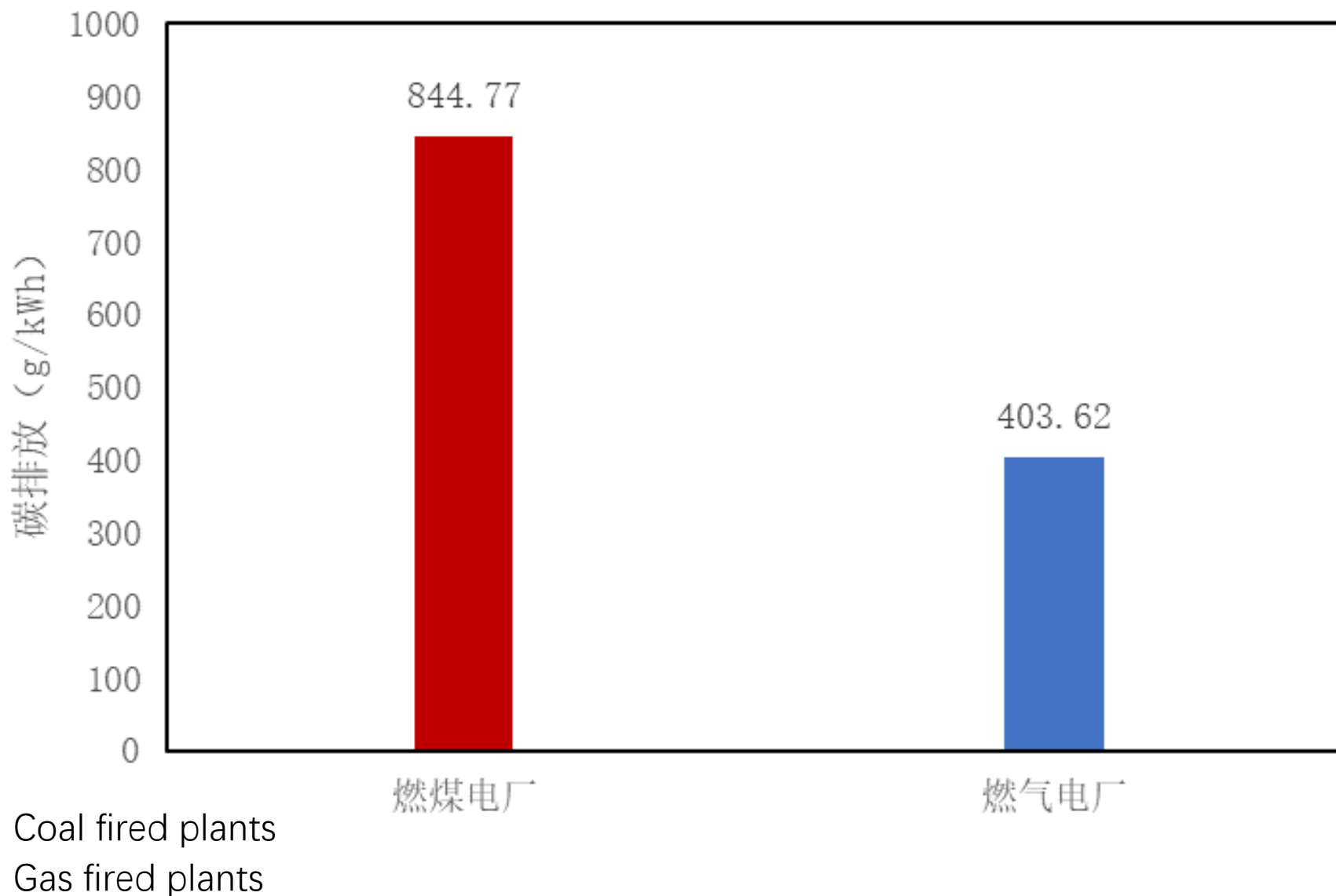
环保设备电厂投资  
Investment in Environmental Protection Equipment

■ Coal fired plants  
■ Gas fired plants





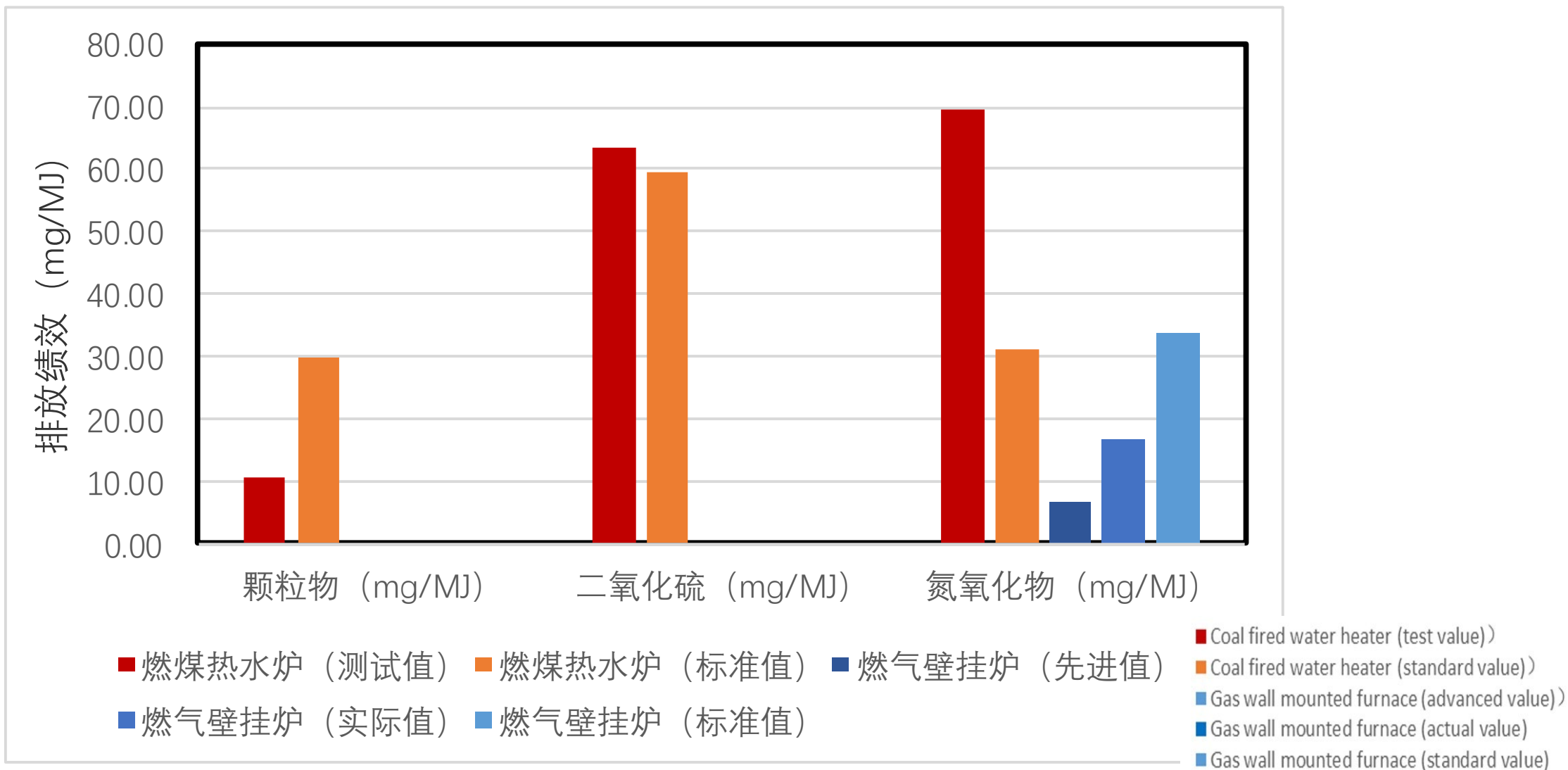
# 发电领域——碳排放 Power Generation – CO<sub>2</sub> Emission





# 供热领域——家用分散供热排放绩效

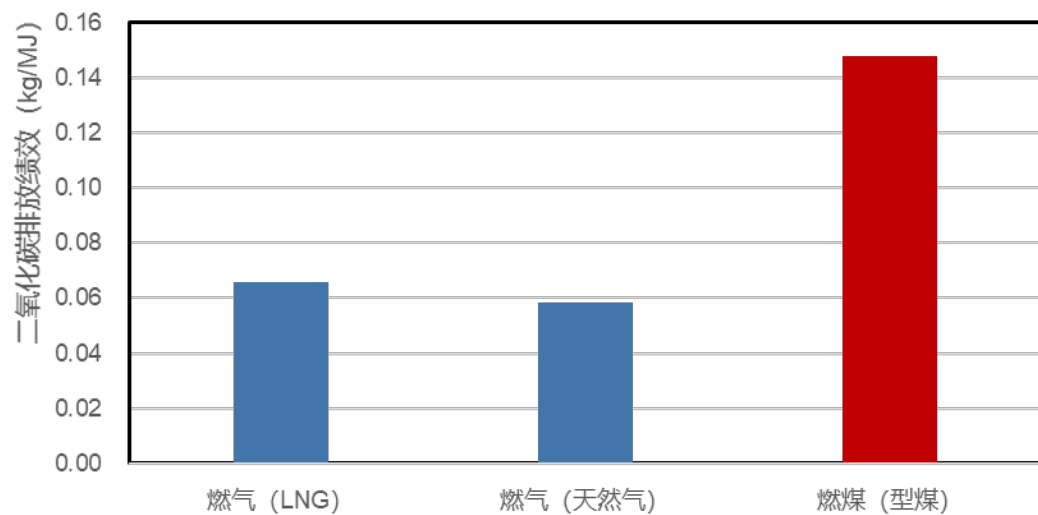
Heating – Emission Performance of Decentralized Heating



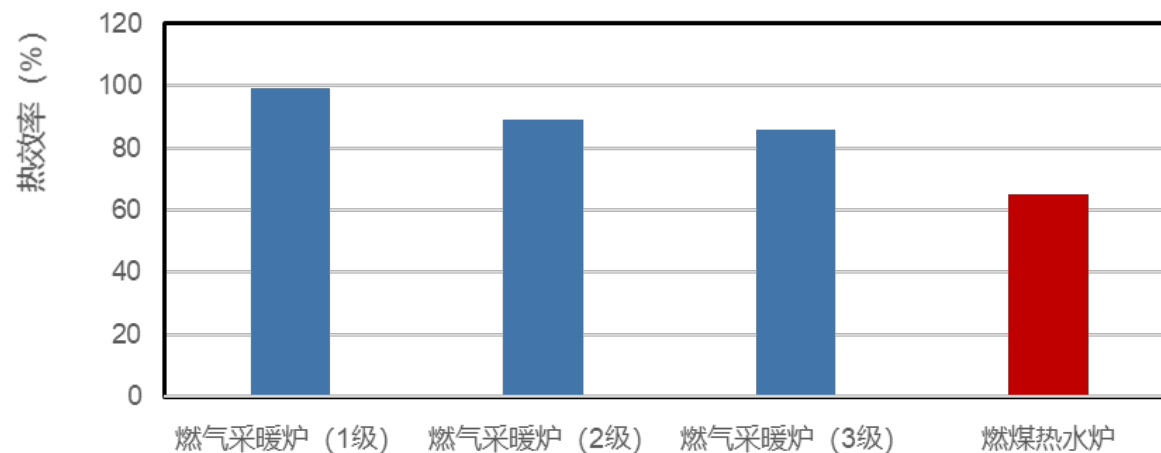


# 供热领域——家用分散供热排放绩效

Heating – Emission Performance of Decentralized Heating



二氧化碳排放绩效  
CO<sub>2</sub> emission performance



设备能效  
Energy efficiency of equipment





# 天然气在发电和供热领域的环境效益

## Environmental benefits of natural gas in power generation and heating

项目		燃煤发电 Coal power	燃气发电 Gas power	燃煤供热 Coal heating	燃气供热 Gas heating
排放浓度 Emission concentration (mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (国标)	100	50	300	200
	SO <sub>2</sub> (国标)	50	35	300	50
	烟尘 (国标)	20	5	50	20
	NO <sub>x</sub> (调研均值)	40.32	18.13	52.8	31.52
	SO <sub>2</sub> (调研均值)	19.91	0.47	42.01	-
	烟尘 (调研均值)	2.22	0.66	9.84	3.39
排放绩效 Emission performance (mg/kWh) / (mg/MJ)	NO <sub>x</sub> (火电平均)	0.19		-	-
	SO <sub>2</sub> (火电平均)	0.20		-	-
	烟尘 (火电平均)	0.04		-	-
	NO <sub>x</sub> (调研均值)	<b>0.15</b>	<b>0.11</b>	<b>25.06</b>	<b>16.67</b>
	SO <sub>2</sub> (调研均值)	<b>0.08</b>	<b>0.004</b>	-	-
	烟尘 (调研均值)	<b>0.014</b>	<b>0.005</b>	<b>4.84</b>	<b>1.46</b>
减排成本 Cost (元/MWh) / (元/GJ)		6.81	4.21	4.02	1.49
占地 Floor space (m <sup>2</sup> /MW)		194	63	144	40
碳排放 Carbon emission (g/kWh) / (kg/MJ)		844.77	403.62	0.097 (烟煤) 0.123 (型煤)	0.058 (管道天然气) 0.066 (LNG)

\*国标为重点地区新建项目执行标准。

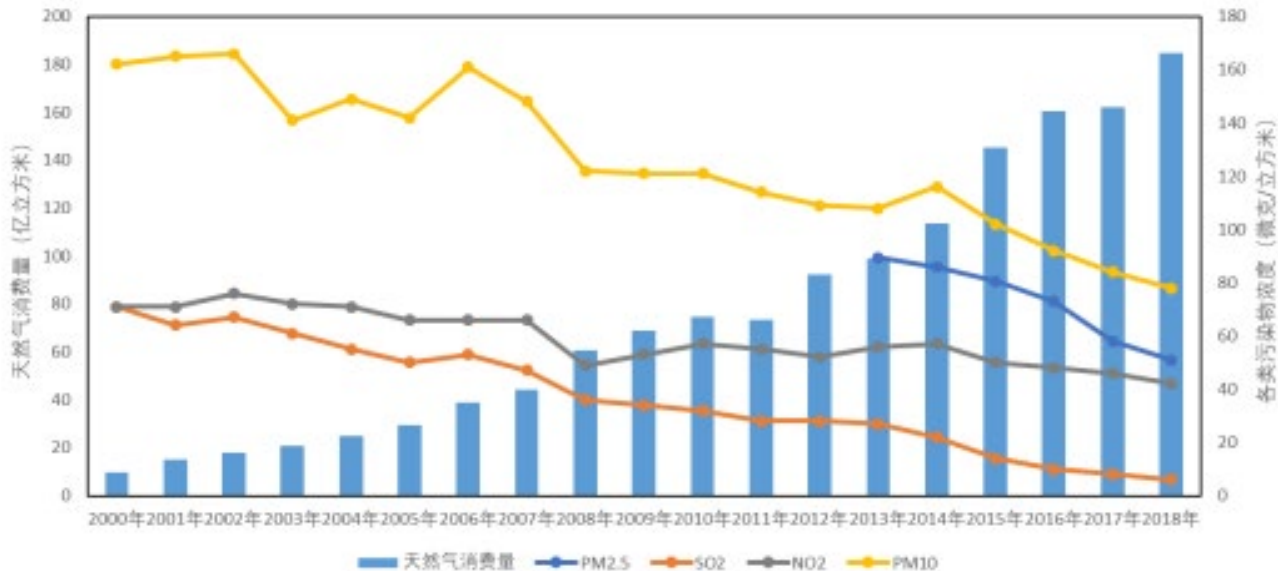
\*发电领域排放绩效、减排成本、碳排放的单位分别为mg/kWh、元/MWh、g/kWh；供热领域排放绩效、减排成本、碳排放的单位分别为mg/MJ、元/GJ、g/MJ。

\*供热领域无排放绩效统计值；燃气锅炉SO<sub>2</sub>排放量极少，故未统计。



# 天然气对北京市改善环境的贡献分析

Contribution of Natural Gas to Environmental Improvement in Beijing



北京市天然气使用量与大气污染物浓度变化示意图

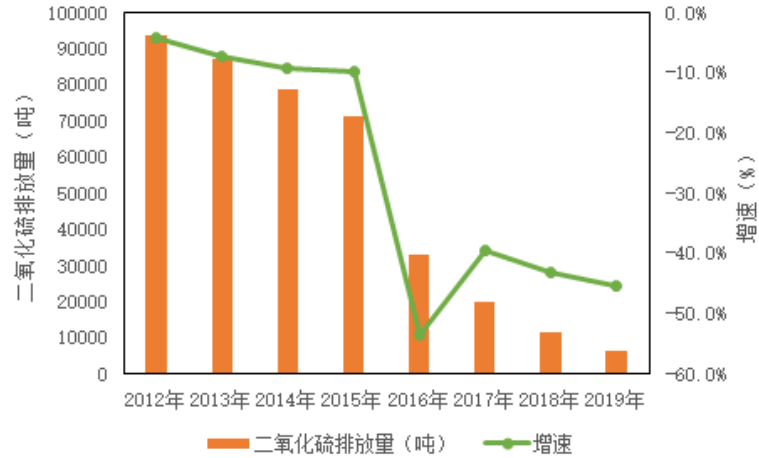
Beijing's Natural Gas Consumption vs. Changes in Concentration of Air Pollutants

指标 Indicator	2000年	2019年	降幅 Reduction
PM2.5 (μg/m³)	89.5 (2013年)	42	53.1%
PM10 (μg/m³)	162	68	58.0%
二氧化氮 NO <sub>2</sub> (μg/m³)	71	37	47.9%
二氧化硫 SO <sub>2</sub> (μg/m³)	71	4	94.4%



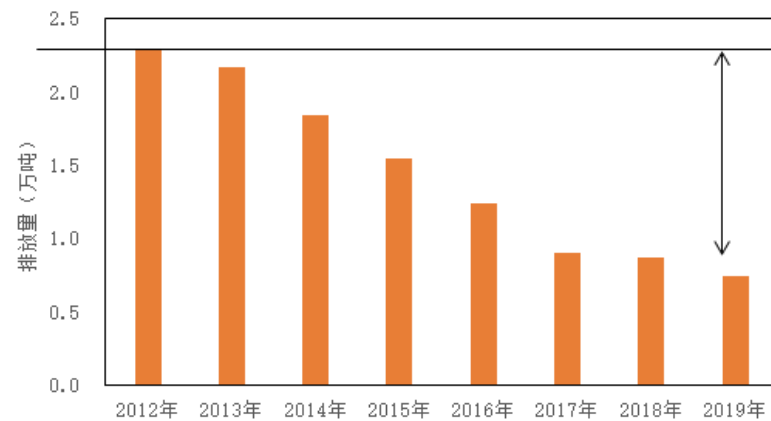
# 天然气对北京市改善环境的贡献分析

Contribution of Natural Gas to Environmental Improvement in Beijing



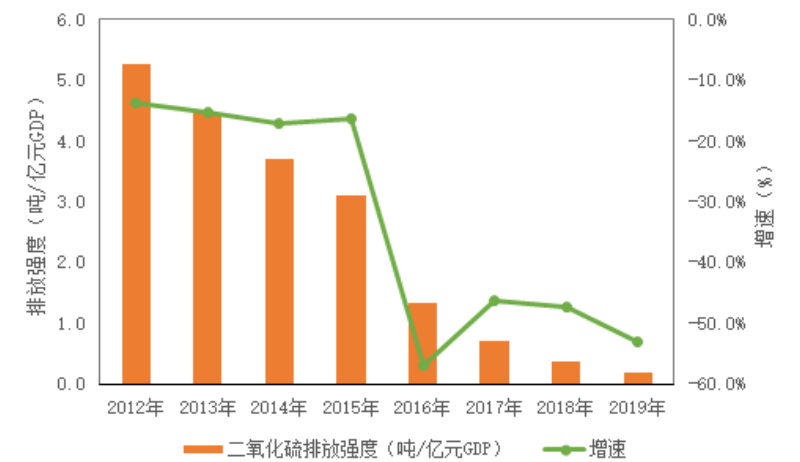
2012-2019年北京市SO<sub>2</sub>排放情况

SO<sub>2</sub> Emissions in Beijing 2012-2019



2012-2019年发电和供热领域SO<sub>2</sub>排放量

SO<sub>2</sub> Emissions in Power Generation and Heating 2012-2019



2012-2019年北京市单位GDP SO<sub>2</sub>排放强度

SO<sub>2</sub> Emission Intensity per Unit of GDP in Beijing 2012-2019



# 规模化发展气电调峰的环境贡献分析

## Environmental Benefits of Large-scale Development of Gas-fired Peaking Plant

假设前提

- 只对比燃煤电厂和燃气电厂为可再生能源（风电和光伏）调峰；
- 现有燃煤和燃气机组均可为可再生能源调峰。

计算条件

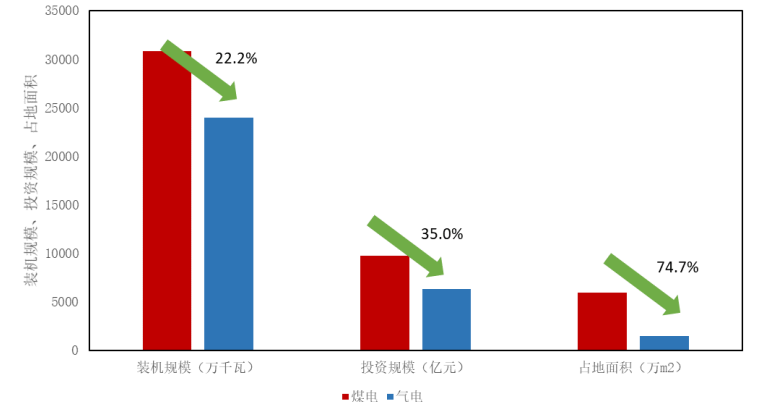
截止2019年煤电和气电装机规模分别为 11亿千瓦和 0.9亿千瓦，能够提供的调峰容量为8.51亿千瓦。

根据预测，到2025年风电和光伏的装机规模为 10.67亿千瓦，需增加调峰能力2.16亿千瓦。

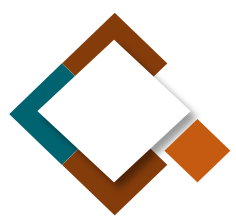
计算结论

由煤电作为调峰机组，机组可运行负荷率范围为30%~100%，调峰能力为70%；则需要增加装机容量为3.08亿千瓦，预计投资规模约9719.2亿元，占地面积5974.4万m<sup>2</sup>。

由气电作为调峰机组，机组可运行负荷率范围为10%~100%，调峰能力为90%；则需要增加装机容量为2.39亿千瓦，预计投资规模约6313.8亿元，占地面积1509万m<sup>2</sup>。



新增燃煤和燃气机组的规模



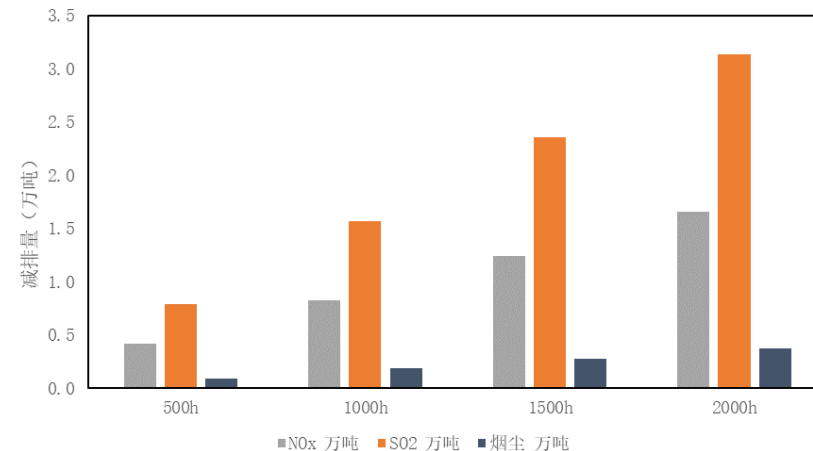
# 规模化发展气电调峰的环境贡献分析

## Environmental Benefits of Large-scale Development of Gas-fired Peaking Plant

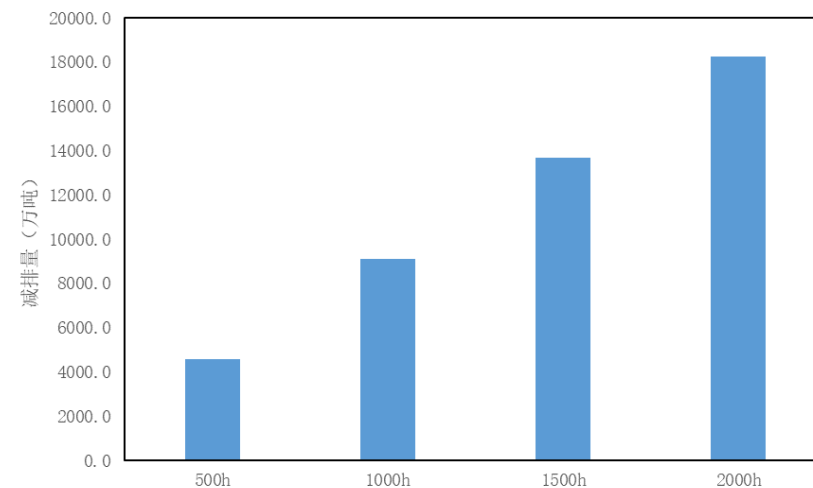
在上述装机情况下，调峰机组分别运行500、1000、1500、2000h时，燃气机组相较于燃煤机组分别产生如下减排量。

运行时长	NOx	SO <sub>2</sub>	烟尘	CO <sub>2</sub>	碳成本
	万吨	万吨	万吨	万吨	万元
500h	0.4	0.8	0.1	4556.0	164651.2
1000h	0.8	1.6	0.2	9111.9	329302.4
1500h	1.2	2.4	0.3	13667.9	493953.7
2000h	1.7	3.1	0.4	18223.8	658604.9

注：碳交易价格使用的当期价格36元/吨(2020年6-7月7个交易试点交易价格的平均值)。



燃气电厂为可再生能源调峰大气污染物减排量



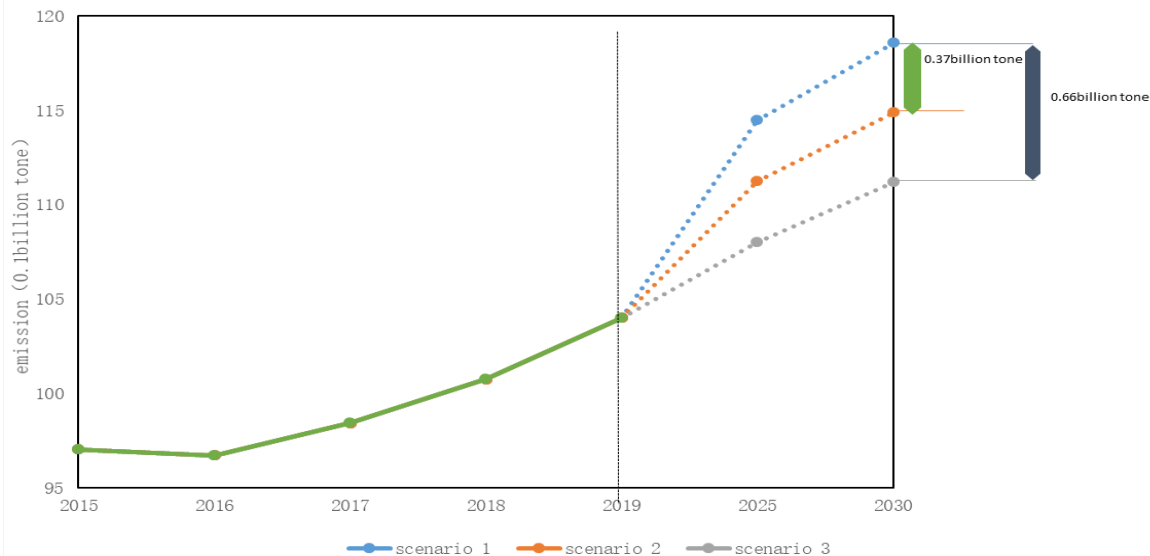
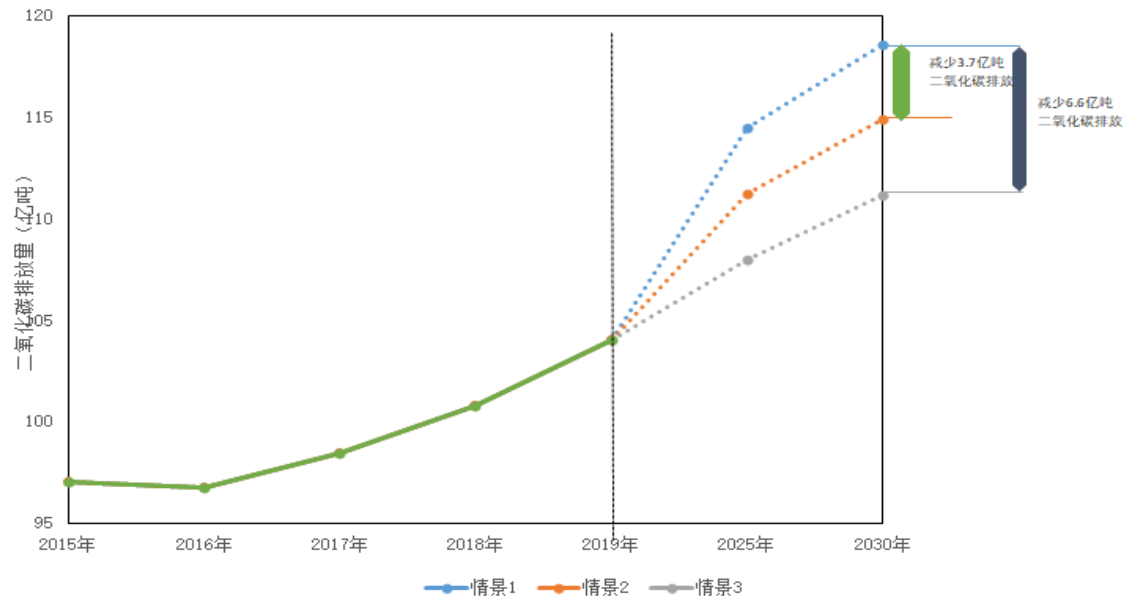
燃气电厂为可再生能源调峰CO<sub>2</sub>减排量





# 天然气消费比重增加对碳排放的正面影响

Positive Impacts of Increased Consumption Share of Natural Gas on CO<sub>2</sub> Emission



	情景1	情景2	情景3
情景描述	由2015-2019年均增量预测2025年和2030年能源消费量	其他量不变, 天然气消费量增加5个百分点, 煤炭消费量减少5个百分点	其他量不变, 天然气消费量增加10个百分点, 煤炭消费量减少10个百分点
煤炭消费占比 (%)	50.9/37.3	45.9/32.3	40.9/27.3
天然气消费占比 (%)	10.6/21.0	15.6/26.0	20.6/31.0
CO <sub>2</sub> 排放量 (亿吨)	114.6/118.6	111.2/114.9	108.0/111.2
说明	-	相较于情景1减少CO <sub>2</sub> 排放3.3亿吨 (2025年) 和3.7亿吨 (2030年)	相较于情景1减少CO <sub>2</sub> 排放6.5亿吨 (2025年) 和7.4亿吨 (2030年)

数据来源: 对国家统计局统计数据预测分析



# 总结 Summary

## ◆ 微观层面 Micro-level

从分析结果可知，在发电和供热领域，天然气相较于煤炭具有明显的环境效益，并且在综合效益对比中也具有较好的优势。

Natural gas can bring significant environmental benefits and other co-benefit over coal.

## ◆ 中观层面 Meso-level

以北京市为例，在推动天然气利用的过程中，各类大气污染物的浓度在逐年下降。

Taking Beijing as an example, concentration of each air pollutant gradually declines. Increasing the share of natural gas in power generation and heating sectors helped reducing the emission of air pollutant and CO<sub>2</sub>.

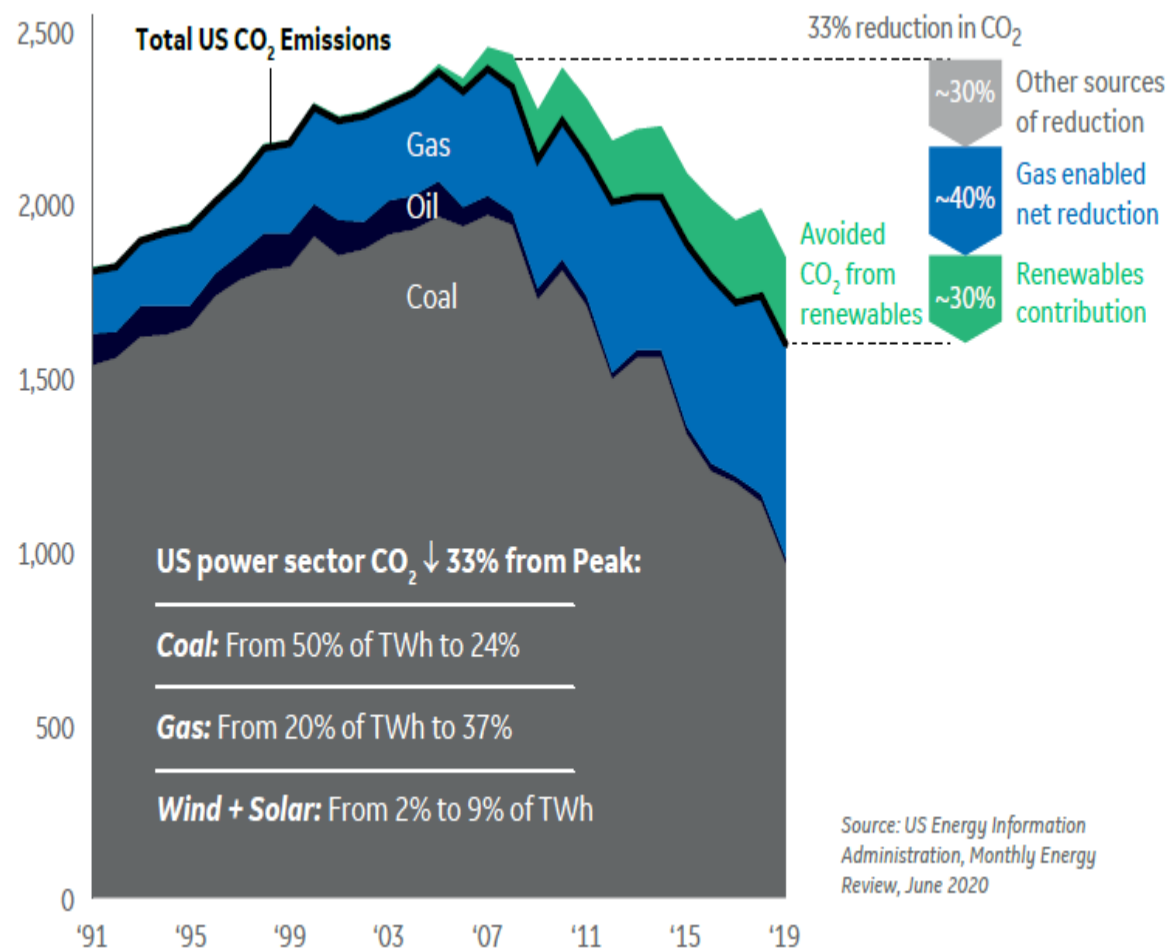
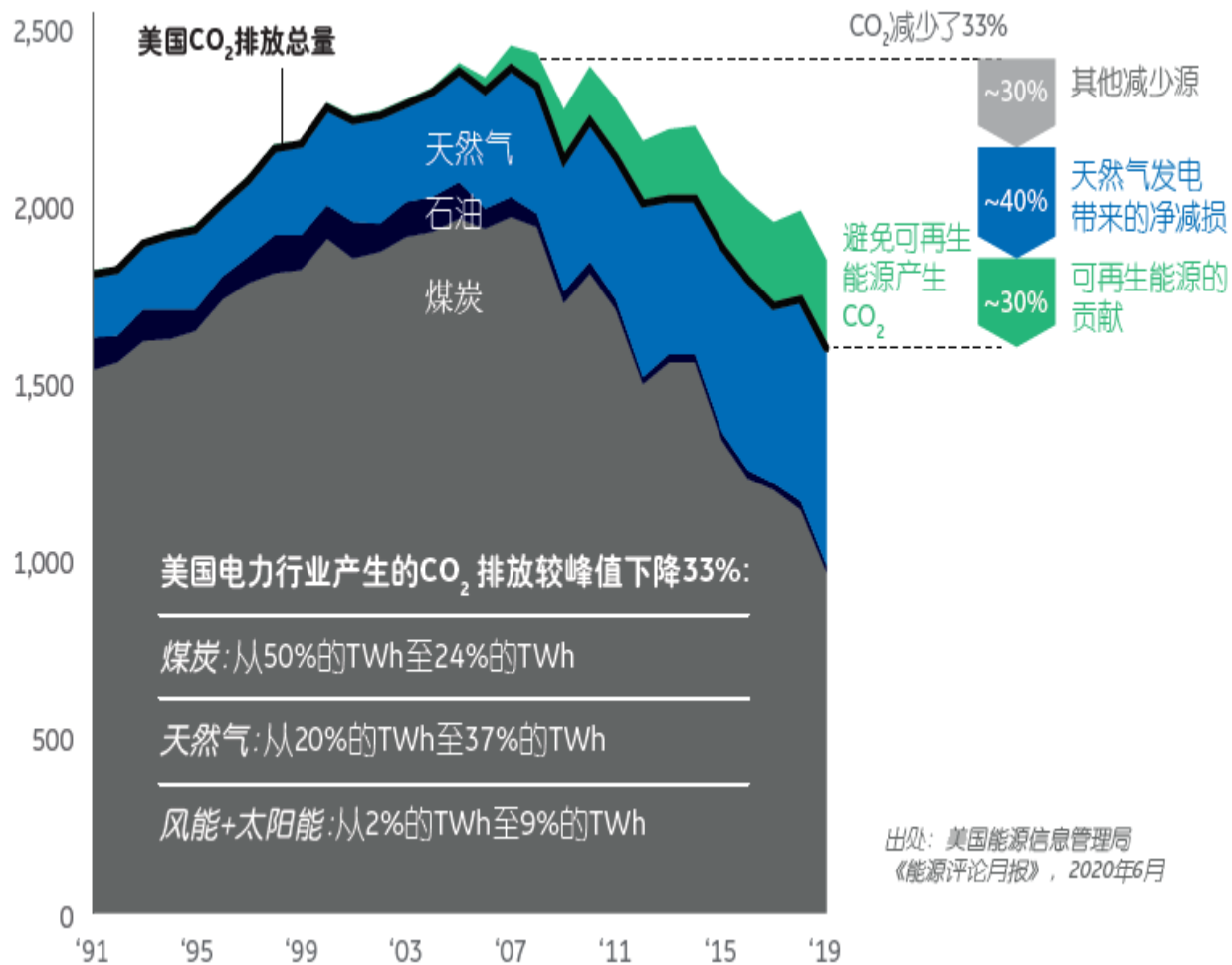
## ◆ 宏观层面 Meso-level

在我国环境治理体系中，能源结构调整，大力发展天然气、可再生能源等清洁能源是重要举措之一。

Accelerating energy transition and promoting natural gas and renewables are key measures in China.



# Gas can play a key role



《2020年GE全球天然气发电展望》



# 发展建议 Suggestions

## ➤ 明确天然气清洁的地位

### ➤ Position natural gas as clean energy

- ❖ 明确天然气清洁能源地位，发挥天然气在能源转型、碳达峰和碳中和的重要作用。
- ❖ 推动综合能源发展，促进天然气与其它能源融合发展。

## ➤ 科学认识天然气的环境价值，提升环境治理水平

### ➤ Scientifically recognize natural gas' s environmental value & improve environmental governance

- ❖ 完善环境评价体系。在标准和政策制定中，将污染物排放总量作为污染物排放的限制指标。将SO<sub>3</sub>、重金属、放射性污染、污水等环境污染物排放纳入环境评价范围。



## ➤ 积极推进天然气产业发展

### ➤ Actively promote the development of natural gas industry

- ❖ 加大天然气调峰电厂的建设
  - 给予政策支持。从电价、天然气价格、准入条件等方面给予支持，保障调峰电厂的经济运行。
- ❖ 推动天然气体制改革
  - 推进储运设施互联互通，推进公平开放。完善国内天然气价格机制，加快天然气门站价格市场化进程。



敬请指正

[energy.pku.edu.cn](http://energy.pku.edu.cn)



北京大学能源研究院  
INSTITUTE OF ENERGY

