



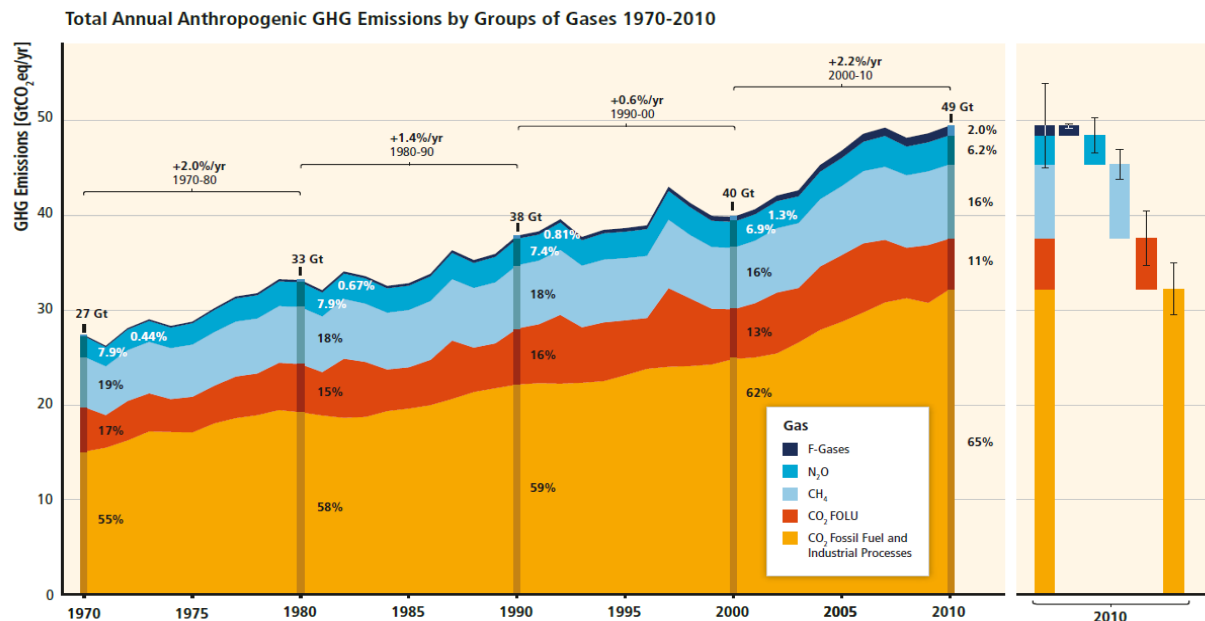
# 我国2050低排放发展战略中非二氧化碳温室气体 减排路径与减排战略研究

**滕 飞 副教授**

**清华大学能源环境经济研究所**

# 背景

## non-CO<sub>2</sub>气体占比稳定在25%左右



GHGs	Excluding LUCF		Including LUCF	
	CO <sub>2</sub> eq (100 Mt)	Share (%)	CO <sub>2</sub> eq (100 Mt)	Share (%)
CO <sub>2</sub>	98.93	83.2	93.17	82.3
CH <sub>4</sub>	11.74	9.9	11.74	10.4
N <sub>2</sub> O	6.38	5.4	6.38	5.6
Fluorinated gas	1.91	1.6	1.91	1.7
Total	118.96		113.20	

Source: IPCC AR5 , China BUR

# 背景

## 非CO<sub>2</sub>减排成本低、响应快速、协同效益明显

◆ Non-CO<sub>2</sub>气体与CO<sub>2</sub>联合减排能够降低实现减排目标的成本

美国、欧盟的研究人员 ( Rao、van Vuuren、Lucas、Reilly、Hayhoe、Blok、Harmelink等 ) 的众多研究指出采取联合减排策略能够将总成本降低**30-60%**。

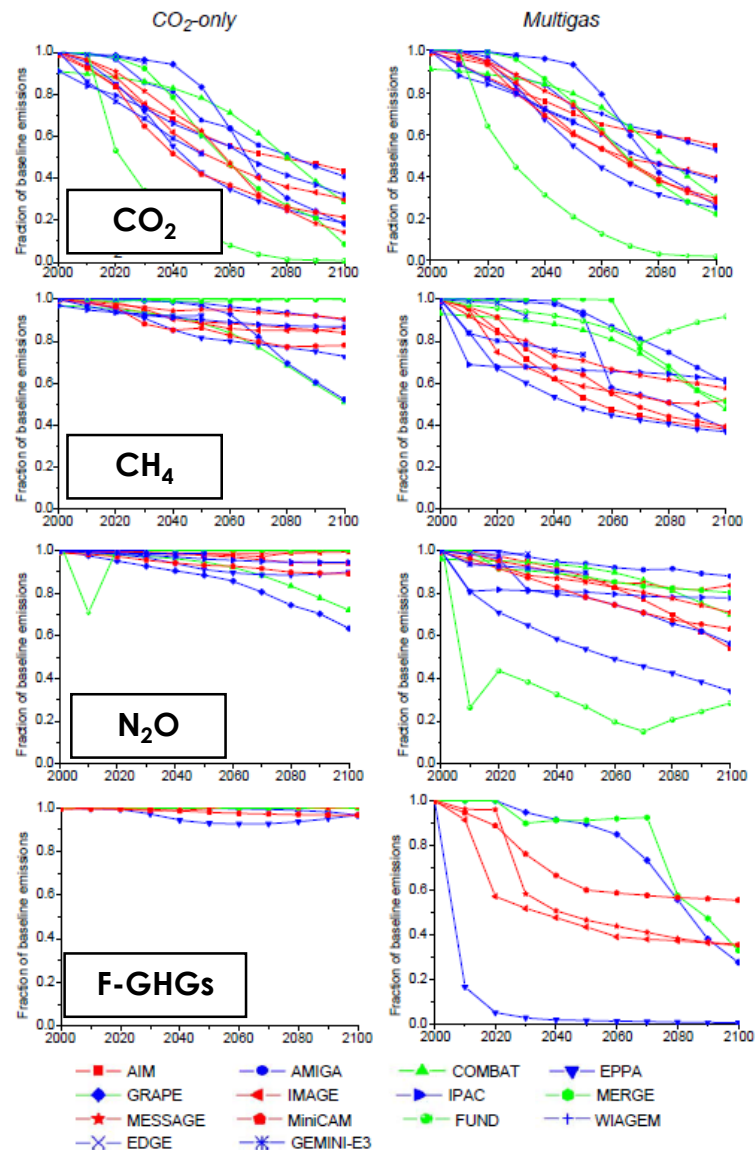
◆ Non-CO<sub>2</sub>气体减排实效超出GWP理论值

Hansen等人的研究表明**CH<sub>4</sub>**与对流层臭氧和平流层水蒸气的间接反应将进一步增强升温效果。

◆ Non-CO<sub>2</sub>气体减排具有协同效益

**CH<sub>4</sub>、HFCs等短寿命温室气体**减排能够有效改善空气质量、人体健康等，符合蒙特利尔议定书与基加利修正案的要求

(Zhang et al., 2006; Yang et al., 2012; Chen et al., 2013)

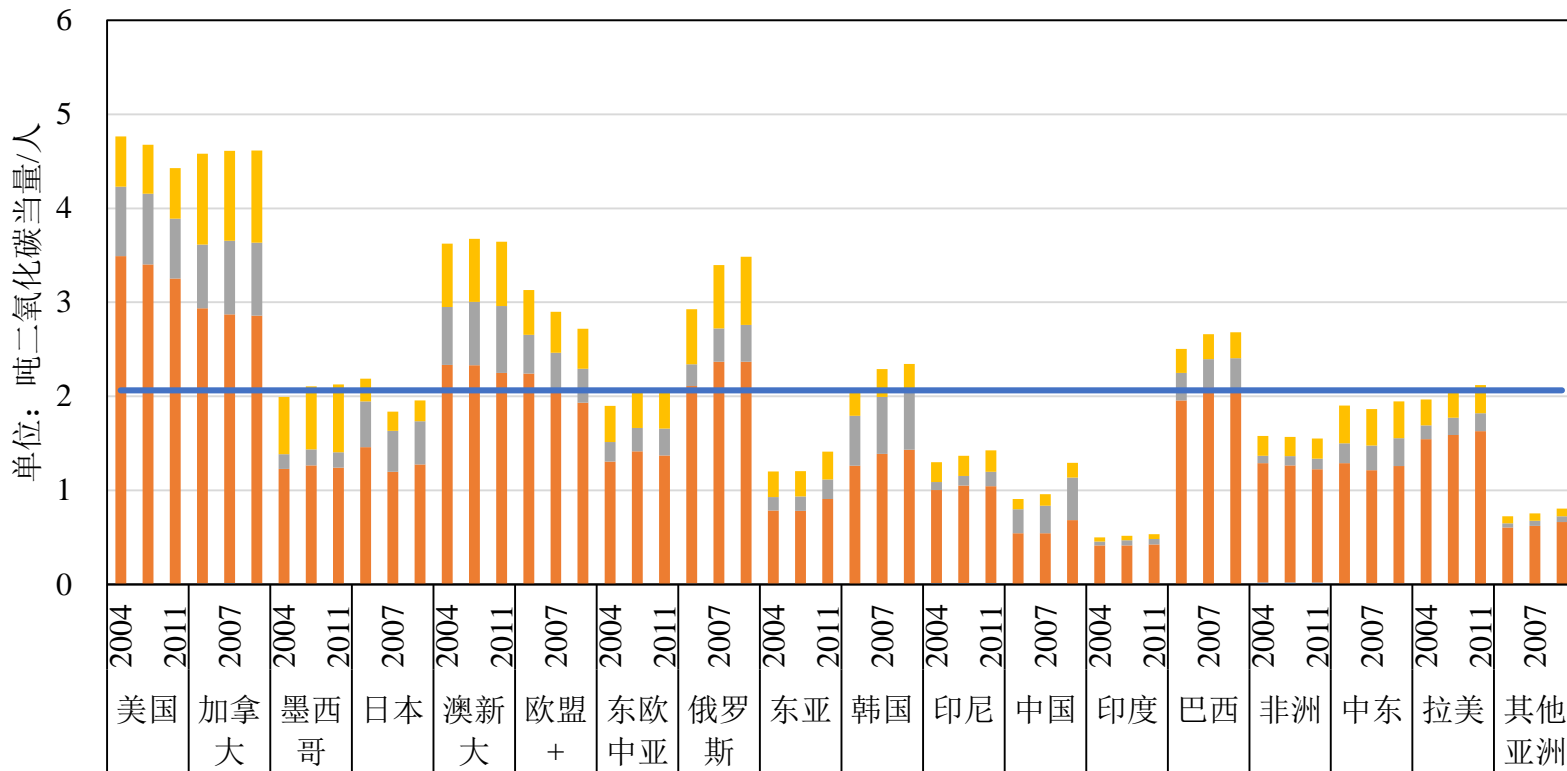


Source: EMF-21

# 背景

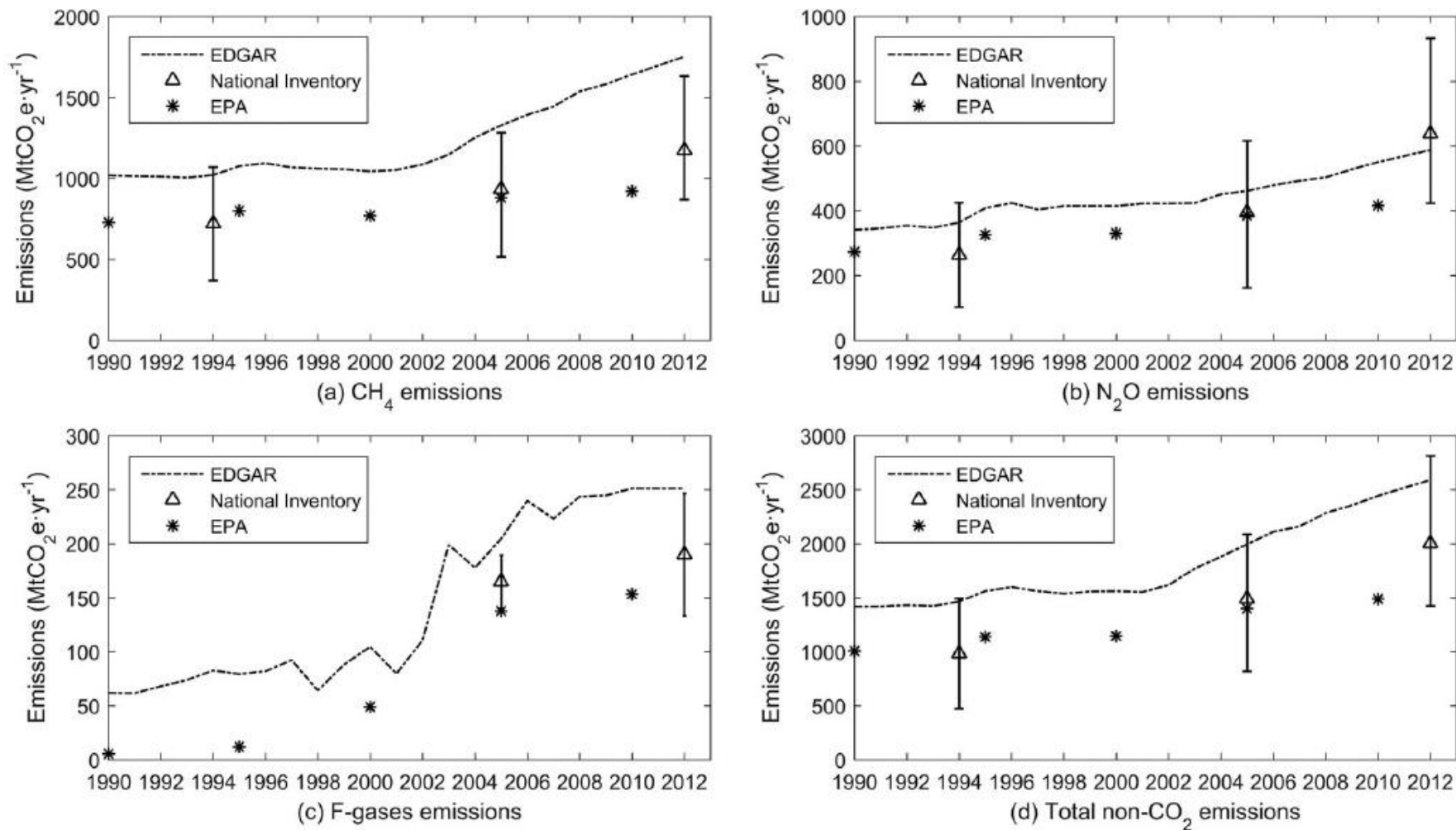
## 非CO<sub>2</sub>主要受居民消费驱动，未来可能进一步增排

居民直接消费排放      居民间接消费排放      投资排放  
政府消费排放      3年全球消费排放平均值



# 历史排放

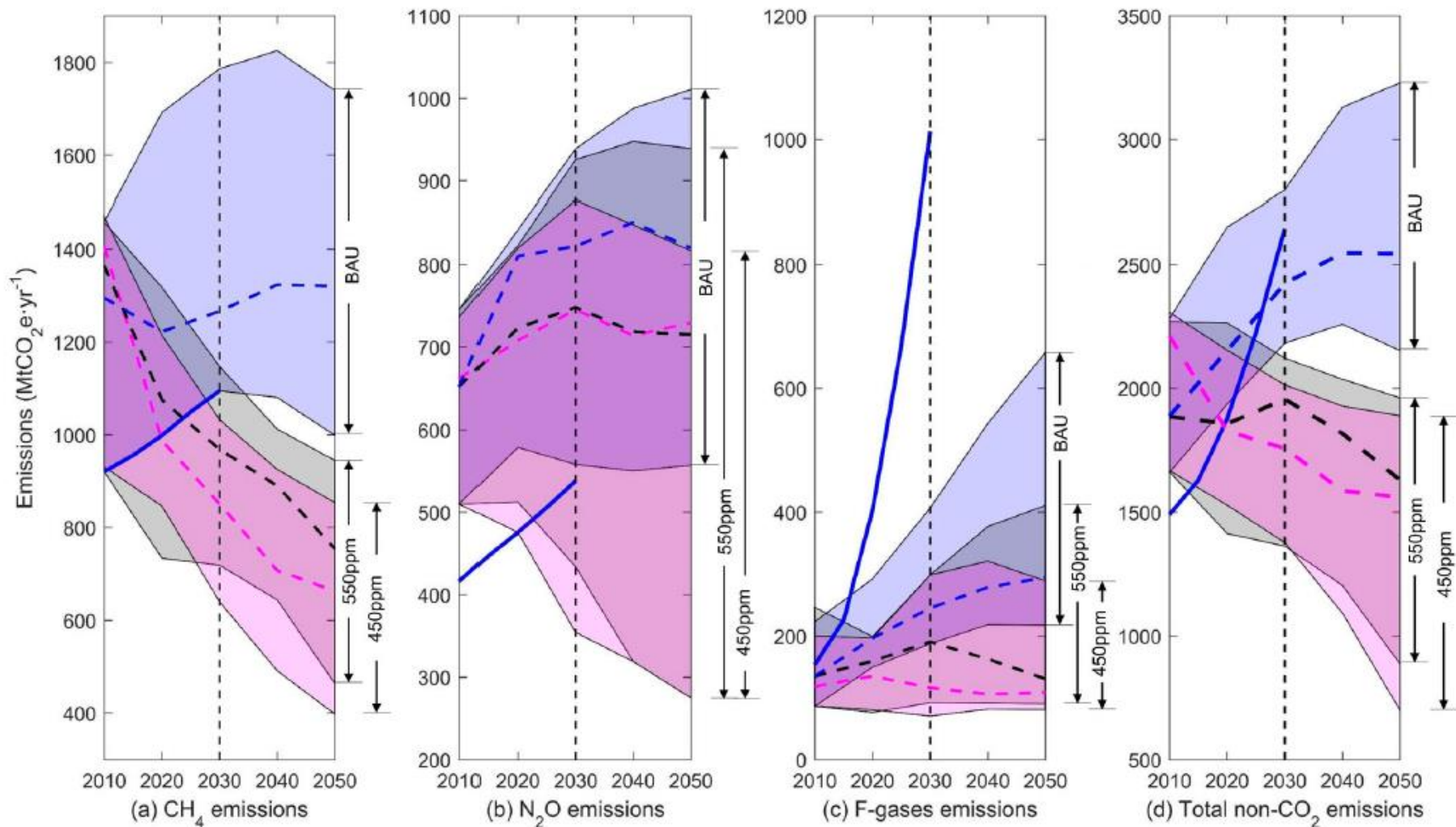
## 清单不确定性高，EDGAR可能显著高估



**Figure 1.** China's historical NCGG emissions as reported in various emissions databases. Dashed line indicates EDGAR estimate. Triangles and asterisks mark the results generated from national inventories and the U.S. EPA, respectively. Vertical error bars indicate the uncertainty range of national inventory estimates.

# 未来趋势

## AR5情景差异明显，减排潜力不确定性较高



**Figure 2.** Future NCGG emissions trajectories for China from the IPCC AR5 scenario database. The bands indicate the 20th to 80th percentile for baseline scenarios, scenarios consistent with 450 parts per million (ppm) and scenarios consistent with 550 ppm collected in the IPCC AR5 scenario database, respectively. The dashed lines indicate median values, the solid lines indicate U.S. EPA estimates, and linear interpolation was used to generate a consecutive time-series estimates.

Source: Wang et al. (2017)<sub>6</sub>

# 模型方法

## 非二气体排放：产生机制+部门扩展

### ➤ 能源活动

- ✓ 煤炭开采
- ✓ 油气系统
- ✓ 交通部门
- ✓ 生物质燃烧

### ➤ 农业部门

- ✓ 水稻种植
- ✓ 农用地
- ✓ 动物肠道发酵、粪便管理

### ➤ 废弃物处理

- ✓ 城市生活垃圾
- ✓ 生活污水
- ✓ 工业废水

### ➤ 工业生产过程

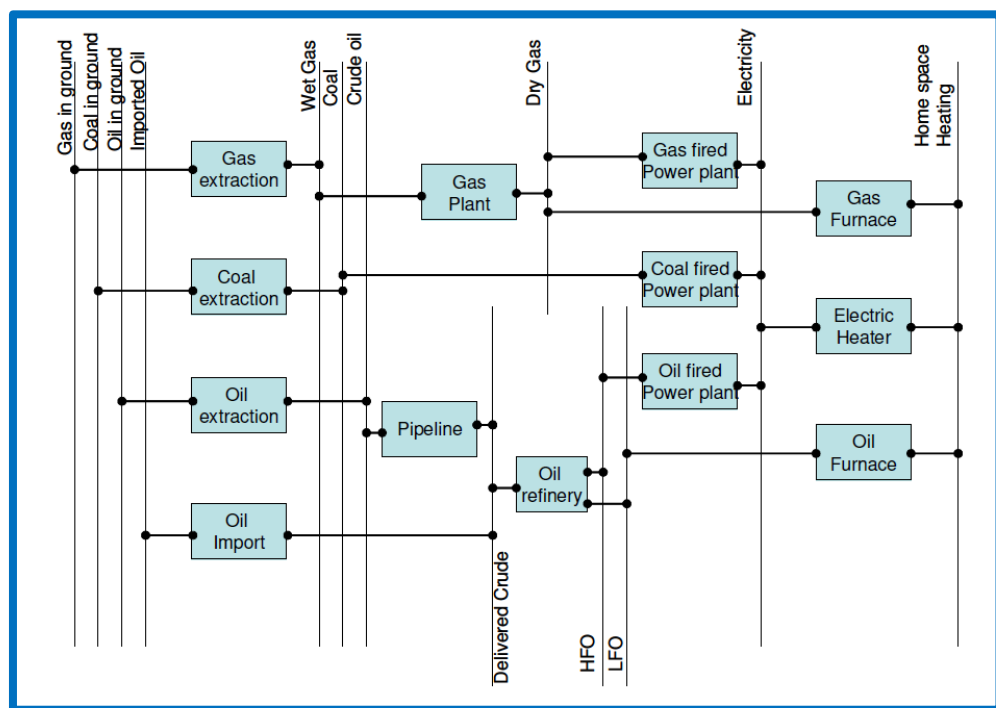
- 硝酸、己二酸、HCFC-22、铝冶炼、半导体制造、空调制冷等

### ➤ CH<sub>4</sub>

### ➤ N<sub>2</sub>O

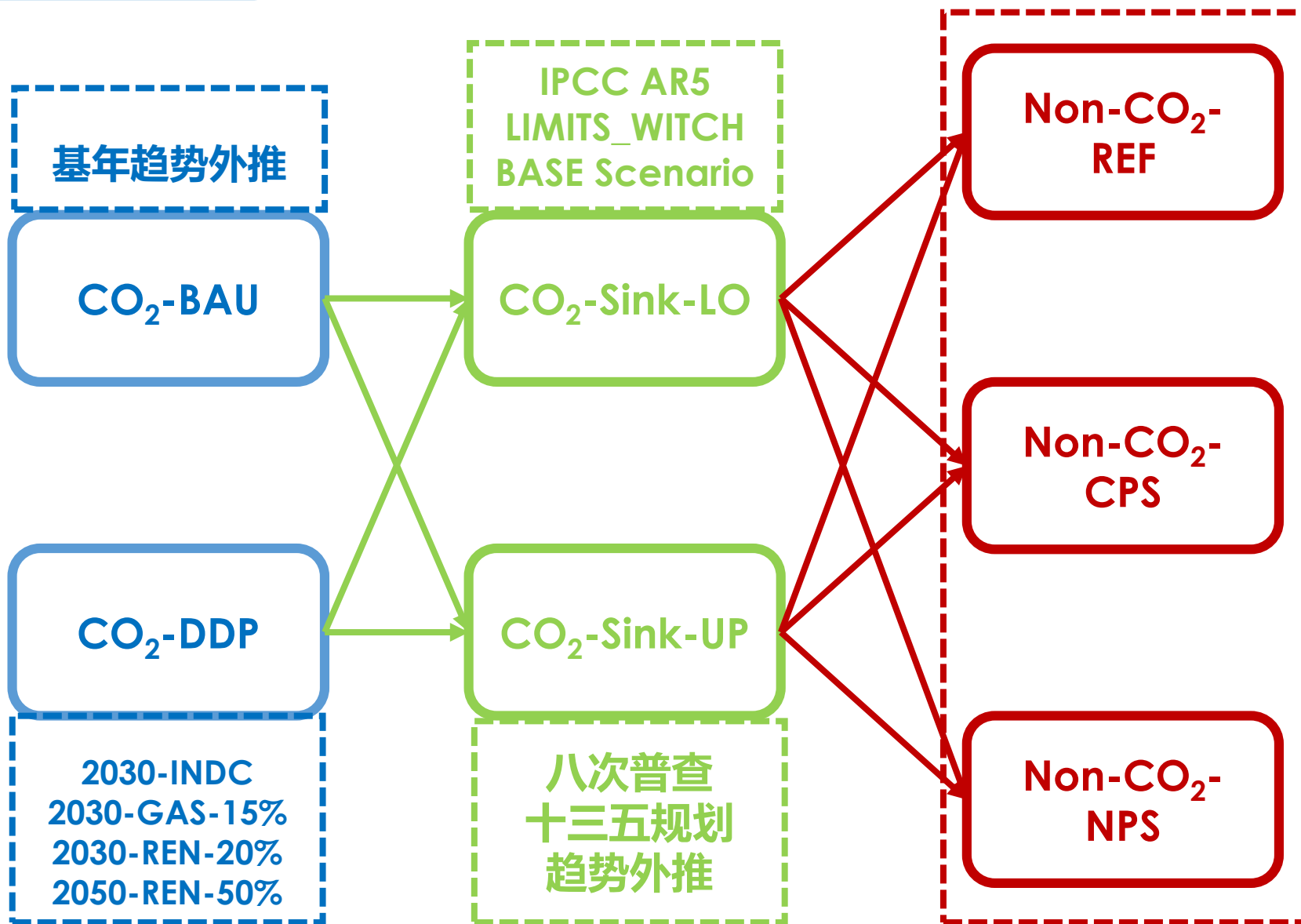
### ➤ F-gases

- ✓ HFC-23/HFC-32/HFC-125/HFC-143a/  
HFC-152a/HFC-236fa/HFC-245fa
- ✓ CF<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/SF<sub>6</sub>



# 情景设计

CO<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub>-sink + non-CO<sub>2</sub>





中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要  
国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)



## Non-CO<sub>2</sub> REF

参考国家信息通报、两年更新报告、CDM项目等，确定基准年份减排程度，并将其冻结延续至模型规划期末

## Non-CO<sub>2</sub> CPS

在REF情景基础上，1) 根据专家建议引入房间空调、汽车空调的ODS替代技术；2) 根据政策文件，调整固体废弃物焚烧处理比例、测土配方施肥覆盖率、水稻田灌溉方式转换率、居民饮食结构；HCFC-22、硝酸与己二酸行业处理装置使用率等。

目标：2020年农田氧化亚氮达峰，化肥农药使用量零增长  
2020年全国测土配方施肥技术推广覆盖率超过90%  
HCFC-22受控用途生产的限制  
加速发展高温室效应潜能值含氟气体替代品  
人均肉、蛋、奶消费量根据人均GDP对标韩国(OECD-FAO)

## Non-CO<sub>2</sub> NPS

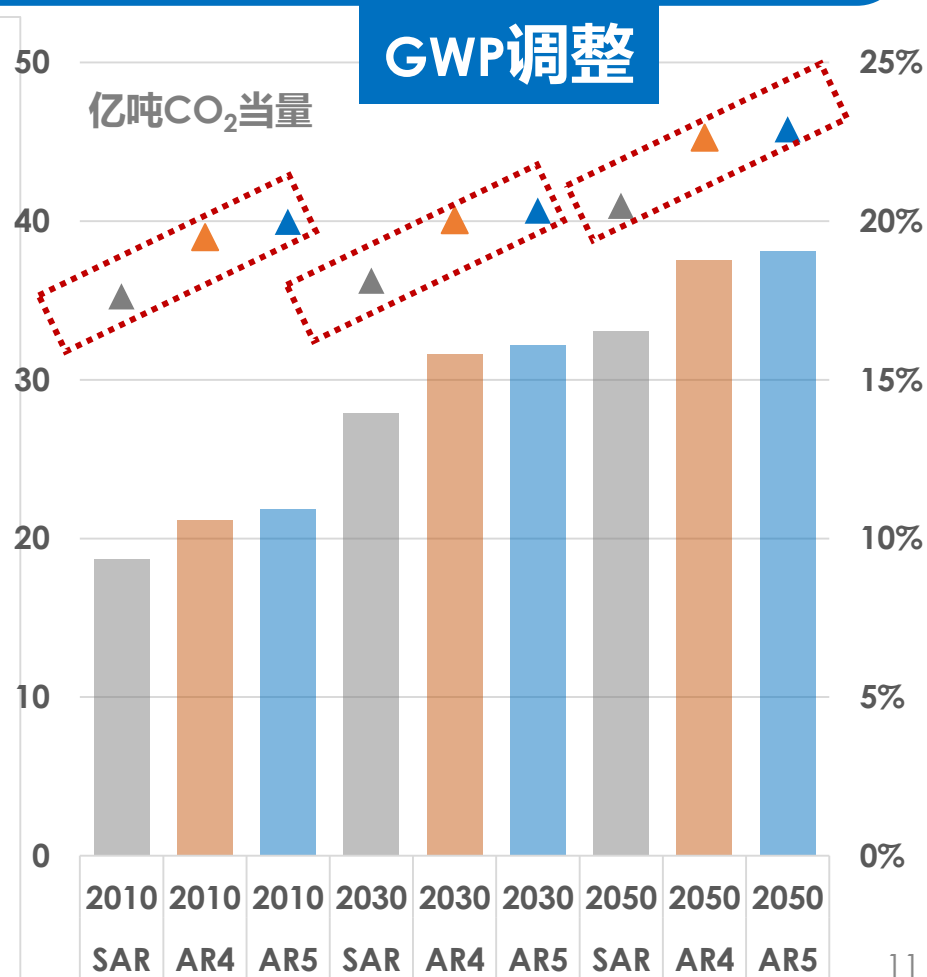
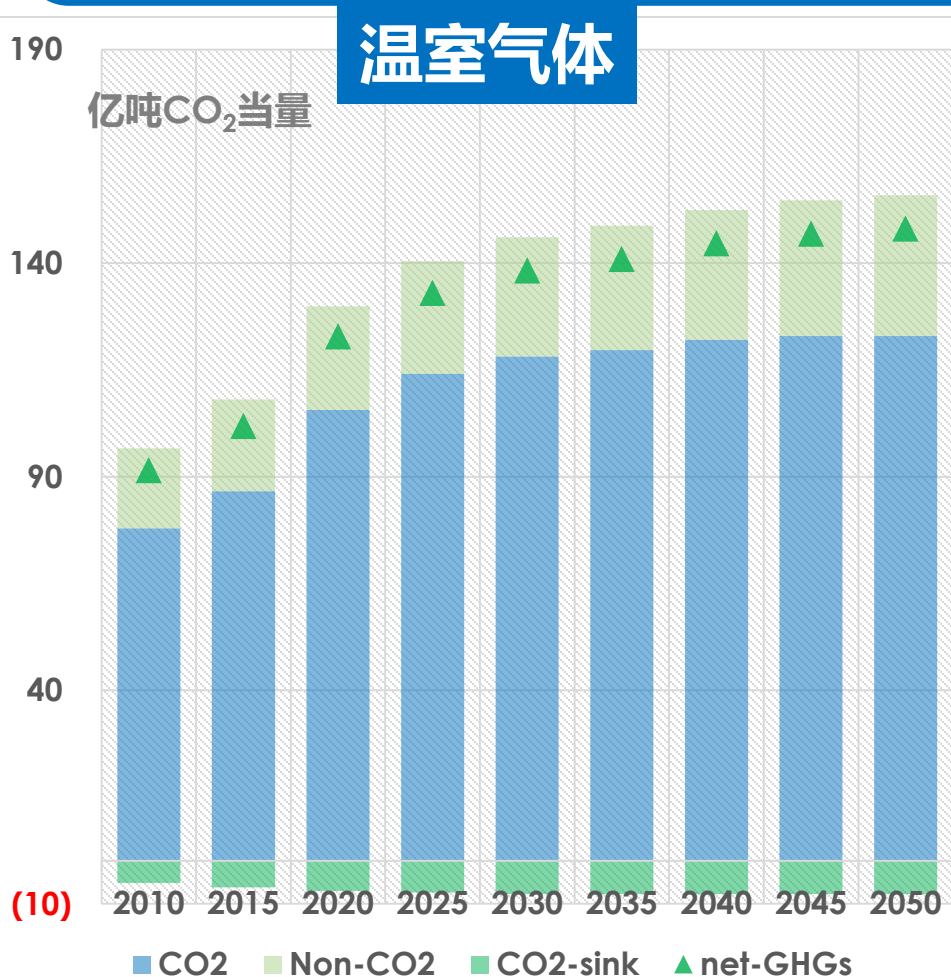
参考文献与专家建议，设定更高的固体废弃物焚烧比例、更高速的含氟气体替代，以及硝酸、己二酸等工业部门的自主减排

情景	减排策略	排放路径	
		CO <sub>2</sub>	non-CO <sub>2</sub>
REF-REF	不减排	REF	REF
NDC-REF	CO <sub>2</sub> -only	NDC	REF
NDC-CPS	Multi-gas	NDC	CPS
NDC-NPS	Multi-gas	NDC	NPS

# 温室气体

## 非二气体排放占比稳定在20%左右，稳中有升

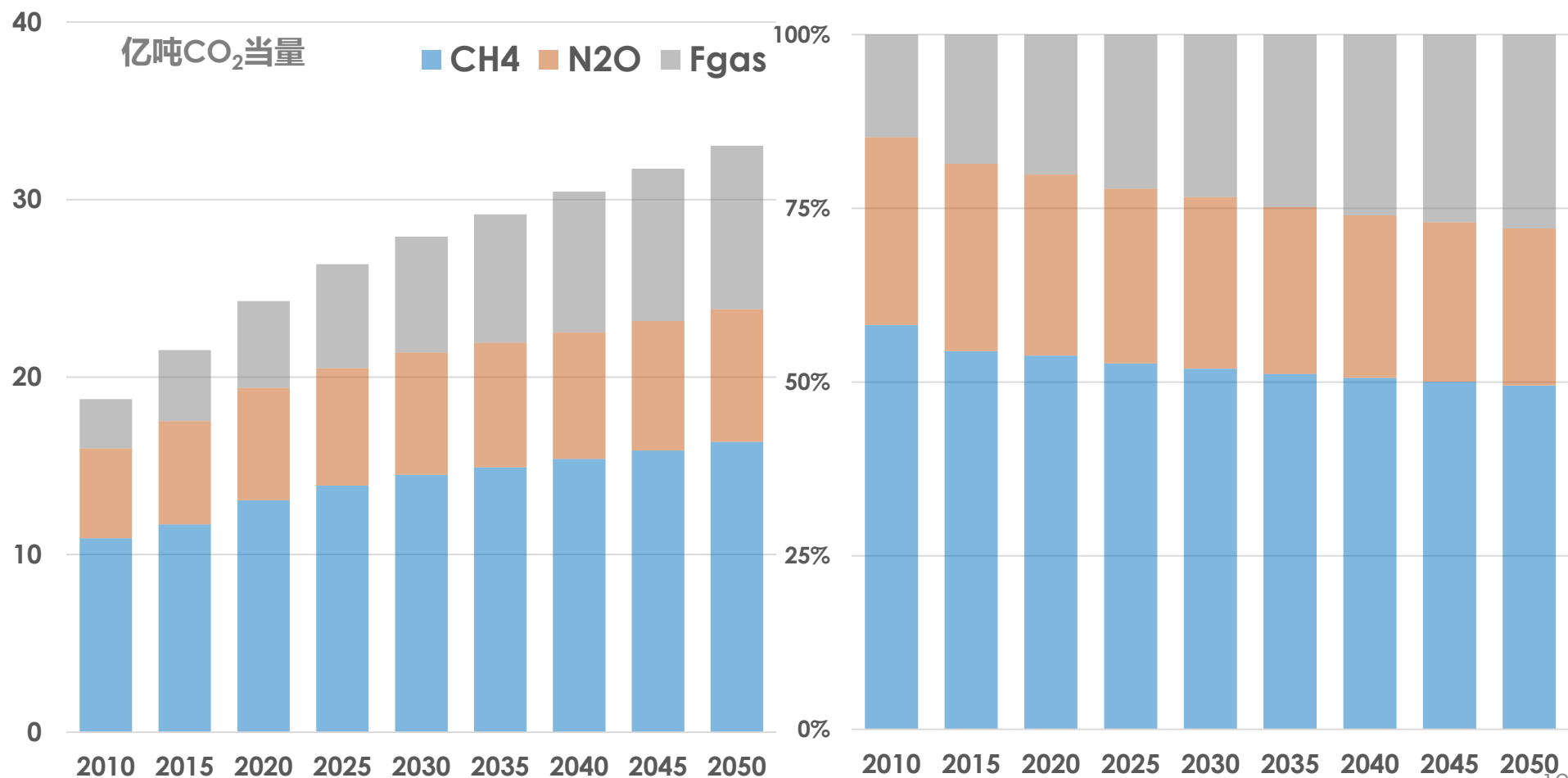
- ✓ 不考虑碳汇时，温室气体排放总量于2050年增长至156亿吨CO<sub>2</sub>e，能源相关CO<sub>2</sub>排放量于2045年达到123亿吨的峰值水平；非二气体排放从2010年的18.8亿吨CO<sub>2</sub>e，至2030年和2050年分别达到27.9亿吨CO<sub>2</sub>e和33.0亿吨CO<sub>2</sub>e，分别上涨48.4%和75.5%。



# 非二氧化碳

## 甲烷排放占比略有下降，含氟气体增势明显

- 甲烷：2010年约为10.9亿吨CO<sub>2</sub>e，至2030年和2050年分别达到14.5和16.4亿吨CO<sub>2</sub>e
- 氧化亚氮：2010年约为5.1亿吨CO<sub>2</sub>e，至2030年和2050年分别为6.9和7.5亿吨CO<sub>2</sub>e
- 含氟气体：2010年为2.8亿吨CO<sub>2</sub>e，至2030年和2050年达到6.5和9.2亿吨CO<sub>2</sub>e

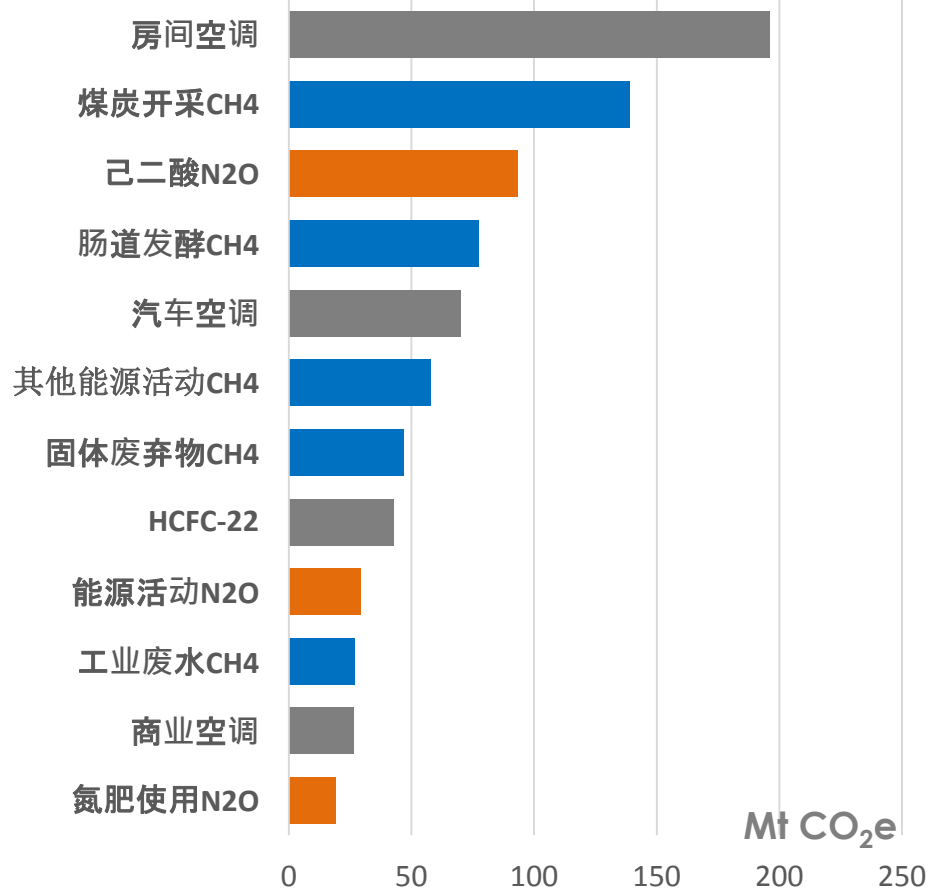


# 非二气体

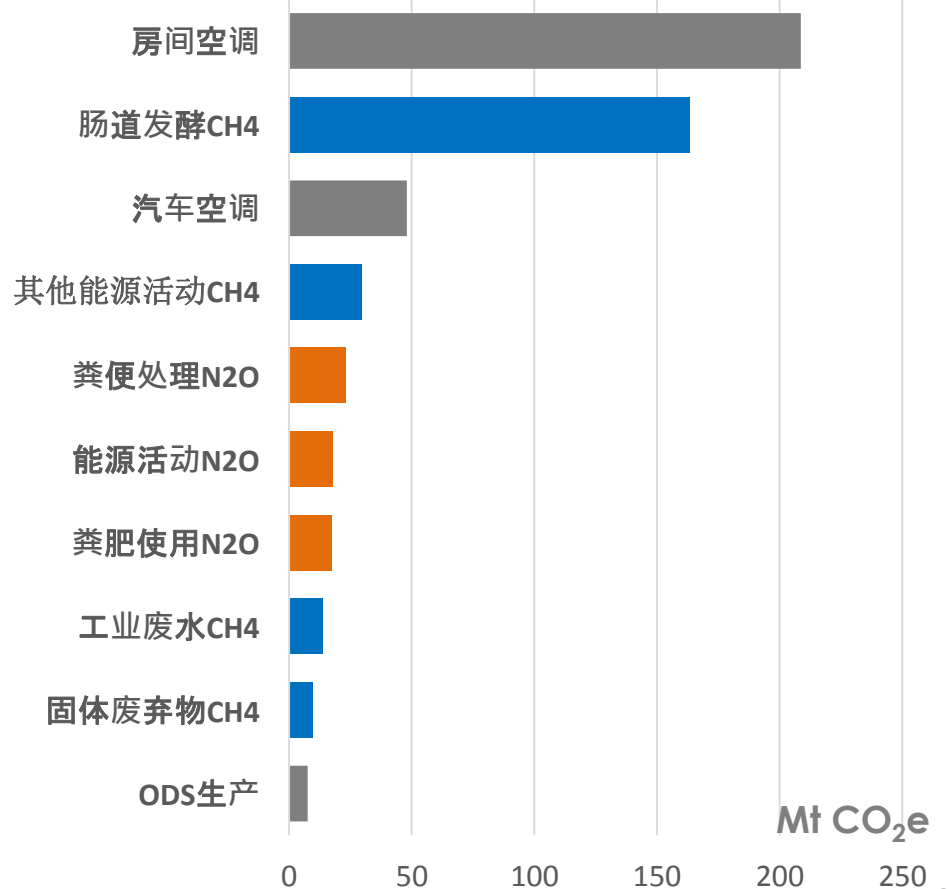
## 与消费者行为和能源行业发展密不可分

- 2010-2030年增量来源为**房间空调、煤炭开采、己二酸生产、肠道发酵和汽车空调等**，2030-2050年增量来源则更加集中在**空调制冷和农业部门**，与人民生活饮食起居息息相关
- **非二气体排放情景构建与消费者行为和能源情景的发展密不可分**

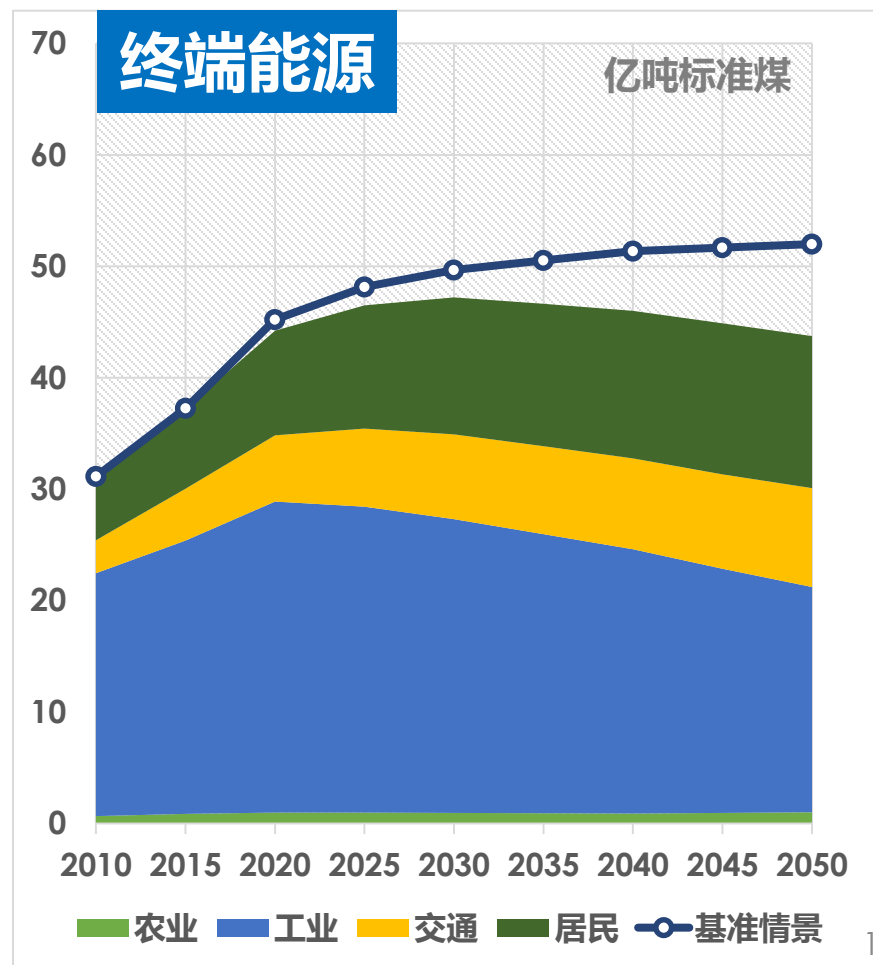
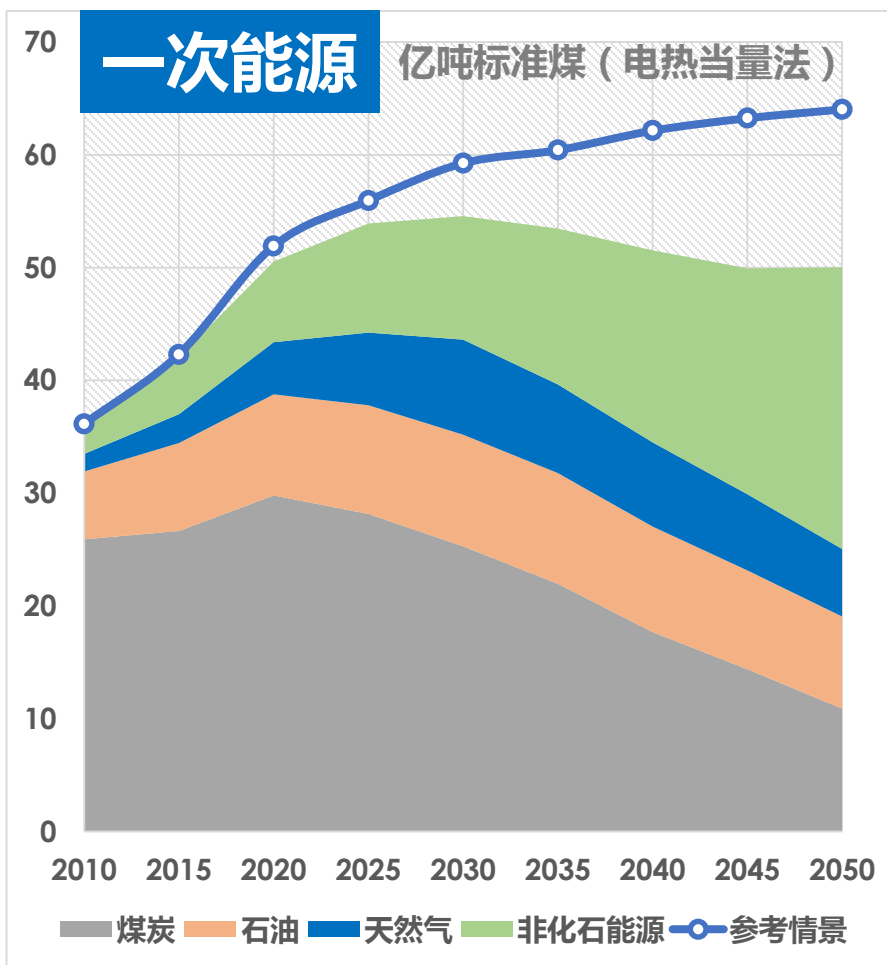
### 2010-2030



### 2030-2050



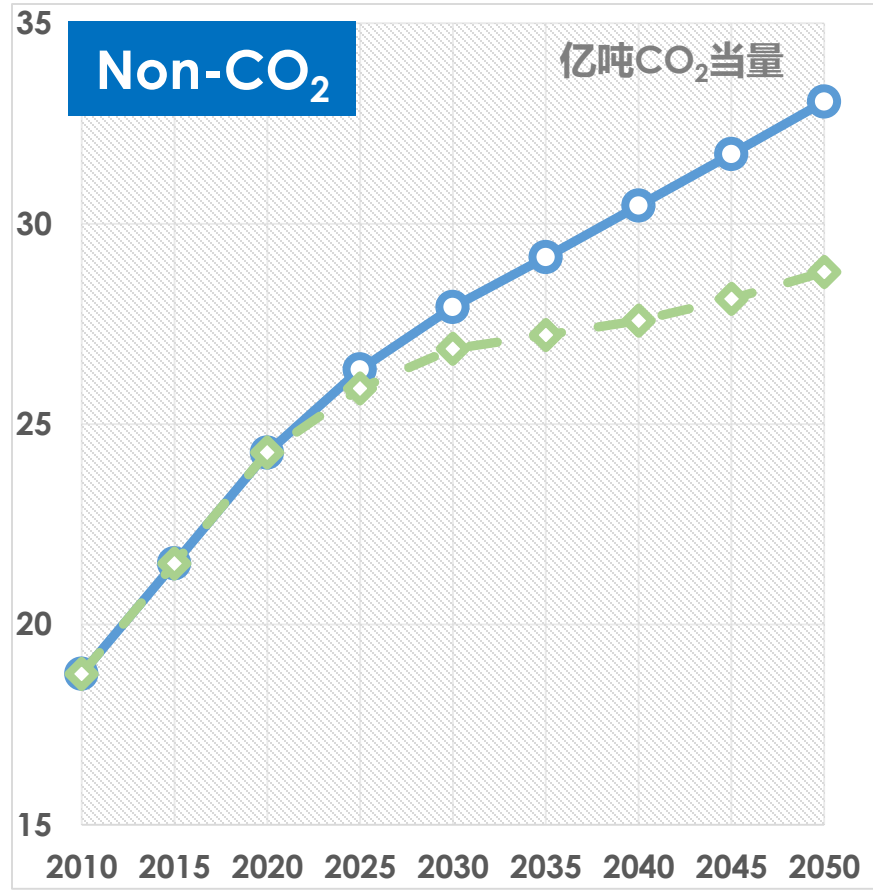
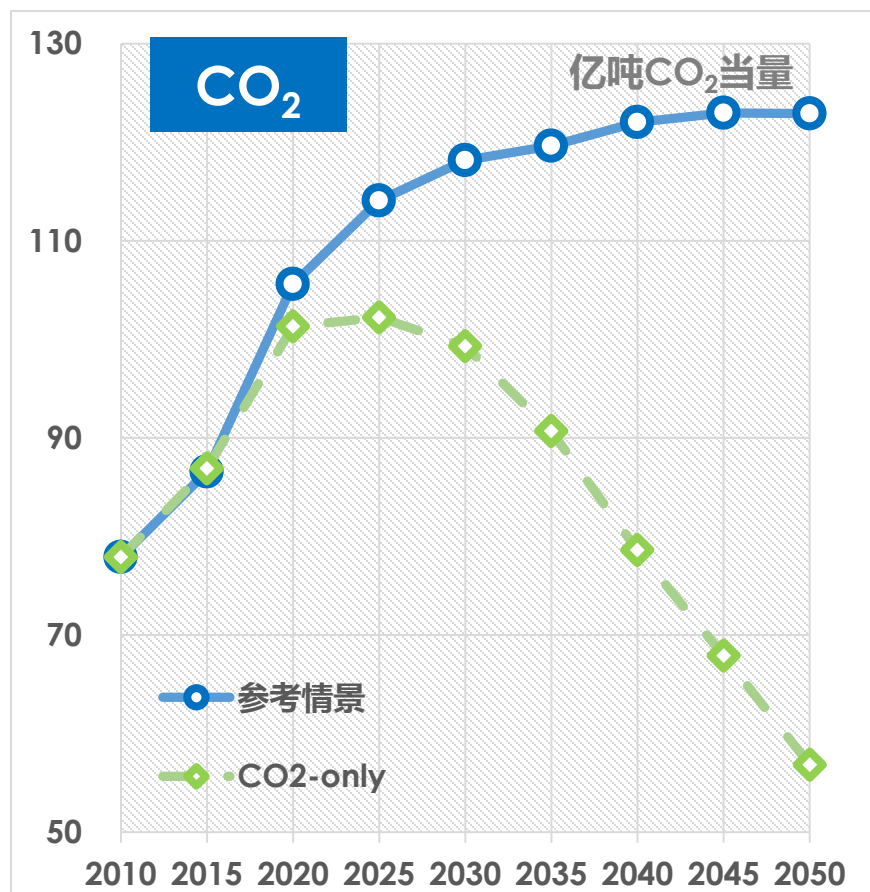
- ◆ 一次能源消费：至2030年达峰至54.6亿tce，天然气消费占比15.2%，可再生能源占比约20%；2050年降至49.6亿tce，非化石能源占比50.0%
- ◆ 终端能源消费：至2030年达峰，峰值水平约为47.2亿tce



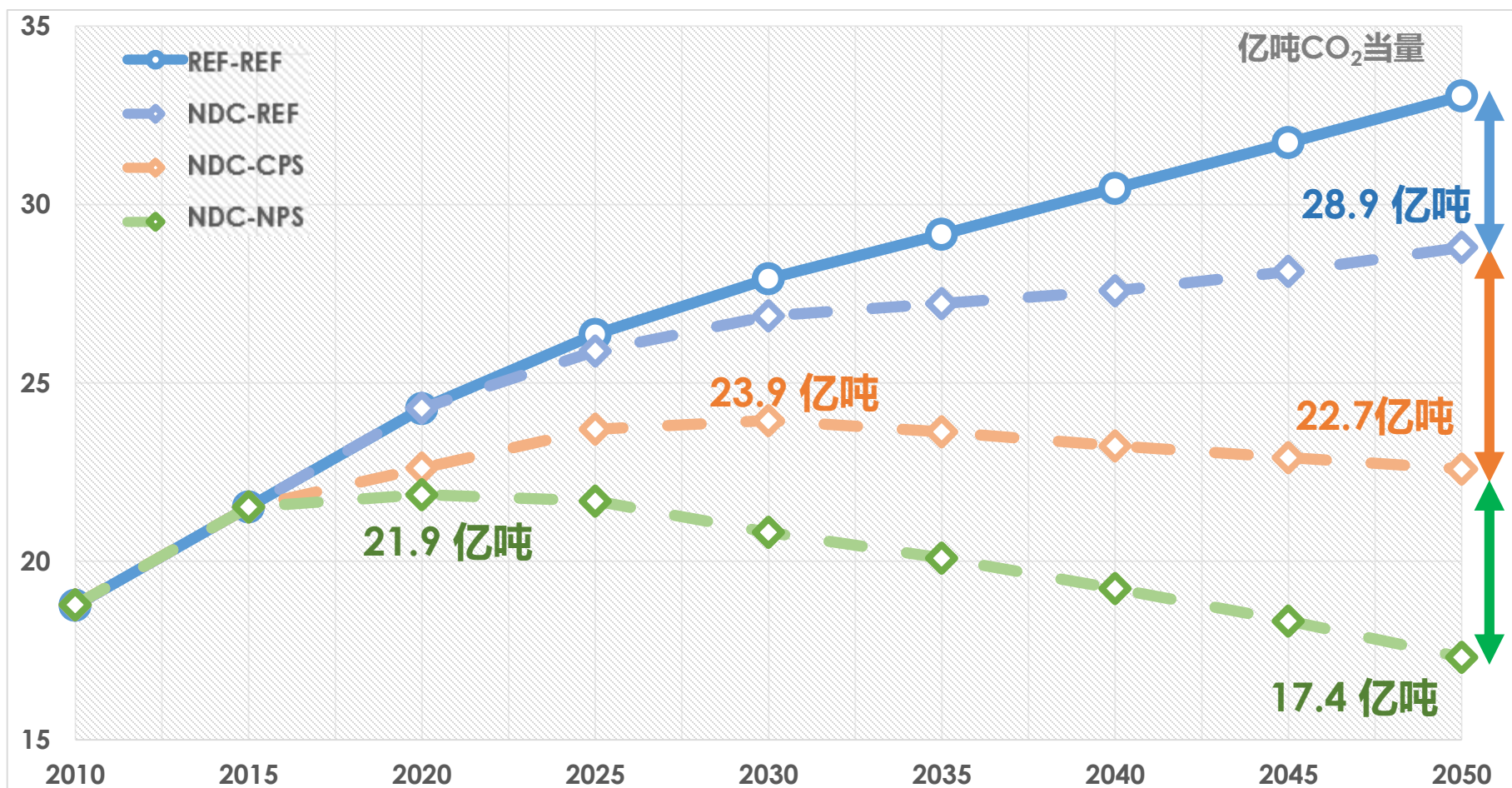
# CO<sub>2</sub>-only

## 能源相关CO<sub>2</sub>排放于2025年达峰~102亿吨

- ◆ CO<sub>2</sub>-only减排策略情形下，能源相关CO<sub>2</sub>排放于2025年达峰，峰值水平约为102.2亿吨；至2050年回落至56.8亿吨，相对参考情景降低53.8%
- ◆ 煤炭消费量和生产量降幅明显，是带动非二气体协同减排的主要因素：2030年、2050年非二气体协同减排量分别为1.1和4.2亿吨CO<sub>2</sub>e



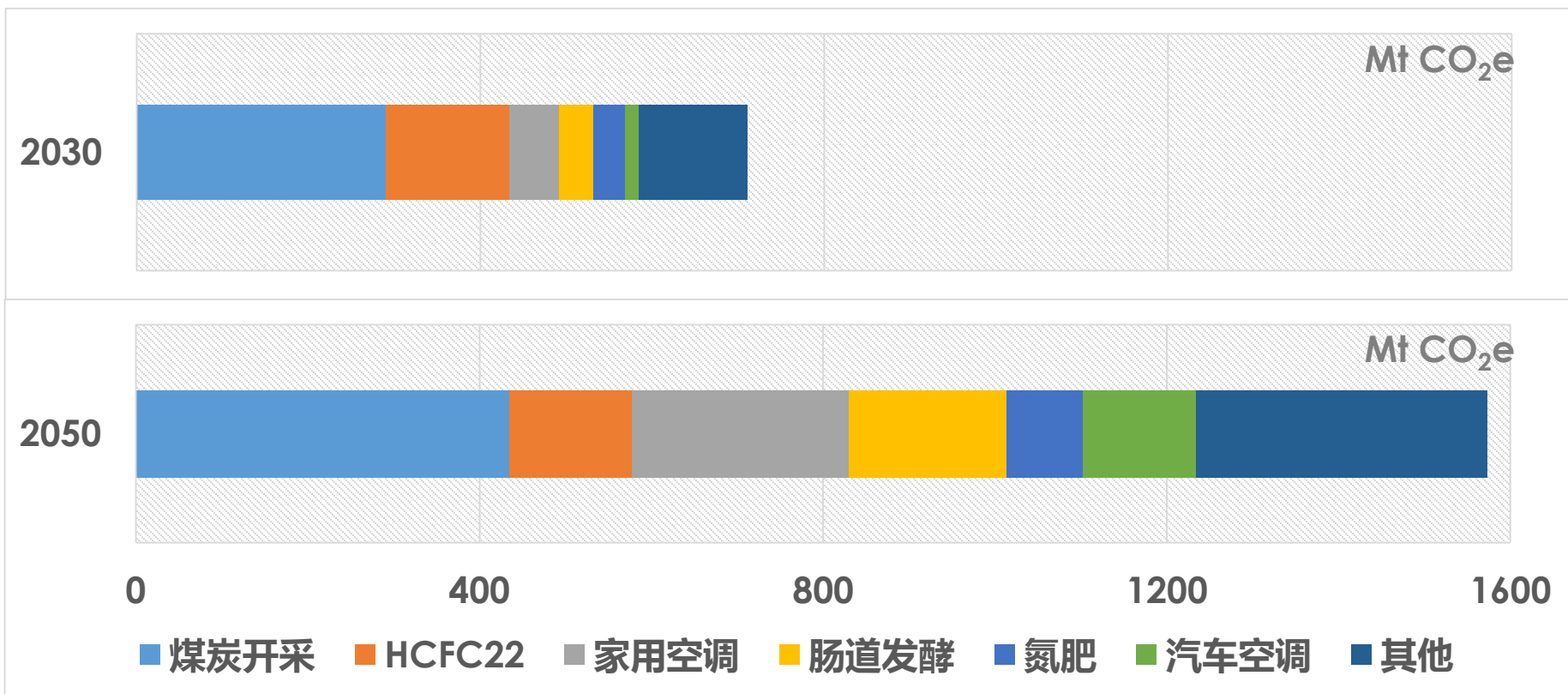
- ◆ 2030年CO<sub>2</sub>减排给非二气体减排带来的协同效益为1.0亿吨CO<sub>2</sub>e，现有政策的减排贡献约为2.9亿吨CO<sub>2</sub>e，而新政策能额外提供3.1亿吨CO<sub>2</sub>e减排量
- ◆ 2050年减排贡献依次为4.2、6.2和5.3亿吨CO<sub>2</sub>e减排量，总计15.7亿吨CO<sub>2</sub>e





# 部门识别

## 非二气体减排潜力主要分布在6个部门



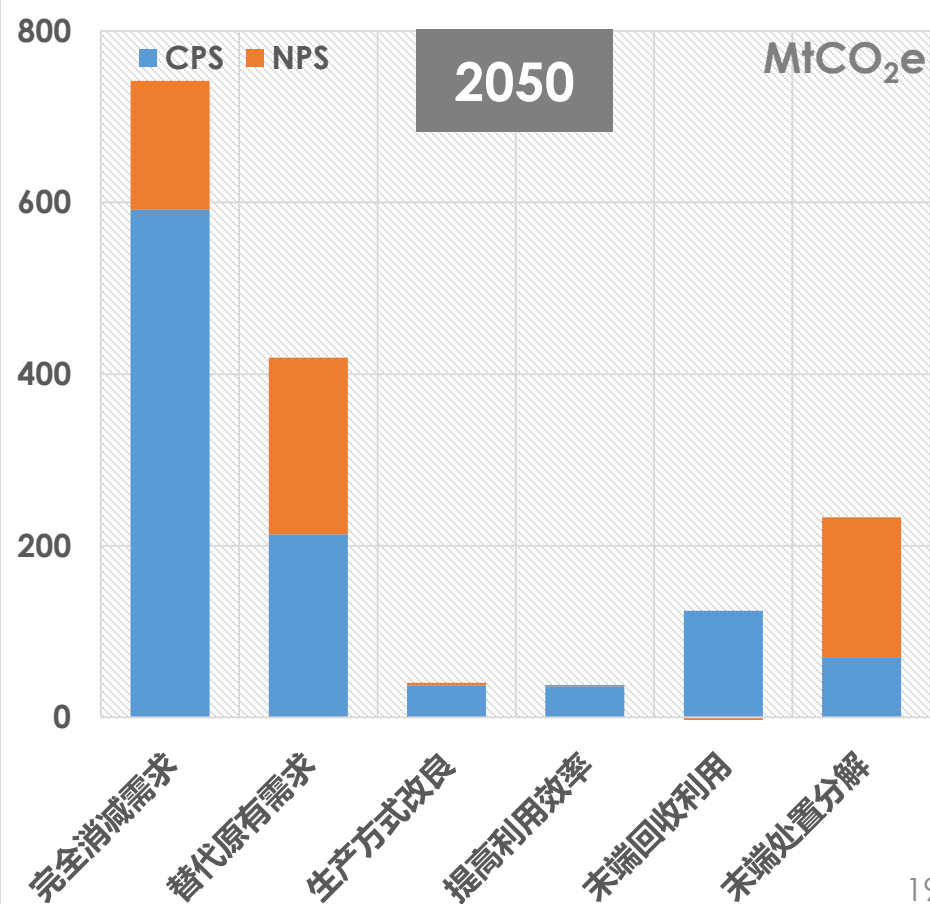
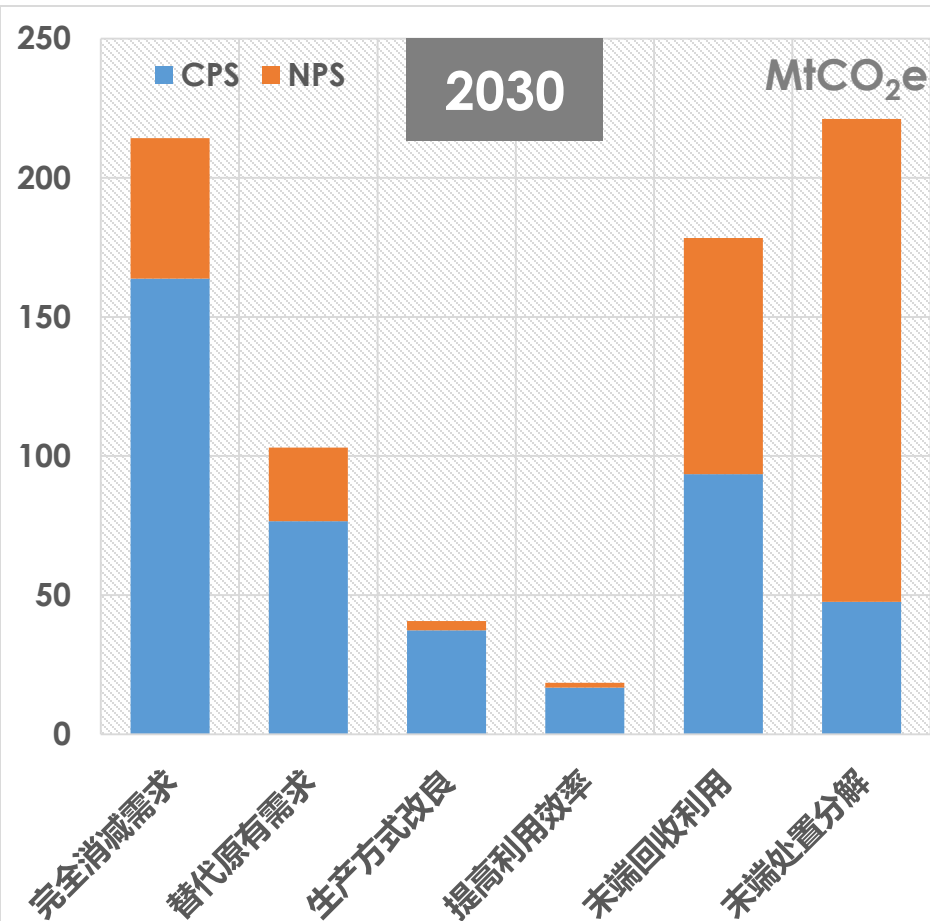
综上所述，非二气体减排的6个最主要部门分别为煤炭开采、HCFC-22生产、家用空调、肠道发酵、氮肥施用和汽车空调。累计减排量占总减排量的比例高于80%。

前期	完全消减需求	煤炭开采 动物肠道发酵 动物粪便管理 农用地 固废填埋	能源系统转型 改良和推广高生产力牲畜品种、改善饮食结构 改善饮食结构 降低化学氮肥施用 焚烧处理
	替代原有需求	电力系统 半导体制造 汽车空调 房间空调	SF <sub>6</sub> +N <sub>2</sub> 混合气体替代 碳酰氟COF <sub>2</sub> 替代 HFO-1234yf替代 R290 替代
中期	生产方式改良	水稻种植 动物肠道发酵 铝冶炼	推广湿润灌溉和间歇灌溉、 生长期间歇式排水与烤田相结 合理搭配日粮精/粗料比 自动熄灭阳极效应、无效应铝电解工艺
	提高利用效率	农用地	测土配方施肥（配方肥）
后期	末端回收利用	煤炭开采 动物粪便管理 固体废弃物 废水处理	回收发电 堆肥产沼气 回收利用、回收发电 回收发电
	末端处置分解	煤炭开采 固体废弃物 HCFC-22生产 硝酸生产 己二酸生产	封闭燃烧、氧化处理 排空燃烧 热分解处理 二级处理法、三级处理法 催化分解法

# 措施识别

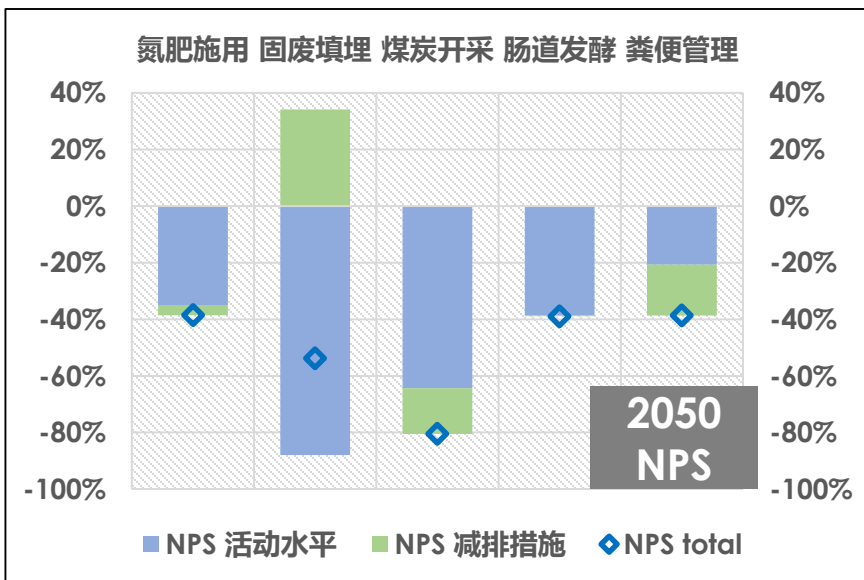
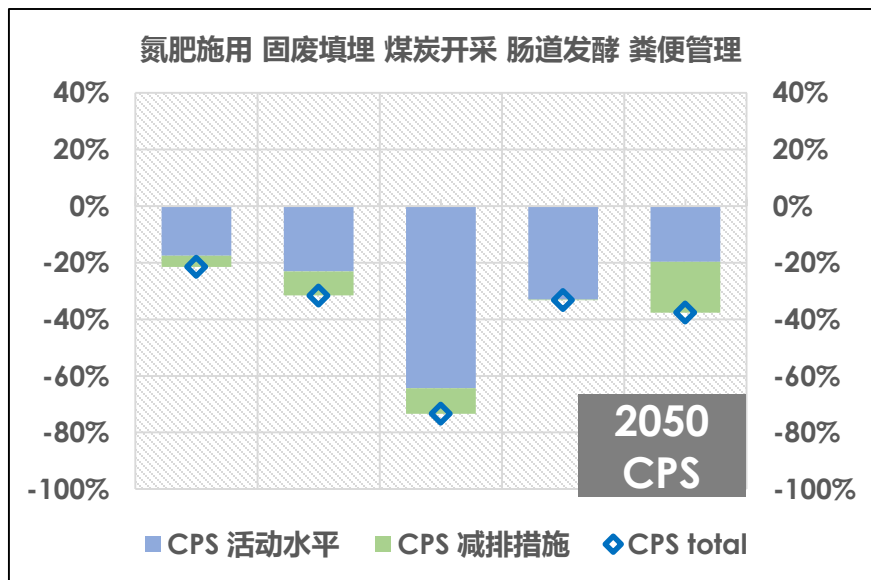
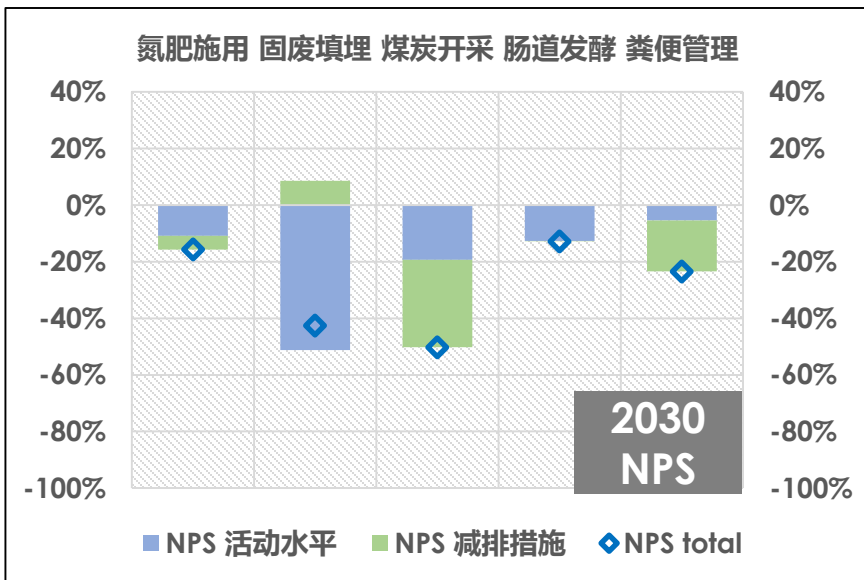
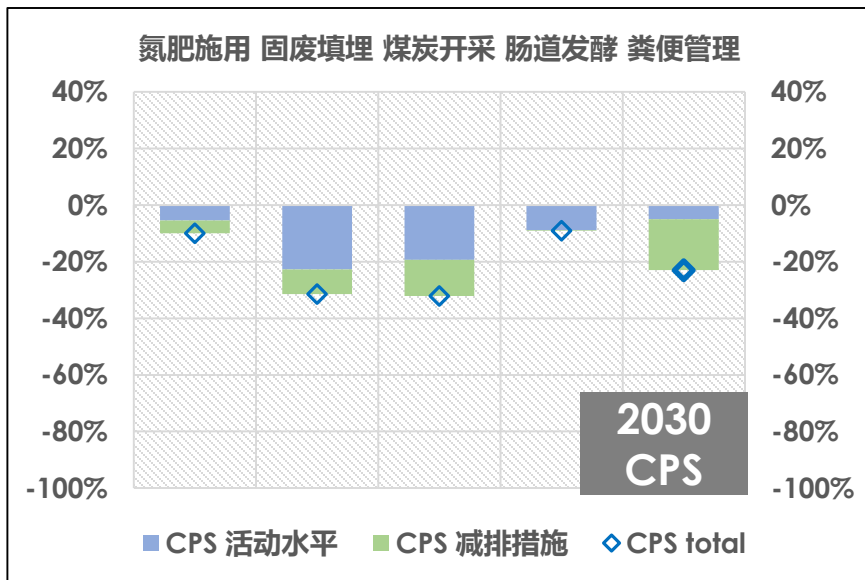
## 不同类型减排措施的非二气体减排量贡献

- 2030年，CPS情景减排主要由前期的完全消减需求、替代原有需求，与后期的末端回收利用、末端处置分解措施实现；NPS情景减排增量来源为末端处置分解、回收利用措施市场渗透率的提升，以及前期需求消减与替代力度的加强
- 2050年，NPS情景减排增量来源调整为需求消减和替代，末端措施贡献明显回落



# 重点部门

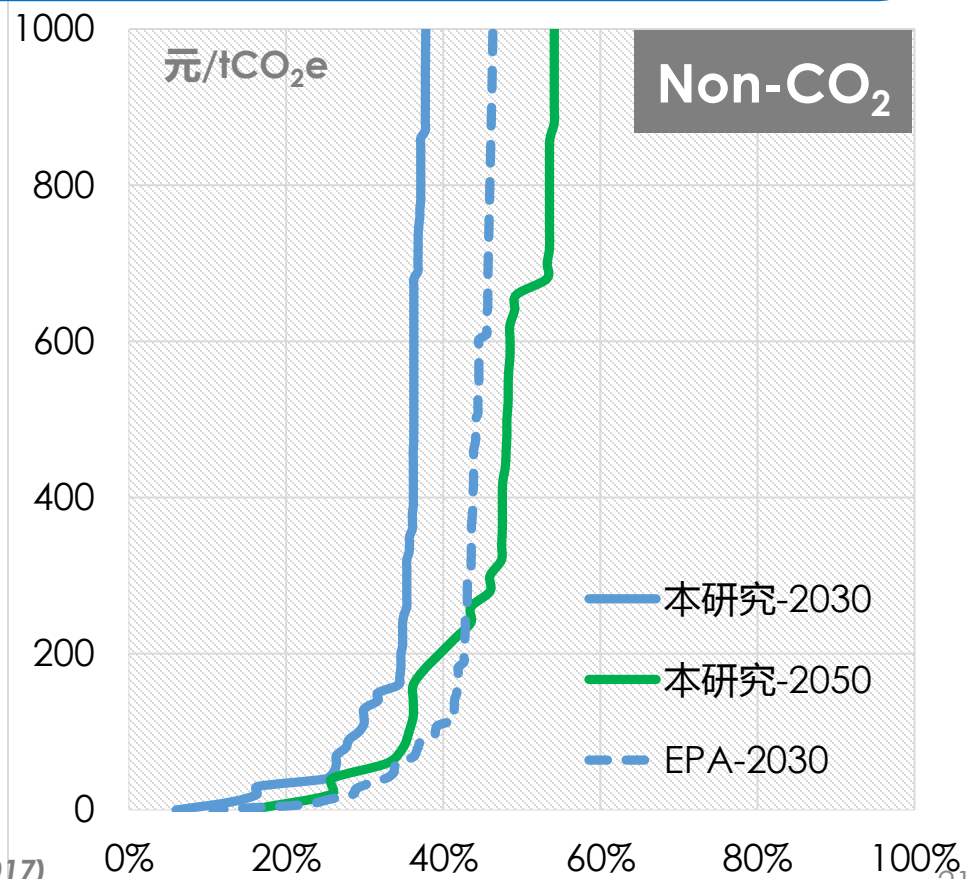
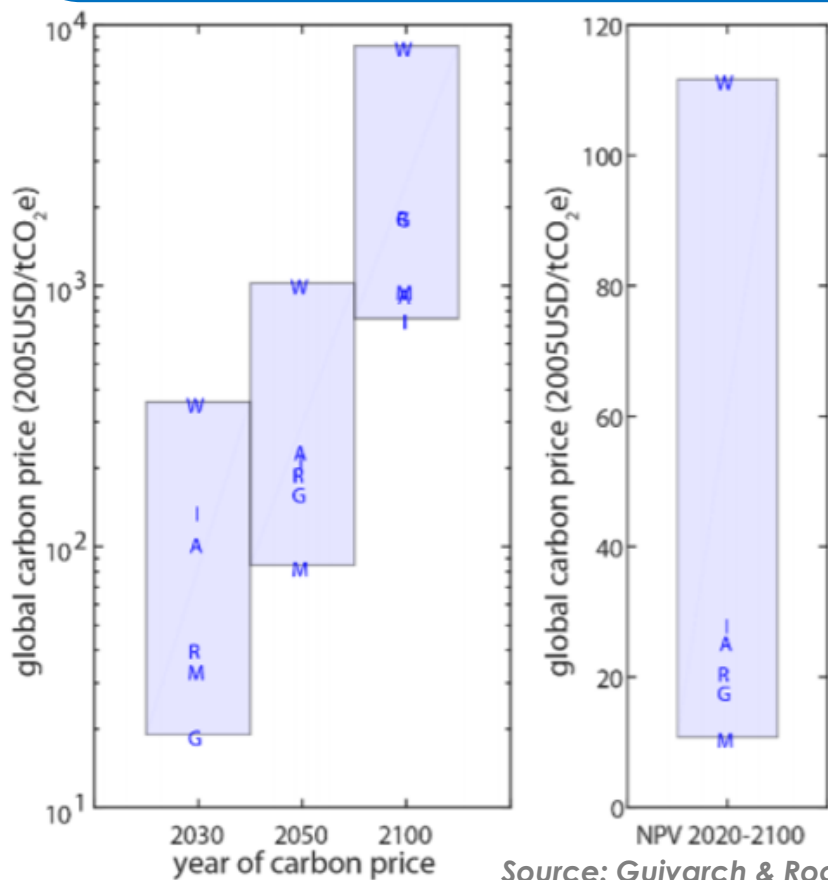
## 行为方式转变影响活动水平，实现显著减排



# 减排成本

## China-MORE模型非二气体MACs与EPA可比

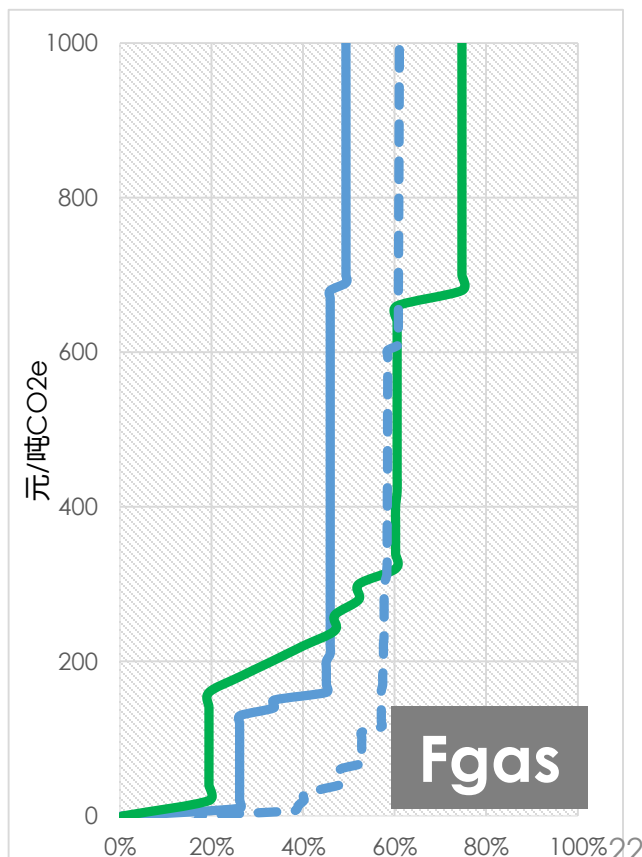
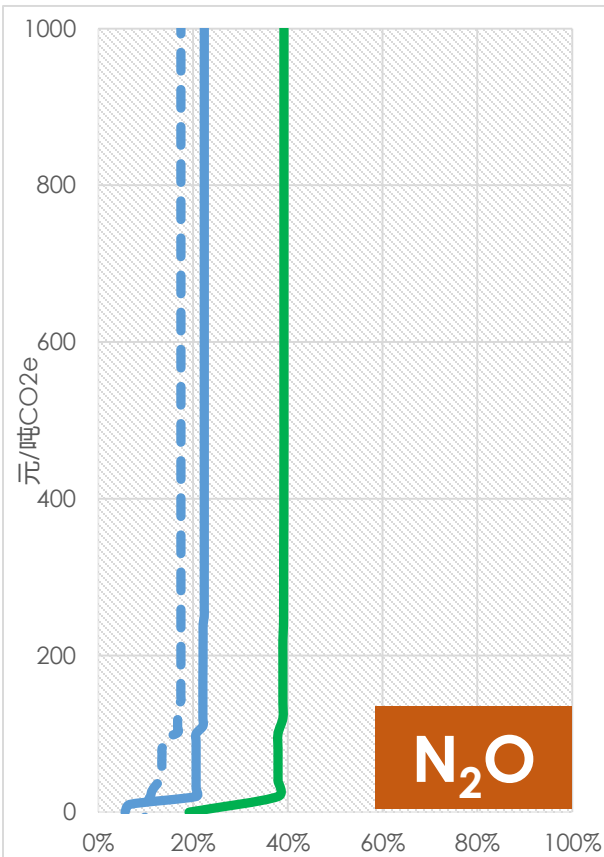
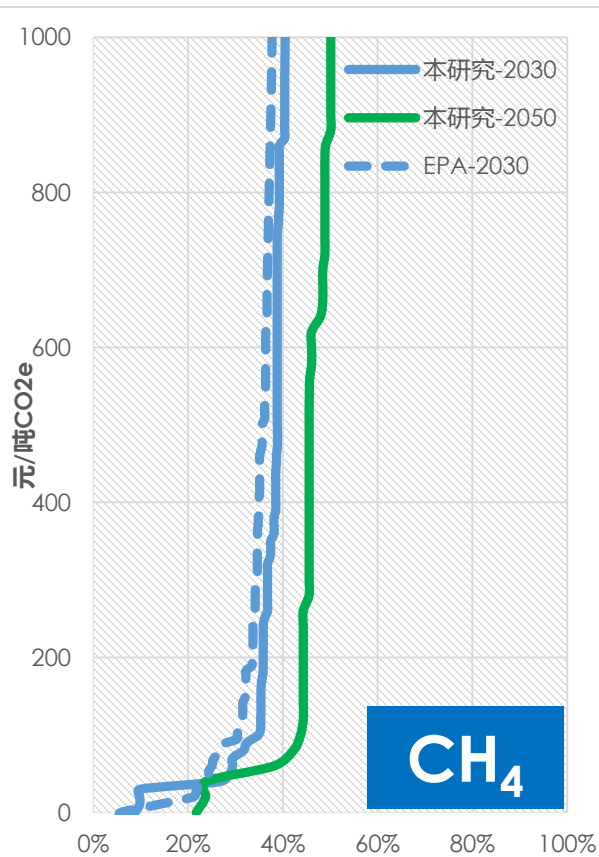
- 对于non-CO<sub>2</sub>，存在经济可行的减排技术，并能够实现一定的减排幅度
- Non-CO<sub>2</sub>：50~1000元/tCO<sub>2</sub>e，2030年减排幅度为26.1%~37.8%；2050年减排率为29.3%~54.1%；可用于抵消的减排量为7.3~10.6和9.7~17.9亿吨CO<sub>2</sub>e



# 减排成本

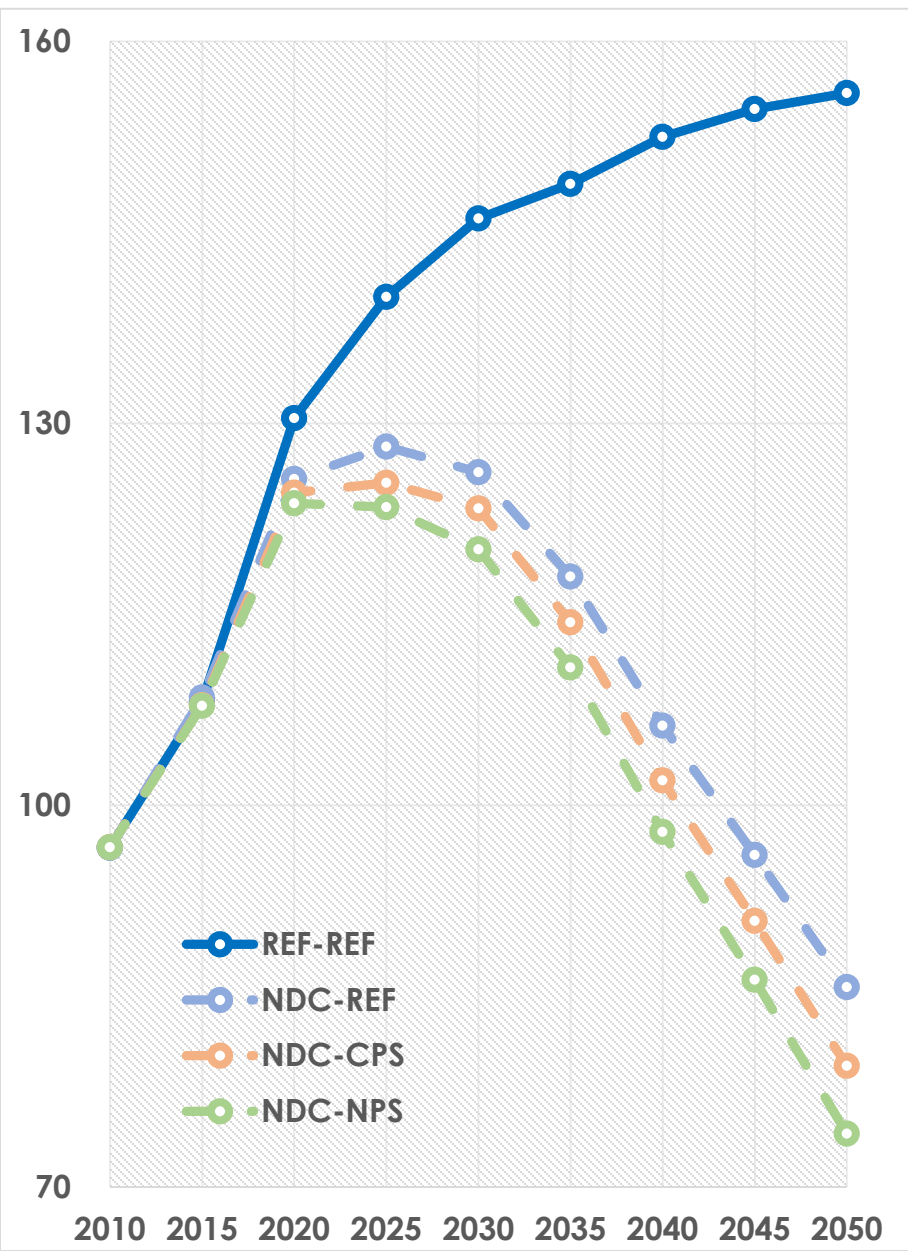
## 非二氧化碳减排潜力与成本存在显著差异

- CH<sub>4</sub>: 50~1000元/tCO<sub>2</sub>e, 2030年减排幅度28.8%~40.5%, 2050年为30.9%~50.1%; 抵消减排量分别为4.2~5.9和5.1~8.2亿吨CO<sub>2</sub>e
- N<sub>2</sub>O: 50~1000元/tCO<sub>2</sub>e, 2030年减排幅度20.6%~22.4%, 2050年为与38.0%~39.2%; 抵消减排量分别为1.4~1.5和2.8~2.9亿吨CO<sub>2</sub>e
- F-gas: 50~1000元/tCO<sub>2</sub>e, 2030年减排幅度26.2%~49.4%, 2050年为19.5%~74.7%; 抵消减排量分别为1.7~3.3和1.8~6.9亿吨CO<sub>2</sub>e



# 排放强度

## 中长期低排放发展战略中的GHG减排目标



	CO <sub>2</sub> 排放强度 (tCO <sub>2</sub> /万元)	变化 幅度	GHG排放强度 (tCO <sub>2</sub> e/万元)	变化 幅度
2005	2.24	/	3.09	/
2030	0.66	-70.3%	0.85	-72.6%
2050	0.20	-91.0%	0.28	-90.9%

- ◆ 2030年单位GDP的能源相关CO<sub>2</sub>和GHG强度相对2005年水平分别下降70.3%和72.6%，均能满足我国INDC文件提出的60%-65%目标
- ◆ 2050年，CO<sub>2</sub>与GHG的排放强度降幅扩大至91.0%和90.9%，GHG排放相对2005年水平的增幅回落至10%以内

## 非二气体减排挑战和机遇并存

- 非二温室气体排放总量及未来增量不可忽视，减排对总体经济影响范围可控；但排放清单不确定性大，排放情景受消费行为影响显著，减排的挑战和机遇并存；
- 非二气体减排对碳预算及全球长期目标的实现有显著影响，发达国家温室气体减排主要依靠非二，且大部分国家的NDC及低排放发展战略中均包含了非二温室气体；

## 能源相关CO<sub>2</sub>排放达峰可实现非二气体协同减排

- 如果不加管控，非二气体排放持续增长，至2030、2050年分别达到27.9和33.0亿吨CO<sub>2</sub>e；不确定性范围是-30.6%~32.9%和-32.3%~33.9%；
- 现有能源二氧化碳的减排政策将带来显著的非二协同减排（主要是煤矿甲烷），2030年、2050年，非二气体协同减排量分别为1.1和4.2亿吨CO<sub>2</sub>e。

## 我国可以实现非二排放达峰，GHG排放强度大幅下降

- NPS情景下非二气体排放量于2020年达峰，峰值水平为21.9亿吨CO<sub>2</sub>e
- 2030年单位GDP的GHG强度相对2005年水平下降72.6%，2050年GHG排放强度降幅扩大至90.9%，GHG排放相对2005年水平的增幅回落至10%以内



## CPS&NPS: 非二气体减排关键领域及政策措施

- 非二气体减排的6个最主要部门分别为煤炭开采、HCFC-22生产、房间空调、肠道发酵、氮肥施用和汽车空调
- 在近中期，非二气体减排主要由需求管理和末端处理类措施实现；而中长期减排主要由前端的需求管理类政策措施贡献

## 多气体联合减排相对单独减排CO<sub>2</sub>可实现大幅成本节约

- 对于非二气体排放，存在经济可行的减排技术，并能够实现一定的减排幅度
- 50~1000元/tCO<sub>2</sub>e区间，2030年减排幅度为26.1%~37.8%；2050年减排率为29.3%~54.1%；可用于抵消的减排量为7.3~10.6和9.7~17.9亿吨CO<sub>2</sub>e
- 多气体联合减排相对单独减排CO<sub>2</sub>，2030、2050年成本节约可达到45.2%和56.7%

### 强化非二气体排放数据基础，提高准确度

- 强化非二气体减排政策制定所需的数据基础，降低非二气体排放测量、报告与核查过程的不确定性，鼓励开展减排成本有效性研究

### 在增强NDC和2050战略中纳入非二减排目标

- 可以酌情考虑我国非二排放或全温室气体达峰的目标，并将其作为增强2030年NDC目标的备选方案；
- 在2050年低排放发展战略中酌情纳入非二气体减排的量化目标，可以考虑将2050年人均非二排放控制在1tCO<sub>2</sub>e的水平；

### 需求管理+末端处理，多措并举实现非二气体减排

- 排放源分散程度较高、减排难度较大
- 加强关于居民膳食结构调整的政策引导力度
- 发展政府绿色采购目录，制订和实施空调标准和监管体系
- 加大力度推广垃圾分类



**谢谢大家！**  
**敬请批评指正！**