



Energy Technologies Area

Lawrence Berkeley National Laboratory

# 电力市场改革的红利、市场影响以及 转型政策选择

林江

劳伦斯伯克利国家实验室

加州大学伯克利分校

2018年3月29日



林江  
劳伦斯伯克利国家实验室  
伯克利-清华能源和气候联合研究中心  
加州大学伯克利分校



Dr. Fredrich Kahrl  
能源和环境经济 (E3)



袁家海  
华北电力大学



陈启鑫  
清华大学



刘栩  
劳伦斯伯克利国家实验室

- 背景
- 研究问题
- 方法和情景分析
- 结果
- 不确定性分析
- 结论

- 背景
- 研究问题
- 方法和情景分析
- 结果
- 不确定性分析
- 结论

- 中国正在进行电力市场改革
- 中国电力市场改革对环境和经济有潜在积极作用
  - 避免对煤电的过度投资
  - 减少弃风弃光弃水等弃电现象
  - 提高空气质量，实现二氧化碳减排
  - 提高电力系统效率
- 广东省电力市场改革
  - 电力批发市场和需求响应
  - 2018年第一批启动实时批发市场
- 中国的市场改革面临政治经济阻碍
  - 目前缺乏市场改革的影响和困难的定量分析

- 背景
- 研究问题
- 方法和情景分析
- 结果
- 不确定性分析
- 结论

## 重点问题

- 广东或中国如何最好地克服电力市场转型的政治经济障碍？
- 如何设计市场和管理规则支持电力系统向更清洁的方向转变？

## 具体问题

- 不同情境下电力市场改革带来多大收益
- 电力市场如何影响消费者、当地机组和进口机组？
- 可行的市场转变策略有哪些？

- 背景
- 研究问题
- 方法和情景分析
- 结果
- 不确定性分析
- 结论

- 构建简化的广东电力系统模型，突出各类型机组的结构差异
- 情景分析：与当前情况比较，分析市场改革后不同类型机组的净收益变化
- 市场情景假设按边际成本定价，有唯一的市场出清价格
- 以广东省为例，构建电力调度模型(Stack/Dispatch模型)

# 根据热效率差异把燃煤机组和燃气机组进行分类

组别	单机组装机容量	投产年份	总装机容量 (MW)	平均热效率 (gce/kWh)
煤电 1	> 1,000 MW	所有年份	14,362	281
煤电 2	600-1000 MW	2010-2017	6,887	301
煤电 3		1980-2009	15,530	315
煤电 4	300-600 MW	2000-2017	9,877	325
煤电 5		1980-1999	6,283	337
煤电 6	< 300 MW	所有年份	6,981	350
<b>煤电总计</b>			<b>59,920</b>	<b>313</b>
燃气 1			7,391	220
燃气 2			4,703	275
燃气 3			1,344	315
<b>燃气总计</b>			<b>13,438</b>	<b>256</b>

- 情景分析

- 1个参考情景：按照现有的计划分配方法调度

需求: 2016年广东省总电力消耗5610亿千瓦时，其中28%来自外省调入

供给: 各类型机组装机容量和年运行小时数如左下表

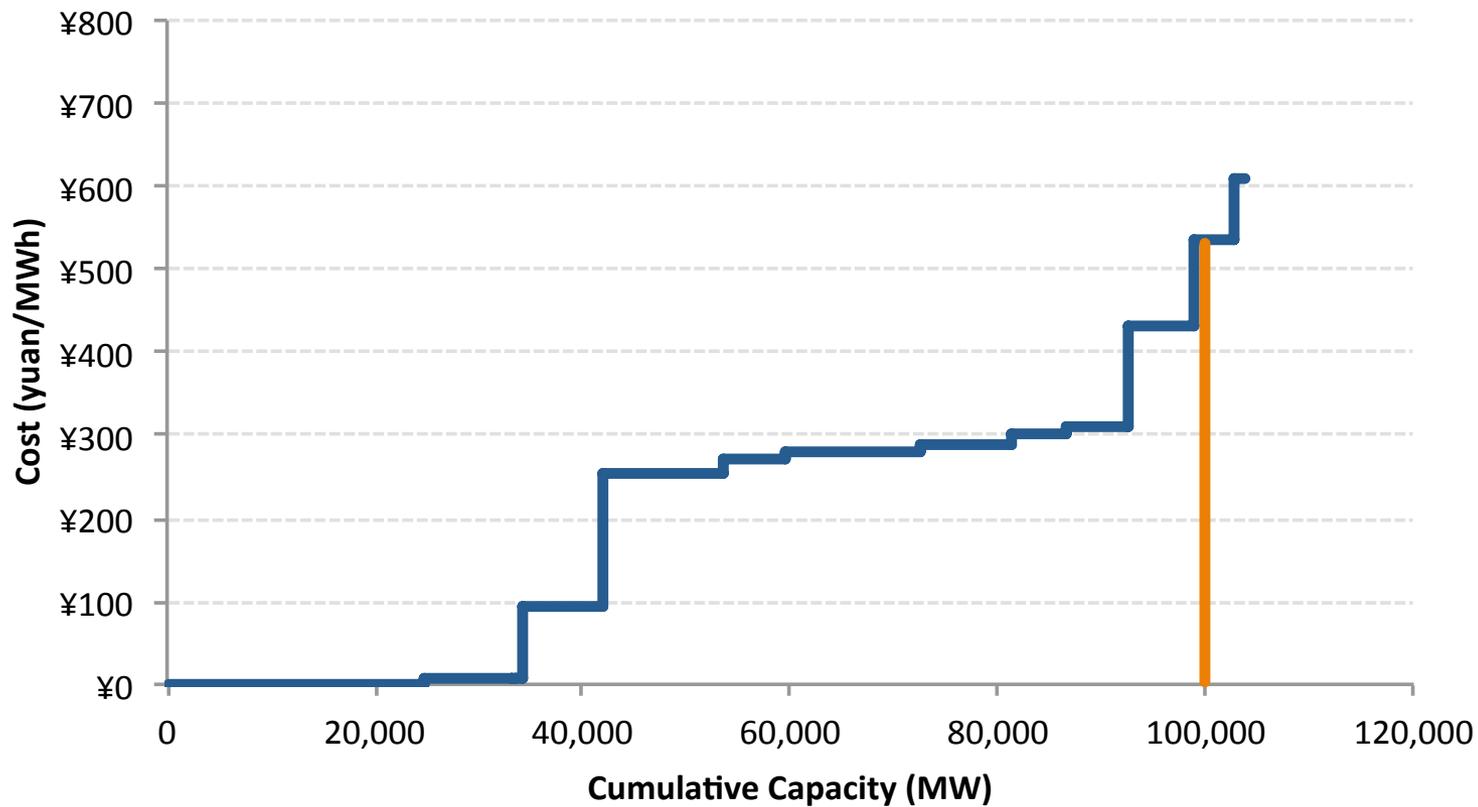
- 3个市场情景：按照边际成本最小的方法调度（右下表）

机组类型	总装机容量 (MW)	年运行小时数 (小时/年)
煤电	59,920	3,932
燃气	13,438	3,200
水电	14,110	3,550
风电	2,680	2,438
太阳能	1,560	1,717
核电	9,360	7,516

3个市场情景	稀缺性支付 (容量支付)	补贴支付
单一能量市场	无	无
低稀缺性和补贴支付 (低支付)	100元/ (千瓦·年) , 支付给所有机组	能量市场收入、稀缺性收入和现行标杆上网电价之间的差额
高稀缺性和补贴支付 (高支付)	400元/ (千瓦·年) , 支付给省内所有火电机组	能量市场收入和现行标杆上网电价之间的差额

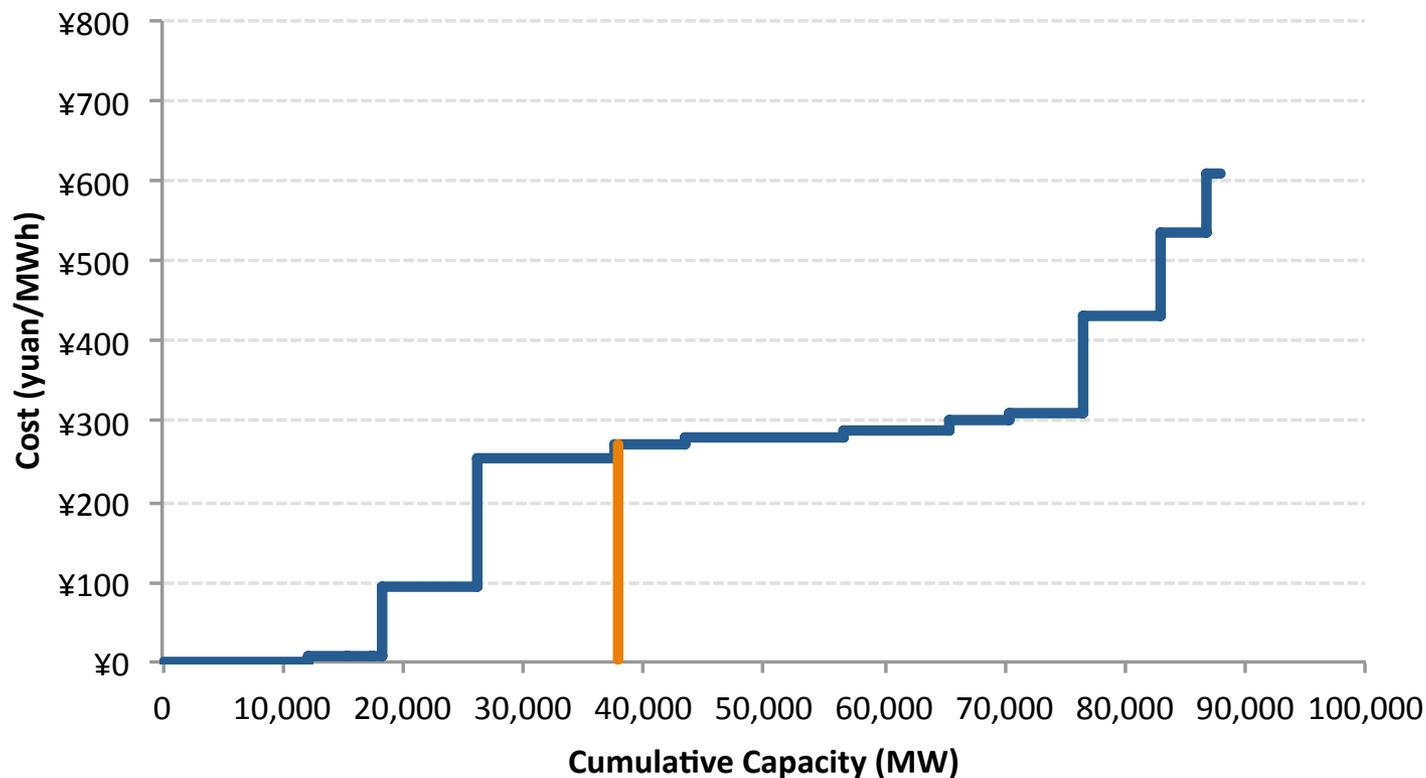
- 背景
- 研究问题
- 方法和情景分析
- 结果
- 不确定性分析
- 结论

高负荷典型日某小时的供给需求曲线，7月1日16点

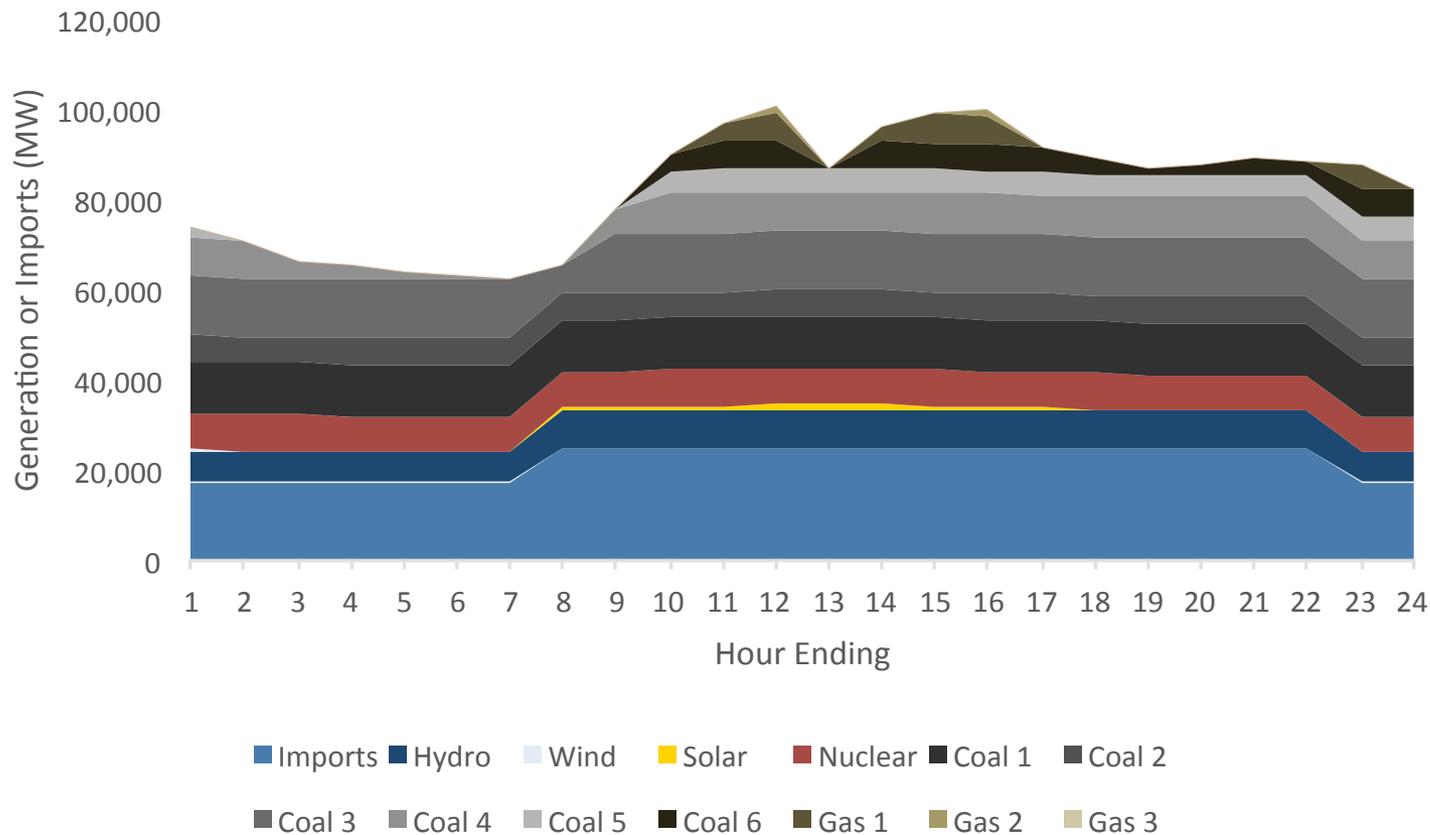


# 市场模拟：某一天某一小时的电力供给与需求

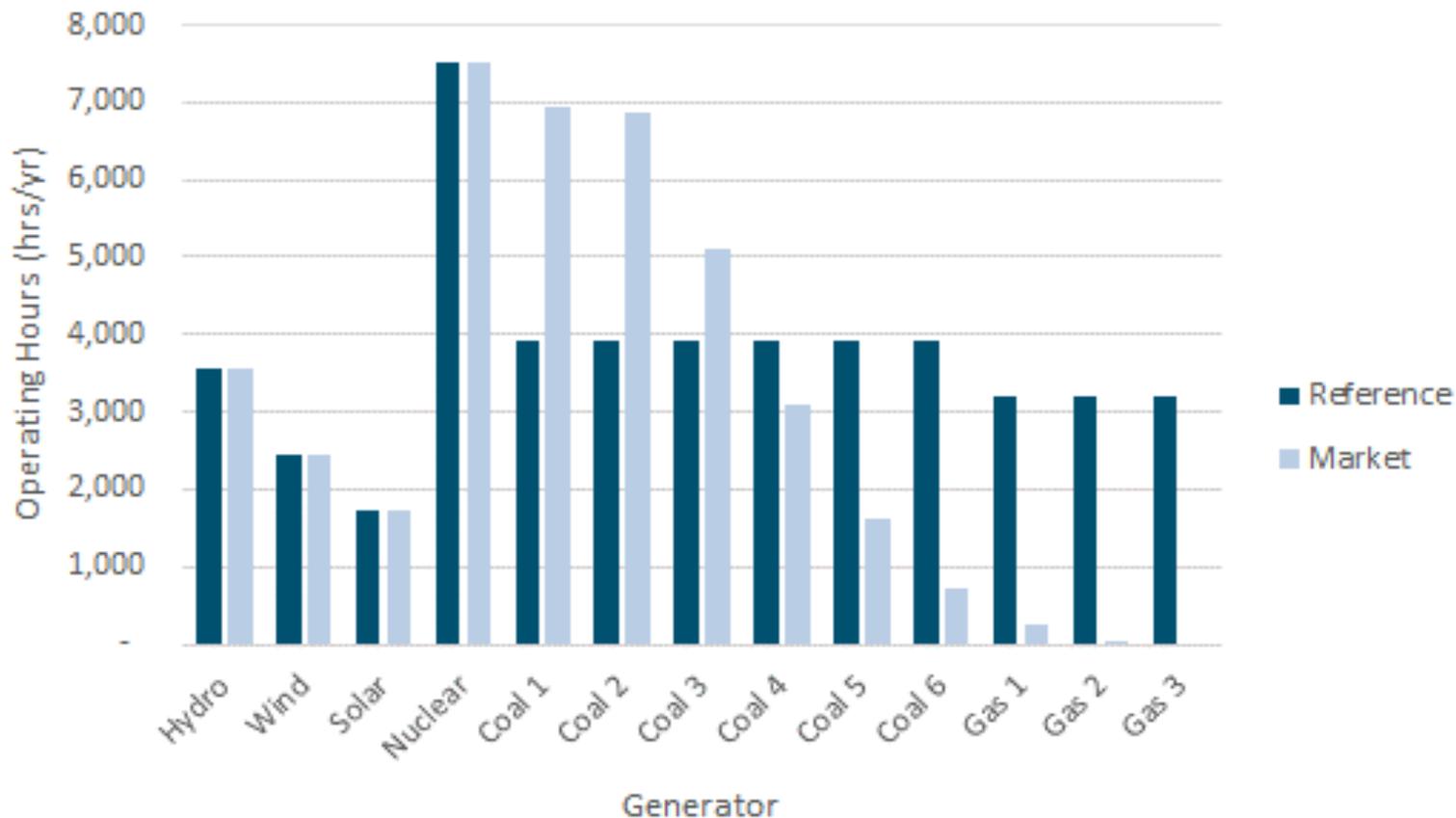
低负荷典型日某小时的供给需求曲线，2月1日16点



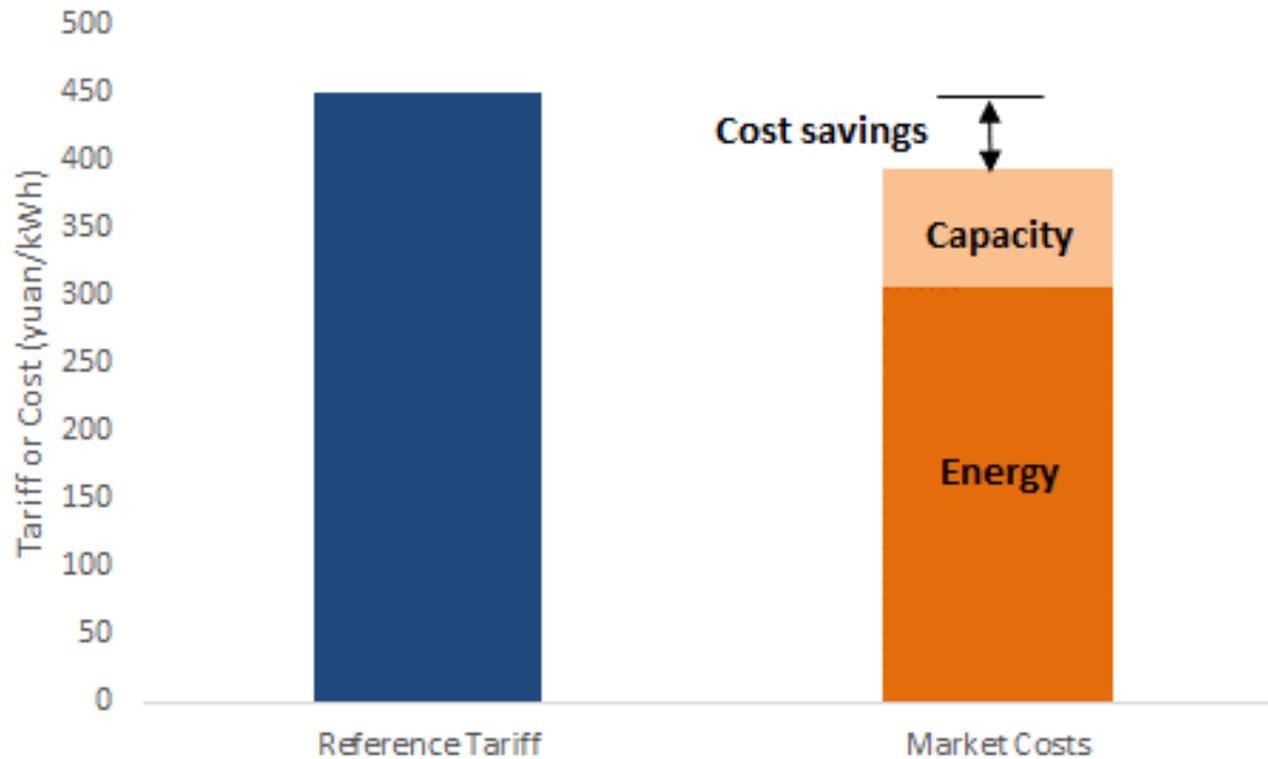
## 高负荷典型日24小时机组出力分配



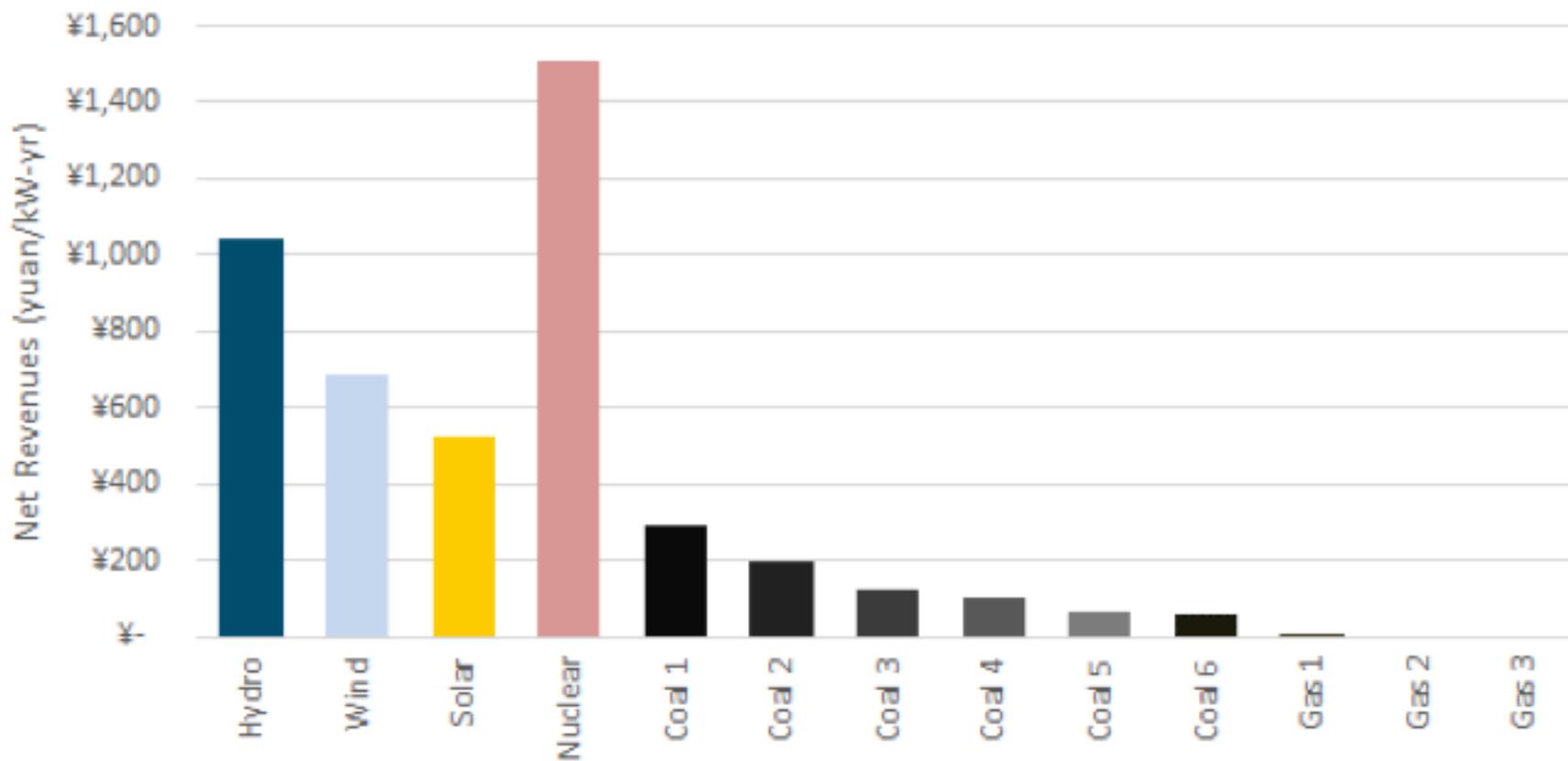
## 市场改革前后各机组利用小时数变化



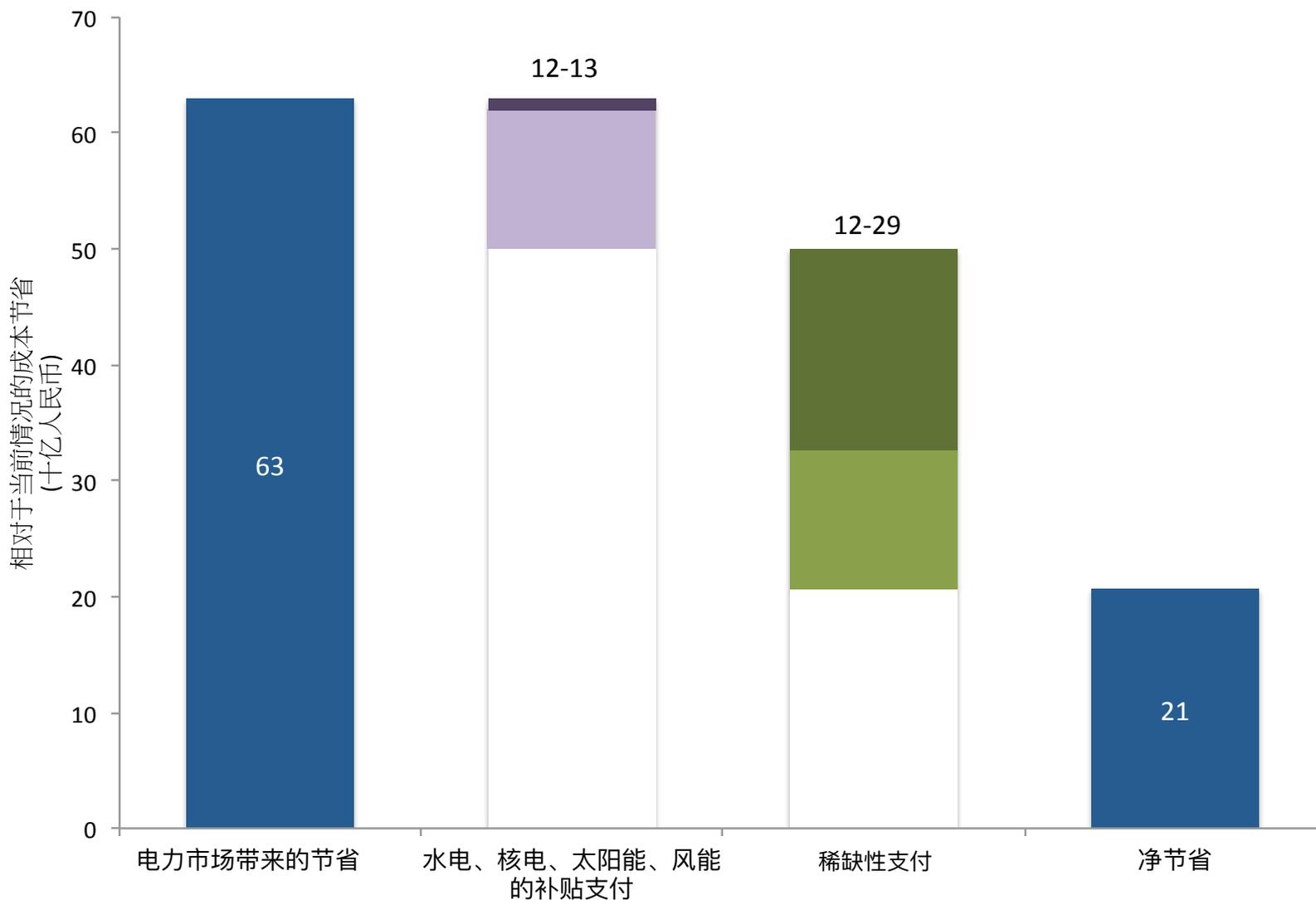
## 高支付情景与基准情景下煤电机组成本变化



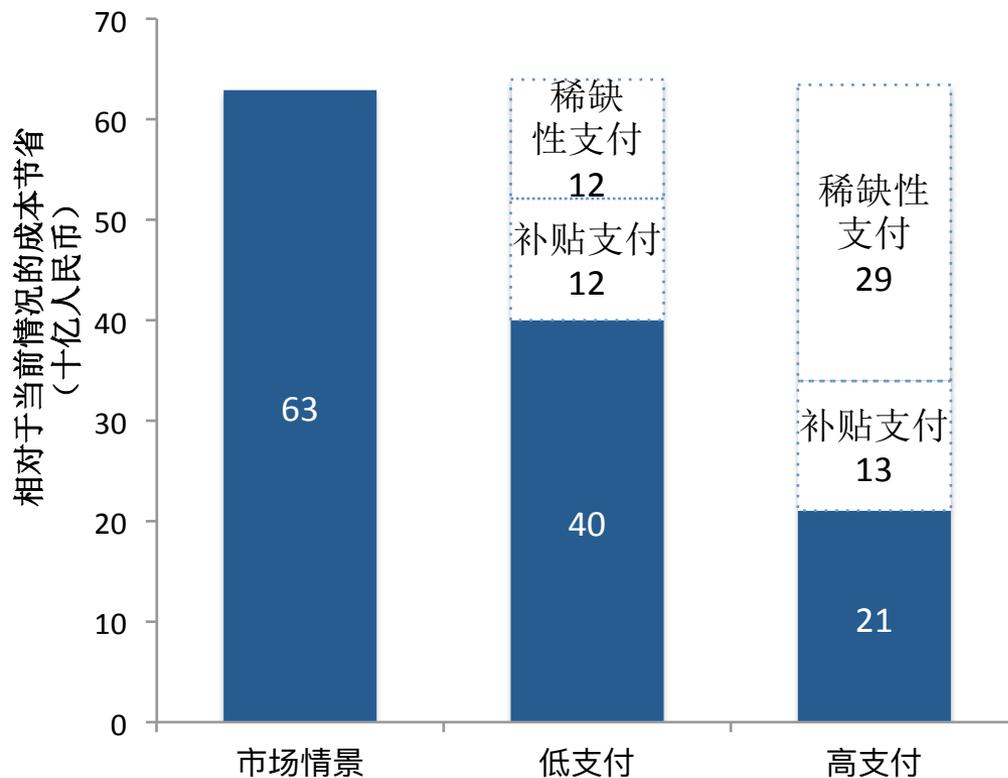
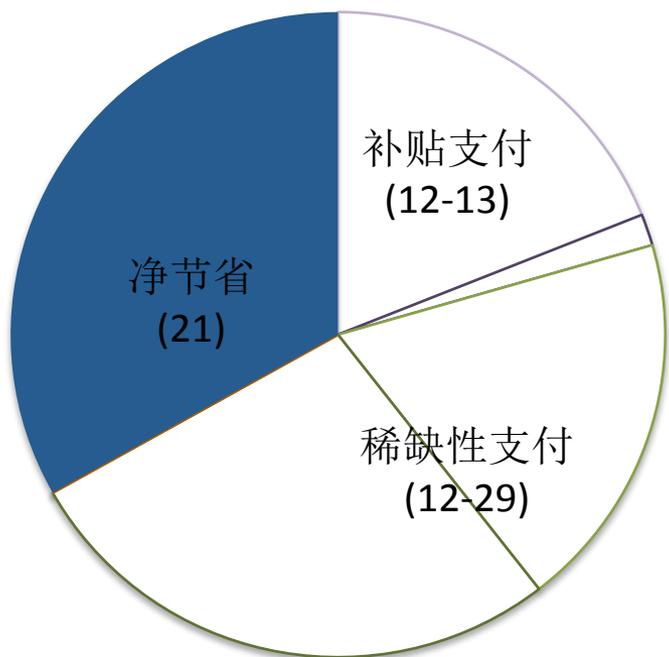
## 市场情境下各机组的净收入



# 市场改革给社会带来大量成本节省(9-27%)



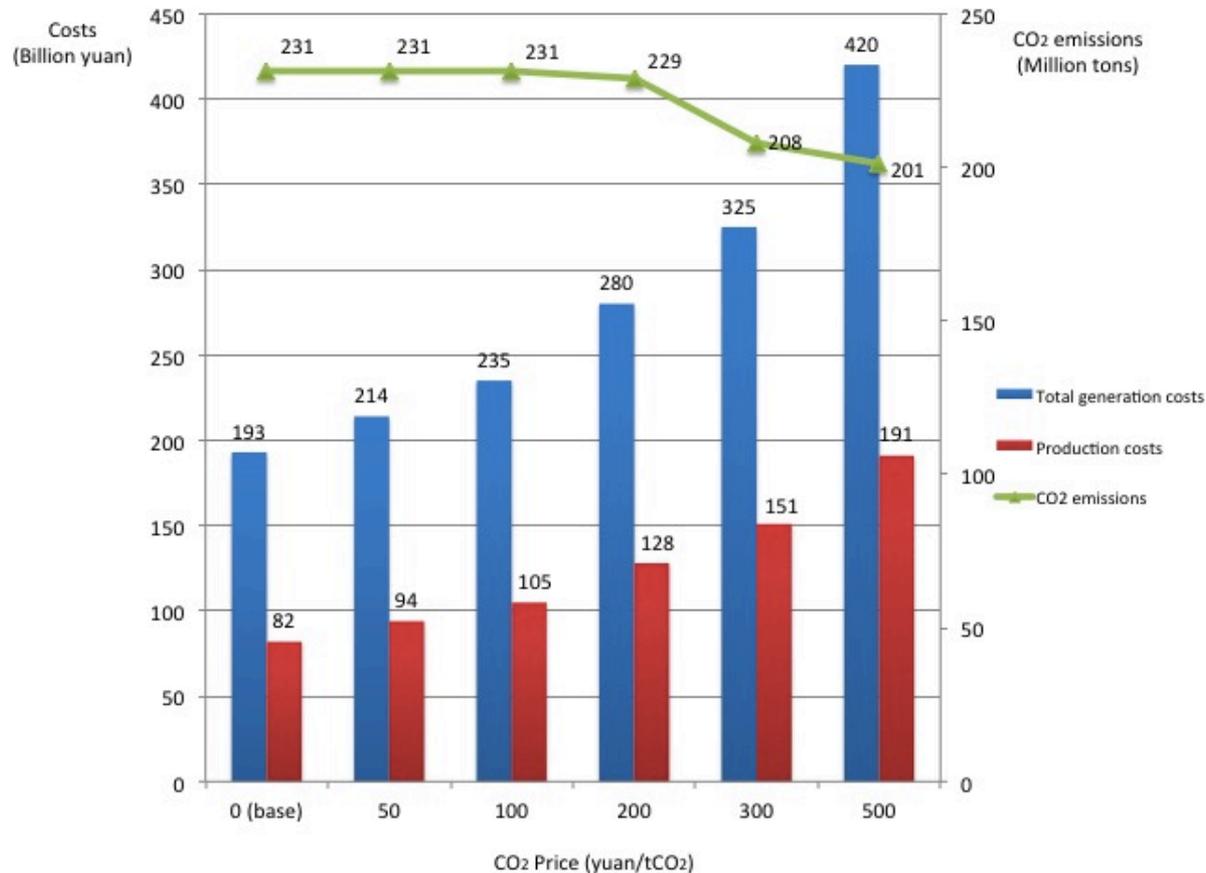
# 市场改革给社会带来大量成本节省(9-27%)



- 背景
- 研究问题
- 方法和情景分析
- 结果
- 不确定性分析
- 结论

# 不同二氧化碳价格对成本和碳排放的影响

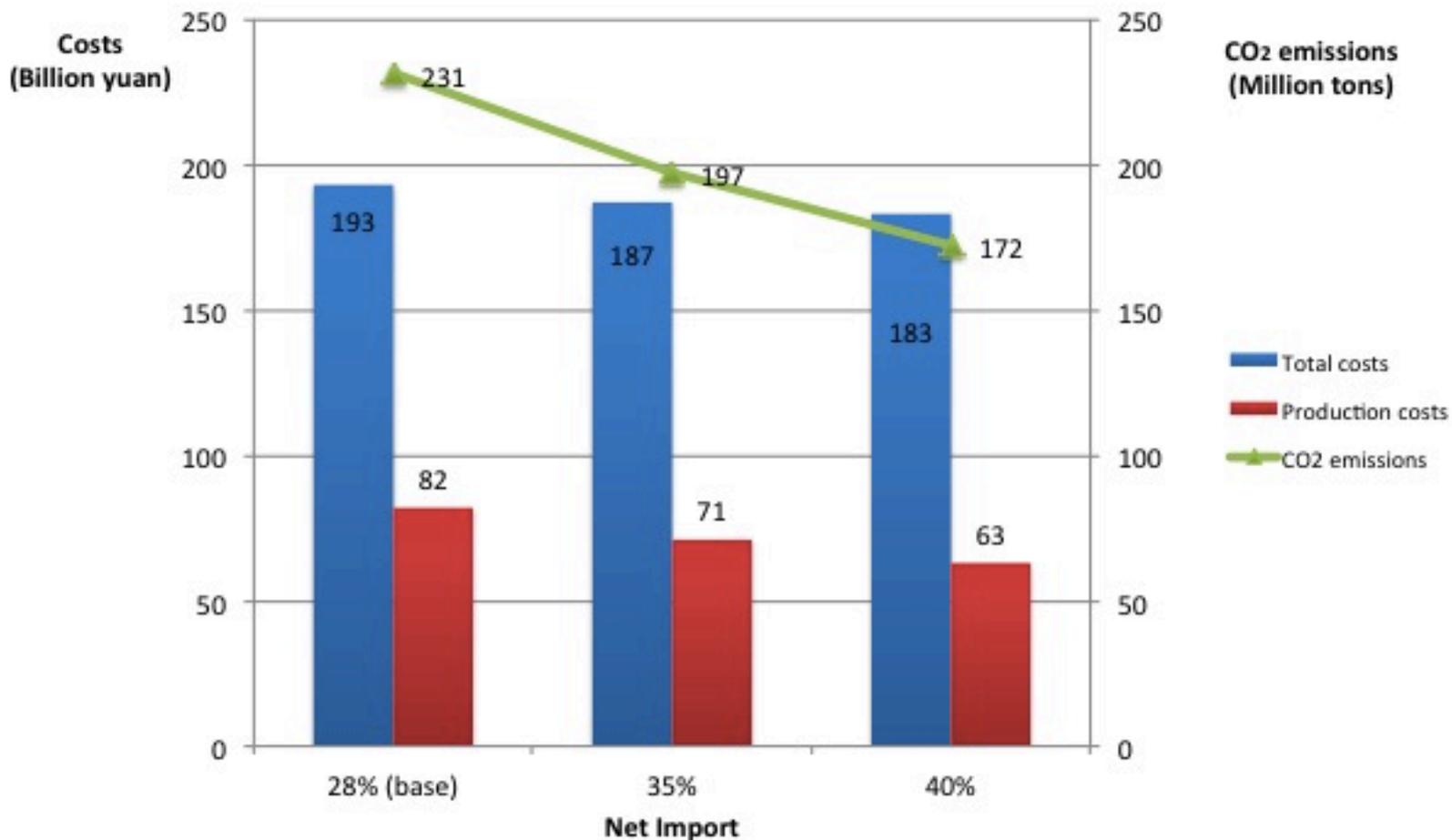
- 碳价较低时(50-200yuan/t) ， 碳交易增加总社会成本和发电成本， 但基本不降低碳排放
- 碳价较高时 (300元/t或500元/t) ， 排放降低， 但是总社会成本和发电成本大幅增加 (500yuan/t时， 成本翻一番)



\* Sensitivity analysis was based on the Low SPP scenario

# 不同进口量对成本和碳排放的影响

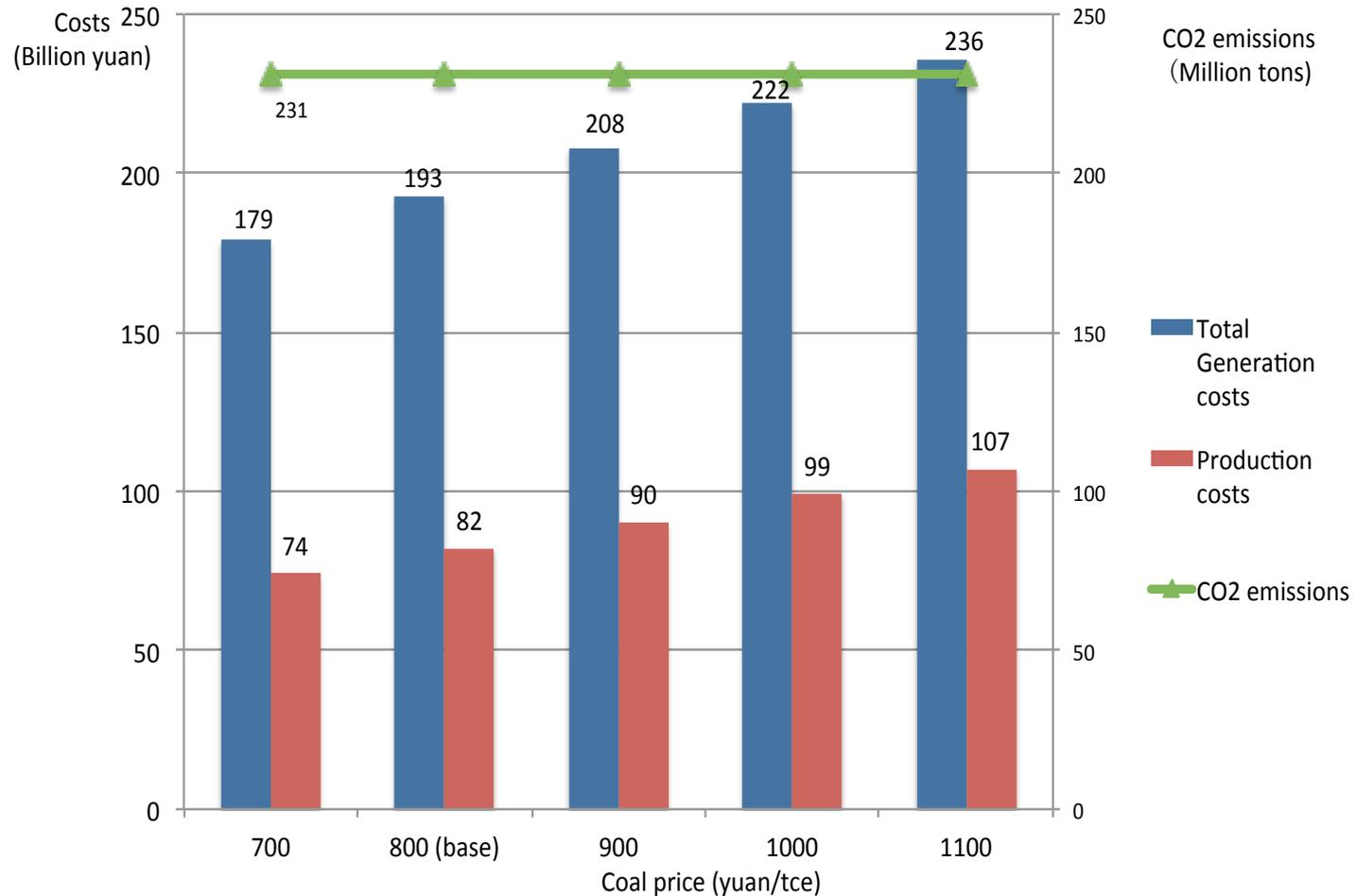
- 增加水电进口，显著降低省内总成本、发电成本和碳排放



\* Sensitivity analysis was based on the Low SPP scenario

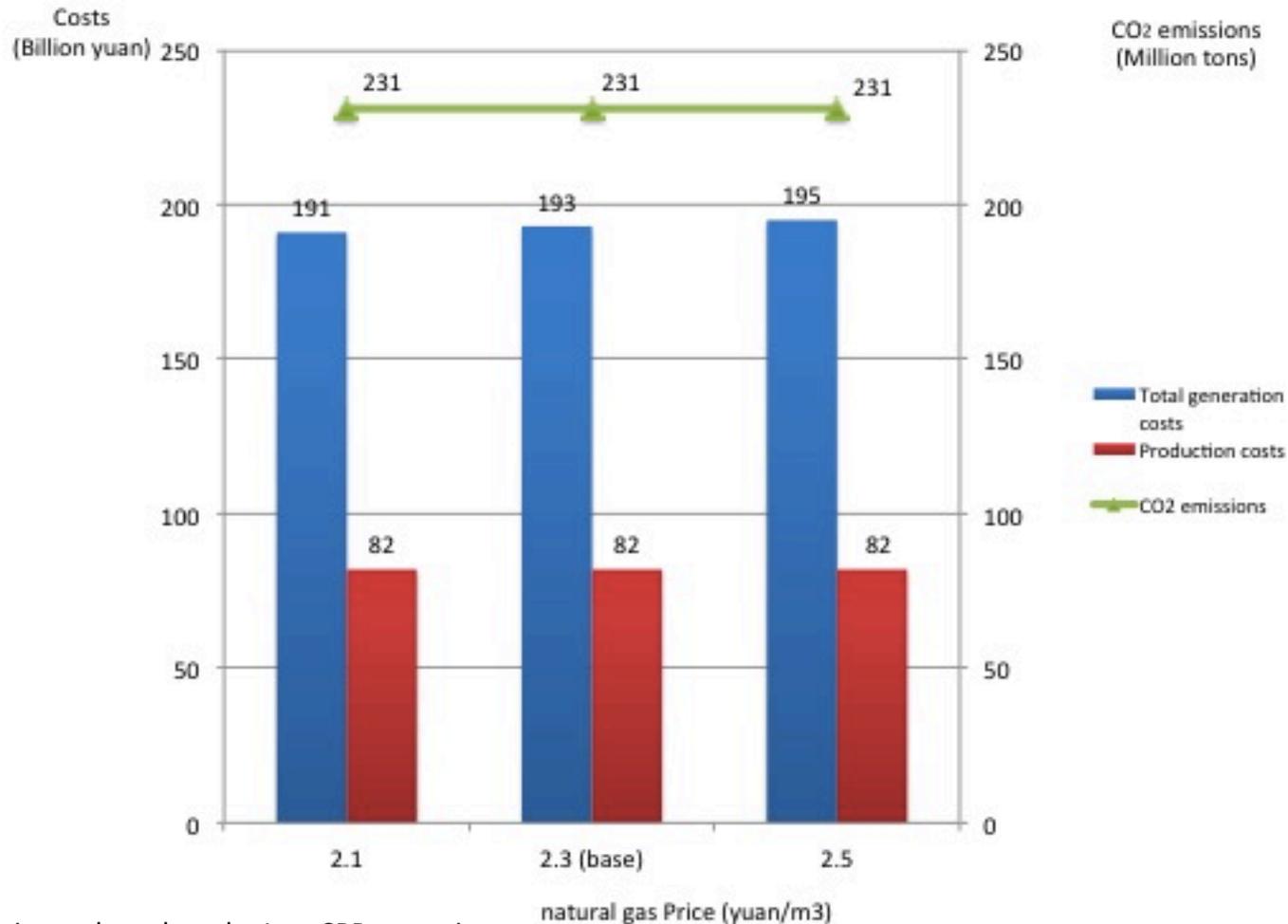
# 不同煤炭价格对成本和碳排放的影响

- 煤炭价格的升高，市场情景的总社会成本、发电成本增加
- 在以下几个煤炭价格情况下，价格变动不影响电力调度，因此不影响碳排放



# 不同天然气价格对成本和碳排放的影响

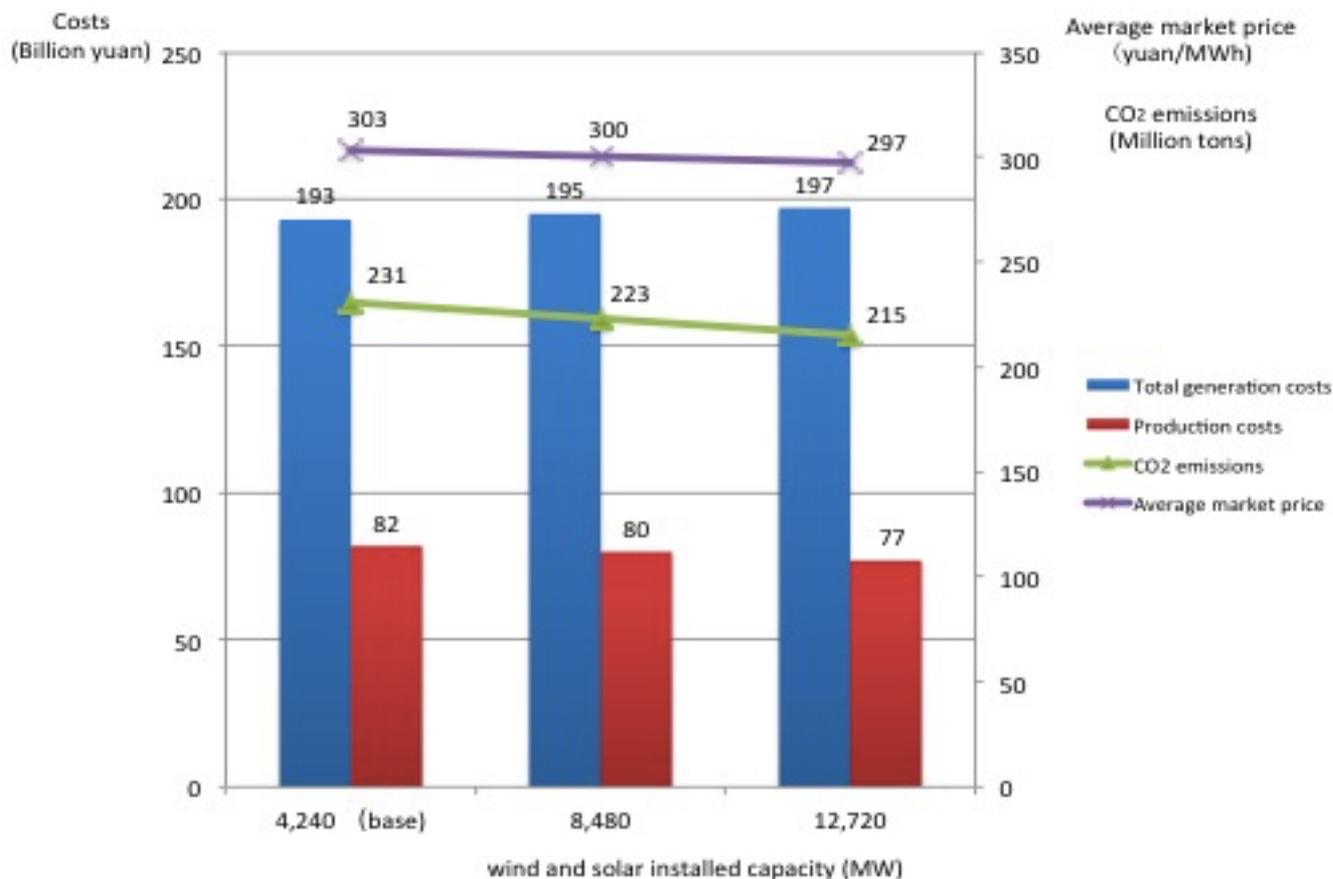
- 影响与煤炭价格的影响类似，即天然气价格升高，市场情景的总社会成本、发电成本增加
- 但天然气价格变化的影响比煤炭价格变动带来的影响小，因为天然气机组对总发电量的贡献小



\* Sensitivity analysis was based on the Low SPP scenario

# 增加风能太阳能装机容量对成本、碳排放、和市场价格的影响

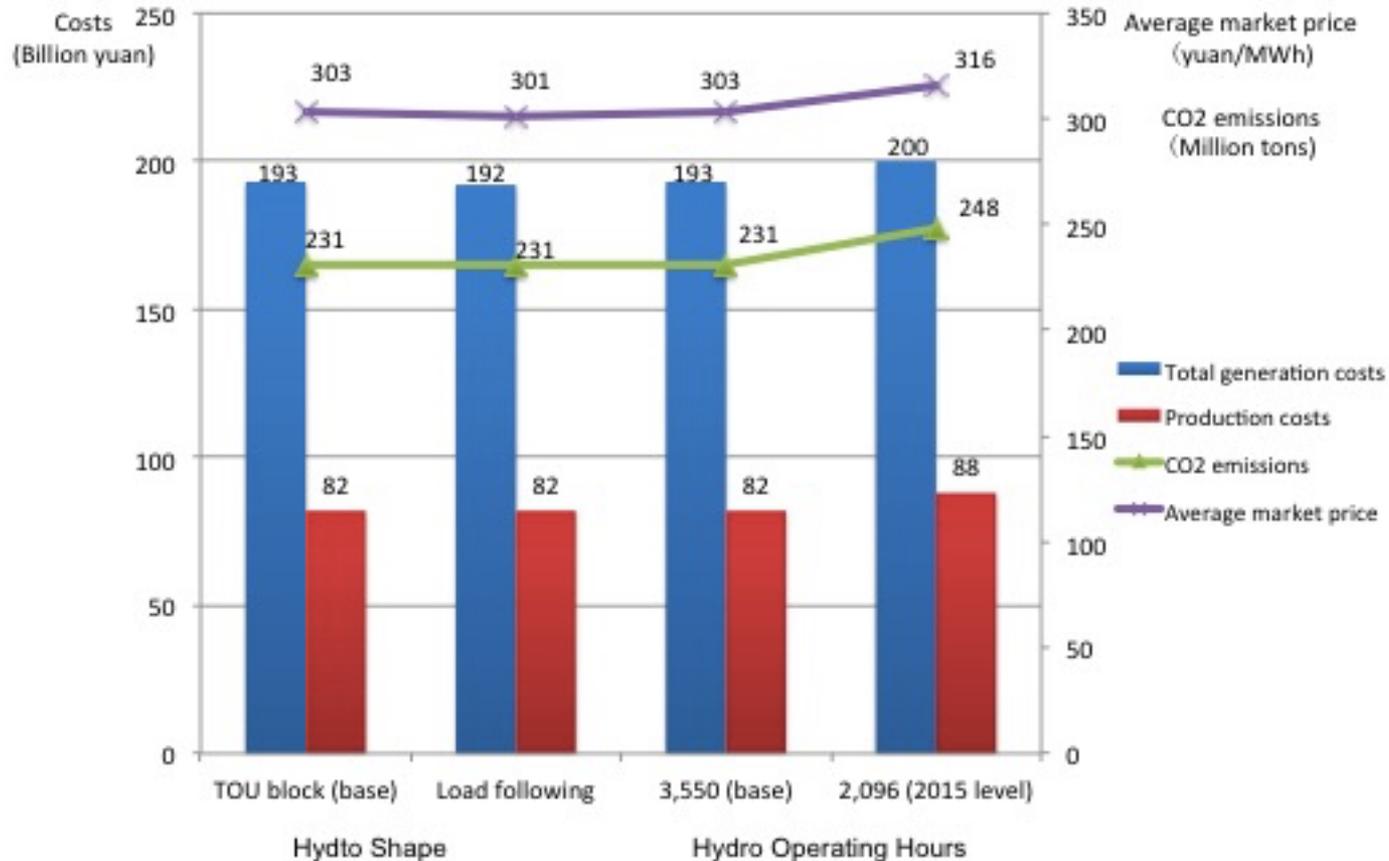
- 风能太阳能增加，补贴支付增加，因此总社会成本增加
- 风能太阳能增加，替代火电机组，因此发电成本降低、排放降低、平均市场价格降低



\* Sensitivity analysis was based on the Low SPP scenario

# 不同省内水电出力情况对成本、碳排放、和市场价格的影响

- 省内水电更灵活(load following)时可以减少成本和排放，但是作用很小
- 省内水电减少（2016年丰水年，按2015年水平算），总成本、发电成本、碳排放增加



\* Sensitivity analysis was based on the Low SPP scenario

- 背景
- 研究问题
- 方法和情景分析
- 结果
- 不确定性分析
- 结论

- 广东省实行电力市场改革有潜在巨大收益（210-630亿人民币）
- 影响净收益的因素
  - 最大的因素之一是云南水电的进口
  - 燃料价格
  - 短期来看，碳价对广东二氧化碳减排作用微弱，减排所需成本较高

- 解决市场改革后机组收入的问题
  - 需要考虑多种支付方式
  - 需要考虑如何利用需求侧资源保证供电可靠性
- 容量支付有助于降低总成本
- 美国过去电改所遇到的问题在中国也可能出现，应预先考虑

- 经济调度最重要的收益是给电力生产，传输和需求侧资源的投资提供了整体的经济框架。
- 最低成本运行对发电投资的总量和构成都产生影响，应以此来指导输电投资。
  - 煤炭投资：市场价格低，不适合新投资
  - 水电、风电、太阳能和核电投资：仍将受政策引导，但是市场价格仍可以对其总投资和构成产生影响
  - 市场价格对储能投资有重要作用
- 美国经验：合理化投资成本是电力市场改革最大的长远收益



林江  
J\_lin@lbl.gov

Nat Simons Presidential Chair in China Energy Policy

Berkeley Tsinghua Joint Research Center on Energy and  
Climate Change

China Energy Group

Lawrence Berkeley National Laboratory

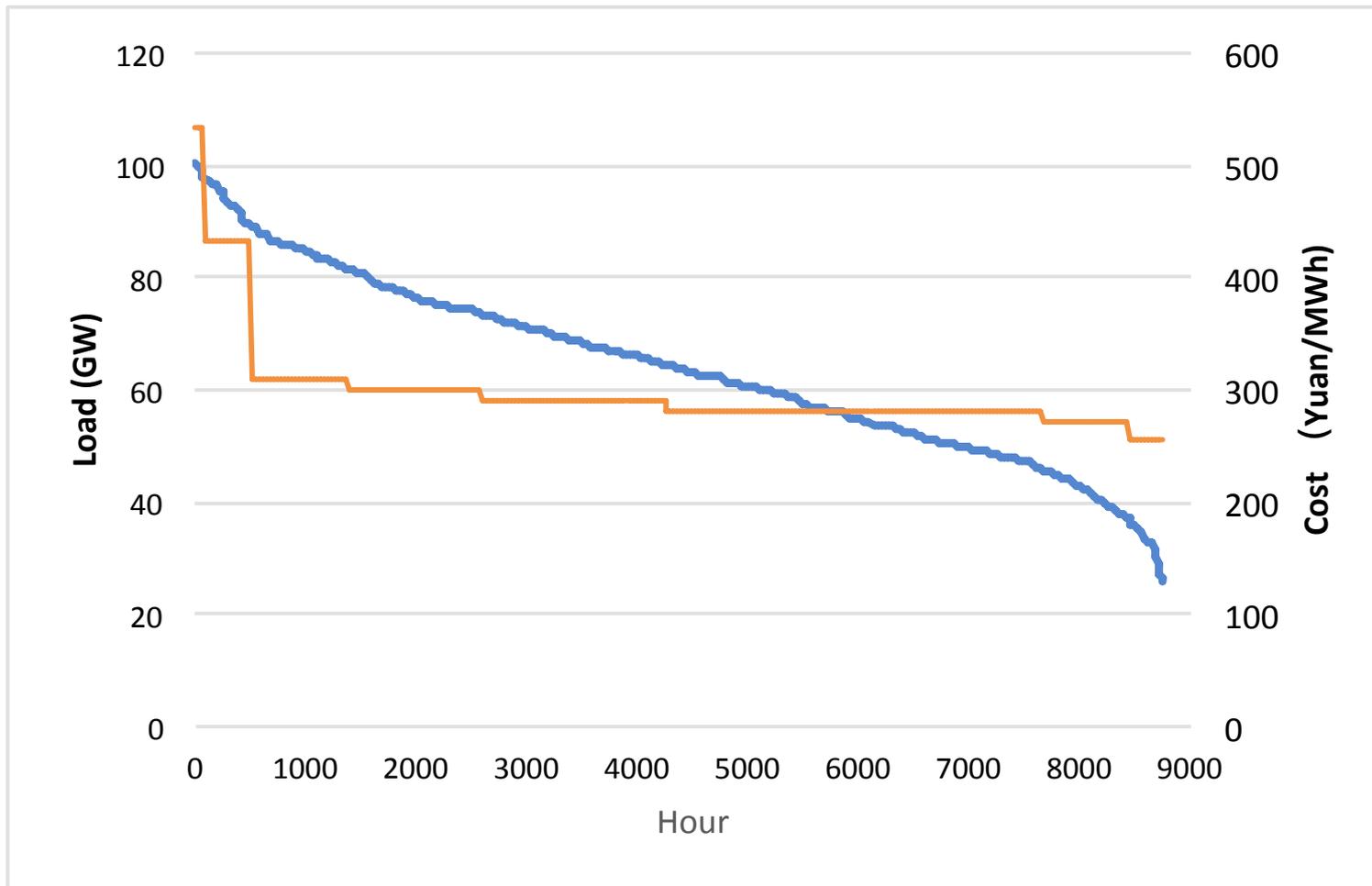
Berkeley, CA 94720

<http://china.lbl.gov>

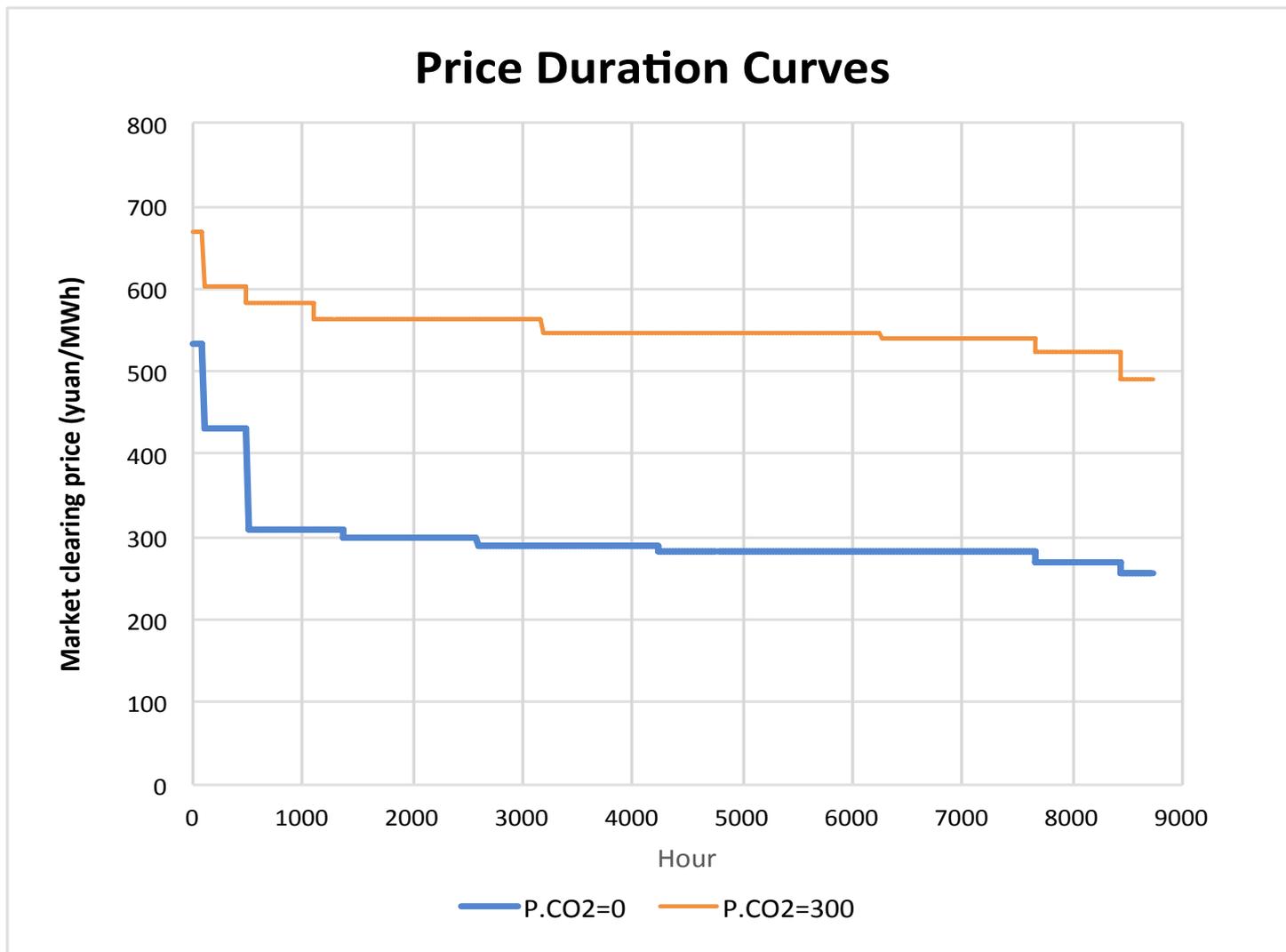
<http://btjrc.lbl.gov>



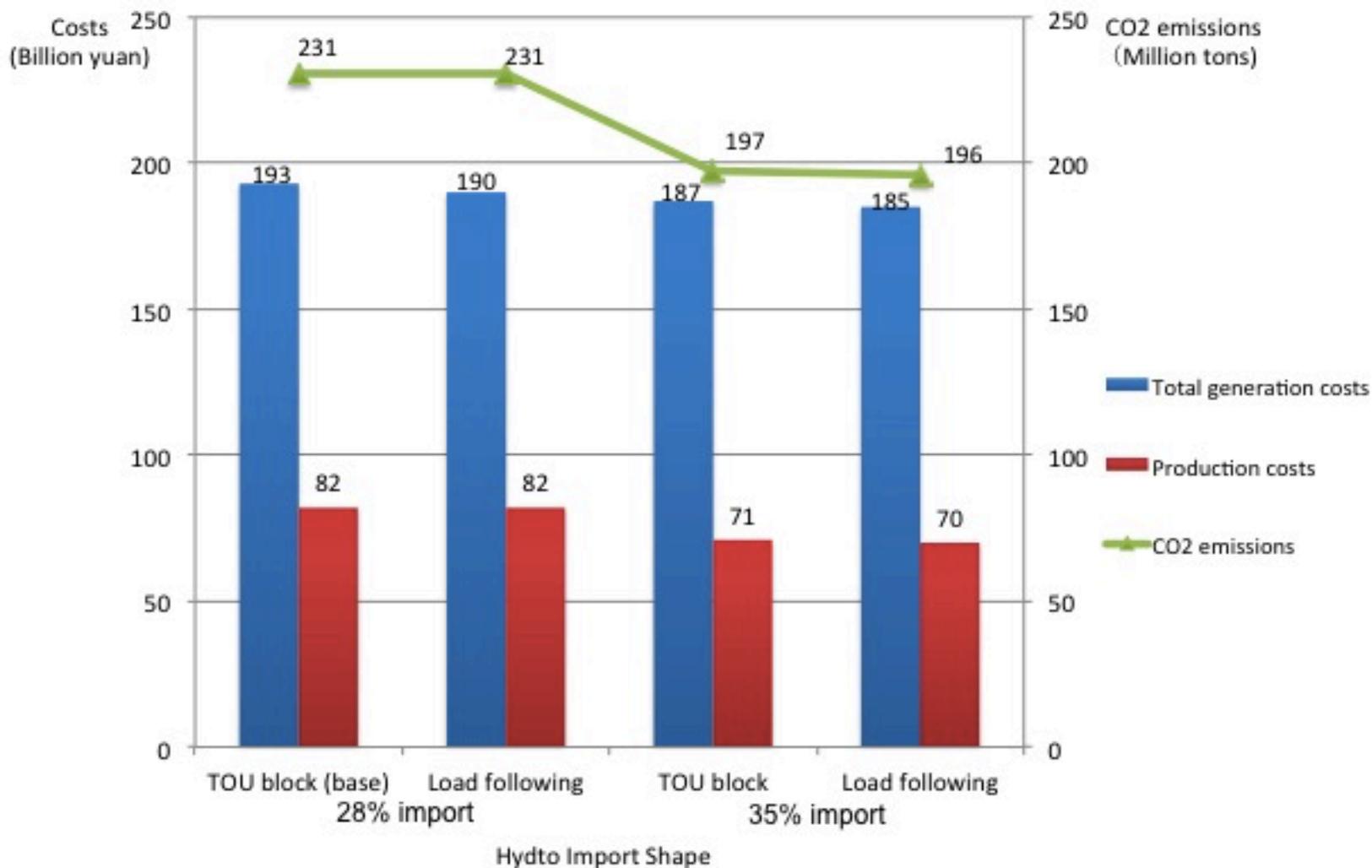
# 广东负荷曲线以及边际机组成本



# 不同二氧化碳价格下的市场出清价格变动情况



# 不同进口形状和进口量对成本和碳排放的影响



\* Sensitivity analysis was based on the Low SPP scenario

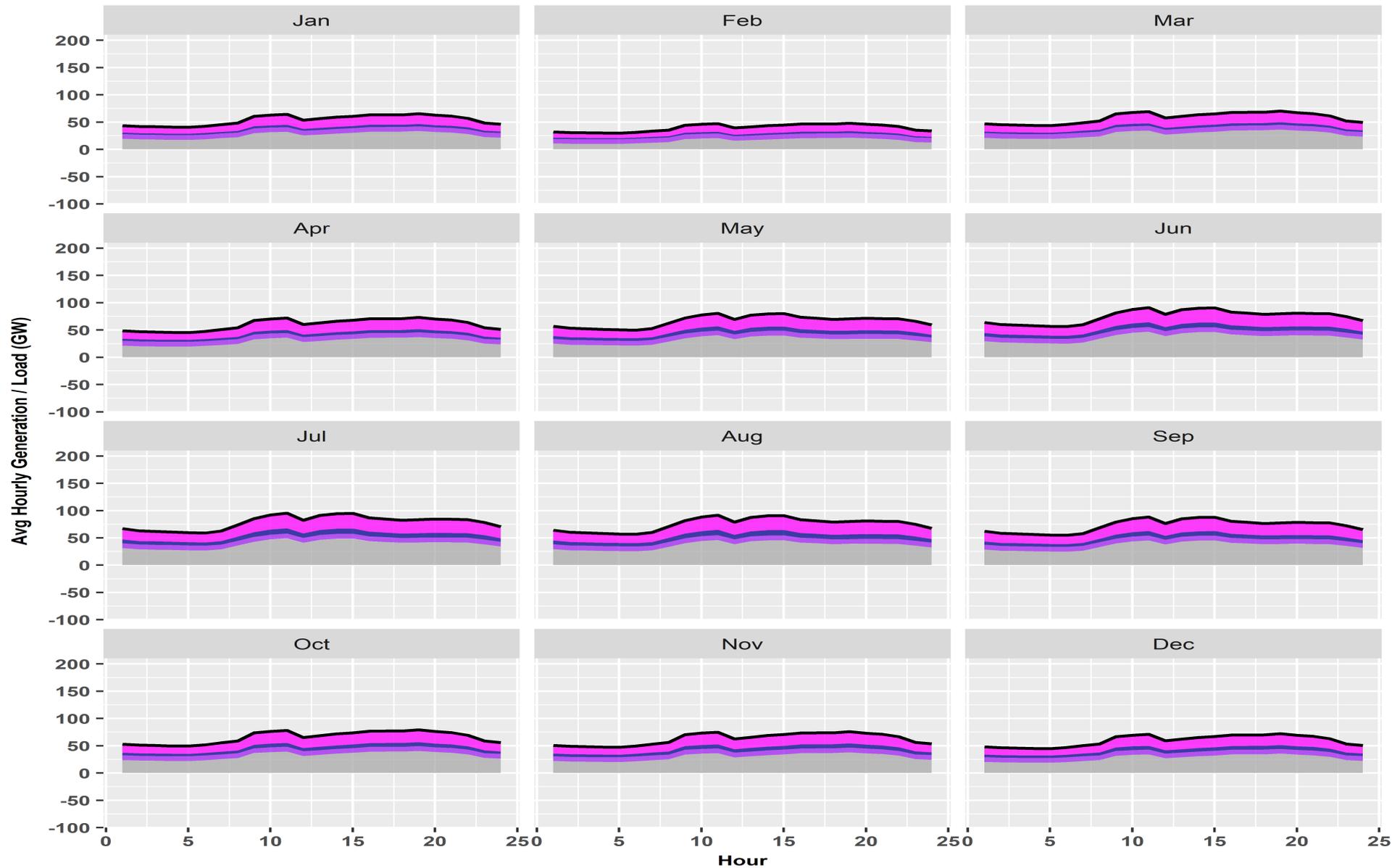
# PLEXOS 主要情景

情景	传统机组 (GW)	风能 (GW)	太阳能 (GW)	储能
BAU	煤炭 = ~60 GW 核能 = ~9GW 天然气 = ~14GW 水电 = ~14GW 进口按2016年水平	2.7	1.6	0
RPS_50		25	55	0
RPS_100		75	150	0
RPS_100 Storage_200		75	150	50 GW * 4 Hours
RPS_100 Storage_400		75	150	100 GW * 4 Hours
Solar_100		2.7	250	0
Solar_100 Storage_200		2.7	250	50 GW * 4 Hours
Solar_100 Storage_400		2.7	250	100 GW * 4 Hours
Wind_100		178	1.6	0
Wind_100 Storage_200		178	1.6	50 GW * 4 Hours
Wind_100 Storage_400		178	1.6	100 GW * 4 Hours

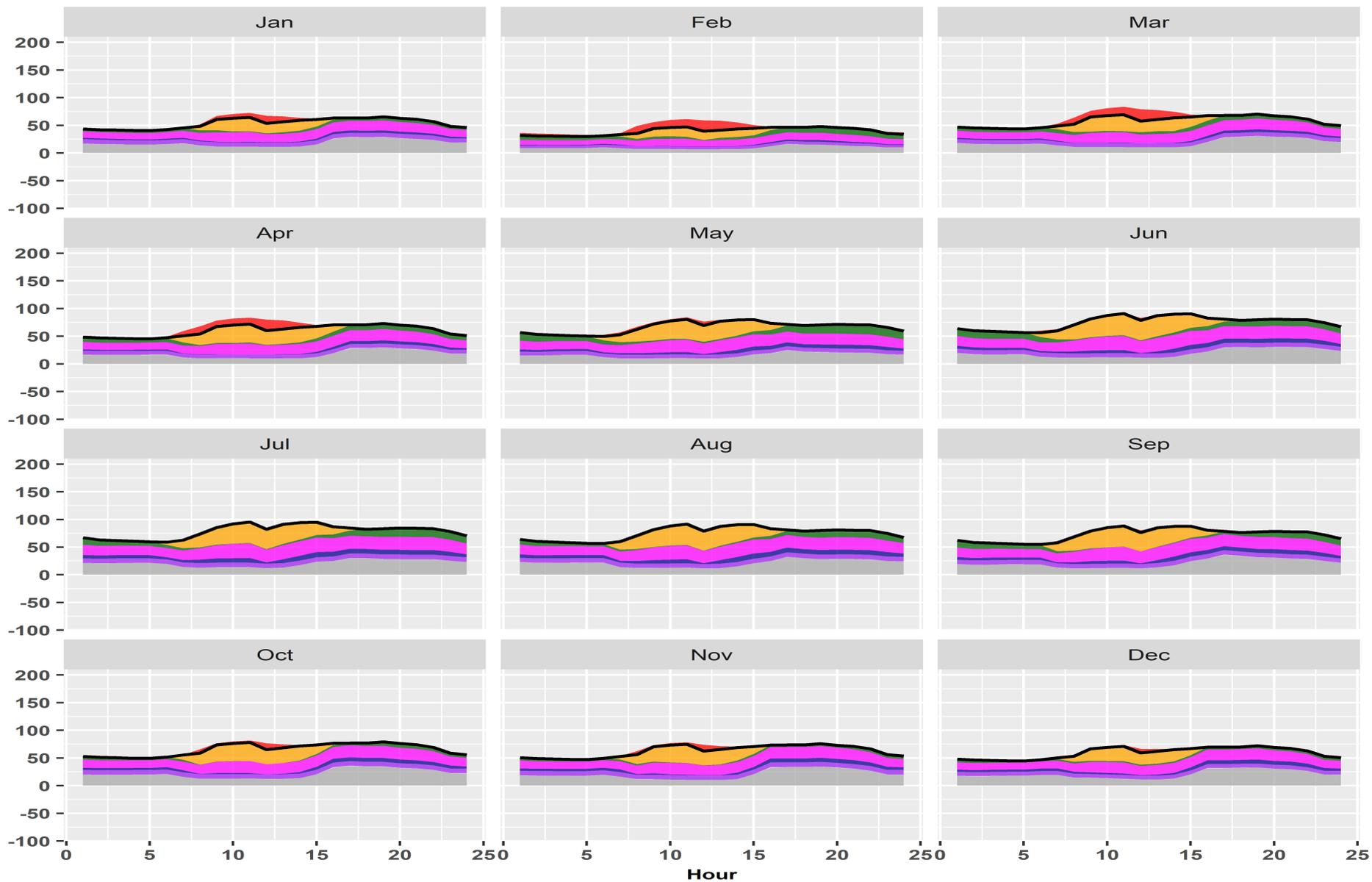
# PLEXOS 主要情景下发发电情况 (TWh/yr)

	BAU	RPS_50	RPS_100	RPS_100 Storage_200
煤炭	269	165	132	65
天然气	0.3	1.6	6.3	6.8
核电	77	65	42	35
水电	49	36	18	26
太阳能光伏	2.7	83	110	166
风电	6.5	53	96	115
储能(净)	0.0	0.0	0.0	-9.5
进口	157	157	157	157
总计	<b>562</b>	<b>562</b>	<b>562</b>	<b>562</b>

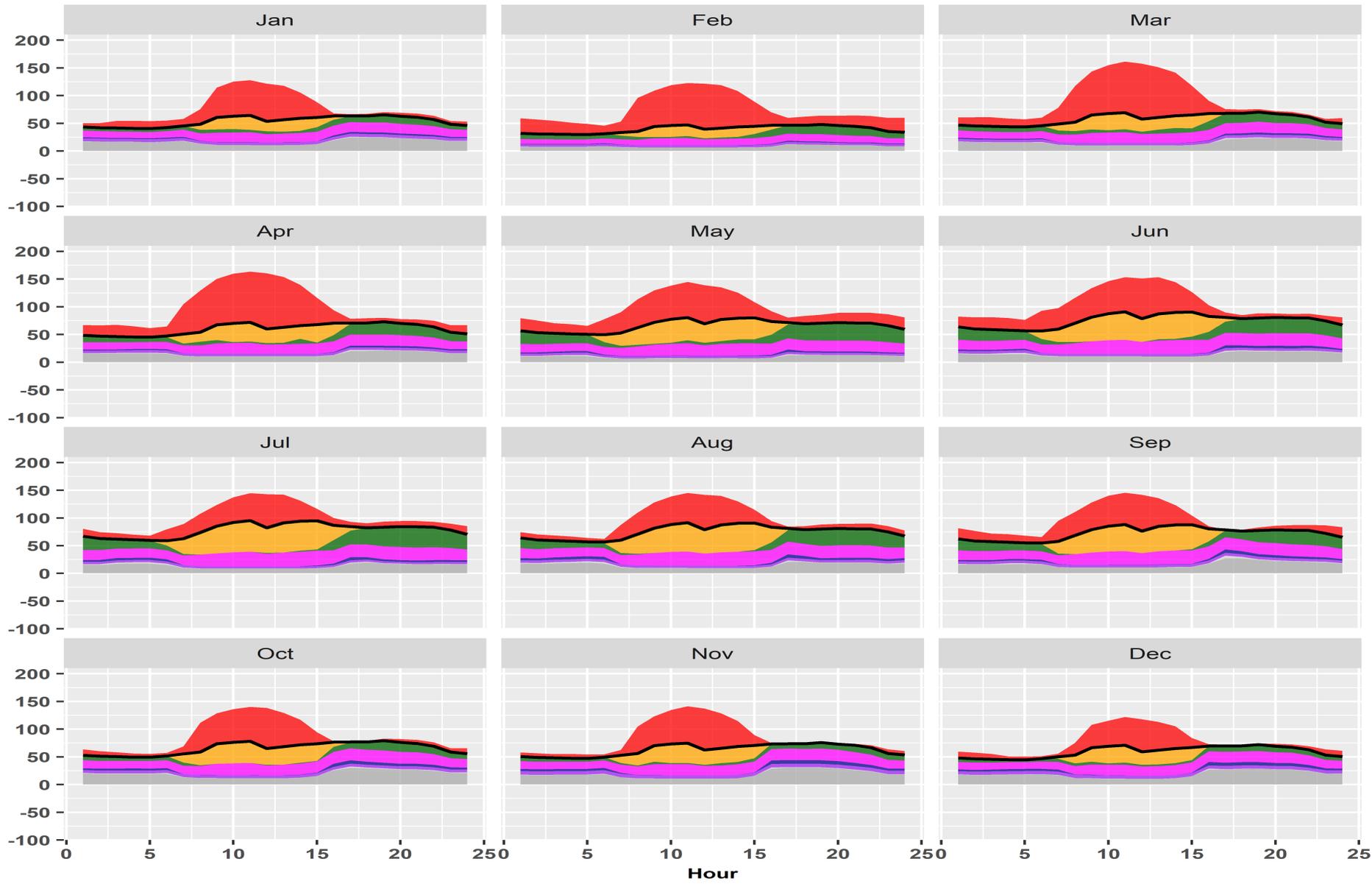
# Average Hourly Dispatch for BAU (2016)



# Average Hourly Dispatch for RPS\_50 (2016)



# Average Hourly Dispatch for RPS\_100 (2016)



# Average Hourly Dispatch for RPS\_100 Storage\_200 (2016)

