

燃煤电厂超低排放技术 进展与应用

高翔

浙江大学能源工程学院

能源清洁利用国家重点实验室

国家环境保护燃煤大气污染控制工程技术中心

2016年3月18日

近年来我国频繁遭遇雾霾袭击



2015年11月30日 局地
PM_{2.5}超过1000
北京首次启动橙色预警



2015年11月12日
辽宁 全省半数城市空气
重度污染



2015年11月8日
沈阳 PM_{2.5}浓度超过1400



2015年10月21日
哈尔滨 PM_{2.5}浓度超过1000



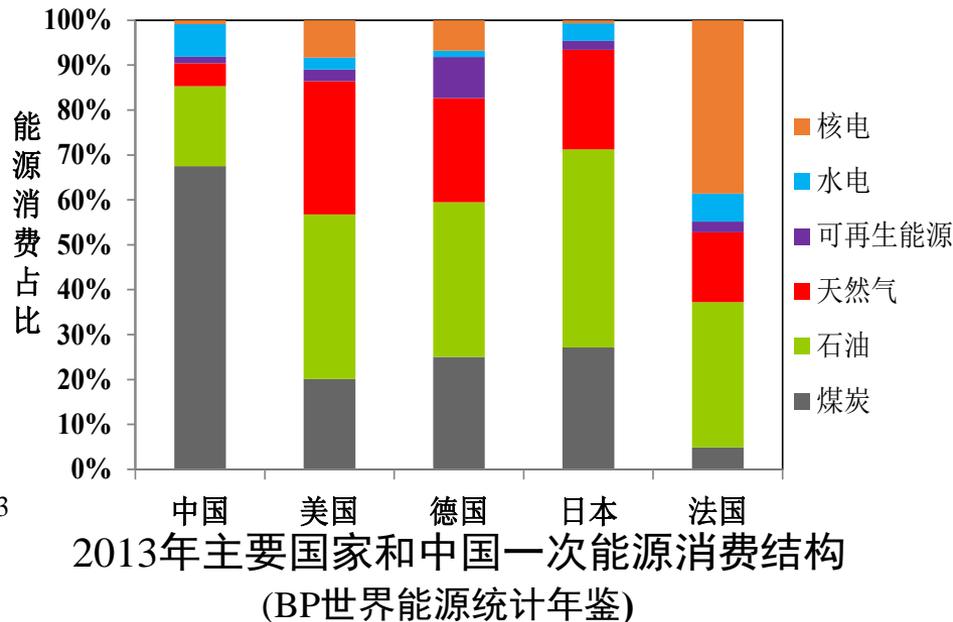
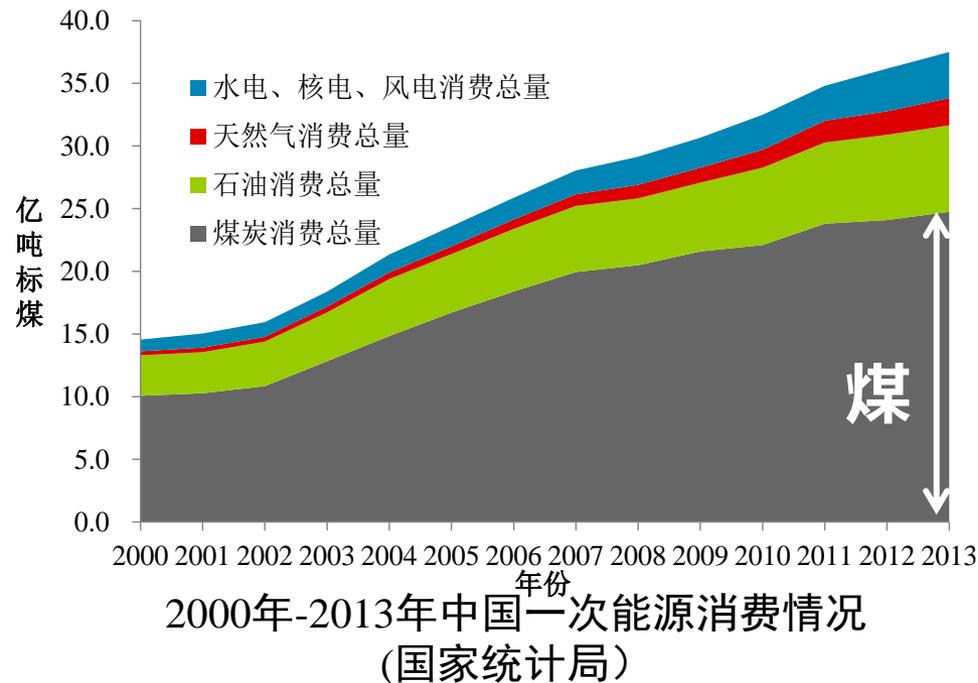
2015年11月12日
长春 能见度不足400米



内蒙古雾霾50余年最严重

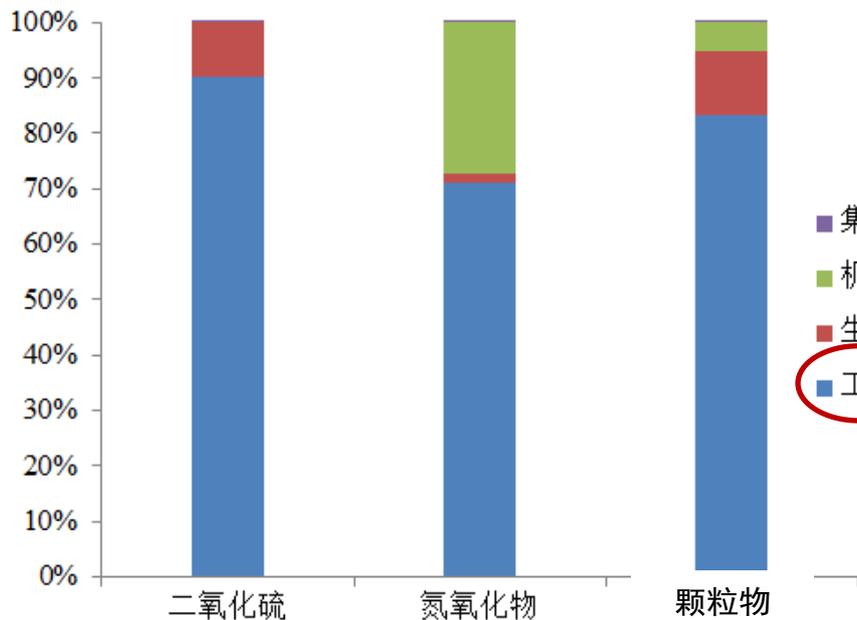
能源利用是导致空气污染的重要原因

- ◆ 世界第一**煤炭**消费国，2014年消费**35.1亿吨**（占全球一半以上）；比2013年下降**2.9%**。【2014年国民经济和社会发展统计公报】
- ◆ 世界第二**石油**消费国，2014年原油消费量约**5.16亿吨**（约**10.21亿吨煤**），进口约**3.05亿吨**（约**6.11亿吨煤**），对外依存度**59.1%**（超警戒线-50%）
- ◆ 世界第三**天然气**消费国，2014年表观消费量**1816亿立方米**（约**3.1亿吨煤**），进口**595亿立方米**（约**1亿吨煤**），对外依存度**32.4%**。【注：煤炭发热量按5000大卡计算】

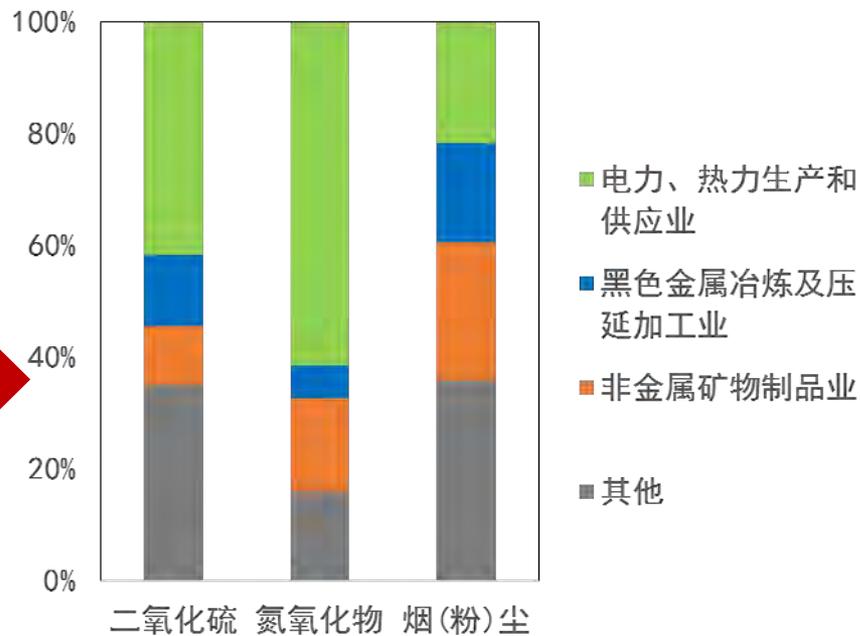


主要用能行业污染物排放量大

2012年我国SO₂、NO_x和烟(粉)尘排放2117.6万吨、2337.8万吨和1234.3万吨，其中SO₂的90.3%、NO_x的70.9%、烟尘的83.4%来自火电、钢铁、水泥等主要用能行业排放【环境统计年报】



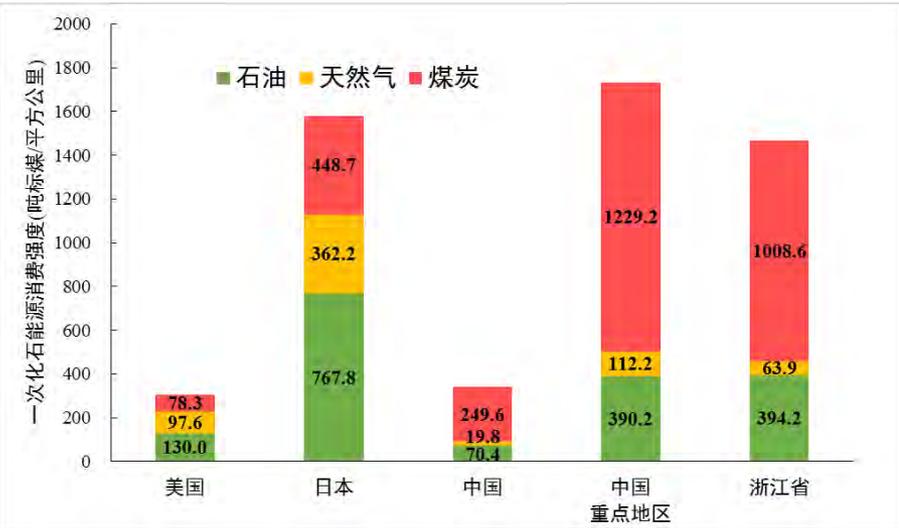
2012年主要大气污染物排放比例
【2012年环境统计年报】



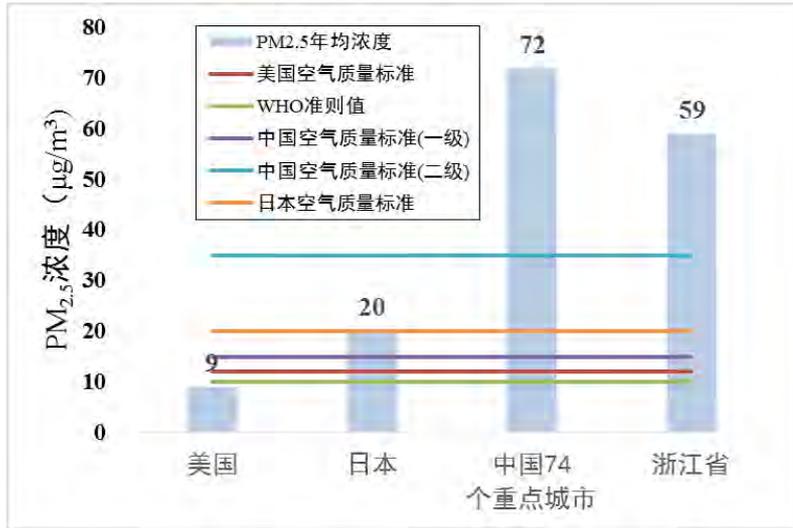
2012年重点行业主要大气污染物排放占工业源排放比例【2012年环境统计年报】

能源消费区域不均衡，重点地区煤炭消费强度高

◆ 京津冀、长三角、珠三角一次化石能源平均消费强度为全国平均值的**5.10倍**，美国的**5.66倍**，日本的**1.10倍**；浙江省一次化石能源消费强度为全国平均值的**4.32倍**，美国的**4.80倍**；浙江省11城市年均PM_{2.5}浓度分别为美国平均水平的**6.55倍**，日本的**2.95倍**。



一次化石能源消费强度对比



2013年均大气PM_{2.5}浓度及空气质量标准对比

◆ 要使空气质量达标，必须使用全球最先进的污染控制技术，执行比美国更严格的排放标准。

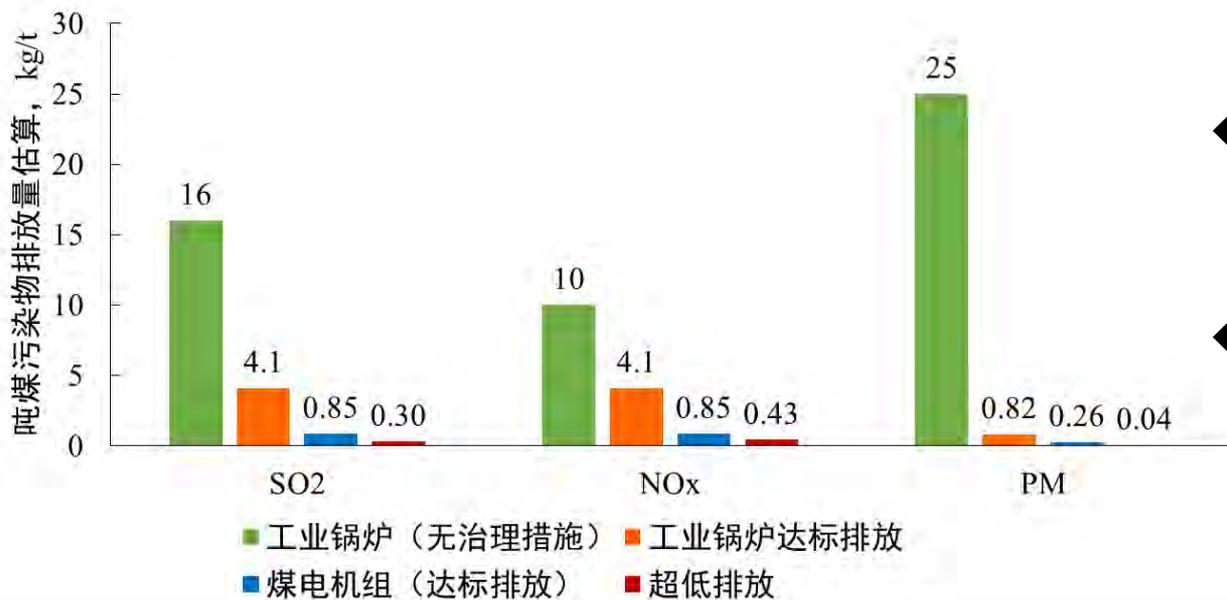
煤炭集中使用，清洁能源分散利用

◆ 分散源，末端分散监管和治理难度大。无控制分散源污染物排放相当于有控制的数十甚至百倍

➢ 1吨煤炭 = 数十甚至百吨煤

◆ 煤炭集中用于污染治理情况较好的燃煤电站，并实行超低排放，其他散烧煤炭用天然气替代，提高燃煤烟气污染物治理水平。

要高度关注分散源治理



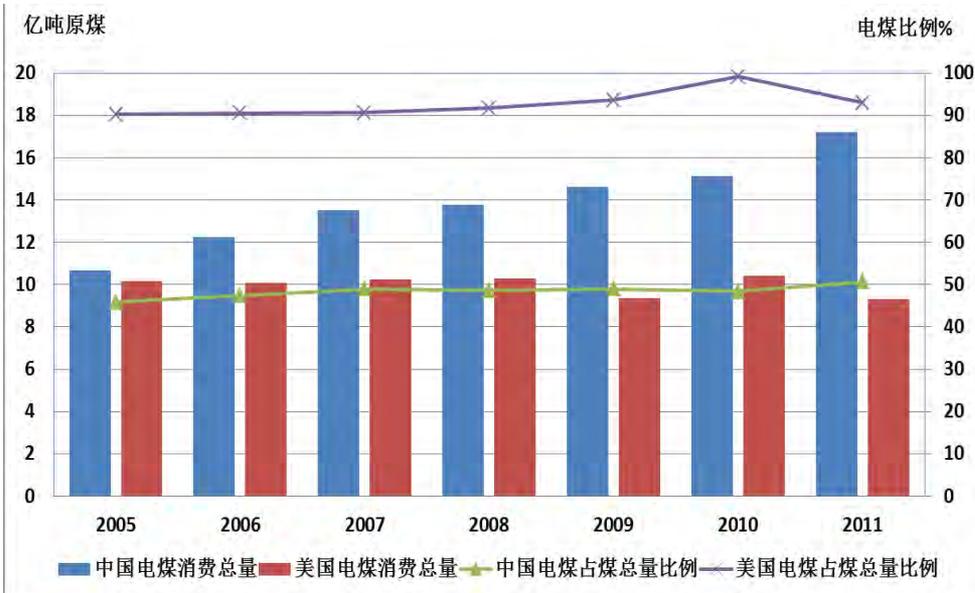
◆ 工业锅炉：锅炉大气污染物排放标准（征求意见稿）（2013年8月2日）

◆ 燃煤电站锅炉：火电大气污染物排放标准（GB13223-2011）

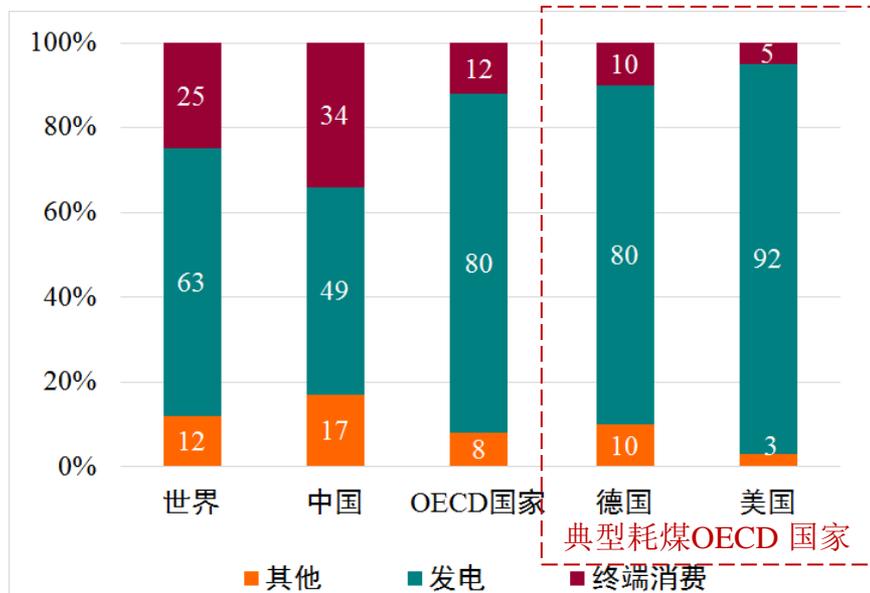
提高煤炭利用集中度

◆ 中国煤炭消费行业分散，治理难度大

◆ 2012年，中国电力行业耗煤量约占煤炭总消耗量的一半，但仍远低于2010年美国92%、德国的80%。



2005-2011年中美电煤消费及占煤炭消费的比例对比



分用途煤炭消费结构的国际比较
OECD 国家数据是2010年，中国是2009年；“其他”包括供热、制气、煤炭转换、液化、能源部门自用及损失等。

建议大力推动煤炭清洁高效集中可持续利用

中国政府加大污染物减排力度

国家高度重视燃煤大气污染物深度控制工作

◆国家出台了《大气污染防治行动计划》、《节能减排“十二五”规划》、《重金属污染综合防治“十二五”规划》、《钢铁工业污染防治技术政策》、《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014-2020年)》等相关文件，同时颁布了严格的火电厂、钢铁等行业大气污染物排放新标准，其他行业标准也在修订中。

◆浙江、江苏、山西等省市已设立了电量奖励乃至电价补贴的政策。



中华人民共和国中央人民政府

国务院关于印发国家环境保护“十二五”规划的通知
国发〔2011〕42号

国务院关于印发节能减排“十二五”规划的通知
国发〔2012〕40号

国务院关于印发能源发展“十二五”规划的通知
国发〔2013〕2号

《浙江省统调燃煤发电机组新一轮脱硫脱硝及除尘改造管理考核办法(征求意见稿)》



科学发展 富民强省

关于关中火电机组实施烟气超低排放技术改造的通知

广州市燃煤电厂“超洁净排放”改造工作方案

时间: 2014-10-21 来源: 新快报 文章类别: 转载 作者: 罗仕



2015年政府工作报告



关于印发《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014-2020年)》的通知

国务院发布《大气污染防治行动计划》
十条措施力保空气质量改善



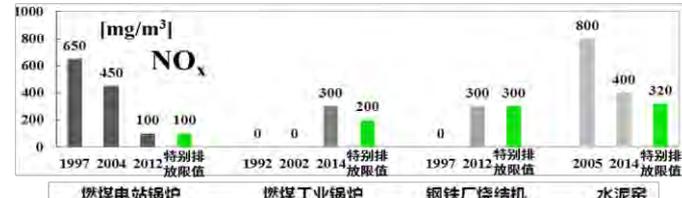
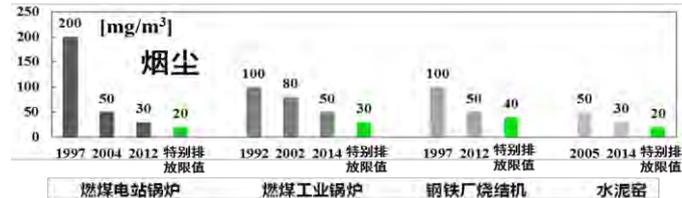
钢铁工业污染防治技术政策



江苏省政府网站

山西省人民政府办公厅

关于推进全省燃煤发电机组超低排放的实施意见



- 燃煤电站
- 燃煤工业锅炉
- 钢铁烧结机
- 水泥窑
- 特别排放限值

- ◆ **燃煤电站:** 火电厂大气污染物排放标准
 - > GB 13223-1996
 - > GB 13223-2003
 - > GB 13223-2011
- ◆ **燃煤工业锅炉:** 锅炉大气污染物排放标准
 - > GB 13271-1991
 - > GB 13271-2001
 - > GB 13271-2014
- ◆ **钢铁烧结机:**
 - > 工业炉窑大气污染物排放标准 GB 9078-1996
 - > 钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准 GB 28662-2012
- ◆ **水泥窑:** 水泥工业大气污染物排放标准
 - > GB 4915-2004
 - > GB 4915-2013

如何实现APEC蓝？

APEC蓝的代价

- 据统计：APEC会议期间京津冀地区共有**17个城市1万多家工业企业**停产停工，**燃煤电厂减排50%**，**钢铁、水泥等高架源全部停产**，涉及**VOCs**（挥发性有机化合物）的工序全部停产，机动车限行，**7个省份减排了约一半污染物**。
- **石家庄**：不计停车和复产启动形成的损失，6天直接经济损失总产值减少60.3亿元，利润减少6.2亿元，税金减少2.2亿元。



污染源超低排放是实现APEC蓝常态化的关键

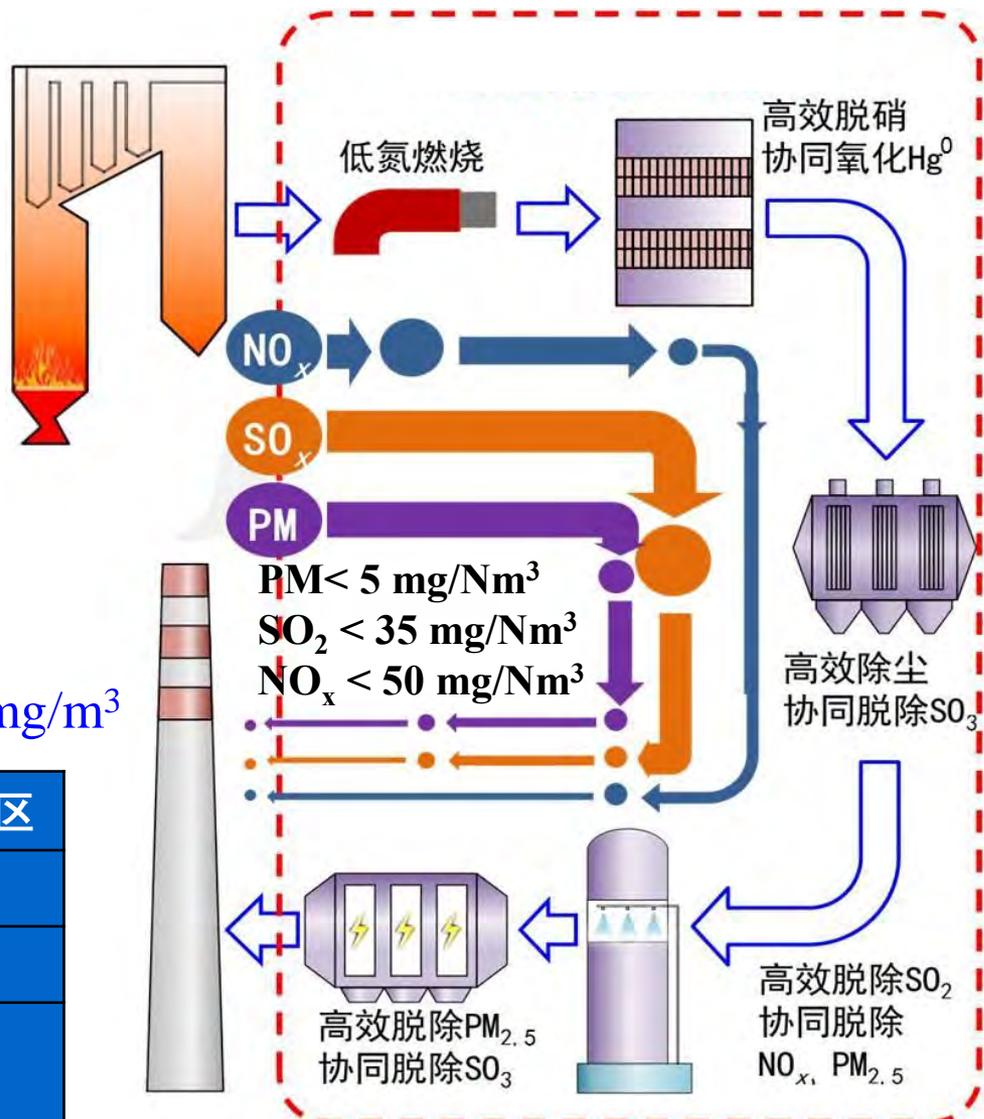
燃煤电站标准 单位:mg/m³

污染物项目	燃煤锅炉	
	重点地区	非重点地区*
烟尘	20	30
二氧化硫	50	新建锅炉100 现有锅炉200
氮氧化物 (以NO ₂ 计)	100	100
汞及其化合物	0.03	0.03

注(*): 除广西壮族自治区、重庆市、四川省、贵州省外

↓ 提出超低排放限值 单位:mg/m³

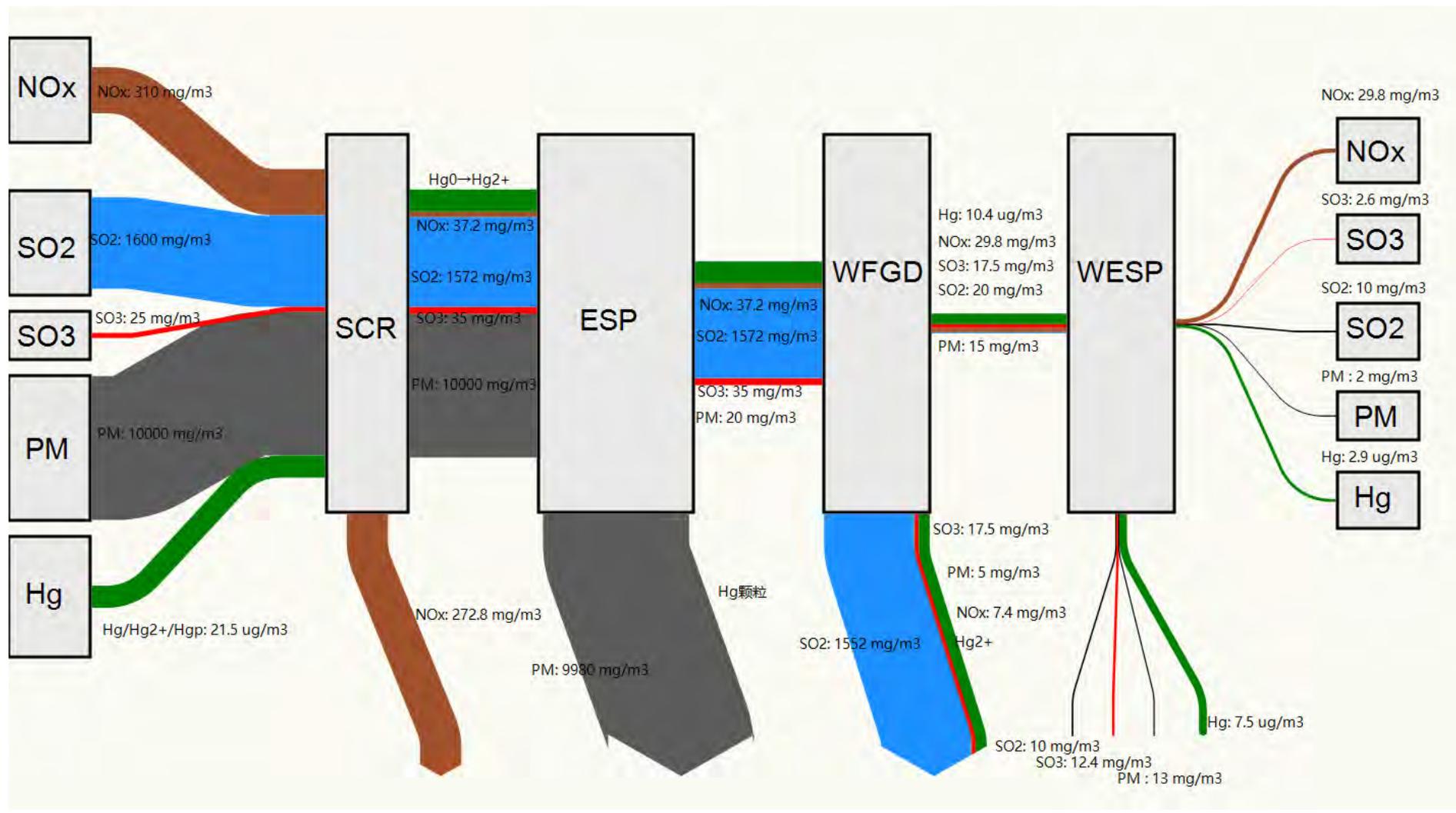
污染物项目	重点地区	非重点地区
烟尘	5	10
二氧化硫	35	35
氮氧化物 (以NO ₂ 计)	50	50
汞及其化合物	0.003	0.005



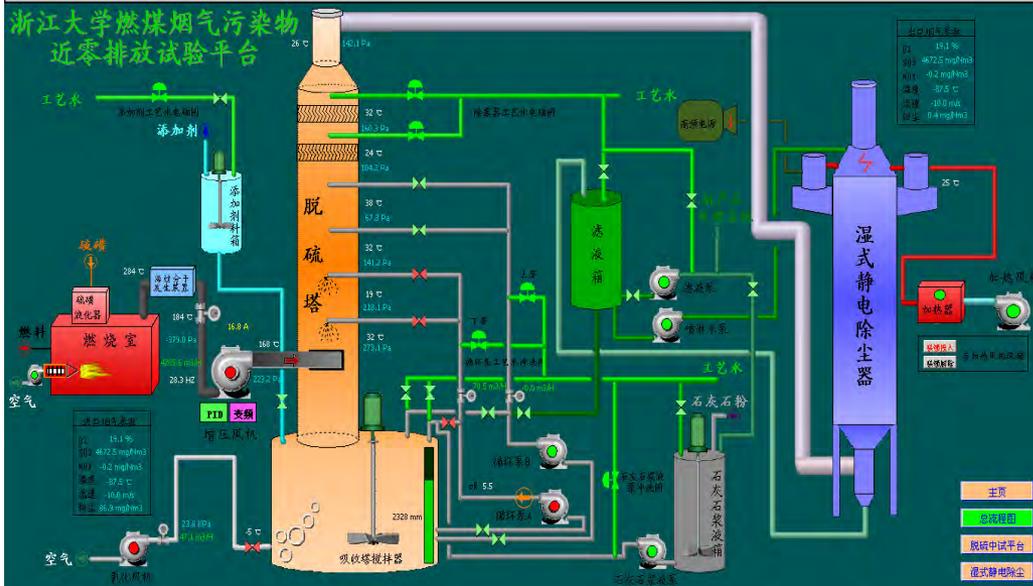
实现燃煤像天然气一样清洁

燃煤机组超低排放环保岛示意图

烟气污染物深度治理系统污流图



浙江大学燃煤烟气污染物深度治理试验平台



系统流程图



湿式静电烟气污染物深度治理系统



烟气发生系统



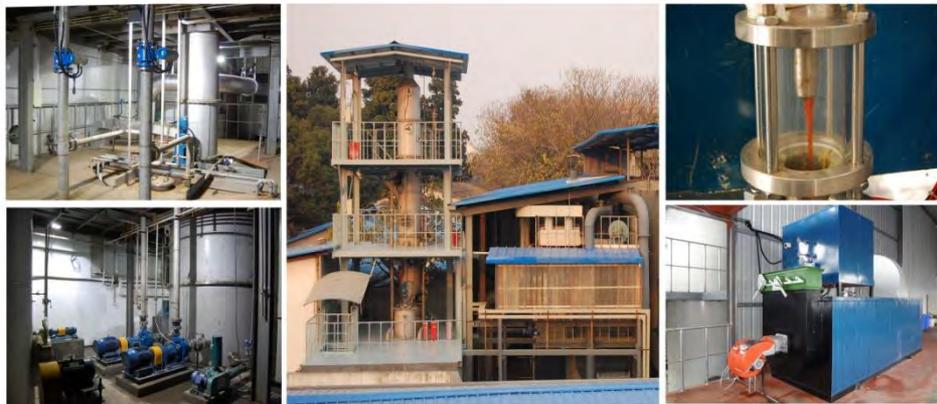
脱硫系统



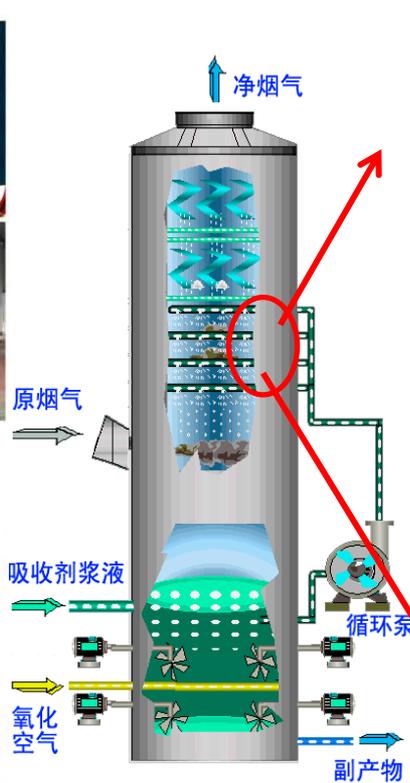
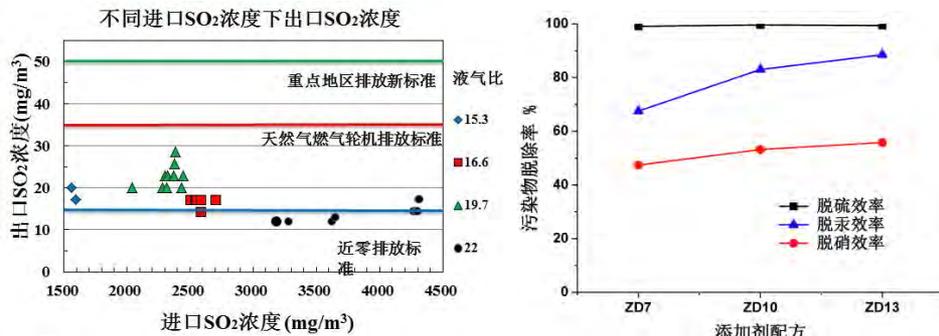
吸收塔浆液循环系统

如何实现SO₂的超低排放？

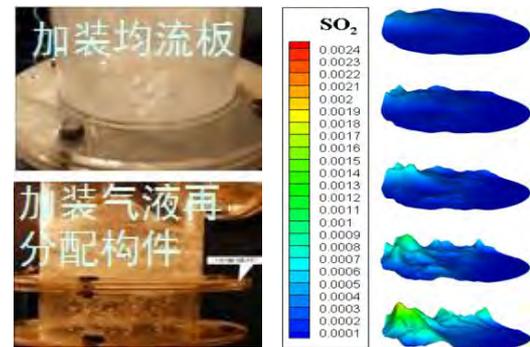
浙江大学建立了10000m³/h 试验平台，研发了新型强化传质吸收塔，使其效率提高2-4%，研发了多效添加剂，使脱硫效率提高3-6%，最终实现脱硫效率达到99%以上，脱硝效率可达40%，脱汞效率可达80%以上。



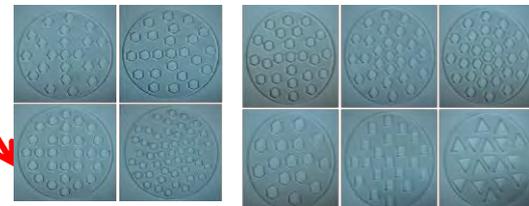
10000m³/h 中试试验平台



新型吸收塔



新型吸收塔可提升脱硫效率2-4%

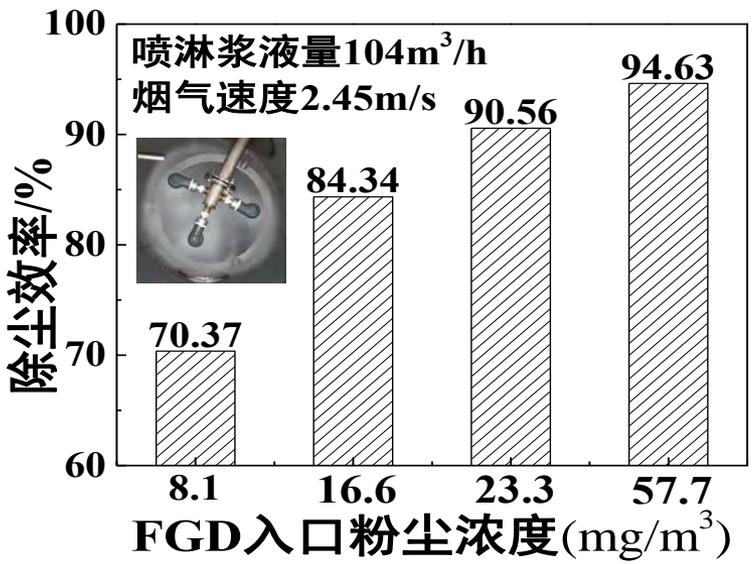
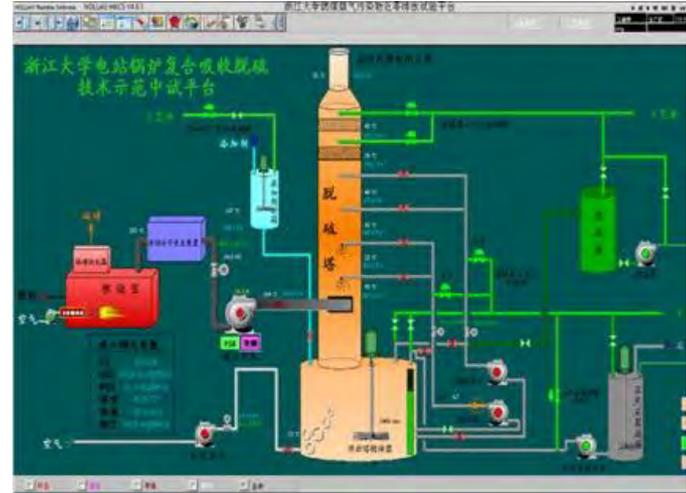


- 不同开孔率
- 不同形状
- 不同孔径等

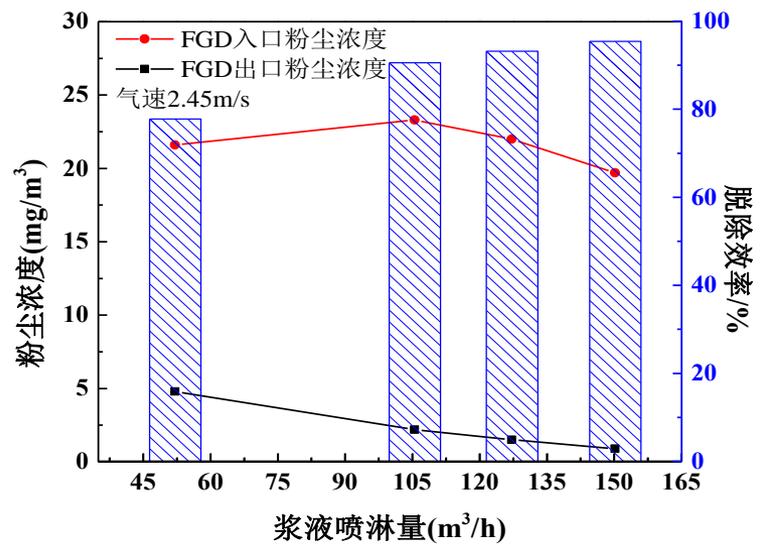
SO₂浓度低于20mg/Nm³ 实现硝汞的协同脱除

湿法脱硫塔对颗粒物可实现有效脱除

研究了不同入口粉尘浓度、烟气速度、浆液喷淋量、除雾器参数等对湿法脱硫塔颗粒物脱除的影响规律，结果表明，颗粒物脱除效率大于70%，浓度小于 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。并且有很好的工况适应性。



入口粉尘浓度对除尘效率的影响



浆液喷淋量对除尘效率的影响

单塔多循环高效脱硫系统的工业验证

浙江江山虎霸热电厂

入口SO₂浓度: 18000 mg/Nm³

分区液气比调控, 分区pH值调控

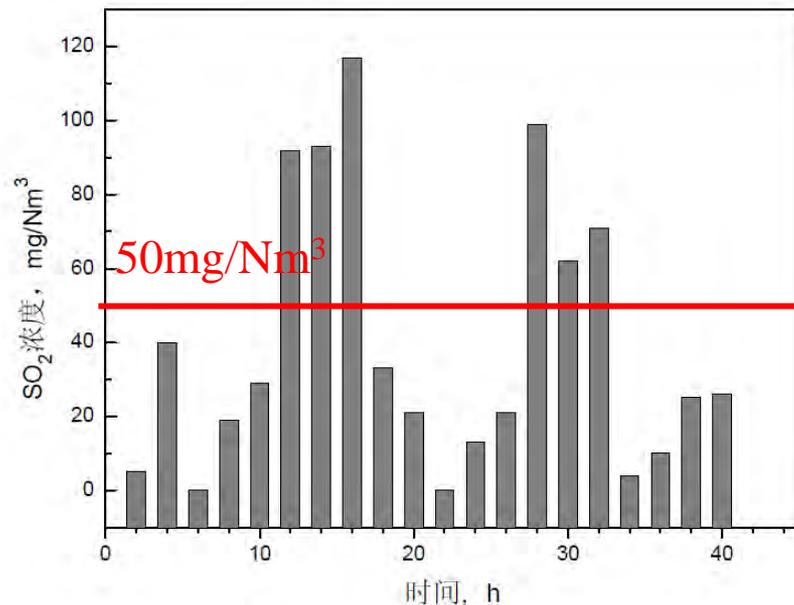
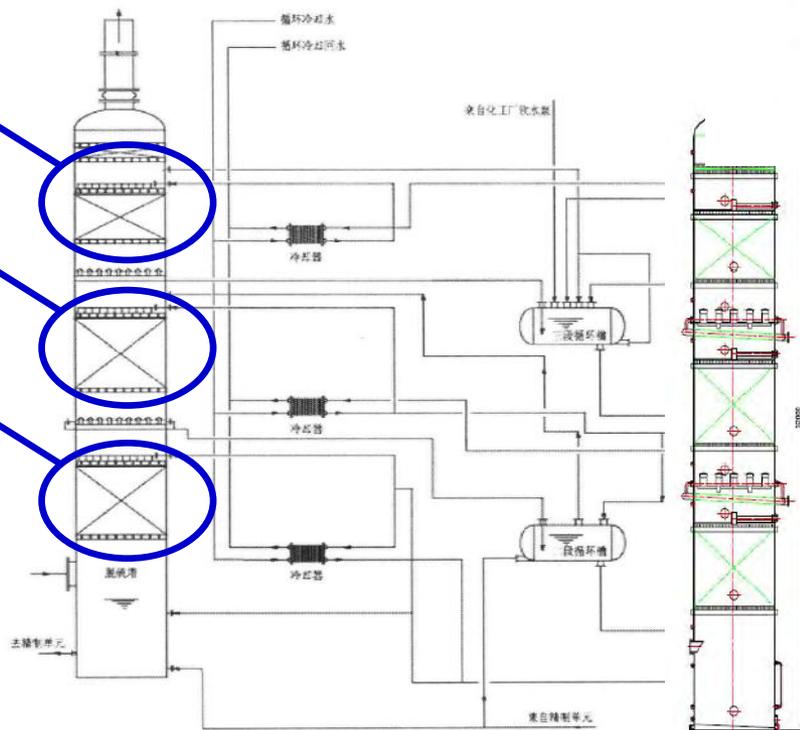
一段反应区: 5.0-5.2

二段反应区: 5.8-6.0

三段循环
反应区

二段循环
反应区

一段循环
反应区



高效脱硫协同颗粒物控制的工程应用示范

- 大唐南京电厂660MW机组设计采用塔内强化传质构件+pH分区控制技术，脱硫系统投运后出口浓度低于 $20\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，脱硫效率达到99%以上；除尘效率达75%以上（实测 $26\text{mg}/\text{m}^3$ 到 $6\text{mg}/\text{m}^3$ ）。



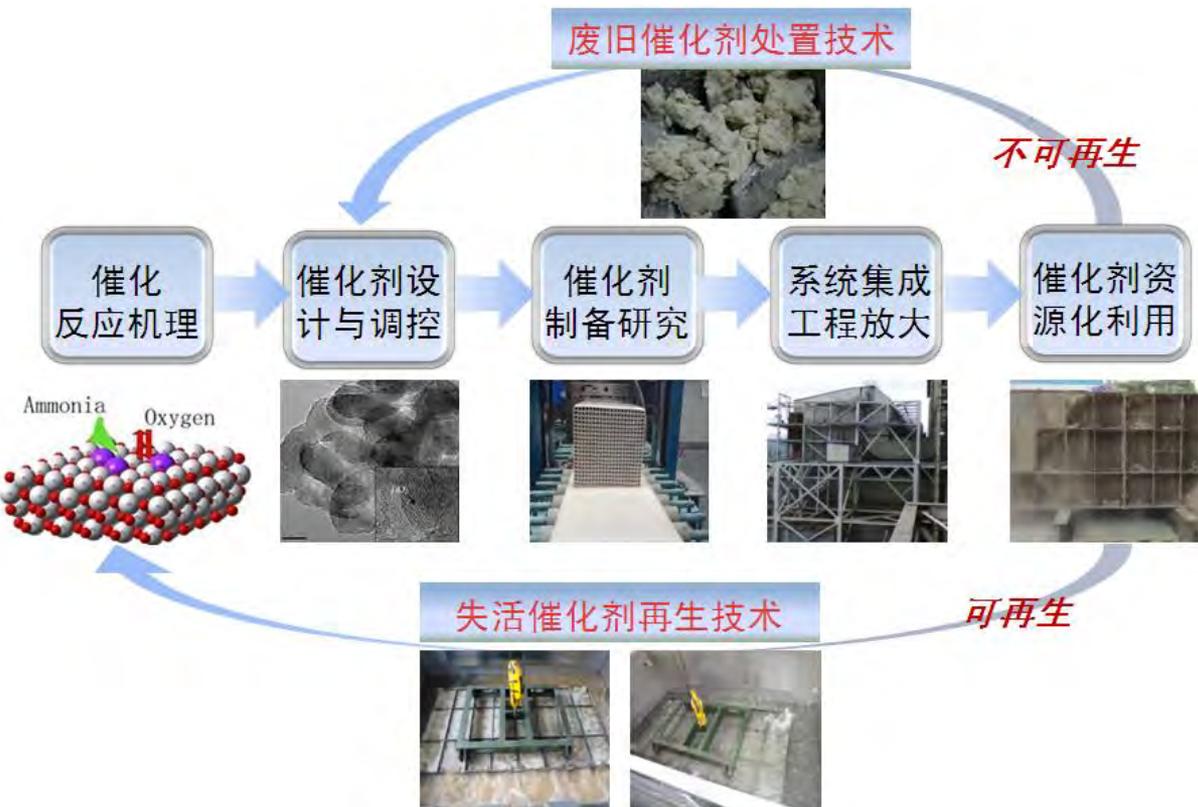
大唐南京发电厂660MW机组

- 原烟气 SO_2 浓度 $1666\text{mg}/\text{m}^3$
- 净烟气 SO_2 浓度 $4.7\text{mg}/\text{m}^3$
- 脱硫效率99.6%



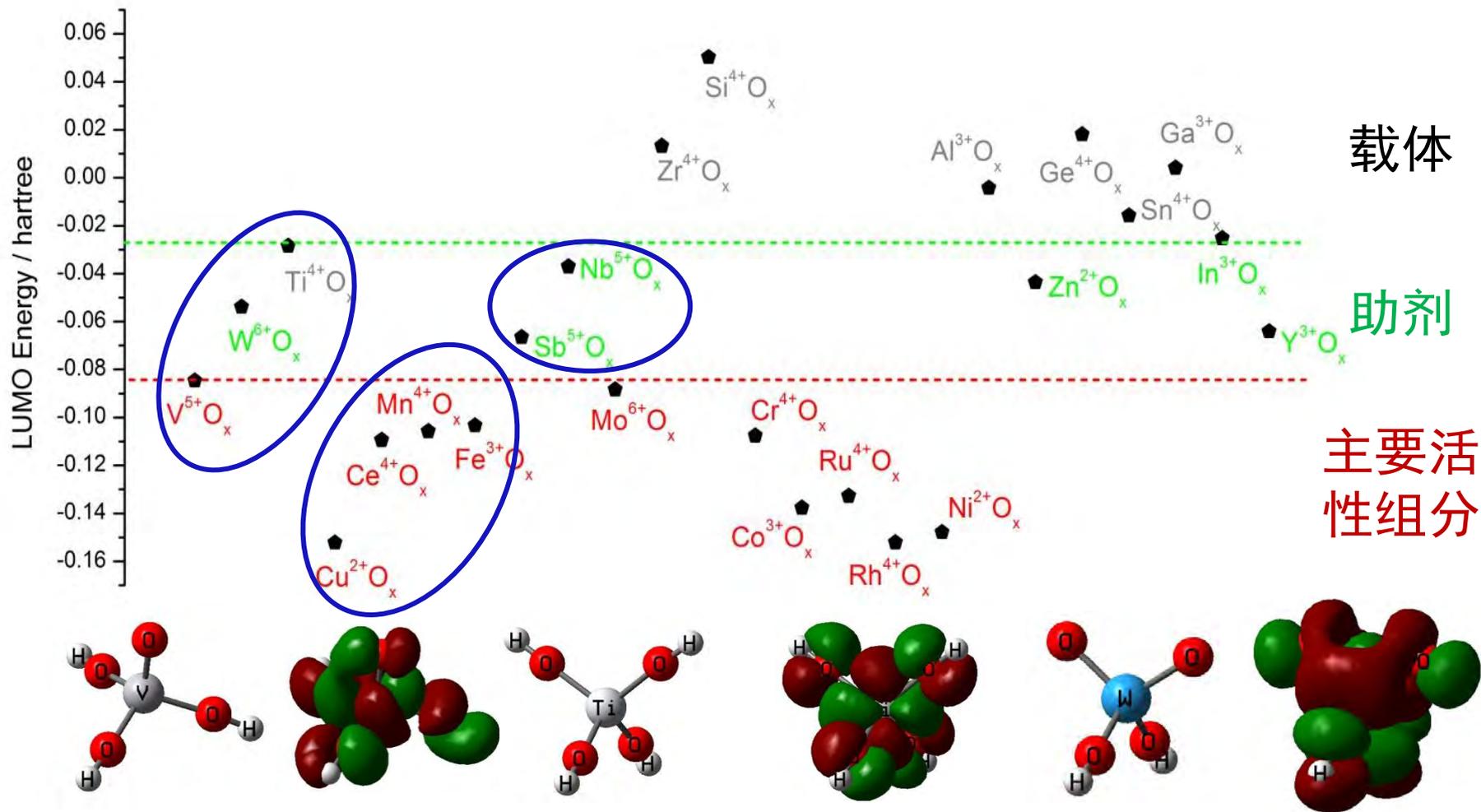
烟气污染物高效催化脱除研究

形成具有高脱硝效率、高 Hg^0/Hg^{2+} 转化率、低 SO_2/SO_3 转化率、宽温度窗口、高抗磨性能的催化剂配方及其活性恢复方法，并实现多种污染物催化协同控制。



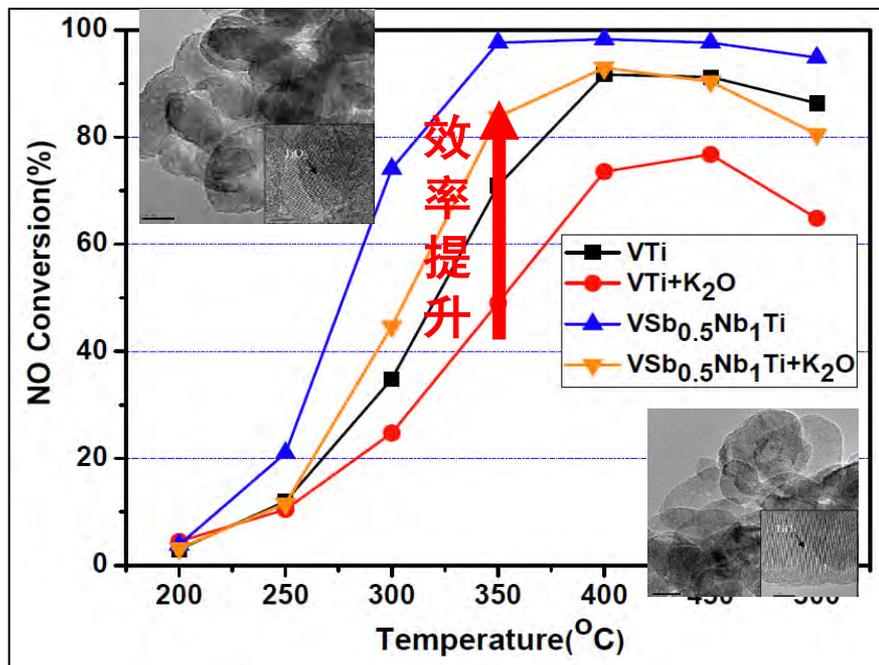
基于量子化学的催化剂优化设计方法

依据金属氧化物分子轨道能量，可将金属氧化物划分为载体、助剂和主要活性组分。



形成了适合中国煤质特性的抗中毒催化剂配方

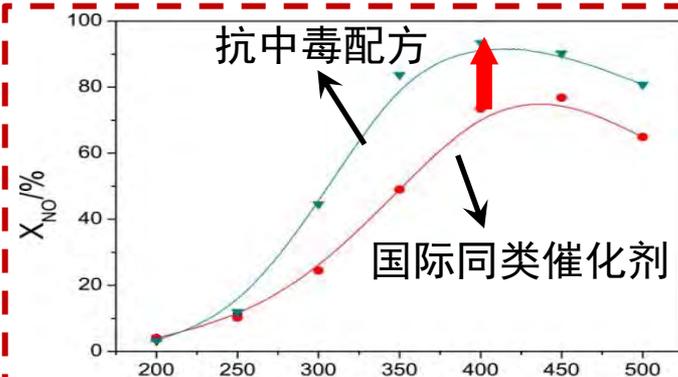
开发了适合我国复杂多变、交变煤质特性的催化剂配方。



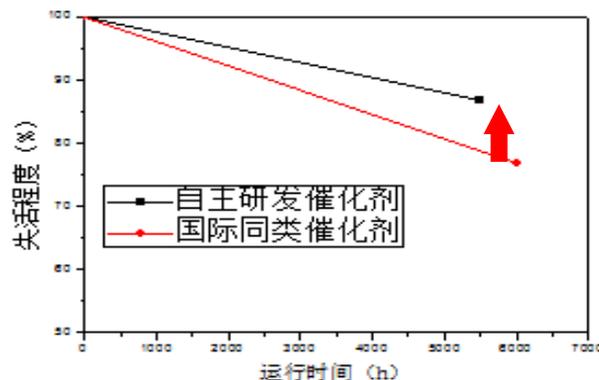
催化剂酸性
提高

氧化还原能
力增强

NO_x脱除效
率提高



适合中国煤质特性的
SCR催化剂抗中毒配方

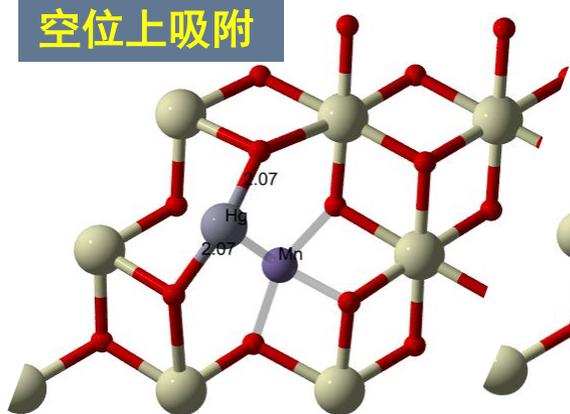


抗中毒能力明显好于同类商用催化剂
(运行5000小时)

开发了硝汞协同控制的催化剂配方

Hg在Mn系催化剂上的吸附机理研究

完整表面，
空位上吸附

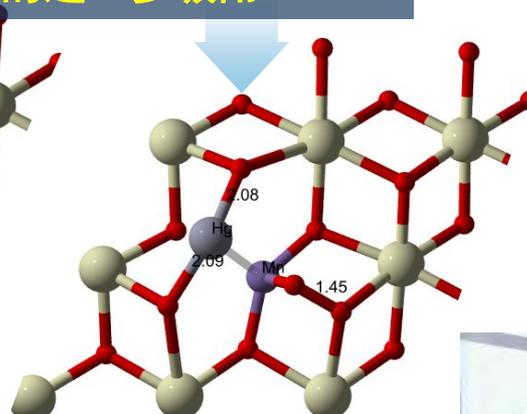


$$\Delta E = 1.75\text{eV}$$

O空位上吸附O₂之后，
Hg的进一步吸附

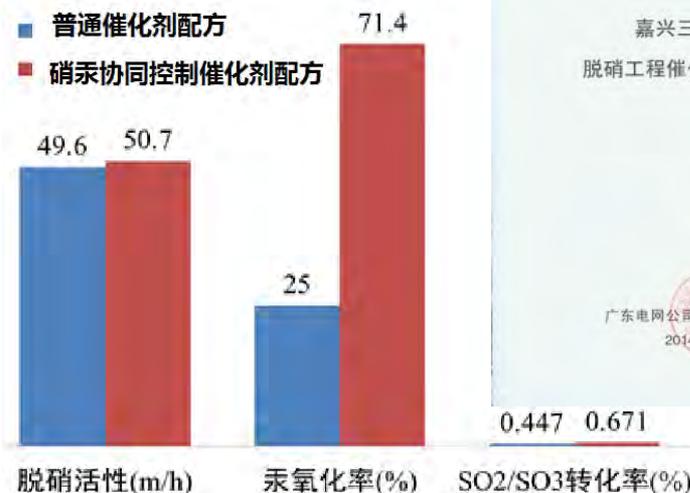
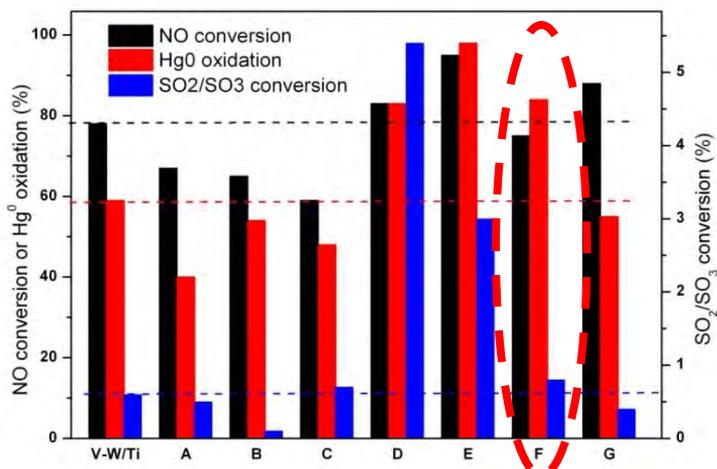


$$\Delta E = 0.65\text{eV}$$



$$\Delta E = 0.55\text{eV}$$

Mn掺杂之后，使
催化剂表面的Mn
周围的O易于偏
离晶格位置与Hg
成键，并伴随较
高的吸附能



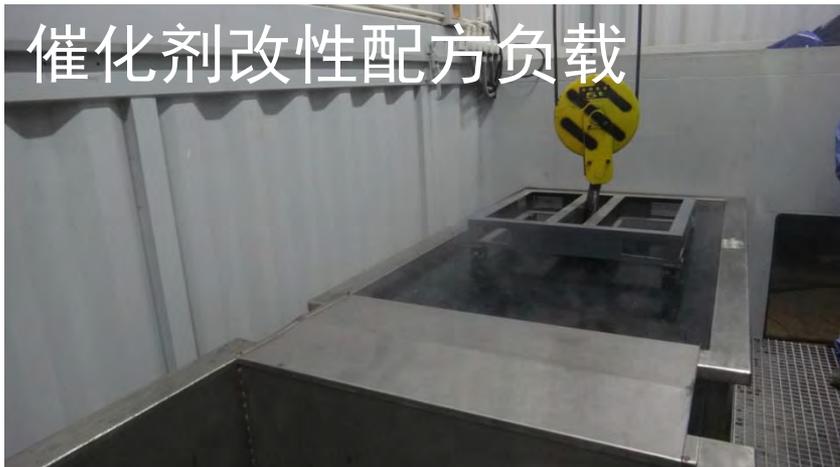
新配方保证了原有脱硝效率和硫
转化率，并大幅提高了汞氧化率

案例：嘉兴电厂硝汞协同控制

- ◆ 2014年1月，成功应用于嘉兴电厂1000MW机组催化剂改性实现硝汞协同控制。



嘉兴电厂三期1000MW机组



催化剂改性配方负载

嘉兴三期百万机组脱硝工程催化剂性能测试报告

5 测试结论

3个催化剂的测试结果汇总数据见表6。总体来讲，在催化剂活性、氨逃逸、机械强度及比表面积、孔隙率等方面，3个试样的数据相差不大，在SO₂和零价汞的氧化率方面，配方1和配方2试样的氧化率要高于新鲜催化剂。

表6 催化剂测试数据汇总

样品	活性 m/h	氨逃逸 ×10 ⁴	SO ₂ /SO ₃ 转化率 %	零价汞 氧化率 %	轴向机械 强度 MPa	径向机械 强度 MPa	比表面 积 m ² /g	孔隙 率 cm ³ /g	孔隙率 %
新鲜	49.6	26.4	0.447	25.0	3.36	0.88	54.7	0.259	51.17
配方1	47.6	28.5	0.489	60.7	3.37	0.84	53.6	0.292	50.65
配方2	50.7	25.1	0.671	71.4	3.42	0.87	53.3	0.267	50.56

中国南方电网
CHINA SOUTHERN POWER GRID

报告编号: G16050X1-009-2014

嘉兴三期百万机组
脱硝工程催化剂性能测试报告

广东电网公司电力科学研究院
2014年01月23日

样品	活性	SO ₂ /SO ₃ 转化率	零价汞 氧化率	轴向机 械强度	径向机 械强度
	m/h	%	%	MPa	MPa
新鲜	49.6	0.447	25.0	3.36	0.88
配方1	47.6	0.489	60.7	3.37	0.84
配方2	50.7	0.671	71.4	3.42	0.87

催化剂已实现了产业化应用

建成了具有完全自主知识产权的国产化催化剂成套生产工艺，
产能超过50000m³/年，已在火电厂、污泥焚烧热电厂、固废焚烧炉、玻璃窑炉等实现了推广应用。



催化剂生产线



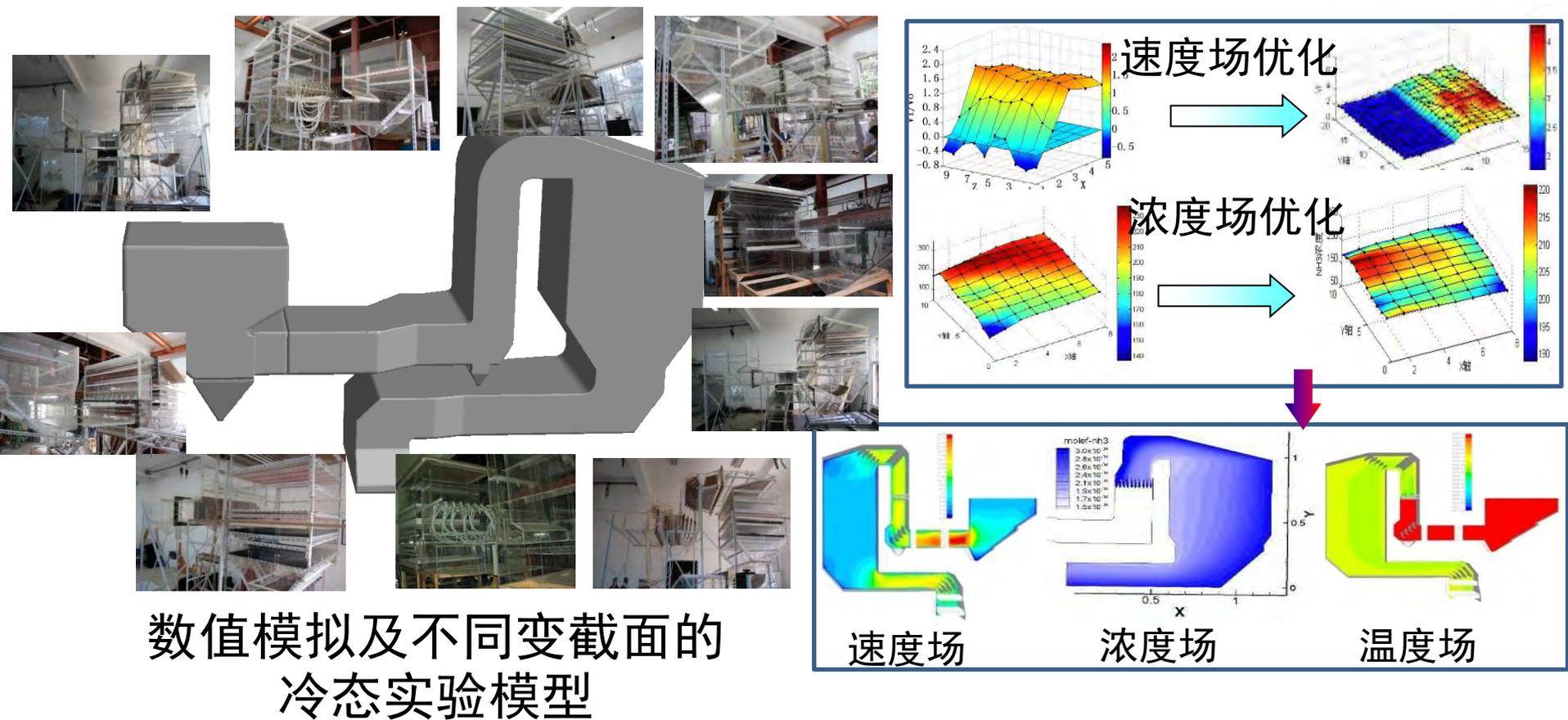
成型催化剂



催化脱硝技术的应用

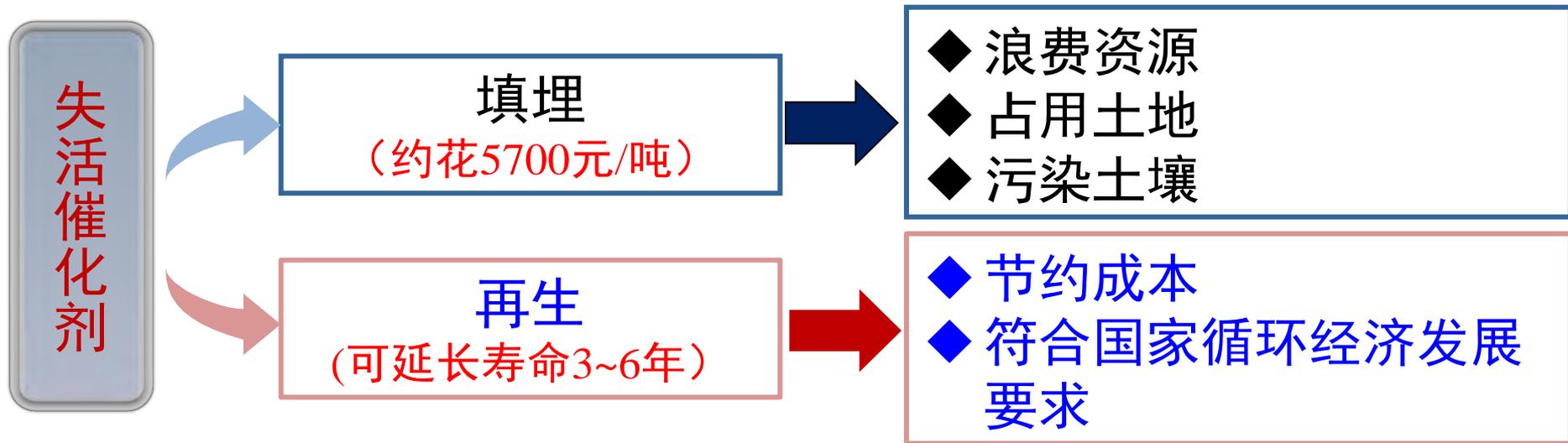
SCR脱硝烟气系统优化研究

深入开展了各种形式的SCR烟气系统的速度场、浓度场、温度场等多场均匀性分布优化研究，实现了烟气系统均流、还原剂与NO_x高效混合、内构件合理布置、系统压降优化、积灰区消除等



如何实现失活催化剂活性快速恢复？

- ◆ 据统计，国内燃煤电厂脱硝催化剂需求量约**70万方**，按脱硝催化剂使用年限3年考虑，每年大约产生**20~22万方**失活催化剂。
- ◆ 废弃脱硝催化剂可能对水/土壤造成严重污染，已被纳入**危险废物**管理。



The bottom section illustrates two causes of catalyst deactivation. On the left, a photograph shows a catalyst carrier grid heavily encrusted with a thick layer of ash, labeled '失活催化剂' (Spent Catalyst). In the center, a close-up of a catalyst honeycomb structure is shown with a significant portion of the cells blocked by a dark, crystalline deposit, labeled '催化剂堵塞' (Catalyst Blockage). On the right, a chemical reaction diagram shows the poisoning of a catalyst site. The reactant is a metal-oxo species with a terminal hydrogen atom. An arrow with 'Na+(K+)' above it points to the product, where the hydrogen has been replaced by a sodium or potassium ion, labeled '化学中毒' (Chemical Poisoning).

失活催化剂

催化剂堵塞

化学中毒

$$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{O} \\ | \\ \text{Me}-\text{O}-\text{Me} \end{array} \xrightarrow{\text{Na}^+(\text{K}^+)} \begin{array}{c} \text{Na}(\text{K}) \\ | \\ \text{O} \\ | \\ \text{Me}-\text{O}-\text{Me} \end{array}$$

催化剂再生改性技术

研发了3000m³/年再生改性能力的**可移动式**成套再生改性装备及核心技术，并成功应用于广东顺德五沙热电有限公司300MW机组失活脱硝催化剂的活性恢复，及嘉兴电厂1000MW机组催化剂改性实现硝汞协同控制。



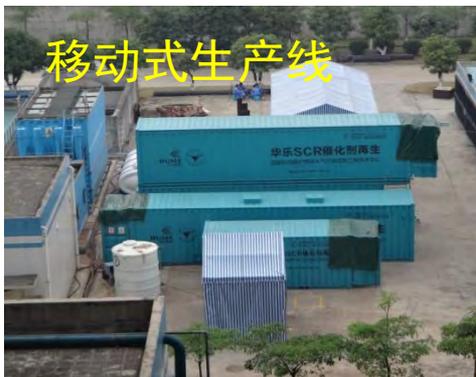
失活催化剂



活性恢复过程



活性恢复后催化剂



苏州华乐移动线

	单位	失活侧	失活侧	再生侧
脱硝效率	%	59.7	72.7	82.11
氨逃逸	ppm	1.28	12.49	1.24
SO ₂ /SO ₃ 转化率	%	0.19	0.48	0.17

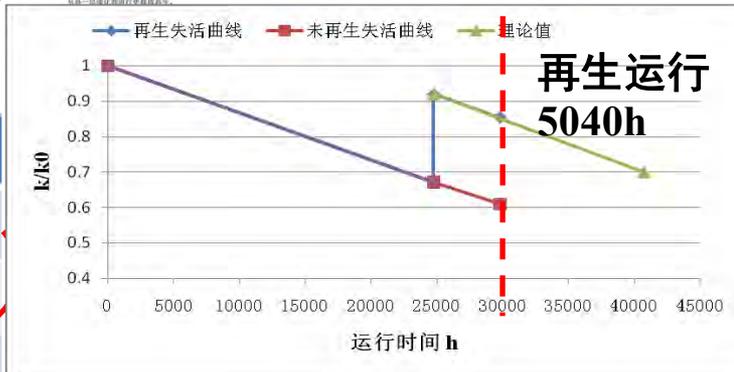
顺德五沙热电厂1号炉脱硝催化剂再生后性能验收试验报告

非0.19%、氨逃逸率1.28ppm，进行了一剂催化剂再生的8剂反应器氨氮氧化物脱效率
 脱硝效率11%、氨逃逸率7%、SO₂/SO₃转化率0.17%，催化剂再生完成。

图10 1号炉脱硝催化剂性能测试汇总表

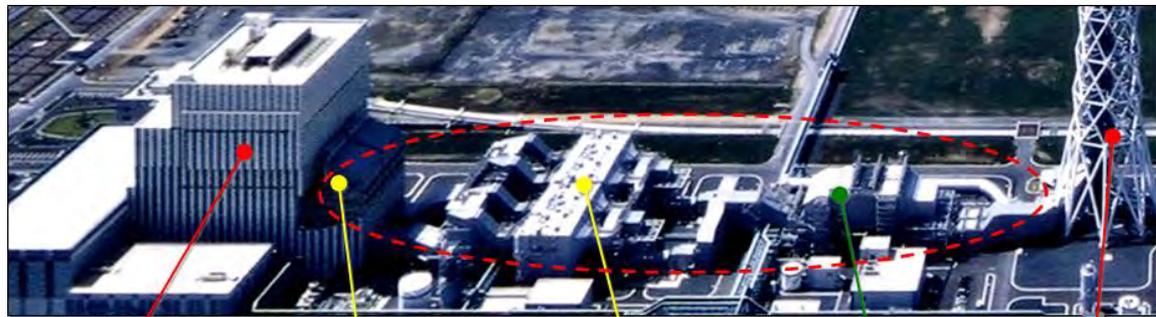
检测项目	单位	检测结果		
		A炉进口	A炉出口	非0.19%
A炉进口NOx浓度	mg/m ³	493.2	430.9	405
A炉出口NOx浓度	mg/m ³	162.5	117.8	76
脱硝效率	%	59.7	72.7	82.11
A炉进口氨浓度	mg/m ³	1.41	0.89	0.87
A炉出口氨浓度	mg/m ³	2.7	3.22	2.26
A炉SO ₂ 转化率	%	0.19	0.48	0.17
氨逃逸率	ppm	1.28	12.49	1.24
A炉入口温度	℃	34	34	4
反应器入口温度	℃	388.5	388	382.3

中国南方电网
CHINA SOUTHERN POWER GRID
报告编号: G16050X1-025-2013
顺德五沙热电厂二期1号锅炉
脱硝催化剂再生后性能验收
试验报告



再生催化剂已稳定运行
超过11000小时

可能引发的SO₃和超细粉尘污染控制新问题



燃煤锅炉



SCR脱硝装备



除尘装备



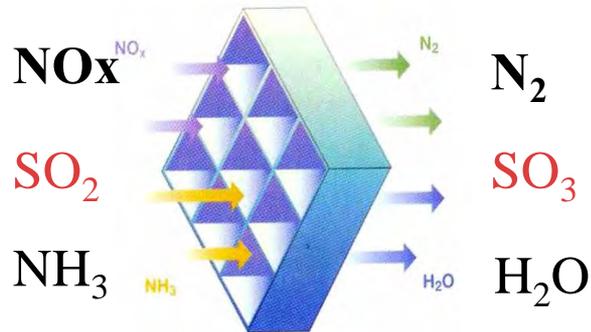
脱硫装备



烟囱

典型燃煤电站多种污染物控制装备系统

十二五SCR脱硝大量推广



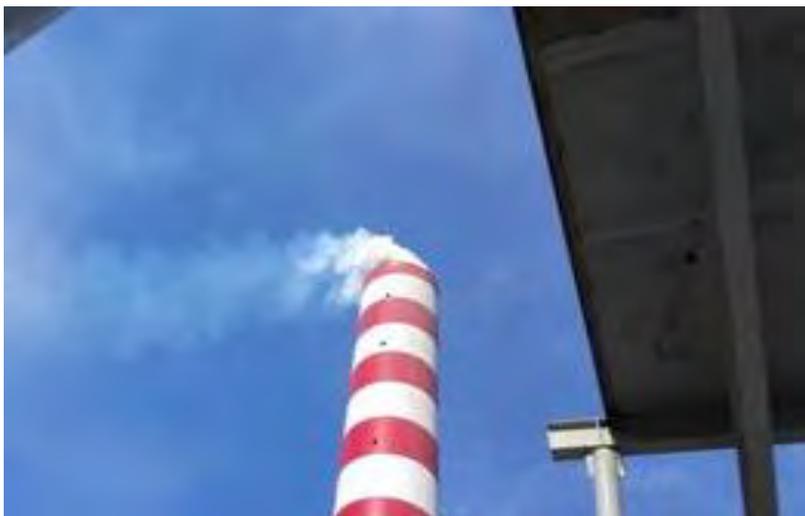
带来新的SO₃控制问题

SO₃的影响:

- SO₃是造成空预器堵塞及烟道、除尘脱硫装备和烟囱腐蚀的主要因素;
- SO₃易与烟气中的水分结合,生成硫酸气溶胶,很难被湿法FGD洗涤掉;
- 硫酸气溶胶会造成烟囱的排烟出现蓝色或黄色烟羽,增加排烟浊度;
- 硫酸气溶胶会在大气中形成超细颗粒物,加重霾现象,降低大气的能见度,不但破坏景观、影响视觉感受,而且危害周边人群的健康。

我国部分燃煤电厂已出现SO₃污染问题

- ◆ 某高硫煤（含硫量3.5%）电厂660MW脱硫机组（SO₂入口浓度11000mg/m³），预计加装SCR后SO₃排放浓度可达约160mg/m³。



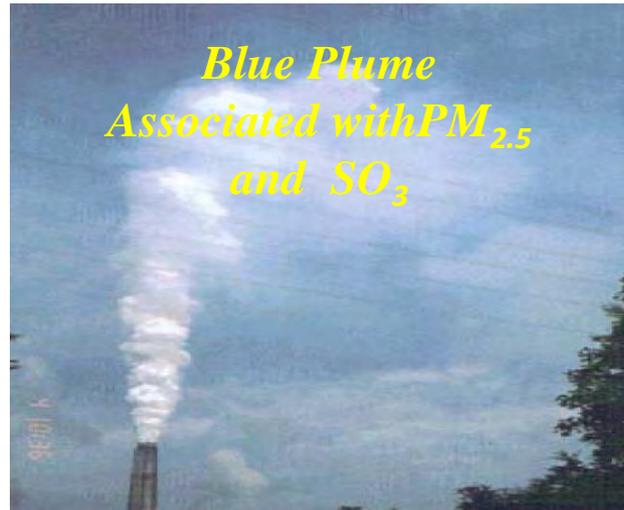
- ◆ 机组：660MW
- ◆ 锅炉类型：对冲 2100t/h
- ◆ 煤质：含硫量1.65%
- ◆ 污控设施：SCR+电袋+WFGD
- ◆ 烟囱SO₃排放浓度：54 mg/m³



- ◆ 机组：330MW
- ◆ 锅炉类型：切圆 1025t/h
- ◆ 煤质：含硫量2.45%
- ◆ 污控设施：SCR+ESP+WFGD
- ◆ 烟囱SO₃排放浓度：48 mg/m³

如何实现燃煤烟气的深度净化？

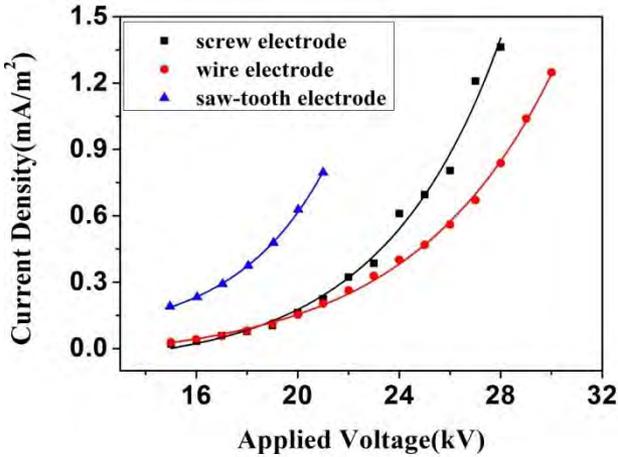
- 如何解决脱硫塔后含SO₂、SO₃酸雾、飞灰微粒、石膏微粒、吸收剂微粒、细小液滴、汞等多种污染物的烟气的深度净化？
- 如何实现PM_{2.5}的进一步深度脱除，实现超低排放？



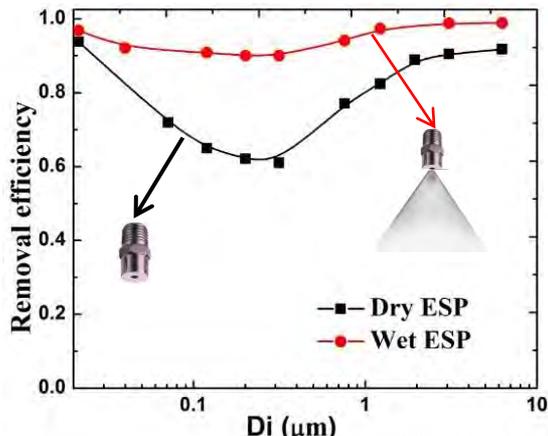
- ◆ 美国AEP电厂由于加装SCR后引起大量的SO₃排放，造成严重的环保污染事件，最终导致Ohio州CHESHIRE整个城市的搬迁，成为“鬼城”，损失巨大（The New York Times，2002年）

湿式静电多种污染物协同控制技术

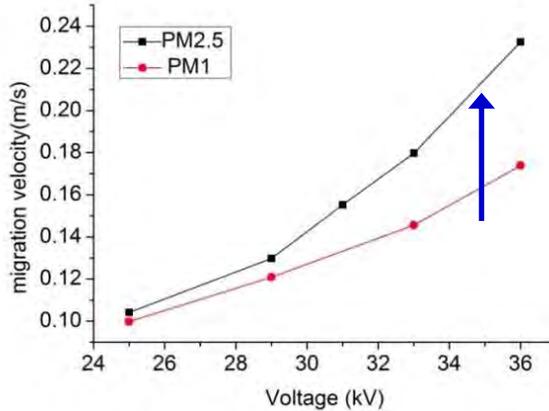
- 形成了湿式条件下强化颗粒物($PM_{2.5}/PM_{1.0}$)及其他污染物($SO_x/NO_x/Hg$ 等)脱除的方法。



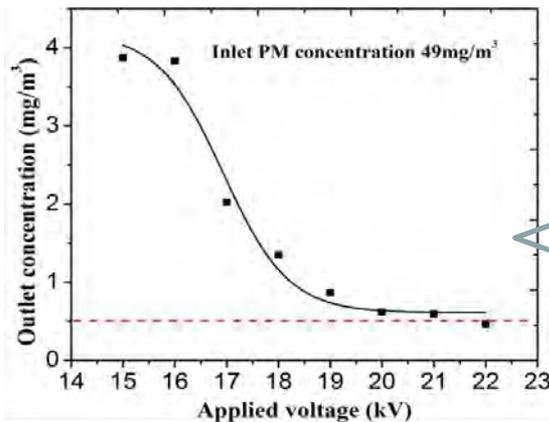
不同电极形式下放电特性规律



液滴喷淋强化 $PM_{1.0}$ 的脱除

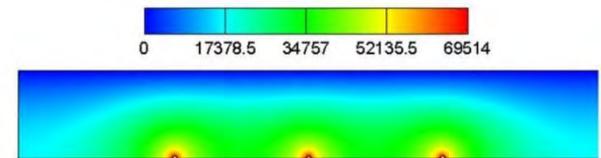


$PM_{2.5}$ 、 $PM_{1.0}$ 趋近速度随电压的变化



WESP出口浓度随电压变化

静电场



颗粒浓度场

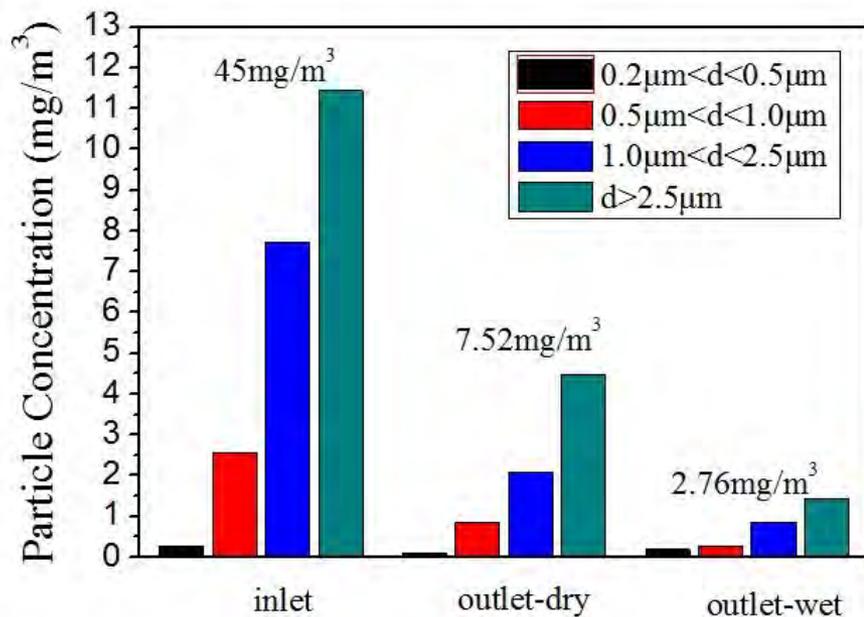


静电场中的颗粒浓度分布变化

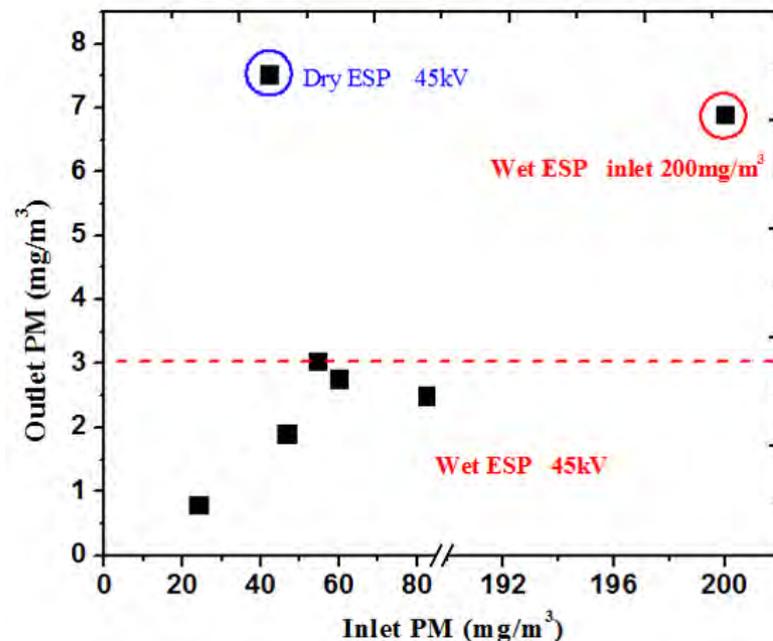
试验结果表明出口浓度从 $49mg/Nm^3$ 降低到 $1mg/Nm^3$ 以下

湿式静电多种污染物协同控制技术

- 对于单电场中试湿式静电除尘器，入口浓度在 $80\text{mg}/\text{m}^3$ 以内时，出口浓度均控制在 $3\text{mg}/\text{m}^3$ 以内，入口粉尘浓度 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 时，出口粉尘浓度可控制到 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。



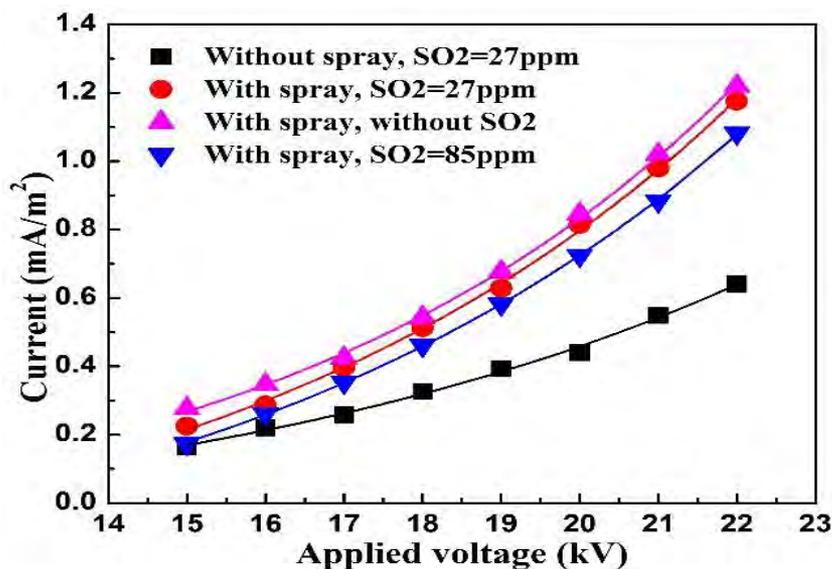
干、湿式条件下颗粒分级粒径变化
(风速 $3.43\text{m}/\text{s}$ ，施加电压 45kV)



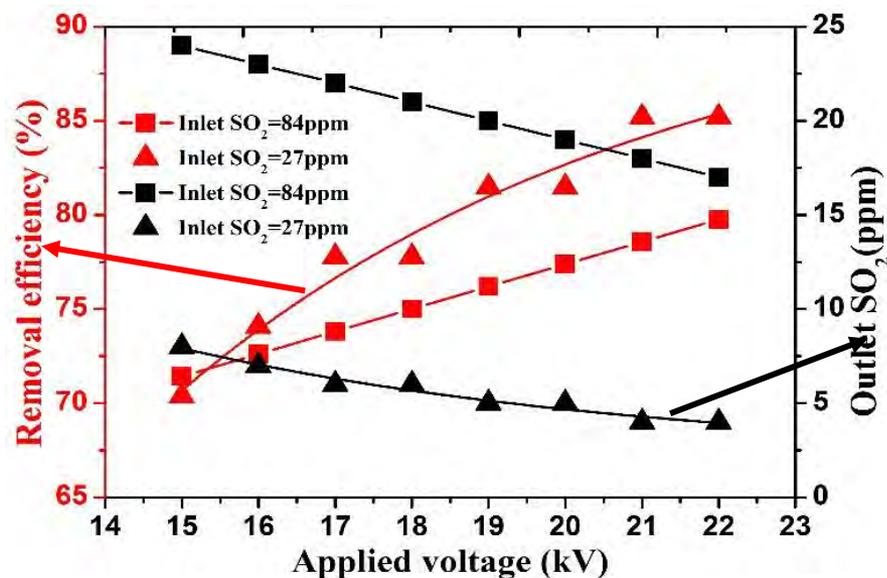
不同初始浓度下出口粉尘浓度变化
(风速 $3.43\text{m}/\text{s}$ ，施加电压 45kV)

湿式静电多种污染物协同控制技术

- 试验结果表明，湿式静电除尘对SO₂具有较好的捕集效果，脱硫效率可达80%以上，可有助于实现燃煤烟气SO₂的深度净化。
- 采用湿式静电除尘技术，实现SO₂浓度从78mg/Nm³降低到15mg/Nm³以下。



SO₂浓度对放电特性的影响



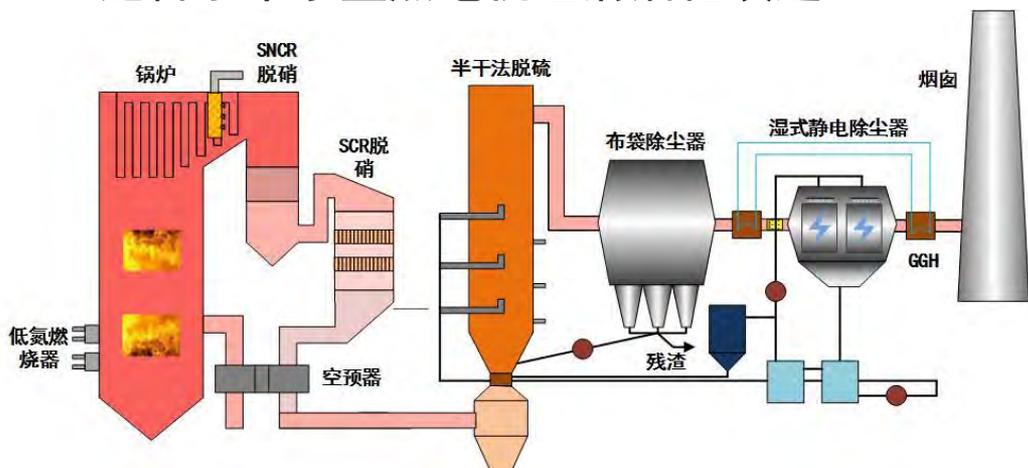
电晕放电对SO₂脱除的强化效果

130t/h热电联供机组示范项目

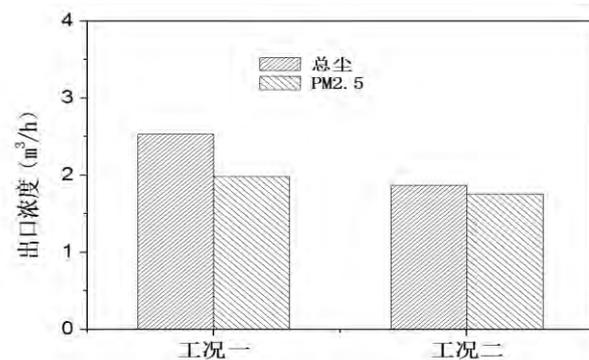
◆ 建立了130t/h热电联产机组烟气污染物深度治理示范工程，将湿式静电多种污染物深度净化系统用于半干法脱硫后，实现PM与SO₂的协同控制，实现SO₂小于30mg/Nm³，PM排放小于3mg/Nm³。

特点：

- 湿式静电烟气深度净化系统废水用于半干法增湿，实现废水零排放
- 通过污染物协同脱除达到超低排放
- 适合于中小型热电机组清洁化改造



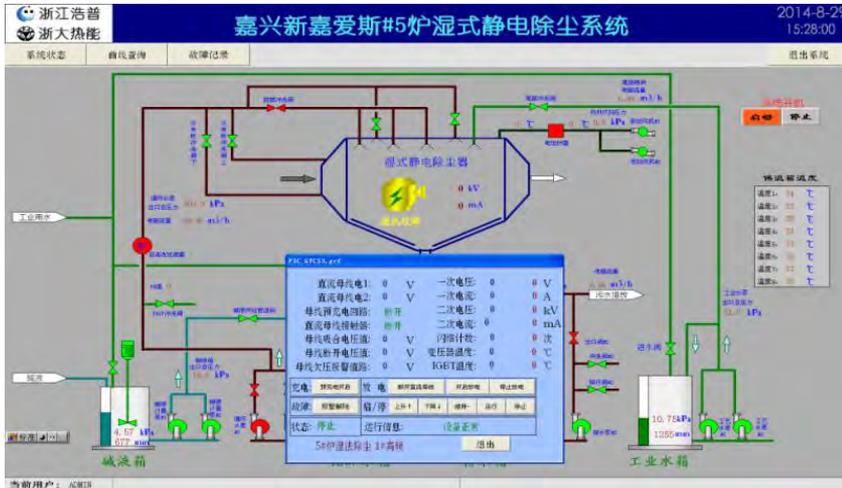
嵊州新中港热电有限公司3#炉



粉尘排放

220t/h热电联供机组示范项目

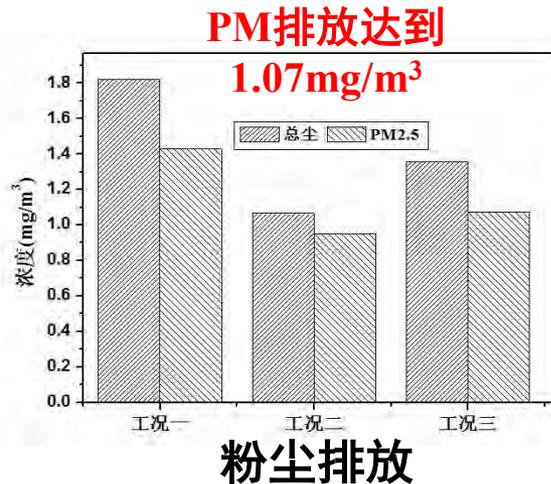
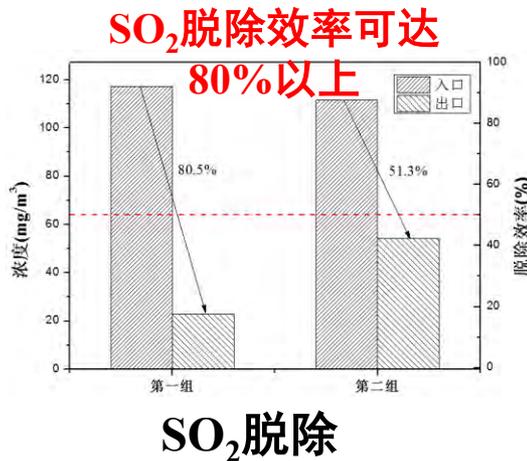
- 建立了220t/h热电联供锅炉污染物超低排放示范工程，可实现粉尘排放小于 $2\text{mg}/\text{m}^3$ ，且协同高效控制 SO_2 等污染物。



控制系统



湿式烟气深度净化系统本体



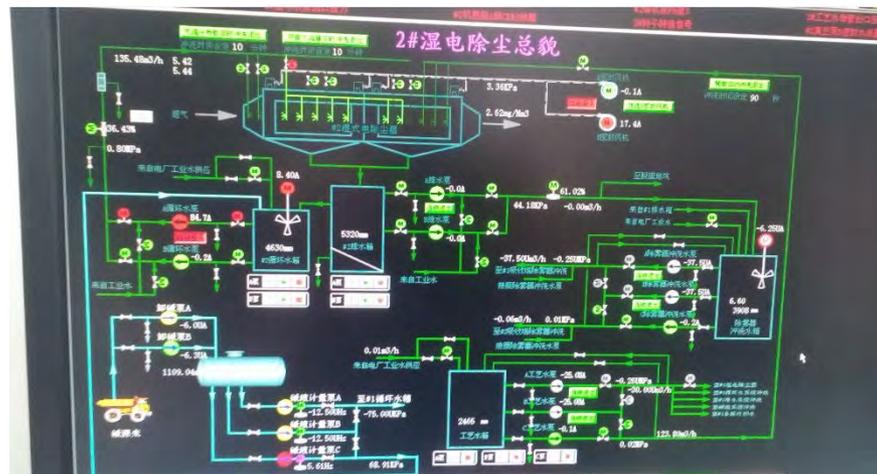
嘉兴新嘉爱斯热电有限公司

五沙热电300MW机组超低排放示范工程

- 在广州顺德五沙热电有限公司300MW燃煤机组上建立了超低排放示范工程，并于2015年3月投入满负荷运行。
- 初步测试结果表明， $PM < 3mg/Nm^3$ 、 $SO_2 < 25mg/Nm^3$ 、 $NO_x < 35mg/Nm^3$ 。

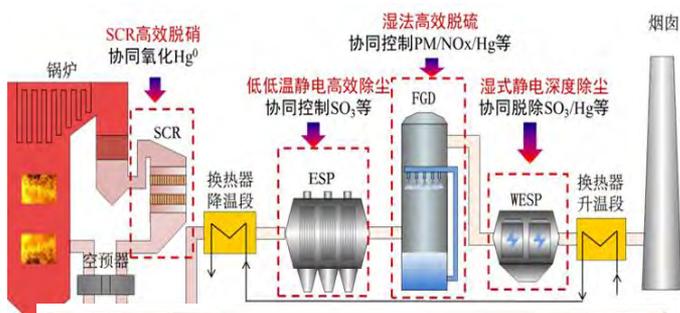
关键技术

- SCR高效脱硝技术
- 筛板强化脱硫除尘一体化技术
- 回转式GGH高效密封技术
- 卧式湿式静电除尘技术



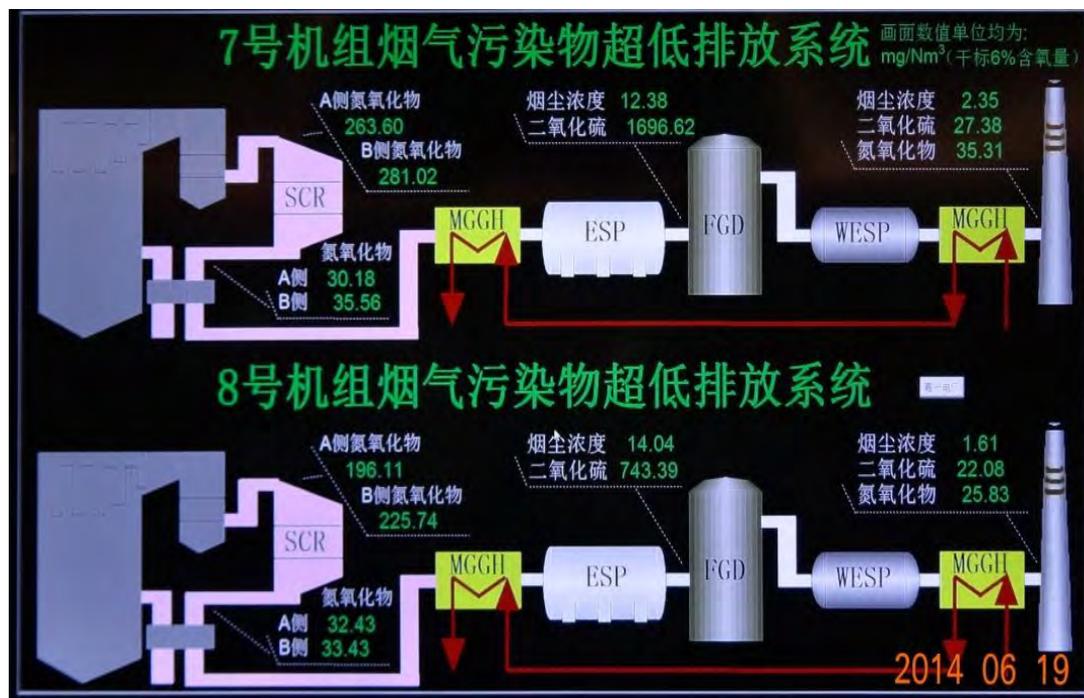
1000MW燃煤电站超低排放示范工程

- 浙能集团，天地环保与浙江大学合作，实现国内首套燃煤电站超低排放系统在嘉兴电厂率先投入满负荷运行
- 中国环境监测总站测试数据表明，实现燃煤烟气中烟尘、SO₂、NO_x排放**比重点地区排放标准分别低84.6%，70%，76.3%**。
 - PM=3.08mg/Nm³、SO₂=15.1mg/Nm³、NO_x=23.67mg/Nm³



国家煤电节能减排
示范电站

国家能源局
二〇一四年十月



超低排放扭转了“燃煤等于污染”的观念

超低排放技术的成功示范，扭转了“煤炭=污染”的观念，为煤炭清洁化利用提供了一条重要途径。(观点发表于中国环境报 2016.02.09)

➤ 超低排放燃煤机组发电成本只比执行国家标准排放限值燃煤机组高0.016元/kWh;

发电类型	执行GB13223-2011限值的燃煤机组	执行“超低排放”限值的燃煤机组	燃气-蒸汽联合循环发电	燃气锅炉发电
发电成本, 元/kWh	0.4500	0.4660	0.9320	1.0836
与执行GB13223-2011限值的燃煤机组发电对比增加成本, 元/kWh	—	0.0160	0.4820	0.6336



国家出台政策支持污染物超低排放

◆ 2016年政府工作报告 (2016.03.05)

全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造。

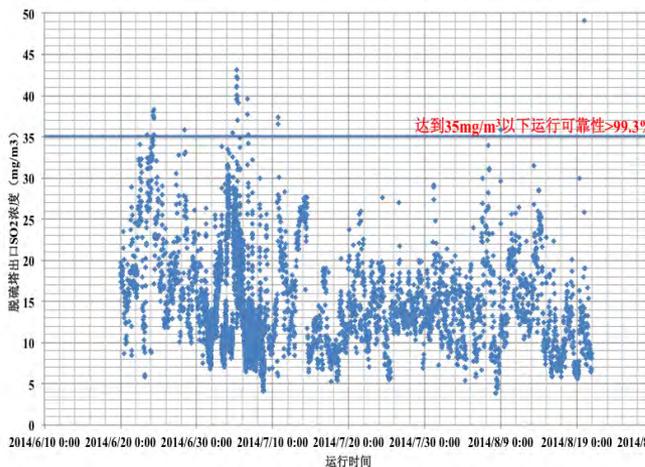
◆ 煤电节能减排升级与改造行动计划(2014-2020年)

- 东部：新建机组基本达到燃气轮机组排放限值
- 中部：原则上接近或达到燃气轮机组排放限值
- 西部：鼓励接近或达到燃气轮机组排放限值。

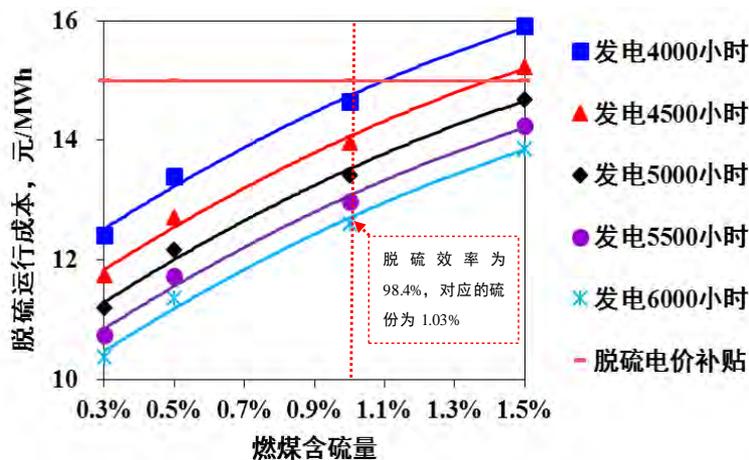


先进污染物控制装备与工艺技术评估

- 进一步评估现有超低排放等先进污染物控制技术的**可行性**、运行**可靠性**、**稳定性**及**经济性**，为企业及政府决策提供科学依据；
- 推广适合超低浓度的污染物在线监测技术，为超低排放技术的精确评估提供支撑。



运行稳定性评估



运行经济性评估



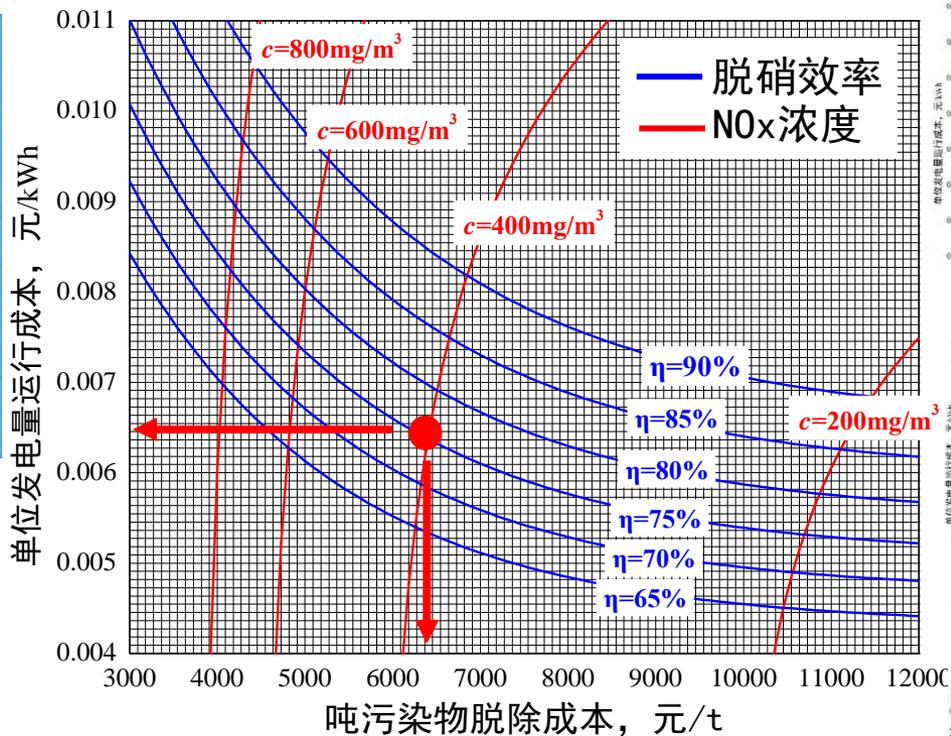
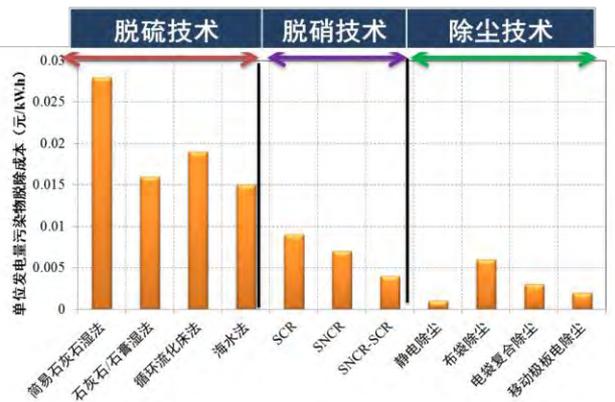
污染物控制装备运行效果评价技术标准

大气污染控制装备成本效益评估系统

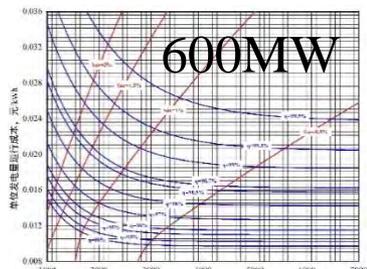
建立了燃煤电厂大气污染控制装备的**成本效益数据库**，并运用**成本效益评估系统**对各项工程案例的运行成本和环境效益进行分析。



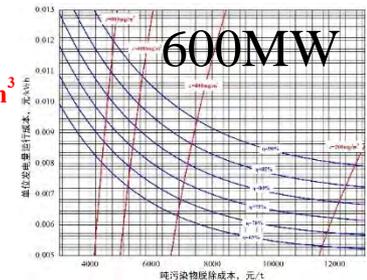
不同大气污染控制装备运行成本



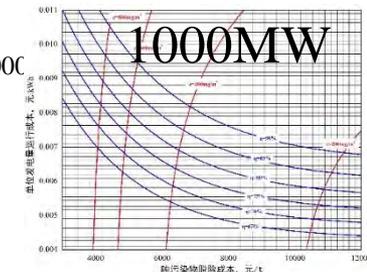
1000MW机组脱硝运行成本谱图



湿法脱硫

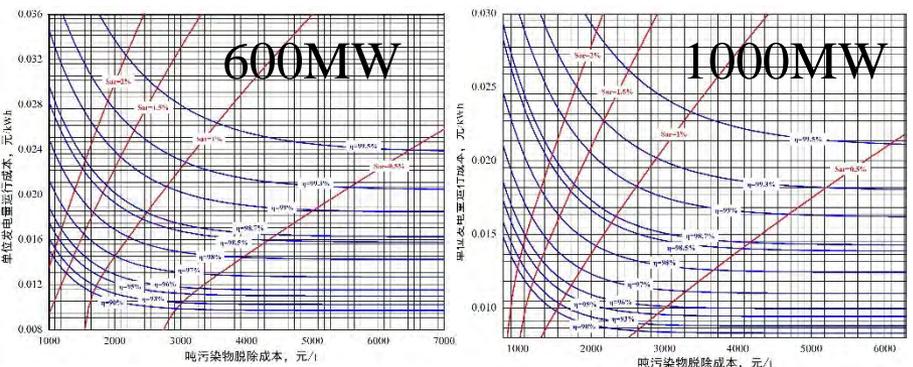
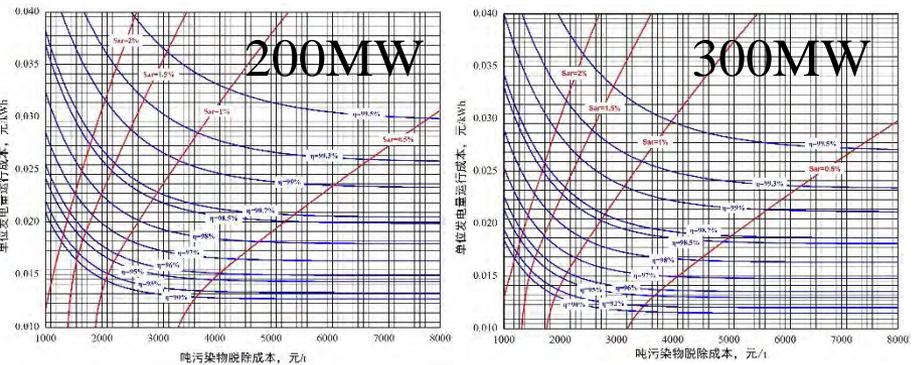
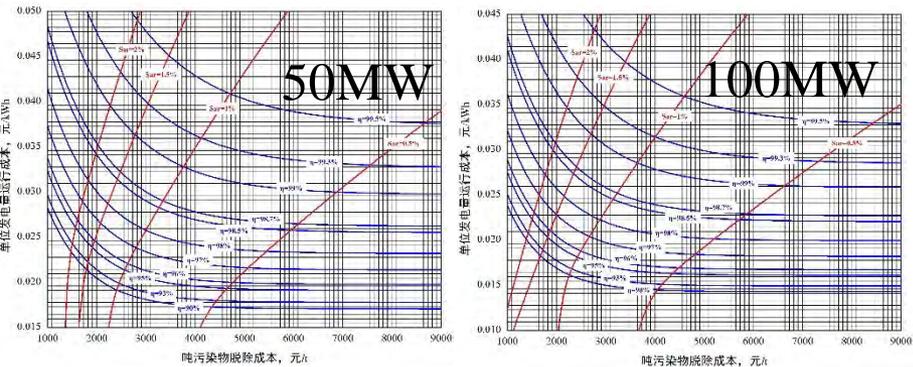


SCR脱硝

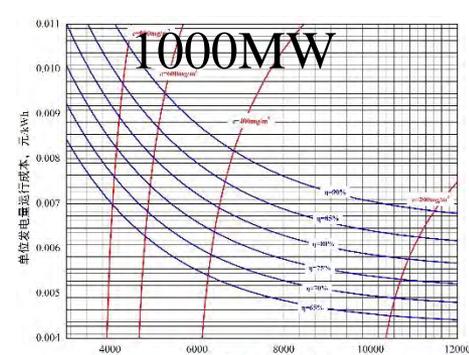
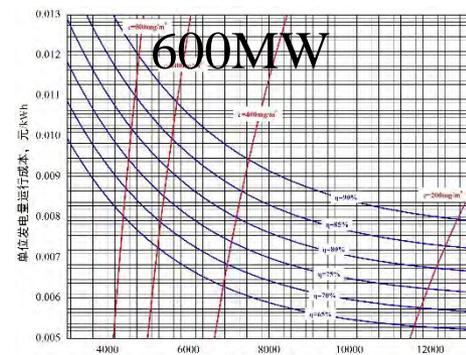
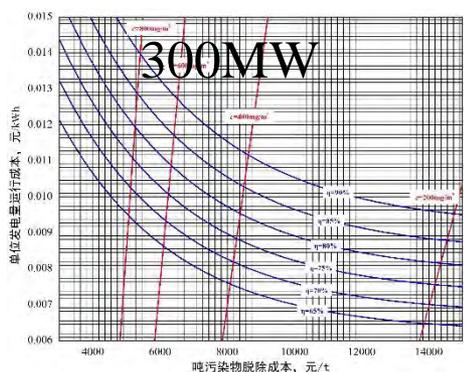
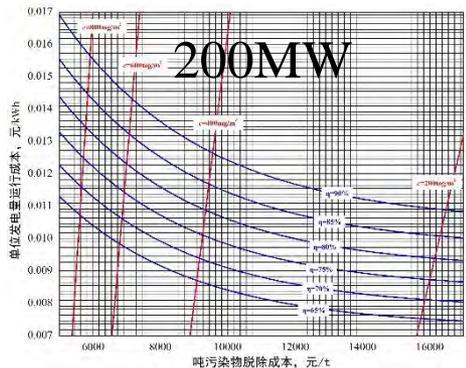
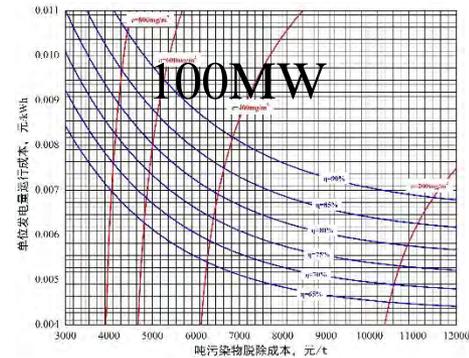
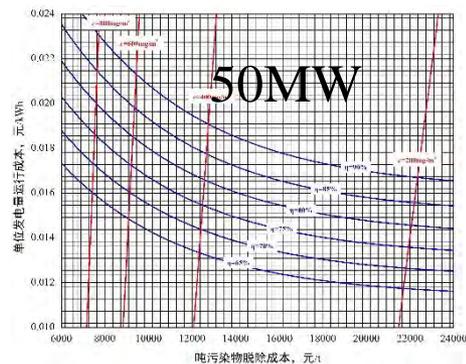


脱硫脱硝运行成本谱图

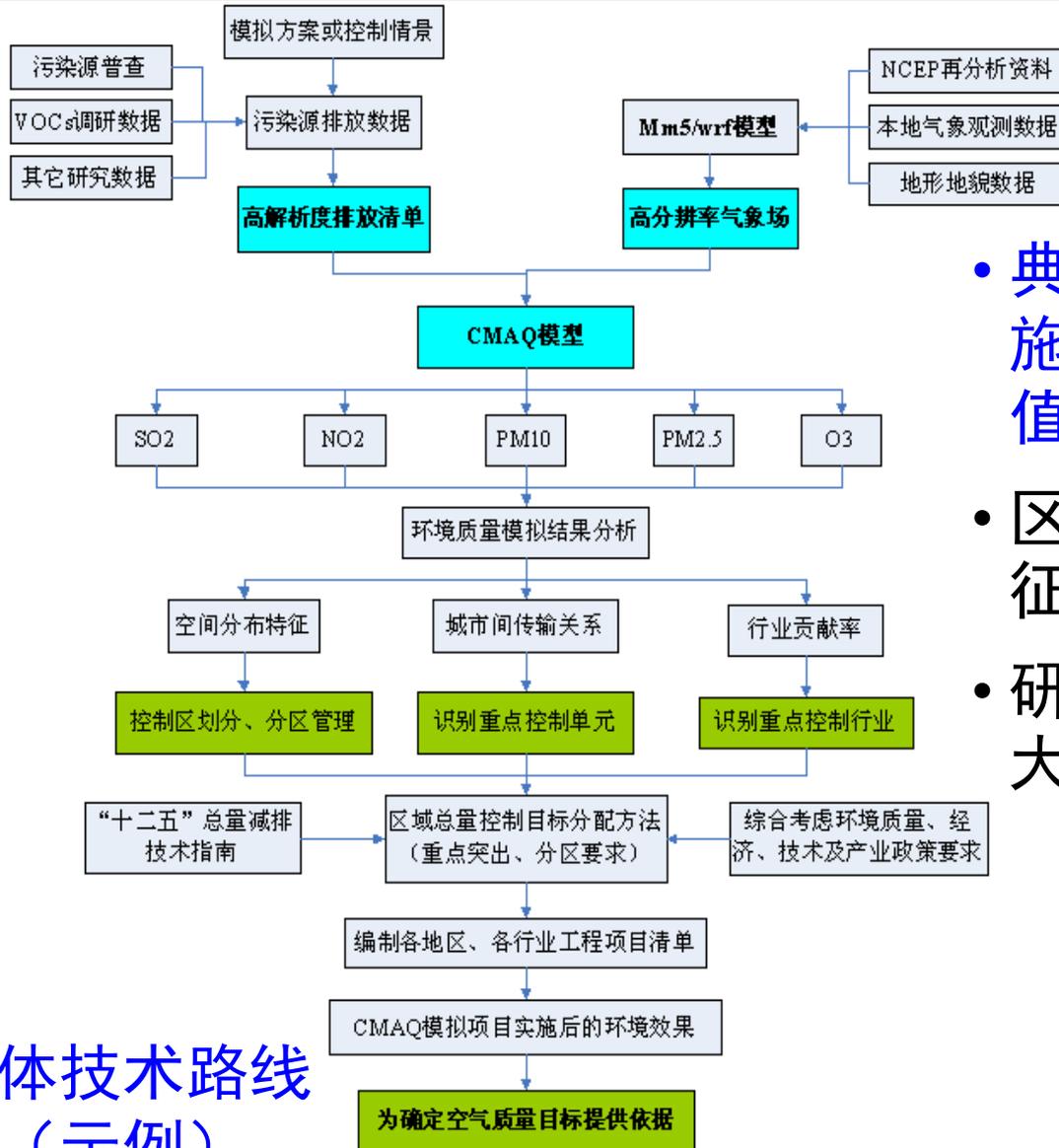
石灰石石膏法脱硫



SCR脱硝



智慧调控技术的环境效益评估

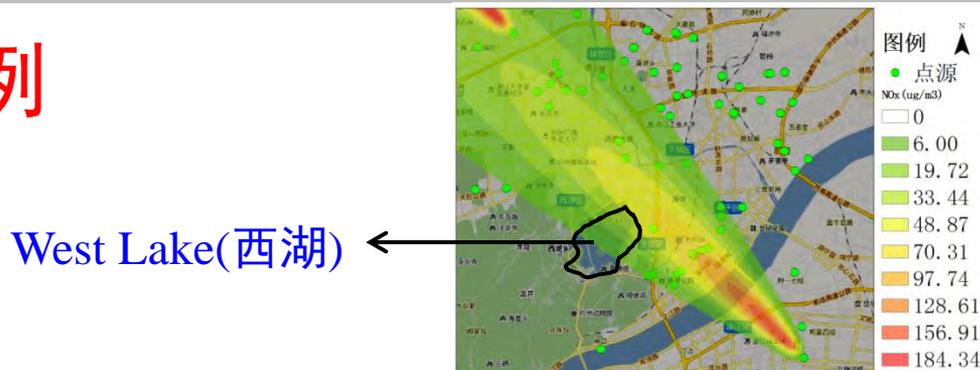


- 典型行业大气污染物控制措施对区域大气质量响应的数值模拟预测分析
- 区域大气复合污染现状、特征与演变
- 研究区域与城市以及城市间大气污染物多尺度相互影响

总体技术路线
(示例)

固定源对城市环境空气质量影响的评估

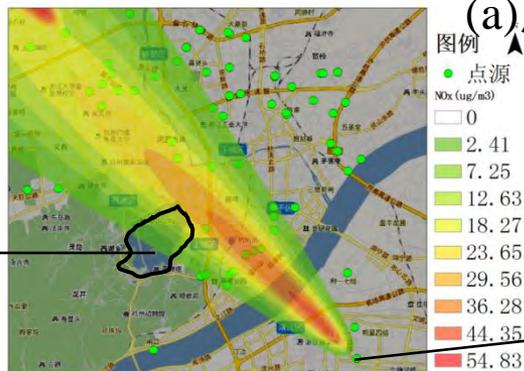
示例



West Lake(西湖)

计算工况
 风向：东南风（135度）
 点源强度：337g/s
 点源距西湖距离：10.5km

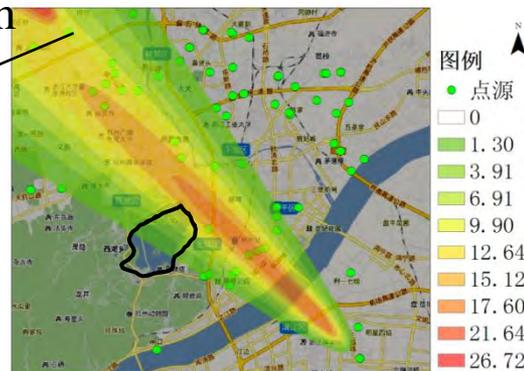
(a)点源高度H=80m



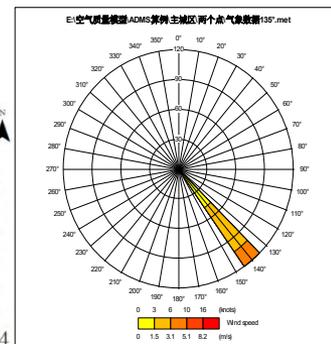
点源2

点源1

(b)点源高度H=150m



(c)点源高度H=200m



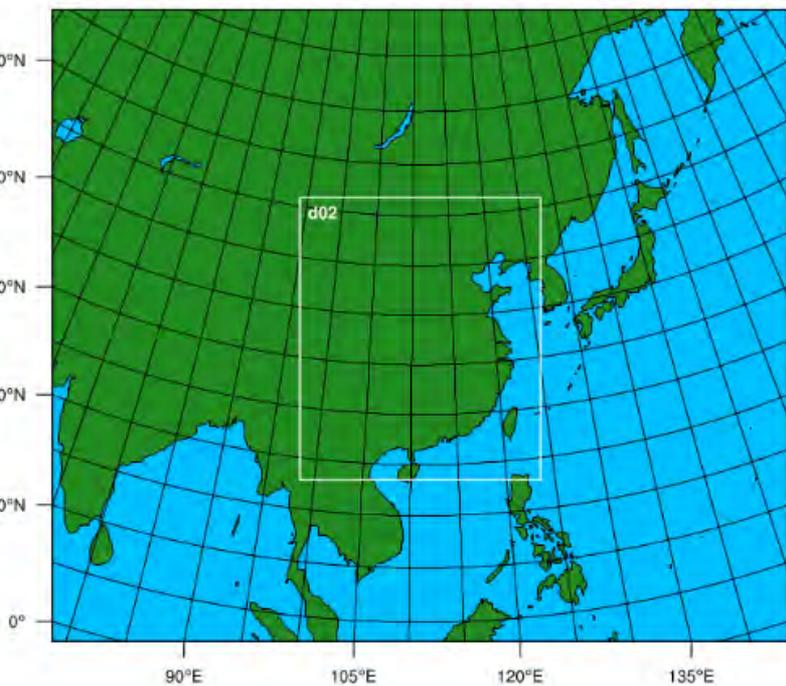
Receptor:
三潭映月

不同点源高度对West Lake(西湖)NOx浓度 (ug/m ³)的影响	H=80m	H=150m	H=200m
		4.72961	1.56836 (-66.84%)

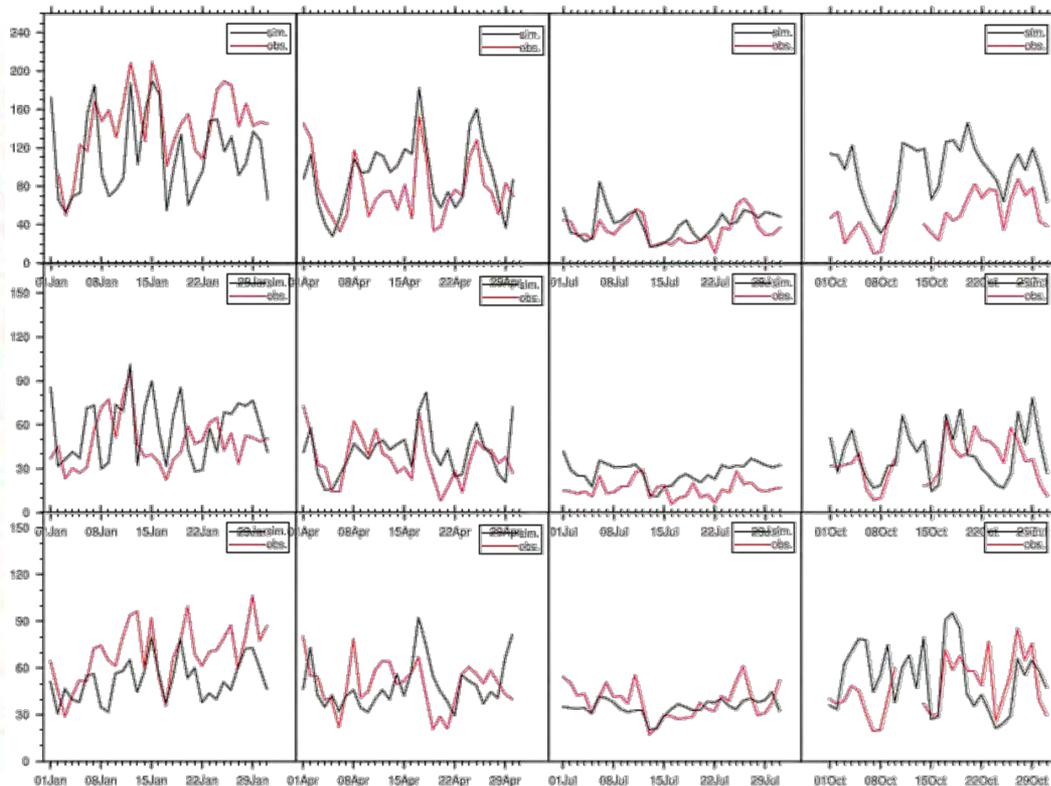
计算结果表明：在固定点源距离和强度条件下，点源越高，对西湖的影响越小。

超低排放技术的环境效益评估

Main China Domain Configuration



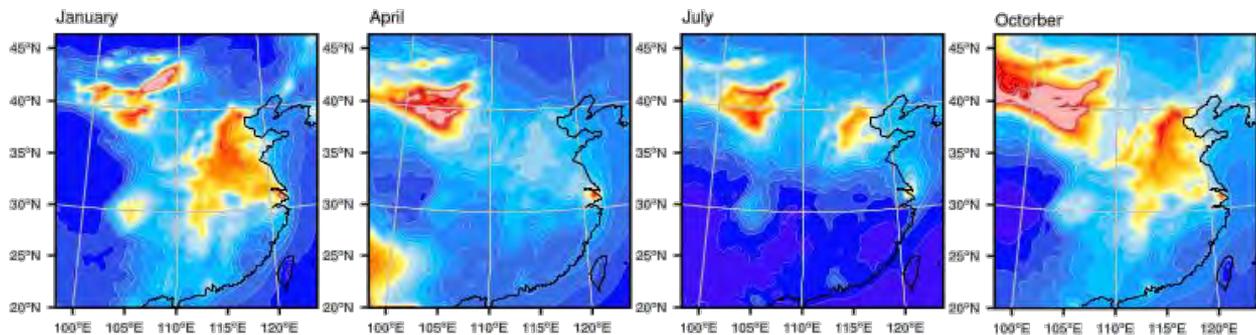
中国东部地区超低排放技术环境效益研究区域



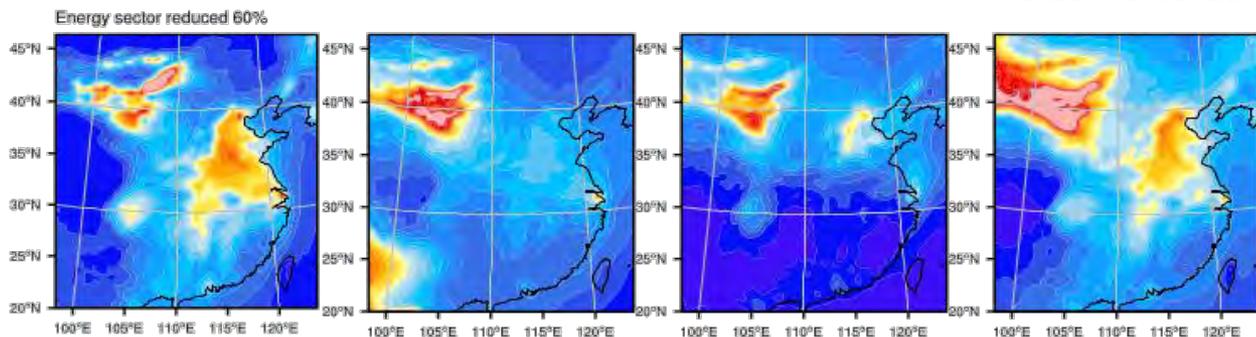
某站点PM_{2.5}、SO₂、NO₂日均浓度监测值与模拟值对比 (ug/m³)

中国东部地区超低排放技术环境效益研究-PM_{2.5} 减排效果模拟

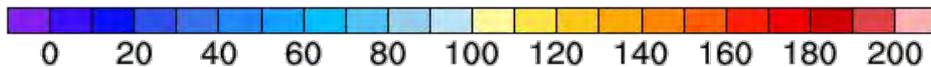
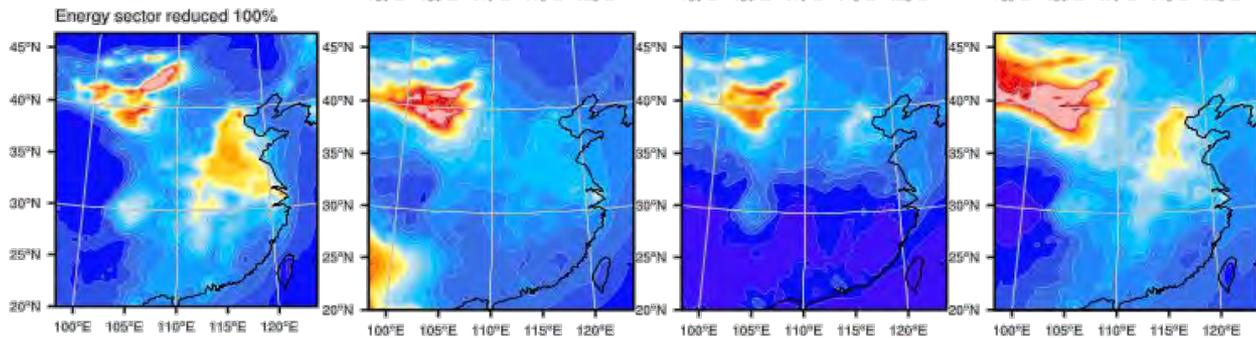
模拟基准值



燃煤电厂
减排60%



燃煤电厂100%
实现超低排放



PM_{2.5}地表月均（1,4,7,10）浓度分布图（单位ug/m³）

谢谢

