

后超低

环保

后超低排放时代火电环保工作思考

朱法华 教高/博士生导师

国电环境保护研究院有限公司 董事长

报告内容仅代表个人观点

思考

目 录

1

超低排放实施及环境效果

2

后超低时代排放要求的思考

3

“十四五”期间的环保重点

PART 01

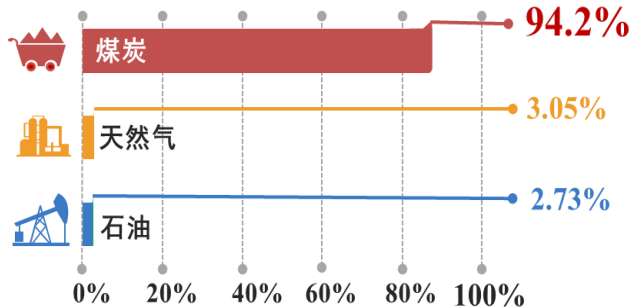


超低排放实施及环境效果

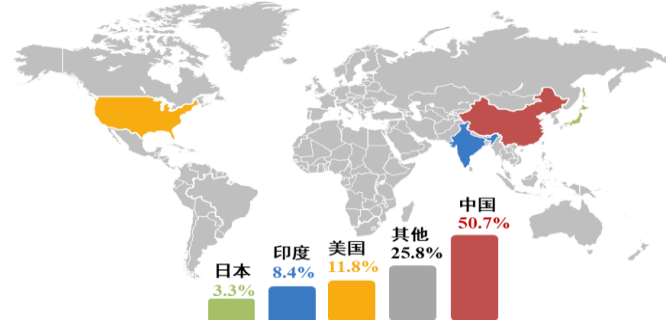
为什么要实施超低排放？

- 储量占比
- 全球占比
- 燃煤影响

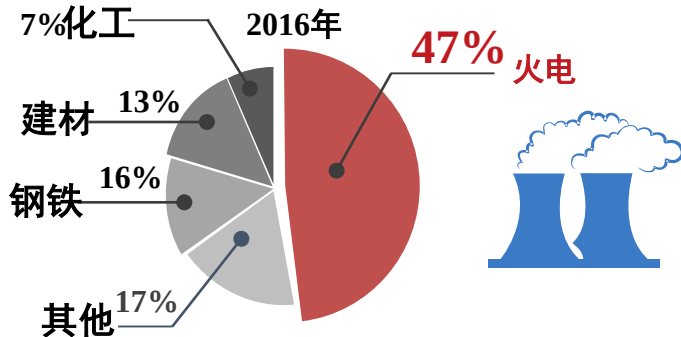
■ 我国能源资源以煤为主



■ 煤炭消费量占全球50%



■ 燃煤是大气污染重要原因之一，中国发电用煤约占50%



迫切需要煤炭清洁利用

超低排放的推动—党中央国务院



国家能源集团
CHN ENERGY



●2014年6月7日 《国务院办公厅关于印发能源发展战略行动计划（2014-2020年）的通知》（国办发〔2014〕31号）

新建，接近燃气机组水平



●2014年6月13日习近平主持中央财经领导小组第六会议，提出能源革命

现役机组限期实施改造升级



●2015年3月5日政府工作报告

推动燃煤电厂超低排放改造



●2015年10月26-29日十八届五中全会

清洁低碳、安全高效



●2015年12月2日国务院常务会议

全面实施超低排放



●2016年3月5日政府工作报告

超低排放的推动—部委



国家能源集团
CHN ENERGY

2017年5月《火电厂污染防治可行技术指南》HJ2301

- 2015年12月《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案环发[2015]164号）
2020年具备条件的燃煤机组实现超低排放10、35、50mg/m³

- 2014年9月《煤电节能减排升级与改造行动计划（2014-2020年）》（发改能源[2014]2093号文）
燃煤机组大气污染物排放达到燃气机组排放限值

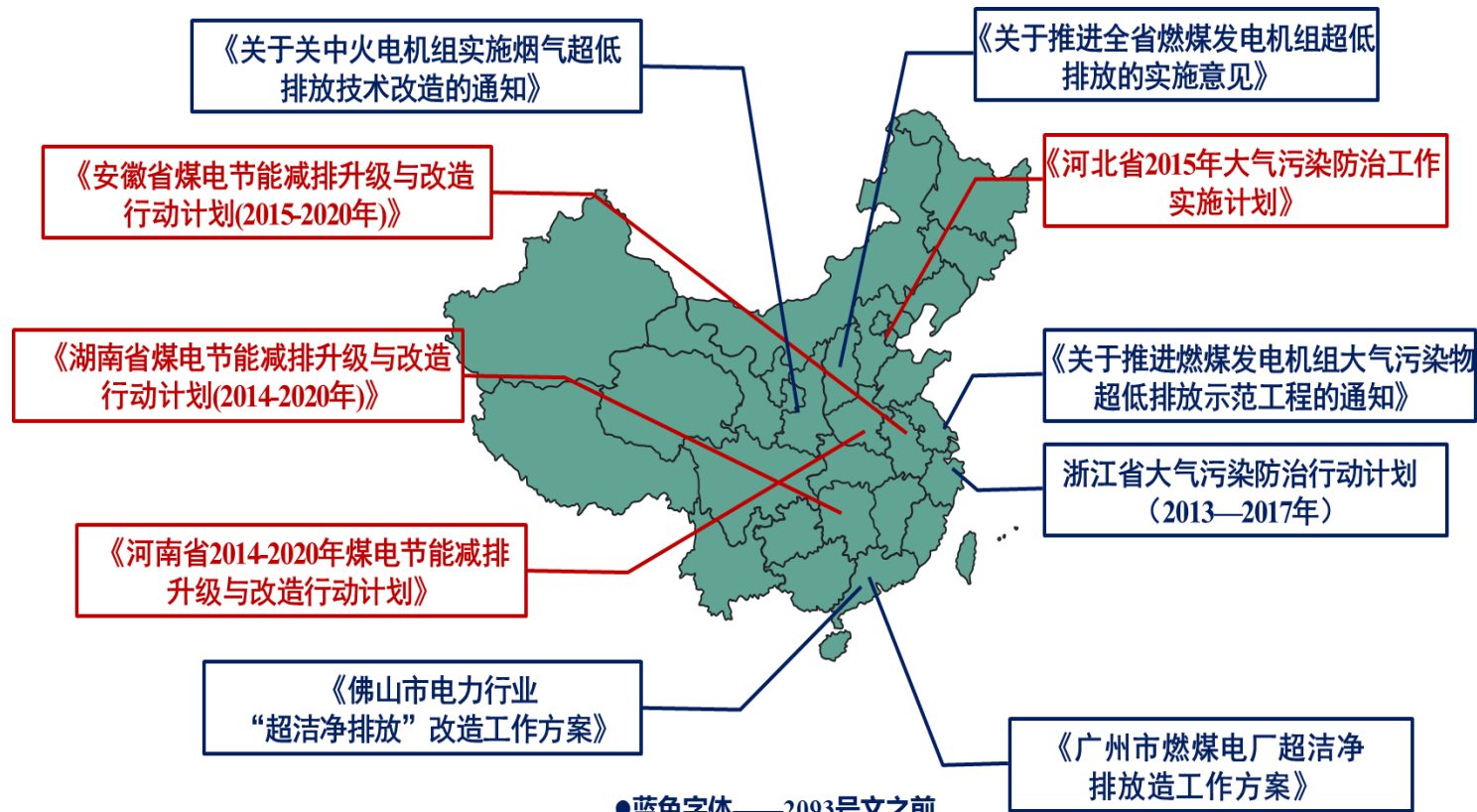
- 2013年《关于执行大气污染物特别排放限值的公告》

- 2011年 环保部颁布《火电厂大气污染物排放标准(GB13223-2011)》
燃煤新建机组：烟尘 30、SO₂ 100、NO_x 100mg/m³
特别排放限值：烟尘 20、SO₂ 50、NO_x 100mg/m³
燃气轮机组：烟尘 5、SO₂ 35、NO_x 50mg/m³

超低排放的推动—各地政府



国家能源集团
CHN ENERGY



●蓝色字体——2013号文之前

●红色字体——2013号文之后

专家推动—首次定义超低排放



国家能源集团
CHN ENERGY

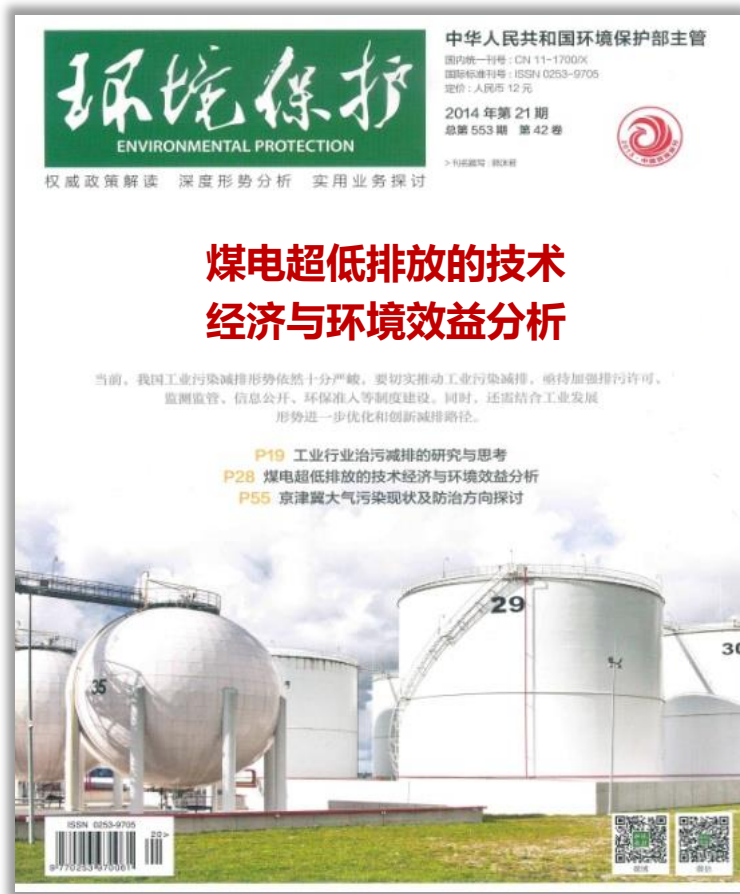
□ 2014年在《环境保护》上发表封面文章，**首次**定义了超低排放，并得到国家认可

□ 明确指出排放技术上是可行的

□ 经济上是合理的

□ 对环境PM_{2.5}的减排效果是显著的

被引**125**次、下载**2188**次



超低排放定义和排放限值比较

● 超低排放定义

燃煤电厂采用多种污染物高效协同集成系统的脱除技术，使其大气污染物排放浓度基本符合燃气机组排放限值，即烟尘不超过10 mg/m³、二氧化硫不超过35 mg/m³、氮氧化物不超过50 mg/m³。

● 主要燃煤国家煤电大气污染排放最严标准限值比较

国家		烟尘*	SO ₂	NO _x
中国	发改能源 [2014]2093	10	35	50
美国	2005年2月28日至 2011年5月3日	0.015 lb/MBtu (耗煤量热值排放)	0.15 lb/MBtu (耗煤量热值排放)	0.11 lb/MBtu (耗煤量热值排放)
	折算结果	18.5	185	135
	2011年5月3日及 以后新建、扩建	0.090 lb/MWh (发电排放，最高除尘效率 99.9%)	1.0 lb/MWh (发电排放，最高脱硫效率 97%)	0.70 lb/MWh (发电排放)
	折算结果	12.3	136.1	95.3
德国		20	200	200
日本		50	200	200
澳大利亚		100	200	460

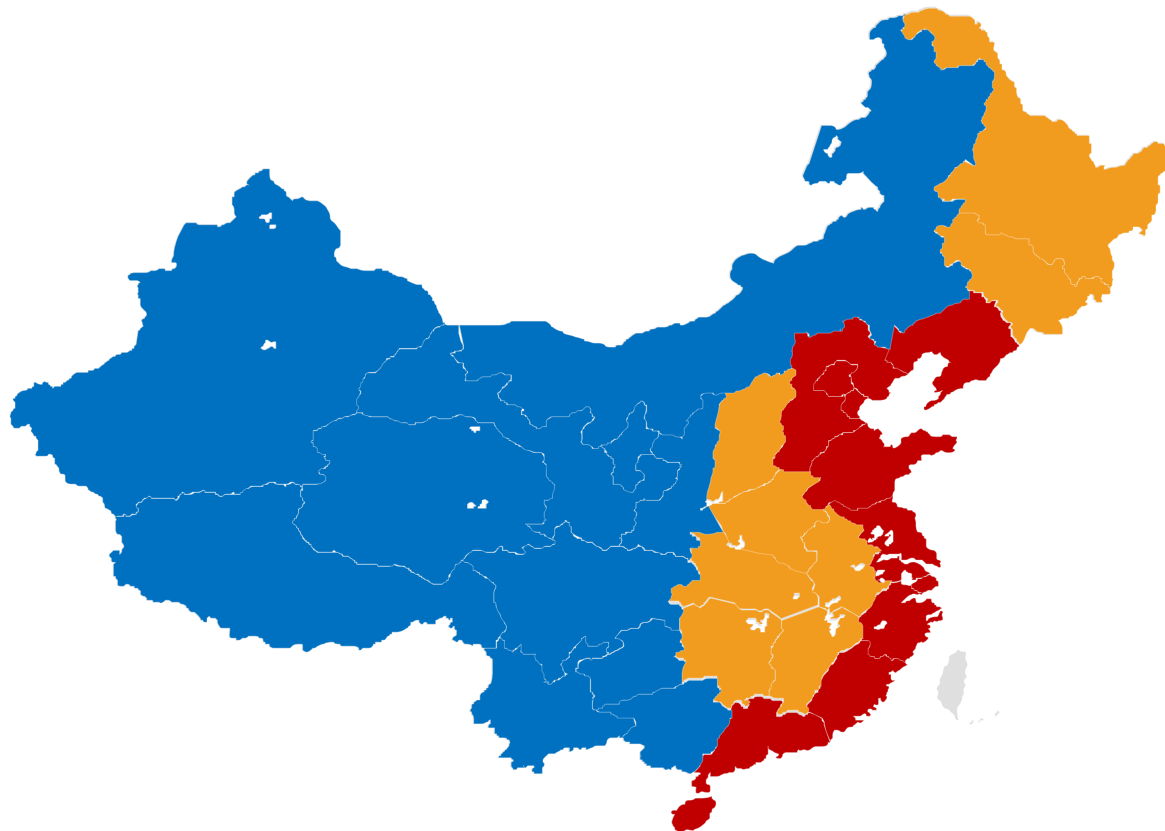
注*：美国标准中指的是颗粒物(PM)。单位：mg/m³。

超低排放技术应用--文件要求

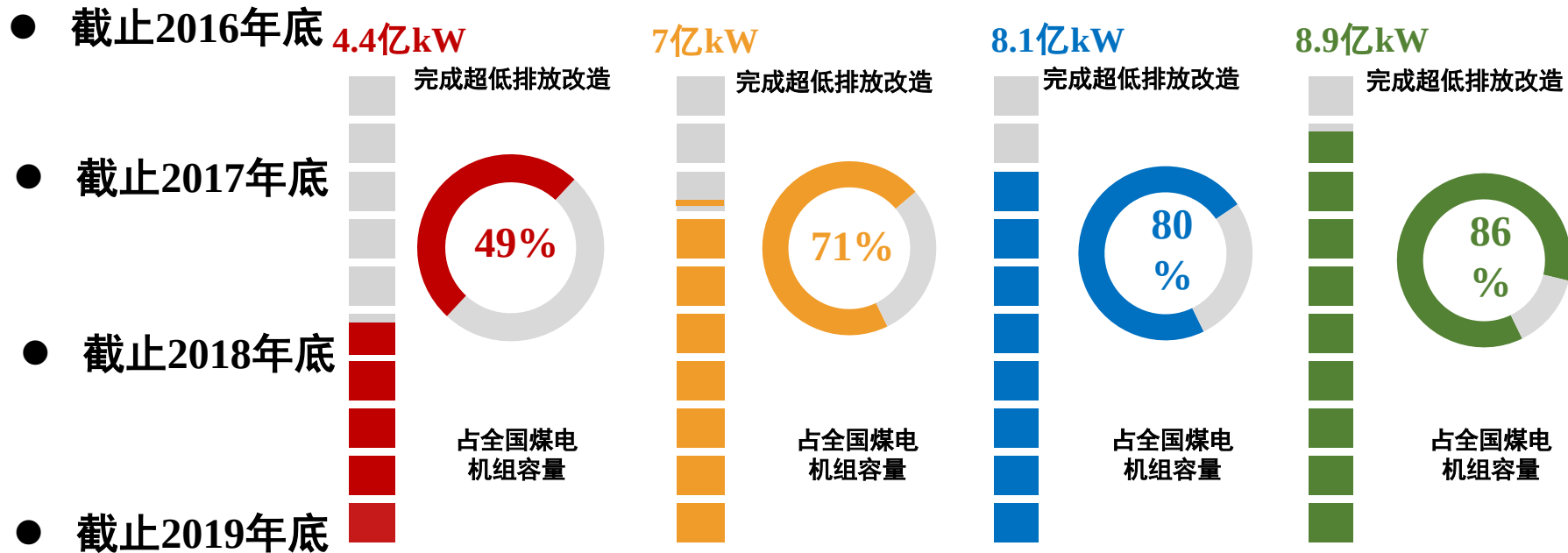


国家能源集团
CHN ENERGY

- 东部地区
2017年完成
- 中部地区
2018年完成
- 西部地区
2020年完成



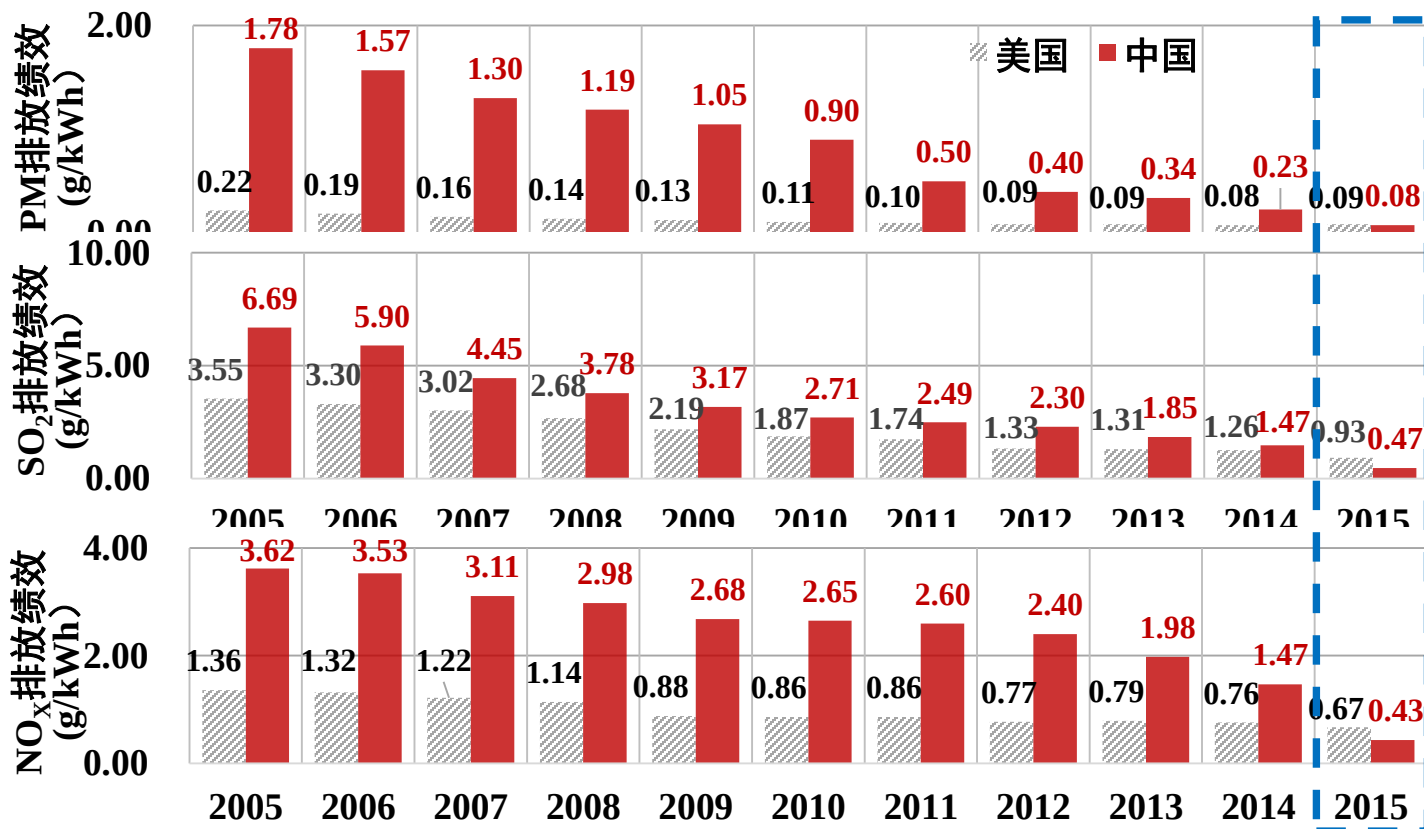
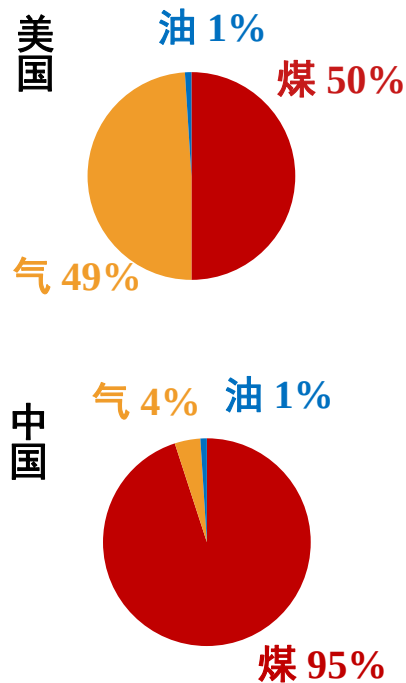
超低排放技术应用现状



中美火电污染物排放绩效比较

■ 2015年中国燃煤发电量是美国的**2.4**倍，但火电污染物排放绩效**均低于**美国

● 2015年发电量来源



环境效益对比

引入了污染当量数评估指标(M_i)

□ 大气污染物排放对比

即折算到单位发电量 (1kW·h) 排放的污染当量数

$$M_i = N_i \times \left(\frac{\rho_{i_{\text{dust}}}}{\alpha_{\text{dust}}} + \frac{\rho_{i_{\text{SO}_2}}}{\alpha_{\text{SO}_2}} + \frac{\rho_{i_{\text{NO}_x}}}{\alpha_{\text{NO}_x}} + \frac{\rho_{i_{\text{非常规}}}}{\alpha_{\text{非常规}}} \right)$$

计算过程

- ✓ N_i 为标准状态下清洁煤电 (即基准含氧量6%条件下) / 燃气电厂 (即基准含氧量15%条件下) 单位发电量排放的干烟气量 ($\text{m}^3/\text{kW}\cdot\text{h}$)。
- ✓ $\rho_{i_{\text{dust}}}$ 、 $\rho_{i_{\text{SO}_2}}$ 、 $\rho_{i_{\text{NO}_x}}$ 、 $\rho_{i_{\text{非常规}}}$ 为清洁煤电/燃气电厂排放的烟尘、 SO_2 、 NO_x 和非常规污染物浓度 (mg/m^3 或 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- ✓ α_{dust} 、 α_{SO_2} 、 α_{NO_x} 、 $\alpha_{\text{非常规}}$ 分别为烟尘、 SO_2 、 NO_x 和非常规污染物的污染当量值 (kg)，依据《排污费征收标准管理方法》查表确定

清洁煤电

2.97 $\text{m}^3/\text{kW}\cdot\text{h}$

$$N_i = U \times G$$

$$U = \alpha \times Q_{\text{net,air}} / 3958$$

- ✓ α 为空气过剩系数，取值为1.4；
- ✓ $Q_{\text{net,air}}$ 为1kg标准煤的热值 (kJ/kg)，取值为29271 kJ/kg ；
- ✓ G 是燃煤电厂发电标准煤耗 ($\text{g}/\text{kW}\cdot\text{h}$)；
2018年全国电力工业统计数据显示全国供电标准煤耗为308 $\text{g}/\text{kW}\cdot\text{h}$ ，国家能源局关于2017年度全国电力价格情况监管通报中显示全国燃煤发电平均综合厂用电率为6.88%，由此可算出全国燃煤发电标准煤耗为286.8 $\text{g}/\text{kW}\cdot\text{h}$ (即0.2868 $\text{kg}/\text{kW}\cdot\text{h}$)。

燃气电厂

4.4
 $\text{m}^3/\text{kW}\cdot\text{h}$

采用德国西门子公司公开发表的F级燃机SGT5-4000F技术数据：

烟气量：724 kg/s ；天然气联合循环净出力为475 MW；
烟气中有一定水蒸气含量 (密度低于空气密度)，取值1.25 kg
估算单位发电量的烟气量为4.4 $\text{m}^3/\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

环境效益对比

□ 大气污染物排放对比

● 排放标准计算（常规污染物+非常规污染物）

清洁煤电

干烟气量：2.97 m³/kWh

取值依据《火电厂污染防治可行性技术指南》

HJ 2301—2017

取值依据北京市地方排放标准

污染物	烟尘	SO ₂	NO _x	NH ₃	SO ₃
排放浓度 (mg/m ³)	10	35	50	2.5	5

污染物	Hg	非Hg重金属									
		Be	Cd	Ni	Cr	Pb	Se	Mn	Sb	As	Co
排放浓度 (μg/m ³)	0.41	0.08	0.05	5.46	0.96	2.73	6.83	0.55	1.09	0.41	0.27

取值依据美国 CFR40 -Part63--Subpart UUUUU 标准

燃气电厂

干烟气量：4.4 m³/kWh

常规污染物：

依据《火电厂大气污染物排放标准》GB 13223—2011

污染当量值kg：

烟尘：2.18 Be: 0.0004

SO₂：0.95 Cd: 0.03

NO_x：0.95 Ni: 0.13

NH₃：9.9 Cr: 0.0007

SO₃：0.6 Pb: 0.02

Hg: 0.0001

*Se、Mn、Sb、As、Co查表中无污染当量值

污染物	烟尘	SO ₂	NO _x
排放浓度 (mg/m ³)	5	35	50

单位发电量清洁煤电排放污染当量数(×10⁻³)

0.31

单位发电量燃气电厂排放污染当量数(×10⁻³)

0.40

□ 大气污染物排放对比 ● 实际运行计算（常规+非常规污染物）

清洁煤电

➤ 典型工程1：海南某电厂#2机组燃煤发电（350 MW）实际干烟气量：**3.31m³/kWh**

污染物	PM (包括PM _{2.5} 、PM _{1.0})	SO ₂	NO _x	SO ₃	NH ₃	Hg	非Hg重金属										合计
							Be	Cd	Ni	Cr	Pb	Se	Mn	Sb	As	Co	
排放浓度(mg/m³)	0.9	1.3	3.7	0.2	0.1	0.00035	0.0002	0.0004	0.0026	未测出	未测出	未测出	0.002	未测出	0.0003	0.0008	
污染当量值	2.18	0.95	0.95	0.6	9.9	0.0001	0.0004	0.03	0.13	0.0007	0.02	《排污费征收标准管理办法》查表中无 污染当量值*					
污染当量数 (×10 ⁻⁶)	1.37	4.53	12.9	1.1	0.033	11.6	1.66	0.044	0.066	0	0						33

➤ 典型工程2：浙江某电厂#7机组燃煤发电（1000 MW）实际干烟气量：**2.89 m³/kWh**

污染物	PM (包括PM _{2.5} 、PM _{1.0})	SO ₂	NO _x	SO ₃	NH ₃	Hg	非Hg重金属										合计
							Be	Cd	Ni	Cr	Pb	Se	Mn	Sb	As	Co	
排放浓度(mg/m³)	1.2	12.6	23.7	0.6	0.12	0.00036	0.0002	0.0005	0.0025	未测出	未测出	未测出	0.003	未测出	0.0007	0.0009	
污染当量值	2.18	0.95	0.95	0.6	9.9	0.0001	0.0004	0.03	0.13	0.0007	0.02	《排污费征收标准管理办法》查表中无 污染当量值*					
污染当量数 (×10 ⁻⁶)	1.59	38.3	72.1	2.89	0.04	10.4	1.45	0.048	0.056	0	0						127

大气污染物排放对比

实际运行计算 (典型, 非常规污染物)

大气污染物排放无论是标准限值还是实际运行情况下，清洁煤电污染物排放均明显低于燃气电厂，在环保方面并无劣势，燃煤发电更加清洁

平均烟尘: 0.85 mg/m³ (范围0.11~1.87 mg/m³)

1.11 mg/m³ (范围0.46~1.97 mg/m³)

平均SO₂: 2.20 mg/m³(E级) (范围1~3.1 mg/m³)

0.84 mg/m³ (范围0.48~1.84 mg/m³)

平均NO_x: 30 mg/m³(E级) (范围23~40 mg/m³)

42 mg/m³ (范围40~43.3 mg/m³)

单位发电量E级燃气电厂排放污染当量数 (×10⁻⁶):

单位发电量F级燃气电厂排放污染当量数 (×10⁻⁶)

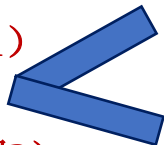
150

200

清洁煤电

33 (典型工程1)

127 (典型工程2)



燃气电厂

150 (E级)

200 (F级)

□ 其他污染方面对比

清洁煤电

运输过程煤尘

液体废弃物对

固体废弃物对

煤炭运输过程中煤尘对大气的污染、煤炭燃烧后产生的液、固体废弃物均利用有效技术和方法得到了较好的控制和处理，对环境的影响已较小

和洒水防尘法

- ✓ 煤炭装车后再喷洒抑尘剂
- ✓ 列车煤粒表面层固化技术



遮盖防尘

洒水防尘

法、烟气余热利用等

- ✓ 通过旁路烟道及喷雾干燥技术可达到脱硫废水零排



烟气旁路喷雾干燥蒸发

生产筑路材料、回填材料等；

- ✓ 脱硫石膏可用于凝胶剂、石膏建材、土壤改良、回填基

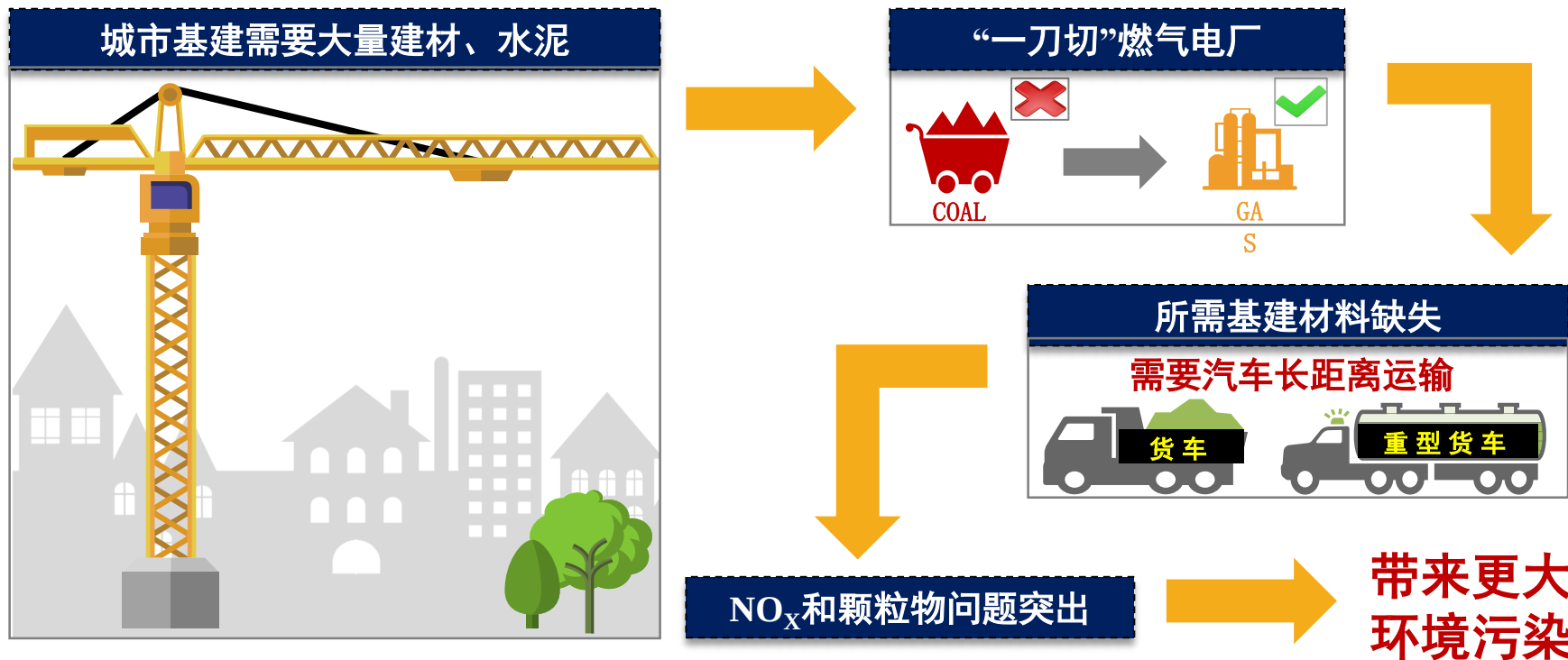


粉煤灰

脱硫石膏

□ 其他污染方面对比

燃气电厂



火电行业大气污染减排



国家能源集团
CHN ENERGY

CCTV 13
新闻

CCTV.com



南京

国电环境保护研究院院长 朱法华

新闻直播间

2017年和2013年相比

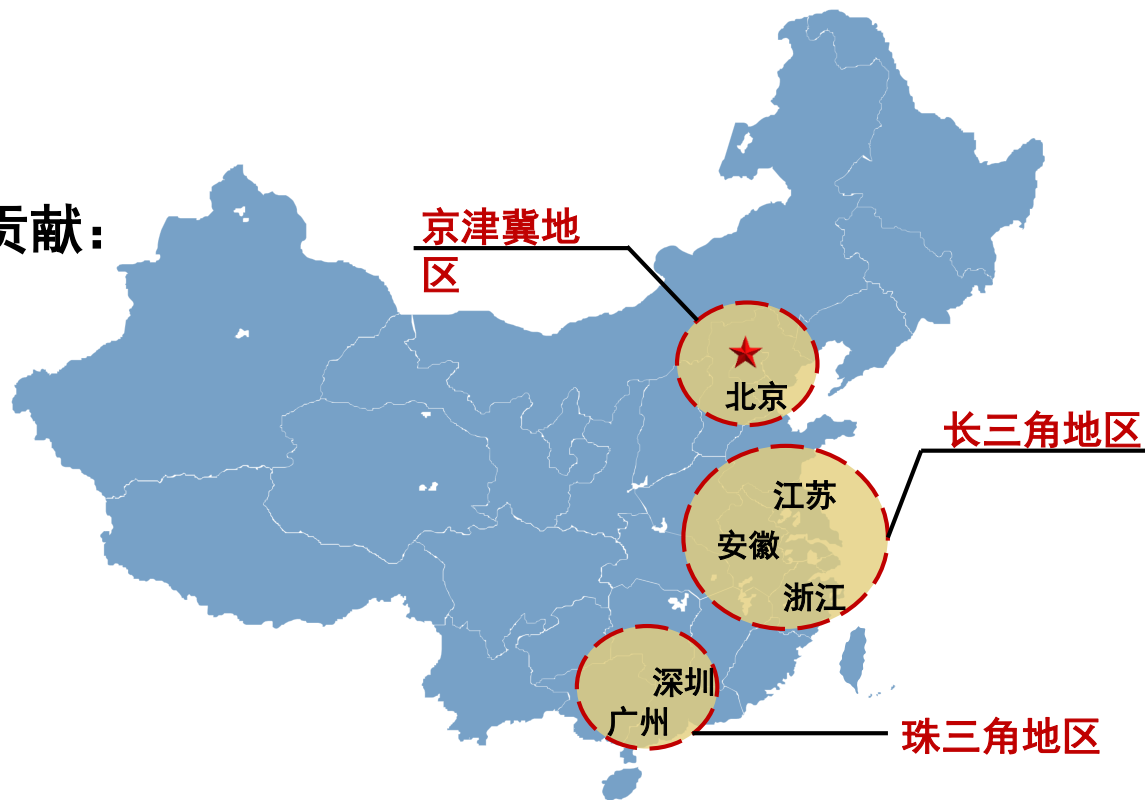
2月13日 | 04:21

续第3个月回升。

CCTV. 黄河内蒙古段二期防洪工程近日顺

由（煤电）超低排放改造的贡献：

- 在长三角地区达到24%
- 在珠三角地区达到23%
- 在京津冀地区达到10%

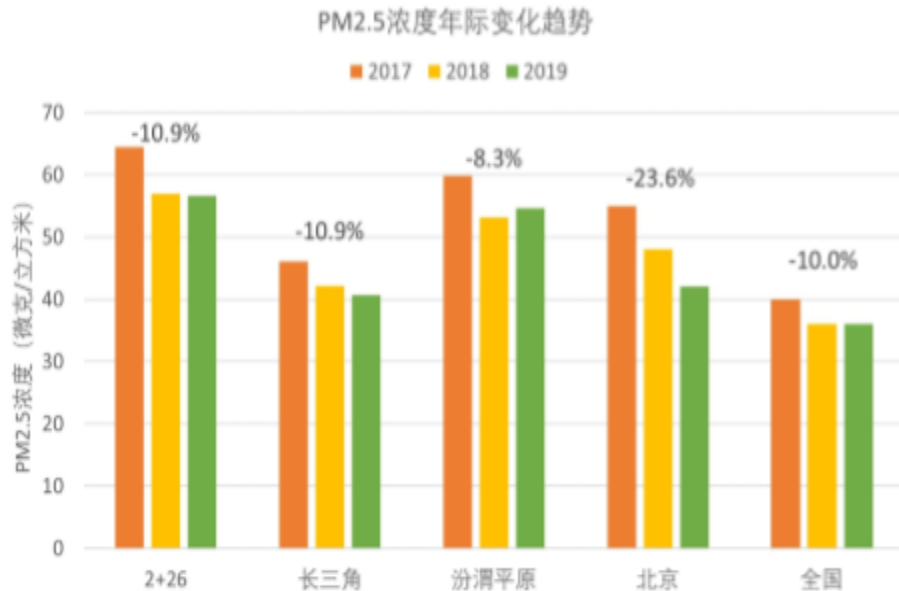




三年行动计划实施两年来，PM_{2.5}浓度进一步下降

2019年较2017年：

- 全国PM_{2.5}浓度由40下降至36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- “2+26” PM_{2.5}浓度由64下降至57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - 北京PM_{2.5}浓度由55下降至42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 长三角PM_{2.5}浓度由46下降至41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 汾渭平原PM_{2.5}浓度由60下降至55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



PART 02

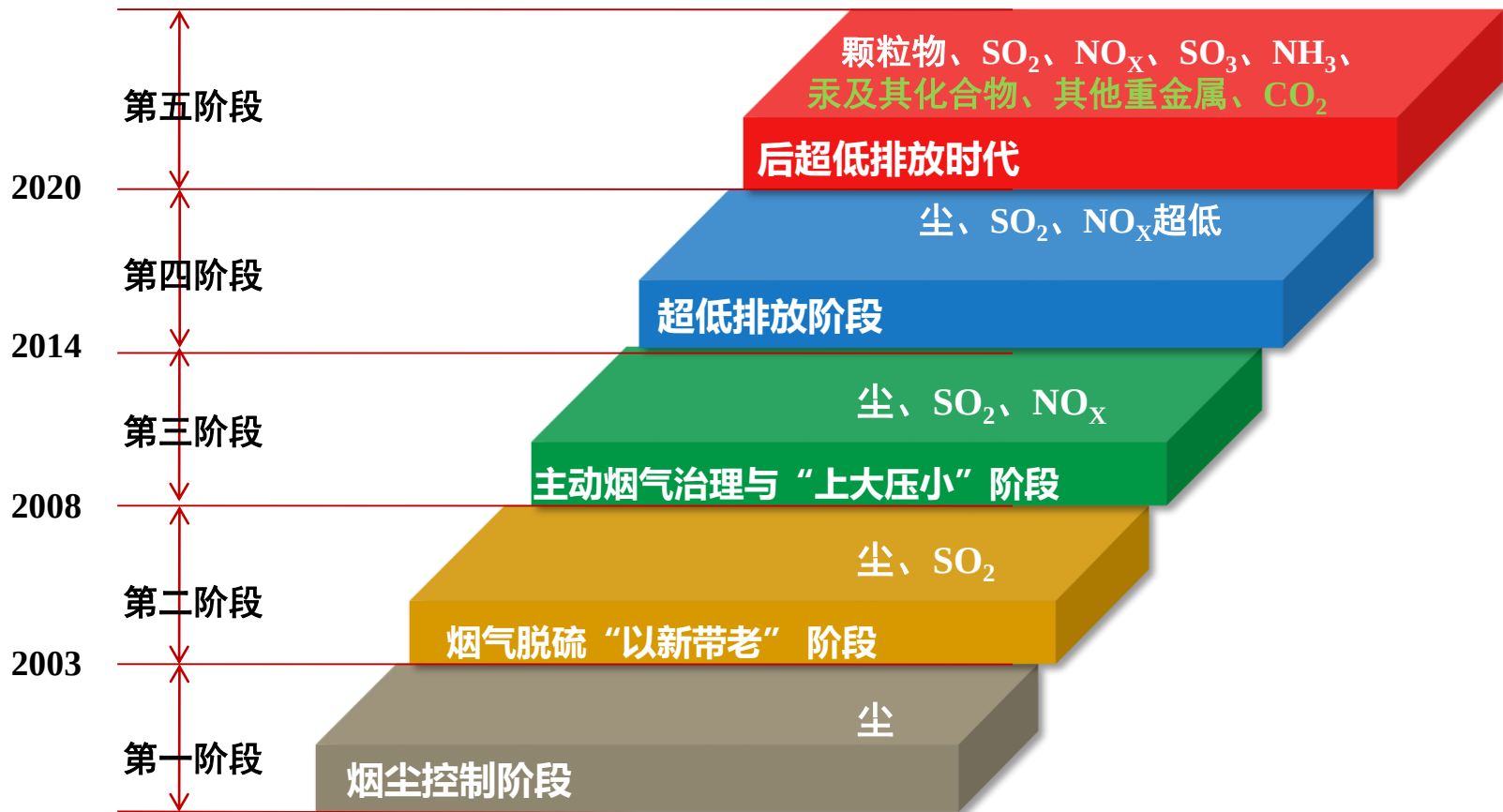


后超低时代排放要求的思考

火电环保工作五个阶段



国家能源集团
CHN ENERGY



排放限值演变的发展历程



国家能源集团
CHN ENERGY

单位：
mg/m³

国家标准

GB13223-1996

1996
年

NO_x: 650~1000
SO₂: 1200~2100
PM: 200

NO_x: 450~1000
SO₂: 400~1200
PM: 50

2003
年

国家标准
GB13223-2003

国家标准

GB13223-2011

2011
年

NO_x: 100~200
SO₂: 100~200
PM: 30

NO_x: 100
SO₂: 50
PM: 20

2011
年

“大气十条”
特别限值

发改能源

[2014]2093

超低排放

2014
年

NO_x: 50
SO₂: 35
PM: 10

王志轩 朱法华 刘思渊 李宗恺等 编著

火电二氧化硫

环境影响与 控制对策

SO₂



中国环境科学出版社2002，解振华局长作序

中国环境科学出版社

GB 13223—2011

《火电厂大气污染物排放标准》

分析与解读

朱法华 王 圣 编著
赵国华 李 辉

史上最严的排放标准——严于发达国家



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

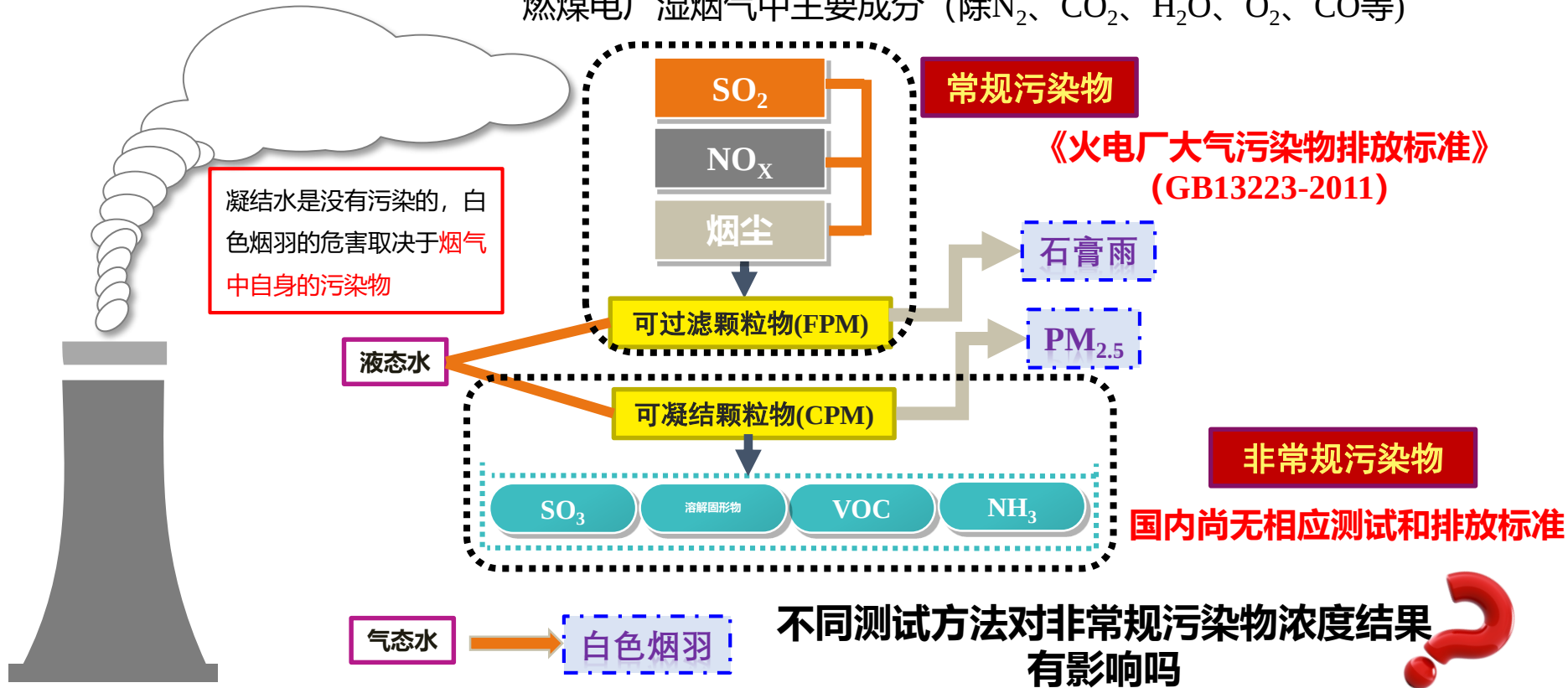
白色烟羽的来源

白色烟羽（湿烟羽）是由于烟气通过烟囱排入大气后，因温度下降烟气中的**气态水凝结**引起的可见烟羽



白色烟羽的成分

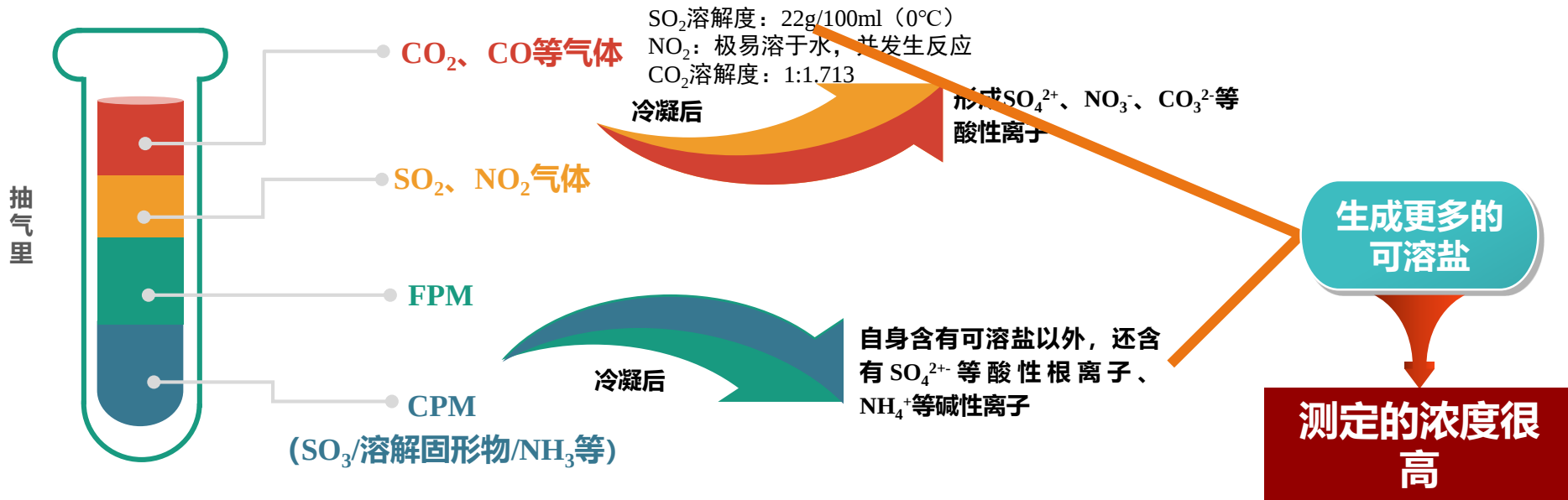
燃煤电厂湿烟气中主要成分 (除 N_2 、 CO_2 、 H_2O 、 O_2 、 CO 等)



白色烟羽的成分解析

CPM测试方法1 离线测量

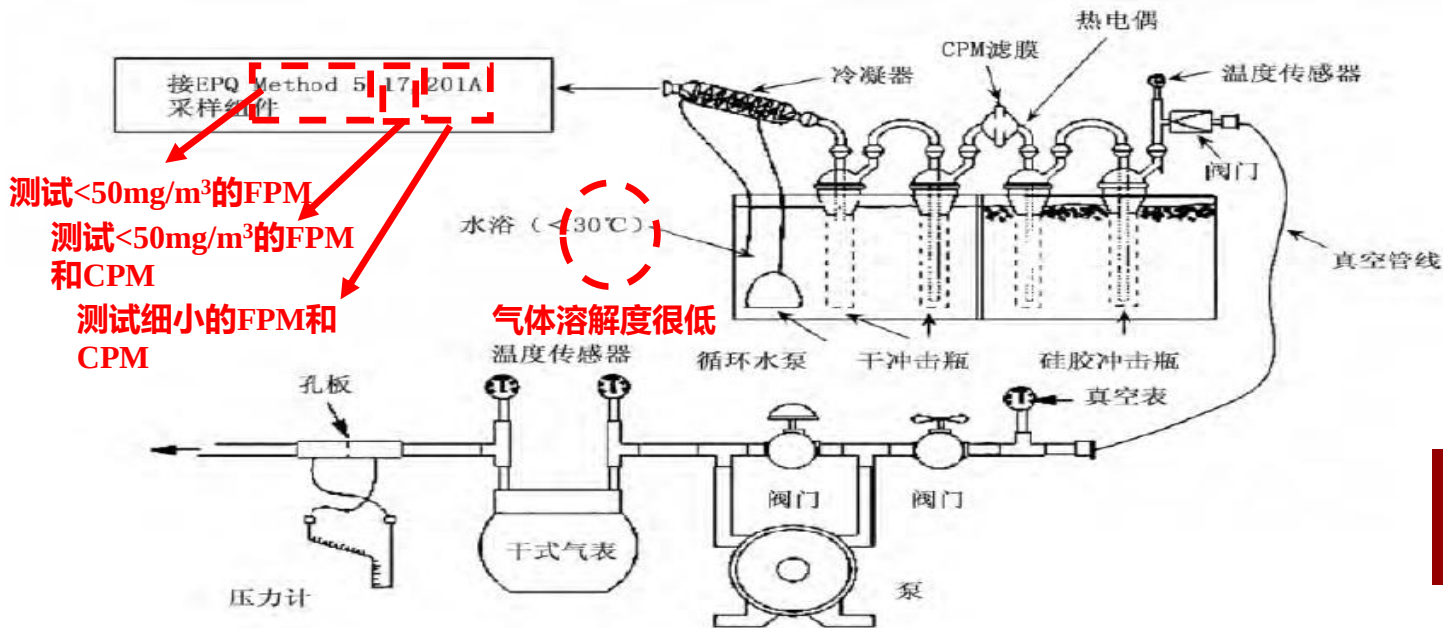
抽一管子烟气到实验室，封紧放到冰水里**冷凝**，冰完以后里面有冷凝的水，倒出来放到烘箱**烘干**，烘干后称重



白色烟羽的成分解析

CPM测试方法2 美国EPA method 202 (2010年发布)

烟气经冷凝器进入干式冲击瓶，降温后由**CPM滤膜**再进行捕集，CPM 滤膜处气流温度不**应超过30°C**；冲击瓶及滤膜捕集部分之和为CPM。现场采样完成后，冲击瓶内组分立即充入**N₂**进行吹脱以**去除**其中溶解的**SO₂**气体。



CPM测试效果较好

测定的浓度较低



白色烟羽的成分解析

不同测试方法对非常规污染物浓度结果有影响



CPM测试方法1

方法不科学

生成更多的
可溶性盐

测试浓度高

结果不可信



CPM测试方法2

美国EPA method 202

方法科学

测试效果较好

测试浓度低

结果可信度高



灰色烟羽的治理

- 烟气中颗粒物浓度大于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，一般多是石膏颗粒，会形成“石膏雨”现象。
- 该烟气不是来自于燃煤电厂，看到的不是二次颗粒物
- 超低排放后，FPM浓度 $\leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ ；不可能看见

出现灰白色烟羽的电厂

应提高脱硫系统的性能；强化除雾除尘的性能，必要时加装湿式电除尘

满足超低排放
不会出现



蓝色烟羽的危害

- ❑ 烟气中的 SO_3 主要以**亚微米**粒径的硫酸气溶胶形式存在，当浓度为**5-10ppm**会出现蓝色烟羽，在浓度为**10-20ppm**时出现几率很高。
- ❑ 硫酸气溶胶本身就是细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ ，排入大气后还会和氨等反应生成盐。



蓝色烟羽的治理要求

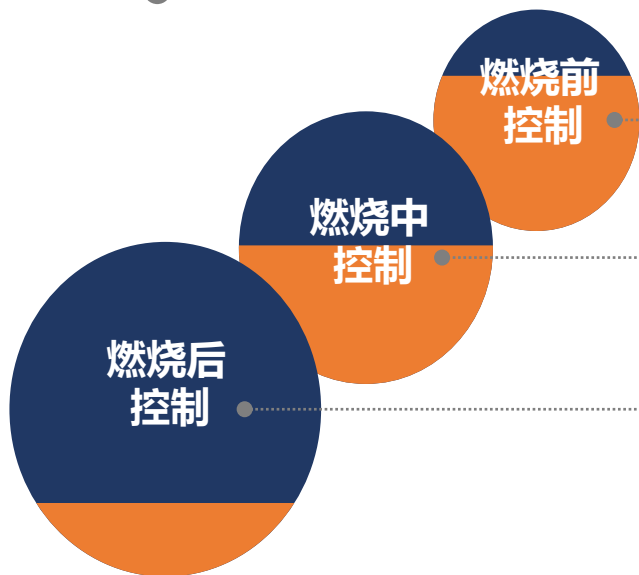
- ◆ 我国 SO_3 排放尚无国家标准，仅部分省市地方标准提出 SO_3 （或硫酸雾）须控制在 **$5\text{mg}/\text{m}^3$** 以下。
- ◆ 在美国也没有国家标准，但已有22个州对燃煤电厂 SO_3 提出了排放限值要求，其中有9个州的排放限值低于 **$5\text{mg}/\text{m}^3$** ，12个州介于 **$5-10\text{mg}/\text{m}^3$** 。



蓝色烟羽的治理技术

烟气加热不能解决蓝烟的治理问题

- 再热后的烟气温度远低于硫酸的露点温度， SO_3 仍以硫酸气溶胶的形式存在。



- 对稳定达到超低排放要求的电厂，不得强制要求治理“白色烟羽”。

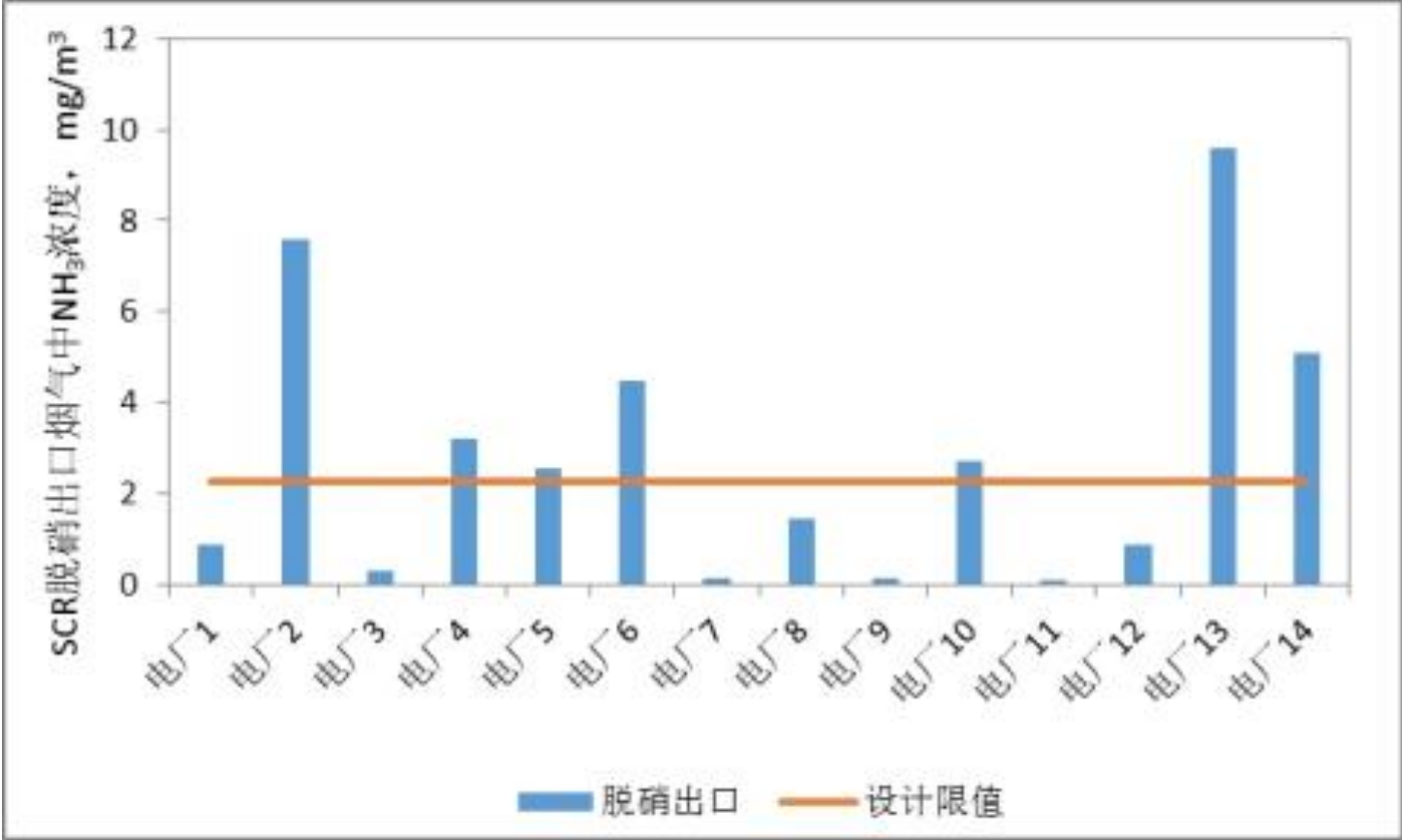
测试结果表明，超低排放机组“白色烟羽”中污染物浓度低，成分以水雾为主，冷凝、加热等治理技术主要针对烟气温度、湿度，对烟尘、二氧化硫、氮氧化物脱除效果甚微，三氧化硫去除效果也不显著。



同一个电厂不同时间的“烟羽”颜色也不同

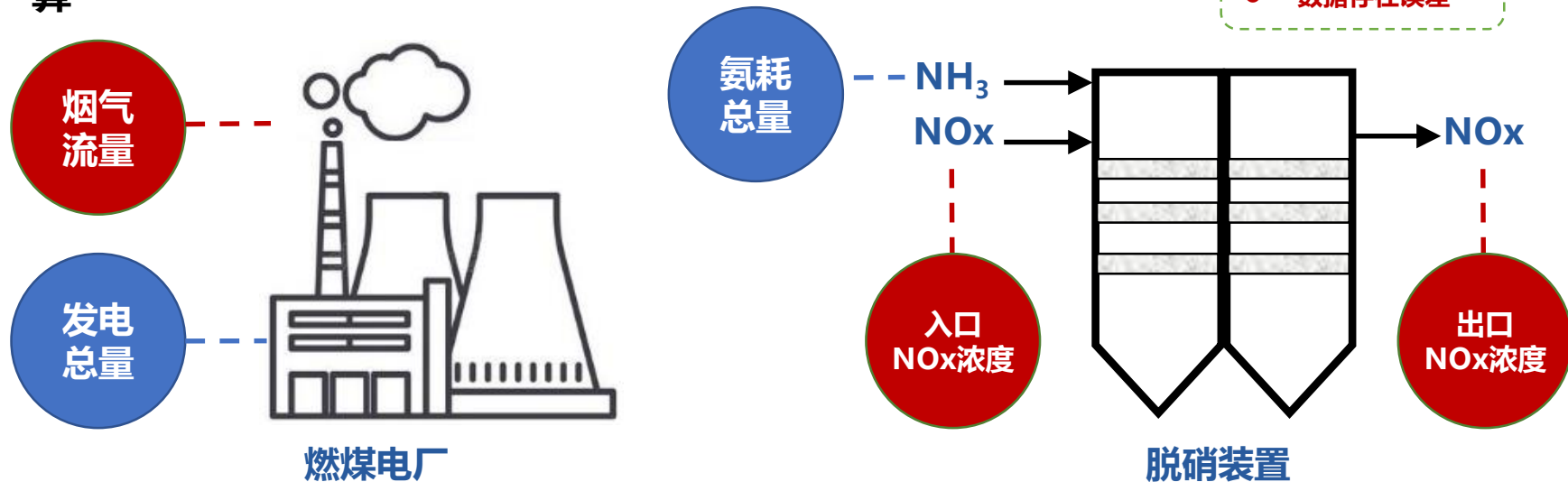
- 燃煤电厂超低排放改造对二氧化硫等协同控制效果明显。
 - 湿式电除尘器对二氧化硫的平均去除效率70%。湿法脱硫技术对二氧化硫的平均去除效率60%，平均排放浓度9.2毫克/立方米。
 - 部分机组测试结果显示，湿烟气中可溶性盐浓度平均为0.28毫克/立方米，远低于烟尘排放浓度。
- “白色烟羽”成分以水雾为主，**冷凝、加热**等治理技术主要针对烟气温度、湿度，对控制污染物排放作用不大，反而增加能耗和二氧化碳排放量，增加企业投资和运行成本，**且国际上均没有对“白色烟羽”治理提出明确要求**，因此不宜大规模推进实施。
- “蓝色烟羽”二氧化硫浓度较高，主要原因是脱硫、除尘等设施配置和工程质量不高，对二氧化硫协同去除效果不佳，应通过治污设施改造减少排放，消除“蓝色烟羽”。

燃煤电厂SCR存在氨逃逸现象



氨逃逸调研分析对象及研究方法

➤ SCR脱硝原始减排脱硝剂耗率计算



➤ **减排脱硝剂耗率** = 氨耗总量 / 脱除NO_x的量
= 氨耗总量 / [烟气流量(入口NO_x浓度 - 出口NO_x浓度)]

2. 氨逃逸调研分析对象及研究方法

➤ SCR脱硝理论减排脱硝剂耗率计算



摩尔比 $\text{NO}:\text{NH}_3=1:1$

• NO (以 NO_2 计) =46 g/mol; NH_3 =17 g/mol

• 以液氨作为还原剂时, 减排脱硝剂耗率约为0.37 kg/kg

• 以尿素作为还原剂时, 减排脱硝剂耗率约为0.65 kg/kg。

➤ 理论值

➤ NO_2 溶于水 (小)

➤ 生成 NH_3HSO_4 (大)

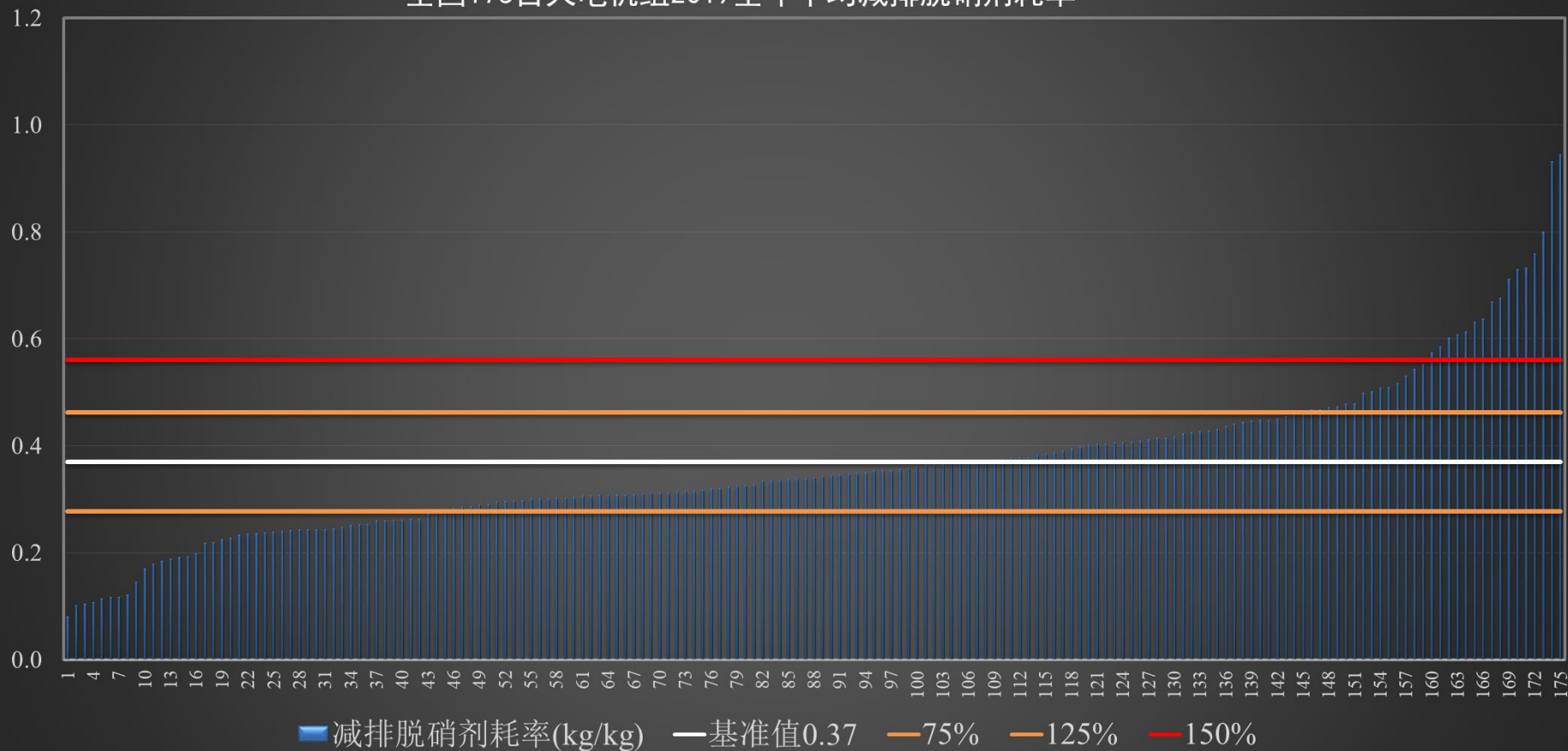
$6\text{NO} + 4\text{NH}_3 \rightarrow 5\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	0.25kg/kg
$6\text{NO}_2 + 8\text{NH}_3 \rightarrow 7\text{N}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$	0.49kg/kg
$2\text{NO}_2 + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 3\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	0.74kg/kg

氨逃逸调研分析对象及研究方法

➤ 中电联《燃煤电厂环境污染第三方治理脱硫、脱硝生产指标绩效对标简报》（以下简称《简报》）及国家能源集团机组，175个机组，2019年度数据（原始数据）。



全国175台火电机组2019全年平均减排脱硝剂耗率



共175台机组，其中45台机组（26%）低于基准值75%；98台机组（56%）在基准值±25%以内，氨耗量视为达标；82%
32台机组（18%）高于基准值的125%，存在明显的氨过量使用问题，其中11台机组（9%）高于基准值的150%，过量喷氨严重。

SCR喷氨优化效果显著



国家能源集团
CHN ENERGY

序号	喷氨优化项目名称	喷氨量下降率
1	河北某燃煤电站氨逃逸精准检测及控制技术示范工程EPC合同（350MW）	5%
2	河北某发电有限责任公司#3#4炉脱硝系统优化提效改造工程（EPC）分区测量及控制系统	8%
3	山西某发电有限责任公司#1机组氨逃逸表升级与喷氨分区全过程优化EPC总承包合同	13%
4	河北某热电有限公司大唐清苑热电有限公司#1、2号机组基于氨逃逸控制的脱硝系统效能升级改造工程	15%
5	江苏某发电有限公司脱硝优化控制系统(600MW)	6.80%
6	内蒙某发电有限责任公司2号锅炉脱硝系统压线运行与均衡控制技术改造	5.70%
7	内蒙某热电有限责任公司2号锅炉脱硝喷氨优化控制系统改造EPC总承包	>20%
8	内蒙某热电有限责任公司1号锅炉脱硝喷氨优化控制系统改造EPC总承包	>10%
9	辽宁某发电1号炉基于多目标控制的SCR精确喷氨技术研究项目	>20%
10	内蒙某发电有限责任公司二期三号机组结合氨逃逸测量与NOX分区控制的脱硝系统智慧喷氨技术改造项目	6%
11	某600MW机组	13%
12	某400MW机组	52.3%
13	某350MW机组	51.2%
14	某300MW机组	38.8%



限制煤电发展的三座大山



- 煤炭开采（35-40亿吨/年）
- 脱硫主要消耗品-石灰石开采破坏生态（5000万吨/年）
- 灰渣、石膏综合利用面临新问题（建筑业减少）
- 烟气脱硝技术中SCR占95%以上，脱硝催化剂被列为危险废物难以处理

极端天气 的出现



干旱



雷暴



大风

中国2016年9月加入《巴黎气候变化协定》

- ◆ 2020年单位GDP的CO₂排放强度比2005年下降40%~45%
比2015年下降18%
- ◆ 2030年单位GDP的CO₂排放强度比2005年下降60%~65%
- ◆ 2030年非化石能源在总的能源当中的比例提升到20%左右
- ◆ 2030年左右中国CO₂排放要达到峰值，争取尽早达到峰值
- ◆ 到2030年中国的森林蓄积量要比2005年增加45亿立方米



暴雨



沙尘暴

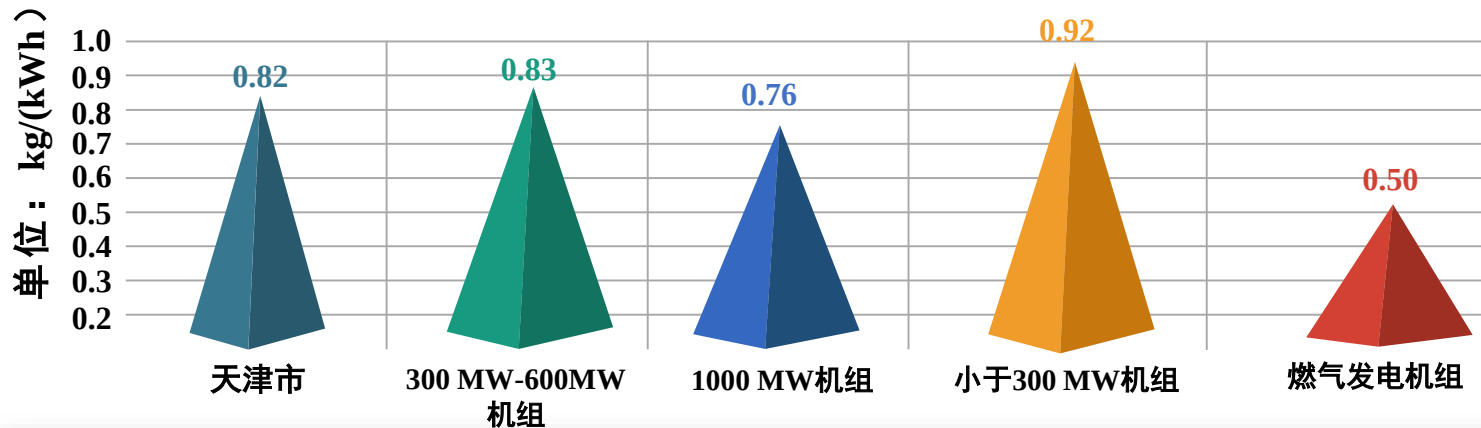


洪涝



高温

煤电单位发电量CO₂排放较大



- 燃气轮机组单位发电量CO₂排放量仅是燃煤发电的50%--66%
- 美国、俄罗斯及欧盟均已通过将燃煤发电转变为燃气发电减少了大量的碳排放

- 烟尘、SO₂、NO_x不会严格，但应**稳定达到**
- 应加强NH₃逃逸控制，优化SCR，**无需NH₃排放标准**
- 烟气“消白”不会推进，应**坚决抵制**
- 重金属、CO₂依赖**协同控制**
- 废弃SCR催化剂应进行粉体再生及重金属**回收**
- 推进**“公转铁”**，码头岸电设施，料场全封闭
- **SO₃排放**，重点地区<5mg/m³，非重点地区<10mg/m³

PART 03



“十四五”期间的环保重点

- 具备条件的机组应全面实现超低排放，已实施改造的机组要确保运行稳定
- 优化SCR系统，减少氨消耗，加强氨逃逸控制
- 合理调整FGD循环泵的运行，降低能耗

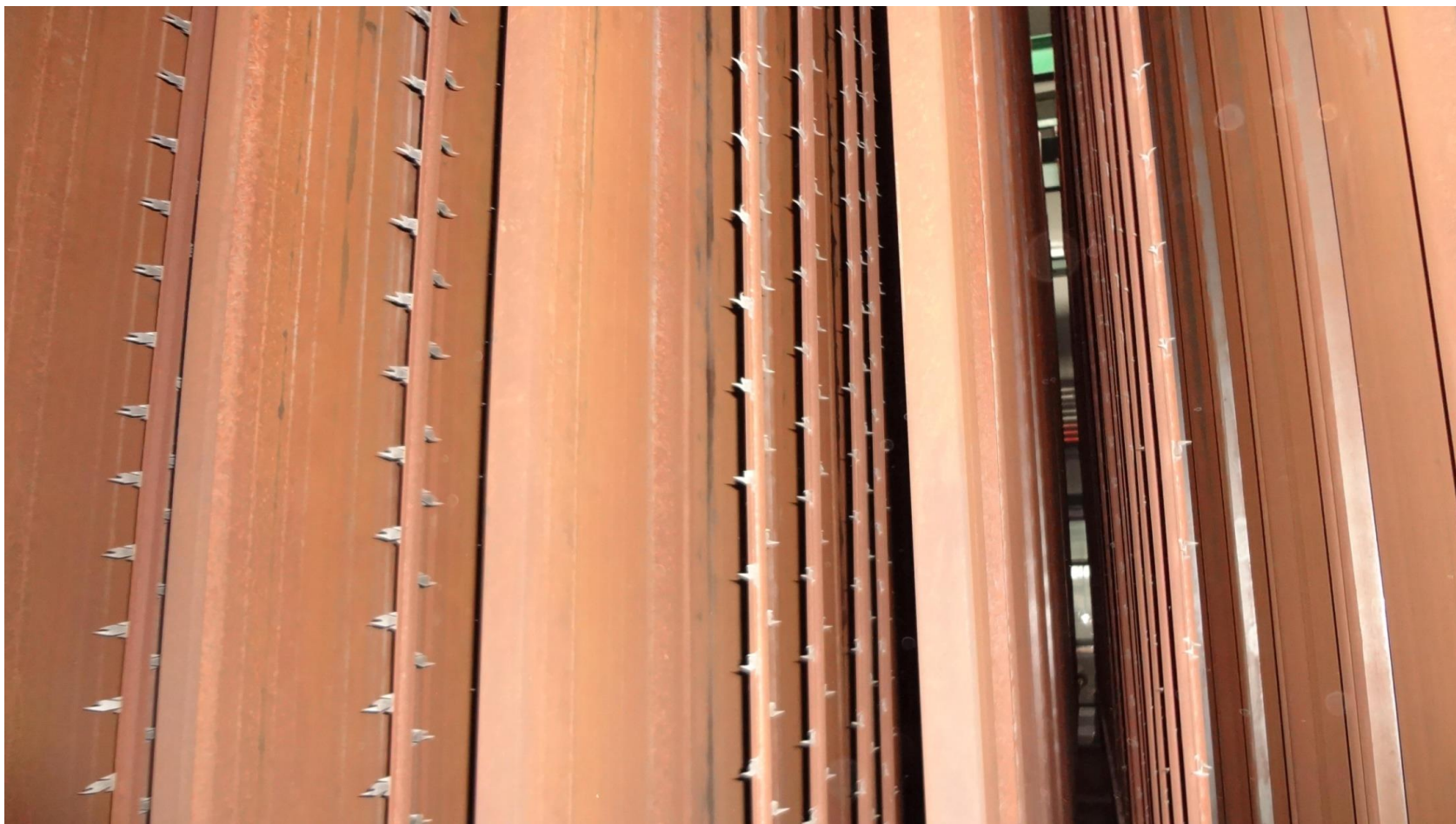
超低排放要持之以恒-尘

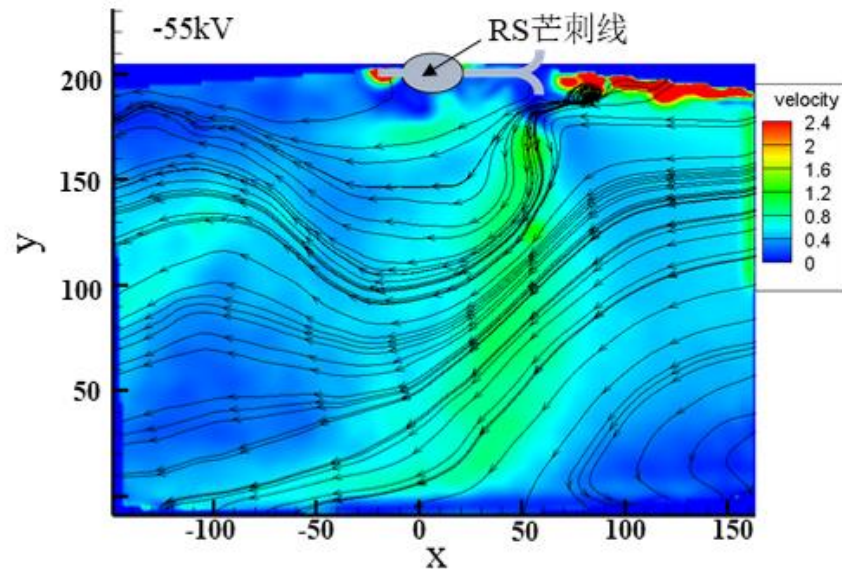
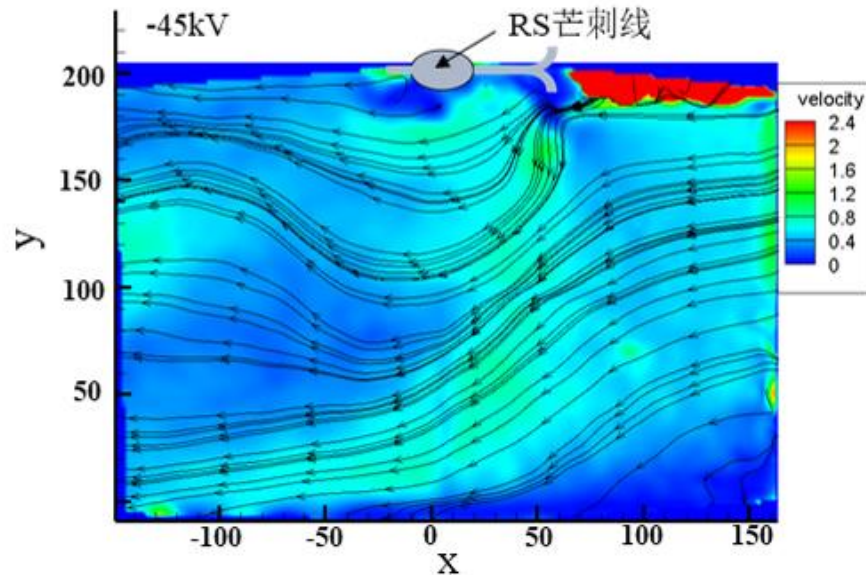


超低排放要持之以恒-尘

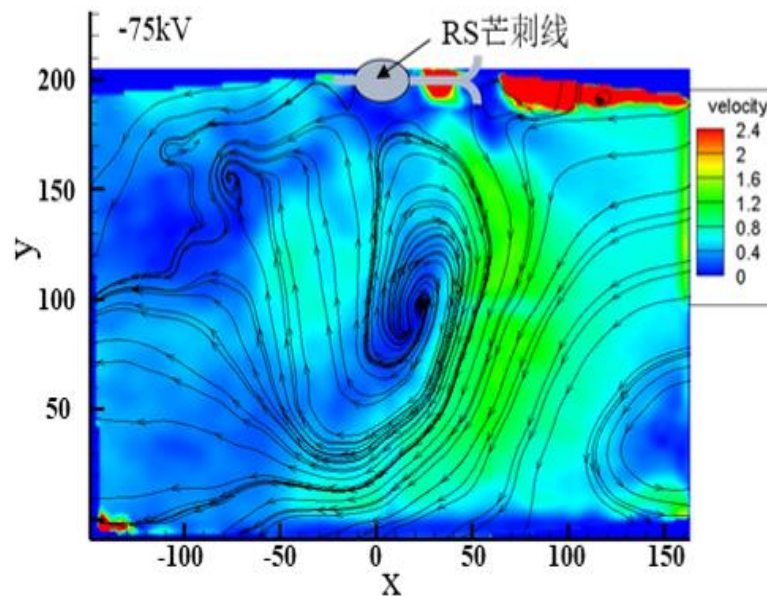
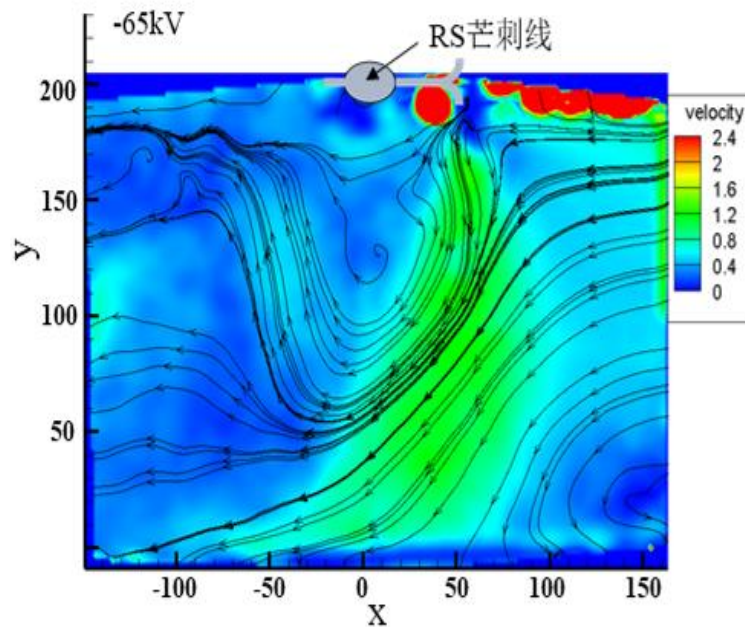


国家能源集团
CHN ENERGY

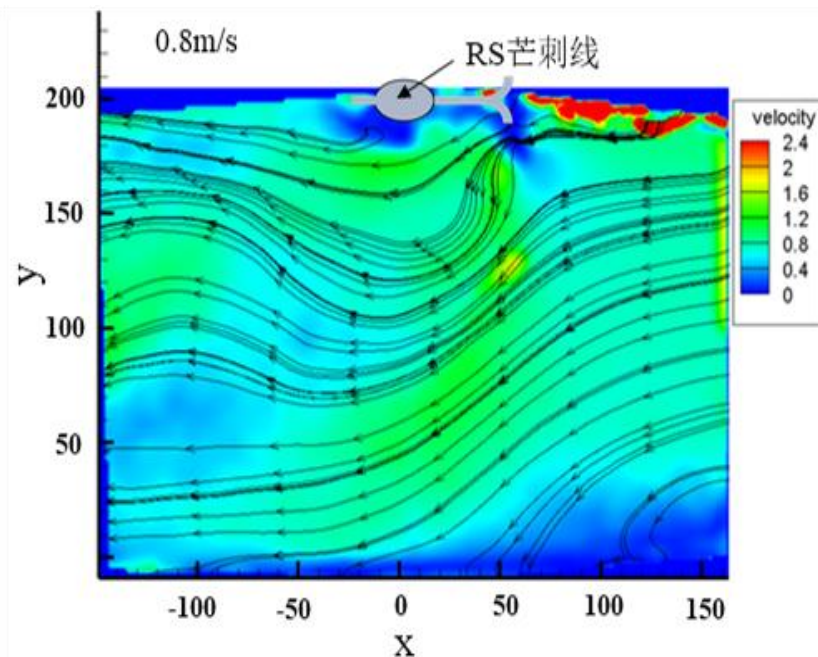
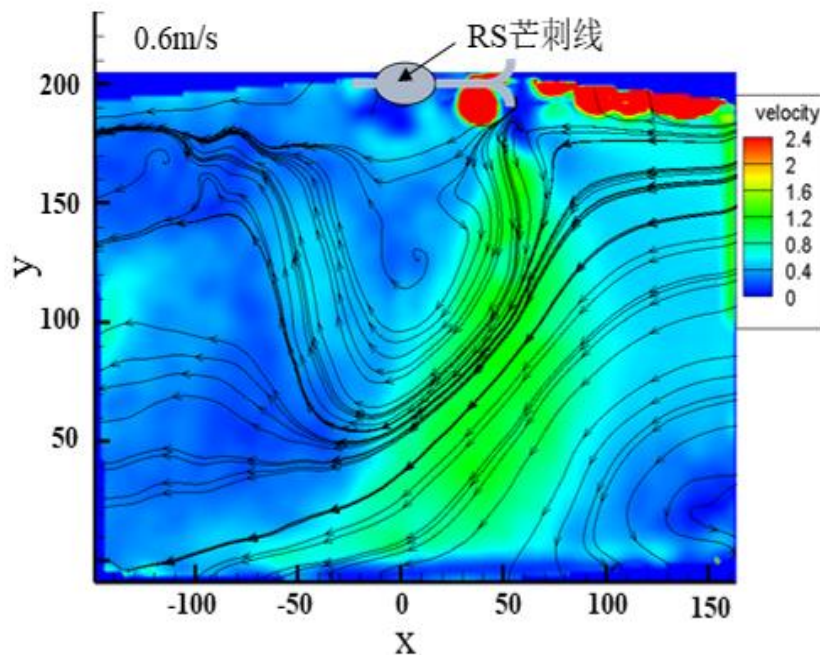




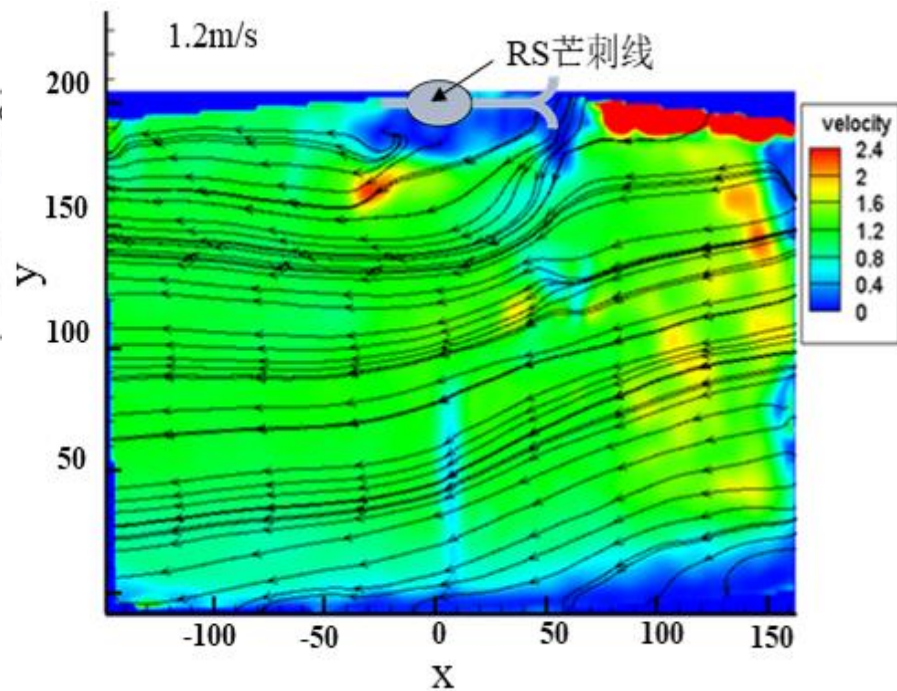
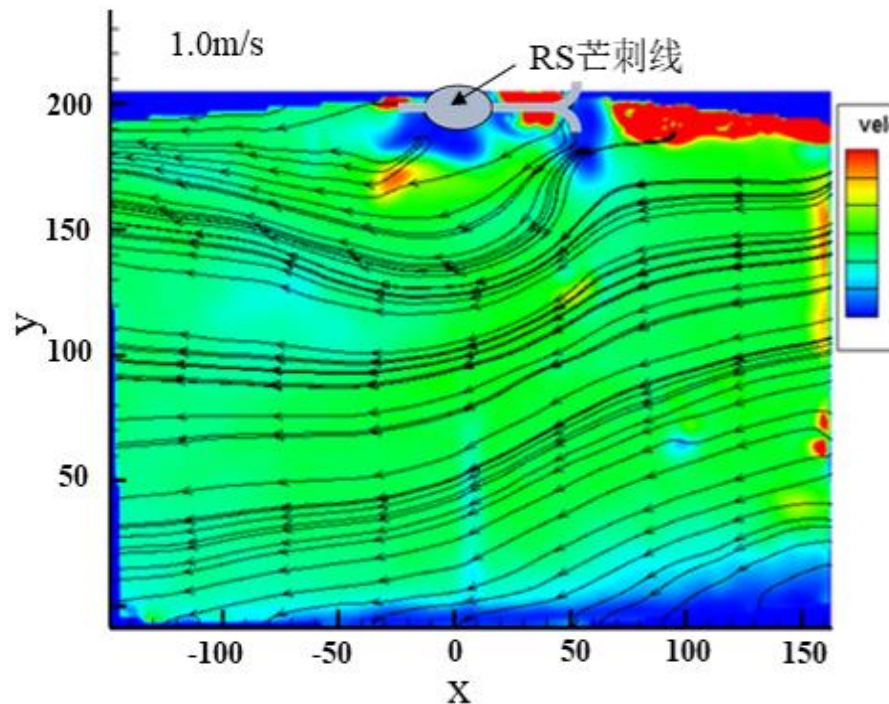
板间距为400mm, 电场风速为0.6m/s,
不同放电电压下速度矢量图



板间距为400mm，电场风速为0.6m/s，
不同放电电压下速度矢量图

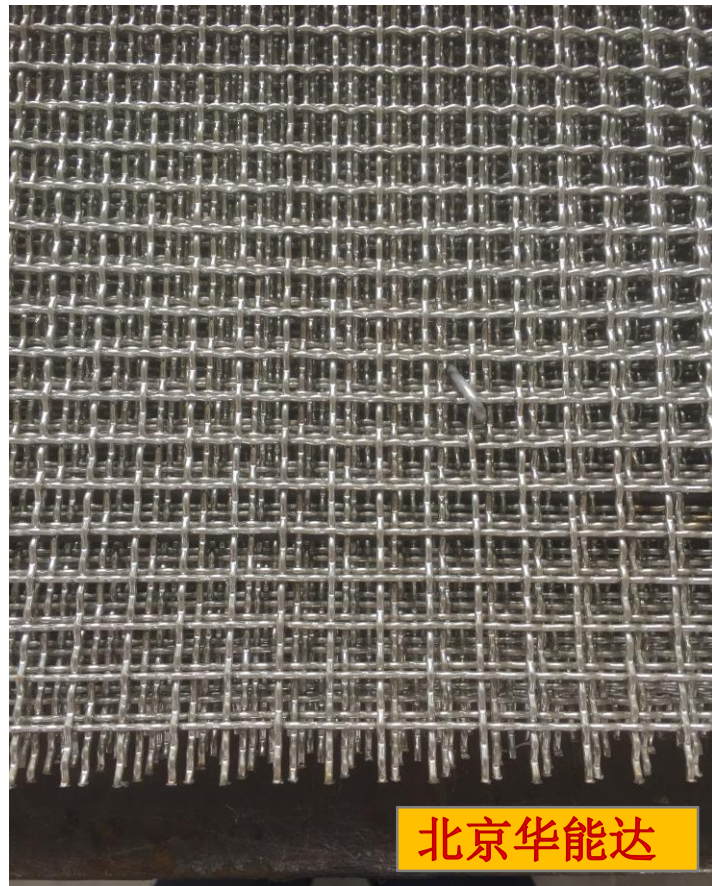
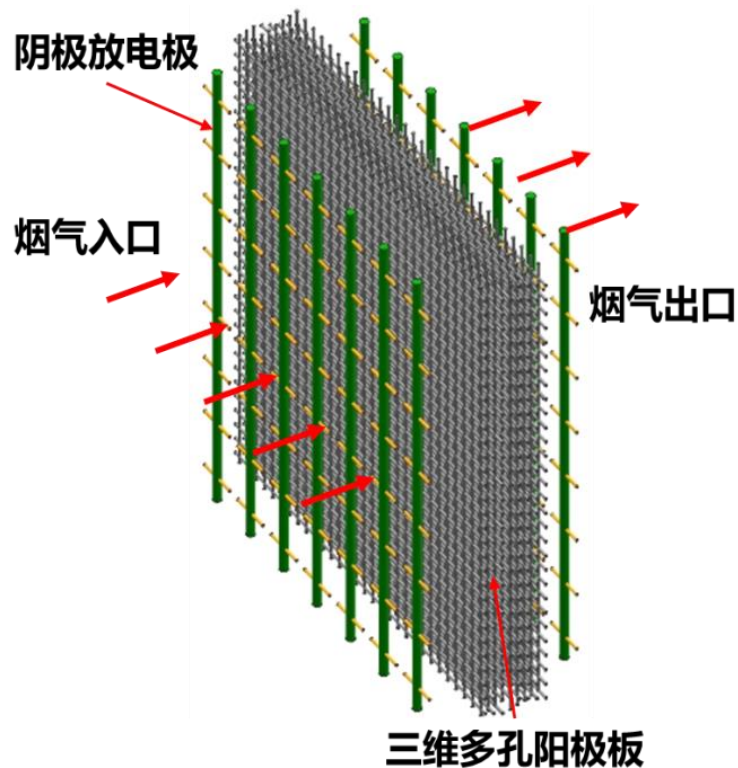


板间距为400mm，放电电压65kV，
不同电场风速下速度矢量图



板间距为400mm，放电电压65kV，
不同电场风速下速度矢量图

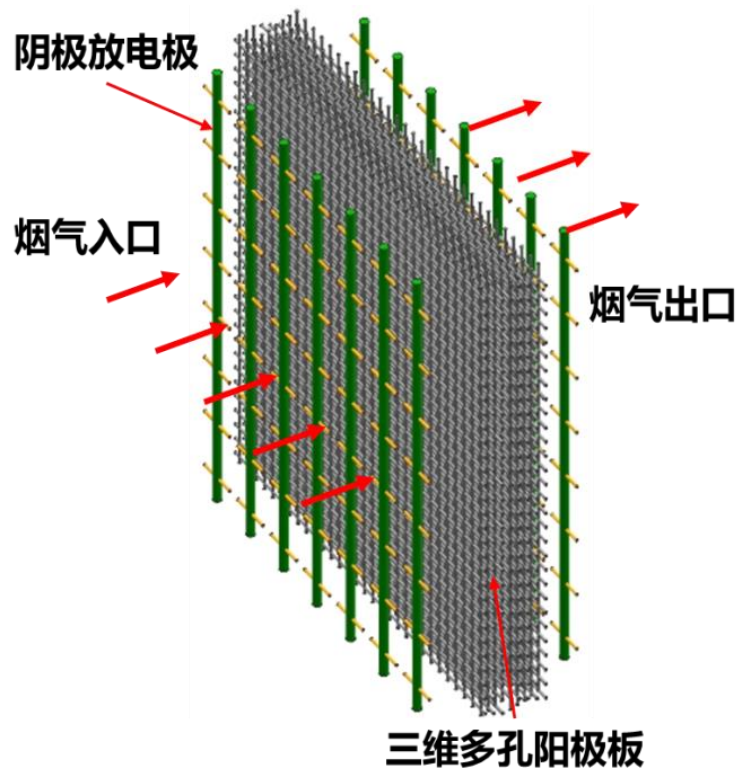
径流式WESP-细颗粒物



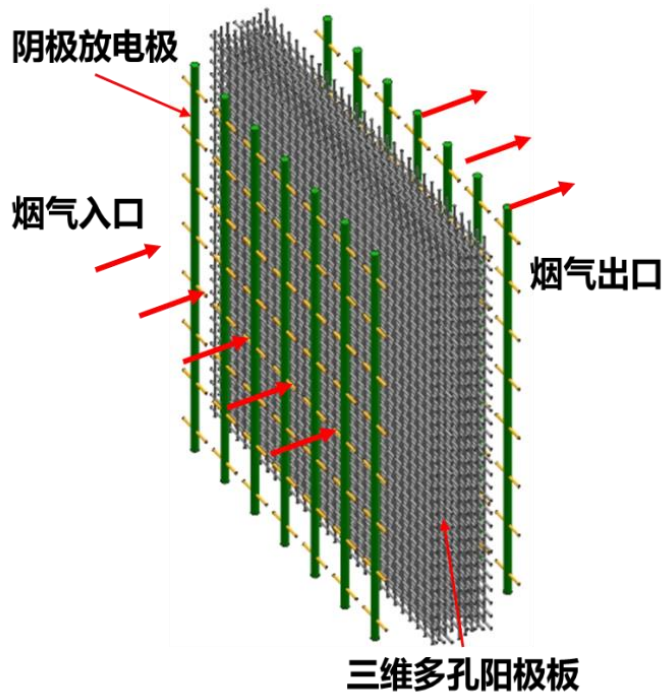
径流式WESP-细颗粒物



国家能源集团
CHN ENERGY



北京华能达



- ◆ 电场风与离子风方向一致
- ◆ 有利于各种电压下、各种风速下颗粒物向极板运动
- ◆ 高压水清洗，避免反电晕
- ◆ 极板不是板，极大增加单位体积内的收尘面积

效率高、占地少、耐腐蚀

京能秦皇岛开发区2X35万千瓦热电联产
项目1号机组湿式电除尘器性能试验报告

1号湿电测试数据

测试工况下湿烟气流量	m ³ /h	1404018	1399032
实测烟尘浓度	mg/m ³	6.31	1.38
实测 SO ₃ 浓度	mg/m ³	3.18	0.33
实测液滴浓度	mg/m ³	10.7	1.5
烟尘折算浓度(标干、6%O ₂)	mg/m ³	6.03	1.32
SO ₃ 折算浓度(标干、6%O ₂)	mg/m ³	3.04	0.32
液滴折算浓度(标干、6%O ₂)	mg/m ³	10.2	1.4
除尘器效率	%	78.33	
除尘器阻力(包含除尘器本体至出口人工测点烟道阻力)	Pa	310	

截图(Alt + A)

华北电力科学研究院有限责任公司

二〇二〇年五月

技术报告专用章

多污染物控制—主流WESP技术



国家能源集团
CHN ENERGY

金属极板 WESP

国外燃煤电厂
主流技术
(三菱、日立、
巴威、阿尔斯通)

菲达、南源、龙净...
国华舟山电厂、浙能嘉华电厂



金属极板 (316L)

导电玻璃钢 WESP

电除雾器，在冶
金、化工行业应用
较多

西安热工院、南京通用、
宜兴化工...
华能黄台电厂、包头希望铝业



导电玻璃钢

柔性极板 WESP

美国俄亥俄大学最
早提出，转让给美
国南方环保公司，
国外业绩很少

山大能源、国电南环院...
益阳电厂、荃阳电厂...



非金属柔性极板

柔性极板 WESP

美国俄亥俄大学最早提出，转让给美国南方环保公司，国外业绩很少

山大能源、国电南环院…
益阳电厂、荃阳电厂…



非金属柔性极板

- ◆ 柔性电极易变形，导致阳极板不平整，甚至处于干燥状态，影响颗粒物去除效果
- ◆ 存在安全隐患，已基本退出



手糊筒式阳极

壁厚较厚并且厚度不均匀



拉挤筒式阳极

壁厚较薄并且厚度均匀



拉挤板式阳极

818型

力学性能

拉伸性能	0°（轴向）		90°（环向）	
单 位	Mpa	Gpa	Mpa	Gpa
手糊筒式阳极	48.7	7.38	36.1	8.09
拉挤筒式阳极	645	35.6	49.3	10.4
拉挤板式阳极	248	39.1	试样不满足仪器夹持要求	

弯曲性能	0°（轴向）		90°（环向）	
单 位	Mpa	Gpa	Mpa	Gpa
手糊筒式阳极	70.2	4.97	68.2	5.62
拉挤筒式阳极	704	18.1	205	10.2
拉挤板式阳极	556	10.2	54.1	5.8

手糊制品0° 和90° 方向的强度和模量较低，接近树脂体材料的数值，拉挤材料0° 方向强度和模量值与常用复合材料接近。

力学性能是导电玻璃钢材料最重要的结构性能指标。需要进行检测和校核。

摘自导电玻璃钢阳极检测报告

导电性能

复合材料是非均相导电材料，需要对表面和厚度方向分别进行评估。

表面电阻率：表征材料表面导电能力（ Ω ），适用于评价厚度方向和表面导电差异较大时。

$$\rho_s = R_s \left(\frac{W}{L} \right)$$

电极宽度

体积电阻率：表征材料厚度方向的导电能力（ $\Omega \cdot m$ ）或（ $\Omega \cdot cm$ ））。

$$\rho_v = R_v \frac{A}{t}$$

电极面积

阳极对地电阻：阳极集尘面与大地之间的电阻，表征阳极电荷转移的能力（ Ω ）。

导电性能

阳极材料 导电性能	手糊筒式阳极	拉挤筒式阳极	拉挤板式阳极
表面电阻率 (Ω)	55	1006	18
体积电阻率 ($\Omega.m$)	5×10^3	2.03×10^6	1.3×10^4
集尘面对地电阻 (Ω)	30~100	暂未有数据	30~80
对地电阻是阳极系统与地之间的电阻，波动与集尘面的结垢程度有关			

摘自导电玻璃钢阳极检测报告

电阻数值**越小**说明导电性能**越好**。

电阻率数值反映出导电材料的品质和配方差异大。

导电性能是导电玻璃钢阳极最重要的**功能**参数，制造和使用中应严格把关。

阻燃性能

导电玻璃钢材料属塑料类，树脂材料是可燃的高分子材料，在具备着火条件时，可发生燃烧反应。

通过改性或者添加阻燃剂可以**抑制**燃烧性能。

建筑材料及制品燃烧性能等级

燃烧性能等级	名称
A	不燃材料（制品）
B1	难燃材料（制品）
B2	可燃材料（制品）
B3	易燃材料（制品）

推荐等级

《建筑材料及制品燃烧等级》GB 8624-2012

阻燃性能

5.2.3 表6 电线电缆套管、电器设备外壳及附件的燃烧性能等级和分级判据

燃烧性能等级	制品	试验方法	分级判据
B1	电线电缆套管	GB/T 2406.2	氧指数 $IO \geq 32\%$
		GB/T 2408	垂直燃烧性能V-0级
		GB/T 8627	烟密度等级 ≤ 75
	电器设备外壳及附件	GB/T 5169.16	垂直燃烧性能V-0级

可采用本项分级判据标准评价复合材料的阻燃性能。

如果简化指标快速判断阻燃性能，推荐用氧指数指标评判。在《湿式静电除尘器用导电玻璃钢阳极检验规范》（DL/T1844-2018）中采用氧指数指标。

阻燃性能

导电玻璃钢阳极的氧指数测试值

导电玻璃钢阳极试样	氧指数数值（%）
试样1	32.3
试样2	27.8
试样3	29.1
试样4	32.6

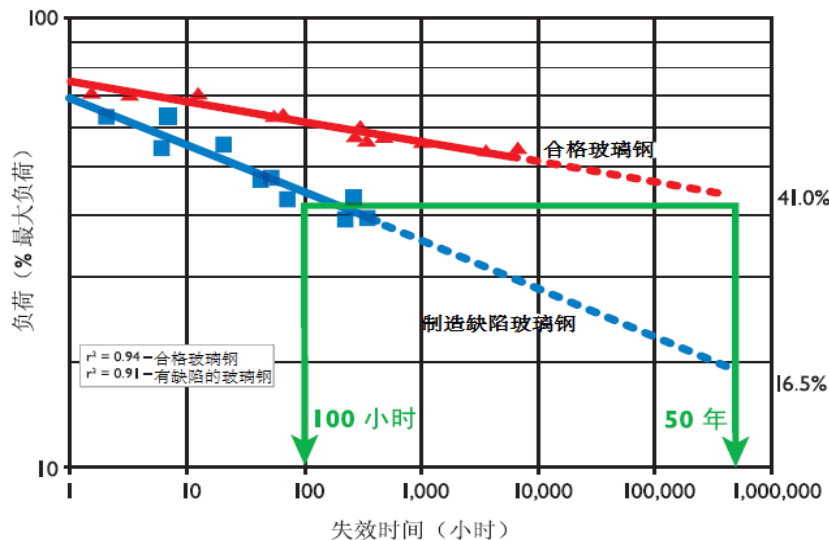
测试标准：GB/T 8924-2005

摘自导电玻璃钢阳极检测报告

如果氧指数过低，建设期、设备启停期间管理不善增大着火风险。

老化性能

玻璃钢材料在服役期间受**湿热环境**、**机械应力**、**光照**等条件作用下，引起化学结构破坏，致使其物理、化学性质和机械性能破坏的现象称为“老化”。



复合材料性能在服役初期老化速率相对较快，需要定期进行检测摸底。

力学性能下降趋势

老化性能

老化的表现

外观变化



老化后颜色

逐渐变为灰白色

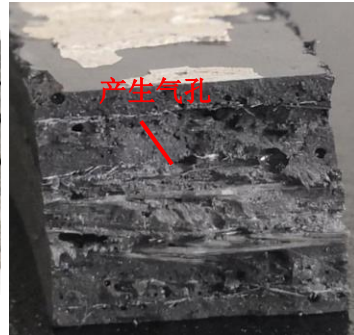
物理性质变化（硬度、密度、树脂含量等）

力学性能衰减

（评估弯曲性

能）

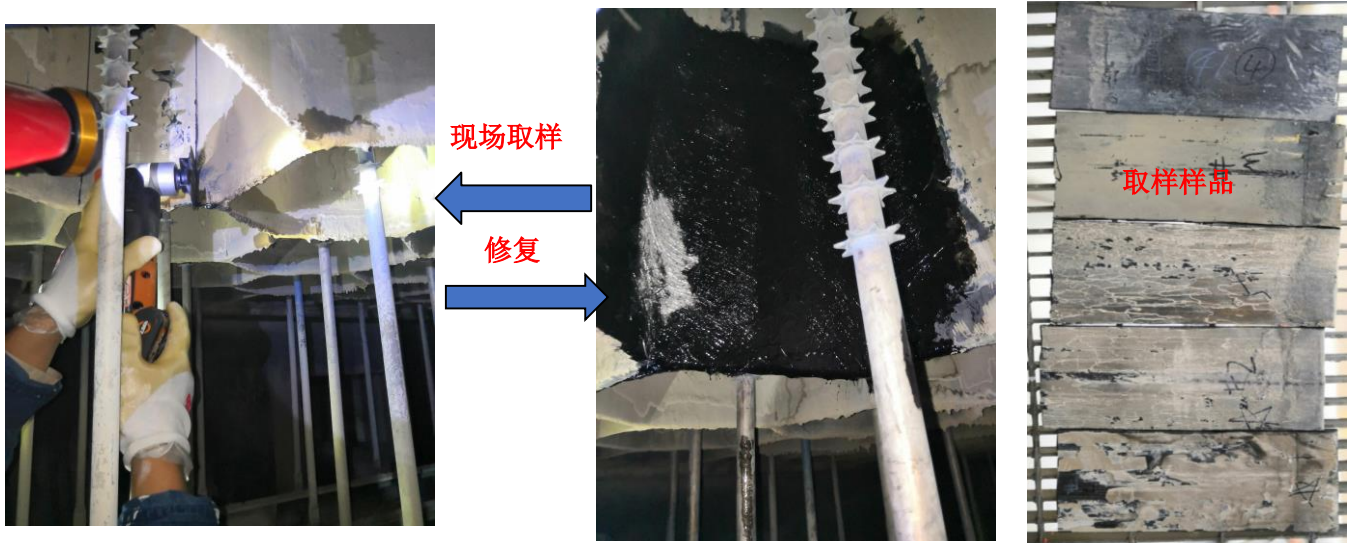
导电性能衰减



复材领域通常以性能保留率大于80~85%作为老化阈值，低于阈值评定该性能指标不宜继续使用。

导电玻璃钢阳极检测与评估

- (1) 在生产制造阶段进行严格检测从源头控制产品质量。
- (2) 对于服役期间的材料，进行检测与评估，掌握服役状态，消除安全隐患。



——着火



着火损失惨重！

复合材料性能检测与评估实验室

我院2016年成立复合材料性能检测与评估实验室，2019年通过CNAS
资质认可，有第三方检测资质。

设力学、物理、化学、燃烧和老化五个专业检测室



检测与评估实验室主任陆小成13505154504

导电玻璃钢，尽快检测评估，必更时更换为金属

- 已稳定达到超低排放要求的机组，不强制开展“白色烟羽”治理--WESP
- 加强无组织排放治理，推进“公转铁”，料场全封闭，建设一批“花园式”火电厂
- 加强码头岸电设施的建设与运行，减少VOC与NO_x排放

《最高人民法院、最高人民检察院、公安部、司法部、生态环境部关于 办理环境污染刑事案件有关问题座谈会纪要》，对重污染天气预警期间，违反国家规定，超标排放二氧化硫、氮氧化物，受过行政处罚后又实施上述行为或者具有其他严重情节的，可以适用《环境解释》第一条第十八项规定的“其他严重污染环境的情形”追究刑事责任。



国家能源集团
CHN ENERGY

THANK YOU

zhufahua@vip.sina.com

国家能源集团科学技术研究院有限公司

报告内容仅代表个人观点