

燃煤供热行业超低排放改造 技术与经验总结

惠润堂 教高/副所长

国电环境保护研究院有限公司环境工程所

燃煤供热

超低排放

技术经验

目 录

1

燃煤供热背景

2

超低排放技术

3

经验与总结

PART 01



燃煤供热背景



国家发展和改革委员会
建 设 部

文件

热电联产和煤矸石综合利用发电项目
建设管理暂行规定

- ◆ 规划：热电联产专项规划应按照国家电力发展规划和产业政策，依据当地城市总体规划、城市规模、工业发展状况和资源等外部条件，结合**现有电厂改造、关停小机组和小锅炉等**情况编制。

- ◆ 建设：在严寒、寒冷地区（包括秦岭淮河以北、新疆、青海和西藏）且具备集中供热条件的城市，应优先规划建设以采暖为主的热电联产项目，**取代分散供热的锅炉**，以改善环境质量，节约能耗。
- ◆ 以**工业热负荷**为主的工业区应当尽可能集中规划建设，以实现集中供热。
- ◆ 鼓励建设单机**20万千瓦**及以上的大型高效供热机组
- ◆ **限制**新建并逐步**淘汰次高压**参数及以下燃煤（油）抽凝机组

关于印发《热电联产管理办法》的通知

发改能源〔2016〕617号

发改委、能源局、财政部、住建部、环保部

原则目标：热电联产发展应遵循“**统一规划、以热定电、立足存量、结构优化、提高能效、环保优先**”的原则，力争实现北方大中型以上城市热电联产**集中供热率达到60%以上**，20万人口以上**县城**热电联产全覆盖，形成规划科学、布局合理、利用高效、供热安全的热电联产产业健康发展格局

规划：热电联产规划应依据本地区城市供热规划、环境治理规划和电力规划编制，与当地气候、资源、环境等外部条件相适应，以满足热力需求为首要任务，同步**推进燃煤锅炉和落后小热电机组的替代关停。**

编制本地区“城市热电联产规划”或“工业园区热电联产规划”，并在规划中明确配套热网的建设方案。

严寒、寒冷地区（包括秦岭、淮河以北，新疆、青海）优先规划建设以采暖为主的热电联产项目，**替代分散燃煤锅炉和落后小热电机组。**



建设：新建抽凝燃煤热电联产项目与**替代关停燃煤锅炉和小热电机组挂钩**。新建抽凝燃煤热电联产项目配套关停的燃煤锅炉容量原则上不低于新建机组最大抽汽供热能力的50%。替代关停的小热电机组锅炉容量按其额定蒸发量计算。与新建热电联产项目配套关停的燃煤锅炉和小热电机组，应在项目建成投产且稳定运行第2个采暖季前实施拆除。

严格限制规划建设燃用石油焦、泥煤、油页岩等劣质燃料的热电联产项目

环境保护：**加快替代关停**以下燃煤锅炉和小热电机组：
单台容量10蒸吨/小时（7兆瓦）及以下的燃煤锅炉，大中城市20蒸吨/小时（14兆瓦）及以下燃煤锅炉；除确需保留的以外，其他单台容量10蒸吨/小时（7兆瓦）以上的燃煤锅炉；污染物排放不符合国家最新环保标准且不实施环保改造的燃煤锅炉；**单机容量10万千瓦以下的燃煤抽凝小热电机组。**

环境保护：对于热电联产集中供热管网覆盖区域内的燃煤锅炉（调峰锅炉除外），原则上**应予以关停或者拆除**，应关停而未关停的，要**达到燃气锅炉污染物排放限值**，安装污染物在线监测。

新建燃煤热电联产机组原则上达到**超低排放水平**。

现役燃煤热电联产机组要安装高效脱硫、脱硝和除尘设施，未达标排放的要加快实施环保设施升级改造，确保满足最低技术出力以上全负荷、全时段稳定达标排放要求。按照国家节能减排有关要求，**实施超低排放改造**

国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知

国发〔2013〕37号

一、加大综合治理力度，减少多污染物排放

(一) 加强工业企业大气污染综合治理。**全面整治燃煤小锅炉。加快推进集中供热、“煤改气”、“煤改电”工程建设，到2017年，除必要保留的以外，地级及以上城市建成区基本淘汰每小时10蒸吨及以下的燃煤锅炉，禁止新建每小时20蒸吨以下的燃煤锅炉；其他地区原则上不再新建每小时10蒸吨以下的燃煤锅炉。在供热供气管网不能覆盖的地区，改用电、新能源或洁净煤，推广应用高效节能环保型锅炉。在化工、造纸、印染、制革、制药等产业集聚区，通过集中建设热电联产机组逐步淘汰分散燃煤锅炉。**

国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知

国发〔2013〕37号

扩大城市高污染燃料禁燃区范围，逐步由城市建成区扩展到近郊。结合城中村、城乡结合部、棚户区改造，通过政策补偿和实施峰谷电价、季节性电价、阶梯电价、调峰电价等措施，逐步推行以天然气或电替代煤炭。鼓励北方农村地区建设洁净煤配送中心，推广使用洁净煤和型煤。

国务院关于印发打赢蓝天保卫战 三年行动计划的通知

国发〔2018〕22号

有效推进北方地区清洁取暖。坚持从实际出发，**宜电则电、宜气则气、宜煤则煤、宜热则热**，确保北方地区群众安全取暖过冬。集中资源推进京津冀及周边地区、汾渭平原等区域**散煤治理**，优先以乡镇或区县为单元整体推进。2020年采暖季前，在保障能源供应的前提下，京津冀及周边地区、汾渭平原的平原地区基本完成生活和冬季取暖散煤替代；对暂不具备清洁能源替代条件的山区，积极推广洁净煤，并加强煤质监管，严厉打击销售使用劣质煤行为。燃气壁挂炉能效不得低于2级水平。

国务院关于印发打赢蓝天保卫战 三年行动计划的通知

国发〔2018〕22号

开展燃煤锅炉综合整治。加大**燃煤小锅炉淘汰**力度。县级及以上城市建成区基本**淘汰每小时10蒸吨**及以下燃煤锅炉及茶水炉、经营性炉灶、储粮烘干设备等燃煤设施，原则上**不再新建每小时35蒸吨以下的**燃煤锅炉，其他地区原则上不再新建每小时10蒸吨以下的燃煤锅炉。环境空气质量未达标城市应进一步加大淘汰力度。重点区域基本**淘汰每小时35蒸吨以下**燃煤锅炉，**每小时65蒸吨及以上燃煤锅炉全部完成节能和超低排放改造**；燃气锅炉基本完成低氮改造；城市建成区生物质锅炉实施超低排放改造。

国务院关于印发打赢蓝天保卫战 三年行动计划的通知

国发〔2018〕22号

加大对纯凝机组和热电联产机组技术改造力度，加快供热管网建设，充分释放和提高供热能力，淘汰管网覆盖范围内的燃煤锅炉和散煤。在不具备热电联产集中供热条件的地区，现有多台燃煤小锅炉的，可按照等容量替代原则建设大容量燃煤锅炉。2020年底前，重点区域30万千瓦及以上热电联产电厂供热半径15公里范围内的燃煤锅炉和落后燃煤小热电全部关停整合。



减污降碳协同

多污染物协同

PM_{2.5}与O₃协同

区域治理协同

突出源头治理

突出系统治理

突出高效治理

突出集群治理

- ✓ 热电联产机组建设必须要符合规划
- ✓ 鼓励现有煤电机组改造供热，大热电替代小热电
- ✓ 关停（淘汰、取代、替代）供热范围内的落后小机组与燃煤锅炉
- ✓ 65t/h及以上的燃煤锅炉或机组必须超低排放
- ✓ 非集中供热范围内的鼓励电能替代、燃气替代

江苏江阴小热电整合淘汰

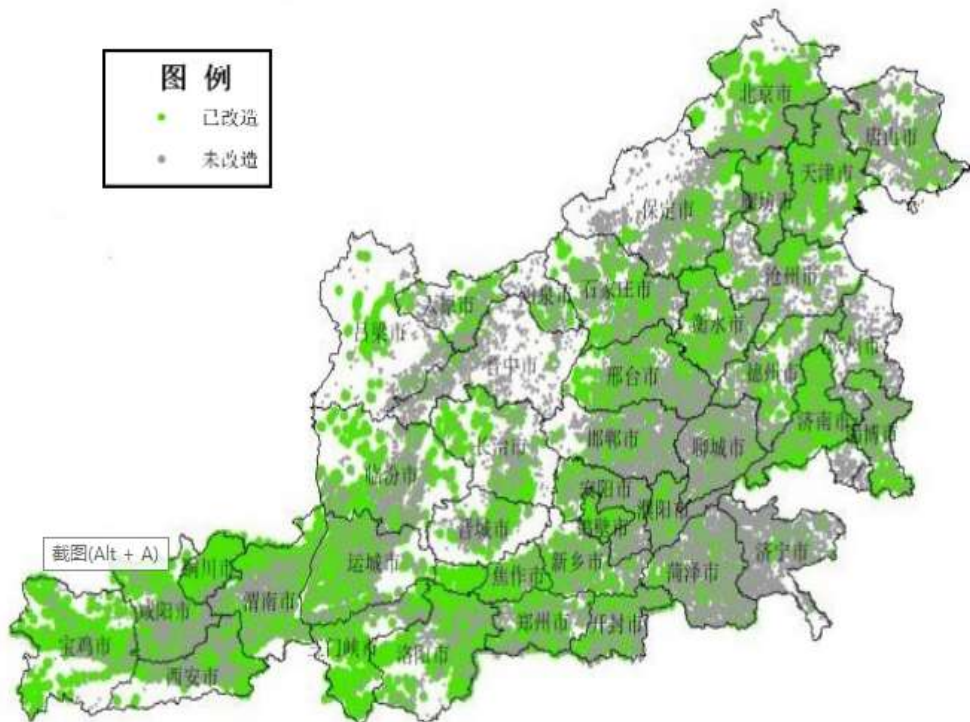
2010年，江阴市内共有26家小热电，呈现热电围城
2016年，经过整合关停11家，保留15家
远期规划只保留4家，其余全部关停

江阴-2020 全国工业百强县排名第一

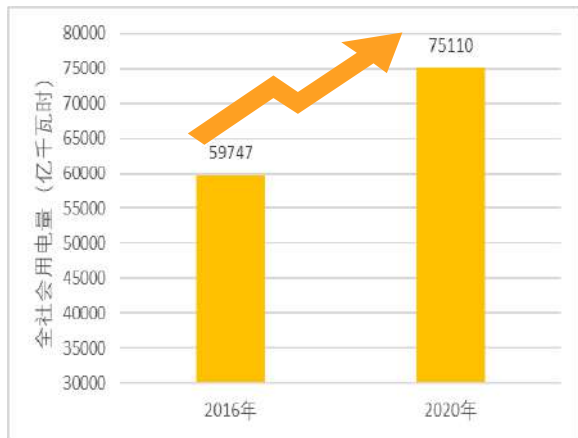


国家能源集团
CHN ENERGY

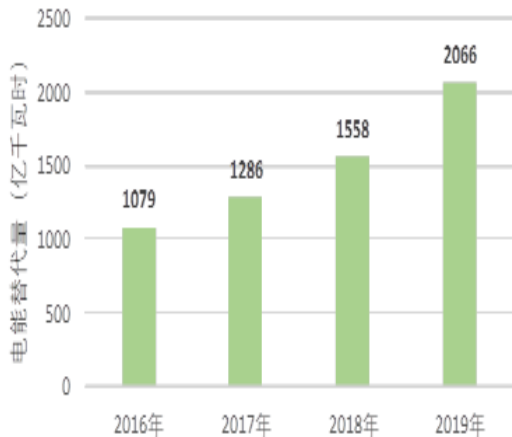
- 重点区域35蒸吨以下燃煤小锅炉基本清零
- 京津冀及周边地区、汾渭平原农村地区散煤治理完成1800万户



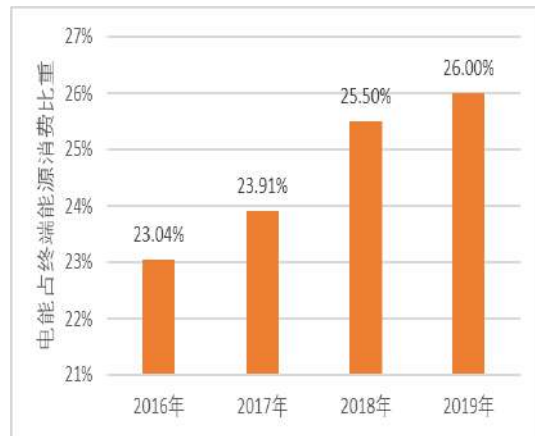
- “十三五”以来电能替代规模达**5989亿千瓦时**，占新增用电规模的**38%**，交通、建筑等行业以及居民用能方式“以电代煤”“以电代油”趋势明显
- 2019年，电能占终端能源消费比重为**26%**，“十三五”以来增长**4个百分点**，全社会电气化程度将稳步上升



全社会用电量



电能替代量

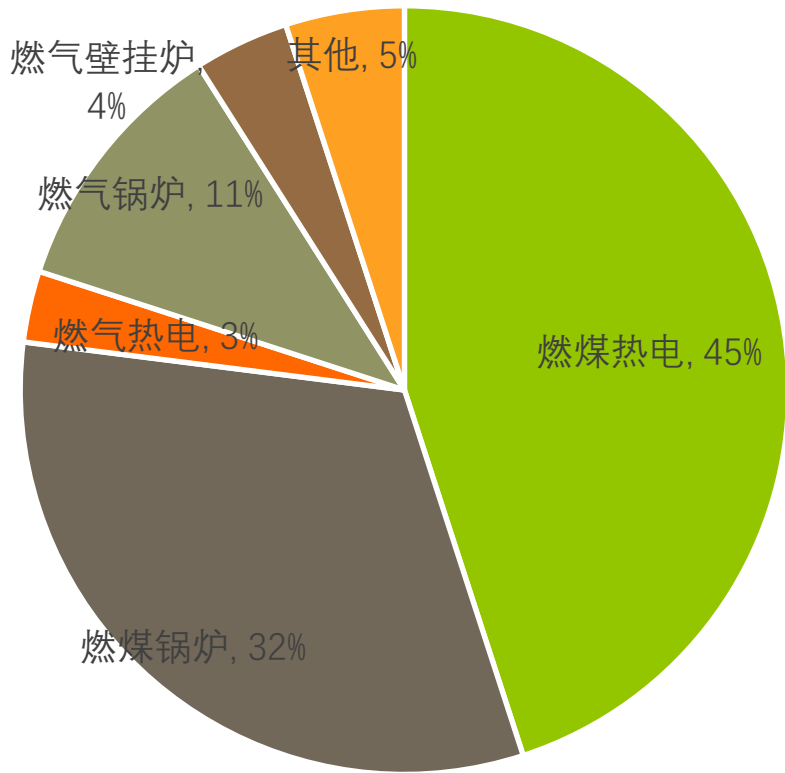


电能终端消费中占比

中国供热现状



国家能源集团
CHN ENERGY



燃煤占77%

燃气占18%

其他占5%

- ◆ **大型**：推进大型煤电机组高效、灵活供热改造
- ◆ **按需**：从“以热定电”向“按需供热、按需供电”发展
- ◆ **分布**：发展新能源供热与多能联供
- ◆ **电气**：推动大容量、高效率、长寿命储能技术应用



PART 02



超低排放技术



3个时代7个阶段

无标准阶段

《工业“三废”排放试行标准》
GBJ4-1973

《火电厂大气污染物标准》
GB13223-1996

《火电厂大气污染物标准》
GB13223-2003

超低排放阶段
2014年

阶段
1

阶段
2

阶段
3

阶段
4

阶段
5

阶段
6

阶段
7

(1882—1972年)

《燃煤电厂大气污染物标准》
GB13223-1991

《火电厂大气污染物标准》
GB13223-2011

大气污染物排放标准的发展



国家能源集团
CHN ENERGY

阶段	标准名称（编号）	燃煤机组最严格的浓度限值要求		
		烟尘	SO ₂	NO _x
第一阶段	无标准阶段	—	—	—
第二阶段	《工业“三废”排放标准》 (GBJ4-1973)	无要求	无要求	不涉及
第三阶段	《燃煤电厂大气污染物排放标准》 (GB13223-1991)	600	无要求	不涉及
第四阶段	《火电厂大气污染物排放标准》 (GB13223-1996)	200	1200	650
第五阶段	《火电厂大气污染物排放标准》 (GB13223-2003)	50	400	450
第六阶段	《火电厂大气污染物排放标准》 (GB13223-2011)	30 20 ⁽¹⁾	100 50 ⁽¹⁾	100
第七阶段	超低排放	10/5	35	50

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 刘思源 李宗恺等 编著

火电二氧化硫

环境影响 控制对策

SO₂



中国环境科学出版社

中国环境科学出版社2002，解振华局长作序

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

电力需求的推动与实践—超低排放

国内首次提出燃煤电厂达到燃气机组标准

2012年9月19日



上海漕泾二期工程

国内首台改造的超低排放燃煤机组

2014年5月30日



浙能嘉华7、8机组

国内首台新建机组按超低排放环评

2013年4月16日



国电泰州二期工程

国内首台新建的超低排放燃煤机组

2014年6月26日

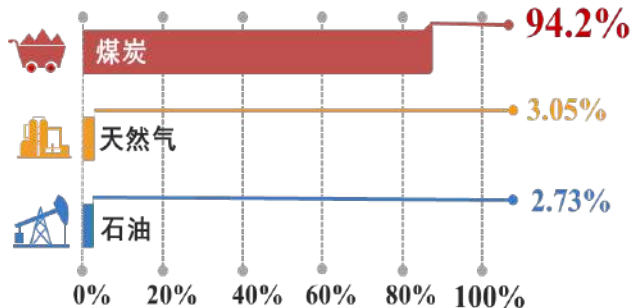


国华舟山4号机组

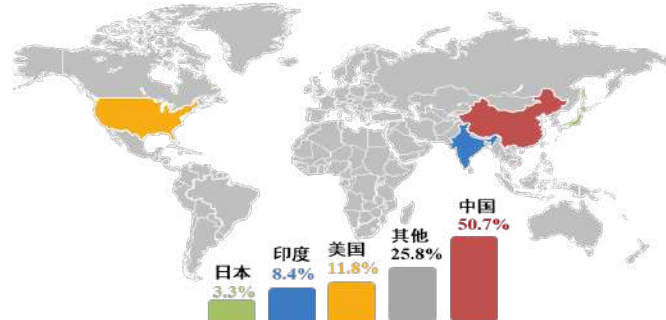
为什么要实施超低排放？

- 储量占比
- 全球占比
- 燃煤影响

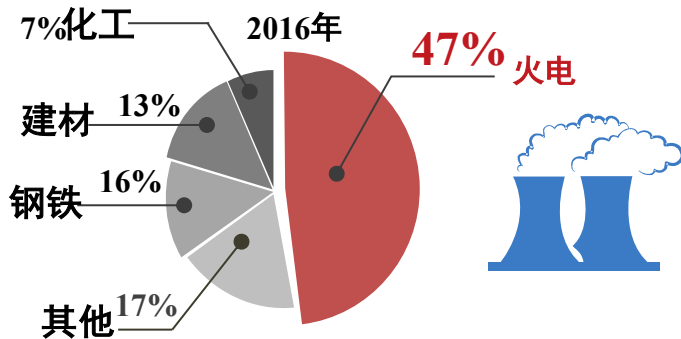
■ 我国能源资源以煤为主



■ 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



●2016年3月5日政府工作报告



●2015年12月2日国务院常务会议

全面实施超低排放



●2015年10月26-29日十八届五中全会

清洁低碳、安全高效



●2015年3月5日政府工作报告

推动燃煤电厂超低排放改造



●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



●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

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

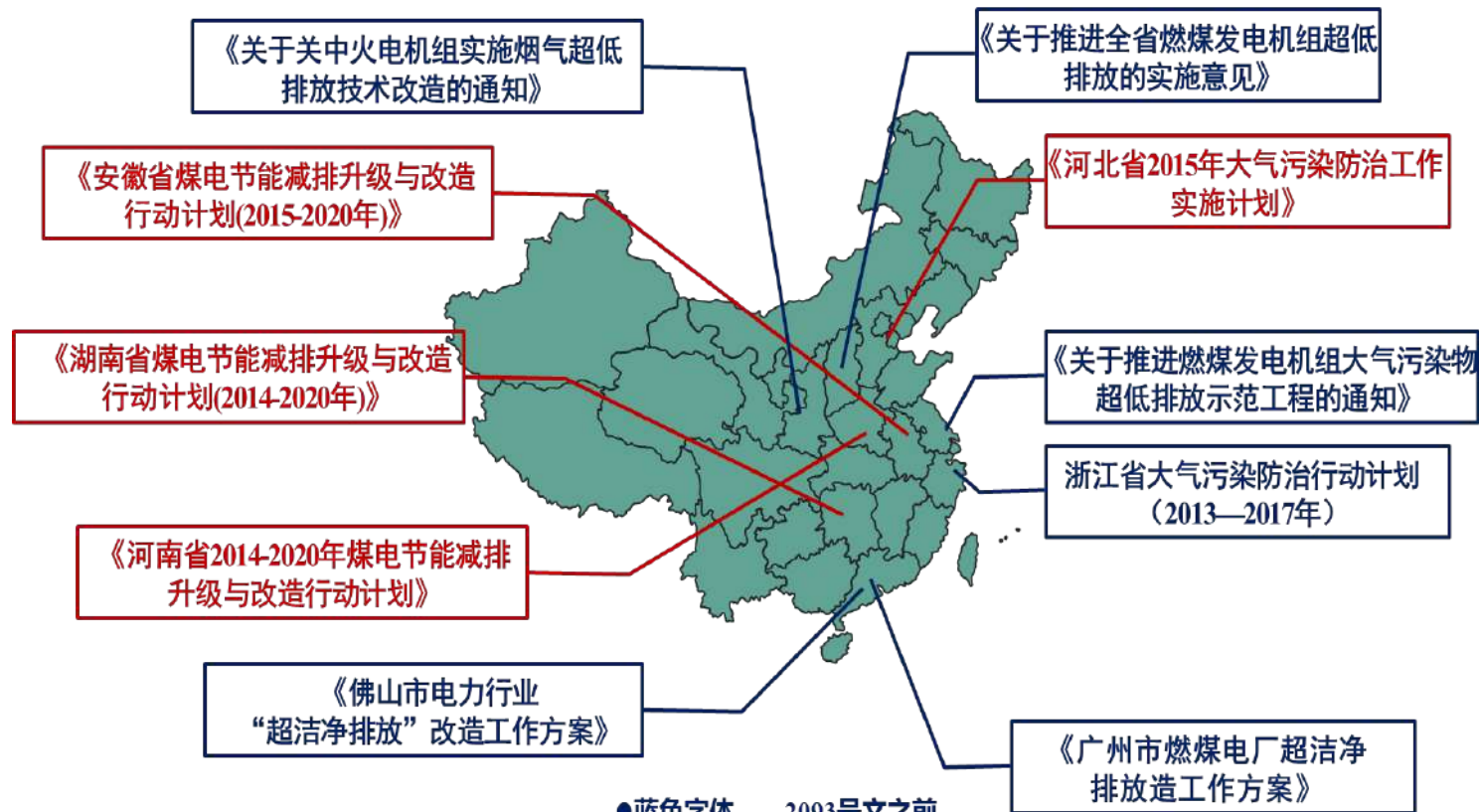
●2013年《关于执行大气污染物特别排放限值的公告》

●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

被引**142**次、下载**2300**次

本刊赠阅至党和国家领导人，各省省委书记、省长、分管环保工作的副省长、各部委领导、各央企主要负责人等决策群体



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/m^3 、二氧化硫不超过 35 mg/m^3 、氮氧化物不超过 50 mg/m^3 。

● 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

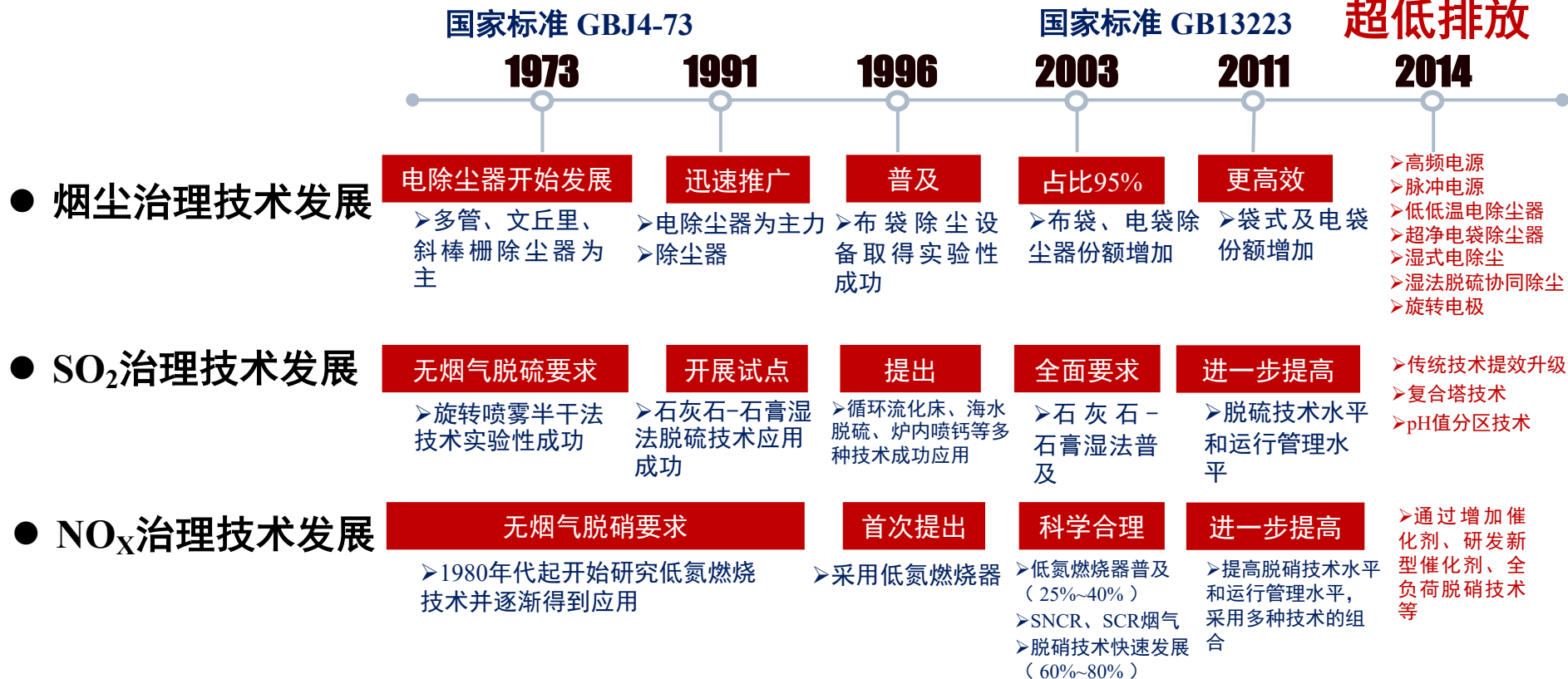
注*: 美国标准中指的是颗粒物(PM)。单位: mg/m^3 。

治理技术发展总过程



国家能源集团
CHN ENERGY

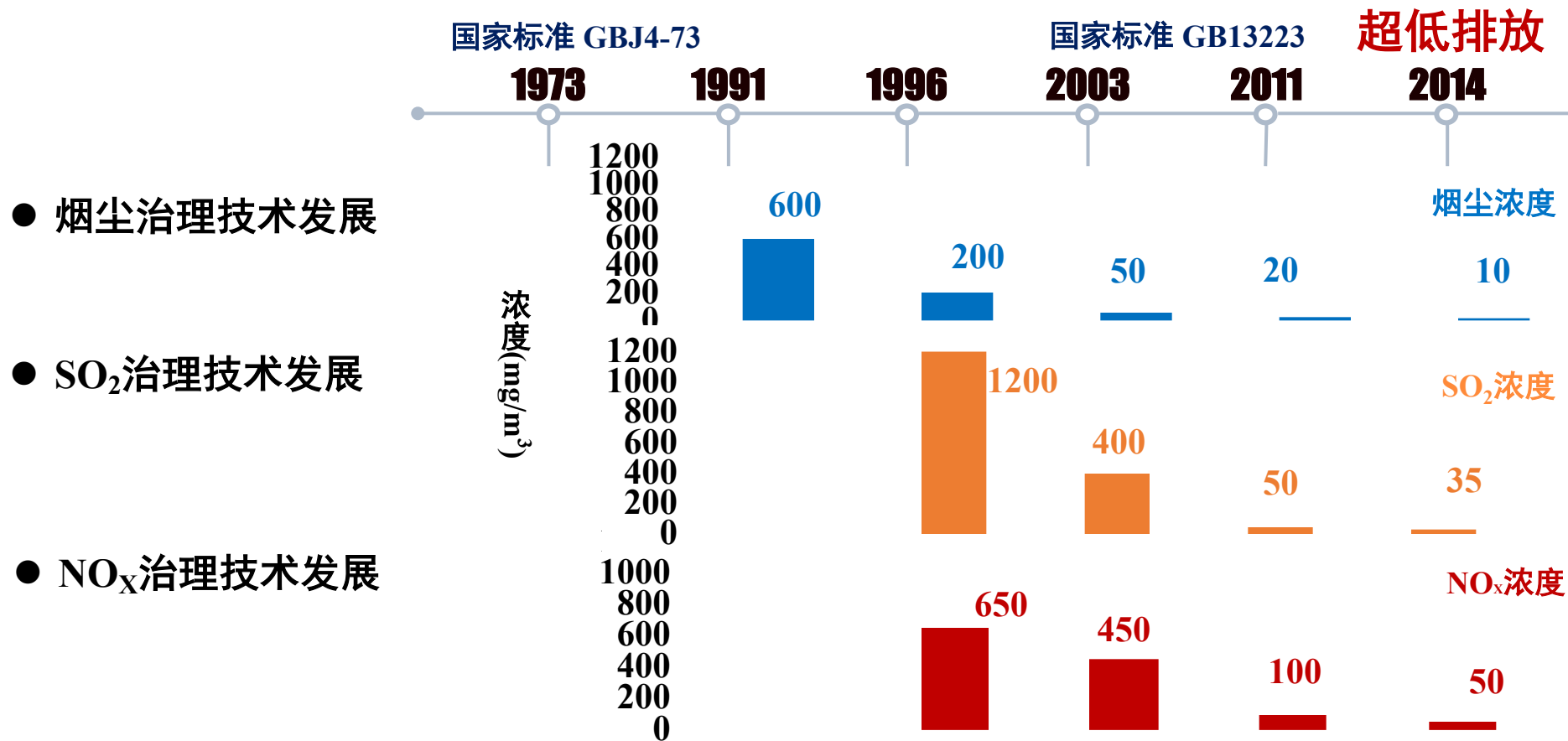
超低排放



治理技术发展总过程



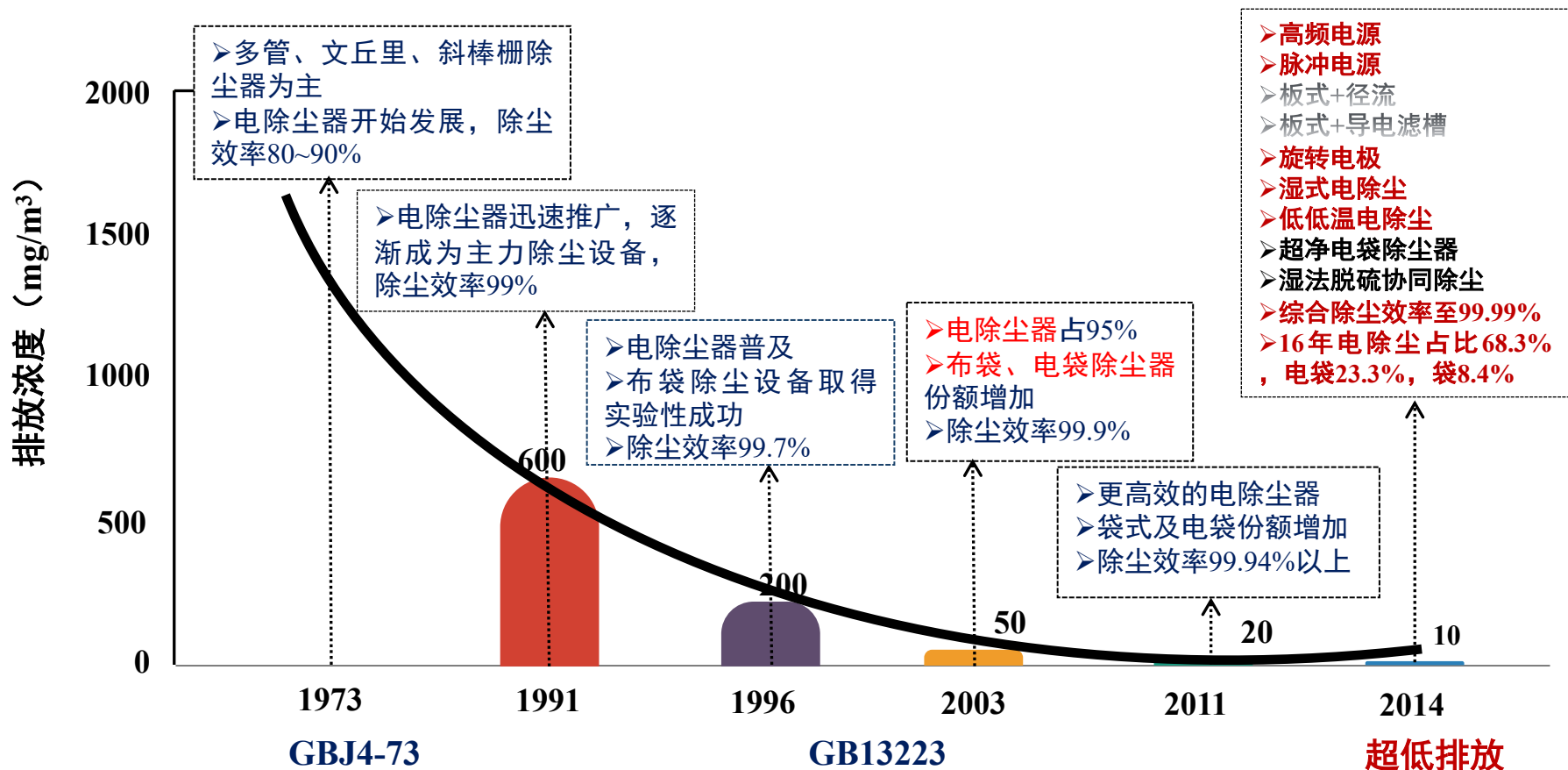
国家能源集团
CHN ENERGY



烟尘治理技术发展



国家能源集团
CHN ENERGY





大型火电厂电除尘装置



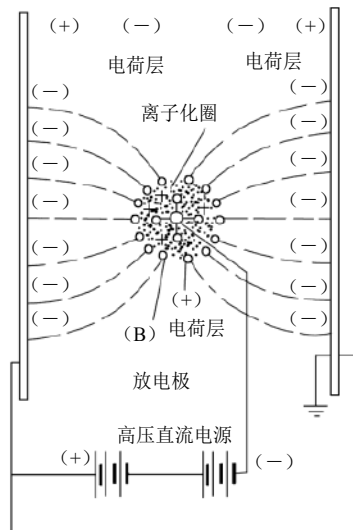


• 电除尘器的效率：

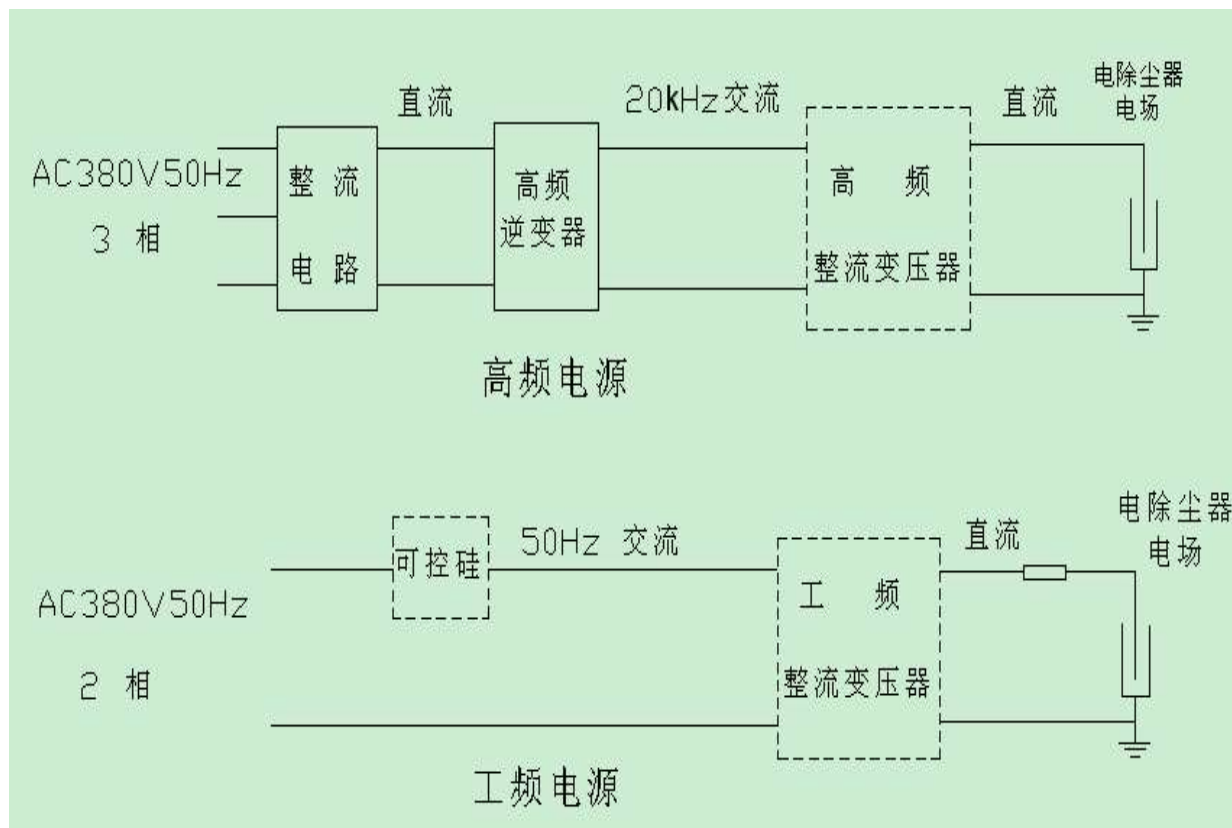
1. 烟气流：流速、温度、湿度
2. 荷电特性：比电阻（温度、湿度、SO₃），电晕放电（电源、烟尘浓度）
3. 电场强度（电源）

比收尘面积：收尘极
面积（m²）与烟气流
量的（m³/s）之比

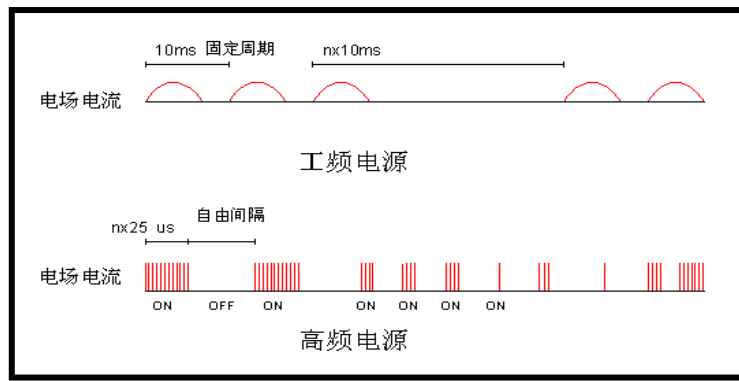
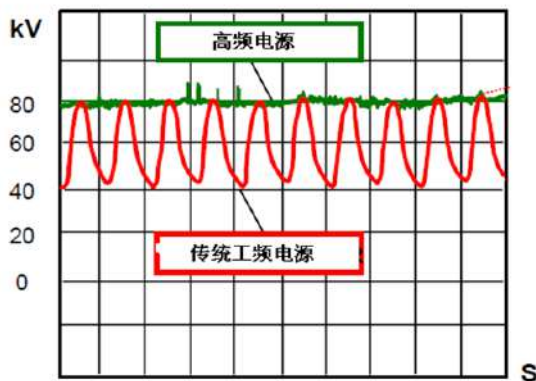
$$\eta = 1 - e^{-\frac{vA}{Q}}$$
$$v = \frac{qE}{3\pi\mu d}$$



- ◆ 高频电源技术
- ◆ 脉冲电源技术
- ◆ 低低温电除尘技术
- ◆ 湿式电除尘技术
- ◆ 移动电极、离线振打等清灰技术
- ◆ 电凝聚技术



- ✓ 高频电源采用三相平衡供电，转换效率与功率因数均大于0.9
- ✓ 工作频率达到40kHz，可提供从纯直流到脉冲的各种电压波形，输出电流提高一倍。
- ✓ 高频电源提供脉冲间歇供电方式，大大提高荷电性能，提高除尘效率并大幅节能。





国家重点新产品 证书

项目名称：HF-01节能提效型电除尘器高频电源

项目编号：2012GR467002

承担单位：南京国电环保设备有限公司

发证时间：二〇一二年五月

有效期：三年

批准机关：科学技术部





通过烟气冷却器或烟气换热系统（包括烟气冷却器和烟气再热器）降低电除尘器入口烟气温度至**酸露点以下**，一般在90℃左右，烟气中的大部分SO₃会在烟气冷却器中凝结，并吸附在粉尘表面，**去除大部分的SO₃**。

- 除尘效率高
- 可除去大部分SO₃
- 节能效果明显



日本低低温电除尘系统布置

核心问题及应对措施

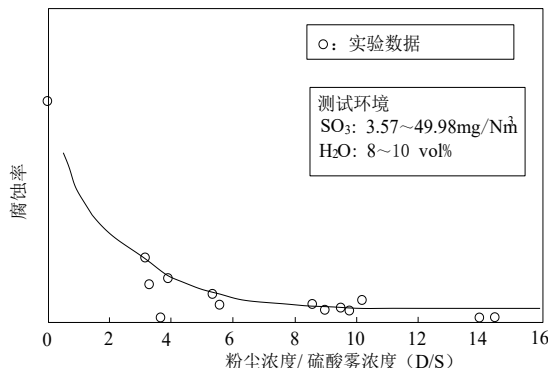
- 低温腐蚀风险来源：

烟气温度降至酸露点以下， SO_3 在烟气冷却器中冷凝，形成具有腐蚀性的硫酸雾，并吸附在烟尘表面上。对于含硫量高、灰分低的煤种，硫酸雾可能未被完全吸附，则应考虑低温腐蚀的风险。

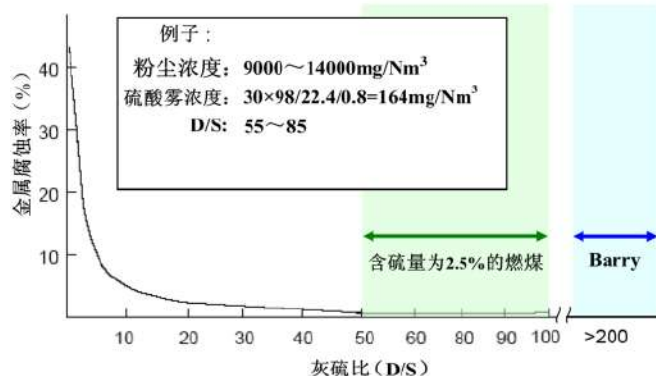
- 是否会引起低温腐蚀？

➤ **日本三菱重工**：当灰硫比（D/S）大于10时，腐蚀率几乎为零，已交付的火电厂低低温电除尘器灰硫比（D/S）远大于100，均无腐蚀问题。

➤ **美国南方电力公司**：当低低温电除尘器采用含硫量为2.5%的燃煤时，实验结果灰硫比（D/S）在50~100可避免腐蚀。



灰硫比与腐蚀率的关系
(日本三菱重工)



灰硫比与腐蚀率的关系
(美国南方电力公司)

干式ESP的主要技术参数



国家能源集团
CHN ENERGY

项 目	单 位	主要工艺参数及效果		
入口烟气温度	℃	干式电除尘器（无）；低低温电除尘器（90±5）		
同极间距	mm	300~500		
烟气流速	m/s	0.8~1.2		
气流分布均匀性相对均方根差	-	≤0.25		
灰硫比	-	>100（低低温电除尘器）		
压力降	Pa	≤250		
流量分配极限偏差	%	±5		
漏风率	%	≤3（电除尘器、300 MW级及以下的低低温电除尘器）		
		≤2（300 MW级以上的低低温电除尘器）		
除尘效率	%	99.20~99.85（电除尘器）；99.20~99.90（低低温电除尘器）		
常规电除尘器比集尘面积	m ² /(m ³ /s)	≥100（D1）	≥110（D1）	≥130（D1）
		≥120（D2）	≥140（D2）	-
		≥140（D3）	-	-
低低温电除尘器比集尘面积	m ² /(m ³ /s)	≥80（D1）	≥95（D1）	≥110（D1）
		≥90（D2）	≥105（D2）	≥120（D2）
		≥100（D3）	≥115（D3）	≥130（D3）
出口烟尘浓度	mg/m ³	≤50 mg/m ³	≤30 mg/m ³	≤20 mg/m ³

注：D1、D2、D3为入口含尘浓度不大于30 g/m³时电除尘器对煤种的除尘难易性为较易、一般、较难（评价方法见表3）时的比集尘面积。当入口含尘浓度大于30/m³时，表中比集尘面积酌情增加5m²/(m³/s)~ 15m²/(m³/s)。

径流式WESP



国家能源集团
CHN ENERGY

柔性极板



导电玻璃钢



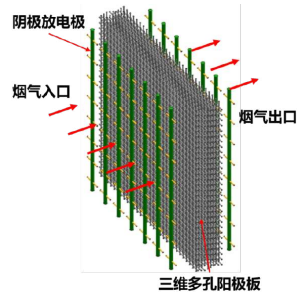
金属极板



金属管式



径流式



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

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。

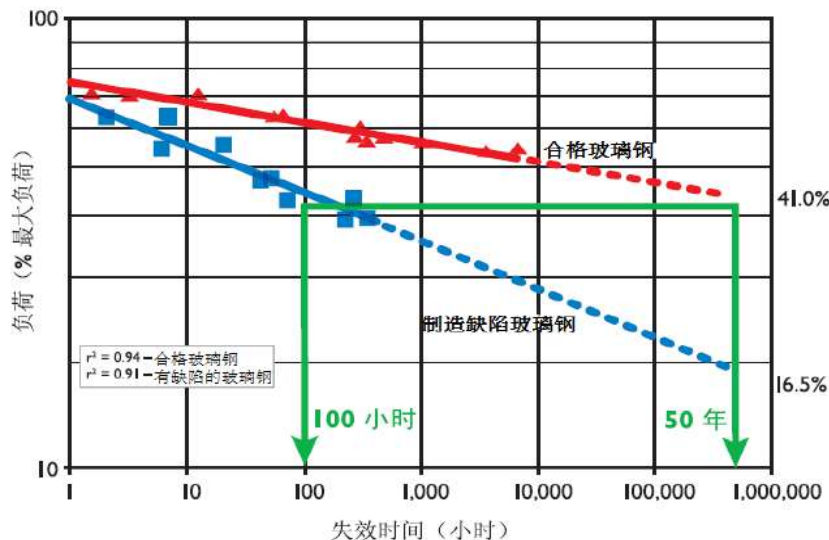
----着火



着火损失惨重！

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



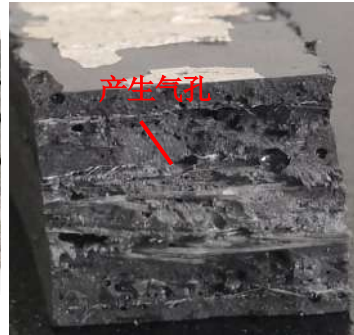
老化后颜色

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

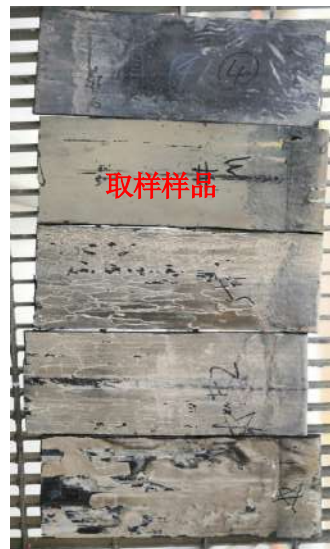
- (1) 在生产制造阶段进行严格检测从源头控制产品质量。
- (2) 对于服役期间的材料，进行检测与评估，掌握服役状态，消除安全隐患。



现场取样



修复



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



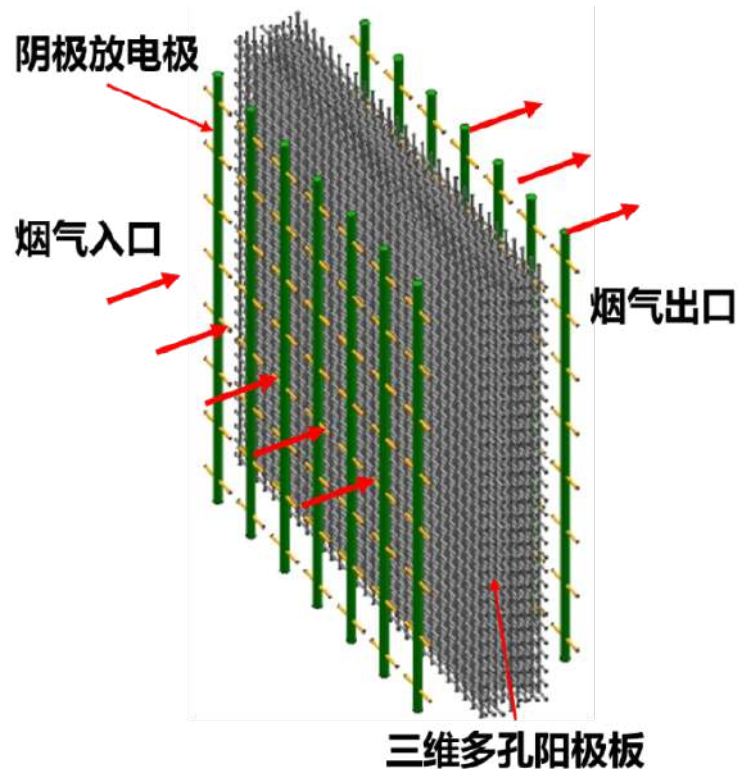
检测与评估实验室主任陆小成13505154504

导电玻璃钢湿电，尽快检测评估，必更时更换为金属

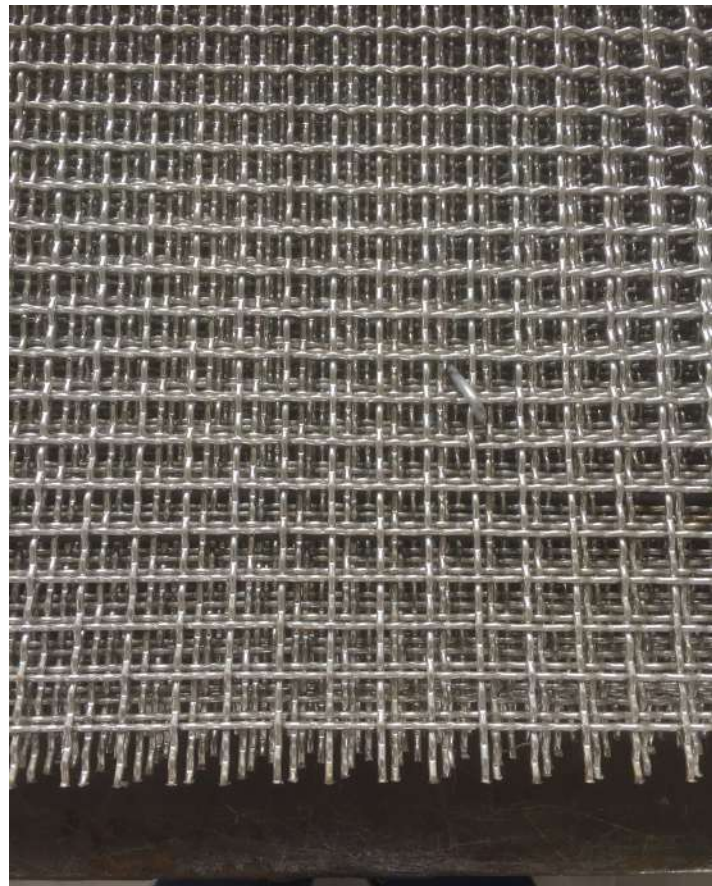
径流式WESP

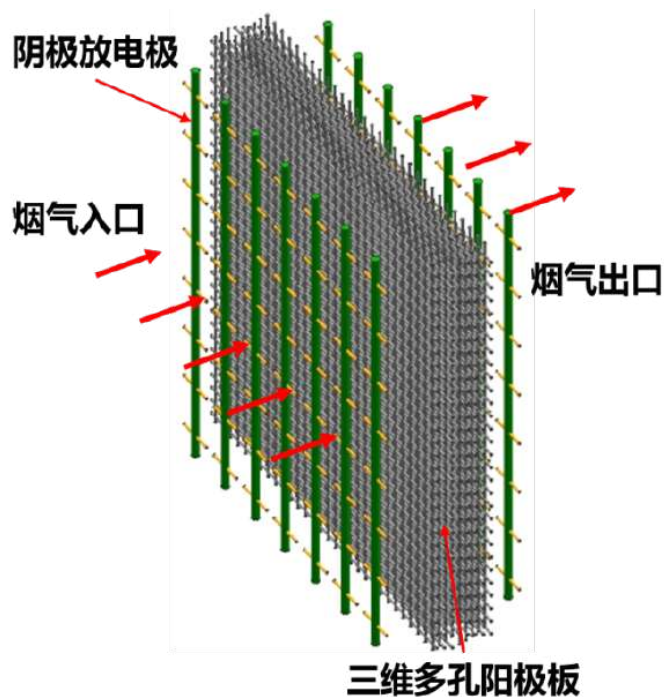


国家能源集团
CHN ENERGY



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

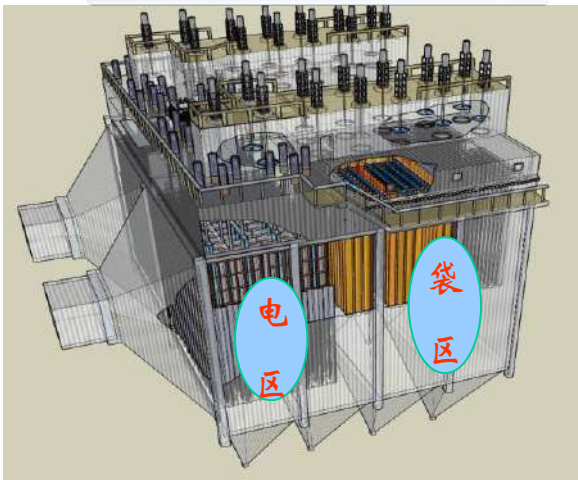
WESP的主要技术参数



国家能源集团
CHN ENERGY

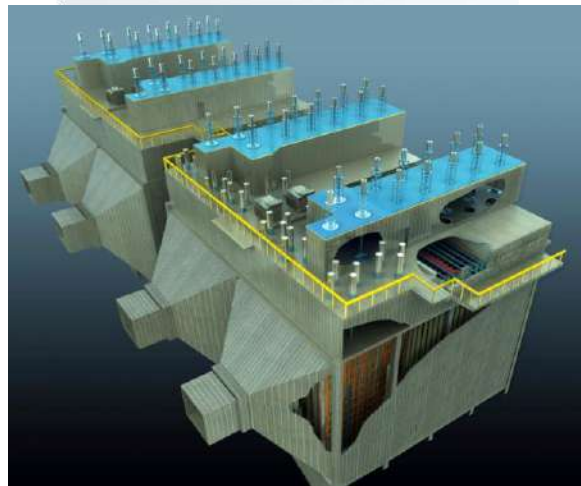
项目	单位	主要工艺参数及效果
入口烟气温度	°C	<60（饱和烟气）
比集尘面积	m ² /(m ³ /s)	7~20（板式）
		12~25（蜂窝式）
同极间距	mm	250~400
烟气流速	m/s	≤3.5（板式）
		≤3.0（蜂窝式）
气流分布均匀性相对均方根差	—	≤0.2
压力降	Pa	≤250（板式）
		≤300（蜂窝式）
出口颗粒物浓度	mg/m ³	≤10或≤5
除尘效率	%	70~90

常规电袋复合除尘器



- 排放浓度 $< 20 (30) \text{ mg/m}^3$
- 运行阻力 $< 1200 \text{ Pa}$
- 滤袋寿命 > 4 年

超净电袋复合除尘器



- 排放浓度 $< 10 (5) \text{ mg/m}^3$
- 运行阻力 $< 1100 \text{ Pa}$
- 滤袋寿命 > 5 年

超净电袋是长期、稳定实现 $< 10 (5) \text{ mg/m}^3$ 超低排放除尘技术之一



超净电袋复合除尘器



国家能源集团
CHN ENERGY

项目名称	机组 (MW)	除尘器出口烟尘浓度 (mg/Nm ³)		脱硫出口粉尘浓度 (mg/Nm ³)		投运时间
		设计	实测	设计	实测	
广东沙角C厂#2炉	660	≤10	3.77	≤10	2.66	2015. 2
中电投开封#1炉	600	≤10	6.3	≤5	1.2	2015. 11
中电投开封#2炉	600	≤10	6.8	≤5	1.3	2015. 7
陕西华电杨凌电厂#1	350	≤10	2.9	≤8	1.1	2015. 11
陕西华电杨凌电厂#2	350	≤10	3.2	≤8	1.4	2015. 12

超净电袋复合除尘器



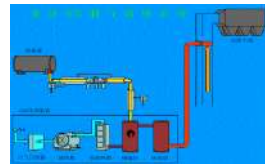
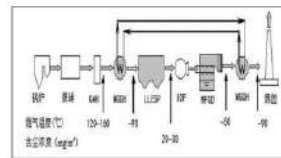
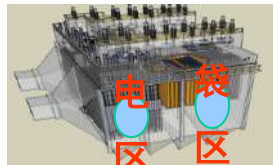
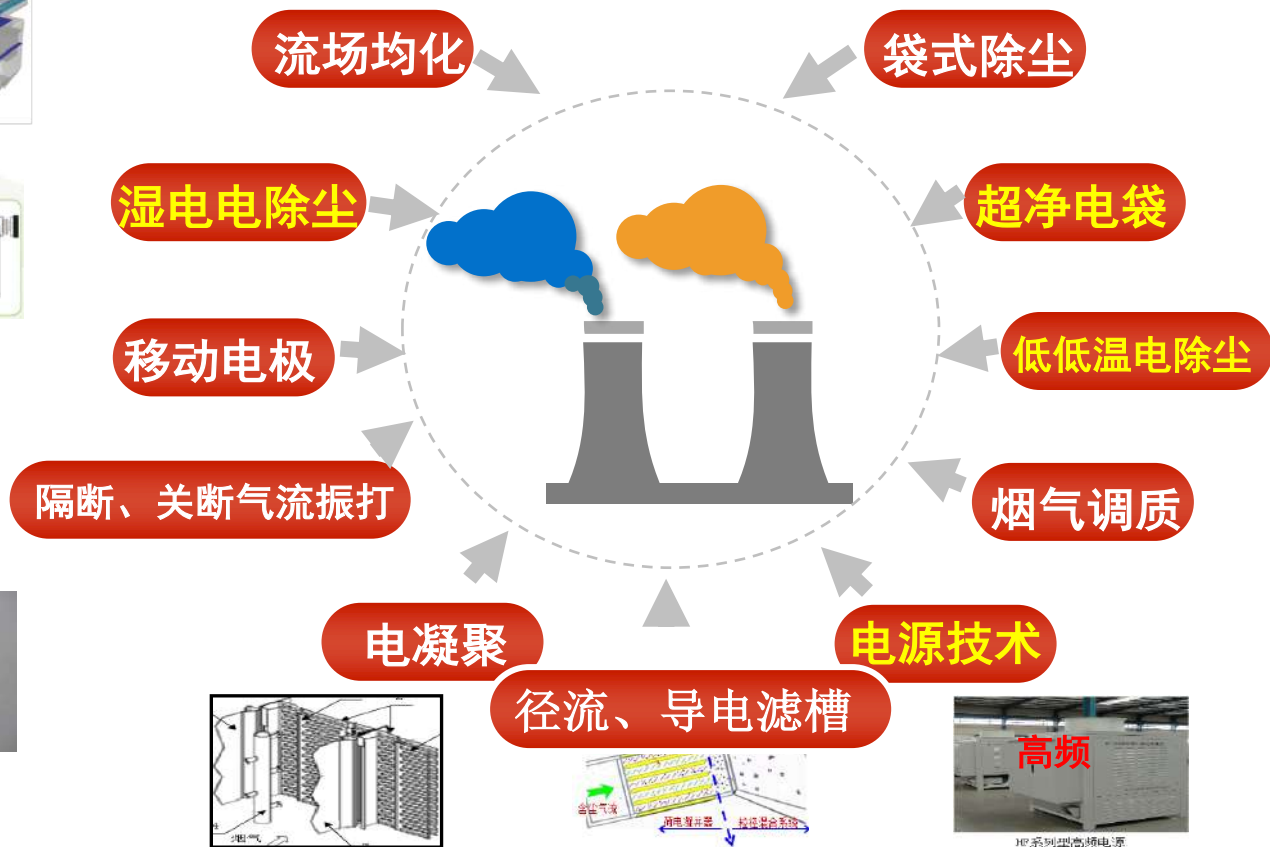
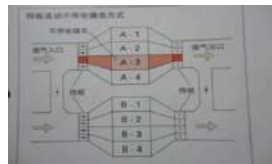
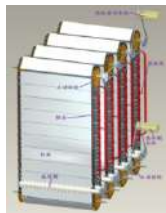
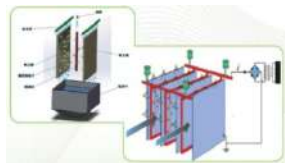
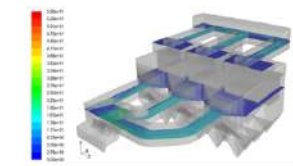
国家能源集团
CHN ENERGY

项目	单位	工艺参数与使用效果		
运行烟气温度	°C	≤250（含尘气体温度不超过滤料允许使用的温度）		
除尘设备漏风率	%	≤2		
气流分布均匀性相对均方根差	—	≤0.25		
电区比集尘面积	m ² /（m ³ /s）	≥20	≥25	≥30
过滤风速	m/min	≤1.2	≤1.0	≤0.95
除尘器的压力降	Pa	≤1200	≤1100	≤1100
滤袋整体使用寿命	年	≥4	≥5	≥5
滤料型式		不低于 JB/T 11829的要求	不低于 DL/T 1493的要求	不低于 DL/T 1493的要求
流量分布均匀性		宜符合 JB/T 11829的要求	宜符合 DL/T 1493的要求	宜符合 DL/T 1493的要求
除尘器出口烟尘浓度	mg/m ³	≤20	≤10	≤5
注：处理干法或半干法脱硫后的高粉尘浓度烟气时，电区的比集尘面积宜不小于40 m ² /（m ³ •s ⁻¹ ），滤袋区的过滤速度宜不大于0.9 m/min。				

烟尘除尘技术现状



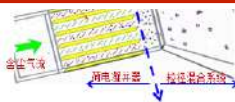
国家能源集团
CHN ENERGY



脉冲电源



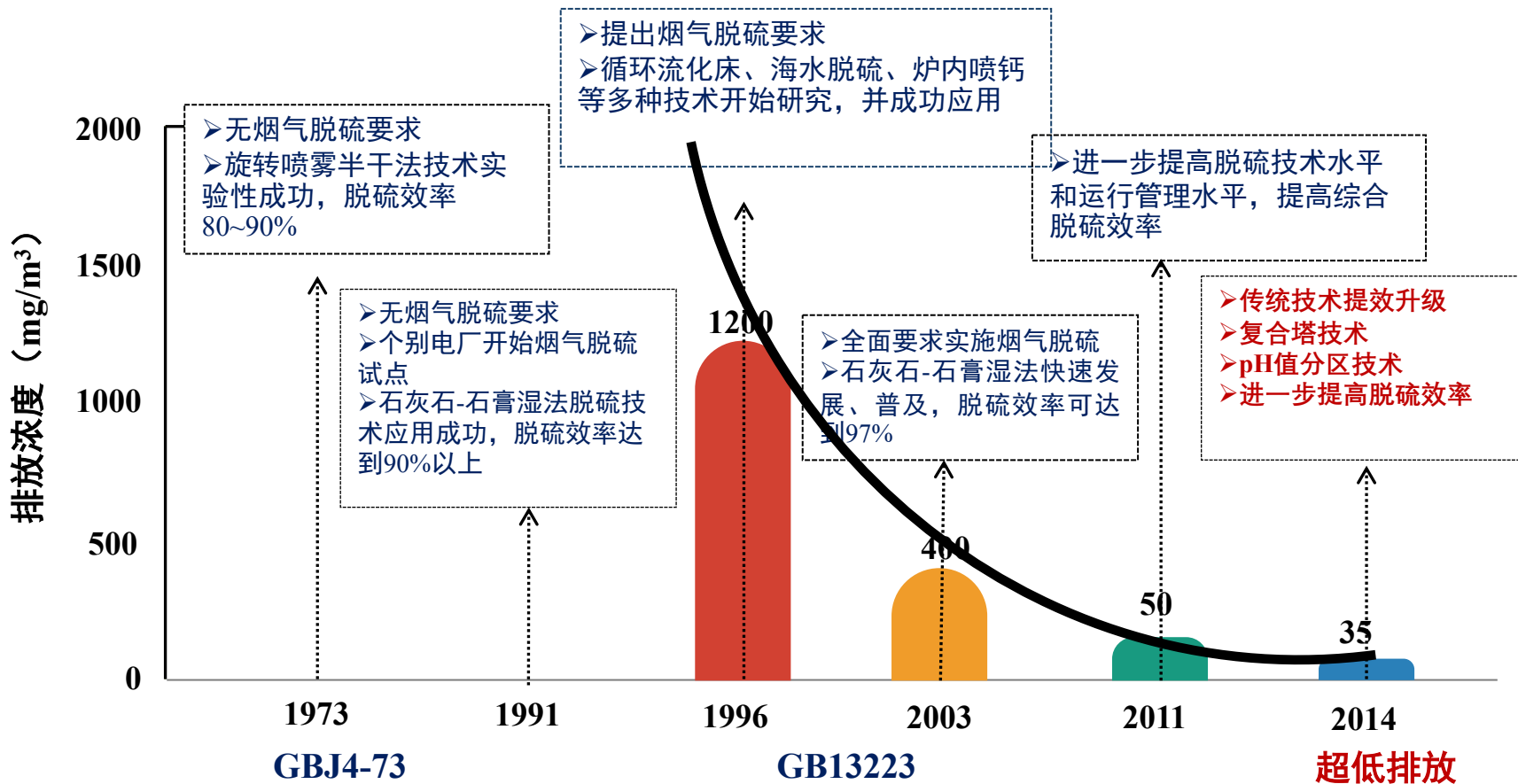
高频



SO₂治理技术发展



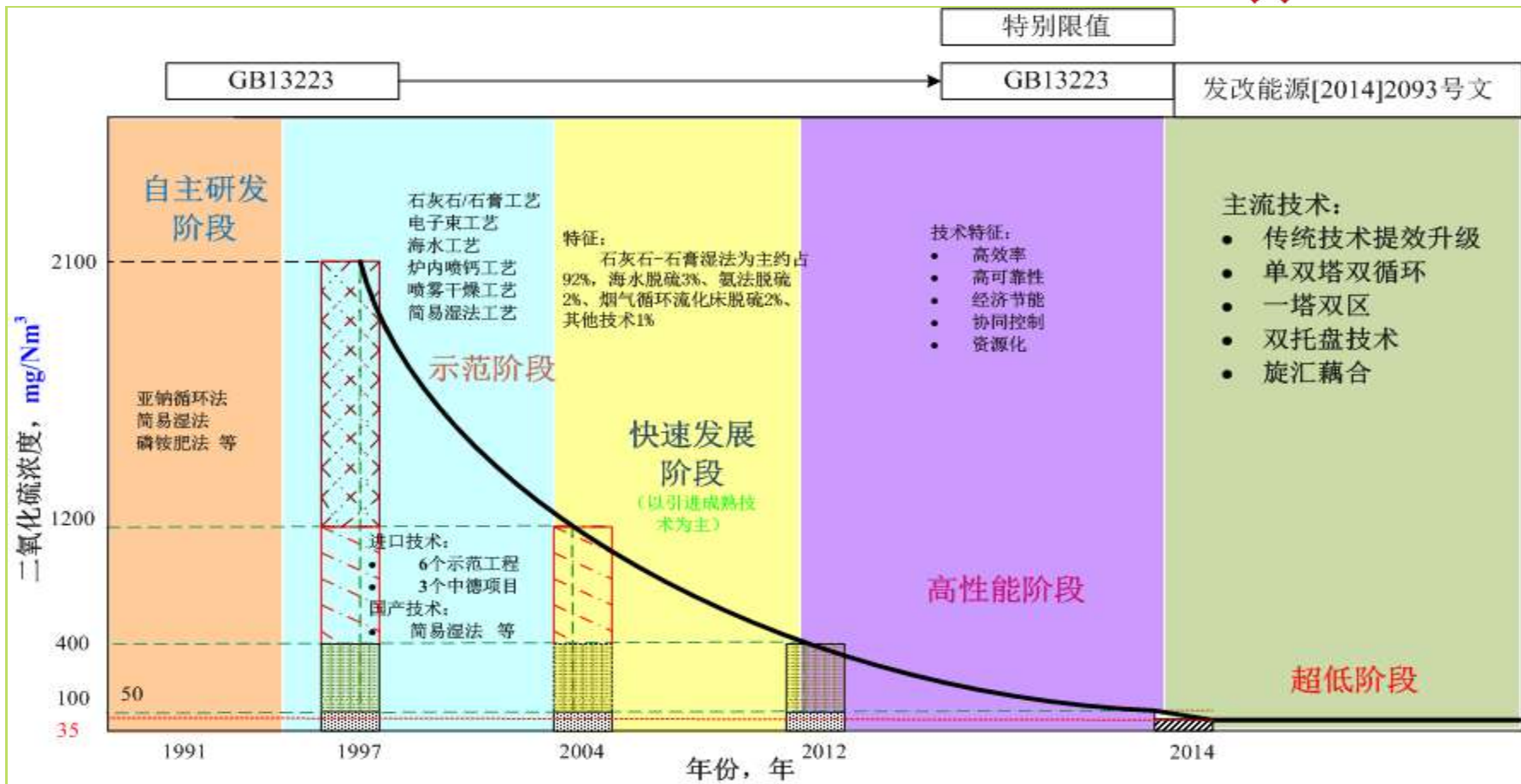
国家能源集团
CHN ENERGY



烟气脱硫技术现状



国家能源集团
CHN ENERGY



石灰石-石膏FGD

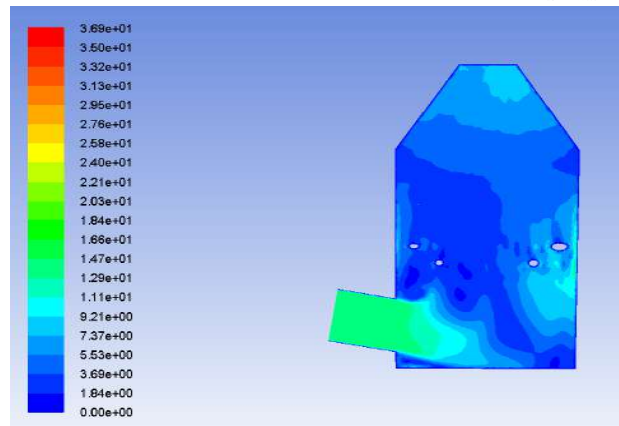


国家能源集团
CHN ENERGY



高pH值

低pH值



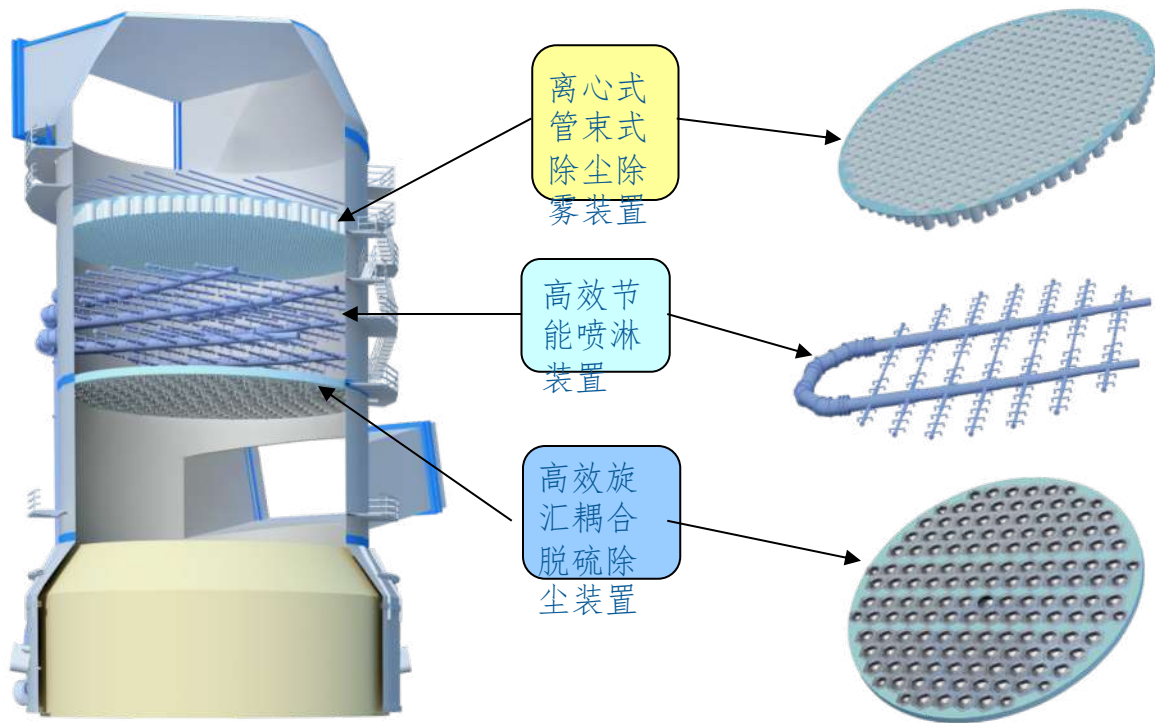


- 改变流场（整流；湍流；整流+湍流）
- 改变化学场（pH分区）
- 改变温度场（影响不明显）

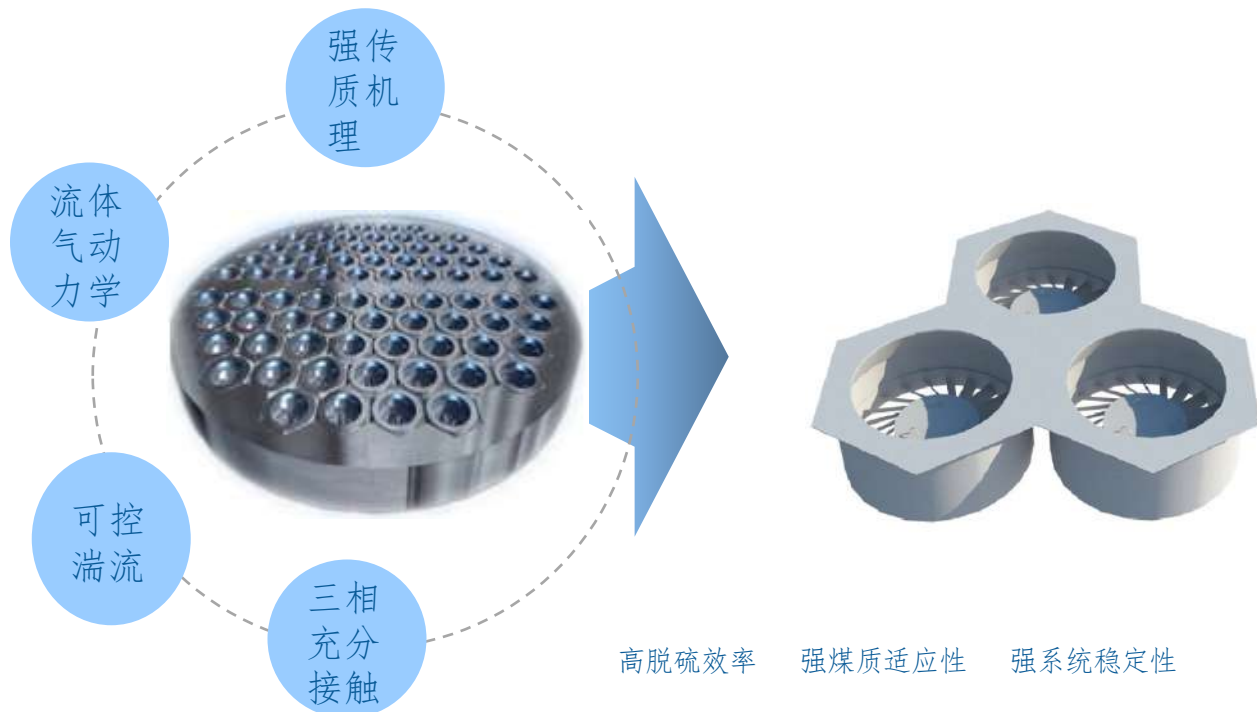
石灰石-石膏FGD



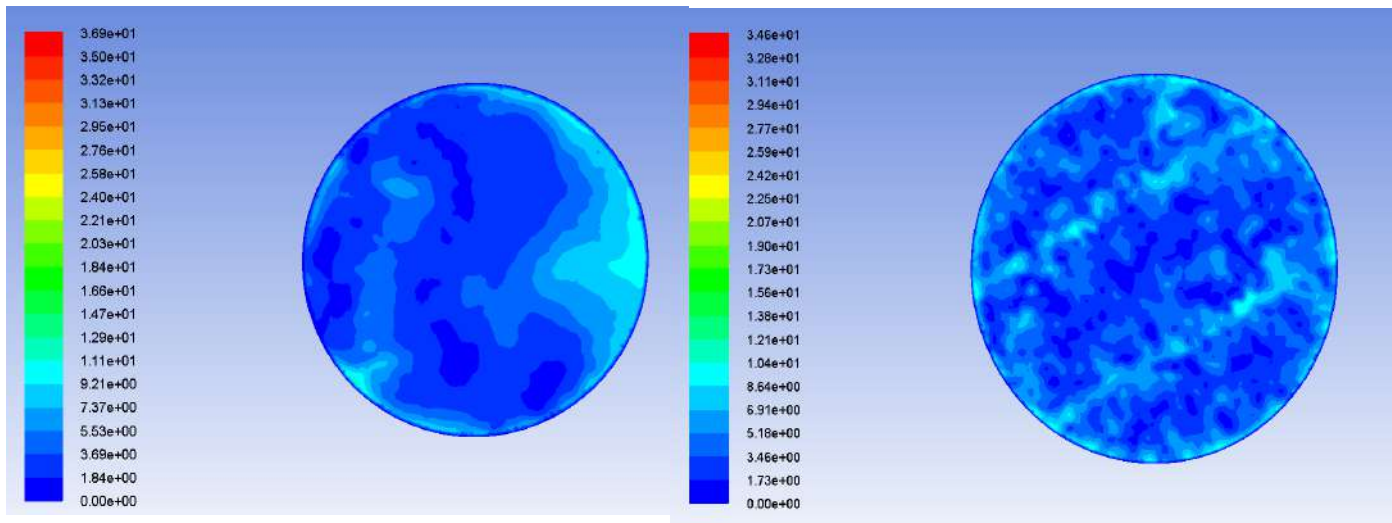
国家能源集团
CHN ENERGY



旋汇耦合高效脱硫技术



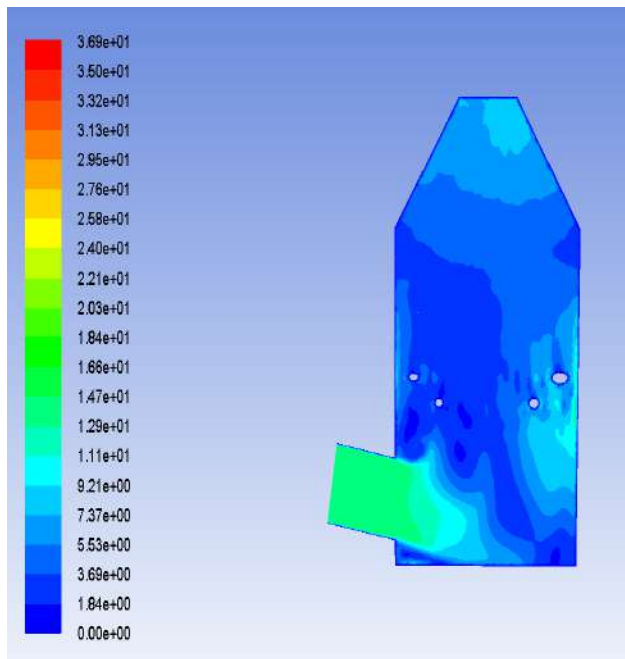
一二喷淋层中间截面上的速度分布



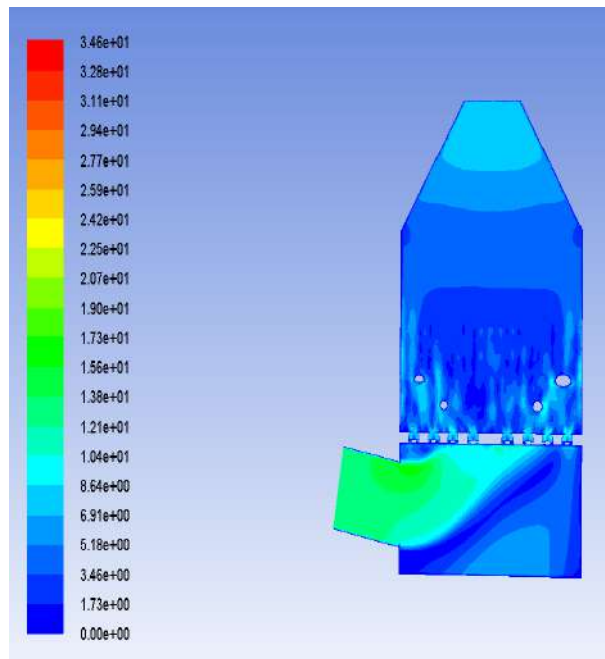
无湍流器

有湍流器

湍流形成0.5-1米的持液层，延长了气、液接触时间

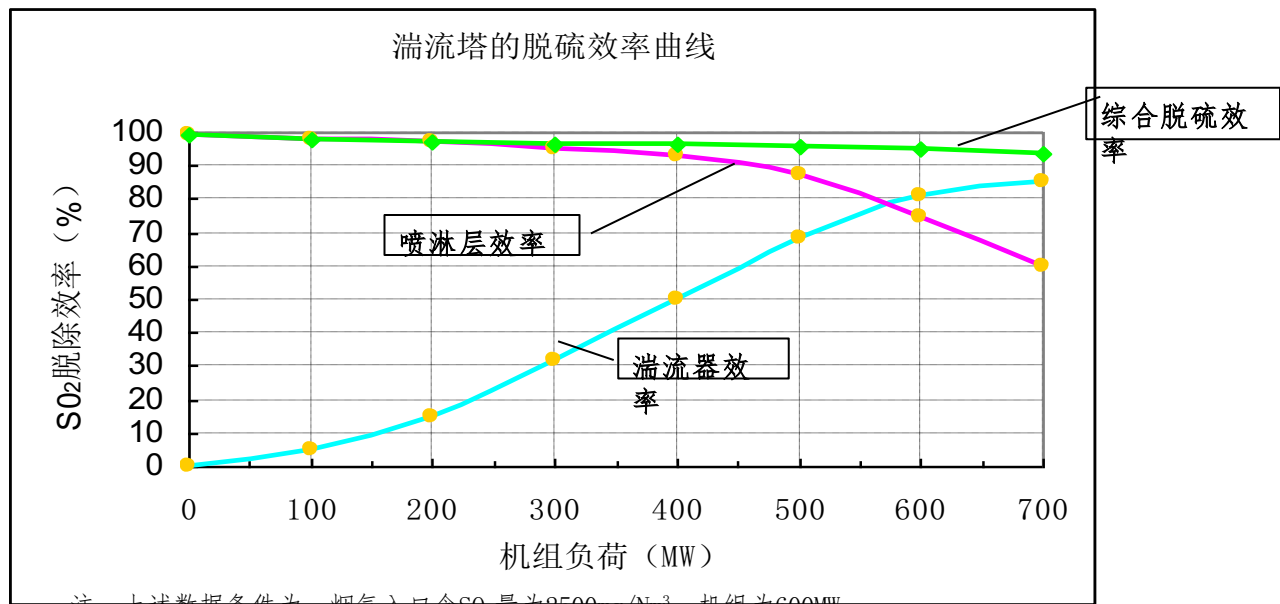


无湍流器



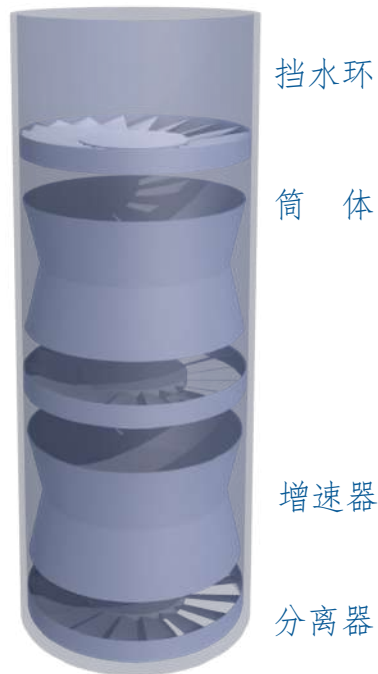
有湍流器

湍流塔是通过湍流器和喷淋层共同实现高效脱硫的目的，综合脱硫效率是由湍流器脱硫效率和喷淋层脱硫效率叠加而成。随着烟气量的增加，喷淋层的脱硫效率逐渐降低，湍流器的脱硫效率逐渐提高。所以烟气量和烟气温度波动时，系统综合脱硫效率较为稳定。

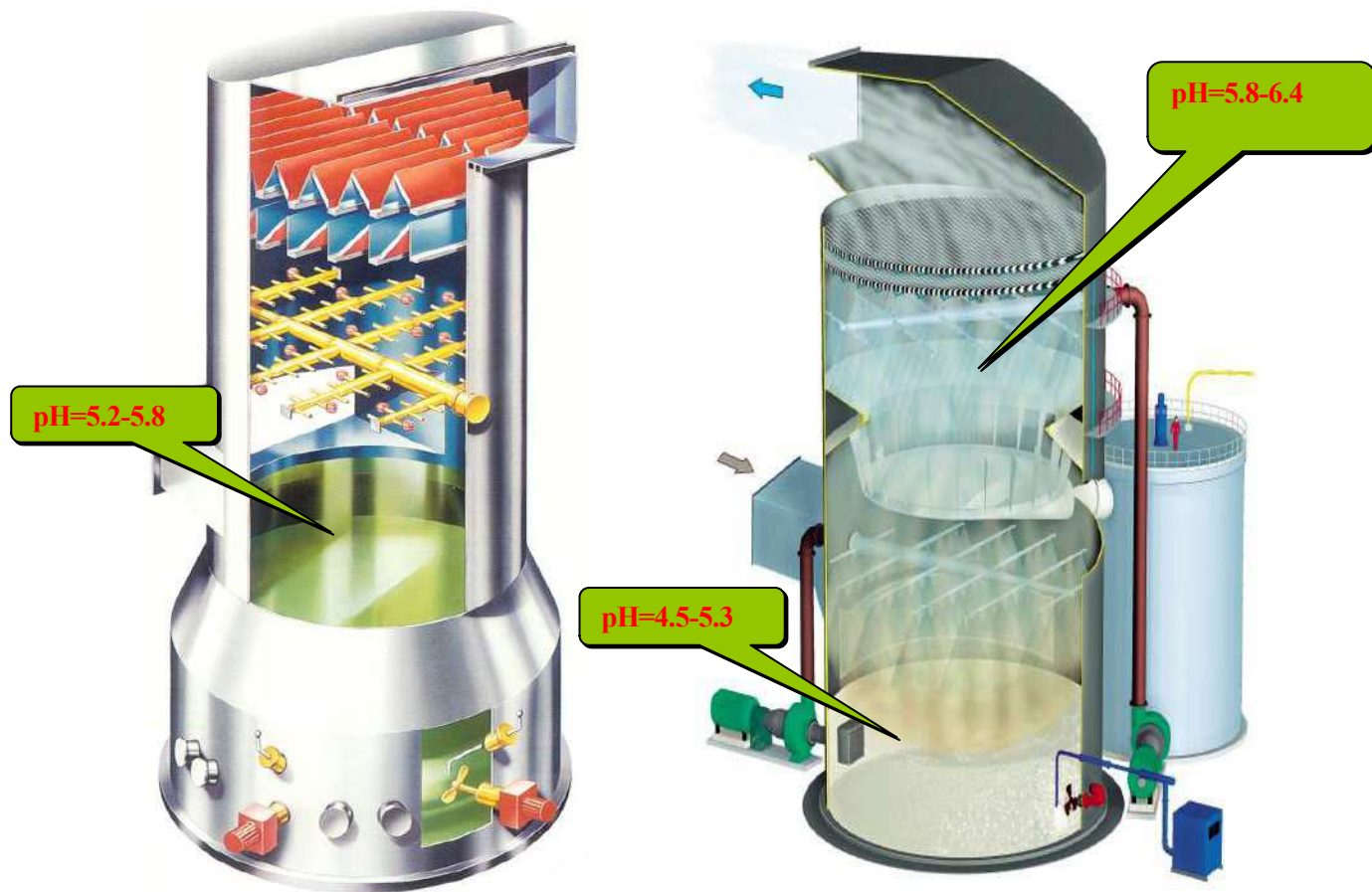


注：上述数据条件为：烟气入口含SO₂量为2500mg/Nm³，机组为600MW。

- ◆ 烟气通过旋流子分离器，产生高速离心运动，在离心力的作用下，雾滴与尘向筒体壁面运动，在运动过程中相互碰撞、凝聚成较大的液滴，液滴被抛向筒体内壁表面，与壁面附着的液膜层接触后湮灭，实现雾滴与尘的脱除。
- ◆ 在分离器之间设置导流环，提升气流的离心运动速度，并维持合适的气流分布状态，以控制液膜厚度，控制气流的出口状态，防止液滴的二次夹带。



石灰石-石膏FGD



石灰石-石膏FGD

国电永福电厂300MW双塔双循环



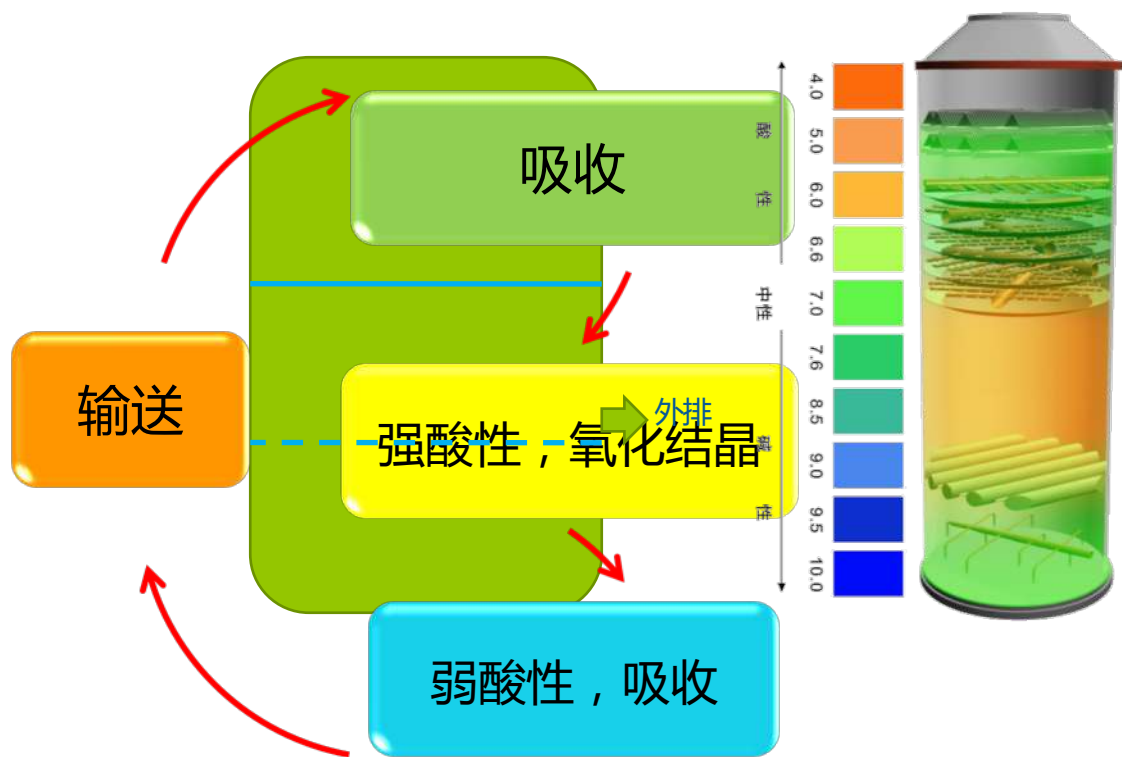
2011年11月19日

脱硫效率99%

石灰石-石膏FGD



国家能源集团
CHN ENERGY



石灰石-石膏FGD



国家能源集团
CHN ENERGY

项目	单位	工艺参数及效果		
吸收塔运行温度	°C	50~60		
空塔烟气流速	m/s	3~3.8		
喷淋层数	-	3~6		
钙硫摩尔比	-	<1.05		
液气比*	L/m ³	12~25（空塔技术） 6~18（pH值分区技术） 10~25（复合塔技术）		
浆液pH值	-	4.5~6.5		
石灰石细度	目	250~325		
石灰石纯度	%	>90		
系统阻力损失	Pa	<2500		
脱硫石膏纯度	%	>90		
脱硫效率	%	95.0~99.7		
入口烟气SO ₂ 浓度	mg/m ³	≤12000		
出口烟气SO ₂ 浓度	mg/m ³	达标排放或超低排放		
入口烟气粉尘浓度	mg/m ³	30~50	20~30	<20
出口颗粒物浓度	-	达标排放； 可采用湿电，实现颗粒物超低排放	可采用复合塔脱硫技术协同除尘或采用湿电，实现颗粒物超低排放	可采用复合塔脱硫技术协同除尘，实现颗粒物超低排放
注：*液气比具体数值与燃煤含硫量有关				



建成了世界最大的复合塔脱硫工程
华能玉环电厂一期2×1000MW机组

- 1) 脱硫效率为99.63%;
- 2) 净烟气SO₂浓度为5.7mg/m³
- 3) 脱硫出口雾滴浓度为19.1mg/m³



建成了最大的双pH值脱硫工程
江苏泰州电厂二期工程

- 1) 脱硫效率为99.6%
- 2) 净烟气SO₂浓度为15mg/m³

排放浓度 (mg/m³)

1500
1200
900
600
300
0

1973 **1991** **1996** **2003** **2011** **2014**

GBJ4-73 **GB13223** **超低排放**

650
450
100
50

燃烧器控制NO_x排放

浓度限值更加科学合理
低氮燃烧器普及（25%~40%）
SNCR、SCR烟气脱硝技术快速发展（60%~80%）

进一步提高脱硝技术水平 and 运行管理水平，采用多种技术的组合，提高综合脱硝效率

通过增加催化剂、研发新型催化剂、全负荷脱硝技术等，进一步提高脱硝效率

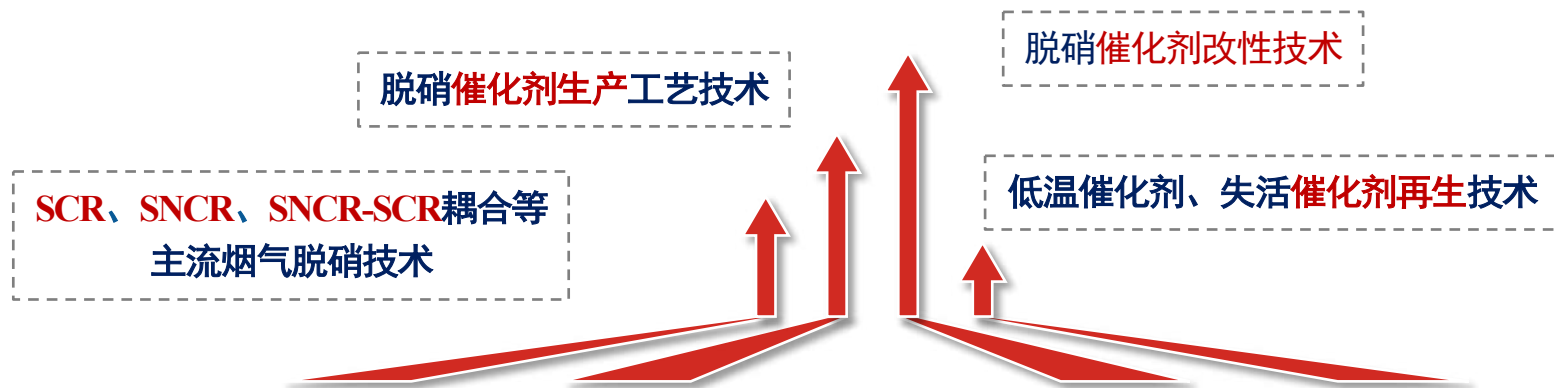
无排放浓度限值，无脱硝要求
1980年代起开始研究低氮燃烧技术并逐渐得到应用

生成源控制，即低氮燃烧技术

包括低氮燃烧器技术、空气分级燃烧技术、燃料再燃技术等；

烟气脱硝技术

选择性催化还原法（SCR）、选择性非催化还原法（SNCR）、SNCR/SCR联合技术等



截至2016年底，全国已投运火电厂烟气脱硝机组容量约9.1亿千瓦，占全国煤电机组容量的96.2%，其中采用SCR脱硝技术的机组占比约95%以上。



建成世界单机容量最大的1000MW级全负荷脱硝工程
国电江苏谏壁发电有限公司



国电环保院

国内首台空预器堵塞治理工程
国电驻马店热电有限公司
(2014年10月, 330MW)

火电厂污染防治可行技术指南

(HJ-2301-2017)



国家能源集团
CHN ENERGY

■项目承担单位共9家

烟气除尘

龙净环保
菲达环保

低氮燃烧与烟气脱硝

浙江大学

烟气脱硫

国电龙源
清新环境
顾问集团
龙净环保

噪声处理

北京市劳保所

固体废物

环保部评估中心

同时负责：工艺过程污染控制技术、
超低排放技术路线、
汞污染防治、
水污染防治等内容编制

国电环境保护研究院有限公司 牵头组织、协调

火电厂污染防治 技术手册

朱法华 等 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

荣誉证书

朱法华同志：

您著的《火电厂污染防治技术手册》
(ISBN 978-7-5198-0755-9) 入选第二批全国
环境保护优秀培训教材。

特发此证，以资鼓励。

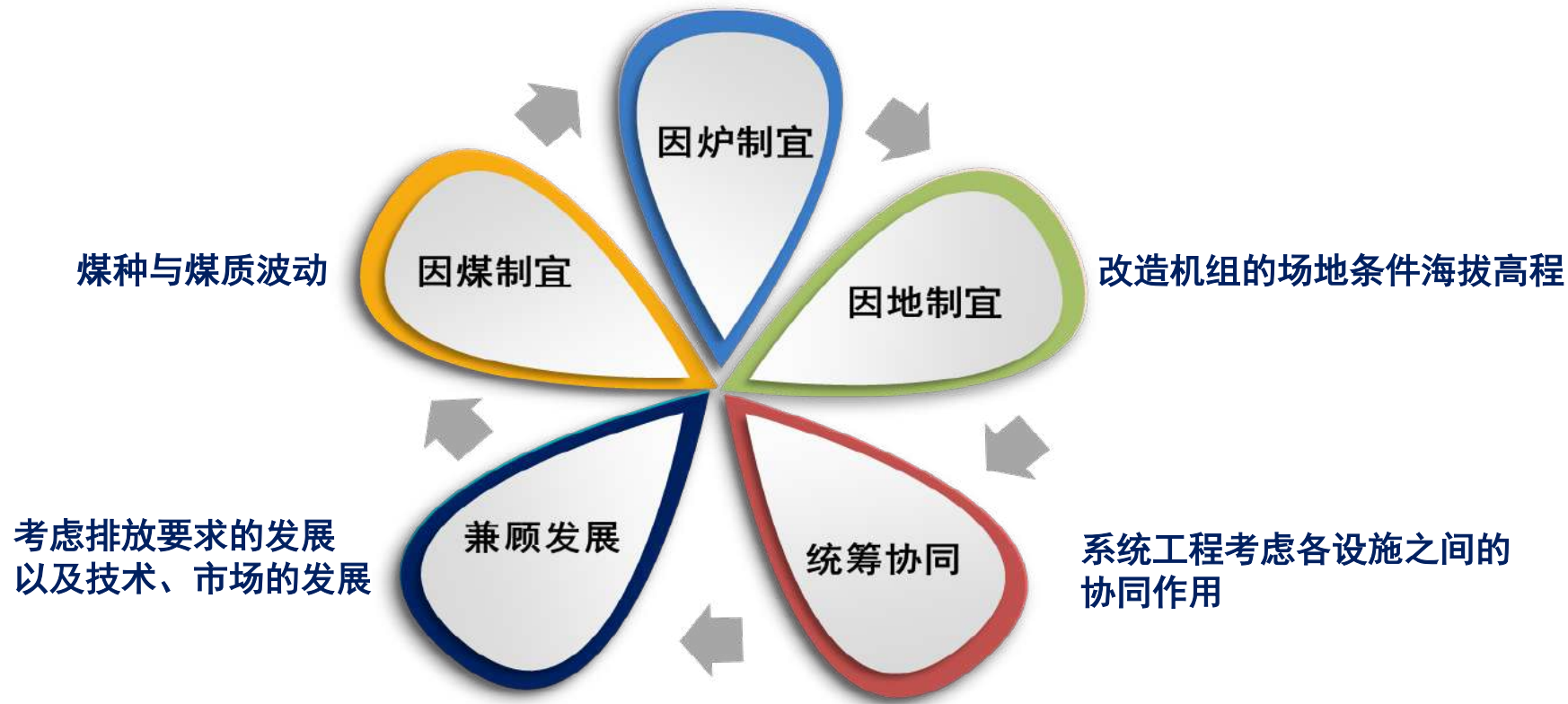


中华人民共和国环境保护部

2018年2月1日

超低排放技术路线的基本原则

不同炉型对飞灰成份与性质的影响



颗粒物超低排放技术路线



国家能源集团
CHN ENERGY

锅炉类型	机组规模 (万kW)	入口烟气含尘 浓度（g/m ³ ）	一次除尘			二次除尘	
			电除尘 （效率≥99.85%）	电袋复合除尘 （效率≥99.9%）	袋式除尘 （效率≥99.9%）	WESP （效率≥70%）	WFGD协同 （效率≥70%）
煤粉炉	≤20	≥30	★	★★★	★★★	★★★	★
		20～30	★★	★★	★★	★★	★★
		≤20	★★★★	★	★	★	★★★★
	30	≥30	★	★★★	★★	★★★★	★
		20～30	★★	★★	★	★★	★★
		≤20	★★★★	★	★	★	★★★★
	≥60	≥30	★	★★★	★	★★★★	★
		20～30	★★	★★	★	★★	★★
		≤20	★★★★	★	★	★	★★★★
W火焰炉		≥30	★	★★★★	★★	★★★★	★
		20～30	★★	★★★★	★	★★	★★
		≤20	★★★★	★★	★	★	★★★★
CFB锅炉		★	★★★	★★	★★★★	★	

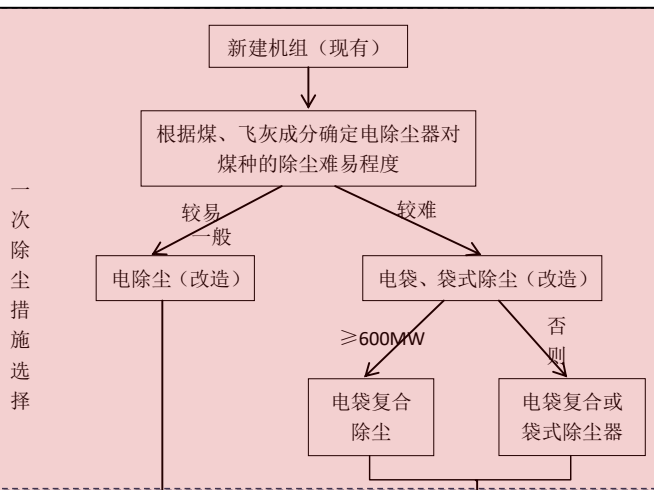
表中★表征技术推荐程度，★越多综合效果越好，优先推荐。

颗粒物超低排放技术路线

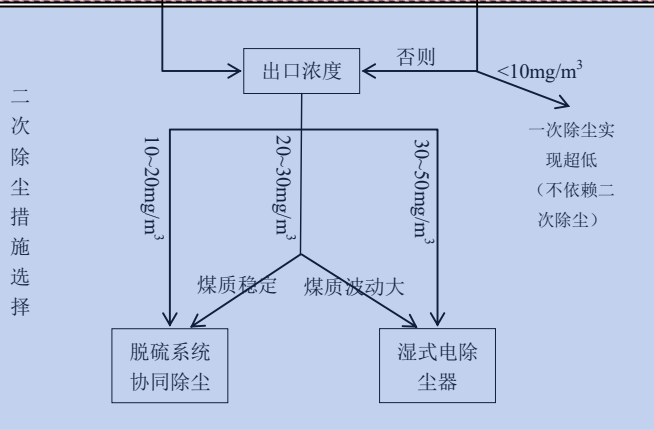


国家能源集团
CHN ENERGY

一次除尘措施选择

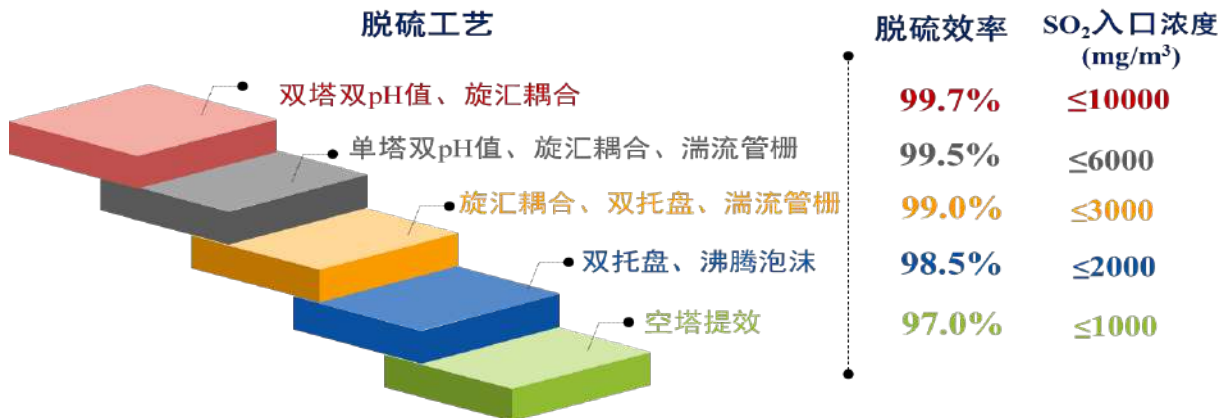


二次除尘措施选择



● SO₂超低排放技术路线

■ 石灰石-石膏湿法脱硫



■ 其他脱硫

SO ₂ 入口浓度 (mg/m ³)	地域	单机容量 (MW)	超低排放技术
≤1500	尤其适合缺水地区	≤300	烟气循环流化床脱硫
≤2000	沿海地区	300~1000	海水脱硫
≤10000	电厂周围200km内有稳定氨源	≤300	氨法脱硫

● NO_x超低排放技术路线

炉型	入口浓度 (mg/m ³)	脱硝效率 (%)	SCR 催化剂层数
煤粉炉 (切向、墙式燃烧)	<200	80	2+1
	200~350	80~86	3+1
	350~550	86~91	
循环流化床锅炉		60~80	SNCR (+SCR)

W火焰燃烧方式煤粉锅炉的超低排放工艺流程应根据技术发展水平、工程实际情况综合确定。

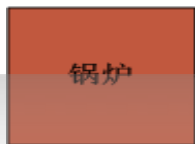
超低排放的技术发展与组合



国家能源集团
CHN ENERGY

第三代低氮燃烧技术（双尺度低氮燃烧等）、等离子点火技术

- 电除尘：电源新技术（高频、高频脉冲、三相）、低低温、清灰新技术等
- 电袋复合除尘：均流场、高精滤料
- 袋式除尘：均流场、高精滤料



1. 催化剂改良
2. 增加催化
3. 均流场
4. 精准喷氨



- ✓双pH值循环
- ✓复合塔



- ✓玻璃钢极板
- ✓金属极板
- ✓柔性电极
- ✓凝变技术



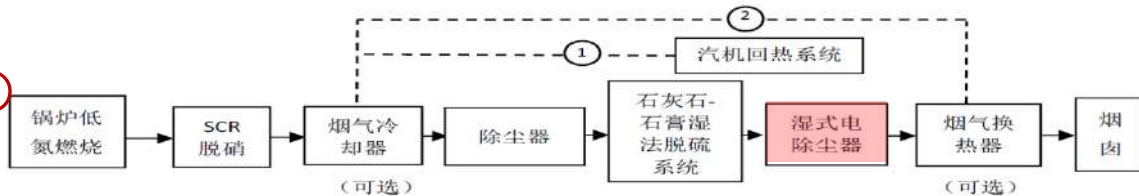
系统工程，整体优化——技术与人才上的双重突破

超低排放典型技术路线



国家能源集团
CHN ENERGY

■ 典型技术路线①



污染物	低氮燃烧	SCR脱硝系统	除尘器	石灰石-石膏湿法脱硫系统	湿式电除尘器
颗粒物	○	○	√	●	√
SO ₂	○	○	○	√	○
NO _x	√	√	○	○	○
SO ₃	○	—	● (电袋或袋式除尘器, 低低温电除尘) ○ (其他干式电除尘器)	●	●
Hg	○	▲	●	●	●

✓ 直接作用

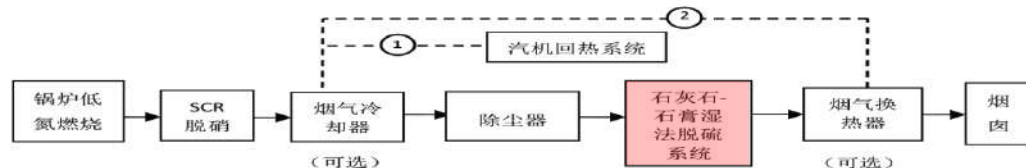
● 直接协同作用

▲ 间接协同作用

○ 无作用

■ 负作用

■ 典型技术路线②



污染物	低氮燃烧	SCR脱硝系统	除尘器	石灰石-石膏湿法脱硫系统
颗粒物	○	○	√	●
SO ₂	○	○	○	√
NO _x	√	√	○	○
SO ₃	○	—	● (电袋或袋式除尘器, 低低温电除尘) ○ (其他干式电除尘器)	●
Hg	○	▲	●	●

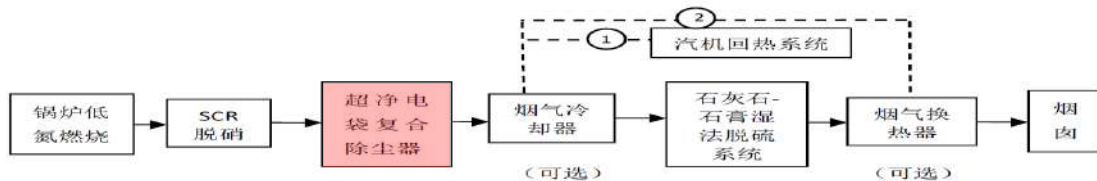
超低排放典型技术路线



国家能源集团
CHN ENERGY

■ 典型技术路线

③



污染物	低氮燃烧	SCR脱硝系统	超净电袋复合除尘器	石灰石-石膏湿法脱硫系统
颗粒物	○	○	√	●
SO ₂	○	○	○	√
NO _x	√	√	○	○
SO ₃	○	■	●	●
Hg	○	▲	●	●

✓ 直接作用

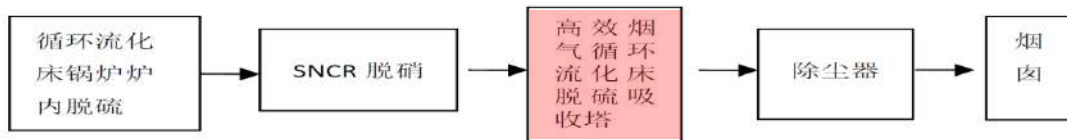
● 直接协同作用

▲ 间接协同作用

○ 无作用

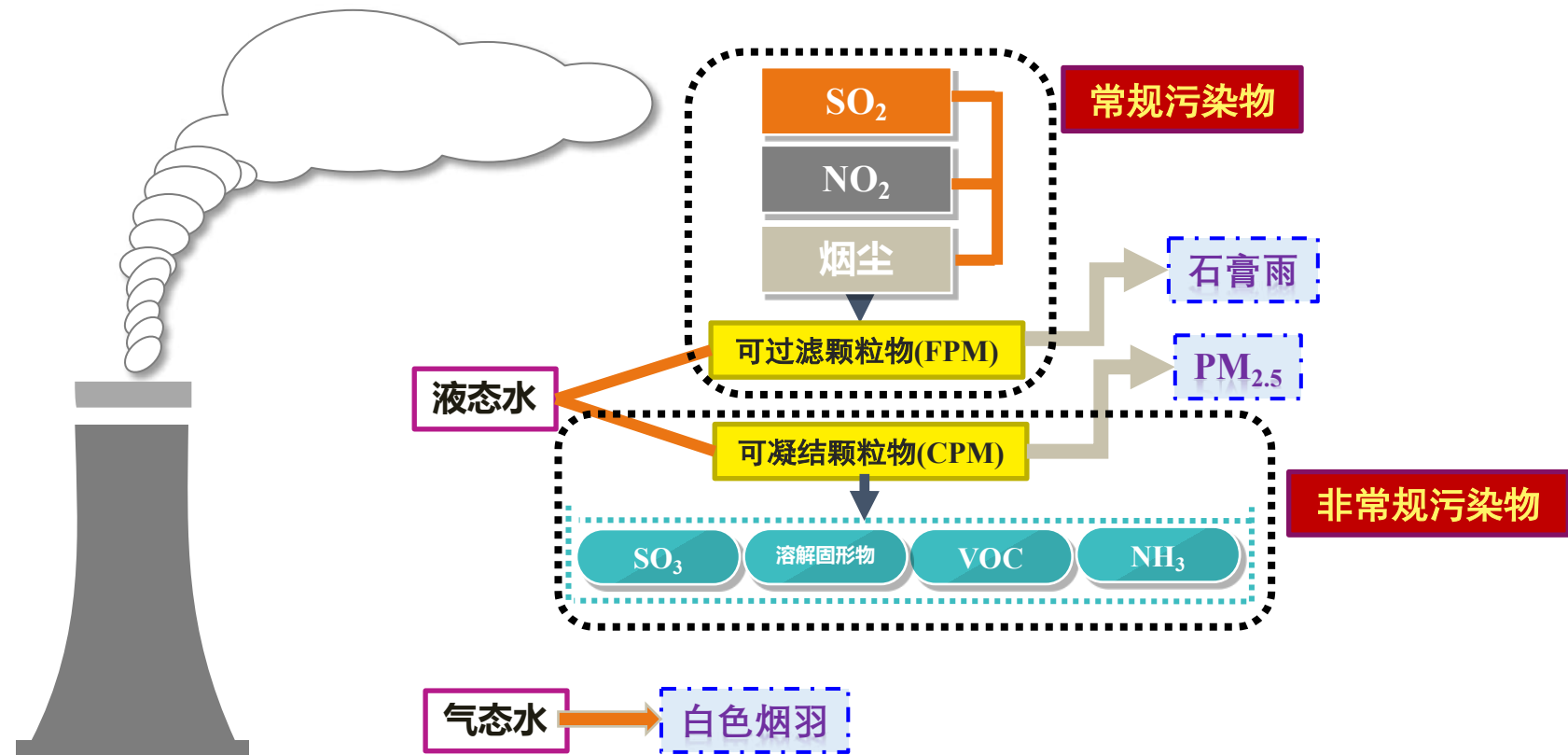
■ 负作用

■ 典型技术路线④



污染物	低氮燃烧	炉内脱硫	SNCR脱硝系统或 SNCR/SCR联合脱硝	高效烟气循环流化床脱硫吸收塔	袋式除尘器
颗粒物	○	■	○	■	√
SO ₂	○	√	○	√	○
NO _x	√	○	√	○	○
SO ₃	○	●	○ (SNCR) ■ (SNCR/SCR)	●	●
Hg	○	●	○ (SNCR) ▲ (SNCR/SCR)	●	●

超低排放后湿烟气成分



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

- **燃煤电厂超低排放改造对三氧化硫等协同控制效果明显。**
 - 湿式电除尘器对三氧化硫的平均去除效率70%。湿法脱硫技术对三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”三氧化硫浓度较高，主要原因是脱硫、除尘等设施配置和工程质量不高，对三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”。

关于印发《京津冀及周边地区2019-2020年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》的通知

所属地区 全国

法规性质 政策法规

发布机构 生态环境部

法规标号 环大气〔2019〕88号

发布时间 2019-09-25

生态环境部
国家发展和改革委员会
工业和信息化部
公安部
财政部
住房和城乡建设部
交通运输部
商务部
国家市场监督管理总局
国家能源局
北京市人民政府
天津市人民政府
河北省人民政府
山西省人民政府
山东省人民政府
河南省人民政府

文件

截图(Alt + A)

环大气〔2019〕88号

关于印发《京津冀及周边地区2019-2020年秋冬季大气污染综合治理攻坚行动方案》的通知

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”



煤种	分类		污染物		新建、扩建	
					美国标准值 (1b/MWh)	折算浓度 (mg/m ³)
所有煤种	3选1	a-1	PM	颗粒物	9.00E-02	12.3
		a-2	Total non-Hg HAP metals	非汞金属	美国标准值 (1b/GWh)	折算浓度 (μg/m ³)
					6.00E-02	8.19
		a-3	Sb	锑	8.00E-03	1.09
			As	砷	3.00E-03	0.41
			Be	铍	6.00E-04	0.08
			Cd	镉	4.00E-04	0.05
			Cr	铬	7.00E-03	0.96
			Co	钴	2.00E-03	0.27
			Pb	铅	2.00E-02	2.73
			Mn	锰	4.00E-03	0.55
			Ni	镍	4.00E-02	5.46
			Se	硒	5.00E-02	6.83
优质煤	1选1	c	Hg	汞	3.00E-03	0.41
劣质煤	1选1	c	Hg	汞	4.00E-02	5.50

准 美国
燃 美国
煤 燃煤
和 和
燃 燃油
油 电厂
电 重
厂 金
重 属
金 标
属 准

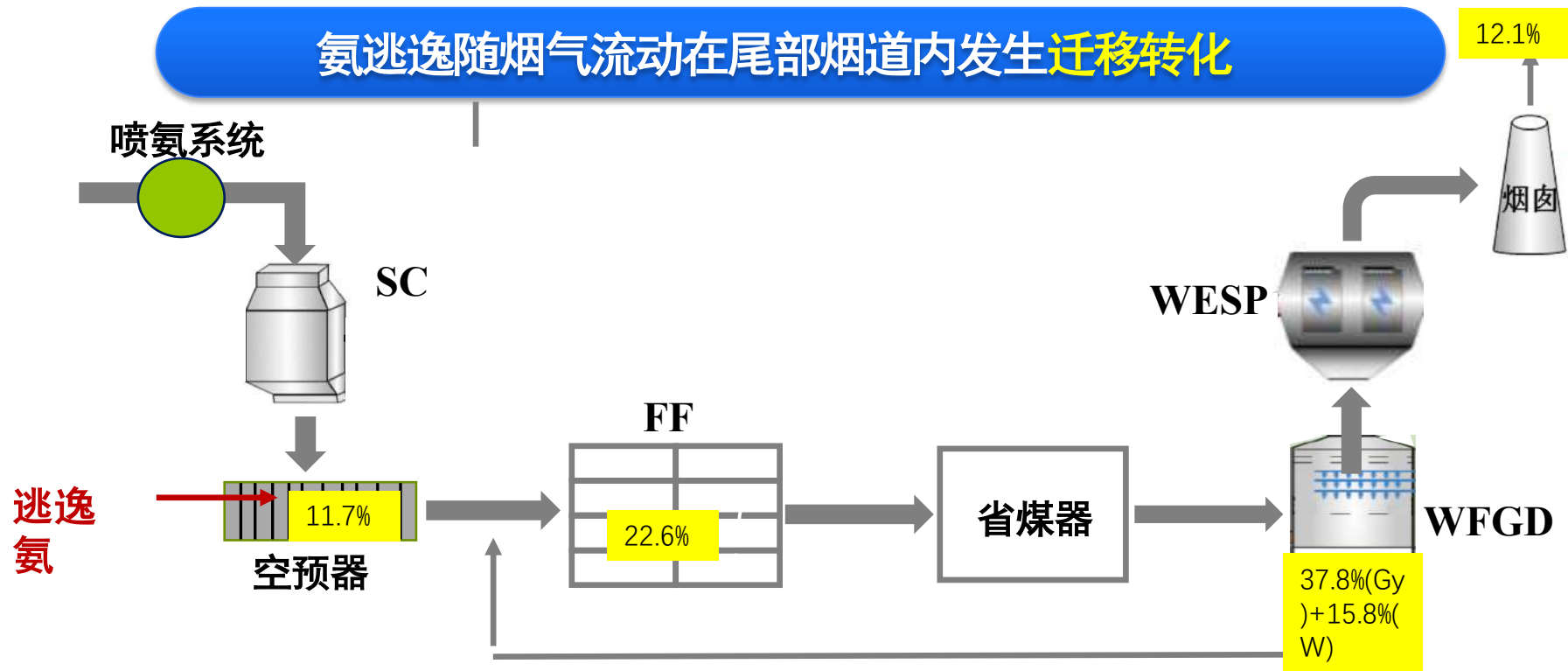
数据来源：美国CFR40-Part 63-Subpart UUUUU 《燃煤和燃油发电厂大气有害污染物国家排放标准》

氨逃逸靠脱硝系统优化

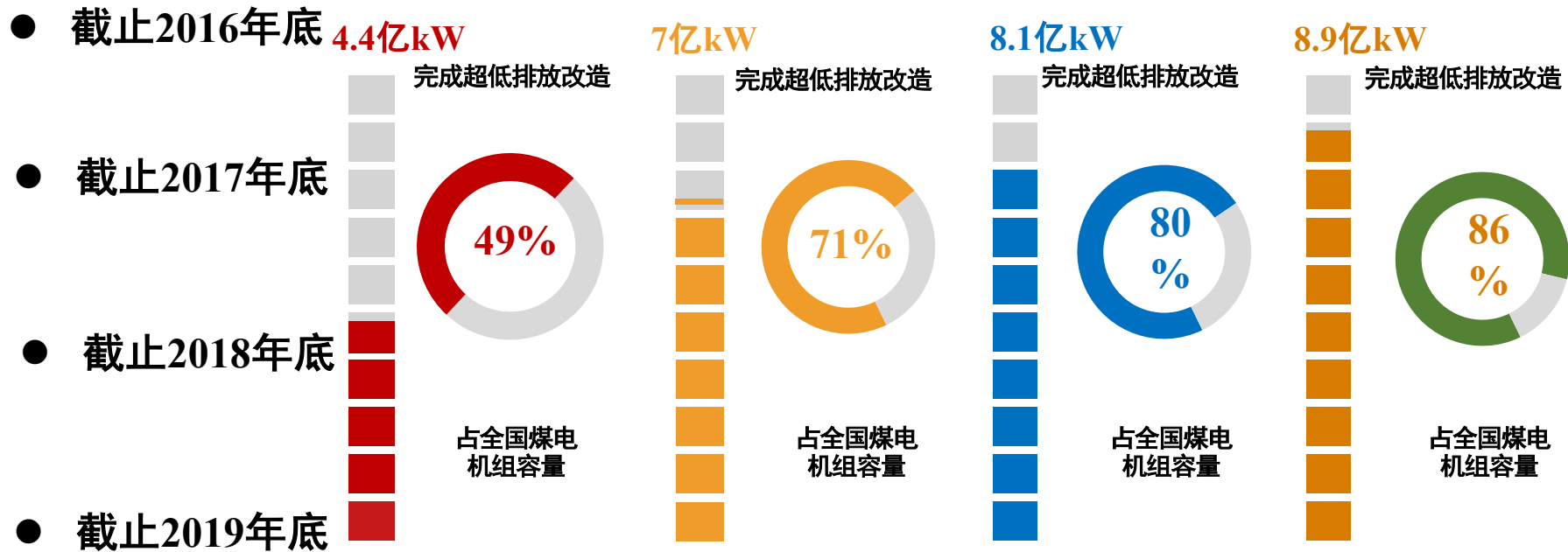


国家能源集团
CHN ENERGY

氨逃逸随烟气流动在尾部烟道内发生迁移转化



超低排放技术应用现状(Effect)



火电行业大气污染减排



国家能源集团
CHN ENERGY

单位：万吨

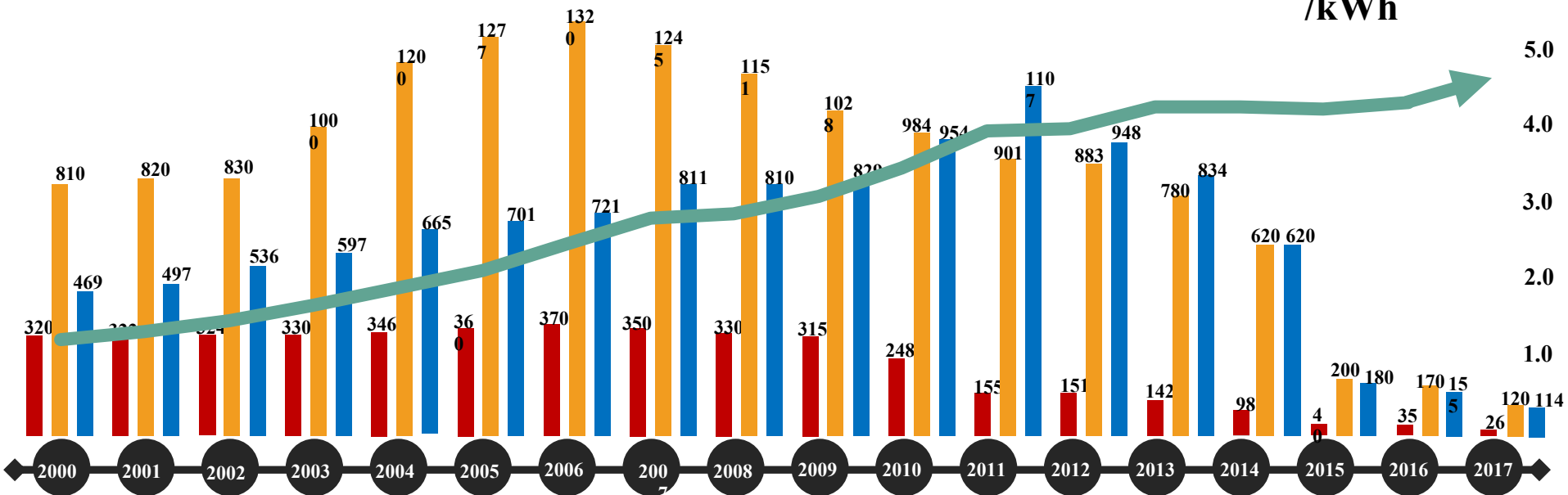
■ 烟尘

■ SO₂

■ NO_x

➡ 火力发电量

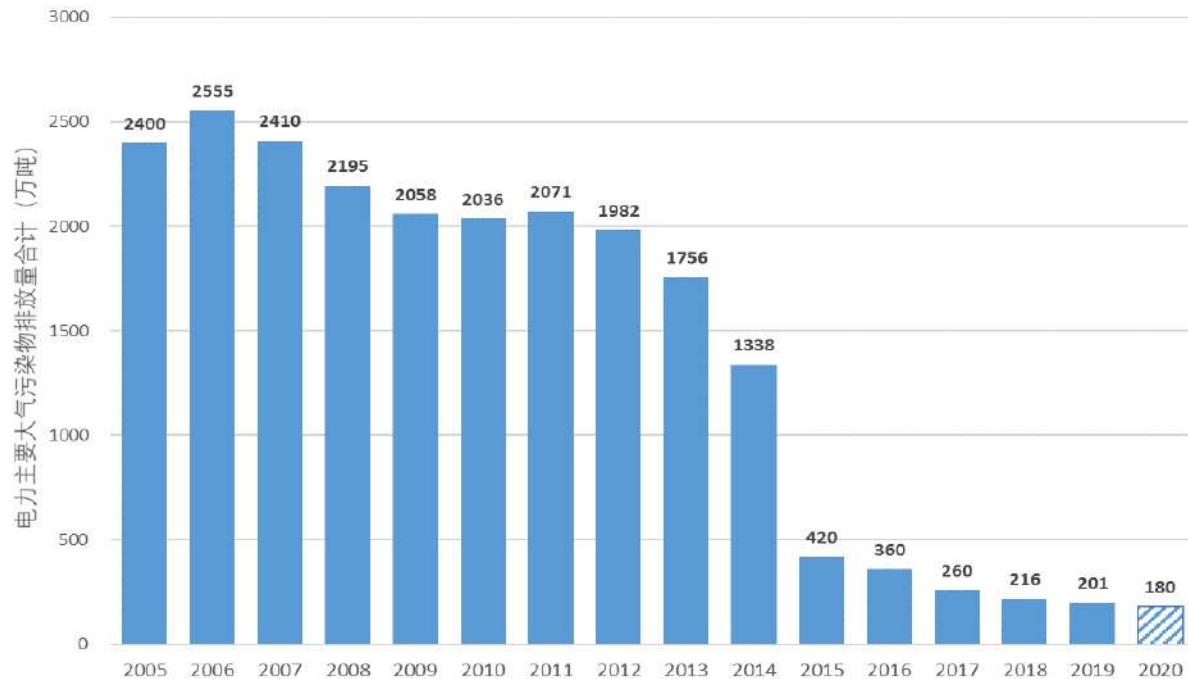
单位：万亿
/kWh



在发电量是原来4倍多的情况下，与峰值浓度相比：

烟尘：370---**26**，降幅**93%**； SO₂：1320---**120**，降幅**91%**； NO_x：1107---**114**，降幅**90%**

2011年以来的污染物排放



2011年中国火电容量76834万千瓦，发电量39003亿千瓦时。烟尘155万吨，二氧化硫913万吨，氮氧化物1003万吨。

2019年中国火电容量118957万千瓦，火电发电量50465亿千瓦时。烟尘18万吨，二氧化硫89万吨，氮氧化物93万吨。

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

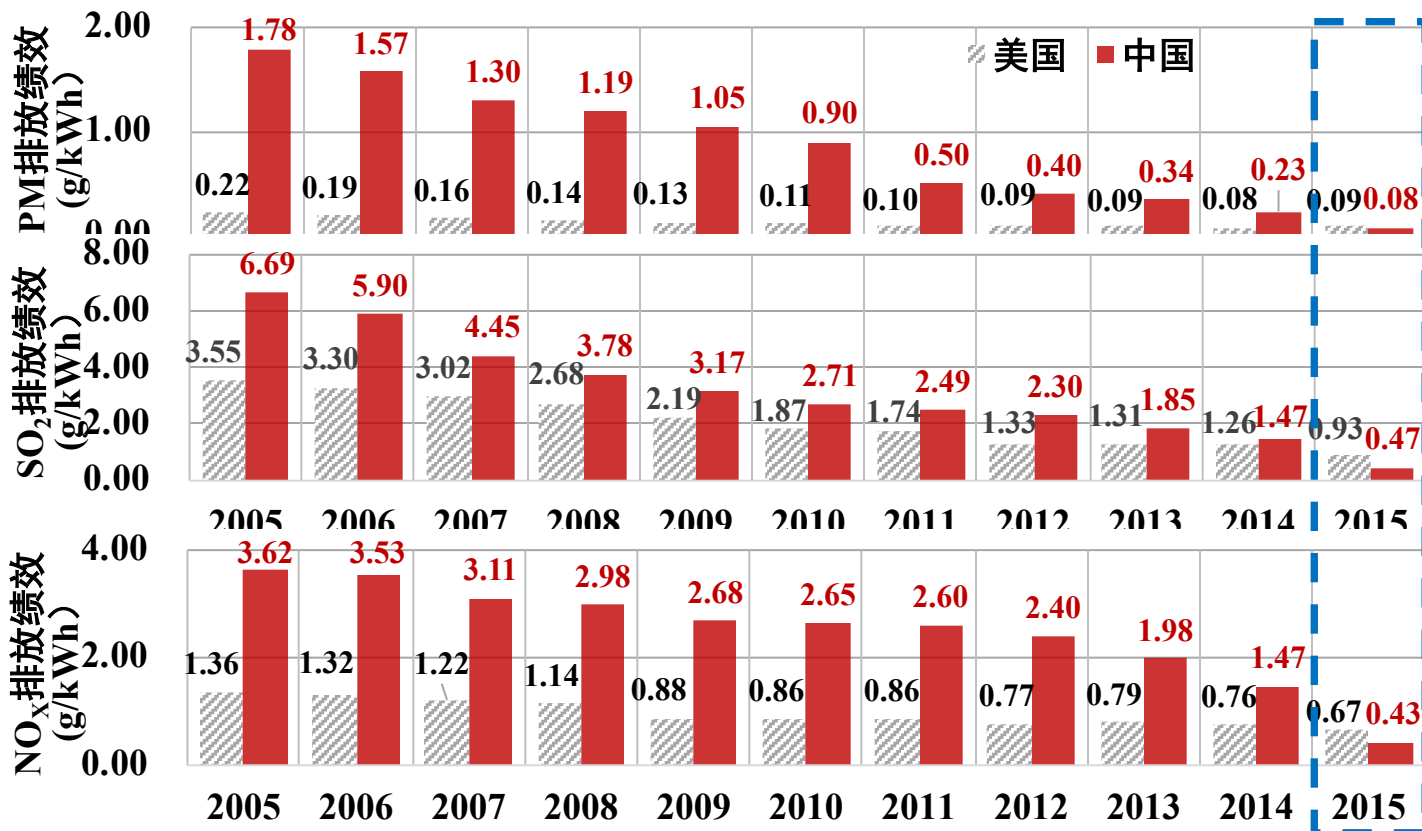
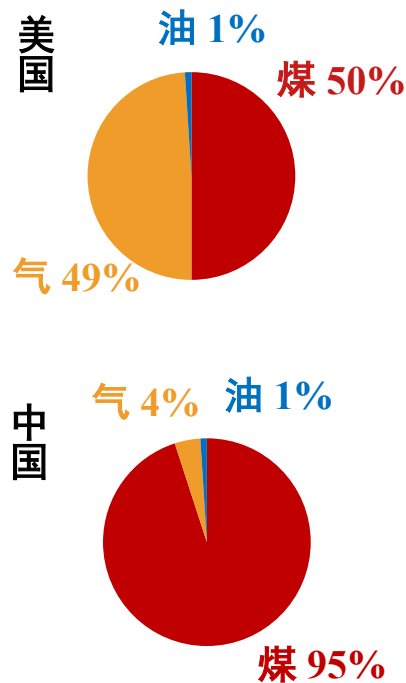
续第3个月回升。

CCTV. 黄河内蒙古段二期防洪工程近日顺

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

● 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方法》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方法》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

□ 主要污染物排放对比

● 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

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)

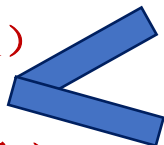
150

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

生产建筑材料、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

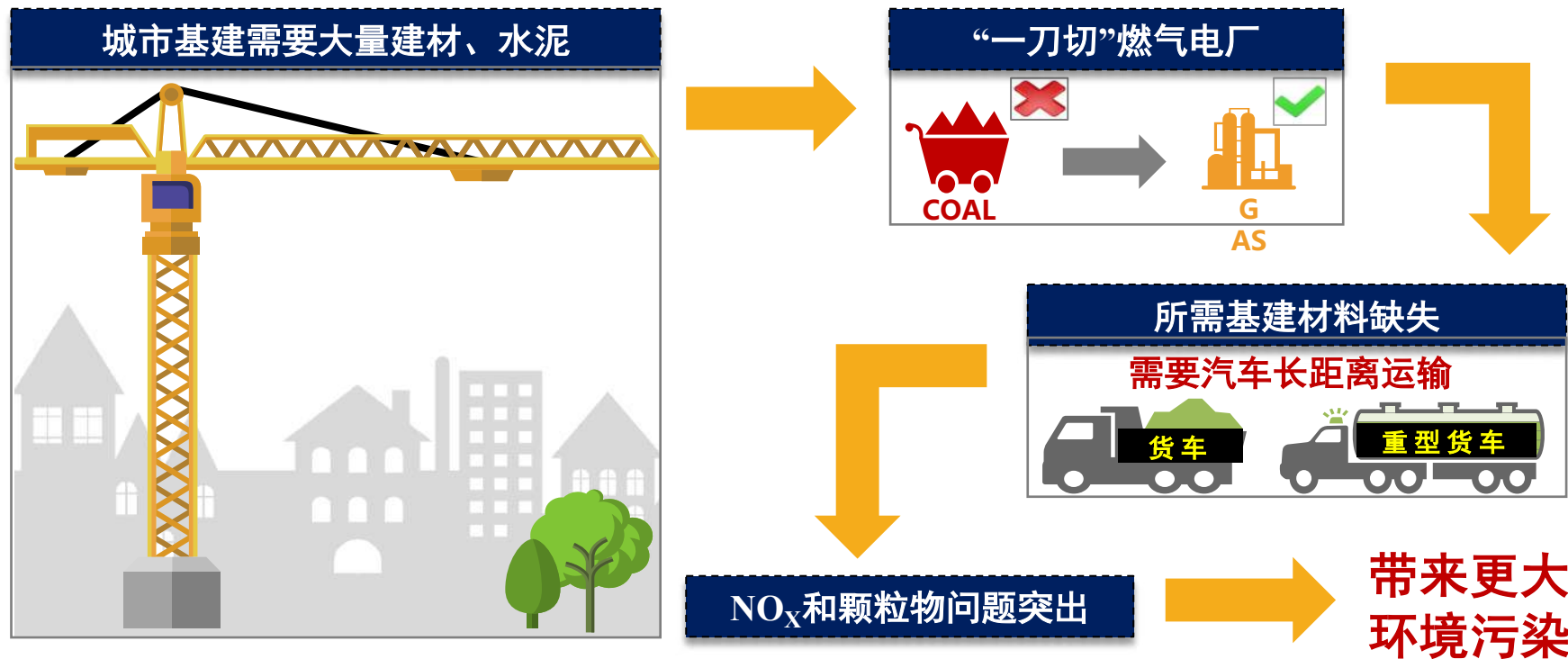


粉煤灰

脱硫石膏

□ 其他污染方面对比

燃气电厂



PART 03



经验与总结

一、燃煤供热结构高效优化

以大带小、关停小机组

小机组为大机组提供热力输送服务等

二、选择先进可靠技术

以《火电厂污染防治可行技术指南
(HJ 2301-2017)》为重要依据

项目改造要重视前期技术工作
可靠的技术方案并经专家论证

我院可提供项目可行性研究、技术方案
等全方位技术服务

三、加强运行维护管理

优化运行以提高设施可靠性

增强设备材料性能检测以提高安全性

我院可提供装置技术诊断，催化剂、
玻璃钢等性能检测等技术服务

四、激励与惩罚并重



国家能源集团
CHN ENERGY

THANK YOU

huiruntang@vip.163.com

国电环境保护研究院有限公司