

燃煤电厂烟气“超低排放” 技术路线

报告人：郇建国

菲达环保 副院长兼所长
机械工业大气净化设备标委会 秘书长
中国环保产业协会电委会 副秘书长



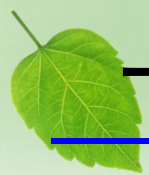
一、燃煤电厂面临的形势

二、可采用的“超低排放”技术路线

三、湿式电除尘技术路线

四、烟气协同治理技术路线

五、值得关注的问题



一、燃煤电厂面临的形势

标准“史上最严，全世界最严！”

《火电厂大气污染物排放标准》

(GB 13223-2011)

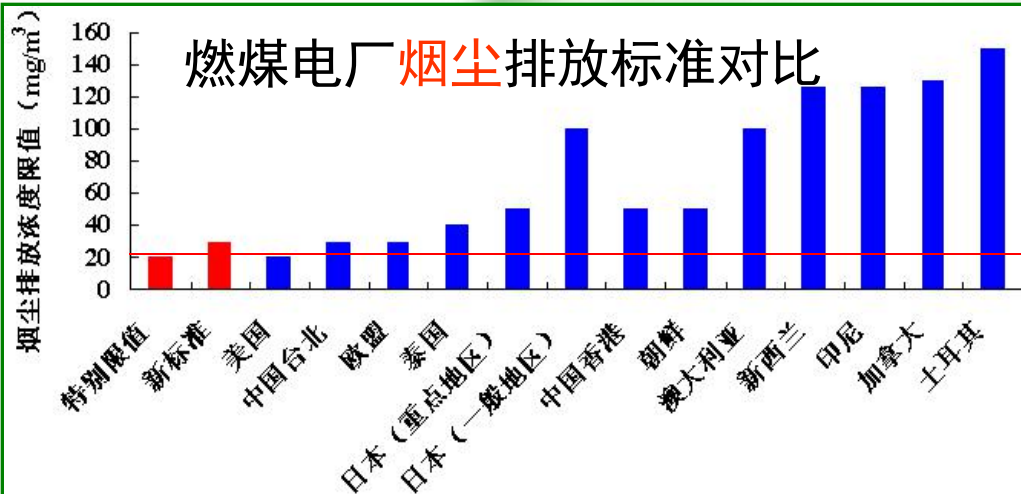
50mg/m³



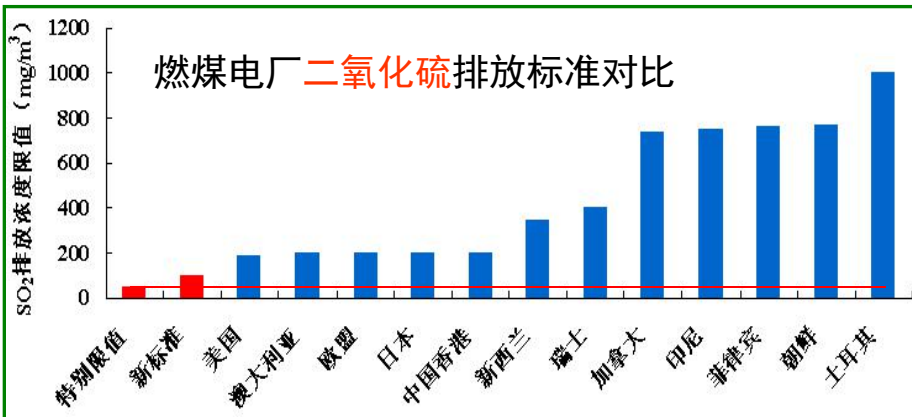
30mg/m³

20mg/m³ (重点地区)

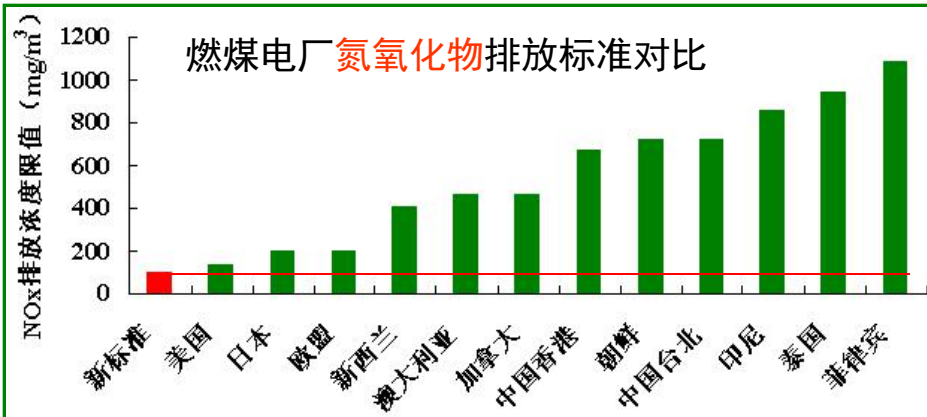
燃煤电厂烟尘排放标准对比



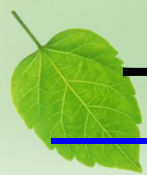
燃煤电厂二氧化硫排放标准对比



燃煤电厂氮氧化物排放标准对比



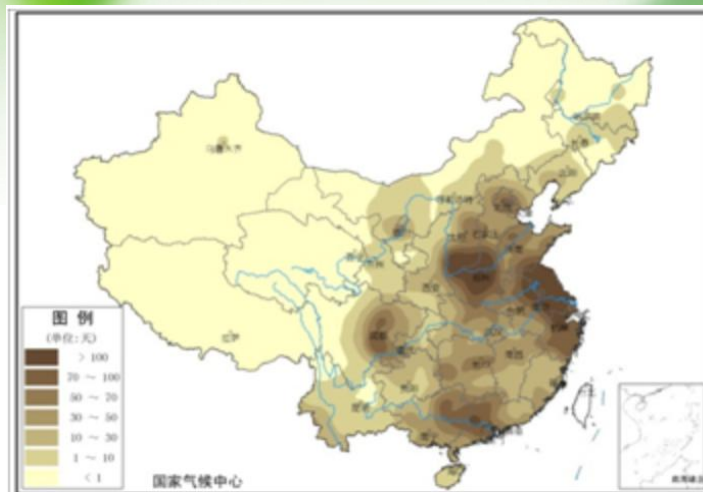
立足国内最佳，争创世界一流。



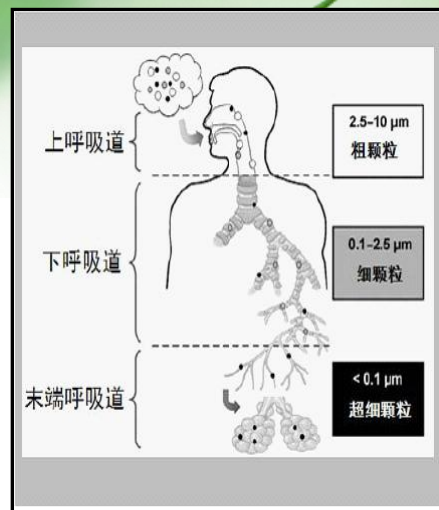
一、燃煤电厂面临的形势

大气环境形势依然严峻

近年来，雾霾、酸雨等灾害性天气频发



2013 年全国霾日数分布示意图



上海灰霾天气



巴黎晴空

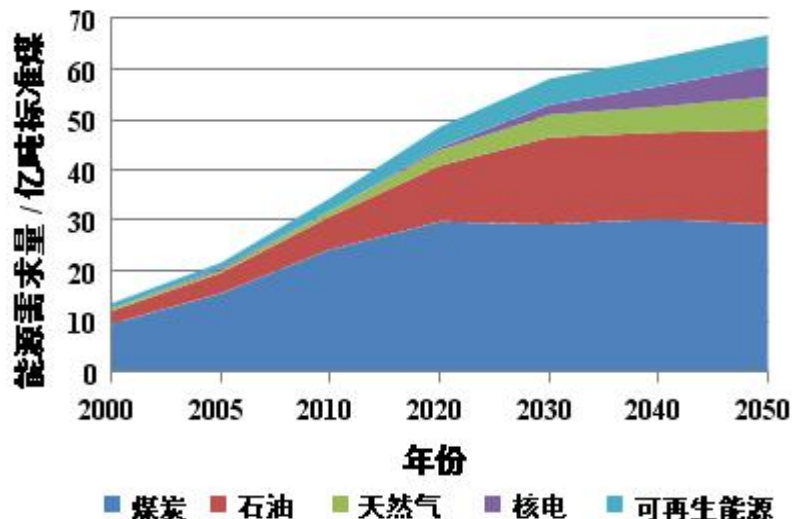
立足国内最佳，争创世界一流。

一、燃煤电厂面临的形势

我国的能源供应格局

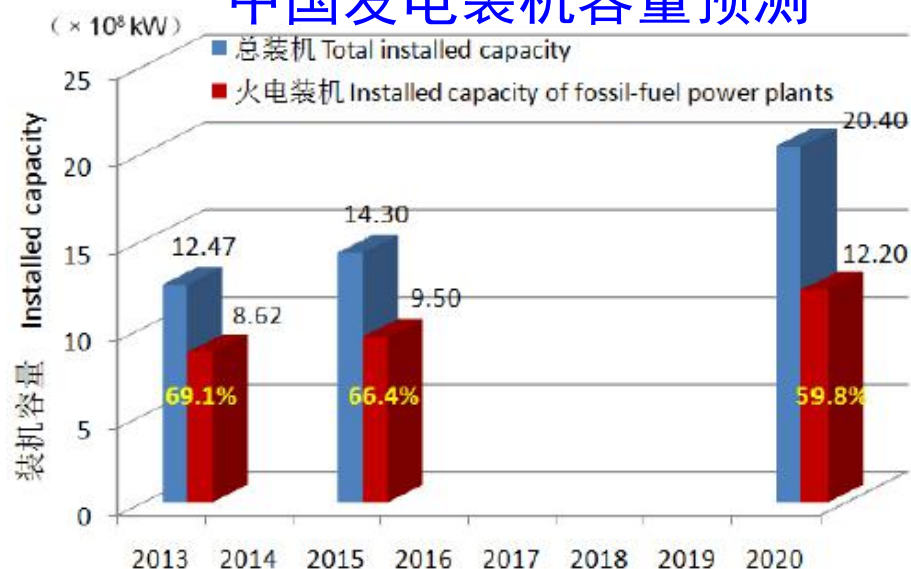
- 在未来相当长时期内，我国以煤为主的能源供应格局不会发生根本性改变，煤在总能源中比重很难低于50%。
- 预计到2020年，全国火电装机容量将达12.2亿千瓦，新增装机容量约**3亿千瓦**。

中国一次能源需求量预测



来源：2009年第六期《中外能源》

中国发电装机容量预测



来源：电力规划总院



一、燃煤电厂面临的形势

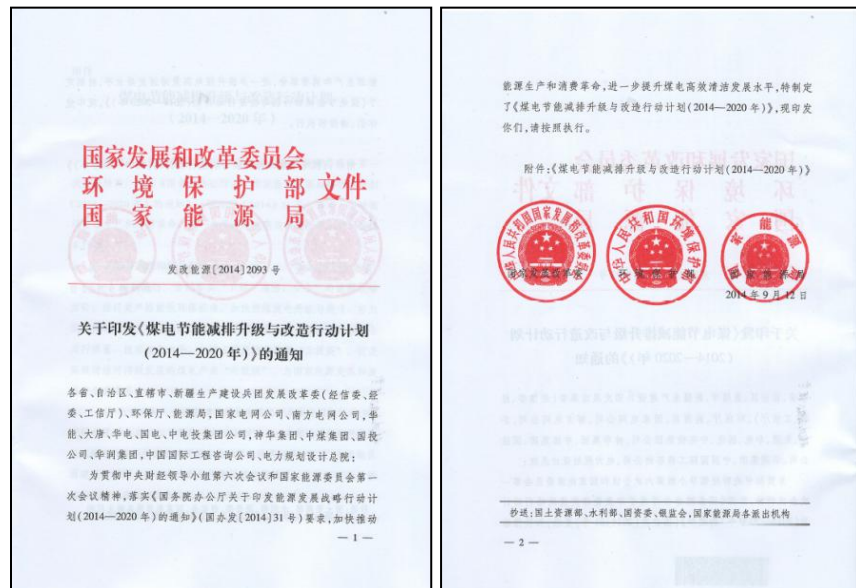
发改委等《煤电节能减排升级与改造行动计划（2014—2020年）》

● 新建机组

- **东部地区**（辽宁、北京、天津、河北、山东、上海、江苏、浙江、福建、广东、海南等11省市）**基本达到**燃机标准，要求排放限值（ $6\%O_2$ ）：烟尘： $10mg/m^3$ 、 SO_2 ： $35mg/m^3$ 、 NO_x ： $50mg/m^3$ ；
- **中部地区**（黑龙江、吉林、山西、安徽、湖北、湖南、河南、江西等8省）**原则上接近或达到**燃机标准；
- **鼓励西部地区**接近或达到燃机标准。

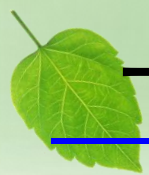
● 现役机组

- 稳步推进**东部地区**300MW及以上和有条件的300MW以下机组基本达到燃机标准；
- 2014启动年800万千瓦机组改造示范项目，**2020年前**力争完成改造机组容量**1.5亿千瓦以上**；
- 鼓励其他地区达到或接近燃机标准。



（发改能源[2014]2093号）

立足国内最佳，争创世界一流。



一、燃煤电厂面临的形势

地方政府出台了更严格的政策、法规

由于环境容量有限等原因，长三角、珠三角等地（如广州、浙江）部分燃煤电厂**已参考燃机标准限值**。要求排放限值（6%O₂）：烟尘：5mg/m³、SO₂：35mg/m³、NO_x：50mg/m³，即需达到“超低排放”的要求。



污染物项目	燃煤锅炉(mg/m ³)	燃气轮机(mg/m ³)	
	(6%O ₂)	(15%O ₂)	若按6%O ₂ 折算
烟尘	20	5	12.5
二氧化硫	50	35	87.5
氮氧化物 (以NO ₂ 计)	100	50	125

- 燃机标准并不比燃煤标准更严格；
- “超低排放” 仅是参考了燃机标准的数值。

立足国内最佳，争创世界一流。

一、燃煤电厂面临的形势

“超低排放” 已势在必行！

燃煤发电虽已是我国煤资源利用之“最清洁”方式，但因其基数大，仍是我国大气污染的主要排放源之一，正面临越来越严峻的环境压力。燃煤电厂“超低排放”已势在必行！

“超低排放”：

- 排放限值（6%O₂）：烟尘：10mg/m³ SO₂：35mg/m³ NO_x：50mg/m³
- 排放限值（6%O₂）：烟尘：5mg/m³ SO₂：35mg/m³ NO_x：50mg/m³

上述两种排放限值均属“超低排放”



一、燃煤电厂面临的形势

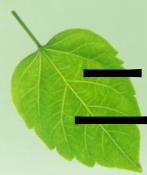


二、可采用的“超低排放”技术路线

三、湿式电除尘技术路线

四、烟气协同治理技术路线

五、值得关注的问题



二、可采用的“超低排放”技术路线

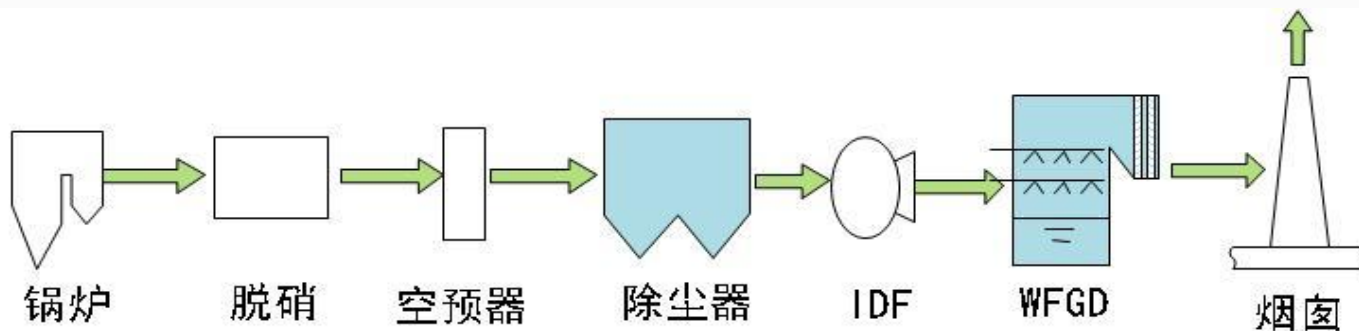


菲达环保
FEIDA ENVIRO

1 燃煤电厂烟气治理技术路线演变过程

我国燃煤电厂烟气治理经历了：

除尘 ➡ 除尘+脱硫 ➡ 脱硝+除尘+脱硫



现有燃煤电厂烟气治理技术路线



2 现有烟气治理技术路线存在问题

● 没有充分考虑各设备间的协同工作效应

如WFGD在设计时往往忽视其除尘效果。国内WFGD的除尘效率一般仅50%左右，甚至更低，实际运行中由于WFGD石膏浆液的携带，其出口烟尘浓度反而大于入口浓度值的现象也时有发生。

● 在达到相同效率情况下，系统投资和运行成本较大

- 为达到出口较低的烟尘浓度限值要求，原ESP需增加SCA和电场数量，投资成本较大，并占用较大的空间，给空间有限的现役机组更是带来巨大挑战；
- 采用电袋复合或袋式除尘技术改造时，存在本体阻力高、运行费用较高、滤袋的使用寿命短、换袋成本高、旧滤袋资源化利用率较小等缺点。

● 较难达到“超低排放”的要求

- 常规除尘设备出口粉尘浓度较难达到 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下；
- 我国燃煤电厂WFGD的除尘效率普遍较低。

3 可采用的“超低排放”技术路线

针对我国日益严峻的大气污染形势及国内燃煤电厂使用的除尘设备80%以上为电除尘器这一现状，同时借鉴发达国家的先进电除尘技术，为实现燃煤电厂烟气“超低排放”，可采用“**末端治理**”和“**协同控制**”技术路线：

- 湿式电除尘技术路线
- 以低低温ESP为核心的烟气协同治理技术路线

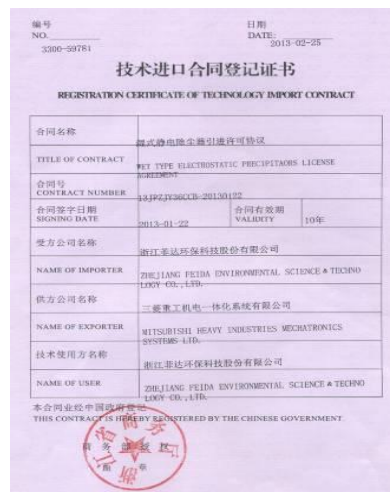
菲达环保通过**自主研发、技术引进和成立合资公司**的方式，在上述技术路线的研究及推广方面已取得重大突破。

WESP技术--自主研发和引进三菱重工技术

- 菲达环保自2010年起开展WESP技术研究，自主研发成功垂直烟气流WESP。
- 2013年1月，菲达环保从日本三菱重工引进水平烟气流金属板式WESP技术，三菱重工转让选型、设计、制作及安装等全部技术。



技术引进签约仪式



技术引进合同登记证书

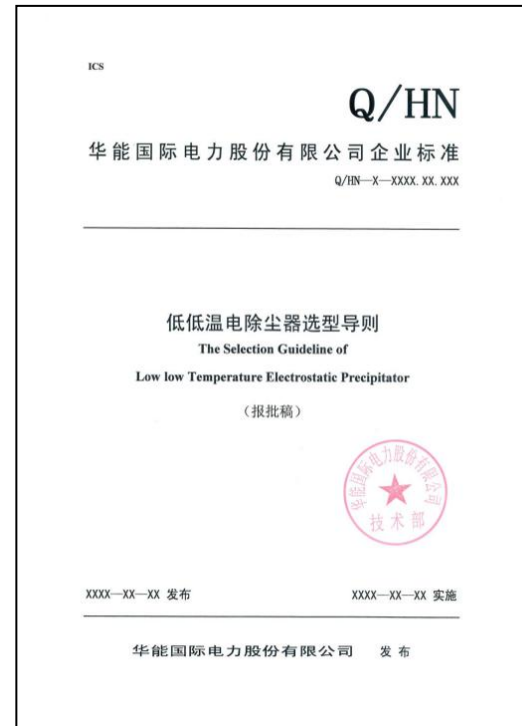
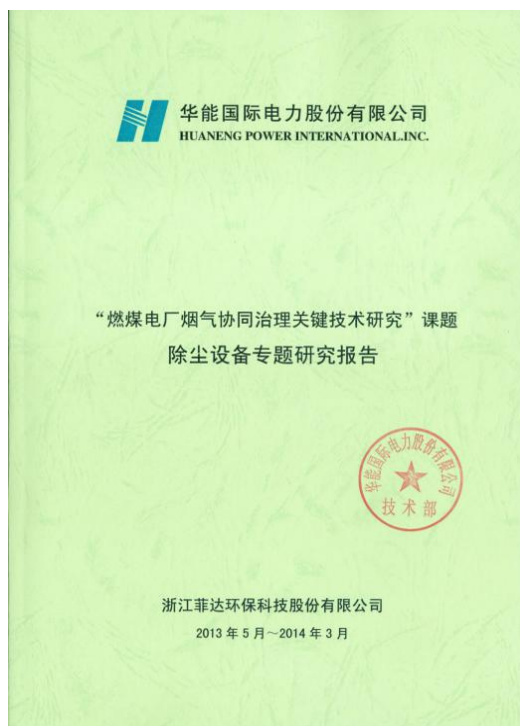
序号	项目单位	机组大小 (MW)	处理风量 (Nm ³ /h)	WESP 数量	投运情况
1.	安徽中煤皖能煤电有限公司1号炉	50	330,000	1	2014-08 投运
2.	安徽中煤皖能煤电有限公司2号炉	50	330,000	1	2014-07 投运
3.	神华集团山东发电有限公司4号炉	500	3,288,680	1	2014-05 投运
4.	广州远能热电有限公司1号炉	300	3,322,353	1	2014-08 投运
5.	广州远能热电有限公司2号炉	330	3,355,024	1	2014-02 投运
6.	广州远能热电有限公司3号炉	330	3,355,024	1	项目运行中
7.	贵州第二发电有限公司1号炉	1000	3,187,080	2	项目运行中
8.	贵州第二发电有限公司2号炉	1000	3,187,080	2	项目运行中
9.	大唐惠州惠阳发电有限公司1号炉	330	3,280,168	1	项目运行中
10.	大唐惠州惠阳发电有限公司2号炉	330	3,280,168	1	项目运行中
11.	大唐惠州惠阳发电有限公司3号炉	2×165	3,098,638	1	项目运行中
12.	大唐惠州惠阳发电有限公司4号炉	2×165	3,098,638	1	项目运行中
13.	安徽皖能煤电有限公司1号炉	300	3,450,000	1	项目运行中
14.	安徽皖能煤电有限公司2号炉	330	3,422,900	1	项目运行中
15.	安徽皖能煤电有限公司3号炉	330	3,422,900	1	项目运行中
16.	石化集团南京热电有限公司400号炉	10	348,820	1	项目运行中
17.	大唐惠州惠阳发电有限公司1号炉	330	3,243,170	1	项目运行中
18.	大唐惠州惠阳发电有限公司2号炉	330	3,243,170	1	项目运行中
19.	大唐惠州惠阳发电有限公司3号炉	1000	3,321,842	2	项目运行中
20.	大唐惠州惠阳发电有限公司4号炉	600	2,181,666	2	项目运行中
21.	大唐惠州惠阳发电有限公司5号炉	600	2,181,666	2	项目运行中
22.	上海电力股份有限公司上海南汇2号炉	1000	3,205,926	2	项目运行中
23.	大唐惠州惠阳发电有限公司6号炉	2×300	3,300,000	2	项目运行中

菲达环保WESP业绩表

低低温电除尘技术--自主研发

2011年起，菲达环保开展低低温电除尘技术研究，并取得一定突破。

2013年5月~2014年3月，完成华能国际“燃煤电厂烟气协同治理关键技术研究”除尘设备专题研究，提出了以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理技术路线。



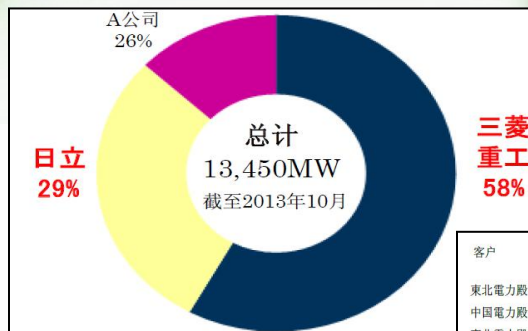
高性能烟气净化系统--与三菱日立成立合资公司



菲达环保
FEIDA ENVIRO

➤ 三菱日立电力系统有限公司，2014年2月组建。

➤ 三菱日立高性能烟气净化系统日本国内市场占有87%的市场份额。



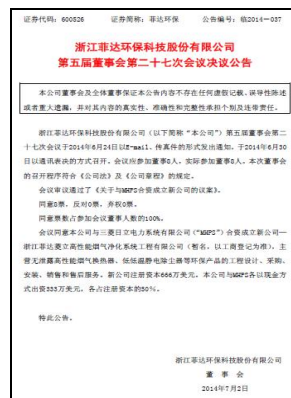
三菱重工高性能烟气净化系统业绩

高性能烟气净化系统日本国内占有率

客户	电厂名称	装机容量 (MW)	干式EP	GGH	脱硫设备	供货年度
东北电力股	原町 #1	1,000	三菱(低低温)	三菱(MGGH)	三菱(G*リット)塔	1997
中国电力股	三隅 #1	1,000	三菱(低低温)	三菱(MGGH)	三菱(液柱塔)	1998
东北电力股	原町 #2	1,000	*	三菱(MGGH)	*	1998
電源開発股	横河 #1	1,050	三菱(低低温)	三菱(MGGH)	三菱(液柱塔)	2000
四国電力股	横河	700	三菱(低低温)	三菱(MGGH)	三菱(液柱塔)	2000
北陸電力股	敦賀 #2	700	*	三菱(MGGH)	*	2000
北海道電力股	苫小牧 #4	700	*	三菱(MGGH)	三菱(液柱塔)	2002
住友共同火力発電	壬生川	250	三菱(低低温)	三菱(MGGH)	三菱(液柱塔)	2003
東京電力股	広野 #5	600	三菱(低低温)	三菱(MGGH)	三菱(液柱塔)	2004
神戸製鋼所股	瀬浜	700	三菱(低低温)	三菱(MGGH)	*	2004
住友金属股	鹿島	500	三菱(低低温)	三菱(MGGH)	*	2007
東京電力股	広野 #6	600	三菱(低低温)	三菱(MGGH)	三菱(液柱塔)	建設中

➤ 菲达环保将与三菱日立电力系统有限公司成立合资公司，名为**浙江菲达菱立高性能烟气净化系统工程公司**。

➤ 合资公司将在国内推广高性能烟气净化系统。



菲达环保董事会决议

立足国内最佳，争创世界一流。



一、燃煤电厂面临的形势

二、可采用的“超低排放”技术路线



三、湿式电除尘技术路线

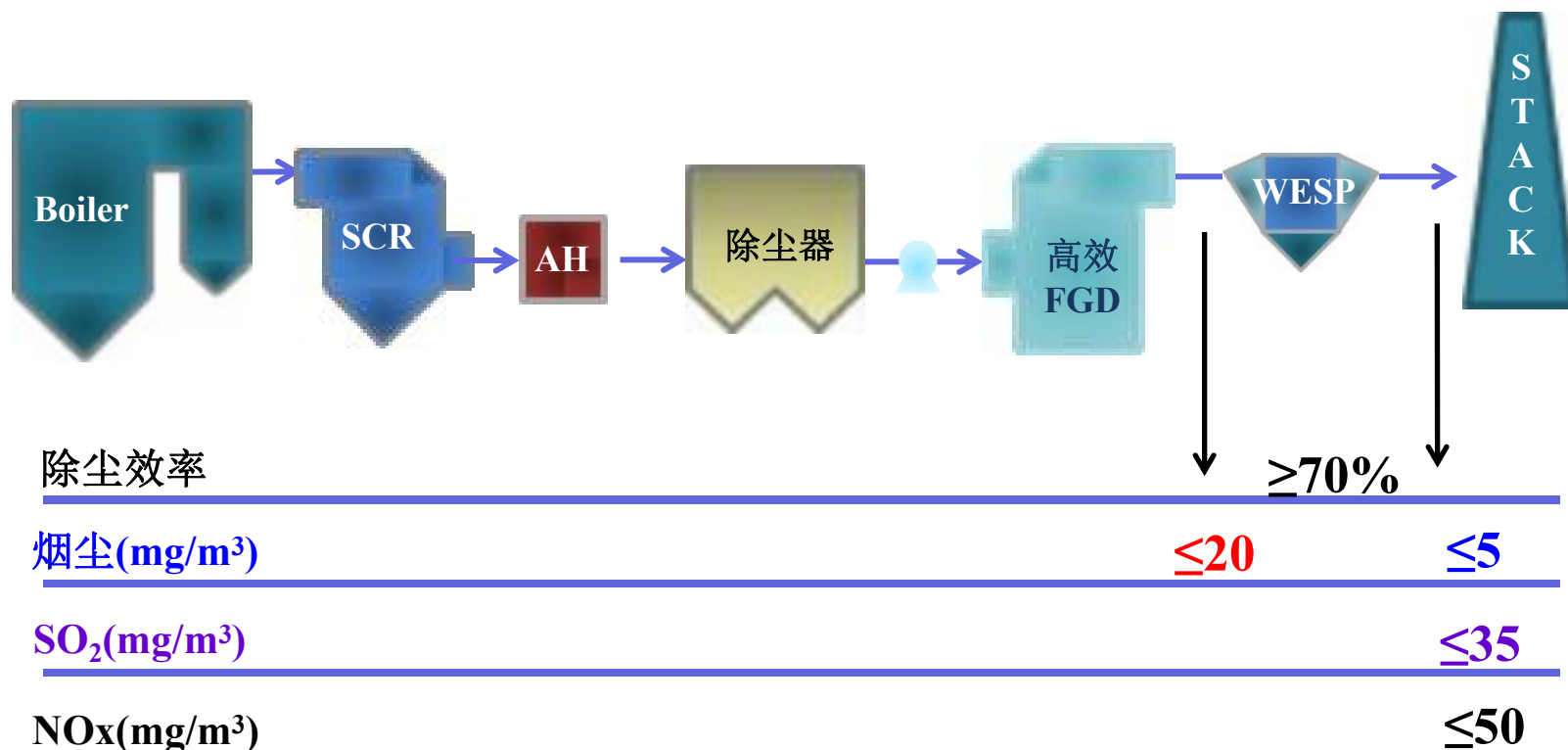
四、烟气协同治理技术路线

五、值得关注的问题



三、湿式电除尘技术路线

WESP主要用于解决**脱硫塔后的复合污染物排放**问题，其入口烟尘浓度宜**小于 $20\text{mg}/\text{m}^3$** 。

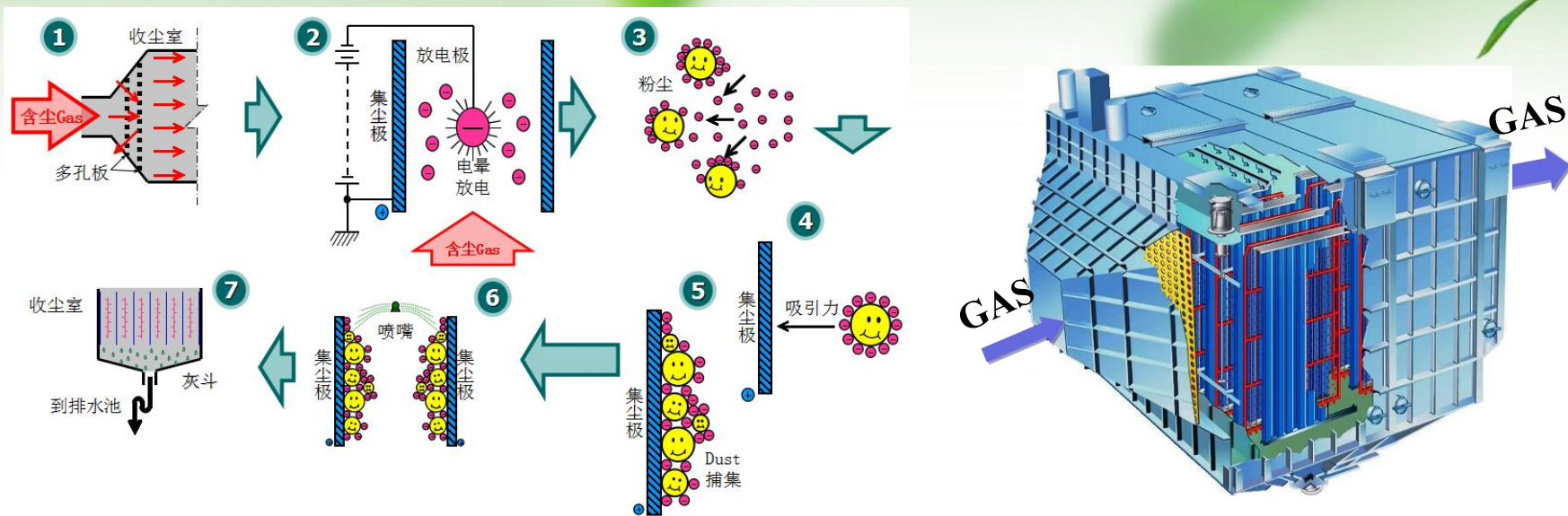


配有WESP的燃煤电厂烟气治理工艺流程

立足国内最佳，争创世界一流。



1 WESP工作原理及特点



与常规电除尘器的原理相同。WESP采用液体冲刷集尘极表面来进行清灰。

- 不受粉尘比电阻影响，可有效捕集其它烟气治理设备捕集效率较低的污染物（如PM2.5等）；
- 可捕集湿法脱硫系统产生的污染物，消除石膏雨；
- 可达到其它除尘设备难以达到的极低的烟尘排放限值（如 $<3\text{mg}/\text{m}^3$ ）。

2 WESP水、电、碱耗量估算

项 目	除尘效率(%)					
	70%~80%			≥80%		
技术配置方案	一个电场 WESP			二个电场 WESP		
机组 (MW)	300	600	1000	300	600	1000
电耗 (kW/h)	200	360	520	320	570	850
水耗 (m ³ /h)	12	20	30	15	25	40
碱耗 (0.1 MPaG, 32%水溶液) (kg/h)	100	160	240	100	160	240

说明：收到基硫按1%计。一电场以入口浓度20mg/Nm³，出口排放浓度5mg/Nm³ 进行估算；二电场以入口浓度30mg/Nm³，出口排放浓度 5mg/Nm³ 进行估算。



3 WESP投资及运行费用估算

项目	除尘效率(%)					
	70%~80%			≥80%		
推荐技术配置方案	一个电场 WESP			二个电场 WESP		
机组 (MW)	300	600	1000	300	600	1000
设备投资成本 (万元)	1000~1200	2000~2500	3000~3500	2000~2100	3200~3800	4300~4800
耗电成本 (万元/年)	39	70	100	62	110	164
耗水成本 (万元/年)	40	66	99	50	83	132
消耗品 (NaOH) (万元/年)	66	100	152	66	100	152
年维护费用 (万元/年) (喷嘴更换、泵维修等估算)	10	16	20	20	32	40
合计年运行维护费 (万元)	155	252	371	198	325	488

说明：公共事业费用的单价：电费按0.35元/kW·h，工业水成本按6元/t，32%NaOH水溶液的成本为1200元/t，年平均运行时间按5500h/年计。



4 国内外应用情况（1/2）

WESP国外应用情况

WESP在美国、日本等电厂已有近30年的应用历史，约几十套的电厂投运业绩。WESP是燃煤烟气复合污染物控制的精处理技术装备。

日本碧南电厂配套WESP：

- 机组数量及大小：（ $2 \times 1000\text{MW}$ ）+（ $3 \times 700\text{M}$ ）；
- 运行年限：稳定运行超过20年；
- 烟尘排放：设计限值为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，**实际值约 $1\text{mg}/\text{m}^3$** 。

WESP国内应用情况

以前我国WESP多用于化工、冶金等行业，但其处理烟量较小。由于WESP可达到极低的排放浓度，现各大电力公司纷纷上马。

目前，国内WESP合同订单已近国外投运数量的总和。菲达环保凭借自身品牌优势以及技术优势，截至2014年10月底，签订的WESP合同业绩已超30台套，总装机容量超15000MW，其中1000MW机组7套，有4套投运业绩，在国内同行业中处理领先地位。

- 舟山电厂4#炉350MW机组（2014.05投运），烟尘排放2.46mg/m³；
- 广州恒运电厂9#炉330MW机组（2014.07投运），烟尘排放1.94mg/m³。



一、燃煤电厂面临的形势

二、可采用的“超低排放”技术路线

三、湿式电除尘技术路线



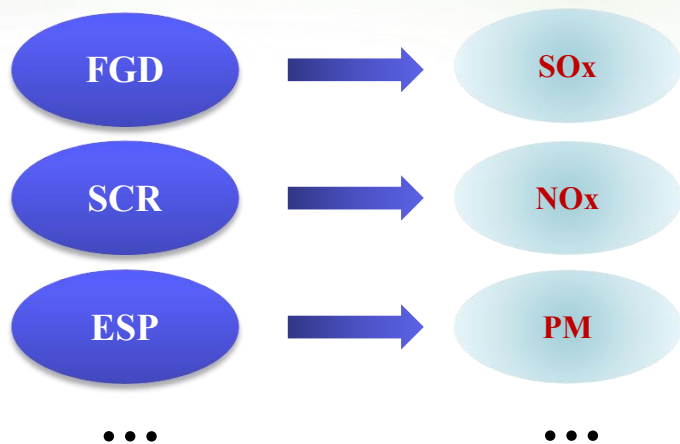
四、烟气协同治理技术路线

五、值得关注的问题

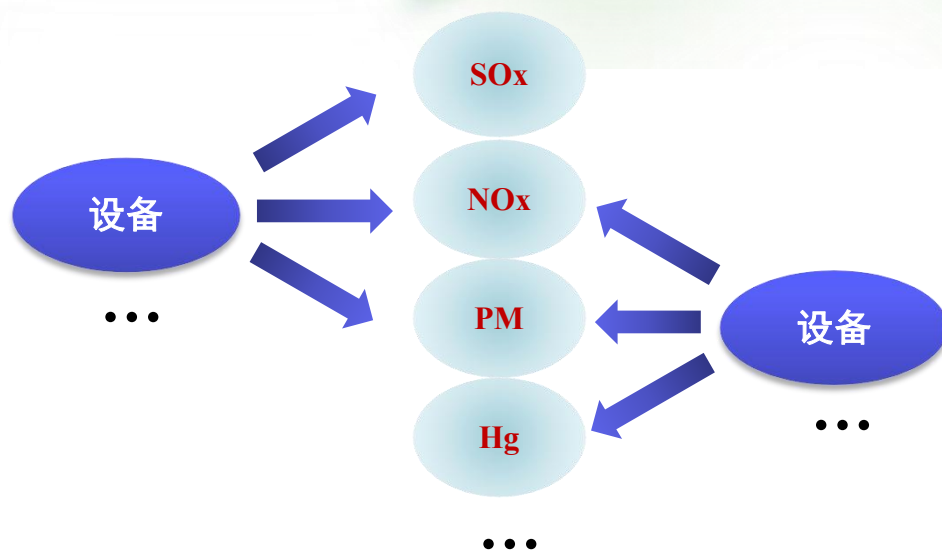


四、烟气协同治理技术路线

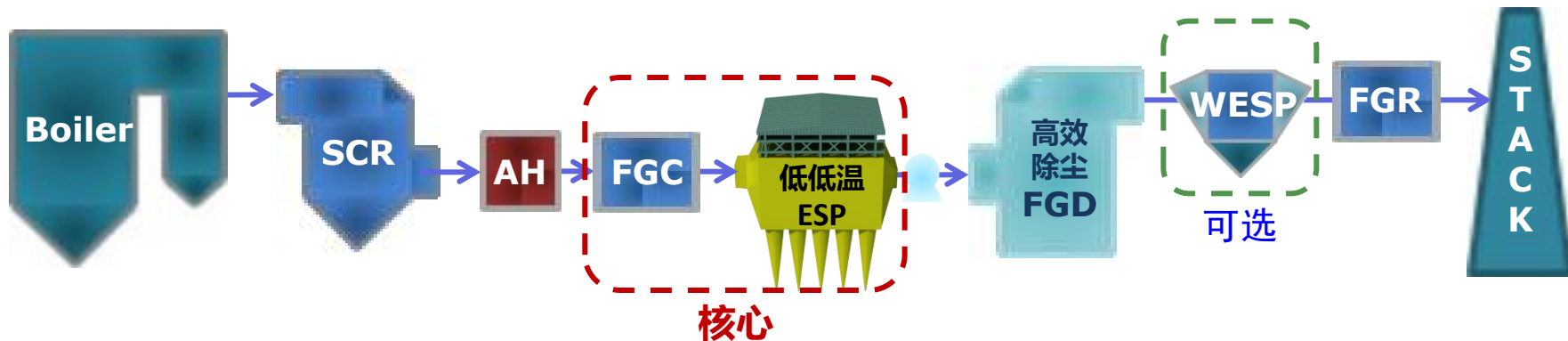
主要由单一设备处理单一污染物



多个设备处理多种污染物



①直接脱除主污染物或间接脱除其它污染物 ②为其它设备脱除污染物创造条件





(一) PM(粉尘)的协同脱除

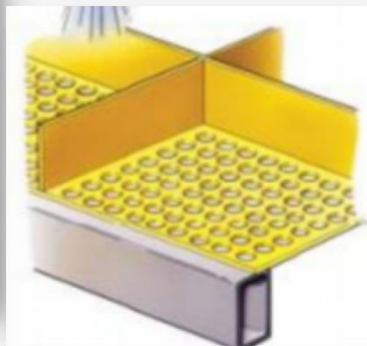
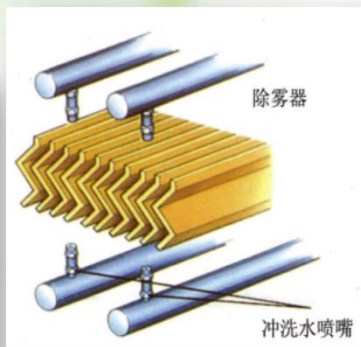
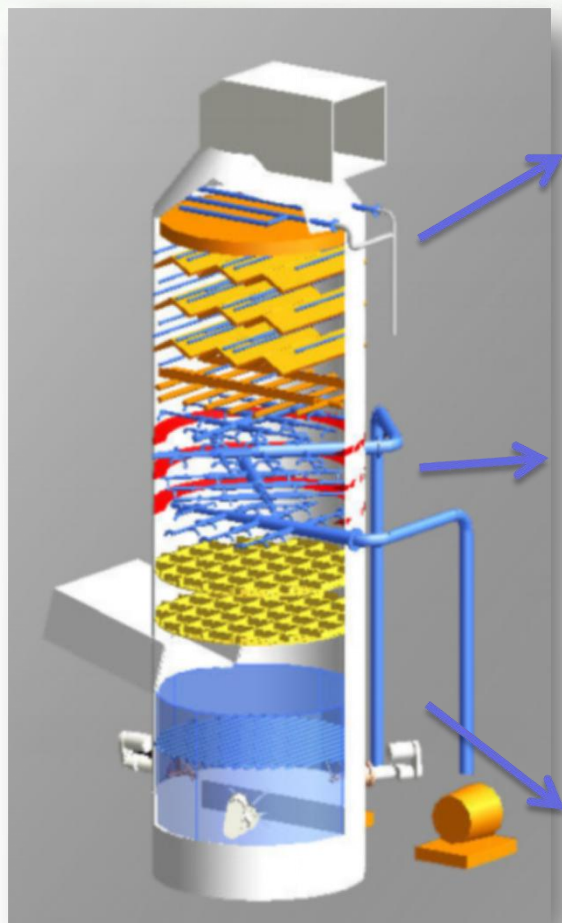




(二) SO₂的深度脱除



菲达环保
FEIDA ENVIRO



- 采用单塔或组合式分区吸收技术，改变气液传质平衡条件，并优化浆液PH值、液气比、浆液雾化粒径、氧硫比等参数，提高脱硫效率；
- 优化塔内烟气流场，有效降低液气比，降低能耗；
- 提高除雾器性能，改善喷淋层设计。

(三) NO_x的协同脱除



菲达环保

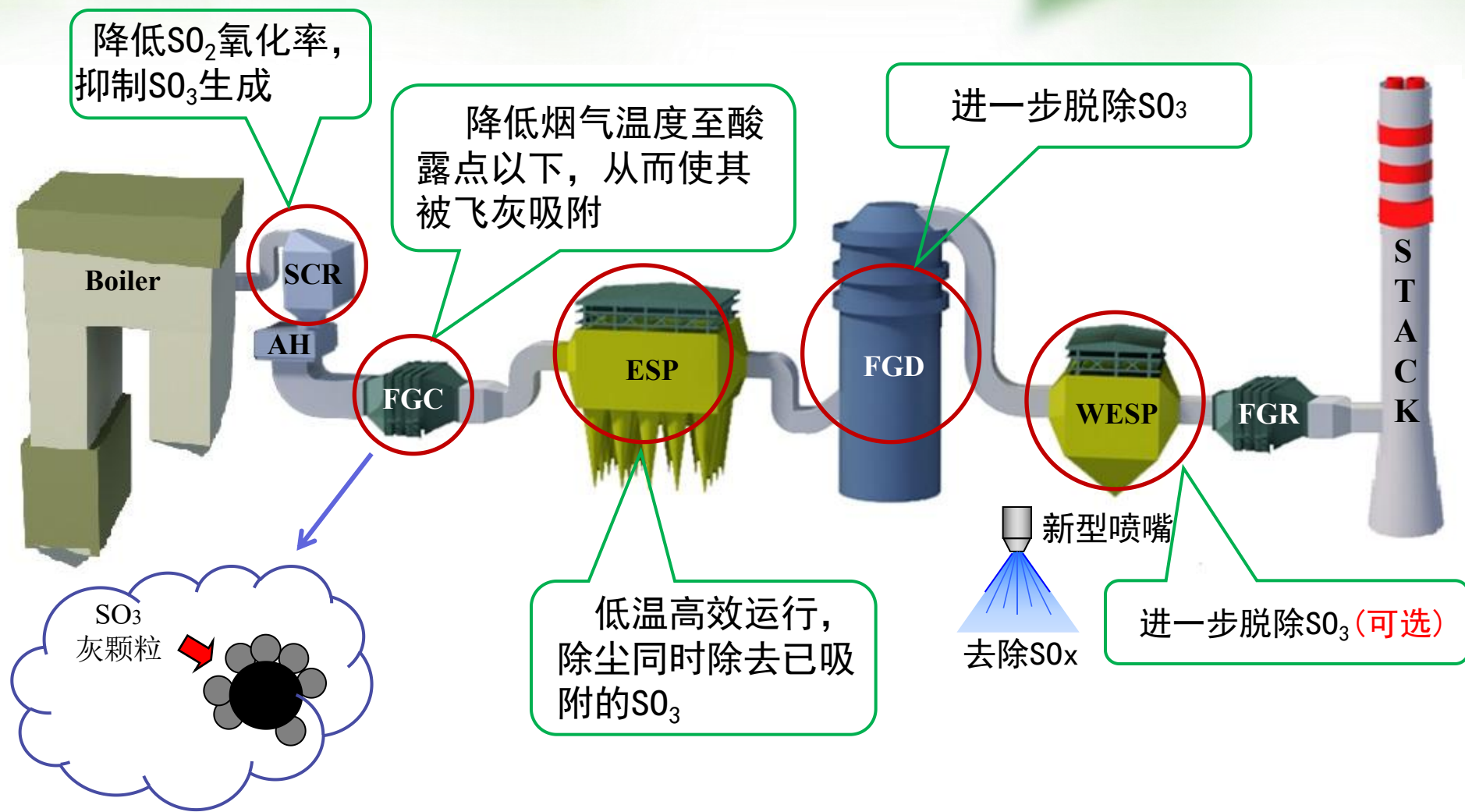
FEIDA ENVIRO



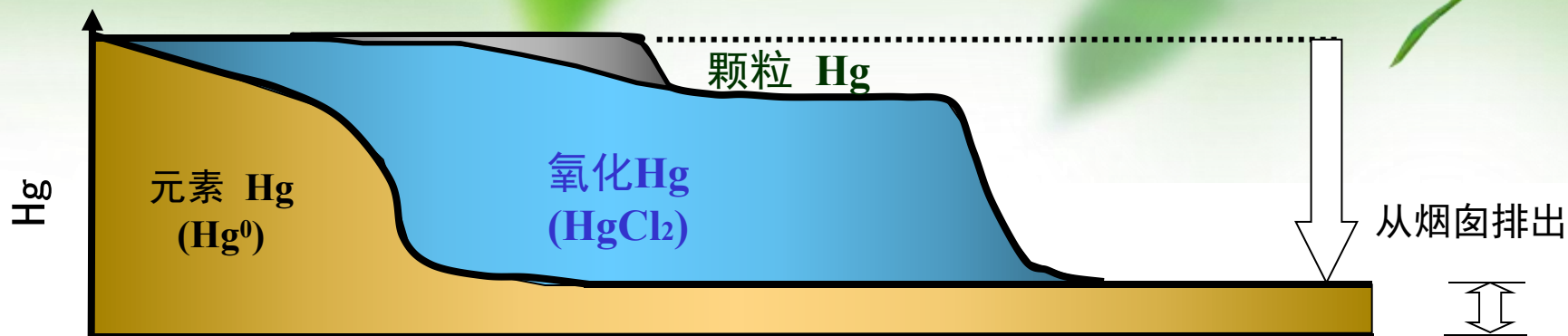
(四) SO_3 的协同脱除



菲达环保
FEIDA ENVIRO



(五) Hg的协同脱除



可采用汞氧化催化剂
使Hg氧化为 Hg^{2+}

进一步脱除
 Hg^{2+}

降低温度，使飞灰颗粒
吸附元素Hg和 Hg^{2+}

进一步脱除 Hg^{2+} (可选)

除去颗粒态、以及吸附
在灰颗粒上的Hg



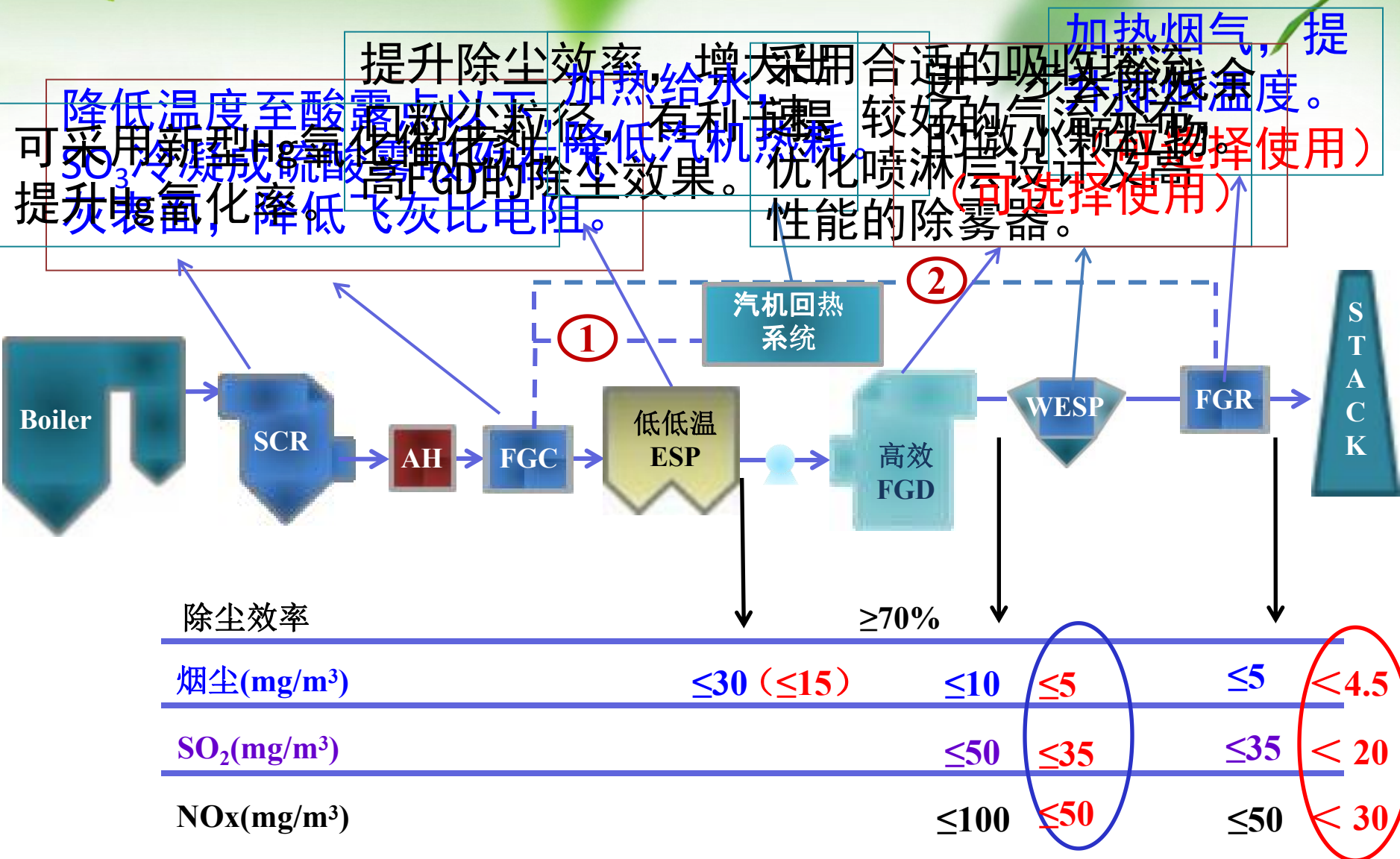
煤炭中的汞

$\text{Hg} \rightarrow \text{Hg}^{2+}$

(六) 典型污染物治理技术间的协同脱除作用

污染物	SCR	FGC	低低温ESP	WFGD	WESP (可选)
PM	○	▲	√	●	√
SO ₂	○	○	○	√	○
SO ₃	▲	▲	√	√	√
NO _x	√	○	○	●	●
Hg	▲	▲	●	●	●

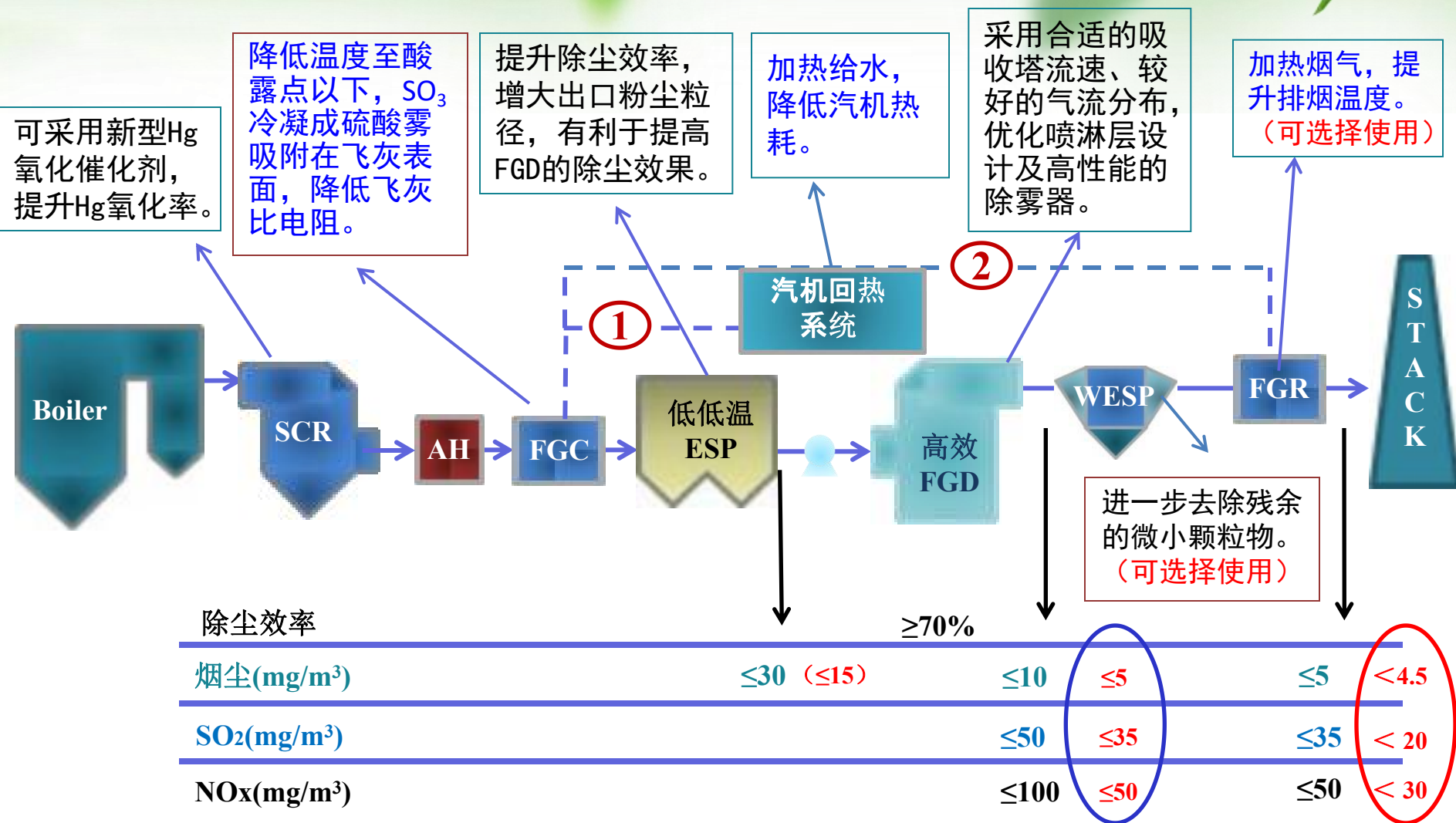
注：√-直接作用，●-直接协同作用，▲-间接协同作用，○-基本无作用或无作用。



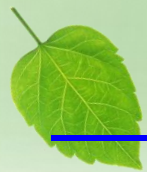
(七) 综述



菲达环保
FEIDA ENVIRO



立足国内最佳，争创世界一流。



(八) 低低温电除尘技术概述

1 工作原理及特点

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，**使粉尘性质发生很大变化，大幅提高除尘效率，同时去除大部分的SO₃。**

- 除尘效率高
- 可除去大部分SO₃
- 提高 FGD协同除尘效果
- 节能效果明显
- 二次扬尘适当增加
- 具更优越的经济性



日本低低温电除尘系统布置

2 国内外应用情况

① 国外应用情况

低低温电除尘技术在日本已有近**20年**的应用历史，投运业绩超过20个电厂，机组容量累计超**15000MW**。

② 国内应用情况

- **浙能嘉华1000MW机组**，烟气温度降至90℃左右，改造后ESP出口烟尘浓度由50mg/m³降至20mg/m³左右；
中电投新昌700MW机组，烟气温度降低至95℃左右，改造后ESP出口烟尘浓度由50mg/m³降至17.25mg/m³，SO₃脱除率88.1%；
- **华能榆社300MW机组、华能长兴2×660MW机组**，烟尘排放要求小于5mg/m³，系统中不设置WESP，其中榆社电厂已于2014年8月上旬投运，效果良好，长兴电厂将于2014年11月底投运，将成为国内首批采用低低温ESP实现“超低排放”的烟气协同治理示范工程。



- 一、燃煤电厂面临的形势
- 二、可采用的“超低排放”技术路线
- 三、湿式电除尘技术路线
- 四、烟气协同治理技术路线
-  五、值得关注的问题



五、值得关注的问题

关注点一：WESP技术流派较多，何为长期稳定、高效运行主流技术？

目前，国内WESP合同订单已近国外投运数量的总和。

金属电极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

柔性电极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

立足国内最佳，争创世界一流。



六、值得关注的问题



菲达环保

FEIDA ENVIRO

关注点二：

如何做好行业自律，保障行业健康、有序发展！

现WESP市场准入门槛较低、参与竞争的企业技术水平参次不齐。应杜绝低价竞争，否则将扰乱市场秩序，同时对WESP技术进步带来不利影响。

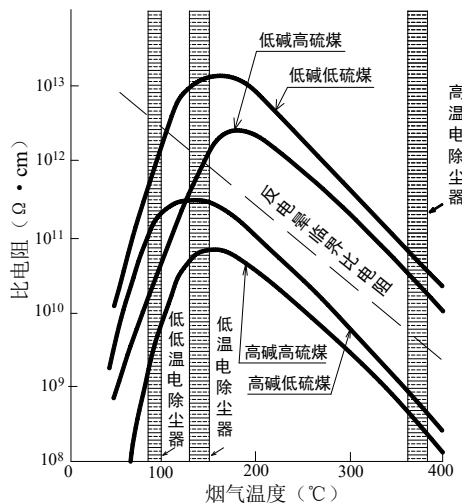
关注点三：

低浓度、高含湿量烟气工况下的测试技术是否跟进？

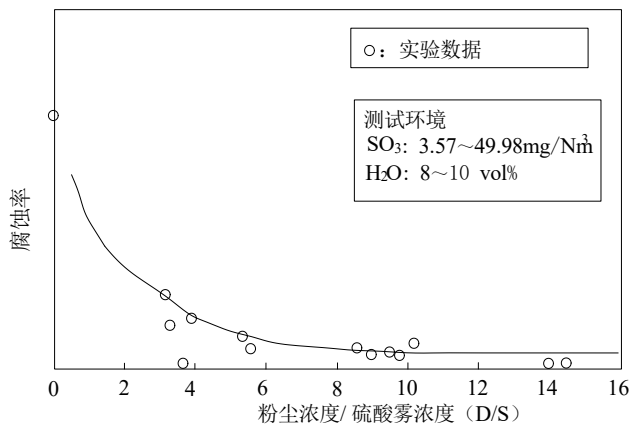
六、值得关注的问题

关注点四：

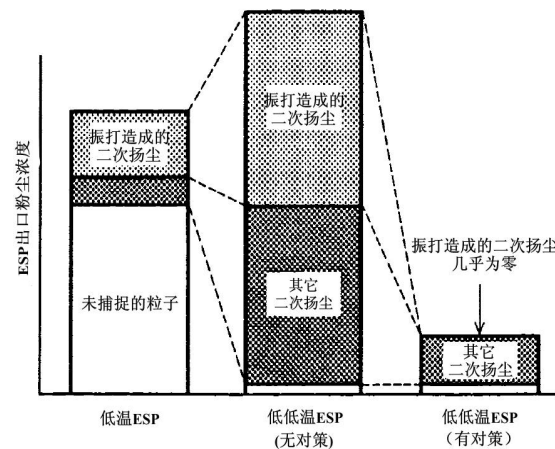
低低温电除尘技术已受到业主的广泛关注和推崇，但工程应用经验不足，如何避免其可能存在的问题？如高碱煤提效幅度、高硫煤低温腐蚀、二次扬尘等。



不同煤种粉尘比电阻与烟气温度的关系
(日本三菱重工)



灰硫比与腐蚀率的关系
(日本三菱重工)



ESP出口烟尘浓度的构成
(日本三菱重工)

应进一步对实际工程进行跟踪、分析，积累经验。

立足国内最佳，争创世界一流。



保护环境，美丽中国，菲达会继续努力！

谢谢大家！



菲达环保

FEIDA ENVIRO