

燃煤火电机组除尘、脱硫技术 应用情况介绍与分析

2015. 7. 16

内 容

一

国内燃煤火电机组除尘、脱硫技术应用情况

二

烟气治理新技术应用条件分析

三

燃煤电厂烟气治理工艺未来发展及技术路线选择的几点思考

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

1、除尘

目前，国内相关环保企业通过自主研发、技术引进和成立合资公司的方式，掌握了低低温电除尘器和湿式电除尘器等核心技术，电除尘用高压供电技术也得到了长足的进步，各电力集团、各大电厂也积极试点，技术推广应用已取得重大突破。各种技术主要应用情况如下：

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

(1) 高效电除尘器集成

采用包括：增大比集尘面积、电源控制、流场优化、凝聚器（经过相反极性的核电后的粉尘，依靠库仑力作用相互吸引碰撞凝结为加大的颗粒，提高除尘器效率）等，对电除尘器采取多项提效措施，能够满足国家环保排放标准粉尘控制要求。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

改造实例1:

我国南方某1000MW机组，神府东胜煤，校核煤种采用大同混煤，属低灰、低硫煤，原设计采用四电场，后对电除尘器电源部分改造，并采取降低烟气流速（降低氧量、减少漏风）等配套改进措施，2012年全年平均运行粉尘排放浓度 $11.03\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

(2) 低低温电除尘器

我国从2006年开始加大对低低温电除尘技术的研究，目前已有多套机组投运，并有1000MW机组业绩，现已全面掌握低温腐蚀、二次扬尘、提效幅度及对WFGD协同除尘效果的影响等核心问题，并取得一定的工程经验，提出了防止低温腐蚀、二次扬尘的对策措施。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

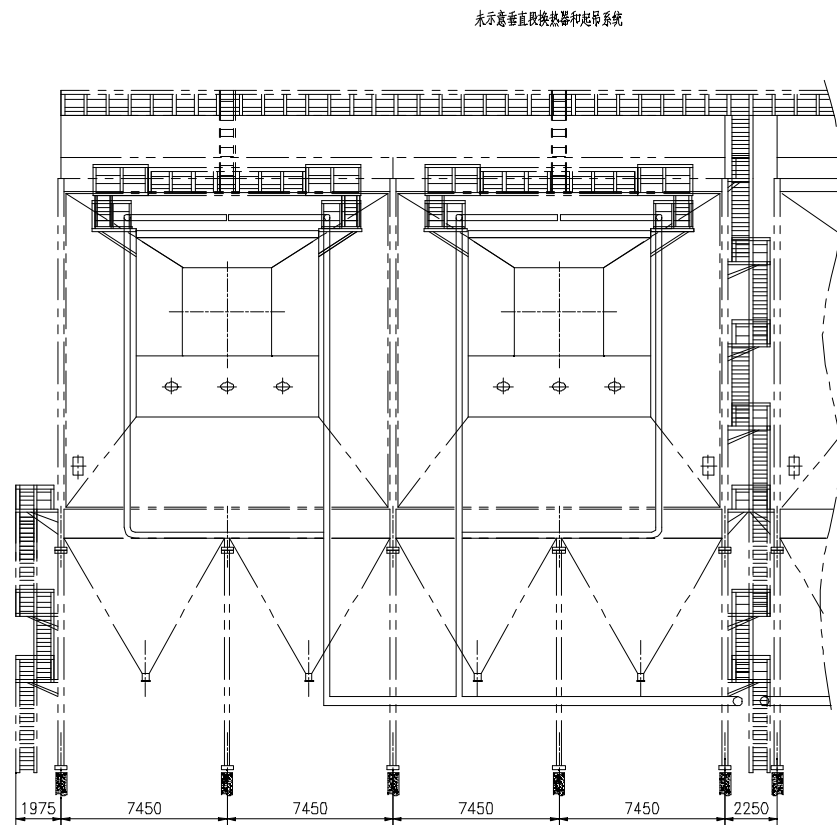
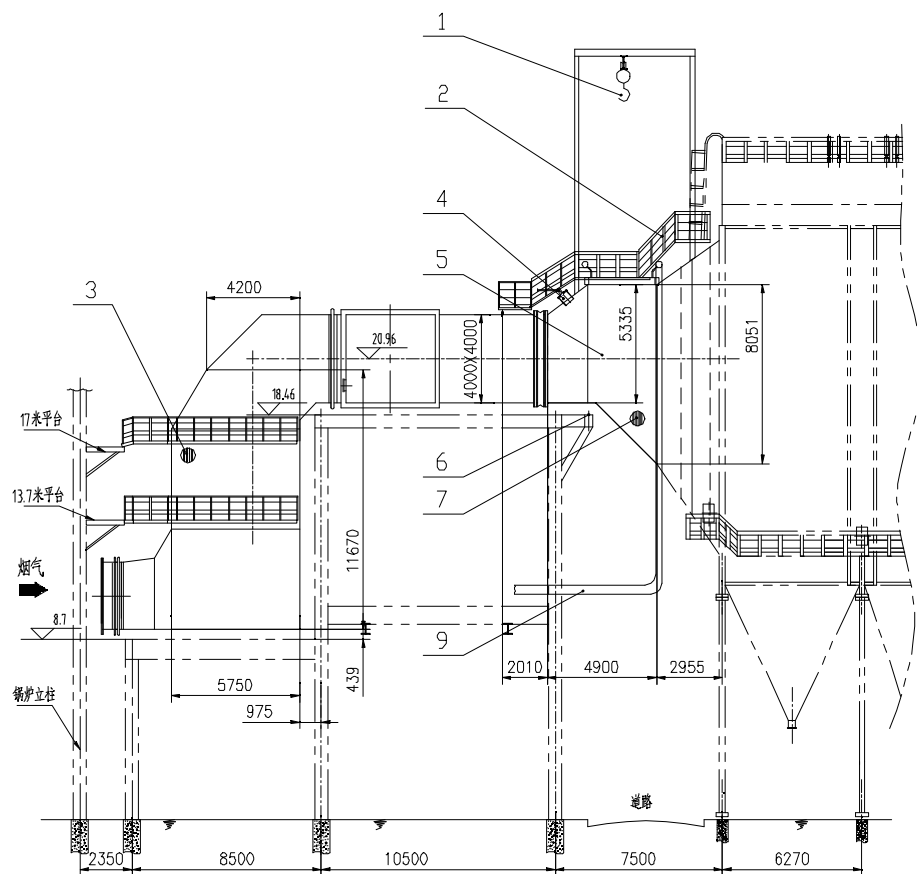
2014年3月国内某电力公司在国内首先完成了《燃煤电厂烟气协同治理关键技术研究报告》。从整个电厂系统设计的角度考虑燃煤电厂烟气的治理，充分研究烟气中PM、SO_x、NO_x、Hg等污染物、各脱除工艺之间相互影响、相互关联的物理和化学过程，利用现有烟气污染物脱除设备之间存在的协同脱除能力，实现燃煤电厂大气污染物的协同与集成治理设计方案，为我国燃煤电厂烟气污染物“超低排放”提供了新思路。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

案例1:我国南方某电厂烟气余热利用-高效低低温低低温电除尘器项目

结合实际场地条件，在除尘器的进口喇叭处和前置的垂直烟道处分别各设置一级烟气余热利用节能装置，换热介质通过换热管路串联连接，采用汽机冷凝水与热烟气通过烟气余热利用节能装置进行热交换，使得除尘器的运行温度由按 150°C 下降到 95°C 左右。垂直段换热装置将烟温按 150°C 降至 115°C 设计计算，水平段换热装置将烟温按 115°C 降至 95°C 计算。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况



一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况



一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

- 在烟温为 150°C 工况下，经换热装置后的降温幅度平均达到 50°C 以上，烟气粉尘比电阻下降明显。
- 除尘器性能测试表明：在增设换热装置后，粉尘排放从原约 $60\text{mg}/\text{Nm}^3$ 下降到 $20\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，除尘效率有效提高。
- SO_3 脱除测试表明：在增设换热装置后， SO_3 脱除率达到73.78%。
- 热力系统试验表明：在600MW负荷时，汽机的热耗下降 $52\text{kJ}/\text{kWh}$ 以上；在450MW负荷时，汽机的热耗下降 $69\text{kJ}/\text{kWh}$ 以上。

一、国内燃煤机组烟气治理新技术应用情况

案例2：江西某700MW机组低低温电除尘器项目

原电除尘器为双室四电场电除尘器，进口平均温度达到 143°C ，烟尘排放浓度约 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 。对其进行低低温电除尘技术改造，将电除尘器入口烟气温度的降低至 95°C 左右，对电除尘器本体及相应的电控系统进行升级改造。2013年9月，经测试，低低温电除尘器出口烟尘浓度降至 $17.25\text{mg}/\text{m}^3$ ， SO_3 脱除率88.1%，气态汞捕集效率达到40%以上，节省煤耗 $2.53\text{g}/\text{kWh}$ 。

一、国内燃煤机组烟气治理新技术应用情况

案例3：我国山西某300MW机组除尘器改造项目

采用低低温电除尘技术烟气协同治理技术路线，系统中不设置WESP，原电除尘器改造前出口烟尘浓度约 $100\text{mg}/\text{m}^3$ ，实际燃用含硫量约1.4%左右的中硫煤，采用低低温电除尘技术，将烟气温度降至 90°C 左右，同时将第1、2电场工频电源改造为高频电源。2014年8月上旬投入运行，经测试，电除尘器出口烟尘浓度为 $18\text{mg}/\text{m}^3$ ，经湿法脱硫系统后，烟尘排放浓度为 $8\text{mg}/\text{m}^3$ 。

一、国内燃煤机组烟气治理新技术应用情况

案例4：浙江某2×660MW机组新建工程

采用以低低温电除尘技术为核心的烟气协同治理技术路线，系统中不设置WESP，每台炉配套2台双室五电场静电除尘器，设置高频电源电除尘系统确保除尘器的除尘效率稳定性；设计烟气温度为90℃，电除尘器出口烟尘浓度设计值为15mg/m³，要求经湿法脱硫系统后，烟尘排放浓度≤5mg/m³；于2014年11月底投入使用，经测试，电除尘器出口烟尘浓度值为10mg/m³，经湿法脱硫后，出口烟尘排放为3.5~4mg/m³。

一、国内燃煤机组烟气治理新技术应用情况

(3) 移动极板电除尘器

移动极板电除尘器具有高效收集高比电阻粉尘、运行较稳定、节能、节省空间、易操作、低损耗、维护少的特点，相当于在传统电除尘器基础上增加一些特殊功能。目前该技术国内已有2×1000MW机组分别于2013年8月和11月分别投运，除尘效率及粉尘排放指标均达到设计值。

一、国内燃煤机组烟气治理新技术应用情况



一、国内燃煤机组烟气治理新技术应用情况

(4) 布袋除尘器及电袋除尘器

火电厂可考虑布袋除尘器及电袋除尘器进行除尘。根据目前国内布袋除尘器及电袋除尘器制造技术发展水平，选择布袋除尘器或电袋除尘器除尘效率可达99.9%以上，能够满足国家环保排放标准粉尘控制要求。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

电袋除尘器改造实例：电袋除尘器2010年起在贵州燃高硫煤地区多台135MW、200MW、300MW机组改造表明，电袋除尘器在合理选择新型过滤材料（PTFE基布+无纺层PTFE与PPS混纺系列的布袋对高硫量的煤质有较好的适应能力，能适应各种极端的运行工况，维护量较小，技术上可行）条件下，能够满足电袋除尘器后侧布袋的保证使用寿命及较恶劣的运行工况。

布袋除尘器改造实例：沙洲电厂2号630MW机组，布袋除尘器改造出口粉尘浓度 $17.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

(5) 湿式电除尘器

我国环保企业从2010年开始进行WESP的研究和开发，通过自主研发或引进技术，已在核心技术上实现了突破。WESP的研发也得到国家科技部的高度重视和大力支持，被列入国家863计划和国家国际科技合作专项，通过自主研发或技术引进基础上的二次创新，形成了适合我国国情的具有自主知识产权的湿式电除尘技术。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

湿式电除尘器投运项目

1) 山东某电厂8号机组（1×300MW机组）湿式电除尘器测试情况

2013年12月25日该机组湿式电除尘器投运，各项性能指标优于设计值。

烟尘排放浓度： $6.85\text{mg}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2.5}$ 排放浓度： $0.95\text{mg}/\text{m}^3$

$\text{PM}_{2.5}$ 脱除效率： $\geq 80\%$ 总汞脱除效率： $\geq 37\%$

除尘器阻力： 335Pa ，每天冲洗一次，每次冲洗 10m^3

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

另外：该电厂9号机（350MW）WESP改造工程

WESP为立式复合材料收尘极，设计除尘效率不低于83%，进口含尘浓度 $30\text{mg}/\text{m}^3$ ，出口浓度保证 $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$ 。该机组于2014年9月投运，经测试，WESP除尘效率大于85%，出口烟尘排放为 $2.6\text{mg}/\text{m}^3$ 。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况



一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

2) 山东某电厂#6炉670MW机组改造项目

原电除尘器为双室四电场电除尘器，出口烟尘浓度为71mg/m³。2014年对该机组进行了WESP技术改造，在脱硫塔后新增双列两电场WESP。该机组于2014年8月投运，经测试，WESP出口烟尘排放为2.8mg/m³。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

(6) 利用吸收塔出口设置除雾器提高除尘效率

我国南方某2×1000MW机组在初步设计阶段就考虑在吸收塔内设置两级屋脊式除雾器基础上，在吸收塔出口设置烟道除雾器，在保证降低雾滴含量的条件下，同时降低了粉尘排放浓度，经当地环保部门测试，烟囱入口烟尘排放浓度17.3mg/Nm³。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况



一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

2、脱硫

目前国内“超低排放”主流的脱硫改造中采用的单塔技术（包括喷淋空塔、托盘塔、单塔双循环等技术、双循环脱硫技术）、串联塔技术。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

单塔技术

单塔技术方案包括单塔单循环和单塔双循环技术，单塔单循环技术根据吸收塔型式不同又包括喷淋空塔、托盘塔等，其中喷淋空塔是应用最普遍的吸收塔型式。

对于燃用中低硫煤的火电机组，通过优化吸收塔设计，提高吸收塔液气比（增设喷淋层，提高浆液循环泵流量）或者采取增强气液传质（增设托盘持液层、湍流层、聚气环等）的措施，可大幅提高吸收塔的脱硫效率，满足“超低排放”要求。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

喷淋空塔技术

通过优化吸收塔设计，如适当降低塔内烟气流速，延长塔内烟气停留时间，增加循环浆液流量，提高液气比，增加喷淋覆盖率等手段可以提高吸收塔脱硫效率，满足超低排放要求。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

工程案例：河北某300MW燃煤机组新建烟气脱硫装置

采用逆流喷淋空塔。设计入口SO₂浓度：5000mg/m³，设计脱硫效率：97%。设计吸收塔尺寸：13.5m（直径）×39.2m（高度），塔内烟气流速：3.29m/s，液/气比（吸收塔出口，标准状态）：25.8l/Nm³，浆池容积/浆液循环停留时间：3896m³/4min。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

2012年该脱硫装置投运，在满负荷工况下，入口SO₂浓度4000mg/m³左右时，脱硫效率99%以上，净烟气SO₂排放浓度低于35mg/m³，满足“超低排放”要求。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

托盘塔技术

设置托盘后，进入吸收塔的气体流速得到了很好的均布作用，大部分气体流速处在平均流速范围内；而没有托盘时，气体的流速分布比例分布范围较宽。托盘上的持液层使烟气在吸收塔内的停留时间增加，当烟气通过托盘时，气液充分接触，强化了气液传质，从而有效降低液气比，提高脱硫效率。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

工程案例：600MW超临界机组脱硫装置改造项目。

改造前设计煤质含硫量 1.21%，吸收塔为逆流喷淋空塔，设置四层喷淋层（每层喷淋层对应浆液循环泵流量 8375m³/h）。因实际燃用煤质变化，对该机组脱硫装置进行了增容提效改造。改造后设计煤质收到基含硫量 $S_{ar}=2.1\%$ ，设计入口SO₂浓度5500mg/m³；设计烟气量 $233.0 \times 10^4 \text{m}^3/\text{h}$ ；设计脱硫效率97.27%。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

因改造设计入口SO₂浓度及脱硫效率均增加较多，吸收塔系统更换了四台大容量浆液循环泵(流量12500 m³/h)，改造后液/气比(吸收塔出口，标准状态)增加至19.9l/Nm³，更换了4层喷淋层及喷嘴，优化喷嘴布置，提高喷淋覆盖率。同时在吸收塔入口烟道顶部至最底层喷淋层间增加一层合金托盘持液层。因浆液循环量增加，相应抬高了吸收塔浆池液位，增加了浆池容积。其他氧化风系统、除雾器及石膏排出系统等进行了相应改造。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

该脱硫增容改造工程已完成性能验收试验，各项性能指标满足设计要求。在吸收塔入口SO₂浓度3300mg/m³左右时，脱硫效率99%以上，净烟气SO₂排放浓度低于35mg/m³，满足“超低排放”要求。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

单塔双循环技术

单塔双循环技术是在一座吸收塔内完成了两次脱硫，达到了双塔串联效果，其主要特点和双塔双循环类似。两级循环分别设有独立的循环浆池，喷淋层，根据不同的功能，每级循环具有不同运行参数，可以分区控制pH值。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

烟气首先经过一级循环，一级循环pH值控制在4.5到5.3之间，有利于石灰石的溶解和石膏的结晶，能够得到品质很高的石膏。经过一级循环的烟气直接进入二级循环，此级循环实现主要的脱硫洗涤过程，二级循环pH值控制在5.8到6.4之间，相对单塔单循环可以一定程度上降低所需液气比，减少需要的浆液循环量，能够得到较高的脱硫效率。每个循环独立控制，易于优化和快速调整，能适应含硫量和负荷的大幅变化。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

工程案例：广州某电厂两台300MW机组脱硫装置。

采用单塔双循环技术对机组进行改造。改造后设计煤种收到基含硫量 $S_{ar}=1.5\%$ ，设计入口 SO_2 浓度 $3846\text{mg}/\text{m}^3$ ，设计烟气量 $114.1 \times 10^4\text{m}^3/\text{h}$ ，设计脱硫率不低于98.7%，净烟气中 SO_2 含量 $\leq 50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

两台机组分别于2013年5月和2014年4月完成168小时试运行，168h试运期间在设计入口SO₂浓度条件下，净烟气SO₂浓度低于35mg/m³。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

串塔技术

串塔技术是将两座吸收塔串联运行，中间通过联络烟道连接。根据现场位置及现有吸收塔设计参数，既可利用现有吸收塔作为一级吸收塔，新建二级吸收塔串联运行，也可利用现有吸收塔作为二级吸收塔，新建一级吸收塔串联运行。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

串塔改造方案可以通过控制一、二级吸收塔的pH值实现分区控制，一级吸收塔低pH值运行，利于石膏氧化结晶，二级吸收塔高pH值运行，利于高效脱硫。一般一级吸收塔设计脱硫效率80~90%，控制一级吸收塔出口SO₂浓度500~700mg/m³，二级吸收塔设计脱硫效率93~95%左右，通过两级吸收塔后，控制净烟气SO₂排放浓度在35mg/m³以下，达到“超低排放”要求。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

改造案例：山东电厂300MW机组烟气脱硫改造项目

改造前设计煤质收到基硫份 S_{ar} 为2.2%，FGD入口 SO_2 浓度5547mg/ Nm³，设计脱硫效率大于97%，出口 SO_2 浓度为小于166mg/Nm³。为达到超低排放要求，电厂对现有装置进行了“超低排放”提效改造，改造后设计入口/出口 SO_2 浓度：5750/32mg/m³（标准状态，干基，6%含氧量），设计脱硫效率达到了99.44%。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

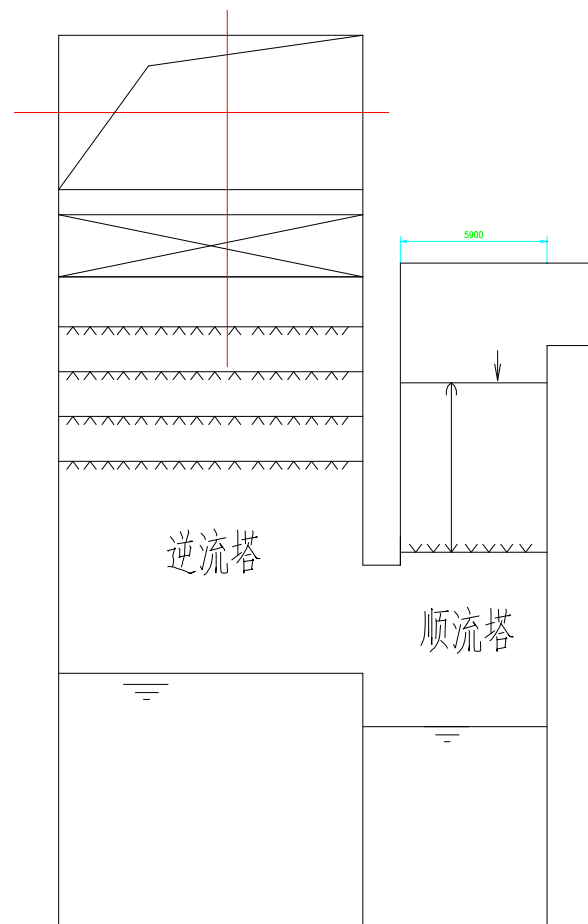
改造方案本着充分利旧的原则，利旧现有吸收塔作为一级吸收塔，新建一座吸收塔作为二级吸收塔。新建二级吸收塔直径12.5m，高29m，吸收塔内烟气流速3.5m/s，设置三层喷淋层，层间距2m。新建二级吸收塔配套设置除雾器和氧化风系统。

在入口SO₂浓度5000mg/m³左右时，净烟气SO₂排放浓度低于30 mg/m³，满足“超低排放”要求。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

双循环脱硫技术

前塔用液柱的方式脱硫率控制在60~75%。后塔用喷淋方式，采用3~4台浆液循环泵进行供浆，前塔与后塔公共备用一台循环泵，根据负荷及SO₂浓度进行灵活切换，达到最经济的运行效果。



一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

四川某电厂4号机660MW扩建工程

高效SCR脱硝+烟气余热回收系统+低低温电除尘器（配置高频电源）+高效湿法脱硫；

未设置湿式静电除尘器。

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

设计脱硫率：98.6%。

测试结果：

入口SO₂浓度2179.3mg/Nm³

出口SO₂浓度：14.4mg/Nm³

脱硫效率：99.34%

一、国内燃煤火电机组烟气治理新技术应用情况

3、新建燃煤机组“超低排放”项目

1) 国华舟山电厂二期1×350MW机组

2014. 6. 25神华国华舟山二期燃煤机组1×350MW机组项目通过168小时运行移交生产。

采取的主要技术路线：控煤 ($S < 0.8\%$, $A \leq 20\%$)

低 NO_x 燃烧器+SCR+五电场 (4+1) 移动极板电除尘器+海水脱硫工艺+湿式电除尘器；

主要环保指标经浙江省环境监测中心检测：烟尘入口烟尘排放浓度： $2.55\text{mg}/\text{m}^3$ ；

烟尘入口 SO_2 排放浓度： $2.86\text{mg}/\text{m}^3$ ；

烟尘入口 NO_x 排放浓度： $20.5\text{mg}/\text{m}^3$ ；

一、国内燃煤机组烟气治理新技术应用情况

各段烟尘浓度测量情况：

电除尘器出口：16.5mg/m³；

海水脱硫装置出口：10mg/m³；

湿式电除尘器出口：2.55mg/m³。

一、国内燃煤机组烟气治理新技术应用情况



二、烟气治理新技术应用条件分析

二、烟气治理新技术应用条件分析

(1) 高效电除尘器

- 1) 在具备条件时，通过增加电场、加高加宽除尘器等方式，提高除尘器比集尘面积。
- 2) 改造应对入口及本体各电场的烟气流场分布进行优化。
- 3) 与高效电源相结合，有效提高运行电压，提高电场对粉尘的荷电能力。

二、烟气治理新技术应用条件分析

(2) 低低温电除尘器

该技术需要特别注意燃煤特别是燃中硫煤对除尘器极板、极线的腐蚀及防止灰管堵塞等方面的技术研究。

二、烟气治理新技术应用条件分析

(3) 电袋除尘器及布袋除尘器

在电除尘器改造难度较大或改造费用过高时，可采用电袋或布袋除尘器，并综合考虑烟气流速、气流分布、清灰方式、滤袋寿命及废弃滤袋的处理等，实现达标排放。采用针刺热压腹膜、水刺等新工艺，可使出口粉尘排放控制浓度控制在 $15\text{mg}/\text{m}^3$ 甚至更低，在美国应用布袋除尘器条件是保证出口粉尘浓度 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

二、烟气治理新技术应用条件分析

(4) 湿式电除尘器

湿式电除尘器在国内燃煤机组有一窝蜂而起的现象，各种技术均有表现的空间，我们的建议是适量开展，不断总结。特别应注意湿式电除尘器要解决什么样的排放问题，并且要解决湿式电除尘器带来的废水量、腐蚀严重、材料选择困难等问题。

二、烟气治理新技术应用条件分析

对于金属极板湿式电除尘器材料选择

在除尘器极板、极线材料选择方面美国公司认为：吸收塔后运行会造成氯化物浓度升高，因此，增加了不锈钢发生点腐蚀和/或缝隙腐蚀的可能性。这些位置基本上是由未缓冲的浆液雾或冷凝物所湿化。它们对烟气中剩余SO₂的吸收可能造成pH下降到低于2。由于在湿式电除尘器会出现高氯化物和低pH的可能性，因此不推荐使用不锈钢。

二、烟气治理新技术应用条件分析

来自于湿法电除尘器收集管收集的硫酸酸雾滴
落于多孔烟气分布板，导致烟气分布板严重腐蚀



多孔烟气分布板

三、燃煤电厂烟气治理工艺未来发展及 技术路线选择的几点思考

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

1、烟气治理技术未来发展预测

在国内大规模推进燃煤电厂烟气脱硫、脱硝、除尘超低排放的同时，应注意到燃煤电厂面临烟气治理更多的技术与工程应用课题，如：烟气脱汞、脱SO₃等问题。

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

1) 关于烟气脱汞

环保部对我国燃煤电厂汞污染控制已经提出了明确要求：

一是要**摸清底数**，建立我国典型燃煤机组排放清单的计算模型，开展燃煤电厂大气汞排放在线监测试点工作，准确掌握燃煤电厂大气汞排放第一手数据。

二是进行**脱汞技术示范**。结合烟气脱硫、脱硝、除尘工作，开展同时脱汞的多污染物协同控制示范工程，并进行系统的技术、经济和环境效益评估。

三是要通过试点示范，提出燃煤电厂大气汞污染控制**技术政策**和**经济政策**的建议。

四是要将**燃煤电厂大气汞污染防治工作**纳入各集团公司的“十二五”规划，落实项目和资金安排，制定有针对性的措施。

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

在这个背景下，六大电力集团已经开展燃煤机组烟气脱汞测量项目的相关工作，全国16个电厂作为示范电厂。

发电集团

电厂

华能

福州电厂

高碑店热电厂

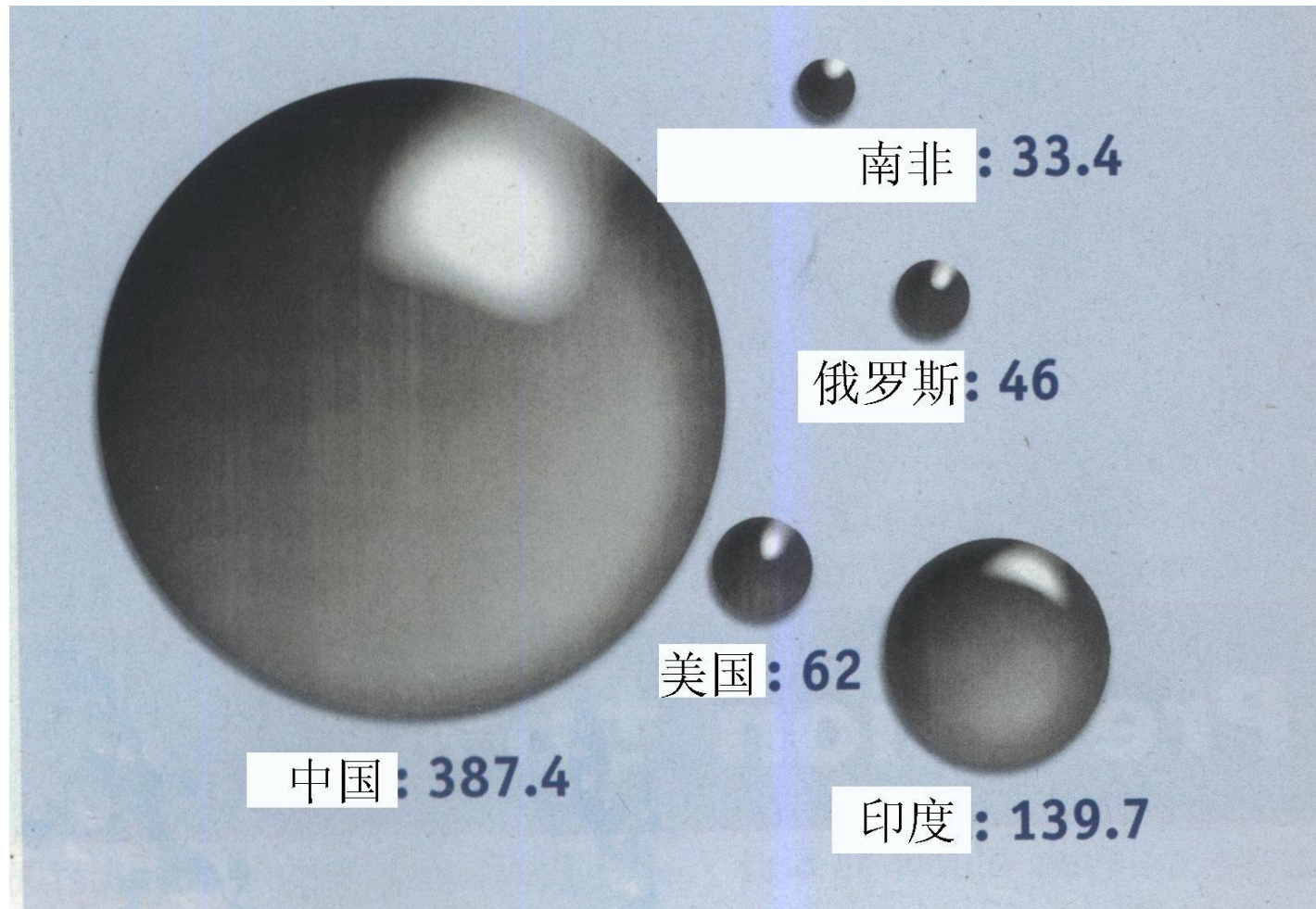
榆社电厂



天



三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考



联合国环境规划署 (UNEP) 的估计, 2005年

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

煤中汞含量及煤质的影响—中国煤中的汞

研究者从15个主要采煤省采集了176个煤炭样品，并从20个电厂采集了炉前煤，分析结果：

省份	平均值	最小值	最大值
山西	0.15	0.03	0.63
内蒙古	0.18	0.01	1.53
陕西	0.25	0.01	1.13
四川	0.34	0.21	0.54
重庆	0.41	0.16	0.78
贵州	0.21	0.01	2.25
云南	0.08	0.02	0.26
辽宁	0.10	0.04	0.16
黑龙江	0.03	0.01	0.05
山东	0.16	0.05	0.39
河南	0.13	0.05	0.26
江苏	0.18	0.11	0.30
安徽	0.20	0.08	0.41
河北	0.17	0.04	0.45
新疆	0.02	0.01	0.06
甘肃	0.18	0.04	0.33

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

根据电厂的测量结果：

烟煤燃烧产生的烟气中，汞以氧化态为主；

次烟煤燃烧产生的烟气中，氧化态与元素态汞的比例大约相当；

而褐煤燃烧产生的烟气中，汞以元素态为主，这与褐煤卤素含量偏低以及飞灰组成的差异有关。因此，控制褐煤燃烧产生的汞污染的难度最为艰巨。

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

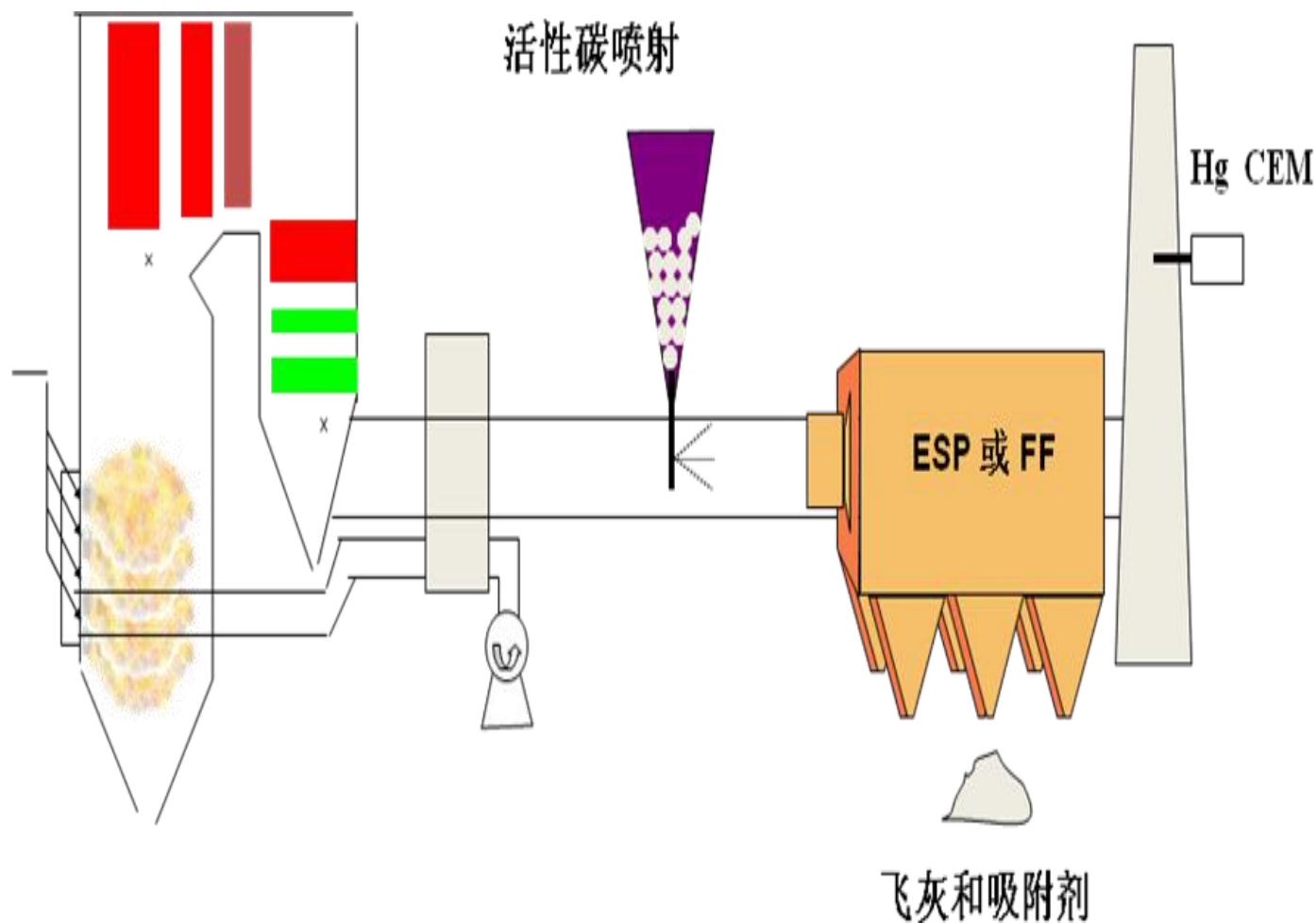
吸附剂喷射技术所使用的吸附剂分为三类：

未处理的吸附剂，例如活性炭；

特殊处理的吸附剂，如溴化活性炭；

自产生的吸附剂，如未燃尽碳和飞灰。

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考



三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

• 汞控制方法的经济性和可行性比较

措施	投资费用	运行费用	说明
洗煤	中等	中等	一般去除效率可达30%。
混煤	很低	很低	次烟煤和烟煤混合，可能影响锅炉性能。
煤添加剂	很低	中等	会增加烟气的腐蚀性。
除尘装置	低	低	一般去除效率小于30%~80%。
脱硫装置	很低	低	需要控制汞的再释放。
脱硝装置	中等	中等	可能需要更换催化剂种类。
活性炭喷射	低	高	飞灰的商业利用价值受到限制。
TOXECON	很高	高	保证飞灰的商业利用价值。

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

2、关于燃煤电厂脱除 SO_3

我国燃煤的巨大差异使我们更加清醒的认识到烟气治理技术发展的复杂性，我国的云南、贵州、四川、湖南、广西等地燃煤硫分较高， SO_3 排放较为严重，将会有更严的标准要求。我们可以借鉴美国一些经验，提出我们的技术路线。

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

1) 美国Trimble County 电厂2号机组湿式电除尘器的应用 (2011年投运)

该电厂是美国燃高硫煤最环保的电厂之一。

2号机技术路线：低 NO_x 燃烧器+SCR

(NO_x 综合脱除率 $>90\%$) + 石灰液喷射系统 (脱除 SO_3)
+ESP+活性炭脱汞装置+FF+WFGD (SO_2 脱除率 $>98\%$) +WESP



美国Trimble County 电厂
- 820 MW
水平喷淋板式湿式电除尘器

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

2) 美国 Spurlock 电厂 1 号机和 2 号机技术路线: 采用低 NO_x 燃烧器+SCR+电除尘器+湿法脱硫+湿式电除尘器工艺

位置: Maysville, KY

容量: 1 号机: 340 MW, 2 号机: 550 MW

投运时间: 2008/2009

燃煤硫分: 4.2%

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

3) Elm Road 1、2号机 技术路线：采用 低 NO_x 燃烧器+SCR+布袋除尘器+湿法烟气脱硫+湿式电除尘器工艺

Location Oak Creek, WI

机组容量：2 x 670 MW

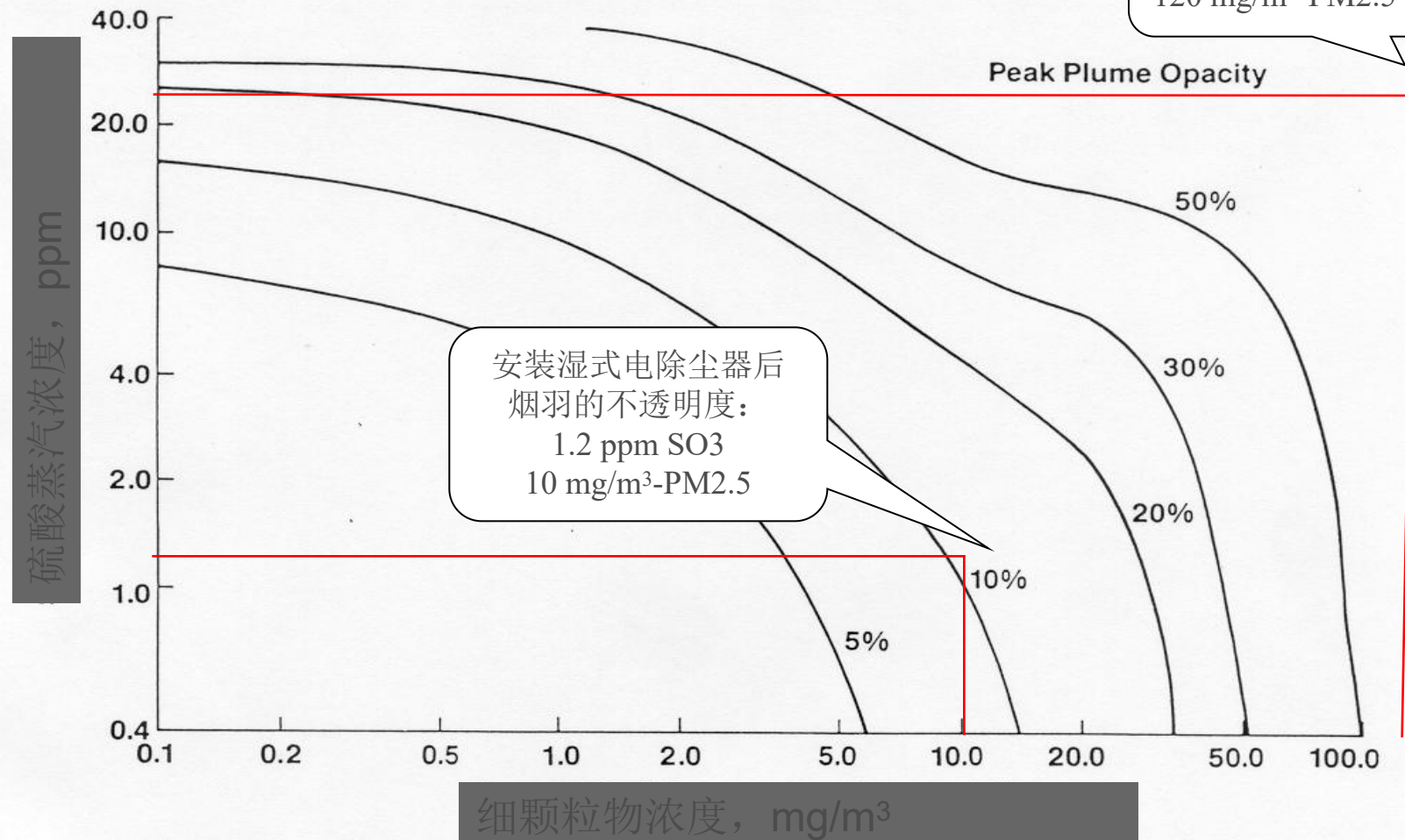
投运时间：2009/2010

燃煤硫分：2.6%

湿式电除尘器脱除达总量94%的 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_3 。

湿式除尘器安装后烟羽的可预计不透明度

目前的不透明度:
25ppm -SO₃
120 mg/m³-PM2.5



三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

2、燃煤电厂烟气治理技术路线的几点思考

1) 美国湿式电除尘器的应用主要针对新上机组，燃中、高煤电厂。

自从2006年提出PM_{2.5}控制要求后，提出了除脱除传统的粉尘、NO_x、SO₂外，主要脱除PM_{2.5}、SO₃及汞的要求，进而提出了：低NO_x燃烧器+SCR+脱汞+高效ESP+WFGD+WESP的技术路线。

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

2) 日本烟气治理超低排放控制技术路线发展历程及湿式电除尘技术的应用

- a. 低 NO_x 燃烧器+SCR+ESP+WFGD+WESP（碧南1、2、3号3台700MW机组，91年、92年93年投运）+烟气再热器；
- b. 低 NO_x 燃烧器+SCR+热回收器+低低温电除尘器（1997年~2009年）+WFGD+烟气再热器；
- c. 低 NO_x 燃烧器+SCR+热回收器+低低温电除尘器+移动极板+WFGD+WESP（碧南4、5号2台1000MW机组，2009年、2010年投运）+烟气再热器。

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

烟气协同治理技术路线

烟气污染物协同治理系统是在充分考虑燃煤电厂现有烟气污染物脱除设备性能（或进行适当的升级和改造）的基础上，引入“协同治理”的理念建立的，具体表现为综合考虑脱硝系统、除尘系统和脱硫装置之间的协同关系，在每个装置脱除其主要目标污染物的同时，协同脱除其它污染物或为下游装置脱除污染物创造有利条件。

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

脱硝装置 (SCR)

其主要功能是实现 NO_x 的高效脱除，同时实现较高的汞氧化率和较低的 SO_3 的生成率。通过在脱硝系统中加装高效汞氧化催化剂，提高元素态汞的氧化效率，有利于在其后的除尘设备和脱硫设备中对汞进行脱除。降低 SO_2 向 SO_3 的转化率，减少 SO_3 的生成。

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

高脱硫、除尘效率的湿法烟气脱硫装置

主要功能是实现 SO_2 的高效脱除，同时实现烟尘、 SO_3 的协同脱除。

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

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

湿法脱硫装置出口的液滴中含有石膏颗粒等固体颗粒，要达到颗粒物的超低排放，提高其协同除尘效率的措施：

- a) 较好的气流分布；
- b) 采用合适的吸收塔流速；
- c) 优化喷淋层设计；

d) 采用高性能的除雾器，除雾器出口液滴浓度为
 $20\text{mg}/\text{m}^3 \sim 40\text{mg}/\text{m}^3$ 。

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

3) 对燃煤电厂烟气治理超低排放的技术路线正在探索过程中，各种技术对我国煤种的长期适用性还有待观察。但我国的环保标准还在变化中，必须从长远的观点考虑整个系统的烟气处理问题。国内投运的湿式电除尘器已经远远超过美国、日本运行湿式电除尘器数量，但我们对湿式电除尘器的应用条件和对湿式电除尘器在环保技术路线中的应用时模糊的。

湿式电除尘器是环保体系体系最后一道防线，对其选型及去除什么应该有清晰的认识。

三、烟气治理技术未来发展及技术路线选择的几点思考

烟气治理技术路线选择主要原则应与主体环保技术路线系统，做到：因地制宜、因煤制宜、因炉制宜、因标准制宜和应对未来环保可能的变化对策制宜。

谢谢!