



EPTCHINA.CN

中国电力科技网

第一届空气预热器综合治理专题技术交流会



龙 辉

中国电力工程顾问集团公司副总工程师，教授级高级工程师。中国能源建设集团有限公司科学技术委员会专业委员会委员、国家700℃超超临界燃煤发电技术创新联盟技术委员会委员。主要从事火力发电新技术及环保工艺发展方向研究。近年来在国家级电力期刊上发表有关火电新技术发展及环保工艺方面的研究论文30篇以上。

美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀堵塞工艺

2018年5月29-30日 中国·济南



美国燃煤电厂防止空气预热器 腐蚀、堵塞工艺介绍

主要内容

一、前言

二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

四、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺应用
情况

五、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀堵塞工艺发展对
我国的启示

一、前言

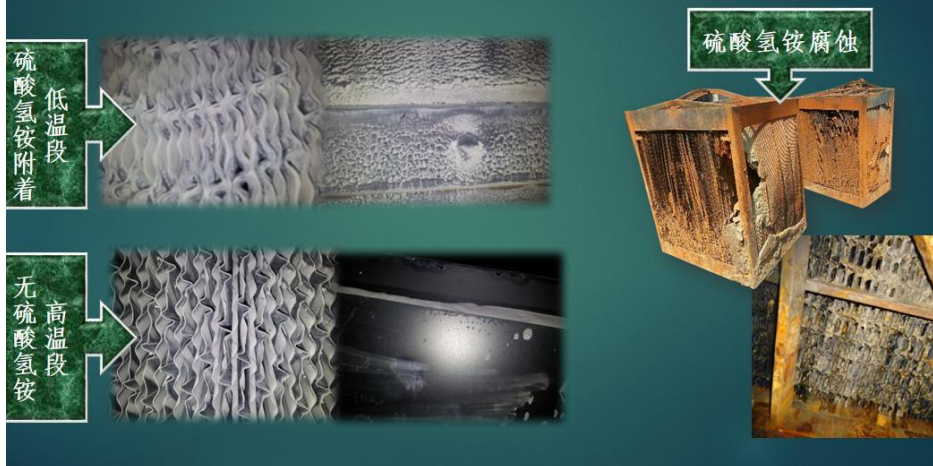
一、前言

截止至2017年末，我国71%的燃煤火电机组完成超低排放改造。

与此同时，燃煤电厂超低排放中暴露出的一些问题也逐步显现，其中以SCR烟气脱硝工艺引起的烟气中 SO_3 浓度显著升高带来的问题尤为突出。 SO_3 不仅会形成可见的硫酸烟羽；同时由于ABS的产生引起烟气系统特别是空气预热器的腐蚀、堵塞，增加系统能耗并影响系统的运行和性能。这一问题在我国电力行业开始受到关注。

一、前言

现象：空气预热器的ABS



超低排放的设计与运行

超低排放的ABS趋势



硫酸氢铵取决于 NH_3 和 SO_3 的浓度之积

结论：面临更加严峻的ABS问题

摘自西安热工院苏州分院报告

一、前言

当 SO_3 或气态硫酸被排放到大气中时， SO_3 和大气中的水凝结形成硫酸盐气溶胶细颗粒。对于有湿法脱硫系统的机组，这个反应更为突出，原因是高温烟气直接跟淋湿的脱硫吸附剂接触而发生骤冷的物理现象。这些气溶胶颗粒非常细，在FGD系统中只能被部分脱除。但不论是在FGD系统或在大气中形成，这些气溶胶粒子均可散射光线，形成可见的偏蓝或棕橙色的烟羽，具体颜色取决于颗粒大小、太阳光照角度及当时的气象条件。 SO_3 排放浓度约为 $18\text{mg}/\text{Nm}^3$ 时，发电厂的烟羽就比较明显。一般而言，在适当大气条件下，高硫煤电厂均可能呈现这种现象；浓度越高、变色情况越严重。

一、前言

硫酸气溶胶引起严重的蓝烟问题



近10来美国燃煤火电机组烟气治理技术发展

- 1) 标准更严：2008年始《清洁大气法修正案》二期，比1990年颁布的《清洁大气法修正案》对污染物的控制力度更大，要求更严。
- 2) 美国在2006年废除了 PM_{10} 要求,专门对 $PM_{2.5}$ 提出控制要求，开展了大量的燃煤电厂脱除 SO_3 项目。
- 3) 脱汞等重金属。

一、前言

美国国土面积与我们接近，燃煤煤质有些和我们相近，而美国火电机组环保从粗放型管理到目前的标准要求越来越高，且近10来美国燃煤火电机组烟气治理技术发展主要针对人健康有害的污染物进行严格控制。美国因为开展烟气脱硝工艺较早，比我们更早遇到并解决由于开展烟气脱硝工艺后出现的空气预热器出现的ABS问题及烟囱出现的蓝烟问题。

二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

1、炉内燃烧产生的 SO_3

炉内燃烧 SO_2 转化为 SO_3 主要发生在辐射受热段和对流段，转化率大约在1%。

对于一个典型的炉膛，如果烟气中的 SO_2 的浓度为2000ppm (5720mg/Nm³)，那么在省煤器出口处的烟气中， SO_3 的浓度大约为20ppm (72mg/Nm³)。

二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

2、脱硝使用催化剂后产生的 SO_3

SCR的催化剂会将部分 SO_2 氧化为 SO_3 ，增加了烟气中的 SO_3 浓度；美国电厂在安装了SCR后，很多电厂出现了蓝烟问题；据美国EPA估计，约75%的安装了SCR烟气脱硝装置+湿法烟气脱硫装置的电厂受到蓝烟问题的困扰； $\text{PM}_{2.5}$ 与蓝烟之间的关系受到公众的关注。

二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

由于在锅炉出口高灰烟气条件下安装SCR脱硝系统，也导致烟气中 SO_3 增加。SCR催化剂成分主要有 TiO_2 、 V_2O_5 和 WO_3 或 MoO_3 。在烟气经过催化剂层时，钒又有助于 NO_x 的脱除，钒也是 SO_2 转化为 SO_3 的活性催化剂，该转化率取决于催化剂中钒的浓度、种类和烟气的温度，温度越高，产生的 SO_3 就越多。

。因而，为了减少 SO_2 转化率必须采用含钒较低的催化剂，但用量要增加。一般情况下转换率大约为0.5~1.5%，对于 SO_2 含量为2000ppm（5720mg/Nm³）的烟气，会在SCR的出口增加20ppm的 SO_3 （72mg/Nm³）。

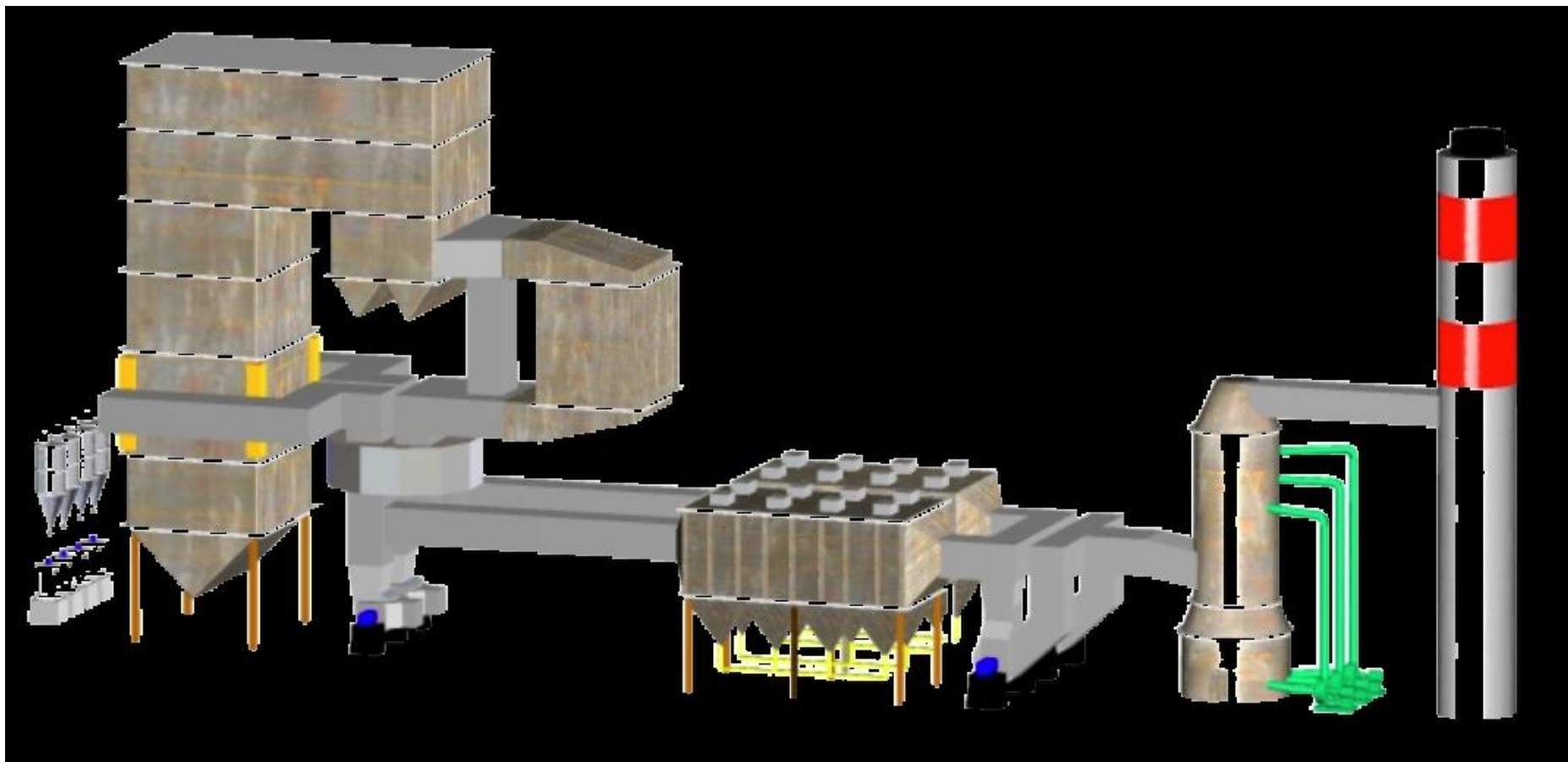
二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

由催化剂引起的转化率也取决于烟气的温度和锅炉负荷。烟气温度高转换率亦高。烟气温度偏高往往是由于锅炉对流受热面灰污垢使得传热降低。在低负荷时烟气流速低，由于在催化剂停留的时间长也会使转化率增加，虽然此时烟气温度偏低使转化率减少会有些抵消。典型的SO₂转换率在喷氨情况下的多层催化剂反应器中是0.5%~2.0%。

二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

锅炉燃烧过程中有**1%SO₃**转化成SO₃

经过**SCR**有**0.5-2 %**的SO₂转化成SO₃



二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

SO_3 对电厂运行的设备也有很大影响，包括酸露点温度提高限制了空预器的热回收并使之引起腐蚀。 SO_3 和SCR/SNCR逃逸的氨反应使得空预器和催化剂结污垢。 SO_3 也影响飞灰或活性炭吸附汞的效果，因为 SO_3 也会和汞竞争活性炭。因而，脱 SO_3 对电厂来说，不光是排放污染的控制，对锅炉系统也有许多好处。

二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

另外，美国越来越多的规范要求发电厂减少包括汞在内的有害空气污染物排放。虽然火力发电厂可以使用活性炭喷射技术控制汞排放，但脱汞效率在有 SO_3 存在的情况下会大大降低。而燃烧高硫燃料并配有SCR设备的电厂，其烟气中 SO_3 可高达 $108\sim 288\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。研究显示，即使是较低浓度（ $7.2\sim 18\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）的 SO_3 也会抑制活性炭对汞的吸附。

二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

SO_3 的源和汇-空气预热器

空气预热器是 SO_3 的汇，即会减少 SO_3 ； SO_3 的减少量取决于烟气的温度和空预器的类型；烟气的冷却速度越快，空预器出口的烟温越低， SO_3 的减少量越大；通常空预器对 SO_3 的脱除率为10~15%；

但是在烟温降低的同时，生成 H_2SO_4 风险就会增大。

二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

烟气温度低于 260°C 时， SO_3 与烟气中的水分结合形成气相硫酸。由于硫酸比烟气中的水分具有更高的露点温度，因此当烟气冷却时硫酸凝结并导致后端管道和其它设备（ESP及引风机等）腐蚀。随着烟气中硫酸浓度的上升（例如安装SCR设备或燃烧高硫煤），硫酸露点温度也会升高。这时必须相应提高空气预热器出口温度来防止腐蚀产生，这必将对机组效率产生负面影响。

二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

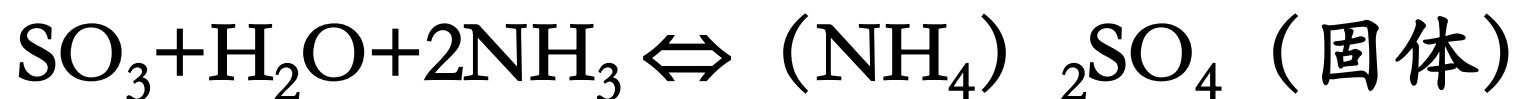
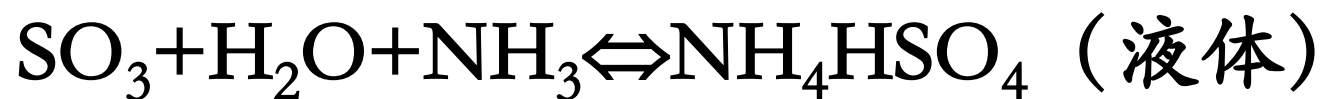
空气预热器酸性凝结液腐蚀是其中一个重要问题，灰和硫酸液在一定条件下形成黏性沉积物。即使提高空预器出口温度以防止酸露点到未安装SCR烟气脱硝装置的程度，部分电厂还是出现空气预热器污垢黏性系数增加的情况。

二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

在一定的条件和温度下 SO_3 和 NH_3 反应形成氨盐沉积。如果 SO_3 的摩尔浓度比 NH_3 摩尔浓度大，当空气预热器中烟气冷却时，氨（ NH_3 ）与 SO_3 反应生成ABS。ABS是一种粘稠固体，可导致空气预热器通道结垢。这种黏性物质会在空气预热器结垢使得空气预热器压差急剧增加，时间长了不得不停机清除。空气预热器换热元件通道的选型、换热单元深度和清洗方式都必须考虑到如何使ABS的影响最小。

二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

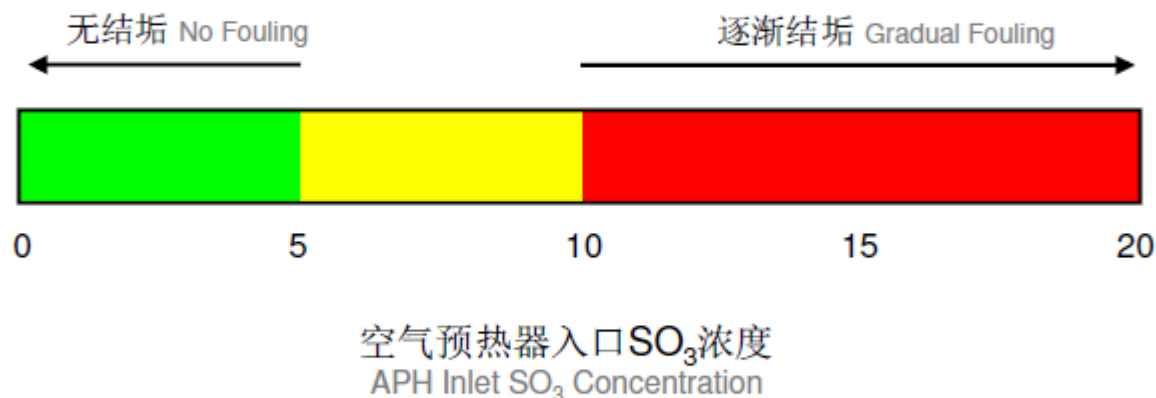
ABS的由来



二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

通过分析大量的试验与实装数据得出...

Conclusion Reached After Analyzing Project Data



目标：将空气预热器入口SO₃控制在5 ppm 或更低水平
Goal: Control SO₃ to 5 ppm or less at APH Inlet

二、空气预热器内硫酸氢胺的产生

当 NH_3 从SCR中逃逸时，会出现在下游的烟气中。 SO_3 若没有在空气预热器之前被脱除，中、高硫煤 SO_3 其浓度在 $108\text{mg}/\text{Nm}^3 \sim 216\text{mg}/\text{Nm}^3$ 范围内，即便是少量的 NH_3 也极易产生ABS。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工 艺介绍

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

如果在空气预热器换热之前，烟气中 SO_3 被有效脱除，ABS在空气预热器结垢的可能性将大幅降低。这可显著减少或省去机组停机的需要，同时也降低高压水冲洗空气预热器ABS沉积物的成本。换热元件更换费用也将减少，因为缩短元件寿命的诸多因素（如：ABS和硫酸腐蚀、吹灰的频率和压力、水洗频率）得到了明显抑制。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

若空气预热器入口的 SO_3 浓度减少到 $11\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下，空气预热器适当改造后可回收烟气中额外的热量，使得空气预热器排烟温度降低，而不至于担心下游的腐蚀。这样带来热效率的有效提高和下游烟气体积流量的减少，两者都会为发电带来经济效益。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

脱除SO₃可降低空预器出口烟温，每降低20°C，锅炉效率增加1%；可减少催化剂的用量和减少在低负荷时停SCR的次数；减少除尘器的腐蚀和清灰次数；减少锅炉设备的腐蚀；减少空气预热器ABS沾污。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

目前美国燃煤火电机组空气预热器前脱除SO₃主要采用2种工艺：

- 1、SBS喷射工艺；
- 2、石灰液喷射工艺。

由于石灰液喷射工艺应用较少，在这里不做介绍。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

SBS喷射工艺介绍

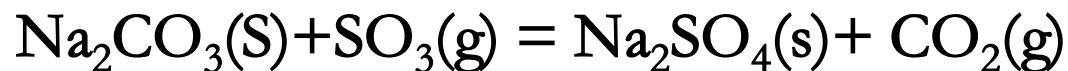
在空气预热器入口喷射 NaCO_3 工艺与回转式空气预热器相结合来提高热回收效率，通过前者能有效控制 SO_3 浓度，清除酸性物质则可以燃煤电厂的热效率。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

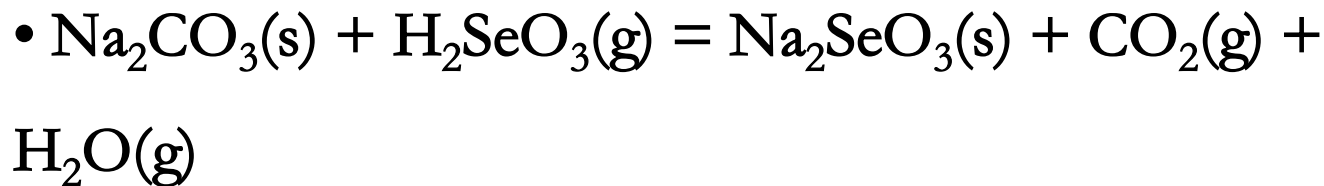
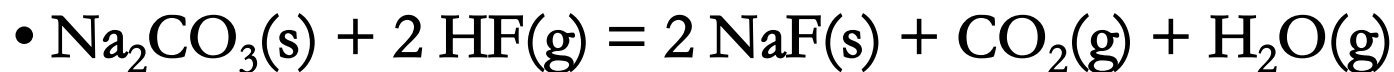
SBS喷射技术是把碳酸钠（纯碱）溶液喷入烟气以脱除SO₃的技术。碳酸钠以溶液形式喷入，干燥后在烟气中与SO₂反应，生成亚硫酸钠，

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀堵塞工艺介绍

SBS脱SO₃工艺主要化学反应

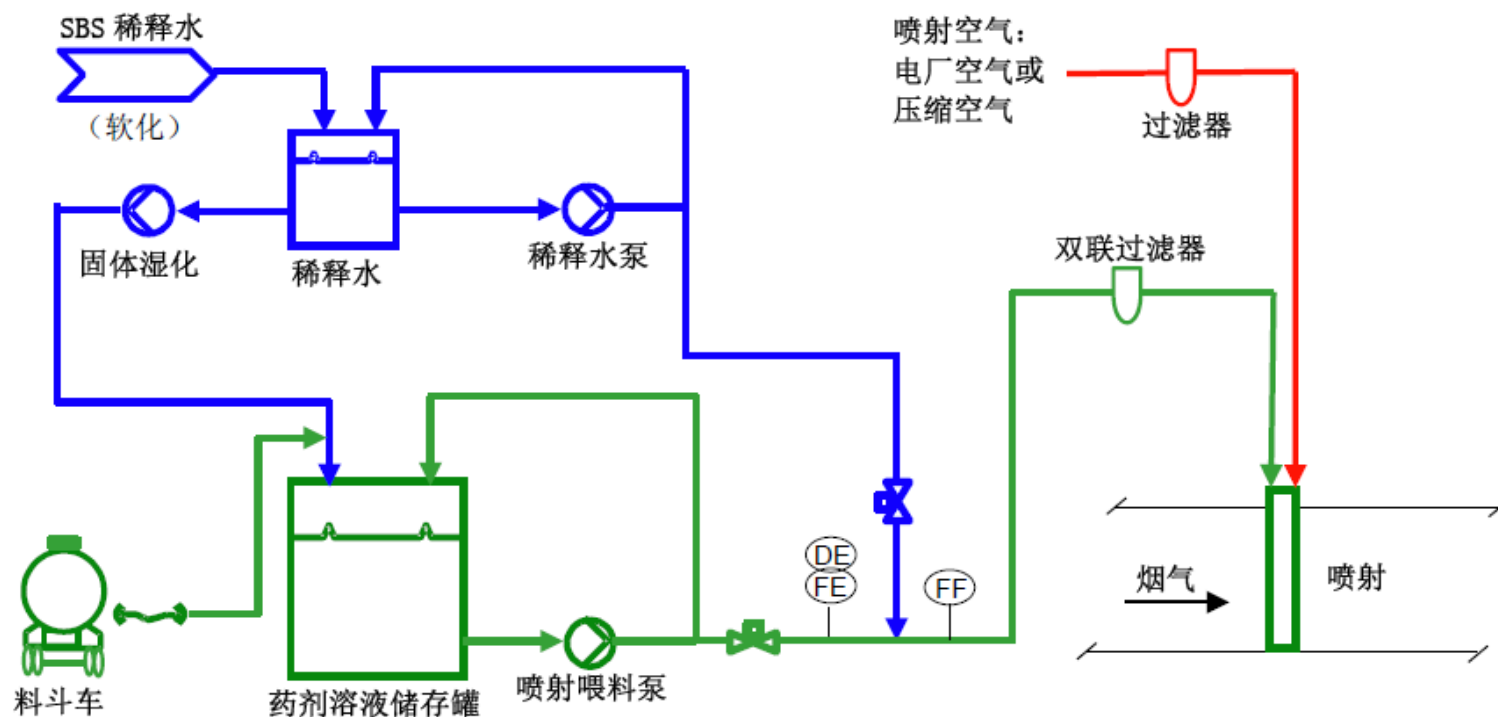


其它酸性气体



三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

SBS喷射技术的工艺流程图



三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀堵塞工艺介绍

CPECC 中国电力工程顾问集团有限公司
CHINA POWER ENGINEERING CONSULTING GROUP CO., LTD.



三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀堵塞工艺介绍

使用的碳酸钠原料一般为固态纯碱颗粒。固态原料通常由罐车运输并卸载后即时溶解于温水，以百分比20%至25%的溶液储存。浓缩液从药剂储存罐由泵打入计量器，喷射前被软化水在线稀释到所需要的喷射浓度。喷射和计量单元配置有密度、流量等仪器仪表和流量控制阀，根据工艺所设计的设置进行流量和稀释液浓度调节。稀释过程需使用软化水以避免管路和喷嘴出现碳酸钙结垢。碳酸钠溶液也需进行伴热和隔热，以避免冷凝或结晶。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀堵塞工艺介绍

SBS喷射技术的核心是喷射系统。药剂溶液通过多管喷枪注入烟气，每根喷枪上有多个双流体雾化喷嘴。对每个特定项目，设计通常包括运用计算机流体动力模型（CFD）模拟特定烟道中的烟气分布，确定喷枪和喷嘴的数量和位置，保证药剂雾化干燥，并跟烟气充分混合。喷嘴利用压缩空气来达到合适的雾化。喷枪通过自身内部空气流动得到冷却。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀堵塞工艺介绍

碳酸钠溶液通过双流体雾化喷嘴喷入烟气，并且水分在离喷射点距离很短的下游被完全蒸发。一些重要的反应在极短时间内以液相形式发生，但大部分的 SO_3 脱除通过与干燥颗粒的固相反应形式进行。干燥后的颗粒细小却有非常大的表面积，增加了反应活性。干燥的反应产物随飞灰颗粒被静电或袋式除尘器捕捉。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀堵塞工艺介绍

碳酸钠溶液可在尾部烟道中不同位置喷射，包括SCR入口，空预器入口或出口，甚至FGD入口。优选的喷射位置是紧接在省煤器下端或SCR出口端，因为这些位置较高的气体温度可减少干燥时间并加快反应速度。在空气预热器下游喷射碳酸钠的过程，液滴的干燥时间会增加。喷射位置必须保证液滴在干燥前不接触任何烟道内部构件表面，否则会产生固体沉积问题。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

采用SBS喷射工艺将吸收剂喷射技术与空气预热器技术相结合来提高热回收效率，通过前者有效控制SO₃浓度，后者能更有效回收热能。燃烧烟气中的硫酸和其他酸性化合物引起的空气预热器内结垢与腐蚀，降低热回收效率。清除酸性物质则可以提高燃煤电厂的热效能和效率。在美国纽约州韦尔斯维尔的研究设施内，这项联合技术经过了长期测试，已成功实现了空气预热器在排烟温度降至104°C时电厂稳定运行，这一改进能使电厂综合效率提高3%。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

采用SBS喷射工艺脱除每吨 SO_3 的成本一般为600~800美元。
同时 SO_3 的高效脱除还会以下诸多优势，其中包括：

通过空气预热器防堵和腐蚀可使机组效率提高，最多达3%
的效率提升；

汞的捕集能力增强——喷射过程可减少或不加投昂贵的活
性碳或卤素吸附剂；

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

大幅减少“末端”腐蚀和停机维修费用；

提高SCR对氮氧化物的脱除效率或有效延长SCR催化剂的使用寿命；

减少空气换热器的停机时间及结垢清洗成本；

机组效率提高，CO₂排放减少；

增强捕捉飞灰中的硒和HCl。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

在空气加热器或SCR反应器上游采用该喷射工艺的项目使用较少的药剂便可使 SO_3 脱除率能稳定保持在95~99%的水平。SBS工艺能够在空气加热器上游可靠脱除 SO_3 ，保证消除硫酸带来的烟气不透明度问题并为电厂运营带来巨大优势的技术。不仅能满足现在对 SO_3 控制的需求，而且能满足未来更为严格的最佳可行控制技术（BACT）的要求。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

CPECC 中国电力工程顾问集团有限公司
CHINA POWER ENGINEERING CONSULTING GROUP CO., LTD.

协同优势：1、电厂锅炉效率提高，燃煤量降低；

2、减少空气预热器结垢，防止末端腐蚀，空气预热器可靠性提高；

3、三大风机能耗降低；

4、湿法脱硫工艺用水量减少；

5、机组出力降低情况减少；

6、汞的捕集能力增强。

三、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺介绍

根据国外电厂的介绍，一台500MW的机组，每年可以节约运行费用500万美元。

四、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺应用情况

四、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺应用情况

美国SBS工艺已成功应用于30多个锅炉，总装机容量超过18000MW。下表中列出了SBS在美国几个电厂应用后SO₃实测的数据。可以看出，SO₃的脱除效率基本上可以达到98%以上，SO₃烟囱出口浓度可降低至1.8mg/Nm³左右。

四、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺应用情况

CPECC 中国电力工程顾问集团有限公司
CHINA POWER ENGINEERING CONSULTING GROUP CO., LTD.

实测SO₃脱除效率结果

电厂	入口 SO ₃ 浓度(ppm)	烟囱 SO ₃ 浓度(ppm)	SO ₃ 脱除率(%)	颗粒物 控制设备	SO ₂ 控制设备
A	32	1.3	95.9	ESP	湿式 FGD
B	65	1.6	97.5	文丘里洗涤塔	湿式 FGD
C	36	1.3	96.4	ESP	无
D	66	1.2	98.2	ESP	湿式 FGD
E	45	0.2	99.6	ESP	湿式 FGD
F	15	0.6	96.0	ESP	湿式 FGD
G	44	0.5	98.9	ESP	湿式 FGD
H	72	0.3	99.6	ESP	湿式 FGD

四、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺应用情况

能源公司	机组	MW	喷射位置	启用时间
Vectren	AB Brown 1-2	2x265	FGD入口	2015
IP&L	Petersburg 1-4	1875	SCR入口/APH入口	2015
FirstEnergy	Pleasants 1-2	2x700	SCR出口	2012
Hoosier Energy	Merom 1-2	2x540	SCR入口	2012
Duke Energy	Gibson 1-5	5x650	SCR入口	2009-2014
NIPSCO	Bailly	180	SCR出口	2008
DP&L	Stuart 1-4	4x620	SCR入口	2008
DP&L	Killen	635	省煤器/SCR出口	2007
IP&L	Harding St 7	465	SCR出口	2007
Duke Energy	Gibson 1-5	5x650	空气加热器出口	2005
NIPSCO	Bailly	365	空气加热器出口	2004
Vectren	Culley 3	287	SCR出口	2004
PPL	Montour 1-2	2x765	空气加热器出口	2004
FirstEnergy	Mansfield 1-3	3x860	空气加热器入口	2003
TVA	Widows Creek 7	550	空气加热器入口	2003

四、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺应用情况

与WFGD+WESP工艺的比较：WFGD对于硫酸气溶胶的脱除效率很低，约20%~50%；WFGD+WESP对于硫酸气溶胶和细颗粒有很高的脱除效率90%以上；WESP作为SO₃的末端处理设备，对解决SCR运行带来的ABS堵塞空预器问题、脱硫设备和下游烟道腐蚀问题以及SO₃干扰脱汞问题没有帮助。

四、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺应用情况

主要案例：美国印第安纳州2×540MW燃煤火电机组

烟气系统采用SCR+APH+ESP+WFGD工艺。燃煤含硫量3%，SCR烟气脱硝工艺 SO_3 浓度70ppm ($252\text{mg}/\text{Nm}^3$)，采用SBS喷射脱除 SO_3 工艺，在SCR入口喷射，并进行空气预热器升级改造。

四、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺应用情况

CPECC 中国电力工程顾问集团有限公司
CHINA POWER ENGINEERING CONSULTING GROUP CO., LTD.



四、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺应用情况

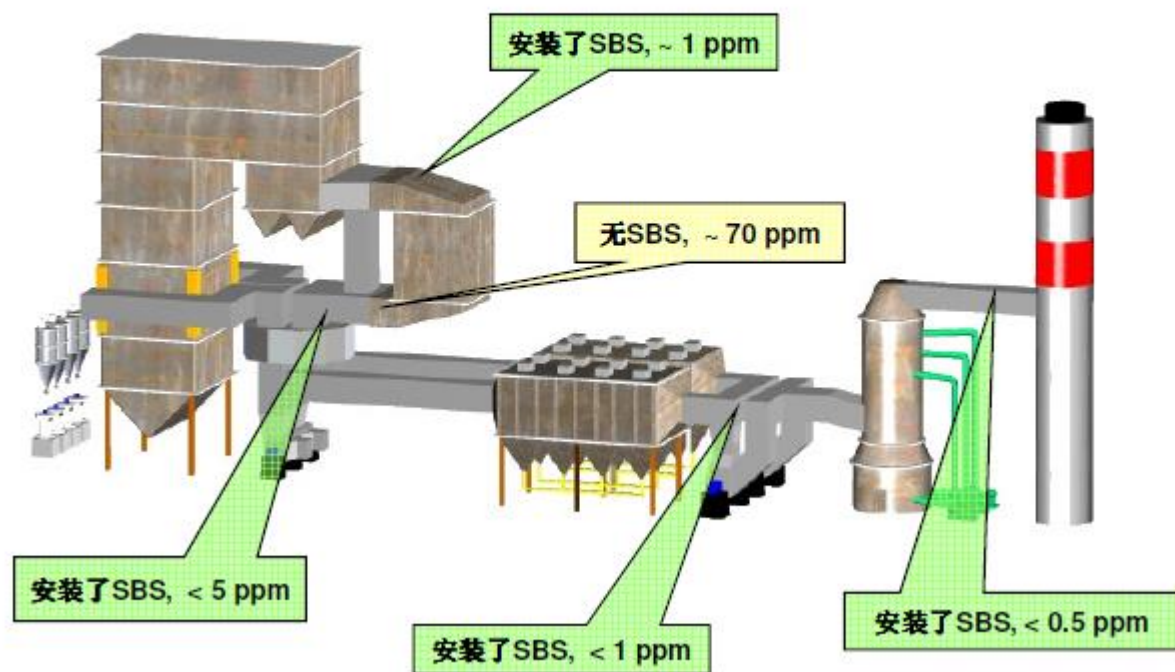
CPECC 中国电力工程顾问集团有限公司
CHINA POWER ENGINEERING CONSULTING GROUP CO., LTD.



四、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺应用情况

CPECC 中国电力工程顾问集团有限公司
CHINA POWER ENGINEERING CONSULTING GROUP CO., LTD.

烟道中的各单元SO₃浓度



四、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺应用情况

安装SBS喷射技术后电厂各项参数明显改善 Improvements After SBS Installation

	安装之前 Before	安装之后 After
预热器入口SO ₃ APH Inlet SO ₃	>70 ppm	<5 ppm
烟囱SO ₃ 排放 Stack SO ₃ emission	>20 ppm	<0.5 ppm
预热器出口温度 APH Outlet Temp	165-175 °C	125-140 °C
CO ₂ 排放 CO ₂ emission	原始值 base	-2 %
SCR最小运营温度 SCR Min Op Temp	325 °C	280 °C
汞排放 Mercury emission	> 2 lb/TBtu	< 0.5 lb/TBtu
静电除尘设备中的HCl脱除 HCl removal in ESP	< 10%	> 40%
静电除尘设备中的Se脱除 Se removal in ESP	< 10%	> 60%

四、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺应用情况

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

四、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺应用情况

CPECC 中国电力工程顾问集团有限公司
CHINA POWER ENGINEERING CONSULTING GROUP CO., LTD.

图释：治理前

Note: before treatment



杜克能源吉普森电厂

SO₃脱除之后



五、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺发展对我国的启示

五、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺发展对我国的启示

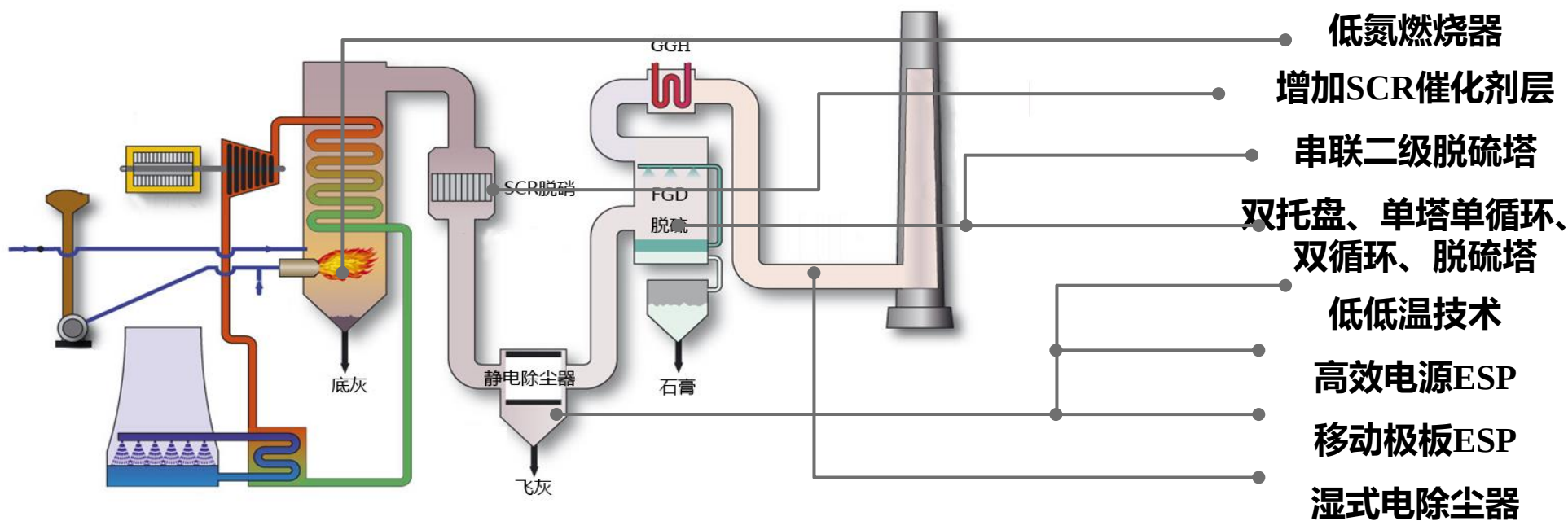
今天中国的火电厂大气污染物排放标准正走在半山腰上。国家“十一五”对SO₂排放提出了严格的控制要求，同时对NO_x排放控制提出了比较宽松的要求，而在“十二五”对NO_x排放提出了严格的控制要求，同时对汞排放控制提出了比较宽松的要求，接着又提出了超低排放的相关要求。

五、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺发展对我国的启示

- 常规技术：SCR、静电除尘器、FGD脱硫
- 实现燃煤电厂烟气治理岛超低排放控制有多种可选的减排技术

常规技术路线

新的减排技术



五、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺发展对我国的启示

根据国家目前对超低排放电厂要求，燃煤电厂满足“超低排放”烟气治理主要技术路线有三条路线选择。

五、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺发展对我国的启示

路线一：低 NO_x 燃烧器+SCR+低低温电除尘器+湿法烟气脱硫工艺+湿式电除尘器。

路线二：低 NO_x 燃烧器+SCR+高效除尘器+湿法烟气脱硫工艺+湿式电除尘器。

路线三：低 NO_x 燃烧器+SCR+低低温电除尘器+优化后的湿法烟气脱硫工艺（含高效除雾器）。

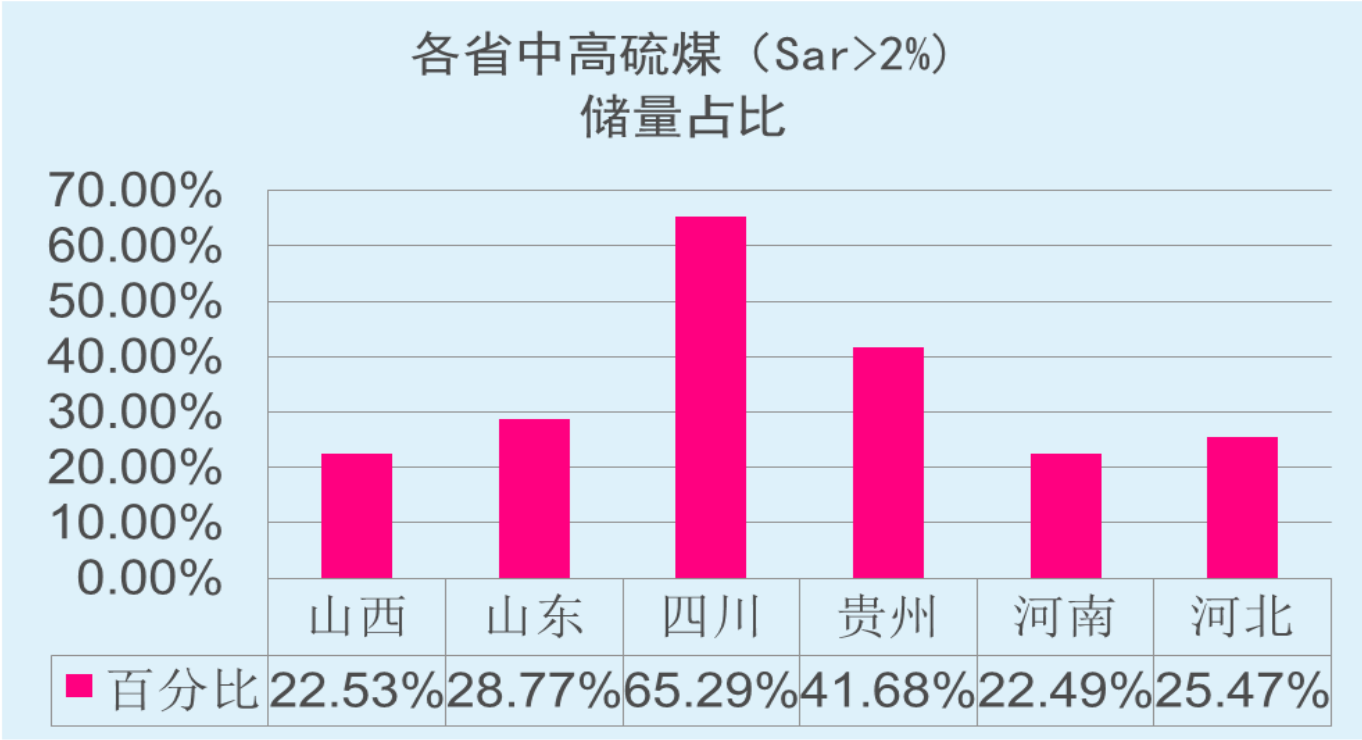
五、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺发展对我国的启示

燃劣质煤火电机组需要考虑SO₃控制

我国燃煤煤种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、四川等地火电机组燃煤硫分高，SO₃和PM_{2.5}排放最为严重，我国的山西、山东、河南、河北等地大部分火电机组燃煤硫分较高，国家将会出台更为严格的标准要求，SO₃排放控制技术的研究成为我们工作中不可忽略的环节。

五、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺发展对我国的启示

我国煤炭资源中高硫煤占比大约30%，随着优质煤的使用量日益加剧，我国燃煤电厂将面对低硫煤日益减少，燃料成本上升，而被迫使用中高、高硫煤的局面。



五、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺发展对我国的启示

目前国内烟气脱SO₃有主要以下几条技术路线：

- 1、空气预热器+除尘器+湿法烟气脱硫工艺；
- 2、空气预热器+低低温电除尘技术+湿法烟气脱硫工艺：目前主要应用于燃中、低硫煤火电机组；
- 3、空气预热器+除尘器+湿法烟气脱硫工艺+湿式电除尘器技术：对解决SCR运行带来的ABS堵塞空预器问题、脱硫设备和下游烟道腐蚀问题以及SO₃干扰脱汞问题没有帮助。

五、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺发展对我国的启示

美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺发展对我国的启示

(1) 美国燃中、高硫煤锅炉脱除 SO_3 主要技术路线

目前 SO_3 引起的空气预热器主要问题可归纳为积灰、腐蚀和堵塞，它严重影响空气预热器设备的运行性能。美国公司针对空气预热器堵塞，采用空气预热器前喷碱性溶液或碱粉，使锅炉效率恢复性提高1%~3%，美国燃中、高硫煤锅炉脱除 SO_3 技术发展路线目前可归纳为 SCR前或空气预热器前喷 NaCO_3 或 CaOH_2 ，实现 SO_3 脱除。

五、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺发展对我国的启示

(2) 燃煤火电机组脱除SO₃具有节能、降低运行费用、协同脱汞的特点

采用喷碱液碱液可节约的成本估算

项目	节约费用
SCR催化剂	200~300万
燃料	800~2400万
设备	200~600万
脱汞	300~1000万
化学品	300~600万
总计	2000~6000万

五、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺发展对我国的启示

我国未来3~5年将面临更多更严格的环保法规，包括对汞、砷等等要求，脱硫废水排放方面的要求，因此在前端治理，最大限度地减少后端设备的增加是十分必要的。可借鉴美国的经验发展我国燃煤电厂SO₃脱除技术。

五、美国燃煤电厂防止空气预热器腐蚀、堵塞工艺发展对我国的启示

(3) 建设示范工程

在超低排放条件下，会使国内部分燃中、高硫煤及高灰机组产生ABS现象更加严重，从而导致烟风系统阻力增加，导致风机轴功率大幅度增加，在环保治理工艺后必需注意带来的新问题。可根据实际情况研究在空气预热器前脱除 SO_3 的可行性，可首先在燃高硫、高灰煤火电机组地区建设一个脱除 SO_3 的示范工程，为进一步的推广应用积累建设和运行经验。