

# 新昌电厂空预器防堵塞经验交流

2025年1月14日

## 知识产权声明

本文件的知识产权属国家电力投资集团公司及其相关产权人所有，并含有其保密信息。对本文件的使用及处置应严格遵循获取本文件的合同及约定的条件和要求。未经国家电力投资集团公司事先书面同意，不得对外披露、复制。

### *Intellectual Property Rights Statement*

*This document is the property of and contains proprietary information owned by SPIC and/or its related proprietor. You agree to treat this document in strict accordance with the terms and conditions of the agreement under which it was provided to you. No disclosure or copy of this document is permitted without the prior written permission of SPIC.*

# 目录 / CONTENT

- 一、新昌电厂空预器运行现状**
- 二、空预器堵塞原因**
- 三、空预器防堵塞治理措施**
- 四、建议**

# 一、新昌电厂空预器运行现状

---

***PART 01***

# 一、新昌电厂空预器运行现状

## 1.设备概况

新昌电厂建设两台700MW超超临界参数燃煤汽轮发电机组，锅炉为超超临界参数变压直流炉、一次再热、平衡通风、露天布置、固态排渣、全钢构架、全悬吊结构 II 型锅炉。

原空预器设计型号为LAP13494/2250型三分仓容克式空气预热器，2023年、2024年两台机组空预器蓄热元件进行了更换，设计安装单位均为东方锅炉厂，改造后热端元件更换为1150mm的DG4409高效低阻板型，冷端元件更换为1050mm的封闭式大通道板型DG4412。



# 一、新昌电厂空预器运行现状

## 1.脱硝设备概况

烟气脱硝项目由东方锅炉股份有限公司于设计建设，采用SCR脱硝技术，脱硝系统中还原剂为液氨蒸发制氨。

为消除氨区重大危险源，远达环保于2023年对两台机组脱硝实施了液氨改尿素工程，采用“尿素热解+”技术：利用高温烟气换热器——炉内气气换热器加热稀释风，送入热解反应器中，尿素溶液在热解炉中被高温空气加热后分解产生气态 $\text{NH}_3$ ，并喷入脱硝反应器烟道中与烟气混合均匀后进入SCR反应器参与脱硝还原反应。

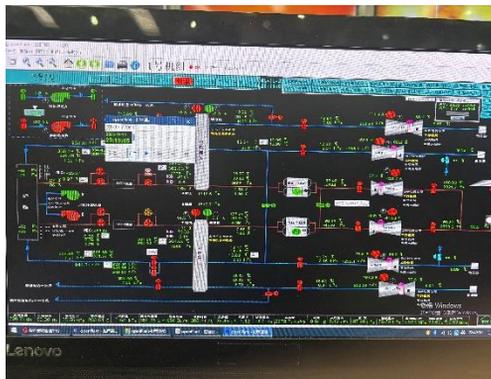
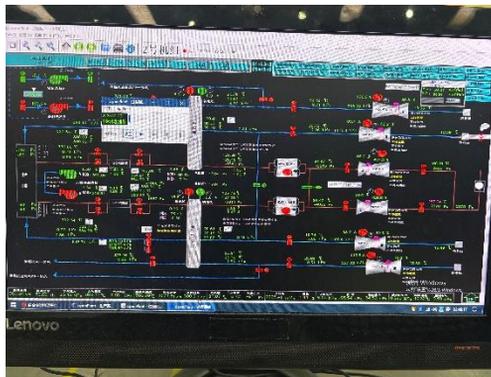
# 一、新昌电厂空预器运行现状

## 2.运行情况

新昌电厂两台炉空预器差压历来较高，最高时短时达到过3500Pa以上，对机组出力及安全运行造成了极大影响。

#1机组空预器2023年改造后，投用初期700MW负荷下A、B侧空预器差压为1400/1300Pa左右，期间单边最高上涨至3000Pa左右，2024年10月份C修中经过吊箱冲洗，运行至今目前维持在1700/1500Pa左右。

#2机组空预器2024年4月改造，投用初期700MW负荷下A、B侧空预器差压为1300/1200Pa左右，7月份差压最高上涨至3000/2300Pa，目前维持在1800/1800Pa左右。



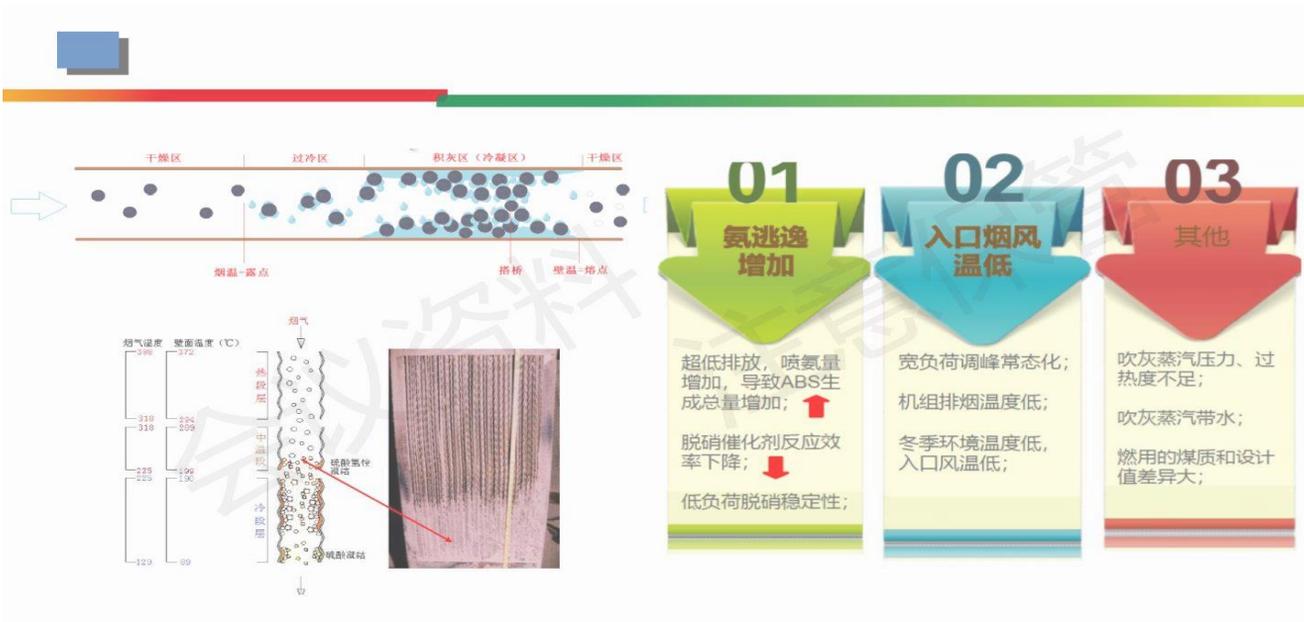
## 二、空预器堵塞原因

---

**PART 02**

## 二、空预器堵塞原因

### 堵塞原因



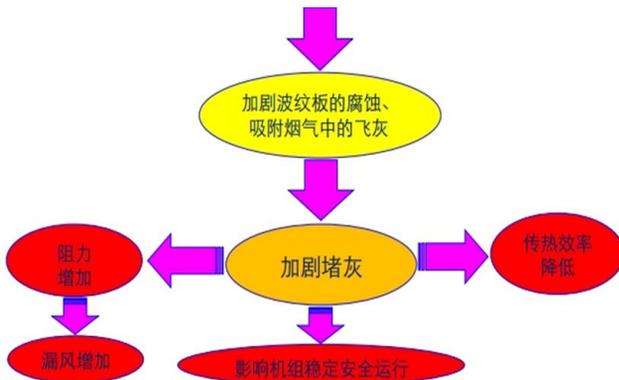
## 二、空预器堵塞原因

### 堵塞原因——ABS（硫酸氢铵）现象

#### 1.1 ABS形成机理

在火电厂空气预热器烟气环境下，SO<sub>3</sub>和NH<sub>3</sub>会发生以下两个反应生成硫酸铵和硫酸氢铵：

- $2\text{NH}_3 + \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = \text{ammonium sulfate (AS)}$
- $\text{NH}_3 + \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4\text{HSO}_4 = \text{ammonium bisulfate (ABS)}$  - 造成空预器阻力升高和堵塞



## 二、空预器堵塞原因

### 堵塞原因——ABS（硫酸氢铵）现象

#### 1.2影响ABS形成的因素

Burke和Johnson在1982年提出了一个能够预测空气预热器堵塞严重程度的经验公式:

沉积系数 (DN) = (NH<sub>3</sub>) × (SO<sub>3</sub>) × (T<sub>Abs-Trep</sub>)

式中: (NH<sub>3</sub>) 为烟气中NH<sub>3</sub>的体积浓度, ppm;

(SO<sub>3</sub>) 为烟气中SO<sub>3</sub>的体积浓度, ppm;

T<sub>Abs</sub>为NH<sub>4</sub>HSO<sub>4</sub>的生成温度, °C; 燃用中低硫煤时为200~220°C, 燃用高硫煤时值更大。

T<sub>Trep</sub>=0.7×T<sub>cold-end</sub>+0.3×T<sub>exit gas</sub>, 为空预器出口特征温度, °C;

T<sub>cold-end</sub>为空预器冷端受热面温度, °C;

T<sub>exit gas</sub>为空预器出口烟气温度, °C。

当DN<10000, 空气预热器堵塞可能行为轻微;

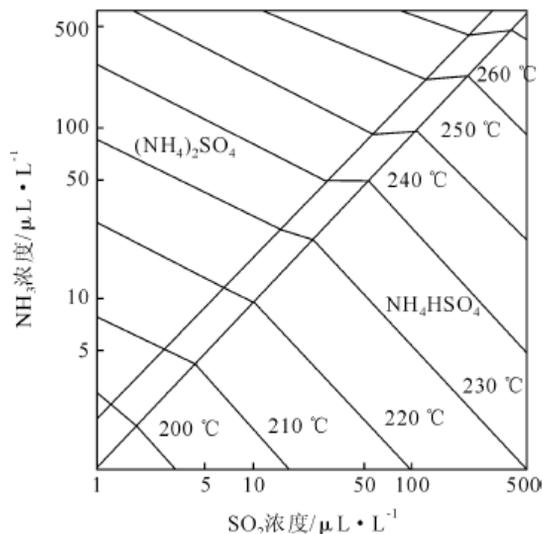
当10000 < DN<30000, 空气预热器堵塞可能行为中等;

当DN>30000, 空气预热器堵塞可能性较大。

## 二、空预器堵塞原因

### 堵塞原因——ABS (硫酸氢铵) 现象

#### 1.2 影响ABS形成的因素

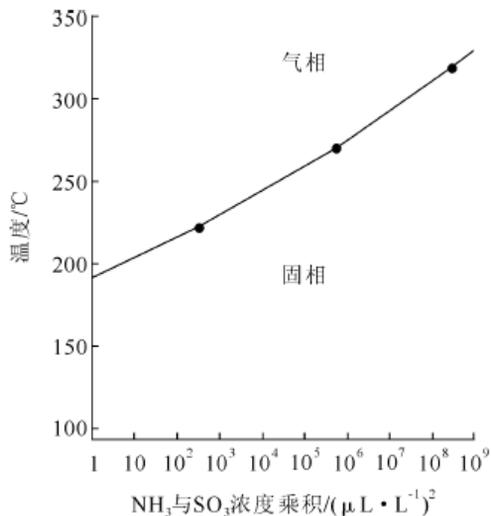


$\text{NH}_3 / \text{SO}_3$  摩尔比对硫酸氢铵和硫酸铵形成的影响

## 二、空预器堵塞原因

### 堵塞原因——ABS（硫酸氢铵）现象

#### 1.2 影响ABS形成的因素



1  $\text{NH}_3$  和  $\text{SO}_3$  浓度乘积对硫酸氢铵形成的影响

## 二、空预器堵塞原因

### 堵塞原因——ABS（硫酸氢铵）现象

#### 1.2影响ABS形成的因素

飞灰浓度也会对ABS的生成产生影响，SO<sub>3</sub>在烟气脱硝段形成硫酸蒸汽，随后在空预器冷端浓缩为酸雾，进而腐蚀受热面。飞灰颗粒会吸附部分NH<sub>3</sub>和SO<sub>3</sub>，降低烟气中反应物的浓度，进而降低ABS的形成温度，浓度乘积增大，ABS的露点温度也会升高。

## 二、空预器堵塞原因

### 堵塞原因——ABS（硫酸氢铵）现象

#### 1.2.1 影响NH<sub>3</sub>逃逸形成的因素

- 进入催化剂之前NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> 混合均匀性;
- 烟气温度，不能过高或过低;
- 烟气流场均匀性;
- SCR催化剂的催化活性。

## 二、空预器堵塞原因

### 堵塞原因——ABS（硫酸氢铵）现象

#### 1.2.1 其他因素

除了以上因素，锅炉燃料的其它特性也会影响NH<sub>3</sub>、SO<sub>3</sub>和ABS的形成。影响最大的因素有：

- 氮、氧和挥发分(影响NO<sub>x</sub>的生成)；
- 氯，增加了空气预热器的腐蚀；
- 飞灰中的氧化钙和氧化镁，会影响SO<sub>3</sub>的浓度；

由于煤种这些物质含量不同，会影响烟气中的NO<sub>x</sub>含量，从而需要对SCR系统做出相应的调整，如果运行操作不当的话就会造成氨逃逸的增加。

## 二、空预器堵塞原因

### 堵塞原因——ABS（硫酸氢铵）现象

#### 1.2.3 ABS的危害

- 黏液态的ABS具有腐蚀性，附着在空气预热器上会加剧受热面及其支撑结构的腐蚀；
- ABS黏附飞灰导致空预器堵塞，影响空预器换热，引起排烟温度升高，影响锅炉效率；
- 受热面堵塞引起空预器差压升高，增加风机电耗，严重时影响机组安全运行。

## 二、空预器堵塞原因

### 堵塞原因——外来水分

外来水份:吹灰器带水、蒸汽过热度不够、暖风器泄漏

烟气中的化合物本身不会使换热元件堵塞，然而，当有水加入其中后，水与烟气中的大量的CaO 生成硬而粘的"水泥状"物粘附在换热元件表面上，并随着运行时间和温度的增加而变得愈来愈硬，同时各种飞灰沉积物又极易在上面集聚变得愈来愈厚且不易清除，由此发生严重的堵灰和较高的阻力，同时又导致传热效率降低。而且对于外来水份造成的积灰，即使采用改变冷端换热元件壁温的办法也不能使它消除。

## 二、空预器堵塞原因

### 堵塞原因——外来水分

#### 1.1 吹灰器带水

#### 不同吹灰蒸汽温度对比



## 二、空预器堵塞原因

堵塞原因——外来水分

1.1 吹灰器带水

不同吹灰蒸汽温度对比



## 二、空预器堵塞原因

### 堵塞原因——外来水分

#### 1.1 吹灰器带水

#### 不同吹灰蒸汽温度对空预器堵灰的影响

不同品质蒸汽的吹灰效果比较见右图

蒸汽参数为：**354°C @ 16bar.g**，蒸汽过热度为**150°C**。

蒸汽通过喷嘴膨胀到饱和线上，在此吹灰工况下运行9个月，空预器阻力仅增加50Pa，空预器运行长达3年不用水冲洗。

蒸汽参数为：**299°C @ 22bar.g**，蒸汽过热度为**65°C**。

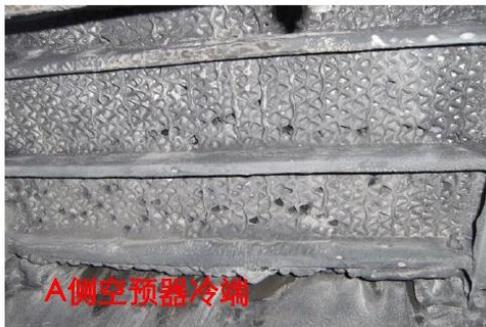
膨胀到5A点，干度约为93%。此时，吹灰器每工作1小时，便约有70kg的水吹入空预器中！空预器运行4个月即需水冲洗！



## 二、空预器堵塞原因

### 堵塞原因——外来水分

#### 1.2暖风器泄漏



某电厂暖风器泄露

A侧暖风器泄露，导致A侧空预器冷端出现了严重的堵灰，当有外来水分进入后空预器阻力上升的非常快，几天时间就导致了严重堵灰，同时一旦元件表面出现结垢，仅靠日常蒸汽吹灰很难清理干净。

B侧空预器暖风器没有泄露，冷端非常干净。

### 三、空预器防堵塞治理措施

---

**PART 03**

## 三、空预器防堵塞治理措施

### 1. 针对空预器差压高采取的措施

#### 1.1 在线升温方案：

- ① 机组带50% -80%左右负荷；
- ② 缓慢降低单侧送风机出力，增大另一侧送风机出力，控制排烟温度温升在0.5℃ 每分钟，加强对空预器冷端吹灰。
- ③ 保证升温侧空预器排烟温度达175℃以上，若能达到200℃以上更好，以保证空预器冷端蓄热片底部金属温度足够高，在此温度下硫酸氢氨可以全部气化

### 三、空预器防堵塞治理措施

#### 1. 针对空预器差压高采取的措施

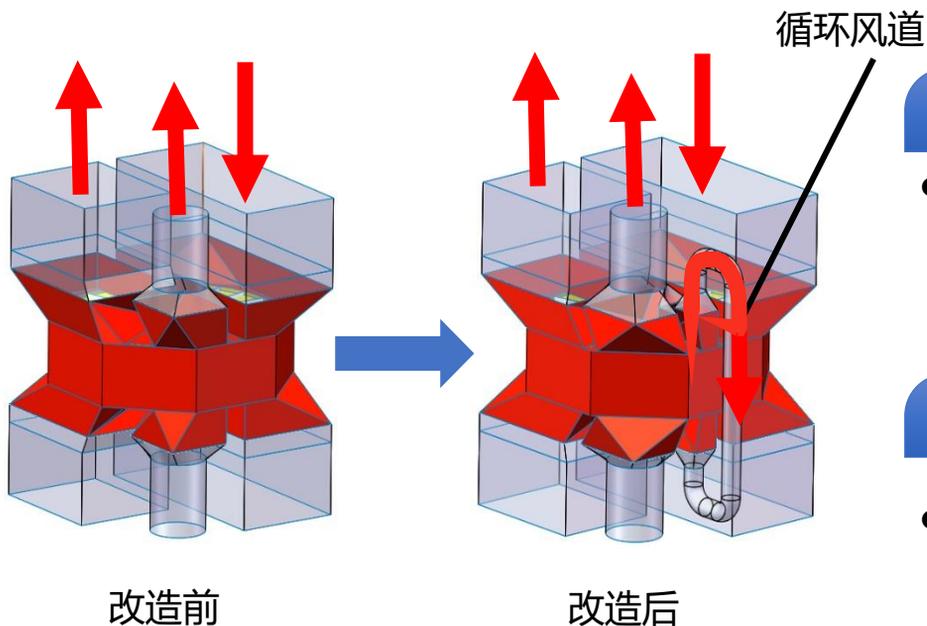
在线升温过程中的危险点及注意事项：

- 控制好升温速率，防止由于膨胀不均造成卡涩；
- 投入空预器冷端吹灰连续运行，加强引风机轴承温度监视；
- 缓慢调整参数，防止烟温过调超限危害电除尘、脱硫吸收塔设备安全；
- 提高凝结水压力，保证低温省煤器大流量运行，有效降低空预器后烟温；
- 加强另一侧风机参数监视，防止过负荷；
- 两侧空预器运行工况差别大，主要对锅炉壁温、主再热汽温影响，防止单侧参数严重超标。
- 空预器排烟温度不能低于**200℃**，且烟温提升的时长不能少于**8小时**，如果时间过短，空预器的差压降低并不明显。

# 三、空预器防堵塞治理措施

## 1. 针对空预器差压高采取的措施

### 1.2 3.5分仓空预器改造



#### 提高空预器冷端温度

- 利用空预器自身的热风对即将进入烟气侧的冷端蓄热元件进行加热，最大限度改善低温结露，减缓积灰的速度

#### 及时清理蓄热板上已积灰分

- 定期对空预器进行吹灰清扫处理，防止灰分过度积累，积灰状况恶化导致堵灰状况难以治理

## 三、空预器防堵塞治理措施

### 1. 针对空预器差压高采取的措施

#### 1.3 脱硝精准喷氨改造

采用分区改造+分区测量+分区调平+总量控制优化方案：

- ① 脱硝系统入/出口浓度场分布及CV值测量分析：对脱硝系统入/出口浓度分布及CV值进行测量摸底，制定喷氨格栅调整方案
- ② 喷氨格栅系统分区改造：依据流场模拟重新制作安装喷氨格栅，设置6个分区，入口前分管上设置可以进行喷氨调整的气动调节阀
- ③ 安装NO<sub>x</sub>/O<sub>2</sub>分区测量仪表NCL1801实现分区测量
- ④ 优化自动控制方案实现总量控制
- ⑤ 机组喷氨格栅优化调整实现分区调平

### 三、空预器防堵塞治理措施

## 1.针对空预器差压高采取的措施

### 1.4在线高压水冲洗

可选择烟气侧、二次风侧开孔冲洗

- ① 在烟气侧或者二次风侧冷端开孔，安装导轨及冲洗设备；
- ② 机组带50% -80%左右负荷；
- ③ 启动高压水枪后应观察空预器电流、出口烟温变化情况，分段逐步加压，防止大流量冲洗水进入导致空预器运行异常。两台空预器冲洗不能同时进行，应逐台冲洗；
- ④ 从换热元件靠中心处逐步往外进行冲洗，冲洗时由里往外推进每次 2.0cm 左右，每次停留时间至少1分钟（转子转动一圈），适当调整各部位的冲洗时间，执行完一个清洗流程后循环往复；
- ⑤ 冲洗时冲洗车垂直往上仰洗，利用高压水流的冲击力和剪切力来清除空气预热器蓄热元件内的污垢和积灰

## 三、空预器防堵塞治理措施

### 1. 针对空预器差压高采取的措施

#### 1.5 提高吹灰压力及温度

- ① 将空预器吹灰阀后压力由东锅厂建议的1.2MPa左右提高至1.6-1.7MPa;
- ② 提高吹灰温度至370°C以上。



## 三、空预器防堵塞治理措施

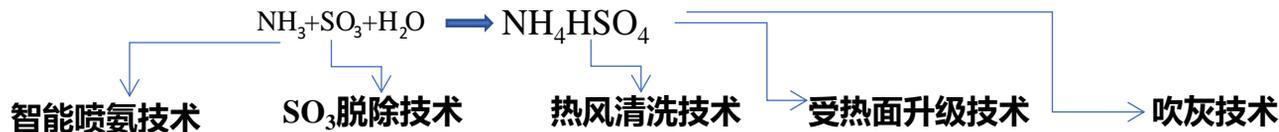
### 1. 针对空预器差压高采取的措施

#### 1.6 提箱冲洗

据空预器差压情况制定合理的检修计划，发现空预器堵灰应及时进行高压水冲洗并进行彻底通风干燥，空预器严重堵灰后高压水冲洗无效情况下应对空预器换热元件进行提箱清灰。

### 三、空预器防堵塞治理措施

## 2.目前几种空预器防堵技术路线调研情况



- 分区在线测量
- 喷氨门开度优化
- 喷氨门在线调整
- 喷氨总量优化
- 全流场优化技术

- 炉内脱硫技术
- 低低温技术
- 碱液喷射技术
- 干粉喷射技术

- 3.5风仓技术
- 风量分切技术
- 在线局部升温
- 三维肋管暖风器

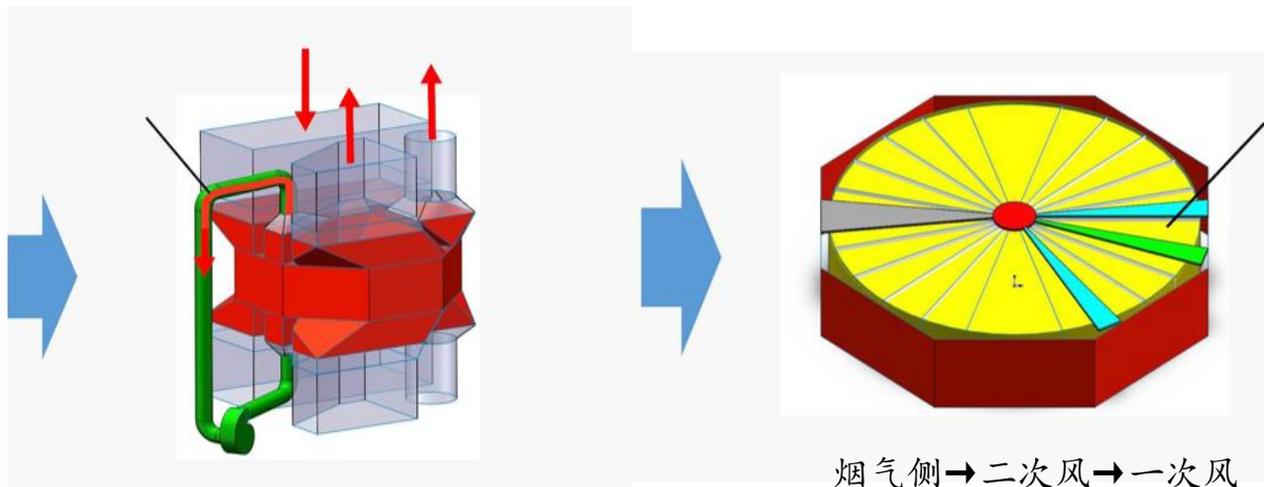
- 板型更换技术
- 3层改2层
- 高效镀搪瓷工艺
- 回转式改热管式

- 高效蒸汽吹灰
- 声波吹灰
- 在线高压水清洗
- 干冰清洗技术

ig

## 二、空预器防堵塞治理措施

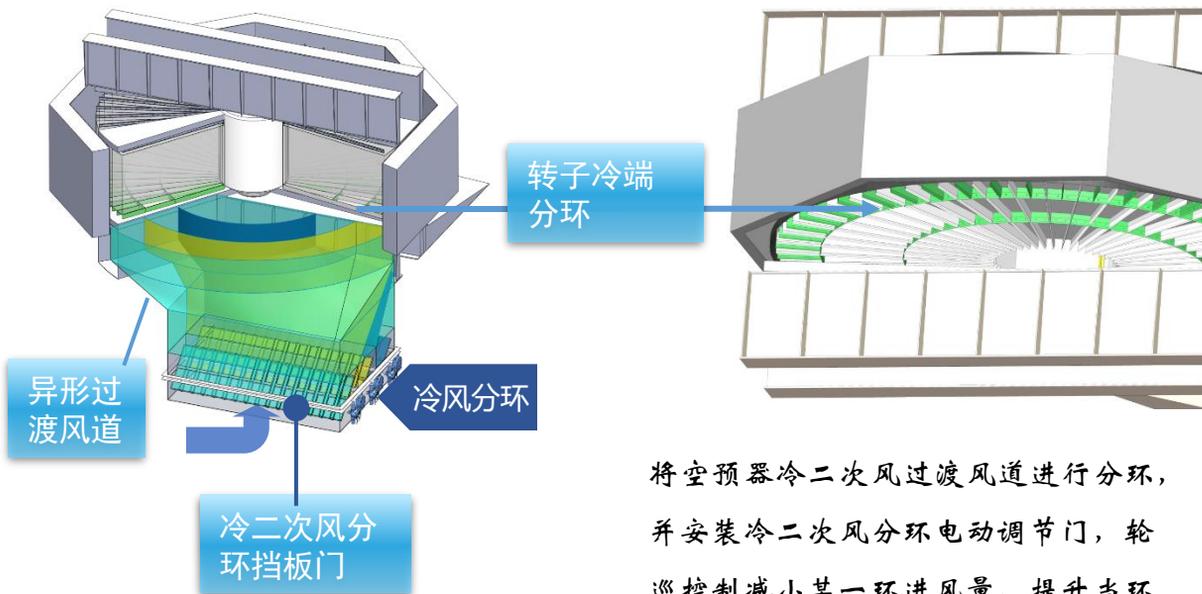
### 2.1 分量分切技术



利用空预器产生热风对冷端蓄热板进行加热，加热对象为即将进入烟气侧蓄热板（冷端蓄热板最冷状态）。在空预器重新分隔一个分切风分仓，并安装分切风道，利用分切风机带动风道内的空气循环，分切风在空预器热端吸热，生成 $300^{\circ}\text{C}$ 左右的热风，热风从下端进入空预器冷端，对冷端进行加热。

## 二、空预器防堵塞治理措施

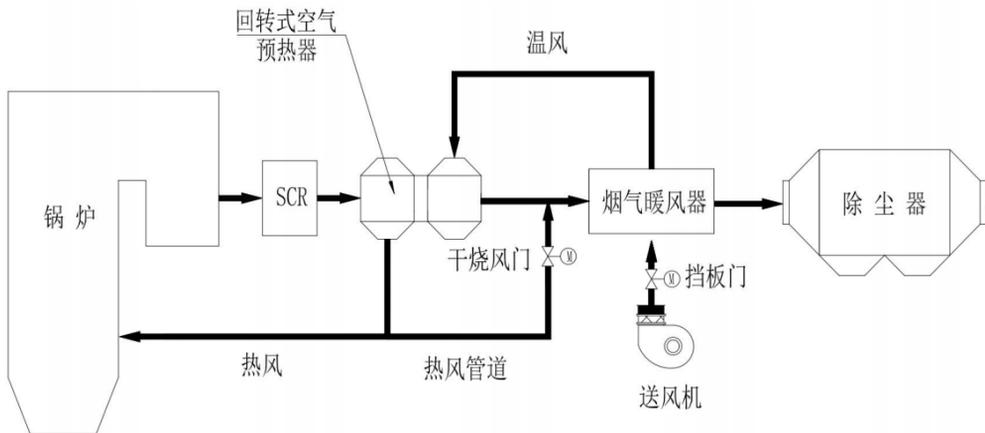
### 2.2 在线局部升温



将空预器冷二次风过渡风道进行分环，并安装冷二次风分环电动调节门，轮流控制减小某一环进风量，提升当环蓄热元件壁温至 $200^{\circ}\text{C}$ 以上

## 二、空预器防堵塞治理措施

### 2.3 三维肋管暖风器

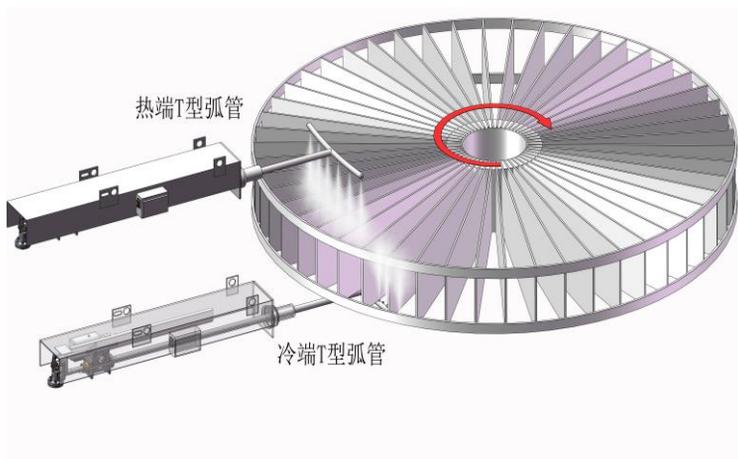


三维肋片烟气暖风器系统图

在回转式空气预热器正下方设置三维肋片暖风器，提高回转式空气预热器的冷端平均壁温，解决硫酸氢铵腐蚀问题。将烟气暖风器分隔成15个通道（单侧）轮流进行干烧，以避免硫酸氢铵堵塞

## 二、空预器防堵塞治理措施

### 2.4 高效蒸汽吹灰



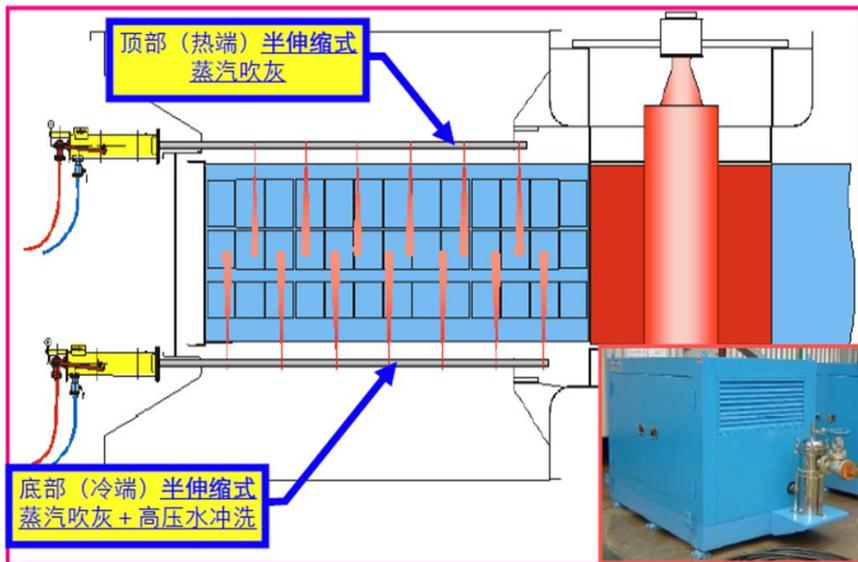
#### 环向接续，径向步进

环向接续：T型双弧喷管是在每根弧管上装配4-6个扇形整流喷嘴。喷嘴的高温蒸汽射流接续式的对一点持续冲洗。上下喷管尾首接续4米，波纹板一点的持续清洗时长能达到5s多。而空预器蒸汽吹灰器一个点位被冲洗的持续时间只有0.2s多。

径向步进：由执行机构步进。120-150mm/步·圈。

## 二、空预器防堵塞治理措施

### 2.5 在线高压水冲洗



利用高压水流的冲击力和剪切力来清除空气预热器蓄热元件内的污垢和积灰。具体来说，高压水流通过清洗喷头以一定的角度和速度喷射到管道内壁，形成强大的冲刷力，将附着在管道内壁的污垢和积灰冲刷下来。

## 四、建议

---

***PART 04***

## 四、建议及后续工作计划

### 建议

- 冬季、低负荷工况应根据煤质成分严格控制排烟温度，及时投运暖风器或热风再循环，保持空预器冷端金属壁面综合温度高于酸露点，防止空预器冷端结露腐蚀。暖风器或热风再循环系统不能正常投运或无法达到空预器冷端最低温度要求时，建议对空预器进行3.5分仓升级改造或热风逆流循环升级改造。
- 定期进行喷氨优化调整试验，改善SCR入口喷氨合理性，消除局部氨逃逸过大的现象，NH<sub>3</sub>逃逸情况较严重时，对SCR系统进行智能喷氨优化改造。更换先进的氨逃逸率在线测量装置，提高测量准确性，降低氨逃逸率。

## 四、建议及后续工作计划

### 建议

- 科学合理配煤，根据机组负荷、燃料成分、环境温度等因素合理控制煤质的硫分、灰分及水分，避免煤质因素加剧空预器的堵塞。
- 当低负荷工况SCR入口烟温低于其设计投运的温度，应进行提高SCR入口烟温的技术改造，以满足SCR的投运要求。
- 对于设计阻力较大及布置高、中、低温三层蓄热片的空预器应进行增大直径及布置高、低温两层蓄热片的改造。
- 对于空预器堵塞较频繁的电厂，空预器可考虑增设高压水在线冲洗装置，运行中及时有效处理堵塞情况。

## 四、建议及后续工作计划

### 建议

- 合理控制空预器吹灰蒸汽参数（参数应以吹灰器前压力、温度为准），优化蒸汽吹灰频次、时间，严密监视空预器运行差压，空预器差压升高时应加大吹灰频率，必须时应连续吹灰。
- 采取科学合理的空预器检修维护措施，根据空预器堵塞情况及时安排检修处理，堵塞严重时应对空预器进行抽出、拆包清洗。

谢 谢  
Thank you