

# 节能减排一体化技术

## -----烟气深度净化及余热回收

青岛高校信息产业股份有限公司 辛港、贺岩、赵小鹏、王振岗、李秀福

### 一、技术背景

节能减排、低碳发展是我国生态建设的重要内容。长期以来，我国节能应用技术研究基本上沿着能源替代和能效动态优化方向，减排技术沿着过程资源利用效率和末端治理方向深化和展开，受特定条件限制很难将减排技术与节能技术有机结合起来，因而一些减排技术一次投资大，运行成本高，直接影响企业的生存竞争。尤其在燃煤发电等行业废气排放治理方面尤为明显。

纵观燃煤发电供热行业，过去燃煤燃烧后的排烟为黑烟（图 1），主要包括粉尘、酸性气体、CO<sub>2</sub>、水蒸汽等。现在经过一系列除尘、脱硫、脱硝处理之后排出的烟气为白烟（图 2），主要包括少量酸性气体、CO<sub>2</sub>、水蒸汽。虽然较过去有明显改善，对环境污染大幅减小，可是仍存在一些危害。

烟囱排出的滚滚白烟实质上是烟气中水蒸汽在烟囱出口与环境空气混合后降温冷凝成的小水滴，其内部含有一定量的酸性气体如：SO<sub>2</sub>、SO<sub>3</sub>等，容易形成酸蚀。因此有研究认为脱硫后烟气对烟囱的腐蚀比脱硫前更厉害。



图 1 过去“黑烟”



图 2 现在“白烟”

烟气中“水雾”的存在，影响酸性气体及其他污染物（如垃圾锅炉产生二噁英）在大气中的扩散，污染物随着液滴在很短距离内就会沉降到地面，在排放源附近聚集、浓缩，造成厂

区局部污染。现有解决此问题的方法是在烟囱末端加装烟气加热装置（GGH 等），将烟气加热至 80℃ 以上，以增大烟气的扩散半径，使水蒸气在远离烟囱出口的区域凝结，造成巨大的能源浪费。

基于上述背景，以浙江大学强大的科研实力为支撑，提出了针对燃煤锅炉等一系列烟气深度净化与余热回收的解决方案。

## 二、技术应用简介

烟气深度净化及余热回收一体化技术（图 3）在深度净化烟气的同时可以回收烟气中气化潜热，不仅实现了环保设备的高效除尘、脱硫，而且解决了传统烟气处理技术无法解决的“脱水”、“热回收”问题。热湿废气余热主要包括两部分，一部分是废气显热，直接表现为废气干球温度，干球温度越高，显热越大；另一部分是气化潜热，以废气的含湿量为指标，相同温度下，废气含湿量越高，潜热越大。

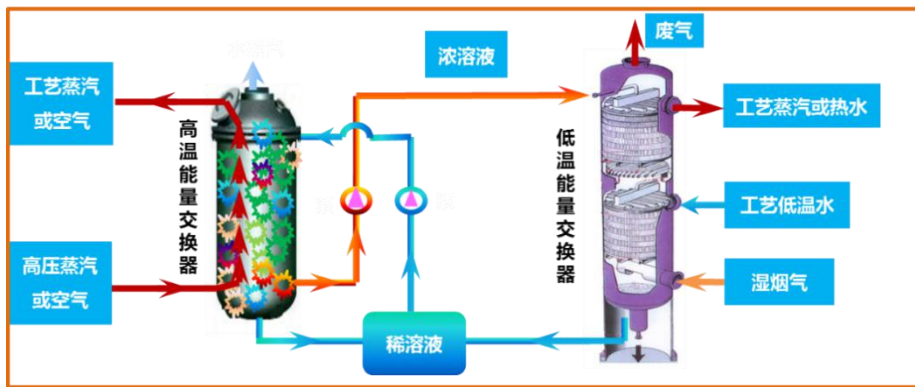


图 3 烟气深度净化及余热回收一体化技术

本技术原理（图 4）是通过特殊吸收溶液对湿热废气的喷淋吸收作用，达到将废气中汽化潜热释放出来的目的，进而加热工艺水，最终实现低品质余热的回收利用。

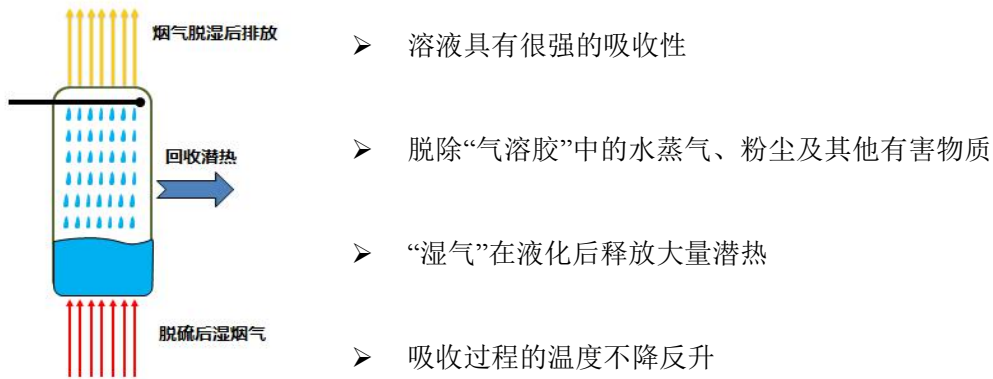


图 4 烟气深度净化及余热回收一体化技术示意图

### 三、技术路线和特点

#### 1、系统构成

烟气深度净化及余热回收利用一体化技术主要由烟气系统、溶液系统、水系统、驱动蒸汽系统、沉淀处理系统和电气及热工控制系统六大系统组成。

烟气系统：脱硫除尘后的饱和湿烟气，进入低温能量转换器，经过浓溶液吸收，脱除烟气中水分，硫份，粉尘，变为洁净干烟气排出；烟气中水蒸气被溶液吸收，释放出气化潜热，此过程实现烟气深度净化与余热回收；

驱动蒸汽系统：抽取的 0.4MPa~1.0MPa 蒸汽，作为高温能量转换器的驱动热源，将稀溶液浓缩至浓溶液，蒸汽冷凝水回收至锅炉，过程中产生的二次蒸汽作为热源继续加热，二次蒸汽放热后冷凝水回收至厂内中水；

水系统：常温除盐水首先进入低温能量转换器，吸热升温至 60℃，然后泵入热水箱，在热水箱中被高温能量转换器的二次蒸汽加热至 80℃，然后进入除氧器继续被蒸汽加热。

溶液系统：低温能量转换器中的稀溶液经过 PH 值调节，以及分离、脱除生成的脱硫产物后泵入高温能量转换器，进行浓缩，变为浓溶液，泵入低温能量转换器继续处理烟气。

沉淀处理系统：沉淀处理系统需要根据溶液进出口的浓度变化，确定容器内的沉淀量，以及确定是否需要进行沉淀的过滤及清理，溶液经过一级旋流、二级旋流，最后经过真空皮带脱水机排除沉淀物。

电气及热工控制系统：系统通过分布在整个烟气深度净化及余热回收系统的所有监测点，将相关控制数据全部上传到中控室电脑，从而实现中控室集中控制。

#### 2、技术特点

突破常规换热传热温差的限制，在不降低热源温度的工况下，高效回收余热，提升余热品质，回收常规换热技术无法利用的汽化潜热。

采用液态吸湿剂吸收热湿空气中的水蒸气，以气液换热的方式替代常规气液换热，加快了传热速度，提高余热的回收效率以及回收品质。

具有良好的除湿效果，从多方面净化烟气，不仅脱除烟气中水分，还可减少粉尘、二氧化硫、氮氧化物等多种污染物，降低 PM2.5 排放。

节能环保协同进行，以节能收益支付环保投入，使传统“环保设备”具有经济收益，提高企业环保积极性。

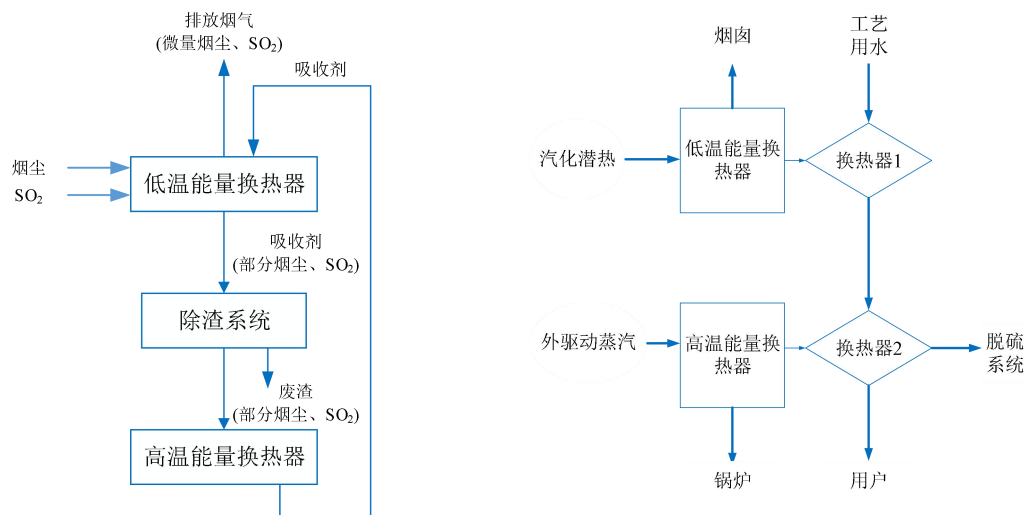


图 5 烟气净化及余热回收路线图

### 3、技术路线

烟气净化路线：烟气首先进入低温能量换热器，经过高浓度吸收剂的喷淋作用，脱除烟气中水分，硫份，粉尘，变为洁净干烟气排出，脱除出来的部分烟尘和二氧化硫进入除渣系统，沉淀后经过旋流形成废渣，吸收剂与水蒸汽结合后浓度变低，经过高温能量换热器后，水份被蒸发出来，吸收剂浓度变高，然后继续进行喷淋。

余热回收路线：烟气中水蒸气经过低温能量换热器被喷淋溶液吸收，释放出气化潜热，然后通过换热器 1 来加热工艺用水；外驱动蒸汽通过高温能量换热器对稀溶液加热并产生二次蒸汽，外驱动蒸汽冷凝后变为锅炉补水，同时二次蒸汽通过换热器 2 对工艺用水进一步加热供给用户，冷凝后的二次蒸汽进入脱硫系统。

### 四、案例分析——烟气深度净化及余热回收一体化技术在燃煤锅炉烟气治理过程中的应用

以某企业非供暖季锅炉出力 35t/h，供暖季锅炉出力 55t/h 为案例。改造前，燃煤锅炉常温补水经过冷渣、锅炉排污、省煤器等环节加热后送入锅炉汽包，除盐水预热中存在“高能低用”的情况，烟损失大。

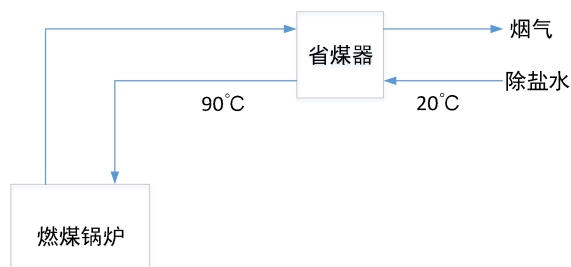
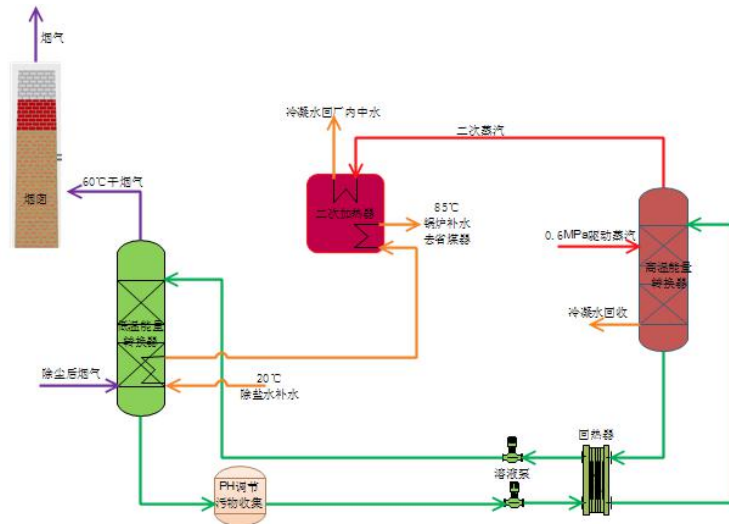


图 6 现有燃煤锅炉补水及烟气流程



图七 燃煤锅炉深度净化及余热回收一体化流程

技术改造项目完成后，可回收烟气余热用于加热锅炉除盐水，同时实现节能和环保的目的，在节能方面，非供暖季净回收余热 796kW，折合 8238.9GJ，供暖季净回收余热 1246.7kW，折 8720GJ，全年总净节能 16958.9GJ，折合标煤 579 吨，净节能收益 118.7 万元。在环保方面，可实现烟气含尘低于 5mg/Nm<sup>3</sup>，SO<sub>2</sub> 排放低于 35mg/Nm<sup>3</sup>，实现超低排放。根据季节不同，溶液对烟气中水分的去除率高达 40%~70%，排出的烟气看不见“白雾”，消除“烟囱雨”现象，回收水可直接用于脱硫补水。烟气经过低温能量转换器后温升 10℃~30℃，保证排放温度 ≥60℃，提高烟气抬升力，利于烟气快速消散。

## 五、展望

根据国务院《大气污染防治行动计划》、《煤电节能减排升级与改造行动计划（2014-2020 年）》、《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》，全面实施超低排放和节能改造，是推进煤炭清洁化利用、改善大气环境质量、缓解资源约束的重要举措。企业排放现状距离超低排放标准烟尘 ≤5mg/Nm<sup>3</sup> 和 SO<sub>2</sub> ≤35mg/Nm<sup>3</sup> 有很大差距。同时，工业系统中的湿废气量巨大，对其余热进行回收具有较高的实用价值和利用空间。因此，烟气深度净化及余热回收一体化技术具有广泛的应用前景。

