

冷凝除湿再加热技术在烟羽消白中的应用

目前烟羽治理的主要手段是利用烟气再热的新式，主要有热风烟气混合式加热法或MGGH，这些新式没有从根本上消除烟气中的水蒸气含量，仅能够消除白色烟羽的视觉感受，不能减少污染物和水汽的排放。

本文介绍了一种冷凝除湿再加热技术进行烟羽消白，首先通过对烟气进行直接或间接冷却，降低烟气的水蒸气含量，再通过换热装置提高排烟温度，达到烟气消白的目的。

目前国内脱硫工艺90%是采用湿法脱硫，湿法烟气脱硫系统吸收塔出口净烟气由于处于湿饱和状态，在流经烟道、烟囱排入大气的过程中因温度降低，烟气中部分汽态水和污染物会发生凝结，液体状态的浆液量会增加，并在一定区域内有液滴飘落，沉积至地面干燥后呈白色石膏斑点，称为石膏雨。

另外，烟气在烟囱口排入大气的过程中因温度降低，烟气中部分汽态水和污染物会发生凝结，在烟囱口形成雾状水汽，雾状水汽会因天空背景色和天空光照、观察角度等原因发生颜色的细微变化，形成有色烟羽。

2016年初，上海出台的地方标准《燃煤电厂大气污染物排放标准DB 31/963-2016》中明确提出燃煤电厂要采取有效措施消除有色烟羽的要求。

即通过采取相应技术降低烟气排放温度和含湿量，收集烟气中过饱和水蒸气中水分，减少烟气中可溶性盐、硫酸雾、有机物等可凝结颗粒物的排放。

现有常规的加热方法(热风烟气混合式加热法或MGGH)仅能够消除白色烟羽的视觉感受，无法回收水份，不能减少污染物和水汽的排放，烟气中所携带的PM_{2.5}、Hg、SO₃等多种污染物也并不因烟气被烘干后而消失，对大气环境而言，烟气中的污染物排放总量并未因视觉的改善而减少，仍会对大气环境造成不利影响。脱硫后增设湿式静电除尘器，能够进一步去除烟气中的污染物，但无法回收烟气中的气态水。

本文提出的冷凝除湿再加热技术在有效消除烟羽的基础上还能回收部分水份，减少污染物和水汽的排放，烟气中所携带的PM_{2.5}、Hg、SO₃等多种污染物也大大降低。

1 烟气除湿的主要方式

1.1 加热除湿的方式

采用该种方式是对排烟进行直接加热，利用加热除湿的方式延缓冒白现象，而根据热源的不同又可分为两种：一是利用锅炉的二次风直接混合加热的方式提高排放烟气的温度并降低烟气的含湿量及相对湿度，进而延缓冒白现象；二是利用原烟气通过间壁式换热器加热排放烟气，降低排烟相对湿度，进而延缓冒白现象。

1.1.1 利用锅炉二次风加热净烟气

锅炉二次风具有温度比较高，含湿量比较低，相对湿度比较小的特点。通过引入一部分锅炉二次风直接和净烟气进行混合的方式来提高净烟气的温度，降低净烟气的相对湿度和含湿量，烟气的处理状态在焓湿图上的过程如下图1所示。

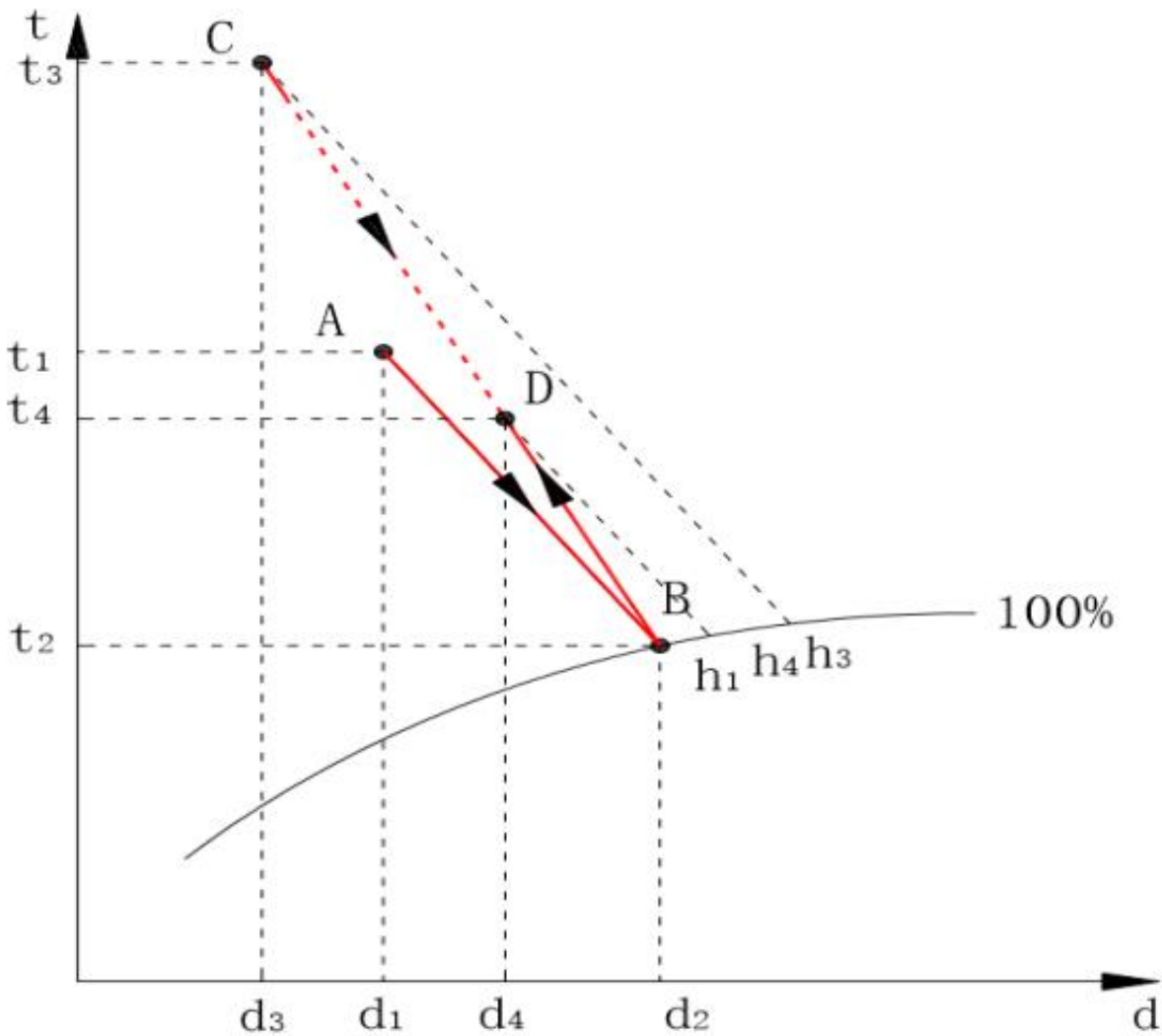


图1 二次风加热烟气在温湿图上的过程示意图

将锅炉的二次风的状态点为焓湿图上的C点，通过和经过脱硫塔处理后的饱和净烟气进行混合，混合到状态点D点，一般将净烟气的温度加热到80。

1.1.2 利用原烟气加热净烟气

通过间壁式换热器加热净烟气，提高净烟气的温度，降低净烟气的相对湿度。烟气在焓湿图上的处理过程如下图2所示。

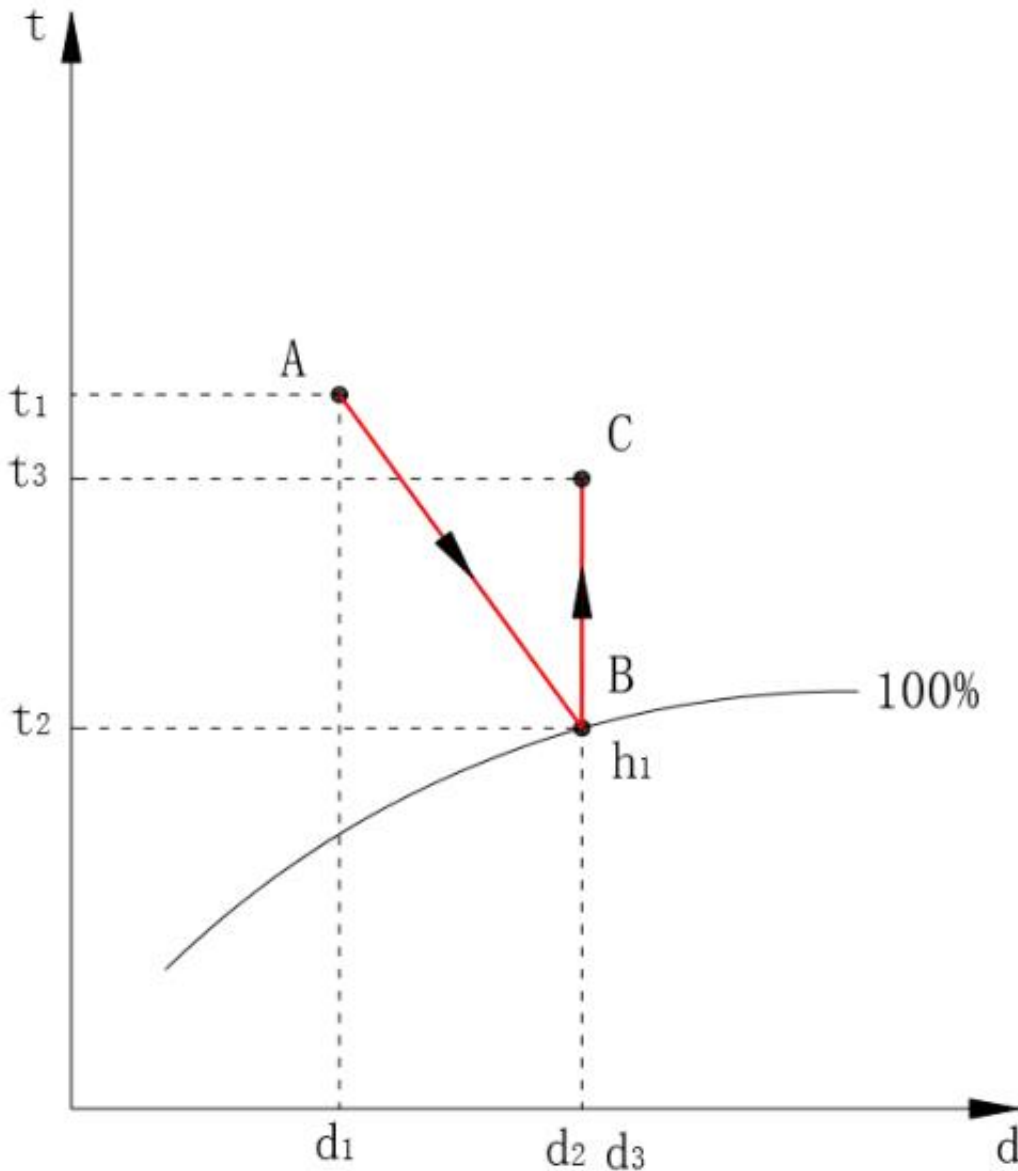


图2 原烟气加热净烟气在温湿图上的过程示意图

通过对脱硫塔出口的饱和烟气进行加热的方式，让脱硫塔出口的饱和烟气沿等含湿量线从状态点到状态点C，在此过程中净烟气的温度升高，相对湿度变小，含湿量不变。目前常用的换热器为氟塑料换热器、翅片管式换热器。

1.2 冷凝除湿的方式

目前常采用对经过脱硫塔处理后的饱和烟气进行冷却的方式，让烟气中的水蒸气冷凝后变成液态小水珠的方式，降低烟气中的烟气的含湿量的方式。在此处理过程中，饱和烟气沿着等100%含湿量线进行冷却过程。

而烟囱出口的烟气的状态点依然为饱和状态，室外空气温度低于烟气的露点温度，从而烟囱的出口的烟气中依然有水析出，依然不能彻底解决烟囱冒白现象。所以目前多与烟气再加热的方式进行结合，进行烟羽治理，烟气在焓湿图上的处理过程如下图3所示。

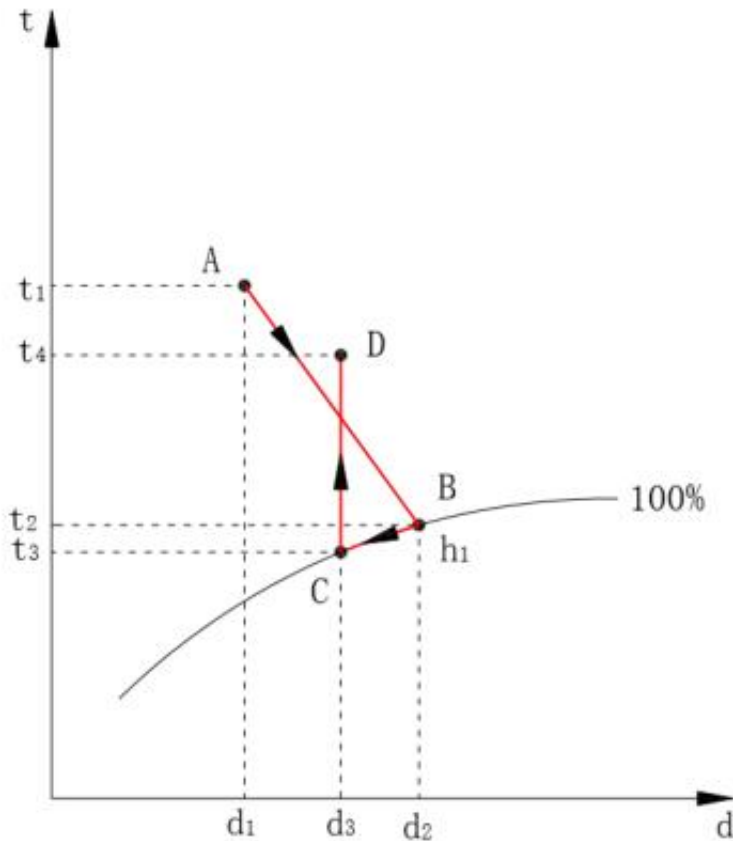


图3 烟气冷凝除湿再加热过程在温湿图上的示意图

具体热力过程：原烟气处于高温过热状态A点，进入吸收塔后，烟气在温湿图(如图3)上沿着等焓线从A点移动到100%相对饱和湿度线B点，烟气温度降低 t_1-t_2 、湿度增加为 d_2-d_1 。

这是一个等焓增湿的过程。采用直接或间接的方式对饱和状态B的烟气进行冷却，部分汽态水释放汽化潜热发生相变而凝结为液态水，顺着等100%的相对湿度线从B点处理到C点，烟气仍为相对湿度100%的饱和烟气，但绝对湿度降低为 d_2-d_3 ，烟气中的水蒸气含量降低。

经冷凝除湿后的饱和湿烟气C在烟气加热装置中被加热，再加热过程中，含湿量保持不变，在温湿图上沿着等d线方向进行到D点，加热过程中烟气温度升高，焓增大，相对湿度减小。

1.2.1 直接冷凝除湿

在吸收塔后对净烟气进行冷却，可以选择增加冷却装置，通过空气或者水对净烟气进行冷却，也可以用水直接喷淋冷却净烟气。净烟气析出的水需经特殊处理后排放或者再利用。

1.2.2 间接冷凝除湿

可通过增加浆液冷却器，首先将浆液冷却，进而冷却净烟气。浆液经浆液冷却器冷却后，以较低的温度喷入吸收塔，将烟气进行冷却，部分汽态水释放汽化潜热发生相变而凝结为液态水，使烟气中的水蒸气含量降低。

2 冷凝除湿再加热技术应用实例

某电厂1、2号机组现有脱硫采用石灰石-石膏湿法脱硫工艺，工艺系统入口按 SO_2 浓度 $1495\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，最终 SO_2 排放浓度按小于 $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ 进行设计，采用冷凝除湿再加热技术改造治理烟羽并且 SO_2 排放浓度达到 $35\text{mg}/\text{Nm}^3$

，并附加实现烟气余热利用和减少脱硫补水的功能。其中烟羽治理的目标是保证环境温度0 以上时烟囱无烟羽形成。

本次技术改造由脱硫塔吸收系统、浆液(烟气)冷却系统和烟气再热系统组成。将脱硫吸收塔顶层即第3层喷淋层改造为低温喷淋层，在其管路上设置浆液冷却器，浆液温度经过浆液冷却器降至43℃，冷却介质采用180t/h的江水或循环冷却水，脱硫吸收塔出口烟气温度的50℃降至43℃，实现减少排湿量，实现减少烟羽形成的目的；增设烟气升温系统提升排烟温度，该系统包括：升温段烟气换热器、热媒水循环系统、定压补水系统。

脱硫吸收塔入口烟气温度的143.5℃降到111.9℃左右，热量以热媒水形式通过升温段烟气换热器将排烟温度43℃的基础上提升至65℃，进一步降低相对湿度，多余的热量用于加热凝结水系统，达到消除烟羽目的的同时节能降耗。整个技术改造系统图如图4所示。

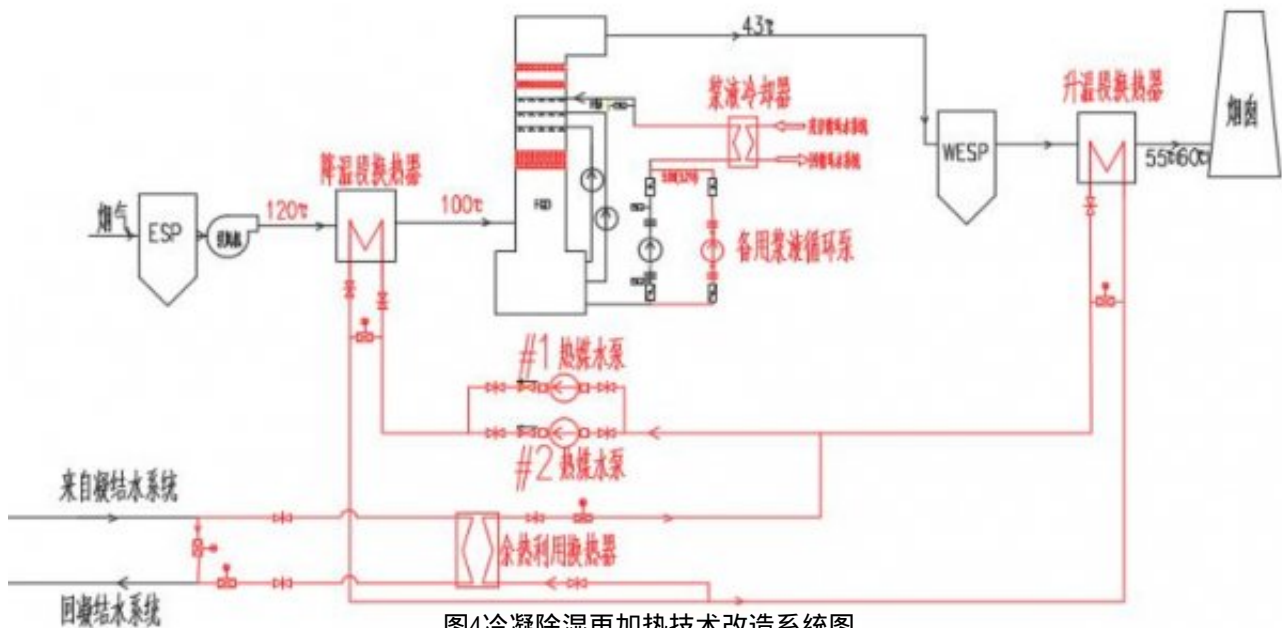


图4 冷凝除湿再加热技术改造系统图

3结论

经上述冷凝除湿再加热技术改造后，可以实现以下目标任务：

实现全面的烟羽消除；在机组满负荷燃烧设计煤种条件下可以满足超低排放要求，且有一定液气比裕量，增加浆液冷凝装置后，对脱硫也有一定促进效果；

可以实现节水目的：在BMCR工况，烟气温度降7℃可节水2.84t/h；

可以回收部分烟气余热，实现节能目的；可以减少脱硫废水排放。

相比较其它技术路线，本方案具有系统可靠，烟道阻力小，在保证环保的同时实现节能节水，空间好安排，工程简单，维护方便等优势。在投资方面也有一定的优势。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/135833.html>