

XP- II 型干湿两级脱硫除尘技术及应用

(北京利德衡环保工程有限公司 2008 年 3 月 21 日)

一、前言

为迎接奥运会，北京市环保局于 2007 年 8 月 13 日下发了新的《锅炉大气污染物排放标准》（地方标准编号 DB11/139-2007），该标准规定将于 2008 年 7 月 1 日起执行第 II 时段标准，即 SO_2 排放浓度 $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，烟尘排放浓度 $\leq 30\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。北京地区现有供暖单位原有的脱硫除尘设施达到该标准存在很大困难，需采用更先进的脱硫除尘技术对原有脱硫除尘设施进行进一步改造和完善。

为达到新标准的要求，我公司早在 2005 年就开始对 XP 型脱硫除尘技术进行二次研发和技术改进，并逐步在工程上进行应用，取得了一定的成果，所开发的 XP- II 型干湿两级脱硫除尘技术性能更为优越，完全能满足北京市新的烟气排放标准要求。

二、XP- II 型脱硫除尘技术的特点：

1、采用干湿两级脱硫除尘工艺，总脱硫效率可达 95% 以上，总除尘效率可达 98.7% 以上：第一级除尘采用干式多元旋风除尘，第二级脱硫除尘采用高效湿式 XP- II 型脱硫除尘塔，大大降低了除尘系统和脱硫系统的相互影响，保证了两系统运行的稳定性；

2、第一级干式多元旋风除尘运行稳定，采用分单元控制，可随锅炉负荷变化调整单元投运数量，以保证除尘器内单位面积上具有较大的烟气通过量，从而保证烟气通过除尘器时具有较大的风速，确保除尘效率稳定在 90% 以上，避免了锅炉负荷对多管除尘器效率的影响，同时，第二级的 XP- II 型超强湍流脱硫除尘部件可除去剩余的大部分细尘，确保系统总除尘效率大于 98.7%；并且多元旋风除尘器投资和运行费用大大低于布袋除尘器，占地面积较小，尤其适合改造工程；

3、第二级脱硫采用湿式 XP- II 型脱硫除尘塔，多层喷淋加高效流化传质部件，有效提高了脱硫效率，并可去除粒径为 $5\mu\text{m}$ 以下的粉尘。同时，采用电厂成熟的强制氧化工艺，在循环反应池中进行强制氧化，将亚硫酸钙、亚硫酸氢钙氧化为硫酸钙，并使硫酸钙在原有晶体上结晶析出，确保了系统其他部位无结晶，无结垢，运行稳定，无二次污染；

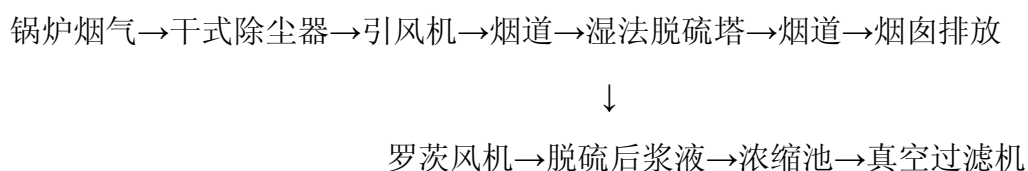
4、对脱硫产物进行了浓缩、过滤两级脱水措施，过滤后的固态硫酸钙外运，而不进入沉淀池，从而降低了沉淀池中 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 浓度，有效避免了脱硫产物进入除尘水管路系统后引起的结垢和堵塞；

5、塔内的脱水除雾采用电厂成熟的折板除雾技术，并设有反冲洗装置，保证了高效低阻脱水除雾；

6、保留了原有 XP 型亚硫酸钙脱硫技术的 pH 自动控制系统和尾部烟气加热系统；

7、脱硫剂采用石灰，价格低廉，来源广泛。

三、工艺流程



工艺说明：锅炉烟气经多元旋风除尘器除去 90% 以上的尘后，由引风机送入湿式脱硫除尘塔脱硫（脱硫效率 95.0% 以上），并进一步去除烟气中的细尘，确保系统总除尘效率大于 98.7%。脱硫除尘后的烟气经折板除雾器脱水除雾后，进入烟囱达标排放。脱硫过程生成的亚硫酸钙浆液进入脱硫循环池，经曝气氧化为硫酸钙后经浓缩池浓缩，浓缩池底部浓浆进入真空过滤机（主要有带式真空皮带过滤机和圆筒式真空皮带过滤机两种）过滤，上清液返回脱硫循环池或滤液池，实现水资源的循环利用。引风机可根据可利用场地情况置于脱硫塔之后，但对系统脱水有更为严格的要求，并且引风机要求防腐处理。

四、各主要系统的描述及特点

1、多元式高效旋风除尘系统

本系统采用 XDT 型多元旋风除尘器，其运行稳定，采用分单元控制，可随锅炉负荷变化调整单元投运数量。XDT 多元旋风除尘器是与青岛科技大学合作开发的，除尘效率大于 90%。多元式旋风除尘器同样是根据离心力的作用原理，将粉尘从含尘气体中分离出来，达到净化烟气的目的，但与普通多管除尘器相比，其具有以下特点：

(1) 采用分单元控制，可随锅炉负荷变化进行调整，确保锅炉负荷变化较大时仍能保持 90% 以上的除尘效率；

(2) 旋风子采用陶瓷材料制作，具有耐磨损、耐腐蚀、寿命长的特点；

(3) 增大了进风口尺寸，使每个旋风子通过的烟气量更加均匀；

(4) 陶瓷旋风子表面光洁度高，减少了旋风阻力，增加了除尘效率；

(5) 陶瓷旋风子台阶形式上升，便于布风，达到布风均匀的效果。

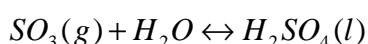
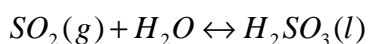
2、脱硫系统

在脱硫塔内吸收段（喷淋/XP—II 型高效流化脱硫除尘部件），烟气中 SO_2 、 SO_3 等被脱硫浆液快速吸收、反应，脱硫和除尘后的净烟气通过除雾器除去气流中夹带的雾滴后排出脱硫塔，从烟囱排入大气。

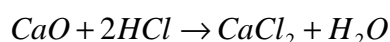
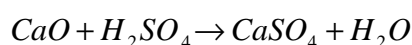
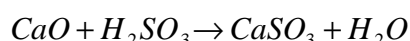
(1) 反应机理

脱硫塔内主要反应方程式如下：

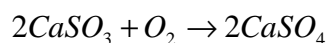
气相 SO_2 被液相吸收



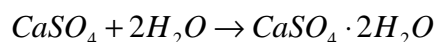
吸收剂溶解和中和反应



氧化反应：



结晶：



脱硫段的设计尽量使烟气压力损失低，节省脱硫风机的电耗，且脱硫除尘塔内部表面不易结垢，不存在堵塞问题。

(2) 脱硫塔

脱硫塔分二个工作区：上部烟气吸收除雾区、下部浆液反应区。上部烟气吸收除雾区主要有均气降温层、XP-II型高效流化脱硫除尘部件、两层喷淋布液管、两层除雾器等主要部件。

○ 均气降温层：在烟气进口上方设计了均气降温层，利用特殊的喷淋工艺布置方式，无需增加导流装置，既能实现塔内烟气流动均匀分布，又能降低烟气温度，提高后续脱硫效果，该均气工艺已成功得到应用。

○ XP-II型脱硫除尘部件：工艺中脱硫段的XP-II型高效流化脱硫除尘部件采用进口316L不锈钢材质制作，具有特殊的结构形式，它是一种很好的气液传质及除尘部件。当烟气通过该部件时，烟气在板间形成超强流态化区域，使气液在传质场中高速撞击，形成气相、液相都分散的状态，气液固三相得以进行充分地接触、混合。全塔共分多个反应单元，以保证全塔每个断面都具有很好的传质效果。

部件结构简单，没有死角，且部件底部不存在干湿交接面，因而没有形成垢的条件；同时，气流和浆液在反应器内沿器壁高速旋转，对器壁及叶片有强烈的冲洗作用，物理性垢不可能粘附，自清洁能力强。系统采用强制氧化工艺，无结晶、结垢，因此，只要控制pH值在5.5~6.5之间，就完全可以避免系统结垢堵塞。

○ 除雾器：脱硫塔除雾器分为上、下两级除雾器，下面一级为粗除雾器，上面一级为细除雾器。两级除雾器彼此平行布置，除雾器为波状板结构，强度高，接触面积大。携带有液滴的烟气首先流经第一级粗除雾器，再流经第二级细除雾器，利用液滴的惯性作用原理，烟气中的液滴碰触挡板而留在了挡板上，之后进入排水系统，最后落入浆池内。经除雾器分离的净烟气，液滴含量一般小于 $75\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，液滴平均直径小于20微米。

○ 循环反应池：脱硫塔下段设有塔底反应池，脱硫产物的氧化和结晶在该池中进行。从吸收区过来的浆液，进入氧化区，通过罗茨风机鼓入的空气与翻腾的浆液充分接触，将绝大部分亚硫酸钙、亚硫酸氢钙氧化成硫酸钙。硫酸钙溶解度小，在反应池内原有二水硫酸钙晶种上析出，晶体不断长大，形成石膏，当石膏达到一定浓度后，从底部抽出，由石膏泵送至浓缩池。根据现场情况，塔底反应池也可设计在塔外，也可在现有脱硫循环池基础上进行改造。

(3) 脱硫循环系统

脱硫塔设有二台浆液泵，其中一台为喷淋降温泵，另二台为脱硫循环泵。喷淋泵将浆液打到塔内均气降温层（烟气入口与脱硫段之间）的喷淋管路，对原烟气进行降温，使烟气温度降至 80~100℃。同时，通过喷头流量和方位的不同布置，调整烟气在塔内的流动，从而确保烟气通过 XP-II 型脱硫除尘部件之前流场均匀；而脱硫循环泵则将塔内浆液汇同供浆泵送来的新鲜石灰浆液一同打到脱硫塔的布浆管路（位于吸收区脱硫除尘部件上部），通过喷嘴将浆液均匀分布到每一个脱硫单元。循环泵和喷淋泵的流量根据烟气量的大小、烟气中二氧化硫的浓度确定。

(4) 喷淋装置

在喷淋段，烟气自下而上流动，脱硫剂自上而下喷射。根据塔体流体力学特性，特殊设计的喷咀组及各喷嘴的流量，既能保证塔体内烟气的均匀流动，又能保证反应中的剧烈气液逆流接触，从而确保传质、传热反应进行的更加充分。

设计中采用了大通道 MP 实心喷嘴，其内部有独特的 S 型通道，既可轻易的输送大颗粒浆液，又能提高一个均匀的雾化效果，其雾化颗粒较细，吸收效率较高，目前已广泛用于电厂脱硫系统中。

(5) 氧化空气系统

亚硫酸钙的氧化和石膏的结晶主要发生在循环池中。其尺寸保证能提供足够的浆液停留时间，完成亚硫酸钙向硫酸钙的氧化和石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）的结晶。

氧化空气系统由氧化风机和曝气管路组成，氧化空气系统可多台炉共用。氧化风机通过曝气管路将空气输送至循环池，使亚硫酸钙氧化为硫酸钙，完成曝气氧化过程。

3、石灰乳制备系统

采用市售石灰粉作脱硫剂，要求石灰颗粒在 180 目以下。

石灰经过仓底的螺旋给料机送到石灰乳池。输送石灰粉的同时，向石灰乳池补充水和部分回用水，进行搅拌制浆。浆液浓度通过调整加入石灰乳池的石灰粉量和水量加以控制。石灰粉的加入量则由螺旋加灰机的调速电机进行控制。制浆过程自动连续进行，制备好的浆液用石灰乳泵送入脱硫循环池。

4、脱硫产物后处理系统

石膏浆液由石膏输送泵输送到浓缩池，经过分离形成浓度约为 25% 以上浓相和浓度小于 5% 的稀相（重量百分比）。浓相主要含粗石膏颗粒，直接进入后续的真空过滤机进行过滤脱水，经过脱水的石膏渣，同炉渣一同处理。滤液则由滤液池中的滤液泵送入石灰乳池循环利用。浓缩池容积可储存脱硫产物一段时间的用量，过滤机在设计时考虑一定的裕量。这样，过滤机的使用用户可根据具体情况进行和班次人员安排。

5、烟气加热系统

每台炉均从空气预热器中抽出一部分高温空气（占烟气量的 10%）加入脱硫后的烟道中，可将烟气温度升高至 55 度以上，避开烟气的露点温度，确保无冷凝水析出。

6、自动控制及电控

a、脱硫液制备的自动控制系统：脱硫剂通过螺旋加灰机和流量自动控制装置自动制备出合适浓度的石灰乳液。再按石灰乳池的高低液位控制石灰乳的制备量，这样既保证了石灰基本按实际脱硫量进行加入，又保证了石灰乳液位控制在一定范围内，不但避免了系统 pH 操作波动范围过大，而且降低了人工劳动强度，减少了操作时间。

b、脱硫液的 pH 自动控制系统：脱硫浆液的 pH 值是保证设备不结垢和取得高脱硫效率的关键，本技术采用进口工业 pH 在线控制变送器、PID 智能控制仪表、电调阀等实现循环池内浆液 pH 值的自动控制。通过安装在专用测量槽内的进口工业 pH 在线控制变送器对脱硫循环泵的出液 pH 值进行测量，输出测量信号至 PID 智能控制仪表，智能控制仪表对信号与设定值进行比较后，发出指令给脱硫循环池上的石灰乳液加入管的电调阀，控制石灰乳的加入量，从而快速稳定地控制循环液 pH 值，即当 pH 值高于控制值时，电调阀关小，减少石灰乳流量，反之亦然。

c、液位自动控制：对系统储水或储浆罐进行高低液位控制，并自动补水。

五、工程应用

本技术已在北京北辰供热厂 8[#], 9[#]两台 35t/h 蒸汽炉上得到应用, 工程于 07 年 9 月底开工, 11 月底完工, 正常运行至今, 并且已委托市环保局进行了验收, 结果显示, 处理后烟尘、SO₂ 的折算浓度分别为 17mg/Nm³、13mg/Nm³。其主要设计参数(一台炉)如下:

序号	项目名称	指标	备注
1	烟气流量	70000Nm ³ /h	烟温 169℃
2	锅炉产出 SO ₂ 浓度	650mg/m ³	
3	锅炉产出烟尘浓度	2200mg/m ³	
4	系统总除尘效率	≥98.7%	
5	系统总脱硫效率	≥92.3%	
6	烟尘排放浓度	≤30mg/Nm ³	
7	SO ₂ 排放浓度	≤50mg/Nm ³	
8	石膏渣产量	126kg	
9	Ca/S	1.02-1.05	
11	液气比	3.0L/ m ³	
12	补水量	1.0-1.5t/h	
13	系统总阻力	2600-2800Pa	未更换原有引风机
14	出口烟气含湿量	≤8%	
15	系统漏风系数	≤0.5%	

北京利德衡环保工程有限公司