

镇江发电有限公司 600MW 机组超低排放设想

王如春, 何 凯

(江苏镇江发电有限公司, 江苏 镇江 212113)

摘 要: 社会大气环境问题的压力及环保排放指标的日趋严格, 寻求一种投资低、运行可靠的“多种污染物协同治理、超净脱除”的新工艺已经是目前烟气治理的发展趋势。为二氧化硫和烟尘的污染控制达到“超净排放”或“近零排放”的要求, 国内外的企业提出多种“超净技术”。SPC 的单塔一体化脱硫除尘深度净化 (SPC-3D) 技术基于多相紊流掺混的强传质机理, 利用气体动力学原理, 具有空塔喷淋的防堵、维修简单、脱硫除尘效率高、能耗低、适应范围宽、节省占地、工期短的优点。对于我公司 600MW 机组的脱硫装置改造, 应优先考虑 SPC 的单塔一体化脱硫除尘深度净化 (SPC-3D) 技术。

关键词: 石灰石-石膏法 FGD; 超净技术; 脱硫效率; 旋汇耦合技术; 管束式除尘器

0 引言

目前, 国内外火力发电厂烟气脱硫系统多采用湿法石灰石-石膏法脱硫工艺为主。石灰石-石膏法脱硫工艺具有脱硫效率高, 系统运行稳定, 适应范围广泛, 原料易于获得同时运行费用低等优点, 得到广泛应用。

但随着环保要求的不断提高, SO_2 排放指标的要求越来越严格, 《火力发电厂燃煤机组大气污染物排放标准》(GB13223-2011) 要求二氧化硫 $\leq 50\text{mg}/\text{Nm}^3$, 氮氧化物 $\leq 100\text{mg}/\text{Nm}^3$, 尘 $\leq 20\text{mg}/\text{Nm}^3$, 我国的环保标准高, 尤其在电力行业对主要污染物 SO_2 、 NO_x 的控制指标已是全世界最严格的标准, 同时对其他污染物, 比如烟尘污染的控制指标也日趋严格。

2012 年至今, 随着社会大气环境问题的压力及环保排放指标的日趋严格, 二氧化硫和烟尘的污染控制提出了“超净排放”或“近零排放”的要求, 预期今后将提出微颗粒物的指标控制。最近环保部门也多次强调对尘污染的控制, 其中一项就是火电厂湿法脱硫净烟气夹带石膏造成“石膏雨”污染的问题。寻求一种投资低、运行可靠的“多种污染物协同治理、超净脱除”的新工艺已经是目前烟气治理的发展趋势。

1 常规超净技术

燃煤电厂执行“超净排放”或“近零排放”要求的机组烟气需要实现烟气 SO_2 、 NO_x 和烟尘的标准,

为: $\text{SO}_2 < 35\text{mg}/\text{Nm}^3$, 氮氧化物: $50\text{mg}/\text{Nm}^3$; 烟尘 $< 5\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

为保证出口烟气中 SO_2 排放量小于 $35\text{mg}/\text{Nm}^3$, 一般采用脱硫塔中增加喷淋层、增大液气比及浆液循环量、增大浆液池高度和溶剂、增大吸收塔直径、增大氧化空气量等措施提高石灰石-石膏法脱硫设备的脱硫效率。而为保证出口烟气中烟尘排放量小于 $5\text{mg}/\text{Nm}^3$, 一般多采用吸风机前静电除尘增加电场、优化电源、增设旋转阳极系统等, 甚至直接改造为袋式除尘器, 且在脱硫系统后为进一步降低排尘浓度及烟气中的石膏颗粒又加装湿式电除尘器。

如图 1 所示, 目前常规的技术方案是:

“原电除尘改造为高效电除尘 + 吸收塔改造 + 除雾器改造 + 湿式电除尘器”。

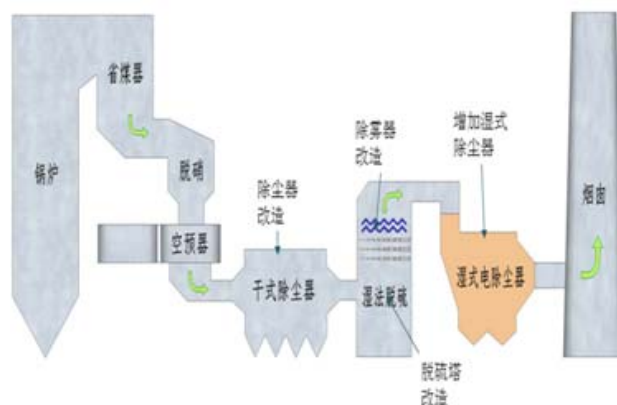


图 1 常规技术方案

2 SPC 单塔一体化脱硫除尘深度净化技术的

组成及基本原理

2.1 1SPC 单塔一体化脱硫除尘深度净化技术的组成

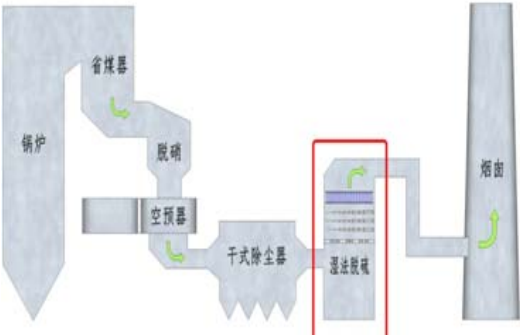


图 2 国电清新单塔一体化脱硫除尘深度净化(SPC-3D)技术方案 FGD 示意图

SPC 单塔一体化脱硫除尘深度净化技术由旋汇耦合脱硫技术、高效喷淋技术和管束式除尘装置三部分组成。

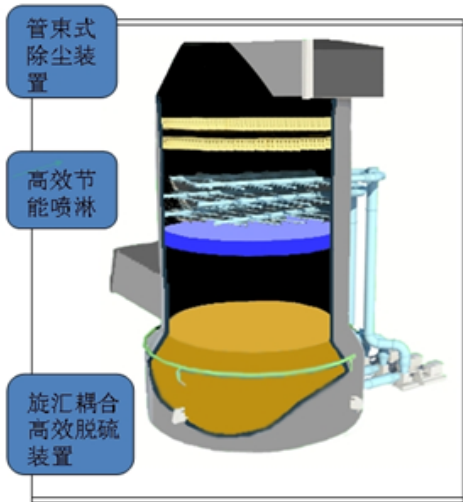


图 3 单塔一体化脱硫除尘深度净化技术组成示意图

2.2 SPC 单塔一体化脱硫除尘深度净化（SPC-3D）技术原理

SPC 单塔一体化脱硫除尘深度净化技术，基于多相紊流掺混的强传质机理,利用气体动力学原理，由旋汇耦合脱硫技术、高效喷淋技术和管束式除尘装置三部分组成。气体由原烟道进入吸收塔，经过旋回耦合器，与高效喷淋器喷出的浆液混合，旋转翻覆充分接触反应，再通过管束式除尘器，经过除雾除尘之后，由净烟道通往烟囱。

2.2.1 旋汇耦合脱硫技术原理

旋汇耦合脱硫技术基于多相紊流掺混的强传质机理，利用气体动力学原理，通过特制的旋汇耦合

装置产生气液旋转翻覆湍流空间，气液固三相充分接触，迅速完成传质过程，从而达到提高脱硫效率的目的，该技术与同类脱硫技术相比，除具有空塔喷淋的防堵、维修简单等优点外，由于增加了气体的漩流速度，还具有脱硫效率高和除尘效率高的优点。

如图 4 所示^[1]，吸收传质过程可分三个步骤。溶质由气相主体扩散到气液两相界面；穿过相界面；由液相界面扩散到主体。

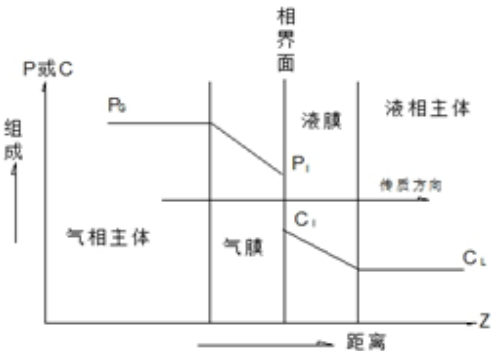


图 4 气液相界面附近的浓度分布图

吸收反应很快，在液相中任一点化学反应都达到了平衡状态，二氧化硫一旦到达界面，就在界面与液体反应达到平衡，但由于反应是可逆的，界面必有平衡分压，在界面由于有大量的反应发生，其液相吸收剂的活性组分浓度相应减少，而反应物浓度相应增加。因此，界面二氧化硫的平衡分压必较液流主体要高一些，这就在液膜中产生了界面未被完全反应的二氧化硫组分向液流主体扩散和继续反应的倾向。

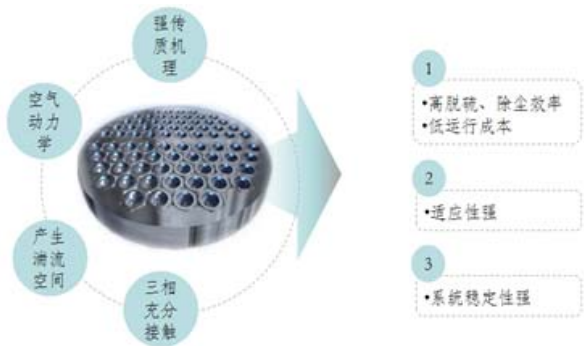


图 5 高效旋汇耦合器位置示意图

旋汇耦合器基于多相紊流掺混的强传质机理，利用气体动力学原理，通过特制的旋汇耦合装置(图 5)产生气液旋转翻腾的湍流空间，气液固三相充分接触，大大降低了气液膜传质阻力，大大提高传质

速率，迅速完成传质过程，从而达到提高脱硫效率的目的。该技术与同类脱硫技术相比，除具有空塔喷淋的防堵、维修简单等优点外，由于增加了气体的旋流速度，还具有脱硫效率高和除尘效率高的优点。

2.2.2 管束式除尘器原理



图 6 单管束示意图

如图 6，管束式除尘器是除雾除尘设备，应用于湿法脱硫塔饱和净烟气携带的雾滴和尘的脱除净化。使吸收塔出口尘排放值不大于 $5\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，雾滴排放值不大于 $25\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

其工作原理是利用凝聚、捕集和湮灭的原理，在烟气高速湍流、剧烈混合、旋转运动的过程中，将烟气中携带的雾滴和粉尘颗粒脱除。凝聚是指烟气中夹杂的细小的液体颗粒相互之间碰撞而凝聚成较大的颗粒后沉降下来；捕集是指细小的液体颗粒跟随气体与湍流器中的持液层充分接触后，被液体捕集实现分离；湮灭是指细小的液体颗粒与被抛洒至湍流器的表面时，形成附着液膜从而在烟气中脱离出来；这三种运动过程同时将夹杂在液滴其中的尘除去。现场安装实例见图 7。



图 7 管束式除尘除雾器的现场安装实例

3 SPC 单塔一体化脱硫除尘深度净化技术特点

3.1 SPC 技术脱硫特点

SPC 技术与同类脱硫技术相比，除具有空塔喷淋的防堵、维修简单等优点外，由于增加了气体的旋流速度，还具有脱硫效率高和除尘效率高的优点。

3.1.1 均气效果好

吸收塔内气体分布不均匀，是造成脱硫效率低和运行成本高的主要原因，安装旋汇耦合器的脱硫塔，均气效果比一般空塔提高 15%-30%，脱硫装置能在比较经济、稳定的状态下运行。烟气流场见图 8、9。

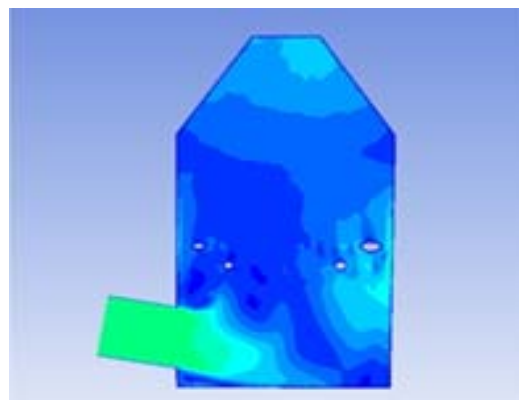


图 8 无湍流器下烟气流场

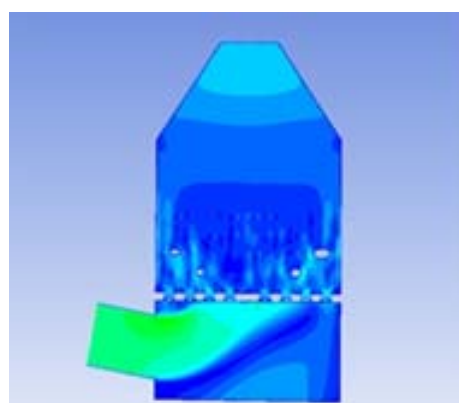


图 9 有湍流器下烟气流场

3.1.2 传质效率高

烟气脱硫的工作机理，是 SO_2 从气相传递到液相的相间传质过程，传质速率是决定脱硫效率的关键指标。公司经过几年的反复试验，获得了在不同环境、工艺技术条件下的技术参数，并以试验获得的参数为基础，开发生产关键设备，以达到增加液气接触面积、提高气液传质效率的目的。

3.1.3 降温速度快

从旋汇耦合器端面进入的烟气，通过旋流和汇流的耦合、旋转、翻覆形成湍流都很大的气液传质体系，烟气温度迅速下降，有利于塔内气液充分反应，各种运行参数趋于最佳状态。

3.1.4 适应性强

—不同工艺：由于降温速度快，有效的保护了脱硫塔内壁防腐层，提高了脱硫系统安全性。

—不同工况：较好的均气效果，受气量大小影响较小，系统稳定性强。

—不同煤种：脱硫效率高，受进塔气二氧化硫含量变化影响小，煤种范围宽。

—原料的不同粒径：石灰石粒度 200 目—325 目均可。

3.1.5 能耗低

由于脱硫效率高，液气比小，溶液循环量小，比同类技术节约电能 8%-10%。

大量工程实践证明，采用旋汇耦合专利技术的脱硫工程，系统运行安全稳定可靠，具有脱硫效率、除尘效率高，系统投运率高，能耗低，操作弹性大等特点。

3.2 技术除尘特点

SPC 技术的管束式除尘器除尘效率高，达到 5mg/Nm³以下，2.5μm 的细小液滴 95%去除；同时消除石膏雨，出口液滴达到 25mg/Nm³以下；运行阻力低，不增加额外的运行成本；只需利用原有吸收塔空间进行改造，不改变吸收塔外部结构；改造安装工期短，可在三周内完成改造；投资成本低，运行费用省，经济性好。

4 技术对比

托盘塔技术指在逆流喷淋的基础上增设一块或者多块穿流孔板托盘，将托盘全面布置在整个吸收塔的横截面，使烟气进入吸收塔后被均匀分布在截面上，托盘下方有时也布置一层喷淋层对烟气进行预饱和。托盘是带有小孔或者细长缝的格栅。烟气从托盘下往上流动，浆液从托盘上喷射下来，烟气和浆液在托盘表面发生强烈掺混，形成泡沫层，泡沫层具有很大的气液接触界面，对SO₂具有良好的吸收能力。另外在喷嘴布置时，要求塔内每点均有 300% 的覆盖率，以确保烟气能够与空气完全充分接触。目前，国际主流的托盘是巴布科克—威尔科克斯公司(B&W)的B&W 专利技术托盘，武汉凯迪电力环保有限公司引进了该技术。

托盘塔技术与湍流器技术同样是通过使烟气均布，增加气体和浆液接触来提高脱硫效率的。从场地预留以及脱硫效果的角度来说，两种技术均相比其他技术有较明显优势。表 1 列出了旋汇耦合技术、托盘技术、空塔喷淋技术在投资费用、运行费用等方面的区别。

表 1 旋汇耦合技术、托盘技术、空塔喷淋技术对比表

序号	名称	单位	旋汇耦合技术	空塔脱硫	托盘技术
1	旋汇耦合器/托盘材质		316L	无	316L
2	pH 值		4.9~5.6	5.3~5.8	5.3~5.6
3	系统阻力	Pa	2200	1690	2200
4	除尘效率(60%粒度>1um)	%	85	50	50
5	均气效果	%	相对高~30%	base	相对高~15%
6	收到基氮 Nar	%	0.88	0.99	0.91
7	能耗	%	低-10%	base	高 10%
8	石灰石纯度及粒度要求		低	高	base
9	负荷适应性		强	差	较强
10	投资费用		base	base	较高
11	边检条件		范围广	一般	一般
12	运行费用		相对较低	base	base

由表 1 可知，SPC 的单塔一体化脱硫除尘深度净化技术具有维修简单、脱硫除尘效率高、能耗低、适应范围宽、节省占地、工期短的优点。

5 后期设想

目前，我国环保要求非常严格，现推进的环保要求二氧化硫≤35mg/Nm³，氮氧化物≤50mg/Nm³，尘≤5mg/Nm³。

除尘改造中我公司已对原干式静电除尘进行了一定的改造，一二电场工频电源更换为高频电源，原四电场常规阴阳极系统改为旋转极板，已达到电除尘出口尘排放浓度<30mg/Nm³标准，通过脱硫后更是<20mg/Nm³，如考虑进一步降低排尘浓度，必须在脱硫后进行改造，现行比较传统的方法是加装湿式除尘器，但其需要占用较大空间。

脱硫改造中我公司已在原吸收塔系统上增加了一层喷淋层，并在塔内壁上增加了防止烟气逃逸的环板，增压风机与引风机进行了合并，且对原烟道及净烟道进行了优化处理，现二氧化硫排放≤50mg/Nm³，如考虑进一步降低二氧化硫的排放浓度，现行比较传统的方法是双塔循环双循环+温式除尘器、单塔双循环+温式除尘器，都需占用较大

空间及较长施工工期。



图 10 采用 SPC 进行超低排放改造前



图 11 采用 SPC 进行超低排放改造后

若采用 SPC 进行超低排放改造后现场实际空间相对还比较充足。

我公司准备根据现推行的排放标准进行超低排放改造，如按照传统方式进行改造，即增加脱硫气液比及湿式除尘器，现场所留空间将全部被占用。

但是我相信国家对于环保的管理要求会不断的提高，现行的标准在不远的将来又会被推翻，进一步推行更加严格的排放标准，甚至对于烟气中的其它有害物质的去除要求，那么公司在整体规划上将面临现场空间不足的困扰，只能对部分已建设施拆除重新规划，会造成极大浪费；如果采用 SPC 的单塔一体化脱硫除尘深度净化技术，也能够达到现推行的排放标准，且设备基本未增加能耗，设备主体未改变，也不增加外部设施，整体空间得到了预留，为以后的进一步烟气排放净化准备了充足的空间，所以对于我公司 600MW 机组的脱硫装置改造，应优先考虑 SPC 的单塔一体化脱硫除尘深度净化技术。见图 11、12。

参考文献：（范例：如左侧第 3 段中的文献标识如下）

- [1] 中国瑞林工程技术有限公司. 江苏镇江发电有限公司 #5、6 炉烟气超低排放改造工程可行性研究报告[R]. 南昌：中国瑞林工程技术有限公司, 2015.
- [2] 北京国电清新环保技术股份有限公司. SPC 烟气超净脱硫除尘一体化技术介绍[Z]. 北京：北京国电清新环保技术股份有限公司, 2014.

作者简介：

王如春（1975—），男，江苏徐州人，高级工程师，从华润江苏镇江发电有限公司技术支持部灰渣硫专业，
E-mail: rcwang@crpzj.com.cn;

何 凯（1974—），男，江苏镇江人，工程师，江苏镇江发电有限公司技术支持部副部长， E-mail：
kaih@crpzj.com.cn。