

「电除尘」

浅谈火电厂除尘装置改造

文/大唐国际发电股份有限公司下花园发电厂 安鹏羽

面对巨大的环境保护压力，能源供给以煤炭为主的我国，在现行严格的火电厂排放标准基础上，提出了燃煤电厂超低排放要求，即燃煤机组达到天然气燃气轮机组排放限值标准。主要介绍了火电厂超低排放改造中除尘装置的改造方案，分析了湿式静电除尘器和管束式除尘装置的主要原理及特点，从两种改造方案的技术性能，改造后的效果，改造过程及附属设备的改造等方面进行了对比。

随着国家加大大气污染防治力度，推行一系列严格的排放标准，要求锅炉尾气二氧化硫排放浓度小于 35 mg/m^3 、氮氧化物排放浓度小于 50 mg/Nm^3 、烟尘排放浓度小于 10 mg/m^3 （6%氧），越来越多的火电厂参与到“超低排放”改造中来，在改造中出现很多改造方案及方法，除尘设施是超低排放改造中一项重要的改造项目。

主要除尘装置的原理

1. 电除尘器常规改造技术介绍

电除尘改造的目的是增加收尘面积，提高收尘效率，常用方法有三种：一是将原有除尘器加高；二是增加电场；三是侧部振打改为顶部振打，或三种方式结合应用。

2. 湿式静电除尘技术简介

在脱硫系统尾部加设湿式静电除尘装置，其工作原理为：在湿式静电除尘装置的阳极和阴极线之间施加数万伏直流高压电，在强电场的作用下，电晕线周围产生电晕层，电晕层中的空气发生雪崩式电离，从而产生大量的负离子和少量的阳离子，这个过程叫电晕放电；随烟气进入湿式静电除尘装置内的尘（雾）粒子与这些正、负离子相碰撞而荷电，荷电后的尘（雾）粒子由于受到高压静电场库仑力的作用，向阳极运动；到达阳极后，将其所带的电荷释放掉，尘（雾）粒子就被阳极所收集，在水膜的作用下靠重力自流向

下而与烟气分离；极小部分的尘（雾）粒子本身则附着在阴极线上形成小液滴靠重力自流向，或通过关机后冲洗的方法将其清除。湿式电除尘安装在吸收塔顶部或净烟道中间，如下图。



图1 湿式电除尘安装示意图

3. 管束式除尘装置技术简介

管束式除尘装置是由北京国电清新环保技术股份有限公司在2013—2014年研发的专利产品（专利号201410427997.9），并通过了小试、中试和工程示范。

管束式除尘装置的使用环境是含有大量液滴的约 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 饱和净烟气，特点是雾滴量大，雾滴粒径分布范围广，由浆液液滴、凝结液滴和尘颗粒组成；除尘主要是脱除浆液液滴和尘颗粒。新建项目管束式除尘器安装在传统脱硫塔除雾器位置（除雾器无需安装），改造项目管束式除尘装置是将脱硫塔内的除雾器拆除，利用除雾器支架进

行安装。管束式除尘装置改造后管式除尘器装置利用原除雾器冲洗水进行冲洗,每3~4 h冲洗一次,冲洗时间约10 min。

(1) 原理

1) 细小液滴与颗粒的凝聚。大量的细小液滴与颗粒在高速运动条件下碰撞概率大幅增加,易于凝聚、聚集成为大颗粒,从而实现从气相的分离。

2) 大液滴和液膜的捕悉。除尘器筒壁面的液膜会捕悉接触到其表面的细小液滴,尤其是在增速器和分离器叶片的表面的过厚液膜,会在高速气流的作用下发生“散水”现象,大量的大液滴从叶片表面被抛洒出来,在叶片上部形成了大液滴组成的液滴层,穿过液滴层的细小液滴被捕悉,大液滴变大后跌落回叶片表面,重新变成大液滴,实现对细小雾滴的捕悉。

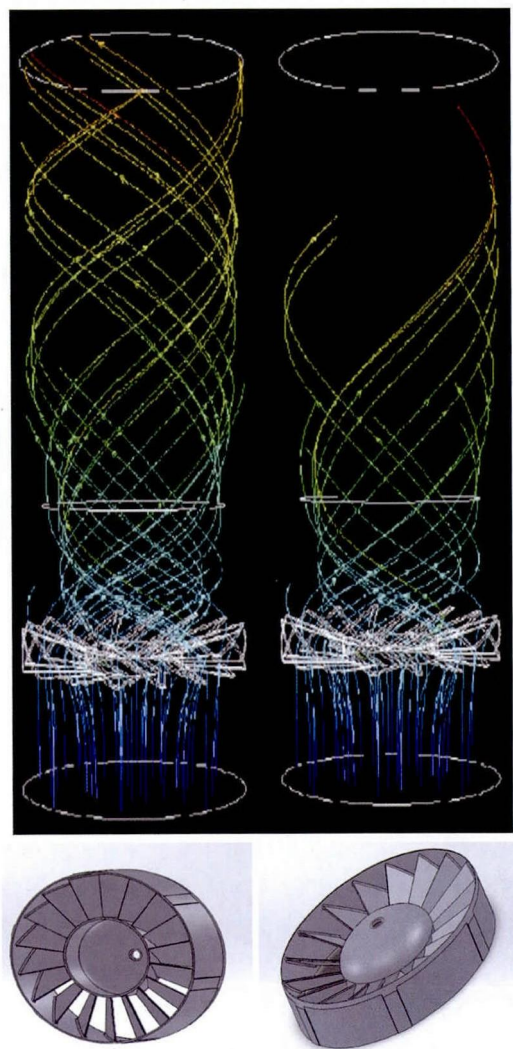


图2 管束式除尘装置原理图

3) 离心分离下的液滴脱除。经过加速器加速后的气流高速旋转向上运动,气流中的细小雾滴、尘颗粒在离心力作用下与气体分离,向筒体表面方向运动。而高速旋转运动的气流迫使被截留的液滴在筒体壁面形成一个旋转运动的液膜层。从气体分离的细小雾滴、微尘颗粒在与液膜层接触后被捕悉,实现细小雾滴与微尘颗粒从烟气中的脱除。

4) 多级分离器实现对不同粒径液滴的捕悉。气体旋转流速越大,离心分离效果越佳,捕悉液滴量越大,形成的液膜厚度越大,运行阻力越大,越容易发生二次雾滴的生成;因此采用多级分离器,分别在不同流速下对雾滴进行脱除,保证较低运行阻力下的高效除尘效果。

(2) 结构

1) 汇流环。控制液膜厚度,维持合适的气流分布状态。

2) 管束筒体。内筒壁面光洁,筒体垂直,断面圆滑,无偏心。

3) 导流环。控制气流出口状态,防止捕悉液滴被二次夹带。

4) 增速器。确保以最小的阻力条件提升气流的旋转运动速度。

5) 分离器。实现不同粒径的雾滴在烟气中的分离。

(3) 安装位置

管束式除尘装置安装图如图3所示。

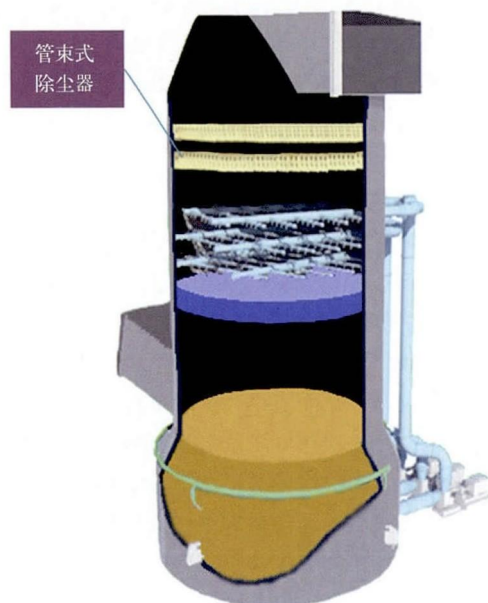


图3 管束式除尘装置安装图

除尘改造工艺方案的选择

根据锅炉实际燃煤条件与机组运行工况，结合现役除尘器实际状况的分析，并综合考虑目前国内燃煤电厂除尘技术发展水平的基础上，对除尘设备进行选择。

(1) 增设湿式静电除尘器管束式除尘装置

在脱硫系统下游增设湿式静电除尘器，烟气经过脱硫系统后烟尘浓度控制在 20 mg/m^3 以下，经过湿式除尘器后实现烟气的进一步深度净化使得最终排放浓度控制在 5 mg/m^3 以下。

(2) 增加管束式除尘装置

拆除吸收塔中原有的除雾器，安装管束式除尘器，从而实现最终排放浓度控制在 5 mg/m^3

以下。

1. 增设湿式静电除尘器

(1) 方案简述

湿式电除尘安装方式有两种：一是安装在吸收塔顶部；二是安装在净烟道中间。湿式电除尘自身荷载很大，如果安装在塔顶，则对吸收塔及吸收塔基础的稳定性有影响，需要重新加固，工作量太大。根据因地制宜，充分利旧，安全可靠，有利操作，经济合理的建设原则，湿式除尘器布置在净烟道中间，即在湿法脱硫塔与烟囱之间。吸收塔出口烟气在湿式除尘器内流动方向由上而下，净化后烟气由湿式电除尘器出口排放。

湿式电除尘器塔外布置如图4所示。

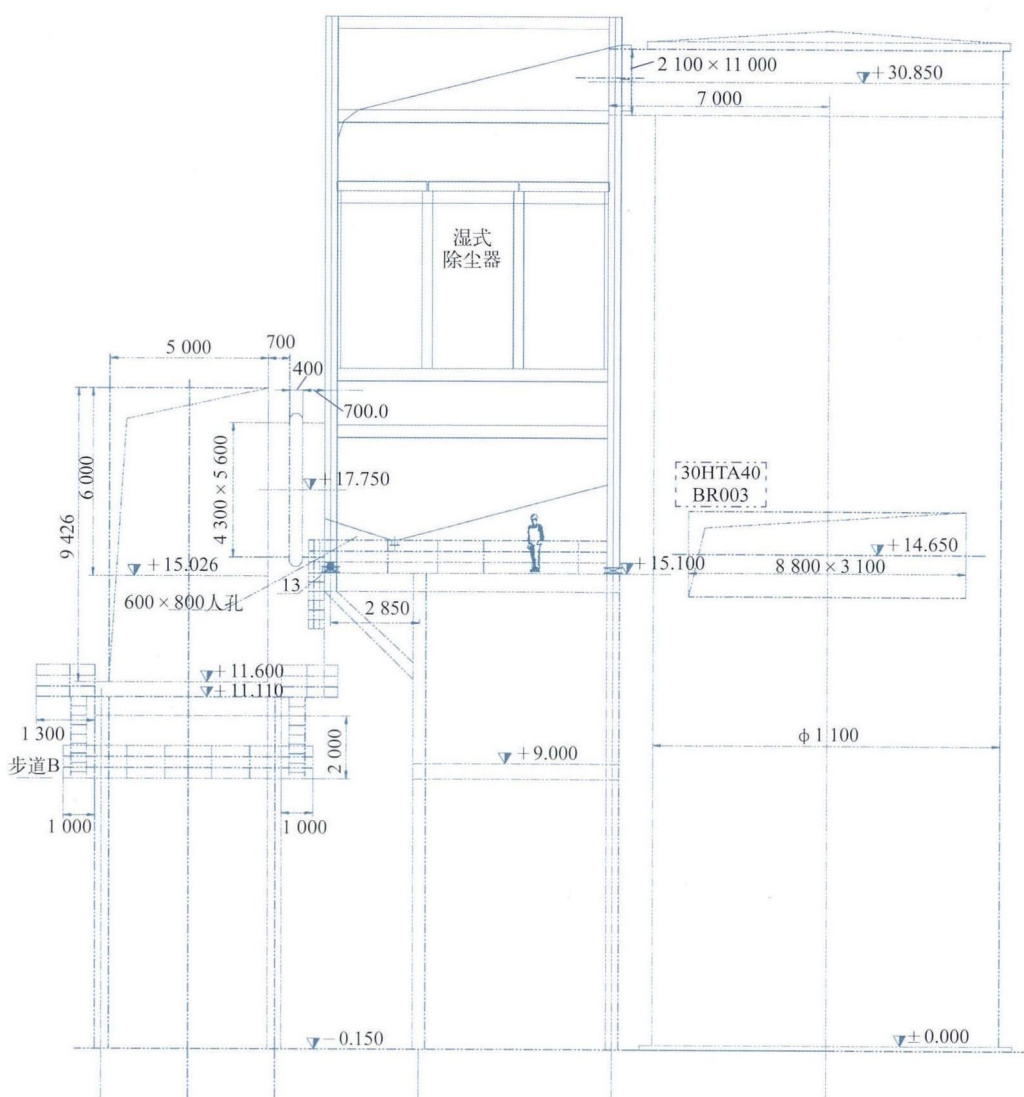


图4 湿式除尘器塔外布置方案

2. 增加管束式除尘装置

锅炉燃用煤质基本与设计煤质一致，原有石灰石石膏湿法脱硫系统设计吸收塔出口尘含量不低于 30 mg/m^3 ，现改造后要求脱硫系统尘含量达到 5 mg/m^3 。

依据现场运行现状考虑，采用以下方式改造：

(1) 烟气系统

改造前：烟气经吸收塔入口烟道逆流向上与喷淋层喷入的浆液进行脱硫反应，净化后烟气经除雾器除去水雾，再由净烟气烟道到烟囱排入大气。

改造后：拆除原有的除雾器，利用原有除雾器梁，安装管束式除尘器；改造除雾器冲洗管路。

(2) 吸收塔系统

改造前： SO_2 吸收系统主要用于脱除烟气中 SO_2 、 SO_3 、 HCl 、 HF 等污染物及烟气中的飞灰等物质。

烟气通过吸收塔入口从浆液池上部进入吸收区。在吸收塔内，热烟气自下而上与浆液（四层喷淋层）接触发生化学吸收反应，并被冷却，硫的氧化物（ SO_x ）与碳酸钙反应，形成亚硫酸钙，下落到吸收塔下部浆液池内，氧化风机送入吸收塔的氧化空气把脱硫反应生成的 CaSO_3 强制氧化生成 CaSO_4 并结晶生成石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）。吸收塔底部浆池中产生的石膏由吸收塔浆液排出发送入石膏旋流器浓缩，生产脱水石膏。脱硫后的烟气依次经过除雾器除去雾滴，由烟囱排入大气。

吸收塔上部吸收区pH值较高，有利于 SO_2 等酸性物质的吸收；下部氧化区域在较低pH值下运

行，有利于石灰石的溶解，有利于副产品石膏的生成反应。氧化区设置吸收塔脉冲悬浮泵用于保证吸收塔内浆液均匀悬浮状态。

从吸收塔排出的石膏浆液含固浓度15%（质量分数），经浓缩、脱水、使其含水量小于10%，送至石膏库房堆放。

改造后：原有吸收塔现有喷淋效果无法满足改造需要的除尘要求，需要对现有吸收塔的塔内件进行改造，以达到出口 5 mg/m^3 的要求。

在最上层喷淋层之上，拆除原有屋脊式除雾器，安装管束式除尘器。改造相应冲洗系统。

1) 管束式除尘器：安装管束式除尘器：吸收塔内设置管束式除尘器取代传统的除雾器，布置于吸收塔顶部最后一层喷淋层的上部。烟气穿过喷淋层后，再连续流经管束式除尘器除去所含浆液雾滴。在管束式除尘器的上面布置一层冲洗喷嘴，通过冲洗除尘器元件，带走管壁上附着的尘粒。烟气通过管束式除尘器后，其烟气携带水滴含量低于 30 mg/m^3 。烟气粉尘含量低于 5 mg/m^3 ，管束式除尘器冲洗系统间断运行，采用自动控制，保证管束式除尘器无结垢。

2) 其他系统改造：除雾冲洗系统需要改造，塔内改造部位需重新防腐。

3. 除尘改造方案综合比较与推荐

(1) 技术性能比较

技术性能比较如表1所示。

(2) 主要电气耗电功率比较

电气耗电功率比较如表2所示。

(3) 技术经济综合比较与推荐

综合比较如表3所示。

从烟尘排放来看：两种方案均能满足烟尘排

表1 技术性能比较表

序号	内容	方案一（湿除）	方案二（管束式除尘）
1	烟气量/ m^3/h	1 026 089	1 026 089
2	烟气温度/ $^{\circ}\text{C}$	52	52
3	吸收塔入口尘要求	$\leq 30\text{ mg/m}^3$	$\leq 50\text{ mg/m}^3$
4	烟尘排放效果	烟囱出口处粉尘排放浓度 $< 5\text{ mg/m}^3$ 。	烟囱出口处粉尘排放浓度 $< 5\text{ mg/m}^3$ 。
5	是否需要吸收塔内安装除雾器	需要	不需要
6	复杂程度	场地受限，荷载大，烟道及烟道支架需改造	布置简洁，重量轻，直接布置在塔内
7	排放稳定性	高效稳定	高效稳定
8	设备本体增加阻力/ Pa	300	300
9	改造工作量	较大	大
10	运行维护	相对复杂	相对简单

表2 电气耗电功率比较表 (kW)

序号	分项	方案一（湿除）	方案二（管束式除尘）
1	除尘阻力导致的引风机消耗功率	180	180
2	硅整流变压器	58	0
3	绝缘子电加热器	24	0
4	高压水泵	75	0
5	雾化水泵	5.5	0
6	清洗系统	5.5	15
7	罗茨风机	15	0
8	合计功率	363	195

表3 综合比较表

序号	分项内容	方案一（湿法）	方案二（管束式除尘装置）	备注
1	烟尘排放	能确保烟囱出口处粉尘排放浓度<5 mg/m ³ 。	能确保烟囱出口处粉尘排放浓度<5 mg/m ³ 。	
2	技术成熟度	成熟	新技术	
3	对燃煤适应性	好	好	
4	安全可靠	可靠	可靠	
5	改造工作量	较大	大	
6	运行维护	较大	工作量小	
8	脱硫、除尘系统阻力增加（平均值）/Pa	300	100	
9	改造后运行能耗/kW	363	195	包括引风机阻力增加所增加能耗；
10	对引风机的影响	较小	较小	
11	一次投资/万元	2 700	1 082.31	
12	年运行维护费用/万元	152	50	

放≤5 mg/m³。

从改造过程来看：第一种方案布置在净烟道上，需改造净烟道及相应烟道支架，工作量大，改造周期长；方案二只需改造脱硫塔内部构件，改造周期较短。

从附属设备（引风机）改造来看：方案一是在吸收塔出口后增加湿式除尘器，其湿式除尘器本体阻力约300 Pa，即整个脱硫除尘改造系统增加阻力约300 Pa，引风机需要预留至少300 Pa的压头。方案二是在吸收塔塔体内拆除原屋脊式除雾器后安装管束式除尘器，除屋脊式除雾器本体阻力约200 Pa，管束式除尘器本体阻力约300 Pa，即整个脱硫除尘改造系统增加阻力100 Pa（300－200），引风机需要预留100 Pa的压头。从原引风机运行数据及现场运行人员

反映来看，原引风机预留压头约250 Pa，则方案一需要改造引风机，而方案二基本不需要改动引风机。

结束语

综合以上分析，综合考虑一次投资、能耗、维护费用以及改造技术的成熟、可靠、先进和改造周期的长短；改造措施经济、合理、有效；改造后设备运行稳定、安全；整机使用寿命周期长，设备检修维护方便；能长期稳定满足国家及地方相关环保要求等各方面因素基础上，增设管束式除尘装置为除尘装置改造的方案。**EA**

（收稿日期：2016.05.30）

（编辑：白文亭）