

大唐南京发电厂 2×660MW 机组湿法脱硫装置“石膏雨”的治理

任 君¹，司徒有功¹，马 军²，沈 浩¹

(1.大唐南京发电厂，江苏 南京 210059；2.江苏苏境电力科技有限责任公司，江苏 南京 210009)

摘 要：大唐南京发电厂装机容量为 2×660MW 机组，配有石灰石湿法脱硫装置，并采用无旁路系统和风机合一的方案。脱硫装置投产后烟囱出口烟气大量飘落“石膏雨”。通过对吸收塔流场的调整，并对吸收塔系统进行了改造，即浆液喷嘴改造、除雾器模块采用差异化布置及高效除雾器模块进行改造，改造后烟气中的液滴为无色透明，液滴中无杂质、悬浮物，未见石膏痕迹，脱硫效率没有受到影响，且脱硫装置更易操作和控制。

关键词：湿法脱硫；石灰石；石膏雨

0 引言

目前，大部分火力发电厂脱硫系统采用石灰石-石膏湿法脱硫工艺，取消了气-气换热器（GGH）装置，直接将净烟气（烟温50~55℃）从烟囱排出，烟囱采用内衬防腐材料，形成“湿烟囱”排放的方案[1]。

由于“湿烟囱”无烟气再热措施，排烟温度较低，吸收塔出口带有饱和水的净烟气在排出过程中部分冷凝形成液滴，烟气自烟囱口排出后不能有效的抬升、扩散到大气中，导致取消GGH 装置后烟气不能迅速消散^[2]，特别是当地区温度、气压较低或在阴霾天气的时间段，烟气中携带的粉尘及液滴聚集在烟囱附近，落到地面形成“石膏雨”或酸雨，对电厂及周边环境产生污染，甚至腐蚀设备。

1 项目背景

大唐南京发电厂2×660MW机组脱硫装置石膏雨治理设计及技术服务。原脱硫系统采用石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺，吸收塔设置4层喷淋层，脱硫效率不小于95%，系统可用率大于98%。

表 1 脱硫装置入口烟气参数

项目	单位	锅炉 BMCR 工况		
		设计煤种	校核煤种	1校核煤种 2
RO ₂	Vol%	13.68	13.27	13.14
O ₂	Vol%	4.44	4.45	4.44
N ₂	Vol%	74.01	74.49	74.48
H ₂ O	Vol%	7.87	7.79	7.93
FGD 入口湿烟气量(BMCR)	Nm ³ /s	562	528.81	562.61
FGD 入口烟气温度(BMCR)	℃	112	125	125
锅炉排烟温度	℃	121	128	128
FGD 负荷范围	%	30~100	30~100	30~100
FGD 年利用小时数	h	5500	5500	5500

表 2 锅炉B-MCR工况在湿烟气中污染物成分（标态，实际O₂）

项目	单位	设计煤种 (含硫 0.8%)	校核煤种 (含硫 1.2%)
SO ₂	mg/Nm ³	1758.76	2633.55
SO ₃	mg/Nm ³	<35	<55
Cl(HCl)	mg/Nm ³	≤50	≤50
F(HF)	mg/Nm ³	≤25	≤25
烟尘浓度(引风机出口)	mg/Nm ³	<100	<150
烟气含氧量百分比	%	4.82	4.82

1.1 FGD 入口烟气参数及污染物成分

大唐南京发电厂 2×660MW 机组脱硫装置的烟气入口参数及污染物成分如表 1、表 2 所示。

1.2 吸收系统设备

其吸收塔系统的主要设备参数见表 3。

表 3 吸收塔系统主要设备

序号	设备名称	规格型号	单位	数量
1	吸收塔	φ16×~37.5m,浆液池直径 17.4m δ=10~18mm。	套	2
2	除雾器	两级，布置在吸收塔内部，直径 Φ16m。 PPTV（滑石粉改性聚丙烯），屋脊式	套	2
3	吸收塔搅拌器	侧进式，螺旋或螺旋伞齿轮驱动，37kW 卧式无堵塞离心泵，机械密封,Q=10400m ³ /h	台	6
4	循环浆液泵	H=20/22.5/25/27.5m,N=900/1000/1120/ 1250kW，6000V。泵壳：铸钢衬胶， 叶轮：合金	台	8
5	氧化风机	罗茨风机,Q=3630Nm ³ /h △P=98kPa,N=220kW。组合件	台	6
6	除雾器冲洗水泵	卧式离心泵， Q=130m ³ /h,H=65m,N=55kW。	台	2

1.3 石膏雨的飘落现象描述

脱硫后在烟囱排出的风向下游飘落固液混合物；在环境温度较高时，石膏雨飘落程度下降；在

除雾器冲洗阶段,石膏雨飘落程度明显增加。在马路、构筑物和设备上落下大量的灰白色的斑点,且落到汽车上很难清洗,即使用水冲洗后,仍然留有明显的痕迹。通过对烟囱出口烟气中的液滴进行采样分析,发现了含有石膏固体。

针对“石膏雨”问题,电厂委托具有多个电厂石膏雨改造成功的江苏某公司进行改造。

2 原因诊断及治理技术

2.1 原因分析

2.1.1 吸收塔塔型设计

由于吸收塔的烟气出口与出口为同向,且为扁平状,导致烟气在吸收塔内的流动不均匀,极易发生烟气偏流。如图1所示。

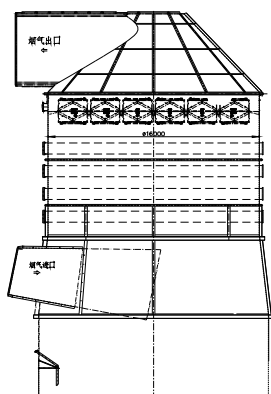


图1 吸收塔示意图

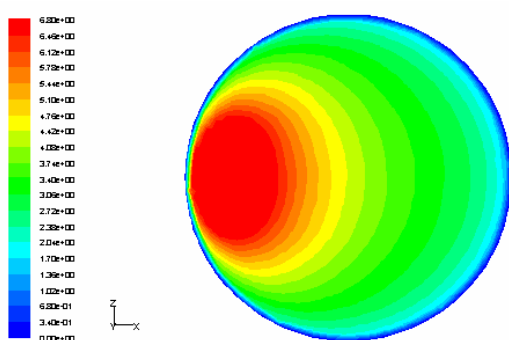


图2 进入除雾器前截面的烟气流速分布

由于吸收塔内流场不均匀,局部区域烟气流速过大,进入除雾器前截面的烟气流场如图2所示。可以看到,靠近烟气进出口侧的烟气流速偏大,最高处达到了近7m/s,而对面侧仅有2~3m/s。当烟气流速大时夹带的浆液量增大,即进入除雾器的烟气

中夹带的固体物质增多,增大了除雾器的处理难度,同时还易造成除雾器堵塞。

通过除雾器断面的烟气流速过高或过低都不利于除雾器的正常运行,烟气流速过高易造成烟气二次带水,从而降低除雾效率,同时流速高系统阻力大,能耗高。通过除雾器断面的流速过低,不利于气液分离,同样不利于提高除雾效率。此外设计的流速低,吸收塔断面尺寸就会加大,投资也随之增加。设计烟气流速应接近于临界流速。根据不同除雾器叶片结构及布置形式,设计流速一般选定在3.5~7.5m/s之间^[3]。如果烟气在除雾器处的流速超过设计值,除雾器的效果将大大降低,甚至失效,除雾器也会在高速的烟气下发生二次携带现象,大量的石膏浆液将会随烟气被带入烟囱,形成净烟气带浆现象。

2.1.2 吸收塔浆液喷淋层的喷嘴布置

在喷淋逆流空塔中,烟气沿着吸收塔中心向上流动,喷淋浆液逆行烟气而向下喷淋。在原设计中,其喷嘴布置基本上是均匀的,如图3所示。而烟气中吸收塔中流动是不均匀的,在塔的中心区域,流速较高,靠近塔壁的位置,流速较低。在喷淋过程中,向下喷淋的浆液对烟气起到一定的阻碍作用,若喷嘴采用均匀布置,势必导致吸收塔中心区域的流速更高、靠近塔壁处的流速更低,加剧了吸收塔内的流场不均匀。

由于吸收塔内的流场不均匀性增大,导致进入除雾器叶片的浆液量增多,造成了净烟气中夹带的固体悬浮物增多,这些悬浮固体由烟囱排出后,随风飘落,形成了石膏雨。

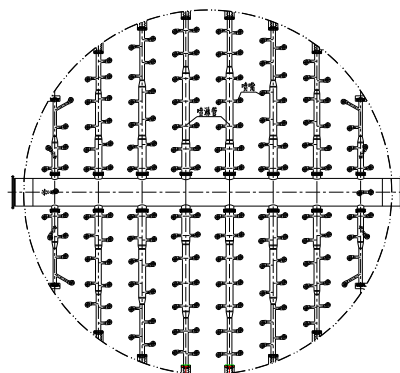


图3 原喷淋喷嘴布置图

2.1.3 除雾器的设计及布置

由于进入除雾器烟气的流速不均匀,同时吸收

塔的出口为偏心，则烟气中除雾器叶片中的流速也不相同。平板式除雾器设计流速一般在3.5~4.5 m/s左右。但是如果烟气在除雾器处的流速超过设计值，除雾器的效果将大大降低，甚至失效，除雾器也会在高速的烟气下发生二次携带现象，大量的石膏浆液将会随烟气被带入烟囱，形成净烟气带浆现象，在本项目中，由于吸收塔和除雾器的设计，导致了塔的速度场不均匀，如图4所示。

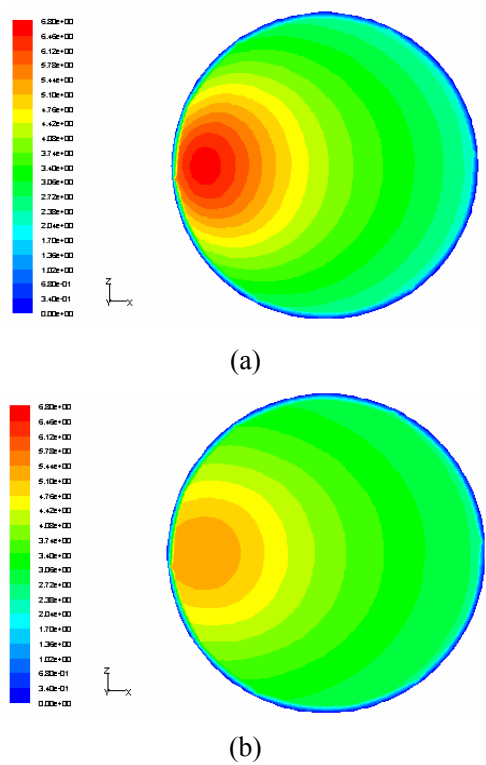


图4 第二级除雾器进出口截面处的流速分布

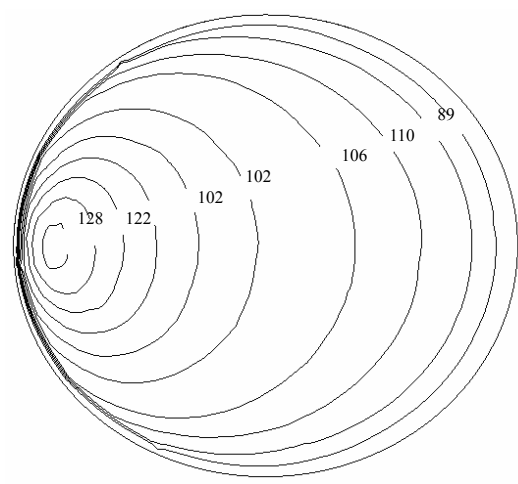


图5 除雾器出口烟气中的固体浓度

在原设计中，除雾器模块采用了均匀间距布置，即在高、低流速处，采用了相同的模块，导致净烟气中夹带的固体悬浮物增多，这些悬浮固体由烟囱排出后，随风飘落，形成了石膏雨。根据原吸收塔的结构、除雾器布置及烟气参数，模拟计算出除雾器出口烟气中的含固浓度，如图5所示。

2.2 改造方案

2.2.1 浆液喷嘴的改造

吸收塔的气体流场来看，吸收塔内靠近烟气进出口侧的流场非常不均匀，且速度偏大，加剧了除雾器进口的浆液浓度，故需对喷淋喷嘴的形式及布置进行适当的调整。本次改造主要为调整吸收塔的第一、第二、第三层的部分喷淋喷嘴布置。改造方式为：第一层远离进烟气进口处的增加喷嘴的布置密度，增加烟气进口对面处喷嘴数，从而降低吸收塔内远离烟气进口处的烟气流速，使烟气流场均匀，喷嘴调整后的第一层的总喷嘴数不变。第二层靠近烟气进口处的增加喷嘴的布置密度，增加烟气进口处喷嘴数，从而降低吸收塔内靠近烟气进口处的烟气流速，使烟气流场均匀，喷嘴调整后的第二层的总喷嘴数不变。

将第三层靠近烟气出口处的增加喷嘴的布置密度，通过增加喷嘴数来增加靠近吸收塔出口处除雾器局部区域的阻力，但喷嘴调整后的第二层的总喷嘴数不变。从而使得进入除雾器的烟气流速均匀，提高除雾器的除雾效果。

为了保证新增喷淋支管的机械强度，喷淋管在采用 FRP 制作时，采用加强的方式，喷嘴采用空心锥，进口 SiC 喷嘴。

2.2.2 采用高效的除雾器叶片形式

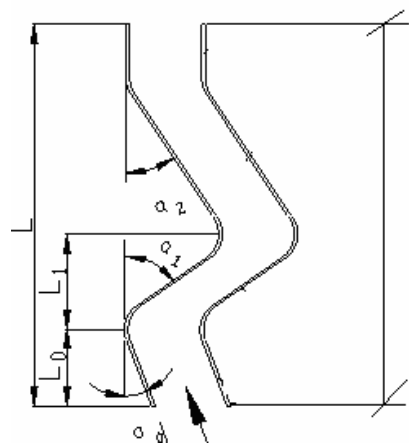


图6 高效除雾器的叶片形式

叶片是除雾器中最基本也是最重要的元件,该种叶片形式的去除烟气中的浆液能力较差,且对于较小粒径浆液液滴,去除能力更差,导致较小粒径浆液液滴随烟气夹带,由烟囱排出,出现了“石膏雨”的现象。本次改造采用具有专利技术的高效除雾器其结构形式如图 6 所示。

2.2.3 除雾器模块的差异化布置

由于烟气经过喷淋区后,夹带大量的固体浆液首先通过第一级除雾器进行液固分离,故而第一级的去除效果将直接影响到第二级的除雾效果及吸收塔出口的固体含量。

叶片是除雾器中最基本也是最重要的元件,叶片形式决定了去除烟气中的浆液能力。除雾器叶片间距的选取对保证除雾效率,维持除雾系统稳定运行至关重要。叶片间距大,除雾效率低,烟气带水严重,导致整个系统非正常停运。叶片间距选取过小,除加大能耗外,冲洗的效果也有所下降,叶片上易结垢、堵塞。叶片间距根据系统烟气特征(流速、SO₂含量、带水负荷、粉尘浓度等)、吸收剂利用率、叶片结构等综合因素进行选取。叶片间距一般设计在 20~50mm。

减小除雾器叶片的间距,可有效提高除雾器的效率,但由于间距减小,导致除雾的阻力和除雾器的重量、除雾的流通面积减小。根据这三个参数,合理选取除雾器的叶片间距。

故而选择合理的叶片及叶片间距,可大大提高除雾器的除雾效果,减少烟气夹带浆液液滴量,从而避免出现“石膏雨”的现象。

在除雾器的设计中,通常将靠近吸收塔边壁处的模块设计为非标准件,而吸收塔中心区为标准模块,由于吸收塔出口为单侧,故而靠近吸收塔出口处的烟气流速较大,而远离出口处的烟气速率较低。对于除雾器来说,烟气速度过高或过低都会影响到除雾效果。为了保证烟气在第一级除雾器的流速均匀,则更换第一级除雾器的部分模块,即在流速较高区域,更换叶片间距较小的除雾器模块,其目的是增加该区域的烟气阻力,从而保证除雾器叶片内的流场均匀。

2.3 改造后效果

2.3.1 改造后的流场分布

按照上述改造方案,根据 FGD 入口的烟气参数、吸收塔参数等,模拟计算了改造后的吸收塔内

的流场分布,如下图 7、图 8 所示,从计算结果来看,吸收塔截面熵的流场明显趋于均匀,且除雾器出口的流场相对均匀、对称。

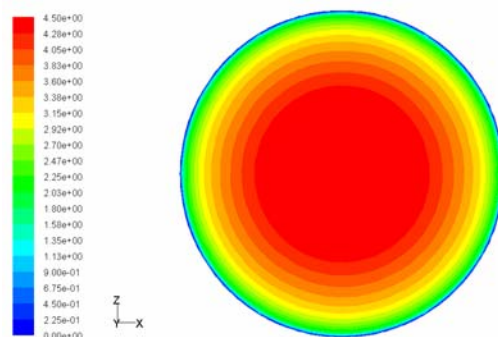


图 7 改造后除雾器出口的速度场分布

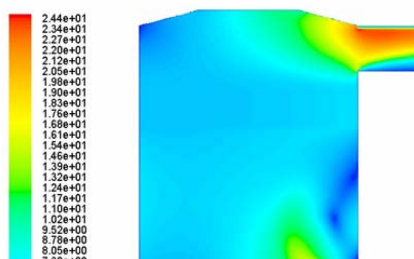


图 8 改造后除雾器出口的速度场分布

2.3.2 改造后烟气中的石膏悬浮物

2011 年 5 月改造完成。为了保证改造后的效果,对两套脱硫装置同时施工,改造后系统的脱硫效率没有改变,同时通过调整除雾器的冲洗,更好地保证了吸收塔系统的水平衡,运行比改造前更容易操作。在改造后,对烟囱出口的烟气中水滴进行了采样测定。采样纸采用白色 A3 纸,机组负荷 600MW,SO₂浓度约 2500 mg/Nm³左右。采样时滴落到 A3 纸上液滴为无色透明,液滴中无杂质、悬浮物,自然晾干液滴后,A3 采样纸表面基本无明显残留痕迹,未见石膏痕迹。随后,市环保机构针对石膏雨问题对该厂进行随机采样检查,也未发现石膏雨。说明本次改造取得了圆满成功。

3 结束语

在本工程中,通过吸收塔流场调整和吸收塔的改造,消除了该厂的“石膏雨”,说明改造的技术方案是可行的,可广泛用于烟囱飘落石膏雨的电厂。但是,若在项目的建设前期,邀请具有石膏雨治理

技术和经验的公司进行吸收塔的喷淋层、除雾器设计和布置及采用高效除雾器模块，可防止装置建成后的二次改造，既保证了机组运行，又降低了二次投资费用。

参考文献：

- [1] 周至祥. 湿法 FGD 湿烟囱工艺的问题及对策[J]. 电力环境保护, 2003,19(1).
- [2] 程永新. 湿法烟气脱硫系统中“石膏雨”问题的分析及对

策[J]. 华中电力, 2010,23(5):27-30.

- [3] 赵毅, 华伟, 王亚君, 等. 湿式烟气脱硫塔中折线型挡板除雾器分离效率的数值模拟 [J]. 动力工程, 2005,25(2):293-297.

作者简介：

任 君（1966-），男，江苏南京人，工程师，从事电站锅炉、脱硫脱硝设备管理工作。