

# 回流式循环流化床干法脱硫配套的静电除尘的改造措施

顾卫东

(江苏新海发电有限公司, 江苏 连云港 222023)

**摘 要:** 江苏新海发电有限公司#16 炉原采用回流式循环流化床干法脱硫工艺 (RCFB-FGD), 脱硫吸收塔塔前配两电场一级除尘器 (ESP1)、脱硫吸收塔塔后配五电场二级除尘器 (ESP2), 随着干法脱硫改为石灰石-石膏湿法脱硫, 对上述除尘器实施保留原一、二级除尘器钢构架, 更新除尘器内阳极管、阴极线、以及电气整流设施等的技术改造, 改造后收尘效果良好, 电耗大幅下降, 改造取得圆满成功。

**关键词:** 干法脱硫; 电除尘; 改造

## 0 引言

21 世纪初期, 一些新建电厂采用干法脱硫工艺, 与此配套, 在脱硫吸收塔前、后各设一级电除尘器。随着国家《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011) 的颁布实行, 原有干法脱硫及其配套的电除尘难以满足新标准的要求, 一般均需要改造为石灰石-石膏湿法工艺, 并对配套的电除尘作提效改造。本文对干法脱硫工艺改湿法脱硫工艺条件下, 其配套的电除尘器各种改造方案进行分析比较, 并提出了最佳的改造方案。

## 1 系统概述及改造的原因分析

### 1.1 系统概述

#16 机组 (330MW) 采用武汉凯迪电力股份有限公司提供的回流式烟气循环流化床干法脱硫装置 (RCFB-FGD)。脱硫吸收塔之前设第一级静电除尘器 ESP1, ESP1 为安徽意义环保设备有限公司提供的双室双电场静电除尘器, 吸收塔后设第二级除尘器 ESP2, ESP2 为河南中材环保有限公司提供的双室五电场静电除尘器, 电除尘高压控制系统为浙江佳环电子公司提供, 高压控制器型号为 DJ-96。

ESP1 对应的粉尘成分主要和煤种有关, 灰尘浓度约 20-30g/m<sup>3</sup>。ESP1 设计除尘效率为 90%, 以保证脱硫吸收塔内物料的质量以及减轻ESP2 的除尘压力, 脱除的干灰由仓泵输送至灰库。在脱硫投运时, ESP2 入口粉尘浓度极高, 往往达到 800-1000g/m<sup>3</sup>以上。ESP2 第一、二电场收集的固体颗粒返回吸收塔继续参与脱硫反应; ESP2 第三电场收集下来的固态颗粒既可返回吸收塔继续参与反

应, 也可排到脱硫灰库; ESP2 四、五电场收集的脱硫灰直接排到脱硫灰库。脱硫投运时吸收塔喷水, 吸收塔烟气温降至 75-80℃。脱硫投运时ESP2 的粉尘成分明显异于ESP1, 其成分主要为亚硫酸钙、氢氧化钙、硫酸钙、碳酸钙、以及ESP1 未除完的飞灰等, 具体成分见表 1。干法脱硫除尘工艺流程见图 1。

表 1 脱硫运行时与脱硫停运时 ESP2 粉尘的成分的差异

脱硫运行时		脱硫停运时	
成分	重量百分比	成分	重量百分比
CaSO <sub>3</sub> ·1/2H <sub>2</sub> O	50±15	CaO	4-10
CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	20±15	SiO <sub>2</sub>	40-60
CaCO <sub>3</sub>	30±15	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15-25
CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	8±4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-20
CaF <sub>2</sub>	10±5	平均粒径 (μm)	15±5
Ca(OH) <sub>2</sub>	5±3		
飞灰	35±30		
平均粒径 (μm)	10±5		

(备注: 脱硫运行时, ESP2 前面电场氢氧化钙浓度高于后面电场; 脱硫停运时, 灰成分和煤种有关)

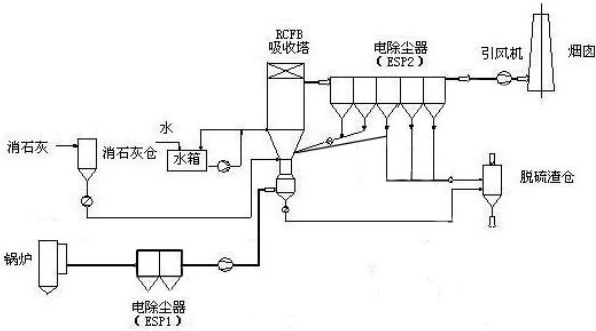


图 1 干法脱硫除尘工艺流程

### 1.2 原电除尘状况

预除尘器ESP1 是安徽意义环保设备有限公司提供的双室双电场静电除尘器, 存在如下问题: 阳

极板易从固定梳型卡槽脱出，多次造成电除尘内部短路，电场停运；阴、阳极振打装置为顶部振打，振打力不足，清灰效果差；电除尘内部没有设置检修通道，检修不便；电除尘进口气流分布不均匀，气流均布板磨损严重；实际除尘效率小于 90%，除尘效果不佳。

电除尘ESP2 布置于脱硫吸收塔之后，由于干法脱硫装置需要在吸收塔喷水将烟气温度降至 70℃~80℃，且吸收塔及ESP2 入口粉尘浓度可达 800-1000g/m<sup>3</sup>，造成电除尘ESP2 腐蚀、磨损严重，每隔 3-4 个月就会出现多个电场内部短路。ESP2 存在的问题如下：阳极板腐蚀严重，多次断裂造成电场内部短路；多个阴极框架悬吊杆断裂，造成阴极框架塌掉，导致多个电场内部短路；阴极线腐蚀磨损严重，阴极框架变形严重，极板、极线间距超标；阴极振打装置无法正常使用；电除尘壳体腐蚀严重，顶部、侧部多处漏雨；灰斗阻流板设计不合理，多次发生脱焊垮塌现象。

### 1.3 电除尘改造的原因

根据国家《火电厂大气污染物排放标准》（GB13223-2011），自 2014 年 7 月 1 日起，#16 机组烟尘、二氧化硫执行的排放标准分别从 50、400 mg/Nm<sup>3</sup>提高至 30、200 mg/Nm<sup>3</sup>。为此，江苏新海发电有限公司于 2012 年-2013 年对#16 机组实施脱硫、除尘器以及其它相关设施技术改造，以满足国家环保新标准要求。如上所述，现有电除尘设备问题太多，根本无法保证长期稳定运行；按原设计，ESP2 入口粉尘浓度极高，且粉尘浓度随气流方向逐渐降低，沿电场高度方向自上而下逐渐升高，故为 ESP2 一电场上部配置放电性能较好的V25 线，下部配置放电能力强的V40 线，二电场上部采用V15 线，下部采用V25 线，三电场全部采用V15 线，四、五电场全部为V0 线，如此配置显然与改造后飞灰的特性不对应，故原电除尘设备难以达到最佳除尘效果；脱硫采用石灰石-石膏湿法脱硫装置（无旁路烟道），且配备GGH装置，引风机选用双级动叶可调轴流风机，都对电除尘出口烟气含尘浓度和电除尘稳定运行提出了更高的要求；从改造前的实测数据看，ESP1 除尘效率低于 90%，效果不理想。为此，江苏新海发电有限公司决定对电除尘进行更新改造。

## 2 电除尘改造方案比较和选择

(1) 方案 1：保留原一、二级除尘器钢构架，对除尘器内部设备、电气整流设施更新改造

优点：拆除内部件只需一个月，电除尘改造工期只需 4 个月；引风机进口烟道支架和引风机基础可利用，对脱硫改造无任何影响；投资最省；除尘效果最好。

缺点：占地面积大；系统烟气阻力略大；ESP2 仍保持原有高度（51.5m），不利于设备巡查和设备检修。

(2) 方案 2：拆除原有电除尘设施，重新建设五电场静电除尘器

优点：布置紧凑，占地面积小；系统烟气阻力小。

缺点：由于整个拆除时间需要约 3-4 个月，且脱硫改造、除尘器改造需要在拆除后方可实施，故整个环保改造总工期将增加 3-4 个月；拆除施工难度较大，存在较大的安全风险；除尘器改造费用最高。

(3) 方案 3：保留原一、二级除尘器

优点：不需拆除，整个环保改造总工期不需增加；总体费用最低

缺点：现有设备问题太多，根本无法保证长期稳定运行；原电除尘极线配置与改造后飞灰的特性不对应，除尘效果难以保证；整体布置中间环节多，占地面积大；系统烟气阻力略大。

综上所述，由于方案 2 由于需要拆除原有设施，必然增加环保改造总工期 3-4 个月，使机组停运时长达 10 个月，无法接受；由于现有电除尘设备先天不足并已严重劣化，无法继续使用，所以方案 3 也被否决。由于现场场地条件允许湿法脱硫装置布置于烟囱西侧场地，故保留#16 炉原有电除尘框架，对除尘器内部设备、电气整流设施更新改造，工期短，投资省，除尘效果最好，可靠性高，施工安全风险小，是最佳方案。

## 3 改造实施情况

### 3.1 具体实施方案

保留原干法脱硫配套的一、二级除尘器钢构架和引风机进口烟道支架，除尘器布置位置及接口尺寸保持不变，一级电除尘外壳及保温保留，二级除尘器外壳换新，对一、二级除尘器内部阳极板和阴极线等设备、高压整流设备等进行更新改造，其中

电除尘 ESP1 一电场采用高频电源 (0.8A/72kV)，二电场电除尘整流变压器参数为 1.0A/72kV，电除尘 ESP2 一至五电场整流变压器参数为 0.8A/72kV。ESP1 与 ESP2 之间的原干法脱硫吸收塔保留，作为烟气通道，电除尘 ESP1 两侧烟气在此混合后进入电除尘 ESP2，吸收塔内部文丘里管拆除。配套的气力输灰系统重新设计。具体技术参数如表 2。

3.2 实施过程

2012 年 10 月下旬开始进行一级和二级除尘器壳体和内部件的拆除，至 2013 年 1 月 20 日拆除完毕。2012 年 12 月起新设备开始安装于（与拆除工作同步穿插进行），2013 年 3 月上旬所有机务和电气安装工作全部顺利完成，3 月中旬开始进行设备调试，4 月 1 日对除尘器进行冷态调试，所有电场各项参数均达到设计标准，4 月 28 日进入 168 试运行，至 5 月 4 日热态调试顺利结束，运行情况良好。

3.3 改造前后电除尘主要技术数据比较

改造前后电除尘主要技术数据比较见表 2。

表 2 #16 炉电除尘器改造前后主要技术数据比较

项目	单位	改造前	改造后
保证效率	%	ESP1: 95 ESP2: 99.99375	99.87
出口排放浓度	mg/Nm <sup>3</sup>	50	50
本体阻力	Pa	400	≤200
本体漏风率	%	≤2.5	≤2
室数/电场数		2/7	2/7
通道数	个	一级除尘器 2×44 二级除尘器 2×38	一级除尘器 2×44; 二级除尘器前 三电场 2×38, 末二电场 2×33
比集尘面积	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> /sec	ESP1: 44 ESP2: 120.32	125.81
电场长度	m	ESP1: 2×4.6 ESP2: 5×5.28	ESP1: 2×4.6 ESP2: 5×5.28
电场高度	m	ESP1: 14.63 ESP2: 15.05	ESP1: 14.63 ESP2: 15
阳极板总面积	m <sup>2</sup>	ESP1: 23689 ESP2: 62198	57924
阴阳极振打方式		ESP1: 顶部振打 ESP2: 侧部机械式	侧部机械式
整流变压器数量	个	28	28
整流变压器参数		1.3A/72kV	ESP1: 一电场 0.8A/72kV; 二电场 1.0A/72kV; ESP2: 0.8A/72kV
#16 炉总功耗	kW	1800	863

3.4 改造效果

改造后，2013 年 4 月 21 日电除尘投入生产运行，5 月 16 日由苏省环境监测中心进行性能测试。试验数据表明：

#16 机组除尘器除尘效率评价值为 99.871%，符合保证值≥99.87%的要求；

#16 机组除尘器出口烟气中烟尘排放浓度平均

值为 22.6mg/m<sup>3</sup>；

#16 机组除尘器阻力平均值为 197Pa，符合保证值≤200Pa 的要求；

#16 机组除尘器本体漏风率为 1.37%，符合保证值≤1.5%的要求。

#16 机组除尘器二次功耗为 654.89kW，远小于改造前的 1687.2 kW，改造后节电约 1000 kW，按运行 6000h 计算，年可以节电 600 kW·h，折合节省标煤约 2000 t。

详细测试数据如表 3 和表 4。

表 3 #16 炉电除尘器改造后主要测试结果

参数名称	符号	单位	5 月 16 日			平均值
			第一次	第二次	第三次	
机组负荷	/	MW	326	326	325	326
处理烟气量	Q	×10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /h	103.20	103.13	101.98	102.77
进口烟尘浓度	C	mg/m <sup>3</sup>	17593	17707	17880	17727
出口烟尘浓度	C	mg/m <sup>3</sup>	22.5	24.5	20.8	22.6
除尘器效率	η	%	99.870	99.860	99.882	99.871
除尘器阻力	ΔP	Pa	230	181	181	197
除尘器漏风率	Δα	%	1.49	1.29	1.32	1.37

表 4 #16 炉电除尘器改造前后电耗统计一览表

供电区		改造前			改造后		
		U2 /kV	I2 /mA	二次功 耗/kW	U2 /kV	I2 /mA	二次功 耗/kW
甲侧	ESP1 甲一左	50.4	703	35.4	46	255	11.73
	ESP1 甲二左	45.9	652	29.9	47	520	24.44
	ESP2 甲一左	50.5	946	47.8	47	726	34.122
	ESP2 甲二左	63.4	1303	82.6	43	499	21.457
	ESP2 甲三左	57.9	1296	75.0	44	503	22.132
	ESP2 甲四左	61.1	1277	78.0	51	440	22.44
	ESP2 甲五左	65	1298	84.4	50	464	23.2
	ESP1 甲一右	53.8	1202	64.7	44	193	8.492
	ESP1 甲二右	44.3	754	33.4	20	200	4
	ESP2 甲一右	48.6	825	40.1	46	601	27.646
	ESP2 甲二右	62.5	1196	74.8	49	740	36.26
	ESP2 甲三右	54.8	1235	67.7	45	648	29.16
	ESP2 甲四右	65	1298	84.4	50	404	20.2
	ESP2 甲五右	64	1300	83.2	49	448	21.952
乙侧	ESP1 乙一左	47.4	980	46.5	50	265	13.25
	ESP1 乙二左	47.3	241	11.4	40	484	19.36
	ESP2 乙一左	53	841	44.6	51	747	38.097
	ESP2 乙二左	51.3	543	27.9	49	667	32.683
	ESP2 乙三左	53.9	1196	64.5	48	615	29.52
	ESP2 乙四左	79.2	1254	99.3	51	445	22.695
	ESP2 乙五左	75.8	1300	98.5	52	445	23.14
	ESP1 乙一右	57.4	510	29.3	44	203	8.932
	ESP1 乙二右	59.1	1069	63.2	48	629	30.192
	ESP2 乙一右	51.8	1033	53.5	47	624	29.328
	ESP2 乙二右	57.5	660	38.0	41	644	26.404
	ESP2 乙三右	61.1	1303	79.6	45	560	25.2
	ESP2 乙四右	60.4	1301	78.6	51	482	24.582
	ESP2 乙五右	54.6	1298	70.9	51	476	24.276
合计				1687.2		654.89	

4 结论

江苏新海发电有限公司#16 炉电除尘改造成功经验表明,对于原干法脱硫配套电除尘的改造,采用保留原除尘器钢构架,对除尘器内部设备、电气整流设施更新改造的改造方式,除尘效果好,节电效果好,工期短,投资省,值得推广。

**参考文献:**

- [1] 文尚曦. RCFB 吸收塔后高浓度除尘器的特点及应用现状[A].第十届全国电除尘学术会议论文集[C].武汉:中国

环保产业协会电除尘委员会,2003. 309-312.

- [2] 苗鹰育, 杨春荣.浅谈干法脱硫后置电除尘器的开发[A].第十二届全国电除尘学术会议论文集[C].武汉:中国环保产业协会电除尘委员会,2007.

---

**作者简介:**

顾卫东(1970—),男,江苏省连云港人,高级工程师,从事火力发电厂锅炉设备检修管理工作, E-mail: xhfdsj@163.com。