

添加剂在华能金陵电厂脱硫系统的应用

成志平

(华能南京金陵发电有限公司, 江苏 南京 210034)

摘 要: 本文简要介绍了脱硫添加剂在华能金陵发电厂#1 机组烟气脱硫系统的应用情况。从现场的分析测试数据可以看出, 脱硫添加剂可以提高脱硫效率 5%-10%, 在脱硫装置入口SO₂浓度超出设计值约 30%的工况下, 脱硫装置能够连续稳定运行。在设计工况条件下, 在满足环保要求的排放标准前提下, 使用添加剂可以降低循环强度 25%左右, 可节省脱硫系统厂用电率 0.1%左右, 大大降低了脱硫装置的运行成本, 并在一定程度上提高了脱硫装置对燃煤硫份的适应能力。

关键词: 脱硫添加剂; 脱硫效率; 节能

0 引言

石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺中的反应过程属于化学控制过程, 烟气中的SO₂从气相进入液相, 吸收剂CaCO₃从固相进入液相的过程中均存在较大的液膜阻力, 并且吸收剂石灰石存在溶解度低, 受细度影响大等因素的影响, 导致现有的石灰石-石膏湿法脱硫装置运行能耗高、石灰石利用效率低等问题。如何能够有效的降低液膜阻力, 提高传质速度, 提高石灰石在吸收塔浆液中的溶解速度, 提高石灰石利用效率并最终提高脱硫装置整体的运行性能是脱硫运行面临的问题。

脱硫添加剂从反应机理上, 能加速石灰石溶解、显著提高石灰石活性、提高氧化空气的利用效率、提高脱硫石膏品质、降低系统的Ca/S比从而提高石灰石的利用效率、防止设备结垢和堵塞、减轻磨损、缓冲浆液pH值波动, 使其能适应超出设计硫份约30%的煤质, 降低系统能量损耗, 给电厂带来良好的经济效益。下文将对脱硫添加剂在华能金陵电厂#1机组烟气脱硫系统的应用情况进行介绍。

1 脱硫添加剂在#1 机组烟气脱硫装置上的应用情况

1.1 脱硫装置设计参数和主要运行性能

华能南京金陵电厂二期 2×1030MW机组烟气脱硫装置用于脱除#1、#2 两台 3100t/h的燃煤锅炉烟气中的二氧化硫。锅炉为哈尔滨锅炉有限责任公

司生产的超超临界参数变压运行、带中间混合集箱垂直管圈水冷壁直流炉、单炉膛、一次中间再热、采用八角双火焰切圆燃烧方式、平衡通风、固态排渣、全钢悬吊结构Π型锅炉、露天布置燃煤锅炉。脱硫系统由中电投远达环保工程有限公司负责设计、供货, 采用石灰石-石膏湿法工艺, 一炉一塔的配置。系统由江苏电建三公司负责安装, 江苏方天负责调试。整套脱硫系统由烟气系统、SO₂吸收系统、烟气系统、吸收剂供应系统、石膏脱水系统及抛弃系统、工艺水系统、FGD废水处理系统、压缩空气系统等系统组成。#1 脱硫系统自投运以来运行情况良好, 并于 2010 年 4 月底完成脱硫装置的性能试验, 华能金陵电厂二期脱硫装置的设计参数和脱硫性能试验数据表见表 1 和表 2。

从表 2 脱硫装置性能试验数据表可以看出, 修正到设计工况下, 脱硫装置能达到的脱硫效率为 95.3%, 净烟气SO₂浓度为 99.9mg/m³, 运行电耗为 9733kW, 除了石灰石耗量、系统阻力以及石膏纯度和石膏含湿量未能达到保证值要求之外, 其余的主要运行指标达到保证值和设计值要求。

表 1 脱硫装置主要设计参数表

机组类别	单位	1000MW
设计煤质含硫量 St,ar	%	1.0
设计入口SO ₂ 浓度(标态、干基 6%O ₂)	mg/m ³	2142
设计烟气量(标态、湿基、实际O ₂)	m ³ /h	3232440
吸收塔直径	m	19.0
吸收塔浆池容积	m ³	2900
液气比	L/Nm ³	13.86
钙硫比	/	1.03
循环泵个数	台	4
氧化风机运行模式	/	两运一备

表 2 华能金陵电厂#1 机组烟气脱硫装置性能试验数据表

试验项目		单位	保证值	测试值
烟气流量(标湿,实际O ₂)		m ³ /h	3232440	3175000
原烟气SO ₂ 浓度(标干,6%O ₂)		mg/m ³	2142	1841.8
净烟气SO ₂ 浓度(标干,6%O ₂)(*)		mg/m ³	107	99.9
脱硫效率(*)		%	95	95.3
原烟气温度		℃	128	137.7
净烟气温度		℃	80	74.1
整套脱硫装置的电耗(*)		kW	9848	9733
石灰石耗量		t/h	11.6	12.0
系统阻力	系统压降	Pa	3000	3705
	吸收塔+除雾器	Pa	-	1234
	GGH	Pa	800	1216
原烟气粉尘		mg/m ³	150	51.0
净烟气粉尘		mg/m ³	50	17.4
石膏品质	石膏纯度	质量%	≥90	88.7
	CaCO ₃ 含量	质量%	3	2.32
	亚硫酸钙	质量%	0.5	0.16
	含湿量	质量%	10	13.77

注：表 2 中带(*)的项目为修正到设计工况下的数据。

在上述指标中GGH阻力高导致脱硫系统整体系统阻力偏高,直接影响到脱硫装置的运行经济性,严重时影响到机组的高负荷运行。尤其是 2010 年 6 月开始,GGH压差一直居高不下。为了保证机组高负荷运行,脱硫系统被迫停运一台吸收塔浆液循环泵来减轻增压风机的运行压力。但在入口SO₂为1500mg/m³,运行ACD浆液循环泵时的脱硫效率仅为 91%,此工况下脱硫装置虽能满足SO₂的排放标准,但无法满足电厂实际要求的脱硫效率不低于 93%的控制要求,为了在满足环保排放标准的前提下保证迎峰度假期间机组的高负荷运行,经过对兄弟厂的调研,我们决定在脱硫系统试用脱硫添加剂。经比较决定使用西安热工研究院的产品,并由其在#1 机组烟气脱硫装置上进行添加试验工作。通过使用脱硫添加剂来实现机组和脱硫装置的正常运行,并最终达到脱硫装置节能降耗的目的。

1.2 添加剂试验前后脱硫运行的主要性能参数

2010年8月进行了#1 机组烟气脱硫装置脱硫添加剂试验,试验进行了不同负荷、不同硫份工况的试验。试验前,在电厂热工人员的配合下对脱硫装置的关键仪表进行了检查和标定。试验期间对石膏主要成分进行了分析测试。最终选择试验前后代表性工况的主要运行参数的进行对比研究。

使用脱硫添加剂前后的脱硫装置的主要性能参数以及脱硫石膏主要成分对比参数见表 3 和表 4。

表 3 1000MW 机组烟气脱硫系统使用脱硫添加剂前后性能参数对比表

工况序号	单位	工况 1-1	工况 1-2	工况 1-3	工况 2-1	工况 2-2	工况 2-3	工况 2-4
主机负荷	MW	957.1	946.9	939.4	947.0	997.3	1002.0	990.0
原烟气SO ₂ 浓度(STP,dry,6%O ₂)	mg/m ³	1100.2	1326.8	1326.5	1308.0	2069.2	2973.7	2660.0
净烟气SO ₂ 浓度(STP,dry,6%O ₂)	mg/m ³	82.8	80.4	250.3	84.5	108.5	291.2	185.0
脱硫效率	%	92.5	93.9	81.1	93.5	94.8	90.2	93.1
pH 值	-	5.62	5.50	5.44	5.49	5.47	5.03	5.20
浆液密度	kg/m ³	1106	1125	1092	1086	1095	1104	1103
吸收塔液位	m	11.74	11.08	9.79	10.69	11.23	10.06	10.06
A 循环泵电流	A	78.6	78.8	78.5	79.8	80.7	80.5	80.5
B 循环泵电流	A	83.8	0	0	0	86.0	85.9	85.6
C 循环泵电流	A	89.1	88.8	88.3	89.7	0	0	0
D 循环泵电流	A	0	99.4	0	0	102.2	102.3	101.8

表 4 使用脱硫添加剂前后脱硫石膏主要成分对比表

主要成分	含水率	CaSO ₄ ·2H ₂ O	CaCO ₃	CaSO ₃ ·1/2H ₂ O	Ca/S
单位	%	%	%	%	-
使用前	13.46	89.00	2.74	0.034	1.053
工况 2-1	9.49	90.87	1.05	0.032	1.020
工况 2-2	10.78	89.42	1.01	0.031	1.019
工况 2-3	12.02	90.12	0.65	0.021	1.012

1.3 脱硫添加剂对脱硫效率的影响

对比表 3 中的工况 1-1 和工况 2-1 可以看出,在机组负荷和入口SO₂浓度基本一致的情况下,使用脱硫添加剂后可多一台浆液循环泵,并可以获得更高的脱硫效率。从表 3 中的工况 1-3 和 2-1 可以看出,在机组负荷及入口SO₂浓度基本一致的情况下,同样是A和C浆液循环泵运行,使用脱硫添加剂后脱硫效率从 81.13%提高至 93.54%,脱硫效率提高了 12.4%。从表 3 中的工况 2-4 可以看出,在脱硫装置入口SO₂浓度超出设计SO₂浓度约 25%的情况下,停一台浆液循环泵运行,可达到环保要求的脱硫效率及净烟气SO₂浓度排放标准。可见脱硫添加剂在一定程度上提高了脱硫装置对燃煤硫份的适应能力。

1.4 脱硫添加剂对氧化系统的影响

氧化系统是制约石灰石-石膏湿法烟气脱硫系统投运率的最为重要的因素之一,氧化效果不好最终导致石膏脱水困难、吸收塔浆液 pH 值难以维持、脱硫效率下降、石灰石利用率显著降低、加快后续设备结垢堵塞等一系列问题。尤其是在燃煤硫份超出设计值的情况下,脱硫系统往往是因为浆液氧化出问题最终导致系统运行瘫痪,直接影响到脱硫装

置的投运率。脱硫添加剂可以显著提高脱硫系统原有氧化系统氧化空气的利用效率。

从表 3 中的石膏主要成分分析数据可以看出，在脱硫装置入口SO₂浓度超出设计浓度约 40%，且停一台浆液循环泵的情况下，脱硫系统能够维持较高的脱硫效率，石膏中的CaSO₃·1/2H₂O含量均低于 0.1%，脱硫系统能够连续稳定达标运行。可见脱硫添加剂中的催化剂成分提高了氧化空气利用率。在一定程度上整体提高了脱硫装置对燃煤硫份的适应能力。

1.5 脱硫添加剂对钙硫比的影响

钙硫比是石灰石-石膏湿法烟气脱硫工艺的一个重要设计参数，在工程应用中，钙硫比是判定石灰石消耗量和石灰石利用率的重要依据。如何合理有效的控制钙硫比是脱硫装置优化经济运行的一个重要手段。脱硫添加剂可以显著提高石灰石活性，提高石灰石利用效率，降低脱硫系统钙硫比。

从表 3 中使用脱硫添加剂前后主要参数对比以及表 4 石膏主要成分分析数据可以看出，在使用脱硫添加剂后钙硫比从未使用脱硫添加剂时的 1.053 降低至 1.020 以下，可见使用脱硫添加剂在实际的工程应用中大大提高了石灰石活性及其利用率，并相应的提高了石膏品质。

1.6 使用脱硫添加剂后#1 脱硫装置节能运行卡片及节能效益分析

根据#1 机组脱硫装置脱硫添加剂的试验结果建立不同工况下脱硫装置节能运行卡片见表 5。

表 5 使用脱硫添加剂后脱硫装置节能运行卡片

机组负荷/MW	运行参数设定值	FGD进口SO ₂ 浓度/(mg/m ³)			
		2500	2000	1500	1000
1000	循环泵运行方式	ABD	ABC	ABC	AD
	pH 值	5.6-5.8	5.6-5.8	5.4-5.6	5.2-5.4
	吸收塔液位/m	9.5-10.5	9.5-10.5	9.5-10.5	9.5-10.5
800	循环泵运行方式	ABC	ABC	BC	AC
	pH 值	5.6-5.8	5.4-5.6	5.4-5.6	5.2-5.4
	吸收塔液位/m	9.5-10.5	9.5-10.5	9.5-10.5	9.5-10.5
600	循环泵运行方式	CD	BD	BC	AB
	pH 值	5.4-5.6	5.4-5.6	5.2-5.4	5.0-5.2
	吸收塔液位/m	9.5-10.5	9.5-10.5	9.5-10.5	9.5-10.5

建立最佳运行方式卡片的原则：一是保证SO₂排放浓度不超过 200 mg/m³；二是运行能耗最低。

根据表 5 脱硫装置节能运行卡片进行的节能效果分析见表 6。

从表 6 可以看出，在设计工况条件下，在满足

环保要求的脱硫效率和净烟气SO₂排放浓度的情况下可以停C吸收塔浆液循环泵，C循环泵的运行能耗为 850kW，停C循环泵后，系统阻力下降约 300Pa，两台增压风机运行能耗共减少 320kW，两者共节省脱硫厂用电率 0.12%；同时使用脱硫添加剂后根据机组负荷和原烟气二氧化硫浓度的情况可以选择性的停两台浆液循环泵运行，满负荷工况下可节省厂用电率约 0.21%。

表 6 使用脱硫添加剂后脱硫装置节电数据表

机组负荷/MW	运行参数设定值	FGD进口SO ₂ 浓度 (mg/m ³)			
		2500	2000	1500	1000
1000	循环泵运行方式	ABD	ABC	ABC	AD
	节省电量/kW	1170	1290	1290	2070
	节省厂用电率/%	0.12	0.13	0.13	0.21
800	循环泵运行方式	ABC	ABC	BC	AC
	节省电量/kW	1290	1290	2130	2190
	节省厂用电率/%	0.16	0.16	0.27	0.27
600	循环泵运行方式	CD	BD	BC	AB
	节省电量/kW	1960	2010	2130	2240
	节省厂用电率/%	0.33	0.34	0.36	0.37

注：停一台浆液循环泵，系统阻力下降约 200-300Pa，增压风机电耗可下降约 320kW。停两台浆液循环泵，系统阻力下降约 450Pa，增压风机电耗可下降约 420kW。

2 脱硫添加剂对脱硫设备的安全性影响

脱硫添加剂在纯水中基本呈中性，在吸收塔浆液中能够瞬间溶解，对吸收塔浆液的pH扰动较小。在液相环境中，脱硫添加剂不沉淀不挥发。脱硫设备中能够直接接触到脱硫添加剂的部分主要有：吸收塔内壁、石膏浆液循环泵叶轮及管道、石膏排出泵、石膏旋流器、脱水皮带、吸收塔地坑内壁、地坑泵、吸收塔浆液搅拌器、除雾器、净烟道内壁以及烟囱内壁等。为了检验脱硫添加剂对脱硫设备的安全性影响，据介绍西安热工院在研发过程中进行了衬胶、鳞片、玻璃钢以及合金钢在高浓度脱硫添加剂溶液环境(添加剂浓度分别为1000、10000和50000ppm，水温恒定在50℃)中的浸泡试验，浸泡8个月未发现上述构件有任何的腐蚀、老化或脱落现象。西安热工院提供的脱硫添加剂浸泡试验相关图片见图1~2。因脱硫添加剂在吸收塔中的含量不高于1000ppm，其含量远远低于浸泡试验的添加剂浓度，因此在实际使用过程中对脱硫设备的安全运行无任何不利影响。



图 1 浸泡 8 月后的衬胶照片



图 2 浸泡 8 月后的鳞片照片

从我厂#1 机组脱硫装置使用脱硫添加剂 3 月后的停机检查可以看出，脱硫系统设备没有发生额外的堵塞和腐蚀现象，脱硫系统运行状态良好。

3 结束语

脱硫添加剂可以显著提高石灰石活性、加快反应速度并显著提高氧化空气利用率。

在华能金陵电厂#1 机组烟气脱硫装置上进行的脱硫添加剂试验数据可以看出：

1) 脱硫添加剂可以提高脱硫效率 5-10%，设计工况下可以降低液气比从而降低脱硫厂用电率

0.13-0.37%；

2) 显著提高氧化空气利用效率，在入口 SO_2 浓度超出设计值约 30% 时，脱硫系统能够连续稳定运行，石膏和吸收塔浆液中的 $\text{CaSO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ 含量维持在正常水平。

3) 脱硫添加剂可以提高石灰石活性、提高石灰石利用效率、一定程度上降低系统钙硫比；

4) 脱硫添加剂能显著降低脱硫装置的运行能耗，脱硫系统运行成本得以大幅降低；

综上脱硫添加剂在华能金陵电厂#1 机组脱硫装置中得到了良好的应用，在使用脱硫添加剂后脱硫系统的运行性能有了较大幅提升。使用脱硫添加剂可以在满足环保要求的排放指标的前提下，使脱硫系统能够经济、连续稳定运行，脱硫添加剂提高了脱硫装置对燃煤硫份的适应能力，在一定程度上增加了脱硫运行的调节手段。添加剂对脱硫设备的安全运行无不利影响。

作者简介：

成志平（1962-），男，江苏启东人，高级工程师，长期从事电厂化学和脱硫技术管理工作，Email：hpicheng@126.com。