

# 利用烟气处理脱硫废水的新方法

石景明, 郁海华

(江苏常熟发电有限公司, 江苏 常熟 215536)

**摘 要:** 随着环保政策趋紧, 火电厂大规模投运脱硫设施。传统脱硫废水处理工艺投资大, 运行效果差。利用烟气蒸发处理脱硫废水, 工艺简单, 投资省、运行稳定, 是一种值得推广的脱硫废水处理新方法

**关键词:** 烟气; 处理; 脱硫废水

## 0 引言

自“十一五”开始, 国家逐步加大对火电厂大气污染物排放的控制, 通过出台相关技术经济政策鼓励建设烟气脱硫脱硝设施, 通过提升排放标准、降低总量额度限制污染物排放, 通过提高排污收费标准增加污染物排放成本。在这种形势下, 自“十一五”后半期自“十二五”前期, 全国火电厂大规模建设投运烟气脱硫设施。据统计, 截至 2012 年底, 全国累计已投运火电厂烟气脱硫机组总容量约 6.8 亿千瓦, 占全国现役燃煤机组容量的 90%, 其中石灰石-石膏湿法占 92%。由于脱硫设施建设时间短, 短期投运规模大, 在运行中暴露出了一些问题, 比如湿法脱硫废水处理设施就鲜有保持稳定连续运行的。本文介绍一种新的脱硫废水处理方案—利用烟气处理脱硫废水。

## 1 脱硫废水的性质特点

### 1.1 脱硫废水的产生

石灰石-石膏湿法烟气脱硫(Wet Flue Gas Desulfurization, WFGD)技术, 因其具有煤种适用范围广、脱硫效率高( $\geq 95\%$ )、系统可用率高( $\geq 90\%$ )、吸收剂利用率高( $\geq 90\%$ )、石灰石来源丰富且廉价、工艺成熟、运行可靠等优点, 成为国内外烟气脱硫的主导技术。该脱硫工艺中的浆液在不断循环的过程中, 会逐渐富集重金属元素和 Cl 等杂质, 这部分杂质来源于石灰石的溶解带来的杂质和烟气中的杂质。由于煤中含有包括重金属元素在内的多种元素, 如 F、Cl、Cd、Hg、Pb、Ni、Cr 等, 这些元素在炉膛内高温条件下进行一系列的化学反应, 生成了多种不同的化合物, 一部分化合物随炉渣排出炉膛, 另外一部分随烟气进入烟气脱硫装置, 溶解于吸收

浆液中, 并且在吸收浆液循环系统中不断浓缩。同时, 石灰石中也存在重金属元素, 如 Hg 和 Cd 等, 这些元素在石灰石形成浆液的过程中也会溶解到浆液中, 并进入到脱硫废水中。为了维持脱硫装置浆液循环系统物质的平衡, 防止脱硫设备的腐蚀和保证石膏质量, 必须从系统中排放一定量的废水, 以笔者单位 4×330MW 机组为例, 废水产生量约为 16-20t/h。

### 1.2 脱硫废水的性质

脱硫废水中的污染物的品种和含量与很多因素有关, 如煤的产地、燃料品种、除尘器效率、FGD 运行方式、吸收剂细度和杂质含量、工艺水水质以及脱水设备、石膏品质要求等。经过分析可以看出脱硫废水有以下特点:

(1) 脱硫废水的 pH 值较低, 一般为 4~6.5, 呈酸性, 与浆液的 pH 相同或略高。

(2) 含大量的悬浮物, 主要为石膏颗粒、 $\text{SiO}_2$ 、铝和铁的氢氧化物, 悬浮物质量分数通常为 9000~12700mg/L。

(3) 化学耗氧量(COD)通常为 150~400mg/L。脱硫废水中 COD 主要由连二硫酸根( $\text{S}_2\text{O}_6^{2-}$ )、工艺水浓缩中的耗氧化合物以及少量的还原性物质, 如亚硫酸根等组成。

(4) 含有大量的  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{F}^-$  等阴离子。对于湿法烟气脱硫技术, 一般控制氯离子含量小于 2000mg/L。

(5) 含有微量的重金属离子。一般含汞、铅、镍、锌等重金属以及砷、氟等非金属污染物。

从中可以看出, 脱硫废水的水质极差, 既含有一类污染物, 又含有二类污染物。所含的一类污染物有镉、汞、铬、铅、镍等重金属离子, 对环境有

很强的污染性；二类污染物有铜、锌、氟化物、硫化物。另外，废水的 COD、悬浮物等都比较高，许多水质指标都超过了排放标准，其中酸性物质和阴离子主要来源于烟气，阳离子和重金属离子主要来源于脱硫所用的石灰石。脱硫废水如果不加处理直接外排，势必对周围水环境造成严重污染，因此，电厂脱硫系统需同步建设脱硫废水处理系统，将脱硫废水通过必要的处理后达标排放。

## 2 脱硫废水的传统处理方案

目前国内外脱硫废水处理工艺主要是根据国家排放标准来选定的。主要处理第一类和第二类污染物，采用的主要工艺方法为物化法。该工艺流程是以国外在我国电厂脱硫废水处理工艺应用的基础上进行缩放的模式。该废水是弱酸性的高盐废水，处理工艺的主要针对物质是重金属离子、酸根、卤族离子和 SS。针对脱硫废水的水质特点，设置一套完整的化学处理系统，可通过氧化、中和、沉淀、絮凝等方法去除脱硫废水中的污染物。随着环保要求的提高，国内脱硫系统几乎均采用该方法，缺点是系统复杂，设备数量多，工作环境差，初投资高，且运行要求高，稍有不慎就会出现处理后的废水仍然无法达标的情况。但总体来讲，这是目前国内外处理脱硫废水的主流技术。

## 3 利用烟气处理脱硫废水

### 3.1 方案可行性

该工艺是将脱硫废水雾化后喷入空气预热器 (APH) 和电除尘器 (ESP) 间的烟道，利用热烟气使废水完全蒸发，废水中的污染物转化为结晶物或盐类等固体，随烟气中的飞灰一起被电除尘器收集下来，从而除去污染物，实现污水的零排放。该工艺在国内尚无应用案例，但类似的思想被应用于味精生产废水<sup>[1]</sup>、造纸黑液处理中，取得了较好的效果。

烟道气蒸发工艺同传统的物化法处理工艺相比，该工艺具有工艺简单、占地面积小、投资和运行费用较低、充分利用废热的优点。通过该方案的实施能够在低投入的情况下，实现湿法烟气脱硫废水的零排放，为湿法烟气脱硫废水的处理提供了新的有效的途径。

美国能源部 (DOE) “先进湿法烟气脱硫 (Advanced Flue Gas Desulphurization, 简称 AFGD)

示范项目”中将烟道气蒸发工艺技术作为一个子项进行工程示范，实施中仅对废水喷入后电除尘器入口的温度进行了测试，以大致确定其蒸发效果。示范工程的运行结果表明，在该使用环境下，压力型喷嘴堵塞严重，而双流体喷嘴则表现良好。尽管该项目只对部分脱硫废水采用了烟道气蒸发工艺进行处理，但该技术证明是可行的。

### 3.2 方案实施

2006 年至 2009 年，江苏常熟发电有限公司 4 台 330MW 机组技改脱硫逐步投运。设计状态下，每台机组废水产生量为 4t/h。原设计了一整套传统的脱硫废水处理装置，但脱硫设施投运后该装置一直未能正常投运，脱硫废水排入灰渣系统。随着该公司灰渣系统改造，湿排灰改干排灰，灰渣系统已不能接纳完全接纳脱硫废水。2012 年，公司立项开展利用烟气处理脱硫废水的研究，首先在 #4 机组是实验性地安装一套废水处理设施，检验运行效果。

#### 3.2.1 边界参数的确定

废水处理量，由于设计废水产生量为 4t/h，本次实验拟在 #4B 侧除尘器进行，因此确定本次试验流量为 2t/h。

控制温度。根据研究，该发电公司在燃煤含硫较高的情况下 ( $S=1.5\%$ ) 烟气露点温度约为 111.6<sup>[2]</sup>，为确保下游电除尘器不因此产生酸蚀，适当提高边界控制温度是必要的，本次实验确定的最低控制温度为 115℃。

通过热平衡计算，各负荷下以 115℃ 为控制温度的最大废水蒸发量与实际脱硫废水产生量见表 1。

表 1 不同烟气负荷下蒸发量与废水产生量对比

烟气负荷	单位	60.00%	70.00%	80.00%	90.00%	100.00%
烟气流	Nm <sup>3</sup> /h	732908.4	855059.8	977211.2	1099363	1221514
烟气温度	℃	120	124	128	132	135
蒸发量 (全炉)	t/h	2.0	4.2	6.9	10.2	13.3
产生废水 量(全炉)	t/h	1.8	2.1	2.4	2.7	3

计算结果表明在各种工况下废水蒸发量均大于产生的废水量及给定的最小边界蒸发量，在给定烟气热量能满足废水蒸发所需的热量。

#### 3.2.2 流程

脱硫废水排入废水箱，在压力泵增压后，雾化喷入空预器后除尘器入口垂直烟道，在压缩空气作用下充分雾化的脱硫废水很快被蒸发，固化微粒进

入除尘器被去除，水分随烟气进入脱硫系统。

流程图见图 1。

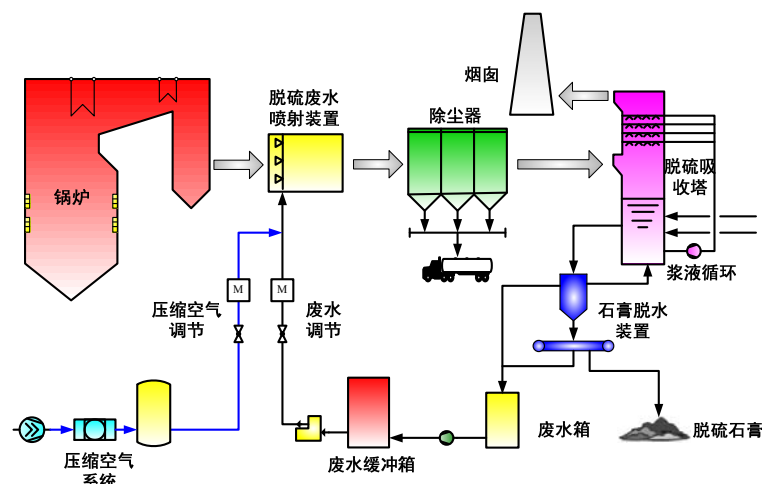


图 1 脱硫废水蒸发工艺

3.2.3 运行

安装结束后，系统经分部试运后正式进入调试运行。首先是废水流量变化对烟气温度的影响。在 #4 除尘 B2 进口烟道加装三个在线烟温测点，在废水泵开启与停止时分别测得烟温。测试条件如下：废水泵出口压力 0.7MPa，机组符合 260MW。测试数据见表 2。

表 2 废水流量对烟气温度的影响					
流量 /(t/h)	烟温 1 /℃	烟温 2 /℃	烟温 3 /℃	平均温度 /℃	温差 /℃
0	128	131	133	131	0.00
1	124	126	128	126	4.67
1.6	124	124	125	124	6.33
1.98	120	120	123	121	9.67

从测试结果看，废水流量在最大边界条件下，排烟温度也在 121℃，远大于露点温度，系统能安全运行。废水流量在从 1t/h 到 1.98t/h，烟温下降与废水量呈正相关，但下降幅度大于理论计算值。在接下来的定流量测试中采用人工网格法测，实验条件是，废水流量 1.5t/h，废水泵出口压力 0.7MPa，机组负荷 240MW。在 B1 和 B2 烟道喷枪后段顺烟气流方向分别不知 3 监测断面，每个断面布 6 个监测孔，每个孔沿深度布 5 个监测点，测得试验数据总结如表 3。

表 3 定流量人工检测温度汇总			
烟道	喷射前烟温/℃	喷射后烟温/℃	温差/℃
B1	127.1	122.54	4.56
B2	124.6	119.9	4.70

可见，当喷射量不大于 1.5t/h 时，实测的平均

温降约为 4.5℃左右，且出口温度均在 120℃以上，远高于酸露点(110℃左右)。这与前期理论计算基本相符。试验期间电除尘器的效率保持稳定，落灰无异常。

5 结论

利用烟气热量蒸发脱硫废水工艺，具有工艺简单，投资少，占地省的有点，运行可靠，运行费用地，在技术上可行的。但由于投运时间短，缺乏运行经验，在后续工作中，还要在本工艺对除尘效率的影响等方面加强研究。

参考文献

[1] 陈莉娥,周兴求,伍健东. 味精生产废水处理技术研究进展[J]. 四川环境,2003,22(6):21.  
[2] 郁海华,奚林根. 脱硫后烟囱腐蚀剂防腐研究[A]. 江苏省电机工程学会电力环保专委会 2008 学术年会论文集 [C].2008.