



移动扫码阅读

郭江源,姜冉,张志勇,等.基于石灰石-石膏湿法脱硫的超低改造技术分析[J].能源环境保护,2019,33(6):36-38+64.

GUO Jiangyuan,JIANG Ran,ZHANG Zhiyong,et al.Ultra-Low transformation technologies based on limestone-gypsum wet desulfurization[J].Energy Environmental Protection,2019,33(6):36-38+64.

# 基于石灰石-石膏湿法脱硫的超低改造技术分析

郭江源,姜冉,张志勇,贺帅,吴宇

(内蒙古电力科学研究院,内蒙古自治区呼和浩特010020)

**摘要:**结合工程实例与试验数据,对比了双塔双循环、单塔双循环、旋汇耦合3种基于石灰石-石膏湿法脱硫技术的特点与处理能力。结果表明:3种脱硫改造技术均能够达到超低排放要求,但分别适用于不同的原烟气 $\text{SO}_2$ 浓度条件;双塔双循环、旋汇耦合及单塔双循环的脱硫效率分别达到99.7%、99.2%和99.1%,压损值分别达到3700 Pa、2630 Pa和1700 Pa。

**关键词:** $\text{SO}_2$ 污染;超低排放;脱硫技术

中图分类号:X701.3

文献标识号:A

文章编号:1006-8759(2019)06-0036-03

## Ultra-low transformation technologies based on limestone-gypsum wet desulfurization

GUO Jiangyuan,JIANG Ran,ZHANG Zhiyong,HE Shuai,WU Yu

(Inner Mongolia Electric Power Science Research Institute,Huhhot 010020,  
Inner Mongolia Municipality,China)

**Abstract:**Based on project cases and test data,the characteristics and treatment capacity of three limestone-gypsum wet desulfurization technologies were compared.This three technologies studied are double tower & double cycle technology,single tower & double cycle technology and spin coupling technology.The data showed that these three desulfurization technologies satisfied the ultra-low emission requirement,but they were applicable for flue gas with different  $\text{SO}_2$  concentrations.The desulfurization efficiency of double tower & double cycle technology,spin coupling technology and single tower & double cycle technology was 99.7%,99.2% and 99.1%,respectively,and their pressure loss values were 3700 Pa,2630 Pa and 1700 Pa,respectively.

**Keywords:** $\text{SO}_2$  pollution;Ultra-low emission;Desulfurization technology

## 0 引言

我国大气污染主要是煤烟型污染,最主要的污染物是 $\text{SO}_2$ 。我国 $\text{SO}_2$ 每年的排放量都在2000万t以上,居世界第一位。我国硫酸型酸雨造成国土面积受损达总面积的30%,全国每年因此损失上千亿元。 $\text{SO}_2$ 污染已经成为限制我国经济和社会可持续发展的重要因素,控制 $\text{SO}_2$ 排放势在必行。自20世纪中后期,日本、美国施行控制 $\text{SO}_2$ 排放战略以来,越来越多的国家开始制定严格的

$\text{SO}_2$ 排放标准以及中长期控制战略,我国也陆续出台了一些控制标准,以我国火电厂为例,《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223-2003)规定2004年之后新建、扩建、改建火电厂建设项目 $\text{SO}_2$ 排放浓度应控制在 $400 \text{ mg/m}^3$ ,2011年新修订的《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223-2011)规定,新建机组 $\text{SO}_2$ 排放浓度应控制在 $100 \text{ mg/m}^3$ ,已有机组 $\text{SO}_2$ 排放浓度也要控制在 $200 \text{ mg/m}^3$ 以内,重点地区的火力发电锅炉燃煤机组 $\text{SO}_2$ 排放浓度应控制在 $50 \text{ mg/m}^3$ 。国家发改委、生态环境

收稿日期:2019-05-30

第一作者简介:郭江源(1988-),男,内蒙古呼和浩特市人,工程师,硕士研究生,主要从事电力环保相关工作。

E-mail:guojiangyuan1412@163.com

部、国家能源局联合 2015 年 12 月 11 日下发的“环发[2015]164 号关于印发《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》的通知”，明确了到 2020 年全国所有具备条件的燃煤电厂力争实现超低排放，其中要求  $\text{SO}_2$  浓度控制在  $35 \text{ mg/m}^3$  以下<sup>[1-4]</sup>。

随着  $\text{SO}_2$  排放浓度要求的不断提高，特别是超低排放浓度的提出，各个火电厂采取了多种方式进行  $\text{SO}_2$  排放浓度的控制。文章主要对单塔双循环技术、双塔双循环技术和旋汇耦合技术这 3 种脱硫超低改造方式进行了介绍和对比。

## 1 3 种脱硫技术比较

### 1.1 双塔双循环脱硫技术

双塔双循环脱硫技术主要是通过通过在烟道上建立 2 座串联的脱硫塔而增加烟气与循环浆液的反应时间。前塔可以当作预洗塔，可以吸收大多数的  $\text{SO}_2$ ；后塔作为前塔的补充，吸收预洗塔没有吸收完全的  $\text{SO}_2$ 。2 座脱硫塔都设有独立的循环系统，在实际运行过程中，脱硫塔浆液池的功能发生了转变，前塔的浆液池依然用来结晶石膏，而后塔通过提高 pH 能够吸收更多的  $\text{SO}_2$  气体，后塔通过 2 个浆液池之间的小循环，将石膏结晶循环至前塔，由前塔统一排出。在实际的运行过程中，脱硫塔的除雾器会进行定期冲洗，极易造成浆液液位的提升，因此，浆液池间的小循环还可以调节脱硫塔内的浆液液位<sup>[5,6]</sup>。

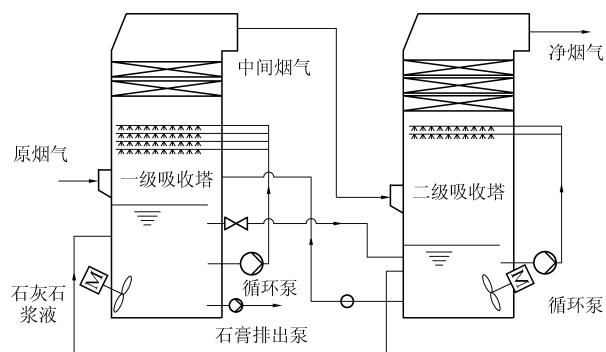


图 1 双塔双循环技术示意图

以某电厂  $2 \times 330 \text{ MW}$  机组为例，#5、#6 机组在刚投产时采用石灰石-石膏湿法脱硫工艺，#5 机组脱硫入口  $\text{SO}_2$  浓度为  $3\ 734 \text{ mg/m}^3$ ，脱硫出口  $\text{SO}_2$  浓度为  $174 \text{ mg/m}^3$ ，脱硫效率为 95.3%；#6 机组脱硫入口  $\text{SO}_2$  浓度为  $4\ 682 \text{ mg/m}^3$ ，脱硫出口  $\text{SO}_2$  浓度为  $218 \text{ mg/m}^3$ ，脱硫效率为 95.3%，之后对该系统进行了一次改造，改造之后将脱硫效率进一步提高到不小于 97%， $\text{SO}_2$  排放浓度小于

$200 \text{ mg/m}^3$ 。

2016 年该电厂将 #5、#6 机组改造为双塔双循环脱硫方式，脱硫出口  $\text{SO}_2$  浓度进一步降低，脱硫总效率进一步提高。改造之后 #5 机组脱硫入口  $\text{SO}_2$  浓度为  $4\ 373 \text{ mg/m}^3$ ，二级吸收塔入口  $\text{SO}_2$  浓度为  $748 \text{ mg/m}^3$ ，脱硫出口  $\text{SO}_2$  排放浓度为  $14.4 \text{ mg/m}^3$ ，一级塔脱硫效率为 82.9%，二级塔脱硫效率为 98.1%，总脱硫效率为 99.7%。#6 机组在改造后的脱硫入口  $\text{SO}_2$  浓度为  $4\ 366 \text{ mg/m}^3$ ，二级吸收塔入口  $\text{SO}_2$  浓度为  $640 \text{ mg/m}^3$ ，脱硫出口  $\text{SO}_2$  排放浓度为  $13.1 \text{ mg/m}^3$ 。一级塔脱硫效率为 85.3%，二级塔脱硫效率为 98.0%，总脱硫效率为 99.7%。综上，#5、#6 机组均达到了超低排放限值的要求。

### 1.2 单塔双循环脱硫技术

单塔双循环脱硫技术与双塔双循环不同的是，它要在同一座脱硫塔内进行 2 次脱硫。通过在脱硫塔内设置一个锥形收集碗，将脱硫塔分为两个区，位于脱硫塔上部的是高 pH 区，这一部分有利于  $\text{SO}_2$  的吸收以及石灰石的溶解；位于下部的是低 pH 区，这一部分有利于石膏的氧化结晶，同时使石灰石充分溶解。目前，该技术已经在超低排放改造中得到较为普遍的使用，脱硫效率能够稳定达到 99.0% 以上。

单塔双循环脱硫技术实际上是将烟气在同一座脱硫塔内经过 2 次  $\text{SO}_2$  脱除过程，经过 2 次浆液循环。2 级浆液循环设有各自独立的循环浆液池及喷淋层，同时根据效果的差异，每级循环具有不同的运行参数。

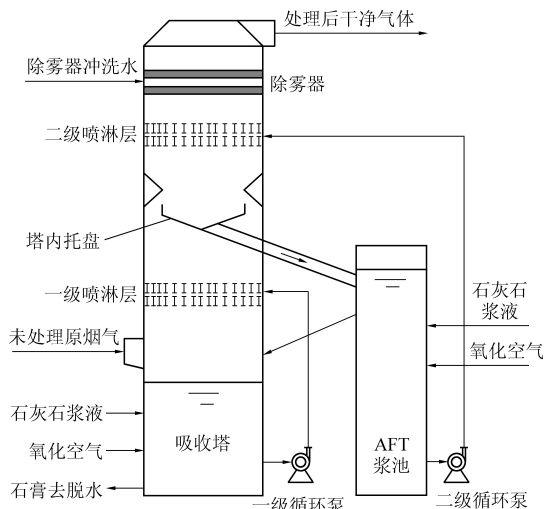


图 2 单塔双循环技术示意图

烟气首先通过一级循环，此级循环的主要功能是保证石灰石浆液的充分溶解和强氧化效果，同时确保石膏可以充分溶解，此级循环浆液的 pH

稳定在较低水平,循环浆液停留时间较长,此级循环的脱硫效率通常为 40%~75%。

二级循环实现 SO<sub>2</sub> 的最终脱除,由于 pH 控制在较高水平,能够有效提高脱硫效率,这一级循环能将最终的脱硫效率提升到 99.0% 以上<sup>[7]</sup>。

以某电厂 #2 机组 (330 MW) 为例,在采用单塔双循环之前,脱硫入口 SO<sub>2</sub> 浓度为 2 259 mg/m<sup>3</sup> 时,脱硫出口 SO<sub>2</sub> 浓度为 298 mg/m<sup>3</sup>,脱硫效率为 86.8%,改造为单塔双循环之后,当脱硫入口 SO<sub>2</sub> 浓度为 2 978 mg/m<sup>3</sup> 时,脱硫出口 SO<sub>2</sub> 浓度为 28.3 mg/m<sup>3</sup>,脱硫效率为 99.1%。SO<sub>2</sub> 排放浓度显著降低,脱硫效率显著提高。

通过该电厂改造前后的对比,改造后的脱硫入口 SO<sub>2</sub> 浓度虽然比改造前的脱硫入口 SO<sub>2</sub> 浓度高了 31.8%,但是脱硫出口 SO<sub>2</sub> 浓度却降低了 90.5%,脱硫效率提高了 14.2%。

同样以该电厂 #1 机组为例,在相似的运行工况条件下,当脱硫入口浓度为 2 558 mg/m<sup>3</sup>,脱硫出口 SO<sub>2</sub> 浓度为 22.0 mg/m<sup>3</sup>,脱硫效率为 99.1%。

### 1.3 旋汇耦合脱硫技术

旋汇耦合脱硫技术利用多项紊流掺混的强传质机理以及空气动力学原理,通过旋汇耦合装置营造气液旋转翻腾的湍流空间,使气液固充分接触,极大的降低了气液膜传质阻力,提高传质速率,迅速完成传质过程,进而提高脱硫效率。该技术与同类脱硫技术相比,同时兼具空塔喷淋的防堵、维护方便以及除尘效率高的优点<sup>[8]</sup>。

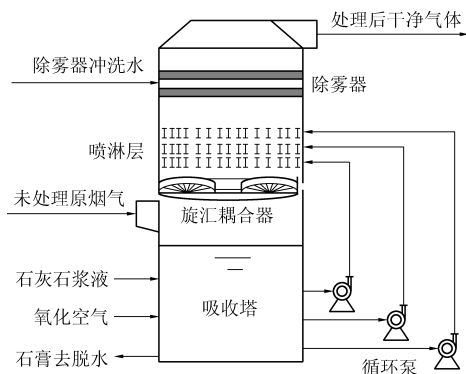


图 3 旋汇耦合技术示意图

以某电厂 2 台 300 MW 机组为例,#3 机组在采用旋汇耦合技术之前,脱硫入口 SO<sub>2</sub> 浓度为 1 312.4 mg/m<sup>3</sup>,脱硫出口 SO<sub>2</sub> 浓度为 98 mg/m<sup>3</sup>,脱硫效率为 92.5%;#4 机组,脱硫入口 SO<sub>2</sub> 浓度为 1 082.5 mg/m<sup>3</sup>,脱硫出口 SO<sub>2</sub> 浓度为 74.1 mg/m<sup>3</sup>,脱硫效率为 93.2%。改造完之后#3 机组脱硫入口 SO<sub>2</sub> 浓度为 1 521.5 mg/m<sup>3</sup>,脱硫出口 SO<sub>2</sub> 浓度为 25.0 mg/m<sup>3</sup>,脱硫效率为 98.4%;#4 机组脱硫入口

SO<sub>2</sub> 浓度为 1 486.9 mg/m<sup>3</sup>,脱硫出口 SO<sub>2</sub> 浓度为 12.5 mg/m<sup>3</sup>,脱硫效率为 99.2%。

对比改造前后的数据发现,#3 机组在改造后脱硫入口 SO<sub>2</sub> 浓度虽然比改造前高了 15.9%,但是脱硫出口 SO<sub>2</sub> 浓度降低了 74.5%,脱硫效率提高了 6.4%;同样的#4 机组改造后脱硫入口 SO<sub>2</sub> 浓度虽然比改造前高了 27.2%,但是脱硫出口 SO<sub>2</sub> 浓度降低了 83.1%,脱硫效率提高了 6.4%。

同样以采取旋汇耦合脱硫技术的某电厂 300 MW 机组为例,当脱硫入口 SO<sub>2</sub> 浓度为 2 500 mg/m<sup>3</sup>,脱硫出口 SO<sub>2</sub> 浓度在 14.0 mg/m<sup>3</sup> 之间,脱硫效率为 99.4%。脱硫效率高,脱硫出口 SO<sub>2</sub> 浓度达到超低排放要求。

### 1.4 3 种脱硫技术对比结果

表中选取进行对比的电厂均位于内蒙古西部区,气候环境地理条件具有较高的相似性,同时这些电厂机组负荷相近,脱硫效率试验负荷相近,试验均在接近设计运行条件下进行,试验仪器均采用 Gasmeter 烟气分析仪以及 3012H-D 自动烟尘/气试验仪,进行比较具有较高的参考价值。通过对 3 种脱硫技术数据的整理对比,得到表 1。

表 1 3 种脱硫技术脱硫效果

项目	脱硫入口 SO <sub>2</sub> 浓度/mg·m <sup>-3</sup>	脱硫出口 SO <sub>2</sub> 浓度/mg·m <sup>-3</sup>	脱硫效率 /%	系统压损 /Pa
单塔	2978	28.3	99.1	1795
双循环	2558	24.1	99.1	1694
双塔	4373	14.4	99.7	3770
双循环	4366	13.1	99.7	4060
旋汇耦合	1487	12.5	99.2	1796
	2500	14.0	99.4	2630

从表中结果可得:

3 种技术的脱硫效率都在 99% 以上,单塔双循环脱硫技术最大 SO<sub>2</sub> 排放浓度为 28.3 mg/m<sup>3</sup>,双塔双循环脱硫技术最大 SO<sub>2</sub> 排放浓度为 14.4 mg/m<sup>3</sup>,旋汇耦合脱硫技术最大 SO<sub>2</sub> 排放浓度为 14.0 mg/m<sup>3</sup>;

当双塔双循环脱硫入口 SO<sub>2</sub> 浓度大于单塔双循环时,脱硫出口 SO<sub>2</sub> 浓度反而低于单塔双循环,表明双塔双循环与单塔双循环技术相比具有更的脱硫效果;

当脱硫入口 SO<sub>2</sub> 浓度相当时,比较单塔双循

(下转第 64 页)

域)、中景带(300~600 m的可见区域)、远景带(600~1 200 m的可见区域)、不可见区域(大于1 200 m的不可见区域)的划分原则,异地重建后对风景名胜区内景点的景观敏感度影响更小,整体削弱了对风景名胜区景观敏感度的影响。

(4)本工程异地重建后位于田湾河所在沟谷内,工程建设会对令牌山、田湾河、喇叭沟的视线影响有所削弱,但是对公路上的视线影响有略微增加,但不在游客主要的景观视线范围内。

## 参考文献

[1] 赵遵廉.中国电网的发展与展望[J].中国电力,2004,37

(1):4-5.

- [2] 舒印彪,张运洲.优化我国能源输送方式研究[J].中国电力,2007,40(11):5.
- [3] 舒印彪.1000kV交流特高压输电技术的研究与应用[J].电网技术,2005,29(19):1.
- [4] 姚允龙,吕宪国,佟守正.景观敏感度的理论及其应用意义[J].地理科学进展,2007,26(5):57-64.
- [5] 肖寒,欧阳志云.海南岛景观空间结构分析[J].生态学报,2001(1):21-22.
- [6] 王仰麟,赵一斌,韩荡.景观生态系统的空间结构、概念、指标与案例[J].地球科学进展,1999,14(3):235-241.
- [7] 俞孔坚.景观敏感度及其阈值评价研究[J].地理研究,1991,10(2):38-51.

(上接第38页)

环技术和旋汇耦合技术,表明旋汇耦合技术与单塔双循环技术相比具有较好的脱硫效果;

脱硫系统压损双塔双循环最大实测值为4 060 Pa,旋汇耦合最大实测值为2 630 Pa,单塔双循环最大值实测为1 795 Pa;

当脱硫出口浓度相当时,比较脱硫入口浓度,表明双塔双循环技术与旋汇耦合技术相比具有更高的脱硫入口SO<sub>2</sub>浓度,说明双塔双循环技术具有更好的脱硫效果。

## 2 结论

通过对试验结果以及电厂超低改造情况的总结分析判断,得出以下结论:

通过比较发现,3种脱硫技术与改造前湿法脱硫技术相比,脱硫效果均有显著提升,出口SO<sub>2</sub>浓度均在30 mg/m<sup>3</sup>以下,均达到了超低排放低于35 mg/m<sup>3</sup>的控制要求,有效的降低了排放烟气中的SO<sub>2</sub>浓度。试验结果表明,在设计运行条件下双塔双循环技术脱硫效果最好,脱硫效率均达到了99.7%,旋汇耦合技术居中,脱硫效率均大于99.2%,单塔双循环技术相比于其他2种技术脱硫效果最差,脱硫效率也达到了99.1%。

分析测试结果显示,双塔双循环技术压损值最大,均在3 700 Pa以上,表明该技术能耗也相对较大,旋汇耦合技术其次,最大压损值也达到了2 630 Pa,单塔双循环技术压损值相对最低,均在1 700 Pa左右,能耗也相对较低。

数据显示,在保证高脱硫效率条件下,双塔双

循环技术脱硫入口SO<sub>2</sub>浓度均在4 300 mg/m<sup>3</sup>以上,说明双塔双循环技术更加适用于脱硫入口SO<sub>2</sub>浓度较高的工况条件,旋汇耦合技术以及单塔双循环技术脱硫入口SO<sub>2</sub>浓度均低于3 000 mg/m<sup>3</sup>,表明这两项技术更适合脱硫入口SO<sub>2</sub>浓度低一些的工况条件。

综合分析试验结果得出,双塔双循环脱硫技术脱硫效率高、能耗大,适用于高硫分煤种,单塔双循环脱硫技术脱硫效率低、能耗低,适用于低硫分煤种,而旋汇耦合脱硫技术脱硫效率、能耗以及适用煤种含硫量均介于两者之间。电厂可以根据需要选择不同的脱硫超低改造方式。

## 参考文献

- [1] 环境保护部科技标准司.火电厂大气污染物排放标准:GB 13223-2003[S].北京:中国环境科学出版社,1996.
- [2] 环境保护部科技标准司.火电厂大气污染物排放标准:GB 13223-2003[S].北京:中国环境科学出版社,2003.
- [3] 环境保护部科技标准司.火电厂大气污染物排放标准:GB 13223-2003[S].北京:中国环境科学出版社,2011.
- [4] 国家发改委,生态环境部,国家能源局.全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案[EB/OL].(2015-12-11)[2019-2-21].<http://www.chinaacc.com/qtjffg/hu1512156759.shtml>.
- [5] 陈光.双塔双循环脱硫的技术特点[J].工程技术,2015,28(3):90-95.
- [6] 朱继红.高硫煤超洁净改造技术路线探讨及应用[J].广东化工,2018,45(14):193-194.
- [7] 李娜.石灰石-石膏法单塔双循环烟气脱硫工艺介绍[J].硫酸工业,2014(6):45-48.
- [8] 赵旺初.旋汇耦合脱硫技术[J].热动力工程,2008(2):160.