

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.01.027

# 高效率氢氧化镁脱硫技术在越南某 60 MW 热电工程中的应用

林梓桦<sup>1</sup>, 唐怀杰<sup>2</sup>

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663;  
2. 台朔重工(宁波)有限公司, 宁波 315807)

**摘要:** 文章描述了高效率氢氧化镁脱硫技术在越南某 60 MW 热电工程中的应用。WFGD 湿法脱硫的原理是藉由喷洒氢氧化镁  $Mg(OH)_2$  浆液与锅炉烟气反应生成无害的硫酸镁 ( $MgSO_4$ ) 溶剂, 以减少二氧化硫排放。台朔重工(宁波)有限公司采用创新的方法修改 WFGD 工艺以达到严格的排放要求, 系统对于锅炉负载和  $SO_2$  含量的变化具有灵活的弹性。

**关键词:** 镁法脱硫; 越南; 氢氧化镁

中图分类号: X701.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)01-0127-05

## Discussion on High Efficiency of Magnesium Hydroxide Desulfurization Technology in a 60 MW Thermal Power Plant in Vietnam

LIN Zihua<sup>1</sup>, Tang Huaijie<sup>2</sup>

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;  
2. Formosa Heavy Industries (Ningbo), Co., Ltd., Ningbo 315807, China)

**Abstract:** This paper is to describe the high efficiency of magnesium hydroxide desulfurization technology in 60 MW thermal power plant in Rietnam. By spraying magnesium hydroxide  $Mg(OH)_2$  slurry, the principle of wet desulfurization (WFGD) is that the boiler flue gas will react with the slurry for the harmless  $MgSO_4$  solvent, to reduce sulfur dioxide emissions. Innovative methods applied by Formosa heavy industries (Ningbo) Limited company is to modify the WFGD process to achieve strict emissions requirements. There is a flexible elasticity for boiler load and sulfur dioxide content changes.

**Key words:** magnesium hydroxide desulfurization; Vietnam; magnesium hydroxide

越南某 60 MW 热电工程厂址位于平阳省槟桔县美福 1 工业区, 距胡志明市约 80 km。本工程将建设 1 台 60 MW 抽凝供热燃煤发电机组和 1 台 3MW(1.6 MW 背压机组配套 3 MW 发电机)垃圾焚烧锅炉背压机组。60 MW 抽凝机组主要燃用印尼煤和俄罗斯煤混合煤, 采用汽车运入厂内; 3 MW 背压机组燃用纸厂生产过程中产生的废料和垃圾。为了满足越南当地的环保标准, 应业主要求, 本项目 60 MW 抽凝供热燃煤发电机组安装炉

后镁法脱硫。

本项目烟气镁法脱硫装置的设计是由台朔重工(宁波)有限公司负责, 中国能源建设集团广东省电力设计院有限公司对此脱硫装置进行全面的设计管理。装置按脱硫入口  $SO_2$  浓度  $\leq 4\ 200\ mg/Nm^3$ , 出口  $SO_2$  排放浓度  $\leq 50\ mg/Nm^3$  设计。

### 1 镁法脱硫

本项目湿法脱硫装置设置袋式除尘器的后方, 是利用  $Mg(OH)_2$  作为吸收剂, 藉由湿法洗涤过程与二氧化硫产生反应, 由  $Mg(OH)_2$  浆液来吸收废气中的二氧化硫。

烟气进入吸收塔后, 藉由通过布满  $Mg(OH)_2$

收稿日期: 2016-01-21

作者简介: 林梓桦(1982), 女, 广州市人, 工程师, 硕士, 主要从事电厂环境工程设计工作(email) linzihua@gedi.com.cn。

浆液的多孔板及雾化喷嘴喷出的  $Mg(OH)_2$  浆液, 充分与浆液反应。烟气向上流经吸收塔与逆流向下的浆液反应。泥浆通过塔顶的管集或喷嘴雾化后与烟气中的  $SO_2$  均匀而完整的反应。在预冷段藉由冷却水将高温烟气从大约  $135\text{ }^\circ\text{C} \sim 140\text{ }^\circ\text{C}$  冷却到  $50\text{ }^\circ\text{C} \sim 55\text{ }^\circ\text{C}$ 。脱硫后的烟气穿过除雾器去除烟气中的水气, 再排入烟囱(图 2~4 为脱硫系统及吸收塔内构造图)。

本高效脱硫的效率主要是由被喷洒的浆液量相对烟气的比率(L/G)所控制。较高的 L/G 比率将使得二氧化硫暴露在更多的  $Mg(OH)_2$  浆液中。然而, 较高的 L/G 比率相对地也消耗更多的电力。

浆液与烟气反应后将流回吸收塔底部, 经由塔底扰流管冲洗, 以防止泥浆沉积在底部, 利用循环泵将底部浆液送至顶部分布管集, 重新喷洒在吸收塔内, 浆液中的  $Mg(OH)_2$  会在过程中被消耗掉, 通过增加新鲜的  $Mg(OH)_2$  泥浆重新补充到反应塔内。

## 2 脱硫工艺

脱硫工艺主要分为脱硫剂准备及处理, 吸收系统及废水处理系统。

### 2.1 脱硫剂准备及处理

氧化镁品位要求:  $MgO$  含量  $>85\%$ , 过 250 目筛。吸收剂氧化镁按 1 300 kg 袋装考虑。氧化镁浆液制浆系统有氧化镁卸料装置、贮仓、熟化装置、浆液储存装置和输送装置组成。

每吨的  $MgO$  粉末被包装在一个太空包袋子内, 利用卡车运送至苛化厂房内。氧化镁人工于地面拆包(仅需白班人员作业)后经输送系统送至氧化镁日用仓(日用仓满足氧化镁 24 h 用量, 需并配备有效防堵设施)。装有  $MgO$  粉末的太空包用天车吊起后倒入卸料槽内, 再将  $70\text{ }^\circ\text{C}$  的热水加入苛化槽内, 以旋转阀将  $MgO$  粉末缓缓地加入苛化槽内, 槽内以搅拌机搅动进行苛化反应。间歇熟化反应, 每次熟化时间 2 h。苛化反应为苛化槽出口有二台苛化输送泵可将苛化完成的氢氧化镁输送至氢氧化镁储槽内。在吸收塔浆液 pH 值及烟囱出口 CEMS 值的控制下, 氢氧化镁浆液通过浆液管道的调节阀控制输送至塔内的量, 从而保证整个系统的稳定运行, 本系统除拆包由人工作业外, 其余皆以全自动控制输送/下料及苛化等, 整个过程显示如图 1。

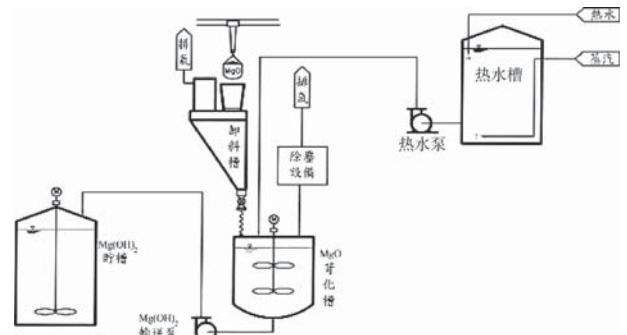


图 1 苛化系统流程

Fig. 1 The System Flow of Causticization

### 2.2 吸收系统

吸收塔前不另设置预洗涤塔, 采用加大排污量等措施, 保证除尘器故障时(不超过 4 h), 脱硫塔入口烟尘超过额定浓度时不发生堵塞。

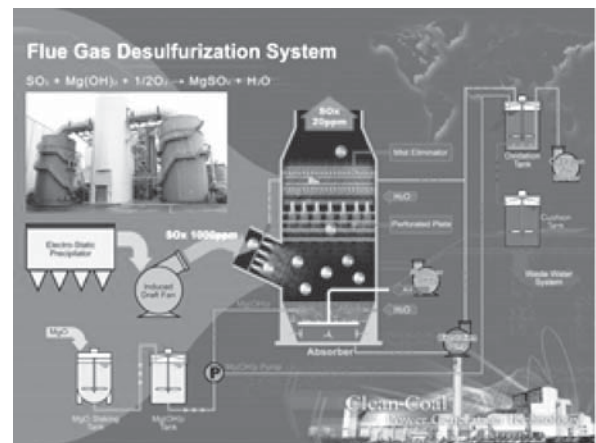


图 2 FGD 吸收塔及储槽简图

Fig. 2 The FGD Absorption Tower and Tank Diagram

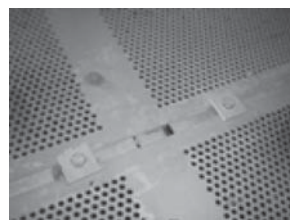


图 3 多孔板

Fig. 3 Perforated Plates



图 4 除雾器及清洗喷嘴

Fig. 4 Demister and Cleaning Nozzles

含有二氧化硫的烟气被送入吸收塔内, 由  $Mg(OH)_2$  脱硫剂吸取硫化物, 顺便清除烟气中的粉尘。在反应过程中, 依照浆液的 pH 值控制脱硫剂的补充量。吸收塔内  $Mg(OH)_2$  和二氧化硫的反应式如以下式(1)和式(2)。氢氧化镁与二氧化硫反

应后剩下可溶解镁盐、硫酸镁、镁硫化物和镁亚硫酸氢盐 [MgSO<sub>4</sub>、MgSO<sub>3</sub>、Mg(HSO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]。

浆液中这些可溶解的镁盐增加了二氧化硫的吸收效率, 并且减少了电力的消耗和设备投资的费用。当镁硫化物与烟气接触时, 它缓冲了浆液的酸碱度。透过增加二氧化硫在浆液中的可溶性, 以增加吸收塔的脱硫效率, 使得系统可以允许操作在更低的 L/G 比率, 并且也允许操作在更低的泥浆酸碱度。



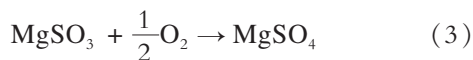
一个 100% 容量的吸收塔可以提供 98% 以上的 SO<sub>2</sub> 脱硫效率。吸收塔高度约为 21 m, 直径约为 7.9 m。在吸收塔的 4 层多孔板内, 有害的烟气及粉尘被有效地去除。为了达到 98% 的 SO<sub>2</sub> 脱硫效率, 吸收塔配置三台浆液循环泵(2 台正常运行, 1 台备用), 循环泵为离心叶轮泵(无堵塞离心式)。浆液循环泵必须提供液气比 L/G = 4.5 以上。吸收塔以 316 L 的不锈钢或相当的材料制成。烟气与浆液反应后, 烟气中的水气利用吸收塔上方的除雾器去除。在浆液循环过程中, 部份的浆液被送往氧化槽。

### 2.3 废水处理系统

废水处理系统主要分为氧化及脱水两个步骤。

#### 2.3.1 氧化系统

浆液吸收了烟气中的二氧化硫后, 部分以镁盐的形式存在。此时浆液被送到氧化槽并利用鲁氏风机将空气打入槽内与浆液反应, 并将浆液内不溶于水的亚硫酸镁氧化为溶于水的硫酸镁, 化学反应式如式(3)和式(4)。



本项目每个吸收塔的氧化风机配备 2 台 100% 容量的鲁氏风机, 流量考虑 10% 裕量, 压力损失考虑管道阻力及液面阻力后留有 20% 的裕量。

#### 2.3.2 脱水过滤系统

烟气中的粉尘在吸收塔内被循环浆液洗涤下来, 在废水过滤系统中这些粉尘会在这个过滤阶段被分离出来。

在废水中的固体物经过脱水后当脱水率在 90% 以上时, 这些固体物将可以被掩埋。

## 3 主要技术经济指标

本项目的主要经济技术参数见表 1。

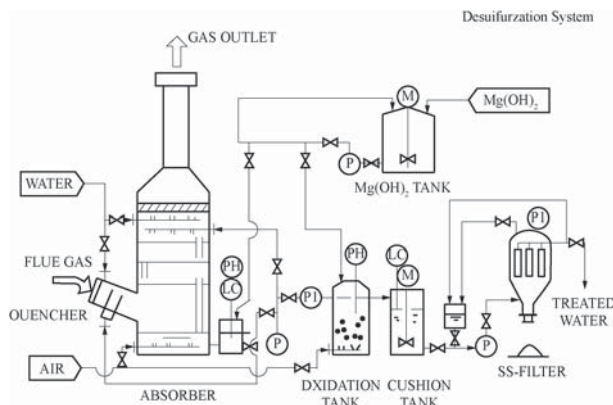


图 5 脱硫系统流程图

Fig. 5 The Diagram of FGD System

表 1 镁法脱硫经济技术参数

Table1 The Economic and Technical Parameters of Magnesium Desulphurization

序号	说明	数据
1	锅炉出口设计烟气量 (140℃, 6% O <sub>2</sub> )	630 000 m <sup>3</sup> /h
2	煤的含硫量	1.4%
3	入口 SO <sub>2</sub> 浓度	≤4 200 mg/Nm <sup>3</sup>
4	FGD 出口 SO <sub>2</sub> 浓度 (6% O <sub>2</sub> , 标态, 干基)	≤50 mg/Nm <sup>3</sup>
5	FGD 出口烟尘浓度 (6% O <sub>2</sub> , 标态, 干基)	≤30 mg/Nm <sup>3</sup>
6	脱硫效率	≥98%
7	吸收剂品质	氧化镁纯度不低于 85%, 粒度 250 目, 水分 ≤2%, 活性 MgO 含量 ≥65%
8	Mg/S 比	1.03 mol/mol
9	工艺水耗量	60 t/h
10	废水量	50 t/h
11	是否按照 GGH	此 FGD 不设 GGH, 烟囱需要防腐
12	烟囱前烟温	约 50℃
13	FGD 装置可用率	95%
14	连续工作小时数	8 160 hr
15	FGD 装置烟气系统压降保证值	<3 000 Pa

## 4 镁法脱硫的优点

与其他 FGD 技术比较, FGD 技术有以下好处:

1) FGD 技术被证明可以适用在各种各样的世界煤种。

2) 脱硫效率可以达到 98%。

3) 循环浆液可以容易被水溶化, 不容易在吸收塔或管内结垢或堵塞。脱硫产物硫酸镁是一种可溶性物质, 因此脱硫反应过程不会有结垢或阻塞的问题。

4) 使用的脱硫剂氢氧化镁是丰富和可利用的。

5) FGD 系统对锅炉操作的负荷变化不是敏感的。

6) 废水在脱除水中的固态物后可以被释放到河或海, 被脱除的固态物脱水率达 90% 以上即可以被掩埋。

7) 传统的湿法(氢氧化镁)脱硫技术可广泛应用于循环流化床和煤粉炉, 应用范围可由小型机组扩大到百万以上的机组, 烟气处理范围大, 适用于高、中、低各类含硫燃料。

8) 镁法脱硫反应度远远高于钙基, 脱硫效率可达 90% ~ 98%。镁法脱硫技术工艺的脱硫效率最高可达到 99%, 将烟气从入口 1 000 ppm 降低 10 ppm。

9) 脱除等量的  $\text{SO}_2$  需要  $\text{MgO}$  量仅为石灰石的 40%, 是氧化钙的 71%。

10) 浆液循环水量小, 反应塔相对较低, 设备和系统远小于石灰(石)/石膏法, 造价较低。

11) 系统比较简单, 占地少、运行稳定可靠。

12) 副产品价值较高( $\text{MgSO}_4$ ) 是用途很广的化工原料产品,  $\text{MgSO}_3$  可用于造纸,  $\text{MgSO}_3/\text{MgSO}_4$  可用于肥料, 如果适销对路会有可观的收入。

13)  $\text{MgSO}_4$  溶液亦可安全排放。

14)  $\text{MgO}$  脱硫方式技术成熟, 运行费用较低。

## 5 镁法脱硫的缺点

与其他 FGD 技术比较, FGD 技术有以下缺点:

1) 高循环量的浆液输送造成高电力消耗。

2) 吸收塔及循环泵的压降将造成引风机电耗的增加。

3) 此工艺将有废水排出。

4) 对材料的腐蚀性要求高, 需要成本较高的抗腐蚀性合金或者非金属内衬作为吸收塔和其他系统的材料。

## 6 影响脱硫效率的因素

氢氧化镁湿法脱硫系统, 不论是使用高硫煤或

是低硫煤, 其脱硫效率可以高达 98% 以上。高效率脱硫系统是藉由较高的 L/G 液气比来达成, 更加创新的脱硫设计可以在锅炉燃烧高硫煤时达到 99%, 燃烧低硫煤时达到 98.5%, 让  $\text{SO}_2$  的排放量只有个位数的 ppm。

尽管较高的液气比可以得到较高的脱硫效率, 但是增加液气比会导致烟气压损增加, 引风机风压增加, 耗电量增加, 这些都是为了达到高效脱硫必须付出的代价。

### 6.1 烟气系统压降

吸收塔内降压的大小基本上取决于浆液的循环量, 当系统运转时, 更大的液气比 L/G 可以提供更高的脱硫效率, 但却也增加了吸收塔的降压。

一般引风机在设计时已考虑了裕量, 足以克服额外的吸收塔降压。脱硫系统可能改变多孔板层上的浆液深度来应付锅炉烟气负载的变化或是入口二氧化硫含量上的变化。这种改变多孔板上浆液深度的能力也可以让脱硫效率提高至 99% 以上, 但是相对的这也造成更大的吸收塔降压。

### 6.2 烟气流速

烟气停留在吸收塔内的反应时间应该够久, 脱硫剂才能有足够时间与烟气充分反应, 如果停留时间更久, 脱硫效率将会更好, 为了增加反应时间必须减慢烟气的流速, 这可藉由增加吸收塔直径和高度来达成。此外, 也可以在烟气进入吸收塔之前, 以低温的工业水或循环浆液, 透过雾化喷嘴降低烟气的温度, 这样同样可以降低烟气速度。

热的烟气进入吸收塔, 流经吸收塔内的多孔板, 与分布在多孔板上从上而下的浆液接触。当烟气穿过多孔板时, 在孔洞间增加的烟气速度引起强大的气泡, 以确保液体与气体间可以充分地反应, 当烟气通过多孔板层时, 烟气内的二氧化硫完全被浆液吸收。

### 6.3 L/G 液气比

为了达到更高的脱硫效率, 吸收塔的多孔板层必须加入更多的浆液循环量。

### 6.4 循环浆液的 PH 值

循环浆液的 PH 值是控制脱硫效率最重要的参数, 通过测量浆液的 PH 值来控制  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  加入吸收塔的量。

### 6.5 $\text{MgO}$ 消耗量

当镁硫比  $\text{Mg/S}$  更大时, 脱硫效率会增加, 此

镁硫比是将加入浆液内的镁莫尔数除以烟气中  $\text{SO}_2$  的莫尔数比率。

因为浆液采取反复循环的方式与烟气反应, 系统可以在较低的镁硫比达到较高的脱硫效率,  $\text{MgO}$  消耗量也相对降低。

### 6.6 脱硫副产物

脱硫副产物的数量取决于进入系统烟气的流量和烟气中二氧化硫的含量。如果烟气流量或烟气二氧化硫含量增加, 废水排放量也必须增加, 否则将有堵塞堆积及效率降低的风险。

## 7 结论

由于环保法规日趋严格, 加上总量管制的因素, 将来在环保单位和公众压力之下, 可能会要求电厂在将来增加他们的脱硫效率在 99% 以上, 来控制二氧化硫排放。目前, FGD 系统展现了二氧化硫在 98% ~ 99% 范围的脱硫效率。为了提高脱硫效率, 此脱硫工艺有许多地方可以进行改进: 增加多孔板层上的浆液接触的深度, 改进进口烟气的分布, 喷嘴结构及浆液喷淋的模式以增加接触面积, 改善工艺操作情况的监控。建议启用备用循环泵来增加 20 - 30% 的气液比以增加  $\text{SO}_2$  的脱除率。

### 参考文献:

- [1] 秦冉冉. 双碱法脱硫与镁法脱硫的比较分析[J]. 广东化工, 2013, 14(40): 86-87.  
QIN Ranran. Comparative Study on the Double Alkali Desulfurization and Magnesium Desulfurization[J]. Guangdong Chemical Industry, 2014, 34(6): 47-50.
- [2] 徐瑞. 浅谈钙法、镁法脱硫方案的技术分析[J]. 科技与创新, 2014(10):146-150.  
TU Rui. Coal-fired Power Plant Flue Gas near "Zero" Emissions Technology Program Analysis[J]. Science and Technology & Innovation, 2014(10): 146-150.
- [3] 刘晓威, 王冰, 鞠鑫, 等. 火电厂大气污染物近“零”排放污染控制技术的示范应用[J]. 电力科技与环保, 2015, 31(6): 25-27.  
LIU Xiaowei, WANG Bin, JU Xin, et al. Model Applied of Air Pollutants Near "Zero" Emissions Pollution Control in Coal-Fired Power Plant[J]. Electric Power Technology and Environmental Protection, 2015, 31(6): 25-27.
- [4] 陈文光, 邱谷川. 高效率氢氧化镁脱硫技术在大陆 PC 及 CFB 锅炉的应用[A]//中国电机工程学会热电专业委员会 2011 年度热电联产学术交流会议论文集[C]. 2011.

(责任编辑 郑文棠)

(下转接第 144 页 Continued from Page 144)

### 参考文献:

- [1] 刘金砺. 建筑桩基技术规范应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.  
LIU Jinli. Application Manual of Technical Code for Building Pile Foundation [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.
- [2] JGJ 94—2008, 建筑桩基技术规范[S].
- [3] 张凤英, 张发军. 钻孔灌注桩施工常见的质量缺陷及防治[J]. 青海交通科技, 2007(5): 15-20.  
ZHANG Fengying, Zhang Fajun. Common Construction Quality Defect of Drilling Bored Pile and Prevention Measure [J]. Qinghai Communication Technology, 2007(5): 15-20.
- [4] 何既荣, 王书军. 钻孔灌注桩桩芯渗水的原因及预防处理措施[J]. 科技创新导报, 2007(33): 166.  
HE Jirong, WANG Shujun. Cause and Prevention of the Water Leakage of the Drilling Bored Pile Core [J]. Science and Tech-

nology Innovation Herald, 2007(33): 166.

- [5] 蒋小刚. 灌注桩桩顶渗水原因分析及控制措施[J]. 中国高新技术企业, 2013(9): 73-74.  
JIANG Xiaogang, Analysis of Water Leakage From Bored Pile Top and Control Measure [J]. China High-Tech Enterprises, 2013(9): 73-74.
- [6] 艾进荣. 钻孔灌注桩开挖后桩顶冒水原因分析及预防措施[J]. 西部探矿工程, 2009(11): 23-24.  
AI Jinrong, Analysis of Water Emitting from Drilling Bored Pile Top After Excavation and Control Measure [J]. West-China Exploration Engineering, 2009(11): 23-24.
- [7] 王哲, 曹晓滨. 灌注桩桩身泌水的原因分析及控制[J]. 化学工程与设备, 2015(5): 114-116.  
WANG Zhe, CAO Xiaobing, Analysis of Water Bleeding from Bored Pile and Control Measure [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2015(5): 114-116.

(责任编辑 郑文棠)