

# 模块化设计在湿法脱硫氧化风间壁式换热器中的应用

苗 磊<sup>1</sup> 赵昱璋<sup>2</sup> 张浩泽<sup>3</sup>

1. 身份证号码: 152824198412126319

2. 身份证号码: 150302199204181513

3. 身份证号码: 150303199404102513

**摘要:** 分析了模块化设计在换热器设计中的应用, 探讨了湿法脱硫中氧化风间壁式换热器应用对脱硫系统水平衡的影响以及换热器在冬夏季节运行的适应性, 提出了对氧化风间壁式换热设备进行模块化设计优化。

**关键词:** 湿法脱硫; 水平衡; 氧化风换热器; 模块化设计

## Application of modular design in wet desulphurization and oxidation air wall heat exchanger

Lei Miao<sup>1</sup>, Yuzhang Zhao<sup>2</sup>, Haoze Zhang<sup>3</sup>

1. ID card number: 152824198412126319

2. ID card number: 150302199204181513

3. ID card number: 150303199404102513

**Abstract:** This paper analyzes the application of modular design in heat exchanger design, explores the impact of the application of a wet-type desulfurization oxidation air side-wall heat exchanger on the water balance of the desulfurization system, and assesses the adaptability of the heat exchanger's operation during winter and summer seasons. Additionally, it proposes the optimization of modular design for oxidation air side-wall heat exchanger equipment.

**Keywords:** Wet Desulfurization; Water Balance; Oxidation Air Heat Exchanger; Modular Design

### 引言:

在石灰石-石膏脱硫系统中, 每套吸收塔的氧化空气系统均由氧化风机、氧化空气喷枪及相应的管道、阀门组成。氧化空气通过氧化空气喷枪均匀地分布在吸收塔底部浆液池中, 将 $\text{CaSO}_3$ 氧化成 $\text{CaSO}_4$ , 进而结晶析出。

氧化空气系统是吸收系统的一个重要组成部分, 氧化空气的功能是促使吸收塔浆液池内的亚硫酸根氧化成硫酸根, 从而增强浆液进一步吸收二氧化硫的能力, 同时结晶形成石膏。氧化和结晶主要发生在吸收塔浆液池中。吸收塔浆液池的尺寸能够保证提供浆液完成亚硫酸钙的氧化和石膏的结晶时间。氧化空气入塔前需要经过增湿降温, 使氧化空气达到饱和状态, 可有效防止分布管空气出口处的结垢。脱硫吸收塔中石灰石浆液与二氧化硫的最佳反应温度 $50^\circ\text{C}$ , 而进入吸收塔中的氧化空气最初的温度在 $110^\circ\text{C}$ 左右。因此, 为了增加对二氧化硫的

吸收效率, 防止分布管空气出口处的结垢, 降低氧化空气的温度是解决问题的关键。

### 一、湿法脱硫氧化风间壁式换热器

#### 1. 湿法脱硫系统水平衡分析

工艺水平衡设计是基于锅炉连续满负荷运行, 当锅炉在低于额定工况下运行时, 使烟气饱和以及随固体副产物带离系统而造成的水耗量将按比率减少, 但转动机械密封水, 冷却水和除雾器冲洗水一般不会按比例下降, 在这种情况下, 补加水量可能会多于损失的水量, 这种情况称作“正水平衡”。如果长时间出现正平衡, 则会出现吸收塔液位无法控制, 除雾器无法冲洗等问题, 此时, 要么增加排放水量, 要么采取措施减少加入工艺中的补加水量。

国内某350MW锅炉100%负荷及50%负荷水平衡情况分别见表1、2。

表1 100%负荷条件下脱硫水平衡情况

系统补水项	流量 (m <sup>3</sup> /h)	系统耗水项	流量 (m <sup>3</sup> /h)
石灰石浆液制备用水量	采用回收水	蒸发	27.67
设备冷却水	10	石膏自由水和石膏结晶水	6.05
氧化风冷却水量	8.7	废水排放量	2
除雾器冲洗水	17.12	出口烟气夹带液态水	0.1
合计	35.82	合计	35.82

表2 50%负荷条件下脱硫水平衡情况

系统补水项	流量 (m <sup>3</sup> /h)	系统耗水项	流量 (m <sup>3</sup> /h)
石灰石浆液制备用水量	采用回收水	蒸发	13.85
氧化风冷却水量	8.7	石膏自由水和石膏结晶水	3.025
设备冷却水	10	废水排放量	1
除雾器冲洗水	21.12	出口烟气夹带液态水	0.1
合计	35.82	合计	17.98

从表1可以看出，锅炉100%负荷运行时，系统满足水平衡要求，除雾器完全能投入自动运行。

从表2可以看出，锅炉50%负荷运行时，多出的水量17.84m<sup>3</sup>/h；除雾器5小时内不能自动冲洗，如果手动冲洗不能完成一个冲洗程序。

脱硫系统的水平衡设计是基于锅炉BMCR工况，当50%负荷时，蒸发水量比设计值减少一半，可见负荷的变化对水平衡的影响是最大的，也是最直接的，负荷越低，液位越需要更精细地进行控制，增加排水量或减少补加水是总体控制原则。

## 2. 氧化风间壁式换热下脱硫系统的水平衡分析

湿法脱硫系统一般在氧化风管道设置喷淋水进行降温。然而，当机组运行负荷比较低时，蒸发量降低，但各系统补水量不变，导致脱硫系统水平衡无法维持，导致脱硫系统吸收塔出现除雾器无法冲洗、液位持续过高，难以控制的局面，极大威胁了机组运行的安全，将氧化风减温方式由喷淋减温改为间壁式换热减温，避免大量的系统外部水进入系统，造成水平衡失调，能够适应锅炉长时间低负荷运行工况的需要。

在氧化风总管道上增设间壁式换热器，即可在切除氧化风喷淋减温水时将氧化风控制在正常设计温度范围，极大程度地解决脱硫系统水平衡问题，最终节约水耗。350MW锅炉采用氧化风间壁式换热系统，系统配置见图1。换热器氧化空气侧接口与现有氧化空气母管一致，并设有旁路系统，具备换热器故障时不影响原有氧化空气系统正常运行。

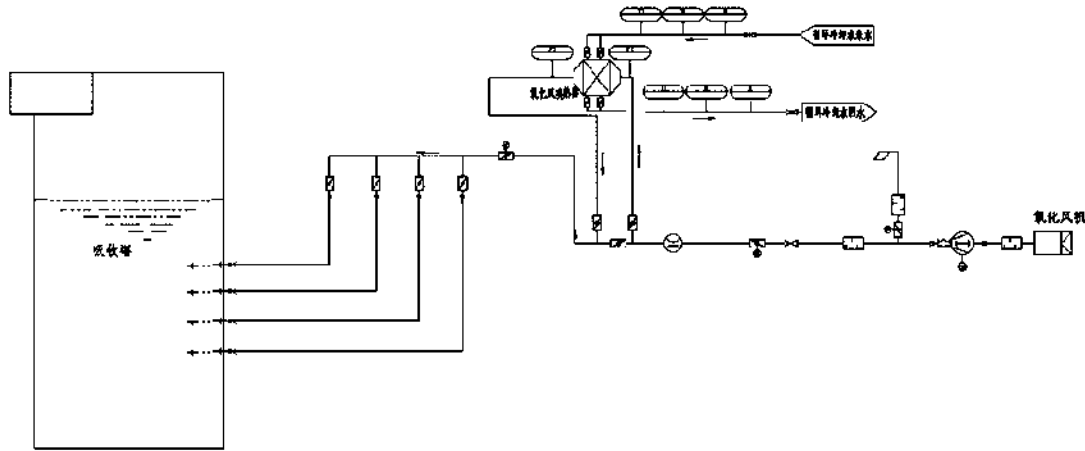


图1 氧化风间壁式换热系统

氧化风间壁式换热系统运行方式如下：氧化风冷却系统的氧化空气管，其一端与氧化风机连通，经过间壁式换热器冷却后，另一端与脱硫吸收塔连通；循环冷却水进水管，自冷却水供水主管至换热器进口；循环冷却水出水管，自换热器出口至冷却水回水主管。

将氧化风减温方式由喷淋减温改为间壁式换热，减少直接进入脱硫系统水量约8.7t/h，除雾器可实现2小时内自动冲洗，可以解决机组低负荷工况下脱硫系统稳定

运行问题，并且充分利用现有循环冷却系统余量，降低现有脱硫系统的水耗，节水效益十分可观。

## 二、换热器模块化设计应用

模块是一组具有同一功能和结合要素（指连接部位的形状、尺寸、连接件间的配合或啮合等），能互换的单元。模块是模块化设计和制造的功能单元，它具有独立性、互换性、通用性三大特征。

氧化风冷却器换热原件采用模块化分组设计，可根

据不同季节、不同负荷要求，灵活组合与布置换热模块，满足不同设计条件下的换热要求。冬季冷却水温度低时部分模块可退出运行，节约能效的同时，可以在线更换模块，保证设备故障不影响机组安全运行。氧化风换热器模块化配置见图2。

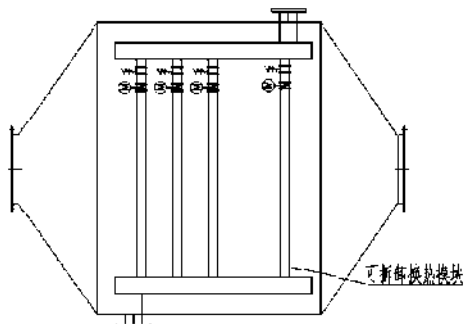


图2 氧化风换热器模块化配置

换热面积可调换热单元、换热器，旨在解决现有换热器换热面积固定的局限性，致使系统中存在多余的冷媒流经多余的换热器内，节能经济效果很差问题。

在实际使用过程中，不同环境条件下工作对换热面积需求其实是不同的，而现有技术中所采用的换热器，无论是管翅式还是微通道等，其换热面积都是固定不变的，这就导致了换热器在低负荷环境下工作时，虽然不需要那么大的换热量或者说是换热面积，但由于现有换热器换热面积固定的局限性，致使系统中存在多余的冷媒流经多余的换热器内，使得换热器的节能效果较差。

氧化风换热器采用模块化设计，可以使用快速连接卡扣连接同种类型换热器模块，对换热器进行扩容；可以直接抽出换热盘管进行快速更换、清洗维护，无需对换热器进行拆解，停机时间短；由于各个换热单元之间为独立的，可以实现同时热交换和清洗及排液功能，进行全效率工作。

氧化风换热器进水管设置多根支管，连接不同的换热模块，总管设有温度变送器，每根支管设有流量计和电动调节阀，根据氧化风量及冷却水温度换算所需要的冷却水量；同时流量计能够实时输出流量检测信号，与所需的冷却水量进行比较，根据比较后的数值来控制电动调节阀以调节各模块电动调节阀的启停及开度，从而调节冷却水流量，达到根据实时检测的冷却水温度及氧化风量来控制冷却水量及换热模块单元运行数量的目的。

冬季冷却水温度低时部分模块可退出运行，节约能效的同时，可以在线更换模块，保证设备故障不影响机组安全运行。

某350MW机组不同负荷下、不同季节下氧化风量、冷却水量、投入的换热模块数量，相对于氧化风喷淋减温节约的水量（减少进入吸收塔补水的量）如表3所示。

表3 换热模块运行数量、节约水量

	负荷/ (MW)	氧化 风量 ( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )	冷却 水量 ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	换热模 块运行 数量/ (个)	节约冷却 水量(与 满负荷运 行比较)/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	节约水 量(废 水减排 量)/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )
100% 负 荷(夏)	350	26510	39.08	4	--	8.7
50% 负 荷(夏)	175	13520	19.92	2	19.16	4.4
100% 负 荷(冬)	350	26510	27.92	3	11.16	8.7

从表3可以看出，与固定换热模块数量相比，机组夏季50%负荷运行时，减少换热模块运行数量，可以节约循环冷却水19.16t/h；机组冬季100%负荷运行时，减少换热模块运行数量，可以节约循环冷却水11.16t/h。

### 三、总结

通过将氧化风减温方式由喷淋减温改为间壁式换热，可以节约用水的同时实现电厂不同负荷条件脱硫装置水系统的平衡，避免除雾器冲洗系统不能投运。脱硫氧化风间壁式换热器模块化设计，提供了一种可快速调节换热面积、应对脱硫机组负荷灵活性高、对生产影响小的换热单元可更换的换热器模块。提升了湿法脱硫中氧化风间壁式换热器在冬夏季运行的适应性，使得换热器有较好的节能效果。

### 参考文献：

- [1]汪应林.湿法烟气脱硫氧化风系统优化对脱硫效率的影响[J].节能.2016,(1).DOI: 103969/j.issn.1004-7948.2016.01.010.
- [2]丁得龙.燃煤电厂烟气脱硫氧化风机的节能优化实践[J].资源节约与环保.2021,(6).DOI: 10.3969/j.issn.1673-2251.2021.06.006.
- [3]张子明,裴平.300MW循环流化床锅炉湿法脱硫氧化风系统优化探索及改造浅析[J].中国设备工程.2021,(17).DOI: 10.3969/j.issn.1671-0711.2021.17.011.