

# 湿法烟气脱硫系统中的低温腐蚀及烟气再热问题

汪洪涛, 吴少华, 赛俊聪, 秦裕琨

(哈尔滨工业大学 热能工程教研室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘 要:** 介绍了燃煤电厂烟气脱硫系统中普遍存在的低温腐蚀问题, 并结合实例对烟气再热系统的型式以及二次腐蚀问题进行了简要分析。

**关 键 词:** 湿法烟气脱硫; 烟气再热; 低温腐蚀

中图分类号: TK224 文献标识码: A

## 1 引 言

我国的能源结构以煤炭为主, 燃煤产生的二氧化硫以及由此形成的硫酸型酸雨的大气污染状况越来越严重, 造成森林死亡, 农业减产, 金属腐蚀等。为此, 国内进行了许多研究<sup>[1-3]</sup>, 但实际应用效果并不显著。近几年, 我国引进了国外一些不同形式的成套烟气脱硫设备。对于大型燃煤设备, 湿法脱硫技术仍然是主流。湿法脱硫技术主要是利用浆液洗涤烟气, 通过增加气液接触面积来获得较高的脱硫效率。烟气流速越高, 烟气带水量越多, 易造成风机带水, 管道和设备腐蚀等<sup>[2,3]</sup>。因此, 需要在尾部增设除雾器和烟气再热系统(Stack Gas Reheat)<sup>[6-9]</sup>, 通过烟气再热的方法来提高出口烟气温度, 防止腐蚀, 并且再热型式多样化。但是, 烟气再热系统作为烟气脱硫系统的一部分, 其最大的缺点是费用高, 包括初投资、维护费和运行费等。如何解决尾部设备的低温腐蚀问题, 降低烟气脱硫系统的费用, 是当前最受关注的问题之一。

## 2 湿法烟气脱硫系统的腐蚀型式

湿法烟气脱硫技术是利用喷淋的浆液洗涤烟气。因此, 大部分污染物和腐蚀元素在吸收塔内就被除去, 一般出口烟气中含有少部分  $\text{SO}_3$ 、 $\text{SO}_2$ 、氯化物、氟化物和硫酸雾等。但是, 烟气中带水量多, 而且由于硫氧化物的存在, 烟气露点温度提高, 使系统出口烟气温度降到露点以下。即使用最有效的除雾器, 饱和烟气所携带的水滴和水雾也会在烟气出口

设备上凝结, 水雾凝结后吸收烟气中的腐蚀元素, 从而腐蚀管路和设备。

按照金属腐蚀破坏形态可把金属腐蚀分为全面腐蚀和局部腐蚀。在富酸环境下的塔体和管路的腐蚀都属于全面腐蚀。全面腐蚀既可能是腐蚀程度相同的均匀腐蚀, 也可以是腐蚀程度不同的非均匀腐蚀。而局部腐蚀的形态很多, 可以发生孔腐蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀开裂等, 虽然发生面积较小, 但其危害更大。也可按照腐蚀发生的温度把金属腐蚀分为高温和低温腐蚀。脱硫塔体和出口管路的腐蚀都属于低温腐蚀。

当水滴在塔体和管路上凝结时, 形成很薄的液膜, 吸收了烟气中的硫化物形成酸液, 从而产生腐蚀。

阳极反应过程:  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{n+} + n\text{e}$

阴极反应过程:  $2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$

而在一些狭小的细缝存在与腐蚀有关的物质, 由于缝隙限制了物质的扩散, 从而建立了以缝隙为阳极的浓差电池, 造成了缝隙内的局部腐蚀。如果在与应力的共同作用下则易发生应力腐蚀开裂, 后果极其严重。因此, 钢结构的脱硫塔和出口烟气管道在高温、潮湿、酸性环境下腐蚀很快, 特别是在闲置情况下, 腐蚀更快。同时, 烟气带水量多, 造成风机叶片带水, 失去动平衡, 并且腐蚀风机叶片。出于对暴露在饱和富酸环境下的管路状况考虑, 大部分设备采取了烟气再热方法来提高出口烟气温度, 以防止腐蚀。

## 3 烟气再热系统及其缺陷

烟气再热系统用来提高烟气温度, 蒸发烟气中的水滴, 防止腐蚀。除了防止腐蚀外, 从环境角度考虑, 一是污染扩散。当设有烟气再热系统时, 烟气温度提高, 增加烟气的浮力, 能降低地面的污染物浓度

水平;二是烟气携带的液滴。烟气再热系统蒸发了从除雾器带出来的液滴,防止了蒸汽的凝结,有利于污染物的扩散,防止了环境污染。

### 3.1 烟气再热型式

在烟气脱硫系统中,最初主要有五种方式来加热脱硫塔出口烟气。

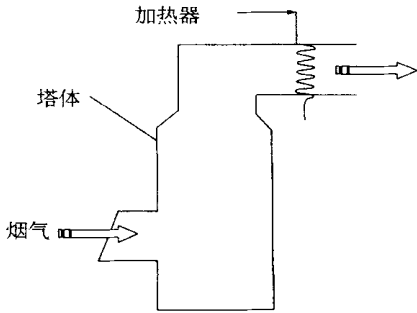


图1 串联式烟气再热法

3.1.1 最流行的方法是串联式再热器(图1)

它是通过一个固定在管道上的热交换器来加热出口烟气的,其介

质可以从锅炉引出来的蒸汽或热水。

#### 3.1.2 间接热空气喷射再热法(图2)

这种方法是外部用热交换器加热空气,然后与出口烟气混合,利用热空气来加热出口烟气。

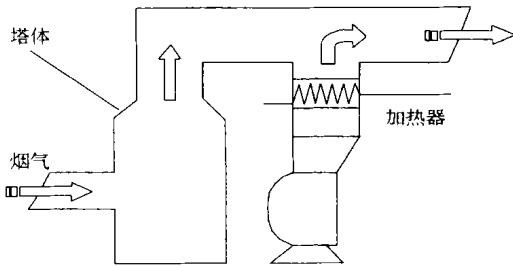


图2 间接热空气喷射式再热法

#### 3.1.3 直接燃烧再热法(图3)

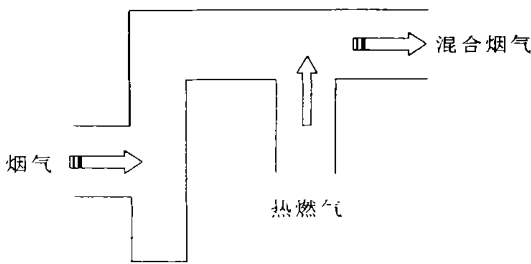


图3 直接燃烧再热法

通常利用燃油或天然气燃烧产生热燃气与出口烟气混合来提高出口烟气温度。

#### 3.1.4 烟气旁通法(图4)

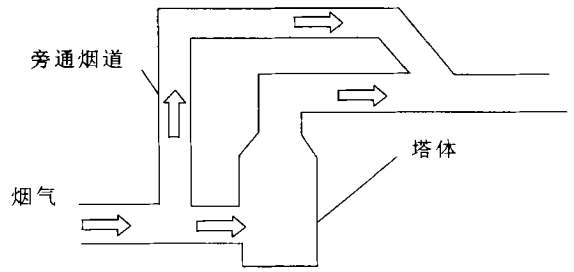


图4 烟气旁通式再热法

使一部分烟气旁路通过吸收塔与出口烟气混合。需要重点考虑的是旁通烟气与出口烟气的混合点,如果在烟窗中混合,则出口管路暴露在湿烟气之下,起不到保护作用;如果在管道出口混合,当旁通烟气温度的降低到露点以下时,将产生严重的管道腐蚀。由于混合点和排放标准因素的影响,因此烟气旁通再热法的实用性受到严格的限制。

#### 3.1.5 再生再热法(图5)

它的设计思想是利用脱硫塔入口烟气多余热量来加热水,再利用这些热水加热出口烟气。但是,这种方法同样面临很多问题。我国华能珞璜发电厂首家引进2×360 MW三菱重工烟气脱硫装置就是采用这种再热型式,于1992年投入运行。但在使用过程中发现,烟气加热系统翅片管束的表面结露,形成的H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>不仅加剧管束酸性腐蚀,缩短使用寿命,而且极易粘结烟尘,造成烟气流道截面积逐渐减小,烟气侧阻力增大。

### 3.2 烟气再热系统中存在的缺陷

烟气再热系统从设计和使用经历看,都不是很完美。烟气再热系统的本意是减少设备维护,保护管道,防止腐蚀和保护环境。实际上,烟气再热系统本身极易遭到腐蚀,并且成为烟气脱硫系统的最大维护问题之一。例如串联式烟气再热器除了遭受重腐蚀,导致维护难题外,腐蚀还降低了管路的热传导率,增加了能量损失。在一些设备中,腐蚀问题严重到更换再热管,有的机组甚至需要更换整个再热系统。串联式烟气再热器的另一个问题是管路堵塞。不溶物沉积在热交换器的吸热侧表面,导致管路结垢、堵塞,有时甚至比腐蚀更严重。因为它增大了再热器的阻力,降低了热传导率。有相当一部分串联式烟气再热器使用加压热水作为热介质,与蒸汽相比,这种再热器在低温下运行,几乎没有腐蚀问题,但更易于发生管道堵塞,因为安装在热交换器上的

细管容易被沉积物堵塞。加压热水的堵塞问题已经是主要的维护课题。

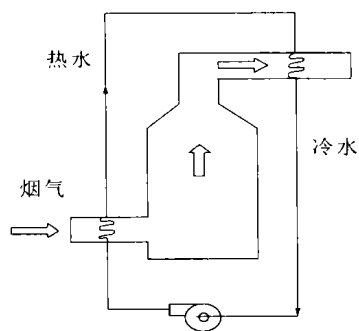


图 5 再生式再热法

直接燃烧再热系统可以避免腐蚀。因为它是典型的外用烟气, 但大部分设备遭到了热燃气的严重损坏, 降低了直接燃烧再热系统的可靠性和效率, 同时, 燃料的不完全燃烧和火焰的不稳定也是个后续问题。

#### 4 目前的解决方法

上面叙述的问题说明了烟气再热系统作为烟气脱硫系统的一个二级系统不可靠的原因。这种不可靠性严重地影响了电厂运行的经济性和环境保护。作为烟气脱硫系统的一部分, 使用烟气再热系统最大的缺点是费用太高, 包括资本投入、维护费用和运行费用, 其中最重要的是不断增加维护费用和运行费用。

表 1 几种主要再热方式的比较

再热型式	优点	缺点
1. 串联式再热系统	设计简单、技术成熟。	容易造成管路堵塞和腐蚀。
2. 直接燃烧再热系统	投资少、运行可靠、不易堵灰、腐蚀、维护费用低。	需用额外燃料、运行费用高。在脱硫后的烟气中又加入了二氧化硫。部分设备遭到了热燃气的严重损坏, 降低了系统的可靠性和效率。燃料燃烧不完全和火焰不很稳定。
3. 间接热空气再热系统	运行可靠、不易堵灰和腐蚀、能耗低。	需要更多的高温、高压蒸汽, 增加了烟气体积, 加大了管道尺寸和引风机容量。
4. 烟气旁通再热系统	能量消耗低、投资少、运行可靠。	烟气混合处容易腐蚀。
5. 循环热水再热系统	能量消耗低, 减少了脱硫系统的补充水, 降低了烟气绝热饱和温度, 有利于 SO <sub>2</sub> 的吸收。	投资费用大、热交换器易腐蚀和堵塞、需要高效率的除雾器。

目前, 在处理腐蚀问题时, 在美国, 有的采用湿壁烟囱的方法。这种方法的设计思想是不使烟气温度上升到烟气饱和温度, 这要求很多独特的设计方法以确保避免出现与再热系统相类似的腐蚀和环保问题。现在已有了较广泛的应用, 但一次性投资费用高, 不适合中国国情。

另一种方法是换热器采用耐腐蚀合金材料, 这样解决了低温腐蚀问题, 减少了维护费用, 而且运行

可靠。但同样造价高, 投资费用大。

此外, 还有许多设备只能被动地采取不断地维修、更换管道的办法。

#### 5 结语

烟气再热系统提高了出口烟气温度, 防止了腐蚀, 同时还有利于污染物的扩散。但是烟气再热系统本身的腐蚀问题却无法解决, 有时甚至影响了整个再热系统的运行, 即增大了资本投资, 同时又额外增加了运行和维护费用。目前的解决方法不论是湿壁烟囱还是再生式再热器, 从根本上讲, 不是采用耐腐蚀合金材料, 就是被动维修, 增加了投资费用, 却没有从根本上解决问题。

如果开发一种能减少烟气带水量, 使烟气饱和温差(烟气温度和烟气露点温度之差)增大的设备, 就能从根本上解决低温腐蚀问题, 又能降低整个系统的投资费用。

作者经过实验研究表明, 通过在反应器内增设一些装置以形成一定形状的有序排列的液膜组, 减少了出口烟气带水量, 减轻了低温腐蚀; 同时通过增强烟气对有序排列液膜组的扰动, 提高了传质系数, 从而既减轻了低温腐蚀, 又具有较高的脱硫效率, 对解决上述问题具有一定的实际意义。

#### 参考文献:

- [1] 陈秋则. 喷雾干燥法脱除烟道气中的二氧化硫[J]. 重庆环境科学, 1989, 11(2): 21-25.
- [2] 何清怀. 简述燃煤电厂脱硫技术的选择[J]. 环境保护, 1992, 18(2): 19-21.
- [3] 张可钜. 珞璜电厂 4×360 MW 机组烟气脱硫工程评述[J]. 电力环境保护, 2000, 12(4): 1-10.
- [4] 陶佩军. 石口洞发电厂脱硫技术方案选择[J]. 华北电力, 1998, 21(4): 24-27.
- [5] 刘汉忠. 湿法脱硫除尘的技术路线及技术关键[J]. 广东电力, 1998, 11(4): 34-37.
- [6] FROLICH D A, GRAVES, G M. Eliminating reheat from existing FGD system[J]. A Design and Economic Evaluation. Control Technology, 1987, 37(3): 23-28
- [7] GEORGE C Y LEE. New FGD-reheat scheme can limit operational penalties[J]. Power, 1984, 128(1): 43-45.
- [8] JUMPEI ANDO, CHARLES B SEDMAN. FGD SCR gain coal-fired-boiler experience in Japan[J]. Power, 1987, 131(2): 33-36.
- [9] PETER G MAURIN. Controlling SO<sub>2</sub> emissions—A look at wet and dry flue gas desulfurization systems[J]. Plant Engineering 1985, 39(9): 52-56.

(渠源 编辑)

grinding capacity for these coals has been identified by an analysis the authors point out the practical service limitations of the raw coal grindability index measured in a laboratory. In addition, investigated are the coal quality factors to be considered during the revision of these grindability indexes. The relevant findings can serve as reference data during a more in-depth study by design and operation management personnel of coal pulverizers. **Key words:** grindability index, maximum grinding capacity, test, revision

链式能量系统热经济孤立化的新方法与其收敛性证明 = **Thermo-economic Isolation of Chain Type Energy Systems and Its Convergence Proof** [刊, 汉] / LI Shi-wu, SU Mo-ming (Department of Aeronautical Power and Thermal Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, China, Post Code: 710072) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 465 ~ 468

Based on the ideology of thermo-economic isolation the author has proposed a new method for the optimized thermo-economic isolation of a chain type energy system and provided a proof for the convergence of the method. The effectiveness of the method has been verified for a nonlinear chain type energy system. This enables the thermo-economic isolation acquire a practical usage value for a decision-making during the design and optimized operation of chain type energy systems, providing a solid basis for the application of the thermo-economic isolation in thermal energy and power engineering systems as well as in other energy systems. **Key words:** energy system, chain type system, thermo-economic isolation

湿法烟气脱硫系统中的低温腐蚀及烟气再热问题 = **Low-temperature Corrosion and Flue-gas Reheat Problems in a Wet-method Flue Gas Desulfurization System** [刊, 汉] / WANG Hong-tao, WU Shao-hua, SAI Jun-cong, et al (Thermal Energy Engineering Department, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 469 ~ 471

Described are the low-temperature corrosion problems quite prevalent in the flue-gas desulfurization system of a coal-fired power plant. In conjunction with specific cases a brief analysis is performed of some types of flue gas reheat system and their ensuing secondary corrosion problems. **Key words:** wet-method flue gas desulfurization, flue gas reheat, low-temperature corrosion

火焰筒耐热搪瓷漆熔烧工艺实验研究 = **Experimental Research of a Fusing Technique Involving the Coating of Heat-resistant Ceramic Lacquer on a Gas Turbine Flame Tube** [刊, 汉] / DONG Bin, ZHANG Yong-quan (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 472 ~ 474

The inner and external surfaces of a gas turbine flame tube have been coated with a foreign-made heat-resistant ceramic lacquer. With a view to mastering in the shortest possible time the fusing technique of heat-resistant ceramic lacquer, contrast tests were conducted on test pieces with regard to the main procedures of fusing technique by applying that technique for the coating of the flame tube. These tests have brought forth the following conclusions. The size of spray sand particles and the change in the viscosity of the coating material have a relatively small influence on the fusing quality while the fusing temperature and time duration exert a fairly large influence on that quality. By putting parts into the fusing furnace at a relatively high stipulated furnace temperature and taking them out after a relatively short time it is possible to obtain a satisfactory coated surface quality and service performance. **Key words:** gas turbine, flame tube, ceramic lacquer, fusing

电场和螺旋线圈复合强化管内强制对流的实验 = **An Experiment on Forced Convection in a Combined-intensi-**