

湿式烟气脱硫除尘系统工艺的研究

王助良, 陈金玉, 温敬平, 颜学升

(江苏大学能源与动力工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: 对烟气脱硫系统所存在的问题进行了探讨, 并根据国外应用情况, 提出了适合我国国情的燃煤锅炉烟气脱硫除尘系统的工艺, 最后依据实例来说明该系统的工艺优点。

关键词: 脱硫; 系统工艺; 湿式烟气; 锅炉

中图分类号: X701.3

文献标识码: A

1 前言

燃煤锅炉烟气湿法脱硫除尘是利用碱性水溶液洗涤烟气中酸性气体, 通过洗涤, 可除去烟气中灰尘、 SO_2 等。其优点是脱硫除尘效率高、性能可靠, 容易实现脱硫除尘一体化。

纸浆厂具有丰富的碱性废水, 用碱性废液作为烟气脱硫剂, 可实现了以废治废、综合利用的目的, 同时还大大降低了烟气脱硫和污水处理的运行费用(高碱性的污水在水处理时需加酸中和)。本文采用流化床气体净化设备^[1-2], 用碱性废液进行烟气脱硫除尘, 该设备具有一体化功能, 脱硫除尘效率高, 与其它湿法脱硫除尘设备一样, 净烟气化后存在温度低, 湿度大, 如果系统工艺设计不当, 将带来系统设备的严重腐蚀, 影响系统设备的寿命和锅炉的安全运行, 因此必须合理地选择脱硫除尘系统工艺。

2 烟气脱硫工艺选择

2.1 国外烟气湿法脱硫工艺

某电厂引进的石灰石—石膏法脱硫系统^[3], 烟气脱硫工艺(烟气部分)流程如图 1 所示。锅炉空气预热器出来烟气先后经过静电除尘器、引风机、热交换器(高温侧)、脱硫塔、除雾器、热交换器(低温侧)、增压风机、烟囱, 最后排空。在脱硫吸收塔内, 石灰石浆液吸收烟气中的二氧化硫, 脱硫效率达 90%~95%。这一工艺使用了烟气再加热, 解决了脱硫后烟气温度低问题。

在热交换器的高温侧, 烟气放出热量, 温度降至 100℃左右; 然后从吸收塔的底部进入塔内进行脱硫; 脱硫后的烟气经过两级除雾器脱水后, 进入热交换器的低温侧, 加热到 90℃左右, 再由增压风机送入烟囱排放。

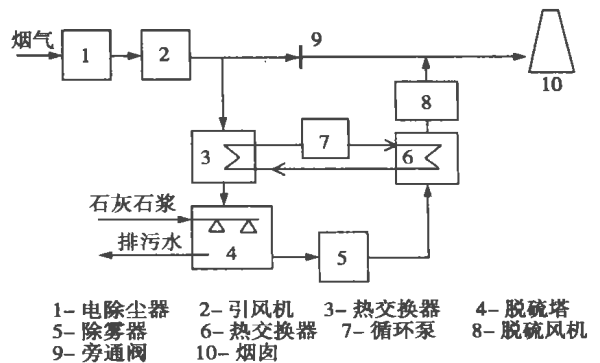


图 1 石灰石—石膏脱硫工艺的烟气系统

(1) 使用了烟气再加热系统, 避免了后继烟道和设备产生凝结水、风机带水问题, 并消除了风机、风道和烟囱等设备的腐蚀问题。烟气经过换热器高温侧, 温度降低了 50~60℃, 在脱硫塔内的气、液热交换中, 烟气温度降得更低, 大大减少了烟气中饱和水蒸气的携带; 烟气经过除雾器后升温, 可使烟气中夹带的少量水雾汽化, 并和携带的饱和水蒸气一起过热。一般脱硫塔出来的烟气只有 45~55℃, 加热到 90℃后, 水蒸气过热度很高, 后续设备不可能出现凝结。

(2) 有利于烟气排放时扩散。如果没有再加热, 脱硫塔出来 45~55℃烟气排放到大气后, 所含的饱和水蒸气就会立即结露, 在烟囱附近落下, 形成局部的污染。

2.2 脱硫除尘工艺的选择

从以上可以看出, 解决腐蚀和排放这两个问题的关键是烟气再加热。再加热涉及到换热器投资、

材料的选用、加工技术和维护等。材料的选用、加工技术和运行维护的一个环节出现问题,就会影响换热器寿命和传热效果。根据我国现有的技术水平和管理水平,目前对我国量大面广的工业锅炉用户而言,脱硫系统使用烟气再加热设备,是不现实的。

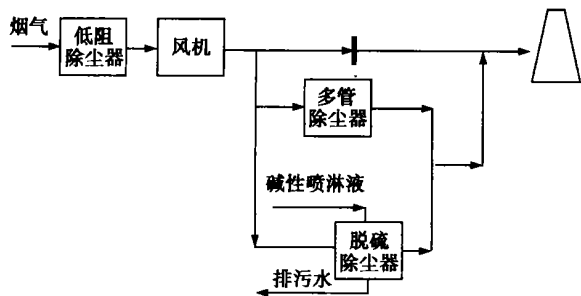


图2 烟气脱硫除尘一体化系统工艺

综合以上情况,兼顾除尘,作者对烟气脱硫系统工艺设计了如下方案,如图2所示。空气预热器出来的烟气先经过低阻旋风除尘器,再经过风机,然后让20%~30%烟气通过多管除尘器,70%~80%烟气通过脱硫除尘器,进烟囱前两股烟气混合。该工艺的优点是:

- (1) 低阻旋风除尘器取代了静电除尘,可减轻了风机的磨损问题;
- (2) 烟气分别经过多管旋风除尘器和脱硫除尘设备后,保证了系统的除尘效率和一定的脱硫效果;
- (3) 经过多管旋风除尘器的烟气加热经过脱硫除尘设备的烟气,烟气温度升高,并使烟气水雾化汽化,饱和和水蒸气过热,消除了后继管道设备的腐蚀问题;
- (4) 加热后的烟气有利于在大气中排放。

与国外脱硫除尘系统工艺相比,该系统工艺省去了静电除尘器、烟气热交换器、增压风机等技术含量高的设备,消除了设备腐蚀,有利于烟气的排放,具有投资少、效果好、操作维护要求不高的特点,适合国情。

3 脱硫除尘系统工艺的应用

在某造纸厂,对两台20t/h锅炉烟气净化系统进行改造,脱硫设备选用流化床气体净化装置。为了节省投资,两台锅炉共用一台脱硫除尘器;喷淋液采用碱性废液(NaOH),可节省运行费用;系统的液气比2~3L/m³,根据上述方案设计的系统工艺流程如图3所示。烟气通过引风机后,20%的烟气通过旋风除尘器,80%的烟气通过流化床脱硫除尘装置(两级除雾),烟气混合后进入烟囱排放。脱硫设备

测试结果见表1,混合后的计算结果见表2。

表1 锅炉烟气流化床脱硫除尘装置测试结果

测试项目	装置前	装置后
锅炉负荷/(t·h ⁻¹)		32
出力影响系数		1.1
烟道截面积/m ²		1.13
烟气温度/℃	140	56
烟气含水量/%	3.6	7.6
烟气流速/(m·s ⁻¹)	18.2	23.8
烟气流量/(m ³ ·s ⁻¹)	5.41×10 ⁴	6.08×10 ⁴
过量空气系数	3.0	3.0
实测烟气浓度/(mg·m ⁻³)	2.40×10 ³	30.6
燃煤量/(kg·h ⁻¹)		5.20×10 ³
除尘器阻力/Pa		1.41×10 ³
除尘器漏风率/%		11.0
O ₂ /%		14.0
CO/(mg·m ⁻³)		—
实测SO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)	2.16×10 ³	11.4

表2 流化床脱硫除尘器与旋风除尘器的联合使用的计算结果

	脱硫除尘器		旋风除尘器		最后结果
	进口	出口	进口	出口	
烟气SO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)	2160	11.4	2160	2160	443
烟尘浓度/(mg·m ⁻³)	2400	30.6	2400	240*	72.5
温度/℃	150	56	150	149	69**
烟气流速分配/%		~80		~20	100
脱硫效率/%		~78.9			~78.9
除尘效率/%				~96.9	~96.9

注: * 测得多管除尘效率90%, ** 测量的排放温度69℃

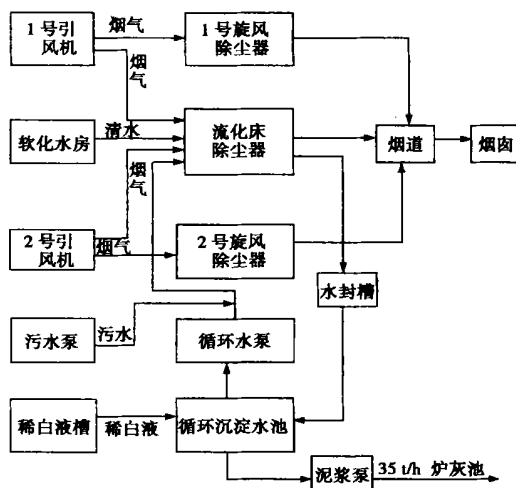


图3 2×20t/h锅炉烟气脱硫除尘系统工艺流程图

运行结果表明,该脱硫工艺烟气混合后虽然只有69℃,但没有出现排放问题和管道设备带水问题,基本上可满足一类地区的排放要求。

该工艺对造纸厂来说,设备投资少,运行费用低,达到了环保要求,保证了设备的使用寿命。

燃气轮机小管径自然循环余热锅炉

陈明, 马云翔, 王艳滨, 陈起铨

(哈尔滨·第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

关键词: 燃气轮机; 余热锅炉; 自然循环; 小管径

中图分类号: TK229.92 文献标识码: B

1 引言

余热锅炉是联合循环电站不可或缺的主要设备, 它与燃气轮机、蒸汽轮机发电机组一起, 并称为联合循环电站的三大主设备。

传统的燃机余热锅炉按蒸发器水循环方式分为强制循环锅炉和自然循环锅炉两种。强制循环锅炉需要设置强制循环泵, 工作可靠性和制造工艺性较差; 自然循环锅炉则在重量尺寸指标和启动性能指标上稍微逊色。从世界各国采用的锅炉型式来看, 西欧多为强制循环锅炉, 美国多为自然循环锅炉。国内外权威人士多数推荐优先采用自然循环锅炉。日本正在制造的近 40 台大型燃机余热锅炉, 全部采用自然循环型式。

本文作者在船用锅炉技术基础上, 自行研制成功燃气轮机小管径自然循环余热锅炉。在船用锅炉、工业锅炉, 以及各种领域的余热锅炉中, 小管径自然循环锅炉应用日益广泛。本文分析燃机小管径自然循环余热锅炉的性能特点。

2 工作安全可靠

小管径通常指的是 $\Phi 38 \times 3$ 、 $\Phi 32 \times 3$ 、 $\Phi 29 \times 2.5$

或 $\Phi 25 \times 2.5$ 的管径。按照陆用锅炉的设计经验, 自然循环锅炉蒸发器的管束不宜采用上述小管径, 否则锅炉水循环工作不可靠。根据船舶锅炉的设计经验, 上述论点只适用于高压锅炉或超高压锅炉, 而对锅炉蒸汽压力低于 9.81 MPa 的锅炉, 由于汽水两相介质比重之差 $\gamma' - \gamma''$ 较大, 只要给水品质满足要求, 锅炉水循环具有一定的高度, 采用小管径完全可以保证锅炉水循环工作安全可靠。本文作者对许多不同型式的船舶锅炉进行水循环计算, 其计算结果为上述观点作了佐证。

燃机余热锅炉蒸汽压力一般不高于 9.81 MPa, 烟气温度的般也不高于 600 °C, 加之锅炉自然循环高度远远高于船舶锅炉, 故采用小管径的燃机自然循环余热锅炉, 其水循环条件要比船舶锅炉优越得多, 水循环工作无疑更加安全可靠。本文作者采用小管径设计的近 30 台燃机余热锅炉, 从未发现水循环事故。燃机小管径自然循环锅炉则因其诸多设计特点, 日益得到广大电力专家的认可和好评。

3 质量轻, 尺寸小

小管径的传热效果优于大管径。光管如此, 螺旋翅片管更是如此。因为翅片高度 h 在 ≤ 16 mm 以内为相对有效翅片高度, 这就使得小管径螺旋翅片管的全部受热面, 均属于高效率受热面; 而大直径螺旋翅片管, 则因其翅片高度 h 较大, 许多受热面的

收稿日期: 2002-07-31

作者简介: 陈明(1962-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 哈尔滨·第七〇三研究所研究员。

4 结论

(1) 中小型锅炉烟气湿法脱硫除尘具有投资少, 效率高等优点, 如果工艺不当, 将严重影响设备寿命和系统的安全运行。

(2) 合理地选择系统工艺, 可以消除脱硫除尘后烟气温度低带来的问题。

参考文献:

- [1] 陈金玉, 王助良. 三相流化床气体净化装置鉴定文件[R]. 南京: 江苏省科委, 1999.
- [2] 王助良. 三相流化床气体净化技术及其应用研究[J]. 上海环境科学, 1996 15(10): 19-21.
- [3] 雷仲存. 工业脱硫技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.

(辉 编辑)

Electron-emission type of high-temperature and high-pressure electrostatic precipitation represents an innovative technology for purifying flue gases. Through dynamic tests the performance of thermal electron emission at a cathode and its poisoning characteristics under various conditions are explored. The dust removal performance of and practical benefits attainable from an electron emission-based high-temperature and high-pressure electrostatic precipitator are analyzed and discussed. Furthermore, the usage prospects of the above technology in various industrial sectors are also discussed. **Key words:** electron emission, electrostatic precipitation, flue gas, high-temperature and high-pressure

深圳西部电厂 4 号机组海水脱硫系统监测分析 = **Monitoring and Analysis of a Seawater Desulfurization System for Plant No. 4 of Shenzhen West Power Station** [刊, 汉] / WU Lai-gui (Shenzhen West Electric Power Co. Ltd., Shenzhen, China, Post Code: 518052) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 200—202

The technological design of a seawater desulfurization system for plant No. 4 of Shenzhen West Power Station is described in detail. The flue gas parameters (SO_2 content, temperature) and water quality parameters (SO_3^{2-} , SO_4^{2-} , pH, DO and COD, etc.) under various operating conditions as well as before and after desulfurization were monitored and investigated along with an analysis of their variation mechanism. Furthermore, the variation of the contents of deleterious substances, such as heavy metals in seawater, were also monitored and analyzed both prior to and after desulfurization. **Key words:** seawater desulfurization, absorption, desulfurization efficiency, water quality restoration, heavy metal

湿式烟气脱硫除尘系统工艺的研究 = **A Study of the Wet-process Flue-gas Desulfurization and Dust Removal Technology** [刊, 汉] / WANG Zhu-liang, CHEN Jin-yu, WEN Jing-ping, et al (College of Energy and Power Engineering under the Jiangsu University, Zhenjiang, China, Post Code: 212013) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 203—204, 205

An exploratory study was conducted of the problems existing in a flue-gas desulfurization system. On the basis of the current usage situation overseas proposed is a flue-gas desulfurization and dust removal system suited for coal-fired boilers operating in China. Some specific cases of usage are cited to illustrate the technological merits of the recommended desulfurization system. **Key words:** desulfurization, flue gas, system technology, boiler

燃气轮机小管径自然循环余热锅炉 = **Gas-turbine Natural-circulation Heat Recovery Boiler with Tubes of Small Diameter** [刊, 汉] / CHEN Ming, Ma Yun-xiang, WANG Yan-bin, et al (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 205—207

国外船用大中型齿轮传动形式的发展现状 = **Recent Advances in the Development of Marine large and Medium-sized Gear Transmission Modes Worldwide** [刊, 汉] / FAN Wei, BI Xiao-xu, JI Gui-ming (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 208—211

The status quo of technical development of marine large and medium-sized gear transmission modes worldwide is described. Listed are the construction features of a variety of power transmission schemes employed for GT (gas turbine), CODOG (combined diesel or gas), COGAG (combined gas and gas), COGAS (combined gas and steam) units as well as triple power distribution transmission systems of air-cushion landing craft. It is noted that techniques involving power superimposition, power distribution, transverse crisscross connections, automatic synchronizing clutches, and astern running through the use of a hydraulic coupling, etc all represent the development and application trends of the power transmission systems of geared drive units. **Key words:** marine power transmission device, gear transmission, power transmission mode