

# 热管换热器与回转式换热器 在湿法脱硫系统中的应用比较

张杰 梁慧敏 任艳 李佩涛

(河北工程大学城建学院 河北邯郸 056038)

**摘要** 通过对GGH和热管换热器的对比分析,得出热管换热器具有传热效率高、流体阻力损失小、烟气不泄漏、脱硫系统有较高的脱硫效率、没有附加动力消耗、运行及维护费用低等优点,还解决了酸腐蚀和结垢问题,更适合湿法烟气脱硫系统。

**关键词** 脱硫 回转式烟气换热器 热管换热器

中图分类号:X701.3

文献标识码:A

文章编号:1672-9064(2010)02-0068-03

近年来,随着国民经济的迅速发展,能源形势日益严峻,人们逐渐意识到节约能源的重要性,而电厂燃煤在整个国民能耗中占有很大的比例,正因为如此,各种能量回收设备在锅炉燃烧系统中越来越广泛的被应用。目前,国内外烟气余热回收装置,有回转式换热器、焊接板(管)式换热器、热管换热器、热媒式换热器,同时还有有效吹灰或加装程控吹灰装置,加装低压省煤器等,其中以热媒式和热管式为主<sup>[1]</sup>。热媒式换热器由于运转设备多,设备维护和运转费用高,对系统的要求十分苛刻,在国内应用较少。湿法脱硫是净化燃煤锅炉烟气中应用最为广泛的烟气脱硫方法。由于脱硫后的烟气温度较低,烟气的抬升作用降低,没有远距离扩散,在充分稀释之前就已降落到污染源周边的地面,容易出现二次污染。所以需要洗涤净化后的烟气进行再加热,提高净烟气的温度。加热烟气主要有外热源(蒸汽,电加热等)和烟气余热利用2种方式。用外热源将大大增加设备的运行成本,利用余热回收烟气排放热量可以节约能源。那么在湿法脱硫系统中设置那种烟气换热器比较合适,是要研究的问题。本文对GGH回转式烟气换热器和热管换热器进行了比较分析。

## 1 湿法脱硫系统设置GGH烟气换热器的工作原理

从锅炉尾部电除尘器出来的温度较高的烟气(以下称原烟气)通过增压风机进入烟气换热器,将热量传递给转动的转子内的换热元件,装有换热元件(热储存物质)的转子连续地转动,将热量传给来自脱硫塔喷水后的温度较低的烟气(以下称净烟气),重新加热到符合环保法规要求的排放温度(通常不低于75~80℃),以保证锅炉排放的污染物能扩散到较大范围内,从而避免其在电厂周围集中沉降。工作流程系统简图如图1所示。

## 2 GGH回转式烟气换热器

### 2.1 回转式烟气换热器的工作原理

GGH的工作原理和结构类似于锅炉回转式空气预热器,是通过电动机传动装置带动转子以(1.6~4)r/min的速度

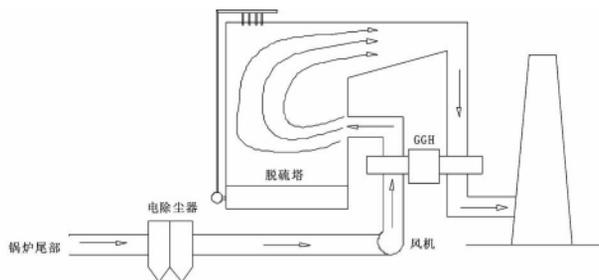


图1 FGD系统简图

转动,转子扁形仓中装有许多波形受热元件,高温烟气通道在转轴的一侧,高温烟气自下而上通过预热器,净烟气通道在转轴另一侧,净烟气自上而下通过预热器。当高温烟气流过,传热元件被高温烟气加热而本身温度升高,接着转到净烟气侧时,又将热量传给净烟气而本身温度降低。由于转子不停地转动,就把高温烟气的热量不断地传给净烟气。

### 2.2 设置GGH回转式烟气换热器的优点

(1)保护低耐温材料,减少吸收塔的蒸发量。经热平衡计算可知,若设置了GGH,则由引风机来的温度约为125℃的原烟气在GGH原烟气侧将温度降到约85℃进入吸收塔,即GGH使得进入吸收塔的原烟气温度下降40℃左右,同时塔内水的蒸发量减少。由此可见,GGH能很好地保护耐温能力有限的玻璃鳞片或橡胶衬层,减少吸收塔的蒸发量及水耗。

(2)改善了“白烟”问题,降低了烟气的可见度<sup>[2]</sup>。经过湿法脱硫后的烟气达到饱和状态,如直接排放在环境温度较低时,凝结水汽会形成白色的烟羽,烟气经过GGH升温后,回到了水蒸汽不饱和状态,从而透明度上升,解决了烟囱出口“白烟”问题,降低了烟气的可见度,改善了周围地区环境。

(3)提高抬升高度,降低污染物落地浓度。由于GGH使得湿法脱硫后的净烟气温度上升30℃左右,排入烟囱的烟气密度降低,烟气与空气的密度差增大,烟气抬升能力增强,而烟气的有效抬升增大了烟气中水蒸汽、SO<sub>2</sub>和氮氧化物的

作者简介:张杰(1962~),男,天津人,博士,教授。研究方向:煤的清洁燃烧。

扩散空间,减轻了烟气对地面的污染。

### 2.3 设置GGH回转式烟气换热器存在的问题

(1)原烟气经过GGH后由125℃降低到85℃,在GGH的热侧会产生大量粘稠的酸液<sup>[3]</sup>,这些酸液对GGH的换热元件和壳体有很强的腐蚀,还会粘附大量烟气中的飞灰,使GGH结垢而堵塞,造成的危害有<sup>[4]</sup>:GGH换热效率降低;净烟气不能达到设计要求的排放温度,并对下游设施造成腐蚀;增加了脱硫系统运行故障率。

(2)GGH不仅带来很大的阻力压降,而且使得单台增压风机功耗比不设置GGH时增加。

(3)降低脱硫效率<sup>[5]</sup>。对于回转式GGH来说,由于结构问题,原烟气侧总会向净烟气侧携带泄露。这一泄露率至少达到了1%,对整个脱硫系统的脱硫效率产生影响。尽管采用一些措施可以大大减少漏风量,但回转式烟气换热器转子轴向密封和径向密封结构复杂,安装、检修技术要求较高,往往运行一段时间后系统泄漏增大,烟气泄漏量能达到3%~5%。这对于烟气SO<sub>2</sub>浓度高或者对脱硫效率要求高的电站来说,是不太适宜的。

(4)增加FGD建设投资及运行费用。GGH设备本体以及由安装GGH带来的直接建设投资(包括烟道,支架,冲洗系统等)的费用大概占到了整个FGD系统的9%~13%。而运行费用也是安装GGH存在的一个问题。如果考虑到由于安装GGH而引发的烟道压降,为了克服这些阻力,必须增加风机的压头,这使脱硫系统的运行费用大大增加。此外,除正常维护检修和堵塞等故障的处理费用外,经过几年后就需更换陶瓷换热片及不锈钢换热元件,这些资金投入都使得GGH的成本占到总资金投入的很大一部分。对是否采用GGH的经济性进行比较可知,不设GGH的脱硫系统方案具有明显的优势。

## 3 热管换热器

### 3.1 热管的工作原理

热管是一个封闭系统,由管壳、吸液芯和工质组成,如图2所示。将热管内抽成真空,紧贴热管内壁的吸液芯毛细多孔材料内充满液体,将其密封,热管一端是蒸发段,另一端是冷凝段,中间根据需要可设绝热段,当热管的蒸发段一端受热时液体蒸发汽化,蒸汽在微小的压差下流向另一端放出热量凝结成液体,液体再沿毛细多孔材料靠毛细力的作用流回蒸发段。如此循环不已,热量由热管的一端传至另一端。

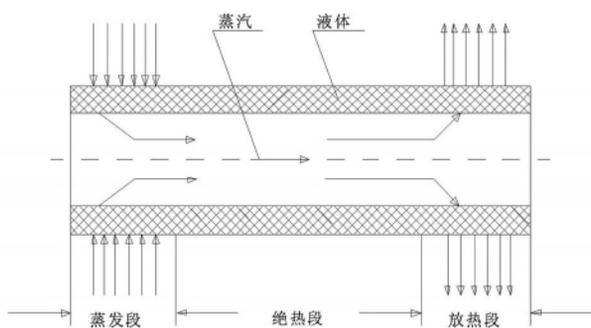


图2 热管工作原理示意图

### 3.2 热管换热器的基本特性

热管换热器与其它形式的换热器比较起来有许多的优点,但最本质的和最独特的有以下几点<sup>[6]</sup>:

(1)传热性能好:热管换热器优良传热性能的获得,首先是把传统换热器的交叉流型改为纯逆流流动,在不改变冷流体入口温度的条件下,增大了该传热过程中冷热流体换热的平均温压;再次,把一侧气体的管内流动改为垂直外掠流动。这2方面的原因可使热管换热器较其它形式的换热器,特别是常规管壳式换热器的传热性能好得多。

(2)冷、热流体2侧的传热面可以自由布置;热管换热器的传热元件是热管,其蒸发段、冷凝段按给定的传热量、流体温度、流量以及各流体的性质及清洁程度等各侧独立决定,2侧互不牵连。这就从结构上确保热管换热器能适用于温度、流量及清洁程度相差悬殊的2种流体间的传热。这一特点在管壳式、板式、回转式等其它形式的换热器上均不具有。

(3)传热面局部破坏时,能确保2流体彼此不掺混;热管换热器杜绝流体间掺混现象。在这种换热器中,当一热管元件某一端壳壁损坏时,造成的影响仅仅是该元件失效而停止传热,2种流体仍被元件另一端的壳壁隔开,通过元件壳壁的泄露不会发生,因而能确保流体的品质不致变坏。再加上单根热管元件损坏后更换方便,并不影响换热器整体。因而在流体品质要求严格,冷热流体不能相互污染的情况下进行热交换时,热管换热器自然是理想的换热设备。

(4)热管换热器有较高的防积灰堵灰能力;热管是烟气在管外壁流动横掠换热,烟气的扰动性加强。再加上热管壁温高,管壁温高,管外始终呈干燥状态,因此,也就不会结焦不易粘附烟灰,因而它就能有效地防止堵塞。

(5)热管换热器有较高的抗低温腐蚀能力;烟气进入低温受热面后,其中的水蒸汽可能由于烟温降低或在接触温度较低的受热面时发生凝结。烟气中水蒸汽开始凝结的温度称为水露点。水露点一般比较低,所以一般不易在低温受热面发生结露,但如果凝结时可能使受热面金属产生氧腐蚀。那么可以采用烧镀搪瓷技术解决烟气腐蚀壁面,热管是低温区的换热元件,其外表面采用烧镀搪瓷来防止换热器低温露点的腐蚀,即在普通碳钢外涂一层耐酸搪瓷。由于搪瓷层很薄,一般厚度为0.2mm,因而与碳钢结合紧密,对传热效果影响很小。搪瓷管的传热系数大于等于48.3W/(m<sup>2</sup>·℃),与碳钢管相比,传热系数相对降低率小于7.14%;且搪瓷表面光滑,不易结垢和积灰,又耐磨损、抗腐蚀;与选用耐酸不锈钢材料相比,可降低投资。

(6)热管换热器流体阻力损失小、密封效果好烟气不泄漏、脱硫率高,没有附加动力消耗、运行及维护费用低等优点,该换热器更适合石灰石-石膏湿法烟气脱硫系统。

### 3.3 热管传热的高效性能分析

热管具有许多特性,它的应用正是以这些特性为基础的,所以只有理解了它的特性,才能真正、恰如其分地使用它。

(1)极好的导热性。热管利用2个换热能力极强的相变

(下转第71页)

表2 生活污水处理方法对比分析

| 处理方式     | 优点   | 缺点   |
|----------|--|--|
| 生物化学法、膜法 | (1)一次性投资少(对于膜法生活污水处理装置,其投资费用较高);(2)运用费用低                           | (1)装置体积大;(2)处理污水种类单一,含洗涤剂、消毒药剂的灰水无法处理;(3)没有细菌就无法处理污水,而细菌的培养对操作人员专业知识要求较高;(4)装置停机时,罐内有沼气和硫化氢等易燃气体;(5)需要另加化学药剂,占用空间且储存有危险。 |
| 电解法      | (1)体积小,运行和空载质量小;(2)处理污水种类全面,黑水河灰水均可处理;(3)运行可靠,操作简单;(4)无有害气体,无残渣产生。 | (1)一次性投资较大。  |

反应),将有机物氧化分解成 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O。目前,采用该原理工作的生活污水处理装置由于投资、技术等方面的限制,国内应用较少。

2.3 膜法

该方法主要是在生化法的基础上,配合膜装置将污水进一步处理,然后利用臭氧进行消毒,从而达到排放标准。该装置首先将生活污水容纳在收集缓冲罐内,用粉碎泵进行粉碎,然后泵入序批柜内进行“送料—曝气—沉淀—排水—缓冲”一体化的程序控制处理,再经过膜法渗透处理萃取污水中的滤过水,最后用臭氧消毒,全面达到排放标准。目前,膜法生活污水处理装置的设备投资约为生化法处理装置的 2~3 倍,广泛的投产应用尚有一段距离。由于膜法生活污水处理装置的主要原理与生化法相同,只是在后期处理中加入膜装置。

3 生活污水处理方法对比

由表 2 可以看出电解法在安装空间、维修保养工作量、污水处理范围以及操作环境等方面都有较大的优势,虽然运行费用较高,但不产生有毒害气体,符合物探野外生产 HSE

(上接第 69 页)

传热过程(蒸发和凝结)和 1 个阻力极小的流动过程,而具有极好的导热性能。这是由于相变传热只需极小的温差,同时传递的是潜热。一般潜热传递的热量比显热传递的热量大几个数量级,因此,在极小的温差下热管可以传输极大的热量。

(2)良好的均温性:在热管正常工作时,无论是蒸发段还是凝结段,工质均处于饱和状态。凝结段间只存在使蒸汽流动的极微小压差。因此热管蒸发段与凝结段间的温差极小。热管是一个十分理想的等温元件,这一特性称之为热管的等温性。由于热管在正常工作时必须有蒸汽从蒸发段流向凝结段,蒸汽的流动又必须具有压力差的推动,尽管微小的压力差亦将驱使蒸汽向凝结段流动,不可避免地使蒸发段与凝结段之间存在一定的温差。但是热管的等温性使得热管的导热效果极好。这也是其他换热器所不具有的。

4 结论

在湿法脱硫系统中设置 GGH 回转式烟气换热器对投资费用和运行维护费用影响很大,GGH 不仅带来很大的阻力降,而且使得单台增压风机功耗大,GGH 烟气换热器还存

体系要求,具有较大的应用空间。

4 废淡水的回收和重复利用

物探队通常每天需耗用 20~30t 水,使用途径主要为厨房餐厅用水、洗衣漱洗用水、生活楼清洁用水和生产区域设备、场地清洁用水。物探队水的综合成本费用较高,因此尽可能收集、处理和重复利用水资源具有社会和经济意义。物探队在这一方面也进行了探索性的尝试,废淡水主要通过沉淀、过滤、消毒等步骤达到回收利用,既符合“节能减排”政策,又降低了相应的经济成本,具有重大意义。

目前无论是国外还是国内,物探队生活污水的处理技术都是比较成熟的。在实际应用中,主要应根据要求和物探队的实际情况选择相应的方法进行生活污水的处理。电解法生活污水处理装置,较于传统生物化学法具有较大的优势,是今后应用的一个趋势。

参考文献

1 成官文.水污染控制工程.北京:化学工业出版社,2009  
2 朱世云 林春绵.环境影响评价.北京:化学工业出版社,2007

在烟气泄漏、酸腐蚀、结垢问题;热管换热器具有传热效率高、流体阻力损失小、烟气不泄漏、脱硫系统有较高的脱硫效率、没有附加动力消耗、运行及维护费用低等优点,采用搪瓷玻璃解决了酸腐蚀和结垢问题,所以在湿法脱硫工艺中采用热管换热器比采用回转式烟气换热器更经济。

参考文献

1 顾维藻,马重芳.强化传热.北京,科学技术出版社,1990  
2 范晓星,田天.湿法烟气脱硫不设烟气再热系统的研究.山西电力,2007(6)  
3 李静.对湿法烟气脱硫系统设置 GGH 的探讨.有色冶金设计与研究,2007,28(23)  
4 石英.湿法烟气脱硫 GGH 结垢问题探讨.中国环境科学学会学术年会优秀论文集,2006  
5 李海,管一明,王飞.影响湿式石灰石烟气脱硫系统脱硫效率的因素分析.电力环境保护,2007,23(2)  
6 庄骏,张红.热管技术及其工程应用.北京,化学工业出版社,2000