

60 t 康斯迪电炉烟气余热回收装置及应用

方颖¹, 武国平², 宋宇²

(1. 首钢贵阳特殊钢有限责任公司, 贵州 贵阳 550005; 2. 北京首钢国际工程技术有限公司, 北京 100043)

摘要:介绍了首钢贵阳特殊钢有限责任公司现有的60 t康斯迪电炉烟气余热回收装置及实际应用情况,重点说明了电炉烟气余热回收装置的工作原理、系统组成、工艺流程、技术经济分析及其存在的问题。

关键词:热管 康斯迪电炉 余热回收

中图分类号:X57 **文献标识码:**B **文章编号:**1002-6886(2012)06-0069-03

Device and Application of Waste Heat Recovery of Flue Gas of 60 Ton Consteel EAF

FANG Ying, WU Guoping, SONG Yu

Abstract: The device and actual application of waste heat recovery of flue gas of 60 ton Consteel EAF in Shougang Guiyang Special Steel Co., Ltd is introduced. Those things of the waste heat recovery of flue gas device of EAF are illustrated, such as the working principle, the composition of the system, the process, the technical and economic analysis and the existing problems.

Key words: heat-pipe; consteel EAF; recovery of flue gas

0 引言

首钢贵阳特殊钢有限责任公司(以下简称贵钢)二炼钢厂60 t康斯迪电炉是2000年从意大利引进的设备,设计年生产能力是300 000 t。康斯迪电炉的主要特点之一是冶炼过程中所产生的一次高温烟气经过康斯迪预热通道对连续加入电炉的废钢进行连续预热,从而利用了烟气的余热。但是康斯迪电炉在使用过程中仍存在废钢的预热温度低(平均温度约500℃~600℃)、温升不均匀、预热通道漏风量大、风机电耗较高等问题。同时废钢预热也只能部分利用烟气的湿热,经过沉降室后的排烟温度仍较高(约500℃~800℃),在烟气进入布袋除尘器以前为了将烟气温度降至200℃以下,需设置机力冷却器等除尘降温设备,并兑入冷风,既增加了设备投资,又增加了除尘器的负荷,浪费了能源。

随着企业循环经济发展步伐的加快,也为了满足可持续发展的要求,贵钢于2011年1月在沉降室与除尘器之间新增了一套热管式烟气余热回收装置。在电炉炼钢除尘系统中采用热管技术回收烟气的余热是2007年以后出现的一项新技术,目前在各电炉炼钢厂正在推广应用。新增的热管式烟气余热回收装置吸收烟气流经康斯迪通道预热废钢后的富余能量,将500℃左右的烟气温度降低到170℃以下,然后烟气进入布袋除尘器,经风机排入大气,同时高温烟气能量被余热回收装置转化为蒸汽,满足

生产及生活的需求。热管式余热回收装置在贵钢康斯迪电炉炼钢系统的应用取得了较好的效果,同时对存在的问题也在进一步研究并在下一步的搬迁改造工程中进行改进。

1 热管技术及工作原理

1.1 热管技术

热管是一种新型高效的传热元件,按较精确的定义应称之为“封闭的两相传热系统”,即在一个抽成真空的封闭的体系内,依赖装入内部的流体的相态变化(液态变为汽态和汽态变为液态)来传递热量的装置^[1]。近几年来,热管技术得到了迅速发展,由于其具有传热速度快、热效率高、运行和维护费用低等优点,被广泛应用于余热回收的多种领域。

1.2 热管的传热原理

将一根封闭的管壳抽成真空,内部充装一定比例的液体工作介质(工质),即构成了热管。热管放在热源部分的称之为蒸发段(热端),放在冷却部分的称之为冷凝段(冷端)。当蒸发段吸热把热量传递给工质后,工质吸热由液体变成气体,发生相变,吸收汽化潜热。在管内压差作用下,汽体携带潜热由蒸发段流到冷凝段,把热量传递给管外的冷流体,放出凝结潜热,管内工质又由汽体凝为液体,在重力作用下,又回到蒸发段,继续吸热汽化。如此周而复始,将热量不断地由热流体传给冷流体。热管的

传热原理见图1。

1.3 热管的特点

1) 极高的导热性: 金属、非金属材料本身的导热速率取决于材料的导热系数、温度梯度。以金属银为例, 其值为 $429 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 左右。经测定, 随管内工质的不同, 热管的传热系数可以达到 $106 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, 是银的数千倍。故热管又有超导体之称。

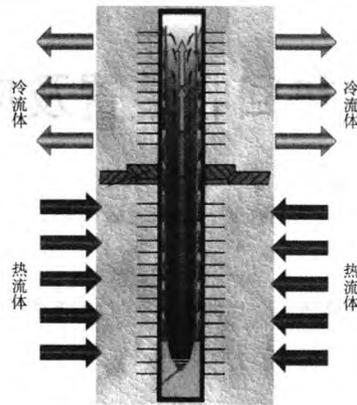


图1 热管传热原理图

2) 优良的等温性: 由于热管内的传热过程是相变过程, 而且工质的纯度很高, 因此热管内蒸汽温度基本上保持恒温, 经测定: 热管两端的温差不超过 5°C , 与其它传热元件相比, 热管具有良好的等温性能。一根直径 12.7 mm , 长 1000 mm 的紫铜棒, 两端温差 100°C 时传输 30 W 的热量; 而一根同样直径和长度的热管传输 100 W 的热量, 两端温差只需几度。

3) 适应温度范围广: 热管能适应的温度范围与热管的具体结构、采用的工作流体及热管的环境工作温度有关。按照热管管内工作温度区分, 热管可分为低温热管 ($-273 \sim 0^\circ\text{C}$)、常温热管 ($0 \sim 250^\circ\text{C}$)、中温热管 ($250 \sim 450^\circ\text{C}$)、高温热管 ($450 \sim 1000^\circ\text{C}$) 等^[2]。

4) 单管作业性: 运行中即使有个别热管损坏, 也不会造成两种换热介质相混, 即单根热管损坏对设备的换热影响不大, 即使部分热管损坏也不会影响整个系统的正常运行。因此, 热管设备具有使用周期长、安全可靠的优点。

5) 易更换性: 由于每一支热管都是一个独立的换热元件, 因此不论其多大、多长, 每一支热管均可任意拆换^[3]。

2 主要技术参数

2.1 康斯迪电炉工艺参数

康斯迪电炉工艺参数及烟气参数列于表1。

2.2 烟气余热回收装置主要参数

烟气余热回收装置进出口压损: $0.9 \text{ kPa} \sim 1 \text{ kPa}$

汽包工作压力: 1.6 MPa

冶炼周期汽包出口蒸汽流量: 6.5 t/h

过热蒸汽温度: $230 \sim 280^\circ\text{C}$

烟气余热回收装置排烟温度: 170°C

余热利用率: $> 76\%$

表1 康斯迪电炉工艺参数及烟气参数

序号	项目	单位	数值
1	电弧炉公称容量	t	60
2	冶炼周期	min	60
3	平均吹氧量	m^3/h	1500
4	平均吹氧时间	min	30
5	平均喷碳量	kg/h	1200
6	康斯迪预热段出口烟气流量	m^3/h	20000 ~ 70000
7	康斯迪预热段出口烟气温度	$^\circ\text{C}$	300 ~ 800

3 系统组成及工艺流程

3.1 系统组成

余热回收系统由汽包、蓄热器、过热器、蒸发器、省煤器、热管换热器、上升管、下降管等设备和元件组成, 配套设备有给水泵、除氧器、清灰装置等。

3.2 工艺流程

电炉烟气余热回收装置工艺流程见图2。

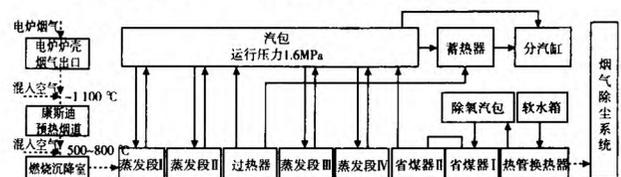


图2 电炉烟气余热回收装置流程图

(1) 烟气系统

电炉炼钢过程中产生的高温烟气从电炉上炉壳侧面抽出, 经过康斯迪预热段烟道对连续加入电炉的废钢进行预热, 在预热段出口, 与康斯迪加料段混入的空气混合, 进入沉降室, 从沉降室出来的烟气温度降至 $500^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ 左右。然后依次经过四级蒸发器、两级省煤器以及热管换热器, 烟气温度降至 170°C 以下, 经烟气净化系统除尘达标后排入大气。

(2) 软水及蒸汽系统

外部供应的软水经热管换热器进入除氧器。除氧器中的软水经锅炉给水泵接入两级省煤器, 经加热后打入汽包。省煤器也是由若干根热管元件组合而成, 热管的受热段置于烟气风道内, 热管受热, 将热量传至夹套管中从除氧器进来的除氧水, 加热到 180°C 以上, 送至汽包。

余热系统的汽水循环采用自然循环方式, 汽包中的水从下降管中流出, 进入蒸发器, 在蒸发器中受热蒸发形成汽水混合物返回到汽包, 在汽包内汽水分离, 分离出来的蒸汽再从汽包上部空间引出并外送至蓄热器, 减压后供外网使用。

(3) 冲击波吹灰系统

为了防止换热器表面的积灰, 换热器上布置 30 个燃

气脉冲吹灰器喷吹点,吹灰发生器安装布置在换热器侧面,发射管采用排管形式,吹灰方向垂直于受热面,经吹扫后的工作面清洁率可达95%。

冲击波吹灰系统工作原理是将空气和可燃气体(乙炔)按一定比例混合,经高能点火后在冲击波发生器内形成可控强度的爆炸冲击波,爆炸冲击动能吹扫受热面的同时伴有强声波震荡和清洗作用,即由动能、声能及热清洗作用来清除积灰。

冲击波吹灰系统参数如下:

可燃气体类型:乙炔(瓶装气)

可燃气体压力:0.9 MPa ~ 0.15 MPa

可燃气体消耗量: $\leq 0.06 \text{ Nm}^3/\text{次}$

4 技术经济分析

贵钢烟气余热回收装置于2011年1月投入运行以来,平均小时产汽量为6.5 t,折合每吨钢水产蒸汽108 kg,与其它电炉炼钢厂相比,产汽量较少,主要是由于贵钢康斯迪电炉炼钢的原料不稳定,并且采用全废钢冶炼,没有添加铁水,冶炼周期较长,并且烟气热量被预热的废钢吸收了一部分能量所导致。

按车间年产30 t吨钢水计算,年产蒸汽32 400 t。

蒸汽热焓:680 千卡/kg 蒸汽;

标准煤热值:7 000 千卡/kg 标煤;

余热回收装置每年可节约标煤:

$32\ 400 \times 680 / 7\ 000 = 3\ 148 \text{ t}$ 。

按当期蒸汽或标煤市场价格估算,蒸汽价格115 元/t 蒸汽,标煤价格1 180 元/t 标煤,每年可创造产值373 万元。一套烟气余热回收装置的工程投资大约550 万元,1.5 年即可收回投资。

从社会效益方面分析,余热回收的蒸汽可供应60 tVD 真空精炼设施。为减少蒸汽消耗量,贵钢将VD 真空精炼设施的末两级真空泵改造成了水环泵,因此60 tVD 每小时蒸汽用量只需3.5 t 即可满足生产。

60 tVD 每年用的最大蒸汽用量为:

$3.5 / 6.5 \times 32\ 400 = 17\ 446 \text{ t}$;

折合成标煤量为: $17\ 446 \times 680 / 7\ 000 = 1\ 695 \text{ t}$ 。

燃烧每公斤标煤大约产生2.26 kg CO₂;

燃烧每公斤标煤大约产生0.02 kg SO₂;

采用烟气余热回收装置后,产生的蒸汽量已经完全满足了60 tVD 真空设施的用量需求,因此取消了燃煤锅

炉,每年可减少CO₂ 排放3 830 t,减少SO₂ 排放34 t,在一定程度上改善地区的大气环境,产生了长远的社会效益。

5 存在问题

电炉烟气余热回收装置投入生产后,运行比较稳定,但由于此系统是在原除尘管道系统上进行的改造,不可避免存在以下问题:

1)在原除尘管道系统上增设了热管系统后,增加了除尘管道系统的阻损,在下一步贵钢搬迁改造时,建议在烟气余热回收装置后增加增压风机。

2)由于烟气余热回收装置布置比较紧凑,蒸发器内的热管间距较小,在长期运行后,虽然有爆炸冲击波清灰装置,但仍然存在部分积灰不宜清理的问题,若采用人工清理,由于管道内部空间狭小,也不易操作。建议在今后的搬迁改造时,增大热管的间距,留出清理空间。

6 结束语

1)电炉烟气余热回收装置在贵钢的应用取得了良好的效果,完全符合国家“十二五”规划关于“节能减排,余热回收”的指导方针,对企业自身、环境保护和国民经济都有重要的意义。

2)电炉烟气余热回收装置将电炉烟气预热带废钢后仍存在的的湿热充分回收,产生了大量可以利用的蒸汽,节能显著,投资回收快,降低了电炉炼钢运行成本和生产成本,经济效益显著,对电炉炼钢行业的技术进步具有促进作用。

参考文献

- [1]张红,杨峻,庄骏.热管节能技术.北京:化学工业出版社,2009
- [2]庄骏,张红.热管技术及其应用.北京:化学工业出版社,2000
- [3]邵李忠等.热管式余热锅炉在电弧炉烟气余热回收中的应用.工业锅炉,2010;(3)

作者简介:方颖(1965-),贵州大学(原贵州工学院)机械制造工艺与设备专业1987年本科生,现任首钢-贵阳特殊钢有限责任公司第二炼钢厂设备厂长,职称:冶金机械类工程师。

收稿日期:2012-10-17