

# 再生烟气余热锅炉的设计\*

徐生荣

(南京师范大学动力工程学院, 210042, 南京)

[摘要] 结合催化裂化再生烟气的特性, 论述了用于这种烟气余热回收的余热锅炉设计特点以及应当注意的问题. 指出采用螺旋肋片管可使锅炉结构更为紧凑; 在设计中应充分考虑受热面的积灰、低温腐蚀和振动问题, 以保证余热锅炉的正常运行.

[关键词] 余热锅炉, 螺旋肋片管, 低温腐蚀, 积灰

[中图分类号] TK229; [文献标识码] B; [文章编号] 1672-1292(2002)02-0030-03

某石化公司炼油厂催化裂化工艺中产生的再生烟气, 原送入武汉锅炉厂生产的 CO 锅炉中加以余热回收. 该锅炉为双汽包横置式中压锅炉, 其受热面由省煤器、对流管束、水冷壁及高、低压过热器组成. 原设计是利用再生烟气中可燃气体 CO ( $V = 6.9\%$ ) 在燃料油的补燃下, 回收烟气的显热和化学能. 随着该厂完全再生技术的应用, 催化裂化烟气中的可燃气体含量降低 ( $CO \approx 0.4\%$ ), 回收化学能已无实际意义. 而是在不补燃的条件下, 将再生烟气直接引入 CO 锅炉, 利用锅炉的原有受热面回收烟气中的显热. 由于烟气参数与原 CO 锅炉设计条件相去甚远, 只能产生 0.8 MPa/200 °C 的低压蒸汽 7~8 t/h, 造成了大量的能源浪费.

由于余热锅炉按照实际的烟气参数设计, 能充分回收烟气的热量, 因此国内催化裂化工艺中的 CO 锅炉已逐渐被余热锅炉所取代.

## 1 余热锅炉的设计条件

表 1 列出了余热锅炉的设计条件.

在设计再生烟气余热锅炉时, 首先应充分考虑到其特殊性.

(1) 再生烟气中含有硫氧化物  $SO_x$ , 其含量因原料油中的含硫量不同而不同. 该厂的再生烟气中  $SO_x$  的含量达 1/10000. 根据经验, 再生烟气中  $SO_3$  的含量占  $SO_x$  的总量约 10%. 因而其酸露点温度可达 130~150 °C, 高于余热锅炉的进水温度 104 °C, 有可能造成低温腐蚀.

(2) 再生烟气中含有催化裂化粉尘, 其含尘量在 100~180  $mg/m^3$ , 其中 90% 以上粉尘粒度小于 20  $\mu m$ , 由于分子引力和静电引力的作用极易附着在受热面上形成松散性积灰, 从而影响传热效果.

(3) 余热锅炉处于微正压下运行(2 000~3 000 Pa) 炉体密封问题至关重要, 否则烟气外漏, 将污染周围的环境. 设计中尤其要考虑余热锅炉在启停过程中由于热应力的作用造成的余热锅炉泄漏问题.

表 1 余热锅炉设计条件

参数	数值
正常烟气流量/( $m^3/h^*$ )	100000
最大烟气流量/( $m^3/h$ )	126000
平均烟气温度/°C	530
烟气温度范围/°C	510~550
CO <sub>2</sub> 含量/%	16.0
CO 含量/%	0.4
N <sub>2</sub> 含量/%	65.5
O <sub>2</sub> 含量/%	3.0
H <sub>2</sub> O 含量/%	15.0
给水温度/°C	104
给水压力/MPa	6.0
过热蒸汽压力/MPa	3.9
过热蒸汽温度/°C	430
含尘量/( $mg/m^3$ )	100~180
允许烟气阻力/Pa	< 3000

\* 本文中的气体体积若无特殊说明, 均为标准状态下的体积.

\* 收稿日期: 2001-08-30.

作者简介: 徐生荣, 1957-, 工学硕士, 南京师范大学动力工程学院副教授, 主要从事锅炉测试、调试及节能技术改造的研究及教学工作.

(4) 再生烟气的烟温较低(510~ 550 ℃), 而用以生产中压中温蒸汽(3.82 MPa/430 ℃), 两者之间温差较小, 根据热工学公式:  $Q = KH \Delta t_m$ , 在一定的传热量  $Q$  下, 若传热温差  $\Delta t_m$  较小, 必须强化传热以增加传热系数  $K$ , 但传热系数  $K$  在对流换热的条件下(例如烟气流速一定), 其增加量受到限制. 因此, 再生烟气余热锅炉的受热面必须采用扩展受热面代替光管以大幅度地增加传热面积  $H$ .

## 2 余热锅炉的设计

用于回收再生烟气显热的余热锅炉受热面应由 3 部分构成: 蒸汽过热器、蒸发器和省煤器. 图 1 为其布置简图.

余热锅炉拟设计为单汽包自然循环锅炉, 而不采用强制循环. 主要考虑到强制循环要增加两台热水循环泵(一台运行, 一台备用), 同时还要设置两套供电回路, 以保证锅炉水循环的安全. 这势必增加投资费用和运行费用. 采用自然循环, 要将汽包置于较高位置, 以保证蒸发器中汽水混合物有足够的有效压头, 以克服流动阻力, 保证水循环的可靠性, 根据该厂的场地情况, 采用自然循环是适宜的.

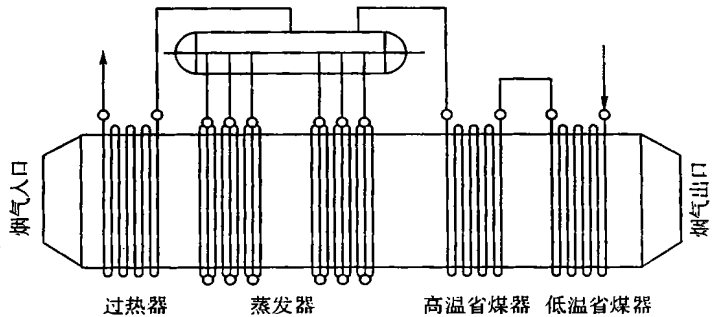


图 1 余热锅炉布置简图

2.1 蒸发器的设计

早期的催化裂化再生烟气余热锅炉采用双汽包结构, 受热面由光管构成, 其蒸发器类似于 SHL 型锅炉的对流管束. 实际运行证明, 这种布置方式不但存在着金属耗量大, 而且下汽包处极易堆灰, 使受热面积减少, 影响总体传热效果. 本次设计采用扩展受热面(螺旋肋片管)并将蒸发器在制造厂内做成单元组装式, 这样做可使金属耗量大幅度减少(可减少 40%~ 50%); 在现场安装时, 用组装件可缩短工期(原双汽包结构要在现场焊接或胀接千余根受热管); 检修更换方便; 气流冲刷完全, 不堆灰, 传热效果好, 烟气流动阻力小. 蒸发器基管选用  $\approx 51 \times 4$ , 材料为 20G, 选用较粗的管径, 可以减少循环回路的阻力, 降低汽包的布置高度. 蒸发器采用螺旋肋片管结构后, 与光管相比, 布置空间减少一半.

本次设计采用的螺旋肋片管, 肋片高度 15 mm, 厚度 1.2 mm, 间距 12 mm.

### 2.2 过热器的设计

过热器在再生烟气余热锅炉中, 运行条件较为恶劣, 其主要原因是它处于烟温和工质温度的最高区, 加之烟气参数的波动, 处理不当, 可能会造成过热器超温, 影响余热锅炉的正常运行. 在设计条件下, 过热器的吸热量占总的吸热量 16%, 所需的传热面积仅  $250 \text{ m}^2$ . 因而全部采用 12CrMoV 材料, 虽然投资略有增加, 但能保证其安全运行, 在制造、安装、维修上较为方便. 过热器采用  $\approx 38 \times 4 \text{ mm}$  管径, 呈顺列逆流布置. 由于余热锅炉的传热为纯对流方式, 主要吸热量在蒸发器部分(约占 60%), 在烟气参数发生波动时, 例如随着再生烟气流量和温度的升高, 蒸发器产生的饱和蒸汽量亦随着增加, 相应地过热器通过的冷却蒸汽量也增加, 蒸发器起到了稳定蒸汽参数的作用. 在烟温波动  $\pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$  时, 过热汽温波动不超过  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 2.3 省煤器的设计

省煤器处在烟温较低处, 其传热温差小, 所需传热面积大. 由于其给水温度低于烟气露点温度, 容易发生低温腐蚀. 为了防止低温腐蚀的产生, 通常采用下列措施.

(1) 将给水温度提高到  $130 \sim 150 \text{ }^\circ\text{C}$  接近或高于烟气露点温度, 阻止硫酸蒸汽在管壁上的冷凝, 进而防止低温腐蚀的发生. 其方法有: 将省煤器的出口的部分高温水经喷射器注入到省煤器进口或采用高压除氧器. 用提高省煤器进水温度的方法来防止低温腐蚀, 势必要增加省煤器的传热面积, 在设计条件下, 若省煤器出口水温为  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ , 进口水温由  $104 \text{ }^\circ\text{C}$  提高到  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ , 省煤器呈逆流布置. 相应地传热温差分别

为 52℃ 和 35℃, 在传热系数不变的条件下, 省煤器的面积将从 1 400 m<sup>2</sup> 增加到 2 080 m<sup>2</sup>.

(2) 在省煤器的低温段采用热管换热元件, 利用热管能保持较高的恒定壁温这一原理来防止酸性液体的冷凝.

(3) 在省煤器的低温段采用耐腐蚀的低合金钢, 以阻止酸性液体对金属材料的腐蚀.

本次设计将省煤器分成高、低温两段, 高温段管材为 20G, 低温段用耐腐蚀合金钢, 以便制造安装.

省煤器采用  $\approx 38 \times 4$  mm 螺旋肋片管结构, 肋片高度 15 mm, 厚度 1.2 mm, 间距 12 mm. 高、低温段采用相同的几何尺寸.

## 2.4 设计结果

设计结果列于表 2.

表 2 余热锅炉主要设计参数

项目	过热器	蒸发器	省煤器
基管规格/mm	$\approx 38 \times 4$	$\approx 51 \times 4$	$\approx 38 \times 4$
排列方式	顺列	顺列	顺列
布置方式	逆流	—	逆流
横向节距/mm	100	110	100
纵向节距/mm	100	110	100
烟气流速/(m/s)	14	14.3	14.5
传热系数/[w/(m <sup>2</sup> ·℃)]	60	52	53
传热温差/℃	138	83	52
传热面积/m <sup>2</sup>	250	2000	1400

## 3 设计中需要考虑的其它问题

### 3.1 受热面烟气流速的选择

余热锅炉受热面烟气流速是设计中的一个重要参数, 它直接关系到余热锅炉的技术经济性和运行的安全性.

选用较高的烟速可强化对流换热, 减小余热锅炉的受热面积. 但过高流速会增加烟气的流动阻力. 根据热工学原理, 对横向冲刷的管束, 传热量与烟速的 0.7 次方成正比, 而流动阻力与烟速的平方成正比. 因此应综合比较投资与运行费用, 来选择适合的烟气流速.

选用较高的烟速, 对形成松散性积灰的受热面, 其自清灰作用更为明显, 但对含尘烟气, 将带来较大的受热面磨损, 根据研究受热面的磨损与烟速的 3~4 次方成正比.

此外, 在选用烟速时, 还需考虑余热锅炉的振动问题, 在烟气横向流过管束时, 过高的烟速容易引起受热面的振动, 造成余热锅炉不能正常运行.

综合考虑以上因素, 对再生烟气余热锅炉烟气流速在 13~16 m/s 比较适宜.

### 3.2 余热锅炉变工况运行

余热锅炉利用工艺中产生的烟气, 其烟气参数受工艺影响较大, 对设计后的余热锅炉按照可能出现的工况进行校核是十分必要的. 通常, 再生烟气的流量和温度会在一定范围内发生变化. 表 3 列出了在设计工况下和最大负荷、最小负荷时余热锅炉的校核情况.

由表 3 可知, 变动工况后, 过热汽温偏离设计值不大于  $\pm 10$ ℃. 这对余热锅炉本身不会产生危害, 但对输汽管道及汽轮机运行会带来一定的影响. 可利用该厂原有的蒸汽混合装置来解决.

表 3 余热锅炉在不同工况下的主要参数

参数	设计工况	最大负荷	最小负荷
进口烟温/℃	530	550	510
烟气流速/(m <sup>3</sup> /h)	100 000	126 000	100 000
锅炉负荷/(t/h)	17.5	23.4	16.5
蒸汽压力/MPa	3.82	3.82	3.82
蒸汽温度/℃	430	439	423
平均烟速/(m/s)	14.3	18.0	14.0
烟气流动阻力/Pa	1700	2700	1650

## 4 小结

采用余热锅炉取代原有 CO 锅炉可充分回

收催化裂化再生烟气的余热, 以余热锅炉年运行 7 000 h, 低压蒸汽 60 元/t, 中压蒸汽 90 元/t 计, 每年经济效益达 700 余万元, 一年即可回收全部投资.

在余热锅炉设计中, 应充分考虑余热锅炉的使用条件, 充分利用先进技术, 例如螺旋肋片管, 减少受热面布置空间及金属耗量. 应充分考虑余热锅炉的受热面积灰、腐蚀以及余热锅炉的振动问题, 以保证余热锅炉能安全经济地运行.

(下转第 55 页)

自燃,以确保系统运行的安全性.

[参考文献]

- [1] Sommers H, Peters W. Die Kinetik der Kohleoxidation bei maessigen Temperaturen[J]. Chmie. – Tag. – Techn, 1994: 441~ 453.
- [2] Schmidt K G. Die Aktivkohstechnik als nachgeschaltete Rauchgasreinigungsmassnahme Messungen an einer Industriuell- Verbrennungsanlage[J]. IUTA- Tagung Duisburg, 1991, 26, (9): 12~ 27.

## Study on the Active Carbon Filter for Advanced Cleaning of Flue Gas

Li Chuantong

(College of Power Engineering, Nanjing Normal University, 210042, Nanjing, PRC)

K G Schmidt

(Institute of Energy & Environmental Protection, Duisburg University, Germany)

**Abstract:** This paper deals with studies on how the flue gas filter, which uses the active carbon made from brown coal as sorbent and the active carbon made from bituminous coal as catalyst, adsorbs the poisonous and hazardous materials in garbage burning. The results indicate that active carbon filter for cleaning of flue gas can effectively adsorb SO<sub>2</sub>, HCl, NO<sub>x</sub>, PCDD/PCDF, heavy metal particles and other harmful materials. After filtration, so the flue gas produced in garbage burning can meet the requirements of environmental protection, which lays the basis for the application of the active carbon filter for advanced cleaning of flue gas.

**Key words:** active carbon, filter, cleaning of flue gas

[责任编辑: 刘健]

---

(上接第 32 页)

[参考文献]

- [1] 林宗虎、徐通横. 实用锅炉手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.
- [2] 北京有色冶金设计院. 余热锅炉设计与运行[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1982.

## Design of Waste Heat Boiler Used for Regenerative Gas

Xu Shengrong

(College of Power Engineering, Nanjing Normal University, 210042, Nanjing, PRC)

**Abstract:** This paper gives a brief description of regenerative flue gas in FCCU. It discusses the design feature of waste heat boiler used for recovering heat energy of gas. That spiral-finned tube has a more compact structure. The deposition, low temperature corrosion and vibration in the heat-exchanger surface should be considered so as to guarantee that the boiler functions properly.

**Key words:** waste heat boiler, spiral-finned tube, low temperature corrosion, deposition

[责任编辑: 刘健]