

铜冶炼厂余热锅炉的设计特点

(南昌有色冶金设计研究院, 江西 南昌 330002) 肖平华

摘要: 在工程实践的基础上, 总结了铜冶炼厂余热锅炉设计的一般原则和特点。旨在改变我国铜冶炼厂余热锅炉依赖进口的状况, 尽快研制我国自行设计的此类余热锅炉。

关键词: 铜冶炼厂; 余热锅炉; 设计特点

中图分类号: TK229.92⁺9 文献标识码: A

1 引言

余热锅炉是铜冶炼厂不可缺少的设备之一, 它不但可以回收高温烟气中的二次能源, 降低烟气温度, 更重要的是捕集高温烟气中的烟尘, 回收贵重金属, 降低烟气的含尘量, 保证工艺系统的畅通, 为尾部工艺创造有利条件。60年代, 闪速熔炼技术的出现对余热锅炉的研制工作起了促进作用, 使积灰、腐蚀、磨损等问题得到解决。铜冶炼厂使用较多的冶金炉主要有: 闪速炉、转炉、阳极炉等, 由于冶金炉生产过程中, 烟气量变化较大, 烟气中SO₂及烟尘含量高。因此要使余热锅炉在这种恶劣的条件下工作, 首先就要从余热锅炉的设计着手, 尽可能适应烟气条件, 满足工艺要求。表1列出铜陵金隆公司冶炼厂的烟气条件。

表1 冶金烟气含SO₂、烟尘、温度表

冶金炉名称	SO ₂ 含量/%	烟尘含量/%	温度/℃
闪速炉	22.92	139.2	1340
转炉	9.6~12.03	18~60.6	800
阳极炉	14~17	微量	1350

2 锅炉型式的选择及其特点

铜冶炼厂余热锅炉的结构型式基本上有两种: 一种是多通道式, 烟气在锅炉中成多程式流动; 另一种是直通式, 烟气在锅炉内不转弯, 成直流式流动。这两种余热锅炉在结构布置上特点各异, 根据铜冶炼生产过程的特点, 大多数冶金炉排出的SO₂

和烟尘含量高, 烟气量波动大, 烟气温度高, 而且烟尘中含有粘结性很强的金属。为了防止积灰, 常采用直通式余热锅炉。

余热锅炉按水循环方式可分为自然循环型、强制循环型及二者相结合型三种。究竟采用哪种型式, 可根据烟气性质、入口位置、布置型式及清灰方式来确定。其比较见表2。

表2 自然循环与强制循环的比较

比较条件	自然循环	强制循环
水容量和锅炉启动时间	水容量大, 负荷变动对水位影响小, 突然停电危险性小, 但启动时间长, 需要设启动燃烧器, 将压力升高到烟气露点以上。	水容量小, 对负荷变化反映快。使用其他锅炉蒸汽或用冶金炉启动, 升压启动快。
给水设备	由于水管直径大, 仅用软化水设备和除氧器进行给水处理即可。	管径小, 且装有集箱孔板, 容易发生堵塞。要求高水质, 增加水处理设备。
锅炉结构及其大小	庞大、复杂	紧凑、体积小
吹灰装置的效果及烟气浓度	吹灰器作用范围有限, 且增加冷空气, 影响大	可用锤击式清灰器, 效率高, 对锅炉无影响, 浓度稳定。
锅炉操作	简单、易行	装有循环泵, 既要监视循环水量, 又要监视水质。
建设费用	小型锅炉采用比较经济	对大型锅炉经济, 且省钢。
运转费用	较低	增加纯水装置的运转费用, 以及循环泵的电耗。
锅炉效率		锤击效果好, 故效率较高。
烟气温度调节	装调节挡板难, 故温度调节不易。	易装挡板。

3 重要热工参数的确定

3.1 烟气露点及排烟温度的确定

根据烟气成分, 确定烟气露点。根据式(1)计算烟气中硫酸重量浓度:

收稿日期: 1998-12-28; 修订日期: 1999-03-03

作者简介: 肖平华(1965-), 男, 江西南昌人, 南昌有色冶金设计研究院化分院工程师。

$$C = \frac{98 V_{SO_3}}{80 V_{SO_3} + 18 V_{H_2O}} \quad (1)$$

$$V_{SO_3} = \rho \cdot V_{SO_2} \quad (2)$$

烟气中水蒸气和三氧化硫分压力之和为:

$$P_{H_2O+SO_3} = (b - P_R / 13.6) (V_{SO_3} + V_{H_2O}) / 100 \quad (3)$$

式中: V_{SO_3} —— SO_3 在烟气中所占的容积率, %

V_{H_2O} —— H_2O 在烟气中所占的容积率, %

ρ —— 烟气中 SO_2 转化成 SO_3 的百分率; 在无资料的情况下, 一般取 10%。

b —— 锅炉安装地点大气压力, Pa

P_R —— 锅炉冷却室烟气负压, Pa

$P_{H_2O+SO_3}$ —— 烟气中 H_2O 和 SO_3 分压力之和, Pa

根据 C 及 $P_{H_2O+SO_3}$ 之值查文献 [2] 图 1 ~ 4, 确定出烟气露点。

为了不使锅炉尾部受热面发生低温腐蚀, 管壁温度应高出烟气露点, 并根据尾部工艺的要求确定排烟温度。

3.2 锅炉蒸汽参数的确定

由于烟气的成分不同, 其硫、水蒸气含量各不相同。因此在烟气成分确定以后, 先确定烟气露点, 再取蒸汽温度等于烟气露点, 确定出余热锅炉的工作压力, 圆整后确定余热锅炉的设计压力及饱和蒸汽的温度。这样管壁温度就比烟气露点高出 $30\text{ }^\circ\text{C} \sim 60\text{ }^\circ\text{C}$, 从而保证了锅炉尾部受热面不会发生低温腐蚀。

蒸汽压力、蒸汽温度确定以后, 即可按锅炉热平衡方式确定烟气最大量时的锅炉最大蒸汽产量。

4 锅炉结构的设计

4.1 辐射冷却室的设计

在铜冶炼厂余热锅炉中, 均采用足够大的“空腔辐射冷却室”。合理组织辐射冷却室内的烟气动力场, 利用烟气中三原子气体和烟尘的有效辐射传热, 将高温烟气迅速冷却至烟尘的粘结温度以下, 使烟尘变成固体灰粒。烟气流速控制在 1 m/s 以下。目前使用的或正在设计的锅炉冷却室高与宽之比一般不大于 2, 使大部分烟尘尚未和管壁接触就分离沉积下来。但烟尘的凝固点不像煤灰软化点那样容易确定。因为它不但取决于烟尘的成分, 而且还取决于它

们的结合形式。一般炉内积成致密而坚硬的灰垢, 都有玻璃状物料和一些低熔点的共熔物起作用, 这些共熔物的熔点一般都在 $750\text{ }^\circ\text{C}$ 左右。实践证明, 出辐射冷却室的烟气温度限制在 $650\text{ }^\circ\text{C}$ 左右较合理。如果温度过低, 将使冷却室受热面明显增大, 并使炉子技术经济综合效果有所降低。

锅炉水冷壁受热面结构型式很多, 如图 1 所示: 水冷壁一般可分为四种型式: I 型 —— 以管子中心线为对称的翅片水冷壁; II 型 —— 用扁钢焊接而成的翅片管; III 型 —— 完全由光管组成的水冷壁; IV 型 —— 特殊轧制的 Ω 型水冷壁翅片管。为了使辐射冷却室内壁光滑, 使内壁灰尘不易粘附和易于清除, 辐射冷却室水冷壁管宜采用 II 型或 IV 型, 有条件最好采用 IV 型。鉴于铜冶炼厂烟气含尘大、硫分、水分含量较高, 因此辐射冷却室常采用整体水冷壁结构, 这样可防止炉内 SO_2 的渗出或外面空气漏入, 从而防止了腐蚀, 并保证了 SO_2 的浓度, 有利于制酸。

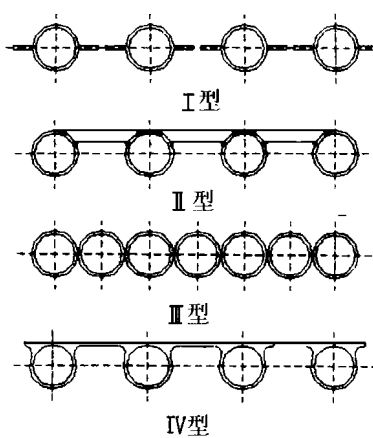


图 1 水冷壁结构型式

4.2 锅炉管径的选取

锅炉管径大小对锅炉重量指标具有决定性的影响。管径愈小, 传热愈好, 重量愈小。设计资料表明, 锅炉管径减小二分之一, 锅炉重量可减少三分之二。因此, 现代锅炉管径已

有逐渐减小之趋势。

工程实践表明, 对强制循环锅炉, 可以采用 $\Phi 32 \times 3.5\text{ mm}$, $\Phi 29 \times 3.5\text{ mm}$, $\Phi 25 \times 3.5\text{ mm}$ 的管子; 对自然循环锅炉, 则可采用 $\Phi 38 \times 3.5\text{ mm}$, $\Phi 51 \times 3.5\text{ mm}$ 的管子; 选用更大管径, 徒费金属, 大无必要。

4.3 对流受热面的设计

为了防止烟尘结渣堵塞管间, 常在冷却室出口设计凝渣管。管子横向间距布置得较大 ($s/d = 3 \sim 6$, 常用 $5 \sim 6$), 为水冷壁管距的 $4 \sim 5$ 倍, 纵向间距 $3.5d$ 以上。对流受热面的烟气流速约在 10 m/s 左右。为了防止磨损, 常取 4 m/s 。管道磨损程度与烟气流速、含尘量和管径的关系如式(4)所示:

$$\Delta\sigma/t = K \cdot W^{3.52} \cdot C^{0.64} \cdot d^{0.92} \quad (4)$$

式中: $\Delta\sigma/t$ ——单位时间磨损量, g/s

$\Delta\sigma$ ——磨损量, g

t ——时间, s

W ——烟气流速, m/s

C ——烟尘浓度, g/m³

d ——管径外径, mm

k ——实验系数

从上式可知, 烟气中烟尘对受热面的磨损主要取决于烟尘的运动速度, 烟尘的浓度。烟气经辐射冷却室后, 烟气中含尘量一般可减少 40% ~ 60%。

在相同条件下, 横向冲刷的积灰速度比纵向冲刷要快得多, 这是因为积灰速度是近似地反比于气流边界层的厚度。当边界层厚度为 0.5 ~ 1.5 mm 时, 纵向冲刷的积灰速度仅为无边界层横向冲刷的 1% ~ 1.5%。一般地说, 纵向冲刷比横向冲刷有着更厚的气流边界层。因此要使积灰速度放慢和清灰方便, 最好是低烟速纵向冲刷受热面。从热交换与质交换原理也可以说明这一点。因为热交换越强, 质交换也越强, 即烟气对管壁放热系数越大, 烟尘对管壁撞击的机会也就越多, 也就越容易积灰。当烟尘较大时, 选用烟气纵向冲刷管束; 而烟尘较少时, 选用烟气横向冲刷管束。一般含尘量 50 g/m³ 以上采用纵向冲刷方式; 含尘量 10 ~ 50 g/m³, 采用横向冲刷方式。

4.4 锅炉灰斗的设计

高温区灰斗的四周应用水冷壁遮盖, 使烟气与水冷壁管直接接触, 并使烟尘在灰斗中得到进一步冷却, 形成不粘结性积灰。

锅炉的集灰斗设计成两侧壁倾斜, 前后壁倾斜角(与地面夹角)不小于 68° ~ 70°, 侧壁倾斜角一般不小于 65°, 至少不应小于 60°(干烟尘的堆积角为 55°左右)。

4.5 清灰设施的设计

无论锅炉结构设计和烟气动力场组织得如何合理, 锅炉受热面的积灰是不可避免的, 关键是用什么方法及时清理。通常积灰清理方法有两种: 一种是机械振打清灰; 另一种是吹灰器清灰或有振打与吹灰相结合的清灰方式。通常在辐射冷却室和对流受

热面分别布置吹灰器和弹簧振打锤, 按照预先设定的程序自动运行。

5 典型铜冶炼厂烟气条件及余热锅炉主要技术参数

表 3 为年产 10 万吨电解铜冶炼厂的烟气条件。表 4 为余热锅炉的技术参数。

表 3 闪速炉及转炉烟气条件

序号	项目	闪速炉	转炉
1	锅炉入口烟气量/m ³ ·h ⁻¹	30 234	41 367~43 209
2	锅炉入口温度/°C	1 340	800
3	烟气成分(体积百分比%)		
	SO ₂	19.39	9.60~12.03
	CO ₂	8.18	
	O ₂	2.35	7.12~7.32
	N ₂	61	76.83~79.12
	H ₂ O	9.08	3.42~4.30
4	烟气含尘量/g·m ⁻³	117.7	18.1~60.6
5	锅炉出口烟气温度/°C	360	400
6	锅炉入口烟气压力/Pa	0~150	0~50

表 4 闪速炉、转炉余热锅炉主要技术参数

序号	项目	闪速炉余热锅炉	转炉余热锅炉
1	型式	强制循环户外设置式	强制循环户外设置式
2	工作压力/MPa	4.71	4.71
3	给水温度/°C	104	104
4	蒸发量/t·h ⁻¹	24	10
5	烟气量/m ³ ·h ⁻¹	30 234	43 209
6	烟气温度		
	锅炉入口	1 340	800
	辐射室出口	< 725	< 681
	烟气出口	< 360	< 400
7	传热面积/m ²		
	辐射水冷壁	540	171
	对流部分	1 128.8	781
	合计	1 668.8	952
8	锅炉外形尺寸/m		
	辐射室	15×6×12.66	8.34×3.6×5.1
	对流区	14.56×3.6×3.9	6.31×3.6×3.9

参考文献

- [1] 金安定等编. 工业锅炉原理. 西安交通大学出版社出版, 1989.
- [2] 北京有色冶金设计研究总院主编. 余热锅炉设计与运行. 冶金工业出版社, 1983年.

(复 编)

粉煤流化床燃烧(PC—FBC)炉膛烟温试验研究= **Experimental Study of the Flue-gas Temperature Distribution in a Pulverized Coal-fired Fluidized Bed Furnace** [刊, 汉] / Chen Hongwei, Ding Changfu, Yan Shunling, et al (North China Electric Power University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(2). —128 ~ 130

Pulverized-coal fluidized-bed (PC—FB) combustion pertains to a new type of efficient clean-coal combustion method. Presented in this paper are the results of a study concerning the flue-gas temperature distribution characteristics in a PC—FB furnace. The main contents of the study include: the stability and uniformity of flue-gas flow in the PC—FB furnace, the bed temperature, fluidized speed, the particle average diameter of the bed material, secondary air flow rate, the effect of the secondary-air feed location on the flue-gas temperature distribution in the furnace. In addition, a rational furnace flue-gas temperature distribution is also given on the basis of the above study. **Key words:** pulverized-coal, fluidized bed, combustion, temperature distribution.

铜冶炼厂余热锅炉的设计特点= **Design Features of a Copper Smeltery Heat-recovery Boiler** [刊, 汉] / Xiao Pinhua (Nanchang Non-ferrous Metallurgical Design Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(2). —131 ~ 133

On the basis of proven engineering practice summed up are the general principles and specific features of a steel smeltery heat-recovery boiler. With the aim of changing the present situation of having to use imported heat-recovery boilers for copper smelteries there exists a real urgency to develop heat-recovery boilers based on domestic design for use in such smelteries. **Key words:** copper smeltery, heat recovery boiler, design features

火力发电厂细粉分离器改进= **An Improvement on Thermal Power Plant Fine Pulverized-coal Separators** [刊, 汉] / Lu Tai (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(2). —134 ~ 136

The general situation of the use and evolution of fine pulverized-coal separators for thermal power plants since the founding of the People's Republic of China was reviewed and the test data and use-effectiveness of a novel dual-stage finely-pulverized coal separator described in detail. **Key words:** thermal power plant, pulverized-coal preparation system, separation efficiency, separator

船用汽轮循环泵的改进设计= **Improved Design of a Marine Steam Turbine Circulating Pump** [刊, 汉] / Qiu Zufa, Gao Lei, Qin Xiaocheng (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(2). —137 ~ 139

The design and production technology of a marine steam turbine circulating pump has been improved on to resolve a whole range of problems. The circulating pump following such an improvement has undergone a land-based test and seafaring verification inspection and been found to have fully met the preset target concerning its performance. **Key words:** turbine circulating pump, improvement, design

火电厂空气干燥器 PLC 控制系统的设计与实现= **Design and Implementation of the PLC Control System of a Thermal Power Plant Air Dryer** [刊, 汉] / Li Dazhong, et al (North China Electric Power University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(2). —140 ~ 141

A modification design was conducted of the control system of a thermal power plant boiler air-dryer through the addition of a OMRON PLC controller. The on-site commissioning tests show that the PLC-based control system has promoted a safe and reliable operation with powerful functions and a high flexibility in conducting operation changes. As a result, all design targets have been attained. **Key words:** PLC controller, air dryer, operating time-sequence, control logic