

锌挥发窑余热锅炉设计^①

彭根南 阳绍伟 顾谦里 周凯林 雷 英
(长沙有色冶金设计研究院, 长沙 410011)

摘 要 根据锌挥发窑工艺特点和出口烟尘条件, 确定该型余热锅炉设计需要解决的突出问题是积灰, 其次是腐蚀和磨损; 进而给出立式布置、全悬吊、四烟道、自然循环锅炉结构类型的选择成因, 从低温防腐要求、蒸汽使用目的以及回收系统的技术经济性等方面全面论述了余热锅炉技术参数的确定方法; 总结出锌挥发窑余热锅炉整体设计的功能性和结构性特点, 并列出了锅炉结构设计和热力计算中一些合理的选择参数, 指出了设计过程中易于忽视的一些问题, 推荐了一些重要构件的设计程序。还介绍了部分投运锌挥发窑余热锅炉的热力经济性。

关键词 余热锅炉 锌挥发窑 高温烟气

中图法分类号 TK229.6

锌挥发窑是湿法炼锌厂用以从锌浸出渣中还原出有价金属锌、铅等的冶金炉窑, 由于它的大部分热量被烟气和窑渣带走, 它的热效率不足 25%, 700 ℃左右的离炉高温烟气携带的热量约占总燃烧热的 30%^[1, 2]。采用余热锅炉回收挥发窑高温烟气余热是一种最经济、最合理的途径^[1], 它克服了表面式冷却器余热废弃、易被腐蚀、运行周期短的缺点, 并能减缓后置收尘器的压力而提高收尘系统运行的可靠性。由我院完成的株洲冶炼厂 3, 4, 5 号挥发窑改扩建设计, 经引入余热锅炉, 不仅有效地解决了原系统安全可靠差、劳动条件恶劣、运行周期短等缺点, 而且通过回收高温烟气余热收到了良好的经济、节能效益。本文结合株洲冶炼厂挥发窑余热锅炉的设计经验, 论述挥发窑余热锅炉设计的特点和要点, 介绍它的热力经济性。

1 挥发窑余热锅炉设计特点

1.1 烟气条件及分析

挥发窑工艺流程决定其出口烟气是连续

的, 烟气为微还原气氛。表 1 为株洲冶炼厂 3, 4, 5 号挥发窑出口烟气条件表。不同的锌挥发窑出口烟气成分相近, 且具有以下特点: ①烟量大, 热负荷较稳定, 能量品位较高。处理 1 t 锌浸出渣产生烟气约 4 000 Nm³; 每标立方米携带热量 1 126 kJ, 烟量 556 kJ, 它的生产周期最长可达 250 天, 昼夜波动均小。②烟尘含量较高, 烟气含尘量达 80 ~ 100 g/Nm³, 主要烟尘成分为粘结性较强的 ZnO; 烟气中含有约 0.2% 的 SO₂, 烟气条件较为恶劣。根据以上烟气特点, 确定余热锅炉设计需要针对性地解决

表 1 株冶 3 台挥发窑烟气条件表

Table 1 Conditions of volatilization kiln gas			
Item	3 [#]	4 [#]	5 [#]
Flow / (Nm ³ ·h ⁻¹)	22 000~ 27 025	30 272~ 35 500	42 395~ 54 859
Temperature/ ℃	650~ 750	650~ 750	650~ 750
Dust / (g·Nm ⁻³)	92.5	89.9	78.42
CO ₂ / %	14.0	14.0	14.107
SO ₂ / %	0.165	0.2	0.139
O ₂ / %	5.33	5.33	5.18
N ₂ / %	67.645	67.61	67.103
H ₂ O / %	12.12	12.13	12.671
CO / %	0.74	0.73	0.8

① 收稿日期: 1997- 10- 20; 修回日期: 1997- 12- 22 彭根南, 男, 33 岁, 高级工程师

的问题主要是积灰,其次是腐蚀和磨损。

1.2 锅炉参数的选定

余热锅炉的技术参数主要是指锅炉的蒸汽参数及出口烟温,它们决定于以下几个因素:

(1) 低温防腐要求。即锅炉尾部受热面烟温不能低于烟气中 SO_3 的露点温度,锌挥发窑烟气中 SO_2 含量一般在 0.12% ~ 0.2% 范围内,按 10% 的 SO_3 转化率计算^[3],其 SO_3 露点温度大约为 140 ~ 162 °C,即采用工作压力大于 0.55 MPa 的锅炉能满足锌挥发窑余热锅炉低温防腐的要求。

(2) 蒸汽的使用目的。锌挥发窑烟气特性决定其余热锅炉不宜装设省煤器和空气预热器,因此,以热量回收为目的无尾部受热面的锌挥发窑余热锅炉应取尽量低的锅炉压力和出口烟温,而如以动力回收为目的则需寻求单位烟气最大的烟回收;从余热锅炉的烟分析进一步得出:对应某一烟气进口温度,对无尾部受热面的饱和蒸汽余热锅炉而言,存在一个确定的锅炉工作压力和饱和温度使余热锅炉从入口烟气中回收得到最大的烟量。图 1 为锌挥发窑余热锅炉从温度为 700 °C 的高温烟气中回收热量和烟量与锅炉工作压力的曲线,其中锅炉给水温度取 105 °C,烟气出口温度取锅炉工作压力下的饱和温度+ 30 °C,漏风系数取 0.1,保热系数取 0.98^[4]。

进口烟气温度为 700 °C 左右的锌挥发窑余热锅炉,最大可能回收烟量为 240 kJ/Nm³,所对应的锅炉工作压力为 1.96 MPa,获得 99% 最大烟量的最小锅炉工作压力为 1.26 MPa。而是否采用过热蒸汽锅炉则取决于蒸汽的使用目的和加装过热器的技术经济比较。

(3) 蒸汽的流动条件。考虑现有热网情况及热用户的温度、压力要求是锅炉参数选择的重要条件,需视所属企业热网和热用户情况确定,即锅炉工作压力必须大于热网的最高运行压力。

(4) 技术经济性。锅炉经济出口烟温通过增加热量回收和减少传热面积与降低投资为寻优方向得到。

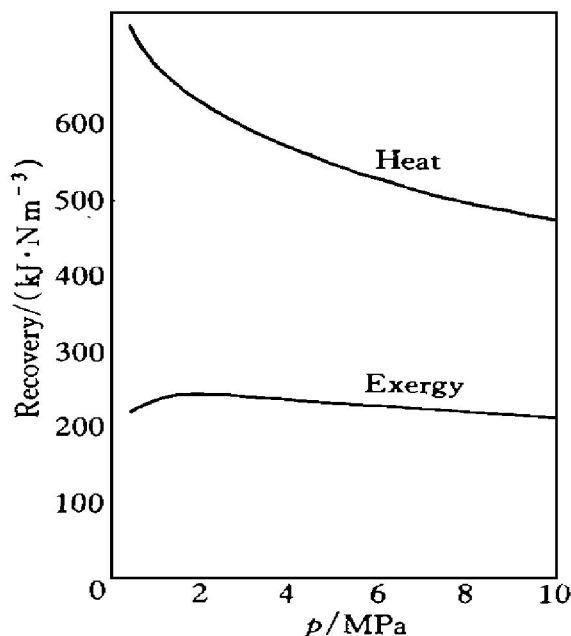


图 1 锅炉工作压力与回收烟量、热量关系

Fig. 1 Boiler working pressure as function of recovery of exergy and heat

(5) 后置收尘器耐温限制。电收尘器的耐热温度 ≤ 350 °C,布袋收尘器的耐热温度只有 160 ~ 170 °C^[1]。此外,选取的锅炉参数还需尽量对应国标蒸汽锅炉标准系列参数。

株冶 3, 4, 5 号挥发窑均采用电收尘方式,其余热锅炉以热量回收为目的,但需兼顾未来可能的动力使用目的。鉴于厂区内蒸汽热网压力为 0.6 MPa,取饱和蒸汽锅炉压力 1.27 MPa,对应饱和温度 194 °C。此外,通过适当减少热、烟量回收,从而减少传热面积,降低初投资和运行费用,确定锅炉经济烟气出口温度为 290 ~ 330 °C^[5]。

1.3 结构型式及确认

挥发窑余热锅炉采用半露天立式布置。采用四烟道式结构是为了满足受热面积的需要并受改建场地的限制,采用立式全悬吊支撑方式可以较好地解决锅炉的膨胀问题。为了有效地控制炉内及进出口烟道内积灰,结构设计采取以下措施:

(1) 采用全膜式水冷壁结构,烟气纵向冲刷受热面。据有关资料介绍,烟气横向冲刷时的积灰速度比纵向冲刷要大百倍,采用全膜式水冷壁结构,避免了烟尘与砖墙的直接接触,

防止了积灰核心的产生^[3]。

(2) 采用大空间辐射冷却室结构, 控制冷却室出口烟气温度小于烟尘的凝固点, 即 $\leq 620\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 管屏间距取沿烟气方向由大至小, 烟气流速由小至大, 并取合理的烟气流速。大于 5 m/s 的烟速, 粘附性积灰生长速度加快, 一定温度下, 烟速在 $8\sim 12\text{ m/s}$ 时, 松散性积灰就会过渡到紧密性积灰, 而当烟速大于 20 m/s 时虽积灰难以发生, 但磨损却较为严重^[1, 3]。

(4) 锅炉不设过热器和尾部受热面, 将易产生积灰核心的结构或附件如汽包、联箱等置于炉外。

(5) 采用立式布置的锅炉结构以利于采用自然循环水系统。值得指出的是在改建项目中, 原安装表面冷却器的场地, 要布置非立式多烟道式的其它型式锅炉也是非常困难的。

2 挥发窑余热锅炉的设计要点

2.1 功能性要点

2.1.1 防止积灰和磨损

(1) 选择合适的烟气流速。挥发窑的烟气温度较低, 传热的主要方式为对流, 提高烟气流速, 可增大传热系数、减少受热面积、降低投资, 但流速过高会引起积灰和磨损。锌挥发窑烟气含尘量在 $75\sim 100\text{ g/Nm}^3$ 范围内, 株冶3台余热锅炉设计表明控制烟速在 $4\sim 8\text{ m/s}$ 是适宜的, 即一、二、三、四烟道顺序流速分别为: $4.3\sim 4.5\text{ m/s}$, $6.0\sim 6.5\text{ m/s}$, $6.3\sim 6.6\text{ m/s}$, $7.2\sim 7.8\text{ m/s}$ 。

(2) 烟气对管屏尽可能采用纵向冲刷。合理布置清灰装置, 避免形成炉内吹灰死角。

(3) 组织好锅炉内的烟气流动力场。将锅炉烟气进口设于锅炉前墙中部, 出口位置设于后墙下部, 使进炉烟气向下偏, 出炉烟气向上偏, 以利于加大烟气行程, 增加烟尘自沉降, 防止高温烟尘直接粘结在顶棚。

(4) 尽量缩短进、出口烟道水平段, 在出口烟道入口段设出灰装置。

(5) 采用可靠的清灰系统。由于锌挥发窑烟气中含有 SO_2 , 故不宜采用蒸汽吹灰。一种较好的方案是采用振打方式, 选用国外引进的弹簧锤; 采用压缩空气吹灰方案时, 当吹灰器阀前压力大于 1.2 MPa , 喷嘴喉径 12.8 mm , 行程速度 2 m/min 时可以收到很好的吹灰效果。

2.1.2 防止低温腐蚀

在合理的余热锅炉参数确定后, 低温防腐措施主要是从锅炉结构和运行方面着手的。

(1) 由于烟气对管子横向冲刷比纵向冲刷的腐蚀速度大 $1.5\sim 2$ 倍^[3, 7], 因此尽量采用纵向冲刷方式。

(2) 由于冷空气漏入锅炉易在锅炉局部形成积露腐蚀, 故炉墙、顶棚均采用膜式水冷壁结构, 烟道进、出口装设非金属补偿器, 避免烟道和锅炉因相对位移而出现缝隙; 尽量减少炉墙开孔, 强化炉门和密封结构的可靠性, 采用优质绝热保温材料。

(3) 合理布置吹灰器, 锅炉运行过程中加强清灰, 尽量保持管壁光滑, 避免结露核心的产生。

株冶3, 4, 5号挥发窑采取上述防腐措施, 收到了满意的效果, 如4号锅炉自1993年运行至今, 未发现明显的低温腐蚀区域。

2.2 结构性要点

2.2.1 锅炉高度

在满足受热面布置要求的前提下, 确定合理的锅炉高度, 可以认为是锌挥发窑余热锅炉整体设计中最重要的一环, 它涉及到出渣系统、排污系统的操作条件和可靠运行, 影响进、出口烟道的布置。有别于其它型式的锅炉设计, 在设计中取较大的炉底空间, 对锅炉及锅炉房整体配置和运行操作条件是极为有利的。锅炉冷灰斗出口高度取 2.5 m , 水冷壁下联箱的中心标高取 4 m , 向上确定锅炉总高度。锅炉运行实践表明是较为合理的。锅炉顶部各烟道对流管屏和水冷壁联箱与顶棚之间保持一定的高差, 这虽然增加了少量金属耗量, 但对防爆门安装, 炉顶密封均有好处。株冶5号炉

设计时兼顾防爆门位置、安装空间及炉顶密封板位置,选取0.5~1.5m不等的高差,施工中确认是最方便的。

2.2.2 水冷壁、联箱、对流管屏

水冷壁和对流管屏布置均以防止积灰和低温腐蚀为前提。采取的相应措施前已述及,但一个设计中易忽视的问题是对流管屏和水冷壁上联箱端侧的弯管应采用从锅炉外侧走向。株冶3号炉初始设计时采取向内侧布置,但在安装过程中大部分都作了变更,而个别未改向的弯管区都发生了轻度的积灰。锌挥发窑余热锅炉对流管屏管间距沿烟气流向逐渐减小,一烟道取480mm,二、三烟道取288mm,四烟道取92mm,对应的传热系数分别为:25~28 W/(m²·K), 18~21 W/(m²·K), 16.5~19.5 W/(m²·K);膜式水冷壁管间距取96mm。锅炉的运行表明以上取值对锅炉的安全运行是可靠的。

2.2.3 下降管、引出管

自然循环余热锅炉一般采用分散下降管简单回路水循环系统,为保证锅炉水循环的安全性,下降管上1/3管段不能有水平管段,必须有10°以上的下倾角^[6]。而锅炉固定装置一般需布置在锅炉上1/4~1/3处。沿炉墙下行的下降管不能造成槽钢结构的固定装置开孔过大,从锅炉后墙下行的下降管上段采用空间管道是不可避免的,这部分下降管要尽早绕向,其它管道应让先下降管配管;先行下降管设计,再行固定装置设计可避免设计返工的发生。引出管设计要点是作好与锅炉吊杆的碰撞检查。

2.2.4 平台、扶梯、吊杆

余热锅炉的平台、扶梯设计,不同于工业锅炉和电站锅炉,它往往受到场地的限制,设计中锅炉上下行应保证二路通道;吹灰器平台相对而言比较宽大,宜将其布置在锅炉的宽阔一侧。设计程序应是先布置好平台扶梯、再行锅炉钢架强度计算。锅炉吊杆位置常在设计中确定,但是与下降管和引出管及锅炉顶部其它辅助装置的碰撞常常是难以避免的。建议设计

时先控制最外和最内层的吊杆位置,设计计算中充分考虑中间区域的吊杆是否有调整的可能,以便锅炉安装时对少数吊杆位置进行调整,便于引出管、下降管等的安装。

3 锌挥发窑余热锅炉的热力经济性

锌挥发窑余热回收系统采用工作压力为1.27MPa,出口烟温290~330℃的饱和蒸汽余热锅炉,锅炉热效率为48%左右,烟效率约36%。株冶3,4,5号挥发窑余热锅炉的金属耗量分别为184t,183t,207t;锅炉及锅炉房初投资分别为340万元(1997年),164万元(1993年),388万元(1995年),锅炉日产汽量分别为6.2t,6.9t,12.3t,按年工作220d计算,累计年供蒸汽量122600t,年节标煤15480t,用3~5年即可收回全部投资。厂方确认采用电收尘和余热锅炉回收烟气余热是一个经济、节能效益显著的合理方案。这不仅改善了原系统的操作条件,而且提高了收尘系统的可靠性和回收率。

REFERENCES

- 1 Yang Shaowei(阳绍伟). Journal of Changsha University of Electric Power(长沙电力学院学报), 1995, 10(4): 387.
- 2 Wang Shulan(王淑兰). World Nonferrous Metals(世界有色金属), 1995, (12): 29.
- 3 Beijing Engineering & Research Institute of Nonferrous Metallurgy(北京有色冶金设计研究总院). Design & Operation of Waste Heat Boilers(余热锅炉设计与运行). Beijing: Metallurgy Industry Press, 1982: 17~50.
- 4 Peng Gennan(彭根南). Journal of Changsha University of Electric Power(长沙电力学院学报), 1997, 12(4): 416.
- 5 Ding Lequn *et al*(丁乐群等). Power Engineering(动力工程), 1997, 17(1): 16.
- 6 Li Zhiguang *et al*(李之光等). Handbook of Industry Boilers(工业锅炉手册). Harbin: Harbin Institute of

Technology Press, 1988: 108~ 109.

7 Cao Weiwu *et al*(曹伟武等). Power Engineering(动力工程), 1997, 17, (4): 46.

DESIGN OF WASTE HEAT BOILERS FOR ZINC VOLATIZATION KILNS

Peng Gennan, Yang Shaowei, Gu Qianli, Zhou Kailin and Lei Ying
*Changsha Engineering and Research Institute of Nonferrous Metallurgy,
Changsha 410011, P. R. China*

ABSTRACT In reference to the design of waste heat boilers of zinc volatilization kilns, the optimum solution to the troublesome problems of dust deposition, corrosion and wearing was determined by the kiln process characteristics and outlet gas conditions. The reasons for the boiler structure selection of the vertical type, the suspension type, the 4-stack type and the gravity recirculation were expounded. In addition, the methods for the determination of waste heat boiler technical parameters were introduced, in respect of low-temperature corrosion-proof requirements, the aim of steam use and the recovery system technoeconomics. Then the functional and structural features of the overall design of the waste heat boilers, together with a listing of some selection parameters for boiler structure design and thermal calculations were summed up. Some aspects liable to be neglected in design were pointed out and procedures were recommended for design of some important structural members. Finally, the thermal economics of the waste heat boilers already in operation were offered.

Key words waste heat boiler zinc volatilization kiln high temperature gas

(编辑 袁赛前)