

成果与经验

## 金属镁冶炼中的高温废气余热回收\*

李盼, 李亚光

(北京林业大学, 北京 100083)

**摘要:**介绍了炼镁行业余热回收的计算方法, 确定余热锅炉、凝汽式汽轮机、发电机组的型号及综合利用技术方案, 并对此进行了节能效益分析。

**关键词:**镁冶炼; 余热回收; 余热锅炉; 节能

**中图分类号:** TF822

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1005-7439(2007)05-0304-03

### The Utilization of High-temperature Exhaust-gas Energy in Funnel of Magnesium Smelter

Li Pan, Li Ya-guang

(Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** This paper introduces the calculated method on the utilization of the high-temperature energy in the funnel of magnesium smelter. Based on the result of the calculations, we can choose the type of the exhaust-heat boiler, condensing steam turbine, generating unit and the overall utilization technical scheme, furthermore analyses the benefit on saving the energy.

**Keywords:** Smelting magnesium; Utilization on the exhaust-heat; Exhaust-heat boiler; Energy saving

前些年由于国际镁价上扬, 金属镁冶炼作为热门投资项目在我国曾一度得到了长足发展。但是后来国际市场镁价一路走低, 炼镁行业普遍受到了严峻的市场考验, 部分管理不善、能耗较高的小规模镁厂相继停产。我国的镁冶炼技术落后能耗高, 导致成本过高, 用镁冶炼中的还原炉高温烟气配置余热锅炉发电, 以及把余热锅炉与蒸汽射流真空泵配套, 取代现有的机械真空泵机组, 是炼镁行业节能降耗提高经济效益的有效途径之一。

山西镁工业从 1988 年起步, 炼镁企业最多时发展到 150 多个。后经市场竞争、冲击淘汰, 目前大致稳定在 70 多个。北录树镁厂就是其中之一, 目前年产量 9 000 余 t, 每年排放的 800~900℃ 的高温废气量达到 22.5 亿 m<sup>3</sup>。为了实现金属镁冶炼过程中的高温废气综合利用, 公司与山西农业大学工程技术学院合作, 组成“金属镁冶炼高温废气处理及能源综合利用技术”项目联合攻关组, 经过 2002—2005 年小规模试验, 2006 年该厂一条生产线的

节能改造项目全面投入使用。

## 1 改造方案

山西清徐北录树镁业有限公司采用真空热还原法冶炼镁金属, 以煤炭为主要能源、白云石为主要原料, 工厂共两条生产线, 每条生产线有 12 个还原炉, 每个还原炉有 25 个还原罐, 全厂共 600 个还原罐。每天从这些还原罐中排放 1 200℃ 左右的高温烟气体积量大约为 6 815 km<sup>3</sup>。

改造方案采用余热锅炉回收从还原炉排放的高温烟气, 并利用其产生的高温蒸汽带动汽轮机发电, 最后用喷淋除尘除二氧化硫装置对余热锅炉排放出的烟气进行处理后排放到大气中。

## 2 余热锅炉的选择

金属镁冶炼厂其中一条生产线的生产区流程布置如图 1 所示。每一条生产线 300 个还原罐, 每小时排放 1 200℃ 左右的高温烟气体积量为 142 km<sup>3</sup>。

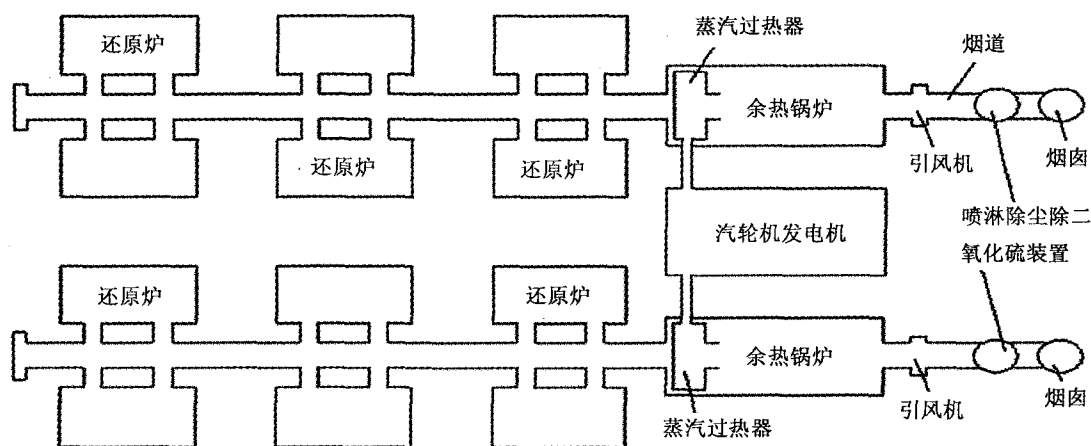


图1 流程布置图

由于在烟道中的热能损失,还原罐排放的高温烟气在到达余热锅炉入口时的温度下降到了 900℃左右,选择 Q39/800-20-2.5/400 型余热锅炉,排烟温度  $t_0$  为 150℃,则炼镁烟气具有的余热为:

$$Q_y = V_y C_y (t_y - t_0)$$

$$C_y = 1.34 + 0.000163t_y \quad (1)$$

式中  $V_y$ ——烟气量,  $m^3/h$ ;  
 $t_y$ ——烟气温度,℃;  
 $t_0$ ——余热锅炉的排烟温度,℃  
 $C_y$ ——烟气平均定压比热容,  $kJ/(m^3 \cdot ^\circ C)$ 。

代入数据可以得到:  $Q_y = 44 \text{ MW}$

用余热锅炉来回收烟气余热,产生的蒸汽量为:

$$D = \frac{V_y C_y (t'_y - t''_y)}{(h_q - h_s)} \eta_{br} \quad (2)$$

式中  $D$ ——蒸汽量,  $kg/h$ ;  
 $V_y$ ——烟气量,  $142 \text{ km}^3/h$ ;  
 $C_y$ ——烟气平均定压比热容;  
 $t'_y$ ——为烟气进口温度,  $900^\circ C$ ;  
 $t''_y$ ——为烟气出口温度,  $350^\circ C$ ;  
 $h_q, h_s$ ——分别为蒸汽与给水的焓,  $kJ/kg$ ;  
 $\eta_{br}$ ——余热锅炉的热效率,  $0.80$ 。

余热锅炉蒸汽的压力  $P_1$  为 2.4 MPa, 温度  $t_1$  为 400℃, 该过热蒸汽的比焓为  $h_q = 3242 \text{ kJ/kg}$ , 由饱和水的热物理性质图表可以查得 100℃ 时给水的比焓为  $h_s = 419 \text{ kJ/kg}$ , 可得采用该型余热锅炉回收高温烟气余热所产生的蒸汽量约为 30 t/h。

该型余热锅炉的额定出力为 20 t/h, 这样一条生产线上需要 2 台, 全厂二条生产线共需 4 台。

### 3 发电机组的选择和汽轮机凝汽利用

余热蒸汽经凝汽式汽轮机组发出的电力为:

$$P = \frac{D}{3600} (h_q - h_{2t}) \eta_n \tau \eta_{jd} \quad (3)$$

式中  $h_q$ ——汽轮机组进汽比焓,  $kJ/kg$ ;  
 $h_{2t}$ ——汽轮机内等熵膨胀至排汽压力时的比焓,  $kJ/kg$ ;  
 $\eta_{n,T}$ ——汽轮机的内效率, 取 0.80;  
 $\eta_{jd}$ ——机组的机电内效率, 取 0.95。

选用的余热锅蒸汽压力  $P_1$  为 2.4 MPa, 温度  $t_1$  为 400℃; 凝汽压力  $P_2$  为 470 Pa, 可查得  $h_q$  为 3242  $kJ/kg$ ,  $h_{2t}$  为 2835  $kJ/kg$ , 余热锅炉过热蒸汽量为 60 t/h, 因此凝汽式汽轮机组所能发出的电力  $P$  为 5155 kW。

在实际运行中, 每台余热锅炉的最大蒸汽负荷大约为 17 t/h; 实际发电量在 5 MW 左右。因此, 每条生产线各装配 C3-2.35/0.49 的 3 MW 汽轮机一套以及型号为 QF-3-2 的发电机一台。

该厂还原工序所需的真空动力为 615 kW, 利用汽轮机排气口所排出的低压 (470 Pa) 蒸汽, 带动射流真空泵, 可以替代原来的机械真空泵机组, 满足工序还原所需真空, 进一步减少全厂的能源消耗。

### 4 技术经济分析和社会效益分析

完成整个项目所需要的投资如表 1 所示。

#### 4.1 节能收入

设计总装机容量为 5 MW, 自身用电量按 20% 计, 可供电的容量为 4 MW。扣除每年 2 个月的检修期, 则年发电量为 2880 万 kWh, 上网电价按 0.40 元/kWh 计算, 电费收入可达 1152 万元。利用汽轮机排气口所排出的低压蒸汽, 替代原来的机械真空动力装置, 节电量为每年 442.8 万 kWh, 相当于减少电费 177 万元。两项共计节能收入为 1329 万元。

李盼等:金属镁冶炼中的高温废气余热回收\*

表1 投资计算 万元

工程及设备名称	单价	合计	万元
3 000 kW 发电机	(2 台)	160	320
锅炉本体	(4 台)	120	480
3 000 kW 汽轮机	(2 套)	200	400
冷却循环水处理系统	(2 套)	70	140
反渗透水处理系统	(2 套)	60	120
除尘脱硫系统	(2 套)	70	140
附属设备及安装 (风机除氧器水泵)	(2 套)	40	80
自动控制设备	(2 套)		70
电器部分(高低压 设备、变压器)	(2 套)		250
水井及给水管理	(1 套)		100
建筑工程费			290
道路绿化硬化			60
机修吊车设施及安装			30
培训费			20
研制试验			330
试制费用			100
不可预测费用			150
材料及安装			150
总计			3230

#### 4.2 项目的运行成本

(1) 高温烟气是镁冶炼过程中的废气利用,成本暂不记入。

(2) 余热发电厂的工资费用:职工总数按 60 人计,其中管理人员 1 名,技术人员 5 名,管理和技术人员工资为 2 000 元/月;工人工资为 1 000 元/月,每年工资总额为 79.2 万元。

(3) 水费:废气处理耗水 16 t/h,水价按 2.5 元/t,每年耗水的成本费用为 31.68 万元。

(4) 设备维修费用:每年按 40 万元计。

(5) 润滑油消耗费用:每年按 4.38 万元计。

(6) 折旧费用:每年按 200 万元计。

项目全年的运行成本为 355.26 万元。

#### 4.3 经济效益

每年废气发电所产生的净效益为电费收入加其真空设备的节电费用减少发电成本,约 974 万元。

对于年产量 9 000 t 的镁冶炼厂来说,相当镁的冶炼成本降低了 110 元/t。

(4) 社会效益项目的实施还产生良好的社会效益和生态效益,表现在:

(1) 由于高温烟气发电后,使废气温度大大降低,给烟气的脱硫、除尘等环节带来了方便,同时可节省大量的环保投资。

(2) 废气中的有害成分固废、废水等的回收和利用技术的开发,又会带来其他方面的效益。

(3) 解决了金属镁冶炼企业多年来生产成本低、废气污染严重、能耗大等技术难题,为同类企业的技术改造和废气综合利用闯出了一条新路。

## e-Hf 高效荧光灯产品系列研讨会在上海召开

松下电工 e-Hf 高效荧光灯产品系列最近被认定为上海市节能产品。2007 年 8 月,上海市节能产品评审委员会同上海市照明学会和上海电力工业协会,与松下电工(中国)有限公司在上海共同举办了 e-Hf 高效照明灯具产品研讨会,出席研讨会的有有关机构和各大企业节能工作负责人。

研讨会上,松下电工的技术人员详细介绍了 e-Hf 荧光灯系列的节能环保特点和应用情况,指出该产品是我国直管式荧光灯中最节能的产品之一。松下电工在目前比较先进的 T8 三基色节能型直管荧光灯的基础上,对灯丝、荧光粉的配方和灯管作了重大改进,把光效从 87.7Lm/W 提高到了 104Lm/W,灯管中重金属汞含量仅为 5mg。另一方面,松下电工在灯罩的设计中也体现了绿色照明的宗旨,根据各种场合下室内人员对光照质量不同的要求设计灯具格栅,以人为本,在确保视觉健康和舒适性的前提下,尽可能减少电能消费。这些灯罩采用松下电工自己研发的高效反光涂料,反射率高达 93%,进一步提高了灯具的综合光效。另外松下电工还研发了一系列的照明控制设备,可以灵活地根据室内自然光照的不同调节各处的照明负荷,根据室内人员的活动规律自动调正照明负荷,减少电能浪费。目前 e-Hf 灯具已在我国许多地方有成功的应用案例,实践表明,采用 e-Hf 照明改造已有日光灯具,约 10 个月可收回投资。

与会的专家对 e-Hf 灯具的节能特点表示了极大的兴趣,同时根据自己单位的照明特点与松下技术人员进行了交流,提出了许多建设性意见,并希望松下电工为上海及乃至我国的绿色照明作出更大贡献。