

文章编号: 1003-7837(2006)02-0088-04

## 降低硬锌真空炉电单耗的生产实践

郭秋松, 吴 浩

(中金岭南公司韶关冶炼厂, 广东 韶关 512024)

**摘 要:**针对硬锌真空炉电单耗偏高的生产状况,系统分析了影响电单耗的各种因素,探讨了降低电耗、提高能效的有效途径,其中提高配电系统的输电效率、提高功率因数和降低真空炉蒸发期的绝对压力是最有效的途径。在生产实践中采取相应的措施后,获得了良好的效果。

**关键词:**硬锌真空炉; 电单耗; 功率因数; 绝对压力

**中图分类号:** TF131.2

**文献标识码:** A

硬锌是熔析精炼炉熔析出含  $\text{Fe}_2\text{Zn}_{21}$  和  $\text{FeZn}_7$  等的糊状结晶物,同时富集了粗锌中的锗、镉等有色金属,硬锌的主要成分见表1。韶关冶炼厂采用2.5 t级卧式真空炉处理硬锌。将硬锌加入真空炉装料小车内,在真空状态的密闭炉体内,送电加热硬锌,利用其各组分在一定温度下蒸气压的不同,选择性地挥发和冷凝硬锌中的锌,而铅、锗、镉等有色金属则残留于装料小车内,从而可富集回收硬锌中的锗、镉等贵金属。处理硬锌的真空炉属于低真空、间接内电

加热式的中温炉,作业方式为单炉周期性。其生产工艺流程见图1。在真空蒸馏硬锌的生产过程中,需要消耗大量的电能。表2是韶冶2号硬锌真空炉在生产过程中电能消耗的统计。从表2可知,2号真空炉在生产过程中消耗的电能很大,而且每一炉耗电能的差异很大。因此,降低硬锌真空炉生产过程中的电单耗是真空炉生产工艺中节能降耗、提高经济效益的重要途径。

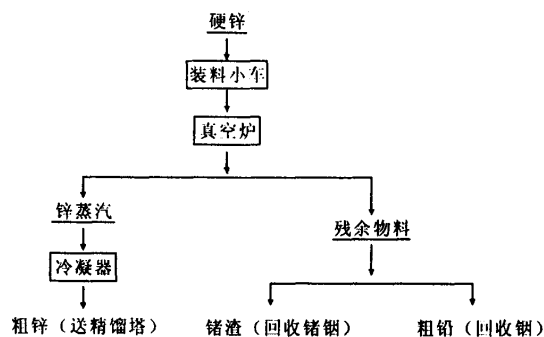


图1 真空炉处理硬锌富集锗镉的生产工艺流程

Fig.1 Flow sheet of In and Ge enriched from herd zinc by vacuum furnace

收稿日期: 2006-05-09

作者简介: 郭秋松(1973-),男,江西九江人,学士,工程师。

表 1 硬锌的化学成分

Table 1 Chemical composition of hard zinc

元素	含量 $w/\%$	元素	含量 $w/\%$
Zn	78~81	Ge	0.7~1.3
Pb	13~17	其它	2.2~3.5
In	0.5~1.2		

表 2 2 号硬锌真空炉电能消耗的统计

Table 2 Electric power consumption of the No. 2 hard zinc vacuum furnace

炉期	产出粗锌量 /t	电能消耗量 /(kW·h)	电能消耗参数 /(kW·h·t <sup>-1</sup> )
141	1.25	3895	3116
142	1.53	3993	2610
143	1.22	3387	2776
144	1.46	3889	2664
145	1.39	4021	2893
平均	1.37	3917	2812

1 影响硬锌真空炉电单耗的主要因素

在硬锌真空炉的生产过程中,发现影响电能效

率的主要因素有:系统的真空度、生产过程的技术控制及配电系统的功率因数等。

1.1 系统的真空度

硬锌真空炉可蒸发分离出硬锌中的大部分金属锌。当蒸发一定量的金属锌时,如果提高蒸发速率,则可以缩短生产周期,提高生产效率。金属物质的蒸发速率取决于它的蒸气压,同时又受系统真空度的影响。纯金属在一定温度下有固定的蒸气压,可用克劳修斯—克萊普朗方程式表示<sup>[1]</sup>:

$$\lg p = -AT^{-1} + B - ClgT - DT \quad (1)$$

对于金属锌,从表 3 查出锌的各常数的值,代入式(1),可得出金属锌蒸气压的公式。公式(1)表明,虽然各种金属有不同的温度—压强—挥发速率曲线,但总体上说,在温度一定时(在熔点—沸点温度范围内),随着系统真空度的提高,金属的挥发速率明显提高。硬锌中各元素之间的相互作用,使金属的活度发生变化,而元素的挥发速率也受其在组分中浓度的影响。当硬锌中的锌含量远远大于其它元素时,可以看成与纯金属的蒸发相近似。

表 3 硬锌中部分金属的克劳修斯-克萊普朗常数

Table 3 Constants of part metal on  $\lg p = -AT^{-1} + B - ClgT - DT$  in hard zinc

元素	状态	A	B	C	D	温度范围/K
Zn	固	6910	10.084	-0.192	$-0.524 \times 10^{-3}$	298~692.7
	液	6294	8.242	0.015	—	692.7~1164
Pb	固	10261	9.930	-0.333	$-0.509 \times 10^{-3}$	298~600.6
	液	9829	9.185	-0.434	—	600.6~2018
Ge	固	20282	12.345	-0.510	$-0.179 \times 10^{-3}$	298~1210
	液	17900	8.371	0.071	—	1210~3120

表 4 锌在不同温度的蒸气压

Table 4 Vapor pressures of zinc at different temperature

温度 $T/K$	蒸气压 $p/Pa$	温度 $T/K$	蒸气压 $p/Pa$
298	$0.15 \times 10^{-11}$	773	169
573	0.17	1178.4	$1.01 \times 10^5$
692.5	1.85	1723	$4.75 \times 10^6$

在加热蒸发硬锌的过程中,因为锌的沸点相对较低,所以锌最先被蒸发,并形成锌蒸气状态。在较低压力及较高温度下,锌蒸气非常接近理想气体,满足理想气体的状态方程,可用金属的蒸气密度表示该金属在蒸气中的含量,即:

$$p = mRT/VM = \rho RT/M \quad (2)$$

式(2)中: $p$  的单位为 Pa,  $R = 8.314 \times 10^3$  Pa·L·K<sup>-1</sup>·mol<sup>-1</sup>,  $M$  取 65.4,  $\rho$  为锌蒸气的密度。此式表明,锌蒸气密度  $\rho$  一定时(锌蒸气挥发速率与冷凝速度平衡时), $p$  与温度  $T$  成正比,即真空度越高,蒸发锌所需的温度就越低,所消耗的电能越少。

1.2 生产过程的技术控制

生产过程的控制也是影响电单耗的重要原因。规范化操作及减少事故的发生率,能有效降低电耗,尤其是生产的稳定性直接影响电能的消耗。导致生产不稳定的情况有:在蒸发过程中真空度突然下降,石墨电极负载断裂,三相交流电源相互短路,冷凝器结渣堵塞影响锌蒸气冷凝器冷凝,装料小车密封面漏锌蒸

气等,出现上述任何一种情况,都必须停电降温进行处理,这样势必造成大量的电能消耗。除此以外,原料的装车方式、电极的预查缺陷及安装质量、水套循环水水温控制、新炉的烤炉及升温制度均不同程度地影响电能消耗。

### 1.3 配电系统的功率因数

硬锌真空炉的配电系统由主回路、磁性调压器和控制系统组成。在主回路上有交流接触器 CJ20-63 (0~380 V) 和低压断路器 DZ20Y-630, 它们的作用是供给真空炉电源和保护磁性调压器。为了能直观反映工作电流和电网电压以及在一个生产周期内的耗电量,在主回路还安装了电流表、电压表以及电能表。磁性调压器是真空炉蒸馏硬锌配电系统中的重要设备,由它将高电压低电流调整为低电压高电流的交流电供给石墨电极,石墨电极发热使炉内达到工艺要求的蒸发温度。磁性调压器由一控制系统输出直流激磁电流进行平滑无级调压。此控制系统主要由交流变压器、可控硅元件及整流二极管组成的可控硅整流桥,可控硅电压调整器 ZK-1,温度指示记录调节仪及一些保护线路和电气控制线路组成。

由于配电系统中大部分元器件具有电感特性,需要从供电系统中吸收无功功率,使供电线路和用电设备的损耗加大,供电系统的功率因数降低。经测试,在硬锌真空炉配电的组成中磁性调压器的功率因数最低,见表 5。而主回路及控制系统的功率因数均在 0.9~0.92 之间,达到了国家规定值,对配电系统功率因数的影响较小。因此,硬锌真空炉的功率因数低主要是由磁性调压器的功率因数较低造成的。

表 5 磁性调压器的功率因数

Table 5 Power factor of magnetic voltage regulator

真空炉炉号	功率因数	真空炉炉号	功率因数
1 号	0.72	3 号	0.73
2 号	0.74	4 号	0.76

## 2 降低硬锌真空炉电单耗的生产实践

韶关冶炼厂用真空法处理硬锌于 1997 年正式投产。在投产最初几年处于摸索阶段,生产工艺与操作方式也存在较多缺陷,产出粗锌的电单耗一直居高不下。2004 年经过技术攻关,产出粗锌的电单耗大幅下降,全年粗锌电单耗降至 1980 kW·h。与

2003 年相比,年产 3000t 粗锌可节约电费 120 万元。在生产过程中,为达到降电耗、省能源的目的,我们主要采取了以下措施。

### 2.1 提高系统的真空度

在硬锌真空炉的投产初期,各炉正常生产时的绝对压力普遍处于 10~18 kPa 范围。当绝对压力大于 12 kPa 时,不仅蒸发时间长,而且电单耗高。通过控制入炉物料的含水量,强化炉体密封和检漏,定期更换真空泵润滑油,双泵组合抽真空,定期维护清理真空泵泵体、管道和过滤系统,以及采用新式密封材料与科学的密封方法等措施,当系统的绝对压力降至 2 kPa 以下时,生产的实测结果表明:在相同的温度下,锌挥发速率明显加快,生产周期缩短 20% 以上。表 6 为 2003 年 1 号硬锌真空炉运行的绝对压力与电单耗统计。从表 6 可以明显看出,电单耗随绝对压力的降低而降低;当绝对压力小于 5 kPa 时,这种趋势更加明显。

表 6 1 号硬锌真空炉运行的绝对压力与电单耗

Table 6 Absolute pressure and unit electricity consumption in operation of No. 1 hard zinc vacuum furnace

绝对压力 /kPa	电单耗 /(kWh·t <sup>-1</sup> )	绝对压力 /kPa	电单耗 /(kWh·t <sup>-1</sup> )
15	3146	4	2216
12	3025	3	2198
10	3060	2	1965
8	2921	1	2013
5	2457	0.8	1956

### 2.2 加强生产过程控制,减少生产故障

为保证均衡生产,少出故障,降低电单耗,要求操作人员严格把好进料与密封关,尤其是密封炉门,注意擦干净密封面与密封胶条,均匀涂抹真空密封胶,关上进料炉门后,均匀上紧炉门螺栓。在停电出锌的时间段内,注意检查真空管道法兰、接头、真空表接头、热电偶密封法兰、炉门密封法兰等易漏气的环节,防止真空度在送电生产后下降。定期清理冷凝器结渣,以免积少成多,影响冷凝器的冷却效率。安装石墨电极时,注意电极组件间要接触良好,电极之间应保持平行,电极螺母端在安装窗口周边要预留膨胀隙。同时,电极组件的两端与炉壳要保持良好的绝缘性能,以免密封不良,锌蒸气渗入冷凝造成电极

短路而损坏电极;或者由于电极托板变形及电极螺母端的膨胀间隙预留不足,使电极受挤压而造成电极断裂.从电极材料及密封结构上加以改进,确保电极的安装质量,对减少生产故障及提高电能效率非常有效.

2.3 进行磁性调压器功率因数补偿

在每台磁性调压器的输入端,增设 200 kvar 的低压功率因数就地补偿器进行补偿,以提高硬锌真空炉配电系统的电功率因数,降低电能损耗.由表 7 可见,真空炉配电系统采用电容补偿后,提高了真空炉的功率因数,每年可节约大量的电能.

表 7 电容补偿前后真空炉的电流及功率因数的对比  
Table 7 Comparison between current and power factor of vacuum furnace, respectively, before and after capacitive compensation

炉号	电 流		功率因数	
	补偿前	补偿后	补偿前	补偿后
1 号	478	385	0.65	0.91
2 号	493	396	0.74	0.93
3 号	495	426	0.73	0.86
4 号	521	419	0.76	0.96

3 进一步降低电单耗的努力方向

3.1 加强技术攻关,减少电极断裂的故障

电极断裂是在现阶段生产中发生频率最高的故障,并且经常在硬锌升温熔化后的稳定蒸发期内发生.电极断裂不仅使粗锌的电单耗增加,而且发生故障后处理时间长,处理难度大,严重影响真空炉生产的作业率.导致电极断裂的原因很复杂,必须进一步加强技术攻关,提高电极质量及电极安装质量.提高升温烤炉质量,延长真空炉大中修的检修周期,以减

少维修所损耗的电能.强化三组电极负荷均衡,稳定输电电压,提高电流效率.

3.2 改进装料加热的作业方式.

充分做好出料期的炉体保温,缩短作业时间.充分利用高热炉体,优先装入工厂即时生产的高温原料,必要时可进行硬锌预热的尝试.控制硬锌的粒度,找出最优的硬锌松装密度.充分利用加热室的空间,采用大料量中温加热的作业方式,严格控制蒸发期的超温运行.

3.3 探索炉壳保温措施

钢体炉壳在高温下向环境散热会导致热损失,探索加热室炉壳的保温方法,有助于进一步降低硬锌真空炉的电单耗.加大冷凝器端水套冷却的强度,提高加热室和电极窗水套冷却水的温度,防止水温太低,使热损失增大.将每项操作细化和标准化,对降低电单耗会有明显的效果.

4 结 论

降低硬锌真空炉产出粗锌电单耗的途径很多,其中提高配电系统的输电效率、提高功率因数和降低真空炉蒸发期的绝对压力是最有效的途径.生产过程中,加强生产技术监控,提高操作者的劳动技能,强化岗位责任心,减少生产事故的发生,也是降低电单耗的重要手段.

参考文献:

[1]《铅锌冶金学》编委会. 铅锌冶金学[M]. 北京:科学出版社,2003:36-37.

Practice of lowering the unit electricity cost of hard-zinc vacuum furnace

GUO Qiu-song, WU Hao

(Zhongjin Lingnan Shaoguan Smelter, Guangdong 512024, China)

**Abstract:** According to high electricity cost of hard-zinc vacuum furnace in the process of manufacture, all factors relevant to electricity cost were analyzed systematically. Effective ways to lower electricity cost were studied. Raising the electricity efficiency of the distribution system and the power factor, lowering the absolute pressure during the evaporation of vacuum furnace are the most valid paths. Some measures were taken during the production and better results were obtained.

**Key words:** hard-zinc vacuum furnace; unit electricity cost; power factors; absolute pressure