

doi: 10.3969/j.issn.1007-855x.2011.02.004

微波预处理富硒渣生产试验装置与控制系统研究

梁贵安^{1,2,3} 彭金辉^{1,2,3} 白松⁴ 张世敏^{1,2,3} 李军⁴ 郭胜惠^{1,2,3} 李新培^{1,2,3} 梁伟^{1,2,3}

(1. 昆明理工大学 冶金与能源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 非常规冶金省部共建教育部重点实验室, 云南 昆明 650093; 3. 云南省微波能应用及装备技术工程实验室, 云南 昆明 650093; 4. 云铜科技公司, 云南 昆明 650101)

摘要: 针对现行粗硒生产传统加热干燥存在的缺点, 研制开发了一种用于富硒渣深度干燥的多层旋转式微波生产试验装置. 微波频率为 2 450 MHz、微波功率为 0 ~ 54 kW 连续可调. 该微波生产试验装置设有手动 - 自动两种控制方式, 可根据生产实际进行灵活切换; 自动控制系统根据红外测温仪检测并反馈到的信号, 进行 PID 运算后, 通过双向可控硅实现对磁控管的功率调控. 生产试验表明该装置满足了富硒渣生产工艺的要求, 提高了粗硒的直收率, 并降低了生产成本.

关键词: 微波; 富硒渣; 预处理; 控制系统

中图分类号: TF3 文献标识码: A 文章编号: 1007-855X(2011)02-0016-04

Research on Control System of Microwave Pretreatment of Selenium Rich Slag

LIANG Gui-an^{1,2,3}, PENG Jing-hui^{1,2,3}, BAI Song⁴, ZHANG Shi-min^{1,2,3},LI Jun⁴, GUO Sheng-hui^{1,2,3}, LI Xin-pei^{1,2,3}, LIANG Wei^{1,2,3}

(1. Faculty of Metallurgy and Energy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 2. Key Laboratory of Unconventional Metallurgy, Ministry of Education, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 3. Key Laboratory of Microwave Energy Application and Equipment and Technology, Kunming 650093, China; 4. Yunnan Copper Science and Technology Development Corporation Limited, Kunming 650101, China)

Abstract: In order to overcome the drawbacks of conventional dry technology used in the production of selenium, the multilayer rotary microwave device used in depth drying selenium rich slag is designed in this paper. The microwave frequency is 2 450 MHz, and the microwave power is 0 ~ 54 kW which is continuously adjustable. This device equipped with two control modes, namely, manual and automatic modes, can switch flexibly according to actual production. The detected signal and feedback by the infrared radiation thermometer are then carried out the PID operation. The power of magnetrons is controlled by the bidirectional triode thyristor. It is proven that the automatic control system can satisfy the production process requirements of selenium rich slag.

Key words: microwave; selenium rich slag; pretreatment; control system

0 引言

硒(Se)是一种重要的半导体材料,广泛应用于清洁能源、广播电视及电子计算机等领域^[1-2]. 在传统的硒冶金提取过程中,常采用燃煤加热炉、燃油加热炉或电阻加热炉等进行干燥处理. 这些传统加热干燥方式,由于存在干燥时间长、干燥不均匀、难以进行深度干燥、易造成空气污染、劳动强度大、能耗较高等缺点,不利于企业节能减排、降低成本及提高经济效益.

微波具有内部加热与选择性介电加热的特点,不仅可克服物料中的“冷中心”现象,实现快速加热,并

收稿日期: 2011-02-21. 基金项目: 云南省省院省校合作重点项目(2009AD002).

作者简介: 梁贵安(1955-),男,工程师. 主要研究方向: 电器技术工程; 微波自动控制.

E-mail: yn13888851975@163.com

通讯作者简介: 彭金辉(1964-),男,博士,教授,博士生导师. 主要研究方向: 微波冶金; 冶金新技术.

具有节能等潜力. 微波加热技术已广泛应用于食品、轻纺、农、林等行业中, 正发展成为一门新兴前沿交叉学科. 由于微波对水有选择性加热的作用, 因此, 利用微波加热物料进行干燥脱水处理特别适宜^[3].

本文针对云南某厂在粗硒提取工艺的富硒渣预处理过程中, 需要将含水量高达 30% 左右的富硒渣原料脱除至 1% 以下的工艺要求, 采用微波辐射加热深度干燥富硒渣方案对其进行微波干燥脱水预处理, 并进行了工业化试验.

1 微波预处理富硒渣生产试验装置设计

1.1 粗硒生产工艺流程简介

该厂将提取金、银等贵金属后的电解铜阳极泥作为提取粗硒的原料, 经水洗压滤、电炉干燥脱水后, 送至真空炉进行蒸馏提取得到粗硒. 其工艺流程如图 1 所示.

该工艺采用电阻炉进行脱水, 存在升温速度慢、热效率低、干燥时间长达 60 ~ 70 余 h, 而且物料干燥不均匀、常常出现表层干、中间湿, 难以达到含水量低于 1% 的要求, 不利于企业实现节能减排、降低成本、提高经济效益.

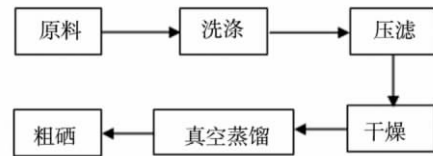


图1 粗硒生产工艺流程图
Fig.1 Schematic diagram of production process of crude Selenium

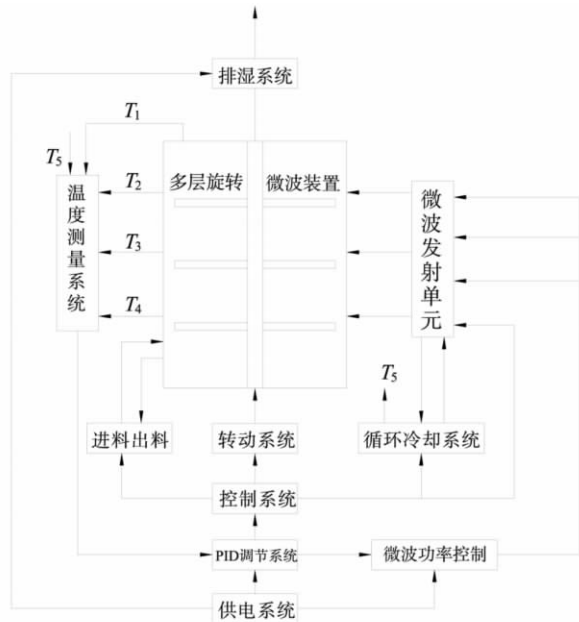
1.2 微波预处理富硒渣生产试验装置

采用研制的多层旋转式微波预处理装置替代原用的电阻加热炉, 对经洗涤、压滤后的富硒渣进行深度干燥.

微波频率为: 2450 ± 50 MHz, 微波功率为: 0 ~ 54 kW 连续可调; 设有 PID 自动控制和手动控制两种方式, 设计能力为 100 kg/h. 微波预处理富硒渣生产试验装置示意图如图 2 所示.

如图 2 所示, 整套装置由转动系统、微波发射源、微波控制系统、排湿系统、测温系统、PID 调节系统、循环冷却系统、供电系统及进料出料等系统构成.

该装置采用三层旋转平台承载原料, 可将含水量高达 30% 的富硒渣被微波辐射干燥脱水后的蒸汽, 经排湿风机抽出, 达到深度干燥的目的.



T₁: 蒸气温度; T₂: 上层料温; T₃: 中层料温; T₄: 下层料温; T₅: 冷却水温

图2 微波预处理富硒渣生产试验装置示意图
Fig.2 Schematic of microwave pre-production test equipment

2 微波预处理富硒渣装置控制系统

2.1 物料转动系统

为使原料得以均匀迅速地脱除大量含有的水分, 本装置设计有三层物料承载平台, 运载原料作水平旋转运动. 物料转动速度由变频器通过变更电动机的供电频率, 进而控制原料的转动速度.

2.2 微波源

本装置的微波源, 是将 36 个 1.5 kW 的微波源, 采用微波分布耦合技术优化组成微波功率达 54 kW 的大功率生产试验装置.

每个微波源由磁控管、双变压器、桥式全波倍压整流电路、激励波导、温控开关、水冷器等组成一个微波发射单元, 如图 3 所示; 将 36 个微波单元通过分布耦合技术进行优化设计后, 排布在微波谐振腔周围, 不仅保证了物料干燥脱水所需的微波功率密度, 又使微波分布更趋于均衡.

微波发射源采用双变压器供电, 即将磁控管工作所需的灯丝电压与阳极高压分别由两个变压器提供: 由次级输出交流低压的灯丝变压器直接作为磁控管灯丝电源; 而将阳极变压器的次级交流高压经桥式全波倍压整流为高压直流后, 作为磁控管工作所需的直流高压电源.

温控开关用于监测磁控管工作温度,一旦磁控管温度超过额定值,立即通过联动控制断开电源,以保护微波核心部件——磁控管;同时为了延长磁控管的使用寿命,以保证预处理富硒渣过程所需要的工艺时间和工业生产的要求,还对磁控管设置了强制冷却降温系统。

2.3 温度测量控制系统

本装置采用红外线传感测温仪对旋转物料进行实时工艺温度控制检测,并将由此产生的 4 ~ 20 mA 电流信号反馈到 PID 调节系统,作为 PID 系统的运算与控制依据。

本装置设计的温度采集之所以采用红外温度传感器,是因为红外温度传感仪能与物料互不接触,可以保证加热过程中,不对处于运动状态的富硒渣出现任何干扰,而且不会破坏系统的温度场。生产试验表明:红外温度传感仪采集的温度信号适于作为生产控制工艺参数。

设计采用的红外温度传感仪测温范围为: - 20 ~ 300℃,输出信号为: 4 ~ 20 mA。温度传感仪的输出信号经过 PID 处理后,即是调控双向可控硅的触发脉冲信号,再通过可控硅触发器进而控制高压变压器的初级交流电压,实现对各层微波的功率调节与控制,以达到对原料温度的工艺要求与生产控制。

系统同时配置了一路 K 型热电偶、一路铜电阻测温子系统分别对微波腔内汽化温度与循环水温度进行监测。

2.4 排湿系统

在预处理富硒渣的工艺中,由于潮湿原料含水量高达 30% 以上,随着深度干燥工艺过程的进行,随时都伴随有大量的蒸汽产生,如不及时排出,不仅不利于脱水干燥的继续进行,而且会导致微波谐振腔内的压力因汽体越聚越多,不仅降低微波干燥效率,而且会增大腔内气压,形成安全隐患。对此本装置设置了由离心风机与管道构成的排湿系统,并在腔顶与管道的连接处设计了微波扼流抑制器,有效地防止了微波的泄漏。

2.5 冷却水循环系统

本装置采用循环水冷方式对磁控管进行强制冷却,同时为节省水资源,设置了循环冷却塔及循环水池,以便将磁控管产生的热水进行降温处理,达到闭路循环。为防止因断水造成冷却水开路流失而导致磁控管损坏,在系统内设计了水流与水压双重开关,并与控制系统相连,实现自动保护,以确保装置运行过程中得以正常生产。

2.6 供电系统

微波装置的可靠接地是微波设备良好工作的保证。为此除对整套装置专门设置了三相五线制单独供电外,还特别埋设了接地电阻 $\leq 2\Omega$ 的专用地线,以确保本装置接地良好。在供电系统中还设置了双重断路器和计量仪表。

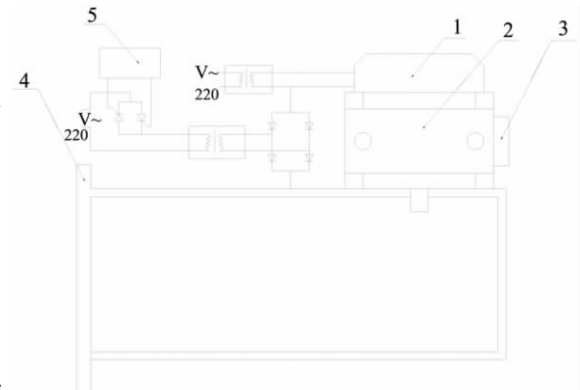
2.7 调节控制系统

在控制理论中 PID 是一种线性调节方式,即将设定值 $r(t)$ 与输出值 $c(t)$ 进行比较,构成控制偏差 $e(t) = r(t) - c(t)$,再将其进行比例、积分、微分运算后,并通过线性组合构成控制量,所以简称为 P(比例)、I(积分)、D(微分)调节器^[4]。

根据红外线温度测量系统输入的各层温度电流信号,并进行 PID 算法得到控制量输出脉冲触发信号,通过触发电路驱动双向可控硅, PID 控温仪通过改变控制脉冲宽度,也即改变了可控硅在一个固定控制周期 R 内的导通时间,这样原料的温度就随着磁控管的平均输入功率改变而变化,也即达到了自动控温的目的。

2.8 微波功率控制系统

本装置的微波功率与温度控制通过温度测量系统,将获得的 4 ~ 20 mA 电流信号反馈给双向可控硅移相触发器以改变可控硅的输出电压,进而调节高压变压器的初级电压,以控制其次级高压,并通过改变桥



1: 磁控管; 2: 水冷器; 3: 温控开关;
4: 激励波导; 5: 移相器

图3 微波发射单元示意图

Fig.3 Schematic diagram of microwave transmission unit

式倍压整流电压控制进入磁控管的直流高压, 即可改变磁控管的电流, 从而改变其输出功率, 实现对微波输出功率的控制。

如图 3 所示, 由供电系统提供的 220 V 交流电压, 通过双向可控硅接到高压变压器的初级线圈, 高压变压器次级输出电压经过桥式倍压整流后, 产生直流高压电源。该直流高压电源的负极与磁控管的灯丝相连, 正极与磁控管的阳极相连。通过控制双向可控硅的导通角即可达到控制磁控管阳极电压的目的。双向可控硅导通角的触发信号由 PID 系统产生^[5]。

全套微波装置设计了三路微波功率控制电路, 以满足对各层原料进行深度干燥所需不同工艺温度的要求。

3 生产试验

采用设计研制的 54 kW 多层微波深度干燥富硒渣生产装置进行了工业试验。试验结果如表 1 所示。

表 1 工业试验与批处理能力试验

Tab. 1 Industrial test and batch capacity test

批次	进料量/kg	进料含水量/%	微波干燥时间/min	出料量/kg	出料含水量/%	产能/(kg·h ⁻¹)
1	217	31.8	123	148	≤1	102.6
2	224	31.7	125	153	≤1	109.3
3	227.5	30.6	130	158	≤1	105.3
4	234.5	30.9	131	162	≤1	107.6
5	234.5	35.6	123	151	≤1	114.4
6	234.5	33.9	123	155	≤1	114.4
7	234.5	36.0	120	150	≤1	117.3

经过七批次的投料生产试验共处理富硒渣湿料 1 606.5 kg、最低批处理 217.0 kg、最高批处理 234.5 kg、平均批处理 229.5 kg; 生产性连续试验共产出 1 077.0 kg 干料、批最低批产出干料 148.0 kg、最高批产出干料 162.0 kg、平均批产出干料 153.9 kg; 湿料含水范围 30.6% ~ 36.0% (最低 30.6%, 最高 36.0%, 平均 32.9%); 批生产能力(按 kg/2h 计)最低批产能 205.1 kg/2h、最高批产能 234.5 kg/2h、平均批产能 220.2 kg/2h。

以上试车结果表明: 本设计研制的多层旋转式微波深度干燥装置的各项指标均达到了设计要求, 完全可以满足“微波干燥-真空冶炼富硒渣新工艺”的生产要求。

4 结论

生产试验和连续 20 个月的生产运行结果表明: 本设计研制的多层旋转式微波预处理装置的微波控制系统的各项指标不仅完全达到了设计要求, 而且“微波干燥-真空冶炼富硒渣新工艺”比原有的“电炉加热-真空冶炼富硒渣”提高了粗硒的直收率 1% 以上。结论如下:

- 1) 本设计研制的微波发射源具有单元结构紧凑, 并可灵活进行微波多单元、大功率组合;
- 2) 本设计采用的 PID 控制系统是可行的, 并可实现手动控制与自动控制的双向控制与灵活转换;
- 3) 本微波控制系统具有分别控制各层物料温度与深度干燥的功能, 可根据生产的不同需要, 方便灵活地进行生产操作与工艺控制。

参考文献:

- [1] 王箴. 化工辞典[M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 1979: 525.
- [2] 戴永年, 杨斌. 有色金属材料的真空冶金[M]. 2 版. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 159-163.
- [3] 彭金辉, 杨显万. 微波能技术新应用[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1997: 146-157.
- [4] 张林, 庞小峰. 微波加热器温度智能控制系统设计[J]. 生命科学仪器, 2007(5): 60-61.
- [5] 王健, 裴娜, 韩晓东. 高精度微波功率控制技术[J]. 西安工业大学学报, 2010, 30(1): 62-66.