

## 节能减排

## 硫化渣烘干工艺对比研究

孙海明<sup>1</sup> 孙福海<sup>2,3</sup> 孙立民<sup>1</sup>

(1. 山东恒邦冶炼股份有限公司, 山东 烟台 265406; 2. 烟台市牟平区水道镇人民政府, 山东 烟台 264109; 3. 牟平恒邦化工产业园管理服务中心, 山东 烟台 265406)

[摘要] 简述了硫化渣产生的原因,分析了硫化渣的性质及硫化渣处理现状,全面比较了热风烘干、微波烘干及蒸汽烘干的原理、优缺点及经济指标,得出了蒸汽烘干更适合用来烘干硫化渣的结论。蒸汽烘干具有自动化程度高、运行环境好、生产成本低、温度易于控制等优点,但要有稳定的蒸汽来源。

[关键词] 硫化渣;干燥工艺;热风烘干;微波烘干;蒸汽烘干;烟气

[中图分类号] X758 [文献标志码] A [文章编号] 1008-5122(2022)03-0016-04

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.03.004

## 0 前言

有色金属冶炼烟气制酸过程中会产生大量的污酸,这些污酸排放至污水处理车间进行处理。由于污酸中含有砷、铜、铅等重金属污染物,一般会采用硫化法进行预处理,使重金属污染物变成硫化物,被收集下来的颗粒物也就是俗称的“硫化渣”。硫化渣因含有大量砷和其他重金属元素,如果不能妥善处理,有害元素会重新释放到环境中,对环境造成危害,因此选择一种妥善的处理方式尤为重要<sup>[1]</sup>。

## 1 硫化渣的性质

硫化渣外观呈黄色粉末颗粒状,颗粒细度非常细小,通常平均粒径为 3.43  $\mu\text{m}$ ,80% 的颗粒都在 10  $\mu\text{m}$  以下,而且硫化渣多以无定型态和多晶聚合体的形式出现,常凝聚成团<sup>[2]</sup>。因此,硫化渣的水分在压滤过程中很难压出,导致硫化渣含水率高,一般在 75% 左右。

以污水处理车间产生的硫化渣为例,进行化学元素分析,结果见表 1。由表 1 可知,硫化渣中大部

表 1 硫化渣化学元素分析

元素	Cu	As	S	Zn	Fe	Sb	Bi	Pb	Cd
含量/%	0.35	47.67	32.40	1.00	3.74	0.38	0.10	0.87	0.16

分元素是砷和硫,其中砷含量达到了 47.67%,硫含量达到了 32.4%。

对硫化渣进行物相分析,结果见表 2。由表 2 可知,三价砷占比 39.26%,其余为五价砷,占比

8.41%,砷硫化物中的砷达到了 40.7%,其他为少量的砷氧化物和砷酸盐。

表 2 硫化渣物相分析

成分	CuS	As <sup>3+</sup>	As <sup>5+</sup>	硫化物 中 As	氧化物 中 As	砷酸盐 中 As
含量/%	0.31	39.26	8.41	40.70	5.86	0.72

## 2 硫化渣处理现状

目前硫化渣的处理方法主要有三种,分别是固化法<sup>[3]</sup>、住友法和火法。固化法目前应用较少;住

[收稿日期] 2022-02-20

[基金项目] 国家重点研发计划(2018YFC1900306)

[作者简介] 孙海明(1981—),男,山东烟台人,硕士,高级工程师,主要从事冶金、化工相关技术研究。

[引用格式] 孙海明,孙福海,孙立民.硫化渣烘干工艺对比研究[J].有色冶金节能,2022,38(3):16-19.

友法为湿法工艺,可生产精三氧化二砷,但工艺复杂投资较大<sup>[4]</sup>;有的冶炼企业目前采用火法焙烧工艺,以沸腾炉协同处理硫化渣。将硫化渣与硫精矿浆化后,通过软管泵泵送至沸腾炉进行焙烧,硫化渣在沸腾炉内氧化分解生成三氧化二砷和二氧化硫,三氧化二砷经收砷系统收集,二氧化硫随烟气进入制酸系统<sup>[5]</sup>。该工艺可实现硫化渣的利用,但需要消耗大量的硫精矿,且处理量受精矿硫品位影响较大,无法大规模处理,产生的矿渣后续处理成本较高。总之,上述三种工艺都无法实现硫化渣的低成本大规模处理。

要实现硫化渣的大规模处理,首先要对硫化渣进行烘干脱水,烘干后的硫化渣由于体积大幅缩小,不仅有利于后续处理,而且储存、运输等成本也大幅降低。因此,烘干工艺的选择是实现硫化渣大规模处理的核心要素。

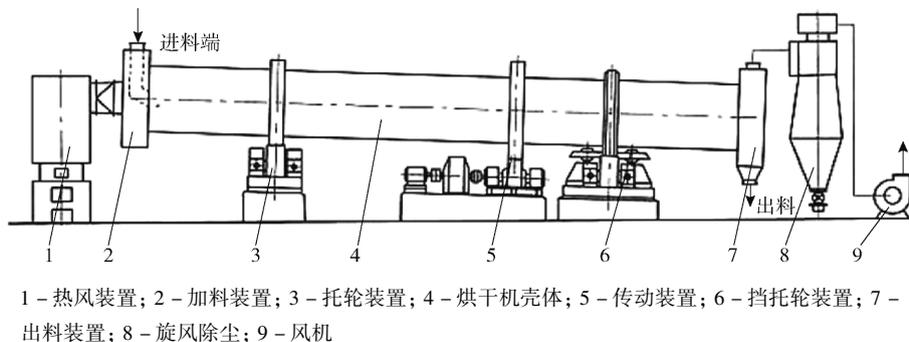


图1 回转烘干机流程示意图

置进入回转烘干系统,热风装置产生的高温烟气自烘干机尾部进入,与烘干机中的物料接触,物料随烘干机转动,运动到头部后排出,烟气经除尘等环保系统处理后外排。

回转式烘干机处理易挥发物料,具有如下特点:

1) 硫化渣物料的特殊性质限制。硫化渣在 300℃ 以上会发生分解,而回转式烘干机采用 500 ~ 700℃ 的高温热风与物料直接接触,使水分蒸发,因此部分硫化渣会在烘干过程中受热分解,导致物料损失。另外硫化渣颗粒较细,烘干机在转动过程中会出现物料扬尘。这些都会给后续环保工段带来压力。

2) 回转式烘干机的烘干热效率较低,最高只能达到 55%,导致能耗升高,处理成本加大。这也使得单台设备的处理能力受限,当物料处理量大时,需要多台设备同时工作,导致投资较大。

### 3.2 微波烘干

微波烘干是利用微波发生器产生微波能烘干物

## 3 烘干工艺方法及原理

目前可以运用的物料烘干技术主要有热风烘干、微波烘干和蒸汽烘干等。烘干方式的选择要根据物料的性质、物料量以及热源等来决定。由于目前硫化渣烘干工业应用较少,本文对这三种烘干方式进行了研究,重点考察这三种烘干工艺的特点、烘干过程出现的问题、单位能耗等方面,以选择适合硫化渣的烘干方式。

### 3.1 热风烘干

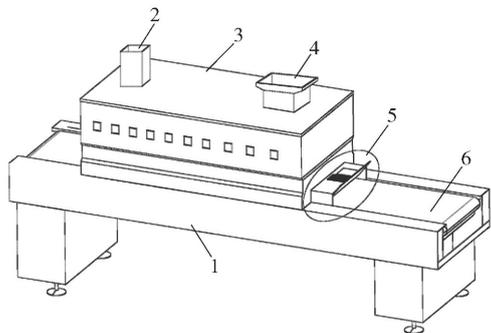
热风烘干一般采用回转式烘干机。回转式烘干机是传统的烘干设备,广泛应用于矿粉、电石渣及水泥等的烘干<sup>[6]</sup>,一般采用内热式,热源为热风炉,燃料一般采用粉煤、天然气和电力。回转式烘干机流程如图 1 所示。

由图 1 可以看出,该工艺过程为:物料经加料装

料的方式。当微波能作用于物料时,物料内部分子被极化,极化越快,分子的热运动和相邻分子间的摩擦作用也越剧烈,从而实现电磁能向热能的转换。即微波烘干通过加剧物体分子热运动来实现烘干,是一种由内向外的烘干方式。只有极性分子才具有微波强吸收能力,所以微波烘干是选择性烘干。硫化渣含有大量水分,水分子具有很强的吸波能力,但是硫化物是否有吸波能力还未可知,如果有吸波能力,则会被加热分解。

微波烘干硫化渣工艺分为布料、加热、卸料、排气等几个工序。首先将硫化渣连续摊铺在传送带上,通过调整挡板高度,控制物料层的厚度,并将结块打碎。然后利用传送带将物料输送至加热区,通过微波辐射段进行加热。物料运送到尾部后自然冷却并通过卸料斗收集。物料加热所产生的水汽通过风机抽走排放。微波烘干设备如图 2 所示。

微波烘干硫化渣,具有如下特点:



1 - 壳体; 2 - 下料口; 3 - 微波加热装置; 4 - 排气口; 5 - 挡板;  
6 - 传输装置

图2 微波烘干设备示意图

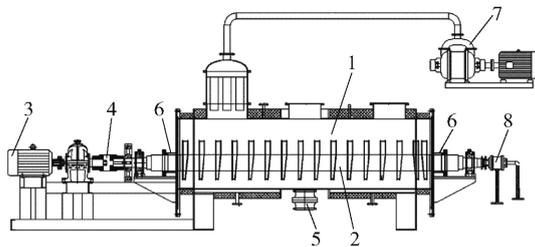
1) 水分挥发速度快, 选择性强。根据微波的选择性加热特性, 含水率高的部位微波吸收最多, 而吸收微波的部位才能加热<sup>[7]</sup>, 因此水分挥发速度快。

2) 静态挥发, 减少物料的损失。由于微波采用带式输送, 物料相对静止, 减少了水分挥发过程中产生的扬尘, 减轻了后续环保工段的压力。

3) 能耗转化率较低, 只有 50% 左右, 运行成本较高, 更适合烘干附加值较高的产品<sup>[8]</sup>, 大规模应用能耗将大幅提高。

### 3.3 蒸汽烘干

蒸汽烘干多采用污泥干燥机, 即空心桨叶干燥机。干燥机空心轴上密实布置楔形空心桨叶, 热介质流经空心轴。热介质温度范围为  $-40 \sim 320^{\circ}\text{C}$ , 可以是蒸气、液体或高温烟气<sup>[9]</sup>。蒸汽空心桨叶干燥机采用间接传导加热, 避免空气带走热量, 热量大部分用来加热物料。热量损失只是通过机体保温层散发到环境中的部分热量。壳体有密封的端盖和上盖, 可防止物料粉尘泄漏。空心桨叶干燥机结构如图 3 所示。



1 - 壳体; 2 - 空心轴及桨叶; 3 - 电机; 4 - 传动装置; 5 - 人孔;  
6 - 密封; 7 - 风机; 8 - 蒸汽管

图3 空心桨叶干燥机示意图

蒸汽空心桨叶干燥机特点:

1) 能耗相对较低。由于采用间接加热方式, 避免了热风干燥方式中烟气带走大量热量的缺点, 干燥机外壳采用复合保温材料保温, 污泥干燥机在单

位有效容积内传热面积大, 缩短了处理时间, 因此能耗低。

2) 由于间接加热, 热空气只带走污泥内部蒸发的水分, 几乎不携带灰尘。且设备内漏风率低, 尾气粉尘少, 有效降低尾气处理的成本。

3) 蒸汽温度相对固定, 易于控制, 避免了硫化渣分解。

## 4 烘干工艺比较

### 4.1 烘干工艺优缺点比较

热风烘干、微波烘干和蒸汽烘干三种烘干工艺的优缺点比较见表 3。

表3 烘干工艺主要优缺点比较

工艺方法	优点	缺点
热风烘干	技术较为成熟, 造价低	1) 热效率低, 能耗高 2) 漏风率高, 现场环境较差 3) 物料易分解, 操作难度较高
微波烘干	1) 微波只作用于水分, 水分挥发快 2) 自动化程度高, 操作简便 3) 运行环境好	1) 设备电气结构复杂, 造价高 2) 能耗较高
蒸汽烘干	1) 自动化程度高, 操作简便 2) 运行环境好 3) 运行成本较低	1) 适应性差, 要求有稳定的蒸汽供应 2) 设备造价较高

### 4.2 经济技术指标对比

热风烘干、微波烘干和蒸汽烘干三种烘干工艺经济技术指标对比见表 4。

表4 烘干工艺经济技术指标对比

烘干方式	热风烘干	微波烘干	蒸汽烘干
烘干温度/ $^{\circ}\text{C}$	500 ~ 700	100 ~ 120	100 ~ 150
热源	天然气	电	蒸汽
单位能耗*	58.9 $\text{m}^3/\text{t}$	583 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$	0.72 $\text{t}/\text{t}$
价格/元	5.6	0.72	130
能耗成本/ $\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$	330	420	94

注: \* 单位能耗是指将含水率 75% 左右的硫化渣脱水至 40% 以下所需要的能耗

由表 4 可以看出, 蒸汽烘干工艺的能耗成本最低, 但要有稳定的蒸汽供应。而对于冶炼企业来说, 冶炼生产过程中一般都会副产大量蒸汽, 蒸汽自产

自用更具有成本优势。

## 5 结论

通过对比三种烘干工艺可知,蒸汽烘干有着自动化程度高、运行环境好、生产成本低等优点,而且采用蒸汽烘干硫化渣,温度易于控制,解决了常规烘干方法局部温度过高导致物料分解的问题,如果有稳定的蒸汽来源,蒸汽烘干是硫化渣烘干规模化应用的首选工艺。

### [参考文献]

- [1] 崔洁,杜亚光,刘芫,等. 工业硫化砷渣的性质研究与环境风险分析[J]. 硫酸工业,2013(2):41-46.
- [2] 崔洁,杜亚光,刘芫,等. 工业硫化砷渣的基本特性[C]//第二届重金属污染防治技术及风险评估研讨会暨重金属污染防治专委会2012年首届学术年会论

文集,2012:447-455.

- [3] 李衍林,杨大锦,卢文鹏,等. 硫化砷渣直接固化实验研究[J]. 云南冶金,2021,50(6):76-80.
- [4] 白猛,郑雅杰,刘万宇,等. 硫化砷渣的碱性浸出及浸出动力学[J]. 中南大学学报(自然科学版),2008(2):268-272.
- [5] 曲胜利,董准勤,陈涛,等. 含砷物料资源化利用与无害化处置技术路线探讨[J]. 中国有色冶金,2018,47(4):44-48.
- [6] 高敏,李鹏斌,张路. 制水泥用湿排电石渣烘干方式的选择[J]. 新世纪水泥导报,2011,17(2):19-21.
- [7] 何春林. 典型冶金原辅料的微波吸收特性及其应用研究[D]. 广西大学,2016.
- [8] 祝圣远,王国恒. 微波干燥原理及其应用[J]. 工业炉,2003(3):42-45.
- [9] 李桂珍,曹龙文. 利用烟气余热干燥硫化砷渣的研究和设计[J]. 硫酸工业,2015(1):55-58.

## Trade-off Study on Sulfidization Slag Drying Processes

SUN Hai-ming, SUN Fu-hai, SUN Li-min

**Abstract:** The causes of sulfidization slag were described; the properties and treatment status quo of sulfidization slag were analyzed; moreover, an all-round comparison was made among hot air drying, microwave drying and steam drying in terms of their principles, merits and demerits, and economic indicators. It's concluded that drying sulfidization slag with steam is the most suitable way. Steam drying has the advantages of high automation, good operation environment, low production cost and easy temperature control, but it needs stable steam source.

**Key words:** sulfidization slag; drying process; hot air drying; microwave drying; steam drying; flue gas