

# 金属滤料收尘器在烟气砷锑分离中的应用

袁胜利

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 本文介绍了高砷锑烟尘在冶炼时产出烟气的特点, 针对该特点提出了在烟气中进行砷锑分离的方案, 并在相关冶炼厂中开展试验。文中重点介绍了金属滤料收尘器在烟气砷锑分离系统应用时的设计要点, 并在实际使用中达到了预期目的, 为同类项目设计提供了参考意义。

[关键词] 高砷锑烟尘; 砷锑分离; 金属滤料; 空气急冷; 收尘器

[中图分类号] TF818 [文献标志码] B [文章编号] 1003-8884(2023)02-0057-04

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.02.011

## 0 前言

铅阳极泥在火法冶炼过程中会产出含砷锑的渣和烟尘, 当含砷锑渣和烟尘再继续进行锑冶炼时, 砷、锑都以沸点较低的氧化物挥发进入烟气, 富集形成含砷锑较高的烟尘, 即高砷锑烟尘, 此类烟尘一般含砷 20%~30%、含锑 20%~40%。高砷锑烟尘属于危废, 如果不处理对环境有很大危害。另一方面高砷锑烟尘也是锑的二次资源, 应被合理处理进而获得最大的环境和经济效益。由于砷、锑价态多, 而且两种元素为同一主族元素, 物理化学性质相近, 很难通过在冶金炉内实现砷与锑金属分离。目前一般是采用湿法浸出的工艺进行分离, 但浸出工艺流程

长, 而且产生废水废渣, 本文提出在烟气中进行砷锑分离, 即高温收锑尘、低温收砷, 从而将砷锑分离, 并得到  $Sb_2O_3$  和  $As_2O_3$  产品, 相比湿法分离, 简化了生产流程, 减少了废渣产量。

## 1 含砷锑烟气烟尘特点

锑熔炼炉一般处理量小, 所以烟气量不大, 但烟气温度较高, 通常炉内温度在 1 000 °C 以上, 需要冷却降温后才能进入收尘系统。烟气含  $SO_2$  含量不高, 但含 F、Cl 含量较高。

未进行砷锑分离的高砷锑烟尘元素成分和物相成分如表 1、表 2 所示。

表 1 高砷锑烟尘元素成分表

O	F	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Fe	Cu
16.7	3.681	1.84	2.07	0.029	0.075	0.014	3.94	0.386	0.166	0.067
Zn	As	Se	Rb	Cd	Sn	Sb	Te	Pb	Bi	Other
0.232	32.36	0.3	0.027	0.245	0.233	28.38	0.24	4.637	1.824	2.554

根据表 1 和表 2 的分析结果, 高砷锑烟尘中的锑和砷分别以三氧化二锑 ( $Sb_2O_3$ ) 和三氧化二砷 ( $As_2O_3$ ) 的物相存在。 $Sb_2O_3$  俗称锑白, 为白色结晶性粉末, 熔点 655 °C, 烟气经冷却降温后以烟尘的形式存在于烟气中。 $As_2O_3$  易升华, 在高温时为气体状态, 低温时凝华成  $As_2O_3$  固体颗粒。不同温度下气体中  $As_2O_3$  饱和浓度见表 3。从表 3 可以看出, 应尽量控制烟气进高温收尘器的温度越高越好, 以获得

[收稿日期] 2022-12-19

[第一作者] 袁胜利 (1980—), 男, 陕西乾县人, 高级工程师, 硕士, 主要从事有色冶炼烟气收尘工程设计工作, 现任中国恩菲工程技术有限公司冶金化工事业部主任工程师。

[基金项目] 国家重点研发计划“铜冶炼危废源头减量及全过程控制技术与示范”(2018YFC1900306)

[引用格式] 袁胜利. 金属滤料收尘器在烟气砷锑分离中的应用[J]. 有色设备, 2023, 37(2): 57-60.

品位高的锑烟尘,但不能高于  $Sb_2O_3$  熔点;应尽量控制烟气进低温收尘器的温度越低越好,以获得较高的砷回收率,但不能低于烟气露点。另外,  $As_2O_3$  在

170 ~ 270 °C 的温度范围内容易冷凝形成玻璃体,故烟气降温一般考虑快速冷却的方式,避免产生玻璃砷,造成管道粘结、堵塞并且难以清除。

表 2 高砷锑烟尘物相成分表

NaF	MgCl <sub>2</sub>	MgF <sub>2</sub>	AlF <sub>3</sub>	SiF <sub>4</sub>	KCl	FeF <sub>3</sub>	CuCl <sub>2</sub>	ZnS	ZnCl <sub>2</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
3.361	4.424	2.411	0.09	0.278	0.736	0.335	0.141	0.043	0.424	42.726
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SeO <sub>2</sub>	RbF	CdO	SnF <sub>2</sub>	TeO <sub>3</sub>	PbO	PbF <sub>2</sub>	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Other	
33.974	0.422	0.033	0.28	0.308	0.33	3.961	1.136	2.033	2.554	

表 3 不同温度下气体中 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的饱和量

温度/°C	100	120	150	180	280	380	500
饱和浓度/(g·Nm <sup>-3</sup> )	0.0058	0.023	0.35	2.09	490	3210	8840

## 2 烟气砷锑分离方案

目前,一般有色冶金炉产出的含砷烟气,先经过烟气冷却降温至 350 °C 左右,再采用电收尘回收有价金属粉尘,收集的金属粉尘返回冶炼系统。电收尘净化后烟尘基本上已脱除,只剩下尚未凝华的气态  $As_2O_3$ ,烟气再进入骤冷塔,与雾化工艺水或碱液接触,使水完全气化,同时自身被迅速冷却到 150 ~ 160 °C,烟气中的  $As_2O_3$  骤冷后发生凝华,形成  $As_2O_3$  固体,  $As_2O_3$  固体颗粒随烟气进入布袋收尘器被捕集,从而实现尘砷分离。

现行的方法缺点:(1)金属粉尘回收采用电收尘器,相比过滤式收尘,收尘效率低,不仅导致后续产品砷品位低,而且损失了有价金属,降低金属的回

收率;(2)采用喷水冷却,喷水增加了烟气的腐蚀性,容易引起烟气结露,必须提高设备的防腐等级,增加了费用,收砷布袋也易板结。(3)也有的项目在骤冷塔内加入碱性药剂,可以将烟气中的大部分  $SO_3$  脱除,使烟气露点温度低于布袋出口温度。采用这种措施,基本能保证收砷系统于态运行,但带来一些新问题:消耗了大量的碱,增加了运行成本;加入的碱性药剂又转化为大量的含砷危险废物。

根据本项目的烟气烟尘特点以及要求,试验选用高温过滤收尘器和空气急冷装置,采用高温过滤收尘器,能提高  $Sb_2O_3$  烟尘的回收率,为后续  $As_2O_3$  品位的提高创造有利条件;烟气冷却采用空气或环集烟气直接冷却,降低烟气的腐蚀性,降低了设备投资。处理流程如图 1 所示。

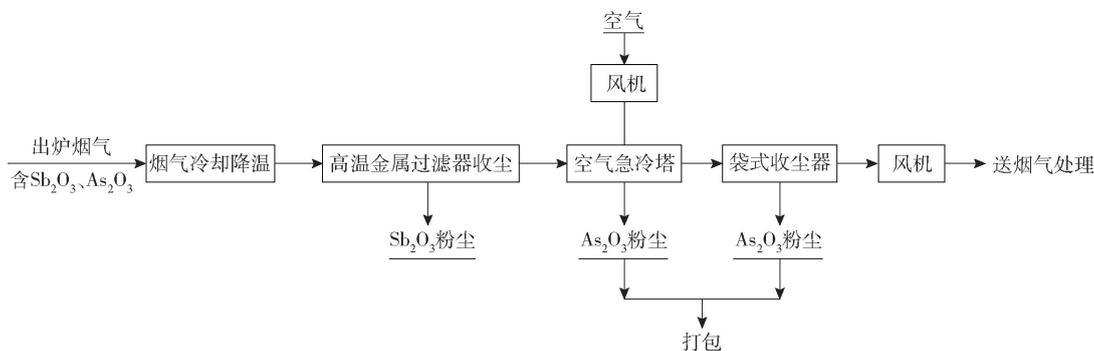


图 1 烟气砷锑分离处理流程图

从锑冶金炉产出的烟气首先经降温装置降温至 350 °C 左右,在该温度范围内,烟气中  $As_2O_3$  处于不饱和状态,仍以气态的形式存在;然后烟气进入高温

过滤器,高温过滤器将其中的  $Sb_2O_3$  烟尘收集,过滤式收尘的效率,后续产品中  $As_2O_3$  的品质更优,  $Sb_2O_3$  的回收率也更高。之后,烟气进入急冷塔中,

由于在 170 ~ 270 ℃ 的温度范围内  $As_2O_3$  容易冷凝形成玻璃体,造成管道粘结、堵塞并且难以清除,采用急冷的方式快速冷却通过此温度段,避免形成玻璃砷。急冷塔利用空气对其直接快速冷却,由此避免了引入水雾而增大烟气腐蚀性的问题,采用空气冷却,烟气的腐蚀性更低。在急冷塔出口设温度检测,根据出口温度自动调节鼓风机空气流量,以满足控制温度的要求。烟气骤冷后,凝华后的  $As_2O_3$  随烟气进入袋式收尘器并被袋式收尘器过滤收集,从而达到了  $Sb_2O_3$  和  $As_2O_3$  分离的目的。布袋采用常规布袋收尘器,但需控制布袋进、出口温度差,温差不能过大,由于烟气中  $As_2O_3$  含量是饱和的,烟气有温度降,就会有  $As_2O_3$  在滤料内凝华结晶,粘结布袋,使系统阻力上升。系统对温度控制要求较高,正常生产时系统温度控制条件如表 4 所示。

表 4 收尘系统温度控制要求表

测点位置	温度/℃
高温除尘器进口	350
急冷塔进口	320
急冷塔出口	150
布袋收尘器出口	140

### 3 高温金属滤料收尘器设计要点

#### (1) 滤料的选择

高温气体除尘或收尘是指 260 ℃ 以上气体的直接气固分离,从而实现气体净化的技术。这种技术可以最大程度的利用气体显热、潜热和动能,与普通滤料相比,可降低下游设备因烟气降温结露造成的堵塞和结垢几率,能够有效避免降温过程中的凝结和液化现象,烟气直接通过高温滤料收尘器进行治理无需增设降温设备节约场地面积,材料耐温性能高适应烟气大幅波动等特点。根据烟气的温度范围,一般将滤料分为中低温滤料(90 ~ 140 ℃),中高温滤料(140 ~ 200 ℃),高温滤料(200 ~ 300 ℃)及超高温滤料(>300 ℃)。而在工业上将 260 ℃ 以上的气固直接分离滤料称为高温除尘滤料。

由于运行温度高,高温烟气对其滤料的机械性能、热和化学稳定性提出了很高的要求。目前高温滤料根据材质不同分为两大类,一类是陶瓷类,另一类是金属纤维滤料,陶瓷类又分为陶瓷纤维和高密度陶瓷滤料。陶瓷类纤维滤料具有强度高、抗热冲击性

好、耐化学腐蚀等特点,是理想的高温过滤材料。陶瓷滤料的主要缺点是价格较高,而且不能用于处理含 HF(浓度限值 100ppm)的烟气。由于试验原料含 F 较高,故不能选用陶瓷滤料。

金属纤维滤料一般由 316L、304 等不锈钢和铁铬铝等金属纤维丝制成。制作工艺分为两种,一种是利用金属纤维丝编织成金属滤网后制作成过滤元件,另一种是通过烧结使金属纤维互相粘结在一起形成网状结构后,制成不同孔隙率的符合金属网结构滤料。金属纤维丝具有良好的机械强度、耐溶剂性、耐酸碱性和耐腐蚀性,易于加工焊接。本项目选用的滤料滤料以 304 不锈钢为基材,烧结涂覆铁铝、钛铝等金属间化合物,金属间化合物多孔材料具有金属键和共价键的混键结构,其具备抗氧化性能好,耐酸、碱性能好,耐温、强度高,线膨胀系数低,可加工、可焊接连接,抗热振性能好。金属间化合物还具有良好的基体桥接能力,具有优异的透气性,优异的力学性能,良好的耐磨性能,良好的抗疲劳性能,具有低的热膨胀系数,优异的抗热振性能等特点。具体的性能参数如下:(1)耐高温:长期可承受 450 ℃ 的高温,短时可耐 600 ℃;(2)抗腐蚀:可耐  $H_2S$ 、 $SO_2$ 、 $SO_3$  等腐蚀;(3)过滤精度高:过滤精度达 0.1  $\mu m$ ,收尘器出口后含尘浓度可稳定控制小于 10 mg/ $Nm^3$ ;(4)易清灰:根据制造工艺,该滤料厚度较薄,为 0.3 ~ 0.5 mm,具备一定柔性,反吹清灰更容易;(5)导电性好,过滤过程中不会产生静电;(6)通量大:过滤气体通量  $\geq 500 m^3/(m^2 \cdot kPa \cdot h)$ ;(7)寿命长:四年及以上。

本文选用的金属滤料主要规格参数如表 5 所示。

表 5 金属滤料主要规格参数表

项目	参数
滤料材质	不锈钢基材,烧结涂覆铁铝、钛铝等金属间化合物
耐温性能/℃	<450
空气透风量/ $m^3/(m^2 \cdot kPa \cdot h)$	$\geq 500$
使用寿命/年	4
滤料直径/mm	$\Phi 130$
滤料长度/mm	4 000
滤料厚度/mm	0.3 ~ 0.5
清灰反吹压力/MPa	0.4 ~ 0.5
除尘器运行压差/Pa	<1 500

## (2) 过滤风速与过滤面积

过滤风速是决定高温过滤除尘器性能的一个重要参数,是指被过滤的气体流量与滤管过滤面积的比值,单位是  $\text{m}/\text{min}$ 。过滤风速的选择与使用工况条件和滤料相关,金属滤料一般不大于  $1 \text{ m}/\text{min}$ 。

## (3) 清灰系统

一般清灰用的压缩空气温度较低,当净化的烟气温度较高,当压缩空气通过喷吹管喷入滤袋时,压缩空气突然释放,袋口周围温度急速下降,为了防止烟气中  $\text{As}_2\text{O}_3$  遇冷空气结晶堵塞滤料,清灰用压缩空气需要加热到  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  以上。但同时脉冲阀最高只能承受  $220 \text{ }^\circ\text{C}$  的高温,为了防止  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  多度高温烟气损坏脉冲阀,需要加长喷吹外管,并在外管上加散热翅片,以防高温烟气对脉冲阀的损坏。金属滤料宜采用中压喷吹,喷吹压力宜为  $0.4 \sim 0.5 \text{ MPa}$ ,脉冲宽度宜为  $200 \sim 250 \text{ ms}$ 。

## 4 实际运行效果

经过调试和运行,系统运行稳定可靠,使用效果良好。试验证明,砷锑分离的效果与进入高温金属过滤除尘器的烟气温度密切相关,温度越高,砷锑分离效果就越好。实验中保持烟气温度高于  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  以上,金属过滤收尘器收集锑烟尘中  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  含量大于  $95\%$ ,  $\text{As}_2\text{O}_3$  烟尘中含  $\text{As}_2\text{O}_3$  大于  $99\%$ ,取得了砷锑分离的预期效果。这是由于  $\text{As}_2\text{O}_3$  易升华,在  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  时的饱和浓度较大,可以使烟气中的  $\text{As}_2\text{O}_3$  保持为气态,在进入高温过滤收尘器不过滤下来,这就提高了收集锑烟尘的品位,同时由于金属过滤收尘器收尘效率高,也减少了进入高温过滤后  $\text{As}_2\text{O}_3$  烟气中的杂质,可获得高品质的  $\text{As}_2\text{O}_3$  产品。可以证明,只要将  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{As}_2\text{O}_3$  挥发到烟气中并保持  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  以上的烟气温度,采用的烟气砷锑分离方案和高温收尘设备就能取得理想砷锑分离效果。

## 5 现场问题及解决

在调试初期,由于控制温度较低,进入高温金属过滤收尘器的烟气温度较低,大量  $\text{As}_2\text{O}_3$  在高温金属过滤收尘器内凝华,不仅导致锑烟尘中含砷高,没有达到分离效果,而且严重的堵塞了滤料,滤料板结严重,一度难以运行。现场分析清楚原因后,增加了烟管保温,也提高了烟气温度,同时加强操作管理,严格控制烟气温度,最终解决了此问题。

## 6 结论

高砷锑烟尘中砷的脱除及无害化处理和有色金属综合回收是冶炼厂面临的一大难题。传统的火法脱砷工艺存在砷、锑分离不彻底,砷挥发产物难处理,环境潜在危害大等问题;湿法脱砷工艺流程冗长,总体试剂消耗量大。通过金属滤料收尘器在烟气砷锑分离中的应用试验,本文选用的烟气砷锑分离流程能满足砷锑分离的要求,高温过滤收尘器设备在处理高温烟气时运行正常,说明设计中采取的各项参数和措施是有效可行的,为同类项目设计提供了参考。

### [参考文献]

- [1] 刘福峰,刘焯河,曾维伟,等. 冶炼厂高砷锑氧化物的砷锑分离和利用[J]. 世界有色金属,2017(23):1-4.
- [2] 方红生,王晓阳,李宝花,等. 高砷锑烟尘脱砷工艺研究现状[J]. 云南冶金,2020,49(2):38-41.
- [3] 刘美玲,沈敏超,刘含笑,等. 高温除尘用金属纤维滤料的性能研究[J]. 发电技术,2022,43(2):363-365.
- [4] 刘会雪,刘有智,孟晓丽. 气体高温除尘技术研究进展[J]. 煤气与热力,2008,28(10):64-68.
- [5] 高阳,赵博,嵯玉群,等. 高温除尘无机滤料国内外进展综述[J]. 环境工程,2017,35(6):69-70.
- [6] 袁胜利. 密相干塔技术在危险废物侧吹炉焚烧烟气处理中的应用[J]. 有色设备,2022,36(04):36-39+44.

(下转第76页)

- 试车及实践[J]. 世界有色金属, 2014(10): 28-29.
- [5] 殷书岩, 陆业大. CCD 逆流洗涤设备选型及计算方法[J]. 中国有色冶金, 2012, 41(5): 37-40.
- [6] 殷书岩, 傅建国, 李少龙. 工艺模拟软件在 HPAL 项目中的应用[J]. 中国有色冶金, 2013, 42(5): 14-17.
- [7] 孙宁磊, 董爱国, 殷书岩, 等. Metsim 软件在氧化铜矿湿法浸出项目中的应用[J]. 中国有色冶金, 2013, 42(4): 31-33.
- [8] 刘飞飞, 龚亚忠, 朱朋克, 等. 基于 METSIM 软件的钨碱煮工艺流程模拟[J]. 有色金属(冶炼部分), 2016(4): 54-57.

## High Pressure acid Leaching Equilibrium Simulation of Laterite Nickel ore based on METSIM

ZHAO Pen-fei

**Abstract:** The balance calculation of high-pressure acid leaching system of laterite ore is the key of the whole system. In this paper, METSIM software is used to simulate and calculate the balance of high-pressure acid leaching system in laterite nickel ore. By calculating the material balance, heat balance and pressure balance of the system, data support is provided for the design of high-pressure acid leaching system, and the software is used to correct the operating parameters under different operating conditions in the actual production process. The balance data obtained can further guide the stability of actual production.

**Key words:** Simulation calculation; Laterite nickel ore; High pressure acid leaching; Material balance



(上接第 60 页)

## The Application of Metal Filter Material Precipitator in the Separation of Arsenic and Antimony in Offgas

YUAN Sheng-li

**Abstract:** This article introduces the characteristics of offgas produced by high arsenic antimony dust during smelting, proposes a scheme for separating arsenic and antimony in the offgas, and conducts experiments in relevant smelters. The article focuses on the design points of the metal filter precipitator in the application of offgas arsenic antimony separation system, and has achieved the expected purpose in practical use, providing reference significance for similar project design.

**Key words:** High arsenic antimony dust; Arsenic antimony separation; Metal filter; Air quenching; Precipitator

