

# 含砷和二噁英复杂烟气治理耦合工艺设计和运行探讨

魏 徵

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

**[摘要]** 本文针对广西某含铜危废处理项目吹炼工段含  $As_2O_3$  冶炼烟气同时脱除二噁英的环保要求,设计过程中将“急冷+袋式收砷”干法收砷技术与“急冷+活性炭吸附”二噁英脱除技术相结合,拟采用“急冷脱酸+活性炭吸附+袋式收砷”的耦合工艺方案处理复杂烟气。由于烟气露点温度高约  $150 \sim 165 \text{ }^\circ\text{C}$ ,接近  $170 \text{ }^\circ\text{C}$  的急冷出口要求温度,设计拟采用急冷脱酸塔,通过高速离心雾化器喷入雾化石灰浆液,实现烟气急冷的同时,脱除烟气中  $SO_3$  从而降低烟气露点,保证管道和设备不腐蚀。最后根据现场运行可能出现的问题,通过温度控制、烟道冷风阀和雾化器自清洗设备等辅助手段对耦合工艺运行进行初步探讨。

**[关键词]** 干法收砷;急冷脱酸塔;二噁英;  $As_2O_3$

**[中图分类号]** TF811

**[文献标志码]** B

**[文章编号]** 1003-8884(2022)06-0075-04

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2022.06.012

## 0 前言

随着我国对再生金属产业的日益重视,含铜污泥等有色金属二次资源得到重新利用,冶炼规模逐年扩大。其冶炼烟气成分复杂,含砷原料以  $As_2O_3$  的气态形式进入烟气,同时伴随二噁英、粉尘等有害物质。

根据《再生铜铝铅锌工业污染物排放标准》(GB31574—2015)和《危险废物焚烧污染物控制标准》(GB18484—2020)相关标准的规定,排放烟气中砷及其化合物要求小于  $0.4 \text{ mg/m}^3$ ,二噁英类物质必须控制在  $0.5 \text{ ngTEQ/Nm}^3$  以下<sup>[1-2]</sup>。

目前,干法收砷技术获得广泛应用,该技术是采用急冷方式使烟气温度迅速通过粘性玻璃砷的温度区间,解决了传统烟道缓冷造成的玻璃砷粘结问题<sup>[3]</sup>。干法收砷技术最早应用于金精矿冶炼行业,山东恒邦冶炼股份有限公司成功消化、完善了瑞典波利登公司的二段焙烧、干法骤冷收砷制酸工艺<sup>[4]</sup>,现已应用于铜、铅冶炼含砷烟气处理,烟气中

As 以  $As_2O_3$  烟尘形态回收<sup>[3]</sup>。

冶炼烟气中二噁英产生主要由不同的前驱物(含氯燃料的不完全燃烧生成)在高温(大于  $400 \sim 800 \text{ }^\circ\text{C}$ )气相中生成<sup>[5]</sup>。《危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范》(HJ/T176—2005)规定焚烧废物产生的高温烟气应采取急冷处理,使烟气瞬时降低到  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  以下,同时喷入活性炭或多孔性吸附剂<sup>[6]</sup>。

以往含砷烟气治理项目,未同时考虑二噁英的脱除。针对现有含砷和二噁英复杂烟气的治理需求和技术瓶颈,多污染物协同控制技术的开发是复杂烟气治理的主要方向。

广西某含铜危废处理项目吹炼工段 PS 转炉由于原料成分复杂(含铜废料、黑铜和铅冰铜等),要求烟气净化需同时考虑  $As_2O_3$  和二噁英的脱除。中国恩菲工程技术有限公司根据项目需求,拟采用“急冷脱酸+活性炭吸附+袋式收砷”的联合工艺方案,通过技术耦合实现复杂烟气污染物脱除。

## 1 工艺设计

### 1.1 设计参数

广西某含铜危废处理项目共处理含铜物料 29 万 t/a,设有侧吹熔炼、转炉吹炼和反射炉精炼三个工段。其中转炉吹炼工段设计 PS 转炉一台,用于处理侧吹熔炼工段产生料、铅冰铜和含铜废料。转炉烟气经余热锅炉降温后设计参数见表 1。

**[收稿日期]** 2022-05-19

**[作者简介]** 魏徵(1982—),男,内蒙古赤峰人,工程师,硕士,主要从事工业烟气治理工作。

**[引用格式]** 魏徵.含砷和二噁英复杂烟气治理耦合工艺设计和运行探讨[J].有色设备,2022,36(6):75-78.

表1 转炉烟气设计参数

	SO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	总量/ (Nm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	温度/℃	含尘/ (g·Nm <sup>-3</sup> )
一周期	3.19	0.032	13.45	79.918	2.73	0.68	42 200.62	350 ± 50	60.03
二周期	7.65	0.076	13.47	76.254	2.4	0.15	46 127.89	350 ± 50	13.91

注:烟气中二噁英含量 ~ 5 ngTEQ/Nm<sup>3</sup>。

转炉设计年工作 300 天,单炉作业时间 8 h,一周期 2.45 h,二周期 3.08 h。转炉烟气分周期波动,烟气体量变化剧烈,烟气温度高。烟气中含尘、硫、砷和二噁英等污染物。

根据《再生铜铝铅锌工业污染物排放标准》的排放要求,要将首先烟气中的 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、粉尘和二噁英进行脱除,再通过制酸工艺将烟气中的硫制成硫酸产品。

## 1.2 方案设计

### 1.2.1 含铜粉尘回收

工艺烟气中粉尘浓度约 13 ~ 60 g/Nm<sup>3</sup>,拟采用高温电除尘器捕集烟气中的含铜粉尘,进一步提高后续工艺所收集的 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粉尘纯度,便于收集。

高温电除尘器拟采用 60 m<sup>2</sup> 单室四电场电除尘器 1 台,集尘面积不小于 4 200 m<sup>2</sup>。一、二、三电场采用高频电源,电源要求 800 mA/72 kV,频率 > 20 000 Hz。四电场采用高频脉冲电源,电源要求 800 mA/72 kV,脉冲电源容量不低于 80 nF,额定输出峰值电压 80 kV,采用 IGBT 作为脉冲开关。为减少设备热损失和保证烟气不过度失温,高温电除尘器整体实施外保温,保温材料选用硅酸铝纤维毡,厚度不低于 150 mm。设计高温电除尘器出口烟气含尘浓度 < 150 mg/Nm<sup>3</sup>,出口烟气温度约 320 ± 20 ℃。

### 1.2.2 干法收砷

工艺烟气中 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 浓度也达到 10 ~ 70 g/Nm<sup>3</sup>,将烟气中的含铜粉尘捕集后,应用干法收砷技术对烟气中的 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 进行收集。

As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在高温烟气中以气态形式存在,在温度 175 ~ 250 ℃ 内容易产生玻璃砷,因此为防止玻璃砷的生成,骤冷收砷过程中高温烟气应迅速降温至 175 ℃ 以下<sup>[7]</sup>。经计算烟气露点温度高约 150 ~ 165 ℃,而采用急冷工艺(喷水降温的方式)将高温烟气从约 300 ℃ 迅速降低至 170 ℃ 左右,运行温度已接近烟气露点温度。根据工程经验,骤冷塔应高于烟气露点 20 ~ 30 ℃ 运行,否则会对后续设备和管道造

成腐蚀。因此需考虑降低降低烟气露点,保证设备的正常运行。烟气中的 SO<sub>3</sub> 是影响露点的主要因素,首先进行脱除。

降低烟气中的 SO<sub>3</sub>,拟采用喷射碱性试剂的手段进行处理,碱性试剂可以选用经济性更好的 Ca(OH)<sub>2</sub>,且浓度不易超过 11%,防止骤冷塔喷嘴堵塞及磨损<sup>[8]</sup>。本项目设计熟石灰(纯度 > 90%)消耗量约 200 kg/h,喷水量约 2.5 t/h,石灰和降温水混合制浆后经雾化喷射装置喷入骤冷塔内,浆液蒸发迅速降低烟气温度的同时发生酸碱中和反应降低烟气中 SO<sub>3</sub> 污染物浓度,将烟气露点降低约 20 ~ 30 ℃。在骤冷塔内 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 最终以固态形式饱和析出,并随烟气进入后续袋式收尘器进行收集。

考虑生产波动及过滤风速,袋式收尘器选用 2 400 m<sup>2</sup> 的离线清灰脉冲袋式收尘器 2 台(一用一备),过滤速度 ~ 0.6 m/min。脉冲袋式收尘器采用离线清灰方式,滤袋采用 PTFE 材质并覆膜。袋式收尘器收集的含 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 烟尘量约 2 300 ~ 2 500 kg/h。

### 1.2.3 脱除二噁英

烟气收集 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的同时考虑脱除烟气中的二噁英。拟采用“急冷 + 活性炭吸附”脱除二噁英工艺。急冷工艺和收砷急冷工艺段重叠,只是出口温度要求不同,亦是采用喷水降温的方式将高温烟气从约 300 ℃ 迅速降低至 200 ℃ 以内,避免二噁英物质再生成,可与干法收砷共用一套急冷设备。在急冷设备后喷入颗粒状活性炭(设计约 5 ~ 8 kg/h)吸附烟气中残余的二噁英。用于吸附二噁英活性炭性能要求:①碘吸附值 ≥ 800 mg/g,②200 目通过率 ≥ 95%,③比表面积 ≥ 900 m<sup>2</sup>/g。吸附二噁英的活性炭随烟气进入袋式收尘器同含 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 烟尘和少量含铜粉尘可一同被袋式收尘器收集。

### 1.2.4 急冷脱酸塔

整个工艺设计的核设备为急冷装置,该设备既要求喷入降温水将烟气温度瞬时降低至指定温度,又要喷入碱性试剂在塔内将烟气中的 SO<sub>3</sub> 脱除。急

冷装置一般采用骤冷塔(蒸发冷却器)。烟气在骤冷塔内停留时间不够易造成雾化烟气中的水分不完全蒸发,在骤冷塔底部形成泥浆,因此骤冷塔烟气停留时间设计为 15 s<sup>[9]</sup>。骤冷塔一般设计高度为 10 ~ 20 m,而本项目为保证足够的停留时间骤冷塔拟设计尺寸为  $\Phi 4.5 \times 30$  m。为达到吸收剂更好的雾化并汽化效果,最终烟气停留时间延长至 25 s,吸收剂能完全汽化<sup>[7]</sup>,造成骤冷塔拟设计高度需要进一步增加。骤冷塔塔体设计过高,设备制造和现场安装难度巨大,同时也造成制造成本过高,因此骤冷塔不适宜应用于本项目。

本项目急冷装置拟采用中国恩菲工程技术有限公司和鑫盛环保公司共同开发的急冷脱酸一体化设备(简称急冷脱酸塔),如图 1 所示。急冷脱酸塔采用磁力高速离心雾化器(1套)代替多组双流体喷枪,磁力高速离心雾化器通过高速旋转雾化盘(转速 8 000 ~ 50 000 r/min)将浆液雾化后呈螺旋辐射方式周围散开,与烟气接触充分且辐射面广,可有效降低塔体高度。本项目设计拟选用  $\Phi 6.5 \times 10$  m 的骤冷脱酸塔 1 台。

磁力高速离心雾化器选用规格 CW-1.5T,喷浆量最高为 3 t/h,额定功率 18.5 kW,最高转速 10 000 r/min,适应高温(300 ~ 1 100 °C)和高强酸腐环境。骤冷脱酸塔将喷入的石灰浆液全部蒸发汽化成不饱和“干气体”,无湿底湿壁问题,设备阻力小(< 700 Pa),进出口烟道布置灵活等优势。

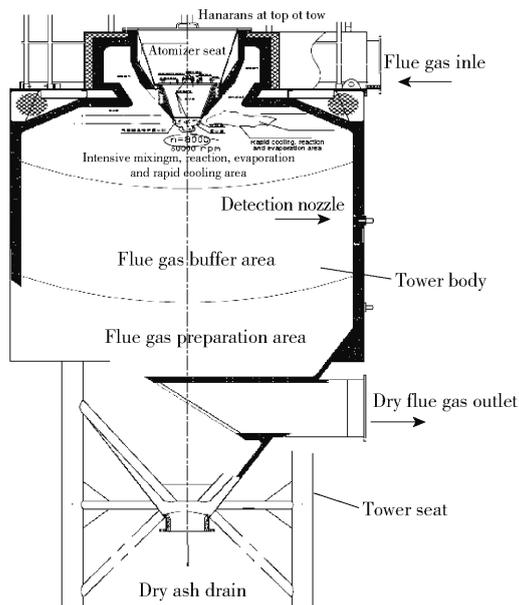
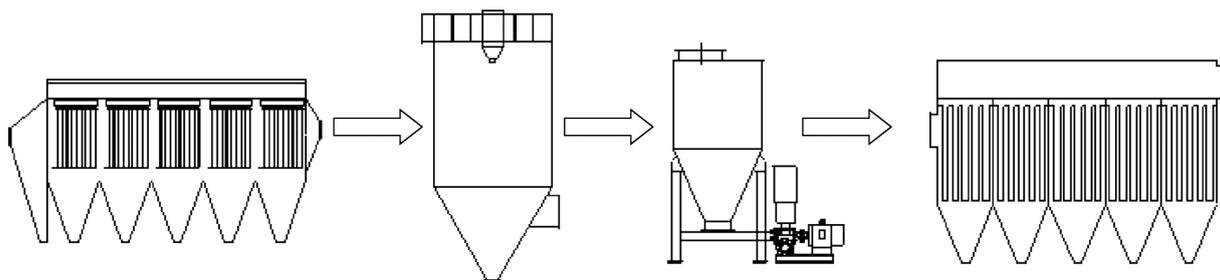


图 1 急冷脱酸塔

### 1.2.5 工艺流程

含二噁英烟气的收砷系统,烟气首先进入高温电收尘器将烟气中含铜粉尘铺集后回冶炼系统再次利用。收尘后的含砷烟气进入急冷脱酸塔,通过碱液喷雾降温至 170 °C,防止二噁英再次生成的同时脱除烟气中的 SO<sub>3</sub>,降低烟气酸露点,在急冷脱酸塔内 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>以固体形式饱和析出。烟气在进入袋式收尘器前烟道中喷入活性炭粉末脱除烟气中残余的二噁英。最后 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉尘被袋式收尘器捕集。

耦合工艺拟设计流程,如图 2 所示。



转炉烟气→电收尘器→急冷脱酸塔→活性炭喷射→袋式收尘器

图 2 耦合工艺流程图

耦合工艺设备表见表 2 所示。

## 2 工艺运行探讨

### (1) 急冷脱酸塔烟气温度控制

整个骤冷工艺运行过程中若温度控制不好 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

易生成玻璃砷,玻璃砷有粘性会造成管道和布袋收尘器的堵塞。因此,运行过程中急冷脱酸塔出口烟气温度必须精准控制到 170 ± 5 °C。本次设计急冷脱酸塔全自动控制模块,可根据工艺要求控制及时控制降温水量,0 ~ 3 t/h。同时,高速离心雾化器

表2 耦合工艺设备表

设备	主要参数	备注
电收尘器	60 m <sup>2</sup>	集尘极面积4 200 m <sup>2</sup> ,一二三电场高频电源,四电场高频脉冲电源
急冷脱酸塔	Φ6.5 × 10 m	磁力高速离心雾化器(CW-1.5T)
活性炭喷射系统	5~8 kg/h	活性炭(①碘吸附值≥800 mg/g,②200目通过率≥95%,③比表面积≥900 m <sup>2</sup> /g)
袋式收尘器	2 400 m <sup>2</sup> × 2	一用一备,滤袋PTFE材质并覆膜

可以根据工艺要求调节雾化盘转速,5 000~10 000 r/min,以获得特定的雾化粒径从而达到精准控制烟气温度的目的。

### (2) 增加冷风阀

特殊事故情况下会造成烟气波动剧烈,烟气温度突然升温过高会造成袋式收尘器滤料损坏。本设计拟在袋式收尘器入口烟道增加冷风阀(Φ800 mm),冷风阀设置应急阀门,事故时打开可向管道内混入冷空气对烟气进行强制降温,保证袋式收尘器入口温度不高于220℃,不损坏滤料。

### (3) 离心雾化器增加自清洗设备

运行过程中急冷脱酸塔中高速离心雾化器连续喷射石灰浆液,雾化器长期运行容易因浆液颗粒造成堵塞。本项目设计高速离心雾化器拟增加自清洗装置。自清洗装置可以定时喷射工艺水对雾化器进行冲洗,保证高速离心雾化器的长期稳定运行。

## 3 结论

(1) 含砷和二噁英复杂烟气治理拟设计为“高温电收尘器→急冷脱酸塔→活性炭喷射→袋式收尘器”耦合工艺流程,达到烟气同时脱除二噁英和收集As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的目的。

(2) 急冷装置选用急冷脱酸塔取代骤冷塔,塔内配置高速离心雾化器,喷入石灰浆液,降低烟气中SO<sub>3</sub>浓度,降低烟气露点,保证设备和烟道不被腐

蚀。急冷脱酸塔出口烟气温度精准控制在170±5℃,抑制二噁英再生成的同时保证气态As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>转化为固态形式,并最终被袋式收尘器收集。袋式收尘器前烟道喷入活性炭粉末脱除烟气中残余的二噁英。

(3) 针对现场运行可能出现的问题增加了烟道冷风阀和高速离心雾化器自清洗装置等装置。

### [参考文献]

- [1] GB 31574—2015,再生铜铝铅锌工业污染物排放标准[S].
- [2] GB 18484—2020,危险废物焚烧污染物控制标准[S].
- [3] 姚亮,李旭朋.有色冶炼烟气骤冷收砷技术的研究与应用[J].中国有色冶金,2014,43(3):41-44.
- [4] 徐洁书.两段焙烧技术处理高砷硫金精矿探讨[J].硫酸工业,2009(3):40-42.
- [5] 曾其雄.固废处理中二噁英排放的控制[J].建材发展导向,2020(2):56-57.
- [6] HJ/T 176—2005,危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范[S].
- [7] 张俊峰,于明飞.富阳侧吹熔炼烟气干法收砷工艺技术难点研究[J].有色冶金节能,2022(1):10-11.
- [8] 陈涛,董准琴,刘永道.富氧底吹炼铜熔炼烟气干法收砷工艺试验研究[J].中国有色冶金,2020,49(2):43-44.
- [9] 李新军.影响干法骤冷收砷效果因素[J].硫酸工业,2015(2):46-48.

(下转第84页)

## Mitigation Scheme of High-Temperature Corrosion in Biomass Boiler Retrofit

LIU Yao

**Abstract:** This paper addresses the problem of high-temperature corrosion of biomass water-cooled vibrating grate boiler in operation. Taking a biomass power plant boiler as an example, based on the mechanism analysis of high-temperature corrosion, this paper elaborates and analyzes the mitigation scheme of high-temperature corrosion by adding deposition, improving the design of secondary air ducts, and optimizing the heating surface setting. It can provide some experience for similar issues in engineering.

**Key words:** biomass boiler; high-temperature corrosion; deposition; heating surface setting ▲

---

(上接第 78 页)

## Exploring the Design and Operation of A Coupled Process for the Treatment of Complex Offgas Containing Arsenic and Dioxins

WEI Zheng

**Abstract:** A copper-containing hazardous waste treatment project in Guangxi is required to dispose the  $As_2O_3$ -containing offgas from converting while removing dioxins. To address this environmental requirement, the design of the process combines the dry arsenic collection technology of “quenching + bag-filtering arsenic collection” and the dioxin removal technology of “quenching + activated carbon absorption”. Hence, the coupled process scheme of “quenching/deacidification + activated carbon absorption + bag-filtering arsenic collection” is proposed in this paper to treat complex offgas. Since the dew point temperature of offgas is around 150 – 165 °C, close to the required quenching outlet temperature of 170 °C, the quenching/deacidification tower is proposed in the design. By spraying in lime slurry through a high-speed centrifugal atomizer, the offgas is quenched while  $SO_3$  is removed thus reducing the dew point of the offgas and avoiding pipes and equipment from corrosion. Finally, based on the possible issues in field operation, the coupled process operation is briefly discussed in regard to auxiliary devices, such as the temperature controller, flue cold-blast valve, and atomizer self-cleaning device.

**Key words:** dry arsenic collection; quenching and deacidification tower; dioxin;  $As_2O_3$  ▲