

# 富氧侧吹熔池熔炼-氧气底吹连续处理含铜 电镀污泥与含铜物料工艺路线

王琛

(中国恩菲工程技术有限公司,北京 100038)

**[摘要]** 我国电镀污泥产量大,富集大量有毒重金属,属于危险废物。本文介绍了各种电镀污泥处理工艺的原理及优缺点,基于目前工艺存在的问题,并针对多种含铜二次资源物料的特点,采用不同的处理工艺合并冶炼流程,提出了“富氧侧吹浸没燃烧熔炼-氧气底吹连续吹炼”的集成创新工艺。同时,并以某含铜二次资源综合利用项目为例,阐述了该工艺在含铜电镀污泥及含铜固废综合利用中的应用效果。该工艺发挥了侧吹浸没燃烧和底吹吹炼两种工艺的优点,协同处理各种含铜物料,具有原料适应性广、热效率高、投资较省、运行成本较低的优点,有效实现了工业固废的“减量化、资源化和无害化”,打造了固废处置行业的新标杆。

**[关键词]** 含铜电镀污泥;含铜固废;有价金属;富氧侧吹浸没燃烧;连续吹炼;综合利用

**[中图分类号]** TF811; X781

**[文献标志码]** B

**[文章编号]** 2097-2423(2023)06-0027-06

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2023.06.005

## 0 前言

电镀污泥是电镀行业产生的废水经过处理后形成的重金属污泥,通常含有 Cu、Ni、Cr、Zn、Fe、Sn、Mn、Ag 等重金属<sup>[1]</sup>,相关金属通常以氢氧化物、金属盐类或混合氧化物的形式存在<sup>[2]</sup>。全球各国均产生大量的电镀污泥,如美国年产 130 万 t,欧盟年产 1.5 万 t,日本年产 6.5 万 t<sup>[3]</sup>。据统计,中国目前大约有 1.5 万家电镀厂,每年约排放 40 亿 m<sup>3</sup> 电镀废水,产生 1 000 万 t 电镀污泥,其蕴藏的有价金属资源超过 10 万 t<sup>[4]</sup>。同时,由于富集了大量有毒重金属,电镀污泥已被列入《国家危险废物名录(2021 版)》,危废类别为 HW17<sup>[5]</sup>。因此,对电镀污泥进行处理,在消除污泥危害的同时,回收其中的有价金属,进行资源化利用,迫在眉睫。

本文介绍了电镀污泥传统处理工艺原理及优缺点,基于目前工艺存在的问题,并针对多种含铜二次资源物料的特点,采用不同的处理工艺合并冶炼流

程,提出了“富氧侧吹浸没燃烧熔炼-氧气底吹连续吹炼”的集成创新工艺。同时,以某含铜二次资源综合利用项目为例介绍该工艺的实际应用效果,为含铜污泥资源化及协同处理含铜物料提供参考。

## 1 电镀污泥处理工艺

目前,电镀污泥处置技术主要有固化/稳定化填埋、湿法处置和火法处置三种处置工艺。

### 1.1 固化/稳定化填埋

固化/稳定化填埋主要指通过固化剂与电镀污泥结合,将污泥中的重金属等有害物质封闭在固化体内,从而不被浸出的方法<sup>[6]</sup>。固化技术主要包括水泥固化、热塑固化、石灰固化等<sup>[7]</sup>。虽然固化处置过程简单,但是随着环保法规要求的固化浸出率日益严格,相关的处置成本也逐步提高;同时,也存在重金属缓释带来的二次污染问题,而且会造成镍、铜、锌等有价金属资源的浪费。

### 1.2 湿法浸出

湿法浸出是指将有价金属元素从固相转移到溶液中的一种工艺,常见的有酸浸、氨浸和微生物浸出<sup>[3]</sup>。酸浸法虽然能回收物料中的有价金属,但钙、硅及其他未能浸出的元素则留在浸出渣中。同时,工业生产的含铜污泥种类繁多,成分波动较大,导致酸浸工艺适应性差,试剂消耗大<sup>[8]</sup>。氨浸法虽然对部分金属(如铜、镍、锌)具有选择性浸出的优

**[收稿日期]** 2023-10-23

**[作者简介]** 王琛(1989—),男,湖北黄石人,硕士,工程师,主要从事铜火法冶金与工业废弃物开发利用等方面的研究工作。

**[引用格式]** 王琛.富氧侧吹熔池熔炼-氧气底吹连续处理含铜电镀污泥与含铜物料工艺路线[J].绿色矿冶,2023,39(6):27-32,38.

点,但最大缺点是浸出速率较慢及氨水臭味<sup>[9]</sup>。同时,酸浸法与氨浸法的浸出液需要进行处理后才能排放,且浸出渣依然是危废,容易造成二次污染<sup>[8]</sup>。微生物浸出处理电镀污泥目前还处于起步阶段,多为实验室或中试阶段,且处理量较小,无法进行大规模处置<sup>[10]</sup>。

### 1.3 火法处置

火法处置工艺主要为炉料在熔融介质中发生金属还原反应和造渣反应,形成密度较高的金属相熔体和密度较低的冶炼渣,二者通过密度的差异进行分离。炉料中的脉石成分( $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 等)与铁的氧化物( $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )一起形成液态炉渣( $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ )<sup>[11]</sup>。

目前,采用火法处置工艺处理含铜污泥的的工厂大多采用鼓风炉还原熔炼工艺,此工艺缺点是:1) 备料工艺流程复杂,入炉物料需要进行制砖或烧结,占地面积大;2) 反应为料柱式熔炼,炉内没有熔池,不能持续憋料、储存物料;3) 炉体漏风严重,作业环境较差,同时出炉烟气温度较低(450~600℃),烟气余热很难利用,且易生成二噁英;4) 富氧浓度低,烟量大,低空污染较重等;5) 生产过程自动化水平低,工人劳动强度大<sup>[12]</sup>。由于鼓风炉工艺难以达到环保要求,国家已经将鼓风炉列为淘汰类工艺及设备<sup>[13]</sup>。

近年来,富氧顶吹和富氧侧吹这两种在铜冶炼领域取得成功的工艺被争相应用到危废处置行业的生产实践中。由于富氧顶吹炉为固定立式炉,密封性较好,对原料的适应性强,炉膛高度能够满足防止二噁英类生成的“3T”原则(Temperature、Time、Turbulence)<sup>[14]</sup>,多搭配精矿进行危废的协同处理。如比利时的 Umieore 公司采用艾萨炉熔炼废线路板、废催化剂、有色工业阳极泥等混合物料,年处理二次资源 25 万 t<sup>[15]</sup>;大冶有色采用 Ausmelt 顶吹技术搭配铜精矿协同处置废电路板<sup>[14]</sup>。同样,富氧侧吹技术有较好的密闭性以及较强的原料适应性,拥有较大的炉床面积及床能率,并可通过在上升烟道设置二次风口有效阻止二噁英的产生。但是由于含铜污泥原料和工况的特殊性(不发热),单独采用富氧侧吹或富氧顶吹工艺处理未能取得理想的效果,存在金属熔体易冻结、漏炉、死炉、烟气系统故障率高等问题。

此外,采用一段富氧侧吹熔炼工艺处理品位较低的含铜固废/危废,一般只能产出含铜量 80%

左右的黑铜,需进行进一步处理才能产出品更好的粗铜或阳极铜。中国恩菲工程技术有限公司(以下简称“中国恩菲”)在国内某项目上,结合富氧侧吹浸没燃烧技术和底吹吹炼的优势,创新提出并应用富氧侧吹浸没燃烧熔炼-氧气底吹连续吹炼集成技术,对含铜电镀污泥及含铜物料中的有价金属进行有效回收。

## 2 富氧侧吹浸没燃烧熔炼与氧气底吹连续吹炼技术

富氧侧吹浸没燃烧熔炼技术(SSC 技术),是中国恩菲具有自主知识产权的强化熔池熔炼技术,该技术的特征为采用多通道侧吹喷枪以亚声速向熔池内喷入富氧空气和燃料(天然气、发生炉煤气、粉煤),剧烈搅动熔体,直接燃烧向熔体补热(图 1)。不同于其他类型侧吹炉仅适用于铜精矿冶炼和液态渣还原,中国恩菲 SSC 工艺适用的物料广泛,特别适用于不发热物料的处理。当炉料加入熔炼区后,立即随熔体的搅动散布于熔体之中,与周围熔体发生快速传热,进行加热、分解、熔化等过程<sup>[16]</sup>。该技术在废旧铅酸蓄电池综合处理、铜浮渣、铜渣处理等领域已成功应用。

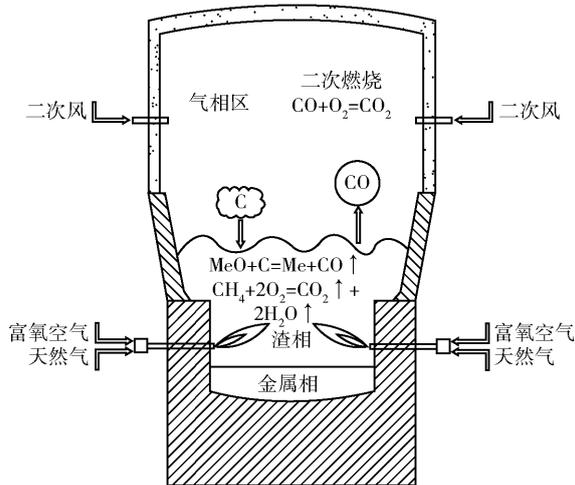


图 1 中国恩菲富氧侧吹浸没燃烧熔池熔炼炉剖面图

氧气底吹连续吹炼技术(BCC 技术)是现代先进的连续吹炼技术之一。该技术通过炉体底部的氧枪向熔池内鼓入富氧空气,剧烈搅拌熔池,铜硫、熔剂和吹炼风快速反应,完成造渣、造铜等过程(图 2)<sup>[17]</sup>。底吹炉由于采用纯砖砌结构形式,炉体散热小,适合处理废杂铜或冷料的工况,基本可以实现自热,不需要额外补充燃料。且该工艺在铜冶炼行业拥有从 5 万 t/a 到 30 万 t/a 的工业化应用实

践,成熟可靠<sup>[17]</sup>。

基于此,本文将介绍富氧侧吹浸没燃烧熔炼-氧气底吹连续吹炼技术处置含铜污泥及含铜物料的工艺实践情况,为行业相关含铜污泥资源化及协同含铜物料处理领域提供借鉴。

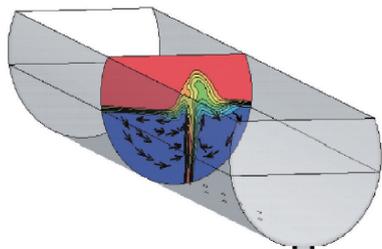


图2 氧气底吹连续吹炼炉仿真图

## 3 生产实践应用

### 3.1 原料

#### 3.1.1 含铜污泥

含铜污泥含水率一般在50%~85%,其含水为结晶水与自由水。国内某厂处理的含铜镍污泥成分(湿基)见表1。

表1 含铜污泥成分(湿基)

元素	Cu	Fe	S	Zn	Pb	As	Ni
含量/%	4.37	4.73	0.74	0.05	0.01	0.14	0.04
元素	Bi	F	Cl	Br	Au*	Ag*	Pd*
含量/%	0.03	0.42	0.37	0.54	0.17	10.52	0.35

注:带\*元素的含量单位为g/t。

#### 3.1.2 含铜固废

含铜固废含水率一般在20%左右,此部分由铜粉、氧化铜粉、海绵铜等物料混合组成。表2为国内某厂处理的含铜固废成分(湿基)。

表2 含铜固废成分(湿基)

成分	Cu	Fe	S	SiO <sub>2</sub>	CaO
含量/%	17.21	17.22	2.97	9.56	12.24

#### 3.1.3 冰铜

国内某厂吹炼系统处理的冰铜成分见表3,其品位约为60%,粒度为5~25mm。

表3 冰铜成分(湿基)

元素	Cu	Fe	S	Zn	Pb
含量/%	57.8	13.6	22.17	0.53	0.4
元素	As	Ni	Au*	Ag*	Pd*
含量/%	0.19	1.23	0.05	78.26	0.15

注:带\*的元素含量单位为g/t。

#### 3.1.4 紫杂铜

国内某厂吹炼系统处理的紫杂铜成分见表4,其品位约为95%。

表4 紫杂铜成分(湿基)

元素	Cu	Fe	S	Zn	Pb	As	Ni
含量/%	93.81	0.96	0	1.23	1.23	0	1.23

#### 3.1.5 高品位杂铜

国内某厂吹炼系统处理的高品位杂铜为外购,品位约为95%,成分见表5。

表5 高品位杂铜成分(湿基)

元素	Cu	Fe	S	Zn	Pb	As	Ni
含量/%	97.00	0.31	0	0.12	0.3	0	0.25

### 3.2 工艺方案

富氧侧吹浸没燃烧熔炼-氧气底吹连续处理含铜电镀污泥与含铜物料工艺流程如图3所示。

#### 3.2.1 原料预处理与配料

含水率70%~75%的含铜污泥通过污泥干燥机,产出含水率40%~45%的干燥污泥,与含铜固废、石英石、石灰石、块煤、返料等物料进行配料。通过熔炼上料胶带输送机输送至富氧侧吹浸没燃烧炉。

#### 3.2.2 富氧侧吹浸没燃烧炉还原熔炼

物料落入富氧侧吹浸没燃烧炉反应区内,富氧空气与还原剂通过炉两侧交错分布的单通道喷枪和双通道喷枪向炉内鼓入。富氧空气和还原剂将反应区内的熔体和物料搅动在一起,促使还原反应充分进行。在高温条件下,含铜固废被还原成黑铜和冰铜的混合熔体。侧吹熔炼产出的液态黑铜经流槽从吹炼炉排烟口上方流入底吹连续吹炼炉内。炉渣从排渣口定期放出,通过流槽排入渣包内,经缓冷、破碎后送选矿车间。熔炼烟气中含有大量的CO,在炉膛和上升烟道中通入二次风进行充分燃烧,然后经余热锅炉回收余热和骤冷塔降温后送硫脱硝处理。熔炼余热锅炉和布袋收尘器收集下来的烟尘经灰罐盛装后送原料仓配料(白烟尘外售)。

#### 3.2.3 底吹炉连续吹炼

外购冷铜(紫杂铜和高品位杂铜)通过加料机组加入底吹炉中,吹炼冰铜、石英石和块煤等在炉顶计量后,从底吹炉加料口加入炉内。富氧空气通过底吹炉底部的氧枪鼓入,剧烈搅拌熔池,使铜硫、熔剂和吹炼风快速反应,完成造渣、造铜等过程。吹炼

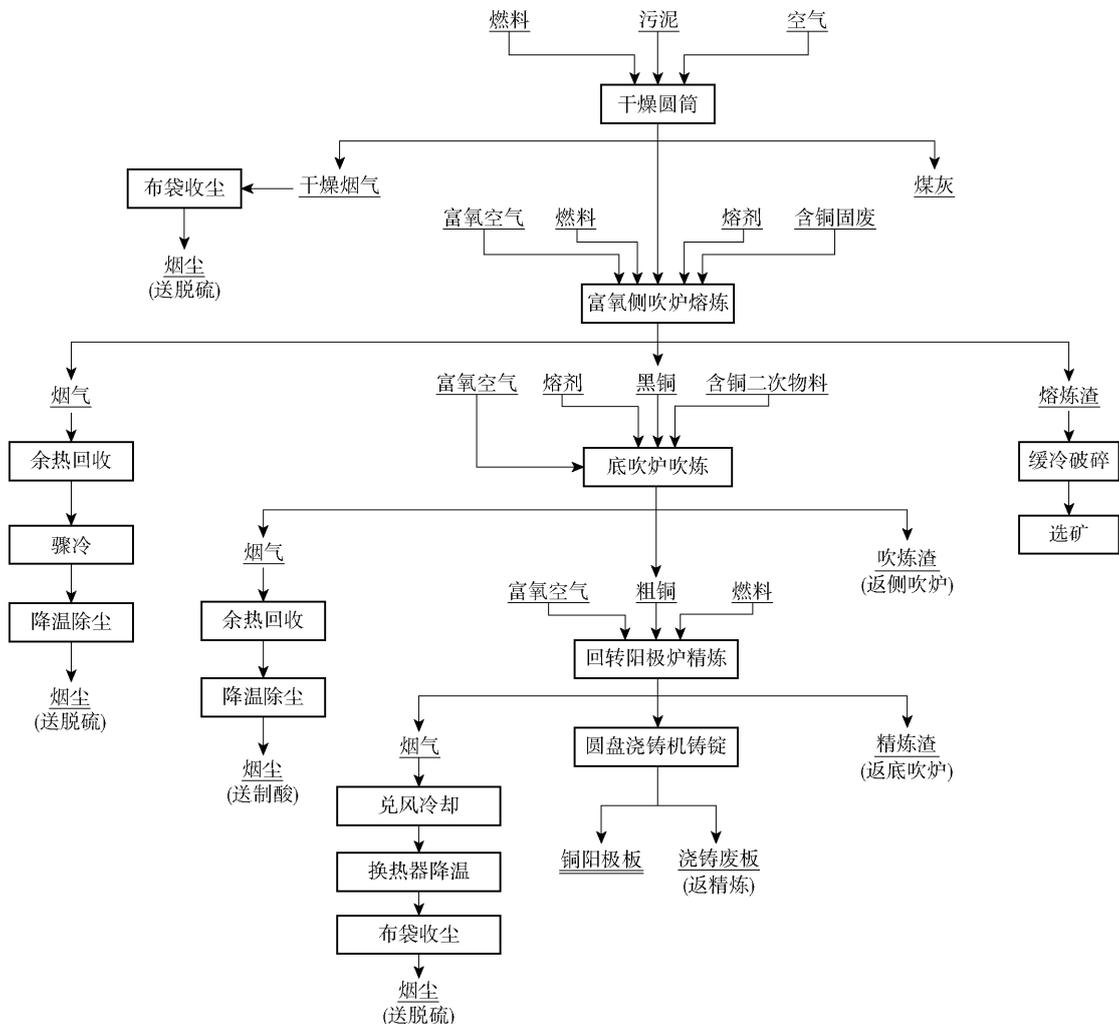


图3 连续处理含铜污泥及含铜固废工艺路线

产出的粗铜和炉渣由于比重不同在炉内沉降分离。粗铜从吹炼炉端部的排放口排入粗铜包中,送回转式阳极炉精炼。吹炼渣定期从炉渣排放口放入渣包中,经冷却、破碎后返回侧吹熔炼炉中。吹炼炉产生的烟气经余热锅炉回收余热、电收尘器收尘净化后送制酸。余热锅炉和电收尘器收集的烟尘经灰罐盛装后送原料仓配料(白烟尘外售)。

### 3.2.4 回转式阳极炉精炼

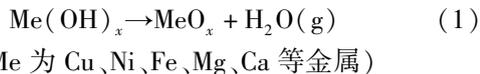
粗铜经过火法精炼进一步除掉其中的有害杂质,以满足电解精炼产品阳极板化学成分的要求。精炼渣经破碎后送底吹炉处理。精炼烟气经烟罩兑风冷却降温、板式换热器进一步降温和布袋收尘后送脱硫处理。

### 3.3 富氧侧吹浸没还原机理

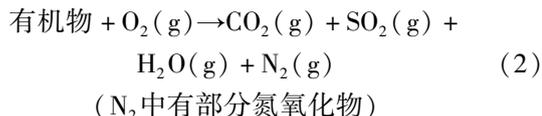
干污泥物料主要由带结晶水的金属盐类、金属氢氧化物等不发热物料组成,反应过程多为吸热反应,需进行补热。混合炉料加入侧吹浸没炉后,除发

生水分蒸发、结晶水水解、有机物挥发与热解等反应外,还会交互发生氢氧化物热解、燃烧、还原和造渣等反应<sup>[2]</sup>。

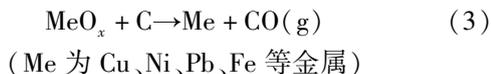
#### 1) 氢氧化物热解反应:



#### 2) 熔池区浸没燃烧反应:

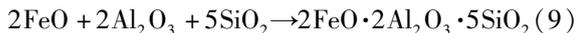


#### 3) 还原反应:



#### 4) 造渣反应:





5) 气相区燃烧反应: 进入气相区的 CO 与二次风进行二次燃烧, 反应见式(10)。



### 3.4 实践中的问题

#### 3.4.1 物料干燥

生产实践中发现, 当含铜污泥干燥至含水率 40% 以下, 表面游离水已基本脱除, 污泥表面形态呈粉粒状。由于小部分污泥粒径过小, 在抓斗授料、皮带转运等过程极易被空气带动而产生无组织排放, 导致区域环境恶劣; 且在投料入炉时, 小粒径污泥容易被高温烟气带入烟道, 造成烟尘率提高、布袋堵塞等问题。故实践生产中, 将污泥干燥含水率控制在 40% ~ 45%, 在此条件下, 干燥后污泥基本为颗粒状, 可直接入炉, 不需进行压球或其他处理, 能够满足车间环境要求。

#### 3.4.2 工艺难点

1) 该工艺处理的原料包括含铜危废、含铜固废、冰铜、紫杂铜和高品位杂铜等, 原料种类众多, 成分复杂。由于以上各种物料的处理量及含铜品位相差较大, 不同的物料需要采用不同的处理工艺, 合并冶炼流程。同时各冶炼系统的烟气要进行针对性的处置, 在满足排放达标要求的前提下, 要考虑节省投资、运行成本的工艺方案。

2) 富氧侧吹还原熔炼反应过程不放热, 需要通过喷枪向炉内喷入燃料以维持炉内的热平衡。同

时, 炉内反应需要搅拌以提高床能率, 这也需要通过喷枪向炉内喷入气体来实现。因此, 喷枪系统的设计十分关键。

3) 生产过程中侧吹炉内作业温度高, 产生的黑铜金属化程度高, 侧吹炉要充分考虑炉体结构高温膨胀、炉衬和喷枪区被冲刷烧蚀的风险。炉体装置开发难度大。

4) 该工艺处理的含铜危废物相以氧化物为主, MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量高, 炉渣熔点高达 1 400 °C 以上, 需要配制合理的渣型降低熔点, 从而降低能耗, 延长炉子寿命。

### 3.5 技术参数指标

本工艺路线已成功应用于国内某含铜二次资源综合利用项目, 并于 2021 年 7 月顺利投产。生产系统主要设计指标详见表 6。

表 6 生产系统主要设计指标

工序	指标	取值
干燥	入炉污泥含水率/%	70 ~ 75
	热风炉温度/°C	600 ~ 800
	出炉污泥含水率/%	40 ~ 45
富氧侧吹还原熔炼	投料量/t·h <sup>-1</sup>	15 ~ 50
	富氧浓度/%	40 ~ 80
	操作温度/°C	1 200 ~ 1 450
氧气底吹连续吹炼	投料量/t·h <sup>-1</sup>	15 ~ 30
	富氧浓度/%	35 ~ 50
	操作温度/°C	1 150 ~ 1 300

### 3.6 实施效果及成果指标

该项目相关实施效果及指标见表 7。

表 7 实施效果及成果指标

序号	指标	数值	备注
1	冻结死炉情况	投产后未发生	国内领先水平
2	喷枪寿命	未更换	自 2021 年 7 月投产后未更换
3	侧吹炉处理能力/t·h <sup>-1</sup>	30	设计能力 28.93
4	侧吹吨矿处理成本/元·t <sup>-1</sup>	530	行业先进水平
5	侧吹产黑铜含铜量/%	78.67 ~ 80.25	达到设计要求
6	阳极铜含铜量/%	99.2 ~ 99.3	行业先进水平
7	废气含尘浓度/mg·m <sup>-3</sup>	22 ~ 26	符合 GB 31574—2015 要求
8	外排废气 SO <sub>2</sub> 浓度/mg·Nm <sup>-3</sup>	76 ~ 82	符合 GB 31574—2015 要求
9	废气 NO <sub>x</sub> 浓度/mg·Nm <sup>-3</sup>	80	符合 GB 31574—2015 要求
10	二噁英排放指标/mg·Nm <sup>-3</sup>	TEQ ≤ 0.1	达到欧盟标准
11	弃渣含铜量/%	≤ 0.25	—
12	稀贵金属回收率/%	≥ 95	—

注: 1 号指标为冶炼生产系统连续无故障作业时间, 且侧吹炉底无冻结, 未发生死炉情况; 7、8、9 号指标废气均指工艺烟气经收尘净化后的废气。

### 3.7 工艺技术优势

1)“富氧侧吹浸没熔池熔炼-氧气底吹连续吹炼”的集成创新型工艺,发挥了侧吹浸没燃烧和底吹两种工艺的优点,协同处理危废、固废、冰铜、紫杂铜和高品位杂铜等含铜物料,原料适应性广。同时,工艺各工段间多为流槽倒运,冶炼过程连续,流程热效率高。各冶炼系统的烟气进行了针对性的处置,在满足排放达标要求的前提下,投资较省、运行成本较低。

2)富氧侧吹炉对原料适应性强,备料环节简单,可直接处理含水率40%~50%的湿料。采用污泥预干燥+侧吹炉还原熔炼的工艺路线处理含铜污泥,不需要焙烧或制砖,流程比传统的污泥火法处置工艺短。

3)由于侧吹炉采用富氧熔炼技术,工艺风富氧浓度可达到65%~85%,外排废气量只有鼓风炉工艺的1/3~1/2。与鼓风炉工艺相比,富氧侧吹工艺更节能、环保,自动化程度更高。

4)侧吹炉采用两侧交错分布的单通道和双通道喷枪系统,向炉内鼓入富氧空气与还原剂,通过浸没燃烧,向炉内直接补热,炉内反应充分,燃料热效率与传质效率更高。

## 4 结束语

本工艺路线采用中国恩菲自主研发的富氧侧吹浸没燃烧熔炼与氧气底吹连续吹炼技术处理含铜危废以及含铜二次资源,并于2021年7月顺利投产,为行业首创。项目投产后,各项设计指标及机械化、自动化水平达均到国内领先水平,成功地践行了工业固废“减量化、资源化、无害化”的处置理念,打造了行业的新标杆,对行业产业升级与技术进步具有重要的带动与示范作用。

### [参考文献]

[1] ZHOU J Z, WU Y Y, LIU C, et al. Effective self-purification of polynary metal electroplating wastewaters through formation of layered double hydroxides [J]. Environmental Science & Technology, 2010, 44(23):8884-8890.

- [2] 李海春,崔沐,陆金忠. 侧吹浸没燃烧熔池熔炼技术在污泥无害化处置上的应用[J]. 中国有色冶金, 2020, 49(6): 26-30.
- [3] 刘维,蒋善钦,焦芬,等. 电镀污泥资源化处理技术研究进展[J]. 电镀与涂装, 2022, 41(8): 585-592.
- [4] LI C C, XIE F C, MA Y, et al. Multiple heavy metals extraction and recovery from hazardous electroplating sludge waste via ultrasonically enhanced twostage acid leaching [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 178(1/2/3):823-833.
- [5] 生态环境部,国家发展和改革委员会,公安部,等. 国家危险废物名录(2021年版)[S]. 中华人民共和国国务院公报, 2021.
- [6] 张学洪,王敦球,黄明,等. 电镀污泥处理技术进展[J]. 桂林工学院学报, 2004(4): 502-506.
- [7] 杨萧. 浅析电镀含铜和含镍污泥的资源化回收工艺[J]. 当代化工研究, 2016(10): 75-76.
- [8] 姜中孝. 含铜含镍污泥资源化利用工艺技术探讨[J]. 广东化工, 2021, 48(8): 239-240.
- [9] 叶海明,王静. 含铜污泥中铜的资源化回收技术[J]. 化工技术与开发, 2010, 39(8): 55-58.
- [10] 彭桂群,敖子强. 电镀污泥处理技术的研究进展[J]. 电镀与环保, 2018, 38(5): 56-58.
- [11] 朱祖泽,贺家齐. 现代铜冶金学[M]. 北京:科学出版社, 2003:37.
- [12] 杨卫严,唐斌,段隆毅,等. 富氧侧吹工艺处理相关危险废物的新进展[J]. 有色金属(冶炼部分), 2020, (9): 49-53.
- [13] 宋珍珠. 含铜污泥的处理及综合利用方法[J]. 有色冶金节能, 2018, 34(6): 53-56.
- [14] 余珊,李飞燕,赵浩然,等. 澳斯麦特炉协同处理铜精矿和废电路板减排二噁英类的实践[J]. 硫酸工业, 2021(7): 39-42.
- [15] 王海北. 我国二次资源循环利用技术现状与发展趋势[J]. 有色金属(冶炼部分), 2019, (9): 1-11, 17.
- [16] 陈学刚,王忠实. 侧吹浸没燃烧熔池熔炼工艺的开发和应用[C]//中国有色金属学会第十届学术年会论文集. 北京, 2016: 90-97.
- [17] 孙晓峰. 双底吹连续炼铜技术的应用与发展[J]. 有色设备, 2020, 34(6): 5-8, 18.

(下转第38页)

## Design of Comprehensive Recovery Process of Waste Lead-Acid Battery with Oxygen-Enriched Side-Blown Furnace

XU Lei

**Abstract:** Waste lead-acid batteries contain lead, waste sulfuric acid and other harmful substances, which are hazardous wastes. If improperly disposed, they will cause pollution to the environment. Therefore, harmless disposal and comprehensive recovery are needed. This paper introduced the recovery process of lead-acid battery. On the basis of comparing various lead paste recovery processes, the advantages of oxygen-enriched side-blown bath smelting process for treating waste lead-acid battery were summarized. Taking a recycled lead recovery practice as an example, the process design, key points and parameters of oxygen-enriched side-blown bath smelting process for treating waste lead-acid battery were reviewed and summarized, which provides reference for factory design and technology upgrading of domestic recycled lead industry.

**Key words:** regenerated lead; lead paste; disassembly process; oxygen-enriched side-blown furnace

(上接第 32 页)

## The Comprehensive Utilization Process of Copper-Containing Electroplating Sludge and Copper-Containing Materials by Oxygen-Enriched Side-Blown Submerged Combustion Smelting and Oxygen Bottom Blown Continuously Converting

WANG Chen

**Abstract:** China's electroplating sludge production is large, and a large number of toxic heavy metals are enriched, which is a hazardous waste. This paper introduced the principle, advantages and disadvantages of the traditional treatment process of electroplating sludge. Based on the existing problems of the current process, and according to the characteristics of various copper-containing secondary resource materials, different treatment processes were used to merge the smelting process, and an integrated innovation process of "oxygen-enriched side-blown submerged combustion smelting-oxygen bottom-blown continuous blowing" was proposed. At the same time, taking a copper-containing secondary resource utilization project as an example, the application effect of the process in the comprehensive utilization of copper-containing electroplating sludge and copper-containing solid waste was expounded. The process has the advantages of both side-blown submerged combustion and bottom-blown smelting, and has the advantages of wide adaptability of raw materials, high thermal efficiency, low investment and low operating cost. It has effectively realized the 'reduction, recycling and harmlessness' of industrial solid waste, and created a new benchmark for the solid waste disposal industry.

**Key words:** copper-containing electroplating sludge; copper-containing solid waste; valuable metals; oxygen-enriched side-blown submerged combustion; continuous converting; comprehensive utilization