

# ISA - YMG 粗铅冶炼新工艺

王吉坤, 周廷熙, 冯桂林

(云南冶金集团总公司, 昆明 650051)

**[摘要]** 评述了铅提取技术的历史及现代铅提取技术的特点; 针对我国目前粗铅冶炼现状, 结合对高铅渣冶炼的多年研究, 提出一种高效、节能、清洁的 ISA - YMG 粗铅冶炼新工艺, 并提供了 YMG 还原熔炼工业试验结果。

**[关键词]** 铅 ISA 氧化熔炼; 高铅渣; 铅 YMG 还原熔炼; 粗铅冶炼新工艺

**[中图分类号]** TF812 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)04-0061-06

铅酸蓄电池的发明曾使炼铅工业获得了重大发展。时至今日, 尽管铅的毒性和对环境的影响已为人们充分认识, 并将其从某些应用领域中排除, 然而, 铅在其他很多领域中的应用, 在相当长的一段时间内仍将拥有很大的市场比重。

统计数据表明, 世界金属铅消耗量的 60% 以上用于铅酸蓄电池生产。美国是蓄电池耗铅比例最高的国家, 一直保持在 80% 以上, 2000 年美国用于蓄电池的精铅占消费量的 90.9%, 达  $150 \times 10^4$  t 以上, 为世界铅消费总量的 24.5%<sup>[1]</sup>。

铅作为一种防护放射性射线的良好材料是其他金属所不可替代, 是发展核电不可或缺的重要材料。

总之, 铅作为一种与能源密切相关的金属材料, 还将长期为人类社会服务。

铅消费总量的一半是通过冶炼铅的矿物原料获得的。

我国铅矿资源丰富, 储量居世界第二位, 其中云南省储量名列第一, 占全国储量的 19.6%。长期以来我国铅厂基本上均采用传统的烧结—鼓风炉熔炼工艺生产粗铅。烧结过程中产生大量的低浓度 SO<sub>2</sub> 烟气 (SO<sub>2</sub> 体积分数仅为 0.8%~2%), 难以直接用于制酸。按硫化铅精矿中硫的质量分数为

12%~24% 计算, 每冶炼 1 t 粗铅有 0.6 t~1.1 t SO<sub>2</sub> 排空。2002 年我国铅产量为  $132.5 \times 10^4$  t, 至少有近  $146 \times 10^4$  t SO<sub>2</sub> 排入大气<sup>[2,3]</sup>。这不仅严重污染了环境, 同时也造成硫资源的浪费, 故该炼铅工艺早被国家列为限期淘汰的生产工艺。因此, 采用新型、节能、环保的炼铅工艺对我国炼铅企业进行技术改造成为当务之急。

## 1 炼铅技术的回顾

炼铅术与炼铜术产生的时代大致相同, 经历了漫长时期的手工作坊式生产。铅以工业规模生产开始于 16 世纪。1871 年后, 发展成为大型鼓风炉炼铅流程。

当代提取铅金属的工业生产几乎全部是火法冶金, 其中采用传统的烧结焙烧—鼓风炉还原熔炼工艺的企业占炼铅企业总数的 75% 以上, 产量占世界铅总产量的 80% 以上<sup>[4]</sup>。

针对传统工艺流程生产环节多、能耗高、返料量大、SO<sub>2</sub> 回收困难、铅蒸气和铅粉尘污染环境、劳动条件差等问题, 世界各国开展了大量研究。研究主要在三个方面: 一是对现有烧结—鼓风炉熔炼工艺的改进; 二是研究充分利用硫、铁等元素的氧化热并利用富氧鼓风使过程能基本自热的直接炼铅

新方法；三是研究不产生 SO<sub>2</sub> 的湿法冶金新工艺。

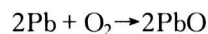
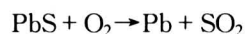
湿法炼铅虽然避免了火法必然产出 SO<sub>2</sub> 烟气的问题，但综合回收金、银、铋、铜、锡、锑等高价金属的过程比火法工艺复杂，作业费用相对较高，对于价值相对很低的贱金属铅而言，湿法工艺的经济性，常常是影响其发展的重要因素。所以，湿法炼铅工艺的发展比较缓慢。目前，湿法炼铅只用于小规模处理某些矿石成分单一和再生铅的生产。

对于传统烧结焙烧工艺的改进主要着力于烧结焙烧过程烟气的处理方面。经过多年努力，烧结烟气中 SO<sub>2</sub> 的体积分数从过去的 1%~2% 提高到目前的 5%~8%（国内仅能达到 2.5%~4%），必须采用专门研究开发的低浓度烟气制酸工艺（如丹麦托普索 WSA 法等），使制酸成本大幅升高，一般企业难于承受。笔者认为，该方案对于目前已经建有大型鼓风返烟烧结机的企业，仅仅是一个充分利用现有生产系统，盘活资产存量的权宜之计<sup>[2]</sup>。烧结焙烧工艺固有的问题在日益严格的环保要求下，必将进一步受到限制并趋于被淘汰。

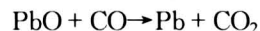
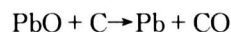
20 世纪 50 年代以来，冶金工作者力图寻求一种旨在高效、节能和改善环境的现代铅冶炼工艺，先后开发了多种新的炼铅新技术。新冶炼技术的共同特点是将焙烧与熔炼结合为一个过程，实现铅精矿直接处理，充分利用硫化铅氧化放出的大量热将炉料迅速熔化，产出液态铅和熔渣，成为自热或半自热熔炼，降低能耗，同时产出含 SO<sub>2</sub> 浓度较高的烟气，通过制酸回收利用硫资源，消除或减轻 SO<sub>2</sub> 对环境的污染危害；采用富氧鼓风或工业纯氧鼓风强化冶金过程；普遍采用计算机自动控制技术对生产过程进行控制。

直接炼铅的冶炼过程必须严格控制温度和氧位，高温有利于 PbS 氧化为金属铅，但温度过高铅的挥发明显增加；同时，冶炼过程必须保持一定的氧位，氧位太低 PbS 难于氧化或仅能氧化为 nPbO·PbSO<sub>4</sub>。高于一定的氧位 PbS 才能氧化为金属铅，但高氧位又不利于降低渣含铅。生产过程中难于实现同时既保持高氧位使硫化铅充分氧化为金属铅、又保持低氧位尽量降低渣含铅的条件。为解决此矛盾，仍需要将冶金过程分为氧化和还原两个阶段，在氧化段充分氧化获得低硫铅，在还原段充分还原产出低铅炉渣。

氧化段主要发生下列反应：



还原段主要发生下列反应：



不同的直接炼铅法所采取的技术路线有所不同，或者在同一个反应器内分为两个区域，或者将过程分为两个阶段分步进行；有的是在两个反应器内分别完成两个阶段的过程。

国内外先后研究开发的直接炼铅工艺多种多样，按照实现强化作业的技术手段总的分为闪速熔炼和熔池熔炼两类：

属于闪速熔炼的有前苏联全苏有色金属矿冶研究所开发的“氧气旋涡悬浮电热工艺”即基夫赛特法（Kivcet），芬兰奥托昆普公司开发的奥托昆普熔炼法，加拿大科明科公司开发的科明科法，澳大利亚的沃克拉法<sup>[4,5]</sup>。其共同特点是将经过充分磨细和深度干燥的炉料用工艺过程气体高速送入高温反应器内，在高度分散状态下实现 PbS 的氧化过程和造渣，含 PbO 的炉渣再经过还原处理。

德国鲁奇公司开发的 QSL 法，澳大利亚开发的顶吹沉没熔炼法（也称 SIROSMET），加拿大诺兰达公司开发的诺兰达法以及美国开发的圣约瑟夫炼铅法等属于熔池熔炼。由于冶金反应过程集中于被工艺过程气体强烈搅动的熔体中，对炉料的物理状态要求不高是其最大特点<sup>[4,5]</sup>。

瑞典波立登公司开发的卡尔多法（TBRC）兼有闪速熔炼和熔池熔炼的特点。

现有已经应用于工业生产的直接炼铅法主要有基夫赛特法、QSL 法、顶吹沉没熔炼法和卡尔多法。据不完全统计，采用上述新工艺的铅生产能力已超过  $50 \times 10^4 \text{ t/a}$ <sup>[4]</sup>。

现代炼铅技术是由冶金工艺与现代炉窑技术、热工技术、材料技术、自动控制技术、信息技术以及相关制造技术等多学科集成的系统技术，属于流程性产品的先进制造技术范畴。

## 2 已工业化应用的现代火法炼铅技术

有关几种现代火法炼铅技术已多有报道。笔者仅就各自的特点及利弊做一分析。

### 2.1 QSL 法

QSL 法属底吹熔池熔炼。原料适应性强, 可以处理二次铅物料和块状物料, 炉料不需要干燥可直接入炉, 备料简单, 流程简短, 投资相对较低。采用氧气底吹熔炼, 底喷粉煤还原, 工艺操作难度大, 还原段工艺技术条件复杂, 还原深度不易控制, 熔池底部的铅层直接暴露在喷枪口高温燃烧气体的冲击搅动下, 不可避免地将增大铅的挥发损失, 炉内澄清分离条件不良。喷枪外径仅 35~40 mm, 氧化段喷枪由 2 根同心管组成, 还原段喷枪分 3 层。氧、氮、粉煤、空气的供应系统过于精细和复杂, 维修困难, 喷枪使用寿命短, 需经常停炉换枪, 影响生产稳定连续运行。QSL 法投产周期长, 烟尘率和渣含铅高, 炉渣需进一步贫化处理, 因此直收率低。

目前采用 QSL 法的炼铅厂有 3 家: 中国西北铅锌冶炼厂, 德国施托贝尔格厂和韩国温山冶炼厂。其中德、韩两厂已有 8 年以上连续生产经验, 实际生产能力已达到和超过设计能力。西北铅锌冶炼厂经过试车、局部改造, 再试车后还需进一步改造, 现尚未正式投产。

## 2.2 基夫赛特法

基夫赛特法是将闪速氧化熔炼与电热还原熔炼结合为一体的现代炼铅技术。该法采用高强度的闪速熔炼实现高氧位条件下 PbS 的脱硫和反应熔炼, 充分利用了固体碳质还原剂实现低氧位条件下 PbO 的还原和渣贫化, 较好地解决了在同一装置内高氧位和低氧位难于并存的矛盾。闪速熔炼技术和电热还原熔炼技术都已应用于工业生产多年, 其技术成熟程度无须赘言。哈萨克斯坦乌斯季-卡缅诺戈尔斯克铅锌联合企业、意大利 Samim 公司维斯麦港 KSS 厂和加拿大 Cominco 公司 Trail 厂的工业生产实践也充分证明该技术的工业应用是成功的。

但是, 为保证炉料在反应塔内以悬浮状态完成冶金过程, 入炉物料必须细磨和深度干燥, 反应塔有足够的高度和空间体积; 烟尘率高达 25%~30%, 使废热锅炉和收尘系统的负荷大大增加。闪速熔炼工艺流程复杂、设备庞大、投资增加较大, 是目前几种直接炼铅技术中单位产品投资最高的工艺。基夫赛特法特别适合于大型冶炼厂, 规模在  $10 \times 10^4$  t/a 以上的炼铅厂采用该工艺还是比较适宜的。

## 2.3 顶吹沉没熔炼法

顶吹沉没熔炼法又称奥斯麦特法 (AUSMELT) 或艾萨法 (ISASMELT), 其源技术赛罗熔炼法 (SIROSMET) 由澳大利亚联邦科学与工业研究组织 (CSIRO) 开发。

其特点是流程短, 设备结构简单, 对原料的适应性强, 可处理二次物料, 备料过程很简单, 熔炼技术易于掌握, 可用任何一种当地最经济的燃料, 烟气  $\text{SO}_2$  浓度大于 10% 或更高一些。该法可以在同一台反应器内分阶段完成氧化熔炼、还原熔炼和烟化炉渣的整个冶金过程。但一炉制不利于回收处理烟气中的硫, 可采用两段式 (两炉制), 在第一台炉子内完成氧化熔炼, 产出约 50% 的金属铅和富铅渣, 富铅渣流入第二台炉内进行还原熔炼和再进一步烟化, 最终产出符合环保要求的炉渣。

该法单位投资较低, 能力规模可大可小, 既可单独处理铅精矿, 也可单独处理蓄电池泥等二次资源, 或两者混合处理, 计算机过程控制技术成熟。近几年来, 世界范围内推广应用的速度较快。

顶吹沉没还原熔炼的工业生产实践也暴露出富铅渣还原段存在某些技术问题, 如粉煤制备和用量的控制难度较大, 导致还原炉的操作不太稳定, 渣含铅波动较大, 烟尘率高、炉期短等问题尚需进一步解决。目前, 多采用氧化熔炼处理高品位原料回收金属铅, 高铅渣水碎后或配入烧结机物料中烧结后入鼓风炉还原熔炼, 或作为铅精矿出售。德国诺丁汉冶炼厂处理物料为铅精矿+蓄电池泥, 入炉物料铅品位高达 70% 以上, 粗铅产率达 90%, 高铅渣数量不多, 水碎后作为铅精矿出售。

## 2.4 卡尔多法

卡尔多法通过一支多层结构的喷枪将氧气、燃料及炉料喷入自身旋转的梨型炉膛内, 在炉膛空间强烈氧化并熔融, 落入熔池后继续完成氧化熔炼过程。当熔池达到一定深度后停止加料, 通过溜槽加入还原煤, 使渣中的氧化铅还原为金属铅, 并贫化炉渣。当还原过程结束后提起喷枪, 倾动炉体倒渣和粗铅, 然后再重新开始氧化熔炼。由于采用阶段作业的工艺过程,  $\text{SO}_2$  气体不连续, 波立登公司因地制宜地采用当地低温海水将部分  $\text{SO}_2$  气体液化, 然后在还原段再气化以保证制酸过程的连续进行, 因此, 应用受到一定限制。目前只有该公司隆斯卡尔冶炼厂建有工业生产系统。

## 3 国内目前自行开发的直接炼铅新技术

近年来, 国内企业针对传统烧结工艺对环境的

污染危害，积极采用高新技术开展了一系列旨在推动铅冶金企业技术进步的技术改造。在充分分析国外先进炼铅技术利弊的基础上，结合我国国情，通过技术引进和自行研究开发相结合的路子，在现代炼铅技术的开发研究方面，取得了好的成果。

水口山矿务局与北京有色冶金设计研究总院共同开发的 SKS（水口山）法，采用底吹氧化熔炼处理铅精矿，富铅渣用鼓风机还原熔炼，已实现工业化生产。

云南冶金集团总公司从 20 世纪 80 年代开始研究顶吹沉没熔炼技术，开展了锡、锑和黝铜矿的扩大试验，取得了较好效果。云南曾是我国古代重要的产银地区，古人遗留下大量提银的老炉渣，其成分与顶吹炉富铅渣近似。从 20 世纪 50 年代起，云南冶金集团总公司所属会泽铅锌矿和澜沧铅矿一直用鼓风机还原熔炼处理老炉渣回收粗铅，探索出一整套工艺技术和实践经验。近几年来，又整合集团科技力量，致力于粗铅新工艺的研究开发。在对顶吹沉没熔炼技术进行充分调研的基础上，从澳大利亚芒特艾萨公司引进技术上更为成熟的 ISA 炼铅工艺氧化熔炼部分，与该公司在多年处理炼银老炉渣实践基础上自行开发的“富铅渣鼓风机熔炼技术”及“鼓风机强化熔炼技术”进行有机整合、开发形成的 ISA-YMG 法是一种独有的高效、节能、清洁炼铅工艺。

鼓风机（竖炉）熔炼有工艺过程稳定、热效率高、床能力较大、金属回收率较高、对炉料良好的适应性以及易于操作控制、作业成本相对较低、占地面积较小等特点，使其在很长时期内经受了经济与技术发展的考验，足以证明其具有十分强大的生命力和适应能力。

鼓风机（竖炉）由于其固有的特点，以炭质燃料为骨架的料柱是实现高效率还原熔炼最理想的基础；料柱与炉气的逆流运行为热能的高效利用提供了充分保证；焦点区挥发的铅蒸气随高温炉气，在上行过程中与低温料柱相遇而冷凝并被阻留，大大降低了铅的挥发损失，有效地解决了熔池还原熔炼铅挥发率过高、直收率低等有关问题。由于鼓风机焦点区处于高温和炉气高度湍动状态，冶金反应过程集中、剧烈，鼓风机还原的床能力比电炉大许多倍。

用高新技术（包括富氧鼓风、粉煤喷吹、生产过程计算机控制等）改造后的现代化鼓风机（竖

炉）是一种效率甚高的大型强化冶炼装置。

针对现代炼铅新工艺还原段的一系列技术问题，采用鼓风机作为还原段的工艺手段具有充分的技术依据和合理性。

云南冶金集团总公司为保证 ISA-YMG 工艺工业应用的顺利，先后两次从国外进口顶吹沉没熔炼高铅渣，进行 YMG 还原熔炼工业性试验。所获技术经济指标已被用作目前正在建设的  $8 \times 10^4$  t/a ISA-YMG 工艺铅冶炼系统的设计依据。按“等量淘汰，集中改造”原则，对原有多条烧结一鼓风机生产线进行技术改造，新系统预计 2004 年投产。

#### 4 ISA-YMG 粗铅冶炼新工艺

ISA-YMG 粗铅冶炼新工艺（以下简称 ISA-YMG 法）流程图见图 1。

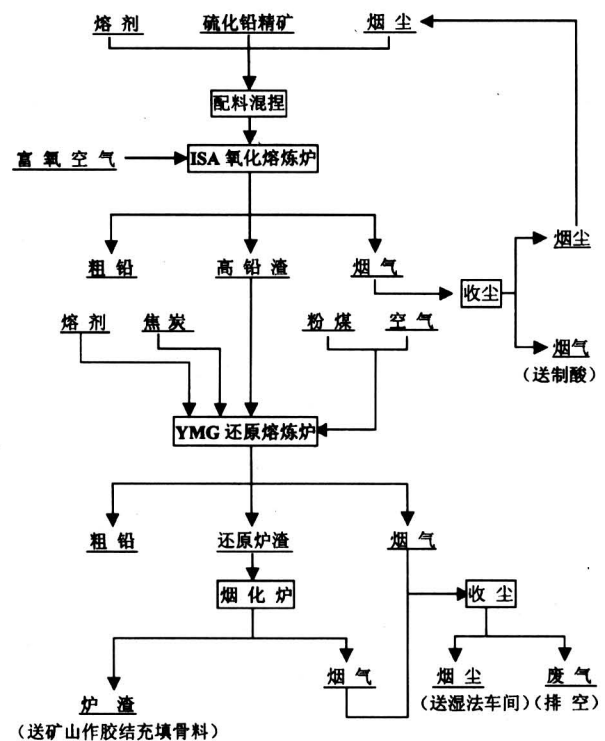


图 1 ISA-YMG 粗铅冶炼新工艺原则流程

Fig.1 ISA-YMG smelting process for lead bullion

硫化铅精矿、返回的烟尘和熔剂通过加料口加入 ISA 炉，富氧空气、煤经喷枪喷入熔池，使硫化铅物料氧化脱硫，产出含 SO<sub>2</sub> 浓度满足制酸要求的烟气，经收尘后送制酸系统，烟尘返回熔炼。原料中 40%~50% 的铅直接以粗铅形态产出，小于 10% 的铅进入烟尘，约有 40%~45% 的铅以高

铅渣形态产出,使还原熔炼的物料量大幅减少。含铅 50% 的高铅渣铸块后送 YMG 熔炼工艺处理,生产粗铅;含铅低于 2.5% 的还原熔炼渣送烟化炉回收其中的锌;烟气冷却收尘后排空,烟尘送湿法炼锌系统。该工艺与传统烧结一鼓风炉粗铅冶炼工艺相比,具有以下特点:

**节能** 氧化熔炼炉充分利用硫化铅精矿的氧化潜热,节约燃料消耗,节能效果明显。

**强化** 工艺气体在熔池中产生的强烈搅拌作用,具有良好的传热、传质效果,熔炼速度快,过程强化,单位体积的炉子生产率高, YMG 还原工艺处理能力大、投资低、操作维护方便。

**环保** 由于采用富氧空气熔炼,氧化炉烟气中  $\text{SO}_2$  浓度高,经制酸回收后,排入大气的  $\text{SO}_2$  大幅度降低,改善了环境质量,设备密闭性能好,在微负压下操作,工作环境清洁。

**简便** 氧化熔炼炉结构紧凑,并采用富氧熔炼,减少烟气量,节省收尘制酸系统投资,直接产出部分粗铅,降低高铅渣还原系统的处理负荷,还原渣的烟化还可综合回收精矿中的锌。

**适应性强** 备料系统简单,原料适应性强,燃料可用粉煤、碎焦炭、重油或天然气。

以上特点从根本上解决了烧结一鼓风炉环境污染严重、烧结返粉多、工作环境恶劣的粗铅冶炼落后工艺。

## 5 ISA-YMG 粗铅冶炼新工艺研究

### 5.1 硫化铅精矿直接产部分粗铅的氧化熔炼试验<sup>[6]</sup>

1994 年,芒特艾萨公司用 ISA 炉进行了高品位铅精矿直接生产粗铅的试验,精矿成分见表 1。试验共处理精矿 4 070 t,处理能力为 32 t/h,生产了 1 240 t 铅金属和 2 380 t 高铅渣,高铅渣中铅质量分数为 52%。烟尘率低于 10%。

表 1 铅精矿成分

Table 1 The composition of lead concentrate

成分	Pb	Zn	Cu	Fe	S	CaO	$\text{SiO}_2$
质量分数/%	66.9	3.44	0.6	4.4	16.5	0.7	2.6

### 5.2 高铅渣的 YMG 还原熔炼试验\*

5.2.1 原料 试验用的试料是从国外进口的高铅渣,其平均成分见表 2。

表 3 列出了高铅渣物相的 X-射线衍射分析结果,表明铅以硅酸铅、铅黄和金属铅三种状态存在。高铅渣的堆密度为  $3.05 \text{ g/cm}^3$ 。

表 2 高铅渣的平均成分

Table 2 The average composition of high-lead slag

成分	Pb	$\text{SiO}_2$	Fe	CaO	Zn	S	Cu	Sb	As	$\text{Al}_2\text{O}_3$	Ag (g/t)
质量分数/%	43.60	7.88	11.43	4.31	10.36	0.53	0.56	3.10	0.64	1.05	37.86

表 3 高铅渣铅物相

Table 3 Lead mineral composition of high-lead slag

铅物相	硅酸铅	铅黄	金属铅	合计
铅品位/%	20.68	18.60	1.52	40.8
分布率/%	50.69	45.59	3.72	100.00

高铅渣具有以下特性:

**含铅高** 烧结块一般含铅 30%;高铅渣含铅 42%,有时达到 50%。

**孔隙率低** 高铅渣为致密的熔结物,堆密度  $3.05 \text{ g/cm}^3$ ;铅烧结块为多孔疏松的自熔性物料,孔隙率一般为 50%~60%,堆密度  $1.8 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$ 。

铅的化学物相不同 高铅渣中以硅酸铅形态存在的铅高达 50%以上<sup>①</sup>。而烧结块中以游离氧化铅形态存在的铅为主,硅酸铅形态的铅量仅为 8%~20%<sup>[7]</sup>。

**杂质成分高** 含锌达 10.36%,铅锌比为 4.21,锑高达 3.10%, $\text{Sb} + \text{As} + \text{Cu}$  为 4.3%,必须对渣型进行优化和精心控制。

**还原状态不同** 烧结块比表面积大,气-固还原、气-液还原、固-液还原可同时进行。与熔炼烧结块比较,高铅渣的比表面积小,气(CO)一固(铅的氧化物)接触面有限,气-固还原的作用受到限制;由于高铅渣熔点较低,当其受热熔融后,固(炽热焦炭)一液(熔融的铅氧化物)还原和气(CO)一液(熔融的铅氧化物)还原成为降低渣含铅的关键,若要获得高的铅直收率和低的渣

① 云南冶金集团总公司. 富铅渣的鼓风炉熔炼工业试验报告. 2003 年 5 月

含铅, 必须采取特殊措施, 以保证熔炼过程具有强的还原气氛和足够的还原时间方能达到。

试验所用溶剂主要有  $w(\text{Fe}) = 57.57\%$  的铁矿石;  $w(\text{CaO}) = 55.76\%$  的石灰石;  $w(\text{SiO}_2) = 88.78\%$  河砂。燃料含固定炭 76.36% 的焦炭, 每公斤发热值为 26.5 MJ。

5.2.2 试验设备 试验针对高铅渣的特性, 结合前期高铅渣研究成果, 在  $3 \text{ m}^2$  的 YMG 高铅渣还原炉上进行。

5.2.3 高铅渣连续还原试验结果 试验连续进行 4 天, 共处理高铅渣 539 t, 返渣 21.44 t, 产出粗铅 219.94 t。其炉床能力  $61.22 \text{ t/m}^2 \cdot \text{d}$ , 铅的回收率 96.25% (按渣计), 焦率 13.15%, 烟尘率 2.56%, 渣含铅 1.88%。

## 6 结论

按照芒特艾萨公司 1994 年的数据, 当处理  $w(\text{pb})$  为 66.9% 的硫化铅精矿时, 45.54% 的铅直接在 ISA 炉生成粗铅, 烟尘率可控制在 10% 以下。其余的铅以高铅渣形态进入 YMG 还原炉。

由于高铅渣块的物理、化学性能的特殊性, 通过炉型、熔炼工艺的变化, 取得较好的效果。铅的直收率指标与烧结块鼓风炉熔炼的指标接近, 达到 86.61%。床能力可达到  $61.22 \text{ t/m}^2 \cdot \text{d}$ , 焦率 13.15%, 烟尘率 2.56%, 渣含铅 1.88%。说明该工艺是可行的。

将 ISA 氧化炉在脱硫的基础上, 45.54% 的铅直接以粗铅的形态产出, 其余的铅以高铅渣形态用 YMG 还原炉处理, 在杂质成分较高的情况下, 可顺利生产粗铅, 并控制平均渣含铅 1.88%。充分发挥 ISA 炉强化、利用精矿氧化热、烟气  $\text{SO}_2$  浓度满足制酸要求优势, 彻底解决粗铅冶炼的环保问题。利用 YMG 还原炉处理高铅渣, 处理量大、成本低、将两相技术进行创新组合, 形成 ISA - YMG 粗铅冶炼的高效、节能、环保、经济的新工艺。

### 参考文献

- [1] 国土资源部信息中心编著. 世界矿产资源年评 (2000—2001)[M]. 北京: 地质出版社, 2002, 124 ~ 129
- [2] 冯桂林. 关于云南省发展铅锌工业的思考 [J]. 云南冶金, 2000, (2): 2~10
- [3] 中国有色金属工业协会信息统计部. 2002 年有色金属工业统计资料汇编 [M]. 2003
- [4] 王吉坤, 冯桂林, 徐晓军编著. 有色金属矿产资源的开发及加工技术 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2000, 292~339
- [5] 陈国发, 王德全编著. 铅冶金学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000
- [6] 株冶科技编辑部. 1990 年世界铅锌学术会议论文集 [J]. 株冶科技, 1990, (3,4)
- [7] 铅锌冶金学编委会. 铅锌冶金学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003

## ISA - YMG Smelting Process for Lead Bullion

Wang Jikun, Zhou Tingxi, Feng Guilin

(Yunnan Metallurgical Group Co., Kunming 650051, China)

[Abstract] This paper reviews the history of the extractive metallurgy of lead and describes the characteristics of modern lead smelting technologies. In view of the present situation of lead bullion smelting in China, and on the basis of years' research on the treatment of high-lead slag by YMG, the paper introduces the ISA-YMG smelting process for lead bullion, which is effective, energy-saving and clean, and provides the results of industrial tests of the YMG reduction smelting.

[Key words] ISA oxidation smelting of lead; high-lead slag; YMG reduction smelting of lead; new smelting process for lead bullion