

# 铅冶炼三联炉工艺中烟化炉富氧浓度优化对含锌渣资源化回收的影响

赵金全

呼伦贝尔驰宏矿业有限公司 内蒙古 呼伦贝尔 021008

**【摘要】**：针对传统铅冶炼三联工艺富氧参数不合理导致含锌渣资源化回收效率低、尾渣金属残留高、能耗偏高的问题，本文以奥炉-侧吹还原-烟化炉三联炼铅工艺为研究对象，开展不同富氧浓度梯度的工业试验，重点分析富氧浓度对铅锌挥发率、尾渣金属含量、能耗及烟尘品质的影响规律，确定最优富氧操作区间。试验结果表明，合理提升富氧浓度可强化熔渣还原与挥发反应，大幅提高含锌渣中铅、锌等有价值金属回收率，降低尾渣无害化处置难度，同时优化工艺能耗，实现铅冶炼废渣资源化与绿色化协同发展，为同类三联炼铅工艺中烟化炉参数优化提供实践参考。

**【关键词】**：铅冶炼；烟化炉；富氧浓度；含锌渣处理

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.022

## 1 引言

铅是有色金属行业的核心基础原料，火法炼铅是当前主流生产工艺，奥炉-侧吹还原-烟化炉三联工艺凭借流程连续、热利用率高、适配复杂铅原料的优势，逐步替代传统分段炼铅工艺，成为大中型铅冶炼企业的首选工艺。在实际生产中，富氧浓度是调控烟化炉吹炼工艺反应氛围、温度场及还原挥发效率的关键参数。部分企业沿用常规空气鼓风操作，导致烟化炉内还原反应不充分、金属挥发不完全，尾渣中铅、锌残留量偏高，既造成资源浪费，也增加废渣堆存与处置的环保压力；盲目提升富氧浓度则会引发能耗上升、炉体侵蚀加剧、烟尘品质下降等问题。因此，精准优化富氧浓度，匹配三联工艺各段反应需求，对提升含锌渣资源化回收效率、降低生产成本、践行绿色冶金理念具有重要意义。本文结合工业生产实际，系统研究富氧浓度优化对含锌渣资源化回收的影响，确定最优操作参数，为工艺提质增效提供技术支持。

## 2 工艺原理与试验方案

### 2.1 三联工艺核心原理

奥炉-侧吹还原-烟化炉三联工艺采用连续化熔融作业模式，三段炉体通过溜槽直接衔接，实现高温熔渣余热高效利用，避免传统工艺渣料冷却再加热的能耗损耗。奥炉以富氧空气为助燃剂，完成铅精矿+渣物料的脱硫氧化，产出富铅熔渣；进入侧吹还原炉，加入还原剂完成铅氧化物深度还原，提取粗铅，还原后炉渣铅含量仍有一定残留，属于典型可资源化含锌还原渣；该炉渣随即送入烟化炉，通过富氧与粉煤协同喷吹，营造高温还原挥发氛围，将渣中铅、锌氧化物还原为金属蒸气，挥发后经氧化收集为氧化锌烟尘，实现有价值金属回收，最终产出的尾渣水淬，满足一般工业固废处置标准，可实现综合利用。

### 2.2 试验条件与设计

本次试验依托某铅冶炼企业现有三联生产线，试验原料还原渣主要成分稳定，铅含量3%、锌含量10-16%，属于典型中等品位含锌冶炼渣。试验期间保持炉温、进料量、还原剂配比、鼓风压力等工艺参数恒定，仅调整富氧浓度变量，设置5组梯度，分别为21%（常规空气）、22.5%、24%、25.5%、27%，每组梯度连续稳定运行72小时，采集炉渣、烟尘、尾渣样品，检测有价值金属含量、挥发率及能耗指标，对比分析不同富氧浓度下的工艺效果。

### 2.3 检测方法

采用火焰原子吸收光谱法检测炉渣与烟尘中铅、锌含量，计算金属挥发率；通过工业分析仪检测尾渣含水率与有害成分，记录单位原料煤耗、电耗数据，综合评价富氧浓度对工艺经济性与环保性的影响。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 不同富氧浓度下含锌渣资源化回收指标对比

试验过程中同步采集各组数据，整理核心指标形成下表，直观反映富氧浓度对铅、锌挥发率、尾渣金属残留及工艺能耗的影响。

表1 不同富氧浓度下含锌渣资源化回收指标对比

富氧浓度/%	铅挥发率/%	锌挥发率/%	尾渣铅含量/%	尾渣锌含量/%	单位原料煤耗/kg/t
21	86.32	86.15	0.14	1.41	226
22.5	89.46	88.38	0.11	1.26	221
24	92.17	91.62	0.08	0.75	218

25.5	93.83	94.14	0.06	0.60	216
27	94.12	94.42	0.05	0.58	216

(注:续表1)

由表中数据可知,富氧浓度对含锌渣资源化回收效率影响显著,整体呈现先升后稳的变化规律。常规空气条件下,烟化炉内氧气供给不足,粉煤燃烧不充分,炉内温度偏低且还原氛围薄弱,铅、锌氧化物还原与挥发反应受限,铅挥发率仅86.32%,锌挥发率86.15%,水渣中铅、锌残留量分别达到0.14%和1.41%,资源化回收效果较差,同时煤耗偏高,生产成本增加。

随着富氧浓度逐步提升至24%,氧气供给与还原反应需求匹配度提高,炉内燃烧效率提升,温度场更均匀,有效强化了渣相中铅、锌的还原与挥发动力学过程。铅、锌挥发率持续上升,富氧浓度25.5%以上时,铅挥发率突破93.83%,锌挥发率突破94.14%,水渣铅、锌含量大幅降至0.06%和0.60%,煤耗降至192kg/t,较常规空气操作降低15%,实现了资源回收与能耗优化的双重提升。

### 3.2 富氧浓度对三联工艺中烟化炉协同运行的影响

铅冶炼三联工艺的核心优势是连续化协同作业,富氧浓度优化改进烟化炉含锌渣回收,富氧浓度过高则会加剧炉体氧化损耗,缩短设备使用寿命,增加设备维护成本,破坏工艺长期稳定运行。还有随着富氧提升,次氧化锌的氧气单耗成本增加,通过平衡计算,氧气大于25%,指标优化后的收益无法覆盖氧气成本,生产不经济。

### 3.3 尾渣无害化与资源化价值分析

铅冶炼渣属于有色冶金废渣,若尾渣中铅、锌等重金属残留超标,无法直接综合利用,只能堆存处置,占用土地资源且存在重金属渗漏风险。经富氧浓度优化后,尾渣铅含量低于0.06%,锌含量低于0.6%,满足一般工业固体废物综合利用标

## 参考文献:

- [1] 张殿彬,任富明,赵红梅,等.富氧顶吹炉-侧吹还原炉处理重金属冶炼废渣工艺研究[J].世界有色金属,2022,(10):8-12.
- [2] 谢金印.C-H2 熔融还原炉侧吹物理模拟研究[D].上海大学,2020.
- [3] 尹德友,冯孔方,程伟玲,等.铁浴式熔融还原炉侧吹喷枪的水力学模拟[J].过程工程学报,2010,10(S1):83-87.

准,可用于水泥掺合料、路基填料等建材领域,实现废渣完全资源化,避免二次污染。同时,高挥发率下产出的氧化锌烟尘品位提升,杂质含量降低,单质锌也低,可直接作为锌冶炼原料或外销,进一步提高工艺附加值。

## 4 最优富氧浓度确定与工艺优化建议

综合试验数据、工艺运行稳定性及生产成本经济性分析,三联工艺中烟化炉处理含锌渣时,最优富氧浓度区间为24-25.5%,推荐为核心操作值。该浓度下,铅、锌挥发率处于高位,尾渣重金属残留达标,氧气及煤率能耗最低,设备运行负荷适中,安全性稳定,兼顾资源化回收效率、安全环保效益与经济性。

结合最优参数,提出工艺优化建议。一是建立富氧浓度动态调控机制,根据原料成分、炉温波动实时微调富氧参数,保证工艺稳定性;二是优化富氧喷吹方式,采用均匀喷吹设计,避免局部氧气浓度过高或过低,强化炉内反应均匀性;三是同步匹配还原剂配比,在最优富氧浓度下,适度降低粉煤加入量,进一步降低能耗;四是加强尾渣与烟尘在线检测,实时监控回收指标,及时调整工艺参数,保障资源化回收效果持续达标。

## 5 结论

铅冶炼三联工艺中烟化炉的富氧浓度直接决定含锌渣中铅、锌有价金属的还原挥发效率,低浓度富氧会导致反应不充分、回收效率低、能耗偏高,过高浓度则无法持续提升回收效果,且增加生产成本与设备损耗。工业试验表明,富氧浓度控制在25.5%时,铅挥发率达94.12%,锌挥发率达94.42%,尾渣铅、锌含量大幅降低,单位原料煤耗较常规空气操作降低4%以上,含锌渣资源化回收效果最优。优化富氧浓度可实现三联工艺协同高效运行,不仅提升含锌渣资源化利用率,还能降低尾渣无害化处置难度,实现废渣综合利用,契合有色冶金绿色低碳、循环发展的行业要求,可为同类铅冶炼三联工艺烟化炉参数优化提供可靠的实践依据。