

氧气侧吹还原炉及高铅渣熔融还原过程研究

济源市万洋冶炼（集团）有限公司

张立 蔺公敏 宾万达 李元香 李小兵

摘要: 本文详细介绍了氧气侧吹炉的炉型结构, 高铅渣熔融还原过程及特性, 通过生产实践数据表明, 采用氧气侧吹炉处理高铅渣, 节能效果明显, 生产清洁环保, 运行稳定, 占地很小。

关键词: 氧气侧吹炉; 高铅渣; 还原过程

1 前言

瓦纽科夫技术是前苏联研发并推广应用的熔池熔炼技术, 最初被用在处理铜镍精矿。2001年由河南新乡中联总公司率先引进建造了 1.5m^2 试验炉处理铅精矿, 通过多次优化摸索, 试验改进, 逐渐掌握了瓦纽科夫炉及其工艺过程, 并形成了具有自主知识产权的氧气侧吹炉——“中联炉”, 于2003年7月获得国家专利(ZL03246213.1)。该炉既可作为氧化熔炼炉又可用作还原熔炼炉; 既可以加熔融高铅渣又可以加固体高铅渣; 既可以进行连续还原作业又可以进行间断、周期性还原作业; 进行还原熔炼时既可以单用煤作还原剂和燃料, 又可使用煤和燃气(煤气或天然气)混合作还原剂和燃料。

目前铅冶炼领域应用较广的氧气底吹(SKS)熔炼—鼓风炉还原法和浸没式顶吹(ISA或Ausmelt)熔炼—鼓风炉还原法都存在着工艺缺陷, 熔融高铅渣铸块冷却经鼓风炉还原, 潜热未得到利用, 鼓风炉与烟化炉之间需设电热前床, 能耗较大。2009年万洋公司、中联公司及豫北金铅公司合作开发 8.4m^2 工业生产炉, 用于液态高铅渣的直接还原, 很好的解决了以上工艺的弊端, 该炉一次性试车成功, 2011年3月10日开炉以来, 生产稳定, 技术经济指标均取得了理想的效果。

2 氧气侧吹还原炉

氧气侧吹还原炉主要结构部件如图1所示:

1) 安置在炉基1上的炉缸2(在炉缸底部的侧面, 开有虹吸放铅口21, 在炉缸的一侧端墙上按位置高底的不同开有正常放渣口17-1, 底渣、冰铜放出口17-2, 底铅安全放出口17-3);

2) 由铜质水套4、5、6围成横截面为矩形的炉身下中部(在一层铜水套4上安装有一次风口3, 在三层铜水套上安装有二次风口13, 三层铜水套分别固定在各自的钢框上, 用高强罗栓连接, 并用支撑杆18固定在炉支撑架12上);

3) 由炉支撑架12支撑的炉上部内衬有耐火材料15的钢质箱式四层钢制水套10, 其上右侧为内衬有耐火材料的钢质炉顶水套8, 其上左侧为烟道接口水套9, 用于连接余热锅炉;

- 4) 在炉顶水套和三层铜水套加料平台上装有加料口7-1和备用加料口7-2，它是煤和固体炉料的主加料口；
- 5) 在炉前端三层水套上设有熔体高铅渣流入口16，用溜槽与底吹炉排渣口连接；
- 6) 固定在炉支撑架上的向炉内供一次富氧空气和向炉内供二次风的供风系统19、20；

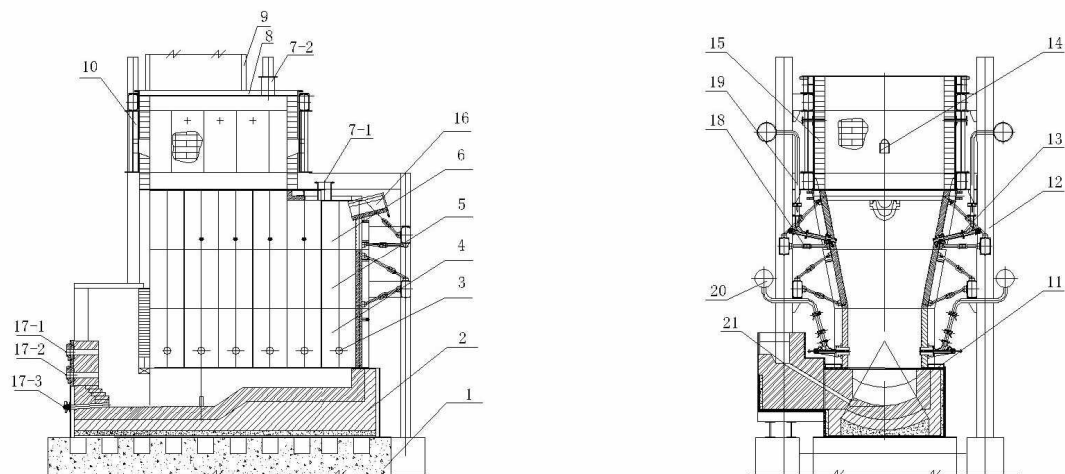


图 1 8.4m²氧气侧吹炉

氧气侧吹炉从下到上可分为四个区域：炉缸区、熔池区、鼓泡区和再燃烧区。

炉缸区：炉缸区主要是完成熔渣与铅的分离过程，并分别排出炉外。炉缸外壳是一矩形的钢质焊接容器（槽形）。炉缸钢外壳内底部浇铸耐火防渗漏炉衬。炉底呈倒拱形。炉缸的墙壁砌有两排镁铬砖。炉底分成高底段、低炉底段及二者间的过渡段，这种结构的炉底是“中联炉”标志性的特点。高低炉底的设计既减少了炉缸的容积又保证了炉缸的必要深度。减少炉缸的容积，底铅量则少，可加速底铅的更新和热流动，有利于防止渣铅间“中间层”的生成；底铅深则有利于熔池中炉渣的含铅量和厚度在大范围内波动，而不易出现从渣口跑渣事故。这种设计对于侧吹还原熔炼过程的稳定运行特别有益。

在熔池的一端，为了从炉缸中将熔体从炉内有计划的放出，设有从炉内正常放渣的放渣口，在正常放渣口的下方，还设有二个放液孔（安全口），设在炉缸底部是底铅口，用于停炉时将底铅放出。在它的上方为安全渣口，从此口可放出炉内全部炉渣，也可在炉内有冰铜时，从此口放出冰铜，也可只将渣放至风口以下，目的是在需要更换风嘴时将熔体放至风口以下。在炉的一侧设有放铅的虹吸装置。调整铅流口的高度可控制炉缸中铅层的高度。

熔池区：熔池区是用来实现冶金过程的区域，即用于在向炉渣熔体鼓风送入富氧空气的情况下，进行燃料燃烧对熔体加热和对氧化铅等进行还原，生成炉渣和粗铅，并将它们分离和将熔炼产生的液态和气态产物导出炉外，为了减少炉料颗粒和熔体液滴被气流机械带出，炉身做成向上扩展的形式（2、3层水套向外倾斜）。

炉子的下排即第一层水套，或称风口水套，呈长方形厚板状，由铜铸造制成，内部有铜质蛇形管。水套固定在角钢制成的支撑框架上，这些框架本身又彼此牢固连接，形成炉墙。处于不同部位的普通水套尺寸和几何形状都不尽相同。在铜水套面向熔体的表面上刨有槽沟，以方便和增强铜水套上的挂渣，对铜水套起到保护和减少铜水套带走的热损失的作用。正常工作情况下，冷却水带走水套向炉内工作面的热，在水套工作面上形成一层冷凝渣壳（正常厚度20—40mm），使水套工作面免受高温熔体的化学腐蚀和冲刷损伤。

在第一层两侧铜水套上，每块均安装有铜质的水冷风嘴（虹吸出铅处水套没有安装水冷风嘴），共13个。每个风口均有各自的调风装置和均备有各自的堵塞杆。

生产正常情况下风口只有4—5个风口供风即可。当使用混合燃料和还原剂时，可从下风口插入燃气管。用单一煤作燃料和还原剂时则不需要插入燃气管。

一次风口送风特性见表1：

表 1 一次风口送风特性表

开启风口数(个)	总鼓风量(Nm ³ /h)	风口风速 (m/s)	风口压力 (MPa)	终渣鼓泡高度 (mm)
5	2600	204	0.095	800—1100
4	2100	206	0.097	760—1000

注：鼓泡高度为一次风口中心线以上

鼓泡区：从熔池区的静止渣面到二次风口的下面，我们称之为鼓泡区。在一次富氧空气的作用下，气体使熔渣熔池强烈翻滚、搅动、喷溅，在此区域高铅渣完成还原过程。同时熔渣在翻滚、喷溅的过程中，可被二次燃烧的高温气体加热，从而提高了热的利用率。

再燃烧区：在炉子侧墙第三排水套上安装有向下倾斜的再燃烧风嘴（每边各4支），以提供空气或富氧空气鼓风，其目的是燃烧炉气中 CO，并将燃烧产生的热部分返回熔池。这是“中联炉”的又一特点。

侧吹还原炉采用液态渣直接还原，富氧熔池熔炼技术，以煤代焦，生产工艺简单，高效节能，完全可以取代传统铅冶炼鼓风炉还原。侧吹还原炉还具有风口结构简单、适用性广、炉（包括风口）寿命长、无运动部件、鼓风压力低、熔池搅拌激烈、床能力高、可用单一煤粒作燃料和还原剂生产稳定适应性好等特点，还可以利用再燃烧（二次风口）返回部分 CO 燃烧热返加熔池，使煤的热利用率达到最高限度。

3 高铅渣熔体直接还原过程

底吹炉产出的高铅渣通过溜槽从侧吹炉的前端流入侧吹炉，立即与被激烈搅拌的熔融炉渣混合。从熔池两侧鼓入的富氧空气造成熔池的强烈搅拌，从而保证了加入的液态或固态的

高铅渣、石灰石、煤粒快速混合均匀，气—液—固之间的物理化学反应达到和接近热力学平衡状态。还原熔炼过程得到最大的强化。由于熔池的强烈搅拌，促使新生时的铅滴相互碰撞而聚合、长大、下沉，落到风口以下的相对安静区与炉渣分层。因此，氧气侧吹还原炉无需附加一个渣铅分离区。

3.1 底吹炉产高铅渣熔体的特性

底吹炉产高铅渣熔体有以下特点：化学成分上含 Fe_3O_4 高，超过总渣量的10%。加上渣温只1050℃左右，因此，高铅渣熔体在入炉还原初期可能会出现“喷炉”现象。此外， CaO/SiO_2 较低，还需要在还原炉中补加石灰石，同时调整渣型满足后续烟化炉的要求。

3.2 高铅渣中氧化铅在侧吹炉中还原特征

如前述氧气侧吹熔池熔炼炉具有搅拌强烈、还原熔炼过程得到最大的强化的特点，高铅渣还原速度快，生产证明：还原35—50分钟即可达到预定的还原深度 $\text{Pb} \leq 2\%$ 。

3.3 还原作业周期的构成

高铅渣侧吹炉直接还原是周期性作业，从进料、还原、到放渣为一周期，操作制度上一个作业周期包括：进料及进料热平衡（加高铅渣同时加石灰石并升温）—还原—放渣热平衡（保温）过程。

高铅渣入炉后与炉中渣混合温度虽有提高，但温度仍不够还原要求的1200℃。而且，加入石灰石后 CaCO_3 分解反应、 $\text{PbO} + \text{C} = \text{Pb} + \text{CO}$ 的还原反应都是吸热的；同时，考虑还要为还原渣入烟化炉回收锌创造条件；因此，高铅渣的还原过程是必须补给热量的，整个作业周期都要用富氧空气燃烧无烟煤粒来维持各阶段必须的温度，只不过燃烧煤的数量及氧过剩系数 α 值（氧碳比）不尽相同而已。详见表2。

表 2 氧气侧吹还原炉作业周期构成

阶段	进料	还原	放渣
时间（分）	30-40	40-50	30-40
α 值（鼓风）	0.6-0.7	0.4-0.5	0.85-0.9

底吹炉和烟化炉作业周期均为2小时左右，因而确定侧吹炉还原周期也为2小时。其中进料升温30-40分钟、还原40-50分钟、放渣保温30-40分钟。应该说明的是还原与进料时间有重叠，整个作业周期并不需要2小时，这一状况有利于调节氧化炉—还原炉—烟化炉三炉串联的整个生产链的相互匹配和对接；同时，也预示着侧吹炉规模还可减小或者底吹炉进一步增产的可能性。

4 运行状况

万洋公司氧气侧吹炉在新乡中联公司多次试验的基础上，于2011年3月10日一次性开炉成功，运行60余天，生产稳定连续，各项技术经济指标达到了预期目标值。前期氧化段

底吹炉为 $\Phi 3.8\text{m} \times 11.5\text{m}$ ，110~120min 放一次渣，产出液态高铅渣量为 28~35t/炉，渣含铅 43~50%，此次设计的氧气侧吹炉为 8.4m^2 ，还原一个周期结束后渣含铅降至 2%以下，铅回收率 97~98%，烟尘率 8~10%。

5 氧气侧吹炉的技术优势

氧气侧吹炉与现行鼓风炉工艺相比具有以下优势：

(1) 取消了铸渣机，避免了高铅渣冷却铸块过程中水汽弥漫、碎沫飞扬的现象，生产环境进一步改善，也省下了铸渣机的设备投资。

(2) 高铅渣在熔融液态下直接还原，充分利用了高铅渣熔体的潜热，节省了大量的燃料，使吨铅生产能耗下降。

(3) 侧吹还原炉的高温炉渣直接流入烟化炉，不需要提温阶段，充分利用了熔渣的热能，可直接进入还原提锌，节省了粉煤，也提高了生产效率，同时氧化锌品质更好。

(4) 高铅渣还原只采用单一的煤作为燃料和还原剂，起到加热和还原的作用。与鼓风炉相比煤比焦炭价格低廉，与国内其他的还原炉相比不需要天然气或煤气作为燃料，使不具有天然气或煤气的厂家也可采用此种工艺，推广前景更广。

(5) 侧吹还原炉床能率很高，时间上可以与底吹炉、烟化炉相匹配，取消了电热前床，节省大量的电能及石墨电极，使能耗降低。

(6) 侧吹还原炉熔池熔炼反应激烈，还原程度彻底，为了保证锌的回收，渣含铅控制不大于 2%。

(7) 氧气侧吹还原炉占地少，投资省，生产操作简单，指标易于控制，工人劳动强度小，生产操作环境好。

6 结语

河南济源万洋公司处理液态高铅渣的氧气侧吹还原炉自投产运行以来以来，取得很好的技术指标和经济指标，实践表明，氧气侧吹炉具有投资少、流程短、设备简单、生产成本低、各种有价金属回收率高的优点，在铅冶炼领域将具有广泛的运用前景。

参考文献

- [1] 蔺公敏，宾万达. 硫化铅精矿氧气侧吹炉熔池熔炼直接炼铅新技术[J]. 中国有色冶金, 2005, 2 (1)
- [2] 宾万达. 瓦纽科夫过程及其在我国的应用前景[J]. 中国首届熔池熔炼技术及装备专题研讨会, 2007
- [3] 蔺公敏，宾万达. 氧气侧吹直接炼铅炉[J]. 中国有色冶金, 2005, 12 (6)