

# 万洋“三连炉”直接炼铅法的生产实践

济源市万洋冶炼（集团）有限公司

李小兵 李元香 蔺公敏 宾万达 张立

**摘要：**本文介绍了济源市万洋冶炼（集团）有限公司“三连炉”直接炼铅法工艺系统情况及生产实践的主要技术经济指标。实践表明，该方法生产效率高，节能效果好，运行稳定，前景广阔。分析了“三连炉”炼铅法的特点优势，阐明了该工艺对提升我国铅生产技术水平实现节能减排的意义和作用。

**关键词：**三连炉；高铅渣；氧气侧吹还原炉；综合能耗

## 1 前言

铅的火法冶炼方法主要有烧结—鼓风炉熔炼法、氧气底吹熔炼（SKS）—鼓风炉还原法、浸没式顶吹（ISA 或 Ausmelt）熔炼—鼓风炉还原法、氧气顶吹卡尔多（Kaldo）转炉法、氧气底吹（QSL）法和基夫赛特（Kivcet）法。在上述方法中，氧气底吹熔炼—鼓风炉还原法和浸没式顶吹（ISA 或 Ausmelt）熔炼—鼓风炉还原法已实现了稳定持续的生产，并取得了良好的技术经济指标，为我国大部分的铅冶炼厂所采用。氧气底吹熔炼—鼓风炉还原法和浸没式顶吹（ISA 或 Ausmelt）熔炼—鼓风炉还原法在工艺上都是将冶炼的氧化和还原过程分开，在不同的反应器上完成，即在熔炼炉内主要完成氧化反应以脱除硫，同时产出一部分粗铅和高铅渣。高铅渣均是通过铸渣机铸成块状再送入鼓风炉进行还原熔炼，产出的粗铅送往精炼车间电解，产出的炉渣流至电热前床贮存保温，前床的熔渣流入渣包或通过溜槽进入烟化炉提锌。随着我国对节能减排和清洁生产政策的不断贯彻落实，上述工艺的弊端也显现出来，鼓风炉还原高铅渣块，液态高铅渣的潜热得不到利用，还要消耗大量的焦炭，随着焦炭价格的提升，炼铅成本居高不下。电热前床消耗大量的电能和石墨材料，也增加了冶炼成本，同时需要占用大量的土地和投资。

济源市万洋冶炼（集团）有限公司是一家主营铅冶炼生产企业，始建于 1995 年，拥有年产电解铅 20 万吨的生产能力，现有富氧底吹—鼓风炉系统和“三连炉”直接炼铅法系统两个工艺流程。万洋公司与豫北金铅公司、中联公司于 2009 年合作开发“三连炉”炼铅新工艺，采用氧化炉—还原炉—烟化炉三炉相连，热渣直流，投入运行以后，取得了理想的技术、经济指标。实践表明，“三连炉”直接炼铅法节能效果明显，生产清洁环保，运行稳定，自动化程度高，实用性强，占地小，投资省。

## 2 万洋“三连炉”工艺介绍

### 2.1 “三连炉”工艺流程

万洋公司与豫北金铅公司、中联公司于2009年合作开发“三连炉”炼铅新工艺，采用氧化炉—还原炉—烟化炉三炉相连，热渣直流，三台熔池熔炼炉由两道连接溜槽串接在一起组成一整体；两连接溜槽分别连接在前一台熔池熔炼炉的出渣口和后一台熔池熔炼炉的熔融渣加料口之间，充分利用液态高铅渣和还原炉渣的潜热，紧凑的布置使得流程短占地很少，工人劳动强度小，环保效果好，实现了铅冶炼生产的低碳模式。“三连炉”炼铅工艺流程图见图1。

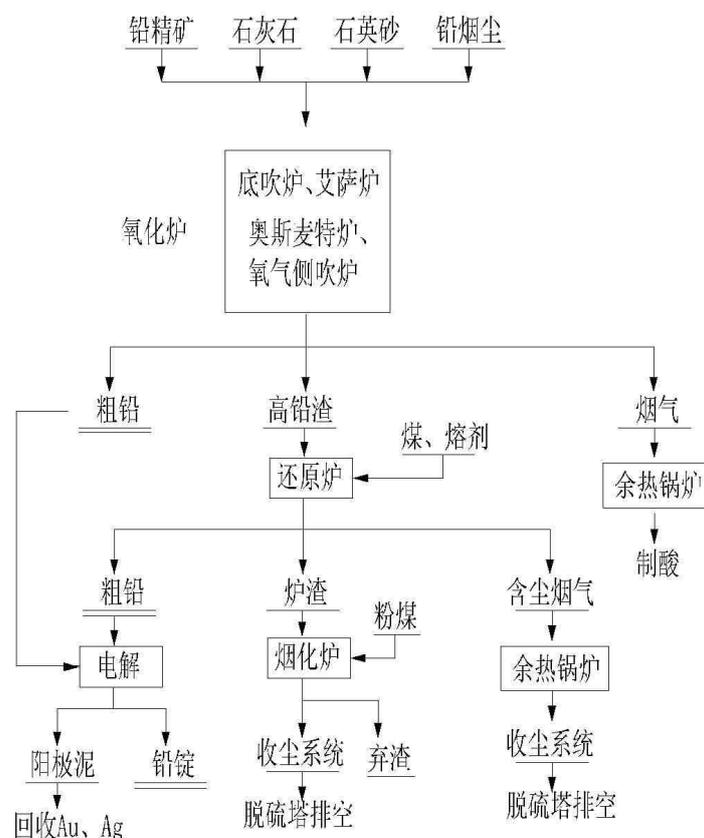


图1 “三连炉”炼铅工艺流程图

如图1所示，“三连炉”中氧化炉可以是氧气底吹炉，也可以是奥斯麦特（Ausmelt）炉、艾萨（ISA）炉、氧气侧吹炉等，还原炉为氧气侧吹还原炉，烟化炉增加渗铅装置改进。生产系统具体为硫化物精矿、石灰石、石英砂、含铅烟尘物料进入氧化炉熔炼炉内充分混合、迅速熔化和氧化，生成一次粗铅、高铅渣和烟气。粗铅送到下道工序进行电解精炼。氧化炉产生的液态高铅渣通过溜槽直接流入氧气侧吹还原炉，高铅渣与煤、熔剂，经鼓入的富氧空气强烈搅拌而激烈反应，产出的粗铅经虹吸道流出，含有微量  $\text{SO}_2$  气体经锅炉回收余热后进入脱硫塔处理排空。还原炉产出的炉渣通过直接流入烟化炉提锌。

与氧气底吹熔炼—鼓风机还原工艺相比，三炉通过溜槽直接相连，液态高铅渣直接流入侧吹还原炉内，充分利用了高铅渣的潜热，取消了铸渣机，避免了高铅渣块产生的烟尘飞扬

现象；还原炉热渣直接流入烟化炉内，潜热也得到了充分利用，进入烟化炉内不需要提温期，可以直接喷入粉煤还原提锌，降低了煤耗，缩短了烟化提锌时间，提高了生产效率；同时取消了电热前床和热渣吊运过程，既节省了设备投资，也降低了生产电耗以及避免了渣包运输带来的环境问题。

## 2.2 “三连炉”炉型结构

万洋公司的老系统工艺采用的是烧结机—鼓风机工艺，为响应国家节能减排和清洁生产政策，2009年拆除了烧结机、鼓风机，与豫北金铅公司、新乡中联公司共同开发“三连炉”工艺，其中氧化段为氧气底吹熔炼炉，还原段为氧气侧吹炉，后面溜槽连接烟化炉。氧气底吹熔炼炉在全国已经大范围推广和应用，基本上属于成熟的技术和设备；“三连炉”中核心设备是氧气侧吹还原炉，河南新乡中联公司与俄专家合作在2001年设计了1.5m<sup>2</sup>氧气侧吹熔池熔炼炉，自2001年11月工程建成投入试验，历经多次优化摸索，到2003年7月试验获得成功并获国家专利(ZL03246213.1)，2004年8月该项技术通过了河南省科技厅组织的技术成果鉴定，专家认定该项技术是一项高效、节能、环保的炼铅新技术。2009年万洋公司与中联公司开发8.4m<sup>2</sup>工业生产炉，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，还原炉渣含铅一直控制在2%以下，这部分渣进入烟化炉，热渣中的铅经烟化提锌，进入到氧化锌粉中，既降低了尘中氧化锌含量，又得不到回收。烟化炉虽为传统成熟工艺，为增加了铅的回收率，保证氧化锌的品质，万洋公司在本次设计中多次论证，大胆创新，在传统烟化炉的基础上取消炉底水套，增加炉缸设计，并设出铅口。烟化炉经改进设计后，从开炉以来氧化锌品位始终保持在80%以上，使万洋公司的氧化锌在销售中取得了很好的价位优势。系统炉型如图2所示。

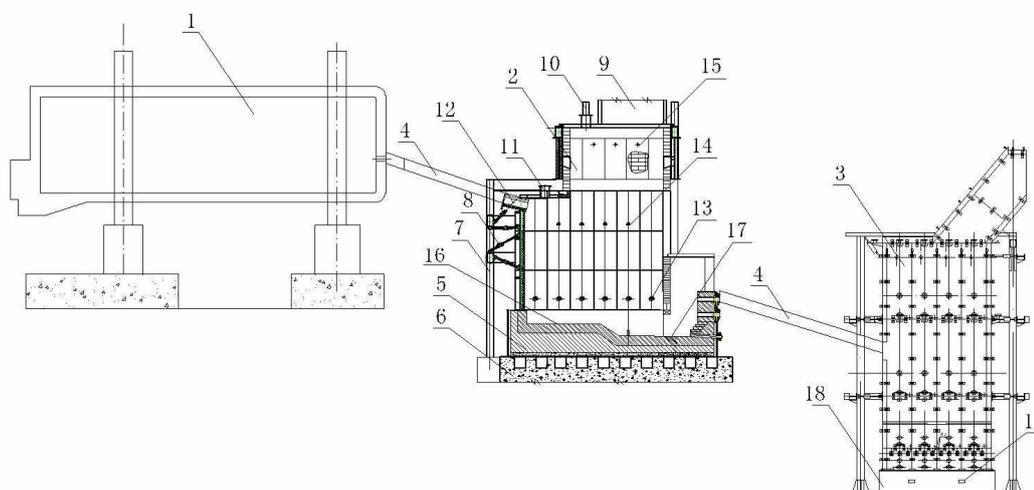


图2 万洋“三连炉”示意图

如图所示，1为底吹炉，2为氧气侧吹还原炉，3为烟化炉；三台熔炼炉之间由两道连接溜槽4串接在一起，两连接溜槽4分别连接在前一台熔池熔炼炉的出渣口和后一台熔池熔炼炉的熔融渣加料口之间，使三台熔池熔炼炉联成一个整体设备。还原炉2由炉缸5和位于炉缸上的炉身构成；侧吹还原炉架设在炉基6上，由竖立地安装在路基外侧的炉支撑架7和支撑调节杆8支撑，并利用支撑杆8进行平衡调节。所述炉身由下部炉身和上部炉身组合成一体，下部炉身由铜质水套构成，上部炉身由钢制水套围成，内部衬耐火材料；全炉身的水套内通有循环水路。上部炉身顶设有排烟口9和备用下料口10，在炉身的上方设有炉料下料口11和液态高铅渣下料口12，在下部炉身底部前端设有渣虹吸井和出渣口，炉缸底部还设有铅虹吸出口，在炉身的两侧壁上安有三排送风口，一次风口13、二次风口14和三次风口15，一次风口位于炉身下方熔融区内，二次风口设在下部炉身的上部，位于鼓泡层表面之上的区域；三次风口设在上部炉身的上部。下部炉身的炉底由高炉底16和低炉底17构成，炉底的这种高低设计，节省了高处金属区的空间，减少了炉缸的容积，降低沉铅在炉内的停留时间，加快热交换，保持炉缸有足够高的温度，节约能源并保持了炉内熔体良好的热交换。烟化炉3取消底部水套结构，增加炉缸8设计，并设沉铅出口19。

### 3 “三连炉”生产实践

#### 3.1 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 $8.4\text{m}^2$ ，高铅渣在一个还原周期内完全可以降至1%以下，但此时的还原气氛过强，为了考虑后面烟化炉的生产，使熔池内的锌尽可能的保留在渣中，生产中控制渣含铅不大于2%。

#### 3.2 主要技术经济指标

万洋公司“三连炉”工艺的主要技术经济指标如表1所示：

表 1 几种工艺的技术经济指标对比

项目	万洋氧气底吹-鼓风机还原工艺	某厂富氧底吹-液态渣还原工艺	万洋“三连炉”工艺
工艺流程	较短	短	短
工作环境	扬尘点较少, 环境好	扬尘点少, 环境更好	扬尘点少, 环境更好
生产效率	较高: 1) 氧化段产出部分粗铅; 2) 采用富氧熔炼, 反应速度较快; 3) 氧化段生成的液态高铅渣直接流入还原炉, 流程紧凑, 效率高。	高: 1) 氧化段产出部分粗铅; 2) 采用富氧熔炼, 反应速度较快; 3) 氧化段生成的液态高铅渣直接流入还原炉, 流程紧凑, 效率高。	高: 1) 氧化段产出部分粗铅; 2) 采用富氧熔炼, 反应速度较快; 3) 氧化段生成的液态高铅渣直接流入还原炉, 流程紧凑, 效率高。
原料适应性	原料适应性广	原料适应性广	原料适应性广
粗铅品位	98-99%	98-99%	98-99%
烟气 SO <sub>2</sub> 浓度及收率	SO <sub>2</sub> 浓度: 8~10% SO <sub>2</sub> 收率: 98%	SO <sub>2</sub> 浓度: 8~10% SO <sub>2</sub> 收率: 98%	SO <sub>2</sub> 浓度: 8~10% SO <sub>2</sub> 收率: 98%
铅总收率	96.5~98%	97~98%	97~98%
脱硫率	98%	98%	98%
烟尘率	氧化段: 12~14%, 还原段: 6~7%	氧化段: 12~14%, 还原段: 12~13%	氧化段: 12~14%, 还原段: 8~10%
熔剂率	氧化段: 3%, 还原段: 7~8%	氧化段: 3%, 还原段: 2~3%	氧化段: 3%, 还原段: 2~3%
氧气单耗	270~280m <sup>3</sup> /t	360 m <sup>3</sup> /t	320~330 m <sup>3</sup> /t
电耗	115~125kWh/t	80~96 kWh/t	68~80 kWh/t
焦耗	170~190kg/t	69 kg/t (无烟煤耗)	131 kg/t (煤耗)
天然气耗	—	37.4Nm <sup>3</sup> /t	—
混合矿含铅	45~55%	45~65%	45~65%
混合矿含硫	14~18%	16~18%	16~18%
鼓风机床能力	50~65 t/(m <sup>2</sup> ·日)	—	—
还原炉床能力	—	—	50~80 t/(m <sup>2</sup> ·日)
鼓风机焦率	14~18%	—	—
终渣含铅	2~3%	2.5~3%	≤2%
综合能耗(注)	300 kgce/t	230 kgce/t	230 kgce/t
投资额	小	大	小

注: 目前铅冶炼领域烟化提锌工艺中因还原炉与烟化炉之间操作匹配问题不能解决, 必须设置电热前床贮渣保温, 万洋公司经过工艺改进, 解决了还原炉与烟化炉之间操作时间匹配问题, 采用“三连炉”工艺还原炉—烟化炉热渣直流, 省去了电热前床, 仅此一项, 每月可节省用电 420000kwh, 此项如算进粗铅能耗, 吨铅可节省 52kwh, 同时也节省了石墨材料。由此可见“三连炉”工艺节能效果优势明显。

万洋公司氧化段底吹炉产生的 5t/h 蒸汽(压力 3.8Mpa)和还原段氧气侧吹炉产生的 8t/h 蒸汽(压力 3.8Mpa)全部回收利用, 送至公司肥业分厂生产磷酸一铵, 这部分产生蒸汽未

从综合能耗中减去。同时从日本订货的岛津 X 射线荧光光谱仪由于日本大地震而无法及时到货，炉前现场工艺分析无法进行，导致生产数据的报送严重滞后，不能及时对炉况进行调整，加上还原炉生产时间短，设备磨合、人员熟练程度和经验的积累也需要一个过程，相信随着生产条件的逐步完善，人员操作水平的逐步提高，技术经济指标还有很大的提高优化空间。

### 3.3 “三连炉”工艺的技术优势

与氧气底吹熔炼一鼓风炉还原法和浸没式顶吹（ISA 或 Ausmelt）熔炼一鼓风炉还原法相比，“三连炉”工艺具有以下优势：

（1）取消了铸渣机，避免了高铅渣冷却铸块过程中水汽迷漫、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，对建厂条件的适应性更好，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）烟化炉采用渗铅改进，既增加了铅的回收率，也提高了氧化锌的品位。

（8）三炉相连，热渣直流，占地很少，节省投资。

（9）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。

## 4 结语

河南济源市万洋冶炼（集团）有限公司“三连炉”工艺投产运行以来，取得很好的技术指标和经济指标，尤其是氧气侧吹还原炉突破了必须用煤气或天然气的限制，对建厂条件的适应性更好，实践表明，它是一种高效、节能、环保的现代冶炼方法，具有环保效果好，铅回收率高，综合能耗低，布置紧凑占地小，投资省等方面的优点，具有乐观的推广前景，将对我国铅冶炼技术水平的提高起到积极的推动作用，为我国的铅领域的节能降耗、低碳生产作出自己的贡献！

### 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)