

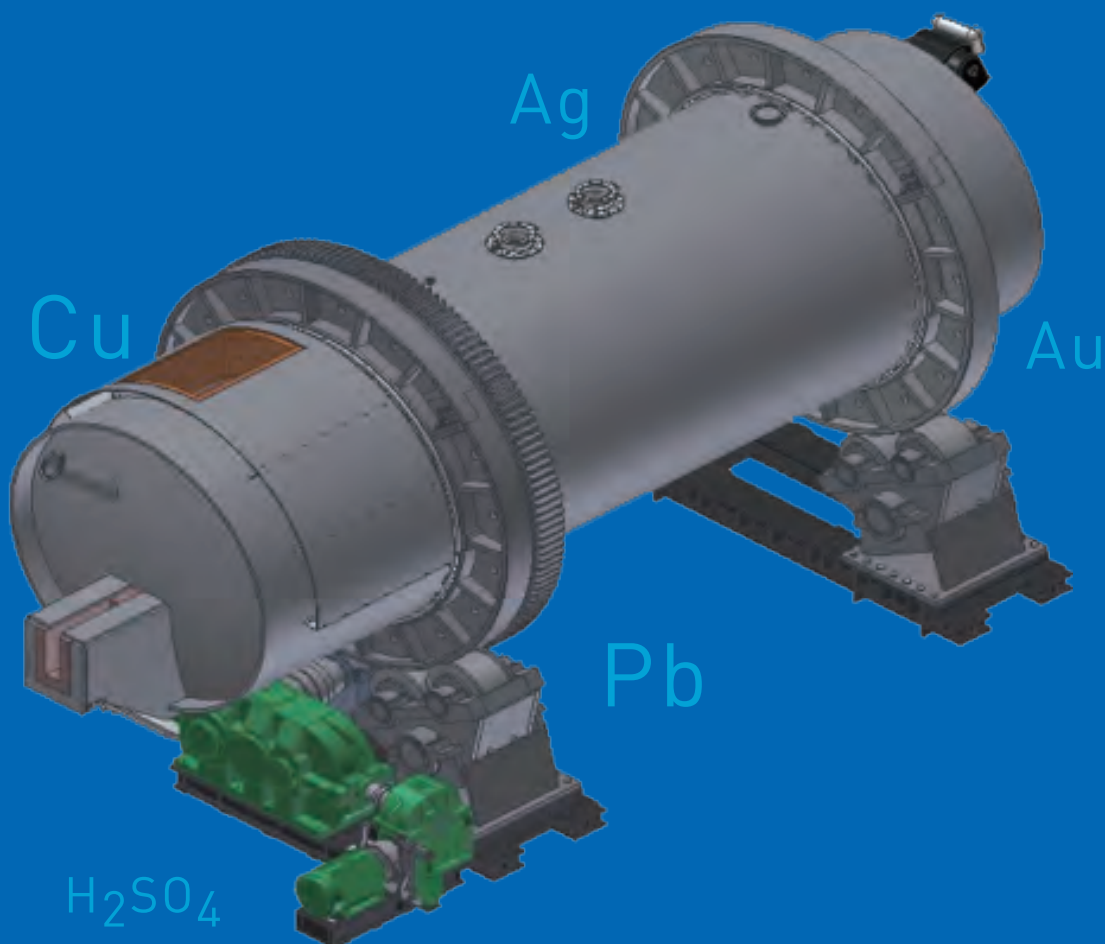


中国五矿



MCC 中国恩菲

# SKS 氧气底吹技术



中国恩菲工程技术有限公司

# 氧气底吹技术简介

氧气底吹技术是中国恩菲自主研发的有色冶炼技术，因从熔体底部供氧而得名，简称SKS。

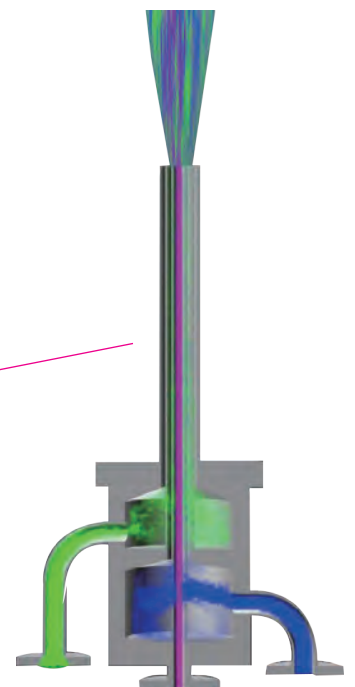
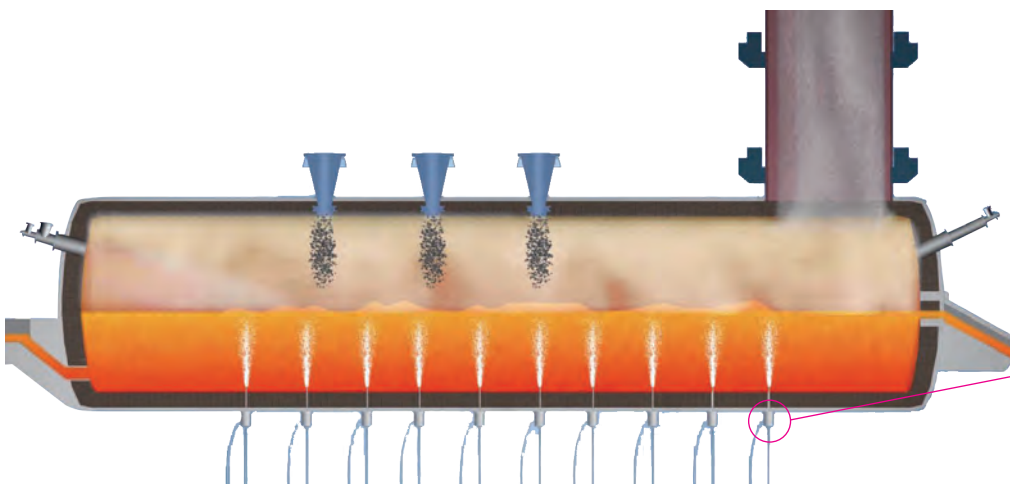
- 1983年，中国恩菲开展氧气底吹技术研究，先后进行了冶金过程理论建模，完成了水模试验
- 1985~1987年，在水口山进行了17次底吹熔炼半工业试验，共处理900吨铅精矿
- 1990~1991年，进行了炼铜半工业试验，试验进行了217天，处理铜精矿和含砷金硫混合矿
- 1994年，该技术获得国家发明专利
- 2002年，第一套工业生产装置建成投产

迄今为止，国内外共有68家冶炼企业采用了氧气底吹技术，其中铅冶炼企业49家，铜冶炼企业19家。氧气底吹技术在国内外有色冶金领域获得了重大影响，两次荣获国家科技进步奖，成为中国自主创新的一张名片。



水口山试验

氧气底吹技术是一种高效的冶炼方法，该工艺通过一座可以转动的卧式圆筒炉来实现冶炼目的，生产过程中炉膛下部是熔体，反应所需的氧气通过熔体下方的喷枪鼓入炉内，使熔池处于强烈的搅拌状态。在冶炼过程中，界面反应控制着整个熔池内的反应强度。氧气底吹最显著的特点是：工艺气体是以许多微细的小气流从熔体底部鼓入，气液相接触界面大、历程长，气体在熔体内停留时间长，创造出了很好的反应动力学和热力学条件。



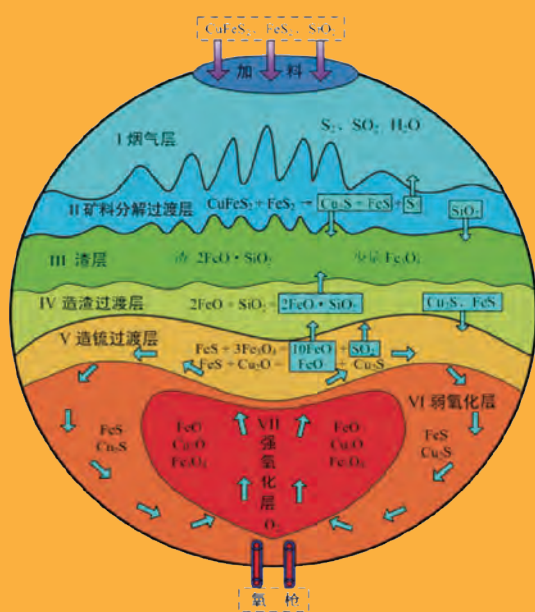
工艺气体的冲击力及气泡的上升和膨胀给熔体带来了很大的搅动能量，此能量 $P_m$ 可以用下列方程式表示：

$$P_m = 0.74QT \ln(1 + \rho_m Z / Pa)$$
 式中 $Z$ 代表喷嘴离熔池面的深度(cm)

底吹喷嘴离熔池面的深度更深，形成的熔池搅动能量更大。

## 氧气底吹冶金反应机理

以铜冶炼为例，在底吹熔炼过程中，由底部鼓入的氧气和从顶部加入的矿料与熔体产生剧烈的逆向作用，实现快速混合及多组元间激烈的化学反应。由于工艺气体压力较大（0.4~0.6 MPa），在上升过程中，对熔体不断作用，释放能量并把动能逐渐传递给熔体，使熔体内部产生稳定的流场，在气-液-固三相内部及三相之间的相界面，多组元进行快速的传质及传热行为。

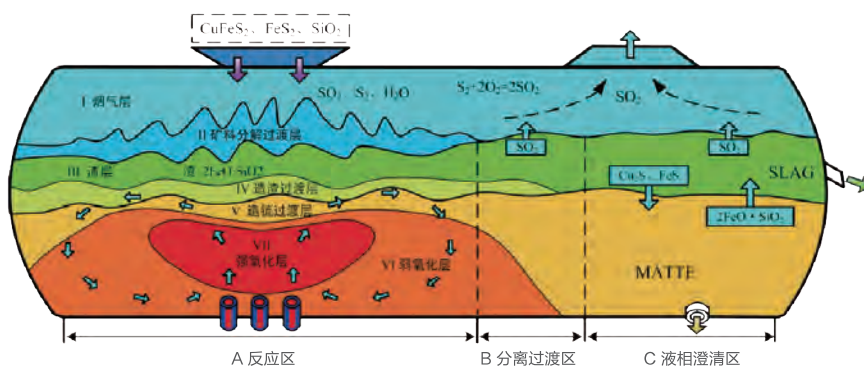


底吹炉内部为多相多组元的多场耦合体，其反应、传质及传热行为极为复杂。在底吹熔炼机理横截面模型中，将炉体反应区由上到下、由外到内划分为4个主层级，7个次层级。在纵截面模型中，将炉体划分为反应区、分离过渡区、液相澄清区3个区域。

机理模型 横截面 动能层	烟气流层	主要成分为SO <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、和H <sub>2</sub> O，S <sub>2</sub> (g)+2O <sub>2</sub> (g)=2SO <sub>2</sub> (g)
	矿料分解过渡层	高价硫化物分解为低价硫化物及S <sub>2</sub> 气体
	炉渣层	渣层：主要成分分为铁硅渣，多组元穿过渣层传质
		造渣过渡层：功能为进行FeO与SiO <sub>2</sub> 的造渣反应
	冰铜层	造钼过渡层：进行造钼反应FeS+Cu <sub>2</sub> O=FeO+Cu <sub>2</sub> S
		弱氧化层：主要成分为Cu <sub>2</sub> S和FeS
		强氧化层：部分Cu <sub>2</sub> S、FeS氧化为Cu <sub>2</sub> O、FeO和Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>

## 氧气底吹技术的优势

冶炼技术	雷诺准数	修正的 弗劳德准数	努歇尔准数	传质速度
氧气底吹	11750	215	168	3.77 Nm <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ·S
诺兰达侧吹	560	16.2	38.7	1.59 Nm <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ·S



- 底吹的是铜钼层，铜钼的流动性比渣高50~125倍，因此熔体雷诺准数更高
- 气体在熔体中顺势而上，相同气量时，具有较大的气-液相界面面积
- 气泡上浮过程中具有气泵的作用，气泡上浮释放能量并把动能传递给熔体
- 喷枪鼓入熔体的气流直径是其他送风气流直径的1/10，气泡体积小，停留时间长
- 气体在熔体中形成“乳化液”体积大，搅拌均匀，无死区

## 氧气底吹技术在Cu冶炼领域的应用

2008年，氧气底吹技术首次在铜冶炼领域工业化应用，在越南建成第一套矿铜冶炼系统，年处理铜精矿50kt。

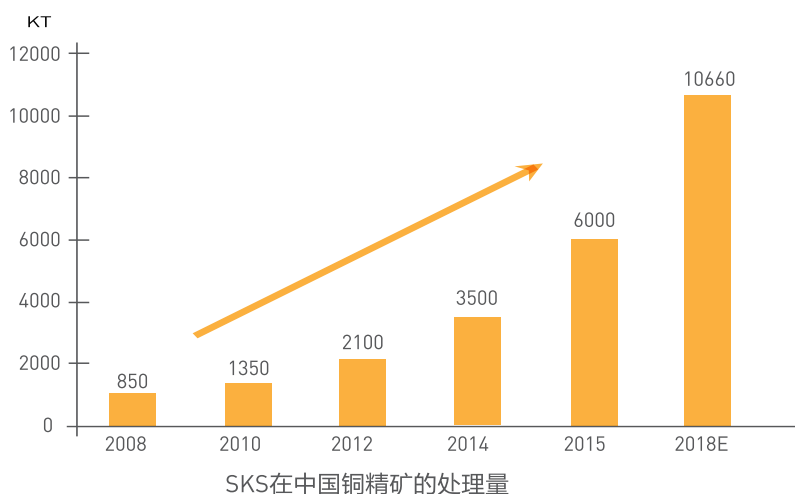
同年，在东营方圆建成了第一座年产100kt阴极铜的生产系统。

2012年开始底吹吹炼（BCC）工业化实验，并于2014年在豫光建成第一条双底吹连续炼铜生产线，年产阴极铜100kt。

2015年在中原黄金冶炼厂建成年处理1600kt的合金混合铜矿的冶炼系统，年产黄金40t。

至此，氧气底吹技术实现了规模的重大突破。

国内外共有19家铜冶炼企业采用氧气底吹技术，氧气底吹技术以其安全、环保、能耗低等特点备受瞩目，推动了世界铜冶炼技术的进步。



**底吹熔炼技术首次海外应用**  
越南生权冶炼厂  
规模：50kt/a Cu 精矿

**底吹熔炼技术首次国内应用**  
东营方圆冶炼厂  
规模：500kt/a Cu 精矿

**底吹熔炼技术半工业实验**  
规模：3kt/a Cu  
运行时间：217d

**底吹熔炼专利授权**

**底吹熔炼技术首个造锍捕金工程**  
山东恒邦冶炼厂  
规模：500kt/a Cu 精矿

**底吹连续吹炼专利授权**

**底吹连续吹炼中试试验**  
豫光金铅冶炼厂  
山东方圆冶炼厂

**底吹连续吹炼首次工业应用**  
豫光玉川冶炼厂  
规模：500kt/a Cu 精矿

**底吹熔炼技术最大规模应用**  
三门峡中原冶炼厂  
规模：1500kt/a Cu 精矿

1991-1992

1994

2008

2010

2012

2014

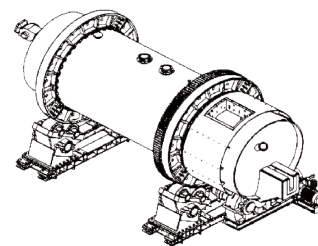
2015

## 底吹炼铜的主要应用

序号	项目名称	规模(kt/a)	工艺	投产时间
01	越南生权	50	SKS+P-S	2008
02	东营方圆一期	400	SKS+P-S	2008
03	内蒙飞尚铜冶炼厂	500	SKS+P-S	2008
04	山东恒邦一期	500	SKS+P-S	2010
05	包头华鼎	400	SKS+P-S	2011
06	云铜易门冶炼厂	500	SKS+P-S	2012
07	内蒙红透山冶炼厂	200	SKS+P-S	2012
08	山西垣曲冶炼厂	500	SKS+P-S	2014
09	河南豫光金铅	500	SKS+BCC	2014
10	中原黄金冶炼厂	1500	SKS+悬浮吹炼	2015
11	东营方圆二期	1500	SKS+BCC	2015
12	包头华鼎转炉改造	450	SKS+BCC	2016
13	五矿金铜	550	SKS+P-S	2016
14	青海铜业	500	SKS+BCC	在建
15	河南灵宝金城	660	SKS+BCC	在建
16	齐齐哈尔铜冶炼厂	750	侧吹+BCC	在建
17	中条山侯马冶炼厂	1500	SKS+BCC	在建
18	西藏巨龙铜业	1800	SKS+BCC	在建
19	山东恒邦二期	1000	SKS+P-S	在建

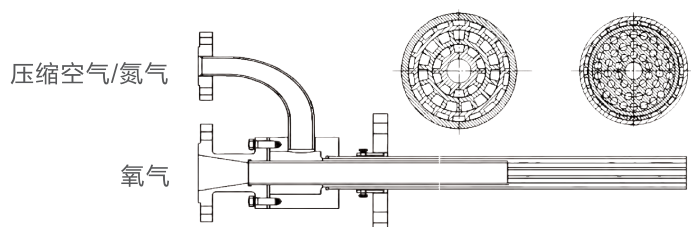
## 底吹炼铜的工艺装置

名称	规格: 直径(m)×长度(m)	处理精矿规模(kt/a)
底吹熔炼炉	Ø3.1×11.5	50-150
	Ø3.8×13.5	300-400
	Ø4.4×16.5	400-600
	Ø4.4×18.0	400-700
	Ø4.8×20.0	500-900
	Ø5.5×27.5	1000-1200
底吹吹炼炉	Ø4.1×18.0	50-100
	Ø4.4×20.0	100-150
	Ø4.8×20.0	150-200
	Ø5.0×28.0	200-300



底吹炉

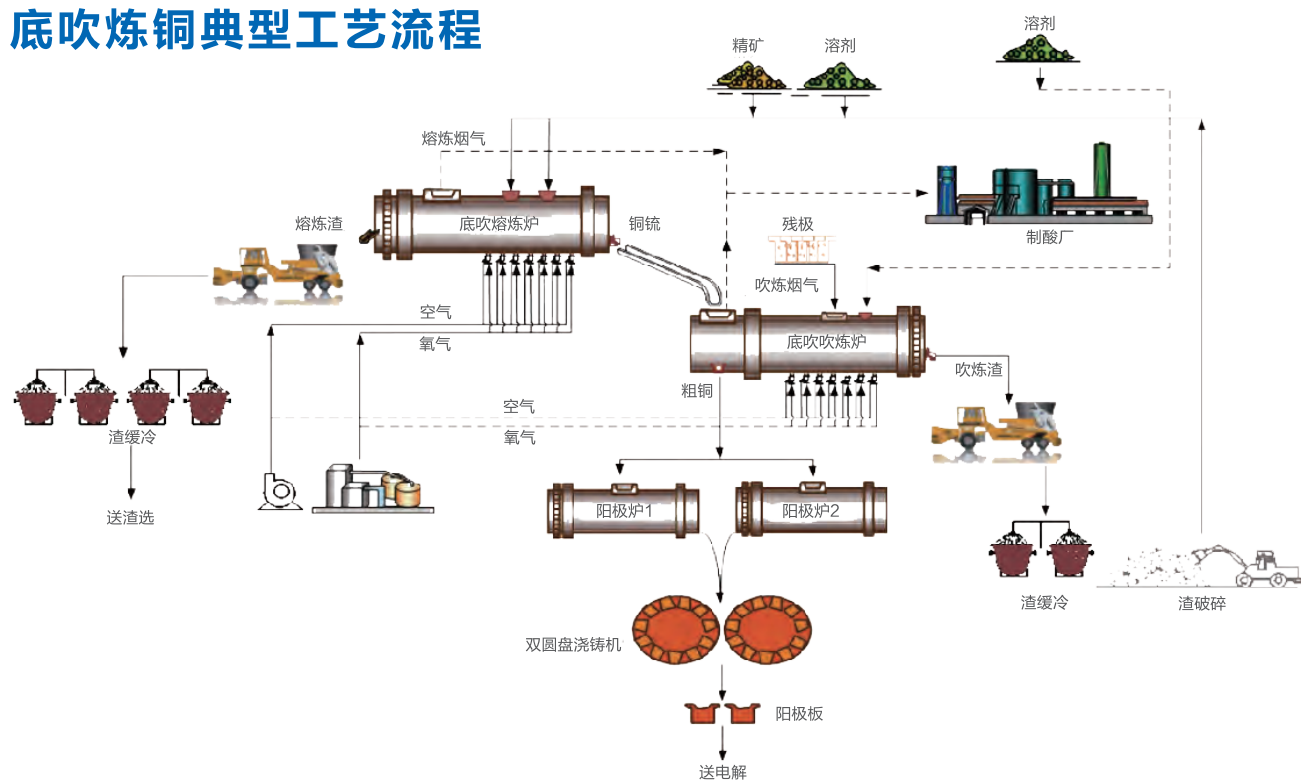
卧式圆筒形炉壳，内衬耐火砖。除放铜口、排渣口、排烟口和加料口外，炉体无水套等强制冷却元件。氧枪单排或双排炉底均布，氧枪维护和更换容易。



氧枪

氧气底吹专用氧气喷枪为多层套管结构，内外管中分别通入不同工艺气体。正常作业时，炉内熔体会在氧枪出口周围粘结，形成蘑菇头，保护氧枪及枪口砖，同时氧枪头部采用特殊材料和工艺制造，延长氧枪寿命。

## 底吹炼铜典型工艺流程

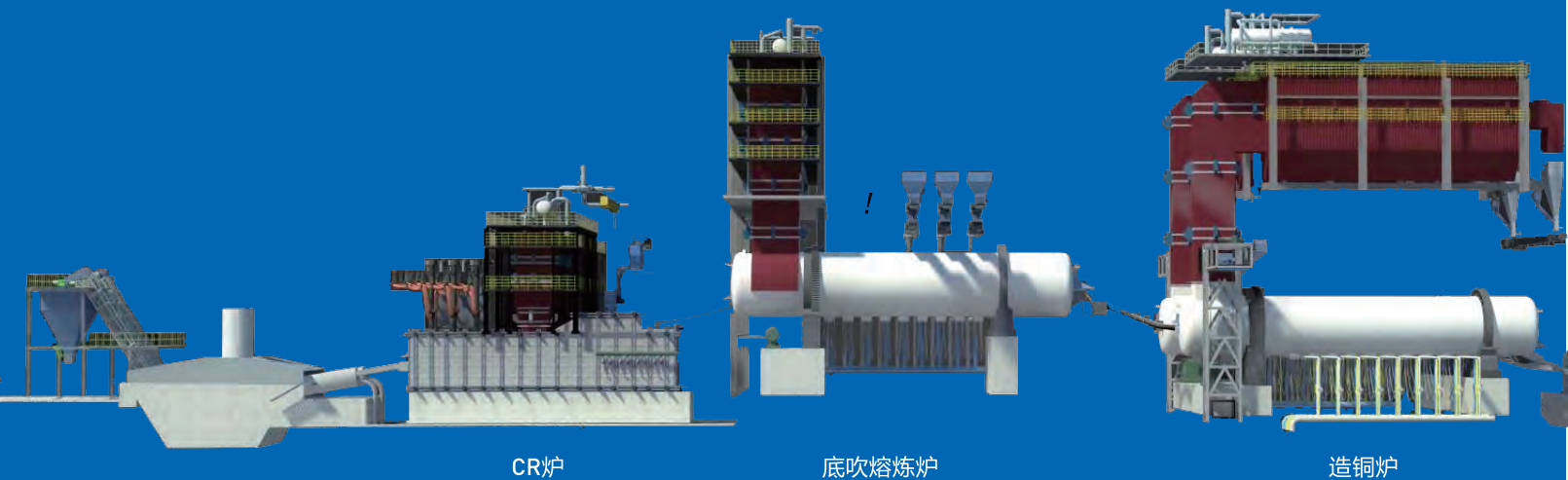


底吹技术不仅用于熔炼工序，也应用于吹炼工序，可与其他任何铜冶炼工艺组合搭配。底吹连续炼铜工艺已实现工业化，即熔炼、吹炼和精炼三个工序之间阶梯布置，热态熔体通过流槽倒运，取消了高温熔体钢包吊运作业，消除了低空污染。

目前已成功工业化的底吹炼铜工艺组合有：

- SKS+P-S+AF
- SKS+BCC+AF
- SKS+BCC(两步炼铜)
- 侧吹+BCC+AF

基于底吹技术，中国恩菲研发了“一担挑”底吹炼铜新工艺，即通过底吹熔炼和底吹造铜吹炼便可产出合格粗铜，实现了底吹两步炼铜的同时，还通过CR(Comprehensive Recovery)炉综合回收熔炼渣中的锌、金、铜等有色金属，产出的水碎弃渣含铜低于0.3%，渣中80%的金属锌被回收。该工艺占地小、投资省、金属回收率高、环保好，效益显著。



CR炉

底吹熔炼炉

造铜炉

## 底吹熔炼的技术特点

### 原料适应性强

- 含水10%以下的精矿直接入炉，无需干燥
- 可搭配处理金精矿
- 可处理杂料，含Cu:10%~14%，含As:10~2.5%

### 投资省

- 底吹炼铜技术流程短，可减少圆盘制粒、粉煤制备、沉降电炉、精矿干燥、粉状熔剂制备系统等设备投资和厂房建设投资
- 底吹炉水冷元件少，可减少水套元件的投资
- 底吹炉厂房高度矮，可减少土建投资

### 环保条件好，炉寿长

- 微负压操作，烟气泄漏少
- 炉衬寿命可达三年，氧枪寿命可达半年

### 生产成本低、回收率高、经济效益好

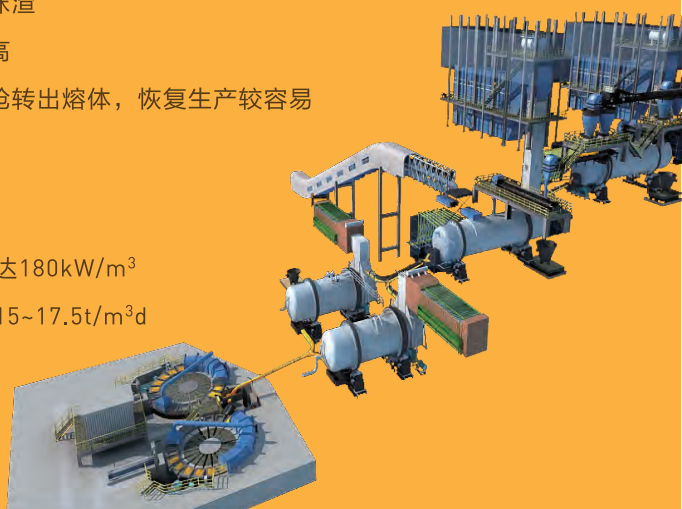
- 生产过程无需补煤
- 无水冷元件散热少
- 铜铈反复洗炉，铜铈中金银的富集比高
- 高铁硅比渣型，渣量少，渣选回收率高

### 操作安全、灵活

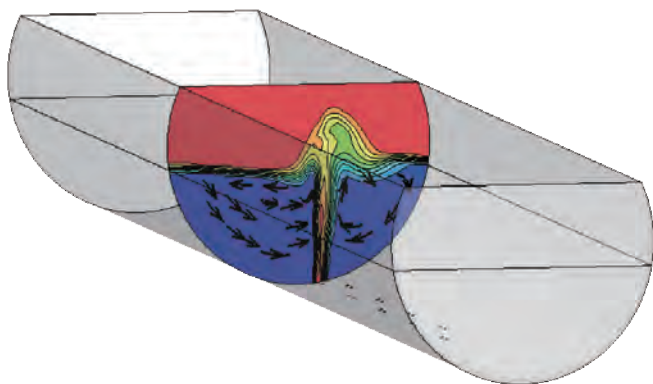
- 不易形成泡沫渣
- 自动化程度高
- 故障时，氧枪转出熔体，恢复生产较容易

### 机理优势

- 搅拌能大 可达 $180\text{kW}/\text{m}^3$
- 冶炼强度大  $15\sim 17.5\text{t}/\text{m}^3\text{d}$
- Fe/SiO<sub>2</sub>



## 底吹吹炼的技术特点



### 逸散烟气少

- 连续作业，无铜铈调运过程，逸散烟气少
- 炉子密闭性好

### 制酸系统投资小，成本低

- 富氧吹炼，富氧浓度高，吹炼烟气量小
- 作业连续，烟气量稳定，制酸成本低

### 可搭配处理二次铜资源

- 吹炼热强度高，无需单独新建竖炉等设施
- 即可搭配处理二次铜资源，降低生产成本

### 占地面积小

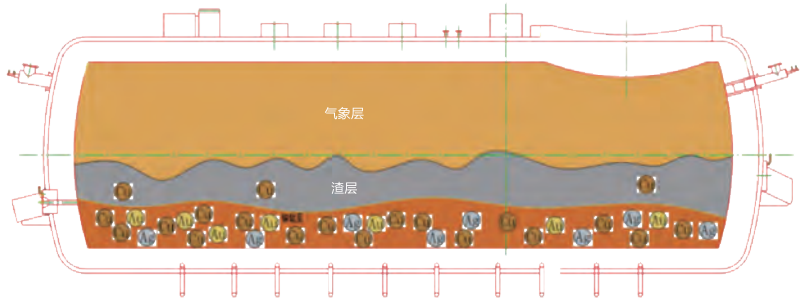
- 三个工序之间采用短流槽相连接，厂房布置紧凑，占地面积小



## 底吹造钼捕金

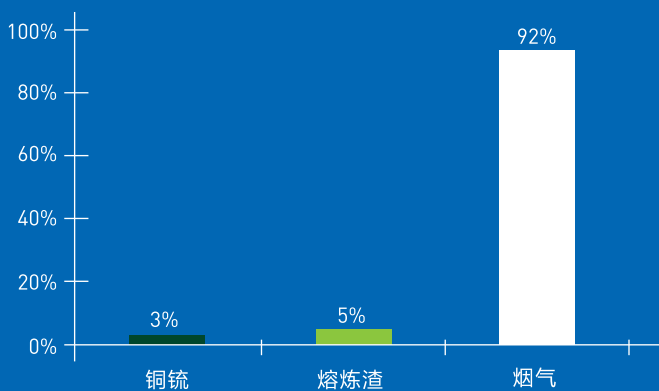
工艺气体直接吹入铜钼层，铜钼剧烈搅动，反复冲洗渣层，使得更多的贵金属富集到铜钼当中，提高了金银回收率，因此氧气底吹炼铜技术越来越多的被应用到金银生产领域。在产出黄金的同时，还可获得副产品金属铜和硫酸，进一步提高金冶炼企业的生产效益。

目前，氧气底吹炼铜技术已经成功应用于山东恒邦、中原黄金、灵宝金城等黄金企业。



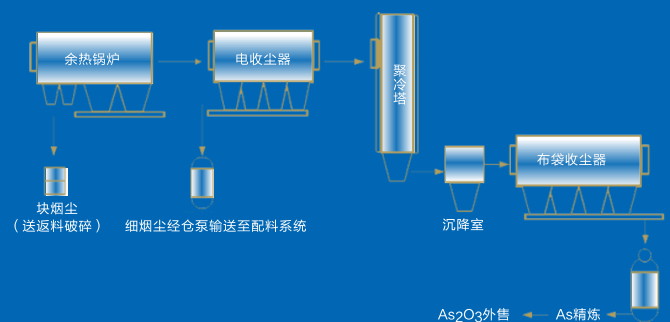
项目	细菌氧化-氰化	加压氧化-氰化	焙烧氧化-氰化	造钼捕金
处理规模	小	小	小	大
工艺控制要求	不严格	严格	不严格	不严格
Au回收率(%)	93	96	89	97
Ag回收率(%)	较高	低	较高	高
Cu回收率(%)	低	低	85	98
副产品	无	无	硫酸、As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	硫酸、As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
环保条件	低浓度毒物	低浓度毒物	高浓度烟气	高浓度烟气

## 底吹处理高砷精矿



氧气底吹炼铜过程中As元素的分配情况

氧气底吹炼铜技术特别适宜处理各种高砷精矿。底吹特有的反应动力学条件使熔池持续剧烈搅动，原料中绝大部分的As会以As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>形式进入工艺烟气当中，通过后续的骤冷收砷系统回收砷产品，减少砷对阳极铜产品的质量影响。



骤冷收砷系统工艺流程

含As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的冶炼烟气经余热锅炉回收余热，电收尘器除尘后，进行喷雾骤冷，使烟气中的砷快速结晶，并通过布袋除尘器回收粉末状As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，再经过砷精炼得到金属As，产品纯度高，回收过程安全、易控制。该技术及成套装备已经在恒邦冶炼厂成功应用。





01



02



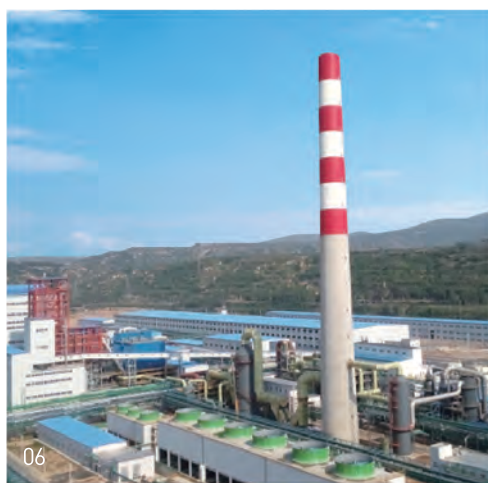
03



04



05



06



07



08

## 经典工程

- 01 **第一个海外底吹冶炼厂**  
越南生权冶炼厂
- 02 **造钼捕金项目**  
山东恒邦冶炼股份有限公司
- 03 **国内首次大规模应用**  
山东东营方圆有色金属有限公司
- 04 **上市民企淘汰落后产能**  
包头华鼎铜业
- 05 **老牌国企采用底吹技术**  
中条山有色金属集团  
垣曲冶炼厂
- 06 **最大单系列底吹生产线**  
中国黄金集团  
三门峡中原冶炼厂
- 07 **世界首个  
双底吹连续炼铜项目**  
豫光金铅集团  
玉川冶炼厂
- 08 **高砷精矿处理项目**  
五矿铜业金铜综合  
回收产业升级项目

## 氧气底吹技术在Pb 冶炼领域的应用

氧气底吹技术自2002年在铅冶炼领域建成第一套工业生产装置以来，经过了10多年的快速发展，经历了氧气底吹熔炼炉取代烧结机(第一代)，液态铅渣直接还原炉替代鼓风炉(第二代)两代技术体系的发展历程。

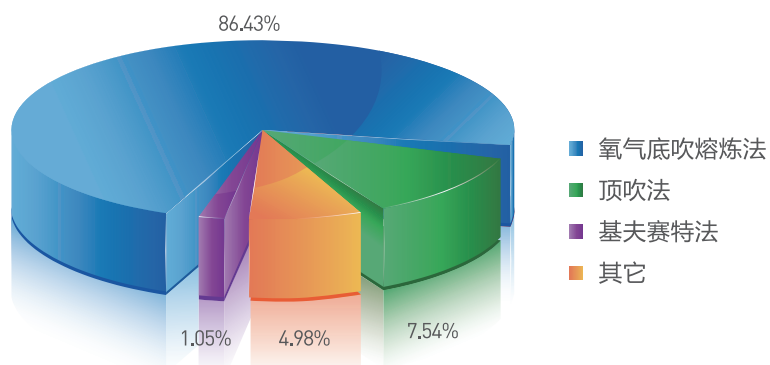
2005年建成第一套100kt规模的铅冶炼系统。

2009-2011年，成功进行侧吹和底吹还原的工业化实验。

2011年建成第一套200kt规模的底吹炼铅系统，实现了规模上的突破。

迄今为止，国内外共有49家铅冶炼企业采用氧气底吹技术，铅的总产能超过4000kt/a，氧气底吹技术以其安全、环保、能耗低等特点备受瞩目，推动了世界铅冶炼技术的进步。

- **第一代** 氧气底吹炼铅技术氧气底吹熔炼-鼓风炉还原炼铅法
- **第二代** 氧气底吹炼铅技术氧气底吹熔炼-液态铅渣直接还原炼铅法(侧吹还原/底吹还原)



氧气底吹炼铅在中国的应用比例



## 底吹炼铅的主要应用

序号	项目名称	设计规模 (kt/a)	冶炼工艺	投产时间
01	河南豫光金铅股份有限公司	80	SKS-鼓风炉还原熔炼	2002
02	安徽铜冠有色公司九华冶炼厂	60	SKS-鼓风炉还原熔炼	2002
03	湖南水口山有色金属集团有限公司	100	SKS-鼓风炉还原熔炼	2005
04	云南祥云飞龙有色金属股份有限公司	60	SKS-鼓风炉还原熔炼	2006
05	济源市金利冶炼有限责任公司	200	SKS-侧吹炉还原熔炼	2007
06	郴州市宇腾化工有限公司	80	SKS-鼓风炉还原熔炼	2008
07	江西金德铅业股份有限公司	80	SKS-鼓风炉还原熔炼	2008
08	内蒙兴安银铅冶炼有限公司	80	SKS-鼓风炉还原熔炼	2008
09	青海西豫有色金属有限公司	100	SKS-鼓风炉还原熔炼	2010
10	洛阳永宁金铅冶炼有限公司	80	SKS-鼓风炉还原熔炼	2010
11	广西苍梧有色金属冶炼有限公司	80	SKS-鼓风炉还原熔炼	2010
12	湖南桂阳银星有色冶炼有限公司	100	SKS-鼓风炉还原熔炼	2010
13	安阳岷山有色金属有限公司	100	SKS-底吹还原熔炼	2010
14	乌拉特后旗瑞峰铅冶炼有限公司	80	SKS-鼓风炉还原熔炼	2010
15	印度洪都斯坦锌业公司	100	SKS-鼓风炉还原熔炼	2011
16	内蒙古锡盟双源有色金属冶炼有限公司	80	SKS-鼓风炉还原熔炼	2012
17	湖南华信金属有限公司	100	SKS-侧吹炉还原熔炼	2012
18	山东恒邦冶炼股份有限公司	100	SKS-底吹还原熔炼	2013
19	蒙自矿冶有限责任公司	60	SKS-底吹还原熔炼	2014
20	赤峰山金银铅有限公司	100	SKS-底吹还原熔炼	2014
21	云南沙甸铅业股份有限公司	100	SKS-底吹还原熔炼	2015
22	河南豫光金铅股份有限公司搬迁工程	160	SKS-底吹还原熔炼	在建

## 底吹炼铅的工艺装置

名称	规格: 直径(m)x长度(m)	电铅生产规模 (kt/a)
底吹熔炼炉	Ø3.8 X 11.5	60-80
	Ø4.1 X 14.5	100-120
	Ø4.4 X 16.5	200-220
	Ø5 X 28	350-400
底吹还原炉	Ø3.8 X 17.5	60-80
	Ø4.1 X 18.5	100-120
	Ø5 X 28	350-400
侧吹还原炉	13m <sup>2</sup>	60-80
	18m <sup>2</sup>	100-120
	26m <sup>2</sup>	200-220



底吹熔炼炉

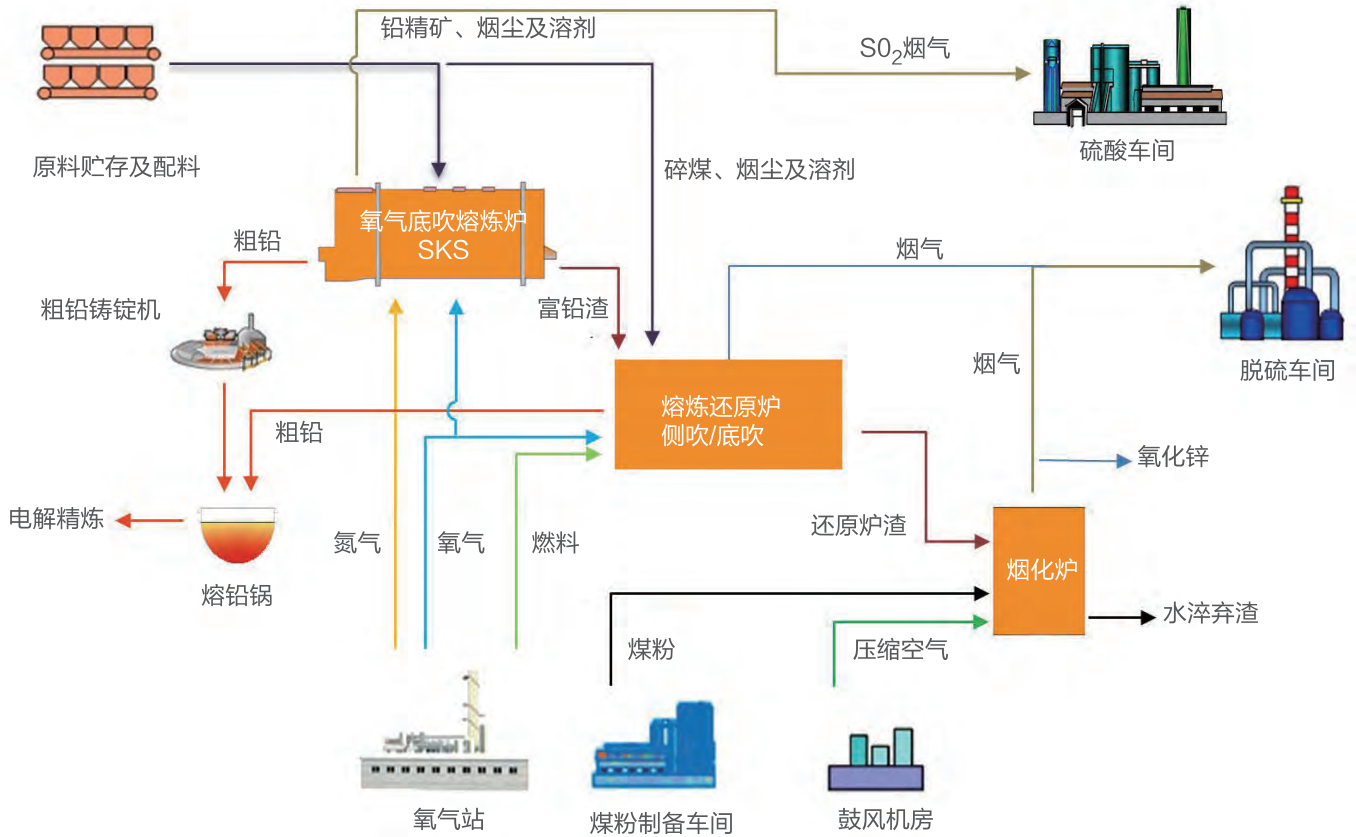


底吹还原炉



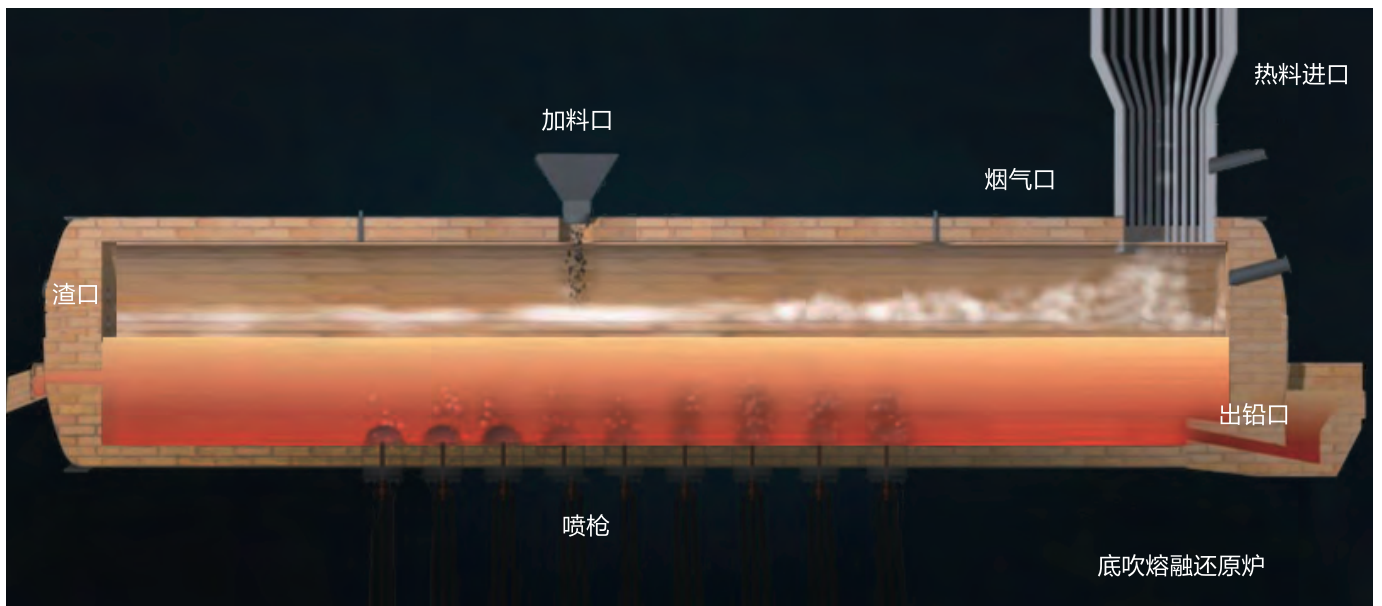
侧吹还原炉

# 底吹炼铅典型工艺流程



液态铅渣还原炉根据炉型的不同分为“液态铅渣侧吹还原”和“液态铅渣底吹还原”两种流程。两种工艺对燃料具有广泛的适应性，所采用的喷枪可以喷入不同的燃料。

其代表工艺“氧气底吹熔炼—底吹煤粉还原炼铅法”达到世界先进水平。该工艺的氧化过程和还原过程分别在底吹熔炼炉和底吹还原炉中进行，底吹还原炉采用煤粉作为还原剂和燃料，底吹还原炉渣采用烟化炉处理。



## 底吹炼铅的技术特点

### 原料适应性强

- 可处理各种品位的硫化矿及氧化矿，原料可直接入炉
- 可搭配处理铜厂烟尘、锌浸出渣、废蓄电池等各种含铜含铅物料
- 适合同时处理多品种物料，Pb品位最低可为30%

### 能耗低

- 烟气量小，烟气带走热量少，燃料消耗低
- 采用纯氧熔炼，在单独处理硫化铅精矿时，不需要补充任何燃料

### 作业率高

- 作业率高，作业率大于90%
- 氧枪平均使用寿命1~2个月
- 熔炼炉炉寿可达3年，还原炉炉寿可达2年

### 操作控制简单灵活

- 生产工艺过程采用DCS控制
- 氧化还原过程分开进行，采用不同的温度和渣型，便于精确控制
- 更换氧枪或发生事故时，可将底吹炉氧枪转出熔池，操作安全

### 烟尘率低 直收率高

- 烟尘率低，熔炼炉烟尘率约为12%
- 直收率高，当处理硫化铅精矿含Pb50%时，直收率可达97%以上

### 环保好

- 冶金炉进料及排放口设通风室，无烟气外溢，生产环境好
- 系统所产的铅烟尘均连续密封输送返回熔炼配料，无铅尘弥散
- 采用纯氧熔炼，鼓入炉内气量小，噪音小



## 底吹炼铅技术



### 底吹铅阳极泥处理技术

铅阳极泥和熔剂进行配料后加入底吹炉进行还原精炼，产出的贵铅通过流槽直接流入分银炉进行氧化精炼，分银炉产出的金银合金浇铸成阳极板后送贵金属电解精炼。

与传统工艺（贵铅炉及分银炉工艺）对比，底吹阳极泥处理工艺具有投资省、环保好、处理能力大、生产成本低、金银等贵金属回收率高、回收周期短、炉窑寿命长、作业率高、自动化程度高等优点。



### 底吹铜浮渣及铅精炼渣处理技术

将铜浮渣、铅精炼渣、熔剂、碎煤配料后加入到氧气底吹炉内进行还原、置换及造渣反应，产出铜铈、粗铅及炉渣，产出的高温烟气经余热回收、收尘降温后送烟气脱硫系统。

相比传统反射炉工艺，氧气底吹处理工艺具有环保好、热效率高、熔炼强度大、自动化程度高、生产成本低、金属回收率高、生产作业率高等优点。



### 底吹脆硫铅铋矿处理技术

采用氧气底吹熔炼+液态渣侧吹还原技术处理脆硫铅铋矿是中国恩菲自主研发的一种新工艺。脆硫铅铋矿与熔剂等经配料后直接加入氧气底吹炉中，产生液态渣经侧吹还原熔炼后产出铅铋合金。

与传统鼓风炉炼铋工艺相比，该技术能有效的解决铋冶炼过程中二氧化硫低空污染、余热无法回收、能耗高等问题。

## 经典工程



**首家氧气底吹炼铅技术企业**  
河南豫光铅冶炼厂



**首家产能达到100kt铅冶炼企业**  
湖南水口山铅冶炼厂



**首家底吹煤粉还原炼铅技术企业**  
河南安阳岷山铅冶炼厂



**最大氧气底吹铅熔炼炉**  
河南济源金利铅冶炼厂



**铅精矿搭配处理金精矿**  
山东恒邦铅冶炼厂



**铅精矿搭配处理浸出渣二次物料**  
云南蒙自铅冶炼厂



**氧气底吹技术广泛推广使用**  
江西金德铅冶炼厂



**首家海外氧气底吹炼铅厂**  
印度德里巴铅冶炼厂

中国有色工程有限公司暨中国恩菲工程技术有限公司（原中国有色工程设计研究总院，简称“中国恩菲”）成立于1953年，是中华人民共和国成立后，为恢复和发展我国有色金属工业而设立的第一家专业设计机构，现为世界五百强企业中国五矿、中冶集团子企业，拥有有色行业唯一的全行业工程设计综合甲级资质。

近70年来，中国恩菲在30多个国家和地区建设了1.2万个工程项目，立足有色矿冶工程，依靠科技创新驱动，高端咨询引领，发展科学研究、工程服务与产业投资三大业务领域，深耕非煤矿山、有色冶金、水务资源、能源环境、新高材料、市政文旅、城市矿产、智能装备、房产经营九个业务单元，形成核心能力突出、竞争优势明显、国际化运作、特色鲜明的多元业务集群，能够提供总承包、项目管理、工程咨询、设计、监理、环境评价、供货等全生命周期服务，在产业领域，是国内少有具备咨询、设计、建设、投资、运营“五位一体”服务能力的企业之一。

冶金化工业务涵盖：铜、铅、锌、钴、镍、锡、贵金属等有色金属和稀土、钨、钼、钛、锂、锆等稀有金属；烟气净化、制酸、脱硫、收尘、脱硝、废水处理、除汞等化工环保领域；污泥、废液、废渣、废酸等工业废弃物和危险废物综合回收；硅、锆、三元材料等相关材料研究与应用。



关注了解更多

#### 中国恩菲工程技术有限公司

地址：北京市复兴路12号100038

电话：010-63936881

传真：010-63936049

网址：[www.enfi.com.cn](http://www.enfi.com.cn)

