

# 恩菲技术,让铅冶炼大国华丽转身

——写在底吹熔炼—熔融还原—富氧挥发连续炼铅新技术及产业化应用项目获得国家科技进步二等奖之际

文/中国恩菲

2016年,中国恩菲底吹熔炼—熔融还原—富氧挥发连续炼铅新技术及产业化应用项目获得国家科技进步二等奖。

“物有甘苦,尝之者识;道有夷险,履之者知。”我国是金属铅生产和消费大国,铅产量占世界总产量40%以上。但是,由于铅物料具有高多元性、高挥发性、高渗透性和高毒性,曾几何时,严重的冶炼污染,让国人谈铅色变。面对全世界冶金领域的共同难题,中国恩菲担起行业责任,自上世纪80年代起,为研发节能环保、低成本、原料适应性强、过程连续的炼铅技术砥砺前行,自主研发世界先进的氧气底吹熔炼技术,并在第一代技术的基础上,聚焦熔融还原和连续炼铅基础理论、关键技术及装备,突破了高铅渣熔融还原基础理论,攻克了连续炼铅核心技术难题,发明了“底吹熔炼—熔融还原—富氧挥发”三连炉连续炼铅新技术,通过技术创新、装备创新、工程创新,建立了新技术生产线,逐步取代或淘汰了其他炼铅技术,实现了我国铅冶炼技术的全面升级。

## 指明行业发展方向

一直以来,中国恩菲自主研发的氧气底吹熔炼技术,都凭借特色鲜明的“全能表现”被英国著名的《金属导报》评价为“指明了金属冶炼行业乃至多个领域未来十年、数十年,乃至上百年的发展方向”。其中,底吹熔炼技术可以搭配处理各种二次铅原料,不仅原料适应性强,在节能环保方面的优势也非常明显,而其对经济效益的保障,更堪称“既叫好又叫座的技术”。

也正是诸多技术创新,才使得底吹熔炼—熔融还原—富氧挥发三连炉连续炼铅新技术在行业内赢得了良好的口碑,包括:

**创新点一:首创发明“底吹熔炼—熔融还原—富氧挥发”三连炉连续炼铅新技术。**

针对国内外炼铅技术存在能耗高,原料适应性差,环境污染严重,过程不连续、安全隐患多等问题,本项

目通过建立底吹熔炼过程元素分配模型,明确了多组元多相平衡规律,为复杂物料处理提供了理论支撑;首发明熔融还原技术取代传统烟化炉;研究突破了底吹熔炼—熔融还原—富氧挥发三个过程和三个装置之间物质流和能量流相匹配的技术瓶颈,取消了电热前床,发明了三连炉短流程连续炼铅新技术;开发了冶炼过程控制平台,熔炼还原挥发三个过程有机连接,自动控制。

新技术吨粗铅综合能耗由第一代底吹技术的380千克标煤降至180千克标煤,降低了52%;生产操作岗位铅尘小于0.03毫克/立方米,二氧化硫小于5毫克/立方米,低于世界各国标准;铅回收率大于98.5%,比第一代技术提高1.5个百分点;金银回收率大于98%,提高2个百分点。新技术大幅降低了炼铅生产成本,有效解决了铅冶炼环境污染,消除了铅生产安全隐患。

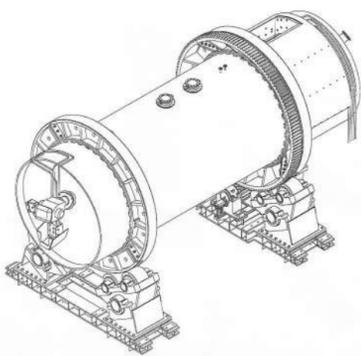
**创新点二:首创发明了含铅物料熔融还原新技术。**针对鼓风炉还原污染重、能耗高、劳动强度大,其他还原技术同样存在能耗高、生产成本高等问题,本项目通过对熔融状态下还原过程多相平衡、炉内多场模拟耦合作用规律分析,揭示了熔融高铅渣直接还原机理。首发明了侧吹熔融还原新技术,并于2009年9月投入商业运行;首创发明了粉煤底吹熔融还原新技术,并于2011年11月投入商业运行。

和鼓风炉还原技术相比,熔融还原新技术有效利用了液态高铅渣的热量,采用廉价的还原剂替代了昂贵的冶金焦;采用富氧熔融还原替代了空气气固还原;还原强度大大提高,燃料消耗量大幅降低,烟气排放量成倍减少。

熔融还原技术一举攻克了铅清洁高效低成本还原技术难题,淘汰了历史悠久的鼓风炉。和鼓风炉还原相比,能耗降低58%,减排二氧化硫66%,减排二氧化碳50%。

**创新点三:首创开发了铅冶炼高渣渣富氧连续挥发新技术及装备。**

针对传统烟化炉采用空气熔炼,能耗高,炉寿短,

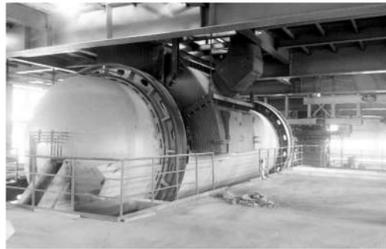


间断作业等问题,本项目根据创新点二揭示的熔融还原技术原理,创新开发了富氧侧吹挥发新技术及装备。新装备创新了炉体结构,实现了连续作业;开发新型喷枪,大幅提高了富氧浓度和吹炼强度,节能减排效果显著。

和烟化炉相比,富氧连续挥发技术能耗降低20%,同时提高了铅、锌回收率,进一步节省了铅冶炼生产成本。

**创新点四:首创开发了世界上单系列产能最大的年产20万吨粗铅的现代炼铅装备。**

针对国内外铅冶炼生产装置普遍存在产能规模小、生产率低等问题,本项目通过建立氧气底吹炉内多场耦合模型,明确了炉体应力场及熔体温度场、速度场



耦合作用行为规律,继而通过工程创新,突破了设备大型化的技术瓶颈,开发了世界上单系列产能最大的20万吨底吹熔炼装备并于2011年4月实现工业应用。与单系列10万吨熔炼装置相比,耐火材料消耗减少40%,生产率成倍提高,促进了产业集中度,进一步提高了环保、社会及经济效益。

## 铅冶炼首选技术

自2008年底,自河南金利金铅投产国内第一条生产示范线起,底吹熔炼—熔融还原—富氧挥发连续炼铅新技术又相继成功应用于山东恒邦、济源万洋、安阳峨山等生产线,引起了行业的广泛反响与高度关注。

本技术成功解决了复杂铅原料和锌浸出渣、提金尾渣、废电子铅玻璃、废铅蓄电池、炼铜铅锌烟灰、高炉炼铁铅锌烟尘等二次铅资源高效、经济回收,同时有效解决了这些含铅物料堆放带来的二次污染问题,实现了铅循环经济、清洁生产,使我国铅冶炼行业全面实现了技术升级。

底吹熔炼—熔融还原—富氧挥发连续炼铅新技术实现了低碳、清洁生产及资源高效循环利用,在综合能耗、综合回收率、生产成本、建设投资等各项技术经济指标均优于国内外同类技术。在实体经济投资意愿普遍低迷的大环境下,短短5年内,国有和民营企业采用本项目核心技术共建设和升级改造了30余条铅冶炼生产线,其产能占全国铅总产能比例达80%以上。另外还各有5条生产线在建和待建。

## 向铜金领域迈进

继底吹熔炼之后,“恩菲品牌”的底吹技术又开创了铜金冶炼领域的新纪元。自上世纪90年代起,中国恩菲成功开发并推广氧气底吹熔炼、氧气底吹造钨捕金技术,在国内外多个铜金冶炼项目中得到应用。

随后,为解决吹炼工段传统PS转炉存在的烟气低空污染、间断作业、炉衬寿命短、送风速率低、耐火材料单耗高、烟气二氧化硫波动大、间断不利于制酸等严重问题,中国恩菲又将目光投向了铜钨底吹连续吹炼技术的研发。

也正是在氧气底吹熔炼技术持续升级的过程中,我国也已成为世界范围内炼铜炼钨工艺技术最全、设计能力最强、运营效益最高、环保效果最佳的国家,真正实现了从追赶者到引领者的重大跨越,摆脱了“世界冶金技术展览馆”长期受制于人的被动局面,实现了华丽转身。

以国家科技进步奖为激励、为起点,恩菲人将奋发图强,攀高图强,以“国家队”为己任,以推动行业发展为担当。恩菲人的脚步,从未停止。恩菲人的创新,仍在继续。恩菲人的梦想,成就辉煌。

# 从中国到世界,中国恩菲改变镍铁冶炼格局

——红土镍矿生产高品位镍铁关键技术与装备开发及应用项目侧记

文/中国恩菲

2016年,中国恩菲工程技术有限公司(以下简称“中国恩菲”)参与的红土镍矿生产高品位镍铁关键技术与装备开发及应用项目荣获国家科技进步二等奖。

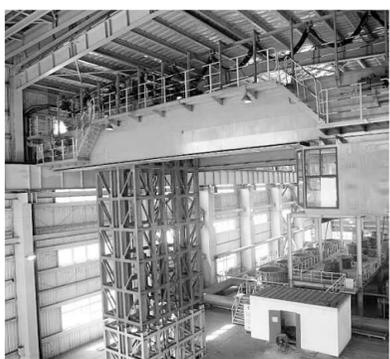
博观而约取,厚积而薄发。中国恩菲联合行业同仁多年的持续研发和执着坚守,为项目的成功奠定了坚实基础。而依托红土镍矿生产高品位镍铁关键技术与装备开发及应用项目,中国恩菲设计的缅甸达贡山镍矿项目自当地时间2012年10月3日投产后,稳定运营至今。这个项目,是中国有色集团投资的特大型采选冶联合项目,也是中国“走出去”境外资源开发的重点投资项目,其成功投产,不仅为我国海外建设工程树立了重要的成功范例,更将我国镍铁冶炼领域的中国技术、中国制造提高到崭新高度,使我国镍铁冶炼技术及装备在短短的几年中就步入了世界先进行列。

## 勇担责任,持续研发不懈怠

镍是国民经济发展的重要战略物资,是电子、军工、航天、机械等领域不可或缺的关键原料。当前,世界范围内,硫化镍矿占镍资源储量的40%,红土镍矿占比60%。由于硫化镍矿开采一直处于主导地位,伴随硫化镍矿资源的日趋减少和开采难度的持续增加,行业对红土镍矿的开发需求不断提高。

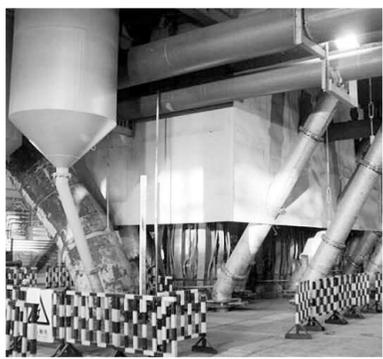
一直以来,我国镍资源严重短缺,自2005年中国开始进口红土矿冶炼生产镍铁,受当时高位镍价的刺激,红土镍矿冶炼规模迅速扩大,成为世界之最。但由于缺乏先进的技术装备,熔炼多采用小高炉、炼钢电弧炉、铁合金矿热炉,熔炼采用竖窑、隧道窑、烧结机等落后的工艺,2010年以前,行业呈现“散、乱、差”镍铁冶炼状态,单条生产线规模小,指标差,更加严重的是,能耗比世界先进水平高出50%以上,使我付出了高能耗、高污染的沉重代价。

以行业需求为己任,以绿色环保为目标,中国恩菲自2006年起,与中国有色矿业集团合作,依托缅甸达贡山镍矿项目开发,联合行业同仁共同集科研力量,采用中国设计、中国装备、中国建设等方针,遵循“吸收、消化—小型试验—半工业化试验—工业化试生产—大型镍铁工厂”的稳妥程序,于2010年成功开发回转窑—电炉工艺,在引进国外技术和设备受阻的情况下,开发自主知识产权的红土矿镍铁冶炼技术及装备,突破了回转窑—电炉生产高品位镍铁的技术壁垒,确保了缅甸达贡山镍矿项目顺利建设,并实现全面投产、达产,且各项技术指标均达到或优于世界同类企业。国外专家现场考察后指出,中国镍铁冶炼已步入世界先进行列。之后,顺应全球镍铁冶炼装备大型化、高品位镍铁的发展趋势,中国恩菲继续发力,持续优化工艺,提升技术水平,并在全国推广应用,逐步淘汰落后产能。



## 砥砺前行,自主研发助发展

在国内外技术垄断、技术封锁的背景下,中国恩菲和行业同仁创造条件,自主研发红土镍矿生产镍铁冶炼工艺,突破了高品位镍铁生产关键技术与装备,诸多创



新亮点闪现出来:

**创新点一:开发了利用红土镍矿生产高品位镍铁的熔炼关键技术,填补了我国高品位镍铁生产的空白。**

高品位镍铁生产中,一般而言有以下三个方面的技术难点:渣相温度高、热通量大,极易导致炉墙侵蚀;镍铁过热度低,放出困难;生产过程易产生泡

沫渣,导致跑炉,中断生产。

针对上述难题,中国恩菲联合研发团队进行了一系列理论研究,寻找原因和应对之策,如铁还原度与杂质含量关系,镍铁品位、碳含量与温度关系及炉渣渣型等。同时,通过传热模拟得到二维模型的热流场,得到不同镍铁品位时炉底和侧墙的温度场,为开发高效冷却系统提供理论依据。经过攻坚克难,最终掌握了高品位镍铁冶炼最佳参数,开发了电炉立体冷却、无熔剂熔炼、高电压操作、熔池全覆盖布料等技术,实现了稳定生产高品位镍铁的目标,生产成本低、产量大、能耗低、效益好。

首次开发了我国最大的、连续长周期安全稳定运行的镍铁冶炼电炉,功率72兆伏安,炉床面积达288平方米的大功率、高电压、全密封的六电极矩形电炉,打破了国外对大型镍铁电炉的垄断。

在此基础上,针对高过热度炉渣对炉衬侵蚀强烈的难题,开发了电炉立体冷却系统,在耐火砖表面形成的凝渣层有效阻止砖体侵蚀。与国内其他镍铁电炉相比,功率最大,炉墙最薄,炉寿最长,目前已稳定运行5年。

与此同时,基于电炉静态模型、动态特性及扰动特性,开发具有自主知识产权的镍铁电炉控制系统,确立了电炉最佳工作点,实现加料、功率、电极等全程自动控制,已得到广泛应用。

**创新点二:开发了红土镍矿回转窑强化焙烧工艺及装备。**

红土镍矿回转窑焙烧的技术难点是高硅物料还原条件的控制,通常存在焙烧温度低、还原度低、易于结渣,乃至无法生产。通过对窑内化学反应、高挥发分烟煤特性及窑内温度梯度的研究,利用烟煤取代无烟煤、设置3次风机延长火焰长度和高温区间,优化了窑内温度场,能够获得还原度高、温度高、烧损低的焙砂。

开发了国内最大的红土镍矿焙烧回转窑成套装备。窑体尺寸为φ5.5×115米,窑内加设扬料板、挡料坝,改善窑内还原条件和延长物料停留时间。焙砂产能超过100吨/小时,比进口设备节省投资40%以上。

**创新点三:首创了喷吹与化学升温相结合的镍铁精炼技术及其装备。**

国际上粗镍铁精炼大都采用脱硫和脱磷两段法,作业周期长,温降大,能耗高。本项目自主开发了集喷吹精炼与加铝升温为一体的粗镍铁精炼技术与成套装备,优于国外转炉法、KR法、LF炉法等精炼工艺,实现了单工位、高效率、低成本脱硫、脱磷、脱硅,升温速度快,升温幅度大,过程温降低,热损失少,精炼镍铁达到国际镍铁质量标准。

**创新点四:自主开发了低热损高温焙砂输送的机电一体化成套装备。**

国内镍铁冶炼初期,焙砂冷态入炉,敞开式放料加料,环境恶劣,效率低。项目攻克了800—900摄氏度高温焙砂的保温、运输设备的自动定位、自动挂钩、全程清洁化安全运输等难题,开发了高保温的双层料罐、料罐

运输车、焙砂起重机组成的焙砂运输系统。开发了授料、卸料、同步通风装置的焙砂自动加料系统,实现了高温焙砂在保温状况下全自动清洁输送和加料,焙砂温降小于100摄氏度,为电炉吨焙砂电耗降低20%以上创造条件。

**创新点五:开发了管状带式输送高黏性红土镍矿新技术。**

红土镍矿黏性高,同时达贡山矿山至冶炼厂地形高差大(509米),距离长,地形复杂。通过对红土镍矿性状、地形条件和下运势能的研究,开发了采用管状皮带下运红土镍矿的新技术,避免了汽车运输成本高、维修大和污染环境,成本仅为铰接卡车运输的5%。

技术特点包括:适应大高差、复杂地形条件和高黏性原矿输送;输送效率高。最大运输量达500吨/小时,针对现场情况,相当于40辆载重25吨卡车的运力;四象限变频调速控制。避免了大高差条件出现“飞车”的风险,下运势能转化为电能,年可向电网回馈190万千瓦时电量;高效清扫装置解决了含水高达30%以上红土矿黏结皮带难题。

## 广泛推广,创新实力铸辉煌

作为该项目研发依托的缅甸达贡山镍矿项目的成功投产和达产达标,为中国企业在缅甸树立了良好形象,提升了中国企业的地位。达贡山镍矿项目解决了2000多人就业。在镍市场低迷的情况下,工厂盈利运行,每年向缅甸政府缴纳税收。

从2006年自主开发回转窑—电炉镍铁冶炼技术及装备,到2010年完成工业试验并转入生产,再到2012年成功投产,中国恩菲携手行业同仁实现了高品位镍铁冶炼技术的突破,填补了国内空白,使中国镍铁冶炼技术与装备与国际先进技术同步,实现了从追赶者到引领者的技术成就。该工艺与落后工艺相比电耗近50%,在全国范围内得以迅速推广,纷纷改造和新建镍铁工厂,淘汰落后产能,至2014年,采用该工艺生产镍铁含镍量达22.7万吨,占国内镍铁含镍量的48%,使镍铁行业年节电超过52亿千瓦时,改变了我国镍铁生产的格局。

该项目工艺与装备的研发成功,也为我国镍铁行业的发展提供了可靠的技术支撑,为行业培养了一批研发、设计和生产技术人员,为我国企业开发国外红土镍矿项目奠定了坚实的基础。

此外,通过实现主体装备的全面国产化,也促进了国内镍铁冶炼装备水平的提高,推动了国产装备的出口,仅缅甸达贡山项目出口设备达18亿元人民币。雄关漫道真如铁,而今迈步从头越。成就是认可,是激励,也是新的起点。中国恩菲的研发团队从未停歇,他们继续前行在提升我国镍铁冶炼技术与装备水平的道路上,这条道路,必将引领他们实现更多行业开创,铸就更多傲人辉煌。