

艾萨法—清洁、高效的熔炼技术

W. J. 艾林顿, P. S. 阿瑟

(澳大利亚, 4000, 布里斯班, MIM 工艺技术部)

C. R. 枫丹

(澳大利亚, 4825, 芒特艾萨, 芒特艾萨矿业有限公司)

摘 要

MIM 控股有限公司工艺技术部(MIMPT)在全世界销售艾萨熔炼技术(ISASMELT)。艾萨炉在处理原生铜、铅精矿及铜、铅再循环物料(包括铅蓄电池)方面已得到商业规模的验证。现在, 澳大利亚、美国、英国、印度和比利时都有这样的炼厂在运营。MIM 在芒特艾萨的艾萨法炼铜厂和 MIMPT 在英国的艾萨法中间试验厂继续与现有商业规模炼厂的客户们通力合作从事着工艺开发。

本文描述了艾萨炉的主要特点及其发展历史, 包括其在已有炼厂现代化及新建炼厂中的应用。本文也论述了在环保远景方面使艾萨熔炼技术更具吸引力的某些特点。

简 介

MIM 控股有限公司(MIM)是位于澳大利亚的国际采矿和矿产加工公司, 其核心产品为铜、金、锌、铅、银和煤。该公司于 1923 年在澳大利亚昆士兰州西部边远的北方发现了芒特艾萨矿床的基础上建立。继承先辈们在建立矿山时表现出的创造性和智慧, 新的工艺技术被引进 MIM 的所有冶炼厂。艾萨炉就是最为成功的这些革新的一个实例。

艾萨熔炼技术的发展

艾萨工艺最初是为原生铅的熔炼而开发的。MIM 和联邦科学工业研究组织(CSIRO)通过CSIRO 墨尔本实验室和芒特艾萨冶炼厂的半工业试验厂及示范厂的试验工作共同开发了此项工艺。

艾萨法炼铜示范厂在五年运行期间熔炼了约 53 万吨精矿，大大地提高了 MIM 的铜产量。示范规模的运转使许多关键性的工艺问题 and 操作问题得以提出。这一谋略保证了把与提高工艺规模 and 商业化有关的风险降到最低程度。关于该工艺发展的进一步细节可查阅文献 [1-10]。

铅和铜示范厂的成功使 MIM 有信心在其芒特艾萨冶炼厂中建立商业规模的艾萨法炼铅、炼铜厂，并向外部客户提供使用该技术的许可证。表一罗列了已投产的艾萨法熔炼装置。

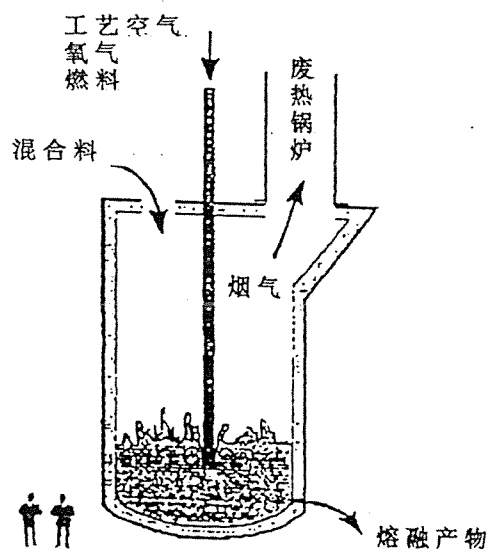
表一、截至 1998 年 12 月 31 日止的艾萨法熔炼装置

年 份	运 营 单 位	炼 厂 位 置	炼厂类型	规 模
1983	芒特艾萨矿业有限公司	澳大利亚芒特艾萨	铅炼厂	精矿 5-10 吨/小时
1985	芒特艾萨矿业有限公司	澳大利亚芒特艾萨	铅渣还原-浮渣处理	铅渣 5 吨/小时
1987	芒特艾萨矿业有限公司	澳大利亚芒特艾萨	铜炼厂	精矿 15-20 吨/小时
1991	芒特艾萨矿业有限公司	澳大利亚芒特艾萨	原生铅炼厂	铅金属 6 万吨/年
1991	不列丹尼亚精炼金属公司	英国 NORTHFLEET	二次铅炼厂	铅金属 3 万吨/年
1991	AGIP 澳大利亚有限公司	澳大利亚雷顿山	镍-铜炼厂	精矿 7.5 吨/小时
1992	塞浦路斯·迈阿密矿业公司	美国亚利桑那	铜炼厂	冰铜铜 16 万吨/年
1992	芒特艾萨矿业有限公司	澳大利亚芒特艾萨	铜炼厂	冰铜铜 18 万吨/年
1996	斯捷尔利特工业(印度)公司	印度土提科林	铜炼厂	冰铜铜 6-10 万吨/年
1997	联合矿业公司	比利时荷鲍肯	二次铜炼厂	进料 20 万吨/年

艾萨炉的特点

如图一所示，艾萨炉是一种简单的、用耐火材料衬里的熔炼炉。单一浸没式的燃烧喷枪经炉顶的入口插入熔池。用空气冷却的喷枪由于在其前端形成的凝固炼渣层的保护而免受炉内侵蚀环境的影响。如需维修喷枪，喷枪可轻易地从炉内取出。经由喷枪注入的工艺气体及燃料引起熔池剧烈湍动。由于熔池高度湍动，通过炉顶第二个入口投入的物料就十分迅速地溶解和反应，从而使设定的炉量达到高熔炼率。熔融产物从靠近炉体底部的水冷排放口排出。工艺烟气通过炉顶的出口排放，进入普通的废热回收和除尘系统。

图一、艾萨炉示意图



炉体结构简单。垂直的筒形炉体易于安装耐火炉衬。艾萨炉可采用煤、油或天然气等不同类型的燃料，可适应炼厂所在地区最为经济的燃料。艾萨法的进料置备是直通式的。物料仅需要混合或用水作粘结剂在制粒机上造粒。

炉耐火砖为高级铬镁砖。艾萨炉耐火砖的寿命取决于被熔炼物料的性质，并对熔池温度非常敏感。炼铜艾萨炉的耐火材料炉衬在无水冷条件下通常可持续 12 至 18 个月。在示范炼厂其寿命曾达 21 个月。

艾萨法炼铜

自 1992 年以来，有四座炼铜的艾萨炉先后投产。表二所示为这些炼厂的某些细节。

表二、商业化的艾萨法炼铜厂

运 营 单 位	设 计 规 模	燃 料	废 气 冷 却	硫 回 收
芒特艾萨矿业有限公司 (澳大利亚)	原设计为 18 万吨/年， 已提高到 25 万吨/年冰铜铜	块 煤	废 热 锅 炉 + 蒸 发 冷 却 器	空气中散逸(制 酸厂计划于 1999 年投产)
塞浦路斯迈阿密公司 (美国)	16 万吨/年冰铜铜	天然气	传统的废热 锅炉	制 酸 厂
斯捷尔利特工业公司 (印度)	6 万-10 万吨/年冰铜铜	块煤+油	蒸发冷却器	制 酸 厂
联合矿业公司 (比利时)	20 万吨/年二次铜料	块煤+油	幅 射 废 热 锅 炉 + 蒸 发 冷 却 器	制 酸 厂

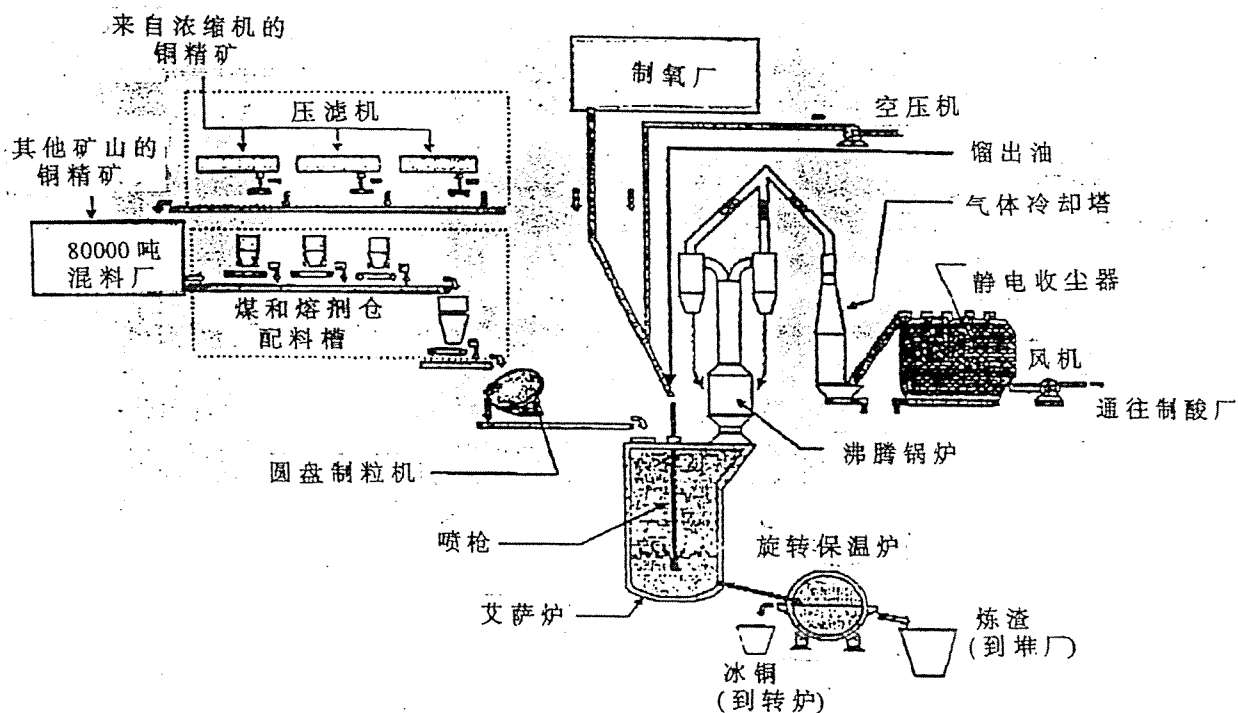
芒特艾萨艾萨法炼铜

MIM 公司以艾萨法工艺为基础改造了它的芒特艾萨炼铜厂。该炉熔炼铜精矿的生产率高达每小时 150 吨。MIM 公司选择艾萨法工艺的若干理由中包括：

- 在操作时很少有炉内气体泄漏工作场所；
- 所产生的烟气含有浓二氧化硫 (SO₂)，可与较稀释的转炉烟气相混合，适于硫酸厂回收；
- 该工艺已得到示范规模炼厂五年运转的验证，进料率为每小时 15 - 50 吨；
- 与其他经过验证的铜熔炼工艺相比，其基建投资要低得多。

图二所示为芒特艾萨艾萨法炼铜厂的流程图。芒特艾萨的精矿与来自他处矿山的精矿在混料厂相混合。经过混合的精矿再与熔剂、返料和块煤混合，在圆盘制粒机上制粒，然后送进艾萨炉。熔池温度是用块煤来控制的。注入喷枪的馏出油用于短时间的温度调节。该炉产出的冰铜及炼渣被一起排放入旋转保温炉。

图二、芒特艾萨艾萨法炼铜厂流程图



该炉的冰铜含量约为 60 %。在保温炉中的重力沉淀可产出含铜约 0.8 % 的废渣。冰铜经水冷流槽浇入铜水包，再由转炉跨间吊车送入转炉。炼渣由保温炉另一侧的第二个流槽直接注入 Kress Hauler 罐运往堆渣场。

1998 年的一个扩建项目取得了将艾萨炉铜精矿的平均处理量提高到每小时 150 吨。该艾萨炉上游和下游系统的改建包括安装了新的物料置备设备，8 万吨规模的混合精矿贮料仓，一台四号 PS 转炉和新的阳极浇铸机。新的制氧厂加倍向艾萨炉供应氧气，并将注入喷枪的工艺空气的含氧量增至 60 %。新的制酸厂将于 1999 年底投产，以

处理艾萨炉的烟气并回收硫。

塞浦路斯·迈阿密矿业公司艾萨法炼铜

塞浦路斯·迈阿密艾萨法炼厂位于美国亚利桑那州，原设计年熔炼精矿 59 万吨。先前是在电炉中进行熔炼的。该电炉如作为艾萨法的冰铜和炼渣的沉淀炉来使用，则显不足。电炉原功率为 51MW，平均耗电量约为 36MW。改变了经济情况就意味着利用电炉熔炼已不再经济可行。塞浦路斯选择了艾萨法来改造其炼铜厂。

该艾萨炉熔炼的精矿与一些外购的精矿经料场混合后送入精矿料仓。精矿、熔剂和返料直接投入炉内。熔池温度采用注入喷枪的天然气来控制。塞浦路斯在工艺中不用任何煤。工艺空气含氧 48 %。该炉生产的冰铜含铜约 60 %。冰铜和炼渣排放入电炉沉淀。

斯捷尔利特工业（印度）有限公司艾萨法炼铜

斯捷尔利特工业公司炼铜厂位于印度南端的土提科林，设计熔炼进口精矿。该厂于 1996 年底投产，现正按设计年产 6 万吨冰铜铜，并计划通过增加工艺空气中的富氧扩大冰铜铜的年产量超过 10 万吨。该厂系新建，包括了若干 PS 转炉、阳极炉和一座制酸厂。

精矿、块煤和熔剂相混合后经园盘制粒机制粒。最终的团粒，含水份约 9 %，用传送带直接送入艾萨炉。冰铜的目标含铜量为 50 %。冰铜和炼渣在旋转保温炉中分离。炼渣水碎粒化，冰铜用铜水包送入转炉。

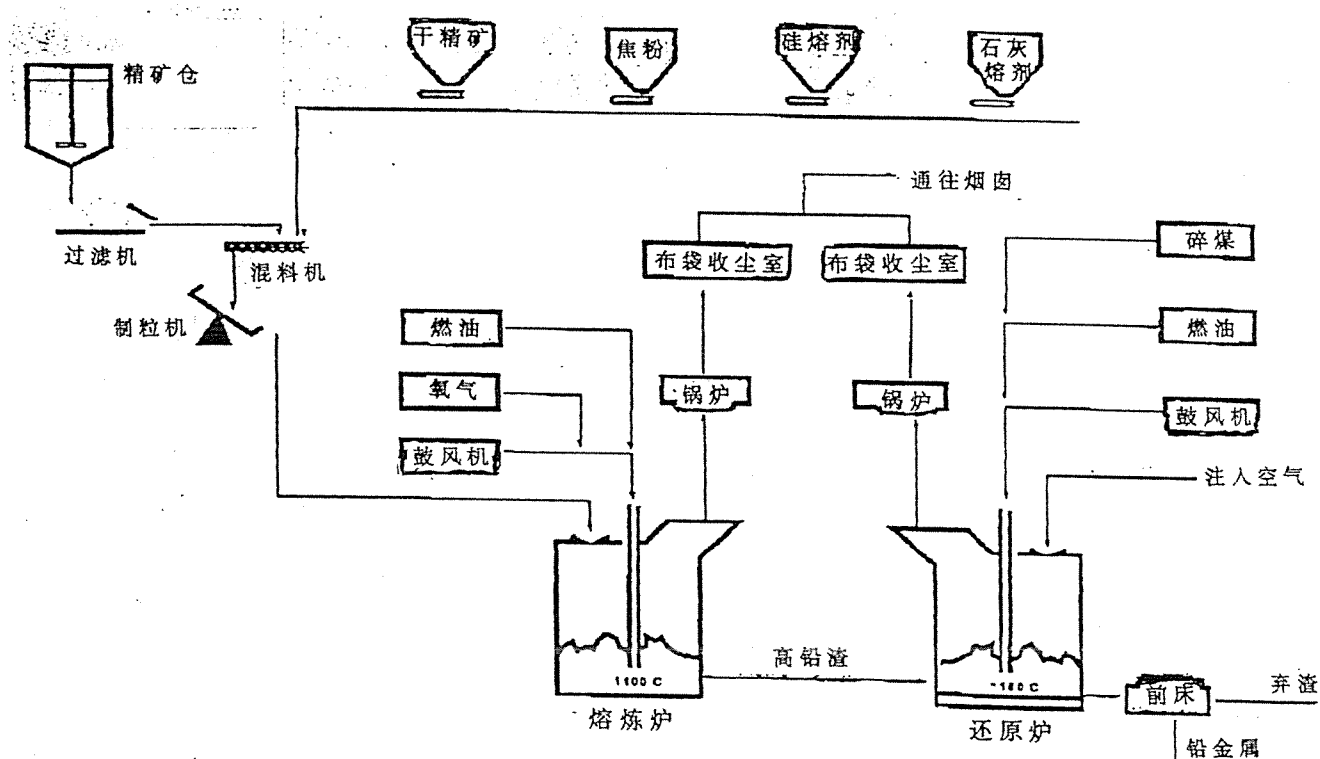
联合矿业公司艾萨法炼铜

位于比利时的联合矿业公司专营再循环有色金属废料。联合矿业公司与 MIMPT 合作，开发了处理含有二次铜和铅的废料及残渣的工艺。经 MIMPT 在英国 NORTHFLEET 的中间试验厂试验后，该工艺又经联合矿业公司荷鲍肯炼厂的示范厂验证。随后，设计和建设了一座完全规模的商业化的艾萨法炼厂。该新建的“2000 炼厂”于 1997 年第四季度投产，现正按设计能力在运转。

艾萨法原生铅熔炼

图三所示为安装在芒特艾萨的艾萨法两段炼铅工艺的示意图。芒特艾萨炼厂设计年产量为6万吨金属铅，每小时处理20吨含铅47%的芒特艾萨铅精矿，日用氧70吨。在日用氧量130吨成为可能时，该厂精矿处理量将增至每小时36吨，而残渣中的含铅水平并不提高。

图三、芒特艾萨艾萨法炼铅流程图



两段工艺系采用一台氧化炉和一台还原炉。精矿和熔剂在氧化炉中熔炼，生成高铅渣(50%氧化铅)。高铅渣连续通过流槽进入还原炉，被从喷枪注入的煤粉还原，生成粗铅和废渣。

焦粉是熔炼炉的燃料。燃油是还原炉的主要燃料，然而热需要量的重要部分是由于喷枪注入的煤的细粒组分提供的。两炉的烟气分别由单独的废热锅炉冷却至200℃。每台废热锅炉都由竖式辐射室和相接的卧式对流室构成。冷却了的烟气在进入制酸厂或排放大气之前，经由反向脉动袋式收尘室净化。

铅金属放入铅水包送往除渣锅，炼渣水碎粒化。

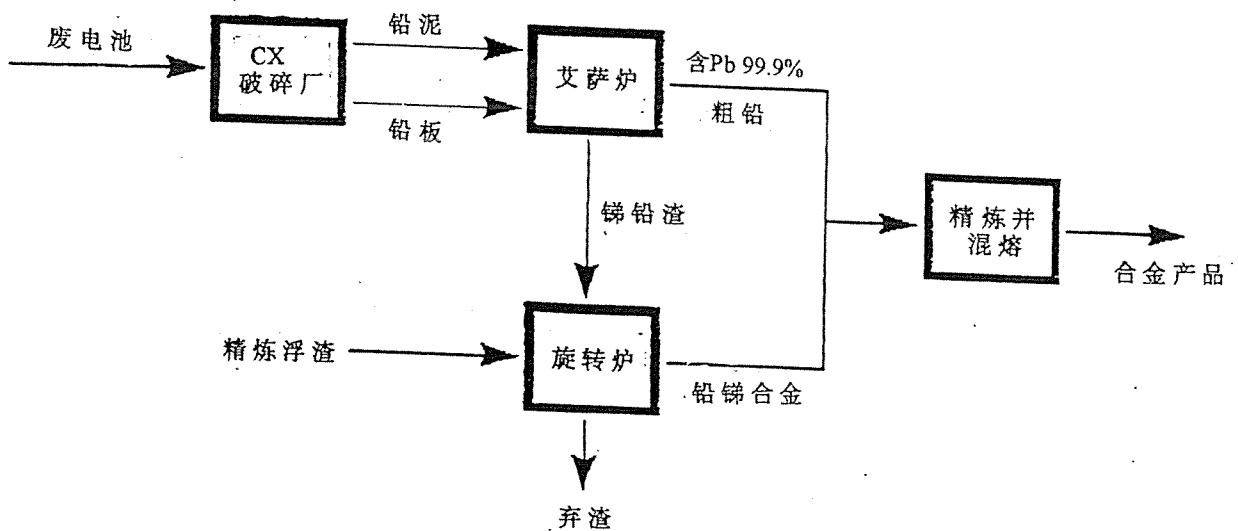
某次用 4000 吨含铅 67 % 的精矿所做的示范性试验表明，使用如此高品位的精矿可把炼厂能力提高到年产 13 万吨铅，且有约 50 % 的铅金属直接在熔炼炉中产出。这一方案要求的日氧气量少于 50 吨。

目前芒特艾萨的铅艾萨炉没有使用，因为芒特艾萨生产的精矿不能满足他们及其它炼铅厂生产的需要。在补充的精矿来源得到解决之前，正对它们进行保养和维修。

艾萨法二次铅熔炼

1991 年位于英国 NORTHFLEET 的不列丹尼亚精炼金属公司 (BRM) 以商业规模用艾萨法熔炼蓄电池铅泥和铅板。该厂原先使用短型回转炉年产约 1 万吨铅。该回转炉现仍保留，用以处理精炼浮渣和炼渣。图四为该厂的简化流程图。

图四、BRM 艾萨法二次铅熔炼流程图



蓄电池在破碎机内破碎并分成单一组分。其主要组分为金属铅板，氧化/硫化铅泥，聚丙烯，硬橡胶和聚氯乙烯。铅泥浆经与氢氧化钠反应脱硫后形成硫酸钠溶液和氧化铅泥。氧化铅泥再在压滤机上脱水。铅泥和金属铅板分别送入贮藏仓以便投入艾萨炉。BRM的艾萨炉是以空气为基础，使用的燃料是回收油。

铅泥和铅板料一般是在分别的炉期中加以处理，以简化随后的精炼过程。在典型的铅泥炉期中，首先形成熔融铅泥的起始熔池。然后，铅泥和还原剂—焦炭一起投入炉中。大量的锑、硅、铁和铅泥的其它次要组分呈渣相。铅泥中的铅被还原成低锑(0.01 - 0.1%)软铅，定期地按一定间隔排放入罐，并以熔融状倒入精炼锅。

软铅，连续产出，直到120 - 150吨铅泥都入炉。在此之前，炼渣已高度含锑，并含有55 - 65%的氧化铅。该炼渣可在艾萨炉中还原，以生成铅锑合金，但是用回转炉来还原炼渣，炼厂的处理可达最大限度。回转炉同样处理来自精炼锅的浮渣。

该炼厂设计为每小时熔炼7.5吨铅泥，但现在日常每小时熔炼12吨铅泥。铅板在单独的炉期中熔炼，速率为每小时35吨，生成的软铅含锑量要比铅泥周期的要高。BRM艾萨法炼厂的生产目标是年产3.5 - 4万吨粗铅，满足环保标准并预期进一步降低单位生产成本。

继BRM炼厂成功之后，MIMRT现正为马来西亚金属回收工业公司(MRI)设计一座新的艾萨炉。MRI炼厂用二次铅废料年产4万吨粗铅。

艾萨法较传统工艺更具环保优点

炼厂改造项目的关键目的之一是减少排入环境的污染物的数量。艾萨法工艺在减少冶炼厂对环境的潜在影响方面具有许多引人注目的特点。

艾萨法工艺是以固定炉为基础。炉体的孔口局限于喷枪口、给料口和烟气通道。该设计容纳了炉与烟气系统之间的一个有效的定标系统。工艺气体及相关的尘埃被高效地吸收，很少泄漏入周边的大气空间，也很少有夹带空气进入烟气系统。在工艺过程中采用富氧，结合有效的定标系统，烟气中便产生高浓度SO₂。因而要求较小的烟气处

理设备，简化了除尘和回收二氧化硫。

在芒特艾萨建立了炼铜艾萨炉，使修建硫酸厂以回收来自艾萨炉和炼厂 PS 转炉的 SO_2 成为可行。西方矿业公司（WMC）将利用该硫酸生产芒特艾萨以南杜切斯磷矿的化肥。

该工艺的热效率导致对燃料的要求比较低。芒特艾萨艾萨法炼铜厂在运转中没有添加煤或油。然而，在正常操作条件下，因为处理的精矿或返料中黄铁矿的含量较低，而仍需要若干煤。熔炼这种低黄铁矿的物料不能生成熔炼黄铜矿精矿时所能生成的那样多的热。芒特艾萨炼铜艾萨炉与传统的焙烧炉及反射炉的能量（煤 + 油）消耗对比见表三。在正常操作条件下，艾萨炉降低每吨精矿的煤与油的消耗量超过 70 %。尽管向混合进料添加低黄铁矿物料、转炉渣精矿、炼铜烟道炉灰和防污染池的泥渣，这种降低能耗的情况仍会存在。

表三、艾萨炉与焙烧炉及两台反射炉的煤、油消耗对比

	焙烧炉 - 反射炉 (1991 年 7 月 - 1992 年 6 月)	炼铜艾萨炉 (1997 年 7 月 - 1998 年 3 月)
每公吨精矿能耗(GJ/t)	4.12	1.14

该工艺所用燃料种类的灵活性意味着在各个现场都能采用最经济的燃料。艾萨法工艺能使用低质量煤作燃料的这一事实意味着可以省去鼓风炉工艺所要求的炼焦炉。取消了炼焦炉也就消除了诸如硫向大气散逸等的有关环保问题。

艾萨炉的设计容许混料、块状料和结饼直接入炉。这一特点使该炉可以处理来自其他工艺过程的残渣和废料，减少它们对环境的影响。循环物料，诸如来自炼铜转炉的返料等，可以容易地与进料混合，直接投入该炉。

艾萨炉会产生较少量的尘埃。通常，炼铜艾萨法工艺的烟气中所含尘埃量少于进料的 1 %。这一特点减少了炼厂循环物料的总量，从而提高了炼厂的效率。尘埃可以循环回入工艺过程或经处理后生产副产品，含锌尘埃的浸出处理即为一例。如果一座艾萨法炼铅厂位于锌

精炼厂附近，那么就有可能对还原炉的烟尘进行浸出处理，以产出硫化锌溶液和铅残渣。该残渣可以返回熔炼炉。

简单的艾萨法工艺可以减少所需操作人员的数量。炉体孔口少，较容易装配二次空气的风机系统。因此，熔炼会是非常清洁，有利于改善工人在炼厂的卫生条件。在这样的条件下，需要在炉边工作的操作人员接触到的是较少量的冶金烟尘。

未 来 的 发 展

MIMPT 继续为现有的和新的应用而发展艾萨法工艺，经常与本工艺的潜在用户保持联系。位于英国 NORTHFLEET 每小时处理量为 250 公斤的艾萨法中间试验厂用来试验客户的进料和检验工艺概念。

已经在商业规模中应用的铜的吹炼工艺是艾萨法工艺应用的一个实例。在中间试验厂已经展示了由冰铜生产粗铜。在现代化的炼铜厂中一座艾萨炉可以取代几台 PS 转炉。投入艾萨法转炉的进料可以是熔融状冰铜，也可以是粒状冰铜。艾萨法吹炼炉可以避免 PS 转炉的许多缺点。这里没有风咀，炉子将以连续方式，而不是间歇方式工作，收集烟气也较容易。

MIMPT 正在寻找感兴趣的伙伴将吹炼工艺发展为商业规模。MIMPT 也愿意讨论艾萨法工艺可能适用的其他应用。

结 语

艾萨法工艺六年多来，以商业化规模在 MIM 集团的公司和外部客户中经受了检验，精矿进料率高达每小时 150 吨。该工艺在商业上用于熔炼铅精矿、铜精矿、铅电池泥以及铜的二次废料和残渣。

该工艺在现有的商业化炼厂及 MIMPT 的中间试验厂中的仍在继续发展。MIMPT 在艾萨法工艺基础上成功地试验了铜的吹炼工艺，并且寻找感兴趣的伙伴以求该工艺在商业上的发展。

艾萨法较传统工艺所具有的环保优点，包括减少向大气散逸、易于回收 SO_2 制成硫酸、低燃料消耗、燃料种类灵活、可循环废料及低尘埃量。在当今全世界大举实施现代环保规约之际，艾萨法的这些特点使其理想地适用于冶炼厂的革新提高。

参 考 文 献

1. W.J. Errington, J.S. Edwards and P. Hawkins, "ISASMELT Technology-Current Status and Future Development", Colloquium- Trends in Base Metals Smelting and Refining, The South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, South Africa(1997)
2. R.L. Player, "Copper Isasmelt - Process investigations", Howard Worner Symposium on Injection in Pyrometallurgy, The Minerals, Metals and Materials Society of AIME, Warrendale, USA(1996)pp439-446
3. S. Jahanshahi, M. Somerville, and R. G. Hollis, "Direct converting of copper concentrate in Siros melt reactors", Copper 95 International Conference, Vol 4, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum(1995)pp367-381
4. J. L. Cribb, J. S. Edwards, C. R. Fountain and S.P. Matthew, "Isasmelt technology for the smelting of copper", 15th CMMI Congress Johannesburg, SAIMM Vol 2, (1994)pp99-103
5. R.R. Bhappu, K.H. Larson, R.D. Tunis, "Cyprus Miami Mining Corporation - smelter modernization project summary and status", EPD Congress 1994, The Minerals, Metals and Materials Society of AIME, Warrendale, USA(1993)pp555-570
6. C.R. Fountain, J.M.I.T. Tuppurainen, N.R. Whitworth and J.K. Wright, "New developments for the Copper Isasmelt process", Extractive Metallurgy of Copper Nickel and Cobalt, Vol 2, The Minerals and Materials Society of AIME, Warrendale, USA(1993)pp1461-1473
7. R.L. Player, C.R. Fountain, R.V. Nguyen, and F.R. Jorgensen, "Top-entry submerged injection and the Isasmelt technology", Savard-Lee International Symposium on Bath Smelting, The Minerals and Materials Society of AIME, Warrendale, USA (1992) pp215-229
8. C.R. Fountain, M.D. Coulter and J.S. Edwards, "Minor element distribution in the Copper Isasmelt process", Copper '91, Vol 4 Pergamon Press, New York (1991) pp359-373
9. S.P. Matthew, G.R. McKean, R.L. Player, and K.E. Ramus, "The continuous Isasmelt lead process", Lead-Zinc'90, The Minerals, Metals and Materials Society of AIME, Warrendale, USA (1990) pp889-901
10. R.B.M. Brew, C.R. Fountain and J. Pritchard, "Isasmelt for secondary lead smelting", Lead 90: 10th International Lead Conference, The Lead Development Association, London (1990) pp170-181

(YZL 译校)