

# 超达(Xstrata)公司的艾萨熔炼和艾萨电解技术及其在中国成功应用的实例

高明炜, Philip Arthur, Nigel Aslin

澳大利亚 超达(Xstrata)技术公司

## 1.0 引言

世界有色金属工业多年来由于采用了由澳大利亚蒙苔艾萨公司发展的多项先进技术,使其生产效率大大提高。这些技术包括艾萨熔炼法和艾萨电解法。澳大利亚几家大型有色冶金企业在几年前市场不景气的情况下能赖以生存,在很大程度上得益于这些先进技术的应用。

澳大利亚超达(Xstrata)技术公司负责艾萨熔炼法和艾萨电解法在世界范围内的技术市场。该公司是超达(Xstrata)集团公司的一个部门,是在2003年中期超达(Xstrata)集团公司收买了澳大利亚蒙苔艾萨集团公司后成立的。

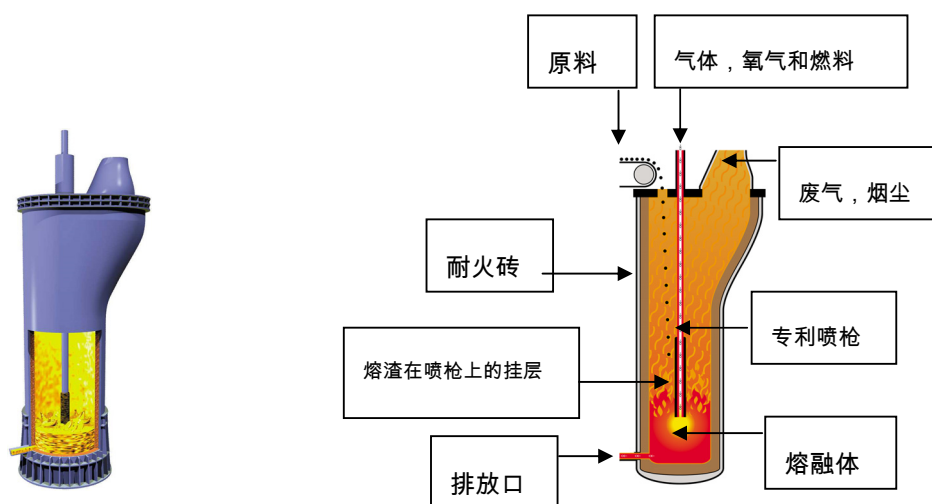
超达(Xstrata)集团公司是一个综合性跨国矿山冶金公司,总部设在瑞士,在澳大利亚,英国,德国,西班牙,南非,智利和阿根廷都有大型企业,全世界雇员约两万人。超达(Xstrata)集团公司的主要产品为铜(占世界产量第十位),铅(占世界产量第三位),锌(占世界产量第三位),动力煤(占世界产量第一位),铬铁合金(占世界产量第一位)和钒铁合金(占世界产量第二位)。

此外,技术产业也是该公司业务不可分割的一部分。超达公司多年来一直在研究发展先进的有色冶金技术用以提高自身企业的生产效率,并将成熟的技术有偿转让。

## 2.0 艾萨熔炼法

艾萨熔炼法是现代化有色金属熔池熔炼工艺,可用于铜和铅的一次和二次熔炼,铜镍熔炼和铜吹炼。艾萨熔炼法前身是澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)发明的晒罗熔炼法(SIROSMELT)。经过蒙苔艾萨矿山公司在其铜冶炼厂二十多年的生产实践和不断开发,艾萨熔炼法炼铜效率大大提高。世界上成本最低的三家铜熔炼厂都采用了艾萨熔炼法。

图一给出了艾萨熔炼炉的基本结构和主要技术特点。艾萨炉采用衬有耐火砖的平顶圆形炉体。喷枪由炉顶插入炉内,向炉中的熔融体内(渣,冰铜和金属的混合物)喷射气体,氧气和燃料,形成强烈的搅拌流体,保证原料和氧气间的快速反应。炉内熔渣溅起时在喷枪上形成挂层,保护了喷枪露出熔融体部份不受强烈腐蚀环境的损坏。艾萨炉的产品(冰铜,金属和渣的混合物)从炉底部带有冷却水套的排矿口排出,进入沉淀炉,利用冰铜和渣的不同比重分离。同早期的晒罗熔炼工艺比较艾萨熔炼法的诱人特点在于其独特的喷枪低压旋涡器设计和多年来蒙苔艾萨铜冶炼厂积累的丰富的实际操作经验。艾萨炉喷枪典型的作业压力为八十千帕左右,采用单段吹风机即可提供燃烧气体,避免了昂贵的压缩机。

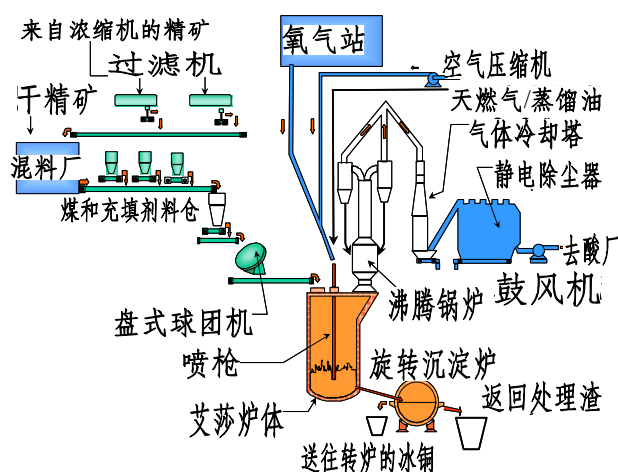


a. 艾萨熔炼炉

b. 艾萨熔炼法主要特点

图一 艾萨熔炼法

图二是蒙苔艾萨铜冶炼厂艾萨熔炼工艺的流程, 包括原料混和, 原料运送, 造粒, 艾萨炉, 氧气站, 废热锅炉, 静电除尘, 旋转沉降炉。艾莎熔炼技术的全套服务是由澳大利亚超达(Xstrata)技术公司提供的。全套服务内容包括艾莎炉设计和组建, 发放使用艾莎熔炼工艺的执照, 提供关键设备, 在蒙特艾 萨公司的冶炼厂中进行现场培训, 新炉调试以及对客户提供持续性的技术支持。



图二 澳大利亚蒙苔艾萨铜冶炼厂艾萨熔炼工艺流程

艾萨熔炼法的优点概述如下。

#### 基建和作业成本低

艾萨炉构造简单, 体积小, 废气量低, 废气处理系统小。这些特点降低了基建费用, 作业成本和维修成本, 延长了耐火砖寿命, 提高了能源效率, 减少了对人工要求, 导致了艾萨炉总作业成本大幅度下降。世界上处理铜精矿成本最低的三座铜熔炼厂都使用了艾萨熔炼法。

## 节能

艾萨炉充分利用了精矿本身含有的化学能，从而降低了冶炼能耗。表一列出了澳大利亚蒙苔艾萨铜冶炼厂艾萨炉与焙烧炉和反射炉处理一吨铜精矿的耗能对比。表中还给出了艾萨炉产量增加时单位能耗降低的数据。能耗的计算包括排料槽加热喷嘴和旋转沉降炉用油，但不包括熔炼厂用电。电耗对焙烧炉，反射炉和艾萨炉都很难估算。喷枪和氧站净耗电约为每吨精矿0.25 兆焦。

表一中的数据表明艾萨炉熔炼铜精矿可节能百分之八十。实际的节能还要高些，因为艾萨炉的原料中包括含自燃能量低的铜渣，渣的再选铜精矿和其它再生料。焙烧炉和反射炉是处理不了这类物质的。

表一 熔炼一吨铜精矿所需能源比较

	焙烧-反射 炉 (1991.7 到 1992.6)	铜艾莎炉 (1993.7到 1994.6)	铜艾莎炉 (2000.3)	铜艾莎炉 (2001.4)
精矿处理量 (吨)	650,254	548,987	89,781	97,344
耗煤 (吨)	84,658	14,991	1,437	636
耗天然气(标米)	0	0	0	602,790
用油 (千升)	2,407	2,730	227.2	100.9
吨能耗 (兆焦/吨)	4.12	1.02	0.58	0.47

## 满足严格的环保要求

艾萨铜熔炼炉废气中二氧化硫含量可高达百分二十七，为后续酸厂有效扑收二氧化硫创造了良好的工艺条件。在比利时和德国的艾萨熔炼炉都设在人口密集地区，二氧化硫量排放量均低于欧共体严格的环境保护标准。

## 原料和燃料的灵活性

艾萨炉可使用的燃料包括各种等级的煤，焦粉，各种类型的油，天然气，或者这些燃料的混合。燃料选取完全可由市场价格和当地供应条件决定。如果燃料价格有变化，可重新调整。蒙苔艾萨公司艾萨炉的设计燃料为煤和油，现在已改用煤和天然气。美国PhelpsDodgeMiami的艾萨炉一直在使用天然气。印度SterliteIndustries的艾萨炉用煤和油。艾萨炉另外一个突出优点是当辅助设备出现问题需要修理时可随时停炉和启动。一般来讲，停炉需要二十秒钟，启动需要五分钟。

## 粉尘低

艾萨炉原料被带入废气系统的量比其它熔炼方法低得多，一般不超过原料重量的1-2%。

## 无需燃烧喷嘴

艾萨炉使用喷枪而不是燃烧喷嘴，从而免除了喷嘴堵塞和喷嘴管道上耐火材料的损耗。

## 喷枪寿命长

艾萨熔炼法在过去十几年中对喷枪设计和控制方法不断进行改进，使喷枪寿命明显提高，平均已达十四天左右。喷枪更换十分简单，有些艾萨炉已做到了完全机械化，每次换枪只需三十到四十分钟。枪的维修很简单，而且费用低，只需更换枪头部份即可。

总而言之，同传统的熔炼技术相比，艾萨熔炼法具有明显的优势，投资和作业成本低，燃料种类选择灵活，占地小(特别适合老企业改造)，原料制备简单(无须干燥和磨矿)，操作维修简单，满足高环保要求。艾萨熔炼法已经在澳大利亚，美国，英国，德国，比利时，印度，马来西亚和中国

得到了广泛应用。在秘鲁和赞比亚的铜艾萨熔炼厂正在建设之中,两年以后投产。届时，艾萨熔炼法年处理铜精矿总量将高达六百万吨(见附录1)。

3.0 艾萨电解法

艾萨电解法是最先进的铜电解技术，其成熟的永久性不锈钢阴极适用于电解精炼和电解沉积作业。艾萨电解法的突出优点包括世界上寿命最长的阴极板，最高和持久性最佳的电流效率，最安全和设计最合理的阴极剥离机组。

艾萨电解法的技术关键是永久性可重复使用的阴极板，这是与使用铜始极片的传统种板工艺最主要的区别。艾萨电解法的阴极板由厚度为3.25毫米的316号不锈钢制成。内部中空导电棒也由不锈钢制成，焊接到阴极板上。为了改善导电性，导电棒外表层度有2.5毫米厚的纯铜。不锈钢阴极板的两个垂直边由塑料边条包裹，以防止阴极铜沿着边缘生长。不锈钢阴极板的底边涂有一层薄蜡，其作用除了防止铜围绕板边生长外，还阻止了凸出铜部位的生成。凸出的铜部位很容易劫持下落的阳极渣，降低电解铜的纯度。艾萨2000电解法为是无蜡工艺，已经在中国和日本大型电解厂的作业中取得工业成功。在剥离过程中，从不锈钢阴极板上剥下两块单独的高纯度电铜片。这种新的阴极技术给铜电解厂中电极的装卸带来了极大方便。

图三是艾萨电解技术的一组图片，包括电解车间，永久性不锈钢阴极板和阴极剥离机组。艾萨电解法可给用户带来明显的经济效益，包括最好的电铜质量，最大电流密度(高达每平米350安培)，高工时效率，安全作业环境，低作业成本。全世界至今已有六十家铜电解工厂采用了艾萨电解工艺(见附件二和三)，共计年产铜五百万吨以上，约占世界铜产量的百分之三十五。

艾萨电解技术的全套服务是由澳大利亚超达(Xstrata)技术公司提供的。全套服务内容包括电解车间，永久性不锈钢阴极板和阴极剥离机组的设计和组建，发放使用艾萨电解工艺的执照，提供关键设备，在澳大利亚汤市威尔铜电解厂进行技术培训，新厂调试以及对客户提供持续性的技术支持。

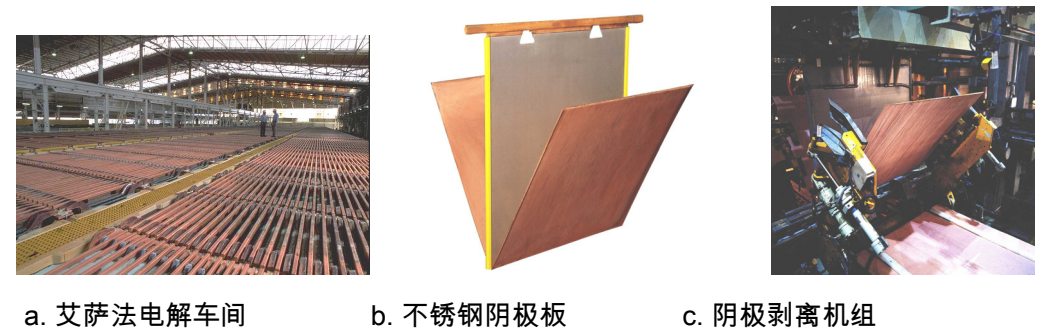


图 三 艾萨铜电解技术

艾萨电解工艺的优点概述如下。

### 永久性阴极板

艾萨电解法用可多次使用，结实平直的不锈钢阴极板取代了单薄易变形的始极片。由于生产和更换始极片费用极高，采用传统工艺的电解厂通常是两个阴极循环对一个阳极循环，阴极的成长期为十到十四天。相比之下，艾萨电解法阴极成长期可在五到十四天内任选，通常认为七天最理想，可与每周五天工作的安排配套。短循环周期可明显提高阴极铜的质量。

### 电铜化学质量提高

电铜化学质量的提高来源于艾萨电解法的两个独特优点。一是不锈钢阴极板的直线性和垂直性大大优于单薄易变形的始极片，减少了电解过程中电铜包裹杂质的机率。二是，永久性阴极板的使用缩短了循环周期，减少了短路机率，进而减少了铜瘤的生成。

近年来，由于铜线生产厂家对铜材质量的要求十分严格，甚至超过了LEMA级的标准，电铜化学质量日趋重要。使用不锈钢阴极板的艾萨电解法不但能在高电流密度下高效率作业，而且满足了最终用户对铜材提出的严格质量要求。

### 电解电流密度提高

不锈钢阴极板的使用减小了阴阳极对之间的极间距，电解槽中单位距离的电解活化区增加，从而提高了电解电流密度。艾萨电解法已经成为现代电铜工业高电流作业的标准工艺。多家采用艾萨法的铜电解厂电流密度已超过了每平米三百四十安培，而采用始极片的传统电解工艺作业电流密度在每平米二百四十安培左右。

### 工艺用铜量降低

工艺用铜量是铜电解厂的一个重要考核指标。艾萨电解工艺的高电流密度作业缩短了阳极和阴极的循环周期，从而降低了工艺用铜量。与采用始极片的传统电解工艺相比，艾萨电解工艺减少的工艺用铜量一般在百分之十二左右。

### 生产率提高

始极片的制造和更换以及短路极片的清理都需要大量的劳动力。艾萨电解工艺通过废除始极片和降低电对短路频率来提高生产效率。相同规模的艾萨电解厂使用的人力只是传统电解厂的三分之一。不锈钢阴极板又使电解槽作业自动化成为现实，加上艾萨电解工艺可靠高效的剥片机，两者的结合进一步提高了艾萨电解工艺的总效率。

### 电极定位精度提高

艾萨电解工艺高电流密度作业是以其准确的电极定位为基础的。高电流密度作业又是生产持久性高质量电铜的重要条件。传统的始极片工艺是做不到电极准确定位的。虽然近年来对始极片进行了许多改进，比如在始极片浸铜两天后对其进行模压，硬化和二次压制，但电极定位精度的提高并不明显，主要原因是始极片上不稳定的吊环和导电棒造成的。艾萨电解工艺准确的电极定位使槽中吊挂的阴阳极板间上中下平行，电流分布均匀。

### 高效可靠的阴极剥离机组

自从一九七八年第一台艾萨工艺阴极剥离机组在澳大利亚汤市威尔铜电解厂投产后，至今已经有六十多台艾萨剥片机分布世界各地，单机剥片量从每小时六十片到六百五十片。剥片机将不锈钢板上的阴极铜一分为二，过程十分简单。艾萨工艺阴极剥离机组有许多不同的功能可供选择，对大型设备尤其如此。比如对阴极铜片进行整齐的罗列使捆绑更结实，并给运输带来极大方便。在阴极铜片上按照顾客的要求规格压制出波纹，交错叠放。打包机可对铜包进行自动取样，称重和帖商标。

艾萨工艺阴极剥离机组是由日本三井工程公司(MESCO)按照高标准制造的。三井公司与艾萨电解工艺有着长久的合作关系。一九七八年在澳大利亚汤市威尔铜电解厂投产的第一台艾萨工艺阴极剥离机组就是由三井公司制造的。

### 高质量的电铜产品

阴极铜平滑的表面是艾萨电解法产品的特征。铜包是由单个铜片组成的，在为小型高炉加料时带来极大方便。用竖炉熔炼时，有些顾客偏爱艾萨打包机压制出的波纹，他们认为带波浪纹的铜包容易散开，并能改善电铜溶化特征。

艾萨工艺如果按七天一循环作业，所生产出的单面阴极铜重四十五到五十五公斤重，取决于阴极铜的活化面积，电流密度和电流效率。如果把阴极铜生长期延长，可产出更重的单片阴极铜。艾萨工艺最大的单片阴极铜重达一百公斤。还有一家精炼厂把两片阴极铜一边挂联，增加阴极铜的单块重量。铜包重量也可按照顾客要求来设计，一般在二到三点五吨左右。

### 坚固耐用的阴极板

艾萨工艺的阴极板百分之百由不锈钢制成，与其它永久性阴极板相比具有许多独到的优点。由不锈钢制成的钢性导电棒为阴极板提供了极大的稳定性，并保证了其垂直度和平面度。以上特点使永久性阴极板在反复使用过程中始终保持高电流效率，并大大降低了阴极板维修费用。不锈钢阴极板在多家采用艾萨电解工艺的电解厂中寿命已经超过了十五年。不锈钢导电棒的另一个优点是其与不锈钢阴极板间的焊点不受酸雾和微电池作用的腐蚀。

### 低阻抗阴极板

艾萨工艺的不锈钢导电棒外表电镀有纯铜使其导电。艾萨工艺电镀设计的特点是导电棒外表的电镀铜包裹了不锈钢阴极板顶部的一部份，减少了电解液面到导电棒的阻抗。最近，艾萨工艺又推出了一种新设计，命名“艾萨BR阴极”，将电镀铜包裹不锈钢阴极板顶部的面积扩大，进一步减小了阴极板电阻。

### 无蜡艾萨电解工艺

艾萨电解工艺自从问世以来一直用高温蜡密封不锈钢阴极板的底边。蜡的回收需要单独工序，形成了一个不必要的生产环节。从一九九七年开始，艾萨电解工艺开始发展无蜡工艺，命名

“艾萨2000工艺”。该无蜡工艺成功地保留了艾萨电解法生产单片阴极铜的特点，已经在五家大型电解沉积和电解精炼铜厂应用成功，包括中国的贵溪冶炼厂。

#### 4.0 超达(Xstrata)技术在中国有色冶金工业的应用

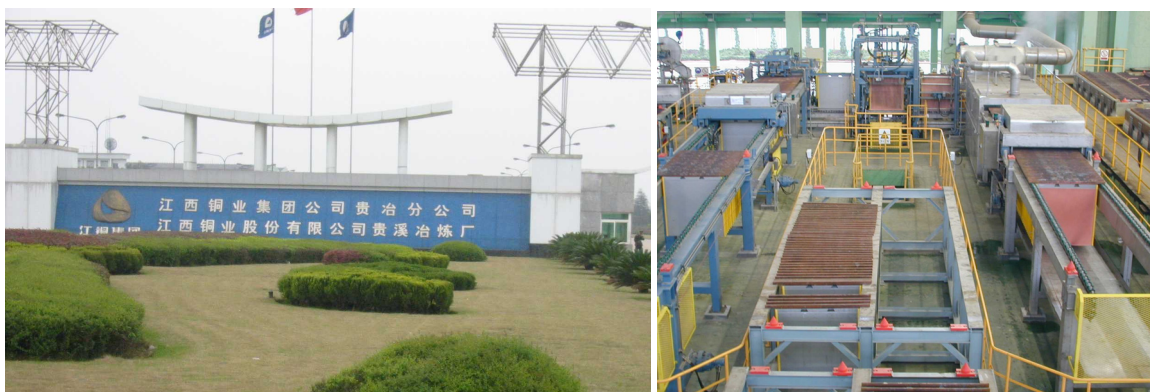
中国和澳大利亚有色冶金工业具有许多共性，包括大多数有色矿藏位于交通不便之处。采用先进技术，提高生产力，降低生产成本是进一步发展两国有色资源的关键。超达(Xstrata)公司的先进技术当年在澳大利亚著名的蒙苔艾萨矿山得以大规模应用的主要原因是因为这些技术成功地解约了交通不便所带来的高成本问题。这些技术，包括艾萨熔炼法和艾萨电解法在世界范围内多年的大规模工业应用已得到充分完善，非常适合用于中国有色冶金工业大型改造项目和新建项目。

中国的几项国家级项目已经在成功的应用超达(Xstrata)公司的技术，包括云南铜业年处理六十万吨铜精矿的艾萨熔炼炉(见图四)，江西铜业年产二十万吨电铜的贵溪艾萨法电铜车间(见图五)，曲靖铅锌冶炼厂正在建造的年处理十四万吨铅精矿的艾萨法铅熔炼炉(见图六)



图四 云南铜业艾萨法铜冶炼厂





图五 贵溪铜精炼厂和艾萨电解法剥离机组



图六 云南曲靖铅锌冶炼厂建设中的艾萨铅炉

超达(Xstrata)公司技术在中国的成功集中反映在云南铜业艾萨熔炼炉的项目上。云南铜业的艾萨熔炼炉的建成取代了原来的焙烧炉和电炉。该炉于二零零二年五月点火，在澳大利亚蒙苔艾萨铜冶炼厂技术人员的大力协助下，两个月内达到设计生产指标。艾萨熔炼炉的成功投产大大改善了云南铜业的环保指标，降低了作业成本。云南铜业的艾萨熔炼炉还创造了历史上第一次使用头批耐火砖连续生产两年以上记录。

超达(Xstrata)公司技术在中国的另一个里程碑是二零零三年二月江西铜业的贵溪艾萨电解厂成功投产。该厂吸收了艾萨电解工艺在过去二十五年中所积累的技术精华，并且成为世界上第二家成功使用先进的艾萨2000无蜡电解工艺的铜精炼公司。贵溪艾萨电解厂已经投产一年，主要工艺指标均已达到设计要求。



## 5.0 结语

超达(Xstrata)技术公司的艾萨熔炼和艾萨电解技术在澳大利亚和世界炼铜工业成功地应用了二十多年，现在已经成为世界上铜工业的标杆，在全世界拥有众多用户。这两项技术还代表了新一代铜加工技术，具有节能，投资和作业成本低，对不同原料适应性强，环境污染小的优点。

超达(Xstrata)技术公司的艾萨熔炼和艾萨电解技术在中国的云南铜业公司和江西铜业公司运作成功，表明中国铜工业已经向世界先进水平大大靠近了一步。云南冶金集团公司正在曲靖建造艾萨铅熔炼炉，将为中国有效治理铅工业的环境污染，提高铅工业的生产效率打开一条新路子。随着超达(Xstrata)技术公司与中国有色冶金工业合作范围的不扩展，该公司的各项先进技术必将给中国在节能，提高生产效率，环境保护等方面做出更大贡献。

附录 1 艾萨熔炼法用户表

公司名称	投产年份	金属种类	原料处理量，吨/年
<b>处理精矿的冶炼厂</b>			
Mt Isa (Australia)	1992	Cu	1,000,000
PD Miama (USA)	1992	Cu	700,000
Sterlite #1 (India)	1996	Cu	600,000
Sterlite #2 Design (India)	2004	Cu	1,300,000
YCC (China)	2002	Cu	600,000
CYMC Design (China)	2005	Pb	160,000
SPCC Design (Peru)	2006	Cu	1,200,000
MCM Design (Zambia)	2006	Cu	850,000
<b>处理废金属的冶炼厂</b>			
Umicore (Belgium)	1997	Cu	200,000
MRI (Malaysia)	2000	Pb	40,000

附录 2 艾萨电解法电解沉积用户表

公司名称，国家	投产日期	产量 万吨/年
BHAS Port Pirie, Australia	1985	5
Gibraltar Mines Ltd, McLeese Lake, BC Canada *	1986	0.5
BHP Copper, San Manuel, USA	1986/88	6
BHP Copper, Pinto Valley, Miami, USA*	1989	1.2
Mexicana De Cananea, Mexico	1989/90/01	6
Western Metals, Mt Gordon, Australia (formerly Gunpowder)	1990/98	0.45
Mount Isa Mines Limited, Australia *	1990	0.35
Compania Minera Disputa De Las Condes SA, El Soldado Chile	1992	0.65
Straits Resources, Nifty Copper, Australia	1993/00	4.3
Straits Resources, Girilambone Copper, Australia *	1993	1.5
Escondida Coloso, Antofagasta, Chile *	1994	8
Compania Minera Quebrada Blanca SA, Iquique, Chile	1994	8.3
Minera Michilla SA, Chile	1994	2.7
Codelco Quebrada M, El Salvador, Chile	1994	2.6
Codelco Chuqui LGSO, Chuquicamata, Chile	1994	2
Compania Minera Cerro Colorado Ltd, Iquique, Chile	1994/98	12
Compania Minera Zaldivar, Antofagasta, Chile	1995	13
Mexicana de Cobre, La Caridad, Mexico	1995	2.2
Phelps Dodge, South Side, Morenci, USA	1995/98	14
Mexicana de Cobre, Southern Peru Copper, Toquepala, Peru	1995/99	5
Impala Platinum Limited, Springs, South Africa	1996	1
Hellenic Copper Mines Ltd, Nicosia, Cyprus	1996	0.8
Great Australia Copper Mine, Cloncurry, Australia *	1996	0.65
Matrix Metals, Cloncurry, Australia	1996	0.55
Codelco Chuqui Ripios, Chuquicamata, Chile	1997	6.5
Nicico National Iranian Copper Industries Co, Sarchesme Iran	1997	1.5
Myanmar Ivanhoe Copper Company, Yangon, Myanmar	1998	2.5
Compania Minera Disputada De Las Condes, Los Bronces, Chile	1998	0.7
<i>Phelps Dodge, Central, Morenci, USA</i>	1998	14
<i>Equatorial Tonopah Inc., Tonopah, USA *</i>	2000	2.5
Phelps Dodge, Stargo, Morenci, USA	2001	11.2
El Tesoro, Sierra Gorda, Chile	2001	7.5
Norilsk Nickel, Severonickel, Monchegorsk, Russia	2001	1.5
Umicore, Hoboken, Olen, Belgium	2003	4
Korea Zinc, Onsan, Korea.	NYC (2004)	1.5
First Quantum, Kansanshi, Zambia	NYC (2005)	6
Carlota Copper Company, Claypool, USA	NYC	2.6
Summary: 37 Licensees 1,603,000 T/y		



Converted from Starter Sheet Operation

### 附录 3 艾萨电解法电解精炼用户表

公司名称，国家	投产日期	产量 万吨/年
Copper Refineries Pty Ltd, Townsville Australia	1978/98	27
Copper Range Company, White Pine, USA	1982	7
Olympic Dam Operations, Roxby Downs, Australia	1988/98	23
Montanwerke Brixlegg, Brixlegg, Austria, 1988	1988	7.5
Norddeutsche Affinerie AG, Hamburg, Germany	1989/92	37
IMI Refineries Ltd, Walsall, United Kingdom*	1992	6
Phelps Dodge Miami, Claypool, USA* (formerly Cyprus Miami)	1994	19
Huttenwerke Kayser AG, Lunen, Germany	1994	18
Atlantic Copper SA, Huelva, Spain	1995	25
Boliden Mineral AB, Skelleftehamn, Sweden	1995/00	23
Union Miniere, Olen, Belgium	1996	35
Sterlite Industries, Silvassa, India	1996/01	17.5
PT Smelting Company, Gresik, Indonesia	1998/03	23
Hindalco Industries (Birla Copper), Dahej, India	1998/01	25
Port Kembla Copper, Port Kembla, Australia*	2000	12
<i>Nippon Mining &amp; Metals, Hitachi, Japan</i>	2002	18
<i>Jiangxi Copper Company, Guixi, China</i>	2003	20
Swil Limited, Bharuch, India	2004	5
Thai Copper Industries Public Co Ltd, Rayong, Thailand	2004	16.5
Sterlite Industries, Tuticorin, India	NYC (2004)	14
Japanese Refinery (TBA)	NYC (2005/6)	11
Egyptian Metals, Egypt	NYC	0.6
Hindustan Copper, Khetri, India	NYC	7
Summary: 23 Licensees 3,971,000 T/y		



Converted from Starter Sheet Operation

艾萨电解法用户总数：六十家

电铜加工总量：五百二十四万九千 吨/年