



英泰克铜工艺

卓越且可持续的金属生产工艺

如需详细资料

请与本公司资讯与程控经理林宗豪先生联络

电话号码: 61-2-93516741

传真号码: 61-2-93517180

电邮地址: joe@intec.com.au

公司网址: www.intec.com.au

公司地址: Intec Ltd

Gordon Chiu Building J01

Department of Chemical Engineering

Maze Crescent

University of Sydney

NSW 2006 Australia

英泰克铜生产工艺是一种证实可行的,从黄铜精矿中直接生产铜的湿法炼铜工艺

英泰克铜生产工艺是一种证实可行的,已取得专利的从铜精矿中萃取纯铜的湿法炼铜工艺。

该工艺的核心是在纯化过的氯化钠—溴化钠电解液中,在阴极上用电沉积的方法生产LME(伦敦金属交易所)A级纯铜。电解过程中,在靠近阳极的溶液中产生了一种卤素混合物 BrCl_2^- (注册商标“Hallex”),当这种卤素混合物被循环至处理刚加入的铜精矿原料时,具有很强的浸出能力。

英泰克铜生产工艺是经过十多年,花费了一千六百万美元的基础上发展起来的。研发先是在实验室进行,然后逐步扩展到连续的,日产50公斤铜的中试厂,该技术随后又在年产350吨的示范厂上得以证实。相应地,设计方法,建筑材料和过程控制等都得到了验证。经过彻底的审查,加拿大多伦多的HG工程公司得出结论:英泰克铜生产工艺适合于商业化生产。

英泰克铜生产工艺明显优于熔炼工艺和其它湿法炼铜工艺

与熔炼工艺¹和其它湿法炼铜工艺相比,英泰克铜生产工艺具有非常明显的优势。具体包括:

- 操作费用和基建费用低很多;
- 年产量低至一万五千吨,其经济性仍然可行;
- 所产生的废料环保上接受性高;
- 在铜浸出过程中,同时回收贵金属;
- 适用于低品位的和含有害杂质的铜精矿;
- 可处理各种不同的黄铜矿,包括黄铜矿和硫砷铜矿;
- 能耗低;
- 无废液排放;
- 不产生有害的废气;
- 操作条件温和,包括在较低的温度和常压下操作;

熔炼工艺经过多年的发展和改进已逐渐成熟,成为处理黄铜精矿的首选工艺。但是,熔炼工艺具有下列几大缺点:

- 基建费用高;
- 规模较小时不经济;
- 产生二氧化硫废气,需额外化费将其转化成硫酸;
- 处理低品位的和含有害杂质的铜精矿,成本很高;
- 总的来说,是一种不干净的,环保上不易被接受的生产工艺。

近年来开发了多种湿法炼铜工艺,以作为熔炼工艺的替代技术。但是,除了英泰克铜生产工艺,还没有哪一种湿法炼铜工艺显示出较熔炼工艺具有竞争性。这些湿法炼铜工艺可分成两类:生物浸出工艺和压力浸出工艺。不管采用哪一种浸出工艺,它们都包括了溶剂萃取—电解法(“SX—EW”)步骤。因而,这些湿法炼铜

工艺的经济性就不可能超越溶剂萃取—电解法工艺。此外,所有这些湿法炼铜工艺,如不用氰化物浸取残余物,就都不能回收贵金属。这样就更进一步限制了它们的经济潜力。

作为一种独特的湿法炼铜工艺,英泰克铜生产工艺具有下列优点:

- 贵金属可直接回收²;
- 不经过溶剂萃取步骤,直接生产纯铜;
- 硫排出物为元素硫磺;
- 操作条件为常压和较低的温度;
- 不使用纯氧。

因而,相比于熔炼工艺和其它湿法炼铜工艺,英泰克铜生产工艺具有低得多的操作费用和基建费用。其经济上的优越性,即使在铜的年产量低至一万五千吨时,仍然能够维持。因而,增加了在矿区就地生产的吸引力。

简言之,英泰克铜生产工艺以其广泛的且可被确认的优越性,将成为本行业的“首选工艺”。

英泰克铜生产工艺经济上明显优于其它炼铜工艺

英泰克铜生产工艺最令人信服的优越性是经济上明显优于熔炼工艺和其它湿法炼铜工艺,请参见第二页中的图1和图2。这些图中的经济性比较数据,来自于加拿大英属哥伦比亚大学(University of British Columbia, Canada) Dreisinger 教授的独立分析报告(“Dreisinger分析报告”)³

Dreisinger分析报告是根据各种生产工艺的基本的物料平衡,来评估其生产费用和基建费用。这种处理方式能确保各种评估的基础相一致,另外包括以下几点重要的假设:

- 工厂的年产量为十万吨铜;
- 原料为含铜 25% 的铜精矿,且不含贵金属;
- 电价为每度 6.25 美分。

在Dreisinger的分析报告中,为区别于其它湿法炼铜工艺,英泰克铜生产工艺中包括了回收贵金属的基建费用和生产费用。这一附加的步骤使得英泰克铜生产工艺与其它工艺更具有其可比性⁴。这些费用只限于在矿区就地生产的费用。因而,它们都不包括市场推广费,运输费和 acid credits。但是,中和副产硫酸的费用已包括在内但是,中和副产硫酸的费用已包括在内。

² 80%的铜精矿都含有可供商业性回收的贵金属。

³ David Dreisinger “湿法处理铜精矿的新的选择:技术和经验可行性的评估”,1998。

⁴ 英泰克铜生产工艺中,通常会回收贵金属。而其它湿法炼铜工艺至少要附加石灰—煮沸工序才能回收银,氰化物萃取工序才能回收金。

¹ 此文件中“熔炼”这个词也包括随后的精炼工序。

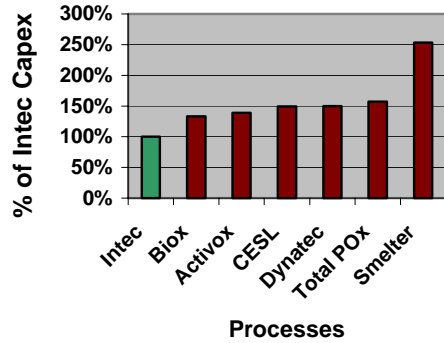


图1: 各种铜生产工艺年产十万吨规模的基建费用的比较。

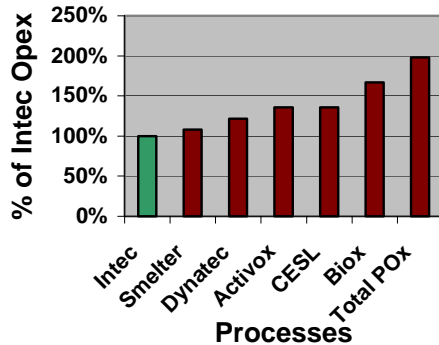


图2: 各种铜生产工艺年产十万吨规模的生产费用的比较。

在1999年,加拿大HG工程公司为美国西南部一家用英泰克铜生产工艺,设计年产量为五万吨铜的工厂,进行了详细的基建费用和生产费用评估。在估算基建费用时,HG工程公司首先列出了详细的设备清单,然后从设备供应商处索取报价。

HG工程公司评估的总的基建费用为七千零五十万美元,或每一千四百一十美元年产一吨铜。以该份报告为基础,估算了英泰克铜生产工艺不同生产规模的基建费用和生产费用。数据请参见图3和图4。

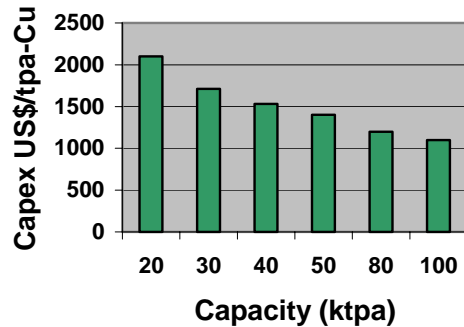


图3: 英泰克铜生产工艺不同生产规模的基建费 (数据来自加拿大 HG 工程公司的费用评估报告)

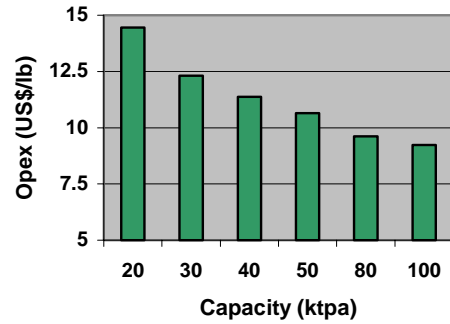


图4: 英泰克铜生产工艺不同生产规模的生产费用 (数据来自加拿大HG工程公司的费用评估报告)

英泰克铜生产工艺经济上的竞争力,为小型矿和处于交通不便地区的矿山提供了在矿区就地生产的机会。这样就节省了大量的铜精矿运输和处理费用。在第三页的表1中,英泰克铜生产工艺在矿区年产五万吨铜和在一般沿海地区用熔炼工艺处理含铜28%⁵的铜精矿的经济性比较。

| 项 目 | 熔炼工艺 (美分/磅) | 英泰克铜生产工艺 (美分/磅) |
|----------------------|-------------|-----------------|
| 铜精矿的运输 (美元\$60/dmt)* | 9.5 | 0 |
| 处理费 (美元\$90/dmt)** | 14.5 | 0 |
| 精炼费 (美分¢9/磅)** | 9 | 0 |
| 英泰克工艺生产费*** | 0 | 10.5 |
| 回收差别的付出† | N/A | (1.3) |
| 英泰克工艺基建服务费†† | 0 | 7.5 |
| 产品的市场推广和运输费 | 0 | 4.0 |
| 贸易商对铜坯的溢价 | 0 | (2.5) |
| 总计 | 33 | 18.2*** |

*从澳洲偏远地区的平均运输费用。资料来源: Brook Hunt, "Copper Costs, Mines and Projects" 2001。

**长期合同的预测值, 资料来源: Brook Hunt, 同上。

***假设偏远地区的电价为每度五美分。

†常规熔炼厂仅付铜精矿含铜量的96.5%。而英泰克铜生产工艺则能回收铜矿含铜量的98%。

假设铜价为每磅 0.85 美元。

††在十五年内的基建服务费,以真实利率为7.5%收取。

†††不包括使用英泰克铜生产工艺的专利权费。

⁵这代表了世界上黄铜精矿的平均值。

表1: 英泰克工艺在矿区和常规沿海地区用熔炼工艺处理铜精矿的经济性比较。

如上表所示, 在年产铜五万吨规模时, 英泰克工艺可使每磅铜的生产费用降低13.5美分。而且, 这一分析报告还不包括由于使用了英泰克工艺, 使得贵金属较容易回收而增加的效益。另外, 与常规熔炼厂不同, 英泰克铜生产工艺对铜精矿原料中存在的杂质不征收惩罚性的费用。由于此类费用随铜精矿的不同而不同, 因而, 由于使用了英泰克铜生产工艺而增加的收益, 不包括在表1中。

由于具有处理品位低至18%铜精矿的能力, 只要有限的附加开支, 英泰克铜生产工艺就具有同时降低采矿和选矿的单位成本的能力。应而, 项目的经济性可通过下列几个方面得到进一步的提高:

- 由于可生产较低品位的和/或含杂质的铜精矿, 增加了选矿的回收率;
- 通过降低最低可开采矿的品位, 增加了储藏量

英泰克铜生产工艺已可用于商业生产

英泰克铜生产工艺研发过程中, 一直专注于收集尽可能多的生产工艺有关的化学, 设备和建筑材料等方面的经验。在十年多的研发过程中, 总花费达一千六百万美元。整个研发过程包括下列几个步骤:

- 实验室规模的试验;
- 每天 50 公斤铜的中试厂生产;
- 每年 350 吨铜的示范厂生产。

经过大量研发过程的验证, 英泰克铜生产工艺已发展至可用于商业化生产的阶段。国际上多个权威机构对英泰克铜生产工艺的综合评价, 结论一致肯定了其技术上的可靠性和经济上的可行性⁶。

英泰克铜生产工艺已积累了大量的实际操作经验

经过初始阶段实验室和小型中试厂的工作, 英泰克铜生产工艺在下列两个独特的阶段上积累了大量的实际操作经验。第一个阶段是每天连续生产50公斤铜的中试厂(见图5所示), 该中试厂从一九九四年八月到一九九五年十一月间, 累积运行了二百九十天。因此, 到一九九五年十一月, 该工艺中试生产达到了令人满意的结果。

对五种不同的铜精矿(Cobar, Mt Lyell, Neves Corvo, Northparkes和OkTedi), 中试厂铜的回收率达到了99.5%, 金的回收率达到了95%, 而银的回收率达到了99%。其电解槽的电流效率则高达98%;其浸出取残渣证实性能稳定。因而, 根据澳大利亚新南威尔士

⁶这些机构和个人包括 H G 工程公司, Kvaerner Davy, Behre Dolbear, Winters 公司, 和 David Driesinger教授。他们要么确认了工艺技术上的可行性, 要么确认了经济上的可行性, 或同时确认了两者。

州环保局(EPA)批准的毒害物渗漏控制规程(TCLP), 此残渣可直接排放。



图 5 英泰克铜生产工艺的中试厂

总之, 中试厂证实了英泰克铜生产工艺的潜力, 为下一阶段进一步发展提供了依据。第二个阶段是建造且运行年产350吨铜的示范厂, 其项目总投资达一千万美元。示范厂从一九九八年八月一直运行至一九九九年五月, 铜精矿原料为来自Cobar, Neves Corvo 和 Northparkes 的混合物。

示范厂运行所得到的结论包括:

- 详细了解了电解过程的化学反应及其过程的控制;
- 确定了商业生产厂的建筑材料;
- 证实了残渣直接排放至填埋场的环保接受性;
- 生产了市场可接受的铜产品, 且成功地售予国内铜加工厂。

英泰克铜生产工艺的技术介绍

英泰克专利铜生产工艺是专为从黄铜精矿中回收生产伦敦金属交易所(LME)A级纯铜而研发的。基本上, 英泰克工艺由浸出, 纯化和电解三道连续的工序组成。图6为英泰克铜生产工艺简化的流程图。

浸出工序为三级逆流配置, 铜精矿原料在第一级加入, 而氧化剂则在第三级加入。纯化工序则由铜还原, 除银和砷沉淀过程组成。电解工序则包括金属铜的回收且同时再生浸出液(浸出剂)过程。

电解工序

电解工序是英泰克工艺的核心, 符合伦敦金属交易所(LME)A级纯铜标准的金属铜产品就是在独特的电解室(参见图7)中, 以每平方米一千安培的电流密度, 从进过纯化的电解液电解而成。

电解液主要有含250克/升氯化钠(NaCl), 28克/升溴化钠(NaBr)和75克/升的一价铜离子(Cu⁺)组成。该电解液被加至图示电解槽中的阴极室, 在阴极室中50克/升的铜被电解出来, 产生了一种称之为铜颗粒的铜产品。电解过的阴极液穿过多孔的隔膜(滤布)

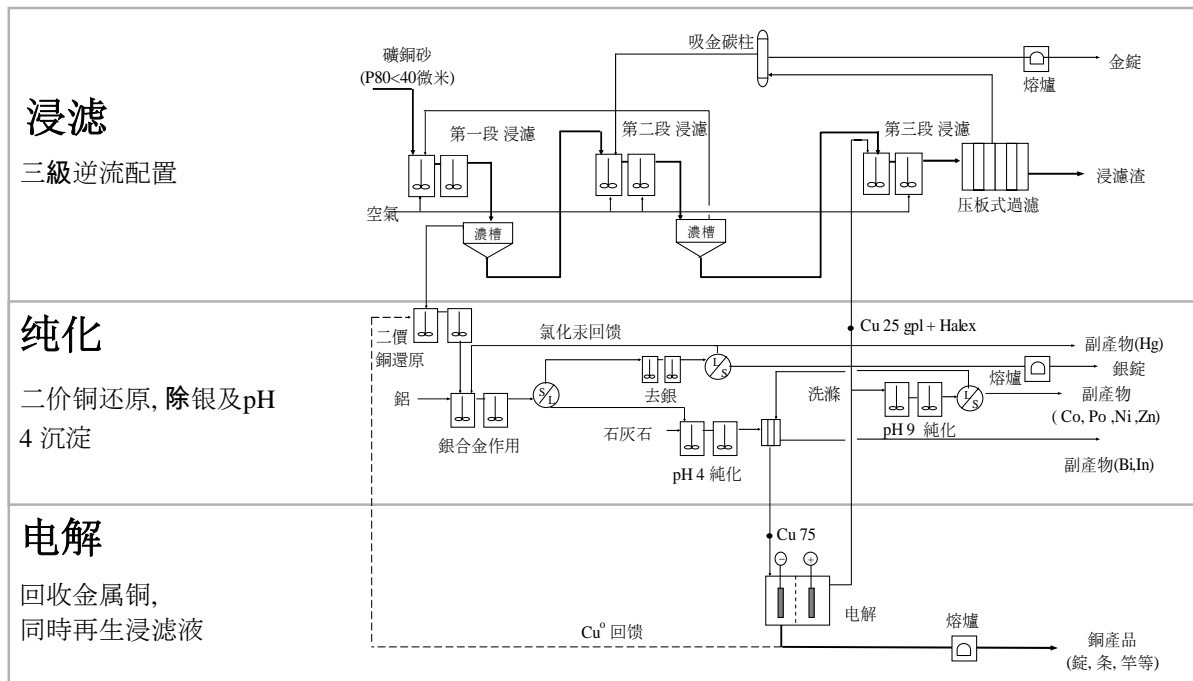


图 6 英泰克铜生产工艺流程图

到达阳极室, 电解过程残余的25克/升的一价铜离子被氧化成二价铜离子。

其过剩的能量则用于产生二氯化溴 (BrCl₂) 氧化物。因而, 在阳极的反应再生了解液氧化能力, 该电解液则再被用作浸出液。氧化剂二氯化溴也常称为 Hallex™ (注册商标)。



图 7 使用英泰克工艺的示范厂满负荷生产中的电解槽 (照片前方) 和整流器 (照片后方)

浸出剂

在阳极生成的, 带有 Hallex™ 的浸出剂, 是具有多种独特性能的英泰克铜生产工艺中最特别的地方。它提供了一种简单有效的, 在稳定状态下储存氧化剂的方法。而在英泰克工艺以前的技术, 电解液则以氯化物为基础, 且在接近的氧化电位下操作的技术, 电解过程会产生氯气。此种浸出剂的氧化电

位 (Eh) 为1000mV (所有的氧化电位值都是相对与Ag/AgCl电极), 能直接用于金的萃取。这种浸出剂可用来浸出黄铜精矿。

浸出

浸出工序的操作温度为85℃, 所需的氧气由常压下的空气提供。

研磨至80% (P80) 的颗粒为 40微米或以下的铜精矿, 被加入到浸出工序的第一级 (见图8所示), 然后逐步输送到第三级。典型的铜的浸出率达98.5%, 在浸出过程的停留时间为 12~14 小时。从阳极产生的新鲜的 Hallex™ 浸出剂, 被送至浸出工序的第三级, 随着浸出工序的进行而增加了铜金属的含量。最后从第一级出来时, 含铜75 克/升的浸出液主要以一价铜的形态存在



图8使用英泰克工艺的示范厂的浸出工序的中第一级 (照片右前方)

金在浸出工序的第三级，在氧化电位为 550 到 650 mV 下溶解出来，然后被吸附到碳纤维上，再后被回收。浸出过程的残余物，在压滤器中被分离，经洗涤后排放至填埋场或残渣堆积区。在铜精矿中存在的砷，则以无害的砷酸铁的形式，被包裹于固体废料中。浸出液在离开浸出工序时，会带有一些从铜精矿原料中浸出的杂质，如钴，镍，铟，汞，银，锌和铅。

纯化

含有铜离子的电解液，在电解前先在纯化工序的三级纯化器中进行纯化(见图9所示)。纯化器第一级将所有电解液中残余的二价铜还原为一价铜(使带有铜离子的电解液通过铜颗粒)，调节该电解液的状态，使其满足后两级纯化器的要求。

纯化器第二级向电解液中加入可溶性的汞和铝(盐)，加入的铝和溶液中的铜形成了一种称之为“铜海绵体”的物质，此种海绵体具有很大的比表面积，能使电解液中的银通过电解的方式，以银汞齐的形式被分离出来。产生的银汞齐随后经处理，回收的可溶性汞被送到前段工序回用，同时得到副产物银。

在纯化器第三级中，杂质如残余的铁，铟，和铋等，则通过加入磨碎的石灰石，调节溶液的 pH 值为 4.0 - 4.5，而使其形成沉淀被除去。

经纯化处理过的铜电解液，被输送至前述的电解槽中进行电解，生产高纯度的金属铜，同时再生浸出剂，循环至浸出工序回用。



图 9 使用英泰克工艺的示范厂中的纯化工序，照片前方为二价铜还原装置，后方则为 pH 值为 4.0 的纯化装置。

一条分开的泄放管线，将从电解槽中引出小量的电解液(在铜的品位最低时)，用来处理锌，铅，镉，钴，镁，锰和镍等元素，以固体沉淀的形式被除去，而铜电解液则被循环回用。

英泰克工艺以铜粒的形式生产金属铜

本工艺基本的铜产品为金属铜粒(见图 10 所示)，金属铜粒经洗涤，然后在惰性气体(氮气)保护下干燥。金属铜粒是一种多用途的铜产品，它不存在通常阴极铜产品所具有的材料输送方面的限制。与阴极铜产品不同，金属铜粒既可以气流输送，用泵进行浆状输送，也可以制成块。



图 10: 金属铜粒正在阴极上生长

不过，金属铜粒产品通常在电弧感应炉中进行熔化，铸造成各种满足下游顾客所需的铜产品。它们通常为铜锭或铜坯，但考虑到金属铜已经处于熔化状态，故也可以通过生产高附加值的产品如铜棒等来提高效益。英泰克铜产品详细的技术指标见表 2 所示。

英泰克工艺具有环保方面是可持续性

无废水、有害气体排放

由于英泰克工艺使用了无毒的卤化物浸出剂，因而在环保方面具有独特的是可持续性。该工艺没有废水排放，唯一的排放气体是用过的空气和产生的水蒸汽。

稳定的固体废料

浸出过程(见图11所示)产生的固体废料主要为矿渣，加上化学反应生成的元素硫和赤铁矿。电解液的成份能防止生成jarosite。假如商业上有需要，硫可以从其余的废料中分离出来。而赤铁矿，一种稳定的铁氧化物，可用作重金属元素的稳定剂。从铜精矿原料中带入的砷，则以稳定的砷酸铁的形式排放。



图 11: 准备填埋排放的环保上可接受的浸出物

| 分类 | 元素 | 伦敦金属交易所 允许最高含量 (ppm) | 英泰克铜产 品的含量 (ppm) |
|-------------|----|----------------------------|------------------------|
| 第一组 | 硒 | 2 | <0.1 |
| | 碲 | 2 | <0.1 |
| | 铋 | 2 | <0.1 |
| 第一组 (总计) | | 3 | <0.3 |
| 第二组 | 铬 | | <0.1 |
| | 锰 | | <0.1 |
| | 锑 | | <0.1 |
| | 镉 | | <0.1 |
| | 砷 | | <0.1 |
| | 磷 | | <0.1 |
| 第二组 (总计) | | 15 | <0.6 |
| 第三组 | 铅 | 5 | 2 |
| 第四组 | 硫 | 15 | 7 |
| 第五组 | 锡 | 10 | <0.1 |
| | 镍 | | <0.1 |
| | 铁 | | 2 |
| | 硅 | | <0.1 |
| | 锌 | | 1 |
| | 钴 | | <0.1 |
| 第五组 (总计) | | 20 | <3.3 |
| 第六组 | 银 | 25 | 15 - 20 |

表 2: 英泰克铜产品技术指标

生产过程产生的废料可直接运输至填埋场。在英泰克工艺示范厂运行过程中产生的固体废料,全都通过了澳大利亚新南威尔士州环保局(EPA)批准的毒害物渗漏控制规程(TCLP)对固体废料的要求。其中绝大部分都是属于中性废料。

有利的生命周期验证结论

为了扩展对英泰克工艺环保方面的了解,有悉尼大学主持,澳大利亚主要的环境咨询公司ERM(环境资源公司)和ANSTO(澳大利亚国家原子能机构)参与,承担了英泰克工艺生命周期的验证工作。联合研究的结论有力地支持了废料具有长期稳定性。

低的能耗

和硫酸盐系统相比,氯化物系统主要的优点是能直接从一价铜状态电解生产铜。尽管英泰克工艺中电解过程所用的电流密度达每平方米1000安培,工艺过程的能耗仍然处于每吨铜1650度电的较低的水平(如果不计算其它贵金属回收的能耗,只有1435度)。硫酸盐系统工艺过程的能耗通常为每吨铜 1900 - 2100 度电。

英泰克工艺的另一个主要优点是能在较温和的条件下,进行铜矿的浸出。可以用空气代替氧气。而且,由于浸出过程只产生元素硫,和其它产生大量硫酸盐的过程相比,大大地降低了氧气的需求。最后,不需要把铜精矿研磨成超细粉末状态,英泰克工艺就能达到很高的铜浸出率。为了检验英泰克工艺对于其它炼铜工艺的优越性澳大利亚科学和工业研究院(CSIRO)在地球变暖的影响(GWP),酸化的影响(AP)和综合能耗等三个方面进行了生命周期验证研究⁷。

该研究报告得出结论:

“依据英泰克有限公司提供的数据和有关文献的说明,以及与这些数据有关的假设和估算,得出如下的结论。生命周期验证研究表明,和所有其它湿法炼铜工艺相比,英泰克工艺在地球变暖的影响(GWP),酸化的影响(AP)和综合能耗等三个方面对环境具有最低的影响。对处理的铜精矿品位降低时,或铜精矿的品位很低(在含铜15%的量级)时,其差异将更加明显。在这种情况下,即使与电弧熔炼工艺(flash melting process)相比也很明显。”图12进行了英泰克工艺对其它湿法炼铜工艺和熔炼工艺总能耗的比较,该数据来自澳大利亚科学和工业研究院的研究报告。

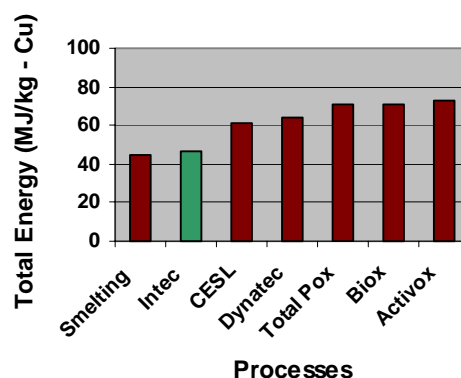


图12澳大利亚科学和工业研究院生命周期验证报告中各种炼铜工艺的总能耗比较

英泰克铜生产工艺将成为本行业未来的“首选工艺”

在炼铜工业中,对黄铜矿用湿法工艺生产金属铜的兴趣越来越浓。这是因为逐渐认可了作为熔炼技术的替代,湿法炼铜工艺技术上是可行的,也具有优越性。从黄铜精矿中生产金属铜,在所有建议的湿法炼铜工艺中,英泰克工艺具有最低的基建费用和操作费用。而且,英泰克工艺在环保上具有可持续性,也在采矿和选矿等方面提供了节省开支的潜力。总之,由于对熔炼工艺和其它湿法炼铜工艺具有明显的,证实可行的优点,英泰克工艺将成为本行业的“首选工艺。”

⁷ Norgate, T. A 铜生产工艺生命周期评估的分析比较。澳大利亚科学和工业研究院研究报告报告代码 -DMR1768。二零零一年十月