

云南铜业股份有限公司的新熔炼厂

——中国第一座艾萨炉

李云¹ 菲力普·阿瑟²

¹: 中国云南昆明 西山区 王家桥 (650102) 云南铜业股份有限公司

²: 澳大利亚布里斯班 Wickham Terrace 87号 (4000) MIM工艺技术公司

摘要

1999年, 云南铜业股份有限公司(YCC), 决定对原有铜冶炼流程进行改造, 即从原有的鼓风烧结机-矿热电炉联合流程改造为艾萨熔炼炉-贫化电炉联合流程。改造的主要目的是: 节能降耗, 改善环保。

总的来说, 这个项目是成功的, 且部分归功于选择了一个可信赖的、已取得成功实践的技术——

艾萨熔炼。云铜艾萨炉的设计能力为60万吨干精矿/年。自2002年5月以来, 该炉子已平稳运行了一年多。YCC在工厂操作的准备上花费了相当的精力。开炉前, 一个YCC骨干人员组成的培训队伍被派到芒特艾萨, 使他们对艾萨工艺的理解取得显著提高, 并确保该项技术的顺利移交。

这篇文章总结了云铜艾萨工程的历史和开炉初期的操作情况。

介绍

中国的冶炼工业在迈入二十一世纪后, 面临一系列的问题。首先, 基于对提高生产效率的要求, 促使一些国有企业开始进行股份制改革。第二, 政府开始致力于降低重工业对环保的压力。这就极大地鼓励了那些进行股份制集资以实现其冶炼流程现代化的公司, 以国内外现代化的技术更新其过时的工艺。云铜选择了引进国外新技术。

云南铜业股份有限公司

云南铜业股份公司位于中国云南昆明西郊区, 是一个具有45年炼铜历史的企业, 目前年产高纯阴极铜20万吨、硫酸45万吨、白银200吨、黄金2吨、电工用铜线杆6万吨。股票“云铜铜业”1998年6月2日上市交易, 1999年4月1日入选美国道琼斯综合指数股, 1999年10月8日深圳成份指数股。

云铜的改造项目早在公司上市之前已经开始。以节能降耗改善环保为目标, 1993—1996年公司对工艺流程的改造进行选型、论证。1997年—1998年针对艾萨炉炉型开展工作, 1999年3月21日与MIMPT签订艾萨法铜熔炼技术合同, 1999年9月28日—

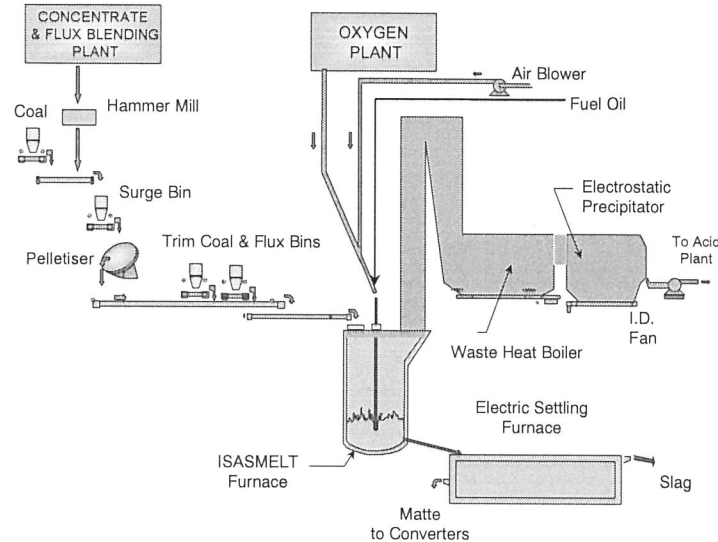
10月8日召开了项目分工会。开始破土动工, 2001年设备开始安装, 2002年5月9日炉子点火, 15日投料生产。从开始生产至2002年9月30日, 总日历作业率达到75.8%, 扣除计划停产和外因停产后的艾萨炉作业率达87.1%。实现了一次投产成功。

1、艾萨炉生产的基本工艺流程

艾萨铜冶炼技术, 是由澳大利亚芒特艾萨矿业公司在约20年时间里发展一种熔池熔炼技术。该项技术已在一系列的发表文章^{1~7}中详细阐述。通过喷枪把富氧空气强制鼓入熔池, 使熔池产生强烈搅动状态加快了化学反应的速度, 充分利用了精矿中的硫、铁氧化放出的热量进行熔炼, 同时产出高品位冰铜。熔炼过程中不足的热量由燃煤提供。

云铜艾萨炉的设计能力为60万吨干精矿/年。工艺流程图见附图1。主要来源于国内矿山的各种铜精矿, 在备料工序与熔剂进行混合。燃煤的主要部分在

精矿途经“鼠笼破碎机”后加入到精矿中，混有大部分燃煤的混合铜精矿经过4台制粒机中的几台后，补充进剩余的燃煤和熔剂，然后被运送进入艾萨炉中熔炼。熔炼需要的富氧空气通过喷枪鼓入熔池。为了便于生产期间的温度控制，还从喷枪加入燃油对炉温进行微调，熔炼产生的冰铜和炉渣混熔体进入贫化电炉进行澄清分离。冰铜被送到P-S转炉吹炼，炉渣水淬后抛弃。烟气经余热锅炉和电收尘器降温除尘后进入硫酸厂制酸，余热锅炉收下的烟尘经过破碎后返回电炉，电收尘器收下的烟尘送入电炉。



(图1: 工艺流程图)

2、 工程设计、施工

艾萨工程建设也早在1999年初便开始动作,云铜围绕艾萨熔炼技术改造,开始了一系列的配套工程建设。为了便于指挥协调、加快工程建设,云铜将这些工程按区域和性质划分为四个大区:熔炼区、硫酸区、制氧区和动力区。

熔炼区即艾萨炉主体工程。艾萨炉的主体工程基础设计及相关接口设计由MIMPT负责,与艾萨炉相配套的余热锅炉的设计由德国OSCHAZS负责,其它的工程设计由中国北京有色冶金设计研究总院(ENFI)负责。YCC负责对各设计方工作的确认和协调。经过2000年4月在布里斯班的初步设计审查会、2000年8月在昆明的详细设计审查会,设计工作已基本完成。

工程施工由中国的本地施工单位负责完成。艾萨炉主厂房桩基的施工单位为有色昆明基础工程公司,试桩单位为昆明勘察院科技开发公司,艾萨炉基础承台及艾萨炉系统土建工程的承建单位是十四冶金建设公司,艾萨炉安装工程的承包方为云南省第一安装工程公司,工程内容:炉壳制造、厂房钢结构、艾萨炉系统设备、管道、电气、仪表,到2002年3月,绝大部分工作已完成。艾萨炉的筑炉施工由十四冶筑炉公司,在奥镁公司现场服务人员的指导下于2002年3月22日全部结束。艾萨炉钢结构厂房防腐工程、喷砂除锈、喷氯化橡胶底漆、面漆工程是由云冶建设公司负责,也在2002年4月全部完成。

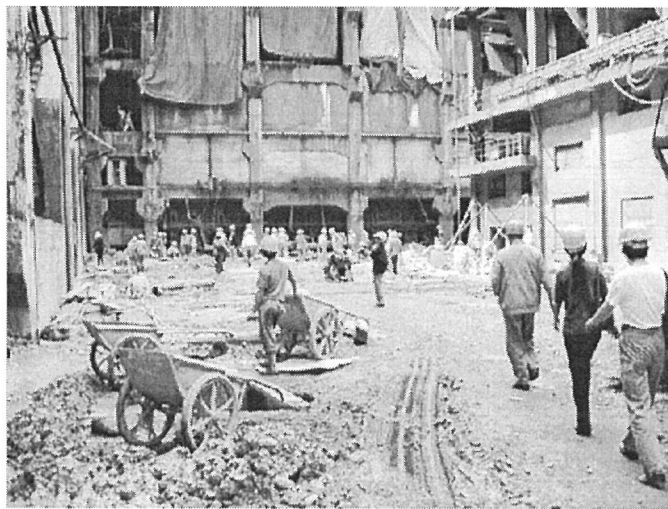
艾萨炉各系统子项工程包括:熔炼炉、加料、控制室、应急熔剂及煤、喷枪、加热烧嘴、保温烧嘴、测量棒、泥炮开口机、熔体放出区域、新鲜空气(微正压送风)、通风(环保排烟)、返料、煤粉、卸砖、冷料、二次燃烧风、供风(氧)管道、燃油管道、冷却循环水、生产及生活给排水、吊车、电梯等

。余热锅炉工程包含的各系统有：余热锅炉、锅炉给水、强制循环、自然循环、蒸汽管道、紧急冷却、刮板输送机（除灰）、破碎、烟尘输送、烟气排放、电动葫芦、保温等。

其它还有电力、仪表以及熔炼DCS和余热锅炉DCS、总图、厂房建筑结构等。

3、 工厂设计

就象其它任何一个老厂改造的项目一样，云铜的工厂布置和工程设计面临着场地限制的挑战。艾萨熔炼炉及其余热锅炉，必须布置靠近原有的2#电炉，并在一个由原有2#电炉、转炉工段、电收尘器所构成的“包围圈”内的狭小场地上展开施工但设计者和施工人员最终还是解决了这一困难，同时也体现出艾萨熔炼炉占地小、适合旧址改造的优势。图2所示了拆毁掉不需要的建筑和设备后留下的施工现场。

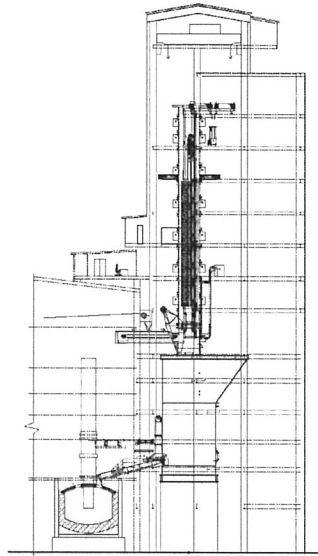


(图2：施工现场)

由于昆明地处地震多发区，使施工的要求变得更加复杂。所以，厂房基础的设计须格外地小心。MIMPT提供了静态负荷和预期生产时动态负荷的相关数据，以进行基础和炉子支撑的设计。

通过新增的一条皮带廊，物料从原来烧结机使用的物料准备和运输线路运送到艾萨炉。艾萨熔炼炉被设计地尽可能靠近贫化电炉，熔体通过两个排放口和两个排放溜槽输送进入贫化电炉。余热锅炉安装在艾萨熔炼炉的对面。余热锅炉包括：一个辐射段、炉子烟气出口上面的上升烟道和下降烟道、最后是对流段。新增一段烟道，以将冷却后的烟气输送到一对改造过的电收尘器。

艾萨熔炼炉内径为4.4米，由高品质的耐火镁铬砖砌筑炉衬。炉顶由锅炉管束制成而成为余热锅炉的一部分。艾萨喷枪直径400mm，由特殊设计的喷枪架负责实现喷枪的下降和提升。图3显示了艾萨厂房的立面图。



(图3: 艾萨厂房立面图)

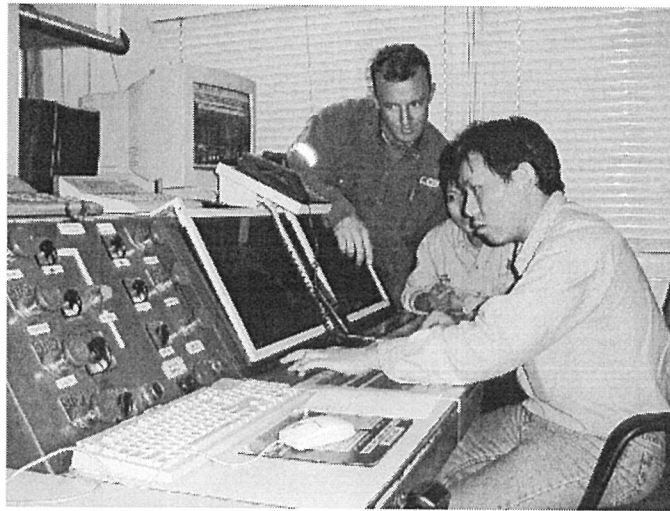
4、 生产准备

生产准备工作早在1998年组成艾萨工艺小组，参与了技术方案的讨论、选择工作，以后又补充了其它专业人员参与了设备选购、安装调试、试车等工作。公司专门成立了艾萨炉生产准备领导小组，对艾萨炉的投产准备工作做系统的安排。总的认识是：扎实的培训和有效的准备工作，是评估和规避工程、生产风险的重要手段。所以公司决定采纳MIMPT建议在芒特艾萨进行全面培训。

1、 人员培训:

- 1998年成立的工艺小组由冶炼工艺技术人员组成，针对艾萨工艺进行学习和论证。1999年至2001年，对熔炼分厂员工进行艾萨工艺知识的培训，共计向200名职工授课430个小时，通过考试选拔了一批预备开炉人员

- 2001年，在MIMPT的安排和管理下，YCC通过严格的考试选拔出的各专业（冶炼、电器、仪表、机械）工程师、CRO和排放工，赴芒特艾萨进行总时间为7个月的培训。受训者通过在芒特艾萨的培训，对艾萨工艺、设备、安全和配套管理，有了更深刻的认识。在从芒特艾萨回来前，YCC的培训人员已能在芒特艾萨操作工的监护下进行艾萨炉的操作，并准备好将所学到的理论和经验运用于而后的工作实践中。



(图4: YCC的培训人员在芒特艾萨)

• 从芒特艾萨回到YCC后, 根据开炉和生产的需要, 从预备开炉人员中向各岗位补充了操作人员, 再次进行培训, 并组织所有预备操作人员参与了设备的安装和调试过程, 使他们在生产前对设备有尽可能多的了解。

• 余热锅炉的人员培训: 2000年安排了13名操作工进行培训, 工厂培训在国内企业进行, 工程师和操作者同样参与了设备的安装、调试、检查过程。

实践证明, YCC从这样的培训准备工作中受益非浅。

2、 **操作规程及相关制度的编写:** 2001年5月开始编写艾萨炉操作规程, 7月编写艾萨区域的相关安全、管理制度。操作规程译成英文传给MIMPT修改, 经修改后, 10月按操作规程对所有操作人员进行再次培训、统一对规程的认识。

3、 **风险方案的制定及培训:** 2002年1~2月, 针对生产准备中发现的问题, 提出艾萨炉和余热锅炉开炉、生产中可能的风险预测清单。4月, 在MIMPT现场服务人员的帮助下完成最后的风险规避方案, 并确保每一名操作工都得到一份复印件。

4、 **设备检查表:** 为设备的使用及日常维护制定检查表格, 明确设备检查的要求。包括:

- 检查内容、范围、方法的要求。
- 检查人员及培训的要求。
- 检查时间的要求。
- 检查记录和处理的要求。

5、 **参与安装调试:** 成立工艺、机械、仪控、电器、热工、水分析等专业组, 对现场的安装过程进行检查程序, 包括: 学习、检查、反馈信息、提出处理意见、记录等各步骤。

分工上进行两级检查, 各专业组员执行第一级检查, 组长执行第二级检查即全面检查。若有问题出现专业跨越, 专业组之间进行合作, 解决综合性问题。

为解决语言问题, 公司组织了专门的翻译组配合工程进行。初专职翻译外, 公司早在2000~2001年, 就先后派出两批、共十余名公司年轻职工外出进行正规的英语培训, 最后他们成为了具有工程师和翻译双重身份的现场翻译人员, 减少了语言障碍带来的问题。

6、 **冷负荷试车及试车发现问题修改:** 公司制定的试车工作方针是: 单机试车要早、联动试车要全、负荷试车要稳。通过以上三级试车, 为艾萨炉的投产铺平了最后一段道路:

- 发现并解决了上料系统中的一系列问题。如：皮带跑偏、下料口易堵塞、最终皮带下料口改造等工作。

- 解决了部分进口设备本身或安装中发现问题。如：泥炮开口机钻杆进给不到位、喷枪旋转节不能灵活转动、负载栓不能工作、喷枪膨胀节尺寸不合导致喷枪更换困难等。

- 解决了部分国产设备本身或安装中发现问题。如：油泵不能满足要求供油流量和压力、部分国产皮带支撑结构不符合使用要求等。

- 对部分不适应生产或安全要求的设计内容进行了修改。如：防爆片位置重新选择、熔池热电偶位置重新选择、阻溅板下捣打料掏出、

- 增加炉底炉壳上排气孔使炉子加热过程产生的湿气能从炉砖中散发出去。

7、 **生产资料准备**：从2001年底就开始进行各种艾萨炉生产资料的准备，包括：劳保用品、排放层材料和工具、其它工种使用工具、生产用材料、备品备件、办公用品、防雨用品、防尘设备等。



(图5: YCC艾萨熔炼厂)

5、 艾萨炉投产和试生产：

1、 投产最后的组织和准备：

(1)MIM现场服务人员到厂。

开炉前芒特艾萨经验丰富的操作人员抵达YCC。这些现场人员协助最初几周的轮班，并根据YCC的要求，作为观察员身份，让YCC人员主持试生产，只有在需要时提供协助。

制定开炉计划。2002年3月将最初的YCC开炉、投产计划发送给MIMPT进行审核，根据MIMPT的意见进行修改。4月在MIMPT现场服务人员的协助下，由双方冶金工程师根据现场情况进一步讨论和修改开炉程序。最后形成以炉底铺渣、木材点火、加热烧嘴初期升温、保温烧嘴完成升温为框架的详细开炉计划，最终决定升温曲线和升温速率。并编制EXCEL升温记录及曲线显示。

(2)组建班组，实行12小时工作制，与芒特艾萨厂相似。任命班长和主CRO。各班班长、主CRO和排放层主操作工，都曾到芒特艾萨接受过培训。班组提

前一个月进入生产运转状态以度过磨合期。

(3)颁布实施艾萨区域安全规程。参考芒特艾萨的安全规范，制定了专门的艾萨区域安全规程，开始在艾萨区域实施包括对个人劳动保护用品穿戴的要求、安全标识牌、标签使用、现场隔离制度等安全规范，使区域安全受控。

(4)公司组建艾萨炉开炉领导小组。根据开炉计划检查各项工作的进行、完成情况。每人每日向各自主管报告完成情况，领导小组对工作进行统一的协调和控制。

2、 试生产期间生产数据:

炉子升温结束后，工厂紧接着进入投料生产并将产量提升到满意的程度。在投料的初期，艾萨炉和原鼓风烧结机并行生产，冰铜品位保持在较低的范围，以使转炉逐步适应高品位冰铜的吹炼。当YCC认为艾萨炉的操作已足够稳定，就停止了鼓风烧结的生产，新熔炼炉逐步将产量提高设计能力。

表1总结了开始几个月的主要生产数据。

表1-主要生产数据

月份(2002年)	5	6	7	8	9
平均料量(干, t/h)	61.8	70.6	70.3	61.9	58.8
平均油耗(L/d)	7,184	4,285	2,016	2,078	1,846
平均冰铜品位(%)	48.4	55.7	64.3	60.1	58.6
平均 SiO ₂ /Fe比	0.98	0.84	0.88	0.88	0.92
平均喷枪寿命(天)	1.4	2.0	3.7	6.6	10.5

3、 投产以来主要问题简述

就象任何一个冶炼厂，YCC在试生产期间发生了一些问题。主要的问题和解决方法描述如下：

(1) 加热烧嘴

加热烧嘴用于炉子升温，帮助炉子从环境温度升到操作温度。这种燃油喷枪可以精确的控制实际温度以目标升温曲线的要求完成升温过程。在加热烧嘴升温的后期，烧嘴的端头突然脱落，YCC操作工把加热烧嘴从炉子中提出，并使用保温烧嘴继续升温。YCC和 MIMPT 一致认为，将采取手段以保证此类事件不再发生。

(2) 喷枪操作

在开始的几个星期里，喷枪使用寿命较短，主要是端部蚀损和弯曲。经过一段时间后，YCC生产操作人员积累了经验，炉温变得稳定了。稳定的操作大大减少了喷枪的弯曲，延长了喷枪使用寿命。

另外还发生了几次端部油嘴脱落的事件，但没有造成长时间停产。MIMPT的现场服务人员经计算后发现，是由于一个设计中的细小错误造成，并立即对现有的喷枪进行改造，之后没有再发生此类问题。

(3) 给料量波动

最初的问题还包括艾萨炉的入炉料量不稳定，导致操作的不稳定：空气、氧气流量、熔池温度大幅波动。通过加强监控和对给料系统DCS逻辑进行改造，使问题得到控制。

(4) 耐火砖剥落

在生产头几周内，有耐火材料剥落并从排放口排出。尽管这对新炉子属于正常情况，因为暴露的耐火砖和边角的耐火材料会在这一时期剥落，YCC的操作工仍运用了他们在芒特艾萨学习到的知识，降低操作温度和温度波动，以控制耐

火砖的损失。同时，他们非常注意停产时间炉子的保温。

结 论

中国的第一台艾萨熔炼炉的设计和建设，通过YCC与MIMPT、欧萨斯、ENFI等国内外多家公司的成功合作，得以顺利实施、完成，说明YCC的选择是明智的。选择具有丰富实践经验的技术供应商，可以充分利用MIM的生产工厂的培训程序获得操作经验，其良好收益已显示了出来。

通过5个月的稳定生产实践证明，这一新兴熔池熔炼技术在云铜嫁接成功。YCC对未来充满信心，因为这种高效现代技术将给它带来巨大技术优势。

References

- (1) Bill, J.L., Briffa, T.E., Burrows, A.S., Fountain, C.R., Retallick, D., Tuppurainen, J.M.I., Edwards, J.S., and Partington P. "ISASMELT - Mount Isa Copper Smelter Progress Update", Sulfide Smelting 2002, R. L. Stephens and H. Y. Sohn, TMS, Warrendale PA, 2002, 181-193
- (2) Edwards, J.S., Fountain, C.R., and Morland, R.L., "ISASMELT - Extending the Envelope," Proceedings of the Brimacombe Memorial Symposium, October 1 to 4, 2000: Poster Session Proceedings, ed. W. Poole, CIM, Montreal, QC, October 2000.
- (3) Errington, W.J., Arthur, P.S., Fountain, C.R., "ISASMELT - Clean Efficient Smelting", GME'99 Global Metals Environment Conference, Beijing, 24-27 May 1999, Nonferrous Metals Society of China, Beijing, 1999, 164-172
- (4) Player, R., "Copper ISASMELT - Process Investigations", The Howard Worner International Symposium on Injection in Pyrometallurgy, ed. M. Nilmani and T. Lehner, Melbourne, July 1996, TMS, Warrendale, PA, 1996, 439-446.
- (5) Cribb, J.L., Edwards, J.S., Fountain, C.R., and Matthew, S.P., "ISASMELT Technology for the Smelting of Copper," 15th CMMI Congress, Johannesburg, SAIMM, Vol. 2., 1994, 99-103.
- (6) Player, R., Fountain, C.R., Nguyen, T.V., and Jorgensen, F.R., "Top-entry Submerged Injection and the ISASMELT Technology," Proceedings of the Savard/Lee International Symposium on Bath Smelting, ed. J.K. Brimacombe, P.J. Mackey, G.J.W. Kor, C. Bickert and M.G. Ranade, TMS, Warrendale, PA, 1992, 215-229.
- (7) Fountain, C.R., Coulter, M.D., and Edwards, J.S., "Minor Element Distribution in the Copper ISASMELT process," Copper '91, Volume IV, C. Diaz, C. Landolt, A Luraschi, C.J. Newman, Eds., Pergamon Press, New York, NY, 1991, 359-373.