

铜

的火法冶金

—1995年铜国际会议论文集

W·J·陈
C·迪亚兹
A·卢拉斯奇
D·J·麦基 编
B·文基等 译

01

COPPER FURNACE METALLURGY

冶金工业出版社

銅

一、二、三、四、五、六、七、八、九、十、十一、十二、十三、十四、十五、十六、十七、十八、十九、二十、二十一、二十二、二十三、二十四、二十五、二十六、二十七、二十八、二十九、三十、三十一、三十二、三十三、三十四、三十五、三十六、三十七、三十八、三十九、四十、四十一、四十二、四十三、四十四、四十五、四十六、四十七、四十八、四十九、五十、五十一、五十二、五十三、五十四、五十五、五十六、五十七、五十八、五十九、六十、六十一、六十二、六十三、六十四、六十五、六十六、六十七、六十八、六十九、七十、七十一、七十二、七十三、七十四、七十五、七十六、七十七、七十八、七十九、八十、八十一、八十二、八十三、八十四、八十五、八十六、八十七、八十八、八十九、九十、九十一、九十二、九十三、九十四、九十五、九十六、九十七、九十八、九十九、一百

銅

铜的火法冶金

——1995年铜国际会议论文集

W.J. 陈 A. 卢拉斯奇 编
C. 迪亚兹 P.J. 麦基

邓文基 等译
黄其兴 彭容秋 包晓波 审校

北 京
冶金工业出版社

1998

内 容 提 要

本书介绍了近年来世界上铜火法冶金工艺技术、理论和生产实践的最新进展,内容涉及熔炼操作、冶炼厂的设计与质量管理、生产工艺的改进、生产工艺的开发及工艺理论。

本书可供有色金属冶金的科研、设计、生产和管理人员及大专院校冶金和相关专业师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铜的火法冶金: 1995 年铜国际会议论文集/ (加拿大) W.J. 陈等编. —北京: 冶金工业出版社, 1998. 2

ISBN 7-5024-2139-4

I. 铜… II. 陈… III. 炼铜-火法冶金-国际会议-文集
-1995 N. TF811-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 23799 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 张维真 封面设计 李 心 责任校对 朱 翔

北京梨园彩印厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1998 年 2 月第 1 版, 1998 年 2 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 15.125 印张; 407 千字; 469 页; 1—500 册

28.00 元

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-97-1839

译 序 一

1995年铜国际会议是由智利矿业工程学会,加拿大采矿、冶金和石油学会以及美国的矿物、金属和材料学会共同组织的,于1995年11月26日至29日在智利首都圣地亚哥召开。这次会议论文汇编成四卷出版,各卷内容如下:

第Ⅰ卷 一般性问题、经济、铜的应用与加工;

第Ⅱ卷 矿物工程与环境;

第Ⅲ卷 铜的电解精炼与湿法冶金;

第Ⅳ卷 铜的火法冶金。

本文集译自第Ⅳ卷的全部(38篇)论文。内容包括熔炼操作、冶炼厂的设计与质量管理、生产工艺的改进、生产工艺的开发和过程的基本理论。这38篇论文的作者来自13个国家,60%的论文来自当前矿铜产量约占世界矿铜总产量50%的智利、加拿大和美国,论文的水平代表了近年来火法炼铜的世界水平,因此本书对我国的铜冶金企业有较大的参考价值。

当前,铜生产的主要原料是浮选硫化铜精矿,这种颗粒细小的精矿具有很大的比表面积,在高温的氧化气氛下,反应非常迅速,从而释放出大量热能。在适当条件下,这种热能足以维持高温熔炼过程的顺利进行。因此,国内外广大冶金工作者不断致力于硫化矿自热熔炼的研究和开发,这是造锬熔炼发展的总趋势。另一发展趋势是采用铜锬连续吹炼代替P-S转炉的周期作业,本文集中有4篇论文介绍了这项新技术的开发。肯尼科特—奥托昆普(Kennecott-Outokumpu)闪速熔炼—闪速吹炼新工艺流程的开发与工业化,使火法炼铜过程中硫的回收率达到了99.9%,从而消除了火法炼铜产生的 SO_2 烟气对大气的污染。造锬熔炼过程所产铜锬品位提高,以及吹炼高品位铜锬,甚至是在强化熔炼过程的条件下直接熔炼产出粗铜,渣中的含铜量都会有所提高。因此,如何降低渣中的含铜量仍是火法炼铜的重要课题。本书有关这方面的论文,提出了用铁酸钙炉渣代替传统的硅酸盐炉渣,以降低渣

含铜损失这一有发展前途的方法。总之，强化铜造硫熔炼过程，是减少火法炼铜能耗、消除对环境的污染和降低生产成本的重要途径。因此翻译出版本论文集，对正处于技术改造与技术进步之中的我国有色金属冶金工业会有很大的帮助。

本书的译校者及组织者，大都在教学、科研、管理与生产部门工作多年，在火法炼铜方面有较高的理论水平和丰富的实践经验。翻译出版本文集，将有助于我国铜冶金工作者了解当前世界上的许多科研成果和生产经验，对加速我国现代火法炼铜技术达到和超过世界水平，对我国铜冶金工业今后的改造与发展将提供一些有益的启示。因此，这是一本值得广大有色金属冶金工作者阅读的好书。

陈家镛

1997年7月

译 序 二

英文版《铜的火法冶金》是1995年11月26~29日由智利矿业工程学会,加拿大采矿、冶金和石油学会以及美国矿物、金属和材料学会共同组织在智利首都圣地亚哥召开的铜国际会议论文集的第IV卷。

本文集38篇论文的作者来自世界13个国家,60%的论文来自当前产铜产量占世界产铜总产量约50%的智利、加拿大和美国,因此,论文的水平反映了当前世界火法炼铜的先进水平。

目前,国际上铜生产资源以硫化矿物占绝大多数,生产方法仍以火法冶炼工艺为主。因此,如何在生产过程中提高金属回收率,充分利用好资源,减少能耗,消除污染,降低生产成本,是摆在有色金属冶金工作者面前的一个重要课题。

本文集着重论述了20世纪90年代铜硫化矿自热熔炼研究与开发所取得的最新科研成果和工厂的生产实践,介绍了世界上主要铜火法冶炼厂的扩建和现代化水平,并探讨了铜冶炼过程的基本理论。

值得提出的是,目前我国和世界主要产铜国都有大量杂质含量高(如砷、锑等)的铜资源,如何在铜熔炼、吹炼乃至精炼过程中,分析和有效控制这些杂质的排放与脱除程度,以消除环境污染,降低能耗,提高产品质量和产量,已变得越来越重要。本文集有关这方面的文章有三、四篇之多。因此,本论文集将对正在进行技术改造和加速技术进步的我国有色金属工业提供很好的指导和帮助,对加速我国铜工业的现代化提供有益的经验 and 启示。本书是从事有色金属冶金生产、科研、设计、规划和管理等工作的有关人员以及大专院校师生阅读和参考的一本好书。

我们与加拿大采矿、冶金和石油学会(简称CIM)有着长期的学术交流与往来,双方竭诚合作,建立了密切友好的关系。这次,CIM将《PROCEEDINGS OF THE COPPER 95 INTERNA-

TIONAL CONFERENCE》第Ⅳ卷《Pyrometallurgy of copper》的中文版出版许可权授予北京有色冶金设计研究总院，经与冶金工业出版社合作，现将中文版《铜的火法冶金》呈献给读者，在此，我仅代表北京有色冶金设计研究总院向 CIM 和其执行董事 Y. 雅克 (Yvan Jacques) 表示衷心地感谢！对本文集英文版的编辑 W. J. 陈、C. 迪亚兹、A. 卢拉斯奇、P. J. 麦基先生的大力支持和帮助表示感谢！

预祝我们与 CIM 的学术交流和往来不断扩大，共同为世界铜工业的进步和发展作出贡献。

康 南 京

1997 年 10 月

译者的话

《铜的火法冶金》译自由 W. J. 陈 (W. J. Chen, 即陈渭俊, 美籍华人学者)、C. 迪亚兹 (C. Diaz)、A. 卢拉斯奇 (A. Luraschi) 和 P. J. 麦基 (P. J. Mackcey) 合编, 由加拿大采矿、冶金和石油学会 (The Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum) 1995 年出版的《1995 年铜国际会议论文集》(《PROCEEDINGS OF THE COPPER 95 INTERNATIONAL CONFERENCE》) 第 IV 卷《Pyrometallurgy of copper》, 主要内容包括冶炼厂的生产实践、冶炼厂的设计和质量管理、生产工艺的改进、新工艺的发展及过程的基本理论五个部分, 共收集论文 38 篇。

本文集着重讨论了铜火法冶金的科学研究、工艺技术和生产实践及过程的基本理论, 并通过 14 个世界著名的铜火法冶炼厂的实例, 详细介绍了近年来铜火法冶金工艺技术的改进和新工艺的发展、工厂扩建和现代化、设计和质量管理, 以及经济技术和环境保护等内容, 同时对美洲铜冶炼工业及工艺技术的发展前景及其对世界铜工业的影响进行了分析和评述。本书反映了本世纪 90 年代世界铜火法冶金的最新科技成果和生产状况。

翻译出版本书的目的是帮助我国广大冶金工作者了解国外铜的火法冶金生产的主要理论研究、新技术的开发和发展以及生产操作、经济 and 环境保护等方面的发展状况, 从而促进我国铜工业的发展。

根据我国的实际情况, 对原书中的第 15、16、21、22、30、31 等 6 篇论文仅作了摘译。原书的参考文献从略。

参加本书翻译工作的有: 邓文基 (译第 1、8、14、22、29、32、35 篇), 张训鹏、彭容秋、郭学益、孙培梅 (译第 1、3、7、11、15、19、31、33、38 篇)、范其明 (译第 2、4、13、20、25、27、37 篇)、张友余 (译第 6、23、24、26 篇)、包晓波 (译第 12、16、

21、28、30 篇)、李宇祥 (译第 5、9、10、17、18、34、36 篇)。

本书由北京有色冶金设计研究总院的黄其兴 (教授级高工)、中南工业大学的彭容秋 (教授)、中国有色金属工业总公司技术经济研究院包晓波 (教授级高工) 审校。包晓波负责本书译校的组织工作及译稿的审订工作。

感谢加拿大采矿、冶金和石油学会和 W. J. 陈、C. 迪亚兹、A. 卢拉斯奇、P. J. 麦基对本书的翻译出版所给予的大力支持和帮助, 并对郭先健 (Guo Xian Jian) 先生为本书出版所作的联系工作表示谢意!

由于译者水平所限, 书中难免有错误和不妥之处, 恳请读者批评指正。

译者

1997 年 7 月

中文版前言

1995年11月在智利首都圣地亚哥举行了“95铜国际会议”，本书是其论文集中第Ⅳ卷《铜的火法冶金》的中译本。书中介绍了一些新的冶炼工艺，它的出版将会促进中国铜冶金工业的发展。

本书的出版是“国际铜系列会议”的组织单位和中国有关机构合作的结果。在此，我们想提到北京有色冶金设计研究总院黄其兴先生对此所作的努力。他从1987年第一次铜国际会议在智利召开时起，就参与了为推动世界铜工业进步而组织的“铜国际系列会议”的活动。

“国际铜系列会议”每四年召开一次。首先是由加拿大采矿、冶金和石油学会和智利矿业工程师学会于1983年发起组织的，会议的标志用英文的“铜”和西班牙文的“铜”这两个单词组合而成，以纪念加拿大和智利这两个发起国。第一次会议1987年在智利召开。美国矿物、金属和材料学会于1989年加入成为组织国之一。第二次会议于1991年在渥太华举行，第三次会议1995年在智利召开，第四次会议作为本世纪最后一次会议将于1999年秋季在美国亚利桑那州凤凰城举行。

火法冶金仍然是中国和世界各国处理原生矿物和二次原料生产铜的主导方法。正如本书内容所显示的，火法冶炼在工业上是一个广泛的技术领域，我们相信本书会引起中国冶金工作者很大的兴趣。本书不仅介绍了一些新的方法，比如诺兰达连续转炉吹炼，还介绍了全世界一些冶炼厂的最新发展情况，其中包括美洲这个世界上产铜量最大的地区铜冶炼工业的发展现状及远景。还有一些论文涉及到了铜火法冶金工艺的改进、工艺的发展和基础理论研究。

我们很高兴能对出版本书有所贡献。我们相信这本书对中国

铜冶金工业的技术进步会是一本有益的参考书。在本书出版之际，
我们想对所有合作单位的成员表示感谢！

加拿大采矿、冶金和石油学会
博士 P.J. 麦基 博士 C. 迪亚兹
1997 年 12 月

英文版前言

本卷包含了 1995 年铜国际会议上发表的有关铜火法冶金方面的 38 篇论文,作者来自 13 个国家。其中有 23 篇论文,即本文集论文中的 60% 来自智利、加拿大和美国,这些国家的矿铜产量占目前世界矿铜总产量的大约 50%。用火法冶金方法处理铜精矿和再生铜原料,仍然是铜生产的主要方法。本论文集的论文包含了以下几个方面:(1) 铜冶炼厂的生产;(2) 铜冶炼质量管理;(3) 铜冶炼生产工艺的改进;(4) 铜冶炼新工艺的开发;(5) 铜冶炼过程的基本理论。

论文介绍了世界主要铜冶炼厂的扩建和现代化。铜价的坚挺上扬为许多冶炼厂生产发展创造了良好的条件。可以预计,建立新的和投资相当少的冶炼厂的趋势会持续一段时间,并且努力减少硫的排放量及对环境进行改善方面的工作在世界的铜冶炼厂中将继续进行下去。本论文集也涉及了这些方面的内容。

随着冶金工业进入 20 世纪 90 年代的后 5 年,铜冶金工业出现了重大的持久性变革。这些变革也反映在了本论文集中。在开发项目中,最重要的、日益增多的是用连续吹炼工艺替代 P-S 转炉的周期性吹炼工艺。本论文集中有 4 篇论文详细介绍了这项新的铜火法冶金技术。

编者确信,本论文集将被证明是很有价值的,可供世界各国的冶金专家参考。

编者感谢邦尼·卡德莫雷 (Bonnee Cudmore) 和露西尔·格林 (Lucille Green) 对本卷工作所做的努力和帮助。

编者

1995 年 9 月

目 录

一、冶炼厂的生产实践

- 1 美洲铜冶炼工业发展前景展望 (2)
- 2 马格马金属公司铜冶炼厂的扩建..... (34)
- 3 肯尼科特公司犹他铜冶炼厂的技术改造..... (45)
- 4 东予冶炼厂近年的生产实践..... (59)
- 5 菲律宾联合熔炼与精炼公司熔炼厂和精炼厂的改进
..... (74)
- 6 特尼恩特转炉的新发展..... (87)
- 7 智利国营矿业公司文塔纳斯冶炼厂特尼恩特转炉氧
的强化作用 (104)
- 8 塞浦路斯艾萨熔炼法投产及操作经验 (115)
- 9 美国熔炼和精炼公司的竖炉熔铸技术 (133)
- 10 加斯佩冶炼厂的新进展..... (153)
- 11 用瓦纽科夫法处理复杂铜炉料..... (168)

二、冶炼厂的设计与质量管理

- 12 小型铜冶炼厂的可行性评价..... (180)
- 13 用奥斯熔炼法处理含铜物料的经济和技术评估..... (189)
- 14 隆斯卡尔冶炼厂的发展现状..... (207)
- 15 冶金工厂生产流程及生产率分析..... (214)
- 16 赫尔南·维德拉·利拉铜冶炼厂的生产规划
模型..... (215)

三、生产工艺的改进

- 17 P-S 转炉中的气体喷射现象 (217)
- 18 高浓度富氧在 UM 霍博肯转炉中的使用 (233)

19	氧探针在国际镍公司铜崖冶炼厂铜转炉中的应用	(247)
20	一种预测杂质行为的模型在丘基 卡马塔冶炼厂的应用.....	(259)
21	对空气冷却的华夫屏板转炉烟罩的分析与研究.....	(280)
22	铜冶炼厂烟气冷却的最新进展.....	(281)

四、新工艺的开发

23	铈的诺兰达转炉连续吹炼 (之一) ——冶金概况综述.....	(283)
24	铈的诺兰达转炉连续吹炼 (之二) ——中间试验及工厂评价.....	(297)
25	在赛罗反应器中直接吹炼铜精矿的试验研究.....	(313)
26	用联合鼓泡炉熔炼硫化铜精矿.....	(329)
27	使用石灰熔剂吹炼高品位铜铈的试验研究.....	(335)
28	采用火法冶金工艺从卢本巴希铜冶炼厂的熔炼和吹 炼炉渣中回收铜.....	(348)
29	含铜砷原料的处理.....	(354)

五、铜冶金过程的基础理论

30	Cu-Ni 硫化物熔炼与吹炼炉渣的密度和粘度	(367)
31	含硅铁酸钙炉渣的密度和表面张力.....	(368)
32	钴在铜冶炼过程中的行为.....	(369)
33	Cu-Fe-S-O 系铈中组分的活度.....	(382)
34	半氧化焙烧镍铜精矿的还原熔炼.....	(389)
35	炉渣中氧化铜的溶解平衡.....	(408)
36	固体铈粒子的氧化特性.....	(420)
37	一步生产粗铜——奥林匹克—达 姆冶炼厂的金属—炉渣平衡.....	(439)
38	铜熔炼炉渣中的硫.....	(458)

冶炼厂的生产实践

1 美洲铜冶炼工业发展前景展望^①

摘 要

对环境保护的要求日益严格,以及 20 世纪 70 年代以来燃油消耗费用的大幅度提高和产品需求量的不断增加等,使得在过去 25 年里,美洲的矿铜冶炼技术发生了深刻变化。在这一时期,铜工业经历了大的结构调整。智利的铜工业首先实现了国有化,然后重新施行投资对外开放政策。在美国,由于受到经济不景气及高通货膨胀率的冲击,矿铜生产厂家数量减少。本文研究了美洲铜冶炼技术的变化动态,特别是冶炼厂总产量占该地区 80% 以上的美国、加拿大和智利的情况,列出了每个冶炼厂最近的关键操作数据,并进行了讨论,同时展望其未来的发展趋势。

引 言

美国最后一台铜反射炉于 1995 年 3 月关闭。美国铜山公司 (Copper Range Co.) 在同意为违章排放支付巨额罚款及确定了铜精矿处理技术方案后,关闭了冶炼厂。由 1970 年《空气净化条例》(Clean Air Act) 的公布而引发的这一事件,标志着美国在矿铜冶炼结构和生产实践方面的巨大变革时代的到来。在过去的 25 年里,许多类似的改造已经影响了该地区的整个铜冶炼工业。

现在,实际上每一种现代工业化的悬浮熔炼和熔池熔炼技术在美洲都正在得到应用,并且有几台反射炉仍处于运转之中。

本文对美洲的矿铜冶炼革命进行了粗略的探讨。作者认识到,材料如此丰富,而本文只不过是浅尝辄止,如果进一步深入分析,则会使读者对急剧的工业变革和根本性的技术革命有更深刻的理解。

^① 本文作者为加拿大国际镍公司 (Inco Limited, Canada) 的 C. 迪亚兹 (C. Diaz)、智利国营矿业公司 (Empresa Nacional de Minería, Chile) 的 H. 斯奇瓦兹 (H. Schwarze) 及加拿大雷默斯合伙公司 (Jan H. Reimers and Associates Inc., Canada) 的 J. C. 泰勒 (J. C. Taylor)。