

文章编号: 1004-0609(2004)S1-0021-04

有色金属冶金基础研究的现状及对今后的建议^①

刘业翔

(中南大学 冶金科学与工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 介绍了我国有色金属冶金基础研究现状及所取得的重要成果, 提出了拟定我国有色金属冶金发展战略的原则, 并从以下几方面对如何进一步开展我国有色金属冶金基础研究提出了建议: 复杂界面交互作用、矿物的生物加工理论与技术、丰产元素资源的深加工、再生金属资源化和“三废”资源化、无污染冶金、冶金过程热力学和动力学、机械活化冶金、膜科学与技术冶金中的应用基础、冶金电化学新前沿、熔盐电解、冶金过程和设备的数字仿真与优化、传感器与自动控制等。

关键词: 有色金属冶金; 基础研究; 现状; 发展战略; 建议

Current status and future proposals of fundamental research in nonferrous metallurgy

LIU Ye-xiang

(College of Metallurgical Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The current status of fundamental research and prominent achievements in our nonferrous metallurgy were described. The development strategy principles in the national nonferrous metallurgy were also put forward. Proposals for how to explore further the nonferrous metallurgical fundamental research were brought forward from followed several aspects: complicated interface interaction, minerals biological processing theory and technology, deep processing for abundant element resource, utilization of renewable metals and three wastes, non-pollute metallurgy, metallurgical thermodynamics and kinetics, mechanical metallurgy, application foundation of membrane science and technology in metallurgy, novel frontier scientific issues related to metallurgical electrochemistry, molten salt electrolysis, numerical simulation and optimization of metallurgical processes and engineering equipment, new principles and methods for sensing, detection and control, et al.

Key words: nonferrous metallurgy; fundamental research; current status; development strategy; proposals

1 我国冶金基础研究现状

我国 10 种有色金属年产量 2001 年达到 883.7 万 t, 居世界第二位。产业的发展离不开科技, 科技发展是这个领域中广大科技人员积极努力的结果。尽管有色金属冶金的基础研究投入的经费很少, 一直比较薄弱, 但是在生产技术需求的带动下仍然在基础研究方面作了大量的工作, 并取得了显著的成就, 这主要表现在如下几个方面。

1.1 矿产资源的分离提取

- 1) 硫化矿原生电位浮选技术*;
- 2) 浮选剂分子设计理论及应用*;
- 3) 生物浸矿理论;
- 4) 选矿-拜耳法新技术及基础理论*。

1.2 冶金过程化学平衡、相平衡及热化学主要的工作集中在:

- 1) 基本热力学数据的测定与数据库的建立;
- 2) 溶液热力学及活度计算模型的建立与应用;

① 作者简介: 刘业翔(1930-), 男, 教授, 中国工程院院士。

通讯作者: 赖延清, 博士; 电话: 0731-8876454; E-mail: iline@mail.csu.edu.cn

- 3) 相平衡与界面过程热力学;
- 4) 溶剂提取与离子交换热力学;
- 5) 极端条件下的多相平衡问题等。

1.3 冶金过程动力学和机理

目前的主要工作集中在:

- 1) 有色金属体系基本传输性质的测定;
- 2) 生物催化浸出过程;
- 3) 电化学冶金电积过程动力学;
- 4) 溶剂提取与离子交换机理与过程动力学;
- 5) 外场作用下的动力学等。

1.4 膜领域的基础研究

- 1) 成膜机理;
- 2) 膜材料性能;
- 3) 膜受污染机理与防治技术;
- 4) 膜中的传递现象及原理;
- 5) 膜过程设计的理论、模拟及新膜过程开发。

1.5 冶金电化学

- 1) 湿法炼锑和镍电解的基础理论;
- 2) 功能电极材料及节能电极的理论基础和
应用研究;
- 3) 矿浆电解原理* ;
- 4) 熔盐电解炭阳极上的电催化* ;
- 5) 铝电解惰性阳极和硼化钛阴极应用基础。

1.6 冶金新技术的基础理论

- 1) 机械活化冶金* ;
- 2) 增值冶金(高附加值产品的冶金技术);
- 3) 串级萃取理论;
- 4) 纳米-精细化工材料的电化学制备基础。

1.7 冶金过程和设备的数字仿真和优化

- 1) 应用电磁场、热-电场仿真软件优化大型铝电解槽“三场”设计,在仿真功能和精度上都进入了世界同业的前沿;
- 2) 铝电解槽槽膛内形与闪速熔炼炉反应塔炉膛内形动态仿真与在线显示;
- 3) 闪速熔炼炉多参数场耦合仿真和优化;
- 4) 矿热电炉、贫化电炉节能降耗智能决策技术;
- 5) 铜镍钨吹炼过程智能优化与吹炼终点预报技术。

1.8 冶金过程的自动控制

- 1) 开发和应用特种检测技术,解决冶金领域的多种特种变量的检测问题;
- 2) 开发和应用针对冶金领域的专用控制软件、优化软件及专用控制装置;
- 3) 采用新一代主控系统(包括集散控制系统、可编程控制器、仪表、器件、网络、传感器等)构造过程控制系统;
- 4) 综合应用多种建模手段及现代先进控制方法与控制策略,解决复杂冶炼过程的建模与控制问题,例如铝电解过程的智能模糊控制。

上述许多成果已获得国家级的奖励,居国际领先水平,其中标*者获国家科技进步二等奖以上奖励。

2 拟定发展战略的几点原则

- 1) 立足本国的需要,发挥已有科技成果的基础研究优势,引导原创性研究的发展,以推动有色金属科技与生产的跨越式发展为目标;
- 2) 体现高新技术或先进实用技术改造传统产业的要求,进行学科交叉的研究;
- 3) 充分利用和借鉴当今相邻学科的最新科学技术成就;
- 4) 重视相关技术基础的研究工作。

3 建议开展如下的重要问题研究

3.1 复杂界面交互作用的研究

有色金属提取冶金是在一定条件下实现有色金属与伴生元素的分离提取。其基本过程可分为:矿物的溶浸与分解,伴生元素的分离,金属与化合物的析出等。这些基本过程涉及各种不同条件下液-液、固-液、固-气等复杂界面的交互作用。通过系统研究复杂界面作用的基础理论问题,可以为复杂和低品位矿的处理、冶金过程的强化、节能降耗、减少污染、新工艺及新技术奠定理论基础。

3.2 矿物的生物加工理论与技术

主要包括:

- 1) 生物溶出-萃取-电积的理论及技术;
- 2) 硫化矿与非硫化矿浮选新理论;
- 3) 微生物选矿药剂结构与性能;
- 4) 选矿-拜耳法基础理论

铝土矿正、反浮选铝硅分离:

- a. 矿物晶体结构表面性质与浮选性能;
- b. 铝、硅矿物浮选体系, 溶液化学行为及复杂

界面作用;

- c. 矿物界面极性相互作用及流体动力学;

5) 矿物材料

针对各种资源的处理, 研究直接从各种资源中加工制备各种材料的新技术与基础理论:

- a. 无机非金属矿物超细粉体材料;
- b. 高纯净化矿物;
- c. 直接从矿石中生产精细矿物化学品;
- d. 矿物功能性原状结构的物理加工技术及基础;
- e. 矿物材料化学加工的技术、新工艺及基础理论;
- f. 低维纳米矿物的结构与应用性能。

3.3 我国丰产元素资源的深加工

重点应放在稀土、钨、钛等稀有金属, 镓、铟、锗等稀散金属, 锌、铅、镉、铋、镍等重金属, 铝、镁、锂等轻金属及锰、铁等黑色金属上。产品的重点应该是信息材料、新能源材料及阻燃剂、催化剂、高比强结构材料等。

3.4 再生金属资源化和“三废”资源化

再生金属包括废电池、废旧家电、废旧通讯设备、废旧电脑、废旧汽车、废旧仪器设备的金属资源回收处理和再生利用。“三废”包括火法冶金炉渣、精炼渣、烟尘, 湿法冶金残渣、赤泥、净化渣, 铝电解废旧炭块等资源再生回用的基础理论问题。

3.5 无污染冶金的基础研究

研究无 SO_2 排放的一步炼铅、一步炼镉、一步炼铋冶金新技术新工艺, 用以改造现在的鼓风炉炼铅和炼铅镉技术, 减少 SO_2 排放 60 万 t/a, 具有重大的社会环境效益; 与此相关的许多基础理论问题, 如高铁铈与金属炉渣的相平衡, 富铁铈中硫氧化成元素硫然后回收等问题急待解决。

3.6 冶金过程热力学和动力学

- 1) 冶金过程相关相平衡与界面过程热力学;
- 2) 溶剂提取与离子交换热力学;
- 3) 极端条件下的多相平衡问题;
- 4) 有色金属体系基本传输性质的测定;
- 5) 生物催化溶出过程;

6) 外场(如电场、磁场、声场、微波场等)作用下的过程动力学。

3.7 机械活化冶金

- 1) 力场作用下对有色金属功能材料性能的影响。运用力化学原理合成并改善功能材料性能的可能性及其条件;
- 2) 机械活化与固体界面性能和结构的关系;
- 3) 力场的作用方式、强度及机械活化效果的影响;
- 4) 机械-化学作用场强的测量与表征。

3.8 膜科学与技术在冶金中的应用基础研究

- 1) 无机膜的制备与成膜机理;
- 2) 膜材料的性能和表征;
- 3) 无机膜的传质过程机理及传递阻滞;
- 4) 膜过程设计的理论、模拟及新膜过程的研究;
- 5) 离子膜的电化学行为;
- 6) 膜的受污染机理与预防和再生。

3.9 冶金电化学新前沿基础研究

- 1) 电化学分离、提取与功能增进(如: 增氧、增氢、脱硫、多层化、磁性化、多功能修饰化等);
- 2) 纳米尺度合金、线晶、多层膜等的电化学制备;
- 3) 电积用于电子、生物医药、环境及能源转换;
- 4) 电极过程动力学及电催化(包括界面电子迁移、成核及长大、薄膜中的电迁移与化学反应等)。

3.10 离子液体—新型清洁介质的基础与应用研究

离子液体是绿色化学的、环境友好的反应介质, 应用前景极为广阔。可用作萃取分离、化学反应、催化反应的介质, 燃料电池、太阳能电池、锂电池等的制备等。

需要进一步研究以下问题:

- a. 研究离子液体的性质;
- b. 离子液体的合成, 特别是降低其制造成本;
- c. 离子液体在萃取、提取与分离方面的应用;
- d. 离子液体的催化性质、催化作用及其工业应用;
- e. 研究其电化学、光电化学等以扩大离子液体的新应用。

3.11 熔盐电解

1) 熔盐应用于有色金属“绿色”化学反应及过程的基础研究;

2) 熔盐选择提取, 熔盐电化学气体分离, 熔盐电化学能源等。

考虑到特色和重点, 以铝为代表开展熔盐电解的基础研究具有战略意义, 因为我国铝的产量已居世界第一位, 也是我国有色金属中产量最多的。

1) 新颖电极材料

a. 极端环境下(高温、氟化物熔盐腐蚀、电化学腐蚀、新生态氧的腐蚀)材料性能的快速表征;

b. 极端环境下多功能阳极和阴极材料的界面反应与抗腐蚀性;

c. 极端环境下气体电极的氧化、还原功能。

2) 数字铝电解槽系统

a. 建立多参数数据库(结构参数、操作参数、物性参数等);

b. 研究下列计算模块: 电场、磁场、流场、热场、物料平衡、电压平衡、能量平衡等;

c. 多参数仿真与显示, 包括电流分布、熔体/铝界面形状、极距、 Al_2O_3 浓度、阳极效应预警、电流效率预测、吨铝能耗预测;

d. 实现以上 a、b、c 的全息仿真。

3.12 冶金过程和设备的数字仿真和优化

1) 温载流体系中颗粒群行为动力学及其相互作用模型(应用领域: 闪速熔炼、闪速吹炼、稀相焙烧、煤粉燃烧、载流干燥等的强化与优化);

2) 高温熔体与浸没射流间气-固-液三相传输动力模型与反应速率模型(应用领域: 熔池熔炼、吹炼、烟化过程等的强化与优化);

3) 流态化床(浓相)中流固两相的多场耦合仿真模型(应用领域: 流态化焙烧炉、煅烧炉、流态化浸出与流态化电积的强化与优化);

4) 移动床中气固两相的流场、温度场与浓度场的耦合仿真模型(应用领域: 竖式焙烧炉、竖式煅烧炉与鼓风熔炼炉的强化与优化);

5) 高温熔炼炉操作优化智能决策模型(应用领域: 燃烧或电热熔炼炉的强化与优化)。

3.13 传感器与自动控制

1) 传感器与传感技术

有色冶金过程的更实时、更精确的控制技术, 需要先进的传感技术和传感器的支持。目前传感器及相关的传感技术远远不能适应这一需要。因此在

控制上需监控的参数缺乏、灵敏度差、反应迟钝。这是需要大力研究和开发的领域。

有色冶金过程所需的传感器是多种多样的, 以铝电解为例, 急需的在恶劣环境下使用的传感器如下, 需要开展相关的基础研究:

a. Al_2O_3 浓度的测定;

b. 电解质温度和过热度;

c. 电解质分子比或者是过剩 LiF 含量;

d. 阳极和阴极距离;

e. 阳极和阴极的电流分配;

f. 阳极和阴极电位的变化;

g. HF 、 CF_4 传感器;

h. CO_2/CO 比值的实时测定。

除了常规的接触式传感技术之外, 需要引入和研究非破坏式、非接触式传感技术。

2) 自动控制技术

a. 智能集成建模方法研究: 针对复杂冶炼过程存在物料多变、机理复杂、参数直接在线检测困难、难以得到精确机理模型的问题, 研究综合应用机理分析、模糊、知识、逻辑、神经网络、专家经验等建模方法, 建立集成型模型, 为复杂有色冶炼过程的软测量与控制问题的综合解决提供新的方法。

b. 针对复杂有色冶炼过程的智能集成控制技术的研发: 针对大型复杂有色冶炼设备一般具有多变量、非线性、大滞后、时变等特性, 重要状态参数与被控参数难以直接检测, 具有模型的不确定性等特点, 应用专家系统、模糊控制、预测控制、神经网络以及多种智能控制技术的集成, 构成控制算法模块库, 并使之与“软测量”算法模块有效联接, 构成丰富的智能测控算法模块库, 满足复杂有色冶炼过程对控制算法的多种需求。

c. 先进控制系统的研发: 研究开发基于新型的现场总线和工业以太网技术的、硬件和软件均可以组态方式实现的、可与企业内部 Intranet 或 Internet 相联接的、可在恶劣环境下稳定可靠运行的新型分布式或全分布式计算机控制系统, 为有色冶炼企业综合解决复杂有色冶炼过程的控制问题和实现企业的综合自动化建设目标提供高性能、低价格的先进控制系统。

d. 有色冶炼企业综合自动化建设的技术基础研究: 针对有色冶炼过程的特点, 研究基于知识链的 ERP/MES/PCS 三级结构流程工业现代集成制造系统集成技术, 主要包括: 以知识链为内涵的过程知识集成技术、以信息化的财务结构体系为核心的应用集成技术、以合同实时跟踪为主线的功能集成技术、以产品全息索引为基础的数据集成技术。

(编辑 袁赛前)