

重有色金属 冶炼设计手册

锡锑汞贵金属卷

冶金工业出版社

重有色金属冶炼设计手册

锡 锑 汞 贵金属卷

编写单位

北京有色冶金设计研究总院

长沙有色冶金设计研究院

南昌有色冶金设计研究院

昆明有色冶金设计研究院

冶金工业出版社

内 容 简 介

《重有色金属冶炼设计手册》是一部大型工具书,它总结了我国四十余年来重有色金属冶炼设计、建设和生产的经验。全书共分四卷,十二篇,按铜镍(含钴回收)卷、铅锌铋卷、锡锑汞贵金属卷、冶炼烟气收尘及通用工程常用数据卷,分述各重金属及其伴生元素的各种提取工艺技术,并按原料、技术操作条件选择、产物、技术经济指标、主要设备选择、配置参考图及必要的冶金计算等内容编写,收集了大量技术数据和实例,供读者参考选用。

本《手册》中的铜铅锌各篇,除介绍传统工艺外,铜冶炼篇还编入了我国自己的闪速炉炼铜及现代化大型铜电解技术,铅冶炼篇编入了氧气底吹炼铅法及火法精炼等技术,锌冶炼篇编入了大型竖罐、鼓风机炼锌和黄铁矿等技术。

镍冶炼篇以大型电炉和现代化闪速炉炼镍为主,并收集整理了我 国自行研究设计的氧化镍矿氨浸和氢还原制取镍粉等技术。

锡冶炼篇包括反射炉、电炉熔炼,火法与电解精炼,烟化挥发,氯化挥发等技术。锑冶炼篇以鼓风机挥发熔炼、反射炉还原熔炼与精炼为主,并编入直井炉及部分锑品生产技术。汞冶炼篇编入了电热回转蒸馏炉炼汞、流态化焙烧、老式高炉炼汞、粗汞精炼和高纯汞提纯等技术。

贵金属冶炼篇编入了脉金提金的常规氰化法、炭浆法、树脂矿浆法、堆浸法、含金硫化矿提金、炼锑富集物提金、重金属电解精炼阳极泥的处理,从炼镍富集物中提取铂族金属等技术,并附有从废旧物料中回收金银的资料。

冶炼烟气收尘篇编入了各种冶炼炉窑的烟气性质、收尘工艺及设备,系统总结了我国重有色金属冶炼的各种收尘设施。

通用工程篇主要编入了粉煤制备、车间供油设施、废热利用、高压鼓风机室、空压机站、厂分析室等全厂性通用工程。常用数据篇编入了重冶工艺设计计算中常用的物理化学、规范、标准等数据。

本《手册》还编入了氰化废水处理、汞毒防治、噪声防护等与工艺设计关系密切的环保技术。

图书在版编目(CIP)数据

重有色金属冶炼设计手册:锡锑汞贵金属卷/北京有色冶金设计研究总院等编.

—北京:冶金工业出版社,1995

ISBN7-5024-1668-4

I. 重… II. 北… III. 重有色金属-有色金属冶金-设计-手册 IV. TF81-62

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第15116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:刁传仁 曾广洗

冶金工业出版社印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1995年8月第1版,1995年8月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;52.75印张;1600千字;829页;1-5000册

90.00元

《重有色金属冶炼设计手册》编委会

主任：张健

副主任：蒋继穆

委员：孙倬 严达凡 许慕尧 徐达 刘春泉 张驾

潘云从 王德润 马荫华

总主编：孙倬

副总主编：张驾 潘云从 王德润 马荫华

《重有色金属冶炼设计手册》编辑部

主任：蒋继穆

副主任：孙倬 王协邦

成员：张驾 潘云从 王德润 马荫华 曹克宁 孙恒华

刘福祐 张宪 王繁滨 陈邦俊 牛芝德 施维一

袁授时 周维智 严则陶

重有色金属冶炼设计手册

锡锑汞贵金属卷

锡 冶 炼 篇

主 编：王德润

锑 冶 炼 篇

主 编：张 驾

副主编：肖发云

汞 冶 炼 篇

主 编：王钟慈

副主编：朱文伟

贵 金 属 冶 炼 篇

主 编：孙 倬

副主编：吴振祥

孙恒华

發展設計再創

輝煌

祝重有色金屬冶煉設計手冊出版

邱純甫

一九五五年一月廿三日

贺 词

祝贺这部来自实践、用于实践的大型工具书——《重有色金属冶炼设计手册》的出版。我希望它不仅为设计而且为我国有色金属事业的发展做出贡献。预期它将成为从事有色金属事业人员不可缺少的读物与伴侣。

中国有色金属工业总公司 总经理

吴建邦

一九八二年二月二十日

序

由长期从事实践工作的冶金专家孙倬任总主编，动员了我国实力最强、经验最丰富的四大有色冶金设计研究院的近百名专家，用了数年时间编纂的《重有色金属冶炼设计手册》，是一套供有色冶金界广大科技人员使用和高等院校广大师生参考的大型工具书。

这套书的编纂，在我国冶金史上具有开创性。金属品种包括了铜、铅、锌（镉）、镍（钴）、铋、锡、锑、汞、金银铂钯等金属以及与各金属矿物共生的硒、碲、铟、锗、镓、铊等稀有金属；冶金方法包括了火法冶金和湿法冶金。火法冶金中既有传统的鼓风炉、反射炉、电炉熔炼，又有当代开发的闪速熔炼、诺兰达法、瓦纽科夫法、基夫赛特法及氧气底吹炼铅法等现代冶金技术。湿法冶金中，既有酸浸，也有氨浸；有常压浸出，也有加压浸出，还有溶剂萃取、离子交换这类湿法冶金新技术。该手册总结了从现代化大工业生产到乡镇企业的小厂的详尽资料。此外，还收集了一些氯化冶金、真空冶金、粉末冶金等技术成果和详细的技术数据。还须指出的是，该手册中所有的这些技术成果，除极个别的（如瓦纽科夫法、基夫赛特法）外，均是从我国的设计、生产实践中总结出来的，因而是现实可行的技术成就。

这套书的另一个特点是，不论主金属的提取冶金，还是有价金属的综合回收，都包括原料、工艺过程、技术操作条件、产物、技术经济指标、主要设备选择和配置参考图，并附有系统的冶金计算。

这套书中以很大的篇幅编入了冶炼烟气收尘，车间供油设施、粉煤制备、厂化验室等诸多辅助性设施的设计内容以及设计和冶金计算中所需的常用数据，使其工艺设计的功能更臻完善。

该手册以其丰富的内容及特点显示出它是一部难得的好书，它的出版是有色冶金界的一件大事，这是很值得祝贺的。预期这套书将对我国有色金属工业的发展起到它应有的作用。

中国工程院院士

林华 1995年1月17日

编写说明

《重有色金属冶炼设计手册》(简称《手册》)是中国有色金属工业总公司委托北京有色金属设计研究总院和长沙、南昌、昆明三个有色冶金设计研究院共同编写的,是一部为重有色金属冶金设计人员服务的大型工具书。全书共四卷,十二篇,按铜镍卷、铅锌铋卷、锡锑汞贵金属卷、冶炼烟气收尘及通用工程常用数据卷,分述铜、镍(含钴回收)、铅、锌、铋、锡、锑、汞、金、银、铂族等金属及伴生元素的各种工业提取工艺技术,收集并编入了为冶炼厂设计所需的技术数据、设备、材料与通用设施和常用数据等资料。本《手册》是重有色金属冶炼厂设计的专用书,是重有色冶炼技术人员与干部必备的参考书。由于全书涉及的范围较广并具有基础技术性质,因而也可供其他冶金化工、机械、核工业、建材、轻工等专业人员参考,供科研、教学参考。本《手册》对于乡镇企业具有普及、提高与指导的意义。

本《手册》资料来自实践经验总结,因此,实用性强,可供重有色金属冶金工艺的初步设计与部分技术设计之用。

本《手册》以国内资料为主,国外资料一般作为参照对比,部分可作为设计参考;对于国内没有而国外已成熟的工艺,根据情况,扼要介绍,并为设计采用更先进的技术奠定基础,提供依据。

本《手册》中各金属的生产工艺部分,是按生产工序为单元进行编写的。通常在每单元中包括:概述、原料、熔(药)剂与燃料,技术操作条件选择,产物,技术经济指标,主要设备选择、配置参考图。《手册》中编入的国外工艺部分,因资料所限,不在此列。

主要工序的冶金计算分篇汇编在一起,作为计算举例供读者参照使用。

与重有色金属冶炼工艺相关的选冶联合流程以及某些选冶不可分割的工艺,其选矿部分也列入本手册。

本《手册》采用我国法定计量单位。

本《手册》中凡与国家规定的条例、规范有抵触者,应按国家规定执行。

1978~1979年出版的《铜铅锌冶炼设计参考资料》,是由参加本书编写的四个院与一些科研、院校、工厂合作编写的。在此次编写的《重有色金属冶炼设计手册》中,部分地采用了前者的资料。在此向原书编者致意。

本《手册》是在改革开放形势下编写的,在编写工作中得到了一些工厂的大力支持,特致谢意。但由于资料收集的困难,资料的局限性、片面性在所难免。此外,受参加编写人员水平所限,不当之处,尚祈广大读者、专家、学者不吝赐教,给予指正。

《重有色金属冶炼设计手册》编辑部

1994年4月

目 录

锡 冶 炼

1 锡精矿炼前处理

- 1.1 锡精矿流态化焙烧 (5)
- 1.2 锡精矿回转窑焙烧 (15)
- 1.3 锡精矿、锡焙砂的浸出... (23)

2 锡精矿反射炉熔炼

- 2.1 锡精矿反射炉间断熔炼
..... (27)
- 2.2 锡精矿反射炉连续熔炼
..... (47)
- 2.3 主要设备选择 (50)
- 2.4 配置参考图 (58)

3 锡精矿电炉熔炼

- 3.1 炉料 (65)
- 3.2 技术操作条件选择 (67)
- 3.3 产物 (69)
- 3.4 主要技术经济指标 (71)
- 3.5 主要设备选择 (72)
- 3.6 电炉熔炼其它含锡物料
..... (80)
- 3.7 配置参考图 (82)
- 3.8 国外电炉炼锡简介 (82)

4 锡中矿回转窑高温氯化挥发焙烧

- 4.1 大混料及混捏磨矿 (89)
- 4.2 制粒及湿球干燥 (93)
- 4.3 回转窑氯化挥发焙烧 ... (100)
- 4.4 锡、铅富集物的处理..... (105)
- 4.5 湿式收尘溶液的处理 ... (109)
- 4.6 氯化钙的回收 (115)

5 锡炉渣及锡中矿的处理

- 5.1 锡炉渣烟化炉硫化挥发
..... (118)
- 5.2 锡中矿烟化炉硫化挥发
..... (134)
- 5.3 锡炉渣反射炉熔炼 (141)

6 粗锡精炼

- 6.1 粗锡火法精炼 (146)
- 6.2 锡、铅粗合金真空蒸馏
..... (157)
- 6.3 粗锡电解精炼 (171)
- 6.4 锡铅粗合金电解精炼 ... (184)
- 6.5 高铈粗锡电解精炼 (189)

7 中间产物处理及有价金属的回收

- 7.1 白砷的火法回收 (191)
- 7.2 白砷的湿法回收 (195)
- 7.3 从硫渣中回收锡、铜..... (201)
- 7.4 从烟尘中回收锡、锌、镉... (203)
- 7.5 从炉渣中回收钽、铌、钨... (206)
- 7.6 粗锡及锡铅粗合金电解的
阳极泥处理 (211)
- 7.7 炼锡中间产物的短窑处理
..... (217)

8 锡冶炼冶金计算实例

- 8.1 流态化焙烧冶金计算 ... (221)
- 8.2 锡焙砂浸出冶金计算 ... (227)

- 8.3 反射炉还原熔炼冶金计算
..... (230)
- 8.4 烟化炉硫化挥发冶金计算
..... (236)
- 8.5 氯化挥发焙烧冶金计算
..... (245)
- 8.6 粗锡火法精炼冶金计算
..... (250)
- 8.7 锡铅粗合金真空蒸馏物料
平衡实例 (252)
- 8.8 粗锡电解精炼金属平衡实例
..... (253)
- 8.9 白砷火法回收的主要金属
平衡实例 (254)

参考文献

锑 冶 炼

1 火法炼锑

- 1.1 直井炉挥发焙烧 (258)
- 1.2 鼓风炉挥发熔炼 (267)
- 1.3 反射炉还原熔炼与精炼... (284)
- 1.4 铅锑复合精矿的火法冶炼
..... (296)
- 1.5 砷碱渣处理 (308)
- 1.6 从炼锑鼓风炉熔渣和含金
高铅锑氧中富集金 (313)

2 火法炼锑冶金计算

- 2.1 鼓风炉挥发熔炼冶金计算
..... (318)

- 2.2 反射炉还原熔炼与精炼冶
金计算 (328)

3 锑品生产

- 3.1 生锑生产 (337)
- 3.2 锑白生产 (340)
- 3.3 锑盐生产 (348)

4 湿法炼锑

- 4.1 锑精矿的浸出 (351)
- 4.2 锑的电解沉积 (354)
- 4.3 废电解液的处理和净化
..... (361)

参考文献

汞 冶 炼

1 高炉炼汞

- 1.1 概述 (368)
- 1.2 炉料与燃料 (368)
- 1.3 技术操作条件 (369)
- 1.4 产物 (370)
- 1.5 主要技术经济指标 (372)
- 1.6 主要设备选择 (373)
- 1.7 配置参考图 (383)

2 电热回转蒸馏炉炼汞

- 2.1 概述 (385)
- 2.2 原料与燃料 (385)
- 2.3 技术操作条件 (387)
- 2.4 产物 (388)
- 2.5 主要技术经济指标 (389)
- 2.6 主要设备选择 (390)
- 2.7 车间配置参考图 (393)

3 流态化焙烧炉炼汞

- 3.1 概述 (398)
- 3.2 炉料与燃料 (398)
- 3.3 技术操作条件选择 (400)

- 3.4 产物 (405)
- 3.5 主要技术经济指标 (407)
- 3.6 主要设备选择 (408)
- 3.7 车间配置参考图 (419)

4 粗汞精炼

- 4.1 概述 (423)
- 4.2 原料 (423)
- 4.3 技术操作条件 (423)
- 4.4 产物 (425)
- 4.5 粗汞精炼的主要技术经济指标 (426)
- 4.6 主要设备选择 (426)
- 4.7 车间配置参考图 (429)

5 冶金计算

- 5.1 高炉炼汞冶金计算 (431)
- 5.2 电热蒸馏炉炼汞冶金计算
..... (435)
- 5.3 流态化焙烧炉炼汞冶金计算
..... (439)

参考文献

贵 金 属 冶 炼

1 常规氰化法提金

- 1.1 氰化浸出原料的制备和预处理 (448)
- 1.2 常规氰化法(C. C. D) ... (491)
- 1.3 常规氰化厂生产实例 ... (515)

2 炭浆法提金

- 2.1 氰化浸出前的准备作业
..... (523)
- 2.2 浸出与炭吸附 (523)
- 2.3 载金炭解吸与电积 (526)
- 2.4 炭再生 (528)

2.5	炭浆厂主要设备选择计算	(529)
2.6	生产实例	(543)
3	树脂矿浆法提金	
3.1	离子交换树脂	(551)
3.2	吸附流程	(553)
3.3	金回收	(554)
3.4	树脂再生	(555)
3.5	生产实例	(556)
4	堆浸法提金	
4.1	堆浸工艺	(563)
4.2	堆浸后氧化物的处理	(570)
4.3	堆浸设计参数与主要工艺 计算	(570)
4.4	投资与成本	(573)
4.5	国内外堆浸实例	(573)
5	含氰废水处理	
5.1	含氰废水处理	(590)
5.2	辅助设施、药剂制备及输送	(593)
5.3	含氰废水处理实例	(595)
6	硫金精矿硫酸化焙烧	
6.1	备料	(596)
6.2	技术操作条件选择	(599)
6.3	产物	(604)
6.4	主要技术经济指标	(605)
6.5	主要设备选择	(607)
6.6	配置参考图	(611)
6.7	冶金计算	(614)
7	硫金精矿焙砂的处理与提金	
7.1	焙砂酸浸脱铜锌	(621)

7.2	盐浸脱铅	(624)
7.3	酸浸液处理	(625)
7.4	盐浸液处理	(626)
7.5	盐水蒸发	(627)
7.6	氰化浸出与沉金	(630)
7.7	主要设备选择计算	(632)
7.8	金泥提炼	(634)
7.9	金属平衡实例	(638)
8	从贵锑中提金	
8.1	贵锑吹炼	(641)
8.2	贵锑电解	(644)
8.3	高铅贵锑电解	(646)
8.4	阳极泥处理	(646)
9	铜铅阳极泥处理的传统流程	
9.1	铜阳极泥硫酸化焙烧与蒸硒	(649)
9.2	酸浸脱铜	(654)
9.3	贵铅炉还原熔炼	(656)
9.4	分银炉氧化精炼	(661)
9.5	银电解精炼	(664)
9.6	金电解精炼	(672)
9.7	铂钯提取	(677)
9.8	粗硒精制	(681)
9.9	碲的提取	(691)
9.10	配置说明	(698)
10	铜阳极泥处理的湿法流程	
10.1	铜阳极泥处理的湿法流程 实例	(703)
10.2	焙烧	(710)
10.3	铜镍提取	(714)
10.4	脱碲铅	(718)
10.5	提金	(721)
10.6	提银	(724)

10.7	配置说明及参考图·····	(727)	14.6	铜镍合金处理工艺的改进 ·····	(781)
10.8	冶金计算·····	(730)			
11	铜阳极泥处理的选冶联合流程		15	铂族金属的分离和提纯	
11.1	阳极泥预处理·····	(748)	15.1	蒸馏铼钨·····	(786)
11.2	浮选·····	(750)	15.2	铼钨精炼·····	(787)
11.3	熔炼·····	(751)	15.3	铂钯金与铑铱的分离···	(788)
11.4	国外生产实例·····	(752)	15.4	铂、钯、金的分离与精炼 ·····	(788)
12	铅阳极泥处理的湿法流程		15.5	铑、铱的分离与精炼···	(788)
12.1	湿法处理铅阳极泥流程 综述·····	(755)	15.6	铂族金属精矿分离与精 炼的技术经济指标·····	(790)
12.2	浸出·····	(758)	16	从硫化镍电解阳极泥中生产铂族金属 精矿	
12.3	富银渣还原熔炼·····	(765)	16.1	热滤脱硫·····	(792)
12.4	国外生产实例·····	(766)	16.2	熔铸电解·····	(792)
13	杂铜阳极泥处理		16.3	二次阳极泥的脱硫焙烧 及稀硫酸浸出·····	(793)
13.1	酸浸脱铜·····	(770)	16.4	水溶液氯化及溶液处理 ·····	(794)
13.2	脱铜渣氟化·····	(772)	17	从废旧物料中回收金银	
14	从二次铜镍合金中生产铂族金属精矿		17.1	金的回收·····	(797)
14.1	盐酸浸出镍·····	(776)	17.2	银的回收·····	(813)
14.2	控制电位氯化浸出·····	(778)			
14.3	浓硫酸浸煮·····	(780)			
14.4	四氯乙烯脱硫·····	(781)			
14.5	技术经济指标·····	(781)			

参考文献

锡 冶 炼

A 锡生产概述

锡是古老的金属。早在公元前约4000年,人类就炼制成锡和铜的合金——青铜皿,炼制成纯锡的时间约在公元前600年。锡又是稀少的金属,在地壳中含量平均仅为1~2ppm,但因锡矿床分布集中,局部地带或地段比较富集,故给开采和冶炼带来方便。

世界锡资源主要集中于环太平洋东西两岸的发展中国家,已探明的锡储量约1014万t。

我国锡资源已探明的储量有292万t,约占世界总储量的四分之一,被公认为产锡大国之一。

目前,锡的消费主要集中在工业化国家,这些国家的消费量约占世界总消费量的70%。锡生产与使用之间的矛盾非常突出,产锡大国用量很少,而产锡少的国家用量却很大。如马来西亚,20世纪70年代中期锡产量最高时曾达8.44万t/a,近年有所下降,到1991年仅为5.04万t/a,而用锡量尚不足其产量的1%。消费锡大国的美国和日本,近年的锡产量分别约为0.4万t/a和0.12万t/a,但消费量却高达3.5~4.5万t/a和3~3.5万t/a,各自的产量仅为其消费量的1/10和1/30。

多年来,锡总消耗量变化不大,每年约20~24万t。主要用于制造镀锡板(约40%)、焊锡(约25%)、轴承合金(约10%),其次用于制造锡化合物、金属镀面,锡泊、软管,也用于印刷及医药等行业。

我国炼锡的历史悠久,是世界上最早生产锡和使用锡的国家之一,最早的炼锡炉为粘土竖坑炉,以木炭为燃料,作业简单。经过长期生产实践,研究创新,冶炼工艺不断进步,我国的炼锡工业已经发展成为技术先进、工艺齐全,并有独创和向国外出售专利技术、装备的冶金部门。

B 锡冶炼方法综述

世界上已发现的含锡矿物有二十多种,其中有氯化物、硫化物、硫酸盐、硅酸盐、硼酸盐、钽铌酸

盐和天然含锡合金等,但在地球岩石圈中,大多是以锡石状态存在。国内外公认,真正有价值的锡矿物,几乎仅锡石一种(SnO_2),迄今由锡石及其变种为原料产出的锡约占世界总产量的99%以上,因此还原熔炼自然成为炼锡的主要方法。

锡还原熔炼目前仍大量采用“两段熔炼法”,其原因是锡精矿常含有铁,且因 FeO 及 SnO 的还原性质相近,还原熔炼过程中锡和铁存在以下比例关系,即

$$\frac{\alpha_{\text{Fe}}(\text{粗锡中铁的活度})}{\alpha_{\text{Sn}}(\text{粗锡中锡的活度})} = 0.025 \frac{\text{FeO}\%(\text{渣中FeO}\%)}{\text{SnO}\%(\text{渣中SnO}\%)}$$

故不可避免的有一部分铁被还原,一部分锡留在渣中。因此,设法减少粗锡中的铁,又尽可能降低炉渣含锡,便成为锡冶炼的关键。对此,长期以来采取的办法是将锡精矿分两步熔炼,即先在弱还原气氛下控制较低的温度还原,得到较纯的粗锡和含锡较高的富渣。然后将高锡富渣在更高的温度和更强的还原气氛下再还原,产出硬头和含锡较低的贫渣,硬头返回一次熔炼,此即“两段熔炼法”。对含Sn60~70%以上的精矿,不仅可得到较纯的锡(含Fe低于1%),也可得到98~99%的高回收率。如原料锡低铁高,此法将造成锡铁在过程中大量循环。

近年来,由于原矿品位逐年降低,易选矿石逐渐减少,为提高资源利用率,许多国家大量产出锡品位较低(40~50%)、铁含量较高(10%以上)的锡精矿。锡铁在过程中循环已成为两段熔炼法的沉重负担,为了彻底摆脱锡铁分离的困难,国内外广泛应用富渣硫化挥发法代替富渣的还原熔炼。

目前,各国按不同的资源和生产条件,生产出锡品位高低不同的精矿或中矿,冶炼工艺也根据处理的原料做了相应的调整。形成以下三种冶炼方法。

两段熔炼法:此法适于处理含铁低的高品位(Sn60%以上)锡精矿。其优点是工艺流程简单、投资较少、能获得很高的回收率(98~99%)。不足之处是对原料含铁要求比较严格。

还原熔炼——硫化挥发法：此法适于处理含铁较高（Fe20~30%）、含锡中等（Sn40~50%）的锡精矿。此法是先将精矿在较弱的还原气氛和较低的温度下还原熔炼，得到相对较纯的粗锡和含锡较高的富渣，然后将富渣进行硫化挥发，得到含锡较低的（Sn0.1%以下）贫渣和含锡很高（Sn45~50%）的烟尘。高锡烟尘再返回还原熔炼。此工艺优点是弃渣含锡低（Sn<0.1%），对含锡40~50%品位的精矿，仍可达到97~98%的回收率。缺点是生产设施复杂，加工费用高。

硫化挥发——还原熔炼法：此法适于处理低品位（Sn30%以下）锡精矿及（Sn3~10%）的锡中矿。该法是先将中矿进行硫化挥发，使锡铁彻底分离，产出富锡烟尘和弃渣。富锡烟尘再进行还原熔炼产出粗锡和含锡高的富渣，此富渣再返回硫化挥发。此法能在过程的最初阶段，将铁分离除去，彻底消除铁在过程中的循环，其优点是可以处理含铁很高（Fe40~50%）的原料，给难选资源的利用创造了条件。缺点是加工费用高、投资大。

C 锡熔炼设备

锡还原熔炼的设备迄今变化不大，仍然是以反射炉为主，其产锡量约占世界总产量的85%，其次为电炉，以及少数短窑和个别鼓风炉等。

（一）反射炉

反射炉从19世纪初设置蓄热室以来发展迅速，接着又增设余热锅炉、水管冷却炉底以及悬挂式炉顶等技术，不断更新改进，现已发展成为炼锡的主要设备。其主要优点是：（1）符合各种炼锡原料（包括精矿、锡烟尘、精炼渣等）的粒度性质，适于处理细粒级的物料；（2）可以使用固液气态的燃料；（3）炉内气氛容易控制等。缺点是热效率和炉床能率较低。

（二）电炉

电炉炼锡始于19世纪30年代，现已在许多国家如日本、中国、前苏联、巴西、加拿大、泰国、玻利维亚、法国、南非等广泛使用。其优点是：（1）能获得较高的温度，可熔炼难熔的物料。（2）烟气量少。（3）热效率较高。（4）炉床能率高，可达2.5~3t/(m²·d)。缺点是：（1）耗电量大。（2）过程为强还原气氛，不宜处理高铁物料。一般认为电炉熔炼的原料中含铁量不宜超过5%，最好不超过2~3%。

（三）短窑

短窑最初是德国杜依斯堡炼锡厂用于熔炼烟尘的设备，后津巴布韦万基炼锡厂开始用在精矿熔炼，60年代出现了一个发展小高峰，在印度尼西亚佩尔蒂姆厂、玻利维亚奥鲁罗炼锡厂相继建立了几台短窑，当时甚受炼锡业瞩目。但由于投产后在工艺和操作中遇到一些麻烦，未能推广，至今仍处于停滞状态。

短窑的主要缺点是：（1）炉子内衬损耗快，需用昂贵的耐火材料——铬铁砖（用硅铁砖其寿命仅4个月）。（2）炉温和气氛不易控制，不易达到炼渣所需的高温 and 还原强度，故终渣含锡较高。（3）锡的挥发大、直收率低，加大了收尘系统的负担。但短窑炼锡的优点也比较突出：（1）炉子可以转动，物料混合较好，简化了炼前炉料准备和熔炼操作。（2）因窑内衬是交替加热，耐火材料吸收的热量容易传到炉料，熔体温差小，熔炼反应速度快。

（四）鼓风炉

鼓风炉是有色冶金工业的老设备，近年已渐被新工艺、新技术所取代。它本身虽然具有投资少、建设快、炉床能率大、过程连续等优点，但也有较大的缺点：（1）须块矿入炉，而锡精矿基本是细粒物料，因而增加备料工作的麻烦。（2）须用昂贵的冶金焦，冶炼费用较大。

D 粗锡精炼综述

粗锡精炼有火法精炼和电解精炼两种。长期以来国内外主要采用火法精炼，其产量约占世界精锡总产量的90%。火法精炼作业包括：熔析和凝析除铁、砷，加硫除铜，加铝除砷、锑，加氯化铵或氢氧化钠除铝，加氧化亚锡除铅，加钙镁或钙钠除铋等。各工厂根据粗锡中杂质情况选择其中适当的作业工序。此外，国外还探索了加锰合金除砷、加铬除砷、加钠除砷、锑法等，但目前均处于研究阶段。

由于世界各国的粗锡含杂质不同，以及生产条件和操作习惯的差异，精炼工序选择差别较大，如马来西亚巴生炼锡厂的粗锡含杂质较少，精炼作业的工序也少，仅用凝析除铁便可得到99.9%的精锡。而前苏联、玻利维亚以及我国的粗锡因含杂质较多，几乎使用了全部精炼作业。

近年来由于电热螺旋结晶机，离心过滤除铁、砷，真空蒸馏除铅、铋等先进技术的应用，使火法精

炼过程大为简化,提高了精炼直收率。火法精炼的优点是:(1)生产能力大,作业周期短。(2)不同杂质分别富集于各自作业的精炼渣中,回收方便。主要缺点是工序多,金属直收率较低。

电解精炼在世界范围内约占精锡总产量的10%。到目前为止采用电解精炼的国家有:中国、前苏联、日本、美国等。电解精炼的主要优点是:一次作业便可除去全部杂质,可获得很纯的精锡(可达99.99%),这是火法精炼不易达到的。主要缺点是锡在生产中积压量多,投资也较大。

当粗锡杂质多,特别是粗锡中银、铋、铊含量较多,或对精锡质量要求较高时,电解精炼仍有明显的优势。

E 展望

展望未来,由于锡资源的长期开采,矿石品位日趋下降,难选程度不断增加,为了提高资源利用率,预料多种形式的选冶联合工艺将受到重视,从而中等品位(Sn40~50%)和低品位(Sn3~30%)的锡精(中)矿将更多地进入锡冶炼厂,这必将促进处理方法的进步和发展。

目前,各国低品位锡精(中)矿的处理和研究方法主要有三类:(1)湿法冶金,即将锡转化成可溶锡加以回收。(2)氯化焙烧,使锡挥发回收。(3)硫化挥发,使锡成为硫化物挥发与杂质分离。

当前湿法冶金投入的人力物力不大,还处于研究阶段。氯化焙烧也为数不多,仅在我国使用,尚未普及。只有硫化挥发法应用较广,其工艺经过长期实践比较成熟。预计烟化炉、旋涡炉硫化挥发的工艺和设备将有更大的完善和发展。我国新研制的回转窑硫化挥发工艺已初步取得较好指标,在原料适宜时也可能在众多硫化挥发设备中一展风采。

今后将积极研究硫化挥发能源消耗大和低浓度SO₂等问题,预计强化熔炼和余热回收,以及烟气治理的实用技术会得到创新和发展。

此外,由于原料中杂质不断升高,炼前处理将受到注意,当硫、砷、铋、铊、铈等含量较多时,炼前采用适当工艺处理将是有益的。

锡原料中的“杂质”多数是伴生的有价金属,如铜、铅、锌、镉、铋、铊、铈等,它们必将随中低品位的锡精(中)矿大量进入厂内,给冶炼造成困难,也带来机遇。因此,原料的综合利用,变“杂”为宝,补偿因锡品位降低而增大的消耗,提高企业经济效益,必将受到重视。如美国得克萨斯炼锡厂,原料锡品位很低(Sn12.62~29.34%),同时含有铜、铅、锌、铋、铁、砷、铋、硫、银、钨等“杂质”,此种原料经过该厂精心处理,在产出锡产品的同时,伴生金属也得到了综合回收,还原冶炼的炉渣制成渣棉出售,除硫、砷外无废料抛弃,从而大大改善经济效益。