



国外优秀科技著作出版专项基金资助

铜冶炼技术

EXTRACTIVE
METALLURGY
OF COPPER

【原著第四版】 fourth edition

[美] W.G. 达文波特 (W.G. DAVENPORT)

[美] M. 金 (M. KING)

[美] M. 施莱辛格 (M. SCHLESINGER)

[澳] A.K. 比斯瓦斯 (A.K. BISWAS)

杨吉春 董方 译

著

COPPER



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心



国外优秀科技著作出版专项基金资助

铜冶炼技术

EXTRACTIVE METALLURGY OF COPPER

【原著第四版】

[美] W.G.达文波特 (W.G.DAVENPORT)

[美] M.金 (M.KING)

[美] M.施莱辛格 (M.SCHLESINGER)

[澳] A.K.比斯瓦斯 (A.K.BISWAS)

杨吉春 董方 译

著



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

铜冶炼技术/[美]达文波特(Davenport, W. G.)等著;杨吉春,董方译.—北京:化学工业出版社,2006.4

书名原文:Extractive Metallurgy of Copper
ISBN 7-5025-8492-7

I. 铜… II. ①达…②杨…③董… III. 炼铜 IV. TF811

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第031203号

Extractive Metallurgy of Copper

ISBN 0-080-44029-0 978-0080440293, Fourth Edition/by W. G. Davenport, M. King, M. Schlesinger, A. K. Biswas

Copyright©2002 by Elsevier Science Ltd. All rights reserved.

Authorized simplified Chinese translation edition jointly published by Chemical Industry Press and Elsevier (Singapore) Ltd, 3 Killiney Road, # 08-01 Winsland House I, Singapore 239519.

981-259-420-5 978-981-259-420-4

Copyright©2006 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

Copyright©2006 by Chemical Industry Press.

This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体字翻译版由化学工业出版社与Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 在中国大陆境内合作出版。本书仅限在中国境内(不包括香港特别行政区及台湾地区)出版及标价销售。未经许可,不得盗印、出口,违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2006-1119

铜冶炼技术

(原著第四版)

[美]W. G. 达文波特 [美]M. 金 [美]M. 施莱辛格 [澳]A. K. 比斯瓦斯 著

杨吉春 董方 译

责任编辑:丁尚林 陶艳玲

责任校对:洪雅妹

封面设计:潘峰

*

化学工业出版社 出版发行

材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)

购书咨询:(010) 64982530

(010) 64918013

购书传真:(010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 14 字数 364千字

2006年6月第1版 2006年6月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8492-7

定价:35.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

译者的话

本书译自 W. G. Davenport、M. J. King、M. E. Schlesinger 和 A. K. Biswas 合著，由帕加马（Pergamon）出版社出版的“Extractive Metallurgy of Copper”（第四版）。

全书着重讨论了铜的闪速熔炼、浸入式风口熔炼、氧枪熔炼和连续吹炼工艺等火法冶金，堆浸、溶剂萃取等湿法冶金以及转炉、电炉精炼、电解精炼和电解沉积等铜精炼方面的最新进展，全面系统地介绍了各种铜提取冶金的生产方法和操作、生产数据以及各种工序和工艺的成本核算、废铜和硫的回收利用、炼铜工业环境保护方面的内容，反映了 21 世纪世界铜冶炼的生产技术现状和发展趋势。

该书翻译出版的目的在于帮助我国广大有色冶金工作者了解国外炼铜生产的主要工艺、生产操作和设备以及生产技术现状和最新研究成果，对我国有色金属工业的科研和生产借鉴外国经验、促进有色冶金工业发展具有积极意义。

本书第 1~13 章由杨吉春翻译，第 14~23 章由董方翻译，同时张芳、王艺慈等老师参加了部分翻译，在此表示感谢。

由于译者水平有限，书中难免有错误和不当之处，在此恳请读者批评指正。

译者

2006 年 3 月 10 日

第一版前言

本书描述了从铜矿石中提炼铜的工艺过程。开篇讲述铜矿石和铜矿物，结束篇讲述电子工业使用的高品位铜的浇铸和质量控制。对从返回废铜中回收铜的工艺也进行了讨论。

本书的主要目标是能描述当今铜的提取冶金并讨论（定量和定性地）应用每一个特定工艺的原因。这些描述和讨论提出来，为我们未来开发铜冶金方法指出了方向。当我们考虑未来发展和详细讨论每一个工艺过程时，空气和水污染的控制非常重要。此外，也详细讨论了每一个工艺的能量需求问题。书中很多地方涉及到了成本并在最后一章中进行了深入讨论。

本书针对非专业读者，从介绍主要铜冶金工艺的概况开始。接着以分段的形式讲述铜冶金过程，从矿物的选矿开始，分别讨论焙烧、熔炼、吹炼、精炼、浇铸和质量控制。在电解精炼之前也介绍了湿法冶金学及相关的工艺过程，因此也能一起讨论电解沉积和电解精炼方法，同时也对每种方法的最终产品进行比较。

每一章的篇幅尽可能与所描述的过程的相对重要性相当，如铜的鼓风炉熔炼就给出了一个相当概况性的描述，因为它是一个过时的工艺。而像连续炼铜和溶剂萃取法这样较新的工艺则进行了大量的论述，因为这些工艺假设在不久的将来是非常重要的。

有关单位，本书全部采用十进制，对标准国际单位体系唯一比较大的例外是能量单位采用 cal 和 kW · h 表示。书中主要的单位是 t（书中始终写成 tonnes），kg 和 m。单位换算表在附录 I 给出。书中也有部分章节会出现一些热力学知识，特别是涉及到平衡常数的问题时尤其如此。由于把热力学方法的一些简单知识应用于冶金过程，读者可以直接看 O. Kubaschewski E. L. Evans 和 C. B. Alcock 编著的《冶金热化学》，该书是这一丛书中出版较早的一卷。

该书的原文后附了四个附录，包括单位和单位换算关系、化学计算数据、热焓和自由能数据以及电解高韧高强铜性质的汇总。

铜是人类使用的最漂亮和最有用的材料之一。我们最大的欣慰就是能描述和讨论获得铜的方法。我们两所大学和国家的炼铜工业有很长的合作关系，通过这本书的出版，希望这种合作关系继续长久下去。

A. K. Biswas, 昆士兰大学

W. G. Davenport, 麦吉尔大学

第二版前言

本书主要讲述第一版以后最新的操作数据和工艺类型。印刷上的错误已经得到修正，同时对几个段落进行了重新编写以避免误解。由于大多数新数据直接来自生产厂家，所以增加的新参考文献很少。为了收集最近的出版信息，读者可直接看一些好的研讨会专刊：《铜提取冶金学》（卷 I 和卷 II）（由 Yannopoulos, J. C. 和 Agarwal, J. C. 编著，A. I. M. E.，纽约，1976），《铜和镍的转炉冶炼》（Johnson, R. E.，A. I. M. E.，纽约，1979）和每年刊登在金属杂志上的炼铜工艺和提取冶金技术回顾文章（A. I. M. E.，纽约）。这版书的很多新信息，工业界的工程师和科学家们毫无保留地提供给了我们，为我们排忧解难。我们特别对国际镍业公司的 Jan Matousek，奥托昆普的 Keith Murden 和加拿大铜精炼厂的 John Schloen 的帮助表示感谢。

A. K. Biswas

W. G. Davenport

1979 年 9 月

第三版前言

本书记录了过去 20 年中铜冶炼技术发生的变化。其主要变化是反射炉熔炼法的缩减、闪速熔炼法的持续增长以及溶剂萃取法/电解沉积法的显著增加。在电解精炼法和电解沉积法中，不锈钢阴极的使用也得到很大发展。

本版对 SO_2 收集和硫酸生产等工业技术增长领域给予了特别关注，如 SO_2 收集和硫酸制备方面的技术。 SO_2 的收集已被日趋重视，已很少有冶炼厂将 SO_2 排入大气。

最近有一些关于炼铜的重要书籍出版，即《Copper91/Cobre91》[帕加马 (Pergamon) 出版，纽约 (4 卷)] 和《铜、镍和钴提取冶金学》[TMS, Warrendale, 宾夕法尼亚 (2 卷)]。有关吹炼、火法精炼和铸造方面的内容列入 1994 年出版的 TMS，并将在 1995 年的 Cobre95/Copper95 会议上发表。读者可直接查阅以获取最新信息。

在此，衷心感谢炼铜工业的同仁为本书出版所作的巨大努力。他们一直为我们解决问题，帮助我们深入工厂参观，参与优化提取方面的严格讨论。我们特别要感谢的是 Brian Felske 和他的同事们，David Jones (美国马格纳铜业公司) 和 Eric Partelpoeg (美国弗尔普斯·道奇矿业公司)。在他们的帮助下，本书才得以出版。

本稿由 Patricia Davenport 和 Margaret Davenport 整理和校对，在此对他们坚持不懈的努力、娴熟的技能以及对工作的执著热情表示深深的谢意。

第四版前言

本书包含了比以往版本更多的工业信息，所有数据由工业界同事和同仁提供，在此对他们多年来的帮助与支持表示诚挚的感谢。

本版的主要参考刊物是 Copper99/Cobre99 [TMS, Warrendale, PA (6 卷)]。关于其近期的修订，建议读者参阅 2003 年 11 月 30 日在智利首都圣地亚哥举行的 Copper03/Cobre03 会议内容 (www.cu2003.cl)。

Margaret Davenport 女士与对待先前的版本一样，认真阅读了我们的手稿。从事了 27 年的审阅工作，她比作者更加博识。

献 辞

在此，我们对 Anil Biswas 的辞世表示沉痛的悼念，他是我们的朋友、同事、灵感之源。作为先前版本的合著者之一，Anil 在澳大利亚昆士兰大学矿冶工程系工作。

Anil 关于本书的目标是：

- 1) 记述如何从矿石和废料中提取铜；
- 2) 说明如何进行高效提取。

我们为能继续他的工作而深感自豪。

W. G. Davenport, 英国剑桥大学

M. J. King, 美国亚利桑那大学

M. E. Schlesinger, 美国密苏里罗拉大学

2002 年 3 月 31 日

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 引言	1
1.2 从铜铁硫化矿中提取铜	1
1.2.1 浮选富集法	4
1.2.2 造锍熔炼	5
1.2.3 吹炼	6
1.2.4 直接铜熔炼	9
1.2.5 粗铜火法精炼和电解精炼	9
1.3 湿法冶金提取铜	11
1.3.1 铜溶剂萃取	11
1.3.2 电解沉积	12
1.4 熔炼和浇铸阴极铜	13
1.4.1 铜产品的类型	13
1.5 回收废铜和铜合金	13
1.6 总结	15
推荐读物	15
参考文献	15
第 2 章 生产与应用	17
2.1 铜矿分布	18
2.2 铜冶炼厂的分布	20
2.3 铜矿石和临界品位	28
2.4 铜的价格	28
2.5 总结	28
参考文献	29
第 3 章 铜矿的选矿	31
3.1 选矿流程	31

3.2 破碎和磨矿	31
3.2.1 破碎步骤	35
3.2.2 爆破	36
3.2.3 破碎	36
3.2.4 研磨	37
3.3 浮选加入料的颗粒尺寸	37
3.3.1 操作和控制	39
3.3.2 颗粒尺寸控制	40
3.3.3 矿石生产控制	41
3.4 泡沫浮选	41
3.4.1 捕获剂	43
3.4.2 浮选的选择性	43
3.4.3 差别浮选——变性剂	44
3.4.4 起泡剂	45
3.5 Cu 矿的特定浮选工艺	46
3.6 浮选槽	49
3.6.1 非机械式浮选槽	49
3.7 传感器操作和控制	51
3.7.1 浮选过程的连续化学分析	52
3.8 浮选产品	52
3.8.1 尾矿	52
3.9 其他的浮选分离	53
3.9.1 铜精矿中辉铜矿的浮选	53
3.10 总结	53
推荐读物	54
参考文献	54
第 4 章 冰铜熔炼原理	57
4.1 熔炼的目的	57
4.2 冰铜和渣	59
4.2.1 渣	59
4.2.2 冰铜	64
4.3 冰铜熔炼期间的反应	65

4.4	熔炼工艺：总则	66
4.5	熔炼产品：冰铜、渣和烟气	68
4.5.1	冰铜	68
4.5.2	渣	69
4.5.3	烟气	69
4.6	总结	70
	推荐读物	71
	参考文献	71
第5章	闪速熔炼——奥托昆普工艺	73
5.1	奥托昆普闪速炉	74
5.1.1	结构参数	75
5.1.2	水冷套	75
5.1.3	精矿燃烧室	75
5.1.4	附加碳氢燃料的燃烧室	77
5.1.5	出铜口和出渣口	77
5.2	外围设备	77
5.2.1	精矿配料系统	78
5.2.2	固体加入料干燥器	78
5.2.3	料斗及加料系统	79
5.2.4	氧气车间	79
5.2.5	热风炉（可选）	80
5.2.6	余热锅炉	80
5.2.7	粉尘的回收	80
5.3	闪速炉操作	81
5.3.1	开炉和停炉	83
5.3.2	稳定操作	84
5.4	控制	84
5.4.1	精矿的输入速率和冰铜品位的控制	85
5.4.2	渣的成分控制	86
5.4.3	温度控制	86
5.4.4	反应室和炉膛的控制	86
5.5	杂质的去向	87

5.5.1 无法回收粉尘中的杂质	88
5.5.2 控制杂质的其他工业方法	88
5.6 未来的发展趋势	88
5.7 总结	89
推荐读物	89
参考文献	90
第6章 Inco 公司闪速熔炼	93
6.1 闪速炉参数	94
6.1.1 精矿燃烧室	94
6.1.2 水冷	94
6.1.3 出铜口和出渣口	95
6.1.4 气体上升烟道	96
6.2 辅助设备	96
6.2.1 固体料加料干燥机	96
6.2.2 精矿燃烧室加料系统	97
6.2.3 烟气冷却和粉尘回收系统	97
6.3 操作	97
6.3.1 稳定的操作和控制	98
6.4 控制策略	98
6.4.1 干料加入速度的控制	98
6.4.2 冰铜品位的控制	99
6.4.3 渣的成分控制	100
6.4.4 温度的控制	100
6.4.5 控制结果	101
6.4.6 磁铁矿挂渣护炉	101
6.5 渣中铜和转炉熔渣的回收	101
6.6 Inco 公司与奥托昆普闪速熔炼的比较	103
6.7 总结	103
参考文献	104
第7章 诺兰达和特尼恩特熔炼	105
7.1 诺兰达工艺	107

7.2	反应机制	108
7.2.1	精矿从风口处的喷射	108
7.2.2	冰铜和渣的分离	109
7.2.3	杂质的分布	109
7.2.4	废铜和沉淀物的熔炼	110
7.3	操作和控制	110
7.3.1	控制	111
7.4	生产率的提高	112
7.5	诺兰达熔炼炉	112
7.6	特尼恩特熔炼	113
7.6.1	冰铜种子	113
7.7	工艺说明	115
7.8	操作	115
7.9	控制	116
7.9.1	温度的控制	116
7.9.2	渣和冰铜的成分控制	117
7.9.3	冰铜和渣层厚度控制	117
7.9.4	炉壳温度	117
7.10	杂质的分布	117
7.11	特尼恩特熔炼的发展趋势	118
7.12	讨论	118
7.12.1	超高品位的冰铜和 SO ₂ 的收集效率	118
7.12.2	炉龄和热风炉维护	119
7.12.3	炉体冷却	119
7.12.4	烟气余热回收	119
7.13	总结	119
	推荐读物	120
	参考文献	120
第 8 章	Ausmelt/Isasmelt 冰铜熔炼	123
8.1	基本操作	125
8.2	原材料	126
8.3	Isasmelt 炉及喷枪	126

8.4	熔炼机理	129
8.4.1	杂质去除	129
8.5	开炉与停炉	129
8.6	新建项目	130
8.7	采用 Ausmelt/Isasmelt 技术的其他炼铜工艺	131
8.8	总结	132
	推荐读物	132
	参考文献	133
第9章 冰铜的间歇吹炼		135
9.1	化学反应	137
9.1.1	炼铜反应	138
9.1.2	吹炼期间杂质的去除	140
9.2	工业 Peirce-Smith 吹炼操作	141
9.2.1	风口和烟气收集	143
9.2.2	温度控制	144
9.2.3	温度选择	145
9.2.4	温度测量	145
9.2.5	渣和造渣剂的控制	145
9.2.6	成渣速率	146
9.2.7	终点确定	146
9.3	Peirce-Smith 转炉的富氧鼓风	147
9.4	转炉最大生产率	148
9.4.1	提高固体料熔化速率	149
9.4.2	转炉中的精矿熔炼	149
9.4.3	提高炉子寿命	150
9.5	封闭式鼓风喷射-吹炼的最新进展	150
9.6	交替 Peirce-Smith 吹炼	152
9.6.1	Hoboken 转炉	153
9.7	总结	153
	推荐读物	154
	参考文献	154

第 10 章 连续吹炼	159
10.1 连续吹炼的共同特点	159
10.1.1 连续吹炼过程中杂质的特性	160
10.1.2 避免起泡	160
10.1.3 连续吹炼冰铜品位的选择	161
10.2 三菱顶吹转炉连续吹炼（可参考第 13 章）	161
10.2.1 三菱转炉介绍	161
10.2.2 反应机理	164
10.2.3 工业生产详细情况	164
10.2.4 铁酸钙渣	165
10.2.5 三菱转炉吹炼总结	165
10.3 固态冰铜的奥托昆普闪速熔炼	166
10.3.1 化学反应	168
10.3.2 铁酸钙渣的选择	168
10.3.3 无冰铜层	169
10.3.4 生产率	169
10.3.5 闪速吹炼总结	169
10.4 浸入式风口诺兰达连续吹炼	170
10.4.1 工业诺兰达转炉	170
10.4.2 化学反应	171
10.4.3 反应机理	171
10.4.4 硅酸盐渣	171
10.4.5 控制参数	173
10.4.6 诺兰达转炉吹炼总结	173
10.5 渣中铜含量	173
10.6 总结	174
推荐读物	175
参考文献	175
第 11 章 渣中铜的损失	177
11.1 渣中的铜	177
11.2 减少渣中铜的措施 I：减少渣的生成	179

11.3	减少渣中铜的措施Ⅱ：减少渣中铜的百分比	180
11.4	减少渣中铜的措施Ⅲ：火法冶金渣的沉降和还原	180
11.5	减少渣中铜的措施Ⅳ：渣料的加工处理	184
11.6	总结	186
	推荐读物	187
	参考文献	187
第 12 章	铜的直接闪速熔炼	191
12.1	直接炼铜的理想工艺	191
12.2	直接炼铜的工业单炉	192
12.3	化学反应	194
12.4	工业生产参数	195
12.5	工业控制	195
12.5.1	目标：消除冰铜层以避免渣泡沫化	196
12.5.2	无冰铜层造成渣含铜高的原因	196
12.6	渣中含铜量：与传统的冰铜熔炼和吹炼做比较	197
12.6.1	用电炉回收铜	197
12.7	直接炼铜渣中铜的限制	198
12.8	直接炼铜的杂质	198
12.9	总结	199
	推荐读物	200
	参考文献	200
第 13 章	三菱连续熔炼和吹炼	203
13.1	三菱工艺	203
13.2	熔炼炉参数	208
13.3	电渣洗炉参数	210
13.4	吹炼炉参数	210
13.4.1	吹炼炉渣	211
13.4.2	吹炼炉中的铜	211
13.5	三菱工艺的发展近况	212
13.6	三菱熔炼的反应机理	213