

铜提取冶金

(澳)A.K.比士瓦士(加拿大)W.G.达文波特 著
昆明工学院冶金系有色金属冶炼教研组 译

TONG TIQU YEJIN

冶金工业出版社

铜 提 取 冶 金

〔澳〕 A.K.比 士 瓦 士

著

〔加拿大〕 W.G.达文波特

昆明工学院冶金系有色金属冶炼教研组 译

 冶 金 工 业 出 版 社

本书译自英国培加蒙出版社1976年出版的A.K.Biswas、W.G.Davenport 合著《Extractive Metallurgy of Copper》一书。本书全面论述了现代炼铜技术，基本上反映了国外七十年代铜提取冶金的技术水平。书中系统讨论了铜冶金各个过程的基本理论、设备和工艺，并给出有关文献。本书可供高等学校冶金专业教学使用，有色冶金生产、科研和设计单位的技术人员、干部和工人均可参考。

参加本书翻译工作的有张天禄（第一、二、十、十一章），蒋祖昭（第三、四、六、七、八章），陶恒昌（第五章），艾荣衡（第九章），廖伦诗（第十四章），查治楷（第十二、十三、十五、十六、十七、十八、十九章），全书由查治楷总校。

铜 提 取 冶 金

〔澳〕A.K.比士瓦士 著
〔加拿大〕W.G.达文波特

昆明工学院冶金系有色金属冶炼教研组 译

*

冶 金 工 业 出 版 社 出 版

（北京灯市口74号）

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

冶 金 工 业 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

*

850×1168 1/32 印张 11 5/8 字数 303 千字

1980年3月第一版 1980年3月第一次印刷

印数00,001~3,000册

统一书号：15062·3538 定价1.60元

前 言

本书论述从铜矿石中提取铜的过程，从矿石及矿物开始，直到电解铜的浇铸及质量控制为止。同时也讨论了从返回的废料中回收铜的方法。

本书的主要目的是评述当前所用的铜的提取冶金方法，并对使用每一特定方法的原因作了定性及定量的讨论。由这些讨论及评述而获得了铜提取冶金将来会如何发展的启示。当论及将来的发展时，空气及水的污染控制问题极为重要，这些问题都将在每个过程中详细讨论。此外，还详细分析了每个过程的能量需要。全书注意了生产费用的问题，在最后一章中进行了更深入的讨论。

本书从主要的铜提取过程的概述开始（针对一般读者），然后以分步骤的方式讨论铜的提取，从矿物的选矿起，进而至于焙烧，熔炼，吹炼，精炼，浇铸及质量控制。湿法冶金及其有关过程在电解精炼之前介绍，以便一起讨论电解精炼和电积，并比较每个方法的最终产品。最后两章无连贯性，系讨论硫的污染和经济问题。

每章的篇幅尽量与所述方法的重要性相适应。例如铜的鼓风炉熔炼，由于是一个日趋没落的方法，只作了简短的叙述；而诸如连续熔炼及溶剂萃取等新技术，预计在不久的将来可能具有相当的重要性，故给予了较大的篇幅。

关于单位问题：本书全部采用公制，唯一和国际标准单位系统不同的是，能量以千卡及千瓦-小时表示。本书主要单位用公吨（书中常写为吨），公斤及米。附录 I 中有换算表。

本书的某些部分介绍了热力学知识，特别是平衡常数方面。读者如需要冶金所用的热力学方法的简明知识，可参考库巴雪夫斯基等人所著的《冶金热化学》（O. Kubaschewski 等：Metallur-

gical Thermochemistry) 一书, 这是本丛书*中早已问世的一本书。

本书在书末列了四个附录: 单位及换算因数; 化学计量数据; 焓及自由能数据; 电解韧性铜的性能摘要。

铜是人类最有用的材料之一。得以评述及讨论铜的制取方法, 我们深感欣慰。我们这两所大学和我们国家的铜工业之间有过长期协作, 希望通过此书而使协作继续下去。

A.K.Biswas 澳大利亚昆士兰大学

W.G.Davenport 加拿大麦克吉尔大学

* 这是指培加蒙出版社 (Pergamon Press) 出版的《材料科学和工艺学》国际丛书 (International Series on Materials Science and Technology)。《冶金热化学》及本书 (为该丛书的第20卷) 都属于这套丛书之列。(译注)

目 录

前言

第一章 概述.....	1
1.1 导言	1
1.2 从硫化矿石提取铜	3
1.3 从氧化矿石提取铜	14
1.4 铜的熔化和浇铸	16
1.5 各式提铜方法	16
1.6 本章归纳	17
第二章 生产统计, 矿石, 选矿.....	18
2.1 铜的统计	18
2.2 铜矿石的选矿	29
2.3 碎矿	30
2.4 浮选	39
2.5 铜矿石的特殊浮选法	44
2.6 浮选产品	47
2.7 浮选实践的改进	48
2.8 本章归纳	52
第三章 铜精矿的焙烧.....	53
3.1 反射熔炼前焙烧	55
3.2 浸出前焙烧	56
3.3 焙烧的化学	56
3.4 焙烧温度的选择	59
3.5 焙烧动力学	60
3.6 焙烧炉和焙烧方法	61
3.7 本章归纳	67
第四章 冰铜熔炼.....	68

4.1	冰铜熔炼的物理化学	70
4.2	冰铜的形成、结构和特性	71
4.3	炉渣的形成、结构和特性	74
4.4	熔炼的评价标准：冰铜与炉渣的分离	76
4.5	冰铜熔炼中的磁性氧化铁	81
4.6	熔炼时其它金属的行为	81
4.7	本章归纳	82
第五章	鼓风炉熔炼冰铜.....	83
5.1	过程叙述	85
5.2	鼓风炉内的反应	86
5.3	鼓风炉熔炼新近的发展	87
5.4	本章归纳	89
附录	TORCO法（离析法）	90
第六章	反射炉熔炼冰铜.....	93
6.1	过程叙述	93
6.2	构造细节	98
6.3	燃烧，温度，热平衡	100
6.4	生产率	104
6.5	加料方法	106
6.6	反射炉渣	108
6.7	磁性氧化铁的形成与炉膛控制	109
6.8	反射熔炼新近的发展	111
6.9	本章归纳	113
第七章	电炉熔炼冰铜.....	114
7.1	电炉熔炼的优点及缺点	116
7.2	过程叙述	118
7.3	构造细节	118
7.4	电气系统	119
7.5	冰铜和炉渣的导电性，功率自动控制	122
7.6	功率输入，生产率，温度控制	123

7.7	能量需要及费用	124
7.8	炉渣和炉床控制	126
7.9	本章归纳	126
第八章	闪速炉熔炼冰铜.....	127
8.1	优点及缺点	132
8.2	INCO氧气闪速熔炼法.....	133
8.3	奥托昆普闪速熔炼法	134
8.4	闪速熔炼的热平衡	135
8.5	INCO法与奥托昆普法的比较.....	138
8.6	闪速熔炼的计算机控制	139
8.7	闪速熔炼的未来	141
8.8	闪速熔炼中氧气的利用	142
8.9	本章归纳	143
第九章	冰铜吹炼.....	145
9.1	吹炼过程的阶段性	147
9.2	转炉中磁性氧化铁的形成	151
9.3	工业吹炼作业	152
9.4	铜吹炼新近的发展	158
9.5	本章归纳	164
第十章	渣中铜损失.....	165
10.1	铜损失问题的重要性.....	166
10.2	熔炼炉渣中的铜损失.....	166
10.3	闪速炉渣的处理.....	170
10.4	转炉渣的处理.....	170
10.5	本章归纳.....	173
第十一章	泡铜的连续生产：一步法及多步法.....	176
11.1	一步法.....	177
11.2	诺兰达法.....	182
11.3	沃克拉法.....	186
11.4	三菱法.....	188

11.5	连续炼铜法的比较	194
11.6	本章归纳	195
第十二章	阳极制备：除硫和除氧	197
12.1	阳极制备的工业方法	198
12.2	火法精炼的化学	200
12.3	脱氧碳氢化合物的选择	202
12.4	阳极浇铸	203
12.5	本章归纳	205
第十三章	湿法提铜：导言和浸出	207
13.1	浸出：矿石和药剂	209
13.2	浸出过程的化学	210
13.3	硫化物的细菌浸出	211
13.4	浸出方法	213
13.5	浸出方法的讨论	220
13.6	本章归纳	220
第十四章	从稀浸出液中回收铜：置换沉淀和溶剂萃取	221
14.1	置换沉淀法	221
14.2	溶剂萃取法	227
14.3	浓浸出液的溶剂萃取	239
14.4	本章归纳	239
第十五章	铜的电解精炼	240
15.1	铜电解精炼原理	241
15.2	电解精炼时阳极杂质的行为	242
15.3	工业电解车间设备	244
15.4	电解车间作业	249
15.5	电解精炼过程的控制	250
15.6	电解液	251
15.7	电解液的净化	252
15.8	电解液的有机添加剂	253
15.9	电流密度和生产率	254

15.10	电流效率, 电压, 电能需要	256
15.11	电解精炼新近的发展	257
15.12	本章归纳	261
第十六章	铜的电积	262
16.1	电积反应	262
16.2	槽电压和电能耗	265
16.3	阴极电流效率: 起干扰的铁反应	266
16.4	阴极纯度: 电解液杂质的行为	267
16.5	电积车间生产实践	268
16.6	溶剂萃取电解液的特殊问题	269
16.7	电积实践新近的改进	270
16.8	本章归纳	270
第十七章	熔化和浇铸; 质量控制; 从废铜料回收铜	272
17.1	阴极铜的熔化及浇铸	273
17.2	熔化工艺	274
17.3	铸成加工型材	279
17.4	连续浇铸	280
17.5	南方电线连续铜条 (SCR) 和哈惹勒特 连续铜条系统	288
17.6	最终铜产品的质量控制	290
17.7	从废铜料回收铜	295
17.8	低级废铜料的熔炼和精炼	296
17.9	本章归纳	299
第十八章	硫的问题和可能的解决方法	300
18.1	SO ₂ 的固定	301
18.2	炼厂气体中的SO ₂ 浓度	306
18.3	湿法冶金中硫问题的解决途径	308
18.4	讨论及本章归纳	311
第十九章	提取铜的费用	313
19.1	总投资费用: 从采矿到精炼	314

19.2 总的直接操作费用：从采矿到精炼.....	317
19.3 总的生产费用；销售价格；利润.....	318
19.4 选矿费用.....	319
19.5 熔炼费用.....	320
19.6 电解精炼费用.....	324
19.7 湿法冶金费用.....	325
19.8 讨论及本章归纳.....	327
附录.....	328
I .单位及换算因数	328
II .化学计量数据	329
III .热力学数据	330
IV .电解韧性铜的性能	338
推荐读物与参考文献.....	340

第一章 概 述

1.1 导 言

铜在地壳中主要以硫化矿物的形式存在，如黄铜矿
硫化矿石 ($1/2 \sim 2\% \text{Cu}$)

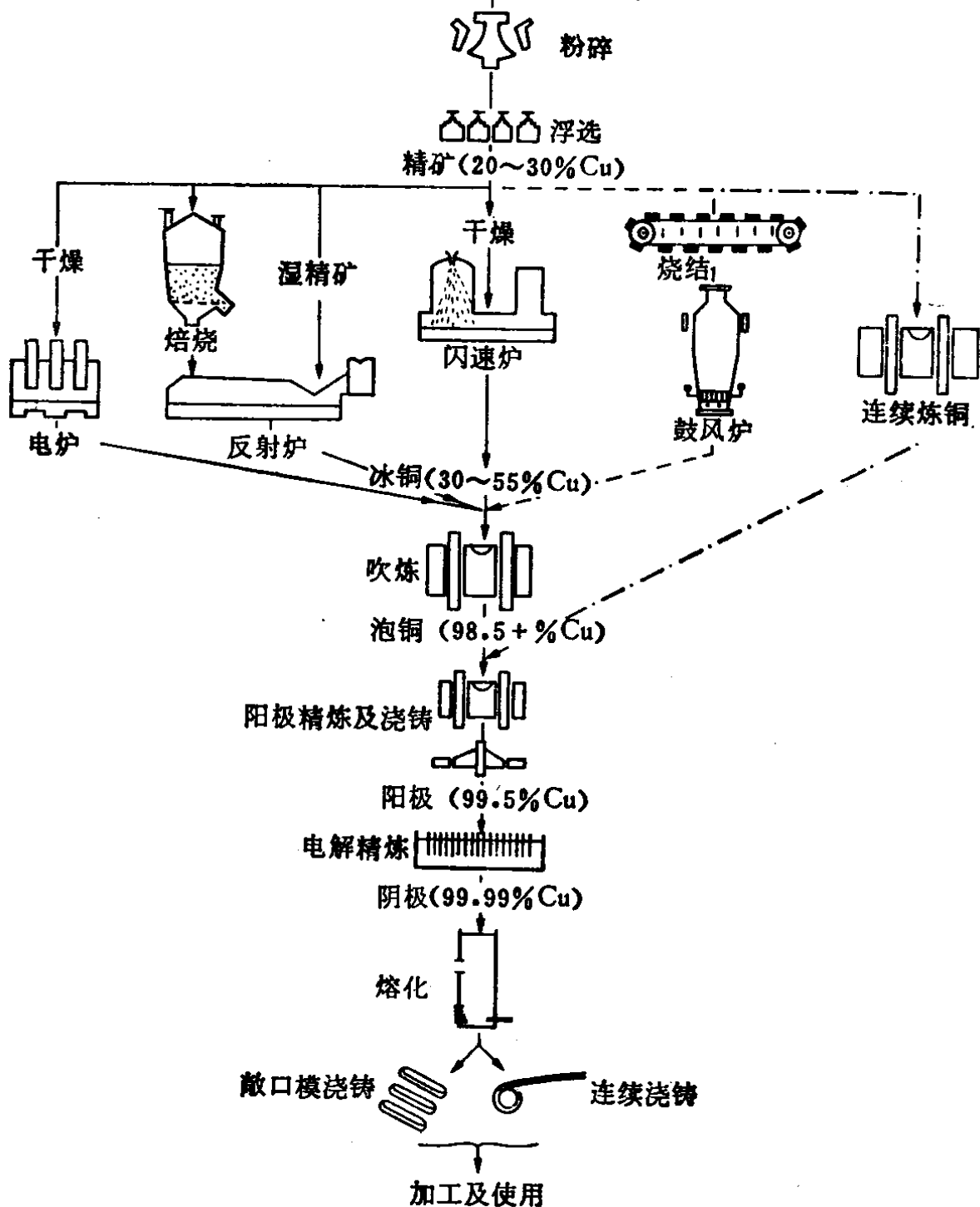


图 1.1 从硫化矿石提取铜的主要过程
并行线表示另行的方法 (-----较少用的; -·-·-·-在发展中的)

(CuFeS_2)，斑铜矿(Cu_5FeS_4)及辉铜矿(Cu_2S)。这些矿物在矿体中的含量是低的，典型的铜矿石含铜从0.5%(露天采矿)变动到1~2%(地下采矿)。从这些矿石提取纯铜的过程如图1.1所示。

铜也以氧化矿物的形式存在，如碳酸盐、氧化物、硅酸盐、硫酸盐，但较少。含这类矿物的矿石通常用如图1.2所示的湿法冶金处理。

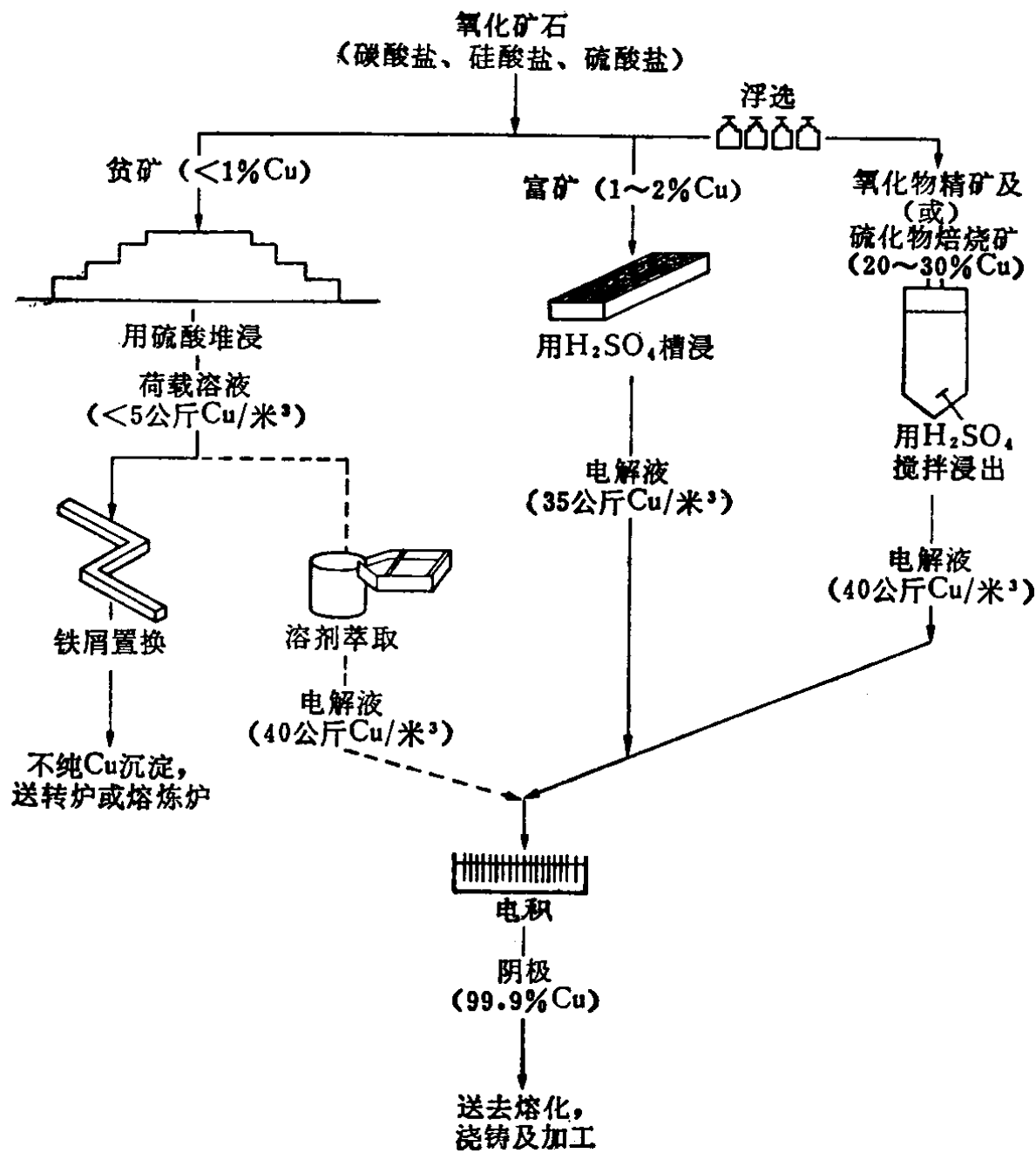


图 1.2 从氧化矿石提取铜的主要过程
(-----较少，但应用日增)

在本章中我们将介绍从矿石提取铜的主要过程，并对铜提取

的工业流程中每个过程的相对重要性进行简短论述。

1.2 从硫化矿石提取铜

世界上原生铜约90%是从硫化矿炼出的。硫化矿难于用湿法处理（即不易浸取），故大多数提铜工艺都是从铜精矿开始的火法冶金。提取过程包括下列四个步骤：

- (a) 浮选富集；
- (b) 焙烧(这个步骤是可供遴选的)；
- (c) 冰铜^①熔炼（在鼓风炉，反射炉，电炉或闪速炉中进行）；
- (d) 吹炼冰铜成泡铜。

新近的发展是将（b）、（c）及（d）合并在一个连续过程中进行，这种方法的某些构型已达到工业阶段。

上述过程的最终产品是不纯的泡铜，需进行火法精炼和电解精炼之后，才适于加工及使用。本章先简要介绍上述过程最重要的方面，在以后各章中还将详细讨论每个过程。

1.2.1 浮选富集（第二章）

现今采出的铜矿石含铜太贫（ $\approx 1\% \text{Cu}$ ），不能直接熔炼。加热及熔化大量无用的物料需要大量燃料。幸好，矿石中的铜矿物能够用物理方法富集成为可以经济熔炼的精矿。

最有效的富集方法是泡沫浮选法，使铜矿物优先附着在空气泡上，并通过细磨矿石的矿浆而上升。为了实现选择浮选，乃加入能使铜矿物疏水（亲空气）的药剂，而脉石则保持亲水状态。浮起的矿物保留在浮选槽顶部稳定的泡沫中，用机械方法括出，即为精矿。典型的铜精矿含20~30%Cu。

①Matte指一或几种金属硫化物的熔合体，旧译为铇，读音与硫同，易混，现改译为冰铇。Copper matte译为铜冰铇，即冰铜。此外，尚有镍冰铇，铜镍冰铇，铅冰铇等。（译注）

浮选前要将矿石破碎并磨成细粉。由于使用了浮选法而致熔炼方法已从鼓风炉向膛式炉转变，因为前者只能熔炼块状炉料。

1.2.2 焙烧（第三章）

焙烧包括将浮选精矿的硫化物部分氧化并以 SO_2 的形式部分脱硫。使精矿和空气在膛式炉或硫化床焙烧炉中保持 $500\sim 700^\circ\text{C}$ 温度，在良好控制的条件下进行反应。焙烧产物叫焙砂，是氧化物、硫化物及硫酸盐的混合物，其成分可通过控制焙烧温度及空气-精矿比而改变。焙烧过程通常是自热进行的。产出富含 SO_2 （ $5\sim 15$ 体积%）的炉气，适于以硫酸或元素硫的形态回收其中的硫。

焙烧主要用于反射熔炼厂，其主要目的是利用焙烧反应放出的热量使反射炉炉料干燥和加热。熔炼热焙砂所需要的热量比熔炼冷的，湿的精矿为少，故经过焙烧可以大大节约燃料和增大熔炼速率。焙烧还可提高熔炼产出的 $\text{Cu}_2\text{S}\cdot\text{FeS}$ 冰铜的品位，这是减少吹炼物料量（脱除Fe及S）的一个因素。

1.2.3 冰铜熔炼（第四章）

冰铜熔炼的目的是形成一个包含炉料中全部铜的液体硫化物相（冰铜）和一个不含铜的液体炉渣相。冰铜随后吹炼（氧化）成不纯的泡铜，熔炼炉渣则直接废弃或回收铜后弃去。

熔炼是在 1200°C 左右将全部炉料与加入的石英熔剂一起熔化。氧化硅、氧化铝、氧化钙、氧化铁及其它少量氧化物形成熔融炉渣；铜、硫、未氧化的铁及贵金属形成冰铜。炉渣比冰铜轻，与冰铜不相混溶，易于分别放出。

冰铜熔炼的主要目的是产出含铜尽可能低的废渣。为此，应使炉渣的 SiO_2 含量接近于饱和（这样可促进炉渣与冰铜的互不混溶性），保持较高的炉温使炉渣熔化并流动良好，并避免过度的氧化条件。最后这个条件是减少固态 Fe_3O_4 （熔点 1597°C ）形成所必要的， Fe_3O_4 会使熔渣粘稠，妨碍冰铜从炉渣中分离出来。

熔炼过程大多数是在反射炉内进行的。鼓风炉在某些地区仍在使用，特别是在还有块状铜矿供应的地区。在电力便宜的一些地区则使用电炉。很多新建的冶炼厂采用燃料消耗低的新方法——闪速熔炼法，此法利用焙烧反应热作为熔化的热源。现将这几种最常用的冶炼方法简述于下。

鼓风炉（第五章）

虽然产出高品位精矿的浮选方法的推广使用已使鼓风炉的应用日益减少，但在某些企业里（特别在日本和非洲）还有使用鼓风炉的。鼓风炉（图1.3）是炉料与炉气对流运动的设备。在炉中冷炉料垂直下降而热炉气则上升，炉气是从接近炉底处鼓入的空气燃烧焦炭和炉料中的硫化物而产出的。这种构型使炉料下降时受到非常有效的干燥、加热和熔化，而在炉底部形成冰铜和炉渣。

在鼓风炉中熔炼铜的硫化物料，需加块状冶金焦（烟煤裂化干馏而得）作为炉料的一部分（5~10%）。焦炭作为所需燃料的一部分，使炉料具有透气性并支承炉料。其它物料也必须是块状的，以便热炉气能通过炉料空隙而上升。当然，含铜物料必需是块状的原采矿石，或者是经过烧结或压团的精矿。

鼓风炉的产物是液态炉渣和冰铜，二者聚集到一定数量后定期放出。熔化所需的热量是由焦炭及硫的燃烧而产生的。如果过程需要附加热量时，可从风口喷入液态的（油）或气态的（天然气）燃料。

反射炉（第六章）

反射炉是一种膛式炉。由精矿、焙砂及熔剂组成的固体炉料与含铜的熔融转炉渣及烟尘一起，被掠过熔池的高温燃烧气体加热到1200~1250°C。典型的炉子如图1.4所示。炉子是由耐火材料（常为镁质或铬镁质的）砌筑的炉膛和位于其上的固定式炉拱（硅氧质）或悬挂式炉顶（镁氧质）所构成。在炉子的一端燃烧燃料（粉煤、柴油或天然气）产出炽热气体，掠过炉子以熔化炉料。

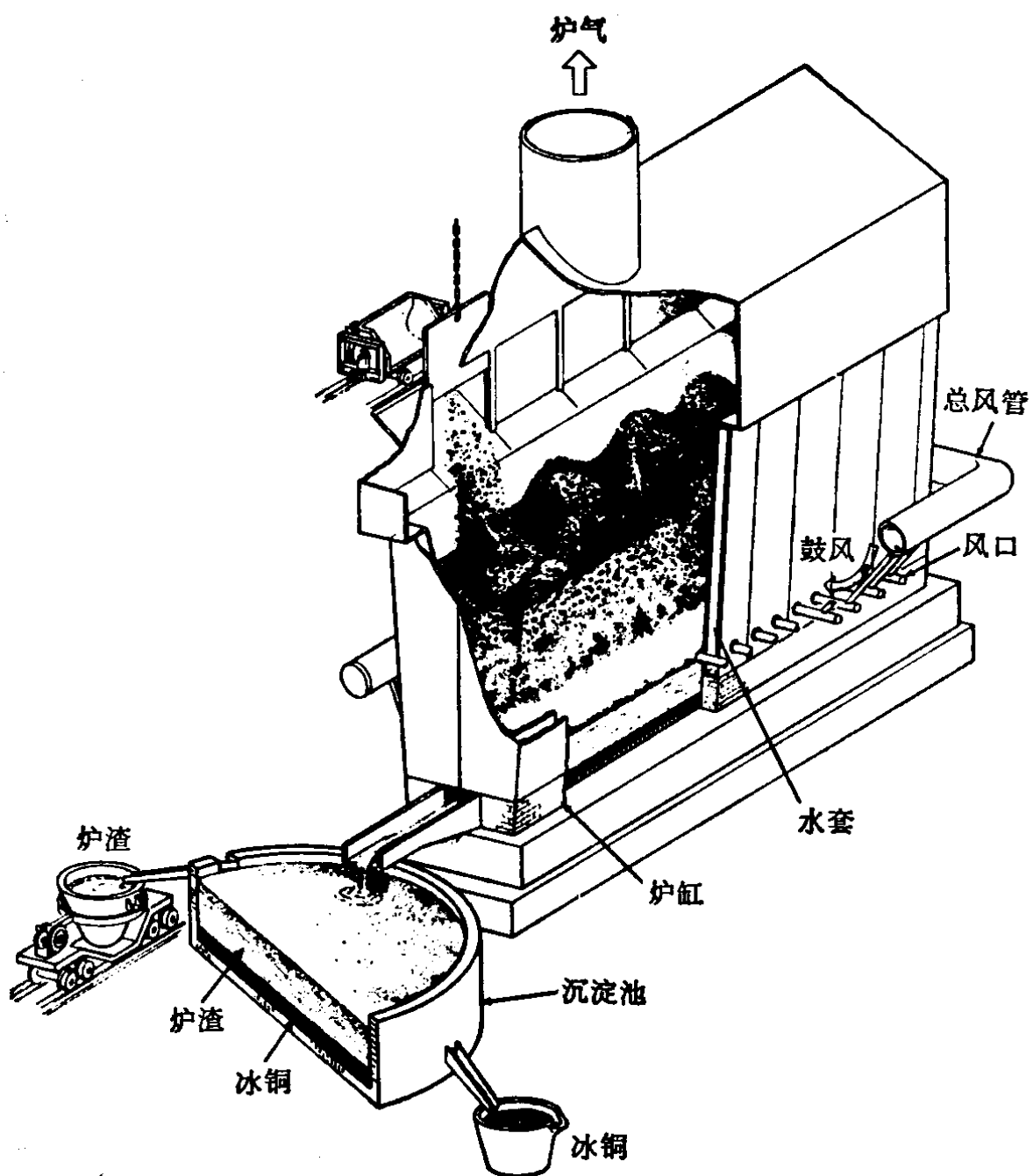


图 1.3 从硫化矿石生产冰铜的鼓风炉剖开图
(Boldt和Queneau, 1967)