

钱 鑫 张文彬 邓 彤 杨顺梁等 著

TONG DE  XUANKUANG

铜的选矿

冶金工业出版社

铜 的 选 矿

钱鑫 张文彬 邓彤 杨顺梁等 著

冶金工业出版社

铜 的 选 矿

钱鑫 张文彬 邓彤 杨顺梁等 著

(内部发行)

*

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17字数449千字

1982年3月第一版 1982年3月第一次印刷

印数00,001~1,300册

统一书号: 15062·3681 定价2.10元

前 言

为适应我国铜选矿工业发展的需要,在总结我国建国以来铜选矿生产和科研工作的经验和成果的基础上,我们编写了这本书,书中并适当介绍了国外铜选矿的发展现状和动向。

全书分为绪论、硫化铜矿的选矿、含铜多金属硫化矿的选矿、氧化铜矿的选矿、铜矿石的细菌浸出、炼铜炉渣的选别及国外铜的选矿现状等七章。书中详细叙述了各种类型含铜矿石和含铜物料的物质组成和选别特点、选矿方法和选矿工艺、基础理论和发展动向。并介绍了数十个铜选厂的生产实例,提供了较丰富的实践经验和重要的科研成果。

本书可供从事选矿生产、科研和设计工作的技术人员、工人和干部参考,也可作为大专院校有关专业的教学参考书。

本书由昆明工学院钱鑫、喻坚意;铜陵有色金属公司虞孝昭、苏家润;辽宁冶金研究所李润芳;东川矿务局张文彬、陈继斌;中条山有色金属公司邓彤;大冶有色金属公司杨顺梁;白银有色金属公司李浩良和红透山矿陈宝莲等同志共同编写。并由钱鑫、喻坚意、张文彬、邓彤、杨顺梁等同志对初稿进行了全面修改和整理。

在编写本书过程中,得到了有关院校、厂矿和科研单位的大力支持,为本书编写提供了大量的技术资料和宝贵的意见;在草拟本书编写大纲时杨德森教授、杨敖副教授做了大量工作,李启衡教授参加了本书的审核和修改工作,在此一并表示感谢。

编 者

一九七八年十一月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 铜的性质及用途	1
一、铜的性质	1
二、铜的用途	3
第二节 铜的矿物及矿床	4
一、铜矿物的种类及物理、化学性质	4
二、铜矿床的工业类型及其分布	5
三、世界铜矿资源	12
第三节 铜矿石的分类及其选别特点	14
一、铜矿石的分类	15
二、铜矿石的选别特点	16
三、供矿对选别结果的影响	18
第四节 冶炼对铜精矿质量的要求	18
一、铜精矿的冶炼	18
二、杂质对铜的影响	20
三、铜精矿的质量标准	21
第二章 硫化铜矿石的选矿	22
第一节 概述	22
一、硫化铜矿物的可浮性	22
二、影响硫化铜矿石浮选的因素	24
第二节 单一硫化铜矿石的浮选	26
一、单一硫化铜矿石的选别特点	26
二、单一硫化铜矿石的浮选工艺流程	27
三、单一硫化铜矿石浮选药剂制度	28
四、单一硫化铜矿石选矿实践	29
第三节 铜硫矿石的选矿	38
一、铜硫矿石的特点	38

二、黄铁矿的可浮性与铜-硫分离	40
三、铜硫矿石的浮选	42
四、铜硫矿石的选矿实践	45
第四节 铜硫铁矿石的选矿	55
一、矿石的物质组成及结构特点	55
二、选矿工艺和指标	56
三、铜硫铁矿石选矿实践	64
第五节 铜钴矿石的选矿	82
一、铜钴矿石中的常见钴矿物及其可浮性	82
二、铜钴矿石的选别方法和原则流程	83
三、铜钴分离和钴硫分离	86
四、选别铜钴矿石的新药剂	88
五、铜钴矿石选矿实践	91
第六节 铜钼矿石的选矿	105
一、钼的主要矿物及其可浮性	105
二、铜钼矿石的选别方法和流程	108
三、铜钼分离的方法	110
四、铜钼矿石浮选的强化	117
五、铜钼矿石选矿实践	119
第七节 铜镍矿石的选矿	127
一、铜镍矿石的物质组成及选矿方法	128
二、主要镍矿物的可浮性及铜镍矿石的浮选特点	129
三、铜镍矿石的浮选流程	130
四、铜镍的分离	132
五、提高选别指标的途径	136
六、铜镍矿石选矿实践	137
第三章 含铜多金属硫化矿的选矿	145
第一节 概述	145
一、含铜多金属硫化矿的特点及其综合回收的重要意义	145
二、含铜多金属硫化矿的分类及其选别特点	146
第二节 铜、锌多金属硫化矿的选别	147
一、铜锌多金属硫化矿的组成特点	148

二、铜锌多金属硫化矿的分选方法	149
三、铜锌多金属硫化矿的选别流程	160
四、铜锌多金属硫化矿的选矿实践	163
第三节 铜、铅、锌多金属硫化矿石的选别	185
一、铜、铅、锌多金属硫化矿的组成特点	185
二、铜、铅、锌多金属硫化矿的选别方法	186
三、铜铅混合精矿的分离	191
四、铜铅锌多金属硫化矿的选别实践	197
第四节 铜-金矿石的选别	219
一、铜-金矿石中金的赋存状态及其可浮性	220
二、铜-金矿石的选别方法及工艺流程	221
三、铜-金矿石的选矿实践	222
第五节 含铜复杂多金属硫化矿的选矿	235
一、含铜复杂多金属硫化矿石的组成	235
二、含铜复杂多金属硫化矿的选矿方法及其选别工艺流程	236
三、含铜复杂多金属硫化矿的选矿实践	238
第四章 氧化铜矿的选矿	248
第一节 概述	248
一、氧化铜矿的可选性	248
二、氧化铜矿的处理方法及其选择	250
第二节 氧化铜矿的直接浮选	252
一、氧化铜矿物和捕收剂的作用	252
二、氧化铜矿直接浮选实例	264
第三节 氧化铜矿硫化浮选	266
一、硫化浮选的理论基础	266
二、氧化铜矿硫化浮选工艺	281
三、氧化铜矿硫化浮选厂实例	308
第四节 氧化铜矿的离析法处理	326
一、概述	326
二、铜离析过程的机理	327
三、影响铜离析过程的主要因素	329
四、一段离析法和两段离析法的比较	332

五、国内离析法生产实践	333
六、国外两段离析法的生产实践	338
七、实现离析工业化应当重视的几个问题	342
第五节 氧化铜矿的氨浸法处理	342
一、概述	342
二、氨浸法提铜的基本原理	343
三、氧化铜矿氨浸法的生产实践	357
第六节 氧化铜矿的酸浸-沉淀-浮选	368
一、概述	368
二、酸浸-沉淀-浮选法的主要过程	369
三、试验和生产实例	370
第七节 氧化铜矿的浸出-萃取-电积法处理	373
一、概述	373
二、溶剂萃取的基本原理	374
三、原则流程	374
四、萃取剂	376
五、影响萃取过程的因素	378
六、国外采用溶剂萃取生产铜的概况	381
七、国内采用浸出-萃取-电积工艺的试验研究	383
八、应用范围及目前存在问题	389
第五章 铜矿石的细菌浸出	390
第一节 概述	390
第二节 细菌浸出的基本原理	391
一、纯化学反应浸出学说	391
二、细菌直接作用浸矿学说	392
第三节 细菌的培养	393
一、培养基的种类	393
二、培养方法	393
三、影响因素	395
第四节 浸矿	399
一、浸矿剂的配制	399
二、浸矿方式	399

三、布液方法	400
第五节 浸出液中铜的回收	402
一、铁置换法	402
二、化学沉淀法	406
三、生物化学沉淀法	406
四、溶剂萃取法	407
五、从溶液中直接电解铜法	407
第六节 细菌浸出试验研究及生产实践	408
一、安徽铜官山铜矿老采区细菌浸矿工业试验	408
二、湖南柏坊铜矿用细菌冶金处理含铜尾矿	410
第六章 炼铜炉渣的选别	414
第一节 概述	414
第二节 铜炉渣的物质组成及其对选矿的关系	416
一、铜炉渣的物质组成特点	416
二、影响铜炉渣物质组成的因素及其对选别的关系	417
第三节 铜炉渣的选别工艺	431
一、铜炉渣的可选性	431
二、铜炉渣的选别生产实践	434
第七章 国外铜的选矿现状	441
第一节 国外铜的选矿概况	441
一、设备大型化	441
二、选厂自动化	443
三、选矿联合流程的应用	448
四、氧化铜矿的处理	449
五、从尾矿、废渣、废水中回收铜	451
六、铜的选矿新技术及发展趋向	452
第二节 铜选矿药剂的研究与应用	457
一、捕收剂	457
二、起泡剂	464
三、抑制剂与调整剂	466
第三节 国外浮选机的发展及应用	470
一、浮选机的分类	471
二、国外浮选机简介	471

三、浮选机的发展趋势	487
第四节 国外铜选厂简介	489

第一章 绪 论

第一节 铜的性质及用途

一、铜的性质

铜属于门捷列夫周期系第一族元素，原子量为63.55，原子序数为29，原子内电子的分布： $1S^2$ 、 $2S^2$ 、 $2P^6$ 、 $3S^2$ 、 $3P^6$ 、 $3d^{10}$ 、 $4S^1$ 。原子价为正1价和正2价。

固体铜的结晶构造具有边长 $3.608\text{\AA}$ 的面心立方体晶格，原子半径为 $1.28\text{\AA}$ ，离子半径为 $0.96\text{\AA}$ 。

纯铜在 20°C 时比重为8.89。商品铜则因多孔及含有氧化亚铜和其它杂质，其比重往往不及此数。熔融铜的比重为8.22。

铜是一种相当柔软的金属，莫氏硬度为3度。

铸造铜或冷拉铜的抗张强度为 $42\sim 50$ 公斤/毫米²，经退火处理后则减低至 $21\sim 28$ 公斤/毫米²。

纯铜具有高度的延展性，容易锻压，可压延成百分之几毫米的薄片，也可拉成很细的铜丝。

铜的熔点为 1033°C ，熔化热为3110卡/克原子（或49卡/克），沸点通常为 2310°C 。

若将铜在空气中加热至 700°C ，始有明显的挥发现象，加热至接近于熔点，铜便挥发。但在普通熔炉中，铜很难挥发，所以铜在熔炼时因挥发而造成的损失不大。

铜的比热容在 20°C 时为0.0915卡/克，对于从 0°C 到 1033°C 之间各种温度的固体铜的克原子热容可用下列方程式计算：

$$C_p = 5.44 + 1.462 \times 10^{-3} T$$

液体铜的热容为7.5卡/K·克原子或0.108卡/K·克。

铜的导热率在银之下。若把银的导热率作为1，则铜的导热率等于0.736。导热率与铜本身的组织纯度和温度有关；经展延

处理的铜导热性较铸铜更良好，但杂质的存在及温度的增加可使导热率减低。

铜的线膨胀可按下列公式确定：

$$l_t = l_0 (1 + 1.67 \times 10^{-5} t + 3.8 \times 10^{-9} t^2 + 1.5 \times 10^{-12} t^3)$$

式中 l_t ——给定温度下的长度；

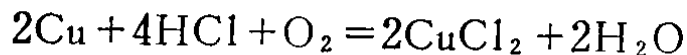
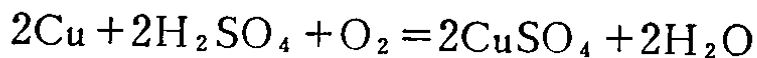
t ——温度，°C；

l_0 ——0°C时试样的长度。

纯铜是电的良导体，其导电率仅次于银，但远远超过所有其它金属。铜的导电率与其长短、粗细、组织、纯度及本身温度等都有关系。凡短、粗、晶粒大、品质纯且温度又低的铜件，其导电率最高，反之则低。微量的杂质，对于铜的导电率有决定性影响，砷和锑是精炼铜中常发现的杂质，对铜的导电率危害最大；0.0013%的As或0.0071%的Sb，可使铜的导电率降低1%。

虽然铜在干燥空气中不起变化，但有CO₂存在的湿空气中，其表面便形成一层具有毒的铜绿，成份是碱性碳酸铜[CuCO₃·Cu(OH)₂]。铜在空气中加热至185°C以上时，即开始氧化，并于200°C变为玫瑰色，300°C成黄铜色，350°C成蓝绿色，在350°C以上则显暗色。铜在赤热时会发生一层黑垢覆盖其上，垢的外部由黑色CuO组成，内部则为Cu₂O；此垢可借弯曲及淬火处理与铜分离。

在电位次序中，铜位于氢之后，不能从酸中将氢置换。盐酸及稀硫酸与铜不起作用；但有空气中的氧存在时，铜则溶解并生成相应的盐：



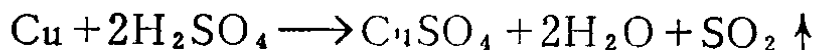
这个反应可假设分两个阶段进行。首先将铜氧化成氧化铜，氧化铜正如所有碱性氧化物一样，与盐酸作用而生成盐和水。在此情况下，甚至最弱的酸也能逐渐将铜溶解。

铜能与氧、硫、卤素等元素直接化合。在常温下作用缓慢，加热时剧烈。

铜与浓硝酸作用则放出二氧化氮：

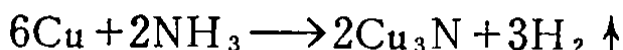


铜能与热的浓硫酸作用而放出 SO_2 ：



铜能溶于王水。

铜与氮不能直接作用，若将氨气通过红热的铜时，则生成氮化亚铜：



浓的碱金属氰化物溶液能使铜溶解并产生氢气：



二、铜的用途

铜是一种重要的有色金属，近几十年来铜的用途越来越广泛，在现代许多工业部门中，铜已经成为不可缺少的金属，它在应用上仅次于钢和铁。

由于铜具有许多宝贵的特性，也就决定了它的广泛用途。铜的导电率高，仅次于银，而铜的价格较银低廉。因此铜在电器、电子技术、电机制造等工业部门中应用最广，用量最大。铜的导电导热性能好，在金属中居第三位，仅次于银和金，其导热率为银的73%，因此常常用铜来制造加热器、冷凝器、热交换器等。铜的延展性能好，易于成型和加工，因此在飞机制造、船舶制造、汽车制造业等工业部门中多用来制造各种零部件。铜的耐蚀性较强，盐酸和稀硫酸与铜不起作用，因此在化学、制糖、酿酒工业中多用铜来制造真空器、蒸馏器、酿造锅、阀门、管道等。

铜能与锌、锡、铝、镍、铍等许多金属组成各种重要的合金。

铜与锌的合金（黄铜）以及铜与锡的合金（青铜）广泛地应用在各种工业部门，尤其是在机械制造工业中用来制造各种零部件，如轴瓦、活塞、阀门、油管、热交换器等等。

铜与铝可以各种比例组成合金。以铜为主的合金叫做铝青铜。铝青铜抗震性强，可用来制造需要强度及韧性的铸件。这种合金的另一优点是比黄铜或锡青铜要轻10~15%。

在铜和镍的合金中，最著名的合金是含镍67%含铜33%的蒙乃尔合金。此种合金以抗蚀性强著称，而且即使把它加热至高温，其强度仍可保持极大限度。因此，蒙乃尔合金比任何其它铜基合金或普通钢都更优良。这种合金主要用于阀、泵、高压蒸汽设备及其它许多器具的制造。

含铍的铜合金，其机械性能超过高级优质钢，有良好的导电性，广泛地用于制造各种部件，工具和无线电设备。

随着科学技术的发展，铜金属有许多新的用途，因而铜的消耗也随之增大，铜的生产日益增长。

第二节 铜的矿物及矿床

一、铜矿物的种类及物理、化学性质

天然产出的含铜化合物即铜矿物总计有200余种，各种矿物的工业价值及其分布状态各不相同，其中有许多种矿物不常发现，经常遇到的有工业价值的矿物大约有15种左右。由于铜具有强烈的亲硫性，从岩浆源到次生富集带的各种富集阶段，铜的硫化物占首要地位。世界上有工业价值的铜矿石中，在产量方面有80%的铜矿物是属于硫化物，而其中大半是辉铜矿，其余为黄铜矿、斑铜矿、黝铜矿和铜蓝。自然铜产量占10%。还有约5%为氧化物，如孔雀石、蓝铜矿、硅孔雀石、水胆矾、氯铜矿及其它。具有工业价值的铜矿物如表1-1所示。

自然铜除我国云南省外，其他各地均有发现。识别自然铜的标志是：铜红色、硬度低，有延展性。自然铜的产状为铜粒集聚成堆，与黄金的区别是自然铜溶于硝酸而黄金完全不溶。

在硫化矿物中，分布最广的铜矿物是黄铜矿，其中铜、铁、硫的含量差不多相等，即约各占矿物重量的 $\frac{1}{3}$ 。黄铜矿有似黄铜的黄色，具有金属光泽，硬度不大，易为小刀刻伤，如将矿石在釉瓷板上刻划，其条痕呈绿黑色。

其次分布很广的硫化铜矿是斑铜矿，它与黄铜矿不同之点是

铜的含量很高、铁与硫的含量较低、颜色复杂（从铜红色至暗蓝色）、其条痕为灰黑色。斑铜矿在含铜砂岩中特别常见。

辉铜矿为铜与硫的化合物，由于它不含铁，所以铜的含量几乎占矿物重量的4/5。某些矿石含铜量很高是与辉铜矿的存在有关。辉铜矿具有金属光泽，呈暗色或铅灰色，硬度不大，常见于铜矿床的上部氧化带。

在氧化铜矿中，孔雀石分布最广。它是铜与碳酸及水的化合物，呈翠绿色，有的为暗绿色，玻璃或丝绢光泽，淡绿色条痕。纤维或贝壳状构造是孔雀石的特征，在其断口或磨光面上显美丽的花纹，因此，大块的孔雀石可用来作为贵重的装饰品。

与孔雀石成分相似，并具有鲜蓝色至暗蓝色的矿物称为蓝铜矿（石青）。蓝铜矿亦常见于铜矿床的上部氧化带。

赤铜矿为铜的氧化物，比较少见，与其他氧化铜矿不同，赤铜矿为红色，硬度中等，金刚石光泽，樱桃红色条痕。

二、铜矿床的工业类型及其分布

铜矿石自然聚集的规模如果大到可以保证工业的开采，则称之为铜矿床。

铜矿床在成因上有内生的、外生的，内生矿床是铜的主要来源。在内生矿床中有岩浆矿床，岩浆期后矿床。

铜的外生矿床有次生富集形成的，也有沉积作用形成的。

世界上铜矿床的工业类型较多，分类方法也不一，结合我国情况，将主要铜矿床的工业类型分述如下：

斑岩型铜矿床（细脉浸染型铜矿） 此类矿床多半与酸性浅成岩的喷出有关，主要的岩石有：花岗斑岩，花岗闪长斑岩，正长斑岩，其中以花岗斑岩和凝灰岩为主，而其原岩为花岗岩，矿体即生在这些岩石中或生在这些变成的片岩中，也有的生在这些岩体的围岩中。

矿体是含有细脉状和浸染状硫化物的岩石，而主要产于次生石英岩中，故矿体没有一定的形状，和围岩也没有显著的界限。

斑岩型矿床储量大，埋藏较浅，适于露天开采，但原生矿品

主要铜矿物一览表

表 1-1

编 号	矿物类别	矿物名称	化 学 组 成	理 论 成 分, %					比 重	硬 度	光 与 颜 色	条 痕
				Cu	Fe	S	As	Sb				
1	自然铜	自然铜	Cu	100	—	—	—	—	8.5~8.9	2~3	铜 红 色	—
2	硫化物	辉铜矿	Cu ₂ S	79.8	—	20.2	—	—	5.5~5.8	2.5~3	铁黑具蓝纹	灰 黑
3	硫化物	铜 蓝	CuS	66.4	—	33.6	—	—	4.6	1~1.2	青蓝—灰	黑 黑
4	硫化物	斑铜矿	Cu ₃ FeS ₃	55.5	16.4	28.1	—	—	5.2	3	青铜色、深蓝	灰 黑色
5	硫化物	黄铜矿	CuFeS ₂	34.5	30.5	35.0	—	—	4.2	3.5~4	黄 铜 色	黑 黑
6	硫化物	黝铜矿	Cu ₃ SbS ₃	46.7	—	23.5	—	29.8	4.4~5.1	3~4	灰	黑 黑
7	硫化物	砷黝铜矿	Cu ₃ AsS ₃	52.7	—	26.6	20.7	—	4.37~4.49	3~4	钢 灰	灰 黑
8	氧化物	赤铜矿	Cu ₂ O	88.8	—	—	—	—	6	3.5~4	浅红—灰	樱桃红发光
9	氧化物	黑铜矿	CuO	79.9	—	—	—	—	6	3~4	黑	灰 黑
10	氧化物	蓝铜矿	2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	69.2	—	—	—	—	3.8	3.5~4	深 蓝	蓝
11	氧化物	孔雀石	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	57.5	—	—	—	—	4	3.5~4	翠 绿	淡 绿
12	氧化物	硅孔雀石	CuSiO ₃ ·2H ₂ O	36.2	—	—	—	—	2.1	2~4	绿	浅 白
13	氧化物	胆 矾	CuSO ₄ ·5H ₂ O	25.5	—	—	—	—	2.2	2.5	蓝	蓝
14	氧化物	水胆矾	CuSO ₄ ·3Cu(OH) ₂	26.2	—	—	—	—	3.9	3.5~4	绿 玉	绿
15	氧化物	氯铜矿	CuCl ₂ ·3Cu(OH) ₂	59.5	—	—	—	—	3.76	3~3.5	深 绿	浅 绿

位较低，一般为0.4~0.7%Cu。

此类矿床一般具有显著的次生富集带，深可达100米以上，主要矿物为辉铜矿，其含铜品位为1~1.5%。

伴生矿物为黄铁矿、闪锌矿、辉钼矿、铜-镍的综合矿石及金。

此类矿床很重要，占世界铜矿总储量的63.5%。苏联这类矿床很多，占苏联铜矿资源的50%，主要分布在哈萨克斯坦的科恩拉德。美国、智利和秘鲁这类矿床占各该国铜储量的80~90%。我国山西中条山、江西德兴、河北小寺沟等地均有分布。

层状铜矿床 层状铜矿是被含铜硫化物所矿化的沉积岩，主要是砂岩、并有页岩、石英岩、白云岩等。铜的硫化物就成为这些沉积岩的胶结物储存于岩石的孔隙空洞中，或置换原有的石灰质胶结物。或置换整个钙质岩石，矿体常呈似层状或透镜状与岩石层理一致。

围岩蚀变不显著，在碳酸盐类岩石中有些重结晶作用和硅化作用。

由于成矿作用的程度不同，几乎从致密矿石到浸染矿石的全部过渡情况都可以见到。

主要矿物成分有：黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、孔雀石、蓝铜矿、硅孔雀石、并见稀少的黝铜矿。

共生矿物有：方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、褐铁矿、赤铁矿、方解石、石英、重晶石。在原生矿石中，上列矿物的比例大致为：硫化矿3~15%，超过者甚少，其中斑铜矿和黄铜矿最多。岩石的成分为长石和石英。

矿体层数不定，有的一层，也有的到数层，厚的可达30米，品位较高，可达2~3%Cu。是铜矿重要的类型。

此类矿床在世界上分布最广，有苏联的哲兹卡兹干和非洲的赞比亚。我国的云南东川、易门，内蒙霍各气和山西篦子沟、老宝滩等地。

黄铁矿型铜矿床 这一类矿床在分布上和成因上均与细碧角