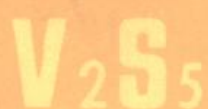
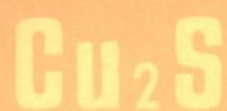
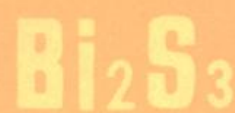
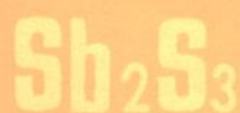


胡熙庚 主编



有色金属硫化矿选矿



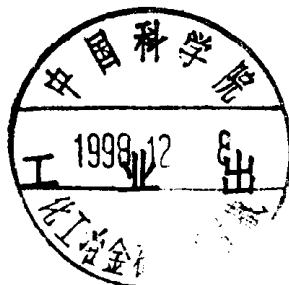
冶金工业出版社

有色金属硫化矿选矿

胡熙庚 主编

2000/2/1

冶金



出版社

前 言

原子能的应用, 火箭、宇宙飞船的出现, 电子技术的突飞猛进和在各个领域中的广泛利用, 以及国民经济各个部门的迅速发展, 对有色金属工业提出多方面的要求。为了适应选矿(有色金属选矿)工业发展的需要而编写了这本书。

本书比较全面地反映了当代国内外硫化矿选矿的技术水平及其发展动向。其特点是根据元素的地球化学性质综合地评述了国内外硫化矿的矿产资源特性; 比较详细地讨论了常见硫化矿的矿物晶体结构与可浮性关系, 并对某些难选矿石进行了深入的可选性分析; 结合实际系统地介绍了硫化矿浮选有关的基本理论和浮选药剂, 概括了近代研究的新成果; 对各种常见硫化矿物的分离工艺及其理论基础作了比较详细的阐述; 此外, 对硫化矿选矿国内外的有关典型实例也作了较为全面的介绍。本书涉及内容广泛、深入, 材料丰富, 是一本理论联系实际, 系统而又较全面地反映了当代国内外硫化矿选矿的著作。

本书可供从事选矿科研、设计、生产工作的工程技术人员、工人及干部参考。也可作为大专院校有关专业的教学参考书。

本书主编为胡熙庚教授, 参加部分有关章节编写的还有吴延芝教授、郭长阁高级工程师、邓中书工程师、郭振勋工程师、姜维田工程师、王树信工程师、陈远心工程师、严清湖工程师、邓芳超工程师、凌竞宏工程师等。此外王岚高级工程师、朱国民工程师等提供了部分资料。郭长阁高级工程师对部分初稿进行了整理工作。最后由北京钢铁学院黄和慰副教授对全稿作了整理和审定。

书中不足之处在所难免, 恳请读者批评指正。

编 者

1984. 2

目 录

前 言

第一章 硫化铜矿石的选矿	1
第一节 铜的矿产特性及硫化铜矿物的可浮性	1
一、铜的矿产特性及矿床类型	1
二、主要硫化铜矿物的可浮性	2
第二节 硫化铜矿选厂的破碎磨矿与浮选过程	6
一、破碎磨矿	6
二、浮选	7
第三节 单一硫化铜矿的选矿	13
一、矿石特性	13
二、浮选流程	14
三、浮选药剂	15
四、浮选指标	15
五、选厂实例	15
第四节 铜硫矿石的选矿	20
一、矿石特性	20
二、铜硫矿石浮选的主要问题	21
三、浮选流程	22
四、浮选药剂	23
五、浮选指标	24
六、选厂实例	24
第五节 铜铁矿石的分选	31
一、矿石特性	31
二、铜铁矿石浮选的主要问题	31
三、选矿流程	32
四、浮选药剂	33
五、选矿指标	33
六、选厂实例	34
第二章 硫化镍及硫化铜镍矿石的选矿	42
第一节 镍的矿产特性及资源的综合利用	42
一、世界镍的矿产资源概况	42
二、镍的地球化学特性	43
三、硫化镍矿床及矿物共生组合	44
四、镍矿资源的综合利用及选矿的任务	52
第二节 硫化铜镍矿石的浮选性质	54
一、硫化镍矿物的表面特性	54

二、紫硫镍矿的可浮性·····	56
三、硫化镍矿物与黄药的作用·····	56
四、介质pH值对硫化镍矿物浮选的影响·····	58
五、脉石矿物对硫化镍矿物可浮性的影响·····	58
六、水溶性盐的产生及其对硫化镍矿物可浮性的影响·····	61
七、黄铜矿-镍黄铁矿-磁黄铁矿的相对可浮性·····	62
八、黄铜矿-紫硫镍矿-黄铁矿的相对可浮性·····	63
第三节 硫化铜镍矿石选矿工艺的若干特点·····	64
一、矿石按工业品级分采分选和混选·····	64
二、选矿流程·····	66
三、混合浮选中矿泥影响的控制·····	79
四、混合浮选中矿浆pH值的控制·····	84
第四节 选矿产品及其分离·····	87
一、概 述·····	87
二、铜、镍、硫矿物的分选·····	88
三、高冰镍铜镍分离·····	94
四、二次高冰镍的分离·····	99
第五节 铜镍硫化矿的选矿实践·····	102
一、我国主要铜镍硫化矿床及其特征·····	102
二、我国铜镍硫化矿选矿的发展及其基本特点·····	103
三、我国铜镍硫化矿选厂实例·····	104
四、加拿大铜镍硫化矿选矿实例·····	127
第三章 硫化钼矿及硫化铜钼矿的浮选·····	135
第一节 钼的矿产特性及辉钼矿的可浮性·····	135
一、矿产及矿床特性·····	135
二、辉钼矿的可浮性·····	136
第二节 硫化钼矿石的浮选工艺·····	139
一、破碎与磨矿·····	139
二、浮 选·····	140
三、高质量钼精矿的生产·····	142
第三节 硫化钼矿石的浮选实践·····	143
一、陕西某钼矿选厂·····	143
二、辽宁一钼矿选矿厂·····	147
三、河南某钼矿选矿厂·····	148
四、美国克莱迈克斯钼矿选矿厂·····	150
五、美国亨德森钼矿选矿厂·····	153
六、美国奎斯塔钼矿选矿厂·····	154
七、加拿大恩达科钼矿选矿厂·····	155
八、加拿大博斯山钼矿选矿厂·····	156

第四节 硫化铜铅矿石的浮选工艺	159
一、铜铅(硫)混合浮选	160
二、铜铅混合精矿的分离浮选	161
第五节 铜铅矿石浮选实践	171
一、美国宾厄姆(Bingham)铜矿区	171
二、塞拉特(Sierrita)选矿厂	175
三、我国江西一铜矿选矿厂	177
四、加拿大洛耐克斯(Lornex)选矿厂	179
五、伊朗萨尔切什迈(Sar Cheshmeh)选矿厂	182
第四章 硫化铅锌矿的浮选	184
第一节 铅锌的矿产特性及方铅矿、闪锌矿的可浮性	184
一、铅锌矿产特性及矿床类型	184
二、方铅矿的可浮性	185
三、闪锌矿的可浮性	192
第二节 硫化铅锌矿的浮选工艺	197
一、浮选原则流程	198
二、铅锌分离方法	201
三、铅锌选矿发展的某些趋势	203
第三节 硫化铅-锌矿的浮选实践	205
一、广东一个铅锌选矿厂	205
二、辽宁一铅锌选矿厂	210
三、湖南另一铅锌选矿厂	216
四、水口山铅锌选矿厂	220
五、江西一个铅锌选矿厂	225
第五章 硫化铜锌矿的浮选	230
第一节 硫化铜锌矿石特性及可选性分析	230
一、矿床类型及矿石特性	230
二、硫化铜锌矿石的可选性分析	230
第二节 硫化铜锌矿的浮选工艺	232
一、硫化铜锌矿石的浮选流程	232
二、硫化铜锌矿石浮选药剂的选择	234
三、铜锌分离方法	235
第三节 硫化铜锌矿石的浮选实践	239
一、加拿大基达·克里克选矿厂	239
二、甘肃一铜锌矿石选矿厂	245
第六章 硫化铜铅锌矿的选矿	250
第一节 硫化铜铅锌矿石的特性及其可选性分析	250
一、矿石特性及矿床类型	250
二、复杂硫化矿的可选性分析	251

第二节 硫化铜铅锌矿的浮选工艺	252
一、浮选药剂的选择	252
二、浮选流程	252
三、铜铅混合精矿的分离浮选	257
第三节 硫化铜铅锌矿石的选矿实践	262
一、辽宁一铅锌选矿厂	262
二、辽宁另一选矿厂	267
三、湖南一铅锌矿选矿厂	271
第七章 硫化锑矿石的选矿	275
第一节 概 述	275
一、锑的矿产特性	275
二、锑矿石的选矿方法及冶炼对精矿质量的要求	276
第二节 锑矿石的手选	276
第三节 锑矿石的重选	277
一、重介质选矿	277
二、跳汰选矿	280
三、摇床选矿	280
第四节 辉锑矿的可浮性及单一硫化锑矿石的浮选工艺	280
一、辉锑矿的可浮性	280
二、单一硫化锑矿石的浮选工艺	284
三、自然锑的浮选	288
第五节 单一硫化锑矿石的选矿流程及实例	288
一、手选-重介质-浮选流程	288
二、手选-浮选流程	290
三、单一浮选流程	294
第六节 混合硫化-氧化锑矿石的选矿流程及实例	295
一、手选-重选-浮选-重选流程	295
二、重选-矿泥浮选联合流程	296
三、手选-浮选-重选流程	297
四、单一浮选流程	298
第七节 含锑复杂多金属硫化矿的分离方法	300
一、锑砷金硫化矿的分离	301
二、锑-汞硫化矿的分离	304
第八节 含锑复杂多金属硫化矿的选矿流程及实例	305
一、手选-重选-浮选流程	305
二、重介质-重选-浮选-重选联合流程	313
三、浮选-冶金分离流程	313
四、浮选流程	313
五、手选-浮选流程	314

六、浮选-重选流程	317
第八章 硫化汞矿石选矿	321
第一节 汞的矿产资源及其特性	321
第二节 汞矿石的处理现状及其选矿方法	321
一、国内外处理汞矿石的现状	321
二、汞矿石的选矿方法	322
第三节 汞矿石的手选	323
第四节 汞矿石的重选及重-浮联合应用	324
一、重选法	324
二、重选-浮选联合法	324
第五节 硫化汞矿石的浮选工艺	325
一、辰砂的浮选性质	325
二、单一硫化汞矿石的浮选	327
三、含汞多金属硫化矿物的分选	328
第六节 硫化汞矿石的选矿实践	330
一、贵州汞矿选矿厂	330
二、我国一汞矿浮选厂	334
三、我国又一汞矿选矿厂	335
四、我国另一汞矿安坡选矿厂	336
五、美国麦克德米特选矿厂	338
六、日本依套木卡选矿厂	339
第七节 汞良的选矿	341
一、概述	341
二、处理汞良的方法	343
三、重选与浮选处理汞良工艺	344
第九章 含钨多金属硫化矿的综合回收	348
第一节 矿床类型及其伴生硫化矿物的赋存状态	348
一、矿床类型及其特征	348
二、主要伴生硫化矿物的赋存状态	348
第二节 国内外选矿现状及其工艺的若干特点	348
一、原矿的预选及细筛工艺	350
二、选矿流程及重选磁选设备	350
三、钨矿泥的选别	351
第三节 栎浮及其硫化物混合精矿的分选	352
一、栎浮	352
二、硫化物混合精矿的分离浮选	352
第四节 从钨重选尾矿中浮选辉钼矿	358
第五节 从砂卡岩型白钨矿中浮选硫化铅、锌、铜矿物	359

第十章 含锡多金属硫化矿的综合回收	362
第一节 矿石类型及其特性	362
第二节 国内外选矿现状及其工艺的若干特点	362
一、重介质预选	362
二、磨矿	364
三、细筛工艺	364
四、重选	364
五、各种联合流程的应用	365
六、锡矿泥选别	365
第三节 含锡多金属硫化矿的选矿工艺	367
一、选矿流程	367
二、关于硫化矿物选矿若干问题的讨论	368
第四节 含锡多金属硫化矿的选矿实践	369
一、我国长坡选矿厂	369
二、云锡公司另一个选矿厂	373
第十一章 含金硫化矿的选矿	379
第一节 矿产资源特点	379
一、矿床及矿石类型	379
二、工业矿物特征	380
第二节 含金矿石的加工方法及其发展概况	381
一、堆浸法	382
二、氰化法	383
三、炭浆法	383
四、硫脲法	385
五、离子交换树脂浆化法提金	386
六、含金矿石处理的其他新动向	388
第三节 含金硫化矿的破碎-磨矿及预选	388
一、破碎-磨矿	388
二、矿石的拣选与手选	390
第四节 含金矿石的重选和混汞	390
一、重介质选矿	390
二、重选法的应用及重选流程	390
三、混汞法	391
第五节 自然金的浮选性质及含金硫化矿浮选工艺	392
一、自然金的浮选性质	392
二、含金矿石浮选概述	394
三、含金硫化矿石的浮选工艺	394
第六节 含金硫化矿石的选矿流程	396
一、选矿流程的选择	396

二、选矿原则流程方案.....	397
第七节 我国典型的几个含金硫化物矿石选矿实践.....	400
一、含金简单硫化矿类型.....	400
二、金-铜硫化矿类型.....	404
三、含金多金属硫化矿类型.....	412

第一章 硫化铜矿石的选矿

第一节 铜的矿产特性及硫化铜矿物的可浮性

一、铜的矿产特性及矿床类型

在自然界中,已知的铜矿物约有170多种,但具有工业应用价值的只有十多种。铜在地壳内平均含量是0.01%。按地球化学性质来说,铜属亲硫元素族,所以铜矿物常以硫化物出现。各种铜矿物依其成因和化学成分不同可分为:原生硫化铜矿物,如黄铜矿;次生硫化铜矿物,如辉铜矿;及氧化铜矿物,如孔雀石等。铜具有一定程度的亲铁性质,在周期表上,铜和铁族元素相邻近,特别是和镍紧紧靠在一起,因而在岩浆作用阶段,在基性、超基性岩浆中铜可以以融离方式和铁、镍、钴等元素一起聚集起来。

世界铜资源较丰富,铜储量最多的国家为美国,其次为智利及苏联等。我国也属于铜资源丰富的国家之一。美国、智利、苏联、加拿大及赞比亚等为世界主要产铜国。

世界铜产量约为750万吨/年(1980年)。矿产铜约80%来自硫化铜,其余部分来自氧化铜和自然铜。硫化铜矿石的选矿大都采用浮选法,选矿指标也较好。

就世界范围来说,最重要的工业类型铜矿床有:斑岩铜矿、含铜砂岩铜矿、含铜黄铁矿铜矿和硫化铜镍矿四种。其中,斑岩铜矿床占世界铜储量的一半以上。许多万吨级的大型选矿厂大都是处理斑岩铜矿,美国和秘鲁90%的铜都来自斑岩铜矿。

我国的铜矿床主要有斑岩铜矿,含铜黄铁矿,层状铜矿,矽卡岩铜矿,含铜砂岩铜矿,硫化铜镍矿及脉状铜矿七类。矽卡岩铜矿床虽然规模不大,但含铜较富,我国东北、华北、长江中下游及西北均有产出,在铜工业中占有一定地位。

铜矿石的工业类型,有不同的分类方法:

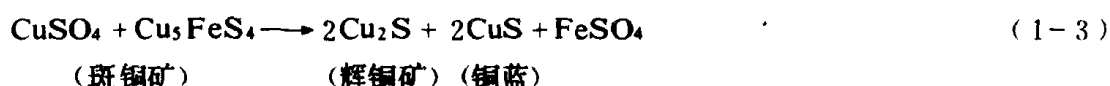
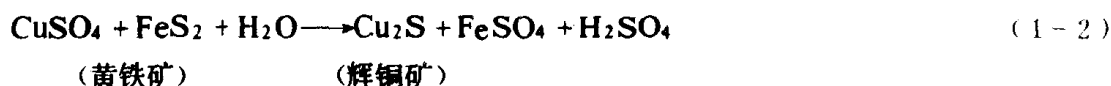
- 1.按矿石中氧化铜矿物的相对含量可分为氧化铜矿石(氧化率 $>30\%$),混合硫化-氧化铜矿石(氧化率 $10\sim 30\%$),和硫化铜矿石(氧化率 $<10\%$);
- 2.按矿石的构造可分为块状(致密状)铜矿石和浸染状铜矿石;
- 3.按矿石中的有用组分可分为单一铜矿石和复合铜矿石(如铜硫矿石、铜镍矿石等)。

本章以矿石中的有用组分为基础,结合选矿工艺,把硫化铜矿石分为三类,即单一硫化铜矿石、铜硫矿石和铜铁矿石(见表1-1)。

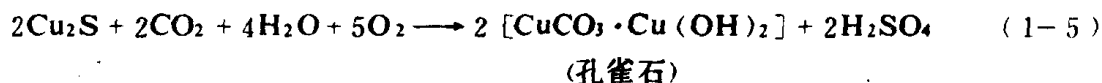
关于铜锌矿石、铜铅锌矿石、铜镍矿石、铜钴矿石、铜钼矿石等因它们的选矿工艺差别较大,将分别在其它各章中叙述。

硫化铜矿石一般都比较选好。但由于在同一种矿石中常常含有几种铜矿物,这些铜矿物在含铜量、过粉碎现象、与氧、捕收剂和调整剂的相互作用以及浮选最佳pH值的要求等方面都存在着一定的差异,所以,矿石中铜矿物的种类对选矿指标有一定的影响,有时甚至影响很大。例如,矿石中含辉铜矿和自然铜多时,精矿品位就容易提高,有的甚至高达70%以上(如南美玻利维亚可罗可罗(Coro Coro)铜矿选矿厂)。

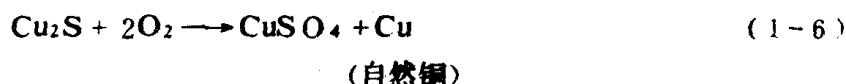
在硫化铜矿石中,总或多或少地含有一些硫化铁矿物。其含量的大小,可浮性及其与硫化铜矿物的共生关系等都直接影响铜的浮选指标,这是浮选硫化铜矿石所常遇到的问题。



辉铜矿在氧化作用下很不稳定，易分解变为赤铜矿、孔雀石及自然铜等矿物：



在不完全氧化时，辉铜矿可变为自然铜：



辉铜矿的高温变体属六方晶系，低温变体属斜方晶系，构造复杂。高温变体的结晶构造为铜离子与硫离子依次排列成层，铜离子位于每层硫离子所构成的三角形的中心（图1-1）。由于硫离子的半径大而铜离子的半径小，故铜离子具有较高的扩散流动性及较低的晶格能。半径较大的硫离子易暴露于表面而受到氧化作用，因而辉铜矿具有较高的氧化速度（与黄铜矿相比）。

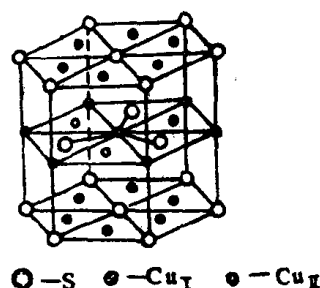


图 1-1 高温辉铜矿
结晶构造

辉铜矿性脆，在磨矿时容易过粉碎，这也会加速它的氧化，使可溶性降低。

不论在矿床中或是在浮选过程中，辉铜矿氧化的结果，生成了大量的铜离子。这些铜离子活化了闪锌矿和黄铁矿，同时消耗浮选药剂。铜离子与捕收剂和调整剂相互作用，又会使浮选过程的控制复杂化，在优先分离铜与锌矿物时更是如此。

辉铜矿极易用黄药、黑药等阴离子捕收剂和阳离子捕收剂进行浮选。它在酸性与碱性矿浆中均有较好的可浮性。

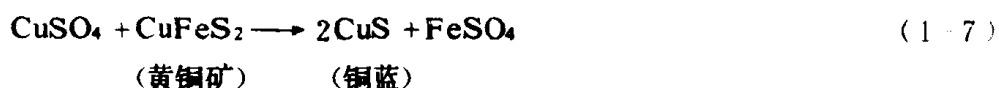
氰化物对辉铜矿的抑制作用较弱。原因是从辉铜矿表面溶解下来的铜离子与氰化物反应，降低了矿浆中游离氰化物的浓度。因此，为了实现对辉铜矿的抑制，就必须增加氰化物用量，使矿浆中经常保持一定浓度的氰离子。

辉铜矿最强的抑制剂是硫代硫酸盐 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)、亚硫酸盐、铁氰铬盐 [$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot \text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$]、硫化钠以及重铬酸盐（用量大时）。石灰也能降低辉铜矿的可浮性。因此，在浮选辉铜矿时，用石灰抑制黄铁矿或调整必需的矿浆碱度时，应小心从事。

2. 铜蓝 CuS (或 $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{CuS}_2$)，含66.5%Cu，33.5%S。密度为4.6~4.67克/厘米³。硬度1.5~2。通常含Fe及少量S、Ag与Pb等混入物。化合物属AX型，但铜硫离子均具有不同的价数。如铜蓝正确的分子式应写成 $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{CuS}_2$ ，即铜离子有 Cu^{+1} 与 Cu^{+2} ，硫离子有 S^{2-} 及 $[\text{S}_2]^{2-}$ 。铜蓝的结晶构造属复杂的层状构造，六方晶系。它性脆且软，易过粉碎。

铜蓝的成因有三种：

(1) 风化型：是铜蓝的主要成因，在硫化铜矿床的次生富集带最为常见。它由硫酸铜水溶液对原生和次生硫化物，如黄铜矿和斑铜矿等进行交代作用形成，其反应如下：



另见(2-3)式。

此外,铜蓝也可由硫酸铜水溶液与方铅矿和闪锌矿反应生成:



在这种情况下,由于硫酸锌易溶于水,因而在原来闪锌矿的位置见有蓝黑色烟灰块状体的铜蓝及难溶于水的铅矾。

(2) 热液型:一般呈脉状与黄铁矿共生,极少见。

(3) 火山型:在火山熔岩中发现,是硫质喷气作用的产物。

铜蓝常与黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿以及其他淋滤带的矿物一起产出,它有时在黄铜矿上生成晕色或蓝色薄膜,有时充填在黄铜矿的裂隙中。铜蓝性脆且软,浮选时容易因过粉碎损失于尾矿中。铜蓝的可浮性与辉铜矿相似;它与捕收剂和调整剂的作用也与辉铜矿相似,氰化物对它的抑制作用也较弱。

3. 黄铜矿 CuFeS_2 , 含34.56%Cu, 30.52%Fe, 34.92%S。通常有Au、Ag、Tl、Se、Te等混入物。密度4.1~4.3克/厘米³。硬度3~4。

黄铜矿的成因较多,它是一种分布较广并且是最重要的工业铜矿物,其成因有以下四种:

(1) 岩浆型:出现在与基性及超基性火成岩有关的铜镍硫化矿床中,常与磁黄铁矿、镍黄铁矿密切共生。

(2) 中温热液型:常呈充填或交代脉状,与黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、斑铜矿和辉铜矿等共生。

(3) 接触交代型:出现在酸性火成岩与石灰岩的接触带。黄铜矿常与方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿及矽卡岩矿物如石榴子石、透辉石、绿帘石等共生。

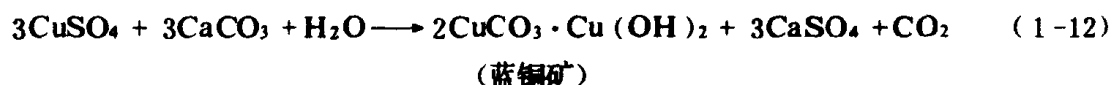
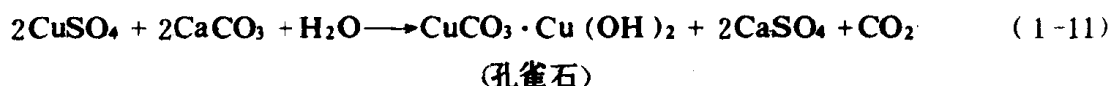
(4) 沉积型:黄铜矿偶见于沉积岩中,它系含铜水溶液与有机体分解的硫化氢相互作用的产物。

黄铜矿是一种重要的原生铜矿物,许多次生铜矿物都由它变化而来。

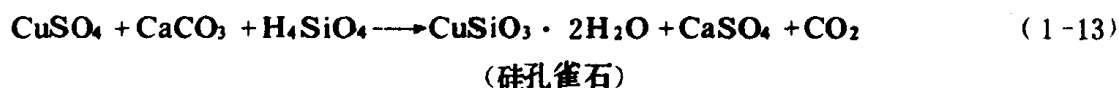
黄铜矿经风化作用后,分解成易溶于水的硫酸铜,其反应如下:



硫酸铜溶液在氧化带遇到含碳酸盐的水溶液,或方解石、石灰石等碳酸盐矿物时,则相互作用生成孔雀石和蓝铜矿:



如果硫酸铜溶液遇到含 SiO_2 的水溶液或硅质岩石,则生成硅孔雀石。



在氧气和 CO_2 等较少或完全缺乏的条件下，硫酸铜与原生硫化物（黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等）相互作用，形成次生富集带中一系列的硫化铜矿物。

黄铜矿属四方晶系。结晶构造属双重闪锌矿型（图1-2）。在黄铜矿结晶构造中，每一个硫离子被分布于四面体顶角的四个金属离子（两个铜离子和两个铁离子）所包围，所有配位四面体的方位都是相同的。由于黄铜矿具有较高的晶格能，而且，结晶构造中硫离子所处的位置对铜铁来说是在晶格的内层，因此，黄铜矿对氧化作用具有较大的稳定性。

在中性及弱碱性介质中，黄铜矿可长期保持其天然可浮性。当黄铜矿在 $\text{pH} = 6$ 的弱酸性介质中氧化时，其氧化产物如 H^+ 、 Cu^{+2} 、 Fe^{+2} 、 Fe^{+3} 、 SO_4^{2-} 等离子进入溶液中，当黄铜矿在碱性介质中（ $\text{pH} = 10 \sim 11$ ）氧化时，生成 SO_4^{2-} 、 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 等离子，但没有重金属离子。黄铜矿在强碱性介质中受 OH^- 离子的作用而生成氢氧化铁等化合物覆盖在矿物表面上。这时，晶格破坏，可浮性下降。对于过氧化的黄铜矿，可用苏打和碘化油改善它的浮选性能。

没有受过强烈氧化作用的黄铜矿，很容易用普通的阴离子捕收剂浮选。这些捕收剂通常是黄药和黑药。近年来，也常混合加入一些酯类捕收剂以增强浮选效果。

黄铜矿在碱性介质中易受氰化物和氧化剂的作用而受到抑制。氰化物用量大时，可完全抑制黄铜矿。氰化物的抑制作用与在黄铜矿表面不能形成稳定的双黄药吸附层有关。浮选实践中，广泛利用这一性能，在铜-铅分离时抑制黄铜矿，浮出方铅矿，在铜-钼分离时，抑制黄铜矿，浮出辉钼矿。

石灰对黄铜矿有抑制作用，但其用量比抑制黄铁矿时大得多，因而铜硫分选时，广泛采用石灰抑制黄铁矿浮选出铜矿物。

亚硫酸盐、硫代硫酸盐和重铬酸盐不抑制黄铜矿的浮选。因此，铜-铅分离时可用重铬酸盐抑制方铅矿浮选铜；铜-锌分离时可用硫代硫酸盐、亚硫酸盐或亚硫酸抑制闪锌矿浮选铜。

黄铜矿在碱性介质中被硫化钠和硫化氨抑制，不少选矿厂铜-钼分离时就是利用这一性质，抑铜浮钼。

近年来，有的选矿厂还利用黄铜矿在矿浆加热后，或在空气中氧的作用下比闪锌矿、辉钼矿容易氧化的特点，通过抑铜浮锌来进行铜锌分离，或通过抑铜（配合硫化钠）浮钼来进行铜钼分离。

4. 斑铜矿 Cu_5FeS_4 ，按此化学式计算，含63.3%Cu，11.2%Fe，25.5%S，但实际成分波动较大，Cu为52~65%，Fe为8~18%，S为20~27%。这是因为斑铜矿中常有黄铜矿和辉铜矿的显微包裹体或固溶体所致。斑铜矿中还常含有Ag。斑铜矿性脆，密度4.9~5.0克/厘米³。硬度为3。

斑铜矿广泛分布于铜矿床中。其成因有内生和外生两种。内生斑铜矿多见于热液型和交代型。常与黄铜矿、内生辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等共生，或为黄铜矿中的包裹体（固溶体分离的产物）。外生斑铜矿（风化型）形成于铜矿床的次生富集带，系由硫酸铜溶液交代黄铜矿及其它硫化物而生成的，属最早的次生硫化物。

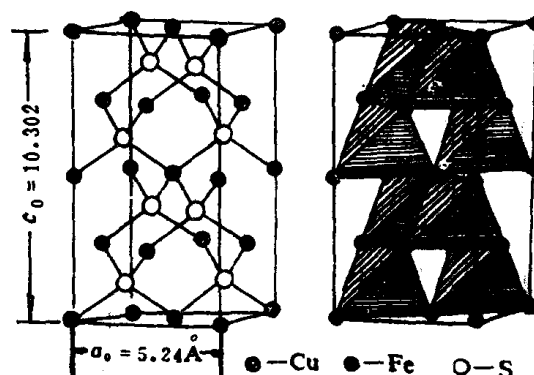


图 1-2 黄铜矿的结晶构造

斑铜矿往往被含铜更富的次生辉铜矿和铜蓝所替换。所以，在矿床中很少有较大的聚积。

斑铜矿在氧化带中容易分解形成赤铜矿、辉铜矿、铜蓝、孔雀石、蓝铜矿、褐铁矿等矿物。

斑铜矿对氧化作用的稳定性比辉铜矿好，但不如黄铜矿。它的可浮性亦介于辉铜矿和黄铜矿之间，其细粒级部分的浮选却不比辉铜矿差。当用黄药作捕收剂时，在弱酸性及弱碱性介质中均能浮游； $\text{pH} > 10$ 时，可浮性下降；在强酸性介质中可浮性也显著变坏。斑铜矿和黄铜矿一样，对氰化物的抑制作用敏感。硫化钠和少量的硫酸，能改善斑铜矿的可浮性。黄药和白药都是它的良好捕收剂，但用量较黄铜矿多。

除了上述四种主要的硫化铜矿物外，较常遇见的还有黝铜矿 ($4\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$ ，含23~45%Cu)，砷黝铜矿 ($4\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$ ，含30~53%Cu)及硫砷铜矿 (Cu_3AsS_4 ，含48.3%Cu)等，它们的可浮性较上述铜矿物差些，浮选时需要添加一部分高级黄药或双黄药以提高它的回收率。当矿石中含砷铜矿物多时，铜精矿含砷量亦高，这将给冶炼造成困难。

墨铜矿 ($(\text{Fe}, \text{Cu})\text{S}_2 \cdot n[\text{MgAl}(\text{OH})_2]$ ， n 等于1.5左右) 虽然少见，但在我国河北铜矿等少数矿山均有发现。试验研究表明，墨铜矿在中性或碱性介质中可浮性很差，在酸性介质中可浮性较好。

值得注意的是硫化铜矿物的浮选行为与其组分中是否含铁有关。不含铁的铜矿物，如辉铜矿和铜蓝，其可浮性相近，氰化物、氧化剂和石灰对它们的抑制作用相对较弱，因而浮选时易与黄铁矿、磁黄铁矿分离。含铁的铜矿物，如黄铜矿和斑铜矿，它们的可浮性亦相近，易受氰化物、氧化剂和石灰抑制，因而与黄铁矿、磁黄铁矿的分离较难。

此外，由于矿物在成矿过程中受其它因素的影响，即使在同一矿床中，铜矿物的结晶形态、嵌布粒度、混入物的种类和含量、表面性质也不尽相同。因此，它们的可浮性也往往受到这些因素的制约。

第二节 硫化铜矿选厂的破碎磨矿与浮选过程

近年来，资本主义国家在铜矿业生产方面由于铜矿石品位不断下降，铜价下跌，生产费用上涨以及环保等问题而“正面临着经济和技术挑战”。为了降低成本，提高劳动生产率以及经济效益，现正致力于采用新的技术成就，采用大型设备，建设大型选厂，实现对选矿过程的自动控制及对环境污染的控制。

一、破碎磨矿

在破碎磨矿方面，国外倾向于采用大型设备。采用的碎磨流程有如下几种：

- (1) 2~3段破碎后用棒磨-球磨与旋流器组成闭路磨矿；
- (2) 三段破碎后采用大型球磨机与旋流器组成闭路；
- (3) 一段开路粗碎后采用大型自磨机与旋流器组成闭路；
- (4) 一段开路粗碎后采用二段半自磨与旋流器组成闭路；
- (5) 一段开路粗碎后采用自磨机，砾磨机并与圆锥破碎机组组合。因自磨机中出来的过大块，硬而难磨，用圆锥破碎机破碎后返回自磨机，可以节能；
- (6) 一段开路粗碎后采用自磨机-球磨机（或半自磨机或砾磨机）与旋流器组成闭路；
- (7) 来自地下采场的矿石直接采用自磨与（或）半自磨与旋流器组成闭路；
- (8) 三段破碎后，增加一段细碎（代替棒磨机有利于磨矿作业能耗的降低）；
- (9) 其它流程或以上流程的配合。

硫化铜矿石选厂，过去采用的典型碎-磨流程是二段或三段一闭路（或三段开路）破碎后，用棒磨和球磨与旋流器组成闭路。但现在新建和扩建的大型选厂不少采用一段粗碎-自磨、半自磨、砾磨或球磨，或联合应用这些磨矿设备。一般认为硬矿石采用自磨或半自磨磨矿，而软矿石采用球磨较好。自磨机或半自磨机一般作为粗磨设备，且常与砾磨机或球磨机组成自磨（或半自磨）-砾磨（或球磨机）流程。瑞典瓦斯伯（Vassbo）选厂的生产实践证明，当采用一段自磨时，自磨机的循环负荷很大，造成磨机操作不稳定，处理量低，能耗也高（27.5千瓦小时/吨）。改成自磨-砾磨流程后，由于自磨机的循环负荷下降，处理量可提高一倍。

大型铜选厂在碎矿设备方面，旋回破碎机几乎取代了颚式破碎机，因为前者具有破碎效率高、生产能力大的特点。据报道，新的10英尺圆锥破碎机较常规的圆锥破碎机的生产能力高2~3倍。如美国诺德伯格（Nordberg）公司新制出的旋回圆锥破碎机能把矿石一次破碎到6~8毫米，这样块度的物料给入球磨机中能大大地节省磨矿能耗，提高磨矿机的生产能力，从而节省磨矿费用。

二、浮选

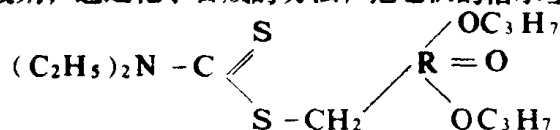
浮选硫化铜矿石常用的捕收剂是黄药类，其次是黑药类及酯类。后者常常和其他药剂混合使用。黄药类捕收剂中，以乙基、异丙基和丁基黄药用得较多。黑药类捕收剂：国外以黑药208号、238号、242号为主，我国以甲酚黑药、丁钠黑药为主。酯类捕收剂用得较多的有Z-200（异丙基乙基硫逐氨基甲酸酯）、S-3302（戊黄酸烯丙酯）。常用的起泡剂有松醇油、MIBC（甲基异丁基甲醇）、道-250（Dow-froth 聚丙烯乙二醇酯），艾罗牌号的合成醇类起泡剂和重吡啶等。总的趋势是合成的起泡剂逐渐代替松油等天然原料制成的起泡剂。使用最广泛的调整剂是石灰。当矿石中含黄铁矿少时，浮选矿浆pH值一般控制在7~9。含黄铁矿多时，pH值要提高到11~12以上，有时，为了加强对黄铁矿的抑制，还要添加少量氰化物。当矿石中含泥较多以及含镁矿物较多时，添加适量的水玻璃或羧甲基纤维素可以改善浮选效果。

1978年国外铜选厂捕收剂和起泡剂的单耗分别为40.5及34.3克/吨。

在硫化铜矿石浮选中，几种捕收剂的混合使用在国外是比较普遍的。例如，美国的选厂广泛地将黄药与Z-200或巯基苯骈噻唑混合使用；加拿大的选矿厂广泛地将戊基黄药与乙基黄药和异丙基黄药或Z-200混合使用（表1-2）。几种药剂混合使用常常显出较好的选别效果，这是因为几种药剂之间，药剂和矿物之间彼此交互作用，促进和强化其过程而产生“协同效应”的结果。两种捕收剂混合使用，选矿回收率高于两种药剂任何一种的单独使用，因为两种捕收剂（表面活性剂）混合后，产生比原来各自性能要高的使用效果。

混合使用药剂产生“协同效应”的机理虽然比较复杂，研究得也不多，但根据外国学者的见解大体可归纳如下：

1. 拼合机理 黄药的特点是捕收能力强而选择性弱，黑药则是捕收能力弱而选择性好。为了提高这两种药剂的总活度，苏联学者E. P. 特罗普曼根据药物化学的拼合原理，用二硫代氨基甲酸类和黑药类捕收剂，通过化学合成的方法，把它们憎水基拼合在一个分子结构中，如



拼合后药剂具有黄药和黑药的特性（捕收力强，选择性好），它是一种硫化矿物的良好捕收剂。