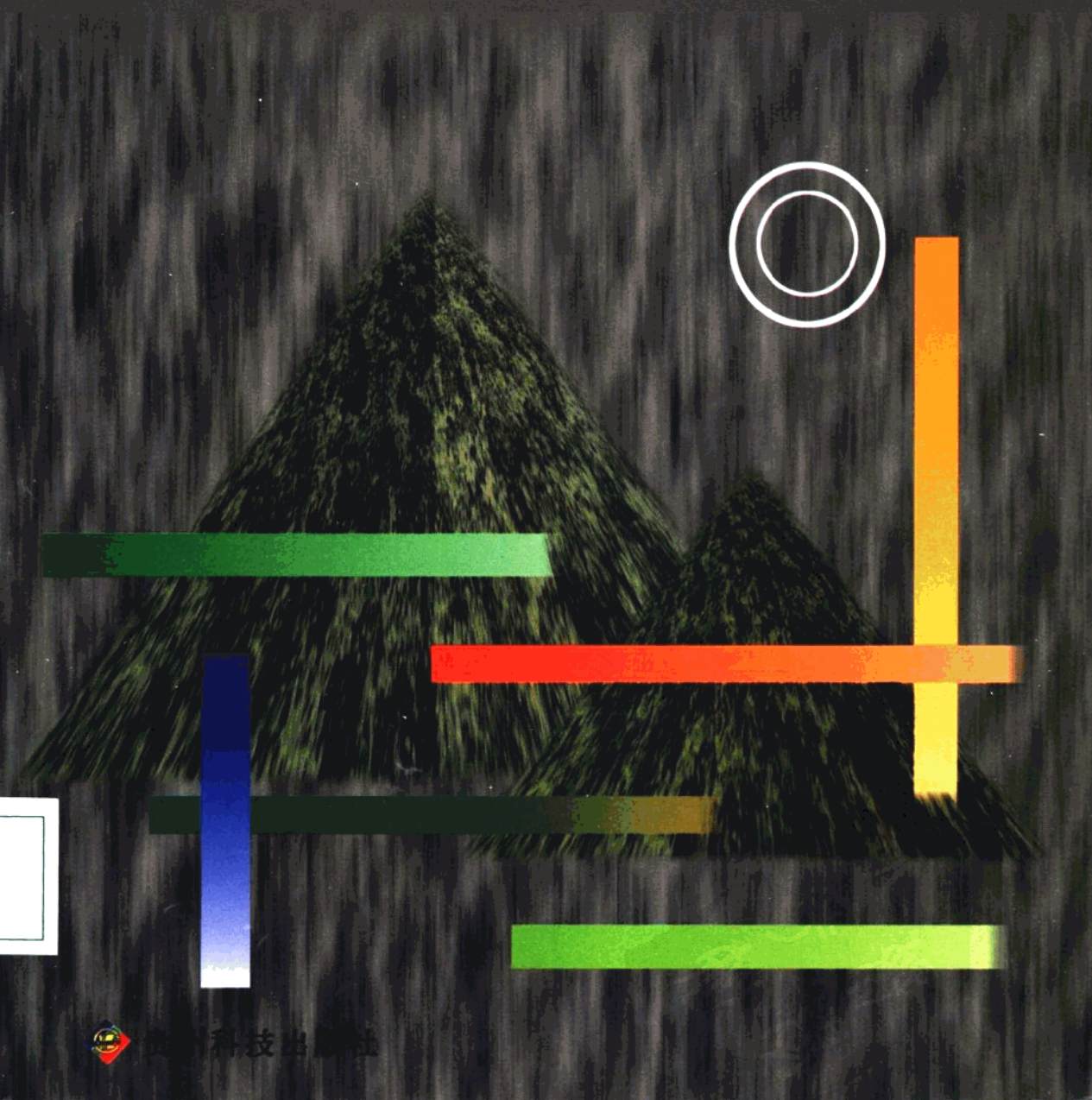


多金属硫化矿浮选分离

陈家模 主编



地质出版社

本书由
贵州省科学技术学术著作
出版基金资助出版

贵州省科学技术学术著作出版基金委员会

人 员 名 单

名誉主任	马文骏	贵州省人民政府副省长
主 任	李正辉	贵州省科学技术厅党组书记、厅长
副主任	时培真	贵州省新闻出版局副局长
副主任	俞 建	贵州省科学技术厅副厅长
副主任	张 建	贵州省科学技术厅副厅长
副主任	夏同珩	贵州科技出版社副总编辑
副主任	陈庆智	贵州省财政厅文教财务处处长
委 员	李坚石	贵州大学常务副校长
委 员	任锡麟	贵州医学院院长
委 员	何才华	贵州师范大学校长
委 员	陈天祥	贵州工业大学副校长
委 员	刘丛强	中国科学院地球化学研究所所长
委 员	汪大成	贵州省新材料研究开发基地研究员
委 员	张宝如	贵州省建材设计研究院院长
委 员	王保生	贵州侨联香料厂厂长
委 员	王金华	贵州东伟实业股份有限公司董事长
委 员	骆彦宜	贵州省科学技术厅条件财务处处长
委 员	宋有谅	贵州省新闻出版局图书处处长
委 员	田维明	贵州省科学技术厅条件财务处副处长
委 员	吴庆国	贵州省财政厅文教财务处主任科员
委 员	郭 防	贵州省专利服务中心主任
委 员	王天生	贵州省农业科学院副院长

前 言

多金属硫化矿的矿床较多,产出的矿石经浮选分离后,可以获得各种金属硫化矿物精矿,并回收伴生的有用元素,使矿产资源得到较好的开发利用。为了更好地适应国民经济的迅速发展,要求对有色金属、贵金属、稀有及分散元素等矿产资源最大限度地进行综合回收利用。作为选矿工作者,在开发利用矿产资源中发挥积极作用是责无旁贷的,为此而编写这本书,以促进选矿事业的发展。

多金属硫化矿浮选分离比单一金属硫化矿浮选复杂得多,由于矿石中含多种有用矿物,其性质千差万别,分选难度较大。有的多金属硫化矿的处理除了采用浮选为主外,还配合多种选矿方法,甚至需用冶金来进行分离。本书全面地、系统地叙述了多金属硫化矿浮选分离理论及方法,抑制剂作用机理;介绍了国内外一些典型的生产实践资料及科研成果。是一本理论联系实际、反映当代选矿技术水平的著作。

本书可供从事选矿科研、设计、生产工作的工程技术人员、管理干部、工人参考,也可作为大专院校有关专业教学的参考书。

该书的1~9章,10~13章分别由陈家模、伍光兰两位高级工程师编写。

由于编者水平有限,缺点和错误在所难免,敬请广大读者批评、校正,谢谢!

编 者

2000年3月12日

目 录

第一章 多金属硫化矿浮选分离的理论基础	(1)
第一节 多金属硫化矿的特点	(1)
一、含铜多金属硫化矿	(1)
二、铅锌多金属硫化矿	(2)
三、含铋多金属硫化矿	(2)
四、含锡多金属硫化矿	(3)
五、含钨多金属硫化矿	(4)
六、含金多金属硫化矿	(5)
第二节 工艺矿物的特性及研究	(6)
一、矿物嵌布粒度	(6)
二、矿物表面特性	(6)
三、矿物含杂质对可浮性的影响	(7)
四、易氧化矿物对浮选的影响	(7)
五、易泥化脉石矿物对浮选的影响	(7)
六、矿物的密度及磁性	(8)
第三节 多金属硫化矿浮选分离的主要方法及药剂	(8)
一、多金属硫化矿浮选分离的主要方法	(8)
二、多金属硫化矿浮选分离主要药剂	(9)
第二章 硫化矿物铜铅与锌的浮选分离	(11)
第一节 硫化锌矿物的特性及可浮性	(11)
一、硫化锌矿物类型	(11)
二、闪锌矿的可浮性	(12)
三、闪锌矿的活化	(12)
第二节 闪锌矿的主要抑制剂及其作用机理	(13)
一、氰化物	(13)
二、硫酸锌	(15)
三、亚硫酸(二氧化硫)及其盐	(15)
四、硫化钠	(16)
五、抑制闪锌矿主要的药剂组合	(17)
第三节 铜锌浮选分离及生产实例	(18)

一、铜锌矿石性质	(18)
二、铜锌浮选分离方法的选择	(19)
三、白银铜矿选矿厂	(20)
四、加拿大基达·克里克(Kidd Creek)选矿厂	(22)
第四节 铅锌浮选分离及生产实例	(30)
一、铅锌矿床的类型	(30)
二、铅锌浮选分离方法及工艺	(31)
三、柴河铅锌矿选矿厂	(32)
四、会理锌矿选矿厂	(36)
五、锡铁山铅锌矿选矿厂	(39)
六、柴山铅锌矿选矿厂	(41)
七、昌化铅锌矿选矿厂	(44)
第三章 硫化矿物铜铅锌与硫化铁的浮选分离	(46)
第一节 黄铁矿的特性及其主要抑制剂	(46)
一、黄铁矿的特性及可浮性	(46)
二、黄铁矿的主要抑制剂	(47)
三、石灰抑制黄铁矿作用机理	(48)
第二节 铜硫浮选分离及生产实例	(49)
一、铜硫矿石的特性	(49)
二、影响铜硫浮选分离的主要因素	(50)
三、铜硫浮选分离广泛应用的方法	(50)
四、永平铜矿选矿厂	(51)
五、武山铜矿选矿厂	(53)
六、铜山口铜矿选矿厂	(57)
七、新冶铜矿选矿厂	(59)
八、东乡铜矿选矿厂	(60)
九、丰山铜矿选矿厂	(64)
十、建德铜矿选矿厂	(66)
第三节 铅硫浮选分离及生产实例	(68)
一、铅硫浮选分离的主要方法	(68)
二、凡口铅锌矿选矿厂	(68)
三、水口山铅锌矿选矿厂	(71)
四、会泽铅锌矿选矿厂	(75)
第四节 锌硫浮选分离及生产实例	(78)
一、锌硫浮选分离常用的方法	(78)
二、黄沙坪铅锌矿选矿厂	(78)
三、青城子铅锌矿选矿厂	(79)
四、西林铅锌矿选矿厂	(82)
第四章 铜铅硫化矿物的浮选分离	(87)

第一节 硫化铜矿物性质及可浮性	(87)
一、硫化铜矿物的性质	(87)
二、硫化铜矿物的可浮性	(87)
第二节 方铅矿特性及可浮性	(89)
一、方铅矿的特性	(89)
二、方铅矿的可浮性	(89)
三、矿浆 pH 值对方铅矿可浮性的影响	(90)
第三节 铜铅浮选分离工艺	(90)
一、抑铅浮铜	(90)
二、抑铜浮铅	(92)
三、抑铜浮铅-抑铅浮铜	(92)
第四节 抑制方铅矿主要药剂及其作用机理	(92)
一、重铬酸盐法	(92)
二、亚硫酸类与其他药剂组合法	(94)
三、硫化钠法	(96)
四、其他方法	(96)
第五节 抑制硫化铜矿物主要药剂及其作用机理	(97)
一、氰化物法	(98)
二、氧化锌-氰化钠法	(98)
第六节 铜铅浮选分离生产实例	(98)
一、八家子铅锌矿选矿厂	(98)
二、潘家冲铅锌矿选矿厂	(100)
三、天宝山铅锌矿选矿厂	(103)
第五章 复杂多金属硫化矿的浮选分离	(107)
第一节 矿石类型及可选性分析	(107)
一、矿石类型	(107)
二、矿石可选性分析	(107)
第二节 复杂多金属硫化矿浮选分离工艺	(109)
一、浮选分离药剂	(109)
二、浮选分离工艺流程	(109)
第三节 生产实例	(111)
一、银山铅锌矿选矿厂	(111)
二、桓仁铅锌矿选矿厂	(112)
三、桃林铅锌矿选矿厂	(118)
四、白银小铁山铜铅锌选矿厂	(120)
五、红透山铜矿选矿厂	(125)
六、野鸡尾铅锌矿选矿厂	(126)
第六章 铜钼硫化矿物的浮选分离	(129)
第一节 辉钼矿的特性及可浮性	(129)

一、辉钼矿的特性	(129)
二、辉钼矿的可浮性	(130)
第二节 铜钼硫化矿物浮选分离工艺	(130)
一、铜钼分离方案	(130)
二、铜钼分离工艺	(131)
第三节 硫化铜矿物的主要抑制剂	(133)
一、硫化钠抑制硫化铜矿物的作用机理	(133)
二、诺克斯的制备及抑制硫化铜矿物的作用机理	(133)
三、氧化剂抑制硫化铜矿物的作用机理	(135)
四、氰化物抑制硫化铜矿物的作用机理	(135)
第四节 铜钼浮选分离生产实例	(136)
一、月山铜矿选矿厂	(136)
二、德兴铜矿选矿厂	(138)
三、闲林埠钼铁矿选矿厂	(139)
四、河北某铜矿选矿厂	(142)
五、加拿大洛耐克斯(Lornex)选矿厂	(143)
六、伊朗萨尔切什迈(Sar Chesmen)选矿厂	(146)
七、塞拉特(Sierrita)选矿厂	(147)
第七章 铜镍硫化矿物的分离	(152)
第一节 硫化镍矿物的浮选性质	(152)
一、镍黄铁矿的可浮性	(152)
二、紫硫镍矿的可浮性	(153)
三、矿浆 pH 值对硫化镍矿物浮选的影响	(154)
四、脉石矿物对硫化镍矿物可浮性的影响	(154)
五、水溶性盐的产生及其对硫化镍矿物可浮性的影响	(155)
六、黄铜矿-镍黄铁矿-磁黄铁矿的相对可浮性	(155)
七、黄铜矿-紫硫镍矿-黄铁矿的相对可浮性	(156)
八、硫化镍矿物与黄药的作用	(157)
第二节 铜镍硫化矿物浮选分离的特点	(158)
一、铜镍硫化矿物浮选分离工艺	(159)
二、铜镍混合精矿浮选分离方法	(159)
第三节 国内铜镍分离生产实例	(160)
一、盘石铜镍选矿厂	(160)
二、会理镍矿选矿厂	(162)
三、我国某镍公司第一选矿厂	(164)
四、我国某镍公司第二选矿厂	(169)
五、我国某镍公司第二矿区富矿选矿系统	(174)
第四节 国外铜镍分离生产实例	(176)
一、美国杜拉斯选矿厂	(176)
二、加拿大曼尼桥选矿厂	(177)

三、诺里尔斯克 1 号选矿厂(前苏联)	(177)
四、澳大利亚温达拉选矿厂	(180)
五、加拿大克拉布尔铜-镍矿选矿厂	(181)
六、澳大利亚卡姆巴尔达选矿厂	(183)
七、加拿大林湖选矿厂	(184)
八、塞莱比-弗克威选矿厂(前苏联)	(186)
第五节 高冰镍的铜镍分离及实例	(187)
一、高冰镍铜镍分离的方法	(187)
二、高冰镍的物质组成及晶体结构对浮选分离的影响	(188)
三、四川某镍矿冶炼厂高冰镍选矿车间	(190)
四、我国某镍公司冶炼厂高冰镍车间	(192)
五、加拿大铜崖冶炼厂高冰镍分离	(194)
六、第二次高冰镍浮选分离	(194)
第八章 铜铁矿物的分离	(197)
第一节 影响铜铁矿物分离的主要因素	(197)
一、铜铁矿石的特性	(197)
二、铜铁矿石选矿分离工艺流程	(198)
三、浮选药剂	(199)
四、铜硫在矿石中的含量对选矿指标的影响	(199)
第二节 铜铁矿物的分离实例	(200)
一、寿王坟铜矿选矿厂	(200)
二、辉铜山选矿厂	(202)
三、铜山铜矿选矿厂	(204)
四、凤凰山铜矿选矿厂	(206)
五、铜官山铜矿选矿厂	(208)
六、落雪铜矿选矿厂	(212)
第九章 锑汞多金属硫化矿物的分离	(216)
第一节 锑汞硫化矿物的特性及可浮性	(216)
一、辉锑矿的特性及可浮性	(216)
二、辰砂的特性及可浮性	(218)
第二节 锑汞多金属硫化矿浮选分离工艺及方法	(219)
一、优先浮选	(219)
二、混合+优先浮选	(219)
三、选冶联合工艺	(220)
第三节 硫化钠及重铬酸盐抑制辉锑矿作用机理	(220)
一、硫化钠	(220)
二、重铬酸盐	(220)
第四节 锑汞硫化矿物的分离实例	(221)
一、锑汞浮选分离研究	(221)

二、浮选-冶金分离锑汞	(223)
三、汞-锑-锌-铅多金属硫化矿物浮选分离	(223)
第十章 锑金多金属硫化矿物的分离	(225)
第一节 主要矿物的特性及可选性	(225)
一、自然金的特性及可选性	(225)
二、钨矿物的特性及可选性	(225)
第二节 锑金(砷)浮选分离的方法	(226)
一、氢氧化钠法	(226)
二、硫化钠-氢氧化钠或碳酸钠法	(227)
三、氧化剂法	(228)
四、丁铵黑药法	(229)
第三节 锑金多金属硫化矿物分离实例	(231)
一、湖南某锑金(砷)选厂	(231)
二、南非麦契逊(Murohison)锑金(砷)矿选厂	(231)
三、湘西金矿选矿厂	(233)
第十一章 含锡多金属硫化矿物的分离	(240)
第一节 含锡多金属硫化矿物选矿分离工艺	(240)
一、工艺流程	(240)
二、关于含锡多金属硫化矿物选矿分离工艺主要问题的处理	(241)
第二节 含锡多金属硫化矿物选矿分离工艺的主要特点	(242)
一、重介质预选	(242)
二、细筛工艺在磨矿分级作业中的应用	(242)
三、选矿各种方法的联合应用及重选设备	(243)
四、锡矿泥的回收	(244)
第三节 含锡多金属硫化矿选矿分离实例	(246)
一、长坡选矿厂	(246)
二、铜坑-车河锡矿选矿厂	(250)
三、大屯硫化锡矿选矿厂	(253)
四、长营岭锡矿选矿厂	(256)
五、日本明延矿神子畑选厂	(259)
第十二章 含钨多金属硫化矿物的分离	(262)
第一节 含钨多金属硫化矿物选矿分离工艺的特点	(262)
一、选矿工艺流程及重、磁选设备	(262)
二、抬浮	(263)
三、预选及细筛工艺的应用	(263)
四、钨矿泥的回收	(264)
第二节 硫化矿物混合精矿浮选分离工艺	(265)
一、辉铋矿-黄铁矿的分离	(265)
二、闪锌矿-辉铋矿-黄铁矿的分离	(266)

三、钼、铋、铜-黄铁矿的分离	(267)
四、加温浮选分离钼、铋、铜的硫化矿物混合精矿	(270)
第三节 从钨重选尾矿中浮选辉钼矿的实例	(272)
一、某矿钨选矿厂	(272)
二、大龙山钨矿选矿厂	(272)
第四节 从浮选铜、铅、锌硫化矿物的尾矿中回收白钨矿的实例	(274)
一、某一钨选矿厂	(274)
二、荡坪钨矿宝山选矿厂	(277)
第十三章 含金多金属硫化矿的分离	(281)
第一节 碳酸化转化-浮选法提金	(282)
一、试验研究	(282)
二、碳酸化转化-浮选法提金在工业上的应用	(284)
第二节 含金多金属硫化矿分离实例	(285)
一、灵山选厂	(285)
二、山东某金矿选厂	(287)
三、乳山金矿选厂	(289)
四、文峪金矿选厂	(289)
五、金场选厂	(293)
六、铜井选矿厂	(294)
主要参考文献	(296)

第一章 多金属硫化矿浮选分离的理论基础

第一节 多金属硫化矿的特点

多金属硫化矿主要分为：含铜多金属硫化矿、铅锌多金属硫化矿、含锑多金属硫化矿、含锡多金属硫化矿、含钨多金属硫化矿、含金多金属硫化矿等类型。

一、含铜多金属硫化矿

根据矿物的共生关系，含铜多金属硫化矿主要有铜铅锌、铜铅锌硫、铜锌、铜锌硫、铜钼、铜钼硫、铜镍、铜镍硫、铜钴钼、铜硫、铜铁、铜铁硫等硫化矿石。主要产于斑岩铜矿、矽卡岩铜矿、层状铜矿、火山岩沉积型、铜-镍硫化矿等矿床中。一般含铜的品位较高。主要矿物有黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、铜蓝、辉钼矿、镍黄铁矿、紫硫镍矿、闪锌矿、铁闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、磁铁矿、赤铁矿、自然金等。主要脉石矿物有石英、方解石、辉石、绿泥石、蛇纹石、滑石、白云石、石榴子石等。伴生貴重重金属金、银、铂等。含铜多金属硫化矿伴生的金、银含量见表1-1。

表 1-1 含铜多金属硫化矿伴生金、银含量(克/吨)

名 称	矿 石 类 型	品	位
		金	银
铜官山铜矿	铜-铁-硫矿石	0.56	18.50
铜山铜矿	铜-铁-硫矿石	0.58	9.67
凤凰山铜矿	铜-铁-硫矿石	0.63	11.54
丰山铜矿	铜-硫矿石	0.83	16.50
永平铜矿	铜-硫矿石	0.13	14.40
东乡铜矿	铜-硫矿石	—	12.195
金口岭铜矿	铜-钼矿石	3.51	9.5
德兴铜矿	铜-钼-硫矿石	0.145	1.10
金川镍矿	铜-镍矿石	0.13~0.35	—
铜录山铜矿	铜-铁矿石	1.35	11.50

矿石的特点：①矿石中共生有用矿物种类多，矿石性质复杂，各种硫化矿物均有一定的可浮性，常采用浮选分离。②对于矿石中含次生硫化铜较多，易产生铜离子，活化了闪锌矿及黄铁矿，使它们的可浮性较好；铜铅硫化矿物的可浮性相近；矿石中易氧化的黄铁矿与磁黄铁矿含量较多；矿石泥化严重等。这些均影响浮选分离，有的使铜锌、铜铅分选困难。③磁黄铁矿具有

较好的磁性。④大多数黄铜矿、黄铁矿伴生金；紫硫镍矿伴生铂族元素。

二、铅锌多金属硫化矿

铅锌多金属硫化矿产于中、低温热液碳酸盐裂隙充填和交代矿床中。依据矿物的共生关系，主要有铅锌、铅锌硫等硫化矿，一般铅锌含量较高，其中锌大于铅。这类型矿石主要矿物有方铅矿、闪锌矿、铁闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、斑铜矿等；金属氧化矿物有白铅矿、铅矾、铅铁矾、菱锌矿、异极矿、红锌矿、硅锌矿等。脉石矿物有白云石、方解石、石英、绢云母、绿泥石、黑云母、萤石、重晶石等。矿石中常伴生有镉、锗、镓、铟以及金、银等贵金属。铅锌多金属硫化矿伴生银的含量见表 1-2。

表 1-2 铅锌多金属硫化矿伴生银的含量(克/吨)

铅锌矿的名称	品 位	铅锌矿的名称	品 位
黄砂坪	50~90	兰 坪	100~110
凡 口	100~120	锡铁山	110
柴 河	100~120	大宝山	9.3
青城子	60~70	八家子	150~200
桃 林	7.8	东 坡	80~100
水口山	80~100	大 新	46
银 山	50~100	河 三	50
小铁山	126	栖霞山	120

矿石的特点：①铅、锌、硫等硫化矿物表面都具有不同的疏水性，常用浮选分离。②有的矿石性质复杂，矿物共生关系紧密，粒度较细，不均匀；有的闪锌矿含镉、铜等杂质，它的可浮性较好。这些均增加了铅锌浮选分离难度。③矿石中含有铁闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿及细粒等较多，均能影响浮选效果。④方铅矿常伴生银；闪锌矿常伴生镉、锗等元素。

三、含锑多金属硫化矿

含锑多金属硫化矿中除主要含辉锑矿外，常含有黄铁矿、毒砂、辰砂、黑钨矿、白钨矿、自然金等矿物。脉石矿物主要有石英、方解石、叶蜡石、白云石、绢云母、云母等。从矿物共生关系，有下列几种类型矿石：①锑金砷矿石。②锑金矿石。③锑钨金矿石。④锑汞矿石。

矿石的特点：①在矿石中的硫化矿物及自然金的可浮性较好，并且它们的比重差异较大。对于粗粒矿物可用重选分离；对于硫化矿物呈细粒嵌布，紧密共生，组成复杂，选矿处理这类矿石则以浮选为主，有的采用重选-浮选、浮选-重选、浮选-冶金联合流程来进行分离。②锑、汞硫化矿物可浮性相近，选矿分离难度较大。③白钨矿是非硫化矿物，它与脉石矿物比重差异小，常用浮选回收。④细粒自然金常伴生在黄铁矿、毒砂、辉锑矿等矿物中。

四、含锡多金属硫化矿

含锡多金属硫化矿主要产于硫化物-铁类和硅-碱类两大类型矿床。前者又可分为：①矽卡岩；②锡石-硫化物；③锡石-碳酸盐；④锡石-硅酸盐-硫化物等四大矿系。后者为锡石-石英矿系。含锡多金属硫化矿分类及矿物特性，如表 1-3 所示。这些类型矿石中，除含锡石外，还伴生有铜、铅、锌、铋、铌、钨、砷等有用矿物，均可综合回收。根据国内的实际情况，按主要伴生矿物的种类，将含锡多金属硫化矿分为四种类型，其矿石主要特点如下：

表 1-3 含锡多金属硫化矿分类及矿物特性

矿床特性			矿床类型				
			硫化物-铁类				硅-碱类
			1. 矽卡岩	2. 锡石-硫化物	3. 锡石-碳酸盐	4. 锡石-碳酸盐-硫化物	锡石-石英脉
主要含锡矿物			锡石、木锡石、黝锡矿	锡石、黝锡矿	锡石、黝锡矿	锡石、黝锡矿	锡石、黝锡矿
金属硫化物含量(%)			S+Fe>20	40~70	>20	>20	<10
有用矿物共生关系			复杂	复杂	复杂	复杂	较简单
石英含量(%)			<30	<30	<30	<30	>60
矿石比重			大	大	大	大	<3.0
主要脉石矿物			硅酸盐	石英、硅酸盐	碳酸盐	碳酸盐	石英
含泥情况(-74 微米)			5%~25%	5%~25%	5%~25%	5%~25%	少
锡矿物嵌布粒度			中细不均匀	中细不均匀	中细不均匀	中细不均匀	粗中细不均匀
可选性	难易度	主要金属	难选	难选	难选	难选	易选
		伴生金属	难选	中等难选	难选	难选	难选
	锡指标(%)	原矿品位	0.7~1.0	0.7~1.0	0.7~1.0	0.7~1.0	0.1~0.5
		粗矿品位	60	20~60	20~60	20~60	40 以上
		回收率	60~80	30~75	60~70	60~70	65~80
矿床所产的地区 (国家或选矿厂名称)			前苏联	澳大利亚 玻利维亚	泰国的 平约克		澳大利亚 英 国
主要选矿方法			重选-浮选、 浮选-重选、 精选用多种 选矿方法	重选-浮选-磁 选-电选、浸 出等	重选-浮选-磁 选-电选、浸 出等	重选-浮选-磁 选-电选、浸 出等	粗选用重选、 精选用多种 选矿方法

1. 锡石-毒砂型(湖南)

①矿物成分简单，除锡石外，硫化矿物主要是毒砂，它在矿石含量有的高达 50% 以上。②

锡石嵌布粒度粗,品位高,主要与毒砂共生,矿石易选。

2. 锡石-硫化铅锌型(广西大厂)

①金属矿物种类较多,除锡石外,硫化矿物主要有黄铁矿,其次是铁闪锌矿、闪锌矿、脆硫锑铅矿等。②金属矿物多呈集合体嵌布,围岩矿化少,锡石呈粗细粒不均匀嵌布,但主要与硫化矿物的集合体呈粗粒嵌布,可选性中等。可以采用重介质预选,抛去一部分尾矿。

3. 锡石-磁性矿物型(湖南)

①矿物成分复杂,除锡石外,还伴生的磁性矿物约占原矿的40%,主要是磁黄铁矿,其次为磁铁矿。②硫化矿物多呈集合体嵌布,锡石大部分呈细粒嵌布在脉石内,小部分与黄铁矿共生,磁黄铁矿对浮选的影响较大,矿石一般难选。

4. 锡石-铜钨铋矿物型(云南)

①有用矿物种类较多,含量高达60%左右,除锡石外,硫化矿物主要有磁黄铁矿及黄铁矿,其次为黄铜矿,还伴生高比重的非硫化矿物如白钨矿、自然铋等。②锡石结晶粒度较细,主要嵌布在磁黄铁矿、萤石、辉石等矿物中。矿石比较难选。

五、含钨多金属硫化矿

1. 该类型矿石主要产于脉钨矿床及细脉浸染型钨矿床中

(1)脉钨矿床:这类矿床组成异常复杂,有60种以上的矿物。主要的金属矿物除黑钨矿、白钨矿外,伴生有锡石、辉钼矿、黄铜矿、辉铋矿、自然铋、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黝锡矿等;脉石矿物主要有石英、长石、云母、黄玉、电气石、磷灰石、萤石、方解石等。由于石英脉矿床的成因多属气化高温热液与高温热液类型,故围岩矿染显著,风化程度不一,矿物产状也极为复杂。金属矿物在矿脉两侧与围岩接触处比较富集,晶体也较粗大,但也有为数不少的矿物嵌布于石英脉内。金属矿物中以黄铜矿、黄铁矿最为常见。此外,在围岩矿染带内常有辉钼矿、硫化铜矿物等呈星点状分布。

(2)细脉浸染型钨矿床:它主要产出含钨多金属硫化矿石,其中矿物数量和种类比脉钨矿还多,矿物更为复杂。该矿床的矿石可浮性较好。除黑钨矿、白钨矿外,还含有其他主要矿物如黄铜矿、辉钼矿、斜方砷钴矿、毒砂、辉铋矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等近30种。脉石矿物主要有白云母、石榴子石、电气石、绿泥石、方解石等。常伴生有铌、钽等元素。黑钨矿与白钨矿之比为3:2,矿石主要呈角砾状、浸染状、网脉状,硫化矿物呈角砾的胶结构,并浸染在围岩中。

2. 含钨多金属硫化矿物的赋存状态

含钨多金属硫化矿物的赋存状态,见表1-4。

3. 含钨多金属硫化矿石的特点

在该类矿石中常伴生着许多硫化矿物和稀散元素,特别是钼、铋、铜、锌、铅等硫化矿物最为常见,虽然它们在矿石中的含量较低(通常为万分之几),但这些矿物具有较高的综合回收价值。由于它们的比重大,可浮性较好,在钨的重选过程中伴生硫化矿物随着钨矿物一道进入粗钨精矿而得到富集,然后用抬浮精选,得钨精矿及硫化矿物混合精矿,再将硫化矿物混合精矿进行浮选分离,得各种硫化矿物精矿,成为钨选厂中综合回收伴生金属硫化矿物的主要原料。

六、含金多金属硫化矿

主要有含金的铜硫矿石、锑金(砷)矿石、含金的铜铅锌矿石、锑钨金矿石以及含金的铜铁矿石。伴生金属硫化矿物有黄铜矿、方铅矿、黄铁矿、辉锑矿、闪锌矿、辉铜矿、磁铁矿、白钨矿、黑钨矿等。脉石矿物有石英、绢云母、方解石、斜长石等。金在矿中主要是自然金。

矿石特点:①自然金及铜、铅、锑、锌、硫等硫化矿物的可浮性较好。因此,对含金多金属硫化矿物的分离以浮选为主,有时配合重选及磁选进行。②对于自然金嵌布粒度粗的,可用重选回收。③一般自然金嵌布粒度较细,常伴生在硫化矿物中,它在选矿过程中随着载金矿物富集而富集,只能得到含金的各种硫化矿物精矿。

表 1-4 含钨多金属硫化矿物的赋存状态

元素	含量(%)	主要矿物及其特性	选矿方法
钨	$0.0\times\sim0.00\times$	辉钨矿:呈鳞片状或星散状分布,产于矿脉边缘或中部,也有渗入围岩内,结晶粒度为 $2\sim0.0\text{mm}$,以 $0.01\sim0.06\text{mm}$ 为最多	抬浮与浮选
锑	$0.\times\sim0.0\times$	辉锑矿 自然锑:呈针状,柱状及粒状产出,颜色铅灰金属光泽,比重 $6\sim7$,属早期矿化阶段的产物,晶体发育,与其他硫化物伴生于石英脉内,在矿脉两侧者晶体粗大,单矿物中有铜、银及其他元素	重选及抬浮、浮选。
铜	$0.\times\sim0.0\times$	黄铜矿:呈不规则粒状,致密块状,常与辉钨矿、辉锑矿、磁黄铁矿及闪锌矿伴生,富集于石英脉两侧,也常见到在矿染围岩内,结晶一般在 $0.03\sim0.12\text{mm}$	重选、抬浮、浮选
铅	$0.0\times$	方铅矿:除在闪锌矿中呈包裹体外,在脉石中呈溶蚀很深的和不规则的单独颗粒或细粒小块	重选、抬浮、浮选
锌	$0.\times\sim0.0\times$	闪锌矿:呈不规则粒状,块状及自形晶体产出或与其他硫化物一起呈细脉状多赋存于矿体的中、下部,闪锌矿内部常见有乳滴状,呈散粒状或细脉状,黄铜矿,黄铁矿这些包裹物。一般为 $10\sim20$ 微米,有时伴生有铁闪锌矿	抬选与浮选
铁		黄铁矿:是含量最多的硫化矿物,呈不规则立方体及块状分布或星散在围岩内 磁黄铁矿:呈块状或不规则的粒状浸染,与黄铜矿、闪锌矿、辉锑矿等致密共生,多赋存于矿体的上部 毒砂:出现普遍,呈规则的粒状、块状产出	抬浮、浮选

第二节 工艺矿物学的特性及研究

一、矿物嵌布粒度

一般将矿石经磨矿后使矿物达到单体解离,才能进行选矿。根据矿物在矿石中的粒度嵌布情况来制定磨矿方案。通常矿物在矿石中嵌布粒度粗,采用一段磨矿;嵌布粒度细,采用二段磨矿才能使矿物达到单体解离。有的几种矿物在矿石中呈集合体嵌布,共生关系密切,矿石粗磨后可以预选抛尾,再将粗精矿、次精矿或中矿再磨再选。有的矿物在矿石中呈不均匀嵌布,粒度较细,几种矿物共生紧密,必须采用多段磨矿、多段选别。在磨矿过程中主要防止矿石过粉碎,避免影响选矿指标。

二、矿物表面特性

实践证明:辉钼矿、辉铜矿、黄铜矿、方铅矿、黄铁矿等硫化矿物表面的疏水性明显占优势,它们的可浮性较好。反之,闪锌矿表面对水和空气的亲合力几乎相等,它的可浮性差,在浮选时,必须加入活化剂。上述特性说明了各种硫化矿物表面具有不同的物理化学特性。

1. 晶格特性

将主要金属硫化矿物的晶格特性,叙述如下:

(1)辉钼矿:它的晶格为标准状构造,“构造层”间为分子键联结,吸引力弱,因结晶体受外力,极易沿构造层间的分子键离露出,它的表面具有强疏水性的硫原子组成{0001}解理面,可浮性较好,测定辉钼矿表面的接触角为 75° 。

(2)黄铜矿:该矿物晶格构造属四方晶系,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,所以配位四面体的方位均是相同。由于黄铜矿具有较高晶格能,而且,结晶构造中硫离子所处位置对铜铁元素来说是在晶格内层。因此,黄铜矿对它的氧化作用具有较大的稳定,并在矿物表面容易形成疏水性的硫化铜薄膜,它的可浮性较好。

(3)方铜矿:该晶格属离子型向金属型过渡的类型,离子键的断裂必然产生亲水性的极性表面。经抛光过的新鲜方铅矿表面在纯水中接触角为零。因此,它的天然可浮性为零。但是,在碎矿及磨矿过程中新生的表面多为解理面,离子键没有断裂,因而被水润湿不好,易被有机非极性化合物润湿,具有疏水性的表面,它的可浮性较好。方铅矿由不同产地,含杂质种类,赋存状态的不同以及晶格表面缺陷的存在,其可浮性也不相同。

(4)黄铁矿:它的晶格是由阳、阴离子区镶嵌组成,由于阳、阴离子区的并存,使矿物表面的黄药易氧化为双黄药。而双黄药正是浮选黄铁矿起较好作用的捕收剂。并且,表面不均匀晶格缺陷多的黄铁矿更容易促进双黄药的形成,使它的可浮性较好。黄铁矿八面体的晶格组成比六面体的可浮性好。黄铁矿晶格的S/Fe值与某些性质有关,它们之间存在着一定联系,当黄铁矿的S/Fe值偏于理论值时,其易氧化性、某些物理性质、浮游性与电位等均有较大的偏差,偏离愈远,其偏差也愈大,可浮性下降,浮选更加困难。黄铁矿具有较强的氧化特性,利用矿物表面的氧化性,强化分选过程非常重要, Cu^{+2} 、 Hg^{+2} 、 Ag^{+} 离子对它活化作用,因为黄铁矿的氧