

钨钼锡铋矿选矿技术

现状和发展

王中明

北京矿冶研究总院

矿物加工技术与科学国家重点实验室

2010年6月



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

1

主要内容


1. 钨钼锡铋矿的基本物理性质及选矿基本原理

2. 钨矿选矿技术现状，实例分析

3. 钼矿选矿技术现状，实例分析

4. 锡矿选矿技术现状，实例分析

5. 铋矿选矿技术现状，实例分析



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

2


1. 钨钼锡铋矿的基本物理性质及选矿基本原理

1.1 钨矿的基本物理性质及选矿基本原理

1.1.1 钨的储量和资源

■ 据美国地调局资料，2006年世界钨储量为290万t，世界钨资源主要集中在加拿大、俄罗斯、美国、玻利维亚，五国合计占世界总储量基础的87%。

■ 中国是世界钨资源最丰富的国家，储量180万t，储量基础420万t，占世界钨储量的62%，钨资源广泛分布于21个省、市、自治区，主要集中在湖南、江西、广东、广西等地。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

3

表 1-1 世界钨储量和储量基础 单位: 万 t (钨金属量)

国家或地区	储量	储量基础	国家或地区	储量	储量基础
中 国	180.0	420.0	奥地利	1.0	1.5
加拿大	26.0	49.0	葡萄牙	0.47	0.62
俄罗斯	25.0	42.0	朝 鲜	~	3.5
美 国	14.0	20.0	其 他	35.0	70.0
玻利维亚	5.3	10.0	世界总计	290.0	630.0

数据来源：国土资源部信息中心，《2006~2007 世界矿产资源年评》，地质出版社，2008

表 1-2 2008 年全国钨矿资源储量 单位: WO<sub>3</sub> 万 t

省 (区)	矿区数	基础储量	储量	资源量	查明资源储量
全国	383	235.12	138.85	326.05	561.17
北京	3			0.15	0.15
河北	1			0.08	0.08
内蒙古	21	4.86	1.85	13.94	18.80
辽宁	2			0.06	0.06
吉林	4	0.03		0.98	1.01
黑龙江	8	4.88	3.59	14.58	19.46
浙江	7	0.68	0.58	0.37	1.05
安徽	4	0.87	0.14	3.27	4.14
福建	13	13.72	11.51	16.46	30.18
江西	134	46.85	33.50	58.99	105.84
山东	2	0.03		4.68	4.71
河南	4	34.86	27.07	11.13	45.99
湖北	8	0.56		4.93	5.49
湖南	62	107.88	53.75	85.31	193.19
广东	51	2.42	0.96	32.36	34.78
广西	20	7.20	0.27	24.47	31.67
海南	1	0.03	0.02	0.12	0.15
四川	1			0.02	0.02
贵州	3			1.05	1.05
云南	21	4.94	2.45	16.59	21.53
甘肃	6	5.31	3.16	33.99	39.30
青海	3			1.85	1.85
新疆	4			0.67	0.67

数据来源：《2009 年中国钨工业年鉴》，中国钨业协会，2009


1. 钨钼锡铋矿的基本物理性质及选矿基本原理

1.1 钨矿的基本物理性质及选矿基本原理

1.1.2 钨的主要性质

表 1-3 钨的主要物理性质

物理性质	数值	单位
密度 (20℃)	19.3	g/cm <sup>3</sup>
熔点	3400	℃
沸点	5555	℃
平均比热 (0-100℃)	138	J/(kg·k)
熔化热	46.9 (估算值)	kJ/mol
汽化热	737 (估算值)	kJ/mol
热导率 (0-100℃)	174	W/(m·k)
电阻率	5.4	μΩ·cm



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

6

1.1.2 钨矿物的种类

- 在地壳中仅发现有20余种钨矿物和含钨矿物，但最有工业价值的主要为黑钨矿（钨锰铁矿）和白钨矿（钨酸钙矿）（见表1-2）。

表 1-4 主要钨矿物及性质

矿物	钨锰矿	钨锰铁矿	钨铁矿	白钨矿
分子式	MnWO <sub>4</sub>	(FeMn)WO <sub>4</sub>	FeWO <sub>4</sub>	CaWO <sub>4</sub>
含 WO <sub>3</sub> , %	76.5	76.6	76.3	80.6
晶系	单斜	单斜	单斜	正方
解理	沿斜轴面	沿斜轴面	沿斜轴面	平行锥面
莫氏硬度	5~5.5	5~5.5	4~4.5	4.5~5
密度	7.2~7.5	7.1~7.5	6.8	5.9~6.2
磁性	弱磁性	弱磁性	弱磁性	非磁性

数据来源：《矿产资源综合利用手册》，科学出版社，2000

1.1.3 钨矿床一般工业要求

表 1-5 钨矿床一般工业要求

矿床类型	石英 大脉型	石英细脉 带型	石英细脉 浸染型	层控型	矽卡岩型
边界品位 (WO <sub>3</sub> %)	0.08~0.1	0.1	0.1	0.1	0.08~0.1
工业品位 (WO <sub>3</sub> %)	0.12~0.15	0.16~0.20	0.15~0.20	0.15~0.20	0.15~0.20
可采厚度 (m)		1~2	1~2	0.8~2.0	1~2
夹石剔除厚度 (m)		3	2~5	2~3	3

数据来源：《矿产资源综合利用手册》，科学出版社，2000

1.1.4 钨矿床主要类型及其地质特征

(1) 矽卡岩型白钨矿矿床

矽卡岩型白钨矿矿床是目前世界上最重要的钨矿类型，主要含钨矿物为白钨矿，常伴生有钼、铜、铋等；非金属矿物有方解石、萤石、石榴石、透辉石、云母等。主要在巴西、加拿大、俄罗斯、澳大利亚、中国、韩国、土耳其和美国境内，如澳大利亚金岛、美国派恩克里克、中国瑶岗仙钨矿床、新田岭白钨矿床、柿竹园钨（钼铋）矿床、香炉山白钨矿床、甘肃墩儿沟似矽卡岩型白钨矿床等。

1.1.4 钨矿床主要类型及其地质特征

(2) 石英脉型黑钨矿矿床

石英脉型黑钨矿成矿与壳源改造花岗岩类侵入体的关系密切，矿石主要由石英和黑钨矿所组成，并含有锡石、辉钼矿、辉铋矿、白钨矿、毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿等。具有代表性的矿床有江西西华山、大吉山、广东锯板坑、梅子窝、石人峰等石英脉型黑钨矿床。国外著名的有玻利维亚钨、锡矿带，其次有伊比利亚半岛西部、中南半岛、俄罗斯远东和外贝加尔等一些矿床。

(3) 网脉（斑岩）型钨矿床

网脉（斑岩）型钨矿床矿石品位低（0.1%左右），储量大，埋藏浅，往往伴生钼、锡等其他金属元素。这种类型矿床与石英脉型黑钨矿矿床关系密切。中国代表性矿床为广东莲花山钨矿床、江西阳储岭钨矿床等。

1.1.5 中国钨资源特点

(1) 分布高度集中，资源储量十分丰富

钨资源储量的61.37%集中在湖南、江西和河南三省。湖南柿竹园、江西西华山和大吉山、福建行洛坑、广东锯板坑和广西大明山等矿床属于超大型和大型钨矿床。

(2) 矿床类型较全，成矿作用多样

除现代热泉沉积矿床和含钨卤水-蒸发岩矿床外，几乎世界上所有已知钨矿床成因类型在中国均有发现。

1.1.5 中国钨资源特点

(3) 钨矿共（伴）生组分多，综合利用价值大

钨矿共（伴）生组分可达30多种，与钨矿共（伴）生组分主要有锡、钼、铋、铜、铅、锌、金、银、铁、硫、铌、钽、锂、铍、稀土、分散元素镓、锗、铟、铪以及非金属矿砷、萤石等。在采选冶过程中综合回收这些有益组分，不仅有利于矿产资源的合理开发，也是提高开采经济效益的重要途径。

1.1.5 中国钨资源特点

(4) 伴生在其他矿床中的钨资源储量可观

全国伴生钨资源储量可观，大部分随主矿产开发而综合回收。如河南栾川钼矿、云南个旧锡矿等。河南省作为中国钨矿资源储量第三大省，其中钨储量90%以上是栾川钼矿中伴生的白钨矿，栾川钼矿是世界六大巨型钼矿之一，其中 $WO_3$ 平均品位为0.124%，相当于一个特大型白钨矿床。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

13

1.1.5 中国钨资源特点

(5) 富矿少，贫矿多，难选矿石多

中国的钨资源储量中，黑钨约占20%，白钨约占70%，混合钨约占10%。中国以前消耗的大部分是黑钨矿，黑钨资源越来越接近枯竭，已经形成了以白钨矿为主的局面。白钨资源虽占全国钨资源储量的70%，但由于富矿少、组份复杂、有用矿物嵌布粒度细，大多属于难以回收利用的矿石。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

14

1.1.6 钨选矿的基本原理

(1) 黑钨矿选矿

黑钨矿矿石中的黑钨矿嵌布粒度粗、密度大、并且具有弱磁性，因此多采用重选方法粗选，采用磁选、浮选、台选和电选方法精选。黑钨矿矿石的典型选矿流程分为三步。

**第一步：破碎和预选。**原矿经过三段一闭路破碎流程，碎至-200~120mm，然后分为三级，对前两级首选或光电拣选预选，废石丢弃。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

15

1.1.6 钨选矿的基本原理

(1) 黑钨矿选矿

**第二步：重选。**手选精矿经跳汰、摇床、泥砂分选。重选获得跳汰粗精矿、摇床粗精矿和细泥粗精矿。

**第三步：精选。**跳汰粗精矿再次跳汰选别获得黑钨精矿。摇床粗精矿分级台浮、浮选、磁选和电选富集，得到黑钨精矿，并综合回收锡精矿、钼精矿、铋精矿、铜精矿等。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

16

1.1.6 钨选矿的基本原理

(1) 黑钨矿选矿

- 黑钨细泥用重选失去作用，一般采用浮选回收。
- 用脂肪酸类作黑钨矿的捕收剂时，常用碳酸钠作调整剂，用水玻璃作脉石抑制剂。
- 脂肪酸类捕收剂选择性差，肿酸类捕收剂是黑钨矿的良好捕收剂，但肿酸一般毒性较大。
- 苯乙烯膦酸、苯甲基羟膦酸效果较好。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

17

1.1.6 钨选矿的基本原理

(2) 白钨矿选矿

白钨矿嵌布粒度一般较细，但它具有很好的可浮性，故一般采用浮选法回收。

- 通常采用烧碱法或石灰法粗选白钨矿石，获得含 $WO_3$ 5%的白钨粗精矿，即用苛性钠或苏打+石灰将矿浆pH调制11，用水玻璃抑制脉石矿物，用脂肪酸类捕收剂浮选白钨矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

18

### 1.1.6 钨选矿的基本原理

#### (2) 白钨矿选矿

- 白钨矿的可浮性虽好，但从经济观点着眼，对粗粒白钨矿仍采用重选法回收。
- 细粒嵌布的白钨矿，一般用浮选，或先浮选得出低品位精矿后水冶处理。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

19

### 1.2 钼矿的基本物理性质及选矿基本原理

#### 1.2.1 储量和资源

- ◆ 2007年世界钼储量为860万t，储量基础1900万t。
- ◆ 2007年中国钼储量为330万t，储量基础830万t。
- ◆ 世界钼储量主要分布在美国、智利、中国、加拿大和俄罗斯等国家，这五个国家的储量占世界钼总储量的90.6%。
- ◆ 中国是世界钼资源大国，其中钼金属储量大于或接近100万t以上的特大型斑岩钼矿有河南栾川、吉林大黑山和陕西金堆城钼矿等。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

20

#### 1.2.2 钼矿物的种类

- 自然界中已发现的钼矿物约30余种，按其组成可分为：
- 硫化矿物、氧化矿物、钼酸盐和其它盐类。
- 硫化矿物：辉钼矿 $\text{MoS}_2$ 为代表，其它的有非晶态 $\text{MoS}_2$ 与焦迪斯矿 $\text{MoS}_2$ ；铁辉钼矿；硫钼铜矿等。
- 氧化矿物：钼华 $\text{MoO}_3$ ；铁钼华
- 钼酸盐：钼酸钙矿 $\text{CaMoO}_4$ ；钼钨钙矿；彩钼铅矿



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

21

#### 1.2.4 钼矿床

- 主要的钼矿物只有4种：

辉钼矿、钼酸钙矿、钼酸铁矿（钼华和铁钼华）和钼酸铅矿（彩钼铅矿）

占世界开采总量98%以上的是辉钼矿，其它3种矿物仅是辉钼矿的次生氧化产物，常伴生在辉钼矿矿床中，但却极少构成具有工业开采价值的独立矿床。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

22

#### 1.2.4 钼矿床

##### ■ 钼矿床的划分方法

- 按矿床地质成因划分：高、中温热液型矿床、矽卡岩型矿床。
- 按矿体构造划分：脉状、网脉状、细脉浸染状和块状
- 按矿石结构划分：斑岩钼矿、斑岩铜钼矿和矽卡岩钼矿。
- 按有价矿物种类划分：主产钼矿与副产钼矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

23

#### 1.2.4 钼矿床

- 主产钼矿中主要回收的有价矿物是辉钼矿，但也不排除含伴生、可综合回收的有价矿物，如白钨矿、黄铜矿、黄铁矿等。中国的栾川、金堆城、杨家杖子钼矿等均属主产钼矿床。
- 副产钼矿是在矿石提取其它主要有价成份同时，综合回收伴生的辉钼矿，它含钼为0.01%左右，常见铜-钼矿、钨-钼矿、铀-钼矿等含钼多金属矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

24

1.2.5 主要钼矿物的物理性质

■ 辉钼矿：

密度4.80g/cm<sup>3</sup>；莫氏硬度：1~1.5；熔点1185℃；铅灰色；呈带绿的灰黑色条痕；{001}解理极完全，薄片具挠性，易弯曲，薄片底部裂纹并易成粉末；有滑腻感。晶体结构：辉钼矿呈层状结构，六方右三方晶型。

■ 钼华：

密度4.5-4.74g/cm<sup>3</sup>；莫氏硬度：1~2；熔点795℃；沸点1155℃。稻草黄色、黄白色、白色到无色；条痕白色。丝绸光泽、珍珠光泽还有土状光泽。微溶于水，易溶于氨水或碱液。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

25

1.2.4 钼选矿基本原理

■ 钼选矿具有以下3个特点。

(1) 辉钼矿具有优良的自然可浮性

一般采用非极性油，如煤油、变压器油和中性油浮选辉钼矿矿石。

(2) 钼矿石选矿的富集比高

钼矿石中钼品位低，约为0.1%左右，而钼精矿质量要求又很高，精矿钼品位为45%~51%，钼的富集比超过500。对于伴生钼的矿石来说，富集比更高。为了降低能耗，采用粗磨—粗选工艺，尽量减少细磨物料量显得非常必要。为了获得高质量的钼精矿，对钼粗精矿进行多段再磨和多次精选十分重要。钼精选作业次数经常为6~9次。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

26

1.2.4 钼选矿基本原理

(3) 铜钼矿物浮选分离问题

世界钼总产量的40%为副产，大部分产自铜钼矿山。这类矿山以铜为主，综合回收伴生的钼。矿石中钼品位比铜低的多，通常为0.01%~0.03%，这类矿床钼储量大，生产规模大，钼生产成本低。处理这类矿石经常采用铜钼混合浮选与铜钼混合精矿铜钼分离浮选工艺。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

27

1.3 锡矿的基本物理性质及选矿基本原理

1.3.1 锡储量和资源

- 2007年世界锡储量和储量基础分别为610万t和1100万t。
- 锡资源比较丰富的国家主要有中国、巴西、马来西亚、印度尼西亚、玻利维亚、秘鲁、澳大利亚、泰国和俄罗斯等。
- 2007年中国锡储量170万t，占世界储量的28%。
- 世界上已开采的主要锡矿有两类，即原生锡和砂锡。
- 云南、湖南和广西三省是中国的主要锡生产地，2006年三省（区）锡矿产量占当年中国产量的94.1%。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

28

1.3 锡矿的基本物理性质及选矿基本原理

1.3.2 锡矿物

已发现的含锡矿物有20多种，可分为氧化物、硫化物、硫酸盐、硅酸盐、硼酸盐、钽钨盐和天然合金。但是，其中仅有锡石具工业价值，黝锡矿有一定利用价值。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

29

1.3.2 锡矿物

表1-6 主要锡矿物及主要特性

矿物名称	化学式	晶系	硬度	比重
锡石	SnO <sub>2</sub>	四方晶系	6~7	7.3~7.6
黝锡矿	Sn <sub>3</sub> As <sub>4</sub> S <sub>14</sub>	四方晶系	3~4	7.3~7.6
硫锡矿	SnS	三方晶系	2~3	5.0~5.2
硅锡矿	SnSiO <sub>3</sub>	三方晶系	5~6	4.5~4.8
钽锡矿	SnTaO <sub>6</sub>	三方晶系	5~6	5.5~5.8
钨锡矿	SnWO <sub>4</sub>	三方晶系	5~6	5.5~5.8
天然合金	Sn-Pb, Sn-Cu, etc.	立方晶系	2~3	7.0~7.5



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

30

1.3.2 锡矿物

续表1-6 主要锡矿物及主要特性




Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

31

1.3.2 锡矿物

■ 锡石：

脆而易碎，表面硬度较大。纯净的锡石无色、透明，但大多数情况下因含杂质而呈褐色或沥青黑色，表面光泽为暗淡至玻璃光泽和金刚光泽，断面呈脂肪光泽。解理不完全，断口常为贝壳状。结构构造属正方晶系。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

32

1.3.2 锡矿物

■ 黝锡矿：

亦称**黄锡矿**，结构构造属正方晶系，常见块状和粒状。表面呈金属光泽，铅灰色不透明。解理完整，断口不平滑，性脆。黝锡矿很少形成单独的工业矿床，而是同锡石伴生，含锡低。可选性同一些硫化矿物相近，选冶加工困难，工业价值比锡石小得多。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

33

1.3.3 锡矿床

■ 按矿床形成过程，可分为脉锡矿床和砂锡矿床。

脉锡矿床又分为锡石-硫化物矿床、锡石-石英矿床、锡石-伟晶岩矿床和锡石-氧化物矿床，以前两种矿床为主。

砂锡矿床分为残坡积砂锡矿床、冲积砂锡矿床和海滨砂锡矿床。在我国占首要地位的是残坡积砂矿，次为冲积砂矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

34

1.3.4 锡矿选矿基本原理

- 根据锡矿资源的以上特点，锡选矿方法以**重选**为主，并常常与磁选、浮选、电选、焙烧、挥发、浸出相结合；选矿过程应强化预选，阶段磨矿除段选别，早收早丢，矿泥归队，单独处理。在利用方面以锡为主，综合利用，生产高质量精矿和低品位锡中矿并举。
- 锡选厂常用的重选方法及设备有重介质选矿、跳汰、摇床、螺旋选矿机、离心选矿机和皮带溜槽等。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

35

1.3.4 锡矿选矿基本原理

■ 锡石浮选：

主要用于3个方面：

- (1)分离、回收或脱出伴生的硫化矿物；
- (2)在粗精矿精选中分离和回收白钨矿、独居石等伴生氧化物；
- (3)从矿泥中浮选细粒易石

■ 磁选和静电选：

主要用于锡粗精矿精选，分离并回收密度与锡石相近的各种伴生重矿物。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

36

1.4 铋矿的基本物理性质及选矿基本原理

1.4.1 铋储量和资源

- ◆ 2007年世界储量为210万t，储量基础为430万t。
- ◆ 世界铋资源集中分布在中国、玻利维亚、俄罗斯、南非和墨西哥等几个国家。
- ◆ 世界铋矿床最重要的工业类型是热液层状铋矿床和热液脉状矿床，分别占世界储量的50%和40%，分别提供世界铋矿产量的60%和30%。
- ◆ 中国是世界上最大的铋资源国，铋储量和储量基础分别占世界总量的37.6%和55.8%。
- ◆ 以湖南铋储量为最多，其次为广西、云南、甘肃、广东和四川等省（区）。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

37

1.4 铋矿的基本物理性质及选矿基本原理

1.4.2 铋矿物

已发现的含铋矿物有120多种，较常见者有70种，具有工业利用价值的含铋矿物仅有10几种，主要有辉铋矿、方铋矿、铋赭石、黄铋华、红铋矿（硫氧铋矿）、天然铋、硫汞铋矿、车轮矿、脆硫铋铅矿、圆柱锡矿、铋华、黝铜矿等。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

38

1.4.3 主要铋矿物特征

表1-7 主要铋矿物特征




Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

39

1.4.4 铋矿床

■ 世界铋矿床的工业类型：

主要为层状铋矿床；其次介脉状铋矿床；还有残坡积及砂铋矿床。

我国以单一硫铋矿床为主，平均品位达3.99%，便于开发利用。此外，还有钨铋金、钨铋、汞铋、铋多金属共（伴）生矿床，其共生和伴生组分可资源综合回收利用。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

40

1.4.5 铋矿选矿基本原理

■ 手选：

利用铋矿石中含铋矿物与脉石矿物在颜色、光泽和形状的差异来进行的人工的分选方法。因为铋矿物常呈粗大单体结晶或块状集合体产出，手选能得到品位较高的块精矿，直接入炉焙烧冶炼；能降低选矿生产成本和能耗。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

41

1.4.5 铋矿选矿基本原理

■ 重选：

辉铋矿密度大、结晶粒度粗，用重选方法易与脉石矿物分离。辉铋矿密度4.62g/cm<sup>3</sup>，而脉石矿物密度为2.65左右，其等沉（降）比为2.19，属于易选矿石；黄铋华、红铋矿、铋华密度也较大，与脉石矿物的等沉比辉铋矿与脉石矿物的等沉比还要大，属极易选矿石。不论单一硫化铋矿石还是硫化-氧化混合铋矿石，均具有较好的使用重选方法的条件。重选方法费用低，又可在较粗粒度范围内分选出大量合格粗粒精矿，并且丢弃大量脉石。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

42

1.4.4 铈矿选矿基本原理

■ 浮选:

手工选矿废弃的高品位铈粉矿，铈矿泥等用重选、手选不能处理的矿石，采用浮选。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

43

2 钨矿选矿技术现状，实例分析

2.1. 黑钨矿选矿

2.2. 白钨矿选矿

2.3. 黑白钨混合矿选矿

2.4. 国内外选矿工艺、选矿设备对比

2.5. 钨矿选矿技术进展



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

44

2.1 黑钨矿选矿

- 中国的黑钨矿的选矿普遍采用重选为主的联合选矿工艺，一般分为**粗选、重选、精选和细泥处理**等选别作业段。
- 黑钨矿选矿的原则流程一般为：预先富集手选丢废；多级跳汰、多级摇床、阶段磨矿、摇床丢尾；细泥归队处理、多种工艺精选、有用矿物综合回收。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

45

2.1 黑钨矿选矿

- 中国的黑钨矿
- 选矿主要设备有：颚式破碎机、圆锥破碎机、对辊破碎机、棒磨机、球磨机、跳汰机、水力分级机、摇床、浮选机、磁选机、电选机等。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

46

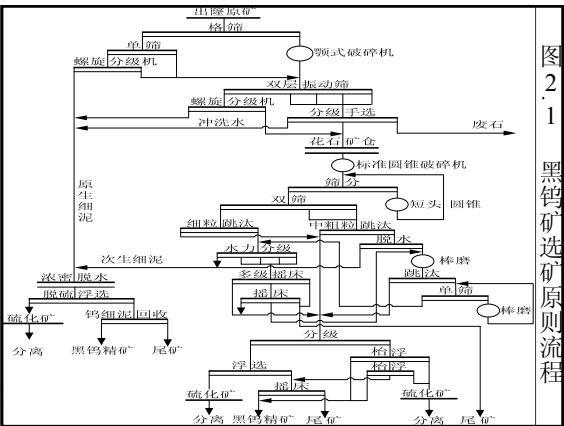


图 2-1 黑钨矿选矿原则流程

2.1.1 粗选

- 黑钨矿采矿贫化率高。
- 根据黑钨矿围岩与脉石易于辨认的特点和表面物理性质的差异，在入重选前一般要进行粗选丢废。
- 目前手选仍是中国石英脉型黑钨矿粗选丢废的主要手段，光电拣选机、重介质选矿由于种种原因没有应用。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

48



图2.2 选厂手选作业



### 2.1.1 粗选

在粗选中，依据钨选矿“早收多收，早丢多丢”的原则，及早使黑钨矿在解离后回收，是提高钨选矿回收率的重要措施。部分黑钨矿山在手选作业中单独选出块钨和富连生体，直接进入精选作业，避免了高品位块钨在破碎、磨矿、重选作业及皮带运输等环节中发生泥化损失，实现了“早收多收”，提高了钨回收率。

盘古山、大吉山钨矿粗选工艺流程中，就结合使用了这几种工艺技术，提高了钨回收率，降低了粗选段钨的损失。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

50

### 2.1.2 重选

黑钨矿选矿的经典重选流程见下图。即多级跳汰、多级摇床、中矿再磨的流程。

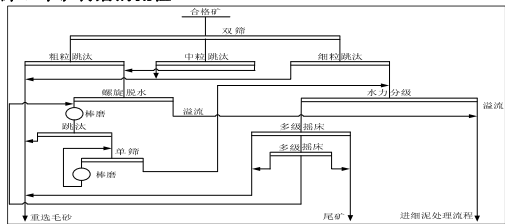


图2.3 中国黑钨矿经典重选原则流程

Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

51

### 2.1.2 重选

跳汰早收，摇床丢尾是该重选流程的核心，黑钨矿三级跳汰和多级摇床的重选流程结构多年来基本没什么变化，但各矿山都根据矿石性质特点及流程特点，通过改进重选工艺参数来提高黑钨矿选矿效率。比如合理调整摇床粒级范围、提高水力分级效率以保证摇床选别效果，应用高效跳汰机和筛分设备等。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

52

### 2.1.3 精选

黑钨矿精选一般采用浮-重联合或浮-重-磁联合的多种选别工艺进行精选，并在精选段对伴生元素进行回收。

在精选作业中，一般通过粗粒粒浮和浮选脱除硫化矿，粒浮和机浮硫化矿合并进入硫化矿浮选分离，粒浮和机浮黑钨矿进一步通过重选生产出黑钨精矿，如果黑钨精矿中含有白钨矿或锡石，则通过重选-浮选或重选-浮选-磁选（电选）等联合流程选出黑钨精矿、白钨精矿和锡精矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

53

### 2.1.3 精选



图2.4 粒浮作业



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

54

2.1.3 精选

黑钨矿选矿厂的精选车间大都间断作业，流程比较灵活，有的甚至较复杂。所用的设备也较特殊，例如，卧式搅拌机（见左图）、立浮机（见右图）等，这在普通的浮选厂是见不到的。



卧式搅拌机

立浮机

Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

55

2.1.3 精选



盘式电选机得到不同产品

Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

56

2.1.4 细泥处理

各黑钨矿山一般都对细泥进行单独处理。细泥处理的一般流程为：首先进行脱硫，然后根据细泥物料性质通过重选、浮选、磁选等选别工艺或几种工艺的联合选别工艺，对钨矿物进行回收，同时对伴生金属矿物进行综合回收利用。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

57

2.2 白钨矿选矿

- 白钨矿选矿工艺流程以浮选为主。
- 白钨矿浮选一般分为硫化矿浮选、钨粗选和精选。
- 白钨矿粗选一般采用碳酸钠和水玻璃做调整剂，用脂肪酸类捕收剂浮选，也有部分选矿厂用螯合捕收剂。
- 白钨粗精矿精选工艺目前主要有两类，一类为加温浮选，一类为常温浮选。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

58

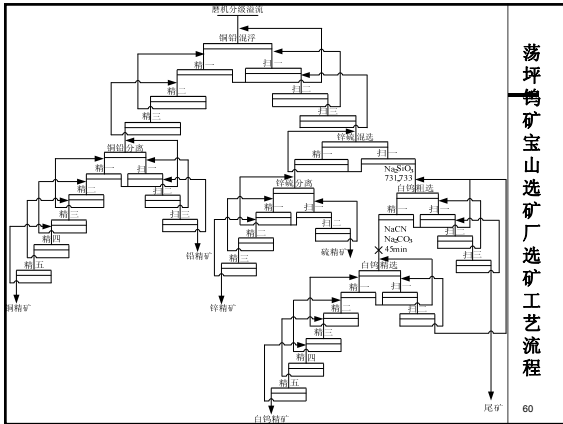
2.2 白钨矿选矿

大部分白钨矿精选采用的是白钨加温浮选工艺。白钨精选采用常温法的有荡坪钨矿宝山矿区和香炉山钨矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

59



荡坪钨矿宝山选矿厂选矿工艺流程

60

2.3 黑白钨混合矿选矿

- 黑白钨矿特点是钨品位低，嵌布粒度细，黑白钨与多种有用矿物密切共生，脉石矿物组成复杂，通常需要复杂的工艺流程进行处理。
- 对于黑白钨混合矿，关键在于黑白钨矿物的充分回收并综合回收共（伴）生矿物。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

61

2.3 黑白钨混合矿选矿

- 目前对于黑白钨混合矿的选别，采用硫化矿浮选及分离-黑白钨混浮-钨粗精矿加温精选-黑钨细泥浮选的主干全浮流程，例如柿竹园有色金属公司，也有采用重浮原则流程，例如福建省洛坑钨矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

62

2.3 黑白钨混合矿选矿

- 柿竹园多金属矿是特大型钨钼铋矿床，矿石综合利用价值高，具有极高的经济价值和战略意义。
- 在国家“八五”、“九五”科技攻关中，由柿竹园有色金属公司、北京矿冶研究总院、广州有色金属研究院、长沙有色冶金设计研究院等单位联合攻关，提出了以主干全浮流程为基础，以整合捕收剂浮选为核心的钼铋等可浮、钼硫混选、黑白钨混合浮选、粗精矿加温精选、黑钨细泥浮选的综合选矿新技术-柿竹园法。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

63

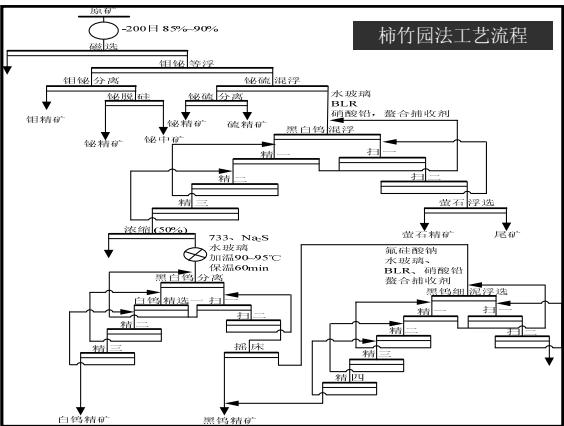
2.3 黑白钨混合矿选矿

- 柿竹园法的研究成功，使柿竹园有色公司连续新建并投产两座大型选矿厂，使该公司一跃成为钨矿山生产规模最大、经济效益最好的钨矿企业。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

64



2.3 黑白钨混合矿选矿

- 在历经十年攻关形成的“柿竹园”法基础上，目前柿竹园选矿技术又有重大突破，首次采用“高梯度强磁分流黑、白钨矿物—黑、白钨矿物分别浮选”的磁-浮选别新工艺代替原有的主干全浮工艺，实现了低品位黑白钨矿物的和谐、高效分选，并为下一步的萤石、石榴子石和锡石的综合回收创造了有利条件。工业生产结果表明：该流程可使钨的综合回收率提高5~10%。
- 中国矿业大学浮选柱在柿竹园钨粗选首次应用，缩短流程，节水、节能、节省药剂，占地面积小，改善指标。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

66

## 2.4 国内外选矿工艺、选矿设备对比

- 根据资料显示，中国大型黑、白钨矿山的选矿工艺处于世界领先水平，但白钨矿的回收率较国外钨矿山有一定差距。主要因为：
  - 国外白钨矿资源质量较高，原矿品位高，矿石易选别。
  - 国外对白钨矿的回收多采用选冶联合流程，钨粗精矿品位低，一般在15—30%，选冶回收率达90%，值得中国企业借鉴。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

67

## 2.4 国内外选矿工艺、选矿设备对比

- 国外钨矿在精矿质量、劳动生产率、技术装备和自动化水平方面也有一定优势。
  - 在国外较普遍的采用了高效率的磨矿、重选及自动化设备。在中国钨矿山特别是黑钨矿中新设备的应用几乎没有，大部分黑钨矿山采用的是陈旧的选矿设备。
  - 中国钨矿山的自动化控制水平低，绝大多数矿山没有采用选矿过程的自动检测与控制。国外钨选矿厂虽未实现全盘自动化，但比较普遍地实行检测仪表化和重点部位自动化。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

68

## 2.5 钨矿选矿技术进展

### ■ 重选

重选工艺的关键在于设备，重选工艺的进展主要就是重选新设备的研制与推广应用。主要有：

- ◆ 用高倍G (重力加速度)力加于跳汰设备的在线压力跳汰机(Inling pressuejig)、
- ◆ 克尔瑟离心跳汰机 (Kelsey Jig)、
- ◆ 尼尔森选矿机 (VG) 等，
- ◆ 回收率较高的带有筛子系统的跳汰机，



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

69

## 2.5 钨矿选矿技术进展

### ■ 重选

- 这些强化重选设备不断地在现有和新建的选矿厂获得应用。
- 这类高倍的G 力重选设备可以降低重选入选粒度，提高分选效率，用于旋流器给矿中可以回收常规重选法不能回收的细粒钨。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

70

## 2.5 钨矿选矿技术进展

近几年国内仍有关于改进重选工艺要素，提高黑钨矿选矿效率的报导，例如

浒坑钨矿选矿厂将原来的十室箱式水力分级机改造成六室水力分级机，用四室机械搅拌式水力分级机取代八室箱式分级机，提高了分级效率。粗、中粒摇床给矿中—74μm的细泥含量普遍降低，钨细泥归队率有所提高；



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

71

## 2.5 钨矿选矿技术进展

近几年国内仍有关于改进重选工艺要素，提高黑钨矿选矿效率的报导，例如

将刻槽摇床的槽型由直条状改为一波纹和二波纹，并增加了刻槽数，提高细粒摇床的作业回收率4.7-41.5%；

还采取了在摇床上接取20%的富中矿入球磨再磨再选，从而增大了摇床粗精矿带的宽度，提高粗精矿产率3.5%。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

72

2.5 钨矿选矿技术进展

■ 浮选药剂

- 白钨矿浮选的捕收剂仍大量使用脂肪酸及其皂类，例如，油酸、油酸钠、氧化石腊皂等。
- 近年来，以苯甲羟肟酸和CF（亚硝基苯胍胺盐）为代表的螯合捕收剂也开始推广应用于白钨矿浮选，但一般都与脂肪酸及其皂类混合使用，并适量添加硝酸铅作活化剂，以发挥这类捕收剂选择性强的优势。
- 研制和应用高效选择性抑制剂一直是白钨矿与以萤石、方解石、磷灰石为主的含钙脉石矿物浮选分离的关键。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

73

2.5 钨矿选矿技术进展

■ 浮选药剂

- 目前已经较少单独使用水玻璃作抑制剂,大多与硫酸铝、六偏磷酸钠、氟硅酸钠、羧甲基纤维素等混合添加或制成组合抑制剂。
- 这类组合抑制剂的应用，不但大大减少了水玻璃的用量，强化了对含钙脉石矿物的选择性抑制作用，也对用常温浮选取代长期用“彼德洛夫法”进行白钨精选的传统工艺有了可能的途径。水玻璃是常用的硅酸盐矿物的有效抑制剂，在常温下对一些含钙脉石也有一定的抑制作用。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

74

2.5 钨矿选矿技术进展

■ 常温浮选

- 白钨矿浮选精选作业，长期以来都沿用需加温的“彼德洛夫法”，不但水玻璃耗量大，也消耗能量,而且费时长,还须脱药清洗，流程较为复杂。
- 近年来,随着新型浮选药剂的研制、应用，在白钨矿常温精选的研究方面有所进展。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

75

2.5 钨矿选矿技术进展

■ 常温浮选

柿竹园白钨矿精选虽然还应用加温法,但已经对传统的“彼德洛夫法”进行了改进，改添加单一水玻璃为以水玻璃为主的组合药剂，不但取消了脱药和脱硫工序，而且改善了精选的效果。

原来采用的彼德洛夫法精选，给矿含 $WO_3$ 18.76%，经一粗三精四扫的流程后获得了白钨精矿含 $WO_3$ 66.49%,回收率为52.63%。改进后的精选法，采用相同流程获得白钨精矿含 $WO_3$ 69.78%，回收率为58.04%。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

76

2.5 钨矿选矿技术进展

■ 低品位白钨矿的浮选

- 我国的白钨矿储量中贫、细、杂的矿床占多数，还有大量属于品位极低、赋存于其它金属矿床中的白钨矿，近五年来，低品位白钨矿选矿实践有了实质性的进展。
- 最为典型的是河南栾川钼矿含白钨资源，其白钨矿 $WO_3$ 储量达62万吨，但由于矿石中 $WO_3$ 含量很低，自开发利用钼以来，一直未能找到合适的工艺综合回收钨，数万吨 $WO_3$ 被丢弃于尾矿中。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

77

2.5 钨矿选矿技术进展

■ 低品位白钨矿的浮选

- 自2000年与俄罗斯国家技术中心有色金属研究院合作以来，白钨回收选矿技术取得了实质性的进展，已经完成了从小型试验到工业试验的过程，并已进入工业生产阶段，5000吨/日规模的白钨选矿厂已建成投产。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

78

### 2.5 钨矿选矿技术进展

#### ■ 低品位白钨矿的浮选

- 2001年在150吨/日规模的工业试验时，采用了俄罗斯提供的代号为P-1的捕收剂，以水玻璃和硫化钠为抑制剂，从含 $\text{WO}_3$ 0.143%的浮钼尾矿中回收白钨，经一粗二扫二精作业获得了粗精矿含 $\text{WO}_3$ 2.361%，粗选回收率达82.76%。
- 采用加温精选法经一粗三扫三精作业，获得了白钨精矿含 $\text{WO}_3$ 46.8%，精选作业回收率为87.21%，再经酸浸后获得最终白钨精矿含 $\text{WO}_3$ 53.57%，钨的回收率达71.82%。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

79

### 3 钼矿选矿技术现状，实例分析

#### 3.1 大型浮选柱的生产应用

#### 3.2 选钼尾矿综合回收白钨

#### 3.3 高品级钼精矿的试验与生产

#### 3.4 磨矿自动控制的应用

#### 3.5 滑石型钼矿选矿技术有突破

#### 3.6 新药剂



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

80

#### 3.1 大型浮选柱的生产应用

- 洛阳栾川钼业集团公司与长沙有色冶金设计研究院吸取有关最新技术自行设计的新型系列浮选柱，于2003年率先应用在该集团公司所属选矿三公司2500t/d选矿厂改造中。
- 将原有一粗、二扫、九精、精选1尾矿再次精扫的全浮选机生产流程，用一台粗选柱( $\Phi 3.8 \times 11\text{m}$ )、两台精选柱( $\Phi 1.2 \times 7.2\text{m}$ 和 $\Phi 0.8 \times 6\text{m}$ )取代一粗、九精浮选机作业，保留原有粗扫和精扫设备的柱机结合流程进行生产，其钼精矿品位由45.67%、回收率81.14%分别提高到48.34%和84.71%。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

81

#### 3.1 大型浮选柱的生产应用

- 与原生产流程的单一浮选机选别相比，相对处理成本降低2.29元/t，其中电耗节省3.3kW/t，占节省成本费用的75.5%。
- 浮选柱可缩短流程，节能降耗，降低厂房占地面积，降低生产成本。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

82

#### 3.2 选钼尾矿综合回收白钨

- 为了从浮钼尾矿中综合回收白钨，1980年—2001年洛钼集团与国内多家科研院所以及俄罗斯国家技术中心有色金属研究院合作，共进行了10次试验研究。研究包括单一重选、重一浮和单一浮选流程方案，并在150t/d试验工厂对重一浮和全浮流程方案进行了工业试验。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

83

#### 3.2 选钼尾矿综合回收白钨

- 全浮试验流程由钼硫混合分离浮选、白钨常温粗选和白钨粗精矿加温浮选，以及浮选精矿用酸洗脱磷作业组成，白钨常温粗选系采用耐低温性能好、来源广、价格低的P-1（皂化钠）作捕收剂，其价格比常用的733，731浮钨药剂低30%，其试验指标为：浮钼尾矿 $\text{WO}_3$ 品位0.143%，精矿品位53.57%，回收率71.82%。几年来，生产运行可靠效益显著。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

84

### 3.3 高品级钼精矿的试验与生产

- 金堆城钼业公司采用擦洗技术，调整流程结构，添加水玻璃和优化工艺条件，取得了精矿品位57.10%，回收率98.28%的理想指标。擦洗技术是提高钼精矿品位的有效手段，与增加再磨细度相比更为合理。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

85

### 3.3 高品级钼精矿的试验与生产

- 三十亩地选矿厂为了提高钼精矿品位，对原精选系统进行了技术改造，包括：
- 增加一段磨和一段再磨系统的精选次数，一段再磨细度由—38 $\mu$ m占75%提高到85%；
- 二段再磨改水力旋流器并联为串联，控制—38 $\mu$ m占90%溢流细度；



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

86

### 3.3 高品级钼精矿的试验与生产

- 改原用A型浮选机为BF型，并新增水玻璃抑制剂和完善原有药剂制度。
- 生产实践表明，改造前（1999年）与改造后（2000年）同期比较，钼粗精矿品位由3.78%提高到5.20%，精矿品位由51.54%提高到52.65%，理论回收率由85.04%提高到86.98%。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

87

### 3.4 磨矿自动控制的应用

- 百花岭选矿厂与丹东东方测控技术有限公司合作，采用
- 电耳监控球磨机工作状态
- $\gamma$ -浓度计监控磨矿分级溢流浓度
- 应用模糊控制技术，通过调整供水电磁阀来控制给水点水量，调整球磨机给矿电机转速控制给矿量，指挥自动加球机控制加球等手段代替人工操作，实现磨矿自动化。
- 选矿厂现有10台磨机（ $\Phi 3.6 \times 4.0$ m 9台， $\Phi 3.6 \times 6.0$ m 1台）已于2003年全部改造完毕，生产运行平稳，技术可靠。投入使用后与同期比较，选钼回收率提高了0.85个百分点，磨机效率提高2.41t/h，溢流细度（—0.074mm含量）提高1.78个百分点，经济效益显著。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

88

### 3.5 滑石型钼矿选矿技术有突破

- 滑石型难选钼矿石，滑石含量一般为6%—15%，其自然可浮性好于辉钼矿。
- 多年来，国内外多家研究所无论是采用预先浮滑石、抑滑石浮钼或用多开路的浮选流程，都未能从根本上解决滑石型钼矿选矿精矿品位和回收率低的技术难题。
- 当滑石含量超过8%，其回收率仅50%—65%左右，且药剂耗量大、回水利用率低、成本高，钼的浮选均难以正常进行。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

89

### 3.5 滑石型钼矿选矿技术有突破

- 2003年，中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所在小型试验的基础上，采用：
- 预先强磁选铁—螺旋重选及脱泥—钼浮选新工艺，对原矿滑石含量约11.5%的试样进行了半工业试验，其产品铁精矿TFe品位67.5%，回收率76.8%，重选及脱泥后粗精矿钼品位1.64%，回收率82.29%，钼粗精矿经浮选精选后获得（小型试验）钼精矿品位45.53%，作业回收率97.5%，钼总回收率80.27%。
- 该试验的成功，揭示了目前在尚未获得有效的滑石抑制剂之前，利用滑石易粉碎、泥化的特点，在浮钼前进行有效地脱除，是目前解决该类型难选矿石的有效途径之一。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

90

3.6 新药剂

- 代号CO<sub>3</sub>、CO<sub>4</sub>和CMO是辉钼矿新捕收剂。CO<sub>3</sub>是一种强力捕收剂，对辉钼矿连生体回收有利。CO<sub>4</sub>捕收能力稍弱，选择性较好，对回收细粒辉钼矿有利。
- 金堆城张学武，用上述三种捕收剂与用煤油作捕收剂浮选辉钼矿的对比试验结果表明，前者可提高回收率3%-5%，但选择性比煤油差，钼精矿品位低。
- 浮选辉钼矿的捕收剂主要为煤油，但将少量丁黄药、OSN-43，十二烷基硫酸醇或丁氨黑药与煤油混用，能不同程度地提高辉钼矿回收率。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

91

3.6 新药剂

- 磷诺克斯对铅有很强的抑制作用，通过调整配制过程中的条件，如：  
NaOH浓度及与P<sub>2</sub>S<sub>5</sub>配比，可以增加磷诺克斯的抑制效果。对金堆城钼精矿降铅的试验研究表明，合理使用P-Nokes、P<sub>2</sub>S<sub>5</sub>与NaOH的配比、添加地点和添加量能强化对铅的抑制效果。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

92

3.6 新药剂

- ◆ 代号TS抑制剂是一种用于铜钼分离的新药剂。刘建国等人的工业试验结果表明，它能有效地抑铜浮钼。工业对比应用试验，TS用量为6.21kg/t，Na<sub>2</sub>S用量为50kg/t，其用量远比硫化钠少，可以替代使用。
- ◆ 北京矿冶研究总院采用BK-510药剂用于柿竹园钼钼矿物分离，其用量仅为硫化钠的十分之一，钼精矿含铋比使用硫化钠更低。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

93

3.7 实例分析

- 翠宏山铁钼多金属矿选矿试验研究。
- 试验的矿样是以铁为主并伴生钼、锌的多金属矿，其中原矿含铁51.53%，含钼0.03%，含锌0.16%。
- 矿石的主要目的矿物为磁铁矿、辉钼矿及闪锌矿等，其它极少量硫化矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿，有害杂质组分毒砂含量极少，脉石矿物主要为辉石、云母、硅镁石等含硅矿物。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

94

3.7 实例分析

- 翠宏山铁钼多金属矿选矿试验研究。
- 根据矿石的性质，本次试验分别进行了磁选—钼铋依次优先浮选和磁选—钼铋混合浮选联合流程试验，实验室试验最终推荐磁选—钼铋依次优先浮选联合流程。
- 获得合格的铁精矿、钼精矿、锌精矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

95

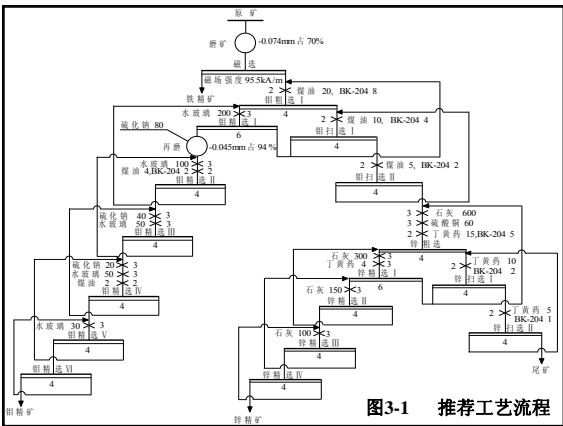



图3-1 推荐工艺流程



3.7 实例分析

表3-1 闭路试验结果


 Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM) 97


4 锡矿选矿技术现状，实例分析

4.1 锡矿资源特点

4.2 锡矿选矿工艺流程

4.3 锡矿选矿技术进展

4.4 实例分析

 Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM) 98


4.1 锡矿资源特点

■ 同一般有色金属矿石相比，锡矿石在可选性、资源和生产方面有以下4个特点。

(1)有用锡矿物的单一性和有用伴生矿物的多样性

具有工业价值的锡石矿物几乎仅有一种-锡石，而矿石中伴生的有用矿物少则3~4种，多则十几种，有铁锰、铜、铅、锌、铋、钨、锑、钽、钼、稀土、硫、砷和萤石等矿物。

锡石密度大，重选是锡石的主要选矿方法，而伴生的有用矿物密度相近，需采用重选、磁选、浮选和电选等多种选矿方法处理。

 Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM) 99


4.1 锡矿资源特点

■ (2)锡石的稳定性和易碎性

锡石硬度大，不溶于一般的酸或碱，在自然风化过程中相当稳定。

但是，锡石性脆而易碎，在碎磨过程中，易过粉碎而成矿泥。


因此，防止或减少锡石过粉碎是在选矿富集中的重要工作，采用阶段磨矿、阶段选别是锡石选矿流程的主要特征。

 Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM) 100

4.1 锡矿资源特点

(3)原矿锡石品位低和要求精矿品位高


锡原矿品位较低，平均为千分之几，而炼锡过程对精矿品位要求高，一般需达60%。富集比，高者达数千倍，低者亦达百倍。对于易选的锡石矿宜采用高处理能力、低消耗的选矿方法和设备。对难选矿石在产出合乎冶炼要求的高品位精矿的同时，对产出品位较低的不同产品需送不同冶金过程处理。

 Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM) 101

4.1 锡矿资源特点

(4)锡的价值高于一般有色金属，而其中共生的各种金属总价值又往往高于锡

可采用流程复杂且生产费用较高，但可采用分离和回收效果较好的选矿流程及选冶联合流程来处理。

 Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM) 102

## 4.2 锡矿选矿工艺流程

### ■ 砂锡矿的选矿方法

#### (1)冲击砂锡矿的选矿

冲击砂锡矿中锡几乎均以锡石状态存在，锡品位低，锡石单体解离度好，且以中粒为主，通常伴生多种金属。该种矿石的选矿特点是，选矿前用筛分机预选出去不含矿的卵石，尽量洗矿脱泥。有用矿物基本单体解离，故原矿不须破碎和磨矿，而直接采用分级粗选，集中精选。选矿流程为：经碎矿和筛分除去不含矿的卵石，并分成+0.074mm和-0.074mm粒级，+0.074mm粒级可采用螺旋选矿机或跳汰或摇床选别，-0.074mm粒级除去矿泥后进行摇床选别。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

103

## 4.2 锡矿选矿工艺流程

### ■ 砂锡矿的选矿方法

#### (2)残坡积砂锡矿的选矿

残坡积砂锡矿锡石结晶粒度细，嵌布不均匀；含铁高，锡铁结合紧密；风化程度严重，含泥多；伴生有多种金属矿物，但含量低。

在选矿中要尽量保证锡石单体解离和防止锡石过粉碎，坚持贫富分选，难易分选、粗细分选原则和能拿早拿、能丢早丢原则。

其原则流程由选矿和泥砂分离系统、矿砂系统、复选系统以及矿泥系统四部分组成。矿砂系统采用阶段磨矿、阶段选别流程，大部分选矿厂采用三段磨矿三段选别。矿砂系统摇床中矿送复选系统处理。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

104

## 4.2 锡矿选矿工艺流程

### ■ 砂锡矿的选矿方法

#### (2)残坡积砂锡矿的选矿

复选系统流程的繁简取决于原矿铁和锡的含量高低，可分别采用“预选复选。一段磨矿、一段选别”的简单流程或“预先复选、二至三段磨矿、二至三段选别，溢流单独处理，尾矿扫选”的较为复杂的流程。

矿砂系统与复选系统的主要选别设备为摇床。原生矿泥和次生矿泥经水力旋流器脱去-19 $\mu$ m矿泥，37~19 $\mu$ m细泥送至矿泥系统采用离心选矿机粗选，皮带溜槽精选，精选尾矿用矿泥摇床扫选。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

105

## 4.2 锡矿选矿工艺流程

### ■ 脉锡矿的选矿方法

目前我国开采的脉锡矿中有锡石—氧化矿、锡—钨石英脉矿和锡石—硫化矿三种类型，其中以第三种为最重要。

#### (1)锡石—氧化矿的选矿

锡石—氧化矿选矿流程与残坡积砂锡矿相近，采用以摇床为主，阶段磨矿、阶段选别的单一流程。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

106

## 4.2 锡矿选矿工艺流程

### ■ 脉锡矿的选矿方法

#### (2)锡—钨石英脉矿石的选别

- ◆ 锡—钨石英脉石选矿流程通常分为粗选和精选两部分。
- ◆ 在粗选前有时采用预选（人工手选、光电选或者重介质选矿），其目的一是选出没有矿化的围岩，二是选出含锡和钨高的富块矿，直接送精选厂精选。粗选几乎都采用单一的重选方法，且多半用跳汰—摇床流程，部分细粒嵌布的矿石，也有用单一摇床流程。粗选只产锡钨混合精矿。
- ◆ 精选则是包括浮选、重选、磁选、和电选多种方法的联合流程，以便获得合格的锡精矿、黑钨精矿和白钨精矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

107

## 4.2 锡矿选矿工艺流程

### ■ 脉锡矿的选矿方法

#### (3)锡石—硫化矿的选矿

锡石—硫化矿中有用矿物种类多，且共生致密，为了最大限度地回收其中的有用元素，宜采用以重选为主，多种选矿方法联合的复杂流程。

根据矿石的矿物组成和嵌布粒度的不同，采用的选矿流程有重选—浮选流程、重选—浮选—重选流程、浮选—磁选—重选流程和浮选—重选—浮选流程。

对于锡石含量高、嵌布粒度粗、矿物组分简单的锡石—硫化矿，一般将矿石粗磨后直接重选，重选精矿经浮选脱硫后，即得最终锡精矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

108

#### 4.2 锡矿选矿工艺流程

##### ■ 脉锡矿的选矿方法

###### (3) 锡石—硫化矿的选矿

对于锡石呈细粒嵌布、矿物组成复杂的锡石—硫化矿，先将矿石磨至能浮选的粒度，先浮出硫化物，浮选尾矿在重选回收锡。

对于锡石呈粗粒不均匀嵌布、矿物组成复杂的锡石—硫化矿，将矿石粗磨分级粗粒级先重选后浮选，细粒级先浮选后重选。

如锡石含量低，而伴生矿物含量高，宜采用浮选—重选流程。如锡石和硫化矿物呈集合体嵌布，应在适当的碎矿粒度下进行预选（如手选、光电选或重介质选），或在粗磨条件下先重选，重选粗精矿再磨后用浮选或其他方法分离。

如矿石中含有大量磁性矿物或大密度氧化物（如钨、铋、钼、铌、钽等），应在流程的适当位置分别用磁选或者其他选矿方法使之与锡石分离。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

109

#### 4.3 锡矿选矿技术进展

##### ■ 锡石重选

摇床仍是锡石重选的主要设备，以云锡式摇床为代表，分为粗砂、细砂和刻槽三种类型，上世纪九十年代又开发了专门用于矿泥选别的矿泥摇床。

广西平桂矿务局根据其地方矿石的类型和特点，开发出了广西式玻璃钢摇床和平桂四曲波变坡床条摇床，其中四曲波变坡床条摇床，具有处理能力大、选矿回收率高、床面上矿石分带清楚、适应难选矿物的选别等特点。

该设备已获得国家专利，在华锡集团车河选矿厂获得应用。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

110

#### 4.3 锡矿选矿技术进展

##### ■ 锡石重选

在摇床粗粒选别方面，云锡公司对YT-CA型粗砂摇床进行了改进，改进后的摇床能产生较大的传动惯性，形成了合理的床面运动特性，使矿粒的松散分层得到加强，从而强化了分选效果，提高了设备处理能力。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

111

#### 4.3 锡矿选矿技术进展

##### ■ 锡石重选

在锡的细粒重选设备方面，我国云锡公司在国内最先开发出离心选矿机，后又开发了皮带溜槽，国外则开发了横流皮带溜槽，上述设备在上世纪80年代以前都得到了广泛的应用。

上世纪90年代以后，国内加强了连续排矿离心机的研制，研制成功了逆流连续排矿离心选矿机和SL射流离心选矿机等设备，并在锡选矿厂开展了应用试验。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

112

#### 4.3 锡矿选矿技术进展

##### ■ 锡石重选

云锡公司研究开发出一种新型的细粒重选设备—振动旋转圆盘选矿机。

该设备结合了摇床的运动特性和圆形匀分槽处理能力大的优点，具有以下特点：

- ✓ 选矿富集比高
- ✓ 能耗低
- ✓ 易于实现多层化和设备处理量大

现已在云锡公司个旧选矿厂等的矿泥部分获得应用。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

113

#### 4.3 锡矿选矿技术进展

##### ■ 锡石重选-锡矿泥选别

锡石由于其性脆等特殊物理性质，在碎、磨过程中特别容易泥化和过粉碎，产生大量的次生泥。锡矿泥的选别更被认为是世界性的选矿难题。

在工艺和设备创新方面，对离心选矿机、皮带溜槽、云锡矿泥摇床在云锡矿泥选矿的单独及组合使用等进行了总结，认为采用单一的重选工艺、设备和流程，难以排除锡石硫化矿选别中残留药剂和硫矿物的干扰，且重选对19μm以下的微细粒级的锡石回收效果差，建议采用“重浮联合、选冶联合”的新工艺选别和处理锡矿泥，达到提高回收率和经济效益的目的。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

114

#### 4.3 锡矿选矿技术进展

##### ■ 锡石浮选

对于粒度小于 $37\mu\text{m}$ 或小于 $19\mu\text{m}$ 的细粒锡石，尽管研究了矿泥摇床、离心选矿机、皮带溜槽和圆盘选矿机等锡矿泥选矿设备，但选别效果和指标仍不能尽如人意，选别成本也相对较高，对锡多金属硫化矿物不能综合回收。因此，对细泥锡石的浮选研究依然是锡矿物加工的热门课题。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

115

#### 4.3 锡矿选矿技术进展

##### ■ 锡石浮选

在锡石浮选药剂研究方面，朱建光利用浮选药剂的同分异构原理研制新型锡石捕收剂，结果表明，2-羟基-3-萘甲羟膦酸（H205）是锡石良好的捕收剂，对于含锡1.36%的给矿，经过一粗二精中矿集中返回粗选的闭路流程，获得了含锡37.79%、回收率91.21%的锡精矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

116

#### 4.3 锡矿选矿技术进展

##### ■ 锡石浮选

云锡公司上世纪80年代，分别采用水杨氧膦酸和苄基砷酸为捕收剂，对锡石硫化矿矿泥系统开展了锡石浮选半工业试验。

广西华锡集团车河选厂采用水杨羟膦酸和磷酸三丁酯作组合捕收剂，选别锡细泥，取得精矿品位5-10%的锡粗精矿，再采用细泥摇床精选，可获得50%左右的锡精矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

117

#### 4.4 选矿实例

- 云锡公司大屯选矿厂硫化矿车间
- 该厂处理细粒嵌布的锡石多金属硫化矿。
- 锡品位：0.4~0.7%；铜品位：0.5~1.2%；硫品位：11~15%；还有少量铋、钨矿物等。
- 矿石中铜矿物主要有黄铜矿，还有少量铜蓝、辉铜矿和自然铜。主要金属矿物有磁黄铁矿、黄铁矿、褐铁矿、铁闪锌矿、毒砂、锡石等。脉石矿物主要有方解石、透辉石、萤石、云母、石英石榴子石。锡石嵌布粒度细。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

118

#### 4.4 选矿实例

- 云锡公司大屯选矿厂硫化矿车间
- 采用硫化物浮选-锡石重选流程。
- 矿石经三段一闭路破碎后，再经棒磨机磨至 $-0.2\text{mm}$ （即70%- $0.074\text{mm}$ ），采用等可浮或部分浮选工艺获得铜硫混合精矿，混合精矿添加石灰和腐殖酸钠进行铜硫矿物的分离，部分混合浮选尾矿再浮选硫。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

119

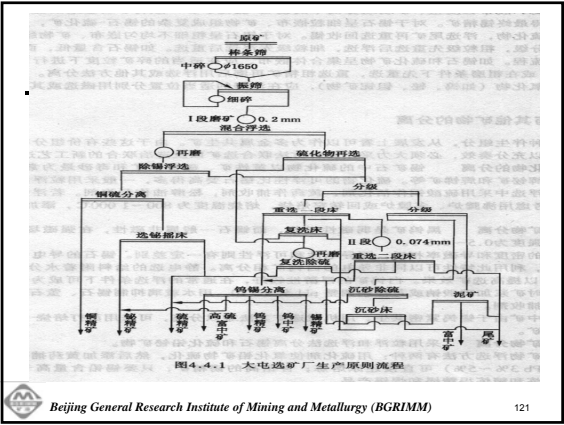
#### 4.4 选矿实例

- 浮选尾矿经水力分级，重选一段摇床获得锡精矿，床选中矿经复洗，中矿和粗粒尾矿再磨后，分别进行复洗和二段摇床选别。
- 矿泥进泥矿系统处理，泥矿采用离心选矿机-皮带溜槽-刻槽摇床选别。在每一段再磨后均用浮选脱硫。
- 重选锡精矿用浮选法回收其中的白钨矿。选矿工艺流程见图4.1。选矿厂出产铜精矿、锡精矿、锡中矿、钨精矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

120



## 5 锑矿选矿技术现状，实例分析

### 5.1 锑的选矿

### 5.2 锑的选矿技术进展

### 5.3 实例分析

### 5.1 锑的选矿

#### ■ 重选

重选适用于大多数锑矿石。

在矿石选矿实践中，采用的重选法主要有重介质选矿、跳汰选矿、溜槽选矿及摇床选矿。近年来，由于离心机选矿连续排矿研究成功，因此选别细粒级锑矿石将广泛应用。

### 5.1 锑的选矿

#### ■ 重选

➢ 重介质选矿

重介质选矿常用于锑矿石的预选作业。实践证明，除了含晶洞结构的矿石外，都可以采用重介质选矿。加重剂的性质对提高重介质选矿起着决定性的作用。加重剂必须具备下列条件：

- ①密度大；②不易泥化和氧化；③便于净化回收再用；④来源广，价格便宜；⑤对下一选别作业没有影响。

我国锑矿石选矿厂所用的重介质加重剂，大多采用砂轮厂刚玉废料块状硅铁。

### 5.1 锑的选矿

#### ■ 重选

➢ 跳汰选矿

跳汰选矿广泛应用于粗粒物料的分选。原料的粒度，对跳汰结果有极为重要的影响。

生产实践证明，跳汰粗粒级别物料时比跳汰细粒级物料时，不但跳汰机的单位生产率高，而且分层的效果也好。

### 5.1 锑的选矿

#### ■ 重选

➢ 摇床选矿

对于处理-2+0.074mm粒级的锑矿石，一般采用普通摇床，来复条床面适于处理较粗粒级，刻槽摇床面适于处理较细粒级。高频快速摇床（弹簧摇床）用于处理-0.074mm的锑矿石，有效的回收粒级为-37+20μm摇床的富集比较高，不论处理硫化锑矿石还是氧化锑矿石，都可以得到足够高的锑精矿品位，但回收率不高，作业回收率一般是45%~55%。

5.1 铈的选矿

■ 重选

■ 溜槽与离心机选矿

溜槽选矿与离心选矿机是处理细粒级及微细粒级物料的重选方法。

研究表明，对选别细粒与微细粒的铈矿石尤其是混合铈矿石是有效的。

例如云锡式离心选矿机与皮带溜槽工艺选别-0.037+10 $\mu$ m氧化铈矿细泥（离心选矿机一次粗选，皮带溜槽两次精选），当原物料含铈0.71%时，可获得含铈9.81%的精矿，作业回收率为33.2%。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

127

5.1 铈的选矿

■ 重选

■ 溜槽与离心机选矿

近年来，螺旋溜槽和离心选矿机的研制发展很快，不断取得新成就，如横切面为立方抛物线的螺旋溜槽能比较有效的处理氧化铈矿石，当物料中-1~0.037mm粒度占81.48%，含铈0.97%时，用螺旋溜槽粗选、平面摇床比用普通摇床，回收率可提高0.96%。

北京矿冶研究总院研制的射流离心选矿机能处理-74mm粒级的物料，也能处理粒度为-50 $\mu$ m占50%的物料。射流离心机的最大特点是能连续排矿，从而提高了单机处理能力。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

128

5.1 铈的选矿

■ 浮选

1. 辉铈矿浮选

辉铈矿根据其晶格特征有易浮和难浮两类。对于难浮的需要预先活化，一般常用的活化离子为铅离子和铜离子。对未经活化的辉铈矿也可以在酸性介质中用烃类油浮选。

用黄药作捕收剂浮选辉铈矿时，黄药用量较高，一般在400g/t以上。捕收剂的碳链长度对辉铈矿的浮选也有明显影响。含4~6个碳原子的黄药具有较好的捕收作用，而含2~3个碳原子的黄药的捕收能力则较弱。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

129

5.1 铈的选矿

■ 浮选

2. 氧化铈矿浮选。

直到目前为止，氧化铈矿浮选还处于研究阶段，仍然没有取得令人满意的突破，回收效果很差。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

130

5.2 铈的选矿技术进展

■ 技术进展

脆硫铈铅矿和磁黄铁矿的浮选行为相似，工业上常用的抑制剂，如石灰，不能很好的分离脆硫铈铅矿。尽管氰化物可以较好的分离脆硫铈铅矿和磁黄铁矿，但氰化物剧毒，污染环境，不利使用。

张芹等人研究了，乙黄药体系下新抑制剂RC对脆硫铈铅矿和磁黄铁矿浮选行为的影响，结果表明，RC可以较好的分离脆硫铈矿和磁黄铁矿。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

131

5.2 铈的选矿技术进展

■ 技术进展

张芹、胡岳华等人对脆硫铈矿无捕收剂浮选进行了研究，探索了脆硫铈矿自诱导浮选行为。

俄罗斯学者开发出的硫化二烷基氨基硫羰是一种有前途的药剂，采用四甲基硫化二烷基氨基硫羰作捕收剂浮选中亚矿床的几种铈矿石，获得了比用黄药+硝酸铅更好的指标。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

132

5.2 铈的选矿技术进展

■ 技术进展

王淀佐等在没有使用重金属盐活化剂的情况下考察了二乙基二硫代氨基甲酸在铈、砷分选过程的选择性，结果表明其选择性明显高于黄药。

孙阳等采用糊精抑制黄铁矿，乙硫氮、丁黄药和丁铵黑药按一定比例混合作为混合型捕收剂，可达到铈硫分离的目的，同时提高了铈精矿的品位(51.76%)，又保证了铈精矿的回收率(76.08%)。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

133

5.2 铈的选矿技术进展

■ 技术进展

n·M·索洛任金使用真菌从浸出液中回收铈和砷，能使92%的金属从水相中转变成气态的sbH，并且在焚烧以后产出了半导体纯度的铈和砷产品。

龙怀中、徐竟等运用选冶联合流程处理广西某硫化铈矿。用浮选法分离铅铈和铈，氯化浸出分离铅和铈，回收工艺简单、综合利用率高，可获得铅铈精矿含铅31.6%、铈30.2%，铅、铈回收率分别为86%和88.4%，铈精矿含铈56.2%，回收率84%。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

134

5.2 铈的选矿技术进展

■ 发展趋势

铈选矿发展趋势主要有以下方向：

(1)开发新药剂和通过联合用药改善浮选效果或降低药剂成本。

另外由于在浮选时，加入了大量的铅、铜离子、重铬酸钾活化或抑制辉铈矿，这些重金属离子一部分会随选矿废水外排造成环境污染，一部分最终进入铈精矿，给后续的冶炼过程带来麻烦，因此国内外学者在研究少用或不用重金属离子调整剂。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

135

5.2 铈的选矿技术进展

■ 发展趋势

(2)通过重、浮联合工艺、选冶结合、化学浸出等多种方法，探索处理难选铈矿的方法。

(3)对于氧化铈矿，常规重选方法存在回收率低的问题，开展氧化铈矿和复杂金属铈矿选矿研究，加速研究成果的工业化。

(4)对废置低品位矿、重选老尾矿及含铈炉渣进行调查和再选研究，以充分利用铈矿资源。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

136

5.3 选矿实例

■ 单一硫化铈矿石选矿

■ 锡矿山南选厂。

■ 入选矿石中主要矿物为辉铈矿(5.10%)，其次有少量的铈的氧化物(0.19%)如黄铈华、铈华以及黄铁矿、褐铁矿等。脉石矿物以石英为主，其次为方解石、重晶石、石膏等。辉铈矿呈粗粒散布，1mm以上者占95.8%。

■ 手选：两段作业，正手选。

■ 重介质预选。

■ 磨矿与浮选。主要浮选药剂：丁黄药、乙硫氮、硝酸铅、页岩油、松醇油、煤油。



Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (BGRIMM)

137

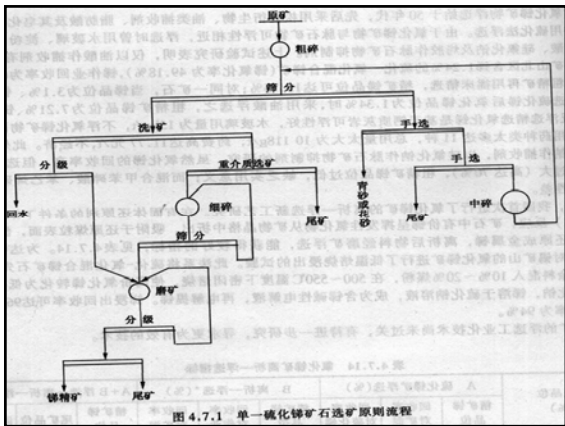
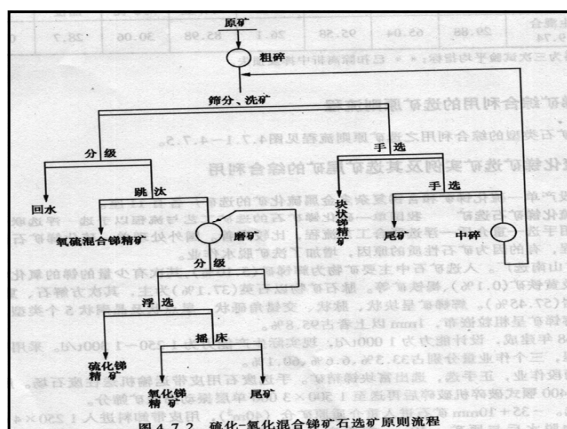


图 4.7.1 单一硫化铈矿石选矿原则流程



谢谢