

云南卡房多型磁黄铁矿的矿物学特征及选矿实验

赵荣¹, 宋宝旭², 普久然¹, 吴杰¹, 陈明波¹, 孙晓妍²

(1. 云南锡业股份有限公司卡房分公司, 云南 个旧 661000; 2. 辽宁科技大学矿业工程学院, 辽宁 鞍山 114001)

摘要: 随着云南卡房铜钨矿磁黄铁矿含量的不断增加, 如何减少磁黄铁矿对铜、钨选别过程的影响成为难题。查明了卡房矿床中磁黄铁矿的主要类型, 既有易浮的单斜晶系磁黄铁矿, 又有因铁含量高而具有磁性的六方晶系磁黄铁矿。选矿小型实验采用浮选和磁选的联合工艺流程, 获得了硫品位大于32%、以单斜磁黄铁矿为主的硫精矿, 脱除了产率23%左右、以六方磁黄铁矿和钙铁辉石为主的磁性脉石矿物, 减少了磁黄铁矿对铜、钨浮选过程的干扰, 相关方法可为国内外同类矿山企业提供借鉴。

关键词: 工艺矿物学; 磁黄铁矿; 浮选; 磁选

doi:10.12476/kczhly.202208050497

中图分类号: TD952 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2025)03-0149-09

引用格式: 赵荣, 宋宝旭, 普久然, 等. 云南卡房多型磁黄铁矿的矿物学特征及选矿实验[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(3): 149-157.

ZHAO Rong, SONG Baoxu, PU Jiuran, et al. Mineralogical characteristics and beneficiation experimental study on polytype pyrrhotite in Kafang Deposit, Yunnan Province[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(3): 149-157.

云南卡房矿床是典型的矽卡岩型矿床, 其选矿对象主要为铜钨共生矿^[1], 随着开采的不断深入, 磁黄铁矿含量不断攀升, 磁黄铁矿已经取代黄铁矿, 成为了矿区重要的共伴生硫铁矿物。长期以来, 选厂在铜、钨、锡等主金属的选别过程中, 虽然设置了多道脱硫作业^[2], 但由于对磁黄铁矿可浮性和磁性的变化认识不足, 磁黄铁矿在精矿中的产量仍远低于实际矿物含量, 残留的大量磁黄铁矿一直在生产流程中循环到下一作业, 对选矿技术指标造成了严重干扰, 磁黄铁矿已经成为干扰云锡各大选厂正常生产的最主要因素。

磁黄铁矿不仅矿物量大, 而且可浮性和磁性也参差不齐, 对选厂生产造成了许多不利影响, 例如: 铜硫分离作业因大量磁黄铁矿的混入, 导致铜品位不高^[3]; 钨浮选作业由于磁黄铁矿脱除并不彻底, 在钨浮选时进入到精矿中, 严重影响

了钨精矿品位^[4], 降低了钨品位和回收率。如何结合磁黄铁矿性质变化特征, 改进完善现有生产工艺流程, 消除磁黄铁矿对选别指标的影响, 提高主要有价元素的资源综合利用效率, 已经成为云锡亟须解决的重要关键技术难题。

从工艺矿物学角度分析, 磁黄铁矿的硫铁成分并不是严格的化学计量, 硫铁比的变化及微量元素的混入均会导致结构出现较大的差异, 进而导致选别性质发生变化^[5-6]。近年来, 对磁黄铁矿的研究主要集中于讨论磁黄铁矿结构与其浮游性能的关系, 不同研究者分别对单斜磁黄铁矿和六方磁黄铁矿的浮选行为, 表面吸附机理和相关浮选药剂等进行了研究, 研究主要包括磁黄铁矿的表面氧化^[7-8]、捕收剂与矿物的电化学反应、金属离子对磁黄铁矿活化、磁黄铁矿抑制剂^[9]、磁黄铁矿与磨矿介质及其他矿物间的腐蚀电化^[10]

收稿日期: 2022-08-25

作者简介: 赵荣(1983-), 男, 工程师, 主要从事选矿理论再生产实践中的应用。

通信作者: 宋宝旭(1987-), 男, 副教授, 研究方向为矿物加工工程。

等内容，而如何消除磁黄铁矿对浮选过程的不利影响，提高主金属回收效果，已经引起了国内科研人员的密切关注^[1]。

本研究以卡房 I-51 矿区代表性矿石为研究对象，在多型磁黄铁矿的矿物学特征研究基础上，依据矿石特性，找出了难选磁黄铁矿对应的选矿方法，解决了磁黄铁矿对铜浮选和钨浮选的影响，为铜、钨选矿指标的提高创造了条件，相关方法可为国内外同类矿山企业提供借鉴。

表 2 铜钨物相分析结果

Table 2 Results of phase analysis of copper and tungsten

铜物相						钨物相			
名称	自由氧化铜	结合氧化铜	次生硫化铜	原生硫化铜	总铜	钨华	白钨矿	黑钨矿	总钨
含量/%	0.01	0.02	0.05	2.85	3.03	0.007	0.167	0.022	0.20
占有率/%	0.34	0.67	1.67	97.32	100.00	3.58	85.20	11.22	100.00

结果表明，矿石中主要有价元素为铜和钨，品位分别达到了 3.03% 和 0.20%，为铜钨共生矿石，铜主要以原生硫化铜形式存在，钨主要以白钨矿形式存在，工业利用价值巨大。此外，矿石中硫含量高达 9.48%，为了进一步查明硫矿物的主要类型，采用矿物鉴定与表征系统（AMICS），对矿石进行了主要矿物组成测定，测定结果见表 3。

表 3 主要矿物组成测定结果

Table 3 Determination results of main mineral composition

矿物	含量/%	矿物	含量/%	矿物	含量/%
黄铜矿	9.410	钙铁辉石	5.425	方柱石	0.905
白钨矿	0.217	钙铁榴石	0.365	方解石	6.834
黄铁矿	0.096	钙铝榴石	0.302	褐铁矿	0.100
磁黄铁矿	18.447	绿帘石	0.132	赤铁矿	0.038
石英	30.169	黑云母	6.390	褐帘石	0.114
长石	14.513	绿泥石	1.793	菱铁矿	0.266

结果表明，矿石中硫主要为磁黄铁矿，矿物含量高达 18%，如何减少磁黄铁矿对整个选矿流程的干扰是重点。为了查明磁黄铁矿的矿物学特征，对磁黄铁矿与主要有价矿物黄铜矿和白钨矿的嵌布粒度进行了测定（表 4），并测定了不同磨矿细度下三种主要矿物的单体解离度，测定结果见图 1。

嵌布粒度测定结果表明，相较于黄铜矿和白钨矿以中细粒嵌布粒度为主的情况，磁黄铁矿整体嵌布粒度更粗，主要以粗中粒为主；从单体解

1 实验

1.1 实验物料

实验矿样取自于卡房 I-51 矿区，主要元素分析结果见表 1，铜钨物相分析结果见表 2。

表 1 主要元素分析结果/%

Table 1 Main element analysis results

Cu	WO ₃	S	SiO ₂	CaCO ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Fe
3.03	0.20	9.48	26.51	5.67	1.57	5.79	17.50

离度角度看，三种主要矿物均属于易解离矿物，在磨矿细度为-0.074 mm 70% 的情况下，三种矿物的单体解离度均可达到 90%。

表 4 主要矿物的嵌布粒度特性

Table 4 Disseminated grain size characteristics of main minerals

矿物名称	微粒	细粒	中粒	粗粒
	<0.01 mm	0.01~0.08 mm	0.08~0.32 mm	>0.32 mm
黄铜矿	1.34	47.83	44.05	6.78
白钨矿	0.15	31.52	57.59	10.75
磁黄铁矿	0.03	17.49	56.67	25.81

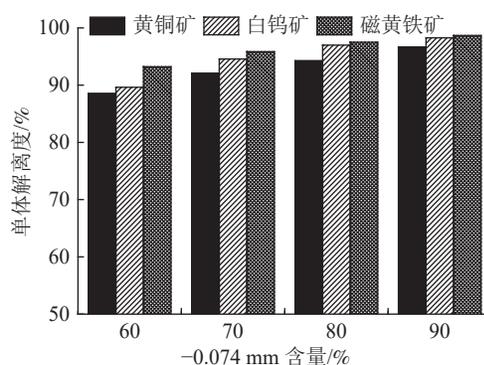


图 1 不同磨矿细度下主要矿物的单体解离度测定结果
Fig.1 Determination results of monomer dissociation degree of main minerals at different grinding fineness

为了查明磁黄铁矿的主要类型，采用 AMICS 系统，对磁黄铁矿的化学组成进行了测定，结果表明，本矿石中磁黄铁矿（Fe_{1-x}S）中铁、硫含量变化大，成分变化：Fe 60.61%~62.54%，S 39.39%~37.46%，既有单斜晶系磁黄

铁矿，又有六方晶系磁黄铁矿：相对于单斜磁黄铁矿，普遍富硫贫铁，具有易浮特性；对于六方磁黄铁矿，整体贫硫，可浮性较差，但由于具有不同程度的铁含量，普遍具有一定程度的磁性。

与此同时，对磁黄铁矿的嵌布特征进行了查定见图2，矿石中的磁黄铁矿常与黄铜矿紧密嵌生，与黄铜矿嵌布关系密切，部分磁黄铁矿也与白钨矿连生。

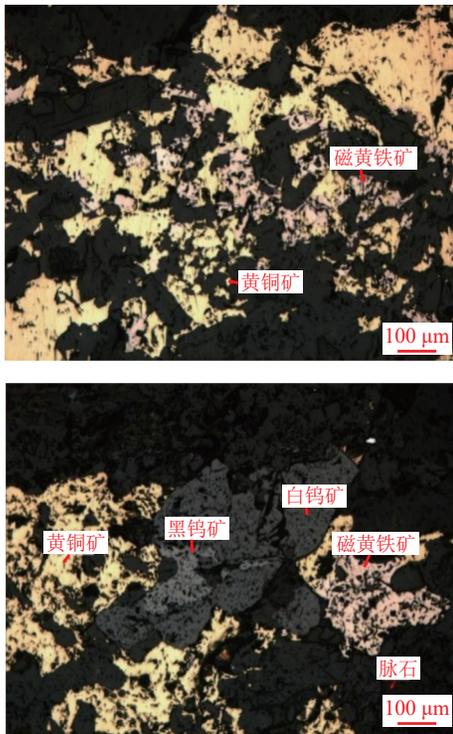


图2 磁黄铁矿的嵌布特征
Fig.2 Dissemination characteristics of pyrrhotite

1.2 实验方法

磁黄铁矿是本矿石含量最多的硫矿物，作为一种铁、硫载体，磁黄铁矿本身价值不大。由于磁黄铁矿的晶体化学性质变化，导致不同晶系磁黄铁矿的物理性质和可浮性变化，会对铜钨浮选产生干扰作用。

磁黄铁矿的分子式为 $Fe_{1-x}S$ ，磁黄铁矿晶体结构中，部分 Fe^{2+} 离子被 Fe^{3+} 离子代替，为了保持电价平衡，出现空位。空位数量决定了磁黄铁矿有单斜和六方两种同质多象变体。对于本矿石，既有可浮性较好、磁性较弱的单斜磁黄铁矿，也有可浮性较差、磁性较强的六方磁黄铁矿^[12]。基于此，实验方法主要以浮选和磁选为主^[13]。

浮选实验主要采用实验室用1.5 L挂槽浮选

机，考虑到原矿铜品位较高，铜回收价值巨大，因此流程结构采用铜优先浮选，并根据单体解离度测定结果，原矿磨矿细度确定为-0.074 mm 70%，在药剂制度方面，重点进行了石灰、碳酸钠等调整剂的对比实验，一方面实现对磁黄铁矿的高效抑制，另外也考查了丁铵黑药和Z200等捕收剂的对比实验，从另一方面强化对铜矿物的选择性捕收。对于铜浮选尾矿，主要进行了以磁黄铁矿为主的硫浮选实验，重点进行了活化剂种类、捕收剂戊基黄药用量和浮选时间的条件实验，最大限度实现易浮磁黄铁矿的浮选回收。

为了减少磁黄铁矿对钨浮选的干扰，在原矿和钨浮选前分别进行了磁选深度脱硫实验，主要包括弱磁选和强磁选，其中弱磁选采用湿式滚筒弱磁选机，强磁选采用长沙矿冶研究院的电磁夹板式强磁选机（CRIMM DCJB70-200），分选箱强磁选介质选择为 $\Phi 2$ mm，重点考查了磁场强度对磁黄铁矿脱除效果的影响。

2 结果与讨论

2.1 浮选实验

浮选实验主要回收具有易浮特性的单斜磁黄铁矿，分别在铜优先浮选作业和硫浮选作业进行了详细的实验研究。

铜优先浮选重点进行了调整剂和捕收剂的种类对比及用量实验，实验流程采用一粗一扫的流程结构，实验结果见图3。

结果表明，从调整剂角度看，无论是石灰还是碳酸钠，两者的铜回收率基本接近，但采用石灰做调整剂时，铜粗精矿的品位明显高于碳酸钠做调整剂时，表明石灰对磁黄铁矿为主的硫矿物具有较好的抑制作用，基于此，采用石灰做调整剂，并确定其用量为1 500 g/t；从捕收剂角度看，采用Z200做捕收剂时，无论是品位还是回收率，均明显优于丁铵黑药做捕收剂时，表明Z200对铜矿物的捕收性和选择性都更好，更有助于降低磁黄铁矿对铜浮选的干扰，基于此，捕收剂建议选择Z200，并确定用量为80 g/t。

针对铜浮选尾矿，进行了硫浮选实验，首先进行了硫酸、硫酸铜、硫酸+硫酸铜三种活化剂的用量实验^[14-15]，实验流程采用一粗一扫的流程结构，捕收剂戊基黄药用量为200 g/t，实验结果见

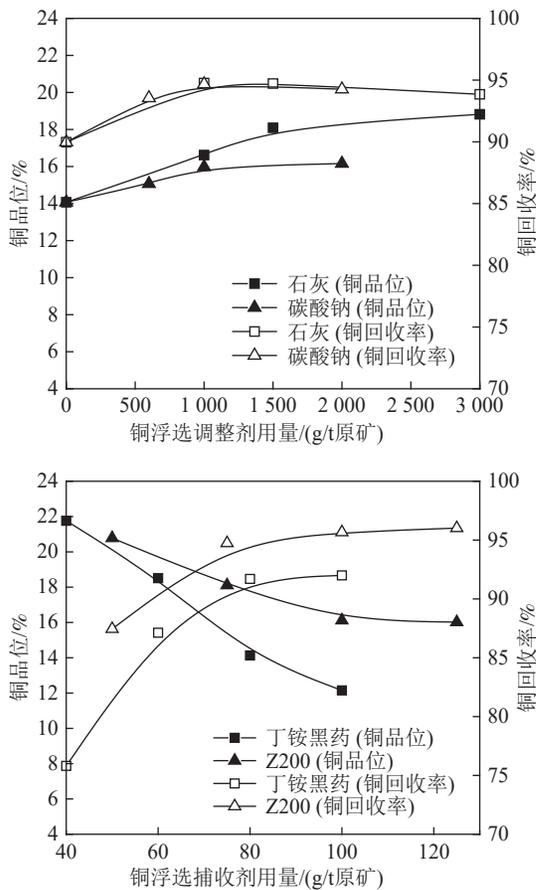


图3 铜浮选调整剂(左)和捕收剂(右)种类及用量实验结果

Fig.3 Test results of type and dosage of copper flotation regulator (left) and collector (right)

图4。

结果表明, 无论单独加入硫酸还是单独加入硫酸铜, 硫作业回收率都仅在 80% 左右, 只有同时加入硫酸和硫酸铜, 硫作业回收率才能达到 85% 以上。考虑到浮选主要回收具有易浮特性的单斜磁黄铁矿, 这也从侧面说明了本矿石单斜磁黄铁矿在被抑制后, 属于比较难活化的类型。综合考虑, 最终选择硫酸+硫酸铜做活化剂, 并确定其用量为 (1 000+300) g/t。

捕收剂方面, 为了最大限度脱除磁黄铁矿, 选择捕收能力较强的戊基黄药做捕收剂, 并进行了用量实验, 实验流程采用一粗一扫的流程结构, 实验结果见图 5。结果表明, 适宜的戊基黄药用量为 250 g/t。

由于本矿石硫主要以磁黄铁矿形式存在, 其可浮性变化较大, 为了确定适宜硫的浮选时间, 进行硫浮选时间实验, 实验流程采用一次粗选的

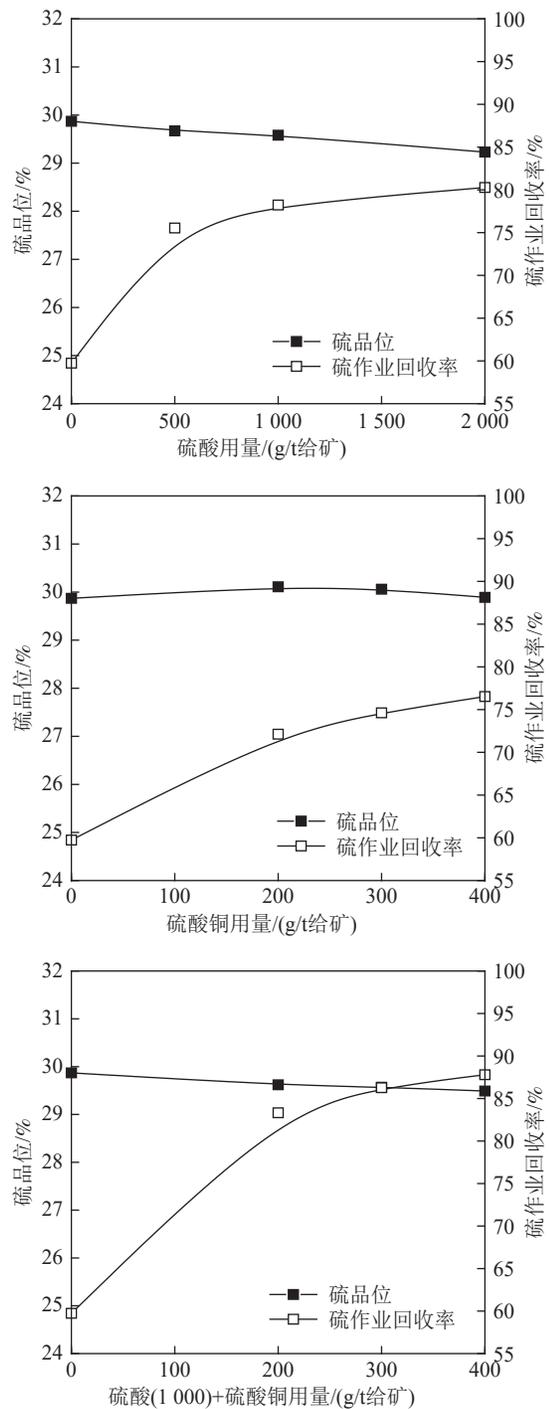


图4 硫浮选活化剂种类及用量实验结果

Fig.4 Test results of type and dosage of activator for sulfur flotation

流程结构, 实验结果见图 6。结果表明, 适宜的硫浮选时间为 4 min。

2.2 磁选实验

对于本矿石, 既有可浮性较好、磁性较弱的单斜磁黄铁矿, 也有可浮性较差、磁性较强的六方磁黄铁矿。为了进一步减少磁黄铁矿对主流程

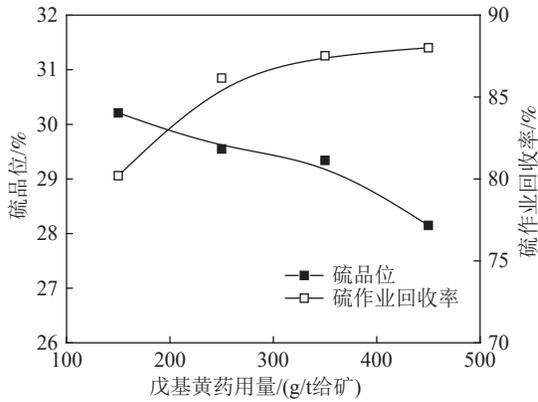


图5 硫浮选捕收剂戊基黄药用量实验结果

Fig.5 Medicinal dose test results of sulfur flotation collector of pentyl yellow

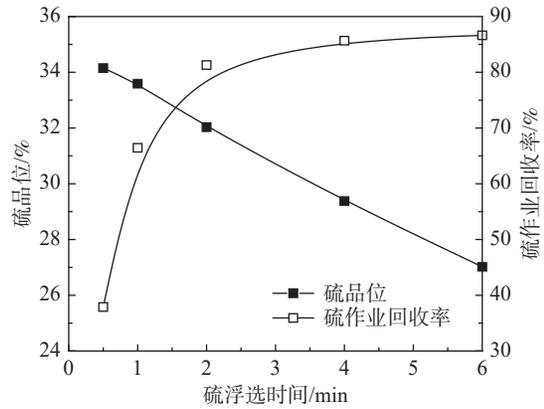


图6 硫浮选时间实验结果

Fig.6 Test results of sulfur flotation time

的干扰，也进行了磁选脱除磁黄铁矿的实验研究，分别在原矿和硫化矿浮选尾矿处进行了磁选对比实验，实验流程分别见图7和图8，实验结果见表5和表6。

原矿磁选实验结果表明，弱磁选作业可以抛除合计产率为5.23%的磁选产品，但对于铜，虽然损失的回收率较低，但由于原矿铜品位高达3%左右，导致磁选产品1和磁选产品2中铜品位分别高达1.13%和3.12%，不利于后续铜的回收；强磁选作业无论强磁场强度如何变化，磁选产品中铜、钨占有率均较高，导致非磁产品中铜和钨回收率分别仅为32.38%、61.01%；综上所述，对

于原矿，铜和钨在磁选产品中损失率较高，并且呈分散状态，因此不适合采用原矿磁选方案。

硫化矿浮选尾矿磁选实验结果表明，可以脱除合计产率在32%以上的磁性矿物，其中既有磁性较好的六方磁黄铁矿，也有大量以钙铁辉石为主的含铁脉石矿物，各磁选产品中钨损失率均较低，非磁产品中钨作业回收率可达到81%以上，钨入选品位也由0.25%增加至0.30%，硫品位也由入选前的0.70%降至0.06%，有效消除了磁黄铁矿对后续钨浮选作业的影响。基于此，建议在硫化矿浮选尾矿处进行磁选深度脱硫，并确定磁场强度为0.6 T。

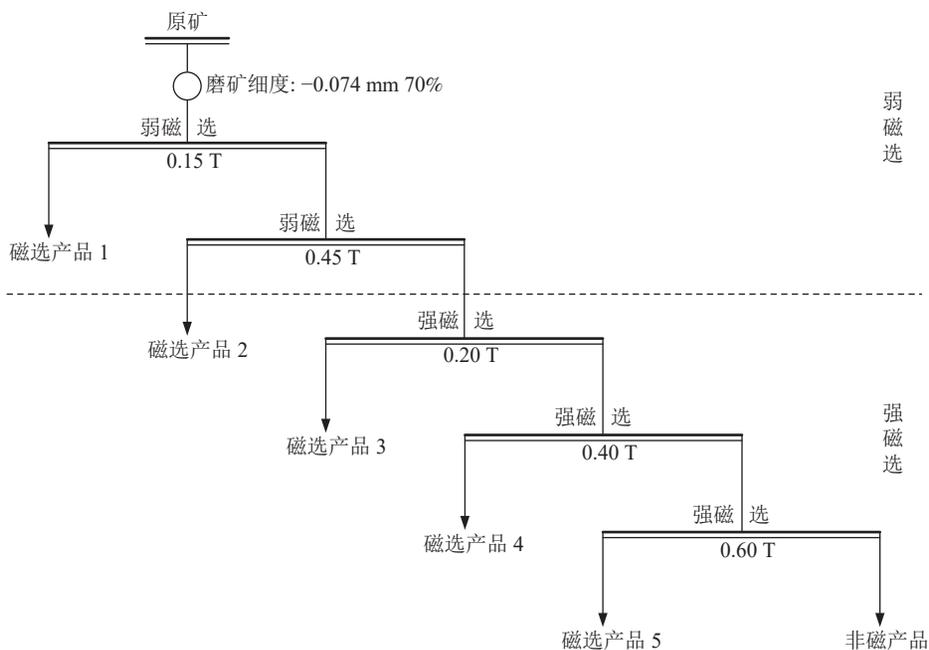


图7 原矿磁选实验流程

Fig.7 Test process of magnetic separation of the raw ore

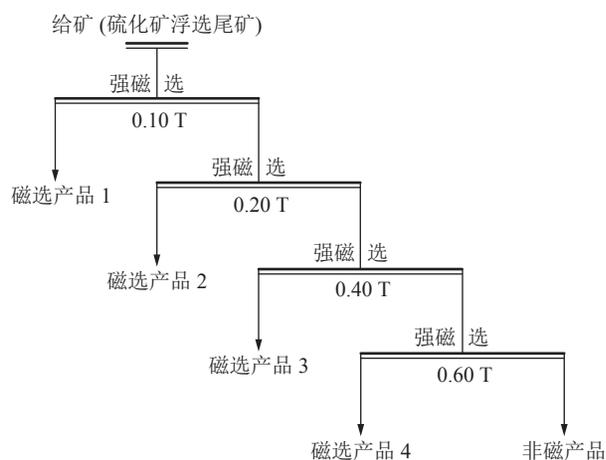


图 8 硫化矿浮选尾矿磁选实验流程
Fig.8 Magnetic separation test process of sulfide ore flotation tailings

2.3 全工艺流程及综合实验指标

最终确定的全工艺流程见 图 9，综合实验指标见表 7。

采用 AMICS 自带的电子探针，对浮选硫精矿和磁性脉石矿物中的磁黄铁矿进行了分析，X 射线衍射能谱见图 10，结果表明，浮选精矿中主要为单斜磁黄铁矿，由于结构对称性较六方磁黄铁矿差，因此衍射谱上有较多的峰，经电子探针分析，单斜磁黄铁矿成分为 46.91%Fe、53.09%S（摩尔分数），化学计量式为 $Fe_{0.88}S$ 。磁性脉石矿物中主要为六方磁黄铁矿，衍射曲线显陡锐角度的单一峰，经电子探针分析，六方磁黄铁矿成分为 47.70% Fe、52.30% S（摩尔分数），化学计量式为 $Fe_{0.91}S$ 。

表 5 原矿磁选实验结果

Table 5 Magnetic separation test results of the raw ore

产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
		Cu	S	WO ₃	Cu	S	WO ₃
磁选产品1	3.52	1.13	33.27	0.04	1.34	11.79	0.74
磁选产品2	1.71	3.12	28.91	0.05	1.80	4.97	0.45
磁选产品3	16.16	2.60	23.04	0.21	14.15	37.48	17.33
磁选产品4	15.38	5.45	15.38	0.17	28.23	23.81	13.35
磁选产品5	6.34	10.35	12.75	0.22	22.10	8.14	7.12
非磁产品	56.89	1.69	2.41	0.21	32.38	13.80	61.01
给矿	100.00	2.97	9.93	0.20	100.00	100.00	100.00

表 6 硫化矿浮选尾矿磁选实验结果

Table 6 Magnetic separation test results of sulfide ore flotation tailings

产品名称	作业产率/%	品位/%		作业回收率/%	
		WO ₃	S	WO ₃	S
磁选产品1	9.22	0.03	1.25	1.11	16.46
磁选产品2	10.03	0.20	2.01	8.02	28.80
磁选产品3	8.31	0.15	2.80	4.99	33.24
磁选产品4	5.09	0.22	2.16	4.48	15.72
非磁产品	67.35	0.30	0.06	81.40	5.77
给矿	100.00	0.25	0.70	100.00	100.00

综上所述，采用浮选和磁选联合的工艺流程，获得了硫品位大于 32%、以单斜磁黄铁矿为主的浮选硫精矿，脱除了产率 23% 左右、以六方磁黄铁矿和钙铁辉石为主的磁性脉石矿物，减少了磁黄铁矿对铜钨等矿物浮选过程的干扰。对于磁性脉石矿物，钨含量为 0.15%，经物相分析，以黑钨矿为主，如何实现这部分黑钨矿资源的高效

利用值得进一步的研究。

3 结 论

(1) 卡房 I-51 矿石为典型的铜钨共生矿，同时伴生有大量以磁黄铁矿为主的硫矿物，其中既有具有易浮特性的单斜晶系磁黄铁矿，又有因铁含量高而具有磁性的六方晶系磁黄铁矿。磁黄铁矿无论在嵌布粒度，还是解离度方面，都属于物理选矿适宜回收的粒度范围，如何消除磁黄铁矿对主流程的干扰值得关注。

(2) 浮选实验结果表明，在原矿磨矿细度为-0.074 mm 70% 时，铜浮选作业采用石灰做调整剂，Z200 做捕收剂，可有效消除磁黄铁矿对铜浮选过程的干扰；然后采用硫酸+硫酸铜组合活化磁黄铁矿，采用戊基黄药做捕收剂，获得了硫品位大于 32% 的硫精矿，实现了以单斜晶系为主的磁黄铁矿的高效综合利用。

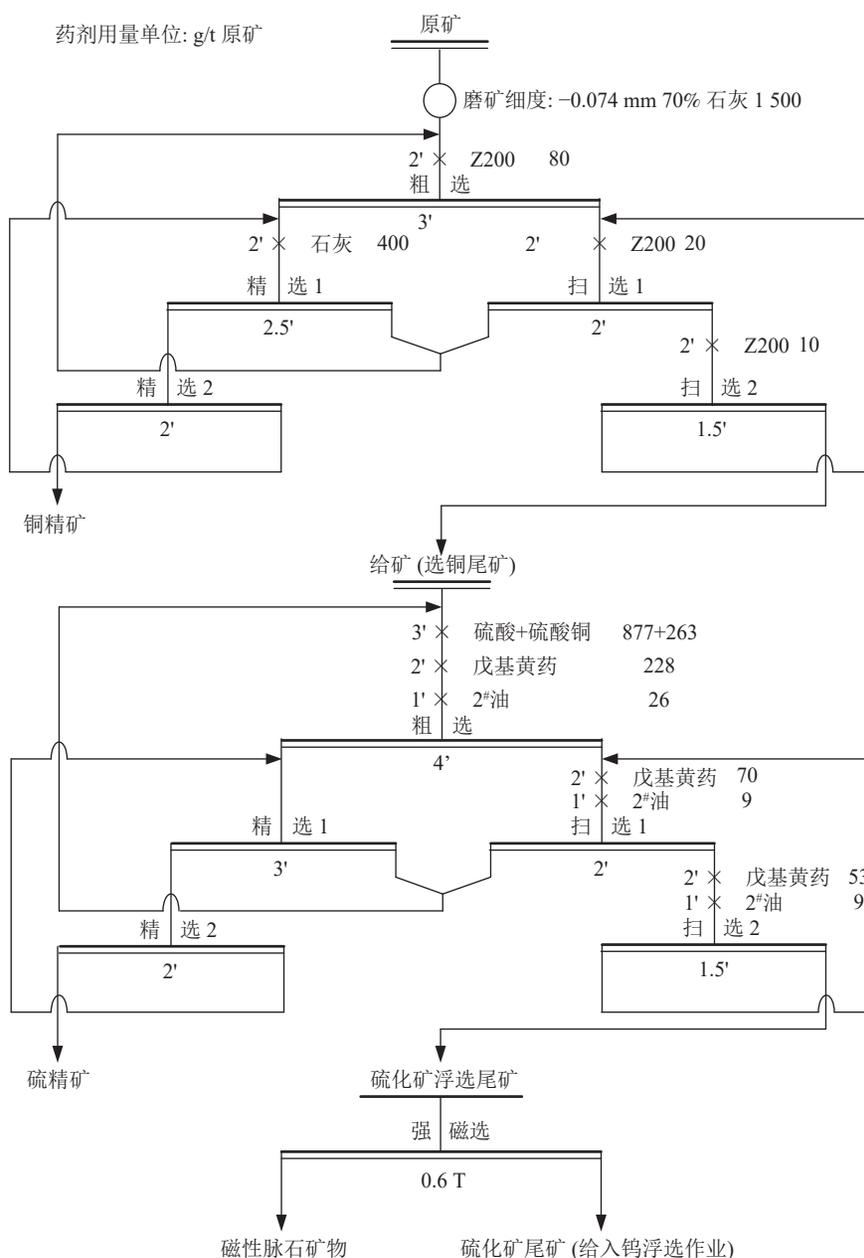


图9 全工艺流程

Fig.9 Full process flow chart

表7 全工艺流程综合实验指标

Table 7 Comprehensive test indexes of the whole process

产品名称	产率/%	品位/%			回收率/%		
		Cu	S	WO ₃	Cu	S	WO ₃
铜精矿	12.30	23.92	31.05	0.04	97.10	40.29	2.28
硫精矿	15.18	0.40	33.96	0.03	2.00	54.38	1.97
磁性脉石矿物	23.68	0.03	2.01	0.15	0.24	5.02	17.81
硫化矿尾矿 (给入钨浮选作业)	48.84	0.04	0.06	0.30	0.66	0.31	77.94
原矿	100.00	3.03	9.48	0.20	100.00	100.00	100.00

(3) 磁选实验结果表明, 针对硫化矿浮选尾矿, 采用强磁选可以有效脱除以六方磁黄铁矿和

钙铁辉石为主的脉石矿物, 后续钨入选品位可由 0.25% 增加至 0.30%, 硫品位也由入选前的

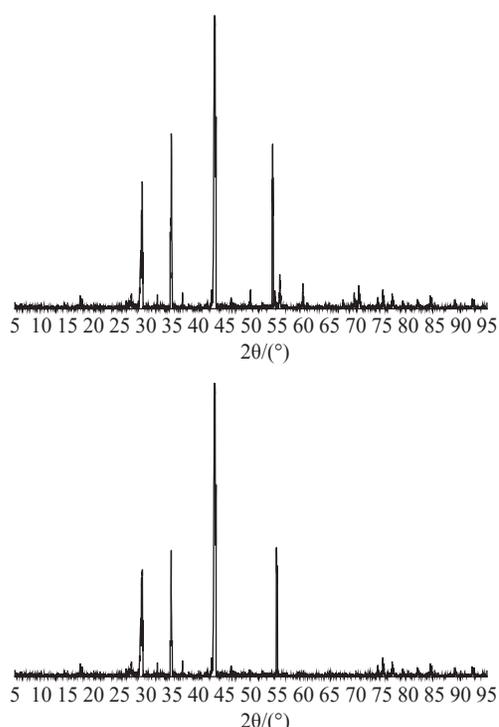


图 10 浮选精矿(左)和磁性脉石矿物中(右)磁黄铁矿的 XRD

Fig.10 XRD spectrum of pyrrhotite in flotation concentrates (left) and magnetic gangues (right)

0.70% 降至 0.06%，消除了磁黄铁矿对钨浮选过程的干扰。

参考文献:

- [1] 陈明波, 宋宝旭, 赵荣, 等. 新型捕收剂浮选云南个旧矽卡岩型白钨矿实验研究[J]. 矿产保护与利用, 2022, 42(2):8-13.
CHEN M B, SONG B X, ZHAO R, et al. A whole process experimental research on improving the flotation index of Gejiu skarn scheelite in Yunnan province by new collector[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2022, 42(2):8-13.
- [2] 万丽, 孙志健, 王立刚, 等. 新疆某浮选尾矿回收磁铁矿选矿实验研究[J]. 矿产综合利用, 2021(6):138-143.
WAN L, SUN Z J, WANG L G, et al. Beneficiation research on magnetite recovery of a zinc flotation tailing from Xinjiang[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(6):138-143.
- [3] 王双玉, 袁致涛, 刘磊, 等. 磁黄铁矿型铜铁多金属矿选矿研究进展[J]. 矿产综合利用, 2018(5):13-20.
WANG S Y, YUAN Z T, LIU L, et al. Research progress on beneficiation of pyrrhotite type copper-iron polymetallic ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2018(5):13-20.

[4] 周晓彤, 邓丽红, 关通, 等. 铜硫钨多金属矿浮选尾矿水回用新技术研究[J]. 材料研究与应用, 2016, 10(3):219-2.

ZHOU X T, DENG L H, GUAN T, et al. Research on the recycling technology of flotation tailing water of copper-sulfur-tungsten polymetallic ore[J]. Materials Research and Application, 2016, 10(3):219-2.

[5] 洪秋阳. 磁黄铁矿晶体化学和可浮性研究[D]. 长沙: 中南大学, 2011.

HONG Q Y. Crystal chemistry and floatability of pyrrhotite[D]. Changsha: Central South University, 2011.

[6] 薛忠言, 曾令熙, 刘应冬. 太和钒钛磁铁矿中硫化物的工艺矿物学研究[J]. 矿产综合利用, 2019(3):78-81.

XUE Z Y, ZENG L X, LIU Y D. Process mineralogy of the sulfide in the Taihe vanadium titanomagnetite[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(3):78-81.

[7] 马英强. 基于晶体化学的硫化铁矿物浮选特性研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2013.

MA Y Q. Research on flotation properties of iron sulfide minerals based on crystal chemistry[D]. Shenyang: Northeastern University, 2013.

[8] 张小普. 不同晶系磁黄铁矿的矿物学特征和可浮性研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2021.

ZHANG X P. Study on the mineralogical properties and floatability of different crystal systems of pyrrhotite[D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2021.

[9] 曾维能, 任浏祎, 曹雨琪, 等. 黄铜矿与磁黄铁矿浮选分离行为及机理研究[J]. 有色金属(选矿部分), 2020(6):30-35.

ZENG W N, REN L Y, CAO Y Q, et al. Study on mechanism of action of xanthate in flotation separation of chalcopyrite and pyrrhotite[J]. Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2020(6):30-35.

[10] 袁致涛, 王俊祥, 孟庆有, 等. 酸预处理对六方晶系磁黄铁矿浮选行为的影响及作用机理[J]. 矿冶工程, 2021, 41(6):1-5.

YUAN Z T, WANG J X, MENG Q Y, et al. Effect of acid pretreatment on flotation behavior of hexagonal pyrrhotite and interaction mechanism therein[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2021, 41(6):1-5.

[11] 李沛原, 杨凌凌, 伍红强, 等. 冬瓜山铜矿含铜磁黄铁矿选矿试验研究[J]. 现代矿业, 2021, 37(10):124-126+129.

LI P Y, YANG L L, WU H Q. Experimental research on mineral processing of copper-bearing pyrrhotite in Dongguashan copper mine[J]. Modern Mining, 2021, 37(10):124-126+129.

[12] 董浩. 磁黄铁矿与黄铜矿的交互作用对其浮选行为的影响规律研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2021.

DONG H. Study on the effect of interaction between pyrrhotite and chalcopyrite on their flotation behavior[D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2021.

[13] 逢军武, 张玲, 达娃卓玛, 等. 某选矿厂处理角岩型铜硫矿选铜浮选实验[J]. 矿产综合利用, 2021(4):139-143.

PANG J W, ZHANG L, DAWA Z M, et al. Treatment of breccia in a concentrator copper sulphur ore flotation test of copper separation[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(4):139-143.

[14] 付广钦, 周晓彤, 邓丽红, 等. 某含磁黄铁矿铜硫矿的磁选试验研究[J]. 材料研究与应用, 2017, 11(4):278-282.

FU G Q, ZHOU X T, DENG L H, et al. Magnetic separation research on copper sulfur ore containing high-content of pyrrhotite[J]. Materials Research and Application, 2017, 11(4):278-282.

[15] 吕超. 某锡石多金属硫化矿锌高效回收工艺研究[J]. 矿产综合利用, 2021(1):77-82.

LYU C. Study on efficient recovery process of zinc from cassiterite polymetallic sulfide ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(1):77-82.

Mineralogical Characteristics and Beneficiation Experimental Study on Polytype Pyrrhotite in Kafang Deposit, Yunnan Province

ZHAO Rong¹, SONG Baoxu², PU Jiuran¹, WU Jie¹, CHEN Mingbo¹, SUN Xiaoyan²

(1.Kafang Branch of Yunnan Tin Company Group Limited, Gejiu, Yunnan 661000, China; 2.School on Mining Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan, Liaoning 114001, China)

Abstract: With the increase of pyrrhotite content in Kafang copper-tungsten deposit, how to reduce the effects of pyrrhotite on the beneficiation process of copper and tungsten has become a difficult problem. The main types of pyrrhotite in Kafang deposit are identified, including monoclinic pyrrhotite, which is easy to magnetize and float, and hexagonal pyrrhotite, which has great magnetic changes due to the fluctuation of iron content. Beneficiation experiments show that using combined technological process of flotation and magnetic separation, a sulfur concentrate assaying over 32% of sulfur content, mainly recovering monoclinic pyrrhotite pyrrhotite, was obtained, and magnetic gangue minerals with a yield of about 23%, mainly included by hexagonal pyrrhotite and hedenbergite, were discarded to tailings. The interference of pyrrhotite to the flotation process of copper and tungsten is reduced, and the related methods can provide references for similar mining enterprises at home and abroad.

Keywords: process mineralogy; pyrrhotite; flotation; magnetic separation