

湖南仁里钽铌铍稀有金属矿床综合利用评价

周芳春¹, 苏俊男¹, 李建康², 刘翔³, 黄志飏¹, 李鹏², 黄小强¹, 陈虎¹, 胡小芳¹, 曾乐¹

1. 湖南省核工业地质局 三一一大队, 湖南 长沙 410100;
2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 自然资源部 成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;
3. 湖南省生态环境事务中心, 湖南 长沙 410014

中图分类号: TD983 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2020)02-0112-07
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2020.07.001

摘要 湖南仁里矿床平均 Ta_2O_5 品位 0.036%, Nb_2O_5 品位 0.047%, 为中国东部高品位、超大型稀有金属矿床, 主要有用矿物有钽铌矿物、绿柱石、云母和长石; 伴生矿物有锂云母、电气石和石榴石等。钽铌矿物主要以块状、颗粒状、针状及少量的片状赋存于中—粗粒白云母伟晶岩中的钠长石和石英中, 少部分赋存于白云母、绿柱石、磷灰石和电气石中, 嵌布粒度较粗; 绿柱石主要以块状及颗粒状赋存于伟晶岩中。本文采用螺旋溜槽粗选—摇床精选回收钽铌矿物—重选尾矿浮选回收云母—云母浮选尾矿浮选铍的工艺流程, 获得了钽精矿 (Ta_2O_5 品位 20.36%, Nb_2O_5 品位 19.87%, Ta_2O_5 回收率 73.53%)、铍精矿 (BeO 品位 8.69%, 回收率 65.92%) 和云母精矿 (Al_2O_3 品位 24.26%, Li_2O 品位 0.25%, Rb_2O 品位 0.25%, Rb_2O 回收率 67.10%)。研究结果表明, 仁里矿床稀有金属及非金属矿产资源丰富, 矿石质量高, 易选, 回收率较高。该矿床具有较高的稀有金属综合回收率 (69.73%) 和矿产资源综合利用率 (89.60%), 具有较高的开发利用经济价值。

关键词 钽铌; 铍; 综合利用; 评价; 仁里矿床

铌、钽、铍、锂是世界新兴产业发展的关键性金属资源, 在高科技方面, 尤其是在航空航天、军事、芯片和新能源等领域有着重要的作用, 掀起全球新一轮的研究高潮热潮^[1, 2]。近年来, 中国在铌、钽、铍、锂等关键金属勘查与研究方面取得了重要进展, 其中, 锂矿以西昆仑大红柳滩伟晶岩型锂矿床、川西伟晶岩型锂矿床为代表, 钽铌矿以湖南仁里超大型钽铌矿床和甘肃余石山超大型钽铌矿床为代表^[2]。

湖南仁里矿床位于幕阜山岩体西南缘, 为新发现的超大型、高品位花岗伟晶岩型钽铌矿床^[1-9]。目前, 前人已经在仁里矿床的成矿地质特征、找矿标志, 稀有金属伟晶岩脉的分布、分类、分带, 钽铌锂矿赋矿特征及成矿规律^[1, 3-6, 10-11], 成矿模型^[5], 地球化学和成岩成矿时代^[4, 6, 12-16], 矿物学^[4-6, 8-9, 12-14], 以及岩浆热液成矿环境和包裹体^[16-17]等方面做了大量的研究工作。但在矿石可选性试验及矿产资源综合利用研究工作滞后。仁里矿床钽铌铍钽矿资源丰富, 主要矿体仍未封边, 具有较大的找矿潜力^[4-6], 2019年在矿区

西部锂辉石白云母伟晶岩型锂矿研究方面取得了较大突破^[18]。矿区普查工作仍在进行, 加强矿石可选性试验和矿产资源综合利用研究工作, 为下一步详查、矿床的开发利用提供依据, 对社会资本的引入, 绿色环保、高效勘查与开发利用矿产示范基地的建立, 提高中国战略资源储备和缓解市场压力, 助力长江中下游高新产业的发展均具有重大意义。

1 矿床地质、矿化特点和储量

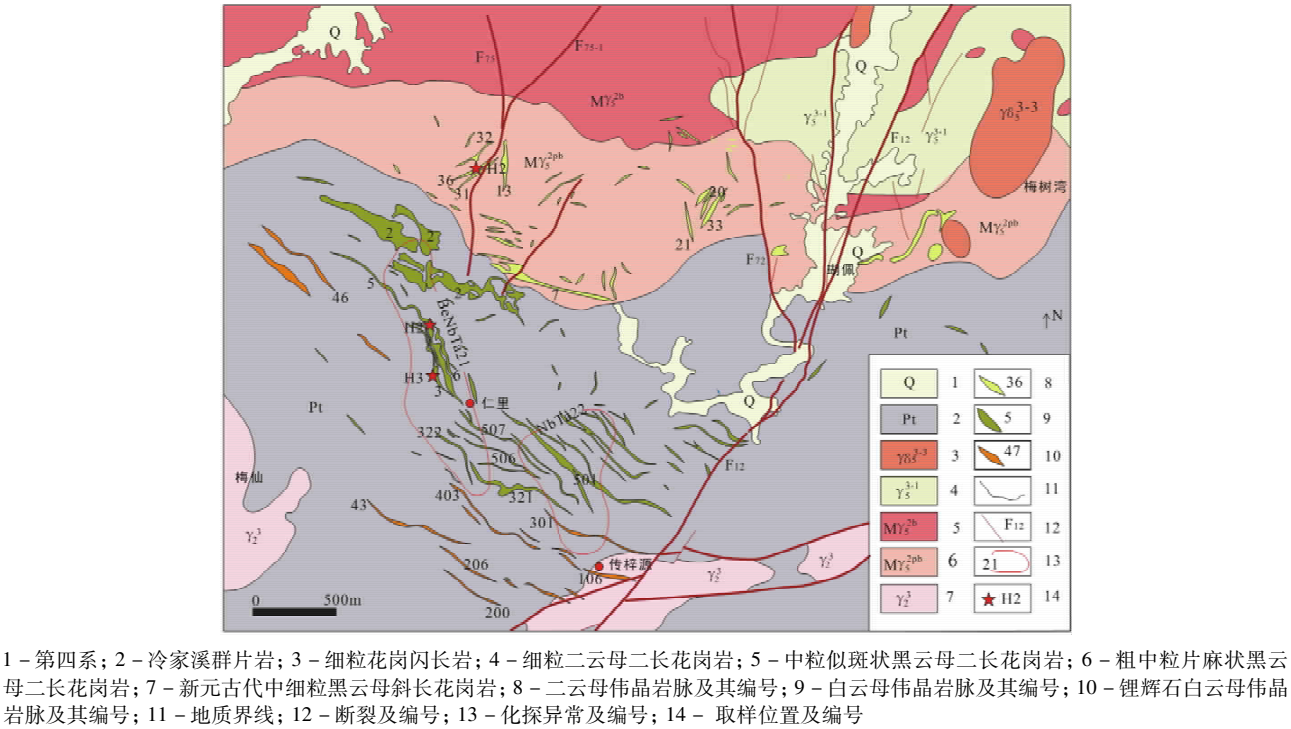
1.1 矿床地质

湖南仁里矿床位于扬子陆块与华夏陆块过渡部位之江南隆起造山带的湖南段东部的幕阜山岩体西南缘。主要地层为新元古界冷家溪群地层和少量的第四系; 区内断裂构造发育, 呈 NE、NW 向展布; 该地区岩浆活动频繁, 持续时间长, 岩浆侵入的期次和阶段较多; 其北部为燕山期幕阜山岩体, 南部为武陵期岩体 (梅仙岩体和传梓源岩株)。幕阜山岩体外接触带片

收稿日期: 2020-03-02

基金项目: 湖南省地勘基金项目 (20170331); 湖南省自然资源厅科研项目 (2018-02); 湖南省重点领域研发计划项目 (2019SK2261); 科技部重点研发项目 (2019YFC0605200); 中国地质调查局项目 (DD20160056); 国家自然科学基金面上项目 (41872096)

作者简介: 周芳春 (1967-), 男, 湖南长沙人, 高级工程师, 主要从事稀有金属矿床勘查与研究工作。E-mail: 578486016@qq.com。



1-第四系; 2-冷家溪群片岩; 3-细粒花岗岩闪长岩; 4-细粒二云母二长花岗岩; 5-中粒似斑状黑云母二长花岗岩; 6-粗中粒片麻状黑云母二长花岗岩; 7-新元古代中细粒黑云母斜长花岗岩; 8-二云母伟晶岩脉及其编号; 9-白云母伟晶岩脉及其编号; 10-锂辉石白云母伟晶岩脉及其编号; 11-地质界线; 12-断裂及编号; 13-化探异常及编号; 14-取样位置及编号

图1 仁里矿区地质简图(据^[4,6]修改)

Fig. 1 Geological map of the Renli mining area (modified after^[4,6])

岩地区主要为花岗伟晶岩及少量的石英脉(图1)。

1.2 矿化特点

仁里矿床属花岗伟晶岩型钽铌铍等稀有金属矿床,其矿物组合简单,主要造岩矿物为石英、钠长石、微斜长石、白云母和黑云母等,稀有金属矿物主要有钽铌矿(钽铁铌锰矿和钽锰铌铁矿)、铌钽矿(铌铁钽锰矿和铌锰钽铁矿)、铀铌钽矿、细晶石、绿柱石、硅铍石、锆石、独居石、锂辉石、锂云母和锂电气石和铯榴石等,副矿物主要有锰铝榴石、电气石、磷灰石、磁铁矿、钛铁矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、辉钼矿、辉铋矿、锰矿、绿帘石、十字石和方解石等。矿石中主要有用矿物为钽铌矿、铌钽矿、绿柱石、锂辉石、锂云母、锂电气石、白云母、钠长石和钾长石等。

钽铌矿物主要为铌锰矿和钽锰矿(铌铁矿及钽铁矿含量较少),多呈块状、薄板状、颗粒状、针状,部分呈片状和晶体状,锰含量高时则呈褐红色,不透明;主要赋存于钠长石、石英颗粒和白云母中。电气石内部或边缘往往嵌布细粒钽铌矿(粒径0.01~0.15 mm之间),部分针状钽铌矿嵌布于绿柱石及电气石中。块状钽铌钽铁矿粒径多大于1.0 mm×5.0 mm,部分粒径可达35.0 mm×50.0 mm;颗粒状钽铌钽铁矿粒径多在0.1 mm×1.0 mm之间;细粒状钽铌钽铁矿主要嵌布于钠长石、石英、电气石内部,粒径0.01 mm~0.15 mm左右;针状钽铌钽铁矿粒径多大于0.1 mm×1.0 mm,部分可达1.0 mm×10.0 mm;片状或晶体状钽铌钽铁矿粒径多大于1.0 mm×3.0 mm。绿柱石为矿

区主要含铍矿物,块状或晶体,多呈淡黄绿色、淡蓝色,部分呈白-透明色。粒径多大于0.4 mm,区内发现结晶较好的六面体绿柱石可达50.0 mm×60.0 mm。

锂云母主要赋存于白云母伟晶岩核部,晶形为自形片状、鳞片状,呈玫瑰红色,嵌布在石英、白云母等矿物间,粒径较大,介于0.4~4.0 mm之间;部分颗粒内部包裹细粒细晶石。

1.3 储量和资源量

截至2017年10月,已经圈定区内伟晶岩脉140条,矿脉14条(未包含46,47号锂矿脉),圈定矿体17个,探获Ta₂O₅资源量10 791 t, Nb₂O₅资源量14 057 t, Ta₂O₅平均品位0.036%, Nb₂O₅平均品位0.047%; BeO资源量15 600 t, BeO品位0.04%~0.148%^[5-6,10-11]。岩体内钽铌矿脉以36号脉为代表, Ta₂O₅品位0.022%~0.055%, Nb₂O₅品位0.009%~0.045%。岩体外钽铌矿脉以2,3,5号脉为代表,其中3号矿体 Ta₂O₅品位0.035%, Nb₂O₅品位0.053%, 5号矿脉中5-2号矿体 Ta₂O₅品位0.040%, Nb₂O₅品位0.054%^[10]。

2 原矿性质

本次选择了3条代表性矿脉(3,5和36号矿脉),采集500 kg矿样(取样位置见图1),然后破碎并混合。原矿多元素化学分析结果和原矿主要矿物组成分析结果分别见表1和表2。结果表明,原矿中钽、铌、铍含量较高,为主要可供回收的有价元素, Rb₂O品位(品

位 0.04%) 达到了伴生矿边界品位 ($\geq 0.04\%$), 矿区中铷主要赋存于白云母中, 且白云母中 Rb_2O 含量较高 ($\geq 0.10\%$), 应可考虑综合回收; 原矿中钽铌矿物主要是钽铌铁矿类和细晶石矿物, 另外, 矿石中长石、白云母和石英矿物含量较高, 具有综合利用价值。

表 1 原矿多元素化学分析结果 /%

Table 1 Multi - element chemical analysis results of raw ore

名称	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	BeO	Li ₂ O	Rb ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO
含量	0.036	0.041	0.12	0.05	0.04	14.06	75.02	2.41	5.97	0.36

表 2 原矿主要矿物及其含量 /%

Table 2 Minerals composition of raw ore

矿物名称	含量	矿物名称	含量
钽锰矿 + 铌锰矿	0.07	石榴石	1.52
细晶石	0.02	绿柱石	0.83
晶质铀矿 + 磷铀铈	微量	电气石	0.74
长石	50.02	磷灰石	0.43
石英	32.38	尖晶石	0.15
白云母 + 少量锂云母	11.95	铍华	0.01
褐铁矿	1.26	其他矿物	0.50

3 选矿试验

3.1 试验方案的选择

根据原矿的工艺矿物学性质, 可综合回收的有价组分为铌、钽、铷、铍、长石及石英等。由于中钽铌矿物密度为 $5.36 \sim 8.175 \text{ g/cm}^3$, 高于其他矿物, 可采用重选工艺回收钽铌。云母和绿柱石具有较好的可浮性, 可采用浮选工艺回收。铍浮选尾矿主要为长石石英产品, 可采用进一步的磁选深度除铁获得陶瓷用长石石英原料产品。借鉴国内外钽铌矿选矿经验^[19-22], 确定处理仁里钽铌矿石的选矿流程为原矿棒磨—螺旋溜槽粗选—粗精矿分级后摇床精选—云母浮选—铍浮选—铍浮选尾矿磁选脱铁的选矿工艺流程(图 2)。

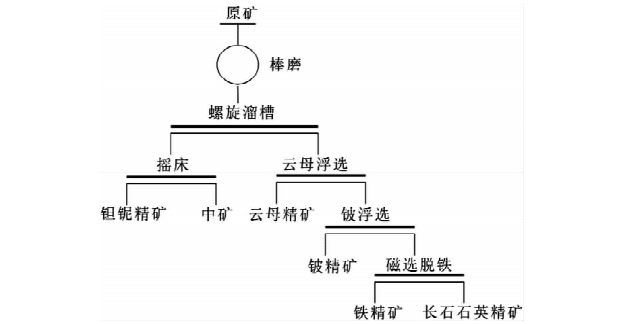


图 2 选矿原则工艺流程
Fig. 2 Principle flowsheet of mineral processing

3.2 重选回收钽铌矿物

对磨矿细度 -0.074 mm 含量分别为 34%、42%、50%、61% 和 74% 磨矿产品进行螺旋溜槽粗选试验

(表 3), 试验结果表明, 当磨矿细度为 -0.074 mm 含量 61% 时, 钽铌精矿选矿回收率较高, 因此确定在此磨矿细度下进行后续试验。

表 3 原矿螺旋溜槽粗选磨矿细度条件试验结果

Table 3 The test results of fineness condition for spiral chute

产品	粒级	产率	品位/%		回收率/%	
名称 (-0.074 mm 含量)		/%	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅
精矿	34%	15.11	0.1367	0.1700	57.38	64.22
尾矿		84.89	0.0181	0.0169	42.62	35.78
给矿		100.00	0.0360	0.0400	100.00	100.00
精矿	42%	11.79	0.2090	0.2360	68.07	70.44
尾矿		88.21	0.0131	0.0132	31.93	29.56
给矿		100.00	0.0362	0.0395	100.00	100.00
精矿	50%	9.35	0.3144	0.3270	80.54	75.49
尾矿		90.65	0.0078	0.0110	19.46	24.51
给矿		100.00	0.0365	0.0405	100.00	100.00
精矿	61%	6.87	0.4700	0.4900	88.22	84.58
尾矿		93.13	0.0046	0.0066	11.78	15.42
给矿		100.00	0.0366	0.0398	100.00	100.00
精矿	74%	4.75	0.5920	0.6380	77.68	75.38
尾矿		95.25	0.0085	0.0104	22.32	24.62
给矿		100.00	0.0362	0.0402	100.00	100.00

原矿经螺旋溜槽重选, 钽铌矿物得到了初步富集, 想获得较高品位的钽铌精矿, 还需要通过摇床进一步重选富集。螺旋溜槽粗精矿按 $+0.074 \text{ mm}$ 、 $-0.074 + 0.038 \text{ mm}$ 和 -0.038 mm 等三个粒级进行分级摇床重选(表 4)。试验结果表明, 螺旋溜槽粗选精矿分级摇床重选取得了较好的效果, 钽铌精矿 Ta_2O_5 和 Nb_2O_5 品位分别为 20.00% 和 19.13%, 其作业回收率分别为 79.48% 和 71.65%, 对原矿回收率分别为 69.06% 和 60.60%。

表 4 螺旋溜槽粗选精矿分级摇床试验结果

Table 4 Results of shaker test for coarse concentrate separation with spiral chute

粒级 /mm	产品名称	作业产率	品位		作业回收率	
			Ta ₂ O ₅ /%	Nb ₂ O ₅ /%	Ta ₂ O ₅ /%	Nb ₂ O ₅ /%
$+0.074$	精矿 1	0.96	19.56	18.45	40.12	36.00
	中矿 1	12.19	0.323	0.44	8.41	10.90
	尾矿 1	63.42	0.0207	0.0385	2.81	4.96
	合计	76.57	0.3138	0.3332	51.34	51.86
$-0.074 + 0.038$	精矿 2	0.58	20.36	18.91	25.23	22.29
	中矿 2	4.96	0.48	0.64	5.09	6.45
	尾矿 2	16.26	0.095	0.15	3.30	4.96
	合计	21.80	0.7218	0.7606	33.62	33.70
-0.038	精矿 3	0.32	20.67	20.54	14.13	13.36
	中矿 3	0.52	0.66	0.74	0.73	0.78
	尾矿 3	0.79	0.10	0.18	0.18	0.30
	合计	1.63	4.32	4.356	15.04	14.44
合计	精矿	1.86	20.00	19.13	79.48	71.65
	中矿	17.67	0.377	0.505	14.23	18.13
	尾矿	80.47	0.0365	0.0624	6.29	10.22
	给矿	100.00	0.468	0.492	100.00	100.00

3.3 浮选回收云母

重选尾矿中含有较多的云母(主要为白云母,含少量的锂云母)、长石和石英。为了综合回收其中的云母矿物,对重选尾矿采用 Na_2CO_3 作为调整剂, YZ - 1 (无机及有机组合抑制剂)作为绿柱石、长石及石英的

抑制剂, YB - 1 (阴阳离子混合捕收剂)作为云母的捕收剂进行云母浮选。浮选工艺流程见图 3, 试验结果见表 5。浮选闭路试验获得的云母精矿作业产率为 11.55%, Rb_2O 在云母精矿中得到富集, 其作业回收率为 66.73% (表 6), 可在后续通过焙烧和浸出工艺进一步回收铷。

表 5 螺旋溜槽粗选尾矿云母浮选闭路试验

/%

Table 5 Closed - circuit test results of mica flotation form spiral chute coarse tailings

产品名称	产率	品位				回收率			
		Al_2O_3	K_2O	Na_2O	Rb_2O	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	Rb_2O
云母精矿	11.55	24.15	8.43	1.25	0.25	19.24	64.91	2.27	66.73
浮选尾矿	88.45	13.24	0.60	7.02	0.017	80.76	35.09	97.73	33.27
给矿	100.00	14.50	1.50	6.35	0.045	100.00	100.00	100.00	100.00

3.4 浮选回收铍

原矿 BeO 品位为 0.122%, 有一定的回收利用价值, 采用 NaOH 和油酸浮选药剂从云母浮选尾矿中浮选回收铍试验(图 4)。试验结果(表 6)表明, 可获得铍精矿产率 0.90%, BeO 品位 8.90%, 其作业回收率为 61.62%。

表 6 云母浮选尾矿铍浮选试验结果

/%

Table 6 Results of beryllium flotation test from mica flotation tailings

产品名称	产率	BeO 品位	BeO 回收率
铍浮选精矿	0.90	8.90	61.62
铍浮选尾矿	99.10	0.05	38.38
给矿	100.00	0.13	100.00

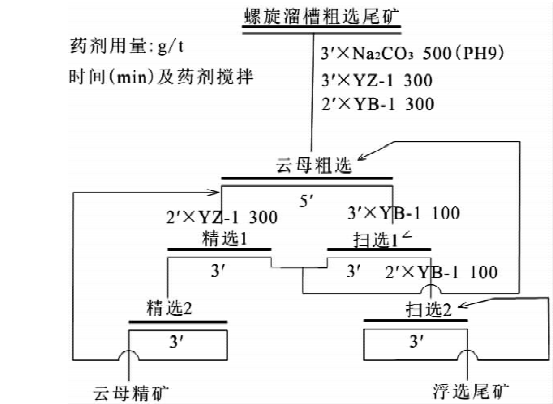


图 3 重选粗选尾矿云母浮选闭路试验流程
Fig. 3 Flow chart of mica flotation closed - circuit test from of gravity separation tailings

3.5 闭路试验结果

为了综合回收矿石中的 Ta、Nb 和 Be 等有价值组分, 在条件试验及分段闭路试验基础上进行全流程闭路试验, 原则工艺流程为原矿磨矿, 经螺旋溜槽粗选、重选粗精矿分级摇床精选, 分离出钽铌精矿, 重选尾矿进入浮选工艺, 依次回收白云母和铍精矿, 尾矿为长石石英精矿(图 5)。

试验结果为: 钽铌精矿产率 0.13%, Ta_2O_5 品位 20.36%, 回收率 73.53%, Nb_2O_5 : 品位 19.87%, 回收率 63.78%; 云母精矿产率 11.81%, Al_2O_3 品位 24.26%, Li_2O 品位 0.25%, Rb_2O 品位 0.25%), 回收率 67.10%; 铍精矿产率 0.91%, BeO 品位 8.69%, 回收率 65.92%; 长石石英精矿产率 87.15% (表 7)。云母精矿中锂和铷含量较高, 后续可通过焙烧和浸出回收其中的锂和铷^[23]。

闭路流程试验获得的长石石英精矿 TFe 含量为 0.55%, 超过陶瓷行业对长石石英原料中的铁含量要求, 需要进行磁选脱铁。磁选试验采用实验室型 $\Phi 100$ 高梯度磁选机, 磁场磁感应强度为 795.67 kA/m, 脉动冲次 150 次, 介质宽度 2.0 mm, 通过一段磁选, 长石石英产品铁含量可降至 0.20% 以下(表 8), 该产品也可经浮选分离才可获得高品质长石精矿和石英精矿。

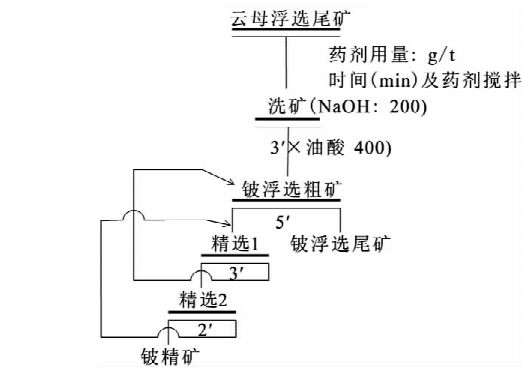


图 4 云母浮选尾矿铍浮选试验流程
Fig. 4 Flow chart of beryllium flotation test from mica flotation tailings

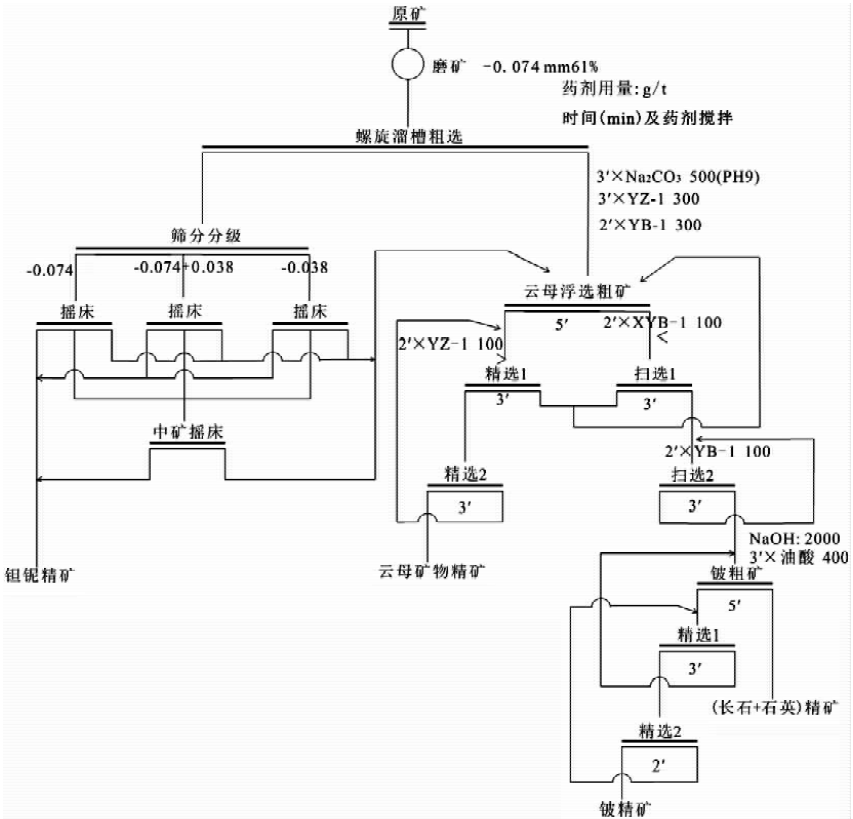


图 5 全流程闭路试验流程图
Fig. 5 Closed - circuit flow chart of the process for raw ore

表 7 全流程闭路试验结果 /%

Table 7 Closed - circuit test results of the process from raw ore

产品名称	产率	品位								回收率							
		Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Rb ₂ O	BeO	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Rb ₂ O	BeO		
钽铌精矿	0.13	20.36	19.87	2.45	1.02	1.02	0.04	0.10	73.53	63.78	0.02	0.09	0.02	0.12	0.11		
云母精矿	11.81	0.0076	0.0085	24.26	5.45	1.23	0.25	0.05	2.50	2.48	20.38	45.89	2.44	67.10	4.92		
铍精矿	0.91	0.0099	0.0174	12.67	0.20	0.95	0.10	8.69	0.25	0.39	0.82	0.13	0.15	2.07	65.92		
长石石英精矿	87.15	0.0098	0.0155	12.71	1.87	6.65	0.016	0.04	23.72	33.35	78.78	53.89	97.39	30.71	29.05		
给矿	100.0	0.0360	0.0405	14.06	1.40	5.95	0.044	0.12	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		

表 8 长石石英产品脱铁试验结果 /%

Table 8 Experimental results of iron removal from feldspar

产品名称	产率	TFe 含量	TFe 分布率
铁产品	1.46	26.87	71.33
长石石英精矿	98.54	0.16	28.67
给矿	100.00	0.55	100.00

试验表明,仁里矿床矿石富含 Ta、Nb 和 Be, 矿石易选, 有价值组分回收率高。主要选矿产品为钽铌精矿、铍精矿、云母精矿和长石石英产品。由于伟晶岩中铀和钍含量低, 放射性强度弱^[4,6,18], 获得的长石石英产品放射性低, 可作为陶瓷行业的原料。云母精矿中 Li₂O 和 Rb₂O 含量较高, 分别为 0.25% 和 0.21%, 有较大的综合利用价值^[11]。计算结果表明, 稀有金属矿综合回收率为 69.73%, 共伴生矿产综合利用率为 69.80%, 矿产资源综合利用率为 89.60%^[11]。

4 矿床开发利用的意义

据全球知名的 14 个钽矿山统计资料, 矿石平均 Ta₂O₅ 品位为 0.012% ~ 0.059%, Nb₂O₅ 品位为 0.01% ~ 0.202%, 澳大利亚 Greenbushes 矿山矿石 Ta₂O₅ 品位为 0.059%, Nb₂O₅ 品位为 0.044%, 但目前已停产, 巴西 Miber 矿山矿石 Ta₂O₅ 品位为 0.034%, Li₂O 品位为 1.06%, 选矿 Ta₂O₅ 回收率为 56%^[24]。虽然中国钽储量和基础储量大, 但矿床中 Ta₂O₅ 品位一般都低于 0.02%^[1,25], 远低于国外同类矿山, 如目前国内最大的钽精矿产地江西宜春 414 矿, 矿石 Ta₂O₅ 含量仅为 0.0086% ~ 0.0115%, Nb₂O₅ 含量为 0.0086% ~ 0.0089%^[26-27]。而仁里矿床 Ta₂O₅ 品位为 0.036%, Nb₂O₅ 品位为 0.047%^[10], BeO 品位为 0.042% ~ 0.148%^[11], 47 号矿脉锂辉石型锂矿

Li_2O 品位为 0.562% ~ 3.423%^[18]。由此可知,仁里矿床的发现有望提高我国钽资源量和改善我国钽资源的品质^[1,3]。仁里矿体中普遍含粒状绿柱石, BeO 资源量为 15 600 t, 达到了超大型矿床规模(大型矿床规模为 1.0 万 t)。矿石易选, 选矿 Be 回收率达到 65.92%。对其有效地开发利用可缓解中国铍矿资源短缺局面, 进一步提高了矿床经济价值。

根据研究资料^[11,27], 生产规模按 300 万 t/a 计, 仁里矿床可开采 30 年, 年产钽精矿 1 273.4 t (Ta_2O_5 含量 20.4%, Nb_2O_5 含量 19.9%), 铍精矿 31 455.4 t (BeO 含量 8.69%), 和白云母精矿 21.6 万 t (Li_2O 含量 0.25%、 Rb 含量 0.21%)。白云母精矿通过焙烧和浸出, 可获得锂精矿、铷精矿和高质量的白云母精矿; 含长石和石英的浮选尾矿经进一步浮选分离, 或获得长石精矿和石英精矿。根据市场价格, 该矿床综合利用经济价值超过 1 500 亿元^[11]。仁里超大型钽铌铍矿床为中国东部高品位、超大型钽铌矿床^[1,3-6], 矿区尚有众多伟晶岩脉有待进一步评价, 主矿体尚未封边, 矿体深部仍有较大的钽铌铍矿找矿潜力^[1-3,5-6], 而且矿区西/西南部具有较大的高品位锂矿找矿潜力^[15, 18]。

5 结论

(1) 仁里矿床稀有金属及非金属矿产资源丰富, 矿石质量高, 易分选, 主要矿产品为钽铌精矿、铍精矿、云母精矿及长石石英产品。钽铌精矿 Ta_2O_5 品位 20.36%, 回收率 73.53%, Nb_2O_5 品位 19.87%, 回收率 63.78%; 铍精矿 BeO 品位 8.69%, 回收率 65.92%; 云母精矿 (Li_2O 品位 0.25%, Rb_2O 品位 0.25%) 回收率 67.10%。仁里矿床具有较高的稀有金属矿综合回收率(69.73%)、共生伴生矿产综合利用率(69.80%)及矿产资源综合利用率(89.60%), 具有较高的开发利用经济价值。

(2) 试验获得的钽铌精矿可通过重选获得高品质钽铌精矿; 长石石英产品可通过浮选工艺获得高品质长石精矿和石英精矿; 锂、铷在云母中富集, 可采用冶金工艺进行回收。

(3) 仁里矿床矿产资源丰富, 品位富, 综合利用价值高, 矿床综合利用经济价值超过 1 500 亿元, 矿床开发经济效益明显, 可做为高效、绿色环保、无尾矿矿山开发利用。钽铌铍锂为我国紧缺的战略性关键金属矿产, 仁里矿床的开发利用, 有望进一步提高我国钽铌铍锂矿资源量, 改善我国钽铌铍锂矿资源的品质。

致谢:湖南有色金属研究院刘忠荣工程师和杜芳芳工程师, 核工业二三〇研究所及中国地质科学院矿产资源研究所在研究过程中给予了大力支持, 湖南有色金属研究院王全亮博士及审稿专家对本文提出建设

性的修改意见, 在此, 一一表示感谢!

参考文献:

- [1] 李建康, 李鹏, 王登红, 等. 中国钽铌矿成矿规律[J]. 科学通报, 2019a, 64, doi: 10.1360/N972018-00933.
- [2] 王登红. 关键矿产的研究意义、矿种厘定、资源属性、找矿进展、存在问题及主攻方向[J]. 地质学报, 2019, 93(6): 1189-1209.
- [3] 刘翔, 周芳春, 黄志彪, 等. 湖南省平江县仁里超大型伟晶岩型钽铌多金属矿床的发现及其意义[J]. 大地构造与成矿学, 2018, 42(2): 235-243.
- [4] 刘翔, 周芳春, 李鹏, 等. 湖南仁里稀有金属矿田地质特征、成矿时代及其找矿意义[J]. 矿床地质, 2019, 38(4): 771-791.
- [5] 周芳春, 刘翔, 李建康, 等. 湖南仁里超大型稀有金属矿床的成矿特征与成矿模型[J]. 大地构造与成矿学, 2019, 43(1): 77-91.
- [6] 周芳春, 李建康, 刘翔, 等. 湖南仁里钽铌矿床矿体地球化学特征及其地质意义[J]. 地质学报, 2019b, 93(6): 1392-1404.
- [7] 毛景文, 袁顺达, 谢桂青, 等. 21 世纪以来中国关键金属矿产找矿勘查与研究新进展[J]. 矿床地质, 2019, 38(5): 936-969.
- [8] 王臻, 陈振宇, 李建康, 等. 云母矿物对仁里稀有金属伟晶岩矿床岩浆-热液演化过程的指示[J]. 矿床地质, 2019, 38(5): 1039-1052.
- [9] 杨畅, 陈振宇, 李建康, 等. 湘东北仁里-传梓源 5 号伟晶岩脉白云母和长石成分的演化与成矿作用的关系[J]. 矿床地质, 2019, 38(4): 851-866.
- [10] 周芳春, 刘翔, 黄志彪, 等. 湖南省平江县仁里矿区钽铌多金属矿普查阶段性成果报告[R]. 长沙: 湖南省核工业地质局三一一大队, 2017.
- [11] 周芳春, 苏俊男, 陈虎, 等. 湖南省平江县仁里钽铌矿区钽铌绿柱石长石云母等矿产综合利用评价报告[R]. 长沙: 湖南省核工业地质局三一一大队, 2019.
- [12] 李鹏, 李建康, 裴荣富, 等. 幕阜山复式花岗岩体多期次演化与白垩纪稀有金属成矿高峰: 年代学依据[J]. 地球科学, 2017, 42(10): 1684-1696.
- [13] 黄志彪, 李鹏, 周芳春, 等. 幕阜山地区新元古代花岗岩地球化学特征及成因探讨[J]. 桂林理工大学学报, 2018, 38(4): 614-624.
- [14] 李鹏, 刘翔, 李建康, 等. 湘东北仁里-传梓源矿床 5 号伟晶岩岩相学、地球化学特征及成矿时代[J]. 地质学报, 2019, 93(6): 1374-1391.
- [15] 李鹏, 李建康, 张立平, 等. 幕阜山西南缘黄柏山稀有金属伟晶岩密集区的发现及意义[J]. 矿床地质, 2019, 38(5): 1069-1076.
- [16] Li Peng, Li Jiankang, Liu Xiang et al., Geochronology and source of the rare-metal pegmatite in the Mufushan area of the Jiangnan orogenic belt: A case study of the giant Renli Nb-Ta deposit in Hunan, China [J]. Ore Geology Reviews, 2019c, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103237>.
- [17] Li Jiankang, Liu Congyu, Li Xiang et al., Tantalum and niobium mineralization from F- and Cl-rich fluid in the lepidolite-rich pegmatite from the Renli deposit in northern Hunan, China: Constraints of fluid inclusions and lepidolite crystallization experiments[J]. Ore Geology Reviews, 2019b, doi: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103187>.
- [18] 石威科, 周芳春, 刘翔, 等. 湖南仁里矿田锂辉石白云母伟晶岩地质特征及其找矿意义[J]. 地质学报, 2020, 94(3): 817-835.
- [19] 契斯托夫 ДБ, 等. 俄罗斯稀有金属矿石选矿工艺的现状[J]. 国外金属选矿, 2006(10): 4-7.
- [20] 刘霞. 湖南某钽铌矿综合利用[J]. 矿产综合利用, 2015(5): 31-33.
- [21] 田敏, 王盘喜, 郭俊刚, 等. 河南某含电气石、长石钽铌矿综合回收试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2016(2): 28-34.
- [22] 袁梅, 彭会清, 吴迪, 等. 钽铌粗精矿高梯度磁选数值分析[J]. 矿产保护与利用, 2018(1): 48-53.

[23] 高照国,曹耀华,刘红召,等. 某含铷和锂云母粗精矿焙烧和浸出试验研究[J]. 矿产保护与利用,2017(5):64-66.

[24] 曹飞,杨卉芃,张亮,等. 全球钽铌矿产资源开发利用现状及趋势[J]. 矿产保护与利用,2019,39(5):56-67,89.

[25] Schulz KJ, DeYoung, Jr J H, et al. Critical mineral resources of the United States – economic and environmental geology and prospects for future supply[J]. USGS, Professional Paper, 2017, 1802. 1-862

[26] 张玲,林德松. 我国稀有金属资源现状分析[J]. 地质与勘探,2004,40(1):27-30.

[27] 北京中宝信资产评估有限公司,江西钨业集团有限公司宜春钽铌矿采矿权评估报告[R](中国信矿评报字[2017]第 052 号). 北京:2017.

Comprehensive Utilization Evaluation of Tantalum – niobium – beryllium Rare Metal Deposits in Renli Deposit, Hunan Province

ZHOU Fangchun¹, SU Junnan¹, LI Jiankang², LIU Xiang³, HUANG Zhibiao¹, LI Peng², HUANG Xiaoqiang¹, CHEN Hu¹, HU Xiaofang¹, ZENG Le¹

1. No. 311 Geological Party of Hunan Nuclear Geological Bureau, Changsha 410100, China;
2. MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;
3. Hunan Eco – environmental Affairs Center, Changsha 410014, China

Abstract: The Renli deposit of Hunan Province is a high – grade and super large rare metal deposit in East China with Ta₂O₅ grade of 0.036% and Nb₂O₅ grade of 0.047%. The main useful minerals are tantalum – niobium minerals, beryl, mica, feldspar and the associated minerals such as lepidolite, tourmaline, garnet etc. The Nb – Ta minerals are mainly distributed in albite and quartz in medium – coarse grained muscovite pegmatite as massive, granular, acicular and schistose, and a few are distributed in muscovite, beryl, apatite and tourmaline, with coarse grain size. Beryl is mainly in massive and granular. In this study, the process of recovery of tantalum and niobium with spiral chute and shaker tables and flotation recovery of mica from gravity separation and flotation recovery of beryl from mica flotation tailings were introduced. The Ta₂O₅ recovery of tantalum concentrate (Ta₂O₅ 20.36%, Nb₂O₅ 19.87%) is 73.53%, BeO recovery of beryllium concentrate (BeO 8.69%) is 65.92%, Rb₂O recovery of mica concentrate (Al₂O₃ 24.26%, Li₂O 0.25%, Rb₂O 0.25%) is 67.10%. The research shows that Renli deposit is rich in rare metal and non – metal mineral resources, with the characteristics of high ore quality, easy separation and high recovery. The deposit has high comprehensive recovery rate of rare metals (69.73%) and comprehensive utilization rate of mineral resources (89.60%). It has high economic value of development and utilization, and can be explored efficiently as a Green mine without tailings.

Key words: tantalum – niobium; beryllium; comprehensive utilization; evaluation; renli deposit

引用格式:周芳春,苏俊男,李建康,刘翔,黄志彪,李鹏,黄小强,陈虎,胡小芳,曾乐. 湖南仁里钽铌铍稀有金属矿床综合利用评价[J]. 矿产保护与利用,2020,40(2):112-118.

Zhou FC, Su JN, Li JK, Liu X, Huang ZB, Li P, Huang XQ, Chen H, Hu XF and Zeng L. Comprehensive utilization evaluation of tantalum – niobium – beryllium rare metal deposits in Renli deposit, Hunan Province[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2020, 40(2): 112-118.