

四川锂辉石尾矿工艺矿物学及锂的赋存状态

王盼盼, 吴俊峰, 陈林, 陈彦庆

(四川省地质矿产勘查开发局 成都综合岩矿测试中心, 稀有稀土战略资源评价与利用四川省重点实验室, 四川 成都 610081)

摘要: 这是一篇工艺矿物学领域的文章。研究对象为四川李家沟和甲基卡尾矿, 对其采用光学显微镜砂光薄片鉴定, 人工重砂研究(分离、鉴定等), 光普半定量分析、化学分析, MLA矿物自动定量检测, LA-ICPMS矿物微量元素原位分析, 电子显微镜能谱分析, X-射线粉晶衍射等分析手段。对尾矿的化学成分、矿物成分、锂的赋存状态进行了研究。结果显示: (1) 李家沟、甲基卡两处不同地区的尾矿, 其 Li_2O 品位为0.44%~0.64%, 都在边界品位附近, 均可再次选矿富集; 伴生有价元素主要是铌、钽、铍、铷含量都未达到综合回收利用标准。(2) 两处不同地区尾矿中, 再次选矿富集回收利用的主要为锂辉石; 伴生的微量有用矿物主要为微量铌铁矿-钽铁矿系列矿物、绿柱石, 而铷主要以分散状态赋存于锂白云母和钾长石中。(3) 尾矿主要回收目标矿物为锂辉石, 精矿产品中 Li_2O 的理论品位为7.33%, 李家沟、甲基卡精矿理论回收率分别为86.14%、87.87%。4.尾矿人工重砂实验显示, 粗粒级中 Li_2O 含量、分布率、产率较高, 而在细粒级较低。

关键词: 锂辉石; 尾矿; 工艺矿物学; 锂的赋存状态; 李家沟; 甲基卡

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.06.031

中图分类号: TD953 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2024)06-0199-08

引用格式: 王盼盼, 吴俊峰, 陈林, 等. 四川锂辉石尾矿工艺矿物学及锂的赋存状态[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(6): 199-206.

WANG Panpan, WU Junfeng, CHEN Lin, et al. Process mineralogy and occurrence state of lithium of spodumene tailings in Sichuan province[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(6): 199-206.

锂作为一种重要的能源金属, 在高性能锂电池、受控热核反应以及陶瓷和玻璃制造业等领域有着越来越广泛的应用^[1-2]。四川有较多的锂辉石选矿厂, 但锂矿的资源回收率低, 资源严重浪费。通过对甲基卡、李家沟两处不同地区尾矿的详细研究, 查明其化学成分、矿物成分、主要矿物的工艺特性、锂的分布和回收富集规律、共生有益组分及其可利用性等, 为再次选矿回收利用提供了相对详尽的尾矿性质资料。

1 样品物质组成

试验样品为锂辉石矿经过选矿处理后的残

渣, 从甲基卡、李家沟两处不同地方采集, 样品分析结果见表1。

1.1 化学成分

试验原料含 Li_2O 0.44%~0.64%, 伴生有价元素 Nb、Ta、Rb、Sn 的品位均未达到综合回收利用标准。甲基卡的 BeO 品位达到综合回收利用标准, 李家沟的未达到。有害杂质 P_2O_5 含量低, 前期不需要单独处理。

1.2 矿物成分及含量

样品经砂光、薄片鉴定, X-射线粉晶衍射分析、矿物自动定量检测系统 (MLA) 测定样品的矿物组成等, 并参考化学多项分析数据等^[3-5], 综

收稿日期: 2023-10-29

基金项目: 四川省地质调查研究院科研项目 (SCIGS-CZDZX-2023002); 《四川战略性锂辉石资源采选固废物矿物基因及资源化技术研究示范项目》

作者简介: 王盼盼 (1985-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为矿物学、岩石学、矿床学。

合分析得矿物成分及含量见表 2。

从表 2 可知，主要锂矿物或含锂矿物以锂辉石为主，含少量锂白云母。样品中伴生少量铍矿

物和极微量钽铌矿物，其中铍矿物以绿柱石为主，钽铌矿物以铌铁矿为主；脉石矿物以石英、斜长石和钾长石为主。

表 1 尾矿化学分析（多项）结果/%
Table 1 Results of chemical analysis of tailings

名称	Li ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	BeO	CaO	TFe	K ₂ O	MgO
甲基卡	0.44	74.14	13.89	0.046 3	0.12	0.68	2.61	0.05
李家沟	0.64	76.69	14.15	0.033 9	0.39	3.06	2.80	0.13
名称	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Rb ₂ O	SnO	TiO ₂	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅
甲基卡	0.036	4.27	0.14	0.012 54	0.006 1	0.023	0.004 417	0.002 391
李家沟	0.057	3.92	0.13	0.002 64	0.007 1	0.050	0.002 411	0.001 066

表 2 尾矿中矿物组成及相对含量/%
Table 2 Mineral composition and relative content in tailings

主要矿物			次要矿物			微量至偶见矿物（共2%）
矿物名称	甲基卡	李家沟	矿物名称	甲基卡	李家沟	矿物名称（两种尾矿都含有）
石英	36.5	37.5	钾长石	10	13	钽铁矿、钼铁矿、细晶石、锡石、绿柱石、硅铍石、黑云母、辉石、锰铝榴石、高岭石、蒙脱石、钛铁矿、磷灰石、独居石、隐钾锰矿、锆石
斜长石	40	34	锂白云母	7	7	
			锂辉石	4.5	6.5	

注：仅在甲基卡尾矿见有的微量-偶见矿物：黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、辉铋矿仅在李家沟尾矿见有的微量-偶见矿物：黑钨矿、角闪石、电气石、绿泥石、菱锰矿、褐铁矿、方解石、金红石、榍石、黄钾铁矾、萤石、一水硬铝石

锂辉石、锂白云母、绿柱石和钽铌铁矿扫描电镜能谱分析结果见表 3~6。锂辉石中普遍含有少量铁、锰，部分含少量的钠。锂白云母普遍含少量钠、铁、锰、铷等，部分含少量铯、锌等。绿柱石中有少量碱金属钠、铯代替铍，少量铁代替铝，个别绿柱石含极少量锌。甲基卡和李家沟尾矿中钽铌矿物的化学成分能谱检测结果见表 6，甲基卡平均含 Nb₂O₅ 59.50%，Ta₂O₅ 19.62%，李家沟平均含 Nb₂O₅ 56.11%，Ta₂O₅ 22.98%，都有铋、锡等的混入。钽铌矿物主要为钽铁矿-钼铁矿

系列矿物，含量非常低，主要有钽铌铁矿、钽铌矿、钽铌锰矿。

表 3 锂辉石化学成分能谱分析结果/%

Table 3 Results of energy spectrum analysis of spodumene chemical components

测点	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	FeO	Na ₂ O	CaO
甲基卡平均值	29.43	69.61	0.22	0.69	0.05	/
李家沟平均值	29.55	69.78	0.53	0.13	0.01	/

注：能谱无法检测到Li₂O，表中数值与实际含量有偏差

表 4 锂白云母成分能谱测定结果/%

Table 4 Results of energy spectrum determination of lithium muscovite

测点	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	FeO	Rb ₂ O	MnO	Cs ₂ O	ZnO	F	TiO ₂	MgO
甲基卡平均值	0.10	36.77	48.03	11.48	2.78	0.66	0.16	0.02	0.01	/	/	/
李家沟平均值	0.05	36.14	48.34	11.43	2.84	0.60	0.25	0.06	0.02	0.19	0.05	0.03

注：能谱无法检测到Li₂O和H₂O，表中数值与实际含量有偏差

表 5 绿柱石化学成分能谱分析结果/%

Table 5 Results of energy spectrum analysis of beryl chemical composition

测点	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cs ₂ O	FeO	ZnO
甲基卡平均值	1.04	21.36	76.84	0.49	0.26	0.01
李家沟平均值	0.99	21.27	76.93	0.64	0.18	/

注：能谱无法检测BeO，表中数值与实际含量有偏差

1.3 尾矿岩石类型及结构、构造

尾矿为松散的细小砂状碎屑，人工破碎形成，大小不等。甲基卡粒度一般<0.5 mm，李家沟粒度一般<1 mm。原岩结构构造已完全破坏，根据其矿物组合推测原矿主要为锂辉石花岗伟晶岩，具块状构造，伟晶结构，可再次选矿富集。

表6 钽铌铁矿化学成分能谱分析结果/%

Table 6 Results of energy spectrum analysis of chemical composition of tantalum niobite

测点	TiO ₂	MnO	FeO	Nb ₂ O ₅	SnO ₂	Ta ₂ O ₅	WO ₃
甲基卡平均值	0.30	10.82	8.97	59.50	0.79	19.62	/
李家沟平均值	0.80	11.4	8.19	56.11	0.09	22.98	0.43

2 矿物嵌布特征

两个地区尾矿中主要锂矿物与含锂矿物以锂辉石为主，部分锂白云母。

2.1 锂辉石

锂辉石多以粗粒柱状晶产出，多完全解离呈柱状单体颗粒，少部分锂辉石柱状自形至半自形晶与石英、云母、长石等矿物连生，少量锂辉石颗粒边缘被细小石英及少量细小白云母、长石交代溶蚀。少量锂辉石以细粒形式包裹在云母、石英、长石等脉石矿物中，多已完全解离为单体。见图1~6。

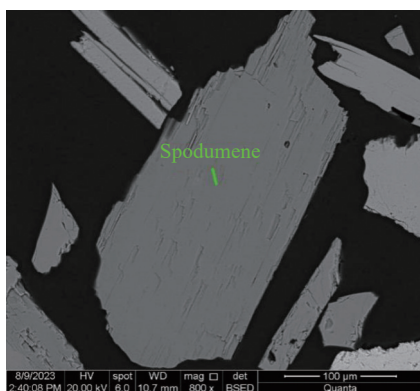


图1 呈柱状单体颗粒锂辉石
Fig.1 Columnar monomer particles of spodumene

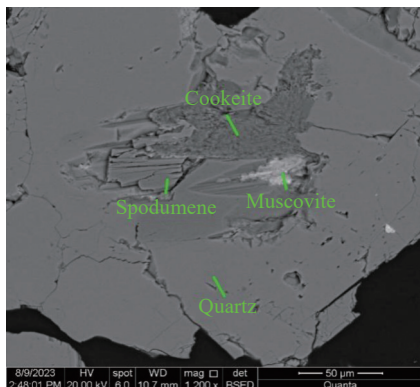


图2 锂辉石呈柱状自形晶与锂白云母和石英连生，锂辉石部分蚀变为锂绿泥石
Fig.2 Columnar idiomorphic crystal spodumene connected with lithiomite and quartz, and part of spodumene transformed into lithiomchlorite

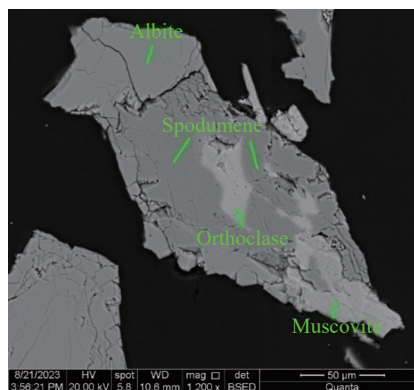


图3 锂辉石与钾长石、钠长石连生
Fig.3 Spodumene associated with potassium feldspar and albite

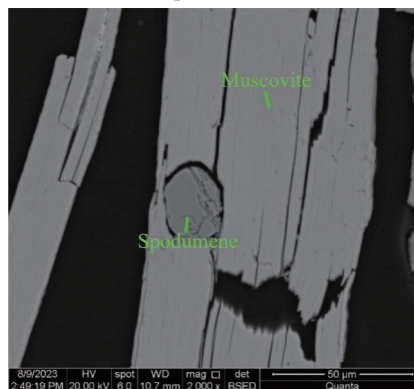


图4 锂辉石呈细粒柱状半自形晶嵌布在锂白云母中
Fig.4 Fine-grained columnar hemidiomorphic crystal spodumene embedded in lithium muscovite

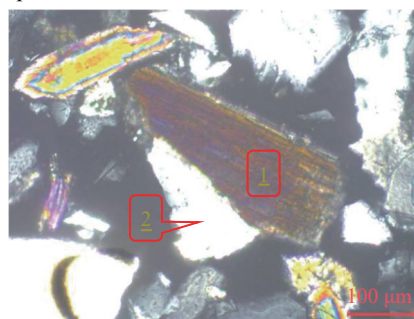


图5 锂辉石(1)与石英(2)连生
Fig.5 Associated spodumene (1) and quartz (2)



图6 锂辉石(1)与石英(2)连生
Fig.6 Associated spodumene (1) and quartz (2)

2.2 锂白云母

甲基卡和李家沟尾矿锂白云母粒度都较细，粒径多<1 mm，主要分布在 0.02~0.5 mm，多已完全解离。锂白云母单体嵌布粒度相对较粗，少量连生体形式的锂白云母多呈叶片状与石英、锂辉石、长石密切共生，少数锂白云母呈微细粒形式包裹在石英或锂辉石中。见图 7、8。

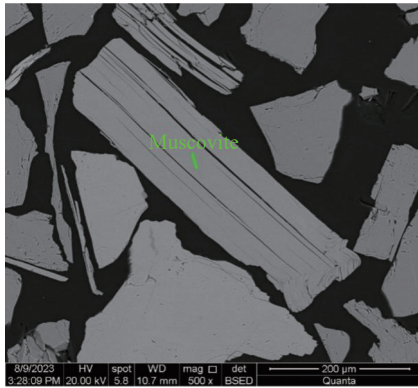


图 7 尾矿中锂白云母呈叶片状单体

Fig.7 A bladed monomer lithium muscovite in tailings

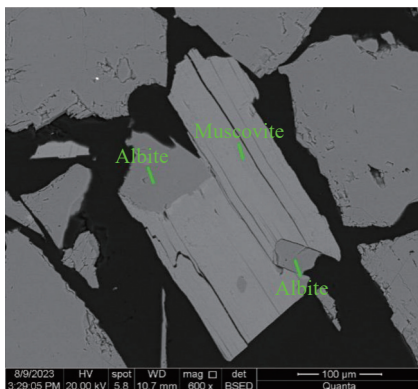


图 8 锂白云母与钠长石连生

Fig.8 Connected lithiomuscovite and albite

2.3 绿柱石

绿柱石粒度较粗，绝大多数绿柱石完全解离

呈柱状单体颗粒，极少数绿柱石与钠长石、石英等矿物连生。

2.4 钽铌矿物

主要有钽铌铁矿、铌锰矿、钽铌锰矿，一般呈自形-半自形板状晶，部分呈细至微细粒形式包裹在石英、钠长石、钾长石、锂辉石等矿物中。

2.5 脉石矿物

该尾矿中脉石矿物以石英、斜长石和钾长石为主。另有少-微量其他矿物。

石英是主要脉石矿物之一。大部分石英嵌布粒度较粗，多已完全解离呈单体分布，少量石英与钠长石、钾长石、云母和锂辉石连生。

长石主要为钠长石和钾长石，钾长石为微斜长石，大部分长石嵌布粒度相对较粗，多已完全解离。少量长石与石英、云母密切连生，部分钠长石与钾长石形成条纹长石。

3 粒度分析和单体解离度

采用 MLA 测定尾矿中锂辉石、锂白云母粒度分布和锂辉石单体解离度特征。

3.1 锂辉石

甲基卡尾矿中锂辉石粒度分布和解离度测定结果分别见表 7、8，锂辉石嵌布粒度主要分布在 0.04~0.32 mm 粒级范围。锂辉石解离度测定结果表明，锂辉石解离度在各粒级均超过 80%，总解离度为 85.96%。李家沟尾矿中锂辉石粒度分布和解离度测定结果分别见表 7 和表 9，锂辉石嵌布粒度主要分布在 0.08~0.32 mm 粒级范围。锂辉石解离度测定结果表明，锂辉石解离度在各粒级均超过 80%，总解离度为 83.82%。

表 7 甲基卡和李家沟尾矿中锂辉石粒度分布

Table 7 Particle size distribution of spodumene in Jiajika and Lijiagou tailings

粒径/mm	-0.5+0.32	-0.32+0.16	-0.16+0.08	-0.08+0.04	-0.04+0.02	-0.02+0.01	-0.01	平均
甲基卡锂/%	1.44	20.95	43.08	19.31	7.38	3.72	4.12	100.00
李家沟锂/%	4.26	42.89	38.48	7.81	2.48	1.32	2.76	100.00

3.2 锂白云母

从锂白云母粒度分布表 10 中可知，甲基卡尾矿锂白云母粒度主要分布在 0.02~0.16 mm 粒级范围。李家沟尾矿中锂白云母粒度主要分布在 0.01~0.32 mm 粒级范围。

4 人工重砂的研究

为了查清甲基卡和李家沟尾矿中目标元素 Li 在各粒级及重选产品中的分布情况，对样品进行了筛析，对重选产品进行了化学分析及分布率

表8 甲基卡锂辉石解离度测定结果

粒级/mm	产率/%	矿物含量/%	解离度/%
+0.1	47.78	6.983	83.01
-0.1+0.043	38.55	2.983	89.61
-0.43+0.02	11.90	3.118	96.65
-0.02	1.77	4.463	99.22
合计	100.00	4.929	85.96

表9 李家沟锂辉石解离度测定结果

粒级/mm	+0.2	-0.2+0.1	-0.1+0.043	-0.43+0.02	-0.02	合计
产率/%	42.02	33.55	14.43	7.95	2.05	100.00
矿物含量/%	10.357	8.973	2.517	2.037	7.097	8.033
解离度/%	81.41	85.32	88.03	97.30	99.54	83.82

表10 锂白云母粒度分布

粒径/mm	+0.32	-0.32+0.16	-0.16+0.08	-0.08+0.04	-0.04+0.02	-0.02+0.01	-0.01	平均
甲基卡锂白云母粒度分布/%	0.33	6.55	33.14	35.00	15.07	5.67	4.24	100.00
李家沟锂白云母粒度分布/%	1.48	15.56	27.39	20.00	14.91	10.62	10.04	100.00

计算，结果见表11。

从表11、12可知，（1）两个地区尾矿Li₂O含量在粗粒级相对较高，而在细粒级相对较低。

（2）甲基卡和李家沟尾矿中的Li₂O在粗粒级分布率较高，而在细粒级分布率较低。（3）甲基卡和李家沟尾矿在粗粒级产率较高，而在细粒级产率较低。（4）甲基卡尾矿各粒级轻、中、重部分Li₂O含量呈现一定规律性，在不同粒级中，重部分Li₂O含量相对较高，而在中部分和轻部分Li₂O相对较低。在同一粒级中，从轻矿到重矿Li₂O含量逐渐升高。

表11 甲基卡尾矿（人工重砂样）筛分、重选结果

粒级/mm	重选产品	重量/g	产率/%	Li ₂ O/%	总Li ₂ O分布率/%
-0.5+0.076	重矿	474.6	3.8	2.21	20.99
	中矿	2730.2	21.9	0.509	27.80
	轻矿	4889.1	39.2	0.295	28.85
	小计	8093.9	64.9	0.48	77.64
-0.076+0.038	重矿	92.3	0.7	1.235	2.28
	中矿	852.5	6.8	0.278	4.74
	轻矿	1816.0	14.6	0.136	4.94
小计	2760.8	22.1	0.22	11.96	
-0.038		1624.4	13.0	0.32	10.40
合计		12479.1	100.00	0.40	100.00

表12 结果见表李家沟尾矿（人工重砂样）筛分、重选结果

粒级/mm	重选产品	重量/g	产率/%	Li ₂ O/%	总Li ₂ O分布率/%
-0.5+0.076	重矿	646.5	6.3	2.16	21.20
	中矿	4112.7	40.4	0.785	49.01
	轻矿	3402.4	33.4	0.458	23.65
	小计	8161.6	80.1	0.76	93.86
-0.076+0.038	重矿	32.4	0.3	0.906	0.45
	中矿	143.6	1.4	0.284	0.62
	轻矿	668.4	6.6	0.120	1.22
小计	844.4	8.3	0.18	2.29	
-0.038		1180.3	11.6	0.215	3.85
合计		10186.3	100.00	0.65	100.00

载体矿物，以及主要矿物中含锂量，综合计算得出各矿物中Li₂O的含量及理论回收率^[6-8]。

LA-ICPMS矿物微量元素原位分析显示，锂的主要载体矿物为锂辉石和锂白云母，另外钾长石、斜长石、石英及其他微量矿物中有少量Li₂O（表13）。综合计算得出甲基卡尾矿中锂的元素配分比（表14）和李家沟尾矿中锂的元素配分比（表15）。

以上数据表明，甲基卡和李家沟尾矿中Li₂O都主要富集在独立矿物锂辉石中，其次为锂白云母，甲基卡两者集中率达93.05%，李家沟两者集中率达92.85%。两个尾矿中锂辉石是选矿回收的主要目标，而通过回收锂白云母来回收Li₂O，虽然会提高一些锂的回收率，但却会降低锂精矿中Li₂O的含量，因此，在浮选时须抑制锂白云母进入锂精矿。

5 锂的赋存状态

通过LA-ICPMS矿物微量元素原位分析，结合MLA矿物自动定量检测，X-射线粉晶衍射分析，薄片光学显微镜鉴定等方法，确定锂的主要

表 13 LA-ICPMS 矿物微量元素原位分析结果/ (g/t)
Table 13 Results of LA-ICPMS in situ analysis of mineral trace elements

地区	矿物	Li	Li ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MnO	FeO
甲基卡	锂辉石	34 196.64	73 278.51	629 761.30	285 603.86	1 105.90	23.65	375.63	40.88	579.65	1 408.84	4 660.89
	锂云母	1 402.11	3 004.53	484 613.40	367 713.96	7 176.39	279.55	434.12	106 589.75	358.65	1 072.46	17 222.17
	钾长石	1 339.81	2 871.02	554 911.95	294 293.82	21 107.76	117.43	607.92	104 163.58	423.82	520.24	6 878.23
	绿柱石	3 396.04	7 277.23	648 342.23	189 848.27	11 633.51	460.48	728.39	423.63	771.68	128.01	4 007.52
	钠长石	2.21	4.3	680 153.25	206 926.24	109 976.88	1.75	743.46	1 075.72	752.13	1.40	10.73
	锂辉石	33 899.59	72 641.98	626 807.16	289 377.20	983.25	39.33	298.46	122.54	726.61	1 120.67	3 867.61
李家沟	锂云母	2 650.15	5 678.90	459 576.59	374 846.78	4 395.32	405.45	332.59	115 015.62	648.77	2 079.02	23 938.55
	钾长石	55.85	119.67	619 218.48	184 985.13	3 221.01	0.00	1 933.35	174 946.25	885.73	7.35	13.99
	钠长石	22.57	48.36	688 197.30	137 367.45	114 888.62	13 701.51	396.71	3 173.31	31 972.70	962.20	1 114.86
	石英	322.38	690.81	970 735.69	13 964.02	2 245.68	573.77	342.30	4 636.37	2530.42	167.32	3 025.64
地区	矿物	TiO ₂	Be	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Nb	Sn	Cs	Ta
甲基卡	锂辉石	107.08	4.00	0.37	14.65	1.32	0.31	1.57	0.26	355.77	0.31	1.87
	锂云母	194.66	17.75	0.46	197.60	3 947.39	1.11	0.43	165.41	607.54	353.13	41.35
	钾长石	82.79	10.99	2.10	57.28	2 994.36	3.10	0.44	90.75	299.47	179.36	9.80
	绿柱石	26.11	44 925.21	0.45	200.59	275.12	1.81	1.77	0.33	8.92	3 787.18	7.81
	钠长石	1.00	1.68	3.26	0.60	10.48	0.31	0.01	0.00	0.26	1.08	0.02
	锂辉石	108.01	3.14	0.30	11.14	3.01	0.26	0.44	3.29	208.96	0.64	1.66
李家沟	锂云母	433.17	21.33	1.23	263.79	5 554.86	1.91	0.36	184.37	635.94	534.13	31.92
	钾长石	2.84	1.63	0.11	0.13	7 850.26	4.69	0.00	0.02	1.32	422.89	0.01
	钠长石	91.54	1.07	4.76	14.27	38.68	49.58	30.38	0.65	3.54	3.89	0.12
	石英	48.65	1.09	2.34	15.96	181.53	5.35	0.95	5.26	19.00	11.73	0.60

表 14 甲基卡尾矿中锂的元素配分/%
Table 14 Elemental composition of lithium in Jiajika tailings

矿物名称	矿物含量	Li ₂ O品位	Li ₂ O配分量	Li ₂ O配分比
锂辉石	5.27	7.33	0.387	87.87
斜长石	39.26	0.000 47	0.000 2	0.04
锂白云母	7.60	0.30	0.023	5.18
钾长石	9.83	0.29	0.029	6.48
其他	绿柱石	38.04	<1	0.43
	其他		/	0.002
合计	100.00		0.44	100.00
给矿	100.00		0.44	100.00

表 15 李家沟尾矿中锂的元素配分/%
Table 15 Element composition of lithium in Lijiagou tailings

矿物名称	矿物含量	Li ₂ O品位	Li ₂ O配分量	Li ₂ O配分比
锂辉石	7.59	7.33	0.551	86.14
锂白云母	7.57	0.567 89	0.043	6.71
钾长石	12.73	0.011 97	0.002	0.24
斜长石	33.24	0.004 84	0.001 6	0.25
石英	36.66	0.068 08	0.025 3	3.96
其他	2.21	/	0.017	2.70
合计	100.00		0.64	100.00
给矿	100.00	0.64	0.64	100.00

甲基卡和李家沟分别另有 6.95%、7.15% 的 Li₂O 分散在长石、石英和其他微量矿物中。石英中的 Li₂O 是存在含锂矿物包体造成的。而长石中的 Li₂O 存在的可能有以下两种：1、含锂矿物包体的存在；2、类质同象替代：长石成分中含与 Li 同族的 K、Na 元素，会有与 Li 发生类质同象替代的可能。长石、石英及其他微量矿物中分散的这部分 Li₂O，在选矿中无法回收利用，可视作合理损失的 Li₂O。

从以上分析结果可知，甲基卡和李家沟尾矿

主要回收目标矿物为锂辉石，精矿产品中 Li_2O 的理论品位为7.33%，甲基卡和李家沟锂精矿理论回收率为分别为87.87%、86.14%。

6 结 论

(1) 李家沟、甲基卡尾矿其 Li_2O 品位为0.44%~0.64%，都在边界品位附近，均可再次选矿富集；伴生有价元素主要是铌、钽，含量未达到综合回收利用标准。而铍，只有甲基卡尾矿中 BeO 含量刚达到综合回收利用标，选矿过程中可回收绿柱石实现 BeO 的综合回收利用；其余均未达到综合回收利用标准。

(2) 尾矿中的锂主要赋存于锂辉石中，其中李家沟尾矿中锂辉石 Li_2O 平均含量约为7.33%，占矿石中总 Li_2O 的86.14%，甲基卡尾矿中锂辉石 Li_2O 平均含量约为7.33%，占矿石中总 Li_2O 的87.87%。另有少量锂赋存于锂白云母中，但 Li_2O 含量低，配分比低，选矿中较难回收利用；此外石英、长石等矿物中还有微量锂，但不可回收利用。因此，尾矿主要回收目标矿物为锂辉石，精矿产品中 Li_2O 的理论品位为7.33%，精矿理论回收率为86.14%、87.87%。

(3) 两处不同地区尾矿中矿物成分相似，主要由石英、斜长石、钾长石、锂白云母、锂辉石等组成，再次选矿富集回收利用的主要为锂辉石；伴生的微量有用矿物主要为微量铌铁矿-钽铁矿系列矿物、绿柱石，而铷主要以分散状态赋存于锂白云母和钾长石中。

(4) 尾矿人工重砂实验显示，粗粒级中 Li_2O 含量、分布率、产率较高，而在细粒级较低。

参考文献：

[1] 罗小龙, 蔡云华, 刘榆, 等. 四川党坝锂辉石矿床 VIII 号脉锂辉石矿物学特征[J]. *矿产综合利用*, 2023(2):219-224.
LUO X L, CAI Y H, LIU Y, et al. Mineralogical characteristics of spodumene in No. VIII pegmatite vein of Dangba

spodumene deposit, Sichuan[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2023(2):219-224.

[2] 李成秀, 程仁举, 刘星. 我国锂辉石选矿技术研究现状及展望[J]. *矿产综合利用*, 2021(5):1-8.

LI C X, CHENG R J, LIU X. Research status and prospects of spodumene ore beneficiation technology in China[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(5):1-8.

[3] 周玉, 赖杨, 胡学武, 等. 四川甲基卡锂辉石矿 134 矿脉工艺矿物学特性[J]. *矿产综合利用*, 2018(3):114-120.

ZHOU Y, LAI Y, HU X W, et al. Technological mineralogy characteristics of 134 vein in spodumene mine at Jiajika, Sichuan Province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2018(3):114-120.

[4] 应永朋, 赵玉卿, 熊艳, 等. 青海某伟晶岩型锂铍矿工艺矿物学研究[J]. *矿产综合利用*, 2023(5):75-79.

YING Y P, ZHAO Y Q, XIONG Y, et al. Process mineralogy of a pegmatite lithium beryllium ore in Qinghai[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2023(5):75-79.

[5] 梅亚军, 李潇雨, 李成秀, 等. 四川可尔因选锂尾矿锂辉石再选实验研究[J]. *矿产综合利用*, 2023(4):83-87.

MEI Y J, LI X Y, LI C X, et al. Re-election of spodumene from lithium processing tailings in Keeryin, Sichuan[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2023(4):83-87.

[6] 赵开乐, 王昌良, 邓伟, 等. 某锂辉石矿石工艺矿物学特征及选矿试验[J]. *矿物学报*, 2014(4):17-22.

ZHAO K L, WANG C L, DENG W, et al. Process mineralogical characteristics and beneficiation test of a lithium pyroxene ore[J]. *Journal of Mineralogy*, 2014(4):17-22

[7] 李新冬, 黄万抚, 文金磊, 等. 锂辉石矿的工艺矿物学与选矿工艺研究[J]. *硅酸盐通报*, 2014, 33(5):1207-1213.

LI X D, HUANG W F, WEN J L, et al. Research on process mineralogy and beneficiation process of lithium pyroxene ore[J]. *Silicate Bulletin*, 2014, 33(5):1207-1213

[8] 常丽华, 陈曼云, 金巍, 等. 透明矿物薄片鉴定手册[M]. 北京: 地质出版社, 2006.

CHANG L H, CHEN M Y, JIN W, et al. Handbook of identification of transparent mineral flakes[M]. Beijing: Geology Press, 2006.

Process Mineralogy and Occurrence State of Lithium of Spodumene Tailings in Sichuan Province

WANG Panpan, WU Junfeng, CHEN Lin, CHEN Yanqing

(Sichuan Bureau of Geology & Mineral Resources, Chengdu Analytical & Testing Center, Evaluation and Utilization of Strategic Rare Metals and Rare Earth Resource Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: This is an article in the field of process mineralogy. The study objects are Lijiagou and Jiajika tailings, Sichuan Province. The samples were identified by optical microscopy, artificial heavy sand research (separation, identification, etc.), optical semi-quantitative analysis, chemical analysis, MLA automatic quantitative detection of minerals, LA-ICPMS in-situ analysis of mineral trace elements, and electron microscope energy spectrum analysis, X-ray powder crystal diffraction analysis and other work. The chemical mineral composition and lithium occurrence state of the tailings were studied. The results are as follows: 1. The Li_2O grade of the tailings from Lijiagou and Jiajika is 0.44%~0.64%, both of which are near the boundary grade and can be re-enriched. The content of associated valuable elements such as niobium, tantalum, beryllium and rubidium does not meet the comprehensive recycling standard. 2. In the tailings from two different areas, the main material for reconcentration and recycling is spodumene and the associated trace useful minerals are mainly trace niobite-tantalite series minerals and beryl, while rubidium mainly exists in dispersed state in lithium Muscovite and potassium feldspar. 3. The main recovery target mineral of tailings is spodumene, the theoretical grade of Li_2O in concentrate products is 7.33%, and the theoretical recovery rates of Lijiagou and Jiajika card concentrate are 86.14% and 87.87%, respectively. 4. The artificial heavy sand test of tailings shows that the content, distribution rate and yield of Li_2O are high in the coarse grade, but low in the fine grade.

Keywords: Spodumene; Tailings; Process mineralogy; Occurrence state of lithium; Lijiagou; Jiajika

////////////////////////////////////
(上接第 185 页)

Beneficiation Experiment of a Carbonate Fluorite Ore in Guizhou

Huang Jian^{1,2}, Peng Wei^{3,4}, Li Wubin^{1,2}, Wang Zhenjie^{3,4}, Liu Anrong⁴

(1. Guizhou Research and Development Base of New Materials, Guiyang 550016, Guizhou, China; 2. Key Laboratory of Hunan Province for Clean and Efficient Utilization of Strategic Calcium-containing Mineral Resources, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 3. Guizhou Institute of Metallurgical and Chemical Engineering, Guiyang 550016, Guizhou, China; 4. Guizhou Institute of Light Industry Science, Guiyang 550016, Guizhou, China)

Abstract: This is an essay in the field of mineral processing engineering. There is a 40.56% CaF_2 in a Carbonate fluorite ore in Guizhou. The ore composition is complex and the content of carbonate gangue minerals is high. The flotation experiment was carried out with a new collector LY-14 developed by ourselves. Using the closed-circuit test process of "one coarse, six fine and one sweep", under the conditions of grinding fineness of -0.074 mm, content of 81.42%, dosage of Na_2CO_3 of 1 200 g/t, dosage of acidified sodium silicate of 1 200 g/t, dosage of tannin of 100 g/t and dosage of collector LY-14 of 600 g/t, fluorite concentrate with CaF_2 grade of 96.35% and CaF_2 recovery of 91.47% was obtained.

Keywords: Mineral processing engineering; Carbonate type; Fluorite ore; New collector; Rate of recovery