

四川措拉锂多金属矿的矿物学特征研究

周雄, 周玉, 谭洪旗, 岳相元, 徐莺

(中国地质科学院矿产综合利用研究所, 中国地质调查局金属矿产资源综合利用技术研究
中心, 四川 成都 610041)

摘要: 本文利用显微镜下鉴定、扫描电子显微镜 (SEM)、X 射线衍射分析 (XRD) 等分析测试手段对四川甲基卡西矿段的措拉锂多金属矿开展了详细的矿物学研究。研究结果显示, 矿石矿物以锂辉石为主, 少量的磷锂铝石、锂云母, 副矿物为铌铁矿、铌钽铁矿、锡石等; 脉石矿物以长石类、石英为主, 次为云母类, 副矿物有磷灰石、绿泥石等。矿石中锂主要赋存于锂辉石中, 伴生有铌、钽、铷等有益组分, 均达到综合回收利用。综上所述, 该锂矿具有重要的开发利用价值。

关键词: 矿物学; 锂辉石; 综合利用; 措拉; 四川

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2020.06.025

中图分类号: TD989; X705 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2020) 06-0148-05

锂是自然界中最轻的稀有元素, 被誉为“能源元素”, 成为全球关注的重要战略金属^[1]。我国的锂资源主要来源于盐湖锂盐、锂云母和伟晶岩型锂辉石。盐湖锂盐的分离技术尚不成熟, 未得到工业应用; 江西宜春锂云母是钽铌矿的副产品, 因需要专用的冶炼工艺, 未在国内市场应用; 伟晶岩型锂辉石已成为金属锂的重要原材料^[2-4]。

四川甲基卡伟晶岩型稀有金属矿床是亚洲规模最大的固体锂矿床, 该矿床具有规模大, 品位高、矿种多、埋藏浅, 适于开发利用, 优势得天独厚^[3-4]。自从 1959 年该矿被发现以来, 先后有多家地质队、科研院所以及各大高校, 在甲基卡矿区及周边开展了找矿勘探、矿石性质以及综合研究工作^[3-9], 但上述研究工作主要是针对甲基卡锂矿床东矿段 (134、X03 矿脉) 内矿脉开展了矿床学、矿石学、矿物学及可利用性等研究。甲基卡西矿段的措拉

锂辉石矿区矿石研究程度相对较低, 本文以措拉矿区锂多金属矿为研究对象, 以显微镜下鉴定、扫描电子显微镜 (SEM)、X 射线衍射分析 (XRD) 等测试手段, 通过系统的矿物学研究, 为开发利用该区锂资源提供理论依据。

1 区域地质概况

措拉锂多金属矿区位于四川省雅江县北东部 30° 方向平距约 38 km 处, 行政隶属雅江县木绒乡新卫村所辖, 是较为典型的花岗伟晶岩矿床。

大地构造位置位于松潘 - 甘孜造山带被动陆缘中央褶皱 - 推覆带中段, 雅江构造 - 岩浆穹状变质体群之中, 属容须一甲基卡热穹窿构造南端的甲基卡复式背斜的近轴部^[2]。区内出露地层相对简单, 主要出露三叠系上统侏倭组、新都桥组下段地层和第四系。构造为区域构造产生的次级构

收稿日期: 2020-03-04

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目 (DD20190185)

作者简介: 周雄 (1979-), 男, 博士, 副研究员, 矿物学、岩石学、矿床学专业, 主要从事矿床学研究。

造，相对紧闭的小型复式背斜和向斜构造以及大量张性裂隙和成矿后期的平移性断裂较为发育。区内岩石经过多期构造和岩浆侵入作用，特别在印支造山运动的作用下，发生较严重的变质-变形，频繁而强烈的构造作用，为区内岩浆侵入提供良好的通道和分异空间，同时为区内伟晶岩脉成矿，创造了大量容矿空间和物质来源。区内成矿物质来源于印支晚期侵入的甲基卡二云母花岗岩株，随着花岗岩浆的结晶分异作用，在“岩浆室”内聚集富含挥发分熔体，由于受构造活动的影响，挥发分熔体就沿着构造裂隙上升、充填、贯入形成伟晶岩脉。

矿区内花岗伟晶岩脉发育，主要含锂矿脉 № 632、№ 594 矿脉，均分布于IV - 钠长石锂辉石型伟晶岩分布带内，其距岩株约 2500 ~ 3500 m，№ 668、№ 104 等位于东南矿段的含锂伟晶岩脉则距岩株约 500 ~ 1500 m，各带宽与岩株周边岩层构造裂隙的发育及岩体侵入产状有直接的关系 [2]。

2 矿石矿物学特征

矿石样品呈块状，以灰白色为主，局部带浅灰绿色、暗色调。矿石主要组成矿物为锂辉石、石英、长石及白云母等，部分样品中可见浅绿色绿柱石晶体，长约 5 cm。

2.1 矿石的结构构造

2.1.1 矿石结构

矿区内有用组分主要为锂辉石，并伴生有铍、铌钽等稀有金属元素，其主要赋存于花岗伟晶岩脉中，有用组分与含矿岩石属同期生成，故矿石矿物的结构与岩脉结构相同，以花岗伟晶结构为主（晶粒结构），根据矿物的结晶粒度又可划分为微粒、细粒、中粒、粗粒、块状结构。各种结构中相应粒度的矿物所占比例大于 50%（表 1）。

表 1 矿物粒级划分 [10]

Table 1 Mineral particle size division table

造岩矿物		稀有金属矿物			
结构	晶粒直径 /cm	结构	长度 /cm	宽度 /cm	绿柱石
细粒	< 0.5	微晶	< 1	< 0.2	< 0.2
		细晶	< 5	< 0.5	
中粒	0.5 ~ 2	中晶	5 ~ 10	0.5 ~ 2	0.5 ~ 2
粗粒	2 ~ 10	粗晶	10 ~ 50	2 ~ 5	2 ~ 5
巨粒	> 10	巨晶	> 56	> 5	> 10

(1) 微粒结构：锂辉石晶体长度小于 1 cm，宽度小于 0.2 cm；绿柱石粒径小于 0.2 cm，它们没有完整的晶面，呈他形粒状，主要出现于各种交代带（集合体）中；(2) 细粒结构：交代晚期的石英、糖粒状钠长石，少量白云母、叶片状钠长石呈此类结构；(3) 粗粒结构：结晶期和交代早期的部分石英、叶钠长石、锂辉石、板状钠长石和少量白云母形成此种结构（图 1）；(4) 似斑状结构：早期中、粗晶锂辉石、微斜长石，晶体粗大，在细粒结构带中多呈似斑状存在。包含结构：铌钽铁矿、锡石及其他副矿物包裹于钠长石、石英、白云母、锂辉石等矿物中形成包含结构；(5) 交代熔蚀结构：早期微斜长石、中粗晶锂辉石、石英常被晚期粒状石英、钠长石交代熔蚀，晶体残缺，呈浑圆、港湾等熔蚀形态。

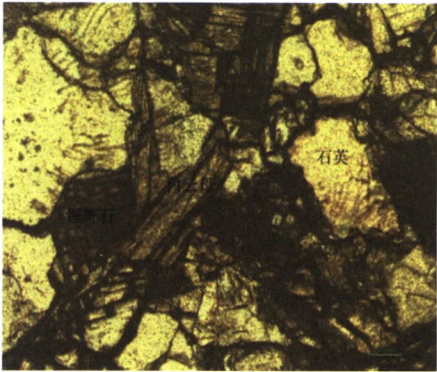


图 1 中粒伟晶岩中的矿物结构

Fig. 1 Mineral structure in medium grain pegmatite

2.1.2 矿石构造

矿石主体成块状构造，但根据有用矿物在岩石中的分布及其自身结晶体的粒度等变化特征，

矿石构造又可划分为：浸染状构造、斑杂状构造、带状构造、块状构造。

浸染状构造：为矿石中最主要构造，由微、细晶锂辉石呈稠密浸染状、铌钽铁矿及其他稀有金属矿物呈稀疏或星点浸染状产出构成。

斑杂状构造：系统次要的构造。结晶期的中、粗粒矿物组合被晚期细粒石英、钠长石、锂辉石等交代，形成粒度差异大，各粒级矿物分布不均的构造。

带状构造：在矿石中不常见，为细粒矿物组合与中粗粒矿物组合、微晶矿物组合与细晶矿物组合相间平行产出构成，带宽数厘米至数十厘米。

块状构造：分布普遍，强烈交代作用生成的细粒石英、钠长石、微晶锂辉石组合，细粒石英、白云母组合中，矿物粒度均匀，成分变化小，彼此紧密嵌生，形成块状构造^[3]。

3 矿石的物质组成

3.1 矿石的化学组成

为了确定矿石中元素分布情况，在样品破碎、混匀后，首先缩分出综合样，并进行了 X 射线荧光光谱全元素分析，结果见表 2。

表 2 原矿 X 荧光光谱分析结果 /%
Table 2 X-ray fluorescence analysis results of the raw ore

Nb	Rb	Sn	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	S	Cs	P	Mn	Ga	Sr	Zn
0.0084	0.124	0.032	72.09	0.043	15.56	0.76	4.12	2.47	0.17	0.019	0.016	0.15	0.10	0.0035	0.0032	0.012

为明确矿石的主要元素 Li₂O、Al₂O₃、SiO₂、K₂O、Na₂O、CaO、MgO、TFe，可能共伴生元素 Nb₂O₅、Ta₂O₅、BeO、Rb₂O、Cs₂O、SnO₂，以及

有害杂质 P₂O₅ 等元素的含量情况，进行化学多元素分析，原矿化学多元素分析结果见表 3。

表 3 原矿化学多元素分析结果 /%
Table 3 Chemical multi-element analysis results of the raw ore

Li ₂ O	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	SnO ₂	BeO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MnO	P ₂ O ₅	Rb ₂ O	Cs ₂ O	Ga
1.16	0.0091	0.0065	0.0098	0.041	73.01	0.022	16.88	0.80	2.63	3.96	0.23	0.16	0.29	0.12	0.012	0.0029

通过原矿化学多元素分析结果可知，矿石中可供工业利用的元素为锂，Li₂O 品位为 1.16%。伴生有价元素主要是铌钽和铷，其中 Nb₂O₅+Ta₂O₅ 品位为 0.0156%，可考虑综合回收；Rb₂O 的品位为 0.12%、BeO 品位为 0.041%，刚达到综合回收标准，其是否能有效综合利用还需通过进一步的工艺矿物学和选矿试验研究确定。而 SnO₂ 品位为 0.0098%，Cs₂O 品位为 0.012%，均未达到综合回收利用标准。

3.2 矿石的矿物组成

对矿石标本薄片、砂薄片及砂样的显微镜观察研究，结合原矿以及暗色混杂部分 X 射线衍射分析和 MLA 矿物自动分析仪分析结果，确定了矿石中的矿石矿物以及脉石矿物种类。矿石中

矿石矿物主要以锂辉石为主，其次有极少量的磷锂铝石、锂云母，还有微量的铌铁矿、铌钽铁矿、钽铌铁矿、钽铁矿可供综合利用，以及极其微量的锡石、黄铁矿、磁赤铁矿、菱铁矿、钛铁矿、菱锰矿等。矿石中脉石矿物以长石类、石英为主，长石包括钠长石、钾长石；其次为云母类，包括白云母、黑云母、锂云母；微量矿物有磷灰石、绿泥石、角闪石、方解石、白云石、硬石膏、楣石、锆石、高岭石、黄玉等矿物^[10]。

4 主要矿物的粒度特征及赋存状态

本矿石样品以矿物相可划分为伟晶岩型矿石、细粒花岗岩型矿石。其中以伟晶岩型为主，细粒花岗岩型矿石含量较少。伟晶岩型矿石中主要组

成矿物锂辉石、长石、石英、云母等的粒度都比较粗大，且粒度较不均匀。细粒花岗岩型矿石中物质组成类似伟晶岩型矿石，细粒矿石中矿物含量及粒度与伟晶岩型矿石有差异^[10-11]。

伟晶岩型矿石中锂辉石常呈粗大的柱状晶体产出，长径一般10~60 mm，个别晶体长度可长达70~100 mm，横断面0.2~4 mm，一般2.5~4 mm，个别晶体可达6~10 mm；但在细粒矿石中锂辉石粒度相对较细，一般0.02~0.2 mm；长石常以集合体形式产出，使其工艺粒度有所增大。长石单晶的长径，大者6~7 mm，细粒者0.1~0.5 mm，一般0.8~2 mm；短径一般在0.04~0.5 mm；石英粒度粗者2~7 mm，小者仅0.01~0.05 mm，一般0.5~1.5 mm；云母单体片径大者约2~4 mm，小者0.01~0.1 mm，一般0.4~1 mm。

矿石中有益组分以Li为主，伴生Be、Nb、Ta等，可综合回收有益元素，各种有益元素赋存状态各不相同。Li元素主要以锂辉石矿物形式产在IV类型锂辉石伟晶岩脉中，少量在铁锰锂磷酸盐矿物中，其余呈分散状态，主要赋存于白云母中。而另一种相对富含锂的伟晶岩脉为V类型的锂云母—白云母型伟晶岩，其主要载体为锂云母和白云母，但此种类型难以形成锂工业矿脉；铌钽元素赋存状态有三种：（1）呈独立矿物铌钽铁矿；

（2）呈机械混入物或固溶体存在于锡石中；（3）分散于白云母、锂辉石、钠长石等矿物晶格中；铍元素主要呈独立矿物—绿柱石赋存，少量呈类质同象分散在钠长石、白云母中，主要分布于III、IV、V类型伟晶岩脉中，与锂辉石矿脉伴生，区内沿未发现单独的铍矿脉。

矿石中铷、铯含量低，Rb₂O含量为0.12%，Cs₂O含量为0.012%，Rb₂O刚达到伴生综合回收的最低工业品位（0.1%~0.2%），Cs₂O未达到伴生综合回收的最低工业品位（0.05%~0.06%）。相对而言，长石、云母中Rb₂O含量明显高于锂辉石和石英中的含量，其中长石中Rb₂O含量0.54%、云母中Rb₂O含量0.56%^[10-11]。

邓伟等通过实验室浮选闭路流程试验，获得了Li₂O品位6.13%，含Nb₂O₅ 0.0429%，含Ta₂O₅ 0.0374%，Li₂O回收率为88.07%，Nb₂O₅回收率为79.05%，Ta₂O₅回收率为94.98%的铌钽锂混合精矿^[10]，表明该矿区中除主要矿石矿物锂辉石可选别利用外，其伴生有价值元素如铌、钽等可实现综合回收利用。

5 结 论

（1）通过详细的矿物学研究，查明了措拉矿区锂多金属矿的矿物成分、矿石中锂的分布、共伴生有益组分及其可利用性等；矿石矿物以锂辉石为主，其次有极少量的磷锂铝石、锂云母，还有微量的铌铁矿、铌钽铁矿、锡石等。脉石矿物以长石类、石英为主，其次为云母类，微量矿物有磷灰石、绿泥石等。

（2）矿石中锂主要赋存于锂辉石中，伴生有铌、钽、铷等有益组分，均达到综合回收指标值。其中铌钽主要赋存于铌铁矿—钽铁矿系列矿物中，含量极其低，且矿物粒度与矿石中主要矿物锂辉石、长石、石英粒度差异巨大。铷主要赋存于长石、云母类矿物中。

（3）该矿区除主要矿石矿物锂辉石可选别利用外，其伴生有价值元素如铌、钽等可实现综合回收利用。

参考文献：

- [1] 李建康,王登红,张德会,等.四川甲基卡伟晶岩型锂多金属矿床成矿流体来源研究[J].岩石矿物杂志,2006,25(1): 45-52.
- [2] Li J K, Wang D H, Zhang D H, et al. Study on the source of metallogenic fluids in the methyl-carpet-type lithium polymetallic deposit in Sichuan province [J]. Journal of Rock Minerals, 2006, 25(1): 45-52.
- [3] 梁兵.四川省雅江县措拉锂辉石矿区矿床地质特征及找矿方向[D].成都:成都理工大学,2018.
- [4] Liang B. Geological characteristics and prospecting direction of the Cuola lithium pyroxene deposit in Yajiang County, Sichuan Province [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2018.
- [5] 刘丽君,付小方,王登红,等.甲基卡式稀有金属矿床的地质特征与成矿规律[J].矿床地质,2015,34(6): 1187-1198.

- Liu L J, Fu X F, Wang D H, et al. Geological characteristics and metallogenic regularity of methyl card type rare metal deposits [J]. *Ore deposit Geology*, 2015, 34(6): 1187-1198.
- [4] 舒超. 分选川西呷基卡锂辉石不同类型捕收剂的浮选行为 [D]. 武汉: 武汉工程大学, 2018.
- Shu Ch. Flotation behavior of different types of capillaria liposite collectors from Western Sichuan [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2018.
- [5] 周雄, 张贻, 赵开乐, 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): 104-108.
- Zhou X, Zhang Y, Zhao K L, et al. Mineralogical properties of vein process 134, Sichuan Methyl-Carlisle Pyroxene mine [J]. *Comprehensive Mineral Utilization*, 2018 (03, 2018): 104-108.
- [6] 赵开乐, 王昌良, 邓伟, 等. 四川某锂多金属矿工艺矿物学特性研究 [J]. *矿物岩石*, 2014, 34(1): 10-15.
- Zhao K L, Wang C L, Deng W, et al. Study on the mineralogical properties of a lithium polymetallic ore process in Sichuan [J]. *Mineral Rocks*, 2014, 34(1): 10-15.
- [7] 汤小军, 李辉, 邓星星, 等. 四川某难选多金属锂辉石矿选矿工艺试验研究 [J]. *四川有色金属*, 2012 (3): 19-22.
- Tang X J, Li H, Deng X X, et al. Experimental study on mineral processing technology of a refractory polymetallic lithium pyroxene deposit in Sichuan province [J]. *Sichuan Nonferrous Metals*, 2012 (3): 19-22.
- [8] 张垒, 王毓华, 于福顺, 等. 四川某低品位难选锂辉石矿选矿工艺研究 [J]. *有色金属: 选矿部分*, 2015 (6): 50-53.
- Zhang L, Wang Y H, Yu F Sh, et al. Study on the mineral processing technology of a low-grade refractory lithium pyroxene ore in Sichuan [J]. *Nonferrous metals: Mineral Processing*, 2015 (6): 50-53.
- [9] 谢贞付. 不同粒度锂辉石浮选特性及矿泥影响的研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2014.
- Xie Zh F. Study on flotation characteristics of lithium pyroxene with different particle sizes and influence of mineral mud [D]. Changsha: Central South University, 2014.
- [10] 邓伟, 王昌良. 雅江县措拉锂辉石矿综合回收试验研究报告 [R]. 成都: 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 2017.
- Deng W, Wang Ch L. Experimental research report on comprehensive recovery of cuola lithium pyroxene deposit, Yajiang county [R]. Chengdu: Institute of Comprehensive Utilization of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 2017.
- [11] 徐莺, 余旭辉, 周雄. 川西可尔因地区业隆沟伟晶岩型稀有金属矿的工艺矿物学研究 [J]. *中国矿业*, 2019 (9): 129-135.
- Xu Y, Yu X H, Zhou X. Study on the process mineralogy of the pegmatite type rare metal ore in the Yilonggou pegmatite in The Keerin area, west Sichuan [J]. *China Mining*, 2019 (9): 129-135.

Mineralogical Study on Cuola Lithium Polymetallic Mining Area, Western Jijika, Sichuan

Zhou Xiong, Zhou Yu, Tan Hongqi, Yue Xiangyuan, Xu Ying

(Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Research Center of Multipurpose Utilization of Metal Mineral Resources of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: Systematic mineralogical characteristics of Cuola lithium polymetallic mining area, western Jijika rare metal ore gathering area, was studied in this paper. Known by analytical testing methods such as lake identification, scanning electron microscope (SEM), and X-ray diffraction analysis (XRD), the ore minerals are mainly spodumene, followed by very small amounts of phosphatite, lithium mica, and trace amounts of niobite, niobite, and cassiterite. The gangue minerals are mainly feldspar and quartz, followed by mica, and trace minerals include apatite and chlorite. Lithium in the ore is mainly present in spodumene, with associated beneficial components such as niobium, tantalum, and hafnium, all reaching the comprehensive recovery index value; the mineral separation test shows that the major ore mineral such as spodumene can be used, in addition to, its associated valuable elements such as niobium and tantalum can also be realize comprehensive recovery and utilization, further indicating that the lithium mining area has important development value.

Keywords: Mineralogy; Lithium; Comprehensive utilization; Cuola; Sichuan