

四川甲基卡锂辉石矿 134 矿脉工艺矿物学特性

周雄¹, 张贻¹, 赵开乐^{1,2}, 周玉¹, 赖杨¹

(1. 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; 2. 中南大学 资源加工与生物工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 采用多种测试技术对甲基卡锂辉石矿 134 矿脉进行了详细的矿物学特征分析。分析结果表明: 134 矿脉中锂辉石矿物量为 23.8%、Li₂O 品位高达 1.59%; 本矿石为伟晶岩型锂辉石矿, 锂辉石晶体普遍粒度较大; 锂辉石中自身还含有 TFe (0.54%)、MnO (0.057%) 等杂质, 这就在一定程度上限制了锂辉石选矿产品的品级; 矿石中的其他主要矿物: 钾长石、钠长石及石英的纯度极高, 这就为选矿获得高品质钾长石、钠长石以及石英产品提供了优异条件。

关键词: 134 矿脉; 锂辉石; 长石; 石英; 甲基卡

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2018.03.022

中图分类号: TD951 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2018) 03-0104-05

锂被誉为“能源元素”, 主要应用于高能电池、航空航天等领域, 随着锂的工业应用领域不断扩展, 我国对锂产品的市场需求日益凸显^[1-2]。尽管目前国外卤水提锂已占锂来源的 80% 以上, 然而由于我国卤水多具有较高的镁锂比, 提取技术仍为行业瓶颈, 因此矿石提锂依然是锂金属的重要获取途径^[3]。

四川甲基卡锂辉石矿是我国知名、世界少有的以锂辉石为主的特大型锂多金属矿体, 全区锂矿脉约有 78 条, 仅 134 号矿脉, 现已查明保有资源储量达 3477.7 万 t, Li₂O 金属量 48.6252 万 t。矿体大面积出露地表, 具有较好的开发利用条件^[4]。该区锂矿资源得天独厚, 是建立锂资源基地的理想之地, 具有极高的经济社会价值。

本文以甲基卡锂辉石矿 134 矿脉为典型, 对该矿脉矿样的化学组成、矿物组成、矿物嵌布特征、主元素的赋存状态进行了详细的研究。研究结果可为该矿的选矿工艺流程制定, 以及合理开发利用甲基卡地区锂资源提供依据。

1 矿床地质概况

甲基卡锂辉石矿位于四川省甘孜藏族自治州康定县塔公乡以西约 30 km, 矿区至塔公乡约 30 km, 距甘孜藏族自治州首府康定城约 143 km, 成都约 463 km, 交通便利。

大地构造位置上, 该矿床地处松潘甘孜地槽褶皱系东缘、石渠雅江地向斜核部四级构造单元甲基卡穹状短轴背斜中^[5]。矿区出露地层为三叠系西康群, 岩性为黑云石英片岩、二云母石英片岩和红柱石、十字石石英片岩, 属经区域变质和接触变质而形成的中浅变质岩系。

甲基卡二云母花岗岩是矿区中主要的侵入岩。其派生的伟晶岩脉、细晶岩脉、石英脉十分发育, 前构造期的石英闪长岩分布零星。岩体与伟晶岩同属印支期产物, 伟晶岩围绕岩体有规律分布, 二者化学成分基本一致某些稀有特征元素从岩体向伟晶岩有呈递增变化规律, 表明伟晶岩是二云母花岗岩派生产物, 二云母花岗岩为其成矿“母岩”^[4], 伟晶岩形成于燕山期^[6]。

收稿日期: 2016-12-06

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目 (DD20160074)

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。

通讯作者: 赵开乐 (1984-), 男, 博士, 矿物加工工程专业, 研究方向为矿物浮选理论与工艺。

脉岩主要有花岗伟晶岩脉和石英脉。花岗伟晶岩脉,按伟晶岩主要特征矿物占岩脉总体积10%以上的微斜长石、钠长石、锂辉石白云母、锂云母等5种矿物共生组合关系,将本期伟晶岩脉划分为五种成因类型:微斜长石型、微斜长石钠长石型、钠长石型、锂辉石型、锂(白)云母型。根据岩脉所处地理位置和矿化类型,将岩脉划分为五个密集区,分别构成东、西、南、北、中五个矿段。石英脉,分布于矿区外围,呈环状断续带状出露长达30 km,脉长数十至百余米,厚0.5~5 m,最厚10 m。烧炭沟一带石英脉构成大型熔炼水晶矿床。

甲基卡锂辉石矿床以134号脉为典型,该锂辉石矿体产于134号锂辉石型伟晶岩脉中,单个矿体形成巨大的锂辉石矿床。岩脉中,除个别支脉和尖灭端外,全脉均具工业矿化。它受一组NE向的“右型”雁行状裂隙组成的NNE向剪切破碎带控制。矿体形态基本与伟晶岩一致,为不规则的脉状矿体。矿体水平投影呈梭形,即中部凸出,南北两头尖灭,横剖面呈不规则楔形。矿体平均走向NE24°,倾向NW。上盘倾角为38°~60°,平均约49°;下盘倾角33°~53°,平均约45°。矿体沿走向长约1055m,延深约200m。可见露头长约600m,厚度20~100m,平均55m。矿体Li₂O的含量较高,工

业价值较大。全脉矿化均匀,且具有一定规律,即中部最强,脉壁带及下部较弱^[4]。

134号矿脉中的主要金属矿物有锂辉石、钽铌铁矿、锆石、曲晶石、绿柱石、锡石、腐锂辉石、磷锂锰矿、褐帘石、氟碳铈矿、尖晶石^[7];脉石矿物主要有微斜长石、正长石、叶钠长石、糖钠长石、板状钠长石、石英、白云母、绿帘石、绿泥石、电气石等。

2 矿石的工艺矿物学特性

研究矿样采自四川康定甲基卡伟晶岩型锂辉石矿床134号矿脉,具体划分出10个采集点,分点采集后组成的样品,可以代表该矿脉的矿石特征。经肉眼观察,矿石样品呈块状,样品颜色以灰白色为主,局部带浅灰绿色、浅灰紫色调。

2.1 矿石的组成

2.1.1 矿石的化学组成

矿石化学多元素分析结果见表1。由表可知,该矿石中主要化学成分为硅、铝、钾、钠、铁、钙、镁、锡、锂;矿石中可供工业利用的元素为锂,可综合回收的有价元素还有为铌、钽、锡、铍、钾、钠等。矿石中的Li₂O含量达到1.59%,属于中高品位锂矿石。

表1 矿石的化学多元素分析结果/%
Table 1 Results of Chemical analysis of the ore

Li ₂ O	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Sn	BeO	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Rb	Cs	P	MgO	Al ₂ O ₃	TFe	MnO	CaO
1.59	0.011	0.003	0.006	0.017	74.12	2.82	3.41	0.009	0.011	0.012	0.078	13.78	0.56	0.076	0.19

2.1.2 矿石的物质组成

矿石的X射线衍射分析(XRD)结果表明,此矿石中的主要矿物由石英、钠长石、锂辉石、云母、硅钛锂钙石、钾长石等。

在XRD衍射分析的基础上,采用实体镜下统计以及制备砂片在显微镜下以线法逐粒统计,测定了矿石中的主要矿物组成,结果见表2。

由表2果可知,该矿石中的矿物种类虽然较多,但主要矿物为锂辉石(23.8%)、石英(35.2%)和钾钠长石(37.6%),这三类矿石的矿物量高达96.6%,此外还包括微量的铌铁矿、锆石等矿物。可见该矿中首要考虑综合利用的有用矿物主要为

表2 矿石的化学多元素分析结果
Table 2 Results of Chemical analysis of the ore

矿物名称	含量/%	矿物名称	含量/%
锂辉石	23.8	云母类(白云母为主,包括少量的黑云母、锂云母、铁云母)	2.1
石英	35.2	绿泥石、角闪石、电气石、锡石、铌铁矿、锆石等矿物及其他	1.3
钾长石+钠长石	37.6	合计	100.00

锂辉石、长石及石英,其次考虑铌铁矿、锆石等有价矿物的综合回收。

2.2 矿石的结构构造

矿石的构造、结构分别指矿物集合体、矿物

颗粒的形态和相对大小以及空间相互关系等所反映出来的两类形态特征,对选矿研究具有指导意义^[8]。本文借助光学显微镜对试验矿石手标本和光、薄片进行观察,得出矿石的结构构造特征,由此明确矿物集合体、矿物颗粒的形态特征。研究表明,矿石中常见的构造有块状构造和斑杂状构造,其次有脉状构造、条纹状等;矿石中最为常见的结构有伟晶结构、花岗结构、网脉状结构,此外有文象结构、包含结构、碎裂结构等。

2.3 主要矿物的嵌布特征

2.3.1 锂辉石

锂辉石理论化学式为 $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, 理论化学成分如下: Li_2O 8.06%, Al_2O_3 27.44%, SiO_2 64.49%。常有少量 Fe^{3+} 和锰代替六次配位的铝, 钠代替锂。锂辉石是单链状结构铝硅酸盐矿物, 属于单斜晶体, 晶胞参数为 $a_0=0.947\text{ nm}$, $b_0=0.841\text{ nm}$, $c_0=0.522\text{ nm}$, $\beta=110^\circ 11'$, $Z=4$ 。在锂辉石中, $[\text{SiO}_4]$ 四面体以共角顶氧的方式沿 c 轴方向联结成无限延伸的硅氧四面体链, Al 与 O 形成 $[\text{AlO}_6]$ 八面体并以共棱方式也沿轴方向联结成“之”字形的无限延伸的八面体链。两个 $[\text{SiO}_4]$ 四面体链与一个 $[\text{AlO}_6]$ 八面体链形成 2: 1 夹心状的“I”形杆链, 再借助 Li 连接起来。

锂辉石为首要需回收的矿物, 矿物量达到 23.8%, 镜下锂辉石呈浅绿色、灰白色、或无色, 透明, 局部为暗褐色物质覆盖而透明度变差, 主要是铁锰质污染造成, 主要分布在锂辉石解理、裂隙缝隙中。

本矿石为伟晶岩型锂辉石矿, 锂辉石晶体普遍粒度较大, 可见 $40\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 长柱状晶体, 或断面 $10 \sim 20\text{ mm}$ 长石柱状晶体, 或 $20 \sim 50\text{ mm}$ 石英粒状晶体, 构成伟晶结构。锂辉石主要与云母、长石或石英呈边界平直毗邻相嵌(见照片 1), 亦常见粗大的锂辉石晶粒中嵌布它形石英(见照片 2)、锂辉石晶粒内嵌布的微细石英、长石及云母(见照片 3、照片 4) 矿石中锂辉石的电子探针波谱微区成分分析结果见表 3。经电子探针波谱微区成分分析知(打不出 Li_2O 成分含量), 锂辉石中 Al_2O_3 和 SiO_2 这两种主要元素组成及平均含量与理论含量接近; 由于锂辉石中常有少量铁和锰代替晶格中的铝, 钠代替晶格中的锂, 该锂辉石中还含有 TFe (0.54%)、 MnO (0.057%)、 K_2O (0.053%)、

Na_2O (0.18%) 等杂质。这就在一定程度上限制了锂辉石选矿产品的品级。

表 3 锂辉石的电子探针微区成分分析结果 /%

Table 3 Results of the micro-area element analysis of spodumene by EPMA

测点	Al_2O_3	SiO_2	TFe	MnO	K_2O	Na_2O
1	27.81	66.78	0.44	0.059	0.035	0.15
2	28.20	66.17	0.69	0.079	0.068	0.14
3	27.87	67.64	0.63	0.019	0.072	0.12
4	28.17	67.02	0.76	0.079	0.063	0.21
5	29.76	65.92	0.52	0.068	0.053	0.18
6	29.47	66.40	0.60	0.087	0.051	0.17
7	27.82	67.36	0.29	0.077	0.064	0.22
8	27.81	66.54	0.26	0.039	0.037	0.33
9	28.65	67.10	0.66	0.019	0.028	0.18
10	28.77	67.21	0.63	0.049	0.054	0.16
11	28.71	67.12	0.43	0.047	0.063	0.11
平均	28.46	66.84	0.54	0.057	0.053	0.18

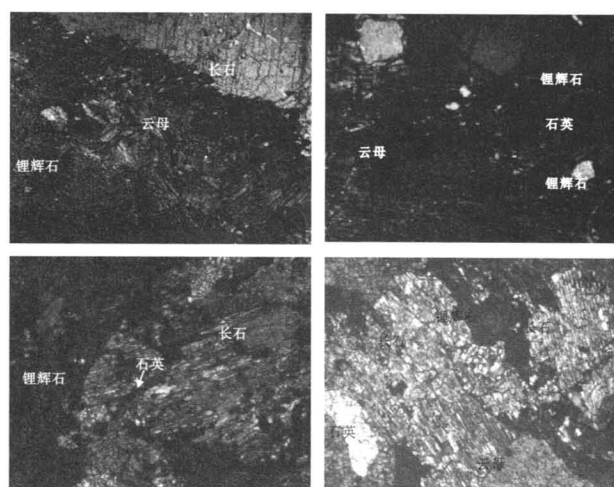


图 1 矿石中主要矿物

Fig. 1 The main minerals in the ore

2.3.2 石英

石英为该矿石中主要矿物之一, 含量高达 35.2%, 与钾钠长石矿物含量持平, 高于锂辉石, 分布非常普遍。

石英, 粒状无色, 玻璃或油脂光泽。镜下无色, 透明。常与锂辉石、长石等矿物毗邻相嵌(见照片 5)。石英普遍粒度粗大, 略小于锂辉石粒度, 少量粒度细小, 相差较大, 粗粒者达 $2 \sim 6\text{ mm}$, 细粒者 $0.05 \sim 0.5\text{ mm}$, 平均在 $0.5 \sim 2\text{ mm}$ 。

采用 MLA 矿物自动分析仪对石英的成分进行了能谱分析, 结果见表 4。由表 4 可知, 矿石中的石英仅显示出 Si 和 O 成分, 未见其他元素混入。

这也为选矿获得高质量石英产品提供了条件。

表4 石英的能谱分析结果

Table 4 Results of EDS of quartz

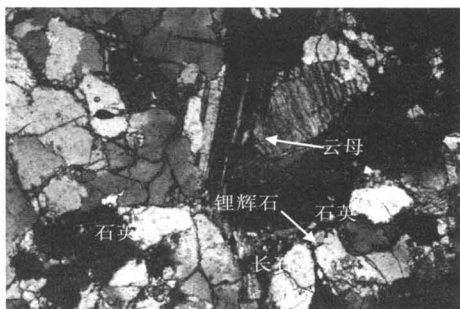
点号	1	2	3	4	5	平均
Si/%	52.03	54.13	61.77	66.17	42.98	55.42
O/%	47.97	45.87	38.23	33.83	57.02	44.58
合计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

进一步从矿石中挑取了石英单矿物，单矿物化学分析结果见表5。由表5可知，石英单矿物还有极少的锂、铁杂质，这可能是挑取过程中的混入或者部分包裹体的存在造成的。

表5 石英单矿物化学成分分析结果

Table 4 Results of chemical analysis of quartz

元素	SiO ₂	Li ₂ O	TFe
含量/%	96.99	0.16	0.021



照片5 矿石中主要矿物的显微照片

Photo 5 Microscopic photographs of the main minerals in the ore

2.3.3 钾长石、钠长石

长石族矿物是架状结构的铝硅酸盐矿物，四个硅（铝）四面体（[TO₄]四面体）通过共用角顶连结成四方环，环与环连结沿a轴成折线状的链。链与链相连在三度空间形成架状结构。环间有较大的空隙，由K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Ba²⁺等较大半径的阳离子占据。

长石是本矿石最主要的脉石矿物，矿物量高达37.6%，包括钠长石以及钾长石。

钠长石：呈自形-半自形结构，单体呈板状、柱状、粒状结构。粒度以中粗粒为主，同时可见粗粒斑晶常与石英镶嵌。

钾长石：可见微带黄红色调的微斜长石粗大斑晶，晶粒大，晶粒边长多大于15 mm。具似斑状结构，条纹状构造。

常见长石与锂辉石、石英、云母等矿物毗邻相嵌，接触边界分明。

采用MLA矿物自动分析仪对矿石中钾长石、钠长石的成分进行了能谱分析，结果分别见表6、7。由表6、表7可知，MLA能谱分析查明长石类矿物的主元素含量，其中钾长石中仅检测到K₂O（17.36%）、Al₂O₃（20.5%）、SiO₂（62.15%），没有检测到其他元素；同样钠长石中除Na₂O（11.28%）、SiO₂（22.29%）、Al₂O₃（66.43%）外，没有检测出其他成分。这为选矿获得高品质钾长石、钠长石精矿产品提供了优异条件。

表6 钾长石的能谱分析结果

Table 6 Results of element analysis of orthoclase by EDS

点号	1	2	3	4	5	6	平均
K ₂ O/%	17.33	17.65	17.40	17.81	17.35	16.59	17.36
Al ₂ O ₃ /%	20.35	19.66	20.58	21.12	20.48	20.78	20.50
SiO ₂ /%	62.32	62.69	62.02	61.07	62.17	62.63	62.15
合计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

表7 钠长石的能谱分析结果

Table 7 Results of element analysis of albite by EDS

点号	1	2	3	4	5	6	7	平均
Na ₂ O/%	11.28	12.55	11.40	10.77	11.96	10.37	10.59	11.28
Al ₂ O ₃ /%	22.44	22.40	22.75	21.77	22.13	21.98	23.16	22.29
SiO ₂ /%	66.28	65.05	65.85	67.46	65.91	67.65	66.25	66.43
合计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

3 结 论

(1) 四川甲基卡134号锂辉石矿体位于甲基卡穹窿状构造核部偏南东部位，构造线方向继承

区域构造格局。南甲基卡背斜及F26、F29、F28断层属区域南北向构造，是矿区主要构造骨干；矿区南缘及东西两侧的东西或北东向断裂（F29、F19、F10）、褶皱亦为弧形构造形迹。

(2) 矿石中锂辉石矿物量达到 23.8%、 Li_2O 品位高达 1.59%；本矿石为伟晶岩型锂辉石矿，锂辉石晶体普遍粒度较大；锂辉石中自身还含有 TFe (0.54%)、 MnO (0.057%)、 K_2O (0.053%)、 Na_2O (0.18%) 等杂质，这就在一定程度上限制了锂辉石选矿产品的品级。

(3) 通过 MLA 能谱分析及单矿物化学分析，确定了矿石中的其他主要矿物：钾长石、钠长石及石英的纯度均极高，这就为选矿获得高品质钾长石、钠长石以及石英产品提供了优异条件。

参考文献：

- [1] 胡晓洪, 张庆今. 锂辉石的工业应用 [J]. 中国陶瓷, 1995, 31(3): 34-36.
- [2] 王平, 王俊, 简觉非, 等. 锂辉石质耐热紫砂陶研究 [J]. 中国陶瓷, 2012 (11): 43-47.
- [3] 陈胜虎, 罗仙平, 杨备, 等. 锂辉石的选矿工艺研究现状及展望 [J]. 现代矿业, 2010, 26(7): 5-7+ 128.
- [4] 四川省甘孜州融达锂业有限公司康定甲基卡锂辉石矿采矿权评估报告书 [R]. 广州路翔股份有限公司, 2009.
- [5] 李永森, 韩同林. 川西某地花岗伟晶岩接触变质特征及其找矿意义的初步研究 [J]. 地质论评, 1980, 26(2): 121-128.
- [6] 王登红, 李建康, 付小方. 四川甲基卡伟晶岩型稀有金属矿床的成矿时代及其意义 [J]. 地球化学, 2005, 34 (6) : 541-547.
- [7] 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.
- [8] 周乐光. 工艺矿物学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002, 268-310.

Technological Mineralogy Characteristics of 134 Vein in Spodumene Mine at Jiajika, Sichuan Province

Zhou Xiong¹, Zhang Yi¹, Zhao Kaile^{1,2}, Zhou Yu¹, Lai Yang¹

(1. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resource, CAGS, Research Center of Multipurpose Utilization of Metal Mineral Resources of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan, China; 2. School of Resource Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha, Hunan, China)

Abstract: The mineralogical characteristics of 134 ore veins in Jiajika spodumene mine were analyzed by various testing techniques. The analysis results show that: 134 of the ore veins of spodumene mineral quantity of 23.8%, Li_2O grade up to 1.59%; the mineral is pegmatite type spodumene mine, spodumene crystal general particle size is large, spodumene also contains TFe (0.54%), MnO (0.057%) and other impurities. This limits the grade of spodumene beneficiation products to some extent; the other major minerals in the ore: potassium feldspar, sodium feldspar and quartz is very high purity, which for the processing of high-quality potassium feldspar, sodium feldspar and quartz products provide excellent conditions.

Keywords: 134 vein; Spodumene; Feldspar; Quartz; Jiajika

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告