

## 工艺矿物学研究在甘肃某铷矿应用

胡永兴, 宿虎, 张红斌, 贺斌, 武鑫

(甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730030)

**摘要:** 甘肃省某铷矿矿石类型为花岗岩型铷矿, 通过光谱分析、物相分析、电子探针分析及粒度测定等手段, 对该矿进行了系统的工艺矿物学研究, 查明了其矿物组成及含量、矿物嵌布特征、铷的赋存状态等。结果表明铷主要赋存在钾长石和黑云母中, 分别占 66.8% 和 30.7%。矿石主矿物粒度属于中细粒嵌布。该结果可为同类型铷矿资源开发利用提供依据。

**关键词:** 工艺矿物学; 铷矿; 嵌布特征; 赋存状态

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.05.021

中图分类号: TD95 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 05-0135-05

铷为亲石分散元素, 在地壳中丰度为 90 ppm, 分布极为分散, 至今未发现铷的独立矿物, 常富集于云母等矿物中。铷具有优异的光电性能, 在发达国家 80% 的铷用于开发高新技术, 其他用于传统行业<sup>[1]</sup>。我国 Rb<sub>2</sub>O 的查明资源量约为 195.8 万 t, 其中江西省和新疆查明资源量分别占 34% 和 33%<sup>[2]</sup>。2010 年以来, 甘肃省先后发现瓜州县国宝山、玉门市刘家河和天水市六丈山等 3 个大型 - 超

大型铷矿床<sup>[3-4]</sup>。为进一步研究该矿床的经济意义, 对其进行工艺矿物学研究, 为进一步利用该类资源提供依据。

### 1 化学分析

该铷矿石大部分为肉红色, 少量灰白色中细粒花岗岩, 部分矿石表面已经不同程度的风化。为了查明原矿中所含元素种类, 原矿多元素分析结果见表 1, 矿石主要矿物相对含量见表 2。

表 1 原矿化学多元素分析结果表 /%

Table 1 Multi-element chemistry analysis of the raw ore

Rb <sub>2</sub> O	Li <sub>2</sub> O	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>
0.140	0.041	29.6+104	3.660	0.040	0.540	0.110	73.830
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ga	S	P	Na <sub>2</sub> O	Au	Fe	F
12.710	0.0026	0.050	<0.010	4.990	<0.100	1.450	0.170

\* 单位为 g/t。

表 2 原矿主要矿物组成及含量

Table 2 Main ore mineral composition and content of the raw ore

矿物名称	相对含量 /%	矿物名称	相对含量 /%
斜长石	35.0	锰铋铁矿	<0.05
钾长石	30.0	黄铁矿、 磁黄铁矿	0.05
石英	29.0	磁铁矿、褐铁矿	<0.1
黑云母、铁锂云母、 绿泥石、绢云母等	5.2	高岭土、 方解石等	
其他综合脉石	0.6		
闪锌矿、方铅矿	微	合计	100.0

### 2 主要矿物嵌布特征

#### (1) 钾长石 KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

钾长石约占矿物总量 30.0%, 与钠长石 NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 常呈一系列类质同象固溶体矿物, 含有少量 Rb、Fe、Ca、Ba 等元素。钾长石自形程度差, 解理发育, 粒径一般在 0.074 ~ 1.0 mm 之间, 经常被钠长石、石英交代 (图 1)。

收稿日期: 2020-05-22

基金项目: 甘肃省地质勘查基金项目“甘肃省天水市麦积区六丈山铷等稀有金属矿普查”; 甘肃省科技重大专项“核铷矿分布规律研究及核储存取装置研发”(18ZD2GF019) 资助

作者简介: 胡永兴 (1987-), 男, 工程师, 主要从事固体矿产勘查、矿物学研究等工作。

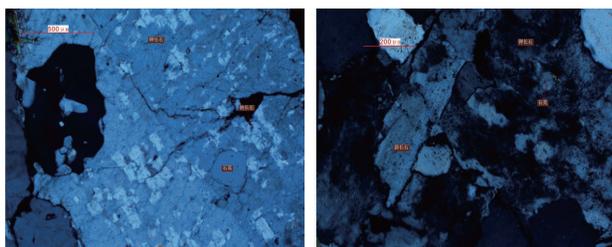


图1 (左) 钠长石呈条纹状交代钾长石(-); (右) 钾长石表面浑浊, 石英交代钾长石(+)

Fig. 1 Albite striped metasomatic potassium feldspar (-); (Right) Turbid surface of potash feldspar, quartz intergrowing potash feldspar

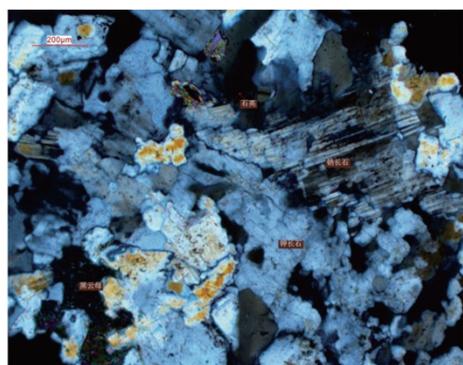


图2 钾长石、钠长石被石英交代呈港湾状(-)

Fig. 2 Potassium feldspar and albite are port-shaped by quartz

钾长石很容易泥化, 表面常因轻微泥化而浑浊, 氧化强烈的矿石中钾长石泥化也很强, 严重的仅保留钾长石晶形, 钾长石的泥化会导致矿浆发粘。

(2) 斜长石

斜长石含量约占矿物总量的 35.0%, 是钙长石  $CaAl_2Si_2O_8$  和钠长石  $NaAlSi_3O_8$  所构成的固溶体系列矿物, 该岩石中斜长石多为钠长石, 少量钙长石, 含少量 Ca、Fe、Ba 及 K、Rb 等。

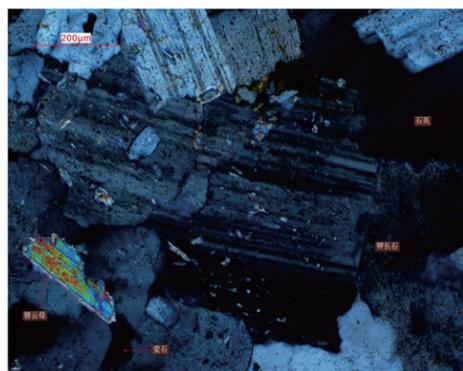


图3 钠长石与钾长石、石英镶嵌在一起(+)

Fig. 3 Albite inlaid with potassium feldspar and quartz

斜长石自形程度较好, 宽板状、板条状, 呈自形、半自形, 粒径一般在 0.074 ~ 1.0mm 之间。早期钠长石与钾长、石英镶嵌在一起, 核心有微弱绢云母化, 边部被石英交代, 与石英间边界大部分比较规则, 少量参差不齐。晚期岩石钠长石化, 钠长石呈短柱状, 表面干净, 粒径较细, 经常沿着钾长石边缘或者中间部位进行交代。

(3) 石英  $SiO_2$

石英含量约占矿物总量的 29.0%, 无色、无解理, 表面光滑, 莫氏硬度 7, 粒径一般在 0.02 ~ 1.0 mm 之间, 呈他形粒状镶嵌于长石粒间。

石英很稳定, 表面干净, 薄片未见其任何风化产物, 而石英交代长石的现象很普遍, 有时候穿插生长在斜长石中, 石英与长石间界限以平滑为主, 少部分石英交代长石使得长石边界呈港湾状, 而且部分石英从长石核心进行交代, 这种石英颗粒微细, 不易解离。

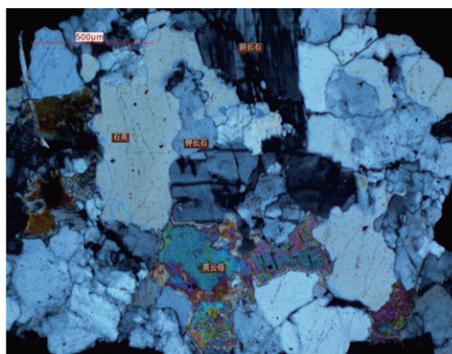


图4 黑云母边部蚀变为绿泥石(+)

Fig. 4 The edge of biotite altered to chlorite

(4) 黑云母  $K(Mg, Fe^{2+})_3[(Al, Fe)Si_3O_{10}](OH, F)_2$

黑云母与铁锂云母一起约占矿物总量的 5.2%, 成分不固定, 混有少量 Rb、Ti、Ca、Mn、Na、Li 等。黑云母单矿物 (纯度 >95%) 化学分析含锂 0.59%。

黑云母常呈不规则叶片状、似长柱状镶嵌在长石、石英粒间, 粒径一般在 0.01 ~ 0.5 mm 之间, 解理发育, 暗褐色、褐绿色、浅黄色, 经常由于蚀变而退色, 最主要的是转变为绿泥石, 造水化时黑云母边界转变为水黑云母, 使得边界呈齿状,

与长石等矿物间界限不规则，黑云母质软，容易粘连在长石等矿物边部。少量黑云母穿插到石英、长石的粒中，这种颗粒较难解离。

### (5) 铌钽铁矿 (FeMn) (NbTa)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>

微量，铁与锰、铌与钽分别皆为完全类质同象，铌铁矿中 Mn>Fe 称锰铌铁矿，该矿石中铌钽铁矿应该属于锰铌铁矿。铌钽矿呈板条状，自形程度较好，硬度 6，比重 6，粒径一般 0.15 mm 左右，产出在长石、石英粒间，与长石、石英间边界平直，为花岗岩的酸性分异产物。

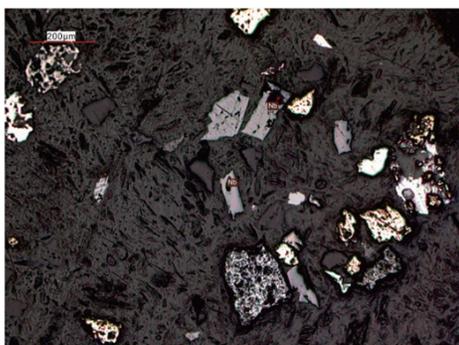


图5 重砂中锰铌铁矿

Fig.5 Manganese niobium iron ore in heavy sand

## 3 铷的赋存状态

为了查明铷赋存状态，我们对矿石中主要矿物钾长石、钠长石、石英、黑云母等矿物富集后压制砂光片，用电子探针随机进行定量分析，结果见表3，从电子探针定量分析结果可知，铷主要

赋存在钾长石、黑云母中，钠长石中少量，石英中不含铷。铷的配分结果：钾长石中占 66.8%，黑云母中占 30.7%，钠长石中占 2.5%。

表3 含铷矿物电子探针定量分析结果表

Table 3 Quantitative analysis results of electronic probes for rubidium-containing minerals

名称	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Rb <sub>2</sub> O	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	BaO	SiO <sub>2</sub>
钾长石	0.535	15.651	0.326	0.037	20.689	0.105	0.000	62.662
	0.554	16.387	0.381	0.053	18.231	0.084	0.055	64.613
	1.217	15.385	0.180	0.058	17.762	0.230	0.000	65.467
	0.521	16.074	0.317	0.021	18.026	0.042	0.036	66.178
	1.098	15.211	0.471	0.021	18.768	0.125	0.018	65.595
平均	0.821	15.987	0.381	0.032	18.084	0.209	0.073	66.859
斜长石	0.791	15.872	0.343	0.037	18.593	0.132	0.030	65.229
	12.037	0.091	0.000	0.189	25.759	6.749	0.000	60.114
	13.191	0.027	0.023	0.113	19.993	0.105	0.018	71.613
	12.061	0.078	0.000	0.046	20.354	0.314	0.018	71.293
	平均	12.430	0.077	0.023	0.418	20.293	0.449	0.000
黑云母	0.062	8.556	0.951	0.192	21.600	1.270	0.009	69.066
	0.207	9.271	0.873	0.015	20.312	18.389	/	38.425
	0.099	9.011	0.975	0.159	30.689	11.364	/	38.275
	0.125	8.764	1.025	0.053	22.130	15.486	/	38.885
	0.205	9.101	0.930	0.030	21.157	14.949	/	40.407
平均	0.085	9.154	0.841	0.020	23.607	17.730	/	43.869
平均	0.096	8.976	1.041	0.015	20.635	28.419	/	38.119
	0.535	8.976	0.948	0.048	23.255	17.723		39.663

## 4 主要矿物粒度测定

原矿的粒度测定结果见表4，金属矿物包括锰铌铁矿、磁铁矿、黄铁矿等。

表4 原矿主要矿物粒度测定结果

Table 4 Determination results of particle size of main minerals in the raw ore

粒度范围 / μm	钾长石		斜长石		石英		黑云母		金属矿物	
	个别	累计	个别	累计	个别	累计	个别	累计	个别	累计
>594.6	12.1	12.1	15.6	15.6	25.7	25.7	16.2	16.2	-	-
594.6~420.4	12.7	24.8	16.8	32.4	14.3	40.0	10.8	27.0	-	-
420.4~297.3	21.0	45.8	19.6	52.0	21.3	61.3	13.1	40.1	-	-
297.3~210.2	13.4	59.2	24.0	76.0	8.8	70.1	16.7	56.8	5.0	5.0
210.2~148.7	14.4	73.6	4.0	80.0	9.8	79.8	17.2	74.0	17.9	22.9
148.7~105.1	9.0	82.6	7.5	87.5	2.7	82.6	9.5	83.5	11.4	34.3
105.1~74.3	5.9	88.5	4.2	91.7	4.3	86.9	2.6	96.1	17.8	52.1
74.3~52.6	1.5	90.0	2.0	93.7	2.1	89.0	3.0	82.8	20.0	72.1
52.6~37.2	2.1	92.1	2.0	95.7	3.7	92.7	3.5	86.3	8.9	81.0
37.2~26.3	1.8	93.9	1.2	96.9	2.0	94.7	3.5	89.8	5.6	86.6
26.3~18.6	2.0	95.9	1.5	98.4	2.1	96.8	1.0	90.8	4.0	90.6
18.6~13.1	3.1	99.0	1.6	100.0	1.4	98.2	2.0	92.8	1.0	91.6
13.1~9.3	1.0	100.0	0.0	100.0	1.8	99.0	5.0	97.8	5.0	96.6

9.3~6.6	0.0	100.0	0.0	100.0	1.0	100.0	1.0	98.8	2.0	98.6
6.6~4.6	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	1.2	100.0	1.4	100.0
≤ 4.6	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
合计	100.0		100.0		100.0		100.0			100.0

统计结果表明,长石、石英粒径普遍比较粗,黑云母粒径范围比较宽,粗细悬殊,磁铁矿等其他矿物粒径比较细。

### 5 影响选别指标的矿物学因素

(1) 铷主要赋存在钾长石和黑云母中,石英中不含铷。而钾长石高岭土化较为常见,有些蚀变强烈的矿石已经完全蚀变为高岭土,选矿中应该注意长石的泥化问题。

(2) 石英与长石间镶嵌关系简单,大部分颗粒应该较好解离,但有些石英交代长石,石英中包裹少量细粒长石,这种嵌布状态不利于解离。

(3) 黑云母含量较少,分布很分散,形态不规则,叶片状、鳞片状黑云母与粒状长石、石英间大部分较易解离。但是有少量黑云母穿插在长石中或者被长石包裹,还有部分黑云母已经蚀变为绿泥石,绿泥石质软,呈鳞片状、破布状等极不规则状态,不细磨很难单体解离,细磨容易使矿石泥化,这是影响黑云母回收的主要因素。

### 6 结 论

(1) 矿石为花岗岩型铷矿石,主要化学组分为 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等,主要矿物有钠长石、钾长石、石英及少量黑云母,铁锂云母、绿泥石、绢云母,金属矿物有锰铋铁矿、磁铁矿、黄铁矿、闪锌矿等,矿石主矿物粒度属于中细粒嵌布。

(2) 铷赋存在钾长石中占 66.8%,黑云母中占 30.7%,钠长石中占 2.5%,石英中不含铷。锂赋存在黑云母中,铌、钽赋存在锰铋铁矿中。

(3) 锰铋铁矿含量很低,分布较为分散,粒径粗细不等,以细粒为主,自形程度较好,比重、硬度均较大,与其他矿物间应该较好解离。

### 参考文献:

[1] 傅昕,王玲.硅酸盐矿石资源中铷的提取工艺综述[J].矿产综合利用,2020(6):171-179.  
 FU X,WANG L.Review of technology of rubidium extraction from silicate ore resources[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,2020(6):171-179.  
 [2] 孙艳,王登红,王成辉,等.我国铷矿成矿规律、新进展和找矿方向[J].地质学报,2019,93(6):1231-1244.  
 SUN Y,WANG D H,WANG C H, et al. Metallogenic regularities, new developments and prospecting directions of rubidium deposits in my country[J]. Acta Geology, 2019, 93(6):1231-1244.  
 [3] 周会武,李通国,张有奎,等.甘肃省铷矿地质特征与成矿规律分析[J].矿物学报,2015,35(1):73-78.  
 ZHOU H W,LI T G,ZHANG Y K, et al. Analysis of the geological characteristics and metallogenic laws of rubidium deposits in Gansu Province[J].Acta Mineralogica Sinica,2015,35(1):73-78.  
 [4] 胡永兴,张红斌,宿虎.北秦岭西段六丈山含铷花岗岩体及铷矿化体特征[J].甘肃地质,2015,24(2):51-56.  
 HU Y X,ZHANG H B,SU H.Characteristics of rubidium-bearing granite and rubidium mineralization in the Liuzhang Mountains in the western part of the North Qinling[J].Gansu Geology,2015,24(2):51-56.  
 [5] 李向益,张淼,孙广周.含铷云母—长石精矿铷浸出实验研究[J].矿产综合利用,2019(3):36-39.  
 LI X Y,ZHANG M,SUN G Z. Experimental research on leaching of rubidium from rubidium-containing in mica and feldspar concentrate[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(3):36-39.

(下转 161 页)

(3) 试样采用硫酸优先浸铜再氢化浸金银工艺, 铜的浸出率可达 83.03%, 金的浸出率可达 65.22%, 银的浸出率达 76.35%, 实现了铜、金和银的综合回收。

### 参考文献:

[1] 刘宏印. 湖北某难选金银矿选矿工艺流程实验研究 [J]. 湖南有色金属, 2013, 29 (5) : 20-23.  
LIU H Y. Experimental study on the beneficiation process of a refractory gold and silver ore in Hubei Province [J]. Hunan Nonferrous Metals, 2013, 29 (5) : 20-23.

[2] 羊建波, 许志斌, 彭浩, 等. 全球铜资源供需格局趋势分析 [J]. 中国矿业, 2015, 24(6): 1-5.

YANG J B, XU Z B, PENG H, et al. Trend analysis of global copper resource supply and demand pattern [J]. China Mining, 2015, 24(6): 1-5.

[3] 陈兴荣. 全球与中国银矿资源现状及白银需求定量预测研究 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2014: 74.

CHEN X R. Research on the present situation of global and Chinese silver mineral resources and quantitative prediction of silver demand [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014: 74.

## Experimental Study on the Dressing and Smelting of A Tailings Containing Gold, Silver and Copper in Chile

Yu Futao, Yu Xinwen, Yang Xiaojun, Wen Wei, He Ting, Zhong Lele

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

**Abstract:** Taking a flotation tailings containing gold, silver and copper in Chile as the research object and on the research basis of chemical multianalysis, copper phase analysis and chemical phase analysis of gold, the technology of leaching copper with sulfuric acid and then leaching gold and silver with it after being cyanide was adopted. The copper leaching rate was 83.03%, gold leaching rate was 65.22%, and silver leaching rate was 76.35%, which can provide a reference for the comprehensive utilization of the same type of ore.

**Keywords:** Multi-metal Mine; Gold; Silver; Copper; Leaching

////////////////////////////////////  
(上接 138 页)

## Application of Process Minerals Research in a Rubidium Mine in Gansu Province

Hu Yongxing, Su Hu, Zhang Hongbin, He Bin, Wu Xin

(Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou, Gansu, China)

**Abstract:** A rubidium ore in Gansu Province is a granite-type rubidium ore. By means of spectral analysis, phase analysis, electron probe analysis and particle size determination, a systematic technological mineralogy study was carried out on the rubidium mine, and its mineral composition and content, mineral inlaid characteristics and occurrence state of rubidium were found out. The results showed that rubidium mainly occurred in potassium feldspar and biotite, accounting for 66.8%, 30.7%, respectively. The main mineral particle size of the ore belongs to the fine grain inlaid. The results can provide a basis for the development and utilization of rubidium ore resources of the same type.

**Keywords:** Process mineralogy; Rubidium ore; Dissemination characteristics; occurrence