



# 云南某地蚀变玄武岩型铷铯矿工艺矿物学研究

熊玉旺

(云南锡业集团(控股)有限责任公司研究设计院,云南 个旧 661000)

**摘要:**云南某地蚀变玄武岩中含铷0.128%、铯0.039%,通过采用化学分析、物理分析的方法和手段,从工艺矿物学角度对铷、铯的赋存形式进行了全面的分析与研究,查明了黑云母、绿泥石是铷、铯的主要载体矿物,为回收铷、铯提供了矿物学依据,对采用合理的选矿工艺流程以及提取工艺具有重要的指导意义。

**关键词:**蚀变玄武岩;铷、铯载体矿物;赋存形式;金属分布;选别工艺

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.02.018

中图分类号:TD983 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)02-0075-04

自然界中的铷、铯均为分散稀碱金属,系亲石分散元素,铷的地壳丰度为 $90 \times 10^{-6}$ ,铯为 $3 \times 10^{-6}$ 。经地质勘查:云南某地蚀变玄武岩中的铷、铯异常较高,含铷0.09%~0.26%、铯0.057%左右,具有巨大的经济价值。

铷、铯的赋存形式决定了铷、铯的可选性及工艺流程的设计,其对于铷、铯资源的可利用性至关重要。为有效、合理地开发和利用铷、铯矿石资源,本文从工艺矿物学角度对该地区矿石中铷、铯元素的

载体矿物、结晶嵌布粒度、金属分布等方面进行了分析,在运用传统光学显微镜进行分析研究的基础上还采用MLA、X-射线衍射仪等大型先进的仪器对存在于矿石中铷、铯元素的赋存形式等方面进行了分析,文中所得的研究结果对采用合理的选别工艺富集铷、铯提供了矿物学依据,具有重要的指导意义。

## 1 矿石的化学成分

矿石的化学多元素分析结果见表1。

表1 矿石的化学分析结果%

Table 1 Chemical composition of the ore

Rb	Cs	S	As	Fe	Li	Bi	Ti	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cu	Sn
0.128	0.039	1.450	0.076	8.710	0.036	<0.020	2.740	0.964	3.560	0.218	0.047
W	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Cr	Mn	Zn	F <sup>-</sup>	Pb	Ag <sup>*</sup>	Au <sup>*</sup>
0.040	20.560	11.360	12.820	8.760	0.064	0.159	0.043	0.574	0.070	<10.0	<0.20

\*单位为g/t。

多元素化学分析结果显示,矿石中含铷0.128%、铯0.039%、铜0.218%、钛2.740%、铁8.710%,可供选矿回收的主要组分是铷、铯,次为铜、钛、铁、银、锌、锡、金、铋、铅、钨、锰、砷较低,其回收的价值不大。

## 2 矿石的矿物组成及其相对含量

矿石中的金属矿物含量较低,累计仅占矿物量

的4.69%,以磁黄铁矿、榍石为主,次为黄铜矿,少量黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿、钛铁矿以及毒砂、方铅矿、闪锌矿、铁闪锌矿、白钨矿、辉铋矿、自然铋、斑铜矿。脉石矿物占了矿物量的95.31%,主要为绿泥石、黑云母、阳起石、透闪石、石英、长石,方解石、白云石、辉石、萤石、角闪石、高岭石次之,另有少量电气石、符山石、磷灰石、石榴石等矿物。矿石的矿物组成及其相对含量分析结果见表2。

表 2 矿石的矿物组成及其相对含量分析结果%

Table 2 Analysis results of the mineral composition and content of the ore

矿物名称	含量	矿物名称	含量	矿物名称	含量	矿物名称	含量
黄铜矿	0.64	赤铁矿、褐铁矿	0.39	黑云母	19.85	石英、长石	17.97
斑铜矿	0.01	黄铁矿	0.16	辉石	2.38	电气石	0.28
磁黄铁矿	2.75	榍石	2.94	石榴石	0.10	方解石、白云石	5.93
方铅矿	0.06	钛铁矿	0.49	高岭石	0.60	角闪石	0.82
闪锌矿、铁闪锌矿	0.04	白钨矿	0.01	萤石	1.14	合计	100.00
毒砂	0.08	绿泥石	24.84	符山石	0.17		
辉铋矿、自然铋	0.02	阳起石、透闪石	18.20	磷灰石	0.13		

### 3 铷、铯的赋存状态及其主要载体矿物嵌布特征

#### 3.1 铷、铯载体矿物的种类及其分布情况

矿石中铷、铯是以类质同象形式存在,黑云母是铷、铯的主要载体矿物,其次为绿泥石,阳起石、透闪石、石英、长石次之。

为了解铷、铯在矿物中的金属分布情况,从而为选矿、冶金制定选别、提取工艺和试验方案提供依据,根据铷、铯载体矿物相对含量和所分析铷、铯品位对矿石中铷、铯金属的分布情况进行了平衡计算,结果见表 3。

从表 3 可看出,矿石中的铷、铯分布较为广泛,但主要是分布于黑云母内,其分布率铷为 65.84%,铯为 66.72%;其次为绿泥石,分布率铷为 19.40%,铯为 20.70%;阳起石、透闪石中铷为 5.61%,铯为 5.06%;石英、长石、方解石、白云石、磁黄铁矿等矿物中较少。

表 3 铷、铯的元素平衡计算结果

Table 3 Elements balance calculation results of rubidium, cesium

矿物名称	矿物重量/%	品位/%		分布率/%	
		铷	铯	铷	铯
黑云母	19.85	0.398	0.121	65.84	66.72
绿泥石	24.84	0.0937	0.030	19.40	20.70
阳起石、透闪石	18.20	0.037	0.010	5.61	5.06
磁黄铁矿	2.75	0.001	0.001	0.02	0.08
石英、长石	17.97	0.021	0.0034	3.14	1.70
方解石、白云石	5.93	0.0026	0.001	0.13	0.16
其他矿物	10.46	0.0672	0.0192	5.86	5.58
合计	100.00	0.120	0.036	100.00	100.00

#### 3.2 铷、铯主要载体矿物嵌布特征

##### 3.2.1 黑云母

黑云母是矿石中铷、铯的主要载体矿物,占矿物量的 19.85%。单矿物化学分析平均含铷 0.398%、铯 0.121%、锂 0.065%。经采用美国阿美特克公司 (AMETEK) 生产的 EDAX APOLLO X 型 EDS 分析

测定:矿石中的黑云母部分 K 被  $Rb^{+1}$ 、 $Cs^{+1}$ 、Ti、Ca 元素呈类质同象所置换,铷含量在 0 ~ 4.57% 之间波动;铯含量相对较低,在 0 ~ 0.69% 之间波动;钛含量在 0.47% ~ 2.64% 之间波动;钙含量在 0 ~ 1.69% 之间波动。黑云母 EDS 成分及其含量分析测定结果见图 1。

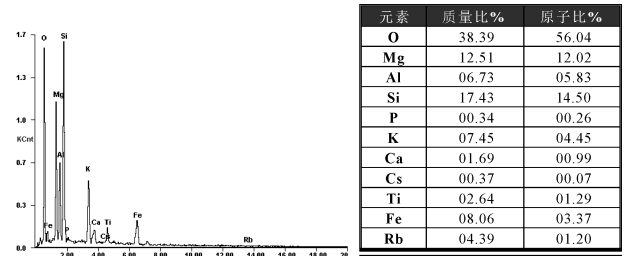


图 1 含铷、铯黑云母典型 X 射线能谱成分分析图谱及其含量

Fig. 1 typical X-ray spectrum analysis and content of biotite containing rubidium and cesium

矿石中的黑云母为片状以及细小鳞片状,结合形式呈以下 3 种类型:①与绿泥石、阳起石、透闪石、榍石、石英、磁黄铁矿毗邻连生,粒度粗者可达 1.10 mm 左右,一般介于 0.010 ~ 0.60 mm 之间,呈此类型产出的黑云母易于解离,采用浮选工艺也易于回收。②粒度较为粗者的黑云母包裹结晶粒度细小的榍石、磁黄铁矿、钛铁矿、磷灰石等矿物,此类型也易于回收与富集,但其可对铷、铯精矿产品的质量产生一定影响;③黑云母结晶粒度细小,一般介于 0.009 ~ 0.10 mm 之间,且主要呈细粒 (0.10 ~ 0.01 mm)、微粒 (0.01 ~ 0.003 mm) 以及极微粒 (<0.003 mm) 细小鳞片状嵌布于绿泥石、阳起石、透闪石、角闪石、辉石等矿物之中,呈此类型产出的黑云母则需确定合适的磨矿粒度,使之与其结合的矿物充分分离,才可对其进行回收与富集。

##### 3.2.2 绿泥石

绿泥石不仅是矿石中的主要矿物,也是铷、铯的主要载体矿物之一,其占矿物量的 24.84%,单矿物

化学分析平均含:铷 0.0937%, 铯 0.030%。EDS 分析测定:铷含量在 0 ~ 2.90% 之间波动;铯含量也相对较低,在 0 ~ 0.46% 之间波动。绿泥石 EDS 成分及其含量分析测定结果见图 2。

矿石中的绿泥石主要呈鳞片状聚集体产出,嵌布粒度最大者为 1.70 mm,以 0.020 ~ 1.40 mm 为主,其与黑云母、榍石、阳起石、透闪石、石英、长石、磁黄铁矿的共生嵌布关系较为紧密。大部分绿泥石与黑云母、阳起石、透闪石、石英、长石、榍石形成毗邻连生或包裹呈半自形晶~他形晶粒状以及分散浸染状、不规则粒状产出的磁黄铁矿、榍石。

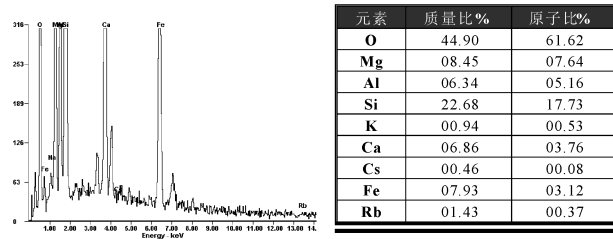


图2 含铷、铯绿泥石典型 X 射线能谱成分分析图谱及其含量

Fig. 2 Typical X-ray spectrum component analysis and content of chlorite containing rubidium and cesium

### 3.2.3 阳起石

阳起石是矿石中主要的脉石矿物之一,占矿物量的 18.20%,呈柱状、放射状以及纤维状、针状形式产出。EDS 分析测定:有的阳起石中含有铷、铯、钛,但其含量较低,铷含量在 0 ~ 0.95% 之间波动;铯在 0 ~ 0.17% 之间波动;钛在 0 ~ 0.76% 之间波动。单矿物化学分析平均含:铷 0.037%、铯 0.010%。阳起石 EDS 成分及含量分析测定结果见图 3。

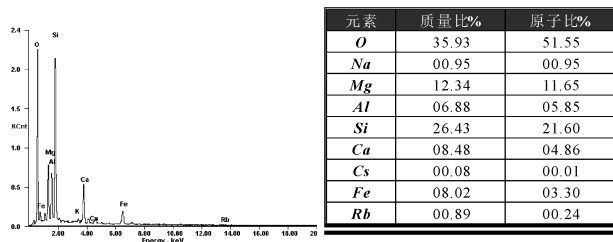


图3 含铷、铯阳起石典型 X 射线能谱成分分析图谱及其含量

Fig. 3 Typical X-ray spectrum component analysis and content of actinolite containing rubidium and cesium

矿石中的阳起石嵌布粒度较粗,最大者为 1.90 mm,以 0.03 ~ 1.20 mm 为主,其最小嵌布粒度为 0.008 mm 左右。与黑云母、绿泥石、石英、长石、方

解石、磁黄铁矿、榍石、钛铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等矿物毗邻连生或呈柱状、针状嵌布于黑云母、绿泥石、方解石中。

## 4 铷、铯载体矿物黑云母、绿泥石单体解离度

矿石中黑云母、绿泥石单体解离度较低,其分别为 65.88%、60.92%,以毗邻嵌镶形式产出的黑云母为 17.62%,绿泥石为 25.42%,呈包裹嵌镶形式嵌布的黑云母为 16.50%,绿泥石为 13.66%。由此可见,应确定合适的磨矿粒度,使呈毗邻连生、包裹嵌布的黑云母、绿泥石充分分离,才有利于黑云母、绿泥石的回收与富集。黑云母、绿泥石单体解离度及其结合情况分析结果见表 4。

表4 铷、铯载体矿物黑云母、绿泥石单体解离度%

Table 4 Analysis results of rubidium, cesium, carrier mineral biotite of their binding

矿物名称		黑云母	绿泥石
单体及	>4/5	65.88	60.92
	4/5 ~ 1/2	8.13	11.25
结合体	1/2 ~ 1/4	5.86	9.36
	<1/4	3.63	4.81
	小计	83.50	87.34
微细粒包裹体及其他		16.50	13.66
合计		100.00	100.00

## 5 主要金属矿物嵌布特征

### 5.1 黄铜矿

矿石中的黄铜矿占矿物量的 0.64%,主要呈致密块状或分散浸染状产出,有的为脉状。EDS 分析测定:铜含量在 33.87% ~ 34.51% 之间波动;铁在 29.76% ~ 31.69% 之间波动;硫在 33.46% ~ 36.71% 之间波动。最大嵌布粒度为 0.90 mm 左右,以 0.008 ~ 0.13 mm 为主,其最小者则小于 0.004 mm。主要与磁黄铁矿、黄铁矿、锡石、毒砂、黑云母、阳起石、透闪石、方解石呈简单的共边结构共生;有的黄铜矿则呈浸染状嵌布于磁黄铁矿、毒砂以及绿泥石等矿物中;有的黄铜矿呈港湾状、锯齿状与铁闪锌矿、石英毗邻连生或呈乳滴状嵌布于铁闪锌矿、闪锌矿中;个别黄铜矿与自然铋、辉铋矿形成毗邻连生。

### 5.2 磁黄铁矿

磁黄铁矿是矿石中主要的金属矿物,占矿物量的 2.75%。EDS 分析测定:铁含量在 59.08% ~ 61.58% 之间波动;硫在 38.42% ~ 40.09% 之间波

动,极个别磁黄铁矿含有少量的铷、铯。

矿石中的磁黄铁矿主要呈自形晶~半自形晶~他形晶粒状以及不规则棱角状、致密块状产出。最大嵌布粒度为 1.30 mm 左右,以 0.08~0.20 mm 为主,其最小嵌布粒度为 0.005 mm 左右。主要与黑云母、绿泥石、阳起石、透闪石、石英、长石、方解石、白云石、楣石、黄铜矿、黄铁矿、铁闪锌矿等矿物毗邻连生;或呈细小自形晶~半自形晶粒状、不规则粒状嵌布于绿泥石、阳起石、石英、透闪石中;有的磁黄铁矿包裹呈次浑圆粒状以及不规则状产出的楣石。

### 5.3 楣石

矿石中的楣石主要呈自形晶~半自形晶~他形晶细小颗粒状产出。EDS 分析测定:钛含量在 18.58%~25.78% 之间波动;极个别楣石中还含有一定量的锡,其锡含量达 3.84%。

矿石中的楣石嵌布粒度较为细小,其最大者为 0.17 mm 左右,普遍嵌布粒度在 0.008~0.06 mm 之间,最小者则小于 0.001 mm。主要呈分散单粒或多粒聚集体形式嵌布于黑云母、绿泥石、阳起石、磁黄铁矿等矿物内或与之毗邻连生;有的则呈分散浸染粒状、不规则状形式嵌布于阳起石、绿泥石、黑云母中;极个别楣石包裹细小的钛铁矿。

## 6 结 论

(1) 矿石中有价元素为铷、铯、铜、钛、铁,含量分别为 0.128%、0.039%、0.218%、2.74%、8.71%,铷、铯是选矿或冶金回收的主要对象,铜、钛、铁可考虑进行综合回收。

(2) 矿石主要以脉石矿物为主,其占矿物量的 95.31%,金属矿物含量较低,累计仅占矿物量的 4.69%。有用或需选矿富集的矿物为黑云母、绿泥石、阳起石、透闪石、黄铜矿、楣石以及磁黄铁矿;钛铁矿、闪锌矿、铁闪锌矿、赤铁矿、褐铁矿、方铅矿、辉

铋矿含量较少,回收的价值不大。

(3) 有价元素铷、铯主要呈类质同象形式赋存于黑云母、绿泥石等矿物内。在黑云母中,铷金属占有率高达 65.84%,铯达 66.72%;绿泥石中铷金属占有率为 19.40%,铯为 20.70%,另有部分铷、铯分布于阳起石、透闪石等矿物内。

(4) 黑云母、绿泥石单体解离度较低,其分别为 65.88%、60.92%,以毗邻、包裹嵌镶形式嵌布的黑云母为 34.12%,绿泥石为 39.08%。

(5) 值得一提的是,矿石中的铷、铯两者关系较为密切且具有一定的规律性,即铯在矿石中的含量是随着铷含量的增加而增加。由此可看出:在对矿石中的铷、铯进行回收与富集时,不论是采用选别工艺或冶金工艺,只要对铷进行回收,铯便可得到回收。

在富集矿石中的铷、铯时,应采用选、冶结合工艺,首先通过选矿工艺将铷、铯的载体矿物黑云母、绿泥石以及阳起石、透闪石进行富集,再采用湿法或火法冶金工艺对铷、铯金属进行回收,在回收铷、铯金属时,应考虑综合回收铜、钛,最大限度地利用矿石资源,可达到降低成本,从而增加经济效益。

### 参考文献:

- [1]《矿产资源综合利用手册》编辑委员会. 矿产资源综合利用手册[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [2]王淀佐. 浮选作用原理及应用[M]. 北京:冶金工业出版社,1982.
- [3]孙传尧,敖宁,刘耀青. 复杂难处理矿选矿理论与实践[M]. 北京:冶金工业出版社,2009.
- [4]王濮,潘兆麟,翁玲宝,等. 系统矿物学(上、中、下册)[M]. 北京:地质出版社,1984.
- [5]潘兆麟. 结晶学及矿物学(上、下册,第三版)[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [6]谢广元. 选矿学[M]. 北京:中国矿业大学出版社,2001.
- [7]周乐光. 工艺矿物学[M]. 北京:冶金工业出版社,2007.

## Research on Mineralogy for an Altered Basalt Type Rubidium and Cesium Ore in Yunnan

Xiong Yuwang

(Yunnan Tin Group(Holdings)Limited Liability Company Research and Design Institute,Gejiu,Yunnan,China)

**Abstract:** An altered basalt in Yunnan contains 0.128% of rubidium and 0.039% of cesium. By chemical and physical analysis method and means, analysis and research on the existence rubidium and cesium was carried on, finding out that biotite and chlorite are the main carrier minerals for rubidium and cesium, which provides scientific basis for the recycling of rubidium and cesium and has important guiding significance for adopting reasonable ore dressing process and extraction technology.

**Keywords:** Altered basalt; Rubidium and cesium mineral carrier; Occurrence form; Metal distribution; Sorting Process