

# 青海榴辉岩型金红石矿工艺矿物学研究

李琳清, 应永朋, 熊馨, 陈攀, 赵玉卿  
(青海省地质矿产测试应用中心, 青海 西宁 810008)

**摘要:**通过光学显微镜、多元素分析分析法、电子探针、X射线粉体衍射仪等手段,对青海榴辉岩型金红石矿的矿物学开展了详细的研究,查明了该矿主要由Fe、Al、Mg、K、Na、Mn、Si、S、O等元素组成;查明了该矿中的矿物主要是由铁铝榴石、绿辉石、角闪石、绿泥石和金红石等矿物组成,其中石榴子石含量为56.5%,绿辉石含量为24.2%;查明了矿物的结构构造,并进行了主要矿物工艺矿物粒度测定。研究表明,矿石中钛主要以金红石的形式存在,嵌布粒度为中细粒嵌布,被石榴子石和绿辉石包裹,造成金红石选矿回收率较低,但石榴子石和绿辉石颗粒较粗,且大部分金红石与石榴子石和绿辉石之间的接触较为平直,有利于金红石的单体解离,选矿回收难度不大。该工艺矿物学研究为青海榴辉岩型金红石矿的选冶工艺及其综合利用提供了重要的参考依据。

**关键词:**金红石;石榴子石;绿辉石;工艺矿物学

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.04.019

中图分类号:TD989;P86 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)04-0087-04

青海省某钛矿已确定为一大型低品位钛矿床及大型石榴子石矿床,其矿床成因由含钛超基性基性岩经区域变质作用形成的榴闪岩型钛矿床、石榴子石矿床。为了详细研究矿石中的物质组成,选定合理的选矿工艺流程,为矿床的开发、矿石的综合利用及矿床技术经济评价提供依据,对青海某钛矿进行了详细的工艺矿物学研究。

工艺矿物学研究是地质找矿和综合利用重要的技术方法,可通过查明矿石中有益成分的赋存状态和分布规律,确定其在当前技术经济条件下的利用价值,提供继续找矿的依据<sup>[1]</sup>。

## 1 矿石基本性质

### 1.1 矿石化学成分

原矿多元素化学分析结果见表1,钛物相分析结果见表2。由表1可知,原矿中钛含量为1.66%,是主回收元素。其他元素含量较低,综合利用价值不大。由表2物相分析表明钛主要以金红石为主。

表1 原矿多元素化学分析结果/%

Table 1 Multi-element results of the run-of-mine ore

TiO <sub>2</sub>	TFe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
1.66	11.67	43.12	17.33	11.21	7.11
K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	S	As	P
0.14	1.55	0.12	0.026	0.0010	0.091

表2 原矿钛物相分析结果

Table 2 Analysis results of titanium phase

相名	金红石钛	钛铁矿中钛	榍石中钛	其他中钛	合计
含量/%	1.34	0.21	0.10	0.06	1.71
分布率/%	78.36	12.28	5.85	3.51	100.00

### 1.2 矿石的矿物组成和含量

原矿样品X射线衍射分析结果表明,原矿主要组成矿物有金红石、铁铝榴石、绿辉石、绿泥石、角闪石等,结合矿石的化学多项分析结果、光(薄)片镜下测定结果,综合平衡计算得出矿石中主要矿物成分的含量见表3。

表3 原矿主要矿物的组成及相对含量

Table 3 Main mineral composition and relative content of the run-of-mine ore

矿物名称	含量/%	矿物名称	含量/%
金红石	1.4	磁铁矿	0.6
钛铁矿	0.5	白云母	1.1
铁铝榴石	56.5	磷灰石	0.4
绿辉石	24.2	榍石	0.1
绿泥石	8.2	方解石	0.4
角闪石	6.5	其他	0.1

### 1.3 矿石的结构、构造

矿石的结构<sup>[2]</sup>主要包括:(1)他形柱粒状结构:部分矿石中石榴石、橄榄石、绿辉石和金红石,其他他形柱粒状结构。(2)网状结构:部分矿石中绿泥石沿裂隙交代石榴石,构成网状结构。(3)交代结构、交代残留结构:部分矿石中纤闪石交代角闪石,钛铁矿交代金红石,褐铁矿交代黄铁矿,构成交代结构,局部见部分角闪石残留,构成交代残留结构。(4)放射状结构:部分矿石中绿泥石呈放射状集合体,构成放射状结构。(5)镶边结构:部分矿石中榍石沿金红石边缘包裹金红石,构成镶边结构。

矿石的构造<sup>[2]</sup>主要包括:(1)块状构造:石榴石在矿石中集中分布,具块状构造。(2)浸染状构造:

表4 金红石电子探针分析结果/%

Table 4 Rutile electron probe analysis results

	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Total
1	0.06	0.01	97.92	0.25	0.01	0.01	0.05	0.00	0.41	98.71
2	0.11	0.03	97.28	0.10	0.00	0.02	0.07	0.00	0.44	98.06
3	0.02	0.02	97.24	0.14	0.01	0.01	0.00	0.03	0.58	98.05
4	0.01	0.13	97.52	0.06	0.02	0.01	0.00	0.02	0.28	98.06
平均	0.05	0.05	97.49	0.14	0.01	0.02	0.03	0.01	0.43	98.22

从分析结果可以看出,金红石中元素组成变化不大,主要由TiO<sub>2</sub>组成,含有少量的铁。

金红石的粒度统计结果见图1。从图1可以看出,矿石中金红石粒度主要集中在0.04~0.15 mm之间,属中细粒嵌布。

矿石中金红石和石榴子石紧密共生,然而石榴子石单体解离度已经很高,细磨必然会造成石榴子石回收率和价值的降低,同时矿石和金红石中含有少量的铁,这会造成其具有弱磁性。这是该矿难选的主要原因之一。

矿石中部分金红石呈稀疏浸染状分布,构成浸染状构造。(3)港湾状构造:矿石中大部分金属矿物与脉石矿物呈港湾状分布,构成港湾状构造。(4)脉状构造:矿石中部分褐铁矿呈不连续脉状,构成脉状构造。

### 1.4 矿石类型

矿体为榴辉岩,可见微弱的绿泥石化蚀变,全岩矿化。主要组成矿物为石榴子石、绿辉石和少量的绿泥石等矿物。根据矿石性质,我们认为该矿为榴辉岩型金红石矿

## 2 主要矿物的特征及其嵌布关系

### 2.1 金红石

该矿中主要有用矿物为金红石和石榴子石、绿辉石。

金红石在矿石中的相对含量为1.4%。显微镜观察显示矿石中金红石主要呈浸染状分布。金红石多为他形粒状、部分被钛铁矿交代、矿石中金红石多分布在石榴子石、绿辉石等矿物粒间、部分被石榴子石等矿物包裹,这对金红石回收有一定影响。为了研究金红石的元素组成进行了电子探针分析。分析结果见表4。

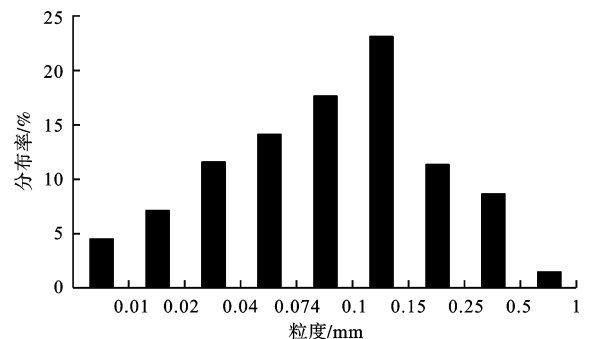


图1 金红石粒度统计

Fig. 1 Rutile particle size statistical histogram

### 2.2 石榴子石

石榴子石在矿石中含量为56.5%。显微镜观

察显示矿石中石榴子石主要呈团块状分布,石榴子石粒间分布有绿辉石等。石榴子石多为他形粒状,部分石榴子石中包裹金红石等矿物,这对金红石的回收利用有一定的影响。大部分石榴子石与其它矿物接触较平直,有利于其单体解离。

石榴子石粒度统计结果见图2。矿石中石榴子石粒度主要集中在0.10~0.5 mm之间,属粗粒嵌布。

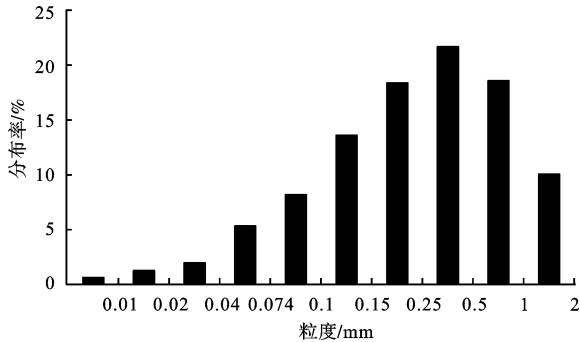


图2 石榴子石粒度统计

Fig. 2 Garnet particle size statistical histogram

### 2.3 绿辉石

绿辉石在矿石中含量为24.2%。绿辉石多具不规则状晶形,部分则为半自形柱状,绿辉石多分布在石榴子石粒间,绿辉石多与其他矿物平直接触,有利于其单体解离。部分绿辉石与金红石等矿物紧密共生,对金红石的选矿有一定的影响。绿辉石粒度统计结果见图3,从图3可以看出辉石嵌布粒度主要集中在0.074~0.25 mm之间,相对石榴石细,但与其他矿物平直接触,有利于其单体解离。部分绿辉石与金红石等矿物紧密共生,会对金红石的选矿有一定的影响。

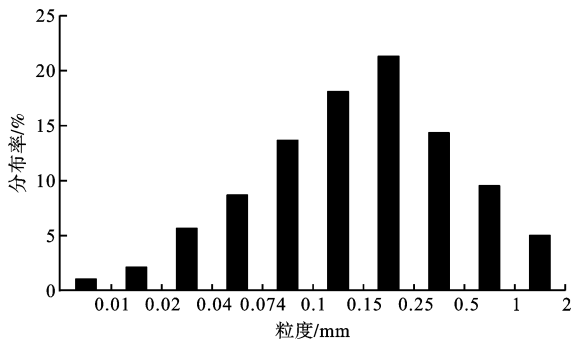


图3 绿辉石粒度统计

Fig. 3 Omphacite particle size statistical histogram

### 2.4 其他矿物

矿石中除了以上矿物外,还有钛铁矿、角闪石、绿泥石、以及少量的楣石等矿物。

钛铁矿多具不规则状晶形,与金红石紧密共生,对金红石回收有一定的影响。钛铁矿含量低,综合利用价值不大。角闪石是矿石中主要脉石矿物之一。其在矿石中主要呈不规则状交代其它矿物。绿泥石是矿石中主要的脉石矿物之一,其在矿石中主要呈脉状交代其他矿物。

## 3 结 语

(1)矿石中钛含量为1.66%,是主要的有用元素;石榴子石和绿辉石矿物量为56.5%和24.2%,可以综合利用。

(2)矿石中钛主要以金红石的形式存在,其次为钛铁矿。原矿中金红石含量为1.40%,嵌布粒度主要集中在0.041~0.2 mm之间,相对是中细粒嵌布。由于其他矿物包裹部分金红石,造成其回收率较低。

(3)原矿中石榴子石含量为56.5%,粒度较粗,主要集中在0.10~0.5 mm之间。石榴子石单矿物化验结果表明其FeO含量为24.32%,可以将其作为石榴子石精矿品位的化验标准。石榴子石与金红石紧密共生,是影响金红石选矿的主要因素。

(4)原矿中绿辉石含量为24.2%,粒度中细粒嵌布,主要集中在0.074~0.25 mm之间。绿辉石单矿物化验结果表明其Na<sub>2</sub>O含量为7.70%,可以将其作为绿辉石精矿品位的化验标准。石榴子石和绿辉石粒度较粗,选矿回收难度不大。

### 参考文献:

- [1]周满庚. 工艺矿物学在矿产资源找矿和综合利用中的应用[J]. 矿产综合利用, 2012(3): 7-9.
- [2]徐国风. 矿相学教程[M]. 武汉:地质学院出版社, 1986. 118-146.
- [3]卢静文,彭晓蕾. 金属矿物显微镜鉴定手册[M]. 北京:地质出版社, 2010. 114.

(下转 97 页)