

## 值得重视的新型矿产—榴辉岩型金红石资源

李潇雨<sup>1</sup>, 周满赓<sup>1</sup>, 黄亚琴<sup>1</sup>, 张裕书<sup>1</sup>, 雍卫华<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041;

2. 国土资源部矿产资源储量评审中心, 北京 100812)

**摘要:**以东海毛北榴辉岩型金红石为对象,对可综合利用矿物金红石、石榴石等进行了详细的工艺矿物学研究,查明了矿石的物质组成、工艺粒度以及各种矿石性质对于选矿的影响,为最佳综合利用工艺条件的选择提供了依据,并介绍了该类型矿床的开发利用前景。

**关键词:**金红石; 石榴石; 工艺矿物

**中图分类号:**D616.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2010)05-0027-04

### 1 引言

毛北金红石矿区位于江苏省连云港市东海县城西南约20km,D+E级金红石TiO<sub>2</sub>表内储量253.34万t,平均品位2.13%,为一特大型榴辉岩型原生金红石矿床。榴辉岩主要由石榴石、绿辉石、金红石组成,矿体中矿物结晶颗粒较粗、嵌布特性简单,主要成分石榴石、金红石易选且经济价值较高。为合理

开发利用该类型金红石资源,笔者对其工艺矿物学特征进行了详细研究。

### 2 榴辉石型金红石矿石工艺矿物学研究

#### 2.1 矿石的化学成分

矿石的化学成分见表1。

#### 2.2 矿石中钛的物相分析

矿石中钛的物相分析结果见表2。

表1 矿石化学组成/%

| TFe   | FeO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | Co     | Ni     | Cu    | Pb    | Zn    | V      | Cr     | CaO   | MgO  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O |
|-------|-------|--------------------------------|------------------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|------|------------------|--------------------------------|------------------|-------------------|
| 14.95 | 15.66 | 3.91                           | 5.14             | 0.0077 | 0.0038 | 0.013 | 0.015 | 0.029 | 0.0044 | 0.0023 | 11.23 | 6.27 | 24.90            | 12.96                          | 0.039            | 2.99              |

#### 2.3 矿石的矿物组成

矿石的矿物组成见表3。

#### 2.4 主要矿物含量及工艺特征

主要矿物的含量如表4所示,其工艺特征分述如下:

##### (1) 金红石

东海金红石的嵌布特征可分为如下类型:晶间

表2 矿石中钛的物相分析

| 钛物相   | 钛硅酸盐 | 钛铁矿   | 金红石、锐钛矿 | 合计     |
|-------|------|-------|---------|--------|
| 含量/%  | 0.17 | 0.73  | 4.40    | 5.30   |
| 分布率/% | 3.12 | 13.77 | 83.02   | 100.00 |

表3 榴辉岩型金红石矿石的矿物组成

| 项目 | 工业矿物         |     | 非金属矿物              |
|----|--------------|-----|--------------------|
|    | 氧化物          | 硫化物 |                    |
| 主要 | 金红石          |     | 石榴石、绿辉石            |
| 次要 | 钛铁矿          |     |                    |
| 少量 | 钛磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿 | 黄铁矿 | 白云母、角闪石、石英、绿帘石、磷灰石 |

表4 榴辉岩型金红石矿石的主要矿物含量/%

| 金红石  | 石榴石   | 绿辉石   | 钛铁矿 | 其他(角闪石、白云母、赤铁矿、褐铁矿等) |
|------|-------|-------|-----|----------------------|
| 4.90 | 56.91 | 37.19 | <1  | <1                   |

收稿日期:2009-12-03; 改回日期:2009-12-20

作者简介:李潇雨(1981-),女,硕士,工程师,主要从事工艺矿物学研究。

金红石,粒状金红石呈分散状分布于石榴石、绿辉石等矿物晶隙间;粒间金红石,金红石呈脉状、串珠状、巨晶状充填于石榴石、绿辉石等矿物的解理、裂隙中;包裹金红石,微细粒金红石被包裹于石榴石、绿辉石等矿物中,金红石粒径 $>0.076\text{mm}$ 占金红石总量67%以上。

### (2) 石榴石

矿石中的石榴石为铁铝石榴石,等轴晶系,六八面体晶类,颜色受成分的影响,通常为棕、黄、红、绿等色,也有呈黑色者,本矿石中的石榴石为橙色,透明至半透明,玻璃光泽,断口油脂光泽,无解理,硬度5.6~7.5,实测密度为3.96,一般具弱磁性。

### (3) 绿辉石

矿石中绿辉石呈浅绿至翠绿色,玻璃光泽,解理平行 $\{110\}$ 完全,硬度5.5~6.0,实测密度为3.34。

## 2.5 主要矿物的嵌布特征

### 2.5.1 矿物的结构

(1) 自形~半自形晶结构:金红石、石榴石、绿辉石呈自形~半自形晶紧密镶嵌而成。接触界线平直光滑,易于解离。主要为致密块状和稠密浸染状矿石。

(2) 他形晶粒结构:由于金红石数量少,石榴石和绿辉石矿物数量多,使金红石呈他形、星散状分布。主要是稀疏浸染状矿石的结构类型。

(3) 嵌晶类型:较早形成的金红石呈自形晶、半自形晶包含于粗大的石榴石、绿辉石矿物中,接触界线平整,易于解离。

### 2.5.2 矿石的构造

该矿石的构造比较简单,对金红石而言主要是浸染型矿石,其中以中等浸染状、稀疏浸染状为主,其次为条带状、稠密浸染状。对石榴石和绿辉石而言为致密块状。

## 3 矿石性质对选矿工艺选择的影响

### 3.1 主要矿物的工艺粒度

矿物的工艺粒度是选择选矿方法和制定工艺流程的重要依据。对东海毛北矿区的金红石矿来说,选矿工艺中需回收的目的矿物为金红石、石榴石、绿辉石,少量泥级产物为需废弃的物料。所以,将矿石中的矿物划分为三类,即金红石、石榴石、绿辉石,凡属同类矿物的单晶和集合体作为粒度测量的单元进行统计,其结果见表5。

表5 主要矿物工艺粒度测定结果

| 项 目 |      | 平均粒度范围/mm |         |         |         |           |            |           |        |
|-----|------|-----------|---------|---------|---------|-----------|------------|-----------|--------|
|     |      | >1.0      | 1.0~0.5 | 0.5~0.2 | 0.2~0.1 | 0.1~0.074 | 0.074~0.04 | 0.04~0.02 | >0.2   |
| 石榴石 | 个别/% | 7.25      | 21.74   | 43.48   | 18.12   | 7.97      | 1.45       | —         | —      |
|     | 累计/% | 7.25      | 28.99   | 72.47   | 90.59   | 98.55     | 100.00     | —         | —      |
| 金红石 | 个别/% | 0.00      | 1.87    | 11.21   | 30.84   | 23.36     | 22.43      | 5.61      | 4.68   |
|     | 累计/% | 0.00      | 1.87    | 13.08   | 43.92   | 67.28     | 89.71      | 95.33     | 100.00 |
| 绿辉石 | 个别/% | 3.61      | 21.13   | 48.97   | 17.53   | 5.15      | 3.09       | 0.52      | —      |
|     | 累计/% | 3.61      | 24.74   | 73.71   | 91.24   | 96.39     | 99.48      | 100.0     | —      |

从表5可以看出,石榴石和绿辉石原生工艺粒度较粗,对石榴石产品的选别有利。金红石的原生工艺粒度 $+0.02\text{mm}$ 累计占95.32%,主要集中于 $0.5\sim0.04\text{mm}$ 粒级,占87.84%,而 $-0.040\text{mm}$ 占10.29%,这部分金红石大多呈包体,大部分在选矿作业中将成为合理损失。

石榴石产品需要一定粒度,不能磨得过细。但矿石中有10%左右的金红石是早期榴辉岩形成时呈包体形式结晶于石榴石和绿辉石中的,唯有细磨才能解离。因此磨矿时必须兼顾两者的粒度。

### 3.2 原矿筛析中主要工艺矿物的单体解离度

对原矿 $-2.0\text{mm}$ 筛析产品进行了各级别金红石、石榴石和绿辉石的单体解离度测定,其结果见图1。从图1可以看出,上述三种工艺矿物 $-0.25\text{mm}$ 级别单体解离度均已达到90%以上

### 3.2 矿物其他性质对选矿的影响

#### 3.2.1 主要矿物磁性对矿物分选的影响

主要矿物的比磁化系数见表6。

上述数据表明,在矿物粒度适宜的情况下,石榴石可用磁选工艺进行选别,但金红石、绿辉石比磁化系数接近,难以分离。

#### 3.3.2 主要矿物密度对矿物分选的影响

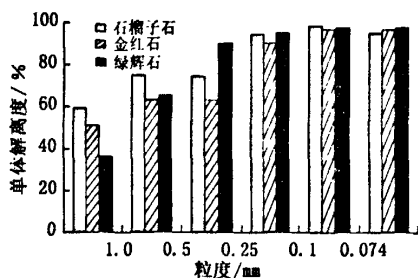


图1 筛析样单体解离度测试结果

表6 主要矿物比磁化系数/ $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ 

| 金红石                         | 石榴石                         | 绿辉石                         |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| $14.55 \times 10^{-6}$      | $96.32 \times 10^{-6}$      | $12.93 \times 10^{-6}$      |
| $\sim 11.17 \times 10^{-6}$ | $\sim 73.40 \times 10^{-6}$ | $\sim 10.11 \times 10^{-6}$ |

表7 主要矿物的密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 

| 金红石  | 石榴石  | 绿辉石  |
|------|------|------|
| 4.22 | 3.96 | 3.34 |

主要矿物的密度见表7。

从三种矿物的密度值看,金红石和绿辉石可采用重选工艺进行选别,金红石和石榴石密度差小,重选方法难以分离。

### 3.4 矿石中 $\text{TiO}_2$ 的分布规律

根据矿石中主要矿物的定量结果,以及金红石、石榴石、绿辉石电镜成分扫描定量,矿石中  $\text{TiO}_2$  的分布规律如下:

(1) 金红石中  $\text{TiO}_2$  纯度较高,金红石含  $\text{TiO}_2$  达100%。

(2) 本次矿样中的石榴石、绿辉石,电镜扫描测试  $\text{TiO}_2$  含量在仪器灵敏度以下。

(3) 金红石集中系数为95.33%,其余的钛主要以微细粒钛铁矿形式赋存于上述三种矿物中。

## 4 榴辉岩型金红石开发利用前景及注意事项

国内金红石资源,大部分因矿石性质复杂、金红

石嵌布粒度微细、选矿回收率低而不能利用,致使市场急需的金红石型钛资源远不能满足要求。东海毛北榴辉岩型金红石,矿物组成简单,金红石和综合利用成分石榴石原生工艺粒度适合机械选矿。金红石和石榴石均为目前市场欢迎的矿物原料,现场民采矿石当作石榴石选矿原料,价格80元/t,矿石先回收石榴石即有盈利,这种特点是国内其他类型金红石矿产所不具备的。榴辉岩在我国苏鲁超高压变质带呈北东向展布,主要产于郯庐断裂以东的东海杂岩变质侵入岩中,整个榴辉岩带总体走向与区域北东向主构造线方向一致,分布的区域往往有韧性剪切带展布,现已发现榴辉岩体数千个,其远景储量十分可观。榴辉岩型金红石将是我国最重要的金红石型钛资源。在开发中应注意以下2个问题:

### (1) 加强地质工作

榴辉岩型金红石矿床的勘探工作,因受到多种因素的制约,除个别矿区做了些初步工作外,大多数还处于岩体研究阶段,对矿产开发利用最需要的矿床储量、规模、利用评价、工艺类型划分,首采地段确定等资料极为缺乏,其原因是地质工作投入太少,难以提供有保障的工业储量,这是该类矿产大规模开发利用所必需具备的基础条件。建议有关部门加强地质投入。

### (2) 榴辉岩型金红石资源综合评价和综合利用

据现有资料,由深部高温高压岩浆结晶,后又经变质作用改造形成的榴辉岩型金红石矿床,具备了金刚石、宝玉石等矿产形成的条件,但金刚石和宝玉石有其独特的地质评价和开发利用方法,下步工作应加强工艺矿物学研究工作,加速资源的综合评价和开发利用。

### 参考文献:

- [1] 周满庚,李潇雨. 江苏东海毛北榴辉岩型金红石工艺矿物学研究报告[R]. 中国地质科学院矿产综合利用研究所,2009.
- [2] 吴贤,张健. 中国的钛资源分布及特点[J]. 钛工业进展, 2006(12).

## The Rutile Resources of the Eclogite Category – A Novel Mineral Resources Worthy to Noted

LI Xiao-yu<sup>1</sup>, ZHOU Man-geng<sup>1</sup>, HUANG Ya-qin<sup>1</sup>, ZHANG Yu-shu<sup>1</sup>, YONG Wei-hua<sup>2</sup>

(1. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Chengdu, Sichuan, China;

2. Evaluation and Examination Center of Mineral Resources, MLR, Beijing, China)

