

# 山西灵丘某银矿工艺矿物学研究

谢建宏, 崔长征, 王森  
(西安建筑科技大学材料学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:**为了更好地利用山西灵丘某银矿资源,重点进行了矿石中银的赋存状态研究。查明了矿石的化学组成,矿石中银的主要矿物种类、嵌布状态和工艺特征。根据银的工艺矿物学研究结果,提出了提高银的选矿回收率的建议,为选矿工艺研究提供了重要的基础资料。

**关键词:**银矿物;工艺矿物学;赋存状态

**中图分类号:**P616.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2009)05-0034-04

山西灵丘某银矿为角砾岩银矿床,矿石主金属银品位 212.1g/t,另含铅 0.5%、锌 0.68%,矿石中硫及氧化物含量较低,为少硫化物银铅锌矿石,属原生矿。本文就该矿石中银的赋存状态进行了研究,查明了矿石中银的主要矿物种类、分布状态和工艺特征,为选矿工艺研究提供了重要的基础资料<sup>[1]</sup>。

## 1 矿石特征

### 1.1 矿石多元素分析

矿石多元素分析结果见表1。

由表1可见,银、铅、锌为矿石中的主要价元素;Au为有益伴生组分,但含量很低,无利用价值;硫含量为1.81%,可以考虑综合回收;As为矿石中

表1 矿石多元素分析结果/%

| Cu    | Pb   | Zn   | TFe  | S    | As    | CaO  | MgO  | K  | Na | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ag    | Au   |
|-------|------|------|------|------|-------|------|------|----|----|------------------|--------------------------------|-------|------|
| 0.003 | 0.50 | 0.68 | 4.12 | 1.81 | 0.004 | 1.01 | 0.98 | 10 | 2  | 58.25            | 9.51                           | 212.1 | 0.14 |

注:Ag、Au含量单位为g/t。

的有害组分,但含量仅0.004%,影响不大。

### 1.2 矿石的矿物组成

矿石的矿物组成及相对含量见表2。

由表2知:已查明的矿物种属有20多种,其中金属矿物有9种,主要为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿,其次有黄铜矿等,银的矿物为自然银、辉银矿、中银黄铁矿、硫锑铜银矿等,非金属矿物有13种,主要有长石、石英,其次有绢云母、高岭石、铁白云石、方解石等。

### 1.3 主要金属矿物的嵌布特性

#### 1.3.1 黄铁矿

黄铁矿是矿石中主要共、伴生金属矿之一,粒度

表2 矿石矿物组成和含量

| 金属矿物  |       | 非金属矿物 |       |      |      |
|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 矿物    | 含量/%  | 矿物    | 含量/%  | 矿物   | 含量/% |
| 方铅矿   | 0.57  | 石英    | 20~25 | 橄榄石  | 偶见   |
| 闪锌矿   | 1.04  | 正长石   |       | 磷灰石  | 微量   |
| 黄铁矿   | 2~3   | 斜长石   | 30~35 | 榍石   | 微量   |
| 黄铜矿   | 0.009 | 铁白云石  |       | 独居石  | 微量   |
| 自然银   |       | 方解石   | 3~4   | 火山玻璃 | 5~7  |
| 辉银矿   | <0.1  | 绢云母   | 5~6   | 绿泥石  | 2~3  |
| 中银黄铁矿 |       | 高岭石   | 1~2   | 辉石   | 偶见   |
| 硫锑铜银矿 |       |       |       |      |      |
| 氧化铁   | 0.5~1 |       |       |      |      |

收稿日期:2009-02-19; 改回日期:2009-03-20

作者简介:谢建宏(1954-)男,高级工程师,硕士研究生导师,研究方向为资源综合利用。

大小不一,其赋存状态分三种情况:(1)较粗粒黄铁矿:粒度 $<0.03\sim 0.05\text{mm}$ ,半自形粒状,与自然银有一定的关系;与闪锌矿、方铅矿关系不是特别密切,但局部可见黄铁矿与闪锌矿呈半规则连生;另外,可见黄铁矿破碎,在其裂隙中有闪锌矿、方铅矿充填。(2)细粒黄铁矿:粒度 $<0.005\sim 0.02\text{mm}$ ,与闪锌矿、方铅矿关系密切,主要呈密集状包含于闪锌矿和方铅矿中,这种关系使其与闪锌矿、方铅矿很难解离;其次是呈集合体分布于闪锌矿、方铅矿周围,形成黄铁矿环带,与闪锌矿、方铅矿紧密连生,在二者连生的地方也比较容易形成连生体。(3)呈网脉状分布于岩石裂隙中,这种分布与闪锌矿、方铅矿关系不密切。经电镜扫描分析,黄铁矿含 $\text{Fe}46.52\%$ 、 $\text{S}53.48\%$ ,黄铁矿中没有银的嵌布。

### 1.3.2 方铅矿

方铅矿是含铅的主要矿物,经常有银的混入,部分方铅矿含银量为 $0\sim 5.68\%$ ,另还含有少量的Fe等。矿石中方铅矿粒度特征是以中粒( $0.1\sim 1\text{mm}$ )为主,占 $65.05\%$ ,其次是细粒( $0.01\sim 0.1\text{mm}$ ),占 $26.1\%$ ,粗粒( $1\sim 10\text{mm}$ )和微粒( $<0.01\text{mm}$ )较少,分别占 $8.66\%$ 和 $0.19\%$ 。方铅矿与闪锌矿、黄铁矿等矿物的接触部位比较平直圆滑,易于解离;细粒方铅矿多嵌布于脉石或黄铁矿及铁闪锌矿中,但数量较少;另有部分方铅矿呈线状、细脉状、蠕虫状等沿黄铁矿裂隙穿入,有的细脉沿脉石与黄铁矿粒间充填,沿黄铁矿边部结晶,形成皮壳状结构,这种连生关系使方铅矿很难解离出来,容易与黄铁矿形成贫连生体而损失;方铅矿与脉石矿物呈规则-不规则连生,嵌布关系复杂,难于解离。

### 1.3.3 闪锌矿

该矿床的闪锌矿含铁很少,仅 $1.48\%$ ,另外含 $\text{S}33.98\%$ 、 $\text{Zn}64.54\%$ ,没有分散银的存在。

闪锌矿主要呈它形粒状和半自形粒状产出,颗粒以中粒( $0.1\sim 1\text{mm}$ )为主,占 $54.74\%$ ,其次是粗粒( $1\sim 10\text{mm}$ ),占 $38.14\%$ ,细粒和微粒较少,分别占 $6.98\%$ 和 $0.14\%$ 。与方铅矿、黄铁矿等矿物紧密连生,嵌布关系复杂,难于解离;另有部分细粒方铅矿呈浑圆状、椭圆状、乳滴状嵌布于闪锌矿中,这种细粒方铅矿难于解离,容易进入锌精矿中,是影响产品质量的原因之一。闪锌矿与脉石的连生关系以不规则连生为主,这与闪锌矿等金属矿物随成矿热液沿岩石裂隙或孔隙穿入围岩有关。

闪锌矿与银的嵌布关系有两种,一种是与银呈规则连生,其接触界限平滑,二者形成时间相同,位于脉石粒间,比较容易解离;另一种是呈包含关系,闪锌矿中包含有自然银细粒,或闪锌矿呈皮壳状围绕于自然银周围,这种连生关系使闪锌矿与自然银难于解离。

### 1.3.4 黄铜矿

黄铜矿在矿石中含量少,但普遍含银,含银量为 $1.17\%\sim 7.94\%$ ,说明黄铜矿与银的关系密切。黄铜矿呈它形粒状、星点状分布于岩石中,可见黄铜矿与闪锌矿呈半规则连生,偶见在中银黄铁矿边部围绕有黄铜矿。黄铜矿电子探针分析结果见表3。

表3 黄铜矿电子探针分析结果/%

| 序号 | Cu    | Fe    | S     | Ag   | Mn   | Si   |
|----|-------|-------|-------|------|------|------|
| 1  | 31.03 | 29.34 | 35.10 | 3.58 | 0.95 |      |
| 2  | 32.71 | 29.17 | 36.55 | 1.57 |      |      |
| 3  | 33.16 | 28.8  | 36.48 | 1.17 |      | 0.39 |
| 4  | 29.87 | 27.68 | 34.14 | 7.94 |      | 0.37 |

## 2 银的赋存状态

银的地球化学特性决定了它与铅、锌、硫在成矿过程中的密切关系。而银在矿石中的赋存状态则决定着它的走向和综合利用程度。因此,有必要对矿石中的银进行详细的工艺矿物学研究,以确定提高银回收率的途径<sup>[2]</sup>。

### 2.1 银的化学物相分析

矿石中银的化学物相分析结果见表4。

表4 矿石中银的化学物相分析结果

| 相别                               | 自然银  | 硫化物中的银 | 氧化物中的银 | 脉石中的银 | 总银     |
|----------------------------------|------|--------|--------|-------|--------|
| 含量/ $\text{g}\cdot\text{t}^{-1}$ | 4.5  | 191    | 14     | 3.1   | 212.6  |
| 分布率/%                            | 2.11 | 89.84  | 6.59   | 1.46  | 100.00 |

分析所用原矿样品的磨矿细度为 $-200$ 目。银的化学物相分析结果表明,矿石中的银主要以硫化银的形式存在,占 $89.84\%$ ,其次是氧化物中的银,占 $6.59\%$ ,自然银和脉石中的银较少,分别占 $2.11\%$ 和 $1.46\%$ 。

### 2.2 银矿物种类

矿石中银含量为 $212.1\text{g/t}$ 。主要银矿物为自然银、辉银矿、硫锑铜银矿和中银黄铁矿。各种银矿物的化学成分及相对含量见表5。

表 5 银矿物电子探针分析结果/%

| 矿物名称  | Ag    | S     | Sb   | Cu    | Fe    | As   | Cr   | Si   | O    | Mg   | Pb   |
|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 自然银   | 93.94 | 0.53  |      |       |       |      |      | 0.20 | 3.75 | 0.12 | 1.46 |
| 辉银矿   | 68.92 | 19.18 |      | 7.92  |       | 0.09 |      |      | 3.89 |      |      |
| 硫锑铜银矿 | 58.41 | 17.69 | 3.09 | 11.74 | 1.33  | 4.46 |      |      | 3.28 |      |      |
| 中银黄铁矿 | 35.69 | 33.04 |      | 3.61  | 27.18 |      | 0.48 |      |      |      |      |

## 2.3 银矿物的嵌布特性

### 2.3.1 自然银

自然银的粒度较粗,以  $-0.16 + 0.08\text{mm}$  为主,占 71.66%,其次是  $-0.08 + 0.04\text{mm}$ ,占 17.91%,其余粒级较少,仅占 10.43%。自然银的赋存状态有三种:赋存于矿物粒间,包裹于矿物中,充填于岩石裂隙和岩石空洞中。其中 50% 以上的自然银呈粒间状态赋存,与闪锌矿、方铅矿、黄铁矿等金属矿物接触界限平滑,呈规则连生,比较容易解离;或与脉石接触界限呈港湾状,二者呈不规则连生,容易形成连生体,难于解离。其次是包裹银,自然银呈不规则状包裹于辉银矿、闪锌矿、中银黄铁矿和脉石矿物中,难于解离。另有极少部分的自然银与黄铜矿连生位于岩石裂隙中。

### 2.3.2 辉银矿

辉银矿是主要的银矿物之一,反射色为灰白色带绿色,弱非均质-均质,形态主要呈不规则状、角粒状、菱形、三角形等,粒度大小约为  $0.01 \sim 0.12\text{mm}$ 。与自然银和脉石矿物呈不规则连生,局部呈皮壳状围绕在自然银边部,位于岩石裂隙中;另有部分辉银矿与方铅矿连生,位于方铅矿与脉石矿物粒间;少量辉银矿包裹于闪锌矿中。

### 2.3.3 硫锑铜银矿

硫锑铜银矿反射色为浅蓝灰色,强非均质性,硬度低,呈不规则状、皮壳状,粒度大小约  $0.005 \sim 0.02\text{mm}$ ,与自然银呈不规则连生,其中包裹有自然银;另有部分半包于中银黄铁矿中。

### 2.3.4 中银黄铁矿

中银黄铁矿含量较少,其反射色为黄棕色,强非均质性,其形态主要呈不规则状、环状。与黄铜矿、自然银连生,位于岩石裂隙中,黄铜矿呈皮壳状围绕在其边部;另有部分呈皮壳状围绕硫锑铜银矿边部。

## 3 结 论

1. 该矿石工艺类型为少硫化物角砾岩型银矿石,属原生矿。矿石中有益元素为银、铅、锌,有害组分砷含量很低。矿石矿物组成比较复杂,主要目的矿物为自然银、辉银矿、方铅矿、闪锌矿等,其次为中银黄铁矿、硫锑铜银矿等,主要脉石矿物为长石、石英等。

2. 该矿石中银矿物为细粒-微细粒,闪锌矿以中粒为主,粗粒为次,方铅矿以中粒为主,细粒为次。因此,要使目的矿物充分解离,又不产生过粉碎,应以阶段磨浮较好<sup>[3]</sup>。

3. 银的化学物相分析结果表明,矿石中银主要以硫化物的形式存在,大部分与方铅矿、脉石矿物连生,位于方铅矿与脉石粒间,另有少量包裹于或半包于闪锌矿和中银黄铁矿中,这些对于银的浮选回收不利。

4. 根据矿石性质,要提高银的回收率,除了改善银载体矿物方铅矿的浮选外,还应注意银矿物对浮选条件的要求,尽量使银矿物进入铅精矿、锌精矿,以便在冶炼中综合回收。

5. 由于含银黄铁矿的存在,硫精矿中可能含银,因此在选择选矿工艺时应注意硫精矿中银的综合回收。

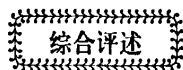
## 参考文献:

- [1] 红钢,张丽彦. 大井锡多金属矿石银的工艺矿物学研究[J]. 矿冶,1997(12):42~48.
- [2] 王庚辰,魏德洲,张凯. 甘肃花牛山铅锌硫化矿中银的工艺矿物学研究[J]. 矿产保护与利用,2005(12):32~35.
- [3] 许志华. 银工艺矿物学进展[J]. 广东有色金属学报,1996(5):7~13.

## Study on the Process Mineralogy of a Silver Ore in Lingqiu of Shanxi

XIE Jian-hong, CUI Chang-zheng, WANG Sen

(Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shanxi, China)



## 钢渣综合利用的高效预处理研究

陈 帮, 夏晓鸥, 罗秀建, 刘方明, 王 旭  
(北京矿冶研究总院机械研究设计所, 北京 100044)

**摘要:**钢渣是炼钢工业的副产品,对其进行综合利用有重要的社会和经济意义。由于预处理水平低下的阻碍,我国钢渣综合利用水平一直不高。本文简介了国内外钢渣利用状况,分析了钢渣预处理的难题,研究和介绍了高效预处理钢渣的方法,并展望了综合利用的前景。

**关键词:**钢渣;综合利用;高效预处理;惯性圆锥破碎机

**中图分类号:**TF254,TD451 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2009)05-0037-04

钢渣是炼钢工业的废渣,世界各国钢铁公司每生产1t粗钢都会排放约0.12t钢渣和0.3t含铁渣及其他废料,钢渣产量为粗钢产量的15%~20%<sup>[1]</sup>。按照粗钢的产量换算,2008年全世界排放钢渣量约1.34~2.1亿t。我国2008年排放钢渣约6357万t,而且还有积存钢渣近1亿t。常规的钢渣处理方法造成了钢渣的大量堆积和弃置,不仅占用土地,而且还污染环境。

### 1 国内外钢渣利用的状况

为了适应钢铁工业发展的需要,国外工业发达国家20世纪初期就开始研究钢渣的利用方法,注重寻求简易可行、利用量大的钢渣利用途径,并已取得显著成果,达到了不同程度消除渣害的目的。这期间,钢渣的主要用途是填海和筑路,旨在解决钢渣堆积问题,而没有试图去发现钢渣的价值。经过多年

钢渣处理技术的发展,越来越多的国家意识到,钢渣不再是单纯的副产品,而是宝贵的资源。特别是20世纪70年代后,工业发达国家面临严重的资源不足和能源缺乏的困境,间接使钢渣的处理和综合利用技术得到了进一步发展,其综合利用率得到迅速提高<sup>[2]</sup>。根据国际权威部门对美、俄、日、英、德、法等二十多个国家最近几年钢渣利用情况的调查和统计结果表明,钢渣利用率最少的为45%,最多的达到100%,但其中十几个国家的钢渣50%用于填海和筑路,而应用在水泥、冶金配料、农业化肥等生产中,仅为31%~50%<sup>[2~3]</sup>。

我国钢渣处理和综合利用发展较晚。20世纪后期,我国对钢渣的综合利用研究的积极性有所提高,但总的利用率相对国外水平还很低。钢渣在烧结、农业化肥、炼铁和水泥生产中的利用量仅为100多万t,钢渣的有效利用率仅为10%,而且大部分钢

**Abstract:** For better comprehensive utilization of mineral resources, the occurrence of the silver minerals in Lingqiu silver ore was studied. The chemical composition of the ore was analyzed. The kinds of main silver-bearing minerals in the ore, their dissemination forms and technological characteristics have been identified, and the ways to increase silver recovery from the ore were proposed. This research work provided important fundamental data for the research of mineral processing technology.

**Key words:** Silver mineral; Process mineralogy; Occurrence

收稿日期:2009-02-25

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAB11B06)

作者简介:陈帮(1979-),男,硕士,主要从事矿山机械开发和应用研究。