

# 西藏多才玛铅锌矿石工艺矿物学研究

思积勇, 李领贵, 张子龙

青海省第五地质勘查院, 青海 西宁 810099

中图分类号: TD91 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2020)01-0105-05  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2020.01.014

**摘要** 为给西藏多才玛铅锌矿详查阶段矿产评价提供依据, 对其进行了详细工艺矿物学研究。研究结果表明: 该矿石含 Pb 为 4.21%、Zn 为 2.81%、银、镉、硒、碲和铊分别为 27 g/t、0.017%、0.002%、0.03%、0.023%, 可进行综合回收利用。铅主要以方铅矿的形式存在, 锌主要以闪锌矿的形式存在。方铅矿、闪锌矿为主要回收目的矿物。铅、锌矿物嵌布关系复杂, 与其他矿物紧密接触, 分离较困难。方铅矿嵌布粒度相对较粗, 有利于选矿回收, 而闪锌矿嵌布粒度较细,  $-0.02\text{ mm}$  粒级以下含量高达 22.07%, 选矿难度大, 需要进行细磨工作, 才能提高回收率。此外, 脉石矿物主要为方解石、石英, 具有易磨碎、易泥化等特点, 将给铅、锌矿物分选带来不利影响。

**关键词** 方铅矿; 闪锌矿; 嵌布粒度; 工艺矿物学

多才玛矿区位于三江北段沱沱河地区, 大地构造位于西藏-三江造山系三江弧盆系中, 属于西南三江成矿带。矿区出露地层主要为二叠纪九十道班组、古近纪沱沱河组, 赋矿层位于断裂构造破碎带中。断裂构造主要为区域断裂带及其附近衍生的平行及走滑断层。岩浆活动微弱, 浅肉红色石英正长斑岩呈岩株状零星分布。该矿床共分为孔莫陇、茶曲怕查和多才玛 3 个矿段<sup>[1-2]</sup>, 其中工作程度最高的孔莫陇矿段已经基本按照  $100\text{ m} \times 80\text{ m}$  勘查网度进行了系统控制, 圈定出铅锌矿体 19 条 (KM1—KM19); 茶曲怕查矿段地表通过探槽控制揭露, 深部有少量钻探工程进行控制, 基本达到普查程度; 多才玛矿段主要是地表圈定少量矿体, 处于预查程度, 2003 年以来地质勘查工作已控制  $332 + 333 + 334$  铅锌金属量 788 万 t, 规模达到超大型。工艺矿物学研究是地质找矿和综合利用重要的技术方法<sup>[3-4]</sup>。对多才玛铅锌矿石进行了详细的工艺矿物学研究, 为多才玛详查阶段矿产评价、矿石的综合利用及选择合理的选矿工艺流程提供基础资料 and 参考。

## 1 矿石基本性质

### 1.1 矿石化学成分及物相结果

多才玛矿区 7~36 勘探线 KM5、KM6、KM10、KM11 等四条主矿体所占资源量的比例基本能代表整个矿床的基本特征, 故本次测试样品选取该四条主矿体中的铅锌混合矿石, 其化学成分及铅锌物相分析结果见表 1、表 2。

表 1 化学多元素分析结果 /%

| Table 1 Chemical multi-element analysis results of raw ore |       |                  |                                |       |       |                  |       |
|------------------------------------------------------------|-------|------------------|--------------------------------|-------|-------|------------------|-------|
| 成分                                                         | Pb    | Zn               | S                              | As    | Ba    | Mn               | Ni    |
| 含量                                                         | 4.21  | 2.81             | 2.64                           | 0.091 | 0.022 | 0.18             | 0.027 |
| 成分                                                         | TFe   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | CaF <sub>2</sub> | Tl    |
| 含量                                                         | 3.29  | 16.43            | 0.45                           | 44.56 | 1.34  | 2.20             | 0.023 |
| 成分                                                         | Se    | Cd               | Te                             | U     | Au    | Ag               | Hg    |
| 含量                                                         | 0.002 | 0.017            | 0.03                           | 6.2   | 0.05  | 27               | 0.07  |

注: U、Au、Ag、Hg 含量单位为 g/t。

收稿日期: 2018-11-17

基金项目: 青海省地质矿产开发局项目 (青地矿地(2018)53 号)

作者简介: 思积勇 (1990-), 男, 青海西宁人, 工程师, 主要从事地质矿产勘查与研究工作, E-mail: sijiyong18@163.com。

由表 1 可知,矿石中铅、锌含量较高,是主回收元素,Pb 为 4.21% ,Zn 为 2.81% ,Ag、Cd、Se、Te、Tl 作为伴生元素可综合回收。此外,矿石中 CaO 含量高达 44.56% ,其他元素含量较低,没有综合利用价值。

表 2 铅锌物相分析结果 /%

Table 2 Phase analysis results of lead and zinc

| 名称 | 铅矾       | 白铅矿   | 方铅矿   | 磷( 砷、钒) 氯铅矿<br>及其他形态铅矿 | 合计     |
|----|----------|-------|-------|------------------------|--------|
| 含量 | 0.038    | 0.24  | 3.91  | 0.039                  | 4.22   |
| 分布 | 0.91     | 5.63  | 92.81 | 0.65                   | 100.00 |
| 名称 | 硫酸锌      | 氧化锌   | 硫化锌   | 其他锌                    | 合计     |
| 含量 | 0.000 25 | 0.096 | 2.69  | 0.009 8                | 2.80   |
| 分布 | 0.01     | 3.42  | 96.22 | 0.35                   | 100.00 |

由表 2 可知,该矿中铅主要以方铅矿的形式存在,其次为白铅矿,其余含量较低。因此,该铅锌矿以方铅矿为主,可以综合回收利用。该矿中锌主要以硫化物的形式存在,其次为氧化锌,其他形态的锌含量较低。因此,该铅锌矿以闪锌矿为主,可以综合回收。

### 1.2 矿石的矿物组成和含量

结合多才玛铅锌矿石的化学分析结果、光(薄)片镜下测定结果等,得出矿石中主要矿物成分的含量,结果见表 3。从表 3 可知,矿石矿物为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿和白铅矿,脉石矿物为方解石、石英。

表 3 矿石中主要矿物的相对含量 /%

Table 3 Relative content of major minerals in ore

| 矿物名称 | 方铅矿 | 闪锌矿 | 黄铁矿 | 白铅矿 | 方解石  | 石英 |
|------|-----|-----|-----|-----|------|----|
| 含量   | 4.7 | 2.9 | 2.8 | 0.5 | 89.1 | 微  |

### 1.3 矿石的结构、构造

矿石的结构、构造种类较多,主要结构、构造见表 4。

### 1.4 矿石类型

该铅锌矿容矿构造为碳酸盐脉,赋矿岩石为石灰岩,矿化作用主要发生于石灰岩的破碎部位。含矿岩石没有经过变质作用的影响,全部岩石保留了原始的结构状态,其中可见生物碎屑、泥晶灰质以及粪球粒等没有受到矿化作用影响的原始结构。石英颗粒只见到极少量的以碎屑存在的颗粒。矿石矿物主要以次生作用形成和低温作用形成的矿物为主,矿床具低温交代成因。根据矿石性质,确定该矿为石灰岩型低温铅锌矿。

表 4 矿石结构、构造

Table 4 Structure and construction of ore

| 结构与构造   | 矿石中的描述                       |
|---------|------------------------------|
| 包含结构    | 矿石中可见方铅矿、闪锌矿和黄铁矿相互包裹,构成包含结构  |
| 胶状结构    | 矿石中可见部分黄铁矿具有胶状结构             |
| 海绵陨铁结构  | 矿石中可见部分黄铁矿沿脉石矿物边缘分布,构成海绵陨铁结构 |
| 自形半自形结构 | 矿石中部分方铅矿结晶较好,晶形完整,构成自形半自形结构  |
| 他形粒状结构  | 闪锌矿等矿物晶形较差,呈他形粒状结构           |
| 块状构造    | 矿石中生物碎屑灰岩层理很厚,具有块状构造         |
| 脉状构造    | 部分矿石中方铅矿、部分方解石呈脉状分布,构成脉状构造   |
| 团窝状构造   | 部分矿石中部分方铅矿和闪锌矿呈团窝状分布,构成团窝状构造 |
| 浸染状构造   | 部分矿石中闪锌矿、方铅矿等呈浸染状分布,构成浸染状构造  |

## 2 主要有用矿物的嵌布粒度

方铅矿、闪锌矿等主要有用矿物的粒度特征直接影响铅锌选矿工艺流程及选别回收指标。主要有用矿物原生粒度统计结果见表 5。

表 5 主要有用矿物原生粒度统计结果

Table 5 Statistical results of primary grain size of valuable minerals

| 粒度/mm        | 方铅矿   |        | 闪锌矿   |        |
|--------------|-------|--------|-------|--------|
|              | 分布率/% | 累计/%   | 分布率/% | 累计/%   |
| +0.1         | 38.16 | 39.66  | 4.14  | 4.14   |
| -0.1+0.075   | 23.88 | 62.04  | 11.03 | 15.17  |
| -0.075+0.048 | 20.41 | 82.45  | 33.79 | 48.96  |
| -0.048+0.02  | 11.43 | 93.88  | 28.97 | 77.93  |
| -0.02        | 6.12  | 100.00 | 22.07 | 100.00 |

从表 5 可以看出,方铅矿比闪锌矿产出粒度较粗,在 +0.1 mm 粒级中,闪锌矿分布率只有 4.14% ,而方铅矿则高达粒度 38.16% 。在 -0.075 +0.048 mm 粒级中,闪锌矿分布率为 33.79% ,方铅矿分布率为 20.41% 。显然,对粗粒级方铅矿和闪锌矿的回收,可以提高铅、锌的回收指标。闪锌矿 -0.02 mm 粒级以下达到 22.07% ,这部分闪锌矿粒度极细,不利于铅、锌选矿分离,需要进行细磨工作,才能提高回收率。

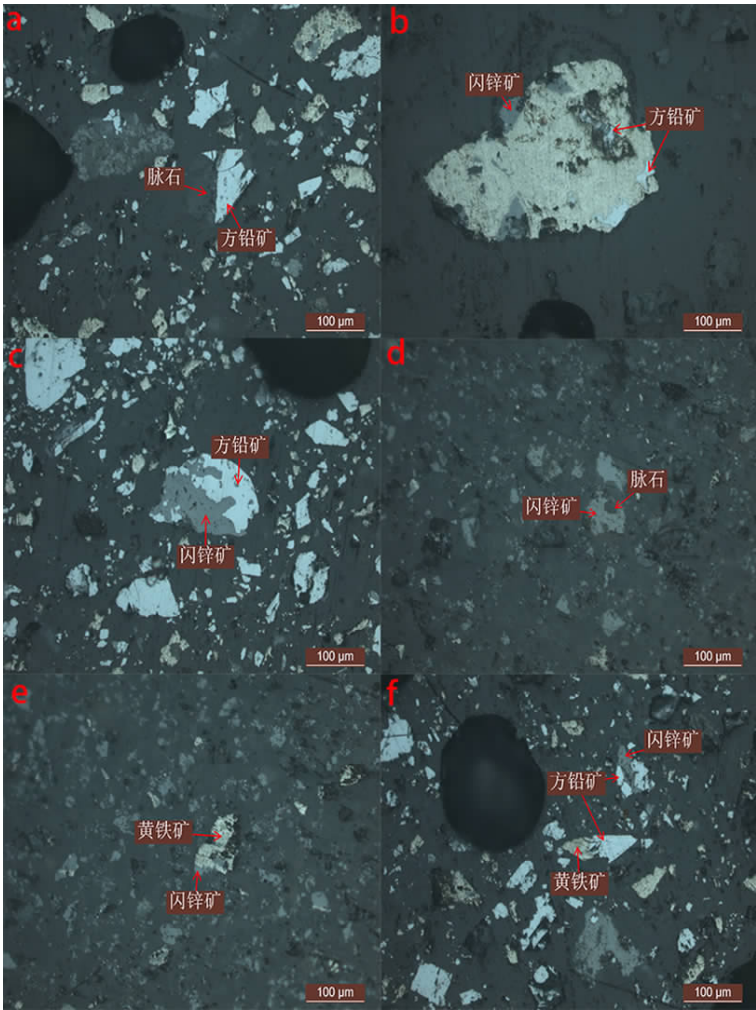
## 3 主要矿物的工艺矿物学特征

### 3.1 方铅矿

方铅矿在矿物中平均含量为 4.7% 。矿石中方铅矿多呈团块状集合体,且单独出现,团块状方铅矿常与白铅矿发生交代作用(图 1a),其中方铅矿颗粒粒径

大于 0.1 mm;分布于透明矿物团块之间的方铅矿,多出现于石英和泥晶灰质之间的接触带上,方铅矿全部成单独的颗粒,呈稀疏浸染状分布;少数方铅矿交代闪锌矿,呈它形粒状、星散浸染状、团块状分布(图 1b);也常见粗粒方铅矿包含黄铁矿,其次分布于黄铁矿颗粒之间;方铅矿以星散浸染状产出,一般不易与

透明矿物解离;也常见方铅矿出现于裂隙的中间,以细脉状产出,与胶状闪锌矿、黄铁矿共同充填含矿岩石的裂隙,而且没有对透明矿物进行改造,也没有引起胶状闪锌矿的重结晶。方铅矿矿物赋存状态简单,在选矿过程中方铅矿易于单体解离。根据电子探针分析结果(表 6)可知,该矿石中铅以方铅矿的形式存在。



a. 方铅矿呈团块状集合体嵌布在脉石中;b. 方铅矿交代闪锌矿,呈团块状分布;c. 闪锌矿与方铅矿呈交代结构产出;d. 闪锌矿充填在脉石矿物的裂隙中;e. 黄铁矿与闪锌矿嵌布在脉石矿物中;f. 黄铁矿与方铅矿、闪锌矿呈连生关系,呈它形粒状

图 1 主要矿物嵌布特征

Fig. 1 Dissemination characteristics of primary mineral

表 6 铅矿物电子探针分析结果<sup>[5-6]</sup> /%

Table 6 Electron probe analysis results of lead

| 点分析    | Pb     | S      | Fe    |
|--------|--------|--------|-------|
| Point1 | 85.684 | 12.112 | 0.047 |
| Point2 | 84.566 | 13.470 | 0.037 |
| Point3 | 86.065 | 13.602 | 0.039 |
| Point4 | 86.504 | 13.560 | 0.025 |
| Point5 | 87.518 | 13.584 | 0.071 |
| 平均     | 86.067 | 13.266 | 0.044 |

3.2 闪锌矿

闪锌矿在矿物中平均含量为 2.9%。矿石中闪锌矿多呈它形晶粒状、条带状以及胶状分布。矿石中的闪锌矿主要以次生结构为主,颗粒粒径较细,部分以胶体形式出现,充填裂隙而且形成比方铅矿早。闪锌矿与方铅矿发生交代作用,呈它形粒状、团块状分布(图 1c);常见闪锌矿充填在脉石矿物的裂隙中(图

1d),大部分为重结晶形成的微细粒颗粒,颗粒状闪锌矿粒径在 0.02 ~ 0.075 mm 之间,可见部分重结晶形成的闪锌矿颗粒粒径小于 0.01 mm,这些结构的闪锌矿由于颗粒粒径十分细小,部分闪锌矿具有胶状结构,闪锌矿多与方铅矿、黄铁矿互相胶着包裹在一起。闪锌矿赋存状态复杂,较难单体解离,其复杂结构影响回收率。根据电子探针分析结果(表 7)可知,该矿石中锌以闪锌矿为主,在闪锌矿中稀散元素硒有一定的富集。

表 7 锌矿物电子探针分析结果<sup>[5-6]</sup> /%

| Table 7 Electron probe analysis results of zinc |        |        |       |
|-------------------------------------------------|--------|--------|-------|
| 点分析                                             | Zn     | S      | Se    |
| Point1                                          | 64.334 | 31.955 | 0.002 |
| Point2                                          | 65.018 | 32.103 | 0.012 |
| Point3                                          | 65.543 | 32.169 | 0.005 |
| Point4                                          | 66.118 | 31.979 | 0.000 |
| Point5                                          | 65.575 | 32.001 | 0.024 |
| 平均                                              | 65.318 | 32.041 | 0.009 |

3.3 黄铁矿

黄铁矿在矿物中平均含量为 2.8%。在矿石中黄铁矿以团块状和稀疏浸染状为主。也常见团块状黄铁矿、交代裂隙的它形粒状黄铁矿以及稀疏浸染状黄铁矿与方铅矿、闪锌矿呈连生关系。黄铁矿的嵌布特征比较复杂,也可以分为三个不同嵌布方式:一种为独立分布的半自形黄铁矿,粒度比较粗,在矿石中与闪锌矿呈星散状分布(图 1e)。第二种为充填裂隙的黄铁矿,分布于含矿岩石的裂隙中,形成了黄铁矿脉。第三种为与方铅矿、闪锌矿伴生的黄铁矿,其中可见极少量的磁黄铁矿化,黄铁矿以它形粒状为主,与方铅矿、闪锌矿呈连生关系(图 1f),彼此紧密包裹在一起,解离难度大,对铅锌选矿存在不利影响。根据电子探针分析结果(表 8)可知,该矿石中黄铁矿含有一定量的砷。

表 8 黄铁矿电子探针分析结果<sup>[5-6]</sup> /%

| Table 8 Electron probe analysis results of pyrite |        |        |       |
|---------------------------------------------------|--------|--------|-------|
| 点分析                                               | Fe     | S      | As    |
| Point1                                            | 35.984 | 51.891 | 4.187 |
| Point2                                            | 37.017 | 48.348 | 6.578 |
| Point3                                            | 37.574 | 49.538 | 4.823 |
| Point4                                            | 40.310 | 52.049 | 3.535 |
| Point5                                            | 38.493 | 50.326 | 3.884 |
| 平均                                                | 37.876 | 50.430 | 4.601 |

3.4 其他金属矿物

白铅矿在矿物中平均含量为 0.5%。主要以方铅矿的次生矿物形式出现在方铅矿团块的边缘,白铅矿

交代方铅矿作为方铅矿的交代镶边,这一类白铅矿粒度一般小于 0.048 mm,全部和方铅矿有直接的接触关系。在选矿过程中极易与方铅矿呈连生体选出,粒度细小,解离难度大。

从闪锌矿的结构特征看,可能存在少量的菱锌矿,虽然镜下未见,但是常与白铅矿等次生氧化物物密切共生,单体解离困难。

3.5 脉石矿物

该矿中脉石矿物结构复杂但种类简单,只有方解石和石英。

方解石在矿物平均含量中占 89.1%,在岩石中主要以泥晶灰质和生物碎屑、生物遗迹的形式出现,也可见次生作用形成的粗粒集合体。方解石和成矿的关系极为密切,铅锌矿化作用主要以交代方解石,没有改变原岩的结构。在泥晶灰质角砾间隙及粗粒集合体的裂隙中,往往存在白铅矿或者菱锌矿充填,这就增加了回收铅锌的难度。此外,矿石中 CaO 含量高达 44.56%,对方铅矿、闪锌矿有抑制作用,导致铅锌金属更难于回收。

石英在矿物平均含量中极少,仅呈碎屑的形式出现,但也不排除局部高含量的可能,石英颗粒大部分以单晶颗粒为主。此外,石英颗粒间存在少量细粒方铅矿和闪锌矿嵌布,由于细粒矿物解离困难,影响方铅矿、闪锌矿的分离和回收。

4 结论

(1)该矿石的容矿岩石为碳酸盐岩;矿石类型以方铅矿、闪锌矿、黄铁矿为主要金属矿物组合,矿石矿物主要为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿及少量白铅矿,脉石矿物主要为方解石和石英。矿石中铅赋存在方铅矿中,锌赋存在闪锌矿中。Pb 含量为 4.21%,Zn 含量为 2.81%,银含量为 27 g/t。该矿中可回收成分为铅、锌,此外,银、镉、硒、碲和铊可综合回收利用。

(2)矿石中的方铅矿、闪锌矿和黄铁矿三者共同充填含矿岩石的裂隙,没有对透明矿物进行改造,证明了方铅矿的形成温度比较低。方铅矿一般出现在岩石裂隙的中间位置,证明了充填时间晚于胶状闪锌矿,而且没有引起胶状闪锌矿的重结晶,证明了充填温度比较低。黄铁矿的赋存状态为团块状、交代裂隙的它形粒状及稀疏浸染状,从其结构及透明矿物被黄铁矿包裹含量较多等特征,判断黄铁矿的形成温度比较低。该矿石中的方解石和石英,没有蚀变且结构复杂,也是反映低温成矿的标志。结合矿石的结构构造特征,该矿为石灰岩型低温铅锌矿石。

(3)该矿中矿物嵌布关系复杂,嵌布粒度分布广泛而不均匀,对粗粒级方铅矿和闪锌矿的回收,可以提高铅、锌的回收指标。闪锌矿赋存状态复杂,较难单体解离,其复杂结构影响回收率。此外,闪锌矿 0.02 mm 粒级以下达到 22.07%,粒度极细,不利于铅、锌选矿分离,需要进行细磨工作,才能提高回收率。方铅矿、闪锌矿、黄铁矿和脉石矿物多呈连体共生关系,矿物分离困难,而且脉石矿物为方解石,极易磨碎,泥化现象严重,这些因素对提高选矿指标有不利影响。

## Study on Process Mineralogy of Duocaima Lead – zinc Ore in Tibet

SI Jiyong, LI Linggui, ZHANG Zilong

*Fifth Exploration Institute of Geology in Qinghai Province, Xining 810099, China*

**Abstract:** In order to provide the basis for the mineral evaluation in the detailed investigation stage of the Tibet – Taicangma lead – zinc mine, a detailed process mineralogy study was conducted. The results show that the ore contains 4.2% Pb and 2.81% Zn. The silver, cadmium, selenium, tellurium and strontium are 27 g/t, 0.017% , 0.002% , 0.03% and 0.023% , respectively, which can be comprehensively recycled. Lead exists mainly in the form of galena, and zinc mainly exists in the form of sphalerite. Galena, sphalerite for the comprehensive recovery of minerals. The relationship between lead and zinc minerals is complex and it is in close contact with other minerals. Separation is difficult. The galena inlay grain size is relatively coarse, which is conducive to beneficiation and recovery. The grain size of the sphalerite inlay is fine, and the content below –0.02 mm is as high as 22.07% . It is difficult to be ore dressing and fine grinding work is needed to increase the recovery rate. In addition, gangue minerals are mostly mud – crystal – gray minerals, which are characterized by easy grinding and easy argillization, which will adversely affect the separation of lead and zinc minerals.

**Key words:** galena; sphalerite; disseminated grain size; process mineralogy

### 参考文献:

[1] 李领贵,郭海明. 青海省沱沱河地区多才玛铅锌矿床成矿规律及找矿标志[J]. 有色金属(矿山部分), 2016, 68(1): 40 – 43

[2] 刘长征,苗国文,张勤山,等. 三江北段成矿带区域化探工作进展及主要成果[J]. 现代矿业, 2016(7): 150 – 155.

[3] 周满康. 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.

[4] 李琳清,应永朋,熊馨,等. 青海榴辉岩型金红石矿工艺矿物学研究[J]. 矿产综合利用, 2017(4): 87 – 89, 97.

[5] 孙晓华. 多才玛铅锌矿选矿流程试验报告[R]. 西宁:青海省地质矿产测试应用中心, 2014.

[6] 杨晓文,孙晓华,贾宗勇,等. 青海某低品位铅锌矿工艺矿物学研究[J]. 矿产保护与利用, 2014(5): 39 – 42.

引用格式:思积勇,李领贵,张子龙. 西藏多才玛铅锌矿石工艺矿物学研究[J]. 矿产保护与利用, 2020, 40(1): 105 – 109.

Si JY, Li LG and Zhang ZL. Study on process mineralogy of duocaima lead – zinc ore in Tibet[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2020, 40(1): 105 – 109.