



河北承德某难选铅锌矿工艺矿物学研究及影响浮选因素分析

秦广林

(山东黄金矿业科技有限公司选冶实验室分公司, 山东 烟台 261411)

摘要: 本研究通过荧光光谱分析和化学多元素分析, 通过对河北某难选铅锌矿开展工艺矿物学研究, 查明了矿石的矿物组成、主要矿物嵌布特征等信息。研究结果表明, 样品中铅含量为 1.07%, 铅矿物主要赋存在方铅矿中, 占比为 85.85%。锌含量为 2.08%, 锌矿物主要赋存在闪锌矿中, 占比为 66.06%, 氧化锌矿占 22.43%; 方铅矿主要与闪锌矿、黄铁矿共生, 呈港湾状、锯齿状、蚕食状等, 局部交代强烈。闪锌矿以不规则他形晶粒状结构为主, 少量呈脉状结构嵌布, 呈浸染状分布。通过分析, 原矿铅矿物嵌布粒度偏细且与闪锌矿物连生关系复杂, 使铅精矿含锌较高, 锌氧化率高使尾矿锌含量偏高, 锌回收率较低。

关键词: 铅锌矿; 工艺矿物学; 方铅矿; 闪锌矿; 选矿工艺

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.04.014

中图分类号: TD913 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2024)04-0099-05

引用格式: 秦广林. 河北承德某难选铅锌矿工艺矿物学研究及影响浮选因素分析[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(4): 99-103.

QIN Guanglin. Research on process mineralogy of a refractory lead-zinc ore in chengde, hebei and analysis of factors affecting flotation[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(4): 99-103.

我国铅锌矿资源储量丰富, 分布广泛, 总储量约占全世界的 24%^[1-4]。我国既是铅锌开采、冶炼大国, 同时也是消费大国。随着对铅锌需求量的不断增长和资源的不断开发, 铅锌矿资源日益贫化, 难开采矿石资源日益增多。所以, 对矿石样品开展工艺矿物学分析, 从而为选矿工艺提供可靠的理论依据非常必要^[5-7]。

1 化学组成

原矿荧光光谱分析结果见表 1。原矿光谱分析结果显示: 主要的组成元素是 O、Si、Al、K, 以及 Ca、S、Fe 等, 有价金属为 Pb、Zn^[8-9]。

2 矿物组成

矿石中主要金属矿物为黄铁矿、闪锌矿、方铅矿; 脉石矿物主要有石英、绢(白)云母、粘土矿物, 其次有白云石、方解石, 少量尖晶石、

金红石、电气石等, 主要矿物及含量见表 2^[9]。

表 1 原矿荧光光谱分析结果/%

Table 1 Fluorescence spectrum analysis results of the raw ore

O	Na	Mg	Al	Si	P	S
46.3	0.976	0.628	9.081	26.54	0.05	2.20
Cd	K	Ca	Ti	Nb	Mn	Fe
0.011	4.956	1.38	0.23	0.002	1.25	2.359
Cu	Zn	Rb	Zr	Ba	Pb	
0.088 4	2.24	0.033 9	0.024	0.08	1.149	

3 矿石结构构造

矿石构造主要有浸染状构造及细脉状构造^[10]。

(1) 浸染状构造

矿石中主要的金属硫化物黄铁矿、闪锌矿、方铅矿呈星点状形态浸染分布于矿石中。

(2) 细脉状构造

局部见黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿等

收稿日期: 2022-03-12

作者简介: 秦广林(1983-), 男, 高级工程师, 从事选冶技术研发管理方面的工作。

表 2 原矿主要矿物组成及其相对含量
Table 2 Main mineral composition and relative content of the raw ore

金属矿物	含量/%	非金属矿物	含量/%
黄铁矿	5.04	毒砂	0.18
闪锌矿	2.08	石英	44.80
菱锌矿	0.97	绢(白)云母	18.80
方铅矿	1.06	粘土矿物	16.70
铅矾	0.12	白云石	2.20
黄铜矿	0.20	长石	2.00
赤铁矿	1.20	方解石	0.60
褐铁矿	0.81	其他	2.00
软锰矿	1.24		

硫化物集合体沿矿石裂隙分布，呈细脉状形态。

矿石结构有他形晶粒状结构、半自形晶粒状结构、浸蚀结构、交代残余结构、包含结构、乳浊状结构等。分述如下：

(1) 他形晶粒状结构

大多数的金属矿物如闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、铜蓝，部分黄铁矿等呈不规则粒状，不具完好晶面，构成他形晶粒状结构。

(2) 半自形晶粒状结构

少部分的金属矿物（方铅矿、闪锌矿等），晶面部分完好，结构为半自形晶粒状结构。

(3) 浸蚀结构

常见方铅矿对闪锌矿、黄铁矿进行交代，矿物间的接触界线不平整，呈港湾状、锯齿状、蚕食状等，构成浸蚀结构。

(4) 交代残余结构

见黄铁矿呈孤岛状、微粒状残存于闪锌矿、方铅矿或它们的集合体中，呈交代残余结构。闪锌矿呈粒状残存于方铅矿中。

(5) 包含结构

闪锌矿和黄铁矿有互含现象，闪锌矿中可见包含细粒黄铁矿，黄铁矿中也可见包含闪锌矿；闪锌矿中还常见包裹方铅矿。

(6) 乳浊状包含结构

闪锌矿中包含乳浊状的黄铜矿，这种现象普遍存在。

4 主要矿物嵌布特征

4.1 黄铁矿 FeS₂

黄铁矿主要嵌布于脉石中，部分呈半自形晶粒状形态；其次与闪锌矿、方铅矿接触共生，被方铅矿、闪锌矿包裹。同时，黄铁矿包裹闪锌矿、方铅矿；少量黄铁矿周边有黄铜矿共生。黄

铁矿与其他矿物共生关系见图 1~4。

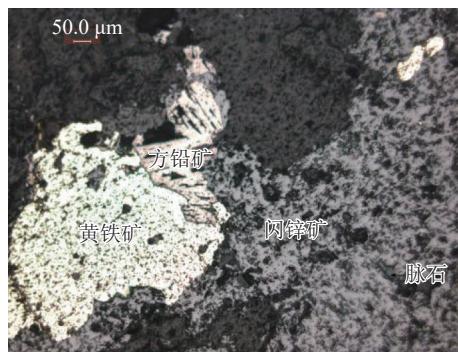


图 1 方铅矿与黄铁矿闪锌矿共生
Fig.1 Galena metasomatic pyrite sphalerite

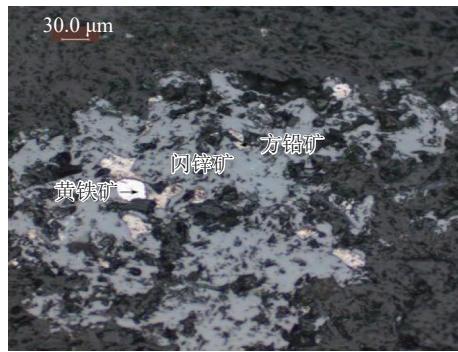


图 2 闪锌矿包裹方铅矿
Fig.2 Sphalerite wrapping galena

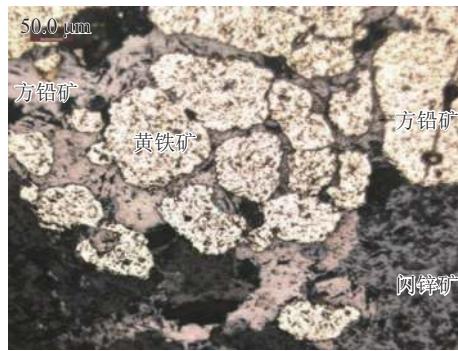


图 3 方铅矿与黄铁矿交代连生
Fig.3 Consecutive metasomatism of galena and pyrite

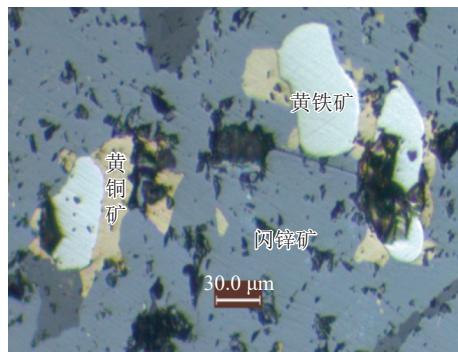


图 4 黄铜矿沿黄铁矿周边交代
Fig.4 Metasomatism of galena and pyrite

总体来说，黄铁矿的嵌布粒度属中粒嵌布，主要在0.1~1.0 mm间，嵌布粒度统计见表3。

表3 黄铁矿嵌布粒度统计

粒级范围/mm	分布率/%	累计/%
+1.0	16.10	16.10
-1.0+0.5	12.90	29.00
-0.5+0.294	23.50	52.50
-0.294+0.152	20.30	72.80
-0.152+0.074	16.70	89.50
-0.074+0.037	7.40	96.90
-0.037+0.019	2.60	99.50
-0.019	0.50	100.00

注：统计方法为随机线测

4.2 闪锌矿 ZnS

闪锌矿在矿石中呈浸染状分布。除呈不规则粒状嵌布于脉石中外，闪锌矿主要与黄铁矿、方铅矿共生，闪锌矿包裹黄铁矿，或嵌布于黄铁矿裂隙中；闪锌矿被方铅矿共生，接触线呈港湾状、蚕食状等，或包裹于方铅矿中；同时可见闪锌矿包裹细颗粒方铅矿、闪锌矿包裹乳浊状黄铜矿。闪锌矿与其他矿物共生关系见图5、6。

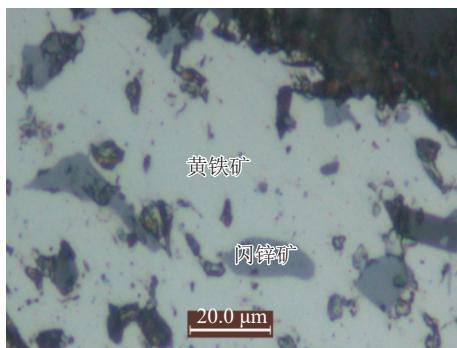


图5 黄铁矿包裹闪锌矿
Fig.5 Pyrite wrapped sphalerite

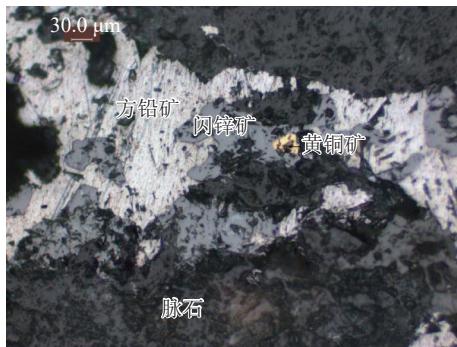


图6 方铅矿交代闪锌矿
Fig.6 Galena replacing sphalerite

总体来说，闪锌矿属于中粒嵌布，粒度在0.05~

0.5 mm之间。闪锌矿嵌布粒度统计见表4。

表4 闪锌矿嵌布粒度统计

粒级范围 /mm	分布率/%	累 计/%
+1.0	9.90	9.90
-1.0+0.5	7.30	17.20
-0.5+0.294	21.90	39.10
-0.294+0.152	15.50	54.60
-0.152+0.074	23.00	77.60
-0.074+0.037	13.40	91.00
-0.037+0.019	6.80	97.80
-0.019	2.20	100.00

注：统计方法为随机线测

4.3 方铅矿 PbS

方铅矿主要与闪锌矿、黄铁矿共生，接触界线弯曲，接触线主要为港湾状、锯齿状、蚕食状等。闪锌矿、黄铁矿嵌布于方铅矿中。部分方铅矿呈细小颗粒状嵌布于闪锌矿、黄铁矿或脉石中。方铅矿嵌布粒度较细，主要在0.03~0.3 mm间。方铅矿与其他矿物共生关系见图7、8。方铅矿嵌布粒度统计见表5。

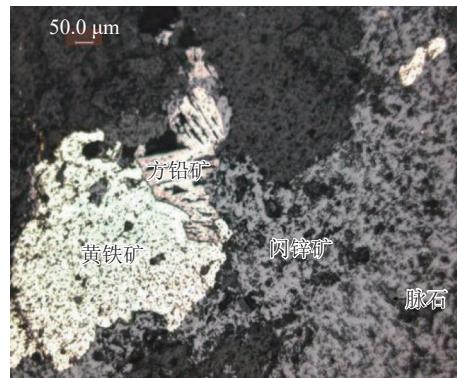


图7 方铅矿交代黄铁矿、闪锌矿
Fig.7 Replacement of pyrite and sphalerite with galena

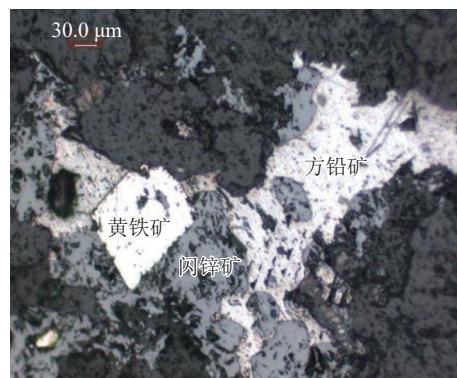


图8 方铅矿交代闪锌矿、黄铁矿
Fig.8 galena replacement of sphalerite and pyrite

表 5 方铅矿嵌布粒度统计 Table 5 Statistics of the embedded particle size of galena		
粒级/mm	分布率/%	累计/%
+0.5	5.10	5.10
-0.5+0.294	11.60	16.70
-0.294+0.152	18.50	35.20
-0.152+0.074	26.90	62.10
-0.074+0.037	20.40	82.50
-0.037+0.019	14.10	96.60
-0.019	3.40	100.00

注：统计方法为随机线测

4.4 黄铜矿 CuFeS₂

黄铜矿在矿石中的相对含量较少，主要呈乳浊状嵌布于闪锌矿中，也有部分呈他形粒状、短脉状嵌布于黄铁矿内部或周围。

4.5 脉石矿物

脉石矿物主要有石英、绢云母、粘土矿物及少量的白云石、方解石、绿泥石、萤石、电气石等。

石英是原矿中最主要的脉石矿物，其相对含量约为 44.8%。呈他形粒状集合体，与硫化物紧密共生，胶结硫化物。

鳞片状绢云母呈集合体分布，由长石蚀变而来，散布于硫化物粒间。

粘土矿物以高岭石为主，与绢云母、石英等分布于各矿石中，是原矿中长石风化蚀变的产物。

5 Pb 物相分析

实验样品铅物相分析结果见表 6。

表 6 原矿铅化学物相分析结果/%
Table 6 Results of chemical phase analysis of the lead raw ore

铅相态	Pb含量/%	Pb分布/%	锌相态	Zn含量/%	Zn分布/%
硫酸铅	0.08	7.55	硫酸锌	迹痕	—
氧化铅	0.04	3.77	氧化锌	0.55	24.23
硫化铅	0.91	85.85	硫化锌	1.52	66.96
铅铁矾等	0.03	2.83	锌铁尖晶石等	0.20	8.81
总铅	1.06	100.00	总锌	2.27	100.00

注：试样研磨至-0.074 mm 100%下分析

由表 6 知，样品中铅主要赋存于方铅矿中，占总铅的 85.85%。氧化铅中的铅占总铅的 3.77%；硫酸铅中的铅占总铅的 7.55%；铅铁矾类的铅占 2.83%。锌主要赋存于硫化物闪锌矿中，占总锌的 66.96%，其次赋存于氧化锌、锌铁尖晶石中，占

33.04%，锌氧化率较高

6 影响选矿的主要矿物学因素

(1) 原矿铅矿物嵌布粒度偏细且与闪锌矿物连生关系复杂，界线多呈港湾状、蚕食状等，磨矿过程中难以单体解离，不利于铅锌分离，导致铅精矿含锌较高。

(2) 原矿中含一定量的铜矿物，铅浮选过程中随铅矿物一起上浮进入铅精矿中，是导致铅精矿品位难以提高的原因之一，且该矿由于铅矿物嵌布粒度较细，细粒级铅矿物难以抑制，铜铅分离难度大。

(3) 样品中含有较多粘土矿物和氧化锌矿物等极易泥化矿物，造成浮选矿浆粘度大，从而导致铅锌矿物上浮速度变慢，进一步影响了铅锌分离的选矿指标。

(4) 原矿铅锌氧化率高，其中锌氧化率高达 33.04%，导致尾矿锌含量偏高，锌回收率较低。

7 结 论

(1) 河北承德某难选铅锌矿铅、锌合计品位 3.15%。矿石中主要的有价矿物为闪锌矿、方铅矿，脉石矿物主要有石英、绢（白）云母、粘土矿物。

(2) 矿石中闪锌矿中粒嵌布，与方铅矿、黄铜矿共生关系紧密；方铅矿主要与闪锌矿、黄铁矿共生。主要金属矿物、金属矿物与脉石矿物接触界线呈港湾状、锯齿状、蚕食状等。

(3) 样品中，铅矿物嵌布粒度偏细且与闪锌矿物连生关系复杂，磨矿过程中难以单体解离，不利于铅锌分离，锌氧化率高，使锌回收率降低；样品中的铜矿物，浮选过程中进入铅精矿，使铅精矿品位难以提高；样品中含大量绢云母，使浮选矿浆粘度大，影响了铅锌分离的选矿指标。

参考文献：

- [1] 赵玉卿, 应用朋, 熊艳, 等. BPMA 在某低品位铌钽矿工艺矿物学研究中的应用 [J]. 矿产综合利用, 2021(5):129-134.
ZHAO Y Q, YING Y P, XIONG Y, et al. Application of BPMA in process mineralogy of a low-grade Nb-Ta Ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(5):129-134.

- [2] 胡永兴,宿虎,张红斌,等.工艺矿物学研究在甘肃某铷矿应用[J].*矿产综合利用*,2021(5):135-138.
HU Y X, SU H, ZHANG H B, et al. Application of process minerals research in a rubidium mine in Gansu Province[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(5):135-138.
- [3] 罗先平,何坤忠,周贺鹏,等.青海夏乌日塔铜铅锌多金属矿工艺矿物学特征及浮选原则工艺的确定[J].金属矿山,2022(4):122-129.
LUO X P, HE K Z, ZHOU H P, et al. Process mineralogical characteristics and determination of flotation principle process of Xiawurita copper-lead-zinc mult-metal ore in Qinghai[J]. Metal mine, 2022(4):122-129.
- [4] 杨德明,李飞,邢晴晴,等.青海省五龙沟金矿原矿工艺矿物学研究[J].*矿治*,2021(4):140-146.
YANG D M, LI F, XING Q Q, et al. Mineralogy research on gold mine in Wulonggou, Qinghai Province[J]. *Mining and metallurgy*, 2021(4):140-146.
- [5] 陈艳波,李光胜,朱幸福.低毒环保药剂药效考察试验技术优化[J].*山东化工*,2021, 50(18):143-144.
CHEN Y B, LI G S, ZHU X F. Optimization of test technology for tfficacy in testigation of low toxic Invironmental lrotection lgents[J]. *Shandong Chemical Industry*, 2021, 50(18):143-144.
- [6] 朱一民.2020年浮选药剂的进展[J].*矿产综合利用*,2021(2):102-118.
ZHU Y M. Development of flotation reagent in 2020[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(2):102-118.
- [7] 龙会友.铅锌矿的选矿技术研究及工业应用的相关探讨[J].*世界有色金属*,2018(19):63-65.
LONG H Y. Research on beneficiation technology and industrial application of lead-zinc ore[J]. *World Nonferrous Metals*, 2018(19):63-65
- [8] 王伟之,李学军,陈丽平.辽宁某铜铅锌多金属硫化矿工艺矿物学研[J].*金属矿山*,2014(2):83-86.
WANG W Z, LI X J, CHEN L P. Study on process mineralogy of a copper lead zinc polymetallic sulfide ore in Liaoning[J]. Metal Mines, 2014(2):83-86.
- [9] 孙若凡,刘丹,杜钰,等.黄铜矿、方铅矿分离研究现状及进展[J].*矿产综合利用*,2021(4):80-86.
SUN R F, LIU D, DU Y, et al. Research status and development of separation of chalcopyrite and galena[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2021(4):80-86.
- [10] 黄晟,吕兵超,廖银英,等.某含金多金属矿尼尔森重选实验研究[J].*矿产综合利用*,2019(2):51-56.
HUANG S, LYU B C, LIAO Y Y, et al. Study on nelson gravity separation of a polymetallic ore bearing gold[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2019(2):51-56.

Research on Process Mineralogy of a Refractory Lead-zinc Ore in Chengde, Hebei and Analysis of Factors Affecting Flotation

QIN Guanglin

(Beneficiation and Metallurgy Laboratory Branch of Shandong Gold Mining Technology Co., Ltd., Yantai 261411, Shandong, China)

Abstract: Based on fluorescence spectrum analysis and chemical multi-element analysis, through the process mineralogy study of a refractory lead-zinc mine in Hebei, the mineral composition, structure, main mineral embedding characteristics of the ore and the occurrence state of lead-zinc were found out. The results show that the lead content in the ore is 1.07%, and the lead minerals mainly exist in galena, accounting for 85.85%. The content of zinc is 2.08%. Zinc minerals mainly exist in sphalerite, accounting for 66.06%, and zinc oxide ore accounts for 22.43%. Galena is mainly embedded in contact with sphalerite and pyrite and metasomatized sphalerite and pyrite. The contact boundary is uneven, in harbor shape, sawtooth shape, nibbling shape, etc., with strong local metasomatism. Sphalerite is mainly in irregular heteromorphic grain structure, and a small amount is embedded in vein structure, which is distributed in disseminated shape in the ore. Through analysis, the embedded particle size of lead minerals in the raw ore is too fine and the continuous relationship with zinc flash minerals is complex, resulting in high zinc content in lead concentrate, high zinc oxidation rate, high zinc content in tailings and low zinc recovery rate.

Keywords: Lead zinc ore; Research on process mineralogy; Galena; Sphalerite; Mineral processing