

doi: 10.3969/j.issn.1005-7854.2020.06.020

内蒙某含锌矿石的工艺矿物学研究

李光胜 张文平

(山东黄金矿业科技有限公司 选冶实验室分公司, 山东 烟台 261441)

摘 要: 为了探索内蒙某锌矿石的工艺矿物学特性, 对该矿石开展了系统的工艺矿物学分析。结果表明, 该矿石含锌 8.25%, 其中矿石中硫化锌中的锌占 40.12%, 碳酸锌中的锌占 49.09%, 硅酸锌中的锌占 8.37%, 其它部分锌含量为 2.42%; 矿石中的主要锌矿物有菱锌矿、闪锌矿(含铁闪锌矿)、异极矿; 另有黄铁矿、磁黄铁矿、褐铁矿、赤铁矿、磁铁矿等铁矿物, 方铅矿、白铅矿、铅硬锰矿等铅矿物, 微量的黄铜矿和赤铜矿等铜矿物; 脉石矿物主要由石英、方解石、重晶石、天青石和少量或微量的云母(绢云母、黑云母等)、长石(钾长石、钠长石、斜长石等)、黏土矿物、辉石、闪石、绿泥石等组成。研究结果可为该矿石资源的开发提供参考。

关键词: 锌矿石; 工艺矿物学; 浮选工艺

中图分类号: TD952

文献标志码: A

文章编号: 1005-7854(2020)06-0104-06

Study on process mineralogy of a zinc ore in Inner Mongolia

LI Guang-sheng ZHANG Wen-ping

(Metallurgical Laboratory Branch of Shandong Gold Mining Technology Co. Ltd., Yantai 261441, Shandong, China)

Abstract: In order to explore the technological mineralogical characteristics of a zinc ore in Inner Mongolia, a systematic technological mineralogical analysis was carried out on the ore. The results show that the ore contains 8.25% zinc, including 40.12% zinc sulfide, 49.09% zinc carbonate, 8.37% zinc silicate and 2.42% zinc in other parts. The main zinc minerals in the ore include siderite, sphalerite(iron-containing sphalerite), and hemimorphite. There are iron minerals such as pyrite, pyrrhotite, limonite, hematite, magnetite, lead minerals such as galena, white lead, and hard manganese, trace chalcopyrite and hematite and other copper minerals. Gangue minerals are mainly quartz, calcite, barite, celestite and a small or trace amount of mica(sericite, biotite, etc.), feldspar(potash feldspar, albite, plagioclase, etc.), clay minerals, pyroxene, amphibole, chlorite, etc. The research results can provide a reference for the development of the ore resources.

Key words: zinc ore; process mineralogy; flotation process

我国的金属锌矿产资源比较丰富, 但是随着当前矿产资源开采难度的逐渐增加, 工艺矿物学在矿产资源开发过程中的重要作用日益显著^[1-4]。通过工艺矿物学分析可得知矿石的性质特点及目标元素的赋存状态, 查明影响选冶指标的主要因素, 结果

可为矿产资源的有序开发和选冶指标的深度优化提供重要的参考依据^[5-8]。为了比较全面地了解内蒙古某锌矿石的工艺矿物学参数信息, 为后续该矿产资源的高效、梯度开发打好基础, 特对该矿石开展了系统的工艺矿物学研究。

1 矿石性质

矿石的主要化学成分见表 1。锌的化学物相见表 2。由表 1 可知, 该矿石中锌含量为 8.25%, 具有较高的回收价值。

收稿日期: 2020-08-14

基金项目: 矿冶过程自动控制技术国家(北京市)重点实验室开放基金项目(BGRIMM-KZSKL-2019-01)

第一作者: 李光胜, 高级工程师, 主要从事复杂多金属矿分选及工艺矿物学检测分析研究。

通信作者: 张文平, 高级工程师; E-mail: 365206131@qq.com

表 1 矿石的主要化学成分

Table 1 Main chemical compositions of ore													/%
成分	C	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Pb	Ba
含量	3.05	0.078	0.22	1.75	23.3	4.58	0.31	6.75	5.5	0.013	8.25	2.15	0.65

表 2 矿石中锌的化学物相

Table 2 Chemical phase of zinc in ores						/%
相别	碳酸锌中锌	硫化锌中锌	硅酸锌中锌	其它锌	总锌	
含量	4.05	3.31	0.69	0.2	8.25	
占有率	49.09	40.12	8.37	2.43	100.0	

由表 2 可知，矿石中碳酸锌中的锌占 49.09%，硫化锌中的锌占 40.12%，硅酸锌中的锌占 8.37%，其它部分锌含量为 2.42%。

通过显微镜下光片鉴定及 MLA 自动检测综合分析，发现矿石中主要锌矿物有菱锌矿、闪锌矿（包括铁闪锌矿）、异极矿；另有黄铁矿、磁黄铁矿、褐铁矿、赤铁矿、磁铁矿等铁矿物；方铅矿、白铅矿、铅硬锰矿等铅矿物；微量的黄铜矿和赤铜矿等铜矿物；脉石矿物主要有石英、方解石、重晶石、天青石和少量或微量的云母（绢云母、黑云母等）、长石（钾长石、钠长石、斜长石等）、黏土矿物、辉石、闪石、绿泥石等。矿石矿物相对含量见表 3。

表 3 矿石的矿物组成及相对含量

Table 3 Mineral composition and relative contents of ores		/%
矿物名称	含量	
菱锌矿	7.79	
闪锌矿	4.97	
异极矿	1.27	
方铅矿、白铅矿	2.59	
含铜矿物	<0.04	
黄铁矿、磁黄铁矿	5.64	
赤、磁、褐铁矿	4.72	
石英	44.86	
方解石、白云石	17.44	
重晶石、天青石	2.35	
黏土矿物	5.15	
长石	0.95	
云母	1.76	
辉石、闪石等	余量	

表明，矿石中的菱锌矿平均含 Zn 50.64%、Ca 0.31%、Fe 0.24%、Mn 0.21%、Cd 0.11%、Mg 0.05%。

将该矿石破碎至 0~2 mm 粒级后进行镜下观察，发现菱锌矿单体解离度很低，约 9%，其连生体主要和石英等脉石矿物连生，少量和含锌矿物（闪锌矿、异极矿）、含铅矿物（白铅矿、方铅矿）连生，菱锌矿主要嵌布特征见图 1。矿石中的菱锌矿主要呈网状、结状结构产出，少量为细粒状和脉状，粗粒菱锌矿中可见细粒残余结构的闪锌矿；菱锌矿平均粒径为 0.217 mm，小于 0.010 mm 的占 2.52%，0.074 mm 以上的占 67.45%，呈中粒度嵌布，粒度分布见表 4。

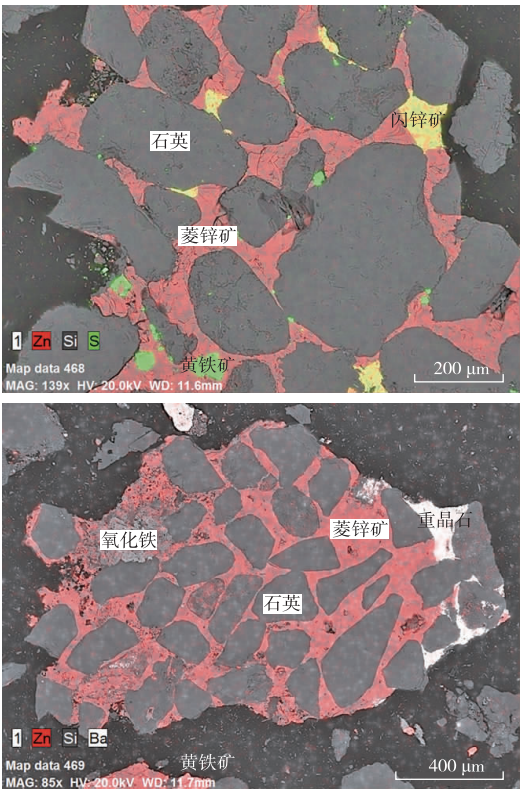


图 1 菱锌矿的主要嵌布特征

Fig. 1 Main dissemination characteristics of smithsonite

2 重要锌矿物的嵌布特征

2.1 菱锌矿

菱锌矿是矿石中主要含锌矿物之一，含量为 7.79%，含少量的 Fe、Cd、Ca、Mn、Mg 等元素，其含锌量占总锌量的 49.09%。能谱定量结果

表 4 菱锌矿的粒度分布

Table 4 Particle size distribution of smithsonite in ore

粒级/mm	菱锌矿	
	含量/%	累积量/%
+0.589	6.66	6.66
−0.589+0.417	9.65	16.31
−0.417+0.295	9.33	25.64
−0.295+0.208	10.61	36.25
−0.208+0.147	10.45	46.70
−0.147+0.104	10.69	57.39
−0.104+0.074	10.06	67.45
−0.074+0.053	9.15	76.60
−0.053+0.043	4.64	81.24
−0.043+0.038	2.55	83.79
−0.038+0.020	9.08	92.87
−0.020+0.015	2.39	95.26
−0.015+0.010	2.21	97.47
−0.010	2.52	99.99

2.2 闪锌矿

闪锌矿是矿石中的主要含锌矿物之一，含量为 4.97%，含微量的 Fe 和 Cd，其含锌量占矿石总锌量的 40.12%，平均含 Zn 66.63%、S 32.77%。

将该矿石破碎至 0~2 mm 粒级并进行镜下观察，发现闪锌矿单体解离度很低，仅有 7.01%，其连生体主要和石英等脉石矿物连生，闪锌矿主要嵌布特征见图 2。矿石中的闪锌矿多呈网状、结状结构嵌布，少量呈细粒状产出。闪锌矿平均粒径为 0.117 mm，小于 0.010 mm 的占 3.90%，0.074 mm 以上的占 51.88%，呈中粒偏细嵌布，具体粒度分布见表 5。

表 5 闪锌矿的粒度分布

Table 5 Particle size distribution of sphalerite in ore

粒级/mm	闪锌矿	
	含量/%	累积量/%
+0.589	0.63	0.63
−0.589+0.417	2.48	3.11
−0.417+0.295	4.97	8.08
−0.295+0.208	5.46	13.54
−0.208+0.147	9.57	23.11
−0.147+0.104	13.37	36.48
−0.104+0.074	15.40	51.88
−0.074+0.053	14.19	66.07
−0.053+0.043	7.16	73.23
−0.043+0.038	3.44	76.67
−0.038+0.020	12.93	89.60
−0.020+0.015	3.22	92.82
−0.015+0.010	3.29	96.11
−0.010	3.90	100.01

2.3 异极矿

异极矿是矿石中锌的硅酸盐矿物，含量为

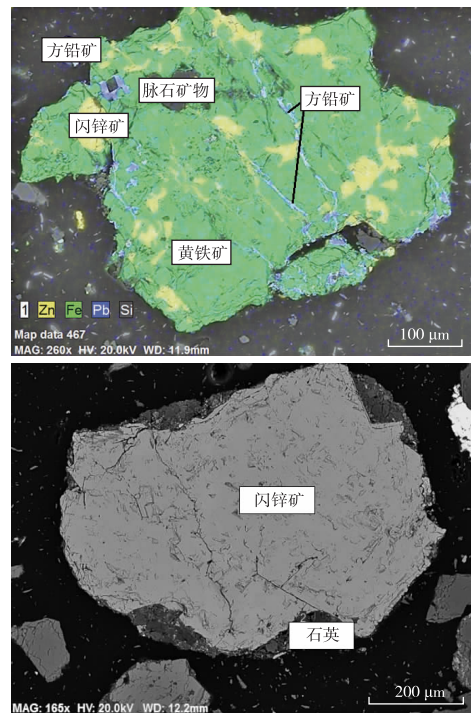


图 2 闪锌矿的主要嵌布特征

Fig. 2 Main distribution characteristics of sphalerite

1.27%，其含锌量占矿石总锌量的 8.36%，含 Zn 54.71%、Si 11.79%、O 34.04%。

将该矿石破碎至 0~2 mm 粒级进行镜下观察，发现异极矿单体解离度不高，仅有 5.71%，其连生体主要和石英等脉石矿物连生，少量和含锌、含铅矿物连生，主要嵌布特征见图 3。矿石中部分异极矿结晶较好，以放射状、板状嵌布，部分以网状和结状嵌布，平均粒径为 0.107 mm，小于 0.010 mm 的占 8.32%，0.074 mm 以上的占 48.62%，呈中粒偏细嵌布，具体粒度分布见表 6。

表 6 异极矿粒度分布情况

Table 6 Particle size distribution of heteropolar ore

粒级/mm	异极矿	
	含量/%	累积量/%
+0.589	0.00	0.00
−0.589+0.417	1.39	1.39
−0.417+0.295	4.63	6.02
−0.295+0.208	7.08	13.10
−0.208+0.147	16.65	29.75
−0.147+0.104	9.62	39.37
−0.104+0.074	9.25	48.62
−0.074+0.053	8.90	57.52
−0.053+0.043	5.60	63.12
−0.043+0.038	3.15	66.27
−0.038+0.020	14.82	81.09
−0.020+0.015	5.02	86.11
−0.015+0.010	5.55	91.66
−0.010	8.32	99.98

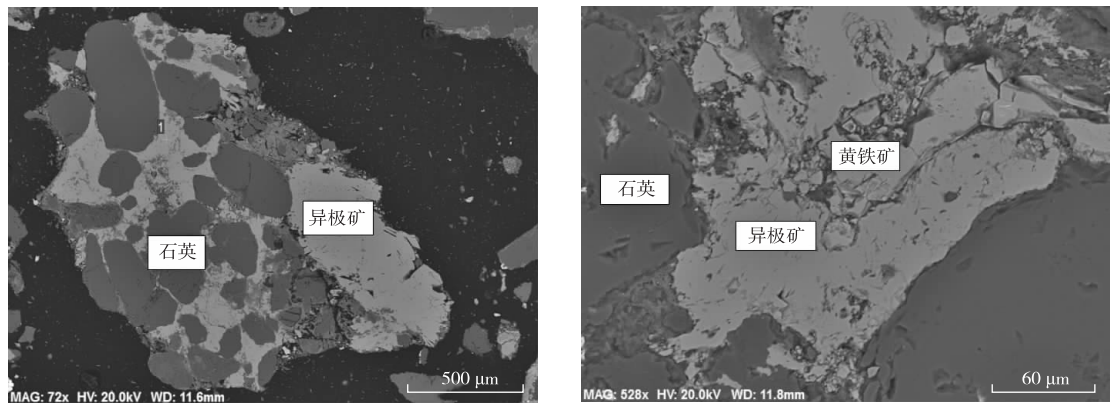


图 3 异极矿的主要嵌布特征

Fig. 3 Main characteristics of heterogeneous ore

3 主要含锌矿物解离度分析

矿石中主要含锌矿物的解离分析结果见表 7，主要含锌矿物连生程度分析结果见表 8。

由表 7~8 可知，菱锌矿的单体解离度为 8.69%，如果加上解离度在 80% 以上的富连生体，其解离度为 57.79%，解离度不高。连生状态的菱锌矿，主要是和石英等脉石矿物连生，和石英的连生量为 44.95%，和闪锌矿和异极矿的连生量为 8.21%，和含铅矿物的连生量为 0.95%。闪锌矿

的单体解离度为 7.01%。如果加上解离度在 80% 以上的富连生体，其解离度为 23.44%，解离度很低；连生状态的闪锌矿，主要是和石英等脉石矿物连生，和石英的连生量为 55.12%，和菱锌矿和异极矿的连生量为 3.45% 和含铅矿物的连生量约为 2.18%。异极矿的单体解离度为 5.71%。如果加上解离度在 80% 以上的富连生体，其解离度为 24.28%，解离度很低；连生状态的异极矿，主要是和石英等脉石矿物连生，和石英的连生量为 52.25%，和菱锌矿及闪锌矿的连生量为 7.74%，和含铅矿物的连生量为 0.21%。

表 7 矿石中主要含锌矿物解离分析结果

Table 7 Dissociation analysis of main zinc-containing minerals in ore

矿物名称	目标矿物占比/%					
	$0 < x \leq 10$	$10 < x \leq 20$	$20 < x \leq 30$	$30 < x \leq 40$	$40 < x \leq 50$	$50 < x \leq 60$
菱锌矿	4.96	5.54	5.41	8.79	4.12	3.70
闪锌矿	8.23	16.04	20.69	14.89	8.93	3.66
异极矿	26.37	3.15	5.11	3.47	0.16	32.28

矿物名称	目标矿物占比/%					合计
	$60 < x \leq 70$	$70 < x \leq 80$	$80 < x \leq 90$	$90 < x < 100$	100	
菱锌矿	2.33	7.35	12.78	36.33	8.69	100.0
闪锌矿	2.51	1.60	1.42	15.02	7.01	100.0
异极矿	3.26	1.92	5.11	13.46	5.71	100.0

表 8 矿石中主要含锌矿物的连生程度

Table 8 Analysis of the degree of continuous growth of the main zinc-bearing minerals in the ore

矿物名称	单体/%	连生体/%				合计/%
		其它锌矿物	与含铅矿物	与石英	与其它脉石等	
菱锌矿	8.69	8.21	0.95	44.95	37.20	100.0
闪锌矿	7.01	3.45	2.18	55.12	32.24	100.0
异极矿	5.71	7.74	0.21	52.25	34.09	100.0

4 影响锌回收的矿物学因素分析

矿石中分别有 49.09%、40.12% 和 8.63% 的

锌在菱锌矿、闪锌矿和异极矿中，占矿石总锌量的 97.57%，回收锌主要是回收菱锌矿、闪锌矿和异极矿中的锌。网状及结状结构是菱锌矿、闪锌矿和

异极矿的主要产出结构,网状结构的网心多数为粒状石英,石英与目标矿物的连生边界多数比较平滑和简单。石英的硬度约为7,而菱锌矿、闪锌矿和异极矿的硬度在5~3.5,它们的硬度有较大差异,这有利于通过磨矿实现目标矿物的解离,少量菱锌矿、闪锌矿呈细脉状或细粒弥散状产出,不易与连生矿物完全分离,对锌精矿品位造成不利影响。另有2.42%的锌在褐铁矿等矿物中,这部分锌绝大多数进入尾矿,无法有效回收。

5 结论

1)内蒙某含锌矿石含锌8.25%,具有较高的回收价值。矿石中硫化锌中的锌占40.12%,碳酸锌中的锌占49.09%,硅酸锌中的锌占8.37%,其它部分锌含量为2.42%。

2)矿石中主要锌矿物有菱锌矿、闪锌矿(包括铁闪锌矿)、异极矿;另有黄铁矿、磁黄铁矿、褐铁矿、赤铁矿、磁铁矿等铁矿物;方铅矿、白铅矿、铅硬锰矿等铅矿物;微量的黄铜矿和赤铜矿等铜矿物;脉石矿物主要有石英、方解石、重晶石、天青石和少量或微量的云母(绢云母、黑云母等)、长石(钾长石、钠长石、斜长石等)、黏土矿物、辉石、闪石、绿泥石等矿物组成。菱锌矿、闪锌矿、异极矿的平均粒经分别为0.217、0.117、0.107 mm,大于0.074 mm粒级含量分别为67.45%、51.88%、48.62%,小于0.010 mm粒级含量分别为2.52%、3.90%、8.32%,菱锌矿呈中粒嵌布,闪锌矿和异极矿呈中粒偏细嵌布。

3)鉴于矿石的结构和性质特点,推荐采用浮选工艺流程回收矿石中的锌。

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.
ZHOU M G. Application of technological mineralogy in prospecting and comprehensive utilization of mineral resources[J]. Comprehensive Utilization of Mineral Resources, 2012(3): 7-9.
- [2] 王蓓, 罗兴. 工艺矿物学在选矿工艺研究中的作用及影响[J]. 矿物学报, 2011(增1): 730-732.
WANG B, LUO X. The role and influence of technological mineralogy in the study of mineral processing technology[J]. Journal of Minerals, 2011(S1): 730-732.
- [3] 彭明生, 刘晓文, 刘羽. 工艺矿物学近十年的主要进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31(3): 210-217.
PENG M S, LIU X W, LIU Y. Major advances in technological mineralogy in the past decade [J]. Geochemistry of Mineral Rocks, 2012, 31(3): 210-217.
- [4] 张莉莉, 梁冬云, 李波. 某铜硫尾矿中钨的工艺矿物学研究[J]. 中国钨业, 2012, 27(6): 5-7.
ZHANG L L, LIANG D Y, LI B. Technological mineralogy of tungsten in a copper sulfur tailings [J]. China Tungsten Industry, 2012, 27(6): 5-7.
- [5] 肖仪武, 方明山, 付强. 工艺矿物学研究的新技术与新理念 [J]. 矿产保护与利用, 2018, 6(3): 49-54.
XIAO Y W, FANG M S, FU Q. New technology and new idea of technological mineralogy research [J]. Protection and Utilization of Mineral Resources, 2018, 6(3): 49-54.
- [6] 贾木欣. 国外工艺矿物学进展及发展趋势[J]. 矿冶, 2007, 16(2): 95-99.
JIA M X. Foreign technological mineralogy progress and development trend[J]. Mining and Metallurgy, 2007, 16(2): 95-99.
- [7] 王蓓, 单勇, 赵培樑, 等. 工艺矿物学对难选矿石评价的意义[J]. 矿产综合利用, 2015(1): 58-60.
WANG B, SHAN Y, ZHAO P L, et al. The meaning of process mineralogy on appraising refractory minerals[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2015(1): 58-60.
- [8] LOTTER N O, BAUM W, REEVES S, et al. The business value of best practice process mineralogy [J]. Minerals Engineering, 2018, 116: 226-238.