

辽宁本溪思山岭铁矿石工艺矿物学

袁 帅¹, 刘 杰¹, 李艳军¹, 王 越²

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819 ; 2. 中国地质科学院 矿产综合利用研究所, 四川 成都 610041)

摘 要 : 通过化学分析、X 射线衍射、光学显微镜、电子探针、MLA 等分析手段,对辽宁本溪思山岭铁矿石的化学组成、矿物组成、矿物产出形式、嵌布特征及连生关系等进行了详细研究. 结果表明 矿石中的铁主要赋存于磁铁矿和赤铁矿中,主要的脉石矿物为石英和含铁白云石,磁铁矿被赤铁矿交代残余、紧密连生,自形晶粒状铁矿物集合体不规则赋存于石英或白云石矿物中,磁铁矿嵌布粒度微细. 此研究结果为该铁矿综合利用提供了重要依据.

关 键 词 : 思山岭铁矿 ; 矿物学特征 ; 矿物组成 ; 嵌布特征 ; 粒度分布

中图分类号 : TD 951 文献标志码 : A 文章编号 : 1005 - 3026(2016)10 - 1455 - 05

Process Mineralogy of Sishanling Iron Ore in Benxi , Liaoning Province

YUAN Shuai¹ , LIU Jie¹ , LI Yan-jun¹ , WANG Yue²

(1. School of Resources & Civil Engineering , Northeastern University , Shenyang 110819 , China ; 2. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resource , Chinese Academy of Geological Science , Chengdu 610041 , China. Corresponding author : YUAN Shuai , E-mail : 1127524130@qq. com)

Abstract : The chemical composition , mineral composition , dissemination characteristics and grain size composition of Sishanling iron ore in Beixi City , Liaoning were investigated through chemical analysis , XRD , optical microscope , electron microprobe and MLA. The results showed that the iron minerals mainly occur in the form of magnetite and hematite , and the primary gangue minerals are quartz and iron-containing dolomite. Magnetite is replaced by hematite with closely complex and intergrowth relation , and the euhedral grain like iron minerals aggregates are irregularly distributed in quartz or dolomite. The disseminated grain size of magnetite is fine. The results may provide a foundation for the rational development and utilization the iron ore resource.

Key words : Sishanling iron ore ; mineralogical feature ; mineral composition ; dissemination characteristics ; size distribution

辽宁本溪思山岭铁矿是我国近年发现的大型铁矿床,该铁矿资源位于我国重要的鞍山-本溪铁矿成矿带,属于沉积变质型铁矿床,初步勘探发现,该矿床工业类型属磁铁矿和赤铁矿混合型. 思山岭铁矿石只有在查明其物质组成、元素赋存状态、矿物产出形式及嵌布特征的基础上,才能为该矿石制定合理的综合利用技术路线^[1-5]. 本文采用多种分析手段对该矿石的工艺矿物学特性进行了详细研究,探明了该矿石选矿参考所需的主要

工艺矿物学信息^[6-7].

1 矿石的物质组成

1.1 化学组成

该铁矿石的化学组成分析结果如表1所示,该矿石脉石矿物主要为石英、铝硅酸盐等矿物及质量分数较小的硫磷等杂质元素.

表 1 样品主要化学组成(质量分数)
Table 1 Main chemical composition of sample(mass fraction) %

TFe	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
37. 03	38. 62	12. 25	0. 55	2. 23	2. 60	0. 037	0. 068
TiO ₂	SrO	ZrO ₂	C	S	P	Ni	Mn
4. 31	0. 001 6	0. 001 8	1. 10	0. 29	0. 054	0. 003 4	0. 025

1. 2 矿物组成

思山岭铁矿石 X 射线衍射分析结果见图 1 , 磁铁矿、赤铁矿和石英为该矿石主要组成. 主要矿物组成测定结果如表 2 所示. 矿石中主要的铁矿物为磁铁矿 , 其次为赤铁矿 , 其中磁铁矿的质量分数最高 , 为 39. 61% ; 脉石矿物主要为石英、含铁白云石、橄榄石、方解石和绿泥石等 , 其中石英的质量分数最高 , 为 38. 63% .

1. 3 铁矿物赋存状态

为确定铁赋存状态进行化学物相分析 , 结果见表 3. 该矿石中的铁主要以磁铁矿状态存在 , 其次赋存于赤褐铁矿中 , 两者占全铁 95% 以上.

表 2 矿石的矿物组成(质量分数)
Table 2 Mineral composition of ore(mass fraction) %

磁铁矿	石英	赤铁矿	含铁白云石	橄榄石	钛磁铁矿	长石
39. 61	38. 63	12. 56	3. 35	1. 44	0. 22	0. 79
方解石	黄铜矿	辉石	绿泥石	胶磷矿	黄铁矿	其他矿物
0. 54	0. 43	0. 21	0. 23	0. 19	0. 10	1. 70

表 3 矿石中铁的化学物相
Table 3 Chemical phases of iron in ore %

变量	磁性铁	菱铁矿	赤褐铁矿	硫铁矿	硅酸铁	合计
铁的质量分数	26. 97	0. 81	8. 34	0. 41	0. 50	37. 03
铁的分布率	72. 83	2. 19	22. 52	1. 11	1. 35	100

2 主要矿物产出形式

2. 1 有用矿物产出形式

磁铁矿单体颗粒较少 , 多与赤铁矿共伴生 , 呈现被赤铁矿交代残余现象 , 交代程度分布不均匀 , 有的被强烈交代(图 2a) , 有的只在磁铁矿周边形成一层赤铁矿氧化边(图 2b) .

赤铁矿多与磁铁矿紧密连生形成集合体 , 此类赤铁矿占 90% 以上 , 集合体多以条带状或浸染状构造呈定向分布(图 2c) , 另有 10% 左右赤铁矿以针状、片状的自形或半自形晶粒分布于脉石矿物中(图 2d) , 且粒度分布不均.

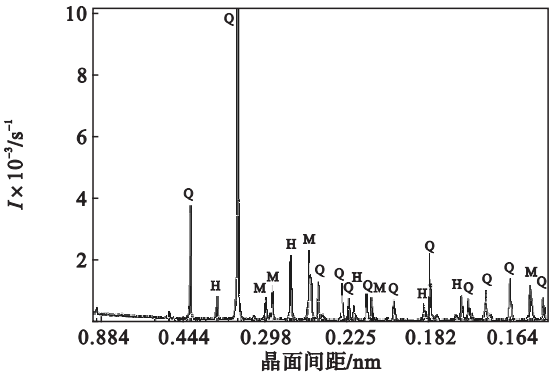


图 1 原矿 XRD 图谱
Fig. 1 XRD pattern of raw ore

2. 2 脉石矿物产出形式

石英矿物常以自形、半自形晶粒状紧密镶嵌 , 构成块状构造、条带状构造 , 另有部分石英呈细粒状(图 3a) .

根据电子探针分析(图 4) , 白云石含 13% 左右的铁 , 为含铁白云石 , 其多与脉石石英矿物伴生 , 针状、片状赤铁矿常赋存于其中(图 3b) .

2. 3 主要矿物嵌布特征

采用 EDAX 能谱仪对原矿进行 X 射线面扫描 , 考察铁矿物与脉石矿物的嵌布特征 , 结果如图 5 所示. 由面扫描结果发现自形晶粒状赤铁矿及磁铁矿连生体多赋存于石英和含铁白云石等脉石中 ; 而微量的针状、短柱状赤铁矿单体多赋存于含铁白云石中 , 其质量分数较小 , 对选矿过程影响不大.

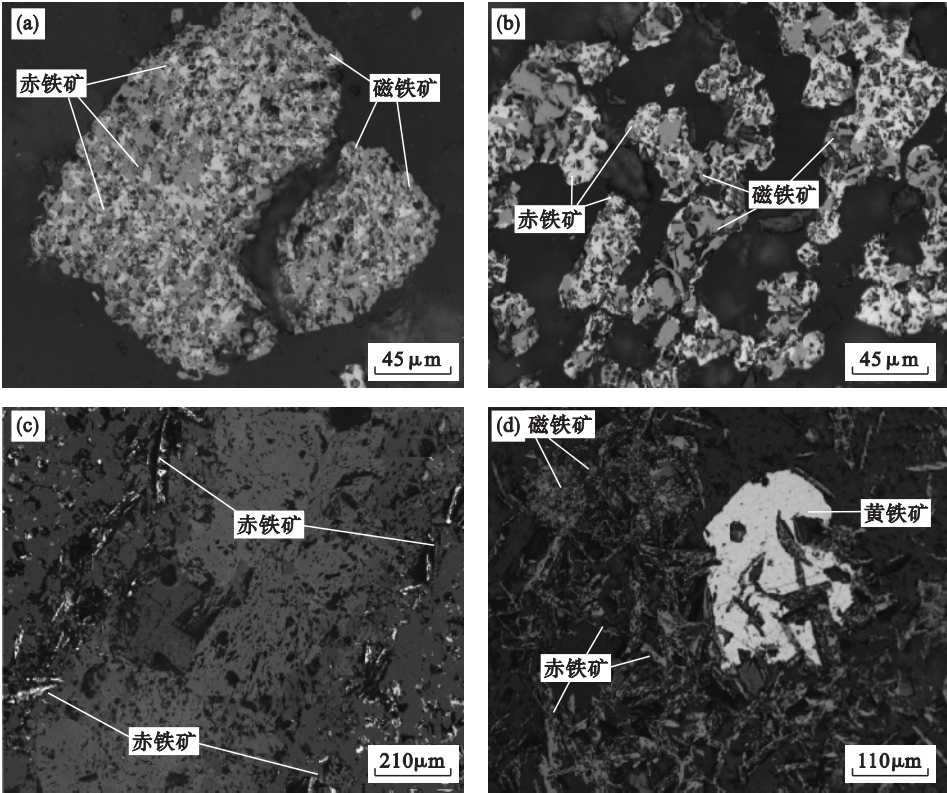


图 2 主要铁矿物的嵌布特征
Fig. 2 Dissemination characteristics of main iron minerals

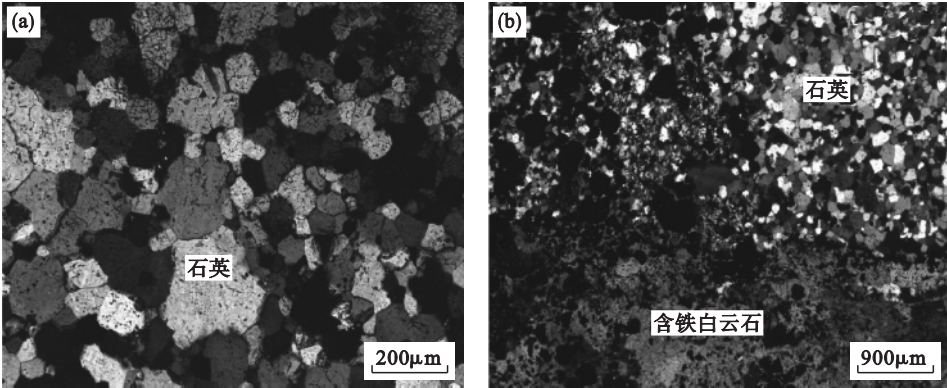


图 3 主要脉石矿物的嵌布特征
Fig. 3 Dissemination characteristics of gangue minerals

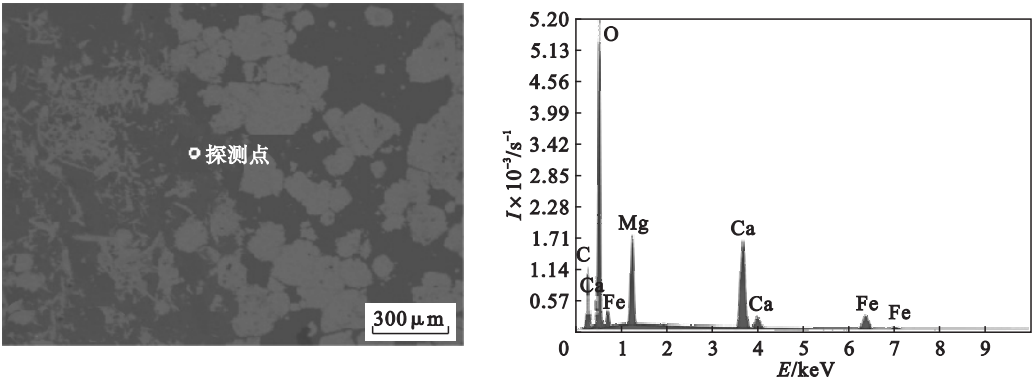


图 4 含铁白云石背散射图像及 X 射线谱线特征
Fig. 4 Back scattering image and X-ray spectrum characteristics of iron-containing dolomite

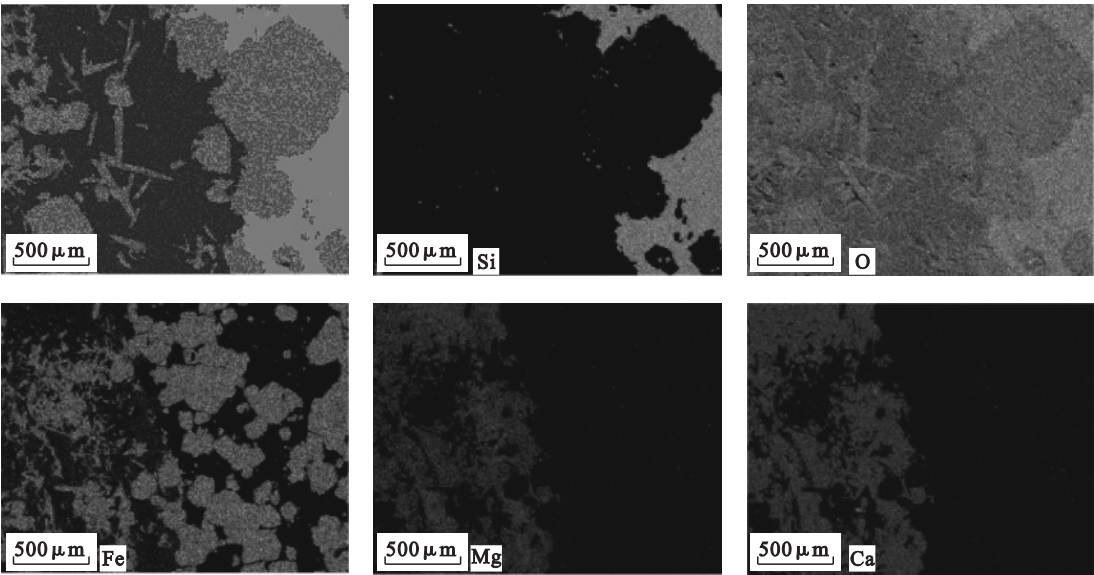


图 5 原矿的 SEM 及 Si ,O ,Fe ,Mg ,Ca 的元素分布图
Fig. 5 SEM image of raw ore and distribution of Si , O ,Fe , Mg , Ca

3 有用矿物的粒度和单体解离度

3.1 有用矿物的原生粒度

矿石主要的有用矿物为磁铁矿和赤铁矿 ,且磁铁矿主要被赤铁矿交代残余 ,因此铁矿物的原生粒度是磁铁矿与赤铁矿连生体的原生粒度 ,铁矿物原生粒度测定结果如图 6 所示.

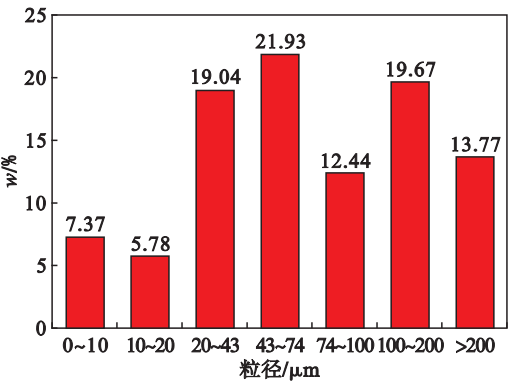


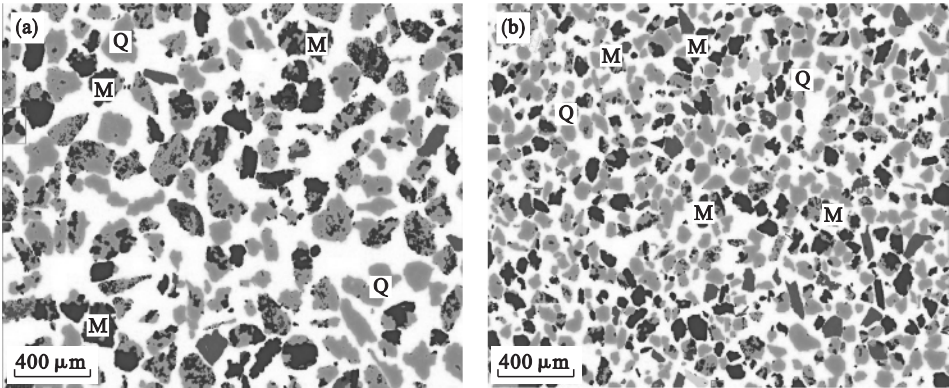
图 6 铁矿物粒度分布统计结果
Fig. 6 Grain size distribution results of iron ore

图 6 表明磁铁矿粒度分布不均匀 ,粒径最大约 500 μm ,最小小于 10 μm ,其中 43 μm 以上粒级的铁矿物占 67. 81% ,另有 13. 15% 的铁矿物粒径小于 20 μm ,大部分铁矿物粒径在选矿易选范围 ,但也有 7. 37% 左右的铁矿物粒径较小在 10 μm 以下 ,增大了该矿的选矿难度.

3.2 主要矿物的单体解离度

为了解该矿石中主要矿物单体解离度及连生关系 ,用反光显微镜测定法结合矿物自动分析 (mineral liberation analyser ,MLA) 技术对不同磨矿细度下矿石中有用矿物的单体解离度进行了系统的测定 ,测定结果如图 7 所示.

分析结果表明 ,磨矿细度集中在 130 ~ 200 μm 粒级矿石中磁铁矿 (含赤铁矿) 的单体解离度为 27. 20% ,有约 67. 58% 的铁矿物与石英连生 ;磨矿细度集中在 76 ~ 130 μm 粒级的原矿中磁铁矿 (含赤铁矿) 的单体解离度为 54. 04% ,有 43. 11% 的铁矿物与石英连生 ;磨矿细度集中在 42 ~ 76 μm 粒级的原矿中磁铁矿 (含



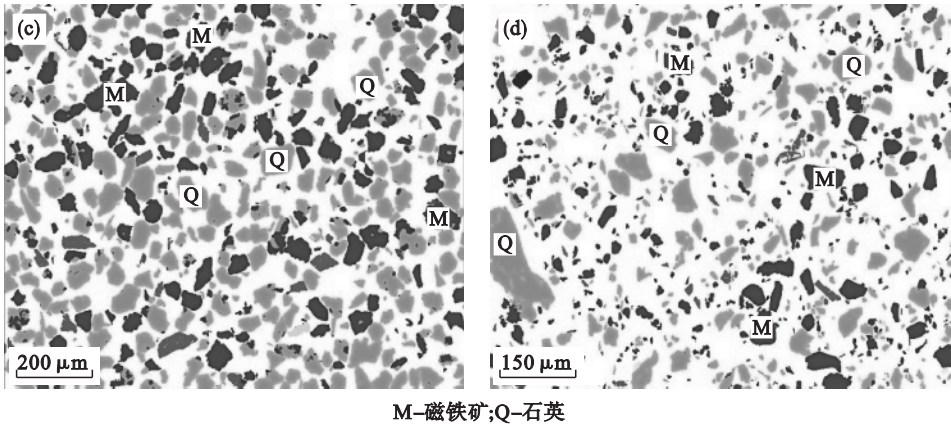


图 7 不同粒级原矿的 MLA 自动分析仪扫描图像
Fig. 7 MLA automatic detection images of different grain size of raw ore
(a)—130 ~ 200 μm ; (b)—76 ~ 130 μm ; (c)—42 ~ 76 μm ; (d)—42 μm .

赤铁矿)单体解离度为 73.22% ,有 23.70% 的铁矿物与石英连生;磨矿细度集中在 42 μm 以下粒级的原矿中磁铁矿(含赤铁矿)的单体解离度为 88.79% ,但仍有 10% 左右铁矿物与其他脉石矿物连生,没有完全单体解离,该矿石选别中需要采用合理磨矿作业保证铁矿物与脉石充分解离.

3.3 铁的金属量平衡

磁铁矿和赤铁矿是选矿过程主要回收的矿物,含铁白云石、石英等脉石矿物中夹杂的铁不回收,理想分选条件下磁铁矿和赤铁矿的理论回收率为 100% ,则精矿中铁的质量分数可达 71% 左右.10 μm 以下的铁矿物采用磁选和浮选常规选矿方法难以获得有效回收,扣除原矿中 10 μm 以下的磁铁矿和赤铁矿作为合理损失,则铁的理论回收率应该达 90% 左右.

4 结 论

- 1) 该铁矿石 TFe 的质量分数为 37.03% ,矿石中的铁主要赋存于磁铁矿和赤铁矿中,脉石矿物主要为石英和含铁白云石.
- 2) 磁铁矿多与赤铁矿形成交代残余结构,两者共生密切、紧密连生,赤铁矿与磁铁矿连生体常呈条带状或浸染状构造赋存于石英和含铁白云石脉石中,少量赤铁矿单体分布于含铁白云石中.
- 3) 矿石中铁矿物粒度分布不均,大于 43 μm 粒级铁矿物占 67.81% ,有 7.37% 的铁矿物粒径在 10 μm 以下,增大了选矿难度.原矿磨矿细度集中在 - 42 μm 粒级时铁矿物单体解离度为

88.79% ,需强化选矿过程中的磨矿作用.
4) 理想条件下,铁精矿的理想质量分数可达 71% 左右,理想回收率可达 90% 左右.该矿石工艺矿物学研究结果为思山岭铁矿石日后选矿工艺选择和优化提供了理论支持.

参考文献：

[1] Qiu J ,Lu X ,Li Q ,et al. Study on mineralogy characteristics and magnetic separation of Whenshang low grade iron ore [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology* ,2009 ,29(2) : 12 - 17.

[2] Lyu X W ,Bai C G ,Qiu G B ,et al. Relationship between texture features and mineralogy phases in iron ore sinter based on gray-level co-occurrence matrix[J]. *ISIJ International* , 2009 ,49(5) 709 - 718.

[3] Mohanan S ,Bhoja S K ,Kumar C R ,et al. Estimation of ore mineralogy from analytical analysis of iron ore[J]. *Minerals & Metallurgical Processing* 2015 32 97 - 101.

[4] Naude N ,Lorenzen L ,Kolesnikov A V ,et al. Observations on the separation of iron ore in a prototype batch jig[J]. *International Journal of Mineral Processing* , 2013 , 120 : 43 - 47.

[5] Upadhyay R K ,Roy S ,Venkates A S ,et al. Relevance of geological aspects and ore mineralogy in selecting beneficiation methods for processing of eastern Indian iron ores[J]. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy ,Section C :Mineral Processing and Extractive Metallurgy* 2009 ,118(1) 49 - 59.

[6] Banerjee A ,Mukherjee A K. Characterization of typical Indian iron ore slime through quantitative mineralogy to evaluate beneficiation prospect[J]. *ISIJ International* ,2011 ,51(9) : 1392 - 1395.

[7] Das S K , Das B , Sakthivel R , et al. Mineralogy , microstructure and chemical composition of goethite in some iron ore deposits of Orissa ,India[J]. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* 2010 31(2) 97 - 110.