

五峰鲕状赤铁矿工艺矿物学特性研究

王 儒¹, 韩跃新¹, 张裕书², 周满赓², 李艳军¹

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 1108192;

2. 中国地质科学院矿产综合利用研究所, 中国地质调查局金属矿产资源综合利用技术研究中心,
国土资源部钒钛磁铁矿综合利用重点实验室 四川 成都 610041)

摘要:为查明五峰鲕状赤铁矿的工艺矿物学性质,采用化学分析、X射线衍射、MLA、光学显微镜等技术手段,对矿石的化学成分、矿物组成、矿石结构构造及赤铁矿的嵌布粒度进行了系统研究。研究表明:该矿石为高磷鲕状赤铁矿石,矿石中的有用元素为铁,主要以赤铁矿、褐铁矿的形式存在,脉石矿物主要为石英、绿泥石、方解石、胶磷矿。矿石主要以鲕粒结构为主,铁矿物的嵌布粒度极细,与脉石矿物的嵌布关系复杂,很难实现与脉石矿物的解离。

关键词:鲕状赤铁矿;工艺矿物学;嵌布特征

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2014.06.014

中图分类号:TD989;P577 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2014)06-0054-04

鲕状赤铁矿是我国储量最多的沉积型铁矿,广泛分布于湖北、湖南、江西、四川、云南、河北等地,现已探明该类铁矿储量达37.2亿t,占全国沉积型铁矿探明储量的73.5%^[1]。我国从20世纪60~70年代开始进行鲕状赤铁矿的选矿试验工作,探索了各种可能的选矿途径,但由于矿物结晶粒度太细、组成复杂、含磷高等原因,至今未能取得满意的选别指标^[2-8]。五峰鲕状赤铁矿属海相沉积型矿石,为典型的宁乡式铁矿,已探明储量2.3亿t,但由于矿石主要呈鲕状构造,铁矿物与脉石矿物嵌布复杂,至今仍未得到利用。为了促进该铁矿资源的利用,进行系统的工艺矿物学研究,以查明该矿石的矿物组成、结构构造、嵌布特性等矿物学性质,为五峰鲕状赤铁矿的选矿提供依据。

1 矿石的物质组成

1.1 矿石的化学成分

矿石化学多元素分析见表1。由表1可知,矿石中的有用成分为铁,其中TFe为46.31%,FeO为

3.85%,矿石中的铁主要以Fe³⁺的形式存在。主要杂质为SiO₂、Al₂O₃,含量分别为20.14%、6.03%,并含有少量的CaO、MgO、K₂O。有害元素硫的含量为0.061%,磷的含量为1.25%。矿石的碱性系数(CaO+MgO)/(SiO₂+Al₂O₃)=0.12<0.5,表明该矿石为酸性铁矿石。

表1 矿石的多元素分析结果/%

Table 1 The chemical composition of iron ore

TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO
46.31	3.85	20.14	6.03	2.46
MgO	K ₂ O	Na ₂ O	S	P
0.61	0.21	0.057	0.061	1.25

1.2 矿石的矿物组成

为查明矿石中的矿物组成,采用X射线衍射对矿样进行分析。矿样X-射线衍射见图1。由图1可知,矿石中铁矿物主要以赤铁矿的形式存在,且赤铁矿的特征衍射峰峰型尖锐,说明结晶程度较好,脉石矿物主要为石英、绿泥石、方解石、磷灰石。结合矿样光片鉴定、化学成分分析、X-射线衍射分析结果,计算得出矿石中主要矿物组成及含量见表2。由表

收稿日期:2014-04-06

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51134002);地质调查项目(12120113086600);国家科技支撑计划项目(2012BAB14B00)

作者简介:王儒(1987-),男,博士研究生。

2 可知,矿石中铁矿物除赤铁矿和褐铁矿以外,还含有少量的磁铁矿、菱铁矿及黄铁矿;脉石矿物主要为石英、方解石、绿泥石、磷灰石,及少量的黑云母、白云石、长石等矿物。

表2 矿石中主要矿物的含量

Table 2 Content of the main ores

矿物	磁铁矿	褐铁矿	赤铁矿	鲕绿泥石	胶磷矿	菱铁矿
含量/%	0.21	8.56	66.03	5.89	6.88	1.58
矿物	黑云母	方解石	白云石	石英	长石	黄铁矿
含量/%	0.12	1.76	0.36	8.32	0.18	0.11

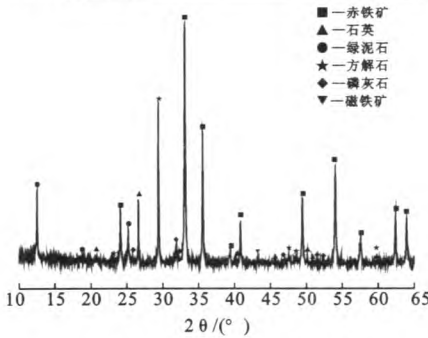


图1 矿石 X-射线衍射

Fig. 1 XRD pattern of the ore

1.3 矿石中铁的赋存状态

由于矿石中主要有用元素为铁,为了查明铁的赋存状态,针对该矿石进行铁物相分析,结果见表3。由表3 可以看出,矿石中铁主要以赤、褐铁矿的形式存在,其分布率高达 96.48%,其次为菱铁矿、硅酸铁,其中赤、褐铁矿是选别过程中最主要的回收铁矿物。

表3 矿石中铁物相分析结果

Table 3 Analysis results of iron phase

铁赋存相	磁铁矿	菱铁矿	赤铁矿	硫化铁	硅酸铁	合计
含量/%	0.039	0.76	44.72	0.083	0.75	46.352
分布率/%	0.08	1.64	96.48	0.18	1.62	100.00

2 矿石的结构及构造

2.1 矿石的构造

矿石颜色呈铁红色、红褐色,主要构造为块状构造、层状构造、砾状构造、鲕状构造。

(1)块状构造

块状构造的矿石致密坚硬,由鲕状赤铁矿、石英及少量的方解石相互紧密嵌生构成,呈接触式胶结,胶结物为赤铁矿,含铁品位较高,一般在 45% 以上。

(2)层状构造

层状构造矿石比较疏松,组分与块状结构类似,矿石主要呈鲕状及豆状结构,铁品位为 35% ~ 40%。

(3)砾状构造

呈砾状构造矿石主要由石英粉砂岩屑、胶磷矿与粘土矿物组成,并胶结有方解石、赤铁矿,一般铁品位较低在 30% 以下,但钙、磷成分的含量较高。

2.2 矿石的结构

鲕状结构是矿石中的主要结构,由赤铁矿、鲕绿泥石、方解石、胶磷矿和粘土矿物等组成,不同矿物呈同心状的环带层层包裹而成。鲕粒大小在 0.07 ~ 0.95mm 之间,形状多呈球状、椭圆状、豆状、不规则状,鲕粒的光学显微照片见图 2。鲕粒中环带的厚度不均,其中最小厚度为 6μm,最大厚度为 0.755mm,大部分鲕粒没有核,少量鲕粒以石英碎屑、赤铁矿为核;鲕粒中各种矿物由于颗粒微细、嵌布复杂,采用传统鉴定手段难以准确性定量,本文利用 MLA 自动分析仪,对铁矿石鲕粒进行了测试分析可知,鲕粒环带数目各异,少则十余环,多则 50 多环,且环带厚度均不相同,呈从内向外环带逐渐变密的趋势,其中赤铁矿环带较厚,一般在 37 ~ 72μm 之间,方解石、胶磷矿的环带最薄,一般只有几微米。赤铁矿环带由纤维状、针状赤铁矿晶体相互交织成较大的集合体,这些集合体通过相互连接最终形成环带,环带间及赤铁矿晶体间的孔隙由粘土矿物、伊利石、胶磷矿等填充。另外在石英、方解石、胶磷矿等脉石矿物环带孔隙中也胶结充填有赤铁矿。

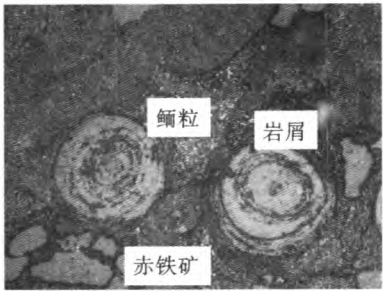


图2 矿石中鲕粒的光学显微照片

Fig.2 Optical images of oolite in ore

3 主要矿物嵌布特征

3.1 赤铁矿

赤铁矿是矿石中最主要的铁矿物,属三方晶系矿物,常具板状、鳞片状、粒状和隐晶质状等集合体形态。矿石中赤铁矿主要以三种形式产出:(1)主

要呈同心圆环带状分布于鲕粒中,其中赤铁矿环带是由微小的纤维状、针状赤铁矿晶体构成,晶体间隙常充填石英、鲕绿泥石、粘土矿物,另有少部分微小赤铁矿晶体嵌布于鲕粒中其他矿物环带的间隙中,与脉石矿物嵌布关系复杂。(2)呈自形-半自形粒状单晶集合体嵌布于脉石矿物或鲕粒的间隙中,粒度为 $5 \sim 300 \mu\text{m}$ 。(3)呈线状、蠕虫状均匀分布于石英、方解石为主的胶结物中,粒度为 $0.2 \sim 5 \mu\text{m}$,难以单体解离。

3.2 褐铁矿

褐铁矿主要以针铁矿 ($\text{FeO}(\text{OH})$) 或水针铁矿 ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$) 为主,并含纤铁矿、石英、粘土矿物等,为多种矿物混合物,铁含量变化较大。矿石中褐铁矿,主要是赤铁矿和绿泥石经氧化和分解成含铁盐类,然后经水解作用而成,在结构上与赤铁矿紧密共生。褐铁矿主要呈隐晶质集合体与赤铁矿连生形成鲕粒环带,另有少量褐铁矿以微细粒状分布于环带的间隙中。

3.4 菱铁矿

菱铁矿属斜方晶系的碳酸盐矿物,多呈自形晶体,矿物理论成分为 $\text{FeO} 62.01\%$, $\text{CO}_2 37.99\%$ 。矿物中的铁常被 Mg 、 Mn 类质同象代替,形成镁菱铁矿和锰菱铁矿。菱铁矿多具胶状、鲕状、结核状构造,常与鲕状赤铁矿、鲕状绿泥石、针铁矿等矿物共生。矿石中菱铁矿粒度较细且均匀, $<0.05\text{mm}$,含量较少,在镜下偶见,呈自形嵌布在赤铁矿基质中。

3.5 石英

石英是矿石中主要的脉石矿物,镜下所见石英为他形、细粒状(见图3)。具棱角和半棱角,无色透明,为陆源碎屑,粒度为 $0.015 \sim 0.23\text{mm}$,在矿石中分布极不均匀,有时呈条带状,多数以星散状嵌布于隐晶质赤铁矿中,少数分散在方解石中,或与方解石、石英、白云石等混杂物胶结赤铁矿鲕粒。

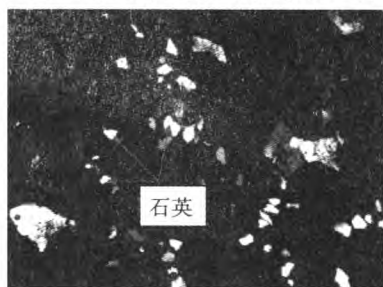


图3 石英光学显微照片

Fig. 3 Optical image of quartz

3.6 胶磷矿

胶磷矿是矿石中最主要的含磷矿组分,由微晶、隐晶质磷灰石组成,磷灰石的分子式为 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH} \cdot \text{F})$ 。胶磷矿主要以微细粒分布在鲕粒中形成环带,与赤铁矿层相互包裹,嵌布关系紧密。少量胶磷矿呈粒状或不规则状分布于脉石或鲕粒的间隙,颗粒中常包裹微细粒的石英及赤铁矿,呈细粒状产出的胶磷矿见图4。

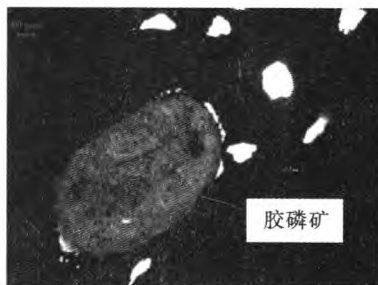


图4 胶磷矿光学显微照片

Fig. 4 Optical image of collophane

3.7 鲕绿泥石

鲕绿泥石 ($(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_3(\text{OH})_6 \{ (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_3 [(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \}$) 为层状结构硅酸盐矿物,以其结构形式命名,在镜下呈绿色、浅褐色,是矿石中主要脉石成分之一。鲕绿泥石与赤、褐铁矿嵌布紧密,在矿石中 80% 以上的鲕绿泥石以鲕粒的方式与赤、褐铁矿共生,难以单体解离。部分呈细小的鳞片集合体分布在鲕粒的圈层中,层厚多在 0.01mm 以下,少数分布在胶结孔隙中。

3.8 粘土矿物

粘土矿物主要为高岭石类矿物,少部分属伊利石类。呈极微细颗粒 ($0.001 \sim 0.01\text{mm}$) 充填于赤铁矿微晶间;与方解石、白云石、玉髓等混杂在一起作为鲕粒和碎屑胶结物。粘土矿物是矿石中 Al_2O_3 的主要载体 (含 $\text{Al}_2\text{O}_3 39.5\%$),也是 SiO_2 的重要载体 (含 $\text{SiO}_2 46.5\%$),选矿除硅工艺应充分考虑到这种矿物。

3.9 方解石

方解石在矿石中的嵌布粒度较细,在 $0.045 \sim 0.075\text{mm}$ 之间,主要呈脉状、条带状赋存于石英岩屑或鲕粒间胶结物中,部分被石英、隐晶质赤铁矿胶结形成鲕粒层。

4 赤铁矿的嵌布粒度

为了查明赤铁矿在矿石中的粒度分布特性,采

用显微镜线测法对赤铁矿的嵌布粒度进行检测,结果见表4。

表4 赤铁矿嵌布粒度

Table 4 Particle size distribution of hematite

粒级/mm	粒级产率/%	正累计产率/%	负累计产率/%
+0.295	0.38	0.38	100.00
-0.295+0.147	1.81	2.19	99.62
-0.147+0.074	4.15	6.34	97.81
-0.074+0.043	6.36	12.70	93.66
-0.043+0.020	15.17	27.87	87.30
-0.020+0.015	16.49	44.36	72.13
-0.015+0.010	8.38	52.74	55.64
-0.010	47.26	100.00	47.26
合计	100.00		

表4表明,矿石中赤铁矿的嵌布粒度极细,其中+0.074mm 6.34%, -0.010mm 47.26%,因此为实现赤铁矿与脉石矿物的单体解离需进行细磨,而矿石中含有粘土矿物、褐铁矿等易泥化组分,在磨至较细的情况下,容易发生泥化现象,严重恶化了后续分选。如何在实现细磨的同时而避免泥化现象的产生是该矿石利用的主要难点之一。

5 结 论

(1)五峰鲕状赤铁矿石为高磷酸性铁矿石,矿石中的有用元素为铁,主要以赤铁矿、褐铁矿的形式存在,并含有少量的硅酸铁及菱铁矿。脉石矿物主要为石英、鲕绿泥石、方解石、粘土矿物等。磷的含

量较高,主要以胶磷矿的形式产出。

(2)矿石主要呈鲕粒结构,由赤铁矿、石英、鲕绿泥石、方解石、胶磷矿相互包裹而形成。鲕粒中赤铁矿粒度极细,主要由纤维状、针状微细晶体构成集合体,并与其他矿物嵌布关系紧密。

(3)矿石中赤铁矿的嵌布粒度极细,其中-0.010mm 47.26%,采用常规磨矿工艺,很难实现赤铁矿与脉石矿物的单体解离。

参考文献:

- [1]张裕书,丁亚卓,龚文琪.宁乡式鲕状赤铁矿选矿研究进展[J].金属矿山,2010(4):92-96.
- [2]孙永升,李淑菲,史广泉,等.某鲕状赤铁矿深度还原试验研究[J].金属矿山,2009(5):80-83.
- [3]闫武,张裕书,刘亚川.鄂西某高磷鲕状赤铁矿浮选工艺研究[J].中国矿业,2011,20(11):71-73.
- [4]刘万峰,王立刚,孙志健,等.难选含磷鲕状赤铁矿浮选工艺研究[J].矿冶,2010,19(1):13-18.
- [5]郭宇峰,杨林,姜涛,等.贵州某鲕状赤铁矿选矿试验研究[J].金属矿山,2009(12):68-72.
- [6]牛福生,白丽梅,吴根,等.宣钢龙烟鲕状赤铁矿强磁一反浮选试验研究[J].金属矿山,2008(2):49-52.
- [7]王兢,尚衍波,张覃.鲕状赤铁矿浮选试验初步研究[J].矿冶工程,2004(3):38-40.
- [8]唐云,刘安荣,杨强,等.贵州赫章鲕状赤铁矿选矿试验研究[J].金属矿山,2011(1):45-48.

Process Mineralogy Characteristics of Wufeng Oolitic Hematite Ore

Wang Ru¹, Han Yuexin¹, Zhang Yushu², Zhou Mangeng², Li Yanjun¹

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang, Liaoning, China;

2. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Research Center of Multipurpose

Utilization of Metal Mineral Resources of China Geological survey, Key Laboratory of Multipurpose

Utilization of Vanadium-titanium Magnetite of Ministry of Land and Resources, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: To identify the process mineralogical properties of an oolitic hematite from Wufeng, a systematic investigation was made for its chemical composition, mineral composition, mineral construction, disseminated extent of the hematite by chemical analysis, X-ray diffraction and MLA automatic detection. The results show that this ore belongs to high phosphorus oolitic hematite ore, and iron is the useful element in the ore, mainly in form of hematite and limonite, and the main gangue minerals are quartz, oolite chlorite and calcite, cellophane. The ore mainly exists in the form of oolitic structure, the iron mineral disseminated extent was closely fine, and the relationship with gangue minerals are complicated, leading to difficult dissociation with gangue minerals.

Keywords: Oolitic hematite; Process mineralogy; Dissemination characteristics