

青海某低品位铁矿的工艺矿物学研究

徐 莺¹, 余旭辉², 张丽军¹

(1. 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;
2. 四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队, 四川 成都 610213)

摘要:对青海某沉积变质型低品位铁矿进行了工艺矿物学研究, 研究表明, 矿石铁低、硅高、有害杂质磷、硫低; 铁矿物类型复杂且粒度微细, 以磁铁矿为主, 次为菱铁矿、赤铁矿, 与含硅脉石矿物嵌布关系复杂, 特别是与微细粒绿泥石嵌布关系密切。依据工艺矿物学研究成果, 重点分析了矿石难选的最关键原因, 为低品位沉积变质型难选铁矿开发利用提供矿物学参考依据。

关键词:低品位铁矿; 工艺矿物学; 赋存状态; 难选原因分析

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.05.015

中图分类号: TD989; P575 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2017)05-0066-04

我国铁矿资源分布广泛, 储量较大, 但贫矿多, 富矿少, 具有“贫、细、杂”的特点, 平均铁品位 32%。铁矿床成因类型多样, 矿石类型复杂, 97% 的铁矿石为难选冶矿石^[1-2]。我国铁矿床类型有: 沉积-变质铁矿床占 60.5%; 岩浆晚期铁矿床占 11.6%; 接触交代-热液铁矿床占 12.7%; 玢岩型(陆相火山型)占 8.66%; 沉积铁矿床占 4.74%; 海相火山-侵入型约 12 亿吨; 火山-沉积变质型约 5 亿 t^[3]。青海某低品位难选铁矿石为沉积-变质铁矿, 对其进行工艺矿物学研究, 分析该铁矿石难选原因, 为具相似矿物学特征的难选铁矿石的选矿工艺开发及技术创新提供矿物学基础数据, 为我国储量巨大的的难利用铁矿资源合理利用奠定基础。

1 物质组成

1.1 化学组成

原矿多元素化学成分分析结果见表 1。

表 1 结果显示, 矿石 TFe 品位 29.1%, SiO₂ 含量 43.7%, 为低品位铁矿石; 碱度系数 (CaO+MgO)/(SiO₂+Al₂O₃) 为 0.078, 属于酸性矿石。有害杂质 S

(0.19%)、P₂O₅(0.96%) 含量较低。

表 1 主要化学成分分析/%

Table 1 Analysis of the main chemical components

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TFe	CaO	MgO	K ₂ O
43.70	6.00	23.58	16.05	29.10	1.85	2.03	1.22
Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	S	V ₂ O ₅	Ba	Sr
0.48	0.36	0.96	0.28	0.19	0.012	0.062	0.02

1.2 矿物组成

通过光学显微镜鉴定、X 射线衍射分析、扫描电子显微镜等测试的综合鉴定, 确定矿石中矿物类型及主要矿物含量(表 2)。

表 2 主要矿物含量

Table 2 Content of the main minerals

矿物类别	矿物名称	含量/%	矿物类别	矿物名称	含量/%
脉石矿物	石英	22.6	铁矿物	磁铁矿	19.6
	黑硬绿泥石	24.5		赤铁矿	4.3
	斜绿泥石	12.4		菱铁矿	6.2
	高岭石、长石、白云母、滑石	5.8		黄铁矿	0.6
	磷灰石	2.4	其他矿物	钛铁矿、板钛矿、重晶石等	0.2
	方解石、铁白云石	1.4			

收稿日期: 2017-01-10

地调项目: 中国地质调查局《青海祁连县小沙龙低品位难选铁矿综合利用调查》项目(12120114000901)资助

作者简介: 徐莺(1986-), 女, 助理研究员, 硕士, 从事工艺矿物学研究工作。

通讯作者: 余旭辉(1984-), 男, E-mail: yuxuhui@foxmail.com。

2 主要矿物的嵌布特征

2.1 磁铁矿

磁铁矿是矿石中最主要的铁矿物,含量19.6%。单体主要以它形粒状为主,少部分呈半自形微细粒结构,极少数呈叶片状;以稀疏-稠密浸染产出,部分磁铁矿集合体以不规则状、脉状、网脉状穿插于矿石中。

磁铁矿粒度0.002~0.08 mm之间,近60%的磁铁矿粒度在0.020 mm以下(见表3)。且以较为分散的它形粒状浸染嵌布于脉石粒间或包裹于脉石中;而集合体形式产出的磁铁矿呈不规则、网脉状的形态,与脉石矿物界线不平直,且磁铁矿内部也常嵌

杂有微细粒的脉石矿物集合体。以上嵌布特征表明,磁铁矿的单体解离非常困难,由于其嵌布与绿泥石(特别是黑硬绿泥石)关系密切,二者间单体解离最为困难。

表3 磁铁矿的粒度分布特征

Table 3 Grain size distribution characters of magnetite

粒级 /mm	+0.150 -0.075	+0.15 -0.075	+0.075 -0.038	+0.038 -0.020	+0.020 -0.010	-0.010
含量/%	0.8	4.8	12.0	25.3	30.2	26.9
累计/%	0.8	5.5	17.6	42.9	73.1	100.0

从表4可知,磁铁矿中含有少量的SiO₂(0.35%~1.1%,平均0.66%),FeO含量在91.28%~93.96%,平均含FeO为92.70%。

表4 磁铁矿的电子探针微区成分分析结果/%

Table 4 Electron probe micro area composition analysis results of magnetite

序号	Na ₂ O	SiO ₂	TiO ₂	MgO	K ₂ O	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	合计
1	0.013	0.415	0.084	0.002	0.009	0.002	0.032	0.023	93.162	93.742
2	0.016	0.524	0.090	0.037	-	-	0.025	0.017	93.328	94.037
3	-	0.400	0.006	0.019	-	0.009	0.025	0.010	93.963	94.432
4	0.002	0.917	0.094	0.069	-	0.015	0.025	0.033	92.299	93.454
5	0.017	0.938	0.112	0.043	0.022	-	0.031	0.047	92.143	93.353
6	0.049	1.105	0.100	0.042	0.040	0.005	0.073	0.070	92.711	94.194
7	0.012	0.352	0.087	0.009	0.012	0.005	0.024	1.244	91.279	93.024
平均	0.016	0.664	0.082	0.032	0.012	0.005	0.034	0.206	92.698	93.748

2.2 赤铁矿

赤铁矿在矿石中含量低,仅4.3%。粒度微细,一般0.1~0.005 mm。呈板片状单体、不规则微细短脉或隐晶质-胶状集合体产出。板片状结构的赤铁矿结晶形态虽好,但粒度微细,单体解离困难;呈不规则细短脉的赤铁矿交代磁铁矿,应为磁铁矿局部氧化所致;呈隐晶质-胶状集合体的赤铁矿,呈不规则环状包绕于脉石颗粒外圈或脉石颗粒粒间。

表5 赤铁矿的扫描电镜微区能谱分析结果/%

Table 5 Scanning electron microscopy micro area composition analysis results of hematite

序号	O	Al	Si	Mn	Fe
1	31.04	-	-	-	68.96
2	31.76	-	1.46	-	66.78
3	34.41	-	3.85	-	61.74
4	34.22	-	3.68	4.42	57.68
5	33.36	1.84	5.65	-	59.22

扫描电镜微区能谱分析结果(表5)显示,结晶较差的赤铁矿中常混有少量的Si、Al、Mn等元素,主要是其中混杂嵌布的绿泥石、高岭石等微细铝硅酸

盐矿物所造成的,基本无法单体解离,如果进入铁精矿中,势必对铁精矿品级造成影响。

2.3 菱铁矿

菱铁矿是矿石中次于磁铁矿的载铁矿物,含量6.2%,粒度一般在0.15~0.001 mm。呈它形粒状结构浸染状分布于脉石矿物粒间;也有部分菱铁矿结晶较差,呈隐晶质集合体,常混杂微细粒脉石矿物。菱铁矿的成分中(表6)常含以类质同象替换进入的Mg、Mn、Ca,而Si为其中混杂的微细粒脉石矿物带入。

表6 菱铁矿的扫描电镜微区能谱分析结果/%

Table 6 Scanning electron microscopy micro area composition analysis results of siderite

序号	MgO	SiO ₂	CaO	MnO	FeO
1	9.56	7.38	-	-	83.05
2	8.74	5.46	2.24	21.23	62.33
3	13.40	-	8.51	-	78.09
4	4.48	-	8.56	15.63	71.32

注:由于能谱对C元素的定量误差大,此成分分析结果表中未计C含量,其余元素折算成100%计算所得,故实际

含量较表中含量低。

2.4 黄铁矿

黄铁矿在矿石中含量非常少(低于1%),偶尔可见,主要呈它形粒状结构,星点状分布于脉石粒间,包裹于磁铁矿或脉石颗粒中。

2.5 脉石矿物

矿石中的脉石矿物主要以石英、绿泥石为主,另有少量-微量的白云母、长石、碳酸盐矿物(方解石、铁白云石)、高岭石、滑石、磷灰石等。

绿泥石是矿石中主要脉石矿物之一,分为黑硬

绿泥石和斜绿泥石两类。粒度微细,一般在0.005~0.015 mm,约40%的粒度在0.02 mm以下,。主要以片状形式产出。微细粒的绿泥石(特别是黑硬绿泥石)与磁铁矿的产出关系密切,其中产出的磁铁矿常呈微细粒稠密浸染状产出。黑硬绿泥石、斜绿泥石成分中含有铁(表7)。

绿泥石的主要成分为FeO、SiO₂、Al₂O₃,少量的MgO、K₂O,其中FeO含量在33.4%~35.2%之间,平均34.42%。

表7 绿泥石的电子探针微区成分分析结果/%

Table 7 Electron probe micro area composition analysis results of chlorite

序号	Na ₂ O	SiO ₂	TiO ₂	MgO	K ₂ O	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	H ₂ O*
1	0.25	44.44	0.03	2.48	5.18	0.30	5.31	0.02	33.42	8.57
2	0.19	44.69	0.03	2.58	4.18	0.26	5.58	0.00	33.76	8.73
3	0.23	45.13	0.02	2.68	1.90	0.27	5.68	0.02	34.67	9.41
4	0.18	46.02	0.00	2.55	2.00	0.34	5.82	0.12	35.18	7.8
5	0.25	45.21	0.02	2.78	3.39	0.21	5.33	0.00	34.09	8.73
6	0.19	45.54	0.00	2.86	2.05	0.29	5.31	0.00	35.05	8.7
7	0.20	45.04	0.02	2.70	1.61	0.27	5.32	0.02	34.78	10.04
平均	0.21	45.15	0.02	2.66	2.90	0.27	5.48	0.03	34.42	8.85

* H₂O 为计算所得。

石英主要呈它形微细粒状结构产出,集合体呈脉状,或与微细片状绿泥石混杂构成脉石条带与磁铁矿(或混杂绿泥石)集合体构成的条带交错成层分布,形成条纹状构造。

石英粒度相对略粗,一般0.02~0.07 mm,且与磁铁矿边界较为清晰,相较其他脉石矿物略易与磁铁矿解离,基于多破少磨的工艺原则,可在原矿破碎过程中进行抛尾,可降低磨矿量以及入选矿量。

4 主要元素的赋存状态

4.1 矿石中铁的赋存状态

矿石中主要含铁的金属矿物有磁铁矿、菱铁矿、赤铁矿、黄铁矿;含铁的脉石矿物有绿泥石、铁白云石等。其中工业利用的铁矿物为磁铁矿、菱铁矿、赤铁矿。

通过扫描电镜能谱微区成分分析、电子探针微区成分分析等测试,矿石中主要载铁矿物中的TFe含量分别为:磁铁矿中TFe含量为72.05%,赤铁矿中TFe含量为62.88%,黄铁矿中TFe含量为45.46%,绿泥石中TFe含量为26.75%,铁白云石中TFe含量为18.23%。

磁铁矿中TFe含量约占矿石总铁量的48%,菱

铁矿中TFe含量约占矿石总铁量的10%,赤铁矿中TFe含量约占矿石总铁量的10%,绿泥石中TFe含量约占矿石总铁量的31%,黄铁矿、铁白云石中TFe含量约占矿石总铁量1%左右。即矿石中铁主要赋存在磁铁矿、绿泥石、菱铁矿、赤铁矿中。由于绿泥石含大量的有害组分Si,是需要尽量剔除的杂质矿物,其中所含的铁为不可避免的正常损失。

4.2 矿石中有害组分的赋存状态

该矿石中最主要有有害组分为SiO₂,主要以石英、绿泥石等铝硅酸盐矿物形式存在;P、S含量较低,分别以磷灰石、黄铁矿形式赋存。

5 矿石难选原因分析

(1) 矿石中TFe品位29.10%,SiO₂含量43.7%,S含量0.19%,P₂O₅含量0.96%。该铁矿石品位低,硅含量高,有害元素P、S含量低。

(2) 矿石中铁矿物种类较复杂:以磁铁矿为主,次为菱铁矿、赤铁矿,另有极微量的黄铁矿;含铁脉石矿物以绿泥石为主。磁铁矿、菱铁矿、赤铁矿的可选性有差异,增加了选矿的难度。

(3) 矿物嵌布粒度及特征对矿物解离的影响:

矿石中磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿的粒度微细,一般在0.001~0.02 mm之间。铁矿物的嵌布与最主要的脉石矿物-绿泥石最为密切(特别结晶较差,粒度仅有0.005~0.015 mm的这部分绿泥石),呈交错嵌布、互相包裹、密集细粒浸染等嵌布特征,是造成铁矿物(主要是磁铁矿)难解离、难分选的最主要原因。由于该矿石嵌布粒度极细,采用阶段磨选工艺流程可大幅减少磨矿费用,从而降低选矿生产成本。

(4)该铁矿石的开采过程中,不可避免地混入了一定数量的围岩,围岩主要由绿泥石、石英等矿物构成,矿物粒度相对铁矿石中的矿物略粗,可在原矿破碎过程中进行粗粒抛尾,以降低磨矿量及入选矿量,大大节约选矿成本。

(5)铁的赋存状态对回收率的影响:磁铁矿中TFe含量约占矿石总铁量的48%,即通过弱磁选工艺分选获得的铁精矿铁的回收率最高仅为48%,欲提高铁的回收率需增加工艺流程,综合回收赤铁矿、菱铁矿等弱磁性矿物。绿泥石含铁量较高,其中TFe含量平均26.75%,占矿石总铁量的31%,这部分Fe进入尾矿属于正常损失。

(6)影响“提铁降杂”的因素:提高铁精矿品位,“降杂”对象主要为绿泥石、石英。石英粒度相对略粗,与铁矿物的接触边界较平整,解离和去除相对略易;而与本就粒度微细的铁矿物嵌布密切的绿泥石,普遍表现为粒度微细,与铁矿物交错嵌布、互相包裹

的嵌布特点,磨矿过程中难解离,是造成“降杂”困难的主要原因。

(7)本矿石中铁矿物与杂质脉石矿物之间呈现的这种“细、杂”嵌布特点是多数贫铁矿石所共同具有的,该铁矿石在取得高质量铁精矿的同时,欲达到较高的回收率,势必先攻克微细粒铁矿与微细粒绿泥石之间的单体解离问题,通过试验分析对比,找寻经济有效合理的分选工艺流程,为具相同特点类型的铁矿石资源的合理高效开发利用提供技术保障。

参考文献:

- [1] 张久铭,王贵成,何亚丽.我国铁矿资源的秉赋特征与可持续开发利用研究[J].中国矿业,2007(7):36-39.
- [2] 孙炳泉.今年我国复杂难选铁矿石选矿技术进展[J].金属矿山,2006(3):11-13.
- [3] 姚培慧.中国铁矿志[M].北京:冶金工业出版社,1993.
- [4] 阙绍娟,马少健,孙秀兰,等.我国铁矿资源开发利用现状[J].金属矿山,2008(9):100-103.
- [5] 骆华宝,王永基,胡达骥,等.我国铁矿资源状况[J].地质论评,2009(6):885-891.
- [6] 《矿产资源工业要求手册》编委会.矿产资源工业要求手册[M].北京:地质出版社,2010.
- [7] 常丽华,陈曼云,金巍,等.地质调查工作方法指导手册-透明矿物薄片鉴定手册[M].北京:地质出版社,2006.
- [8] 王濮,潘兆樵,翁玲宝,等.系统矿物学[M].北京:地质出版社,1987.
- [9] 周乐光.工艺矿物学[M].北京:地质出版社,2002.

Study on Process Mineralogy for Some Low-grade Iron Ore in Qinghai

Xu Ying¹, Yu Xuhui², Zhang Lijun¹

(1. Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Research Centre of Multipurpose Utilization of Metal Mineral Resources of China Geological Survey, Key laboratory of Vanadium-titanium Magnetite Comprehensive Utilization, Ministry of Land and Resources, Chengdu, Sichuan, China;

2. Sichuan Geology and Mineral Bureau Regional Geological Survey Team, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: According to the process mineralogy study on low-grade ores from a metamorphic iron deposit, the results show that the ores are characterized by low iron, high silicon, low phosphorus and low sulfur. The types of the iron minerals are complex which include dominant magnetite as well as minor siderite and hematite, and the grain size of the iron minerals is fine. The iron minerals have a very complex embedded relationship with the gangue minerals containing silicon, especially with the fine chlorite and the iron minerals. Based on the process mineralogy research, the key reasons of refractory have been emphatically analyzed, and the mineralogy reference is provided for the development and utilization of the low-grade metamorphic iron ores.

Keywords: Low-grade iron ores; Process mineralogy; Occurrence state; Reason for refractory ores.