



辽宁本溪贾家堡子地区 BIF 铁矿床地球化学特征

韩仁萍¹, 寇林林¹, 王筱箐²

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;

2. 中国地质调查局 国土资源实物地质资料中心, 河北 三河 065201

摘 要: 利用主量元素和稀土元素相结合的地球化学方法, 对本溪贾家堡子铁矿成矿物质来源和矿床成因进行了研究. 结果表明: 贾家堡子地区条带状铁矿(BIF)的化学成分主要为 TFe_2O_3 和 SiO_2 , 并且 Al_2O_3 和 TiO_2 含量较低, 这一特征与鞍本地区及山西五台山和冀东迁安地区条带状铁矿基本一致, 指示该条带状铁矿是由极少碎屑物质加入的化学沉积岩. 稀土元素呈现弱轻稀土亏损、重稀土富集的特征, 具有明显的 Eu 正异常特征, 表明该 BIF 的稀土元素来源于火山热液和海水的混合液. 贾家堡子地区条带状铁矿床成因类型为 Algoma 型铁矿.

关键词: 条带状铁矿; 地球化学特征; 矿床成因; 贾家堡子; 辽宁省

GEOCHEMISTRY OF JIAJIAPUZI BANDED IRON FORMATION IN BENXI CITY, LIAONING PROVINCE

HAN Ren-ping¹, KOU Lin-lin¹, WANG Xiao-zheng²

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China;

2. Core Samples and Data Center of Land Resources, CGS, Sanhe 065201, Hebei Province, China

Abstract: The ore-forming material source and genesis of Jiajiapuzi banded iron formation (BIF) in Benxi City are studied by the geochemical analysis of combining major and rare earth elements (REE). The results show that the main chemical compositions of Jiajiapuzi BIF are TFe_2O_3 and SiO_2 , with low content of Al_2O_3 and TiO_2 , which is basically the same characteristics as the BIFs in Anshan-Benxi area, Wutai Mountain in Shanxi Province and Qian'an area in eastern Hebei Province, indicating that the BIF is a kind of chemical sedimentary rock with a little clastic material. The REEs are characterized by weak deficiency of LREEs, enrichment of HREEs and obvious positive Eu anomaly, reflecting the REEs in BIF are from a mixture of volcanic hydrothermal fluid and seawater. The Jiajiapuzi BIF genetically belongs to Algoma-type.

Key words: BIF; geochemical characteristic; genesis; Jiajiapuzi; Liaoning Province

0 前言

贾家堡子条带状铁矿(BIF)位于辽宁省本溪市北

台铁矿西部, 由于该矿床发现和开采较晚, 因此对该矿床的地质研究相对薄弱. 本文通过矿石的主量、微量

收稿日期: 2018-05-18; 修回日期: 2019-04-08. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局项目“辽宁凤城和黑龙江多宝山地区铜金矿深部调查”(编号 DD20190156).

作者简介: 韩仁萍(1985—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事成矿规律及找矿预测研究工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//373424059@qq.com

元素地球化学分析,对贾家堡子铁矿的成矿物质进行示踪研究,为进一步找矿提供新的资料和研究线索,对鞍本地区前寒武纪地壳的形成和演化研究也具有一定的借鉴意义。

1 成矿地质背景

鞍本地区地处中朝准地台胶辽台隆太子河-浑江台陷的辽阳-本溪凹陷上(Ⅳ级构造单位)。该地区是我国重要的太古宙花岗岩-绿岩带分布区,分布有太古宙鞍山群中上部的茨沟岩组、大峪沟岩组和樱桃园岩

组^[2]。该地区大面积出露太古宙花岗质岩石,其中残留为数众多的表壳岩,其岩性组合主要为基性-中基性火山岩-硅铁建造组合、中酸性火山岩-硅铁建造组合和沉积岩-硅铁建造组合。目前该地区已经发现和开发众多大型、超大型铁矿床,如大台沟、徐家堡子、弓长岭、南芬、齐大山、东鞍山等(图 1)。

2 矿区地质特征

贾家堡子铁矿地理位置位于辽宁省本溪市西南约 35 km,东距大台沟铁矿 10 km,西南距弓长岭铁矿

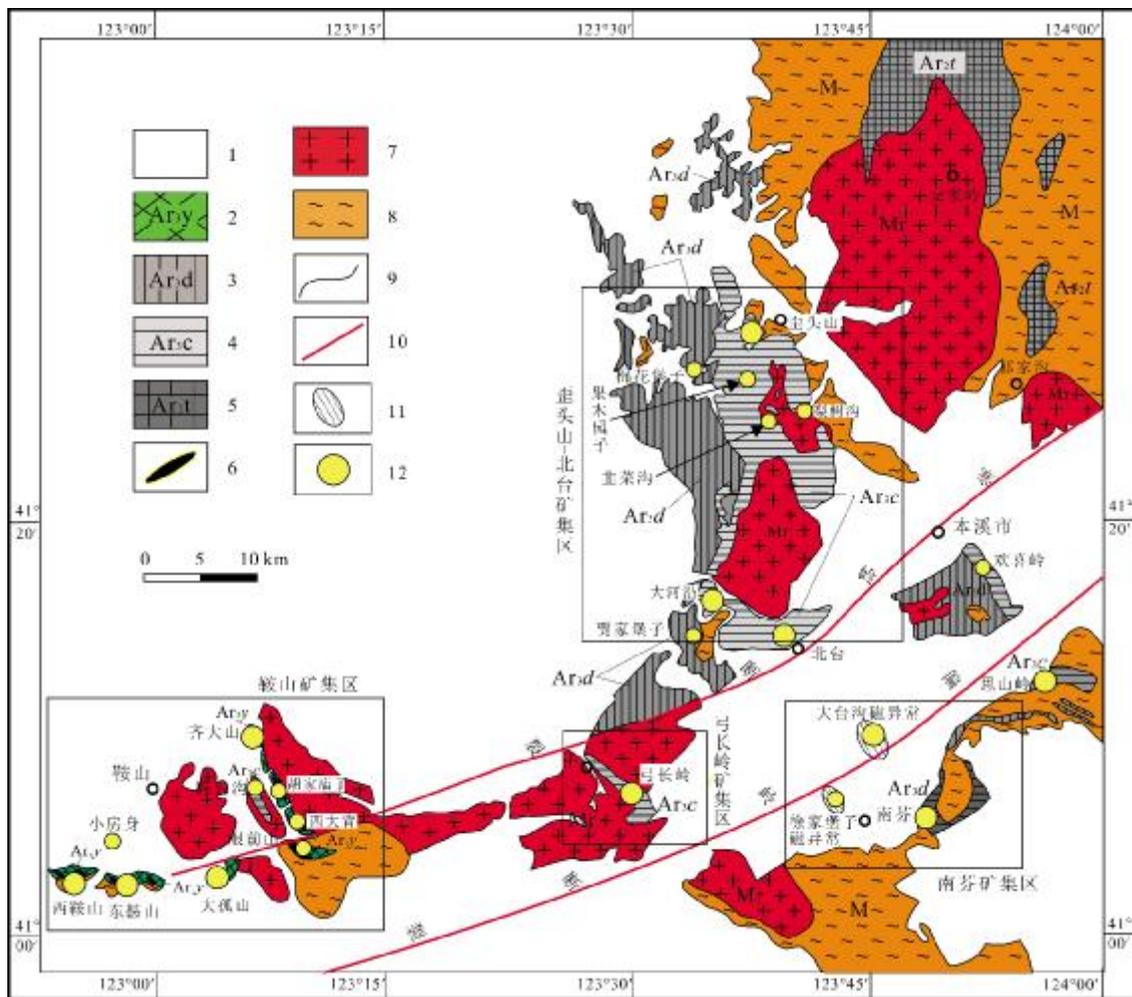


图 1 辽宁鞍山-本溪地区条带状铁矿分布简图
(据文献[1])

Fig. 1 Distribution map of BIF in Anshan-Benxi area
(From Reference [1])

- 1—显生宙盖层(Phanerozoic caprock); 2—鞍山群樱桃园组(Yingtaoyuan fm. of Anshan gr.); 3—鞍山群大峪沟组(Dayugou fm. of Anshan gr.); 4—鞍山群茨沟岩组(Cigou formation complex of Anshan gr.); 5—鞍山群通什村组(Tongshicun fm. of Anshan gr.); 6—条带状铁建造(banded iron formation); 7—太古宙钾质花岗岩(Archean potash granite); 8—晚太古代混合片麻岩(Late Archean amphogneiss); 9—地质界线(geological boundary); 10—区域大断裂(regional fault); 11—航磁异常(aeromagnetic anomaly); 12—铁矿床(iron deposit)

25 km. 大地构造位置处于华北地台辽东台背斜营口-宽甸隆起的北缘太子河凹陷中,属于鞍山-本溪铁矿成矿带重要组成部分,系鞍本地区典型鞍山式铁矿床之一.

矿区出露的地层主要为太古宇鞍山群茨沟岩组,其上局部有新生界第四系覆盖.

鞍山群茨沟岩组与铁矿关系最为密切,是铁矿主要赋矿层位,在矿区广泛分布.变质程度属于角闪岩相.岩石类型主要有斜长角闪岩、黑云斜长片麻岩、黑云斜长角闪岩.其中斜长角闪岩在铁矿体顶底板均有出现(图 2).

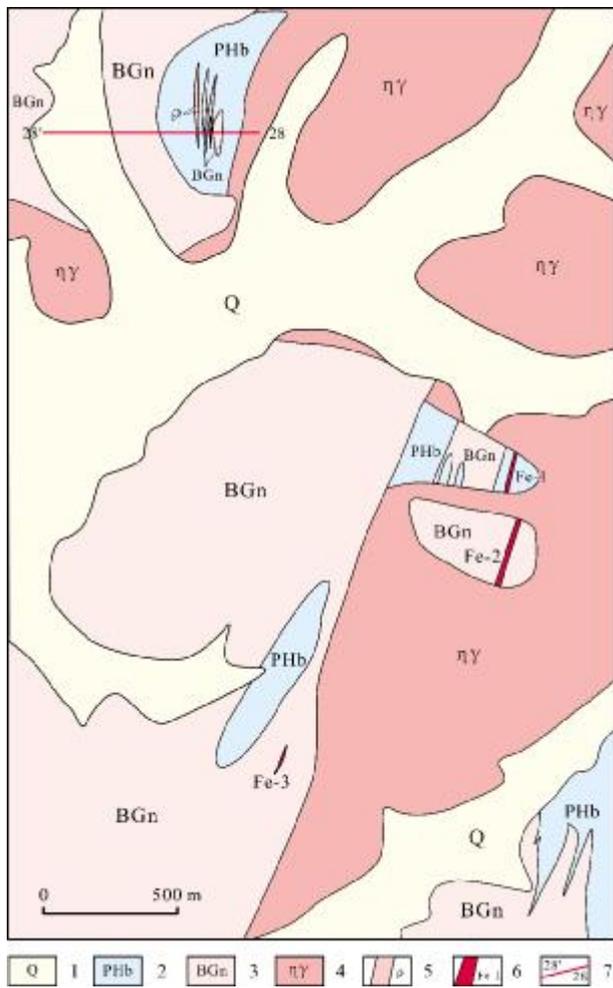


图 2 贾家堡子地区地质简图^①

Fig. 2 Geological sketch map of Jiapiapuzi area

1—第四系(Quaternary); 2—斜长角闪岩、黑云斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩(amphibolite, biotite amphibolites and plagioclase hornblende gneiss); 3—黑云斜长片麻岩(biotite plagiogeniss); 4—黑云二长花岗岩(biotite monzogranite); 5—花岗伟晶岩(granite pegmatite); 6—矿体及编号(orebody and number); 7—勘探线及编号(exploratory line and number)

矿区主要构造有断裂构造和褶皱构造.主要有北东—北北东向的扭性-压扭性断裂构造,其次为近南北向断裂构造.该断裂构造具有顺层的特点,其中北东—北北东压性断裂对铁矿起改造和破坏作用,将矿体分为若干小矿体,同时也起到储矿作用.

褶皱构造可分为早期褶皱构造和晚期褶皱构造.早期褶皱构造主要表现为紧闭同斜性褶皱,矿体被该构造改造,形成厚度不对称并重复出现.晚期褶皱在早期褶皱的走向方向进一步叠加略显宽缓,致使矿区矿体在平面上呈现南北向的舒缓游鱼状或宽缓的钩状.

岩浆岩主要为黑云二长花岗岩及脉岩.主要脉岩有闪长玢岩、花岗伟晶岩等(图 3)^①.

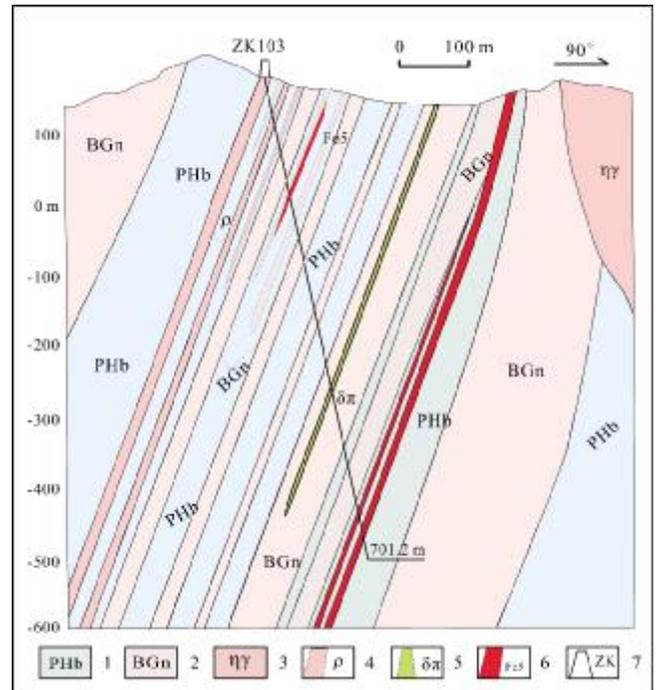


图 3 贾家堡子 28 线勘探线剖面图^①

Fig. 3 Profile of Jiapiapuzi deposit along No. 28 exploratory line 1—斜长角闪岩、黑云斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩(amphibolite, biotite amphibolites and plagioclase hornblende gneiss); 2—黑云斜长片麻岩(biotite plagiogeniss); 3—黑云二长花岗岩(biotite monzogranite); 4—花岗伟晶岩(granite pegmatite); 5—闪长玢岩(diorite porphyrite); 6—矿体及编号(orebody and number); 7—钻孔(borehole)

3 矿床地质特征

贾家堡子铁矿体总体走向呈北西向,倾向南西,倾角 35~40°. 铁矿体产于绿帘角闪石英绿泥片岩和石英

^①辽宁省冶金地质勘查局地质勘查研究院. 辽宁省灯塔市贾家堡子-果木园子一带铁矿详查报告. 2011.

片岩之间,呈层状、似层状产出,与围岩近于平行不整合接触。

矿石矿物成分比较简单,主要有磁铁矿、赤铁矿,次要成分为黄铁矿、菱铁矿及少量黄铜矿,脉石矿物有石英、透闪石、白云母、方解石和阳起石等。矿石结构为不均匀粒状变晶结构、纤状变晶结构。构造主要是条带状和块状构造。根据矿石矿物组合、结构构造特征,矿石可分为磁铁石英岩、透闪石磁铁石英岩、磁铁赤铁石英岩和赤铁磁铁石英岩4种自然类型。

全区铁矿石主要成分为 SiO_2 及 TFe_2O_3 ,两者占矿石化学成分85%以上。矿层中全铁品位主要为20%~40%,全铁含量与矿石类型密切相关。含铁含量最高的是磁铁石英岩,一般为20%~40%,赤铁石英岩次之,含量为20%~30%。

4 条带状铁矿石的地球化学特征

笔者对贾家堡子矿区采取了7件条带状磁铁石英岩样品进行主量元素和微量元素测试分析。所测样品均是经过手标本和显微镜下鉴定后,挑选出来的具有代表性的样品。主量元素和稀土元素在中国地质调查局沈阳地质调查中心实验室完成。主量元素采用荧光光谱分析(XRF),稀土元素采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)分析测定。

4.1 主量元素地球化学特征

贾家堡子铁矿石主量元素分析结果见表1。从表1中可以看出,贾家堡子铁矿石中 SiO_2 含量的为38.34%~55.63%,平均值为45.20%; TFe_2O_3 22.16%~52.05%,平均值为40.43%; FeO 11.91%~17.81%,平均值为14.58%; MnO 0.04%~0.23%,平均值为0.10%;

MgO 1.44%~3.18%,平均值为2.16%; CaO 1.10%~2.36%,平均值为1.73%; Na_2O 0.73%~1.84%,平均值为1.32%; K_2O 0.59%~2.00%,平均值为1.37%; P_2O_5 0.12%~0.44%,平均值为0.21%; Al_2O_3 4.11%~10.67%,平均值为6.20%; TiO_2 0.18%~0.43%,平均值为0.22%。

由上可知,贾家堡子矿区条带状铁矿中含量最多的化学成分是 SiO_2 和 TFe_2O_3 ,二者含量之和为94.95%~99.47%,平均值为97.61%。其他组分(MnO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 P_2O_5 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 MgO)含量非常低。因此,贾家堡子条带型铁矿(BIF)主要由 SiO_2 、 TFe_2O_3 组成,同时含有较低的 Al_2O_3 和 TiO_2 。这些特征表明南芬铁矿同鞍本地区其他BIF铁矿一样,是由极少碎屑物质加入的化学沉积岩^[3-6]。

4.2 稀土元素地球化学特征

贾家堡子矿区7个铁矿矿石的全岩样品的稀土元素分析结果列于表2。表中Eu的异常用 $\delta\text{Eu}=2\text{Eu}_{\text{PAAS}}/(\text{Sm}_{\text{PAAS}}+\text{Nd}_{\text{PAAS}})$ 来计算,Ce的异常用 $\delta\text{Ce}=\text{Ce}_{\text{PAAS}}/(2\text{Pr}_{\text{PAAS}}-\text{Nd}_{\text{PAAS}})$ 来计算,经PAAS(post Archean Australian shale)^[7]标准化后的REE配分曲线如图4所示。

由表2和图4可知,样品的稀土元素总量均较低($\Sigma\text{REE}=48.98\times 10^{-6}\sim 95.80\times 10^{-6}$),这与太古宙海洋沉积物特征一致。贾家堡子铁矿样品PAAS标准化后呈现非常一致的稀土元素配分曲线,其特征为:具轻稀土元素相对亏损、重稀土元素相对富集的分馏模式;呈现明显的Eu正异常($\delta\text{Eu}=1.64\sim 1.80$);Ce异常不明显($\delta\text{Ce}=3.45\sim 4.02$);Y/Ho比值的变化范围17.88~22.89。这些特征与全球BIF的特征一致^[8-9],表明贾家堡子铁矿为前寒武纪海洋化学沉积的产物。

表1 贾家堡子条带状铁矿床主量元素分析数据
Table 1 Contents of major elements in Jiapiuzi BIF

标本号	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	TFe_2O_3	FeO	LOI	Total	$\text{TFe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$	$\text{TFe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$
JJPZ-1	0.77	2.09	5.11	44.82	0.16	0.59	1.99	0.18	0.12	42.41	17.05	1.60	99.83	0.95	2.49	8.78
JJPZ-3	1.43	3.18	10.67	55.63	0.12	2.00	1.25	0.43	0.23	22.16	17.81	2.77	99.88	0.40	1.24	5.21
JJPZ-6	1.24	1.44	3.98	38.34	0.17	1.32	1.10	0.13	0.07	52.05	15.33	0.03	99.87	1.36	3.40	9.62
JJPZ-7	1.60	1.66	5.32	43.57	0.44	0.71	2.18	0.14	0.04	43.75	14.90	0.51	99.92	1.00	2.94	8.19
JJPZ-8	1.63	1.75	5.40	43.06	0.21	1.97	1.85	0.18	0.07	43.70	13.03	0.03	99.85	1.01	3.35	7.97
JJPZ-9	0.73	3.16	7.02	47.55	0.16	1.19	1.37	0.27	0.12	36.94	11.91	1.39	99.90	0.78	3.10	6.77
JJPZ-10	1.84	1.86	5.87	43.42	0.21	1.86	2.36	0.20	0.08	42.02	12.04	0.13	99.84	0.97	3.49	7.40

含量单位:%。

表 2 贾家堡子条带状铁矿矿石全岩样品稀土元素分析结果
Table 2 Contents of REEs in the whole-rock samples from Jiapiuzi BIF

样号	JJPZ-1	JJPZ-3	JJPZ-6	JJPZ-7	JJPZ-8	JJPZ-9	JJPZ-10
La	15	19.8	10.5	10.6	15.9	12.5	16.3
Ce	26.3	36.8	18.8	20.8	27.7	22	27.8
Pr	3.65	5	2.42	2.53	3.55	3.26	3.72
Nd	14	19.1	9.5	9.4	14	12.2	14.2
Sm	2.54	3.52	1.77	1.66	2.42	2.31	2.5
Eu	0.65	0.8	0.53	0.35	0.87	0.57	0.91
Gd	2.1	2.74	1.43	1.39	1.99	1.84	2.04
Tb	0.37	0.52	0.25	0.26	0.35	0.35	0.36
Dy	2.16	3.05	1.5	1.63	2.19	2.06	2.15
Ho	0.45	0.66	0.33	0.36	0.46	0.44	0.45
Er	1.31	1.83	0.95	1.17	1.33	1.29	1.31
Tm	0.21	0.3	0.15	0.18	0.21	0.21	0.2
Yb	1.18	1.68	0.85	1.02	1.14	1.22	1.15
Lu	0.22	0.29	0.15	0.2	0.2	0.22	0.2
Y	9.75	11.8	7.54	8.23	10	9.6	10.3
ΣREE	69.92	95.80	48.98	51.35	72.11	60.25	73.09
LREE	61.49	84.22	42.99	44.99	63.57	52.27	64.52
HREE	8.43	11.58	5.99	6.36	8.54	7.98	8.57
LREE/HREE	7.29	7.27	7.18	7.07	7.44	6.55	7.53
δEu	1.72	1.76	1.75	1.69	1.61	1.80	1.64
δCe	0.14	0.13	0.13	0.12	0.14	0.13	0.14

含量单位:10⁻⁶.

5 讨论

条带状铁矿中主要化学成分 SiO₂ 和 TFe₂O₃ 的含量对判断铁矿的沉积作用类型有一定的指示意义^[10-11]. 贾家堡子铁矿 SiO₂ 和 TFe₂O₃ 含量之和为 94.95%~99.47%,其他组分含量较低,这一特征与山东地区的韩旺铁矿和鞍本地区的东鞍山、齐大山、大孤山、弓长岭铁矿相同^[5],指示了它们均为极少数碎屑物加入的化学沉积岩. 样品具有极低的 TiO₂ 和 Al₂O₃ 含量,较高的 Al₂O₃/TiO₂ 比值,介于 24.70~38.77,说明在沉积岩中仅有极少量的黏土物质或陆源碎屑物混入,表明它们是化学 Fe-Si 沉积岩. 一般认为沉积变质铁矿的 SiO₂/Al₂O₃ 比值应小于 10,火山沉积变质铁矿 SiO₂/Al₂O₃ 应大于 10. 贾家堡子铁矿中 SiO₂/Al₂O₃ 比值介于 5.21~9.62,均小于 10,因此,贾家堡子铁矿为沉积变质铁矿.

如上所述,贾家堡子铁矿样品 REE 配分曲线重要特点是显著的 Eu 的正异常(图 4). 前人研究表明, Eu 的正异常是高温海底热液的特点^[13]. 实验表明,当热液与海水混合(1:100),REE 配分曲线显示 Eu 的正异常、LREE 亏损、HREE 相对富集和 La 正异常^[14],这些特点与贾家堡子铁矿 REE 配分曲线特征一致,表明该铁矿中的 REE 元素来源于火山热液和海水混合液. 由于 Eu 的正异常是高温海底热液的特征(图 4),Eu 异常的大小可以代表混合溶液中高温热液的相对贡献量^[10],也就是说,释放到海水中的高温热液越多, Eu 的正异常越明显. 前人研究表明,不同类型的 BIF 具体可分为与火山活动关系密切的 Algoma 型铁矿和与

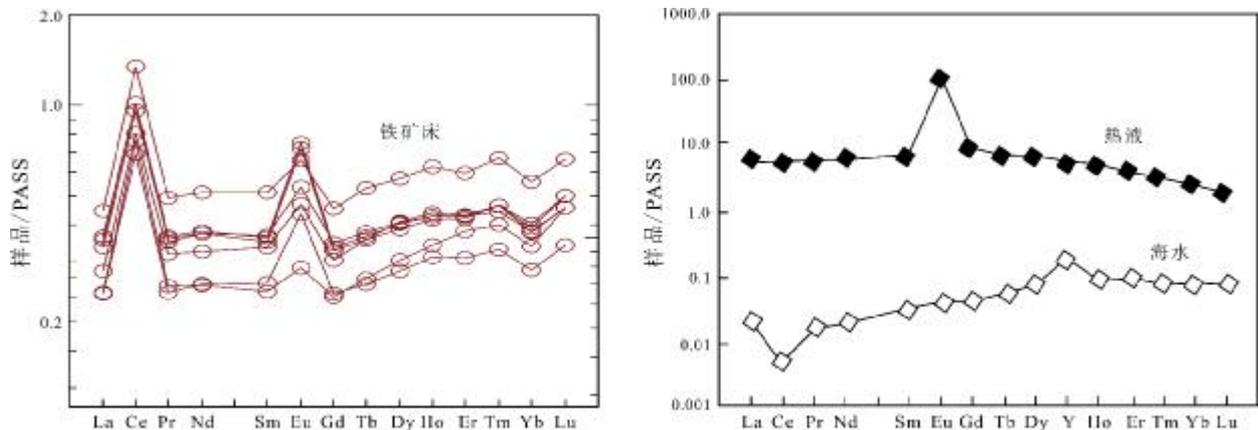


图 4 PAAS 标准化的贾家堡子条带状铁矿床 REE 配分图解
Fig. 4 PAAS-normalized REE distribution patterns for Jiapiuzi BIF

火山活动无明显关系的 Superior 型铁矿。在 TFe_2O_3 - $(\text{MgO}+\text{CaO})$ - SiO_2 三角图解中, 贾家堡子铁矿数据点均落入全球 Algoma 型铁矿分布区内(图 5)。这与鞍本地区 BIF 型铁矿为 Algoma 型铁矿的认识相符。因此本文认为贾家堡子铁矿床成因类型为与海底火山活动有关的 Algoma 型铁矿。

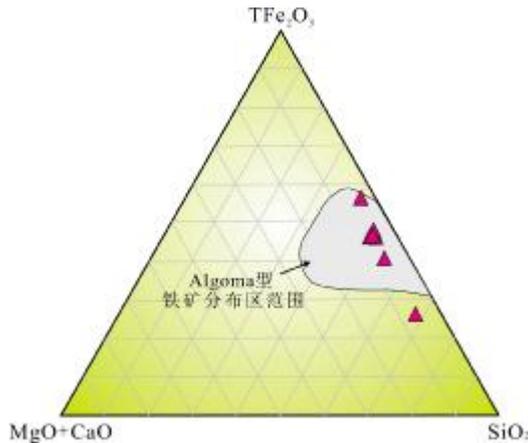


图 5 贾家堡子磁铁矿石岩 TFe_2O_3 - $(\text{MgO}+\text{CaO})$ - SiO_2 三角图解 (据文献[12])

Fig. 5 The TFe_2O_3 - $(\text{MgO}+\text{CaO})$ - SiO_2 diagram for Jiapiapuzi magnetite quartzite (From Reference [12])

6 结论

本文在对贾家堡子矿床详细地质调查研究的基础上,报道了该矿床 7 个全岩样品和稀土元素分析结果,通过分析初步得出如下结论。

1) 贾家堡子铁矿的化学成分主要为 SiO_2 和 TFe_2O_3 组成,并含有较低的 Al_2O_3 和 TiO_2 ,表明该地区 BIF 型铁矿是由极少数碎屑物质加入的化学沉积岩。

2) 贾家堡子铁矿经页岩标准化后的稀土元素配分模式显示轻稀土亏损、重稀土富集,且具有明显的 Eu 正异常,这说明该地区稀土元素来源于火山热液和海水混合液;矿床成因类型为 Algoma 型铁矿。

参考文献(References):

[1]周世泰. 鞍山-本溪地区条带状铁矿地质[M]. 北京:地质出版社, 1994: 1-278.
Zhou S T. Geology of banded iron formation from Anshan-Benxi area

[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 1-278. (in Chinese)

[2]李士江, 全贵喜. 鞍山-本溪地区含铁变质地层的划分与对比[J]. 地质找矿论丛, 2010, 25(2): 107-111.
Li S J, Quan G X. Stratigraphic division and correlation of iron ore-bearing metamorphic rocks in Anshan-Benxi area[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2010, 25(2): 107-111.

[3]张东阳, 苏慧敏, 秦松, 等. 河南窑场铁矿床地球化学特征及其地质意义[J]. 矿床地质, 2009, 28(3): 321-335.
Zhang D Y, Su H M, Qin S, et al. Geochemistry of Yaochang iron deposit in Henan Province and its geological implications[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(3): 321-335.

[4]李志红, 朱祥坤, 唐索寒. 鞍山-本溪地区条带状铁建造的铁同位素与稀土元素特征及其对成矿物质来源的指示[J]. 岩石矿物学杂志, 2008, 27(4): 285-290.
Li Z H, Zhu X K, Tang S H. Characters of Fe isotopes and rare earth elements of banded iron formations from Anshan-Benxi area: Implications for Fe source [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2008, 27(4): 285-290.

[5]张朋. 辽宁本溪大台沟铁矿地球化学特征及其地质意义[J]. 地质与资源, 2016, 25(1): 56-59.
Zhang P. Geochemical characteristics and geological signification of the Dataigou iron deposit in Benxi, Liaoning Province [J]. Geology and Resources, 2016, 25(1): 56-59.

[6]Huston D L, Logan G A. Barite, BIFs and bugs: Evidence for the evolution of the earth's early hydrosphere [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2004, 220(1/2): 41-55.

[7]Spier C A, de Oliveira S M B, Sial A N, et al. Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Cauê Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil [J]. Precambrian Research, 2007, 152(3/4): 170-206.

[8]McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary processes [M]//Lipin B, McKay G A. Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. Washington: The Mineralogical Society of America, 1989: 169-200.

[9]Carlos A S, Sonia M B, Alcides N S, et al. Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Caue Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil [J]. Precambrian Research, 2007, 152:170-206.

[10]李志红, 朱祥坤, 唐索寒, 等. 冀东、五台和吕梁地区条带状铁矿的稀土元素特征及其地质意义[J]. 现代地质, 2010, 24(5): 840-846.
Li Z H, Zhu X K, Tang S H, et al. Characteristics of rare earth elements and geological significations of BIFs from Jidong, Wutai and Lüliang area[J]. Geoscience, 2010, 24(5): 840-846.

(下转第 44 页/Continued on Page 44)

- 论评, 2006, 52(2): 251-265.
- Shu L S, Zhou X M, Deng P, et al. Principal geological features of Nanling tectonic belt, South China[J]. Geological Review, 2006, 52(2): 251-265.
- [19] Sun T, Zhou X M, Chen P R, et al. Strongly peraluminous granites of Mesozoic in eastern Nanling Range, southern China: Petrogenesis and implications for tectonics[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2005, 48(2): 165-174.
- [20] 徐先兵, 张岳桥, 贾东, 等. 华南早中生代大地构造过程[J]. 中国地质, 2009, 36(3): 573-593.
- Xu X B, Zhang Y Q, Jia D, et al. Early Mesozoic geotectonic processes in South China[J]. Geology In China, 2009, 36(3): 573-593.
- [21] 郭春丽, 郑佳浩, 楼法生, 等. 华南印支期花岗岩类的岩石特征、成因类型及其构造动力学背景探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(3): 457-472.
- Guo C L, Zheng J H, Lou F S, et al. Petrography, genetic types and geological dynamical settings of the Indosinian Granitoids in South China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2012, 36(3): 457-472.
- [22] Wang Y J, Fan W M, Cawood P A, et al. Sr-Nd-Pb isotopic constraints on multiple mantle domains for Mesozoic mafic rocks beneath the South China Block hinterland[J]. Lithos, 2008, 106(3/4): 297-308.
- [23] Wang Y J, Zhang Y H, Fan W M, et al. Structural signatures and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Indosinian Xuefengshan tectonic belt, South China Block[J]. Journal of Structural Geology, 2005, 27(6): 985-998.
- [24] 陈润生, 林东燕, 江剑丽. 福建早侏罗世火山作用的动力学机制及大地构造学意义探讨[J]. 福建地质, 2008, 27(2): 156-165.
- Chen R S, Lin D Y, Jiang J L. Dynamical mechanism and tectonics significance of early Jurassic volcanism in Fujian Province[J]. Geology of Fujian, 2008, 27(2): 156-165.
- [25] 李建华. 华南中生代大地构造过程[D]. 北京: 中国地质科学院, 2013.
- Li J H. Mesozoic tectonic processes in South China [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2013.
- [26] 李晔. 华南东南部早白垩世演化及其地质意义: 来自长乐-南澳地区变质和岩浆作用的启示[D]. 武汉: 中国地质大学, 2015.
- Li Y. The early Cretaceous evolution of SE China and its tectonic implications: insights from magmatism and metamorphism in Changle-Nan'ao Metamorphic Belt [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2015.

(上接第 26 页/Continued from Page 26)

- [11] 沈其韩, 宋会侠, 杨崇辉, 等. 山西五台山和冀东迁安地区条带状铁矿的岩石化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(2): 161-171.
- Shen Q H, Song H X, Yang C H, et al. Petrochemical characteristics and geological significations of banded iron formations in the Wutai mountain of Shanxi and Qian'an of eastern Hebei [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2011, 30(2): 161-171.
- [12] 崔培龙. 鞍山-本溪地区铁建造型铁矿成矿构造环境与成矿、找矿模式研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- Cui P L. Metallogenic tectonic setting, metallogenic and prospecting models for Precambrian iron-formation in the Anshan-Benxi area[M]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [13] Danielson A, Möller P, Dulski P. The europium anomalies in banded iron formations and the thermal history of the oceanic crust [J]. Chemical Geology, 1992, 97(1/2): 89-100.
- [14] Dymek R F, Klein C. Chemistry, petrology and origin of banded iron-formation lithologies from the 3800 Ma Isua supracrustal belt, West Greenland[J]. Precambrian Research, 1988, 39(4): 247-302.