

山东韩旺新太古代条带状铁矿的 稀土和微量元素特征

沈其韩, 宋会侠, 赵子然

中国地质科学院地质研究所, 北京 100037

摘 要: 山东韩旺条带状铁矿是一个新太古代大型鞍山式铁矿床, 本文主要对韩旺条带状铁矿进行了岩石学和岩石化学方面的研究, 并与国内外该类型矿床进行对比。岩石学研究结果认为其经受了绿片岩相至低角闪岩相变质作用, 磁铁矿部分受到变质重结晶, 但局部仍保存有化学沉积的特征。在 $\text{TFe}-(\text{CaO}+\text{MgO})-\text{SiO}_2$ 图解中, 其分布与五台山条带状铁矿和世界条带状铁矿分布区一致。韩旺铁矿稀土元素含量较低, 具有太古宙海洋沉积的特征, 在 PAAS(太古宙后平均澳大利亚沉积岩)标准化的稀土配分曲线中显示轻稀土的相对亏损和重稀土的相对富集, 具有较强的 Eu 的正异常和明显的 Y 的正异常, 无明显的 Ce 异常, 这一特征与我国鞍山弓长岭和五台山及世界许多地区的太古宙 BIF 特征一致。微量元素中 Ti、V、Co、Ni、Mn、Sr、Ba 等元素的含量都较低, 在原始地幔标准化的微量元素配分曲线中具 U、Ta、La、Ce、P 正异常, K、Nb、Sr、Hf、Zr 负异常。文章中也对韩旺条带状铁矿中 Sr/Ba、Ti/V 等元素的比值与其他地区进行了对比。综合研究结果认为韩旺条带状铁矿具有与火山热液伴生的铁质, 形成于海洋化学沉积环境。

关键词: 韩旺; 太古宙; 条带状铁矿; 岩石化学; 化学沉积

中图分类号: P618.7;P595 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-3021(2009)06-693-07

Characteristics of Rare Earth Elements and Trace Elements in Hanwang Neo-Archaean Banded Iron Formations, Shandong Province

SHEN Qi-han, SONG Hui-xia, ZHAO Zi-ran

Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract: Hanwang banded iron formations (BIF) in Shandong Province constitute a large iron deposit of Anshan type formed in Neo-Archaean. In this paper, petrology and petrochemistry of Hanwang BIF were studied and a comparison was made with other BIF in the world. Petrological studies show that the BIF suffered greenschist facies to low amphibolite facies metamorphism and part of the magnetite was recrystallized whereas the other part of the magnetite preserved the characteristics of chemical sediments. In the diagram of $\text{TFe}-(\text{CaO}+\text{MgO})-\text{SiO}_2$, Hanwang BIF has a consistent distribution area with Wutaishan BIF and other BIF in the world. The REE contents of Hanwang BIF are low, showing characteristics of marine sediments in Archean. In the PAAS-normalized REE pattern, LREE are depleted and HREE are enriched relatively, with strong Eu positive anomaly, obvious Y positive anomaly and no visible Ce anomaly. These Hanwang BIF characteristics are identical with characteristics of Gongchangling, Wutaishan and many other Archean BIF in the world. As for trace elements, contents of Ti, V, Co, Ni, Mn, Sr and Ba are low. In trace elements distribution diagram normalized by primary mantle, U, Ta, La, Ce and P have positive anomalies, whereas things are just the opposite for K, Nb, Sr, Hf and Zr. The ratios of Sr/Ba, Ti/V and some other elements are also considered in this paper. A comprehensive study of Hanwang BIF shows that its ferruginous material was associated with volcanic hydrothermal solution and was formed in a marine chemical sedimentary environment.

Key words: Hanwang; Archean; banded iron formations (BIF); petrochemistry; chemical sediments

本文由中国地质调查局计划项目“中国早前寒武纪事件序列与地球早期大陆地壳生长与成矿”(编号: 1212010711815)资助。

收稿日期: 2009-09-16; 改回日期: 2009-11-23。

第一作者简介: 沈其韩, 男, 1922 年生。研究员, 中国科学院院士。主要从事前寒武纪地质研究。E-mail: huixiasong@cags.net.cn。

山东韩旺条带状铁矿是一个新太古代大型鞍山式铁矿床。迄今为止,尚未见有关该矿床的稀土和微量元素特征的研究报道,本文根据前人资料(Danielson A et al, 1992; 沈其韩, 1998),在岩石学研究的基础上,重点论述其稀土和微量元素特征并与国内典型地区同类矿床作一比较。

1 矿床地质简介

韩旺铁矿位于山东沂源县东南部,北起沂源县东里镇院峪村,南到沂水县新民官庄乡张耿村,向南横跨沂河,全长 11 km,宽约 4 km,总面积约 40 km²。韩旺铁矿区所处的构造位置是在鲁西隆起区东端的沂水凸起上。铁矿层总体沿北西-南东方向展布,呈似层状、层状和透镜状,倾向西南,倾角 31°-65°,一般 50°左右。矿床可以分为五个矿段,从西北往东南依次可以分为西部矿段、卧虎山矿段、上河矿段、王峪矿段和张耿庄矿段(详见图 1)(据中国矿床发现史山东卷,孔庆友等, 2006)。角闪磁铁矿石岩(角闪铁英岩)是该矿床原生带的主要矿石类型,矿石全铁平均品位 34.62%,可溶铁总平均品位 29.58%,需经选矿才能利用。

铁矿层赋存于新太古代泰山岩群雁翎关组顶部的角闪片岩和斜长角闪岩中,夹少量黑云变粒岩,黑云石英片岩、透闪片岩等,北部矿段围岩主要为花岗岩,矿层单层较薄,一般厚度 1-25 m,最厚达 55 m,夹层较多,矿层分枝复合明显,矿石矿物以磁铁矿为主,其次见有赤铁矿、假象赤铁矿等,偶见黄铁矿、黄铜矿和磁黄铁矿,普遍含石英,含铁硅酸盐矿物主要有铁闪石、普通角闪石、黑云母、透闪石、阳起石以及少量绿泥石和绿帘石等,变质程度

达低角闪岩相,后期蚀变达绿片岩相。

泰山岩群已进行过多种方法的定年,既有岩层岩石的直接年龄数据,也有侵入其中的闪长岩和花岗质岩石的定年数据,雁翎关组的原岩年龄比较可靠地限定在 2.75-2.7 Ga(万渝生等未发表资料),变质年龄为 2500 Ma。

本文所研究的四个样品均采自上河矿段采矿坑中,为同一矿段铁品位不同的样品,其采样位置坐标是: 35°57'43.4", 118°26'41.7"。

2 韩旺条带状铁矿的岩石学特征

2.1 手标本及显微镜下特征

手标本为黑灰色块状,石英与磁铁矿呈条纹-条带状,条纹与条带相间,条纹一般宽 0.5-1 mm,条带一般宽 2-3 mm,黑白相间,磁铁矿部分已重结晶而导致粒度变粗,可达 2-3 mm。显微镜下观察,条纹与条带更加明显,但边界并不截然,有的条带较整齐,有的有分支尖灭的现象,条带呈白色或灰白色的常含较多的石英,在以石英为主的条带中,大部分磁铁矿已经变质重结晶,呈几毫米的方形或不规则形状的多边形颗粒,互相紧密伴生,有的与少量角闪石伴生,但含量不多,伴生的石英颗粒也较粗,达 2-3 mm,有的石英长轴与片理方向一致,颗粒互相镶嵌。石英颗粒中有时还见有少量非常细小的磁铁矿颗粒,有时还见有细小柱状的磷灰石晶体,石英含量较少的条纹较窄,主要由微细的磁铁矿与角闪石颗粒(或晶体)组成,有的磁铁矿几乎呈尘状,没有完全结晶,尚保留原始状态,这种条纹与石英含量多的条带常相间成层,偶见黑云母。角闪石在形状上可分为两种,一种为细粒状与细粒和

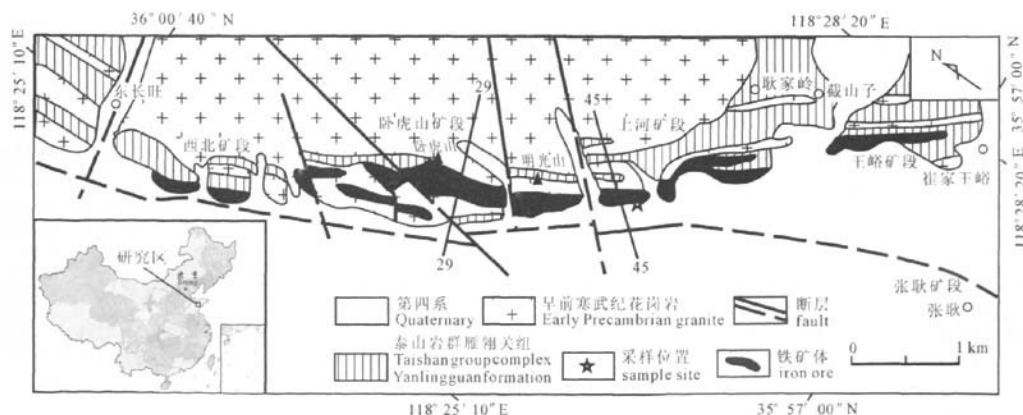


图 1 山东韩旺铁矿区地质简图(据孔庆友等, 2006)

Fig. 1 Simplified geological map of the Hanwang iron ore deposit in Shandong Province (after Kong Qingyou et al., 2006)

微粒磁铁矿伴生, 另一种呈粒状与较粗的石英粒和磁铁矿伴生, 两种角闪石的光性基本一致, 均具多色性, N_p =浅黄, N_m =浅黄绿, N_g =浅蓝绿色, $N_g \wedge c = 15^\circ - 20^\circ$, 应属同一矿物种。未见到标准的石英磁铁矿氧化物相。据前人报道, 所有矿石中均含有硅酸盐矿物, 如 TFe 与可熔铁比例小于 5% 即归入氧化物相, 大于 5% 即可归入硅酸盐相, 我们采集的 4 个样品基本属硅酸盐相。值得注意的是, 部分条带状的石英颗粒中有极微细的磁铁矿粒, 在部分条纹中有极细微近于尘状的磁铁矿存在, 虽然经过变质重结晶, 尚保留了化学沉积的特征。

2.2 条带状铁矿的岩石化学特征

韩旺条带状磁铁矿主量元素含量见表 1, 韩旺条带状铁矿中全铁(TFe_2O_3)含量的变化范围为 55.69%—63.68%, 平均值为 58.42%。 SiO_2 含量的变化范围为 35.49%—43.44%, 平均值为 40.26%, 与鞍山弓长岭和五台山铁矿氧化物相铁矿中 SiO_2 的含量一致。 MnO 含量变化范围很小, 为 0.075%—0.083%, 比鞍山弓长岭和五台山氧化物相铁矿中 MnO 含量稍高, 但比加拿大阿尔戈马型氧化物相铁矿较低。 MgO 含量变化范围为 1.39%—1.75%, 平均值为 1.61%, 与其它几个地区的氧化物相铁矿中 MgO 的含量相近, 但远低于硅酸盐相铁矿中的含量。 CaO 含量的变化范围为 1.69%—2.03%, 平均值为 1.88%, 稍高于其它地区的氧化物相铁矿中 CaO 的含量, 但均低于硅酸盐相铁矿中 CaO 的含量。 K_2O 含量的变化范围为 <0.01%—0.03%, 平均值为 0.018%, 略高于鞍山和五台山氧化物相铁矿中的含量, 但远低于鞍山弓长岭和五台山硅酸盐相铁矿中的含量, 而加拿

大阿尔戈马型氧化物矿中 K_2O 的含量则高达 0.58%。 Na_2O 含量变化范围为 0.05%—0.08%, 平均值为 0.066%。 TiO_2 的含量变化范围为 <0.01%—0.04%, 平均值为 0.018%。 Al_2O_3 含量变化范围为 0.28%—0.58%, 平均值为 0.41%, 均低于其它地区氧化物相或硅酸盐相铁矿。 P_2O_5 含量变化范围为 0.04%—0.09%, 平均值为 0.056%, 低于五台山地区的硅酸盐相铁矿和加拿大阿尔戈马型氧化物相铁矿中 P_2O_5 的含量, 与五台山硅酸盐相铁矿的含量一致。

由表 1 可知, 韩旺地区条带状铁矿中含量最多的化学成分是 SiO_2 和 TFe_2O_3 , 二者之和达 97.99%—99.13%, 其它组分(TiO_2 , Al_2O_3 , MnO , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , P_2O_5)的含量都非常低, 这些特征与鞍山和五台山地区条带状铁矿相同, 是由极少碎屑物加入的化学沉积物, 与薄片观察到微尘和极微小铁矿分布于石英等颗粒中的现象一致。

一般认为沉积变质铁矿的 SiO_2/Al_2O_3 的比值应小于 10, 火山沉积变质铁矿的 SiO_2/Al_2O_3 应大于 10, 从表 1 中可看出, 韩旺铁矿的 SiO_2/Al_2O_3 的比值变化范围为 70.9—126.8, 平均为 98, 与鞍山弓长岭氧化物相铁矿 SiO_2/Al_2O_3 的比值几乎一致, 而同一地区的硅酸盐相铁矿的 SiO_2/Al_2O_3 为 11.7, 五台山硅酸盐相铁矿的 SiO_2/Al_2O_3 为 59.3, 它们比值虽有差异, 但均大于 10, 指示了韩旺铁矿与火山沉积作用有关, 与该铁矿的宏观建造特征也一致。

从图 2 中可清楚地看出, 山东韩旺条带状铁矿的 $TFe-(CaO+MgO)-SiO_2$ 与五台山地区和鞍山地区铁矿的分布范围十分一致(李树勋等, 1986; 翟明国等, 1989), 均位于世界条带状铁矿分布范围内。

表 1 韩旺条带状铁矿的主量元素含量(%)
Table 1 Content of major elements in Hanwang iron ore(%)

序号	样品产地	样品号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	TFe_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	LOI	TFe
1	韩旺	HW01-2	41.11	0.04	0.58	57.18			0.08	1.99	1.60	0.03	0.08	0.02	<0.01	40.03
		HW01-3	43.44	0.01	0.40	55.69			0.08	1.69	1.74	0.01	0.07	0.08	<0.01	38.98
		HW01-4	40.86	0.02	0.37	57.13			0.08	2.03	1.72	0.01	0.07	0.09	<0.01	39.99
		HW01-5	35.49	0.01	0.28	63.68			0.08	1.79	1.37	0.02	0.05	0.04	<0.01	44.58
		平均	40.23	0.02	0.41	58.42			0.08	1.88	1.61	0.02	0.07	0.06		40.85
2	鞍山弓长岭	氧化物相(9)	43.69	0.04	0.55		35.82	16.40	0.06	1.75	2.51	0.05	0.08	0.08		38.50
3	铁矿	硅酸盐相(4)	47.73	0.13	4.09		18.50	16.18	0.12	4.16	4.26	0.28	0.56	0.05		35.67
4	五台山铁矿	氧化物相(8)	39.42	0.08	2.31		36.65	16.06	0.02	1.49	1.50	0.02	0.49	0.08		39.53
5		硅酸盐相(5)	47.41	0.04	0.80		20.22	21.60	0.14	2.14	2.26	0.12	0.06	0.26		30.94
6	加拿大阿尔戈马型铁矿	氧化物相	50.50	-	3.00		26.90	13.00	0.41	1.51	1.53	0.58	0.31	0.21		28.94

注: 序号 1 由中国地质科学院国家地质实验测试中心测试, 方法为等离子光谱法; 序号 2-5 引自沈保丰等(1994), 序号 6 转引自沈保丰等(1994), 原始资料来自 Gross(1980); 括号中的数字表示是多个样品的平均值。

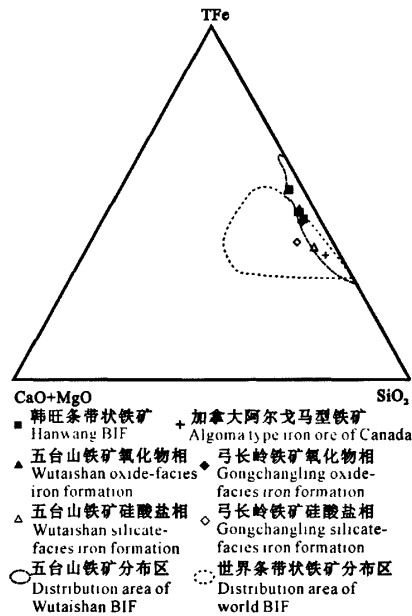


图 2 TFe-(CaO+MgO)-SiO₂ 图解
Fig. 2 TFe-(CaO+MgO)-SiO₂ diagram

3 稀土和微量元素特征

3.1 稀土元素特征

山东韩旺条带状铁矿 4 个全岩样品的稀土元素分析结果见表 2, 表 2 中同时列出了鞍山弓长岭和山西五台山部分样品的分析结果以便于比较。表中 La 的异常用 $La/La^*=La_{PAAS}/(3Pr_{PAAS}-2Nd_{PAAS})$ 来计算, Ce 的异常用 $Ce/Ce^*=Ce_{PAAS}/(2Pr_{PAAS}-Nd_{PAAS})$ 来计算, Y 的异常用 $Y/Y^*=2Y_{PAAS}/(Dy_{PAAS}+Ho_{PAAS})$ 来计算 (Robert et al, 2004), PAAS 是太古宙后平均澳大利亚沉积岩, 该标准化数据采用 McLennan(1989), 经 PAAS 标准化后的 REE 配分曲线如图 3 所示。

由表 2 和图 3 可知, 韩旺铁矿的稀土元素总量较低, 为 $(9.45-11.39) \times 10^{-6}$, 平均为 10.33×10^{-6} , 高于鞍山弓长岭地区, 但远低于五台山地区, 这是太古宙海洋沉积物的一个特征。从图 3 上看, 韩旺条带状铁矿样品经 PAAS 标准化后呈现非常一致的稀土配分曲线, 其特征是具轻稀土元素相对亏损,

表 2 山东韩旺及其它地区条带状铁矿中稀土元素含量($\times 10^{-6}$)

Table 2 REE contents of BIF in the Hanwang iron ore deposit and other areas ($\times 10^{-6}$)

序号	1					2	3
样品号	HW01-2	HW01-3	HW01-4	HW01-5	平均	鞍山弓长岭铁矿(3)	五台山铁矿(4个硅酸盐相平均)
La	1.42	0.81	0.78	0.89	0.97	0.62	6.48
Ce	2.51	1.53	1.57	1.61	1.80	1.08	14.00
Pr	0.29	0.19	0.20	0.21	0.22	0.15	1.33
Nd	1.16	0.88	0.95	0.89	0.97	0.66	5.28
Sm	0.28	0.23	0.29	0.21	0.25	0.15	1.12
Eu	0.14	0.12	0.13	0.13	0.13	0.12	0.60
Gd	0.39	0.39	0.49	0.39	0.41	0.19	1.20
Tb	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.04	<0.250
Dy	0.44	0.46	0.57	0.49	0.49	0.29	0.98
Ho	0.11	0.11	0.13	0.12	0.12	0.08	0.22
Er	0.35	0.35	0.43	0.37	0.38	0.25	0.69
Tm	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.04	0.12
Yb	0.37	0.39	0.44	0.41	0.40	0.24	0.72
Lu	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.04	0.13
Y	3.76	3.82	4.22	4.18	3.99	3.33	6.74
REE	11.39	9.45	10.39	10.07	10.33	7.28	39.86
LREE/HREE	1.03	0.66	0.61	0.64	0.74	0.62	1.37
La/Yb	3.85	2.09	1.78	2.18	2.43	2.58	9.00
Y/Ho	33.54	34.09	32.70	34.57	33.70	41.63	30.64
Sm/Nd	0.24	0.26	0.31	0.24	0.26	0.23	0.21
Pr/Yb	0.78	0.49	0.46	0.51	0.55	0.63	1.85
Eu/Sm	0.49	0.52	0.46	0.60	0.51	0.80	0.54
Y/Y*	1.34	1.33	1.24	1.37	1.32	1.73	1.16
La/La*	1.28	1.70	1.64	1.31	1.42	1.35	1.21
Ce/Ce*	1.03	1.13	1.12	0.99	1.06	0.94	1.21
Eu/Eu*	1.87	1.79	1.57	1.93	1.78	3.28	2.42

注: 序号 1 为本文实测的 4 个样品的数据, 由国家地质实验测试中心用等离子光谱(X-Series)测定; 序号 2 根据李志红等(2008)的三个样品(Gc062-17, Gc061-15 和 DM06-6)的数据平均而得; 序号 3 根据骆辉等(2002)4 个样品(97404B, 97404C, 96W41 和 98-3)数据平均, 样品主要为硅酸盐相, 含部分氧化物相。

表 3 山东韩旺及其它地区条带状铁矿中微量元素含量($\times 10^{-6}$)

Table 3 Trace elements contents of BIF in the Hanwang iron ore deposit and other areas ($\times 10^{-6}$)

序号	1					2	3	4
样品号	HW01-2	HW01-3	HW01-4	HW01-5	平均	鞍山弓长岭铁矿	五台山铁矿 (氧化物相)	五台山铁矿 (硅酸盐相)
Sc	1.60	1.12	1.59	0.91	1.31	10.00	0.82	
Ti	215.77	83.91	131.86	59.93	122.87	70.00	479.48	239.74
Rb	1.62	1.05	0.82	0.49	1.00		1.91	
Sr	10.78	9.13	9.04	12.60	10.39	155.00	34.35	30.44
Ba	8.43	7.32	6.06	4.31	6.53	296.00	14.30	62.84
Cr	27.45	33.59	29.78	4.40	23.80	40.00	8.00	36.08
Co	2.60	4.29	3.69	2.66	3.31	2.00	4.99	2.47
Ni	17.33	26.21	19.88	6.84	17.57	30.00	5.07	1.76
V	12.16	8.30	9.16	4.54	8.54	52.00		36.93
Cu	162.30	57.03	18.33	11.08	62.19	11.00	24.70	64.63
Zn	46.00	30.71	40.20	50.76	41.92	482.00	49.90	73.91
Pb	1.64	2.27	2.23	1.55	1.92		2.29	
Zr	1.89	1.66	1.13	0.89	1.39	10.00	9.28	54.96
Hf	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05		0.26	
Ga	1.75	1.36	1.42	1.50	1.51		3.57	
Ge	5.13	4.69	5.33	5.16	5.08		5.62	
Nb	0.20	0.21	0.20	0.17	0.19		0.40	
Ta	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05		0.06	
Th	0.14	0.10	0.12	0.08	0.11		0.56	
U	0.28	0.11	0.12	0.10	0.15		0.14	
Sr/Ba	1.28	1.25	1.49	2.92	1.59	0.52	2.40	0.48
Sr/Rb	6.67	8.67	11.04	25.56	10.44	-	17.98	-
Ba/Rb	5.22	6.95	7.40	8.74	6.56	-	7.49	-
Co/Zn	0.06	0.14	0.09	0.05	0.08	<0.01	0.10	0.03
Ni/Zn	0.38	0.85	0.49	0.13	0.42	0.06	0.10	0.02
Ti/V	17.74	10.10	14.40	13.20	14.39	1.35		6.49
Ni/Co	6.67	6.11	5.39	2.57	5.31	15.00	1.02	0.71
Cr/Ni	1.58	1.28	1.50	0.64	1.36	1.33	1.58	20.50
Ga/Ge	0.34	0.29	0.27	0.29	0.30	-	0.64	-
Nb/Ta	3.94	4.22	4.06	3.36	3.90	-	6.67	-
Th/U	0.49	0.89	0.94	0.78	0.70	-	4.00	-

注: 序号 1 为本文实测的 4 个样品的数据, 由国家地质实验测试中心用等离子光谱(X-Series)测定; 序号 2 根据沈保丰等(1994), 由几个样品平均而来; 序号 3 为本文所采集五台山峨口铁矿 2 个样品的平均值; 序号 4 根据骆辉等(2002)的 1 个样品。

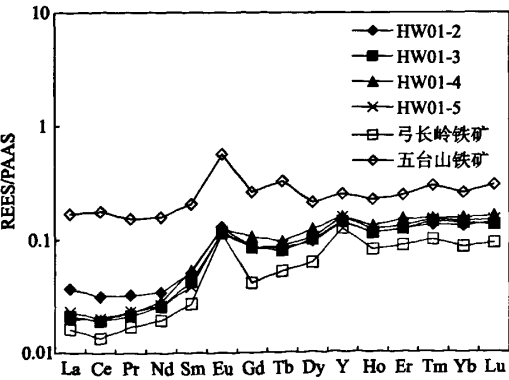


图 3 山东韩旺条带状铁矿与鞍山弓长岭和五台山铁矿的稀土配分曲线比较

Fig. 3 PAAS-normalized REE patterns of Hanwang, Gongchangling and Wutaishan BIF

重稀土相对富集, $Pr/Yb=0.46-0.78$; 无明显 Ce 异常, $Ce/Ce^*=0.99-1.13$; 具强烈的 Eu 正异常, $Eu/Eu^*=1.57-1.93$; Y 显示较明显的正异常, $Y/Y^*=1.24-1.37$, Y/Ho 比值的变化范围为 32.70-34.57, 与鞍山弓长岭和五台山部分数据基本一致。这些特征与世界许多地区的 BIF 特征也一致(李文达, 1987; Robert B et al, 2004; Carlos A et al, 2007), 表明它们都属于早前寒武纪海洋化学沉积的产物。Eu/Sm 稍高于年轻的铁建造, 变化范围为 0.24-0.4, 这与世界上其它地区太古宙铁建造稀土元素分布相吻合。

3.2 微量元素特征

韩旺条带状铁矿的微量元素含量见表 4, 其经原始地幔标准化后的微量元素配分曲线图见图 4, 从表 3 和图 4 中可以明显看出样品具有 U、Ta、La、

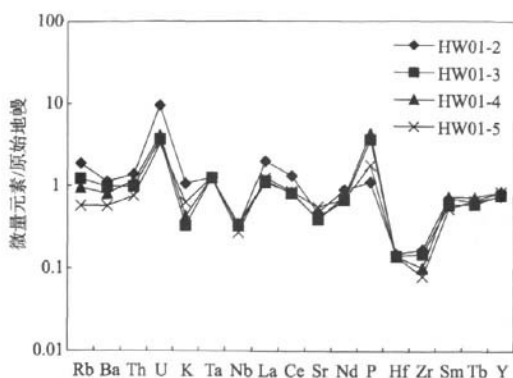


图4 山东韩旺条带状铁矿的微量元素配分曲线
Fig. 4 Primitive mantle-normalized trace elements patterns of Hanwang BIF

Ce、P 正异常, K、Nb、Sr、Hf、Zr 呈负异常, Ti、V、Co、Ni、Mn、Sr、Ba 等元素的含量都较低。

一般认为火山岩和海相沉积物的 Sr/Ba 比值大于 1, 陆源沉积岩的 Sr/Ba 值小于 1, 韩旺条带状铁矿的 Sr/Ba 值为 1.25–2.92, 平均为 1.59, 与火山岩和海相沉积物的 Sr/Ba 一致。五台山氧化物相铁矿的 Sr/Ba 值大于 1, 与韩旺铁矿一致。而鞍山弓长岭和五台山硅酸盐相铁矿的 Sr/Ba 值均小于 1, 可能由于所选样品少, 代表性不够所致。Ti/V 比值常用来区分成矿物质来源和条带状铁矿的成因类型, H A Plaksanko 等认为, 在铁质页岩中, Ti、V 含量的平均比值变化于 10.9–1.33 之间, 在火山建造中则为 13–85, 韩旺铁矿的 Ti/V 值在 10.10–17.74 之间, 平均为 14.39, 与火山建造一致。本文所列鞍山弓长岭和五台山铁矿因样品较少, 其 Ti/V 无代表性, 就整个五台山含铁建造而言, 其 Ti/V 平均值为 18.98, 金岗库含铁建造 Ti/V 为 11.02, 基本与韩旺一致。

火山沉积铁矿中 Cr、Ni、Co 的含量一般高于陆源碎屑, 而对 Ni/Co 比值, 火山沉积铁矿一般低于陆源沉积铁矿。韩旺铁矿中 Ga 和 Ge 的含量一般为若干个 10^{-6} , 比陆源沉积岩的几十个 10^{-6} 低一个数量级, 故韩旺铁矿更接近于火山沉积岩的范围。综合韩旺铁矿中稀土元素的特点, 其与火山沉积铁矿微量元素特征相似, 反映其海洋化学沉积的特征。

4 几点结论

(1) 山东韩旺条带状铁矿赋存于新太古代泰山岩群雁翎关组上部地层中, 时代属新太古代早期 (2700Ma), 遭受了绿片岩相至低角闪岩相变质作用, 部分磁铁矿受到变质重结晶, 但仍有一部分为极细粒, 保存有化学沉积的特征。

(2) 韩旺铁矿稀土元素总量较低, 含量为 $(9.45-11.39) \times 10^{-6}$, 平均为 10.33×10^{-6} , 这是太古宙海洋沉积的特征。PAAS 标准化的稀土配分图具轻稀土元素的相对亏损, 重稀土元素相对富集, 强烈 Eu 正异常和明显的 Y 的正异常, 无明显的 Ce 异常, 这与我国鞍山弓长岭和五台山铁矿及世界许多地区太古代 BIF 的特征一致。Eu/Sm 比值范围为 0.49–0.60, 较年轻的铁建造 0.24–0.4 高, 与国内外太古代铁建造稀土元素特征相吻合。

(3) 微量元素中 Ti、V、Co、Ni、Mn、Sr、Ba 等元素的含量较低, 在原始地幔标准化的配分曲线上显示 U、Ta、La、Ce、P 呈正异常, K、Nb、Sr、Hf、Zr 呈负异常。Sr/Ba、Ti/V 和 Ni/Co 值指示了韩旺铁矿成矿物质来源于火山物质的沉积。

参考文献:

- 孔庆友, 张天祯, 于学峰, 徐军祥, 潘元林, 李献水. 2006. 山东矿床[M]. 济南: 山东科学技术出版社.
- 李文达. 1987. 稀土元素在矿床研究中的应用[M]. 北京: 地质出版社, 161–168.
- 李志红, 朱祥坤, 唐索寒. 2008. 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, 27(4):285–290.
- 李树勋, 冀树楷, 马志红, 贺高品, 田永清, 杨文魁. 1986. 五台山地区变质沉积铁矿地质[M]. 吉林: 吉林科学技术出版社.
- 骆辉, 陈志宏, 沈保丰. 2002. 五台山地区条带状铁建造含矿地质及成矿预测[M]. 北京: 地质出版社.
- 沈保丰, 骆辉, 李双保, 李俊健, 彭晓亮, 胡小蝶, 毛德宝, 梁若馨. 1994. 华北陆台太古宙绿岩带地质及成矿[M]. 北京: 地质出版社.
- 沈其韩. 1998. 华北地台早前寒武纪条带状铁英岩地质特征及形成的地质背景[A]. 见程裕祺主编《华北地台早前寒武纪地质研究论文集》, 北京: 地质出版社, 1–30.
- 翟明国, Windley B F, Sills J D, 杨瑞英, 韩松. 1989. 鞍山太古代条带状铁建造(BIF)的稀土及微量元素特征[J]. 地球化学, 1989(3):241–249.

References:

- Carlos A S, Sonia M B, Alcides N S, Francisco J R. 2007. Geochemistry and genesis of the banded iron formation of the Caue formation, Quadrilatero Ferrifero, Minas Gerais, Brazil [J]. Precambrian Research, 152: 170–206.
- Danielson A, Moller P and Dulski P. 1992. The europium anomalies in banded iron formations and the thermal history of the oceanic crust [J]. Chemical Geology, 97, 89–100.
- KONG Qing-you, ZHANG Tian-zhen, YU Xue-feng, XU Jun-xiang, PAN Yuan-lin, LI Xian-shui. 2006. Deposits in Shandong Province [J]. Ji'nan: Shandong Science and Technology Pub-

- lishing House(in Chinese with English abstract).
- LI Shu-xun, JI Shu-kai, MA Zhi-hong, HE Gao-pin, TIAN Yong-qing, YANG Wen-kui. 1986. Geology of metamorphic sedimentary iron deposit in Wutaishan area [M]. Jilin: Jilin Science and Technology Publishing House(in Chinese with English abstract).
- LI Wen-da. 1987. Rare-earth element application in deposit researching [M]. Beijing: Geological Publishing House, 161-168(in Chinese with English abstract).
- LI Zhi-hong, ZHU Xiang-kun, TANG Suo-han. 2008. 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*, 27(4): 285-290(in Chinese with English abstract).
- LUO Hui, CHEN Zhi-hong, SHEN Bao-feng. 2002. Ore-bearing geology and metallogenic prognosis of BIF, Wutaishan area [J]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- McLennan S M. 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes [A]. In: Lipin B R and McKay G A (eds), *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. Reviews in Mineralogy*, 21: 169-200.
- Robert B, Balz S K, Stephen M, Christopher M F and Martin J W. 2004. Characterisation of early Archaean chemical sediments by trace element signatures [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 222: 43-6.
- SHEN Bao-feng, LUO Hui, LI Shuang-bao, LI Jun-jian, PENG Xiao-liang, HU Xiao-die, MAO De-bao, LIANG Ruo-xin. 1994. Geology and metallization of Archean greenstone belts in north China platform [J]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- SHEN Qi-han. 1998. Geological characteristics and settings of the Pre-Cambrian banded magnetite quartzite in north China platform [A]. In CHENG Yu-qi ed "Collected papers on Pre-Cambrian geology study of north China platform ". Beijing: Geological Publishing House, 1-30(in Chinese with English abstract).
- ZHAI Ming-guo, Windley B F, Sills J D, YANG Rui-ying, HAN Song. 1989. REE and trace element geochemistry of the Archean Anshan-Benxi BIF, Liaoning, northeast China [J]. *Geochimica*, 1989 (3): 241-249(in Chinese with English abstract).