

辽宁本溪大台沟铁矿地球化学特征及其地质意义

张 朋

中国地质调查局 沈阳地质调查中心(沈阳地质矿产研究所), 辽宁 沈阳 110034

摘 要:通过主量元素和稀土元素相结合的方法, 对大台沟铁矿成矿物质来源提出了有效制约。研究表明: 大台沟铁矿化学成分主要由 TFe_2O_3 和 SiO_2 组成, 并且具有较低的 Al_2O_3 和 TiO_2 含量, 这一特征与鞍山地区及山西五台山和冀东迁安地区铁矿一致, 表明大台沟铁矿为火山沉积变质铁矿。稀土元素呈现轻稀土亏损、重稀土富集的特征, 具有明显的 Eu 正异常特征, 这些特征表明成矿物质来源于火山热液和海水的混合液。

关键词: 大台沟铁矿; 稀土元素; 成矿物质; 矿床成因; 辽宁省

DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2016.01.010

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND GEOLOGICAL SIGNIFICATION OF THE DATAIGOU IRON DEPOSIT IN BENXI, LIAONING PROVINCE

ZHANG Peng

Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110034, China

Abstract: Study on the major and rare earth elements (REE) of Dataigou iron deposit reveals that the average bulk compositions of the banded iron formations (BIF) are rich in TFe_2O_3 and SiO_2 but low with Al_2O_3 and TiO_2 contents. These characteristics are consistent with those of the iron deposits in Anshan-Benxi, Wutaishan and Qianan. It shows that the Dataigou deposit is of volcanic-sedimentary metamorphic iron deposit, characterized by depletion of light REE and enrichment of HREE, with distinct positive anomaly of Eu, which indicates that the BIFs are the products of chemical sedimentation from paleo-seawater with significant input of volcanic hydrothermal fluids.

Key words: Dataigou iron deposit; BIF; REE; ore-forming material source; genesis; Liaoning Province

辽宁本溪大台沟铁矿是近年发现的最大的“鞍山式”铁矿, 初步估算该矿床 333+332 类资源量约 $34 \times 10^8 \text{ t}^{[1]}$ 。迄今为止, 未见有矿床主量元素、稀土元素和微量元素的相关报道。本次在详实的钻孔观察基础上, 采集相关矿石样品, 进行元素地球化学测试并与鞍山地区典型矿床作比较, 探讨矿床成矿物质来源及矿床成因。

1 矿床地质特征

大台沟铁矿位于鞍山-本溪铁矿成矿带东部。

矿区地表出露地层主要有寒武系、震旦系和青白口系盖层, 钻孔资料显示深部地层含有辽河群浪子山组和鞍山群樱桃园组。矿区地表未见岩浆岩出露, 钻孔中见有新太古代花岗片麻岩和闪长玢岩脉岩。

大台沟铁矿为隐伏近直立厚板状矿体。矿体水平厚度平均在 870 m, 矿体埋深 1100~1200 m, 目前已控制矿体延长 2000 m。矿体主要由条带状磁铁矿石岩组成。主要矿石类型有条带状磁铁赤铁矿石岩、条带状赤铁矿石岩和条带状磁铁矿石岩。矿石矿物有磁铁矿、赤铁矿和假象赤铁矿。脉石矿物有绿泥石、透闪石、石英

收稿日期: 2015-03-31; 修回日期: 2015-06-08。编辑: 李兰英。

基金项目: 中国地质调查局 辽东吉南成矿带资源远景调查评价”项目 编号 12120113058700)。

作者简介: 张朋 (1983—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事成矿规律及找矿预测工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//geozhangpeng2010@163.com

等. 矿石主要结构有镶嵌粒状变晶结构、鳞片粒状变晶结构、柱粒状变晶结构. 矿石构造有条带状构造和条纹状构造.

2 样品采集及分析结果

笔者采集了 5 件条带状磁铁矿石岩钻孔样品, 进行了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), 稀土元素分析采用电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS) 分析测定.

2.1 主量元素特征

大台沟铁矿矿石主量元素分析结果见表 1. 从表 1 中可以看出: 大台沟铁矿石中 SiO₂ 含量的变化范围为 41.06%~51.01%, 平均值为 47.65%; TFe₂O₃ 含量的变化范围为 44.95%~56.44%, 平均值为 49.93%; FeO 含量 0.92%~17.12%, 平均值 8.31%; MnO 含量 0.01%~0.03%, 平均值 0.02%; MgO 含量 0.15%~2.93%, 平均值 1.24%; CaO 含量 0.08~0.92%, 平均值 0.34%; Na₂O 含量

0.06~0.11%, 平均值 0.08%; K₂O 含量 0.13~0.15%, 平均值 0.14%; P₂O₅ 含量 0.03~0.20%, 平均值 0.09%; Al₂O₃ 含量 0.27~0.54%, 平均值 0.33%; TiO₂ 含量 0.02%, 平均值 0.02%.

由上可知, 大台沟条带状铁矿中含量最多的化学成分是 SiO₂ 和 TFe₂O₃, 二者含量之和介于 95.96%~99.07% 之间, 平均值为 97.51%, 其他组分 (MnO、CaO、Na₂O、K₂O、P₂O₅、TiO₂、Al₂O₃、MgO) 含量非常之低. 因此, 大台沟 BIF 型铁矿主要由 SiO₂、TFe₂O₃ 组成, 同时含有较低的 Al₂O₃ 和 TiO₂, 这些特征表明大台沟铁矿同鞍本地区其他 BIF 铁矿一样, 由极少碎屑物质加入的化学沉积岩^[2-31].

2.2 稀土元素特征

大台沟铁矿 5 件矿石的 REE 分析结果列于表 2. 表中 Eu 的异常用 $Eu/Eu^*=2Eu_{PAAS}/(Sm_{PAAS}+Nd_{PAAS})$ 来计算; Ce 的异常用 $Ce/Ce^*=Ce_{PAAS}/(2Pr_{PAAS}+1Nd_{PAAS})$ 来计算; Y 的异常用 $Y/Y^*=2Y_{PAAS}/(Dy_{PAAS}+Ho_{PAAS})$ 来计算; La 的异常用 $La/La^*=La_{PAAS}/(3Pr_{PAAS}+3Nd_{PAAS})$ 计算. 经 PAAS (Post Archean Australian shale)^[4] 标准化后的 REE 配分曲线如图 1 所示.

表 1 辽宁本溪大台沟条带状铁矿石主量元素分析数据
Table 1 Major element contents of Dataigou iron deposit in Liaoning Province

样品号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	LOI	总量
DTG-1	50.29	0.30	47.86	0.33	0.32	0.13	0.06	0.02	0.02	0.63	99.99
DTG-2	49.20	0.26	47.99	0.92	1.15	0.13	0.06	0.03	0.02	0.02	99.98
DTG-3	46.67	0.29	52.40	0.08	0.15	0.15	0.08	0.01	0.02	0.02	99.97
DTG-4	41.06	0.27	56.44	0.15	1.66	0.14	0.07	0.03	0.02	0.02	99.99
DTG-5	51.01	0.54	44.95	0.23	2.93	0.13	0.11	0.02	0.02	0.02	99.99

含量单位: %.

表 2 辽宁本溪大台沟条带状铁矿石稀土元素分析数据
Table 2 Rare earth element contents and parameters of Dataigou iron deposit in Liaoning Province

样品号	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
DTG-1	200.35	2.68	15.93	0.67	2.97	0.74	0.71	0.77	0.16	1.02	0.20	0.58	0.13	0.73	0.13
DTG-2	93.91	2.76	77.54	0.59	2.37	0.50	0.54	1.10	0.13	0.71	0.14	0.83	0.11	0.56	0.10
DTG-3	115.50	2.79	84.62	0.60	2.39	0.53	0.60	1.17	0.13	0.70	0.14	0.76	0.10	0.46	0.10
DTG-4	277.10	2.39	12.01	0.45	1.88	0.42	0.43	0.54	0.11	0.73	0.13	0.34	0.10	0.45	0.10
DTG-5	70.04	2.33	73.63	0.45	9.96	0.36	0.41	0.93	0.12	0.61	0.11	1.75	0.10	0.43	0.10
样品号	Ce/Ce*	La/La*	Eu/Eu*	Y/Y*	Y/Ho	Pr/Yb	La/Yb	Sm/Nd	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE			
DTG-1	0.85	1.55	6.24	38.46	104.36	0.91	3.66	0.25	27.42	23.70	3.72	6.38			
DTG-2	4.89	1.31	6.51	25.83	695.63	1.06	4.95	0.21	87.98	84.30	3.66	23.04			
DTG-3	5.25	1.27	6.98	31.99	849.26	1.30	6.03	0.22	95.09	91.53	3.56	25.75			
DTG-4	0.98	1.66	6.44	77.89	2115.27	0.99	5.26	0.22	20.08	17.58	2.49	7.07			
DTG-5	2.35	0.13	2.11	23.42	614.39	1.04	5.41	0.04	91.29	87.14	4.15	20.97			

含量单位: 10⁻⁶.

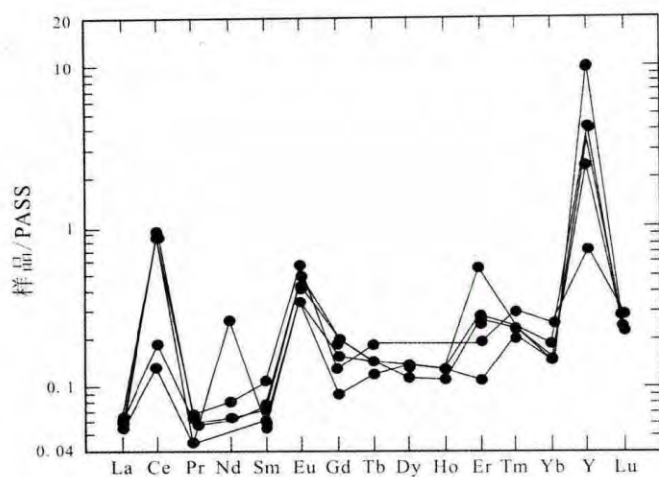


图1 大台沟铁矿稀土配分曲线图

Fig. 1 The REE distribution pattern of Dataigou iron deposit

由表2和图1可知,样品的稀土元素总量均较低($\Sigma\text{REE}=20.08\times 10^{-6}\sim 95.09\times 10^{-6}$),这与太古宙海洋沉积物特征一致。大台沟铁矿BIF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($\text{Eu}/\text{Eu}^*=2.11\sim 6.98$);Ce异常不明显($\text{Ce}/\text{Ce}^*=0.85\sim 5.25$),Y/Ho比值的变化范围104.36~2115.27。这些特征与全球BIF的特征一致^[5-6],表明大台沟铁矿为前寒武纪海洋化学沉积的产物。

3 讨论

3.1 成矿物质来源

大台沟铁矿稀土配分曲线呈现轻稀土亏损、重稀土富集,具有明显的Eu正异常的形态(图1),这与鞍本地区乃至世界其他地区BIF的REE配分曲线一致。前人研究表明,Eu的正异常是高温海底热液的特点,通常认为与火山活动关系密切的Algoma型铁矿具有较大的Eu值($\text{Eu}>1.8$),而与火山活动无明显关系的Superior型铁矿具有相对较小的Eu值($\text{Eu}<1.8$)^[7-8]。大台沟铁矿中Eu的正异常均大于1.8(表2),表明该地区BIF的形成与更强烈的热液组分的输入有关,这与鞍本地区BIF型铁矿为Algoma型铁矿的认识相符。Y/Ho通常用作区分海相沉积和非海相沉积的标准。研究显示,球粒陨石Y/Ho比值为26~28,陆源沉积物和上地壳岩石的Y/Ho比值与球粒陨石相似,现代海水Y/Ho比值为44~74^[9-10]。大台沟铁矿Y/Ho比值明显与现在海水相近,因此综合Eu正异常认为大台沟铁矿成矿物质来源于火山热液和海水的混合液。

3.2 矿床成因

条带状铁矿中主要化学成分 SiO_2 和 TFe_2O_3 的含量对判断铁矿的沉积作用类型有一定的指示意义。大台沟铁矿 SiO_2 和 TFe_2O_3 之和为95.96%~99.07%,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,说明它们均为极少数的碎屑物加入的化学沉积岩。样品 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比值介于13.00~27.00,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。研究显示,沉积变质铁矿的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值应小于10,火山沉积变质铁矿 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值应大于10。大台沟铁矿中 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值介于94.52~189.35,这一比值与火山沉积变质铁矿相对应。因此,大台沟铁矿为火山沉积变质铁矿。

4 结论

本文研究了大台沟铁矿床全岩样品主量元素和稀土元素地球化学特征,经初步分析得出以下认识。

(1)大台沟铁矿的化学成分主要为 SiO_2 和 TFe_2O_3 组成, Al_2O_3 和 TiO_2 含量较低,表明大台沟BIF型铁矿是由极少数碎屑物质加入的化学沉积岩。

(2)大台沟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、明显的Eu正异常,这说明成矿物质来源于火山热液和海水混合液。

参考文献:

- [1] 洪秀伟,庞宏伟,刘学文,等. 辽宁本溪大台沟铁矿地质特征[J]. 中国地质, 2010, 37(5): 1426—1433.
- [2] 张东阳,苏慧敏,秦松,等. 河南窑场铁矿地球化学特征及其地质意义[J]. 矿床地质, 2009, 28(3): 321—335.
- [3] 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, 2010, 27(4): 285—290.
- [4] McLennan S B. Rare earth elements in rocks: Influence of provenance and sedimentary processes [C]//Lipin B R, Mckay G A, eds. Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. Washington: Mineral Soc Am, 1989, 21: 169—200.
- [5] 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.
- [6] Robert F, Ail P. Source heterogeneity for the major components of 3.7 Ga banded iron formation (Isua Greenstone Belt, western Greenland): Tracing the nature of interacting water masses in BIF formation [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2007, 253: 266—281.

[7] Danielson A, Moller P, Dulski P. The europium anomalies in banded iron formations and the thermal history of the oceanic crust [J]. Chem Geol, 1992, 97: 89—100.

[8] 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, 20: 41—55.

[9] Bau M, Dulski P. Distribution of yttrium and rare earth elements in the Penge and Kuruman iron formation, Transvaal Super Group, South Africa [J]. Precambrian Research, 1996, 79: 37—55.

[10] Byren R H, Sholkovitz E R. Marine chemistry and geochemistry of the lanthanides [C]// Gschneidner K A Jr, Eyring L, eds. Handbook on the Physics and Chemistry of the Rare Earths. Amsterdam: Elsevier, 1996, 23 79): 497—593.

(上接第 31 页 /Continued from Page 31)

参考文献:

[1] 郝爱华,任洪茂,李宝林,等. 吉林省红旗岭铜镍硫化物矿床的岩石学和地球化学研究 [J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2002, 32 2): 140—141.

[2] 郝爱华,任洪茂,张宝福,等. 吉林省红旗岭铜镍硫化物矿床矿石学特征 [J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2004, 34 3): 342—343.

[3] 董耀松,范继璋,杨言辰,等. 吉林红旗岭铜镍矿床的地质特征及成因 [J]. 现代地质, 2004, 18 2): 197—202.

[4] 汤中立. 金川硫化铜镍矿床成矿模式 [J]. 现代地质, 1990, 4 4): 55—64.

[5] 柴社立,任洪茂,申庆贵,等. 吉林红旗岭地区含矿与不含矿岩体的地质地球化学对比 [J]. 地质找矿论丛, 2003, 18 4): 229—232.

[6] 周树亮,孙英华,张向东,等. 吉林省红旗岭镍矿区 3 号岩体成矿地质特征及找矿方向 [J]. 吉林地质, 2009, 28 2): 38—44.

[7] 孙英华,周树亮,衣欣,等. 吉林红旗岭矿区 3 号岩体地球化学特征及成因初探 [J]. 地质与资源, 2010, 19 1): 15—21.