

## 辽宁齐大山铁矿元素地球化学特征

冷文芳<sup>1,2</sup>, 王恩德<sup>1</sup>, 武悦<sup>2</sup>, 刘陆山<sup>2</sup>, 付海涛<sup>2</sup>, 王娜<sup>2</sup>

1. 东北大学, 辽宁 沈阳 110819 2. 辽宁省地质矿产勘查局, 辽宁 沈阳 110032

**摘要** 齐大山铁矿大地构造上属于华北地台辽东台背斜的西部。其铁矿层产于鞍山群樱桃园岩组, 含矿建造为砂质泥岩-泥岩建造(阿尔戈马型), 变质相为绿片岩相。通过稀土元素地球化学研究, 铁矿石表现为轻稀土富集, LREE/HREE 比值平均为 3.43。围岩表现为重稀土略富集, LREE/HREE 比值平均为 0.97。铁矿石和围岩稀土元素原始地幔标准化值显示铁矿石稀土元素整体具有弱的正铕异常( $\delta\text{Eu}$  为 1.03~1.50), Ce 无明显的正负异常( $\delta\text{Ce}$  为 0.54~1.15), 这与海底喷气沉积产物的特征一致。围岩中无明显 Eu 异常, 平均为 1.16。 $\delta\text{Ce}$  的范围为 0.18~1.01, 相对比较稳定。这些特征显示属于早前寒武纪海洋化学沉积的产物, 表明矿物大地构造背景为大洋岛弧, 物源区类型为未切割的岩浆弧。

**关键词** 鞍山式铁矿 微量元素 稀土元素 地球化学 齐大山 辽宁省

DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2015.04.008

## ELEMENT GEOCHEMISTRY OF QIDASHAN IRON DEPOSIT IN LIAONING PROVINCE

LENG Wen-fang<sup>1,2</sup>, WANG En-de<sup>1</sup>, WU Yue<sup>2</sup>, LIU Lu-shan<sup>2</sup>, FU Hai-tao<sup>2</sup>, WANG Na<sup>2</sup>

1. Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. Liaoning Bureau of Geological and Mineral Exploration, Shenyang 110032, China

**Abstract:** The Qidashan iron deposit is tectonically located in western Liaodong anteklise of North China Platform, with iron ore layers hosted in the Yingtaoyuan Formation of Anshan Group. The ore-bearing formation is sandy mudstone-mudstone (Algoma type), with metamorphic facies of greenschist. By study on the REE geochemistry of ores and wall rocks, the REE patterns show enrichment of LREE in the ores with LREE/HREE of 3.43, whereas slight depletion of HREE in the wall rocks with LREE/HREE of 0.97. The primitive mantle-normalized REE spiderdiagram shows weak positive anomalies of Eu ( $\delta\text{Eu} = 1.03 - 1.50$ ), without anomalies of Ce ( $\delta\text{Ce} = 0.54 - 1.15$ ) in iron ores, which is consistent with the characteristics of submarine exhalative sedimentation. There is no significant anomalies of Eu (average  $\delta\text{Eu} 1.16$ ) and Ce ( $\delta\text{Ce} = 0.18 - 1.01$ ) in the wall rocks. The features above suggest that the iron deposit should be the product of marine chemical deposition in Early Precambrian in the tectonic background of oceanic island arc and provenance type of uncut magmatic arc.

**Key words:** Anshan-type iron deposit; trace element; REE; geochemistry; Qidashan; Liaoning Province

## 0 前言

鞍山地区是我国重要的铁矿床富集区, 目前已发现了一系列的矿床, 如: 齐大山铁矿、东-西鞍山铁矿、弓长岭铁矿、眼前山铁矿、歪头山铁矿、欢喜岭铁矿、

南芬铁矿、北台铁矿、大台沟铁矿等。众多地质学家和研究者对该区的铁矿床的成因类型、地质构造、岩石矿物特征、元素地球化学特征和原岩恢复<sup>[1-7]</sup>进行了较为系统的研究。从大地构造角度看, 这些铁矿床多数属

收稿日期 2014-09-20 修回日期 2015-03-28 编辑 李兰英

基金项目 国土资源部公益性行业专项经费项目“鞍山地区沉积变质型铁矿挖矿条件及找矿模型研究”(201111002-02)和 973 计划“沉积变质型铁矿成矿环境与富矿形成机制”课题(2012CB416801)。

作者简介 冷文芳(1976—), 女, 东北大学, 博士后在读, 主要从事地质方面的研究工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区北陵大街 29, E-mail//lengwf2011@163.com

于产自岛弧、弧后盆地或克拉通内部断裂带中的阿尔戈马型 (Algoma 型) 铁建造<sup>[8-9]</sup>。学者认为鞍本地区铁建造与基性火山岩之间有着密切联系, 物质来源具幔源特征<sup>[10-11]</sup>。

齐大山铁矿是鞍钢矿山公司六大铁矿之一, 为鞍钢的主要原料基地, 是一个规模巨大的鞍山式沉积变质贫铁矿床, 其开采历史悠久, 前身是樱桃园铁矿。全矿床地质储量  $17.63 \times 10^8 \text{ t}$ , 截止 1993 年, 保有地质储量  $16.13 \times 10^8 \text{ t}$ , 其中工业储量  $8.43 \times 10^8 \text{ t}$ <sup>[12]</sup>。矿石具有易采、易磨、易选和高硅、低硫磷的特点<sup>[13]</sup>。本文拟通过对齐大山赤铁富矿、赤铁贫矿和围岩的元素地球化学特征进行研究, 以揭示本区铁矿床的变质程度、建造类型、推断构造环境及成矿物质来源。

## 1 矿区地质概况

齐大山铁矿位于辽宁省鞍山市东 10 km 处, 大地构造上属于中朝准地台胶辽台隆的西部, 在三级大地构造单元上兼跨太子河-浑江台陷的西端和营口-宽甸台拱的西北部, 在四级构造单元上为辽河-本溪凹陷。齐大山铁矿是鞍本地区的一个超大型铁矿床, 矿床类型属于受变质的火山-沉积铁矿, 俗称“鞍山式铁矿”。铁矿层产于鞍山群樱桃园岩组, 含矿建造为砂质泥岩-泥岩建造 (阿尔戈马型), 变质相为绿片岩相<sup>[14]</sup>。

## 2 矿床地质特征

齐大山铁矿区出露的地层主要为太古宙鞍山群、元古宙辽河群。其中太古宙鞍山群樱桃园岩组, 主要岩性有绿泥石英片岩、绿泥滑石片岩、绢云母石英岩、变粒岩、斜长角闪岩、条带状含铁石英岩。其原岩组合是以黏土质-半黏土质、硅铁质沉积为主, 含有少量安山质凝灰岩, 已知厚度大于 600 m。

矿区含矿地层为一走向  $300 \sim 340^\circ$  的单斜构造, 倾向南西, 倾角在  $70 \sim 90^\circ$ , 局部倒转。矿区断裂构造发育, 且具多期性特征, 主要有北北西向走向断裂、北东向及东西向横断裂。

矿床的西侧, 分布有本区最古老的花岗岩 (铁架山花岗岩)。矿床的东侧, 大面积出露有新太古代花岗岩 (弓长岭花岗岩) (图 1)。

### 2.1 矿体地质特征

齐大山铁矿床分为北采区 (樱桃园) 和南采区 (王家堡子三矿段)。北采区自北向南依次有北一山、北二山、北三山、北四山和西石砬子等 5 个矿段。

铁矿体规模巨大, 长 4650 m, 呈厚层状, 产状稳

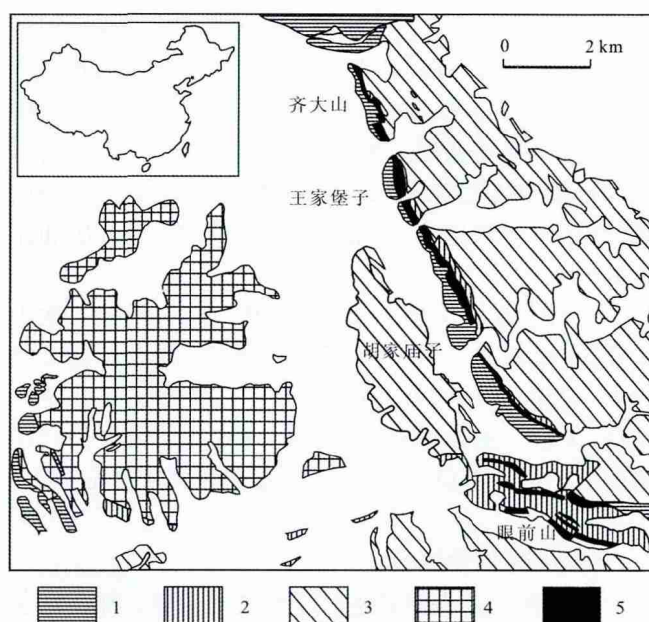


图 1 齐大山铁矿区地质图

Fig. 1 Regional geological map of Qidashan iron deposit  
1—浪子山岩组 (Langzishan rock formation) 2—樱桃园岩组 (Yingtaoyuan rock formation) 3—弓长岭花岗岩 (Gongchangling granite) 4—铁架山花岗岩 (Tiejiashan granite) 5—铁矿床 (iron deposit)

定, 走向  $305 \sim 335^\circ$ , 倾向南西, 倾角  $70 \sim 90^\circ$ , 并有倒转。矿体厚度 150~250 m, 北采区厚度 130~210 m, 平均 174 m。南采区厚度 200~350 m, 平均 224 m。矿体延深大于 800 m。矿体北端被横断层所截, 南端矿体与胡家庙子铁矿相连。5 个矿体的上下盘岩性略有差异, 上盘岩性主要为绿泥石英岩、云母石英片岩、闪长岩、含铁石英岩、千枚岩。下盘岩性主要为云母石英片岩、混合岩、绿泥石英片岩、千枚岩。

主矿层上盘千枚岩中有 3 层平行矿体, 其产状与主矿层一致。其中一层较厚者断续延长逾 1400 m, 平均厚度超过 20 m, 延深至 -500 m 标高以下。主矿层下盘的平行矿体有 6 层, 厚度最大者 15 m, 一般小于 5 m, 沿走向长数百 m, 一般不具工业价值。

富铁矿体在南、北采区均有分布, 但规模相差悬殊。西石砬子富铁矿赋存在横向构造破碎带中。王家堡子一、二矿区的富矿分布在贫矿体边缘靠近下盘处, 北二山的富矿赋存在贫铁矿层中, 呈扁豆状、似层状和脉状产出, 共有 13 个矿体, 长 50~100 m, 厚度 5~15 m。在南采区靠近下盘处有似层状富矿体, 断续延长近 1200 m, 厚度 3~5 m<sup>[14]</sup>。

### 2.2 矿石特征

矿区矿石具有易采、易磨、易选和高硅、低硫磷的特点, 一般贫铁矿石品位 TFe 为 31%, 富铁矿石品位

TFe 为 58%。贫铁矿石大多具条带状构造,少数为细条纹状、致密块状构造。条带由黑白相间的铁矿物和石英及透闪石组成,条带宽 1~2 mm。富铁矿石多为致密块状构造,另有条带状和蜂窝状构造<sup>[14]</sup>。矿石分为闪石型和石英型两大类。闪石主要是透闪石和阳起石,易风化,钙镁成分易流失,工业类型有氧化矿、混合矿和原生矿<sup>[15]</sup>。

矿石中金属矿物主要有磁铁矿、假象赤铁矿,次为黄铁矿、镜铁矿、菱铁矿及少量黄铜矿。脉石矿物有透闪石、阳起石、绿泥石和白云石。矿石大多具有条带状构造,少数为细条纹状、致密块状构造。条带由黑白相间的铁矿物和石英及透闪石组成,条带宽 1~2 mm<sup>[15]</sup>。

### 3 元素地球化学特征

本次在齐大山铁矿进行了系统的采样,样品涵盖了矿体和围岩,其中采取矿石(赤铁富矿和赤铁贫矿)和围岩共 9 块。

本次样品测试单位为澳实分析检测(广州)有限公司。全岩采用 ME-XRF06 化验分析(偏硼酸锂溶解,X 荧光光谱分析,各氧化物检测范围为 0.01%~100%);稀土元素采用 ME-MS81 化验分析(LiBO<sub>2</sub> 熔融,质谱仪定量分析)微量采用 ME-ICP61 化验分析(四酸溶解、等离子体发射光谱分析)。

#### 3.1 主量元素

矿石主量元素结果显示(表 1),磁铁矿石岩主要由 SiO<sub>2</sub> 和铁的氧化物组成,两者之和达到 86.61%~100%,平均为 99.49%,两者呈明显的负相关。其中 SiO<sub>2</sub> 含量为 5.87%~58.2%,平均为 25.1%。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量非常低,除一个样品为 7.21%外,其他都在 1%以下;CaO 含量从 0.01%~0.23%,平均为 0.098%;MgO 含量从 0.09%~1.83%,平均为 0.5%;LOI 含量从 -2.71%~2.39%,其他氧化物含量较低。

3 个围岩样品中因为其中 2 个为磁铁矿绿泥岩,故铁的氧化物含量较高,最高达到 47.73%。单个样品中 SiO<sub>2</sub> 含量较高,为 65.22%。其他 2 个样品为 22%左右,平均含量为 36%。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量次之,平均含量 13.9%。MgO 含量平均为 4.44%,其含量明显高于 CaO。CaO 平均含量仅为 0.81%。其他氧化物含量较低。

#### 3.2 微量元素

齐大山磁铁矿石岩和围岩的岩石组合的微量元素分析结果(表 1)显示,铁矿石微量元素中的大离子亲石元素 Rb、Ba 富集,Sr 亏损。高场强元素中 Th、Ta、Nb 富集,Zr、Ti、Hf、Sm、Y、Yb 亏损(图 2a)。

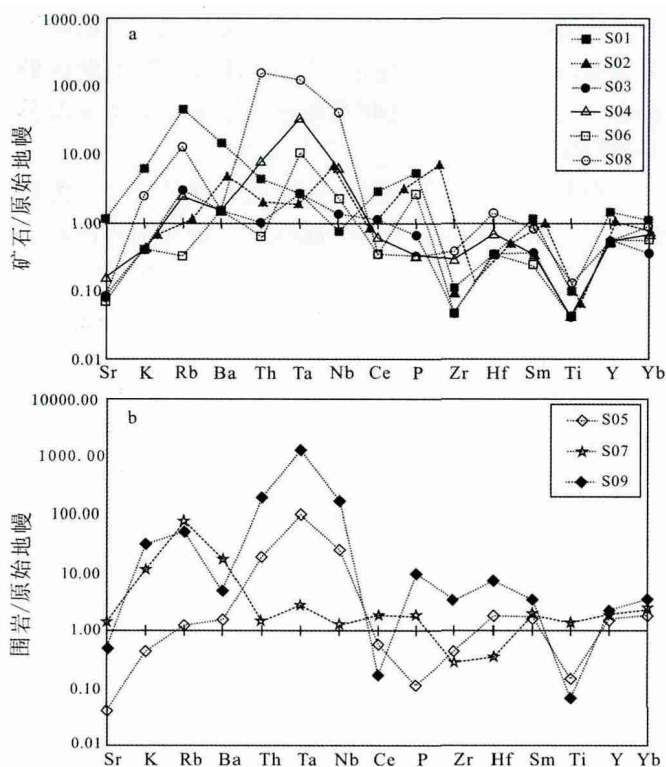


图 2 齐大山矿石(a)和围岩(b)微量元素原始地幔标准化蛛网图

(标准化数据据韩吟文,2003)

Fig. 2 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram of ores (a) and wall rocks (b) in the Qidashan iron deposit

(After HAN Yin-wen, 2003)

S01,S02—贫矿(lean ore) S03—赤铁矿(hematite) S04,S06,S08—富矿(rich ore) S05,S09—绿泥磁铁矿(chlorite magnetite) S07—绿泥石英片岩(chlorite quartz schist)

围岩微量元素中的大离子亲石元素 Sr 亏损,K、Rb 和 Ba 相对富集。高场强元素中 Th、Ta、Nb 强烈富集,Sm、Y、Yb 相对富集,而 Ti、Zr、Ce 相对亏损(图 2b)。

#### 3.3 稀土元素

铁矿石都表现为轻稀土富集,LREE/HREE 比值大于 1。矿石中 LREE/HREE 分异程度一般,LREE/HREE 比值范围为 1.23~6.33,平均为 3.43。围岩中表现为重稀土富集,2 个样品的 LREE/HREE 比值都小于 1,平均为 0.97,LREE/HREE 分异程度较差。

铁矿石稀土元素原始地幔标准化配分型式图(图 3a)显示铁矿石稀土元素整体亏损,除了 q-1 之外,其余样品的标准化后数据几乎全部小于 1,尤其是重稀土元素。围岩稀土元素原始地幔标准化配分型式图(图 3b)显示围岩稀土元素相对富集,3 个样品的重稀土元素均大于 1,q-5 和 q-9 样品的轻稀土元素相对亏损。

表 1 齐大山铁矿矿石与围岩主量、微量和稀土元素成分表  
Table 1 Major, trace and rare earth element contents of ores and wall rocks in the Qidashan iron deposit

| 编号                               | q-1   | q-2   | q-3   | q-4   | q-6   | q-8   | q-9   | q-5    | q-7    |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 岩性                               | 贫矿    | 贫矿    | 红矿    | 富矿    | 富矿    | 富矿    | 绿泥磁铁岩 | 绿泥磁铁岩  | 绿泥石英片岩 |
| SiO <sub>2</sub>                 | 37.92 | 36.83 | 58.2  | 5.87  | 2.46  | 9.45  | 22.49 | 20.54  | 65.22  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 0.62  | 0.16  | 0.23  | 0.57  | 0.27  | 7.21  | 18.67 | 19.2   | 3.78   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 60.97 | 63.88 | 41.29 | 93.34 | 98.16 | 77.16 | 43.12 | 47.73  | 22.5   |
| CaO                              | 0.21  | 0.23  | 0.01  | 0.03  | 0.07  | 0.04  | 0.29  | 0.01   | 2.13   |
| MgO                              | 0.52  | 0.16  | 0.09  | 0.26  | 0.16  | 1.83  | 4.88  | 4.83   | 3.62   |
| Na <sub>2</sub> O                | 0.04  | 0.01  | <0.01 | 0.02  | 0.03  | 0.02  | 0.09  | 0.03   | 0.33   |
| K <sub>2</sub> O                 | 0.18  | 0.02  | 0.01  | 0.01  | <0.01 | 0.08  | 1.21  | 0.01   | 0.32   |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 0.01  | 0.01  | 0.01  | 0.02  | 0.01  | 0.01  | <0.01 | <0.01  | 0.01   |
| TiO <sub>2</sub>                 | 0.01  | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | 0.01  | <0.01 | 0.02   | 0.25   |
| MnO                              | 0.13  | 0.05  | 0.01  | 0.05  | 0.04  | 0.09  | 0.12  | 0.18   | 0.33   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>    | 0.118 | 0.126 | 0.024 | 0.016 | 0.062 | 0.015 | 0.197 | 0.009  | 0.04   |
| SrO                              | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01  | <0.01  |
| BaO                              | 0.02  | <0.01 | <0.01 | 0.01  | 0.01  | 0.01  | <0.01 | <0.01  | 0.01   |
| LOI                              | -0.97 | -1.8  | 0.32  | -1.7  | -2.71 | 2.39  | 8.9   | 7.51   | 0.88   |
| Total                            | 99.78 | 99.68 | 100.2 | 98.48 | 98.56 | 98.31 | 99.97 | 100.05 | 99.42  |
| Sr                               | 23    | 9.7   | 1.7   | 3.2   | 1.4   | 1.8   | 9.9   | 0.8    | 27.1   |
| K                                | 1500  | 200   | 100   | 100   | 100   | 600   | 7400  | 100    | 2700   |
| Rb                               | 27.8  | 2.3   | 1.8   | 1.5   | 0.2   | 8     | 29.6  | 0.7    | 45     |
| Ba                               | 100   | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    | 30    | 10     | 110    |
| Th                               | 0.35  | 0.11  | 0.08  | 0.63  | 0.05  | 12.4  | 15.4  | 1.45   | 0.11   |
| Ta                               | 0.1   | 0.2   | 0.1   | 1.3   | 0.4   | 4.7   | 46.4  | 3.6    | 0.1    |
| Nb                               | 0.5   | 0.4   | 0.9   | 4.2   | 1.5   | 27.7  | 109.5 | 16.2   | 0.8    |
| Ti                               | 120   | 50    | 50    | 50    | 50    | 160   | 80    | 170    | 1620   |
| P                                | 490   | 510   | 60    | 30    | 240   | 30    | 840   | 10     | 160    |
| Zr                               | 1.2   | 1     | 0.5   | 3.1   | 0.5   | 4     | 34.4  | 4.6    | 2.9    |
| Hf                               | 0.1   | 0.1   | 0.1   | 0.2   | 0.1   | 0.4   | 2     | 0.5    | 0.1    |
| La                               | 2.1   | 1.9   | 1     | 0.5   | 0.5   | 0.5   | 0.5   | 0.5    | 1.2    |
| Ce                               | 4.84  | 4.11  | 1.92  | 1.03  | 0.59  | 0.61  | 0.28  | 0.95   | 2.94   |
| Pr                               | 0.47  | 0.37  | 0.21  | 0.1   | 0.06  | 0.15  | 0.27  | 0.2    | 0.42   |
| Nd                               | 2     | 1.6   | 0.8   | 0.4   | 0.3   | 0.7   | 1.6   | 1      | 2.1    |
| Sm                               | 0.47  | 0.29  | 0.15  | 0.14  | 0.1   | 0.35  | 1.37  | 0.67   | 0.74   |
| Eu                               | 0.21  | 0.15  | 0.07  | 0.06  | 0.04  | 0.09  | 0.46  | 0.2    | 0.37   |
| Gd                               | 0.58  | 0.32  | 0.17  | 0.14  | 0.14  | 0.38  | 1.57  | 0.87   | 1.1    |
| Tb                               | 0.1   | 0.05  | 0.02  | 0.02  | 0.03  | 0.09  | 0.3   | 0.19   | 0.21   |
| Dy                               | 0.65  | 0.31  | 0.19  | 0.17  | 0.21  | 0.57  | 1.81  | 1.3    | 1.46   |
| Ho                               | 0.17  | 0.08  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.1   | 0.33  | 0.25   | 0.32   |
| Er                               | 0.53  | 0.25  | 0.15  | 0.19  | 0.17  | 0.32  | 1.04  | 0.73   | 0.94   |
| Tm                               | 0.08  | 0.04  | 0.02  | 0.04  | 0.04  | 0.05  | 0.19  | 0.12   | 0.15   |
| Yb                               | 0.5   | 0.24  | 0.16  | 0.31  | 0.24  | 0.39  | 1.47  | 0.8    | 0.99   |
| Lu                               | 0.09  | 0.04  | 0.03  | 0.05  | 0.04  | 0.05  | 0.23  | 0.11   | 0.15   |
| Y                                | 6.2   | 3.2   | 2.4   | 2.2   | 2.3   | 2.3   | 9.3   | 6.7    | 8.3    |
| ΣREE                             | 12.79 | 9.75  | 4.94  | 3.2   | 2.51  | 4.35  | 11.42 | 7.89   | 13.09  |
| LREE                             | 10.09 | 8.42  | 4.15  | 2.23  | 1.59  | 2.4   | 4.48  | 3.52   | 7.77   |
| HREE                             | 2.7   | 1.33  | 0.79  | 0.97  | 0.92  | 1.95  | 6.94  | 4.37   | 5.32   |
| LREE/HREE                        | 3.74  | 6.33  | 5.25  | 2.3   | 1.73  | 1.23  | 0.65  | 0.81   | 1.46   |
| La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub> | 3.01  | 5.68  | 4.48  | 1.16  | 1.49  | 0.92  | 0.24  | 0.45   | 0.87   |
| δEu                              | 1.23  | 1.5   | 1.34  | 1.3   | 1.03  | 0.75  | 0.96  | 0.8    | 1.25   |
| δCe                              | 1.15  | 1.13  | 0.98  | 1.06  | 0.7   | 0.54  | 0.18  | 0.74   | 1.01   |

含量单位 主量元素为%,微量、稀土元素为 10<sup>-6</sup>.



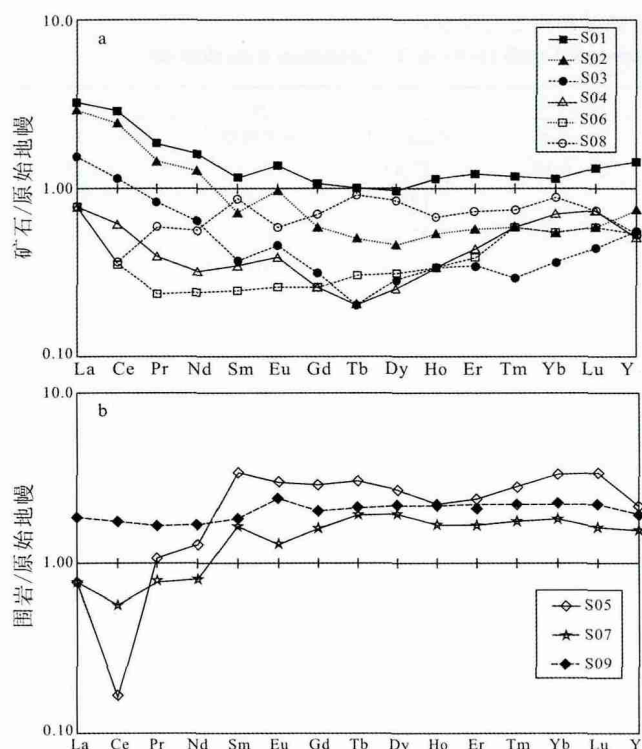


图3 齐大山矿石(a)和围岩(b)稀土元素原始地幔  
标准化蛛网图

(标准化数据引自韩吟文,2003)

Fig. 3 Primitive mantle-normalized REE spider diagram of ores  
(a) and wall rocks (b) in the Qidashan iron deposit

(After HAN Yin-wen, 2003)

S01,S02—贫矿(lean ore) S03—赤铁矿(hematite) S04,S06,S08—富矿  
(rich ore) S05,S09—绿泥磁铁矿(chlorite magnetite) S07—绿泥石英片  
岩(chlorite quartz schist)

铁矿石除 q-8 样品为 0.75 外,其他均具有弱的正铕异常( $\delta\text{Eu}$  为 1.03~1.50),Ce 无明显的正负异常( $\delta\text{Ce}$  为 0.54~1.15),这与海底喷气沉积产物的正铕异常、铈异常不明显的特征一致。围岩中无明显 Eu 异常( $\delta\text{Eu}$  为 0.96~1.25),平均为 1.16。 $\delta\text{Ce}$  的范围为 0.18~1.01,相对比较稳定。

#### 4 结论

对样品的主量元素分析,结果显示含量最多的 3 种化学成分是  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,并且矿石中  $\text{SiO}_2$  含量与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量呈反消长关系。

微量元素地球化学研究显示,铁矿石中大离子亲石元素 Rb、Ba 富集,Sr 亏损。高场强元素中 Th、Ta、Nb 富集,Zr、Ti、Hf、Sm、Y、Yb 亏损。围岩中大离子亲石元素 K、Rb 和 Ba 相对富集,Sr 亏损。高场强元素中 Th、Ta、Nb 强烈富集,Sm、Y、Yb 相对富集,而 Ti、Zr、Ce 相对亏损。

铁矿石都表现为轻稀土富集,LREE/HREE 比值大于 1。矿石中 LREE/HREE 分异程度一般,LREE/HREE 比值范围为 1.23~6.33,平均为 3.43。围岩中表现为重稀土富集,2 个样品的 LREE/HREE 比值都小于 1,平均为 0.97,LREE/HREE 分异程度较差。

铁矿石稀土元素整体亏损,除了样品 q-1 之外,其余样品的标准化后数据几乎全部小于 1,尤其是重稀土元素。围岩稀土元素相对富集。

铁矿石具有弱的正铕异常( $\delta\text{Eu}$  为 1.03~1.50),Ce 无明显的正负异常( $\delta\text{Ce}$  为 0.54~1.15),这与海底喷气沉积产物的正铕异常、铈异常不明显的特征一致。围岩中无明显 Eu 异常( $\delta\text{Eu}$  为 0.96~1.25),平均为 1.16。 $\delta\text{Ce}$  的范围为 0.18~1.01,相对比较稳定。这些特征与世界许多地区的 BIF 特征一致,均属于早前寒武纪海洋化学沉积的产物,表明矿物大地构造背景为大洋岛弧,物源区类型为未切割的岩浆弧。

致谢 感谢东北大学王恩德教授、付建飞老师提供的数据!

#### 参考文献:

- [1] 王守伦. 鞍山地区鞍山群富铁矿成因类型的讨论 [J]. 矿床地质, 1986, 5 (4): 14—23.
- [2] 李鸿业,赵秀德. 鞍山地区鞍山式铁矿区地质构造 [J]. 前寒武纪研究进展, 1999, 22 (3): 22—29.
- [3] 周世泰. 鞍山、本溪地区鞍山群变质岩岩石化学研究及条带状铁矿的成矿条件 [J]. 中国地质科学院院报, 1987, 16: 139—153.
- [4] 孟旭阳,王鹏,张东阳,等. 辽宁思山岭铁矿元素地球化学特征及其地质意义 [J]. 中国地质, 2012, 36 (6): 1857—1872.
- [5] 孙晓辉,朱笑青,张乾,等. 鞍山—弓长岭地区条带状铁矿直接围岩原岩恢复 [J]. 矿物学报, 2011 (增刊): 452—453.
- [6] 冯佳睿,周振华,肖荣阁. 辽宁弓长岭铁矿二矿区围岩原岩恢复 [J]. 中国矿业, 2009, 18 (12): 106—110.
- [7] 李志红. 辽宁省鞍山—本溪地区条带状含铁建造的 Fe 同位素地球化学研究 [D]. 北京: 中国地质科学院, 2007.
- [8] Gross G A. Tectonic systems and the deposition of iron-formation [J]. Precambrian Res, 1983, 30: 63—80.
- [9] Veizer J. Geologic evolution of the Archean-Early Proterozoic Earth [C] // Schopf J W, ed. Earth's Earliest Biosphere. Princeton: Princeton University Press, 1983: 240—259.
- [10] 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: 197—213.
- [11] 沈保丰,骆辉,李双保,等. 华北陆台太古宙绿岩带地质及成矿 [C] // 中国地质科学院文集, 1995: 8, 46—53.
- [12] 高太. 齐大山铁矿可持续发展战略研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2003.
- [13] 张冬生. 鞍钢矿山公司齐大山铁矿 [J]. 金属矿山, 1992, 12: 63.
- [14] 姚培慧,编. 中国铁矿志 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1993: 242—246.
- [15] 姜代荣. 齐大山铁矿床透闪石、阳起石型的假象赤铁矿可选性研究 [J]. 金属矿山, 1982 (2): 26—31.