

doi:10.3799/dqkx.2012.139

新疆磁海超大型铁矿区基性岩及其成矿背景指示

齐天骄¹, 薛春纪^{1*}, 张招崇¹, 王银宏¹, 邵发志²

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083
2. 新疆八一钢铁集团雅满苏矿业有限责任公司, 新疆哈密 839126

摘要: 新疆磁海超大型铁矿区基性岩与铁成矿关系密切, 是认识大规模铁成矿及其背景的关键。磁海铁矿区基性岩以辉绿岩为主, 辉绿岩中断裂—裂隙控制板状铁矿脉群, 单颗粒锆石 U-Pb 法测得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 平均年龄为 $263.8 \pm 3.6\text{ Ma}$ ($n=11$, MSWD=1.3), 与二叠纪塔里木、东天山造山带、北山构造—成矿带等区域基性岩同时代。磁海铁矿区基性岩球粒陨石标准化微量元素蛛网图较平坦, Sr、Ba 显示弱富集, Nb 略亏损, 球粒陨石标准化的 REE 配分曲线平坦, 岩浆起源于亏损软流圈地幔, 与其所在区域的北山构造—成矿带、东天山造山带、塔里木等地的基性岩均属碱性—钙碱性系列, 它们的微量元素组成相近, 岩浆性质相似, 成生关系密切。磁海铁矿区基性岩可能是二叠纪地幔柱成因塔里木大火成岩省的组成部分, 大规模铁成矿于地幔柱背景, 北山构造—成矿带可能是塔里木地幔柱的一枝。

关键词: 基性岩; 二叠纪; 地幔柱背景; 磁海超大型铁矿; 地球化学; 成矿预测; 矿床。

中图分类号: P581

文章编号: 1000-2383(2012)06-1315-12

收稿日期: 2012-07-19

Basic Igneous Rock in Cihai Giant Iron District, Hami, Xinjiang, and Its Indication to the Metallogenic Setting

QI Tian-jiao¹, XUE Chun-ji^{1*}, ZHANG Zhao-chong¹, WANG Yin-hong¹, SHAO Fa-zhi²

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University Geosciences, Beijing 100083, China
2. Yakuang Iron and Steel Company, Xinjiang Province, Hami 839126, China

Abstract: The basic igneous rock in Cihai giant iron district has a close relationship with the iron mineralization which is the key to understanding of the larger scale of iron metallization and the metallogenic setting. The diabase is the main basic igneous rock in Cihai iron district, and the platy iron-vein group are hosted by the fault-fissures in diabase; the U-Pb dating of single-grained zircon from diabase yielded an average weighted $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of $263.8 \pm 3.6\text{ Ma}$ ($n=11$, MSWD=1.3) which is contemporary with that of the basic igneous rock in Permian Tarim basin, eastern Tianshan orogenic belt and Beishan tectonic-metallogenic belt. The trace elements chondrite-normalized patterns of basic igneous rock in Cihai iron district are relatively flat with Sr, Ba enriched and Nb lost lightly; the REE chondrite-normalized patterns are flat. The content of trace elements and magmatic nature of basic igneous rock in Cihai iron district are similar to that of the basic igneous rocks in Permian Tarim basin, eastern Tianshan orogenic belt and Beishan tectonic-metallogenic belt and they all belong to alkaline-calc-alkaline series with close genetic relationship; the basic igneous magma of Cihai district most possibly originated from asthenospheric mantle. The basic igneous rock in Cihai district is possibly a part of Tarim large igneous provinces formed by Permian mantle plume; and the large scale of iron mineralization are also formed in the setting of mantle plume which is a branch of mantle plume in Tarim basin as Beishan tectonic-metallogenic belt.

Key words: basic igneous rock; Permian period; mantle plume setting; Cihai giant iron deposit; geochemistry; ore prospecting; ore deposits.

基金项目: 中国地质调查局工作项目(No. 1212011085471); “十二五”国家科技支撑计划(No. 2011BAB06B02)。

作者简介: 齐天骄(1988—), 男, 矿床学专业, 硕士研究生, 主要从事矿床地球化学方面的研究工作。E-mail: qtj3002@yahoo.com.cn

* 通讯作者: 薛春纪, E-mail: chunji.xue@cugb.edu.cn

新疆哈密东南部因发现大面积航磁异常而得名“磁海”，后来发现超大型铁矿即称磁海铁矿床。它位于塔里木陆块东北缘的北山构造—成矿带西段，北侧为天山等中亚型造山带（秦克章，2000；韩春明等，2002；彭巨贵等，2006；肖文交等，2009）。磁海矿区发育基性喷出和侵入岩，大规模铁成矿与基性岩浆及其相关热液活动具有密切时空和成生关系（薛春纪和姬金生，1999；薛春纪等，2000；左国朝等，2004），基性岩是深入理解磁海大规模铁成矿作用的基础。

磁海铁矿区基性岩是北山构造—成矿带内二叠纪基性岩浆作用的产物，全岩 Rb-Sr 年龄为 268 ± 7 Ma（薛春纪等，2000），形成于碰撞后伸展背景，原始岩浆具有幔源性质（唐萍芝等，2010）。相同时期，在塔里木陆块内部，地幔柱活动形成溢流玄武岩大火成岩省（厉子龙等，2008；Yu et al. , 2010；张传林等，2010；Zhang et al. , 2010；Li et al. , 2011）。在东天山造山带，也有大量二叠纪基性岩浆岩出露（邢秀娟，2004；郝建荣等，2006；周鼎武等，2006；聂保锋等，2009），有研究认为它们与地幔柱活动有关（赵泽辉等，2006）。虽然多认为天山—北山地区二叠纪基性岩浆活动具有统一的地球动力学背景，但存在陆内裂谷（肖渊甫等，2004；刘畅等，2006）、造山后伸展（郝建荣等，2006；周鼎武等，2006；聂保锋等，2009；三金柱等，2010；唐萍芝等，2010）、伸展—转换（陈升平和朱云海，1992；刑秀娟，2004，）和地幔柱（校培喜等，2006；赵泽辉等，2006；夏林圻等，2008；张传林

等，2010）等明显的认识分歧。磁海大规模铁成矿于何种地质背景令人关注。本文以磁海铁矿区基性岩为研究对象，通过对岩体和矿体野外地质调查、岩相学、地球化学、年代学及区域对比等研究，试图认识磁海大规模铁成矿的背景。

1 区域和矿区地质

磁海铁矿床位于塔里木陆块东北缘的北山构造—成矿带西段（图 1）。除磁海外，该带在坡北、旋涡岭、红柳河等地也出露有二叠纪基性岩浆岩，在坡北等地还伴有岩浆 Cu-Ni 硫化物矿化，多认为形成于裂谷背景（肖渊甫等，2004；刘畅等，2006；潘金花等，2008；李华芹等，2009；刘艳荣等，2010；苏本勋等，2010）。北山构造—成矿带的北侧为天山等中亚型造山带（图 1），二叠纪基性岩浆活动强烈，在黄山、香山、葫芦、吐拉尔根、白石泉等地也伴有岩浆 Cu-Ni 硫化物矿床的形成（韩宝福等，2004；顾连兴等，2006；李月臣等，2006；毛启贵等，2006；夏明哲等，2008；三金柱等，2010），多认为它们与天山碰撞造山后的伸展背景有关（陈升平和朱云海，1992；穆治国等，1994；刘畅等，2006；赵泽辉等，2006）。北山构造—成矿带的南侧为塔里木陆块（图 1），二叠纪地幔柱活动形成大火成岩省，中新生界盖层之下广泛分布溢流玄武岩（Yu et al. , 2010；Zhang et al. , 2010；Li et al. , 2011）。

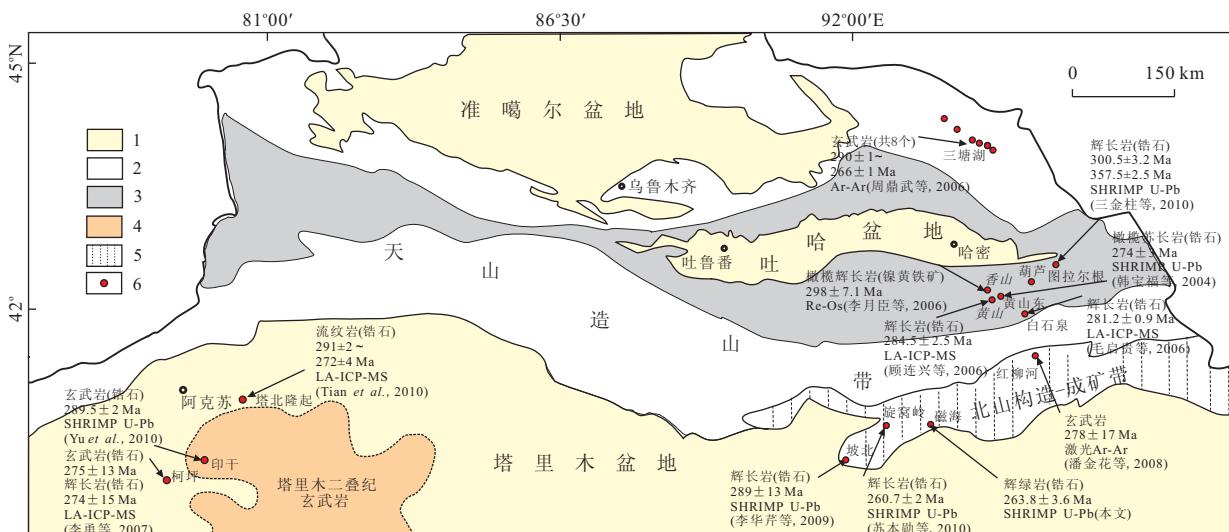


图 1 磁海超大型铁矿所在区域及二叠纪基性岩浆岩分布

Fig. 1 The region of the Cihai giant iron deposit and the distribution of the Permian basic igneous rock

1. 中新生界；2. 天山造山带；3. 石炭—二叠纪火山岩；4. 塔里木玄武岩（大火成岩省）；5. 北山构造—成矿带；6. 二叠纪基性岩出露或岩心（岩性和同位素年龄）

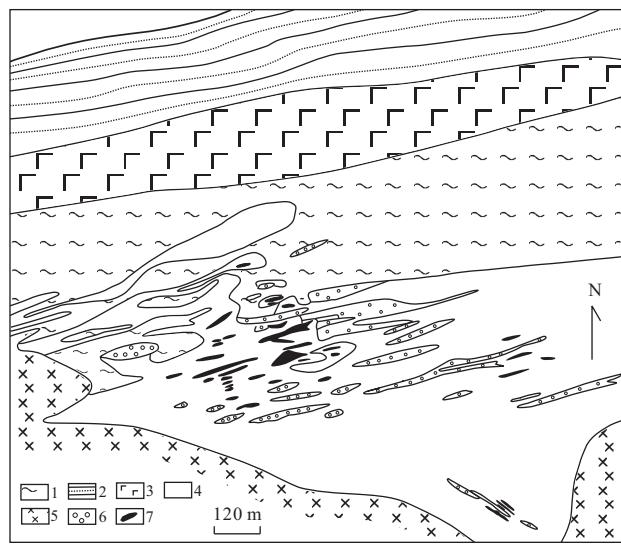


图2 磁海铁矿区地质简图(据薛春纪等,2000;唐萍芝等,2010修改)

Fig. 2 Geological map of Cihai iron deposit

1. 蓟县系长英质片岩;2. 下二叠统砂砾岩;3. 下二叠统玄武岩和安山岩;4. 辉绿岩;5. 辉长岩;6. 石榴子石透辉石岩;7. 磁铁矿体

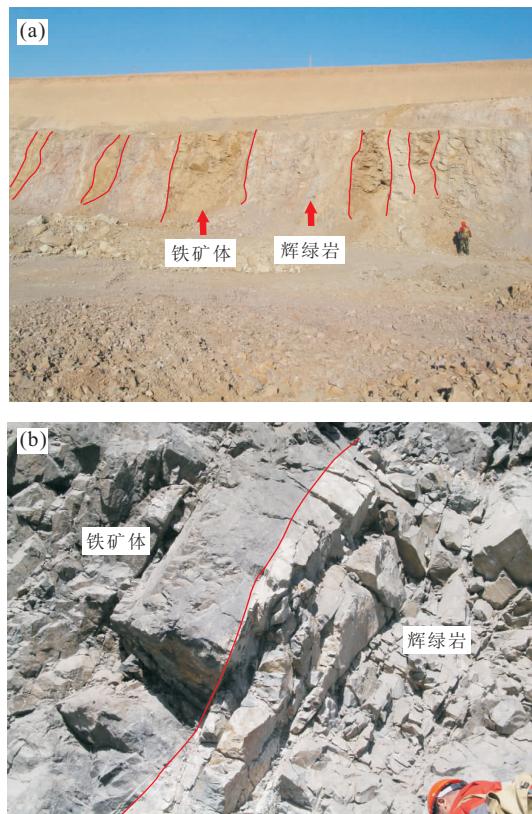


图3 磁海铁矿区铁矿体和基性岩体野外地质产状

Fig. 3 The field occurrence of the iron ore- and the basic igneous- bodies in Cihai giant iron deposit

a. 铁矿体产状近直立,呈板状、透镜状产于辉绿岩中;b. 铁矿体与辉绿岩接触截然

磁海铁矿区出露地层主要为蓟县系平头山群及不整合覆于其上的下二叠统(图2). 平头山群主要由长英质片岩类组成;下二叠统由老到新为双堡塘组滨一浅海相基性—中性连续火山建造和菊石滩组浅海相碎屑岩建造(薛春纪等,2000). 矿区蓟县系与下二叠统构成了宽缓的复式背斜, 背斜两翼发育 NEE 向断裂. 矿区岩浆活动表现为二叠纪从火山喷溢到基性岩浆侵入的连续旋回, 形成了区内巨厚火山岩层、沿火山管道侵入的辉绿岩、浅成辉长岩及少量橄榄辉长岩(左国朝等,2004).

矿区已发现铁矿体 73 条, 主要矿体有 5 条(薛春纪等, 2000; 王玉往等, 2006), 矿体平面上近东西走向, 彼此平行排列, 构成矿带. 单个矿体形态为板状、透镜状、脉状等, 产状近直立(图 3a), 单个矿体厚度从几十厘米到十几米不等, 并且明显受断裂、裂隙构造控制. 铁矿体主要产于辉绿岩中, 与辉绿岩接触界线明显且平直(图 3b); 少部分围岩为石榴子石透辉石矽卡岩, 铁矿体与其呈过渡性接触. 矿体群受辉绿岩体控制, 矿体与岩体存在约 20° 的走向夹角.

2 岩体地质及岩相学

从辉绿岩体与铁矿体穿插关系可知, 铁成矿前及成矿后均有辉绿岩侵入. 矿前辉绿岩侵入体呈岩株状, 在矿区分布范围较大, 总体呈 NEE 走向, 产状近直立(图 3、图 4a), 是矿区主要侵入体(图 2); 岩体内部发育近 EW 走向的断裂、裂隙, 是铁矿体重要容矿空间, 辉绿岩是铁矿体主要围岩. 矿后辉绿岩表现为岩脉, 沿张裂隙侵位, 切穿矿前岩体及铁矿体(左国朝等, 2004). 本文研究对象为成矿前辉绿岩.

新鲜的辉绿岩呈深灰—灰绿色, 块状构造, 辉绿结构(图 4b). 主要由斜长石($An=34$, 含量 50%)、普通辉石(含量 40%)及少量角闪石(含量<5%)、黑云母(含量<5%)、磷灰石(含量<5%, 图 4c)组成. 斜长石呈自形—半自形板状, 长约 0.15~0.25 mm; 普通辉石呈他形粒状, 多为 0.05~0.20 mm. 岩石新鲜, 没有发生蚀变和风化.

3 岩石地球化学

对磁海矿区新鲜、未蚀变的辉绿岩样品进行了主、微量元素分析. 测试工作在中国核工业北京地质

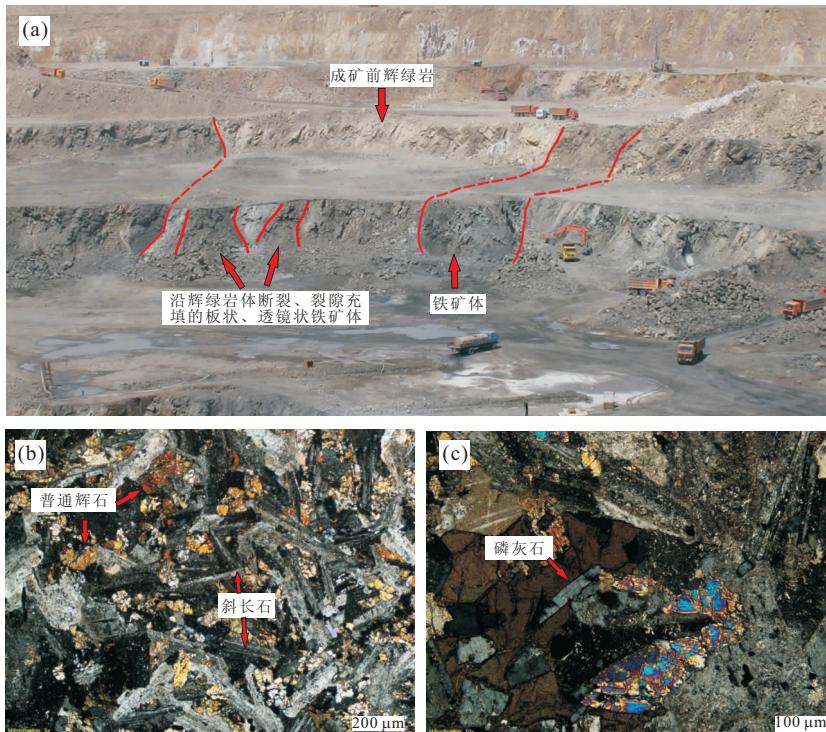


图 4 磁海矿区辉绿岩的产状及岩相学显微照片

Fig. 4 Photographs and microphotograph of diabase in Cihai iron deposit

a. 成矿前辉绿岩及其中沿其裂隙充填的板状、透镜状铁矿体;b. 辉绿岩, 辉绿结构(正交偏光);c. 辉绿岩中可见副矿物磷灰石(正交偏光)

研究院分析测试研究中心完成, 主量元素分析使用 Philips PW2404 型 X 荧光光谱仪(XRF)完成, 分析精度优于 1%; 微量元素分析使用 Finnigan MAT Element I 型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)完成, RSD(10 min)<1.0%, RSD(4 h)<5%。

分析结果见表 1。磁海矿区辉绿岩 SiO_2 含量为 50.85%~54.33%, Fe_2O_3 为 1.46%~3.10%, MgO 为 4.51%~5.29%, Al_2O_3 为 13.95%~14.58%, TiO_2 为 2.08%~2.75%, CaO 为 7.03%~12.78%, 碱质偏低 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 4.87\% \sim 6.35\%$), $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ 为 0.35~0.46。辉绿岩 $\Sigma\text{REE} = (157.08 \sim 216.29) \times 10^{-6}$, 其中 La 为 $(10.3 \sim 14.5) \times 10^{-6}$, Sm 为 $(5.56 \sim 8.22) \times 10^{-6}$, Eu 为 $(1.41 \sim 2.35) \times 10^{-6}$, Yb 为 $(5.35 \sim 7.82) \times 10^{-6}$; LREE/HREE 为 0.66~0.85; δEu 为 0.56~0.99; $(\text{La/Yb})_N$ 为 1.09~1.54, $(\text{La/Sm})_N$ 为 0.99~1.35, $(\text{Gd/Lu})_N$ 为 0.96~1.22。

4 锆石 U-Pb 法测年

用于锆石 U-Pb 法测年的辉绿岩样品采自磁海矿区露天主采矿坑底部, 地理坐标 $41^{\circ}08'09''\text{N}$,

$93^{\circ}19'52''\text{E}$, 标高 1 100 m。辉绿岩为成矿前侵入, 板状、脉状铁矿体沿断裂、裂隙充填于这种辉绿岩体中。辉绿岩样品远离铁矿体, 坚硬新鲜无风化, 没有蚀变。

通过机械破碎、清洗和实体显微镜下逐粒挑选, 从辉绿岩样品中选得锆石单矿物共 3 000 粒。制靶、研磨和抛光后, 在北京离子探针中心进行锆石反射光及透射光观测和照相, 在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室进行锆石阴极发光(CL)观测和照相(图 5)。CL 图像显示, 锆石透明、无色纯净, 粒度在 50~100 μm ; 部分锆石晶体自形, 具有窄而密集的岩浆振荡环带(图 5 中 C-2、C-8), 这可能与岩浆浅成侵入温度迅速下降有关; 部分锆石半自形, 并显示继承锆石残留核与岩浆新生锆石的分带(图 5 中 C-1、C-6、C-9 等), 测年仅针对岩浆新生锆石。

锆石 U、Th 和 Pb 同位素组分分析在北京离子探针中心完成, 所用仪器为 SHRIMP II 型, 详细分析流程及其原理参考 Williams *et al.* (1996) 和宋彪等(2002)。利用澳大利亚地调局标准锆石 TEMORA(年龄为 417 Ma)进行元素间的分馏校正, 应用澳大利亚国立大学地球科学院(RSE)锆石 SL13(年

表1 磁海矿区基性岩主量元素和微量元素分析结果

Table 1 The analysis results of main- and rare-element compositions of the basic rock in the Cihai ore district

| 样品编号 | CH26 | CH36 | CH37 | CH38 | CH39 | CH40 | Cn4924-10* | Cn4924-14* | Cn4924-15* | Cn4924-9* | Cn4924-12* |
|--------------------------------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|------------|------------|------------|-----------|------------|
| 岩性 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 橄榄辉长岩 | 玄武岩 |
| 主要元素组成(%) | | | | | | | | | | | |
| SiO ₂ | 50.85 | 54.33 | 54.19 | 54.01 | 52.64 | 52.64 | 50.42 | 47.64 | 49.46 | 45.38 | 51.06 |
| TiO ₂ | 2.75 | 2.13 | 2.08 | 2.13 | 2.10 | 2.16 | 1.87 | 1.40 | 1.54 | 0.09 | 1.50 |
| Al ₂ O ₃ | 13.95 | 14.48 | 14.20 | 14.58 | 14.45 | 14.54 | 14.90 | 15.54 | 15.15 | 20.44 | 15.22 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.10 | 1.77 | 1.53 | 2.03 | 1.49 | 1.46 | 3.68 | 5.06 | 2.46 | 3.34 | 3.19 |
| FeO | 7.05 | 5.30 | 4.50 | 6.05 | 4.20 | 4.30 | 7.25 | 5.15 | 6.47 | 3.50 | 7.38 |
| MnO | 0.23 | 0.20 | 0.18 | 0.18 | 0.15 | 0.15 | 0.20 | 0.18 | 0.14 | 0.11 | 0.17 |
| MgO | 4.92 | 4.55 | 4.93 | 5.29 | 4.51 | 4.62 | 6.66 | 9.13 | 7.67 | 12.67 | 6.93 |
| CaO | 9.70 | 9.09 | 9.09 | 7.03 | 11.12 | 12.78 | 9.20 | 10.52 | 11.26 | 10.91 | 9.16 |
| Na ₂ O | 4.09 | 5.37 | 2.50 | 5.65 | 3.36 | 4.70 | 3.35 | 2.21 | 2.88 | 1.58 | 3.38 |
| K ₂ O | 1.16 | 0.87 | 4.91 | 0.68 | 2.99 | 0.17 | 0.22 | 0.41 | 0.30 | 0.02 | 0.18 |
| P ₂ O ₅ | 0.43 | 0.33 | 0.32 | 0.32 | 0.30 | 0.31 | 0.26 | 0.11 | 0.14 | 0.01 | 0.20 |
| LOI | 1.75 | 1.56 | 1.56 | 2.03 | 2.63 | 2.14 | 1.76 | 1.87 | 2.50 | 2.03 | 1.84 |
| Total | 99.98 | 99.98 | 99.99 | 99.98 | 99.94 | 99.97 | 99.77 | 99.22 | 99.97 | 100.10 | 100.21 |
| 微量元素组成(10^{-6}) | | | | | | | | | | | |
| Li | 12.000 | 12.800 | 9.960 | 12.300 | 13.700 | 12.400 | | | | | |
| Be | 1.370 | 1.510 | 1.630 | 1.150 | 1.130 | 0.881 | | | | | |
| Sc | 36.000 | 32.700 | 34.800 | 34.200 | 31.900 | 34.200 | | | | | |
| V | 333.000 | 235.000 | 266.000 | 262.000 | 241.000 | 270.000 | | | | | |
| Cr | 100.000 | 37.300 | 37.400 | 36.300 | 37.000 | 39.900 | 169.600 | 390.800 | 309.200 | 154.100 | 196.600 |
| Co | 31.200 | 24.500 | 18.300 | 24.900 | 16.300 | 22.000 | | | | | |
| Ni | 50.000 | 22.500 | 13.200 | 19.500 | 13.400 | 21.100 | | | | | |
| Cu | 26.200 | 26.700 | 13.100 | 30.200 | 12.500 | 17.300 | | | | | |
| Zn | 71.400 | 48.100 | 45.400 | 50.800 | 43.600 | 71.400 | | | | | |
| Ga | 22.900 | 22.500 | 17.800 | 22.000 | 19.200 | 21.600 | | | | | |
| Rb | 45.800 | 29.600 | 151.000 | 25.200 | 89.200 | 8.250 | 2.688 | 9.580 | 5.703 | 1.167 | 2.672 |
| Sr | 354.000 | 482.000 | 776.000 | 463.000 | 537.000 | 185.000 | 255.900 | 200.200 | 233.100 | 189.400 | 269.100 |
| Nb | 7.680 | 6.300 | 6.540 | 6.710 | 6.230 | 5.940 | 5.392 | 2.380 | 3.363 | 0.289 | 4.276 |
| Mo | 0.315 | 0.164 | 1.050 | — | 1.530 | 0.763 | | | | | |
| Cd | 0.094 | 0.030 | 0.069 | 0.145 | 0.064 | 0.169 | | | | | |
| In | 0.107 | 0.074 | 0.077 | 0.067 | 0.061 | 0.072 | | | | | |
| Sb | 0.220 | 0.223 | 0.118 | 0.288 | 0.102 | 0.204 | | | | | |
| Cs | 0.563 | 0.242 | 0.571 | 0.516 | 0.668 | 0.125 | 0.139 | 0.144 | 0.321 | 0.101 | 0.123 |
| Ba | 307.000 | 157.000 | 1073.000 | 223.000 | 622.000 | 16.200 | 59.780 | 50.270 | 51.090 | 1.582 | 47.250 |
| La | 14.500 | 11.100 | 10.300 | 12.400 | 10.900 | 11.500 | 10.570 | 4.567 | 6.558 | 0.567 | 2.760 |
| Ce | 37.300 | 28.500 | 25.700 | 31.800 | 26.700 | 27.500 | 27.890 | 13.070 | 15.850 | 1.286 | 9.800 |
| Pr | 5.920 | 4.350 | 4.270 | 4.700 | 4.150 | 4.250 | 4.452 | 2.144 | 2.350 | 0.164 | 1.901 |
| Nd | 29.200 | 21.300 | 21.300 | 24.100 | 22.100 | 20.000 | 20.900 | 10.600 | 11.540 | 0.804 | 10.210 |
| Sm | 8.220 | 6.280 | 6.750 | 5.950 | 6.190 | 5.560 | 6.265 | 3.374 | 3.665 | 0.278 | 3.374 |
| Eu | 2.350 | 1.450 | 1.410 | 2.080 | 1.920 | 2.040 | 1.839 | 1.180 | 1.043 | 0.329 | 1.120 |
| Gd | 9.730 | 7.010 | 8.830 | 8.330 | 7.260 | 7.110 | 6.712 | 4.198 | 4.005 | 0.365 | 0.782 |
| Tb | 2.200 | 1.580 | 1.750 | 1.660 | 1.510 | 1.450 | 1.217 | 0.759 | 0.762 | 0.067 | 1.132 |
| Dy | 13.700 | 10.200 | 11.300 | 10.600 | 10.000 | 9.430 | 7.799 | 5.097 | 5.060 | 0.404 | 0.466 |
| Ho | 2.730 | 1.990 | 2.270 | 2.120 | 1.780 | 1.830 | 1.700 | 1.085 | 1.079 | 0.079 | 0.452 |
| Er | 7.890 | 6.330 | 7.200 | 6.580 | 5.230 | 5.390 | 4.605 | 2.989 | 2.968 | 0.223 | 0.287 |
| Tm | 1.300 | 1.020 | 1.140 | 1.050 | 0.871 | 0.937 | 0.681 | 0.452 | 0.447 | 0.035 | |
| Yb | 7.820 | 5.930 | 6.800 | 5.970 | 5.460 | 5.350 | 4.330 | 2.920 | 2.816 | 0.243 | |
| Lu | 1.230 | 0.884 | 1.060 | 0.846 | 0.906 | 0.917 | 0.659 | 0.442 | 0.419 | 0.043 | 0.955 |
| Y | 72.200 | 57.000 | 65.000 | 58.700 | 52.100 | 55.100 | 40.000 | 26.520 | 25.310 | 3.539 | 138.900 |
| Ta | 0.593 | 0.502 | 0.513 | 0.466 | 0.473 | 0.424 | 0.345 | 0.135 | 0.221 | 0.016 | 47.480 |
| W | 0.472 | 0.374 | 0.500 | 0.638 | 0.809 | 1.510 | 1.120 | | | | |
| Re | 0.006 | — | 0.007 | 0.003 | — | 0.001 | 4.143 | | | | |
| Tl | 0.067 | 0.075 | 0.476 | 0.08 | 0.262 | 0.017 | 0.782 | | | | |
| Pb | 3.680 | 1.790 | 1.480 | 2.430 | 0.896 | 1.290 | 5.254 | | | | |
| Bi | 0.078 | 0.050 | 0.034 | 0.056 | 0.022 | 0.029 | 1.132 | | | | |
| Tu | 2.940 | 3.330 | 3.380 | 3.840 | 2.620 | 2.800 | 1.475 | 0.576 | 0.948 | 0.147 | 3.068 |
| U | 1.010 | 0.421 | 0.418 | 0.630 | 0.411 | 0.428 | 0.444 | 0.220 | 0.275 | 0.034 | 1.120 |
| Zr | 361.000 | 169.000 | 169.000 | 173.000 | 149.000 | 149.000 | 217.100 | 100.500 | 94.990 | 8.264 | 4.143 |
| Hf | 8.950 | 4.160 | 3.860 | 4.400 | 3.290 | 3.660 | 5.772 | 2.848 | 2.637 | 0.198 | 0.782 |

续表 1

| 样品编号 | CH26 | CH36 | CH37 | CH38 | CH39 | CH40 | Cn4924-10* | Cn4924-14* | Cn4924-15* | Cn4924-9* | Cn4924-12* |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|------------|------------|-----------|------------|
| 岩性 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 辉绿岩 | 橄榄辉长岩 | 玄武岩 |
| REE参数(10^{-6}) | | | | | | | | | | | |
| Σ REE | 216.290 | 164.920 | 175.080 | 176.890 | 157.080 | 158.360 | 99.620 | 52.880 | 58.560 | 4.887 | 5.254 |
| LREE/HREE | 0.820 | 0.790 | 0.660 | 0.850 | 0.850 | 0.810 | | 1.060 | 0.790 | | 0.690 |
| δ Eu | 0.800 | 0.670 | 0.560 | 0.900 | 0.880 | 0.990 | 0.860 | 0.960 | 0.830 | 3.160 | 3.068 |
| (La/Yb) _N | 1.330 | 1.340 | 1.090 | 1.490 | 1.430 | 1.540 | 1.650 | 1.050 | 1.570 | 1.570 | 0.466 |
| (La/Sm) _N | 1.140 | 1.140 | 0.990 | 1.350 | 1.140 | 1.340 | 1.060 | 0.850 | 1.130 | 1.280 | 3.017 |
| (Gd/Lu) _N | 0.980 | 0.980 | 1.030 | 1.220 | 0.990 | 0.960 | 1.050 | 1.940 | 1.130 | 1.260 | 0.452 |

注:在中国核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成分析, Fe_2O_3 根据全铁算出;“—”代表未检到;带“*”编号的样品数据引自唐萍芝等(2010)。

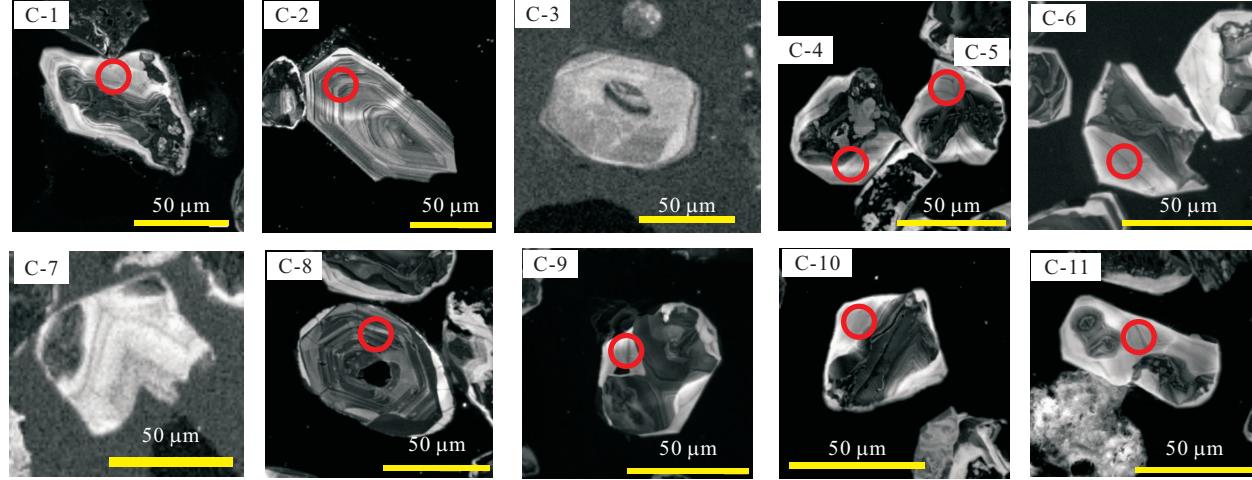


图 5 磁海铁矿区辉绿岩中锆石阴极发光(CL)图像及测点位置

Fig. 5 CL images of the zircons in diabases and measured points, Cihai iron ore district

表 2 磁海铁矿区辉绿岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年结果

Table 2 U-Pb dating results of zircon in diabase, Cihai iron ore district

| 分析点号 | $^{206}\text{Pb}_{\text{c}}$ (%) | U (10^{-6}) | Th (10^{-6}) | $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ | $^{206}\text{Pb}^*$ (10^{-6}) | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄(Ma)(1) | 测值 | 误差 | 比值 | \pm % | $^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ (1) | $^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}(1)$ | $^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}(1)$ | 比值 | \pm % |
|------|-------------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--|------------|--------|------|---------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|----|---------|
| C-1 | 3.77 | 255 | 299 | 1.21 | 9.15 | 254.5 | \pm 7.4 | 0.0438 | 12.0 | 0.243 | 12.0 | 0.04030 | 3.0 | | |
| C-2 | 31.45 | 34 | 10 | 0.31 | 1.88 | 277.0 | \pm 28.0 | — | — | — | — | 0.04390 | 10.0 | | |
| C-3 | 30.65 | 88 | 31 | 0.36 | 4.62 | 270.0 | \pm 15.0 | — | — | — | — | 0.04270 | 5.8 | | |
| C-4 | 3.18 | 395 | 232 | 0.61 | 14.50 | 261.5 | \pm 3.7 | 0.0419 | 10.0 | 0.239 | 10.0 | 0.04140 | 1.4 | | |
| C-5 | 2.60 | 358 | 308 | 0.89 | 13.00 | 260.6 | \pm 4.0 | 0.0508 | 7.1 | 0.289 | 7.3 | 0.04126 | 1.6 | | |
| C-6 | 22.16 | 79 | 41 | 0.53 | 3.67 | 265.8 | \pm 9.4 | — | — | — | — | 0.04210 | 3.6 | | |
| C-7 | 7.26 | 205 | 90 | 0.46 | 8.36 | 278.5 | \pm 4.9 | 0.0423 | 21.0 | 0.257 | 21.0 | 0.04414 | 1.8 | | |
| C-8 | 20.64 | 398 | 184 | 0.48 | 17.70 | 260.0 | \pm 5.6 | 0.0340 | 42.0 | 0.195 | 42.0 | 0.04115 | 2.2 | | |
| C-9 | 6.33 | 326 | 303 | 0.96 | 12.60 | 265.7 | \pm 4.0 | 0.0585 | 13.0 | 0.339 | 13.0 | 0.04207 | 1.6 | | |
| C-10 | 73.65 | 293 | 361 | 1.27 | 39.40 | 270.0 | \pm 34.0 | — | — | — | — | 0.04270 | 13.0 | | |
| C-11 | 43.64 | 266 | 153 | 0.59 | 16.50 | 259.0 | \pm 14.0 | — | — | — | — | 0.04100 | 5.4 | | |

注:在北京离子探针中心完成测试; Pb_{c} 和 Pb^* 分别代表普通铅和放射成因铅; 标准校正值的误差为 0.47% (不包括在上述误差内, 但包括不同样品靶的数据比较); (1)为应用实测 ^{204}Pb 校正普通铅

龄为 572 Ma, U 含量 $238 \mu\text{g/g}$ 标定样品的 U、Th 和 Pb 含量。数据处理采用 SQUID 和 ISOPLOT 软件(Ludwig, 2002, 2003), 普通铅根据实测的 ^{204}Pb 进行校正, 单个数据点的误差均为 1σ , 采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄, 置信度为 95%。

11 个锆石样品的测年结果见表 2。U 含量为

$34 \times 10^{-6} \sim 712 \times 10^{-6}$, Th 的含量为 $10 \times 10^{-6} \sim 637 \times 10^{-6}$, 变化均较大, $\text{Th}/\text{U}=0.26 \sim 1.39$, 多大于 0.4, 显示岩浆成因锆石特征(李长明, 2009), $^{206}\text{Pb}^*$ 含量变化在 $1.88 \times 10^{-6} \sim 39.40 \times 10^{-6}$ 。锆石的 $^{206}\text{Pb}_{\text{c}}$ 含量普遍较高, 变化在 2.60% ~ 73.65% 之间; 高的普通铅结果导致无法得到良好谐和年龄,

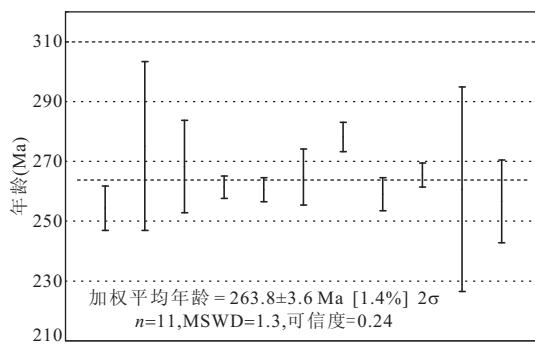
图6 磁海铁矿区辉绿岩锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 平均年龄

Fig. 6 The mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of zircons in diabase, Cihai ore district

11个测点获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 $254.5\pm7.4\sim277\pm28\text{ Ma}$ (图6),加权平均年龄为 $263.8\pm3.6\text{ Ma}$ ($n=11$,MSWD=1.3)。

5 讨论

磁海超大型铁矿区辉绿岩中岩浆成因单颗粒锆石的U-Pb法测年获得的平均年龄为 $263.8\pm3.6\text{ Ma}$ (MSWD=1.3),与辉绿岩全岩Rb-Sr法等时线年龄 $268\pm7\text{ Ma}$ (薛春纪等,2000)在误差范围内一致,证实磁海矿区辉绿岩形成于早二叠世。铁矿体呈板状、脉状主要产在辉绿岩体内,受断裂、裂隙构造控制,所以,(268 ± 7)~(263.8 ± 3.6) Ma可以指示磁海大规模铁成矿的时代上限。磁海矿区也见铁成矿后的辉绿岩脉,并穿插矿前辉绿岩及铁矿体,如果

矿前与矿后辉绿岩属于同时期基性岩浆作用不同阶段的产物,那么,磁海大规模铁成矿的时代仍应在二叠纪。

相同时期,在北山构造—成矿带内的坡北、旋涡岭、红柳河等地有基性岩出露,坡北辉长岩中锆石SHRIMP U-Pb年龄为 $289\pm13\text{ Ma}$ (李华芹等,2009),旋涡岭辉长岩中锆石SHRIMP U-Pb年龄为 $260.7\pm2.0\text{ Ma}$ (苏本勋等,2010),红柳河玄武岩Ar-Ar年龄为 $278\pm17\text{ Ma}$ (潘金花等,2008)。在北山构造—成矿带的北侧,东天山造山带内黄山、香山、白石泉、图拉尔根等地多有二叠纪基性—超基性岩浆岩出露,黄山辉长岩中锆石SHRIMP U-Pb年龄为 $284.5\pm2.5\text{ Ma}$ (顾连兴等,2006),香山橄榄辉长岩中镍黄铁矿Re-Os年龄为 $298.0\pm7.1\text{ Ma}$ (李月臣等,2006),图拉尔根辉长岩中锆石SHRIMP U-Pb年龄为 $300.5\pm3.2\text{ Ma}$ 、 $357.5\pm2.5\text{ Ma}$ (三金柱等,2010),白石泉辉长岩中锆石LA-ICP-MS年龄为 $281.2\pm0.9\text{ Ma}$ (毛启贵等,2006)。在北山构造—成矿带的南侧,塔里木陆块中—新生界盖层之下钻探揭示出大面积分布的二叠纪玄武岩,印干地区玄武岩中锆石SHRIMP U-Pb年龄为 $289.5\pm2.0\text{ Ma}$ (Yu et al., 2010),柯坪玄武岩和辉长岩中锆石的LA-ICP-MS年龄分别为 $275\pm13\text{ Ma}$ 、 $274\pm15\text{ Ma}$ (李勇等,2007),塔北隆起流纹岩中锆石LA-ICP-MS的年龄在(291 ± 2)~(272 ± 4) Ma(Tian et al., 2010)。可见,磁海超大型铁矿床所在区域二叠纪基性岩浆活动强烈而普遍,这是一种巧合还是具有统一的地球动力学背景?磁海大规模铁成矿于

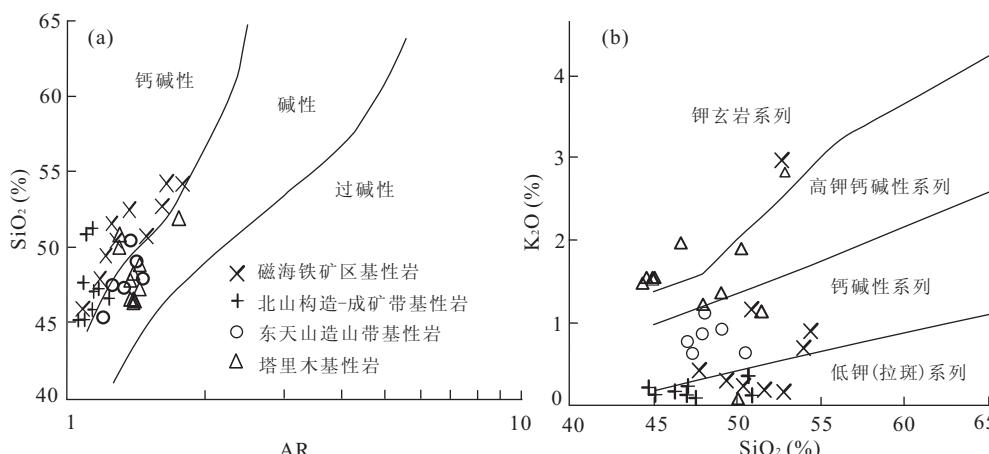


图7 磁海铁矿区基性岩的岩浆系列及区域对比

Fig. 7 The magmatic series of the basic igneous rock, Cihai iron ore district and the regional comparing

底图引自 Wright, 1969; Ewart, 1982. 北山构造—成矿带、东天山造山带、塔里木3个区域基性岩投影点数据据自陈汉林等,1997;郝建荣等,2006;赵泽辉等,2006;潘金花等,2008;厉子龙等,2008;苏本勋等,2010;唐萍芝等,2010

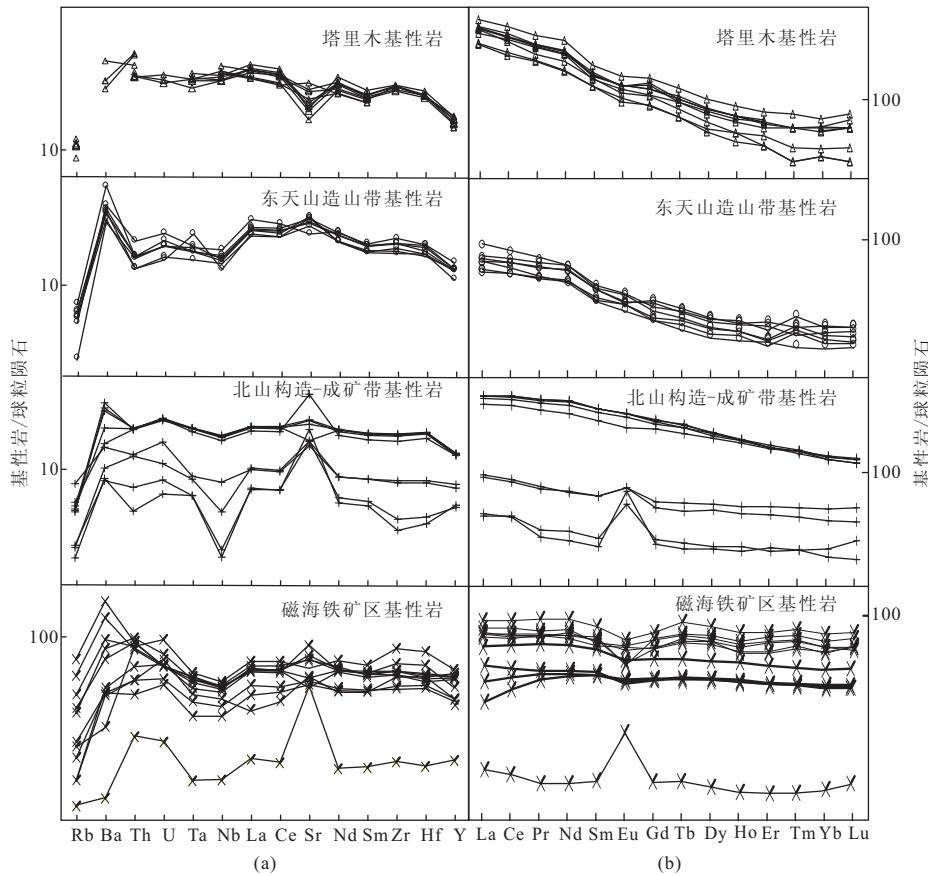


图 8 磁海铁矿区基性岩微量元素特征及区域对比

Fig. 8 The rare element characteristics of the basic igneous rock, Cihai iron ore district and the regional comparing

a. 磁海矿区及区域微量元素蛛网图; b. 磁海矿区及区域稀土元素配分图. 球粒陨石标准化数据引自 Sun and MacDonough, 1989. 北山构造—成矿带、东天山造山带、塔里木 3 个区域基性岩数据引自陈汉林等, 1997; 郝建荣等, 2006; 赵泽辉等, 2006; 潘金花等, 2008; 厉子龙等, 2008; 苏本勋等, 2010; 唐萍芝等, 2010

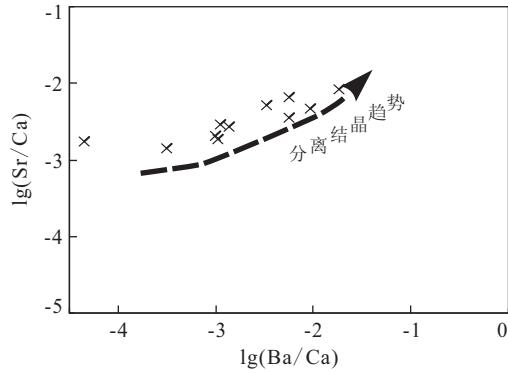


图 9 磁海矿区基性岩的 S-B 图解

Fig. 9 The S-B diagram of the basic igneous rock, Cihai iron district

何种地质背景?

将磁海铁矿区基性岩与其所在区域的北山构造—成矿带、东天山造山带、塔里木等地基性岩对比可见, 它们具有明显相近的 SiO_2 含量和 AR 值(表 1、图 7a), 均属碱性—钙碱性系列。从 K_2O 含量看, 磁海

铁矿区、北山构造—成矿带和东天山造山带的基性岩多具有低钾钙碱性系列特征, 而塔里木大火成岩省基性岩主体表现出高钾钙碱性—钾玄岩系列特点(图 7b); 塔里木大火成岩省玄武岩相对高钾的性质可能与幔源岩浆上升和喷出过程中地壳物质的混染有关 (Yu et al., 2010; Zhang et al., 2010; Li et al., 2011), 而东天山造山带和包括磁海铁矿区在内的北山构造—成矿带内的基性岩多为地壳一定深度的侵入岩, 可能受到地壳成分的混入相对有限, 相对低钾 (韩宝福等, 2004; 顾连兴等, 2006; 李月臣等, 2006; 毛启贵等, 2006; 夏明哲等, 2008; 三金柱等, 2010)。

磁海铁矿区基性岩球粒陨石标准化的微量元素蛛网图较为平坦, 与它所在区域的北山构造—成矿带、东天山造山带、塔里木等地基性岩十分相似, 而且它们的微量元素含量相近(图 8a), 尤其是磁海铁矿区、北山构造—成矿带、东天山造山带的基性岩微量元素特点更为相似, 可能反映它们具有相似的

岩浆性质。磁海铁矿区基性岩与它所在区域的北山构造—成矿带、东天山造山带、塔里木等地区基性岩部分样品 Sr 元素富集、部分亏损的特点也甚为相似(图 8a);但总体上,相对于塔里木大火成岩省玄武岩 Sr、Ba 的弱亏损特点,磁海铁矿区、北山构造—成矿带、东天山造山带的基性岩均具有 Sr、Ba 的弱富集特点(图 8a);这可能与单斜辉石或普通角闪石发生分离结晶作用有关,因为 Ca 比 Sr、Ba 优先进入矿物晶格,残余熔浆的 Sr/Ca 和 Ba/Ca 都增加(韩吟文和马振东,2003),磁海铁矿区基性岩样品 Sr/Ca 与 Ba/Ca 表现正相关趋势(图 9),表示岩浆演化过程中可能发生了单斜辉石或普通角闪石的分离结晶作用。磁海铁矿区、北山构造—成矿带、东天山造山带的基性岩样品均表现出明显的 Nb 亏损,而塔里木基性岩 Nb 异常不明显(图 8a);磁海铁矿区及其所在北山构造—成矿带、东天山造山带基性岩的 Nb 亏损特点表明岩浆来自亏损的软流圈地幔,且没有经历明显的后期同化混染作用。

磁海铁矿区基性岩的轻、重稀土元素分异不明显,球粒陨石标准化的 REE 配分曲线平缓右倾,与北山构造—成矿带、东天山造山带、塔里木等地区基性岩 REE 配分曲线平缓右倾的特点相似,均没有明显 Ce 异常,显示弱的 Eu 负异常,而且它们的 REE 总含量相近(图 8b),它们可能具有相似的岩浆性质。相对于塔里木、东天山造山带、北山构造—成矿带中基性岩,磁海铁矿区基性岩的轻、重稀土元素分异更为微弱,REE 配分曲线更为平缓。通常岩浆源区亏损时,REE 配分曲线平缓,而源区富集时,轻稀土富集,REE 配分曲线右倾;基性岩浆的 REE 配分曲线也与地壳的混染有关,混染程度越低时,REE 配分曲线平缓,而混染程度越高时,则轻稀土越富集,REE 配分曲线右倾;也可能还与分离结晶有关,如磷灰石的分离结晶作用可导致晚期岩浆稀土元素特别是轻稀土元素的强烈亏损,REE 配分曲线趋于平缓,但这种现象很少见。因此磁海铁矿区基性岩 REE 配分曲线更为平缓的现象很可能说明岩浆起源与亏损软流圈地幔有关,地壳物质的同化混染作用有限。磁海铁矿区及其所在北山构造—成矿带基性岩少部分样品表现出 Eu 正异常(图 8b),这可能与斜长石的结晶分异作用有关(韩吟文和马振东,2003)。

6 结论

新疆磁海铁矿区基性岩以辉绿岩为主,辉绿岩

中断裂—裂隙控制板状铁矿脉群,单颗粒锆石 U-Pb 法测得平均年龄为 263.8 ± 3.6 Ma,与二叠纪塔里木、东天山造山带、北山构造—成矿带等区域基性岩同时代。

磁海铁矿区基性岩浆起源于亏损软流圈地幔,与其所在区域的北山构造—成矿带、东天山造山带、塔里木等地基性岩均属碱性—钙碱性系列,它们的微量元素组成相近,岩浆性质相似,成生关系密切。

磁海铁矿区基性岩可能是二叠纪地幔柱成因塔里木大火成岩省的组成部分,大规模铁成矿于地幔柱背景,北山构造—成矿带可能是塔里木地幔柱的一枝。

致谢:野外考察过程中得到了磁海铁矿多方面帮助,在室内实验及数据分析得到了北京离子探针中心帮助,在此一并表示诚挚的感谢!

References

- Chen, H. L., Yang, S. F., Dong, C. W., et al., 1997. Confirmation of Permian basite zone in Tarim basin and its tectonic significance. *Geicimica*, 26(6): 77—87 (in Chinese with English abstract).
- Chen, S. P., Zhu, Y. H., 1992. Rock chemistry and analysis of its structural environment for Carboniferous-Permian volcanics in Beishan, Xinjiang. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 17(6): 647—656 (in Chinese with English abstract).
- Ewart, A., 1982. The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesite-basaltic compositional range. In: Thorpe, R. S., ed., *Andesites*. John Wiley and Sons, New York, 25—95.
- Gu, L. X., Zhang, Z. Z., Wu, C. Z., et al., 2006. Some problems on granites and vertical growth of the continental crust in the eastern Tianshan Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1103—1120 (in Chinese with English abstract).
- Han, B. F., Ji, J. Q., Song, B., et al., 2004. The SHRIMP U-Pb zircon age of Kalatongke and Huangshandong Cu-Ni sulfide-bearing mafic-ultramafic complex and their geologic significance. *Chinese Science Bulletin*, 49(22): 2324—2328.
- Han, C. M., Mao, J. W., Yang, J. M., et al., 2002. Types of Late Palaeozoic endogenous metal deposits and related geodynamical evolution in the east Tianshan. *Acta Geologica Sinica*, 76(2): 222—234 (in Chinese with English abstract).
- Han, Y. W., Ma, Z. D., 2003. Geochemistry. *Geology Pub-*

- lishing House, Beijing.
- Hao, J. R., Zhou, D. W., Liu, Y. Q., et al., 2006. Geochemistry and tectonic settings of Permian volcanic rocks in Santanghu basin, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 189—198 (in Chinese with English abstract).
- Li, C. M., 2009. A review on the mineralogy and situ microanalytical dating techniques of zircons. *Geological Survey And Research*, 33(3): 161—174 (in Chinese with English abstract).
- Li, H. Q., Mei, Y. P., Qu, W. J., et al., 2009. SHRIMP zircon U-Pb and Re-Os dating of No. 10 intrusive body and associated ores in Pobei mafic-ultramafic belt of Xinjiang and its significance. *Mineral Deposits*, 28(5): 633—642 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. C., Zhao, G. C., Qu, W. J., et al., 2006. Re-Os isotopic dataing of the Xiangshan deposit, eastern Tianshan. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 245—251 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y., Su, W., Kong, P., et al., 2007. Zircon U-Pb ages of the Early Permian magmatic rocks in the Tazhong-Bachu region, Tarim basin by LA-ICP-MS. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5): 1097—1107 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. L., Chen, H. L., Song, B., et al., 2011. Temporal evolution of the Permian large igneous province in Tarim basin in northwestern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42: 917—927. doi: 10.1016/j.jseaes.2011.05.009
- Li, Z. L., Yang, S. F., Chen, H. L., et al., 2008. Chronology and geochemistry of Taxinan basalts from the Tarim basin: evidence for Permian plume magmatism. *Acta Petrologica Sinica*, 24(5): 959—970 (in Chinese with English abstract).
- Liu, C., Zhao, Z. H., Guo, Z. J., 2006. Chronology and geochemistry of lamprophyre dykes from Beishan area, Gansu Province and implications for the crust-mantle interaction. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1294—1306 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. R., Lv, X. B., Mei, W., 2010. Petrological geochemistry features of Po Bei Cu-Ni sulfide deposit in Xinjiang and its metallogenetic setting. *Mineral Deposits*, 29: 875—876.
- Ludwig, K. R., 2002. SQUID 1.02, a User's Manual. Berkeley Geochronology Center Special Publication 2, Berkeley, California, US.
- Ludwig, K. R., 2003. User's Manual for Isoplot 3.00: a geochronological toolkit for microsoft excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication 4, Berkeley, California, US.
- Mao, Q. G., Xiao, W. J., Han, C. M., et al., 2006. Zircon U-Pb age and the geochemistry of the Baishiquan mafic-ultramafic complex in the eastern Tianshan, Xinjiang Province: constraints on the closure of the Paleo-Asian Ocean. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 153—162 (in Chinese with English abstract).
- Mu, Z. G., Liu, C., Huang, B. L., et al., 1994. Isotope and REE geochemical characteristics of crust evolution in the Paleozoic orogenic belt of Beishan region, Gansu Province. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 30(2): 202—214 (in Chinese with English abstract).
- Nie, B. F., Yu, B. S., Li, Z. K., et al., 2009. The Characteristics and tectonic setting of the Late Carboniferous-Permian volcanic rocks from Niudong area, Santanghu basin, eastern Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 27(3): 217—221 (in Chinese with English abstract).
- Pan, J. H., Guo, Z. J., Liu, C., et al., 2008. Geochronology, geochemistry and tectonic implications of Permian basalts in Hongliuhe area on the border between Xinjiang and Gansu. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 793—802 (in Chinese with English abstract).
- Peng, J. G., Zhang, F. R., Zhao, F. C., 2006. Divisions and contrast of basic features of metallogenetic belts in Beishan area of Gansu-Xinjiang-Inner Mongolia. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 28(3): 11—18 (in Chinese with English abstract).
- Qin, K. Z., 2000. Metellogenesis in relation to central-Asia style orogeny of northern Xinjiang. Post-Doctor Research Report. Post-doctoral mobile station, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- San, J. Z., Qin, K. Z., Tang, Z. L., et al., 2010. Precise zircon U-Pb age dating of two mafic-ultramafic complexes at Tulargen large Cu-Ni district and its geological implications. *Acta Petrologica Sinica*, 26(10): 3027—3035 (in Chinese with English abstract).
- Song, B., Zhang, Y. H., Wan, Y. S., et al., 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48(Suppl.): 26—30 (in Chinese with English abstract).
- Su, B. X., Qin, K. Z., Sun, H., et al., 2010. Geochronological, petrological, mineralogical and geochemical studies of the Xuanwolong mafic-ultramafic intrusion in Beishan area, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 26(11): 3283—3294 (in Chinese with English abstract).
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical isotopic sys-

- tematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and process. In: Saunders, A. D., Norry, M. J., eds., *Magmatism in the oceanic basins*. Geo. Soc. Spec. Publ, London, 313—315.
- Tang, P. Z., Wang, J. B., Wang, Y. W., et al., 2010. Geochemical characteristics of mafic-ultramafic rocks in the Cihai ore district, Xinjiang, and their geological significance. *Geochimic*, 39(6): 542—552 (in Chinese with English abstract).
- Tian, W., Campbell, I. H., Allen, C. M., et al., 2010. The Tarim picrite-basalt-rhyolite suite, a Permian flood basalt from northwest China with contrasting rhyolites produced by fractional crystallization and anatexis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 160: 407—425. doi: 10.1007/s00410-009-0458-3
- Wang, Y. W., Sha, J. M., Cheng, C., 2006. Composition of magnertite from the Cihai Fe(Co)deposit, Xinjiang, and its genetic significance. *Mineral Deposits*, 25(Suppl.): 321—324 (in Chinese with English abstract).
- Williams, I. S., Buick, I. S., Cartwright, I., 1996. An extended episode of Early Mesoproterozoic metamorphic fluid flow in the Reynolds Range, central Australia. *Journal of Metamorphic Geology*, 14(1): 29—47. doi: 10.1111/j.1525-1314.1996.00029
- Wright, J. B., 1969. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. *Geol. Mag.*, 106(4): 370—384. doi: 10.1017/S0016756800058222
- Xia, L. Q., Xia, Z. C., Xu, X. Y., et al., 2008. Petrogenesis of Carboniferous-Early Permian rift-related volcanic rocks in the Tianshan and its neighboring areas, noethwestern China. *Northwestern Geology*, 41(4): 1—49 (in Chinese with English abstract).
- Xia, M. Z., Jiang, C. Y., Qian, Z. Z., et al., 2008. Geochemistry and petrogenesis for Hulu instrusion in east Tianshan, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2749—2760 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, P. X., Huang, Y. H., Wang, Y. X., et al., 2006. Geological characteristic and tectonic environment of basic dike swarms in the Beishan area, southern Hami, Xinjiang, China. *Geological Bulletin of China*, 25(1—2): 189—193 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, W. J., Shu, L. S., Gao, J., et al., 2009. Geodynamic processes of the central Asian orogenic belt and its met-allogeny. *China Basic Science*, 3: 14—19 (in Chinese).
- Xiao, Y. F., Wang, D. Y., Deng, J. H., et al., 2004. Volcanism during activity period of Beishan craton rift in Xinjiang, China. *Journal of Chengdu University of Technology & Education*, 31(4): 331—337 (in Chinese with English abstract).
- Xing, X. J., 2004. The study on volcanic rocks of Permian in Santanghu basin, Xinjiang (Dissertation). Northwest University, Xi'an (in Chinese with English abstract).
- Xue, C. J., Ji, J. S., 1999. Study on the process of metallogenetic inorganic chemistry in Cihai iron deposit, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 17(3): 270—276 (in Chinese with English abstract).
- Xue, C. J., Ji, J. S., Yang, Q. J., 2000. Subvolcanic hydrothermal metallogeny of the Cihai iron (cobalt) deposit, Xinjiang. *Mineral Deposits*, 19(2): 156—164 (in Chinese with English abstract).
- Yu, X., Yang, S. F., Chen, H. L., et al., 2010. Permian flood basalts from the Tarim basin, Northwest China: SHRIMP zircon U-Pb dating and geochemical characteristics. *Gondwana Research*, 20(2—3): 485—497. doi: 10.1016/j.gr.2010.11.009
- Zhang, C. L., Li, Z. X., Li, X. H., et al., 2010. A Permian large igneous province in Tarim and central Asian orogenic belt, NW China: results of a ca. 275 Ma mantle plume? *Geological Society of America Bulletin*, 122(11—12): 2020—2040. doi: 10.1130/B30007.1
- Zhang, C. L., Zhou, G., Wang, H. Y., et al., 2010. A review on two types of mantle domains of the Permian large igneous province in Tarim and the western section of central Asian orogenic belt. *Geological Bulletin of China*, 29(6): 779—794 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. H., Guo, S. J., Han, B. F., et al., 2006. Comparative study on Permian basalts from eastern Xinjiang-Beishan area of Gansu Province and its tectonic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1279—1293 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, D. W., Liu, Y. Q., Xing, X. Q., et al., 2006. Paleo-tectonic settings reconstruction and tracing of regional structural background of Permian basalts in Tu-Ha and Santanghu basins in Xinjiang. *Science in China (Ser. D)*, 32(2): 143—153.
- Zuo, G. C., Li, S. X., Yu, S. N., et al., 2004. The occurrence characteristics and metallo tectonic evolution of Cihai iron ore deposit in Xinjiang. *North Western Geology*, 37(1): 53—61 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈汉林,杨树锋,董传万,等,1997.塔里木盆地二叠纪基性岩带的确定及大地构造意义.地球化学,26(6):77—87.
- 陈升平,朱云海,1992.新疆北山石炭纪、二叠纪火山岩岩石化学及其构造环境分析.地球科学——中国地质大学

- 学报,17(6):647—656.
- 顾连兴,张遵忠,吴昌志,等,2006.关于东天山花岗岩与陆壳垂向增生的若干认识.岩石学报,22(5):1103—1120.
- 韩宝福,季建清,宋彪,等,2004.新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁—超镁铁杂岩体的 SHRIMP 镉石 U-Pb 年龄及其地质意义.科学通报,49(22):2324—2328.
- 韩春明,毛景文,杨建民,等,2002.东天山晚古生代内生金属矿床类型和成矿作用的动力学演化规律.地质学报,76(2):222—234.
- 韩吟文,马振东,2003.地球化学.北京:地质出版社.
- 郝建荣,周鼎武,柳益群,等,2006.新疆三塘湖盆地二叠纪火山岩岩石地球化学及其构造环境分析.岩石学报,22(1):189—198.
- 李长明,2009.锆石成因矿物学与锆石微区定年综述.地质调查与研究,33(3):161—174.
- 李华芹,梅玉萍,屈文俊,等,2009.新疆坡北基性—超基性岩带 10 号岩体 SHRIMP U-Pb 和矿石 Re-Os 同位素定年及其意义.矿床地质,28(5):633—642.
- 李月臣,赵国春,屈文俊,等,2006.新疆香山铜镍硫化物矿床 Re-Os 同位素测定.岩石学报,22(1):245—251.
- 李勇,苏文,孔屏,等,2007.塔里木盆地塔中—巴楚地区早二叠世岩浆岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄.岩石学报,23(5):1097—1107.
- 刘畅,赵泽辉,郭召杰,2006.甘肃北山地区煌斑岩的年代学和地球化学及其壳幔作用过程讨论.岩石学报,22(5):1294—1306.
- 刘艳荣,吕新彪,梅微,2010.新疆坡北铜镍硫化物矿床岩石地球化学特征及其形成的构造背景.矿床地质,29:875—876.
- 厉子龙,杨树锋,陈汉林,等,2008.塔西南玄武岩年代学和地球化学特征及其对二叠纪地幔柱岩浆演化的制约.岩石学报,24(5):959—970.
- 毛启贵,肖文交,韩春明,等,2006.新疆东天山白石泉铜镍矿床基性—超基性岩体锆石 U-Pb 同位素年龄、地球化学特征及其对古亚洲洋闭合时限的制约.岩石学报,22(1):153—162.
- 穆治国,刘驰,黄宝玲,等,1994.甘肃北山古生代造山带地壳演化的同位素和稀土元素地球化学特征.北京大学学报(自然科学版),30(2):202—214.
- 聂保锋,于炳松,李正科,等,2009.新疆三塘湖盆地牛东区块晚石炭世—二叠纪火山岩特征与构造环境分析.新疆地质,27(3):217—221.
- 潘金花,郭召杰,刘畅,等,2008.新甘交界红柳河地区二叠纪玄武岩年代学、地球化学及构造意义.岩石学报,24(4):793—802.
- 彭巨贵,张发荣,赵福昌,2006.甘新蒙北山地区成矿带划分和基本特征对比.地球科学与环境学报,28(3):11—18.
- 秦克章,2000.新疆北部中亚型造山与成矿作用.博士后研究报告,中国科学院地质与地球物理研究所地质学博士后流动站,北京.
- 三金柱,秦克章,汤中立,等,2010.东天山图拉尔根大型铜镍矿区两个镁铁—超镁铁岩体的锆石 U-Pb 定年及其地质意义.岩石学报,26(10):3027—3035.
- 宋彪,张玉海,万渝生,等,2002.锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论.地质评论,48(增刊):26—30.
- 苏本勋,秦克章,孙赫,等,2010.新疆北山地区瀛窝岭镁铁—超镁铁岩体的年代学、岩石矿物学和地球化学研究.岩石学报,26(11):3283—3294.
- 唐萍芝,王京彬,王玉往,等,2010.新疆磁海铁矿区镁铁—超镁铁岩地球化学特征及其地质意义.地球化学,39(6):542—552.
- 王玉往,沙建明,程春,2006.新疆磁海铁(钴)矿床磁铁矿成分及其成因意义.矿床地质,25(增刊):321—324.
- 夏林圻,夏祖春,徐学义,等,2008.天山及邻区石炭纪—早二叠世裂谷火山岩成因.西北地质,41(4):1—49.
- 夏明哲,姜常义,钱壮志,等,2008.新疆东天山葫芦岩体岩石学与地区化学研究.岩石学报,24(12):2749—2760.
- 校培喜,黄玉华,王育习,等,2006.新疆哈密南部北山地区基性岩墙群的地质特征及形成构造环境.地质通报,25(1—2):189—193.
- 肖渊甫,王道永,邓江红,等,2004.新疆北山晚古生代克拉通裂谷火山作用特征.成都理工大学学报(自然科学版),31(4):331—337.
- 肖文交,舒良树,高俊,等,2009.中亚造山带大陆动力学过程与成矿作用.中国基础科学,3:14—19.
- 邢秀娟,2004.新疆三塘湖盆地二叠纪火山岩研究(硕士学位论文).西安:西北大学.
- 薛春纪,姬金生,1999.新疆磁海铁矿床成矿无机化学过程研究.新疆地质,17(3):270—276.
- 薛春纪,姬金生,杨前进,2000.新疆磁海铁(钴)矿床次火山热液成矿学.矿床地质,19(2):156—164.
- 张传林,周刚,王洪燕,等,2010.塔里木和中亚造山带西段二叠纪大火成岩省的两类地幔源区.地质通报,29(6):779—794.
- 赵泽辉,郭绍杰,韩宝福,等,2006.新疆东部—甘肃北山地区二叠纪玄武岩对比研究及其构造意义.岩石学报,22(5):1279—1293.
- 周鼎武,柳益群,刑秀娟,等,2006.新疆吐—哈、三塘湖盆地二叠纪玄武岩形成古构造环境恢复及区域构造背景示踪.中国科学(D辑),32(2):143—153.
- 左国朝,李绍雄,于守南,等,2004.新疆磁海铁矿床产出特征及成矿构造演化.西北地质,37(1):53—61.