

# 宁芜和庐枞盆地含矿岩体地球化学特征对比

高守业, 王丽娟<sup>2\*</sup>, 陆建军<sup>1</sup>, 马东升<sup>1</sup>, 宋革文<sup>3</sup>

(1 南京大学地球科学与工程学院内生金属成矿机制研究重点实验室, 南京 210023;

2 江苏省地质调查研究院, 南京 210018;

3 上海梅山矿业有限公司, 南京 210041)

**摘要:** 宁芜和庐枞盆地是长江中下游地区重要的铁矿产区, 两盆地内含矿岩体的岩石学和地球化学特征既具有一定的相似性又表现出一定的差异性。文章对两个盆地内主要含矿岩体的岩相学、主量元素、微量元素、稀土元素、Sr-Nd 同位素和锆石 Hf 同位素等进行对比研究, 以期进一步探讨两盆地中成矿岩体的差异。镜下观察结果显示宁芜和庐枞盆地主要含矿岩体具有相同的矿物组合, 主量元素特征表明这些岩体具有中硅、富钾和高镁的特点, 均为中—基性火成岩。与宁芜盆地含矿岩体相比, 庐枞盆地含矿岩体的 $\Sigma$ REE、 $\Sigma$ LREE 和 $\Sigma$ HREE 含量均较高, 明显富集 Th、U 等大离子亲石元素, 具有明显的 Eu 负异常, 说明庐枞盆地含矿岩体的地壳物质较多。两个盆地含矿岩体的 Sr-Nd 同位素组成指示岩体均来源于富集地幔, 庐枞盆地含矿岩体较低的锆石 Hf 同位素组成说明在岩浆侵入和演化过程中可能有更多的地壳物质加入, 导致岩浆的粘稠度降低, 更有利于庐枞盆地铁矿的形成。

**关键词:** 含矿岩体; 地球化学; 宁芜盆地; 庐枞盆地

**中图分类号:** P59

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2017)01-021-07

长江中下游成矿带是我国最重要的铜铁多金属资源产地之一, 主要包括 7 个矿集区, 自西向东依次为鄂东南、九瑞、安庆—贵池、庐枞、铜陵、宁芜和宁镇矿集区(图 1a)。主要包括矽卡岩型、斑岩型以及沉积—改造型等矿化类型<sup>[1]</sup>, 其中, 矽卡岩型铁矿包括 2 种类型, 一种是中酸性侵入岩与灰岩接触形成的典型的矽卡岩铁矿, 如鄂东南矿集区的程潮和金山店铁矿床<sup>[2-6]</sup>; 另一种是中基性侵入岩与火山岩系接触形成的非传统概念的矽卡岩铁矿, 如宁芜矿集区的梅山铁矿床和庐枞盆地中的泥河铁矿等。

宁芜和庐枞盆地位于长江中下游成矿带东部, 是两个邻近的陆相断陷火山岩盆地, 均以产玢岩铁矿闻名<sup>[1,7]</sup>。值得注意的是, 两个盆地内燕山期各旋回火山活动期次几乎相同, 侵入岩的分期、岩性和成岩时代也大致可以对比<sup>[8]</sup>。本文从主要铁矿床

成矿岩体的岩相学和地球化学特征入手, 探讨宁芜和庐枞盆地成矿岩体的差异。

## 1 宁芜和庐枞盆地铁矿床概况

宁芜和庐枞盆地均位于长江中下游成矿带东部, 为中生代陆相火山岩盆地, 是长江中下游多金属成矿带中重要的多金属矿集区<sup>[1-2]</sup>。宁芜盆地位于江苏省南京市和安徽省芜湖市之间, 呈 NNE 方向展布, 受周围 4 组断裂控制, 形状上呈菱形, 长约 60 km, 宽约 20 km, 总面积约 1 200 km<sup>2</sup><sup>[9]</sup> (图 1b)。庐枞盆地位于安徽省庐江县(庐)和枞阳县(枞)之间, 其展布受 3 组深大断裂控制, 形状上呈耳壳状, 长约 56 km, 宽约 24 km, 面积约为 1 032 km<sup>2</sup><sup>[10]</sup>。

宁芜盆地出露的地层主要有三叠系周冲村组

\* 收稿日期: 2016-05-28 修订日期: 2016-06-09 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(项目编号: 41102123)、中国地质调查局项目“宁芜溧水火山岩盆地岩浆构造演化与成矿作用关系研究(项目编号: 1212011120864)”、“江苏省(含上海市)矿产资源调查成果综合集成与服务产品开发”联合资助。

第一作者简介: 高守业, 1989 年生, 男, 硕士, 矿床地球化学专业。

通讯作者简介: 王丽娟, 1983 年生, 女, 博士, 岩石学专业。

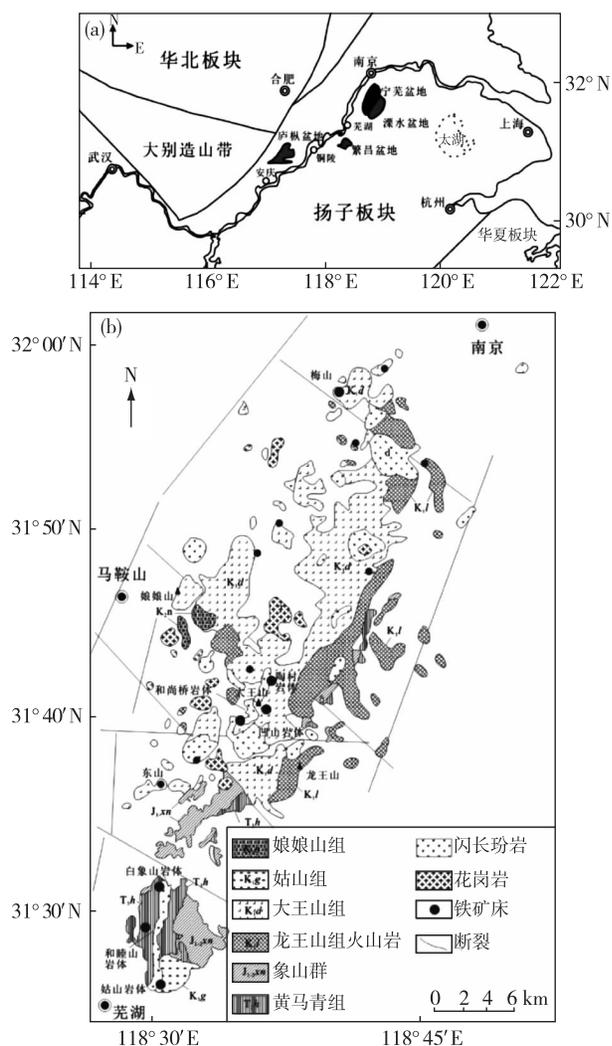


图1 长江中下游成矿带地质简图(a)和宁芜盆地地质简图(b)(据文献[14]修编)

Fig. 1 Sketch geologic map (a) of mineralization belt in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River and sketch geologic map (b) of the Ningwu basin

( $T_2z$ )、黄马青组( $T_3h$ )和侏罗系象山群( $J_{1-2}xn$ )。上覆火山岩系从早到晚依次划分为龙王山组、大王山组、姑山组和娘娘山组4个火山岩旋回<sup>[7]</sup>,各个旋回均从爆发相过渡至溢流相,最后发展成火山沉积相。庐枞盆地出露的沉积地层主要为中侏罗统罗岭组( $J_2l$ )陆相碎屑沉积岩,与火山岩系呈不整合接触。火山岩由老至新分为龙门院组、砖桥组、双庙组和浮山组。前人较系统得出宁芜盆地4个火山旋回的时间:龙王山组为 $134.8 \pm 1.8$  Ma、大王山组为 $132.2 \pm 1.6$  Ma、姑山组为 $129.5 \pm 0.8$  Ma和娘娘山组为 $126.8 \pm 0.6$  Ma<sup>[2, 11-13]</sup>;庐枞盆地4个火山

旋回的年龄分别为:龙门院组为 $134.8 \pm 1.8$  Ma、砖桥组为 $134.1 \pm 1.6$  Ma、双庙组为 $130.5 \pm 0.8$  Ma和浮山组为 $127.1 \pm 1.2$  Ma<sup>[15]</sup>。由此可见,宁芜和庐枞盆地4组火山岩在形成时间上相对应,均为白垩纪早期火山活动的产物。宁芜盆地内潜火山岩或浅层侵入岩主要为闪长(玢)岩,多发生在每一火山岩旋回末期,分布于断裂喷发带与火山机构中心,是铁矿床的主要含矿岩体。宁芜盆地与铁矿有关的7个闪长玢岩体的形成时代均为130 Ma左右,属于大王山组时期的火山活动<sup>[16]</sup>。宁芜盆地内有另一类侵入岩为花岗质岩体,形成时代为129~126 Ma<sup>[17]</sup>。庐枞盆地15个主要侵入岩体分为早、晚两期,早期侵入岩主要为二长岩和闪长岩类,成岩时代为134~130 Ma;晚期侵入岩为正长岩和A型花岗岩,成岩时代分别为129~123 Ma和126~123 Ma<sup>[18]</sup>。

宁芜盆地产出三十余处铁矿和数十个矿化点,铁矿石储量约27亿吨<sup>[7]</sup>,其中较大的铁矿包括位于盆地北段的梅山铁矿、盆地中段的陶村和凹山铁矿以及盆地南段的姑山铁矿、白象山铁矿和太平山铁矿。庐枞盆地铁、硫、铜和铅锌等矿产资源丰富,其中铁矿石储量约10亿吨,代表性的大型铁矿包括泥河铁矿和罗河铁矿<sup>[19]</sup>。

## 2 岩相学特征

宁芜盆地梅山铁矿赋矿岩石为闪长玢岩,呈灰黑色。岩石总体为斑状结构,斑晶占39%,主要有普通辉石、角闪石、斜长石;基质为交织结构,钻孔深部可见全晶质结构,斜长石 $An=58 \sim 65$ ,有序度 $40 \sim 70$ <sup>[20]</sup>。陶村矿床闪长玢岩为灰绿—灰黑色,块状构造,全晶质斑状结构,斑晶为中长石或更长石,板条状,延长约0.3~2 mm,含量20%~50%,聚片双晶和环带结构均发育,暗色矿物为角闪石,副矿物为楣石和金红石。

泥河铁矿和杨山铁矿是庐枞盆地最具有代表性的铁矿。泥河铁矿床闪长玢岩呈灰绿色、灰黑色,斑状结构为主,深部为斑状—不等粒状结构,块状构造。斑晶为斜长石、辉石和角闪石,含量约占20%~40%。斜长石斑晶呈自形和半自形板条状,大小为1.0~2.0 mm,少量斜长石斑晶局部有碱性长石化环边,粒径可达3.0~5.0 mm。辉石斑晶呈短柱状,粒径以1.0~3.0 mm为主。基质由细小的斜长石、辉石和角闪石组成,细粒结构。副矿物有

楣石、磷灰石、磁铁矿。杨山铁矿闪长玢岩具有斑状结构,斑晶一般为 0.6 mm,长石占 20%~30%,普通辉石、透辉石约为 8%~15%;偶见极少量的黑云母。基质约占 60%,主要由更长石、角闪石微晶构成,副矿物主要为磁铁矿、磷灰石等<sup>[19]</sup>。

总体而言,宁芜和庐枞盆地含矿岩体的颜色均较深,呈灰绿或灰黑色,具有斑状结构,块状构造,主要矿物为斜长石、辉石和角闪石等,可见楣石、磷灰石和金红石等副矿物。因此,两个盆地的含矿岩体在岩性特征和矿物组成上类似。

### 3 分析结果及讨论

#### 3.1 主、微量元素特征

宁芜和庐枞盆地含矿岩体尽管具有相似的岩性特征和矿物组合,但在岩石地球化学方面却具有一定的差异。两个盆地中含矿岩体主要为中—基性火成岩,有中硅(57.10%~46.01%)、富钾(5.23%~0.65%)、高镁(5.24%~1.53%)的特点。宁芜和庐枞盆地含矿岩体的 MgO 分别为 5.24%~1.93%和 5.03%~1.62%,平均值分别为 3.88%和 2.88%,庐枞盆地含矿岩体 MgO 含量低于宁芜盆地含矿岩体 MgO 含量。

宁芜盆地含矿岩体的  $\Sigma$ REE 为  $(98.18 \sim 156.8) \times 10^{-6}$ ,均值为  $126.7 \times 10^{-6}$ , $\delta$ Eu 为 0.78~1.00,均值为 0.96;LREE/HREE 为 5.33~10.6,均值为 8.12。庐枞盆地含矿岩体的  $\Sigma$ REE 为  $(176.8 \sim 310.7) \times 10^{-6}$ ,均值为  $227.9 \times 10^{-6}$ , $\delta$ Eu 为 0.59~1.18,均值为 0.79;LREE/HREE 为 9.21~11.80,均值为 10.04。

在稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(图 2)中,两个盆地含矿岩体的稀土元素配分模式均为右倾型,轻稀土相对富集,重稀土相对亏损,可能与源区存在石榴子石有关。庐枞盆地含矿岩体的  $\Sigma$ REE、 $\Sigma$ LREE 和  $\Sigma$ HREE 含量均高于宁芜盆地。庐枞盆地含矿岩体具有较明显的 Eu 负异常,可能与长石的分离结晶有关,宁芜盆地含矿岩体 Eu 负异常不明显,表明其长石的分离结晶作用不显著。稀土元素的差异说明宁芜和庐枞盆地含矿岩体的演化过程具有一定的差异。

两个盆地含矿岩体的微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 3)显示,二者皆富集 Rb、Th 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta、P、Ti、Y 等高场强元素,Sr

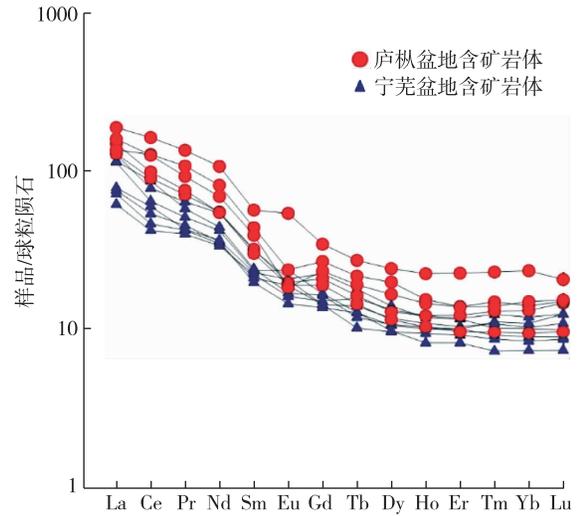


图 2 宁芜和庐枞盆地含矿岩体的稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图

Fig. 2 Chondrite-normalized REE distribution patterns of the ore-bearing rocks from the Ningwu and Luzong basins

异常不明显。庐枞盆地含矿岩体 Th 和 U 含量较宁芜盆地显著富集。在部分熔融和岩浆结晶分异过程中,U、Th 浓集于液相并进入富 Si 产物。结合其较明显的 Eu 负异常,庐枞盆地含矿岩体地壳物质含量可能更高。

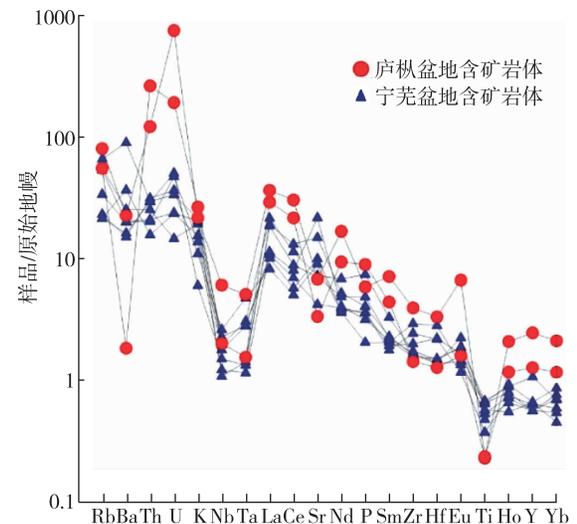


图 3 宁芜和庐枞盆地含矿岩体的微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 3 Primitive mantle-normalized trace elements patterns of the ore-bearing rocks from the Ningwu and Luzong basins

宁芜盆地含矿岩体 Rb/Ba 为 0.061~0.188, 均值为 0.122, 庐枞盆地含矿岩体 Rb/Ba 为 0.235~1.166, 均值为 0.700, 两个盆地含矿岩体 Rb/Ba 值均高于原始地幔 Rb/Ba 值(0.088), 显示存在岩浆结晶分异作用。宁芜盆地含矿岩体 Nb/U 为 2.19~7.54, 均值为 4.24, 庐枞盆地含矿岩体 Nb/U 为 0.92~1.12, 均值为 1.02, 两个盆地含矿岩体 Nb/U 均远低于全球 MORB 和 OIB 的 Nb/U ( $\approx 47$ )。U 主要赋存于陆壳中, 较低的 Nb/U 说明岩浆形成或者演化过程中有陆壳物质加入。上述特征指示两个盆地含矿岩体的岩浆经历一定的结晶分异作用, 比较而言, 在岩浆形成或演化过程中庐枞盆地的岩浆可能有更多的陆壳物质加入。

### 3.2 Sr-Nd 同位素特征

宁芜盆地含矿岩体 Sr-Nd 同位素组成见表 1。宁芜盆地含矿岩体  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  为 0.706~0.707,  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  为 -7.28~-3.43; 庐枞盆地早、晚两期侵入

岩 Sr-Nd 同位素组成较集中,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  为 0.705~0.709,  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  为 -9.7~-4.7<sup>[19]</sup>。在  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})-\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  图解上(图 4), 宁芜盆地含矿岩体与庐枞盆地侵入岩 Sr-Nd 同位素位于 MORB 和扬子克拉通下地壳之间, 说明二者具有幔源特征同时又受到一定程度的地壳混染。与宁芜盆地含矿岩体相比, 庐枞盆地含矿岩体具有稍高的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  值和稍低的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值, 说明庐枞盆地岩体中含有较多的古老下地壳组分, 可能与来自于富集岩石圈地幔的幔源基性岩浆受地壳组分混染或幔源基性岩浆同壳源的岩浆混合有关。

### 3.3 锆石 Hf 同位素特征

由表 2 可知, 宁芜盆地含矿岩体中锆石的  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  为 -1.42~-15.8, 平均值为 -7.67; 庐枞盆地与铁矿有关的闪长岩  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  为 -4.05~-16.9, 平均值为 -10.90<sup>[19]</sup>。两个盆地含矿岩体的  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  均为负值, 与铜陵地区来自富集地幔的白芒山岩体

表 1 宁芜盆地含矿岩体 Sr-Nd 同位素组成

Table 1 Sr and Nd isotopic compositions for the ore-bearing rocks from the Ningwu basin

岩体	年龄/Ma	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$2\sigma$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$2\sigma$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	$T_{\text{DM2}}/\text{Ga}$
吉山 NW23-1	131	0.385 761	0.707 111	9	0.706 393	0.114 725	0.512 335	7	-4.54	1.30
梅山 ZK4141-8	130	0.118 419	0.707 508	10	0.707 289	0.128 535	0.512 404	5	-3.43	1.20
巴山 WS01-5	132	0.172 462	0.707 223	8	0.706 899	0.135 099	0.512 253	6	-6.47	1.45
陶村 TC01-1	124	0.150 873	0.706 053	8	0.705 787	0.124 445	0.512 341	8	-4.65	1.30
阴山 NW22-2	131	0.389 252	0.707 029	8	0.706 304	0.119 576	0.512 199	4	-7.28	1.52

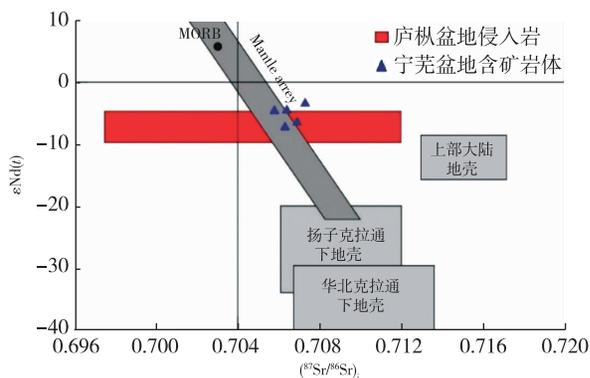


图 4 宁芜盆地含矿岩体与庐枞盆地侵入岩  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i-\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  图解(底图据文献[21]; 庐枞盆地侵入岩 Sr-Nd 同位素数据引自文献[19])

Fig. 4  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  vs.  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  diagram of the ore-bearing rocks in the Ningwu basin and intrusive rocks in the Luzong basin

$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值(-3.3~-14.4)接近<sup>[22]</sup>, 说明岩浆主要来自于  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值较低的富集地幔。含矿岩体的  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值具有较大的变化范围, 封闭体系岩浆演化难以具有这种特征, Hf 同位素的变化说明有不同 Hf 组成的熔体加入到岩浆中, 使岩浆 Hf 同位素发生较大变化。在锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  与 U-Pb 年龄图解上(图 5), 宁芜和庐枞盆地含矿岩体均分布于 2.5 Ga 地壳演化线和球粒陨石演化线之间, 显示二者岩浆受一定程度的地壳混染, 且庐枞盆地含矿岩体更低的锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  暗示其岩浆中有更多的地壳物质加入。

综上, 结合岩体的主量元素、微量元素、稀土元素、Sr-Nd 同位素及锆石 Hf 同位素特征认为, 庐枞盆地和宁芜盆地含矿岩体由来自富集岩石圈地幔的幔源岩浆与下地壳部分熔融形成的壳源熔体混合形成, 且庐枞盆地受壳源物质混染程度较高。起源于富集地幔的岩浆中富含大量成矿元素, 在岩浆演

表 2 宁芜盆地含矿岩体的锆石 Hf 同位素组成

Table 2 Zircon Hf isotopic compositions for the ore-bearing rocks from the Ningwu basin

岩体及 样品编号	$^{176}\text{Hf}/$ $^{177}\text{Hf}$	$\sigma$	$^{176}\text{Lu}/$ $^{177}\text{Hf}$	$\sigma$	$^{176}\text{Yb}/$ $^{177}\text{Hf}$	$\sigma$	年龄/ Ma	$(^{176}\text{Hf}/$ $^{177}\text{Hf})_i$	$T_{DM}/$ Ga	$T_{DM2}/$ Ga	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$
吉山 NW23-1											
NW23-Hf1-03	0.282 612	0.000 059	0.003 420	0.000 124	0.111 282	0.003 287	131	0.282604	0.97	1.38	-3.07
NW23-Hf1-04	0.282 478	0.000 085	0.017 018	0.000 176	0.527 202	0.006 254	126	0.282 438	1.90	1.75	-9.04
NW23-Hf1-09	0.282 547	0.000 050	0.004 602	0.000 106	0.160 404	0.003 593	137	0.282 536	1.10	1.53	-5.36
NW23-Hf1-10	0.282 506	0.000 065	0.006 915	0.000 186	0.205 760	0.004 691	128	0.282 490	1.25	1.63	-7.17
NW23-Hf1-12	0.282 517	0.000 068	0.008 931	0.000 033	0.291 131	0.003 316	131	0.282 495	1.32	1.62	-6.93
NW23-Hf1-18	0.282 362	0.000 194	0.006 525	0.000 080	0.205 459	0.002 755	126	0.282 346	1.48	1.95	-12.30
梅山 ZK4141-8											
ZK4141-Hf8-1	0.282 603	0.000 042	0.001 720	0.000 062	0.047 199	0.001 735	129	0.282 599	0.94	1.39	-3.30
ZK4141-Hf8-2	0.282 555	0.000 042	0.002 103	0.000 025	0.060 675	0.001 051	131	0.282 550	1.02	1.50	-4.98
ZK4141-Hf8-7	0.282 409	0.000 032	0.001 239	0.000 014	0.035 550	0.000 250	132	0.282 405	1.20	1.82	-10.07
ZK4141-Hf8-8	0.282 450	0.000 039	0.000 816	0.000 014	0.022 644	0.000 301	128	0.282 448	1.13	1.73	-8.66
ZK4141-Hf8-9	0.282 428	0.000 029	0.000 541	0.000 007	0.016 303	0.000 177	127	0.282 427	1.15	1.78	-9.43
ZK4141-Hf8-17	0.282 430	0.000 039	0.001 204	0.000 043	0.035 844	0.001 187	135	0.282 427	1.17	1.77	-9.23
ZK4141-Hf8-18	0.282 315	0.000 075	0.000 829	0.000 007	0.021 682	0.000 178	125	0.282 313	1.32	2.03	-13.48
梅山 ZK4041-36											
ZK4041-Hf36-6	0.282 598	0.000 041	0.001 224	0.000 048	0.031 279	0.001 194	123	0.282596	0.93	1.40	-3.55
ZK4041-Hf36-11	0.282 657	0.000 044	0.004 163	0.000 001	0.125 438	0.000 472	137	0.282 647	0.92	1.28	-1.42
凹山 WS01-5											
WS01-Hf5-01	0.282 477	0.000 074	0.001 386	0.000 023	0.037 269	0.000 802	130	0.282 474	1.11	1.67	-7.71
WS01-Hf5-04	0.282 497	0.000 044	0.001 530	0.000 063	0.038 591	0.001 549	134	0.282 493	1.09	1.62	-6.92
WS01-Hf5-05	0.282 461	0.000 033	0.000 554	0.000 003	0.013 485	0.000 073	135	0.282 459	1.11	1.70	-8.10
WS01-Hf5-10	0.282 496	0.000 060	0.000 785	0.000 006	0.020 392	0.000 387	129	0.282 494	1.07	1.62	-7.00
WS01-Hf5-14	0.282 460	0.000 037	0.000 855	0.000 008	0.020 720	0.000 210	135	0.282 458	1.12	1.70	-8.14
WS01-Hf5-16	0.282 264	0.000 065	0.001 724	0.000 056	0.046 763	0.001 442	130	0.282 259	1.42	2.14	-15.28
WS01-Hf5-17	0.282 541	0.000 034	0.000 782	0.000 023	0.019 440	0.000 551	134	0.282 539	1.00	1.52	-5.30
WS01-Hf5-18	0.282 449	0.000 030	0.001 050	0.000 012	0.024 801	0.000 329	130	0.282 446	1.14	1.73	-8.68
WS01-Hf5-19	0.282 463	0.000 052	0.001 071	0.000 043	0.026 428	0.001 087	134	0.282 461	1.12	1.70	-8.08
WS01-Hf5-20	0.282 559	0.000 028	0.000 593	0.000 011	0.013 969	0.000 243	130	0.282 558	0.97	1.48	-4.72
陶村 TC01-17											
TC01-Hf17-01	0.282 507	0.000 104	0.000 959	0.000 023	0.025 124	0.000 814	130	0.282 505	1.05	1.60	-6.59
TC01-Hf17-08	0.282 554	0.000 041	0.000 508	0.000 008	0.010 487	0.000 188	123	0.282 553	0.98	1.50	-5.04
TC01-Hf17-09	0.282 504	0.000 083	0.000 586	0.000 040	0.013 246	0.000 992	120	0.282 503	1.05	1.61	-6.88
TC01-Hf17-12	0.282 510	0.000 147	0.000 994	0.000 051	0.023 622	0.001 367	125	0.282 507	1.05	1.60	-6.62
TC01-Hf17-13	0.282 456	0.000 112	0.000 408	0.000 011	0.008 457	0.000 240	121	0.282 455	1.11	1.72	-8.57
白象山 BXS01-1											
BXS01-Hf1-11	0.282 436	0.000 370	0.005 144	0.000 242	0.206 729	0.017 771	130	0.282 424	1.30	1.78	-9.46
BXS01-Hf1-18	0.282 589	0.000 053	0.007 431	0.000 305	0.231 235	0.007 978	128	0.282 571	1.13	1.45	-4.30
BXS01-Hf1-20	0.282 430	0.000 255	0.004 787	0.000 238	0.148 627	0.007 447	132	0.282 419	1.29	1.79	-9.61
BXS01-Hf1-21	0.282 258	0.000 068	0.004 000	0.000 144	0.138 142	0.007 431	126	0.282 248	1.53	2.17	-15.77

化和侵入过程中混染的地壳物质富含 K、Li 等元素,降低了岩浆的粘稠度,有利于降低岩浆的结晶

温度,延长岩浆的结晶和演化时间,使岩浆分异作用更充分,利于成矿流体析出。因此,壳源物质的

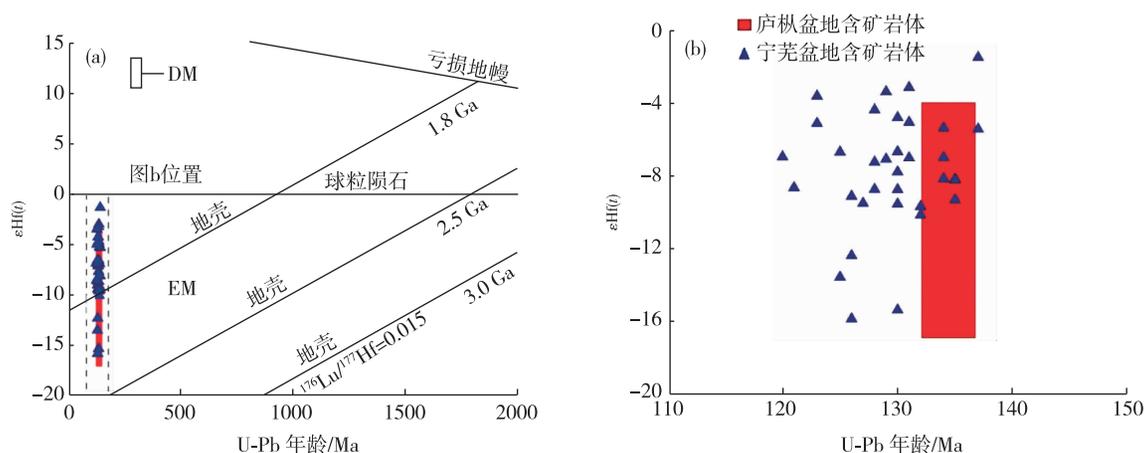


图5 宁芜和庐枞盆地含矿岩体锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值与 U-Pb 年龄关系图(庐枞盆地含矿岩体锆石 U-Pb 年龄和  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值引自文献 [19])

Fig. 5  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  vs. U-Pb age diagrams of the ore-bearing rocks from the Ningwu and Luzong basins

混入比例越多对成矿作用越有利,这可能是引起盆地中含矿岩体成矿作用存在差异的原因之一。

#### 4 结论

(1)宁芜和庐枞盆地含矿岩体具有相似矿物组合。岩石均呈灰绿或灰黑色,具有斑状结构,块状构造,主要矿物均为斜长石、辉石和角闪石等。

(2)宁芜和庐枞盆地含矿岩体地球化学特征表明,二者岩浆均来源于富集地幔,且庐枞盆地岩浆演化程度更高,受更多壳源物质的混染,这可能是引起两个盆地铁矿化差异的主要原因之一。

#### 参考文献

- [1] 翟裕生,姚书振,林新多,等.长江中下游地区铁、铜等成矿规律研究[J].矿床地质,1992(1):1-12.
- [2] 常印佛,刘湘培,吴言昌.长江中下游铜铁成矿带[M].北京:地质出版社,1991.
- [3] 舒全安,陈培良,程建荣.鄂东铁铜矿产地质[M].北京:冶金工业出版社,1992:146-152.
- [4] 毛景文,段超,刘佳林,等.陆相火山—侵入岩有关的铁多金属矿成矿作用及矿床模型—以长江中下游为例[J].Acta Petrologica Sinica,2012,28(1):1-14.
- [5] 李玉松,蔡晓兵,汪晶,等.安徽庐枞地黄寅冲铅锌矿床闪长玢岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].华东地质,2016,37(1):19-27.
- [6] 张景,陈国光,张明,等.宁芜盆地白象山矿区物化探异常特征及找矿意义[J].华东地质,2016,37(2):147-151.

- [7] 宁芜研究项目编写小组.宁芜玢岩铁矿[M].北京:地质出版社,1978:1-160.
- [8] 周涛发,范裕,袁峰,等.宁芜(南京—芜湖)盆地火山岩的年代学及其意义[J].中国科学:地球科学,2011(7):960-971.
- [9] 中科院地球化学研究所.宁芜型铁矿床形成机理[M].北京:科学出版社,1987:45-180.
- [10] 任启江,王德滋,徐兆文,等.安徽庐枞火山—构造洼地的形成、演化及成矿[J].地质学报,1993(2):131-145.
- [11] 张旗,简平,刘敦一,等.宁芜火山岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J].中国科学:地球科学,2003,33(4):309-314.
- [12] 薛怀民,董树文,马芳.长江中下游地区庐(江)—枞(阳)和宁(南京)—芜(湖)盆地内与成矿有关潜火山岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J].岩石学报,2010,26(9):2653-2664.
- [13] 侯可军,袁顺达.宁芜盆地火山—侵入岩的锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及其地质意义[J].岩石学报,2010,26(3):888-902.
- [14] 王丽娟,王汝成,于津海,等.宁芜盆地火山—侵入岩的时代、地球化学特征及其地质意义[J].地质学报,2014,88(7):1247-1272.
- [15] 周涛发,范裕,袁峰,等.安徽庐枞(庐江—枞阳)盆地火山岩的年代学及其意义[J].中国科学:地球科学,2008,38(11):1342-1353.
- [16] 范裕,周涛发,袁峰,等.宁芜盆地闪长玢岩的形成时代及对成矿的指示意义[J].岩石学报,2010,26(9):2715-2728.
- [17] 袁峰,周涛发,范裕,等.宁芜盆地花岗岩类的锆石 U-Pb 年龄、同位素特征及其意义[J].地质学报,2011,85

- (5):821-833
- [18] 周涛发,范裕,袁峰,等. 庐枞盆地侵入岩的时空格架及其对成矿的制约[J]. 岩石学报, 2010, 26(9): 2694-2714.
- [19] 张乐骏. 安徽庐枞盆地成岩成矿作用研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2011.
- [20] 陈毓川,盛继福,艾永德. 梅山铁矿——一个矿浆热液矿床[J]. 中国地质科学院院报矿床地质研究所分刊, 1981.
- [21] ahn B M, Wu F Y, Lo C H, et al. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: Geochemical and Sr—Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China[J]. *Chemical Geology*, 1999, 365(2/3): 119-146.
- [22] 郭维民,陆建军,蒋少涌,等. 安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩年代学、Hf 同位素、地球化学及岩石成因[J]. *中国科学:地球科学*, 2013(8):1268-1286.

## Geochemical comparison of ore-bearing rocks associated with iron mineralization in the Ningwu and Luzong basins

GAO Shou-ye<sup>1</sup>, WANG Li-juan<sup>2</sup>, LU Jian-jun<sup>1\*</sup>, MA Dong-sheng<sup>1</sup>, SONG Ge-wen<sup>3</sup>

(1 *State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China;*

2 *Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China;*

3 *Shanghai Meishan Mining co., LTD, Nanjing 210041, China*)

**Abstract:** The Ningwu and Luzong basins in the Yangtze River region are characterized by the occurrence of extensive iron ore deposits. The igneous rocks associated with iron deposits in the two basins share similar petrologic features, although they differ in geochemical and isotopic signatures. To further reveal the differences of ore-bearing rocks in two basins, this paper conducted comparative study on petrography, major and trace elements, rare earth elements, Sr-Nd and zircon Hf isotopic compositions of the main ore-bearing igneous rocks from the two basins. The observation results under microscope show that two basins have the same mineral assemblages. Analyses of major elements indicate that the rocks are characterized by medium Si, and high K and Mg, suggestive of intermediate-mafic igneous rocks. Compared with the ore-bearing strata in the Ningwu basin, the strata in the Luzong basin contain relatively high  $\Sigma$ REE,  $\Sigma$ LREE and  $\Sigma$ HREE, especially with enrichment in Th and U and obvious negative Eu anomaly, suggesting that the ore-bearing rocks of the Luzhong basin contain much crust material. The Sr-Nd isotopic compositions indicate that the igneous rocks in the two basins were derived from enriched mantle. The lower zircon Hf isotopic compositions of the Luzong basin suggest that during the process of intrusion and evolution of magma, more crustal materials were added and this process resulted in the reduction of magma viscosity. Therefore it was more favorable for the iron mineralization in the Luzong basin.

**Key words:** ore-bearing igneous rocks; geochemistry; Ningwu basin; Luzong basin