

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

华山—熊耳山地块早前寒武纪绿岩 及其形成构造背景

刘红樱 胡受奚 周顺之 陈衍景
(南京大学地球科学系, 210093) (北京大学地质学系, 100871)

内容提要 华北地台南缘华山—熊耳山地块早前寒武纪绿岩带中存在有晚太古代第一期绿岩和古元古代早期第二期绿岩。它们的地质地球化学特征的研究表明:第一期绿岩为一套大洋型基性—中酸性火山岩和科马提岩类夹少量典型太古宙深海沉积建造,形成于硅镁质地壳拉开背景下的洋中脊环境,代表当时的洋壳;第二期绿岩为一套岛弧型基性—中基性火山岩夹中酸性火山岩、下部的太古宙型沉积岩和上部的后太古宙型沉积岩,形成于第一期绿岩硅铝化而成的岛弧地壳背景上,存在硅铝质的基底。

关键词 绿岩 构造背景 绿岩带 早前寒武纪 华山—熊耳山地块

绿岩带是地壳最古老的岩石建造之一。世界各前寒武纪地台或地盾的核心都是由早前寒武纪花岗岩—绿岩地体组成的。早前寒武纪绿岩带在长时期内均有形成、分布具全球性,各绿岩带存在差异,且发育可以不止一期。因而 Goodwin^[1]根据绿岩带岩石组合的不同,将其分为巴伯顿型、苏必利尔型和达瓦尔型。Groves 和 Batt 在研究西澳绿岩带的基础上,将其分为古老和年轻绿岩带,这两类绿岩带又进一步分出地台相和裂谷相绿岩带^[2]。沈保丰等将华北陆台绿岩带归结为清原型、夹皮沟型和小秦岭型^[3]。Glikson 提出南半球存在着第一、二两期绿岩^[4]。非洲中部的肯尼亚等地存在以尼安萨等岩石组合为代表的 >2740 Ma 的绿岩火山作用和 Kavirondian 岩系为代表的较年轻绿岩^[5]。而科拉地区 2700~2600 Ma 的绿岩系是发育在 Chuna-Moncha-Vochi Cun-dras 镁铁质岩石基底上^[5]。乌克兰地区由早到晚依次为 3500~3200 Ma Konkian 系构造的绿岩带伴生的花岗质杂岩、Aulian 花岗绿岩旋回和 Bazavlukian 花岗绿岩旋回,后两者时代分别为 3000~2800 Ma 和 2700~2300 Ma^[5]。津巴布韦的三期绿岩系是 3500 Ma Sebakwian, 2900~2700 Ma 下部布拉瓦约和 2700 Ma 上部布拉瓦约^[6]。绿岩带作为一种特定的岩石组合,只要具备相应的形成条件,可在很长地质时期内发育,但不同期次的绿岩存在地层特征、变质作用、地球化学特征和构造背景的不同。华北地台南缘华熊地块早前寒武纪花岗岩—绿岩地体的研究表明,其中存在有两期绿岩。本文对两期绿岩的地质地球化学特征进行研究,并探讨它们形成的构造背景。

1 区域地质环境

华熊地块位于华北地台最南缘,在三门峡—宝丰断裂和三门峡—潼关断裂以南、黑沟—栾川—方城—固始断裂以北^[7,8],由西向东依次存在骊山、小秦岭、崤山、熊耳山、鲁山和舞阳

6个地体,其中中间的4个地体是早前寒武纪花岗岩-绿岩的主要出露区(图1)。

鲁山地体的花岗岩-绿岩出露在地体的北中部,面积300 km²,南与中元古界熊耳群火山岩呈断层接触,北因五马庙北西向大型逆掩断层与嵩箕地块的中元古界云梦山组石英岩断层接触。绿岩带呈北西向展布的紧闭等斜褶皱分布在TTG质片麻岩之间。

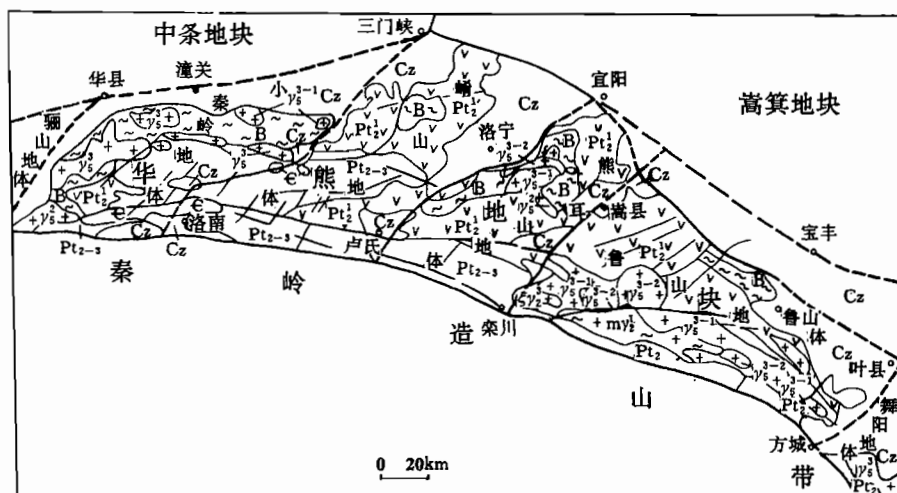


图1 华山—熊耳山地块区域地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the Huashan—Xiong'ershan block

C₂—新生界;Є—寒武系;Pt₂₋₃—中元古界上部官道口群、新元古界下部栾川群和新元古界上部震旦系;Pt₂—中元古界宽坪群;Pt₁—中元古界下部熊耳群;B—(上太古界—)古元古界下部的结晶基底;γ₂²—燕山晚期二阶段花岗岩;γ₂¹—燕山晚期一阶段花岗岩;γ₂—燕山晚期花岗岩;γ₂¹—燕山早期花岗岩;εγ₂—晋宁期碱性花岗岩;mγ₂—中岳期混合花岗岩
C₂—Cenozoic; Є—Cambrian; Pt₂₋₃—upper part Guandaokou Group of Middle Proterozoic, lower part Luanchuan Group and upper part Sinian system of Neo-Proterozoic; Pt₂—Middle Proterozoic Kuanping Group; Pt₁—lower part Xionger Group of Middle Proterozoic; B—crystalline basement of lower part of Paleo-Proterozoic (-Upper Archaean); γ₂²—second-stage granite of Late Yanshan Period; γ₂¹—first-stage granite of Late Yanshan Period; γ₂—Late Yanshan Period granite; γ₂¹—Early Yanshan Period granite; εγ₂—Jinning Period alkine granite; mγ₂—Zhongyue Period migmatitic granite

熊耳山地体的花岗岩-绿岩分布在地体中心,面积500 km²,其中绿岩带呈变质岩系与混合岩-花岗岩组成穹隆,有燕山期花岗岩侵入其中,周边为熊耳群火山岩不整合覆盖。

崤山地体的花岗岩-绿岩出露于地体中心,为一混合岩-花岗岩穹隆,绿岩带呈残留体星散分布于其中。穹隆四周为熊耳群地层。

小秦岭地体的绿岩带呈透镜状、条带状分布于花岗质岩石之中。共同组成东西向带状古隆起区。区内还分布有中岳期和燕山期花岗岩。地体南部主要分布中新元古界官道口群和栾川群滨海—浅海相沉积岩系。

2 两期绿岩的地层特征

鲁山地体绿岩带地层自下而上为背孜群和太华群荡泽河组、水滴沟组、柳树沟组。背孜群属第一期绿岩的中上部层位,岩石组合为混合岩化黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、斜长角

闪岩夹超镁铁质岩。顶部有薄层状硅质岩,原岩恢复为大洋型基性火山岩和深海拉斑玄武岩夹科马提岩类-中酸性火山凝灰岩-深海沉积岩,变质达高角闪岩相。其时代为晚太古代。其中的黑云角闪斜长片麻岩中锆石 U-Pb 年龄为 2620 Ma^①、斜长角闪岩 Rb-Sr 等时线年龄 2267 Ma^[7]。科马提岩类主要呈似层状、透镜状产于斜长角闪片麻岩中,少数产于角闪斜长片麻岩中,常与之呈渐变过渡。类型主要为橄榄石型科马提质玄武岩,具变余枕状构造,枕体一般几十厘米×几十厘米,枕壳 2 cm 左右,细晶细小且有裂纹。斜长角闪岩中细长棒状、藕节状角闪石单晶呈梳状、帚状或交织状排列,角闪岩中透闪石呈鬣刺状排列,组成聚合体。荡泽河组属第二期绿岩,岩石组合为厚层状斜长角闪岩夹薄层黑云斜长片麻岩及团块状绿泥石化、金云母化辉石岩及角闪岩,顶部出现石英磁铁矿层,原岩恢复为基性—中基性火山岩夹中酸性火山岩和沉积岩(含硅铁建造)以及科马提岩类,变质程度达角闪岩相。其时代为古元古代早期。其中的黑云角闪斜长片麻岩中锆石 U-Pb 年龄 2560 Ma^①、斜长角闪岩 Rb-Sr 等时线年龄 2270 Ma^[7]。科马提岩类主要表现为团块状、圆团状和似层状角闪岩、斜长角闪(片麻)岩和绿泥石化假象辉石岩,类型为科马提质玄武岩;角闪岩中透闪石聚集呈“帚状”、“漏斗状”。荡泽河组底部有几米至几十米厚的浅粒岩层,它介于一、二期绿岩之间,有明显的韵律性层理,局部含砾。沉积特征明显,显微镜下可见石英、长石、辉石和其他暗色矿物碎屑,是在较成熟地壳基础上经风化剥蚀快速搬运堆积的沉积间断产物。而第二期绿岩之上不整合覆盖了水滴沟组含石墨片麻岩和大理岩、斜长角闪岩、黑云斜长片麻岩夹钠长阳起片岩、角闪片岩和柳树沟组含硅线石片麻岩、浅粒岩、角闪片麻岩和斜长角闪岩,它们的原岩分别为含有机质碎屑-粘土-碳酸盐沉积夹碱性玄武岩(主要细碧质,类型为钠长阳起片岩、钠长片岩、斜长角闪片麻岩代表的碱性橄榄玄武岩和碧玄岩,矿物组合主要为钠-更长石、阳起石、绿泥石、绿帘石、赤铁矿等,变余斑状结构)和碎屑-粘土沉积夹少量中酸性—碱性基性火山岩(为双峰式火山岩的组成部分,类型为角闪片麻岩、黑云角闪混合片麻岩代表的碧玄岩,矿物组合为角闪石、斜长石、黑云母和微斜长石等),相当于 Condie 划分的表壳岩建造 I^[9]。其中用磷灰石 U-Th-Pb 法测得年龄为 2282 Ma^[7]。

熊耳山地体绿岩带地层从下而上为草沟群和太华群石板沟组、龙潭沟组、段沟组。草沟群为黑云斜长片麻岩夹角闪斜长片麻岩、角闪岩和超镁铁质岩团块,原岩为中酸性火山岩—沉积岩夹中基性火山岩和科马提岩类。顶部沉积岩增多,属第一期绿岩中上部,形成于 2600 Ma 之前,变质达高角闪岩相。部分角闪岩和超镁铁质岩的原岩为科马提岩类,类型主要为科马提质玄武岩,且以橄榄石型为主,枕状构造,玻基碎屑结构;角闪岩中阳起石呈梳状或交织状排列。第二期绿岩石板沟组为旋回性基性火山喷溢—火山沉积岩、中基性—中酸性火山—沉积岩夹硅铁建造和多层科马提岩类。宜阳廖凹岩流顶部为一很薄的黄褐色泥状冷凝边,岩流边缘长柱状矿物(透闪石、阳起石)垂直表面生长,向下过渡为滑石岩,块状构造;超镁铁质岩呈薄层岩流状,顶部中粒蛇纹石假晶分布在透闪石和蚀变玻璃基质中,下部为橄榄石堆积岩;侵位方式还有层状分异岩体,底部为冷凝带,向上依次为纯橄岩、辉橄岩、橄榄岩、辉闪岩和辉长岩,粗粒,堆积结构;部分科马提岩类残留有枕状、杏仁状、火山碎屑、塑性流动构造等,熔岩块体中间角闪石粗大,向外变小且具冷凝边;集块状角闪岩中阳起石呈交织状排列,并存在交织状的变斜“斑晶”。底部近 20 m 厚的枕状和集块状科马提岩类数量不等地分布在中基性火山岩中,与第一期绿岩呈角度不整合接触。作为表壳岩建造 I 的龙潭沟组含有机质碎屑沉积夹泥质、碳酸盐

① 中国地质科学院宜昌矿产地质研究所,豫中皖西地区晚太古代地层的划分与对比,1979。

沉积及火山碎屑岩沉积、中酸性—中基性火山沉积岩夹少量科马提岩类和段沟组碎屑-粘土沉积岩、中酸性火山岩、碱性基性火山岩(双峰式火山岩组成部分,类型为角闪岩等代表的碱性橄榄玄武岩,矿物组合为角闪石、黑云母、斜长石等)假整合于第二期绿岩之上,它们的变质均达角闪岩相,形成时代为古元古代早期。

崂山地体残留下来的绿岩带地层主要为太华群兰树沟组和申家窑组的中基性火山-沉积岩夹大理岩透镜体、火山碎屑沉积—粘土沉积岩系间夹中酸性火山凝灰岩,绿片岩相变质,是一套变质较浅、保存有火山碎屑结构的绿片岩带,相当于 Condie 划分的表壳岩建造 II^[9]。其中的黑云母片岩、绢云母片岩 Rb-Sr 等时年龄为 2240 Ma 和 2162 Ma^[7]。

小秦岭地体的绿岩带地层由下部的第二期绿岩金碛盆组和上部的表壳岩建造 I 杨砦峪组、马岔组组成,它们变质较深、混合岩化较强。前者为基性火山岩夹少量碎屑岩,主要有斜长角闪(片麻)岩、各类混合岩和少量黑云变粒岩。其中的 U-Pb 年龄 2411 Ma、片麻岩 Rb-Sr 等时线年龄 2500 Ma^[7]。后者为碎屑—碳酸盐沉积、中基性—中酸性火山岩、主要有富石英或夕线石或石榴石的混合岩或片麻岩、长石石英岩、浅粒岩、石英云母片岩、大理岩、斜长角闪片麻岩、黑云斜长片麻岩以及磁铁石英岩。其中的斜长角闪片麻岩 Rb-Sr 等时线年龄 2217 Ma^[7]。

3 两期绿岩的地球化学特征

本文样品大多按绿岩带地层剖面采集,其地质产状和岩石共生组合清楚,并对其进行了岩相学研究。其中主元素(49 件)由南京大学地球科学系中心实验室用原子吸收光谱法、重量法和容量法分析;稀土元素(35 件)由南京大学地球科学系中心实验室用 ICP 法分析。收集的主元素(48 件)^[10,11]和稀土元素(18 件)^[10],其样品的地层归属明确。所有样品均用尼格里四面体图解等 7 种岩石化学分析图解^[12]进行了辅助原岩确定。

3.1 两期绿岩的主元素特征

主元素样品均为火山岩。从所有样品的 $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O-FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 图解及镁铁质—长英质火山岩的 $\text{SiO}_2\text{-FeO}^*/\text{MgO}$ 和 $\text{FeO}^*\text{-FeO}^*/\text{MgO}$ 图解(图 2,3)中可以看出,第一期绿岩(中上部)和第二期绿岩的投影点具有一个明显的趋势(图 2),即从 MgO 端或 $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 边开始经 CaO 或 $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ 到 Al_2O_3 或 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 呈弧形,弧的突起部位投影点最密集;在代表科马提岩类投影区的近 MgO 端或 $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 边有较多点分布,其中以熊耳山的为主,小秦岭的一个点却为富铁超基性火山岩;近 Al_2O_3 或 $\text{NaO}+\text{K}_2\text{O}$ 端的中酸性岩区以鲁山和小秦岭的样品为主、以第二期绿岩的样品为主。以上说明绿岩均由科马提岩类、相对高镁的拉斑玄武岩经高铁钙向高铝碱的钙碱性中酸性火山岩演化,其中第一期绿岩以较多科马提岩类及共生的基性火山岩夹少量中酸性火山岩为特征,第二期绿岩以含科马提岩类的基性火山岩夹较多的中酸性火山岩为特征,且双模式分布较第一期绿岩明显。第一期绿岩样品的 FeO^*/MgO 值总体小于第二期绿岩的(图 3),且更集中地平行于 SiO_2 或 FeO^* 轴;随 FeO^*/MgO (即分异程度)升高,更多样品的 FeO^* 含量升高、 SiO_2 含量变化不明显。这说明第一期绿岩的钙碱性与拉斑玄武岩系列的比值较第二期绿岩的小。

3.2 两期绿岩的稀土元素特征

两期绿岩的稀土元素样品(53 件)分为科马提岩类、镁铁质火山岩类、安山质火山岩类、长英质火山岩类、碎屑岩类、浅粒岩类和泥质岩类,它们的稀土分配模式见图 4 和图 5。

鲁山和熊耳山地体的第一期绿岩中存在科马提岩类,类型为橄榄石型科马提质玄武岩,其

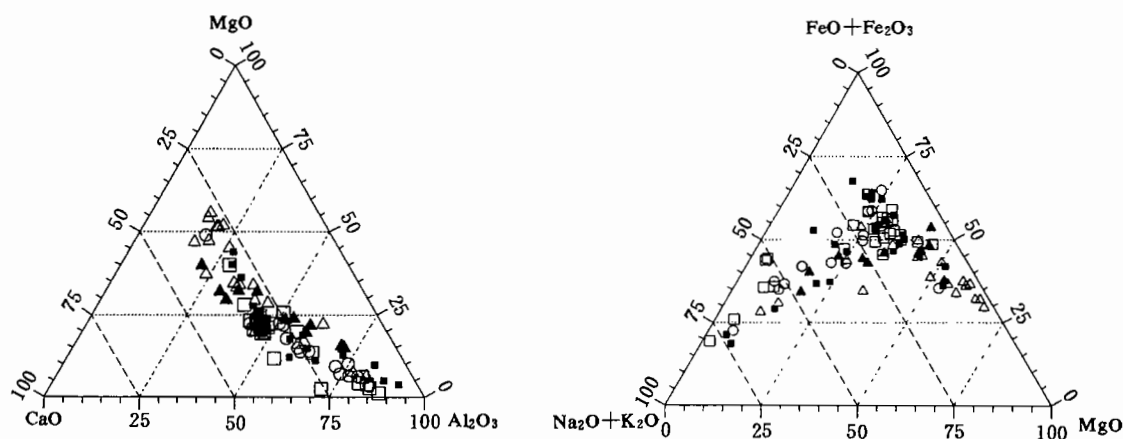


图 2 两期绿岩中火山岩的 $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O-FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 图解

Fig. 2 The $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3$ and $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O-FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ diagrams of volcanic rocks in two stage greenstones

第一期绿岩: ■—鲁山背孜群; ▲—熊耳山草沟群

第二期绿岩: □—鲁山太华群荡泽河组; △—熊耳山太华群石板沟组; ○—小秦岭太华群金碛组

First-stage greenstone: ■—Beizi Group in Lushan; ▲—Caogou Group in Xiong'er shan

Second-stage greenstone: □—Dangzehe Formation of Taihua Group in Lushan; △—Shibangou Formation of Taihua Group in Xiong'er shan; ○—Jindongcha Formation of Taihua Group in Xiaoqinling

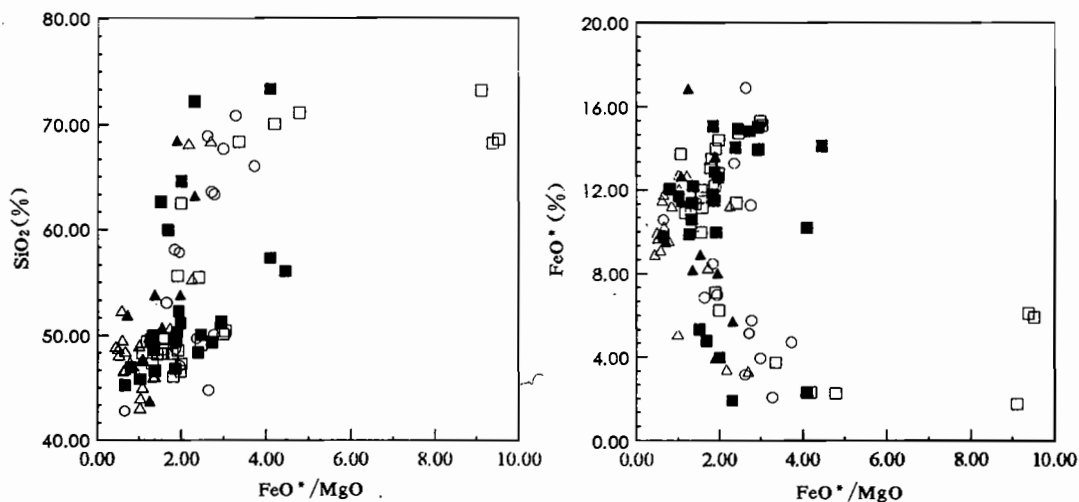


图 3 两期绿岩中火山岩的 $\text{SiO}_2\text{-FeO}^*/\text{MgO}$ 和 $\text{FeO}^*\text{-FeO}^*/\text{MgO}$ 图解

Fig. 3 The $\text{SiO}_2\text{-FeO}^*/\text{MgO}$ and $\text{FeO}^*\text{-FeO}^*/\text{MgO}$ diagrams of volcanic rocks in two stage greenstones

符号同图 2 (Symbols in Fig. 3 are the same as those in Fig. 2)

中鲁山的 ΣREE ($43.57 \times 10^{-6} \sim 66.02 \times 10^{-6}$) 比熊耳山的 (200.49×10^{-6}) 低, 而 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ ($1.88 \sim 3.42$) 和 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ ($1.03 \sim 2.08$) 均比熊耳山的 (1.15 和 0.58) 高, 说明它们的源区不

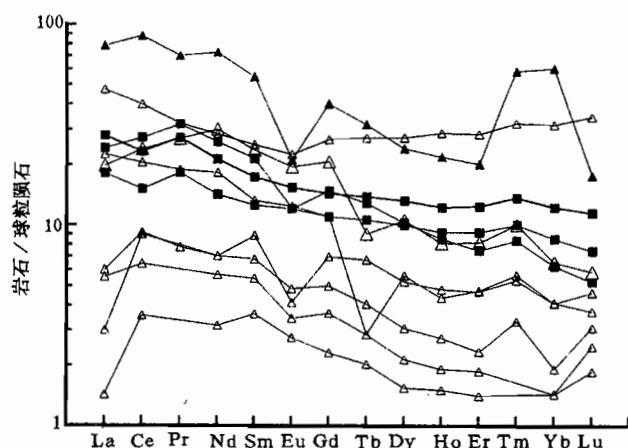


图4 两期绿岩中科马提岩类的稀土配分曲线

Fig. 4 Chondrite-normalized REE pattern of komatiites in two stage greenstones

- 鲁山背孜群; ▲—熊耳山草沟群; △—熊耳山太华群石板沟组
 ■—Beizi Group in Lushan; ▲—Caogou Group in Xiong'er shan;
 △—Shibangou Formation of Taihua Group in Xiong'er shan

典型同类岩石相比^[6,13],具较高的REE,反映其地幔亏损程度较低的特点。

第一期绿岩中的镁铁质火山岩类 ΣREE ($83.11 \times 10^{-6} \sim 211.85 \times 10^{-6}$)、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ (3.78 ~ 19.32)、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ (1.24 ~ 2.86) 均较高, δEu (0.55 ~ 0.99) 较低, δCe (0.82 ~ 1.11) 较高,明显右倾的轻稀土富集、重稀土亏损的稀土模式,类似于Condie的 $\text{TH}_2^{[5]}$ 即富集型太古宙玄武岩,也与现代地幔柱型洋中脊或洋岛的玄武岩稀土特征相似^[13]。其中熊耳山地体的比鲁山地体的高 ΣREE 、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 和 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$,低 δEu ,它们的稀土配分曲线呈交叉状。第二期绿岩的镁铁质火山岩类 ΣREE ($20.2 \times 10^{-6} \sim 123.4 \times 10^{-6}$)、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ (0.97 ~ 7.58)、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ (0.7 ~ 1.94)和 δCe (0.52 ~ 0.91)都比相同地体第一期绿岩中镁铁质火山岩类的低,而 δEu (0.84 ~ 1.5)较高,类似于Condie的 TH_1 型玄武岩^[5],也类似于现代岛弧型玄武岩^[13]。其中小秦岭地体的 ΣREE 、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 和 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 最高,鲁山的其次,熊耳山的最低。

第一期绿岩缺乏安山质火山岩类,而第二期绿岩中这类岩石 ΣREE ($96.3 \times 10^{-6} \sim 247.4 \times 10^{-6}$)、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ (8.11 ~ 8.88)、 $(\text{Ga}/\text{Yb})_N$ (1.41 ~ 3.6)、 δEu (0.68 ~ 1.34)、 δCe (0.87 ~ 1.11)和中等右倾的稀土模式类似于Condie的I类安山岩^[5]和现代钙碱性安山岩^[13]。其中熊耳山的以 ΣREE 高、 δEu 低为特征。

第一期绿岩中长英质火山岩类 ΣREE ($43.42 \times 10^{-6} \sim 146.88 \times 10^{-6}$)、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ (12.43 ~ 39.25)、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ (2.02 ~ 2.71)、 δEu (0.69 ~ 1.92)和 δCe (0.79 ~ 1.36)以及LREE明显富集、HREE强烈亏损的向右陡倾稀土型式,类似于Condie的 F_1 型英安岩一流纹岩。其中熊耳山第一期绿岩以高 ΣREE 、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$,低 δEu 为特征。第二期绿岩中长英质火山岩类 ΣREE ($109.34 \times 10^{-6} \sim 147.3 \times 10^{-6}$)较高,而 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ (12.13 ~ 27.52)、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ (1.53 ~ 1.76)、 δEu (0.62 ~ 0.97)较低,类似于 F_1 型^[5]。

同,鲁山的为亏损地幔较低程度分熔形成,而熊耳山的则为较原始地幔较高程度分熔形成。熊耳山第一期绿岩中的科马提岩类与第二期绿岩中的相比同样具有 ΣREE 高等特点。第二期绿岩中的科马提岩 ΣREE 为 $8.12 \times 10^{-6} \sim 20.79 \times 10^{-6}$ 、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为0.65 ~ 3.38、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 为1.41 ~ 2.29,稀土模式为LREE不同程度亏损、HREE弱至中等亏损的平坦型式;橄榄石型科马提质玄武岩的 ΣREE 为 $47.79 \times 10^{-6} \sim 66.25 \times 10^{-6}$ 、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为2.68 ~ 4.8、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 为2.34 ~ 2.78,稀土模式为LREE亏损或富集、HREE亏损的中等右倾型式;辉石型科马提质玄武岩 ΣREE 为 108.68×10^{-6} 、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为1.32、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 为0.74,配分曲线呈“V”型。华熊地块中的科马提岩类与世界

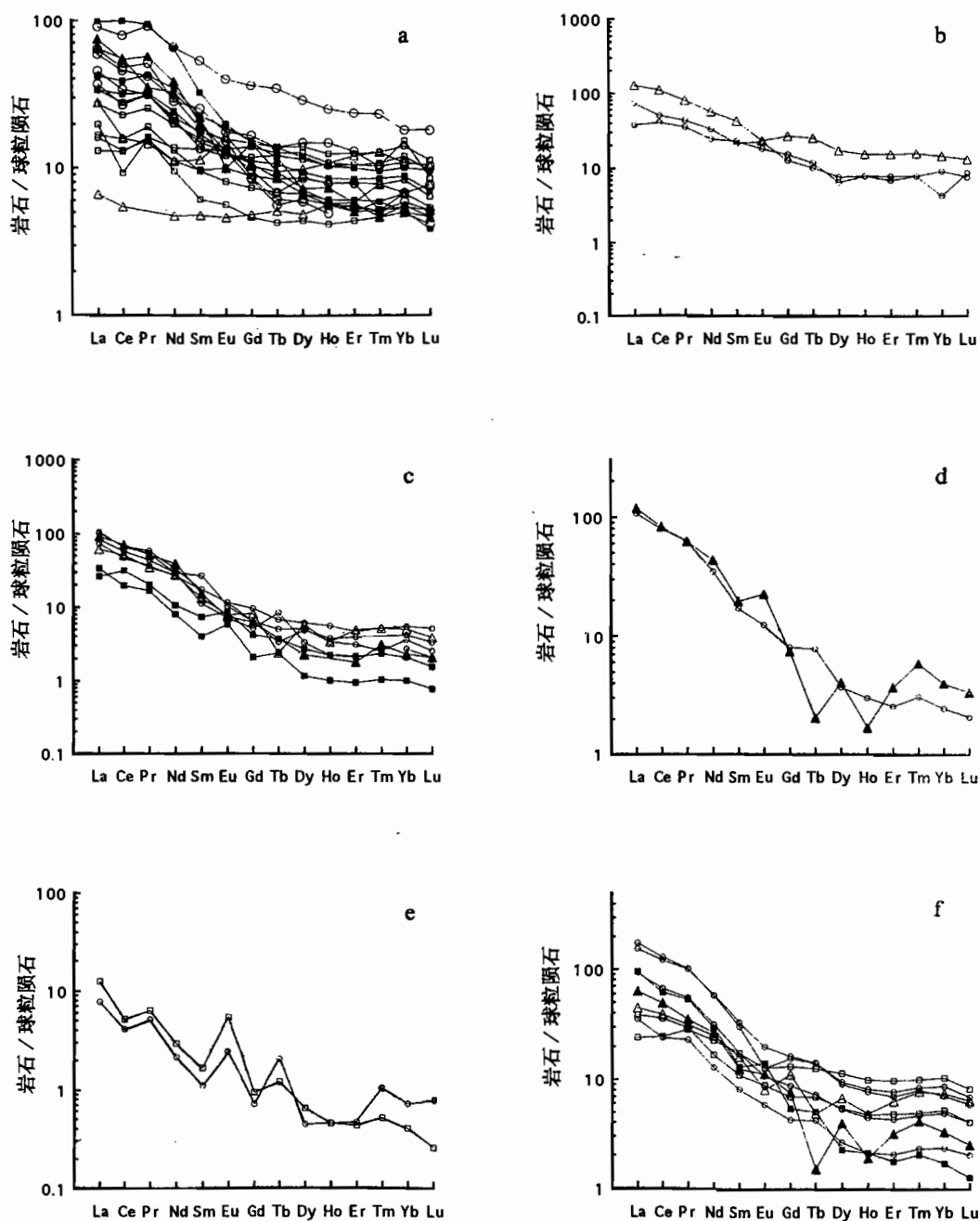


图 5 两期绿岩中各类岩石的稀土配分曲线

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of various rocks in two stage greenstones

a—镁铁质火山岩类; b—安山质火山岩类; c—长英质火山岩类; d—碎屑岩类; e—浅粒岩类; f—泥质岩类

a—Mafic volcanic rocks; b—andesitic volcanic rocks; c—felsic volcanic rocks; d—clastic rocks; e—leucocratic rocks; f—pelitic rocks

符号同图 2 (Symbols in Fig. 5 are the same as those in Fig. 2)

所有第二期绿岩中的火山岩与相同地体中第一期绿岩中的同类岩石相比,有更低的 ΣREE 、 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 和更高的 δEu ,其稀土配分曲线与第一期绿岩的交叉或位于第一期绿岩的下方。如果它们先后来自同一岩浆源的话,则第二期绿岩中的更亏 REE 和 LREE。

第一期绿岩中碎屑岩和泥质岩 $\Sigma\text{REE}(106.51 \times 10^{-6} \sim 179.88 \times 10^{-6})$ 、 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}(19.13 \sim 54.75)$ 、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}(2.03 \sim 3.13)$ 、 $\delta\text{Eu}(1.13 \sim 1.63)$ 类似于 Taylor 和 Condie 统计的太古宙杂砂岩和页岩及估算的太古宙上地壳成分^[14,15]。第二期绿岩底部的碎屑岩、浅粒岩和泥质岩高 $\delta\text{Eu}(1.02 \sim 4.2)$ 、 $\Sigma\text{REE}(10.53 \times 10^{-6} \sim 163.27 \times 10^{-6})$ 、 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}(10.61 \sim 43.42)$ 、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}(0.97 \sim 3.29)$ 的差异可用源区差别和石英稀释作用来解释。它们具太古宙沉积岩的稀土特征^[14,15],适合 Taylor 提出的古元古代沉积物很大程度上是晚太古代上地壳表面剥蚀物^[4]观点,反应它们源区的特点,类似于太古宙富钠花岗质岩石、长英质火山岩的典型稀土型式和源于类似岛弧地区岩石的中间稀土型式^[16]。第二期绿岩上部的泥质岩类 $\Sigma\text{REE}(74.52 \times 10^{-6} \sim 269.51 \times 10^{-6})$ 、 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}(2.31 \sim 24.35)$ 、 $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}(1.26 \sim 2.19)$ 、 $\delta\text{Eu}(0.59 \sim 0.99)$ 已具后太古宙沉积岩的特征,类似于 Taylor 的后太古宙页岩^[14]和 Condie 估算的后太古宙上地壳成分^[15]。两期绿岩中沉积岩稀土特征差别反映它们形成环境和源区的变化。

4 两期绿岩形成的构造环境

华熊地块早前寒武纪花岗岩-绿岩地体中的第一期绿岩没有先存基底,其本身就是地块中最老的岩系。第一期绿岩的岩石及地球化学特征表明其形成于类似现代大洋中脊的环境。因为需要有科马提质岩浆大量形成和上升到地表的条件。这就是高热流、薄地壳、上地幔的强烈熔融作用和拉张的构造背景^[6]。较高的地热梯度和较热的地幔意味着在较浅部有较高比例的部分熔融产物和岩浆活动^[17],虽不一定形成岩浆海,但断续分布的可能性极大^[18],大量致密熔融产物在古老的地壳下面和内部、在拉张作用最强烈的某些地区,部分原始岩浆可到达地表(如科马提岩类)^[6,19,20]。这种强烈拉张地区即相当于现代大洋中脊。世界上许多 3800~2500 Ma 的花岗岩-绿岩区没有可辨认的基底,其中镁铁质-超镁铁质岩石占优势的情况说明绿岩代表早期洋壳的残余体,如津巴布韦塞巴奎、南非巴伯顿、澳大利亚 Warrawoona 等^[6,17]。北美和格陵兰残留下来的最早绿岩带,被认为是在镁铁质为主的薄的地壳背景中形成的,具有“大洋”沉积物^[20]。许多学者认为地壳发育是从镁铁质开始的可能通过玄武质熔岩的溢出而发育形成^[20,21],因为据上地幔熔融岩浆的作用,直接熔出的岩浆为碧玄质到科马提质,而二次分熔才产生硅铝质^[18]。这样地壳的每一个发育期都以大量玄武质火山喷发开始就不难理解。可见华熊地块第一期绿岩是在硅镁质地壳拉开的背景上形成,代表当时的洋壳。

第一期绿岩形成后发生了变质、混合岩化及花岗质岩石侵入即硅铝化。早期的硅铝质地壳是由镁铁质地壳底部部分熔融产生中酸性岩浆使镁铁质地壳硅铝化形成的^[20~22],因为已知的大部分最古老的硅铝质原始大陆物质(英云闪长岩)均含镁铁质岩石残余^[17,20~22],所谓最老的大陆岩石——格陵兰 3800 Ma 的阿密特索克片麻岩包裹并侵入更老的绿岩残体,其成因与玄武质岩石的部分熔融一致,同位素排除了硅铝质岩石的所谓重熔成因^[20]。华熊地块的第二期绿岩即发育在硅铝化的第一期绿岩这一基底上,在鲁山以浅粒岩层、在熊耳山以科马提岩流不整合在第一期绿岩上。世界许多较年轻的花岗岩-绿岩区如津巴布韦贝林圭、西澳耶尔岗、芬兰北部、加拿大阿比提比、西伯利亚阿尔丹和印度达尔瓦尔等均发育有基底,而这些基底都是硅铝质的,且含有较老的镁铁质残块^[17,20]。华熊地块第二期绿岩的地质地球化学特征表明其形成

于类似现代岛弧环境,而作为基底的第一期绿岩则已被改造成岛弧地壳,其中含科马提岩的第一期绿岩下部在硅铝化过程中被消减了。鲁山和小秦岭第一期绿岩改造的程度更高(表现为更稳定),可能已靠近古陆或已与古陆联成一体,因而接收了来自邻近花岗岩壳产生的富石英沉积物。第二期绿岩结束后,华熊地块地壳向陆壳演化。表壳岩建造的浅水碳酸盐和陆源富铝碎屑沉积反映了这一点。

参 考 文 献

- 1 Goodwin A M. Archaean Plates and greenstone belts. In: Kroner A ed. Precambrian Plate Tectonics. Amsterdam: Elsevier, 1981. 105~135.
- 2 Groves D I, Batt W D. Spatial and temporal variations of Archaean associations in terms of evolution of granitoid-greenstone terrains with particular emphasis on the Western Australian shield. In: Kroner A, Hanson G N, Goodwin A M eds. Archaean Geochemistry. Berlin: Springer-verlag, 1984. 1~25.
- 3 沈保丰, 骆辉, 李双保等. 华北陆台太古宙绿岩带地质及成矿. 北京: 地质出版社, 1994. 1~186 页.
- 4 Glikson A R. Vertical zonation and petrogenesis of the Early Precambrian crust in Western Australia. Tectono, 1976, 30: 55~89.
- 5 Condie K C. Archaean Greenstone Belts. Amsterdam: Elsevier, 1981.
- 6 Arndt N T, Nisbet E G. 科马提岩. 颜秉纲等译. 北京: 地质出版社, 1986. 7~383 页.
- 7 胡受奚, 林潜龙. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿. 南京大学出版社, 1988.
- 8 陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律. 北京: 地震出版社, 1992. 1~18 页.
- 9 Condie K C. Early and Middle Proterozoic supracrustal successions and their tectonic settings. Am. J. Sci., 1982, 282: 341~357.
- 10 周作铁, 李秉伦, 郭抗衡等. 华北地台南缘金(铜)矿床成因. 北京: 地震出版社, 1992. 77~90 页.
- 11 孙枢, 张国伟, 陈志明. 华北断块南部前寒武纪地质演化. 北京: 冶金工业出版社, 1985. 16~289 页.
- 12 贺同兴, 卢良兆, 李树勋等. 变质岩岩石学. 北京: 地质出版社, 1980. 164~177 页.
- 13 Henderson P. Rare earth element geochemistry. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V., 1984. 133~272.
- 14 Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. London: Blackwell, 1985.
- 15 Condie K C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. Chemical Geology, 1993, 104: 1~37.
- 16 McLennan S M, Taylor S R. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends. The Journal of Geology, 1991, 99: 1~21.
- 17 Kroner A. Precambrian Plate Tectonics. Amsterdam: Elsevier, 1981. 57~90.
- 18 路凤香. 地幔岩石学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1981. 59~143 页.
- 19 Fyfe W S. The evolution of the earth's crust: Modern plate tectonic to ancient hot spot tectonic. Chem. Geol., 1978, 23: 89~114.
- 20 地质矿产部情报研究所. 国外前寒武纪地质构造研究. 北京: 地质出版社, 1984.
- 21 Glikson A Y. Earliest Precambrian ultramafic-mafic volcanic rocks: Ancient oceanic crust or relic terrestrial maria? geology, 1976, 4: 201~206.
- 22 Gastil R G. A conceptual hypothesis for the relation of differing tectonic terranes to plutonic emplacement. Geology, 1979, 7: 542~544.

作 者 简 介

刘红樱, 男, 生于 1966 年 9 月。1993 年在南京大学地球科学系矿床学专业获硕士学位。现为南京大学地球科学系矿床学专业博士生, 从事区域成矿规律的研究。通讯地址: 210093, 南京大学地球科学系。

Early Precambrian Greenstones of the Huashan—Xiong'ershan Block and Their Tectonic Settings

Liu Hongying, Hu Shouxi, Zhou Shunzhi

(*Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu, 210093*)

Chen Yanjing

(*Department of Geology, Peking University, Beijing, 100871*)

Abstract

There exist four main terranes of Early Precambrian granitoid-greenstone in the Huashan-Xiong'ershan block. The greenstone belts as metamorphic series occur as lenses or bands in granitoid rocks, and consist of greenstones of two stages and their overlying supracrustal successions that differently develop in various terranes. According to a study of the geological and geochemical characteristics of the two stages of greenstones. Late Archean first-stage greenstone consists of komatiite and basic volcanic rocks with minor intermediate-acid volcanic rocks and abyssal sedimentary rocks, in which the komatiite is the product of a higher degree of partial melting of the primitive mantle, the mafic volcanic rocks are similar to Condie's TH₂-type or modern mantle plume-type ocean-ridge basalt or ocean-island basalt, the felsic volcanic rocks are similar to Condie's F₁-type dacite-rhyolite, and the clastic and pelitic rocks have the features of Archean sediments. The first-stage greenstone formed in the extensional setting of the simatic crust similar to the modern ocean-ridge environment, represents the oceanic crust at that time. Early Proterozoic second-stage greenstone consists of basic volcanic rocks with komatiites, significant amount of intermediate-acid volcanic rocks and sedimentary rocks, large amounts of siliceous-ferruginous sediments and some marls at the top of the greenstone, in which the komatiite is the product of a low degree of partial melting of the depleted mantle, the mafic volcanic are similar to Condie's TH₁-type or modern island arc basalt, the andesitic volcanic rocks are similar to Condie's I-type andesite or modern calc-alkaline andesite and the felsic volcanic rocks are similar to Condie's F₁-type. The clastic rocks, leucoplexites and pelites at the bottom of the greenstone of the second stage, which have the features of Archean sediments are the product of denudation of the surface of the Archean upper crust, whereas the sedimentary rocks in the upper part of the greenstone are typical of post-Archean sediments. The second-stage greenstone developed in the setting of island-arc crust formed by silicification of first-stage greenstone had salic basement.

Key words: greenstone; tectonic setting; greenstone belt; Early Precambrian; Huashan—Xiong'ershan block