

# 熊耳山下元古界片麻岩岩石地球化学及成因

廖庆园<sup>1</sup>, 邓红卫<sup>2</sup>, 严新冻<sup>1</sup>, 廖家飞<sup>1</sup>, 王毅泽<sup>3</sup>

(1. 桂林理工大学地球科学学院, 桂林 541004; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510630; 3. 昆明理工大学, 昆明 650093)

**摘要:** 熊耳山片麻岩中最基性的样品可近似代表其原岩, 很有可能直接来源于地幔熔融的玄武质岩浆, 在伸展构造环境下侵入地壳, 从而促使部分地壳物质也发生部分熔融, 形成中性-酸性岩浆岩, 经历变质作用形成片麻岩。片麻岩的地球化学特征暗示华北克拉通南缘在早元古代仍存在一定程度的陆壳增生。

**关键词:** 地球化学特征; 岩石成因; 太华群片麻岩; 早元古代; 华北熊耳山

**中图分类号:** P581, 595 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-1885(2012)02-263-04

熊耳山位于华北克拉通地台南缘, 华熊台隆熊耳山隆断区。研究区东北部花山地区发育规模较大的中侏罗世-早白垩世花岗岩以及古老变质岩系, 变质程度深。其中, 构成早期下地壳岩石的晚太古代太华群变质岩, 主要为侵入成因的 TTG 片麻岩和原岩属拉斑玄武岩的斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩、石榴二辉麻粒岩, 以及具有孔兹岩建造特征的石榴矽线片麻岩、石榴片麻岩、大理岩、磁铁石英岩等变沉积岩组成的表壳岩系, 属于本区太古宙高级变质区的一部分。

本文研究的样品采自熊耳山地区中部干树沟至西山底剖面, 岩石类型主要有斜长角闪片麻岩、角闪斜长片麻岩、黑云花岗片麻岩等。前人研究虽然认为太华群代表了晚太古代的变质地体, 但是熊耳山地区的年代学研究资料显示: 本文研究区内的太华群变质岩的原岩形成时代为 21~22 亿年, 属于早元古代, 明显早于熊耳群的形成时代 (<18.5 亿年)。

## 1 岩相学及矿物成分

研究样品包括斜长角闪片麻岩、角闪斜长片麻岩和黑云花岗片麻岩等, 具细-中粒鳞片花岗变晶结构、粗-中粒不等粒鳞片花岗变晶结构、变余似斑状结构, 受混合岩化作用后具有交代残余结构、交代穿孔结构, 片麻状、条带(条纹)状构造。

根据岩相学特征可初步判断为片麻岩相的正变质岩, 并从矿物组成比例(如暗色矿物角闪石、磁铁矿物与浅色矿物长石、石英的比例)反映了其原岩可能为基性-中性-中酸性的岩浆岩。

## 2 岩石地球化学

### 2.1 主量元素

熊耳山片麻岩样品的主量元素成分变化较大,  $\text{SiO}_2$  含量从基性变化到酸性 (50.2~74.68wt%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量均相对较高 (12.38~16.99wt%), 因此大部分样品的 CIPW 标准矿物中含有刚玉组份(表 1)。熊耳山片麻岩的  $\text{MgO}$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量变化跨度很大 ( $\text{MgO} = 0.10 \sim 5.55\text{wt}\%$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2.81 \sim 13.78\text{wt}\%$ ),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量较高相应于岩相学特征观察所见的各样品在矿物组成中含有较高比例的磁铁矿组份, 在 CIPW 标准矿物中也含有较高的磁铁矿组份。由于大部分样品的  $\text{MgO}$  含量相对偏低, 因此除了斜长角闪片麻岩 THX05-42 和角闪斜长片麻岩 THX05-41 的  $\text{Mg}\#$  大于 0.5 外, 其他样品的  $\text{Mg}\#$  均相对较低 (0.09~0.46)。除  $\text{Mg}\#$  较高的 THX05-42 外, 熊耳山片麻岩样品的 D.F. 值均为正值(表 1)。另外, 熊耳山片麻岩的  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$  含量也相对较高, 化学变化指数 CIA 值为 39.57~51.63(表 1), 总体表

收稿日期: 2011-08-30

作者简介: 廖庆园(1985~), 女, 湖南益阳市人, 硕士研究生, 地球化学专业。

现出较弱的原岩风化程度。

表 1 CIPW 标准矿物计算结果  
Tab. 1 CIPW Norm Calculation

Q	19.45	1.93	5.34	13.04	26.8	36.78	22.85
C	1.08	—	—	—	1.04	0.67	0.89
Or	15.94	23.09	8.81	24.34	34.43	30.22	25.42
Ab	28.39	31.77	20.66	30.52	22.18	22.13	21.53
An	21.25	17.99	21.27	14.98	7.9	5.45	15.55
Di	—	1.62	15.01	0.7	—	—	—
Di_ Wo	—	0.82	7.68	0.35	—	—	—
Di_ En	—	0.42	4.43	0.12	—	—	—
Di_ Fs	—	0.38	2.9	0.24	—	—	—
Hy	11.27	18.37	16.02	11.52	5.7	3.57	10.39
Hy_ En	4.68	9.58	9.68	3.76	0.7	0.26	3.18
Hy_ Fs	6.59	8.78	6.34	7.76	5.01	3.31	7.21
Mt	1.36	2.13	4.02	1.9	1.06	0.68	1.59
Ap	0.33	1.04	0.37	1.06	0.15	0.08	0.47

注:  $Mg\# = Mg / (Mg + 0.85Fe^{Total})$ ;  $D.F. = 10.44 - 0.21SiO_2 - 0.32FeO^* - 0.98MgO + 0.55CaO + 1.46Na_2O + 0.54K_2O$  (Shaw, 1972);  $CIA = 100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$  (摩尔数比值; Nesbitt & Young, 1982)

熊耳山片麻岩各样品的大部分主量元素之间具有一定的相关性: 随着  $SiO_2$  含量的增加,  $MgO$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $MnO$ 、 $TiO_2$ 、 $CaO$  含量逐渐减小, 均呈较好的负相关关系; 同时, 样品的  $CaO/Al_2O_3$  比值随着  $CaO$  含量的降低而降低。这些特征均很好地反映了它们的同源性质, 暗示了本文研究的熊耳山片麻岩样品应是具有相互成因关系的岩浆演化系列产物。

## 2.2 稀土元素和微量元素

熊耳山太华群片麻岩样品的 REE 总量变化较大 ( $104 \times 10^{-6} \sim 617 \times 10^{-6}$ ), 但都具有轻、重稀土分异的特点 ( $(La/Yb)_N = 4.9 \sim 25.7$ ), 球粒陨石标准化稀土元素配分曲线均为 LREE 富集的右倾型式 (图 1), 具有中等程度变化至弱的 Eu 负异 ( $Eu/Eu^* = 0.68 \sim 0.98$ ; 图 1)。最基性 (即  $SiO_2$  含量最低而  $MgO$  含量最高) 的样品 THX05-42 的轻、重稀土分异最弱、Eu 负异常程度最低 ( $Eu/Eu^* = 0.98$ ) (图 1)。大部分样品的重稀土含量为球粒陨石值<sup>[6]</sup>的 10 倍以下 (除样品 THX05-43 和 THX05-44 外, 其他样品的  $Yb_N = 5.54 \sim 9.85$ ; 图 1)。

总体上, 熊耳山片麻岩的 Ni、Cr 含量较低, 分别为  $0.73 \sim 65.9ppm$  (平均  $17.7 \times 10^{-6}$ ) 和  $0.86 \sim 272ppm$  (平均  $56.6 \times 10^{-6}$ )。除  $SiO_2$  含量最低的两个样品 (THX05-41 和 THX05-42) 外, 其他样品的 Cr、Ni 含量都非常低。熊耳山片麻岩的 Nb、Ta 含量也都较低 (分别为  $9.14 \times 10^{-6} \sim 26.7 \times 10^{-6}$  和  $0.28 \sim 1.84$ ), Nb/Ta 比值变化较大 ( $13.0 \sim 33.6$ ), 但是中基性样品的 Nb/Ta 比值 ( $13.0 \sim 20.5$ , 平均 17.3) 非常相似于原始地幔值 ( $Nb/Ta = 17.4$ ), 也接近于华北克拉通下地壳平均值 ( $Nb/Ta = 20.7$ )。样品的 Zr/Hf 比值相对稳定 ( $35.5 \sim 44.2$ , 平均 40.7), 非常接近于华北克拉通下地壳平均值 ( $Zr/Hf = 39.2$ ) 和太古宙基性火山岩平均值 ( $Zr/Hf = 42.7$ ), 但略高于原始地幔值 ( $Zr/Hf = 36.2$ )。

## 3 熊耳山太华群片麻岩的成因及其意义

按照 Shaw (1972) 的判别依据, 对于  $MgO$  含量和  $Mg\#$  较高的变质岩样品, 其原岩属于岩浆岩来源。而对于  $Mg\#$  以及  $MgO$  含量较低的变质岩样品, 如果 D.F. 值为正值, 则其原岩也为火成来源。除  $Mg\#$  较高

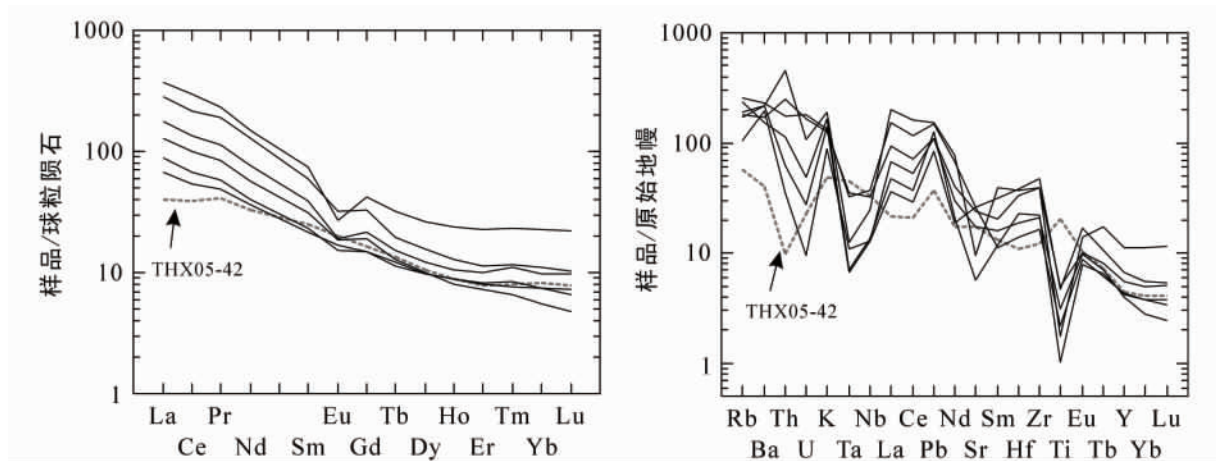


图1 太华群片麻岩稀土元素和微量元素特征图

Fig.1 Characteristic Curves of REE and trace element of Taihua Group Gneiss

(原始地幔值据 Sun & McDonough, 1989); 球粒陨石值据 Taylor & McLennan, 1985)

的 THX05 -42 外, 熊耳山片麻岩样品的 D. F. 值均为正值 (表 1)。因此, 这些片麻岩的原岩均应属于火成来源。在变质作用过程中, 大离子亲石元素易于迁移而发生成分变化, 如下地壳麻粒岩相变质作用常造成 U、Th、K、Rb 等大离子亲石元素的亏损。K、Rb 具有类似的地球化学特性和非常相近的分配系数, 在部分熔融或结晶分异过程中, K/Rb 比值应没有变化或变化非常明显, 熊耳山片麻岩样品的 K/Rb 比值变化非常小, 具有明显的大陆火成岩变化趋势 (MT), 因此它们的地球化学特征应主要保留了原岩的特征, 后期的变质作用并没有造成明显的成分变化。

在 CIPW 标准矿物的 An - Ab - Or 图解上 (图 2), 大部分中基性样品落入英云闪长岩和花岗闪长岩区域。结合稀土和微量元素特征, 大部分样品的重稀土含量为球粒陨石的 10 倍以内, 具有较高的 Sr 含量和 Sr/Y 比值, Y 含量相对较低, 可以认为这些中基性的样品属于 TTG 质片麻岩, 一般认为具有 TTG 性质的岩石来源于深部物质。

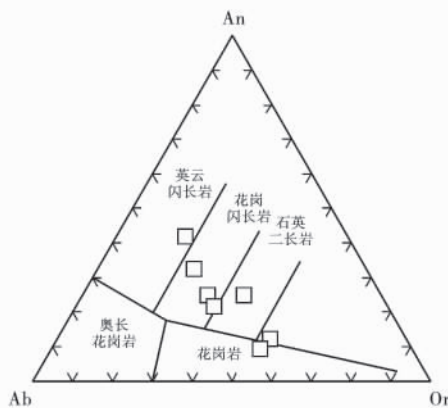


图2 片麻岩CIPW标准矿物An-Ab-Or图解 (据Barker, 1979)

Fig.2 An-Ab-Or Diagram of CIPW Norm of Gneiss

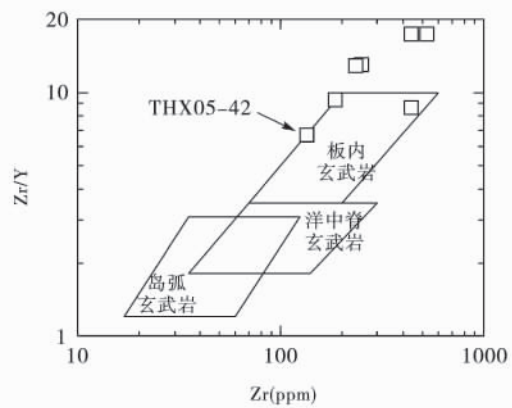


图3 玄武岩Zr-Zr/Y构造环境判别图解 (据Pearce & Norry, 1979)

Fig.3 Zr-Zr/Y Diagram of Tectonic Environment Discrimination of Basalt

岩浆体系中, 随着分离结晶作用加强, Zr/Hf 比值会不断减小, 熊耳山片麻岩样品的 Zr/Hf 比值相对稳定, 表明原岩之间的成分差异与岩浆结晶分异作用过程关系不大, 而应主要受控于部分熔融程度。另外, 高场强元素的活动性较低, 受各种地质作用影响较弱, 因而能较真实地反映岩石的原始特征。因此, 熊耳山片麻岩样品的微量元素原始地幔标准化蛛网图上表现出来的 Nb - Ta - Ti 异常现象是其原岩的特征。含钛矿物 (如钛铁矿、金红石、榍石等) 具有很高的 Nb、Ta 分配系数, 发生含钛矿物结晶分异的残余岩浆或源区残留含钛矿物相的部分熔融岩浆都会具有 Nb - Ta 亏损的现象。随着 SiO<sub>2</sub> 含量的升高, 熊耳山片麻岩样品的 TiO<sub>2</sub> 含量的降低, 同时 Nb/La 比值和 Ti/Y 比值也逐渐降低 (图 3), 反映出从基性岩变化至酸

性岩,体系发生了不同程度的含钛矿物的分离作用。由于熊耳山片麻岩原岩之间的成分差异主要受控于部分熔融程度,因此不同程度 Nb-Ta-Ti 亏损特征暗示了其源区发生的不同程度部分熔融的过程中存在含钛矿物残留相。

熊耳山片麻岩中最基性样品(THX05-42)的主量元素含量非常相似于玄武岩(表1),说明其原岩为基性岩浆岩,在微量元素原始地幔标准化蛛网图上表现出 Nb-Ta-Ti 的正异常现象,因此,该基性岩浆岩的地球化学成分特征类似于洋岛玄武岩(OIB)。具有 OIB 性质的岩浆一般出现在板内拉张环境如地幔柱或板内裂谷环境,在玄武岩的 Zr-Zr/Y 构造环境判别图解上,THX05-42 样品很明显地落入板内玄武岩的范围,其原岩很有可能是直接来源于地幔熔融的玄武质岩浆,在伸展构造环境下侵入地壳。由于地幔岩浆相对较热,具有 OIB 性质的岩浆不仅为地壳提供了物质,还带来大量的热能,从而促使部分地壳物质也发生部分熔融而形成中-酸性的岩浆岩,而后经历变质作用形成片麻岩。因此,熊耳山片麻岩的地球化学特征暗示了华北克拉通南缘在古元古代时期仍存在一定程度的陆壳增生。

### 参 考 文 献

- [1] 张瑜麟,张林.熊耳山西段银铅矿找矿地球物理标志研究[J].矿产与地质.2003.8:472~474.
- [2] 高山等.寨峙造山带及邻区大陆地壳的结构与成份[A].张本仁等.蒙巴区域地球化学文集[C].武汉:中国地质大学出版社.1990.pp.33~51.
- [3] 张国伟等.前寒武纪早期地壳演化[A].见孙枢等主编.华北断头南部前寒武纪地壳演化[C].北京:冶金工业出版社.1998.167~175.
- [4] Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motion inferred from major element chemistry of lutites [J]. Nature, 1982, 299: 715~717.
- [5] Taylor, S. R, McLennan, S. M., 1985. The continental crust: its composition and evolution [M]. Blackwell, Oxford.
- [6] 刘勇胜,高山,骆庭川.华北克拉通基性火山岩高场强元素对 Ar-Pt 界限及新生代地幔源区特征的示踪[J].地球科学-中国地质大学学报.1998.23:468~474.
- [7] Barker, F., 1979. Trondhjemite: definition, environment and hypotheses of origin [A]. In: Barker, F. (ed.), Trondhjemites, dacites and related rocks [C]. Elsevier, Amsterdam, pp. 1~12.

## THE GEOCHEMISTRY AND GENESIS OF XIONGERSHAN LOWER PROTEROZOIC GNEISS

LIAO Qing-yuan<sup>1</sup>, DENG Hong-wei<sup>2</sup>, YAN Xin-luo<sup>1</sup>, LIAO Jia-fei<sup>1</sup>, WANG Yi-zhe<sup>3</sup>

(1. College of Geosciences, Guilin University of Science & Technology, Guilin 541004)

(2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510630)

(3. Kunming University of Science & Technology, Kunming 650093)

**Abstract:** The ultrabasic rock sample in Xiongershan gneiss may approximately represent the original rock, which originates very possibly from the basaltic magma of mantle melt, then intrudes into the crust in the extensional tectonic environment, causes the crust material to melt partially and form intermediate, acid magmatic rock, results in the gneiss because of metamorphism. The geochemical characteristics of gneiss indicate that there was a certain accretion of continental crust in S margin of North China craton in Early Proterozoic.

**Key Words:** Geochemistry; Petrogenesis; Taihua Group Gneiss; Early Proterozoic; Xiongershan, N China