

doi:10.3799/dqkx.2016.139

内蒙古巴林右旗胡都格绍荣岩体的年代学、地球化学、Hf 同位素特征及构造背景

李鹏川, 刘正宏*, 李世超, 徐仲元, 李刚, 关庆彬

吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061

摘要: 大兴安岭地区晚中生代的大地构造背景一直存在争议, 通过对内蒙古巴林右旗胡都格绍荣岩体进行锆石 U-Pb 测年、岩石地球化学以及锆石 Lu-Hf 同位素分析, 探讨其形成时代及构造背景。胡都格绍荣岩体主体岩性为似斑状黑云母二长花岗岩, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年确定其加权平均年龄为 129.9 ± 1.4 Ma (MSWD=0.91), 指示其侵入于早白垩世。花岗岩具有高 SiO_2 、 Na_2O 、 K_2O 含量, 低 CaO、MgO 含量, 富集 Cs、Rb、K、Th、U、Zr, 亏损 Ba、Sr、P、Ti, 轻稀土富集, 具明显 Eu 负异常 ($\delta\text{Eu}=0.35\sim 0.44$), $10\,000 \times [\text{w}(\text{Ga})/\text{w}(\text{Al})]$ 为 $2.08\sim 3.05$, 表明其为典型的 A 型花岗岩。Hf 同位素分析结果显示, 锆石具有正的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值 ($2.24\sim 9.41$), Hf 两阶段模式年龄为 $1\,030\sim 570$ Ma, 平均为 809 Ma, 结合其微量元素特征, 认为岩浆来源于新元古代地壳的部分熔融。胡都格绍荣花岗岩指示研究区在早白垩世为伸展构造背景, 可能与蒙古-鄂霍茨克洋闭合关系更为密切。

关键词: A 型花岗岩; 早白垩世; 大兴安岭; 地质年代学; Hf 同位素; 伸展环境; 地球化学。

中图分类号: P581; P597

文章编号: 1000-2383(2016)12-1995-13

收稿日期: 2016-05-31

Geochronology, Geochemistry, Zircon Hf Isotopic Characteristics and Tectonic Setting of Hudugeshaorong Pluton in Balinyouqi, Inner Mongolia

Li Pengchuan, Liu Zhenghong*, Li Shichao, Xu Zhongyuan, Li Gang, Guan Qingbin

College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

Abstract: The tectonic setting of Da Hinggan Mountains area at the Late Mesozoic has always been controversial, this paper presents zircon U-Pb age, geochemistry and Hf isotopic data of Hudugeshaorong pluton in order to discuss its formation time and tectonic background. Hudugeshaorong pluton is mainly composed of porphyritic biotite monzogranite with LA-ICP-MS zircon U-Pb age of 129.9 ± 1.4 Ma (MSWD=0.91), indicating it was intruded at the Early Cretaceous. This granite pluton is high in SiO_2 , Na_2O , K_2O and low in CaO, MgO, enriched in Rb, K, Th, U and Zr, and depleted in Ba, Sr, P and Ti. Rare earth elements show light REE enrichment (LREE/HREE=6.90-9.39) with obvious negative Eu anomalies ($\delta\text{Eu}=0.35-0.44$), the ratio of $10\,000 \times [\text{w}(\text{Ga})/\text{w}(\text{Al})]$ is between 2.08 and 3.05, showing that it is typical A-type granite. Hf isotopic analysis results show a positive $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values (2.24-9.41), two-stage model ages ranging from 1 030 Ma to 570 Ma, with an average age of 809 Ma. Combining with Th/U and Nb/Ta, we suggest that the primary magma was derived from the partial melting of the Neoproterozoic crust. Hudugeshaorong granite indicates that the study area was in an extensional environment during the Early Cretaceous, we suggest it is more likely related to the closure of the Mongol-Okhotsk Ocean.

Key words: A-type granite; Early Cretaceous; Da Hinggan Mountains; geochronology; Hf isotope; extensional environment; geochemistry.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 41340024); 中国地质调查局项目 (No. 1212011085252); 内蒙古自治区地质勘查基金项目 (No. NMKD2013-02).

作者简介: 李鹏川 (1991-), 男, 博士研究生, 主要从事构造地质学研究. E-mail: lipengchuan@foxmail.com

* **通讯作者:** 刘正宏, E-mail: zhliu@jlu.edu.cn

引用格式: 李鹏川, 刘正宏, 李世超, 等, 2016. 内蒙古巴林右旗胡都格绍荣岩体的年代学、地球化学、Hf 同位素特征及构造背景. 地球科学, 41(12): 1995-2007.

内蒙古巴林右旗胡都格绍荣地区地处大兴安岭南段,大地构造位置位于兴蒙造山带东段的索伦—林西缝合带内,该缝合带北与宝力道岛弧增生杂岩带相邻,南与温都尔庙俯冲增生杂岩带相接(图 1a; Xiao *et al.*, 2003),多数人认为其是西伯利亚板块与华北板块碰撞拼合的最终缝合带(Xiao *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2009; 李益龙等, 2009). 研究区在古生代至早中生代经历了多个微陆块碰撞拼合、古亚洲洋闭合(Sengör and Natalin, 1996; Li, 2006)以及蒙古—鄂霍茨克洋自西向东剪刀式闭合(Zorin, 1999; Sorokin *et al.*, 2004; 张克信等, 2015). 晚中生代该区处于强烈伸展环境,并伴随大规模火山—岩浆活动(葛文春等, 1999; 邵济安等, 2005; 许文良等, 2013). 人们对于该区晚中生代伸展环境的地球动力学背景存在较大争议,总体可以概括为蒙古—鄂霍茨克洋的闭合(Meng, 2003; Fan *et al.*, 2003)、太平洋板块的俯冲(赵国龙等, 1989; 赵越等, 1994)、地幔柱或软流圈上涌(林强等, 1998; 葛文春等, 1999)以及陆内伸展造山(邵济安等, 2005)这几种观点.

胡都格绍荣岩体位于巴林右旗北部,在 1 : 20

万区调报告(辽宁省地质局, 1971, 1 : 20 万白塔子庙幅、林西县幅区域地质矿产报告)中,其被划归为燕山中期侵入体,但缺少测年数据. 而在 1 : 5 万区调报告(辽宁省地质局, 1976, 1 : 5 万海苏坝幅区域地质调查报告)中,其被定为燕山晚期岩体,并取得了 92 Ma、98 Ma 和 117 Ma 的同位素年龄(测试方法不明),年龄范围广且不精确,可见对于胡都格绍荣岩体的侵位时代缺少精确同位素测年数据的制约. 因此笔者对胡都格绍荣花岗岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年、地球化学和锆石 Hf 同位素测试,借此确定该岩体的形成时代,判定花岗岩类型,研究岩浆成因及物质来源,并讨论岩体形成时的构造环境,结合近年大兴安岭和东北地区的研究成果,探讨了大兴安岭地区晚中生代地球动力学背景.

1 地质背景与岩体地质

胡都格绍荣地区处于索伦—林西缝合带内(图 1a),在晚古生代该区经历了俯冲和碰撞演化过程,发育了一套海相沉积地层、火山沉积地层,形成寿山

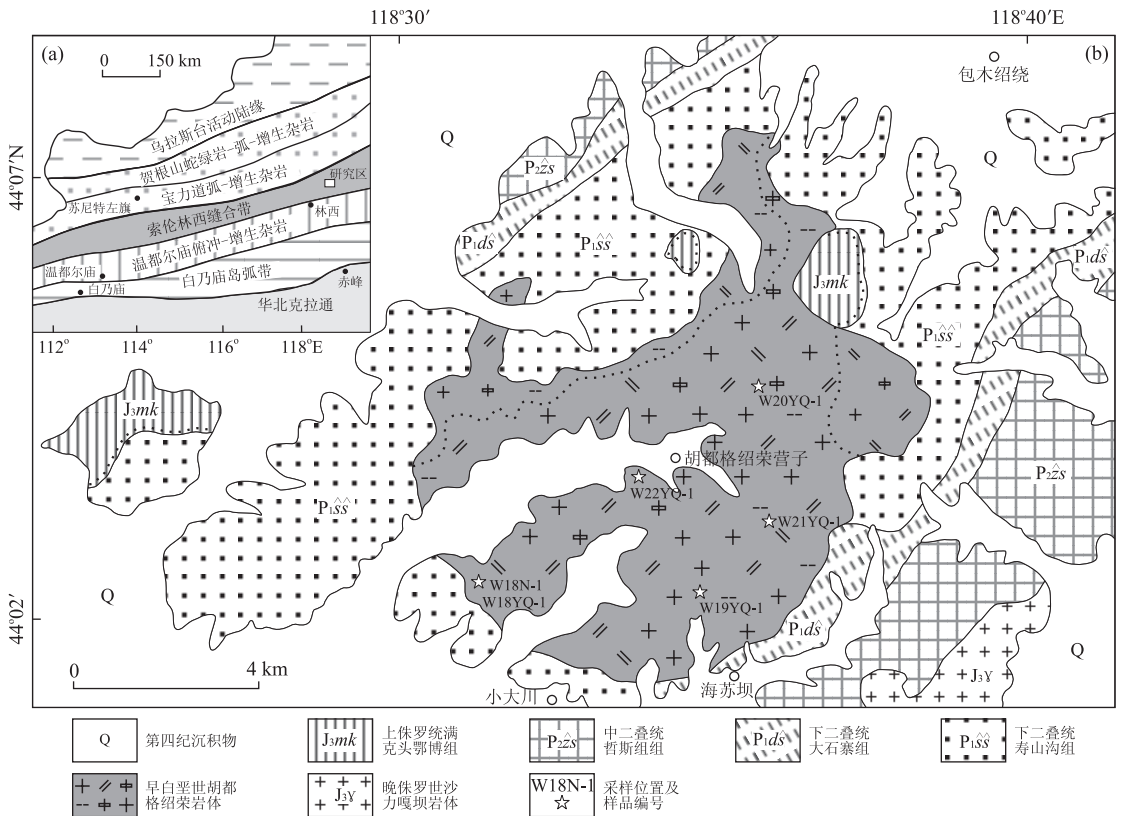


图 1 胡都格绍荣岩体构造位置(a)及地质简图(b)

Fig. 1 Tectonic locations (a) and simplified geological sketch (b) of Hudugesharong pluton

图 a 据 Xiao *et al.* (2003) 修改

沟组、大石寨组、哲斯组和林西组。中生代时期地壳以伸展变形为主, 岩浆活动强烈, 火山—沉积建造发育, 形成满克头鄂博组、玛尼吐组和白音高老组(辽宁省地质局, 1976, 1:5 万海苏坝幅区域地质调查报告)。

大兴安岭地区中生代岩浆岩分布广泛, 出露面积约占整个大兴安岭的 75%, 构成了大兴安岭的主体(Shao *et al.*, 1998; 邵济安等, 2001)。胡都格绍荣地区侵入岩极为发育, 侵入时代涵盖二叠纪、侏罗纪和白垩纪, 岩性主要为花岗闪长岩或花岗岩, 多呈岩基或岩株状产出, 它们在时空分布上与同时代火山岩密切共生。胡都格绍荣岩体处于巴林右旗北部, 东西长约 13 km, 南北宽约 10 km, 面积约 68 km², 呈圆形岩株状产出(图 1b), 岩体多被后期脉岩穿切, 野外观测岩体与围岩为侵入接触关系, 岩体北、西两侧倾角较缓(10°~36°), 而南、东两侧与围岩接触界线平直, 倾角较陡(60°~70°), 在岩浆侵位过程中, 围岩多遭受蚀变。胡都格绍荣岩体侵位于小大川一包木绍绕复式背斜轴部(图 1b), 该复式背斜总体走向 40°~50°, 由核部向两翼依次为下二叠统寿山沟

组、大石寨组和中二叠统哲斯组, 轴部次级褶皱规模较大, 而翼部基本不发育。

根据岩石结构和矿物组合特征, 笔者将胡都格绍荣岩体划分为两个相带: 中心相为中细粒似斑状黑云母二长花岗岩(图 2a), 边缘相岩石粒度变细, 出露宽度一般较窄, 岩性为细粒似斑状黑云母二长花岗岩或细粒黑云母花岗斑岩(图 2b)。浅肉红色似斑状黑云母二长花岗岩为似斑状结构, 基质为中细粒花岗结构, 文象结构, 块状构造。斑晶包括斜长石、钾长石及少量石英(图 2c, 2d), 含量不均(8%~15%)。斜长石斑晶呈半自形板柱状, 聚片双晶发育, 绢云母化明显, 粒径大于 5 mm; 钾长石斑晶呈半自形板状或粒状, 发生高岭土化, 粒径在 5 mm 以上。基质矿物包括: 斜长石, 半自形板状, 粒径为 1~3 mm, 含量在 30%~40%, 偶见环带结构, 局部发育蠕虫结构(图 2c), 绢云母化明显; 钾长石为半自形板状, 粒径为 1~4 mm, 含量在 25%~40%, 可见高岭土化; 石英呈粒状, 粒径多小于 2 mm, 含量约为 25%, 有的和钾长石构成文象结构(图 2d); 黑云母, 片状, 粒径在 2 mm 左右, 含量约为 5%, 多发生绿泥

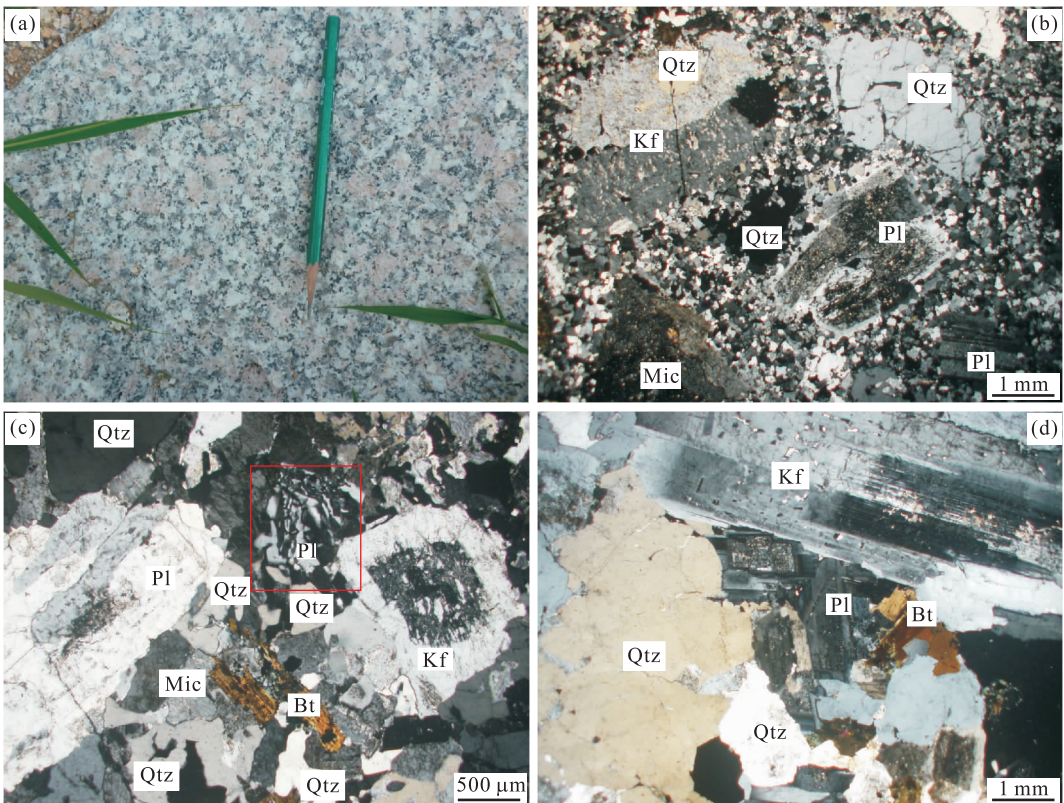


图 2 胡都格绍荣花岗岩野外照片(a)和显微镜下照片(b~d)

Fig. 2 Photographs (a) and microphotographs (b-d) for Hudugeshaorong granite

a. 中细粒似斑状黑云母二长花岗岩野外照片; b. 黑云母花岗斑岩; c. 斜长石发育蠕虫结构; d. 石英和钾长石构成文象结构。Pl. 斜长石; Kf. 钾长石; Mic. 微斜长石; Qtz. 石英; Bt. 黑云母

石化. 此外, 局部含极少量普通角闪石. 副矿物类别较多, 包括磷灰石、绿帘石、榍石、双锥锆石等.

2 分析方法

本研究所用锆石 U-Pb 测年、Hf 同位素分析样品(编号 W18N-1, 取样坐标为 $118^{\circ}31'7.4''E$ 、 $44^{\circ}2'24.7''N$)及地球化学样品(编号 W18YQ-1 ~ W22YQ-1)岩性都为似斑状黑云母二长花岗岩, 它们都是取自胡都格绍荣岩体中的新鲜岩石, 具体采样位置见图 1b.

锆石分选在廊坊市区域地质矿产调查研究所完成, 首先将岩石均匀粉碎为 80~100 目, 淘洗并用电磁法使之分离, 之后将分离出来的锆石放在双目显微镜下进行挑选, 挑选过程中注意选择晶形较完好且不含包裹体或裂痕的锆石. 锆石制靶、透射光、反射光和阴极发光图的采集在北京锆年领航科技有限公司完成, 将挑选出来的锆石粘贴在树脂表面, 待干燥后打磨抛光, 拍摄透射光、反射光和阴极发光图像. 锆石 U-Pb 同位素测年和 Hf 同位素分析在中国地质科学院矿产资源研究所完成. U-Pb 同位素测年采用 LA-ICP-MS 方法, 所用仪器为 Neptune 型 MC-ICP-MS 和 Newwave UP213 激光剥蚀系统, 具体测试过程参见侯可军等(2009). 获得的测年数据使用 ICPMSDataCal(Liu *et al.*, 2010)处理, 之后运用 Andersen(2002)的方法对数据进行同位素比值校正去除普通铅的影响, 最后使用 Isoplot(Ludwing, 2001)绘制锆石 U-Pb 谐和图, 年龄误差为

1σ . Hf 同位素分析同样在 Finnigan Neptune 型多接收等离子质谱仪和 Newwave UP213 紫外激光剥蚀系统(LA-MC-ICP-MS)上进行, 所选 Hf 测试点编号与 U-Pb 测年点序号相对应, 实验过程中采用 He 作为剥蚀物质载气, 根据锆石大小剥蚀直径采用 $55\ \mu\text{m}$ 或 $40\ \mu\text{m}$, 测定时使用国际标准锆石 GJ-1 作为外标, 分析过程中锆石标准 GJ-1 的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 测试加权平均值为 $0.282\ 007 \pm 0.000\ 007 (2\sigma, n=36)$, 详细实验流程参见侯可军等(2007). 主量元素和微量元素分析测试在广州澳实矿物实验室完成, 主量元素分析采用 X 射线荧光法(XRF), 微量元素分析采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS).

3 分析结果

3.1 年代学

W18N-1 样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果见表 1. 样品中的锆石主要呈长柱状, 其次为短柱状, 还有少量形状不规则, 自形程度较高, 锆石长度 $115\sim 300\ \mu\text{m}$ 不等, 长短轴比集中在 $2:1$ 左右, 最大可达 $6:1$. CL 图(图 3)显示锆石内部结构清晰, 多具震荡环带, 表明其为岩浆锆石. 少量锆石由于含有较高的 Th、U 丰度, 在 CL 图上较为黑暗, 内部结构不清晰. W18N-1 样品的 Th/U 比值较为集中, 从 0.40 到 1.40 不等(表 1), 同样指示锆石为岩浆成因. 20 个测试点中有 18 个落在了谐和线上, 另外 2 个测试点偏离谐和线(已剔除), 在反射光图中笔者观察到这两颗锆石因内部有细小裂隙造成铅丢失.

表 1 胡都格绍荣岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年数据

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating data of Hudugeshaorong pluton

样品	Th/U	同位素比值						锆石年龄(Ma)					
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
W18N-1	1.40	0.05076	0.00366	0.14030	0.00919	0.02041	0.00041	231.6	166.6	133.3	8.2	130.2	2.6
W18N-2	1.23	0.04746	0.00344	0.13727	0.01052	0.02054	0.00045	72.3	162.9	130.6	9.4	131.1	2.9
W18N-3	1.37	0.05030	0.00444	0.13207	0.01065	0.01980	0.00040	209.3	257.4	126.0	9.6	126.4	2.5
W18N-4	1.38	0.05187	0.00970	0.14297	0.02179	0.02099	0.00118	279.7	379.3	135.7	19.4	133.9	7.4
W18N-5	0.64	0.04905	0.00386	0.13469	0.00959	0.02002	0.00041	150.1	174.0	128.3	8.6	127.8	2.6
W18N-6	1.14	0.05047	0.00849	0.14645	0.01877	0.02112	0.00070	216.7	348.1	138.8	16.6	134.7	4.4
W18N-7	1.16	0.05370	0.00834	0.13818	0.02098	0.02041	0.00094	366.7	309.2	131.4	18.7	130.3	6.0
W18N-9	0.84	0.05227	0.00537	0.14930	0.01246	0.02117	0.00063	298.2	237.0	141.3	11.0	135.0	4.0
W18N-10	0.93	0.05024	0.00457	0.14002	0.01119	0.02046	0.00052	205.6	200.0	133.1	10.0	130.6	3.3
W18N-11	0.48	0.05015	0.00370	0.13714	0.00915	0.01977	0.00045	211.2	172.2	130.5	8.2	126.2	2.9
W18N-13	0.94	0.04774	0.00495	0.12723	0.01248	0.01976	0.00053	87.1	229.6	121.6	11.2	126.1	3.4
W18N-14	0.60	0.05164	0.00331	0.14292	0.00772	0.02044	0.00039	333.4	143.5	135.6	6.9	130.5	2.5
W18N-15	0.65	0.05438	0.00826	0.13793	0.01770	0.02086	0.00073	387.1	148.0	131.2	15.8	133.1	4.6
W18N-16	0.52	0.05235	0.00428	0.15065	0.01143	0.02107	0.00049	301.9	187.0	142.5	10.1	134.4	3.1
W18N-17	0.48	0.05423	0.00677	0.13040	0.01283	0.01949	0.00061	388.9	283.3	124.5	11.5	124.5	3.9
W18N-18	0.58	0.04801	0.00371	0.13318	0.00905	0.02025	0.00037	98.2	174.0	127.0	8.1	129.3	2.4
W18N-19	0.57	0.04735	0.00785	0.13735	0.02264	0.02086	0.00038	77.9	342.6	130.7	20.2	133.1	2.4
W18N-20	0.40	0.04922	0.00310	0.13588	0.00784	0.02039	0.00033	166.8	-50.9	129.4	7.0	130.1	2.1

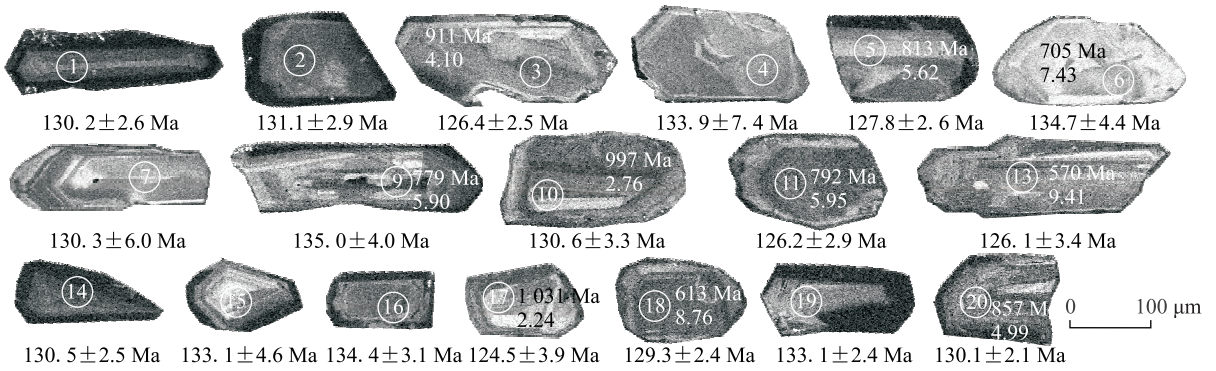


图 3 胡都格绍荣花岗岩(W18N-1)部分锆石阴极发光图

Fig. 3 Cathodoluminescence (CL) images of selected zircons from Hudugeshaorong granite (W18N-1)

图中锆石之下为 U-Pb 年龄, 锆石内部为 Hf 两阶段模式年龄和 $\epsilon_{Hf}(t)$ 值

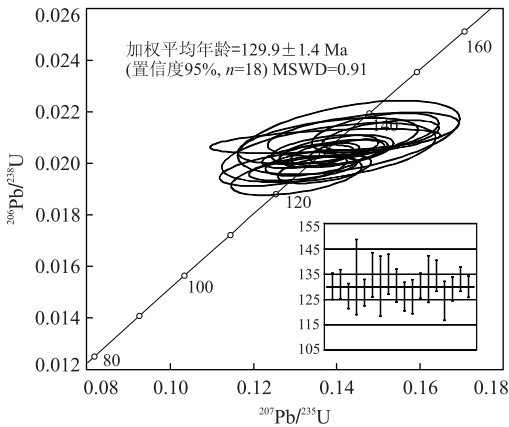


图 4 胡都格绍荣花岗岩 U-Pb 谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagram for Hudugeshaorong granite

失. 谐和图中(图 4)18 颗锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $135.0 \pm 4.0 \text{ Ma} \sim 124.5 \pm 3.9 \text{ Ma}$, 加权平均年龄为 $129.9 \pm 1.4 \text{ Ma}$ (MSWD=0.91), 表明胡都格绍荣花岗岩侵位于早白垩世.

3.2 主量元素

胡都格绍荣似斑状黑云母二长花岗岩的主量、微量元素分析结果见表 2, 可以看出花岗岩具有高 SiO_2 含量 (70.8%~72.5%), 平均可达 71.6%, Na_2O 、 K_2O 含量也较高, 全碱含量 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 为 8.06%~8.21%, Al_2O_3 含量 13.85%~14.20%, 具有低 CaO (1.36%~1.81%) 和低 MgO 含量 (0.49%~0.59%). 总体上呈现出富硅、钠、钾, 贫钙、镁的特点. 笔者运用 SiO_2 - K_2O 图解确定样品为高钾钙碱性系列(图 5), 样品的 A/CNK 分布在 0.98~1.04, 为准铝质到弱过铝质系列.

3.3 微量元素

胡都格绍荣花岗岩稀土元素总量 ($\sum \text{REE}$) 为 $134.77 \times 10^{-6} \sim 201.24 \times 10^{-6}$, 平均值为 $155.69 \times$

10^{-6} , $(\text{La}/\text{Yb})_N = 6.10 \sim 11.27$, $\text{LREE}/\text{HREE} = 6.90 \sim 9.39$, 为富轻稀土型, δEu 值为 0.35~0.44, 平均为 0.38, 显著亏损, δCe 为 0.90~1.11, 平均为 1.03, 无明显异常. 在球粒陨石标准化配分图中(图 6a), 曲线向右缓倾, 呈轻微的“海鸥型”, 轻稀土富集, 重稀土亏损, 在 Eu 处出现明显的低谷显示 Eu 负异常, 表明斜长石分离结晶或在源区大量残留. 微量元素原始地幔标准化蛛网图中(图 6b), 样品表现出富集大离子亲石元素 (LILE) Cs、Rb、K, 亏损 Ba, 富集高场强元素 (HFSE) Th、U、Zr, 明显亏损 Nb、Sr、P、Ti 的特点.

3.4 锆石 Hf 同位素

在 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年研究基础上, 对锆石进行了微区 Hf 同位素分析, 测试点序号与 U-Pb 测年点序号对应, 分析结果见表 3. 可以看出,

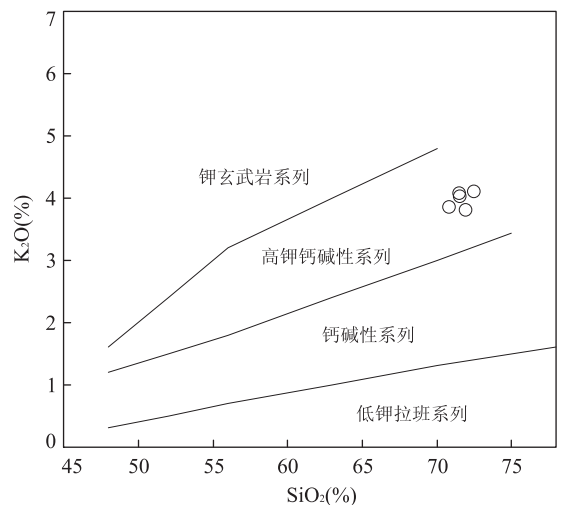


图 5 胡都格绍荣岩体 SiO_2 - K_2O 图解

Fig. 5 SiO_2 - K_2O diagram of Hudugeshaorong pluton 据 Peccerillo and Taylor(1976)

表 2 胡都格绍荣岩体主量元素(%)、稀土元素及微量元素(10^{-6})分析结果Table 2 The analysis results of major elements (%), rare elements and trace elements (10^{-6}) of Hudugeshaorong pluton

样号	W1YQ-1	W2YQ-1	W3YQ-1	W4YQ-1	W5YQ-1	样号	W1YQ-1	W2YQ-1	W3YQ-1	W4YQ-1	W5YQ-1
SiO ₂	70.8	71.9	71.5	72.5	71.5	V	104	29	25	20	40
TiO ₂	0.31	0.29	0.30	0.28	0.31	Ga	21.3	21.0	21.4	21.6	21.2
Al ₂ O ₃	14.15	14.00	14.05	13.85	14.20	Sn	6	7	4	3	2
Fe ₂ O ₃	2.69	2.49	2.80	2.41	2.63	Th/U	3.95	5.08	3.79	4.65	3.90
MnO	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	Nb/Ta	10.56	11.00	10.89	11.67	15.00
MgO	0.59	0.53	0.55	0.49	0.57	La	32.6	24.9	26.3	28.2	43.3
CaO	1.81	1.48	1.36	1.44	1.72	Ce	60.4	59.2	59.1	64.0	87.5
Na ₂ O	4.22	4.27	4.03	4.10	4.09	Pr	7.51	6.26	6.31	7.15	9.36
K ₂ O	3.86	3.79	4.03	4.11	4.08	Nd	26.7	22.2	23.3	26.7	34.6
P ₂ O ₅	0.10	0.09	0.09	0.08	0.10	Sm	6.05	4.85	5.02	5.76	6.37
烧失量	0.53	0.66	0.62	0.34	0.50	Eu	0.67	0.63	0.69	0.64	0.74
总计	99.26	99.69	99.56	99.80	99.92	Gd	5.34	4.63	4.43	5.20	5.84
Na ₂ O+K ₂ O	8.08	8.06	8.06	8.21	8.17	Tb	0.88	0.76	0.78	0.85	0.91
A/CNK	0.98	1.01	1.04	1.00	0.99	Dy	5.00	4.39	4.65	4.97	4.99
Rb	167.0	147.5	162.5	157.5	158.0	Ho	1.02	0.88	0.95	1.07	1.09
Cs	9.59	4.77	9.49	3.71	5.83	Er	2.95	2.65	2.77	3.08	2.94
Sr	269	261	260	255	318	Tm	0.42	0.38	0.41	0.44	0.48
Ba	495	539	543	517	555	Yb	2.92	2.63	2.72	3.11	2.59
Zr	180	206	193	171	241	Lu	0.45	0.41	0.43	0.48	0.53
Hf	5.7	5.9	5.9	5.4	6.4	δ Eu	0.35	0.40	0.44	0.35	0.36
U	3.46	2.64	3.56	3.56	4.35	δ Ce	0.90	1.11	1.07	1.06	1.00
Th	13.65	13.40	13.50	16.55	16.95	(La/Yb) _N	7.53	6.38	6.52	6.11	11.27
Nb	9.5	9.9	9.8	10.5	10.5	LREE	133.93	118.04	120.72	132.45	181.87
Ta	0.9	0.9	0.9	0.9	0.7	HREE	18.98	16.73	17.14	19.20	19.37
Y	30.3	28.1	28.3	32.1	36.0	LREE/HREE	7.06	7.06	7.04	6.90	9.39
Cr	30	20	20	30	20	Σ REE	152.91	134.77	137.86	151.65	201.24

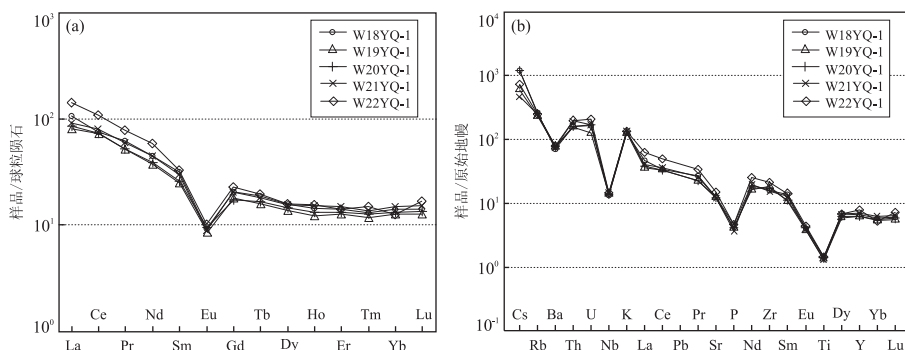


图 6 胡都格绍荣岩体稀土元素球粒陨石标准化配分图解(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)

Fig. 6 REE chondrite-normalized patterns diagram (a) and trace element primitive mantle-normalized spidergrams (b) of Hudugeshaorong pluton

图 a 据 Boynton(1984);图 b 据 Sun and McDonough(1989)

表 3 胡都格绍荣岩体锆石 Lu-Hf 同位素数据

Table 3 Zircon Lu-Hf isotope data of Hudugeshaorong pluton

序号	t (Ma)	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	1σ	$\epsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\epsilon_{\text{Hf}}(t)$	$T_{\text{DM1}}(\text{Ma})$	$T_{\text{DM2}}(\text{Ma})$	$f_{\text{Lu/Hf}}$
W18N-3	112	0.094 627	0.001 840	0.282 822	5.2	1.77	4.10	623	911	-0.94
W18N-5	112	0.057 225	0.001 103	0.282 864	4.8	3.24	5.62	552	813	-0.97
W18N-6	123	0.096 117	0.001 852	0.282 910	4.4	4.88	7.43	496	705	-0.94
W18N-9	114	0.069 283	0.001 324	0.282 871	2.9	3.49	5.90	545	797	-0.96
W18N-10	113	0.064 391	0.001 314	0.282 783	3.7	0.37	2.76	671	997	-0.96
W18N-11	112	0.061 889	0.001 181	0.282 873	4.7	3.58	5.95	540	792	-0.96
W18N-13	112	0.109 012	0.001 975	0.282 972	3.9	7.09	9.41	407	570	-0.94
W18N-17	115	0.128 320	0.002 883	0.282 770	7.0	-0.06	2.24	719	1031	-0.91
W18N-18	113	0.121 049	0.002 572	0.282 955	4.6	6.47	8.76	439	613	-0.92
W18N-20	117	0.126 951	0.002 943	0.282 847	3.5	2.64	4.99	606	857	-0.91

注: ^{176}Lu 衰变常数 $\lambda=1.867\times 10^{-11}$ (Söderlund *et al.*, 2004);球粒陨石的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 、 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 分别为 0.033 2, 0.282 772(Blichert-Toft and Albarède, 1997);亏损地幔的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 、 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 分别为 0.038 42、0.283 25(Griffin *et al.*, 2000).

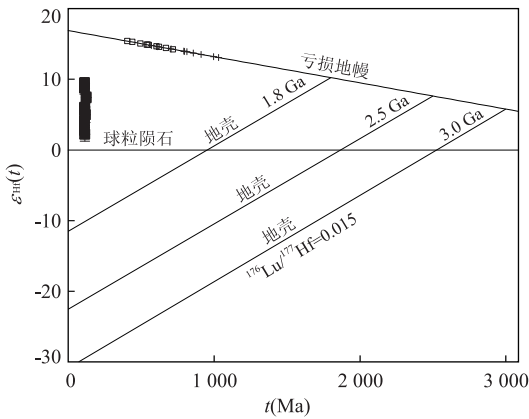


图 7 胡都格绍荣花岗岩锆石 $t-\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 图解

Fig. 7 $t-\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ plot for the zircons of Hudugeshaorong granite

10 颗锆石取得的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值变化范围为 0.282 770~0.282 972, 平均 0.282 867, 所有的锆石都有正的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值, 为 2.24~9.41, 平均为 5.72, Hf 的单阶段模式年龄 (T_{DM1}) 为 719~407 Ma, 平均为 560 Ma, 两阶段模式年龄 (T_{DM2}) 为 1 030~570 Ma, 平均为 809 Ma. $t-\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 图解(图 7)显示所有的数据点都落在球粒陨石与亏损地幔之间.

4 讨论

4.1 花岗岩类型

胡都格绍荣花岗岩样品的 $10\,000 \times \text{Ga}/\text{Al}$ 值为 2.82~2.95, 整体高于 I 型花岗岩(2.10)和 S 型花岗岩(2.28)的平均值(Whalen *et al.*, 1987; 吴福元等, 2007a; 杨高等, 2010), 地球化学特征显示其主量元素表现出富硅、钠、钾, 贫钙、镁的特点, 微量元

素明显富集 Cs、Rb、K、Th、U、Zr, 亏损 Eu、Ba、Sr、P、Ti, 这是典型的 A 型花岗岩的特征(苏玉平和唐红峰, 2005; 张旗等, 2012). 胡都格绍荣花岗岩与蚌埠隆起区庄子里和磨盘山 A 型花岗岩(杨德彬等, 2009), 吉林中部天桥岗和三道河 A 型花岗岩(孙德有等, 2005), 广西昆仑关 A 型花岗岩(谭俊等, 2008)有非常相似的地球化学特征. 在 A 型花岗岩判别图中样品落入 A 型花岗岩区域(图 8), Y/Nb-Rb/Nb 图解(图 9a)和 Nb-Y-Ce 图解(图 9b)进一步表明其属于 A2 型花岗岩, A2 型花岗岩形成于碰撞后或造山期后的拉张环境(张旗等, 2012), 说明研究区在早白垩世处于伸展环境.

4.2 岩浆源区

4.2.1 地球化学特征对源区的指示 前文已述胡都格绍荣花岗岩为高钾钙碱性花岗岩, 样品的 Th/U=3.79~5.08, 平均为 4.27, 接近大陆地壳平均 Th/U 比值(Th/U \approx 4), 表明岩浆物源具有壳源的特征. Nb、Ta 为强不相容元素, 两者亲岩浆性同步变化, Nb/Ta 比值在部分熔融和结晶分异作用过程中变化很小, 在没有外来物质加入的情况下, 同源岩浆演化过程中的 Nb/Ta 大致相同, 因此成为判别岩浆源区的重要指标(王晓霞等, 2005; 赵振华等, 2008). 本文样品的 Nb/Ta 比值为 10.56~15.00, 平均值为 11.82, 而大陆地壳的 Nb/Ta 比值为 10~14(Rudnick, 2000; 赵振华等, 2008), 表明其岩浆应该来源于地壳.

4.2.2 Hf 同位素岩浆源区示踪 锆石封闭温度高, 是非常稳定的矿物, 形成之后很少受后期岩浆事件影响, 实验测得的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 基本可以代表其形

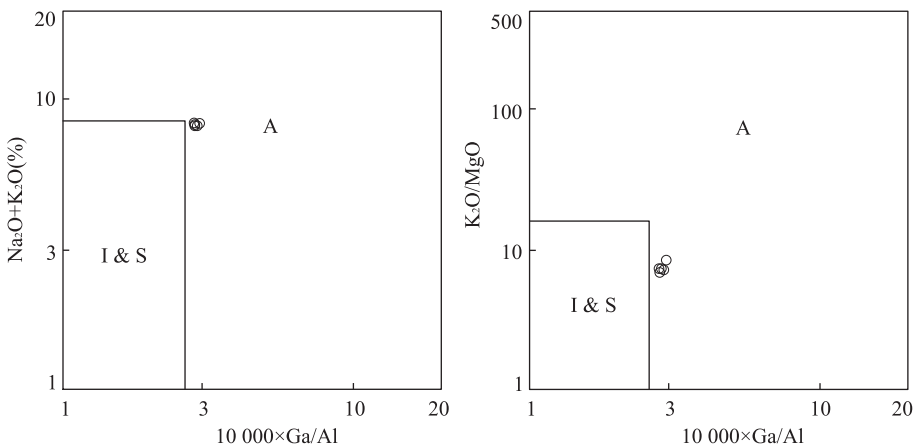


图 8 A 型花岗岩判别图

Fig. 8 A-type granite discrimination diagram

据 Whalen *et al.* (1987)

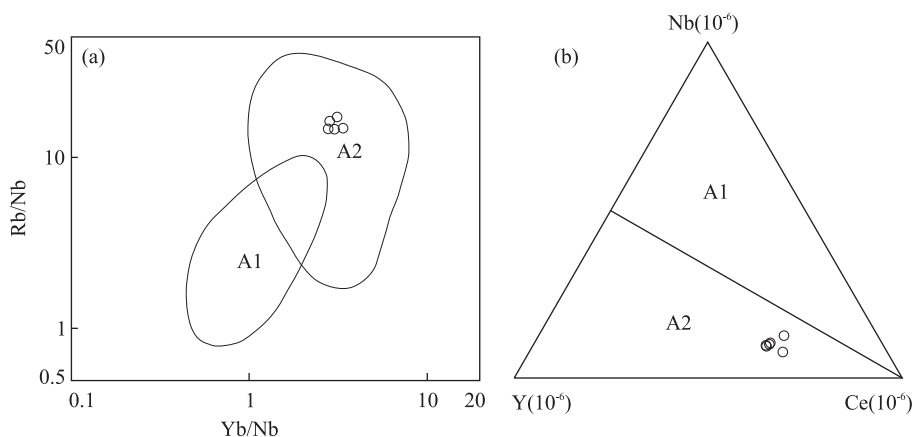


图 9 胡都格绍荣花岗岩的 Y/Nb-Rb/Nb 图解(a)和 Nb-Y-Ce 图解(b)

Fig. 9 Y/Nb-Rb/Nb diagrams (a) and Nb-Y-Ce diagrams (b) of Hudugeshaorong granite
据 Nelson(1992)

成时的 Hf 同位素组成, 这使锆石可以记录岩浆源区不同性质的源岩特征. 通过锆石原位 Hf 同位素分析与锆石 U-Pb 测年结果相结合, 可以示踪岩浆源区、揭示地壳演化 (Scherer *et al.*, 2000; 杨德彬等, 2007; 李碧乐等, 2016).

胡都格绍荣花岗岩锆石 Lu-Hf 同位素测试结果显示, 所有测试点的 $f_{Lu/Hf}$ 值为 $-0.91 \sim -0.97$, 明显小于铁镁质地壳 (-0.34) 和硅铝质地壳 (-0.72) 的 $f_{Lu/Hf}$ 值 (Vervoort *et al.*, 1996; Amelin *et al.*, 1999). 测试点 $\epsilon_{Hf}(t)$ 都为较高的正值 (平均 5.72), 具有正的 $\epsilon_{Hf}(t)$ 值的陆壳花岗岩岩浆不可能源于亏损地幔, 因为地幔岩浆分异不可能直接形成花岗岩 (郑永飞等, 2007), 花岗岩主要来源于地壳岩石的部分熔融 (吴福元等, 2007a), 另外亏损地幔和原始地幔处于 Zr 不饱和状态, 这类地幔岩石部分熔融不可能直接形成锆石, 必须通过新生地壳熔融再造或幔源岩浆侵位过程中地壳混染来实现锆石生长 (郑永飞等, 2007). Hf 两阶段模式年龄平均为 809 Ma, 老于锆石的形成年龄 (129.9 ± 1.4 Ma), 由于源于地壳岩石部分熔融的花岗岩锆石 Hf 模式年龄远大于其形成年龄, 而源于新生地壳源区的花岗岩锆石 Hf 模式年龄与其形成年龄相近 (吴福元等, 2007b), 因此认为胡都格绍荣岩体的岩浆来源于新元古代地壳岩石的部分熔融.

4.3 构造背景探讨

大兴安岭地区早白垩世所处环境已经有众多学者进行过研究, 许文良等 (2013) 通过对大兴安岭以及冀北—辽西地区早白垩世晚期 (131~110 Ma) 双峰式火山岩的研究, 证明该区该时期处于伸展环境. 张连昌等 (2007) 指出大兴安岭根河地区早白垩世基

性和中基性火山岩的地球化学特征均为陆内伸展环境. Wang *et al.* (2011)、Zheng (2005) 通过研究东北亚广泛分布的晚中生代变质核杂岩, 证实该时期其处于区域性造山后伸展环境. 王彦斌等 (2010) 认为华北陆块北缘赤峰地区中侏罗世至早白垩世 (163~125 Ma) 的岩浆活动发生在伸展的构造背景下. 邵济安等 (2005) 指出 130~120 Ma 大兴安岭及两侧盆地发生幔源岩浆的喷溢, 显示晚中生代为伸展背景. 众多研究都表明大兴安岭地区在早白垩世为伸展环境, 与笔者对胡都格绍荣花岗岩研究的结果相同, 而伸展环境的成因一直存在争议.

对于东北地区晚中生代地球动力学机制的研究始终是热点问题, 近年来蒙古—鄂霍茨克造山带的演化对中国东北及邻区中生代的影响越来越受到人们的重视 (郑亚东等, 2000; 李锦轶等, 2004), 更多学者开始倾向于将大兴安岭地区早白垩世伸展与其演化相关联. 许文良等 (2013) 认为大兴安岭地区早白垩世双峰式火山岩组合的形成, 与蒙古—鄂霍茨克缝合带闭合后加厚陆壳的拆沉过程关系密切, 赵海玲等 (1998) 认为东北地区中生代火山岩与俯冲作用相关, 而大兴安岭地区中生代火山活动则不能用俯冲来解释, 而是与造山带的崩塌有关, 张旗等 (2009) 也认为中国东部燕山期岩浆活动与太平洋板块没有关系.

那么大兴安岭地区早白垩世伸展到底发生在什么地球动力学背景下? 首先, 大兴安岭地区北东向展布的火山岩带不仅发育于中国东北, 在毗邻的俄罗斯南部地区和蒙古国中东部地区同样存在大量类似的火山岩 (Fan *et al.*, 2003; 孙德有等, 2011), 它们整体平行于北东向鄂霍茨克构造带 (旷红伟等, 2013), 但在大兴安岭东侧的松辽盆地及以东的地

区,早白垩世火山岩却少得多,这可能暗示其与古太平洋板块的俯冲关系较小。其次,古生代和中生代时期,蒙古—鄂霍茨克洋展布于西伯利亚板块、华北板块之间,对于该洋的演化过程研究已久,不同学者有不同的见解(Zorin, 1999; Kravchinsky *et al.*, 2002; Sorokin *et al.*, 2004; 李锦轶等, 2004; Metelkin *et al.*, 2010),但其自西向东剪刀式闭合的方式是大家公认的,而在包含大兴安岭在内的东北亚地区,晚中生代火山活动具有由西向东迁移的趋势(Wang *et al.*, 2006),这正与蒙古—鄂霍茨克洋闭合特征相符,二者应该具有很大关联。再者,由于大兴安岭与鄂霍茨克构造带之间的距离要远远短于其与古太平洋(Izanagi)板块边界的距离,并且地震层析资料表明中生代古太平洋板块俯冲的影响达不到大兴安岭地区(Shao *et al.*, 2000; 邵济安等, 2001),用古太平洋板块的长距离俯冲来解释大兴安岭地区早白垩世的伸展未免有些牵强。

因此笔者认为大兴安岭地区早白垩世伸展应该与蒙古—鄂霍茨克洋的演化关系更为密切,蒙古—鄂霍茨克洋的闭合导致大兴安岭地区进入陆壳碰撞后的伸展环境,拉开了区域伸展作用的序幕,胡都格绍荣花岗岩就是在这种构造背景下完成侵位。

5 结论

(1)胡都格绍荣花岗岩的锆石为岩浆成因锆石, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果显示其加权平均年龄为 129.9 ± 1.4 Ma, 表明其侵位于早白垩世。

(2)胡都格绍荣岩体为高钾钙碱性花岗岩, 主量元素富 Si、Na、K, 贫 Ca、Mg, 微量元素富集 Cs、Rb、K、Th、U、Zr, 亏损 Eu、Ba、Sr、P、Ti, 为典型的 A 型花岗岩。

(3)Hf 同位素分析显示锆石具有正的 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值, Hf 两阶段模式年龄为 $1\ 030 \sim 570$ Ma, 平均为 809 Ma, 结合其接近大陆地壳的 Th/U、Nb/Ta 比值, 认为岩浆来源于新元古代地壳的部分熔融。

(4)胡都格绍荣岩体形成于伸展环境, 笔者认为大兴安岭地区早白垩世伸展环境可能与蒙古—鄂霍茨克洋闭合相关。

致谢: 魏春景教授和两位匿名审稿专家对文章提出了宝贵的修改意见, 在此致以诚挚的感谢!

References

Amelin, Y., Lee, D. C., Halliday, A. N., et al., 1999. Nature

of the Earth's Earliest Crust from Hafnium Isotopes in Single Detrital Zircons. *Nature*, 399(6733): 252—255. doi: 10. 1038/20426

Andersen, T., 2002. Correction of Common Lead in U-Pb Analyses That do not Report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192(1—2): 59—79. doi: 10. 1016/S0009—2541(02)00195—x

Blichert-Toft, J., Albarède, F., 1997. The Lu-Hf Isotope Geochemistry of Chondrites and the Evolution of the Mantle-Crust System. *Earth and Planetary Science Letters*, 148(1—2): 243—258. doi: 10. 1016/S0012—821X(97)00040—x

Boynnton, W. V., 1984. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies. In: Henderson, P., ed., Rare Earth Element Geochemistry: Developments in Geochemistry. Elsevier, Amsterdam, 63—114.

Chen, B., Jahn, B. M., Tian, W., 2009. Evolution of the Solonker Suture Zone: Constraints from Zircon U-Pb Ages, Hf Isotopic Ratios and Whole-Rock Nd-Sr Isotope Compositions of Subduction- and Collision-Related Magmas and Forearc Sediments. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(3): 245—257. doi: 10. 1016/j. jseaes. 2008. 05. 007

Fan, W. M., Guo, F., Wang, Y. J., et al., 2003. Late Mesozoic Calc-Alkaline Volcanism of Post-Orogenic Extension in the Northern Da Hinggan Mountains, North-eastern China. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 121(1—2): 115—135. doi: 10. 1016/S0377—0273(02)00415—8

Ge, W. C., Lin, Q., Sun, D. Y., et al., 1999. Geochemical Characteristics of the Mesozoic Basalts in Da Hinggan Ling: Evidence of the Mantle Crust Interaction. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3): 396—406 (in Chinese with English abstract).

Griffin, W. L., Pearson, N. J., Belousova, E., et al., 2000. The Hf Isotope Composition of Cratonic Mantle: LAM-MC-ICPMS Analysis of Zircon Megacrysts in Kimberlites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(1): 133—147. doi: 10. 1016/S0016—7037(99)00343—9

Hou, K. J., Li, Y. H., Tian, Y. R., 2009. In Situ U-Pb Zircon Dating Using Laser Ablation-Multi Ion Counting-ICP-MS. *Mineral Deposits*, 28(4): 481—492 (in Chinese with English abstract).

Hou, K. J., Li, Y. H., Zou, T. R., et al., 2007. Laser Ablation-MC-ICP-MS Technique for Hf Isotope Microanalysis of Zircon and Its Geological Applications. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10): 2595—2604 (in Chinese with English abstract).

- Kravchinsky, V. A., Cogné, J. P., Harbert, W. P., et al., 2002. Evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean as Constrained by New Palaeomagnetic Data from the Mongol-Okhotsk Suture Zone, Siberia. *Geophysical Journal International*, 148(1): 34–57. doi: 10. 1046/j. 1365–246x. 2002. 01557. x
- Kuang, H. W., Liu, Y. Q., Liu, Y. X., et al., 2013. Stratigraphy and Depositional Palaeogeography of the Early Cretaceous Basins in Da Hinggan Mountains-Mongolia Orogenic Belt and Its Neighboring Areas. *Geological Bulletin of China*, 32(7): 1063–1084 (in Chinese with English abstract).
- Li, B. L., Sun, Y. G., Chen, G. J., et al., 2016. Zircon U-Pb Geochronology, Geochemistry and Hf Isotopic Composition and Its Geological Implication of the Fine-Grained Syenogranite in Dong'an Goldfield from the Lesser Xing'an Mountains. *Earth Science*, 41(1): 1–16 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. Y., 2006. Permian Geodynamic Setting of Northeast China and Adjacent Regions; Closure of the Paleo-Asian Ocean and Subduction of the Paleo-Pacific Plate. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(3–4): 207–224. doi: 10. 1016/j. jseaes. 2005. 09. 001
- Li, J. Y., Mo, S. G., He, Z. J., et al., 2004. The Timing of Crustal Sinistral Strike-Slip Movement in the Northern Great Khing'an Ranges and Its Constraint on Reconstruction of the Crustal Tectonic Evolution of NE China and Adjacent Areas since the Mesozoic. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 157–168 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. L., Zhou, H. W., Zhong, Z. Q., et al., 2009. Collision Processes of North China and Siberian Plates; Evidence from LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age on Deformed Granite in Xar Moron Suture Zone. *Earth Science*, 34(6): 931–938 (in Chinese with English abstract).
- Lin, Q., Ge, W. C., Sun, D. Y., et al., 1998. Tectonic Significance of Mesozoic Volcanic Rocks in Northeastern China. *Scientia Geologica Sinica*, 33(2): 129–138 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. S., Hu, Z. C., Zong, K. Q., et al., 2010. Reappraisal and Refinement of Zircon U-Pb Isotope and Trace Element Analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535–1546. doi: 10. 1007/s11434–010–3052–4
- Ludwing, K. R., 2001. Users Manual for Isoplot/EX (Rev. 2. 49); A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley, 1–55.
- Meng, Q. R., 2003. What Drove Late Mesozoic Extension of the Northern China-Mongolia Tract? *Tectonophysics*, 369(3–4): 155–174. doi: 10. 1016/s0040–1951(03)00195–1
- Metelkin, D. V., Vernikovskiy, V. A., Kazansky, A. Y., et al., 2010. Late Mesozoic Tectonics of Central Asia Based on Paleomagnetic Evidence. *Gondwana Research*, 18(2–3): 400–419. doi: 10. 1016/j. gr. 2009. 12. 008
- Nelson, G. E., 1992. Chemical Subdivision of the A-Type Granitoids; Petrogenetic and Tectonic Implications. *Geology*, 20(7): 641–644. doi: 10. 1130/0091–7613(1992)020<0641:csotat>2. 3. co;2
- Peccerillo, A., Taylor, S. R., 1976. Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(1): 63–81. doi: 10. 1007/bf00384745
- Rudnick, R. L., 2000. Rutile-Bearing Refractory Eclogites: Missing Link between Continents and Depleted Mantle. *Science*, 287(5451): 278–281. doi: 10. 1126/science. 287. 5451. 278
- Scherer, E. E., Cameron, K. L., Blichert-Toft, J., 2000. Lu-Hf Garnet Geochronology: Closure Temperature Relative to the Sm-Nd System and the Effects of Trace Mineral Inclusions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(19): 3413–3432. doi: 10. 1016/s0016–7037(00)00440–3
- Sengör, A. M. C., Natalin, B. A., 1996. Paleotectonics of Asia; Fragments of a Synthesis. Translated by Yin, A., Harrison, M., Cambridge University Press, London, 486–640.
- Shao, J. A., Liu, F. T., Chen, H., 2000. Seismic Tomography of the Northwest Pacific and Its Geodynamic Implications. *Progress in Natural Science*, 11(1): 46–49.
- Shao, J. A., Liu, F. T., Chen, H., et al., 2001. Relationship between Mesozoic Magmatism and Subduction in Da Hinggan-Yanshan Area. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 56–63 (in Chinese with English abstract).
- Shao, J., Zhang, L. Q., Mu, B. L., 1998. Tectono-Thermal Evolution of Middle-South Section of the Da Hinggan Mountains. *Science in China (Series D)*, 41(6): 570–579. doi: 10. 1007/bf02878738
- Shao, J. A., Zhang, L. Q., Xiao, Q. H., et al., 2005. Rising of Da Hinggan Mts. in Mesozoic; A Possible Mechanism of Intracontinental Orogeny. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 789–794 (in Chinese with English abstract).
- Söderlund, U., Patchett, P. J., Vervoort, J. D., et al., 2004. The ¹⁷⁶Lu Decay Constant Determined by Lu-Hf and U-

- Pb Isotope Systematics of Precambrian Mafic Intrusions. *Earth and Planetary Science Letters*, 219(3-4): 311-324. doi:10.1016/s0012-821x(04)00012-3
- Sorokin, A. A., Yarmolyuk, V. V., Kotov, A. B., et al., 2004. Geochronology of Triassic-Jurassic Granitoids in the Southern Framing of the Mongol-Okhotsk Foldbelt and the Problem of Early Mesozoic Granite Formation in Central and Eastern Asia. *Doklady Earth Sciences*, 399(8):1091-1094.
- Su, Y. P., Tang, H. F., 2005. Trace Element Geochemistry of A-Type Granites. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 24(3): 245-251 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D. Y., Gou, J., Ren, Y. S., et al., 2011. Zircon U-Pb Dating and Study on Geochemistry of Volcanic Rocks in Manitu Formation from Southern Manchuria, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 27(10):3083-3094 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D. Y., Wu, F. Y., Gao, S., et al., 2005. Confirmation of Two Episodes of A-Type Granite Emplacement during Late Triassic and Early Jurassic in the Central Jilin Province, and Their Constraints on the Structural Pattern of Eastern Jilin-Heilongjiang Area, China. *Earth Science Frontiers*, 12(2): 263-275 (in Chinese with English abstract).
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts; Implications for Mantle Composition and Processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1): 313-345. doi:10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19
- Tan, J., Wei, J. H., Li, S. R., et al., 2008. Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of Kunlun A-Type Granite, Guangxi. *Earth Science*, 33(6): 743-754 (in Chinese with English abstract).
- Vervoort, J. D., Patchett, P. J., Gehrels, G. E., et al., 1996. Constraints on Early Earth Differentiation from Hafnium and Neodymium Isotopes. *Nature*, 379(6566): 624-627. doi:10.1038/379624a0
- Wang, F., Zhou, X. H., Zhang, L. C., et al., 2006. Late Mesozoic Volcanism in the Great Xing'an Range (NE China): Timing and Implications for the Dynamic Setting of NE Asia. *Earth and Planetary Science Letters*, 251(1-2):179-198. doi:10.1016/j.epsl.2006.09.007
- Wang, T., Zheng, Y. D., Zhang, J. J., et al., 2011. Pattern and Kinematic Polarity of Late Mesozoic Extension in Continental NE Asia; Perspectives from Metamorphic Core Complexes. *Tectonics*, 30(6): 148-151. doi:10.1029/2011tc002896
- Wang, X. X., Wang, T., Hapala, I., et al., 2005. Genesis of Mafic Enclaves from Rapakivi-Textured Granites in the Qinling and Its Petrological Significance; Evidence of Elements and Nd, Sr Isotopes. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3):935-946 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. B., Han, J., Li, J. B., et al., 2010. Age, Petrogenesis and Geological Significance of the Deformed Granitoids in the Louzidian Metamorphic Core Complex, Southern Chifeng, Inner Mongolia; Evidence from Zircon U-Pb Dates and Hf Isotopes. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(6):763-778 (in Chinese with English abstract).
- Whalen, J. B., Currie, K. L., Chappell, B. W., 1987. A-Type Granites: Geochemical Characteristics, Discrimination and Petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95(4):407-419. doi:10.1007/bf00402202
- Wu, F. Y., Li, X. H., Yang, J. H., et al., 2007a. Discussions on the Petrogenesis of Granites. *Acta Petrologica Sinica*, 23(6): 1217-1238 (in Chinese with English abstract).
- Wu, F. Y., Li, X. H., Zheng, Y. F., et al., 2007b. Lu-Hf Isotopic Systematics and Their Applications in Petrology. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2):185-220 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, W. J., Windley, B. F., Hao, J., et al., 2003. Accretion Leading to Collision and the Permian Solonker Suture, Inner Mongolia, China; Termination of the Central Asian Orogenic Belt. *Tectonics*, 22(6): 8-1-8-20. doi:10.1029/2002tc001484
- Xu, W. L., Wang, F., Pei, F. P., et al., 2013. Mesozoic Tectonic Regimes and Regional Ore-Forming Background in NE China; Constraints from Spatial and Temporal Variations of Mesozoic Volcanic Rock Associations. *Acta Petrologica Sinica*, 29(2): 339-353 (in Chinese with English abstract).
- Yang, D. B., Xu, W. L., Pei, F. P., et al., 2009. Petrogenesis of the Paleoproterozoic K-Feldspar Granites in Bengbu Uplift; Constraints from Petro-Geochemistry, Zircon U-Pb Dating and Hf Isotope. *Earth Science*, 34(1): 148-164 (in Chinese with English abstract).
- Yang, D. B., Xu, W. L., Wang, Q. H., et al., 2007. Petrogenesis of the Mesozoic Granite in Bengbu Uplift; Constraints from Zircon Hf Isotope. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 381-392 (in Chinese with English abstract).
- Yang, G. X., Li, Y. J., Si, G. H., et al., 2010. Trace Elements Geochemistry Feature and Tectonic Significance of the Beilekuduke Aluminous A-Type Granite in East

- Junggar. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 32(1): 34—39 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. X., Pan, G. T., He, W. H., et al., 2015. New Division of Tectonic-Strata Superregion in China. *Earth Science*, 40(2): 206—233 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L. C., Chen, Z. G., Zhou, X. H., et al., 2007. Characteristics of Deep Sources and Tectonic-Magmatic Evolution of the Early Cretaceous Volcanics in Genhe Area, Da-Hinggan Mountains: Constraints of Sr-Nd-Pb-Hf Isotopic Geochemistries. *Acta Petrologica Sinica*, 23(11): 2823—2835 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Jin, W. J., Li, C. D., et al., 2009. Yanshanian Large-Scale Magmatism and Lithosphere Thinning in Eastern China: Relation to Large Igneous Province. *Earth Science Frontiers*, 16(2): 21—51 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Ran, H., Li, C. D., 2012. A-Type Granite: What is the Essence? *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(4): 621—626 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, G. L., Yang, G. L., Wang, Z., 1989. Mesozoic Volcanic Rocks in Southern-Central Da Hinggan Mountains. Beijing Science and Technology Press, Beijing (in Chinese).
- Zhao, H. L., Deng, J. F., Chen, F. J., et al., 1998. Petrology of the Mesozoic Volcanic Rocks and the Basin Formation in the Northeast China. *Geoscience*, 12(1): 56—62 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Y., Yang, Z. Y., Ma, X. H., 1994. Geotectonic Transition from Paleasian System and Paleotethyan System to Paleo-Pacific Active Continental Margin in Eastern Asia. *Scientia Geologica Sinica*, 29(2): 105—119 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. H., Xiong, X. L., Wang, Q., et al., 2008. Some Aspects on Geochemistry of Nb and Ta. *Geochimica*, 37(4): 304—320 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y. D., 2005. Kinematics and Dynamics of the Mesozoic Orogeny and Late-Orogenic Extensional Collapse in the Sino-Mongolian Border Areas. *Science in China (Series D)*, 48(7): 849—862. doi:10.1360/03yd0552
- Zheng, Y. D., Davis, G. A., Wang, C., et al., 2000. Major Mesozoic Tectonic Events in the Yanshan Belt and the Plate Tectonic Setting. *Acta Geologica Sinica*, 74(4): 289—302 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y. F., Chen, R. X., Zhang, S. B., et al., 2007. Zircon Lu-Hf Isotope Study of Ultrahigh-Pressure Eclogite and Granitic Gneiss in the Dabie Orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 317—330 (in Chinese with English abstract).
- Zorin, Y. A., 1999. Geodynamics of the Western Part of the Mongolia-Okhotsk Collisional Belt, Trans-Baikal Region (Russia) and Mongolia. *Tectonophysics*, 306(1): 33—56. doi:10.1016/s0040-1951(99)00042-6

附中文参考文献

- 葛文春, 林强, 孙德有, 等, 1999. 大兴安岭中生代玄武岩的地球化学特征: 壳幔相互作用的证据. *岩石学报*, 15(3): 396—406.
- 侯可军, 李延河, 田有荣, 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术. *矿床地质*, 28(4): 481—492.
- 侯可军, 李延河, 邹天人, 等, 2007. LA-MC-ICP-MS 锆石 Hf 同位素的分析方法及地质应用. *岩石学报*, 23(10): 2595—2604.
- 旷红伟, 柳永清, 刘燕学, 等, 2013. 兴蒙造山区及邻区早白垩世盆地岩石地层格架与沉积古地理演化. *地质通报*, 32(7): 1063—1084.
- 李碧乐, 孙永刚, 陈广俊, 等, 2016. 小兴安岭东安金矿区细粒正长花岗岩 U-Pb 年龄、岩石地球化学、Hf 同位素组成及地质意义. *地球科学*, 41(1): 1—16.
- 李锦轶, 莫申国, 和政军, 等, 2004. 大兴安岭北段地壳左行走滑运动的时代及其对中国东北及邻区中生代以来地壳构造演化重建的制约. *地学前缘*, 11(3): 157—168.
- 李益龙, 周汉文, 钟增球, 等, 2009. 华北与西伯利亚板块的对接过程: 来自西拉木伦缝合带变形花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄证据. *地球科学*, 34(6): 931—938.
- 林强, 葛文春, 孙德有, 等, 1998. 中国东北地区中生代火山岩的大地构造意义. *地质科学*, 33(2): 129—138.
- 邵济安, 刘福田, 陈辉, 等, 2001. 大兴安岭—燕山晚中生代岩浆活动与俯冲作用关系. *地质学报*, 75(1): 56—63.
- 邵济安, 张履桥, 肖庆辉, 等, 2005. 中生代大兴安岭的隆起—一种可能的陆内造山机制. *岩石学报*, 21(3): 789—794.
- 苏玉平, 唐红峰, 2005. A 型花岗岩的微量元素地球化学. *矿物岩石地球化学通报*, 24(3): 245—251.
- 孙德有, 苟军, 任云生, 等, 2011. 满洲里南部玛尼吐组火山岩锆石 U-Pb 年龄与地球化学研究. *岩石学报*, 27(10): 3083—3094.
- 孙德有, 吴福元, 高山, 等, 2005. 吉林中部晚三叠世和早侏罗世两期铝质 A 型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约. *地学前缘*, 12(2): 263—275.
- 谭俊, 魏俊浩, 李水如, 等, 2008. 广西昆仑关 A 型花岗岩地球化学特征及构造意义. *地球科学*, 33(6): 743—754.
- 王晓霞, 王涛, Happala, I., 等, 2005. 秦岭环斑结构花岗岩中暗色包体的岩浆混合成因及岩石学意义——元素和 Nd, Sr 同位素地球化学证据. *岩石学报*, 21(3): 935—946.

王彦斌,韩娟,李建波,等,2010. 内蒙赤峰楼子店拆离断层带下盘变形花岗质岩石的时代、成因及其地质意义——锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素证据. 岩石矿物学杂志, 29(6): 763-778.

吴福元,李献华,杨进辉,等,2007a. 花岗岩成因研究的若干问题. 岩石学报, 23(6): 1217-1238.

吴福元,李献华,郑永飞,等,2007b. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用. 岩石学报, 23(2): 185-220.

许文良,王枫,裴福萍,等,2013. 中国东北中生代构造体制与区域成矿背景:来自中生代火山岩组合时空变化的制约. 岩石学报, 29(2): 339-353.

杨德彬,许文良,裴福萍,等,2009. 蚌埠隆起区古元古代钾长花岗岩的成因:岩石地球化学、锆石 U-Pb 年代学与 Hf 同位素的制约. 地球科学, 34(1): 148-164.

杨德彬,许文良,王清海,等,2007. 蚌埠隆起区中生代花岗岩的岩石成因:锆石 Hf 同位素的证据. 岩石学报, 23(2): 381-392.

杨高学,李永军,司国辉,等,2010. 东准噶尔贝勒库都克铝质 A 型花岗岩微量元素地球化学特征及地质意义. 地球科学与环境学报, 32(1): 34-39.

张克信,潘桂棠,何卫红,等,2015. 中国构造—地层大区划分新方案. 地球科学, 40(2): 206-233.

张连昌,陈志广,周新华,等,2007. 大兴安岭根河地区早白垩世火山岩深部源区与构造—岩浆演化: Sr-Nd-Pb-Hf 同位素地球化学制约. 岩石学报, 23(11): 2823-2835.

张旗,金惟俊,李承东,等,2009. 中国东部燕山期大规模岩浆活动与岩石圈减薄:与大火成岩省的关系. 地学前缘, 16(2): 21-51.

张旗,冉隰,李承东,2012. A 型花岗岩的实质是什么? 岩石矿物学杂志, 31(4): 621-626.

赵国龙,杨桂林,王忠,1989. 大兴安岭中南部中生代火山岩. 北京:北京科学技术出版社.

赵海玲,邓晋福,陈发景,等,1998. 中国东北地区中生代火山岩岩石学特征与盆地形成. 现代地质, 12(1): 56-62.

赵越,杨振宇,马醒华,1994. 东亚大地构造发展的重要转折. 地质科学, 29(2): 105-119.

赵振华,熊小林,王强,等,2008. 铌与钽的某些地球化学问题. 地球化学, 37(4): 304-320.

郑亚东, Davis, G. A., 王琮,等,2000. 燕山带中生代主要构造事件与板块构造背景问题. 地质学报, 74(4): 289-302.

郑永飞,陈仁旭,张少兵,等,2007. 大别山超高压榴辉岩和花岗片麻岩中锆石 Lu-Hf 同位素研究. 岩石学报, 23(2): 317-330.

《地球科学》校内编委会议顺利召开

12月12日,《地球科学》中、英文版校内编委及科学编辑召开座谈会. 殷鸿福院士等近30名编委和编辑就如何争取优质稿源、提高刊物质量、提升期刊国际影响力等议题进行了深入交流. 副校长、《地球科学》主编赖旭龙主持会议并讲话. 他指出虽然在全体编委和编辑的努力下,《地球科学》中、英文版在本年度取得了一些成绩,但存在问题较多,今后抓选题、抓优秀作者群是期刊发展的关键. 《地球科学》副主编王淑华向与会者介绍了期刊年度进展、新一届编委组成、期刊影响因子及优秀作者评选等情况.