大兴安岭北部诺敏河地区早石炭世 A 型花岗岩的 年代学、地球化学及 Hf 同位素研究

吴子杰^{1,2)},汪洋³⁾,崔培龙⁴⁾,邱隆伟¹⁾,王海鹏²⁾,仲米山²⁾

1) 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院,山东青岛,266580;

2) 辽宁省地质勘查院有限责任公司,辽宁大连,116100;

3) 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京,100083;

4) 辽宁省冶金地质勘查研究院有限责任公司,辽宁鞍山,114000

内容提要:大兴安岭北部诺敏河地区碱长花岗岩锆石呈自形一半自形短柱状一板状,具有结构清晰的振荡生 长环带和较高的 Th/U 比值(1.10~2.18),指示其为典型岩浆成因锆石。LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究显示岩石 形成于早石炭世杜内期(352.9±3.3 Ma)。岩石地球化学研究显示,岩石属于准铝质一弱过铝质高钾钙碱性岩 石,富硅(SiO₂=73.25%~77.01%)、富碱(Na₂O+K₂O=7.72%~9.48%)、富铁(Fe₂O₃=2.06%~2.97%,Fe₂O₃ +FeO=2.32%~3.33%),贫镁(MgO=0.08%~0.26%)。根据强烈亏损 Sr、Eu、Ba、Ti、P 等元素,REE 分布曲线 为右倾式海鸥型和明显的 Eu 负异常(δ Eu=0.26~0.31)的岩石地球化学特征,判断碱长花岗岩属于 A 型花岗岩。 锆石¹⁷⁶ Yb/¹⁷⁷ Hf 值为 0.03778~0.133612,¹⁷⁶ Lu/¹⁷⁷ Hf 值为 0.001095~0.004155,¹⁷⁶ Hf/¹⁷⁷ Hf 值为 0.282824~ 0.282863。对应的锆石 U-Pb 年龄计算出锆石 $\epsilon_{\rm Hf}(t)$ =8.9~10.6,一阶段 Hf 模式年龄 $t_{\rm DM2}$ =815~974 Ma,指示其源于新元古代源岩的部分熔融。与额尔古纳地块早石炭世 A 型花岗岩 的对比表明,在兴蒙造山带东北部古亚洲洋盆的闭合发生在早石炭世;结合内蒙古中部地区古亚洲洋盆闭合时代 为晚石炭世,表明古亚洲洋盆的闭合是东早西晚的"剪刀状"发展过程。

关键词:兴蒙造山带;古亚洲洋;A型花岗岩;早石炭世;诺敏河

A型花岗岩最早被定义为由碱性玄武质岩浆 演化形成的低氧逸度的碱性、贫水、非造山的花岗岩 (Loiselle et al., 1979),后被定义为铁质的碱性、贫 水、非造山、铝质的花岗岩(Bonin, 2007; Frost et al., 2001, 2002; Wang Yang et al., 2013; Tong Lihua et al., 2013)。由于其最初定义限定了 A型 花岗岩形成于非造山的张性环境,因而一些学者将 A型花岗岩作为造山作用结束的标志(Wu Fuyuan et al., 2011; Dong Jinlong et al., 2018)。但随着 A型花岗岩的不断研究,学者们开始对 A型花岗岩 的非造山环境提出质疑,有学者认为 A 型花岗岩侵 位时间可以与其他类型的花岗岩同时或更晚,认为 "非造山"本身就是矛盾的(King et al., 1997, 2001),甚至有学者认为 A 型花岗岩可形成于挤压 环境(Nyman et al., 1994)。虽然 A 型花岗岩的形 成构造背景存在争议,但 Eby(1990)归纳的与 A 型 花岗岩有关的构造环境类型得到了普遍的认同,即: ①洋岛、②大陆裂谷、③减薄地壳、④陆内环状杂岩 体、⑤后造山环境(Eby, 1990)。

中亚造山带是全球规模最大的显生宙增生造山带,曾发生大规模的地壳增生(Jahn et al., 2000; Hong Dawei et al., 2004;Bogatyrev et al., 2009)。 兴蒙造山带作为中亚造山带的重要组成部分,发育 了大量的晚古生代岩浆岩,前人对兴蒙造山带晚古

 引用本文:吴子杰,汪洋,崔培龙,邱隆伟,王海鹏,仲米山. 2020. 大兴安岭北部诺敏河地区早石炭世 A 型花岗岩的年代学、地球化学及 Hf 同位素研究. 地质学报,94(8):2200~2211, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2020033.
 Wu Zijie, Wang Yang, Cui Peilong, Qiu Longwei, Wang Haipeng, Zhong Mishan. 2020. The Early Carboniferous A-type granite in Nuominhe area, northern Da Hing'an Mountains: geochronology, geochemistry and Hf isotope studies. Acta Geologica Sinica, 94(8):2200~2211.

注:本文为中国地质调查局项目(编号 DD20160047-03)资助的成果。

收稿日期:2019-07-08;改回日期:2019-12-05;网络发表日期:2019-12-16;责任编委:吴才来;责任编辑:黄敏。

作者简介:吴子杰,男,1987年生,博士研究生,主要从事沉积学、油气地质学、岩石学研究工作。Email:midnight29@163.com。通讯作者:崔培龙,男,1985年生,博士,主要从事区域地质调查,矿床普查与勘探,前寒武纪地质与成矿研究工作。Email:cuipeilong@126.com。 汪洋,男,1969年生,博士,主要从事岩石学研究。Email:allen_thalassa@sina.com。

生代岩浆岩的岩石学、年代学、地球化学等开展了大 量研究(Chen et al., 2009; Eizenhöfer et al., 2014; Jahn et al., 2000; Wilde, 2015; Xiao Wenjiao et al., 2003, 2009; Zhou Jianbo et al., 2013; Tong Ying et al., 2015; Zhang Xiaohui et al., 2015),但 对于古亚洲洋盆的最终闭合时限仍有争议,概括起 来主要有中晚泥盆世、晚泥盆世—早石炭世、晚二叠 世、晚二叠世—早中三叠世等几个时代(Zhang Xiangxin et al., 2017; Shi Wenjie et al., 2018; Xu Wenliang et al., 2017; Shi Wenjie et al., 2018; Xu Wenliang et al., 2019)。一些学者将 A 型花岗岩 的出现作为造山作用的结束标志,进而根据 A 型花 岗岩的侵位年龄推测洋盆消亡的时间,认为古亚洲 洋盆闭合时间在晚石炭世(Wu Fuyuan et al., 2011; Dong Jinlong et al., 2018)。

大兴安岭北段属于兴蒙造山带的东段,是研究 兴蒙造山带构造演化和古亚洲洋闭合过程的重要地 区之一。位于大兴安岭北段的诺敏河地区分布大面 积的晚古生代花岗岩,但对其研究的程度较低,鲜有 报道。笔者在野外地质调查基础上,发现该地区出 露的早石炭世碱长花岗岩具有 A 型花岗岩特征。 本文通过对该 A 型花岗岩的岩石学、锆石 U-Pb 年 代学、地球化学、Hf 同位素特征进行研究,揭示其形 成时代,讨论岩浆源区特征和岩石成因,为兴蒙造山 带晚古生代构造演化提供资料,并为古亚洲洋最终 闭合时间提供有效约束。

1 区域地质概况

大兴安岭北段及邻区属于兴蒙造山带,位于西 伯利亚板块与华北板块之间,该地区晚古生代一早 中生代受控于古亚洲洋构造域的控制,中生代进入 太平洋构造域演化阶段(隋振民,2007),经历了多 期复杂的多地块拼合和造山作用(Xiao Wenjiiao et al.,2003,2009)。区域上由北向南可划分为额尔 古纳地块、兴安地块、松嫩地块和佳木斯地块四个构 造单元。其中额尔古纳地块与兴安地块、松嫩地块 与佳木斯地块拼合时间已被约束在古生代早期494 ~480Ma(Li Jinyi et al.,1999;Ge Wenchun et al.,2005),但兴安地块与松嫩地块的拼合时间仍 有争议。

研究区前中生代属兴蒙造山系(Ⅰ级)、大兴安 岭弧盆系(Ⅱ级),扎兰屯一多宝山古生代岛弧(Ⅲ 级)构造单元,北与海拉尔一呼玛弧后盆地相接。中 生代一新生代处于中国东部北段环太平洋大陆边缘 活动带,大兴安岭火山一岩浆岩带(Ⅰ级)、根河火 山一沉积盆地北段(II级)上,位于兴安地块的北部 靠近额尔古纳地块一侧。出露大面积的晚古生代及 早中生代花岗岩,岩体长轴总体呈北东展布。地层 出露零星,分别为兴华渡口群、中生代白垩系下统龙 江组、光华组以及新生代第四系晚更新统大黑沟组 和松散堆积。

2 岩石学特征

诺敏河碱长花岗岩主要为灰白色、粉色,中细粒 结构,块状构造,部分具文象结构。碱性长石含量 62%,粒径为0.8~6.5mm,它形或半自形,有的充 填于其它矿物颗粒之间,普遍泥化;石英含量30%, 粒径为0.3~2.0mm,不规则粒状,有的颗粒具毕母 纹和波状消光,部分石英和钾长石共结形成显微文 象结构;斜长石含量5%,粒径为0.5~2.5mm,半自 形,聚片双晶较发育,普遍绢云母化和钾化;黑云母 含量3%,一般粒径为0.5~2.5mm,片状,多数遭脱 铁作用,并有铁质析出。副矿物有锆石、磷灰石、金 红石及不透明矿物等。

3 分析方法

本次选用样品的锆石分选工作在河北省廊坊市 诚信地质服务有限公司完成。样品靶的制备和透射 光、反射光以及阴极发光(CL)照片的采集、锆石 U-Pb 同位素定年在武汉上谱分析科技有限责任公司 利用 LA-ICP-MS 分析完成。GeolasPro 激光剥蚀 系统由 COMPexPro 102 ArF 193 nm 准分子激光 器和 MicroLas 光学系统组成, ICP-MS 型号为 Agilent 7900。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩 气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通 过一个 T 型接头混合,激光剥蚀系统配置有信号平 滑装置。本次分析的激光束斑和频率分别为 32µm 和5Hz。U-Pb 同位素定年处理中采用锆石标准 91500 和玻璃标准物质 NIST610 作外标分别进行 同位素和微量元素分馏校正。每个时间分辨分析数 据包括大约 20~30 s 空白信号和 50 s 样品信号。 对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的 选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Pb 同位 素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSDATACAL10 完成。锆石样品的 U-Pb 年龄谐和图绘制和年龄加 权平均计算采用 Isoplot/Ex_ver3 完成。

在 LA-CP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析的基础 上,对样品进行了锆石微区 Hf 同位素分析测定。 本次锆石微区 Hf 同位素测定实验在武汉上谱分析



图 1 大兴安岭北部诺敏河地区地质简图(据 Wu Zijie et al.,2019) Fig. 1 The sketched geological map of the Nuominhe area, northern Da Hing'an Mountains (modified from Wu Zijie et al.,2019)



图 2 大兴安岭北部诺敏河地区碱长花岗岩野外露头照片(a)和显微照片(b) Fig. 2 The photos showing the outcrop (a) and the petrographic characters (b) of the alkali-feldspar granite in Nuominhe area, Northern Da Hing'an Mountains

Or一钾长石;Pl一斜长石;Q一石英

 $Or{-}K{-}feldspar{,}Pl{-}plagioclase{,}Q{-}quartz$

科技有限责任公司完成。实验过程中使用相干 193nm准分子激光剥蚀系统(GeoLasPro HD)与多 接收质谱 MC-ICP-MS(Neptune Plus) 联用进行 Lu-Hf 同位素分析。实验过程中采用高纯度氦气作 为剥蚀物质的载气,激光束斑直径为 44μ m,能量强 度为 8mJ/cm²,频率为 88Hz。

全岩主、微量元素分析在河北省区域地质矿产 调查研究所实验室完成,主量元素分析采用 X 射线 荧光光谱(XRF)玻璃熔片法,分析精度和准确度< 5%。微量元素分析采用电感耦合等离子质谱法 (ICP-MS),分析精度和准确度一般<10%。

4 分析结果

4.1 锆石 U-Pb 年龄测试结果

本文对研究区内碱长花岗岩样品 TW3352 进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析。CL 图像显示样品的锆石呈自形一半自形短柱状一板状,具有结构清晰的振荡生长环带和较高的 Th/U 比值(1.10~2.18),指示其为典型岩浆成因锆石。LA-ICP-MS 测试结果见表 1 和图 3。在锆石 U-Pb 谐和图上(图 3b),18 个有效数据点均落在谐和线上,指示锆石形成后 U-Pb 同位素体系处于封闭环境,谐和年龄为 352.9±1.4Ma(MSWD=0.91),加权平均年龄为 352.9±3.3Ma(MSWD=1.3)。该结果代表碱长花岗岩的结晶年龄,表明诺敏河岩体形成于早石炭世。

4.2 主量元素

诺敏河碱长花岗岩主量元素和微量元素分析结 果见表 2。从表 2 可以看出岩体富硅, SiO, 含量为 73.25%~77.01%;富碱,Na2O+K2O值为7.72% ~9.48%,相对富钾,Na₂O/K₂O值为0.73~0.98; 富铁、贫镁,Fe,O,为 2.06%~2.97%,Fe,O,+FeO =2.32%~3.33%, MgO 为 0.08%~0.26%; 钙、 铝含量低, CaO 为 0.03%~0.22%, Al₂ O₃ 为 10.6%~13.07%。TAS图解中样品全部落入花岗 岩范围内(图 4a); A/NK 值为 0.99~1.04, A/CNK 值为 0.96~1.03,在 CIPW 标准矿物计算中出现少量 的刚玉分子,表明岩石属于准铝质一弱过铝质(图 4b)。因此,诺敏河早石炭世碱长花岗岩属于准铝 质一弱过铝质高钾钙碱性岩石,富硅、铁、碱,贫镁、 钙,其主量元素特征与典型的 A 型花岗岩一致(Frost et al., 2001, 2002; Wang Yang et al., 2013; Wang Yang, 2008, 2009; Tong Lihua et al., 2013).

2203

4.3 微量元素和稀土元素

诺敏河碱长花岗岩的微量元素表现为大离子亲 石元素(LILE)富集 Rb、K、Pb,强烈亏损 Sr、Ba;高 场强元素(HFSE)富集 Hf、Zr,强烈亏损 Ti、P;富集 不相容元素 Th、U。在原始地幔标准化蛛网图上(图



图 3 大兴安岭北部诺敏河碱长花岗岩锆石 CL 图像(a)及锆石 U-Pb 年龄谐和图(b, c) Fig. 3 The cathodoluminescence images(a) and the U-Pb concordia diagrams(b, c) for zircons of the alkali-feldspar granite in Nuominhe area, northern Da Hing'an Mountains

表 1 大兴安岭北部诺敏河碱长花岗岩锆石 U-Pb同位素分析数据

Table 1 The zircon U-Pb data of the alkali-feldspar granite in Nuominhe area, northern Da Hing'an Mountains

点号	$\omega(B)/(\times 10^{-6})$			同位素比值						年龄(Ma)							
T W 3352	Th	U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ		
1	196	89.6	2.18	0.0543	0.0037	0.4152	0.0252	0.0559	0.0008	383	149	353	18.1	351	5.2		
2	49.9	43	1.16	0.0549	0.0064	0.4245	0.0394	0.0585	0.0013	409	264	359	28.1	366	7.6		
4	114	54.9	2.08	0.0539	0.0051	0.4179	0.0335	0.0568	0.0011	369	213	355	24	356	6.9		
9	97.7	58.6	1.67	0.0548	0.0043	0.4112	0.0281	0.0556	0.0011	406	176	350	20.2	349	6.8		
10	43.9	39.8	1.11	0.0552	0.0054	0.4167	0.0339	0.0561	0.0014	420	222	354	24.3	352	8.7		
11	83.3	54.9	1.52	0.0559	0.0051	0.4131	0.0327	0.0548	0.001	456	202	351	23.5	344	6		
13	195	88.3	2.21	0.054	0.003	0.4072	0.0218	0.0553	0.0009	369	131	347	15.7	347	5.3		
15	60.8	40	1.52	0.0528	0.0044	0.4298	0.0365	0.059	0.0012	317	191	363	25.9	370	7.1		
17	93.2	79.9	1.17	0.0564	0.0038	0.4283	0.0239	0.0568	0.0008	478	145	362	17	356	4.9		
18	41.2	30.5	1.35	0.056	0.0055	0.4157	0.0312	0.0563	0.0012	454	220	353	22.4	353	7.2		
21	67.6	48	1.41	0.0549	0.0041	0.4213	0.0275	0.0561	0.001	409	170	357	19.7	352	6.3		
22	116	83.3	1.39	0.0567	0.0032	0.4342	0.022	0.0565	0.0009	480	132	366	15.6	354	5.2		
23	234	154	1.52	0.0558	0.0029	0.4277	0.02	0.056	0.0006	443	115	362	14.2	351	3.9		
24	119	59	2.01	0.0561	0.0042	0.4068	0.0262	0.0544	0.001	457	165	347	18.9	342	6.2		
29	48.9	44.5	1.1	0.0567	0.0054	0.4431	0.0394	0.0584	0.0012	480	211	372	27.8	366	7		
30	153	86.6	1.76	0.0537	0.0034	0.4121	0.0242	0.0561	0.0009	367	143	350	17.4	352	5.7		
32	43.2	28.3	1.52	0.0635	0.0086	0.4372	0.0401	0.0576	0.0015	728	291	368	28.3	361	9		
33	98 7	75 6	1 31	0 0556	0.0034	0 4256	0.021	0 0558	0 0008	135	132	360	1/ 9	350	5		





Fig. 4 The granites plotted in the TAS diagram (a) (after Le Maitre, 2002; Irvine et al., 1971), and A/NK-A/CNK diagram(b) (after Maniar et al., 1989)of the alkali-feldspar granite in Nuominhe area, northern Da Hing'an Mountains

5b),样品的微量元素分布曲线较为相似,总体表现 为向右倾斜的形式,存在明显的 Ba、Sr、Ti 和 P 负 异常。Ba、Sr 的亏损可能由于岩浆起源于斜长石稳 定区导致。Ti 亏损可能由于源区残留金红石、榍石 和钛铁矿,P 亏损可能源区磷灰石残留有关。

稀土元素表现为 LREE 值在 $213 \times 10^{-6} \sim 281.35 \times 10^{-6}$ 之间,HREE 为 $41.2 \times 10^{-6} \sim 50.6 \times 10^{-6}$,LREE/HREE 值为 $4.92 \sim 6.28$,(La/Yb)_N为 $3.25 \sim 5.65$,显示为轻稀土富集; δ Eu 为 $0.26 \sim 0.31$,显示为 Eu 负异常,暗示岩石源区斜长石残 留。在球粒陨石标准化配分图解中,REE 分布曲线

表现为右倾式海鸥型,中等亏损 Eu。其中 NM05 样品具有明显的 MREE(中稀土元素)亏损现象, 可能与铁铁矿的分离结晶有关。

4.4 Hf 同位素

在锆石 U-Pb 同位素定年基础上,利用 LA-MC-ICP-MS 对 U-Pb 定年的 18 颗锆石进行了 18 个点的 Lu-Hf 同位素分析,结果见表 3。样品 ¹⁷⁶Yb/¹⁷⁷Hf 值为 0.03778~0.133612,¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf 值为 0.001095~0.004155, ¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf 值为 0.282824~0.282863。以对应的锆石 U-Pb 年龄计 算出锆石ε_{Hf}(t)=8.9~10.6。一阶段 Hf 模式年龄



图 5 大兴安岭北部诺敏河碱长花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分图(a)和原始地幔标准化蛛网图(b) (标准化数据引自 Sun et al., 1989)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle nomalized trace element patterns(b) for alkali-feldspar granite (normalized values from Sun et al., 1989) of the alkali-feldspar granite in Nuominhe area, northern Da Hing'an Mountains

表 2 大兴安岭北部诺敏河碱长花岗岩主量元素(%)、微量和稀土元素(×10⁻⁻⁻)含量

Table 2 Major element (%) and trace element ($\times 10^{-6}$) compositions of the alkali-feldspar granite in Nuominhe area,

样晶号	NM01	NM02	DB305-1	DC022-1	D3352 TW1-1	样晶号	NM01	TM02	DB305-1	DC022-1	D3352 TW1-1
SiO_2	74.56	74.12	77.01	73.25	74.46	Р	205.13	231.32	87.29	218.23	100.39
Al_2O_3	12.77	12.91	10.6	13.07	12.33	Zr	610	576	1570	850	1071
${\rm TiO}_2$	0.36	0.42	0.26	0.37	0.37	Hf	16.9	14.4	34	18.1	24.9
Fe_2O_3	2.07	2.06	2.97	2.37	2.29	Ti	2158.2	2517.9	1558.7	2218.15	2218.15
FeO	0.25	0.42	0.36	0.37	0.32	Ga	25.3	25.5	25.7	25.8	28.8
CaO	0.14	0.16	0.03	0.08	0.22	Υ	58.5	66.5	73.4	76.1	67.9
MgO	0.16	0.25	0.08	0.26	0.18	La	53.5	56.6	49.1	66.3	46.6
K_2O	4.81	4.89	4.46	4.8	4.88	Ce	117	127	116	147.5	87.8
Na_2O	4.48	4.35	3.26	4.68	4.33	Pr	15.3	17	9.59	18.3	12.6
MnO	0.098	0.11	0.16	0.12	0.14	Nd	59.3	65.6	31.7	69.9	46.8
P_2O_5	0.047	0.053	0.02	0.05	0.023	Sm	12.1	13.9	6.07	14.18	9.71
LOL	0.16	0.16	0.40	0.30	0.33	Eu	1.12	1.25	0.54	1.41	0.87
总量	99.91	99.9	99.61	99.72	99.87	Gd	10.5	11.7	6.51	13.45	8.63
$Na_2O\!+\!K_2O$	9.29	9.24	7.72	9.48	9.21	Tb	1.88	2.10	1.25	2.12	1.68
Na_2O/K_2O	0.93	0.89	0.73	0.98	0.89	Dy	11.8	12.75	9.51	13.4	11.3
A/CNK	1	1.01	1.03	1	0.96	Ho	2.19	2.32	2.37	2.76	2.25
A/NK	1.02	1.04	1.04	1.01	0.99	Er	6.72	6.92	8.18	8.04	7.12
σ	2.73	2.74	1.75	2.97	2.7	Tm	1.26	1.25	1.44	1.22	1.41
Rb	80	78.2	121.5	86.7	126	Yb	6.94	6.75	10.2	8.39	7.86
Ba	107	89.9	73	90	74.5	Lu	1.12	1.05	1.74	1.22	1.28
Th	8.05	8.22	17.7	8.96	11.7	LREE	258.32	281.35	213	317.59	204.38
U	2.07	1.88	4.23	2.23	2.58	HREE	42.41	44.84	41.2	50.6	41.53
Nb	31.8	31.8	53.1	32.8	52.2	LREE/HREE	6.09	6.27	5.17	6.28	4.92
Ta	2.07	1.87	3.1	2	2.48	(La/Yb) _N	5.2	5.65	3.25	5.33	4
Κ	39929	40593	37024	39846	40510	ðEu	0.3	0.29	0.26	0.31	0.28
Pb	20	27.6	48.2	14.6	27.1	Rb/Sr	4.57	3.91	10.13	4.13	9.47
Sr	17.5	20	12	21	13.3	Ba/La	2.00	1.59	1.49	1.36	1.60

northern Da Hing'an Mountains

为 $t_{DM1} = 560 \sim 658$ Ma,两阶段 Hf 模式年龄 $t_{DM2} = 815 \sim 974$ Ma。

5 讨论

5.1 岩石成因类型

诺敏河碱长花岗岩具有显著的富铁、贫镁、富

碱、相对富钾的特点,在SiO₂-FeO*/(FeO*+ MgO)图解上,样品全部落在铁质花岗岩区域(图 6a)。在SiO₂-MALI图解中上,样品多数落在碱钙 性区域(图 6b),且在两个图中样品均在A型花岗岩 区域。同时岩石富硅、铁、碱,贫镁、钙,强烈亏损 Sr、Eu、Ba、Ti、P等元素,REE分布曲线为右倾式海

表 3 大兴岭北部诺敏河碱长花岗岩锆石 Hf 同位素分析结果

Table 3 The Hf isotope ratios of the zircons of the alkali-feldspar granite in Nuominhe area, northern Da Hing'an Mountains

点号	年龄	¹⁷⁶ Yb/	1	¹⁷⁶ Lu/	1σ	¹⁷⁶ Hf/	1σ	$^{176}{ m Hf}/$	$\varepsilon_{ m Hf}(t)$	$t_{\rm DM1}$	$t_{ m DM2}$	$f_{ m Lu/Hf}$
T W 3352	(Ma)	$^{177}\mathrm{Hf}$	10	$^{177}\mathrm{Hf}$		$^{177}\mathrm{Hf}$		$^{177}\mathrm{Hf_{i}}$		(Ma)	(Ma)	
1	351	0.090022	0.000645	0.002836	0.000034	0.282863	0.000018	0.282845	10.3	580	843	-0.91
4	356	0.037780	0.000595	0.001095	0.000020	0.282859	0.000009	0.282851	10.6	560	815	-0.97
9	349	0.099587	0.002018	0.003238	0.000089	0.282847	0.000017	0.282826	9.6	611	906	-0.90
10	352	0.061130	0.000606	0.001995	0.000025	0.282851	0.000010	0.282838	10.1	584	863	-0.94
13	347	0.074363	0.001701	0.002282	0.000053	0.282847	0.000009	0.282832	9.8	595	888	-0.93
18	353	0.091714	0.000981	0.002905	0.000028	0.282857	0.000010	0.282838	10.1	590	861	-0.91
30	352	0.085897	0.002366	0.002696	0.000065	0.282831	0.000011	0.282813	9.2	626	943	-0.92
2	366	0.039370	0.000699	0.001260	0.000020	0.282837	0.000009	0.282828	10.0	593	875	-0.96
15	370	0.101524	0.002742	0.003055	0.000076	0.282824	0.000010	0.282803	9.2	643	952	-0.91
17	356	0.085491	0.002217	0.002707	0.000080	0.282852	0.000012	0.282834	10.0	594	870	-0.92
21	352	0.076911	0.000902	0.002471	0.000031	0.282837	0.000011	0.282821	9.5	613	918	-0.93
24	342	0.082341	0.001041	0.002515	0.000028	0.282838	0.000010	0.282822	9.3	612	927	-0.92
29	366	0.133612	0.001582	0.004073	0.000043	0.282826	0.000011	0.282798	9.0	658	972	-0.88
32	361	0.132832	0.001715	0.004155	0.000047	0.282830	0.000010	0.282802	9.0	654	966	-0.87
11	344	0.066544	0.000458	0.002191	0.000016	0.282840	0.000009	0.282826	9.5	603	912	-0.93
23	351	0.118557	0.003069	0.003816	0.000118	0.282843	0.000011	0.282818	9.4	627	927	-0.89
33	350	0.063664	0.000986	0.002087	0.000022	0.282831	0.000010	0.282817	9.3	615	932	-0.94
22	354	0.130945	0.003545	0.004044	0.000093	0.282829	0.000011	0.282803	8.9	652	974	-0.88



图 6 大兴安岭北部诺敏河碱长花岗岩(a)SiO₂-FeO^{*}/(FeO^{*}+MgO)图解和(b)SiO₂-MALI图解(据 Frost et al., 2001) Fig. 6 The plotted in the SiO₂-FeO^{*}/(FeO^{*}+MgO) diagram (a), and SiO₂-MALI diagram(b) (after Frost et al., 2001) for the alkali-feldspar granite in Nuominhe area, northern Da Hing'an Mountains

鸥型和明显的 Eu 负异常,这些特点与典型的 A 型 花岗 岩特征一致(Whalen et al., 1987; Bonin, 2007; Tong Lihua et al., 2013)。在 A 型花岗岩判 别图解中,样品全部落入 A 型花岗岩区域(图 7),由 于高分异的其他类型花岗岩的某些地球化学特征与 A 型花岗岩类似,Whalen 等(1987)和 Eby(1990)提 出 A 型花岗岩总是比其他类型花岗岩有更高的 Zr +Nb+Ce+Y 含量($>350 \times 10^{-6}$),进而区分 A 型 花岗岩和其他类型的高分异花岗岩。本次测试样品 的 Zr+Nb+Ce+Y 含量为 801.3×10⁻⁶~1812.5 ×10⁻⁶,远大于 350×10⁻⁶,证明其为 A 型花岗岩。

5.2 岩浆源区及构造背景

诺敏河碱长花岗岩以高 SiO₂(73.25%~ 77.01%),低 MgO(0.08%~0.26%),低 Mg[#] (0.05~0.17)为特征,表明岩石主要来源于壳源。 岩石具有高的 $\epsilon_{\rm Hf}(t)$ 值(8.9~10.6)和较年轻的平 均地壳两阶段模式年龄($t_{\rm DM2}$ =815~974 Ma)(表 3 和图 8),其锆石 Hf 同位素特征与内蒙古中部地区 兴蒙造山带石炭纪—早二叠世碱性花岗岩相近 (Tong Ying et al., 2015; Zhang Xiaohui et al., 2015; Wang Shuqing et al., 2017),表明诺敏河早 石炭世碱长花岗岩来源于新元古代源岩的部分









熔融。

Eby(1990)根据地球化学成分将 A 型花岗岩类

分为 A₁型和 A₂型 2 个亚类,并认为 A₁型是洋岛型 玄武质岩浆的分异产物,A₂型的源岩是大陆地壳或 底侵的镁铁质地壳。A₁型花岗岩往往产于非造山 的板内裂谷环境,A₂型花岗岩产于于造山作用晚期 (或造山后)相对稳定的拉张环境。在 Nb-Y-Ce 图 解(图 9a)和 Nb-Y-3×Ga 图解(图 9b)中,样品均落 入 A₂ 区域。在构造花岗岩环境判别图解中(图 10),样品全部落在板内花岗岩区域。表明诺敏河碱 长花岗岩形成于后碰撞环境(Eby, 1992)。

5.3 大地构造意义

岩石地球化学特征表明诺敏河碱长花岗岩属于 典型的后碰撞环境 A_2 型花岗岩类。本文的测年结 果显示,诺敏河碱长花岗岩的成岩时代为 352.9 ± 3.3 Ma,属于早石炭世杜内期(Cohen et al., 2013)。额尔古纳地块也发育有早石炭世(360 ± 4 Ma)的双峰式岩浆活动,其中的正长花岗岩显示 A 型花岗岩的地球化学特征(Gou Jun et al., 2013)。



图 9 大兴安岭北部诺敏河碱长花岗岩的 A₁ 型和 A₂ 型花岗岩判别图解(据 Eby, 1992)

Fig. 9 The plotted in the A1 and A2 granite discrimination diagrams for the alkali-feldspar granite in Nuominhe area, northern Da Hing'an Mountains (after Eby,1992)





这些证据均表明大兴安岭北部地区古亚洲洋在早石 炭世已经闭合。大量的研究表明,内蒙古中部古亚 洲洋在二叠纪前最终闭合。位于内蒙古中部中蒙交 界地区过碱质 A 型花岗岩的侵位时代为晚石炭世 (301~312 Ma),指示 312 Ma 以前古亚洲洋在内蒙 古中部地区已经闭合(Wang Shuqing et al., 2017; Shi Wenjie et al., 2019)。任纪舜先生指出,蒙古— 兴安带在石炭纪之前呈现向西开口的喇叭口形,赛 音山达一鄂伦春洋盆封闭于早石炭世维宪期(347 Ma)之前,兴蒙带的闭合由东向西逐步进行(即:地 槽迁移),地块之间旋转聚合(Ren Jishun et al., 1990)。诺敏河早石炭世 A 型花岗岩以及 Gou Jun et al. (2013)报道的满洲里地区早石炭世 A 型花岗 岩指示兴蒙造山带东部古亚洲洋的闭合时代早于西 部的蒙古国南部一内蒙古中部地区。 大兴安岭北部和额尔古纳地区早石炭世之后的 岩浆活动是古亚洲洋盆闭合之后,额尔古纳一兴安 地块与松嫩地块之间发生碰撞时的产物(Gou Jun et al., 2013; Xu Wenliang et al., 2019)。内蒙古 中部地区稍后于晚石炭世一早二叠世 A 型花岗岩 的钙碱性花岗岩则是区域残留的弧后盆地的俯冲消 减作用所致(Shi Wenjie et al., 2019)。任纪舜先生 指出兴蒙造山带经历了复杂的多旋回造山过程,洋 盆的闭合并不代表造山事件的结束,古亚洲洋盆消 失之后西伯利亚板块和华北板块之间的地块还经历 了印支期和燕山期的陆块碰撞、逆掩一叠覆作用 (Ren Jishun et al., 1990)。Collins et al. (2019)对 澳大利亚东部 Tasman 造山系显生宙以来花岗质岩 浆活动的系统总结表明,俯冲板片的多期次后撤与 前进导致增生造山带内部 S、I、A 型花岗质岩浆活

2209

动的重复发生。兴蒙造山带作为典型的增生型造山带(Xiao Wenjiao et al., 2019),其岩浆活动也呈现 多旋回发育的特征。

6 结论

大兴安岭北部诺敏河地区发育早石炭世碱长花 岗岩,锆石 U-Pb 年龄 352.9 ± 3.3 Ma,时代属于 早石炭世杜内期。

诺敏河碱长花岗岩的岩石地球化学特征显示其 属于典型的 A2 型花岗岩,亏损的锆石 Hf 同位素特 征指示其源于新元古代源岩的部分熔融。

兴安地块早石炭世诺敏河 A 型花岗岩以及额 尔古纳地块早石炭世 A 型花岗岩的发育表明,在兴 蒙造山带东北部古亚洲洋盆的闭合发生在早石炭 世。前人报道的内蒙古中部地区古亚洲洋盆闭合时 代为晚石炭世,这表明古亚洲洋盆的闭合是东早西 晚的"剪刀状"发展过程。

致谢:本文为中国地质调查局项目(编号 DD20160047-03)的部分研究成果,参加项目野外工 作的人员有吕凤玉、周洋洋、李鹏博、孙庆龙、张国 仁、李显东、王烜等,匿名审稿人提出了富有建设性 的意见,在此谨表谢忱!

References

- Bogatyrev B A, Zhukov V V, Tsekhovsky Yu G. 2009. Phanerozic bauxite epochs. Geology of Ore Deposits, 51(6): 456~466.
- Bonin B. 2007. A-type granites and related rocks: evolution of a concept, problems and prospects. Lithos, 97(1): 1~29.
- Chen B, Jahn BM, Tian W. 2009. Evolution of the Solonkersuturezone: 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.
- Cohen K M, Finney S C, Gibbard P L, Fan J X. 2013. The ICS International chronostratigraphic chart. Episodes, 36: 199 ~204.
- Collins W J, Huang H Q, Bowden P, Kemp A I S. 2019. Repeated S-I-A-type granite trilogy in the Lachlan Orogen, and geochemical contrasts with A-type granites in Nigeria: Implications for petrogenesis and tectonic discrimination. Geological Society, London, Special Publications, 491, doi: 10.1144/SP491-2018-159.
- Dong Jinlong, Bai Zhida, Xu Debing, et al. 2018. Tectonic nature and geological significance for two types of Neoproterozoic and Late Paleozoic rock assemblages in Yakeshi region, Great Hinggan Range. Acta PetrologicaSinica, 34(6): 1758~1774(in Chinese with English abstract)
- Eby G N. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. Lithos, 26(1): $115{\sim}134$.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. Geology, 20(7): 641 ~644.
- Eizenhöfer P R, Zhao G, Zhang J, et al. 2014. Final closure of the Paleo-asianoceanalong the Solonkersuturezone: Constraints

from geochronological and geochemical data of Permian volcanic and sedimentary rocks. Tectonics, 33(4): $441 \sim 463$.

- Frost B R, Barnes C G, Collins W J, Arculus R J, Ellis D J, Frost C D. 2001. A Geochemical Classification for Granitic Rocks. Journal of Petrology, 42(11), 2033~2048.
- Frost C D, Frost B R, Bell J M, Chamberlain K R. 2002. The relationship between A-type granites and residual magmas from anorthosite: Evidence from the northern Sherman batholith, Laramie Mountains, Wyoming, USA. Precambrian Research, 119(1):45~71.
- Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Zhou Changyong, A A Abdel Rahman. 2005. Emplacement age of Tahe Granite and its constraints on the tectonic nature of the Erguna block in the northern part of the Da Hinggan Range. Chinese Science Bulletin, 50(12): 1239 \sim 1247(in Chinese with English abstract)
- Gou Jun, Sun Deyou, Ren Yunsheng, Liu Yongjiang, Zhang Shuyi, Fu Changliang, Wang Tianhao, Wu Pengfei, Liu Xiaoming. 2013. Petrogenesis and geodynamic setting of Neoproterozoic and Late Paleozoic magmatism in the Manzhouli-Erguna area of Inner Mongolia, China: Geochronological, geochemical and Hf isotopic evidence. Journal of Asian Earth Sciences, 67-68: 114 ~137.
- Hong Dawei, Zhang Jisheng, Wang Tao, Wang Shiguang, XieXilin. 2004. Continental crustal growth and the supercontinentalcycle: Evidence from the Central Asian orogenic belt. Journal of Asian Earth Ssciences, 23(5): 799 ~813.
- Irvine T N, Baragar W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common rocks. Canadian Journal of Earth Science, 8: 127~162.
- Jahn B M, Wu F Y, Chen B. 2000. Massive granitoid generation in Central Asia: Nd isotopic evidence and implication for continental growth in the Phanerozoic. Episodes, 23(2): 82 ~92.
- King P L, White A J R, Chappell B W, Allen C M. 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia. Journal of Petrology, 38(3): 371~391.
- King P L, Chappell B W, Allen C M, White A J R. 2001. Are A-type granites the high-temperature felsic granites? Evidence from fractionated granites of the Wangrahsuite. Australian Journal of Earth Sciences, 48(4): 501~514.
- Le Maitre R W. 2002. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms (2nd Edition). Cambridge: Cambridge University Press,1~236.
- Li Jinyi, Niu Baogui, Song Biao, Xu Wenxi, Zhang Yuhong, Zhao Ziran. 1999. Crustaol formation and Evolution of Northern Changbai Moutains, Northeast China. Beijing: Geological Publishing House, 1~137
- Loiselle M C, Wones D R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. Geological Societyof America Abstracts with Programs, 1979, 11(3): 468.
- Maniar P D, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geol Soc Am Bull, 101: 635~643.
- Nyman M W, Karlstrom K E, Kirby E, Graubard C M. 1994. Mesoproterozoic contractional orogeny in western North America: Evidence from ca. 1.4 Ga plutons. Geology, 22: 901 ~904.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25, 956~983.
- Ren Jishun, Chen Tingyu, Niu Baogui, Liu Zhigang, Liu Fengren. 1990. Tectonic Evolution and Mineralization of Continental Lithosphere in Eastern China and Adjacent Areas. Beijing: Geological Publishing House, 1~205.
- Shi Wenjie, Zhao Xu, Wei Junhao. 2018. Geochemical characteristics of A-type granites in southern Xingmeng Orogen and constraints on the evolution of the Paleo-Asian Ocean. Geotectonica et Metallogenia, 2018, 1~22. (in Chinese with

English abstract) doi:10.16539/j.ddgzyckx.2019.03.014

- Sui Zhenmin. 2007. Zircon U-Pb ages, petrogenesis and crustal evolution of the granites in northeastern part of the Great Xing' an Range. Changchun: Jilin University, $1 \sim 163$. (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 of London Special Publications, 42, 313~345.
- Tong Lihua, Wang Yang. 2013. Ferroan Granitoids: Definition, Classification and Origination. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochimistry, 32(3): 370~378. (in Chinese with English abstract)
- Tong Ying, Jahn B M, Wang Tao, Hong Dawei, Smith E I, Sun Min, Gao Jianfeng, Yang Qidi, Huang Wei. 2015. Permianalkaline granites in the Erenhot-Hegenshanbelt, northern Inner Mongolia, China: Model of generation, time of emplacement and regional tectonic significance. Journal of Asian Earth Sciences, 97: 320~336.
- Wang Shuqing, Hu Xiaojia, Zhao Hualei, Xin Houtian, Yang Zeli, Liu Wengang, He Li. 2017. Geochronology and geochimistry of Late Carboniferous Jinggesitai Alkaline granites, Inner Monggolia: Petrogenesis and implications for tectoninc evolution. Acta Geologica Sinica, 91(7): 1467 ~ 1482. (in Chinese with English abstract)
- Wang Yang. 2008. Petrogenesis of the Jurassic aluminous A-type granites in the Nanling are, South China and its constraint on paleo-geotherm. Geotectonica et Metallogenia,(3): 365~381. (in Chinese with English abstract)
- Wang Yang. 2009. Geochimistry of the Baicha A-type granite in Beijing Municipality: Petrogenetic and tectonic implications. Acta Petrologica Sinica, 25 (1): 13 ~ 24. (in Chinese with English abstract)
- Wang Yang, Jiao Yongling, Tong Lihua, Yao Yao. 2013. The essence of A-type granitoids: A discussion on the opinions held by Prof. Zhang Qi and some other researchers. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochimistry, 32(2): 124~130. (in Chinese with English abstract)
- Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination, and petrogenesis. Contributionsto Mineralogy and Petrology, 95: 407~419.
- Wilde S A. 2015. Final amalgamation of the Central Asian Orogenic Belt in NE China: Paleo-asianoceanclosure versus Paleo-pacific plate subduction—a review of the evidence. Tectonophysics, 662: 345~362.
- Wu Fuyuan, Sun Deyou, Ge Wenchun, Zhang Yanbin, Grant M L, Wilde S A, Jahn B. 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China. Journal of Asian Earth Sciences, 41(1): 1~30.
- Wu Zijie, Qiu Longwei, Wang Haipeng, Zhong Mishan, Cui Peilong. 2019. New zircon U-Pb ages of the Xinghuadukou Group, Xing'an block and its geological implications, China Geology, 2(3):391~393.
- Xiao Wenjiao, Windley B F, Hao Jie, Zhai Mingguo. 2003. Accretion leading to collision and the Permian Solonkersuture, Inner Mongolia, China: Termination of the Central Asian orogenic belt. Tectonics, 22(6): 1069.
- Xiao Wenjiao, Windley B, Yuan Chao, Sun Mengru, Han Chunming, Lin Shoufa, Chen Hui, Yan Q R, Liu, D Y, Qin K Z, Li J L, Sun Shilu. 2009. Paleozoic multiple subductionaccretion processes of the southern Altaids. American Journal of Science, 309(3): 221~270.

Xiao Wenjiao, Li Jiliang , Song Dongfang , Han Chunming , Wan

Bo, Zhang Jien, Ao Songjian, Zhang Zhiyong. 2019. Structural analyses and spatio-Temporal constraints of accretionary Orogens. Earth Science, 44(5): $1661 \sim 1687$. (in Chinese with English abstract).

- Xu Wenliang, Sun Chenyang, Tang Jie, Luan Jinpeng, Wang Feng.
 2019. Basement nature and tectonic evolution of the Xing'an-Mongolian Orogenic Belt. Earth Science, 44(5): 1620~1646.
 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xiaohui, Yuan Lingling, Xue Fuhong, Yan Xin, Mao Qian. 2015. Early Permian A-type granites from central InnerMongolia, North China: Magmatic tracer of postcollisionaltectonics and oceanic crustal recycling. Gondwana Research, 28: 311~327.
- Zhang Xiangxin, Wei Ruihua, Gao Yongfeng, Xu Shengchuan, Lei Shihe. 2017. Zircon U-Pb geochronology, gechimistry and petrogenesis of the Permian A-type granite in the Honggeer area, central Inner Mongolia. Geochimica, 45(6): 511~527. (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jianbo, Wilde S A. 2013. The crustal accretion history and tectonic evolution of the NE China segment of the Central Asian orogenic belt. Gondwana Research, 23(4): 1365~1377.

参考文献

- 董金龙,白志达,徐德兵,罗志波. 2018. 大兴安岭牙克石地区新元 古代与晚古生代两类岩石组合的构造属性及其地质意义. 岩石 学报,34(6):1758~1774.
- 葛文春,吴福元,周长勇, Rahman A A. 2005. 大兴安岭北部塔河花 岗岩体的时代及对额尔古纳地块构造归属的制约. 科学通报, 50(12): 1239~1247.
- 李锦轶,牛宝贵,宋彪,徐文喜,张雨红,赵子然.1999.长白山北段地 壳的形成与演化.北京:地质出版社,1~137.
- 任纪舜,陈廷愚,牛宝贵,刘志刚,刘凤仁,1990.中国东部及邻区 大陸岩石圈的构造演化与成矿.北京:科学出版社,1~205.
- 石文杰,赵旭,魏俊浩.2018.兴蒙造山带南段白音图嘎地区 A 型花 岗岩地球化学特征及其对古亚洲洋演化的制约.大地构造与成 矿学,优先出版:001-22. doi: 10. 16539/j. ddgzyckx. 2019. 03.014
- 隋振民. 2007. 大兴安岭东北部花岗岩类锆石 U-Pb 年龄、岩石成因 及地壳演化. 长春:吉林大学,1~163.
- 全立华,汪洋. 2013. 铁质花岗岩:定义、分类及成因.矿物岩石地 球化学通报,32(3):370~378.
- 汪洋. 2008. 再论南岭侏罗纪"铝质"A 型花岗岩的成因及其对古地 温线的制约. 大地构造与成矿学,(3):365~381.
- 汪洋. 2009. 北京白查 A 型花岗岩的地球化学特征及其成因与构造 指示意义. 岩石学报, 25(1): 13~24.
- 汪洋,焦永玲,全立华,姚瑶.2013. 再论 A 型花岗岩的实质——与张 旗先生等商榷. 岩石矿物学杂志,32(2):124~130.
- 王树庆,胡晓佳,赵华雷,辛后田,杨泽黎,刘文刚,何丽. 2017. 内蒙古京格斯台晚石炭世碱性花岗岩年代学及地球化学特征——岩石成因及对构造演化的约束.地质学报,91(7):1467~1482.
- 肖文交,李继亮,宋东方,韩春明,万博,张继恩,敖松坚,张志勇. 2019. 增生型造山带结构解析与时空制约. 地球科学,44(5): 1661~1687.
- 许文良,孙晨阳,唐杰,栾金鹏,王枫. 2019. 兴蒙造山带的基底属 性与构造演化过程. 地球科学,44(5):1620~1646.
- 张祥信,魏瑞华,高永丰,许圣传,雷世和. 2017.内蒙古中部红格尔 地区二叠纪 A 型花岗岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学及岩石成 因.地球化学,45(6):511~527.

第8期

The Early Carboniferous A-type granite in Nuominhe area, northern Da Hing'an Mountains: geochronology, geochemistry and Hf isotope studies

WU Zijie^{1,2)}, WANG Yang³⁾, CUI Peilong⁴⁾, QIU Longwei¹⁾, WANG Haipeng²⁾, ZHONG Mishan²⁾

1) School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong, 266580;

2) Liaoning Provincial Institute of Geological Exploration Co., Ltd, Dalian, Liaoning, 116100;

3) School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083;

4) Liaoning Metallurgical Geological Exploration Research Institute Co., Ltd, Anshan, Liaoning, 114038

* Corresponding author:cuipeilong@126.com; allen_thalassa@sina.com

Abstract

The zircons of alkali-feldspar granite in Nuominhe area, Northern Da Hing'an Mountains are selfshaped—semi-self-shaped short column—plate-like, with a well-structured oscillation growth zone and a high Th/U ratio (1. 10 \sim 2. 18). It is a typical magma-forming zircon. The LA-ICP-MS U-Pb geochronology study showed that the rock was formed in the Early Carboniferous Duinian period (352.9 \pm 3.3 Ma). Rock geochemical studies show that the rock belongs to quasi-aluminum-weak aluminous highpotassium-calcium-alkaline rock, rich in silicon (SiO₂ = 73. $25\% \sim 77.01\%$), alkali-rich (Na₂O+K₂O= 7. 72 $\% \sim$ 9. 48 %), rich Iron (Fe₂ O₃ = 2. 06 $\% \sim$ 2. 97 %, Fe₂ O₃ + FeO = 2. 32 $\% \sim$ 3. 33 %), magnesium deficiency (MgO= $0.08\% \sim 0.26\%$). Strongly depleted Sr, Eu, Ba, Ti, P and other elements, the REE distribution curve is right-winged seagull type and obvious Eu negative anomaly ($\delta Eu = 0.26 \sim 0.31$), and the rock is judged to be A-type granite. Lu-Hf isotope analysis based on zircon U-Pb isotopic dating. The sample 176 Yb/ 177 Hf value was 0.03778 \sim 0.133612, the 176 Lu/ 177 Hf value was 0.001095 \sim 0.004155, and the 176 Hf/ 177 Hf value was 0. 282824 \sim 0. 282863. The corresponding zircon U-Pb age calculated zircon $\varepsilon_{Hf}(t) =$ 8. 9~10. 6, the first-stage Hf mode age was $t_{\rm DM1} = 560 \sim 658$ Ma, and the two-stage Hf mode age $t_{\rm DM2} = 815$ \sim 974 Ma, indicating that it originated from Partial melting of the Neoproterozoic source rocks. Our study and the development of the Early Carboniferous A-type granite in the Erguna block indicate that the closure of the Paleo-Asian ocean basin in the northeastern part of the Xingmeng orogenic belt occurred in the Early Carboniferous. Combined with the closure of the Paleo-Asian Ocean basin in the central part of Inner Mongolia, it is the Late Carboniferous, indicating that the closure of the ancient Asian ocean basin is a "scissor-like" development process in the east, west and west.

Key words: Xing'an-Mongolian orogenic belt; Paleo-Asian Ocean; A-type granite; Early Carboniferous; Nuominhe area