

内蒙古阿德拉嘎乌拉正长花岗岩锆石 U-Pb 年龄

张玉清¹, 张 建², 屈 强³, 高清秀¹

(1. 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 2. 内蒙古第八地质矿产勘查开发院, 内蒙古 乌海 016000; 3. 内蒙古第五地质矿产勘查开发院, 内蒙古 包头 014000)

摘 要 阿德拉嘎乌拉正长花岗岩出露于中蒙边界一线, 1:20 万区域地质调查将其划归为燕山早期侵入岩($K\gamma_5^2$), 1:25 万区域地质调查划归为早二叠世碱长花岗岩($P_1X\gamma$)。通过单颗粒锆石 U-Pb 同位素稀释法测定其年龄, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 273.1 ± 0.4 Ma。结合区域地质资料和前人研究成果分析, 该正长花岗岩为早二叠世晚期岩浆活动的产物。岩石具高硅、高钾、过铝、贫铁镁钙的特征, 属造山后的 I 型花岗岩。岩石稀土总量偏低, 轻重稀土元素分馏程度不明显, δEu 在 0.07~0.60 之间, 钕强烈亏损, 稀土元素配分曲线呈“V”字型。

关键词 二叠纪; 正长花岗岩; I 型; 锆石 U-Pb 年龄; 阿德拉嘎乌拉; 内蒙古

U-Pb AGE OF ZIRCON FROM THE SYENOGRAHITE IN ADELAGAWULA, INNER MONGOLIA

ZHANG Yu-qing¹, ZHANG Jian², QU qiang³, GAO Qing-Xiu¹

(1. Inner Mongolia Institute of Geological Survey, Hohhot 010020, China; 2. No. 8 Institute of Geology and Mineral Exploration and Development, Wuhai 016000, Inner Mongolia, China; 3. No. 5 Institute of Geology and Mineral Exploration and Development, Baotou 014000, Inner Mongolia, China)

Abstract : The Adelagawula syenogranite occurs in Abaga Qi, Inner Mongolia, near the Sino-Mongolian border. The intrusive rock was assigned to Early-Yanshanian ($K\gamma_5^2$) by 1:200 000 regional geological surveyor or Lower Permian as alkali feldspar granite ($P_1X\gamma$) in 1:250 000 regional geological survey. The U-Pb isotopic dating of the syenogranite shows the age of 273.1 ± 0.4 Ma. Combined with regional geological data and previous research, it is possibly a product of Early Permian magmatism. The syenogranite, with high silica, high potassium, per-aluminum and poor calcium-magnesium-iron, belongs to post-orogenic I-type granite. The REE distribution is in V-shaped pattern, with low total rare earth content, unobvious fractionation of LREE and HREE, δEu values ranging from 0.07 to 0.60 and strongly depleted Eu.

Key words : Permian; syenogranite; I-type; zircon U-Pb age; Adelagawula; Inner Mongolia

0 引言

花岗岩是大陆动力学中地壳与地幔相互作用的一个重要组成部分, 自上世纪 80 年代以来, 花岗岩研究中将其成因与形成的大地构造环境结合得更为紧密。诸多学者建立了各自的分类及判别标准, 如 Pitcher(1983, 1993)建立起与板块构造有关的 M 型、I 型(Cordilleran)、I 型(Caledonian)、S 型和 A 型花岗岩及相关的地质环境分类, 但其他学者在后期研究中认

为其还存在不完善的地方^[1]。花岗岩拓扑学的兴起, 可以更好地揭示花岗岩与大地构造演化阶段的联系。研究区位于中蒙边界的南侧, 属兴蒙造山带的中间部分。沿中蒙边界分布有大量的中酸性侵入岩, 呈北东向带状展布。关于该带花岗岩的成因, 已有许多学者进行过论述^[2-4]。研究区正长花岗岩在区域上与二长花岗岩、碱性花岗岩等密切相伴。1:20 万白音图嘎幅将研究区的正长花岗岩归为燕山早期侵入岩($K\gamma_5^2$), 称

收稿日期 2013-01-21; 修回日期 2013-03-08。编辑 张哲。

基金项目: 中国地质调查局“内蒙古 1:25 万红格尔等五幅区调修测”项目(基[2004]006-18)资助。

作者简介: 张玉清(1965—), 男, 高级工程师, 从事区域地质调查和综合研究工作, 通信地址 内蒙古呼和浩特市金桥开发区世纪五路, E-mail // zhangyqnm@yahoo.com.cn

阿德拉嘎乌拉岩体及哈达特陶勒盖岩体, 其中阿德拉嘎乌拉岩体侵入屋敖包岩体(γ_5^1)^①。1:25 万阿巴嘎旗幅、乌力吉特敖包幅区域地质调查时, 将其划归早二叠世碱长花岗岩($P_1X\gamma$)^②。在二连浩特-东乌珠穆沁地区 1:25 万区域地质调查期间, 笔者对该地区花岗岩的岩石分类、相互关系、构造环境、形成时代等进行了认真思考与研究。本文将重点讨论阿德拉嘎乌拉等地出露的正长花岗岩, 经区域对比、同位素测年等研究, 认为其形成于早二叠世晚期。

1 地质特征

研究区位于中蒙国界线的南侧, 行政区划属内蒙古自治区锡林郭勒盟阿巴嘎旗。在阿德拉嘎乌拉, 该岩体侵入晚石炭世中细粒斑状二长花岗岩中; 在中蒙边境的哈达特陶勒盖, 其侵入宝力高庙组(C_2P_1bl), 被阿巴嘎组(Qpa)玄武岩喷发不整合覆盖(图 1)。

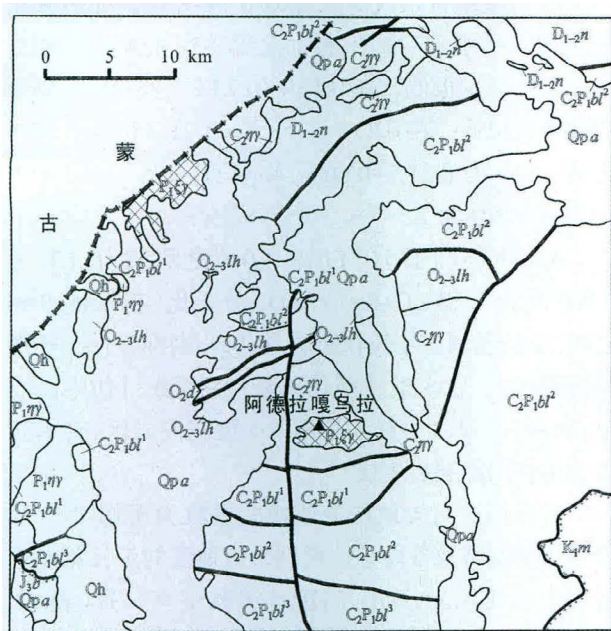


图 1 阿德拉嘎乌拉地区地质简图

Fig. 1 Geologic sketch map of Adelagawula area

Qh—第四系(Quaternary); Qpa —阿巴嘎组(Abaga fm.); K_1m —梅勒图组(Meiletu fm.); J_3b —白音高老组(Baiyingaolao fm.); $C_2P_1bl^3$ —宝力高庙组三段(3rd mem., Baoligaomiao fm.); $C_2P_1bl^2$ —宝力高庙组二段(2nd mem., Baoligaomiao fm.); $C_2P_1bl^1$ —宝力高庙组一段(1st mem., Baoligaomiao fm.); D_1-2n —泥鳅河组(Niqiue fm.); O_2d —多宝山组(Duobaoshan fm.); O_2-3lh —裸河组(Luohe fm.); $P_1X\gamma$ —早二叠世正长花岗岩(Early Permian syenogranite); $P_1\gamma\gamma$ —早二叠世二长花岗岩(Early Permian monzogranite); $C_2\gamma\gamma$ —晚石炭世二长花岗岩(Late Carboniferous monzogranite); ▲—同位素样品位置(sampling position)

①内蒙古自治区地质局区域地质测量队. 1:20 万乌力吉特敖包、白音图嘎幅区域地质调查报告. 1979.

②内蒙古自治区地质调查院. 1:25 万吉尔格郎图苏木、阿巴嘎旗幅区域地质调查报告. 2008.

该正长花岗岩呈岩基、岩株状产出, 呈北东东向或近东西向断续展布。岩石坚硬, 形成突起的山脊, 从航、卫片中可清晰分辨出其边界。岩体内部原生节理发育, 由层节理、纵节理、横节理将其切割成“豆腐块”, 尤以层节理最发育, 层峦叠嶂, 构成独具特色的花岗岩石林地貌。岩体内派生脉岩不发育, 局部节理有赤铁矿、磁铁矿薄膜充填。

2 岩石学特征

岩石类型单一, 为正长花岗岩, 其中阿德拉嘎乌拉以中细粒为主, 哈达特陶勒盖以中粗粒为主。中细粒正长花岗岩新鲜面呈肉红色—浅肉红色, 具中细粒花岗结构、块状构造, 矿物成分主要为正条纹长石(55%)、石英(30%)、更长石(15%)及少量暗色矿物。正条纹长石呈 3.0~4.0 mm 的半自形板状, 具卡氏双晶和树枝状钠长石分解条纹, 晶体内常见细粒更长石包体, 更长石呈 1.0~2.5 mm 的自形—半自形长板状; 石英 1.0~3.0 mm, 呈他形粒状; 黑云母为 0.3 mm 的片状, 已褪色。

副矿物有锆石(42.5×10^{-6})、磁铁矿(3586×10^{-6})、褐铁矿(1306×10^{-6})、钼石(4.1×10^{-6})及微量磷灰石。锆石呈淡黄色、浅黄色, 透明, 部分颗粒由于铁染表面为不均匀的红褐色。

3 岩体年代学

中细粒正长花岗岩测年采用单颗粒锆石 U-Pb 同位素稀释法测定^[5]。

3.1 样品采集、处理

样品采至岩体的近中心部位, 同时选取远离裂隙、未变形的地段, 样品编号 3TW3192-1。全岩大样经内蒙古自治区地质调查院岩矿鉴定室粉碎, 淘洗重 4.9 kg, 淘后重砂总重量 38.7 g。首先选取无磁性或电磁性极弱的锆石单颗粒, 然后在双筒显微镜下提纯, 送天津地质矿产研究所实验测试室挑选形态(颜色、粒度、长宽比、自形程度等)不同、纯净透明、没有裂纹和包体、未退晶质化的锆石晶体作为测年对象。

锆石的溶解和 U、Pb 的分离在超净化学实验室中进行, 采用的稀释剂为 $^{205}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 混合稀释剂。锆石样品经高温高压溶解、蒸干后, 用硅胶-磷酸溶液与样品的 U、Pb 混合后加在同一单铪带上, 在 VG354 型热离子质谱仪上用高灵敏度 Daly 检测器进行铀-铅同位素测定。 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 已对稀释剂作了校正, 实验室空白 Pb

为 0.05 ng、U 为 0.002 ng. 实验数据用 PBDAT 和 ISOPLOT 程序计算处理.

3.2 测试结果

阿德拉嘎乌拉正长花岗岩 3TW3192-1 样品中选取 3 粒不同晶形锆石进行测年, 其中浅黄色半透明短柱状锆石 2 粒, 浅黄色透明长柱状锆石 1 粒. U-Pb 同位素测试结果(表 1)显示 3 粒锆石的年龄值均落在谐和线上(图 2), 样品中放射成因铅没有扩散、丢失^[5-6]. 1、2、3 号数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 的年龄值近乎一致, 而且 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} < ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} < ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, 1、2、3 号数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值为 273.1 ± 0.4 Ma.

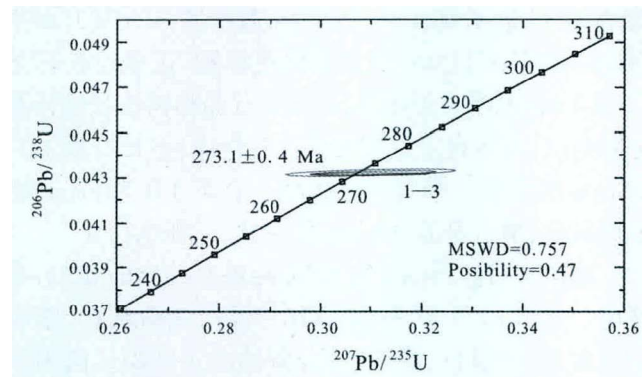


图 2 阿德拉嘎乌拉正长花岗岩锆石 U-Pb 同位素年龄谐和图
Fig. 2 Zircon U-Pb concordia diagram of the Adelagawula syenogranite

根据本区及相邻地区的地质情况综合分析, 该正长花岗岩形成后没有受到明显后期热事件影响, 所测年龄值应该是可信的^[7]. 由于锆石结晶温度为 700℃左右, 高于全岩的固结温度^[8], 因此 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值 273.1 ± 0.4 Ma 可作为该岩体的锆石结晶年龄. 由此确认其形成于早二叠世晚期. 此锆石 U-Pb 年龄与张玉清(2009)、洪大卫等(2000)在区域上碱性花岗岩中获得的锆石 U-Pb 年龄 284.8 Ma^[4], 全

岩 Sm-Nd 同位素年龄 286 Ma (白音乌拉)、284 Ma、276 Ma(祖横得楞)、277 Ma(扎那乌拉)接近^[2-3].

4 地球化学特征

4.1 主元素

阿德拉嘎乌拉地区的正长花岗岩 SiO_2 含量在 72.43%~76.78%之间(表 2), 经图解分析(图略), 2、3 号样品均落在深成岩 Q-A-P 分类命名图解之正长花岗岩区的中间部位. Al_2O_3 在 12.16%~14.18%之间, $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 在 1.44%~1.51%之间, 样品投图均落在 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 图解的过铝区. K_2O 在 4.00%~5.64%之间, 在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解中 3 个样品均分布于高钾区. 2、3 号样 $\text{Na}_2\text{O}/\text{CaO}$ 值在 5.1~9.7 间. Na_2O 在 3.72%~4.45%之间, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} < 1$, 只有来源于 1:20 万区调报告的一个结果大于 1, 为 1.11. 里特曼组合指数 σ 在 2.05~2.98 之间, 为钙碱性系列. 进一步投硅-碱图, 样品全部落在亚碱性系列区.

CaO 含量很低, 在 0.13%~0.73%之间; MgO 、 MnO 的含量也很低, 在 0.23%以下; Fe_2O_3 在 1.07%~1.20%之间, FeO 为 0.21%~0.60%. MgO/TFeO 在 0.6~1.4 之间, MgO/MnO 为 2.3~7.6.

A/CNK (分子比)在 1.019~1.046 之间, 小于 1.1, 为 I 型花岗岩^[9]. $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (分子比)在 0.86~0.96 之间. 总体显示该正长花岗岩具高硅、高钾、过铝、贫铁、镁钙的特点. 在 S 型、I 型花岗岩判别图解(仿中田节也, 1979)中, 2、3 号样品均落入 I 型花岗岩区, 暗示其为造山作用隆起后生成.

岩石成分与大地构造环境关系较为密切^[10-13]. 从岩石化学图解及各种参数判别, 该地区的正长花岗岩与造山后花岗岩(POG)的统计参数基本一致(表 2). 在主要花岗岩类岩石组合的示意性图解(R_1-R_2)中, 3 个样品均投在造山晚期与非造山的分界线上, 即造山

表 1 阿德拉嘎乌拉正长花岗岩锆石 U-Pb 同位素分析结果
Table 1 Single zircon U-Pb analysis of the Adelagawula syenogranite

样品			浓度		普通铅 含量/ng	同位素原子比率					表面年龄/Ma		
点号	锆石类型及特征	质量/ μg	U/ 10^{-6}	Pb/ 10^{-6}		$\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}$	$\frac{{}^{208}\text{Pb}}{{}^{206}\text{Pb}}$	$\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{238}\text{U}}$	$\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{235}\text{U}}$	$\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{206}\text{Pb}}$	$\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{238}\text{U}}$	$\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{235}\text{U}}$	$\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{206}\text{Pb}}$
1	浅黄色半透明短柱状	40	891	65	0.580	115	0.1389	0.04322<13>	0.3091<71>	0.05187<121>	272.8	273.5	279.7
2	浅黄色透明长柱状	40	886	48	0.200	313	0.1475	0.04325<15>	0.3100<141>	0.05199<223>	272.9	274.2	284.9
3	浅黄色半透明短柱状	40	1535	77	0.210	512	0.1427	0.04332<10>	0.3107<119>	0.05202<187>	273.4	274.7	286.2

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 已对实验空白($\text{Pb}=0.050$ ng, $\text{U}=0.002$ ng)及稀释剂作了校正. 其他比率中的铅同位素均为放射成因铅同位素. <>内数字为 2σ 绝对误差. 1~3 号点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄加权平均值: 273.1 ± 0.4 Ma. 天津地质矿产研究所实验室测试, 李惠民校核, 2006.

表 2 阿德拉嘎乌拉正长花岗岩岩石化学分析结果
Table 2 Chemical compositions of the Adelagawula syenogranite

序号	样品号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Los+H ₂ O ⁺	总量
1	GS1021-2	76.64	/	12.16	1.09	0.57	0.10	0.23	4.45	0.13	4.00	0.12	1.05	100.5
2	GS3192-1	76.78	0.10	12.16	1.20	0.21	0.018	0.08	3.89	0.40	4.44	0.014	0.37	99.66
3	GS7003	72.43	0.16	14.18	1.07	0.60	0.025	0.19	3.72	0.73	5.64	0.03	0.62	99.40
序号	样品号	A/CNK	KN/A	Na ₂ O/K ₂ O	MgO/TFeO	MgO/MnO	Na ₂ O/CaO		Al ₂ O ₃ /(Na ₂ O+K ₂ O)		σ			
1	GS1021-2	1.023	0.96	1.11	0.14	2.30	34.23		1.44		2.12			
2	GS3192-1	1.019	0.92	0.88	0.06	4.44	9.73		1.46		2.05			
3	GS7003	1.046	0.86	0.66	0.11	7.60	5.10		1.51		2.98			
造山后花岗岩		/	/	0.6~1.2	0.02~0.3	2.0~18	2.0~18		0.9~1.4		/			

注 造山后花岗岩 SiO₂=70%~78%,山德指数显示为过铝质(或偏铝质)。1 号样品来源于 1:20 万区域地质调查报告乌力吉特敖包、白音图嘎幅(1979) 2、3 号样品由地质矿产部内蒙古自治区中心实验室(2005)在原子吸收分光光度计下测试,分析方法:日立 508,YX-01。含量单位:10⁻²。

晚期与造山后的过渡区。在 Maniar 等(1989)的 4 组图解中,3 个样品全部落入后造山花岗岩(POG)区。综上,认为该正长花岗岩形成于造山后构造环境中。

4.2 稀土元素

阿德拉嘎乌拉正长花岗岩中稀土总量在 154.82×10⁻⁶~224.77×10⁻⁶ 之间(表 3),总体较低。LREE/HREE 值在 3.93~8.66 之间,反映轻重稀土元素分馏程度的 (La/Yb)_N 值在 2.16~7.93 之间、(Ce/Yb)_N 值在 1.99~5.87 之间(依 Boynton,1984,球粒陨石丰度值计算)。总体显示轻重稀土元素分馏不强烈,δEu 在 0.07~0.60 之间。

从表 2、3 可看出,铕含量与岩石中 SiO₂ 含量呈负相关。Y 的含量在 20.34×10⁻⁶~35.12×10⁻⁶ 之间,在稀土总量中所占比较高。

岩石稀土元素/球粒陨石标准化模式图呈低缓右倾“V”字型(图 3),显示轻重稀土分馏不明显、铕强烈亏损(具明显负异常)的特点。该稀土元素分配形式与重熔型花岗岩一致,表明该地区的正长花岗岩(包括 5129-1 碱性花岗岩)是由上地壳经不同程度熔融形成的[4,14-15]。

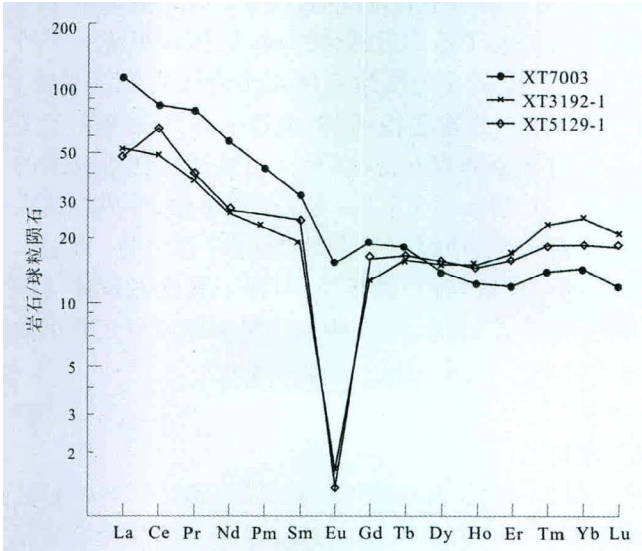


图 3 阿德拉嘎乌拉正长花岗岩稀土元素配分形式
Fig. 3 REE distribution patterns of the Adelagawula syenogranite

5 讨论

区域上与正长花岗岩配套出露的侵入岩还有碱长花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩等。1:25 万区域地质调查研究^①表明,早二叠世这一系列酸性侵入体的稀土元素配分曲线与本文所研究的正长花岗岩基本吻合,含量

表 3 阿德拉嘎乌拉正长花岗岩稀土元素含量及特征参数
Table 3 REE contents and parameters of the Adelagawula syenogranite

序号	样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	总量	LREE/HREE	(La/Yb) _N	(Ce/Yb) _N	δEu
1	XT7003	42.13	81.31	10.69	40.52	7.29	1.32	5.91	1.06	5.45	1.11	3.05	0.54	3.58	0.47	20.34	224.77	8.66	7.93	5.87	0.60
2	XT3192-1	19.74	47.49	5.04	18.63	4.38	0.14	3.94	0.93	5.86	1.34	4.33	0.89	6.17	0.82	35.12	154.82	3.93	2.16	1.99	0.10
3	XT5129-1	18.30	64.00	5.41	19.40	5.58	0.12	5.00	0.98	6.09	13.1	4.03	0.71	4.67	0.71	27.60	163.91	4.80	2.64	3.55	0.07

测试单位:中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所 2005。分析方法:等离子体质谱法(ICP-MS)。3 号样品引自文献[4]。

①内蒙古自治区地质调查院。1:25 万巴音乌拉幅、吉尔嘎郎图幅、阿巴嘎旗幅区域地质调查报告。2008。

也基本接近,它们可能来自同一源区。钙碱性岩浆地球化学特征不仅取决于形成的构造环境,还决定于源区,在板块俯冲或岩石圈拉伸作用下都有可能形成^[16]。研究区位于贺根山蛇绿混杂带的北侧,即处于西伯利亚板块东南缘晚古生代陆缘增生带的南缘。在早二叠世中期,该地区曾发生过一次大规模的拉伸,形成以碱性花岗岩为代表的巨型花岗岩带^[4,17],正长花岗岩也是其中的一种岩石类型。陈斌等(2001)在苏尼特左旗南白音宝力道地区获得最晚的弧岩浆记录是 310 Ma,碰撞花岗岩的侵位年代是 230~250 Ma,认为碰撞缝合应在 310~230 Ma 之间^[18]。本次正长花岗岩的测年结果为 273 Ma,形成于造山后构造环境。结合前人研究碱性花岗岩的结果看,该地区在早二叠世就完成了主期碰撞,进入了造山后拉伸阶段。但从张玉清等^[19]研究巴音乌拉二叠纪埃达克质花岗闪长岩的结果看,256 Ma 时,二连浩特-贺根山边缘海并没有完全关闭,仍有残余海存在,局部地区可能还存在小范围的俯冲活动,残余洋壳下插,发生部分熔融,形成埃达克岩。由此可见,中晚二叠世时期,在二连浩特-贺根山地区的一定区域内“微板块”可能一直在做拉伸与俯冲的“间歇式”运动,直至晚二叠世末期或早三叠世大洋才完全闭合,形成统一的联合大陆。

6 结论

(1) 阿德拉嘎乌拉地区岩单颗粒锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面加权重平均值 273.1 ± 0.4 Ma, 为早二叠世晚期岩浆活动的产物。

(2) 正长花岗岩具高硅、高钾、过铝、贫铁镁钙的特点,属造山后的 I 型花岗岩。

(3) 此年龄的获得,为研究西伯利亚板块与华北板块碰撞缝合及兴蒙造山带地壳演化提供了新的启迪。

本文研究得到“内蒙古 1:25 万红格尔等五幅区调修测”项目大力支持。文中引用了内蒙古自治区地质矿产局、内蒙古自治区地质调查院等多家单位的区调成果,在此一并深表感谢!

参考文献:

- [1] 董申保, 洪大卫, 许保良. 花岗岩拓扑学的研究展望[J]. 地质论评, 2001, 47(4): 356—360.
- [2] 洪大卫, 王式光, 谢锡林, 等. 兴蒙造山带正 $\epsilon(\text{Nd}, t)$ 值花岗岩的成因和大陆地壳生长[J]. 地质前缘, 2000, 7(2): 441—456.
- [3] 邵济安, 洪大卫, 张履桥. 内蒙古火成岩 Sr-Nd 同位素特征及成因[J]. 地质通报, 2002, 21(12): 817—822.
- [4] 张玉清, 许立权, 康小龙, 等. 内蒙古东乌珠穆沁旗京格斯台碱性花岗岩年龄及意义[J]. 中国地质, 2009, 36(5): 988—995.
- [5] 张玉清, 王, 贾和义, 等. 内蒙古中部大青山北西乌兰不浪紫苏斜长麻粒岩锆石 U-Pb 年龄[J]. 中国地质, 2003, 30(4): 394—399.
- [6] 张宗清. 同位素年代学方法的应用和限制[A]// 张炳熹, 洪大卫, 吴宣志. 岩石圈研究的现代方法. 北京: 原子能出版社, 1996: 186—199.
- [7] 涂萌玖, 杨晓勇, 郑永飞, 等. 皖东南黄片麻岩的锆石 U-Pb 年龄[J]. 岩石学报, 2001, 17(1): 157—160.
- [8] 毛建仁, 陶奎元, 李寄, 等. 闽西南地区中生代花岗闪长质岩石的特征及其构造演化[J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(2): 134—142.
- [9] 高秉璋, 洪大卫, 郑基俭, 等. 花岗岩类区 1:5 万区域地质填图方法指南[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 20—37.
- [10] 邓晋福, 赵国春, 赵海玲, 等. 中国东部中生代火成岩构造组合与造山——深部过程[J]. 地质论评, 2000, 46(1): 1—8.
- [11] 罗照华, 邓晋福, 韩秀卿. 太行山造山岩浆活动及其造山过程反演[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 427—439.
- [12] 洪大卫. 花岗岩研究的最新进展及发展趋势[J]. 地质前缘, 1994(1/2): 79—85.
- [13] 高山, 金振民. 拆沉作用(Delamination)及其壳-幔演化动力学意义[J]. 地质科技情报, 1997, 16(1): 1—8.
- [14] 王中刚, 于学员, 赵振华. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 133—212.
- [15] 李昌年. 火成岩微量元素地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992: 1—195.
- [16] 李伍平, 王涛, 李金宝, 等. 东天山红柳河地区海西期花岗岩的岩石学、地球化学及其构造环境[J]. 地质论评, 2001, 47(4): 368—367.
- [17] 鲍庆中, 张长捷, 吴之理, 等. 内蒙古东南部晚古生代裂谷区花岗质岩石锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 中国地质, 2007, 34(5): 790—798.
- [18] 陈斌, 赵国春, Wildes. 内蒙古苏尼特左旗南两类花岗岩同位素年代学及其构造意义[J]. 地质论评, 2001, 47(4): 361—367.
- [19] 张玉清. 内蒙古苏尼特左旗巴音乌拉二叠纪埃达克质花岗闪长岩类地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2009, 28(4): 329—338.