

小兴安岭北部孙吴地区早侏罗世埃达克岩与嫩黑构造带活化的成生关系

郑 涛, 金哲岩, 王 兴, 刘旭光, 苏 航

黑龙江省地质调查研究总院 齐齐哈尔分院, 黑龙江 哈尔滨 150036

摘 要: 对孙吴地区石英二长闪长岩进行了系统的年代学和地球化学研究. LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果显示其形成时代为 (174.9 ± 1.2) Ma, 为早侏罗世晚期岩浆岩侵入体. 岩石学和地球化学研究表明, 岩石高 SiO_2 和 Al_2O_3 , 低 MgO , 相对富 Na ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 为 $1.51 \sim 2.53$); $\text{Sr} > 400 \times 10^{-6}$, $\text{Y} \leq 18 \times 10^{-6}$, $\text{Yb} \leq 1.9 \times 10^{-6}$, 轻重稀土分馏明显, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 $12.32 \sim 22.45$, 无明显的 Eu 负异常, 显示了埃达克岩的地球化学特征, 结合其较低的 Cr、Ni 含量和 Rb/Sr 比值以及相对较高的 $\text{Mg}^\#$, 推测其形成于增厚下地壳的部分熔融, 并受地幔物质混染. 综合区域地质特征, 初步认为研究区埃达克岩的形成是在蒙古-鄂霍次克造山带的构造体制下, 受嫩江-黑河构造带活化影响, 孙吴地区早侏罗世处于陆内伸展的构造环境.

关键词: 埃达克岩; 早侏罗世; 地质意义; 嫩黑构造带; 孙吴地区; 小兴安岭

THE EARLY JURASSIC ADAKITE IN SUNWU AREA, NORTHERN XIAOXINGANLING MOUNTAINS: Genetic Connection to the Activation of Nenjiang-Heihe Tectonic Belt

ZHENG Tao, JIN Zhe-yan, WANG Xing, LIU Xu-guang, SU Hang
Qiqihar Branch, Heilongjiang Institute of Geological Survey, Harbin 150036, China

Abstract: The quartz monzodiorite in Sunwu area, Northern Xiaoxinganling Mountains, is systematically studied on chronology and geochemistry. The LA-ICP-MS zircon dating yields the emplacement age of 174.9 ± 1.2 Ma (Early Jurassic). Petrological and geochemical study indicates that the rock contains high SiO_2 and Al_2O_3 but low MgO , plus relatively enrichment of Na ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ in $1.51 \sim 2.53$). It is high in Sr ($> 400 \times 10^{-6}$), low in Y ($\leq 18 \times 10^{-6}$) and Yb ($\leq 1.9 \times 10^{-6}$), with notable fractionation between LREE and HREE, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ varying between 12.32 and 22.45. Besides, there is not significant negative Eu anomaly in the chondrite-normalized REE pattern. All of the geochemical characteristics above suggest that the quartz monzodiorite in Sunwu area belongs to adakite. The rock is originated from the partially melted thickened lower crust, and subject to the contamination of mantle material. Integrating with regional geology, it is concluded that the rock is formed under the tectonic system of Mongol-Okhotsk orogenic belt, affected by the activation of Nenjiang-Heihe tectonic belt. This area was in an intracontinental extension during the Early Jurassic Epoch.

Key words: adakite; Early Jurassic; geological implication; Nenjiang-Heihe tectonic belt; Sunwu area; Xiaoxinganling Mountains

0 引言

东北地区为华北、西伯利亚和太平洋板块所夹持,

处于兴蒙造山带东段, 以大面积展布的显生宙花岗岩而备受瞩目^[1-12]. 研究区位于小兴安岭北部, 大地构造

收稿日期: 2016-09-27; 修回日期: 2016-12-28. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局“黑龙江 1:5 万二站等四幅区域地质矿产调查”项目(编号 1212011220433).

作者简介: 郑涛(1983—), 男, 回族, 工程师, 主要从事区域地质矿产调查、地质构造研究, 通信地址 黑龙江省哈尔滨市中山路 65 号, E-mail://zt161005@163.com

处于嫩江-黑河构造带以东的松嫩-张广才岭地块北缘(图 1a)。近年来,不少学者对小兴安岭东南部伊春地区和西部新开岭等地出露的花岗岩开展了详细的岩石学、年代学和地球化学研究^[13-15],积累了许多同位素年龄和地球化学资料。相对而言,小兴安岭北部孙吴地区花岗岩的研究资料较少,区内花岗岩多数

划分混乱,除少数岩体外,基本上都划归为华力西晚期,年代跨度从早寒武世到早白垩世,而且 20 世纪 80 年代末完成的区调工作多是通过岩相学对比确定其形成时代,缺乏高精度同位素年代学资料支持。本次研究在孙吴地区显生宙花岗岩中首次识别出早侏罗世埃达克质石英二长闪长岩。通过对该地

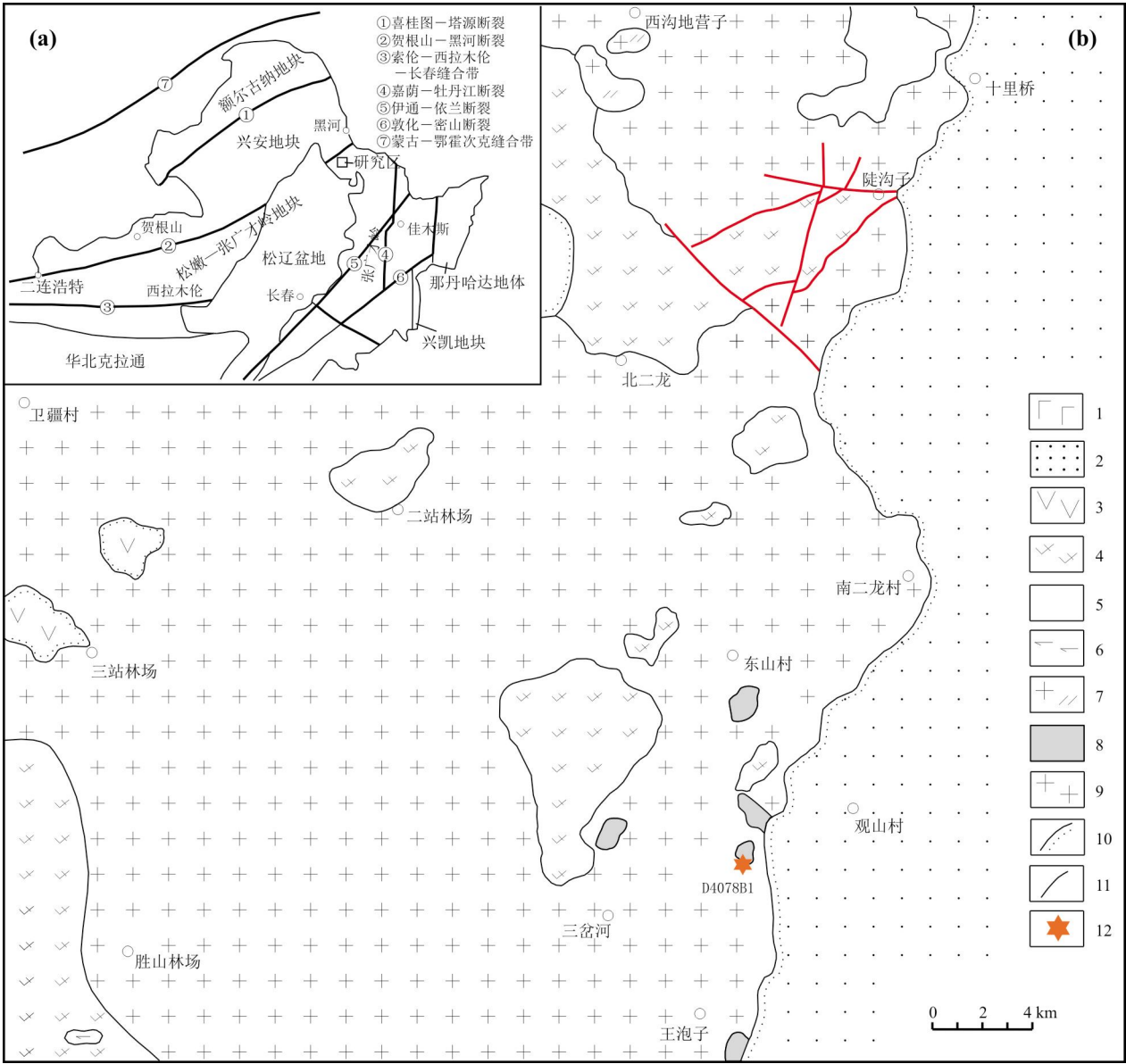


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the study area

1—下更新统玄武岩 (Lower Pleistocene basalt); 2—中-上新统沉积岩 (Mio-Pliocene sedimentary rock); 3—下白垩统火山岩 (Low Cretaceous volcano rock); 4—上石炭-下二叠统火山岩 (Upper Carboniferous-Lower Permian volcano rock); 5—下石炭统片麻岩 (Low Cretaceous gneiss); 6—早侏罗世辉石岩 (Early Jurassic pyroxenite); 7—早白垩世二长花岗岩 (Early Cretaceous monzogranite); 8—早侏罗世石英二长闪长岩 (Early Jurassic quartz monzodiorite); 9—晚石炭-早二叠世花岗岩 (Late Carboniferous-Early Permian granite); 10—不整合界线 (unconformity); 11—实测断层 (fault); 12—年龄样品采样点 (isotope sample position); a: 据文献[16]修改(modified from Reference [16])

区早中生代花岗岩进行详细的野外地质、岩石学、地球化学、锆石 U-Pb 年代学及形成构造背景的研究,在一定程度上为进一步加强和完善小兴安岭花岗岩的系统研究,同时为确定兴蒙造山带东段乃至中国北方燕山早期大地构造演化的研究提供了信息。

1 地质背景及样品描述

研究区位于黑龙江省黑河市孙吴县北西卧牛河乡-三站-北二龙一带。区内出露古生界、中生界及新生界地层(图 1b)。其中古生界主要为石炭系和二叠系;中生界主要为白垩系;新生界包括古近系、新近系。区内花岗岩分布广泛,大体呈北东向展布,侵入到晚古生界地层之中,至今尚没有确切的同位素年龄及详细的地球化学特征报道。本文定年结果及地球化学特征研究首次在该地区识别出早侏罗世埃达克质石英二长闪长岩。

研究区早侏罗世石英二长闪长岩分布于杨木林子沟、三岔河道班及二门山水电站附近,总体呈条带状北东向展布,侵入晚古生代花岗岩,被新生界地层不整合覆盖。岩石呈灰褐色,细中粒花岗结构,块状构造,主要由斜长石(65%~79%)、钾长石(10%~15%)、黑云母(6%~13%)和石英(5%~10%)组成。斜长石,半自形板状,聚片双晶较细密,多为更长石,晶面常被绢云母、黏土矿物交代,大小 0.2~2.8 mm;钾长石,为条纹长石,具卡式双晶,粒度 0.2~2.0 mm;黑云母,片状,多被绿泥石、绿帘石交代;石英,多他形粒状,粒度 0.2~2.0 mm。

2 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果

本文 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年样品取自杨木林子沟岩体的石英二长闪长岩(样品编号 D4078B1),采样位置:127°06′34″E,49°33′41″N。表 1 列出了该样品的锆石 U-Pb 分析结果。从锆石阴极发光照片上看,发育典型的韵律环带结构(图 2a)。25 个锆石分析点具有变化的 U ($46\times 10^{-6}\sim 140\times 10^{-6}$)、Pb ($1\times 10^{-6}\sim 5\times 10^{-6}$)和 Th/U 比值(0.49~1.18),具有典型的岩浆锆石特征。考虑到普通铅校正对 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 比值影响较大,本文采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值代表岩石形成的时代。在所分析的 25 个锆石中, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $(170\pm 2)\sim (182\pm 3)$ Ma,加权平均年龄为 (174.9 ± 1.2) Ma(图 2b),

表明其为早侏罗世晚期岩浆岩侵入体。

3 地球化学特征

3.1 主量元素特征

孙吴地区早侏罗世石英二长闪长岩的主量元素、稀土元素和微量元素分析结果及特征参数见表 2。其 SiO_2 含量变化范围较大,为 60.38%~68.20%, Al_2O_3 含量较高,为 15.85%~19.39%, $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 为 7.21%~8.00%,平均 7.50%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 为 1.5~2.5, $\text{Mg}^\#$ 为 28~42。里特曼指数 2.5~3.0,属钙碱性系列。在 SiO_2 - K_2O 图解(图 3a)中样品落于高钾钙碱性与钙碱性系列的边界或其附近,整体上显示钙碱性-高钾钙碱性过渡的特征。含铝指数(A/CNK)介于 0.91~1.07,均小于 1.10,表现为弱过铝质-铝质特征。在 A/NK-A/CNK 图解(图 3b)中,样品落在了准铝质区或过铝质与准铝质区的边界附近,表现出 I 型花岗岩类特征。上述地球化学特征与 Barbarin(1999)花岗岩类分类标准对比,相当于含角闪石钙碱性花岗岩类(ACG)。

3.2 稀土元素地球化学特征

稀土元素配分模式为轻稀土富集的右倾型(图 4a), $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为 12.32~22.45,Yb 含量为 $0.77\times 10^{-6}\sim 1.41\times 10^{-6}$,平均 1.12×10^{-6} ,低于 1.9×10^{-6} ,La/Yb 为 17.18~31.30; δEu 变化于 0.95~1.50,平均 1.20。这些特征与埃达克岩的稀土元素特征相似^[17-18]。低 HREE 指示它们的岩浆源区含残留石榴子石,而弱负铕异常至正异常的变化,暗示熔融时斜长石在源区中不稳定。

3.3 微量元素地球化学特征

从原始地幔标准化蛛网图(图 4b)中可以看出,孙吴地区早侏罗世石英二长闪长岩微量元素分配形式如下:整体上富集大离子亲石元素(LILEs) Rb、Ba、Th、U、K 和 Sr,其中 Sr 含量较高,介于 $564\times 10^{-6}\sim 726\times 10^{-6}$;Y 含量低,为 $9.38\times 10^{-6}\sim 16.00\times 10^{-6}$;Sr/Y 高,为 35.25~77.40;强烈亏损 Nb、Ta 和 Ti。这些特征也与埃达克岩的微量元素特征一致。高 Sr/Y 同样证明源区残留石榴子石,而 Nb、Ta 和 Ti 的亏损暗示源区存在残留金红石,指示熔融深度大于 1.5 GPa,相当于 50 km 以上^[19]。高 $\text{Mg}^\#$ 指示岩浆受到地幔的混染。

4 讨论

4.1 岩石成因

表 1 孙吴地区石英二长闪长岩主量 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果

Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb analysis result of quartz monzodiorite in Sunwu area

样品号及 分析点号	Pb/ 10^{-6}	U/ 10^{-6}	同位素比值						表面年龄/Ma			
			$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
D4078B1-1	2	74	0.1868	0.0182	0.0274	0.0004	0.8086	0.0053	174	17	174	2
D4078B1-2	3	104	0.1872	0.0123	0.0274	0.0003	0.7189	0.0013	174	11	174	2
D4078B1-3	2	85	0.1865	0.0243	0.0274	0.0004	0.6639	0.0007	174	23	174	2
D4078B1-4	3	104	0.1841	0.0139	0.0271	0.0003	0.6761	0.0025	172	13	172	2
D4078B1-5	4	121	0.1862	0.0150	0.0273	0.0003	0.6092	0.0037	173	14	173	2
D4078B1-6	3	107	0.1832	0.0133	0.0269	0.0003	0.5986	0.0022	171	12	171	2
D4078B1-7	3	103	0.1941	0.0117	0.0281	0.0003	0.7508	0.0011	180	11	178	2
D4078B1-8	3	106	0.1842	0.0178	0.0274	0.0004	0.7333	0.0018	172	17	174	3
D4078B1-9	3	97	0.1832	0.0129	0.0273	0.0003	0.8716	0.0006	171	12	173	2
D4078B1-10	2	61	0.1888	0.0157	0.0279	0.0004	0.6014	0.0007	176	15	178	2
D4078B1-11	4	117	0.1811	0.0125	0.0270	0.0003	0.8702	0.0031	169	12	172	2
D4078B1-12	5	140	0.1867	0.0116	0.0268	0.0003	1.1798	0.0011	174	11	170	2
D4078B1-13	1	46	0.1951	0.0285	0.0286	0.0005	0.6057	0.0017	181	26	182	3
D4078B1-14	3	105	0.1844	0.0140	0.0275	0.0004	1.0393	0.0008	172	13	175	2
D4078B1-15	4	140	0.1988	0.0086	0.0283	0.0003	0.9619	0.0006	184	8	180	2
D4078B1-16	3	91	0.1826	0.0138	0.0272	0.0004	0.8486	0.0010	170	13	173	2
D4078B1-17	3	98	0.1848	0.0220	0.0274	0.0004	0.7913	0.0009	172	20	174	2
D4078B1-18	1	51	0.1896	0.0172	0.0277	0.0004	0.5396	0.0015	176	16	176	2
D4078B1-19	4	128	0.1884	0.0114	0.0274	0.0003	0.4896	0.0016	175	11	174	2
D4078B1-20	3	95	0.1863	0.0155	0.0275	0.0003	0.6366	0.0010	173	14	175	2
D4078B1-21	3	96	0.1964	0.0121	0.0284	0.0003	0.6189	0.0034	182	11	180	2
D4078B1-22	2	65	0.1886	0.0229	0.0275	0.0004	0.5706	0.0016	175	21	175	2
D4078B1-23	2	88	0.1870	0.0117	0.0273	0.0003	0.5268	0.0013	174	11	174	2
D4078B1-24	3	102	0.1959	0.0105	0.0280	0.0003	0.6334	0.0008	182	10	178	2
D4078B1-25	1	51	0.1847	0.0208	0.0275	0.0004	0.5666	0.0011	172	19	175	3

样品测试由中国地质调查局天津地质调查中心实验测试室完成.

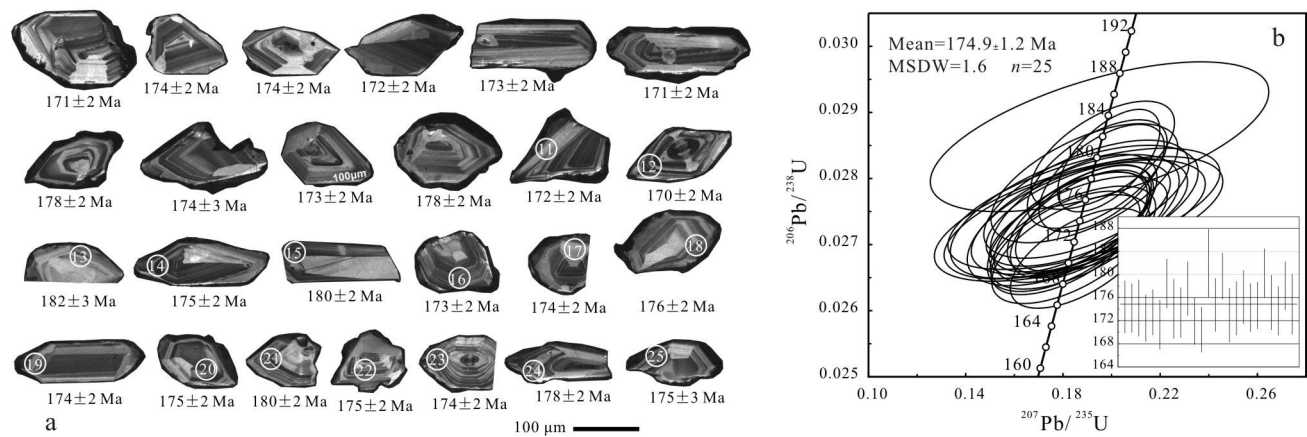


图 2 孙吴地区早侏罗世石英二长闪长岩 CL 图像和锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图

Fig. 2 Zircon CL images and U-Pb age concordia diagram of the Early Jurassic quartz monzodiorite in Sunwu area

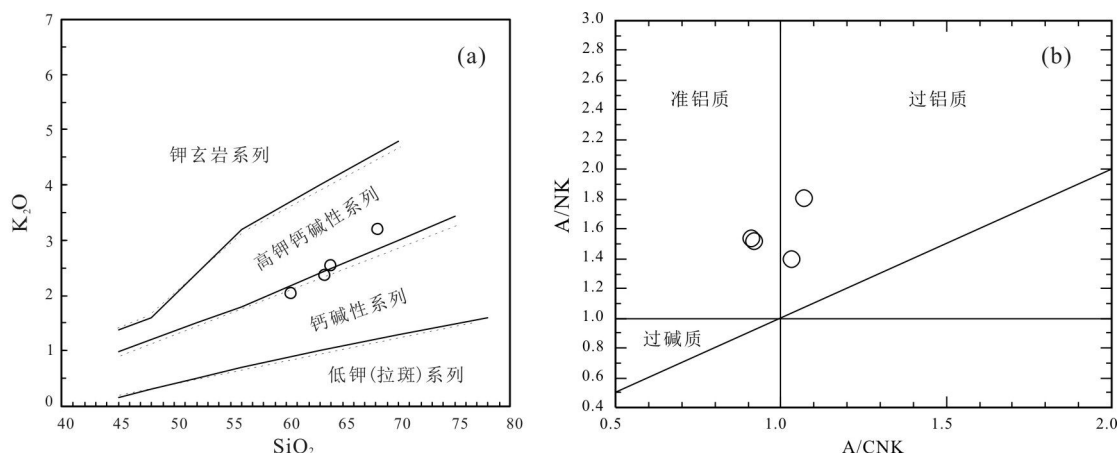
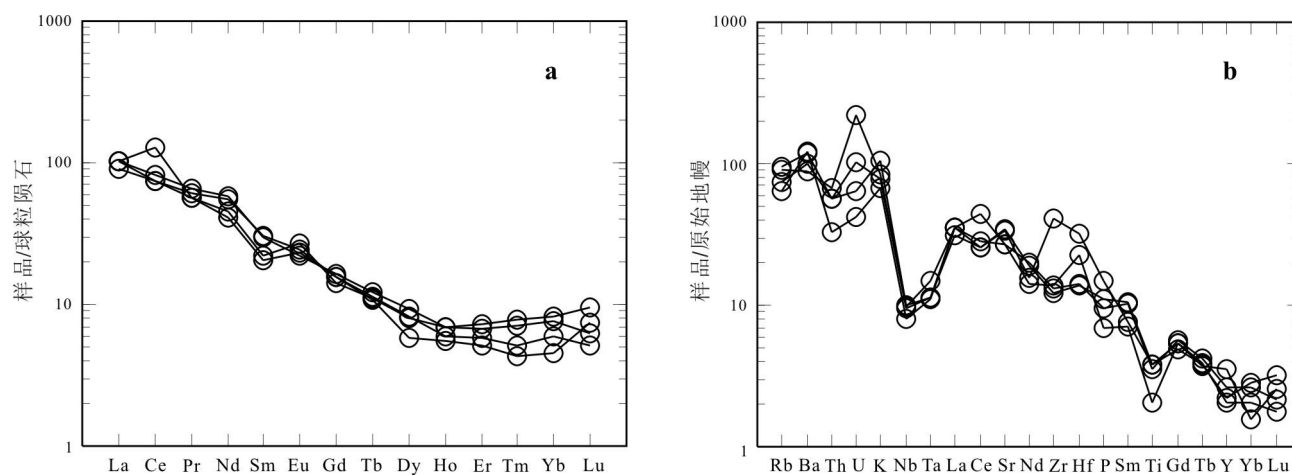
图3 孙吴地区早侏罗世石英二长闪长岩 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 图解和 A/CNK-A/NK 图解Fig. 3 The $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ diagram and A/CNK-A/NK diagram of the Early Jurassic quartz monzodiorite in Sunwu area图4 孙吴地区早侏罗世石英二长闪长岩球粒陨石标准化稀土配分模式图和微量元素原始地幔标准化蛛网图
(标准化数据值采用 Sun and MacDonough, 1989)

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle-normalized trace elements web diagram of Early Jurassic quartz monzodiorite in Sunwu area

(normalization values after Sun and MacDonough, 1989)

研究区早侏罗世石英二长闪长岩具有高 SiO_2 ($>56\%$, 平均 63.98%)、高 Al_2O_3 ($>15\%$, 平均 17.05%) 和低 MgO ($<3\%$, 平均 1.52%) 的主量元素特征, 强烈富集 Sr ($>400 \times 10^{-6}$, 平均 642.83×10^{-6})、亏损重稀土元素 Yb ($<1.9 \times 10^{-6}$, 平均 1.12×10^{-6}) 和 Y ($<18 \times 10^{-6}$, 平均 11.88×10^{-6}), 具有较高的 Sr/Y 比值 ($35.25 \sim 77.40$), 与埃达克质岩石的地球化学特征一致. 在 $(\text{La/Yb})_N\text{-Yb}_N$ 图解 (图 5a) 和 Sr/Y-Y 图解 (图 5b) 中, 除 1 个样品落在埃达克岩与经典岛弧岩石过渡区域外, 其他所有样品均落入典型埃达克岩区域, 表明研究区早侏罗世石英二长闪长岩为埃达克质岩石. 因此可以通过埃达克质岩石的成因模型来探讨其成因.

埃达克岩是 Defant and Drummond^[17] 研究阿留申群岛新生代俯冲洋壳熔融产生的火山岩时提出的术语. 近年来随着研究的深入, 越来越多具有与埃达克岩相似地球化学属性的岩石被发现^[20-21], 而该类岩石的成因问题一直存在诸多争议^[22-24]. 就目前的研究成果, 其主要的成因模式有: 1) 俯冲洋壳玄武质组分的部分熔融^[17, 25] 产生的流体和楔形地幔橄榄岩发生不同程度的反应所形成的埃达克岩^[26-27]; 2) 含水玄武质岩浆高压条件下发生结晶分异作用^[28]; 3) 受玄武质岩浆底侵作用或增厚下地壳的熔融^[29-32]; 4) 古老的拆沉下地壳发生部分熔融产生的流体和地幔橄榄岩相互作用形成的高 $\text{Mg}^\#$ 埃达克岩^[33-34].

表 2 孙吴地区石英二长闪长岩主量元素、稀土元素及微量元素成分

Table 2 Major, trace and rare earth element compositions of quartz monzodiorite in Sunwu area						
样品编号	D4078B1	*D0023	*PM ₀₃₀ LT98a	*D6501a	埃达克岩	中国东部埃达克质岩
序号	1	2	3	4		
SiO ₂	60.38	68.2	63.41	63.93	≥56	≥56
TiO ₂	0.83	0.45	0.82	0.77		
Al ₂ O ₃	19.39	15.85	16.64	16.32	≥15	≥15
Fe ₂ O ₃	2.12	1.36	1.91	2.94		
FeO	3.08	1.99	2.83	1.75		
MnO	0.09	0.05	0.07	0.07		
MgO	1.65	0.73	1.92	1.78	<3	0.11~3.17
CaO	4.06	2.2	4.12	3.81		
Na ₂ O	5.17	4.81	5.02	4.86		
K ₂ O	2.04	3.19	2.36	2.53		
P ₂ O ₅	0.33	0.15	0.24	0.21		
LOI	1.02	0.63	0.15	0.68		
Total	100.16	99.61	99.49	99.65		
Na ₂ O/K ₂ O	2.53	1.51	2.13	1.92	>2	0.37~1.27
A/CNK	1.07	1.03	0.91	0.92		
Mg [#]	37	28	43	42	一般大于 47	一般小于 50
σ	3.0	2.5	2.7	2.6		
La	24.29	24.1	21.4	24.3		
Ce	45.07	78.6	46	50		
Pr	5.43	5.43	5.75	6.22		
Nd	21.0	19.1	25.6	26.9		
Sm	3.36	3.18	4.66	4.55		
Eu	1.57	1.35	1.4	1.28		
Gd	2.93	3.21	3.22	3.42		
Tb	0.41	0.4	0.42	0.46		
Dy	2.06	1.46	2.08	2.38		
Ho	0.39	0.31	0.34	0.39		
Er	1.19	0.85	0.97	1.13		
Tm	0.20	0.11	0.13	0.18		
Yb	1.41	0.77	1.02	1.29	≤1.9	0.36~1.57
Lu	0.24	0.19	0.13	0.16		
ΣREE	109.53	139.06	113.12	122.66		
Eu/Eu *	1.50	1.28	1.05	0.95	正异常	弱负异常
(La/Yb) _N	12.32	22.45	15.05	13.51		
La/Yb	17.18	31.30	20.98	18.84	>20	24~76

Rb	40.2	60.5	46.9	57.9		
Sr	713.3	564	726	568	400~2000	729~1376
Y	10.14	16	9.38	12	≤18	7.6~17
Ba	847	828	706	611		
Ga	20.8	17.5	10.1	9.61		
Nb	5.7	7.07	6.79	6.89		
Ta	0.45	0.46	0.46	0.61		
Zr	454.4	155	137	146		
Hf	9.91	7.02	4.28	4.42		
Th	2.81	4.79	4.87	5.76		
Cr	4.81	10.5	23.5	23.8	30~50	2.0~261
Co	6.00	1.85	1.98	2.73		
Ni	1.22	—	20.9	14.6	20~40	10.7~195
Sc	2.09	3.42	6.5	7.7		
U	0.88	1.36	2.13	4.68		
Sr/Y	70.37	35.25	77.40	47.33	>40	56~132

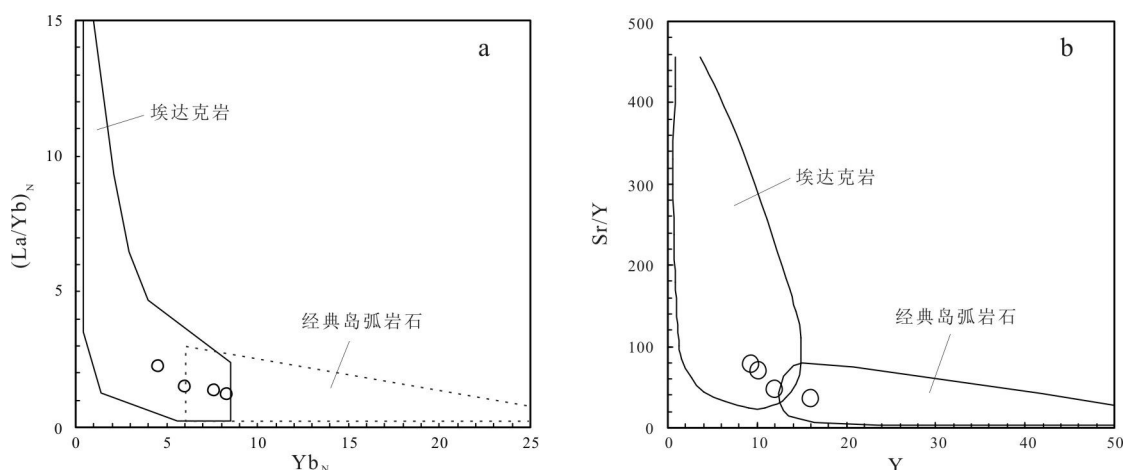
测试单位:中国地质调查局沈阳地质调查中心实验测试中心. 1 为本次工作,2~4 引自八里桥等四幅区域地质矿产调查项目分析数据. A/CNK=Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) 摩尔比; Mg[#]=100×Mg²⁺/(Mg²⁺+Fe²⁺); Eu/Eu*=Eu_N/(Eu_N×Gd_N)^{1/2}; (La/Yb)_N=(La/0.237)/(Yb/0.170). 含量单位: 主量元素为%,其他元素为 10⁻⁶.

就孙吴地区早侏罗世石英二长闪长岩而言, 由于古亚洲洋早在二叠纪已经闭合^[35-36], 因此不可能是俯冲洋壳板片部分熔融形成的. 岩体较小的 Nb 值(5.70×10⁻⁶~7.07×10⁻⁶)与洋岛玄武岩 Nb 值(大于 20×10⁻⁶)^[37] 存在明显差异, 且相对较低的 Cr、Ni 值, 说明其并非含水玄武质岩浆结晶分异的产物. 低的 MgO 含量(平均 1.52%)和 Cr、Ni 含量, 与拆沉下地壳部分熔融的高 Mg[#], 富 Cr、Ni 的特征存在明显区别^[34]. 结合其具有的高 Sr、低 Yb、高 Sr/Y 比值、弱的负 Eu 或正异常, 且 Mg[#](平均 37.74)与下地壳部分熔融产生的岩浆 Mg[#](小于 45)^[38] 相似, 以及较低的 Rb/Sr 值(0.06~0.11), 说明岩石在形成过程中有幔源物质的参与. 因此, 本文认为研究区埃达克岩形成于增厚下地壳中玄武岩的熔融, 并受地幔物质混染.

4.2 地质意义

孙吴地区原定晚石炭—早二叠世二长花岗岩^①, 实质上是形成于 174.9 Ma 的早侏罗世晚期的石英二长闪长岩. 近年来进行的高精度锆石 U–Pb 年代学研究陆续在卧都河鸡冠山、金水河、新开岭、孙吴地区龙

①张铁安, 等. 黑龙江省 1:5 万嫩江县、孙吴县幅区调修测报告. 黑龙江省区域地质调查研究所, 2013.

图5 孙吴地区早侏罗世石英二长闪长岩 $(La/Yb)_N$ - Yb_N 和 Sr/Y - Y 图解

(底图据 Defant and Drummond, 1990)

Fig. 5 $(La/Yb)_N$ - Yb_N and Sr/Y - Y diagrams of the Early Jurassic quartz monzodiorite in Sunwu area

(After Defant and Drummond, 1990)

镇等发现年龄为 168~187 Ma 的早中生代高钾钙碱性 I 型花岗岩^[39-40],以及对孙吴-嘉荫地区早中生代埃达克岩的确认^[41],说明该地区早中生代曾发生持续的地幔底侵作用.底侵的玄武质下地壳熔融形成的埃达克质岩石,是地幔玄武质岩浆底侵作用和地壳垂向增生的重要岩石学标志^[38].孙吴地区早侏罗世埃达克岩的发现也支持了上述结论.李锦轶等^[42]认为晚古生代—早中生代期间,在蒙古-鄂霍次克洋闭合造山的构造体制下,嫩江-黑河古拼合带于晚三叠世活化而发生陆内造山^[39],主要表现为北东向深大断裂强烈的走滑剪切运动,陆内地壳缩短增厚,相邻块体挤压堆垛,导致断夹块隆起造山^[43],从而形成研究区北东向展布强烈韧变形的中部构造层和由构造片麻岩形成的深部构造层(苗来成等,2003).之后,岩石圈伸展减薄,导致软流圈地幔上隆,幔源岩浆上涌托垫于地壳底部,并导致新生的地壳物质部分熔融,形成了本期花岗质岩浆.

鉴于上述原因,研究区早侏罗世埃达克质岩的形成与古亚洲洋的俯冲和闭合后的碰撞造山过程无关,而与蒙古-鄂霍次克造山带具有一致的时空关系.因此,本文研究认为小兴安岭北端孙吴地区早侏罗世埃达克质石英二长闪长岩形成于蒙古-鄂霍次克造山带陆陆碰撞期间增厚下地壳拆沉、部分熔融,并受到幔源岩浆混染,与嫩黑构造带的活化有直接关系.结合研究区西南部胜山林场及邻区八里桥、娄烟山南等地零星

出露早侏罗世基性—超基性岩浆的事实 $(173\pm 2)\text{Ma}$ ^①,表明区域构造演化在早侏罗世逐步转为陆内伸展阶段.因此,我们初步认为孙吴地区早侏罗世为陆内伸展的构造环境.

5 结论

通过对孙吴地区早侏罗世石英二长闪长岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学、岩石地球化学的研究,结合区域地质特征,可以得出如下结论:

1) 锆石 U-Pb 年代学研究表明,孙吴地区石英二长闪长岩形成的时代为 $(174.9\pm 1.2)\text{Ma}$,为早侏罗世晚期,并非前人厘定的华力西期.

2) 具有埃达克质岩石地球化学特征的孙吴地区石英二长闪长岩为增厚下地壳的部分熔融,并受到地幔混染的产物.

3) 结合区域地质构造特征和研究区埃达克岩的地球化学与同位素特征,认为其成因与嫩黑构造带的活化有直接关系,研究区早侏罗世处于陆内伸展的构造环境.

致谢:文章撰写过程中沈阳地质调查中心汪岩教授级高工、黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院吕军教授级高工、杨晓平高级工程师给予了悉心的指导和热情的帮助,在此一并致谢.

① 刘旭光,等.黑龙江省 1:5 万八里桥等四幅区域地质矿产调查报告.黑龙江省地质调查研究总院齐齐哈尔分院,2015.

参考文献:

- [1]葛文春,隋振民,吴福元,等. 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义[J]. 岩石学报,2007,23(2): 423-440.
- [2]隋振民,葛文春,吴福元,等. 大兴安岭东北部侏罗纪花岗岩类岩石的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因[J]. 岩石学报,2007,23(2): 461-480.
- [3]隋振民,徐学纯. 大兴安岭东北部侏罗纪花岗岩类 Sr-Nd 同位素特征及其地质意义[J]. 中国地质,2010,37(1):48-55.
- [4]苗天成,范蔚茗,张福勤,等. 小兴安岭西北部新开岭-科洛杂岩锆石 SHRIMP 年代学研究及其意义[J]. 科学通报,2003,48(22):2315-2323.
- [5]洪大卫,王式,谢锡林,等. 兴安造山带正 $\epsilon(\text{Nd}, t)$ 值花岗岩的成因和大陆地壳生长[J]. 地学前缘,2000,7(2):441-456.
- [6]孙德有,吴福元,李惠民,等. 小兴安岭西北部造山后 A 型花岗岩的时代及与索伦山-贺根山-扎赉特碰撞拼合带东延的关系[J]. 科学通报,2000,45(20):2217-2222.
- [7]孙德有,吴福元,林强,等. 张广才岭燕山早期白石山岩体成因与壳幔相互作用[J]. 岩石学报,2001,17(2):227-235.
- [8]孙德有,吴福元,高山. 小兴安岭东部清水岩体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定[J]. 地球学报,2004,25(2):213-218.
- [9]林强,葛文春,吴福元,等. 大兴安岭中生代花岗岩类的地球化学[J]. 岩石学报,2004,20(3):403-412.
- [10]肖成东,张忠良,赵利青. 东蒙地区燕山期花岗岩 Nd、Sr、Pb 同位素及其岩石成因[J]. 中国地质,2004,31(1):57-63.
- [11]邵济安,刘福田,陈辉,等. 大兴安岭-燕山晚中生代岩浆活动与俯冲作用关系[J]. 地质学报,2001,75(1):56-63.
- [12]邵济安,张履桥,肖庆辉,等. 中生代大兴安岭的隆起——一种可能的陆内造山机制[J]. 岩石学报,2005,21(3):789-794.
- [13]韩振哲,赵海玲,王盘喜,等. 伊春地区晚三叠世一早侏罗世铝质 A 型正长-碱长花岗岩地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石矿物学杂志,2009,28(2):97-108.
- [14]牛延宏,王兴,董国臣,等. 伊春地区斑状二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 世界地质,2012,2(6):247-254.
- [15]徐美君,许文良,王枫,等. 小兴安岭中部早侏罗世花岗岩类岩石的年代学与地球化学及其构造意义[J]. 岩石学报,2013,29(2):354-368.
- [16]Wu F Y, Zhao G C, Sun D Y, et al. The Hulan Group: Its role in the evolution of the Central Asian Orogenic Belt of NE China[J]. Journal of Asian Earth Science,2007,30(3/4):542-556.
- [17]Defant M J, Drummoud M S. Derivation of some modern arc magma by melting of young subduction lithosphere[J]. Nature,1990,347(6294): 662-665.
- [18]Martin H. Adakitic magmas: Modern analogues of the Archean granitoids[J]. Lithos,1999,46(3):411-429.
- [19]武广,陈衍景,孙丰月,等. 大兴安岭北端晚侏罗世花岗岩类地球化学及其地质和找矿意义[J]. 岩石学报,2008,25(2):899-910.
- [20]张旗,李承东,王焰,等. 中国东部中生代高 Sr 低 Yb 和低 Sr 高 Yb 型花岗岩:对比及其地质意义[J]. 岩石学报,2005,21(6):1527-1537.
- [21]张旗. 埃达克岩研究的回顾和前瞻[J]. 中国地质,2008,35(1): 32-39.
- [22]张旗,许继峰,王焰,等. 埃达克岩的多样性[J]. 地质通报,2004,23(9):959-965.
- [23]Condie K C. TTGs and adakites: Are they both slab melt? [J]. Lithos,2005,80(1/2/3/4):33-44.
- [24]Martin H, Smithies R H, Rapp R, et al. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: Relationships and some implications for crustal evolution[J]. Lithos,2005,79(1/2):1-24.
- [25]Defant M J, Drummoud M S. Mount St. Helens: Potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc[J]. Geology,1993,21(5):547-550.
- [26]Smithies R H. The Archean tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) series is not an analogue of Cenozoic adakite[J]. Earth and Planetary Science Letters,2000,182(1):115-125.
- [27]Prouteau G, Scaillet B, Pichavant M, et al. Evidence for mantle metasomatism by hydrous silicic melts derived from subducted oceanic crust[J]. Nature,2001,409(6825):197-200.
- [28]Prouteau G, Scaillet B. Experimental constraints on the origin of the 1991 Pinatubo dacite[J]. J. Petrol,2003,44(12):2203-2241.
- [29]Wareham C D, Millar I L, Vaughan A P M. The generation of sodic granitic magmas, western Palmer Land, Antarctic Peninsula [J]. Contrib Mineral Petrol,1997,128(1):81-96.
- [30]张旗,钱青,王二七,等. 燕山中晚期的中国东部高原:埃达克岩的启示[J]. 地质科学,2001,36(2):248-255.
- [31]Chung S L, Liu D Y, Ji J, et al. Adakites from continental collision zones: Melting of thickened lower crust beneath southern Tibet[J]. Geology,2003,31(11):1021-1024.
- [32]Wang Q, McDermott F, Xu J F, et al. Cenozoic K-rich adakitic volcanic rocks in the Hohxil area, northern Tibet: Lower-crustal melting in an intracontinental setting[J]. Geology,2005,33(6):465-468.
- [33]Xu J F, Shinjo R, Defant M J, et al. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of East China: Partial melting of delaminated lower continental crust [J]. Geology,2002,30(12): 1111-1114.
- [34]Gao S, Rudnick R L, Yuan H L, et al. Recycling lower continental crust in the North China craton[J]. Nature,2004,432(7019):892-897.

5 小结

综上所述,可得出如下结论.

(1)云岭陆缘弧划分为6个四级大地构造单元,分属岛弧基底和岛弧主体.

(2)岛弧基底为雪龙山变质基底杂岩和德钦断块.前者主要为雪龙山岩群,为一套强烈混合岩化的中深变质岩系,主期变形变质属吕梁期;后者主要为德钦岩群,为一套中浅变质的含基性火山岩的陆源碎屑岩,已受华力西期、印支期变形变质改造.

(3)岛弧主体由攀天阁酸性火山岩浆弧、工农弧间盆地、崔依比中基性火山岩浆弧、鲁甸火山弧-同碰撞花岗岩组成,均晚三叠世变质变形改造.

(4)岛弧主体形成于早三叠世一晚三叠世早期,是金沙江洋盆向西俯冲消减、碰撞造山的产物.

参考文献:

- [1]云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1990:4-22, 313-351, 552-565.
- [2]李兴振,江新胜,孙志明,等. 西南三江地区碰撞造山过程[M]. 北京:地质出版社, 2002:150-174.
- [3]潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1):1-28.
- [4]云南省地质调查局. 云南大地构造单元及成矿带划分研究新进展[J]. 云南地质, 2014, 33(增刊):48-60.
- [5]王泽传,赵茂春,严城民,等. 滇西北大地构造单元的划分与特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2015, 35(2):66-75.
- [6]严城民,邓仁宏. 霞若地区构造变形序列[J]. 云南地质, 2003, 22(2):152-159.
- [7]云南省地质矿产局. 云南省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1996:227.
- [8]中国地质科学院成都地质矿产研究所,编. 怒江-澜沧江-金沙江区域地层[M]. 北京:地质出版社, 1992:310.
- [9]王闻胜,严城民. 维西工农超镁铁-镁铁岩带岩石学及其构造意义[J]. 云南地质, 2007, 26(1):15-24.
- [10]张旗,张魁武,李达周. 横断山区镁铁-超镁铁岩[M]. 北京:科学出版社, 1992:187-193.
- [11]严城民,邓仁宏,王辉. 滇西北鲁甸花岗岩新认识[J]. 云南地质, 2002, 21(4):365-377.
- [35]Shao J A, Mu B L, He G Q, et al. Geological effects in tectonic superposition of Paleo-Pacific domain and Paleo-Asian domain in northern part of North China[J]. Science in China: Series D(Earth Science), 1997, 40(6):634-640.
- [36]李朋武,高锐,管焯,等. 古亚洲洋和古特提斯洋的闭合时代——论二叠纪末生物灭绝事件的构造起因[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2009, 39(3):521-527.
- [37]Reagan M K, Gill J B. Coexisting calcalkaline and high-niobium basalts from Turrialba volcano, Costa Rica: Implacations for residual titanates in arc magma source[J]. Journal of Geophysical Research, 1989, 94(B4):4619-4633.
- [38]Rapp R P, Shimizu N, Norman M D, et al. Reaction between slab-derived melts and peridotite in the mantle wedge: Experimental constraints at 3.8 Ga[J]. Chemical Geology, 1999, 160(4):335-356.
- [39]李仰春,张克信,吴淦国,等. 大-小兴安岭接合部早-中侏罗世侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及成因[J]. 地质通报, 2013, 32(5): 717-729.
- [40]张彦龙,葛文春,高妍,等. 龙镇地区花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素及地质意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(4):1059-1073.
- [41]苟军,孙德有,李蓉,等. 孙吴-嘉荫地区早中生代花岗岩的年代学、地球化学与成因[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2013, 43(1): 119-133.
- [42]李锦轶,莫中国,和政军,等. 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[J]. 地学前缘, 2004, 11(3):157-168.
- [43]杨巍然,王豪. 中国板块构造概况[J]. 地球科学, 1991, 16(5): 505-513.

(上接第 228 页 /Continued from Page 228)