文章编号：1004—5589（2017）02—0402—11

大兴安岭北部斯木科地区晚侏罗世斑状正长花岗岩年代学、地球化学特征及其成因

刘世伟[1]，孙国胜[1]，王清海[2]，晋瑞香[1]，何欣[1]，刘承先[1]

1. 吉林大学 地球科学学院，长春 130061；
2. 吉林大学 东北亚国际地学研究与教学中心，长春 130026

摘要：对斯木科斑状花岗岩进行了锆石LA-ICP-MS U-Pb年代学及岩石地球化学特征研究。测年结果显示，该岩体年龄为（144±0.85）Ma，为晚侏罗世。岩石地球化学分析表明，斯木科斑状正长花岗岩为准铝质-过铝质岩石，属于高钾钙碱性系列；稀土元素丰度总量较高，轻稀土富集且轻重稀土分馏较明显［$(La_N/Yb_N=3.15\sim6.63)$］，表现为“右倾型”的稀土配分模式，岩石具有轻度的负Eu异常（$\delta Eu=0.54\sim0.66$）；微量元素以相对富集Rb、K等大离子亲石元素，而相对亏损Nb、Ta、P、Ti等高场强元素为特征。斯木科斑状正长花岗岩具有高分异I型花岗岩的特征，来源于地壳中火山岩的部分熔融。对Nb-Y构造环境判别图解及构造环境讨论，结合其所具有的I型花岗岩的特征，斯木科斑状正长花岗岩应为伸展构造体制下的产物，形成于造山后伸展构造环境。

关键词：晚侏罗世；锆石U-Pb年龄；地球化学；岩石成因；斑状正长花岗岩；斯木科；大兴安岭
中图分类号：P597；P595　　**文献标识码**：A　　**doi**：10.3969/j.issn.1004-5589.2017.02.008

Chronology, geochemical characteristics and petrogenesis of Late Jurassic porphyritic syenogranite in Simuke area, northern Da Hinggan Mountains

LIU Shi-wei[1], SUN Guo-sheng[1], WANG Qing-hai[2], JIN Rui-xiang[1], HE Xin[1], LIU Cheng-xian[1]

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;
2. International Centre for Geoscience Research and Education in Northeast Asia, Jilin University, Changchun 130026, China

Abstract: LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geochemical data of Simuke porphyritic syenogranite have been studied. The results indicate that the diagenetic age of porphyritic syenogranite is (144±0.85) Ma, belonging to Late Jurassic. The geochemical study shows that the porphyritic syenogranite belongs to high-K calc-alkaline series and high aluminum rocks. The rare earth elements are characterized by rich light rare earth elements and significant fractionation of LREE and HREE［$(La/Yb)_N=3.15\sim6.63$］. The REE distribution patterns are right deviated, with weak negative europium anomalies ($\delta Eu=0.54\sim0.66$). For trace elements, the porphyritic syenogranites are enriched in Rb and K, but depleted in Nb, Ta, P and Ti. The porphyritic granite in Simuke area is high differentiation I type granite, derived from partial melting of basic volcanic rocks in the crust. Based on Nb-Y tectonic environment discrimination diagram and tectonic environment, combined with the characteristic of I type granite, the porphyritic granite in Simuke area should be the product of extensional tectonic system and it

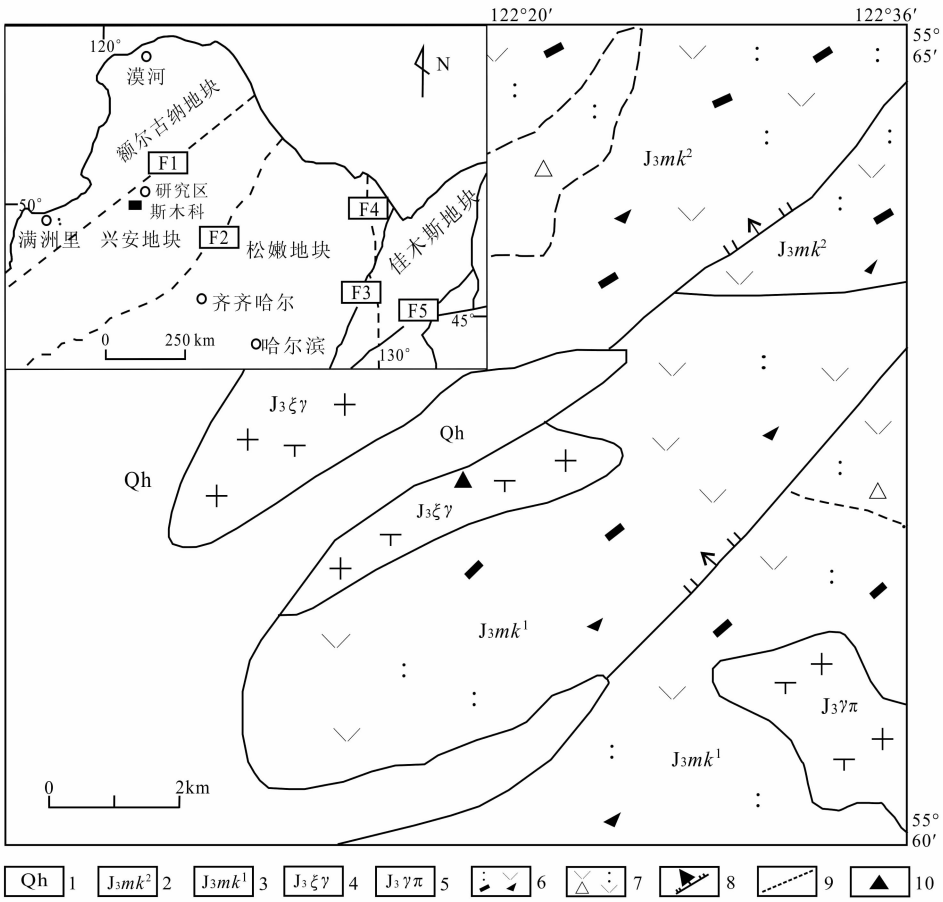
收稿日期：2016-12-03；**改回日期**：2017-03-07
基金项目：内蒙古自治区鄂伦春自治旗马布拉其汗等三幅1∶5万区域矿产地质调查（NMKD2014-38）.

is formed in post-orogenic extensional tectonic environment.

Key words: Late Jurassic; zircon U – Pb ages; geochemistry; petrogenesis; porphyritic syenogranite; Simuke; Da Hinggan Mountains

1　区域地质背景

研究区处于大兴安岭北段，大地构造位置位于中朝（华北）准地台与西伯利亚地台之间的中亚—蒙古地槽褶皱区（古亚洲巨型造山带）的东部，位于西伯利亚板块（Ⅲ）、西伯利亚东南陆缘增生带（Ⅲ1）乌尔其汗火山型被动陆缘（Ⅲ12）中[1]（图1）。区域内出露的地层以中生代火山岩为主，从老到新依次为中侏罗统塔木兰沟组、上侏罗统满克头鄂博组、玛尼吐组和下白垩统白音高老组、甘河组。区域上，前中生代构造由于受中生代构造岩浆作用影响，其构造格局已消失殆尽；中生代以来，研究区以深大断裂控制的火山岩浆活动为主，NE、NNE、NW、NWW 及 SN 向断裂构造均较发育，构成了格子状断裂系统。研究区岩浆活动较为频繁，除大规模中生代火山岩外，还发育有一定规模的中-酸性侵入岩，主要岩性有闪长岩、花岗斑岩、斑状正长花岗岩和碱长花岗岩等。据前人对大地构造背景的认识[2-6]，该期火山事件可能与蒙古—鄂霍茨克缝合带的闭合后的伸展环境相联系。



1. 第四系；2. 满克头鄂博组上段；3. 满克头鄂博组下段；4. 晚侏罗世正长花岗岩；5. 晚侏罗世花岗斑岩；6. 流纹质岩屑晶屑凝灰岩；7. 流纹质角砾凝灰岩；8. 实测正断层；9. 岩相分界线；10. 采样位置.

F1. 塔源—喜桂图断裂；F2. 嫩江断裂；F3. 伊通—依兰断裂；F4. 牡丹江断裂；F5. 敦化—密山断裂.

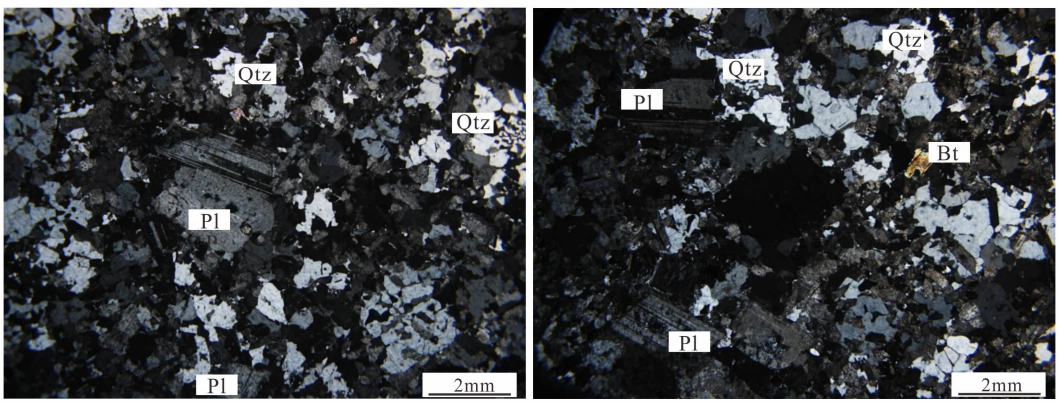
图1　研究区地质简图

Fig. 1　Geological sketch map of studied area

本文研究的斑状正长花岗岩位于大兴安岭克一河林业局南部，西鲁大梯康 862 高地西侧，分布面积为约为 6.7 km^2，呈岩株状侵入晚侏罗世满克头鄂博组中，本文对其锆石 U-Pb 的定年结果为（144 ± 0.85）Ma，侵入时代为晚侏罗世。通过对斑状正长花岗岩年代学地球化学特征的研究，为该区的晚侏罗世岩浆作用及大地构造背景环境提供佐证。

2 岩石学和岩相学特征

斑状正长花岗岩：风化面黄褐色，新鲜面浅肉红色，斑状结构，细粒半自形粒状结构，块状构造，主要由碱性长石、石英和少量斜长石、黑云母组成。斑晶占总体含量的 10% ±，斑晶粒径 2 ~ 3 mm，其中碱性长石斑晶含量约 6% ~7%，碱性长石半自形板状，可见格子双晶，部分具有条纹结构，变种主要为微斜长石；斜长石斑晶含量约 2% ~3%，可见聚片双晶；石英斑晶含量约 5%，它形粒状，斑晶的粒度在 1.5 mm ± 。基质是细粒半自形结构，粒度约 0.2 ~0.4 mm，其中碱性长石占总体含量的 40% ±；斜长石占总体含量的 15% ±；石英占总体含量约 25%，石英分布不均匀，常聚集成联晶状；黑云母总体含量的 5% ±，片状，一组极完全解理、平行消光（图 2）。



Qtz. 石英；Pl. 斜长石；Bt. 黑云母.

图 2 斑状正长花岗岩镜下照片

Fig. 2 Microphotographs of porphyritic syenogranite

3 锆石 U-Pb 年代学

3.1 分析方法

斑状正长花岗岩的锆石分选工作在河北省廊坊市区域地质矿产调查研究所完成，对岩石进行破碎、淘洗，采用重砂电磁选方法完成分选，将分选后的重矿物放置于双目镜下挑选出晶形较完好，无严重裂纹的锆石颗粒。锆石的制靶和 U-Pb 同位素分析工作均在吉林大学测试实验中心实验室进行。实验分析仪器采用激光剥蚀电感耦合等离子质谱仪（LA-ICP-MS），激光剥蚀的束斑直径为 30 μm，以高纯度的氦气（He）作为锆石测定过程中剥蚀物质的载气，He 载气流速 0.67 L/min。用人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST SRM610 进行仪器最佳化校正，用国际标准锆石 91500 作为锆石年龄的外标，采用 ICPMSDataCal 程序计算样品的同位素比值及元素含量，Anderson 方法对普通 Pb 进行校正，年龄的计算及谐和图的制作采用国际标准程序 Isoplot（3.0）完成。

3.2 锆石特征及测试结果

本文对斑状正长花岗岩的一个样品 PM04-1（取样位置：122°27′19″E，50°16′08″N）进行 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素测试。岩石样品 U-Pb 同位素年龄分析结果（表 1）。所测 25 个测点的数据均位于谐和线上及其附近。其 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为 141 ~150 Ma，加权平均年龄为（144 ± 0.85）Ma，MSWD = 0.98（图 3），该年龄应代表岩浆侵位结晶的年龄，表明其属于晚侏罗世。

表 1　晚侏罗世斑状花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果

Table 1　LA-ICP-MS zircon U-Pb data for porphyritic syenogranite from Late Jurassic

样品编号	Th /10⁻⁶	U /10⁻⁶	Th/U	同位素比值						同位素年龄/Ma					
				$^{207}Pb/^{206}Pb$	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
PM04-1-1	147.29	118.88	1.24	0.052 20	0.003 53	0.166 08	0.011 00	0.023 07	0.000 45	294	116	156	10	147	3
PM04-1-2	258.47	173.14	1.49	0.050 07	0.002 92	0.152 35	0.008 72	0.022 07	0.000 39	198	99	144	8	141	2
PM04-1-3	286.35	205.09	1.40	0.048 78	0.003 12	0.150 81	0.009 46	0.022 42	0.000 42	137	106	143	8	143	3
PM04-1-4	247.39	215.03	1.15	0.046 47	0.003 32	0.143 73	0.010 08	0.022 43	0.000 44	22	116	136	9	143	3
PM04-1-5	258.51	182.26	1.42	0.047 37	0.002 80	0.150 63	0.008 73	0.023 06	0.000 41	68	94	142	8	147	3
PM04-1-6	178.57	184.77	0.97	0.048 69	0.002 75	0.151 63	0.008 41	0.022 58	0.000 39	133	94	143	7	144	2
PM04-1-7	78.39	97.71	0.80	0.048 65	0.004 09	0.155 13	0.012 79	0.023 12	0.000 50	131	144	146	11	147	3
PM04-1-8	385.63	255.76	1.51	0.048 31	0.002 19	0.151 05	0.006 73	0.022 68	0.000 35	114	73	143	6	145	2
PM04-1-9	167.52	139.27	1.20	0.050 44	0.008 07	0.159 03	0.024 82	0.022 87	0.000 88	215	273	150	22	146	6
PM04-1-10	332.68	210.5	1.58	0.048 22	0.005 14	0.150 89	0.015 72	0.022 69	0.000 60	110	183	143	14	145	4
PM04-1-11	180.03	182.59	0.99	0.047 60	0.002 81	0.148 26	0.008 60	0.022 59	0.000 40	79	95	140	8	144	3
PM04-1-12	63.83	68.48	0.93	0.047 56	0.011 69	0.153 24	0.036 79	0.023 37	0.001 30	77	340	145	32	149	8
PM04-1-13	93.45	111.99	0.83	0.049 72	0.003 30	0.155 99	0.010 15	0.022 76	0.000 43	182	113	147	9	145	3
PM04-1-14	123.71	101.48	1.22	0.048 80	0.003 24	0.158 33	0.010 32	0.023 53	0.000 44	138	112	149	9	150	3
PM04-1-15	1 101.31	458.68	2.40	0.049 77	0.003 00	0.157 05	0.009 28	0.022 89	0.000 42	184	102	148	8	146	3
PM04-1-16	161.46	128.70	1.25	0.047 12	0.004 19	0.148 97	0.012 97	0.022 93	0.000 53	55	148	141	11	146	3
PM04-1-17	117.35	138.43	0.85	0.048 88	0.003 68	0.152 87	0.011 27	0.022 68	0.000 47	142	127	144	10	145	3
PM04-1-18	79.35	84.15	0.94	0.050 41	0.010 82	0.155 88	0.032 59	0.022 43	0.001 15	214	328	147	29	143	7
PM04-1-19	174.70	173.92	1.00	0.050 41	0.005 35	0.152 73	0.015 82	0.021 98	0.000 60	214	182	144	14	140	4
PM04-1-20	119.73	143.52	0.83	0.047 45	0.006 93	0.149 47	0.021 33	0.022 85	0.000 80	72	237	141	19	146	5
PM04-1-21	551.19	290.76	1.90	0.048 56	0.010 03	0.146 48	0.029 50	0.021 88	0.001 07	127	300	139	26	140	7
PM04-1-22	70.15	64.69	1.08	0.046 63	0.006 84	0.144 81	0.020 76	0.022 52	0.000 77	30	229	137	18	144	5
PM04-1-23	92.31	107.51	0.86	0.048 96	0.004 31	0.149 73	0.012 89	0.022 18	0.000 51	146	150	142	11	141	3
PM04-1-24	207.26	176.79	1.17	0.046 23	0.003 46	0.141 62	0.010 37	0.022 22	0.000 45	10	121	134	9	142	3
PM04-1-25	149.17	140.12	1.06	0.048 15	0.007 12	0.152 95	0.022 07	0.023 04	0.000 83	107	238	145	19	147	5

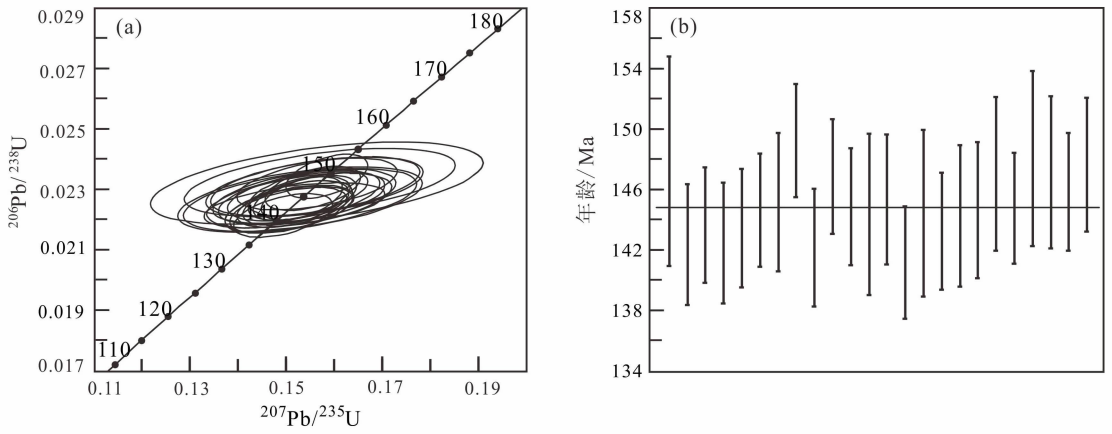


图 3 晚侏罗世斑状正长花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和图（a）和加权年龄分布图（b）

Fig. 3 Zircon U-Pb concordia diagram (a) and weighted average age distribution (b) for porphyritic syenogranite from Late Jurassic

4 岩石地球化学特征

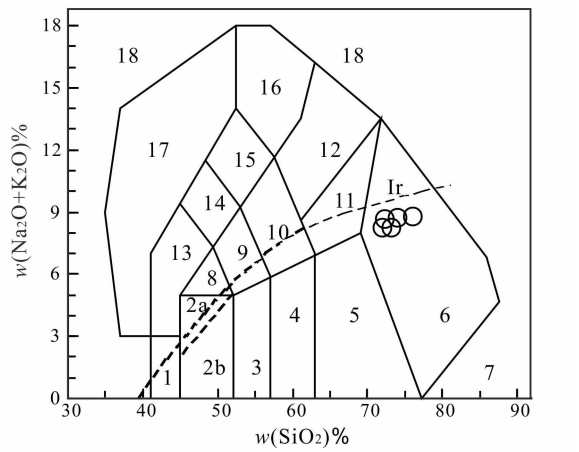
4.1 分析方法

样品主微量元素和稀土元素的测试分析在吉林大学测试实验中心实验室完成。将样品粉碎并研磨至 200 目以下，主量元素测试采用 XRF 荧光测试方法完成，测试精度优于 5%；稀土和微量元素测试采用等离子体质谱（ICP-MS）法，按照 GSR-1 和 GSR-2 国家标准，分析精度优于 10%。

4.2 主量元素特征

斯木科斑状正长花岗岩主量元素分析结果显示（表 2）：SiO_2 含量较高（72.24% ~74.01%），平均为 73.12%；Al_2O_3 含量为 13.01% ~13.53%，平均为 13.27%；K_2O 含量为 4.52% ~4.66%，平均为 4.59%；Na_2O 含量为 3.86% ~4.14%，平均为 4.09%。$Na_2O + K_2O$ 值为 8.47% ~8.70%，平均为 8.51%，碱含量较高；FeOT、MgO、CaO、P_2O_5、TiO_2 含量较低，分异指数（DI）高达 91.39 ~95.29，反映岩石经历了较高程度的分异演化作用。

在 SiO_2 -（$K_2O + Na_2O$）（TAS）图解上（图 4），样品均落入于碱性-亚碱性分界线下方的花岗岩区，属于亚碱性岩石。铝指数 A/CNK 为 0.95 ~1.09，在 A/CNK-A/NK 图解上，样品落入准铝质-过铝质花岗岩区（图 5a）。在 K_2O-SiO_2 图解上（图 5b），样品落入高钾钙碱性系列范围，具有高钾（钙碱）的岩石化学特征。分析结果表明，



1. 橄榄辉长岩；2a. 碱性辉长岩；2b. 亚碱性辉长岩；3. 辉长闪长岩；4. 闪长岩；5. 花岗闪长岩；6. 花岗岩；7. 硅英岩；8. 二长辉长岩；9. 二长闪长岩；10. 二长岩；11. 石英二长岩；12. 正长岩；13. 副长石辉长岩；14. 副长石二长闪长岩；15. 副长石二长正长岩；16. 副长正长岩；17. 副长深成岩；18. 霓方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩.

虚线为碱性-亚碱性分界线，上方为碱性，下方为亚碱性.

图 4 斑状正长花岗岩 TAS 图

Fig. 4 TAS diagram for porphyritic syenogranite

斯木科晚侏罗世斑状正长花岗岩具有富铝、富碱、贫镁钙的岩石化学特点，属高钾钙碱性系列的准铝质-过铝质岩石。

4.3 稀土和微量元素特征

稀土元素分析结果显示（表 2），稀土元素总量 $\sum REE = (66.29 \sim 91.68) \times 10^{-6}$，平均 78.10×10^{-6}，低于陆壳平均值（154.7×10^{-6}）；LREE/

表2　岩石主量元素（%）、微量和稀土元素（10^{-6}）分析结果

Table 2　Results of major, trace and REE elements of granites

样品号	PM04-2-1	PM04-2-2	PM04-2-4	PM04-2-5	PM04-2-6
SiO_2	72.24	73.97	72.30	73.40	74.00
TiO_2	0.22	0.20	0.22	0.22	0.21
Al_2O_3	13.16	13.25	13.03	13.01	13.53
Fe_2O_3	1.09	1.16	0.67	0.42	0.62
FeO	0.49	0.27	0.46	0.42	0.69
CaO	1.15	0.63	1.24	0.69	0.33
MgO	0.61	0.30	0.72	0.32	0.08
K_2O	4.54	4.56	4.52	4.61	4.66
Na_2O	4.12	4.14	3.98	3.86	4.10
MnO	0.05	0.07	0.02	0.03	0.02
P_2O_5	0.05	0.05	0.05	0.06	0.04
H_2O	0.82	0.71	0.80	0.91	0.69
H_2O^-	0.16	0.18	0.22	0.09	0.27
LOI	1.78	1.22	1.93	1.40	0.73
total	100.47	100.70	100.16	100.38	99.99
A/CNK	0.96	1.03	0.95	1.03	1.09
A/CN	1.52	1.52	1.53	1.53	1.54
$Na_2O + K_2O$	8.66	8.70	8.50	8.47	8.76
La	8.78	8.24	17.04	15.33	13.23
Ce	40.18	39.26	40.76	41.35	38.20
Pr	2.26	2.11	4.67	3.41	3.66
Nd	8.42	7.61	16.19	11.97	12.24
Sm	1.71	1.50	2.76	2.09	2.33
Eu	0.36	0.28	0.45	0.41	0.38
Gd	1.68	1.49	2.32	2.08	1.88
Tb	0.37	0.34	0.40	0.40	0.36
Dy	2.57	2.27	2.51	2.52	2.44
Ho	0.56	0.52	0.55	0.55	0.52
Er	1.74	1.60	1.58	1.68	1.60
Tm	0.31	0.28	0.28	0.29	0.29
Yb	1.97	1.87	1.84	1.87	1.87
Lu	0.30	0.30	0.28	0.29	0.28
ΣREE	71.21	91.68	91.63	73.23	66.29
LREE	61.71	83.01	81.87	63.56	57.04
HREE	9.49	8.67	9.76	9.67	9.24
LREE/HREE	6.50	9.57	8.39	6.58	6.17
$(La/Yb)_N$	3.20	3.15	6.63	5.88	5.07
δEu	0.66	0.57	0.54	0.60	0.55
δCe	2.21	3.72	1.12	1.03	0.89
Rb	141.00	129.00	134.00	157.00	140.00
Sc	3.53	3.06	3.43	3.94	3.25
Sr	84.80	64.70	99.50	71.90	69.70
Ba	400.00	337.00	371.00	400.00	361.00
Ga	17.20	18.10	18.10	18.10	18.10
Zr	159.00	150.00	156.00	160.00	159.00
Y	15.30	13.66	14.14	14.95	14.01
Hf	3.31	3.51	4.11	4.61	4.11
Nb	9.80	8.62	10.80	10.50	7.35
Ta	0.92	0.81	0.97	0.95	0.67
Th	16.9	16.2	16.90	18.60	16.80
Be	2.57	2.61	2.05	2.44	2.64
Cr	5.67	5.36	5.13	4.81	5.24
Cs	2.78	2.26	2.33	2.89	2.77
U	2.76	3.23	3.66	4.77	3.82
Nd/Th	0.49	0.46	0.95	0.64	0.72
Ti/Zr	8.30	8.00	8.46	8.25	7.92
Rb/Sr	1.66	1.99	1.35	2.18	2.01

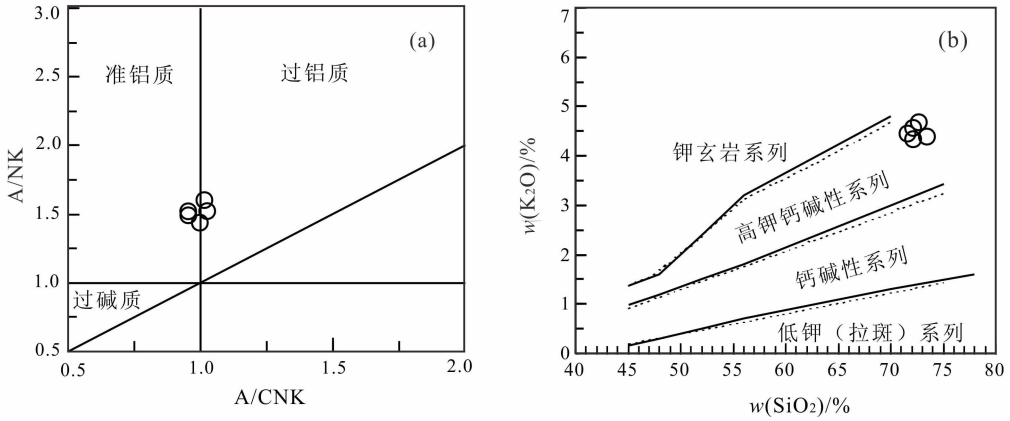


图 5 斑状正长花岗岩的 A/CNK（a）和 SiO_2-K_2O（b）图解

Fig. 5 A/CNK (a) and SiO_2-K_2O (b) diagrams for porphyritic syenogranite

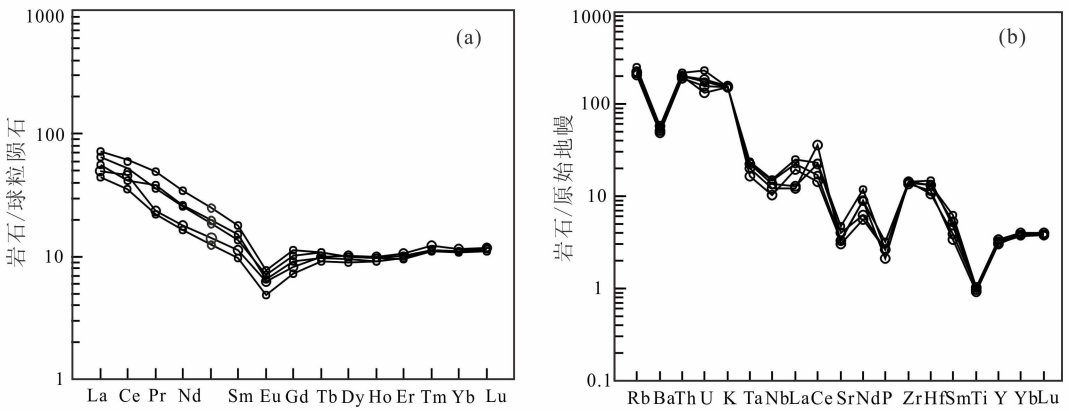


图 6 正长花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分图解（a）、微量元素原始地幔标准化图解（b）

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle (PM) normalized trace element patterns (b) for syenogranite

HREE = 6.17 ~ 9.57，$(La/Yb)_N$ = 3.15 ~ 6.63，轻稀土富集且轻重稀土分馏较明显，为轻稀土富集型；配分曲线呈不对称右倾的“V”字形（图 6a），轻稀土部分斜率相对较大，重稀土相对舒缓波状，使 HREE 呈现轻度下凹；Eu 中等-弱亏损（δEu = 0.54 ~ 0.66，平均为 0.61），δEu 的轻度负异常表明源区残留相存在斜长石或岩浆起源于斜长石稳定区。不同样品间的稀土元素含量以及变化趋势比较一致。

微量元素分析结果表明，在微量元素原始地幔标准化“蛛网图”中（图 6b），曲线总体为右倾型，明显相对富集大离子亲石元素（LILE）Rb、K，高场强元素（HFSE）Th、Zr、U、Hf 等，而亏损 Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素（HFSE），而元素 Sr 具有明显的负异常，存在 Sr 元素的亏损，类似于活动大陆边缘火山岩的地球化学特征[7]。引起 Sr 负异常的原因可能存在斜长石的分离结晶作用或在源区有斜长石的残留。

5 成因及构造环境

5.1 岩石成因

在花岗岩成因类型判别图解上（图 7），样品点靠近 A 型，但均落入 I、S 型区域。本区斑状正长花岗岩富硅，最高达到 74.01%，具有明显的 Eu

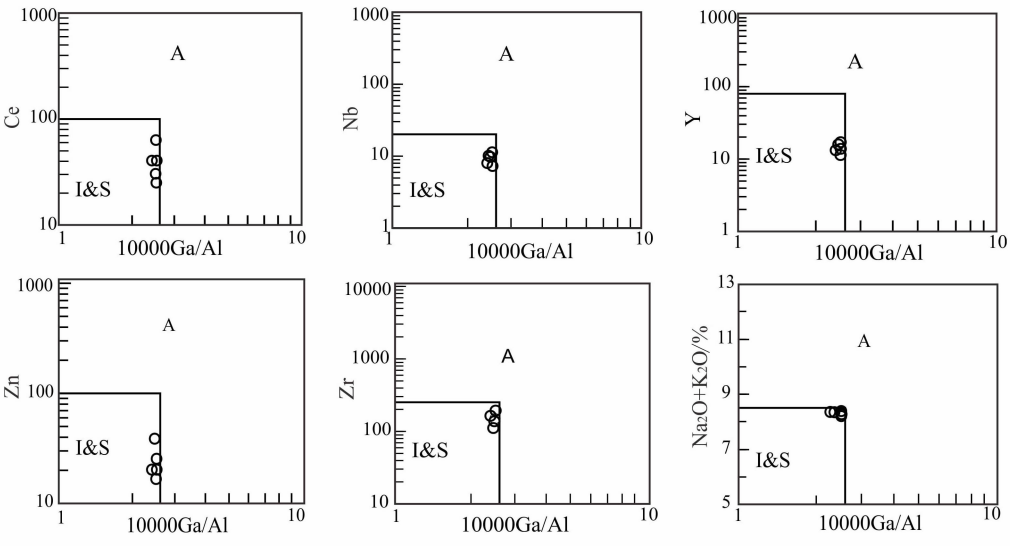


图7　花岗岩类成因判别图解

Fig. 7　Granite genetic discrimination diagram

负异常（δEu = 0.54 ~ 0.66，平均为 0.60），分异指数（DI）较高，高达 91.39 ~ 95.29，平均值为 93.39，具有高分异 I 型花岗岩特征[8]。由于 I 型、S 型和 A 型的高分异花岗岩矿物组合和化学成分都趋近于最低共熔点组分，因此具有相似的地球化学特征[9]，而 A 型 S 型花岗岩的特征表现为：①A 型花岗岩的碱性指数（A. I.）通常 > 1.0，10 000 Ga/Al 值为 3.74 ±[10]，而本区斑状正长花岗岩碱性指数（A. I.）均 < 1.0，为 0.65 ~ 0.79，10 000 Ga/Al 的值为 2.47 ~ 2.63；②S 型花岗岩 SiO_2 含量一般比较低，过铝质，铝饱和指数（A/CNK） > 1.1[11]，而本区斑状正长花岗岩富硅、准铝质到弱过铝质，铝饱和指数（A/CNK）的值均 < 1.1。其 K_2O/Na_2O < 1.2，Na_2O > 3.5%[12]，且 $100Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$（mol）值为 41.1 ~ 68.8 相对较高，符合典型 I 型花岗岩的 40 ~ 70 的范围[12]。判别 I 型和 S 型花岗岩的有效标志是 P_2O_5，本区的斑状正长花岗岩 P_2O_5 的含量较低（平均值为 0.051%），且 Na_2O 含量较高（平均值为 4.04%），这明显区别于 S 型花岗岩[13]。在 w（Ce）- w（SiO_2）图解中，样品均落入 I 型花岗岩区域内（图 8）。综上所述，斯木科斑状花岗岩应为高分异 I 型花岗岩。

斯木科的斑状正长花岗岩的主量元素具有高硅、富钾和贫镁、钙、铁的的岩石化学特点，而且

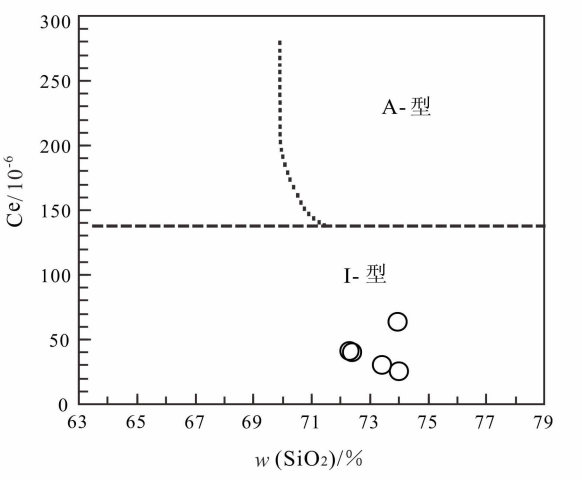


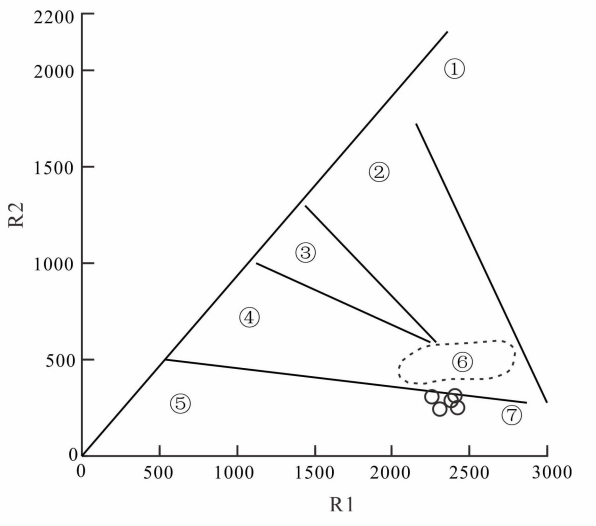
图8　斑状正长花岗岩 SiO_2-Ce 图解

Fig. 8　SiO_2-Ce diagram of porphyritic syenogranite

其过渡元素的含量相对较低，表明其原始岩浆起源于陆壳物质的部分熔融[14,15]。同时，在微量元素蛛网图中，岩石富集大离子亲石元素（LILE）Rb、K，高场强元素（HFSE）Th、Zr、U、Hf 等，而亏损 Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素（HFSE），这些元素地球化学组成表示其与大陆地壳物质具有显著的亲缘性[16]。

由幔源与壳源岩石产生的岩浆，其微量元素比值有显著差别[17]。岩石 Rb /Sr 的比值为 1.35 ~ 2.18，平均值为 1.83，明显高于原始地幔（0.03）、

E－MORB（0.033）及 OIB（0.047）的 Rb/Sr 值[18]，属壳源岩浆范围（>0.5）[19]；Ti/Zr = 7.92～8.46，平均值为 8.19，亦属于壳源岩浆范围（<20）；Nd/Th 为 0.46～0.95，平均值为 0.65，明显区别于幔源岩石（>15）；$(Rb/Nb)_N$ 比值为 12.40～19.04，平均值为 15.14，明显高于大陆的 $(Rb/Nb)_N$ 比值 2.3～4.8，更表现出了壳源岩浆的成分特征[20]。综上所述，斯木科晚侏罗世斑状正长花岗岩应该来源于地壳中火成岩的部分熔融。



1. 地幔分异产物；2. 板块碰撞前；3. 碰撞后隆起；4. 造山晚期；5. 非造山；6. 同碰撞；7. 造山后.

图 9 斑状正长花岗岩 R1-R2 判别图解

Fig. 9 R1－R2 discrimination diagram of porphyritic syenogranite

5.2 构造环境

关于大兴安岭地区晚侏罗世时期处于伸展环境许多学者已有共识[21-23]。斯木科晚侏罗世斑状花岗岩以高钾钙碱性系列为主，以富碱为特征，Eu 弱负异常，富集大离子亲石元素而亏损高场强元素，具有造山后花岗岩的地球化学特征[24]。在 R1-R2 判别图解中（图 9），样品均落入非造山和造山后区域，显示斯木科晚侏罗世斑状正长花岗岩应形成于造山后伸展构造背景。

关于大兴安岭地区伸展环境的形成机制，不同的学者持不同的见解：有些学者认为与地幔柱或软流圈上涌有关[25,26]；还有一些学者认为与古太平洋板块的俯冲作用有关[27]，但是，近年来大多数学者认为其与蒙古—鄂霍次克洋的演化有关[19,28]。

大兴安岭中-新生代火山岩 NE 向带状分布以及火山岩具有较宽的时代范围（185～105 Ma），明显与地慢柱模式不符[29]，因为与地慢柱作用有关的岩浆作用一般持续的时间比较短而且出现时常呈环状火山岩带，所以难以表明与大兴安岭伸展构造环境有关。孙德有等提出在蒙古国中东部地区发现大量的花岗岩与中国大兴安岭地区花岗岩的形成时代相同，而其与太平洋板块特别遥远[28]，这证明了晚侏罗世花岗岩的形成与古太平洋板块的俯冲无关。许文良等学者的研究结果表明蒙古—鄂霍茨克洋从西向东呈剪刀式慢慢闭合，闭合的最终时间为晚侏罗世—早白垩世[2,30,31]，这与斯木科斑状正长花岗岩形成的时间几乎一致。参考前人的研究成果结合本文的资料认为其是在蒙古—鄂霍茨克洋闭合造山后的伸展背景下所形成。综上所述，笔者认为斯木科晚侏罗世斑状花岗岩是伸展背景下，地壳中火山岩的部分熔融形成。

6 结论

（1）斯木科斑状正长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果为（144±0.85）Ma，表明其形成于晚侏罗世。

（2）斯木科斑状正长花岗具有富铝、富碱、贫镁钙的岩石化学特点，相对富集大离子亲石元素（LILE）Rb、U、K 等，而相对亏损 Sr 元素及 Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素（HFSE），属于准铝质-过铝质高分异 I 型花岗岩，高钾钙碱性系列，应起源于地壳火成岩物质的部分熔融。

（3）斯木科晚侏罗世斑状正长花岗岩应在蒙古—鄂霍茨克洋闭合造山后的伸展环境下形成。

参考文献：

[1] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志［M］. 北京：地质出版社，1993：1725.
Inner Mongolia Bureau of Geology Mineral Resources. Regional geology of Inner Mongolia［M］. Beijing：Geological Publishing House，1993：1725.

[2] 许文良，葛文春，裴福萍，等. 东北地区中生代火山作用的年代学格架及其构造意义［J］. 矿物岩石地 球化学通报，2008，27（增刊）：286-287.
XU Wen-liang，GE Wen-chun，PEI Fu-ping，et al. Geochronological framework and tectonic significance of

Mesozoic volcanism in northeastern China [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2008, 27 (Suppl.): 286-287.

[3] 徐美君，许文良，王枫，等. 小兴安岭中部早侏罗世花岗质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.
XU Mei-jun, XU Wen-liang, WANG Feng, et al. Geochronology and geochemistry of the Early Jurassic granitoids in the central Lesser Xing'an Range, NE China and its tectonic implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29 (2): 354-368.

[4] 李锦轶，莫申国，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.
LI Jin-yi, MO Shen-guo, HE Zheng-jun, et al. 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 [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11 (3): 157-168.

[5] 张超，杨伟红，和钟铧，等. 大兴安岭中南段塔尔气地区满克头鄂博组流纹岩年代学和地球化学研究[J]. 世界地质，2014，33 (2)：255-265.
ZHANG Chao, YANG Wei-hong, HE Zhong-hua, et al. Chronology and geochemistry of rhyolites in Manketou'ebo Formation from Ta'erqi area, southern-central Greater Xing'an Range [J]. Global Geology, 2014, 33 (2): 255-265.

[6] 许文良，王枫，裴福萍，等. 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 [J]. 岩石学报，2013，29 (2)：339-353.
XU Wen-liang, WANG Feng, PEI Fu-ping, et al. Mesozoic tectonic regimes and regional ore-forming background in NE China: constraints from spatial and temporal variations of Mesozoic volcanic rock associations [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29 (2): 339-353.

[7] Kelemen P B, Johnson K T M, Kinzler R J, et al. High-field-strength element depletion sinarc basalts due to mantle-magmainter action [J]. Nature, 1990, 345: 521-523.

[8] Li X H, Li Z X, Li W X, et al. U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I- and A-type granites from central Guangdong, SE China: a major igneous event in response to foundering of a subducted flat-slab [J]. Lithos, 2007, 96: 18-204.

[9] 吴福元，李献华，郑永飞，等. Lu-Hf 同位素体系及其岩石学应用 [J]. 岩石学报，2007，23 (2)：185-220.
WU Fu-yuan, LI Xian-hua, ZHENG Yong-fei, et al. Lu-Hf isotopic systematics and their applications in petrology [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (2): 185-220.

[10] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites: geo-chemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1987, 95: 407-419.

[11] 钟长汀，邓晋福，万渝生，等. 华北克拉通北缘中段古元古代造山作用的岩浆记录：S 型花岗岩地球化学特征及锆石 SHRIMP 年龄 [J]. 地球化学，2007，36 (6)：633-637.
ZHONG Chang-ting, DENG Jin-fu, WAN Yu-sheng, et al. Magma recording of Paleoproterozoic orogeny in central segment of northern margin of North China Craton: geochemical characteristics and zircon SHRIMP dating of S-type granitoids [J]. Geochimica, 2007, 36 (6): 633-637

[12] 邱家骧. 岩浆岩岩石学 [M]. 北京：地质出版社，1985：1-36.
QU Jia-xiang. Magmatic petrology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985: 1-36.

[13] King P L, White A J R, Chappell B W, et al. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan fold belt, southeasten Australia [J]. Journal of Petrology, 1997, 38 (3): 371-391.

[14] 于介江，张彦龙，葛文春，等. 三江盆地北缘晚白垩世花岗质岩石的年代学、地球化学及其构造意义[J]. 岩石学报，2013，29 (2)：369-385.
YU Jie-jiang, ZHANG Yan-long, GE Wen-chun, et al. Geochronology and geochemistry of the Late Cretaceous granitoids in the northern margin of the Sanjiang Basin, NE China and its tectonic implication [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29 (2): 369-385.

[15] 张运强，陈海燕，刘应龙，等. 冀北寿王坟铜矿石英二长岩 LAICP-MS 锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征 [J]. 黄金科学技术，2014，22 (3)：23-29.
ZHANG Yun-qiang, CHEN Hai-yan, LIU Ying-long, et al. LA ICP-MS zircon, U-Pb age and geochemical characteristics of quartz monzonite of Shouwangfen copper mine in north Hebei Province [J]. Gold Science and Technology, 2014, 22 (3): 23-29.

[16] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: its composition and evolution [M]. Oxford: Blackwell, 1985: 712.

[17] 张遵忠，顾连兴，吴昌志，等. 东天山印支早期尾亚石英正长岩：成岩作用及成岩意义 [J]. 岩石学报，2006，22 (5)：1135-1149.

ZHANG Zun-zhong, GU Lian-xing, WU Chang-zhi, et al. Weiya quartz syenite in Early Indosinina from eastern Tianshan Mountains: petrogenesis and tectonic implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (5): 1135-1149.

[18] Tischendorf G, Paelchen W. On the classification of granitoids [J]. Zeitschrift Fuer Geologische Wissenschaften, 1985, 13 (5): 615-627.

[19] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [J]. Geological Society of Special Publication, 1989, 42 (1): 313-345.

[20] 李创举, 包志伟. 河南舞阳南部张世英岩体的地球化学与成因及其构造意义 [J]. 大地构造与成矿学, 2010, 34 (3): 435-443.
LI Chuang-ju, BAO Zhi-wei. LA-ICPMS zircon U-Pb geochronology and geochemical characteristics of the Zhangshiying syenite from south of Wuyang, Henan Province [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2010, 34 (3): 435-443.

[21] 陈志广, 张连昌, 周新华, 等. 满洲里新右旗火山岩剖面年代学和地球化学特征 [J]. 岩石学报, 2006, 22 (12): 2971-2986.
CHENG Zhi-guang, ZHANG Lian-chang, ZHOU Xin-hua, et al. Geochronogy and geochemical characteristics of volcanic rocks section in Manzhouli Xinyouqi, Inner-Mongolia [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (12): 2971-2986.

[22] 李培忠, 于津生. 黑龙江碾子山晶洞碱性花岗岩岩体年龄及其意义 [J]. 地球化学, 1993 (4): 389-398.
LI Pei-zhong, YU Jin-sheng. Ninzishan miarolitic alkaline granite stock, Heilongjiang-its ages and geological implications [J]. Geochimica, 1993 (4): 389-398.

[23] 张玉涛, 张连昌, 英基丰, 等. 大兴安岭北段塔河地区早白垩世火山岩地球化学及源区特征 [J]. 岩石学报, 2007, 23 (11): 2811-2822.
ZHANG Yu-tao, ZHANG Lian-chang, YING Ji-feng, et al. Geochemistry and source characteristics of Early Cretaceous volcanic rocks in Tahe, north Da Hinggan Mountain [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (11): 2811-2822.

[24] 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.
SHAO Ji-an, ZHANG LÜ-qiao, XIAO Qing-hui, et al. Rising of Da Hingaan Mts in Mesozoic: a possible mechanism of intracontinental orogeny [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21 (3): 789-794.

[25] 葛文春, 林强. 大兴安岭中生代两类流纹岩成因的地球化学研究 [J]. 地球科学, 2000, 25 (2): 172-178.
GE Wen-chun, LIN Qiang. Geochemical research into origins of two types of Mesozoic rhyolites in Daxing'anling [J]. Earth Science, 2000, 25 (2): 172-178.

[26] 葛文春, 李献华, 林强, 等. 呼伦湖早白垩世碱性流纹岩的地球化学特征及其意义 [J]. 地质科学, 2001, 36 (2): 176-183.
GE Wen-chun, LI Xian-hua, LIN Qiang, et al. Geochemistry of Early Cretaceous alkaline rhyolites from Hulun Lake, Daxing'anling and its tectonic implications [J]. Chinese Journal of Geology, 2001, 36 (2): 176-183.

[27] 马家骏, 方大赫. 黑龙江省中生代火山岩初步研究 [J]. 黑龙江地质, 1991, 2 (2): 1-16.
MA Jia-jun, FANG Da-he. Study on Mesozoic volcano rock in Heilongjiang Province [J]. Geology of Heilongjiang, 1991, 2 (2): 1-16.

[28] 孙德有, 苟军, 任云生, 等. 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 [J]. 岩石学报, 2011, 27 (10): 3083-3094.
SUN De-you, GOU Jun, REN Yun-sheng, et al. Zircon U-Pb dating and study on geochemistry of volcanic rocks in Manitu Formation from southern Manchuria, Inner Mongolia [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27 (10): 3083-3094.

[29] 孟恩, 许文良, 杨德彬, 等. 满洲里地区灵泉盆地中生代火山岩的锆石 U-Pb 年代学, 地球化学及其地质意义 [J]. 岩石学报, 2011, 27 (4): 1209-1226.
MENG En, XU Wen-liang, YANG De-bin, et al. Zircon U-Pb chronology geochemistry of Mesozoic volcanic rocks from the Lingquan Basin in Manzhouli area, and its tectonic implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27 (4): 1209-1226.

[30] Metelkin D V, Vernikovsky V A, Kazansky A Y, et al. Late Mesozoic tectonics of central Asia based on paleomagnetic evidence [J]. Gondwana Research, 2010, 18 (2): 400-419.

[31] 黄始琪, 董树文, 张福勤, 等. 蒙古—鄂霍茨克构造带中段构造变形及动力学特征 [J]. 地球学报, 2014, 35 (4): 415-424.
HUANG Shi-qi, DONG Shu-wen, ZHANG Fu-qin, et al. Tectonic deformation and dynamic characteristics of the middle part of the Mongolia-Okhotsk collisional belt, Mongolia [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2014, 35 (4): 415-424.