

## 内蒙古突泉县姜家屯侏罗纪花岗闪长岩年代学及地球化学特征

田子龙, 赵庆英, 李子昊, 邱士龙, 李湜先, 郑泽宇

吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061

**摘要:** 对姜家屯花岗闪长岩进行的同位素年代学及岩石地球化学研究显示, 花岗闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 加权平均年龄为  $154.8 \pm 1.8$  Ma, 表明该侵入体是晚侏罗世形成的。岩石学及地球化学数据显示其属于高钾钙碱性系列, 具 A 型花岗岩特征。岩石高硅 ( $\text{SiO}_2 = 66.08\% \sim 67.80\%$ )、富碱 ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 7.35\% \sim 7.97\%$ )、富铝 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 = 14.5 \sim 15.23$ )、贫镁 ( $\text{MgO} = 1.08\% \sim 1.62\%$ )、贫钙 ( $\text{CaO} = 2.05\% \sim 3.04\%$ )、低钛 ( $\text{TiO}_2 = 0.56\% \sim 0.67\%$ )、轻稀土富集, 重稀土相对亏损, 稀土配分曲线呈右倾型, 具明显的负铕异常, 轻稀土分馏较好。微量元素亏损 Sr、Ba、Ta、Nb, 而 Th、Zr、Hf、Pb 相对富集, 在微量元素原始地幔标准化蛛网图上显示明显 Sr、Ba、Ti 负异常的特征。综合这些特征认为, 姜家屯花岗闪长岩是受古太平洋板块俯冲影响, 造山后岩石圈伸展剪薄环境下的产物。

**关键词:** 花岗闪长岩; 岩石地球化学; 晚侏罗世; 姜家屯; 内蒙古突泉县

## GEOCHRONOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE JURASSIC GRANODIORITE IN JIANGJIATUN, TUQUAN COUNTY OF INNER MONGOLIA

TIAN Zi-long, ZHAO Qing-ying, LI Zi-hao, QIU Shi-long, LI Shi-xian, ZHENG Ze-yu

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

**Abstract:** Study on the isotopic chronology and lithogeochemistry of the Jiangjiatun granodiorite in Tuquan County, Inner Mongolia, indicates that the LA-ICP-MS zircon U-Pb weighted average age for the rock body is  $154.8 \pm 1.8$  Ma, which represents Late Jurassic. The petrological and geochemical data shows the granodiorite, belonging to high-K calc-alkaline series and A-type granite, is characterized by high  $\text{SiO}_2$  ( $66.08\% \sim 67.80\%$ ), rich alkali ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 7.35\% \sim 7.97\%$ ), rich  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $14.5 \sim 15.23$ ), poor MgO ( $1.08\% \sim 1.62\%$ ), poor CaO ( $2.05\% \sim 3.04\%$ ) and low  $\text{TiO}_2$  ( $0.56\% \sim 0.67\%$ ). The REE pattern curves are right-dipping with evident negative Eu anomalies and well LREE fractionation. The primitive mantle normalized trace element spidergrams show distinct negative Sr, Ba and Ti anomalies, depletion of Sr, Ba, Ta and Nb, and relative enrichment of Th, Zr, Hf and Pb. From the above, it is thought that the Jiangjiatun granodiorite is the product of post-orogenic lithosphere extension and shear thinning background affected by the subduction of Paleo-Pacific Plate.

**Key words:** granodiorite; lithogeochemistry; Late Jurassic; Jiangjiatun; Inner Mongolia

### 0 引言

内蒙古突泉县位于中亚造山带东段, 区域上中生

代花岗岩广泛发育, 约占地质体出露面积的 70%~80%, 形成“花岗岩海”<sup>[1]</sup>, 目前, 有关大兴安岭中生代

收稿日期: 2017-02-24; 修回日期: 2017-04-21. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局区域地质调查项目“内蒙古 1:5 万吐列毛都、车家营子、六户、二龙屯幅区调”(1212011120660).

作者简介: 田子龙(1992—), 男, 硕士研究生, 岩石学、矿物学、矿床学专业, 主要从事矿产地质调查等方面研究工作, 通信地址 吉林省长春市朝阳区建设街 2199 号, E-mail/969842250@qq.com

大规模岩浆活动的构造动力学背景存在争议. 主要有两种观点: 太平洋板块对欧亚大陆东部的西向俯冲作用<sup>[2-5]</sup>; 二叠纪末期华北板块和西伯利亚板块沿着索伦-林西缝合带碰撞合并与后期的蒙古-鄂霍次克洋向南俯冲挤压<sup>[6-8]</sup>. 在大兴安岭中生代岩浆活动期次上, 也存在分歧, 葛文春等<sup>[9]</sup>将乌兰浩特地区花岗岩浆活动划分为中-晚三叠世、早中侏罗世和早白垩世3期; 张兴洲等<sup>[10]</sup>认为东北地区显生宙花岗岩可分为4期构造事件, 其中晚侏罗世构造-岩浆事件, 锆石年龄范围 155~180 Ma, 并且晚侏罗世花岗岩主要分布在张广才岭南部的吉中-辽北地区和小兴安岭西北部.

相较之下, 松辽盆地西部边缘的晚侏罗世花岗岩研究报道较少, 制约了东北地区构造岩浆演化规律研究. 笔者选择突泉县姜家屯中生代的花岗闪长岩, 进行了岩相、地球化学、年代学的研究, 为探讨本区中生代构造-岩浆演化提供新的资料.

### 1 地质背景

研究区位于大兴安岭中南部突泉县地区, 属位处西伯利亚板块和华北板块中间地带的兴蒙造山带东部, 东南部为西乌旗-牡牛海晚华力西缝合带, 西北部为贺根山中华力西缝合带(图 1a). 研究区最大的特点

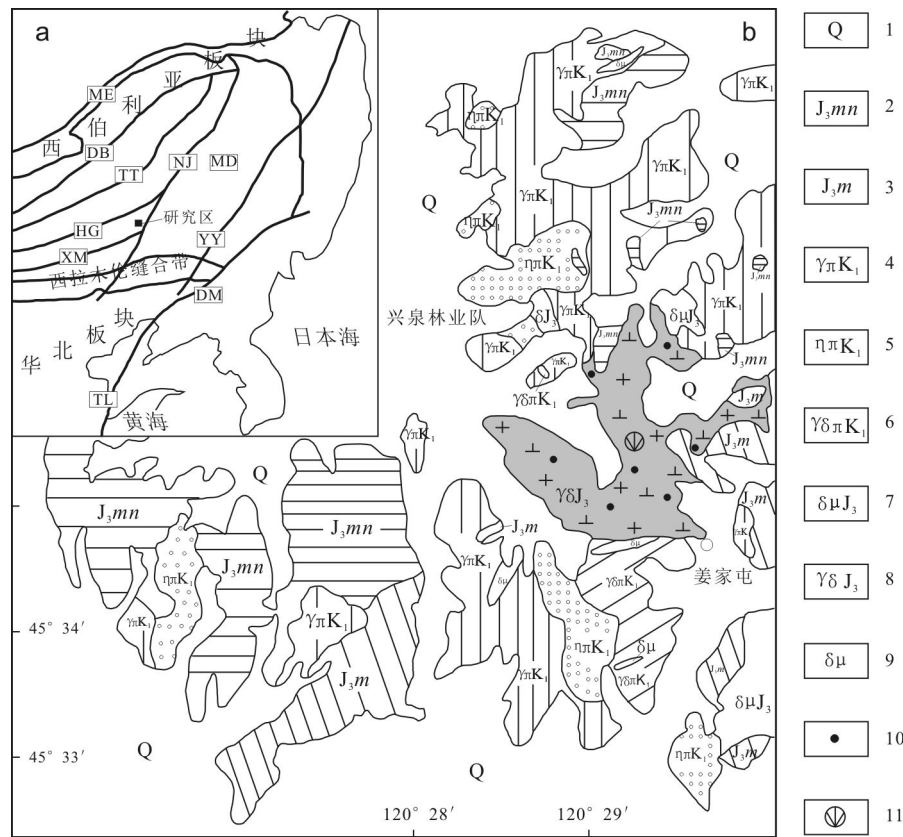


图1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the study area

ME—蒙古-鄂霍次克图库棱格勒燕山缝合带 (Yanshanian Mongolia-Okhotsk suture zone); DB—德尔布干泛非缝合带 (Pan-African Derbugan suture zone); TT—塔源-头道桥中华力西缝合带 (Middle Variscan Tayuan-Toudaoqiao suture zone); HG—贺根山中华力西缝合带 (Middle Variscan Hegenshan suture zone); XM—西乌旗-牡牛海晚华力西缝合带 (Late Variscan Xiwuqi-Mangniuhai suture zone); NJ—嫩江中-晚华力西缝合带 (Middle-Late Variscan Nenjiang suture zone); MD—牡丹江晚印支-早燕山缝合带 (Late Indosinian-Early Yanshanian Mudanjiang suture zone); TL—DM—郯庐-敦密大断裂带 (Tanlu-Dunmi large fault zone); YY—依兰-伊通晚燕山大断裂带 (Late Yanshanian Yilan-Yitong large fault zone); 1—第四纪地层 (Quaternary strata); 2—玛尼吐组 (Manitu fm.); 3—满克头鄂博组 (Manketouebo fm.); 4—早白垩世花岗岩斑岩 (Early Cretaceous granite porphyry); 5—早白垩世二长斑岩 (Early Cretaceous monzoporphyry); 6—早白垩世花岗岩闪长岩 (Early Cretaceous granodiorite-porphyry); 7—晚侏罗世闪长玢岩 (Late Jurassic dioritic porphyrite); 8—晚侏罗世花岗闪长岩 (Late Jurassic granodiorite); 9—闪长玢岩脉 (dioritic porphyrite dike); 10—化学样采样点 (geochemical sampling site); 11—年龄样采样点 (age sampling site); 图 a 改编自文献<sup>[14]</sup>

是分布大规模的中生代岩浆岩,尤其以 NNE 向展布的岩浆岩与 E-W—NE 向古生代构造岩浆构成了现在的地质构造格局,并形成了多金属矿产资源<sup>[11-13]</sup>.

研究区出露的地质体为中生代火山岩和一系列侵入体(图 1b). 其中中生代火山岩为上侏罗统满克头鄂博组( $J_3m$ )和玛尼吐组( $J_3mn$ ). 满克头鄂博组是以流纹岩、流纹质火山角砾岩为主的一套酸性火山碎屑岩沉积,玛尼吐组是以安山岩、黑云母安山岩为主的一套中性火山碎屑岩组合. 出露的花岗岩体有早白垩世花岗斑岩、二长斑岩和花岗闪长斑岩以及晚侏罗世花岗闪长岩. 出露的区域性脉岩有石英岩脉、中性岩脉等.

## 2 岩石学特征

花岗闪长岩出露于突泉县姜家屯西山,呈岩株状产出,出露面积约为 4.52 km<sup>2</sup>. 地表岩石风化严重(图 2a),样品均取自地下探坑中(深约 10 m). 岩体内脉岩基本不发育. 花岗闪长岩侵入晚侏罗世满克头鄂博组和玛尼吐组地层,又被早白垩世花岗斑岩(143±3 Ma)<sup>[15]</sup>侵入.

花岗闪长岩风化面呈黄褐色,新鲜面呈灰黄色,具半自形中粒结构,块状构造. 主要矿物成分:石英,烟灰色,他形粒状,粒度在 0.5~2.0 mm 之间,分布较均匀,含量为 25%;钾长石,半自形板状,粒度 2.0~2.5 mm,条纹结构发育,有轻微的高岭土化,分布不太均匀,含量 15%;斜长石,半自形板状,粒度在 1.0~4.5 mm 之间,钠长石双晶发育, $(010) \wedge NP' = 7^\circ$  (平均), $An=26$ ,有较强的绢云母化,在岩石中分布均匀,含量 45%;黑云母,具有褐红色—淡黄色的多色性,片状,有轻微的绿泥石化,分布均匀,含量 10%;角闪石,半自形长柱状,正中突起,解理清楚,二级蓝干涉色, $Ng' \wedge C=22^\circ$ ,有轻微的绿泥石化,含量在 5%左右.

## 3 锆石 U-Pb 定年

锆石 U-Pb 定年样品 TW7 取自突泉县姜家屯西山(约 10 m 深探坑中)花岗闪长岩(坐标 X: 121°29'18", Y: 45°35'28"). 锆石挑选是在河北省区域地质矿产调查研究所完成. 先用常规方法将样品粉碎至 80~100 目,再经过淘洗和电磁方法进行分离,可以取得高纯度矿样,并在双目镜下挑选具有较好晶形且无明显裂痕和包裹体的锆石,摆在环氧树脂表面并打磨抛光,然后

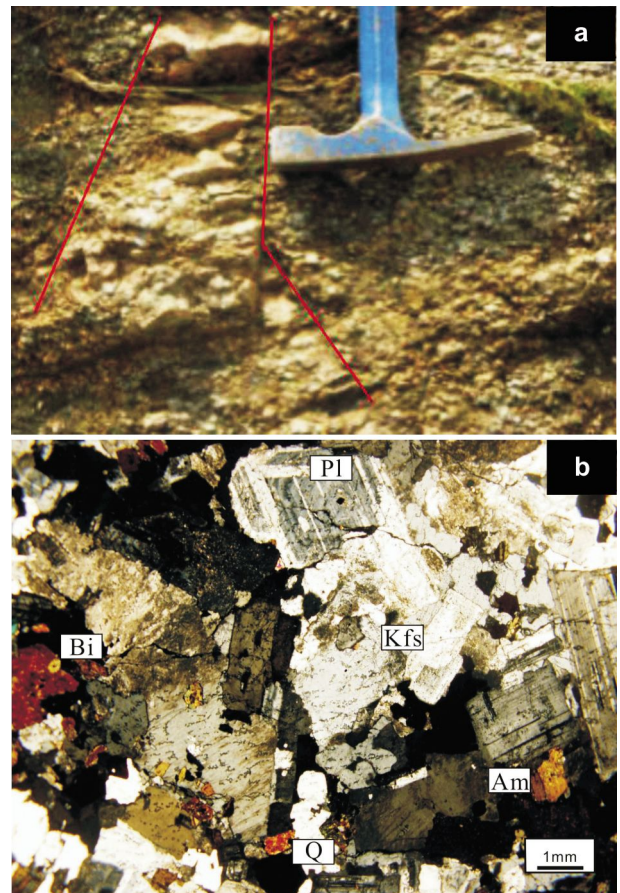


图 2 花岗闪长岩照片

Fig. 2 Photographs of granodiorite

a—花岗斑岩侵入花岗闪长岩 (granite porphyry intruding into granodiorite); b—花岗闪长岩显微照片 (micrograph of granodiorite); Q—石英 (quartz); Pl—斜长石 (plagioclase); Bi—黑云母 (biotite); Am—角闪石 (amphibole); Kfs—钾长 (K-feldspar)

进行透射光、反射光和阴极发光 (CL) 图像收集. 锆石的制靶、显微图像采集以及锆石 U-Pb 同位素分析在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成. 采用 Agilent 7500a 型 ICP-MS 仪器和 ComPex 102 ArF 准分子激光器以及 GeoLas 200M 光学系统联机进行. 实验中采用氦气作为剥蚀物质的载气,激光频率为 6 Hz,激光强度为 50 mJ,激光斑束为 30  $\mu\text{m}$ ,剥蚀样品深度为 20~40  $\mu\text{m}$ . 锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标标准物质,元素含量采用 NISTSRM 610 作为外标,<sup>29</sup>Si 作为内标. 实验测得的数据采用 Andersen<sup>[16]</sup>的方法进行同位素比值的比较去除普通 Pb 的影响,年龄计算及成图采用 Isoplot3.0<sup>[17]</sup>程序,所得出的同位素值和年龄的误差均为 1 $\sigma$ .

锆石呈半自形, 形状呈短柱状、等轴状, 长度 100~250  $\mu\text{m}$  不等, 多集中在 200  $\mu\text{m}$ , 长宽比为 2:1 至 1:1. 花岗闪长岩所有挑选的锆石样品均具有清晰的内部结构和典型的岩浆震荡环带(图 3), 不具有核-幔结构, 无后期变质壳, 表明是由岩浆结晶形成的, 应代表岩体侵位的时代.

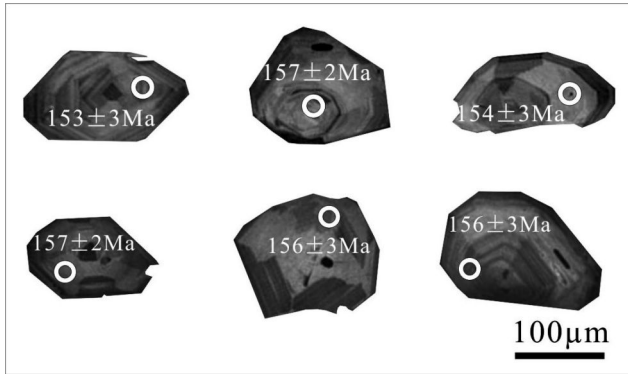


图 3 部分锆石阴极 CL 图像

Fig. 3 The CL images of zircon samples

TW7 分选出的锆石 Th/U 值为 0.29~0.56. 对该样品 21 个锆石进行了 25 个点的测年(表 1),  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄介于 147~166 Ma 之间. 在锆石 U-Pb 年龄谐和曲线和年龄分布图(图 4)中, 绝大多数测点落在谐和曲线或附近, 呈群簇状集中在 154 Ma 左右, 无捕获锆石. 去掉 3 个偏离谐和线的测点(测点 12、16、17), 剩余 22 个测点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄加权平均值为  $154.8 \pm 1.8$  Ma

(平均标准权重偏差为 2.6). 由于这 22 个锆石测点的表面年龄比较集中, 点位的锆石岩浆环带比较清晰, 表面年龄基本都位于谐和线上, 所以  $154.8 \pm 1.8$  Ma 比较接近岩体的岩浆结晶年代.

#### 4 地球化学

对姜家屯花岗闪长岩 7 个化学样品进行了地球化学元素分析, 编号为 P7-Yq51、P7-Yq56、P7-Yq62、P7-Yq65、P7-Yq67、P7-Yq71、P7-Yq75. 主量元素、微量元素分析是在国土资源部长春矿产资源监督检测中心完成的. 主量元素运用 X 射线荧光光谱仪(PW4400)测量, 微量元素采用采用等离子质谱仪(X-series)分析, 测试结果见表 2.

##### 4.1 主量元素

岩石富硅( $\text{SiO}_2$  质量分数为 66.08%~67.80%, 平均为 66.82%)、富碱( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  质量分数为 7.35%~7.97%, 平均为 7.66%)且相对富  $\text{K}_2\text{O}$ ( $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  平均值 1.1), 贫镁( $\text{MgO}$  质量分数 1.08%~1.62%, 平均 1.42%)、贫钙( $\text{CaO}$  质量分数 2.05%~3.04%, 平均 2.65%). 在  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$  图解(图 5)中, 样品落于 A 型花岗岩区. 在  $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$  图解(图 6)上主要显示为高钾钙碱性系列岩石. TAS 图解(图 7)上, 样品均落入花岗闪长岩区域. 在  $\text{A}/\text{CNK}-\text{A}/\text{NK}$  图解(图 8)显示为过铝质岩石.

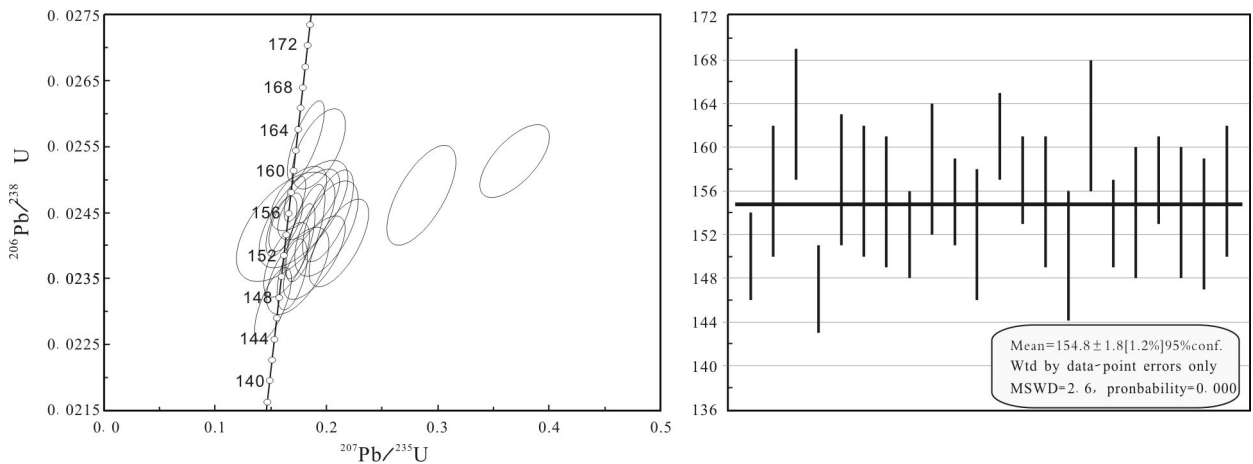


图 4 花岗闪长岩中的锆石 U-Pb 谐和曲线和年龄分布图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagram and age distribution of granodiorite

表 1 样品锆石 U-Pb 定年结果  
Table 1 Zircon U-Pb dating results of granodiorite

测点号	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	同位素比值						年龄/Ma					
		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$
TW7-01	0.45	0.0236	0.0004	0.1703	0.0096	0.0519	0.0022	150	2	160	8	282	96
TW7-02	0.56	0.0245	0.0005	0.2015	0.0151	0.0615	0.0036	156	3	186	13	657	123
TW7-03	0.47	0.0256	0.0004	0.1815	0.0116	0.0513	0.0026	163	3	169	10	255	111
TW7-04	0.52	0.0231	0.0004	0.1518	0.0114	0.0476	0.0030	147	2	143	10	81	130
TW7-05	0.47	0.0247	0.0004	0.1758	0.0103	0.0522	0.0023	157	3	164	9	295	99
TW7-06	0.58	0.0246	0.0004	0.1729	0.0156	0.0511	0.0039	156	3	162	14	244	164
TW7-07	0.50	0.0243	0.0005	0.2000	0.0187	0.0598	0.0046	155	3	185	16	596	164
TW7-08	0.36	0.0238	0.0004	0.1645	0.0139	0.0502	0.0036	152	2	155	12	203	153
TW7-09	0.52	0.0248	0.0005	0.2854	0.0211	0.0818	0.0046	158	3	255	17	1242	106
TW7-10	0.38	0.0243	0.0003	0.1616	0.0111	0.0482	0.0028	155	2	152	10	109	121
TW7-11	0.54	0.0238	0.0004	0.1885	0.0177	0.0574	0.0046	152	3	175	15	508	170
TW7-13	0.36	0.0253	0.0004	0.3703	0.0217	0.1018	0.0047	161	2	320	16	1656	82
TW7-14	0.46	0.0246	0.0004	0.184	0.0185	0.0542	0.0048	157	2	172	16	379	190
TW7-15	0.36	0.0243	0.0005	0.1639	0.0304	0.049	0.0082	155	3	154	27	146	308
TW7-18	0.38	0.0236	0.0004	0.1746	0.018	0.0536	0.0047	150	3	163	16	354	193
TW7-19	0.47	0.0255	0.0004	0.1934	0.0162	0.0551	0.0039	162	3	179	14	415	156
TW7-20	0.49	0.0241	0.0004	0.1759	0.0092	0.0530	0.0021	153	2	165	8	327	87
TW7-21	0.47	0.0241	0.0004	0.1606	0.0085	0.0484	0.0018	154	3	151	7	118	84
TW7-22	0.29	0.0247	0.0002	0.1720	0.0066	0.0501	0.0015	157	2	161	6	198	69
TW7-23	0.55	0.0242	0.0005	0.1835	0.0102	0.0559	0.0022	154	3	171	9	449	87
TW7-24	0.49	0.024	0.0004	0.2119	0.0173	0.0635	0.0042	153	3	195	15	724	139
TW7-25	0.49	0.0245	0.0005	0.179	0.0263	0.053	0.0068	156	3	167	23	329	272

测试单位:西北大学大陆动力学国家重点实验室. 2011.

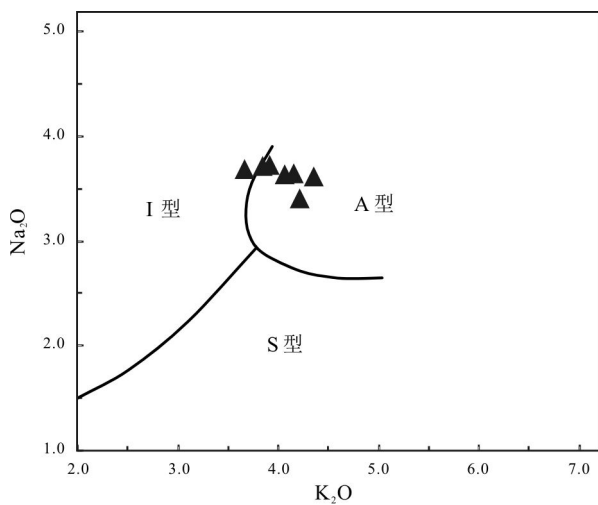


图 5 花岗闪长岩  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$  关系图  
(据文献[18])

Fig. 5 The  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$  diagram of granodiorite  
(After Reference [18])

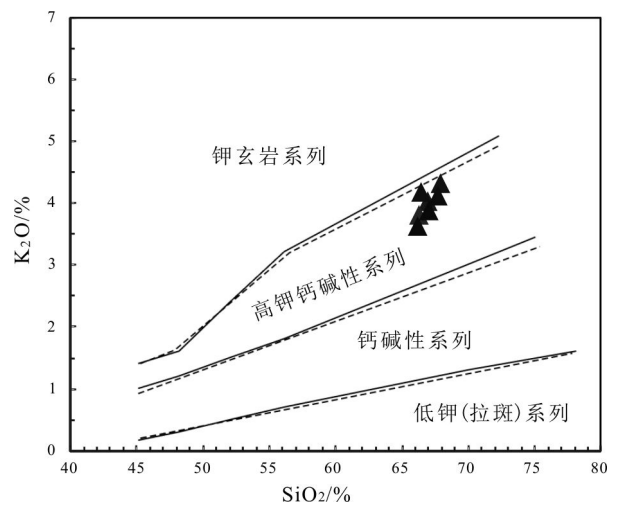


图 6 花岗闪长岩  $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$  图解  
(据文献[19])

Fig. 6 The  $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$  diagram of granodiorite  
(After Reference [19])

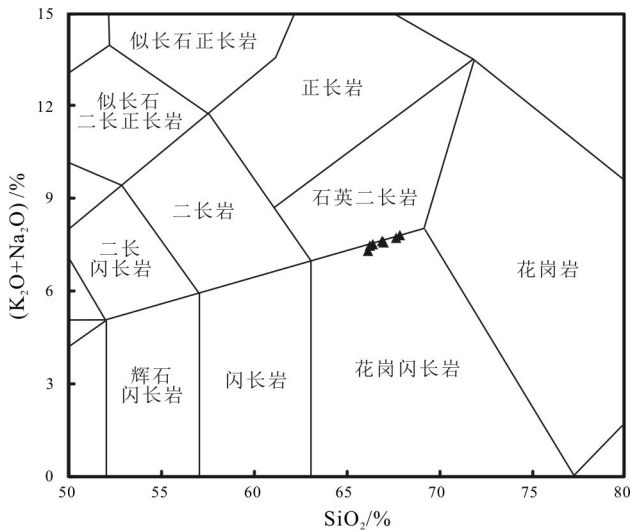


图 7 花岗闪长岩 TAS 图解  
(据文献[20])

Fig. 7 The TAS diagram of granodiorite  
(After Reference [20])

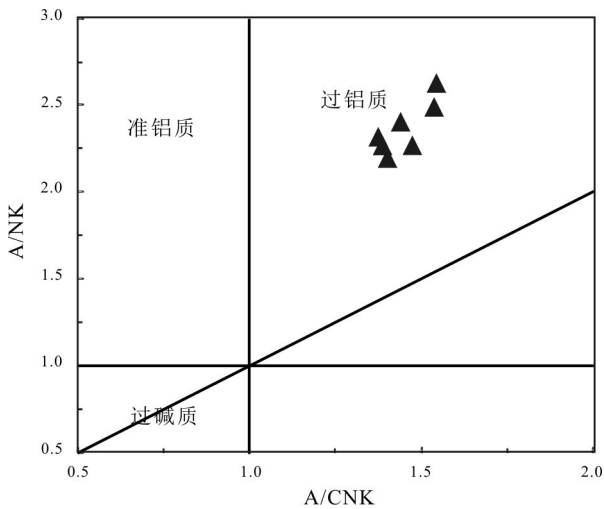


图 8 花岗闪长岩 A/CNK-A/NK 图解  
(据文献[21])

Fig. 8 The A/CNK-A/NK diagram of granodiorite  
(After Reference [21])

4.2 痕量元素特征

岩石  $\Sigma$ REE 含量主要为  $126.31 \times 10^{-6} \sim 166.72 \times 10^{-6}$ , 相对变化大, 平均为  $152.5 \times 10^{-6}$ . 轻重稀土 (比值为 7.93~9.48, 平均为 8.66) 分馏程度高, 且发育负铕异常 ( $\delta Eu = 0.53 \sim 0.62$ , 平均为 0.59). 稀土元素配分曲线呈右倾海鸥型, 轻稀土较陡而重稀土曲线呈水平分布 (图 9), 可能表明岩浆源区不存在石榴石等含重稀土的矿物<sup>[22]</sup>. 在原始地幔标准化微量元素蛛网图 (图 10) 上,

姜家屯花岗闪长岩明显富集 K、Rb 等大离子亲石元素, 而 Ta、Nb、Ti 等高场强元素和 Y、Yb 等元素相对亏损.

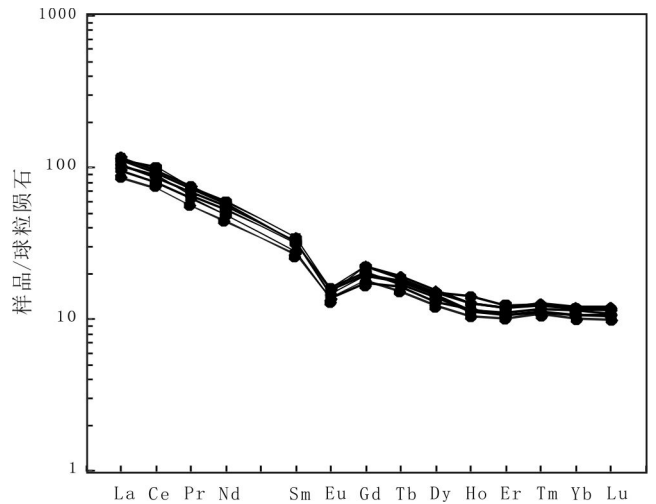


图 9 稀土元素球粒陨石标准化分布模式图  
(球粒陨石标准化值引自文献[23])

Fig. 9 Chondrite-normalized REE patterns of  
Jiangjiatun granodiorite  
(Standard value from Reference [23])

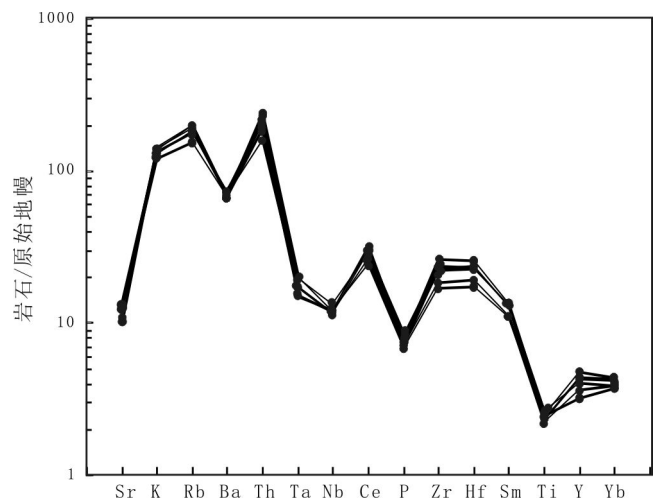


图 10 微量元素原始地幔标准化蛛网图  
(原始地幔标准化值引自文献[24])

Fig. 10 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams  
of Jiangjiatun granodiorite  
(Standard value from Reference [24])

5 讨论

5.1 岩石类型

姜家屯花岗闪长岩具有高硅、高钾特点.  $SiO_2-K_2O$

表 2 姜家屯花岗闪长岩岩体主量元素和痕量元素分析结果

Table 2 Analysis result of major and trace elements in diabase from Jiangjiatun granodiorite rock body

样品号	P7-Yq51	P7-Yq56	P7-Yq62	P7-Yq65	P7-Yq67	P7-Yq71	P7-Yq75
SiO <sub>2</sub>	66.84	66.34	67.80	67.60	66.18	66.08	66.92
TiO <sub>2</sub>	0.62	0.62	0.57	0.56	0.65	0.67	0.59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.02	14.91	14.50	14.61	15.23	15.16	14.93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.35	1.22	1.14	0.83	1.60	1.27	1.07
FeO	2.90	3.19	2.71	2.92	2.96	3.35	2.90
MnO	0.06	0.09	0.08	0.06	0.07	0.07	0.06
MgO	1.39	1.56	1.08	1.25	1.56	1.62	1.47
CaO	2.05	2.76	2.60	2.76	2.37	2.96	3.04
Na <sub>2</sub> O	3.65	3.42	3.63	3.66	3.73	3.70	3.74
K <sub>2</sub> O	4.05	4.20	4.34	4.14	3.83	3.65	3.90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.16	0.15	0.15	0.16	0.17	0.16
LOI	1.29	1.02	0.68	0.58	1.17	0.50	0.27
Total	99.37	99.49	99.27	99.12	99.50	99.20	99.05
Rb	152	164	169	171	152	132	158
Sr	323	295	240	294	308	312	297
Ba	561	550	517	511	547	514	522
Th	17.40	20.50	23.10	18.10	20.60	15.20	20.30
Ta	0.65	0.84	0.87	0.75	0.79	0.73	0.66
Nb	7.53	8.13	7.43	7.19	7.04	7.04	7.33
Hf	6.08	8.98	8.34	6.76	7.45	8.15	7.99
Zr	189	290	250	203	226	259	245
Cu	22.00	28.10	32.20	21.00	16.80	14.00	21.30
Pb	22.50	24.20	33.10	27.20	21.00	17.90	28.10
Zn	63.10	73.30	90.30	64.00	57.60	57.10	63.00
Ag	0.10	0.10	0.13	0.07	0.06	0.04	0.12
Y	15.59	23.06	20.76	17.62	19.12	19.51	21.26
La	20.86	25.43	28.62	23.47	27.34	24.94	27.51
Ce	45.95	54.20	60.77	50.12	63.07	56.00	58.04
Pr	5.46	6.80	7.34	6.13	7.32	6.45	7.10
Nd	21.26	26.84	27.58	23.36	28.70	25.35	27.55
Sm	4.20	5.16	5.04	4.35	5.43	4.96	5.07
Eu	0.82	0.88	0.87	0.81	0.95	0.96	0.92
Gd	3.78	4.74	4.11	3.69	4.71	4.27	4.17
Tb	0.58	0.74	0.68	0.63	0.71	0.66	0.69
Dy	3.20	4.03	3.79	3.40	3.89	3.63	3.92
Ho	0.61	0.75	0.67	0.67	0.74	0.65	0.82
Er	1.71	2.04	1.90	1.82	2.02	1.82	2.12
Tm	0.28	0.33	0.31	0.30	0.33	0.29	0.33
Yb	1.76	2.11	2.00	1.87	2.04	1.86	2.07
Lu	0.26	0.31	0.28	0.28	0.30	0.28	0.31
δEu	0.61	0.53	0.56	0.60	0.56	0.62	0.60
ΣREE	126.32	157.41	164.72	138.54	166.68	151.62	161.88
LREE/HREE	8.08	7.93	9.48	8.56	9.01	8.82	8.75
(La/Yb) <sub>N</sub>	8.00	8.15	9.64	8.48	9.04	9.03	8.98

分析单位:国土资源部长春矿产资源监督检测中心.含量单位:主量元素为%,痕量元素为 10<sup>-6</sup>.

图解(图6)中,投影点均落在高钾钙碱性系列区;Rb/Sr 值为 1.64~6.52, K/Rb 值为 130~212; 在  $K_2O-Na_2O$  图解(图5)中,投影点落在 A 型花岗岩的范围内。

矿物特征上,姜家屯花岗闪长岩中未见 S 型花岗岩中的常见矿物铁质白云母<sup>[25]</sup>以及吴福元等<sup>[26]</sup>认为 S 型花岗岩的标志矿物堇青石,也未见石榴石、夕线石、红柱石等矿物,与江西会昌密山 A 型花岗岩<sup>[27]</sup>相似。

地球化学特征上,1)姜家屯花岗闪长岩富硅、富碱,贫镁、钙,贫 Sr、Ba、P、Ti 等元素,并且具有负 Eu 异常等特征,总体上与张旗<sup>[28]</sup>等认为的 A 型花岗岩的实质相符。2)本研究样品  $P_2O_5$  含量 0.14%~0.17%,  $Na_2O$  含量 3.42%~3.74%, 不符合沉积岩熔融形成 S 型花岗岩的特征( $P_2O_5 > 0.20\%$ ,  $Na_2O$  均值为 2.81%)<sup>[29-30]</sup>。3)A 型花岗岩的  $FeO^T$  含量高,一般大于 1%<sup>[31]</sup>,本研究岩体全铁大于该值( $FeO^T = 3.67\% \sim 4.49\%$ )。4)尤为重要的是,A 型花岗岩的形成温度一般较高,根据 Zr 含量和主量元素含量计算花岗岩熔体锆石饱和温度的公式<sup>[32]</sup>:  $T_z = 12900 / [2.95 + 0.85M + \ln(496000 / Zr_{sat})]$ , 计算得到本文锆石的饱和温度为 804~848 °C。样品中未见继承锆石,因此锆石饱和温度可以代表岩浆的最低温度<sup>[32]</sup>。

综上所述,认为姜家屯花岗闪长岩应该属于 A 型花岗岩。

A 型花岗岩的成因主要有 3 种观点:1)地幔碱性岩浆的分离结晶作用<sup>[34-35]</sup>;2)幔源岩浆与深熔形成的壳源岩浆的混合交代作用<sup>[36-37]</sup>;3)低压环境下钙碱性岩石的部分熔融<sup>[38]</sup>。本区花岗闪长岩稀土元素配分曲线强烈亏损 Sr、明显负 Eu 异常和平坦的 HREE 特征(图5),暗示岩浆形成于富斜长石且无石榴石残留的浅部低压环境地区( $P < 10^9$  Pa)<sup>[39]</sup>。因此地幔碱性岩浆的分离结晶作用不是本区 A 型花岗岩的形成机制。野外观测花岗闪长岩不发育镁铁质包体,故排除壳幔岩浆混合交代作用的形成机制。在微量元素特征上,Rb/Sr 和 Rb/Ba 比值分别为 0.42~0.71 和 0.26~0.33,远高于原始地幔的相应值(Rb/Sr 为 0.029, Rb/Ba 为 0.088)<sup>[40]</sup>,反映岩浆经过较高分异演化;Rb/Nb 值为 20.17~23.76,明显高于地幔 0.24~0.89 的相应值。Nb/Ta 值为 8.6~11.7,远低于原始地幔和球粒陨石的 Nb/Ta (17.5±2.0),且靠近地幔的相应比值(12~13)<sup>[41]</sup>。

Th/Ta 值在 25.14~30.79 之间,远高于原始地幔的 Th/Ta 值(2.3)而接近大陆地壳的值(10)。高 Sr 低 Yb 的特点暗示,姜家屯花岗岩的源区较浅。综合上述微量元素特征可以说明,花岗闪长岩的原始岩浆主要不是来源于地幔,而是源于地壳。

## 5.2 构造环境

中侏罗世末期,南北向的挤压在华北板块北缘地区出现大规模的逆冲推覆构造<sup>[42]</sup>。晚侏罗世至早白垩世,西太平洋板块沿 NW 方向朝亚洲大陆俯冲导致中国东部发生岩石圈的伸展剪薄,进入伸展剪薄的演化阶段<sup>[43]</sup>;150~110 Ma 期间为强烈伸展区。本区花岗闪长岩显然是在碰撞后的伸展环境下形成的<sup>[44]</sup>。张连昌等<sup>[45]</sup>认为在晚侏罗世,太平洋板块已经俯冲至大兴安岭地区。张吉衡认为这一时期的太平洋板块对中国大陆东缘产生的俯冲挤压使得地壳发生明显增厚,进而重力失衡引起大规模拆沉作用<sup>[46]</sup>。冯罡等<sup>[47]</sup>认为晚侏罗世—早白垩世,蒙古—鄂霍次克洋闭合的后续作用逐渐减弱,而太平洋板块对大兴安岭中南段的俯冲碰撞占主导作用。宋维民等<sup>[22]</sup>认为科右中旗地区碱长花岗岩(166±1 Ma)是中侏罗世造山后伸展背景下的产物。潘明<sup>[48]</sup>认为巴林右旗二长花岗岩(143±10 Ma)形成于太平洋板块俯冲后的伸展环境。李子昊<sup>[15]</sup>认为科右中旗早白垩世(138±10 Ma)花岗闪长岩是板块碰撞后地壳抬升时期的产物。

姜家屯花岗岩具有低 Sr 的特征(Sr 含量低于  $400 \times 10^{-6}$ ),Eu 呈现明显的负异常,Nb、Ta、Ba、P、Ti 亏损,说明研究区成岩压力低<sup>[49]</sup>。伸展作用为该型花岗岩形成的主要形式,地壳的伸展剪薄是该阶段的主要特征<sup>[50]</sup>。Eby<sup>[51]</sup>根据地球化学特征将花岗岩分为非造山环境下的 A<sub>1</sub> 型和造山后环境下的 A<sub>2</sub> 型花岗岩。在相应的 Nb-Y-Ce 三角图解(图11)、Ce/Nb-Y/Nb 图解(图12a)和 Ce/Nb-Yb/Ta 图解(图12b)均落入 A<sub>2</sub> 型花岗岩区域内,反映其形成于造山后的伸展环境,代表着碰撞造山作用的结束。综合上述观点认为,姜家屯花岗闪长岩是受古太平洋板块俯冲影响,造山后岩石圈伸展减薄环境下的产物。

## 6 结论

1)内蒙古突泉县姜家屯地区花岗闪长岩侵入体形成于晚侏罗世(154.8±1.8 Ma)。



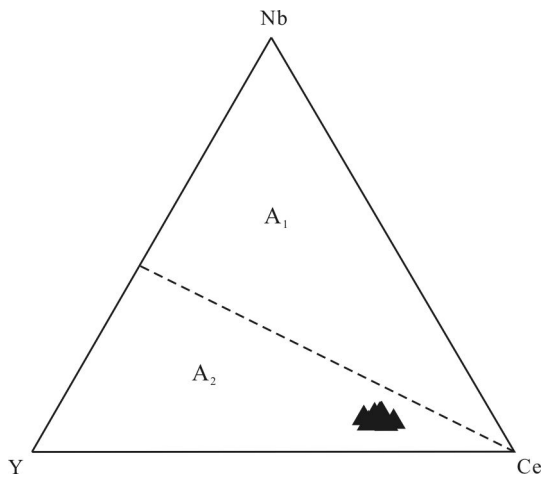


图 11 研究区花岗闪长岩 Nb-Y-Ce 图解  
(据文献[51])

Fig. 11 The Nb-Y-Ce diagram of Jiangjiatun granodiorite  
(After Reference [51])

2) 姜家屯地区花岗闪长岩为钙碱性岩, 具有高钾、硅饱和和过饱和岩石的特征, 为  $A_2$  型花岗岩。

3) 姜家屯地区花岗闪长岩是在太平洋板块俯冲影响, 造山后岩石圈伸展剪薄环境下形成的。

致谢: 吉林大学程立人教授和王天武教授在本文研究和成文过程中提供了很多帮助, 在此表示感谢。

#### 参考文献:

[1] 吴福元, 孙德有, 林强. 东北地区中生宙花岗岩的成因与地壳增生

[J]. 岩石学报, 1999, 15(2): 181-189.

[2] 蒋国源, 权恒. 大兴安岭根河、海拉尔盆地中生代火山岩[C]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所刊, 1998, 17: 23-100.

[3] 赵国龙, 杨桂林, 王忠, 等. 大兴安岭中南部中生代火山岩[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1989: 1-260.

[4] 朱耐文, 路凤香, 谢意红, 等. 大路边缘扩张型活动带火山岩组合: 松辽盆地周边中生代火山岩研究[J]. 岩石学报, 1997, 13(4): 551-562.

[5] 吴福元, 孙德有, 张广良, 等. 论燕山运动的深部地球动力学本质[J]. 高校地质学报, 2000, 6(3): 379-388.

[6] Wang P J, Liu W Z, Wang S X, et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and K/Ar dating on the volcanic rocks in the Songliao Basin, NE China: Constraints on stratigraphy and basin dynamics[J]. International Journal of Sciences, 2002, 91(2): 331-340.

[7] 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.

[8] 林强, 葛文春, 曹林, 等. 大兴安岭中生代双峰式火山岩的地球化学特征[J]. 地球化学, 2003, 32(3): 208-222.

[9] 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 大兴安岭中部乌兰浩特地区中生代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 749-762.

[10] 张兴洲, 杨宝俊, 吴福元, 等. 中国兴蒙-吉黑地区岩石圈三维结构及演化[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 12-25.

[11] Lu S T, Yang S G, Wu C L, et al. The Late Mesozoic rifting in the Northeastern China and fault-rifting basin in East Asia[J]. Science in China: Series B (Chemistry), 1987, 17(2): 185-195.

[12] 陈义贤, 陈文寄, 周新华, 等. 辽西及邻区中生代火山岩[M]. 北京: 地震出版社, 1997: 204-213.

[13] Wu F Y, Wilde S A, Zhang G L, et al. Geochronology and petrogenesis of post-orogenic Cu, Ni-bearing mafic-ultramafic intrusion in Jilin,

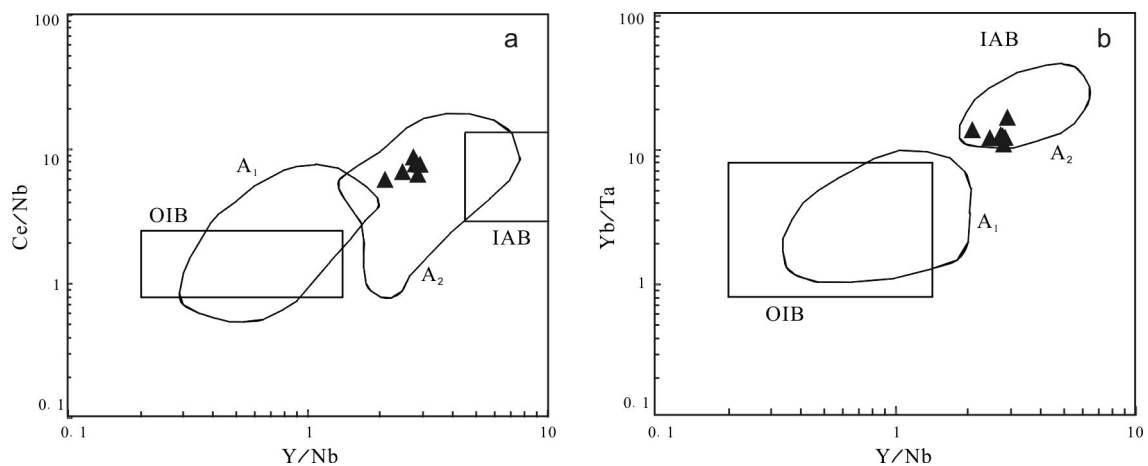


图 12 研究区花岗闪长岩 Ce/Nb-Y/Nb 和 Ce/Nb-Yb/Ta 判别图解  
(据文献[51])

Fig. 12 The Ce/Nb-Y/Nb and Ce/Nb-Yb/Ta discrimination diagrams of Jiangjiatun granodiorite  
(After Reference [51])

- NE China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2004,23(5):781-797.
- [14]王五力,李永飞,郭胜哲. 中国东北地块群及其构造演化[J]. *地质与资源*,2014,23(1):4-21.
- [15]李子昊. 内蒙古科尔沁右翼中旗新发屯岩体形成时代及地球化学特征[J]. *地质与资源*,2016,25(4):309-316.
- [16]Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{206}\text{Pb}$ [J]. *Chemical Geology*, 2002,192(1):59-79.
- [17]Ludwing K R. Users manual for Isoplot/EX (Rev.2.49): A geochronological toolkit for Microsoft Excel [J]. Berkeley: Geochronology Center Special Publication, 2003,4(1):60-61.
- [18]Collins W J, Beams S D, White A J R, et al. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1982,80(2):189-200.
- [19]Peccerillo R, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 1976,58(1):63-81.
- [20]Middlemost E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. *Earth Science Reviews*, 1994,37(3/4):215-224.
- [21]Shand S J. Eruptive Rocks. Their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposits; with a chapter on meteorite [M]. London: Thomas Mnrby & Co, 1950.
- [22]宋维民,庞雪娇,付俊彧,等. 内蒙古科尔沁右翼中旗碱长花岗岩锆石 U-Pb 年代学、岩石地球化学及动力学意义[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*,2015,45(3):847-859.
- [23]Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies [C]//Henderson P, ed. *Rare Earth Elements Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier,1984:63-114.
- [24]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 1989,42(1):313-345.
- [25]陈建林,郭原生,付善明,花岗岩研究进展——ISMA 花岗岩分类综述[J]. *甘肃地质学报*,2004,13(1):67-73.
- [26]吴福元,李献华,杨进辉,等. 花岗岩成因研究的若干问题[J]. *岩石学报*,2007,23(6):1217-1238.
- [27]邱检生,McInnes B I A,蒋少涌,等. 江西会昌密坑山岩体的地球化学及其成因类型的新认识[J]. *地球化学*,2005,34(1):20-32.
- [28]张旗,冉焱,李承东. A 型花岗岩的实质是什么? [J]. *岩石矿物学杂志*,2012,31(4):621-626.
- [29]Chappell B W, White A J R. Two contrasting types: 25 years later [J]. *Australian Journal of Earth Science*, 2001,48(4):489-499.
- [30]贾小辉,王强,唐功建. A 型花岗岩的研究进展及意义[J]. *大地构造与成矿学*,2009,33(3):465-480.
- [31]王强,赵振华,熊小林. 桐柏-大别造山带燕山晚期 A 型花岗岩的厘定[J]. *岩石矿物学杂志*,2000,19(4):297-306.
- [32]Watson E B, Harrison T M. Zircon saturation revisited: Temperature and composition effects in a variety of crustal magma types[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1983,64(2):295-304.
- [33]Miler F M, McDowell S M, Mapes R W. Hot and cold granite Implication of zircon saturation temperatures and preservation of inheritance [J]. *Geology*, 2003,31(6):529-532.
- [34]Turner S P, Foden J D, Morrison R S. Derivation of some A-type magmas by fractionation of basaltic magma: An Example from the Padthaway Ridge, South Australia[J]. *Lithos*,1992,28(2):151-179.
- [35]Mushkin A, Navon O, Halicz L, et al. The petrogenesis of A-type magmas from the Amram Massif, Southern Israel [J]. *Journal of Petrology*, 2003,44(5):815-832.
- [36]Harris C, Marsh J S, Milner S C. Petrology of the alkaline core of the Messum igneous complex, Namibia: Evidence for the progressively decreasing effect of crustal Contamination [J]. *Journal of Petrology*, 1994,40(9):1377-1397.
- [37]Yang J H, Wu F Y, Chung S L, et al. A hybrid origin for the Qianshan A-type granite, Northeast China: Geochemical and Sr-Nd-hf isotopic evidence[J]. *Lithos*, 2006,89(1/2):89-106.
- [38]Skjerlie K P, Johnston A D. Vapor-absent melting at 10 Kbar of a biotite and amphibole-bearing tonalitic gneiss: Implications for the generation of A-type granites[J]. *Geology*, 1992,20(3):263-266.
- [39]Rapp R P, Watson E B. Dehydration melting of metabasalt at 8-32 Kbar: Implications for continental growth and crust-mantle recycling [J]. *Journal of Petrology*, 1995,36(4):891-931.
- [40]Hofmann A W. Chemical differentiation of the earth: The relationship between mantle, Continental crust, and oceanic crust [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1988,90(3):297-314.
- [41]Green T H. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system [J]. *Chemical Geology*, 1995,120:347-359.
- [42]王涛,郑亚东,张进江,等. 华北克拉通中生代伸展构造研究的几个问题及其在岩石圈剪薄研究中的意义[J]. *地质通报*,2007,26(9):1154-1166.
- [43]翟明国,孟庆任,刘建明,等. 华北东部中生代构造体制转折峰期的主要地质效应和形成动力学探讨[J]. *地学前缘*,2004,11(3):285-297.
- [44]郑亚东, Davis G A, 王琮, 等. 燕山带中生代主要构造事件与板块构造背景问题[J]. *岩石学报*,2000,74(4):289-299.
- [45]张连昌,陈志广,周新华,等. 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[J]. *岩石学报*,2007,23(11):2823-2857.
- [46]张吉衡. 大兴安岭中生代火山岩年代学及地球化学研究[D]. 武汉: 中国地质大学,2009.
- [47]冯罡,万乐,刘正宏,等. 内蒙古巴林右旗晚侏罗世巴彦琥硕花岗岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素组成[J]. *地球科学与环境学报*,2015,37(6):33-46.
- [48]潘明. 内蒙古巴林右旗古力古台中生代岩浆作用及区域构造演化 [D]. 石家庄: 石家庄经济学院,2012.
- [49]刘俊杰,鞠文信,赵九峰,等. 大兴安岭根河岩区晚侏罗世火山岩特征及构造环境探讨[J]. *华南地质与矿产*,2006,12(1):38-46.
- [50]刘红涛,翟明国,刘建明,等. 华北克拉通北缘中生代花岗岩: 从碰撞后到非造山[J]. *岩石学报*,2002,18(4):433-448.
- [51]Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications[J]. *Geology*, 1992,20(1):641-644.