

雷聪聪, 李世超, 刘正宏, 等. 延边地区明南洞岩体的成因及构造背景: 岩石地球化学、锆石 U-Pb 年龄的制约[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1328-1340.

Lei Congcong, Li Shichao, Liu Zhenghong, et al. Petrogenesis and tectonic setting of Mingnandong pluton in Yanbian area: Constraints from petro-geochemistry and zircon U-Pb ages[J]. Geology in China, 2014, 41(4): 1328-1340(in Chinese with English abstract).

# 延边地区明南洞岩体的成因及构造背景: 岩石地球化学、锆石 U-Pb 年龄的制约

雷聪聪 李世超 刘正宏 徐仲元 张超 白新会

(吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

**摘要:**通过野外观测、锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测定及岩石地球化学等手段,详细地对延边地区明南洞岩体进行了研究。研究表明,延边地区明南洞岩体的成岩年龄为(180.5±0.7) Ma,为早侏罗世岩浆事件的产物。明南洞岩体中 SiO<sub>2</sub> 含量为 60.71%~67.72%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 15.60%~17.44%, 全碱(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)值为 6.79%~7.63%, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 值为 0.61~1.01, A/CNK=0.94~1.01, 属高钾钙碱性 I 型花岗岩,并具有富集轻稀土元素和大离子亲石元素,亏损重稀土元素和高场强元素的特征。以上特征表明,明南洞岩体具有显著的活动大陆边缘及火山弧花岗岩的特点。延边—太平岭地区的陆缘钙碱性、高钾钙碱性花岗岩到张广才岭—小兴安岭地区的双峰式火山岩组合,构成了平行洋壳俯冲方向的成分分带,指示了俯冲的方向,反映了早侏罗世古太平洋板块的俯冲作用。

**关键词:**岩石地球化学;早侏罗世;LA-ICP-MS;锆石 U-Pb;延边地区

**中图分类号:** P597.3;P588.12<sup>+</sup>1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014) 04-1328-13

东北地区在古生代遭受了古亚洲洋构造域的影响<sup>[1-5]</sup>,在中、新生代又受到了蒙古—鄂霍茨克构造体系和古太平洋构造域的叠加作用<sup>[6-10]</sup>,其地质历史较为复杂。作为巨大的中亚造山带的一部分,近年来研究表明东北地区广泛分布着大量的中生代花岗岩<sup>[11-13]</sup>,但对其成因及构造背景一直存在争议<sup>[13-18]</sup>,其中主要观点有以下 2 种:(1)华北板块和西伯利亚板块碰撞、拼接、造山后伸展作用体制下的产物<sup>[19]</sup>;(2)形成于古太平洋俯冲的构造背景下<sup>[20]</sup>。

明南洞岩体位于吉林省延边州和龙县,岩性为似斑状黑云母花岗岩闪长岩,1:20 万大砬子幅地质报

告<sup>①</sup>将其时代定为晚二叠世,1:25 万延吉幅地质报告<sup>②</sup>将其定于早侏罗世,但均没有可信的年代学数据支持。除此之外,该岩体的地球化学性质及构造背景研究工作尚未进行。本文在野外地质调查基础上,通过对明南洞岩体的 U-Pb 测年及岩石地球化学数据分析等工作,讨论了其形成时代、成因及其构造背景,为解决区域地质问题,提供科学依据。

## 1 区域地质背景与岩体地质

研究区位于华北克拉通北缘东段与吉黑褶皱

收稿日期:2014-01-02;改回日期:2014-04-23

基金项目:国家自然科学基金项目(41272223、41340024)联合资助。

作者简介:雷聪聪,男,1990年生,硕士生,主要从事构造地质学研究;E-mail:742934975@qq.com。

通讯作者:李世超,男,1980年生,博士,讲师,主要从事构造地质学研究工作;E-mail:Li@geology.com.cn。

①吉林省区调队. 1:20 万大砬子幅地质报告[R]. 1963.

②吉林省地质调查院. 1:25 万延吉市幅区域地质报告[R]. 2007.

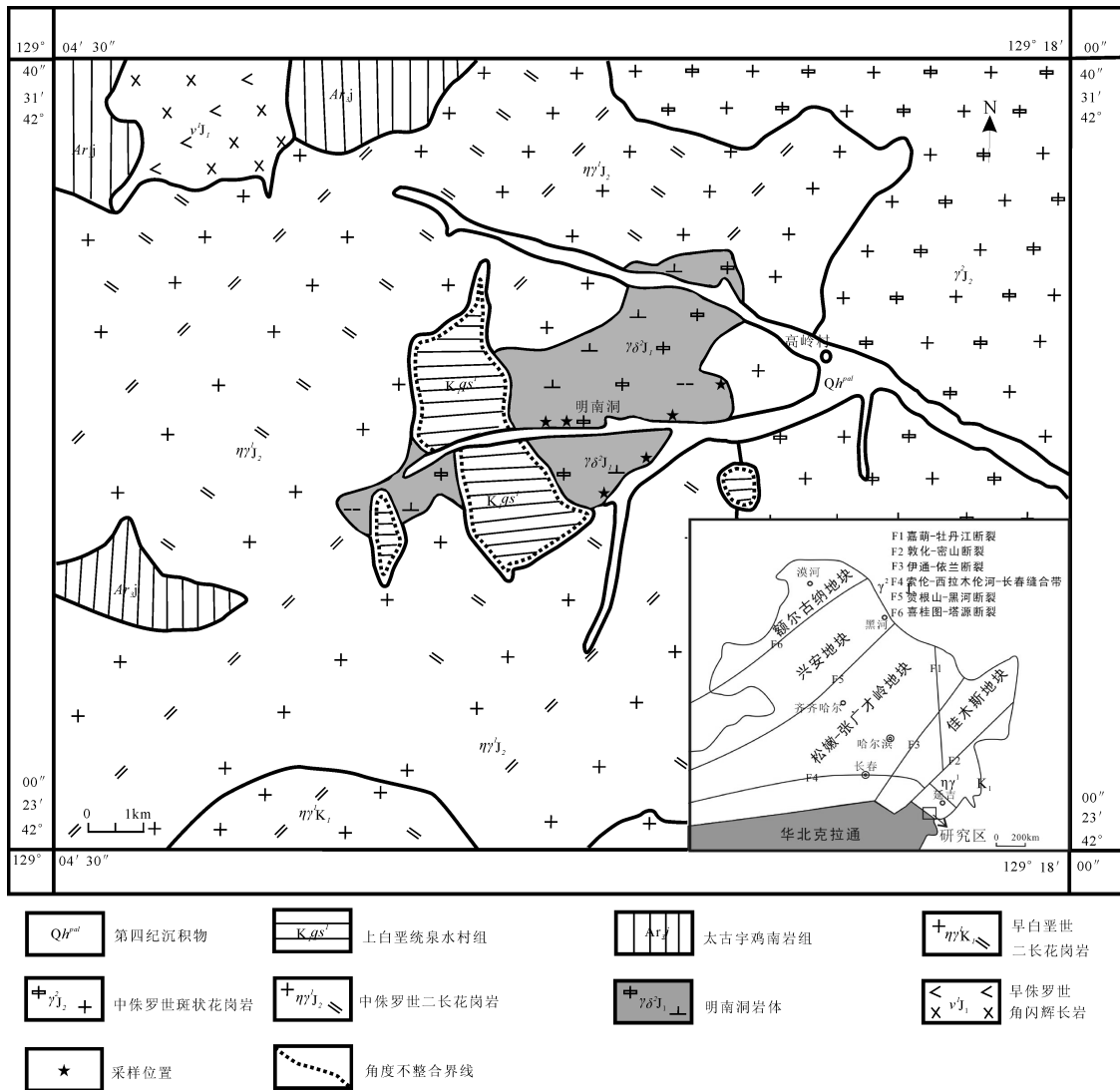


图1 延边地区明南洞岩体地质简图  
Fig.1 Simplified geological map of Mingnandong pluton in Yanbian area

造山带交接部位, 又是古亚洲洋构造域与滨太平洋构造域迭合部位。区内出露华北地台古老基底<sup>[21]</sup>, 即鸡南岩组, 中生代以来主要为一套白垩系的陆相火山—碎屑岩沉积组合、类磨拉石碎屑(含煤)沉积组合<sup>[22]</sup>。区内岩浆活动强烈, 形成了大面积的岩浆岩, 主要为海西期和燕山期的二长花岗岩及花岗闪长岩。

明南洞岩体位于延边地区和龙市高岭村西部, 呈 NNE 向展布, 面积约 10.2 km<sup>2</sup>, 被中侏罗世中细粒二长花岗岩侵入, 与上白垩统泉水村组之间为角度不整合接触关系。

明南洞岩体岩性主要为似斑状黑云母花岗闪长岩, 在野外可见细粒闪长岩包体(图2-a)。岩体新鲜面浅肉红色, 似斑状结构, 基质中细粒花岗结构, 交代蠕虫结构, 块状构造。见有碱性长石斑晶(图2-b), 斑晶分布不均匀。基质中石英他形粒状, 含量约 25%, 粒度 2 mm 左右。斜长石呈半自形—自形板柱状, 含量约 60%, 粒度 1~3.5 mm, 聚片双晶发育, 发生绢云母化, 部分颗粒具有环带结构(图2-e、f), 少数具有交代蠕虫结构(图2-c、d)(交代蠕虫结构是由交代作用形成的蠕虫结构, 如当斜长石交代钾长石, 常见接触处的斜长石中有蠕虫状石英; 环





图2 明南洞岩体中闪长岩包体(a)碱性长石斑晶(b)及显微照片(c~f)

Amp—角闪石; Bt—黑云母; Pl—斜长石; Qz—石英

Fig. 2 Fine-grained dioritic enclaves (a), alkali-feldspar phenocrysts (b) and photomicrographs (c-f)

Amp—Amphiboie; Bt—Biotite; Pl—Plagioclase; Qz—Quartz



带结构一般是在岩浆迅速冷却情况下,先晶出的较基性的斜长石没来得及与残余岩浆完全反应而部分被保留下来,随着温度的降低,依次保留下少量成分较先晶出者要酸性,而较残留岩浆要基性些的斜长石,由此造成了各带成分的差异;微斜长石含量约5%,粒度3 mm左右,发生高岭土化。黑云母片状,具有明显的多色性和吸收性,发生绿泥石化,含量约6%,普通角闪石,绿色,柱状,粒径1~2 mm,含量约4%。副矿物有磁铁矿、榍石和柱状磷灰石及双锥锆石。

## 2 分析方法

本次工作所采的锆石测年样品来自工作区内明南洞附近(E129°12'20",N42°27'46")天然新鲜露头处,样品编号N-9。地球化学样品编号Dh016(E 129°12'55",N 42°28'12")、N-9(E 129°12'20",N 42°27'46")、Yh52(E 129°11'30",N 42°27'40")、Yh53(E 129°11'35",N 42°27'42")、Yh54(E 129°11'54",N 42°27'06")、Yh55-1(E 129°11'45",N 42°26'34")。

样品的主量元素和痕量元素分析是在中国地质科学院国家地质测试中心完成的。主量元素通过X射线荧光光谱仪(PW4400)分析,痕量元素的分析则采用等离子质谱仪(X-series)完成。锆石分选由河北省廊坊市区域地质调查研究所完成。先用常规方法将样品粉碎至80~100目,之后再经过淘洗和电磁方法进行分离,在双目镜下挑选晶型较好且无明显裂痕和包裹体的锆石晶体制靶,在靶基环氧树脂凝固并干燥后,进行打磨和抛光,使锆石晶体中心部位暴露出来,再拍摄透射光、反射光和阴极发光(CL)图像。锆石U-Pb同位素分析在天津地质矿产所同位素实验室完成,采用Agilent7500型ICP-MS和ComPex102 ArF准分子激光器以及GeoLas200M光学系统联机进行,通过直径为30 μm的激光束击打锆石颗粒,剥蚀样品深度为20~40 μm。锆石的U-Pb同位素比值和U含量分别用与待测样品同时测定的标准锆石91500和NIST SRM610的测定值来校正,<sup>29</sup>Si作为内标。实验测得的数据采用Andersen<sup>[23]</sup>的方法进行同位素比值的校正以去除普通Pb的影响,U-Pb谐和图的绘制则采用Ludwig博士编写的Isoplot 3.0完成<sup>[24]</sup>,所得出的同位素比值和年龄的误差均在1 δ水平。

## 3 分析结果

### 3.1 主量元素

延边地区明南洞岩体主量元素和痕量元素分析结果见表1,数据显示明南洞岩体中SiO<sub>2</sub>质量分数为60.71%~67.72%,在SiO<sub>2</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)图解中,除Yh54落入正长闪长岩外,其余全部落入花岗闪长岩区。里特曼指数δ=1.99~2.69,在AFM图解中,样品全部落入钙碱性系列内。在SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O图解中,样品全部落入高钾钙碱性系列范围内,暗示原始岩浆富钾特点。TiO<sub>2</sub>质量分数为0.48%~0.75%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>质量分数为15.60%~17.44%,MgO质量分数为1.21%~2.21%,K<sub>2</sub>O质量分数为2.58%~3.79%,全碱(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)质量分数为6.79%~7.63%,K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=0.61~1.01,Mg#=40.39~43.77,A/CNK=0.94~1.01,从A/CAN-A/NK图可知,岩石属于准铝质I型花岗岩。

### 3.2 痕量元素

从测得的稀土元素数据及球粒陨石标准化稀土元素配分图上可以看出:延边地区明南洞岩体所有样品具有相似的稀土分配模式,稀土元素总量(ΣREE)介于94×10<sup>-6</sup>~186×10<sup>-6</sup>,富集轻稀土元素,亏损重稀土元素(LREE/HREE=4.59~6.37),(La/Yb)<sub>N</sub>=12.91~21.48。由稀土元素配分图可知,样品的稀土配分曲线均呈明显的右倾型,其中轻稀土元素配分曲线较陡,重稀土元素曲线较平缓,说明轻稀土元素较重稀土元素分异更明显。显示弱的Eu负异常到基本无Eu异常(δEu=0.79~1.00),说明源区岩浆基本没有或很少发生斜长石的分离结晶作用,结合岩浆重稀土元素强烈亏损,可知岩浆的形成深度应大于50 km。从原始地幔标准化微量元素蛛网图可知:岩体富集Rb、Th、U、K等大离子亲石元素,亏损Nb、Ti、P等高场强元素。并且岩体中Y(8×10<sup>-6</sup>~17×10<sup>-6</sup>)和Yb(0.8×10<sup>-6</sup>~1.4×10<sup>-6</sup>)明显亏损,而Sr(421×10<sup>-6</sup>~669×10<sup>-6</sup>)则明显富集。

### 3.3 锆石U-Pb同位素测定

延边地区明南洞岩体中的锆石颗粒在透射光和反射光下无色,大多半透明—透明,粒径在100~250 μm,阴极发光图像显示锆石形态以长柱状和短柱状为主,长宽比介于1~2,锆石颗粒晶体内部结构清晰,具有明显的岩浆振荡环带(图6),Th/U值较高,为0.39~0.90,平均值为0.53,指示锆石具有岩浆



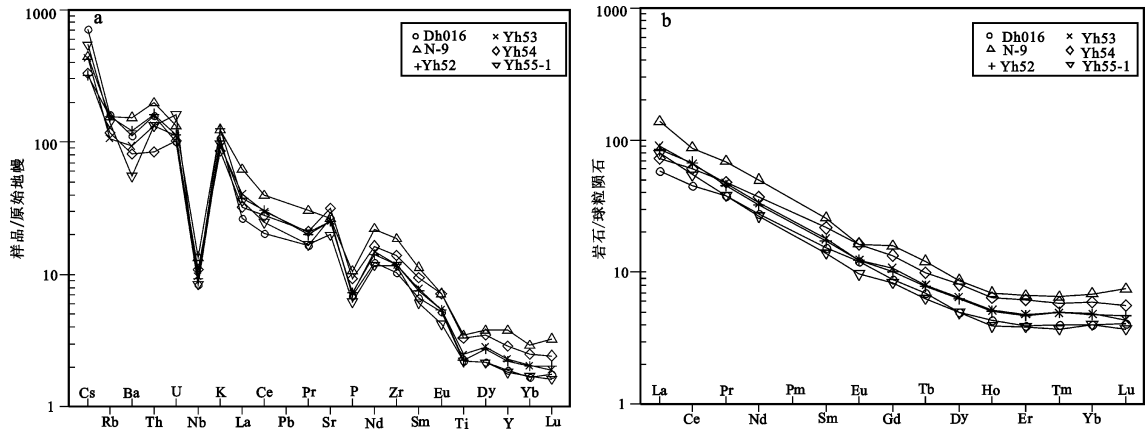


图4 明南洞岩体原始地幔标准化微量元素蛛网图(a)和球粒陨石标准化稀土元素配分图(b)  
Fig.4 Primitive mantle- normalized trace element spidergrams (a) and chondrite- normalized REE patterns (b) of Mingnandong pluton

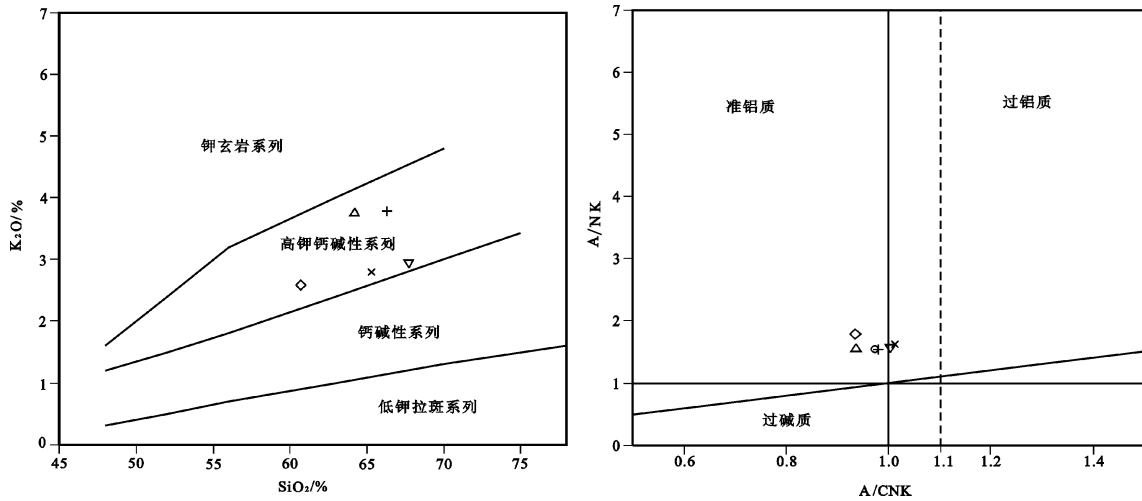


图5 明南洞岩体SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O图(a)和A/CNK-A/NK图(b)  
Fig.5 SiO<sub>2</sub>- K<sub>2</sub>O diagram (a) and A/CNK- A/NK diagram (b) of Mingnandong pluton

成因的特点<sup>[25-26]</sup>。在对透射光、反射光和阴极发光图像分析的基础上,对样品N-9进行了LA-ICP-MS U-Pb同位素分析,分析结果见表2。

由表2和锆石U-Pb年龄谐和图(图7)可知,在经过Pb校正之后,延边地区明南洞岩体中20个分析点基本位于协和线及其附近区域,并且各分析点分布较为集中,20个分析点<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄范围在(179±1)~(183±1) Ma,得出其年龄加权平均值年龄为(180.5±0.7) Ma (MSWD=1.9, n=20, 图7)。所测锆石具有明显的岩浆锆石的特点,该年龄为明南洞岩体的侵位年龄,表明延边地区明南洞岩体的形成时代为早侏罗世晚期。

## 4 讨论

### 4.1 岩石成因类型与岩浆源区性质

由于岩石中普遍含有普通角闪石,且含量较高,而副矿物中可见榍石、磁铁矿等矿物,并且A/CNK值全部小于1.1,表明延边地区明南洞岩体具有I型花岗岩的特点。通过球粒陨石标准化稀土元素配分图可知,岩体轻重稀土元素分馏强烈,其中轻稀土元素相对富集,重稀土元素相对亏损,并且Eu异常微弱或无异常,说明源区岩浆基本没有或很少发生斜长石的分离结晶作用;从原始地幔标准化微量元素蛛网图可知,岩体富集Rb、Th、U、K等大

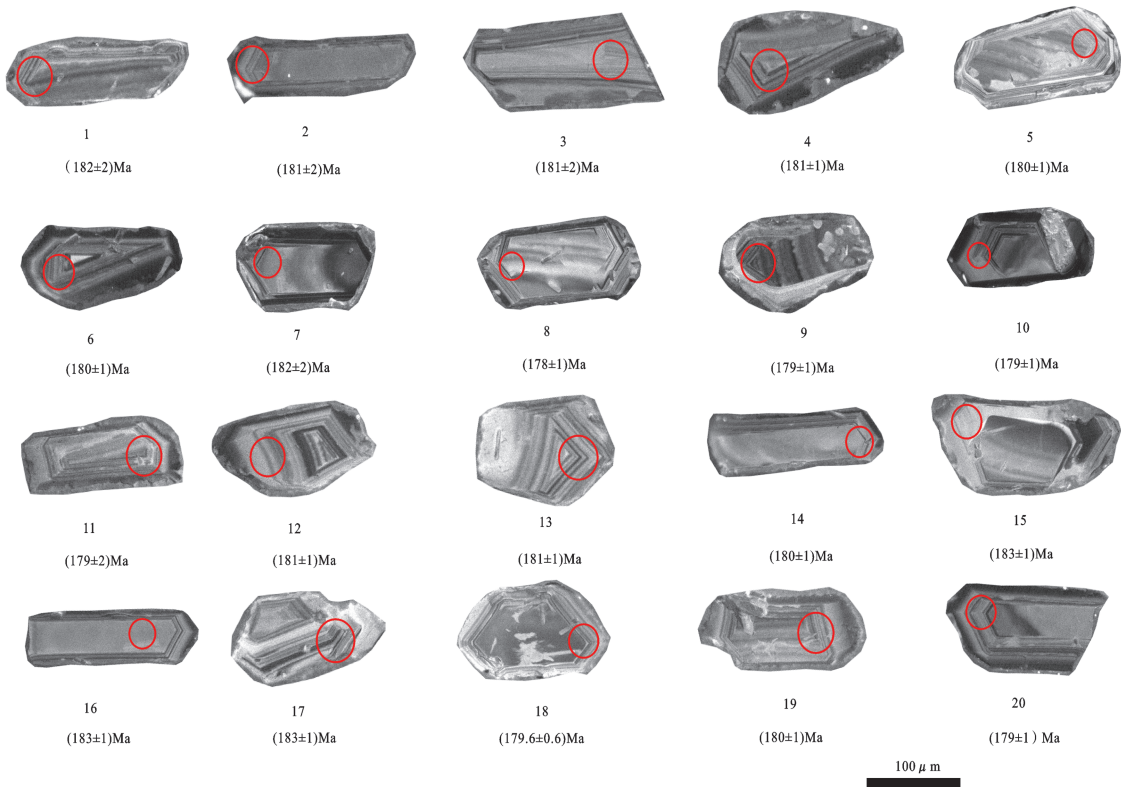


图6 明南洞岩体锆石(N-9)CL图、测点编号及<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄

Fig. 6 CL images of zircons, serial number of measuring point and <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U ages for Mingnandong pluton(N-9)

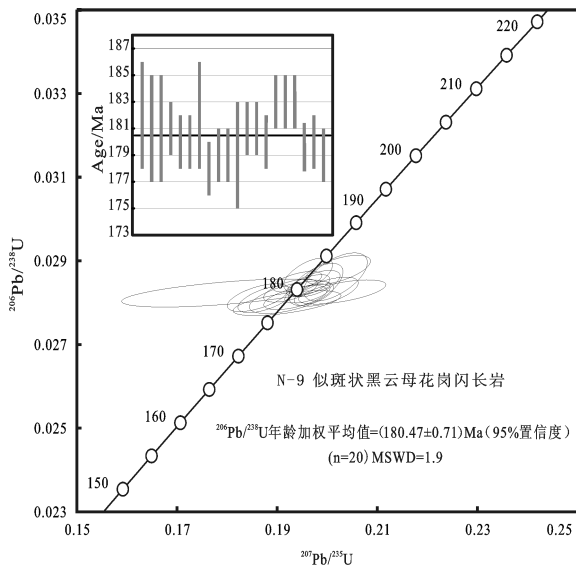


图7 明南洞岩体中锆石U-Pb谱和图

Fig.7 U-Pb concordia diagram for Mingnandong pluton

离子亲石元素, 亏损Nb、Ti、P等高场强元素, 暗示源区岩浆可能相对富水, 或者是岩浆源区可能遭受过俯冲带流体的交代作用。

#### 4.2 构造背景

许文良<sup>[4]</sup>通过对东北地区中生代花岗岩的岩石组合、年代学以及时空分布规律的研究, 得出了环太平洋构造体系对东北地区的俯冲始于早侏罗世的结论。新的研究表明在黑龙江杂岩体中存在着160~220 Ma的变质年龄<sup>[27-29]</sup>, 这可能暗示着佳木斯地体西侧在这一时期遭受了一次重要的构造热事件。同时在吉黑东部发现了早一中侏罗世(173~190 Ma)的钙碱性火山岩组合<sup>[30]</sup>。以上事实说明古太平洋在这一时期已经开始对吉黑地区进行俯冲。而延边地区明南洞岩体样品在Ta-Th(图8-a)图解中, 全部落入活动大陆边缘区域内, 表现出与活动大陆边缘相同的岩石组合和成分特征; 在(Y+Nb)-Rb和Y-Nb图解(图9)中, 延边地区明南洞岩体样品全部落入火山弧花岗岩区, 而在R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub>(图8-b)图解中, 样品大部分落入板块碰撞后隆起期花岗岩内, 这些特征表明当时可能存在俯冲的板块体制。

结合与工作区毗邻的太平岭地区同样存在大量早侏罗世花岗岩(179~204 Ma), 这些花岗岩以花



表2 吉林省延边地区明南洞岩体中锆石(N-9)的LA-ICP-MS U-Pb同位素测定结果

Table 2 U-Pb isotope composition of zircons (N-9) in Mingnandong pluton of Yanbian area in Jinlin Province as measured by LA-ICP-MS

测点号	Pb /10 <sup>-6</sup>	Th /10 <sup>-6</sup>	U /10 <sup>-6</sup>	Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
					<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1 δ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1 δ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1 δ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1 δ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1 δ	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1 δ
01	58	1028	1786	0.54	0.05	0.00	0.20	0.00	0.03	0.00	255	25	186	4	182	2
02	109	3362	2993	0.90	0.05	0.00	0.21	0.00	0.03	0.01	321	17	191	3	181	2
03	26	428	887	0.54	0.05	0.00	0.20	0.00	0.03	0.00	217	22	183	3	181	2
04	48	838	1591	0.52	0.05	0.00	0.20	0.00	0.03	0.00	197	23	182	2	181	1
05	70	1784	2158	0.79	0.05	0.01	0.20	0.00	0.03	0.00	241	34	185	4	180	1
06	42	843	1229	0.65	0.05	0.00	0.18	0.01	0.03	0.00	172	168	12	180	1	
07	41	647	1332	0.45	0.05	0.00	0.20	0.00	0.03	0.00	181	22	182	3	182	2
08	42	647	1369	0.44	0.05	0.00	0.19	0.00	0.03	0.00	176	90	178	6	178	1
09	45	789	1469	0.51	0.05	0.00	0.19	0.00	0.03	0.00	87	37	173	3	179	1
10	69	1242	2239	0.53	0.05	0.00	0.19	0.00	0.03	0.01	115	31	174	3	179	1
11	27	384	909	0.37	0.05	0.00	0.19	0.01	0.03	0.00	172	50	179	5	179	2
12	58	951	1804	0.50	0.05	0.01	0.20	0.00	0.03	0.00	204	26	183	3	181	1
13	45	948	1377	0.63	0.05	0.00	0.19	0.00	0.03	0.00	154	29	180	3	181	1
14	36	528	1166	0.43	0.05	0.00	0.19	0.00	0.03	0.00	164	31	179	3	180	1
15	37	553	1139	0.45	0.05	0.00	0.22	0.01	0.03	0.00	373	54	199	5	183	1
16	19	241	584	0.39	0.05	0.00	0.20	0.00	0.03	0.00	231	34	187	4	183	1
17	35	565	1100	0.49	0.05	0.00	0.21	0.00	0.03	0.00	320	30	194	3	183	1
18	50	948	1583	0.56	0.05	0.00	0.20	0.00	0.03	0.00	201	26	181	3	179.6	0.9
19	50	841	1618	0.47	0.05	0.00	0.20	0.01	0.03	0.00	285	69	187	5	180	1
20	44	777	1478	0.49	0.05	0.01	0.19	0.00	0.03	0.00	182	38	179	4	179	1

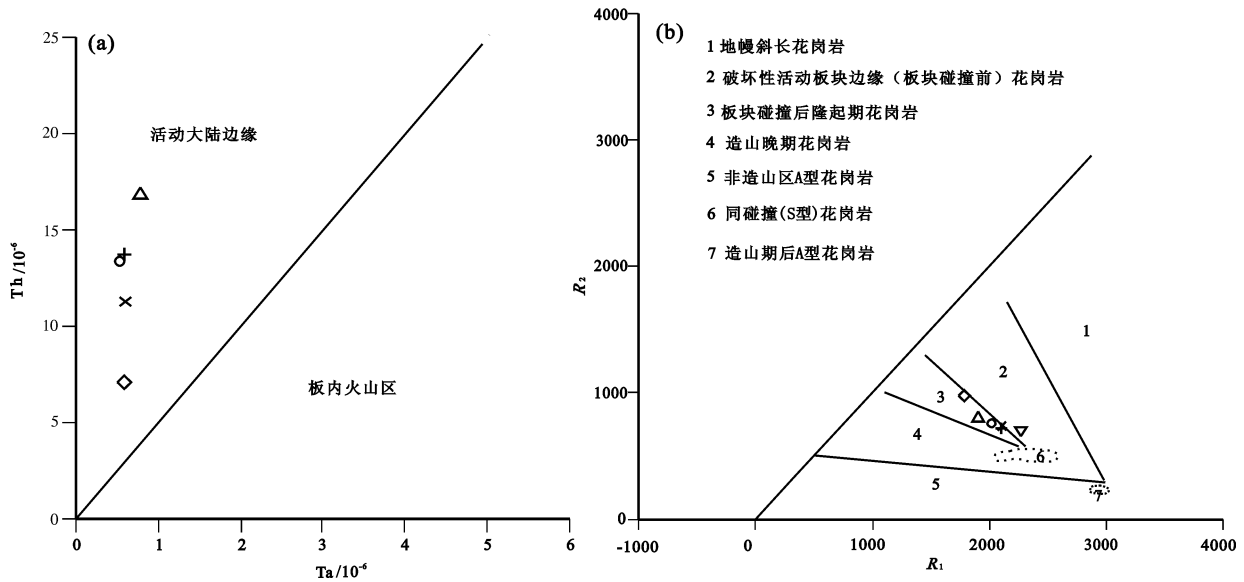


图8 明南洞岩体Ta-Th图解(a)和R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub>图解(b)  
Fig. 8 Ta-Th diagram (a) and R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> diagram (b) of Mingnandong pluton

岗闪长岩为主,可见暗色闪长岩包体,并且都具有NNE向带状展布的特征,地球化学特征属钙碱性系列和高钾钙碱性系列<sup>[31]</sup>。而在张广才岭(179~184 Ma)<sup>[32]</sup>—小兴安岭地区(175~185 Ma)存在着同时

代的双峰式火山岩组合,形成于环太平洋板块俯冲于欧亚板块之下的弧后伸展环境<sup>[18]</sup>。所以从延边—太平岭地区的陆缘钙碱性、高钾钙碱性花岗岩到张广才岭—小兴安岭地区的双峰式火山岩组合,构成

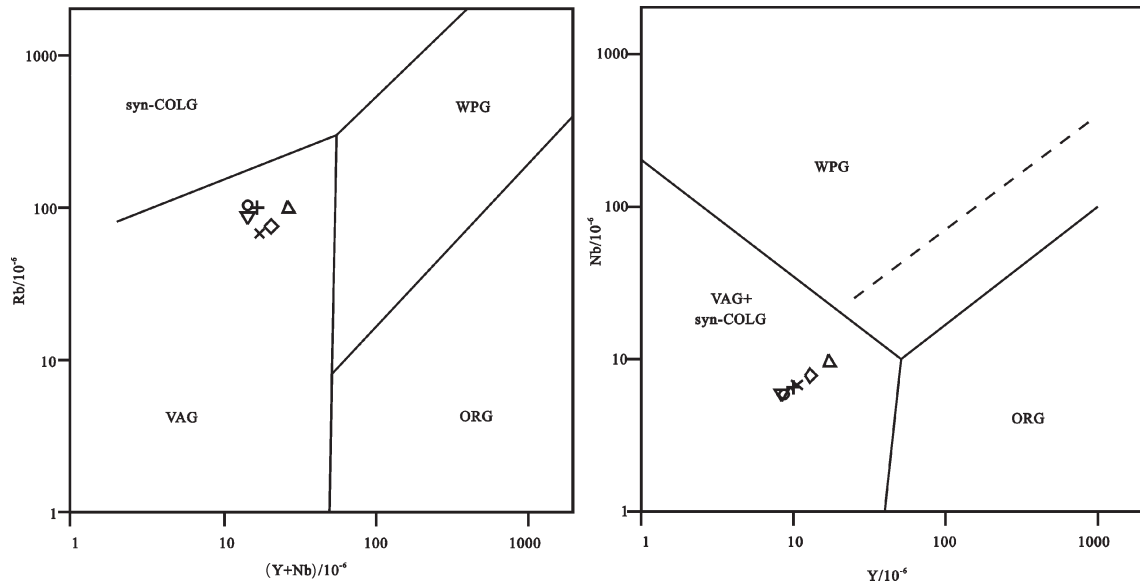


图9 明南洞岩体(Y+Nb)-Rb与Y-Nb图解  
Fig. 9 (Y+Nb)-Rb and Y-Nb diagram of Mingnandong pluton

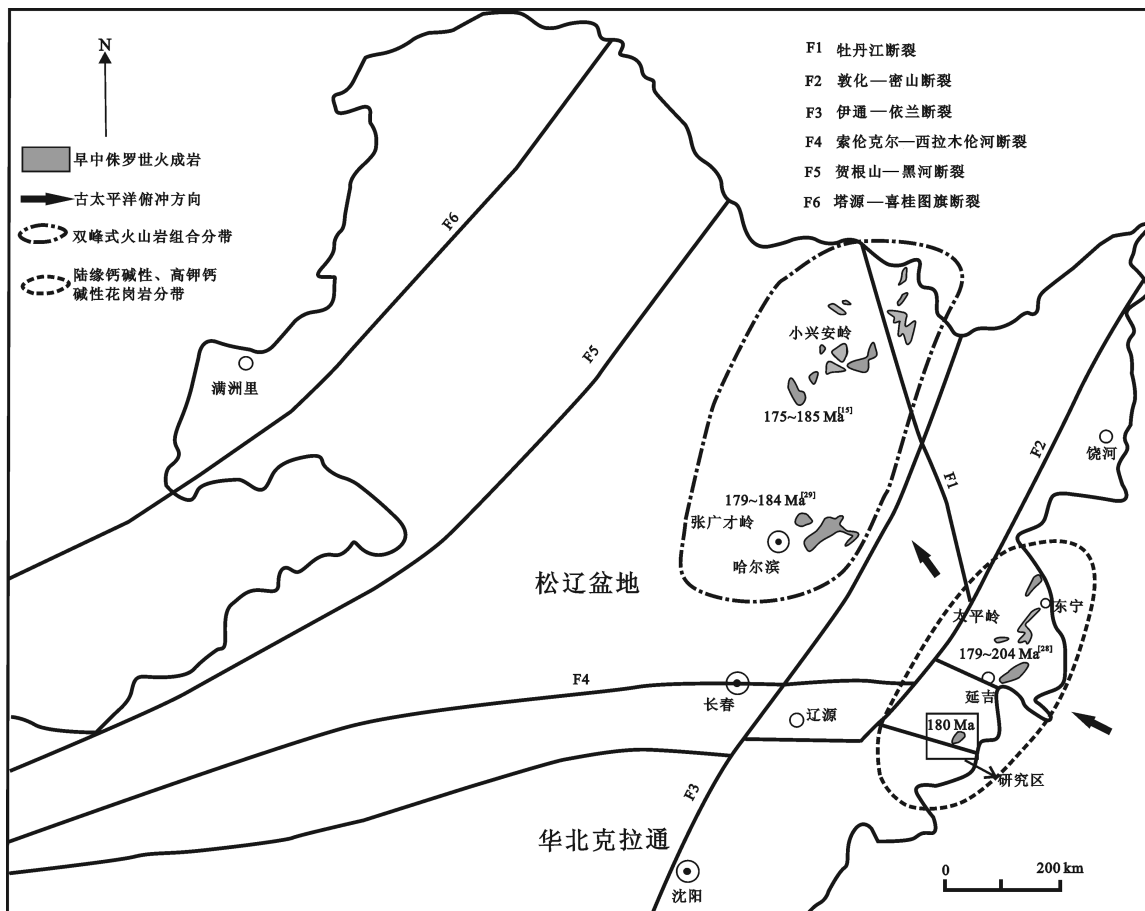


图10 中国东北地区早侏罗世岩浆活动略图  
Fig.10 Sketch map of Early Jurassic magmatism in Northeast China

了平行洋壳俯冲方向的成分极性,指示了俯冲的方向,反映了早侏罗世古太平洋板块对东北地区北北西向的俯冲作用。而与研究区邻近的天桥岗碱长花岗岩(182~188 Ma)<sup>[33]</sup>以及位于兴安地块的朝阳林场岩体(171~187 Ma)<sup>[34]</sup>、正棋村岩体、韩家园子岩体、兴华—翻身屯岩体、鸡尾甸子岩体及黑花山岩体(171~190 Ma)<sup>[35]</sup>时代均为早侏罗世,其形成的构造背景均与本文所述明南洞岩体的形成构造背景相似,是古太平洋板块俯冲的产物。

综上所述,延边地区与太平岭地区、张广才岭—小兴安岭地区早侏罗世花岗岩共同构成了古太平洋在俯冲方向上形成的大面积花岗岩带(图10),揭示了自陆缘向陆内火成岩成分的极性变化,反映了早侏罗世古太平洋对中国东北地区的俯冲的渐进过程。

## 5 结论

通过对延边地区明南洞岩体中锆石的U-Pb同位素测定和岩石地球化学的研究,可以得出以下结论:

(1) 延边地区明南洞岩体中的锆石为岩浆成因锆石,LA-IC-MS技术测得的U-Pb年龄为(180.47±0.71) Ma,表明其形成时代为早侏罗世晚期,而非前人认为的晚二叠世。

(2) 延边地区明南洞岩体属于高钾钙碱性系列、准铝质I型花岗岩,岩体具有富集大离子亲石元素,亏损高场强元素的特征,表明其岩浆源区可能遭受了俯冲带流体的交代作用;并且Y元素和Yb元素明显亏损而Sr元素富集明显,说明其形成深度较大,相当于俯冲板块的深部。

(3) 延边地区明南洞岩体具有火山弧花岗岩的特点,构造环境为活动大陆边缘。延边—太平岭地区的陆缘钙碱性—高钾钙碱性花岗岩到张广才岭—小兴安岭地区的双峰式火山岩组合,构成了平行洋壳俯冲方向的成分分带,揭示了自陆缘向陆内火成岩成分极性的变化,反映了早侏罗世古太平洋对东北地区的俯冲作用过程。

**致谢:** 审稿专家及编辑部杨艳老师对文章提出了宝贵修改意见,在此一并致谢。

## 参考文献(References):

[1] 孙德有, 吴福元, 张艳斌, 等. 西拉木伦河—长春—延吉板块缝合

带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(2): 174-181.

Sun Deyou, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, et al. The final closing time of the west Lamulun River—Changchun—Yanji plate suture zone—Evidence from the Dayushan granitic pluton, Jilin Province[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 34(2): 174-181 (in Chinese with English abstract).

[2] Xu W L, Ji W Q, Pei F P, et al. Triassic volcanism in eastern Heilongjiang and Jilin Provinces, NE China: Chronology, geochemistry, and tectonic implications[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 34(3): 392-402.

[3] 王伟, 许文良, 王枫, 等. 满洲里—额尔古纳地区中生代花岗岩的锆石U-Pb年代学与岩石组合: 对区域构造演化的制约[J]. 高校地质学报, 2012, 18(1): 88-105.

Wang Wei, Xu Wenliang, Wang Feng, et al. Zircon U-Pb chronology and assemblages of Mesozoic granitoids in the Manzhouli-Erguna area, NE China: Constraints on the regional tectonic evolution[J]. Geological Journal of China Universities, 2012, 18(1): 88-105 (in Chinese with English abstract).

[4] 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 Wenliang, Wang Feng, Pei Fuping, 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 (in Chinese with English abstract).

[5] 韩振哲, 赵海玲, 郎海涛, 等. 小兴安岭东南端晚石炭世大岭环斑花岗岩成因[J]. 中国地质, 2008, 35(3): 399-409.

Han Zhenzhe, Zhao Hailing, Lang Haitao, et al. Genesis of the Late Carboniferous Daling rapakivi granites at the southeastern end of the Xiao Hinggan Mountains[J]. Geology in China, 2008, 35(3): 399-409 (in Chinese with English abstract).

[6] 韩振哲, 赵海玲, 李娟娟, 等. 小兴安岭东南伊春一带早中生代花岗岩与多金属成矿作用[J]. 中国地质, 2010, 37(1): 74-87.

Han Zhenzhe, Zhao Hailing, Li Juanjuan, et al. Early Mesozoic granites and polymetallic mineralization in southeastern Yichun area, Xiao Hinggan Mountains[J]. Geology in China, 2010, 37(1): 74-87 (in Chinese with English abstract).

[7] 戴慧敏, 杨忠芳, 马振东, 等. 大兴安岭查巴奇地区中生代侵入岩岩石地球化学特征及构造背景[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 232-247.

Dai Huimin, Yang Zhongfang, Ma Zhendong, et al. The petrogeochemical characteristics and tectonic setting of Mesozoic intrusive rocks in Chabaqi area of the Da Hinggan Mountains[J]. Geology in China, 2013, 40(1): 232-247 (in Chinese with English abstract).

[8] 徐美君, 许文良, 孟恩, 等. 内蒙古东北部额尔古纳地区上护林—向阳盆地中生代火山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄和地球化

- 学特征[J]. 地质通报, 2011, 30(9): 1321-1338.
- Xu Meijun, Xu Wenliang, Meng En, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb chronology and geochemistry of Mesozoic volcanic rocks from the Shanghulin-Xiangyang basin in Ergun area, northeastern Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(9): 1321-1338 (in Chinese with English abstract).
- [9] 张兴洲, 马玉霞, 迟效国, 等. 东北及内蒙古东部地区显生宙构造演化的有关问题[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(5): 1269-1285.
- Zhang Xingzhou, Ma Yuxia, Chi Xiaoguo, et al. Discussion on Phanerozoic tectonic evolution in northeastern China[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2012, 42(5): 1269-1285 (in Chinese with English abstract).
- [10] Yu J J, Wang F, Xu W L, et al. Early Jurassic mafic magmatism in the Lesser Xing'an-Zhangguangcai Range, NE China, and its tectonic implications: Constraints from zircon U-Pb chronology and geochemistry[J]. Lithos, 2012, 142-143: 256-266
- [11] 吴福元, 李献华, 杨进辉, 等. 花岗岩研究的成因问题[J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1217-1238.
- Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinhui, et al. Discussions on the petrogenesis of granites[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(6): 1217-1238 (in Chinese with English abstract).
- [12] Wu F Y, Sun D Y, Ge W C, et al. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 41(1): 1-30.
- [13] 吴福元, 孙德有, 林强. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生[J]. 岩石学报, 1999, 15(2): 181-189.
- Wu Fuyuan, Sun Deyou, Lin Qiang. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeast China[J]. Acta Petrologica Sinica, 1999, 15(2): 181-189 (in Chinese with English abstract).
- [14] 孟庆丽, 周永昶. 吉林延边东部  $J_2-K_1$  火山-侵入杂岩岩浆的生成与演化[J]. 岩石矿物学杂志, 1996, 15(1): 30-39.
- Meng Qingli, Zhou Yongchang. The formation and evolution of magma for  $J_2-K_1$  volcanic-intrusive complex in Eastern Yanbian, Jilin Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1996, 15(1): 30-39 (in Chinese with English abstract).
- [15] 吴利仁. 中国东部中生代花岗岩类[J]. 岩石学报, 1985, 1(1): 1-10.
- Wu Liren. Mesozoic granitoid in Eastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 1985, 1(1): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- [16] 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.
- Shao Ji'an, Liu Futian, Chen Hui, et al. Relationship between Mesozoic Magmatism and subduction in Da Hinggan-Yanshan area[J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(1): 56-63 (in Chinese with English abstract).
- [17] 肖庆辉, 刘勇, 冯艳芳, 等. 中国东部中生代岩石圈演化与太平洋板块俯冲消减关系的讨论[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1092-1101.
- Xiao Qinghui, Liu Yong, Feng Yanfang, et al. A preliminary study of the relationship between Mesozoic lithosphere evolution in eastern China and the subduction of the Pacific plate[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1092-1101 (in Chinese with English abstract).
- [18] 徐美君, 许文良, 王枫, 等. 小兴安岭中部早侏罗世花岗岩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 Meijun, Xu Wenliang, 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 (in Chinese with English abstract).
- [19] 邵济安, 牟保磊, 何国琦, 等. 华北北部在古亚洲域与古太平洋域构造叠加过程中的地质作用[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(5): 390-394.
- Shao Ji'an, Mu Baolei, He Guoqi, et al. Geological processes of the process of structural overlapping between Paleo-Asia domain and Paleo-Pacific domain in northern part of north China[J]. Science in China(Series D), 1997, 27(5): 390-394 (in Chinese).
- [20] 裴福萍, 许文良, 靳克. 延边地区晚三叠世火山岩的岩石地球化学特征及其构造意义[J]. 世界地质, 2004, 23(1): 6-13.
- Pei Fuping, Xu Wenliang, Jin Ke. Petro-geochemical characteristics and tectonic significance of Late Triassic volcanic rocks in Yanbian Area, northeastern China[J]. Global Geology, 2004, 23(1): 6-13 (in Chinese with English abstract).
- [21] 徐公愉. 东北亚地区古亚洲洋的构造演化特点[J]. 吉林地质, 1993, 12(3): 1-8.
- Xu Gongyu. The Tectonic evolution of paleo-asiatic ocean in the Northeast Asia Area[J]. Jilin Geology, 1993, 12(3): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- [22] 张允平. 东北亚地区晚侏罗-白垩纪构造格架主体特点[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(5): 1267-1284.
- Zhang Yunping. Main characteristics of Late Jurassic-Cretaceous tectonic framework in Northeast Asia[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2011, 41(5): 1267-1284 (in Chinese with English abstract).
- [23] Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$ [J]. Chemical Geology, 2002, 192: 59-79.
- [24] Ludwig KR. Users manual for Isoplot/EX(Rev.2.49): A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2001: 1-55.
- [25] Pupin J P. Zircon and granite petrology[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1980, 73: 207-220
- [26] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对U-Pb年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589-1604.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Genetic mineralogy of zircons and

- constraints about explains of U-Pb Age of zircons[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(16): 1589-1604 (in Chinese).
- [27] 赵英利, 刘永江, 李伟民, 等. 佳木斯地块南缘牡丹江地区高压变质作用: 黑龙江杂岩的岩石学和地质年代学[J]. 地质通报, 2010, 29(2/3): 243-253.
- Zhao Yingli, Liu Yongjiang, Li Weimin, et al. High-pressure metamorphism in the Mudanjiang area, southern Jiamusi massif. Petrological and geochronological characteristics of the Heilongjiang complex[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(2/3): 243-253 (in Chinese with English abstract).
- [28] Wu F Y, Yang J H, Lo C H, et al. The Heilongjiang Group: A Jurassic accretionary complex in the Jiamusi Massif at the western Pacific margin of northeastern China[J]. Island Arc, 2007b, 16(1): 156-172.
- [29] Li Weiming, Takasu A, Liu Yongjiang, et al. Newly discovered garnet-barroisite schists from the Heilongjiang Complex in the Jiamusi Massif, northeastern China[J]. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 2010, 105(2): 86-91.
- [30] 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(3): 286-287.
- Xu WenLiang, Ge Wenchun, Pei Fuping, et al. Geochronology frame and tectonic implications for Mesozoic volcanism in Northeast China[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2008, 27(3): 286-287 (in Chinese with English abstract).
- [31] 吕长禄, 徐东海, 李新鹏, 等. 黑龙江太平岭早侏罗世花岗岩成岩及壳幔混合作用[J]. 现代地质, 2012, 26(4): 635-646.
- Lv Changlu, Xu Donghai, Li Xinpeng, et al. Petrogenesis and crust-mantle mixing of Early Jurassic granites in the Taipingling Mountains, Heilongjiang Province[J]. Geoscience, 2012, 26(4): 635-646 (in Chinese with English abstract).
- [32] 唐杰, 许文良, 王枫, 等. 张广才岭帽儿山组双峰式火山岩成因: 年代学与地球化学证据[J]. 世界地质, 2011, 30(4): 508-520.
- Tang Jie, Xu WenLiang, Wang Feng, et al. Petrogenesis of bimodal volcanic rocks from Maoershan Formation in Zhangguangcai Range: Evidence from geochronology and geochemistry[J]. Global Geology, 2011, 30(4): 508-520 (in Chinese with English abstract).
- [33] 孙德有, 吴福元, 高山, 等. 吉林中部晚三叠世和早侏罗世两期铝质A型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约[J]. 地学前缘, 2005, 12(2): 263-275.
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. Confirmation of two episodes of A-type granite emplacement during Late Triassic and Early Jurassic in the central Jilin Province, and their constraints on the structural pattern of Eastern Jilin- Heilongjiang Area, China[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(2): 263-275 (in Chinese with English abstract).
- [34] 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.
- Zhang Yanlong, Ge Wenchun, Gaoyan, et al. Zircon U-Pb ages and Hf isotopes of granites in Longzhen area and their geological implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(4): 1059-1073 (in Chinese with English abstract).
- [35] 隋振民, 葛文春, 吴福元, 等. 大兴安岭东北部侏罗纪花岗岩的锆石U-Pb年龄、地球化学特征及成因[J]. 岩石学报, 2007, 23(2): 0461-0480.
- Sui Zhenmin, Ge Wenchun, Wu Fuyuan, et al. Zircon U-Pb ages, geochemistry and its petrogenesis of Jurassic granites in northeastern part of the Da Hinggan Mts[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(2): 461-480 (in Chinese with English abstract).



## Petrogenesis and tectonic setting of Mingnandong pluton in Yanbian area: Constraints from petro-geochemistry and zircon U-Pb ages

LEI Cong-cong, LI Shi-chao, LIU Zheng-hong, XU Zhong-yuan, ZHANG Chao, BAI Xin-hui

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

**Abstract:** In this paper Mingnandong pluton was studied throughly by such means as field observation, LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic measurement and petro-geochemistry. The results show that Mingnandong pluton was formed in the Early Jurassic ( $180.47 \pm 0.71$ Ma). Chemical analyses yielded the following data for Mingnandong pluton:  $\text{SiO}_2=60.71\%-67.72\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3=15.60\%-17.44\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=6.79\%-7.63\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=0.61-1.01$  and  $\text{A}/\text{CNK}=0.94-1.01$ , implying high-potassium calc-alkaline I-type granites. Besides, Mingnandong pluton is enriched in light rare earth elements and large ion lithophile elements, and depleted in heavy rare earth elements and high field strength elements. These features suggest that Mingnandong pluton has obvious characteristics of active continental margin and volcanic arc granites. The ingredient zonation parallel to the orientation of the subduction of oceanic crust made up of calc-alkaline, high-K calc-alkaline granites and the bimodal volcanic rock association from Yanbian and Taiping Mountain to Xiao Hinggan Mountains and Zhangguangcai Mountain indicate the orientation of the subduction of ancient Pacific plate. In a word, the emplacement of Mingnandong pluton was influenced by the subduction of ancient Pacific plate in the Early Jurassic.

**Key words:** geochemistry; early Jurassic; LA-ICP-MS; zircon U-Pb dating; Yanbian area

---

**About the first author:** LEI Cong-cong, male, born in 1990, master, engages in the study of structural geology; E-mail: 742934975@qq.com.

**About the corresponding author:** LI Shi-chao, male, born in 1980, doctor, lecturer, engages in the study of structural geology; E-mail: Li@geology.com.cn.