

鞍山小岭子花岗岩地球化学及锆石 SHRIMP 年代学

杜利林¹, 杨 淳¹, 万渝生^{1,2}, 宋 彪^{1,2}, 耿元生¹

(1. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037; 2. 北京离子探针中心, 北京 100037)

摘要: 鞍山小岭子花岗岩岩浆锆石离子探针年龄为 130.2 ± 2.7 Ma, 形成于早白垩世。小岭子花岗岩高 SiO_2 、 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 、 TFeO/MgO , 富集轻稀土元素和高场强元素 Zr、Nb、Y, 低 CaO、Ba、Sr, 地球化学组成与该区大范围分布的千山花岗岩十分相似, 具 A 型花岗岩特征, 其形成与古太平洋板块俯冲至中国大陆东部之下引起的拉张有关。

关键词: 锆石 SHRIMP 年龄; 早白垩世; A 型花岗岩; 鞍山; 古太平洋板块

中图分类号: P588.12⁺1; P597

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2005)04-0279-06

Geochemistry and zircon SHRIMP U-Pb chronology of Xiaolingzi granite in the Anshan area

DU Li_lin¹, YANG Chun¹, WAN Yu_sheng^{1,2}, SONG Biao^{1,2} and GENG Yuan_sheng¹

(1. Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China; 2. Beijing SHRIMP Center, Beijing 100037, China)

Abstract: Zircon SHRIMP U-Pb age dating indicates that the Xiaolingzi granite in the Anshan area was emplaced during Early Cretaceous (130.2 ± 2.7 Ma). It is enriched in SiO_2 , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, TFeO/MgO , LREE, Zr, Nb and Y, and depleted in CaO, Ba and Sr, thus similar to the widely distributed Qianshan granite with the geochemical characteristics of A type granite in this area. It is suggested that the magmatic activity was related to an extension following the subduction of the paleo-Pacific Plate beneath eastern China.

Key words: SHRIMP U-Pb zircon age; Early Cretaceous; A type granite; Anshan area; paleo-Pacific Plate

中国东北地区中生代火山岩和侵入岩类分布广泛, 其中 A 型花岗岩主要形成于二叠纪-晚三叠世-早侏罗世和早白垩世 3 个时期, 早白垩世花岗岩和前两期形成于不同的构造域 (Wu *et al.*, 2002)。前人曾对位于辽宁鞍山的千山花岗岩做过一些地球化学工作 (张杰等, 1989), 尚无精确的年代学资料报道。本文对千山以西的小岭子花岗岩进行了岩相学、地球化学和锆石离子探针测年研究, 为中国东部中生代花岗岩研究提供了有益的资料补充。

1 地质背景及岩相学

样品采自辽宁鞍山市千山小岭子村北的小岭子

花岗岩体 (图 1)。该花岗岩体分布于小岭子村北部, 呈近东西向延长, 由于覆盖, 其规模目前还不十分清楚, 但延长至少在 500 m 以上。周围出露新太古代鞍山群变质岩系 (包括 BIF), 相互间可能为侵入关系。在其北东方向不远的大孤山铁矿区也有类似岩体存在。

小岭子花岗岩 (LD9807) 呈青灰色, 中粗粒结构、块状构造, 主要由钾长石、斜长石、石英和少量角闪石组成。钾长石主要为正条纹长石, 含量约 50%, 通常呈板状、粒状, 粒度为 0.4~0.6 cm, 最高可达 1 cm。条纹长石中的钾长石含有较高的 Na_2O (4.05%~4.53%, 见表 1)。斜长石为钠长石和更长石, 含量约 25%。钠长石除在条纹长石中呈布丁状分布外,

收稿日期: 2004-11-12; 修订日期: 2005-02-28

基金项目: 国土资源部中国地质调查项目 (DKD2001020_3)

作者简介: 杜利林 (1973-), 男, 助理研究员, 主要从事变质岩石学研究, E-mail: dulilin7310@sina.com。

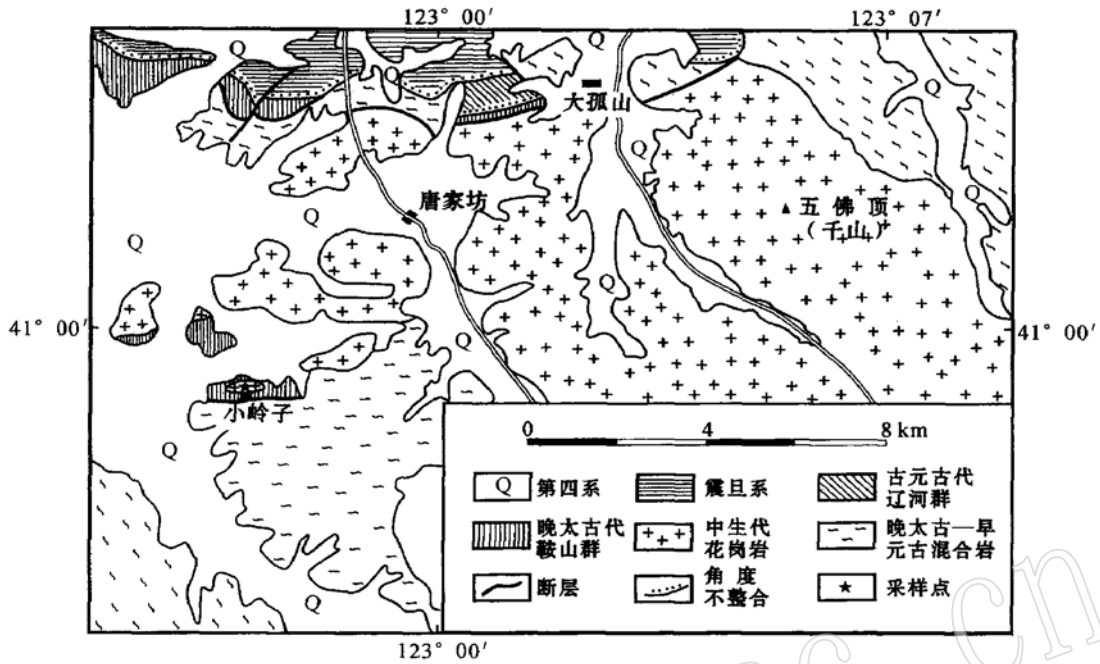


图1 千山地区花岗岩地质略图^①

Fig. 1 Geological map of granites in Qianshan area

还常围绕条纹长石颗粒边缘出现，更长石具细密平直的聚片双晶。石英呈他形粒状，粒度为2~3 mm，含量约为20%。角闪石呈自形或他形，常有磁铁矿

与其伴生。副矿物主要为褐帘石、锆石、磷灰石。

花岗岩中存在一些暗色包体(LD9808)，形状不规则，大小多为几厘米—十几厘米。包体矿物主要

表1 小岭子花岗岩及其包体矿物电子探针分析数据

w_B/%

Table 1 Electron microprobe analyses of minerals from Xiaolingzi granite and its enclaves

样品号	矿物类型	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	MgO	CaO	FeO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Total
LD9807	条纹长石	4.05	11.25	-	-	0.11	0.08	17.94	0.01	-	65.93	99.37
LD9807	条纹长石	4.53	10.86	0.01	-	0.10	0.14	18.04	0.02	-	65.42	99.12
LD9808	钙铁辉石	0.32	0.03	0.49	4.43	19.83	24.01	0.29	0.16	0.03	50.06	99.65
LD9808	钙铁辉石	0.27	-	0.53	4.73	20.30	23.07	0.13	0.16	0.02	50.68	99.87
LD9808	钙铁辉石	0.22	-	0.48	5.44	19.53	23.59	0.11	0.14	0.02	49.84	99.37
LD9808	钙铁辉石	0.26	-	0.56	4.80	20.05	23.44	0.13	0.16	0	49.66	99.06
LD9808	钙铁辉石	0.26	0.02	0.61	2.68	19.24	26.98	0.36	0.19	0	49.31	99.64
LD9808	钙铁辉石	0.24	0.01	0.57	2.08	19.30	27.49	0.32	0.19	0.01	48.91	99.12
LD9808	钙铁辉石	0.27	0.01	0.65	2.28	19.06	27.24	0.39	0.18	0.04	48.99	99.09
LD9808	钾长石	0.42	15.73	0.01	0.03	0.02	0.48	18.88	0.01	0.01	64.04	99.63
LD9808	钾长石	0.64	16.30	-	-	0.18	0.10	17.33	0	-	64.03	98.58
LD9808	钠长石	11.00	0.31	-	-	1.04	0.12	19.40	0.03	0.03	66.80	98.73
LD9808	钠长石	11.17	0.20	0.01	-	0.35	0.07	20.21	0	0	67.71	99.72
LD9808	楣石	0.01	-	0.05	0.08	26.94	1.53	1.08	37.77	0.01	30.62	98.10
LD9808	楣石	0.05	-	0.02	0.12	25.85	1.51	2.68	37.16	0	30.82	98.21
LD9808	楣石	0.04	-	0.06	0.11	26.60	1.70	3.37	36.57	0	29.86	98.30

分析单位: 中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室; 电子探针型号为 JXA_8800; 实验条件: 加速电压 20 kV, 电流 2×10^{-8} A, 束斑直径 5 μm。

① 辽宁省第一区域地质测量队. 1975. 中华人民共和国 1: 20 万地质图辽阳幅、营口幅.

为单斜辉石、长石和少量角闪石, 具变晶粒状结构。单斜辉石含量约 30%, 他形粒状, 粒度通常为 0.1 mm 左右, 单偏光下无色、浅绿色, 靠近与花岗岩的接触面, 颗粒增大, 呈短柱状晶形。电子探针分析结果显示, 单斜辉石 SiO₂ 含量为 48.91% ~ 50.68%, CaO 含量为 19.06% ~ 20.30%, TFeO 含量为 23.07% ~ 27.49% (表 1), 为钙铁辉石。长石包括钠长石和钾长石 (表 1), 细粒, 镜下两者不易区分, 共占 60% 左右。角闪石 5% 左右, 多呈他形充填在长石和辉石之间。偶见少量棕红色黑云母出现在角闪石颗粒边缘。副矿物为榍石、磷灰石、锆石、磁铁矿、黄铁矿等。榍石电子探针分析结果见表 1。

2 地球化学

用于年龄测定的花岗岩 (样品 LD9807) 高 SiO₂

(72.21%)、K₂O (5.65%)、Na₂O (4.24%), 低 MgO (0.01%)、CaO (0.88%), 稀土元素总量高 ($\Sigma\text{REE} = 643.7 \times 10^{-6}$), 轻重稀土元素分异较强烈 [(La/Yb)_n = 47.8], 具强的负铕、负钡 (Eu^{*}/Eu = 0.07, Ba^{*}/Ba = 0.08) 异常 (表 2, 图 2.3)。t_{Nd} 和 εNd (0.13 Ga) 分别为 1.61 Ga 和 -15.24 (表 3)。

与花岗岩相比, 暗色包体样品 LD9808 相对低 SiO₂ (61.88%), 高 MgO (1.04%)、TFeO (5.71%)、CaO (3.92%), K₂O (6.18%)、Na₂O (4.34%) 含量同样高 (表 2)。与花岗岩相比, 暗色包体稀土元素总量 ($\Sigma\text{REE} = 295.7 \times 10^{-6}$)、轻重稀土元素分异程度 [(La/Yb)_n = 19.0]、负铕异常 (Eu^{*}/Eu = 0.27)、负钡异常 (Ba^{*}/Ba = 0.54) 都偏低 (表 2, 图 2.3), 同时相容性元素 Cr、Ni 较花岗岩偏低。

表 2 小岭子花岗岩及其包体常量元素 (w_B/%)、稀土和微量元素 (w_B/10⁻⁶) 分析结果

Table 2 Chemical analyses and REE, trace element abundance of Xiaolingzi granite and its enclaves

样品号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	CO ₂	Total	La
LD9807	72.21	0.22	13.67	0.62	1.83	0.05	0.01	0.88	4.24	5.65	0.01	0.34	0.09	99.82	195.30
LD9808	61.88	0.64	14.69	0.93	4.87	0.14	1.04	3.92	4.34	6.18	0.20	0.58	0.04	99.45	74.84
样品号	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	(La/Yb) _n
LD9807	290.20	26.48	95.68	12.69	0.25	8.54	1.10	5.78	1.17	3.04	0.44	2.69	0.38	643.7	47.8
LD9808	125.20	12.68	51.25	8.90	0.75	7.58	1.16	5.82	1.12	2.96	0.42	2.60	0.40	295.7	19.0
样品号	Eu [*] /Eu	Cr	Ni	Co	Sc	Rb	Ba	Sr	Nb	Zr	Y	Th	Ba [*] /Ba		
LD9807	0.07	89	23	5	2	107	121	18	23.0	558	25	20	0.08		
LD9808	0.27	59	5	5	8	92	594	94	17.0	327	28	13	0.54		

Ba^{*}/Ba 的定义及意义见 Wan (1999); 分析单位: 中国地质科学院国家地质实验测试中心; 分析方法: 常量元素用 X 荧光光谱法, 稀土和微量元素用等离子质谱法测试。

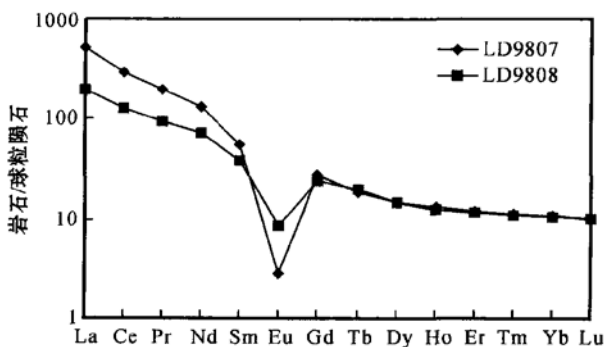


图 2 小岭子花岗岩及其包体稀土元素配分图解
Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of Xiaolingzi granite and its enclaves

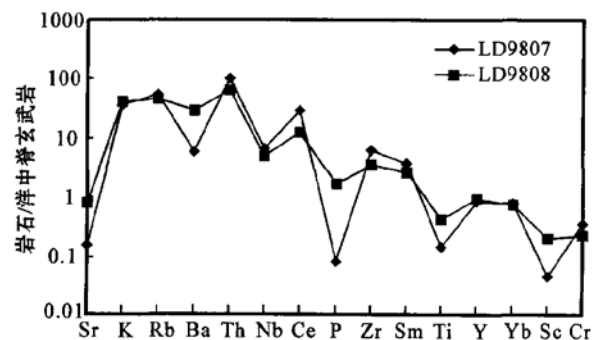


图 3 小岭子花岗岩及其包体微量元素配分图解
Fig. 3 MORB-normalized trace element patterns of Xiaolingzi granite and its enclaves

表3 小岭子花岗岩 Sm-Nd 同位素分析结果
Table 3 Sm-Nd isotopic composition of Xiaolingzi granite

样品号	$w(\text{Sm})/10^{-6}$	$w(\text{Nd})/10^{-6}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2σ	$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$	$t_{\text{CHUR}}/\text{Ga}$	t_{DM}/Ga	$\epsilon\text{Nd}(2.5\text{ Ga})$	$\epsilon\text{Nd}(0.13\text{ Ga})$	$\epsilon\text{Nd}(0\text{ Ga})$
LD9807	13.396	98.250	0.08248	0.511761	9	-0.581	1.17	1.61	20.22	-15.24	-17.11

分析单位: 中国地质科学院同位素实验室; $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值采用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ 标准化, 对 J. M. Nd₂O₃ 和 BCR_1 标样测定的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 分别为 $0.511132 \pm 14(2\sigma)$ 和 $0.512644 \pm 9(2\sigma)$, Sm-Nd 流程空白为 5×10^{-11} g。

3 锆石特征及年龄

笔者仅对花岗岩(LD9807)进行了锆石年龄测定。分析在北京离子探针中心完成,分析方法见 Williams (1998)。锆石为紫色,透明,呈柱状,晶形良好(图4),常有磷灰石包体存在,阴极发光图像中锆石具岩浆环带(图4),应为岩浆成因(Keay *et al.*, 1999; Zhou *et al.*, 2002; Hoskin & Schaltegger, 2003)。9个数据点分析结果显示,U、Th含量和Th/U比值分别为 $598 \times 10^{-6} \sim 1162 \times 10^{-6}$ 、 $283 \times 10^{-6} \sim 1745 \times 10^{-6}$ 和 $0.37 \sim 2.23$ (表4)。在谐和图解上,除点8.1有一定偏离外,其余8个数据点集中

分布于谐和线上(图5),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 130.2 ± 2.7 Ma,代表了花岗岩的形成时代。点8.1锆石特征与其他点相似,年龄偏大可能为测定问题。

4 讨论与结论

小岭子花岗岩锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 130.2 ± 2.7 Ma,为早白垩世岩浆作用产物。花岗岩高SiO₂、Na₂O+K₂O、TFeO/MgO,富集轻稀土元素和高场强元素Zr、Nb、Y,低CaO、Ba、Sr,具A型花岗岩的地球化学组成特征(Collins *et al.*, 1982; Whalen *et al.*, 1987; Eby, 1990; 王德滋等, 1995; Wu

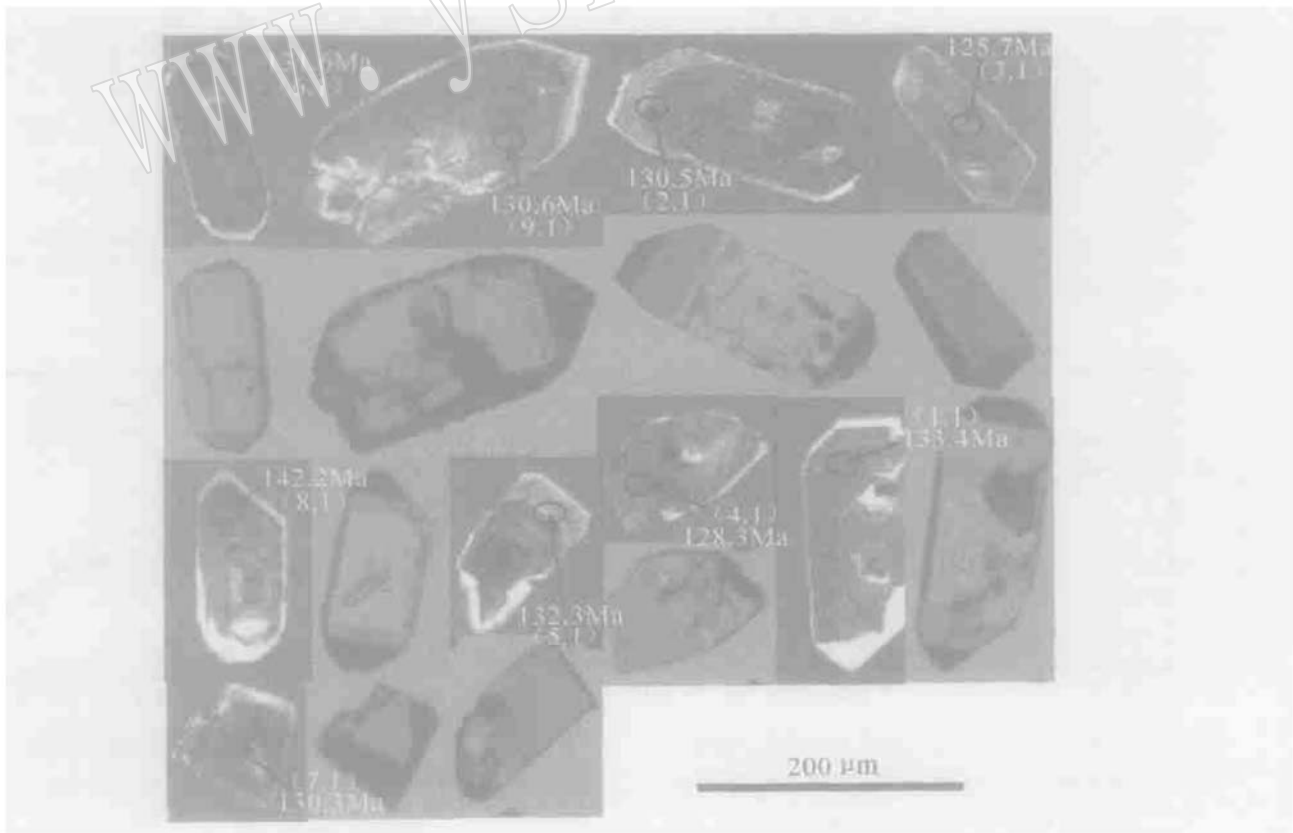


图4 小岭子花岗岩锆石阴极发光与透射光图像

Fig. 4 Cathodoluminescence images and transmitted light of zircon in Xiaolingzi granite

表 4 小岭子花岗岩锆石离子探针分析结果
Table 4 Zircon SHRIMP U-Pb data of Xiaolingzi granite

样点号	²⁰⁶ Pb _c / %	U w _B /10 ⁻⁶	Th /10 ⁻⁶	²³² Th ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* /10 ⁻⁶	年龄/ Ma		不和谐 性/ %	同位素比值				误差 相关性		
						²⁰⁶ Pb ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb* ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb* ²³⁵ U	±%		²⁰⁶ Pb* ²³⁸ U	±%
LD9807_1.1	1.13	994	415	0.43	18.1	133.4 ± 3.9	40 ± 130	- 233	0.046 8	5.6	0.135	6.3	0.020 91	3.0	0.469
LD9807_2.1	1.57	945	434	0.47	16.9	130.5 ± 3.8	128 ± 160	- 2	0.048 6	6.8	0.137	7.4	0.020 45	3.0	0.399
LD9807_3.1	2.51	604	468	0.80	10.5	125.7 ± 3.8	237 ± 210	47	0.050 9	8.9	0.138	9.4	0.019 69	3.0	0.321
LD9807_4.1	2.48	756	293	0.40	13.4	128.3 ± 3.8	39 ± 190	- 226	0.046 8	8.1	0.130	8.7	0.020 10	3.0	0.344
LD9807_5.1	3.21	598	283	0.49	11.0	132.3 ± 4.2	- 31 ± 260	520	0.045 4	11.0	0.130	11.0	0.020 73	3.2	0.290
LD9807_6.1	2.11	1 162	555	0.49	21.0	131.6 ± 3.8	148 ± 160	11	0.049 0	7.0	0.139	7.6	0.020 63	3.0	0.388
LD9807_7.1	3.19	795	283	0.37	14.4	130.3 ± 3.9	207 ± 260	37	0.050 3	11.0	0.142	12.0	0.020 42	3.0	0.258
LD9807_8.1	1.77	810	1 745	2.23	15.8	142.4 ± 4.5	253 ± 170	44	0.051 3	7.5	0.158	8.1	0.022 34	3.2	0.395
LD9807_9.1	2.51	780	346	0.46	14.1	130.6 ± 3.9	33 ± 240	- 291	0.046 7	10.0	0.132	11.0	0.020 46	3.0	0.284

分析单位: 中国地质科学院地质研究所同位素实验室、北京离子探针中心; ①误差为 1σ, Pb_c 和 Pb* 分别代表普通铅和放射成因铅; ②普通铅校正用²⁰⁴Pb 实测值。

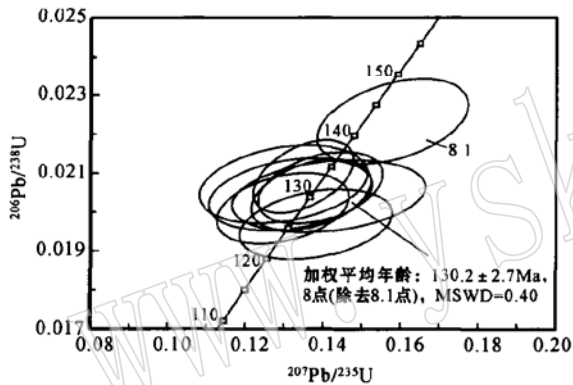


图 5 小岭子花岗岩锆石 U-Pb 谐和图
Fig. 5 Concordia plot of zircon SHRIMP U-Pb data of Xiaolingzi granite

et al., 2002)。小岭子花岗岩的长石以碱性条纹长石为主, 岩石中未见残余锆石, 暗色包体中存在变质成因钙铁辉石, 表明小岭子花岗岩形成时岩浆的温度高, 与其为 A 型花岗岩的成因认识相吻合。小岭子花岗岩东部较大范围分布的中生代千山花岗岩与小岭子花岗岩具有十分类似的岩相学和地球化学特征^①(张杰等, 1989)。千山花岗岩的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为 126 ± 2 Ma(与吴福元老师个人通信), 同时根据岩石特征及空间关系, 认为它们可能属于同一时代的岩浆活动产物, 小岭子花岗岩应为千山花岗岩的一部分, 表明鞍山南部存在较大规模的早白垩世 A 型花岗岩。

中国东部中生代岩浆作用十分强烈, 产生了不同类型的火山岩和花岗质岩石(王德滋等, 1995; 林强, 1999; 吴福元等, 1999a, 1999b; Wu et al., 2002; 李兆釅等, 2003)。小岭子-千山 A 型花岗岩大致位于华北克拉通北缘晚三叠世-早白垩世东西向岩浆岩带, 为这一时期岩浆作用重要组成部分。一些地区同时代的 A 型花岗岩具低的 t_{Nd} 模式年龄和高的 $\epsilon Nd(t)$ 值, 表明其来自新生地壳物源区(Wu et al., 2002)。与之不同, 小岭子花岗岩具有高的 t_{Nd} 模式年龄和低的 $\epsilon Nd(t)$ 值, 其形成至少部分与古老陆壳物质有关。关于中国东部晚中生代 A 型花岗岩的成因, 有裂谷、类裂谷、大陆边缘伸展裂解、古太平洋板块 B 型俯冲引起的弧后扩张、大陆边缘内部的剪切挤压陆-陆碰撞造山带等不同认识(许保良等, 1989; 杨文金等, 1986; 谢寰克, 1994; 胡受奚等, 1994; 王德滋等, 1995)。形成时间上, 小岭子-千山 A 型花岗岩形成于古亚洲构造域向环太平洋构造域转换之后, 此时中国东部已受环太平洋构造体制控制(王德滋等, 1995; 林强等, 1998; 林强, 1999), 因此推测其形成与古太平洋板块俯冲引起的中国东部大陆裂解有关(Wu et al., 2002)。

致谢: 伍家善研究员、杨崇辉研究员、薛怀民研究员在岩相学观察方面给予指导, 余静老师完成电子探针工作, 吴福元研究员提供有益的资料, 审稿专家提出了相关修改意见。在此表示衷心的感谢!

① 杨进辉, 吴福元, 锤林, 等. 2004. A 型花岗岩的岩浆混合成因: 辽东半岛千山花岗岩及包体的地球化学、Sr-Nd-Hf 同位素证据. 2004 年全国岩石学与地球动力学研讨会论文摘要.

Reference

- Collins W J, Beams S D, White A J R, *et al.* 1982. Nature and origin A₁-type granites with particular reference to Southeastern Australia [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 80: 189~ 200.
- Eby G N. 1990. The A₁-type granitoid: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis [J]. *Lithos*, 26: 115~ 134.
- Hoskin P W O and Schaltegger U. 2003. The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis [A]. Hancher J M & Hoskin P W O. *Zircon, Reviews in Mineralogy & Geochemistry* [C], 53: 27~ 62.
- Hu Shouxi, Zhao Yiyang, Hu Zhihong, *et al.* 1994. Evolution and development of tectonics and magmatism at the active continental margin of the East China (E106°). During Mesozoic and Cenozoic [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 10(4): 370~ 381 (in Chinese).
- Keay S, Steele D and Compston W. 1999. Identifying granite sources by SHRIMP U₂₃₅/Pb zircon geochronology: an application to the Lachlan foldbelt [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 137: 323~ 341.
- Li Zhaonai, Quan Heng, Li Zhitong, *et al.* 2003. The Mesozoic, Cenozoic Igneous Rocks and Their Deep Process in the East China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~ 357 (in Chinese).
- Lin Qiang. 1999. Some thoughts on Mesozoic volcanic rocks in Northeast Asia [J]. *World Geology*, 18(2): 14~ 22 (in Chinese).
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Sun Deyou, *et al.* 1998. Tectonic significance of Mesozoic volcanic rocks in Northeastern China [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 33(2): 129~ 139 (in Chinese with English abstract).
- Wan Yusheng. 1999. Barium Anomaly and Its Geochemical Significance [J]. *Continental Dynamics*, 14(1): 84~ 87.
- Wang Dezi, Zhao Guangtao, Qiu Jiansheng. 1995. The tectonic constraint on the late Mesozoic A₁-type granitoid in East China [J]. *Geological Journal of Universities*, 1(2): 13~ 21 (in Chinese).
- Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. 1987. A₁-type granite geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 95: 407~ 419.
- Williams I S. 1998. U₂₃₅/Th/Pb geochronology by ion microprobe [A]. Mickibben M A, Shanks III W C and Ridley W I. *Applications of Micro Analytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes* [C]. *Reviews Econ. Geol.*, 7: 1~ 35.
- Wu Fuyuan and Sun Deyou. 1999a. The Mesozoic magmatism and lithospheric thinning in East China [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 29(4): 313~ 318 (in Chinese).
- Wu Fuyuan, Sun Deyou and Lin Qiang. 1999b. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 181~ 189 (in Chinese with English abstract).
- Wu Fuyuan, Sun Deyou, Li Huimin, *et al.* 2002. A₁-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis [J]. *Chemical Geology*, 187: 143~ 173.
- Xie Douke. 1994. Breakup-magmatic tectonics model of Southeast China continent [J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 15(3): 1~ 8 (in Chinese).
- Xu Baoliang, Huang Fusheng, Wang Shiguang. 1989. Petrology, geochemistry and explanation of petrogenetic type of the Shanhaiguan alkaline granite in Hebei Province, China. [A]. *The Lithospheric Geoscience* [C]. Peking: Peking University Publishing House, 158~ 170 (in Chinese).
- Yang Wenjin, Wang Liankui, Zhang Shaoli, *et al.* 1986. Geochemical characters and formation environment of coast-type granite in the Fujian-Zhejiang coastal area [J]. *Geochemistry*, 11(4): 307~ 318 (in Chinese).
- Zhang Jie and Zhang Guoren. 1989. A discussion on geochemical characters and origin of Qianshan granite [J]. *Liaoning Geology*, (2): 121~ 133 (in Chinese).
- Zhou Meifu, Yan Danping, Kennedy A K, *et al.* 2002. SHRIMP U₂₃₅/Pb zircon geochronology and geochemical evidence for Neoproterozoic arc magmatism along the western margin of Yangze Block, South China [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 196: 51~ 67.

附中文参考文献

- 胡受奚, 赵乙英, 胡志宏, 等. 1994. 中国东部中生代活动大陆边缘构造岩浆作用与发展 [J]. *岩石学报*, 10(4): 370~ 381.
- 李兆熊, 权恒, 李之彤, 等. 2003. 中国东部中生代火成岩及其深部过程 [M]. 北京: 地质出版社, 1~ 357.
- 林强. 1999. 东北亚中生代火山岩研究若干问题的思考 [J]. *世界地质*, 18(2): 14~ 22.
- 林强, 葛文春, 孙德有, 等. 1998. 中国东北地区中生代火山岩的大地构造意义 [J]. *地质科学*, 33(2): 129~ 139.
- 王德滋, 赵广涛, 邱检生. 1995. 中国东部晚中生代 A 型花岗岩的构造制约 [J]. *高校地质学报*, 1(2): 13~ 21.
- 吴福元, 孙德有. 1999a. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄 [J]. *长春科技大学学报*, 29(4): 313~ 318.
- 吴福元, 孙德有, 林强. 1999b. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生 [J]. *岩石学报*, 15(2): 181~ 189.
- 谢谏克. 1994. 中国东南大陆边缘裂解——岩浆构造模型 [J]. *火山地质与矿产*, 15(3): 1~ 8.
- 许保良, 黄福生, 王式浣. 1989. 山海关碱性(A型)花岗岩的岩石学和地球化学特征及其成因类型 [A]. *岩石圈地质科学* [C]. 北京: 北京大学出版社, 158~ 170.
- 杨文金, 王联魁, 张绍立, 等. 1986. 闽浙沿海型花岗岩地球化学特征及其形成环境初探 [J]. *地球化学*, 11(4): 307~ 318.
- 张杰, 张国仁. 1989. 千山花岗岩地球化学特征及其成因探讨 [J]. *辽宁地质*, (2): 121~ 133.