

辽宁大石桥早白垩世建一岩体年代学、地球化学及成因研究

李 壮¹ 孟 恩² 裴福萍³ 刘经纬¹ 张 璐¹

1. 北京大学 地球与空间科学学院 北京 100871 2. 中国地质科学院 地质研究所 北京 100037 ;

3. 吉林大学 地球科学学院 吉林 长春 130061

摘 要 :建一岩体岩性主要为花岗闪长岩。岩石中的锆石呈自形,发育岩浆振荡生长环带,具有较高的 Th/U 比值(>0.1),均暗示其为典型的岩浆成因锆石。锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果显示,所测锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄集中于 138~145 Ma,其加权平均年龄为 140 Ma,说明花岗闪长岩的形成时代为早白垩世。主量元素特征显示,该岩体为铝不饱和的 I 型花岗岩。球粒陨石标准化稀土元素分配模式显示轻稀土元素(LREE)相对富集,中稀土和重稀土元素(MREE 和 HREE)相对亏损,具有轻微的负 Eu 异常,暗示岩浆演化过程中角闪石分离结晶明显而斜长石分离结晶较弱。微量元素蛛网图显示富集大离子亲石元素(LILE)Rb、Th、U,贫高场强元素(HFSE)Nb、Ta,其 Nb/Ta、La/Nb 和 Th/Nb 比值介于地壳和地幔平均值之间,显示建一岩体岩浆具有壳幔混源的特点。结合建一岩体岩石地球化学特点和区域构造背景,认为该岩体的形成可能与古太平洋板块向欧亚大陆下俯冲引起的类似于弧后盆地的伸展环境有关。

关键词 :花岗闪长岩 年代学 地球化学 地质意义 辽宁省

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2016.02.001

GEOCHRONOLOGY, GEOCHEMISTRY AND ORIGIN OF THE EARLY CRETACEOUS
JIANYI PLUTON IN DASHIQIAO, LIAONING PROVINCELI Zhuang¹, MENG En², PEI Fu-ping³, LIU Jing-wei¹, ZHANG Lu¹

1. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

Abstract :The Jianyi pluton, located in Dashiqiao, Liaoning Province, Northeast China, is dominated by granodiorite. The zircons from the granodiorite show euhedral shape, oscillatory and sector-zoning, with high Th/U ratios (>0.1), suggesting a typical magmatic origin. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating indicates that the $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of zircons range from 138 to 145 Ma, yielding a weighted mean age of 140 Ma, which probably represents the formation age of the granodiorite, i.e., Early Cretaceous. Major element characteristics show that the Jianyi pluton belongs to metaluminous I-type granite. The chondrite-normalized REE patterns suggest enrichment of LREEs, and depletion of MREEs and HREEs, with slightly negative Eu anomaly, indicating a strong fractional crystallization of amphibole and weak fractional crystallization of plagioclase. The trace element spider diagram shows that they are enriched in large ion lithophile elements (LILEs, such as Rb, Th and U) and depleted in high field strength elements (HFSEs, Nb and Ta). The Nb/Ta, La/Nb and Th/Nb values are between the data of the crust and mantle, showing that the magma is derived from crust-mantle mixed source. Integration of our new data with recent geological studies concludes that the Jianyi pluton and the Early Cretaceous magmatism in the eastern North China craton was formed in an extensional setting similar to back-arc basin, which may be related to the subduction of the Paleo-Pacific oceanic plate.

Key words :granodiorite; geochronology; geochemistry; tectonic setting; Liaoning Province

收稿日期 2015-07-31 修回日期 2015-08-11. 编辑 李兰英.

基金项目 :国家自然科学基金项目(41202136);中国地质科学院地质研究所基本科研业务费项目(J1507);北京大学开放测试基金项目(0000010541);吉林大学大学生创新性实验计划项目(2010C61164).

作者简介 :李壮(1989—),男,博士研究生,岩石学与地球化学专业,通信地址 北京市海淀区颐和园路 5 号, E-mail://lizhuangcc@pku.edu.cn

0 引言

辽东半岛位于华北克拉通的东北缘,广泛发育中生代岩浆岩,岩性包括花岗岩类、火山岩以及基性-超基性杂岩^[1]。依据锆石 U-Pb 年代学资料,前人将研究区的中生代岩浆作用分为 4 期,分别为早—中三叠世(230~250 Ma)、晚三叠世(203~211 Ma)、中侏罗世(156~180 Ma)和早白垩世(110~135 Ma)^[2]。早白垩世是华北克拉通重要的构造体制转换及成矿时期^[3]。然而,这些研究成果多集中在吉南-辽南和辽西东南部地区花岗岩-(超)基性岩^[4]。相比之下,有关辽东北地区侵入岩的研究程度明显薄弱。因此,本文选取辽宁大石桥地区早白垩世建—花岗闪长岩体进行系统的年代学、岩石学和地球化学研究,并结合区域资料探讨其形成的构造环境。

1 区域地质背景

华北克拉通是中国最古老的克拉通板块,其演化历史超过 3.85 Ga^[5]。在大地构造位置上,华北克拉通北邻中亚造山带,南邻秦岭-大别造山带,辽东半岛属于华北克拉通东部陆块的东北段,位于郯庐断裂以东(图 1a)^[6]。该区基底岩石主要由北部辽北-吉南陆块的鞍山-抚顺太古宙杂岩和南部辽南陆块的金州太古宙杂岩及二者之间胶-辽-吉活动带的古元古代辽河群火山-沉积建造和花岗岩-基性岩侵入体组成^[7]。太古宙—古元古代基底之上广泛出露中—新元古代沉积岩,构成了华北克拉通第一套稳定沉积盖层,显生宙沉积岩分布较少,但是中生代岩浆岩在辽东地区广泛发育^[9]。

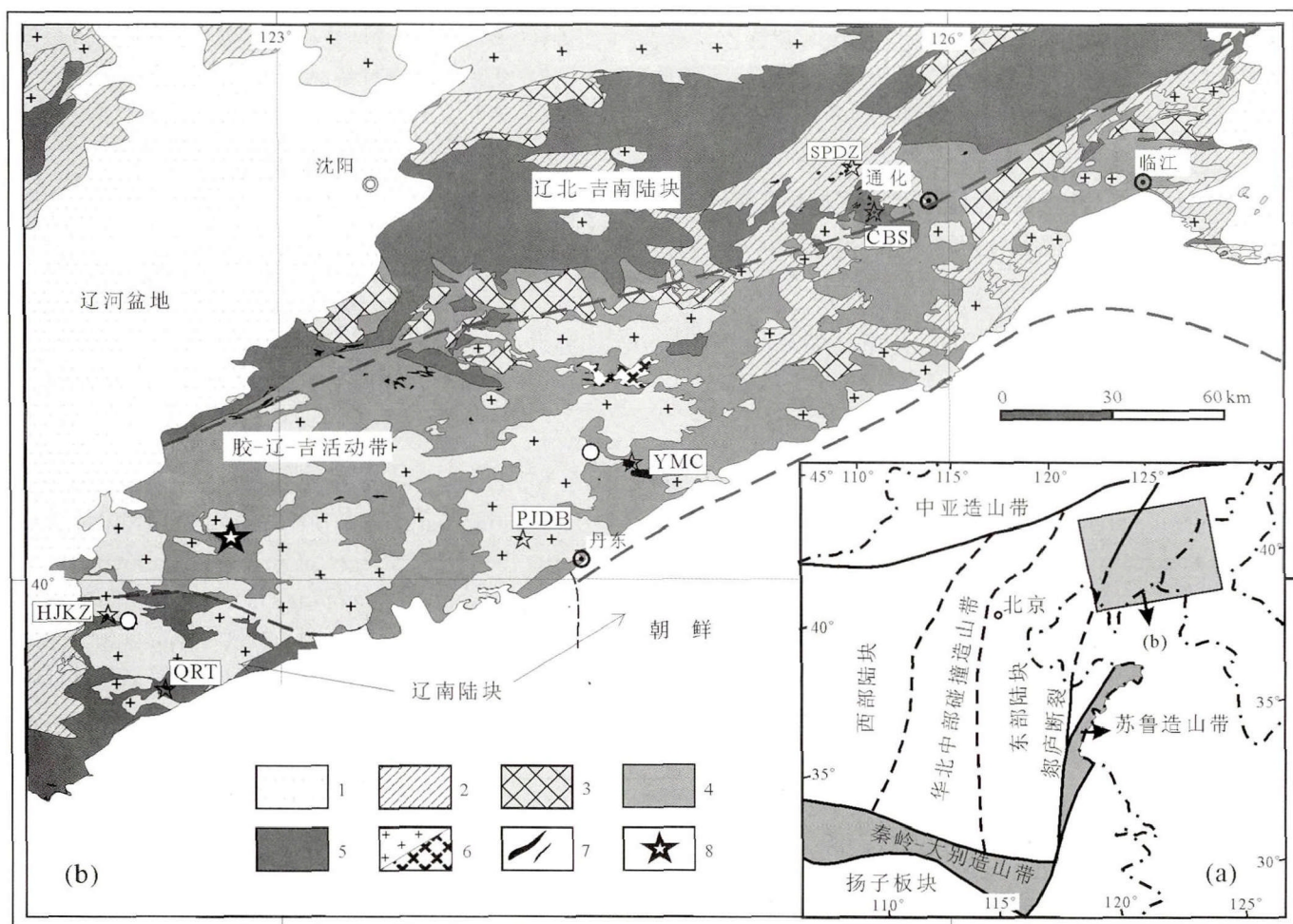


图 1 辽东地区地质简图及采样位置

(据文献[4]修编)

Fig. 1 Geological map of Eastern Liaoning Province with sampling positions

(Modified from Reference [4])

1—新生界(Cenozoic) 2—中生界(Mesozoic) 3—古生界(Paleozoic) 4—元古宇(Proterozoic) 5—太古宇(Archean) 6—中生代花岗岩/碱性岩(Mesozoic granitoid/alkaline rocks) 7—中生代基性-超基性杂岩(Mesozoic basic-ultrabasic complex) 8—采样点(sampling position)

2 样品描述

研究区位于辽宁省大石桥市建一镇附近, 建一花岗闪长岩体主要侵位于古元古代辽河群火山-沉积建造中(图 1b). 本文所选样品采样点如图 1 所示, 具体的采样位置和岩相学特征如下文.

该岩体平面展布呈北北东向, 出露面积约 3 km². 花岗闪长岩的新鲜面呈浅灰色, 中细粒花岗结构, 块状构造(图 2a), 主要矿物成分由石英(20%)、斜长石(50%)、碱性长石(15%)、普通角闪石(10%)和黑云母(5%)组成, 副矿物由锆石、榍石及不透明矿物等组成(图 2b). 此外值得注意的是建一花岗闪长岩普遍见有暗色微细粒闪长质包体(MME)(图 2a).

3 分析方法

首先将待测年样品(LT1)经过手工破碎、淘洗、电磁选、重液分选, 在双目镜下挑选, 得到含包裹体少、无明显裂隙且晶型完好的锆石. 然后将锆石置于环氧树脂内研磨, 再抛光清洗制成激光样品靶. 锆石的阴极发光(CL)图像主要用于查明锆石内部结构, 以便准确选点. 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 原位定年分析在天津地质矿产研究所同位素实验室完成. 年龄计算时以国际标准锆石 GJ-1 为外标进行同位素比值校正, 以 TEM 为监控盲样, 元素含量以国际标样 NIST 610 为外标, ²⁹Si 为内标. 实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气. 分析时采用 10 Hz 的激光频率, 193 nm 的激光波长, 36 μm 的激光束斑直径, 激光预剥蚀时间和剥蚀时间分别为 5 s 和 40 s, U、Th、Pb 元素积分时间为 20 ms, 其他元素积

分时间为 15 ms. 测试结果通过 GLITTER 4.4 软件计算得出, 实验获得的数据采用 Andersen 的方法进行同位素比值的校正以扣除普通 Pb 的影响^[9], 谐和图的绘制采用 ISOPLOT 3.0 完成^[10]. 详细的实验分析步骤和数据处理方法见文献^[11]. 所给定的同位素比值和年龄的误差均在 1σ 水平.

所采集的样品首先经薄片显微镜下鉴定, 然后选择最新鲜的样品用于地球化学分析. 样品的粉碎加工均在无污染设备中进行. 主量元素和微量元素分析在北京国家地质测试分析中心完成. 主量元素是用 X 荧光光谱法(XRF)测定, 误差小于 0.5%; 微量元素 Zr、Sr、Ba、Rb 和 Nb 同样是用 X 荧光光谱法完成, 误差 Ba 为 5%, 其他元素小于 3%; 稀土元素及 V、Cr、Ni、Co、Cu、Pb、U、Th、Ta 和 Hf 用等离子体光谱仪分析完成, 误差小于 5%.

4 分析结果

4.1 锆石 U-Pb 年代学

建一岩体中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果见表 1, 代表性锆石的阴极发光(CL)图像见图 3a. 花岗闪长岩(LT1)中的锆石呈自形, 颗粒直径在 100~300 μm, 发育岩浆振荡生长环带(图 3a). 微区成分分析显示, 21 颗锆石的 U=61×10⁻⁶~882×10⁻⁶, Th=33×10⁻⁶~539×10⁻⁶, 其 Th/U 比值介于 0.19~0.83, 以上特征暗示其均为典型的岩浆成因锆石. 表 1 中结果显示, 所测锆石 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄集中于 138~145 Ma, 其加权平均年龄为 140±1 Ma (图 3b), 该年龄代表了建一花岗闪长岩的形成时代, 即早白垩世.

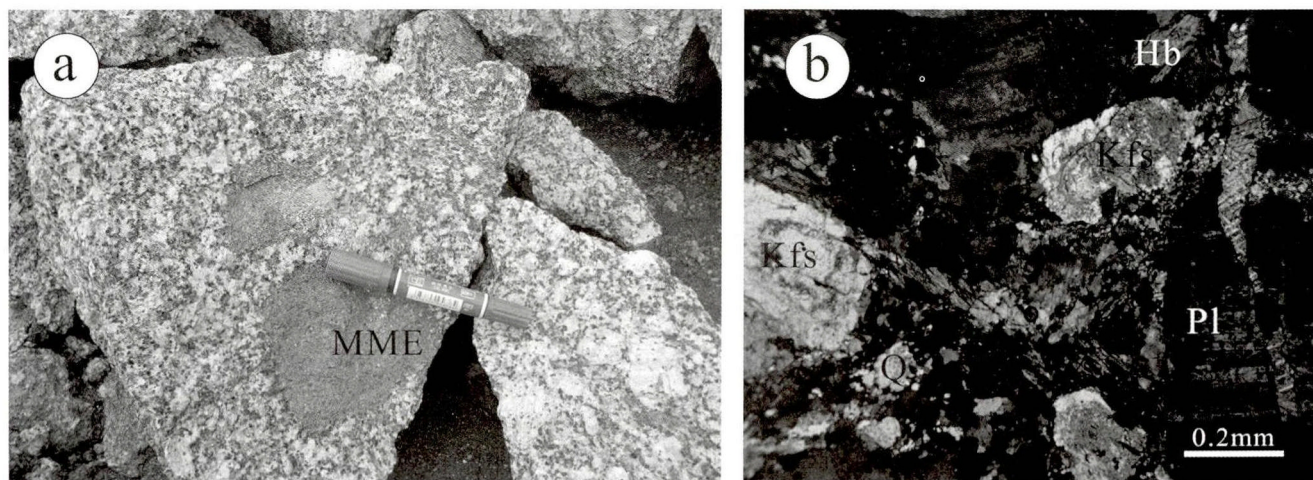


图 2 建一花岗闪长岩的野外和镜下照片

Fig. 2 Sample and microphotograph of the Jianyi granodiorite

MME—闪长质暗色包体(mafic microgranular enclaves), Kfs—钾长石(alkali-feldspar), Q—石英(quartz);

Pl—斜长石(plagioclase), Hb—角闪石(hornblende)

表 1 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年分析结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating result

样品号	组成/ 10^{-6}		Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
LT1-1	32.6	67.5	0.48	0.08764	0.01632	0.26425	0.04843	0.02187	0.00031	1375	358	238	44	1375	358
LT1-2	40.4	103.8	0.39	0.04856	0.00525	0.14808	0.01583	0.02212	0.00021	127	255	140	15	127	255
LT1-3	145.9	759.9	0.19	0.04747	0.00205	0.14890	0.00673	0.02275	0.00014	73	103	141	6	73	103
LT1-4	99.8	120.9	0.83	0.04867	0.00271	0.14933	0.00848	0.02225	0.00017	132	131	141	8	132	131
LT1-5	94.9	272.7	0.35	0.07207	0.00261	0.21703	0.00800	0.02184	0.00014	988	74	199	7	988	74
LT1-6	244.2	357.3	0.68	0.04925	0.00162	0.14795	0.00511	0.02179	0.00014	160	77	140	5	160	77
LT1-7	86.8	139.3	0.62	0.04870	0.00350	0.14814	0.01056	0.02206	0.00015	133	169	140	10	133	169
LT1-8	114.7	230.6	0.50	0.04810	0.00428	0.14896	0.01350	0.02246	0.00015	104	210	141	13	104	210
LT1-9	539.2	882.1	0.61	0.10057	0.00128	0.30260	0.00568	0.02182	0.00018	1635	24	268	5	1635	24
LT1-10	53.8	106.8	0.50	0.04888	0.00447	0.14903	0.01370	0.02211	0.00026	142	215	141	13	142	215
LT1-11	49.3	148.1	0.33	0.04850	0.00522	0.14897	0.01623	0.02228	0.00019	124	253	141	15	124	253
LT1-12	35.3	60.9	0.58	0.04949	0.00324	0.14843	0.01006	0.02175	0.00028	171	153	141	10	171	153
LT1-13	56.7	95.8	0.59	0.06299	0.00768	0.18931	0.02302	0.02180	0.00024	708	259	176	21	708	259
LT1-14	88.7	118.4	0.75	0.05007	0.00691	0.14900	0.02052	0.02158	0.00021	198	321	141	19	198	321
LT1-15	92.8	152.0	0.61	0.11425	0.00502	0.34525	0.01514	0.02192	0.00020	1868	79	301	13	1868	79
LT1-16	281.6	541.0	0.52	0.08325	0.00249	0.25065	0.00602	0.02184	0.00017	1275	58	227	5	1275	58
LT1-17	193.1	398.3	0.48	0.04975	0.00085	0.14836	0.00268	0.02163	0.00012	184	40	140	3	184	40
LT1-18	72.7	185.8	0.39	0.04900	0.00425	0.14772	0.01278	0.02186	0.00017	148	203	140	12	148	203
LT1-19	139.3	428.9	0.32	0.08884	0.00221	0.26517	0.00756	0.02165	0.00014	1401	48	239	7	1401	48
LT1-20	119.3	280.6	0.43	0.04882	0.00438	0.14696	0.01352	0.02183	0.00018	139	211	139	13	139	211
LT1-21	44.8	177.4	0.25	0.04960	0.00308	0.14833	0.00934	0.02169	0.00014	176	145	140	9	176	145

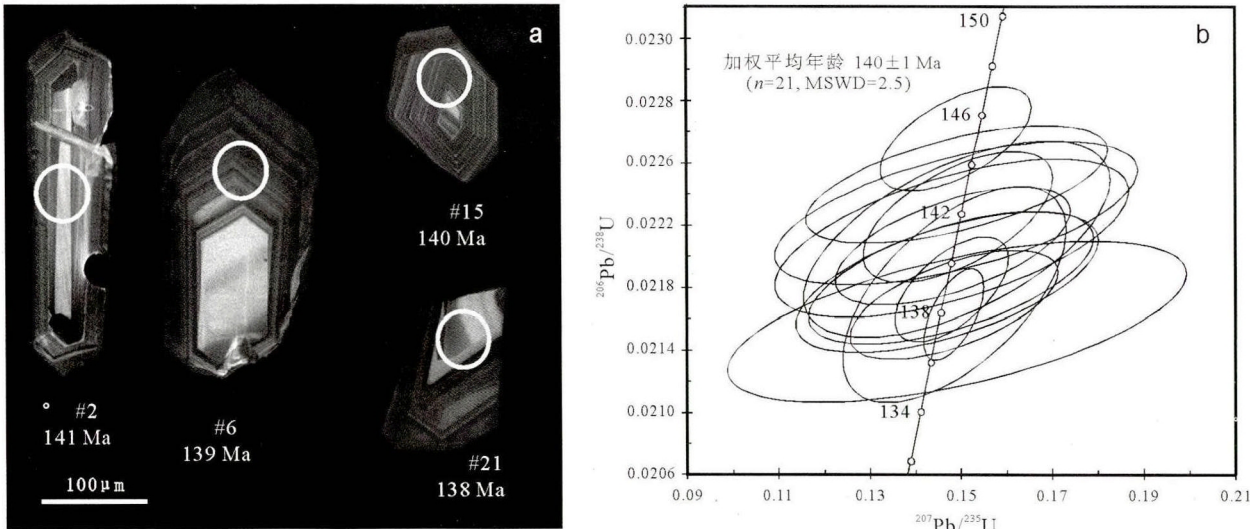


图 3 建一花岗闪长岩代表性锆石阴极发光图像(a)和锆石 U-Pb 谐和图(b)
Fig. 3 CL images for representative zircons (a) and zircon U-Pb age (b) of the Jianyi granodiorite

4.2 地球化学

4.2.1 主量元素

本文所选建一早白垩世花岗闪长岩的主量和微量元素分析结果见表 2. 表中显示 SiO₂ 含量为 69.12%~61.61% ,MgO 为 0.71%~1.17% ,Al₂O₃ 为

13.55%~13.84% ,CaO 为 2.11%~2.35% ,K₂O 为 3.91%~4.02% ,Na₂O 为 3.56%~4.08%. 在 TAS 图解上该样品落在花岗闪长岩区域内,属于亚碱性系列(图略)^[12],而在 SiO₂-K₂O 变异图解中则落入高钾钙碱性系列区内(图 4)^[13].

表 2 地球化学数据
Table 2 Geochemical data

样品号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
LT1	69.61	0.25	13.84	2.65	0.04	0.71	2.11	4.08	4.02	0.09	2.31
LT2	69.12	0.24	13.55	2.87	0.04	1.17	2.35	3.56	3.91	0.08	2.8
样品号	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Rb	Sr	Y	Zr	Nb
LT1	6.70	14.8	8.66	2.2	3.83	2.14	148	200	7.29	144	10.9
LT2	7.44	25.9	27.6	4.08	10.1	2.32	166	220	9.76	141	10.4
样品号	Ba	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
LT1	788	2.02	18.3	33.3	3.38	11.5	1.87	0.47	1.65	0.23	1.31
LT2	649	3.2	31.7	52.3	5.82	19.1	2.92	0.73	2.39	0.34	1.88
样品号	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Pb	Th	U	
LT1	0.27	0.8	0.12	0.83	0.14	4.79	0.86	11.8	7.46	1.72	
LT2	0.37	1.09	0.18	1.18	0.2	4.92	0.99	23.1	13.6	3.17	

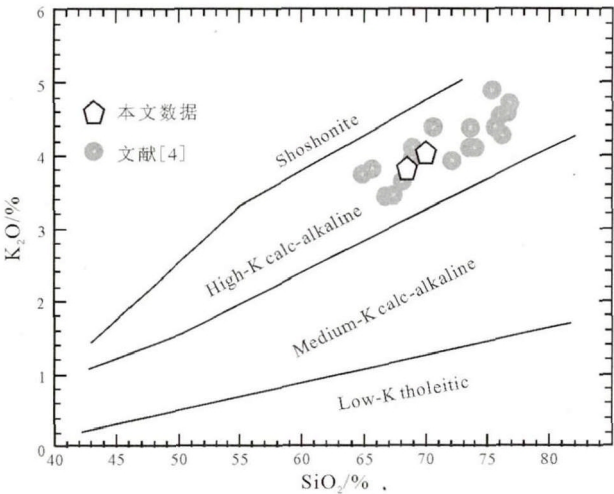
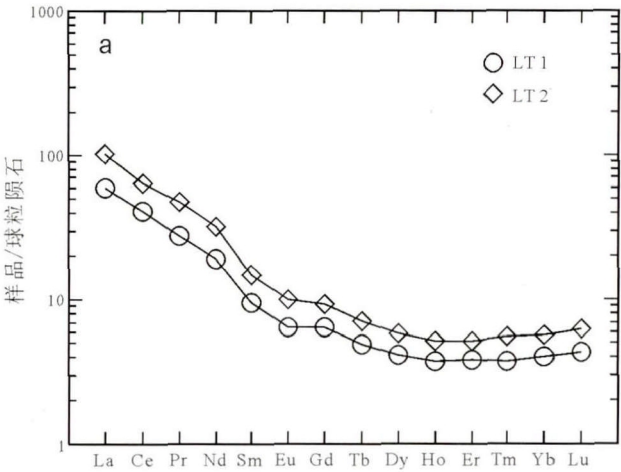


图 4 K₂O–SiO₂ 图解
(据文献[13]修编)

Fig. 4 The K₂O vs. SiO₂ diagram for the Jianyi granodiorite
(After Reference [13])



4.2.2 稀土和微量元素

从稀土元素球粒陨石标准化配分图解中可以看出,研究区早白垩世花岗闪长岩稀土元素配分曲线呈明显右倾型,轻重稀土分馏明显,以富集 LREE、亏损 MREE 和 HREE、具有轻微的负铕异常为特征(图 5a). 由于角闪石是 MREE 和 HREE 主要的寄主矿物(尤其 MREE),而斜长石是铕最主要的寄主矿物,暗示建一花岗闪长岩的岩浆演化过程中角闪石分离结晶明显而斜长石分离结晶较弱^[14],而从微量元素原始地幔标准化蛛网图中可知,花岗质岩石明显富集 Ba、Th、U 等大离子亲石元素(LILE),强烈亏损 Nb、Ta 等高场强元素(HFSE)(图 5b). 上述特征也都与吉南地区六道沟、绿江村及榆树林子弱过铝质花岗岩相似,与安第斯型弧火山岩可对比^[4].

5 讨论

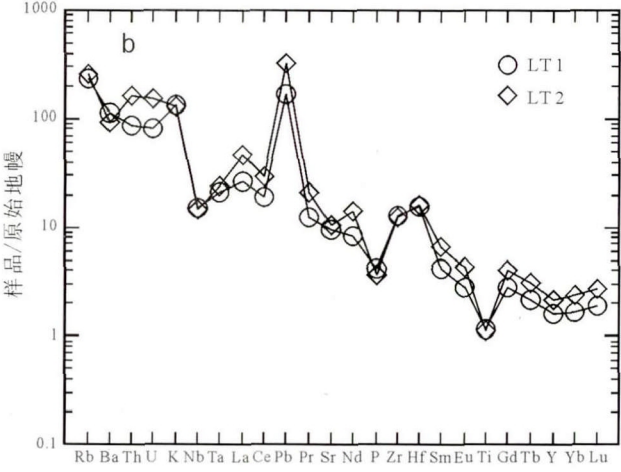


图 5 建一花岗闪长岩稀土元素图解

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spidergram (b) of the Jianyi granodiorite

5.1 建一岩体的形成时代

辽东半岛中生代花岗质侵入体的形成时代一直是人们争论的地质问题之一。对其形成时代的确定也主要是根据与围岩的接触关系及少量的 K-Ar 和 Rb-Sr 定年资料。基于以上研究,前人认为它们形成于印支期和燕山期^[8]。然而由于 K-Ar 和 Rb-Sr 体系封闭温度较低、区域构造演化复杂等因素降低了测试精度,致使其形成时代一直存在较大争议。锆石 U-Pb 体系封闭温度较高,可以记录岩体的形成时代^[11]。从建一花岗闪长岩中锆石的阴极发光(CL)图像可以看出,锆石具有典型的岩浆振荡生长环带。结合锆石高的 Th/U 比值(所有样品 $Th/U > 0.1$),均表明它们为岩浆成因。因此,其加权平均年龄为 140 Ma,代表了花岗闪长岩的形成时代,该年龄是辽东早白垩世岩浆岩带迄今报道的最老的侵入体年龄。这与前人对吉林南部早白垩世火山岩、吉南-辽东半岛大面积同时代花岗岩及鲁西、胶东半岛、苏鲁大别基性岩等的定年结果相吻合,均指示了华北克拉通,乃至整个中国东部中生代最强烈的早白垩世岩浆热事件^[3]。

5.2 建一岩体的岩石成因

5.2.1 花岗岩成因分类

建一花岗闪长岩 A/CNK 值小于 1,为铝不饱和花岗岩。一般来说,S 型花岗岩的 A/CNK 值大于 1.1,富钠,标准矿物硬玉分子大于 1,出现富铝质矿物白云母、夕线石、堇青石等。结合岩相学特征,很显然研究区花岗岩不是 S 型花岗岩,应属于 I 型或 A 型花岗岩。A 型花岗岩一般出现碱性暗色矿物钠闪石和钠铁闪石等,以明显富集高场强元素(HFSE),如 Zr、Nb、Y、REE 和 Ga 等与 I 型花岗岩相区别。建一花岗闪长岩中不存在钠闪石和钠铁闪石等碱性暗色矿物,同时 Zr、Nb、Y、La 和 Ce 的丰度较低,与辽南 A 型花岗岩有较大差别,而与吉南 I 型花岗岩特征一致,说明建一岩体应为 I 型花岗岩,暗示其原始岩浆应主要来自下地壳火成岩的部分熔融^[4]。在微量元素上,相容元素 Ni、Cr 的含量均小于大陆上地壳的平均值,Rb、Th 等强不相容元素表现出明显的富集,而 Ba、La、Nb 等元素表现出明显的亏损,均指示壳源特点。而弱不相容元素明显低于地壳平均值,显示出某些幔源的特征,暗示建一花岗闪长岩可能为壳幔混合来源。这一点也与其 Nb/Ta、La/Nb 和 Th/Nb 比值介于地壳和地幔平均值之间的特征一致^[15]。同时,建一花岗闪长岩中普遍见有暗色微细粒闪长质包体(MME)。MME 形态多呈浑圆的外形,显示出明显的塑性流变特点,具典型的岩浆结构的暗色包

体中见针状磷灰石(记录了迅速淬冷的过程)和含寄主岩矿物(记录了与寄主岩之间的物质交换)特征,具有明显的岩浆混合成因的包体特征(图 2),MME 可以提供诱发花岗闪长岩形成的底侵玄武岩及其地幔源区的信息。

5.2.2 锆石饱和温度

由于花岗岩岩浆大多是绝热式上升就位的,岩浆早期结晶的温度近似代表了岩浆形成时的温度,因此可以通过计算岩浆的早期结晶温度来近似求得起源温度。锆石饱和温度计算是当前获得岩浆初始温度的主要方法之一,锆石是花岗质岩浆体系中较早结晶的副矿物,锆石中 Zr 的分配系数对温度十分敏感,其在岩浆中的含量与温度存在相关性,而其他因素对其没有明显影响,因而可以认为锆石饱和温度可近似代表花岗质岩石近液相线的温度^[16]。计算表明,建一花岗闪长岩的锆石饱和温度为 761.3 °C 和 761.5 °C,均小于 800 °C,为典型的低温 I 型花岗岩。目前的实验岩石学研究表明,地壳低温(≤ 800 °C)部分熔融产生花岗闪长质岩浆,需要地壳内部的减压作用和源区有一定量的流体。流体一般来自黑云母、白云母和钙质角闪石等含水矿物的脱水反应。其中,只有白云母可在低于 800 °C 的条件下发生脱水反应。同时,白云母需达到一定的数量才能产生大规模的岩浆^[17]。地球化学研究表明,建一花岗闪长岩属于 I 型花岗岩,其应起源于火成岩的部分熔融而非泥质岩。因此,白云母的脱水熔融不可能是建一花岗闪长岩产生的主要机制。流体的另外一种可能来源是外来流体的注入作用,如俯冲带中沉积物的脱水反应或超镁铁—镁铁质岩浆岩中含水矿物的脱水反应^[18]。由于辽东地区经历太古宙—中生代多个构造体制的转换,存在多期次的俯冲和岩浆底侵事件,目前我们无法区分上述两个可能。但是,值得注意的是,与建一花岗闪长岩同时代的岩石包括了大量的超镁铁—镁铁质岩浆岩,以及建一花岗闪长岩中普遍见有暗色微细粒闪长质包体(MME),都可能暗示(超)镁铁质岩浆岩中含水矿物的脱水反应起到了关键的作用。

5.3 构造背景

结合已发表的年代学数据,我们不难发现最早的钙碱性岩浆活动在时间上存在从日本岛和朝鲜半岛(约 210 Ma)到胶东、辽东半岛(和东南沿海,约 180 Ma),再到太行山(和大别山,138 Ma)的年轻化趋势。我们据此提出华北克拉通上的中生代岩浆岩的形成可能与古太平洋板块的俯冲有关,即随着古太平洋板块的俯冲消减,大陆弧岩浆活动逐步向北西方向推进^[19]。地球

化学分析结果显示,建一岩体属于高钾钙碱性系列,具有典型弧岩浆作用的特点。结合研究区及邻区吉南临江地区同时代钙碱性火山岩以及辽南饮马湾山活动陆缘型闪长质岩石的存在,表明辽东地区在早白垩世可能处于一个类似于弧后盆地的伸展环境,这也与该区西北部辽中千山地区发育早白垩世A型花岗岩及北部存在早白垩世双峰式岩浆作用的研究结果相一致^[19]。此外,前人通过对东北松辽盆地和大兴安岭地区早白垩世主要由流纹岩类和玄武岩类组成的双峰式火山岩组合、大别山地区的中生代辉长岩-花岗岩组合以及华北克拉通中生代双峰式岩墙群的研究表明,早白垩世岩浆热事件在华北克拉通东部乃至整个中国东部广泛存在,因而本区发育的早白垩世侵入岩即是对这一岩浆热事件的响应^[3]。

6 结论

(1)建一岩体岩性主要为花岗闪长岩,形成时代为早白垩世。

(2)元素地球化学及岩石学特征显示,建一花岗闪长岩具有壳幔混源的特点,具典型弧岩浆作用的特点。

(3)结合建一花岗闪长岩的岩石地球化学特点和区域构造背景,认为该岩体的形成可能与古太平洋板块向欧亚大陆下俯冲引起的类似于弧后盆地的伸展环境有关。

致谢:感谢天津地质矿产研究所同位素实验室在锆石 LA- ICP- MS U- Pb 测试分析中给予的大力帮助。感谢北京大学地球与空间科学学院詹彦博士在成文过程中的有益探讨。

参考文献:

- [1] Pei F P, Xu W L, Yang D B, et al. Geochronology and geochemistry of Mesozoic mafic-ultramafic complexes in the southern Liaoning and southern Jilin provinces, NE China: Constraints on the spatial extent of destruction of the North China Craton[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 40(6): 636—650.
- [2] Li Z, Pei F P, Meng E. Zircon U-Pb age, geochemical and Nd isotopic data of the Middle Jurassic high-Mg dioritic dike in the Liaodong Peninsula, NE China[J]. *Global Geology*, 2014, 17(3): 143—154.
- [3] Wu F Y, Lin J Q, Wilde S A, et al. Nature and significance of the Early Cretaceous giant igneous event in eastern China[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 233(1/2): 103—119.
- [4] Pei F P, Xu W L, Yang D B, et al. Petrogenesis of Late Mesozoic granitoids in southern Jilin Province, northeast China: Geochronological, geochemical, and Sr-Nd-Pb isotopic evidence[J]. *Lithos*, 2011, 125(1/2): 27—39.
- [5] Liu D Y, Nutman A P, Compston W, et al. Remnants of ≥ 3800 Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean Craton[J]. *Geology*, 1992, 20(4): 339—342.
- [6] Zhao G C, Sun M, Wilde S A, et al. Late Archean to Paleoproterozoic evolution of the North China Craton: Key issues revisited [J]. *Precambrian Research*, 2005, 136(2): 177—202.
- [7] Li S Z, Zhao G C, Santosh M, et al. Palaeoproterozoic tectonothermal evolution and deep crustal processes in the Jiao-Liao-Ji Belt, North China Craton: A review[J]. *Geological Journal*, 2011, 46(1): 525—543.
- [8] 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1989: 394—396.
- [9] Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192(1): 59—79.
- [10] Ludwig K R. ISOPLOT 3: A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Centre Special Publication, 2003, 4: 74.
- [11] Yuan H L, Gao S, Liu X M, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. *Geostandard Newsletter*, 2004, 28(3): 353—370.
- [12] Irvine T H, Baragar W R. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1971, 8(1): 523—548.
- [13] Peccerillo A, Taylor A R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1976, 58(1): 63—81.
- [14] 陈斌. 内蒙古苏尼特左旗南白音宝力道岩体特征与成因——是岛弧岩浆岩而不是埃达克岩[J]. *地质论评*, 2002, 48(3): 261—266.
- [15] Green T H. Significance of Nb/Ta indicator of geochemical processes in the crust-mantle system[J]. *Chemical Geology*, 1995, 120(3/4): 347—359.
- [16] 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.
- [17] Gardien V, Thompson A B, Grujic D, et al. Experimental melting of biotite + plagioclase + quartz + muscovite assemblages and implications for crustal melting[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100(8): 15581—15591.
- [18] Wilson W. Igneous petrogenesis[M]. London: Unwin Hyman, 1989: 327—373.
- [19] 孟恩, 刘福来, 施建荣, 等. 辽宁省丹东地区“前震旦纪”侵入岩的锆石 U-Pb 年代学、地球化学及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2013, 29(2): 421—436.