延边和龙地区早侏罗世花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因意义

李研[1,2)],聂逢君[1)],孙德有[3)],苟军[3)]

1)东华理工大学,南昌, 330013;2)核工业二四〇研究所,沈阳, 110032;
3)吉林大学地球科学学院,长春, 130061

内容提要:吉林省延边朝鲜族自治州和龙地区早侏罗世花岗岩广泛出露,LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果显示其形成于 195.2±1.3 Ma。地球化学特征表明花岗岩具有高硅(SiO_2=73.83%~75.55%)、富碱(Na_2O+K_2O=7.63%~8.37%)、富铝(Al_2O_3=13.15%~14.25%)、贫镁、贫钙(MgO=0.22%~0.43%,CaO=0.87%~1.41%)的特征,属于高钾钙碱性系列,岩石稀土总量不高(ΣREE=106.60×10^{-6}~127.8×10^{-6}),轻稀土分馏系数$(La/Sm)_N$=5.71~11.25,重稀土分馏系数$(Gd/Yb)_N$=1.48~2.37,Eu 为中等负异常(δEu=0.42~0.76),微量元素以富集 LREE、Rb、Th、U、K,强烈亏损 Sr、P、Ti 为特征,指示为壳源岩浆,在构造图解几乎全部落入火山弧花岗岩区,显示可能形成于活动大陆边缘环境。结合延边太平岭地区出现的早侏罗世花岗岩组合到小兴安岭—张广才岭所报道早侏罗世花岗岩及双峰式火山岩组合,共同构成了平行洋壳的俯冲方向的成分极性,表明了俯冲方向,反映了在早侏罗世期间古太平洋板块对我国东北地区北北西方向俯冲的渐进过程。

关键词:花岗岩;锆石 U-Pb 定年;地球化学;岩石成因; 吉林延边和龙地区

和龙地区位于吉林省延边朝鲜族自治州境内,东南部与朝鲜接壤,大地构造位置上处于古亚洲洋构造域和滨太平洋构造域的叠加部位,经历了复杂的地质演化过程。过去曾将本地区归为华北地台北缘边界,但近些年来,随着不少学者对延边地区花岗岩与火山岩进行了研究(张艳斌等,2004;裴福萍等,2004;付长亮等,2010),积累了大量年代学、部分地球化学及 Sr—Nd 同位素资料,认为研究区应隶属于兴蒙造山带东段(Zhang Yanbin et al.,2004; Wu Fuyuan et al.,2011;范蔚茗等,2008)。由于兴蒙造山带比较特殊的大地构造位置,致使这一地区不仅是解决东北地区乃至东亚大陆构造演化的关键地区,同时也是深化全球板块构造演化机制的关键地带。

虽然前人通过年代学、地球化学方法对延边地区花岗岩进行了大量的研究,但这些研究成果主要集中在面上大尺度的研究,且主要针对研究区南部花岗岩体(明南洞岩体、高岭岩体、百里坪岩体等),对其北部花岗岩的研究工作则略显薄弱,早期通过 K-Ar 定年将其划归为印支期(吉林省地质矿产局❶),但是由于该地区构造演化较为复杂,其花岗岩同位素体系遭到破坏,其形成年代、地球化学特征及岩石成因还不明确。鉴于此,本文在前人研究基础上对和龙地区的二长花岗岩进行了系统的年代学与地球化学特征研究,以探讨研究区岩浆的活动期次、岩石成因及其形成的地球动力学背景,并为吉黑东部矿化集中区岩浆岩序列与地质成矿事件研究项目提供新的数据依托。

1 地质背景与岩石学特征

研究区位于吉林省延边朝鲜族自治州和龙市境内,地处和龙地块,北有西伯利亚(安加拉)古大陆,南有中朝板块,构造位置处于古亚洲洋构造域和滨太平洋构造域叠加部位,构造行迹极其复杂,区内分布着大面积中生代花岗岩,岩石类型较为简单,以二长花岗岩为主,很少量正长花岗岩及花岗闪长岩(Zhang Yanbin et al.,2004;Wu Fuyuan et al.,2011)。区内古生界地层出露较少,为一套中酸性火山岩—

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41172058);中国地质调查局项目(编号:1212011085480,12120113098200)的成果。
收稿日期:2018-10-08;改回日期:2019-03-12;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2019.04.016
作者简介:李研,男,1990 年生,博士研究生,地质资源与地质工程专业,研究方向为矿床地球化学、铀矿地质。Email:1483792423@qq.com。通讯作者:聂逢君,男,1963 年生, 教授,博士生导师,主要从事铀矿地质和沉积学教学和研究,Email:niefj@263.net。

火山碎屑岩—陆源碎屑岩沉积建造。中生界地层为一套陆相中性火山岩—含煤碎屑岩沉积建造。北部还出露少量新生代玄武岩(平顶村玄武岩、白金玄武岩等)。

经过野外采样与锆石 U-Pb 定年,早侏罗世(195.2±1.3 Ma)花岗岩主体岩性为二长花岗岩,极少量正长花岗岩零星分布,因为植被覆盖严重,二者接触关系尚未实际观察到,二长花岗岩呈灰红色,半自形粒状结构,块状构造,主要矿物成分为石英、钾长石、斜长石和黑云母。石英一般为半自形、他形粒状,部分可见波状消光,粒度 0.3~3.0mm,含量约 30%;钾长石呈半自形板状,以微斜长石为主,具格

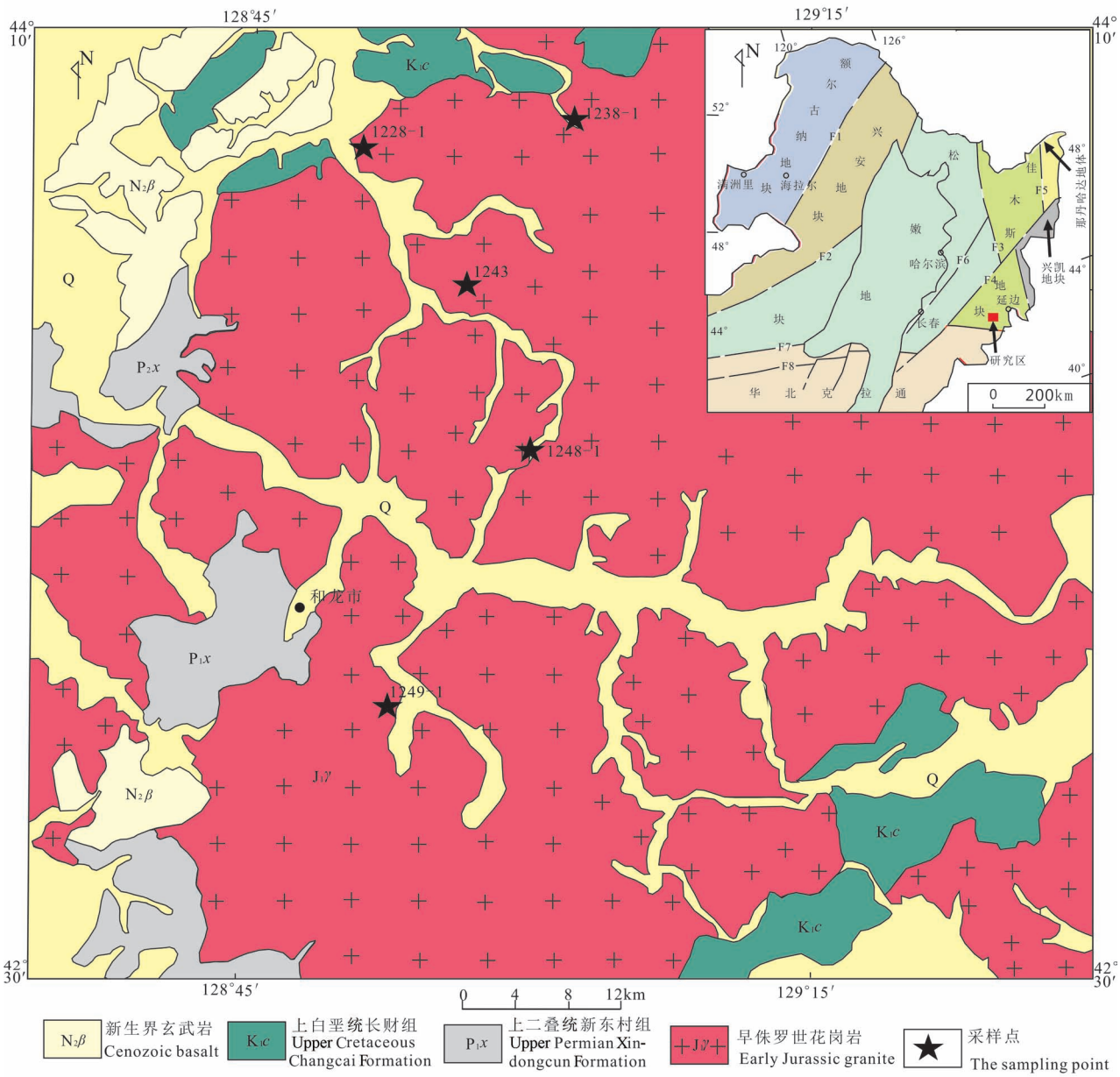


图 1 吉林省延边和龙地区早侏罗世岗岩地质简图(据吉林省地质矿产局❶)

Fig. 1 Sketch geological map of granites batholith in Helong area, Yanbian Korean Autonomous Prefecture, Jilin Province (from Jilin Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources❶)

F1—喜桂图—塔源断裂带; F2—黑河—嫩江断裂带; F3—牡丹江断裂带; F4—敦化—密山断裂带; F5—同江—当斯断裂带; F6—依兰—沂蒙断裂带;F7—西拉木伦河断裂带;F8—华北北缘断裂带

F1—Xiguitu—Tayuan fault zone; F2—Heihe—Nenjiang fault zone; F3—Mudanjiang fault zone; F4—Dunhua—Mishan fault zone; F5—Tongjiang—Dangsi fault zone; F6—Yilan—Yishan-Mengshan Mountains fault zone; F7—Xilamulun River fault zone; F8—northern margin fault zone of the North China Craton

子双晶,部分具有很强的高岭土化,粒径 0.7×1.5~3.0×5.0 mm^2,含量约 25%;斜长石呈半自形板状,聚片双晶发育,多数聚片双晶细密,环带构造较发育,部分斜长石具有弱的绢云母化,粒度 0.3×0.5~1.0×2.5 mm^2,含量约 35%;暗色矿物以黑云母为主,含有少量角闪石。黑云母为半自形—自形片状,具有明显的多色性,平行消光,部分黑云母蚀变为绿泥石,粒度 0.5×0.5~0.5×1.5mm^2,含量约 10%,副矿物可见磁铁矿(图 2)。

2　分析测试方法

锆石分选工作由河北省廊坊区域地质调查研究院负责,锆石制靶、显微图像采集在天津地质调查中心完成。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。对测年的二长花岗岩样品进行透射光、反射光及阴极发光图像进行采集,以便确定锆石内部成因类型及结构组成。采用高纯度 He 气作为剥蚀物质的载气,波长为 193 nm 的 ComPex102 ArF 准分子激光器和 Agilent7500a 型 ICP-MS 进行锆石 U 和 Pb 测定,利用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 进行仪器最佳化,用哈佛大学国际标准锆石 91500 作外标。锆石测定过程中激光束斑直径为 30 μm。分析数据通过 GLITTER 软件计算,数据的普通 Pb 校正采用 Andersen(2002)的分析方法进行,详细实验测试过程及仪器

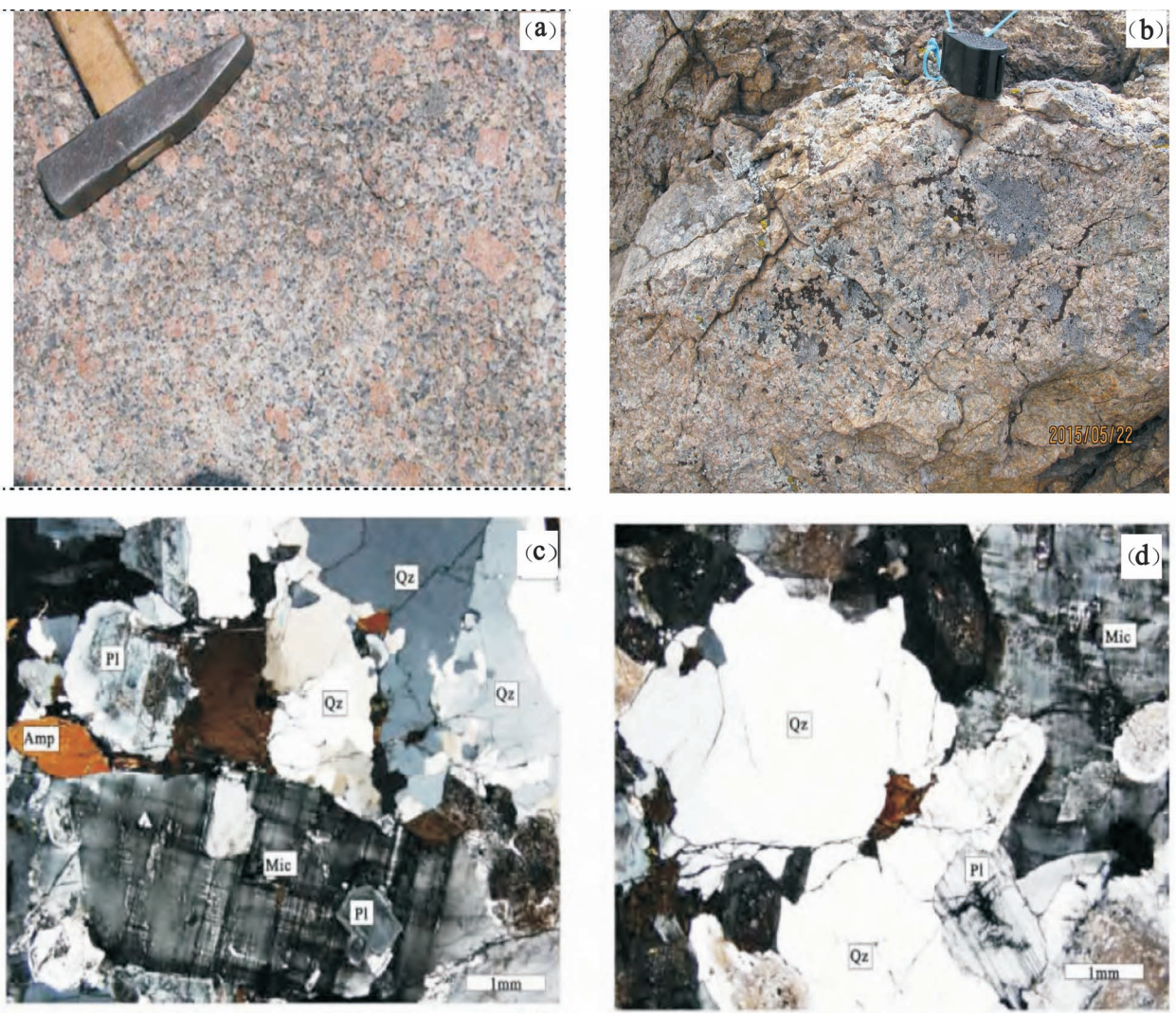


图 2 延边和龙地区早侏罗世花岗岩野外照片和镜下照片特征

Fig. 2 Photographs and granite features for the Early Jurassic monzogranite in Helong, Yanbian

Qz—石英; Pl—斜长石; Mic—微斜长石; Amp—角闪石; Bt—黑云母

Qz—quartz; Pl—plagioclase; Mic—microcline; Amp—amphibole; Bt—biotite

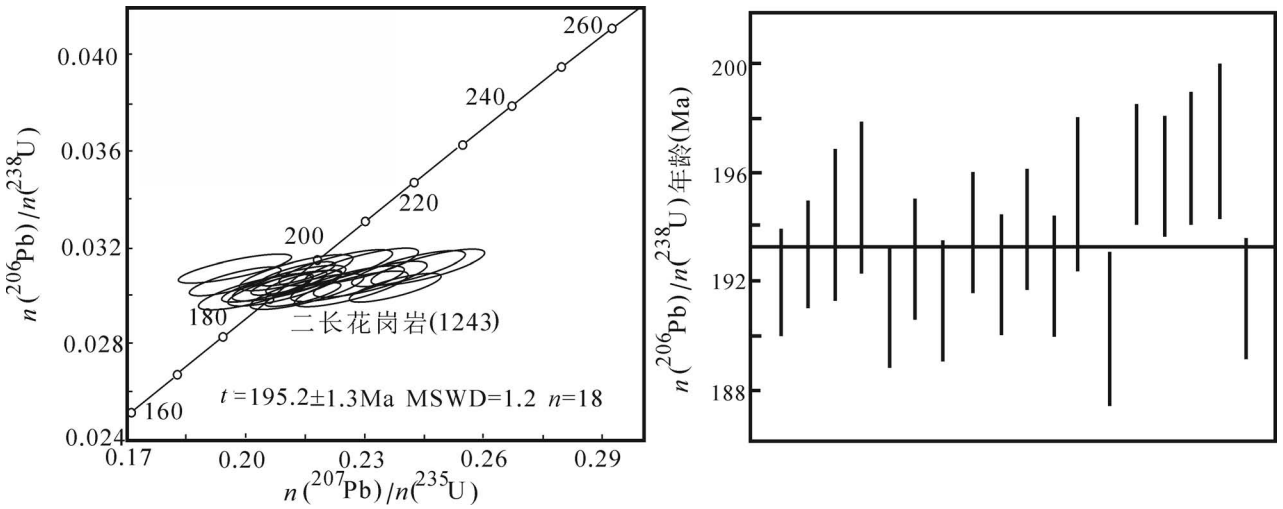


图 3 延边和龙地区早侏罗世花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 3 U-Pb Concordian diagrams of the zircons from the Early Jurassic granites in Helong area, Yanbian

参数参见袁洪林等(2003)。应用 Isoplot3.0 程序进行年龄计算及谐和图绘制。

元素地球化学数据析测试工作在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,主量元素分析在日本理学 RIX2100 型荧光光谱仪(XRF)上完成,相对误差优于 5%;微量和稀土元素分析在美国 Perkin Elmer 公司 Elan 6100DRC 型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)上进行,样品测试经 AVG-1 和 BHVO-1 国际标样监控,相对误差一般优于 5%。

3 分析测试结果

3.1 锆石 U-Pb 年代学

所测样品(1243)的锆石晶形较好,呈长柱状或短柱状(图 4),具有明显的振荡生长环带和高的 Th/U 值(0.30~1.49),反应了岩浆成因锆石的特点(Belousova et al.,2002)分析测试结果如表 1 和图 3 所示。

1243 样品(二长花岗岩,采样位置坐标:42°52′18″,128°57′09″E)锆石全部 20 个测点分析中 5 号测点为捕获锆石,10 号锆石测点因偏离谐和线较远、数据信号差而不予采用,其余 18 个测点均位于 U-Pb 谐和线上或其附近,$^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄介于 193.3~199.7 Ma 之间,加权平均年龄为 195.3±1.2 Ma,MSWD=1.2。

3.2 岩石地球化学特征

3.2.1 主量元素

研究区二长花岗岩具有高硅(SiO_2=73.83%~75.55%)、富碱(Na_2O+K_2O=7.63%~8.37%)、铝(Al_2O_3=13.15%~14.25%)、贫镁钙(MgO=0.22%~0.43%,CaO=0.87%~1.41%)的特征,铝饱和指

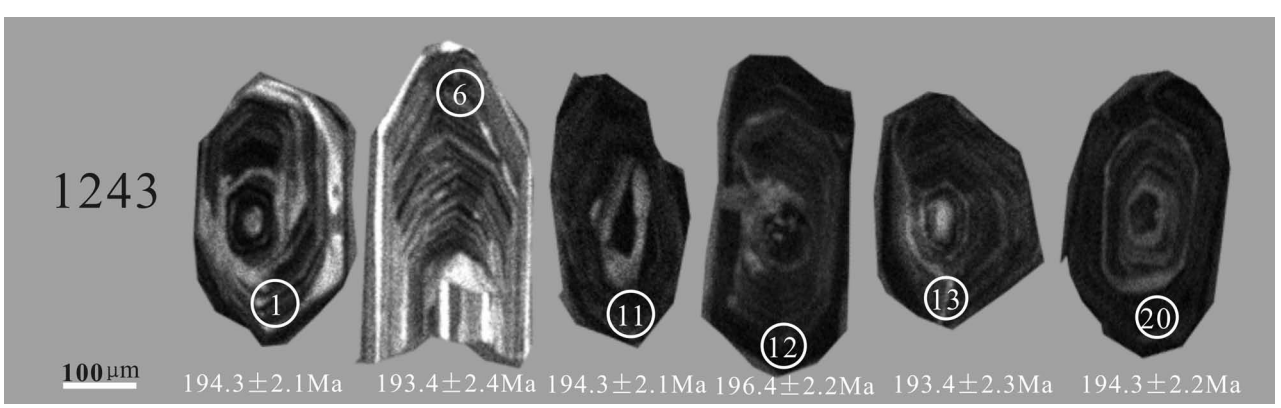


图 4 延边和龙地区花岗岩中部分锆石 CL 图像和年龄值

Fig. 4 Representative CL images and ages of the zircons from the granites in Helong area, Yanbian

表 1 吉林延边和龙地区早侏罗世花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb dating results of the zircon from the Early Jurassic granite in Helong area, Yanbian, Jilin

测点号	元素含量(×10⁻⁶)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度(%)
	Pb	Th	U		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	
1243-01	37	793	1147	0.69	0.04973	0.00191	0.21113	0.00838	0.03059	0.00032	276.2	48.2	195.2	4.1	194.3	2.1	101
1243-02	44	479	992	0.48	0.04983	0.00196	0.20998	0.00823	0.03067	0.00039	343.3	132.1	196.1	5.2	195.3	2.2	101
1243-03	45	904	1077	0.84	0.05054	0.00242	0.21468	0.01027	0.03082	0.00044	299.3	57.2	194.4	2.3	196.2	3.1	99
1243-04	30	651	1075	0.61	0.04627	0.00221	0.19708	0.00950	0.03108	0.00044	291.2	49.1	198.4	4.1	197.3	3.4	101
1243-05	44	370	878	0.42	0.05087	0.00210	0.28063	0.01246	0.03981	0.00061	224.1	70.2	254.2	3.5	252..6	4.3	101
1243-06	45	458	1047	0.44	0.05124	0.00239	0.21476	0.01022	0.03036	0.00036	319.2	38.2	193.3	3.4	193.4	2.4	100
1243-07	66	505	817	0.62	0.05046	0.00189	0.21266	0.00804	0.03066	0.00038	206.2	41.1	192.3	3.4	195.2	2.7	98
1243-08	43	537	1081	0.50	0.05015	0.00251	0.20961	0.01058	0.03036	0.00039	325.2	107.1	195.4	2.8	193.8	2.6	102
1243-09	35	362	814	0.44	0.05227	0.00203	0.22373	0.00911	0.03083	0.00040	256.3	37.2	195.3	3.3	196.4	2.3	101
1243-10	49	195	483	0.40	0.05998	0.00757	0.25265	0.03367	0.03064	0.00049	376.2	65.2	193.2	2.4	195.3	3.1	102
1243-11	38	379	1022	0.37	0.04667	0.00184	0.19687	0.00753	0.03055	0.00033	214.1	93.1	196.3	2.3	194.3	2.1	103
1243-12	47	359	959	0.37	0.05432	0.00217	0.23152	0.00916	0.03087	0.00032	205.4	35.2	197.4	3.6	196.4	2.2	100
1243-13	30	687	998	0.69	0.05387	0.00188	0.22752	0.00778	0.03063	0.00039	266.2	38.1	193.2	4.4	194.4	2.3	100
1243-14	33	338	696	0.49	0.05100	0.00222	0.22098	0.01027	0.03120	0.00047	307.3	47.3	197.5	4.4	198.3	3.2	99
1243-15	39	774	2256	0.34	0.05703	0.00206	0.23810	0.00830	0.03028	0.00029	234.1	52.1	194.5	3.3	192.4	2.1	101
1243-16	41	192	528	0.36	0.05560	0.00304	0.24056	0.01285	0.03138	0.00037	257.2	81.1	197.2	3.1	199.7	2.1	99
1243-17	56	330	985	0.34	0.05004	0.00182	0.21520	0.00769	0.03116	0.00032	295.1	54.2	194.6	3.3	198.2	2.1	98
1243-18	63	320	740	0.43	0.05567	0.00195	0.24176	0.00873	0.03126	0.00041	202.2	56.1	196.4	4.3	198.1	3.3	99
1243-19	47	248	590	0.42	0.05192	0.00275	0.22516	0.01206	0.03130	0.00042	154.2	52.3	195.2	3.6	199.1	3.3	98
1243-20	32	237	662	0.36	0.05131	0.00212	0.21607	0.00889	0.03033	0.00036	221.1	61.2	194.1	2.1	193.3	2.2	100

数 A/CNK 在 1.0~1.1 之间,为弱过铝质花岗岩,全碱含量较高,除 1238-1 样品外,K_2O/Na_2O 均大于 1,为钾质,在 SiO_2—K_2O 图解中花岗岩样品均落在高钾钙碱性岩区,属于高钾钙碱性系列,具 I 型花岗岩的特点。

3.2.2 微量及稀土元素

花岗岩稀土元素总量不高,$\sum REE = 106.6 \times 10^{-6} \sim 127.8 \times 10^{-6}$,平均值为 115.7×10^{-6},LREE 相对富集,HREE 相对亏损,轻、重稀土比值为 2.90~6.10。稀土元素球粒陨石标准化配分图显示,所有花岗岩样品变化趋势相同,即轻稀土富集的右倾型特征,指示为壳源成因,轻稀土元素的分馏系数 $(La/Sm)_N$ 为 5.71~11.25,重稀土元素的分馏系数 $(Gd/Yb)_N$ 为 1.48~2.37,轻稀土分馏趋势高于重稀土。Eu 为中等负异常型(δEu = 0.42~0.76),MREE 相对于 HREE 略微亏损。微量元素初始地幔标准化图显示,研究区花岗岩中富集大离子亲石元素 LILE、Rb、Th、U、K 等;微量元素以富集 LREE、Rb、Th、K,强烈亏损 Sr、P、Ti、相对亏损 Nb、Ta 为特征。

4 讨论

4.1 岩石成因

花岗岩的化学成分可对其岩浆起源和其形成构造环境具有很好的指示作用,是判别成岩环境和源区特征的有效指示剂;微量元素中富集 K、Rb、Ba、Sr 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta 等高场强元素通常被认为具有俯冲(消减)带的岩石地球化学特征(汪岩

表 2 和龙地区花岗岩主量元素(%)、稀土元素($\times10^{-6}$)和微量元素($\times10^{-6}$)分析结果

Table 2 Contends of major elements(%), REE ($\times10^{-6}$) and trace elements ($\times10^{-6}$) of the granites in Helong area

样品号	1228-1	1238-1	1243	1248-1	1249-1	样品号	1228-1	1238-1	1243	1248-1	1249-1
岩性	二长花岗岩					岩性	二长花岗岩				
SiO_2	74.14	74.52	75.55	73.83	74.32	Er	0.85	1.46	1.91	1.85	2.14
TiO_2	0.12	0.20	0.21	0.21	0.23	Tm	0.13	0.23	0.31	0.28	0.32
Al_2O_3	13.98	13.88	13.15	14.25	13.67	Yb	0.91	1.62	2.15	1.77	2.09
TFe_2O_3	1.32	1.71	1.52	1.71	1.91	Lu	0.15	0.26	0.34	0.27	0.31
MnO	0.07	0.12	0.13	0.06	0.08	Ga	15.6	14.7	14.7	16.4	16.3
MgO	0.22	0.43	0.21	0.42	0.41	Rb	135	99.4	116	177	158
CaO	1.04	1.29	0.87	1.28	1.41	Ba	1000	676	666	507	471
Na_2O	3.91	4.31	4.06	3.52	3.51	Th	12.5	10.9	13.6	18.9	19.5
K_2O	4.42	3.82	4.31	4.62	4.12	U	1.18	1.75	4.10	4.17	3.47
P_2O_5	0.04	0.09	0.07	0.12	0.14	Nb	8.53	9.42	7.29	9.76	8.95
烧失	1.27	0.47	0.38	0.42	0.37	Ta	0.62	0.81	0.73	1.41	1.20
总和	100.3	100.3	100.3	100.1	99.9	Sr	106	151	77.2	145	152
Na_2O/K_2O	0.88	1.12	0.94	0.76	0.81	Zr	115	132	120	140	168
K_2O/Na_2O	1.13	0.89	1.06	1.31	1.23	Hf	3.08	3.69	3.62	4.16	4.79
Na_2O+K_2O	8.33	8.13	8.37	8.14	7.63	Y	11.1	15.7	21.7	21.8	25.0
A/NK	1.25	1.24	1.17	1.34	1.34	δEu	0.76	0.62	0.42	0.51	0.52
A/CNK	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	$(La/Sm)_N$	11.25	8.89	7.53	5.96	5.71
TFe_2O_3/MgO	5.81	4.02	6.31	4.82	5.01	$(Gd/Yb)_N$	2.19	1.66	1.48	2.37	2.14
La	27.6	26.3	24.4	26.2	26.4	$(La/Yb)_N$	20.0	10.7	7.5	9.7	8.3
Ce	49.0	49.6	47.3	52.4	53.2	∑REE	106.6	110.8	109.7	123.8	127.8
Pr	4.84	4.91	4.94	5.75	5.90	LREE/HREE	6.10	3.93	2.91	3.22	2.90
Nd	16.0	17.0	17.3	21.3	22.2	Sr/Y	28.3	10.2	4 .2	7.3	6.4
Sm	2.46	2.96	3.24	4.39	4.63	Nb/Ta	13.2	11.4	10.0	6.94	7.02
Eu	0.56	0.57	0.44	0.71	0.76	Zr/Hf	37.2	35.7	33.2	33.9	35.6
Gd	2.00	2.69	3.19	4.21	4.48	Th/U	10.57	6.22	3.32	4.53	5.61
Tb	0.27	0.38	0.47	0.61	0.66	Rb/Ba	0.14	0.15	0.17	0.35	0.34
Dy	1.51	2.26	3.03	3.47	3.88	La/Yb	30.3	16.2	11.3	14.8	12.6
Ho	0.29	0.47	0.62	0.65	0.76	DI	78.5	76.5	79.6	75.8	78.5

等,2013;柴明春等,2018;李剑波等,2018)。

研究区内早侏罗世花岗岩铝饱和指数 A/CNK 值介于 1.0~1.10 之间,为准铝质—弱过铝质花岗岩,岩石具有高硅、富碱、贫镁钙特征。微量元素上富集 Rb、Th、K,强烈亏损 Sr、P、Ti,相对亏损 Nb、Ta,暗示本区花岗岩的源区主要来自地壳物质,形成于俯冲带或者岛弧环境。通过实验研究表明,磷灰石在准铝质—弱过铝质花岗质岩浆中溶解度很低,在岩浆演化过程中总是优先结晶,而在强过铝质花岗岩浆中主要呈饱和状态,并不会优先结晶,因此 S 型花岗岩中 P_2O_5 随 SiO_2 增加基本保持不变(Chappell, 1999; Xiao et al., 2009; 刘敬党等, 2015)。

和龙地区花岗岩岩石学特征表明不含石榴子石、矽线石、堇青石等富铝矿物,标准矿物中出现刚玉分子(小于 1%),并且该区花岗岩在 P_2O_5—SiO_2 图解上呈明显负相关,说明该区花岗岩并非 S 型花岗岩,而与东北地区的准铝质—弱过铝质 I 型和 A 型花岗岩较为相似,初步推断为 I 型或 A 型。此外,该区花岗岩还具有低 Rb/Ba(0.14~0.35)与高 La/Yb(11.3~30.3)值,在成因判别图解上落入 I 型以及与分异的 I 型花岗岩过渡区域内(图 7),结合区内花岗岩 A/CNK 均在 1.0 左右,中等的铕负异常(δEu= 0.42~0.76)及较低的分异指数(DI 平均为 78.4),这与东北地区的高分异 I 型花岗岩(Wu Fuyuan et al., 2004b)及中国境内现有报道的高分异 I 型花岗岩(邱检生等,2005;肖中军等,2016;范飞鹏等,2017)存在一定的差别,所以和龙地区早侏罗世花岗岩应为 I 型花岗岩。

4.2 源区特征

研究区早侏罗世二长花岗岩(195±1.3 Ma)SiO_2 含量较高并且变化范围不大,在区域上也缺少同时期的基性火山岩,因此,和龙地区早侏罗世花岗岩中强烈亏损 Sr,中等 Eu 负异常可能为岩浆源区残留斜长石所致,不大可能为中基性火山岩分离结晶的

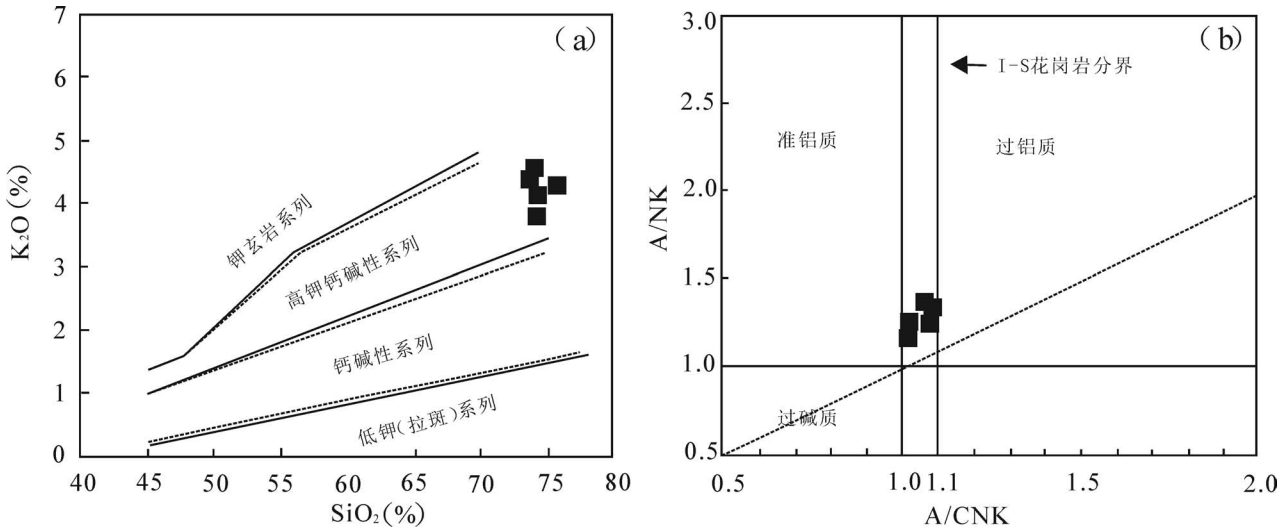


图 5 延边和龙地区花岗岩 SiO_2—K_2O(a)、A/CNK—A/NK(b)图解

Fig. 5 The SiO_2—K_2O(a), A/CNK—A/NK (b) diagram of the granites in Helong area, Yanbian

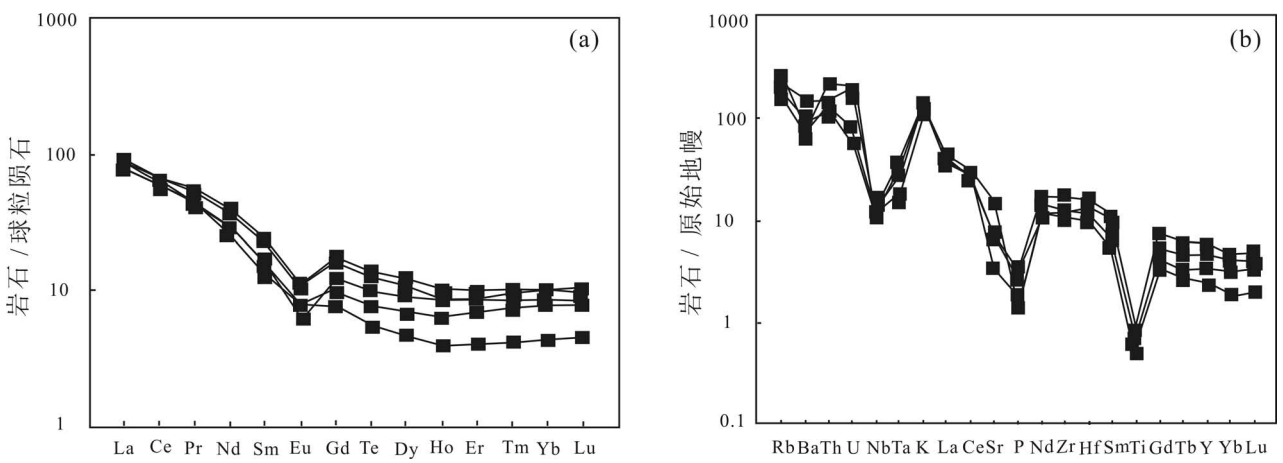


图 6 延边和龙地区二长花岗岩稀土元素配分模式图(a)和微量元素蛛网图(b)

(标准化数据引自 Sun and McDonough,1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution pattern (a) and primitive mantle-normalized spidergram (b) of the granites in Helong area, Ynabian (Values of REE and trace elements in chonrite and primitive mantle are from Sun and McDonough,1989)

原因。此外,花岗岩样品中 MREE 相对于 HREE 略微亏损。结合岩石具有低 Sr(Sr = 77.2 ~ 152 × 10^{-6})、相对高 Yb(Yb = 0.91 ~ 2.15 × 10^{-6},平均为 1.71×10^{-6})的特点。暗示其形成深度较浅(约为 30 km),压力较低(<1.0 Ga),源区残留相为斜长石+角闪石+辉石(角闪石相),无石榴子石(张旗等,2006,2010;王广婷等,2015)。

元素地球化学分析表明,岩石中 Th/U 值(3.32 ~10.57,平均 5.55)与下地壳的 Th/U 值(6.00;Rudnick and Gao,2003)相近,且 Nb、Ta、Ti、P 显著亏损,这些地化特征均反映了其壳源成因。此外,Nb/Ta 值为 6.94 ~ 13.20,平均值为 10.3,大于下地壳(8.3)而小于亏损地幔(>17.0)(Sun and McDocough,1989),Zr/Hf 值变化范围为(33.2 ~ 37.2),同样介于地壳平均值和地幔平均值之间。另根据范蔚茗等(2008)对延吉—辽源地区中生代二长花岗岩岩体研究,区域内岩石[n(^{87}Sr)/n(^{86}Sr)]$_i$ 值为 0.7046 ~ 0.7057,$\varepsilon_{Nd}(t)$ 值 = 0.6 ~ 4.0,T_{DM2} = 0.64 ~ 0.89 Ga,而正的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值以及较年轻的模式年龄(T_{DM2} = 0.64 ~ 0.89 Ga)表明源岩应该来自中—新元古代从亏损地幔中增生的基性下地壳物质,与兴蒙造山带东缘多个花岗岩体的地球化

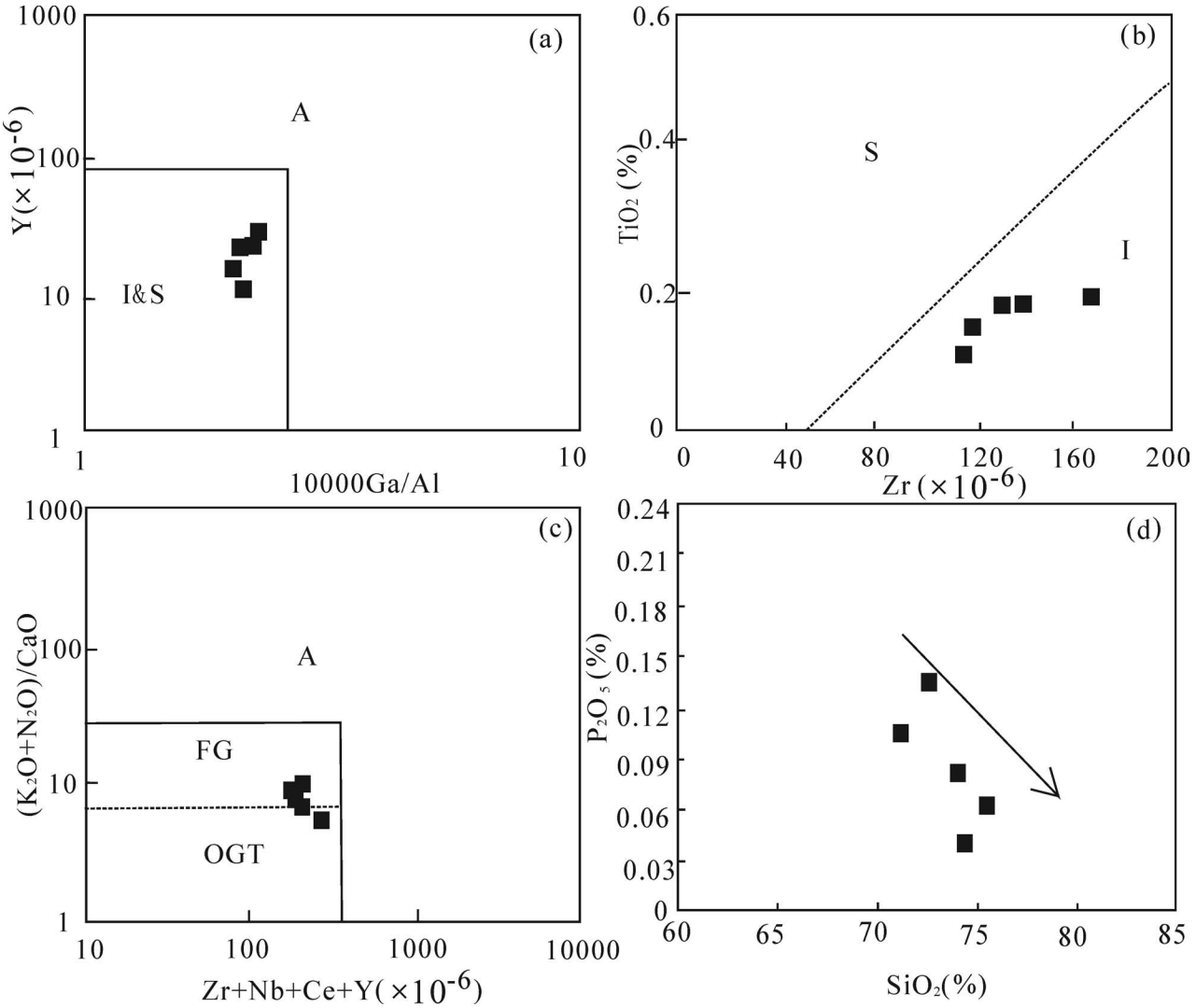


图 7 延边和龙地区花岗岩 10000Ga/Al—Y(a)、Zr—TiO_2(b)、(Zr+Nb+Ce+Y)—(K_2O+N_2O)/CaO (c) 和 SiO_2—P_2O_5(d) 图解

Fig. 7 10000Ga/Al—Y (a), Zr—TiO_2(b), (Zr+Nb+Ce+Y)—(K_2O+N_2O)/CaO (c) and SiO_2—P_2O_5(d) diagrams of the granites in Helong area, Yanbian

学特征和 εHf(t)值相一致(孙德有,2001, 2004;张艳斌等,2004;付长亮等,2010)。此外,根据已有的研究成果认为兴蒙造山带花岗岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$值和 T_{DM} 变化范围不大, 暗示这些不同时代,不同类型的岩石可能有一个相似的源区(孙德有等,2005;武鹏飞等,2013;李研等,2017),结合元素地球化学特征,笔者认为研究区内二长花岗岩可能为亏损地幔新增生的基性下地壳物质部分熔融的产物。

4.3 构造背景

延边地区早侏罗世花岗岩的构造背景存在争议,主要的焦点是其形成于古亚洲域还是环太平洋域的问题。部分学者认为自三叠世开始,东北地区就已经进入滨太平洋构造域,因此认为本期花岗岩形成于太平洋板块俯冲的构造背景下(洪大卫,2000;孙德有等,2005)。也有部分学者认为早侏罗世末期结束了古亚洲洋构造域的影响,而转为受太平洋板块俯冲作用的控制(孙德有,2001;刘潜等,2011)。而张艳斌(2002)结合前人研究资料推断延边地区早侏罗世花岗岩形成于与太平洋板块俯冲无关的水平挤压构造环境中。许文良等(2008)通过对吉黑东部早—中侏罗世火山岩研究,表明古太平洋板块向欧亚板块的俯冲作用始于早—中侏罗世。赵利等(2010)在黑龙江杂岩中发现 160~220 Ma 的变质年龄,暗示佳木斯地体西缘在晚三叠世—中侏

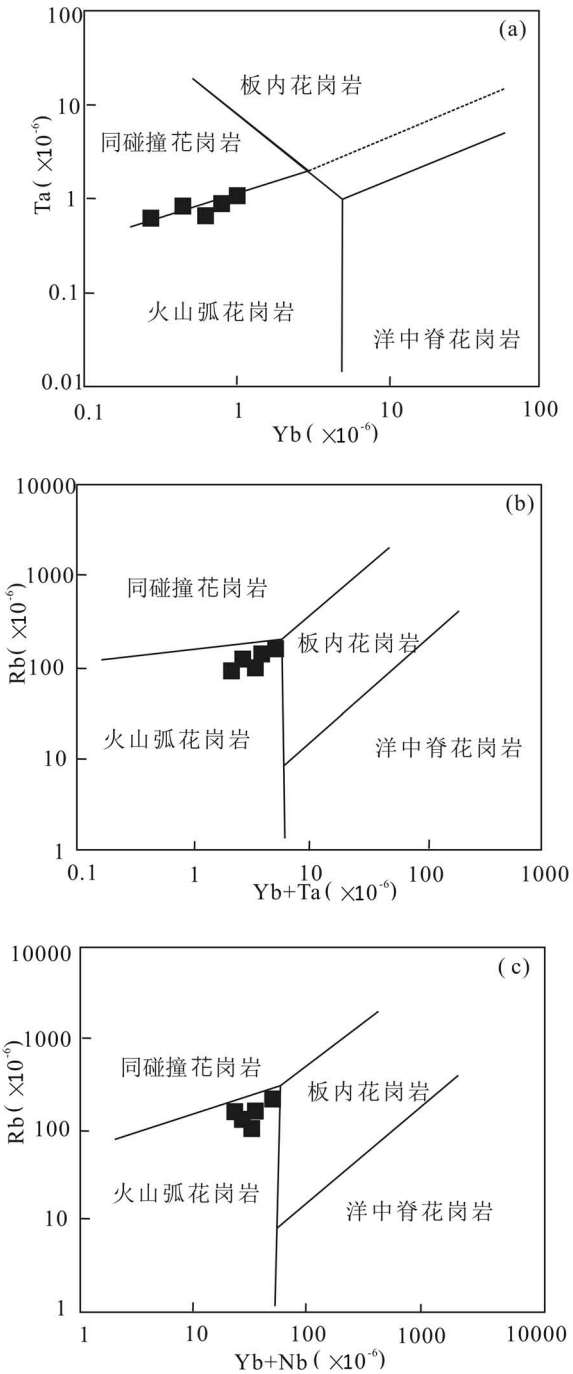


图 8 和龙地区花岗岩 Yb—Ta(a)、Yb+Ta—Rb(b)、Yb+Nb—Rb(c)构造图解(底图据 Pearce et al.,1984)

Fig. 8 Yb—Ta(a)、Yb+Ta—Rb(b) andYb+Nb—Rb(c) diagrams of the granites from Helong area, Yanbian(after Pearce et al.,1984)

罗世经历了一次重要的构造热事件,同时吉黑东部还存在着早侏罗世钙碱性火山岩(许文良等,2008)。160~220 Ma 的变质年龄及吉黑东部同时代的钙碱性火山岩的存在,表明环太平洋构造体系在早侏罗世已经开始对吉黑东部地区进行俯冲。研究区花岗岩在早侏罗世上升侵位,多数为准铝质—弱过铝质高钾钙碱性系列的 I 型花岗岩,具有类似活动大陆边缘的花岗岩特征。且在构造判别图中几乎全部落入火山弧区花岗岩区(图 8),反映出强烈俯冲的板块体制特点(邓晋福等,2015)。

结合其毗邻地区同样广泛分布着早侏罗世花岗岩,如明南洞岩体成岩时代为 180 Ma(雷聪聪等,2014),其北部的太平岭地区高钾钙碱性花岗闪长岩的成岩时代为 179~204 Ma(吕长禄等,2012),形成环境均与太平洋板块俯冲有关,且具有呈 NNE 向带状展布的特征。而在小兴安岭—张广才岭地区也陆续报道了早侏罗世花岗岩及双峰式火山岩组合,其形成时代分别为 175~185 Ma、179~184 Ma(徐美君等,2013),形成环境亦与古太平洋板块俯冲作用密切相关。所以从吉林太平岭地区的高钾钙碱性花岗岩组合到小兴安岭—张广才岭地区的花岗岩及双峰式火山石组合,构成了平行洋壳的俯冲方向的成分极性,表明了俯冲方向,反映了在早侏罗世期间古太平洋板块存在着向东北地区北北西方向的俯冲作用。

综上所述,延边和龙地区、太平岭地区出现的早侏罗世花岗岩组合到小兴安岭—张广才岭所报道早侏罗世花岗岩及双峰式火山岩组合共同构成了古太平洋板块向北西方向俯冲形成的规模宏大的花岗岩带(图 9),反映了在早侏罗世期间古太平洋板块对我国东北地区北北西方向俯冲的渐进过程。

5　结论

根据和龙地区二长花岗岩的地球化学研究,同时结合前人资料,得出如下结论:

(1) 和龙地区花岗岩主体岩性由二长花岗岩组成, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果显示,其形成于 195±1.3 Ma 的早侏罗世,并非前人所认为的印支期。

(2) 和龙地区花岗岩元素地球化学具有壳源岩浆和 I 型花岗岩的特征,岩浆源区为中—新元古代期间从亏损地幔新增生的基性地壳物质的部分熔融,源区残留相主要为斜长石+角闪石+辉石(角闪石相),无石榴子石。

(3) 和龙地区早侏罗世花岗岩具有活动大陆边缘花岗岩特点。延边和龙地区、太平岭地区出现的早侏罗世花岗岩组合到小兴安岭—张广才岭所报道

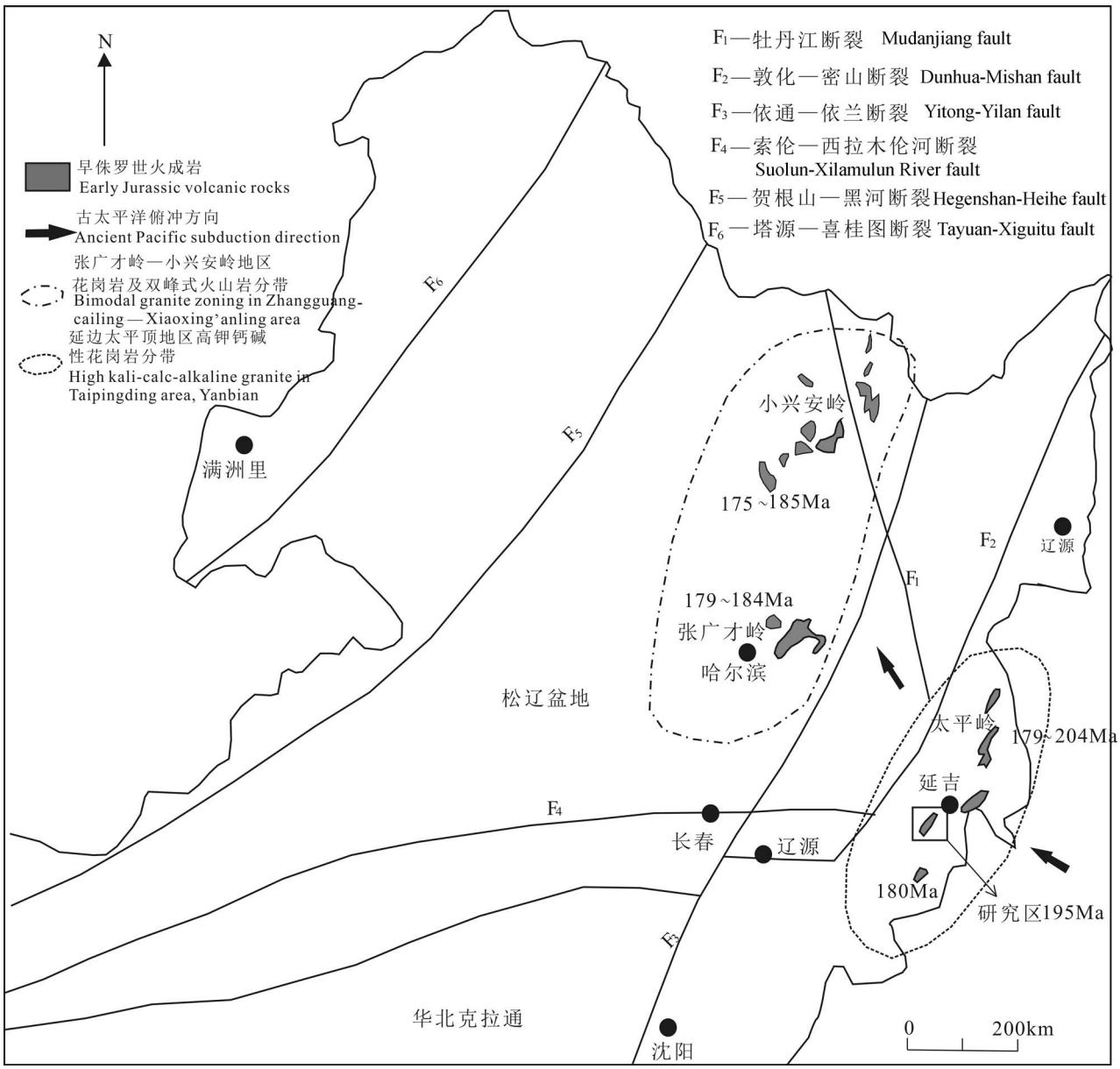


图 9 中国东北部早侏罗世岩浆活动简图(底图据雷聪聪等,2014)

Fig. 9 Sketch map of Early Jurassic magmatism in Northeast China(based on Lei Congcong et al.,2014&)

早侏罗世花岗岩及双峰式火山岩组合,构成了平行洋壳俯冲方向的成分带,反映了在早侏罗世期间古太平洋板块对我国东北地区北北西方向俯冲的渐进过程。

致谢:本文在撰写过程中得到吉林大学和核工业二四〇研究所的同事的大力支持,同时审稿专家对本文提出较多宝贵意见,在此一并表示感谢。

注 释 / Note

❶ 1∶20 万大垃子幅(K-52-ⅩⅥ)、白头山幅(K-52-ⅩⅤ)地质图. 长春, 吉林省地质矿产局, 1985.

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

柴明春, 赵国英, 覃小峰, 王泉, 高溯, 曹昆. 2018. 大兴安岭十八站—韩家园地区中酸性侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及地质意义.地质论评, 64(3): 569~581.

范蔚茗, 郭峰, 高晓峰, 李超文. 2008.东北地区中生代火成岩 Sr—Nd 同位素区划及其大地构造意义. 地球化学, 37(4):361~372.

范飞鹏, 肖惠良, 陈乐柱, 蔡逸涛, 李海立.2017.赣南—粤北地区高分异花岗岩及其成矿特征.地质论评,63(增刊):171~172.

付长亮, 孙德有, 张兴洲, 魏红艳, 苟军. 2010. 吉林珲春三叠纪高

镁闪长岩的发现及地质意义. 岩石学报, 26(4): 1089~1102.
邓晋福, 刘翠, 冯艳芳, 肖庆辉, 狄勇军, 苏尚国,赵国春, 段培新, 戴蒙. 2015. 关于火成岩常用图解的正确使用:讨论与建议. 地质论评, 61(4):717~734.
洪大卫, 王式, 谢锡林, 张季生, 2000. 兴蒙造山带正 ε(Nd,t)值花岗岩的成因和大陆地壳生长.地学前缘, 7(2): 441~456.
雷聪聪, 李世超, 刘正宏, 徐仲元, 张超. 2014. 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. 中国地质, 41(4): 1328~1340.
李剑波, 王新亮, 侯丽玉, 高军峰, 古艳春, 焦联. 2018. 内蒙古乌拉特中旗新太古代变质侵入岩的地球化学特征及构造意义. 地质论评, 64(5): 1167~1179.
李研, 王建, 韩志滨, 侯晓光, 王石岩. 2017.大兴安岭北段八大关地区早侏罗世流纹岩锆石 U-Pb 定年与岩石成因. 中国地质, 44(2): 346~357.
刘潜, 于津海, 苏斌, 王勤. 2011. 福建锦城 187 Ma 花岗岩的发现——对华南沿海早侏罗世构造演化的制约. 岩石学报, 27(12): 3575~89.
刘敬党, 梁帅, 肖荣阁, 张艳飞. 2015. 内蒙古宝音图钼矿成矿岩体地球化学　年代学及成因研究. 中国地质, 242(1): 149~168.
吕长禄, 徐东海, 李新鹏. 2012. 黑龙江太平岭早侏罗世花岗岩成因及壳幔混合作用.现代地质, 26(4): 635~646.
裴福萍, 许文良, 靳克. 2004. 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.世界地质. 22(1): 1~8.
邱检生, 胡建, 王孝磊, 蒋少涌, 王汝成 ,徐夕生. 2005. 广东河源白石冈岩体:一个高分异的 I 型花岗岩. 地质学报, 79(4): 503~514.
孙德有. 2001. 张广才岭中生代花岗岩成因及其地球动力学意义[D]. 长春: 吉林大学博士学位论文:1~99
孙德有, 吴福元, 张艳斌, 高山. 2004. 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岩体的证据. 吉林大学学报, 34(2): 174~181.
孙德有, 吴福元, 高山, 路孝平, 2005.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. 地学前缘, 12(2): 263~275.
王广婷, 孙德有, 孙如江, 苟军, 李斌. 2015. 张广才岭南部横道河子岩体地球化学特征及其成因. 世界地质, 34(2): 321~329.
汪岩, 付俊彧, 那福超, 刘英才, 张广宇. 2013.内蒙古扎赉特旗辉长岩—闪长岩地球化学特征和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年. 地质通报, 32(10): 1525~1535,
武鹏飞, 孙德有, 王天豪, 苟军,李蓉,刘玮,柳晓明. 2013. 延边和龙地区闪长岩的年代学　地球化学特征及岩石成因研究. 高校地质学报, 19(4): 600~610.
肖中军, 王振强, 赵春勇, 吴煜. 2015.内蒙古苏尼特左旗北部阿登锡勒大队一带早石炭世高分异 I 型花岗岩的发现及地质意义. 地质论评, 61(4): 777~786.
徐美君, 许文良, 孟恩, 王枫. 2011. 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. 地质通报, 30(9): 1322~1338.
许文良, 王枫, 裴福萍, 孟恩, 唐杰, 徐美君, 王伟. 2013. 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. 岩石学报, 29(2): 339~353.
袁洪林, 吴福元, 高山, 柳晓明, 徐平, 孙德有. 2003. 东北地区新生代侵人体的错石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. 科学通报, 48(14): 1510~1520.
张旗, 金惟俊, 李承东, 王元龙. 2006. 三论花岗岩按照 Sr—Yb 的分类: 应用. 岩石学报, 26(12): 3431~3455.
张旗. 2014. 广西型花岗岩的地球化学特征及其构造意义. 岩石矿物学杂志, 33 (1): 199~210.
张艳斌. 2002. 延边地区花岗质岩浆活动的同位素地质年代学格架[D].长春:吉林大学硕士学位论文:1~90.
张艳斌, 吴福元, 翟明国, 路孝平, 2004. 和龙地块的构造属性与华北地台北缘东段边界.中国科学(D 辑), 34(9): 795~806.
赵英利, 刘永江, 李伟民, 温泉波, 韩国卿. 2010. 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. 地质通报, 29(2): 243~253.
Anderson T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb. Chemical Geology, 192: 59~79.
Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y. 2002. Igneous zircon:trace element composition as an indicator of source rock type . Contributions to Mineralogy and Petrology, 143: 602~622.
Chappell B W. 1999. Aluminium saturation in I and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites. Lithos, 46: 535~551.
Chai Chunming, Zhao Ghuoying, Tan Xiaofeng, Wang Quan, Wang Su, Cao Kun. 2018&. LA-ICP-MS U-Pb ages and geocheimical characteristics of the intermediate—acidic Shibazhan—Hanjiayuanzi area, Great Higgen Mountains, and its geogical significance. Geological Rreview, 64(3): 569~581.
Deng Jinfu, Feng Yanfang, Di Yongjun, Liu Cui, Xiao Qinghui, Su Shangguo, Zhao Guochun, Meng Fei, Che Rufeng. 2015a&. The intrusive spatial—temporal evolutional frame work in the Paleo-Asian tectonic domain.Geological Rreview, 61(6): 717~734.
Fan Weiming, Guo Feng, Gao Xiaofeng, Li Chaowen. 2008&. Sr—Nd isotope mapping of Mesozoic igneous rocks in China:Constraints on tectonic framework and crustal growth. Geochimia, 37(4): 361~372.
Fan Feipeng, Xiao Huiliag, Chen Lezhu, Cai Yitao, Li Haili. 2017&. High - diversity granite and its metallogenic characteristics in south Gannan — north Guangdong area. Petrologica Sinica, 63(supp.): 171~172.
Fu Changliang, Sun Deyou, Zhang Xingzhou, Wei Hongyan. 2010&. Discovery and geological significance of the Triassic high-Mg diorites in Hunchun area, Jilin Province. Acta Petrologica Sinica, 26(4): 1089~1102.
Hong Dawei, Wang Shi, Xie xilin Zhang Jisheng. 2000& Genesis of positive ε(Nd, t) granitions in the Hinggan MIS.—Mongolia Orogenic belt and growth continental crust. Earth Science Frontiers, 7(2): 441~456.
Lei Congcong, Li Shichao, LiuZhenghong, Xu Zongyuan, Zhang Chao. 2014&. Petrogensis and tectonic setting of Mingchadong pluton in Yanbian area: Constrains from petro-geocheistry and zirton U-Pb agess.Geology in China, 41(4): 1328~1340.
Li Yan, Wang Jian, Han Zhibin, Hou Xiaoguang Wang Shiyan. 2017&. Zircon U-Pb Dating And Petrogensis of The Early Jurassic Rhyolite In Badaguan From Northen of Daxinganling Moutains. Geology in China, 44(2): 346~357.
Li Jianbo, Wang Xinliang, Hou Liyu, Gao Junfeng, Gu Yanchun, Jiao Lian. 2018&. Geochemical Characteristics and its tectonic significance of Neoarchan Metamorphic intrusious in Urad Zhongqi Area, inner Mongolia. Petrologica Sinica, 64(5): 1068~1179.
Linnen R L. and Keppler H. 2002. Melt composition control of Zr/Hf fractionation in magmatic processes. Geochim Cosmochim Acta, 66(18): 3293~3301.
Liu Qian, Yu Jinhai, Su Bin, Wang Qin. 2011&. Discovery of the 187 Ma granite in Jincheng area, Fujian Province: Constraint of on early Jurassic tectonic evolution of southeastern China. Acta Petrologica Sinica, 26(12): 3575~3589.

Liu Jingdang, Liang Shuai, Xiao Rongge, Zhang Yanfei. 2015&. Geochemistry, geochronology and petrogenesis of the ore -forming intrusive body in the Baoyintumolybdenum deposit, Inner Mongolia. Geology in China, 42(1): 149~16.

Lü Changlu, Xu Donghai, Li Xinpeng. 2012&. Petrogenesis and crust—mantle mixing of Early Jurassic in the Taipingling Mountains, Heilongjiang Province.Geoscience,26(4):635~646.

Pei Fuping, Xu Wenliang, Jin Ke. 2004&. Petro geochemicial characteristic and tetonic significance Late Triassic volcanic rocks in Yanbian area, northeastern China.Global Geology, 23(1): 1~9.

Pearce J A, Harris N B L and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 25: 956~983.

Qiu Jiansheng, Hu Jian, Wang Rucheng, Xu Xisheng. 2005&. The Baishigang pluton in Heyuan, Guangdong Province. A highly fractionated I-type granite. Acta Petrologica Sinica, 79(4), 503~514.

Sun Weidong and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and process. In: Sauders AD and Norry MJ (eds). Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society Special Publication, 42: 313~326.

Sun Deyou.2001#.Petrogenesis and geodynamic significance of mesozoic granites in zhangguangcai ranges[D].Changchun, Master dgree of Jilin University.1~99.

Sun Deyou, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, Gaoshan. 2004&. The final closing time of wese Lamulun Rivier—Changchun, Yanji plate suture zone. Journal of Jilin University, 34(2):175~181.

Sun Deyou, Wu Fuyuan, Gao Shan, Lu Xiaoping. 2005&. Confirmation of two eposides A type granite emplacement during Late Jurassic in the centran Jilin Province, and their constraints on the structural pattern of Eastern Helong area. Earth Science Frontiers, 12(2): 263~275.

Wang Guangting, Sun Deyou, Gou Jun, Li Bin. 2015&. Chronology, geochemical and petrogenesis studies of Hengdaohezi Pluton from the southern of Zhangguangcai Range. Global Geology, 34(2): 321~329.

Wang Yan, Fu Junyu, Na Fuchao, Liu Yingcai. 2013&. Geochemical characteristics and zircon U-Pb age ofthe gabbro —diorite in Jalaid Banner of Inner Mongolia and their geological significance. Geological. Bulletin of China, 32(10):1525~1535.

Wu Fuyuan, Borming J, Simon W, 2003a Highly fractionated I-type granites in NE China (I):geochronology and petrogenesis. Lithos, 66:241~273.

Wu Fuyuan,Sun Deyou,Jahn B M,Wilde S A . 2004b. Jurassic garnet-bearing granitic pluton from NE China showing tetrad REE patterns. Journal of Asian Earth Science,23:731~744.

Wu Fuyuan, Sun Deyou, Ge Wenchun, Zhang Yanbin, Grant Matthew L, Wilde Simon A, Jahn Bor-ming, Hu Zhaochun. 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China. Journal of Asian Earth Sciences, 41: 1~30.

Wu Pengfei, Sun Deyou, Wang Tianhao, Gou Jun, Li Rong, Liu Wei, Liu Xiaoming. 2013&. Chronology, geochemical characteristic and petrogenesis analysis of diorite in Helong of Yanbian area, NE China. Geological Journal of China Universities, 19(4): 600~610.

Xiao Wenjiao, Windley B F, Huang Benchuan. 2009. End Permian to mid-Triassic termination of the southern Central Asian Orogenic Belt. International Journal of Earth Sciences , 98: 1189~1217.

Xiao Zhongjun, Wang Zhenqiang, Zhao Chunqiang, Wu Yu.2015&. The discovery of monzogranite and its geologic implication in Adenxile, Sonid Zuoqi, Innner Mongolia. Geological Review, 61(4): 777~786.

Xu Meijun, Xu Wenliang, Meng En, Wang Feng. 2011&. LA-ICP-MS zircon U-Pb chronology and geochemistry of Mesozoic volcanic rock from the Shanghulin—Xiangyang basin in Ergun area, northeastern Inner Mongolia. Geological Bulletin of China,30(9),1322~1338.

Xu Wenliang, Wang Feng, Pei Fuping, Tang Jie, Xu Meijun, Wang Wei. 2013&. Mesozoic tectonic regimes and regional ore-forming background in NE China: Constraints from spatial and temporal variations of Mesozoic volcanic rock associations. Acta Petrologica Sinica, 29(2) 339~353.

Yuan Honglin, Wu Fuyun, Gao shan, Liu Xiaoming, Xu Ping, Su Deyou. 2003&. Age determination and rare earth element composition analysis of U-Pb laser probe and invaded human body in Cenozoic era in northeast China. Chinese Science Bulletin, 48(14), 1510~1520.

Zhang Qi, Jin Weijun, Li Chengdong, Wang Wenlong. 2011&. Granitic rocks and their formation depth in the crust. Acta Petrologica Sinica. 35(2): 259~269.

Zhang Qi. 2014&. Geochemistry of the Guangxi-type graniteand its tectonic implicatons . Acta Petrologica et Mineralogica, 33 (1): 199~210.

Zhang Yanbin. 2002 # Isotopic geochronologic framework of granitic magmatic activity in Yanbian area[D].Changchun, Dissertation of Jilin University.1~99.

Zhang Yanbin, Wu Fuyuan, Wilde Simon A, Zhai Mingguo, Lu Xiaoping, Sun Deyou. 2004.. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of ' Early Paleozoic ' granitoids at Yanbian, Jilin Provincen, northeast China. Island Arc, 134: 84~50.

Zhang Yanbin, Wu Fuyuan, Zhai Mingguo, Lu Xiaoping. 2004#. The tectonic properties of the helong block and the boundary of the eastern section of Taipei margin in north China. Earth Science, 34 (9): 795~806.

Zhao Yingli, Liu Yongjiang, Li Weimin, Wen Quanbo, Han Guoqing. 2010&. High-pressure metamorphism in the Mudanjiang area, southern Jiamusi massif: Petrological and geochronological characteristics of the Heilongjiang complex, China. Geological Bulletin of China,29(2/3):243~253.

LA-ICP-MS zircon U-Pb ages, geochemical characteristics and petrogenesis of the Early Jurassic granites in Helong area, Yanbian, Jilin

LI Yan[1,2)], NIE Fengjun[1)], SUN Deyou[3)], GOU Jun[3)]

1) *East China University of Technology, Nanchang*, 330013; 2) *No.* 240 *Institute of Nuclear Industry, Shenyang*, 110032;
3) *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun*, 130061

Objectives: The Early Jurassic granites in the Helong area, Yanbian Korean Autonomous Prefecture, Jilin Province, are widely exposed. Although a large number of previous studies have been conducted on granites in Yanbian area by means of chronology and geochemistry, these research results are mainly focused on large-scale studies on the surface. However, due to the complex tectonic evolution in this area, the isotopic system of the granites was damaged, the forming ages, geochemistry and petrogenesis of the granites are not so clear. In view of this, based on the study of the chronology and geochemistry of monzogranite, this paper discusses the magmatic activity period, the genesis of rocks and the geodynamic background of magmatic formation in the study area, provides a new data basis for the research project on magmatic sequence and geological metallogenic events in the mineralization concentration area of the eastern Jilin—Heilongjiang Provinces.

Methods: Detailed geological survey, LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of monzogranite, and whole rock geochemical analysis of monzogranite in Helong area.

The zircon U-Pb isotope analysis and element geochemical data testing was completed in the State Key Laboratory of Continental Dynamics of Northwest University. Principal component analysis was performed on XRF; trace and rare earth elements analyses were on an inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS).

Results: The zircon U-Pb dating results show that it is formed in 195.2 ± 1.3 Ma. According to their geochemical characteristics, the granites are high-silicon (SiO_2 = 73.83% ~ 75.55%), alkali-rich (Na_2O+K_2O = 7.63% ~ 8.37%), aluminum-rich (Al_2O_3 = 13.15% ~ 14.25%), magnesium- and calcium-depleted (MgO = 0.22% ~ 0.43%, CaO = 0.87% ~ 1.41%), belong to the high-K calc-alkaline (HKCA) series; the total rare earth elements in the granites is not high ($\Sigma REE = 106.60\times10^{-6} \sim 127.8\times10^{-6}$) with a light rare earth elements fractionation factor $(La/Sm)_N$ = 5.71 ~ 11.25 and heavy rare earth elements fractionation factor $(Gd/Yb)_N$ = 1.48 ~ 2.37; the granites have a medium negative Eu anomaly (δEu = 0.42 ~ 0.76) and contain such trace elements characterized by enrichment of LREE, Rb, Th, U and K and severe depletion of Sr, P and Ti, indicating that such granites are formed by crust source magma and almost fall into the volcanic arc granite area in the structural diagram, so they may form in the active continental margin environment.

Conclusions: The main lithology of the granites in Helong area, Yanbian Korean Autonomous Prefecture, Jilin Province, are composed of monzonitic granite. The dating results of zircon U-Pb ages show that the zircon formed in the Early Jurassic of 195 ± 1.3 Ma, not the Indosinian period as previous results. The geochemical characteristics of granites elements in Helong area are crust-derived magma and I-type granite. The magma source area is partial melting of basic crustal materials newly generated from the depleted mantle during the Meso—Neoproterozoic.

Combined with the Early Jurassic granites and the bimodal volcanic rocks appeared in the Taiping Mountains, Yanbian area, to the Zhangguangcai Mountains and Xiao Hinggan Mountains (Lesser Hinggan Mountains) indicate the subduction side, which together constituted the polarity of the subduction direction of the parallel oceanic crust, showed that the subduction side, reflecting the gradual process of subduction of the Paleo-Pacific plate to the north—northwest of northeast China during the Early Jurassic period.

Keywords: granite; zircon U-Pb isotopic; geochemistry; petrogenesis; Helong area, Yanbian Korean Autonomous Prefecture, Jilin Province

Acknowledgements: This papper was supported by National Natural Science Foundation of China (No.

41172058); China geological survey project (Nos. 1212011085480,12120113098200). In the process of writing, we got support of colleagues from Jilin University and the No. 240 Institute of Nuclear Industry. Meanwhile, reviewers put forward many valuable opinions on this paper, thank them sincerely here

First auther: LI Yan, doctor, Engineer, born in 1990, major in ore deposit geochemistry and uranium geology. Email:1483792423@qq.com

Corresponding author: NIE Fengjun, Male, born in 1963, prof., is mainly engaged in uranium deposit and sedimentary study and teach, Email:niefj@263.net

Manuscript received on:2018-10-08;Accepted on: 2019-03-12; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2019.04.016

(上接第 917 页)

杨遵仪(1908~2009),广东揭阳人,美国耶鲁大学哲学博士,中国科学院学部委员(1980),著名古生物、地质教育家,两广地质调查所所长,国际地质对比计划委员会(IGCP)中方负责人。

徐仁(1910~1992),安徽芜湖人,清华大学地学系毕业,中国科学院学部委员(1980),著名古生物、孢粉学家,中国孢粉学会理事长,北京自然博物馆副馆长。

苏良赫(1914~2007),天津市人,英国剑桥大学哲学博士,著名地质、岩石和工艺岩石学家,中国硅酸塩专业委员会主任,中国地质大学(北京)博物馆馆长。

清华大学地质系前身是 1926 年成立的地理系,主任是翁文灏(兼任中国地质调查所所长);1933 年该系袁复礼教授参加和组织的中瑞中国西北科学考察《Sino—Swedish Scientific Expedition on Northwestern Provinces of China》胜利归来,成绩卓著,由翁文灏推荐被任命清华大学教授兼地学系主任一直到 1952 年全国高等学校院系调整(其间抗战时期在西南联大任地质地理气象系教授)。袁老师上任后和翁先生一起于 1933 年将原地理系改为地学系,聘求著名学者来系任教,先后在地质系任教的有冯景兰教授、杨遵仪教授、池际尚教授等(郑剑东,2012)。笔者于 1951 年考入清华大学地质学系,当时清华大学校务委员会主任是叶企荪,副主任是周培源,地质系主任是袁复礼。开学的第一节课是《普通地质学》,授课老师是池际尚教授。池先生当时怀有身孕挺着大肚子给我们上课,给我留下深刻的印象。池先生抗战时就读于昆明西南联大,由物理学系转入地质学系,毕业后去美国留学,1950 年回国任清华大学教授。其后池先生分娩,由杨遵仪教授继续为我们讲授《普通地质学》。池先生 1980 年当选中国科学院地学学部委员。当时《普通地质学》教学的助教是杜精南、杨义和曹添先生,他们都是学识广博而留校的老师。特别是杜精南先生早年毕业于西南联大地质学系,当时在昆明找不到工作,抗战胜利后回山东老家种地去了,解放后清华大学地质学系把他请回来任教,杜先生其后一直在中国地质大学和中国地质职工大学教授普通地质学,培养了大批地质人才,于 2006 年逝世,享年 92 岁。

客观地说当时清华大学地质系的教学条件是十分简陋的,地质系设在图书馆 3、4 楼,没有系馆,学生上课要去化学馆、生物馆。但是地质系拥有多位大师級的教师如冯景兰、孟宪民、杨遵仪等,他们言传身教,培养了许多著名地质学家,其中有中国科学院和中国工程师院士 40 多人,如程裕琪(1933 届)、武衡(1937 届)、池际尚(1939 届)、涂光炽(1942 届)、常印佛(1952 届)。真所谓大学之大,非大楼之谓,乃大师之谓也。1952 年全国高校院系调整,北京大学、清华大学、天津大学和唐山工学院的地质系合并成立北京地质学院,后全国地质工作指导委员会主任李四光提出北京大学要有地质系(尹赞勋,1987),1956 年北京大学恢复地质系。

高平先生是我国著名地质学家,1932 年毕业于北京大学地质系,考入北平地质调查所,他和高振西、熊永先在河北蔚县合作完成了著名的我国北方震旦纪地层剖面(高平,1934),1937~1944 年任江西地质调查所所长,在江西、浙江、安徽和广东进行多项地质调查,1943 年主编 1:100 万江西省质图,1945 年去美国考察,1946 年回国后任北平地质调查所所长,李春昱任南京地质调查所所长,是翁文灏手上的两员地质大将。1948 年高平受翁文灏之托去清华大学考察,看望地质系老师们,北京大学地质系主任孙云铸陪同考察,拍了这张珍贵的照片。解放后高平调到北京地质学院任教,发表北京西山的深大断裂论文(高平,1957),我是 1956 年当他授课《普通地质学》的助教,高先生组建北京西山工作室,我们多次去西山考察研究地质构造。1958 年高平先生被划为右派分子去贵州工学院工作,为贵州的区域地质调查和地质教育作出重要贡献,1979 年落实政策后任贵州工学院副院长和贵州省科学院副院长(贵州工学院地质系等,1986)。

特别值得一提,电影《无问西东》最后一个镜头是描写袁复礼教授,影片介绍袁老师是清华大学名教授,我国著名地质学家,在新疆发现多种龙骨化石,具有重要科学价值。今年是叶企荪院士诞辰 120 周年,叶先生是培养大师的大师,桃李满天下,谨以此文以表对先生的思念和敬意。

参 考 文 献

高平,高振西, 熊永先. 1934. 中国北方震旦纪地层. 中国地质学会会志,13(2).

高平. 1957. 北京西山的深大断裂. 北京地质学院学报, 1(1).

贵州工学院地质系, 贵州省地质学会. 1986. 深切怀念高平教授. 贵州地质, 3(1).

尹赞勋. 1987. 往事漫忆. 北京:海洋出版社.

郑剑东. 2012. 袁复礼对中国地质科学发展的贡献. 自然杂志, 34(3).

ZHENG Jiandong: A precious photo of grandmasters on geology

DOI:10.16509/j.georeview.2019.04.020