

于跃江,赵忠海,李新鹏,等.张广才岭北部早侏罗世花岗岩年代学、地球化学特征及其地质意义.吉林大学学报(地球科学版),2024,54(4):1224-1247.doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20230177.

Yu Yuejiang, Zhao Zhonghai, Li Xinpeng, et al. Geochronology, Geochemistry and Geological Significance of Early Jurassic Granites in Northern Zhangguangcai Mountains. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2024, 54(4): 1224-1247. doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20230177.

张广才岭北部早侏罗世花岗岩年代学、 地球化学特征及其地质意义

于跃江¹, 赵忠海², 李新鹏¹, 马丽玲¹

1. 黑龙江省自然资源调查院, 哈尔滨 150036

2. 辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁 阜新 123000

摘要:为探讨张广才岭北部构造格架及其演变,对张广才岭北部二长花岗岩、正长花岗岩及碱长花岗岩进行 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学、岩石学、岩石地球化学等方面的研究,确定了其形成时代及岩石成因。研究结果表明:2 件二长花岗岩、1 件正长花岗岩及 1 件碱长花岗岩样品的锆石 U-Pb 年龄分别为 (191.4 ± 1.1) 、 (202.6 ± 1.0) 、 (190.8 ± 1.5) 、和 (198.1 ± 1.0) Ma, 总体年龄介于 202~190 Ma 之间,时代为早侏罗世;二长花岗岩、正长花岗岩和碱长花岗岩总体属于低铝质,以高钾钙碱性系列为主,显示富集 Rb、Ba、K 等大离子亲石元素和轻稀土元素,亏损 Nb、P、Ti 等高场强元素和重稀土元素;二长花岗岩、正长花岗岩和碱长花岗岩显示出 I 型花岗岩特征。结合区域对比及综合研究,初步认为张广才岭北部早侏罗世花岗岩的构造环境为古太平洋板块向欧亚大陆俯冲形成的活动大陆边缘环境。

关键词:二长花岗岩;正长花岗岩;碱性花岗岩;锆石 U-Pb 年龄;岩石学;地球化学;张广才岭北部

doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20230177

中图分类号:P59;P588.1

文献标志码:A

Geochronology, Geochemistry and Geological Significance of Early Jurassic Granites in Northern Zhangguangcai Mountains

Yu Yuejiang¹, Zhao Zhonghai², Li Xinpeng¹, Ma Liling¹

1. Heilongjiang Institute of Natural Resources Survey, Harbin 150036, China

2. College of Mining, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, China

Abstract: In order to discuss the tectonic framework and evolution of the Northern Zhangguangcai Mountains, LA-MC-ICP-MS zircon U-Pb chronology, petrology, and petrogeochemistry studies

收稿日期:2023-07-21

作者简介:于跃江(1969—),男,高级工程师,主要从事地质矿产方面的研究,E-mail:522369043@qq.com

通信作者:赵忠海(1984—),男,副教授,博士,主要从事区域地质调查及矿床学方面的研究,E-mail:zhaozhonghai_99@163.com

基金项目:辽宁省自然科学基金项目(2020-BS-258);黑龙江省地质勘查专项资金项目(DZKC-GY-2018003)

Supported by the Natural Science Foundation of Liaoning Province(2020-BS-258) and the Geological Exploration in Heilongjiang Province(DZKC-GY-2018003)

were conducted on monzonitic granite, syenite granite and alkali-feldspar granite in this area. The zircon U-Pb ages of two monzonitic granites, one syenite granite, and one alkali feldspar granite are (191.4 ± 1.1) Ma, (202.6 ± 1.0) Ma, (190.8 ± 1.5) Ma, and (198.1 ± 1.0) Ma, respectively, in Early Jurassic. These granites are mainly classified as low aluminous, high potassium, and calc-alkaline series, have enrichment of large ion lithophile elements and lightly rare earth elements, like Rb, Ba, K, etc., while have depletion of high field strength elements and heavy rare earth elements, such as Nb, P, Ti, etc.. They exhibit characteristics of I-type granite, indicative of an active continental margin environment resulting from Paleo-Pacific plate subduction to Eurasia.

Key words: monzogranite; syenogranite; alkali-feldspar granite; zircon U-Pb age; petrogeochemistry; geochemistry; Northern Zhangguangcai Mountains

0 引言

东北地区位于中亚造山带的东段,古生代经历了古亚洲洋构造体系的演化^[1-7],主要表现为多个微陆块之间的拼合及古生代晚期—中生代早期古亚洲洋的最终闭合^[8-17]。在中生代,东北地区叠加了环太平洋构造体系及蒙古—鄂霍茨克构造体系的改造^[18-20]。前人已经对东北地区中生代花岗岩做了大量的年代学与地球化学方面的研究^[10,21-29],很多关键的地带已经建立了花岗岩的年代学格架^[30-36],深化了对东北地区中生代花岗岩及其构造演化的认识。虽然对东北地区中生代花岗岩年代学做过大量的研究工作,但对张广才岭地区中生代花岗岩的形成时代、成因及其构造背景的研究较少。本文对张广才岭北部二长花岗岩、正长花岗岩及碱长花岗岩进行了锆石 U-Pb 同位素测年和地球化学分析,探讨其形成时代、成因类型及其形成的构造背景,为进一步探讨张广才岭北部构造格架及其演变提供证据。

1 区域地质背景及主要岩石特征

研究区位于张广才岭北部,行政区划隶属于延寿县。区域大地构造属于兴蒙造山系(I级)、小兴安岭—张广才岭岩浆弧(II级)、伊春—延寿岩浆弧(III级)(图1)。小兴安岭北部出露的最古老结晶基底为中—新元古界的东风山岩群,古生代下寒武统西林群,奥陶系宝泉组、小金沟组及大青组,泥盆系黑龙宫组,石炭系唐家屯组、杨木岗组,二叠系张广才岭群,中生代主要为中—酸性火山岩,并伴随不同期次的岩浆活动,中生代形成伊春—延寿花岗岩带。研究区地层较发育,古生界出露的地层有奥陶系中统小金沟组、泥盆系中统福兴屯组,中生界三叠系上统

冷山组及白垩系下统洮河组。侵入岩发育,占全区面积的80%,时代均为早侏罗世,以酸性及碱性侵入岩为主。4个同位素测年样品岩石类型为二长花岗岩、正长花岗岩及碱长花岗岩,分布于区内北部、中部及东南部。其中:样品P1TC102,岩性为二长花岗岩,取样位置:128°40′06″E,45°26′44″N;样品P17TC91,岩性为二长花岗岩,取样位置:128°56′30″E,45°14′01″N;样品P17TC29,岩性为正长花岗岩,取样位置:128°34′46″E,45°29′06″N;样品P10TC1,岩性为碱长花岗岩,取样位置:128°40′02″E,45°20′56″N,具体测年样品取样位置见图2。

26个地球化学样品中,二长花岗岩13个样品在研究区均有分布;正长花岗岩10个样品分布在研究区中南部、西北角及东南角;碱长花岗岩3个样品分布在庆阳公社和民志附近。经探槽揭露,正长花岗岩和碱长花岗岩分别侵入二长花岗岩。二长花岗岩、正长花岗岩及碱长花岗岩薄片照片见图3,手标本照片见图4。

细粒二长花岗岩,浅肉红色,细粒花岗结构,块状构造。该岩石主要由钾长石(约40%)、斜长石(约30%)、石英(约25%)、黑云母(约5%)等矿物组成。钾长石呈半自形板状,为正条纹长石、微斜条纹长石,杂乱分布,条纹呈雨点状、细脉状等,大小一般为0.20~2.00 mm,少量为2.00~2.60 mm,不均匀黏土化、黝帘石化,粒内及边缘嵌布斜长石等颗粒,交代斜长石;斜长石呈半自形板状,杂乱分布,大小一般为0.20~1.50 mm,不均匀黝帘石化、黏土化、绢云母化等,隐约可见环带构造,与钾长石接触部位可见蠕虫、净边结构;石英呈他形粒状,杂乱分布,大小为0.20~1.80 mm,粒内轻微波状、带状消光;黑云母呈片状,零星分布,大小为0.20~1.30 mm,部分绿泥石化、白云母化,少量绿帘石化。

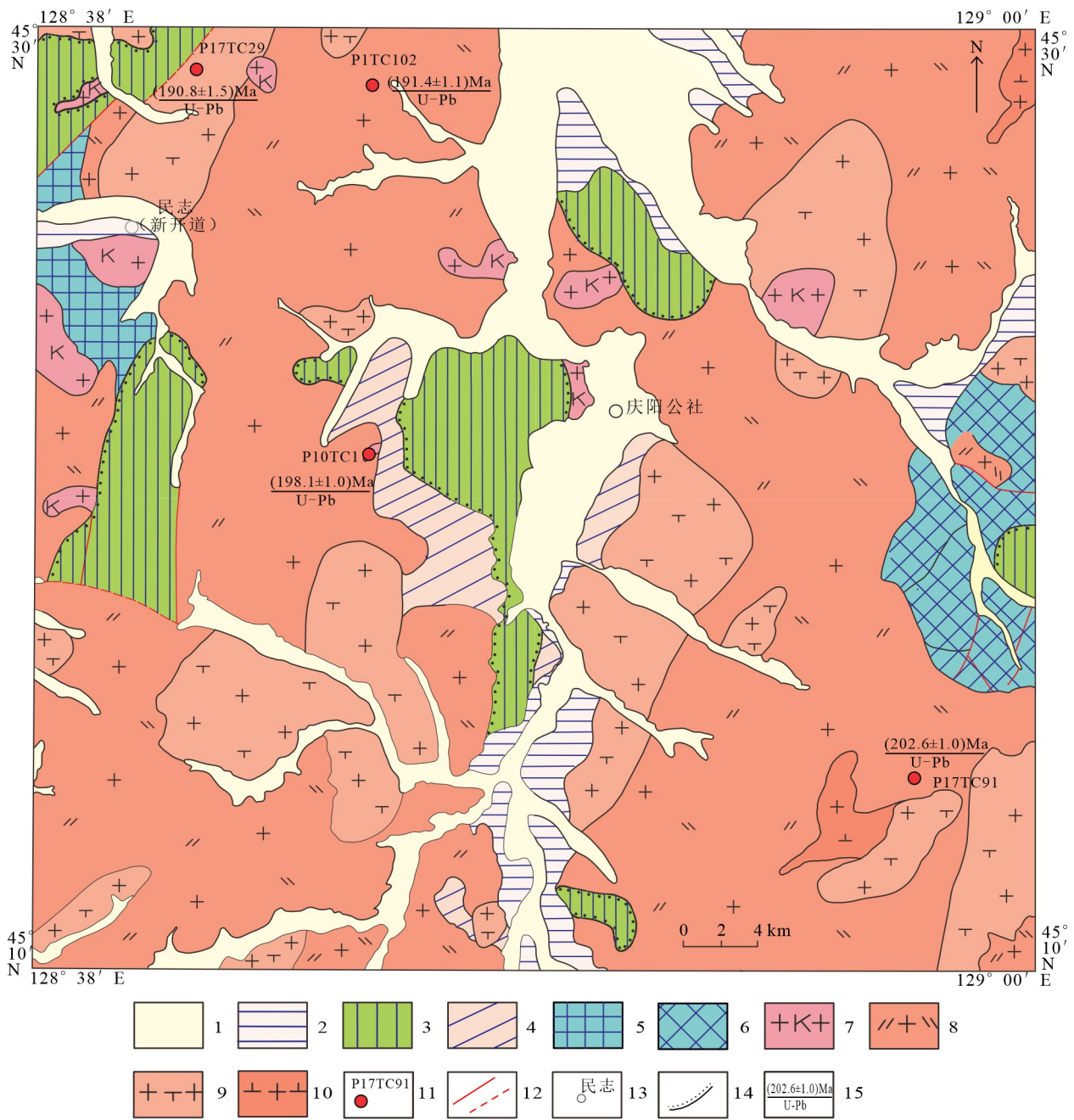
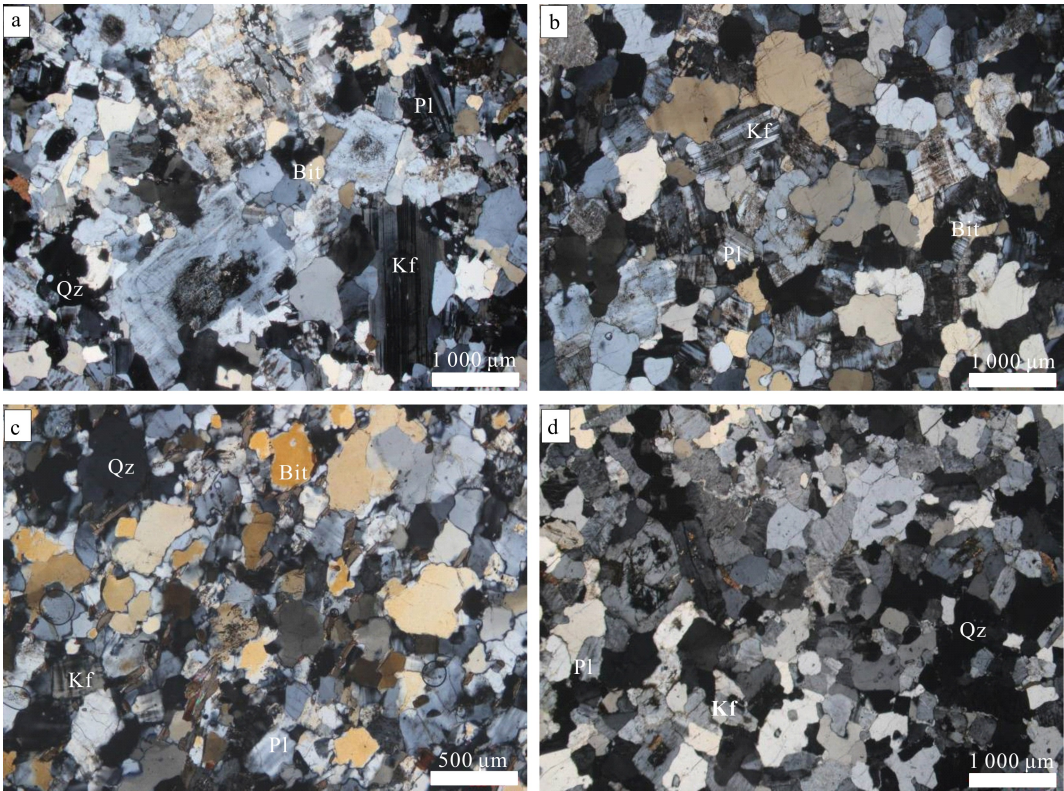


图 2 研究区地质简图

Fig.2 Geologicalsketch map in the study area

细粒碱长花岗岩,浅肉红色,细粒花岗结构,块状构造。该岩石矿物成分由钾长石(约 74%)、斜长石(约 5%)、石英(约 20%)及黑云母(约 1%)组成。钾长石呈半自形板状,粒径一般为 0.20~2.00 mm,杂乱分布,为条纹长石,具高岭土化,部分具钠长石化;斜长石呈半自形板状,粒径一般为 0.20~1.00 mm,零星分布,可见聚片双晶,斜长石牌号 An=37,属于中长石,具黏土化、绢云母化;石英呈他形粒状,粒径一般为 0.10~1.75 mm,杂乱分布,表面干净,部分粒内可见波状消光;黑云母呈鳞片状、片



a、b. 二长花岗岩;c. 正长花岗岩;d. 碱长花岗岩。Kf. 钾长石;Pl. 斜长石;Bit. 黑云母;Qz. 石英。

图 3 研究区早侏罗世花岗岩镜下显微照片

Fig.3 Photomicrograph of Early Jurassic granite in the study area

状,片径一般为 0.20~0.75 mm,零星分布,单偏光下具黄褐—黄色多色性。

2 分析方法

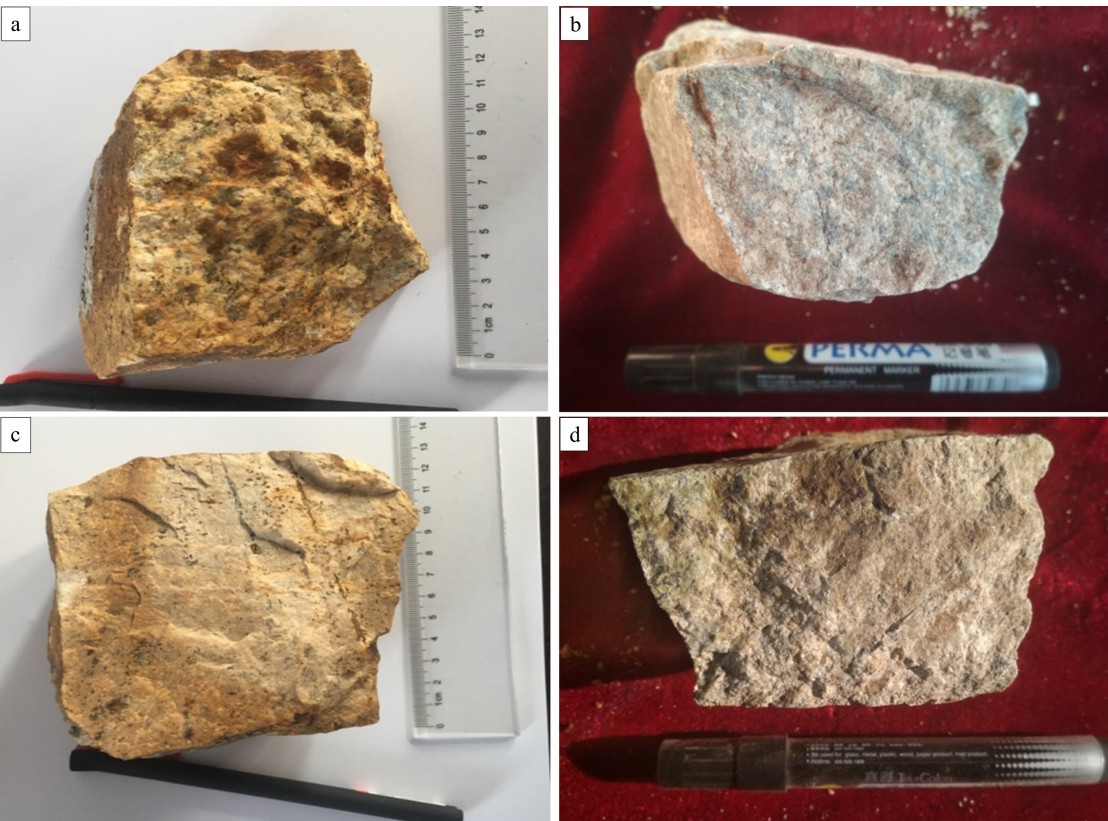
2.1 锆石筛选

锆石分选、投射光、反射照相、阴极发光(CL)成像、锆石 U-Pb 定年和锆石微量元素分析均在北京燕都中实测试技术有限公司实验室完成。首先用清水将野外采集的新鲜样品表面清洗干净后晾干,并粉碎至 80 目;然后经过用水粗淘、强磁分选、电磁分选和酒精细淘之后,在实体显微镜下手工挑选出裂隙少、表面洁净、透明度较好的锆石制作环氧树脂样品靶。

2.2 锆石测年及数据处理

处理数据的基本原则为:尊重及保证测试数据的客观性;锆石同位素标样数据信号平稳且同位素比值稳定,本实验室计数(校准标样)范围分布在 $(2\sim10)\times10^4$ 之间,视样品测试所需,调整信号强度;PLE(Plesovice)信号稳定且年龄在推荐范围误差范围之内;所测锆石数据有效信号段需大于 20 s,所取信号积分区间内的同位素比值稳定;所取信号

积分区间时间坐标尽量与锆石标样相同;所处理数据不以测试数据的高协定为直接目标;校准标 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄误差通常保持在 0.5%~1.0%之间,待测样品单点通常也在此误差范围之内。测试锆石微量元素质量分数和 U-Pb 同位素定年利用 LA-Q-ICP-MS 同时分析完成。激光剥蚀系统为 New Wave UP213,ICP-MS 为布鲁克 M90。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过 1 个 Y 型接头混合。每个时间分辨分析数据包括 20~30 s 的空白信号和 50 s 的样品信号。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素质量分数、U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMSDataCal^[37] 完成。锆石微量元素利用 SRM610 作为多外标、Si 作内标的方法进行定量计算。U-Pb 同位素定年中采用锆石标准 GJ-1 作外标进行同位素分馏校正,每分析 5~10 个样品点分析 2 次 GJ-1。对于与分析时间有关的 U-Th-Pb 同位素比值漂移,利用 GJ-1 的变化采用线性内插的方式进行了校正。锆石样品的 U-



a、b. 二长花岗岩;c. 正长花岗岩;d. 碱长花岗岩。

图 4 研究区早侏罗世花岗岩手标本照片

Fig.4 Hand specimen photograph of Early Jurassic granite in the study area

Pb 年龄协和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex_ver3^[38] 完成。本次测试剥蚀直径根据实际情况选择 30 μm。

2.3 全岩主微量元素检测

全岩主量元素和微量元素分析在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。主量元素分析采用 X 荧光光谱仪测定,微量元素采用等离子质谱仪(ICP-MS)测定,测试环境为温度 25℃、湿度 65%,分析精密优于 5%。

3 锆石 U-Pb 定年结果

本文对 2 件二长花岗岩、1 件正长花岗岩及 1 件碱长花岗岩样品进行了 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试,分析结果见表 1。4 件样品年龄样分析点均为 30 个,参与成图的点分别为 19 个、24 个、18 个、22 个。因为点位的 U-Pb 同位素体系不好,如有捕虏体、铅丢失、铅扩散,以及不能校正的普通铅,导致部分点不能参与作图。

二长花岗岩(P1TC102),锆石外形特征多呈自

形一半自形、短柱状,少数呈长柱状。阴极发光图像显示多数具有清晰、致密的韵律环带结构(图 5a),锆石的 Th/U 值在 0.41~1.12 之间,均值为 0.68 (大于 0.1),为典型的岩浆成因锆石。粒径一般为 120~160 μm,个别达 200 μm,长宽比值多为 1:0.8,个别为 2:1。其锆石 U-Pb 同位素 LA-MC-ICP-MS 测年共打点 30 个(表 1)。11 个点因铅丢失以及不能校正的普通铅,未参与成图;19 个点在协和图上分布于协和线上及其附近,协和度较好。加权平均年龄为(191.4±1.1)Ma(图 5b、c),时代为早侏罗世,代表了其成岩年龄。

二长花岗岩(P17TC91),锆石外形特征多呈自形一半自形、长柱状,少数呈短柱状。阴极发光图像显示多数具有清晰、致密的韵律环带结构(图 6a),表现为岩浆震荡生长环带,锆石的 Th/U 值在 0.46~0.95 之间,均值为 0.60(大于 0.1),为典型的岩浆成因锆石。粒径一般为 130~180 μm,个别达 200 μm,长宽比值多为 1:0.7,个别为 2:1。其锆石 U-Pb 同位素 LA-MC-ICP-MS 测年共打点 30 个(表 1)。6 个

表 1 研究区早侏罗世花岗岩锆石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 分析结果表

Table 1 Table of results of LA-MC-ICP-MS U-Pb analysis of zircon from Early Jurassic granite in the study area

测试点	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
	Th	U	Pb		$^{206}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{206}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ
					^{238}U		^{235}U		^{206}Pb		^{238}U		^{235}U		^{206}Pb	
P1TC102-1	125	303	9	0.41	0.029 7	0.000 4	0.206 4	0.005 6	0.050 8	0.001 4	188	2	191	5	232	64
P1TC102-2	52	74	2	0.70	0.030 2	0.000 4	0.213 1	0.009 5	0.052 0	0.002 4	192	3	196	8	284	104
P1TC102-3	133	148	4	0.90	0.030 2	0.000 4	0.206 4	0.008 5	0.050 2	0.002 1	192	3	191	7	207	98
P1TC102-4	331	405	12	0.82	0.030 1	0.000 4	0.206 4	0.006 2	0.049 8	0.001 5	191	2	190	5	186	69
P1TC102-5	255	410	12	0.62	0.030 0	0.000 3	0.211 0	0.004 2	0.051 0	0.001 0	190	2	194	4	242	43
P1TC102-6	151	284	8	0.53	0.030 0	0.000 3	0.207 3	0.004 4	0.050 3	0.001 0	191	2	191	4	211	47
P1TC102-7	206	344	10	0.60	0.030 1	0.000 3	0.210 9	0.004 3	0.051 2	0.001 0	191	2	194	4	250	47
P1TC102-8	103	179	5	0.58	0.030 1	0.000 3	0.197 7	0.006 2	0.048 0	0.001 4	191	2	183	5	97	71
P1TC102-9	257	343	10	0.75	0.030 3	0.000 3	0.209 0	0.004 6	0.050 4	0.001 1	193	2	193	4	214	52
P1TC102-10	123	151	5	0.81	0.030 1	0.000 4	0.208 2	0.006 9	0.050 9	0.001 8	191	2	192	6	236	81
P1TC102-11	132	227	7	0.58	0.030 2	0.000 5	0.211 4	0.007 8	0.051 3	0.001 9	192	3	195	7	255	87
P1TC102-12	144	285	9	0.51	0.030 4	0.000 4	0.207 6	0.007 4	0.049 9	0.001 9	193	2	192	6	189	88
P1TC102-13	163	326	10	0.50	0.030 3	0.000 3	0.210 3	0.004 9	0.050 7	0.001 1	192	2	194	4	228	52
P1TC102-14	100	123	3	0.81	0.029 2	0.000 4	0.213 6	0.007 6	0.053 8	0.002 0	186	2	197	6	364	83
P1TC102-15	395	355	10	1.12	0.029 9	0.000 3	0.217 0	0.005 3	0.052 8	0.001 3	190	2	199	4	321	55
P1TC102-16	149	294	9	0.51	0.030 3	0.000 5	0.209 0	0.006 5	0.050 4	0.001 6	192	3	193	5	213	72
P1TC102-17	196	289	8	0.68	0.030 2	0.000 3	0.204 9	0.005 7	0.049 8	0.001 5	192	2	189	5	184	69
P1TC102-18	217	337	10	0.65	0.030 2	0.000 4	0.210 6	0.006 5	0.050 8	0.001 5	192	3	194	5	230	70
P1TC102-19	244	404	12	0.60	0.030 5	0.000 4	0.204 4	0.006 1	0.048 5	0.001 4	194	3	189	5	124	67
P1TC102-20	123	143	4	0.86	0.030 2	0.000 5	0.209 3	0.008 7	0.051 1	0.002 2	192	3	193	7	244	99
P1TC102-21	471	474	14	0.99	0.031 1	0.000 3	0.220 3	0.005 1	0.051 5	0.001 3	198	2	202	4	264	57
P1TC102-22	193	278	8	0.69	0.030 8	0.000 5	0.213 6	0.008 5	0.050 6	0.002 0	195	3	197	7	224	90
P1TC102-23	151	317	9	0.48	0.030 2	0.000 4	0.210 7	0.006 1	0.050 7	0.001 5	192	2	194	5	228	67
P1TC102-24	230	432	13	0.53	0.031 6	0.000 4	0.218 6	0.005 5	0.050 3	0.001 2	201	3	201	5	210	57
P1TC102-25	61	93	3	0.66	0.031 1	0.000 5	0.207 4	0.010 7	0.049 1	0.002 6	197	3	191	9	152	123
P1TC102-26	170	173	5	0.98	0.031 1	0.000 5	0.215 9	0.011 2	0.050 4	0.002 6	198	3	198	9	214	118
P1TC102-27	182	260	8	0.70	0.031 5	0.000 3	0.213 1	0.007 1	0.049 7	0.001 8	200	2	196	6	179	84
P1TC102-28	236	446	13	0.53	0.031 9	0.000 3	0.216 1	0.005 4	0.048 9	0.001 1	203	2	199	4	144	53
P1TC102-29	305	326	9	0.94	0.030 2	0.000 6	0.208 1	0.009 2	0.050 4	0.002 2	192	4	192	8	212	103
P1TC102-30	120	250	7	0.48	0.030 9	0.000 4	0.218 7	0.006 4	0.051 7	0.001 5	196	2	201	5	274	68
P17TC91-1	221	376	12	0.59	0.031 8	0.000 4	0.216 0	0.004 0	0.049 1	0.000 9	202	2	199	3	154	42
P17TC91-2	251	478	15	0.53	0.032 1	0.000 3	0.221 6	0.005 3	0.050 1	0.001 3	204	2	203	4	198	61
P17TC91-3	333	349	11	0.95	0.031 9	0.000 5	0.222 2	0.006 9	0.050 7	0.001 6	202	3	204	6	229	71
P17TC91-4	369	575	17	0.64	0.031 7	0.000 6	0.225 0	0.005 8	0.051 4	0.001 1	201	4	206	5	260	51
P17TC91-5	190	340	11	0.56	0.031 8	0.000 4	0.220 1	0.006 1	0.050 1	0.001 4	202	2	202	5	201	65
P17TC91-6	245	441	13	0.56	0.032 1	0.000 5	0.224 7	0.005 5	0.050 6	0.001 1	204	3	206	5	225	49
P17TC91-7	117	233	7	0.50	0.031 9	0.000 6	0.223 3	0.006 4	0.051 1	0.001 3	202	4	205	5	244	59
P17TC91-8	130	256	8	0.51	0.032 0	0.000 5	0.220 7	0.006 9	0.050 3	0.001 4	203	3	202	6	210	67
P17TC91-9	97	201	6	0.48	0.032 1	0.000 6	0.228 0	0.007 1	0.051 8	0.001 5	204	4	209	6	276	65

续表 1

测试点	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
	Th	U	Pb		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
P17TC91-10	168	351	11	0.48	0.031 9	0.000 4	0.222 3	0.005 7	0.050 7	0.001 2	202	2	204	5	227	54
P17TC91-11	223	337	10	0.66	0.033 3	0.000 5	0.324 5	0.008 9	0.070 0	0.001 6	211	3	285	7	929	47
P17TC91-12	84	139	4	0.60	0.031 8	0.000 5	0.224 5	0.008 4	0.051 9	0.002 0	202	3	206	7	283	87
P17TC91-13	372	430	13	0.86	0.033 4	0.000 6	0.230 9	0.005 5	0.050 2	0.001 0	212	4	211	5	204	48
P17TC91-14	183	259	8	0.71	0.032 8	0.000 4	0.229 4	0.007 2	0.051 0	0.001 6	208	3	210	6	241	73
P17TC91-15	205	394	12	0.52	0.031 8	0.000 3	0.220 8	0.006 1	0.050 3	0.001 3	202	2	203	5	210	62
P17TC91-16	206	449	12	0.46	0.032 1	0.000 6	0.222 9	0.007 6	0.050 5	0.001 5	203	4	204	6	216	70
P17TC91-17	268	443	14	0.61	0.032 2	0.000 4	0.223 3	0.005 8	0.050 3	0.001 3	204	2	205	5	207	60
P17TC91-18	265	385	11	0.69	0.031 9	0.000 6	0.222 6	0.006 0	0.051 0	0.001 3	202	4	204	5	240	59
P17TC91-19	174	293	9	0.59	0.032 1	0.000 5	0.222 7	0.012 0	0.050 6	0.002 9	204	3	204	10	220	133
P17TC91-20	102	169	5	0.61	0.031 8	0.000 4	0.222 0	0.007 1	0.051 2	0.001 7	202	3	204	6	248	76
P17TC91-21	151	328	10	0.46	0.031 8	0.000 3	0.221 7	0.004 8	0.050 7	0.001 1	202	2	203	4	226	51
P17TC91-22	249	288	9	0.86	0.032 7	0.000 3	0.227 7	0.005 2	0.050 4	0.001 0	207	2	208	4	212	48
P17TC91-23	74	138	4	0.54	0.033 7	0.000 4	0.241 1	0.008 3	0.052 4	0.001 8	214	3	219	7	301	78
P17TC91-24	88	148	5	0.59	0.032 0	0.000 4	0.222 5	0.009 2	0.050 8	0.002 0	203	3	204	8	234	90
P17TC91-25	105	170	5	0.62	0.032 2	0.000 4	0.221 4	0.008 3	0.050 3	0.001 9	205	3	203	7	209	86
P17TC91-26	124	194	6	0.64	0.031 9	0.000 4	0.222 4	0.008 2	0.050 7	0.001 8	202	2	204	7	228	82
P17TC91-27	136	186	5	0.73	0.031 8	0.000 3	0.221 5	0.007 6	0.051 1	0.001 8	202	2	203	6	244	82
P17TC91-28	58	112	3	0.52	0.031 9	0.000 4	0.226 0	0.010 7	0.052 2	0.002 6	203	3	207	9	293	114
P17TC91-29	45	95	3	0.47	0.031 5	0.000 6	0.226 5	0.014 7	0.052 1	0.003 4	200	4	207	12	291	147
P17TC91-30	225	407	12	0.55	0.031 7	0.000 3	0.220 5	0.007 6	0.050 3	0.001 7	201	2	202	6	210	78
P17TC29-1	0	12 141	342	0.00	0.030 6	0.000 8	0.227 3	0.006 4	0.053 8	0.001 3	194	5	208	5	364	54
P17TC29-2	0	27 743	804	0.00	0.029 4	0.000 4	0.207 6	0.002 9	0.051 2	0.000 3	187	3	192	2	251	16
P17TC29-3	0	24 171	692	0.00	0.030 0	0.000 5	0.208 7	0.003 6	0.050 5	0.000 5	191	3	192	3	219	23
P17TC29-4	0	10 741	417	0.00	0.036 7	0.000 4	0.386 2	0.006 1	0.076 1	0.000 8	232	3	332	4	1 097	22
P17TC29-5	0	21 316	631	0.00	0.030 9	0.000 5	0.247 8	0.004 6	0.058 2	0.000 6	196	3	225	4	538	23
P17TC29-6	0	23 796	684	0.00	0.030 3	0.000 5	0.219 1	0.004 0	0.052 4	0.000 6	193	3	201	3	301	25
P17TC29-7	0	11 775	513	0.00	0.041 8	0.000 7	0.438 1	0.008 3	0.076 2	0.001 0	264	4	369	6	1100	26
P17TC29-8	0	22 166	632	0.00	0.030 1	0.000 5	0.220 7	0.004 1	0.053 4	0.000 8	191	3	203	3	344	33
P17TC29-9	0	23 569	762	0.00	0.031 9	0.000 5	0.270 6	0.004 5	0.061 6	0.000 8	203	3	243	4	659	28
P17TC29-10	0	14 150	534	0.00	0.038 0	0.000 6	0.575 2	0.011 3	0.109 7	0.000 9	240	4	461	7	1 794	15
P17TC29-11	2 851	12 740	513	0.22	0.041 1	0.000 6	0.545 3	0.010 0	0.095 9	0.000 9	260	4	442	7	1 546	18
P17TC29-12	0	11 651	328	0.00	0.030 9	0.000 8	0.296 3	0.010 4	0.069 5	0.001 6	196	5	263	8	914	48
P17TC29-13	0	20 307	567	0.00	0.030 1	0.000 6	0.215 6	0.004 4	0.052 0	0.000 8	191	4	198	4	287	35
P17TC29-14	0	21 101	609	0.00	0.030 0	0.000 5	0.213 1	0.003 7	0.051 7	0.000 4	190	3	196	3	270	19
P17TC29-15	0	14 322	427	0.00	0.030 4	0.000 4	0.212 0	0.002 8	0.050 6	0.000 5	193	2	195	2	225	24
P17TC29-16	0	23 313	647	0.00	0.029 6	0.000 5	0.219 0	0.004 6	0.053 7	0.000 7	188	3	201	4	357	30
P17TC29-17	0	11 857	431	0.00	0.034 5	0.000 5	0.288 2	0.004 4	0.060 5	0.000 7	219	3	257	3	622	25
P17TC29-18	0	13 728	467	0.00	0.031 4	0.000 4	0.244 3	0.003 3	0.056 5	0.000 9	199	2	222	3	471	34
P17TC29-19	0	20 439	553	0.00	0.029 5	0.000 6	0.232 8	0.006 7	0.057 3	0.001 3	188	4	213	6	502	48

续表 1

测试点	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值								年龄/Ma					
	Th	U	Pb		Th/U	$^{206}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{206}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	
						^{238}U		^{235}U		^{206}Pb		^{238}U		^{235}U		^{206}Pb		^{238}U
P17TC29-20	0	18 269	499	0.00	0.030 0	0.000 7	0.223 0	0.006 3	0.054 0	0.001 0	190	4	204	5	373	43		
P17TC29-21	0	6 472	220	0.00	0.036 8	0.000 8	0.540 1	0.012 3	0.107 3	0.002 4	233	5	438	8	1 754	42		
P17TC29-22	0	11 951	334	0.00	0.030 4	0.000 7	0.220 3	0.003 8	0.053 1	0.001 2	193	4	202	3	334	50		
P17TC29-23	0	22 742	638	0.00	0.030 4	0.000 6	0.218 7	0.004 5	0.052 5	0.001 1	193	4	201	4	309	47		
P17TC29-24	0	22 215	628	0.00	0.030 2	0.000 5	0.214 5	0.004 6	0.051 8	0.000 9	192	3	197	4	277	39		
P17TC29-25	0	16 236	553	0.00	0.035 0	0.000 5	0.322 8	0.004 4	0.067 3	0.000 6	221	3	284	3	847	19		
P17TC29-26	0	26 726	745	0.00	0.030 5	0.000 6	0.220 7	0.004 9	0.052 9	0.001 1	193	4	203	4	326	49		
P17TC29-27	0	19 111	530	0.00	0.030 1	0.000 5	0.215 9	0.005 0	0.052 2	0.000 9	191	3	198	4	296	37		
P17TC29-28	0	25 035	677	0.00	0.029 7	0.000 6	0.241 5	0.006 1	0.059 1	0.001 0	189	4	220	5	571	38		
P17TC29-29	0	15 880	437	0.00	0.030 0	0.000 6	0.220 0	0.005 4	0.053 4	0.001 1	191	4	202	5	345	45		
P17TC29-30	0	21 281	603	0.00	0.030 2	0.000 5	0.210 1	0.003 9	0.050 7	0.000 5	192	3	194	3	227	25		
P10TC1-1	227	238	8	0.93	0.031 4	0.000 4	0.213 6	0.0061	0.050 2	0.001 4	212	2	210	5	203	64		
P10TC1-2	266	340	10	0.78	0.031 1	0.000 3	0.214 4	0.004 2	0.050 0	0.000 9	197	2	197	3	195	44		
P10TC1-3	184	228	7	0.81	0.031 2	0.000 4	0.217 9	0.006 9	0.050 8	0.001 7	198	2	200	6	231	75		
P10TC1-4	257	314	10	0.82	0.031 0	0.000 3	0.216 2	0.004 5	0.050 4	0.000 9	197	2	199	4	212	43		
P10TC1-5	171	245	7	0.70	0.031 2	0.000 3	0.215 8	0.004 8	0.050 1	0.001 0	198	2	198	4	199	49		
P10TC1-6	469	613	20	0.77	0.031 8	0.000 3	0.244 0	0.004 2	0.055 6	0.000 9	202	2	222	3	436	37		
P10TC1-7	201	320	10	0.63	0.031 2	0.000 4	0.214 4	0.004 4	0.049 7	0.001 0	198	2	197	4	180	45		
P10TC1-8	415	591	19	0.70	0.031 1	0.000 4	0.215 1	0.005 0	0.049 8	0.000 8	197	3	198	4	187	38		
P10TC1-9	124	203	6	0.61	0.031 2	0.000 4	0.217 8	0.006 7	0.050 5	0.001 4	198	3	200	6	219	65		
P10TC1-10	247	334	11	0.74	0.031 2	0.000 5	0.219 0	0.005 8	0.051 0	0.001 2	198	3	201	5	242	55		
P10TC1-11	247	239	7	1.04	0.031 2	0.000 5	0.217 1	0.007 0	0.050 4	0.001 6	198	3	199	6	214	73		
P10TC1-12	157	186	5	0.84	0.031 2	0.000 5	0.215 6	0.007 8	0.050 1	0.001 9	198	3	198	7	201	86		
P10TC1-13	198	289	9	0.69	0.031 2	0.000 5	0.218 4	0.007 1	0.050 6	0.001 6	198	3	201	6	224	73		
P10TC1-14	220	288	8	0.76	0.031 3	0.000 4	0.217 1	0.006 1	0.050 3	0.001 5	199	3	200	5	208	67		
P10TC1-15	313	456	14	0.69	0.031 0	0.000 4	0.216 1	0.006 7	0.050 5	0.001 4	197	3	199	6	216	63		
P10TC1-16	312	447	14	0.70	0.031 4	0.000 3	0.222 1	0.004 8	0.051 2	0.001 0	199	2	204	4	251	47		
P10TC1-17	229	242	8	0.95	0.033 4	0.000 4	0.230 6	0.006 3	0.050 2	0.001 4	212	2	211	5	204	66		
P10TC1-18	169	254	8	0.66	0.031 3	0.000 3	0.226 9	0.004 4	0.052 4	0.000 9	199	2	208	4	304	40		
P10TC1-19	102	139	4	0.74	0.031 2	0.000 5	0.219 3	0.010 4	0.050 9	0.002 4	198	3	201	9	238	109		
P10TC1-20	312	336	10	0.93	0.031 2	0.000 5	0.216 2	0.005 4	0.050 2	0.001 2	198	3	199	5	203	57		
P10TC1-21	118	165	5	0.71	0.031 1	0.000 5	0.216 3	0.006 8	0.050 4	0.001 5	198	3	199	6	211	68		
P10TC1-22	166	227	6	0.73	0.030 3	0.000 6	0.208 1	0.007 5	0.050 2	0.001 8	192	4	192	6	205	82		
P10TC1-23	191	253	8	0.75	0.031 4	0.000 5	0.215 2	0.006 0	0.049 6	0.001 5	199	3	198	5	176	71		
P10TC1-24	632	567	17	1.11	0.0314	0.000 4	0.218 1	0.004 0	0.050 6	0.000 9	199	2	200	3	224	41		
P10TC1-25	79	145	4	0.55	0.030 1	0.000 4	0.217 8	0.006 4	0.052 8	0.001 6	191	2	200	5	321	68		
P10TC1-26	336	491	14	0.68	0.031 2	0.000 5	0.218 9	0.007 0	0.050 9	0.001 3	198	3	201	6	235	61		
P10TC1-27	198	268	8	0.74	0.031 3	0.000 3	0.219 1	0.003 8	0.051 0	0.000 9	199	2	201	3	241	39		
P10TC1-28	197	273	8	0.72	0.031 5	0.000 6	0.221 1	0.007 1	0.051 2	0.001 5	200	4	203	6	249	66		
P10TC1-29	134	228	7	0.59	0.030 4	0.000 5	0.211 7	0.005 7	0.050 6	0.001 3	193	3	195	5	223	60		
P10TC1-30	263	323	10	0.82	0.031 2	0.000 3	0.225 8	0.005 3	0.052 4	0.001 2	198	2	207	4	303	51		

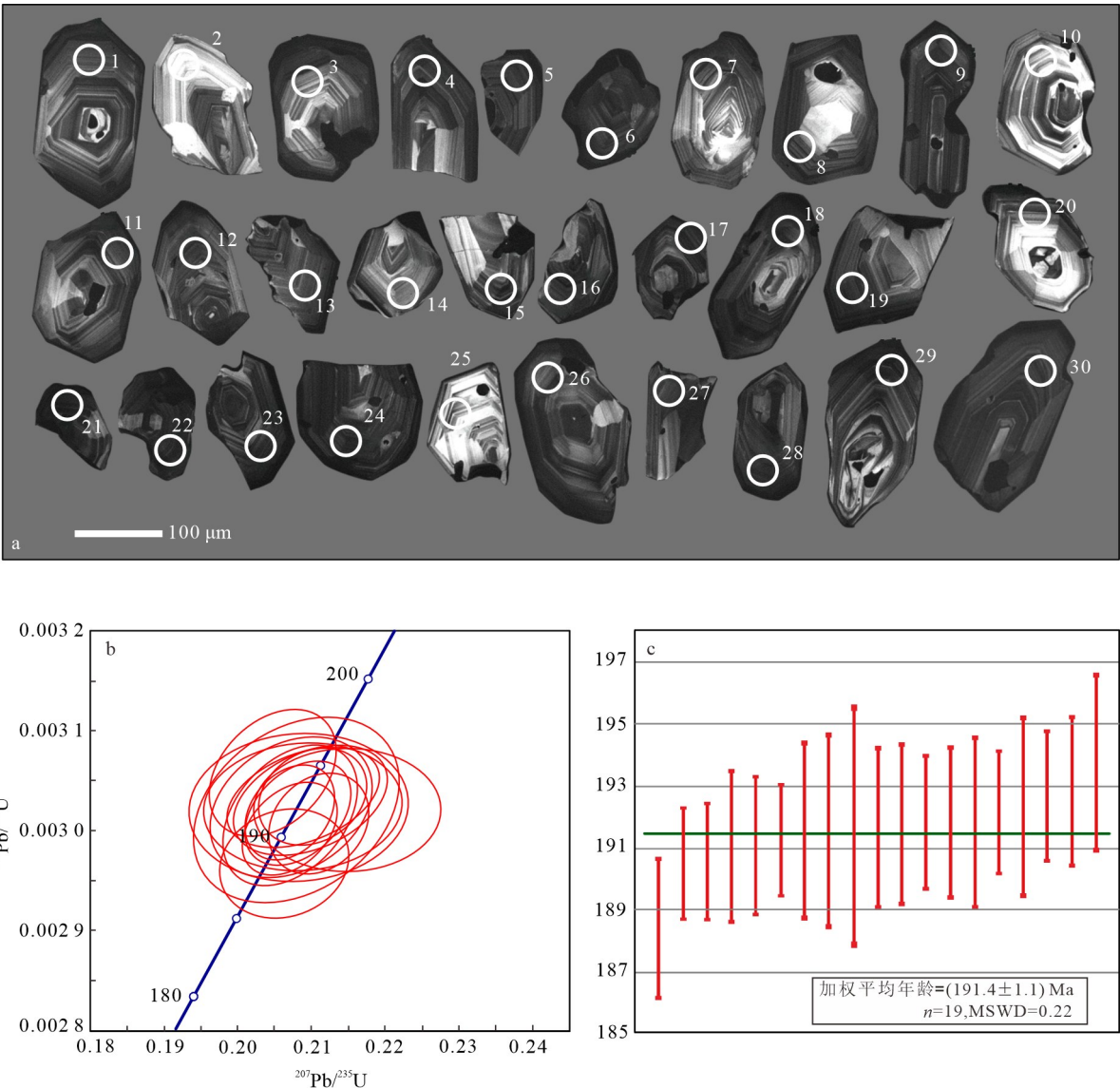


图 5 研究区二长花岗岩(P17TC29)锆石阴极发光图像(a)及年龄协和图(b、c)

Fig.5 Zircon cathodoluminescence images (a) and U - Pb concordia diagrams (b、c) of the monzogranite (P17TC29) in the study area

点无法进行铅校正,未参与成图;24 个点在协和图上分布于协和线上及其附近,协和度较好。加权平均年龄为 $(202.6 \pm 1.0) \text{ Ma}$ (图 6b、c),时代为早侏罗世,代表了其成岩年龄。

正长花岗岩(P17TC29),锆石粒度比较均匀,其阴极发光图像显示锆石大部分呈自形一半自形的粒状或柱状,具有岩浆震荡生长环带(图 7a),为岩浆成因锆石。因 Th、U 质量分数高,其锆石阴极发光的强度较弱,环带结构略不明显。采样部位基本都位于锆石的边部,粒径比较均匀,一般为 $100 \sim 120 \mu\text{m}$,个别达 $150 \mu\text{m}$,长宽比值多为 $1.2 : 1$,个别为 $2 : 1.5$ 。其锆石 U - Pb 同位素 LA - MC - ICP - MS 测年共

打点 30 个(表 1)。12 个点为捕获锆石年龄,未参与成图;18 个点在协和图上分布于协和线附近,协和度较好。加权平均年龄为 $(190.8 \pm 1.5) \text{ Ma}$ (图 7b、c),时代为早侏罗世,代表了其成岩年龄。

碱长花岗岩(P10TC1),锆石外形特征多呈自形一半自形、长柱状,少数呈短柱状,少许锆石形态不完整。阴极发光图像显示多数具有清晰、致密的韵律环带结构(图 8a),表现为岩浆震荡生长环带,锆石的 Th/U 值在 $0.55 \sim 1.11$ 之间,均值为 0.76 (大于 0.1),属于典型的岩浆成因锆石。粒径比较均匀,一般为 $80 \sim 130 \mu\text{m}$,个别达 $180 \mu\text{m}$,长宽比值多为 $1.2 : 1$,个别为 $2 : 1.5$ 。其锆石 U - Pb 同位素

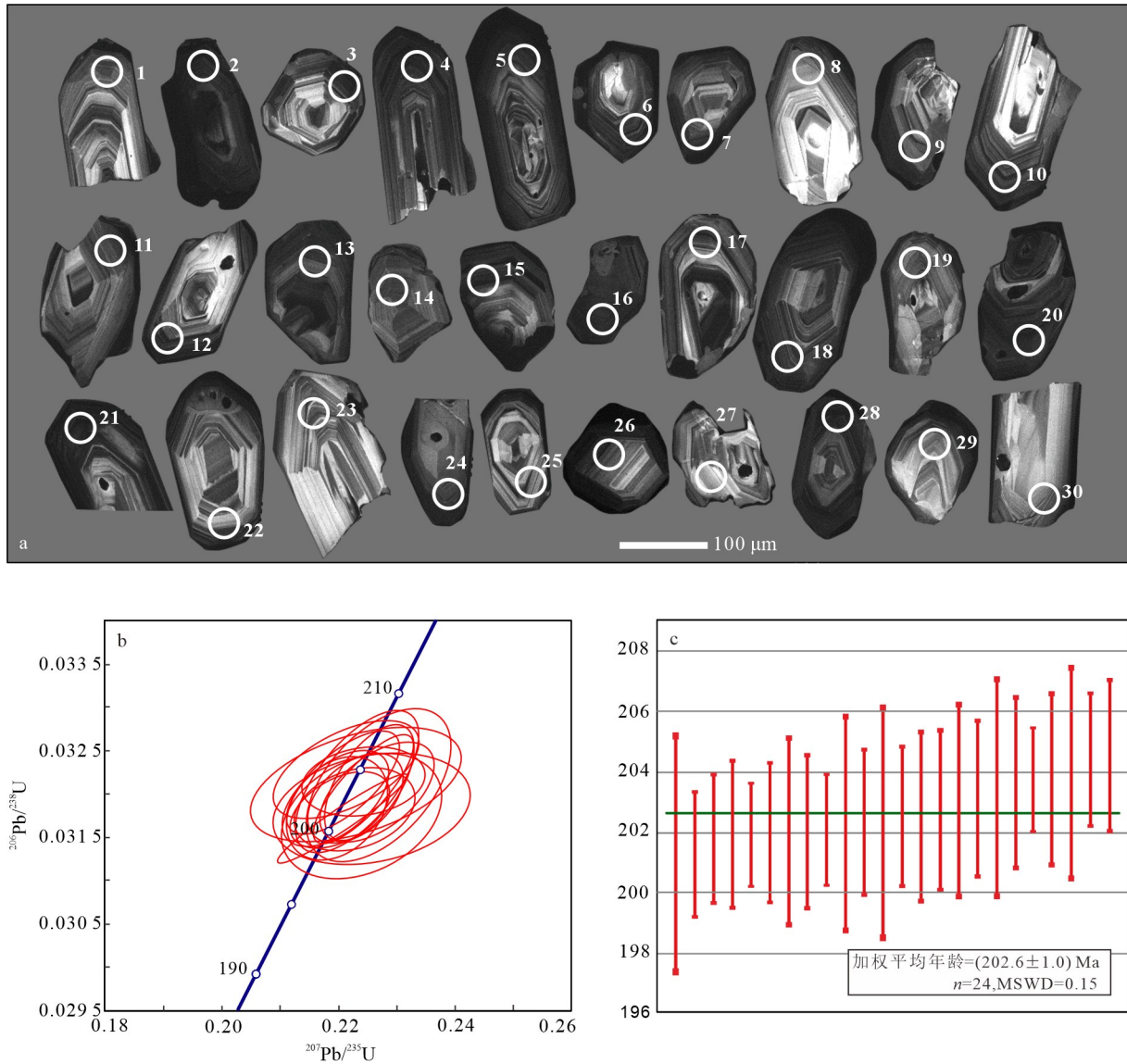


图 6 研究区二长花岗岩(P17TC91)锆石阴极发光图像(a)及年龄协和图(b、c)

Fig.6 Zircon cathodoluminescence images (a) and U - Pb concordia diagrams (b、c) of the monzogranite (P17TC91) in the study area

LA - MC - ICP - MS 测年共打点 30 个(表 1)。8 个点无法进行铅校正,未参与成图;22 个点在协和图上分布于协和线上,协和度较好。加权平均年龄为 $(198.1 \pm 1.0) \text{ Ma}$ (图 8b、c),时代为早侏罗世,代表了其成岩年龄。

4 岩石地球化学特征

4.1 主量元素

本次研究工作共取 26 件样品开展了主量元素和微量元素分析,分析测试结果见表 2。二长花岗岩、正长花岗岩与碱长花岗岩 $w(\text{SiO}_2)$ 为 $71.67\% \sim 78.07\%$ 、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 $11.72\% \sim 14.09\%$ 、

$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 为 $0.14\% \sim 2.56\%$ 、 $w(\text{FeO})$ 为 $0.05\% \sim 0.99\%$ 、 $w(\text{CaO})$ 为 $0.12\% \sim 1.55\%$ 、 $w(\text{MgO})$ 为 $0.00\% \sim 0.83\%$ 、 $w(\text{TiO}_2)$ 为 $0.03\% \sim 0.44\%$ 、 $w(\text{MnO})$ 为 $0.01\% \sim 0.10\%$ 、 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 $0.01\% \sim 0.13\%$ 、 $w(\text{K}_2\text{O})$ 为 $3.46\% \sim 7.17\%$;分异指数(I_D) 在 $85.39 \sim 97.10$ 之间,表明岩浆分离结晶分作用强烈,为酸性、碱性岩石;里特曼指数(σ) 为 $1.57 \sim 2.76$,显示岩石为钙碱性。根据 $w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) - w(\text{SiO}_2)$ 判别图解(图 9a),二长花岗岩、正长花岗岩与碱长花岗岩样品点均落入花岗岩区域,与岩相学观察特征基本一致;在 $w(\text{K}_2\text{O}) - w(\text{SiO}_2)$ 判别图解(图 9b)中,样品点均落入高钾钙碱性区域;在

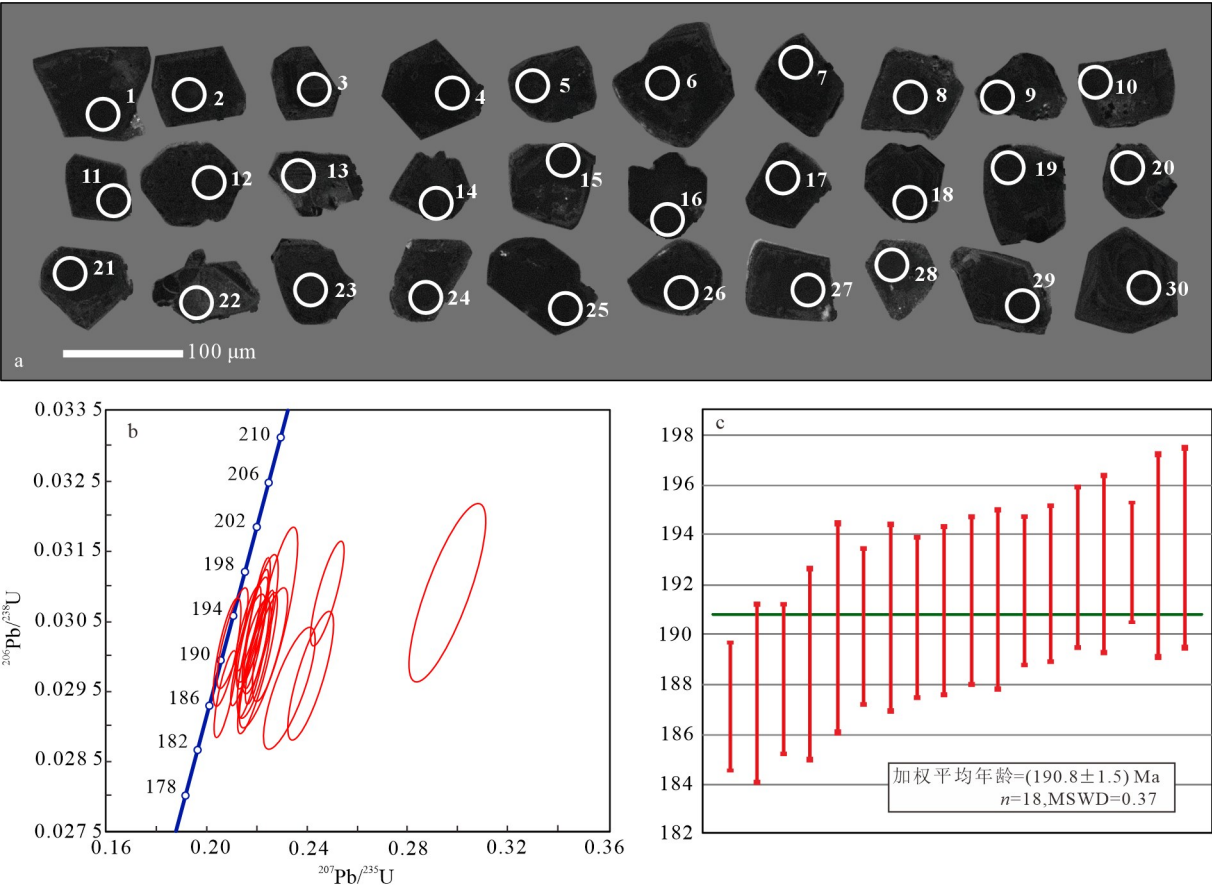


图 7 研究区正长花岗岩 (P17TC29) 锆石阴极发光图像 (a) 及年龄协和图 (b、c)

Fig.7 Zircon cathodeluminescence images (a) and U - Pb concordia diagrams (b、c) of the syenogranite (P17TC29) in the study area

A/NK - A/CNK 图解 (图 9c) 中, 样品落在准铝质—弱过铝质区域; $w(\text{K}_2\text{O}) - w(\text{Na}_2\text{O})$ 判别图 (图 9d) 上, 样品主要落在钾质区域。二长花岗岩、正长花岗岩与碱长花岗岩属准铝质—弱过铝质高钾钙碱性岩系。

4.2 微量元素

在微量元素特征 (表 2) 上, 二长花岗岩、正长花岗岩与碱性花岗岩稀土总量 $w(\sum\text{REE}) = (67.39 \sim 286.23) \times 10^{-6}$, 轻稀土元素总量为 $(47.40 \sim 257.67) \times 10^{-6}$, 重稀土元素总量为 $(7.47 \sim 28.56) \times 10^{-6}$, LREE/HREE 为 2.37~17.04, 轻稀土元素富集程度明显增高, 重稀土元素较为贫化。δEu=0.05~0.71, 钕具明显负异常, 说明源区有斜长石残留。稀土元素球粒陨石标准化配分曲线分布型式为轻稀土元素相对富集、重稀土元素相对亏损的右倾型 (图 10a), 其轻稀土元素配分曲线斜率较大, 表明轻稀土元素经历了较高的分异变化。微量元素原始地幔标准化蛛网图 (图 10b) 上表现出总体右倾趋势, 大离子亲石元素

Ba、Sr 和高场强元素 Nb、Ti、Eu、Ta 和 P 相对于其他不相容元素为负异常, 构成了 4 个明显的亏损槽。

5 讨论

5.1 岩石成因类型

研究区二长花岗岩、正长花岗岩及碱长花岗岩中出现暗色矿物黑云母, 显示具有 I 型花岗岩的特点; 从主量元素分析结果可以看出, 其具有准铝—弱过铝质岩石的特点, 属于高钾钙碱性系列的花岗岩。在 $w(\text{Al}_2\text{O}_3) - w(\text{SiO}_2)$ 、 $w(\text{P}_2\text{O}_5) - w(\text{SiO}_2)$ 判别图解 (图 11a、b) 中, 随着 $w(\text{SiO}_2)$ 的增高, Al 和 P 质量分数逐渐降低, 与 S 型花岗岩演化趋势具有明显差异^[30-32], 具有 I 型花岗岩的演化趋势。在 $w(\text{Ce}) - w(\text{SiO}_2)$ 判别图解 (图 11c) 中, 样品多数落在 I 型花岗岩区, 个别落在 A 型花岗岩区; 在 $w(\text{Na}_2\text{O}) - w(\text{K}_2\text{O})$ 判别图解 (图 11d) 中, 样品多数落在 A 型花岗岩区, 个别落在 I 型花岗岩区; 在 $w(\text{Y}) - w(\text{SiO}_2)$ 判别图解 (图 12a) 中, 样品落在 I 型

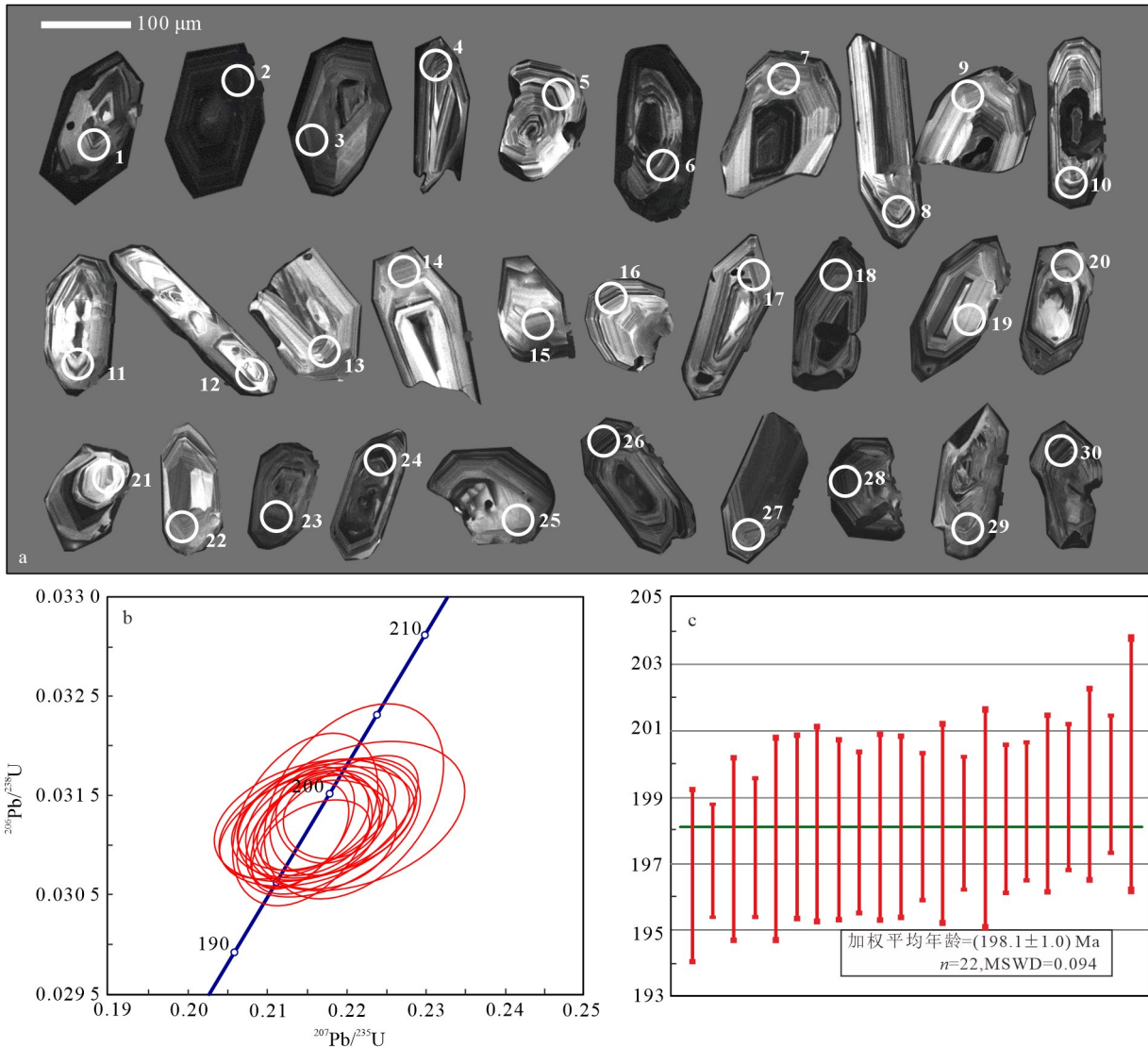


图 8 研究区碱长花岗岩 (P10TC1) 锆石阴极发光图像 (a) 及年龄协和图 (b、c)

Fig.8 Zircon cathodoluminescence images (a) and U - Pb concordia diagrams (b、c) of the alkali feldspar granite (P10TC1) in the study area

花岗岩区,在 $w(\text{Zr})-w(\text{SiO}_2)$ 判别图解 (图 12b) 中,样品多数落在 I 型花岗岩区,个别落在 A 型花岗岩区。综上所述,研究区花岗岩为准铝-弱过铝质、高钾钙碱性的 I 型花岗岩。

本次研究的早侏罗世二长花岗岩、正长花岗岩及碱长花岗岩具有高硅和贫钙、铁、镁的地球化学特征,在稀土元素球粒陨石标准化分布图解上,花岗岩均体现出轻稀土元素相对富集、重稀土元素相对亏损的“右倾”配分模式, Eu 具明显的负异常,说明在分馏作用中斜长石从岩浆分离出来或在部分熔融作用下斜长石残留在源区。岩石中 Yb 和 Y 的质量分数较高,说明残留相中没有石榴子石, P 和 Ti 元素的亏损,可能与磷灰石、榍石等含 P、Ti 矿物的分离

结晶作用有关; Nb、Ta 元素的强烈亏损,表明岩浆为地壳来源或受到地壳物质的混染^[35]; Nb 元素的负异常也是大陆地壳的特征,可能指示地壳物质参与了岩浆过程^[33]。二长花岗岩、正长花岗岩及碱长花岗岩的 Zr/Hf 值分别为 16.78~43.94 (均值为 31.04)、14.35~47.22 (均值为 25.36) 及 31.77~38. (均值为 35.21), 基本介于地幔均值 (30.74) 和地壳均值 (44.68) 之间, 接近于地幔值; Nb/Ta 值分别为 13.24~22.77 (均值为 19.37)、11.80~22.78 (均值为 16.01) 和 10.69~17.95 (均值为 14.50), 基本介于地壳均值 (12.30) 和地幔均值 (17.50) 之间, 个别大于地幔值。综上所述, 研究区花岗岩岩浆可能来源于壳幔混合源区。

表 2 研究区早侏罗世二长花岗岩、正长花岗岩、碱长花岗岩主量、稀土和微量元素分析结果表

Table 2 Analysis results table of main quantity, rare earth and trace elements of Early Jurassic monzogranite and syenograniteand alkali feldspar granite in the study area

岩石名称	样品编号	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	烧失量	总和	I _D
二长花岗岩	P18TC17	77.25	0.12	12.70	0.52	0.25	0.02	0.10	0.35	3.82	4.41	0.02	0.23	99.79	95.99
	P20TC2	76.55	0.11	12.73	0.79	0.25	0.04	0.13	0.49	3.68	5.06	0.02	0.46	100.31	95.56
	P9LT11	77.83	0.03	12.65	0.55	0.27	0.02	0.09	0.38	4.56	4.04	0.01	0.39	100.82	96.75
	P15TC3	74.39	0.23	13.52	1.26	0.56	0.06	0.30	0.65	4.36	4.48	0.06	0.11	99.98	93.33
	P15TC44	77.52	0.13	12.23	1.16	0.13	0.01	0.17	0.40	3.70	4.54	0.02	0.27	100.28	95.46
	P1TC55	71.67	0.44	13.58	2.56	0.64	0.10	0.83	1.55	3.64	3.94	0.13	0.63	99.71	85.39
	P17TC20	76.68	0.17	12.41	0.89	0.15	0.04	0.15	0.65	3.21	4.90	0.03	0.28	99.56	94.27
	P17TC45	75.54	0.22	12.53	1.06	0.14	0.05	0.28	0.71	3.49	4.94	0.04	0.86	99.86	94.01
	P3TC39	74.00	0.31	13.13	1.52	0.32	0.08	0.55	1.20	3.77	4.15	0.08	1.33	100.44	89.88
	P1TC102	73.39	0.22	13.65	1.59	0.71	0.06	0.04	0.69	4.09	5.07	0.12	0.75	100.38	93.40
	P17TC91	76.30	0.18	12.06	1.19	0.69	0.05	0.04	0.66	3.46	4.96	0.04	0.34	99.67	94.45
	P3TC128	73.37	0.27	13.62	1.81	0.99	0.06	0.03	0.95	4.43	4.50	0.07	0.21	99.80	91.96
	D12026	77.48	0.16	13.15	1.01	0.78	0.07	0.00	0.61	3.89	3.46	0.03	1.35	99.72	92.59
正长花岗岩	P15TC23	75.24	0.15	13.05	1.29	0.12	0.04	0.09	0.32	3.88	5.53	0.02	0.23	99.96	96.30
	P16TC12	74.07	0.26	14.09	0.97	0.77	0.10	0.37	0.52	4.14	4.33	0.05	0.14	99.81	92.33
	P16TC32	78.07	0.09	12.41	0.36	0.14	0.03	0.03	0.39	3.63	5.00	0.01	0.15	100.31	97.00
	P17TC27	77.14	0.09	12.92	0.43	0.10	0.02	0.03	0.49	4.17	4.47	0.01	0.28	100.15	96.45
	P17TC109	77.64	0.08	12.26	0.46	0.15	0.03	0.02	0.36	4.15	4.11	0.01	0.37	99.64	97.00
	P17TC156	77.27	0.09	12.05	0.48	0.15	0.05	0.10	0.31	3.68	4.81	0.01	0.56	99.56	97.10
	P18TC1	74.87	0.21	12.84	0.14	0.15	0.05	0.20	0.36	4.05	5.03	0.02	1.25	99.17	97.00
	P1TC29	76.87	0.10	12.19	1.05	0.17	0.04	0.04	0.44	3.84	4.58	0.02	0.47	99.81	96.04
	P20TC22	76.21	0.13	12.80	1.26	0.09	0.04	0.01	0.19	3.91	5.17	0.01	1.62	101.44	96.89
	D5507	76.78	0.11	12.07	0.75	0.39	0.04	0.10	0.47	3.34	5.43	0.02	0.83	100.33	96.12
碱长花岗岩	P6TC56	75.03	0.16	12.92	1.66	0.12	0.04	0.11	0.17	3.84	5.24	0.02	0.36	99.67	96.02
	P10TC15	77.55	0.36	11.72	0.91	0.14	0.01	0.14	0.12	1.41	7.17	0.03	0.24	99.80	96.20
	P10TC1	76.96	0.16	12.16	0.53	0.05	0.02	0.03	0.66	2.63	5.75	0.02	0.75	99.72	95.41
岩石名称	样品编号	AR	σ	A/CNK	A/MF	Na ₂ O+ K ₂ O	K ₂ O/ Na ₂ O	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
二长花岗岩	P18TC17	3.82	1.97	1.09	10.02	8.23	1.16	35.31	63.41	6.48	21.13	3.32	0.26	3.35	0.44
	P20TC2	3.51	2.27	1.02	7.48	8.74	1.38	13.33	33.38	3.12	10.04	2.03	0.23	1.73	0.30
	P9LT11	4.88	2.13	1.01	9.59	8.60	0.89	6.00	23.78	2.58	10.90	4.08	0.06	3.29	0.83
	P15TC3	4.19	2.49	1.03	4.26	8.84	1.03	39.05	143.36	8.50	28.97	5.26	0.42	4.92	0.73
	P15TC44	3.82	1.96	1.04	5.82	8.23	1.23	31.36	62.54	6.84	23.18	4.34	0.40	3.83	0.68
	P1TC55	2.86	2.00	1.04	2.16	7.58	1.08	31.21	60.80	6.76	23.98	4.27	0.94	3.83	0.63
	P17TC20	2.94	1.95	1.05	7.15	8.11	1.53	21.67	49.27	5.20	17.14	3.76	0.79	3.60	0.74
	P17TC45	3.23	2.18	1.01	5.59	8.43	1.41	26.66	64.62	7.14	27.38	5.77	0.62	4.90	0.88
	P3TC39	3.22	2.01	1.02	3.48	7.92	1.10	34.99	73.61	7.32	26.45	4.76	0.83	4.19	0.68
	P1TC102	3.65	2.76	1.01	4.34	9.16	1.24	25.50	46.10	5.61	21.86	3.73	0.77	3.73	0.69
	P17TC91	3.39	2.13	0.98	4.66	8.43	1.43	27.35	55.21	6.46	22.42	4.44	0.33	4.57	0.83
	P3TC128	2.13	2.62	0.98	3.58	8.93	1.02	46.43	106.70	12.74	41.56	7.69	0.56	7.44	1.19
	D12026	3.29	1.57	1.17	5.47	7.35	0.89	40.56	65.98	7.50	24.81	4.09	0.62	4.522	0.64

续表 2

岩石名称	样品编号	AR	σ	A/CNK	A/MF	Na ₂ O+ K ₂ O	K ₂ O/ Na ₂ O	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
正长花岗岩	P15TC23	3.77	2.74	1.01	6.44	9.41	1.43	37.56	141.63	10.08	37.96	7.26	0.20	6.31	1.09
	P16TC12	3.61	2.31	1.13	4.30	8.47	1.05	43.31	88.85	9.42	36.16	6.37	1.38	5.52	0.83
	P16TC32	3.62	2.12	1.03	16.67	8.63	1.38	14.65	36.80	4.14	13.85	3.50	0.13	3.11	0.69
	P17TC27	4.30	2.19	1.03	16.73	8.64	1.07	13.83	26.15	3.72	12.12	2.73	0.28	2.11	0.41
	P17TC109	4.79	1.96	1.03	14.34	8.26	0.99	15.12	25.17	3.53	11.02	2.33	0.14	1.99	0.40
	P17TC156	3.94	2.10	1.02	11.24	8.49	1.31	17.15	38.98	3.72	11.49	2.22	0.24	2.01	0.38
	P18TC1	4.19	2.57	1.01	14.22	9.08	1.24	38.68	88.48	9.97	38.05	7.95	0.742	6.6	1.12
	P1TC29	4.10	2.09	1.01	7.31	8.42	1.19	18.48	34.13	3.89	14.11	2.74	0.257	2.86	0.53
	P20TC22	4.03	2.48	1.03	7.28	9.08	1.32	22.04	60.85	5.43	20.77	3.65	0.126	3.91	0.63
碱长花岗岩	D5507	3.27	2.27	0.99	6.82	8.77	1.63	29.65	49.83	4.89	15.44	2.08	0.125	2.45	0.38
	P6TC56	3.85	2.57	1.05	5.06	9.09	1.36	35.71	72.02	8.57	30.31	5.24	0.18	4.58	0.73
	P10TC15	6.27	2.13	1.14	6.85	8.58	5.10	65.64	126.75	13.19	43.27	8.23	0.59	8.13	1.16
	P10TC1	2.39	2.06	1.04	15.04	8.38	2.19	40.91	75.45	7.64	22.51	3.27	0.383	4.62	0.46
岩石名称	样品编号	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	LREE/ HREE	δEu	Rb	Sr
二长花岗岩	P18TC17	2.58	0.53	1.50	0.28	1.87	0.33	17.77	140.79	129.91	10.88	11.94	0.24	192.59	29.92
	P20TC2	1.96	0.40	1.14	0.21	1.46	0.27	12.16	69.61	62.13	7.47	8.32	0.38	162.70	39.00
	P9LT11	6.66	1.26	3.24	0.58	3.52	0.60	39.09	67.39	47.40	19.99	2.37	0.05	104.98	32.90
	P15TC3	4.19	0.81	2.39	0.42	2.43	0.48	24.46	241.93	225.56	16.37	13.78	0.25	165.95	68.04
	P15TC44	4.66	1.00	2.77	0.54	3.28	0.61	31.99	146.02	128.66	17.37	7.41	0.30	165.77	31.34
	P1TC55	4.06	0.80	2.24	0.42	2.43	0.48	25.64	142.85	127.97	14.88	8.60	0.71	171.97	182.16
	P17TC20	5.59	1.13	3.15	0.60	3.56	0.65	35.35	116.84	97.81	19.03	5.14	0.65	139.08	93.57
	P17TC45	6.48	1.25	3.30	0.62	3.32	0.60	41.16	153.53	132.19	21.34	6.19	0.36	110.74	73.93
	P3TC39	4.56	0.89	2.52	0.47	2.65	0.53	29.73	164.46	147.96	16.50	8.97	0.57	134.64	148.23
	P1TC102	4.26	0.85	2.38	0.35	2.33	0.36	21.01	118.53	103.58	14.95	6.93	0.63	150.42	88.56
	P17TC91	5.69	1.27	3.89	0.58	4.03	0.63	30.31	137.72	116.23	21.50	5.41	0.23	225.45	68.69
	P3TC128	6.31	1.33	4.00	0.55	3.59	0.57	26.78	240.66	215.68	24.98	8.63	0.23	175.62	121.34
	D12026	3.29	0.69	2.15	0.32	2.30	0.35	18.78	157.84	143.57	14.27	10.06	0.44	115.72	131.69
正长花岗岩	P15TC23	7.27	1.44	4.11	0.72	4.34	0.76	42.50	260.72	234.69	26.03	9.02	0.09	150.04	41.82
	P16TC12	5.16	1.04	2.76	0.50	2.69	0.53	31.66	204.52	185.49	19.03	9.75	0.71	115.22	116.24
	P16TC32	5.90	1.25	3.39	0.67	4.17	0.70	42.42	92.95	73.07	19.88	3.68	0.12	181.17	8.40
	P17TC27	3.03	0.61	1.70	0.38	2.35	0.43	17.27	69.86	58.83	11.03	5.33	0.35	123.95	17.68
	P17TC109	3.00	0.63	1.92	0.42	2.53	0.51	21.77	68.70	57.30	11.40	5.03	0.20	164.01	5.51
	P17TC156	2.70	0.62	1.88	0.43	2.62	0.54	19.57	84.98	73.80	11.18	6.60	0.34	140.04	9.09
	P18TC1	7.46	1.46	3.83	0.66	3.84	0.68	47.45	209.54	183.87	25.66	7.17	0.31	156.55	32.62
	P1TC29	3.26	0.69	2.08	0.36	2.54	0.35	25.09	86.29	73.61	12.68	5.80	0.28	183.79	17.60
	P20TC22	3.73	0.79	2.22	0.41	2.59	0.44	23.25	127.60	112.88	14.73	7.67	0.10	152.59	26.89
碱长花岗岩	D5507	2.26	0.50	1.99	0.36	2.66	0.482	17.14	113.18	102.02	11.17	9.14	0.17	179.91	16.50
	P6TC56	4.46	0.86	2.46	0.43	2.42	0.47	24.98	168.44	152.03	16.41	9.27	0.11	143.50	18.49
	P10TC15	7.524	1.57	4.22	0.76	4.38	0.82	47.77	286.23	257.67	28.56	9.02	0.22	166.50	20.24
	P10TC1	1.33	0.27	0.91	0.12	0.93	0.16	7.64	158.98	150.17	8.82	17.04	0.30	150.85	82.11

续表 2

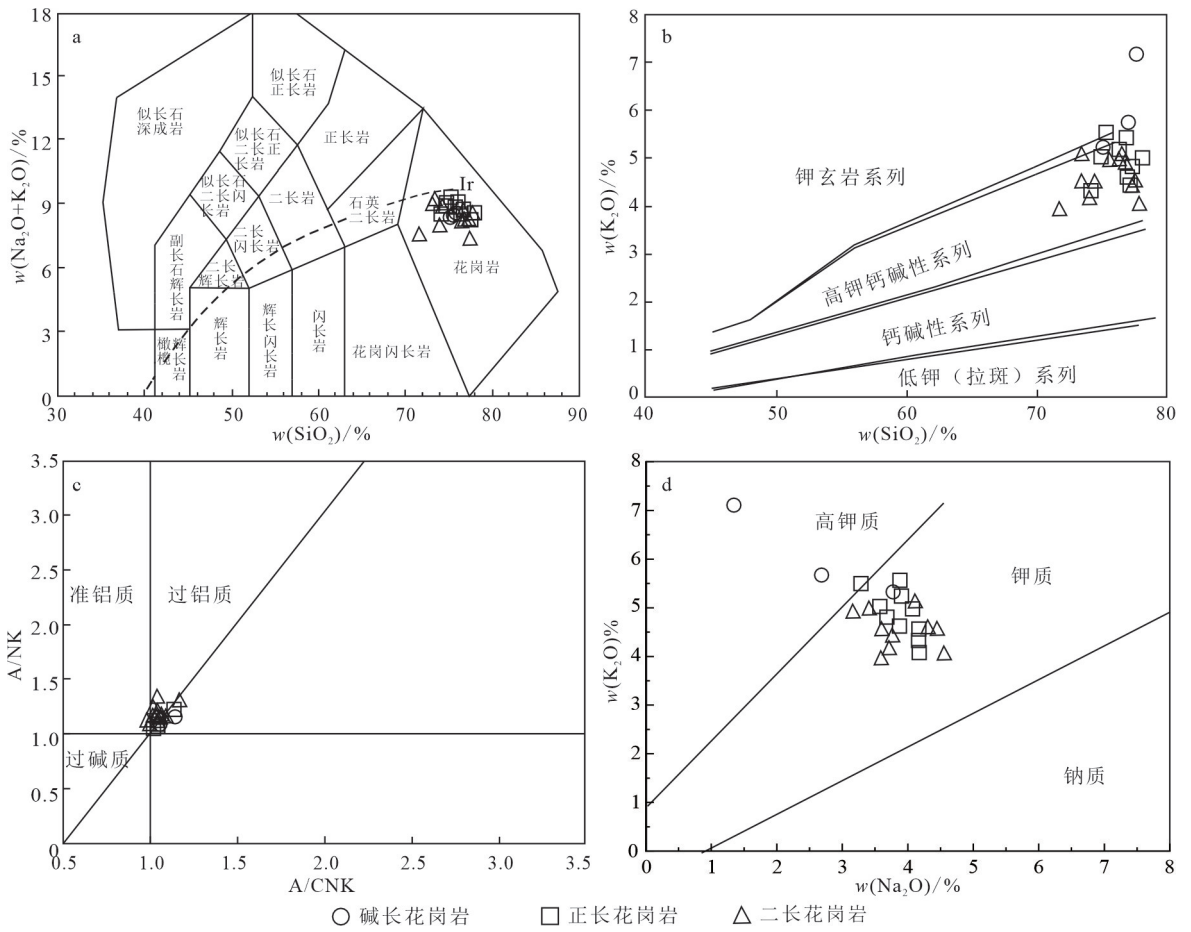
岩石名称	样品编号	Ba	Th	U	Nb	Ta	Zr	Hf	Co	Ni	V	Sc	Li	Cs	Ga
二长花岗岩	P18TC17	65.06	24.49	3.19	46.25	3.75	112.16	5.08	0.64	17.50	4.71	2.19	6.41	1.12	19.72
	P20TC2	93.62	27.97	3.28	37.78	3.20	105.03	5.01	0.84	8.63	4.20	2.66	7.06	2.10	16.67
	P9LT11	45.36	31.15	10.03	61.97	5.23	96.50	5.75	0.31	2.14	2.56	3.55	1.83	0.27	21.46
	P15TC3	165.89	25.22	4.48	28.72	1.60	266.26	7.42	1.30	6.81	8.47	4.12	32.33	3.29	17.92
	P15TC44	156.16	20.25	2.28	15.97	1.18	104.01	3.76	0.65	1.59	7.25	2.05	12.33	2.30	13.05
	P1TC55	565.47	16.15	4.39	14.65	1.13	171.11	4.96	2.01	1.80	48.65	7.48	16.01	6.63	16.54
	P17TC20	585.79	21.78	9.71	22.89	2.14	111.01	3.83	1.90	15.14	7.53	1.85	10.78	1.79	12.30
	P17TC45	304.53	9.89	1.95	14.06	0.96	119.53	4.41	1.05	1.27	9.35	2.53	10.21	1.22	15.55
	P3TC39	499.28	18.61	3.14	17.91	1.27	158.25	4.21	2.73	9.89	23.16	4.77	29.66	2.87	14.95
	P1TC102	784.08	7.87	1.74	18.13	1.12	168.76	3.84	0.80	1.84	9.89	4.78	29.02	4.62	18.96
	P17TC91	306.91	27.95	4.41	28.48	1.94	128.48	4.23	1.48	1.39	11.28	3.18	23.72	3.15	17.57
	P3TC128	384.56	25.13	3.73	26.97	1.79	275.69	7.40	1.89	1.94	11.39	3.52	25.33	4.38	18.70
	D12026	593.18	18.81	3.97	20.61	1.34	146.19	3.61	0.92	2.12	4.68	2.49	8.16	2.06	14.20
正长花岗岩	P15TC23	99.10	12.99	2.76	38.51	1.69	288.44	9.10	1.07	8.67	3.97	4.82	3.73	1.94	18.72
	P16TC12	716.65	11.87	2.94	16.34	0.85	285.25	6.04	2.36	8.98	6.26	4.73	21.29	5.54	19.01
	P16TC32	29.47	33.47	7.39	31.73	2.46	71.18	4.43	0.70	13.28	4.06	1.93	9.16	4.30	16.32
	P17TC27	82.40	23.67	4.09	30.09	2.33	68.28	4.42	0.39	3.02	5.16	2.57	6.64	1.87	16.59
	P17TC109	36.20	32.06	4.07	34.83	2.23	54.71	3.81	0.36	4.17	4.10	1.94	6.73	3.57	17.00
	P17TC156	49.42	28.82	3.22	34.41	1.89	48.66	3.22	0.36	4.84	3.17	3.42	8.97	2.48	16.94
	P18TC1	346.52	12.99	2.52	18.66	0.91	253.8	7.44	0.17	2.73	3.79	6.24	11.73	2.23	16.45
	P1TC29	94.71	15.21	2.71	26.45	2.17	60.91	2.67	0.85	2.28	6.42	2.03	9.23	3.20	15.86
	P20TC22	74.40	10.14	2.33	39.13	1.75	264.66	8.18	0.69	4.54	4.01	3.59	4.75	1.95	18.77
碱长花岗岩	D5507	35.19	27.13	9.36	30.13	1.95	107.62	4.40	0.55	1.38	3.84	2.11	7.37	1.47	16.89
	P6TC56	86.32	10.59	2.12	32.11	1.41	251.94	7.93	2.87	6.49	8.11	4.29	4.85	1.98	17.07
	P10TC15	107.67	14.45	3.46	44.50	2.02	665.72	17.42	0.11	2.28	10.44	4.78	12.88	1.72	18.88
	P10TC1	300.25	20.73	5.62	10.33	0.78	104.51	2.93	0.62	6.39	12.53	2.26	9.73	1.44	13.42

注:主元素质量分数单位为%;稀土与微量元素质量分数单位为 10^{-6} ;A/MF. 为三氧化二铝与全铁加氧化镁质量分数之和的比值。

5.2 构造背景及地质意义

关于区域构造背景前人提出不同的观点。吉黑东部—朝鲜半岛北端的早侏罗世陆缘钙碱性火成岩到小兴安岭—张广才岭—辽东半岛地区的典型双峰式火山岩组合,为古太平洋板块向欧亚大陆下俯冲形成的活动大陆边缘环境和弧后伸展环境,进一步说明古太平洋板块向欧亚大陆下的俯冲作用始于早侏罗世^[8,20,44];赋存在早侏罗世似斑状花岗闪长岩内的新安屯钨钼矿床,属于太平洋板块俯冲作用下的活动大陆边缘构造环境下的产物^[45];松嫩地块上的早侏罗世斑岩型、夕卡岩型等矿床受控于松嫩地块与佳木斯地块碰撞拼合和古太平洋板块俯冲的构

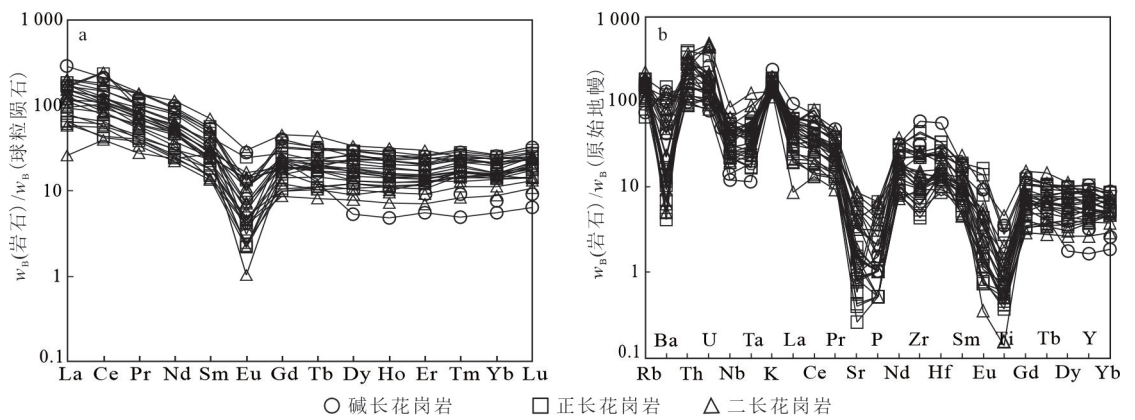
造背景^[46];张广才岭南部中侏罗世似斑状二长花岗岩形成于同碰撞构造环境,成岩构造环境与佳木斯地块和松嫩地块碰撞拼合作用密切相关^[47];小兴安岭平顶山一带早侏罗世花岗岩类为松嫩地块与佳木斯地块沿嘉荫—牡丹江缝合带碰撞拼合后伸展环境下的产物,岩浆起源于下地壳火成岩物质的部分熔融^[48];额尔古纳地块的西缘也存在一套早、中侏罗世二长花岗岩与正长花岗岩组合,为活动陆缘的构造背景^[18,48]。这也在额尔古纳地块中早侏罗世(185 Ma)钙碱性火山岩的发现中得到证实^[49],这种活动陆缘背景应是蒙古—鄂霍茨克洋向额尔古纳地块之下俯冲作用的结果^[11];早白垩世花岗岩构造环



a 底图据文献[39];b 底图据文献[40];c、d 底图据文献[41]。

图 9 研究区花岗岩 $w(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-w(\text{SiO}_2)$ 图解(a)、 $w(\text{K}_2\text{O})-w(\text{SiO}_2)$ 图解(b)、 $\text{A}/\text{NK}-\text{A}/\text{CNK}$ 图解(c)和 $w(\text{K}_2\text{O})-w(\text{Na}_2\text{O})$ 图解(d)

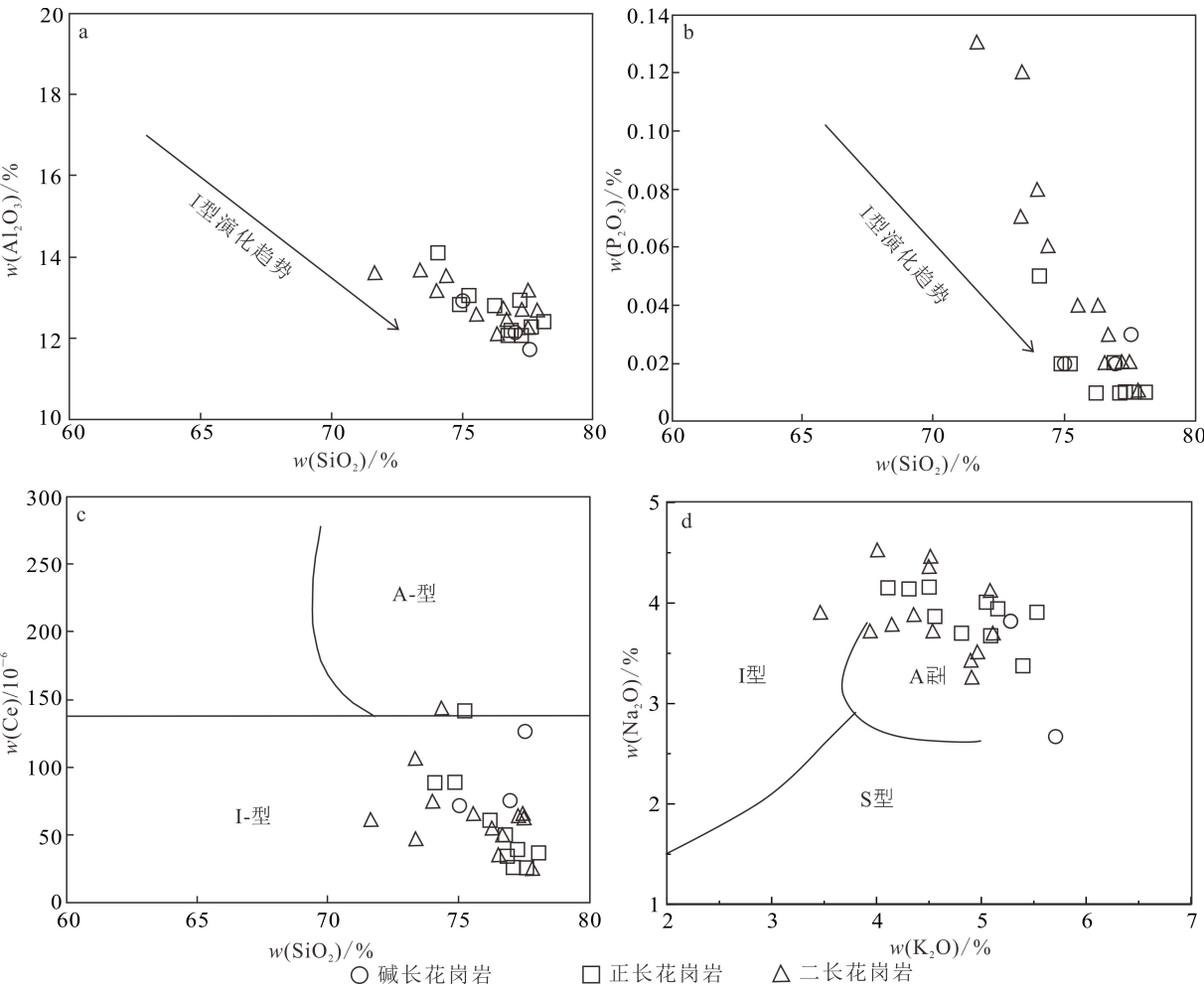
Fig.9 $w(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-w(\text{SiO}_2)$ diagram (a), $w(\text{K}_2\text{O})-w(\text{SiO}_2)$ diagram (b), $\text{A}/\text{NK}-\text{A}/\text{CNK}$ diagram (c) and $w(\text{K}_2\text{O})-w(\text{Na}_2\text{O})$ diagram (d) of granite in the study area



球粒陨石数据和原始地幔数据据文献[42]。

图 10 研究区花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分图(a)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)

Fig.10 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive-mantle-normalized trace element diagrams (b) of granite in the study area



底图据文献[43]。

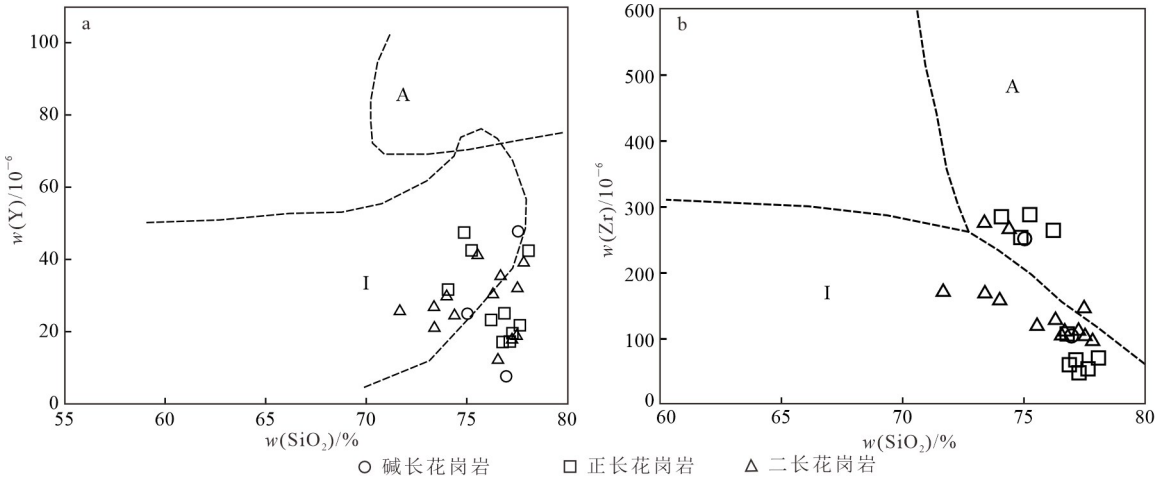
图 11 研究区花岗岩 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)-w(\text{SiO}_2)$ (a)、 $w(\text{P}_2\text{O}_5)-w(\text{SiO}_2)$ (b)、 $w(\text{Ce})-w(\text{SiO}_2)$ (c) 和 $w(\text{Na}_2\text{O})-w(\text{K}_2\text{O})$ (d) 判别图解

Fig.11 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)-w(\text{SiO}_2)$ diagram (a), $w(\text{P}_2\text{O}_5)-w(\text{SiO}_2)$ diagram (b), $w(\text{Ce})-w(\text{SiO}_2)$ diagram (c) and $w(\text{Na}_2\text{O})-w(\text{K}_2\text{O})$ diagram (d) of granite in the study area

境形成于蒙古—鄂霍茨克洋闭合造山后的伸展环境^[50-52]。

区域大地构造属于兴蒙造山系(I级)、小兴安岭—张广才岭岩浆弧(Ⅱ级)、伊春—延寿岩浆弧(Ⅲ级)。该地区经历了古亚洲洋扩张、萎缩、陆缘增生演化阶段和古太平洋板块活动阶段及滨太平洋大陆边缘活动阶段3个主要的构造发展阶段^[19]。中三叠世以来全省进入了古太平洋陆缘发展演化阶段,晚三叠世—早侏罗世小兴安岭—张广才岭以强烈的陆缘岩浆弧型侵入岩的侵入作用为特征,构成了著名的伊春—延寿花岗岩带。黑龙江省中生代受古太平洋、鄂霍茨克洋构造域控制。蒙古鄂霍茨克构造体系在黑龙江省影响的空间范围主要在大兴安岭和

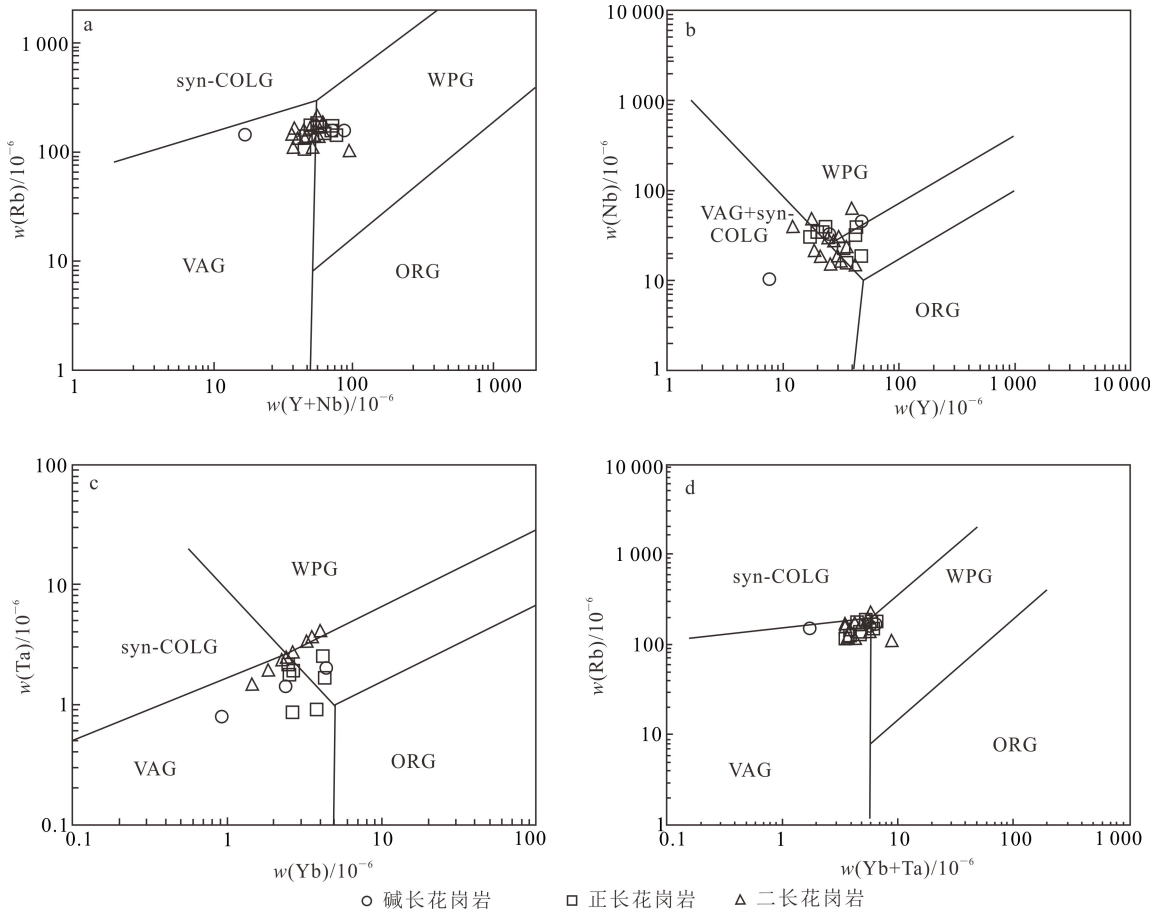
松辽盆地以西地区,小兴安岭—张广才岭及东部地区属古太平洋构造域^[18]。在 $w(\text{Rb})-w(\text{Y}+\text{Nb})$ 构造判别图解(图13a)上,花岗岩样品点均落入火山弧花岗岩和板内花岗岩的交汇区域;在 $w(\text{Nb})-w(\text{Y})$ 构造判别图解(图13b)上,样品点落在板内花岗岩和火山弧花岗岩+同碰撞花岗岩的交汇区域;在 $w(\text{Ta})-w(\text{Yb})$ 构造判别图解(图13c)上,样品均落入火山弧花岗岩和板内花岗岩的交汇区域;在 $w(\text{Rb})-w(\text{Yb}+\text{Ta})$ 构造判别图解(图13d)上,样品点均落入板内花岗岩和火山弧花岗岩的交汇区域内,主要落在火山弧花岗岩区域。研究区所有样品都表现出负Nb异常,且其他高场强元素相对亏损,呈现出与俯冲有关的岩浆特征,也可见于以岛弧物



底图据文献[43]。

图 12 研究区花岗岩 $w(Y)-w(SiO_2)$ (a) 和 $w(Zr)-w(SiO_2)$ (b) 判别图解

Fig.12 $w(Y)-w(SiO_2)$ diagram (a) and $w(Zr)-w(SiO_2)$ diagram (b) of granite in the study area



WPG. 板内花岗岩; ORG. 洋脊花岗岩; VAG. 火山弧花岗岩; syn-COLG. 同碰撞花岗岩。底图据文献[53-54]。

图 13 研究区花岗岩 $w(Rb)-w(Y+Nb)$ (a)、 $w(Nb)-w(Y)$ (b)、 $w(Ta)-w(Yb)$ (c) 和 $w(Rb)-w(Yb+Ta)$ (d) 构造判别图解

Fig.13 $w(Rb)-w(Y+Nb)$ diagram (a)、 $w(Nb)-w(Y)$ diagram (b)、 $w(Ta)-w(Yb)$ diagram (c) and $w(Rb)-w(Yb+Ta)$ diagram (d) of granite in the study area

质为物源的壳源花岗岩中^[33-35]。综上所述,研究区花岗岩岩浆可能来源于壳幔混合源区,构造环境为古太平洋板块向欧亚大陆下俯冲形成的活动大陆边缘环境。

6 结论

1)本文对研究区二长花岗岩、正长花岗岩及碱长花岗岩样品进行了 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年,同位素年龄分别为 (191.4 ± 1.1) 、 (202.6 ± 1.0) 、 (190.8 ± 1.5) 及 (198.1 ± 1.0) Ma,时代为早侏罗世。

2)花岗岩为准铝质—弱过铝质高钾钙碱性的 I 型花岗岩。

3)研究区早侏罗世花岗岩的构造环境为古太平洋板块向欧亚大陆俯冲形成的活动大陆边缘环境。

致谢:黑龙江省第十一地质勘查院王雪松等为本文提供资料,这里表示感谢!

参考文献(References):

[1] 陈会军,付俊彧,钱程,等.东北地区前中生代花岗岩类年龄与时空分布[J].地质通报,2021,40(6):827-844.
Chen Huijun, Fu Junyu, Qian Cheng, et al. Chronology and Spatiotemporal Distribution of Pre-Mesozoic Granites in Northeast China[J]. Geological Bulletin of China, 2021, 40(6): 827-844.

[2] 杜庆祥,伍赛男,张永,等.内蒙古北山造山带圆包山—希热哈达地区白山组火山岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及对古亚洲洋俯冲作用的启示[J].地质通报,2023,42(11):1875-1893.
Du Qingxiang, Wu Sainan, Zhang Yong, et al. Zircon U-Pb Ages and Geochemistry of Volcanic from the Baishan Formation in the Yuanbaoshan-Xirehada Area in Beishan Orogenic Collage, Inner Mongolia, NW China, and Implications for the Subduction History of the Paleo-Asian[J]. Geological Bulletin of China, 2023, 42(11): 1875-1893.

[3] 佟鑫,施建荣,王惠初,等.内蒙古固阳地区角闪石等矿物分离结晶形成的新太古代 TTG 片麻岩:来自元素地球化学和热力学模拟的证据[J].吉林大学学报(地球科学版),2023,53(6):1734-1759.
Tong Xin, Shi Jianrong, Wang Huichu, et al. Neoproterozoic TTG Gneisses Generated Through Amphibole-Dominated Fractionation in Guyang, Inner Mongolia: Evidence from Elemental Geochemistry and Thermodynamic Modelling [J]. Journal of Jilin

University(Earth Science Edition), 2023, 53(6): 1734-1759.

[4] 雷聪聪,薄海军,丁海生,等.内蒙古雅干地区晚石炭世白山组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造环境[J].地质通报,2023,42(12):2096-2108.
Lei Congcong, Bo Haijun, Ding Haisheng, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb Dating and Tectonic Setting of Volcanic Rocks from Baishan Formation in Late Carboniferous in Yagan Area, Inner Mongolia [J]. Geological Bulletin of China, 2023, 42(12): 2096-2108.

[5] 张坤,史冬岩,常翔鲲,等.伸展背景下的埃达克质岩:黑龙江呼玛地区早白垩世侵入岩的年代学和地球化学特征[J].吉林大学学报(地球科学版),2023,53.doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20230059.
Zhang Kun, Shi Dongyan, Chang Xiangkun, et al. Adakitic-Like Rocks in Extensional Setting: Chronological and Geochemical Characteristics of Early Cretaceous Intrusive Rocks in Huma Area, Heilongjiang Province[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2023, 53.doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20230059.

[6] 李猛兴,王丽娟,张利明,等.兴安地块南段霍布林岩体成因及其对蒙古-鄂霍茨克洋演化的启示[J].地质通报,2023,42(9):1541-1555.
Li Mengxing, Wang Lijuan, Zhang Liming, et al. Petrogenesis of the Huobulin Granite in Southern Part of the Xing'an Block and Its Insight into the Evolution of the Mongol-Okhotsk Ocean[J]. Geological Bulletin of China, 2023, 42(9): 1541-1555.

[7] 刘宇崑,杜兵盈.张广才岭南部歪鼻子组火山岩形成时代及其古洋盆俯冲地质记录[J/OL].地质通报,2024: 1-12[2024-06-24]. <https://link.cnki.net/urlid/11.4648.P.20240412.1713.008>.

Liu Yuwei, Du Bingying. Age of Volcanic Rocks of the Waibizi Formation in the Southern Zhangguangcai Range and Their Paleo-Oceanic Subduction Geological Records[J/OL]. Geological Bulletin of China, 2024: 1-12[2024-06-24]. <https://link.cnki.net/urlid/11.4648.P.20240412.1713.008>.

[8] 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.

508 - 520.

- [9] 李锦轶, 牛宝贵, 宋彪. 长白山北段地壳的形成与演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1999: 1 - 136.
Li Jinyi, Niu Baogui, Song Biao. Crustal Formation and Evolution of Northern Changbai Mountains, Northeast China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 1 - 136.
- [10] Wu F Y, Sun D Y, Li H M, et al. A-Type Granites in Northeastern China: Age and Geochemical Constraints on Their Petrogenesis [J]. Chemical Geology, 2002, 187(1/2): 143 - 173.
- [11] 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, 2007, 16(1): 156 - 172.
- [12] Li J Y. Permian Geodynamic Setting of Northeast China and Adjacent Regions: Closure of the Paleo-Asian Ocean and Subduction of the Paleo-Pacific Plate [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2006, 26(3/4): 207 - 224.
- [13] 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.
- [14] Meng E, Xu W L, Pei F P, et al. Detrital-Zircon Geochronology of Late Paleozoic Sedimentary Rocks in Eastern Heilongjiang Province, NE China: Implications for the Tectonic Evolution of the Eastern Segment of the Central Asian Orogenic Belt [J]. Tectonophysics, 2010, 485(1/2/3/4): 42 - 51.
- [15] Wang F, Xu W L, Meng E, et al. Early Paleozoic Amalgamation of the Songnen-Zhangguangcai Range and Jiamusi Massifs in the Eastern Segment of the Central Asian Orogenic Belt: Geochronological and Geochemical Evidence from Granitoids and Rhyolites [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 49: 234 - 248.
- [16] Wang F, Xu W L, Gao F H, et al. Tectonic History of the Zhangguangcailing Group in Eastern Heilongjiang Province, NE China: Constraints from U - Pb Geochronology of Detrital and Magmatic Zircons [J]. Tectonophysics, 2012, 566/567: 105 - 122.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 尹志刚, 庞学昌, 王春生, 等. 小兴安岭南端早侏罗世二长花岗岩形成时代、地球化学特征及地质意义 [J]. 地质通报, 2020, 39(1): 27 - 39.
Yin Zhigang, Pang Xuechang, Wang Chunsheng, et al. Formation Age, Geochemical Characteristics and Geological Significance of the Early Jurassic Monzonitic Granites in Southern Xiao Hinggan Mountains [J]. Geological Bulletin of China, 2020, 39(1): 27 - 39.
- [21] 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.
- [22] Jahn B M, Wu F Y, Chen B. Massive Granitoid Generation in Central Asia: Nd Isotope Evidence and Implication for Continental Growth in the Phanerozoic [J]. Episodes, 2000, 23(2): 82 - 92.
- [23] 吴福元, Wilde S A, 孙德有. 佳木斯地块片麻状花岗岩的锆石离子探针 U - Pb 年龄 [J]. 岩石学报, 2001, 17(3): 443 - 452.
Wu Fuyuan, Wilde S A, Sun Deyou. Zircon SHRIMP U - Pb Ages of Gneissic Granites in Jiamusi Massif, Northeastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(3): 443 - 452.
- [24] David L, Wolf M B, Morgan G B, et al. Experimental Silicate-Phosphate Equilibria in Peraluminous Granitic Magmas, with a Case Study of the Albuquerque Batholith at Tres Arroyos, Badajoz, Spain [J]. Journal of Petrology, 1999, 40: 215 - 240.
- [25] Broska I, Williams C T, Uher P, et al. The

- Geochemistry of Phosphorus in Different Granite Suites of the Western Carpathians, Slovakia; The Role of Apatite and P-Bearing Feldspar [J]. *Chem Geol*, 2004, 205: 1 - 15.
- [25] 邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 等. 岩石成因、构造环境与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- Deng Jinfu, Luo Zhaohua, Su Shangguo, et al. *Petrogenesis, Tectonic Environment and Mineralization* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004.
- [26] 李佐臣, 裴先治, 李瑞保, 等. 西秦岭糜署岭花岗岩体年代学、地球学特征及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2013, 29(8): 2617 - 2634.
- Li Zuochen, Pei Xianzhi, Li Ruibao, et al. LA - ICP - MS Zircon U - Pb Dating, Geochemistry of the Mishuling Intrusion in Western Qinling and Their Tectonic Significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(8): 2617 - 2634.
- [27] Briquieu L, Bougault H, Joron J L, et al. Quantification of Nb, Ta, Ti and V Anomalies in Magmas Associated with Subduction Zones: Petrogenetic Implications [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1984, 68(2): 297 - 308.
- [28] Ma C Q, Li Z C, Ehlers C, et al. A Post-Collisional Magmatic Plumbing System: Mesozoic Granitoid Plutons from the Dabieshan High-Pressure and Ultrahigh-Pressure Metamorphic Zone, East-Central China[J]. *Lithos*, 1998, 45(14): 431 - 456.
- [29] 赵克强, 孙景贵, 程琳, 等. 内蒙古白土营子钼矿床成矿年代学及成矿流体特征[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2023, 53(3): 822 - 839.
- Zhao Keqiang, Sun Jinggui, Cheng Lin, et al. Geochronology and Ore-Forming Fluid Characteristics of Baituyingzi Molybdenum Deposit, Inner Mongolia [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2023, 53(3): 822 - 839.
- [30] 吴福元, 杨进辉, 柳小明. 辽东半岛中生代花岗质岩浆作用的年代学格架[J]. *高校地质学报*, 2005, 11(3): 305 - 317.
- Wu Fuyuan, Yang Jinhui, Liu Xiaoming. Geochronological Framework of the Mesozoic Granitic Magmatism in the Liaodong Peninsula, Northeast China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2005, 11(3): 305 - 317.
- [31] 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.
- [32] 张艳斌, 吴福元, 李惠民, 等. 吉林黄泥岭花岗岩体的单颗粒锆石 U - Pb 年龄[J]. *岩石学报*, 2002, 18(4): 475 - 481.
- Zhang Yanbin, Wu Fuyuan, Li Huimin, et al. Single Grain Zircon U - Pb Ages of the Huangniling Granite in Jilin Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(4): 475 - 481.
- [33] 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[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2004, 34(2): 174 - 181.
- [34] 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.
- [35] 孙德有, 铃木和博, 吴福元, 等. 吉林省南部荒沟山地区中生代花岗岩 CHIME 定年[J]. *地球化学*, 2005, 34(4): 305 - 314.
- Sun Deyou, Suzuki K, Wu Fuyuan, et al. CHIME Dating and Its Application for Mesozoic Granites of Huanggoushan, Jilin Province[J]. *Geochimica*, 2005, 34(4): 305 - 314.
- [36] 徐美君, 许文良, 王枫, 等. 小兴安岭中部早侏罗世花岗质岩石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.
- [37] Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. Reappraisal and Refinement of Zircon U - Pb Isotope and Trace Element Analyses by LA - ICP - MS[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(15): 1535 - 1546.
- [38] Ludwig K R. ISOPLOT 3.0: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley: Berkeley

- Geochronology Center Special Publication, 2003.
- [39] Middlemost E. Naming Materials in the Magma/Igneous Rock System [J]. *Earth-Science Reviews*, 1994, 37(3/4): 215 - 224.
- [40] Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey [J]. *Contributions to Mineralogy & Petrology*, 1976, 58(1): 63 - 81.
- [41] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic Discrimination of Granitoids [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1989. Doi: 10.1130/0016 - 7606(1989)1012.3.CO;2.
- [42] Sun S S, Mc Donough W F. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes [J]. *Geological Society Special Publication*, 1989, 42: 313 - 345.
- [43] 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(2): 189 - 200.
- [44] 裴福萍, 许文良, 孟恩, 等. 古太平洋俯冲作用的开始: 来自吉黑东部早—中侏罗世火山岩的年代学及地球化学证据[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2008, 27(增刊 1): 268.
- Pei Fuping, Xu Wenliang, Meng En, et al. The Beginning of the Paleo Pacific Plate Subduction: Geochronological and Geochemical Evidence from the Early-Middle Jurassic Volcanic Rocks in the Eastern of Jilin and Heilongjiang Provinces [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2008, 27 (Sup.1): 268.
- [45] 王存柱, 高全, 任龙, 等. 吉林省蛟河市新安屯钨钼矿流体包裹体、氢氧同位素及成矿时代研究[J]. *地质与勘探*, 2019, 55(3): 673 - 684.
- Wang Cunzhu, Gao Quan, Ren Long, et al. Fluid Inclusions, H - O Isotope and Metallogenic Epoch of the Xin'antun W - Mo Deposit in Jiaohe City, Jilin Province [J]. *Geology and Exploration*, 2019, 55(3): 673 - 684.
- [46] 杜兵盈, 刘飞, 刘勇, 等. 黑龙江省中东部地区二叠纪—早侏罗世洋陆演化过程及成矿动力学背景探讨[J]. *地质论评*, 2022, 68(2): 431 - 451.
- Du Bingying, Liu Fei, Liu Yong, et al. Permian-Early Jurassic Ocean-Continent Evolution and Metallogenic Dynamic Setting in the Central and Eastern Part of Heilongjiang Province [J]. *Geological Review*, 2022, 68(2): 431 - 451.
- [47] 张国宾, 陈兴凯, 赵越, 等. 张广才岭南部中侏罗世似斑状二长花岗岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2022, 52(6): 1907 - 1925.
- Zhan Guobin, Chen Xingkai, Zhao Yue, et al. Geochronology, Geochemistry and Geological Significance of the Middle Jurassic Porphyritic Monzogranite in the Southern Zhangguangcai Range, Heilongjiang Province [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2022, 52(6): 1907 - 1925.
- [48] 尹志刚, 宫兆民, 王春生, 等. 小兴安岭平顶山一带早侏罗世花岗岩类年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2021, 51(1): 107 - 125.
- Yin Zhigang, Gong Zhaomin, Wang Chunsheng, et al. Chronological, Geochemical Characteristics and Chronological Significance of Early Jurassic Granites in Pingdingshan Area of Lesser Xing'an Range [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2021, 51(1): 107 - 125.
- [49] 于跃江, 赵忠海, 杨欣欣, 等. 大兴安岭北段漠河前陆盆地早侏罗世火山岩时代的厘定[J]. *中国地质*, 2021, 48(2): 580 - 592.
- Yu Yuejiang, Zhao Zhonghai, Yang Xinxin, et al. Dating of Early Jurassic Volcanic Rocks in the Mohe Foreland Basin of Northern Greater Khingan Mountains, Northeast China [J]. *Geology in China*, 2021, 48(2): 580 - 592.
- [50] 刘永强, 吕志成, 王虎, 等. 大兴安岭南段内蒙古小大川铅锌铜矿黑云母二长花岗岩锆石 U - Pb 年龄、地球化学特征及其成矿背景[J/OL]. *地质通报*, 2024, 1 - 24 [2024 - 06 - 24]. <https://link.cnki.net/urlid/11.4648.P.20240117.1131.002>.
- Liu Yongqiang, Lü Zhicheng, Wang Hu, et al. Zircon U - Pb Age and Geochemical Characteristics of Biotite Monzonitic Granite and Mineralization Background in Xiaodachuan Pb - Zn - Cu Deposit of Inner Mongolia, the Southern Great Xing'an Range [J/OL]. *Geological Bulletin of China*, 2024: 1 - 24 [2024 - 06 - 24]. <https://link.cnki.net/urlid/11.4648.P.20240117.1131.002>.
- [51] 张国宾, 冯玥, 宋学权, 等. 大兴安岭中段金江沟岩体侏罗纪花岗岩年代学、地球化学特征及其构造意义[J/OL]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2024: 1 - 20 [2024 - 06 - 24]. doi: 10.13278/j.cnki.jjuese.20210367.
- Zhang Guobin, Feng Yue, Song Xuequan, et al. Geochronology, Geochemistry and Tectonic

Significance of the Jurassic Granite from the Central Great Xing'an Range in Jinjiang Ravine[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2024: 1 - 20[2024 - 06 - 24]. doi: 10.13278/j.cnki.jjuese.20210367.

[52] 李猛兴,王丽娟,李珍,等.内蒙古东中生代马拉格复式岩体成因及对区域构造演化的制约[J/OL].地质通报, 2024: 1 - 17[2024 - 06 - 24].<https://link.cnki.net/urlid/11.4648.P.20240412.1713.008>.

Li Mengxing, Wng Lijuan, Li Zhen, et al. Mesozoic Malage Complex Pluton in the East Inner Mongolia: Constraints on the Regional Tectonic Evolution[J]. Geological Bulletin of China, 2024: 1 - 17[2024 - 06 - 24].<https://link.cnki.net/urlid/11.4648.P.20240412.1713.008>.

[53] Pearce J A. A User's Guide to Basalt Discrimination Diagrams[J]. Geological Society Special Publication, 1996, 12: 79 - 133.

[54] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks [J]. Journal of Petrology, 1984, 25: 956 - 983.

