



小兴安岭北段林海林场花岗岩年代学、地球化学特征及构造意义

牟福权¹, 许国雨¹, 卢鸿雁², 崔雪文¹, 常 亮¹, 娄雨雷¹, 祁迎圣¹, 邱信东¹

1. 中国地质调查局 牡丹江自然资源综合调查中心, 黑龙江 牡丹江 157021;

2. 辽宁省自然资源事务服务中心, 辽宁 沈阳 110033

摘 要: 小兴安岭-张广才岭林海林场地区发育一套高分异 I 型花岗岩, 主要由边缘相细粒二长花岗岩和中心相细中粒二长花岗岩组成。岩石高 Si 和全碱($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$), 富 Al, 贫 Fe、Mg、Ca、Ti, 属于准铝质、高钾钙碱性系列岩石, 并且富集大离子亲石元素(LILE)、轻稀土元素(LREE), 亏损高场强元素(HFSE), 具中等强度 Eu 负异常。花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄表明其形成于 191.6 ± 2.9 Ma。根据地球化学组成认为, 花岗岩主要起源于早中生代浅源陆壳物质的部分熔融。高分异 I 型花岗岩的发现表明, 区内早侏罗世发生过规模较大的岩浆侵入活动, 可能与古太平洋板块西向俯冲背景下的区域伸展环境密切相关。

关键词: 早侏罗世; 花岗岩; 地质年代学; 地球化学; 构造背景; 小兴安岭; 张广才岭

Geochronology and geochemistry of granites in Linhai forest farm, northern Xiaoxinganling Mountains: Tectonic implication

MU Fu-quan¹, XU Guo-yu¹, LU Hong-yan², CUI Xue-wen¹, CHANG Liang¹, LOU Yu-lei¹,
QI Ying-sheng¹, QIU Xin-dong¹

1. Mudanjiang Natural Resources Comprehensive Survey Center, Mudanjiang 157021, Heilongjiang Province, China;

2. Liaoning Natural Resources Affairs Service Center, Shenyang 110033, China

Abstract: A series of highly fractionated I-type granites, mainly composed of marginal facies fine-grained monzogranite and central facies fine-medium-grained monzogranite, is developed in Linhai forest farm area of the Xiaoxinganling-Zhangguangcailing mountains. The granites are characterized by high Si and total alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$), rich Al, and poor Fe, Mg, Ca and Ti, belonging to quasi-aluminous, high-K calc-alkaline series, with enriched LILEs and LREEs, depleted HFSEs, and moderately strong negative Eu anomaly. The LA-ICP-MS zircon U-Pb age results show that the granites were formed at 191.6 ± 2.9 Ma. According to the geochemical compositions, it is considered that the granites are mainly derived from the partial melting of shallow continental crust materials in Early Mesozoic. The discovery of highly fractionated I-type granites indicates that large-scale magmatic intrusion occurred in the Early Jurassic, which may be

收稿日期: 2023-07-10; 修回日期: 2023-10-16. 编辑: 李兰英.

基金项目: 黑龙江省国土资源厅项目“黑龙江省逊克县福民林场、永胜经营所幅 1:5 万区域地质矿产调查”(HLJKD2006-10).

作者简介: 牟福权(1982—), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事区域地质调查、矿产勘查等工作, 通信地址 吉林省长春市北湖科技开发区光机路 4855 号, E-mail//mufuquan@mail.cgs.gov.cn

通信作者: 许国雨(1992—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事固体矿产勘查及相关成矿理论研究, 通信地址 吉林省长春市北湖科技开发区光机路 4855 号, E-mail//xuguoyu@mail.cgs.gov.cn

引用格式: 牟福权, 许国雨, 卢鸿雁, 崔雪文, 常亮, 娄雨雷, 祁迎圣, 邱信东. 小兴安岭北段林海林场花岗岩年代学、地球化学特征及构造意义[J]. 地质与资源, 2025, 34(1): 1-10, 102.

Mu F Q, Xu G Y, Lu H Y, Cui X W, Chang L, Lou Y L, Qi Y S, Qiu X D. Geochronology and geochemistry of granites in Linhai forest farm, northern Xiaoxinganling Mountains: Tectonic implication[J]. *Geology and Resources*, 2025, 34(1): 1-10, 102.

closely related to the regional extensional environment under the westward subduction of paleo-Pacific plate.
Key words: Early Jurassic; granite; geochronology; geochemistry; tectonic setting; Xiaoxinganling; Zhangguangcailing

0 引言
中国东北地区作为中亚造山带东段的重要组成部分,在显生宙时期经历古亚洲洋、古太平洋以及蒙古-鄂霍次克洋三大构造体系演化阶段完成块体拼贴过

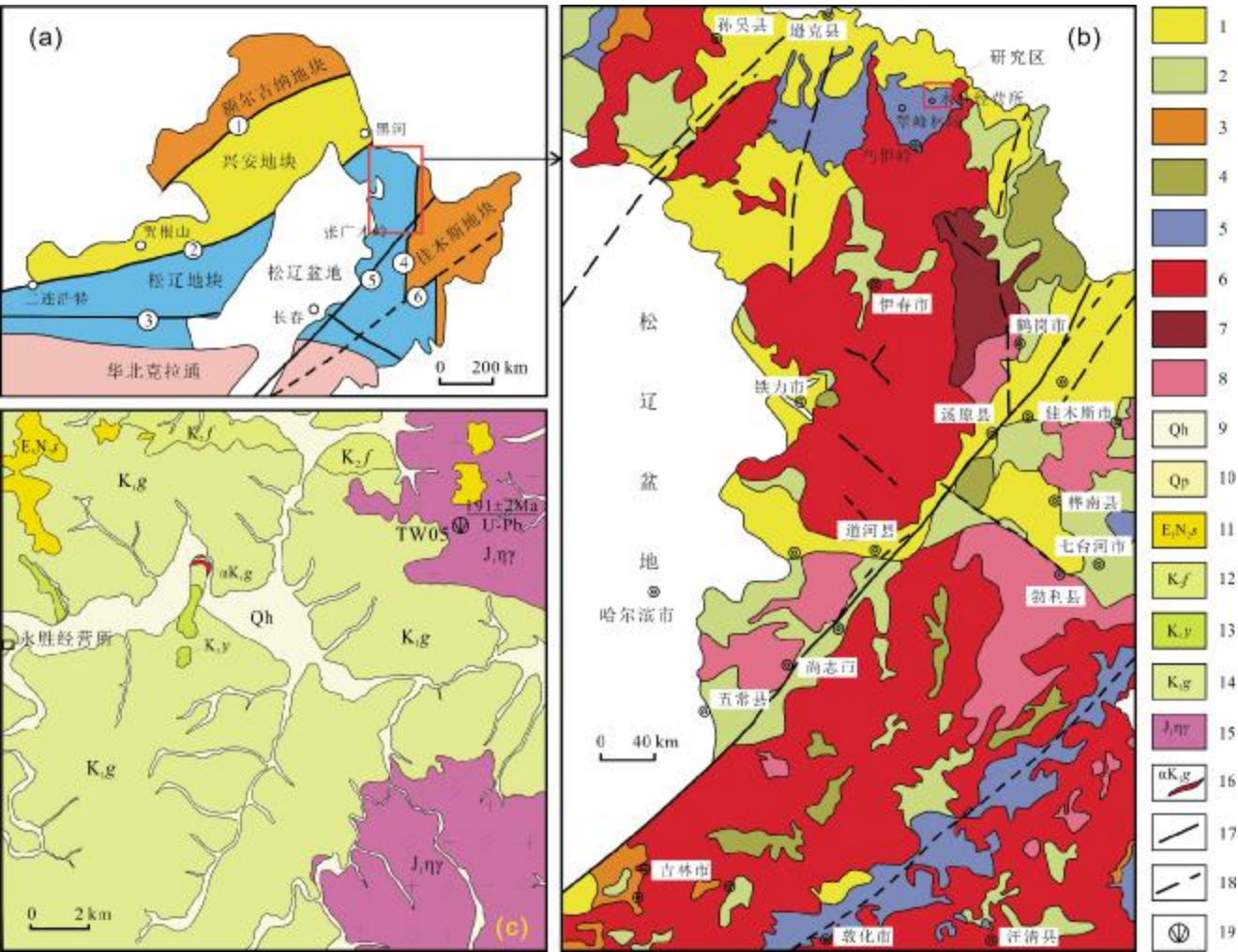


图 1 研究区构造地质图

Fig. 1 Tectonic and geological map of the study area

a—东北地区大地构造略图(据文献[4]) (tectonic sketch map of Northeast China, from Reference [4]); b—研究区区域地质简图(据文献[13]) (regional geological map of the study area, from Reference [13]); c—研究区地质简图(geological map of the study area); ①喜桂图-塔源断裂(Xiguitu-Tayuan fault); ②贺根山-黑河缝合带(Hegenshan-Heihe suture zone); ③索伦-西拉木伦-长春缝合带(Suolun-Xilamulun-Changchun suture zone); ④嘉荫-牡丹江断裂(Jiayin-Mudanjiang fault); ⑤伊通-依兰断裂(Yitong-Yilan fault); ⑥敦化-密山断裂(Dunhua-Mishan fault); 1—新生代地层(Cenozoic); 2—中生代地层(Mesozoic); 3—古生代地层(Paleozoic); 4—前寒武纪地层(Precambrian); 5—新生代玄武岩(Cenozoic basalt); 6—中生代花岗岩(Mesozoic granite); 7—古生代花岗岩(Paleozoic granite); 8—元古宙花岗岩(Proterozoic granite); 9—第四系低河漫滩堆积(Quaternary low floodplain accumulation); 10—第四系一级阶地堆积(Quaternary first-order terrace deposit); 11—孙吴组砂砾岩(sandy conglomerate of Sunwu fm.); 12—富民河组流纹岩、流纹质凝灰岩(rhyolite and rhyolitic tuff of Fuminhe fm.); 13—永清组中粗粒含砾砂岩、中粗粒砂岩、中细粒砂岩、安山质凝灰岩(medium-coarse-grained pebbly sandstone, medium-coarse-grained sandstone, fine-medium-grained sandstone and andesitic tuff of Yongqing fm.); 14—甘河组玄武岩、安山岩、安山质角砾岩、安山质凝灰岩(basalt, andesite, andesitic breccia and andesitic tuff of Ganhe fm.); 15—早侏罗世二长花岗岩(Early Jurassic monzogranite); 16—安山岩脉(andesite dike); 17—实测断裂(surveyed fault); 18—推测断裂(inferred fault); 19—同位素年龄采样位置(isotope sampling location)

程^[1-3],是构造岩浆活动最复杂的造山带之一(图1a),小兴安岭地区中生代花岗岩出露面积较大,与大兴安岭地区的花岗岩组成了东北地区的“花岗岩海”^[5-6],研究表明东北地区大面积出露的“花岗岩海”主要为中生代岩浆活动的产物,岩浆活动主要分为晚三叠世—晚侏罗世(205~155 Ma)岩浆活动和早白垩世(130~110 Ma)岩浆活动^[7-9],近年来对东北地区“花岗岩海”的形成时代、成因及其形成的大地构造背景的研究取得了许多重要进展,但目前缺乏统一的认识.一种观点认为是古亚洲洋闭合后,中亚造山带内发生拆沉作用而产生大量岩浆上涌形成的;另一种观点则认为产生于古太平洋在俯冲过程中形成的弧后拉张环境^[10-12].笔者通过对小兴安岭北段林海林场一带早侏罗世花岗岩的年代学和地球化学的研究,探讨其形成时代、岩石成因及其构造意义,并结合前人对小兴安岭—张广才岭岩浆弧内岩浆活动和构造事件的研究,对小兴安岭地区中生代构造演化进一步提供约束.

1 地质背景

研究区位于小兴安岭北段,中亚造山带东北部(图1b),晚古生代—中生代期间受到蒙古—鄂霍次克构造体系的改造,中生代期间又经历了古太平洋板块西向俯冲作用的叠加和改造^[14].区内中生界白垩系分布范围较大,主要出露在研究区的西部、中部.岩层总体产状倾向北西,倾角较缓近水平,自下而上划分为宁远村组(K_{1n})、甘河组(K_{1g})、永青组(K_{1y})、福民河组(K_{1f}).

新生界主要有古近系—新近系孙吴组(E_3N_{2s})和第四系.晚印支期受古太平洋构造域影响,形成规模较大的构造岩浆岩带,划分为晚三叠世—早侏罗世构造岩浆岩带、白垩纪构造岩浆岩带,其中晚三叠世—早侏罗世主要岩石类型为二长花岗岩.印支晚期牡丹江—嘉荫断裂复活,至燕山早期受近南北向牡丹江—嘉荫断裂及其分支断裂影响,晚中生代断陷盆地构造形成.新生代以后受近南北向、东西向、北西向活动断裂的影响.

2 样品与分析

本研究4个花岗岩样品取自小兴安岭北段林海林场永胜经营所扎克大旗河花岗岩实测剖面(PM04),总体呈北北东、近南北向岩基状展布,本文称之为林海林场岩体(图1c).侵入岩出露面积较小,集中分布在研究区东部,面积约80 km².岩体结构分带性较明显,见有边缘相细粒花岗岩结构及中心相中粒花岗岩结构和细中粒花岗岩结构,与岩体定位时冷凝时间长短及先后顺序有关.岩石类型为细中粒二长花岗岩,多呈灰—灰白(褐)、浅肉红色,细中粒花岗岩结构,多具块状构造(图2).碱性长石主要为钾长石,含量40%~45%,钾长石呈浅黄色—浅肉红色,他形粒状、半自形板状,粒径一般在1~3 mm.斜长石呈灰、灰白色,半自形板状,粒径一般在1~3 mm,含量25%~30%.石英呈灰白色、烟灰色,他形粒状,粒径1~2 mm,含量25%~30%.黑云母呈褐色,填隙片状,可见绿泥石交代,粒径0.5~2.0 mm,

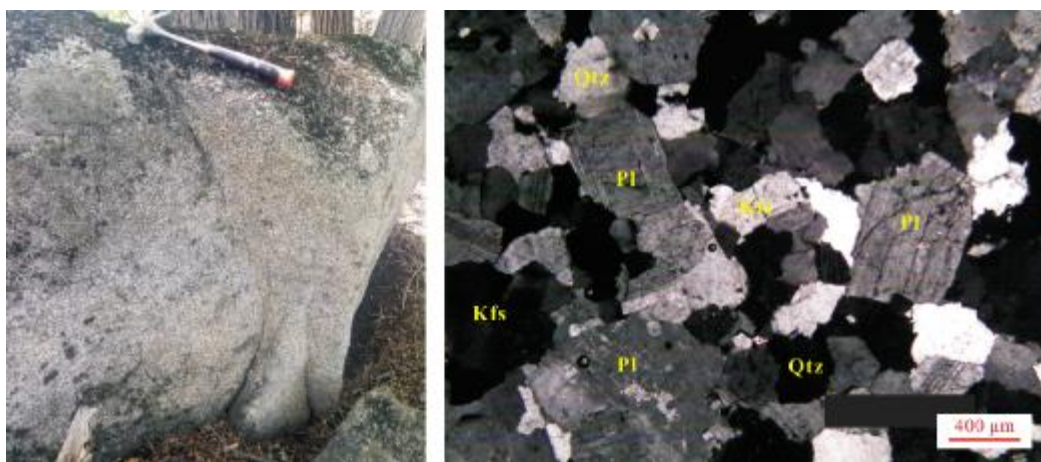


图2 研究区早侏罗世二长花岗岩野外照片和显微照片

Fig. 2 Field and microscopic photographs of Early Jurassic monzogranites in the study area

Pl—斜长石(plagioclase); Kfs—钾长石(potassium feldspar); Qtz—石英(quartz)

含量 1%~2%, 副矿物为磁铁矿。

2.1 全岩主量元素、微量元素和稀土元素分析

稀土、主量元素样品加工分析由中国地质调查局天津地质调查中心完成;微量样品加工分析由哈尔滨矿产资源监督检测中心完成。

全岩主量元素采用的分析方法为 X 射线荧光熔片法(XRF),测试仪器为顺序式 X 射线荧光光谱仪 (AX-10S Minerals), 检测依据参照 GB/T14506.28—1993,测量精度一般优于 2%~5%。微量和稀土元素分析采用电感耦合等离子质谱法(ICP-MS),测试仪器为电感耦合等离子体质谱仪 Agilent 7500ce,检测依据参照 DZ/T0223—2001 等,实验中测量国际标样 GSR-1 (花岗岩)和空白样品来监控数据质量,分析精度和准确度一般为 5%~10%。

2.2 锆石 U-Pb 定年

锆石单矿物分选、制靶和阴极发光图像的采集工作由吉林大学地球科学学院实验室完成。锆石 U-Pb 定年在中国地质调查局天津地质调查中心进行,选用的仪器为电感耦合等离子体质谱仪 Agilent 7500ce 及配套的 COMPEX Pro 102 准分子激光剥蚀系统,激光剥蚀束斑直径为 32 μm ,剥蚀频率为 5 Hz,能量密度为 6 J/cm²。数据处理采用软件 Glitter 4.4^[15]完成。锆石年龄谐和图以及加权平均值的计算选用 Isoplot 3.0 程序^[16]。

3 分析结果

3.1 主量元素

主量元素分析结果见表 1。SiO₂ 含量为 68.17%~76.23%, Al₂O₃ 为 12.41%~14.41%, 贫铁、镁、钙、钛 (TFeO=0.52%~1.437%, MgO=0.12%~0.17%, CaO=0.47%~0.82%, TiO₂=0.081%~0.42%), 全碱 Na₂O+K₂O 的含量为 9.24%~10.98%, K₂O/Na₂O 值为 1.65~2.14, 相对富钾;岩石里特曼指数为 2.57~4.77, 3 个样品 $\sigma < 3.3$, 属钙碱性系列。在 TAS 图解(图 3a)中 3 个样品落入花岗岩范围, 1 个落入石英二长岩范围;在 SiO₂-K₂O 碱性程度判别图解(图 3b)中,投影点落入高钾钙碱性至钾玄岩系列一侧,具高分异的 I 型花岗岩特征;铝饱和度 A/CNK 介于 0.922~0.967 之间,属准铝质(图 3c)。总之,岩石 SiO₂ 过饱和,具有富硅、贫 Ti、Ca、Fe、Mg 特点,体现淡色花岗岩特点。

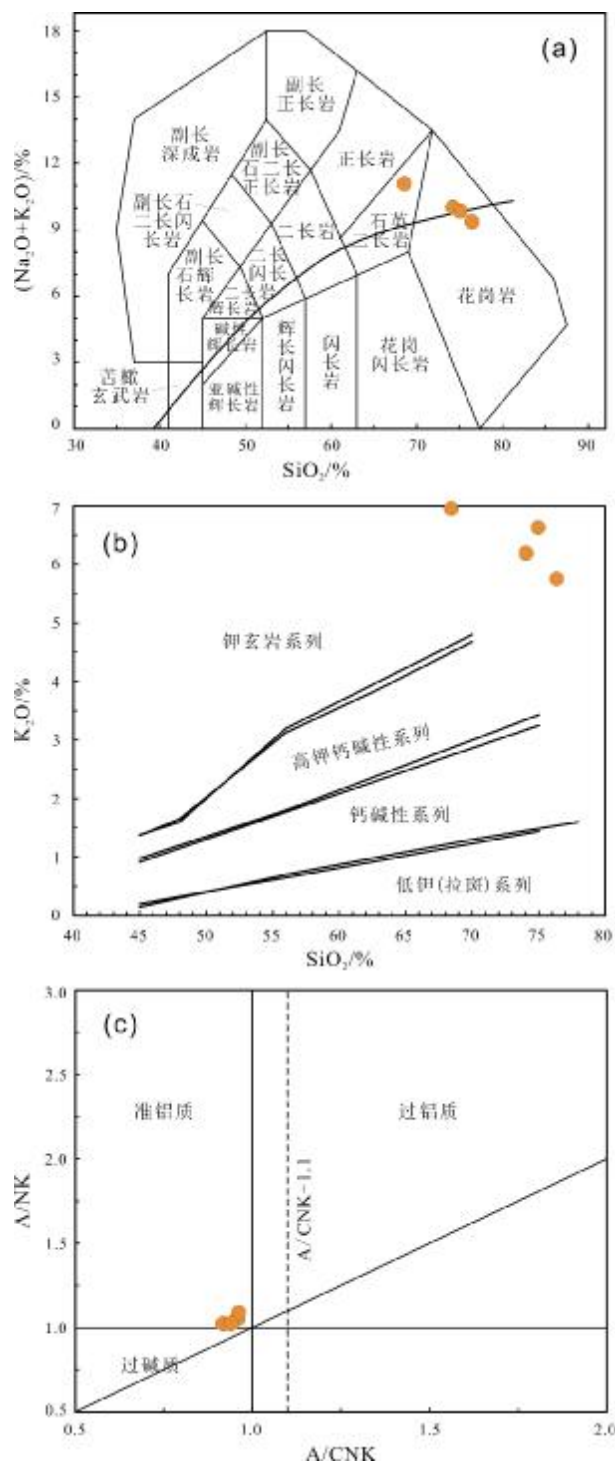


图 3 花岗岩成分判别图解

Fig. 3 Discrimination diagrams of granite compositions

a— SiO₂-(Na₂O+K₂O)图解(据文献[17]) (SiO₂-(Na₂O+K₂O) diagram, after Reference [17]); b— SiO₂-K₂O 图解(据文献[18]) (SiO₂-K₂O diagram, after Reference [18]); c— A/CNK-A/NK 图解(据文献[19]) (A/CNK-A/NK diagram, after Reference [19])

3.2 微量元素和稀土元素

微量元素和稀土元素分析结果见表 1. 在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 4a)上,样品具有亏损高场强

元素 P、Ti、Nb 和大离子亲石元素 Ba、Sr, 富集 Rb、K、Th、Hf 等元素的地球化学特征. 在球粒陨石标准化稀土元素配分图解(图 4b)上样品表现为轻稀土富集、重

表 1 花岗岩主量元素和微量元素分析结果

Table 1 Contents of major and trace elements in granite

样品号	PM04-26	PM04-27	PM04-28	PM04-29	样品号	PM04-26	PM04-27	PM04-28	PM04-29
SiO ₂	76.230	73.970	68.170	74.670	Zr	113	196	51.4	82.6
TiO ₂	0.081	0.087	0.420	0.110	Hf	4.41	5.89	1.72	2.83
Al ₂ O ₃	12.560	13.830	14.410	12.410	Sm	2.1	6.21	1.12	3.44
Fe ₂ O ₃	0.310	0.320	3.020	1.390	Y	18.8	33.5	3.56	14.2
FeO	0.520	0.630	1.430	0.550	Yb	2.87	4	0.483	1.72
MnO	0.074	0.061	0.084	0.051	Lu	0.419	0.56	0.059	0.254
MgO	0.170	0.130	0.140	0.120	La	14.5	38.5	17.1	30.2
CaO	0.580	0.820	0.790	0.470	Ce	40.4	113	24.8	53.9
Na ₂ O	3.490	3.710	4.060	3.090	Pr	3.03	8.52	2.41	6.08
K ₂ O	5.750	6.180	6.920	6.610	Nd	10.7	31.4	7.91	21.4
P ₂ O ₅	0.020	0.021	0.041	0.025	Sm	2.1	6.21	1.12	3.44
LOI	0.170	0.170	0.360	0.450	Eu	0.174	0.99	0.159	0.743
Σ	99.955	99.929	99.845	99.946	Gd	1.85	5.34	0.859	2.71
Na ₂ O+K ₂ O	9.260	9.914	11.037	9.749	Tb	0.394	1.11	0.144	0.502
A/CNK	0.963	0.967	0.922	0.946	Dy	2.79	5.86	0.609	2.33
DI	96.130	95.530	92.090	95.990	Ho	0.591	1.18	0.111	0.45
A/NK	1.048	1.080	1.016	1.013	Er	1.98	3.47	0.307	1.28
R1	2472.000	2150.000	1361.000	2289.000	Tm	0.404	0.58	0.047	0.233
R2	318.000	359.000	376.000	301.000	Yb	2.87	4	0.483	1.72
Rb	168	191	228	154	Lu	0.419	0.56	0.059	0.254
Ba	174	762	376	583	Y	18.8	33.5	3.56	14.2
Th	19	24.9	3.6	21	Σ REE	82.202	220.72	56.12	125.24
U	4.02	8.66	0.775	5.66	LREE	70.9	198.62	53.5	115.76
Ta	0.933	0.875	0.547	1.09	HREE	11.3	22.1	2.62	9.48
Nb	15	14	9.69	12.3	LREE/HREE	6.28	8.99	20.43	12.21
La	14.5	38.5	17.1	30.2	LaN/YbN	3.62	6.9	25.4	12.59
Ce	40.4	113	24.8	53.9	δEu	0.26	0.51	0.48	0.72
Sr	23.8	96.7	31.6	223	δCe	1.42	1.46	0.83	0.92

含量单位:主量元素为%,微量元素为 10⁻⁶.

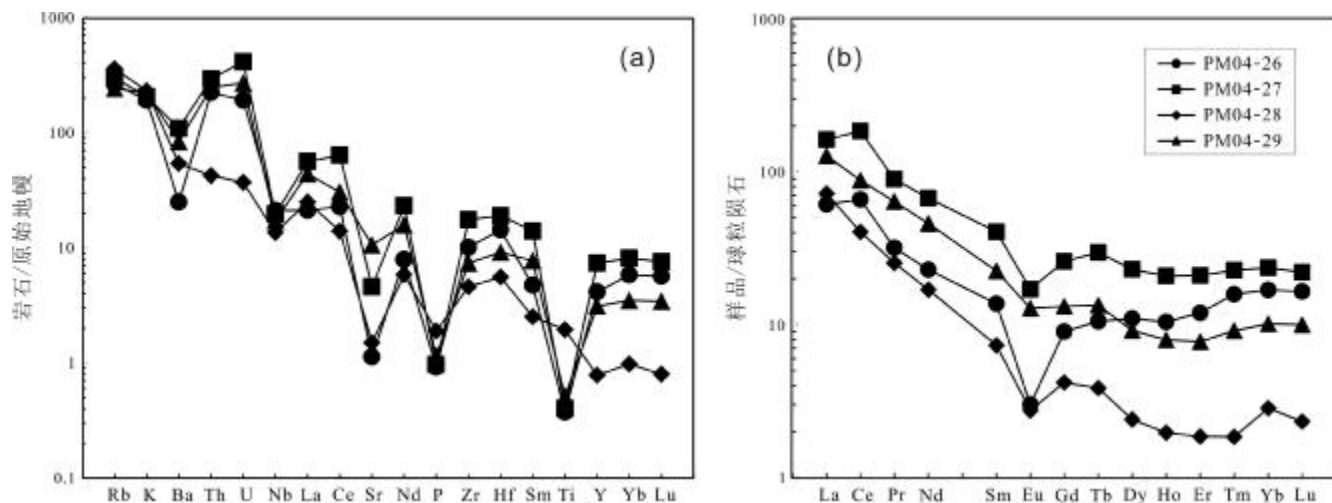


图4 花岗岩微量元素蛛网图和稀土元素配分曲线

Fig. 4 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams and chondrite-normalized REE patterns of granite

稀土亏损的不对称右倾的“V”字型曲线, $(La/Sm)_N = 6.19 \sim 15.26$, $(La/Yb)_N = 0.48 \sim 4.0$, $(Gd/Yb)_N = 0.64 \sim 1.77$, 具中等强度 Eu 负异常, 轻稀土部分斜率较大。根据模式图推论出中等强度的 Eu 负异常是在陆壳部分熔融中斜长石作为残留相引起的, 可能说明源区残留相斜长石含量较多, 表明岩浆岩来源较浅。

3.3 锆石 U-Pb 年龄

所选锆石同位素测试样品为二长花岗岩(PM04-28), 年龄测试结果见表 2。样品中的锆石多为自形一半自形, 长宽比 2:1~4:1。挑取的锆石呈长柱状, 发育振荡环带结构, 多数具有暗色增生边。Th/U 范围为 0.2301~0.8882, 主要集中于 0.40~0.60, 平均 0.5521, 说明样品

中的锆石主体为岩浆锆石(图 5)。19 个测点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄值介于 $(162 \pm 2) \sim (201 \pm 5)$ Ma 之间, 其加权平均年龄为 191.6 ± 2.9 Ma (图 5), 代表了花岗岩的结晶年龄, 形成时代为早侏罗世。此外 1 个测点年龄为 127 ± 2 Ma, 可能为后期岩浆事件改造的结果。

4 讨论

4.1 花岗岩形成时代

前人对小兴安岭地区的岩浆岩进行了大量的 U-Pb 定年, 获取了较多的高精度测年数据。如小兴安岭中部幸福林场黑云母二长岩和黑云母二长花岗岩, 形成时代均为早侏罗世($175 \sim 185$ Ma)^[20]; 玉泉二长花岗岩

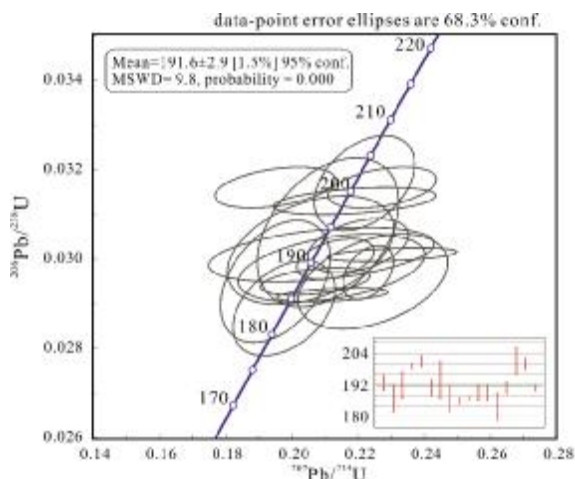


图5 PM04-28 号样品锆石 U-Pb 同位素年龄测定结果谐和图和阴极发光图

Fig. 5 Zircon U-Pb isotope age concordia diagram and CL image of sample PM04-28

表 2 花岗岩同位素分析结果

Table 2 Isotopic analysis results of granite

样品点	同位素比值								锆石年龄/Ma			
	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
1	0.0526	0.002	0.22	0.01	0.0303	0.0004	0.0159	0.0007	202	9	193	3
2	0.0551	0.003	0.2244	0.0149	0.0295	0.0007	0.0142	0.0015	205	14	187	5
3	0.0494	0.0034	0.2056	0.0166	0.0302	0.0008	0.0138	0.0021	190	15	192	5
4	0.0508	0.0036	0.219	0.0162	0.0313	0.0002	0.0163	0.0014	201	15	199	1
5	0.0579	0.0032	0.2056	0.0138	0.0258	0.0007	0.0112	0.0007	190	13	164	4
6	0.0447	0.0025	0.1949	0.012	0.0316	0.0003	0.0144	0.0007	181	11	201	2
7	0.0563	0.0032	0.1972	0.0126	0.0254	0.0003	0.0086	0.0004	183	12	162	2
8	0.0504	0.005	0.2089	0.0225	0.0301	0.0004	0.0135	0.0013	193	21	191	3
9	0.05	0.0027	0.2109	0.0141	0.0306	0.0011	0.0137	0.0013	194	13	194	7
10	0.0479	0.0022	0.195	0.0109	0.0295	0.0009	0.0128	0.0009	181	10	187	5
11	0.0527	0.0026	0.2122	0.0111	0.0292	0.0001	0.0103	0.0004	195	10	186	1
12	0.0509	0.0025	0.207	0.0109	0.0295	0.0002	0.0103	0.0002	191	10	187	1
13	0.0545	0.001	0.223	0.005	0.0297	0.0004	0.0104	0.0004	204	5	189	3
14	0.0516	0.0041	0.212	0.0186	0.0298	0.0005	0.0121	0.0011	195	17	189	3
15	0.0655	0.0032	0.1795	0.0103	0.0199	0.0004	0.0089	0.0004	168	10	127	2
16	0.0495	0.0021	0.1976	0.0102	0.0289	0.0007	0.0128	0.0007	183	9	184	5
17	0.0515	0.0016	0.2131	0.0077	0.03	0.0003	0.0119	0.0003	196	7	191	2
18	0.0507	0.0018	0.2219	0.01	0.0317	0.0007	0.0123	0.0003	203	9	201	5
19	0.0522	0.0022	0.2273	0.0108	0.0316	0.0003	0.012	0.0003	208	10	200	2
20	0.0555	0.003	0.2303	0.0129	0.0301	0.0001	0.0127	0.0003	211	12	191	1

年龄为 179±3 Ma,帽儿山和纪店屯的二长闪长岩年龄分别是 181±1 Ma 和 180±1 Ma^[21];帽儿山组火山岩的形成时代为 179~184 Ma^[22],新村岩体的形成时代为 185 Ma,曙光岩体的形成时代为 186 Ma,星火岩体的形成时代为 182 Ma,平房店岩体的形成时代为 183 Ma,刘仲沟岩体的形成时代为 186 Ma^[23];翠北林场二长花岗岩年龄为 190.4±1.9 Ma^①。本研究中永胜经营所二长花岗岩年龄为 191.6±2.9 Ma,在时间上与前人研究基本一致,表明在早侏罗世本区存在大规模岩

浆事件。

4.2 岩石成因

二长花岗岩副矿物见磁铁矿,在主量元素组成上具有相对高的 SiO₂ (68.17%~76.23%)、Na₂O+K₂O (9.24%~10.98%),富 Al₂O₃ (12.41%~14.41%),贫 TFeO (0.52%~1.437%)、MgO (0.12%~0.17%)、CaO (0.47%~0.82%),为富铝质、高钾钙碱性岩石,具 I 型花岗岩特点。在岩浆岩成因类型的角闪石 Ca-Fe-Mg 判别图解上,投影点落入壳型成因区(图 6)。通常认为, I 型花

①中国人民武装警察部队黄金第一支队,黑龙江 1:5 万三兴山、白桦林场、友谊经营所、鸡爪河林场(M52E021011、M52E022011、M52E023011、M52E024010)幅区域地质矿产调查, 2016。

岗岩的岩浆来源主要有 3 种方式: 1) 基性下地壳岩石的部分熔融^[25]; 2) 幔源基性岩浆的分离结晶作用^[26]; 3) 壳幔岩浆的混合作用^[27]。徐美君等^[28]认为小兴安岭中部基性岩的出露面积仅占全部火成岩体积的百分之十几, 远远小于同时代的花岗岩, 这无法解释面积很小的基性岩浆分离结晶形成如此大规模的花岗岩, 因此断定小兴安岭中部早侏罗世花岗岩具有独立的岩浆源区, 即陆壳物质部分熔融的产物。研究区花岗岩稀土元素中轻稀土富集、Eu 中等亏损、Ce 富集且轻重稀土分馏较明显, 稀土元素球粒陨石标准化分布形式图曲线呈不对称右倾的“V”字型曲线, 轻稀土部分斜率较大, 推断出中等强度的 Eu 负异常是在陆壳部分熔融中斜长石作为残留相引起的, 可能说明源区残留相斜长石含量较多, 表明岩浆源岩来源较浅。因此笔者认为研究区花岗岩应与小兴安岭中部二长花岗岩源区一致, 即陆壳物质部分熔融的产物。

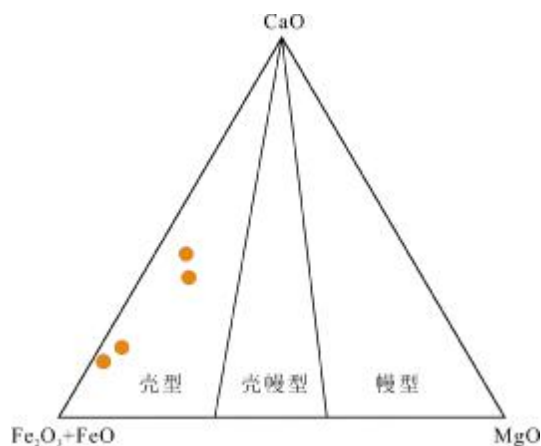


图 6 花岗岩成因类型 Ca-Fe-Mg 图解

(据文献[24])

Fig. 6 The Ca-Fe-Mg diagram of granite genetic types

(After Reference [24])

4.3 构造背景与区域构造演化

区域地质资料显示晚三叠世—早侏罗世, 随着区域上古亚洲洋闭合, 区域应力场由挤压碰撞转为伸展阶段, 晚三叠世—早侏罗世二长花岗岩的就位, 体现了由挤压状态向造山后岩石圈拆沉崩塌的构造应力转换过程, 大陆壳内的熔融岩浆底辟上升或沿断裂上侵, 大规模钙碱性岩浆活动形成了规模巨大的近南北向分布的晚三叠世—早侏罗世构造岩浆带。本文研究的花岗岩处于这一构造岩浆岩带, 岩石地球化学特征表明为

准铝质、高钾钙碱性系列的花岗岩, 具 I 型花岗岩特点, 为陆壳物质部分熔融的产物。在花岗岩 R_1 - R_2 构造判别图解(图 7)上, 投影点落入造山期后及非造山区内, 形成于造山带晚期的后造山拉张构造环境。

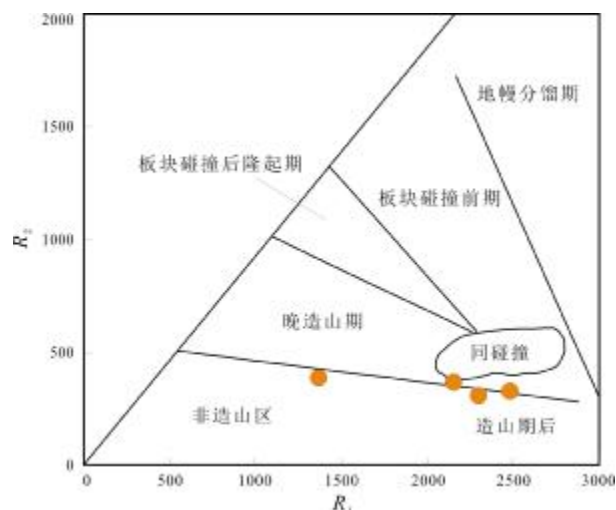


图 7 R_1 - R_2 构造环境判别图解

(据文献[28])

Fig. 7 R_1 - R_2 tectonic environment discrimination diagram

(After References [28])

中亚造山带东段小兴安岭和大兴安岭地区的中生代花岗岩以侏罗纪为主, 区域上呈北北东—北东向带状展布^[29]。该区侏罗纪花岗岩的时空分布和岩石组合特征表明其形成与古太平洋板块的俯冲有关^[8, 29]。杨东光^[30]结合东北地区中生代花岗岩在时空方面分布的特征和增生杂岩方面的证据, 认为古太平洋板块由东向西欧亚大陆俯冲开始时间为早侏罗世。韩振哲^[31]对小兴安岭伊春西部地区的花岗岩体与围岩关系研究认为, 岩体的就位构造为拉张环境下的被动就位的构造样式。徐美君等^[28]研究认为小兴安岭中部早侏罗世花岗岩与同时代镁铁质-超镁铁质侵入岩一起构成典型的双峰式火成岩组合, 形成于古太平洋板块俯冲于欧亚板块之下的弧后伸展环境。葛文春等^[9]认为早侏罗世大黑山花岗闪长岩是太平洋板块俯冲体制下的局部拉张的产物。王泉等^[32]认为, 古太平洋板块俯冲于欧亚大陆之下, 大陆板片断裂, 引起岩石圈拆沉, 导致岩石圈减薄转入伸展环境, 诱发软流圈物质上涌形成了高温热源, 进而引起了下地壳和原有老地壳的部分熔融, 形成的混合岩浆由于浮力作用上侵于中上地壳最终定位, 形成伊春地区早侏罗世花岗岩带。尹志刚

等^[33]认为,太平洋板块的大规模西向俯冲,在区域上形成了同碰撞期转换为造山后构造体制阶段的区域伸展构造环境。

综上所述,小兴安岭北段林海林场花岗岩岩浆来源于浅源陆壳物质的部分熔融,形成于造山期后至非造山的拉张环境,与古太平洋板块西向俯冲背景下的区域伸展构造环境一致。

5 结论

通过对小兴安岭北段林海林场二长花岗岩的岩石学、锆石 U-Pb 年代学、主微量元素等特征的综合研究,并结合小兴安岭地区中生代花岗岩的已有研究成果,综合认为:

(1)小兴安岭北段林海林场二长花岗岩锆石 U-Pb 结晶年龄为 191.6 ± 2.9 Ma,形成于早侏罗世,与区域上早侏罗世大规模岩浆活动时限一致。

(2)岩石地球化学特征表明,二长花岗岩为准铝质、高钾钙碱性系列岩石,岩浆来源于浅源陆壳物质的部分熔融,具高分异 I 型花岗岩特征。

(3)二长花岗岩形成于造山期后至非造山构造环境,与古太平洋板块西向俯冲背景下的区域伸展环境一致。

致谢:感谢原武警黄金第一支队谢凯工程师、关晓刚工程师和于明军工程师的支持与协助,感谢审稿专家对本文耐心和细致的指导。

参考文献(References):

- [1] Liu K, Zhang J J, Wilde S A, et al. U-Pb dating and Lu-Hf isotopes of detrital zircons from the southern Sikhote-Alin Orogenic Belt, Russian Far East: Tectonic implications for the Early Cretaceous evolution of the northwest Pacific margin [J]. *Tectonics*, 2017, 36 (11): 2555-2598.
- [2] 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.
- [3] 许文良, 孙晨阳, 唐杰, 等. 兴安造山带的基底属性与构造演化过程 [J]. *地球科学*, 2019, 44(5): 1620-1646.
Xu W L, Sun C Y, Tang J, et al. Basement nature and tectonic evolution of the Xing'an-Mongolian Orogenic Belt [J]. *Earth Science*, 2019, 44(5): 1620-1646.
- [4] Xu W L, Pei F P, Wang F, et al. Spatial-temporal relationships of Mesozoic volcanic rocks in NE China: Constraints on tectonic overprinting and transformations between multiple tectonic regimes [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 74: 167-193.
- [5] 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 H J, Fu J Y, Qian C, et al. Chronology and spatiotemporal distribution of Pre-Mesozoic granites in Northeast China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(6): 827-844.
- [6] 张超, 吴新伟, 刘永江, 等. 大兴安岭中段早二叠世 A 型花岗岩成因及对扎兰屯地区构造演化的制约 [J]. *岩石学报*, 2020, 36(4): 1091-1106.
Zhang C, Wu X W, Liu Y J, et al. Genesis of Early Permian A-type granites in the middle of the Great Xing'an Range and constraints on tectonic evolution of the Zhalantun area [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2020, 36(4): 1091-1106.
- [7] Wu F Y, Jahn B M, Wilde S, et al. Phanerozoic crustal growth: U-Pb and Sr-Nd isotopic evidence from the granites in northeastern China [J]. *Tectonophysics*, 2000, 328(1/2): 89-113.
- [8] 曹正琦, 侯光久. 大兴安岭北段晚中生代碱性侵入岩岩石地球化学特征及其意义 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2009, 28(3): 209-216.
Cao Z Q, Hou G J. The Late Mesozoic alkaline intrusive rocks at the north of the Da Hinggan Mountains: Lithogeochemical characteristics and their implications [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2009, 28(3): 209-216.
- [9] 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 大兴安岭中部乌兰浩特地区中生代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义 [J]. *岩石学报*, 2005, 21(3): 749-762.
Ge W C, Wu F Y, Zhou C Y, et al. Zircon U-Pb ages and its significance of the Mesozoic granites in the Wulanhaote region, central Da Hinggan Mountain [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2005, 21 (3): 749-762.
- [10] 葛茂卉, 张进江, 刘恺. 小兴安岭-张广才岭铁力地区侏罗纪辉绿岩年代学、地球化学、锆石 Hf 同位素特征及其构造意义 [J]. *岩石学报*, 2020, 36(3): 726-740.
Ge M H, Zhang J J, Liu K. Geochronology, geochemistry and zircon Hf isotope of the Jurassic diabase from the Tieli area, Lesser Xing'an-Zhangguangcai Range, and its geological implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2020, 36(3): 726-740.
- [11] 李仰春, 张克信, 吴淦国, 等. 大-小兴安岭接合部早一中侏罗世侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及成因 [J]. *地质通报*, 2013, 32 (5): 717-729.
Li Y C, Zhang K X, Wu G G, et al. Zircon U-Pb ages and causes of the Early-Middle Jurassic granites in the Da-Xiao Xinganling copula [J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(5): 717-729.
- [12] 张立仕, 孙丰月, 李碧乐, 等. 小兴安岭-张广才岭成矿带福安堡铜矿区花岗岩类的岩石成因和构造背景: 元素地球化学、锆石 U-Pb

- 年龄和 Sr-Nd-Hf 同位素约束[J]. 地质学报, 2021, 95(8): 2471-2492.
- Zhang L S, Sun F Y, Li B L, et al. Petrogenesis and tectonic setting of granitoids in the Fu'anpu molybdenum deposit, Lesser Xing'an-Zhangguangcai Range metallogenic belt: Constraints from element geochemistry, zircon U-Pb geochronology and Sr-Nd-Hf isotopes[J]. Acta Geologica Sinica, 2021, 95(8): 2471-2492.
- [13] 张海洪, 许文良, 王枫, 等. 吉林中部小蜂蜜顶子组火山岩的形成时代及其地质意义: 锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素组成证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2016, 46(5): 1418-1429.
- Zhang H H, Xu W L, Wang F, et al. Formation timing of the volcanic rocks from the Xiaofengdingzi Formation in central Jilin Province and its geological implications: Evidence from zircon U-Pb dating and Hf isotope compositions[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2016, 46(5): 1418-1429.
- [14] 杨言辰, 韩世炯, 孙德有, 等. 小兴安岭-张广才岭成矿带斑岩型钼矿床岩石地球化学特征及其年代学研究[J]. 岩石学报, 2012, 28(2): 379-390.
- Yang Y C, Han S J, Sun D Y, et al. Geological and geochemical features and geochronology of porphyry molybdenum deposits in the Lesser Xing'an Range-Zhangguangcai Range metallogenic belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(2): 379-390.
- [15] Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192(1/2): 59-79.
- [16] Ludwig K R. User's manual for Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, 2003: 1-71.
- [17] Irvine T N, Baragar W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1971, 8(5): 523-548.
- [18] Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. Lithos, 1989, 22(4): 247-263.
- [19] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. GSA Bulletin, 1989, 101(5): 635-643.
- [20] 徐美君, 许文良, 王枫, 等. 小兴安岭中部早侏罗世花岗岩的年龄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 M J, Xu W L, Wang F, 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.
- [21] Ge M H, Zhang J J, Li L, et al. Geochronology and geochemistry of the Heilongjiang complex and the granitoids from the Lesser Xing'an-Zhangguangcai Range: Implications for the Late Paleozoic-Mesozoic tectonics of eastern NE China[J]. Tectonophysics, 2017, 717: 565-584.
- [22] 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 J, Xu W L, Wang F, et al. Petrogenesis of bimodal volcanic rocks from Maershan Formation in Zhangguangcai Range: Evidence from geochronology and geochemistry[J]. Global Geology, 2011, 30(4): 508-520.
- [23] 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.
- [24] 邓晋福, 罗照华, 苏尚国. 岩石成因、构造环境与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- Deng J F, Luo Z H, Su S G. Petrogenesis, tectonic environment and mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004. (in Chinese)
- [25] Chappell B W, White A J R. Two contrasting granite types: 25 years later[J]. Australian Journal of Earth Sciences, 2001, 48(4): 489-499.
- [26] Chen J F, Zhou T X, Xie Z, et al. Formation of positive $\varepsilon_{\text{Nd}}(T)$ granitoids from the Alataw Mountains, Xinjiang, China, by mixing and fractional crystallization: Implication for Phanerozoic crustal growth[J]. Tectonophysics, 2000, 328(1/2): 53-67.
- [27] Griffin W L, Wang X, Jackson S E, et al. Zircon chemistry and magma mixing, SE China: In-situ analysis of Hf isotopes, Tonglu and Pingtan igneous complexes[J]. Lithos, 2002, 61(3/4): 237-269.
- [28] 王涛, 张磊, 郭磊, 等. 亚洲中生代花岗岩图初步编制及若干研究进展[J]. 地球学报, 2014, 35(6): 655-672.
- Wang T, Zhang L, Guo L, et al. The progress of the preliminary compilation of *Map of Mesozoic Granitoid of Asia* and the research on related key issues[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2014, 35(6): 655-672.
- [29] 孙德有, 吴福元, 林强, 等. 张广才岭燕山早期白石山岩体成因与壳幔相互作用[J]. 岩石学报, 2001, 17(2): 227-235.
- Sun D Y, Wu F Y, Lin Q, et al. Petrogenesis and crust-mantle interaction of Early Yanshanian Baishishan pluton in Zhangguangcai Range[J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(2): 227-235.
- [30] 杨东光. 珲春南部中生代侵入岩的时代、成因及构造背景[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- Yang D G. Geochronology, petrogenesis and tectonic setting of the Mesozoic intrusive rocks in the south Hunchun area[D]. Changchun: Jilin University, 2018.