

内蒙古扎兰屯地区印支期二长花岗岩构造演化： 来自地球化学特征和锆石 U-Pb 年龄的制约

刘文斌¹, 杨延伟^{1*}, 刘翔¹, 班宜红²

LIU Wenbin¹, YANG Yanwei^{1*}, LIU Xiang¹, BAN Yihong²

1. 河南省资源环境调查一院, 河南 郑州 450000;

2. 河南省地质矿产勘查开发局第二地质勘查院, 河南 郑州 451464

1. *The first Institute of Resources and Environment Survey of Henan Province, Zhengzhou 450000, Henan, China;*

2. *Geological Exploration Institute, Henan Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, Zhengzhou 451464, Henan, China*

摘要:扎兰屯地区位于贺根山-黑河构造带中段,区内发育韧性变形叠加的印支期花岗岩。对扎兰屯西北地区印支期糜棱岩化二长花岗岩进行了详细的岩石学、岩石地球化学和锆石 U-Pb 同位素测年,探讨其岩石成因及区域动力学背景。通过 LA-ICP-MS 锆石测年获得扎兰屯西北地区糜棱岩化二长花岗岩的结晶年龄为 242.1 ± 1.8 Ma, 形成时代为中三叠世。地球化学研究显示高硅、高碱、低钙镁特征,属于准铝质-弱过铝质高钾钙碱性花岗岩。岩体富集大离子亲石元素(Rb、U、Th、K),亏损高场强元素(Nb、Ta、Ti),具 Zr、Hf 正异常,总体表现为不相容元素逐渐富集, Sr、P、Ti 亏损程度增加,表现出中等强度负 Eu 异常。结合区域资料认为,印支期二长花岗岩形成于古亚洲洋闭合碰撞造山后,构造环境由挤压向板内稳定-伸展的变迁阶段。

关键词:二长花岗岩; 锆石 U-Pb 定年; 印支期; 扎兰屯地区; 内蒙古

中图分类号: P534.51; P588.12⁺1; P597⁺.3 文献标志码: A 文章编号: 1671-2552(2021)05-0698-09

Liu W B, Yang Y W, Liu X, Ban Y H. Tectonic evolution of Indosinian monzogranite in Zhalantun area, Inner Mongolia: Constraints of geochemistry and zircon U-Pb age. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(5): 698-706

Abstract: The Zhalantun area is located in the center of the Hegenshan-Heihe structural belt. Indosinian granites with superimposed ductile deformation are developed in the area. Based on the detailed studies on petrology, lithochemistry and zircon dating of the Indosinian mylonitized monzonitic granite in the northwestern Zhalantun area, its petrogenesis and regional dynamics background are discussed. LA-ICP-MS zircon dating yields the crystallization age of 242.1 ± 1.8 Ma for the mylonitized monzonitic granite, indicating it was formed in the Middle Triassic. Geochemical studies show that it is of quasi-aluminum-weak peraluminous high-potassium calcium-alkaline granites with high silicon, high alkali, low calcium and magnesium. It is enriched in large ion lithophile elements (Rb, U, Th, K), depleted in high field strength elements (Nb, Ta, Ti), with positive Zr and Hf anomalies, and in general, incompatible elements are gradually enriched. The increasingly depletion of Sr, P and Ti and the moderate negative Eu anomaly were observed. Based on the regional data, it is suggested that the Indosinian monzonitic granite was formed in the compression-extension transition stage of the tectonic environment after the Paleo-Asian Ocean closed collision orogeny.

Key words: monzogranite; zircon U-Pb dating; Indosinian period; Zhalantun area; Inner Mongolia

收稿日期: 2020-04-20; 修订日期: 2020-08-19

资助项目: 内蒙古自治区地质勘查基金项目《内蒙古自治区呼伦贝尔市沃力嘎沟等四幅 1:5 万区域矿产地质调查》(编号: NMKD2014-22)

作者简介: 刘文斌(1966-), 男, 高级工程师, 从事固体矿产勘查研究工作。E-mail: lwbin6135@163.com

* 通信作者: 杨延伟(1986-), 男, 硕士, 工程师, 从事矿床学及岩石地球化学研究。E-mail: yyw198677@126.com

大兴安岭地区位于兴蒙造山带东端, 夹持于西伯利亚板块与华北板块的交汇地带, 前人对兴蒙造山带的演化过程、构造单元划分等进行了详细的研究并取得新的认识^[1-3]。古生代以来, 大兴安岭地区经历了古亚洲洋构造域、蒙古-鄂霍茨克洋构造域在时间和空间上的叠加改造。于晚中生代进入岩石圈伸展环境, 期间整个大兴安岭地区发育大规模的长英质岩浆作用。近年来, 诸多学者对区域中生代中酸性火山岩进行了综合研究^[4-14]。

印支期侵入岩发育相对广泛, 特别是印支晚期岩浆活动更强烈, 侵位面积大, 前人对区域上的扎兰屯岩体(220±18 Ma)、河中岩体(223~301 Ma)、蘑菇气岩体(223~301 Ma)、大石寨岩体(229~236 Ma)进行了详细的年代学及地球化学研究^[15], 这些岩体多具有后碰撞花岗岩的特点。而研究区目前尚无印支早期侵入岩的报道^[16], 晚期区内进入陆内抬升剥蚀阶段, 导致早期形成的侵入岩零星出露, 因此, 对于大兴安岭地区印支期花岗岩区域构造演化及岩浆作用的研究尤为重要。

本文以大兴安岭扎兰屯西北地区糜棱岩化二长花岗岩为研究对象, 分析岩石学、岩石地球化学、年代学特征, 探讨该区中三叠世岩浆构造活动。通过野外详细调查、系统采样及室内测试分析, 结合区域上前人地质研究成果, 对岩石成因及动力学背景进行讨论, 阐述不同时期岩浆作用与大地构造演化之间的关系, 为认识贺根山-黑河构造带印支期构造格局和深部地球动力学过程提供证据。

1 区域地质背景及岩体地质特征

研究区位于内蒙古自治区东北部扎兰屯市西北部约 40 km 处, 大地构造位置位于天山-兴蒙造山系、大兴安岭弧盆系(图 1-a)^[1, 3, 17], 南与锡林浩特岩浆弧接壤, 东临松辽断陷盆地(图 1-a)。古生代隶属于扎兰屯-多宝山岛弧构造带, 中生代属大兴安岭火山岩带中北段。研究区出露地层主要为下奥陶统铜山组 and 上侏罗统火山岩。铜山组为一套浅海相正常沉积的碎屑岩, 厚度约为 475 m, 下部为变质砂岩和变质泥岩夹少量变质火山岩和大理岩, 上部为变质砂岩和变质火山岩互层。上侏罗统火山岩为研究区主体地层, 分别为满克头鄂博组及玛尼土组, 厚度大于 4476 m, 岩石类型主要为中-酸性火山熔岩及碎屑岩, 以及大面积的中生代侵入

岩, 岩石类型主要为糜棱岩化中细粒黑云母二长花岗岩、石英正长岩、石英二长斑岩及花岗斑岩。

印支期二长花岗岩主要出露于研究区西南部天险沟和济沁河及东北部五石门沟沟口、木头垛沟-小二站沟一带(图 1-b), 平面上总体呈条带状、近圆状及不规则面状, 展布方向为北东向。独特的大地构造位置使研究区的地质发展历史漫长, 地质构造复杂, 沉积作用、岩浆作用十分发育。岩性主要为糜棱岩化细中粒黑云母二长花岗岩(图 2-a)及少量花岗质糜棱岩(图 2-b)。岩石多呈灰黑色, 细-中粒花岗结构, 弱糜棱构造, 由钾长石(43%)、斜长石(30%)、石英(25%)、黑云母(2%)组成, 矿物粒度为 1.8~4.3 mm。矿物特征表现为: 钾长石呈浅肉红色、半自形板状, 主要为条纹长石, 条纹呈细脉状、细纹状包含长石晶体; 斜长石呈灰白色, 半自形粒状, 聚片双晶多细密, 弱环带, 晶面多粘土鳞片密集交代, 绢云母鳞片星散交代, 部分双晶错动略弯曲; 石英呈他形粒状, 波状消光强烈, 部分碎裂边缘被碾成细糜流动分布; 黑云母呈片状, 被绿泥石交代呈假象, 解理弯曲。

岩石糜棱岩化强烈, 主要表现为部分石英矿物被碾为细糜绕其他矿物流动。糜棱叶理及矿物拉伸线理均发育, 线理主要由拉长的残斑长石显示, 局部岩石发育眼球状构造, 碎基由碾碎的长英矿物集合体组成。糜棱面理倾向南东, 倾角很陡。在显微尺度上, 各种韧性变形构造特征表现更明显, 残斑长石普遍边缘细粒化, 发育“σ”形和眼球状旋转碎斑系, 有的长石双晶弯曲, 显示粒间剪切滑、移现象。石英多呈细粒集合体定向拉长, 有的拔丝呈条痕状。黑云母呈流状定向分布在残斑周围, 显示韧性剪切流动特征。

2 样品采集及分析方法

为研究糜棱岩化二长花岗岩的地球化学特征和岩石成因, 本次选取 11 件具有代表性的岩石样品进行主量、微量和稀土元素分析。采集 1 件样品进行锆石 U-Pb 测年。

2.1 锆石 U-Pb 定年

样品破碎、锆石挑选、锆石制靶、透射光、反射光和阴极发光(CL)图像的采集均在河北省廊坊区域地质矿产调查研究所完成, 锆石测年由自然资源部天津地质调查中心同位素测试实验室采用 LA-

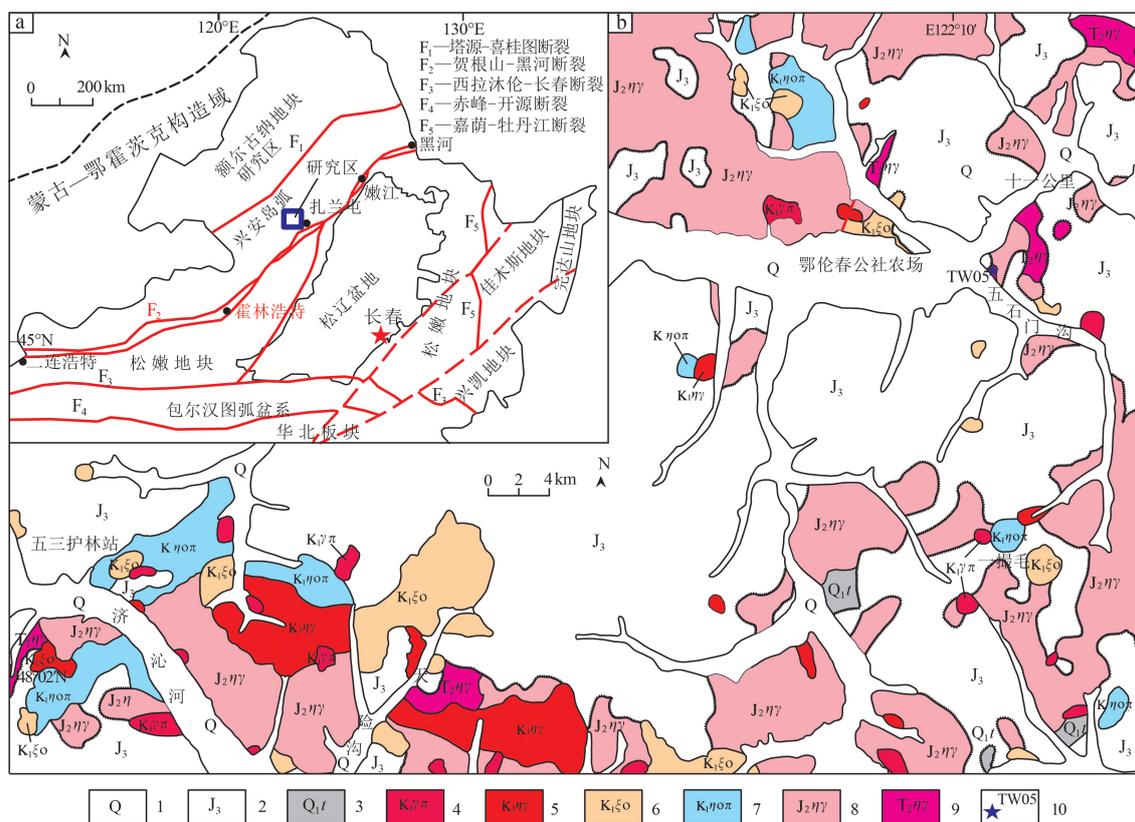


图1 研究区大地构造位置图(a) (据参考文献[5]修改) 及中生代花岗岩分布地质简图(b) (据参考文献①修改)

Fig. 1 The location map of the tectonic structure(a) and the sketch map showing distribution of Mesozoic granites(b)
 1—第四系;2—上侏罗统火山岩;3—下奥陶统铜山组;4—早白垩世花岗岩;5—早白垩世二长花岗岩;6—早白垩世石英正长岩;
 7—早白垩世石英二长斑岩;8—中侏罗世二长花岗岩;9—中三叠世二长花岗岩;10—同位素采样位置

MC-ICPMS 法完成,分析仪器为美国 ESI 公司 NEW WAVE 193nm FX 激光器和美国赛默飞世尔公司 NEPTUNE 多接收等离子质谱仪,首先根据锆石阴极发光图像、反射光和透射光照片,选择锆石的合适的测年晶域,再利用 193 nm 激光器对锆石进行剥蚀。通常采用的激光束斑直径为 35 μm ,频

率为 8~10 Hz,激光器能量密度为 10~11 J/cm^2 ,以 TEMORA 作为外部锆石年龄标准。以 NIST612 玻璃标样作为外标计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量^[18]。

2.2 岩石地球化学分析

岩石地球化学分析测试在河北省廊坊区域地

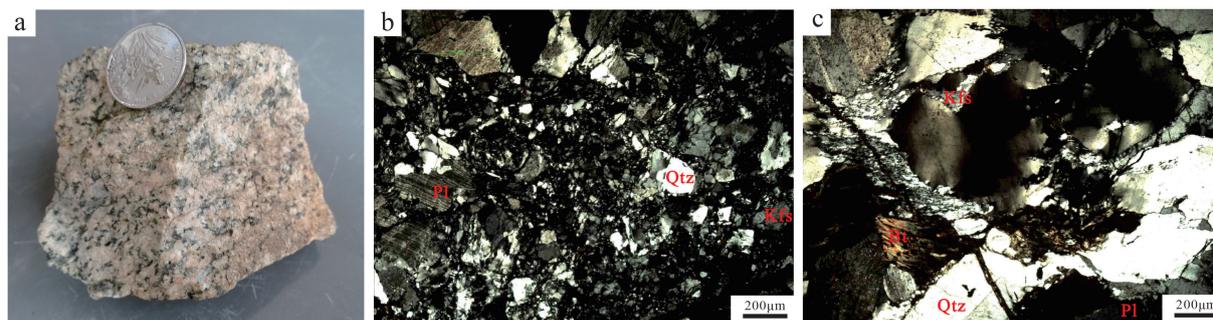


图2 研究区二长花岗岩手标本(a)和显微照片(b,c)

Fig. 2 Specimen photo(a) and micrographs(b,c) of monzogranite in the study area

a—糜棱岩化二长花岗岩;b—花岗质糜棱岩;c—糜棱岩化二长花岗岩;Pl—斜长石;Kfs—钾长石;Qtz—石英;Bt—黑云母

质矿产调查研究所实验室完成, 主量元素采用 XRF 法测定, 仪器型号为荷兰帕纳科公司研制的 Axiso X 射线荧光光谱仪, 分析精度一般优于 2%。稀土和微量元素采用等离子体质谱仪(ICP-MS)测定, 仪器型号为美国赛默飞世尔科技公司(Thermo Fisher Scientific)研制的 X Serise II 型, 并以 GSD9 标准样分析样品浓度的校正标准, 分析精度优于 1%~5%。

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 测年

样品 TW05 采自于研究区五石门沟沟口东山(图 1-b), 岩性为细粒糜棱岩化黑云母二长花岗岩。锆石多呈自形程度较高的柱状晶体, 少数为短柱状, 透明度好, 内部可见少量裂隙和包裹体, 个别晶形不完整, 长轴 100~350 μm, 短轴 60~140 μm; 阴

极发光图像显示, 大部分锆石具清晰的振荡环带(图 3-a); Th/U 值介于 0.64~1.53 之间(平均值为 0.90; 表 1), 显示典型的岩浆锆石特征^[19]。共测试了 25 个测点, 由于放射性铅丢失, 1 个测点(24 号)远离谐和线, 剔除该点后其余 24 个测点均投影于谐和线上或其附近, 具有很好的一致性(图 3-b), ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄集中在 238~250 Ma 之间, 年龄加权平均值为 242.1±1.8 Ma (n=24, MSWD=0.63), 代表岩石结晶年龄, 相当于中三叠世。

3.2 主量元素

在花岗岩 TAS 分类图解(图 4-a)上, 样品点全部落在花岗岩区, 分析结果显示(表 2), SiO₂ 含量为 69.82%~77.33%, 样品相对富钾, K₂O 含量为 3.89%~4.96%, 平均为 4.44%, K₂O/Na₂O 值为 0.80~1.40, 平均为 1.03, Al₂O₃ 含量为 11.91%~15.29%, 里特曼

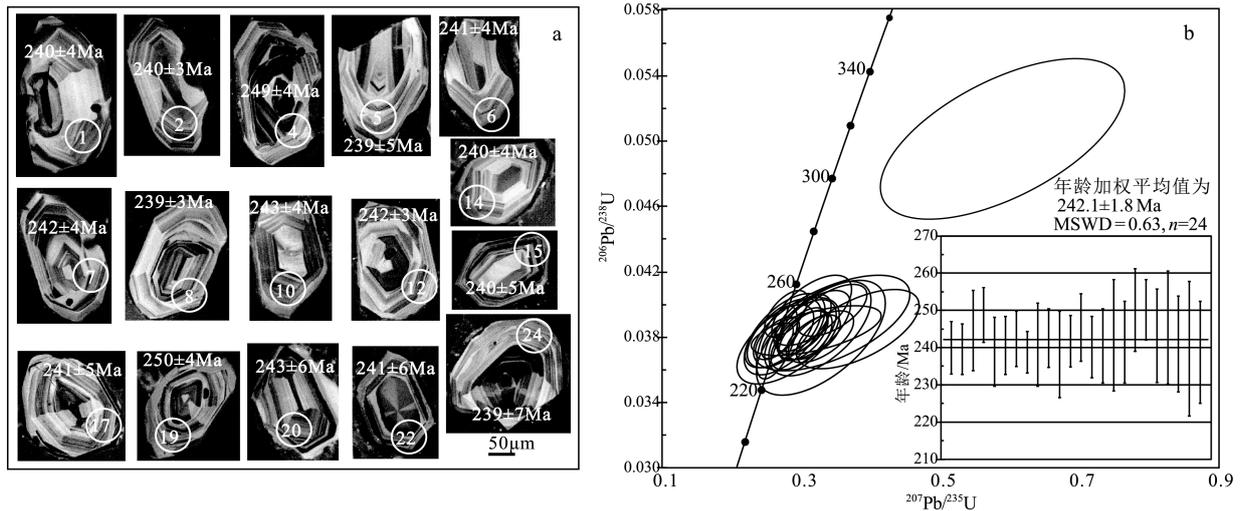


图 3 二长花岗岩代表性单颗粒锆石阴极发光(CL)图像(a)和 U-Pb 年龄谐和图(b)

Fig. 3 CL images of selected zircons(a) and U-Pb concordia diagrams of zircons(b) from monzogranite

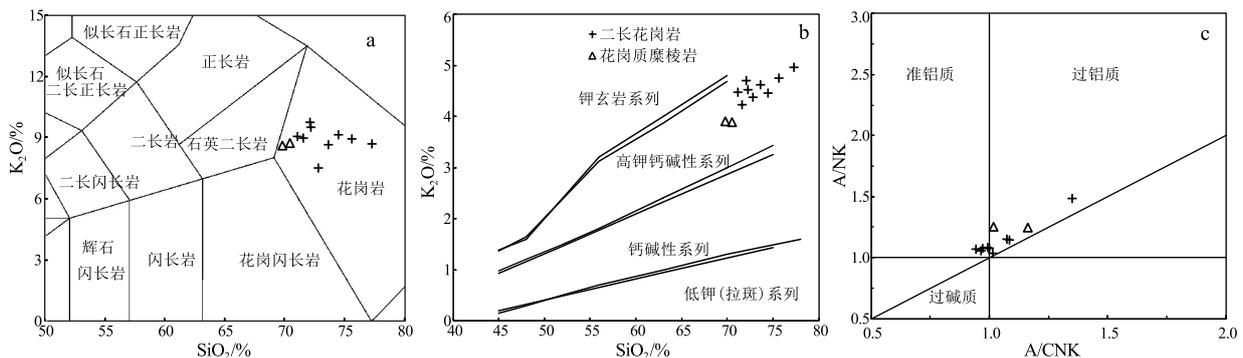


图 4 二长花岗岩 TAS(a)^[20]、SiO₂-K₂O(b)^[21-22]及 A/CNK-A/NK(c)图解

Fig. 4 TAS(a), SiO₂-K₂O(b) and A/CNK-A/NK(c) diagrams of monzogranite

表1 二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素分析结果
 Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb isotope analysis data of monzogranite

测点	含量/ 10^{-6}			同位素比值							年龄/Ma					
	* Pb	Th	U	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	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
1	15.37	338	344	0.98	0.0379	0.0006	0.3160	0.0159	0.0605	0.0032	240	4	279	14	620	115
2	21.49	490	484	1.01	0.0379	0.0005	0.2642	0.0130	0.0506	0.0026	240	3	238	12	224	117
3	15.73	311	355	0.88	0.0387	0.0009	0.3171	0.0218	0.0595	0.0040	245	5	280	19	585	144
4	29.86	838	612	1.37	0.0393	0.0006	0.2769	0.0127	0.0510	0.0024	249	4	248	11	242	107
5	13.09	237	312	0.76	0.0377	0.0007	0.2990	0.0179	0.0575	0.0035	239	5	266	16	509	135
6	21.86	482	501	0.96	0.0380	0.0006	0.3026	0.0145	0.0577	0.0027	241	4	268	13	519	103
7	27.01	654	595	1.09	0.0383	0.0006	0.2999	0.0148	0.0568	0.0028	242	4	266	13	483	109
8	49.25	1129	1122	1.01	0.0377	0.0004	0.2643	0.0095	0.0508	0.0018	239	3	238	9	232	81
9	19.97	433	453	0.96	0.0381	0.0009	0.2975	0.0209	0.0567	0.0039	241	6	264	19	480	153
10	14.98	269	350	0.77	0.0383	0.0006	0.3207	0.0381	0.0607	0.0094	243	4	282	34	628	333
11	106.88	2257	2471	0.91	0.0376	0.0009	0.2644	0.0120	0.0510	0.0027	238	6	238	11	239	121
12	23.39	713	466	1.53	0.0382	0.0005	0.3010	0.0144	0.0572	0.0028	242	3	267	13	497	108
13	17.38	349	389	0.89	0.0388	0.0007	0.3007	0.0170	0.0562	0.0032	245	5	267	15	461	126
14	11.79	236	269	0.88	0.0380	0.0006	0.3268	0.0192	0.0624	0.0037	240	4	287	17	689	127
15	15.54	256	378	0.68	0.0380	0.0008	0.2676	0.0203	0.0511	0.0039	240	5	241	18	244	175
16	12.95	203	311	0.66	0.0385	0.0012	0.3257	0.0301	0.0614	0.0064	243	8	286	26	654	223
17	19.94	362	474	0.77	0.0382	0.0009	0.2743	0.0218	0.0521	0.0047	241	5	246	20	291	206
18	24.02	433	533	0.81	0.0396	0.0009	0.3132	0.0235	0.0574	0.0045	250	6	277	21	508	171
19	13.41	229	306	0.75	0.0396	0.0006	0.3431	0.0205	0.0629	0.0037	250	4	299	18	704	124
20	9.34	184	213	0.87	0.0384	0.0010	0.3808	0.0361	0.0718	0.0066	243	6	328	31	982	186
21	4.71	85	107	0.79	0.0388	0.0012	0.3423	0.0462	0.0640	0.0089	245	8	299	40	741	293
22	3.93	54	399	0.84	0.0381	0.0010	0.2749	0.0236	0.0523	0.0047	241	6	247	21	301	204
23	17.08	334	308	0.79	0.0379	0.0014	0.3273	0.0379	0.0627	0.0076	240	9	287	33	697	260
24	25.12	393	616	0.64	0.0377	0.0011	0.2804	0.0301	0.0539	0.0053	239	7	251	27	367	221

注:误差均为 1σ ; * Pb 为锆石中的全铅含量;同位素比率已采用 ^{208}Pb 校正法进行了普通铅校正

指数 σ 介于 1.88~3.25 之间, 为钙碱系列, 与 $\text{Si}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ 图解(图 4-b)反映的信息一致, 所有样品点均落在高钾钙碱系列。碱度指数 (A/NK) 为 1.03~1.25, 铝过饱和指数 (A/CNK) 为 0.94~1.35, 大部分小于 1.10, 平均为 1.05, 表现为准铝质-弱过铝质特征(图 4-c)。分异指数 DI 在 88.52~97.36 之间, 表明岩浆的分异演化较彻底, 岩石的酸性程度也较高, 岩石属准铝质-弱过铝质的高钾钙碱性花岗岩。

3.3 稀土及微量元素

由表 2 可以看出, 研究区二长花岗岩的稀土元素总量 ($\sum REE$) 为 $110.89 \times 10^{-6} \sim 322.84 \times 10^{-6}$, 平均为 212.61×10^{-6} , 轻、重稀土元素比值 ($LREE/HREE$) 为 7.45~11.92。球粒陨石标准化稀土元素配分图解表现为轻稀土元素富集、重稀土元素亏损的右倾型(图 5-a), $(La/Yb)_N = 4.64 \sim 16.03$, 轻、重稀土元素分异强烈。 δEu 值为 0.22~1.0, 平均为 0.69, 呈现中等强度负 Eu 异常。

微量元素原始地幔标准化蛛网图解(图 5-b)显示, 岩体富集大离子亲石元素 Rb, U, Th, K , 亏损高场强元素 Nb, Ta, Ti , 具 Zr, Hf 正异常, 总体表现为不相容元素逐渐富集, Sr, P, Ti 亏损程度增加。 Nb/La 值为 0.42~0.78, 小于 1, Nb/Ta 值在 8.26~37.01 之间, 多高于原始地幔的 Nb/Ta 值 (17.5 ± 2.0) 和分异型花岗岩的 Nb/Ta 值 (2.3~9.9); Th/Ta 值在 3.08~7.58 之间, 远高于原始地幔的 Th/Ta 值 (2.3), 而低于大陆地壳的 Th/Ta 值 (10)。上述特征反映, 源区受到地幔的混染。

4 讨论

4.1 岩石成因

研究区二长花岗岩矿物组合以条纹长石、石英为主, 主量元素 SiO_2 含量 (69.82%~77.33%)、全碱 ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 含量 (7.5%~9.75%) 均较高, 微量元素富 Rb, U, Th, Pb , 相对贫 Ba, Sr, P, Ti , 具有中等强度负 Eu 异常。在 $10000Ga/Al-(K_2O+Na_2O)$ 图解中均位于 A 型花岗岩区(图 6-a), 而 Y/Nb 值为 1.01~4.19, 平均为 2.11, 大于 1.2, 可能属于造山后伸展环境的 A_2 型花岗岩^[24]。

4.2 构造环境

华力西晚期额尔古纳-兴安岛弧与松嫩地块汇聚拼贴^[25], 区域上沿阿木牛林场-铜矿-巴林一带, 在同碰撞造山挤压机制下, 于东北部铜矿和十二公里一带石英闪长岩和二长花岗岩强力就位; 在挤压机制及岩浆热效应持续作用下, 铜山组发生区域变质作用, 形成板理、片理及许多塑性流变褶皱构造。同时, 中三叠世侵入岩类和铜山组遭受韧性剪切等挤压作用改造, 形成一系列糜棱岩带和碎裂岩带。

对全岩主量元素中 K_2O 与 Na_2O 进行投点可以看出(图 6-a), 所有数据点均落入 A-型区, A-型属于非造山或后造山型花岗岩, 因此研究区二长花岗岩属造山碰撞后机制转换的产物。在岩石化学 $R1-R2$ 构造环境判别图解中, 样品点大多落在晚造山期花岗岩区(图 6-b); 在 $(Y+Nb)-Rb$ 和 $(Yb+Ta)-Rb$ 图解(图 6-c, d)中, 样品点落入火山弧

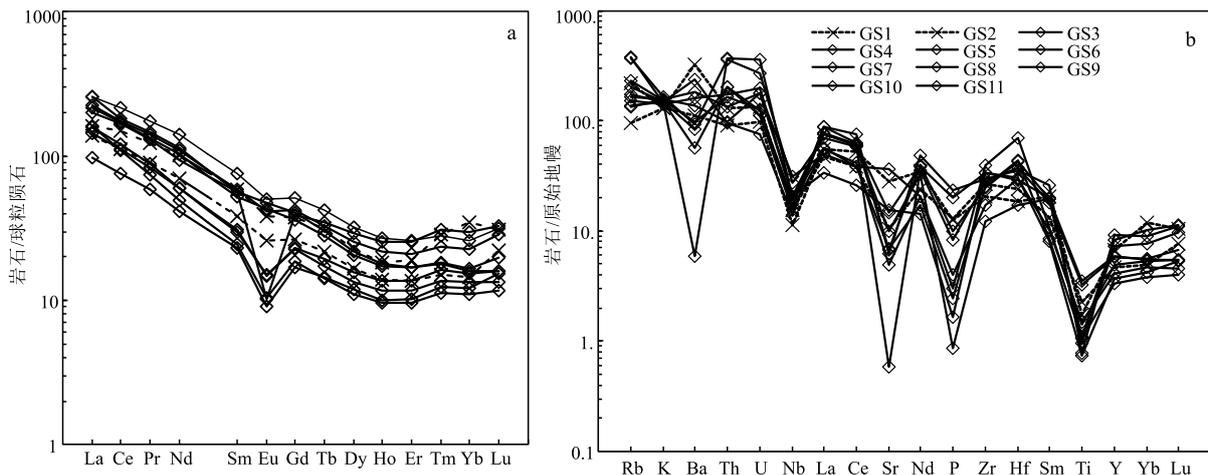


图 5 二长花岗岩稀土元素模式(a)及微量元素蛛网图(b)(球粒陨石和原始地幔标准化数据据参考文献[23])

Fig. 5 Rare earth element model(a) and trace element cobweb diagram(b) of monzogranite

表2 二长花岗岩主量、微量及稀土元素含量与特征参数
Table 2 Contents and parameters of major, trace elements and REE of monzogranite

样号	GS01	GS02	GS03	GS04	GS05	GS06	GS07	GS08	GS09	GS10	GS11
岩性	花岗岩糜棱岩		糜棱岩化中细粒二长花岗岩								
SiO ₂	70.48	69.82	72.85	77.33	75.64	71.12	73.65	72.24	74.50	72.12	71.58
Al ₂ O ₃	15.29	14.91	14.67	11.91	12.90	13.06	13.28	14.17	13.41	14.29	14.26
TiO ₂	0.49	0.38	0.69	0.24	0.16	0.17	0.77	0.32	0.23	0.31	0.21
Fe ₂ O ₃	0.79	1.07	0.76	1.04	0.56	0.96	0.25	1.16	0.92	0.93	0.38
FeO	0.83	2.49	1.11	0.10	0.40	2.27	1.92	0.65	0.36	0.60	2.26
CaO	1.55	0.47	0.54	0.14	0.70	0.66	0.34	0.66	0.51	0.96	0.49
MgO	0.61	0.57	0.83	0.13	0.23	1.66	0.73	0.49	0.30	0.40	0.53
K ₂ O	3.89	3.90	4.37	4.96	4.74	4.48	4.63	4.52	4.46	4.70	4.23
Na ₂ O	4.85	4.72	3.13	3.73	4.18	4.57	4.01	4.97	4.67	5.05	4.76
MnO	0.11	0.39	0.11	0.03	0.03	0.19	0.08	0.07	0.06	0.08	0.12
P ₂ O ₅	0.28	0.28	0.18	0.02	0.04	0.51	0.22	0.09	0.05	0.06	0.43
烧失量	0.74	0.95	0.68	0.32	0.34	0.42	0.84	0.53	0.44	0.35	0.47
总计	99.92	99.94	99.94	99.95	99.91	100.07	100.72	99.87	99.91	99.86	99.72
DI	88.52	88.52	88.79	97.36	95.29	88.81	91.79	93.31	95.1	93.48	91.18
SI	5.57	4.48	8.15	1.35	2.25	11.89	6.32	4.14	2.83	3.45	4.35
A/NK	1.254	1.244	1.484	1.035	1.074	1.055	1.145	1.084	1.073	1.067	1.149
A/CNK	1.018	1.162	1.349	1.013	0.971	0.963	1.086	0.993	0.999	0.944	1.073
σ	2.77	2.76	1.88	2.19	2.44	2.91	2.43	3.07	2.64	3.25	2.82
Ga	20.5	20.6	24.0	28.2	22.9	17.2	20.5	17.0	17.2	28.4	21.8
Rb	139	60	238	235	104	88	149	128	109	85	97
Sr	219.51	595.62	12.18	209.79	330.21	129.96	143.64	104.13	144.36	769.95	309.78
Zr	299	233	313	136	378	334	276	190	283	441	380
Nb	11.10	8.11	14.11	19.35	14.76	9.97	12.03	11.12	13.52	22.36	14.82
Ta	0.78	2.71	0.85	1.32	2.27	0.91	0.81	1.06	1.11	1.29	1.24
Ba	2247.30	788.40	41.45	641.88	1275.30	1674.0	679.05	396.27	590.85	949.50	1124.1
Hf	7.39	5.69	11.48	5.27	9.44	11.06	13.14	9.16	13.42	21.69	8.87
Th	10.95	7.74	31.45	30.50	11.33	8.20	13.88	17.37	17.11	8.35	14.5624
U	2.78	2.08	7.47	5.74	3.76	1.57	2.64	2.34	2.57	3.74	4.14
La	32.65	38.18	51.53	47.76	23.21	60.73	60.62	37.67	38.49	34.33	53.43
Ce	68.26	92.20	105.56	103.06	46.56	133.17	111.94	73.18	67.54	67.96	107.79
Pr	8.57	11.72	12.56	12.52	5.58	16.72	14.02	8.33	7.03	7.95	13.38
Nd	32.78	46.88	48.44	44.11	19.39	65.75	53.60	28.21	23.00	27.89	51.57
Sm	5.87	9.03	7.96	8.58	3.55	11.48	8.70	4.55	3.77	4.77	8.94
Eu	1.51	2.22	2.52	0.59	0.53	2.91	2.76	0.87	0.60	0.85	2.41
Gd	5.44	7.69	7.42	7.99	3.46	10.57	8.35	4.63	3.83	4.73	8.67
Tb	0.81	1.17	1.05	1.31	0.55	1.58	1.13	0.64	0.53	0.72	1.23
Dy	4.19	5.70	5.27	7.45	3.03	8.22	5.49	3.40	2.83	3.98	6.41
Ho	0.79	1.03	0.98	1.44	0.56	1.53	1.01	0.66	0.54	0.78	1.23
Er	2.26	3.16	2.77	4.21	1.68	4.29	2.82	1.93	1.58	2.28	3.48
Tm	0.38	0.73	0.46	0.78	0.32	0.72	0.46	0.35	0.29	0.41	0.60
Yb	2.45	5.90	2.80	5.08	2.08	4.38	2.71	2.28	1.88	2.62	3.82
Lu	0.57	0.78	0.50	0.83	0.39	0.81	0.40	0.34	0.30	0.41	0.72
Y	21.40	30.99	26.15	37.18	16.70	41.78	27.10	18.85	15.36	22.61	33.09
ΣREE	166.52	226.39	249.81	245.69	110.89	322.84	274.01	167.04	152.20	159.67	263.67
LREE/HREE	8.86	7.65	10.76	7.45	8.19	9.06	11.24	10.75	11.92	9.02	9.08
La _N /Yb _N	9.58	4.64	13.22	6.74	7.99	9.95	16.03	11.88	14.66	9.41	10.03
δEu	0.82	0.82	1.00	0.22	0.46	0.81	0.99	0.58	0.48	0.55	0.84

注:A/NK=(Al₂O₃)/(Na₂O+K₂O)摩尔分数比;A/CNK=(Al₂O₃)/(CaO+Na₂O+K₂O)摩尔分数比;里特曼指数σ=(Na₂O+K₂O)²/(SiO₂-43);主量元素含量单位为%,微量和稀土元素含量单位为10⁻⁶

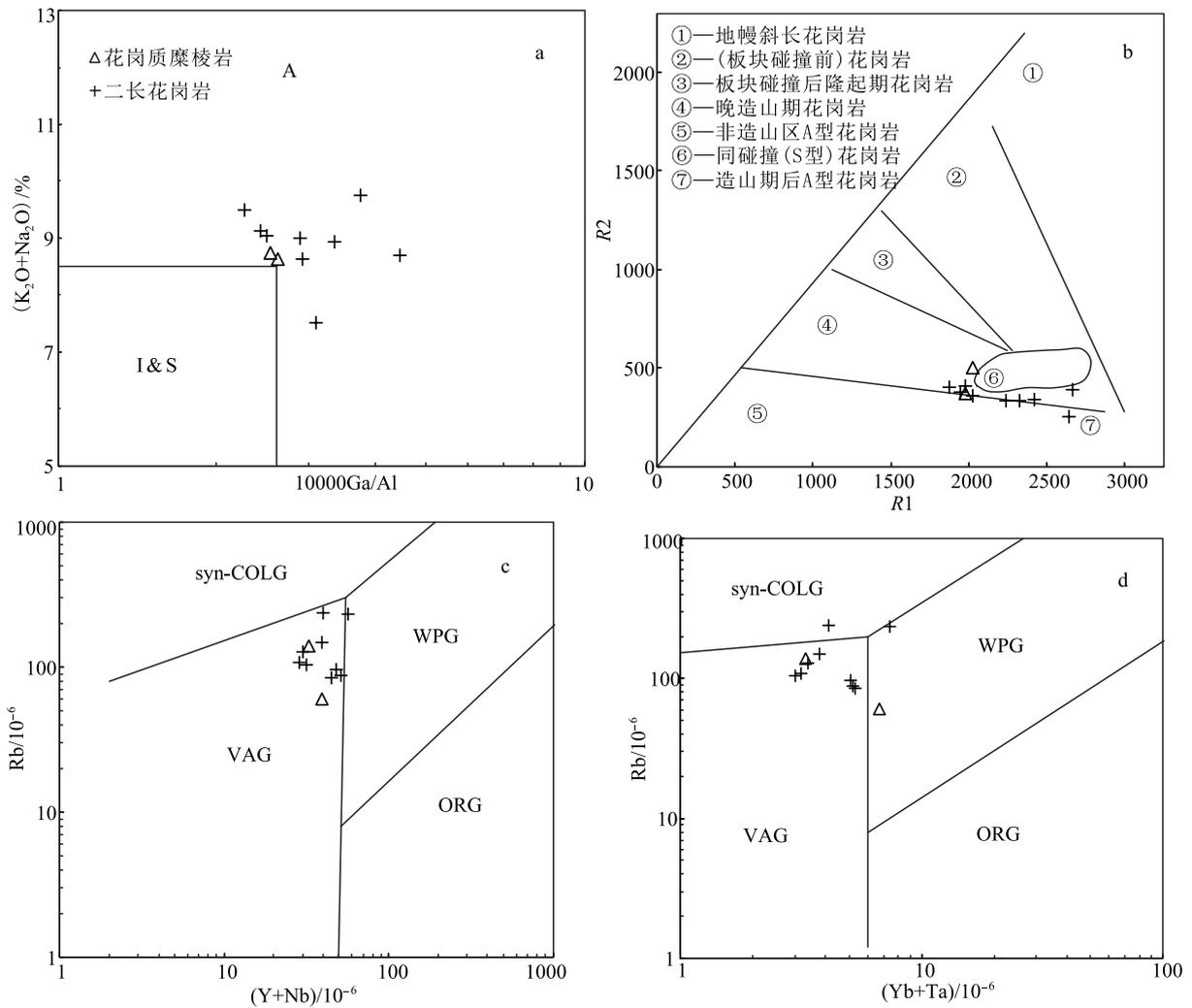


图 6 二长花岗岩体 10000Ga/Al-(K₂O+Na₂O)图解(a)、R1-R2 构造环境判别图(b)^[26]、
(Y+Nb)-Rb 图解(c)和(Yb+Ta)-Rb 图解(d)^[27]

Fig. 6 Diagrams of 10000Ga/Al-(K₂O+Na₂O) (a), R1-R2 structural environment discrimination(b), (Y+Nb)-Rb(c)
and (Yb+Ta)-Rb(d) of monzogranite

syn-COLG—同碰撞花岗岩; VAG—火山弧花岗岩; WPG—板内花岗岩; ORG—洋中脊花岗岩

花岗岩(VAG)及板内花岗岩(WPG)的界线附近。结合区域地质背景认为,研究区二长花岗岩具岛弧花岗岩的特征,可能形成于造山后由挤压向伸展稳定的构造环境,陆壳重熔上升侵位,并在成岩后遭受韧性剪切挤压应力的改造。

4.3 地质意义

扎兰屯地区晚古生代早期存在 3 期花岗质岩浆活动, I 期(405~380 Ma)和 II 期(365~350 Ma)为古亚洲洋向额尔古纳-兴安地块北西向俯冲期, III 期(335~325 Ma)为额尔古纳-兴安地块与松嫩地块拼合后碰撞期^[5]。受印支期构造运动的影响,三

叠纪内蒙古大部分地区抬升隆起成为剥蚀区,只在局部地区接受沉积,仅在兴安盟西部五叉沟地区出露早三叠世哈达陶盖组火山岩^[28],最新研究成果表明可能属晚三叠世^[29]。

早三叠世由于古亚洲洋沿西拉木伦河—长春一线闭合,碰撞使贺根山—黑河构造带活化,碰撞应力推动年轻地壳沿贺根山—黑河一线由南向北俯冲^[28]。该时期岩石圈地幔及加厚地壳发生部分熔融,扎兰屯地区进入地壳加厚向后造山伸展机制转换时期,韧性变形及岩浆作用强烈,至中三叠世在板块构造后碰撞机制和地幔柱提供热动力学背景

下,为印支期壳幔混合(染)岩浆作用就位提供了物质,同期有大量花岗岩就位。

在铜矿沟见中三叠世二长花岗岩侵入下奥陶统铜山组,部分地段被早白垩世二长花岗岩侵入,与上侏罗统满克头鄂博组呈喷发不整合接触;在小二站沟中三叠世二长花岗岩被中侏罗世二长花岗岩侵入。因而,本期次侵入岩形成时代应晚于早奥陶世、早于中侏罗世。研究区在中三叠世侵入岩之后最早的地质体为中侏罗世花岗岩类,研究区见中侏罗世二长花岗岩侵入中三叠世石英闪长质糜棱岩,说明该剪切带变形时代应在中侏罗世之前,即在该期韧性剪切变形作用活动的同时,中三叠世二长花岗岩体就位。

5 结论

(1)内蒙古扎兰屯西北地区糜棱岩化二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 242.1 ± 1.8 Ma, 代表岩体形成于中三叠世。

(2)岩石属准铝质-弱过铝质高钾钙碱性花岗岩类,岩体普遍叠加韧性变形,表明其可能为碰撞后地壳加厚向后造山伸展转换背景下侧向逃逸作用的产物。

(3)印支期侵入岩时代及构造环境研究,为研究区内兴安岛弧的构造演化及中三叠世扎兰屯地区所处的大地构造环境提供了精确的时代依据。

参考文献

- [1] 潘桂棠,陆松年,肖庆辉,等.中国大学构造阶段划分和演化[J].地质前缘,2016,23(6): 1-23.
- [2] 徐备,赵盼,鲍庆中,等.兴安造山带前中生代构造单元划分初探[J].岩石学报,2014,30(7): 1841-1857.
- [3] 张克信,潘桂棠,何卫红,等.中国构造-地层大区划分新方案[J].中国地质大学学报,2015,40(2): 206-233.
- [4] 王春林,孟明亮,鲁孝军,等.内蒙古多伦晚中生代中酸性火山岩岩石地球化学特征及构造环境分析[J].地质与勘探,2018,54(5): 988-990.
- [5] 钱程,陆露,秦涛,等.大兴安岭北段扎兰屯地区晚古生代早期花岗岩质岩浆作用——对额尔古纳-兴安地块和松嫩地块拼合时限的制约[J].地质学报,2018,92(11): 2190-2214.
- [6] 李仰春,汪岩,吴淦国,等.大兴安岭北段扎兰屯地区铜山组源区特征:地球化学及碎屑锆石 U-Pb 年代学制约[J].中国地质,2013,40(2): 391-399.
- [7] 张吉衡.大兴安岭中生代火山岩年代学及地球化学研究[D].中国地质大学(武汉)博士学位论文,2009.
- [8] 高峰,郑常青,姚文贵,等.大兴安岭北段扎兰屯哈多河“花岗质糜棱岩”年代学及地球化学特征研究[J].地质学报,2013,87(9): 1277-1289.
- [9] 刘金龙,周永恒,吴琼,等.内蒙古扎兰屯北部地区早白垩世酸性火山岩锆石 U-Pb 年代学和地球化学研究[J].地质学报,2019,93(12): 3111-3121.
- [10] 张渝金,张超,吴新伟,等.大兴安岭北段扎兰屯地区晚古生代海相火山岩年代学和地球化学特征及其构造意义[J].地质学报,2016,90(10): 2706-2720.
- [11] 张渝金,吴新伟,江斌,等.大兴安岭扎兰屯地区格根敖包组碎屑锆石 U-Pb 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),2015,45(2): 404-414.
- [12] 周建波,王斌,曾维顺,等.大兴安岭地区扎兰屯变质杂岩的碎屑锆石 U-Pb 年龄及其大地构造意义[J].岩石学报,2014,30(7): 1879-1888.
- [13] 余宏全,李进文,向安平,等.大兴安岭中北段原岩锆石 U-Pb 测年及其与区域构造演化关系[J].岩石学报,2012,28(2): 571-594.
- [14] 高龙飞,和钟铎,隋振民,等.大兴安岭中段索伦地区满克头鄂博组火山岩年龄、地球化学特征及其构造环境[J].地质通报,2018,37(5): 881-892.
- [15] 李世超.大兴安岭中段三叠-侏罗纪构造演化研究[D].中国地质科学院博士学位论文,2012.
- [16] 王轩.内蒙古扎兰屯阿木牛林场中三叠世侵入岩岩石特征及形成时代探讨[J].科学技术创新,2019,12: 28-29.
- [17] 内蒙古自治区地质矿产局.内蒙古自治区岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1996.
- [18] 李怀坤,耿建珍,郝爽,等.用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究[J].矿物学报,2009,28(增): 600-601.
- [19] 吴元保,郑永飞.锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J].科学通报,2004,49(16): 1589-1604.
- [20] Middlemost E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system[J].Earth Science Reviews,1994,37(3/4): 215-224.
- [21] Middlemost E A K. Magmas and Magmatic Rocks[M]. London: Longman,1985: 1-266.
- [22] Peccerillo R, Taylor S R. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey[J]. Contrib.Mineral.Petrol,1976,58: 63-81.
- [23] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[C]//Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42: 313-345.
- [24] Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids. Petrogenetic and tectonic implications[J].Geology,1992,20(7): 641.
- [25] 洪大卫,王式洗,韩宝福,等.碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志[J].中国科学(B辑),1995,25(4): 418-426.
- [26] Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[J]. Chem. Geol., 1985, (48): 43-55.
- [27] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J].J.Petrol., 1984,25: 956-983.
- [28] 李世超,张凌宇,李鹏川,等.大兴安岭中段早三叠世 O 型埃达克岩的发现及其大地构造意义[J].地球科学,2017,42(12): 2117-2128.
- [29] 马永非,刘永江,温泉波,等.大兴安岭中段晚三叠世哈达陶勒盖组火山岩成因及构造背景[J].地球科学,2017,42(12): 2146-2173.
- ①班宜红,刘朝阳,李继超,等.内蒙古自治区呼伦贝尔市沃力嘎沟等四幅 1:5 万区域矿产地质调查报告.2017.