热烈庆祝中国地质学会成立100周年
1922～2022
Pre-pub. on line: www.geojournals.cn/georev

大兴安岭北段诺敏大山地区早白垩世侵入岩地球化学特征及其构造意义

任永健，张成信，张明明，程烁，高立湧，于汪，赵寒，王畅，张伟胜
中化地质矿山总局地质研究院，北京，100013

内容提要：本文选择大兴安岭北段诺敏大山地区早白垩世侵入岩进行了锆石 U-Pb 年代学和地球化学研究，探讨该区域侵入岩成因类型、岩浆来源及构造环境。该区侵入岩岩性主要为正长花岗岩、正长花岗斑岩和似斑状正长花岗岩，对其中正长花岗岩样品进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年表明，正长花岗岩侵位年龄为 129.5±0.4 Ma，应为早白垩世岩浆活动的产物，结合区内侵入岩与地层相互接触关系，本区侵入岩形成时代为早白垩世。区内侵入岩具有富硅（SiO_2 = 67.36%～74.09%）、富碱（K_2O+Na_2O = 8.88%～9.34%）、高铝（Al_2O_3 = 12.56%～16.15%），低 MgO、TiO_2、CaO 的特点，属于高钾钙碱性岩石系列；铝饱和指数（A/CNK）为 0.94～1.31，为准铝质—过铝质岩石。微量元素富集 Rb、U、Th、K 等大离子亲石元素，强烈亏损 Ti、Nb、Sr、P 等高场强元素，具有明显的 Eu 负异常，属于高分异 I 型花岗岩。岩石 Rb/Sr 为 0.9～2.0，Sr/Y 为 4.2～7.2，显示出高 Sr、低 Y 的特点，指示岩浆源区为地壳物质的部分熔融。结合区域研究成果，蒙古—鄂霍茨克构造域在早白垩世之前已结束碰撞，诺敏大山地区早白垩世岩浆活动可能发生在蒙古—鄂霍茨克造山后的伸展环境。

关键词：大兴安岭北段；诺敏大山地区；早白垩世；地球化学；构造环境

大兴安岭地区作为兴蒙造山带的重要组成部分，由北西向南东跨越了额尔古纳地块、兴安地块及松嫩地块三大地块，是研究造山带构造演化的重要地区（刘永江等，2010，2016；曾涛等，2012）。显生宙以来，受古亚洲洋构造体制、蒙古—鄂霍茨克洋构造体制及古太平洋构造体制等多期重要构造事件影响，区域内岩浆活动极其强烈。目前，关于大兴安岭北段中生代岩浆活动的构造背景还存在较大争议，主要存在受蒙古—鄂霍茨克洋闭合的影响、受古太平洋板块俯冲的影响、或受两者共同作用的影响等观点（高源等，2013；宋立忠等，2010；Tang Jie et al.，2015；Wang Tao et al.，2015；李锦轶等，2009）。

由此可见，还需要进一步深入研究大兴安岭北段中生代侵入岩构造背景，有助于对额尔古纳—兴安地块与松嫩地块构造演化提供新的依据，具有重要的研究意义。本文对大兴安岭北段诺敏大山地区早白垩世侵入岩体进行了系统采样，深入研究了早白垩世侵入岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄和构造背景等，在前人研究的基础上，探讨了蒙古—鄂霍茨克洋构造域和太平洋构造域对于区域构造演化和构造岩浆活动的影响，以期为区域构造演化提供新的资料。

1 区域地质背景及岩体地质

研究区位于大兴安岭北段诺敏大山一带，大地构造位置处于鄂伦春早—中华力西褶皱带与伊尔施加里东褶皱带结合部位，以区域型断裂构造头道桥—鄂伦春深大断裂为界，北西侧处于陈巴尔虎旗—根河晚中生代火山盆地，南东侧处于博克图—鄂伦春晚古生代深成岩杂岩区（图 1）。区域上出露的地层主要有新元古界青白口系佳疙疸组、中生界上侏罗统满克头鄂博组和玛尼吐组、下白垩统白音高老组及新生界第四系。区域上印支期—燕山期岩浆活动较为频繁，除大规模中生代火山岩外，还形成了广泛分布的侵入岩，主要由中酸性—酸性岩浆岩组成。岩石类型主要为正长花岗岩、正长花岗斑岩和似斑状正长花岗岩等，其中以正长花岗岩体出露面积最大。

似斑状正长花岗岩主要分布于研究区七十二公里幅莫果吉大山附近，总体呈北东向展布，侵入上侏

注：本文为内蒙古地质勘查基金项目“内蒙古呼伦贝尔市诺敏大山等三幅 1∶5 万区域矿产地质调查”（编号：NMKD2015-18）的成果。
收稿日期：2022-01-04；改回日期：2022-04-24；网络首发：2022-05-20；责任编辑：章雨旭。Doi：10.16509/j.georeview.2022.05.055
作者简介：任永健，男，1986 年生，高级工程师，矿产普查与勘探专业，主要从事区域地质矿产调查工作；Email：mysky0315@126.com。

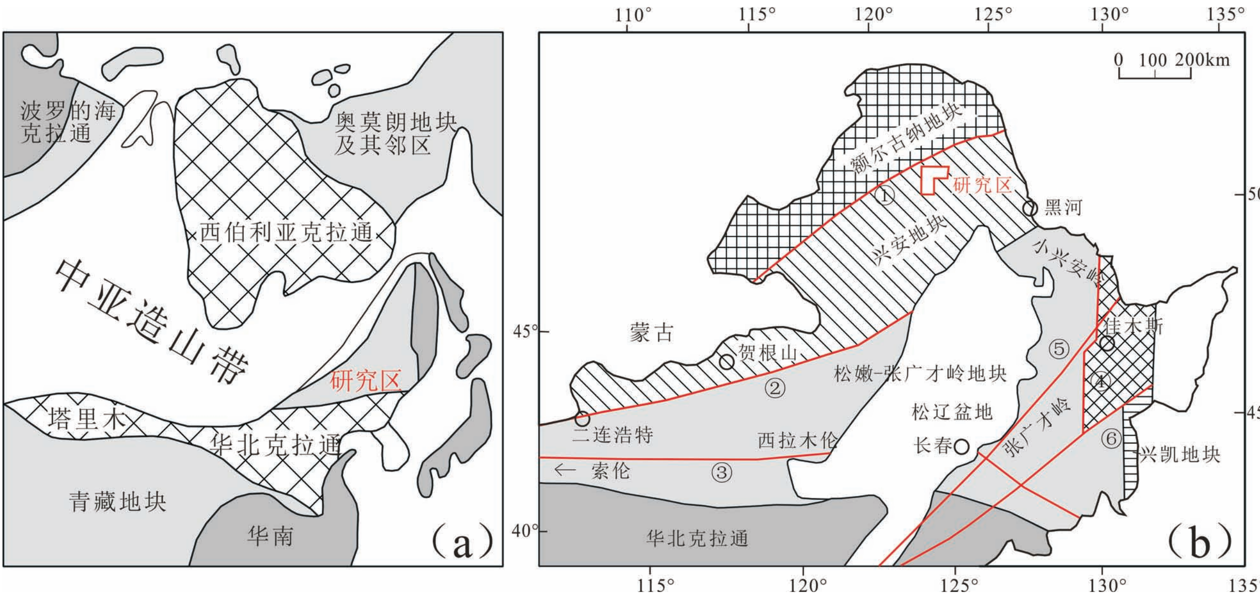

图 1 东亚(a)和中国东北地区(b)大地构造简图(据任永健,2019 修改)

Fig. 1 The tectonic sketch map of eastern Asia(a) and northeastern China(b)(modified after Ren Yongjian,2019)

罗统满克头鄂博组中。岩石具斑状结构,块状构造,由斑晶和基质两部分组成,矿物成分主要有斜长石、钾长石,次要矿物黑云母、石英,副矿物有磷灰石、磁铁矿等,蚀变矿物主要有绢云母、绿泥石、高岭石、帘石类等。

正长花岗斑岩主要分布于研究区哈达汗萤石矿北侧、十四支线两侧,总体呈北东向展布。岩石呈肉红色,斑状结构,块状构造。主要矿物成分由斑晶和基质组成,其中斑晶以钾长石为主,含量占斑晶的 80%~95%,粒径变化较大,中细粒在 0.4~2.6 mm 之间、中粗粒在 2~3.7 mm 之间、粗粒最大可达 7.6 mm±,有的可见卡尔斯巴双晶,部分可见条纹结构,其次见少量斜长石或石英等斑晶。基质主要也由他形钾长石组成,其次为少量的石英、斜长石或绢云母等,多为显微微粒结构,部分为细粒结构,半自形—他形。副矿物多为磁铁矿、磷灰石等,多数见绢云母化、高岭石化等蚀变。

中(细)粒正长花岗岩,在区内分布广泛,出露面积最大。分别侵入青白口系佳疙疸组、上侏罗统满克头鄂博组地层之中。岩石类型有中细粒正长花岗岩、细粒正长花岗岩。岩石呈浅肉红色,中细粒花岗结构,块状构造。主要由石英、碱性长石、斜长石组成,斜长石呈自形—半自形粒状,粒径多为 0.45~3 mm,粒内聚片双晶发育,发育轻微土化;碱性长石呈半自形粒状,粒径 0.3~3 mm,发育轻微土化、绢云母化,表面污浊,主要为钾长石和少量微斜长石;微斜长石粒内见细密而宽窄不一的格子双晶;石英呈他形粒状。

2 样品采集与分析方法

本文所涉及的部分岩石地球化学样品数据来源于笔者等在该区进行 1∶5 万矿调工作的资料,用于岩石地球化学分析的样品包括 2 件正长花岗岩和 2 件似斑状正长花岗岩,用于同位素测年分析样品采集于正长花岗岩体,其他样品数据来源于 1∶25 万额尔古纳左旗幅区域地质调查报告❷。

主量、微量和稀土元素分析在中化地质矿山总局中心实验室完成。野外采集新鲜无蚀变的岩石样品,首先用水将样品表面冲洗干净并晾干,机械破碎至 200 目后送实验室分析。主量元素在样品制成熔片后通过 X 射线荧光光谱法(XRF)测试,相对误差在元素丰度>1.0%时为±1%,元素丰度<1.0%时为±10%;FeO 采用氢氟酸、硫酸溶样、重铬酸钾滴定容量法,分析相对误差小于 2%,微量元素使用 ICP-MS 测试,样品测定值和推荐值的相对误差小于 10%,且所有值均在 5%以内。

本文测年样品的锆石分选、制靶及阴极发光照相均由河北省廊坊市科大岩石矿物分选技术服务有限公司完成,先用常规方法将样品粉碎至 80~100 目,双目镜下挑选晶形和透明度较好、无裂痕、无包

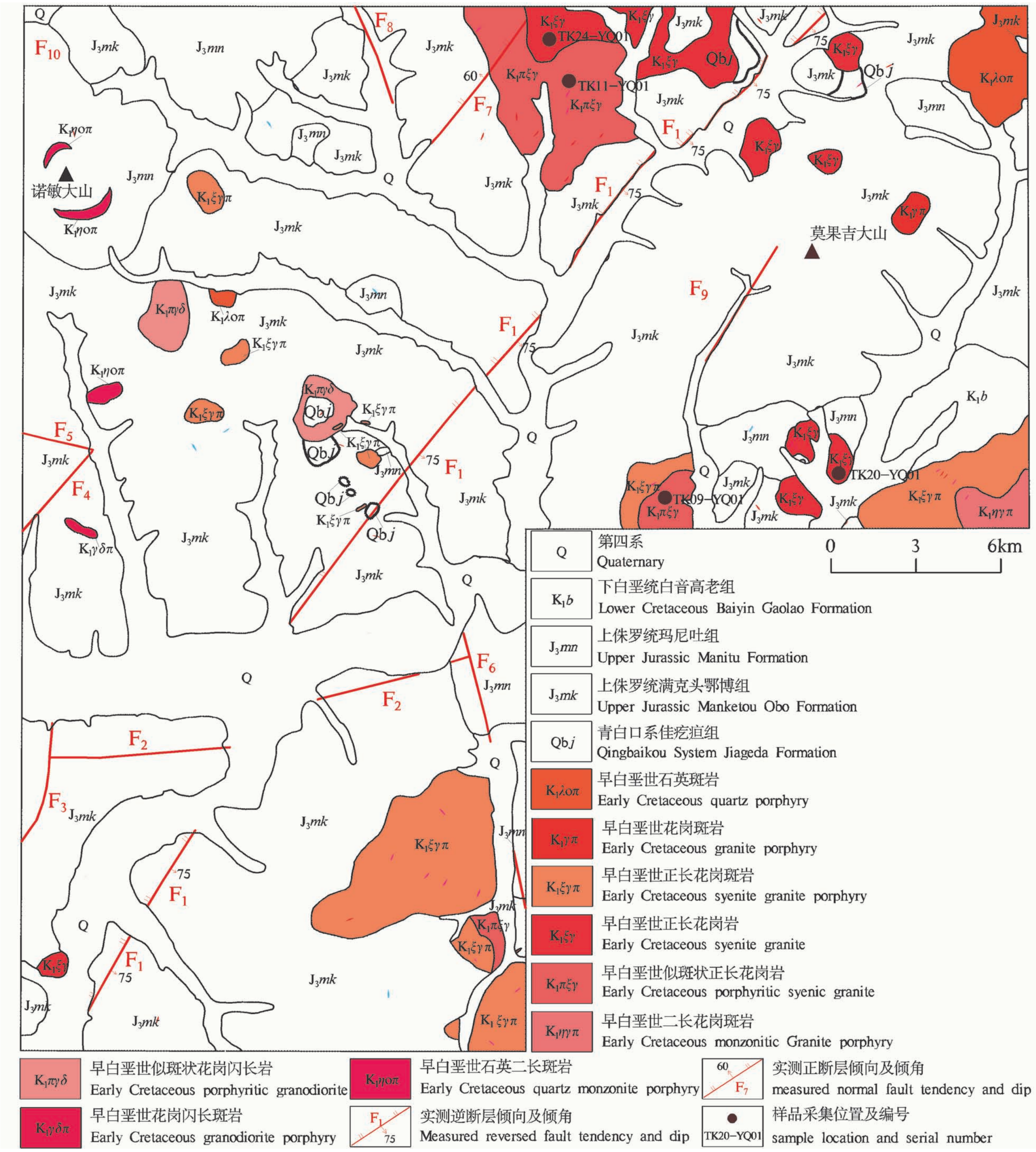

图 2 大兴安岭北段诺敏大山地区地质简图❶

Fig. 2 Geological sketch map of the Mount Nuomin area, northern Great Hinggan Mountains

裹体、颗粒较大的锆石颗粒,用无色透明的环氧树脂浇灌固定,待环氧树脂固化后进行打磨、抛光,然后对其进行透射光、反射光和阴极发光(CL)图像的采集。LA-ICP-MS 测试在中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室完成。激光剥蚀系统为 GeoLas Pro,ICP-MS 为 Agilent 7500,激光束斑直径为 32μm。实验中采用高纯 He 作为剥蚀物质载气,用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐剥离标准参考物质 NIST SRM610 进行仪器最佳化,样品测定时用哈佛大学标准锆石 91500 作为外部校正,以保证标准和样品的仪器条件完全一致。详细的实验原理和流程参见

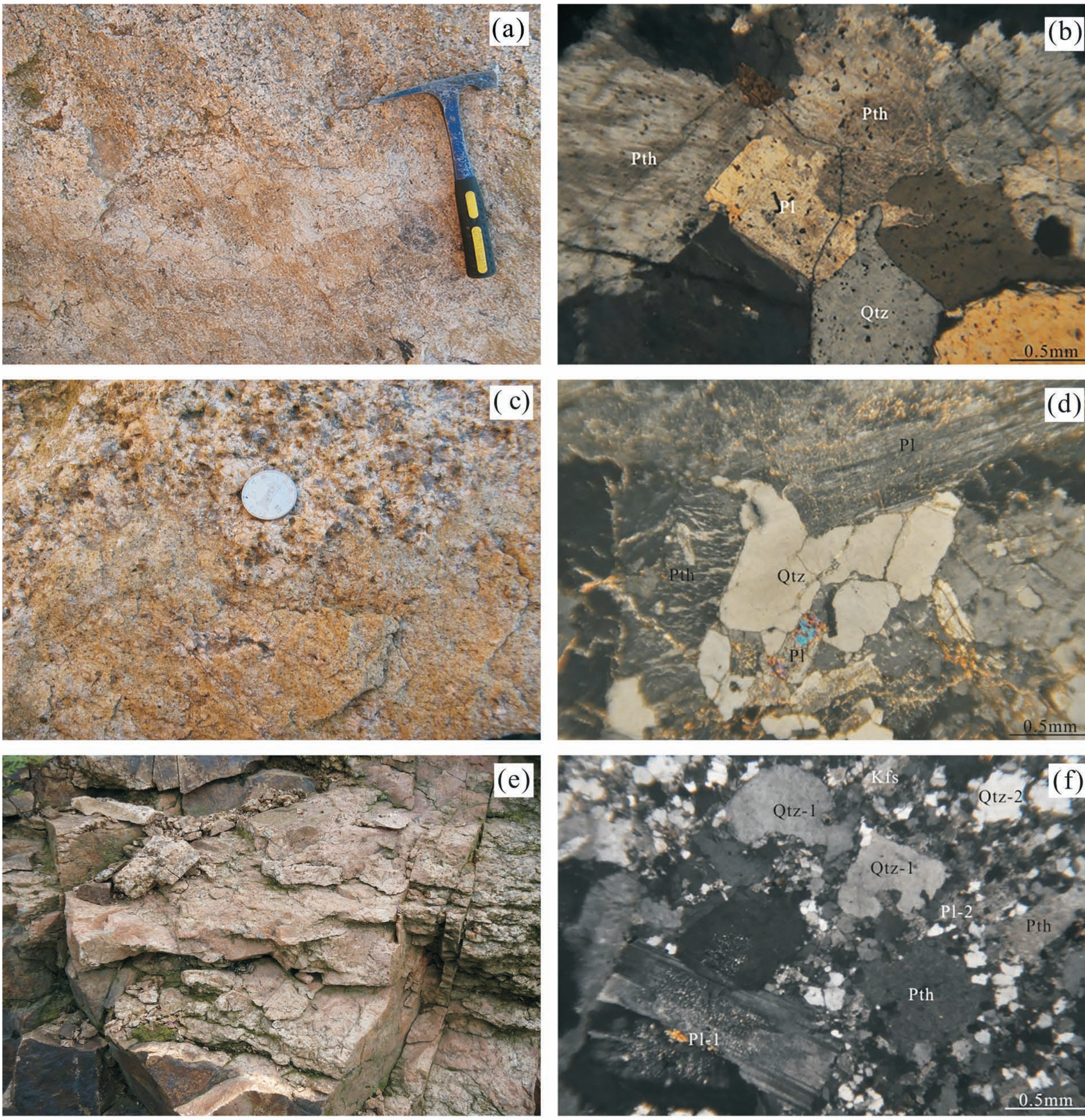

图 3 研究区侵入岩野外及显微照片：(a)、(b)—中细粒正长花岗岩；(c)、(d)—似斑状正长花岗岩；(e)、(f)—正长花岗斑岩

Fig. 3 Geological feature and photomicrographs of granite in the study area：(a)，(b)— medium—fine-grained syenite granite；(c)，(d)— porphyritic syenite granite；(e)，(f)— syenite granite porphyry

Pl—斜长石；Kfs-钾长石；Mc—微斜长石；Pth—条纹长石；Qtz—石英

Pl— plagioclase；Kfs- potassium feldspar；Mc— micro plagioclase；Pth— perthite；Qtz— quartz

Liu Yongsheng et al. (2010)，采用 ICP-MS DataCal 程序和 Isoplot(ver3.0)程序进行数据处理(Ludwig，2003)，给定的同位素比值和年龄误差均为 1σ。

3　分析结果

3.1　形成时代

样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果见表 1。

样品 TK24-TW 为中细粒正长花岗岩，从锆石阴

极发光图像可以看出锆石全部为半自形—自形粒状，显示典型的岩浆振荡生长环带，锆石 Th/U 值介于 0.7～1.56 之间，均反映其锆石岩浆成因特点。20 颗锆石校正后有效数据 18 个，所测定的 18 颗锆石 $n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$ 年龄值介于 126.3±5.5～130.7±1.7 Ma 之间，测定数据谐和度较高，$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$ 加权平均年龄为 129.5±0.4 Ma(MSWD =0.69)，代表了中细粒正长花岗岩体岩浆结晶年龄，其形成时代为早白垩世(图 4)，结合野外各岩体与地层间接触关系及前人研究成果，研究区侵入岩形成时代均为早白垩世。

3.2　岩石地球化学特征

诺敏大山地区早白垩世侵入岩的主量元素、稀土元素及微量元素分析数据见表 2。

由表 2 可以看出，研究区侵入岩样品的主量元素特征基本一致，其 SiO_2 含量相对较高(67.36%～74.09%)，MgO 含量较低(0.2%～1.03%)，TiO_2 含量较低(0.17%～0.4%)，Al_2O_3 含量普遍较高(12.56%～16.15%)，碱质含量高(K_2O+Na_2O = 8.88%～9.34%)，且相对富 K_2O，属于高钾钙碱性岩石系列(图 5a)。其 K_2O/Na_2O 平均为 1.18，里特曼指数 σ 为 2.61～3.23，分异指数 *DI* 为 86.62～95.84，铝饱和指数(A/CNK)在 0.94～1.31，区内侵入岩呈现出准铝质—过铝质特征(图 5b)。

早白垩世侵入岩稀土元素分析结果显示，其 ∑REE 介

表 1 大兴安岭北段诺敏大山地区正长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年数据

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb dating data of syenite in the Mount Nuomin area, northern Great Hinggan Mountains

测点号	元素含量($×10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度(%)
	Pb	Th	U		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	
1	20	1005	644	1.56	0.0559	0.0078	0.1470	0.0168	0.0198	0.0009	455.6	314.8	139.2	14.9	126.3	5.6	90
2	17	696	592	1.17	0.0534	0.0025	0.1477	0.0070	0.0200	0.0003	346.4	108.3	139.9	6.2	127.8	1.8	90
3	11	379	380	1.00	0.0537	0.0041	0.1497	0.0115	0.0203	0.0005	366.7	172.2	141.7	10.2	129.3	3.4	90
4	15	506	555	0.91	0.0536	0.0026	0.1476	0.0076	0.0199	0.0003	353.8	111.1	139.8	6.8	127.0	1.8	90
5	23	806	846	0.95	0.0487	0.0018	0.1355	0.0050	0.0203	0.0002	200.1	88.9	129.0	4.4	129.5	1.5	99
6	28	1072	965	1.11	0.0492	0.0017	0.1379	0.0046	0.0204	0.0002	166.8	77.8	131.2	4.1	130.1	1.4	99
7	12	316	454	0.70	0.0510	0.0022	0.1440	0.0067	0.0203	0.0003	239.0	72.2	136.6	5.9	129.6	1.9	94
8	9	294	318	0.93	0.0533	0.0042	0.1465	0.0112	0.0202	0.0003	338.9	179.6	138.8	9.9	129.1	2.2	92
9	14	397	504	0.79	0.0531	0.0023	0.1451	0.0062	0.0200	0.0003	331.5	98.1	137.6	5.5	127.6	1.8	92
10	11	477	397	1.20	0.0513	0.0021	0.1428	0.0060	0.0202	0.0003	257.5	89.8	135.6	5.4	129.1	1.8	95
11	14	457	532	0.86	0.0508	0.0020	0.1413	0.0056	0.0203	0.0003	231.6	88.9	134.2	5.0	129.9	1.6	96
12	22	1375	698	1.97	0.0513	0.0019	0.1418	0.0051	0.0205	0.0003	253.8	87.0	134.6	4.5	130.7	1.7	97
13	10	307	406	0.76	0.0522	0.0027	0.1441	0.0074	0.0201	0.0003	294.5	116.7	136.7	6.6	128.4	1.9	93
14	10	267	318	0.84	0.0804	0.0070	0.2313	0.0197	0.0212	0.0006	1206.5	168.1	211.3	16.3	135.2	3.5	56
15	24	867	845	1.03	0.0491	0.0017	0.1401	0.0049	0.0208	0.0002	150.1	75.0	133.2	4.4	132.4	1.3	99
16	12	360	444	0.81	0.0521	0.0022	0.1445	0.0063	0.0202	0.0003	300.1	96.3	137.1	5.6	128.8	1.8	93
17	13	398	512	0.78	0.0496	0.0017	0.1387	0.0049	0.0205	0.0003	176.0	81.5	131.9	4.4	130.6	1.7	99
18	13	442	516	0.86	0.0517	0.0018	0.1430	0.0051	0.0201	0.0002	272.3	81.5	135.7	4.5	128.3	1.6	94
19	5	190	166	1.15	0.0734	0.0131	0.1834	0.0328	0.0197	0.0011	1033.3	368.5	171.0	28.1	125.9	7.0	69
20	16	527	594	0.89	0.0501	0.0021	0.1395	0.0059	0.0204	0.0003	198.2	98.1	132.6	5.3	130.5	1.8	98

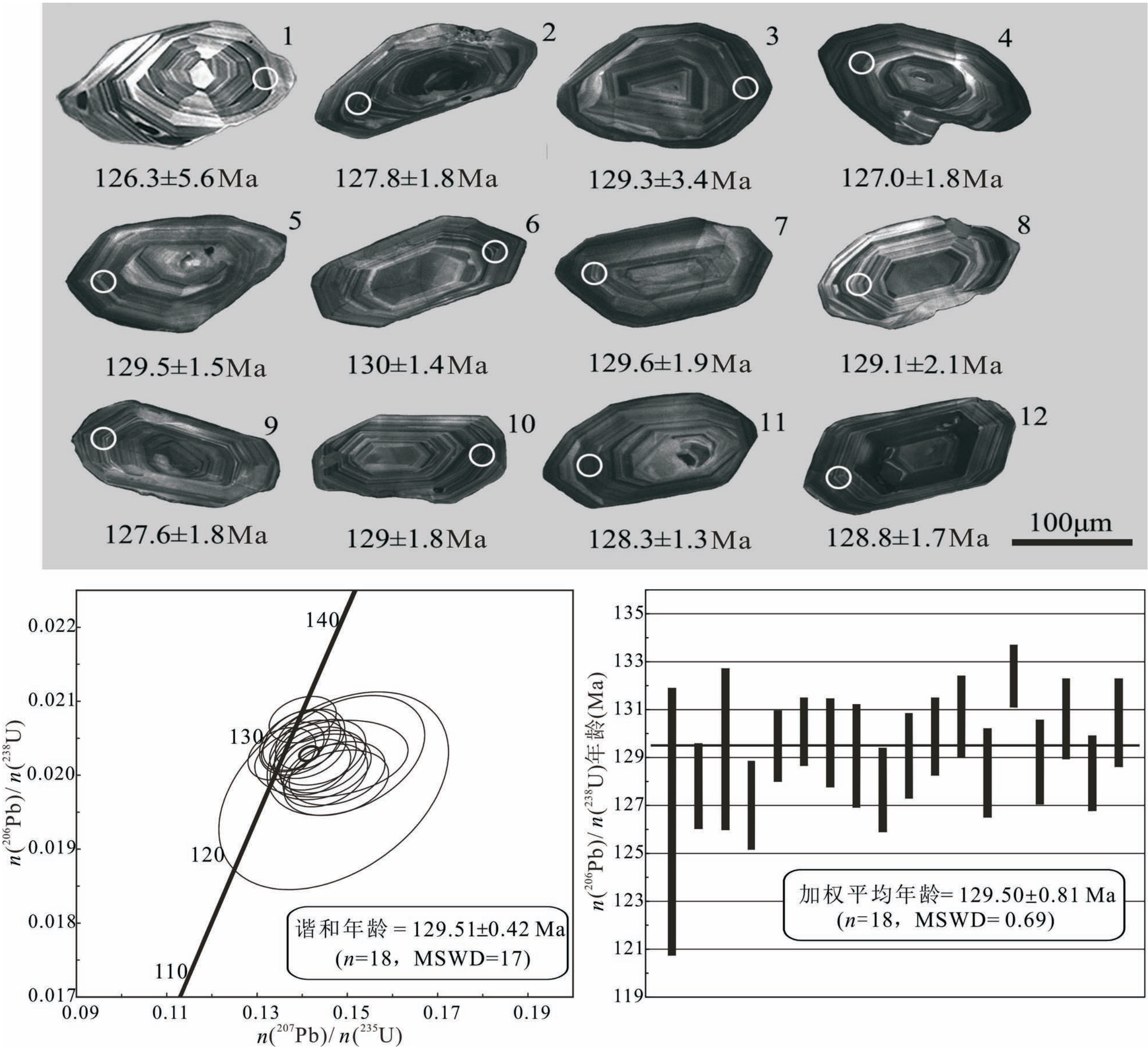

图 4 大兴安岭北段诺敏大山地区正长花岗岩锆石 U-Pb 同位素年龄和部分锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 4 Zircon U-Pb isotopic age and partial CL image of syenite in the Mount Nuomin area, northern Great Hinggan Mountains

于 229.58×10^{-6} ~ 335.5×10^{-6}，LREE/HREE 介于 14.75~21.38，岩石稀土总量较高，轻稀土元素相对富集。$(La/Yb)_N$ = 13.19~34.85，轻重稀土分馏明显，铕负异常明显（δEu = 0.49~0.91），表明源区有斜长石的残留或斜长石结晶。各稀土配分曲线近一致，表现为同源岩浆演化特征，稀土元素球粒陨石标准化曲线表现为明显右倾的海鸥型（图 6a），表明轻稀土元素（LREE）富集和重稀土元素（HREE）亏损特征。在微量元素原始地幔标准化蛛网图（图 6b）中，大离子亲石元素（LILE）Rb、U、Th、K 富集，Ba 和高场强元素（HSFE）Ti、Nb、Sr、P 等则明显亏损。

4 讨论

4.1 岩石成因

诺敏大山地区早白垩世侵入岩主要矿物成分为石英、钾长石（微斜长石为主），暗色矿物较少，矿物组合特征与高分异花岗岩较一致。主量元素分析结果显示，岩石总体富硅、富碱，MgO、CaO、TiO_2 含量较低，微量元素富集 Rb、U、Th、K 等大离子亲石元素，强烈亏损 Ti、Nb、Sr、P 等高场强元素，具有明显的 Eu 负异常，这些特征表明侵入岩浆经历了高分异演化。前人对大兴安岭北段中生代花岗岩进行了较多的研究，表明区域上中生代花岗岩主要为 A 型

表 2 诺敏大山地区早白垩世侵入岩主量元素(%)分析结果和 CIPW 标准矿物参数及稀土元素($\times10^{-6}$)、微量元素($\times10^{-6}$)分析结果

Table 2 Analysis results of major elements (%), CIPW standard mineral parameters, rare earth elements ($\times10^{-6}$) and trace elements ($\times10^{-6}$) of Early Cretaceous intrusive rocks in the Mount Nuomin area

样号	TK24-YQ01	TK20-YQ01	TK11-YQ01	TK09-YQ01	P7TC7*	P7TC17*	样号	TK24-YQ01	TK20-YQ01	TK11-YQ01	TK09-YQ01	P7TC7*	P7TC17*
岩石名称	中细粒正长花岗岩		似斑状正长花岗岩		正长花岗斑岩		岩石名称	中细粒正长花岗岩		似斑状正长花岗岩		正长花岗斑岩	
SiO_2	74.09	72.62	73.84	73.18	67.36	68.36	Gd	3.61	3.62	3.54	3.56	5.65	6.08
Al_2O_3	12.78	13.41	12.56	13.15	16.15	15.46	Tb	0.58	0.74	0.82	0.77	0.80	1.00
CaO	0.62	0.57	0.58	0.67	0.56	0.84	Dy	3.68	3.83	3.91	3.96	3.84	4.59
MgO	0.20	0.26	0.21	0.31	0.39	1.03	Ho	0.72	0.68	0.67	0.74	0.73	0.90
P_2O_5	0.04	0.05	0.06	0.07	0.15	0.120	Er	2.17	2.23	2.09	2.11	1.91	2.22
TiO_2	0.18	0.21	0.17	0.23	0.32	0.40	Tm	0.42	0.38	0.34	0.41	0.27	0.33
MnO	0.089	0.076	0.091	0.074	0.030	0.040	Yb	2.92	2.87	2.83	2.76	2.05	2.31
Fe_2O_3	0.63	0.82	0.76	0.75	1.92	1.90	Lu	0.48	0.43	0.36	0.39	0.27	0.31
FeO	0.77	0.78	0.84	0.81	2.67	1.98	Y	23.1	22.6	19.1	24.2	16.40	16.60
K_2O	4.96	4.76	4.82	4.91	5.22	4.74	ΣREE	229.58	249.67	272.54	282.85	347.29	383.35
Na_2O	4.38	4.21	4.18	4.36	3.66	4.34	LREE	215.00	234.89	257.98	268.15	331.77	365.61
烧失	0.63	0.71	0.75	0.47	1.50	1.99	HREE	14.58	14.78	14.56	14.70	15.52	17.74
K_2O/Na_2O	1.13	1.13	1.15	1.13	1.43	1.09	LREE/HREE	14.75	15.89	17.72	18.24	21.38	20.61
K_2O+Na_2O	9.34	8.97	9.00	9.27	8.88	9.08	La_N/Yb_N	13.19	14.35	17.29	18.53	34.85	33.85
A/NK	1.02	1.11	1.04	1.05	1.38	1.26	δEu	0.49	0.52	0.54	0.59	0.91	0.83
A/CNK	0.94	1.03	0.97	0.97	1.31	1.14	δCe	1.23	1.31	1.24	1.23	1.06	0.93
AR	4.78	4.03	4.5	4.42	2.56	3.28	Rb	228	217	213	224	108	109
σ	2.79	2.69	2.61	2.83	3.2	3.23	K	41174	39514.	40012	40759	43332	39348
DI	95.84	93.99	95.24	94.59	86.62	86.66	Ba	448	481	522	506	1130	1340
TFeO/Mgo	6.68	5.84	7.26	4.79	11.28	3.58	Th	53.8	48.9	45.60	51.20	12.00	17.00
*R*1	2227	2255	2327	2185	1940	1862	U	7.40	7.30	6.70	7.10	1.70	1.70
*R*2	331	345	325	350	402	448	Nb	28.2	26.6	25.30	27.10	12.00	12.00
La	53.7	57.4	68.2	71.3	99.60	109.00	Sr	112	109	108	114	69	120
Ce	114	127	133	141	157.00	160.00	P	165.85	218.23	261.88	305.52	654.69	523.75
Pr	9.67	9.91	10.12	11.06	13.20	16.40	Zr	98	106	126	117	420	530
Nd	32.0	35.0	41.0	39.0	52.00	67.00	Hf	4.41	4.67	5.62	5.35	9.40	14.00
Sm	4.95	4.87	4.92	4.98	7.97	11.00	Ti	1079	1259	1019	1379	1918	2398
Eu	0.68	0.71	0.74	0.81	2.00	2.21	Lu	0.48	0.43	0.36	0.39	0.27	0.31

注:带 * 号数据来源于 1∶25 万额尔古纳左旗幅区域地质调查报告❷,其他数据来源于内蒙古呼伦贝尔市诺敏大山等三幅 1∶5 万区域矿产地质调查报告❶。$TFeO=FeO+(Fe_2O_3\times0.8998)$;K/Na 为 $w(K_2O)/w(Na_2O)$ 的值;$R1=4n(Si)-11[n(Na)+n(K)]-2[n(Fe)+n(Ti)]$;$R2=6n(Ca)+2n(Mg)+n(Al)$;$A/CNK=\frac{n(Al_2O_3)}{n(CaO)+n(Na_2O)+n(K_2O)}$;$A/NK=\frac{n(Al_2O_3)}{n(Na_2O)+n(K_2O)}$;里特曼指数 $\sigma=\frac{[100w(Na_2O)+100w(K_2O)]^2}{100w(SiO_2)-43]}$(见邓晋福等,2015)。

和 I 型(林强等,2004;刘宇崴,2018;周传芳等,2020)。研究区早白垩世侵入岩矿物中未见到石榴子石、堇青石、白云母等富铝 S 型花岗岩的特征矿物,结合岩石 P_2O_5 含量明显较低,可以排除该区侵入岩为 S 型花岗岩的可能。在 P_2O_5—SiO_2 相关图上表现为明显的负相关关系(图 7a),符合磷灰石饱和规则,同时在 Th—Rb 图解上表现为正相关趋势(图 7b),这些都与 I 型花岗岩演化趋势一致。在 FeO^T/MgO—Zr+Ce+Nb+Y 和(K_2O+Na_2O)/CaO—Zr+Ce+Nb+Y 图解中(图 7c、图 7d),样品多数落入或靠近高分异花岗岩区域。综上所述,诺敏大山地区早白垩世侵入岩属于高分异 I 型花岗岩。

4.2　岩浆源区

诺敏大山地区早白垩世侵入岩富集大离子亲石

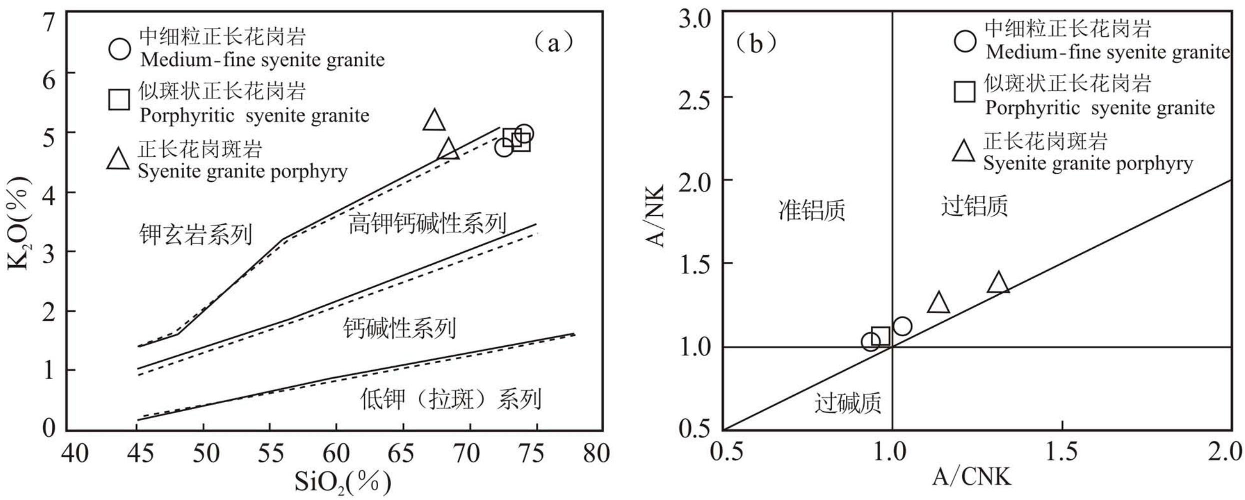

图 5 研究区早白垩世侵入岩 SiO_2—K_2O 图解(a,据 Maitre, 1989)和 A/CNK—ANK 图解(b,据 Maniar and Piccli, 1989)

Fig. 5 SiO_2—K_2O diagramming (a, after Maitre, 1989) and A/CNK—ANK diagramming (b, after Maniar and Piccli, 1989) of Early Cretaceous intrusive rocks in the study area

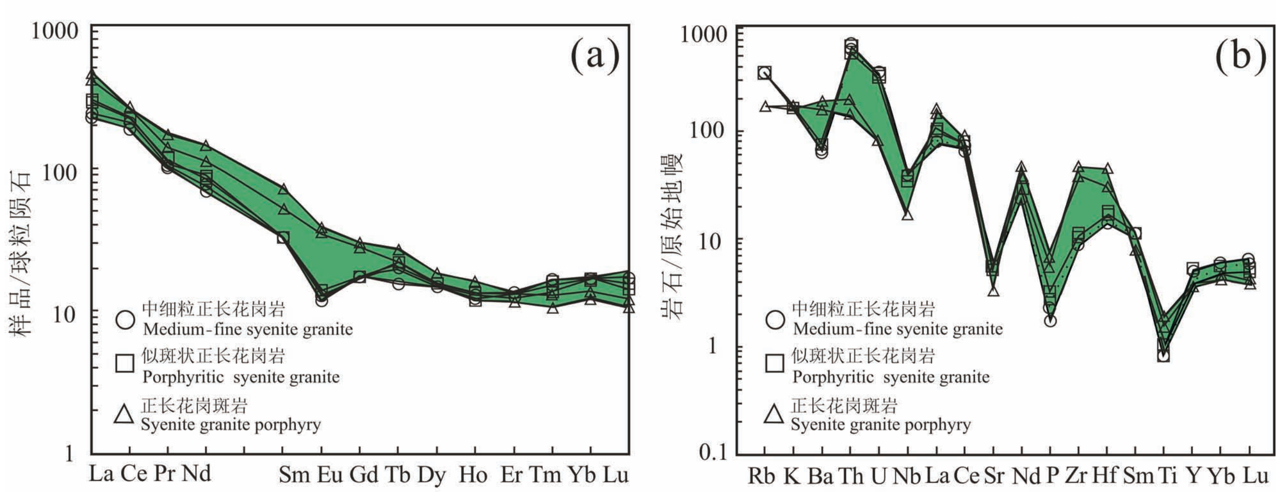

图 6 研究区早白垩世侵入岩稀土元素球粒陨石标准化配分曲线(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)(球粒陨石和原始地幔标准化值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns diagrams (a) and Primitive mantle-normalized traceelement spider diagrams (b) of Early Cretaceous intrusive rocks in the study area (chondrites and mantle normalized values according to Sun and McDonough, 1989)

元素和轻稀土元素,强烈亏损高场强元素,与俯冲带岩浆岩特征一致,暗示岩浆为地壳来源或受到地壳物质的混染。前人通过研究认为,Rb 和 K 有相似的地球化学性质,富集于成熟度高的地壳中;Sr 和 Ca 有相似的地球化学行为,在成熟度低、演化不充分的地壳中富集(隋振民,2007;张彦龙等,2008;尹志刚等,2018)。Rb/Sr 值能较好地记录物质的性质,Rb/Sr 值高,一方面说明岩浆演化程度很高,另一方面说明源岩可能主要来自地壳。研究区早白垩世侵入岩 Rb/Sr=0.9~2.0,符合陆壳岩石的范围(>0.5);Sr/Y=4.2~7.2,显示出高 Sr、低 Y 的特点,以上特征均反映了岩浆的壳源特征。区域上大兴安岭北段阿里河地区早白垩二长花岗岩和正长花岗岩(133~140 Ma)岩浆起源于新增生基性下地壳的部

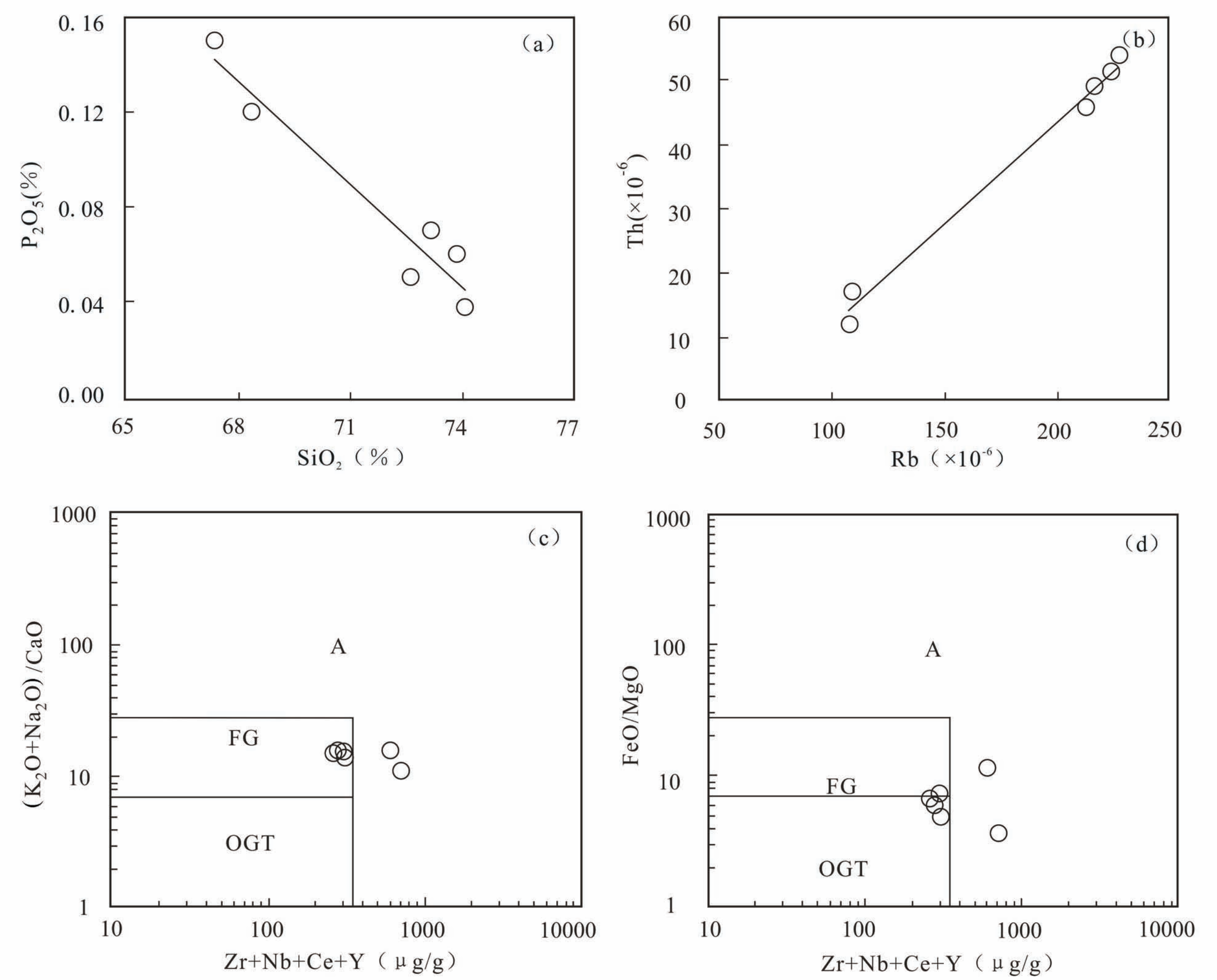

图 7 诺敏大山地区侵入岩岩石分类判别图(a 和 b,据徐立明等,2021;c 和 d,据 Whalen et al., 1987)

Fig. 7 Classification discriminant map of intrusive rocks in the Mount Nuomin area (a and b, after Xu Liming et al., 2021; c and d, after Whalen et al., 1987)

FG—分异的 I 或 S 型花岗岩;OGT—未分异的 I 或 S 型花岗岩;A— A 型花岗岩

FG— Differentiated I or S-type granite;OGT— undifferentiated I or S-type granite;A—A-type granite

分熔融(刘宇崴,2018);大兴安岭北段新林镇地区侵入岩 εHf(t)值均为正值,显示其岩浆源区存在新增生的年轻地壳物质加入,Hf 同位素特征显示其岩浆源区为新元古代底侵的地壳物质(周传芳等,2020);大兴安岭伊勒呼里山早白垩世碱长花岗岩(138~140 Ma)岩浆源区可能为地壳物质的部分熔融(尹志刚等,2018)。结合区域资料和研究区侵入岩岩石地球化学特征显示研究区早白垩世侵入岩岩浆源区为地壳物质的部分熔融。

4.3 构造环境

研究区处于天山—兴蒙造山带大兴安岭岩浆岩带北段,靠近额尔古纳地块和兴安地块的缝合带。显生宙以来,大兴安岭北段受到古生代亚洲洋构造域、中—新生代蒙古—鄂霍茨克洋构造域和太平洋构造域影响,其中生代特别是燕山期岩浆演化问题一直存在争议,尤其是与蒙古—鄂霍茨克洋构造域的关系。在空间上,大兴安岭北段距蒙古—鄂霍茨克构造带较近,并且与大兴安岭北段火山岩带组合起来的展布方向与蒙古—鄂霍茨克构造带的展布方向一致,且自西向东火山岩年龄逐渐年轻化。前人大量研究表明,大兴安岭北段火山岩时代主要集中在晚侏罗世—早白垩世早期,岩石地球化学特征也显示它们源于被俯冲流体交代富集的岩石圈地幔,暗示蒙古—鄂霍茨克构造域在早白垩世之前已结束

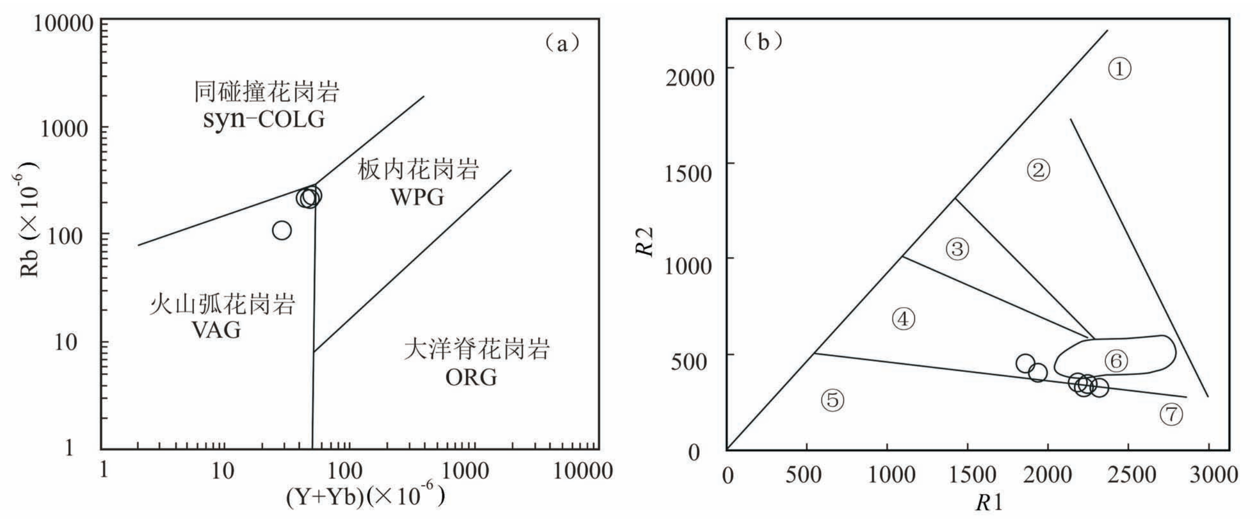

图 8 诺敏大山地区早白垩世侵入岩构造判别图解(a,据 Maniar and Piccoli,1989;b,据 Batchelor and Bowden, 1985)

Fig. 8 The tectonic distinguishing diagram of the Early Cretaceous intrusive rocks in the Mount Nuomin area (a,after Maniar and Piccoli,1989;b,after Batchelor and Bowden, 1985)

碰撞,之后进入碰撞造山后伸展构造环境(Donskaya et al., 2013;孟凡超等,2014;张连昌等,2007;Li Yu et al., 2015)。从时空关系上看,大兴安岭北段早白垩世时期岩浆活动应受蒙古—鄂霍茨克洋闭合作用的影响。本文诺敏大山地区早白垩世侵入岩样品在微量元素 Rb—(Y+Yb)构造环境判别图中均落入后造山花岗岩区域(图 8a),在花岗岩 *R*2—*R*1 构造环境判别图中落入同碰撞—后造山环境附近(图 8b)。

样品微量元素强烈亏损 Ti、Nb、Sr、P 等高场强元素,同时具有高 Sr、低 Y 和 Yb 特征,也显示该侵入岩形成可能与地壳快速缩短增厚的碰撞后期相对松弛阶段相关,推测为地幔底侵岩浆熔融下地壳物质,与前人提出的“后碰撞”构造环境形成的花岗岩特征极相似,相当于碰撞造山晚期阶段。综上所述,诺敏大山地区早白垩世侵入岩形成的构造环境可能为蒙古—鄂霍茨克造山后的伸展环境。

5 结论

(1)大兴安岭北段诺敏大山地区正长花岗岩 U-Pb 年龄为 129.5±0.4 Ma,结合野外各侵入岩与地层接触关系,表明岩石侵入时代应为早白垩世,为燕山期岩浆活动的产物。

(2)诺敏大山地区侵入岩岩石地球化学特征表现为富硅、富碱,MgO、CaO、TiO_2 含量较低,微量元素富集 Rb、U、Th、K 等大离子亲石元素,强烈亏损 Ti、Nb、Sr、P 等高场强元素,具有明显的 Eu 负异常特征,表明侵入岩浆经历了高分异演化,属于高分异 I 型花岗岩。

(3)诺敏大山地区早白垩世岩浆活动可能发生在蒙古—鄂霍茨克造山后的伸展环境。

注 释 / Notes

❶ 中化地质矿山总局内蒙古地质勘查院. 2020. 内蒙古呼伦贝尔市诺敏大山等三幅 1∶5 万区域矿产地质调查报告.

❷ 黑龙江省地质调查总院. 2003. 1∶25 万额尔古纳左旗幅区域地质调查报告.

参 考 文 献 / References

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

陈志刚,李永胜,于晓飞,王颖,甄世民,公凡影. 2021. 大兴安岭北段小柯勒河花岗斑岩地球化学、Hf 同位素组成及锆石 U-Pb 定年. 地学前缘, 28(4):267~282.

邓晋福,刘翠,冯艳芳,肖庆辉,狄永军,苏尚国,赵国春,段培新,戴蒙. 2015. 关于火成岩常用图解的正确使用:讨论与建议. 地质论评,61(4):717~734.

高源,郑常青,姚文贵,王浩,李娟,施璐,崔芳华,高峰,张行行. 2013. 大兴安岭北段哈多河地区骆驼脖子岩体地球化学和锆石 U-Pb 年代学. 地质学报,87(9):1293~1310.

李锦轶,张进,杨天南,李亚萍,孙桂华,朱志新,王励嘉. 2009. 北亚造山区南部及其毗邻地区地壳构造分区与构造演化. 吉林大学学报(地球科学版),39(4):584~605.

李宇,丁磊磊,许文良,王枫,唐杰,赵硕,王子进. 2015. 孙吴地区中侏罗世白云母花岗岩的年代学与地球化学:对蒙古—鄂霍茨克洋闭合时间的限定. 岩石学报,31(1):56~66.

林强,葛文春,吴福元,孙德有,曹林. 2004. 大兴安岭中生代花岗岩类的地球化学. 岩石学报,20(3):403~412.

刘永江,张兴洲,金巍,迟效国,王成文,马志红,韩国卿,温泉波,赵英利,王文弟,赵喜峰. 2010. 东北地区晚古生代区域构造演化. 中国地质,37(4):943~951.

刘永江,刘宾强,冯志强,温泉波,李伟民,张铁安,李小玉,杜兵盈. 2016. 大兴安岭中北段老道口闪长岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义. 吉林大学学报(地球科学版),46(2):482~498.

刘宇崴. 2018. 大兴安岭阿里河地区早白垩世花岗岩地质、地球化学特征及构造背景[D]. 导师:XXX. 吉林大学博士/硕士学位论文.

孟凡超,刘嘉麒,崔岩,高金亮,刘祥,童英. 2014. 中国东北地区中生代构造体制的转变:来自火山岩时空分布与岩石组合的制约. 岩石学报,30(12):3569~3586.

任永健. 2019. 张广才岭南部早—中侏罗世花岗质岩浆作用及构造演化. 地质学报,93(11):2813~2831.

宋立忠,赵泽辉,焦贵浩,孙平,罗霞,姜晓华,王志宏,曾富英,缪卫东. 2010. 松辽盆地早白垩世火山岩地球化学特征及其构造意义. 岩石学报,26(4):1182~1194.

隋振民. 2007. 大兴安岭东北部花岗岩类锆石 U-Pb 年龄、岩石成因及地壳演化[D]. 导师:XXX. 吉林大学博士/硕士学位论文.

徐立明,刘涛,郑吉林. 2021. 大兴安岭北段阿里河镇早白垩世高分异花岗岩的确定及其地质意义. 现代地质:1~15.

尹志刚,宫兆民,张跃龙, 韩宇,王阳,曹忠强,李海娜,李敏. 2018. 大兴安岭伊勒呼里山早白垩世碱长花岗岩年龄、地球化学特征及其地质意义. 地质通报,37(6):1061~1074.

尹志刚,宫兆民,张跃龙, 曹忠强,李敏,李海娜,王阳,韩宇,张圣听. 2018. 大兴安岭北段伊勒呼里山晚侏罗世二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义. 地质通报,37(7):1291~1301.

张连昌,陈志广,周新华, 英基丰,王非,张玉涛. 2007. 大兴安岭根河地区早白垩世火山岩深部源区与构造—岩浆演化:Sr—Nd—Pb—Hf 同位素地球化学制约. 岩石学报,(11):2823~2835.

张彦龙,葛文春,柳小明, 张吉衡. 2008. 大兴安岭新林镇岩体的同位素特征及其地质意义. 吉林大学学报(地球科学版),(2):177~186.

曾涛,王涛,童英,张磊,郭磊. 2012. 俄罗斯远东地区晚中生代花岗岩类的时空分布及地质意义. 地质通报,31(5):732~744.

周传芳,杨华本,李向文,刘玉,刘涛,陈卓. 2020. 大兴安岭北段新林地区晚石炭世花岗岩的岩石成因及地质意义. 吉林大学学报(地球科学版),50(1):97~111.

Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series usingmulticationic parameters . Chem Geol, 1985, 48: 43~55.

ChenZhigang, Li Yongsheng, Yu Xiaofei, Wang Ying, Zhen Shimin, Gong Fanying. 2021&. Characterization of the Xiaokelehe granite porphyry in the Northern Great Xing'an Range. Earth Science Frontiers, 28(4):267~282.

Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinghui, Di Yongjun, Su Shangguo,Zhao Guochun, Duan Peixin, Dai Meng. 2015. On the correct application in the common igneous petrological diagrams: Discussion and suggestion. Geological Review,61(4):717~734.

Donskaya T V, Gladkochub D P, Mazukabzov A M, Ivanov A V. 2013. Late Paleozoic—Mesozoic subduction-related magmatism at the southern margin of the Siberian Continent and the 150 million-year history of the Mongol—Okhotsk Ocean. Journal of Asian Earth Sciences, 62(30): 79~97.

Gao Yuan, ZhengChangqing, Yao Wengui, Wang Hao, Li Juan, Shi Lu, Cui Fanghua, Zhang Xingxing. 2013&. Geochemistry and Ziron U-Pb Geochronology of the Luotuobozi Pluton in the Haduohe Area in the Northern Daxing'anling. Journal of Geology, 87(9):1293~1310.

Li Jinyi, Zhang Jin, Yang Tiannan, Li Yaping, Sun Guihua, Zhu Zhixin, Wang Lijia. 2009&. Crustal Tectonic Division and Evolution of the Southern Part of the North Asian Orogenic Region and Its Adjacent Areas. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 39(4):584~605.

Li Yu, DingLeilei, Xu Wenliang, Wang Feng, Tang Jie, Zhao Shuo and Wang Zijin. 2015&. Geochronology and geochemistry of muscovite granite in Sunwu area, NE China: Implications for the timing of closure of the Mongol—Okhotsk Ocean. Acta Petrologica Sinica, 31(1):56~66.

Lin Qiang, Ge Wenchun, Wu Fuyuan, Sun Deyou, Cao Lin. 2004&. Geochemistry of Mesozoic granites in Da Hinggan Ling ranges. Acta Petrologica Sinica, 20(3):403~412.

Liu Yongjiang, Liu Binqiang, Feng Zhiqiang, Wen Quanbo, Li Weimin, Zhang Tiean, Li Xiaoyu, Du Bingying. 2016&. SIMS Zircon U-Pb Age, Petrogeochemistry and Its Tectonic Implication of Laodaokou Diorite in the Mid—North Part of Great Xing´an Range. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 46(2):482~498.

Liu Yongjiang, Zhang Xingzhou, Jin Wei, Chi Xiaoguo, Wang Chengwen, Ma Zhihong, Han Guoqing, Wen Quanbo, Li Wei, Wang Wendi, Zhao Xifeng. 2010&. Late Paleozoic tectonic evolution in Northeast China. Geology in China, 37(4):943~951.

Liu Yongsheng, Gao Shan, Hu Zhaohu, Gao Changgui, Zong Keqing, Wang Dongbing . 2010. Continental and oceanic crust recycling induced melt—peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths. Journal of Petrology, 51(1~2): 537~571.

Liu Yuwei. 2018&. Geology, geochemistry, and tectonic background of the early Creteceous granite in Alihe area, Great Xing'an Range [D]. 导师:XXX. 吉林大学博士/硕士学位论文.

Ludwig K R. 2003. User, manual for Isoplot——EX Version3. 0: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Special Publication Vo. 2. Berkeley, California, USA: Berkeley Geochronology Center, 1~70.

Maniar P D, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America Bulletin, 101: 635~643.

Meng Fanchao, Liu Jiaqi, Cui Yan, Gao Jinliang, Liu Xiang and Tong Ying. 2014&. Mesozoic tectonic regimes transition in the Northeast China: Constriants from temporal—spatial distribution and associations of volcanic rocks. Acta Petrologica Sinica, 30(12): 3569~3586.

Ren Yongjian. 2019&. Early—Middle Jurassic granitic magmatism and tectonic evolution in the southern part of Zhangguang cailing. Acta Geologica Sinica, 93(11):2813~2831.

Song Lizhong, Zhao Zehui, Jiao Guihao, Sun Ping, Luo Xia, Jiang Xiaohua, Wang Zhihong, Zeng Fuying and Miao Weidong. 2010&. Geochemical characteristics of Early Cretaceous volcanic rocks from Songliao basin, Northeast China, and its tectonic implications. Actor Petrologica Sinica, 26(4):1182~1194.

Sui Zhenmin. 2007&. Zircon U-Pb ages, petrogenesis and crustal evolution of the granites in northeastern part of the Great Xing'an Range[D]. 导师:XXX. 吉林大学博士/硕士学位论文.

Sun SS, Mcdonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. Geological Society London Special Publications, 42: 313~345.

Tang Jie, Xu Wenliang, Wang Feng, Zhao Shuo, Li Yu. 2015. Geochronology, Geochemistry, and deformation history of Late Jurassic—Early Cretaceous intrusive rocks in the Erguna Massif, NE China: Constraints on the Late Mesozoic tectonic evolution of the Mongol—Okhotsk Orogenic Belt. Tectonophysics, 658: 91~110.

Wang Tao, Guo Lei, Zhang Lei, YangQidi, Zhang Jianjun, Ying Tong, Ke Ye. 2015. Timing and evolution of Jurassic—Cretaceous granitoid magmatisms in the Mongol—Okhotsk belt and adjacent areas, NE Asia: Implications for transition from contractional crustal thickening to extensional thinning and geodynamic settings. Journal of Asian Earth Sciences, 97: 365~392.

Whalen J B, Currie K L, Chippel B W. 1987. A-Type Granites: Geochemical Characteristics, Discrimination and " Petrogenesis " Controlb . Mineral Petrol. , 95(4): 407~419.

Xu Liming, Liu Tao, Zheng Jilin. 2021&. Confirming and its significances of Early Cretaceous highly fractionated granites in Alihe, Northern Great Xing´an Range. Geoscience: 1~15.

Yin Zhigang, Gong Zhaomin, Zhang Yuelong, Cao Zhongqiang, Li Min, Li Haina, Wang Yang, Han Yu, Zhang Shengting. 2018&. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of the Late Jurassic monzonitic granite from Yilehuli Mountain in northern Da Hinggan Mountains and their geological implications. Geological Bulletin of China, 37(7): 1291~1301.

Yin Zhigang, Gong Zhaomin, Zhang Yuelong, Han Yu, Wang Yang, Cao Zhiqiang, Li Haina, Li Min. 2018&. Geochronology, geochemistry and geological significance of the Early Cretaceous alkali feldspar granites in the Yilehuli Mountain, Da Hinggan, Mountain. Geological Bulletin of China, 37(6): 1061~1074.

Zeng Tao, Wang Tao, Tong Ying, Zhang Lei, Guo Lei. 2012&. Spatial and temporal variations of Late Mesozoic granitoids in Russian Far East area and their significance for geological setting. Geological Bulletin of China, 31(5): 732~744.

Zhang Liangchang, Chen Zhiguang, Zhou Xinhua, Yin Jifeng, Wang Fei and Zhang Yutao. 2007&. Characteristics of deep sources and tectonic—magmatic evolution of the early Cretaceous volcanics in Genhe area, Da-Hinggan Mountains: Constraints of Sr—Nd—Pb—Hf isotopic geochemistries. Acta Petrologica Sinica, 23(11): 2823~2835.

Zhang Yanlong, Ge Wenchun, Liu Xiaoming, Zhang Jiheng. 2008&. Isotopic Characteristics and Its Significance of the Xinlin Town Pluton, Great Hinggan Mountains. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), (2): 177~186.

Zhou Chuanfang, Yang Huaben, Li Xiangwen, Liu Yu, Liu Tao, Chen Zhuo, Cai Yanlong, Liu Ningbo, Wang Bochao, Wang Dake. 2020&. Petrogenesis of Late Carboniferous Granitic Plutons in Xinlin Area, Northern Great Xing' an Range and Their Geological Significance. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 50(1): 97~111.

Geochemical characteristics and tectonic significance of Early Cretaceous intrusions in the Mount Nuomin area, northern Great Hinggan Mountains

REN Yongjian, ZHANG Chengxin, ZHANG Mingming, CHENG Shuo, GAO Liyong, YU Wang, ZHAO Han, WANG Chang, ZHANG Weisheng

Geological Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Beijing, 100013

Objectives: This paper selects the Early Cretaceous intrusive rocks in the Mount Nuomin area in the northern Great Hinggan Mountains to study the zircon U-Pb geochronology and geochemistry, and discuss the genetic types, magma sources and tectonic environment of the intrusive rocks in this area. The lithology of intrusive rocks in this area is mainly syenite, syenite granite porphyry and porphyritic syenite. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of syenite samples shows that the emplacement age of syenite is 129.5±0.4 Ma, which should be the product of early Cretaceous magmatic activity, and combined with the contact relationship between intrusive rocks and strata in the area, the formation age of intrusive rocks in this area is Early Cretaceous. The Intrusive rocks are characterized by high silica (SiO_2=67.36%~74.09%), alkali (K_2O+Na_2O=8.88%~9.34%) and alumina (Al_2O_3= 12.56%~16.15%), with low MgO, TiO_2 and CaO. They are of high potassium calcium alkaline rock series and Quasialuminum—peraluminum as indicated by A/CNK ratio of 0.94~1.31. The trace elements are enriched in large ion lithophile elements such as Rb, U, Th, K, and strongly depleted of high field strength elements such as Ti, Nb, Sr, P, and have obvious negative Eu anomalies, which belong to highly differentiated type I granites. The rock Rb/Sr is 0.9~2.0, Sr/Y is 4.2~7.2, showing the characteristics of high Sr and low Y, indicating that the magma source area is the partial melting of crustal materials. Based on regional research results, the Mongolia—Okhotsk tectonic domain has ended its collision before the Early Cretaceous, and the early Cretaceous magmatic activity in the Mount Nuomin area may have occurred in the extensional environment after the Mongolia—Okhotsk orogen.

Keywords: Northern Great Hinggan Mountains; Mount Nuomin area; Early Cretaceous; geochemistry; tectonic environmentAcknowledgements: This research was funded by Inner Mongolia Geological Exploration Fund (No. NMKD2015-18). We are thankful to the reviewers who gave us a lot of suggestion to improve this article

The author: REN Yongjian, male, born in 1986, senior engineer, mineral prospecting and exploration major, Mainly engaged in regional geological and mineral investigation work; Email: mysky0315@126.com

Manuscript received on: 2022-01-04; Accepted on: 2022-04-24; Network published on: 2022-05-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2022.05.055　　**Edited by**: ZHANG Yuxu