

漠河古莲河林场侵入岩年代学、岩石地球化学特征研究

朱显男^{1,2}, 陆 胜^{1,2*}, 李一成^{1,2}, 欧诗炜^{1,2}, 苗志风^{1,2}, 王佳辉^{1,2}, 籍哲羽^{1,2}

(1. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 哈尔滨 150086;
2. 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 哈尔滨 150086)

摘 要:古莲河林场地区在大地构造单元上位于大兴安岭北段额尔古纳地块北部漠河前陆盆地边缘地带。本文在对大兴安岭漠河古莲河林场侵入岩岩相学特征分析的基础上, 结合年代学及地球化学特征研究, 分析探讨了其侵位时代、岩浆源区和形成的大地构造环境。锆石 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学分析结果表明, 区内花岗岩形成于 203 ± 1.6 Ma, 反映其为晚三叠世—早侏罗世岩浆活动的产物。岩石地球化学特征表明: 花岗岩的 $w(\text{SiO}_2)$ 为 74.47%~76.85%, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 12.44%~13.62%, 里特曼指数 (σ) 为 1.79~2.29, 属高钾钙碱性系列岩石, 具有较低的 $\text{Mg}^\#$ 值 (18.22~28.38), $w(\text{TFe}_2\text{O}_3)$ 为 0.98%~1.55%, $w(\text{CaO})$ 为 0.19%~0.71%, 轻重稀土分馏明显且显示出轻稀土富集、重稀土亏损的特征, δEu 介于 0.07~0.74, Rb、Th、U、Pb 等大离子亲石元素表现出富集的特点, 高场强元素 Ba、Sr、Eu、Ti 等表现出一定程度的亏损。上述结果表明, 古莲河林场花岗岩原始岩浆来自于地壳, 形成于造山阶段挤压环境, 是蒙古—鄂霍茨克洋俯冲碰撞的产物。

关键词: LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年; 地球化学; 侵入岩; 古莲河林场

中图分类号: P585.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2736(2025)09-0079-12

0 引言

研究区大地构造位置处于额尔古纳地块北部的漠河前陆盆地, 自元古代起直至中生代, 相继历经了基底形成、古亚洲洋形成与演化过程, 以及蒙古—鄂霍茨克洋的闭合, 滨太平洋板块的俯冲作用等一系列重要地质事件, 塑造了研究区的地质架构与演化历程。

研究区晚三叠世—早侏罗世侵入岩大面积出露, 关于该期侵入岩的岩石成因和构造背景等问题前人已经进行了一些研究, 但部分研究仍存在争议。一些学者认为, 大兴安岭漠河前哨林场花岗岩是起源于地幔的原始基性岩浆经结晶分异及地壳物质的同化混染的产物, 形成于蒙古—鄂霍茨克洋俯冲碰撞造山构造体制下的挤压环境^[1,2]; 大兴安岭北段卧都河地区早侏罗世花岗

岩为地壳内岩浆岩熔融形成的 I 型花岗岩, 是蒙古—鄂霍茨克洋闭合构造背景下造山环境中岩浆活动的产物^[3]; 分布于大兴安岭北段其地区的早侏罗世花岗岩则为后造山或后碰撞伸展环境下长英质地壳部分的熔融产物^[4]; 大兴安岭北部早侏罗世侵入岩为 I 型花岗岩, 形成于造山环境^[5]。

针对研究区晚三叠世—早侏罗世侵入岩岩石成因和构造背景等存在的争议, 笔者在对区内侵入岩岩相学特征分析的基础上, 结合年代学及地球化学特征研究, 分析探讨了其侵位时代、岩浆源区和形成的大地构造环境。

1 概况

研究区大地构造位置属于大兴安岭北段额尔古纳地块以北的漠河前陆盆地边缘(图 1a)。

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20242753)。

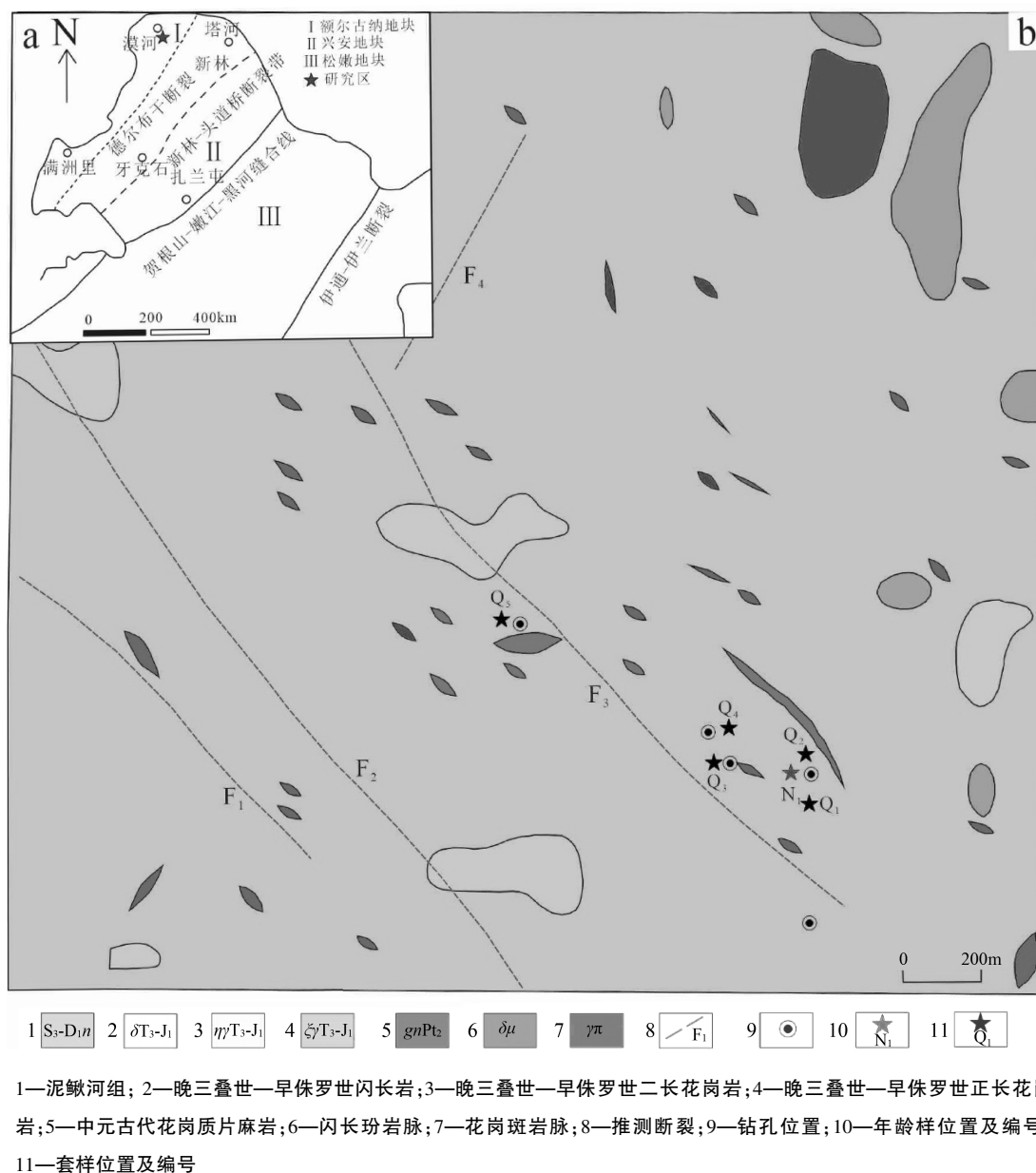


图1 研究区大地构造位置(a)及地质简图(b)

(图片来源:参考文献[3])

区内地层不发育,仅在东南部出露古生界志留系普里道利统-泥盆系中统泥鳅河组(S_3-D_1n),呈不规则状残留体状,面积 0.01km^2 ,岩性为深灰色泥质板岩(图1b)。

研究区侵入岩发育,可划分为中元古代侵入岩和晚三叠世—早侏罗世侵入岩(图1b)。中元古代侵入岩出露于研究区东北角,面积 0.071km^2 ,岩性为二长花岗质片麻岩($\eta\gamma gnPt_2$),岩石呈灰色,中粗粒花岗结构,片麻状构造。岩石主要矿物组成为斜长石(含量为 $30\sim 35\%$)、钾

长石(含量为 $25\sim 30\%$)、石英(含量约 35%)和黑云母(含量约 15%)。其中,斜长石颜色为灰白色,形态上多呈半自形板状,粒径多在 0.5 到 1.5mm 之间;钾长石多表现出他形粒状,表现出一定的高岭土化,粒径变化于 $0.5\sim 2\text{mm}$ 之间;石英为灰色,晶型呈他形粒状,粒径在 $0.5\sim 1.2\text{mm}$ 之间;黑云母为黑色片状,粒径为 $0.2\sim 1\text{mm}$ 。

晚三叠世—早侏罗世侵入岩在研究区大面积出露,面积 6.554km^2 ,岩性主要为细中粒二长

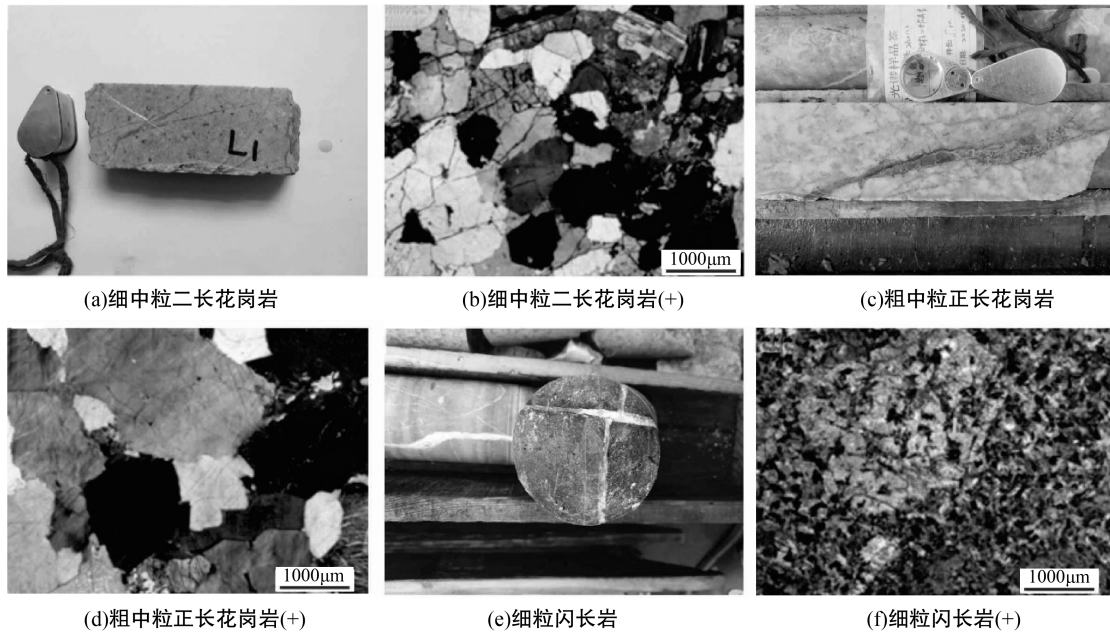


图2 研究区侵入岩宏观及显微特征照片

花岗岩,及少量粗中粒正长花岗岩、中细粒似斑状二长花岗岩和细粒闪长岩。细中粒二长花岗岩整体颜色为浅灰色,为细中粒花岗结构,块状构造,主要矿物组成为斜长石(含量为35~40%)、钾长石(含量为30~35%)、石英(含量约25%)、黑云母(含量为3~5%),粒径以0.2~2mm之间为主(图2a-b);粗中粒正长花岗岩新鲜面多呈浅肉红色,为粗中粒花岗结构,块状构造,主要矿物组成为斜长石(含量为15~20%)、钾长石(含量为50~55%)、石英(含量为20~25%)、黑云母(含量为3~5%),矿物粒径多在2~5mm之间(图2c-d);中细粒似斑状二长花岗岩呈浅灰色,含白斑状中细粒花岗结构,块状构造,由粒径在8~10mm之间的斑晶(含量为5~10%),及粒径为0.5~5.0mm的基质(含量为90~95%)所组成。其中,斑晶主要由钾长石(含量为2~5%)、石英(含量为2~5%)组成;细粒闪长岩呈灰色,细粒结构,块状构造,由斜长石(含量为55~60%)和角闪石(含量为40~45%)所组成,矿物粒径0.3~2.0mm(图2e-f)。

研究区内断裂构造发育,北西向及北东向均有发育,脉岩展布方向多呈北西向展布(图1b)。

2 实验样品及分析方法

本文在研究区采集了1件细中粒二长花岗岩(样品编号:N₁)进行LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素测年,并采集了5件细中粒二长花岗岩(样品编号分别为Q1、Q2、Q3、Q4和Q5)进行主量元素和微量元素的分析。锆石U-Pb同位素定年相关实验步骤,包括样品破碎、锆石分选、制靶处理、阴极发光成像以及最终的测试分析,均在河北省区域地质矿产调查研究所实验室开展。具体的处理步骤为,将所采集的用来定年的新鲜岩石样品进行破碎,粒度介于80~120目之间,后续借助电磁分离技术将锆石从中分选出,最终利用双目镜进行进一步的纯化挑拣。挑选出的锆石与标准锆石置于玻璃板之上,运用环氧树脂进行浇筑包裹,制备成可供测试使用的样品靶。其后进行精细研磨,使样品靶厚度缩减至原来大致一半程度,充分暴露出锆石中心部分,经过精细抛光处理后,再利用阴极发光(CL)扫描电镜完成图像的采集。锆石U-Pb分析工作采用LA-ICP-MS完成,所用GeolasPro激光剥蚀系统,其主要构成包括COMPexPro 102 ArF 193 nm准分子激光器以及MicroLas光学系统,配套的ICP-

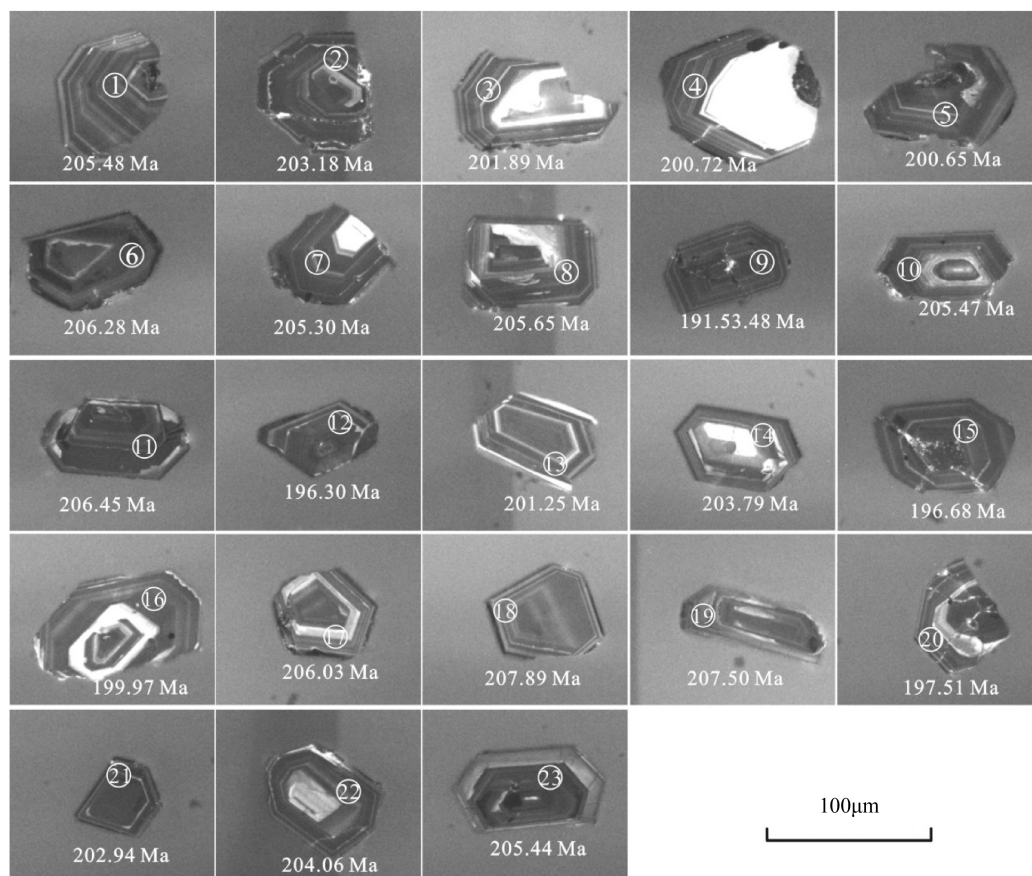


图 3 细中粒二长花岗岩锆石阴极发光照片

MS 设备型号为 Agilent 7900。U-Pb 同位素定年处理使用锆石标准 Tanz 和玻璃标准物质 NIST610 作为外标,进行同位素校正,分析数据的离线处理工作借助 ICPMSDataCal 软件完成,借助 Isoplot/Ex_ver3 软件完成了锆石 U-Pb 年龄谐和图绘制及年龄加权平均值计算。

全岩主量元素和微量元素分析工作均在河北省区域地质矿产调查研究所实验室开展。其中,主量元素的测定采用熔片法 X-射线荧光光谱法(XRF),分析准确度与精度优于 2% 至 3%。对于微量元素和稀土元素的分析,则先利用 Teflon 熔样罐进行熔样处理,再运用 Finnigan MAT 公司 ICP-MS 进行测定,分析的准确度和精度优于 10%。

3 测年结果

细中粒二长花岗岩中的锆石晶体展现出柱状晶面平整且发育良好的特征,韵律环带构造清

晰可辨(图 3)。23 个测点 Th、U 含量较高,分别为 $665.68 \times 10^{-6} \sim 3281.09 \times 10^{-6}$ 、 $1836.17 \times 10^{-6} \sim 4879.33 \times 10^{-6}$,Th/U 值为 0.36~0.85,显示为岩浆成因锆石(表 1)。

对采集的中细粒二长花岗岩锆石样品中的 23 个锆石进行了 U-Pb 定年分析,所有测点均位于 U-Pb 一致线上或紧邻该线的极小范围内,谐和度高。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值介于 191~207Ma 区间,加权平均年龄为 $203 \pm 1.6\text{Ma}$,MSWD = 1.9(图 4)。鉴于锆石的岩浆成因和较好的谐和度,可以认为 $203 \pm 1.6\text{Ma}$ 能够代表岩体结晶时代,反映该中细粒二长花岗岩为晚三叠世至早侏罗世岩浆活动的产物。

4 地球化学特征

4.1 主量元素特征

研究区晚三叠世—早侏罗世侵入岩的岩石整体展现出高硅低镁,其 SiO_2 含量为 74.47%~

表 1 细中粒二长花岗岩锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U 比值及定年结果

测点号	$w_R/10^{-6}$		同位素比值									年龄/Ma			
	Th	U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
1	2106.66	3928.04	0.54	0.04889	0.001353	0.22057	0.00576	0.03239	0.00047	142.68	64.8050	202.38	4.7930	205.48	2.9079
2	874.09	2311.44	0.38	0.05122	0.001451	0.22832	0.00613	0.03202	0.00042	250.07	69.4325	208.81	5.0669	203.18	2.6472
3	1222.12	2694.42	0.45	0.04728	0.001202	0.20928	0.00508	0.03181	0.00040	64.91	-137.9450	192.95	4.2649	201.89	2.5050
4	665.68	1836.17	0.36	0.04703	0.001289	0.20684	0.00540	0.03163	0.00037	50.10	72.2150	190.90	4.5449	200.72	2.3029
5	3281.09	3848.03	0.85	0.05177	0.001301	0.22780	0.00562	0.03162	0.00041	275.99	57.4000	208.38	4.6480	200.65	2.5841
6	1455.27	3051.71	0.48	0.04855	0.001089	0.22015	0.00514	0.03252	0.00038	124.16	58.3275	202.03	4.2766	206.28	2.3927
7	1204.48	1913.89	0.63	0.05443	0.001581	0.24749	0.00856	0.03236	0.00044	387.09	66.6600	224.54	6.9692	205.30	2.7458
8	1186.68	2240.61	0.53	0.05459	0.001435	0.24631	0.00656	0.03242	0.00040	394.50	54.6250	223.58	5.3431	205.65	2.5304
9	1762.88	3397.80	0.52	0.05686	0.001375	0.23851	0.00564	0.03016	0.00037	487.08	53.6975	217.20	4.6241	191.53	2.3325
10	1013.62	2121.75	0.48	0.05402	0.002035	0.24330	0.00636	0.03239	0.00043	372.28	85.1775	221.12	5.1976	205.47	2.7015
11	1736.87	3660.32	0.47	0.05388	0.001237	0.24368	0.00531	0.03254	0.00037	364.87	47.2175	221.43	4.3394	206.45	2.3316
12	2271.66	4879.33	0.47	0.07225	0.001352	0.31141	0.00614	0.03092	0.00032	994.45	38.8925	275.28	4.7582	196.30	2.0279
13	1342.36	2795.55	0.48	0.05000	0.001015	0.22063	0.00436	0.03171	0.00030	194.53	48.1400	202.43	3.6329	201.25	1.8804
14	966.74	2081.08	0.46	0.06736	0.003172	0.30271	0.00789	0.03212	0.00036	850.00	98.1450	268.52	6.1548	203.79	2.2772
15	1635.70	3451.40	0.47	0.05476	0.001743	0.23649	0.00517	0.03098	0.00029	466.71	72.2150	215.54	4.2462	196.68	1.8396
16	1817.86	3769.56	0.48	0.05348	0.001598	0.23451	0.00464	0.03151	0.00031	350.06	68.5125	213.92	3.8207	199.97	1.9253
17	1550.70	2627.34	0.59	0.05389	0.003210	0.24612	0.00586	0.03248	0.00041	364.87	130.5425	223.42	4.7742	206.03	2.5361
18	1191.72	2706.85	0.44	0.05093	0.001345	0.23287	0.00652	0.03277	0.00041	238.96	61.1000	212.57	5.3757	207.89	2.5313
19	1937.78	3528.91	0.55	0.04435	0.002909	0.20358	0.00465	0.03271	0.00036			188.15	3.9239	207.50	2.2518
20	1150.58	2356.79	0.49	0.05996	0.001575	0.25976	0.00664	0.03111	0.00038	611.13	57.3950	234.47	5.3539	197.51	2.3800
21	2657.71	4146.43	0.64	0.05395	0.001085	0.24015	0.00463	0.03198	0.00031	368.57	44.4400	218.54	3.7935	202.94	1.9498
22	938.05	2038.91	0.46	0.05734	0.001916	0.25628	0.00638	0.03216	0.00048	505.60	74.0675	231.67	5.1618	204.06	3.0209
23	1922.30	3890.63	0.49	0.05242	0.001280	0.23645	0.00579	0.03238	0.00049	305.62	55.5500	215.51	4.7548	205.44	3.0857

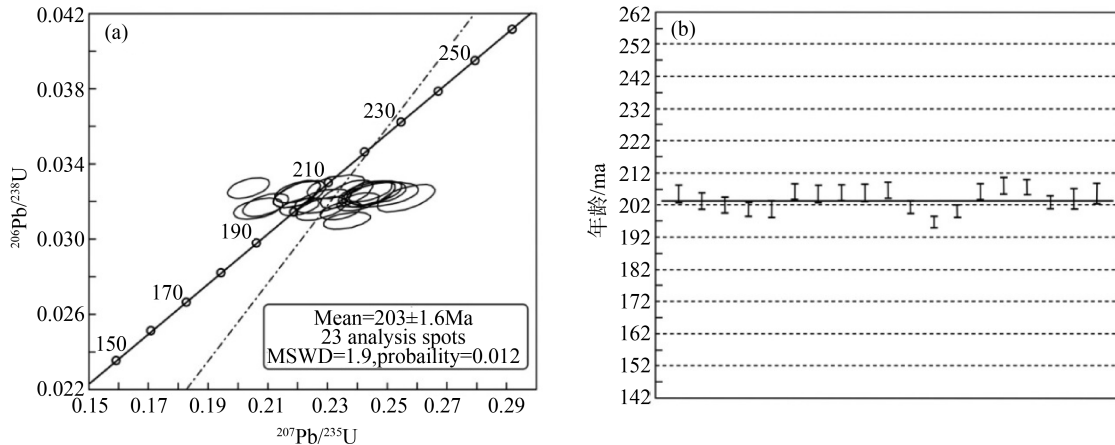


图 4 U-Pb 同位素测年谐和图和同位素测年加权平均图

76.85%, Al_2O_3 含量为 12.44% ~ 13.62%, TFe_2O_3 含量为 0.98% ~ 1.55%, CaO 含量为 0.19% ~ 0.71%, MgO 含量为 0.10% ~ 0.20%, $Mg^{\#}$ 值范围在 18.22 至 28.38 之间, TiO_2 含量介于 0.02% ~ 0.10%, 特曼指数 σ 处于 1.79 ~ 2.29 的区间, 反映岩石属于钙碱性系列(表 2)。

在 TAS 图解(图 5a)中, 所有样品的成分投点均位于花岗岩区域内。在 K_2O-SiO_2 图解(图 5b)中, 样品均归类于高钾钙碱性系列; 其 A/CNK 比值在 1.00 ~ 1.16 之间, A/NK 比值则介于 1.09 ~ 1.21, 在铝饱和指数图解(图 5c)中, 所有样品均显示为过铝质特征。在 A 型花岗岩判

别图解(图 5d-f)中, 样品无一例外地落入 I 型花岗岩的分类区域。

4.2 稀土元素特征

晚三叠世—早侏罗世侵入岩的稀土元素总量($\sum REE$)在 $103.87 \times 10^{-6} \sim 165.50 \times 10^{-6}$ 之间, 平均为 127.67×10^{-6} 。 δEu 负异常较为明显(0.07 ~ 0.74), 具有富集轻稀土亏损重稀土的特征($LREE/HREE = 1.10 \sim 4.13$), 在稀土元素配分模式图(图 6a)上, 所有样品表现出右倾的趋势。另外, 铈异常与轻重稀土分离具有明显的相关性(表 3)。

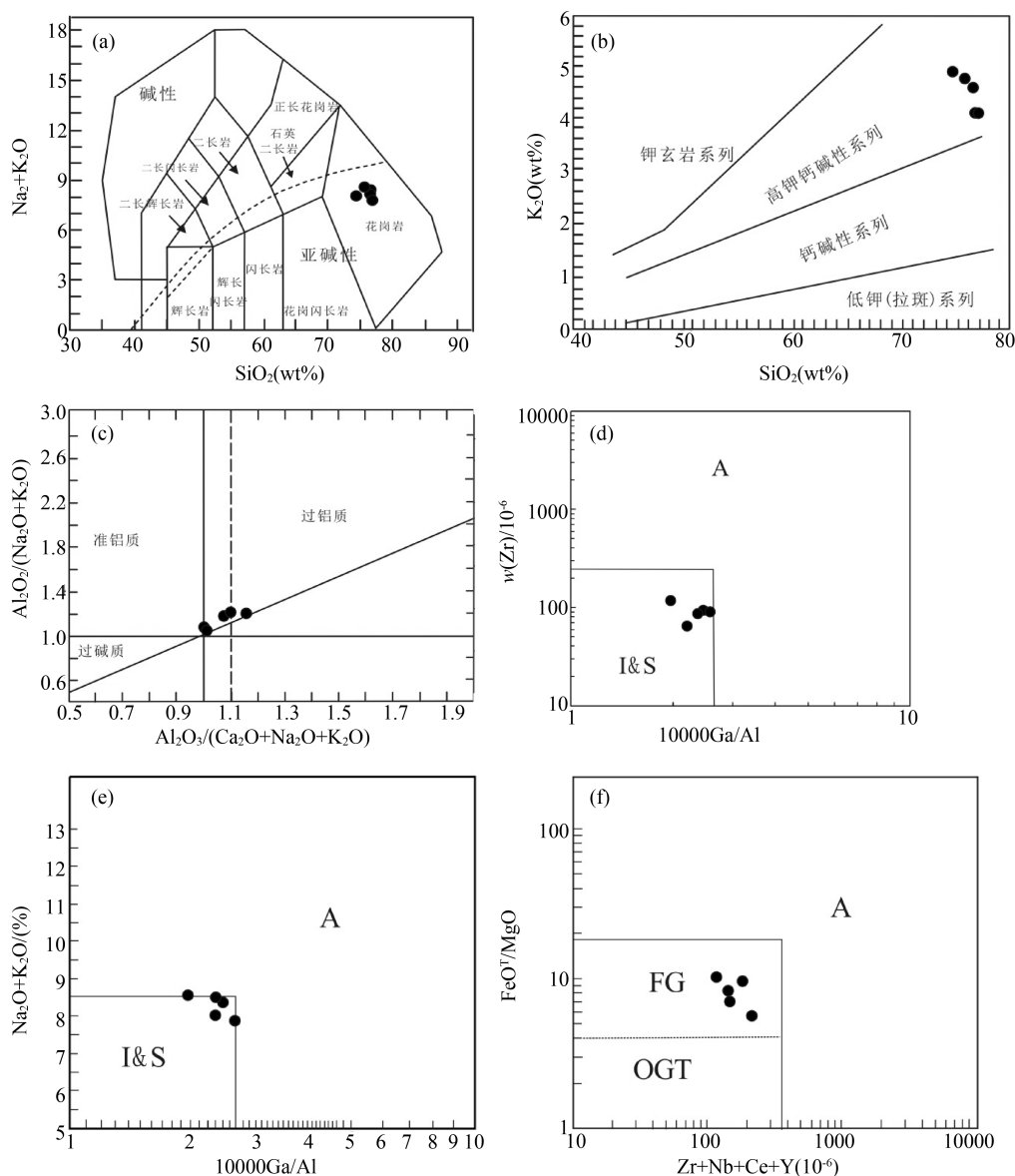


图 5 晚三叠世—早侏罗世侵入岩分类图解

表 2 常量元素化学分析结果

样号	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
SiO ₂	76.74	76.66	76.85	75.84	74.47
TiO ₂	0.02	0.02	0.02	0.02	0.10
Al ₂ O ₃	12.55	12.72	12.44	12.86	13.62
TFe ₂ O ₃	0.98	1.55	1.12	1.12	1.18
FeO	0.89	0.98	0.71	1.09	0.82
MnO	0.05	0.12	0.05	0.07	0.11
MgO	0.10	0.19	0.16	0.11	0.20
CaO	0.59	0.19	0.64	0.71	0.66
Na ₂ O	4.27	3.42	3.64	3.83	3.62
K ₂ O	4.13	4.60	4.13	4.78	4.86
P ₂ O ₅	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05
LOI	0.92	1.06	1.23	1.20	1.40
Total	100.38	100.57	100.33	100.57	100.26
A/NK	1.09	1.20	1.19	1.12	1.21
A/CNK	1.00	1.16	1.07	1.01	1.10
σ	2.09	1.91	1.79	2.26	2.29
Mg [#]	19.41	22.08	24.93	18.22	28.38

注: $\sigma = [(w[\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}])^2 / (w(\text{SiO}_2) - 43)]$

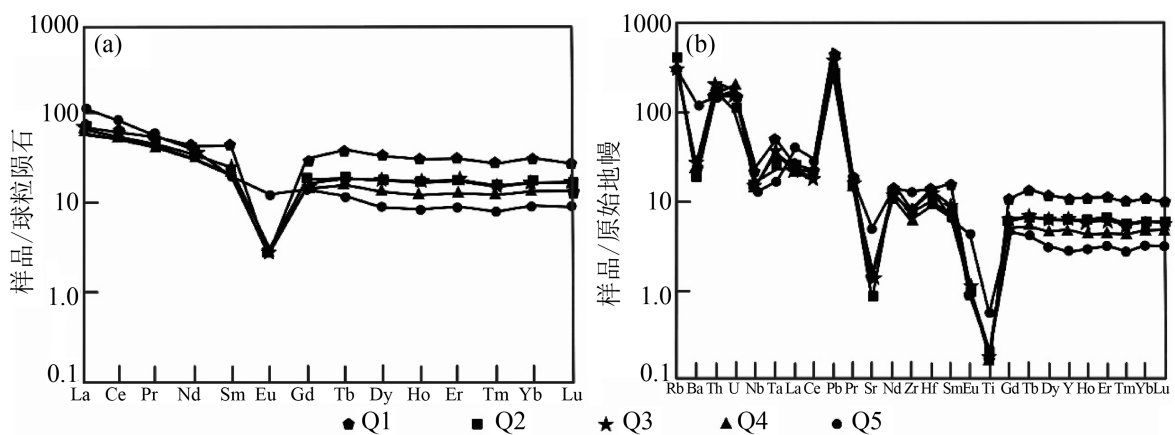


图 6 稀土元素球粒陨石标准化配分曲线和微量元素原始地幔标准化蛛网

4.3 微量元素特征

晚三叠世—早侏罗世侵入岩微量元素数据见表 4, 微量元素原始地幔标准化蛛网图见图

6b。可以看出, 该期侵入岩表现出富集 Rb、Th、U、Pb 等大离子亲石元素, 相对亏损 Ba、Sr、Eu、Ti 等高场强元素。

表 3 稀土元素化学分析结果

样号	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
La	17.20	16.96	15.70	14.60	27.05
Ce	37.71	34.79	33.55	32.06	51.50
Pr	5.18	4.25	4.25	4.04	5.44
Nd	20.32	16.32	16.73	14.73	18.84
Sm	6.76	3.50	3.95	3.15	3.07
Eu	0.16	0.16	0.19	0.15	0.73
Gd	6.31	3.42	3.79	3.04	2.90
Tb	1.43	0.70	0.73	0.59	0.45
Dy	8.50	4.59	4.58	3.40	2.28
Ho	1.80	1.01	0.99	0.70	0.48
Er	5.26	3.14	3.01	2.15	1.51
Tm	0.72	0.40	0.40	0.32	0.21
Yb	5.43	2.89	2.96	2.36	1.59
Lu	0.72	0.42	0.44	0.36	0.23
Y	48.02	27.38	28.73	22.25	12.78
ΣREE	165.50	119.92	119.99	103.87	129.08
LREE/HREE	1.10	1.67	1.62	1.93	4.13
δEu	0.07	0.14	0.15	0.15	0.74

表 4 微量元素化学分析结果

样号	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Li	1.37	2.52	2.69	1.65	2.13
Be	2.30	1.94	2.48	2.04	2.17
Sc	2.76	1.92	2.81	2.53	2.42
Ti	234.40	264.34	235.73	214.49	675.92
V	1.57	1.78	1.10	0.89	4.24
Cr	3.12	2.03	3.32	3.58	12.47
Co	0.28	0.39	0.33	0.29	0.75
Ni	0.95	0.56	0.82	0.85	1.41
Ga	16.23	15.50	17.14	15.74	13.90
As	0.70	0.90	0.91	0.76	0.64
Rb	219.25	252.16	218.75	257.79	196.72
Sr	30.00	17.25	32.97	32.81	101.97
Zr	90.43	84.43	86.95	67.92	142.17
Nb	16.08	11.84	11.53	10.66	9.03
Cd	0.24	0.12	0.11	0.11	0.75
In	0.02	0.02	0.04	0.02	0.01
Sb	0.71	1.76	1.44	1.20	4.50
Cs	1.90	2.88	2.49	3.12	3.13

续表

样号	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Ba	126.12	125.39	191.87	146.84	849.76
Zr	90.43	84.43	86.95	67.92	142.17
Nb	16.08	11.84	11.53	10.66	9.03
Cd	0.24	0.12	0.11	0.11	0.75
In	0.02	0.02	0.04	0.02	0.01
Cs	1.90	2.88	2.49	3.12	3.13
Ba	126.12	125.39	191.87	146.84	849.76
Hf	4.13	3.12	4.07	2.90	4.24
Ta	1.97	1.01	1.54	1.28	0.69
Re	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09
Tl	1.11	1.30	1.20	1.37	1.24
Pb	29.68	18.44	19.90	18.32	34.53
Bi	0.14	0.15	0.13	0.13	0.09
Th	16.78	14.42	18.44	13.36	12.78
U	3.15	2.31	3.46	4.24	4.00

5 讨论

5.1 岩浆来源

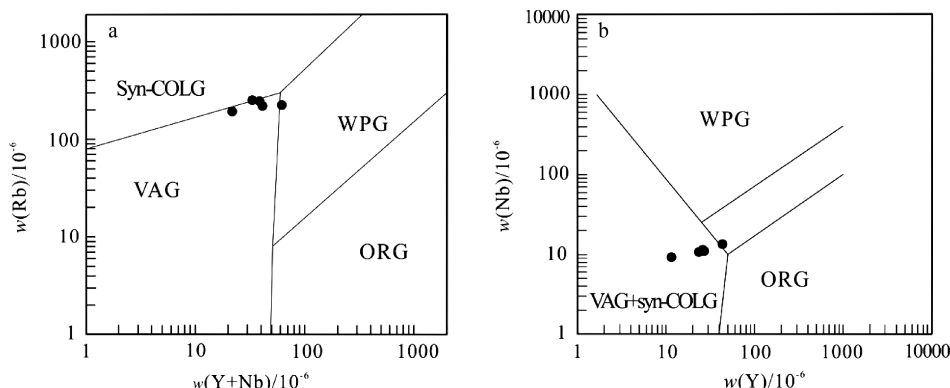
大兴安岭漠河地区古莲河林场侵入岩锆石 U-Pb 测年结果表明中细粒二长花岗岩形成于晚三叠世—早侏罗世。关于该期侵入岩的成因及岩浆来源存在三种不同的认识:一是其形成于古亚洲洋闭合后伸展构造环境下,岩浆起源于闭合过程中壳幔相互作用形成的地幔源区^[14];二是认为其为长英质地壳部分熔融的产物^[3,4];三是认为其属于壳幔混熔的 I 型花岗岩^[5]。大兴安岭漠河地区古莲河林场地区广泛出露晚三叠世至早侏罗世侵入岩,主要岩性为花岗岩。这类花岗岩属于高钾钙碱性系列,具有较低的 $Mg^{\#}$ 值,轻稀土富集和重稀土亏损特征显著,显示出铀的负异常,富集大离子亲石元素而相对亏损高场强元素,根据这些岩石地球化学特征分析,可以推断该地区花岗岩的原始岩浆起源于地壳物质的熔融。

5.2 构造背景

研究区在元古代经历了 Rodinia 超大陆裂

解、新林-喜桂图洋洋内俯冲,古生代经历了古亚洲洋板块俯冲作用;中生代经历了华北板块与蒙古兴安地块的碰撞拼合、蒙古-鄂霍茨克洋陆内俯冲、蒙古-鄂霍茨克洋闭合及古太平洋斜向俯冲等作用^[3,4,13]。关于额尔古纳地块北部晚三叠世—早侏罗世所处构造背景存在不同的认识:一种观点认为当时处于蒙古-鄂霍茨克大洋板块俯冲于额尔古纳地块之下^[15];二是认为该时期侵入岩形成于蒙古-鄂霍茨克洋闭合过程中的造山环境^[3,5];三是认为该时期侵入岩形成于造山运动之后或碰撞作用结束后的构造环境,反映了伸展型大地构造背景^[4]。

研究区侵入岩广泛分布,在 A 型花岗岩判别图解(图 5d-f)中,该期侵入岩均落入 I 型花岗岩区域;在构造环境判别图解中(图 7),样品表现出火山弧花岗岩及同碰撞花岗岩的地球化学特点,指示研究区的侵入岩是在碰撞造山环境中形成;根据锆石 U-Pb 同位素定年结果表明,该期侵入岩形成于晚三叠世—早侏罗世,是蒙古-鄂霍茨克洋俯冲碰撞的产物。



WPG—板内花岗岩; VAG—火山弧花岗岩; ORG—洋脊花岗岩; Syn-COLG 同碰撞花岗岩

图 7 研究区侵入岩 $w(\text{Rb})-w(\text{Y+Nb})$ 图解(a)及 $w(\text{Nb})-w(\text{Y})$ 图解(b)

6 结论

通过对研究区侵入岩进行的岩石地球化学和年代学的研究,可得到以下结论:

(1) 研究区侵入岩的锆石具有典型的岩浆成因特征,其形成时间为 $203 \pm 1.6\text{Ma}$,时代为晚三叠世—早侏罗世。

(2) 研究区侵入岩属于高钾钙碱性系列,表现出大离子亲石元素和轻稀土相对富集而重稀土及高场强元素相对亏损,表明该期侵入岩岩浆来源于地壳。

(3) 大兴安岭漠河地区古莲河林场侵入岩形成于蒙古—鄂霍茨克洋俯冲碰撞造山阶段,是该时期挤压环境下岩浆活动的产物。

参考文献 (References):

[1] 刘艳君. 大兴安岭北段卧都河地区中生代花岗岩地球化学特征及其构造意义[D]. 长春: 吉林大学, 2016.

[2] 王粉丽, 王海鹏, 鲁红峰, 等. 大兴安岭北部上其地区中生代花岗岩年代学、岩石地球化学特征及构造背景[J]. 地质科技情报, 2016, 35(04): 18-28.

[3] 陆胜, 王可勇, 赵焕利, 等. 大兴安岭漠河前哨林场侵入岩年代学、岩石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(01): 126-140.

[4] 陆胜, 王可勇, 张涵远, 等. 黑龙江漠河推覆带前哨林场铋金矿床流体包裹体特征及其地质意义[J]. 世界地质, 2020, 39(03): 557-568.

[5] 戴慧敏, 杨忠芳, 马振东, 等. 大兴安岭查巴奇地区中生代侵入岩岩石地球化学特征及构造背景[J]. 中国地质, 2013, 40(01): 232-247.

[6] 冯志强, 刘永江, 温泉波, 等. 大兴安岭北段塔源地区~330Ma 变辉长岩—花岗岩的岩石成因及构造意义[J]. 岩石学报, 2014, 30(07): 1982-1994.

[7] 鞠文信, 苏士杰, 白翠霞, 等. 大兴安岭乌尔旗汉地区晚石炭世半拉山序列侵入岩特征[J]. 地质与资源, 2005, 140(03): 161-165.

[8] 王伟, 许文良, 王枫, 等. 满洲里—额尔古纳地区中生代花岗岩的锆石 U-Pb 年代学与岩石组合: 对区域构造演化的制约[J]. 高校地质学报, 2012, 18(01): 88-105.

[9] 武广, 陈衍景, 孙丰月, 等. 大兴安岭北端晚侏罗世花岗岩类地球化学及其地质和找矿意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(04): 899-910.

[10] 胡新露, 姚书振, 何谋春, 等. 大兴安岭北段岔路口和大黑山斑岩型钼矿床硫、铅同位素特征[J]. 矿床地质, 2014, 33(04): 776-784.

[11] 高源, 郑常青, 姚文贵, 等. 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[J]. 地质学报, 2013, 87(09): 1293-1310.

[12] 牛延宏, 刘渊, 周志广, 等. 大兴安岭东北部塔河地区早白垩世高 Sr 低 Yb 型侵入岩的年代学、地球化学特征及地质意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2016, 36(04): 95-105.

[13] 祝洪臣, 张炯飞, 权恒. 大兴安岭中生代二期成岩成矿作用的元素、同位素特征及其形成环境[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2005, 35(04): 436-442.

- [14] 林强, 葛文春, 吴福元, 等. 大兴安岭中生代花岗岩类的地球化学[J]. 岩石学报, 2004, 20(03): 403-412.
- [15] 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(02): 339-353.

作者简介:

第一作者: 朱显男, 男, 1987年生, 黑龙江巴彦人, 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 助理工程师, 主要研究方向为岩石地球化学。Email: 960625827@qq.com;

通讯作者: 陆胜, 男, 1985年生, 哈尔滨人, 硕士, 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 高级工程师, 主要研究方向为矿床学及岩石地球化学。Email: dkwy2021@163.com

Geochronology and Geochemistry of Intrusive Rocks in Gulianhe Forest Farm of Mohe Area

ZHU Xiannan^{1,2}, LU Sheng^{1,2*}, LI Yicheng^{1,2}, OU Shiwei^{1,2}, MIAO Zhifeng^{1,2}, WANG Jiahui^{1,2}, JI Zheyu^{1,2}

(1. Harbin Center for Integrated Natural Resources Survey, China Geological Survey, Harbin 150086, China;

2. Observation and Research Station of Earth Critical Zone in Black Soil, Harbin, Ministry of Natural Resources,
Harbin 150086, China)

Abstract: Gulianhe forest farm is located at the edge of Mohe foreland basin in the northern part of Eeguna block in the north of Great Xing'an Range. The authors studied the geochemistry, and geochronology of intrusive rocks in Gulianhe forest farm in Mohe area of Great Xing'an Range, and discussed the formation age, petrogenesis, and tectonic environment of the intrusive rocks. The results of LA-ICP-MS zircon U-Pb dating show that the granite was formed at (203 ± 1.6) Ma, the age is Late Triassic- Early Jurassic in the study area. The petro-geochemical studies show that the $w(\text{SiO}_2)$ of granite is 74.47%~76.85%, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ is 12.44%~13.62% and the Ritman index (σ) is 1.79~2.29, indicating that they belong to high-k calc alkaline series, they have low $\text{Mg}^\#$ values (18.22~28.38), $w(\text{TFe}_2\text{O}_3)$ is 0.98%~1.55% and $w(\text{CaO})$ is 0.19%~0.71%, significant fractionation of light and heavy rare earth elements with enrichment of LREE and depletion of HERR, and δEu of 0.07~0.74, enrichment of large ion lithophile elements Rb, Th, U, Pb, and depletion of high field strength elements Ba, Sr, Eu, Ti. The above geochemical characteristics show that the original magma of granite came from the crust. The intrusive rocks in the study area were formed in the compressive environment during the orogenic stage, which were the product of the subduction and collision between Mongolian and Okhotsk Sea.

Key words: LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; geochemistry; intrusive rock; Gulianhe forest farm