第 31 卷第 2 期 地 质 与 资 源 Vol. 31 No. 2
2022 年 4 月 GEOLOGY AND RESOURCES Apr. 2022
文章编号:1671-1947(2022)02-0123-08 中图分类号:P534.3;P597 开放科学标志码(OSID):
DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2022.02.001 文献标志码:A

大兴安岭潮满林场地区新元古代花岗质片麻岩
——锆石 U-Pb 测年、地球化学特征及构造环境探讨

于喜洹[1],李新鹏[1],陈旭峰[2],孙江军[1],尹国良[1],丁继双[1],都士卓[1]
1. 黑龙江省自然资源调查院,黑龙江 哈尔滨 150036;
2. 黑龙江省地球物理地球化学勘查院,黑龙江 哈尔滨 150036

摘 要: 对大兴安岭潮满林场地区新元古代花岗质片麻岩进行岩石学、地球化学、成因及构造环境研究结果显示,花岗质片麻岩年龄为 795.2±4.3 Ma,形成时代为新元古代. 花岗质片麻岩表现为高硅、高碱、富钙、富钠、富钾、轻稀土元素富集、重稀土元素亏损,Eu 为负异常弱亏损. 岩浆源区主要为壳源岩浆,部分幔源岩浆底侵使中下地壳岩石发生部分熔融,且受到幔源组分混染形成混合岩浆. 结合区域资料,研究区新元古代花岗片麻岩形成于与俯冲有关的岩浆弧环境.

关键词: 新元古代;花岗质片麻岩;地球化学;锆石 U-Pb 年龄;构造环境;大兴安岭

THE NEOPROTEROZOIC GRANITIC GNEISS IN CHAOMAN FOREST FARM AREA OF DAXINGANLING MOUNTAINS: Zircon U-Pb Dating, Geochemistry and Tectonic Environment

YU Xi-huan[1], LI Xin-peng[1], CHEN Xu-feng[2], SUN Jiang-jun[1], YIN Guo-liang[1], DING Ji-shuang[1], DU Shi-zhuo[1]
1. *Natural Resources Survey Institute of Heilongjiang Province, Harbin* 150036, *China*;
2. *Heilongjiang Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Harbin* 150036, *China*

Abstract: The study on the petrology, geochemistry, genesis and tectonic environment of Neoproterozoic granitic gneiss in Chaoman Forest Farm area of Daxinganling Mountains yields the age of 795.2 ±4.3 Ma. The granitic gneiss is characterized by high Si, high alkali, rich Ca, Na and K, enrichment of LREEs and depletion of HREEs, with weak negative Eu anomaly and depletion. The magma source area is mainly crust-derived magma, and some mantle-derived magma underplating causes partial melting of rocks in the middle-lower crust, with hybridization of mantle-derived components to form mixed magma. Combined with regional data, the Neoproterozoic granitic gneiss in the study area was formed in a magmatic arc environment related to subduction.

Key words: Neoproterozoic; granitic gneiss; geochemistry; zircon U-Pb age; tectonic environment; Daxinganling Mountains

0 引言

位于大兴安岭北部的额尔古纳地块是兴蒙造山带中重要的微陆块之一. 兴华渡口岩群作为额尔古纳地块的基底,其形成时代、原岩类型以及大地构造背景一

收稿日期:2021-05-31;**修回日期:**2021-08-05. **编辑:**张哲.
基金项目:黑龙江省自然资源厅"黑龙江省 1:5 万拜托西河、阿库塞河、四十公里、面包山、下嘎来奥伊河幅区域地质矿产调查"(HLJKD2015-04).
作者简介: 于喜洹 (1972—), 男, 高级工程师, 从事区域地质调查及矿产勘查工作, 通信地址 黑龙江省哈尔滨市香坊区新乡里街 9 号,E-mail//278053757@qq.com

直是地质学家关注的热点[1-21]. 前人依据其变质程度并结合在该岩群中获得的 Sm-Nd 等时线年龄,将兴华渡口岩群的时代划为古—中元古代[1-2]. 近年来对大兴安岭地区兴华渡口岩群的锆石 U-Th-Pb 同位素的研究显示,兴华渡口岩群形成于寒武纪或新元古代,而不是先前认为的古元古代[3]. 孙立新等[4]认为需要对不同地区的兴华渡口岩群进行系统的调查研究, 查明其岩石组成,将不同时代、不同变质程度的表壳岩和变质深成岩解体并分别测年. 以往潮满林场地区兴华渡口岩群中的花岗质片麻岩通常被认为是兴华渡口岩群下部地层兴华组的岩石组成, 本研究依据近年来的区调成果❶❷,将花岗质片麻岩侵入体从兴华渡口岩群中解体出来,对其形成时代及构造环境进行研究探讨,为大兴安岭北部地区前寒武系的构造演化提供年代学证据.

1 区域地质概况

大兴安岭自西北向东南依次为额尔古纳地块、兴安地块、松嫩地块 3 个微陆块,并由它们之间的构造带拼合而成. 主要的构造带二连-贺根山缝合带和塔源-喜桂图缝合带,为 3 个微陆块之间的分界线[22-24]. 研究区位于兴蒙造山系额尔古纳地块北缘(图 1a),区内主要有新元代、早侏罗世和晚侏罗世岩浆活动;出露地层有中—新元古界兴华渡口岩群兴华岩组和上侏罗统塔木兰沟组、满克头鄂博组(图 1b).

新元古代花岗质片麻岩主要分布在潮满林场地区,被后期花岗岩吞侵,呈不规则形状的捕虏体或残留体出露,以岩株、岩瘤状产出. 主要岩性为片麻状二长花岗岩和花岗质片麻岩,与兴华渡口岩群密切相伴,构成研究区结晶基底,是额尔古纳地块重要组成部分.

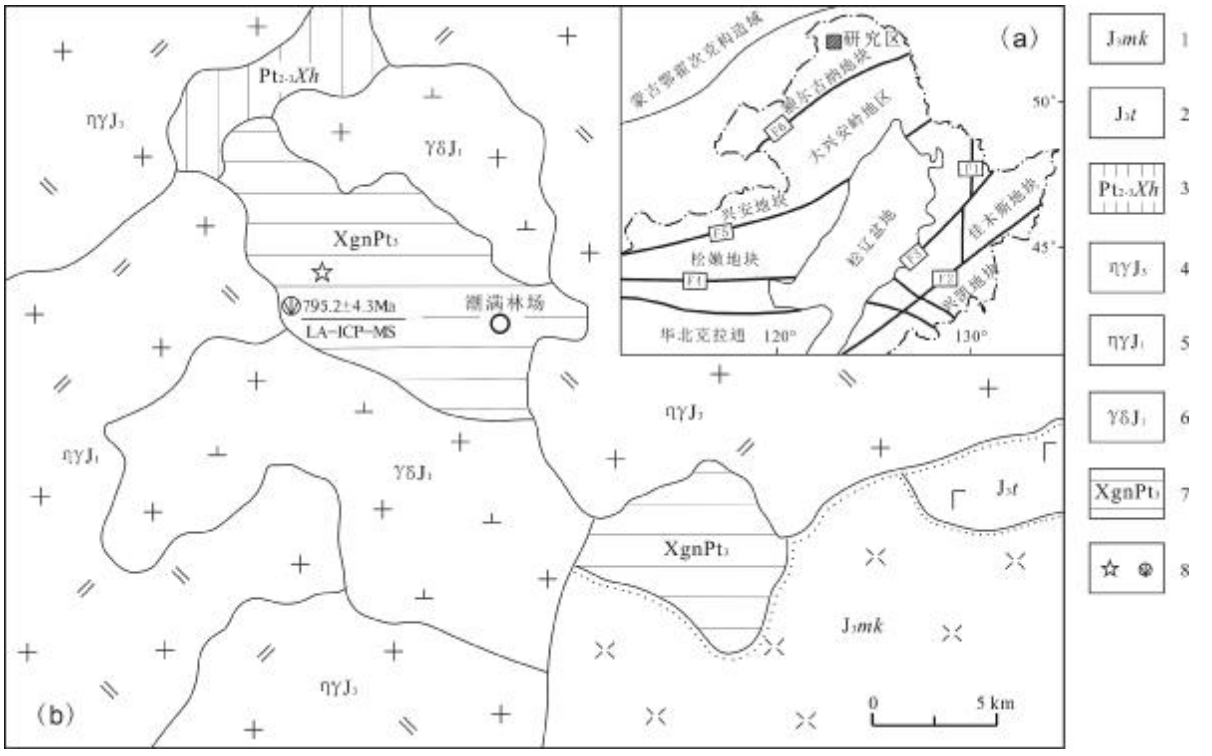

图 1 东北地区大地构造简图和研究区地质略图

Fig. 1 Tectonic sketch of Northeast China and geological map of the study area

1—满克头鄂博组(Manketouebo fm.); 2—塔木兰沟组(Tamulangou fm.); 3—兴华渡口岩群(Xinghuadukou rock group); 4—晚侏罗世二长花岗岩(Late Jurassic monzogranite); 5—早侏罗世二长花岗岩(Early Jurassic monzogranite); 6—早侏罗世花岗闪长岩(Early Jurassic granodiorite); 7—新元古代花岗质片麻岩 (Neoproterozoic granitic gneiss); 8—采样位置及同位素年龄 (sampling location and isotopic age); F1—嘉荫-牡丹江断裂(Jiayin-Mudanjiang fault); F2—敦化-密山断裂(Dunhua-Mishan fault); F3—依兰-伊通断裂(Yilan-Yitong fault); F4—索伦-西拉木伦断裂(Solonker-Xar Moron fault); F5—二连-贺根山断裂(Erlian-Hegenshan fault); F6—塔源-喜桂图断裂(Tayuan-Xiguitu fault)

❶黑龙江省地质调查研究总院. 黑龙江 1:25 万漠河县、漠河、兴安幅区域地质调查报告. 2014.

❷黑龙江省地球物理地球化学勘查院. 黑龙江省 1:5 万拜托西河、阿库塞河、四十公里、面包山、下嘎来奥伊河幅区域地质矿产调查报告. 2019.

2　岩石学特征

片麻状细中粒黑云母二长花岗岩(图 2a)为细中粒花岗结构、片麻状构造. 斜长石呈半自形柱状、他形粒状,聚片双晶发育,部分定向分布,粒度 0.1~1 mm,含量约 35%;微斜长石为无色,他形粒状,纹状条纹、格子双晶发育,长轴多定向分布,粒度小于 5 mm,含量约 30%;石英为无色,拉长他形粒状,定向分布,粒度小于 6 mm,含量约 25%;黑云母呈片状,定向分布,片径小于 0.5 mm,含量约 5%;角闪石为柱状、粒状,粒度 0.2~1.5 mm,含量 3%.

花岗质片麻岩(图 2b)为鳞片粒状变晶结构,片麻状构造. 斜长石呈他形粒状,聚片双晶发育,粒径 0.1~1.5 mm,含量约 31%;微斜条纹长石,纹状条纹、格子双晶发育,粒径 0.1~3 mm,含量约 15%;石英为拉长粒状,变形带普遍发育,粒径 0.05~3.5 mm,含量约 30%;黑云母为片状、挠曲片状,片径 0.05~0.7 mm,含量约 17%;角闪石为粒状,粒径 0.1~1.2 mm,含量 5%.

3　测年结果

测年样品(D5265)采自研究区内潮满林场西 7 km 处片麻状中细粒黑云母二长花岗岩侵入体内,取样位置:122°25′40″E,52°29′38″N. 对样品 20 个锆石颗粒进行了 LA-MC-ICPMS U-Pb 定年(校正后有效数据 20 个),锆石分析结果见表 1. 锆石具有较明显的振荡环带(图 3),样品中的 Th、U 含量较高,Th/U 值主要集中在 0.54~0.81 之间,为典型的岩浆成因锆石,所测年龄为本期侵入岩结晶年龄. 20 个点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄加权平均为 795.2±4.3 Ma,谐和曲线平均为 795.4±6.0 Ma(图 4),二者年龄一致,时代为新元古代. 李中会等❶在富克山花岗片麻岩中获取岩浆锆石 U-Pb

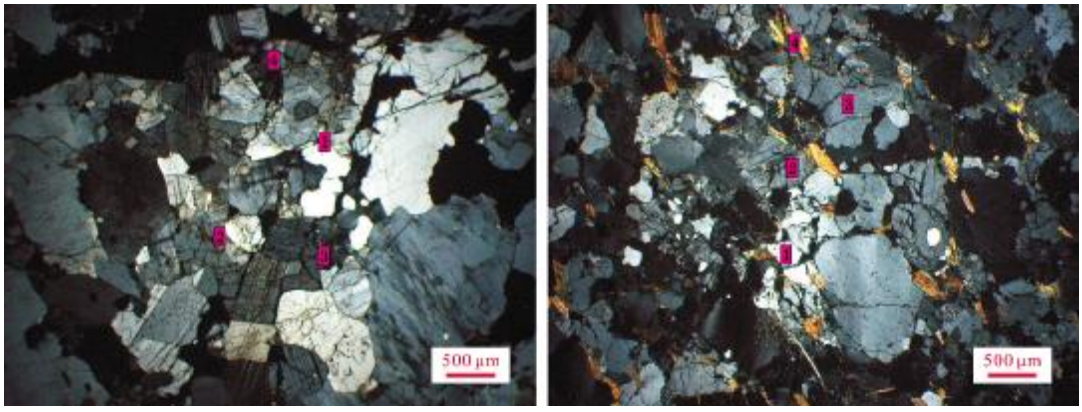

图 2　新元古代花岗质片麻岩显微照片

Fig. 2　Microphotographs of Neoproterozoic granitic gneiss

a—片麻状细中粒黑云母二长花岗岩(gneissic fine-medium biotite monzogranite);b—花岗质片麻岩(granitic gneiss);1—石英(quartz);2—斜长石(plagioclase);3—钾长石(K-feldspar);4—黑云母(biotite)

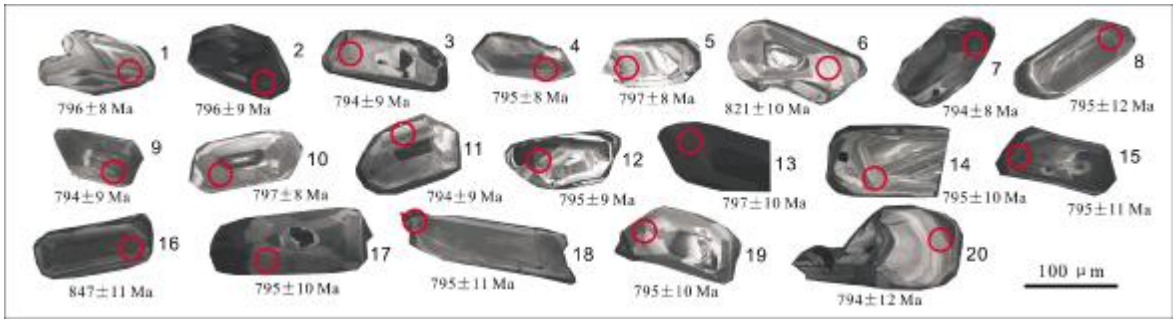

图 3　片麻状黑云母二长花岗岩锆石阴极发光图像

Fig. 3　CL images of zircons from gneissic biotite monzogranite

❶黑龙江省地质调查研究总院. 黑龙江 1:25 万漠河县、漠河、兴安幅区域地质调查报告. 2014.

表 1 片麻状中细粒黑云母二长花岗岩(D5265)锆石同位素测年数据表

Table 1 Zircon isotopic dating data of gneissic fine-medium biotite monzogranite sample (D5265)

编号	元素含量/10^{-6}			$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{232}U/^{238}Th$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$	
	Pb	Th	U	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ
1	229.02	302.73	513.00	0.13	0.00	1.18	0.02	0.07	0.00	1.45	1	796.00	8.41	791.42	8.76
2	795.27	1148.55	1123.90	0.13	0.00	1.20	0.02	0.07	0.00	0.87	1	796.23	8.61	801.03	8.65
3	858.70	1164.06	1505.49	0.13	0.00	1.19	0.02	0.07	0.00	1.12	1	794.40	8.97	795.63	7.97
4	753.32	1053.68	1197.74	0.13	0.00	1.19	0.02	0.07	0.00	0.98	1	794.75	7.59	796.39	7.95
5	503.83	700.19	934.91	0.13	0.00	1.21	0.03	0.07	0.00	1.16	1	796.58	8.21	803.30	13.69
6	426.04	567.48	1025.07	0.14	0.00	1.25	0.02	0.07	0.00	1.55	1	820.56	10.36	823.10	9.40
7	289.05	355.59	742.00	0.13	0.00	1.22	0.04	0.07	0.00	1.84	1	794.22	8.40	811.07	16.28
8	239.76	304.25	705.43	0.13	0.00	1.19	0.02	0.07	0.00	1.98	1	795.19	12.08	798.01	8.45
9	323.45	356.96	1346.00	0.13	0.00	1.22	0.02	0.07	0.00	3.17	1	794.42	8.54	810.39	8.90
10	553.05	763.21	942.66	0.13	0.00	1.23	0.02	0.07	0.00	1.03	1	796.82	8.17	812.20	8.51
11	288.47	383.17	500.13	0.13	0.00	1.20	0.02	0.07	0.00	1.11	1	794.26	8.97	801.32	7.72
12	705.86	990.34	1256.01	0.13	0.00	1.21	0.02	0.07	0.00	1.02	1	794.81	9.11	806.58	8.56
13	123.65	164.45	289.89	0.13	0.00	1.22	0.02	0.07	0.00	1.39	1	796.61	10.46	807.94	9.97
14	170.53	212.85	541.03	0.13	0.00	1.22	0.02	0.07	0.00	2.01	1	794.93	9.65	808.84	10.16
15	142.68	164.21	585.85	0.13	0.00	1.19	0.02	0.07	0.00	2.73	1	794.72	11.16	797.07	9.97
16	295.65	381.02	522.81	0.14	0.00	1.29	0.02	0.07	0.00	1.04	1	846.80	10.67	841.34	10.25
17	193.15	281.09	263.66	0.13	0.00	1.19	0.02	0.07	0.00	0.73	1	794.74	10.04	795.05	9.91
18	194.02	251.24	463.93	0.13	0.00	1.21	0.02	0.07	0.00	1.41	1	795.21	10.75	805.33	9.97
19	281.63	396.62	531.66	0.13	0.00	1.22	0.02	0.07	0.00	1.01	1	794.63	9.51	809.19	10.39
20	747.13	985.57	1210.51	0.13	0.00	1.28	0.03	0.07	0.00	0.93	1	794.03	12.07	834.69	14.39

测试单位:国土资源部武汉矿产资源监督检测中心(湖北省地质实验测试中心).

加权平均年龄为 802±2 Ma,与本次定年结果吻合较好.

4 岩石地球化学特征

4.1 主量元素

根据主量元素分析结果(表 2,扫描首页 OSID 二维码可见), 岩体 SiO_2 含量一般在 69.26%~79.2%,平均为 72.68%,属酸性深成岩类; Al_2O_3 含量在 9.91%~16.15%, 平均为 14.10%; Na_2O+K_2O 含量一般在3.31%~9.39%,平均为 7.52%. 表现高硅、高碱特征. 岩石具有相对富钙富钠特点,Na_2O/K_2O 值在 0.38~1.51 间,平均为 0.88,总体小于 1,说明岩石相对富钾. 岩石固结指数(SI)偏低为 1.26~10.94. 分异指数(DI)偏高,为 77.73~93.25,说明岩石的酸性程度及结晶分异程度均较高. 里特曼指数(σ)为 0.3~3.13,属钙碱性岩石. 在(Na_2O+K_2O)–SiO_2 二氧化硅图解中(图 5a),岩石投影点落入亚碱性区内. 铝饱和指数(A/CNK)在 1.05~2.08 范围内,岩石投点均在过铝质区,为过铝质高钾钙碱性系列的 I 型花岗岩(图 5b).

4.2 稀土和微量元素

根据分析结果 (表 2, 扫描首页 OSID 二维码可见),稀土元素总量(ΣREE)为 93.76×10^{-6}~188.70×10^{-6},平均值 145.84×10^{-6}; 反映轻重稀土元素分馏程度的 LR/HR 比值为 6.70~37.26,平均值 16.55; $(La/Yb)_N$ 值介于 5.62~58.06 之间,平均值 17.87; $(Ce/Yb)_N$ 值介

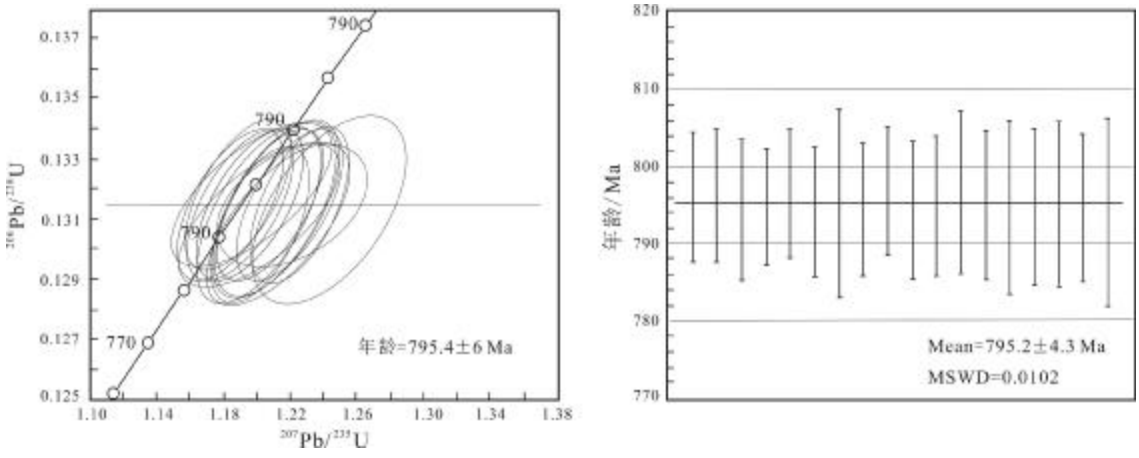

图 4　片麻状黑云母二长花岗岩锆石 LA-ICP-MS 同位素年龄谐和曲线图

Fig. 4　LA-ICP-MS isotopic age concordia curve of zircon in gneissic biotite monzogranite

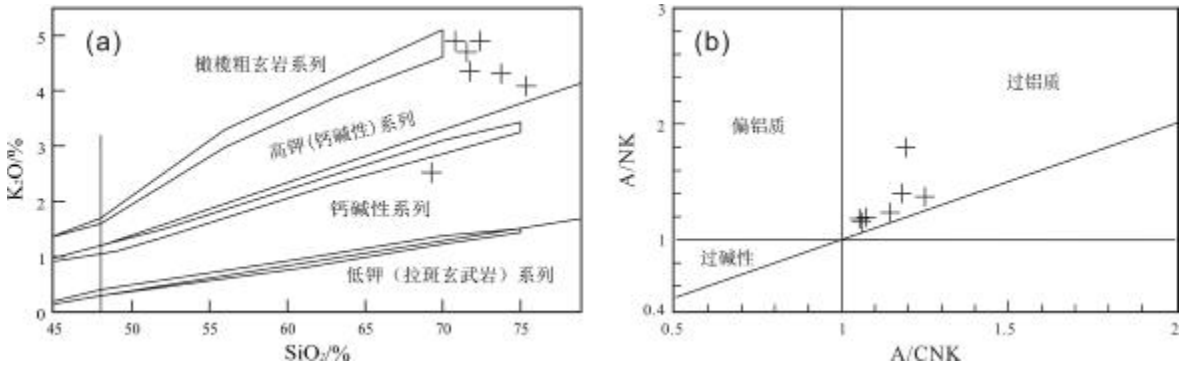

图 5　花岗岩分类判别图解

Fig. 5　Classification discrimination diagram of granites

于 3.96~55.97 之间,平均值 18.12. 岩石轻稀土元素富集,重稀土元素亏损,轻重稀土分馏明显. 经球粒陨石标准化后的稀土元素配分模式为左高右低轻缓右倾的曲线 (图 6). 高场强元素 Zr、Hf、Nb 在蚀变和变质作用过程中具有良好的稳定性, 是岩石成因和源区性质的良好示踪迹[25]. 在微量元素原始地幔标准化蛛网图中(图 7),岩石微量元素配分曲线基本一致,大离子亲石元素 K、Rb、Ba 富集,高场强元素 Nb、Ta、Sr、P、Ti 相对亏损. Nb 的亏损说明斜长石作为熔融残留相或结晶分离相存在, 即在熔融过程中斜长石没有耗尽; Ti 的亏损可能同钛铁矿的分离结晶作用有关[25].

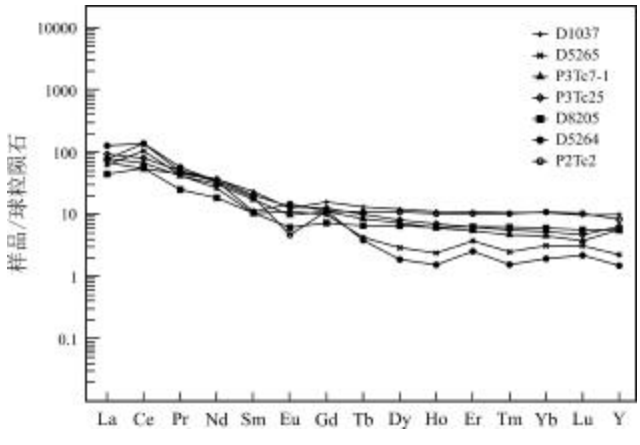

图 6　稀土元素配分曲线图

(标准化数据据 Boynton, 1984)

Fig. 6　Chondrite-normalized REE patterns

(Standardized data from Boynton, 1984)

5　构造环境探讨

5.1 岩浆成因分析

研究区新元古代花岗质片麻岩 Th/U 比值主要集中在 0.54~0.81 之间,表明岩石为岩浆成因.

表示 Eu 亏损程度的参数 Eu/Sm 值为 0.09~0.50,

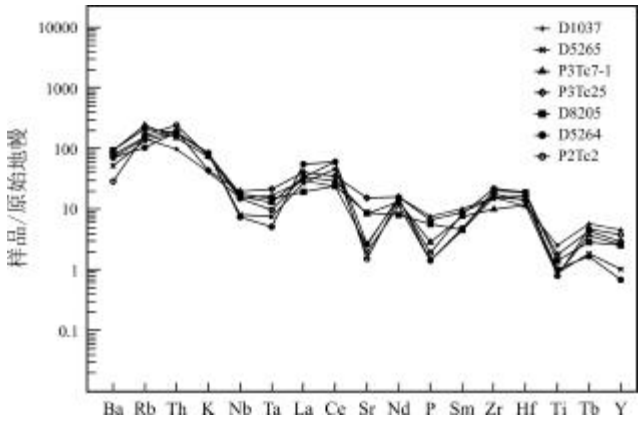

图 7 微量元素蛛网图

（标准化数据据 McDonough，1992）

Fig. 7 Primitive mantle-normalized trace element spidergram

(Standardized data from McDonough, 1992)

平均值为 0.27；δEu 值在 0.34~1.46 范围内，平均值 0.87，整体上表现为弱的负铕异常，表明源区岩浆在分离结晶过程中仅有少量的斜长石发生了分离结晶，为上地壳部分熔融形成的岩石；Rb/Sr 值范围为 0.3~3.31，平均值为 1.46（>0.5），位于壳源岩浆范围内；δCe 变化范围为 0.84~1.91，平均 1.31，反映铈为正常型，与岛弧-活动大陆边缘岩石地球化学特征相似[10]。

Nb/Ta 比值在 15.8~26.75 之间，远大于地壳的 Nb/Ta 平均值（8.3），具有一定的幔源物质特征，表明成岩过程中有少部分幔源物质参与，具有岩浆弧特征。此外，Sr 负异常亦说明岩石经历了斜长石分离结晶作用或源区残留有斜长石，与稀土元素反映的特征一致[25]。

综上所述，研究区新元古代花岗片麻岩为部分幔源岩浆底侵使中下地壳岩石发生部分熔融，且遭受幔源组分混染形成混合岩浆，经结晶分异作用后的产物。

5.2 构造环境分析

新元古代早期，区域上属于 Rodinia 超大陆裂解阶段，额尔古纳地块北缘发生洋壳俯冲、消减和碰撞作用[5,18]，已获得花岗质侵入体年龄多在 805~793 Ma 之间，该期花岗岩在中国境内主要为额尔古纳北段莫尔道嘎-太平川-八间房一带的混合岩化巨斑状正长花岗岩[5]。

在研究区花岗片麻岩 SiO_2-K_2O 含量与岩浆来源深度关系图中（图 8），投影点多落入 150~250 km 区域内，反映出岩浆来源较深的与俯冲有关的弧岩浆特征。在 Pearce 等[26]定义的花岗岩类型构造环境 Rb-(Yb+Nb)、Rb-(Yb+Ta)判别图解（图 9）中，样品投影点落入火山弧花岗岩区并靠近同碰撞花岗岩区，仅有 1 个样品落入同碰撞花岗岩区（靠近火山弧花岗岩区）。上述特征显示研究区花岗片麻岩形成于与俯冲有关的岩浆弧环境，是新元古代早期俯冲构造热事件的产物。

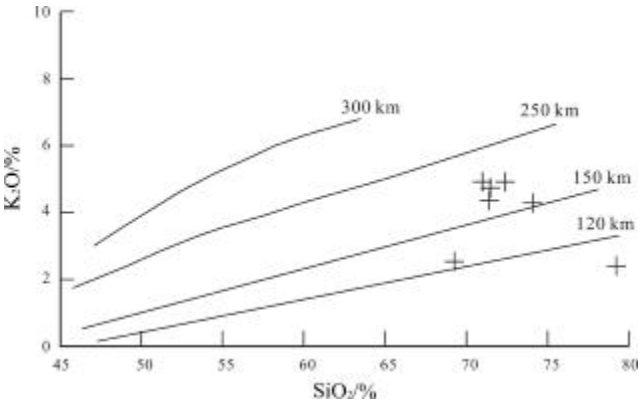

图 8 SiO_2-K_2O 与岩浆来源深度关系图解

Fig. 8 Relationship between SiO_2-K_2O contents and magma source depth

6 结论

（1）LA-MC-ICPMS 锆石 U-Pb 定年显示，潮满林场地区花岗质片麻岩形成年龄为 795.2±4.3 Ma，表明额尔古纳地块存在新元古代构造岩浆事件。

（2）研究区新元古代花岗质片麻岩具有高硅、高碱，轻稀土元素富集，重稀土元素亏损，Eu 为负异常弱亏损特点，为具有过铝质高钾钙碱性系列的 I 型花岗岩。

（3）岩石系列和地球化学背景反映研究区新元古代花岗片麻岩形成于与俯冲有关的岩浆弧环境。

致谢：审稿专家对本文提出十分宝贵的修改意见，在此表示衷心感谢！

参考文献（References）：

[1]表尚虎，李仰春，何晓华，等. 黑龙江省塔河绿林林场一带兴华渡口群岩石地球化学特征[J]. 中国区域地质，1999，18(1)：28-33.
Biao S H, Li Y C, He X H, et al. The geochemical characteristics of the Xinghuadukou Group in the Lülin forestry center, Tahe, Heilongjiang province[J]. Regional Geology of China, 1999, 18(1): 28-33.

[2]孙广瑞，李仰春，张昱. 额尔古纳地块基底地质构造[J]. 地质与资源，2002，11(3)：129-139.

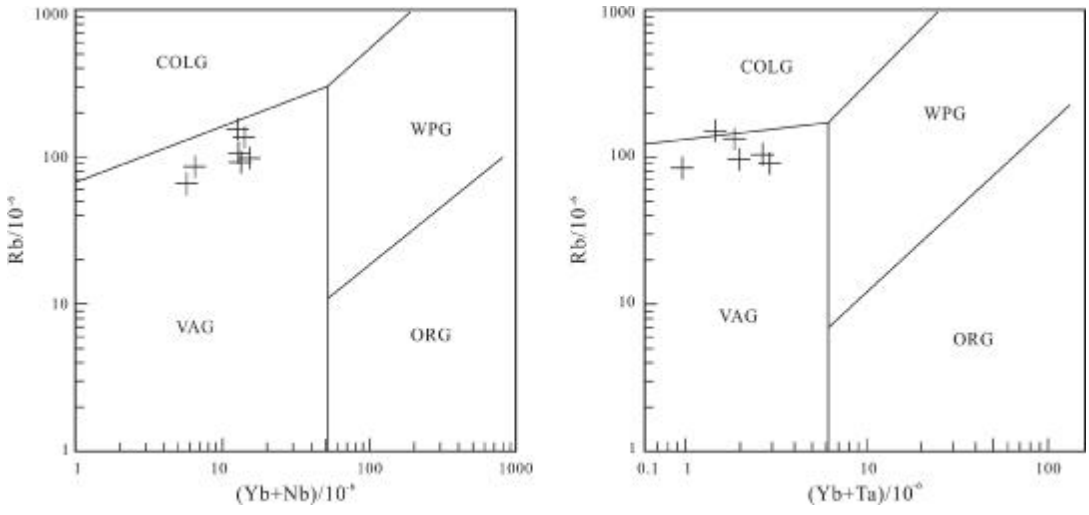

图 9　花岗岩构造环境判别图解

Fig. 9　Tectonic discrimination diagram of granites

COLG—同碰撞花岗岩(syn-collision granite); VAG—火山弧花岗岩(volcanic arc granite); WPG—板内花岗岩(within-plate granite); ORG—洋脊花岗岩(oceanic ridge granite)

Sun G R, Li Y C, Zhang Y. The basement tectonics of Ergun massif[J]. Geology and Resources, 2002, 11(3): 129-139.

[3]苗来成, 刘敦一, 张福勤, 等. 大兴安岭韩家园子和新林地区兴华渡口群和扎兰屯群锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. 科学通报, 2007, 52(5): 591-601.
Miao L C, Liu D Y, Zhang F L, et al. Zircon SHRIMP U-Pb ages of the "Xinghuadukou Group" in Hanjiayuanzi and Xinlin areas and the "Zhalantun Group" in Inner Mongolia, Da Hinggan Mountains[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(8): 1112-1124.

[4]孙立新, 任邦方, 赵凤清, 等. 内蒙古额尔古纳地块古元古代末期的岩浆记录——来自花岗片麻岩的锆石 U-Pb 年龄证据[J]. 地质通报, 2013, 32(2/3): 341-352.
Sun L X, Ren B F, Zhao F Q, et al. Late Paleoproterozoic magmatic records in the Erguna massif: Evidences from the zircon U-Pb dating of granitic gneisses[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(2/3): 341-352.

[5]佘宏全, 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.
She H Q, Li J W, Xiang A P, et al. U-Pb ages of the zircons from primary rocks in middle-northern Daxinganling and its implications to geotectonic evolution[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(2): 571-594.

[6]贾立民, 刘洪章, 鞠佳星, 等. 大兴安岭绿林林场一带兴华渡口岩群原岩恢复及大地构造环境探讨[J]. 地质力学学报, 2018, 24(4): 544-554.
Jia L M, Liu H Z, Ju J X, et al. Protolith reconstruction and geotectonic environmental research of Xinghuadukou rock group in Lvlin forestry center, Daxing'anling[J]. Journal of Geomechanics, 2018, 24(4): 544-554.

[7]葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 大兴安岭北部塔河花岗岩体的时代及对额尔古纳地块构造归属的制约[J]. 科学通报, 2005, 50(12): 1239-1247.
Ge W C, Wu F Y, Zhou C Y, et al. Emplacement age of the Tahe granite and its constraints on the tectonic nature of the Ergun block in the northern part of the Da Hinggan Range[J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(18): 2097-2105.

[8]许文良, 孙晨阳, 唐杰, 等. 兴蒙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.

[9]刘宇崴, 杜兵盈, 张铁安, 等. 大兴安岭环二库地区新元古代晚期花岗岩发现及其地质意义[J]. 地质与资源, 2017, 26(5): 453-459.
Liu Y W, Du B Y, Zhang T A, et al. Discovery and geological significance of the late Neoproterozoic granite in Huanerku, Daxinganling Region[J]. Geology and Resources, 2017, 26(5): 453-459.

[10]郑全波, 李文龙, 肖林, 等. 大兴安岭富克山地区兴华渡口群地球化学及锆石 U-Pb 年龄特征[J]. 世界地质, 2018, 37(2): 363-373.
Zheng Q B, Li W L, Xiao L, et al. Geochemistry and zircon U-Pb dating of Xinghuadukou Group in Fukeshan area of Great Xing'an Range[J]. Global Geology, 2018, 37(2): 363-373.

[11]赵院冬, 许逢明, 车继英, 等. 锆石 U-Pb 定年对大兴安岭东北部"兴华渡口群"形成时代和组成的约束[J]. 中国地质, 2017, 44(3): 575-587.

Zhao Y D, Xu F M, Che J Y, et al. Constraints from the zircon U-Pb dating on the formation age and composition of the Xinhuadukou Group in northeastern Da Hinggan Mountains[J]. Geology in China, 2017, 44(3): 575-587.

[12]那福超, 宋维民, 刘英才, 等. 大兴安岭扎兰屯地区前寒武纪变质岩系年龄及其构造意义[J]. 地质通报, 2018, 37(9): 1607-1619.
Na F C, Song W M, Liu Y C, et al. Chronological study and tectonic significance of Precambrian metamorphic rocks in Zhalantun area of Da Hinggan Mountains[J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(9): 1607-1619.

[13]张明, 王忠, 孟二根, 等. 内蒙古大兴安岭北部新元古代花岗岩岩石地球化学特征及构造意义[J]. 地质与资源, 2006, 15(2): 98-106.
Zhang M, Wang Z, Meng E G, et al. Geochemical characteristics and tectonic significance of the Neoproterozoic granites in northern Daxinganling, Inner Mongolia[J]. Geology and Resources, 2006, 15(2): 98-106.

[14]王洪波, 杨晓平. 大兴安岭北段新一轮国土资源大调查以来的主要基础地质成果与进展[J]. 地质通报, 2013, 32(2/3): 525-532.
Wang H B, Yang X P. Main geological achievements and progress of the new round of national land and resources survey in North Daxinganling[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(2/3): 525-532.

[15]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.
Zhou J B, Wang B, Zeng W S, et al. Detrital zircon U-Pb dating of the Zhalantun metamorphic complex and its tectonic implications, Great Xing'an, NE China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(7): 1879-1888.

[16]徐久磊. 额尔古纳地块兴华渡口群变质作用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
Xu J L. Metamorphism of the Xinghuadukou complex in the Erguna massif[D]. Changchun: Jilin University, 2018.

[17]边红业, 吉峰, 表尚虎. 大兴安岭富西里地区赞岐岩-(石英)二长闪长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 世界地质, 2014, 33(4): 768-779.
Bian H Y, Ji F, Biao S H. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of sanuklite-(quartz) monzodiorite in Fuxili area, Daxing'anling and its geological significance[J]. Global Geology, 2014, 33(4): 768-779.

[18]郭宇飞, 杨言辰, 韩世炯, 等. 大兴安岭北部凤凰山地区英云闪长岩地球化学特征与锆石 U-Pb 定年[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2016, 46(5): 1406-1417.
Guo Y F, Yang Y C, Han S J, et al. Geochemistry and zircon U-Pb dating of the Tonalite from Fenghuangshan area in northern Daxing'anling[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2016, 46(5): 1406-1417.

[19]刘芳,王晰,海连富,等. 大兴安岭南段罕苏木地区二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其伸展构造作用[J]. 中国地质, 2021, 48(5): 1609-1622.
Liu F, Wang X, Hai L F, et al. Zircon U-Pb ages, Hf isotope and extensional tectonics of monzogranite in the Hansumu area of southern Great Khingan[J]. Geology in China, 2021, 48(5): 1609-1622.

[20]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 Y J, Zhao Z H, Yang X X, 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.

[21]申亮,赵胜金,于海洋,等. 大兴安岭哈达陶勒盖组火山岩年龄、地球化学特征及其陆缘弧构造背景[J]. 中国地质, 2020, 47(4): 1041-1055.
Shen L, Zhao S J, Yu H Y, et al. Zircon age and geochemical characteristics of Hadataolegai Formation volcanic rocks in Da Hinggan Mountains and its continental marginal arc setting[J]. Geology in China, 2020, 47(4): 1041-1055.

[22]李锦轶. 中国东北及邻区若干地质构造问题的新认识[J]. 地质论评, 1998, 44(4): 339-347.
Li J Y. Some new ideas on tectonics of NE China and its neighboring areas[J]. Geological Review, 1998, 44(4): 339-347.

[23]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 W L, Wang F, Pei F P, 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.

[24]王五力, 李永飞, 郭胜哲. 中国东北地块群及其构造演化[J]. 地质与资源, 2014, 23(1): 4-24.
Wang W L, Li Y F, Guo S Z. The Northeast China block group and its tectonic evolution[J]. Geology and Resources, 2014, 23(1): 4-24.

[25]李琦, 曾忠诚, 陈宁, 等. 阿尔金造山带青白口纪亚干布阳片麻岩年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质通报, 2018, 37(4): 642-654.
Li Q, Zeng Z C, Chen N, et al. Zircon U-Pb ages, geochemical characteristics and geological significance of Yaganbuyang gneiss in Qingbaikou Period along the Altun orogenic belt[J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(4): 642-654.

[26]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(4): 956-983.