



DOI:10.12404/j.issn.1671-1815.2404019

引用格式:王鹏,郭嘉,张潇,等.大兴安岭南段西沙拉地区流纹岩地层归属及构造背景[J].科学技术与工程,2025,25(14):5745-5755.

Wang Peng, Guo Jia, Zhang Xiao, et al. Stratum affiliation and tectonic setting of rhyolite in Xishala Area, southern part of Great Xing'an Range[J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(14): 5745-5755.

大兴安岭南段西沙拉地区流纹岩地层归属及构造背景

王鹏¹, 郭嘉², 张潇¹, 徐正林¹, 王晰^{1*}

(1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061; 2. 赤峰远野昌顺地质勘查有限公司, 赤峰 024000)

摘要 大兴安岭南段西沙拉地区出露大量的中生代新民组(J_2x)和满克头鄂博组(J_3m)地层,由于其岩石组合中流纹岩的存在,易混淆地层的划分,导致该流纹岩的地层归属存在争议。因此,以流纹岩为研究对象,进行锆石 U-Pb 测年,地球化学特征分析,并开展了新民组和满克头鄂博组地层剖面对比研究,进而探讨流纹岩的形成时代、构造背景及地层归属问题。研究指出西沙拉流纹岩的地球化学特征为高硅(SiO_2 平均含量为 75.74%)、富碱($Na_2O + K_2O$ 平均含量为 7.69%),并且镁、钙含量较低,属过铝质、高钾钙碱性系列;球粒陨石标准化的稀土元素配分模式呈右倾型,轻稀土元素相对富集,重稀土元素相对亏损, $(La/Yb)_N$ 介于 10.61 ~ 14.21, 显示出较强的负铕异常 (δEu 介于 0.44 ~ 0.53); 大离子亲石元素 (large ion lithophilic elements, LILE) Rb、Ba 和 K 相对富集,同时高场强元素 (high field strength elements, HFSE) Nb、Ta 和 Ti 相对亏损,这说明岩浆起源于地壳物质; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果显示流纹岩年龄为 (167.7 ± 2.6) Ma, 形成于中侏罗世,是蒙古-鄂霍茨克洋闭合后伸展构造作用所形成的产物;结合区域地质、剖面岩石组合类型对比研究认为该流纹岩应归属为满克头鄂博组。

关键词 地球化学; 锆石 U-Pb 年龄; 新民组; 满克头鄂博组; 大兴安岭南段

中图法分类号 P581 P597.3; 文献标志码 A

Stratum Affiliation and Tectonic Setting of Rhyolite in Xishala Area, Southern Part of Great Xing'an Range

WANG Peng¹, GUO Jia², ZHANG Xiao¹, XU Zheng-lin¹, WANG Xi^{1*}

(1. School of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;

2. Chifeng Yuanye Changshun Geological Exploration Co., Ltd., Chifeng 024000, China)

[Abstract] In the southern Great Xing'an Range, the Xishala area exposes a substantial amount of Mesozoic strata of Xinmin Formation (J_2x) and Manketouebo Formation (J_3m). However, due to the presence of rhyolite in the rock association, it is easy to confuse the stratigraphic division and lead to disputes of the stratigraphic attribution of rhyolite. Therefore, zircon U-Pb dating and geochemical characteristic analysis of the rhyolites were conducted, and stratigraphic sections of the Xinmin and Manketouebo Formations were compared to explore the formation age, tectonic setting, and stratigraphic attribution of the rhyolites. The results indicate that the geochemical characteristics of the rhyolites in Xishala area are high SiO_2 content (The value of mean is 75.74%), rich alkali content [mean($Na_2O + K_2O$) = 7.69%] and low Mg and Ca content, belonging to peraluminous and high-K calc-alkaline series. The Chondrite-normalized REE pattern is right-dip type, with relative enrichment of LREE and relative depletion of HREE, the value of $(La/Yb)_N$ is between 10.61 ~ 14.21 and strong negative Eu anomaly (The value of δEu is between 0.44 ~ 0.53). LILE (large ion lithophilic elements) such as Rb, Ba and K are relatively enriched, while HFSE (high field strength elements) such as Nb, Ta and Ti are relatively depleted, indicating that the magma originated from crustal materials. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results show that the age of the rhyolite is (167.7 ± 2.6) Ma, belonging to the Middle Jurassic, and it forms in the extensional tectonic action after the closure of the Mongolian-Okhotsk ocean. Based on the comparative study of regional geology and sectional rock assemblage types, the rhyolite belongs to the Manketouebo Formation.

[Keywords] geochemistry; zircon U-Pb ages; Xinmin Formation; Manketouebo Formation; southern Great Xing'an Range

大兴安岭是中国东北部大型火山岩带的重要组成部分,区域上大面积发育中生代火山岩^[1-2]。

对于大兴安岭地区内广泛分布的中生代火山岩,前人已经对其年代学、地球化学以及构造背景进行了

收稿日期: 2024-05-30; 修订日期: 2025-02-17

基金项目: 吉林大学研究生创新基金(2023CX218); 中国地质调查局资助项目(12120115031701)

第一作者: 王鹏(2000—),男,汉族,河北保定人,硕士研究生。研究方向: 矿床地质学。E-mail: 1454852943@qq.com。

* 通信作者: 王晰(1979—),男,汉族,山东齐河人,博士,教授。研究方向: 矿产普查与勘探。E-mail: xiwang@jlu.edu.cn。

广泛的探讨^[3-7]。然而,对研究区内的一套流纹质火山岩组合的形成时代、地层划分归属和构造背景仍存在争议:前人通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年测得流纹岩形成年龄主要介于 163.4 ~ 152.9 Ma,有学者认为其应归属于中侏罗世新民组(J_2x)^[8-11],而也有学者认为应划分到满克头鄂博组(J_3m)^[7,12-13];最近的研究表明,该套流纹岩主要形成于中-晚侏罗世(164.9 ~ 154.8 Ma),其应归属于满克头鄂博组的火山岩地层^[6,14]。此外,关于该套流纹岩的构造背景也存在与蒙古-鄂霍茨克洋闭合造山后伸展环境有关^[15-17]和太平洋向西俯冲的结果^[18-21]的不同观点。

目前鲜见研究区域该套流纹岩的报道,为了厘清研究区内该套流纹岩的形成时代,地层归属及构造背景,项目组在中国地质调查局内蒙古 1:5 万民主公社等 4 幅地质矿产综合调查项目研究的基础上,对大兴安岭南段西沙拉地区流纹岩进行研究,采用野外实测剖面,进行接触关系、上下层位岩石组合特征对比,利用流纹岩进行锆石原位 U-Pb 测年的方法,厘定其形成时代和地层归属;并对该流纹岩进行主、微量及稀土元素测试分析,探讨其形成的构造背景,为大兴安岭南段流纹岩的研究以及大兴安岭晚中生代的岩浆活动和构造演化提供新的资料。

1 研究区地质概况

研究区大地构造位置位于天山-兴蒙造山带东段,自西向东依次为额尔古纳地块、兴安地块、松嫩地块和佳木斯地块^[10-17,22-26],如图 1 所示。该研究

区位于大兴安岭南段山地东麓至松辽平原西南边缘,蒙古-鄂霍茨克洋缝合带东南侧,中生代受到蒙古-鄂霍茨克洋演化影响,诱发大面积的中生代陆相火山岩浆活动^[27-28]。大兴安岭南段中生界自下而上为三叠系老龙头组、侏罗系新民组、塔木兰沟组、满克头鄂博组、玛尼吐组,下白垩系白音高老组、梅勒图组^[29]。以上中生代地层在本项目调查区范围均有出露^[30],而本次研究区主要出露(图 1)有玛尼吐组的岩性主要为蚀变安山岩、英安质含角砾晶屑凝灰岩、杏仁状安山岩、安山质晶屑凝灰岩;满克头鄂博组极为发育,与下部的新民组接触呈角度不整合接触关系,与上部玛尼吐组呈不整合接触关系,岩石组合主要为流纹岩、流纹质火山角砾岩、流纹质熔结火山集块岩;新民组的岩性主要为页岩夹煤线、粉砂质页岩、粉砂质泥岩、粉砂岩、岩屑细砂岩、中砾岩[图 2(a)]。

本次研究区地理位置位于内蒙古扎鲁特旗的西沙拉村东北方向,该套岩性组合以流纹岩、流纹斑岩以及流纹质凝灰岩等组成,基岩周围被大面积第四系覆盖[图 2(b)]。

2 样品描述与研究方法

2.1 样品描述

样品采自于内蒙古西沙拉地区的馒头山东侧(44°33'N,120°17'E),如图 1 所示,以该点为中心,分别在 10 m 直径范围内的不同位置采取新鲜岩石地球化学样品 5 件,编号为 D7619-1 ~ D7619-5 进行主微量分析;并在地球化学样品相应位置采集锆石 U-Pb 测年样品一件,编号为 D7619。

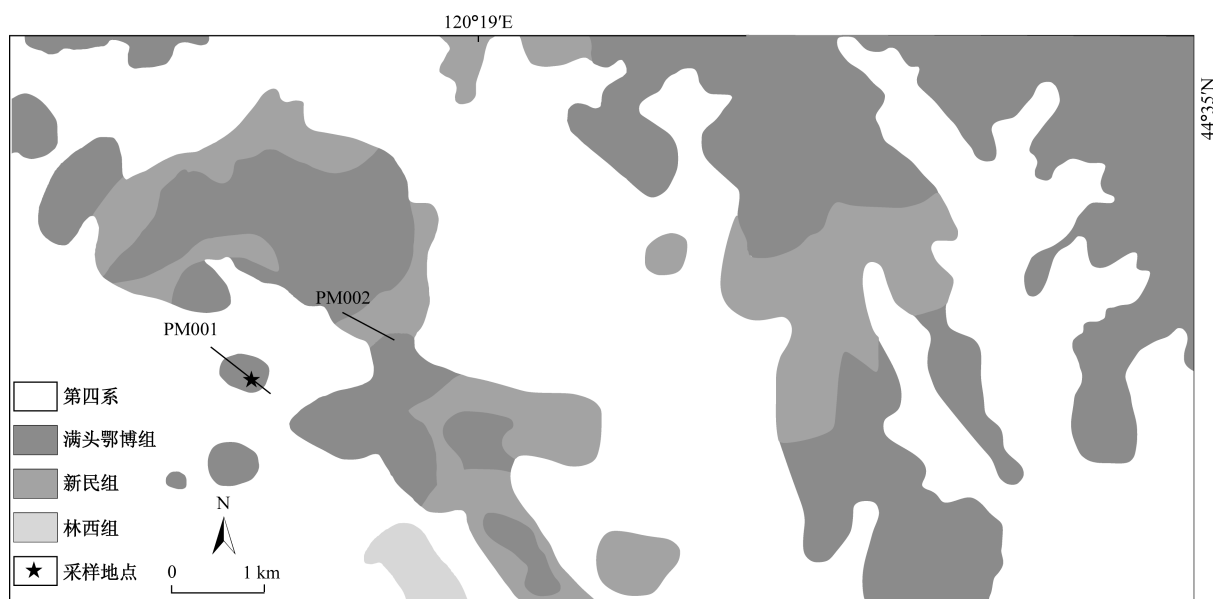


图 1 研究区地质略图^[30]

Fig. 1 Geotectonic sketch of the study area^[30]

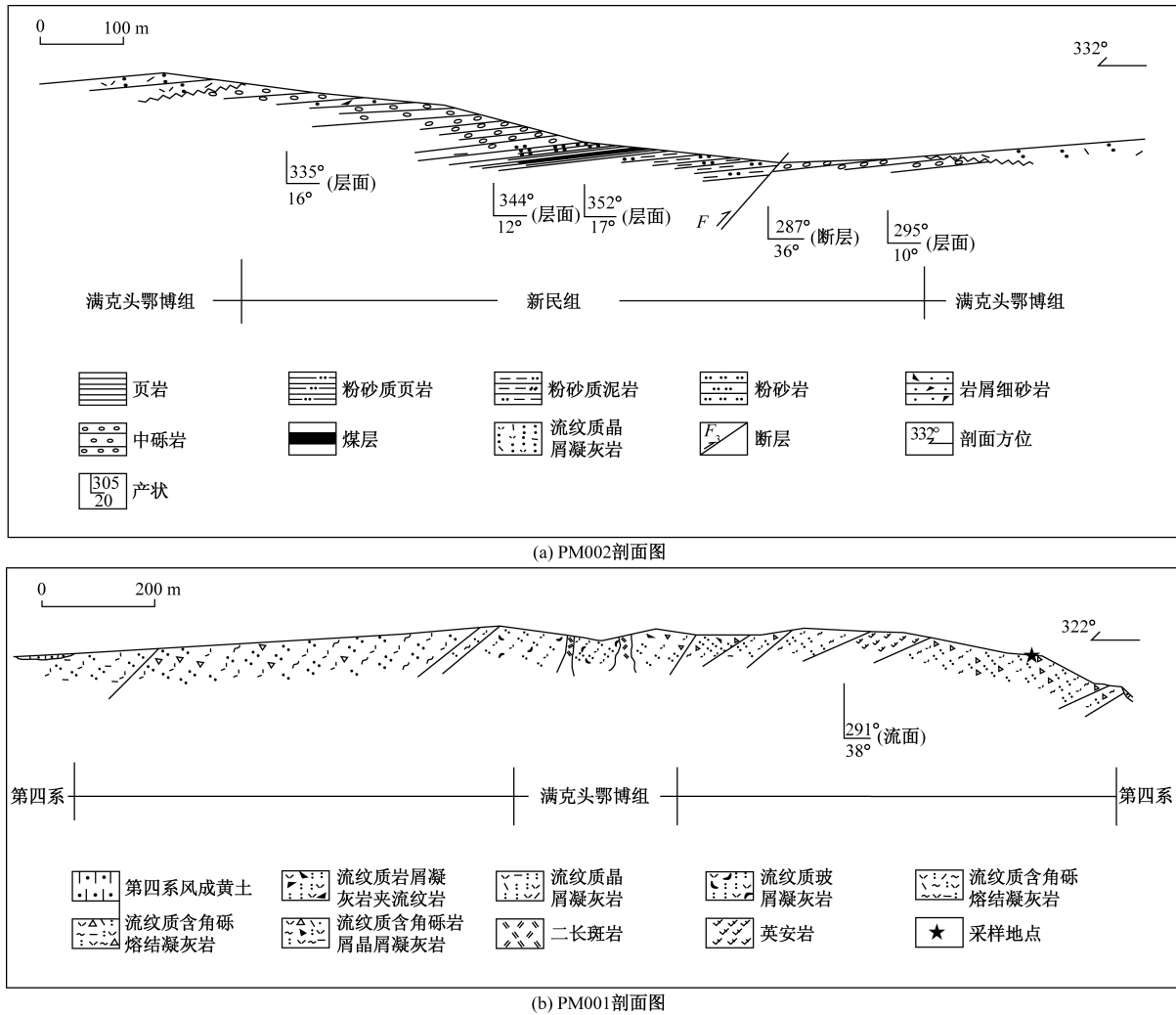


图2 西沙拉地区满克头鄂博组剖面图(PM001)及新民组剖面图(PM002)^[30]

Fig. 2 Profile section of Manketouebo Formation (PM001) and Profile section of Xinmin Formation (PM002)^[30] in Xishala Area

流纹岩岩石野外特征[图3(a)]:岩石新鲜面颜色呈浅黄白色,风化面颜色呈黄褐色,斑状结构,呈现流纹构造。显微镜下:岩石主要由斑晶(斜长石含量10%、钾长石含量10%和石英含量5%)、基质(70%),如图3(b)所示,斜长石半自形板状,长度在0.5~1.5mm,具绢云母化,聚片双晶较发育,杂乱分布;钾长石呈半自形板状,发育有简单双晶,杂乱分布,长度在0.5~1mm,具高岭土化等;石英呈半自形-他形粒状,具波状消光,粒度在0.3~0.8mm杂乱分布。基质主要由石英、斜长石和钾长石组成,呈定向排列,粒度为0.05~0.1mm。

2.2 分析方法

2.2.1 锆石 U-Pb 定年

在河北廊坊地质服务有限公司利用标准重量法和磁选技术从岩石样品中挑选出锆石,并进行制靶,采集透射光、反射光及阴极发光图像。锆石 U-Pb 定

年在中国地质调查局天津地质调查中心利用 LA-ICP-MS 技术完成,激光束斑半径为 15 μm,剥蚀时间为 30 s,选择标样 NIST610 来校正锆石 U、Th、Pb 的含量,实验具体细节和流程参见文献[32],使用 Isoplot 软件对测试数据进行分析^[33]。

2.2.2 岩石地球化学

选取流纹岩中未蚀变或者蚀变较弱的样本进行主微量分析。河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成样品的预处理和地球化学数据分析,其中利用 WFX-110B 原子吸收分光光度计湿化学完成主量元素分析;利用 X Serise 2 等离子体质谱仪完成微量元素的分析测试,主、微量元素与准确值的偏差分别低于 5%、10%。

3 实验结果

3.1 锆石 U-Pb 年代学

样品中的锆石呈长柱状或短柱状,其颗粒晶形

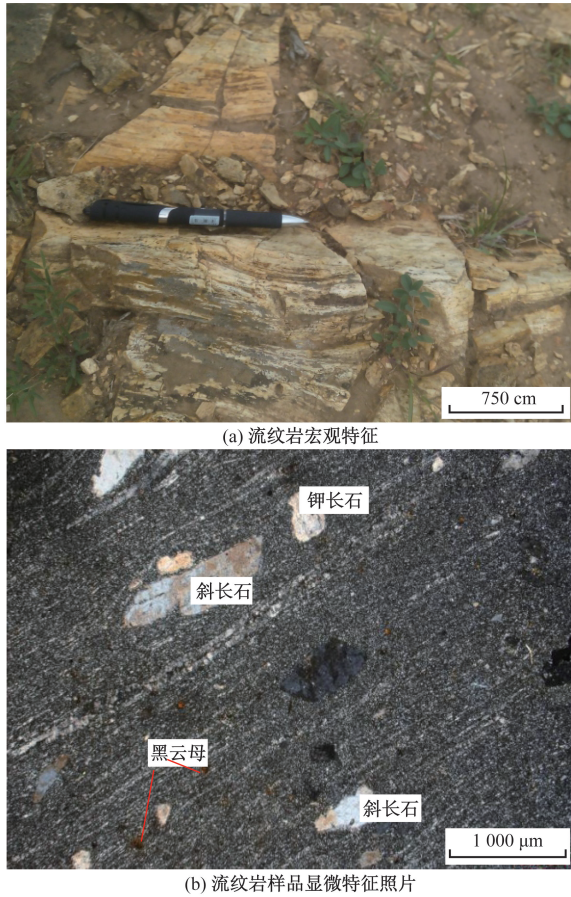


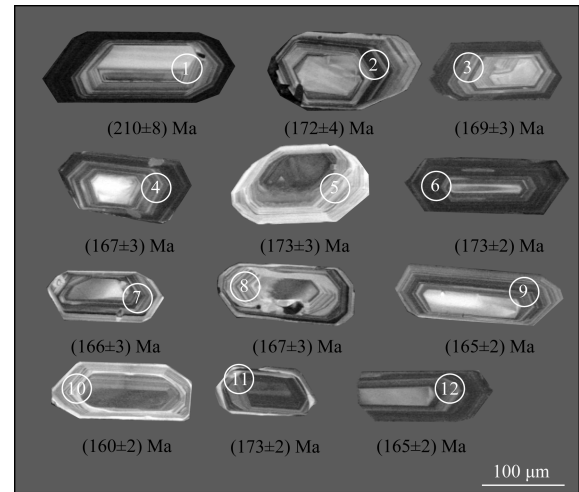
图3 西沙拉地区流纹岩野外及显微镜照片
Fig. 3 Field photographs and photomicrograph of rhyolite in Xishala Area

完整,大部分颗粒长度在 100 μm 之上,内部结构清晰,长宽比介于 2:1 ~ 1:1,发育有明显的震荡生长环带结构[图 4(a)],锆石 Th/U 比值在 0.40 ~ 0.77,表明测试样本具有岩浆锆石特征^[34-35]。样品 D7619 的 12 个测点,通过测定样品中²⁰⁶Pb、²⁰⁷Pb、²³⁵U、²³⁸U 和²³²Th 的含量,可以求得锆石的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb、²⁰⁷Pb/²³⁵U、²⁰⁶Pb/²³⁸U 和²⁰⁸Pb/²³²Th 年龄,锆石 U-Pb 同位素定年测得数据如表 1 所示。锆石 U-Pb 谐和图及加权平均图见图 4(b),结果表明,所有锆石分析点均分布在谐和线上或其附近,加权平均年龄为(167.7 ± 2.6) Ma,MSWD = 2.4,表明在误差范围内测试结果可靠,其中 MSWD (mean squared weighted deviates) 为平均标准权重偏差。通过测试结果可知大兴安岭南段西沙拉地区流纹岩样品形成于中侏罗世。

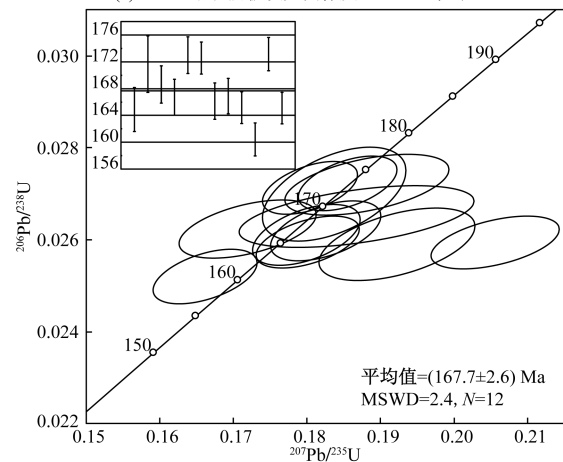
3.2 地球化学特征

3.2.1 主量元素

样品主量元素的测试分析数据如表 2 所示。根据表 2 可知流纹岩 SiO₂ 质量分数为 75.57% ~ 75.91%,Al₂O₃ 为 12.79% ~ 13.04%,K₂O 为 3.95% ~



(a) D7619 锆石阴极发光图像及²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄



(b) D7619 锆石年龄谱和曲线与加权平均图

图4 西沙拉地区流纹岩锆石阴极发光 (CL) 图像和 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Cathodoluminescence (CL) image of zircon and Zircon U-Pb Concordia diagrams of rhyolite in Xishala Area

4.15%,全碱含量 (K₂O + Na₂O) 为 7.08% ~ 8.01%, Fe₂O₃ 为 1.21% ~ 1.51%,FeO 为 0.24% ~ 0.43%, MgO 为 0.16% ~ 0.20%,CaO 为 0.11% ~ 0.13%, TiO₂、MnO 和 P₂O₅ 含量很少。所有样品在 SiO₂-K₂O 图解 (图 5) 中都位于高钾钙碱性系列区域内;而在 A/CNK-A/NK 图解 (图 6) 中,5 个样品的样品投点都在过铝质区域内。该流纹岩的主量元素含量呈现出高硅、富碱、贫钙、镁特点,属于过铝质高钾钙碱性岩石。

3.2.2 微量元素

样品微量元素检测分析数据如表 2 所示。其中流纹岩的 Ti/Y 介于 22.05 ~ 33.28, Ti/Y 介于 3.45 ~ 4.26, 稀土总量 (ΣREE) 介于 153.25 × 10⁻⁶ ~ 170.99 × 10⁻⁶, 轻重稀土比值 (LREE/HREE) 介于 9.34 ~ 11.31, (La/Yb)_N 为 10.61 ~ 14.21, 大于 1, 说明流纹岩轻稀土较为富集,重稀土相对亏损,具

表1 西沙拉地区流纹岩锆石 U-Pb 同位素分析结果
Table 1 Zircon U-Pb isotope analysis of rhyolite in Xishala Area

测试点号	Th	U	Th/U	年龄/Ma			
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$
1	104	191	0.55	387	179	165	168
2	147	296	0.50	176	171	172	168
3	112	194	0.58	256	174	169	163
4	266	416	0.64	233	170	167	170
5	98.6	176	0.56	187	175	173	167
6	266	477	0.56	102	168	173	175
7	296	386	0.77	189	168	166	168
8	86.5	219	0.40	79.7	161	167	171
9	223	317	0.70	206	168	165	165
10	134	290	0.46	100	156	160	162
11	232	536	0.43	161	173	173	181
12	212	521	0.41	494	190	165	188

表2 西沙拉地区流纹岩主量元素和微量元素分析结果
Table 2 Analysis result of main element and trace elements of rhyolite in Xishala Area

元素	D7619-1	D7619-2	D7619-3	D7619-4	D7619-5	元素	D7619-1	D7619-2	D7619-3	D7619-4	D7619-5
SiO ₂ /%	75.87	75.91	75.74	75.57	75.62	Yb/10 ⁻⁶	1.84	1.98	1.95	2.24	2.56
Al ₂ O ₃ /%	12.98	12.94	13.04	12.79	12.79	Lu/10 ⁻⁶	0.27	0.29	0.29	0.33	0.39
TiO ₂ /%	0.09	0.08	0.08	0.08	0.12	Li/10 ⁻⁶	18.1	16.6	16.6	15.7	24.6
Fe ₂ O ₃ /%	1.32	1.22	1.21	1.32	1.51	Be/10 ⁻⁶	1.13	1.12	1.21	1.29	1.63
FeO/%	0.43	0.38	0.37	0.32	0.24	Sc/10 ⁻⁶	3.00	2.45	2.45	2.42	3.34
CaO/%	0.12	0.12	0.11	0.11	0.13	V/10 ⁻⁶	2.58	2.22	2.22	3.34	12.9
MgO/%	0.16	0.18	1.17	1.17	0.20	Cr/10 ⁻⁶	1.67	1.57	1.51	1.55	4.43
K ₂ O/%	4.00	3.95	4.04	4.01	4.15	Ga/10 ⁻⁶	14.9	14.0	15.9	14.7	18.3
Na ₂ O/%	3.68	3.98	3.97	3.77	2.93	Rb/10 ⁻⁶	95.3	96.1	105	105	116
MnO/%	0.016	0.020	0.025	0.013	0.035	Sr/10 ⁻⁶	36.9	37.0	39.7	37.0	35.7
P ₂ O ₅ /%	0.014	0.016	0.015	0.015	0.017	Zr/10 ⁻⁶	123	126	139	134	171
LOI/%	1.19	1.08	1.11	1.70	2.14	Nb/10 ⁻⁶	6.72	6.75	7.46	7.67	8.55
总和/%	99.85	99.87	99.87	99.87	99.87	Cd/10 ⁻⁶	0.037	0.040	0.014	0.016	0.046
A/NK	1.25	1.20	1.20	1.21	1.37	In/10 ⁻⁶	0.014	0.016	0.016	0.019	0.036
A/CNK	1.22	1.17	1.17	1.19	1.34	Cs/10 ⁻⁶	2.89	2.44	1.96	2.59	2.73
Y/10 ⁻⁶	15.8	16.4	15.9	21.2	22.7	Ba/10 ⁻⁶	833	835	897	894	891
La/10 ⁻⁶	34.7	37.4	38.5	38.4	37.9	Hf/10 ⁻⁶	4.49	4.78	5.14	4.88	5.96
Ce/10 ⁻⁶	67.48	72.94	75.93	74.40	74.30	Ta/10 ⁻⁶	0.56	0.59	0.71	0.60	0.80
Pr/10 ⁻⁶	7.24	7.84	8.19	8.21	8.16	Pb/10 ⁻⁶	11.6	16.8	16.3	13.3	16.8
Nd/10 ⁻⁶	25.9	27.6	28.8	28.8	29.5	Th/10 ⁻⁶	11.1	11.7	12.5	12.2	12.1
Sm/10 ⁻⁶	4.38	4.74	4.94	4.98	5.16	U/10 ⁻⁶	2.31	2.51	3.05	2.54	2.71
Eu/10 ⁻⁶	0.62	0.68	0.69	0.72	0.87	LREE	140.38	151.25	157.10	155.51	155.88
Gd/10 ⁻⁶	3.93	4.38	4.41	4.53	4.74	HREE	12.87	14.13	13.89	15.29	16.70
Tb/10 ⁻⁶	0.59	0.65	0.64	0.70	0.73	(La/Yb) _N	13.53	13.60	14.21	12.30	10.61
Dy/10 ⁻⁶	3.41	3.77	3.59	4.10	4.43	δEu	0.45	0.45	0.44	0.45	0.53
Ho/10 ⁻⁶	0.65	0.70	0.68	0.79	0.84	δCe	0.99	0.99	1.00	0.98	0.99
Er/10 ⁻⁶	1.89	2.04	2.03	2.26	2.60	Ti/Y	33.28	27.64	30.25	22.05	31.18
Tm/10 ⁻⁶	0.29	0.32	0.31	0.35	0.41	Ti/Zr	4.26	3.60	3.45	3.50	4.14

有明显的重稀土分馏特点。 δEu 介于 0.44 ~ 0.53, 小于 1 说明具有 Eu 负异常。

稀土元素配分曲线(图 7)显示轻稀土元素相对富集,重稀土元素相对亏损,呈现右倾特征;原始地幔标准化蛛网图(图 8)能够体现出微量元素亏损和富集特征,样品中高强度元素 Nb、Ta、P 和 Ti 等呈现亏损,而大离子亲石元素 Rb、Th、U、K 和 Gd 等呈现富集现象。

4 讨论

4.1 形成时代及地层归属

在对大兴安岭南段的中生代侏罗系地层的研究中,通常把含有火山岩夹层的主要分为新民组、满克头鄂博组、玛尼吐组^[3],其中玛尼吐组以安山质火山岩或安山质火山碎屑岩的岩石组合特征,未见流纹质火山岩或流纹质火山碎屑岩的岩石组合^[29]。本次锆

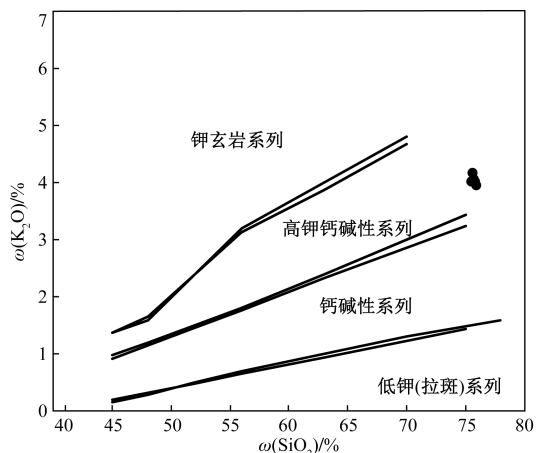


图5 西沙拉地区流纹岩 SiO₂-K₂O 图解^[36]

Fig. 5 SiO₂ vs K₂O diagram^[36] of rhyolite in Xishala Area^[36]

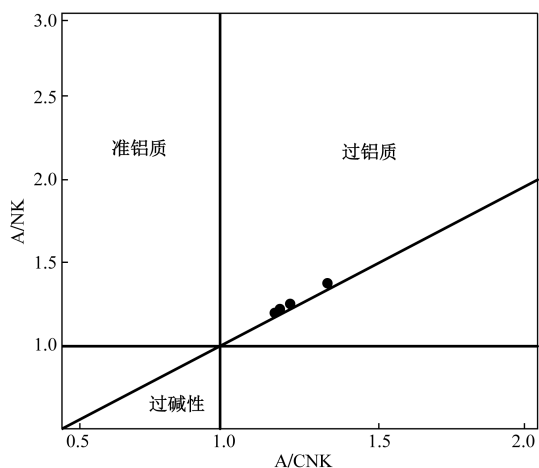


图6 西沙拉地区流纹岩 A/CNK-A/NK 图解^[37]

Fig. 6 A/CNK vs A/NK diagram^[37] of rhyolite in Xishala Area

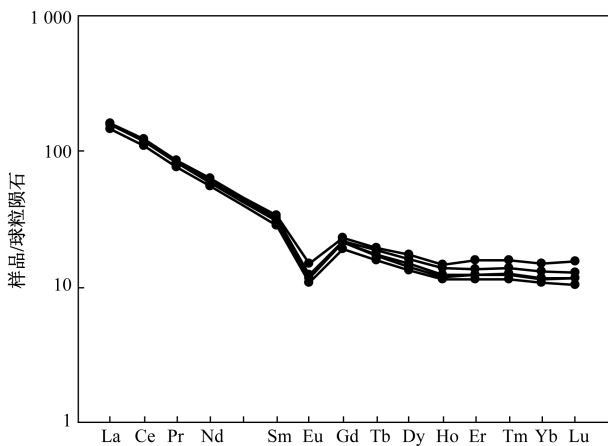


图7 西沙拉地区流纹岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns for rhyolite in Xishala Area

石 U-Pb 年代学研究显示(图 4 和表 1),在西沙拉地区取得流纹岩锆石 U-Pb 年龄为(167.7 ± 2.6) Ma

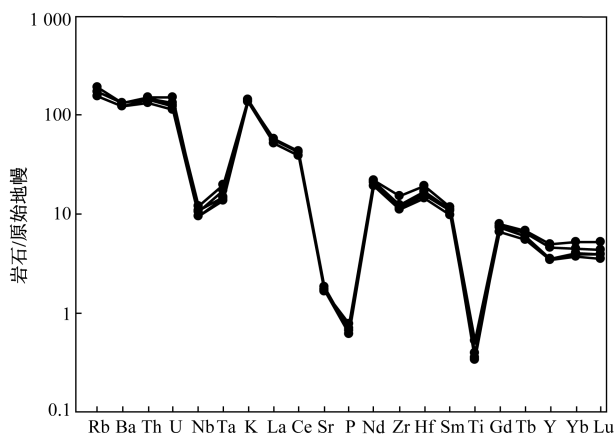


图8 西沙拉地区流纹岩原始地幔标准化微量元素蛛网图

Fig. 8 Primitive mantle-normalized trace elements spidergrams for rhyolite in Xishala Area

(MSWD = 2.4),表明其形成于中侏罗世,暗示本次研究的流纹岩不可能属于玛尼吐组地层。

此外,众多学者在大兴安岭南段进行满克头鄂博组流纹岩锆石 U-Pb 测年,例如,郭建刚等^[38]在坤都地区测得火山岩锆石 U-Pb 年龄为(157.7 ± 1.2) Ma;张超等^[39]对扎鲁特盆地坤都地区流纹岩锆石 U-Pb 测年为(151.2 ± 1.2) Ma;其中何鹏等^[14]在乌拉盖地区对火山岩测得锆石 U-Pb 年龄主要为(164.96 ± 0.71) Ma、(164.82 ± 0.90) Ma、(154.8 ± 1.2) Ma;杨海星等^[7]在扎鲁特旗满克头鄂博山对流纹质岩屑玻屑凝灰岩的锆石 U-Pb 测年主要集中在(163.4 ~ 157.0) Ma,与本文在西沙拉地区获得的流纹岩锆石 U-Pb 年龄[(167.7 ± 2.6) Ma]相近。但新民组中有一层较薄的流纹质火山岩锆石 U-Pb 年龄也与之相近,如周国武等^[40]对扎木钦地区火山岩锆石原位 U-Pb 的测年为(162.1 ± 1.3) Ma;丁秋红等^[8]对扎鲁特旗香山镇地区的流纹岩锆石 U-Pb 测年为 161.6 Ma。因此,从形成时代的角度分析该流纹岩归属于满克头鄂博组或新民组。

典型剖面的岩石类型组合特征对比(图 2)发现:满克头鄂博组(PM001)的岩性为流纹质岩屑凝灰岩夹流纹岩、流纹质晶屑凝灰岩、流纹质玻屑凝灰岩、流纹质含角砾熔结凝灰岩;与大兴安岭南段的满克头鄂博组(流纹岩、流纹质晶屑熔结凝灰岩、流纹质玻屑晶屑凝灰岩、凝灰质页岩等)一致^[14,41]。PM002 显示西沙拉新民组的岩性主要为页岩夹煤线,粉砂质页岩、粉砂质泥岩、粉砂岩、岩屑细砂岩、中砾岩及含细砾中粒岩屑杂砂岩,与区域上新民组的岩石组合^[8]相似,但与本文研究的流纹岩所在位置的上下层接触关系及岩石组合完全不同。综上所述,本次研究的西沙拉地区的流纹岩应该属于满克头鄂博组。

4.2 岩石成因和地质意义

流纹岩样品的 La/Nb 值在 4.431 ~ 5.552 (平均值为 5.065), 与幔源岩浆的 La/Nb 值 (平均值为 0.96) 明显不同^[42]; 样品的 Nb/Ta 数值为 10.51 ~ 12.72 (平均值为 11.43), 显示与大陆地壳的平均值 (11 ~ 12) 相近^[43]; 样品的 Ti/Y 在 22.05 ~ 33.28 (平均值为 28.88) < 100、Ti/Zr 在 3.45 ~ 4.26 (平均值为 3.79) < 20, 均在壳源岩浆的范围内^[44]; 结果显示研究区内流纹岩具有高硅 (样品平均含量为 75.74%)、富碱 (样品平均含量为 7.69%)、贫钙、镁的特征, Nb、Ta、P、Ti 等高强度元素 (large ion lithophilic elements, HFSE) 的强烈亏损, Rb、Th、U、K、Gd 大离子亲石元素 (high field strength elements, LILE) 的富集, 具有地壳物质部分熔融形成的典型特征^[45-47]。在大兴安岭地区, 酸性火山岩根据其岩石的地球化学特征可以区分为低 Ba-Sr 类和高 Ba-Sr 类两大类^[48], 研究区内流纹岩的 (La/Yb)_N 平均值为 12.85, 具有显著的 Eu 负异常, 呈现出明显的轻重稀土分异现象, Ba、Nb、Sr、P、Ti 亏损明显, Rb、K 富集, 其与低 Ba-Sr 类火山岩具有相似性^[48]。并且在 (La/Yb)_N-δEu 散点图 (图 9) 中, 所以样品投点均位于壳源花岗岩的区域, 进一步证实西沙拉地区流纹岩的形成与地壳物质的部分熔融有关。

目前对于大兴安岭地区满克头鄂博组形成的构造背景的主流观点有: ①与古太平洋板块向西俯冲有关^[18-21]; ②与蒙古-鄂霍茨克洋的闭合造山后伸展活动有关^[15-17]。在白垩纪中晚期-古近系早期, 由于受到古太平洋板块向西俯冲作用的影响, 导致与之相关的大陆岩石圈开始减薄, 并且研究发现类似的火山岩也出现在蒙古国中东部地区^[21, 50], 发现地点距离太平洋板块较远, 因此大兴安岭地区中生代火山岩带的形成并未受到古太平洋板块俯冲的影响。随着对蒙古-鄂霍茨克洋的深入研究表明, 大兴

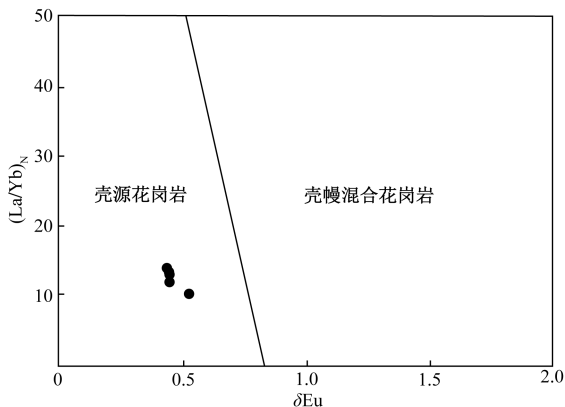
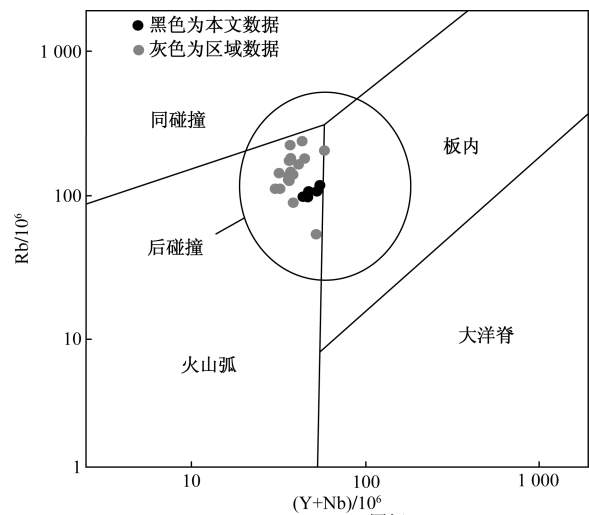


图 9 西沙拉流纹岩 (La/Yb)_N-δEu 图解^[49]

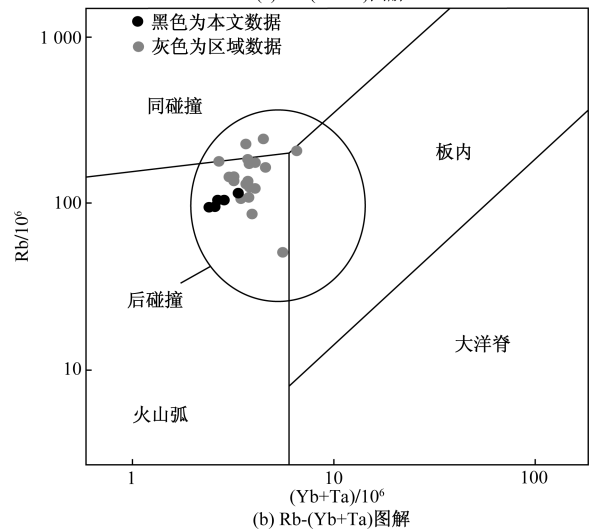
Fig. 9 (La/Yb)_N vs δEu diagram of rhyolite in Xishala Area^[49]

安岭南段在晚中生代时期主要受到蒙古-鄂霍茨克洋闭合的影响; 在漠河盆地西北边缘发育有晚侏罗世-早白垩世近北向南的逆冲推覆构造^[51], 泉泉地区发现有早白垩世地层呈角度不整合覆盖于晚侏罗世地层之上^[52], 说明在大兴安岭地区发生了北向南的逆冲推覆事件; 大兴安岭区域内的火山岩自西向东方向上呈现渐新的变化, 与蒙古-鄂霍茨克洋闭合导致的岩浆运动向东传播相吻合^[53]; 蒙古-鄂霍茨克洋形成于古生代早期, 侏罗世早期向额尔古纳地块下发生俯冲, 侏罗世中晚期发生闭合, 在东北地区形成早中生代钙碱性系列岩浆岩带, 该岩浆岩带分布方向与蒙古-鄂霍茨克缝合带近乎平行分布^[19, 24]。由此推断, 在晚中生代大兴安岭南段的西沙拉地区受蒙古-鄂霍茨克洋闭合后伸展影响。

样品在 Rb-(Y + Nb) 和 Rb-(Yb + Ta) 构造判别



(a) Rb-(Y+Nb)图解



(b) Rb-(Yb+Ta)图解

区域数据来自参考文献[7, 39, 54]

图 10 西沙拉流纹岩 Rb-(Y + Nb) 图解和 Rb-(Yb + Ta) 图解^[55]

Fig. 10 Rb vs (Y + Nb) diagram and Rb vs (Yb + Ta) diagram of rhyolite in Xishala area^[55]

图(图 10)中,样品投点均落在后碰撞花岗岩区域,与区域上满克头鄂博组的构造背景相吻合^[7,39,54],暗示西沙拉地区的满克头鄂博组流纹岩形成于伸展环境。因此,结合前人对研究区构造环境以及本次研究的年代学和地球化学特征,表明西沙拉地区中的流纹岩是在蒙古—鄂霍茨克洋的闭合后伸展环境中形成的。

5 结论

(1)大兴安岭南端西沙拉地区流纹岩的锆石 U-Pb 年龄为 (167.7 ± 2.6) Ma,为中侏罗世,结合新民组和满克头鄂博组典型剖面岩石组合显示,该流纹岩应归属于满克头鄂博组。

(2)西沙拉地区流纹岩高硅、富碱、富集轻稀土元素和大离子亲石元素以及亏损重稀土元素和高场强元素,是地壳物质部分熔融的典型特征。

(3)西沙拉地区流纹岩是在蒙古—鄂霍茨克洋的闭合后伸展环境下形成的。

参 考 文 献

[1] 王杰,姚玉来,丁秋红,等. 内蒙古扎鲁特旗地区晚侏罗世火山岩岩石学及地球化学特征[J]. 地质科技情报, 2014, 33(6): 18-27.
Wang Jie, Yao Yulai, Ding QiuHong, et al. Petrological and geochemical characteristics of late jurassic volcanic rocks in Zhalute Area, Eastern Inner Mongolia[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2014, 33(6): 18-27.

[2] 付俊或,那福超,郑少林,等. 内蒙古科尔沁右翼中旗协和尔斯特德中生代火山沉积地层时代研究[J]. 中国地质, 2018, 45(1): 129-140.
Fu Junyu, Na Fuchao, Zhang Shaolin, et al. A study of geological age of the Mesozoic volcanic-sedimentary strata in Xiehe'side Area, Horqin Right Wing Middle Banner, Inner Mongolia[J]. Geology in China, 2018, 45(1): 129-140.

[3] Zhang J H, Gao S, Ge W C, et al. Geochronology of the Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, northeastern China: implications for subduction-induced delamination[J]. Chemical Geology, 2010, 276(3): 144-165.

[4] 杨扬,高福红,陈井胜,等. 赤峰地区中生代火山岩锆石 U-Pb 年代学证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(S2): 257-268.
Yang Yang, Gao Fuhong, Chen Jingsheng, et al. Zircon U-Pb ages of mesozoic volcanic rocks in Chifeng Area[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(S2): 257-268.

[5] Liu L J, Zhou T F, Fu B, et al. Petrogenesis of Early Cretaceous granitic rocks from the Haobugao Area, southern Great Xing'an Range, northeast China: geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Hf-O isotope constraints [J]. Lithos, 2021 (406/407). DOI: 10.1016/j.lithos. 2021.106501.

[6] 洪文武,李松彬,刘钧沅,等. 大兴安岭北段卜奎沟岩体地球化学和锆石 U-Pb 年代学研究[J]. 矿产勘查, 2023, 14(7):

1026-1033, 175.
Hong Wenwu, Li Songbin, Liu Junyun, et al. Geochemical and zircon U-Pb geochronology of Pukuigou granite, Northern Great Xing'an Rang [J]. Mineral Exploration, 2023, 14(7): 1026-1033.

[7] 杨海星,赵胜金,柳志辉,等. 大兴安岭中南段满克头鄂博组正层型剖面火山岩年代学及地球化学特征[J]. 世界地质, 2023, 42(2): 213-229.
Yang Haixing, Zhao Shengjin, Liu Zhihui, et al. Geochronological and geochemical characteristics of orthostratigraphic section volcanic rocks of Manketouebo Formation in south-central sector of Great Xing'an Range[J]. World Geology, 2023, 42(2): 213-229.

[8] 丁秋红,王杰,李晓海,等. 大兴安岭东南部中侏罗统新民组研究新进展[J]. 地质与资源, 2017, 26(5): 425-438.
Ding QiuHong, Wang Jie, Li Xiaohai, et al. Progress on the study of the middle jurassic Xinmin Formation in Southeastern Daxinganling Mountains [J]. Geology and Resources, 2017, 26(5): 425-438.

[9] 姜山,巫建华,王常东,等. 赤峰托河盆地流纹岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 高校地质学报, 2018, 24(6): 896-906.
Jiang Shan, Wu Jianhua, Wang Changdong, et al. Geochronology, geochemical characteristics, and geological significance of the rhyolite from Tuohet Basin, in Chifeng[J]. Geological Journal of China Universities, 2018, 24(6): 896-906.

[10] 解开瑞,巫建华,祝洪涛,等. 大兴安岭南端芝瑞盆地流纹岩年代学、地球化学及岩石成因[J]. 地球化学, 2016, 45(3): 249-267.
Xie Kaiduan, Wu Jianhua, Zhu Hongtao, et al. Petrogenesis of early Late Jurassic rhyolites from the Zhirui Basin in southern Daxing'an range: their chronologic and geochemical Constrains [J]. Geochimica, 2016, 45(3): 249-267.

[11] 李中会,李阳,李睿杰,等. 大兴安岭北段三根河林场新民组流纹岩锆石 U-Pb 定年及地球化学特征[J]. 地质与资源, 2020, 29(4): 310-318.
Li Zhonghui, Li Yang, Li Ruijie, et al. Progress on the study of the middle Jurassic Xinmin Formation in southerastern Daxinganling Mountains [J]. Geology and Resources, 2020, 29(4): 310-318.

[12] 臧延庆,秦涛,孙巍,等. 大兴安岭中段扎赉特旗地区满克头鄂博组火山岩锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征[J]. 地质通报, 2018, 37(9): 1644-1651.
Zang Yanqing, Qin Tao, Sun Wei, et al. Zircon U-Pb age and geochemistry of volcanic rocks in Manketouebo Formation from Jalaidd Banner, central Da Hinggan Mountains[J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(9): 1644-1651.

[13] 王大可,刘军帅,孙靖尧. 大兴安岭鄂伦春地区满克头鄂博组火山岩形成年代及地球化学[J]. 地质与资源, 2022, 31(4): 459-464, 578.
Wang Dake, Liu Junshuai, Sun Jingyao. Forming age and geochemistry of the volcanic rocks from Manketouebo Formation in Oroqen Qi, Daxinganlin Mountains [J]. Geology and Resources, 2022, 31(4): 459-464, 578.

[14] 何鹏,郭硕,张天福,等. 大兴安岭南端乌拉盖地区满克头鄂

- 博组火山岩年代学、地球化学研究及构造环境分析[J]. 中国地质, 2022, 49(2): 601-619.
- He Peng, Guo Shuo, Zhang Tianfu, et al. Geochronology, geochemistry and tectonic setting of volcanic rocks from Manketouebo Formation in Wulagai Area, southern Great Xing'an Range [J]. *Geology in China*, 2022, 49(2): 601-619.
- [15] Li Y, Xu W L, Tang J, et al. Geochronology and geochemistry of Mesozoic intrusive rocks in the Xing'an Massif of NE China: implications for the evolution and spatial extent of the Mongol-Okhotsk tectonic regime[J]. *Liths*, 2018, 304: 57-73.
- [16] Han S J, Wang X, Wang X, et al. Geochronology and geochemistry of late Jurassic-Early Cretaceous volcanic rocks in the southern Great Xing'an range, NE China: constraints for late Mesozoic tectono-magmatic evolution[J]. *International Geology Review*, 2021, 63(11): 1366-1388.
- [17] 杨雅军, 杨晓平, 江斌, 等. 大兴安岭中生代火山岩地层时空分布与蒙古-鄂霍茨克洋、古太平洋板块俯冲作用响应[J]. 地学前缘, 2022, 29(2): 115-131.
- Yang Yajun, Yang Xiaoping, Jiang Bing, et al. Spatio-temporal distribution of Mesozoic volcanic strata in the Great Xing'an Range: response to the subduction of the Mongol-Okhotsk Ocean and Paleo-Pacific Ocean [J]. *Geoscience Frontiers*, 2022, 29(2): 115-131.
- [18] Meng Q R. What drove late Mesozoic extension of the northern China-Mongolia tract? [J]. *Tectonophysics*, 2003, 369(3): 155-174.
- [19] 张连昌, 陈志广, 周新华, 等. 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[J]. 岩石学报, 2007, 23(11): 2823-2835.
- Zhang Lianchang, Chen Zhiguang, Zhou Xinhua, et al. 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[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(11): 2823-2835.
- [20] Zhang L C, Zhou X H, Ying J F, et al. Geochemistry and Sr-Nd-Pb-Hf isotopes of Early Cretaceous basalts from the Great Xinggan Range, NE China: implications for their origin and mantle source characteristics[J]. *Chemical Geology*, 2009, 256(1): 12-23.
- [21] 孙德有, 苟军, 任云生, 等. 满洲里南部玛尼吐组火山岩锆石 U-Pb 年龄与地球化学研究[J]. 岩石学报, 2011, 27(10): 3083-3094.
- Sun Deyou, Gou Jun, Ren Yunsheng, et al. Zircon U-Pb dating and study on geochemistry of volcanic rocks in Manitu Formation from southern Manchuria, Inner Mongolia [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(10): 3083-3094.
- [22] 王启智. 大兴安岭中段科右中旗地区满克头鄂博组火山岩岩石成因及构造意义[D]. 长春: 吉林大学, 2022.
- Wang Qizhi. Petrogenesis and tectonic significance of the volcanic rocks of the Manketouebo Formation in the Keyouzhongqi Area, central Great Xing'an Range [D]. Changchun: Jilin University, 2022.
- [23] 张超, 杨伟红, 和钟铎, 等. 大兴安岭中南段塔尔气地区满克头鄂博组流纹岩年代学和地球化学研究[J]. 世界地质, 2014, 33(2): 255-265.
- Zhang Chao, Yang Weihong, He Zhonghua, et al. Chronology and geochemistry of rhyolites in Manketou'ebo Formation from Ta'erqi Area, southern-central Greater Xing'an Range [J]. *Global Geology*, 2014, 33(2): 255-265.
- [24] 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): 881-894.
- Gao Longfei, He Zhonghua, Sui Zhenmin, et al. Chronology and geochemistry of volcanic rocks from Manketouebo Formation in the Suolun area, central Da Hinggan Mountains and their tectonic implications [J]. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(5): 881-894.
- [25] Yang F, Wu G, Li R H, et al. Petrogenesis of the Alubaogeshan intrusion in the Maodeng-Xiaogushan area, southern Great Xing'an Range, NE China: implications for magma evolution and tin-poly-metallic mineralization [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2022, 238: 105395.
- [26] 李雨柯. 内蒙古东部索伦二叠纪哲斯组碎屑锆石 U-Pb 年龄及其大地构造意义[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(25): 6269-6277.
- Li Yuke. Detrital zircon U-Pb dating from the Permian Zhesi Formation, Suolun area, Eastern Inner Mongolia, China and its tectonic implications [J]. *Science Technology and Engineering*, 2012, 12(25): 6269-6277.
- [27] 葛文春, 林强, 孙德有, 等. 大兴安岭中生代两类流纹岩成因的地球化学研究[J]. 地球科学, 2000, 25(2): 172-178.
- Ge Wenchun, Lin Qiang, Sun Deyou, et al. Geochemical research into origins of two types of mesozoic rhyolites in Daxing'anling [J]. *Earth Science*, 2000, 25(2): 172-178.
- [28] 章培春, 彭勃, 赵金忠, 等. 大兴安岭南段小乌兰沟正长花岗岩成因: 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学、地球化学及 Hf 同位素的制约[J]. 地球科学, 2022, 47(8): 2889-2901.
- Zhang Peichun, Peng Bo, Zhao Jinzhong, et al. Petrogenesis of the syenogranite in the Xiaowulanguou Area of Southern Great Xing'an Range: Constraints from Zircon LA-ICP-MS U-Pb geochronology, geochemistry and Hf isotopes [J]. *Earth Science*, 2022, 47(8): 2889-2901.
- [29] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- Geology and Mineral Resources Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region. Regional geology of Inner Mongolia Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991.
- [30] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区民主公社等四幅 1: 5万区域地质调查报告[M]. 呼和浩特: 内蒙古自治区地质矿产局, 2018.
- Geology and Mineral Resources Bureau of InnerMongolia Autonomous Region. Regional geological survey reports of four areas at a scale of 1: 50 000, including the Democratic Commune of Inner Mongolia Autonomous Region [M]. Hohhot: Geology and Mineral Resources Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, 2018.
- [31] Wu F Y, Zhao G C, Sun D Y, et al. The Hulan Group: its role in the evolution of the Central Asian Orogenic Belt of NE China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2007, 30(3): 542-556.
- [32] 李怀坤, 朱士兴, 相振群, 等. 北京延庆高于庄组凝灰岩的锆

- 石 U-Pb 定年研究及其对华北北部中元古界划分新方案的进一步约束[J]. 岩石学报, 2010, 26(7): 2131-2140.
- Li Huaikun, Zhu Shixing, Xiang Zhenqun, et al. Zircon U-Pb dating on tuff bed from Gaoyuzhuang Formation in Yanqing, Beijing: further constraints on the new subdivision of the Mesoproterozoic stratigraphy in the northern North China Craton[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(7): 2131-2140.
- [33] Ludwig K R. User's manual for isoplot 3.00: a geochronological toolkit for microsoft excel[J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003(4): 1-70.
- [34] Corfu F, Hanchar J M, Hoskin P W O, et al. Atlas of zircon textures[J]. Reviews in Mineralogy & Geochemistry, 2003, 53(1): 469-500.
- [35] 李灵慧, 周奇明, 赵志丹, 等. 不同类型岩浆岩中锆石环带特征研究[J]. 矿产与地质, 2016, 30(2): 289-293.
- Li Linghui, Zhou Qiming, Zhao Zhidan, et al. Characteristics of zircon annulus in different types of magmatic rocks[J]. Mineral Resources and Geology, 2016, 30(2): 289-293.
- [36] Angelo P, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1976, 58(1): 63-81.
- [37] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. Geological Society of American Bulletin, 1989, 101(5): 635-643.
- [38] 郭建刚, 张渝金, 张超, 等. 内蒙古阿鲁科尔沁旗坤都地区满克头鄂博组火山岩形成时代与地球化学特征[J]. 地质通报, 2018, 37(9): 1652-1661.
- Guo Jiangan, Zhang Yujin, Zhang Chao, et al. Formation age and geochemical characteristics of volcanic rocks in Manketou'ebo Formation in Kundu Area of Ar Horgin Banner, Inner Mongolia [J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(9): 1652-1661.
- [39] 张超, 张渝金, 权京玉, 等. 内蒙古扎鲁特盆地坤都地区满克头鄂博组流纹岩锆石 U-Pb 年龄及岩石成因[J]. 地质通报, 2018, 37(9): 1633-1643.
- Zhang Chao, Zhang Yujin, Quan Jingyu, et al. Zircon U-Pb geochronology and petrogenesis of rhyolites in Manketou'ebo Formation from the Kundu Area in Jarud Basin, Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(9): 1633-1643.
- [40] 周国武, 林敏, 丘国春, 等. 内蒙古科右中旗扎木钦地区新民组地层的厘定及其地质意义[J]. 地质通报, 2018, 37(9): 1579-1587.
- Zhou Guowu, Lin Min, Qiu Guochun, et al. The redefinition of Xinmin Formation in Zhamuqin Area of Horqin Right Wing Middle Banner of Inner Mongolia and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 2018, 37(9): 1579-1587.
- [41] Ying J F, Zhou X H, Zhang L C, et al. Geochronological framework of Mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, NE China, and their geodynamic implications [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 39(6): 786-793.
- [42] 魏永峰, 肖倩茹, 李有波, 等. 西藏纳木错早白垩世流纹岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学及其构造意义[J]. 现代地质, 2019, 33(3): 487-500.
- Wei Yongfeng, Xiao Qianru, Li Youbo, et al. Zircon U-Pb age, geochemical and tectonic significance of Early Cretaceous Namtso Rhyolite in Tibet, China [J]. Geoscience, 2019, 33(3): 487-500.
- [43] Xiong X L, Adam J, Green T H. Rutile stability and rutile/melt HFSE partitioning during partial melting of hydrous basalt, implications for TTG genesis[J]. Chemical Geology, 2005, 218(3): 339-359.
- [44] Rudnick R L, Fountain D M. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective[J]. Reviews of Geophysics, 1995, 33(3): 267-309.
- [45] 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(3): 403-412.
- Lin Qiang, Ge Wenchun, Wu Fuyuan, et al. Geochemistry of Mesozoic granites in Da Hinggan Lingranges[J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(3): 403-412.
- [46] 王刚, 孙国胜, 张超, 等. 内蒙古敖汉旗晚侏罗世满克头鄂博组火山岩地球化学特征及构造背景分析[J]. 世界地质, 2015, 34(2): 354-361, 435.
- Wang Gang, Sun Guosheng, Zhang Chao, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of volcanic rocks in Late Jurassic Manketou'ebo Formation from Aohan banner, Inner Mongolia [J]. Global Geology, 2015, 34(2): 354-361, 435.
- [47] 张鑫, 周云云, 孟繁敏. 辽西万家沟地区钾长花岗岩年代学、岩石地球化学特征及其地质意义[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(12): 4965-4972.
- Zhang Xin, Zhou Yunyun, Meng Fanmin. Geochronology, petrogeochemical characteristics and geological significance of potassium feldspar granite in Wanjiagou Area, Western Liaoning [J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(12): 4965-4972.
- [48] 张吉衡. 大兴安岭中生代火山岩年代学及地球化学研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2009.
- Zhang Jiheng. Geochronology and geochemistry of the mesozoic volcanic rocks in the Great Xing'an Range, Northeastern China [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2009.
- [49] 陈佑纬, 毕献武, 胡瑞忠, 等. 贵东复式岩体印支期产铀和非产铀花岗岩地球化学特征对比研究[J]. 矿物岩石, 2009, 29(3): 106-114.
- Chen Youwei, Bi Xianwu, Hu Ruizhong, et al. Comparison of geochemical characteristic of uranium and non-uranium bearing indosinian granites in Guidong composite pluton[J]. Mineralogy and Petrology, 2009, 29(3): 106-114.
- [50] Fan W M, Guo F, Wang Y J, et al. Late Mesozoic calcalkaline volcanism of postorogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China [J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2003, 121(1): 115-135.
- [51] 张骞. 漠河盆地上侏罗统砂岩物源分析和变形特征: 对蒙古鄂霍茨克洋闭合的启示[D]. 长春: 吉林大学, 2021.
- Zhang Qian. Provenance analysis and deformation features of the Upper Jurassic sandstones in Mohe Basin: implication for the closure of Mongol-Okhotsk Ocean[D]. Changchun: Jilin University, 2021.
- [52] 宋维民, 王建恒, 杨佳林, 等. 蒙古-鄂霍茨克洋闭合时限: 来自大兴安岭突泉地区下白垩统与下伏地质体之间角度不整合关系的约束[J]. 地质通报, 2022, 41(7): 1202-1213.
- Song Weimin, Wang Jianheng, Yang Jialin, et al. Closure time of

- the Mongolia-Okhotsk Ocean; constraint of angular unconformity between the Lower Cretaceous and the lower geological body in the Tuquan Area of the Greater Hinggan Mountains [J]. *Geological Bulletin of China*, 2022, 41(7): 1202-1213.
- [53] Wang F, Zhou X H, Zhang L C, et al. Late Mesozoic volcanism in the Great Xing'an Range(NE China): timing and implications for the dynamic setting of NE Asia [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 251(1): 179-198.
- [54] 刘凯, 吴涛涛, 刘金龙, 等. 大兴安岭北段图里河地区满克头鄂博组火山岩年代学及地球化学 [J]. *中国地质*, 2018, 45(2): 367-376.
- Liu Kai, Wu Taotao, Liu Jinlong, et al. Geochronology and geochemistry of volcanic rocks in Manketu'ebo Formation of Tulihe Area, northern Da Hinggan Mountains [J]. *Geology in China*, 2018, 45(2): 367-376.
- [55] 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.