

小兴安岭孙吴地区下白垩统美丰组火山岩年代学和岩石地球化学研究

岳洪举¹⁾, 陆胜²⁾, 于庆洋¹⁾, 翟艳超¹⁾, 张庆¹⁾

1) 黑龙江省第六地质勘查院, 黑龙江佳木斯, 154002;

2) 黑龙江省第五地质勘查院, 哈尔滨, 150090



内容提要: 小兴安岭美丰组火山岩广泛出露, 对于研究美丰组火山岩岩石地球化学特征具有重要意义。本文通过对小兴安岭孙吴地区美丰组火山岩进行岩相学、锆石 U-Pb 年代学、全岩主—微量元素地球化学研究, 探讨了其的形成时代、岩石成因及其构造环境。锆石 U-Pb 结果表明, 美丰组形成于早白垩世 (105.2 ± 0.5 Ma)。美丰组以基性火山岩为主, 属高钾钙碱性系列; 富集 Rb、Ba、Th、U、La、Ce, 相对亏损 Nb、Ti 等元素; $\delta\text{Eu} = 0.71 \sim 0.94$, 轻稀土略富集。轻、重稀土分馏不明显。岩石地球化学特征表明, 美丰组火山岩的原始岩浆起源于地幔, 受地壳物质的混染改造。研究区美丰组火山岩形成于伸展环境, 是古太平洋板块向亚洲大陆板块俯冲背景下的产物。

关键词: LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年; 地球化学; 美丰组; 孙吴地区

研究区位于小兴安岭西部孙吴地区, 关于该地区美丰组火山岩学者们进行了大量的研究, 探讨了其岩石成因和构造背景等问题(隋连成^①; 曲关生, 1997; 王慧, 2011; 王奕朋, 2021)。1981年, 黑龙江省区域地质调查第一队 1:20 万逊克县幅、富饶公社幅等五幅区域调查报告中, 将研究区的地层厘定为美丰组, 时代置于晚侏罗统(隋连成^①)。1997年, 《黑龙江省岩石地层》认为美丰组与甘河组同物异名, 弃用美丰组, 将这套地层划为甘河组, 时代置于早白垩世(曲关生, 1997); 王慧认为小兴安岭该套岩石组合为美丰组, 形成于早白垩世晚期, 岩浆来自受俯冲流体交代的富集地幔, 演化以结晶分异为主, 演化后期伴有地壳的同化混染作用, 古太平洋板块俯冲对小兴安岭地区的火山岩的形成有着重要的影响, 中生代中国东部大陆整体处于伸展构造环境, 早白垩世晚期, 由于强烈的伸展拉张断裂作用, 岩浆活动十分剧烈, 形成了美丰组的中基性火山岩(王慧, 2011); 王奕朋认为该地区美丰组火山岩的幔源岩浆来源于与俯冲相关的含火山碎屑的陆源沉积物熔体交代的对流软流圈地幔, 形成于板内伸展环境, 其形成应与古太平洋板块的俯冲—回撤作用有关(王

奕朋, 2021; 许文良等, 2022; 杨文采, 2022)。

关于小兴安岭孙吴地区美丰组火山岩的成因和构造背景并没有进行研究。笔者通过对研究区美丰组火山岩的岩石地球化学和年代学的研究, 探讨其形成时间、岩石成因以及构造环境。

1 地质背景和岩石学特征

1.1 地质背景

研究区大地构造位置处于东亚大陆边缘小兴安岭—张广才岭岩浆弧西北部(图1)。

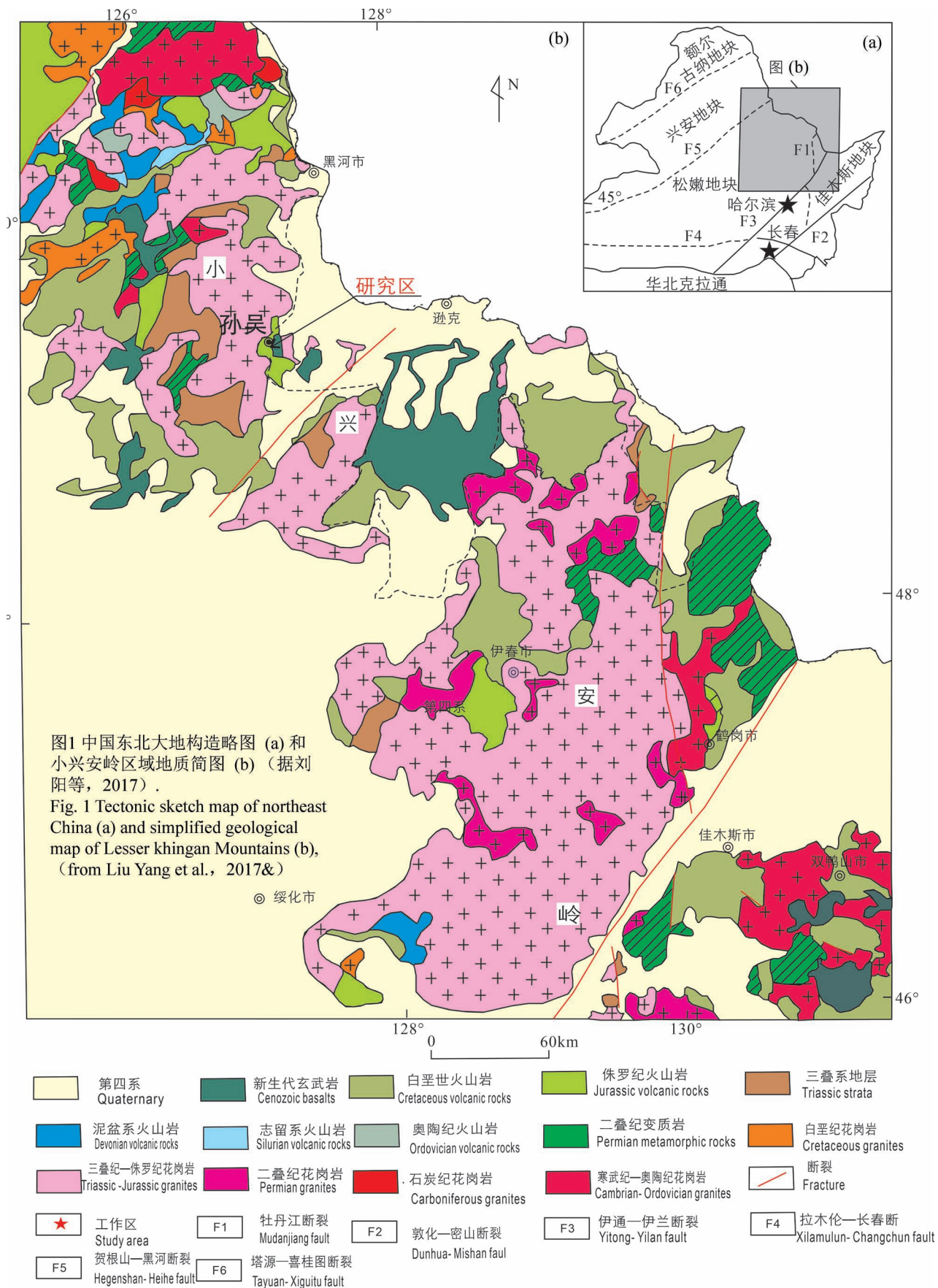
岩浆作用十分发育, 地层出露较全, 从新生界至古生界均有出露。出露不同时期的侵入岩、地层, 伴生的矿产资源十分丰富, 目前已发现铜钼、铅锌矿、沸石矿、煤矿等矿床(矿点)多处, 空间上与研究区外多处矿产地构成重要的多金属成矿带(图1)。

研究区古生界出露的地层有唐家屯组(C_2t), 主要分布于研究区辰清河、西茅兰河、东茅兰河、曲曲河一带, 总体呈北东向展布, 出露面积约 215.83 km², 占地层总面积的 28.42%, 岩性以蚀变流纹岩、蚀变流纹质凝灰熔岩为主; 中生界地层在研究区大面积出露, 有老龙头组(T_1l)、板子房组(K_1b)、宁

注: 本文为黑龙江省财政项目“黑龙江省 1:5 万疙疸敏顶、东茅兰河、新鄂民族乡、幸福林场幅区域地质矿产调查报告”(项目编号: HLJKD2015-11)成果。

收稿日期: 2022-03-30; 改回日期: 2022-07-05; 网络首发: 2022-07-20; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2022.07.115

作者简介: 岳洪举, 1987年生, 男, 本科, 高级工程师, 主要从事矿产资源勘查与评价工作; Email: yuehongju@139.com。通讯作者: 陆胜, 1985年生, 男, 博士, 工程师, 主要从事岩石地球化学方面的研究工作; Email: 396688457@qq.com。



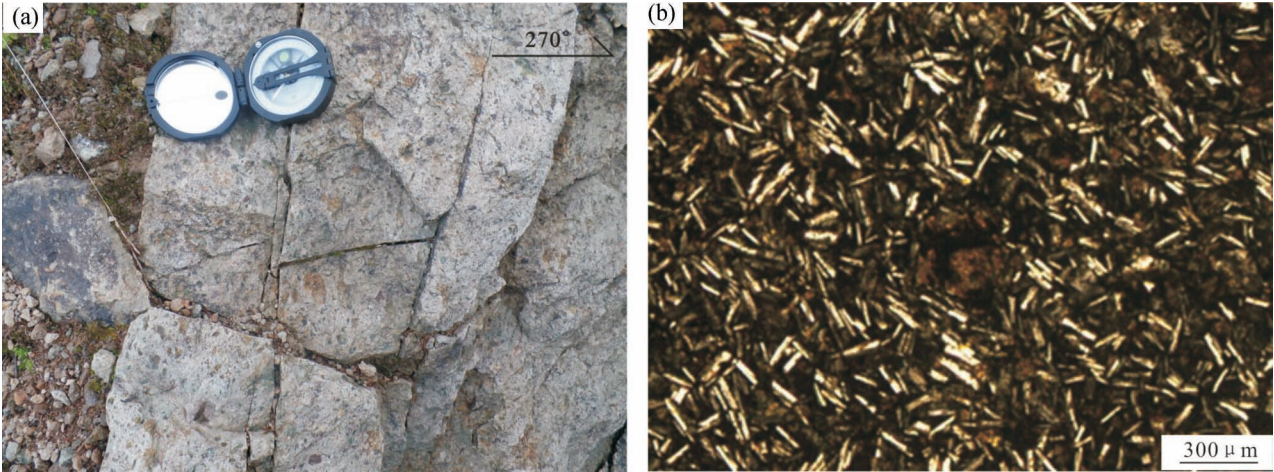


图 2 小兴安岭孙吴地区下白垩统美丰组玄武岩露头照片(a)及玄武岩镜下照片(b)

Fig. 2 The outcrop photo(a)and microscopic photo(b) of the basalt of the Lower Cretaceous Meifeng Formation in Sunwu area, Lesser khingan Mountains

表 1 小兴安岭孙吴地区下白垩统美丰组火山岩样品一览表

Table 1 List of volcanic rock samples of the Lower Cretaceous Meifeng Formation in Sunwu area, Lesser khingan Mountains

序号	样品号	岩性	位置	序号	样品号	岩性	位置
1	P20LT30B1	玄武岩	127°36′06″E 49°06′59″N	4	P18TC18	玄武岩	127°51′37″E 49°04′34″N
2	D214	橄榄玄武岩	127°31′04″E 49°06′24″N	5	P18TC21	玄武岩	127°51′40″E 49°04′29″N
3	D4519	玄武岩	127°31′51″E 49°06′52″N	6	P20LT24B3	玄武岩	127°35′46″E 49°07′15″N

远村组(K_1n)、九峰山组(K_1j)、美丰组(K_1m);新生界出露的地层有孙吴组($N_{1-2}s$)、大熊山组(βQp^1d)、哈尔滨组(Qp^3h)、高漫滩冲洪积层(Qh^1)、低河漫滩堆积层(Qh^2)。

研究区侵入岩广泛发育,总体呈北东向展布,且以花岗岩类为主。

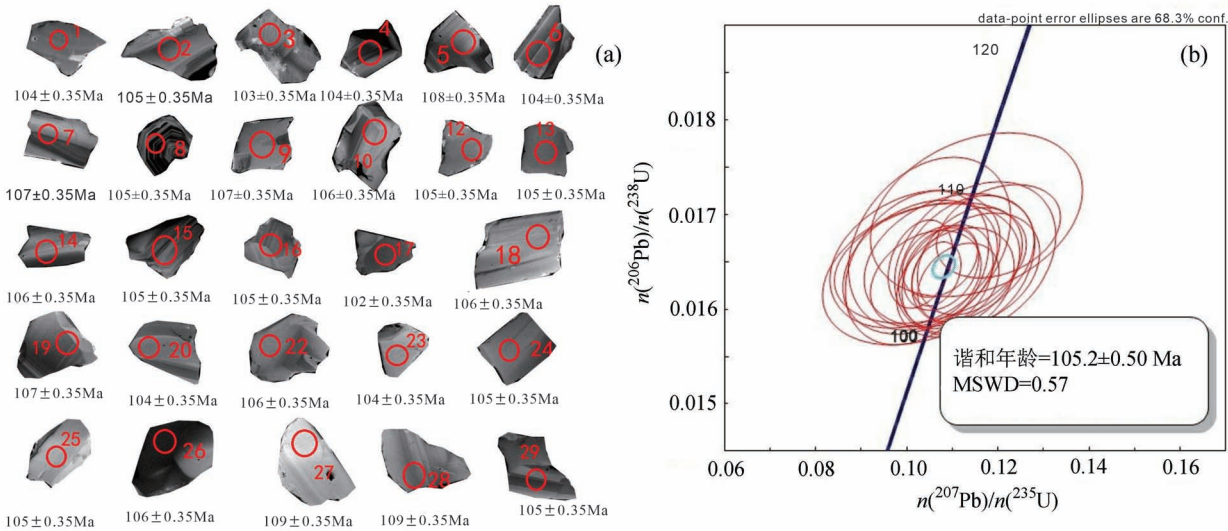


图 3 小兴安岭孙吴地区下白垩统美丰组玄武岩锆石阴极发光图片(a)及 U-Pb 同位素测年谐和图(b)

Fig. 3 The cathodoluminescence images (a) and U-Pb isotopic dating harmonic maps (b) of zircons from the basalt of the Lower Cretaceous Meifeng Formation in Sunwu area, Lesser khingan Mountains

研究区晚古生代地质体由晚石炭世唐家屯组、早二叠世侵入岩构成,受华力西构造影响形成脆—韧性剪切带并伴有中性、酸性火山岩喷发及岩浆侵入;中生代地质体最为发育,区内主要表现为拉张的构造环境,早期(早三叠世)应力场的主应力迹线为 NE 向,发育有北东向陆内上叠盆地(下三叠统老龙头组)。随后又叠加了 NE、NW 向的应力场,导致大规模的岩浆侵入(早侏罗世—中侏罗世)。早白垩世之后的脆性断裂构造活动表现为对前述构造的形迹在内的所有先成地质体和构造的破坏、改造和继承,随后导致大规模的火山喷发;新生代构造层在中生代构造的基础上进一步发生断块运动,最终形成现今的构造格局。

1.2 岩石学特征

美丰组火山岩分布面积较小,仅在测区奋斗乡东、新鄂民族乡一带零星出露,岩石类型为橄榄玄武岩、玄武岩等。

玄武岩:岩石风化面灰色,新鲜面暗灰色,少斑状结构,基质间隐结构,块状构造。斑晶:斜长石:板柱状,粒径 0.15~0.2 mm,聚片双晶发育,轻微绿泥石化,零星可见。基质:斜长石杂乱分布,其搭成的格架中分布绿泥石、玻璃质及少量磁铁矿,具间隐结构。斜长石:板柱状、针柱状,粒径<0.1 mm,发育

表 2 小兴安岭孙吴地区下白垩统美丰组玄武岩(样品号:P20LT30B1) LA-ICP-MS Zircon U-Pb 分析结果
Table 2 Results of LA-ICP-MS zircon U-Pb analyses of basalt (sample No. :P20LT30B1) from the Lower Cretaceous Meifeng Formation in Sunwu area, Lesser khingan Mountains

测点号	元素含量($\times 10^{-6}$)			同位素比值						同位素年龄 (Ma)						谐和度 (%)	
	Pb	Th	U	$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$			$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$			$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$		$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$		1σ	1σ		
				测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ						
1	1.3	143	76	1.88	0.0507	0.0027	0.1113	0.0059	0.0163	0.0003	227	125	107	5	104	2	97
2	1.9	129	124	1.04	0.0496	0.0038	0.1106	0.0085	0.0163	0.0004	178	178	107	8	104	2	98
3	0.6	43	37	1.17	0.0489	0.0037	0.1042	0.0080	0.0163	0.0003	143	175	101	7	104	2	104
4	1.7	221	105	2.10	0.0498	0.0032	0.1089	0.0066	0.0163	0.0004	185	148	105	6	104	2	99
5	0.4	24	22	1.12	0.0402	0.0130	0.1031	0.0143	0.0164	0.0005	0	—	100	13	105	3	105
6	4.1	654	231	2.83	0.0474	0.0016	0.1065	0.0036	0.0164	0.0002	70	81	103	3	105	1	102
7	0.5	36	30	1.19	0.0547	0.0047	0.1151	0.0093	0.0164	0.0004	398	191	111	8	105	2	95
8	1.3	108	77	1.41	0.0484	0.0025	0.1076	0.0055	0.0164	0.0003	121	123	104	5	105	2	101
9	0.8	63	49	1.29	0.0479	0.0051	0.1022	0.0104	0.0164	0.0005	96	250	99	10	105	3	106
10	0.7	51	42	1.21	0.0486	0.0055	0.1029	0.0112	0.0164	0.0005	129	267	99	10	105	3	106
11	1.2	101	83	1.22	0.0499	0.0044	0.1131	0.0099	0.0165	0.0005	190	205	109	9	105	3	97
12	1.7	216	100	2.16	0.0471	0.0023	0.1030	0.0047	0.0165	0.0003	52	114	100	4	105	2	106
13	0.4	20	21	0.97	0.0526	0.0075	0.1052	0.0139	0.0165	0.0004	310	323	102	13	105	3	104
14	1.6	173	90	1.91	0.0478	0.0024	0.1073	0.0055	0.0165	0.0002	90	118	103	5	106	2	102
15	3.3	343	179	1.91	0.0502	0.0032	0.1138	0.0076	0.0165	0.0004	205	149	109	7	106	2	96
16	0.4	31	23	1.33	0.0581	0.0071	0.1093	0.0123	0.0165	0.0005	535	267	105	11	106	3	100
17	0.4	22	20	1.12	0.0456	0.0059	0.1018	0.0123	0.0165	0.0005	0	—	98	11	106	3	107
18	0.7	57	42	1.36	0.0533	0.0055	0.1150	0.0117	0.0165	0.0005	340	234	111	11	106	3	96
19	0.8	68	52	1.31	0.0486	0.0057	0.1050	0.0117	0.0167	0.0006	129	274	101	11	107	4	105
20	1.1	93	62	1.50	0.0533	0.0042	0.1201	0.0090	0.0168	0.0003	342	179	115	8	108	2	93
21	0.5	42	33	1.26	0.0490	0.0070	0.1153	0.0154	0.0170	0.0006	148	333	111	14	109	4	98

聚片双晶。绿泥石:浅褐黄色,隐晶状集合体,干涉色黄色,含量 10%±。玻璃质:黑色、褐色,全消光,含量 15%±。磁铁矿:黑色,粒状,多为自形晶,粒径<0.02 mm,零星分布(图 2a,b)。

橄榄玄武岩:岩石风化面灰色,新鲜面深灰色,斑状结构,基质间粒-间隐结构,块状构造。岩石由斑晶<5%±及基质组成。斑晶以斜长石为主,粒度较大,次为辉石,少许橄榄石,二者粒度均较小。橄榄石,多为它形粒状,少许呈近尖锐六边形,正高突起,多有皂石化或其它粘土矿物交代,呈不同干涉色,粒度 0.1~0.15 mm。辉石,它形粒状,正中-高突起,无色,干涉色可见Ⅱ级蓝,粒度 0.1~0.15

mm。斜长石,呈熔蚀圆状或柱状熔蚀状,局部内部呈熔蚀麻点状,无色,干涉色Ⅰ级灰,局部斜长石可见聚片双晶,粒度 0.3~0.7 mm。局部斜长石边部多有微晶柱状辉石平行环绕分布,形成一窄边。基质由粒度<0.01 mm 针柱状斜长石、细小粒状辉石、微粒磁铁矿及少许褐色隐晶质组成。

2 样品采集和测试方法

2.1 样品采集

本次工作共采集了 6 件新鲜的、未发现蚀变的美丰组样品(表 1)进行地球化学分析测试。此外,对美丰组(样品编号:P20LT30B1)采集了年龄样品。

表 3 小兴安岭孙吴地区下白垩统美丰组岩石地球化学分析结果
Table 3 Geochemical data of the rocks from the Lower Cretaceous Meifeng Formation
in Sunwu area, Lesser khingan Mountains

样品号	D214	D4519	P18TC 18	P18TC 21	P20LT 24B3	P20LT 30B1	样品号	D214	D4519	P18TC 18	P18TC 21	P20LT 24B3	P20LT 30B1
岩性	橄榄玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	岩性	橄榄玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩
SiO ₂	57.68	57.68	52.85	52.75	55.55	56.76	Er	3.46	2.47	1.61	1.68	2.89	3.03
TiO ₂	1.07	1.06	0.73	0.76	1.09	1.12	Tm	0.55	0.39	0.25	0.26	0.39	0.43
Al ₂ O ₃	16.58	16.69	15.98	16.81	17.21	16.73	Yb	3.49	2.64	1.61	1.62	2.66	2.97
FeO	3.99	3.82	3.41	4.21	4.73	2.3	Lu	0.56	0.41	0.26	0.27	0.46	0.49
Fe ₂ O ₃	2.26	2.4	3.82	3.56	1.39	4.09	Y	29.05	23.71	17.02	18.52	30.32	32.42
MnO	0.13	0.13	0.15	0.12	0.11	0.09	ΣREE	232.61	191.65	99.81	104.23	248.45	269.76
MgO	2.96	3.01	6.62	4.41	2.55	2.87	LREE	208.24	173	88.14	92.23	226.06	246.26
CaO	5.61	5.71	7.31	6.16	5.14	4.89	HREE	24.37	18.65	11.67	11.99	22.39	23.5
Na ₂ O	4	4.16	3.55	3.2	3.38	3.91	LREE/HREE	8.54	9.27	7.55	7.69	10.1	10.48
K ₂ O	2.4	2.44	1.66	1.61	3.42	3.31	La _N /Yb _N	8.93	9.71	8.12	8.79	14.67	13.84
P ₂ O ₅	0.43	0.42	0.21	0.22	0.47	0.48	δEu	0.87	0.73	0.9	0.94	0.76	0.71
烧失	1.82	1.68	2.18	5.36	3.8	2.79	δCe	1.06	1.05	0.98	0.92	0.91	0.99
Σ	99.37	99.62	98.83	99.61	99.34	99.58	Cs	0.87	1.1	0.78	1.13	0.07	0.33
σ	2.65	2.84	2.47	1.98	3.31	3.54	Rb	46.5	61.3	25.9	28.26	35.08	68.78
A. R.	1.81	1.84	1.58	1.53	1.87	2	Sr	568.74	649.64	632.62	665.5	658.18	600.56
DI	58.99	59.39	44.03	47.14	58.5	63.39	Ba	799.68	740.51	580.89	661.19	1004.28	948.83
SI	18.95	19.03	34.71	25.96	16.46	17.39	Ga	17.56	19.18	17.67	17.85	20.81	21.11
A/CNK	0.855	0.84	0.764	0.924	0.925	0.885	Nb	15.17	14.21	4.44	4.77	24.3	24.22
A/NK	1.807	1.759	2.091	2.4	1.857	1.671	Ta	0.74	0.91	0.29	0.29	1.1	1.09
La	43.44	35.69	18.2	19.88	54.4	57.26	Zr	284.61	243.77	118.56	119.97	448.94	455.76
Ce	96.07	80.64	38.29	38.97	100.53	115.62	Hf	5.64	5.71	3.27	3.29	10.99	11.08
Pr	10.61	9.57	4.85	5.13	12.53	13.14	Th	5.12	5.19	2.02	2.11	5.08	4.94
Nd	47.7	38.8	21.28	22.49	46.63	48.26	V	153.39	138.96	199.59	183.83	122	126.46
Sm	8.08	6.71	4.33	4.46	9.67	9.78	Co	15.86	16.29	37.36	39.43	17.57	18.74
Eu	2.35	1.58	1.21	1.3	2.29	2.19	Ni	21.17	21.14	87.42	123.86	25.84	28.06
Gd	8.31	6.29	3.71	3.87	8.4	8.6	Li	10	9.88	52.74	34.74	48.67	25.02
Tb	1.11	0.9	0.53	0.56	1.17	1.21	Sc	18.09	15.86	29.68	27.89	14.43	14.8
Dy	5.81	4.63	3.08	3.08	5.35	5.63	U	1.08	1.04	0.65	0.82	1.16	1.29
Ho	1.09	0.92	0.62	0.64	1.05	1.14	Ti	6611.02	6726.94	4660.94	4290.97	6007.7	6160.91

注:主量元素质量分数单位为%,微量、稀土元素质量分数单位为 10⁻⁶。表中各参数计算公式见邓晋福等,2015。

2.2 测试方法

为了限定美丰组火山岩形成时代,本次工作采用 LA-ICP-MS 法进行锆石 U-Pb 同位素年龄测试。样品破碎、锆石挑选、锆石制靶、阴极发光照相及锆石 U-Pb 定年工作均由北京燕都中实测试技术有限公司完成。主量元素和痕量元素的分析也是由北京燕都中实测试技术有限公司完成,主量元素采用 XRF 玻璃熔片法分析,分析精度和准确度优于 5%;痕量元素采用 ICP-MS 分析方法,分析精度和准确度一般优于 10%。

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 测年

美丰组玄武岩样品 P20LT30B1 所分析的锆石多呈半自形柱状,晶体光洁、清晰、发育晶面,振荡环带较清楚。在阴极发光图像中(图 3a),锆石绝大多数锆石晶体柱面平直发育,多数具有亮色的阴极荧光,一些锆石发育有完整的生长环带,具有明显的韵律环带结构。本次研究工作共测试的美丰组玄武岩中锆石的 21 个测点 U、Th 质量分数分别为 21.0×

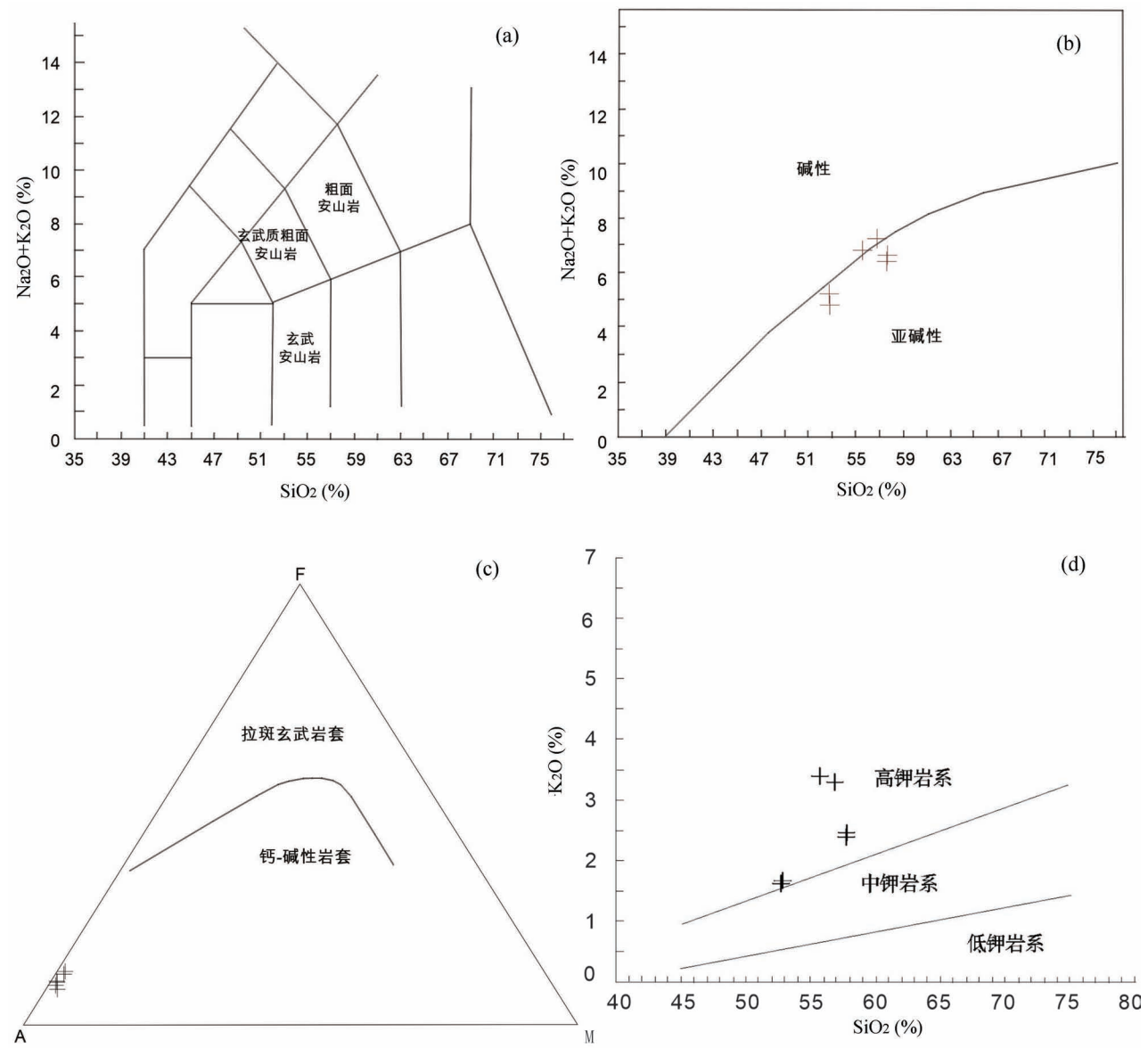


图 4 小兴安岭孙吴地区下白垩统美丰组玄武岩等 TAS 图解(a);碱—二氧化硅图解(b); F—A—M 三角图解(c); K_2O — SiO_2 变异图(d)

Fig. 4 TAS diagram (a); alkali-silica diagram (b); F—A—M triangular diagram (c); K_2O — SiO_2 variation diagram (d) of the volcanic rocks from the Lower Cretaceous Meifeng Formation in Sunwu area, Lesser khingan Mountains

$10^{-6} \sim 230.9 \times 10^{-6}$ 、 $20.2 \times 10^{-6} \sim 654.3 \times 10^{-6}$, Th/U 值为 $0.97 \sim 2.83$, 显示为岩浆成因锆石(表 1)。所有测点均落在 U-Pb 一致线上或在 U-Pb 一致线附近很小范围内, 数据点集中, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄 $102 \sim 109$ Ma, 加权平均值 105.2 ± 0.5 Ma, MSWD = 0.57(表 2, 图 3b)。结果表明, 美丰组玄武岩形成于早白垩世。

3.2 地球化学特征

3.2.1 主量元素

美丰组火山岩为一套中基性火山岩。常量元素分析结果见表 3。岩石 $\text{SiO}_2 = 52.75\% \sim 58.68\%$, 平均值为 54.55% ; 全碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) = $4.81\% \sim 7.22\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 15.98\% \sim 17.21\%$ 。里特曼指数(σ)为 $1.98 \sim 3.54$, 碱度率(A.R.)为 $1.53 \sim 2.00$, 分异指数(DI)为 $44.03 \sim 63.39$, 固结指数(SI)为 $16.46 \sim 34.71$ 。在火山岩 TAS 图解(图 4a)中可以看出, 大部分点投入粗面安山岩区, 个别点投入玄武安山岩区; 碱—二氧化硅图解(图 4b)中, 大部分投入亚碱性岩区, 个别点投入碱性区; F—A—M 三角图解(图 4c)全部投入钙碱性岩区; 在 $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 变异图(图 4d)中可以看出: 全部投入高钾岩系区, 说明甘河期火山岩主要为钙碱性亚系、高钾岩系。

3.2.2 微量元素

美丰组火山岩稀土元素特征: 稀土元素分析结果见表 3, 岩石稀土总量($\sum \text{REE}$) $99.81 \times 10^{-6} \sim 269.76 \times 10^{-6}$, 变化较大, 表现为稀土总量富集程度较高, 轻稀土总量($\sum \text{LREE}$) $88.14 \times 10^{-6} \sim 246.26 \times 10^{-6}$, 重稀土总量($\sum \text{HREE}$) $11.67 \times 10^{-6} \sim 24.37 \times 10^{-6}$, 轻重稀土比值

LREE/HREE 为 $7.55 \sim 10.48$, 平均值为 8.94 , $(\text{La}/\text{Yb})_N > 1$, 属轻稀土富集型, 且稀土分配模式曲线为右倾(图 5a), 斜率较小; 说明轻稀土富集程度高, 同时也反映轻稀土之间的分馏程度较高。Eu 为正常型, 各曲线形态一致, 说明具有同源岩浆特征。

微量元素特征: 微量元素分析结果见表 3, 美丰组火山岩微量元素蛛网图可以看出: 具 Rb、Ba、Th、

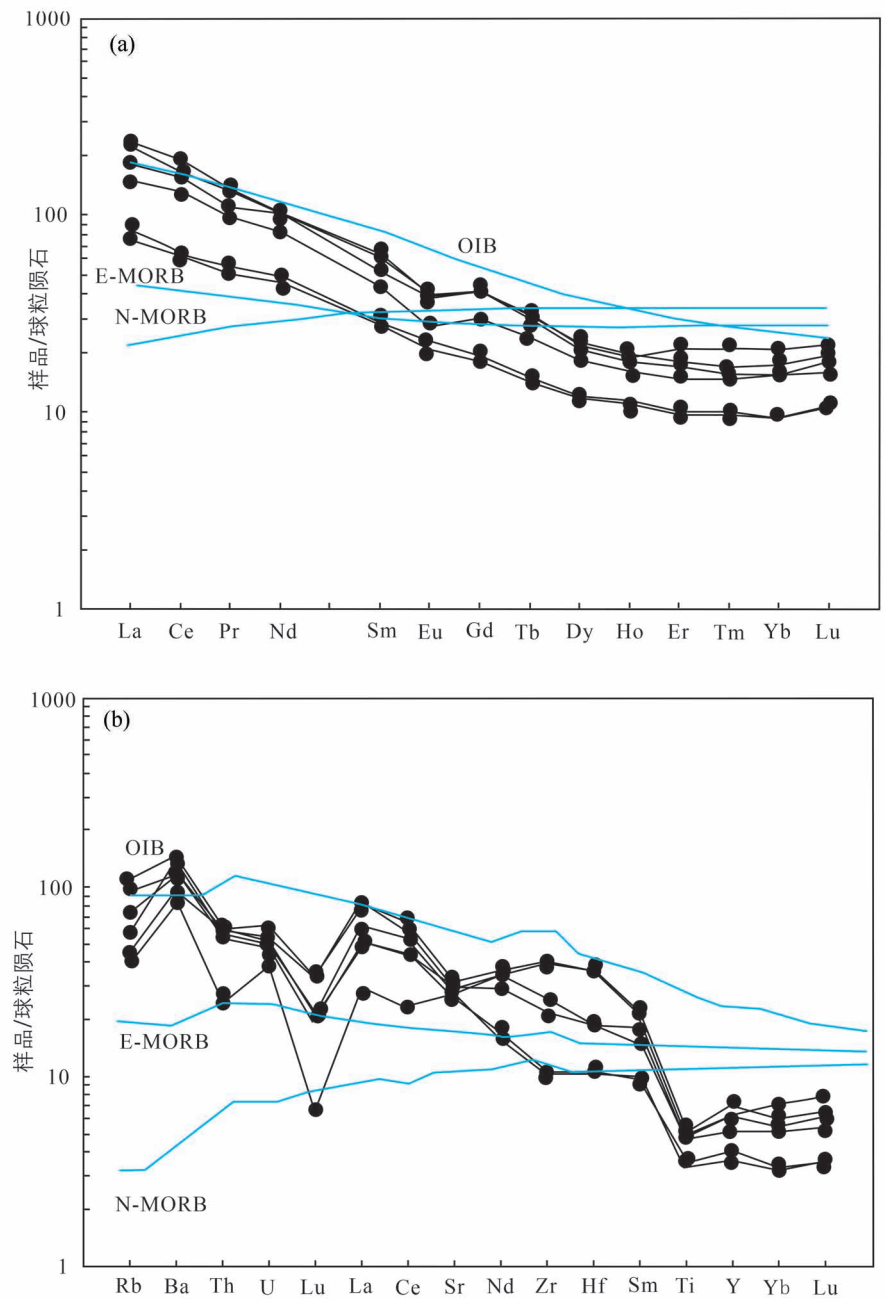


图 5 小兴安岭孙吴地区下白垩统美丰组火山岩稀土元素配分曲线图(a); 美丰组火山岩微量元素蛛网图(b)

Fig. 5 REE patterns(a,) and primary mantle trace element patterns(b) of the volcanic rocks from the Lower Cretaceous Meifeng Formation in Sunwu area, Lesser khingan Mountains

U、La、Ce 富集,且 Ba、La 有较明显的峰值,且具有明显的 Nb、Ti 负异常。微量元素量变化不是很大,曲线特征较一致,显示具有同源岩浆特征(图 5b)。

美丰组火山岩的地球化学特征与 E-MORB(不相容元素富集的洋中脊玄武岩)相似,其形成与俯冲作用有关。

4 讨论

4.1 岩浆来源

通过对美丰组具有代表性的玄武岩进行测年工作可知,所测试的美丰组玄武岩的测年结果为 105.2 ± 0.5 Ma,该组火山岩形成时间为早白垩世。

研究区美丰组火山岩在主量元素组成上具有相对高 Al_2O_3 、CaO、 TiO_2 、 K_2O 含量较低,而 MgO 、 P_2O_5 含量较稳定;稀土元素总体上具有相似的标准化曲线,轻稀土元素略富集,且轻重稀土元素分异程度不明显,只具有很微弱的 Eu 负异常。微量元素富集 Rb、Ba、Th、U、La、Ce,相对亏损 Nb、Ti 等元素,综上所述,小兴安岭美丰组火山岩的岩石地球化学特征,既具有壳源岩石的地球化学特征,又具有幔源岩石的地球化学特征,表明原始岩浆起源于地幔,受地壳物质的混染改造。

4.2 构造背景

研究区美丰组火山岩的地球化学特征与 E-MORB(不相容元素富集的洋中脊玄武岩)相似,其形成与俯冲作用有关。前人研究表明,早白垩世,小兴安岭火山岩的形成主要受古太平洋板块俯冲的影响(张海驹,1993;王慧,2011;王奕朋,2021),研究区处于板内伸展环境,其形成应与古太平洋板块的俯冲—回撤作用有关(赵海滨等,2005^②; Wu Fuyuan, et al., 2011; Xu Wenliang et al., 2013; Wu Fuyuan et al., 2019; Zheng Yong Fei et al., 2018; 许文良等,2022)。本次研究与前人研究结果一致。

综上所述,研究区美丰组火山岩是古太平洋板块西向俯冲,东亚大陆边缘发生陆内伸展,诱发基性火山喷发的产物。

5 结论

通过对研究区内美丰组火山岩进行的岩石地球化学和年代学的研究,同时结合前人在本区和相邻区的研究成果,得出以下结论:

(1)研究区美丰组火山岩的锆石具有典型的岩浆成因特征,其形成时间为 105.2 ± 0.5 Ma,该组火山岩形成时间为早白垩世。

(2)研究区美丰组火山岩为高钾钙碱性系列,富集 Rb、Ba、Th、U、La、Ce,相对亏损 Nb、Ti 等元素; $\delta\text{Eu}=0.71 \sim 0.94$,轻稀土略富集,重稀土分馏不明显,表明美丰组火山岩的原始岩浆起源于地幔,受地壳物质的混染改造。

(3)研究区美丰组火山岩形成于伸展环境,是古太平洋板块向亚洲大陆板块俯冲背景下的产物。

致谢:感谢在此工作区工作的以往地质工作者,为本次工作提供了丰富而又详实的地质资料,感谢编辑部和审稿专家对文章提供的建议与帮助。

注 释 / Notes

- ① 隋连成,吴宝辉,齐飞,刘殿生,张书苑,于德,梁秀英,张文奎,吴文钊,刘铭辉. 1981 年. 逊克县幅 M-52-21、常家屯幅 M-52-22、新兴公社幅 M-52-27、富饶公社幅 M-52-28、白桦林场幅 M-52-33 1/20 万区域地质调查报告. 黑龙江省区域地质调查第一队.
- ② 赵海滨,牛延宏,马江水,汪岩,李振德,张海,金哲岩,李国臣. 2005. 乌云镇幅、嘉荫县幅、太平沟幅 (M52C003003、M52C004003、5M2C004004) 1/25 万区域地质调查报告. 黑龙江省地质调查研究院总院齐齐哈尔分院.

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)
- 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.
- 刘阳,孙景贵,任亮,等. 2017. 小兴安岭北麓高松山金矿床赋矿围岩锆石 U-Pb 年代学、地球化学、岩石成因及其地质意义. 世界地质, 36(3): 806~825.
- 曲关生. 1997. 黑龙江省岩石地层. 武汉:中国地质大学出版社: 1~255.
- 王慧. 2011. 黑龙江省小兴安岭北段白垩纪火山岩相及岩浆演化. 导师:苏春乾. 西安:长安大学硕士学位论文:1~60.
- 王奕朋. 2021. 小兴安岭地区早白垩世火山岩成因及其地质意义. 导师:裴福萍. 长春:吉林大学硕士学位论文:1~61.
- 许文良,王旒旎,王枫,唐杰,龙欣雨,董玉,李宇,张兴洲. 2022. 西太平洋俯冲带的演变:来自东北亚陆缘增生杂岩的制约. 地质论评, 68(1): 1~17.
- 杨文采. 2022. 中—新生代东北和华北的洋陆转换作用. 地质论评, 68(3): 769~780.
- 张海驹. 1993. 黑龙江省区域地质志. 北京:地质出版社:1~7.
- 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.
- Liu Yang, Sun Jinggui, Ren Liang, et al., 2017&. Zircon U-Pb geochronology, geochemistry, petrogenesis and geological significance of ore-bearing surrounding rock of the Gaosongshan gold deposit in the northern foot of the Xiaoxing'an Mountains. World Geology, 36(3): 806~825.
- Qu Guansheng. 1997#. Rock strata in Heilongjiang Province. Wuhan:

China University of Geosciences Press; 1~255.

Wang Hui. 2011&. The Createous Volcanic Facies and Magma Evolution in North Lesser Khingan Range, Heilongjiang Province. Supervisor; Su Chunqian. Xi'an; Master degree thesis of Chang'an University; 1~60.

Wang Yipeng. 2021&. Petrogenesis and Geological Significance of the Early Cretaceous Volcanic Rocks from the Lesser Xing'an Range. Supervisor; Pei Fuping. Changchun; Master degree thesis of Jilin University; 1~61.

Wu Fufuan, Sun Deyou, Ge Wenchun, Zhang Yanbin, Grant M L, Wilde S A, Jahn Bor-Ming. 2011. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China. Journal of Asian Earth Sciences, 41(1): 1~30.

Wu Fuyuan, Yang Jinghui, Xu Yigang, Wilde S A, Walker R J. 2019. Destruction of the North China Craton in the Mesozoic. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 47(10): 173~195.

Xu Wenliang, Pei Fuping, Wang Feng, Meng En, Ji Weiqiang, Yang Debin, Wang Wei. 2013. Spatial—temporal relationships of Mesozoic volcanic rocks in NE China: Constraints on tectonic overprinting and transformations between multiple tectonic regimes. Journal of Asian Earth Sciences, 74(25): 167~193.

Xu Wenliang, Wang Yini, Wang Feng, Tang Jie, Long Xinyu, Dong Yu, Li Yu, Zhang Xingzhou. 2022&. Evolution of western Pacific subduction zones: Constraints from accretionary complexes in NE Asian continental margin. Geological Review, 68(1): 1~17.

Yang Wencai. 2022&. Ocean—continent transition process reveled by worldwide comparison of crust and upper mantle structures. Geological Review, 68(3): 769~780.

DOI: 10. 16509/j. georeview. 2022. 02. 081Zhang Hairi. 1993 #. Regional Geology of Heilongjiang Province. Beijing: Geological Publishing House: 1~7.

Zheng Yongfei, Xu Zheng, Zhao Zifu, Dai Lin. 2018. Mesozoic mafic magmatism in North China: Implications for thinning and destruction of cratonic lithosphere. Science China—Earth Sciences, 61(4): 353~385.

Geochronology and geochemistry of volcanic rocks of Lower Cretaceous Meifeng Formation in Sunwu area, Lesser Khingan Mountains

YUE Hongju¹⁾, LU Sheng²⁾, YU Qingyang, ZHAI Yanchao¹⁾, ZHANG Qing¹⁾

1) The Sixth Geological Prospecting Institute of Heilongjiang Province, Jiamusi, Heilongjiang, 154000;
2) The Fifth Geological Prospecting Institute of Heilongjiang Province, Harbin, 150090

Abstract: The volcanic rocks of Meifeng formation in Lesser khingan mountains are widely exposed, which is of great significance to study the geochemical characteristics of the volcanic rocks of Meifeng formation. This paper makes research on the petrographic, geochemical and chronological characteristics of the volcanic rocks of Meifeng formation in Sunwu area of Lesser khingan mountains, and discusses their formation age, petrogenesis and tectonic environment. Zircon U-Pb results show that the Meifeng formation was formed in the early Cretaceous (105.2 ± 0.5 Ma). Meifeng formation is dominated by basic volcanic rocks, belonging to high potassium calc alkaline series. Enrichment of Rb, Ba, th, u, La, CE, relative loss of Nb, Ti and other elements; δEu = 0.71 ~ 0.94, light rare earth is slightly enriched, heavy rare earth fractionation is not obvious. The above rock geochemical characteristics show that the original magma of the volcanic rocks of Meifeng formation originated from the mantle and was modified by the contamination of crustal materials. The volcanic rocks of Meifeng formation in the study area were formed in an extensional environment and were the product of the ancient Pacific plate's subduction to the Asian continental plate.

Key word : LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; Geochemistry; Meifeng formation; Sunwu area

Acknowledgements: We thank the previous geologists working in this work area for providing rich and detailed geological data for this work, we also extend our sincere thanks to the board of editors and reviewers for their advice and help with the article

First author: YUE Hongju, male, born in 1987, bachelor's degree, senior engineer, is mainly engaged in mineral resources exploration and evaluation; Email: yuehongju@139.com

Corresponding author: LU Sheng, male, born in 1985, doctoral degree, an engineer, is mainly engaged in research on rock geochemistry; Email: 396688457@qq.com

Manuscript received on: 2022-03-30; Accepted on: 2022-07-05; Network published on: 2022-07-20

Doi: 10. 16509/j. georeview. 2022. 07. 115 **Edited by:** ZHANG Yuxu

