

漠河盆地南缘塔木兰沟组火山岩锆石 U-Pb 定年、地球化学特征及其地质意义

李仁民^{1,2}, 石绍山², 李愈华³, 王宇利², 时建民², 江 山²

1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061 2. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心(沈阳地质矿产研究所), 辽宁 沈阳 110034 3. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083

摘 要 对大兴安岭北段漠河盆地南缘的塔木兰沟组玄武安山岩进行锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年以及岩石地球化学研究, 以便限定其形成时代以及火山活动和漠河断陷盆地演化之间的关系。测年结果显示该地区塔木兰沟组玄武安山岩的形成时代为 129~147 Ma, 为早白垩世早期。塔木兰沟组火山岩主要为高钾钙碱性火山岩系列, 具有富集大离子亲石元素(LILE)和轻稀土元素(LREE), 亏损高场强元素(HFSE)的特征。岩浆源区为富集型地幔源区, 上升过程中可能受上地壳物质混染。地球化学特征及构造背景显示, 研究区塔木兰沟组火山岩形成于大陆板内拉张环境, 与中生代漠河盆地断陷构造有关。

关键词 塔木兰沟组; 火山岩; U-Pb 锆石定年; 地球化学; 大兴安岭北段; 漠河盆地

DOI:10.13686/j.cnki.dzyz.2015.06.003

ZIRCON U-Pb DATING AND GEOCHEMISTRY OF THE VOLCANIC ROCKS OF TAMULANGOU FORMATION IN THE SOUTH EDGE OF MOHE BASIN: Geological implication

LI Zhu-min^{1,2}, SHI Shao-shan², LI Yu-hua³, WANG Yu-li², SHI Jian-min², JIANG Shan²

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China; 2. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110034, China; 3. College of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract : The paper studies the zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and lithogeochemistry of the Mesozoic basaltic andesite of the Tamulangou Formation from the south edge of Mohe Basin in Northern Daxinganling to define its formation age and the relation between volcanic activities and the evolution of Mohe fault basin. The dating result shows that the age of the basaltic andesite ranges from 129 to 147 Ma, belonging to Early Cretaceous. The volcanic rocks of the Tamulangou Formation are mainly of high-K calc-alkaline series, with enrichment in large ion lithophile elements (LILEs) and light rare earth elements (LREE) and depletion in high field strength elements (HFSEs). The magmatic source of the volcanic rocks was originated from partial melting of enriched mantle and probably contaminated by upper crustal materials during the ascending. The geochemical characteristics and tectonic background indicate that the volcanic rocks of the Tamulangou Formation was formed in a continental intraplate extensional environment, and related to the Mesozoic faulted structure of the Mohe Basin.

Key words : Tamulangou Formation; volcanic rocks; zircon U-Pb dating; geochemistry; Northern Daxinganling; Mohe basin

漠河盆地位于大兴安岭北段, 大地构造上处于古生代古亚洲构造域与中生代环太平洋构造域, 蒙古-

鄂霍次克褶皱带中的额尔古纳地块。漠河盆地中生代自中侏罗世以来先后经历了弧后盆地形成、挤压回返、

收稿日期 2015-01-13 修回日期 2015-01-29 编辑 李兰英

基金项目 中国地质调查局“黑龙江瓦拉干车站-塔丰农场地区矿产远景调查”项目(编号 12120113055000)。

作者简介 李仁民(1983—) 男, 吉林大学地球科学学院在读硕士, 从事矿产地质普查工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//45569520@qq.com

通信作者 石绍山(1977—) 男, 从事矿产地质普查及地球化学专业工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail//shishaoshan321@163.com

拉张断陷、抬升萎缩等阶段^[1],其火山岩形成具有复杂构造背景.前人对大兴安岭中生代火山岩的研究过程中,主要对其形成时间、成因以及构造背景方面提出如下认识:1)大兴安岭火山岩主要形成于晚侏罗世—早白垩世^[2-9];2)大兴安岭北部火山岩以碱性岩石系列为主,南部以钙碱性系列岩石为主,源区为富集型地幔^[10-11];3)大兴安岭北段火山岩构造背景有几种观点——古太平洋板块俯冲作用^[12],裂谷作用^[13],大陆根—柱构造^[14],古亚洲洋闭合过程中引起的深部地幔热柱上升有关^[15],蒙古—鄂霍次克洋演化^[16].

塔木兰沟组火山岩是大兴安岭中生代火山岩的最低层位,查明其成因与形成环境,将对东北地区中生代火山作用的认识与研究有着重要意义.本文将结合漠河盆地南缘的塔木兰沟组玄武安山岩锆石 U-Pb 年龄及岩石地球化学研究,阐述该地区火山岩成因及其构造背景.

1 地质背景及岩石学特征

研究区位于黑龙江省大兴安岭地区塔河县北部,构造位置上归属于额尔古纳地块(图1).该地区基底为晚寒武世—早奥陶世花岗岩、基性杂岩,在燕山—印支期 NE 向伸展构造的作用下,形成一系列张性断裂

构造和断陷盆地,并发育火山作用.本区中生代火山岩地层由老至新依次为塔木兰沟组(J_3t)中基性火山岩熔岩与火山碎屑岩组合,其上被白音高老组(K_1by)酸性火山熔岩、火山碎屑岩夹沉凝灰岩角度不整合覆盖.甘河组(K_1g)基性火山熔岩喷发不整合覆盖在二者之上.

塔木兰沟组火山岩为中基性火山熔岩.本文研究对象为该组的玄武安山岩,岩石呈灰绿色、灰黑色,斑状或隐晶质结构,斑晶成分主要为斜长石,含量 5%~20%,镜下见有明显聚片双晶,粒径 0.1~1 mm,基质为隐晶质.岩石部分为块状构造,多为气孔—杏仁状构造,气孔、杏仁体大多数呈定向排列,直径 1~5 mm,杏仁体内为碳酸盐或绿泥石充填.

2 样品制备及分析方法

样品的破碎和锆石挑选工作由河北省廊坊市宇能岩石矿物分选技术服务有限公司完成.锆石制靶、阴极发光(CL)图像采集、U-Pb 年龄测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成,使用 ComPex 102 ArF 准分子激光器(波长 193 nm)和 Agilent 7500a 型 ICP-MS 仪器,采用高纯 He 气作为剥蚀物质的载体气,用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 进行仪器最佳化,使用哈佛大学国

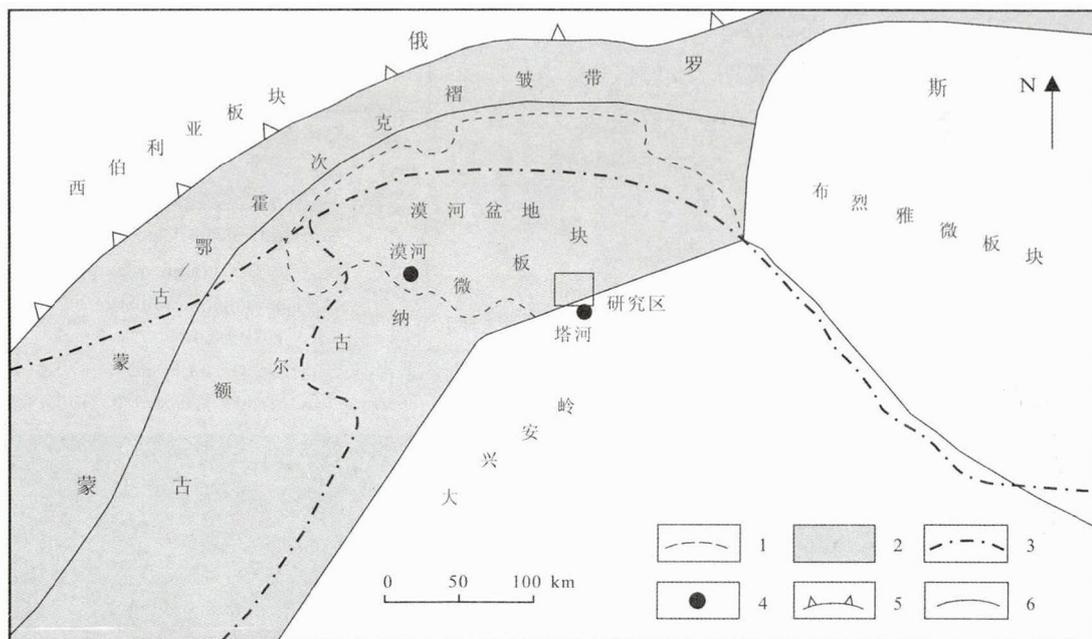


图1 漠河盆地地区构造位置图

(据谢铭谦,2000,修改)

Fig. 1 Regional tectonic location of the Mohe Basin

(Modified from XIE Ming-qian, 2000)

1—盆地界线(basin boundary) 2—褶皱带(fold belt) 3—国界线(national boundary) 4—城镇(city/town) 5—缝合带(suture zone);
6—构造边界(tectonic boundary)

际标准锆石 91500 作为外标. 样品同位素比值计算采用 CLITTER4.0 程序, 使用 Isoplot3.0 软件进行锆石 U-Pb 谐和图的绘制和年龄计算.

样品主量、微量、稀土元素数据分析工作由国土资源部东北矿产资源监督检测中心完成. 主量元素采用 X 射线荧光光谱(XRF)玻璃熔片方法分析, 分析精度和准确度优于 5%. 稀土和微量元素采用电感耦合等离子质谱(ICP-MS)分析方法, 分析精度和准确度优于 10%.

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 定年

本研究对大兴安岭地区塔河县北部的 1 件样品 (D0014)进行锆石 U-Pb 年龄测定, 采样位置位于漠河盆地南缘 (坐标 :124°33'39"E, 52°33'54"N), 其阴极发光(CL)图像显示, 大部分的锆石呈短柱状, 具有较好的晶形, 内部条带状结构明显(图 2). 锆石 Th/U 比值 0.81~1.44, 为岩浆成因锆石.

D0014 样品的 27 个锆石测试结果显示, 所有的测试结果均位于谐和线上或附近 (图 3). 锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 129~147 Ma 之间, 其加权平均年龄为 $136.0 \pm 1.2 \text{ Ma}$ (MSWD=0.012). 此结果表明, 该地区的塔木兰沟组玄武岩形成于白垩世早期, 与前人在大兴安岭北段的 U-Pb 测年结果基本一致^[5], 区别于大兴安岭中部的塔木兰沟组锆石 U-Pb 年龄.

3.2 岩石地球化学

研究区塔木兰沟组火山岩样品的 SiO_2 含量在 52.12%~58.37% 之间(表 1), 岩石富碱 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 5.93$), 测试结果在 TAS 图解(图 4)上落入了粗安岩区

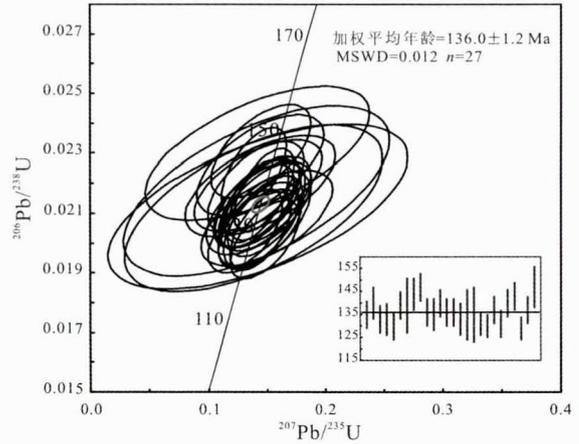


图 3 研究区塔木兰沟组火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐和年龄
Fig. 3 Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia age of Tamulangou volcanic rocks in the study area

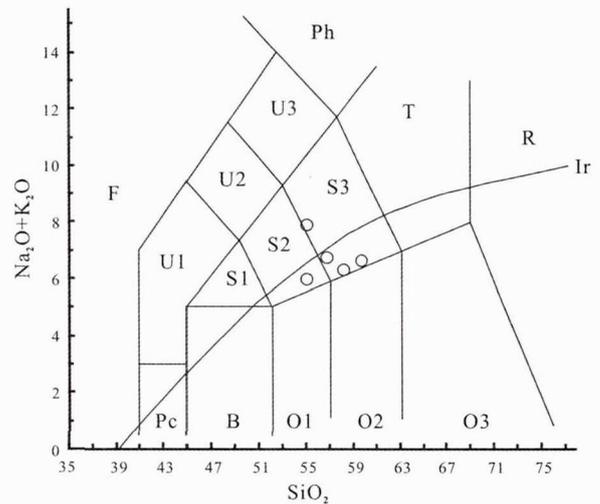


图 4 塔木兰沟组火山岩 TAS 图解
(据 LeMaitre RW, 1989)

Fig. 4 The TAS diagram for volcanic rocks of the Tamulangou Formation
(After LeMaitre R W, 1989)

S2—玄武粗面安山岩(basaltic trachyandesite) ;S3—粗面安山岩 (trachyandesite) ;Ir 线上方为碱性, 下方为亚碱性

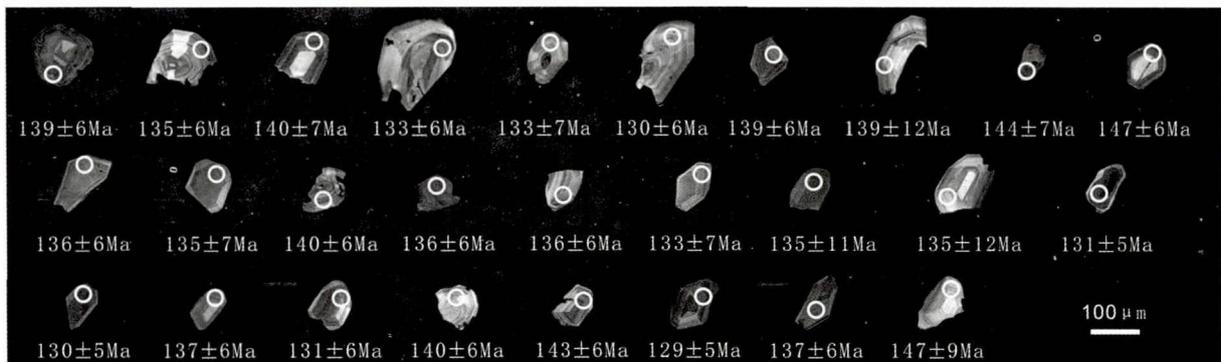


图 2 研究区塔木兰沟组火山岩锆石阴极发光图像

Fig. 2 CL images of zircons from Tamulangou volcanic rocks in the study area

表 1 塔木兰沟组火山岩主量元素、微量元素分析结果

Table 1 Major and trace element analysis result of the Tamulangou Formation

样品号	D0015GS1/ XT1/Y1	D0016GS1/ XT1/Y1	D0016GS2/ XT2/Y2	D0048GS1/ XT1/Y1	D6055GS2/ XT2/Y2
SiO ₂	52.12	55.89	52.64	53.41	43.0
TiO ₂	1.01	1.02	1.03	1.07	0.89
Al ₂ O ₃	17.11	16.26	16.59	16.54	17.46
TFe ₂ O ₃	7.98	7.05	8.44	8.29	6.59
MnO	0.12	0.13	0.09	0.10	0.10
MgO	3.43	2.77	4.85	4.75	2.76
CaO	4.95	7.17	2.91	7.23	4.79
Na ₂ O	3.86	3.82	3.61	3.95	4.30
K ₂ O	3.82	2.33	2.67	1.97	2.33
P ₂ O ₅	0.29	0.30	0.33	0.28	0.30
LOI	4.96	3.03	6.65	2.15	1.87
总值	99.64	99.76	99.79	99.74	99.76
Rb	60.84	51.93	72.25	32.47	52.52
Mg [#]	30.06	28.21	36.49	36.43	29.52
Cr	17.90	58.88	64.22	134.53	35.30
Th	3.64	4.21	3.52	2.76	8.32
U	0.90	1.46	1.18	0.69	1.50
Li	17.17	6.51	29.95	3.73	11.78
Nb	6.96	8.20	8.81	6.53	7.66
Ta	4.17	0.75	1.03	0.68	0.54
Be	1.53	1.78	2.04	1.63	1.81
Ba	1900.00	834.72	828.38	856.22	940.03
Sr	1100.00	921.94	415.65	1000.00	792.2
Ni	9.55	47.07	45.16	74.90	34.63
Zr	135.22	169.63	184.28	148.00	163.37
Hf	4.10	5.45	4.62	3.86	5.948
V	172.07	142.83	172.49	148.56	122.97
Co	21.75	21.38	26.80	27.59	20.22
La	24.39	30.36	25.41	22.58	15.89
Ce	57.34	72.10	67.01	53.91	49.38
Pr	7.08	8.80	7.66	6.93	4.25
Nd	28.61	35.27	30.53	28.38	18.50
Sm	4.96	5.93	5.24	5.00	4.43
Eu	1.65	1.71	1.50	1.44	0.49
Gd	4.14	4.88	4.20	3.89	4.39
Tb	0.58	0.65	0.57	0.53	0.77
Dy	3.00	3.15	2.77	2.59	5.18
Ho	0.57	0.56	0.49	0.47	1.02
Er	1.57	1.50	1.27	1.26	2.66
Tm	0.26	0.24	0.20	0.19	0.39
Yb	1.66	1.52	1.20	1.20	2.46
Lu	0.25	0.21	0.17	0.17	0.36
Y	15.00	14.52	11.76	11.93	15.65
ΣREE	136.07	166.90	148.22	128.54	110.16
LREE	124.04	154.17	137.35	118.24	92.94
HREE	12.03	12.73	10.87	10.30	17.22
L/H	10.31	12.11	12.63	11.48	5.40
La _N /Yb _N	9.92	13.46	14.28	12.73	4.64
δEu	1.08	0.94	0.95	0.97	0.34
δCe	1.06	1.07	1.17	1.05	1.44

分析单位: 国土资源部东北矿产资源监督检测中心. 主量元素含量单位: % . 微量元素含量单位: 10⁻⁶.

和玄武粗安岩区, 且基本位于碱性与亚碱性火山岩分界线附近. 从 K₂O-Si₂O 图 (图 5) 的投点结果可以看出, 5 个样品中有 4 个结果位于高钾钙碱性系列范围内, 另一结果落入了钾玄武岩系列内.

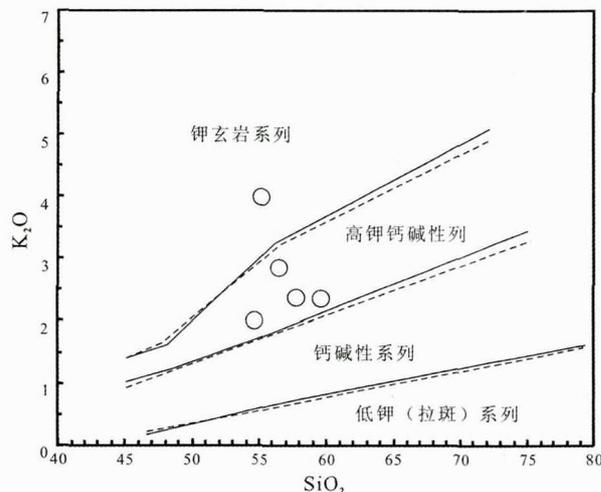


图 5 塔木兰沟组火山岩 K₂O-SiO₂ 图解
(实线据 Peccerillo R, Taylor SR, 1976; 虚线据 Middlemost EAK, 1985)
Fig. 5 K₂O-SiO₂ diagram for volcanic rocks of the Tamulangou Formation
(Solid line after Peccerillo R, Taylor S R, 1976; dotted line after Middlemost E A K, 1985)

从样品的稀土元素球粒陨石标准化配分图 (图 6) 可以看出, 样品的变化趋势基本一致, 表现为轻稀土元素富集的右倾特征. 稀土元素的总质量分数 (ΣREE) 为 110.16×10⁻⁶~166.90×10⁻⁶, 轻稀土 (LREE) 质量分数为 92.94×10⁻⁶~154.17×10⁻⁶, 重稀土 (HREE) 质量分数为 10.30×10⁻⁶~17.22×10⁻⁶, 轻重稀土比值 (LREE/HREE)

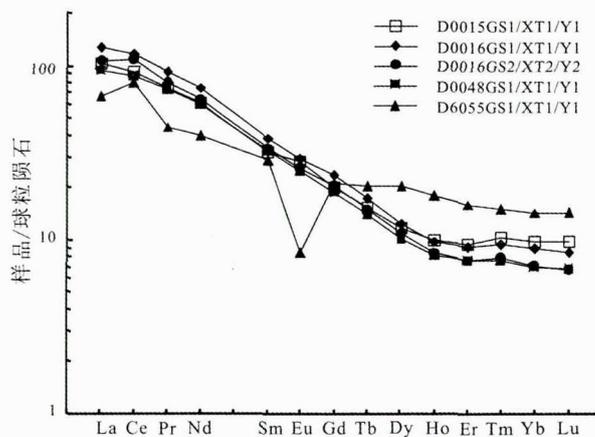


图 6 塔木兰沟组稀土元素球粒陨石标准化模式图
(标准化来自 Taylor and McLennan, 1985)
Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns of the Tamulangou Formation
(After Taylor and McLennan, 1985)

介于 5.40~12.63, 轻重稀土分馏十分明显, 分馏系数 (La_N/Yb_N) 为 9.92~14.28(表 1). 其中样品 D6055 具有明显的 Eu 负异常.

微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 7)显示, 该地区塔木兰沟组玄武岩富集大离子亲石元素(LILE) Rb、Ba、K 和 LREE, 说明岩浆可能来源于富集地幔型源区. 亏损高场强元素(HFSE) Nb、Ta、Ti, 表明岩浆源区发生了流体交代, 或上升过程中发生地壳物质的混染. 其 Rb/Sr 比值较高, 介于 0.06~0.55 之间(均值 0.23), 为富集地幔源区特征.

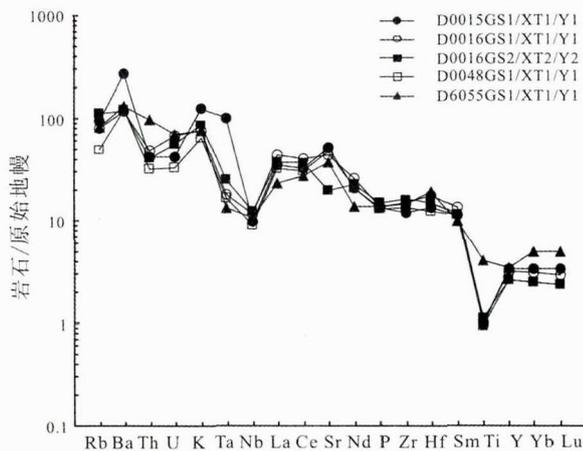


图 7 塔木兰沟组火山岩微量元素原始地幔标准化蛛网图
(标准化值来自 Wood, 1979)

Fig. 7 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram for the volcanic rocks of Tamulangou Formation
(Normalized value after Wood, 1979)

4 讨论

4.1 漠河盆地南缘塔木兰沟组时代归属

研究表明, 大兴安岭地区的中生代火山岩形成时期为晚侏罗世—早白垩世, $^{40}Ar/^{39}Ar$ 法测年结果显示其火山活动可分为 4 个阶段: 163~160、147~140、125~120 和 116~113 Ma^[3]. 据学者^[17]对大兴安岭中部满洲里地区塔木兰沟组玄武岩锆石 U-Pb 测年数据, 该地区的塔木兰沟组火山岩形成于 164~161 Ma, 即中侏罗世末期. 前人对海拉尔盆地外部塔木兰沟组中基性火山岩的形成时代得到了相对一致的结论, 认为其主要形成于 160~150 Ma^[3].

本文的锆石测年结果显示, 大兴安岭北段漠河盆地南缘的塔木兰沟组锆石 U-Pb 年龄为 147~129 Ma, 与前人测得的大兴安岭北段塔木兰沟组玄武岩年龄 (128±8 Ma) 较为接近^[5], 与大兴安岭中部塔木兰沟组岩石形成时代存在一定差距. 漠河盆地在晚侏罗世晚期—白垩纪进入火山断陷盆地阶段^[1], 形成了较大规

模的火山活动. 因此, 研究区内的塔木兰沟组火山岩作为本区火山岩地层的最底层, 其形成时代晚于大兴安岭中部地区的塔木兰沟组火山地层, 是漠河断陷盆地形成的同期产物. 根据测年结果, 应归属于早白垩世.

4.2 构造地质背景探讨

漠河盆地最初为中早侏罗世蒙古—鄂霍次克洋关闭时, 洋壳向东北拼贴板块俯冲所形成的弧后断陷盆地^[1]. 本区塔木兰沟组火山岩富集大离子亲石元素(LILE)和 LREE, 亏损高场强元素(HFSE), 具有岛弧玄武岩特征. 但研究显示, 大兴安岭北段塔木兰沟组火山岩并不具备岛弧形成的环境, 这与源区岩浆性质或者混染物质有关^[18].

大陆玄武岩 Zr 和 Y 浓度在遭到地壳和岩石圈混染时浓度变化受到影响很小^[19], 测试结果在 Zr-Zr/Y 图解(图 8)上投在了板内玄武岩区(WPB)附近, 远离洋脊玄武岩区(MORB)与岛弧玄武岩区(IAB). 从 Ta/Hf-Th/Hf 图解(图 9)上也可看出, 样品点投在陆内裂谷区、陆缘裂谷拉斑玄武岩区和大陆拉张带(或初始裂谷)区、地幔热柱玄武岩区. 表明本区玄武岩形成于板内环境. 同时由表 1 可以看出, 样品 Mg# 均小于 40, 说明岩浆物质来源较浅. 板内钾质岩浆的形成通常与软流圈上涌和岩石圈伸展—减薄或裂谷作用有关^[20].

研究区地处漠河盆地南缘, 晚侏罗世—早白垩世期间正处于弧后扩张作用所形成的拉伸环境, 岩石圈拉伸、减薄, 形成了陆内的裂谷区, 盆地边缘发生断陷导致岩浆上涌, 形成了规模较大的火山活动. 本地区塔

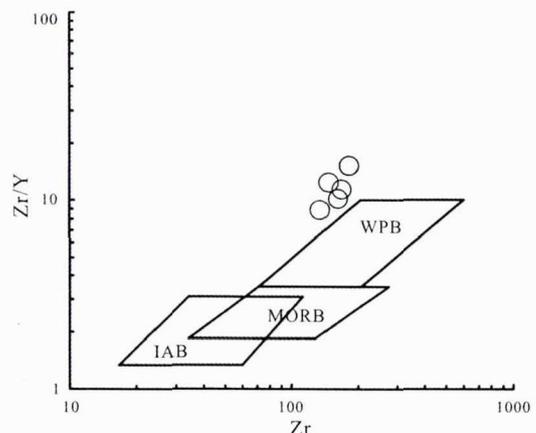


图 8 塔木兰沟组火山岩 Zr-Y/Zr 图解
(据 Pearce 等, 1973)

Fig. 8 Zr/Y vs. Zr diagram for volcanic rocks of the Tamulangou Formation
(After Pearce et al., 1973)

WPB—板内玄武岩 (within plate basalt) MORB—洋脊玄武岩 (mid-ocean ridge basalt) IAB—岛弧玄武岩 (island-arc basalt)

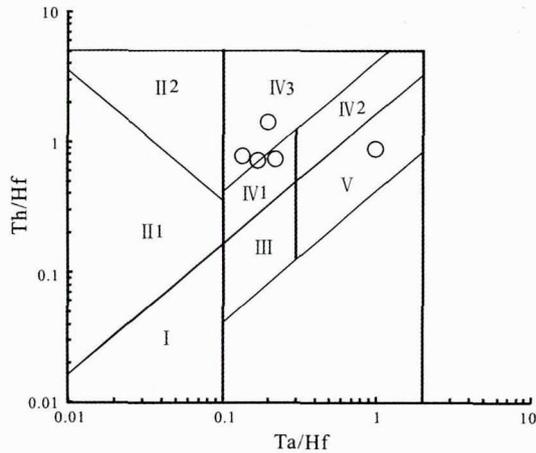


图 9 塔木兰沟组 Ta/Hf-Th/Hf 图解

Fig. 9 The Ta/Hf vs. Th/Hf diagram of Tamulangou Formation

1—陆内裂谷及陆缘裂谷拉斑玄武岩区 (intracontinental rift and continental marginal rift tholeiite area); 2—陆内裂谷碱性玄武岩区 (intracontinental rift alkali basalt area); 3—大陆拉张带(或初始裂谷)玄武岩区 (continental extension belt basalt area); —地幔热柱玄武岩区 (mantle plume basalt area)

木兰沟组火山岩受到漠河盆地张性断裂构造的控制, 为板内玄武岩, 由于上升过程中受到岩石圈物质的混染作用, 又显示有岛弧玄武岩的特征。

5 结论

通过对大兴安岭北段漠河盆地塔木兰沟组火山岩锆石 U-Pb 年代学及岩石地球化学的研究, 得出如下结论。

1) 本文研究的漠河盆地南缘塔木兰沟组玄武安山岩形成时代为 129~147 Ma, 为早白垩世早期, 与漠河盆地进入断陷阶段是同一时期。

2) 地球化学元素特征及本区构造背景显示, 漠河盆地南缘塔木兰沟组火山岩为陆内裂谷区环境下形成, 其形成受到漠河断陷盆地张性断裂构造控制。

参考文献:

- [1] 张顺, 林春明, 吴朝东, 等. 黑龙江漠河盆地构造特征与成盆演化[J]. 高校地质学报, 2003, 3(9): 411—419.
- [2] FAN Wei-ping, GUO Feng, WANG Yue-jun, et al. Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, Northeastern China[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2003, 121: 115—135.
- [3] WANG Fei, ZHOU Xin-hua, ZHANG Lian-chang, 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, 25: 179—198.

- [4] ZHANG Lian-chang, ZHOU Xin-hua, YING Ji-feng, 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, 2008, 256: 12—23.
- [5] ZHANG Ji-heng, GE Wen-chun, WU Fu-yuan, et al. Large-scale Early Cretaceous volcanic events in the northern Great Xing'an Range, Northeastern China[J]. Lithos, 2008, 102: 138—157.
- [6] ZHANG Ji-heng, GAO Shan, GE Wen-chun, 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: 144—165.
- [7] YING Ji-feng, ZHOU Xin-hua, ZHANG Lian-chang, 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: 786—793.
- [8] 孟恩, 许文良, 杨德彬, 等. 满洲里地区灵泉盆地中生代火山岩的锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(4): 1209—1226.
- [9] 赵磊, 高福红, 张彦龙, 等. 海拉尔盆地中生代火山岩锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(3): 864—874.
- [10] 林强, 葛文春, 曹林, 等. 大兴安岭中生代双峰式火山岩的地球化学特征[J]. 地球化学, 2003, 32(3): 208—222.
- [11] 葛文春. 大兴安岭中生代火山岩的地球化学特征及其大地构造背景[D]. 长春: 长春科技大学, 1997.
- [12] 马家骏, 方大赫. 黑龙江中生代火山岩初步研究[J]. 黑龙江地质, 1991, 2(2): 1—16.
- [13] 蒋国源, 桓恒. 大兴安岭根河、海拉尔盆地中生代火山岩[J]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 1988(3): 23—100.
- [14] 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 18—24.
- [15] 林强, 葛文春, 孙德有, 等. 东北地区中生代火山岩的大地构造意义[J]. 地质科学, 1998, 33(2): 129—139.
- [16] 许文良, 葛文春, 裴福萍, 等. 东北地区中生代火山作用的年代学格架及其构造意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(增刊): 286—287.
- [17] 赵忠华, 孙德有, 苟军, 等. 满洲里南部塔木兰沟组火山岩年代学与地球化学[J]. 吉林大学学报 地球科学版, 2011, 46(6): 1865—1880.
- [18] 张昱, 赵焕力, 韩彦东. 大兴安岭北段塔木兰沟组玄武岩地球化学及构造背景[J]. 地质与资源, 2005, 14(2): 87—91.
- [19] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 利用地球化学方法判断大陆玄武岩和岛弧玄武岩[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(1): 77—89.
- [20] 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: 微量元素和 Sr-Nd 同位素地球化学[J]. 地球化学, 2001, 30(1): 57—64.