



内蒙古八大关地区塔木兰沟组安山岩年代学和地球化学研究

崔家瑞, 韩志滨, 陈德兵, 李 研

核工业 240 研究所, 辽宁 沈阳 110032

摘要: 对海拉尔北部八大关地区塔木兰沟组安山岩进行的锆石 U-Pb 年代学、全岩地球化学等分析工作, 揭示了塔木兰沟组安山岩构造背景及岩石成因意义, 并探讨了蒙古-鄂霍次克缝合带构造演化史。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果显示其形成于 160.9~164.0 Ma。岩石地球化学特征表明, 安山岩为高钾钙碱性岩石, 轻重稀土分馏明显, $(La/Yb)_N=9.97\sim 26.85$, Eu 呈微弱负异常—弱正异常 ($\delta Eu=0.71\sim 1.11$); 微量元素以富集大离子亲石元素 Rb、U、Th、K, 强烈亏损 Sr、P、Ti, 相对亏损 Nb、Ta 为特征。岩浆可能来源于流体交代的地幔楔, 并在岩浆演化过程中经历了明显的分离结晶作用。结合区域演化史, 认为八大关地区塔木兰沟组安山岩形成于蒙古-鄂霍次克洋闭合后岩石圈的伸展环境。

关键词: 塔木兰沟组; 安山岩; 额尔古纳地块; 蒙古-鄂霍次克洋; 内蒙古

GEOCHRONOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE ANDESITES FROM TAMULANGOU FORMATION IN BADAGUAN AREA, INNER MONGOLIA

CUI Jia-rui, HAN Zhi-bin, CHEN De-bing, LI Yan

No. 240 Institute of CNNC, Shenyang 110032, China

Abstract: The paper analyzes the zircon U-Pb chronology and whole-rock geochemistry of the andesites from Tamulangou Formation in Badaguan area of northern Hailar to reveal the tectonic setting and petrogenesis of the andesites, and discusses tectonic evolution history of Mongolia-Okhotsk suture zone. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results show the rocks were formed in 160.9–164.0 Ma. The litho-geochemical characteristics indicate the andesites belong to high-K calc-alkaline rock with notable fractionation of LREE and HREE, $(La/Yb)_N$ of 9.97–26.85, and slight negative-weak positive Eu anomaly ($\delta Eu=0.71\sim 1.11$); The trace elements are characterized by enrichment of LILEs (Rb, U, Th and K), severe depletion of Sr, P and Ti, and relative depletion of Nb and Ta. The magma may be derived from the fluid-metasomatized mantle wedge and experienced obvious fractional crystallization during evolution. Combined with the regional evolution history, it is believed that the andesites in the study area were formed in the lithospheric extension environment after the closure of Mongolia-Okhotsk Ocean.

Key words: Tamulangou Formation; andesite; Erguna block; Mongolia-Okhotsk Ocean; Inner Mongolia

0 前言

大兴安岭地区位于中亚造山带东段, 古生代期间,

经历了古亚洲洋构造体系的演变^[1-3], 中生代, 又受到了环太平洋活动构造系和蒙古-鄂霍次克构造系的

收稿日期: 2021-03-01; 修回日期: 2021-03-24. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“内蒙古 1:5 万八大关牧场、郭古道阿拉山、八大关铜矿、达拉孙诺尔、查干诺尔、黑泡子幅区域地质矿产调查”(12120113053700).

作者简介: 崔家瑞(1987—), 男, 工程师, 主要从事区域地质、地球化学、放射性地质、工程地质等领域工作, 通信地址 辽宁省沈阳市沈北新区孝信街 12 号, E-mail://174608138@qq.com

双重叠加与构造改造作用^[4-6],致使大兴安岭地区中生代火山岩面积巨大、岩石种类繁多、地球化学特征及形成构造背景复杂,一直以来都是国内外学者研究的重点区域.尤其在近年来,随着对大兴安岭地区火山岩研究程度的不断提高,积累了一大批高精度锆石 U-Pb 年代学资料.对于火山岩的形成时代,部分学者认为其主要形成于早白垩世—早侏罗世^[5-6];有关中生代火山岩构造背景,主要有地幔柱成因^[2-6]、与古太平洋板

块俯冲有关^[6]、与蒙古-鄂霍次克洋演化有关^[7-8]等 3 种观点。

虽然前人已经报道了较多的年代学、地球化学和 Hf 同位素资料,但是对蒙古-鄂霍次克洋构造演化目前还不清楚,严重制约了中国东北地区乃至更广泛的区域构造演化格局.鉴于此,笔者选取内蒙古八大关地区塔木兰沟组地层中出露相对较多的安山岩开展锆石 U-Pb 年代学研究(图 1),并且进行详细的岩石地球

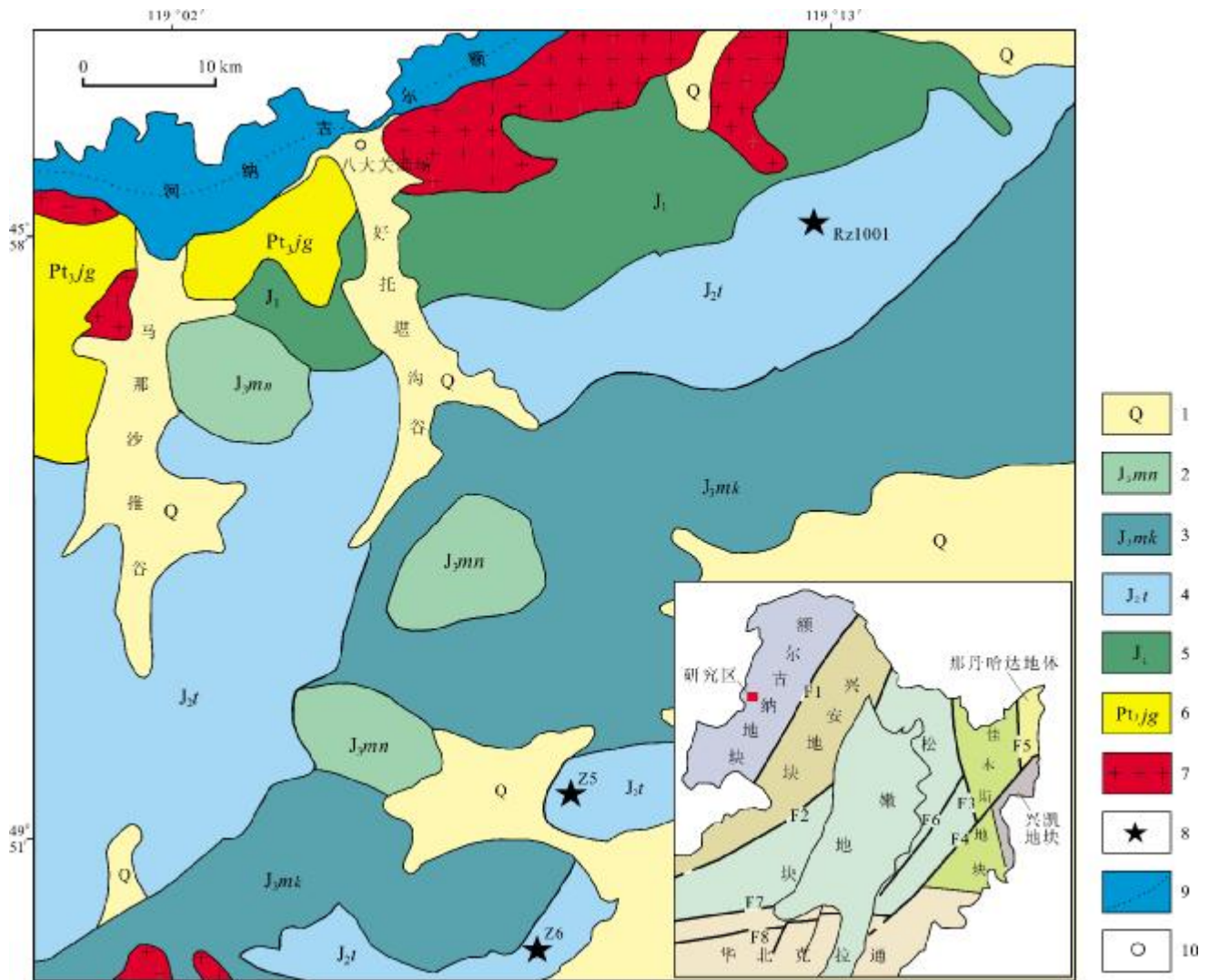


图 1 内蒙古八大关地区地质简图^①

Fig. 1 Geological sketch map of Badaguan area in Inner Mongolia

1—第四系(Quaternary); 2—玛尼吐组(Manitu fm.); 3—满克头鄂博组(Manketouebo fm.); 4—塔木兰沟组(Tamulangou fm.); 5—早侏罗世火山岩(Early Jurassic volcanic rock); 6—佳疙瘩组(Jiageda fm.); 7—花岗岩(granite); 8—采样点(sampling location); 9—河流(river); 10—地名(place name); F1—喜桂图—塔源断裂带(Xiguitu-Tayuan fault belt); F2—黑河—嫩江断裂带(Heihe-Nenjiang fault belt); F3—牡丹江断裂带(Mudanjiang fault belt); F4—敦密断裂(Dunmi fault); F5—同江—当斯断裂带(Tongjiang-Dangsi fault belt); F6—依兰—沂蒙断裂带(Yilan-Yimeng fault belt); F7—西拉木伦河断裂带(Xar Moron River fault belt); F8—华北北缘断裂带(northern marginal fault zone of North China craton)

①核工业 240 研究所. 1:5 万八大关牧场等六幅区域地质调查报告. 2015.

化学研究,以期对其成因、形成时代以及形成的构造环境加以约束^[9-10].

1 地质背景及岩石学特征

研究区地理位置位于内蒙古海拉尔北部约 150 km 的八大关地区中俄边境附近. 其大地构造位于中亚造山带的东段, 西伯利亚板块东南缘的额尔古纳地块西北部, 大面积中生代火山岩则位于环太平洋构造域西北段^[5-10]. 八大关地区从元古宙开始即经历了多期不同强度构造运动的改造, 从而形成了现在的构造格局, 其中北东向深大断裂控制着地层、岩体的整体展布方向. 近年来随着对蒙古-鄂霍次克构造体系演化的研究工作逐渐增多, 相继发现了晚三叠世-早侏罗世岩浆岩和与之同时期的斑岩型铜钼矿床(如八大关铜矿、乌奴格吐山铜矿等), 均与蒙古-鄂霍次克洋俯冲作用密切相关^[8]. 但是, 这些研究主要集中在洋壳俯冲阶段, 对蒙古-鄂霍次克洋闭合后中侏罗世-白垩纪构造演化过程研究较少, 目前尚不完全清楚. 这也意味着蒙古-鄂霍次克洋闭合后的中侏罗世-白垩纪时期的岩浆演化对大兴安岭地区具有极其重要的意义.

八大关地区中生代火山岩的基底主要为新元古代佳疙瘩组变质岩, 分布在研究区西北部, 被晚三叠世八大关花岗岩体侵入(图 1). 中生代地层主要呈北东向分布, 从老到新依次塔木兰沟组、满克头鄂博组、玛尼吐组、白音高老组. 塔木兰沟组在该地区呈北东向展布, 延伸逾 50 km, 上被满克头鄂博组酸性流纹岩所覆盖. 前人对相邻的满洲里地区塔木兰沟组测年结果显示其形成于 161~164 Ma, 岩浆源区为俯冲板片流体交代过的岩石圈地幔, 岩浆上升过程中未受到地壳物质的明显混染, 但经历了一定程度的橄榄石和单斜辉石分离结晶作用^[9].

研究区内的塔木兰沟组(J_2)为一套中基性火山岩组合, 主要由熔岩和火山碎屑岩组成, 夹极少量沉积岩, 熔岩以安山岩为主(图 2). 本次采样选取的安山岩为灰黑、灰绿色安山岩, 无气孔杏仁, 斑状结构, 块状构造常见. 斑晶成分为少量斜长石和角闪石, 含量约 10%. 斜长石呈半自形板粒状、板柱状, 粒径 0.2~1.5 mm, 个别被铁染呈褐黑色; 角闪石约占 5%, 半自形短柱状、柱粒状. 对所采取的塔木兰沟组 3 件安山岩样品进行锆石 U-Pb 年代学和地球化学研究. 采样位置坐

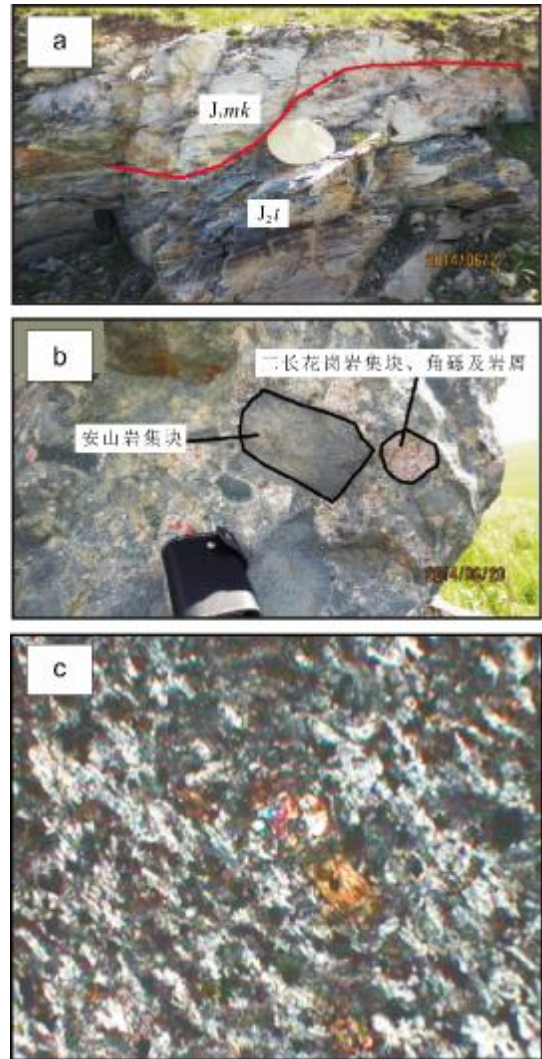


图 2 塔木兰沟组安山岩

Fig. 2 Andesites of Tamulangou Formation

A—塔木兰沟组与满克头鄂博组接触关系 (contact between Tamulangou fm. and Manketouebo fm.); b—安山岩野外露头 (field outcrop); c—安山岩显微斑状结构 (microscopic porphyritic texture)

标分别为 RZ1001:119°10'49"E, 49°59'58"N; Z5:119°04'01"E, 49°50'24"N; Z6:119°01'03"E, 49°49'22"N (图 1).

2 样品分析测试

2.1 分析方法

锆石分选工作由河北省区域地质调查研究院负责; 锆石制靶、显微图像采集在天津地质调查中心完成; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试在吉林大学东北亚矿产资源评价国土资源部重点实验室完成. LA-

ICP-MS 锆石 U-Pb 定年使用 Ar 准分子激光器进行取样,能量密度 10 J/cm²,剥蚀频率 8 Hz,激光束斑直径 32 mm. 使用高纯度惰性气体氦气(气流量为 600 mL/min)作为载气,惰性气体氩气(气流量为 1.15 L/min)作为辅助气. 使用美国安捷伦公司 7500A 型四极杆等离子质谱进行 U-Pb 同位素测试. 设置空白时间为 30 s,随后 30 s 为样品剥蚀,最后再进行 2 min 的样品池冲洗. 采集的同位素时间,⁴⁹Ti 为 20 ms,

²³²Th、²³⁸U 为 15 ms, 4 种 Pb 同位素(204、206、207、208) 时间均为 20 ms,其他元素时间为 6 ms. 标样为 91500 锆石,用于同位素比值校正,监控样为标准锆石 GJ-1. 外标样为 NIST610,作用为元素校正;铷为内标元素. 数据结果监控样为 NIST612 和 NIST614. 稀土及微量元素采用 ICP-MS 分析,分析精度和准确度一般优于 10%,全岩主量元素采用 XRF 玻璃熔片法分析,分析精度和准确度优于 5%.



图 3 八大关地区安山岩中部分锆石 CL 图像和年龄值(Ma)

Fig. 3 CL images and ages of zircons in andsite samples from Badaguan area

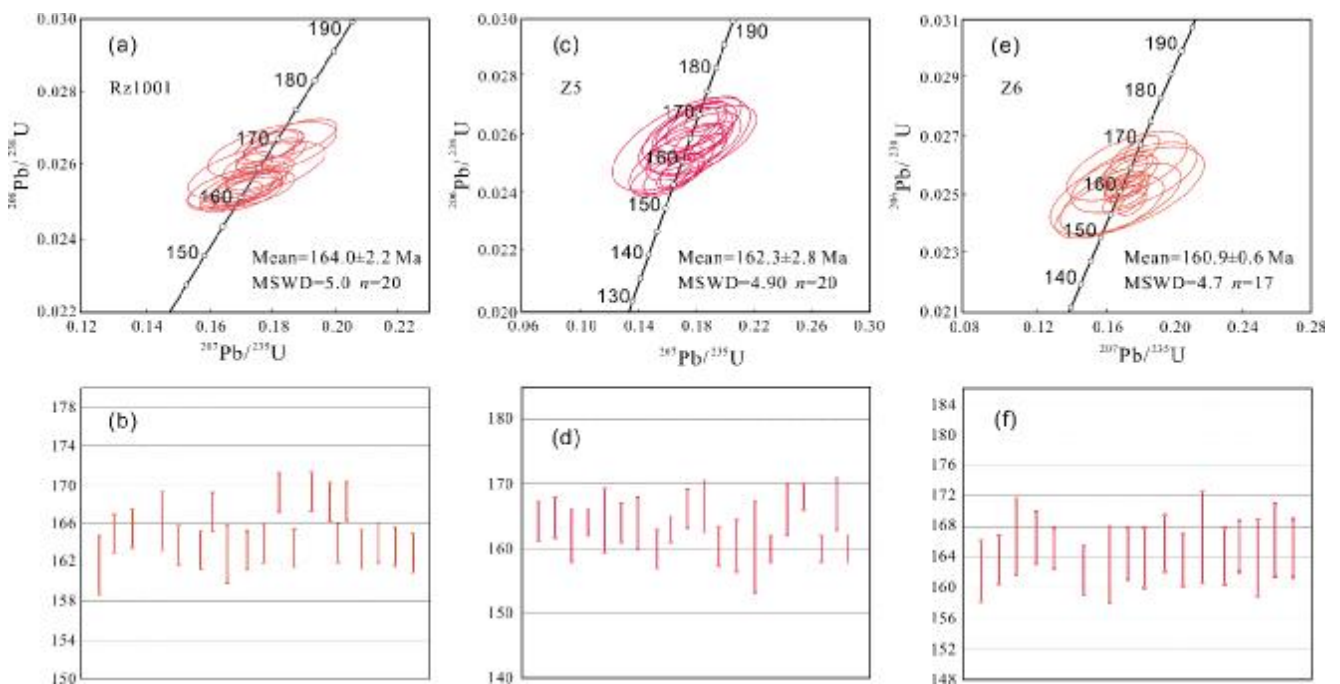


图 4 塔木兰沟组安山岩锆石 U-Pb 年龄曲线谱和图

Fig. 4 Zircon U-Pb age concordia diagrams of the andsites from Tamulangou Formation

2.2 锆石 U-Pb 法测年结果

对塔木兰沟组安山岩 3 件样品(RZ1001、Z5、Z6)进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年测试. 锆石具有明显的振荡环带, 晶形较好, 可代表岩浆成因锆石(图3).

样品 RZ1001 锆石晶型发育完整, 偶见粒状, 多数呈长柱状, 阴极发光图像显示锆石发育振荡环带. 选取 20 颗锆石进行 LA-ICP-MS U-Pb 年龄点加权平均, 其值为 164.0 ± 2.2 Ma (MSWD=5.0, 图 4a、b).

样品 Z5 锆石振荡环带构造发育不明显, 锆石粒度较小. 对 20 个 LA-ICP-MS U-Pb 年龄加权平均, 其值为 162.3 ± 2.8 Ma (MSWD=4.9, 图 4c、d).

样品 Z6 锆石环带特征明显, 晶型完整, 呈粒状.

对 20 颗锆石进行 LA-ICP-MS U-Pb 年龄点分析, 结果显示 Z6-1 及 Z6-18 记录了较为古老的年龄(见表 1), 可能为捕虏晶. 其他分析点排除一个离群点(Z6-05) $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄进行加权平均, 其值为 160.9 ± 2.6 Ma (MSWD=4.7, $n=17$, 图 4e、f).

2.3 全岩地球化学分析

在研究区内共采集了 9 件安山岩样品进行主量、微量元素分析, 结果见表 2.

2.3.1 主量元素

八大关地区塔木兰沟组安山岩 SiO_2 含量为 50.02%~57.18%, 全碱含量变化较大(4.52%~7.81%), 全铁(Fe_2O_3)含量 5.20%~9.48%, MgO 含量较低(1.23%~3.86%), TiO_2 含量为 0.90%~2.19%. TAS 火山岩命名

表 1 塔木兰沟组锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb isotope analysis results of zircons from Tamulangou Formation

测点号	Th/U	同位素比值及误差						年龄及误差/Ma					
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
Rz1001-1	0.45	0.05004	0.00453	0.17324	0.01526	0.02525	0.00042	195.29	137.5	162.32	12.23	160.56	3.23
Rz1001-2	0.43	0.04831	0.00162	0.17288	0.00623	0.02556	0.00035	145.25	58.23	161.54	5.45	165.32	2.01
Rz1001-3	0.42	0.04843	0.00273	0.17845	0.00625	0.02624	0.00033	168.52	58.66	164.35	5.65	167.45	2.07
Rz1001-4	0.37	0.04855	0.00385	0.16467	0.00945	0.02477	0.00042	121.32	101.24	161.36	8.47	167.12	2.56
Rz1001-5	0.55	0.04701	0.00465	0.18554	0.01332	0.02751	0.00052	148.58	139.56	162.35	11.25	164.32	3.58
Rz1001-6	0.44	0.04592	0.00296	0.17810	0.00673	0.02636	0.00040	144.74	69.63	160.57	6.55	161.25	2.14
Rz1001-7	0.38	0.04641	0.00265	0.17224	0.00754	0.02751	0.00045	167.78	91.33	160.24	7.65	159.54	2.32
Rz1001-8	0.52	0.04882	0.00287	0.17797	0.00694	0.02567	0.00035	138.47	65.89	162.56	6.23	170.01	2.47
Rz1001-9	0.57	0.04735	0.00314	0.16454	0.01036	0.02457	0.00047	116.39	111.12	164.77	9.74	167.25	3.12
Rz1001-10	0.46	0.04921	0.00129	0.17146	0.00774	0.02562	0.00032	148.73	70.33	161.33	6.05	162.32	2.47
Rz1001-11	0.61	0.04985	0.00215	0.16768	0.00756	0.02555	0.00031	182.25	71.58	165.24	6.25	164.17	2.69
Rz1001-12	0.48	0.04952	0.00212	0.18246	0.00729	0.02674	0.00037	170.12	70.36	180.54	6.23	195.01	2.56
Rz1001-13	0.49	0.04974	0.00222	0.17295	0.00719	0.02535	0.00034	181.54	73.01	162.54	6.55	161.25	2.58
Rz1001-14	0.43	0.05299	0.00236	0.18812	0.00840	0.02685	0.00038	240.08	79.64	165.35	7.45	170.65	2.67
Rz1001-15	0.42	0.05039	0.00185	0.18072	0.00628	0.02670	0.00048	166.54	60.25	165.56	5.65	169.44	2.35
Rz1001-16	0.50	0.04920	0.00195	0.18122	0.00617	0.02665	0.00032	170.45	60.03	159.32	5.45	169.33	2.58
Rz1001-17	0.43	0.05046	0.00245	0.17628	0.00754	0.02542	0.00035	212.12	78.23	161.23	7.78	162.74	2.89
Rz1001-18	0.45	0.04858	0.00559	0.16678	0.00648	0.02455	0.00038	123.11	69.25	157.35	6.98	169.32	2.43
Rz1001-19	0.43	0.04924	0.00329	0.17235	0.00775	0.02542	0.00036	157.03	81.77	161.25	7.56	161.47	2.12
Rz1001-20	0.33	0.04969	0.00192	0.17598	0.00658	0.02552	0.00035	180.23	65.56	164.36	6.55	163.32	2.38

表 1 (续) Table 1 (Continued)

测点号	Th/U	同位素比值及误差						年龄及误差/Ma					
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
Z5-1	0.28	0.04946	0.00453	0.1835	0.01609	0.02638	0.00057	167.36	159.55	171.89	14.22	171.32	3.85
Z5-2	0.39	0.05406	0.00237	0.19387	0.00767	0.02502	0.00032	173.32	70.23	180.23	7.52	166.23	2.52
Z5-3	0.41	0.04957	0.00548	0.17834	0.01643	0.02531	0.00051	170.50	94.32	162.35	16.25	163.43	2.12
Z5-4	0.44	0.06342	0.00456	0.22459	0.0163	0.02659	0.00032	169.23	173.57	205.45	14.34	164.44	2.72
Z5-5	0.76	0.05176	0.00385	0.18357	0.02451	0.02686	0.00087	174.23	145.32	172.78	21.45	165.25	5.23
Z5-6	0.41	0.05116	0.00321	0.18155	0.01187	0.02556	0.00075	168.54	115.23	170.14	10.22	164.12	3.22
Z5-7	0.42	0.05049	0.00622	0.17828	0.02226	0.02675	0.00079	178.55	138.55	167.11	18.32	164.78	2.45
Z5-8	0.46	0.04635	0.00425	0.15631	0.01373	0.02453	0.00033	169.32	97.23	148.2	12.03	167.12	3.02
Z5-9	0.60	0.05348	0.00263	0.18732	0.00762	0.02659	0.00023	165.47	80.32	175.12	7.23	163.78	2.47
Z5-10	0.54	0.04783	0.00412	0.17321	0.0159	0.0272	0.00042	178.32	154.32	162.78	13.56	167.14	3.13
Z5-11	0.52	0.05058	0.00482	0.18589	0.01712	0.02658	0.00058	165.32	168.25	173.45	15.36	168.54	1.23
Z5-12	0.55	0.04922	0.00437	0.16070	0.01373	0.02352	0.00057	165.44	163.35	151.78	12.45	161.1	3.02
Z5-13	0.47	0.04921	0.00596	0.16340	0.01933	0.02408	0.00064	167.52	169.52	154.32	17.24	163.45	2.23
Z5-14	0.50	0.04954	0.00968	0.16566	0.03255	0.02496	0.00115	182.37	105.36	154.45	27.78	163.78	1.88
Z5-15	0.59	0.04813	0.00161	0.17008	0.00648	0.02512	0.00038	167.25	67.35	159.32	6.05	160.45	2.02
Z5-16	0.45	0.04874	0.00606	0.17582	0.02145	0.02651	0.00079	167.48	120.36	164.11	18.33	166.78	4.45
Z5-17	0.39	0.05073	0.00265	0.18672	0.00965	0.02656	0.00046	178.36	92.45	174.34	8.23	170.36	2.78
Z5-18	0.50	0.05088	0.00342	0.17209	0.01137	0.02542	0.00038	195.25	109.31	160.78	9.12	168.55	2.02
Z5-19	0.40	0.04966	0.00573	0.18572	0.02148	0.02787	0.00051	176.78	110.85	173.13	18.42	170.13	2.46
Z5-20	0.34	0.04884	0.00254	0.16479	0.00955	0.02367	0.00055	188.45	105.35	155.23	8.77	163.32	2.72
Z6-1	0.58	0.04931	0.00353	0.18363	0.01618	0.02684	0.0008	120.22	222.12	155.32	18.01	167.12	2.12
Z6-2	0.67	0.05415	0.00237	0.19384	0.00777	0.02612	0.0007	232.21	70.12	164.02	6.78	160.12	2.02
Z6-3	0.51	0.05082	0.00757	0.23467	0.03414	0.03355	0.0012	232.45	260.12	214.23	28.22	212.32	2.03
Z6-4	0.48	0.06122	0.00456	0.22809	0.0133	0.02529	0.0007	181.12	222.48	173.02	20.02	162.22	2.42
Z6-5	0.38	0.05165	0.00457	0.18458	0.02442	0.02587	0.0008	175.12	84.14	177.22	8.21	167.48	2.23
Z6-6	0.45	0.04955	0.00216	0.17359	0.00721	0.02636	0.00021	173.22	76.5	162.12	6.45	161.22	2.02
Z6-7	0.42	0.05043	0.00259	0.17187	0.00728	0.02584	0.00024	214.12	86.21	162.14	7.02	162.33	2.02
Z6-8	0.47	0.04897	0.00157	0.16196	0.00775	0.02325	0.00015	147.78	48.45	154.22	4.25	164.78	2.45
Z6-9	0.60	0.05056	0.00797	0.17164	0.02355	0.02661	0.00029	220.12	240.45	167.56	21.12	163.45	1.78
Z6-10	0.33	0.04985	0.00168	0.17181	0.00232	0.02322	0.00019	193.44	63.56	163.56	5.56	161.45	2.03
Z6-11	0.40	0.04761	0.00182	0.16803	0.00582	0.02361	0.00018	129.47	62.44	155.66	5.05	163.78	2.69
Z6-12	0.35	0.04879	0.00193	0.17194	0.00015	0.02476	0.00029	185.46	104.78	165.04	9.32	164.65	2.44
Z6-13	0.39	0.04917	0.00167	0.17238	0.00827	0.02891	0.00017	151.25	94.78	164.69	8.45	165.56	2.23
Z6-14	0.68	0.04859	0.00182	0.17915	0.02114	0.02666	0.00019	176.47	261.56	176.25	25.58	166.36	6.03
Z6-15	0.06	0.05526	0.00186	0.17556	0.00535	0.02435	0.00018	127.22	56.11	173.45	5.58	165.33	2.03
Z6-16	0.49	0.05222	0.00167	0.17855	0.00524	0.02376	0.00028	191.23	47.22	166.44	4.22	167.36	2.02
Z6-17	0.57	0.04975	0.00187	0.17262	0.02322	0.02588	0.00029	183.45	140.23	160.45	20.03	168.77	5.36
Z6-18	0.56	0.07856	0.00125	1.14425	0.03228	0.12758	0.00121	948.22	59.56	821.4	1523	775.36	7.22
Z6-19	0.39	0.04889	0.00156	0.18312	0.00668	0.02457	0.00021	195.25	63.89	171.56	6.36	169.33	2.05
Z6-20	0.46	0.04815	0.00178	0.17432	0.00503	0.02527	0.00037	106.56	60.32	163.03	5.45	167.23	2.07

表 2 塔木兰沟组安山岩主量元素、微量元素和稀土元素分析结果

Table 2 Contents of major, trace and rare earth elements in andesites from Tamulangou Formation

样品号	YQ10729	YQ2969	YQ5194	YQ5223	YQ4143	YQ6256	YQ5157	YQ4818-2	YQ12509
SiO ₂	55.67	55.59	57.18	53.60	55.91	57.15	56.49	56.30	50.02
TiO ₂	1.09	1.32	1.09	1.13	0.90	1.01	1.26	2.19	2.13
Al ₂ O ₃	22.02	17.16	17.73	19.44	19.87	17.86	16.89	15.83	17.57
TFe ₂ O ₃	5.20	6.82	6.17	7.79	5.64	6.72	6.60	7.17	8.96
Fe ₂ O ₃	2.47	6.40	4.23	4.22	3.74	2.55	4.02	7.19	9.48
FeO	2.99	1.07	2.37	4.00	2.28	4.43	2.99	0.72	0.44
MnO	0.08	0.09	0.10	0.20	0.11	0.17	0.09	0.08	0.05
MgO	2.39	2.42	2.81	3.48	3.76	3.07	3.46	2.23	1.23
CaO	4.66	6.10	5.82	4.28	2.25	5.09	6.02	5.48	4.73
Na ₂ O	3.55	4.35	3.89	3.52	7.14	4.18	3.96	3.97	4.08
K ₂ O	0.97	2.97	1.81	1.66	0.67	0.48	2.27	2.93	3.16
P ₂ O ₅	0.29	0.48	0.30	0.25	0.27	0.29	0.47	1.13	1.14
LOI	3.58	1.72	2.42	3.96	2.89	3.51	1.73	1.50	5.54
Total	99.75	99.67	99.76	99.73	99.79	99.79	99.65	99.55	99.57
La	16.90	41.16	17.87	19.24	22.34	22.59	39.58	82.53	80.94
Ce	37.01	81.42	37.65	40.79	44.74	45.85	79.68	182.30	167.30
Pr	5.24	10.59	5.26	5.71	6.10	6.21	10.46	25.48	22.95
Nd	21.20	40.91	21.56	23.31	24.25	24.82	41.13	97.32	87.58
Sm	4.14	6.70	4.36	4.31	4.07	4.29	6.73	15.21	13.55
Eu	1.26	1.88	1.26	1.45	1.32	1.41	1.93	3.29	3.36
Gd	3.21	5.32	3.39	3.44	3.21	3.46	5.08	12.62	11.52
Tb	0.51	0.75	0.56	0.53	0.50	0.47	0.66	1.60	1.37
Dy	2.54	3.41	2.82	2.70	2.45	2.07	2.90	6.70	5.68
Ho	0.44	0.61	0.50	0.43	0.43	0.32	0.48	1.11	0.93
Er	1.11	1.59	1.31	1.08	1.06	0.78	1.28	2.84	2.35
Tm	0.17	0.24	0.20	0.14	0.15	0.10	0.18	0.41	0.33
Yb	0.99	1.38	1.21	0.74	0.88	0.57	1.01	2.52	2.10
Lu	0.27	0.49	0.22	0.14	0.24	0.16	0.37	0.68	0.71
Y	11.21	16.16	13.46	11.69	11.80	8.62	12.72	25.77	22.15
Pb	7.19	13.76	10.82	10.53	7.74	15.29	16.22	17.67	20.50
Rb	15.02	68.90	40.27	46.56	9.33	8.20	35.81	38.80	34.14
Ba	536.35	958.27	768.38	596.74	454.66	316.32	1111.68	1212.00	1219.20
Th	2.89	5.82	3.43	2.45	2.96	1.91	5.06	5.12	4.98
U	0.34	0.85	0.85	0.55	0.24	0.38	1.00	1.62	2.30
Nb	6.01	10.18	5.65	1.26	4.90	4.76	8.71	22.19	16.28
Ta	0.41	0.56	0.36	0.12	0.30	0.27	0.44	1.16	0.86
Sr	864.25	972.44	727.35	788.53	872.71	1179.44	1132.52	804.65	547.58
Zr	164.38	260.13	132.00	142.27	152.23	131.20	228.87	601.65	399.74
Hf	4.84	5.71	3.71	3.90	4.65	3.48	5.34	11.90	8.64
LR/HR	9.26	13.24	8.61	10.30	11.52	13.26	15.02	14.26	15.04
δEu	1.02	0.93	0.97	1.11	1.08	1.08	0.97	0.71	0.80

含量单位:主量元素为%,微量、稀土元素为 10⁻⁶。

图解指示岩性为安山岩-粗面安山岩-玄武粗面安山岩组合. 根据 Irvine 岩石系列划分方案^[11], 八大关地区塔木兰沟组安山岩为钙碱性岩石系列, 由碱性向亚碱性过渡的类型(图 5).

2.3.2 微量元素

在稀土元素配分图(图 6)中, 9 件安山岩样品均表现出一致的变化趋势, 共同特征为轻稀土富集右倾, 稀土总量为 $95.56 \times 10^{-6} \sim 406.37 \times 10^{-6}$, 轻稀土总量较高. 通过表 2 计算得到轻、重稀土的比值为 8.61~15.04, 重稀土的分馏系数 $(Gd/Lu)_N$ 为 1.40~3.15, 轻、重稀土的分馏系数 $(La/Yb)_N$ 为 9.97~26.85. 轻稀土分馏程度与重稀土相比较, $\delta Eu = 0.71 \sim 1.11$, 显示 Eu 微弱负异常—

弱正异常, 暗示源区经历了斜长石的分离结晶作用.

微量元素蛛网图显示 9 件安山岩样品中 Rb、Th、U、K 等大离子亲石元素较富集, 相对于 Rb、Th 元素来说, Ba 表现为稍弱富集, 而 Nb、Ta 等高场强元素在蛛网图上呈现明显谷形, 表现为强烈亏损, Zr、Hf、Ti 等元素则无明显异常(图 6). 这些特征与俯冲带的岩浆岩地球化学特征极其相似.

3 讨论

3.1 锆石年代学

区域上塔木兰沟组普遍被满克头鄂博组(J_3mk)角度不整合覆盖, 局部见平行不整合覆盖于万宝组(J_2w)

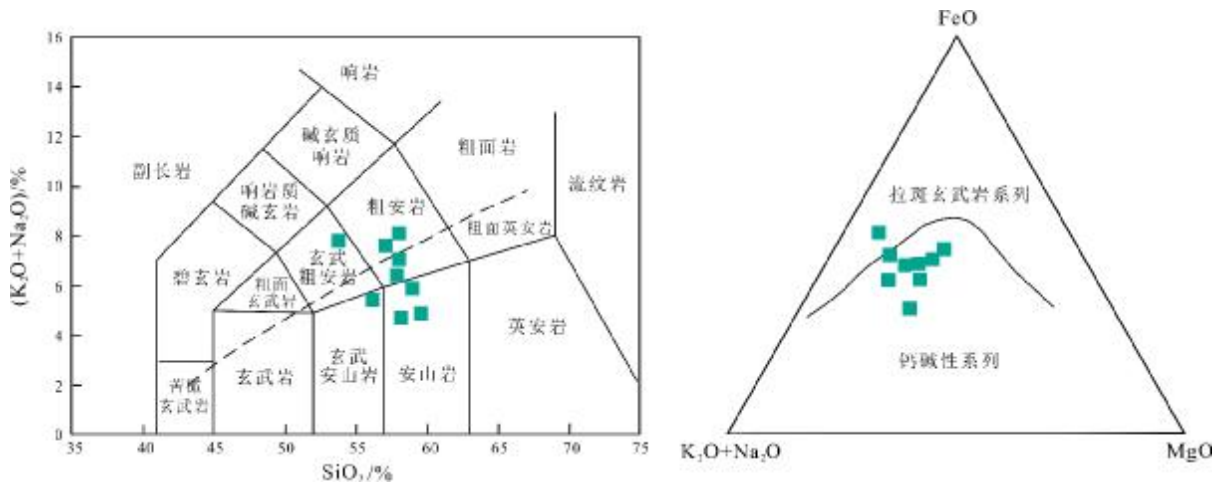


图 5 塔木兰沟组安山岩岩石类别判别图

Fig. 5 Discrimination diagrams of andesite rock types in Tamulangou Formation

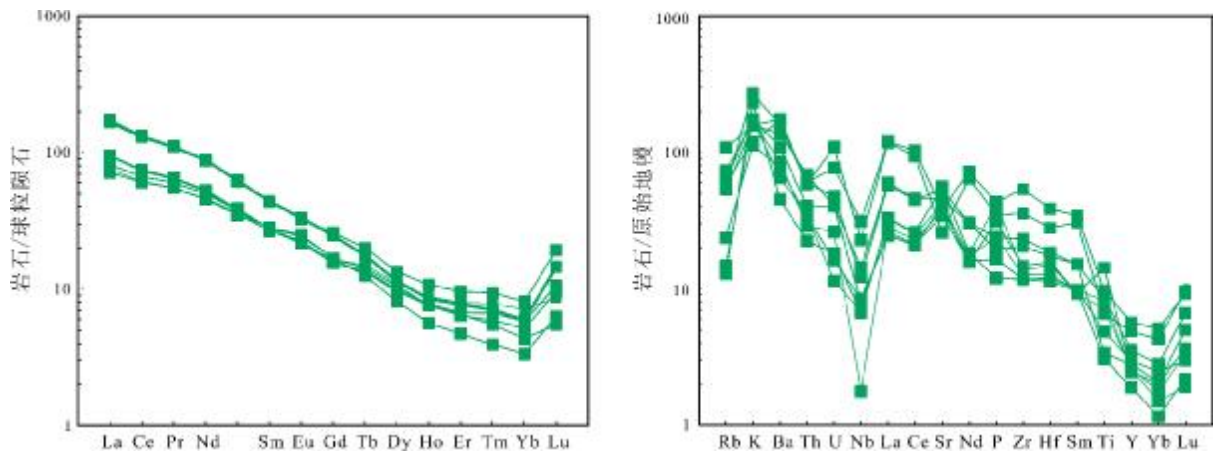


图 6 研究区塔木兰沟组安山岩稀土元素配分及微量元素蛛网图

(标准化值据文献[12])

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns and trace element spidergram of andesites from Tamulangou Formation

(Standardized value from Reference [12])

之上. 基于此, 区域上该组地层时代置于中侏罗世, 而本研究区塔木兰沟组可与原额尔古纳左旗(现根河市)木瑞农场、海拉尔市哈达图牧场至七一牧场附近, 以及满洲里市至新右旗、霍林河地区相对比, 仅缺失不稳定沉积岩层. 故本区塔木兰沟组时代可推断为中—晚侏罗世.

本次工作从塔木兰沟组 3 件安山岩样品中挑选锆石开展微区原位 U-Pb 同位素测年(图 3、4), 获得了比较一致的年龄结果, RZ1001、Z5 和 Z6 年龄分别为 164.0 ± 2.2 Ma (MSWD=5.0, $n=20$)、 162.3 ± 2.8 Ma (MSWD=4.9, $n=20$) 和 160.9 ± 2.6 Ma (MSWD=4.7, $n=17$). 3 件样品 57 个 LA-ICP-MS U-Pb 定年分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均计算, 其值为 162.6 ± 1.4 Ma, 可以代表安山岩的形成年龄, 进而很好地指示塔木兰沟组的形成时代. 这一结果与大兴安岭根河地区塔木兰沟组火山岩(160.4 ± 1.6 Ma)^[13]和满洲里南部塔木兰沟组火山岩($161 \sim 164$ Ma)^[9]的年龄一致. 根据国际地层年代表中系晚侏罗界限参考年龄 163.6 ± 1.0 Ma^[14], 本研究认为塔木兰沟组形成于晚侏罗世早期.

3.2 塔木兰沟组安山岩成因

安山岩是一类广泛分布于活动大陆边缘和岛弧等地区的中性火山岩^[9]. 八大关地区塔木兰沟组地层为一套安山岩、玄武质安山岩以及粗面安山岩组合, 岩石地球化学数据表明其为钙碱性岩石系列(碱性向亚碱性过渡)(图 5). 本研究采集的安山岩样品中 La/Yb 比值除了 YQ5223 较高(15.25), 其余样品为 2.81~4.97 区间, 在 La/Yb-La/Sm 图解(图 7)中显示正相关, 暗示安山质岩浆受到了一定程度的陆壳物质混染. 在用于判别部分熔融和分离结晶的 La-La/Sm 图解(图 8)中, 塔木兰沟组安山岩岩浆演化过程中部分熔融和分离结晶均起到了重要作用. 值得注意的是, 部分熔融作用起主控作用的样品受地壳污染程度更弱, 更能反映其源区特征和成因过程.

将研究区塔木兰沟组安山岩 Zr/Y、Rb/Sr、Ba/Sr 等比值与满洲里南部、大兴安岭中部地区等安山岩、大陆岛弧及低钾安山岩^[15]进行对比发现, 其特征与安第斯地区的安山岩最为接近. 研究区塔木兰沟组安山岩中 Rb、Th、U、K 等大离子亲石元素表现为富集, 而 Nb、Ta 等高场强元素表现为强烈亏损, 这些特征可能反映了受流体交代作用改造的地幔部分熔融的产物^[15-17]. 这

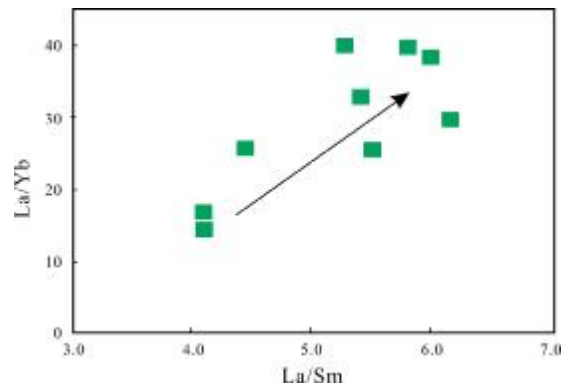


图 7 塔木兰沟组安山岩地壳混染判别图

Fig. 7 Discrimination diagram for crustal contamination of andesites from Tamulangou Formation

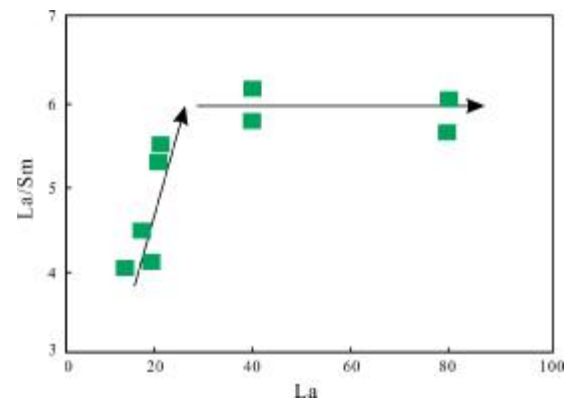


图 8 塔木兰沟组安山岩部分熔融与分离结晶作用判别图

Fig. 8 Discrimination diagram for partial melting and fractional crystallization of andesites from Tamulangou Formation

也与已有资料对于中国东北地区塔木兰沟组火山岩的研究成果较为一致^[9, 18-20].

3.3 构造环境

蒙古-鄂霍次克洋的闭合为典型的剪刀式特征, 西侧先闭合, 东侧随后再闭合, 最终闭合时间(即东侧闭合时间)可能延续到早白垩世^[18-22]. 有众多研究已经揭示, 额尔古纳地块西北部的蒙古-鄂霍次克洋闭合完成时间可能发生在中侏罗世^[8]. 由此形成了满洲里-额尔古纳地区沿线以塔木兰沟组安山岩、玄武质安山岩以及粗面安山岩为代表的一套中基性火山岩, 这些火山岩具有碱性—亚碱性过渡性质, 形成时间被限定在约 $158 \sim 166$ Ma^[6-7, 23-24]. 与塔木兰沟组同期的火山岩($155 \sim 166$ Ma)主要分布于松辽盆地以西, 表明其形成受到蒙古-鄂霍次克缝合带的演化过程所控制, 而与东侧环太平洋活动构造系基本无关. 岩石具有 S

型花岗岩地球化学属性, 形成年龄为 168 ± 2 Ma 的白云母花岗岩在黑河至孙吴地区出露, 指示该时期的大陆壳已发生加厚^[8]. 在与蒙古-鄂霍次克缝合带闭合的大致相当时间, 中侏罗世大兴安岭西坡至冀北辽西地区同样存在陆壳加厚迹象, 因此东北地区广泛发育的中一晚侏罗世火山岩很有可能是该期加厚的陆壳坍塌或拆沉阶段的产物^[6-7]. 该关键地质时期的壳幔岩浆作用过程造就了八大关地区及其他区域塔木兰沟组安山岩及相关火山岩的产出, 这与已有研究指示塔木兰沟组是蒙古-鄂霍次克洋闭合时期伸展构造环境下活动产物的认识一致^[9, 13, 18-20, 25-29].

4 结论

(1) 内蒙古八大关地区的塔木兰沟组安山岩形成年龄为 162.6 ± 1.4 Ma, 为晚侏罗世早期的产物.

(2) 八大关地区塔木兰沟组安山岩多富集大离子亲石元素、强烈亏损高场强元素. 岩石属钙碱性系列, 即碱性向亚碱性逐渐过渡类型. 研究区安山岩具有受部分熔融和结晶分离双重作用控制的岩浆演化特征, 部分样品受地壳物质低程度混染, 是流体交代岩石圈地幔部分熔融、结晶分离的产物.

(3) 八大关地区塔木兰沟组安山岩形成于蒙古-鄂霍次克洋闭合阶段伸展条件下的构造环境.

致谢: 衷心感谢核工业 240 研究所、审稿专家及编辑老师在论文撰写和修改过程中给予的大力支持与帮助.

参考文献(References):

[1] Sengör A M C, Natal'in B A. Paleotectonics of Asia: Fragments of a synthesis[M]//Yin A, Harrison T M. The Tectonic Evolution of Asia. London: Cambridge University Press, 1996: 486-640.

[2] Li J Y. Permian geodynamic setting of Northeast China and adjacent regions: Closure of the Paleo-Asian Ocean and subduction of the Paleo-Pacific Plate[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2006, 26(3/4): 207-224.

[3] Tang J, Xu W L, Wang F, et al. Geochronology and geochemistry of Neoproterozoic magmatism in the Erguna Massif, NE China: Petrogenesis and implications for the breakup of the Rodinia supercontinent[J]. Precambrian Research, 2013, 224: 597-611.

[4] Xu W L, Ji W Q, Pei F P, et al. Triassic volcanism in eastern Heilongjiang and Jilin provinces, NE China: Chronology,

geochemistry, and tectonic implications[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 34(3): 392-402.

- [5] Wu F Y, Sun D Y, Ge W C, et al. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 41(1): 1-30.
- [6] 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、地球化学及其地质意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(4): 1209-1226.
- Meng E, Xu W L, Yang D B, et al. Zircon U-Pb chronology, geochemistry of Mesozoic volcanic rocks from the Lingquan basin in Manzhouli area, and its tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(4): 1209-1226.
- [7] Xu W L, Pei F P, Wang F, et al. Spatial-temporal relationships of Mesozoic volcanic rocks in NE China: Constraints on tectonic overprinting and transformations between multiple tectonic regimes[J]. Journal of Asian Earth Science, 2013, 74: 167-193.
- [8] 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.
- [9] 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, 41(6): 1865-1880.
- Zhao Z H, Sun D Y, Gou J, et al. Chronology and geochemistry of volcanic rocks in Tamulangou Formation from southern Manchuria, Inner-Mongolia[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, 41(6): 1865-1880.
- [10] 张玉涛. 大兴安岭北段漠河地区塔木兰沟组火山岩地球化学特征[J]. 科技导报, 2013, 31(33): 25-30.
- Zhang Y T. Geochemistry of Tamulangou Formation volcanic rocks in Mohe, North Da Hinggan Mountains [J]. Science & Technology Review, 2013, 31(33): 25-30.
- [11] Irvine T N, Baragar W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1971, 8(5): 523-548.
- [12] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [J]. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42(1): 313-345.
- [13] 商宇航, 陆胜, 岳洪举, 等. 根河地区塔木兰沟组火山岩年代学和岩石地球化学的特征[J]. 黑龙江科技大学学报, 2019, 29(5): 533-539.
- Shang Y H, Lu S, Yue H J, et al. Geochronology and geochemistry of Tamulangou Formation volcanic rocks in Genhe area[J]. Journal of

- Heilongjiang University of Science and Technology, 2019, 29(5): 533-539.
- [14]Cohen K M, Finney S C, Gibbard P L, et al. The ICS international chronostratigraphic chart[J]. *Episodes*, 2013, 36(3): 199-204.
- [15]吴华英, 张连昌, 周新华, 等. 大兴安岭中段晚中生代安山岩年代学和地球化学特征及成因分析[J]. *岩石学报*, 2008, 24(6): 1339-1352.
- Wu H Y, Zhang L C, Zhou X H, et al. Geochronology and Geochemical characteristics of Late Mesozoic andesites in the Central Da-Hinggan Mountains, and its genesis[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(6): 1339-1352.
- [16]林强, 葛文春, 孙德有, 等. 中国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.
- Lin Q, Ge W C, Sun D Y, et al. Tectonic significance of Mesozoic volcanic rocks in northeastern China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1998, 33(2): 129-139.
- [17]郭锋, 范蔚茗, 王岳军, 等. 大兴安岭南段晚中生代双峰式火山作用[J]. *岩石学报*, 2001, 17(1): 161-168.
- Guo F, Fan W M, Wang Y J, et al. Petrogenesis of the late Mesozoic bimodal volcanic rocks in the southern Da Hinggan Mts, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17(1): 161-168.
- [18]毛安琦, 孙德有, 苟军, 等. 大兴安岭北部额尔古纳地区塔木兰沟组火山岩岩石地球化学特征及成因[J]. *世界地质*, 2016, 35(3): 641-652.
- Mao A Q, Sun D Y, Gou J, et al. Geochemical characteristics and petrogenesis of volcanic rocks from Tamulangou Formation in Erguna Region, northern Da Hinggan Mountain[J]. *Global Geology*, 2016, 35(3): 641-652.
- [19]张书义. 内蒙古新巴尔虎右旗塔木兰沟组火山岩年代学与地球化学特征[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2020, 50(1): 129-138.
- Zhang S Y. Geochronology and geochemistry of volcanic rocks in Tamulangou Formation from New Barag Right Banner, Inner Mongolia[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2020, 50(1): 129-138.
- [20]李晓光, 薛春纪, 卫三元. 内蒙古新巴尔虎右旗地区塔木兰沟组火山岩地球化学特征及其构造意义[J]. *铀矿地质*, 2021, 37(2): 216-226.
- Li X G, Xue C J, Wei S Y. Geochemical characteristics and tectonic setting of volcanic rocks in Tamulangou Formation from Xinbaerhuyouqi Area, Inner Mongolia[J]. *Uranium Geology*, 2021, 37(2): 216-226.
- [21]Kravchinsky V A, Cogné J P, Harbert W P, et al. Evolution of the Mongol-Okhotsk ocean as constrained by new Palaeomagnetic data from the Mongol-Okhotsk suture zone, Siberia[J]. *Geophysical Journal International*, 2002, 148(1): 34-57.
- [22]Sorokin A A, Sorokin A P, Ponomarchuk V A, et al. The age and geochemistry of volcanic rocks on the eastern flank of the Umlekan-Ogodzha volcanoplutonic belt (Amur region)[J]. *Russian Geology and Geophysics*, 2010, 51(4): 369-379.
- [23]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(1/2): 179-198.
- [24]Zhang J H, Ge W C, Wu F Y, et al. Large-scale Early Cretaceous volcanic events in the northern Great Xing'an Range, northeastern China[J]. *Lithos*, 2008, 102(1/2): 138-157.
- [25]尹志刚, 赵海滨, 赵寒冬, 等. 大兴安岭北端塔木兰沟组玄武质岩石的地球化学特征及构造背景[J]. *地质通报*, 2005, 24(9): 848-853.
- Yin Z G, Zhao H B, Zhao H D, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of basaltic rocks of the Tamulangou Formation at the northern end of the Da Hinggan Mountains, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(9): 848-853.
- [26]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, 96.
- Zhang Y, Zhao H L, Han Y D. Geochemical characteristics and tectonic background of basalt from Tamulangou Formation in northern Daxinganling[J]. *Geology and Resources*, 2005, 14(2): 87-91, 96.
- [27]李晓敏. 内蒙古宾扎拉格地区中侏罗统塔木兰沟组火山岩岩石地球化学特征[J]. *矿物学报*, 2011, 31(S1): 48-49.
- Li X M. Geochemical characteristics of volcanic rocks of the Middle Jurassic Tamulangou Formation in Binzhagalag area, Inner Mongolia[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2011, 31(S1): 48-49. (in Chinese)
- [28]杨华本, 王文东, 闫永生, 等. 大兴安岭北段新林区塔木兰沟组火山岩成因及地幔富集作用[J]. *地质论评*, 2016, 62(6): 1471-1486.
- Yang H B, Wang W D, Yan Y S, et al. Origin of basalts of the Tamulangou Formation and mantle enrichment in Xinlin area, northern Greater Hinggan Mountains[J]. *Geological Review*, 2016, 62(6): 1471-1486.
- [29]杨乃峰, 杨李汀. 大兴安岭北段呼中西部塔木兰沟组火山岩年代学、岩石地球化学特征及其构造意义[J]. *世界地质*, 2017, 36(2): 361-370.
- Yang N F, Yang L T. Zircon U-Pb geochronology, petrogeochemistry and tectonic significance of volcanic rocks from Tamulangou Formation in western Huzhong, northern Great Xing'an Range[J]. *Global Geology*, 2017, 36(2): 361-370.