

引用格式:韩作振,闫俊磊,刘辉,等.吉林永吉地区南楼山组火山岩锆石 U-Pb 年代学及地球化学特征[J].山东科技大学学报(自然科学版),2018,37(1):10-19.

HAN Zuozhen, YAN Junlei, LIU Hui, et al. Zircon U-Pb chronology and geochemical characteristics of volcanic rocks from the Nanloushan formation in Yongji area, Jilin province[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2018, 37(1): 10-19.

吉林永吉地区南楼山组火山岩锆石 U-Pb 年代学及地球化学特征

韩作振^{1,2}, 闫俊磊^{1,2}, 刘辉^{1,2}, 宋志刚^{1,2}, 韩梅^{1,2}, 钟文建^{1,2}, 李晶晶^{1,2}

(1. 山东科技大学 山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室, 山东 青岛 266590;

2. 山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要:通过对吉林永吉地区南楼山组玄武安山质凝灰岩中锆石阴极发光图像分析, 锆石晶形较好, 内部结构比较清晰, 具有中基性岩典型的板状环带, 且 Th/U 比值较高, 介于 0.73~1.52, 反映了其岩浆成因的特点。LA-ICP-MS U-Pb 测年结果显示, 12 个测点的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 176.6±3.8 Ma, 表明玄武安山质凝灰岩的形成时代为早—中侏罗世。地球化学分析结果显示, 玄武安山质凝灰岩中相对富集轻稀土元素和大离子亲石元素, 而相对亏损重稀土元素和高场强元素, 反映了岛弧或活动大陆边缘火山岩的特点; 在 Th-Ta-Hf/3 三角图和 Th/Yb-Ta/Yb 构造环境判别图中, 投点集中在陆缘弧型钙碱性火山岩区, 揭示其形成于与大洋俯冲作用相关的构造背景, 结合区域构造演化, 其形成于古太平洋板块向欧亚板块俯冲背景下。

关键词:早—中侏罗世; 玄武安山质凝灰岩; 锆石 U-Pb 定年; 地球化学; 古太平洋

中图分类号: P588.14

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2018)01-0010-10

DOI: 10.16452/j.cnki.sdkjzk.2018.01.002

Zircon U-Pb Chronological and Geochemical Characteristics of Volcanic Rocks from the Nanloushan Formation in Yongji Area, Jilin Province

HAN Zuozhen^{1,2}, YAN Junlei^{1,2}, LIU Hui^{1,2}, SONG Zhigang^{1,2},
HAN Mei^{1,2}, ZHONG Wenjian^{1,2}, LI Jingjing^{1,2}

(1. Key Laboratory of Depositional Mineralization & Sedimentary Mineral of Shandong Province, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China; 2. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: This paper analyzed the zircon U-Pb chronological and geochemical characteristics of volcanic rocks from the Nanloushan Formation in Yongji area, Jilin Province. The CL images of zircons from the basaltic-andestic tuffs show that the zircons are in good shapes with clear internal structures, typical magma concussion growth zoning, and high Th/U ratios (0.73-1.52), indicating a magmatic origin. LA-ICP-MS U-Pb dating results show that the weighted mean age of the 12 measured points of ²⁰⁶Pb/²³⁸U is 176±3.8 Ma, indicating that the formation age of the basaltic-andestic tuffs was Early-Middle Jurassic. Geochemical analyses show that the basaltic-andestic tuffs are rich

收稿日期: 2017-04-21

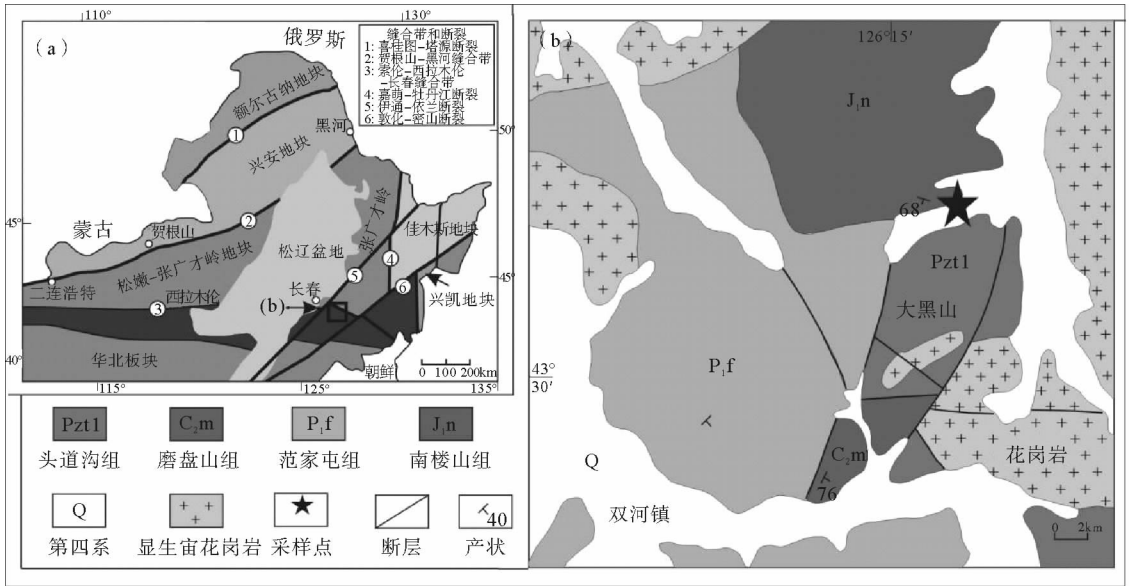
基金项目: 国家自然科学基金项目(41372108); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20133718130001); 山东科技大学科研创新团队支持计划资助(2015TDJH101)

作者简介: 韩作振(1965—), 男, 河南新乡人, 教授, 博士生导师, 主要从事沉积地层学方面的研究。E-mail: hanzz@163.com

in LREEs and LILEs but poor in HSFES, indicating characteristics of island arc or active continental margin volcanic rocks. The plotted points concentrate within the continental arc calc-alkaline volcanic rocks field in the Th-Ta-Hf/3 tectonic discrimination diagrams and the Th/Yb-Ta/Yb triangular diagram, indicating that they were formed in a subduction-related tectonic setting. Combined with regional tectonic evolution, this paper suggests that the basaltic-andestic tuffs were formed in the background of local tension setting that related to the subduction of the Paleo-Pacific Oceanic Plate to the Eurasian Continental plate.

Key words: Early-Middle Jurassic; basaltic-andestic tuff; U-Pb dating of zircons; geochemistry; Paleo-Pacific Ocean

中国东北地区在构造位置上处于中亚造山带东段,夹于华北板块、西伯利亚板块和太平洋板块之间,由多个微地块(从西向东依次为额尔古纳地块、兴安地块、松嫩—张广才岭地块、佳木斯地块等)在前中生代拼合成统一板块(图 1(a))^[1-4]。古生代—中生代期间该地区受到西伯利亚板块、华北板块和古亚洲洋板块的相互作用,经历了古亚洲洋的闭合^[5-7],中生代期间发生古亚洲洋构造域与滨太平洋构造域的转换^[8-9]。目前关于两大构造域转换的时限仍存在较大争议,对古太平洋板块俯冲开始的时间尚无统一认识,主要存在两种观点:一种观点认为古太平洋板块俯冲开始的时间为晚三叠世^[9-10];另一种观点认为古太平洋板块俯冲开始的时间为早—中侏罗世^[11-12]。产生上述争议的主要原因是对该地区中生代火山岩的形成时代、空间展布及构造背景认识不同。鉴于此,选取吉林中部永吉县大黑山地区南楼山组火山岩作为研究对象,结合火山岩的岩石学特征、年代学特征以及地球化学特征,确定火山岩的形成时代,探讨形成时的构造背景,为古太平洋板块在该区的构造演化提供依据。



(图(a)据 Wu 等(2007)修改;图(b)据吉林省地质矿产局区域地质矿产调查所 1:50 000 吉林市幅修改)

图 1 中国东北地区构造单元和吉林大黑山地区地质简图

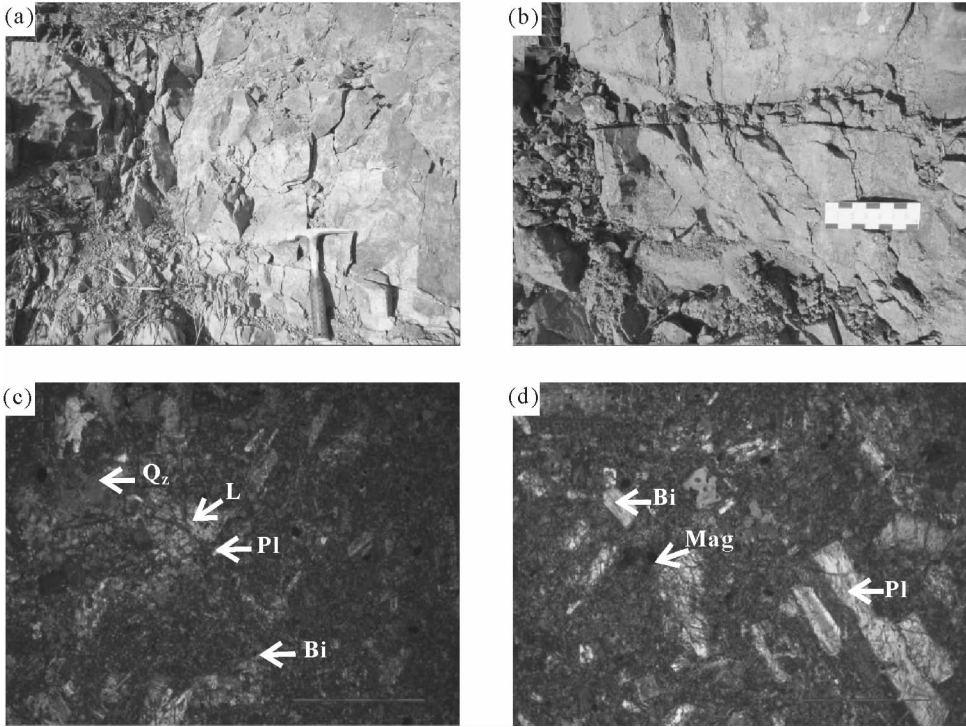
Fig. 1 Tectonic units of Northeast China and geological map of Daheishan area, Jilin

1 地质背景与样品描述

研究区位于吉林省中部永吉县境内。在大地构造位置上,位于松嫩—张广才岭地块的最南缘以及华北板块北缘的东段,西邻松辽盆地,南东部则以敦密断裂带为界与华北板块相隔,是古亚洲洋和古太平洋两大构造域的交汇部位(图 1(a))。研究区出露地层主要为下古生界头道沟组、石炭系磨盘山组、二叠系范家屯

组以及侏罗系南楼山组^[13]。头道沟组为一套变质的由碎屑岩、碳酸盐及基性、中性、酸性火山岩组成的海相火山—沉积岩,岩性主要为阳起石岩,变中、酸性火山岩;磨盘山组岩性主要为灰黑色角岩、细砂岩夹灰岩透镜体和白色糖粒状大理岩;范家屯组主要岩性为含砾粗砂岩、砂岩、粉砂岩夹厚层灰岩。南楼山组是 1978 年由吉林地矿局^[14]在桦甸县发现并命名的一套中酸性火山岩,包括上下两段:下段主要由中酸性角砾玄武安山质凝灰岩、玄武安山质凝灰岩及安山岩组成;上段主要由流纹岩、英安岩和少量玄武安山质凝灰岩组成^[36]。

研究区火山岩样品采自吉林中部永吉县大黑山地区南楼山组上段,采样点坐标为(N43°31'50", E126°17'5") (图 1(b))。结合野外观察及显微镜下鉴定,将岩石定名为玄武安山质凝灰岩。玄武安山质凝灰岩新鲜断面呈灰绿色,块状构造(图 2(a)、2(b)),主要由晶屑、岩屑和火山灰组成。晶屑成分主要为长石、石英以及少量黑云母,呈棱角状-次棱角状,粒度为 0.05~2 mm,约占岩石总量 15%~20%。其中长石主要为斜长石,见明显的聚片双晶,粒度为 0.05~2 mm;石英呈不规则状及棱角状,粒度 0.05~0.6 mm;黑云母含量较少,粒度大小不等,小者 0.05 mm,大者 0.6 mm;岩屑少量,主要由粒度小于 2 mm 的火山碎屑物组成,其成分可能为安山岩,呈不规则状。火山灰约占岩石总量的 75%~80%,不均匀分布于岩石中。岩石中还有少量不透明矿物呈稀疏状分布。火山碎屑被火山灰胶结(图 2(c)、2(d))。



(a)、(b) 野外照片;(c)、(d) 正交偏光下照片;Qz—石英;PI—长石;Bi—黑云母;L—岩屑;Mag—磁铁矿

图 2 玄武安山质凝灰岩野外照片和镜下照片

Fig. 2 Outcrops and microphotographs of basaltic-andestic tuffs

2 分析方法

2.1 年代学分析方法

所采样品(DHS-1)的破碎及锆石挑选工作在河北省廊坊市区域地质矿产调查研究所进行;样品中的锆石制靶和阴极发光图像(CL 图像)的采集在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成;锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。实验原理及流程详见文献^[15-17]。采用国际标准锆

石 91500 为外标,同时使用锆石中含量稳定的²⁹Si 为内标,锆石测定过程中激光束斑直径为 30 μm。实验所测数据根据 Anderson(2002)^[18]方法进行普通铅校正,最后运用 Isoplot3(2006)程序绘制谐和图。

2.2 主微量元素分析方法

主元素和微量元素的分析是在山东省国土资源部济南矿产资源监督检测中心完成的,主元素分析中,SiO₂ 含量的分析采用动物胶凝聚重量法、Al₂O₃ 含量的分析采用二甲酚橙法、其余氧化物的含量使用全谱直读光谱仪进行测定。对微量元素含量的分析采用 IRIS-Intrepid2 型等离子体光谱仪、双道原子荧光光谱仪(AFS-820)和电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS XSeries2)进行测定^[19]。

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 年龄测定结果

对吉林永吉县大黑山玄武安山质凝灰岩(DHS-1)进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年,部分锆石阴极发光图像(CL)如图 3 所示,U-Pb 年龄谐和图见图 4,锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果见表 1。

表 1 大黑山玄武安山质凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果

Tab.1 LA-ICP-MS U-Pb zircon analytical data of the Daheishan basaltic-andestic tuffs

测点号	元素含量		同位素比值						年龄/Ma						
	Th /($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	U /($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	Th /U	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb	$\pm 1\sigma$	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	$\pm 1\sigma$	²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U	$\pm 1\sigma$	²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb	$\pm 1\sigma$	²⁰⁷ Pb / ²³⁵ U	$\pm 1\sigma$	²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U	$\pm 1\sigma$
DHS-1-01	92	120	0.77	0.049 80	0.003 47	0.188 71	0.012 01	0.027 48	0.000 54	186	109	176	10	175	3
DHS-1-02	291	192	1.52	0.049 83	0.003 65	0.199 03	0.013 39	0.028 97	0.000 60	187	115	184	11	184	4
DHS-1-03	84	92	0.91	0.049 85	0.004 91	0.197 57	0.018 46	0.028 74	0.000 70	188	165	183	16	183	4
DHS-1-04	62	68	0.91	0.049 80	0.004 90	0.187 36	0.017 99	0.027 28	0.000 59	186	224	174	15	174	4
DHS-1-05	77	68	1.13	0.049 76	0.002 85	0.177 82	0.008 98	0.025 90	0.000 48	184	83	166	8	165	3
DHS-1-06	105	144	0.73	0.051 93	0.005 35	0.190 57	0.018 72	0.026 60	0.000 68	282	175	177	16	169	4
DHS-1-07	177	208	0.85	0.049 52	0.002 13	0.190 93	0.006 62	0.027 95	0.000 47	173	50	177	6	178	3
DHS-1-08	62	70	0.89	0.049 70	0.003 07	0.190 38	0.010 57	0.027 77	0.000 53	181	93	177	9	177	3
DHS-1-09	104	69	1.51	0.049 91	0.003 88	0.201 50	0.014 50	0.029 28	0.000 64	191	123	186	12	186	4
DHS-1-10	74	81	0.91	0.049 67	0.004 45	0.196 46	0.016 59	0.028 68	0.000 66	180	147	182	14	182	4
DHS-1-11	282	330	0.85	0.049 60	0.002 12	0.190 37	0.006 51	0.027 82	0.000 46	176	49	177	6	177	3
DHS-1-12	131	170	0.77	0.049 61	0.003 52	0.191 82	0.012 49	0.028 05	0.000 56	177	111	178	11	178	4

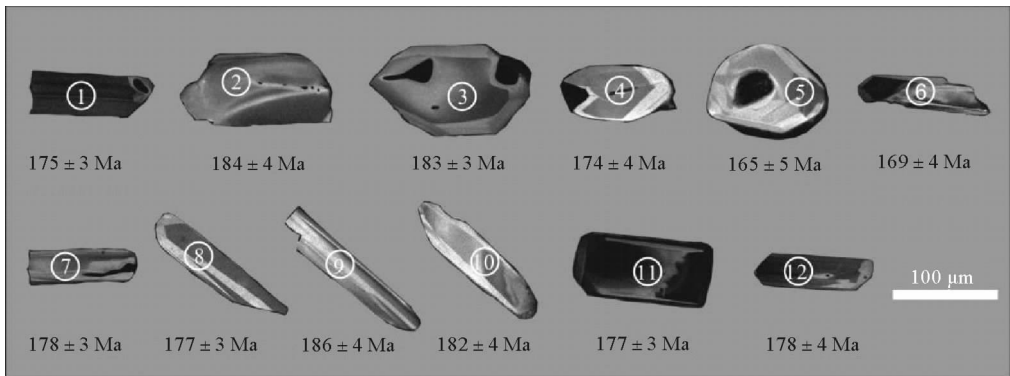


图 3 大黑山玄武安山质凝灰岩中锆石的阴极发光图像

Fig. 3 CL images of selected zircons of the Daheishan basaltic-andestic tuffs

玄武安山质凝灰岩(DHS-1)中锆石 CL 图像显示,12 粒锆石晶形较好,内部结构清晰,发育中基性岩典型的板状环带。玄武安山质凝灰岩(DHS-1)中锆石 Th/U 比值较高,介于 0.73~1.52 之间,反映了岩浆成因的特点^[20-21]。样品 12 个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄值介于 165±3~186±4 Ma 之间,12 个测点均落在谐和线上及其附近,加权平均年龄为 176.6±3.8 Ma(MSWD=3.0,n=12)(图 4),表明玄武安山质凝灰岩的形成时代为早—中侏罗世。

3.2 主微量元素测定结果

吉林永吉县大黑山玄武安山质凝灰岩(DHS-4、DHS-5)的主量元素和微量元素分析结果见表 2。

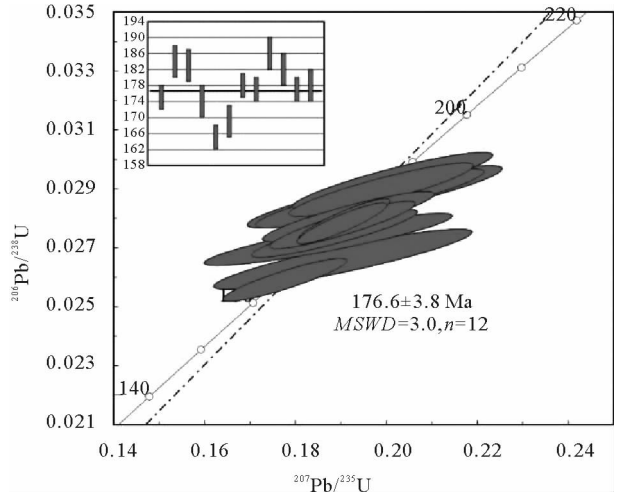


图 4 大黑山玄武安山质凝灰岩中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图
Fig. 4 Concordia diagram showing LA-ICP-MS zircon U-Pb dating date of the Daheishan basaltic-andestic tuffs

表 2 大黑山玄武安山质凝灰岩主量元素(%)和微量元素(μg·g⁻¹)组成

Tab. 2 Major(%) and trace element(μg·g⁻¹)data of the Daheishan basaltic-andestic tuffs

样品号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	LOI	Total
DHS-4	54.64	17.40	3.07	5.13	2.80	6.40	0.51	2.96	1.07	0.24	0.17	4.70	99.08
DHS-5	56.00	17.44	2.53	4.69	2.25	7.39	0.57	3.43	1.05	0.25	0.15	3.92	99.66
样品号	Sr	Ba	Cr	V	Li	Be	Sc	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge
DHS-4	457.30	319.30	42.51	149.30	43.59	1.71	14.09	22.83	12.65	26.85	124.20	18.69	2.20
DHS-5	523.70	346.30	58.70	147.90	33.58	2.04	16.91	23.13	12.49	20.84	98.44	19.57	1.94
样品号	Rb	Y	Zr	Nb	Mo	Cd	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu
DHS-4	7.17	32.55	408.60	9.34	1.80	0.02	5.12	20.97	44.92	5.93	23.94	5.08	1.36
DHS-5	6.71	33.90	421.10	9.51	2.70	0.05	2.43	20.11	43.29	5.74	23.12	5.08	1.14
样品号	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Pb	Th
DHS-4	4.92	0.89	5.77	1.16	3.50	0.54	3.41	0.53	9.53	0.77	0.84	14.24	5.26
DHS-5	4.90	0.87	5.71	1.17	3.59	0.52	3.41	0.54	9.65	0.79	0.97	29.34	5.35
样品号	U	ΣREE	ΣLREE	ΣHREE	(La/Yb) _N	δEu	δCe	A/CNK	Mg#				
DHS-4	1.62	122.91	102.20	20.72	4.41	0.82	0.97	0.88	38.71				
DHS-5	1.70	119.19	98.49	20.70	4.24	0.69	0.97	1.0	36.54				

3.2.1 主量元素特征

大黑山玄武安山质凝灰岩 SiO₂ 含量为 54.64%~56.00%,Al₂O₃ 含量较高,为 17.40%~17.44%,铝饱和指数 A/CNK 为 0.88~1.0,TiO₂ 含量为 1.05%~1.07%,Mg[#] 值为 36.5~38.7。Na₂O 含量为 2.96%~3.43%,K₂O 含量为 0.51%~0.57%,Na₂O/K₂O≈5.86,该样品具有高钠低钾的特征,在 TAS 图解中该样品投在玄武安山岩中(图 5(a));在 SiO₂-K₂O 变异图解中,该岩石显示低钾(拉斑)系列(图 5(b))。

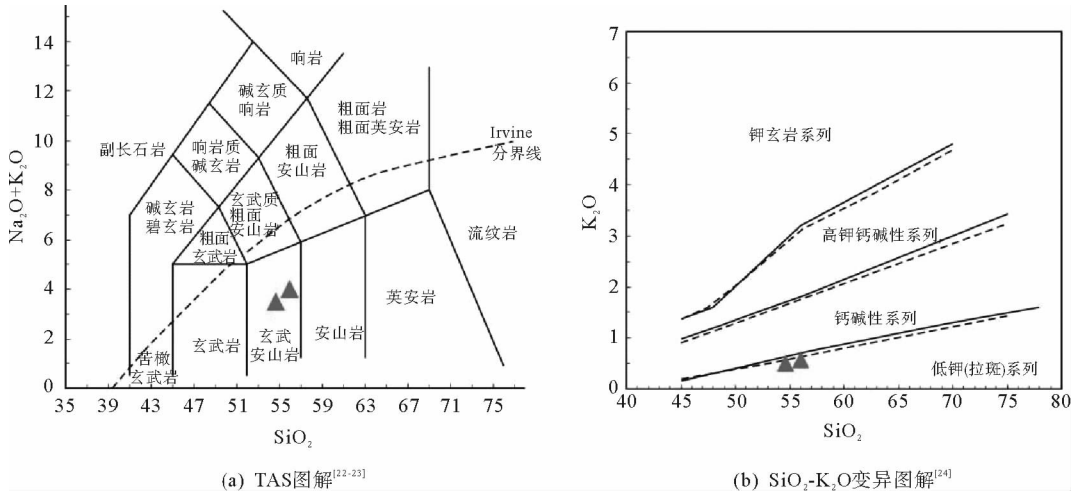
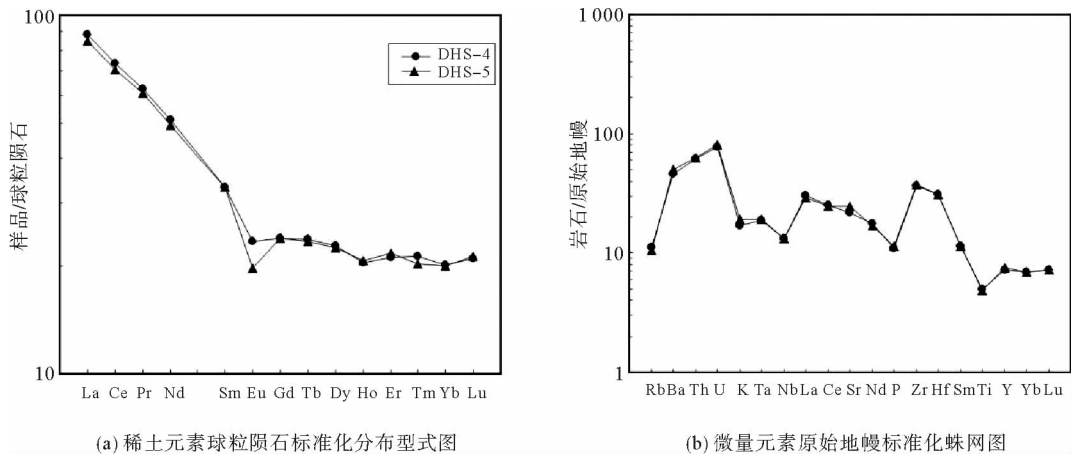


图 5 大黑山玄武安山质凝灰岩岩石化学分类图解
 Fig. 5 Classification diagrams of the Daheishan basaltic-andestic tuffs

3.2.2 微量元素特征

大黑山玄武安山质凝灰岩样品稀土元素球粒陨石标准化分配模式具有明显的轻稀土富集、重稀土亏损型的右倾式稀土元素配分型式(图 6(a)),轻重稀土元素分馏明显,分布曲线表现为轻稀土具有较大斜率。稀土元素总量(Σ REE)介于 $119.2 \sim 122.9 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,轻稀土元素(LREEs)总量介于 $98.5 \sim 102.2 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,重稀土元素(HREEs)总量约 $20.7 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,LREE/HREE 比值介于 $4.8 \sim 4.9$, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 比值介于 $4.2 \sim 4.4$,同时存在较弱的 Eu 负异常($\delta\text{Eu}=0.69 \sim 0.82$),Ce 异常为 0.97 。在原始地幔标准化微量元素蛛网图中(图 6(b)),大黑山玄武安山质凝灰岩相对富集大离子亲石元素(LILEs,如 Ba、Th、U 等),高场强元素(HFSEs,Nb、Ti、P 等)相对亏损。



(图 a 标准化值据 Boynton,1984;图 b 标准化值据 Sun and Mc Donough, 1989)^[25-26]

图 6 大黑山玄武安山质凝灰岩稀土元素球粒陨石标准化分布型式图与微量元素原始地幔标准化蛛网图
 Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns and primitive mantle normalized trace element spider diagrams of the Daheishan basaltic-andestic tuffs

4 讨论

4.1 大黑山玄武安山质凝灰岩的形成时代

关于南楼山组的时代归属存在较多争议。1978年吉林地矿局二所^[13-14]对桦甸县开展1:5万常山屯、贺家屯幅区域地质调查时,将一套中酸性火山岩命名为南楼山组,依据岩石组合划分了中酸性火山岩段和上段流纹岩段,并据流纹岩样的K-Ar同位素年龄176.1 Ma,将其地质年代划为中侏罗世;吉林地矿局二所(1980年)在五里河子、永吉县幅1:5万区调时,将区内不含沉积夹层的中酸性火山岩定为南楼山组,时代归于侏罗系下统;吉林地矿局区调所(1986年)在磐石县幅1:5万区调中,依据挡石河北山所获化石及区域对比,将南楼山组定为晚三叠世;吉林地矿局区调所(1988年)在吉林市幅1:5万区调中,依据植物化石碎片,定时代为早侏罗世;吉林地矿局区调所(1989年)在烟筒山镇和石咀镇幅1:5万区调中,对南石北英安岩和老牛槽安山岩获得全岩K-Ar年龄分别为178.7 Ma和167.6 Ma;吉林地矿局二所(1990年)在榆木桥子幅1:5万区调中,对黑峰顶子英安质熔结凝灰岩全岩K-Ar同位素测年结果为173.9 Ma;吉林省岩石地层(1997年),将南楼山组时代定为早侏罗世;陈跃军对南楼山建组剖面的北大湖南大岭辉石安山岩和二道沟流纹岩进行了锆石U-Pb测年,测试结果分别为 179.4 ± 1.1 Ma和 174.0 ± 3.4 Ma^[27];吉林地矿局区调所(2008年)在吉林市幅1:25万区调中,将分布于吉林中部磐石—永吉一带的中酸性火山岩归于南楼山组,时代为早侏罗世。由于区域地层对比方法和全岩K-Ar测年方法对地层时代的准确限定存在不足,导致对南楼山组的形成时代存在不同认识。因此,利用锆石LA-ICP-MS U-Pb定年对南楼山组的时代进行限定。

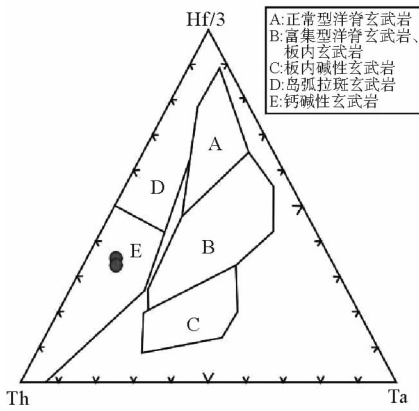
大黑山玄武安山质凝灰岩的锆石CL图像显示,所测样品的锆石均为自形晶或半自形晶,短柱状或柱状,具有中基性岩典型的板状环带,玄武安山质凝灰岩(DHS-1)中锆石Th/U比值大于0.1,介于0.73~1.52,反映了岩浆成因的特点。该样品12个测点的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄值介于 $165 \pm 3 \sim 186 \pm 4$ Ma之间,全部测点均落在谐和线上及其附近,其加权平均年龄为 176.6 ± 3.8 Ma(MSWD=3.0, n=12)(图4),表明玄武安山质凝灰岩的形成时代应为早—中侏罗世,大黑山凝灰岩所在地区存在早—中侏罗世火山喷发事件。

南楼山组建组时依据流纹岩的全岩K-Ar同位素年龄176.1 Ma将其划为中侏罗世,后来北大湖二道沟流纹岩的锆石U-Pb年龄为 174.0 ± 3.4 Ma,与K-Ar同位素年龄基本一致,而本文取自南楼山组上段玄武安山质凝灰岩的锆石U-Pb年龄为 176.6 ± 3.8 Ma,与上述年龄基本吻合,代表了南楼山组上火山岩段的喷发峰期,表明吉中地区早—中侏罗世存在一次火山喷发事件。

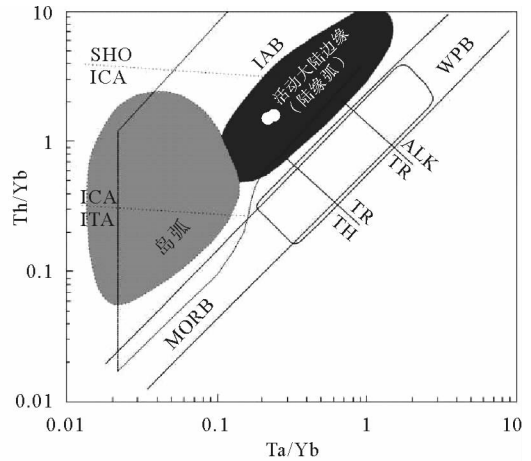
4.2 大黑山玄武安山质凝灰岩形成的构造环境

地球化学分析结果表明,大黑山玄武安山质凝灰岩稀土元素球粒陨石标准化分配模式整体表现为富集轻稀土元素、亏损重稀土元素的右倾型;在原始地幔标准化微量元素蛛网图中,显示富集Ba、Th、U等大离子亲石元素,亏损Nb、Ti、P等高场强元素的特点(图6)。总体特征与俯冲消减有关的岛弧或活动大陆边缘火山岩的地球化学特征相似。大黑山玄武安山质凝灰岩的Al₂O₃含量17.40%~17.44%(>13%),CaO含量6.40%~7.39%(>1.73%),K₂O含量0.51%~0.57%(<4%),ALK(Na₂O+K₂O)含量3.5%~4.0%(<8%),显示其具有火山弧火山岩的地球化学特征^[28]。微量元素中,Zr/Y的比值为7.04~8.04,符合大陆边缘安山岩Zr/Y值在4~12之间的化学特征^[29],La/Nb比值1.98~2.98(平均为2.48),总体符合活动大陆边缘La/Nb比值高于2的特征^[30]。在Th-Ta-Hf/3三角图解(图7(a))^[31]中,样品投点在钙碱性玄武岩区内,而非岛弧拉斑玄武岩系列;在Th/Yb-Ta/Yb图解(图7(b))^[32]中,样品投点在陆缘弧火山岩区,同时表现出活动大陆边缘的特征。综上所述,大黑山玄武安山质凝灰岩具有陆缘弧型钙碱性火山岩的特征,其形成可能与古大洋俯冲作用相关。

近年来,葛文春^[33]对永吉县大黑山钼矿的花岗质岩体进行了一系列研究,SHRIMP锆石U-Pb测年结果为170~175 Ma,该区出露的岩石具有活动大陆边缘火山岩的组合特征,推测吉中地区大黑山钼矿的形成与古太平洋板块俯冲相关;Zhang et al^[34]同样对大黑山地区辉钼矿花岗质岩体进行了Re-Os同位素测年,所得年龄介于 $166.9 \pm 2.4 \sim 169.6 \pm 2.5$ Ma,并推测该区早—中侏罗世处于古太平洋板块西向俯冲阶段;张海洪等^[35]对长春市双阳黑顶子流纹岩和吉林市大苇子沟安山岩进行了相关研究,得出该地区火山岩中的锆



(a) Th-Ta-Hf/3 三角图解^[30]



(b) Th/Yb-Ta/Yb 图解^[31]

IAB—岛弧玄武岩; ITA—岛弧拉斑系列; ICA—岛弧钙碱系列; SHO—岛弧橄榄玄粗岩系列; WPB—板内玄武岩; MORB—洋中脊玄武岩; TH—拉斑玄武岩; TR—过渡玄武岩; ALK—碱性玄武岩

图 7 大黑山玄武安山质凝灰岩构造环境判别图

Fig. 7 The tectonic discrimination diagrams of the Daheishan basaltic-andestic tuffs

石有明显的岩浆成因, 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年结果分别为 192 ± 2 Ma 和 172 ± 1 Ma, 为早—中侏罗世, 其安山岩—流纹岩组合与活动大陆边缘火山岩组合^[36]类似, 揭示了吉中地区小蜂蜜顶子组火山岩的形成与古太平洋板块的俯冲相关; 孙罡等^[37]对吉中地区南楼山组建组剖面进行了相关研究, 分别在北大湖二道沟采集了流纹岩、南大岭采集了安山岩, 锆石 U-Pb 测年结果分别为 174.0 ± 3.4 、 179.4 ± 1.1 Ma, 其安山岩—流纹岩组合同样与活动大陆边缘火山岩组合相似, 代表了早—中侏罗纪两期不同的火山喷发事件; 雷聪聪^[38]对吉林东部延边地区沙松顶子岩体和月山洞岩体进行的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果分别为 175.6 ± 1.1 Ma 和 178.4 ± 1.2 Ma, 并认为延边地区早侏罗世的中基性岩浆活动与古太平洋板块的俯冲作用有关; 杨彦辰和陈静等^[39-40]对小兴安岭—张广才岭成矿带的霍吉河、鹿鸣及翠岭钼矿床成矿岩体进行了相关研究, 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果显示该矿体形成于 176 ± 2.2 Ma~ 186 ± 1.7 Ma, 并认为小兴安岭—张广才岭成矿带钼矿床的形成与古太平洋板块的俯冲相关; 吉黑东部(东宁—汪清—珲春—线)发现了一系列早—中侏罗世(173~190 Ma)钙碱性火山岩组合^[41-42], 为古太平洋板块开始俯冲的时间提供了依据, 而小兴安岭—张广才岭地区也发育了同时代双峰式火成岩组合^[43], 从吉黑东部到小兴安岭—张广才岭地区, SiO_2 和 K_2O 的含量显示了成分极性的变化, 揭示了早—中侏罗世古太平洋板块向欧亚板块俯冲的开始。

综上所述, 吉林中部地区早—中侏罗世为活动大陆边缘构造环境, 早—中侏罗世玄武安山质凝灰岩形成于古太平洋板块向欧亚板块俯冲过程中。

5 结论

基于华北板块北缘东段吉林永吉地区大黑山玄武安山质凝灰岩的 U-Pb 年代学和岩石地球化学特征的分析, 结合区域构造演化历史, 得出以下认识:

- 1) 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果表明, 吉林永吉地区大黑山玄武安山质凝灰岩的形成年龄为 176.6 ± 3.8 Ma, 地层时代为早—中侏罗世。
- 2) 岩石地球化学特征研究显示, 玄武安山质凝灰岩相对富集大离子亲石元素(LILEs, 如 Ba、Th、U 等), 亏损高场强元素(HFSEs, Nb、Ti、P 等), 并存在弱的 Eu 负异常。
- 3) 结合区域构造演化史及本文分析, 早—中侏罗世吉林中部地区为活动大陆边缘, 大黑山玄武安山质凝灰岩是古太平洋板块向欧亚板块俯冲过程中形成的。

参考文献:

- [1] SENGÖR A M C, NATALIN B A. Paleotectonics of Asia: Fragments of a synthesis[C]//YIN A, HARRISON M. The Tectonic Evolution of Asia. London: Cambridge University Press, 1996, 486-640.
- [2] 李锦轶. 中国东北及邻区若干地质构造问题的新认识[J]. 地质评论, 1998, 44(4): 339-347.
LI Jinyi. Some new ideas on tectonics of NE China and its neighboring areas[J]. Geological Review, 1998, 44(4): 339-347.
- [3] 刘永江, 张兴洲, 金巍, 等. 东北地区晚古生代区域构造演化[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 943-951.
LIU Yongjiang, ZHANG Xingzhou, JIN Wei, et al. Late Paleozoic tectonic evolution in Northeast China[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 943-951.
- [4] 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.
- [5] 韩作振, 宋志刚, 高丽华, 等. 华北板块北缘东段古生代沉积特征及盆地演化研究进展[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2014, 33(2): 1-10.
HAN Zuozhen, SONG Zhigang, GAO Lihua, et al. Progress in the eastern section of the northern margin of the North China plate Paleozoic sedimentary basin evolution and characteristics[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2014, 33(2): 1-10.
- [6] 韩作振, 郭志平, 高丽华, 等. 辽宁昌图地区下二台群盘岭组火山岩年代学及地球化学特征[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2016, 35(5): 1-8.
HAN Zuozhen, GUO Zhiping, GAO Lihua, et al. Geochronology and geochemistry characteristics volcanic rocks from Panling formation of Xiaertai group in Changtu area, Liaoning province[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2016, 35(5): 1-8.
- [7] 陈衍景, 翟明国, 蒋少涌. 华北大陆边缘造山过程与成矿研究的重要进展和问题[J]. 岩石学报, 2009, 25(11): 3-34.
CHEN Yanjing, ZHAI Mingguo, JIANG Shaoyong. Significant achievements and open issues in study of orogenesis and metallogenesis surrounding the North China continent[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(11): 3-34.
- [8] 张兴洲, 马玉霞, 迟效国, 等. 东北及内蒙古东部地区显生宙构造演化的有关问题[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(5): 1269-1285.
ZHANG Xingzhou, MA Yuxia, CHI Xiaoguo, et al. Discussion on Phanerozoic tectonic evolution in Northeastern China[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2012, 42(5): 1269-1285.
- [9] 王五力, 郭胜哲. 中国东北古亚洲与古太平洋构造域演化与转换[J]. 地质与资源, 2012, 21(1): 27-34.
WANG Wuli, GUO Shengzhe. The evolution and transformation of Paleo-Asia and Paleo-Pacific tectonic domain of Northeast China[J]. Geology and Resources, 2012, 21(1): 27-34.
- [10] 彭玉鲸, 陈跃军. 吉黑造山带与华北地台开原—山城镇段构造边界位置[J]. 世界地质, 2007, 26(1): 1-6.
PENG Yujing, CHEN Yuejun. Location of structural boundary between Ji-Hei orogenic zone and Kaiyuan-Shanchen town section of North China platform[J]. Global Geology, 2007, 26(1): 1-6.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 吉林省地质矿产局. 吉林省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1988.
- [14] 吉林省地质矿产局. 吉林省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.
- [15] YUAN H L, GAO S, LIU X M, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Geostandard Newsletter; The Journal of Geostandards and Geoanalysis, 2004, 28(3): 353-370.
- [16] LIU Y S, GAO S, HU Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircon from mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 2010, 51(51): 392-9.
- [17] LIU Y S, HU Z C, GAO C G, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.

- [18] ANDERSON T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192(1/2), 59-79.
- [19] 刘国耀. 辽北开原地区变质火山岩年代学及地球化学特征[D]. 青岛: 山东科技大学, 2015.
- [20] BELOUSOVA E, GRIFFIN W, O'REILLY S Y, et al. Igneous zircon; Trace element composition as an indicator of source rock type[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2002, 143(5): 602-622.
- [21] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. *科学通报*, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [22] 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.
- [23] MIDDLEMOST E A K. Naming materials in the magma /igneous rock system[J]. *Earth Science Reviews*, 1994, 37(3/4): 215-224.
- [24] PECCERILLO A, TAYLOR A R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey[J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 1976, 58(1): 63-81.
- [25] SUN S S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt implications for mantle composition and processes[J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 1989, 42(1): 313-345.
- [26] MAULANA A, YONEZU K, WATANABE K. Geochemistry of rare earth elements(REE) in the weathered crusts from the granitic rocks in Sulawesi island, Indonesia[J]. *Journal of Earth Science*, 2014, 25(3): 460-472.
- [27] 陈跃军. 吉林省东-南部中生代火山事件地层研究[D]. 长春: 吉林大学, 2003.
- [28] 邱家骧. 开合构造与岩浆活动[J]. *地质通报*, 2004, 23(3): 35-44.
QIU Jiayang. Opening-closing tectonics and magmatic activity[J]. *Geological Bulletin of China*, 2004, 23(3): 35-44.
- [29] CONDIE K C. Geochemical changes in basalts and andesites across the archaean-proterozoic boundary: Identification and significance[J]. *Lithos*, 1989, 23(1): 1-18.
- [30] SALTERS V J M, HART S R. The mantle sources of ocean ridges, island and arcs: The Hf-Isotope connection[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1991, 104(2-4): 364-380.
- [31] WOOD D A, JORON J L, TREUIL M A. Re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic setting[J]. *Earth and Planetary Science Letter*, 1979, 45(2): 326-336.
- [32] PEARCE J A, PEATE D W. Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Science*, 1995, 23(1): 251-285.
- [33] 葛文春, 吴福元, 周长勇, 等. 兴蒙造山带东段斑岩型 Cu, Mo 矿床成矿时代及其地球动力学意义[J]. *科学通报*, 2007, 52(20): 2407-2417.
- [34] ZHANG Y, SUN J G, XING S W, et al. Geochronology and metallogenesis of porphyry Mo deposits in east-central Jilin province, China: Constraints from molybdenite Re-Os isotope systematics[J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 71: 363-372.
- [35] 张海洪, 许文良, 王枫, 等. 吉林中部小蜂蜜顶子组火山岩的形成时代及其地质意义: 锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素组成证据[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2016, 46(5): 1418-1429.
ZHANG Haihong, XU Wenliang, WANG Feng, et al. Formation timing of the volcanic rocks from the Xiaofengmingzi formation in central Jilin province and its geological implications: Evidence from zircon U-Pb dating and Hf isotope compositions[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2016, 46(5): 1418-1429.
- [36] 邓晋福, 莫宣学, 罗照华, 等. 火成岩构造组合与壳幔成矿系统[J]. *地学前缘*, 1999(2): 259-270.
DENG Jinfu, MO Xuanxue, LUO Zhaohua, et al. Igneous petrotectonic assemblage and metallogenic system of crust-mantle [J]. *Earth Science Frontiers*, 1999(2): 259-270.
- [37] 孙罡, 杨占军, 丁淑燕, 等. 吉林中部地区南楼山组时代确认[J]. *吉林地质*, 2011, 30(3): 25-30.
SUN Gang, YANG Zhanjun, DING Shuyan, et al. Time determination of the Nanloushan formation in the central part of Jilin province[J]. *Jilin Geology*, 2011, 30(3): 25-30.
- [38] 雷聪聪. 吉林延边和龙地区中生代构造演化: 来自沉积-岩浆岩的制约[D]. 长春: 吉林大学, 2015.