

doi:10.3799/dqkx.2016.104

# 海拉尔盆地火山岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

陈崇阳<sup>1,2</sup>, 高有峰<sup>3\*</sup>, 吴海波<sup>4</sup>, 瞿雪姣<sup>5</sup>, 刘志文<sup>4</sup>, 白雪峰<sup>4</sup>, 王璞珺<sup>2</sup>

1. 辽宁石油化工大学石油天然气工程学院, 辽宁抚顺 113000
2. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061
3. 吉林大学古生物学与地层学研究中心, 吉林长春 130026
4. 大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江大庆 163411
5. 重庆科技学院石油与天然气工程学院, 重庆 401331

**摘要:** 海拉尔盆地位于大兴安岭西侧, 盆内存在多套火山-沉积岩组合. 通过对海拉尔盆地 Chu8 井等 4 处火山岩样品进行的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究, 探讨了海拉尔盆地火山岩的形成时代和构造背景, 为盆内和邻区地层对比以及大兴安岭地区构造演化提供了依据. 研究区 4 个火山岩样品的锆石均呈自形一半自形晶, 显示出典型的岩浆生长环带, 结合其高的 Th/U 比值(0.22~1.50), 说明其属于岩浆成因. 测年结果表明, 海拉尔盆地布达特群确实存在时代为晚三叠世-早侏罗世(214.4±4.3 Ma)的火山岩, 结合前人研究, 可将盆内火山作用划分为 4 期: 分别为中-晚石炭世基底岩浆岩(320~290 Ma); 晚三叠世-早侏罗世早期布达特群火山碎屑岩组(224~197 Ma); 晚侏罗世-早白垩世早期塔木兰沟组(152~138 Ma); 早白垩世晚期铜钵庙组(128~117 Ma). 大兴安岭地区各期岩浆作用的地球化学特征、时空分布特征以及盆地地震剖面特征表明, 中-晚石炭世基底岩浆岩(320~290 Ma)是额尔古纳-兴安地块和松嫩地块碰撞造山后的伸展背景下形成的; 晚三叠世-早侏罗世早期火山岩(224~197 Ma)是古亚洲洋闭合后的伸展背景下形成的, 该期火山岩的发现说明古亚洲洋构造域对大兴安岭地区的影响至少延续到早侏罗世早期(197 Ma), 而该区域蒙古-鄂霍茨克洋的俯冲碰撞最早可能开始于早侏罗世以后; 晚侏罗世-早白垩世早期(152~138 Ma)和早白垩世晚期(128~117 Ma)火山岩的形成均与蒙古-鄂霍茨克洋碰撞闭合后的伸展作用有关. 盆内部分火山岩样品中存在古元古代-新元古代捕获的锆石, 这表明额尔古纳地块和兴安地块很可能存在着元古代结晶基底.

**关键词:** 年代学; 海拉尔盆地; 火山岩; 兴安岭群; 布达特群; 构造演化; 岩石学.

中图分类号: P588.14; P597.3

文章编号: 1000-2383(2016)08-1259-16

收稿日期: 2016-03-01

## Zircon U-Pb Chronology of Volcanic Rocks in the Hailaer Basin, NE China and Its Geological Implications

Chen Chongyang<sup>1,2</sup>, Gao Youfeng<sup>3\*</sup>, Wu Haibo<sup>4</sup>, Qu Xuejiao<sup>5</sup>, Liu Zhiwen<sup>4</sup>, Bai Xuefeng<sup>4</sup>, Wang Pujun<sup>2</sup>

1. College of Petroleum Engineering, Liaoning Shihua University, Fushun 113000, China
2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China
3. Research Center of Palaeontology and Stratigraphy, Jilin University, Changchun 130026, China
4. Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing 163712, China
5. College of Oil and Gas Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China

**Abstract:** The Hailaer basin is located in the west of the Great Xing'an Range, and there are many sets of volcanic sedimentary rocks in the basin. Determining the age of the formation of volcanic rocks can provide reliable evidence for the stratigraphic correlation of the basin and the Great Xing'an Range, and the tectonic evolution in Northeast China as well. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating for 4 volcanic rock samples from coring well in the Hailaer basin (HB) is presented in this paper. Their formation time and tectonic setting focusing on the intra-/inter-basinal stratigraphic correlation are discussed. The dating results show

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(No. 2012CB822002); 国家自然科学基金项目(No. 41202072).

作者简介: 陈崇阳(1987-), 男, 讲师, 主要从事盆地火山地层对比与火山岩储层研究. E-mail: chency0337@163.com

\* 通讯作者: 高有峰, E-mail: gaoyf\_1982@163.com

引用格式: 陈崇阳, 高有峰, 吴海波, 等, 2016. 海拉尔盆地火山岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地球科学, 41(8): 1259-1274.

that volcanic rocks with ages of Late Triassic-early Early Jurassic ( $214.4 \pm 4.3$  Ma) do exist in the HB. And the whole volcanic succession in the region can be subdivided into 4 stages of eruption including Middle-Late Carboniferous (320–290 Ma), Late Triassic-early Early Jurassic (224–197 Ma), Late Jurassic-early Early Cretaceous (152–138 Ma), and late Early Cretaceous (128–117 Ma). Combined with geochemical characteristics, temporal and spatial distribution characteristics of the magma in the Great Xing'an Range area, as well as the characteristics of the seismic profile of the basin, it is suggested that the Middle-Late Carboniferous magmatic rocks (320–290 Ma) were probably formed in a post-collision extensional setting related to the collision and merging of the Songnen and Ergun-Xing'an blocks. The Late Triassic-early Early Jurassic volcanic rocks (224–197 Ma) were probably formed in a post-collision extensional setting related to the closure of Paleo-Asian Ocean, which indicates Paleo-Asian Ocean tectonic domain affects the Great Xing'an Range area extended to the early Early Jurassic at least and the collision of the Mongolia Okhotsk Ocean possibly started in the early Jurassic at the earliest. The Late Jurassic-early Early Cretaceous (152–138 Ma) and the Late Early Cretaceous (128–117 Ma) volcanic rocks were probably formed in a post-collision extensional setting related to the closure of Mongolia Okhotsk Ocean. Some ages of Paleoproterozoic-Neoproterozoic zircon dating are obtained, which might have been captured from some crystal rocks of Proterozoic crystalline basement in the blocks underneath the HB.

**Key words:** chronology; Hailaer basin; volcanic rocks; Xing'anling Group; Budate Group; tectonic evolution; petrology.

大兴安岭地区位于兴蒙造山带东段,是由众多微板块(包括额尔古纳地块、兴安地块和松嫩地块)拼贴所形成的统一陆块群(图 1),古生代晚期经历了古亚洲洋的消减闭合(Chen *et al.*, 2000; 刘敦一等, 2003; 葛文春等, 2005a; Jian *et al.*, 2008),中生代以来又受到蒙古-鄂霍茨克构造域和太平洋构造域的影响(Wu *et al.*, 2000; 李锦轶等, 2004; 骆满生等, 2014),由于特殊的地理、构造位置,该地区经历了来自不同时期、不同构造事件的影响,是研究和解决中国东北地区构造演化的关键区域.目前前人的研究主要集中在野外露头区,而大兴安岭地区由于森林及第四纪物质覆盖,地层出露规模有限,并且往往是不连续的,这为区域地层对比及相关科学研究带来了困难.而沉积盆地因其地层连续沉积,其中的充填物不仅详细记载了盆地的形成与演化历史,同时也系统记录了相邻造山带的构造演化过程(王成善等, 2000).特别是近些年,随着东北地区各中生代盆地中丰富油气资源的陆续被发现(孙龙德等, 2013),各盆地勘探程度显著提高,学者们积累了丰富的钻井、地震、测井等资料.将盆地与露头研究综合起来,互为补充,可为揭示大兴安岭乃至东北地区的构造演化提供更多证据.

海拉尔盆地位于大兴安岭西部,以塔源-喜桂图缝合带为界,西部叠于额尔古纳地块之上,东部叠于兴安地块之上(图 1),是一个以中生代地层为主的陆相沉积盆地,具有丰富的油气资源(吴河勇等, 2006),盆地中存在多套火山-沉积岩组合,各期火山岩形成时代的确定可以为盆地及大兴安岭地区地层对比乃至中国东北地区构造演化提供可靠依据.

前人的研究成果表明,海拉尔盆地中存在晚古生代基底火山岩/花岗岩(350~290 Ma)(Meng *et al.*, 2013)和晚侏罗世-早白垩世火山岩(160~117 Ma)(李萍萍等, 2010; 赵磊等, 2013; A *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2014),除此之外,还可能存在着晚三叠世形成的火山-沉积地层布达特群(万传彪, 2006),但该论断一直缺乏精确的年代学证据.以往对盆内含火山岩系的划分主要是依据岩石组合类型、地震反射特征、测井曲线特征等,缺少精确的年代学依据,这给盆内及邻区地层对比带来了很大困难.而在盆地邻区大兴安岭地区,近年来学者们对该区含火山岩系开展了详细的年代学及地球化学研究(尹志刚等, 2005; Wu *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2006; 陈志广等, 2006; 孟恩等, 2011),他们普遍认为大兴安岭中生代火山作用开始于中-晚侏罗世,主要形成于早白垩世期间(葛文春等, 2001; Wang *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2008; 孟恩等, 2011),而火山岩在三叠系出露较少,尤其是中-晚三叠世期间(内蒙古自治区地质矿产局, 1991)鲜有报道.

因此,目前盆内含火山岩系研究存在的问题主要集中在以下几个方面:(1)盆内存在几期火山作用以及其与大兴安岭地区如何对比;(2)盆内是否存在晚三叠世的火山-沉积岩组合“布达特群”;(3)各期火山作用形成的构造背景以及其与大兴安岭乃至中国东北地区构造演化有何关系.针对以上问题,本文以海拉尔盆地钻井岩心为研究对象,测定了巴彦呼舒凹陷 Chu8 井等 4 套火山岩样品的锆石 U-Pb 年龄,这些样品分别取自布达特群(1 套)、塔木兰沟组(1 套)以及铜钵庙组(2 套),通过与前人的研究成果

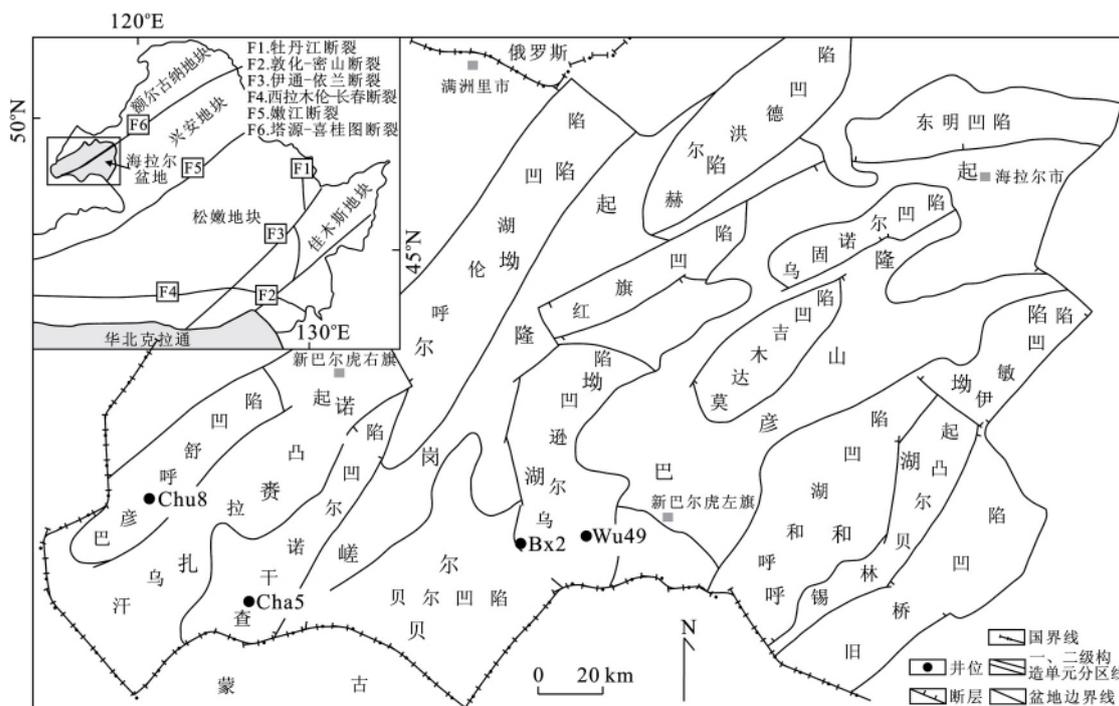


图 1 海拉尔盆地构造分区及取样钻井位置

Fig.1 Sketch showing subdivision of Hailar basin and drilling sites

国境线据中国地质图(1:5000000),地质出版社,2002年第二版;据李萍萍等(2010)

进行对比,探讨了海拉尔盆地火山岩的形成时代和构造背景,为盆内和邻区地层对比以及大兴安岭乃至东北地区构造演化提供了依据.

### 1 地质概况及样品描述

海拉尔盆地断裂发育,边界断裂呈 NE 向和 NNE 向展布(陈均亮等,2007),前人将盆地划分为 5 个一级构造单元,20 个二级构造单元(刘树根等,1992;冯志强等,2004;陈均亮,2011).盆地基底由前古生界—古生界变质岩、岩浆岩所组成,沉积盖层则为侏罗系、白垩系和新生界(张晓东等,1994;刘志宏等,2007;A et al., 2013).万传彪(2006)根据地震反射特征以及钻井揭示的岩性、电性、古生物、同位素等资料,将盆地自下而上划分为前古生界—古生界基底、布达特群(包含深色砂泥岩组、杂色砂泥岩组和火山碎屑岩组)、塔木兰沟组、铜钵庙组、南屯组、伊列克得组、大磨拐河组、伊敏组、青元岗组、呼查山组和第四系(图 2a).

本文研究的火山岩样品分别取自巴彦呼舒凹陷的 Chu8 井、查干诺尔凹陷的 Cha5 井,以及乌尔逊凹陷的 Bx2 井、Wu49 井(图 1).Chu8 井样品采样深度为 1 655.54 m,根据地震层位划分层位属塔木

兰沟组(图 2b),岩性为英安岩,斑状结构,斑晶主要为斜长石和石英,斑晶结晶程度不好,基本未蚀变,基质具有霏细结构,由斜长石和石英微晶组成;Cha5 井样品采样深度为 2 174.57 m,层位属于布达特群(图 2b),岩性为流纹质凝灰熔岩,具有火山碎屑熔结结构,熔浆胶结火山碎屑,火山碎屑为晶屑和岩屑,晶屑以斜长石、石英为主,岩屑为流纹岩岩屑;Bx2 井样品采样深度为 2 111.62 m,层位属于铜钵庙组(图 2b),岩性为安山质隐爆角砾岩,具有隐爆角砾结构,其角砾是由安山岩原岩在原地被高温高压火山流体释压炸裂而形成,隐爆角砾缝被岩汁充填、胶结,后期隐晶质脱玻化;Wu49 样品采样深度为 2 340.85 m,层位属于铜钵庙组(图 2b),岩性为安山岩,斑状结构,斑晶以斜长石为主,部分长石斑晶方解石交代,基质为斜长石细晶,具交织结构.

### 2 样品处理及分析方法

测年样品破碎和锆石分选在河北省廊坊区域地质矿产调查研究所地质实验室完成,先机械性粉碎样品至 80 目,重力分选后利用矿物介电分选仪进行磁选.在双目镜下把粒度大、晶型完好、裂隙与包体少的锆石颗粒挑选出来.将优选出的锆石颗粒粘在



表 1 海拉尔盆地火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果  
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb analytical data for volcanic rocks from Hailar basin

样品号	Th( $10^{-6}$ )	U( $10^{-6}$ )	Pb( $10^{-6}$ )	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		年龄(Ma)		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$
					$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$		
C8-1	822	895	106	0.92	0.0494	0.0029	0.1556	0.0087	0.0233	0.0004	147.0	7.7	148.0	2.4
C8-2	633	840	85	0.75	0.0534	0.0030	0.1719	0.0098	0.0233	0.0003	161.0	8.5	149.0	2.1
C8-3	547	716	84	0.76	0.0524	0.0031	0.1654	0.0092	0.0232	0.0004	155.0	8.0	148.0	2.3
C8-4	503	594	75	0.85	0.0512	0.0034	0.1588	0.0104	0.0233	0.0004	150.0	9.1	148.0	2.6
C8-5	763	898	106	0.85	0.0495	0.0029	0.1585	0.0094	0.0233	0.0004	150.0	8.2	149.0	2.2
C8-6	1072	1162	132	0.92	0.0506	0.0023	0.1633	0.0075	0.0234	0.0003	154.0	6.6	149.0	1.8
C8-7	634	808	97	0.78	0.0536	0.0023	0.1696	0.0101	0.0233	0.0003	159.0	8.7	149.0	2.1
C8-8	1380	981	194	1.41	0.0505	0.0024	0.1826	0.0081	0.0265	0.0004	154.0	8.1	147.0	2.2
C8-9	642	749	81	0.86	0.0521	0.0030	0.1638	0.0093	0.0231	0.0003	172.0	9.0	148.0	2.1
C8-10	553	742	80	0.75	0.0573	0.0032	0.1846	0.0105	0.0233	0.0003	149.0	9.7	149.0	2.3
C8-11	475	668	67	0.71	0.0494	0.0036	0.1575	0.0111	0.0233	0.0004	149.0	10.0	148.0	2.6
C8-12	441	524	67	0.84	0.0523	0.0041	0.1575	0.0114	0.0233	0.0004	146.0	9.3	149.0	2.6
C8-13	373	527	53	0.71	0.0492	0.0035	0.1541	0.0106	0.0233	0.0004	148.0	6.6	148.0	1.9
C8-14	1320	968	143	1.36	0.0494	0.0024	0.1572	0.0095	0.0232	0.0003	164.0	8.3	149.0	2.0
C8-15	632	801	83	0.79	0.0550	0.0031	0.1755	0.0096	0.0232	0.0003	147.0	7.0	146.0	1.8
C8-16	790	858	103	0.92	0.0497	0.0026	0.1558	0.0079	0.0229	0.0003	149.0	8.2	142.0	1.9
C8-17	1113	741	129	1.50	0.0525	0.0032	0.1582	0.0093	0.0223	0.0003	148.0	7.2	148.0	2.0
C8-18	833	1017	108	0.82	0.0491	0.0026	0.1570	0.0082	0.0233	0.0003	172.0	11.5	146.0	2.4
C8-19	481	584	68	0.82	0.0591	0.0041	0.1845	0.0134	0.0229	0.0004	149.0	6.6	148.0	2.0
C8-20	1278	1089	151	1.17	0.0492	0.0024	0.1576	0.0075	0.0229	0.0003	158.0	7.6	149.0	2.1
C8-21	821	904	96	0.91	0.0523	0.0028	0.1680	0.0088	0.0233	0.0003	151.0	7.3	149.0	1.9
C8-22	1031	1148	127	1.14	0.0503	0.0028	0.1603	0.0084	0.0233	0.0003	159.0	6.6	150.0	2.2
C8-23	1094	1117	131	0.98	0.0524	0.0024	0.1695	0.0076	0.0235	0.0003	134.0	7.4	148.0	2.4
C8-24	639	777	88	0.82	0.0499	0.0028	0.1588	0.0085	0.0233	0.0004	160.0	8.1	153.0	2.1
C8-25	717	878	93	0.82	0.0517	0.0029	0.1703	0.0094	0.0241	0.0003	220.0	18.1	223.0	5.0
C5-1	90	11	63	0.69	0.0522	0.0049	0.2420	0.0221	0.0352	0.0008	227.0	21.5	223.0	4.4
C5-2	70	13	51	0.73	0.0522	0.0059	0.2500	0.0265	0.0355	0.0007	223.0	19.0	224.0	3.8
C5-3	85	15	69	0.82	0.0532	0.0053	0.2484	0.0234	0.0354	0.0006	231.0	19.2	220.0	4.0
C5-4	73	12	70	0.97	0.0530	0.0049	0.2556	0.0238	0.0348	0.0006	214.0	20.7	212.0	3.9
C5-5	70	12	69	0.98	0.0535	0.0058	0.2347	0.0252	0.0335	0.0006	272.0	21.7	232.0	5.1
C5-6	58	14	57	0.98	0.0526	0.0056	0.2559	0.0268	0.0366	0.0008	236.0	23.2	222.0	4.8
C5-7	58	27	45	0.78	0.0591	0.0071	0.2614	0.0288	0.0351	0.0008	217.0	15.6	206.0	3.2
C5-8	102	27	148	1.45	0.0536	0.0043	0.2383	0.0190	0.0326	0.0005	263.0	22.9	214.0	4.4
C5-9	66	10	44	0.67	0.0545	0.0063	0.2487	0.0281	0.0338	0.0007	224.0	32.6	216.0	4.6
C5-10	50	12	39	0.78	0.0552	0.0089	0.2465	0.0400	0.0341	0.0007	224.0	25.6	222.0	5.2
C5-11	51	9	47	0.91	0.0578	0.0086	0.2463	0.0314	0.0350	0.0008	271.0	23.2	206.0	5.1
C5-12	59	11	52	0.87	0.0579	0.0072	0.2401	0.0283	0.0324	0.0008	213.0	23.4	210.0	4.4
C5-13	63	13	70	1.12	0.0518	0.0062	0.2336	0.0284	0.0332	0.0007	207.0	22.8	201.0	4.2
C5-14	65	10	61	0.94	0.0536	0.0062	0.2259	0.0275	0.0316	0.0007	249.0	20.1	204.0	4.2
C5-15	79	25	138	1.74	0.0562	0.0067	0.2297	0.0244	0.0322	0.0007	213.0	21.0	204.0	4.5
C5-16	61	12	54	0.88	0.0562	0.0063	0.2336	0.0255	0.0322	0.0007	226.0	24.6	221.0	5.4
C5-17	53	12	53	1.00	0.0538	0.0073	0.2495	0.0303	0.0349	0.0009	219.0	20.2	211.0	4.5
C5-18	66	17	84	1.27	0.0513	0.0053	0.2405	0.0246	0.0332	0.0007	247.0	5.3	235.0	2.1
B2-1	2962	479	1943	0.66	0.0538	0.0013	0.2758	0.0067	0.0371	0.0003	249.0	15.9	235.0	16.7
B2-2	665	774	432	0.65	0.0554	0.0024	0.3398	0.0145	0.0389	0.0036	515.0	8.7	510.0	4.5
B2-3	1997	275	432	0.22	0.0578	0.0012	0.6605	0.0143	0.0823	0.0007	2489.0	18.7	2489.0	23.5
B2-4	1238	1609	557	0.45	0.1611	0.0029	10.5888	0.2122	0.4713	0.0054	706.0	15.2	663.0	6.7
B2-5	499	268	445	0.89	0.0666	0.0019	1.0039	0.0301	0.1084	0.0012	332.0	5.3	120.0	1.4
B2-6	1925	111	889	0.46	0.0554	0.0023	1.438	0.0060	0.1018	0.0002	192.0	6.5	183.0	2.1
B2-7	1328	138	790	0.59	0.0528	0.0020	0.2084	0.0078	0.0288	0.0003	2447.0	17.7	2387.0	18.3
B2-8	1116	1233	400	0.36	0.1625	0.0028	10.1337	0.1927	0.4482	0.0041	122.0	5.2	127.0	1.5
W49-1	1917	159	1456	0.76	0.0483	0.0022	0.1333	0.0059	0.0199	0.0002	89.0	4.3	127.0	1.4
W49-2	1984	163	1542	0.78	0.0473	0.0019	0.1293	0.0048	0.0199	0.0002	71.0	6.3	127.0	1.6
W49-3	1341	81	726	0.54	0.0487	0.0026	0.1938	0.0071	0.0199	0.0003	121.0	4.2	116.0	1.0
W49-4	732	74	680	0.93	0.0507	0.0019	0.1267	0.0047	0.0182	0.0002	89.0	10.7	308.0	3.0
W49-5	221	28	55	0.25	0.0573	0.0023	0.3825	0.0146	0.0489	0.0005	332.0	8.6	297.0	3.0
W49-6	266	27	61	0.23	0.0530	0.0018	0.3424	0.0113	0.0472	0.0005	147.0	7.7	148.0	2.4

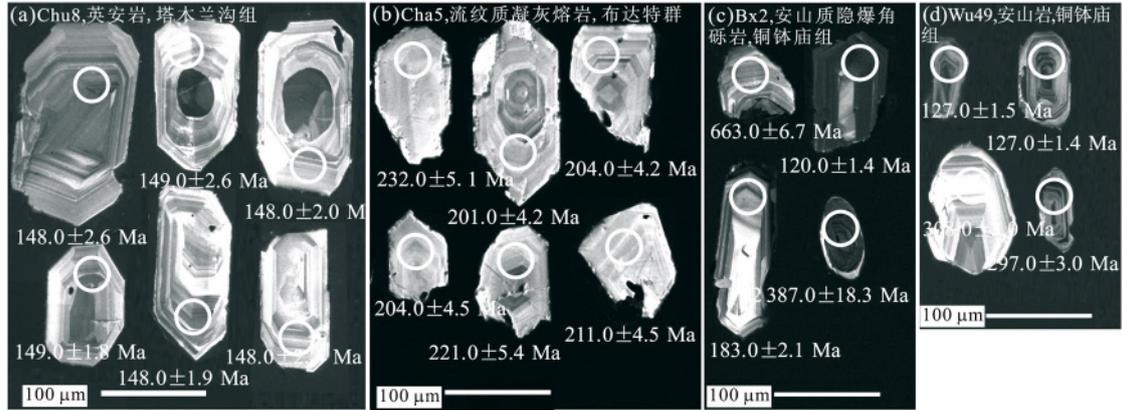


图 3 海拉尔盆地火山岩的部分锆石阴极发光照片

Fig. 3 Cathodoluminescence images of representative zircons from volcanic rocks in Hailar basin

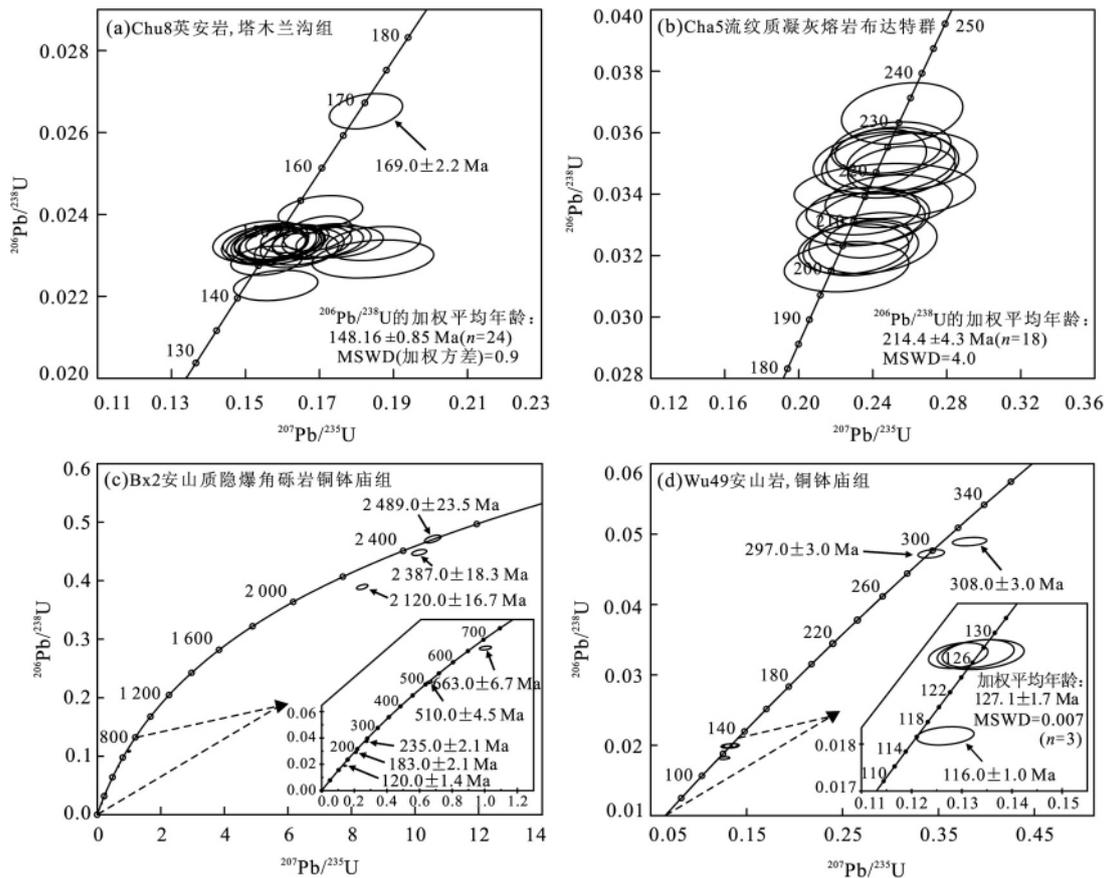


图 4 海拉尔盆地火山岩的锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 Concordia plots of zircons from volcanic rocks in Hailar basin

分析数据的离线处理(样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量、U-Th-Pb 同位素比值、年龄计算等)采用 ICPMSDataCal 9.0 软件完成,详细的仪器操作与数据处理方法见 Liu *et al.* (2008). 年龄结果处理(包括协和图的绘制与加权平均年龄计算等)利用 Isoplot 3.0 软件完成(Ludwig, 2003). 同位素比值和年龄误差为  $1\sigma$ , 锆石分析结果

见表 1, 代表性锆石 CL 图像见图 3, 年龄谐和图见图 4.

### 3 锆石 U-Pb 年代学特征

海拉尔盆地 4 个火山岩样品的锆石阴极发光图像显示锆石晶型较好, 呈板状、粒状或者短柱状, 具

有典型的振荡环带结构(图 3),均具有较高的 Th/U 比值,为 0.22~1.50(表 1),暗示其属于岩浆成因(Koschek, 1993)。

取自巴彦呼舒凹陷 Chu8 井 1 655.54 m 的流纹岩样品(C8)层位为塔木兰沟组,其定年结果显示,24 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $147.0 \pm 2.2 \sim 153.0 \pm 2.1$  Ma,基本都分布在谐和线上或附近,其加权平均年龄为  $148.16 \pm 0.85$  Ma(MSWD=0.9),表明该样品的岩浆结晶年龄时代为晚侏罗世;其中 1 个测点(C8-8)年龄为  $169.0 \pm 2.0$  Ma,可能是捕获锆石,笔者推测其为该区早期岩浆事件的年龄(图 4a)。

取自查干诺尔凹陷 Cha5 井 2 174.57 m 的流纹质凝灰熔岩样品(C5)层位为布达特群,其定年结果显示,18 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $201.0 \pm 4.2 \sim 232.0 \pm 5.1$  Ma,都分布在谐和线上,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权年龄为  $214.4 \pm 4.3$  Ma(MSWD=4.0),表明该样品的岩浆结晶年龄时代为晚三叠世(图 4b)。

取自乌尔逊凹陷 Bx2 井 2 111.62 m 的安山质隐爆角砾岩样品(B2)层位为铜钵庙组,其定年结果显示,测点 B2-2、B2-4、B2-8、B2-5、B2-3、B2-1、B2-7,均为捕获锆石,年龄分别为  $2 120.0 \pm 16.7$  Ma、 $2 489.0 \pm 23.5$  Ma、 $2 387.0 \pm 18.7$  Ma(古元古代)、 $663.0 \pm 6.7$  Ma(新元古代)、 $510.0 \pm 4.5$  Ma(晚寒武世—早奥陶世)、 $235.0 \pm 2.1$  Ma(早—中三叠世)、 $183.0 \pm 2.1$  Ma(中侏罗世),分别代表了该地区发生在不同时期的岩浆作用;测点 B2-6 谐和年龄为  $120.0 \pm 1.4$  Ma,表明该样品的岩浆结晶年龄为早白垩世(图 4c)。

取自乌尔逊凹陷 Wu49 井 2 340.85 m 的安山岩样品(W49)层位为铜钵庙组,其定年结果显示,测点 W49-5、W49-6 年龄分别为  $308.0 \pm 3.0$  Ma、 $297.0 \pm 3.0$  Ma,为捕获锆石年龄,代表了该地区发生在晚石炭世的一期岩浆作用;而测点 W49-4 可能由于构造—热事件发生过 Pb 丢失,可能代表后期热事件年龄;测点 W49-1、W49-2、W49-3 分布在谐和线上,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权年龄为  $127.1 \pm 1.7$  Ma(MSWD=0.007),表明该样品的岩浆结晶年龄为早白垩世(图 4d)。

## 4 讨论

### 4.1 海拉尔盆地各期火山作用时代

在海拉尔盆地钻遇的火山岩/花岗岩层位自下而上为基底、布达特群、塔木兰沟组、铜钵庙组和伊

列克得组(图 2a),其中伊列克得组只在盆内局部发育(万传彪,2006),由于盆内钻并取心条件的限制,以往少有对这些含火山岩地层的精确定年.除了样品的锆石加权年龄,单个锆石年龄同样具有地质意义,对大量单颗粒锆石进行统计分析,其结果不仅代表样品的形成时代,同时也反映研究区主要构造(热)事件的高峰及时代范围(余宏全等,2012).因此,本文通过对海拉尔盆地 4 个火山岩样品(Bx2:  $120.0 \pm 1.4$  Ma; Wu49:  $127.1 \pm 1.7$  Ma; Chu8:  $148.16 \pm 0.85$  Ma; Cha5:  $214.4 \pm 4.3$  Ma)的研究,并搜集整理前人发表的锆石年龄数据,分别对单颗粒锆石年龄(图 5a)及其对应的火山岩样品锆石年龄(图 5b)进行统计分析,以确定研究区主要构造事件的高峰时间和时代范围。

统计结果表明:除捕获锆石指示研究区可能有元古代结晶基底外,海拉尔盆地主要存在 4 期岩浆作用,分别为中—晚石炭世(320~290 Ma)、晚三叠世—早侏罗世早期(224~197 Ma)、晚侏罗世—早白垩世早期(152~138 Ma)和早白垩世晚期(128~120 Ma)(图 5)。

### 4.2 各期火山岩/花岗岩地层归属

#### 4.2.1 基底火山岩/花岗岩与布达特群火山岩 海拉尔盆地在基底火山岩/花岗岩之上和中生代兴安

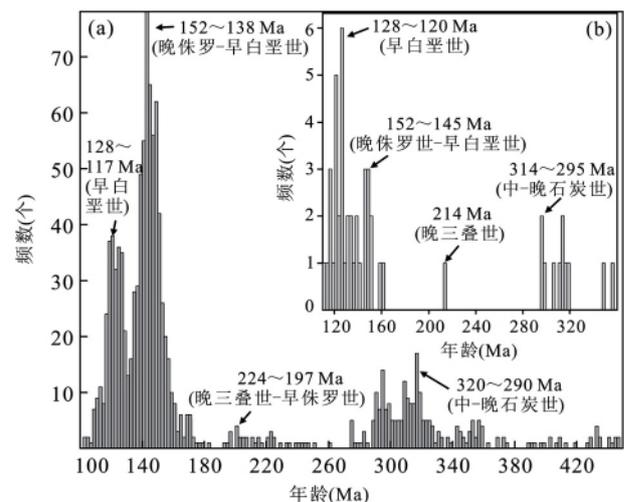


图 5 海拉尔盆地火山岩单颗粒锆石 U-Pb 测年数据分布 ( $n=1 141$ )(a),及其对应火山岩样品年龄分布 ( $n=50$ )(b)

Fig. 5 Histograms for the single zircon ages ( $n=1 141$ ) (a) and corresponding volcanic rocks ages ( $n=50$ ) (b) in Hailar basin

部分年龄数据据李萍萍等(2010)、赵磊等(2013)、Meng *et al.* (2013)和 Li *et al.* (2014)

岭群火山岩之下存在一套广泛分布的火山—沉积岩组合,自下而上分别为深色砂泥岩组、杂色砂砾岩组及火山碎屑岩组(图 2a)。王成善等(1992,海拉尔盆地兴安岭群及其有关地层地震—地质层序的建立与空间分布,大庆油田研究院科研报告)认为该套地层是中生代兴安岭群的同时异相产物,应将其单独划分成布达特群,并在海参 9 井、贝 2 井中布达特群中发现了广泛分布于上三叠统一下侏罗统的 *Limbo-sporites*、*Clathroidites papulosus*、*Protopinus walchius*、*Taeniaesporites noviaulensis*、*Chordasporites cf. singulichorda*、*Quadraeculina* 等孢粉组合,认为其时代为晚三叠世—早侏罗世,但缺乏精确的同位素年代学证据;Meng *et al.* (2013)测得布达特群火山岩的年龄为 356~290 Ma,时代为早石炭世—早二叠世,测得基底花岗岩锆石年龄为 306~295 Ma,认为布达特群时代与基底花岗岩时代相当,应将布达特群归属于基底。

而本文在海拉尔盆地 Cha5 井 2 174.57 m 布达特群火山碎屑岩组中首次测得精确的晚三叠世年龄,为  $214.4 \pm 4.3$  Ma (MSWD=4.0,  $n=18$ ),表明布达特群火山碎屑岩组中确实存在晚三叠世形成的火山岩,根据前人研究成果及单颗粒锆石年龄统计结果(图 5a),笔者认为布达特群中至少有一部分应该属于晚三叠世—早侏罗世,时代范围为 224~197 Ma(图 5),而 Meng *et al.* (2013)测得的布达特群中年龄较老、时代跨度较大、峰值主要集中在 320~290 Ma(图 5)的火山岩和花岗岩应划归为基底。

**4.2.2 塔木兰沟组和铜钵庙组** 根据各测年样品取样点的地震层位及前人测得海拉尔盆地塔木兰沟组(151~145 Ma)和上库力组(铜钵庙组)时代(119~117 Ma),笔者认为海拉尔盆地的晚侏罗世—早白垩世早期(152~138 Ma)和早白垩世晚期(128~117 Ma)两期火山作用分别对应盆内的塔木兰沟组和铜钵庙组。

**4.3 各期火山岩/花岗岩地层与邻区对比及构造背景**

**4.3.1 中—晚石炭世(320~290 Ma)基底火山岩/花岗岩** 大兴安岭地区晚石炭世岩浆岩分布广泛,余宏全等(2012)认为大兴安岭地区晚古生代构造高峰期为 330~280 Ma,这与海拉尔盆地时代为中—晚石炭世的基底火山岩/花岗岩(320~290 Ma)时代相当,可与大兴安岭地区出露的宝力高庙组火山岩(320~299 Ma)(辛后田等,2011;贺淑赛等,

2015;李朋武等,2012)和大石寨组火山岩(314 Ma)(曾维顺等,2011)地层对比。

章凤奇等(2010)通过对海拉尔盆地本基底岩浆岩(320~290 Ma)的地球化学特征研究,认为该期岩浆岩为高钾钙碱性系列,具有典型 C 型埃达克岩的地球化学属性,反映了兴蒙造山带晚古生代受到古亚洲洋的俯冲消减而引起的强烈地幔玄武质岩浆底侵作用,并导致地壳垂向增生加厚。邓晋福等(1999)研究认为造山后伸展阶段火成岩组合,以造山后 A 型花岗岩正长岩类发育为特征,常与造山钙碱性花岗岩类共生。而大兴安岭晚石炭世广泛分布的花岗岩主要为花岗闪长岩和二长花岗岩组合,属于高钾钙碱性系列(张彦龙等,2010),其岩石学和地球化学特征表明,该期岩浆岩形成于额尔古纳—兴安地块与松嫩地块碰撞后板内伸展构造背景(赵芝等,2010;张兴洲等,2011;崔芳华等,2013),说明大兴安岭地区在早石炭晚期(~330 Ma)已进入伸展拉张阶段(冯志强等,2014)。而前人研究普遍表明,古亚洲洋闭合发生在晚二叠世—早三叠世(孙德有等,2004a;李锦轶等,2007;Wu *et al.*, 2007;Xiao *et al.*, 2009;Han *et al.*, 2011;杨文麟等,2014),因此,根据岩石成因和构造演化时间笔者可以判定海拉尔盆地晚石炭世基底岩浆岩(320~290 Ma)是在额尔古纳—兴安地块和松嫩地块碰撞造山后伸展背景下形成的。

**4.3.2 晚三叠世—早侏罗世早期(224~197 Ma)**

**布达特群火山岩** 三叠纪在大兴安岭地区构造演化过程中是承上启下的时期,既是古亚洲洋闭合的结束时期,又是蒙古—鄂霍茨克洋的闭合时期(Donskaya *et al.*, 2012),被认为是古亚洲洋构造域向蒙古—鄂霍茨克构造域和太平洋构造域转换的关键时期(邵济安等,1997;Wu *et al.*, 2011;许文良等,2013)。晚二叠世—早三叠世古亚洲洋闭合,此时由于南北向的碰撞挤压,致使“北部地块群”南缘抬升成陆,遭受剥蚀,从而导致大兴安岭地区大量缺失三叠纪地层(内蒙古自治区地质矿产局,1991),因此该地区三叠纪火山岩年代学及构造背景的研究由于缺少同时代地层出露而显得相对薄弱。

前人对中国东北地区中—晚三叠纪岩浆活动的成因一直存在争议,主要存在以下几种观点:(1)该期岩浆作用多属于典型的 S 型花岗岩,形成于俯冲碰撞构造环境,与蒙古—鄂霍茨克洋俯冲碰撞有关(陈志广等,2010;余宏全等,2012);(2)该期岩浆作用多具 A 型花岗岩特征(孙德有等,2004b,2005;葛

文春等, 2005b; 许文良等, 2013), 同时期伴随磨拉石建造(李世超, 2012), 指示其形成与古亚洲洋闭合后的伸展作用有关; (3) 该期岩浆作用具有 I 型花岗岩特征, 形成于与俯冲有关的构造环境, 应与古太平洋板块俯冲作用有关(敬海鑫等, 2015; 刘金龙等, 2015)。

本文在海拉尔盆地首次发现晚三叠世火山岩(224~197 Ma), 其形成时代与区域上的同期花岗岩一致。从构造演化阶段来看, 在中一晚三叠世, 大兴安岭(葛文春等, 2005b; 李世超, 2012)、小兴安岭(孙德有等, 2004b)、吉黑东部(孙德有等, 2005; Xu *et al.*, 2009)有大量 A 型花岗岩和流纹岩就位, 大兴安岭地区伴有标志造山结束的磨拉石建造沉积(李世超, 2012), 说明大兴安岭及我国东北地区此时处于古亚洲洋闭合后的伸展阶段。而从海拉尔盆地地震剖面特征来看, 基底—布达特群(古生代—早侏罗世早期)与兴安岭群(晚侏罗世—早白垩世晚期)之间的地层界面为盆内最大的角度不整合面, 是盆内唯一的造山挤压型界面(陈均亮, 2011)。这说明在晚三叠世布达特群形成之后该地区发生过造山挤压—隆升剥蚀作用, 形成区域性造山挤压型不整合面, 该造山隆升事件的发生可能与蒙古—鄂霍茨克洋俯冲碰撞有关, 因此笔者判断该区域受蒙古—鄂霍茨克洋俯冲碰撞影响, 其隆升应发生在布达特群形成(197 Ma)之后, 最早为早侏罗世早期, 而非之前认识的晚三叠世(Zorin, 1999; Sorokin *et al.*, 2004)。

综合以上分析, 笔者认为海拉尔盆地晚三叠世火山岩是在古亚洲洋闭合后的伸展背景下形成的, 该期火山岩的发现说明古亚洲洋构造域对大兴安岭地区的影响至少延续到晚三叠世—早侏罗世早期(224~197 Ma), 而该区域蒙古—鄂霍茨克洋的俯冲碰撞最早可能开始于 197 Ma 以后, 即早侏罗世早期。

**4.3.3 塔木兰沟组和铜钵庙组** 海拉尔盆地塔木兰沟组火山岩形成于晚侏罗世—早白垩世早期(152~138 Ma), 铜钵庙组火山岩形成于早白垩世晚期(128~117 Ma)。邻区大兴安岭地区的塔木兰沟组主要形成于 166~140 Ma(Wang *et al.*, 2006; 孟恩等, 2011); 上库力组火山岩主要形成于 127~121 Ma(Wang *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2008)、136~125 Ma(Li *et al.*, 2014)。由此可见, 海拉尔盆地中的塔木兰沟组与大兴安岭地区的塔木兰沟组时代一致, 铜钵庙组与上库力组时代一致。

中国东北地区侏罗纪—白垩纪时期的岩浆作用

主要受蒙古—鄂霍茨克构造域和太平洋构造域影响(Wu *et al.*, 2000)。海拉尔盆地地震剖面显示, 塔木兰沟组和铜钵庙组(上库力组)呈现明显的拉张伸展特征(孙晓猛等, 2011; 余本善等, 2013)。地球化学特征显示, 塔木兰沟组玄武质岩石属于钾玄质系列, 形成于大陆板内环境(尹志刚等, 2005; 吴华英等, 2008)。而该期火山岩(165~140 Ma)主要分布在松辽盆地以西地区, 其在吉黑东部尚未被发现, 说明该期岩浆事件与古太平洋板块的俯冲作用无关(许文良等, 2013), 其应与蒙古—鄂霍茨克洋碰撞闭合后的伸展作用有关(孟恩等, 2011; 赵忠华等, 2011; 余宏全等, 2012; 孟凡超等, 2014; 徐立权等, 2014)。

上库力组和伊列克得组构成双峰式火山岩(葛文春等, 2001), 上库力组流纹岩地球化学特征与白头山望天鹅期碱性流纹岩(樊祺诚等, 1998)和肯尼亚裂谷碱流岩(Wilson, 1989)类似(孟恩等, 2011), 说明该期火山事件形成于与裂谷发育过程相似的强烈引张环境。而该期伸展事件既可与古太平洋板块俯冲于欧亚大陆之下的弧后伸展环境相联系, 又可与蒙古—鄂霍茨克缝合带闭合后加厚陆壳的拆沉过程相联系(许文良等, 2013)。

与塔木兰沟组同期的松辽盆地火石岭组(以火山岩为主, 158~145 Ma)(瞿雪姣等, 2014a, 2014b; Wang and Chen, 2015)和沙河子组(以沉积岩为主, 145~130 Ma)(Wang and Chen, 2015)的地震剖面显示为强烈的拉张伸展特征(张元高等, 2010); 与铜钵庙组(上库力组)同期的松辽盆地营城组(以火山岩为主, 130~110 Ma)(Wang and Chen, 2015)的地震剖面显示该时期拉张伸展作用微弱, 主要表现为大规模左行走滑剪切特征(张元高等, 2010), 这也与邵济安等(1999)认为的 135~110 Ma 期间太平洋板块斜向俯冲造成我国东北地区大规模左行走滑相符合。这说明太平洋板块斜向俯冲造成的走滑剪切作用是形成松辽盆地营城组火山岩的主要动力, 而靠近蒙古—鄂霍茨克缝合带的同时期的海拉尔盆地铜钵庙组(上库力组)地震剖面显示为强烈拉张伸展特征(孙晓猛等, 2011; 余本善等, 2013), 两者对比可说明, 海拉尔盆地铜钵庙组(上库力组)时期主要受蒙古—鄂霍茨克洋碰撞闭合后的伸展作用影响。

综合以上分析, 笔者认为海拉尔盆地晚侏罗世—早白垩世早期塔木兰沟组(152~138 Ma)和早白垩世晚期铜钵庙组(128~117 Ma)火山岩均是在蒙古—鄂霍茨克洋碰撞闭合后的伸展背景下形成的。

#### 4.4 元古代结晶基底(2 489~663 Ma)

对于大兴安岭地区各地块是否存在前寒武纪结晶基底前人做了大量研究,认识不一.苗来成等(2003)认为小兴安岭西北部出露的新开岭—科洛变质岩并不是前寒武纪变质岩,小兴安岭地区可能并不存在大规模的前寒武纪变质基底;苗来成等(2007)测定黑龙江新林—韩家园子地区出露的兴华渡口群和内蒙古扎兰屯地区的扎兰屯群均形成于寒武纪或晚元古代,而不是先前认识的古元古代.而周新华等(2009)认为西乌珠穆沁旗和塔河地区火山岩地幔源区组分中存在明确的古老地块物质贡献,证明兴安造山带内存在前寒武纪古老地体.表尚虎等(2012)综合前人关于基底性质的锆石 U-Pb 测年数据研究,认为额尔古纳地块内的确存在着相当于新太古代—早元古代的古老结晶基底.

笔者在 Bx2 井采集的火山岩样品为安山质隐爆角砾岩,构造位置位于兴安地块,呈现明显的隐爆角砾结构,地震剖面特征显示其形成于火山口附近,是火山近源喷发形成的产物.测试分析结果表明,该样品中存在年龄为  $663.0 \pm 6.7$  Ma、 $2\ 120.0 \pm 16.7$  Ma、 $2\ 387.0 \pm 18.3$  Ma 和  $2\ 489.0 \pm 23.5$  Ma 的新元古代—古元古代捕获锆石,它们具有较高的 Th/U 比(0.22~0.66),且锆石具有清晰的岩浆韵律环带,应为岩浆成因,这些捕获锆石可能来自于元古代花岗岩,尽管笔者目前在海拉尔盆地还未直接获得前寒武纪结晶基底岩石的同位素年龄证据,但在其邻区大兴安岭地区学者们获得了一系列新太古代—古元古代锆石年龄(苗来成等,2007;表尚虎等,2012;余宏全等,2012;周建波等,2014),而海拉尔盆地存在的新元古代—古元古代捕获锆石,这暗示兴安地块很可能存在着元古代结晶基底.

## 5 结论

通过对海拉尔盆地火山岩的锆石 U-Pb 年代学研究,本文可以得出如下结论.

(1)在海拉尔盆地首次测得精确的晚三叠世火山岩的锆石 U-Pb 年龄( $214.4 \pm 4.3$  Ma),证实海拉尔盆地布达特群确实存在晚三叠世—早侏罗世的火山岩,而原布达特群中的中—晚石炭世(320~290 Ma)火山岩和花岗岩应该划归到基底.

(2)海拉尔盆地火山作用可以划分为 4 期,分别为:中—晚石炭世基底火山岩(320~290 Ma)、晚三叠世—早侏罗世早期布达特群火山碎屑组(224~

197 Ma)、晚侏罗世—早白垩世早期塔木兰沟组(152~138 Ma)以及早白垩世晚期铜钵庙组(128~117 Ma).

(3)海拉尔盆地晚石炭世基底岩浆岩是额尔古纳—兴安地块和松嫩地块碰撞造山后伸展背景下形成的;晚三叠世—早侏罗世早期火山岩是在古亚洲洋闭合后的伸展背景下形成的,说明古亚洲洋构造域对大兴安岭地区的影响至少延续到晚三叠世—早侏罗世(224~197 Ma),而该区域蒙古—鄂霍茨克洋的俯冲碰撞最早可能开始于早侏罗世以后;晚侏罗世—早白垩世早期塔木兰沟组和早白垩世晚期铜钵庙组火山岩的形成均与蒙古—鄂霍茨克碰撞闭合后的伸展作用有关.

(4)海拉尔盆地中部分火山岩中存在古元古代—新元古代捕获锆石,这暗示额尔古纳地块和兴安地块很可能存在着元古代结晶基底.

## References

- A, M. N., Zhang, F. Q., Yang, S. F., et al., 2013. Early Cretaceous Provenance Change in the Southern Hailar Basin, Northeastern China and Its Implication for Basin Evolution. *Cretaceous Research*, 40(2): 21–42. doi: 10.1016/j.cretres.2012.05.005
- Biao, S. H., Zheng, W. Z., Zhou, X. F., 2012. Zircon U-Pb Age of the North Da Hinggan Mts., NE China and Its Constraint to Attribute of the Ergun Block. *Acta Geologica Sinica*, 86(8): 1262–1272 (in Chinese with English abstract).
- Chen, B., Jahn, B. M., Wilde, S., et al., 2000. Two Contrasting Paleozoic Magmatic Belts in Northern Inner Mongolia, China: Petrogenesis and Tectonic Implications. *Tectonophysics*, 328(1–2): 157–182. doi: 10.1016/S0040-1951(00)00182-7
- Chen, J. L., Wu, H. Y., Zhu, D. F., et al., 2007. Tectonic Evolution of the Hailar Basin and Its Potentials of Oil-Gas Exploration. *Chinese Journal of Geology*, 42(1): 147–159 (in Chinese with English abstract).
- Chen, J. L., 2011. Reaearch of Structural Feature and Structural Evolution in the Hailaer-Tamtsag Basin (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese with English abstract).
- Chen, Z. G., Zhang, L. C., Zhou, X. H., et al., 2006. Geochronology and Geochemical Characteristics of Volcanic Rocks Section in Manzhouli Xinyouqi, Inner-Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 22(12): 2971–2986 (in Chinese with English abstract).

- Chen, Z. G., Zhang, L. C., Lu, B. Z., et al., 2010. Geochronology and Geochemistry of the Taipingchuan Copper-Molybdenum Deposit in Inner Mongolia, and Its Geological Significances. *Acta Petrologica Sinica*, 26(5): 1437–1449 (in Chinese with English abstract).
- Cui, F. H., Zheng, C. Q., Xu, X. C., et al., 2013. Late Carboniferous Magmatic Activities in the Quanshenglinchang area, Great Xing'an Range: Constrains on the Timing of Amalgamation between Xing'an and Songnen Massifs. *Acta Geologica Sinica*, 87(9): 1247–1263 (in Chinese with English abstract).
- Deng, J. F., Mo, X. X., Luo, Z. H., et al., 1999. Igneous Petrotectonic Assemblage and Crust-Mantle Metallogenic System. *Earth Science Frontiers*, 6(2): 259–269 (in Chinese with English abstract).
- Donskaya, T. V., Gladkochub, D. P., Mazukabzov, A. M., et al., 2012. The Late Triassic Kataev Volcanoplutonic Association in Western Transbaikalia, a Fragment of the Active Continental Margin of the Mongol-Okhotsk Ocean. *Russian Geology and Geophysics*, 53(1): 22–36. doi:10.1016/j.rgg.2011.12.002
- Fan, Q. C., Liu, R. X., Zhang, G. H., et al., 1998. The Genesis and Evolution of Bimodal Volcanic Rocks in Wangtian'e Volcano, Changbaishan. *Acta Petrologica Sinica*, 14(3): 305–317 (in Chinese with English abstract).
- Feng, Z. Q., Ren, Y. G., Zhang, X. D., et al., 2004. Law of Oil and Gas Distribution in Hailaer Basin and Orientation for Exploration at Next Stage. *China Petroleum Exploration*, 9(4): 19–22 (in Chinese with English abstract).
- Feng, Z. Q., Liu, Y. J., Wen, Q. B., et al., 2014. Petrogenesis of ~330 Ma Meta-Gabbro-Granite from the Tayuan Area in the Northern Segment of the Da Xing'an Mts and Its Tectonic Implication. *Acta Petrologica Sinica*, 30(7): 1982–1994 (in Chinese with English abstract).
- Ge, W. C., Li, X. H., Lin, Q., et al., 2001. Geochemistry of Early Cretaceous Alkaline Rhyolites from Hulun Lake, Daxing'anling and Its Tectonic Implications. *Chinese Journal of Geology*, 36(2): 176–183 (in Chinese with English abstract).
- Ge, W. C., Wu, F. Y., Zhou, C. Y., et al., 2005a. Emplacement Age of the Tahe Granite and Its Constraints on the Tectonic Nature of the Ergun Block in the Northern Part of the Da Hinggan Range. *Chinese Science Bulletin*, 50(12): 1239–1247 (in Chinese).
- Ge, W. C., Wu, F. Y., Zhou, C. Y., et al., 2005b. Zircon U-Pb Ages and Its Significance of the Mesozoic Granites in the Wulanhaote Region, Central Da Hinggan Mountain. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 749–762 (in Chinese with English abstract).
- Han, G. Q., Liu, Y. J., Neubauer, F., et al., 2011. Origin of Terranes in the Eastern Central Asian Orogenic Belt, NE China: U-Pb Ages of Detrital Zircons from Ordovician-Devonian Sandstones, North Da Xing'an Mts. *Tectonophysics*, 511(3–4): 109–124. doi:10.1016/j.tecto.2011.09.002
- He, S. S., Li, Q. G., Wang, Z. Q., et al., 2015. Zircon U-Pb-Hf Isotopic Characteristics from Felsic Volcanic Rocks of Baoligaomiao Formation, the Middle Segment of Inner Mongolia: Implications for Geological Evolution. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 51(1): 50–64 (in Chinese with English abstract).
- Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources, 1991. Regional Geology of Inner Mongolia. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Jian, P., Liu, D. Y., Kröner, A., et al., 2008. Time Scale of an Early to Mid-Paleozoic Orogenic Cycle of the Long-Lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: Implications for Continental Growth. *Lithos*, 101(3–4): 233–259. doi:10.1016/j.lithos.2007.07.005
- Jing, H. X., Sun, D. Y., Gou, J., et al., 2015. Chronology, Geochemistry and Hf Isotope of Granite from Southern Xingkai Block. *Earth Science*, 40(6): 982–994 (in Chinese with English).
- Koschek, G., 1993. Origin and Significance of the SEM Cathodoluminescence from Zircon. *Journal of Microscopy*, 171(3): 223–232. doi:10.1111/j.1365-2818.1993.tb03379.x
- Li, J. Y., Gao, L. M., Sun, G. H., et al., 2007. Shuangjingzi Middle Triassic Syn-Collisional Crust-Derived Granite in the East Inner Mongolia and Its Constraint on the Timing of Collision between Siberian and Sino-Korean Paleo-Plates. *Acta Petrologica Sinica*, 23(3): 565–582 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. Y., Mo, S. G., He, Z. J., et al., 2004. The Timing of Crustal Sinistral Strike-Slip Movement in the Northern Great Xing'an Ranges and Its Constraint on Reconstruction of the Crustal Tectonic Evolution of NE China and Adjacent Areas since the Mesozoic. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 157–168 (in Chinese with English abstract).
- Li, P. P., Ge, W. C., Zhang, Y. L., 2010. Division of Volcanic Strata in the Northwestern Part of Hailaer Basin: Evidence from Zircon U-Pb Dating. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8): 2482–2494 (in Chinese with English ab-

- stract).
- Li, P. W., Zhang, S. H., Gao, R., et al., 2012. New Upper Carboniferous-Lower Permian Paleomagnetic Results from the Central Inner Mongolia and Their Geological Implications. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42(S1): 423–440 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. C., 2012. Study on the Triassic-Jurassic Tectonic Evolution of the Middle Great Xing'an Range (Dissertation). Chinese Academy of Geological Science, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Li, S. Q., Hegner, E., Yang, Y. Z., et al., 2014. Age Constraints on Late Mesozoic Lithospheric Extension and Origin of Bimodal Volcanic Rocks from the Hailar Basin, NE China. *Lithos*, 190(3): 204–219. doi:10.1016/j.lithos.2013.12.009
- Liu, D. Y., Jian, P., Zhang, Q., et al., 2003. Shrimp Dating of Adakites in the Tulingkai Ophiolite, Inner Mongolia; Evidence for the Early Paleozoic Subduction. *Acta Geologica Sinica*, 77(3): 317–327 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J. L., Sun, F. Y., Lin, B. L., et al., 2015. Geochronology, Geochemistry and Zircon Hf Isotope of Miantian Granodiorite Intrusion in Yanbian Region, Southern Jilin Province and Its Geological Significance. *Earth Science*, 40(1): 49–60 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S. G., Zhao, X. K., Luo, Z. L., et al., 1992. The Analysis of Extensional Histories in Hailaer Basin, Inner Mongolia. *Journal of Chengde College of Geology*, 19(1): 34–41 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. S., Hu, Z. C., Gao, S., et al., 2008. In Situ Analysis of Major and Trace Elements of Anhydrous Minerals by LA-ICP-MS without Applying an Internal Standard. *Chemical Geology*, 257(1–2): 34–43. doi:10.1016/j.chemgeo.2008.08.004
- Liu, Z. H., Ren, Y. G., Li, C. B., et al., 2007. Structural Features and Their Impacts on Hydrocarbon Accumulation in Urxun-Beier Depression in Hailaer Basin. *Geotectonica et Metallogenia*, 31(2): 151–156 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig, K. R., 2003. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Berkeley.
- Luo, M. S., Lu, L. Q., Jia, J., et al., 2014. Evolution of Sedimentary Basins in China during Mesozoic. *Earth Science*, 39(9): 954–976 (in Chinese with English abstract).
- Meng, E., Xu, W. L., Yang, D. B., et al., 2011. Zircon U-Pb Chronology, Geochemistry of Mesozoic Volcanic Rocks from the Lingquan Basin in Manzhouli Area, and Its Tectonic Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 27(4): 1209–1226 (in Chinese with English abstract).
- Meng, F. C., Liu, J. Q., Cui, Y., et al., 2014. Mesozoic Tectonic Regimes Transition in the Northeast China; Constraints from Temporal-Spatial Distribution and Associations of Volcanic Rocks. *Acta Petrologica Sinica*, 30(12): 3569–3586 (in Chinese with English abstract).
- Meng, Q. A., Wan, C. B., Zhu, D. F., et al., 2013. Age Assignment and Geological Significance of the “Budate Group” in the Hailar Basin. *Science China: Earth Sciences*, 56(6): 970–979. doi:10.1007/s11430-013-4614-5
- Miao, L. C., Fan, W. M., Zhang, F. Q., et al., 2003. Xingkailing-Kolo Complex Zircon Shrimp Geochronology Research and Its Significance in Northwest Xiaoxing'anling. *Chinese Science Bulletin*, 48(22): 2315–2323 (in Chinese).
- Miao, L. C., Liu, D. Y., Zhang, F. Q., et al., 2007. Zircon Shrimp U-Pb Ages of the “Xinghuadukou Group” in Hanjiayuanzi and Xinlin Areas and the “Zhalantun Group” in Inner Mongolia, Da Hinggan Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 52(5): 591–601 (in Chinese).
- Qu, X. J., Wang, P. J., Gao, Y. F., et al., 2014a. Chronostratigraphy of Huoshiling Formation in the Songliao Basin, NE China: An Overview. *Earth Science Frontiers*, 21(2): 234–250 (in Chinese with English abstract).
- Qu, X. J., Wang, P. J., Yao, R. S., et al., 2014b. Stratigraphical Sequence and Regional Correlation of Huoshiling Formation in Southern Songliao Basin. *Journal of Central South University (Science and Technology Edition)*, 45(8): 2716–2727 (in Chinese with English abstract).
- Shao, J. A., Mu, B. L., He, G. Q., et al., 1997. The Geological Process of the Northern Region of North China in the Tectonic Overprinting Process of Palaeoasia and Pacific Regimes. *Science in China (Series D)*, 27(5): 390–394 (in Chinese).
- Shao, J. A., Zhao, G. L., Wang, Z., et al., 1999. Tectonic Setting of Mesozoic Volcanic in Da Hinggan Mountains, Northeastern China. *Geological Review*, 45(S1): 422–430 (in Chinese with English abstract).
- She, H. Q., Li, J. W., Xiang, A. P., et al., 2012. U-Pb Ages of the Zircons from Primary Rocks in Middle-Northern Daxing'anling and Its Implications to Geotectonic Evolution. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2): 571–594 (in Chinese with English abstract).

- Sorokin, A. A. , Yarmolyuk, V. V. , Kotov, A. B. , et al. , 2004. Geochronology of Triassic-Jurassic Granitoids in the Southern Framing of the Mongol-Okhotsk Fold Belt and the Problem of Early Mesozoic Granite Formation in Central and Eastern Asia. *Doklady Earth Sciences* , 399(8) : 1091—1094.
- Sun, D. Y. , Wu, F. Y. , Gao, S. , 2004b. LA-ICPMS Zircon U-Pb Age of the Qingshui Pluton in the East Xiao Hinggan Mountains. *Acta Geoscientica Sinica* , 25(2) : 213—218 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D. Y. , Wu, F. Y. , Gao, S. , et al. , 2005. Confirmation of Two Episodes of A-Type Granite Emplacement during Late Triassic and Early Jurassic in the Central Jilin Province, and Their Constraints on the Structural Pattern of Eastern Jilin-Heilongjiang Area, China. *Earth Science Frontiers* , 12(2) : 263—275 (in Chinese with English abstract).
- Sun, D. Y. , Wu, F. Y. , Zhang, Y. B. , et al. , 2004a. The Final Closing Time of the West Lamulun River-Changchun-Yanji Plate Suture Zone. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)* , 34(2) : 174—181 (in Chinese with English abstract).
- Sun, L. D. , Zou, C. N. , Zhu, R. K. , et al. , 2013. Formation, Distribution and Potential of Deep Hydrocarbon Resources in China. *Petroleum Exploration and Development* , 40(6) : 641—649 (in Chinese with English abstract).
- Sun, X. M. , Lu, B. L. , Zhang, M. S. , et al. , 2011. Typical Structural Styles and Deformation Sequence in Outcrop Area of Hailaer Basin and Its Margin. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)* , 41(S1) : 1—23 (in Chinese with English abstract).
- Wan, C. B. , 2006. Cretaceous Palynological Flora in Hailaer Basin (Dissertation). Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Wang, C. S. , Li, X. H. , Wan, X. Q. , et al. , 2000. The Cretaceous in Gyangze, Southern Xizang (Tibet); Redefined. *Acta Geologica Sinica* , 74(2) : 97—107 (in Chinese with English abstract).
- Wang, F. , Zhou, X. H. , Zhang, L. C. , et al. , 2006. Late Mesozoic Volcanism in the Great Xing'an Range (NE China): Timing and Implications for the Dynamic Setting of NE Asia. *Earth and Planetary Science Letters* , 251(1—2) : 179—198. doi:10.1016/j.epsl.2006.09.007
- Wang, P. J. , Chen, S. M. , 2015. Cretaceous Volcanic Reservoirs and Their Exploration in the Songliao Basin, Northeast China. *AAPG Bulletin* , 99(3) : 499—523. doi:10.1306/09041413095
- Wilson, M. , 1989. *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman, London.
- Wu, F. Y. , Jahn, B. M. , Wilde, S. A. , et al. , 2000. Phanerozoic Crustal Growth: U-Pb and Sr-Nd Isotopic Evidence from the Granites in Northeastern China. *Tectonophysics* , 328(1—2) : 89—113. doi:10.1016/S0040—1951(00)00179—7
- Wu, F. Y. , Lin, J. Q. , Wilde, S. A. , et al. , 2005. Nature and Significance of the Early Cretaceous Giant Igneous Event in Eastern China. *Earth and Planetary Science Letters* , 233(1—2) : 103—119. doi:10.1016/j.epsl.2005.02.019
- Wu, F. Y. , Sun, D. Y. , Ge, W. C. , et al. , 2011. Geochronology of the Phanerozoic Granitoids in Northeastern China. *Journal of Asian Earth Sciences* , 41(1) : 1—30. doi:10.1016/j.jseaes.2010.11.014
- Wu, F. Y. , Zhao, G. C. , Sun, D. Y. , et al. , 2007. The Hulan Group: Its Role in the Evolution of the Central Asian Orogenic Belt of NE China. *Journal of Asian Earth Sciences* , 30(3—4) : 542—556. doi:10.1016/j.jseaes.2007.01.003
- Wu, H. Y. , Li, Z. S. , Feng, Z. H. , et al. , 2006. Analysis on Structural Features and Reservoir-Forming Process of Wuerxun and Beier Sags in Hailaer Basin. *Acta Petrologica Sinica* , 27(S1) : 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Wu, H. Y. , Zhang, L. C. , Zhou, X. H. , et al. , 2008. Geochronology and Geochemical Characteristics of Late Mesozoic Andesites in the Central Da-Hinggan Mountains, and Its Genesis. *Acta Petrologica Sinica* , 24(6) : 1339—1352 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, W. J. , Windley, B. F. , Huang, B. C. , et al. , 2009. End-Permian to Mid-Triassic Termination of the Accretionary Processes of the Southern Altaids: Implications for the Geodynamic Evolution, Phanerozoic Continental Growth, and Metallogeny of Central Asia. *International Journal of Earth Sciences* , 98(6) : 1189—1217. doi:10.1007/s00531—008—0407—z
- Xin, H. T. , Teng, X. J. , Cheng, Y. H. , 2011. Stratigraphic Subdivision and Isotope Geochronology Study on the Baoligaomiao Formation in the East Ujimqin County, Inner Mongolia. *Geological Survey and Research* , 34(1) : 1—9 (in Chinese with English abstract).
- Xu, L. Q. , Liu, C. , Deng, J. F. , et al. , 2014. Geochemical Characteristics and Zircon U-Pb Shrimp Age of Igneous Rocks in Erentaolegai Silver Deposit, Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica* , 30(11) : 3203—3212 (in Chinese with English abstract).

- Xu, W. L., Ji, W. Q., Pei, F. P., et al., 2009. Triassic Volcanism in Eastern Heilongjiang and Jilin Provinces, NE China: Chronology, Geochemistry, and Tectonic Implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(3): 392–402. doi:10.1016/j.jseas.2008.07.001
- Xu, W. L., Wang, F., Pei, F. P., et al., 2013. Mesozoic Tectonic Regimes and Regional Ore-Forming Background in NE China: Constraints from Spatial and Temporal Variations of Mesozoic Volcanic Rock Associations. *Acta Petrologica Sinica*, 29(2): 339–353 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. L., Luo, M. S., Wang, C. G., et al., 2014. Neoproterozoic–Paleozoic Sedimentary Basins Evolution of Xing-Meng Orogenic Belt. *Earth Science*, 39(8): 1155–1168 (in Chinese with English abstract).
- Yin, Z. G., Zhao, H. B., Zhao, H. D., et al., 2005. Geochemical Characteristics and Tectonic Setting of Basaltic Rocks of the Tamulangou Formation at the Northern End of the Da Hinggan Mountains China. *Geological Bulletin of China*, 24(9): 848–853 (in Chinese with English abstract).
- Yu, B. S., Li, W. W., Wang, X. Y., et al., 2013. Tectonic Evolution and Its Controlling on Sedimentation in Hailaer Basin. *Oil Geophysical Prospecting*, 48(2): 289–296 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, H. L., Gao, S., Liu, X. M., et al., 2004. Accurate U-Pb Age and Trace Element Determinations of Zircon by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(3): 353–370. doi: 10.1111/j.1751-908X.2004.tb00755.x
- Zeng, W. S., Zhou, J. B., Zhang, X. Z., et al., 2011. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Age of the Volcanic Rocks from the Dashizhai Formation in Keyouqianqi, Inner Mongolia, China and Its Tectonic Setting. *Geological Bulletin of China*, 30(2–3): 270–277 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, F. Q., Chen, H. L., Gao, R. C., et al., 2010. Discovery of Late Paleozoic Adakite from the Basement of the Hailaer Basin in NE China and Its Geological Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 633–641 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. H., Ge, W. C., Wu, F. Y., et al., 2008. Large-Scale Early Cretaceous Volcanic Events in the Northern Great Xing'an Range, Northeastern China. *Lithos*, 102(1–2): 138–157. doi:10.1016/j.lithos.2007.08.011
- Zhang, X. D., Liu, G. D., Wang, J. L., 1994. Structural Characters of the Hailaer Basin and Its Geological Evolution. *Experimental Petroleum geology*, 16(2): 119–127 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. Z., Qiao, D. W., Chi, X. G., et al., 2011. Late-Paleozoic Tectonic Evolution and Oil-Gas Potential in Northeastern China. *Geological Bulletin of China*, 30(2–3): 205–213 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. G., Chen, S. M., Zhang, E. H., et al., 2010. The New Progress of Xujiaweizi Fault Depression Characteristic of Structural Geology Research. *Acta Petrologica Sinica*, 26(1): 142–148 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y. L., Ge, W. C., Gao, Y., et al., 2010. Zircon U-Pb Ages and Hf Isotopes of Granites in Longzhen Area and Their Geological Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 26(4): 1059–1073 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, L., Gao, F. H., Zhang, Y. L., et al., 2013. Zircon U-Pb Chronology and Its Geological Implications of Mesozoic Volcanic Rocks from the Hailaer Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 29(3): 864–874 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z., Chi, X. G., Pan, S. Y., et al., 2010. Zircon U-Pb LA-ICP-MS Dating of Carboniferous Volcanic and Its Geological Significance in the Northwestern Lesser Xing'an Range. *Acta Petrologica Sinica*, 26(8): 2452–2464 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. H., Sun, D. Y., Gou, J., et al., 2011. Chronology and Geochemistry of Volcanic Rocks in Tamulangou Formation from Southern Manchuria, Inner-Mongolia. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 41(6): 1865–1880 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, J. B., Wang, B., Zeng, W. S., et al., 2014. Detrital Zircon U-Pb Dating of the Zhalantun Metamorphic Complex and Its Tectonic Implications, Great Xing'an, NE China. *Acta Petrologica Sinica*, 30(7): 1879–1888 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, X. H., Ying, J. F., Zhang, L. C., et al., 2009. The Petrogenesis of Late Mesozoic Volcanic Rock and the Contributions from Ancient Micro-Continents: Constraints from the Zircon U-Pb Dating and Sr-Nd-Pb-Hf Isotopic Systematics. *Earth Science*, 34(1): 1–10 (in Chinese with English abstract).
- Zorin, Y. A., 1999. Geodynamics of the Western Part of the Mongolia-Okhotsk Collisional Belt, Trans-Baikal Region (Russia) and Mongolia. *Tectonophysics*, 306(1): 33–56. doi:10.1016/S0040-1951(99)00042-6

#### 附中文参考文献

- 表尚虎, 郑卫政, 周兴福, 2012. 大兴安岭北部锆石 U-Pb 年龄对额尔古纳地块构造归属的制约. *地质学报*, 86(8):

- 1262—1272.
- 陈均亮,吴河勇,朱德丰,等,2007.海拉尔盆地构造演化及油气勘探前景.地质科学,42(1):147—159.
- 陈均亮,2011.海拉尔—塔木察格盆地构造特征与演化研究(博士学位论文).成都:成都理工大学.
- 陈志广,张连昌,周新华,等,2006.满洲里新右旗火山岩剖面年代学和地球化学特征.岩石学报,22(12):2971—2986.
- 陈志广,张连昌,卢百志,等,2010.内蒙古太平川铜铅矿成矿斑岩时代、地球化学及地质意义.岩石学报,26(5):1437—1449.
- 崔芳华,郑常青,徐学纯,等,2013.大兴安岭全胜林场地区晚石炭世岩浆活动研究:对兴安地块与松嫩地块拼合时间的限定.地质学报,87(9):1247—1263.
- 邓晋福,莫宣学,罗照华,等,1999.火成岩构造组合与壳幔成矿系统.地学前缘,6(2):259—269.
- 樊祺诚,刘若新,张国辉,等,1998.长白山望天鹅火山双峰式火山岩的成因演化.岩石学报,14(3):305—317.
- 冯志强,任延广,张晓东,等,2004.海拉尔盆地油气分布规律及下步勘探方向.中国石油勘探,9(4):19—22.
- 冯志强,刘永江,温泉波,等,2014.大兴安岭北段塔源地区~330 Ma 变辉长岩—花岗岩的岩石成因及构造意义.岩石学报,30(7):1982—1994.
- 葛文春,李献华,林强,等,2001.呼伦湖早白垩世碱性流纹岩的地球化学特征及其意义.地质科学,36(2):176—183.
- 葛文春,吴福元,周长勇,等,2005a.大兴安岭北部塔河花岗岩体的时代及对额尔古纳地块构造归属的制约.科学通报,50(12):1239—1247.
- 葛文春,吴福元,周长勇,等,2005b.大兴安岭中部乌兰浩特地区中生代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义.岩石学报,21(3):749—762.
- 贺淑赛,李秋根,王宗起,等,2015.内蒙古中部宝力高庙组长英质火山岩 U-Pb-Hf 同位素特征及其地质意义.北京大学学报:(自然科学版),51(1):50—64.
- 内蒙古自治区地质矿产局,1991.内蒙古自治区区域地质志.北京:地质出版社.
- 敬海鑫,孙德有,苟军,等,2015.兴凯地块南部花岗岩年代学、地球化学及 Hf 同位素特征.地球科学,40(6):982—994.
- 李锦轶,高立明,孙桂华,等,2007.内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩的确定及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束.岩石学报,23(3):565—582.
- 李锦轶,莫申国,和政军,等,2004.大兴安岭北段地壳左行走滑运动的时代及其对中国东北及邻区中生代以来地壳构造演化重建的制约.地学前缘,11(3):157—168.
- 李萍萍,葛文春,张彦龙,2010.海拉尔盆地西北部火山岩地层划分的锆石 U-Pb 年代学证据.岩石学报,26(8):2482—2494.
- 李朋武,张世红,高锐,等,2012.内蒙古中部晚石炭世—早二叠世古地磁新数据及其地质意义.吉林大学学报:(地球科学版),42(S1):423—440.
- 李世超,2012.大兴安岭中段三叠—侏罗纪构造演化研究(博士学位论文).北京:中国地质科学院.
- 刘敦一,简平,张旗,等,2003.内蒙古图林凯蛇绿岩中埃达克岩 SHRIMP 测年:早古生代洋壳消减的证据.地质通报,77(3):317—327.
- 刘金龙,孙丰月,林博磊,等,2015.吉林延边地区棉田岩体锆石 U-Pb 年代学、地球化学及 Hf 同位素.地球科学,40(1):49—60.
- 刘树根,赵锡奎,罗志立,等,1992.内蒙古海拉尔盆地拉张史分析.成都地质学院学报,19(1):34—41.
- 刘志宏,任延广,李春柏,等,2007.海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷的构造特征及其对油气成藏的影响.大地构造与成矿学,31(2):151—156.
- 骆满生,卢隆桥,贾建,等,2014.中国中生代沉积盆地演化.地球科学,39(8):954—976.
- 孟恩,许文良,杨德彬,等,2011.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.岩石学报,27(4):1209—1226.
- 孟凡超,刘嘉麒,崔岩,等,2014.中国东北地区中生代构造体制的转变:来自火山岩时空分布与岩石组合的制约.岩石学报,30(12):3569—3586.
- 苗来成,范蔚茗,张福勤,等,2003.小兴安岭西北部新开岭—科洛杂岩锆石 SHRIMP 年代学研究及其意义.科学通报,48(22):2315—2323.
- 苗来成,刘敦一,张福勤,等,2007.大兴安岭韩家园子和新林地区兴华渡口群和扎兰屯群锆石 SHRIMP U-Pb 年龄.科学通报,52(5):591—601.
- 瞿雪姣,王璞珺,高有峰,等,2014a.松辽盆地断陷期火石岭组时代归属探讨.地学前缘,21(2):234—250.
- 瞿雪姣,王璞珺,姚瑞士,等,2014b.松辽盆地南部火石岭组地层序列划分与区域对比.中南大学学报(自然科学版),45(8):2716—2727.
- 邵济安,牟保磊,何国琦,等,1997.华北北部在古亚洲域与太平洋域构造叠加过程中的地质作用.中国科学(D辑),27(5):390—394.
- 邵济安,赵国龙,王忠,等,1999.大兴安岭中生代火山活动构造背景.地质论评,45(S1):422—430.
- 余宏全,李进文,向安平,等,2012.大兴安岭中北段原岩锆石 U-Pb 测年及其与区域构造演化关系.岩石学报,28(2):571—594.
- 孙德有,吴福元,高山,等,2005.吉林中部晚三叠世和早侏罗世二期铝质 A 型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约.地学前缘,12(2):263—275.
- 孙德有,吴福元,张艳斌,等,2004a.西拉木伦河—长春—延

- 吉板块缝合带的最后闭合时间—来自吉林大玉山花岗岩体的证据. 吉林大学学报(地球科学版), 34(2): 174—181.
- 孙德有, 吴福元, 高山, 2004b. 小兴安岭东部清水岩体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定. 地球学报, 25(2): 213—218.
- 孙龙德, 邹才能, 朱如凯, 等, 2013. 中国深层油气形成、分布与潜力分析. 石油勘探与开发, 40(6): 641—649.
- 孙晓猛, 鲁宝亮, 张梅生, 等, 2011. 海拉尔盆地及盆缘露头区典型构造样式及变形序列. 吉林大学学报(地球科学版), 41(S1): 1—23.
- 万传彪, 2006. 海拉尔盆地白垩纪孢粉植物群(博士学位论文). 长春: 吉林大学.
- 王成善, 李祥辉, 万晓樵, 等, 2000. 西藏南部江孜地区白垩纪的厘定. 地质学报, 74(1): 97—107.
- 吴河勇, 李子顺, 冯子辉, 等, 2006. 海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷构造特征与油气成藏过程分析. 石油学报, 27(S1): 1—6.
- 吴华英, 张连昌, 周新华, 等, 2008. 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. 岩石学报, 24(6): 1339—1352.
- 辛后田, 滕学建, 程银行, 2011. 内蒙古东乌旗宝力高庙组地层划分及其同位素年代学研究. 地质调查与研究, 34(1): 1—9.
- 徐立权, 刘翠, 邓晋福, 等, 2014. 内蒙古额仁陶勒盖银矿区火成岩岩石地球化学特征及锆石 SHRIMP U-Pb 同位素定年. 岩石学报, 30(11): 3203—3212.
- 许文良, 王枫, 裴福萍, 等, 2013. 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. 岩石学报, 29(2): 339—353.
- 杨文麟, 骆满生, 王成刚, 等, 2014. 兴蒙造山系新元古代—古生代沉积盆地演化. 地球科学, 39(8): 1155—1168.
- 尹志刚, 赵海滨, 赵寒冬, 等, 2005. 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. 地质通报, 24(9): 848—853.
- 余本善, 李薇薇, 王兴宇, 等, 2013. 海拉尔盆地构造演化及对沉积的控制作用. 石油地球物理勘探, 48(2): 289—296.
- 曾维顺, 周建波, 张兴洲, 等, 2011. 内蒙古科右前旗大石寨组火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其形成背景. 地质通报, 30(2—3): 270—277.
- 章凤奇, 陈汉林, 曹瑞成, 等, 2010. 海拉尔盆地基底晚古生代 adakite 的发现及其地质意义. 岩石学报, 26(2): 633—641.
- 张晓东, 刘光鼎, 王家林, 1994. 海拉尔盆地的构造特征及其演化. 石油实验地质, 16(2): 119—127.
- 张兴洲, 乔德武, 迟效国, 等, 2011. 东北地区晚古生代构造演化及其石油地质意义. 地质通报, 30(2—3): 205—213.
- 张元高, 陈树民, 张尔华, 等, 2010. 徐家围子断陷构造地质特征研究新进展. 岩石学报, 26(1): 142—148.
- 张彦龙, 葛文春, 高妍, 等, 2010. 龙镇地区花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素及地质意义. 岩石学报, 26(4): 1059—1073.
- 赵磊, 高福红, 张彦龙, 等, 2013. 海拉尔盆地中生代火山岩锆石 U-Pb 年代学及其地质意义. 岩石学报, 29(3): 864—874.
- 赵芝, 迟效国, 潘世语, 等, 2010. 小兴安岭西北部石炭纪地层火山岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学及其地质意义. 岩石学报, 26(8): 2452—2464.
- 赵忠华, 孙德有, 苟军, 等, 2011. 满洲里南部塔木兰沟组火山岩年代学与地球化学. 吉林大学学报(地球科学版), 41(6): 1865—1880.
- 周建波, 王斌, 曾维顺, 等, 2014. 大兴安岭地区扎兰屯变质杂岩的碎屑锆石 U-Pb 年龄及其大地构造意义. 岩石学报, 30(7): 1879—1888.
- 周新华, 英基非, 张连昌, 等, 2009. 大兴安岭晚中生代火山岩成因与古老地块物质贡献: 锆石 U-Pb 年龄及多元同位素制约. 地球科学, 34(1): 1—10.