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^{1,2},高有峰^{3*},吴海波⁴,瞿雪姣⁵,刘志文⁴,白雪峰⁴,王璞珺²

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,盆内存在多套火山一沉积岩组合.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一早侏罗世 (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:分别为中一晚石炭世基底岩浆岩(320~290 Ma); 晚三叠世一早侏罗世早期布特达特群火山碎屑岩组(224~197 Ma);晚侏罗世一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,中一晚石炭世基底岩浆岩(320~290 Ma)是额尔古纳一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 世一早侏罗世早期火山岩(224~197 Ma)是额尔古纳一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 世一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),而该区域蒙古一鄂霍茨克洋的俯冲碰撞最早可能开始于早侏罗世 以后;晚侏罗世一早白垩世早期(152~138 Ma)和早白垩世晚期(128~117 Ma)火山岩的形成均与蒙古一鄂霍茨克洋碰撞闭 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一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^{1,2}, Gao Youfeng^{3*}, Wu Haibo⁴, Qu Xuejiao⁵, Liu Zhiwen⁴, Bai Xuefeng⁴, Wang Pujun²

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

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.

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

that volcanic rocks with ages of Late Triassic-early Early Jurassic (214, 4 ± 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 collision of the Mongolia Okhotsk Ocean possibly started in the 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 postcollision extensional setting related to the closure 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 代以来又受到蒙古一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,以塔源一喜桂 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一沉积岩组合,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) 和晚侏罗世一早白垩世火山岩(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一晚侏罗世,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,尤其是中一晚三叠世期间 (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





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 古生界一古生界变质岩、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一古生 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

1261



图 2 海拉尔盆地地层序列柱状图(a)和取样井岩性柱状图(b)

Fig. 2 Column showing stratigraphic sequence of Hailaer basin (a) and lithologic features of drilling samples (b) 图 a 据万传彪(2006)

双面胶上,用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂 充分固化后抛光,制成靶样. 锆石阴极发光(CL)图 像的采集在北京锆年领航科技服务公司电镜室完 成. 参照锆石 CL 图像,选择内部结构均匀、环带特 征清楚且无包裹体裂隙的区域进行分析测试.

锆石 U-Pb 年龄分析在中国地质大学(武汉)地 质过程与矿产资源国家重点实验室完成.使用 Geolas2005激光剥蚀系统和 Agilent7500a 分析测试 仪器进行锆石 LA-ICP-MS 测试,激光斑束直径为 32 μm,剥蚀深度为 20~40 μm.实验中采用高纯氮 气作为剥蚀物质的载气,用美国国家标准技术研究 院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NISTSRM 610 进行仪器最佳化,采用哈佛大学国 际标准锆石 91500(约1064 Ma)作为校正外标,GJ-1(≈599 Ma)作为监控样,以²⁹Si 为内标校正锆石微 量元素含量,分析流程参照Yuan *et al.* (2004).对

分析结果
ICP-MS U-Pb
岩锆石 LA-]
立尔盆地火山
表1 海

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb analytical data for volcanic rocks from Hailar basin

	2 - 0 - 7 - F.	11/1 0 - 6 V	2-017 M	TT/ PT	100 100 100 100 100 100 100 100 100 100	,	207 IV 1995 I	.	11066/ HC 306	.			年龄(Ma	(1		
作師づ		(, 01)D	Lp(10)gJ	I I/ O	01 /01	Tα	Fb/	Tα	D 202 / D/ 202	Τα	$^{207}{ m Pb}/^{206}{ m U}$	1σ	$^{207} {\rm Pb}/^{235} {\rm U}$	1σ	$^{206}\mathrm{Pb}/^{238}\mathrm{U}$	1σ
C8-1 C8-3	822 622	895 840	106 85	0.92	0.0494	0.0029	0.1556	0.0087	0.0233	0.0004	165 246	132 121	147.0 161.0	7.7 8.7	148.0	2.4
200 100 100	547	716	84	0.76	0.0524	0,0031	0. 165 4	0,0092	0.0232	0.0004	306	135	155.0)	148.0	
C8-4 20-4	503 763	594 808	75 106	0.0 80 80	0.0512	0.0034	0.1588	0.0104	0.0233	0.0004	250	147 136	120.0	- 6 - 6	148.0	9.6 97
990 200	1 072	1162	132	0.92	0.050 6	0.0023	0. 163 3	0,0075	0.0234	0,000.3	220	107	154.0	9.0	149.0	100
C8-7	634	808	97	0.78	0.0536	0.0032	0.1696	0.0101	0. 023 3	0.0003	354	135	159.0	8.7	149.0	2.1
200 200 200	1 380 643	180	194 81	1.41 0.86	0.0505	0.0024	0. 182 6	0.0081	0.0265	0.0004	300 203	131	154.0		147.0	21-
02-30 08-10	1023	742	80	0.75	0.0573	0.0032	0. 184 6	0.0105	0.0233	0,000.3	169	159	149.0	0 K-	149.0	2.3
C8-11	475	668	67	0.71	0.0494	0.0036	0.1575	0. 011 1	0. 023 3	0.0004	298	184	149.0	10.0	148.0	2.6
C8-12	$\frac{441}{2}$	524	29	0.84	0.0523	0.0041	0.1575	0.0114	0.0233	0.0004	167	156	146.0	9.3	149.0	2.6
C&-13	373	527	1 13	0.71	0.0492	0.0035	0.1541	0.0106	0.0233	0.0004	165	110	148.0	 	148.0	1.9 .0
C8-15 C8-15	1 32U 632	808 801	143 83	1. 30 0 79	0.0454 0.0550	0.0024	0. 137 5 0 175 5	0,001.5	0.0232	0.000.0	409 189	120	164. U 147. D	00 00	149. U 146. D	⊃∝
C8-16 C8-16	790	858	103	0.92	0.0497	0.0026	0. 155 8	0.0079	0.0229	0.0003	309	141	149.0	.00	142.0	
C8-17	1113	741	129	1.50	0.0525	0.0032	0. 158 2	0.0093	0. 022 3	0.0003	154	119	148.0	7.2	148.0	2.0
C8-18	× 833	1 017	108	0.82	0.0491	0.0026	0. 157 0	0.0082	0.0233	0.0003	572	152	172.0	11.5	146.0	2.4
C8-19	481 1 979	1 0 8 0	151	1 17	1 6 0 1 0	0.0041	U. 184 5 0 157 6	0.0134	0.0229	0.000 2	107 208	199	149.0	0.0 V	140.0	0-
C8-21 C8-21	821	1 003	96 161	0.91	0.0523	0.0028	0. 15/ 0	0.0088	0.0233	0.0003	209	120	151.0		149.0	1.9
C8-22	$1 \overline{031}$	1148	127	0.90	0.050 3	0.0028	0. 160 3	0.0084	0. 023 3	0.0003	302	107	159.0	9. 9	150.0	2.2
C8-23	$1 \begin{array}{c} 094 \\ 096 \end{array}$	$1 \frac{117}{22}$	131	0.98	0.0524	0.0024	0.1695	0.0076	0.0235	0.0003	191	$134 \\ 134$	150.0	7.4	148.0	2.4
C8-24	639	1.1.1	x c	0.82	0.0499	0.002.8	0.1588	0.0085	0.0233	0.0004	333	97	160.0 330.0		153.0	10
C0-20 75-1	00	0/0 11	90 83	70 °0	0.057.7	0,004.9	0.1/0.5	0.0094	0.0241	0.000 0	200 205	017 015	220.0 227.0	10.1 21.1	223. U	4.0
5 5 7 6 7 6 7 6	200	1.0	S.C.	0.73	0.052.2	0020	0.250.0	0.0265	0.035.5	0.000 7	345	222	225.0	19.0	224 0	۲ oc F oc
C2-91	85	15	69	0.82	0.0532	0.0053	0.2484	0.0234	0.0354	0.0006	328	211	231.0	19.2	220.0	4.0
C_{5-4}	$\frac{73}{2}$	12	20	0.97	0.0530	0.0049	0.2556	0.0238	0.0348	0.0006	350	253	214.0	20.7	212.0	3.9
ېد کړ	07	77	69	0.98	0.0535	0.005 8	0. 234 7	0.02522	0.0335	0.0006	309	272	231.0	21.7	232.0	
22-20	0 00	54 74	45	0.780	0.0591	0.0071	0.2614	0.028.80	0.0351	000000	354	183	217.0	12.6	206.0	+ cc
-9-9- 022-9-	102	27	148	1.45	0.0536	0.0043	0. 238 3	0.0190	0.0326	0.0005	391	263	226.0	22.9	214.0	4.4
C2-9	<u>6</u> 6	10	44	0.67	0.0545	0.0063	0. 248 7	0.0281	0. 033 8	0.0007	420	368	224.0	32.6	216.0	4.6
C5-10	50 10	77	39	0°.28	0.0552	0.0089	0. 246 5	0.0400	0.0341	0.000 0	520 520	325	224.0	20.6 20.9	222.0	21- 12-
C5-12 C5-12	165	1 a	52 22	0.87	0.057.9	0, 007 2	0.2401	0.0283	0.0324	0,000.0	276 276	252	213.0	23.4	210.0	.4 4
C5-13	63	13	20	1.12	0.0518	0.0062	$0.\ \overline{233}\ 6$	0.0284	0.0332	0.0007	$\overline{354}$	258	207.0	22.8	201.0	4.2
C5-14	65 65	10	61	0.94	0.0536	0.0062	0.2259	0.0275	0.0316	0.0007	457	249	210.0	20.1	204.0	4.2
C5-15 C5-15	67 67	22 72	138 54	1. 74 0 00	0.0562	0.0063	0. 229 6	0.0244	0.0322	2 000 0	461 261	205 211	213.0	21.0 24.6	204. 0 291. 0	л4. 5 Л
02-14 02-14	- 00	121	51 C	000	0.053.8	0.007.3	0.249.5	0.030.3	0.0349	0000	254	222	219.0	20.5	211.0	,4 4 4
C5-18	66	17	84	1.27	0.0513	0.0053	0.2405	0.0246	0. 033 2	0.0007	365	56	247.0	2.3	$\overline{235.0}$	2.1
B2-1 B2-1	2962	479	1943	0.66	0.0538	0.0013	0.2758	0.0067	0.0371	0.0003	2390	26	2 269.0	15.9	2120.0	16.7
7-79 7-79	1 007	174	432	0.65	0.1540	0.0024	8. 339 8	0. 145 5	0.3894	0.003.6	524 9776	46	515.0	× 0 0	510.0	4.5 1
D2-3 B2-4	1 238	1 609	4.02	0.45	0.03/0	0,002.9	10.558.8	0.014.0	0.4713	0.00074	2 41 0 828	161	2 403. U	10.	403.0 663.0	6.7 6.7
B2-5	499	268	445	0.89	0.0666	0.0019	1. 003 9	0.0301	0.1084	0.0012	432	88	136.0		120.0	1.4
B2-6	1 925	111	889	0.46	0.0554	0.0023	0.1438	0. 00 <u>6</u> 0	0.0188	0.0002	320	89	192.0	.0 10	183.0	2.1
B2-7 D2 0	1 328	1 200	100	0.59	0.0528	0.002.0	0.2084	0.0078	0.0288	0.0003	2 483	87 7 7	2 447.0	17.7 E 3	2 387. 0	то. 10
W49-1	1 917	159	1456	0.76	0.0483	0.0022	0. 133 3	0. 005 9	0.0199	0.0002	142	768	123.0	0.4 100	127.0	1.4
W49-2	1 984	163	1542	0.78	0.0473	0.0019	0. 129 3	0.0048	0.0199	0.0002	200	-71	127.0	6.3	127.0	1.6
W49-3	$1\frac{341}{201}$	81	726	0.54	0.0487	0.0026	0.1338	0.0071	0.0199	0.0003	228	61	121.0	4.2	116.0	1.0 0
W49-4 W10-5	132	74 98	080	0. 43 9.73	0.050 /	0,001.9	0. 120 / 0 389 5	0.004/ 0.0146	0,0182	000 °0	200 2399	769	329. U	10. / 8 6	308. U	⊃ ⊂ ∾ ~
W49-6	266	27	61 61	0.23 0.23	0.0530	0.0018	0. 342 4	0.0113	0. 047 2	0.0005	165	132	147.0	7.7	148.0	2.4



图 3 海拉尔盆地火山岩的部分错石阴极发光照片

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 1σ,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 Pb/²³⁸ U 年龄为 147.0 ± 2.2 ~ 153.0 ± 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 ± 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 ± 2.2.0 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 Pb/²³⁸ U 年龄为 201.0±4.2~ 232.0±5.1 Ma,都分布在谐和线上,其²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 加权年龄为 214.4±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±16.7 Ma、 2 489.0±23.5 Ma、2 387.0±18.7 Ma(古元古代)、 663.0±6.7 Ma(新元古代)、510.0±4.5 Ma(晚寒 武世一早奧陶世)、235.0±2.1 Ma(早一中三叠 世)、183.0±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±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 ± 3.0 Ma、 297.0 ± 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 由于构造一热事件发生过 Pb 丢失,可能代表后期 热事件年龄;测点 W49-1、WU49-2、W49-3 分布在 谐和线上,其²⁰⁶ Pb/²³⁸ U 加权年龄为 127.1 ± 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),由于盆内钻井取心条件的限制, 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(佘宏全等,2012).因 此,本文通过对海拉尔盆地4个火山岩样品(Bx2: 120.0±1.4 Ma; Wu49:127.1±1.7 Ma; Chu8: 148.16±0.85 Ma; Cha5:214.4±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,分别为中一晚石炭世(320~290 Ma)、晚三叠 世一早侏罗世早期(224~197 Ma)、晚侏罗世一早 白垩世早期(152~138 Ma)和早白垩世晚期(128~ 117 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=1141)(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一沉积岩 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一地质层序的建立与 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 Limbosporites, 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一早侏罗世,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 世一早二叠世,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±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 该属于晚三叠世一早侏罗世,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 世一早白垩世早期(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 中一晚石炭世(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, 佘宏全等(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一 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 晚三叠世一早侏罗世早期(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,又是蒙古一鄂霍茨克洋的闭合时期 (Donskaya et al., 2012),被认为是古亚洲洋构造 域向蒙古一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).晚二叠世一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一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,与蒙古一鄂霍茨克洋俯冲碰撞有关 (陈志广等,2010;佘宏全等,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,基底一布达特群(古生代一早侏 罗世早期)与兴安岭群(晚侏罗世一早白垩世晚期) 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 压一隆升剥蚀作用,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一鄂霍茨 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一早侏罗世早期 (224~197 Ma),而该区域蒙古一鄂霍茨克洋的俯 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一早白垩世早期 (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一白垩纪时期的岩浆作用

主要受蒙古一鄂霍次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),其应与蒙古一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;佘 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 与蒙古一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, 而靠近蒙古一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一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)火山岩均是在蒙古一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(2489~663 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一科洛变 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)测定黑龙江新林一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 明兴蒙造山带内存在前寒武古老地体.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 太古代一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±6.7 Ma、2 120.0± 16.7 Ma、2 387.0±18.3 Ma 和 2 489.0±23.5 Ma 的新元古代一古元古代捕获锆石,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 代一古元古代锆石年龄(苗来成等,2007;表尚虎等, 2012;佘宏全等,2012;周建波等,2014),而海拉尔盆 地存在的新元古代一古元古代捕获锆石,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±4.3 Ma),证实海拉 尔盆地布达特群确实存在晚三叠世一早侏罗世的火 山岩,而原布达特群中的中一晚石炭世(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:中一晚石炭世基底火山岩(320~290 Ma)、晚三 叠世一早侏罗世早期布特达特群火山碎屑组(224~ 197 Ma)、晚侏罗世一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 纳一兴安地块和松嫩地块碰撞造山后伸展背景下形 成的;晚三叠世一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一早 侏罗世(224~197 Ma),而该区域蒙古一鄂霍茨克 洋的俯冲碰撞最早可能开始于早侏罗世以后;晚侏 罗世一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一鄂霍茨克碰撞闭合 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 代一新元古代捕获锆石,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. Ziron 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 Khing'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 Hailar 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 Signifucance. *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 Chendu 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 Sci*ence, 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; Constriants 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 Hailar 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 Geoloigica 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 Petrolei 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.jseaes. 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 Implication. 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 Hailar 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. Ziron 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.海拉尔一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.内蒙古太平川铜钼矿成矿 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一早二 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.大兴安岭中段三叠一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.海拉尔盆地乌尔逊一贝尔 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一 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.
- 佘宏全,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 世两期铝质 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一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. 海拉尔盆地乌尔逊一贝尔 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一古 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.