

海拉尔盆地中生代火山岩锆石 U-Pb 年代学及其地质意义*

赵磊¹ 高福红² 张彦龙² 徐怀民¹ 张丽媛¹

ZHAO Lei¹, GAO FuHong², ZHANG YanLong², XU HuaiMin¹ and ZHANG LiYuan¹

1. 油气资源与探测国家重点实验室, 中国石油大学地球科学学院, 北京 102249

2. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061

1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2011-10-10 收稿, 2012-10-11 改回.

Zhao L, Gao FH, Zhang YL, Xu HM and Zhang LY. 2013. Zircon U-Pb chronology and its geological implications of Mesozoic volcanic rocks from the Hailaer basin. Acta Petrologica Sinica, 29(3):864–874

Abstract This paper presents the LA-ICP-MS zircon ages of 6 rhyolite samples in the Nantun Formation (K_1n) from Well Chu 2 and in the Xing'anling Group (J_3xn) from Well Chu 3, to constrain the volcanic rocks' exact formation time and their relation to the formation and evolution of the Hailaer basin. Zircon grains from the 6 rhyolite samples are euhedral to subhedral in shape and show the typical oscillatory zoning or striped absorption with Th/U ratios range from 0.48 to 2.41, implying that they should be magmatic in origin. The $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of zircons from the rhyolite sample of the Nantun Formation (K_1n) in Well Chu 2 range from 123Ma to 134Ma, with a weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of $127 \pm 2\text{Ma}$, representing the formation time of the volcanic rocks, is Early Cretaceous. Zircon grains in other five rhyolite samples from the Xing'anling Group (J_3xn) in Well Chu 3 show weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of $120 \pm 1\text{Ma}$, $127 \pm 4\text{Ma}$, $125 \pm 1\text{Ma}$, $125 \pm 1\text{Ma}$ and $126 \pm 1\text{Ma}$, respectively, indicating that the volcanic rocks was formed in Early Cretaceous rather than Late Jurassic as previously believed. Besides these ages, there are some captured zircons in rhyolites with the ages of 140~168Ma, which coincide with the formation time of volcanic rocks in the Tamulangou Formation in the same region. Our data shows that the volcanic rocks in the Nantun Formation and the Xing'anling Group formed in Early Cretaceous, which are close to the age of the Mesozoic volcanic activities in eastern China. Combined with the spatial variations of ages of the Mesozoic volcanic rocks in northeastern China, it is suggested that the formation and evolution of the Hailaer basin are related to the subduction of the Paleo-Pacific plate.

Key words Hailaer basin; U-Pb zircon dating; Rhyolite; Mesozoic; Nantun Formation; Xing'anling Group

摘要 本文报导了海拉尔盆地巴彦呼舒凹陷楚2井南屯组(K_1n)和楚3井兴安岭群(J_3xn)6个流纹岩中锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果,以便精确限定盆地内火山岩形成的时代以及火山活动与盆地形成和演化之间的关系。6个流纹岩中的锆石均呈自形-半自形晶,显示典型的岩浆生长环带或条痕状吸收,并具有较高的 Th/U 比值(0.48~2.41),表示其为岩浆成因。楚2井南屯组(K_1n)1个流纹岩中锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 123~134Ma 之间,其加权平均年龄为 $127 \pm 2\text{Ma}$,代表了该火山岩的形成时代为早白垩世晚期;楚3井兴安岭群5个样品的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 $120 \pm 1\text{Ma}$ 、 $127 \pm 4\text{Ma}$ 、 $125 \pm 1\text{Ma}$ 、 $125 \pm 1\text{Ma}$ 和 $126 \pm 1\text{Ma}$,表明其形成时代为早白垩世晚期,并非前人确定的晚侏罗世。除了上述年龄外,流纹岩中还存在 140~168Ma 的捕获锆石,这与区域上出露的塔木兰沟组火山岩的形成时代相吻合。根据上述定年结果并结合前人的资料,海拉尔盆地南屯组和兴安岭群火山岩的形成时代为早白垩世晚期,火山活动时间为中生代晚侏罗世-早白垩世,这与我国东部中生代火成岩活动的年代一致。从东北地区中生代火山岩的定年结果及其空间展布来看,海拉尔盆地的形成与演化应与环太平洋构造体系有关,即古太平洋板块的俯冲作用。

* 本文受国家自然科学基金项目(90814003,40739905)资助。

第一作者简介: 赵磊,男,1985年生,博士生,地质资源与地质工程专业, E-mail: zhaolei8502@126.com

关键词 海拉尔盆地; 锆石 U-Pb 定年; 流纹岩; 中生代; 南屯组; 兴安岭群

中图法分类号 P588.141; P597.3

大兴安岭地区中生代火山岩的形成年龄与地球动力学背景是该地区地学研究的热点问题之一, 精确的年龄数据对探讨该区中生代岩浆作用机制具有重要的意义。东北地区北部发育一系列的断陷盆地, 如松辽盆地、海拉尔盆地、二连盆地等, 其中海拉尔盆地已探明具有丰富的油气资源, 目前已成为我国重要的油气勘探目标区之一(吴河勇等, 2004), 关于盆地的油气资源分布已经取得了很多认识, 但对于盆地地层划分、对比及盆地内部发育的火山岩年代学等方面尚存在分歧。前人仅根据地震资料或岩石类型对盆地地层进行了划分, 将南屯组(K_1n) 归属于早白垩世, 将兴安岭群(J_3xn) 归属于晚侏罗世(内蒙古自治区地质矿产局, 1991), 存在较大的争议, 此外, 对于在盆地内部中生代地层中广泛发育的火山岩尚未进行系统的年代学研究, 这不仅限制了对盆地的形成与演化与大兴安岭地区中生代期间火山活动和构造演化之间关系的认识, 也直接影响到油气勘探目标区与目的层位的确定。鉴于此, 本文以海拉尔盆地巴彦呼舒凹陷楚2井和楚3井钻井岩心为研究对象, 对南屯组(K_1n) 和兴安岭群(J_3xn) 中钻遇的流纹岩进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年工作, 以此确定南屯组(K_1n) 与兴安岭群(J_3xn) 的地层年龄与归属, 并探讨了海拉尔盆地中生代火山岩形成演化的动力学背景。

1 地质概况和样品描述

海拉尔盆地位于华北板块与西伯利亚板块之间所夹持的中亚造山带内额尔古纳地块上, 受 NE-NW 向两条地壳断裂夹持, 盆内断裂构造发育, 以 NE 向和 NW 向为主, 控制了该区火山活动及次火山岩体的展布(陈均亮等, 2007)。盆地划分为五个一级构造单元: 扎赉诺尔坳陷、嵯岗隆起、贝尔湖坳陷、巴彦山隆起和呼和湖坳陷, 巴彦呼舒凹陷是扎赉诺尔坳陷的一个二级构造单元(图 1), NE 轴向, 面积 1500 km², 最大深度 4000 m。凹陷基底为古生代变质岩, 自下而上发育的地层有: 兴安岭群(J_3xn)、铜钵庙组(K_1t)、南屯组(K_1n)、大磨拐河组(K_1d)、伊敏组(K_1y) 以及青元岗组(K_2qy)。根据测井解释和岩心观察, 大磨拐河组以泥岩、粉砂岩为主, 南屯组以砂岩、粉砂岩为主, 铜钵庙组以泥岩、砂岩、凝灰质砂岩为主, 兴安岭群以流纹岩、砂砾岩、泥岩、凝灰岩、安山岩为主。本文研究对象为南屯组(K_1n) 与兴安岭群(J_3xn), 采样位置如图 2。

通过对海拉尔盆地内钻井岩心的观察研究, 盆地内存在大规模层状分布的中生代流纹岩体, 盆地外也出露了一些类似的火山岩体。其岩相属火山溢流相, 岩体内并未发现火山

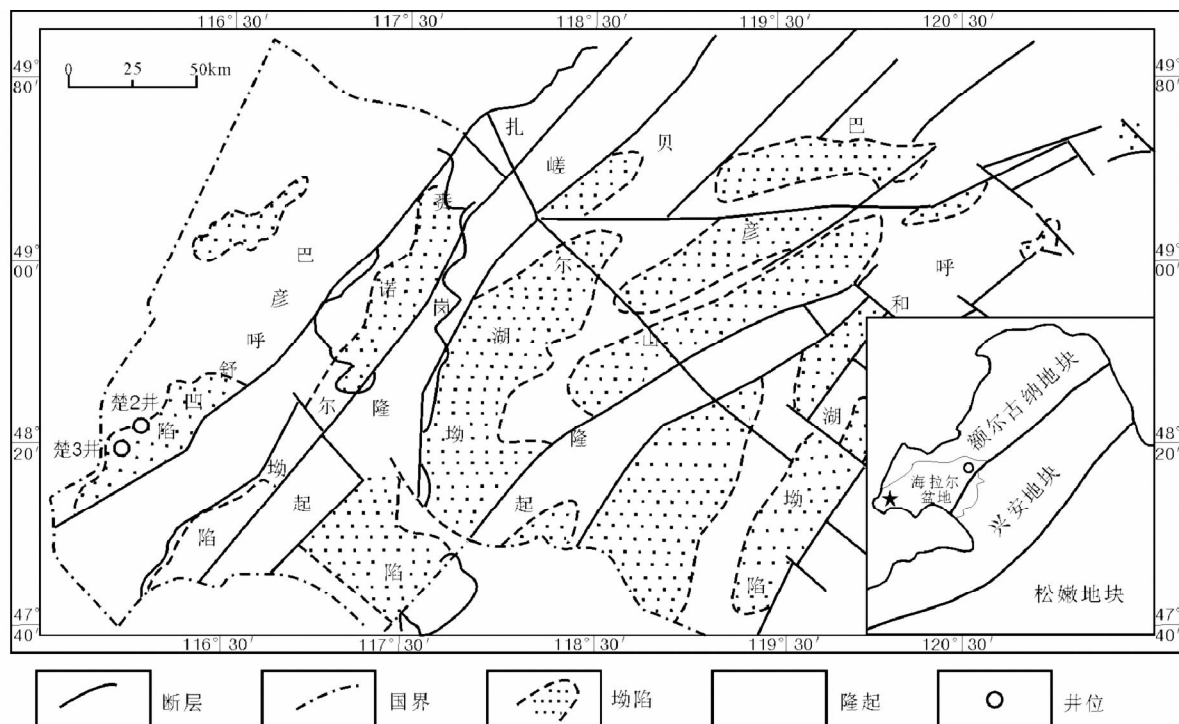


图 1 海拉尔盆地构造单元划分和流纹岩定年样品位置

Fig. 1 Sketch geological map showing tectonic units and sampling location for the Hailaer basin

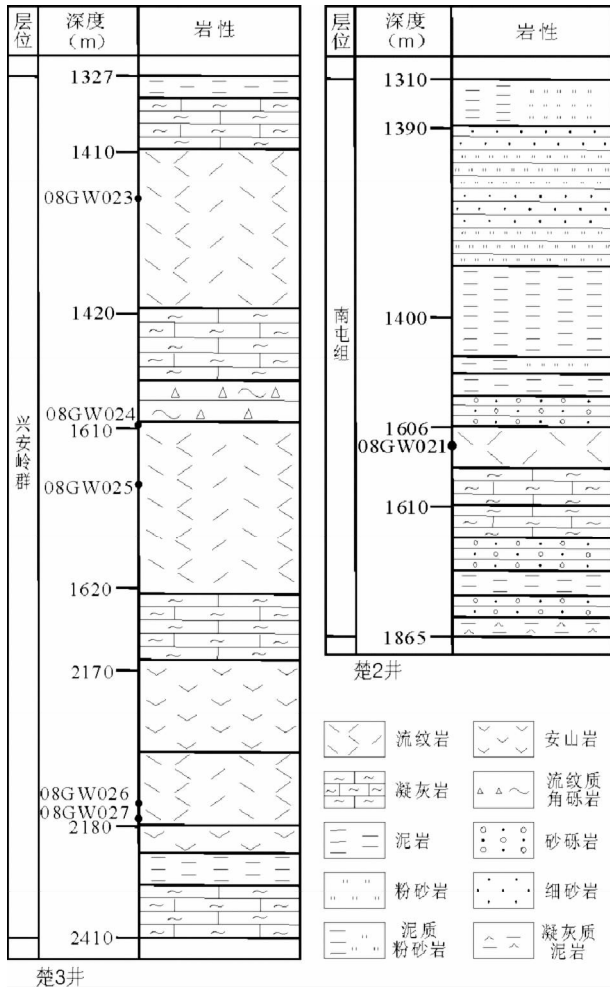


图2 楚2井和楚3井岩性柱状图和采样位置

Fig. 2 Column diagram of the Well Chu 2 and Well Chu 3 showing lithology and sampling positions

碎屑及陆源碎屑。6个流纹岩样品可分为硅化流纹岩和球粒流纹岩两种类型,其岩相学特征如下:

硅化流纹岩 样品 08GW023、08GW026、08GW027 采自楚3井,取样深度分别为 1413.17m、2178.82m、2179.27m,岩性均为硅化流纹岩,岩石呈灰白色,流纹构造,斑状结构,斑晶主要为石英,表面干净,粒度在 0.02~0.25mm 之间,基质为霏细结构,硅化强烈,在球粒内部及粒间发育玉髓化,其中 08GW026、08GW027 岩石基质玉髓化程度要明显强于 08GW023,暗色矿物主要为普通角闪石。

球粒流纹岩 样品 08GW021 采自楚2井,取样深度为 1606.92m,样品 08GW024、08GW025 采自楚3井,取样深度分别为 1611.90m、1616.53m,岩性均为球粒流纹岩,岩石呈灰白色,流纹构造,斑状结构,斑晶主要为石英,边部熔蚀,粒度在 0.05~0.3mm 之间,基质主要是霏细结构、玻璃质脱玻化形成的球粒结构。

2 分析方法

本文的样品破碎和锆石挑选由河北省区域地质调查大队地质实验室完成。在阴极发光 (CL) 图像基础上,采用激光剥蚀等离子体分析技术 (LA-ICP-MS) 对锆石进行微区原位单点 U-Pb 同位素定年。锆石 CL 图像采集 (图 3) 和定年实验在中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室进行,采用 ComPex102 ArF 准分子激光器 (波长 193nm) 和带有动态反应池的四极杆 Agilent 7500A Q-TCP MS 型进行锆石 U-Pb 测定。实验中采用 He 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 NIST SRM610 进行仪器最佳化,采用哈佛大学国际标准锆石 91500、GJ-1 作为外部校正,GJ-1 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $613 \pm 6.3\text{Ma}$,与 GJ-1 的推荐值 $613 \pm 6\text{Ma}$ (谢烈文等,2008) 在误差范围内基本一致。样品的同位素比值计算采用 GLITTER (ver.4.0 Macquarie University) 程序,年龄计算采用国际标准程序 Isoplot3.0。样品的制备与 SHRIMP 方法类似,实验采用的激光束斑直径为 $50\mu\text{m}$ 。实

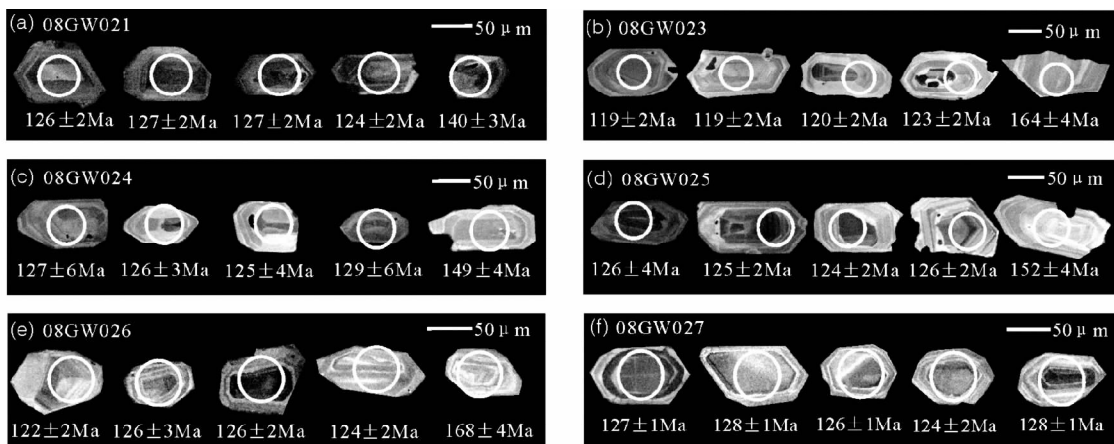


图3 海拉尔盆地中生代火山岩部分锆石阴极发光图像

Fig. 3 CL images of the selected zircons from the Mesozoic volcanic rocks of the Hailaer basin

表 1 海拉尔盆地中生代火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年数据

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating data from Mesozoic volcanic rocks in the Hailaer basin

测点号	含量 ($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值 $\pm 1\sigma$		年龄 (Ma) $\pm 1\sigma$	
	Pb*	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
08GW021-01	28.4	706	1155	0.61	0.1509 \pm 0.0043	0.01982 \pm 0.00032	143 \pm 4	127 \pm 2
08GW021-02	4.92	266	176	1.51	0.1622 \pm 0.0124	0.02349 \pm 0.00076	153 \pm 11	150 \pm 5
08GW021-03	20.3	1423	642	2.22	0.1317 \pm 0.0044	0.01979 \pm 0.00034	126 \pm 4	126 \pm 2
08GW021-04	25.9	897	963	0.93	0.1393 \pm 0.0056	0.01932 \pm 0.00040	132 \pm 5	123 \pm 3
08GW021-05	57.3	1982	1829	1.08	0.1245 \pm 0.0022	0.01832 \pm 0.00023	119 \pm 2	117 \pm 1
08GW021-06	54.1	1715	1375	1.25	0.1455 \pm 0.0139	0.02012 \pm 0.00042	138 \pm 12	128 \pm 3
08GW021-07	68.4	1483	1515	1.98	0.1502 \pm 0.0103	0.02138 \pm 0.00035	142 \pm 9	136 \pm 2
08GW021-08	40.0	1377	1317	1.05	0.1462 \pm 0.0042	0.02088 \pm 0.00033	139 \pm 4	133 \pm 2
08GW021-09	74.2	1678	1730	0.97	0.1235 \pm 0.0051	0.01945 \pm 0.00030	118 \pm 5	124 \pm 2
08GW021-10	25.5	653	931	0.70	0.1577 \pm 0.0039	0.01995 \pm 0.00030	149 \pm 3	127 \pm 2
08GW021-11	35.5	1257	1193	1.05	0.1425 \pm 0.0041	0.02033 \pm 0.00033	135 \pm 4	130 \pm 2
08GW021-12	46.4	1430	1394	1.03	0.1494 \pm 0.0088	0.02012 \pm 0.00031	141 \pm 8	128 \pm 2
08GW021-13	24.8	910	818	1.11	0.1569 \pm 0.0037	0.02243 \pm 0.00032	148 \pm 3	143 \pm 2
08GW021-14	32.5	1100	1161	0.95	0.1397 \pm 0.0040	0.01922 \pm 0.00031	133 \pm 4	123 \pm 2
08GW021-15	107	4509	1871	2.41	0.1598 \pm 0.0028	0.02188 \pm 0.00028	150 \pm 2	140 \pm 2
08GW021-16	27.1	853	1013	0.84	0.1514 \pm 0.0040	0.02054 \pm 0.00032	143 \pm 4	131 \pm 2
08GW021-17	69.5	1229	1144	1.07	0.1728 \pm 0.0167	0.02188 \pm 0.00048	162 \pm 14	140 \pm 3
08GW021-18	28.7	1016	1055	0.96	0.1221 \pm 0.0063	0.01923 \pm 0.00030	117 \pm 6	123 \pm 2
08GW021-19	64.9	1921	1838	1.05	0.1349 \pm 0.0068	0.02100 \pm 0.00030	129 \pm 6	134 \pm 2
08GW023-01	21.9	801	607	1.32	0.1767 \pm 0.0041	0.02234 \pm 0.00033	165 \pm 4	142 \pm 2
08GW023-02	5.18	160	126	1.27	0.1621 \pm 0.0096	0.02584 \pm 0.00062	153 \pm 8	164 \pm 4
08GW023-03	12.5	307	471	0.65	0.1243 \pm 0.0036	0.01848 \pm 0.00030	119 \pm 3	118 \pm 2
08GW023-04	19.3	582	645	0.90	0.1528 \pm 0.0032	0.01934 \pm 0.00027	144 \pm 3	123 \pm 2
08GW023-05	12.3	291	427	0.68	0.1509 \pm 0.0038	0.01940 \pm 0.00030	143 \pm 3	124 \pm 2
08GW023-06	12.5	292	447	0.65	0.1522 \pm 0.0036	0.01867 \pm 0.00028	144 \pm 3	119 \pm 2
08GW023-07	7.70	211	193	1.09	0.1857 \pm 0.0067	0.02570 \pm 0.00049	173 \pm 6	164 \pm 3
08GW023-08	11.5	383	358	1.07	0.1417 \pm 0.0050	0.01930 \pm 0.00036	135 \pm 4	123 \pm 2
08GW023-09	18.3	512	657	0.78	0.1322 \pm 0.0031	0.01873 \pm 0.00027	126 \pm 3	120 \pm 2
08GW023-10	12.0	580	363	1.60	0.1270 \pm 0.0035	0.01869 \pm 0.00028	121 \pm 3	119 \pm 2
08GW023-11	10.1	248	351	0.71	0.1157 \pm 0.0059	0.01822 \pm 0.00046	111 \pm 5	116 \pm 3
08GW023-12	14.4	449	520	0.86	0.1216 \pm 0.0031	0.01826 \pm 0.00027	117 \pm 3	117 \pm 2
08GW023-13	4.42	114	123	0.93	0.1705 \pm 0.0078	0.02311 \pm 0.00049	160 \pm 7	147 \pm 3
08GW023-14	11.9	266	406	0.66	0.1195 \pm 0.0053	0.01882 \pm 0.00030	115 \pm 5	120 \pm 2
08GW023-15	19.8	558	699	0.80	0.1277 \pm 0.0025	0.01890 \pm 0.00025	122 \pm 2	121 \pm 2
08GW023-16	10.3	254	345	0.74	0.1171 \pm 0.0090	0.01820 \pm 0.00040	112 \pm 8	116 \pm 3
08GW023-17	4.89	132	122	1.08	0.2064 \pm 0.0105	0.02505 \pm 0.00067	190 \pm 9	159 \pm 4
08GW023-18	3.11	83.0	70.4	1.18	0.2183 \pm 0.0143	0.02577 \pm 0.00074	201 \pm 12	164 \pm 5
08GW023-19	12.7	291	460	0.63	0.1286 \pm 0.0037	0.01832 \pm 0.00029	123 \pm 3	117 \pm 2
08GW023-20	11.9	272	401	0.68	0.1191 \pm 0.0054	0.01865 \pm 0.00029	114 \pm 5	119 \pm 2
08GW023-21	11.0	240	368	0.65	0.1193 \pm 0.0069	0.01826 \pm 0.00031	114 \pm 6	117 \pm 2
08GW023-22	9.89	262	335	0.78	0.1226 \pm 0.0037	0.01848 \pm 0.00029	117 \pm 3	118 \pm 2
08GW024-01	10.2	209	293	0.71	0.1706 \pm 0.0088	0.02531 \pm 0.00058	160 \pm 8	161 \pm 4
08GW024-02	8.84	233	250	0.93	0.1858 \pm 0.0097	0.02394 \pm 0.00059	173 \pm 8	153 \pm 4
08GW024-03	10.6	340	363	0.94	0.1425 \pm 0.0124	0.02000 \pm 0.00084	135 \pm 11	128 \pm 5
08GW024-04	9.44	285	310	0.92	0.1351 \pm 0.0149	0.02020 \pm 0.00098	129 \pm 13	129 \pm 6
08GW024-05	17.8	427	553	0.77	0.1528 \pm 0.0064	0.02264 \pm 0.00048	144 \pm 6	144 \pm 3
08GW024-06	8.03	183	258	0.71	0.1568 \pm 0.0092	0.02262 \pm 0.00060	148 \pm 8	144 \pm 4
08GW024-07	12.1	265	355	0.75	0.1682 \pm 0.0065	0.02477 \pm 0.00048	158 \pm 6	158 \pm 3
08GW024-08	18.5	588	489	1.20	0.1526 \pm 0.0057	0.02506 \pm 0.00046	144 \pm 5	160 \pm 3
08GW024-09	17.9	382	674	0.57	0.1159 \pm 0.0065	0.01975 \pm 0.00051	111 \pm 6	126 \pm 3
08GW024-10	6.90	166	199	0.83	0.1635 \pm 0.0096	0.02454 \pm 0.00060	154 \pm 8	156 \pm 4

续表 1

Continued Table 1

测点号	含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值 $\pm 1\sigma$		年龄(Ma) $\pm 1\sigma$	
	Pb*	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
08GW024-11	7.35	152	224	0.68	0.1859 \pm 0.0102	0.02323 \pm 0.00064	173 \pm 9	148 \pm 4
08GW024-12	14.8	404	462	0.87	0.1386 \pm 0.0053	0.02253 \pm 0.00041	132 \pm 5	144 \pm 3
08GW024-13	8.92	356	234	1.52	0.1573 \pm 0.0128	0.02360 \pm 0.00084	148 \pm 11	150 \pm 5
08GW024-14	7.88	157	238	0.66	0.1372 \pm 0.0120	0.02315 \pm 0.00085	131 \pm 11	148 \pm 5
08GW024-15	11.3	239	304	0.79	0.1929 \pm 0.0081	0.02547 \pm 0.00055	179 \pm 7	162 \pm 3
08GW024-16	4.51	112	155	0.72	0.1232 \pm 0.0129	0.02062 \pm 0.00079	118 \pm 12	132 \pm 5
08GW024-17	8.33	144	302	0.48	0.1288 \pm 0.0119	0.01956 \pm 0.00058	123 \pm 11	125 \pm 4
08GW024-18	6.67	150	206	0.73	0.1600 \pm 0.0093	0.02337 \pm 0.00063	151 \pm 8	149 \pm 4
08GW024-19	6.67	198	205	0.97	0.1384 \pm 0.0063	0.02198 \pm 0.00044	132 \pm 6	140 \pm 3
08GW024-20	6.48	147	219	0.67	0.1584 \pm 0.0157	0.01988 \pm 0.00098	149 \pm 14	127 \pm 6
08GW025-01	8.27	254	247	1.03	0.2056 \pm 0.0228	0.02299 \pm 0.00062	190 \pm 19	147 \pm 4
08GW025-02	16.2	543	682	0.80	0.1268 \pm 0.0062	0.01963 \pm 0.00030	121 \pm 6	125 \pm 2
08GW025-03	25.3	1128	955	1.18	0.1999 \pm 0.0050	0.02003 \pm 0.00034	185 \pm 4	128 \pm 2
08GW025-04	7.65	355	231	1.54	0.2046 \pm 0.0083	0.02363 \pm 0.00048	189 \pm 7	151 \pm 3
08GW025-05	12.4	485	499	0.97	0.1335 \pm 0.0043	0.01968 \pm 0.00033	127 \pm 4	126 \pm 2
08GW025-06	8.89	347	307	1.13	0.1869 \pm 0.0087	0.02213 \pm 0.00053	174 \pm 7	141 \pm 3
08GW025-07	6.07	214	210	1.02	0.1801 \pm 0.0090	0.02365 \pm 0.00052	168 \pm 8	151 \pm 3
08GW025-08	16.4	596	702	0.85	0.1306 \pm 0.0045	0.01921 \pm 0.00033	125 \pm 4	123 \pm 2
08GW025-09	7.41	245	284	0.86	0.1332 \pm 0.0150	0.01910 \pm 0.00049	127 \pm 13	122 \pm 3
08GW025-10	9.44	264	359	0.74	0.1533 \pm 0.0063	0.02235 \pm 0.00043	145 \pm 6	142 \pm 3
08GW025-11	9.36	417	326	1.28	0.1477 \pm 0.0078	0.02155 \pm 0.00048	140 \pm 7	137 \pm 3
08GW025-12	7.55	240	247	0.97	0.2108 \pm 0.0101	0.02405 \pm 0.00059	194 \pm 8	153 \pm 4
08GW025-13	17.8	1057	634	1.67	0.1322 \pm 0.0043	0.01969 \pm 0.00032	126 \pm 4	126 \pm 2
08GW025-14	9.97	458	361	1.27	0.1708 \pm 0.0106	0.01976 \pm 0.00060	160 \pm 9	126 \pm 4
08GW025-15	3.60	153	103	1.49	0.1811 \pm 0.0350	0.02285 \pm 0.00084	169 \pm 30	146 \pm 5
08GW025-16	11.8	603	336	1.79	0.1725 \pm 0.0069	0.02422 \pm 0.00043	162 \pm 6	154 \pm 3
08GW025-17	3.27	88.4	98.4	0.90	0.1728 \pm 0.0340	0.02267 \pm 0.00093	162 \pm 29	145 \pm 6
08GW025-18	12.9	447	531	0.84	0.1414 \pm 0.0057	0.01957 \pm 0.00038	134 \pm 5	125 \pm 2
08GW025-19	4.54	172	143	1.20	0.1947 \pm 0.0141	0.02381 \pm 0.00070	181 \pm 12	152 \pm 4
08GW025-20	15.4	605	466	1.30	0.2171 \pm 0.0072	0.02360 \pm 0.00042	199 \pm 6	150 \pm 3
08GW025-21	16.6	636	673	0.95	0.1380 \pm 0.0048	0.01939 \pm 0.00034	131 \pm 4	124 \pm 2
08GW025-22	2.01	52.1	50.5	1.03	0.1472 \pm 0.0191	0.02318 \pm 0.00110	139 \pm 17	148 \pm 7
08GW025-23	2.72	131	88.8	1.48	0.1732 \pm 0.0208	0.02229 \pm 0.00093	162 \pm 18	142 \pm 6
08GW026-01	53.9	2571	2050	1.25	0.1289 \pm 0.0022	0.01967 \pm 0.00025	123 \pm 2	126 \pm 2
08GW026-02	34.7	1687	1345	1.25	0.1320 \pm 0.0039	0.01967 \pm 0.00033	126 \pm 3	126 \pm 2
08GW026-03	16.2	598	580	1.03	0.1518 \pm 0.0052	0.02220 \pm 0.00039	144 \pm 5	142 \pm 2
08GW026-04	10.7	313	354	0.88	0.1625 \pm 0.0090	0.02406 \pm 0.00063	153 \pm 8	153 \pm 4
08GW026-05	20.0	1047	732	1.43	0.1350 \pm 0.0034	0.01943 \pm 0.00029	129 \pm 3	124 \pm 2
08GW026-06	15.8	601	617	0.97	0.1533 \pm 0.0057	0.01969 \pm 0.00040	145 \pm 5	126 \pm 3
08GW026-07	9.91	358	284	1.26	0.1783 \pm 0.0101	0.02634 \pm 0.00064	167 \pm 9	168 \pm 4
08GW026-08	31.3	1838	1101	1.67	0.1280 \pm 0.0029	0.01921 \pm 0.00027	122 \pm 3	123 \pm 2
08GW026-09	21.2	909	781	1.16	0.1370 \pm 0.0036	0.01985 \pm 0.00031	130 \pm 3	127 \pm 2
08GW026-10	32.3	1426	1118	1.28	0.1428 \pm 0.0030	0.02132 \pm 0.00029	136 \pm 3	136 \pm 2
08GW026-11	73.4	3872	2852	1.36	0.1225 \pm 0.0022	0.01934 \pm 0.00025	117 \pm 2	123 \pm 2
08GW026-12	4.71	145	152	0.95	0.1634 \pm 0.0104	0.02396 \pm 0.00062	154 \pm 9	153 \pm 4
08GW026-13	52.2	4640	1971	2.35	0.1549 \pm 0.0087	0.01914 \pm 0.00058	146 \pm 8	122 \pm 4
08GW026-14	19.2	1180	677	1.74	0.1344 \pm 0.0037	0.01915 \pm 0.00030	128 \pm 3	122 \pm 2
08GW026-15	17.3	589	694	0.85	0.1256 \pm 0.0034	0.01950 \pm 0.00029	120 \pm 3	124 \pm 2
08GW026-16	54.8	2376	2090	1.14	0.1258 \pm 0.0019	0.01990 \pm 0.00024	120 \pm 2	127 \pm 2
08GW026-17	54.7	1746	1848	0.94	0.1398 \pm 0.0045	0.02231 \pm 0.00039	133 \pm 4	142 \pm 2

续表 1

Continued Table 1

测点号	含量($\times 10^{-6}$)			Th/U	同位素比值 $\pm 1\sigma$		年龄(Ma) $\pm 1\sigma$	
	Pb*	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
08GW026-18	13.1	431	489	0.88	0.1330 \pm 0.0067	0.02012 \pm 0.00048	127 \pm 6	128 \pm 3
08GW026-19	35.3	1109	1413	0.78	0.1201 \pm 0.0022	0.01972 \pm 0.00025	115 \pm 2	126 \pm 2
08GW026-20	38.1	1207	1482	0.81	0.1299 \pm 0.0022	0.01987 \pm 0.00025	124 \pm 2	127 \pm 2
08GW026-21	28.9	758	902	0.84	0.1603 \pm 0.0046	0.02417 \pm 0.00038	151 \pm 4	154 \pm 2
08GW026-22	45.9	1643	1667	0.99	0.1512 \pm 0.0026	0.01999 \pm 0.00026	143 \pm 2	128 \pm 2
08GW026-23	16.4	717	578	1.24	0.1289 \pm 0.0038	0.01937 \pm 0.00031	123 \pm 3	124 \pm 2
08GW027-01	1.50	65.4	58.4	1.12	0.1439 \pm 0.0031	0.01975 \pm 0.00024	137 \pm 3	126 \pm 2
08GW027-02	1.68	64.8	64.0	1.01	0.1368 \pm 0.0027	0.02005 \pm 0.00023	130 \pm 2	128 \pm 1
08GW027-03	2.59	135	98.2	1.37	0.1449 \pm 0.0028	0.01975 \pm 0.00023	137 \pm 2	126 \pm 1
08GW027-04	2.93	158	111	1.42	0.1331 \pm 0.0022	0.01966 \pm 0.00021	127 \pm 2	126 \pm 1
08GW027-05	1.97	84.6	76.5	1.11	0.1401 \pm 0.0025	0.01967 \pm 0.00022	133 \pm 2	126 \pm 1
08GW027-06	2.70	128	98.2	1.30	0.1267 \pm 0.0082	0.01936 \pm 0.00029	121 \pm 7	124 \pm 2
08GW027-07	1.49	92.2	49.5	1.86	0.1346 \pm 0.0044	0.01925 \pm 0.00029	128 \pm 4	123 \pm 2
08GW027-08	1.10	62.4	37.2	1.68	0.1312 \pm 0.0100	0.01964 \pm 0.00030	125 \pm 9	125 \pm 2
08GW027-09	1.29	58.3	48.7	1.20	0.1231 \pm 0.0052	0.01938 \pm 0.00024	118 \pm 5	124 \pm 2
08GW027-10	1.44	64.0	51.4	1.25	0.1308 \pm 0.0076	0.01993 \pm 0.00027	125 \pm 7	127 \pm 2
08GW027-11	2.45	128	87.2	1.47	0.1304 \pm 0.0080	0.01954 \pm 0.00026	124 \pm 7	125 \pm 2
08GW027-12	1.78	104	64.5	1.61	0.1567 \pm 0.0036	0.01959 \pm 0.00026	148 \pm 3	125 \pm 2
08GW027-13	1.74	87.0	61.9	1.41	0.1299 \pm 0.0094	0.01949 \pm 0.00030	124 \pm 8	124 \pm 2
08GW027-14	2.94	145	111	1.31	0.1402 \pm 0.0022	0.01986 \pm 0.00021	133 \pm 2	127 \pm 1
08GW027-15	4.14	246	155	1.59	0.1351 \pm 0.0019	0.01947 \pm 0.00020	129 \pm 2	124 \pm 1
08GW027-16	2.30	107	84.6	1.26	0.1441 \pm 0.0026	0.02001 \pm 0.00023	137 \pm 2	128 \pm 1
08GW027-17	3.42	177	127	1.39	0.1346 \pm 0.0026	0.01986 \pm 0.00023	128 \pm 2	127 \pm 1
08GW027-18	0.97	41.9	33.5	1.25	0.1399 \pm 0.0133	0.01960 \pm 0.00037	133 \pm 12	125 \pm 2
08GW027-19	3.24	215	118	1.82	0.1508 \pm 0.0032	0.01925 \pm 0.00025	143 \pm 3	123 \pm 2

注: Pb* 为放射性成因铅含量

验获得的数据采用 Andersen 的方法进行同位素比值的校正 (Andersen, 2002), 以扣除普通 Pb 的影响。

3 锆石 U-Pb 测定结果

海拉尔盆地楚 2 井南屯组 (K_1n) 和楚 3 井兴安岭群 (J_3xn) 不同深度的 6 个样品的锆石 U-Pb 年龄分析结果列于表 1, 其 U-Pb 谐和图如图 4 所示。由于所测定的岩石形成于中生代, 其结果以 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄计算。单个分析点的分析误差为 1σ , 加权平均后的同位素年龄误差为 2σ 。

海拉尔盆地南屯组 (K_1n) 和兴安岭群 (J_3xn) 6 个流纹岩样品中锆石粒度在 30 ~ 100 μm 之间, 其阴极发光 (CL) 图像显示, 大多数锆石晶形较好, 呈粒状或短柱状, 内部结构清晰, 发育典型的振荡生长环带 (图 3), 但它们均具有高的 Th/U 比值, 介于 0.48 ~ 2.41 之间, 暗示其岩浆成因。在 6 个样品中, 除 08GW027 号样品未发现捕获锆石外, 其他 5 个样品均有捕获锆石。

08GW021 样品 19 颗锆石的测试结果显示, 所有 19 颗锆石的测试结果都位于谐和线上或附近 (图 4a), 其中有一个

颗粒可能是由于 Pb 丢失而导致 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值偏低, 未参加统计计算。该样品的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值明显分为两组, 第一组 13 颗锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 123 ~ 134Ma 间, 加权平均年龄为 $128 \pm 2\text{Ma}$ (MSWD = 3.2); 第二组 5 颗锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 136 ~ 150Ma 间, 加权平均年龄为 $140 \pm 5\text{Ma}$ (MSWD = 2.6)。我们认为 125Ma 是硅化流纹岩的岩浆结晶年龄, 而 140Ma 为流纹岩捕获的早期岩浆锆石年龄, 可能是该区早期岩浆作用的产物。

08GW023 样品 22 颗锆石的测试结果显示, 所有锆石的测试结果都位于谐和线上或附近 (图 4b), 但该样品的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值明显分为两组, 第一组 16 颗锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 116 ~ 124Ma 间, 加权平均年龄为 $120 \pm 1\text{Ma}$ (MSWD = 1.4); 第二组 6 颗锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 142 ~ 164Ma 间, 加权平均年龄为 $152 \pm 11\text{Ma}$ (MSWD = 12)。我们认为 120Ma 是硅化流纹岩的岩浆结晶年龄, 而 152Ma 为流纹岩捕获的早期岩浆锆石年龄。

08GW024 样品 20 颗锆石的测试结果都位于谐和线上 (图 4c), 其中有 6 颗锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 125 ~ 132Ma 间, 加权平均年龄为 $127 \pm 4\text{Ma}$ (MSWD = 0.3), 该年龄应该

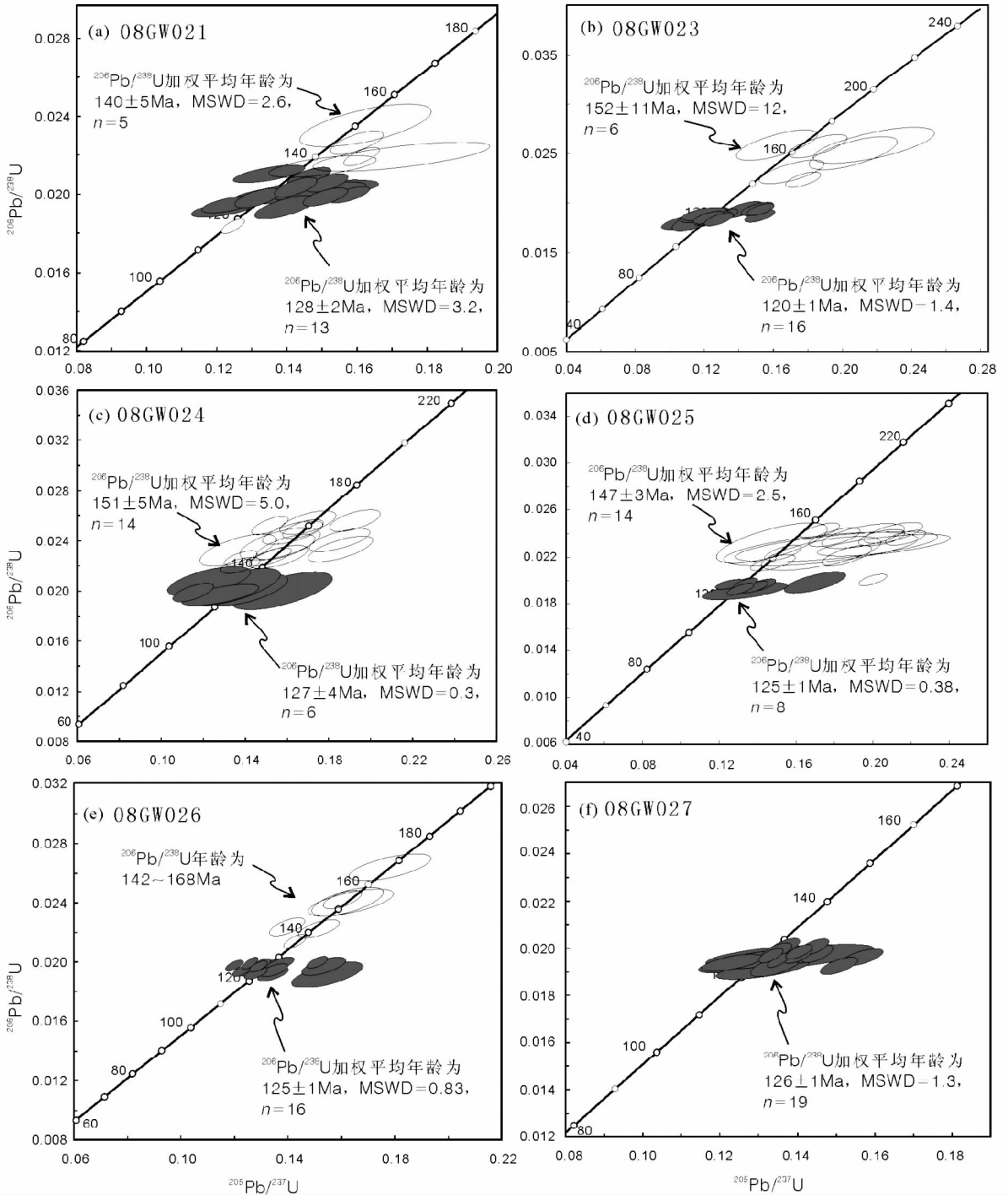


图4 海拉尔盆地中生代火山岩中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谱和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagrams showing the LA-ICP-MS zircon data for the Mesozoic volcanic rocks of the Hailaer basin

代表了流纹岩形成的时间;另外 14 颗锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $140 \sim 162\text{Ma}$ 间,加权平均年龄为 $151 \pm 5\text{Ma}$ (MSWD = 5.0)。

08GW025 样品 23 颗锆石的测试结果除 1 颗在谐和线右侧外,其余都位于谐和线上或附近(图 4d),该样品的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值明显分为两组,其中 8 颗锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 $122 \sim 128\text{Ma}$ 间,加权平均年龄为 $125 \pm 1\text{Ma}$

(MSWD = 0.38),其余 14 颗锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值介于 $137 \sim 154\text{Ma}$ 间,其加权平均年龄为 $147 \pm 3\text{Ma}$ (MSWD = 2.5)。125Ma 是球粒流纹岩的岩浆结晶年龄,而 147Ma 为流纹岩捕获的早期岩浆锆石年龄。

08GW026 样品进行了 23 颗锆石的年龄测试,结果表明所有锆石都位于谐和线上或附近(图 4e), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄明

显分为4组,其中16颗锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于122~128Ma间,加权平均年龄为 $125 \pm 1\text{Ma}$ (MSWD = 0.83),其余7颗锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值年龄介于136~168Ma间,3颗锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $140 \pm 9\text{Ma}$ (MSWD = 3.0),另外3颗锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $154 \pm 3\text{Ma}$ (MSWD = 0.042),而该样品的07分析点为 $168 \pm 4\text{Ma}$ (1σ)。

08GW027样品进行了19颗锆石的年龄测试,所有锆石的测试结果都位于谐和线上(图4f), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于123~128Ma间,加权平均年龄为 $126 \pm 1\text{Ma}$ (MSWD = 1.3)。

6个分析样品的流纹岩锆石年龄介于120~128Ma之间,代表了海拉尔盆地流纹岩的形成年龄,而140~168Ma则代表了流纹岩形成时捕获锆石的年龄。

4 讨论

4.1 海拉尔盆地中生代火山岩的形成时代及地层归属

大兴安岭地区晚中生代火山岩的形成时代一直是该地区研究的热点和争论的焦点问题。前人对大兴安岭北部地区中生代火山岩做了大量的工作,形成了基本相同的观点,认为这些火山岩形成于晚侏罗-早白垩世(蒋国源和权恒,1988;赵国龙等,1989;王友勤等,1997;内蒙古自治区地质矿产局,1991;黑龙江省地质矿产局,1993;林强等,2003;葛文春等,1999;尹志刚等,2006)。

Wang *et al.* (2006)对大兴安岭地区火山岩剖面进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法定年,年龄值可以划分为四个阶段:163~160Ma,147~140Ma,125~120Ma和116~113Ma,表明该区火山活动从晚侏罗世的160Ma持续到早白垩世。本文通过对海拉尔盆地楚2井和楚3井6个流纹岩样品进行锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄测试,结果表明,海拉尔盆地中生代火山岩的形成时间在120~128Ma(图5),这个年龄与Wang *et al.* (2006)发表的数据中上库力组玄武岩或玄武安山岩的年龄(125~120Ma)非常一致。随着测试技术的提高及高精度年龄数据的积累,大兴安岭地区的中生代火山岩主要形成于早白垩世(Zhang *et al.*, 2008),这些新的年龄结果与Wu *et al.* (2005)总结的我国东部早白垩世大火成岩事件的年代相吻合,同时也表明海拉尔盆地的形成演化与我国东部中生代火山活动有密切的关系。

08GW021、08GW023、08GW024、08GW025和08GW026样品中均含有捕获锆石,而且捕获锆石的加权平均年龄相对一致,介于140~168Ma,这些锆石的年龄反映了海拉尔盆地早期的岩浆事件,这对研究本区构造演化史具有重要意义。捕获锆石的年龄与Wang *et al.* (2006)发表的数据中塔木兰沟组玄武岩或玄武安山岩的年龄(140~162Ma)具有良好的一致性。前人对海拉尔盆地外部塔木兰沟组火山岩的形成时间进行了大量的工作,得到了相对一致的结论,认为该组火山岩主要形成于160~150Ma(Wang *et al.*, 2006;尹志刚等,2005;黑龙江省地质矿产局,1993;李文国,1996;曲关生,

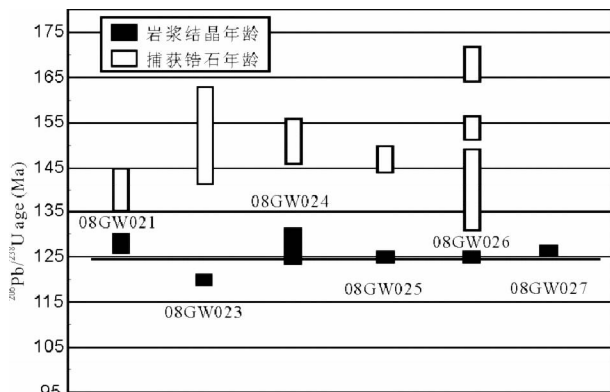


图5 海拉尔盆地火山岩年龄统计图

Fig. 5 Ages statistics diagram of the Mesozoic volcanic rocks of the Hailaer basin

2008),此外,孟恩等(2011)认为满洲里地区灵泉盆地中生代塔木兰沟组火山岩形成年代约为166Ma;李萍萍等(2010)对海拉尔盆地贝尔湖凹陷和扎赉诺尔凹陷塔木兰沟组火山岩进行了锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄测试,结果为145~151Ma,与本文捕获锆石的年龄比较一致,说明在本区上库力组地层下发育塔木兰沟组地层,其形成于晚侏罗世,年龄范围在140~168Ma之间。

以前由于缺乏精确的定年数据,对含火山岩系的地层划分主要是依据地震和岩石类型,并将兴安岭群(J_3xn)划分为晚侏罗世,然而,由楚3井5个流纹岩样品的锆石U-Pb定年结果可知,兴安岭群(J_3xn)流纹岩的形成年龄为120~128Ma,这与大兴安岭地区火山岩剖面中的上库力组的年龄(125~120Ma)具有良好的一致性(Wang *et al.*, 2006),此外,关于大兴安岭地区上库力组的年龄报道主要有:呼伦湖地区上库力组碱性流纹岩的年龄为 $127 \pm 5\text{Ma}$ (葛文春等,2001)、扎兰屯地区上库力组花岗岩斑岩和辉绿岩的年龄分别为 $130 \pm 1124 \pm 1\text{Ma}$ (Zhang *et al.*, 2006),综合前人对海拉尔盆地外部上库力组的测年结果,我们认为原划分为兴安岭群(J_3xn)的火山岩地层与大兴安岭地区的上库力组相当,上库力组火山岩的主体年龄范围为120~130Ma,时间跨度约10Myr(Zhang *et al.*, 2008)。

由楚2井1个流纹岩样品的锆石U-Pb定年结果可知,南屯组(K_1n)流纹岩的形成年龄为 $125 \pm 3\text{Ma}$,此结果较好地证明了南屯组是一个早白垩世地层,也与上库力组火山岩相当。由此可以看出,盆地中含火山岩地层的锆石U-Pb定年工作为地层划分和对比的重要手段。

4.2 火山岩形成的动力学背景

研究区早白垩世火山事件形成于与裂谷发育过程相似的强烈引张环境,这与整个中国东部早白垩世双峰式火山岩组合(郭锋等,2001;邵济安等,2001;戴圣潜等,2003;林强等,2003;Wu *et al.*, 2005;Yang *et al.*, 2005, 2008;Guo

et al., 2007; 裴福萍等, 2008)、大型沉积盆地(李思田和路凤香, 1997; Meng, 2003)、A型花岗岩(李培忠和于津生, 1993; Jahn *et al.*, 2001; 张玉涛等, 2007; Wu *et al.*, 2002; Yang *et al.*, 2006, 2008)和变质核杂岩(张履桥等, 1998; Davis *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2008)等所揭示的伸展环境相吻合。在这种大的构造背景之下, 海拉尔盆地发育了大量的火山岩, 与海拉尔盆地相邻的松辽盆地南部火石岭组火山岩形成时代为 133 ~ 129Ma, 营城组火山岩形成时代为 119 ~ 110Ma(裴福萍等, 2008), 与大兴安岭地区塔木兰沟组火山岩(138 ~ 126Ma)和上库力组火山岩以及伊列克得组火山岩(125 ~ 113Ma)相对应(Fan *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2006, 2008)。同时, 该期岩浆事件在整个中国东部也广泛存在(Wu *et al.*, 2005; 邵济安等, 2001; Wu *et al.*, 2002, 2005; 戴圣潜等, 2003; 彭艳东等, 2003; 裴福萍等, 2008; 袁洪林等, 2005; 葛文春等, 2005; 杨进辉等, 2006; Zhang *et al.*, 2006)。这是中国东部中生代最为强烈的一次岩浆事件, 其形成应与古太平洋板块向欧亚大陆下俯冲作用相联系。由此可以说明海拉尔盆地早白垩世火山岩的形成应与环太平洋构造体系有关, 即是古太平洋板块的俯冲作用的结果。

5 结论

通过对海拉尔盆地中生代火山岩的锆石 U-Pb 年代学的研究, 得出如下结论:

(1) 本文研究的海拉尔盆地南屯组和兴安岭群火山岩的形成时代为 120 ~ 128Ma, 为早白垩世晚期。

(2) 海拉尔盆地早白垩世火山岩的形成应与环太平洋构造体系有关, 即是古太平洋板块的俯冲作用的结果。

References

Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192(1-2): 59-79

Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province. 1993. *Regional Geology of Heilongjiang Province*. Beijing: Geological Publishing House, 1-734 (in Chinese)

Bureau of Geology and Mineral Resources Inner Mongolia Autonomous Region. 1991. *Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region*. Beijing: Geological Publishing House, 1-725 (in Chinese)

Chen JL, Wu HY, Zhu DF, Lin CH and Yu DS. 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)

Dai SQ, Deng JF, Wu ZX, Zhao GL, Chen JF and Du JG. 2003. Evidence of magmatic petrology for the Yanshanian orogeny in the Dabie orogen. *Geology in China*, 30(2): 59-165 (in Chinese with English abstract)

Davis GA, Zheng YD, Wang C, Zhang CH and George G. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China. In: Hendrix MS and Davis GA (eds.). *Paleozoic and Mesozoic Tectonic*

Evolution of Central Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation. Geological Society of America Memoir, 194: 171-198

Fan WM, Guo F, Wang YJ and Lin G. 2003. Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 121(1-2): 115-135

Ge WC, Lin Q, Sun DY, Wu FY, Yuan ZK, Li WY, Chen MZ and Yin CX. 1999. Geochemical characteristics of the Mesozoic basalts in Da Hinggan Ling: Evidence of the mantle crust interaction. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3): 396-407 (in Chinese with English abstract)

Ge WC, Li XH, Lin Q, Sun DY, Wu FY and Yin CX. 2001. Geochemistry of Early Cretaceous alkaline rhyolites from Hulun Lake, Da Xing'anling and its tectonic implications. *Chinese Journal of Geology*, 36(2): 176-183 (in Chinese with English abstract)

Ge WC, Wu FY, Zhou CY and Rahman AAA. 2005. Emplacement age of the Tahe granite and its constraints on the tectonic nature of the Eguna block in the northern part of the Daxing'anling. *Chinese Science Bulletin*, 50(12): 1239-1247 (in Chinese)

Guo F, Fan WM, Wang YJ and Lin G. 2001. Petrogenesis of the Late Mesozoic bimodal volcanic rocks in the southern Da Hinggan Mts, China. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1): 161-168 (in Chinese with English abstract)

Guo F, Nakamura E, Fan WM, Kobayashi K and Li CW. 2007. Generation of Palaeocene adakitic andesites by magma mixing, Yanji Area, NE China. *Journal of Petrology*, 48: 661-692

Jahn BM, Wu FY, Capdevila R, Martineau F, Wang YX and Zhao ZH. 2001. Highly evolved juvenile granites with tetrad REE patterns: The Woduhe and Baerzhe granites from the Great Xing'an Mountains in NE China. *Lithos*, 59(4): 171-198

Jiang GY and Quan H. 1988. Mesozoic volcanic rocks of Genhe and Hailaer basin in Da Hinggan Ling. *Bulletin of Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geology Science*, (17): 23-100 (in Chinese)

Li PP, Ge WC and Zhang YL. 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 abstract)

Li PZ and Yu JS. 1993. Nianzishan mirolitic alkaline granite stock, Heilongjiang: Its ages and geological implications. *Geochimica*, (4): 389-398 (in Chinese with English abstract)

Li ST and Lu FX. 1997. *The Meso-Cenozoic Basin Evolution and Its Geodynamic Setting in Eastern China and Its Adjacent Areas*. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1-350 (in Chinese)

Li WG. 1996. *Lithostratigraphy of Inner Mongolia Autonomous Region*. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1-344 (in Chinese)

Lin Q, Ge WC, Cao L, Sun DY and Lin JG. 2003. Geochemistry of Mesozoic volcanic rocks in Da Hinggan Ling: The bimodal volcanic rocks. *Geochimica*, 32(3): 208-222 (in Chinese with English abstract)

Liu JL, Davis GA, Lin ZY and Wu FY. 2005. The Liaonan metamorphic core complex, southeastern Liaoning Province, North China: A likely contributor to Cretaceous rotation of eastern Liaoning, Korea and contiguous areas. *Tectonophysics*, 407(1-2): 65-80

Meng E, Xu WL, Yang DB, Qiu KF, Li CH and Zhu HT. 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 QR. 2003. What drove Late Mesozoic extension of the northern China-Mongolia tract? *Tectonophysics*, 369(3-4): 155-174

Pei FP, Xu WL, Yang DB, Ji WQ, Yu Y and Zhang XZ. 2008. Mesozoic volcanic rocks in the southern Songliao basin: Zircon U-Pb ages and their constraints on the nature of basin basement. *Earth Science*, 33(5): 603-617 (in Chinese with English abstract)

- Peng YD, Zhang LD, Chen W, Zhang CJ, Guo SZ, Xing DH, Jia B, Chen SW and Ding QH. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and K-Ar dating of the Yixian Formation volcanic rocks, western Liaoning province, China. *Geochimica*, 32(5): 427-435 (in Chinese with English abstract)
- Qu GS. 2008. Lithostratigraphy of Heilongjiang Province. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1-298 (in Chinese)
- Shao JA, Li XH, Zhang LQ, Mu BL and Liu YL. 2001. Geochemical condition for genetic mechanism of the Mesozoic bimodal dike swarms in Nankou-Guyaju. *Geochemica*, 30(6): 517-524 (in Chinese with English Abstract)
- Wang F, Zhou XH, Zhang LC, Ying JF, Zhang YT, WuFY and Zhu RX. 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
- Wang YQ, Su YZ and Liu EY. 1997. The Crust in Northeastern China. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1-175 (in Chinese)
- Wu FY, Sun DY, Li HM, Jahn BM and Wider SA. 2002. A-type granites in northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis. *Chemical Geology*, 187(1-2): 143-173
- Wu FY, Lin JQ, Wilde SA, Zhang XO and Yang JH. 2005. Nature and significance of the Early Cretaceous giant igneous event in eastern China. *Earth and Planetary Science Letters*, 233(1-2): 103-119
- Wu HY, Wang SH, Yang JG, Tang ZH, Wang ZJ and Zhang QS. 2004. Analysis of exploration potential in surrounding basins of Daqing oilfield. *China Petroleum Exploration*, (4): 23-31 (in Chinese with English abstract)
- Xie LW, Zhang YB, Zhang HH, Sun JF and Wu FY. 2008. In situ simultaneous determination of trace elements, U-Pb and Lu-Hf isotopes in zircon and baddeleyite. *Chinese Science Bulletin*, 53(10): 1565-1573
- Yang CH, Xu WL, Yang DB, Liu CC, Liu XM and Hu ZC. 2005. Petrogenesis of Mesozoic high-Mg diorites in western Shandong: Evidence from chronology and petro-geochemistry. *Journal of China University of Geosciences*, 16(4): 297-308
- Yang CH, Xu WL, Yang DB, Wang W, Wang WD and Liu JM. 2008. Petrogenesis of Shangyu gabbro-diorites in western Shandong: Geochronological and geochemical evidence. *Science in China (Series D)*, 51(4): 481-492
- Yang JH, Wu FY, Chung SL, Wilde SA and Chu MF. 2006. A hybrid origin for the Qianshan A-type granites, Northeast China: Geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic evidence. *Lithos*, 89(1-2): 89-106
- Yang JH, Wu FY, Shao JA, Xie LW and Liu XM. 2006. In-situ U-Pb dating and Hf isotopic analyses of zircons from volcanic rocks of the Houcheng and Zhangjiakou formations in the Zhang-Xuan area, Northeast China. *Earth Science*, 31(1): 71-80 (in Chinese with English abstract)
- Yang JH, Wu FY, Chung SL, Lo CH, Wilde SA and Davis GA. 2008. Rapid exhumation and cooling of the Liaonan metamorphic core complex: Inferences from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ar thermochronology and implications for Late Mesozoic extension in the eastern North China Craton. *The Geological Society of America Bulletin*, 119(11-12): 1405-1414
- Yin ZG, Zhao HB, Zhao HD and Zhang YL. 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)
- Yin ZG, Zhang YL, Yang XP, Zhao HD and Han ZZ. 2006. Characteristics of Mesozoic volcanic rocks and magma evolution in northern Daxinganling. *Global Geology*, 25(2): 120-128 (in Chinese with English abstract)
- Yuan HL, Liu XM, Liu YS, Gao S and Ling WL. 2005. Research of zircon U-Pb chronology, geochemistry of Mesozoic volcanic rocks from the Xishan of Beijing. *Science in China (Series D)*, 35(9): 821-836 (in Chinese)
- Zhang LQ, Shao JA and Zheng GR. 1998. Metamorphic core complex in Ganzhuermiao, Inner Mongolia. *Scientia Geologica Sinica*, 33(2): 140-146 (in Chinese with English abstract)
- Zhang JH, Ge WC, Wu FY and Liu XM. 2006. Mesozoic bimodal volcanic suite in Zhalantun of the Da Hinggan Range and its geological significance: Zircon U-Pb age and Hf isotopic constraints. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 58-69
- Zhang JH, Ge WC, Wu FY, Wilde SA, Yang JH and Liu XM. 2008. Large-scale Early Cretaceous volcanic events in the northern Great Xing'an Range, northeastern China. *Lithos*, 102(1-2): 138-157
- Zhang YT, Zhang LC, Ying JF, Zhou XH, Wang F, Hou QL and Liu Q. 2007. Geochemistry and source characteristics of Early Cretaceous volcanic rocks in Tahe, north Da Hinggan Mountain. *Acta Petrologica Sinica*, 23(11): 2811-2822 (in Chinese with English abstract)
- Zhao GL, Yang GL, Fu JY *et al.* 1989. The Mesozoic Volcanic Rocks in the South Central Great Xing'an Range. Beijing: Science and Technology Publishing House, 1-260 (in Chinese)

附中文参考文献

- 陈均亮, 吴河勇, 朱德丰, 林春华, 于德顺. 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
- 戴圣潜, 邓晋福, 吴宗絮, 赵海玲, 陈江峰, 杜建国. 2003. 大别造山带燕山期造山作用的岩浆岩石学证据. *中国地质*, 30(2): 59-165
- 葛文春, 林强, 孙德有, 吴福元, 元钟宽, 李文远, 陈明植, 尹成孝. 1999. 大兴安岭中生代玄武岩的地球化学特征: 壳幔相互作用的证据. *岩石学报*, 15(3): 396-407
- 葛文春, 李献华, 林强, 孙德有, 吴福元, 尹成孝. 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, Rahman AAA. 2005. 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
- 郭锋, 范蔚茗, 王岳军, 林舸. 2001. 大兴安岭南段晚中生代双峰式火山作用. *岩石学报*, 17(1): 161-168
- 黑龙江省地质矿产局. 1993. 黑龙江区域地质志. 北京: 地质出版社, 1-734
- 蒋国源, 权恒. 1988. 大兴安岭根河、海拉尔盆地中生代火山岩. *中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊*, (17): 23-100
- 李培忠, 于津生. 1993. 黑龙江碾子山晶洞碱性花岗岩岩体年龄及其意义. *地球化学*, (4): 389-398
- 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
- 李思田, 路凤香. 1997. 中国东部及邻区中生代盆地演化及地球动力学背景. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-350
- 李文国. 1996. 内蒙古自治区岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-344
- 林强, 葛文春, 曹林, 孙德有, 林经国. 2003. 大兴安岭中生代双峰式火山岩的地球化学特征. *地球化学*, 32(3): 208-222
- 孟恩, 许文良, 杨德斌, 邱昆峰, 李长华, 祝洪涛. 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
- 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, 1-725

- 裴福萍, 许文良, 杨德彬, 纪伟强, 于洋, 张兴洲. 2008. 松辽盆地南部中生代火山岩: 锆石 U-Pb 年代学及其对基底性质的制约. 地球科学, 33(5): 603-617
- 彭艳东, 张立东, 陈文, 张长捷, 郭胜哲, 邢德和, 贾斌, 陈树旺, 丁秋红. 2003. 辽西义县组火山岩⁴⁰Ar/³⁹Ar、K-Ar 法年龄测定. 地球化学, 32(5): 427-435
- 曲关生. 2008. 黑龙江省岩石地层. 北京: 中国地质大学出版社, 1-298
- 邵济安, 李献华, 张履桥, 牟保磊, 刘玉林. 2001. 南口-古崖居中生代双峰式岩墙群形成机制的地球化学制约. 地球化学, 30(6): 517-524
- 王友勤, 苏养正, 刘尔义. 1997. 东北区区域地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1-175
- 吴河勇, 王世辉, 杨建国, 唐振海, 汪在君, 张庆石. 2004. 大庆外围盆地勘探潜力. 中国石油勘探, (4): 23-31
- 谢烈文, 张艳斌, 张辉煌, 孙金凤, 吴福元. 2008. 锆石/斜锆石 U-Pb 和 Lu-Hf 同位素以及微量元素成分的同时原位测定. 科学通报, 53(2): 220-228
- 杨进辉, 吴福元, 邵济安, 谢烈文, 柳小明. 2006. 冀北张-宣地区后城组、张家口组火山岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素. 地球科学, 31(1): 71-80
- 尹志刚, 赵海滨, 赵寒冬, 张跃龙. 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): 48-853
- 尹志刚, 张跃龙, 杨晓平, 赵寒冬, 韩振哲. 2006. 大兴安岭北部中生代火山岩特征及岩浆演化. 世界地质, 25(2): 120-128
- 袁洪林, 柳小明, 刘勇胜, 高山, 凌文黎. 2005. 北京西山晚中生代火山岩 U-Pb 锆石年代学及地球化学研究. 中国科学(D 辑), 35(9): 821-836
- 张履桥, 邵济安, 郑广瑞. 1998. 内蒙古甘珠尔庙变质核杂岩. 地质科学, 33(2): 140-146
- 张玉涛, 张连昌, 英基丰, 周新华, 王非, 侯泉林, 刘庆. 2007. 大兴安岭北段塔河地区早白垩世火山岩地球化学及源区特征. 岩石学报, 23(11): 2811-2822
- 赵国龙, 扬桂林, 傅嘉友等. 1989. 大兴安岭中南部中生代火山岩. 北京: 北京科学技术出版社, 1-260