

大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及地质意义*

葛文春¹ 隋振民¹ 吴福元² 张吉衡¹ 徐学纯¹ 程瑞玉¹

GE WenChun¹, SUI ZhenMin¹, WU FuYuan¹, ZHANG JiHeng¹, XU XueChun¹ and CHENG RuiYu¹

1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061

2. 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, 北京 100029

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

2. State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2006-08-22 收稿, 2006-12-16 改回.

Ge WC, Sui ZM, Wu FY, Zhang JH, Xu XC, Cheng RY. 2007. Zircon U-Pb ages, Hf isotopic characteristics and their implications of the Early Paleozoic granites in the northeastern Da Hinggan Mts., northeastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 423–440

Abstract The Paleozoic granites in the Ergun block, exposed in the northeastern Da Hinggan Mts., northeastern China, are of I-type. Zircon U-Pb dating by LA-ICPMS technique indicates that the Shibazhan, Neihe and Baiyinna plutons were emplaced with ages of 499 ± 1 , 500 ± 1 and 460 ± 1 Ma; whereas the Chalabanhe pluton was formed by several pulses with age between 465 ~ 481 Ma. Considering other previously reported age data, it is proposed that the granitic magmatism in the northeastern Da Hinggan Mts. during the Early Paleozoic took place at 460 ~ 500 Ma. Zircon Hf analyses conducted by LA-MC-ICPMS show that these granites have $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ values of $+1.5 \sim +3.8$ with Hf modal ages of 1.1 ~ 1.4 Ga, indicating that the crust in the Ergun block was extracted from mantle during Meso-Neoproterozoic, which is much different from the Xing'an block to the south, in that it shows a characterized Phanerozoic crustal age.

Key words Zircon U-Pb age, Hf isotope, Granite, Early Paleozoic, Northeastern Da Hinggan Mts.

摘 要 大兴安岭东北部早古生代花岗岩属于 I 型花岗岩。锆石的 LA-ICPMS U-Pb 年代学研究表明, 十八站岩体、内河岩体、白银纳岩体的形成年龄分别为 499 ± 1 、 500 ± 1 和 460 ± 1 Ma, 而查拉班河岩体为一多次侵入的杂岩体, 其形成年龄在 465 ~ 481 Ma。结合本区和邻区其它早古生代花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄, 限定了大兴安岭东北部地区早古生代花岗岩浆活动的时限为 460 ~ 500 Ma。锆石的 LA-MC-ICPMS Hf 同位素研究显示, 本区早古生代花岗岩的锆石 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 多数介于 $+1.5 \sim +3.8$ 之间, 二阶段模式年龄介于 1.1 ~ 1.4 Ga, 表明其主要起源于中-新元古代增生的地壳物质。结合兴安地块其它花岗岩的锆石 Hf 同位素资料, 认为额尔古纳地块在中-新元古代时期曾发生一次重要的地壳增生事件, 与兴安地块主要为显生宙地壳的特点明显不同。

关键词 锆石 U-Pb 年龄; Hf 同位素; 花岗岩; 早古生代; 大兴安岭东北部

中图法分类号 P588.121; P597.3

* 本文为国家自然科学基金(40372038, 40325006)和高等学校博士学科点专项科研基金(20060184021)项目资助成果。

第一作者简介: 葛文春, 男, 1963 年生, 教授, 岩石学专业, E-mail: gewenchun@jlu.edu.cn

1 引言

随着兴蒙造山带正 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值花岗岩的大量发现,关于显生宙地壳增生作用成为当今研究的热点问题之一,并取得了一系列重要的研究成果(吴福元等,1999; Wu *et al.*, 2000; Chen *et al.*, 2000; Jahn *et al.*, 2000; Hong *et al.*, 2004)。最近虽然有一些大兴安岭地区早古生代花岗岩的报道并对其构造意义进行了初步的讨论(Chen *et al.*, 2000; 葛文春等,2005; 武广等,2005; 隋振民等,2006),但对于早古生代花岗岩形成的时限及其对地壳生长的意义问题尚缺乏系统

的年代学和应有同位素地球化学的制约,导致该地区早古生代花岗岩的研究明显滞后于中生代花岗岩。本文通过对大兴安岭东北部早古生代花岗岩的锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素研究,并结合已发表的资料,讨论早古生代岩浆作用的时限及其对地壳生长的意义。

2 地质概况及岩石地球化学特征

研究区位于兴蒙造山带东段的大兴安岭东北部地区,大地构造上属于额尔古纳地块(图 1a)。区内出露的地层主要为中深变质的兴华渡口群(Pt2x)、浅变质的倭勒根群(Pt2- ϵ)

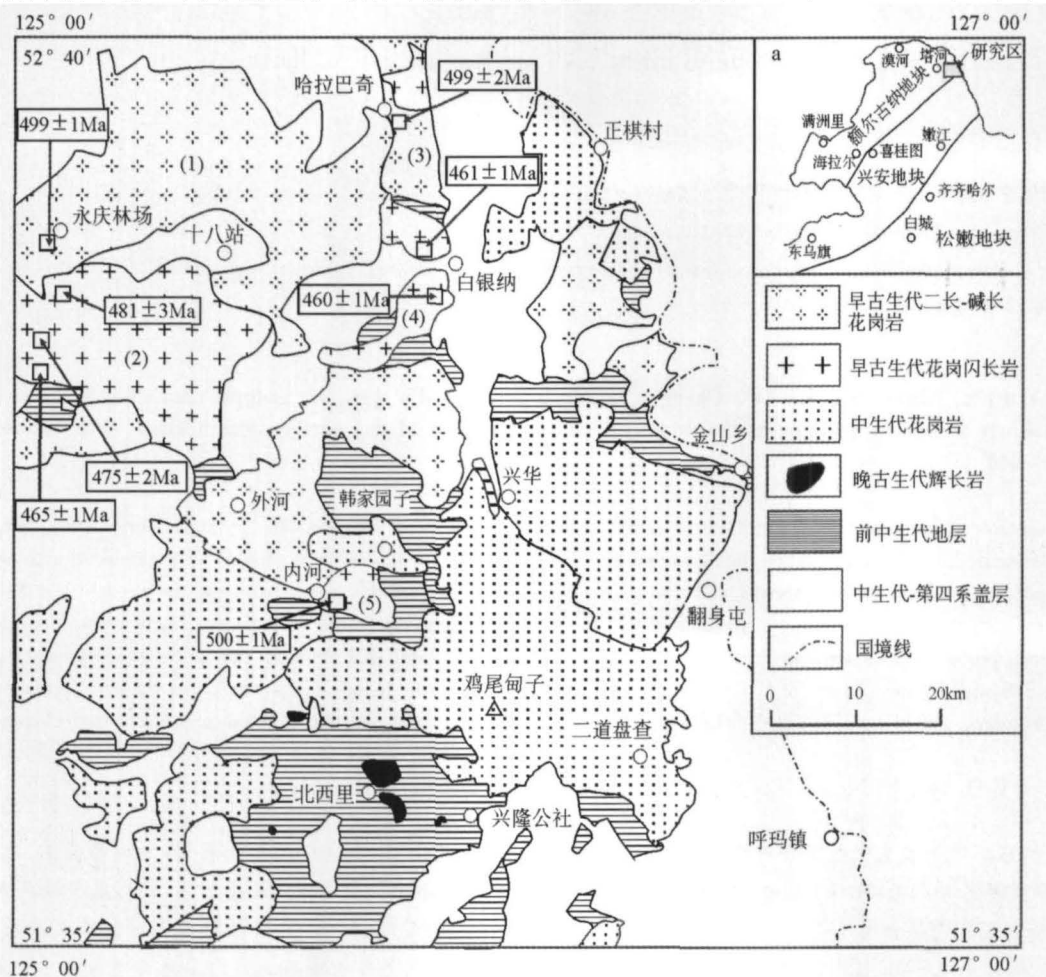


图1 大兴安岭东北部地质简图

(1)十八站岩体;(2)查拉班河岩体;(3)哈拉巴奇岩体;(4)白银纳岩体;(5)内河岩体

Fig. 1 Simplified geological map of the northeastern Da Hinggan Mts.

和中生代火山岩,古生代地层零星出露^{①②}。前人将研究区内广泛出露的花岗岩主要划分为新元古代、早古生代和晚古生代(黑龙江省区域地质志,1993),其中新元古代花岗岩组合主要为花岗闪长岩和淡色花岗岩,早古生代花岗岩组合主要为二长花岗岩和花岗闪长岩,晚古生代花岗岩组合主要为花岗闪长岩、二长花岗岩和白岗质花岗岩。

本文通过锆石 LA-ICPMS U-Pb 同位素年龄测定,确定属

于早古生代的花岗岩体有:十八站岩体、内河岩体、查拉班河岩体和白银纳岩体(图 1),出露于研究区北部的哈拉巴奇岩

① 中华人民共和国区域地质调查报告:十八站-兴华幅,黑龙江省地质矿产局第二区域地质调查大队,1989

② 中华人民共和国区域地质调查报告:兴隆沟-呼玛镇幅,黑龙江省地质矿产局第一区域地质调查大队,1983

体已被确认为是早古生代花岗岩体(隋振民等,2006)。这些早古生代花岗岩的主要岩石组合为花岗闪长岩-二长花岗岩-碱长花岗岩,暗色矿物出现角闪石和黑云母,副矿物出现榍石而未见富铝矿物(表1),岩石化学上多为准铝质~弱过铝质,钙碱性~高钾钙碱性系列(图2),说明本区早古生代花岗岩为I型花岗岩。

3 锆石 U-Pb 定年结果

样品的破碎和锆石的挑选工作由河北省区域地质调查

大队地质实验室完成。锆石激光剥蚀等离子体质谱(LA-ICPMS)U-Pb 同位素分析在西北大学地质学系“教育部大陆动力学重点开放实验室”完成。本次实验所采用的激光束斑直径为30μm。普通铅校正采用 Anderson(2002)的方法,详细测试过程参见袁洪林等(2003)的文章,年龄计算采用国际标准程序 Isoplot(ver3.0)。本区早古生代花岗岩的锆石 LA-ICPMS U-Pb 同位素分析结果见表2。根据这些数据所做的锆石 U-Pb 谐和图如图3所示。本文所测定的岩石均形成于早古生代,其结果以²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄计算,年龄误差为2σ。

表1 大兴安岭东北部早古生代花岗岩体岩相学、主微量元素特征

Table 1 Summary of the petrographic and geochemical characteristics of the early Paleozoic granites

	十八站	内 河	查拉班河	白银纳
地质特征	出露面积近 500km ² 。岩石新鲜面呈肉红-灰白色,块状构造为主,偶见弱片麻状构造。发育板状钾长石大斑晶,大小在 0.5×1.5cm,含量在 5~10%。	出露面积近 80km ² 。岩石新鲜面呈灰黑色,常见片麻状构造。	出露面积近 400km ² 。岩石新鲜面呈深灰色,常见片麻状构造。可见板状钾长石斑晶,大小在 0.5×1cm,含量在 5%左右。	出露面积 120km ² ,岩石新鲜面呈深灰色,可见板状钾长石大斑晶,大小在 0.5×1~1×2cm,含量在 10~30%左右。常见细粒闪长质包体,包体大小不一,多呈椭圆状产出。
岩石组合	二长花岗岩-碱长花岗岩为主,部分花岗闪长岩。	角闪花岗岩闪长岩	以花岗闪长岩为主,部分角闪石英闪长岩和二长花岗岩	以花岗闪长岩为主,部分二长花岗岩
结构构造	半自形粒状结构,粒度一般为 3~6mm。钾长石大小在 4~10mm,有时可见交代蠕虫结构。	中细粒半自形粒状结构,粒度在 1~3mm。	石英闪长岩为细粒结构,粒度一般为 0.2~0.5mm;花岗闪长岩-二长花岗岩为中细粒-中粒结构,粒度一般为 0.5~4mm。岩石具典型的花岗结构,似斑状结构。	中粒-粗粒结构,粒度多在 3~7mm。岩石具有典型的花岗结构,似斑状结构。
矿物组成	石英(35~50%)+碱长石(35~40%)+斜长石(20~40%)+黑云母(<5%)+角闪石(<2%)。副矿物较少,为锆石、榍石和不透明矿物。斜长石常见聚片双晶,偶见环带结构。碱长石以条纹长石为主,少量微斜长石,内部可见板状斜长石包裹体。	石英(20~25%)+碱长石(15~20%)+斜长石(35~45%)+角闪石(±15%)+黑云母(±5%),副矿物为锆石、榍石和少量不透明矿物。斜长石呈半自形板状,聚片双晶发育,碱长石主要是微斜长石,角闪石为绿色-淡绿色多色性。	石英(15~25%)+斜长石(40~60%)+碱长石(2~10%)+角闪石(2~20%)+黑云母(±5%)。副矿物主要为锆石、榍石,少量磷灰石和不透明矿物,斜长石呈半自形板状,聚片双晶发育,局部斜长石的黝帘石化明显。	石英(20~25%)+斜长石(30~50%)+碱长石(10~35%)+黑云母(5~15%)。副矿物为锆石、榍石、磷灰石和不透明矿物。斜长石呈半自形板状,碱长石主要为微斜长石。
主量元素	SiO ₂ = 70.92~75.3%; Na ₂ O + K ₂ O = 8.04~7.37%; Al ₂ O ₃ = 14.88~12.87%; CaO = 1.88~1.16%; MgO = 0.15~0.42%	SiO ₂ = 66.73%; Na ₂ O + K ₂ O = 6.56%; Al ₂ O ₃ = 15.39%; CaO = 4.8%; MgO = 1.25%	SiO ₂ = 63.31~66.53%; Na ₂ O + K ₂ O = 5.02~6.69%; Al ₂ O ₃ = 15.88~17.73%; CaO = 3.38~5.70%; MgO = 1.26~3.75%	SiO ₂ = 68.96%; Na ₂ O + K ₂ O = 7.03%; Al ₂ O ₃ = 15.49%; CaO = 2.74%; MgO = 1.00%
微量元素	Sr = 103~190ppm; Rb = 107~174ppm; Ba = 513~1048ppm; δEu = 0.26~0.39; 富集大离子亲石元素 Rb、Th、U、K、La、Nd 等,亏损高场强元素 Nb、Ta、P、Ti 等	Sr = 615ppm; Rb = 70.7ppm; Ba = 1190ppm; δEu = 0.76; 富集大离子亲石元素 Rb、Th、U、K、La、Nd 等,亏损高场强元素 Nb、Ta、P、Ti 等	Sr = 438~810ppm; Rb = 40.5~70.1ppm; Ba = 400~1475ppm; δEu = 0.46~1.15; 富集大离子亲石元素 Rb、Th、U、K、La、Nd 等,亏损高场强元素 Nb、Ta、P、Ti 等	Sr = 351ppm; Rb = 71.8ppm; Ba = 1034ppm; δEu = 0.47; 富集大离子亲石元素 Rb、Th、U、K、La、Nd 等,亏损高场强元素 Nb、Ta、P、Ti 等

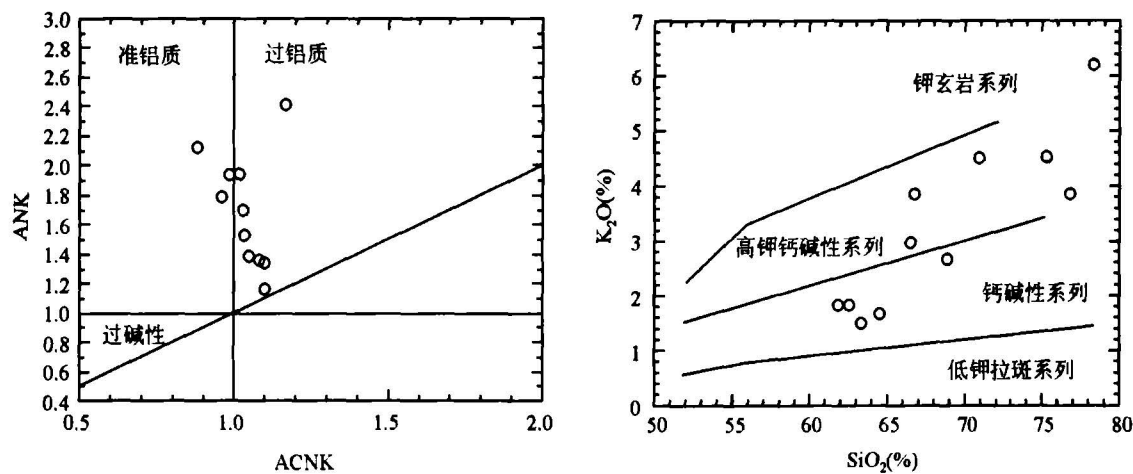


图2 早古生代花岗岩的 ACNK、K₂O-SiO₂ 图解(其中哈拉巴奇岩体 4 个数据引自隋振民等, (2006))
Fig. 2 Aluminous Saturation Index and K₂O-SiO₂ variation diagrams of the early Paleozoic granites

表2 早古生代花岗岩的锆石 LA-ICP MS U-Pb 分析结果

Table 2 LA-ICP MS zircon U-Pb data of the early Paleozoic granites from northeastern Da Hinggan Mts.

样品号及 分析点号	含量(ppm)			同位素比值±1σ			年龄(Ma)±1σ		
	Pb	Th	U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U±1σ
GW05049.01	5.95	31.7	62.2	0.0572±0.0036	0.6348±0.0393	0.0805±0.0011	500±113	499±24	499±7
GW05049.02	4.64	30.2	44.8	0.0707±0.0036	0.7365±0.0359	0.0755±0.0009	950±80	560±21	469±5
GW05049.03	22.3	99.1	252	0.0577±0.0017	0.6358±0.0173	0.0800±0.0006	517±46	500±11	496±4
GW05049.04	23.3	130	254	0.0569±0.0016	0.6306±0.0170	0.0804±0.0006	487±45	496±11	498±4
GW05049.05	33.7	160	375	0.0553±0.0012	0.6117±0.0120	0.0802±0.0005	426±32	485±8	497±3
GW05049.06	29.2	179	308	0.0573±0.0012	0.6338±0.0113	0.0803±0.0005	502±28	498±7	498±3
GW05049.07	18.0	102	184	0.0576±0.0015	0.6399±0.0154	0.0806±0.0006	514±40	502±10	499±3
GW05049.08	8.50	39.3	81.8	0.0606±0.0037	0.6838±0.0405	0.0819±0.0010	624±134	529±24	507±6
GW05049.09	23.2	114	238	0.0588±0.0013	0.6521±0.0128	0.0804±0.0005	561±32	510±8	498±3
GW05049.10	27.2	144	286	0.0567±0.0012	0.6265±0.0120	0.0801±0.0005	481±31	494±8	497±3
GW05049.11	7.05	36.9	71.9	0.0562±0.0024	0.6219±0.0261	0.0802±0.0008	460±76	491±16	497±5
GW05049.12	372	966	3725	0.0585±0.0007	0.6524±0.0048	0.0808±0.0004	549±9	510±3	501±2
GW05049.13	71.2	244	731	0.0576±0.0011	0.6400±0.0112	0.0806±0.0004	515±41	502±7	500±3
GW05049.14	369	1144	3766	0.0559±0.0007	0.6210±0.0048	0.0805±0.0004	448±9	490±3	499±2
GW05049.15	20.8	104	205	0.0567±0.0019	0.6221±0.0207	0.0796±0.0006	480±77	491±13	494±4
GW05049.16	73.2	263	766	0.0568±0.0008	0.6342±0.0063	0.0810±0.0004	484±13	499±4	502±2
GW05049.17	15.5	44.5	133	0.1088±0.0021	1.3465±0.0223	0.0897±0.0007	1780±20	866±10	554±4
GW05049.18	12.9	42.5	132	0.0555±0.0016	0.6207±0.0169	0.0811±0.0006	431±47	490±11	503±4
GW05049.19	37.8	125	424	0.0607±0.0013	0.6699±0.0131	0.0800±0.0005	630±30	521±8	496±3
GW05049.20	18.0	99.2	186	0.0558±0.0015	0.6161±0.0158	0.0800±0.0006	445±43	487±10	496±4
GW05049.21	31.8	149	335	0.0563±0.0010	0.6300±0.0100	0.0812±0.0005	463±25	496±6	503±3
GW05049.22	67.0	341	729	0.0607±0.0012	0.6644±0.0110	0.0793±0.0005	630±25	517±7	492±3
GW05049.23	50.7	281	546	0.0563±0.0011	0.6290±0.0107	0.0811±0.0005	463±27	495±7	503±3
GW05049.24	31.7	115	352	0.0569±0.0012	0.6280±0.0123	0.0801±0.0005	486±32	495±8	497±3
GW05049.25	79.2	498	847	0.0761±0.0020	0.7842±0.0195	0.0747±0.0006	1097±36	588±11	465±4
GW05104.01	20.1	107	196	0.0594±0.0014	0.6651±0.0140	0.0813±0.0005	580±34	518±9	504±3
GW05104.02	5.71	28.2	54.2	0.0670±0.0038	0.7563±0.0420	0.0819±0.0012	839±92	572±24	507±7

续表 2

Continued Table 2

样品号及 分析点号	含量(ppm)			同位素比值 $\pm 1\sigma$			年龄(Ma) $\pm 1\sigma$		
	Pb	Th	U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$
GW05104.03	51.5	139	552	0.0585 ± 0.0010	0.6453 ± 0.0084	0.0800 ± 0.0004	548 ± 19	506 ± 5	496 ± 2
GW05104.04	10.5	50.4	105	0.0592 ± 0.0019	0.6602 ± 0.0202	0.0809 ± 0.0007	574 ± 52	515 ± 12	502 ± 4
GW05104.05	46.5	154	489	0.0596 ± 0.0013	0.6621 ± 0.0122	0.0806 ± 0.0005	588 ± 29	516 ± 7	500 ± 3
GW05104.06	13.3	66.8	136	0.0572 ± 0.0017	0.6354 ± 0.0172	0.0805 ± 0.0006	500 ± 46	499 ± 11	499 ± 4
GW05104.07	8.58	41.9	84.3	0.0579 ± 0.0020	0.6486 ± 0.0208	0.0812 ± 0.0007	526 ± 56	508 ± 13	503 ± 4
GW05104.08	24.0	194	204	0.0581 ± 0.0014	0.6504 ± 0.0146	0.0811 ± 0.0006	535 ± 37	509 ± 9	503 ± 3
GW05104.09	29.2	193	276	0.0582 ± 0.0013	0.6491 ± 0.0129	0.0809 ± 0.0005	535 ± 32	508 ± 8	502 ± 3
GW05104.10	22.0	126	215	0.0592 ± 0.0014	0.6604 ± 0.0141	0.0809 ± 0.0006	573 ± 35	515 ± 9	502 ± 3
GW05104.11	21.8	143	182	0.0712 ± 0.0017	0.7895 ± 0.0173	0.0804 ± 0.0006	963 ± 32	591 ± 10	499 ± 4
GW05104.12	36.6	390	315	0.0588 ± 0.0015	0.6584 ± 0.0151	0.0811 ± 0.0006	561 ± 37	514 ± 9	503 ± 4
GW05104.13	25.0	89.0	266	0.0573 ± 0.0013	0.6338 ± 0.0151	0.0802 ± 0.0005	502 ± 33	498 ± 8	498 ± 3
GW05104.14	28.3	165	328	0.0579 ± 0.0014	0.5453 ± 0.0151	0.0683 ± 0.0005	524 ± 36	442 ± 8	426 ± 3
GW05104.15	20.9	117	205	0.0591 ± 0.0015	0.6575 ± 0.0151	0.0807 ± 0.0006	571 ± 38	513 ± 9	500 ± 3
GW05104.16	14.2	67.3	139	0.0585 ± 0.0026	0.6492 ± 0.0151	0.0805 ± 0.0009	549 ± 74	508 ± 17	499 ± 5
GW05104.17	16.7	121	158	0.0580 ± 0.0023	0.6406 ± 0.0151	0.0802 ± 0.0007	528 ± 89	503 ± 15	497 ± 4
GW05104.18	97.2	811	840	0.0604 ± 0.0015	0.6677 ± 0.0151	0.0802 ± 0.0005	616 ± 54	519 ± 10	498 ± 3
GW05104.19	55.7	491	450	0.0585 ± 0.0012	0.7278 ± 0.0151	0.0902 ± 0.0006	549 ± 29	555 ± 8	557 ± 3
GW05104.20	17.0	126	157	0.0606 ± 0.0018	0.6735 ± 0.0151	0.0806 ± 0.0007	626 ± 46	523 ± 11	500 ± 4
GW05104.21	29.4	263	252	0.0573 ± 0.0012	0.6441 ± 0.0151	0.0815 ± 0.0005	505 ± 30	505 ± 8	505 ± 3
GW05104.22	15.5	92.6	142	0.0573 ± 0.0026	0.6353 ± 0.0151	0.0804 ± 0.0010	503 ± 76	499 ± 17	499 ± 6
GW05104.23	26.2	98.4	248	0.0587 ± 0.0012	0.7267 ± 0.0151	0.0898 ± 0.0006	555 ± 29	555 ± 8	555 ± 3
GW05104.24	22.2	170	204	0.0571 ± 0.0013	0.6387 ± 0.0151	0.0811 ± 0.0005	496 ± 33	502 ± 8	503 ± 3
GW05037.01	10.2	51.4	105	0.0586 ± 0.0029	0.6386 ± 0.0307	0.0790 ± 0.0009	552 ± 84	501 ± 19	490 ± 6
GW05037.02	38.5	177	402	0.0546 ± 0.0020	0.5952 ± 0.0209	0.0790 ± 0.0008	398 ± 61	474 ± 13	490 ± 5
GW05037.03	10.3	43.8	109	0.0562 ± 0.0032	0.6133 ± 0.0336	0.0792 ± 0.0009	460 ± 101	486 ± 21	491 ± 6
GW05037.04	21.8	96.4	234	0.0698 ± 0.0024	0.7349 ± 0.0237	0.0764 ± 0.0007	922 ± 51	559 ± 14	474 ± 4
GW05037.05	18.9	124	182	0.0601 ± 0.0025	0.6481 ± 0.0261	0.0782 ± 0.0008	608 ± 68	507 ± 16	485 ± 5
GW05037.06	17.4	39.0	204	0.0559 ± 0.0025	0.6024 ± 0.0259	0.0782 ± 0.0008	448 ± 77	479 ± 16	485 ± 5
GW05037.07	6.01	27.4	67.0	0.0561 ± 0.0056	0.5952 ± 0.0590	0.0769 ± 0.0015	457 ± 189	474 ± 38	478 ± 9
GW05037.08	19.3	155	219	0.0602 ± 0.0025	0.6383 ± 0.0256	0.0769 ± 0.0008	612 ± 68	501 ± 16	477 ± 5
GW05037.09	32.6	212	316	0.0583 ± 0.0029	0.6317 ± 0.0300	0.0786 ± 0.0010	539 ± 83	497 ± 19	488 ± 6
GW05037.10	33.7	210	330	0.0559 ± 0.0024	0.6139 ± 0.0252	0.0797 ± 0.0009	447 ± 71	486 ± 16	494 ± 5
GW05037.11	21.0	246	197	0.0550 ± 0.0039	0.6037 ± 0.0423	0.0796 ± 0.0012	413 ± 131	480 ± 27	493 ± 7
GW05037.12	16.1	155	150	0.0601 ± 0.0030	0.6192 ± 0.0297	0.0747 ± 0.0008	607 ± 85	489 ± 19	465 ± 5
GW05037.13	31.0	162	330	0.0555 ± 0.0020	0.5909 ± 0.0202	0.0772 ± 0.0007	432 ± 60	471 ± 13	480 ± 4
GW05037.14	71.0	357	790	0.0551 ± 0.0013	0.5837 ± 0.0121	0.0768 ± 0.0005	416 ± 34	467 ± 8	477 ± 3
GW05037.15	12.6	85.9	133	0.0559 ± 0.0034	0.5902 ± 0.0354	0.0765 ± 0.0010	450 ± 112	471 ± 23	475 ± 6
GW05037.16	26.2	175	270	0.0550 ± 0.0027	0.5869 ± 0.0280	0.0774 ± 0.0009	413 ± 87	469 ± 18	480 ± 5
GW05037.17	23.4	105	265	0.0549 ± 0.0019	0.5794 ± 0.0189	0.0765 ± 0.0007	408 ± 58	464 ± 12	475 ± 4
GW05037.18	23.9	139	264	0.0548 ± 0.0024	0.5794 ± 0.0244	0.0767 ± 0.0008	405 ± 76	464 ± 16	476 ± 5
GW05037.19	21.6	99.2	247	0.0559 ± 0.0020	0.5904 ± 0.0207	0.0766 ± 0.0007	448 ± 62	471 ± 13	476 ± 4

续表 2

Continued Table 2

样品号及 分析点号	含量 (ppm)			同位素比值 $\pm 1\sigma$			年龄 (Ma) $\pm 1\sigma$		
	Pb	Th	U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$
GW05037.20	30.4	154	329	0.0562 $\pm$ 0.0016	0.6011 $\pm$ 0.0165	0.0775 $\pm$ 0.0006	462 $\pm$ 47	478 $\pm$ 10	481 $\pm$ 4
GW05037.21	13.9	37.8	138	0.0580 $\pm$ 0.0027	0.6788 $\pm$ 0.0309	0.0850 $\pm$ 0.0009	528 $\pm$ 82	526 $\pm$ 19	526 $\pm$ 5
GW05037.22	24.5	152	239	0.0580 $\pm$ 0.0037	0.6157 $\pm$ 0.0384	0.0770 $\pm$ 0.0012	528 $\pm$ 110	487 $\pm$ 24	478 $\pm$ 7
GW05037.23	10.9	79.4	110	0.0599 $\pm$ 0.0060	0.6332 $\pm$ 0.0626	0.0766 $\pm$ 0.0016	601 $\pm$ 182	498 $\pm$ 39	476 $\pm$ 9
GW05037.24	53.0	113	522	0.0586 $\pm$ 0.0013	0.7414 $\pm$ 0.0145	0.0918 $\pm$ 0.0006	552 $\pm$ 31	563 $\pm$ 8	566 $\pm$ 3
GW05039.01	41.6	89.3	528	0.0565 $\pm$ 0.0012	0.5690 $\pm$ 0.0110	0.0730 $\pm$ 0.0005	472 $\pm$ 32	457 $\pm$ 7	454 $\pm$ 3
GW05039.02	8.56	70.1	87.2	0.0541 $\pm$ 0.0040	0.5717 $\pm$ 0.0417	0.0767 $\pm$ 0.0010	374 $\pm$ 143	459 $\pm$ 27	476 $\pm$ 6
GW05039.03	26.1	245	273	0.0559 $\pm$ 0.0017	0.5601 $\pm$ 0.0164	0.0726 $\pm$ 0.0006	448 $\pm$ 51	452 $\pm$ 11	452 $\pm$ 3
GW05039.04	13.1	85.4	133	0.0567 $\pm$ 0.0043	0.5956 $\pm$ 0.0440	0.0761 $\pm$ 0.0013	480 $\pm$ 135	474 $\pm$ 28	473 $\pm$ 8
GW05039.05	20.3	33.3	242	0.0548 $\pm$ 0.0019	0.5777 $\pm$ 0.0194	0.0764 $\pm$ 0.0007	406 $\pm$ 60	463 $\pm$ 13	474 $\pm$ 4
GW05039.06	19.8	77.1	204	0.0587 $\pm$ 0.0024	0.6897 $\pm$ 0.0276	0.0851 $\pm$ 0.0009	557 $\pm$ 69	533 $\pm$ 17	527 $\pm$ 5
GW05039.07	63.8	8.85	487	0.0651 $\pm$ 0.0017	1.1496 $\pm$ 0.0277	0.1280 $\pm$ 0.0011	778 $\pm$ 37	777 $\pm$ 13	776 $\pm$ 6
GW05039.08	24.9	86.8	274	0.0569 $\pm$ 0.0021	0.6006 $\pm$ 0.0212	0.0765 $\pm$ 0.0007	488 $\pm$ 61	478 $\pm$ 13	475 $\pm$ 4
GW05039.09	9.03	48.6	96.3	0.0626 $\pm$ 0.0033	0.6641 $\pm$ 0.0342	0.0769 $\pm$ 0.0009	694 $\pm$ 90	517 $\pm$ 21	478 $\pm$ 6
GW05039.10	216	899	2477	0.0600 $\pm$ 0.0012	0.6295 $\pm$ 0.0110	0.0761 $\pm$ 0.0005	525 $\pm$ 51	481 $\pm$ 8	472 $\pm$ 3
GW05039.11	35.6	53.0	359	0.0591 $\pm$ 0.0020	0.7357 $\pm$ 0.0241	0.0903 $\pm$ 0.0008	570 $\pm$ 55	560 $\pm$ 14	557 $\pm$ 5
GW05039.12	42.7	147	502	0.0557 $\pm$ 0.0016	0.5889 $\pm$ 0.0163	0.0767 $\pm$ 0.0006	440 $\pm$ 47	470 $\pm$ 10	476 $\pm$ 4
GW05039.13	459	289	1681	0.1026 $\pm$ 0.0012	3.5406 $\pm$ 0.0257	0.2501 $\pm$ 0.0012	1626 $\pm$ 17	1513 $\pm$ 6	1434 $\pm$ 6
GW05039.14	48.7	67.6	188	0.0965 $\pm$ 0.0022	2.2802 $\pm$ 0.0465	0.1714 $\pm$ 0.0015	1149 $\pm$ 67	1046 $\pm$ 21	997 $\pm$ 8
GW05039.15	17.6	69.1	198	0.0565 $\pm$ 0.0022	0.5929 $\pm$ 0.0226	0.0761 $\pm$ 0.0007	472 $\pm$ 69	473 $\pm$ 14	473 $\pm$ 4
GW05039.16	18.9	138	195	0.0569 $\pm$ 0.0025	0.5984 $\pm$ 0.0254	0.0763 $\pm$ 0.0008	486 $\pm$ 76	476 $\pm$ 16	474 $\pm$ 5
GW05039.17	63.8	388	661	0.0566 $\pm$ 0.0014	0.5962 $\pm$ 0.0131	0.0764 $\pm$ 0.0005	476 $\pm$ 36	475 $\pm$ 8	474 $\pm$ 3
GW05039.18	50.9	155	560	0.0600 $\pm$ 0.0013	0.6678 $\pm$ 0.0125	0.0808 $\pm$ 0.0005	602 $\pm$ 30	519 $\pm$ 8	501 $\pm$ 3
GW05039.19	29.0	202	309	0.0565 $\pm$ 0.0016	0.5944 $\pm$ 0.0151	0.0763 $\pm$ 0.0006	473 $\pm$ 43	474 $\pm$ 10	474 $\pm$ 3
GW05039.20	21.4	92.4	234	0.0605 $\pm$ 0.0020	0.6398 $\pm$ 0.0200	0.0767 $\pm$ 0.0007	621 $\pm$ 53	502 $\pm$ 12	476 $\pm$ 4
GW05039.21	33.2	98.5	406	0.0578 $\pm$ 0.0019	0.6072 $\pm$ 0.0183	0.0761 $\pm$ 0.0006	524 $\pm$ 51	482 $\pm$ 12	473 $\pm$ 4
GW05039.22	23.9	142	281	0.0580 $\pm$ 0.0028	0.5790 $\pm$ 0.0270	0.0724 $\pm$ 0.0008	529 $\pm$ 82	464 $\pm$ 17	451 $\pm$ 5
GW05039.23	7.94	48.6	87.4	0.0637 $\pm$ 0.0040	0.6457 $\pm$ 0.0397	0.0735 $\pm$ 0.0009	732 $\pm$ 110	506 $\pm$ 24	457 $\pm$ 6
GW05039.24	27.1	126	287	0.0582 $\pm$ 0.0026	0.6157 $\pm$ 0.0269	0.0768 $\pm$ 0.0009	535 $\pm$ 76	487 $\pm$ 17	477 $\pm$ 5
GW05039.25	8.35	58.1	87.6	0.0571 $\pm$ 0.0030	0.5984 $\pm$ 0.0310	0.0761 $\pm$ 0.0008	495 $\pm$ 96	476 $\pm$ 20	473 $\pm$ 5
GW05039.26	36.1	197	373	0.0565 $\pm$ 0.0016	0.5948 $\pm$ 0.0158	0.0765 $\pm$ 0.0006	470 $\pm$ 45	474 $\pm$ 10	475 $\pm$ 3
GW05039.27	149	318	1995	0.0636 $\pm$ 0.0011	0.6543 $\pm$ 0.0093	0.0746 $\pm$ 0.0004	454 $\pm$ 42	459 $\pm$ 7	460 $\pm$ 2
GW05039.28	15.5	82.6	163	0.0588 $\pm$ 0.0023	0.6242 $\pm$ 0.0229	0.0770 $\pm$ 0.0007	561 $\pm$ 64	492 $\pm$ 14	478 $\pm$ 4
GW05039.29	62.1	48.2	762	0.0574 $\pm$ 0.0009	0.6047 $\pm$ 0.0078	0.0764 $\pm$ 0.0004	507 $\pm$ 20	480 $\pm$ 5	475 $\pm$ 2
GW05039.30	8.39	21.4	101	0.0568 $\pm$ 0.0039	0.6000 $\pm$ 0.0400	0.0767 $\pm$ 0.0011	483 $\pm$ 122	477 $\pm$ 25	476 $\pm$ 7
GW05044.01	150	2268	2580	0.0625 $\pm$ 0.0013	0.3826 $\pm$ 0.0066	0.0444 $\pm$ 0.0003	690 $\pm$ 27	329 $\pm$ 5	280 $\pm$ 2
GW05044.02	81.8	639	765	0.0637 $\pm$ 0.0017	0.6647 $\pm$ 0.0163	0.0757 $\pm$ 0.0006	731 $\pm$ 40	517 $\pm$ 10	471 $\pm$ 3
GW05044.03	18.8	39.2	209	0.0585 $\pm$ 0.0029	0.6058 $\pm$ 0.0291	0.0751 $\pm$ 0.0008	549 $\pm$ 110	481 $\pm$ 18	467 $\pm$ 4
GW05044.04	39.3	238	429	0.0577 $\pm$ 0.0015	0.5958 $\pm$ 0.0142	0.0749 $\pm$ 0.0005	517 $\pm$ 41	475 $\pm$ 9	466 $\pm$ 3
GW05044.05	24.7	111	230	0.0773 $\pm$ 0.0027	0.8909 $\pm$ 0.0293	0.0836 $\pm$ 0.0008	1129 $\pm$ 51	647 $\pm$ 16	517 $\pm$ 4
GW05044.06	150	1508	1348	0.0643 $\pm$ 0.0012	0.6595 $\pm$ 0.0102	0.0744 $\pm$ 0.0004	753 $\pm$ 24	514 $\pm$ 6	462 $\pm$ 2
GW05044.07	107	2065	1221	0.0584 $\pm$ 0.0017	0.5990 $\pm$ 0.0160	0.0744 $\pm$ 0.0006	546 $\pm$ 45	477 $\pm$ 10	462 $\pm$ 3
GW05044.08	108	1353	1414	0.0611 $\pm$ 0.0012	0.6292 $\pm$ 0.0105	0.0747 $\pm$ 0.0004	642 $\pm$ 26	496 $\pm$ 7	465 $\pm$ 2

续表 2

Continued Table 2

样品号及 分析点号	含量(ppm)			同位素比值 $\pm 1\sigma$			年龄(Ma) $\pm 1\sigma$		
	Pb	Th	U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$
GW05044.09	38.4	167	408	0.0611 $\pm$ 0.0018	0.6332 $\pm$ 0.0172	0.0751 $\pm$ 0.0006	643 $\pm$ 45	498 $\pm$ 11	467 $\pm$ 3
GW05044.10	221	3783	2534	0.0605 $\pm$ 0.0018	0.5571 $\pm$ 0.0165	0.0668 $\pm$ 0.0004	621 $\pm$ 67	450 $\pm$ 11	417 $\pm$ 2
GW05044.11	19.9	146	190	0.0574 $\pm$ 0.0041	0.6209 $\pm$ 0.0431	0.0785 $\pm$ 0.0010	506 $\pm$ 160	490 $\pm$ 27	487 $\pm$ 6
GW05044.12	83.9	342	972	0.0564 $\pm$ 0.0015	0.5853 $\pm$ 0.0139	0.0753 $\pm$ 0.0005	466 $\pm$ 41	468 $\pm$ 9	468 $\pm$ 3
GW05044.13	101	447	1032	0.0575 $\pm$ 0.0011	0.6511 $\pm$ 0.0108	0.0822 $\pm$ 0.0004	509 $\pm$ 27	509 $\pm$ 7	509 $\pm$ 3
GW05044.14	62.0	524	556	0.0637 $\pm$ 0.0017	0.6485 $\pm$ 0.0167	0.0738 $\pm$ 0.0005	732 $\pm$ 57	508 $\pm$ 10	459 $\pm$ 3
GW05044.15	155	1548	1497	0.0594 $\pm$ 0.0010	0.6150 $\pm$ 0.0088	0.0751 $\pm$ 0.0004	581 $\pm$ 22	487 $\pm$ 6	467 $\pm$ 2
GW05044.16	183	5034	2094	0.0790 $\pm$ 0.0013	0.6620 $\pm$ 0.0084	0.0608 $\pm$ 0.0003	1173 $\pm$ 17	516 $\pm$ 5	380 $\pm$ 2
GW05044.17	169	4867	2762	0.0991 $\pm$ 0.0021	0.6327 $\pm$ 0.0114	0.0463 $\pm$ 0.0003	1607 $\pm$ 24	498 $\pm$ 7	292 $\pm$ 2
GW05044.18	101	753	999	0.0570 $\pm$ 0.0013	0.6263 $\pm$ 0.0122	0.0796 $\pm$ 0.0005	493 $\pm$ 32	494 $\pm$ 8	494 $\pm$ 3
GW05044.19	60.2	559	518	0.0728 $\pm$ 0.0043	0.7275 $\pm$ 0.0426	0.0725 $\pm$ 0.0008	1008 $\pm$ 124	555 $\pm$ 25	451 $\pm$ 5
GW05044.20	51.3	354	546	0.0555 $\pm$ 0.0013	0.5741 $\pm$ 0.0119	0.0750 $\pm$ 0.0005	433 $\pm$ 35	461 $\pm$ 8	466 $\pm$ 3
GW05044.21	412	7677	3539	0.0600 $\pm$ 0.0009	0.5482 $\pm$ 0.0061	0.0663 $\pm$ 0.0003	602 $\pm$ 16	444 $\pm$ 4	414 $\pm$ 2
GW05044.22	190	2987	1541	0.0565 $\pm$ 0.0008	0.5790 $\pm$ 0.0066	0.0743 $\pm$ 0.0003	472 $\pm$ 17	464 $\pm$ 4	462 $\pm$ 2
GW05044.23	99.0	3645	482	0.1382 $\pm$ 0.0023	1.5176 $\pm$ 0.0194	0.0796 $\pm$ 0.0005	2205 $\pm$ 14	937 $\pm$ 8	494 $\pm$ 3
GW05044.24	190	2858	1360	0.0631 $\pm$ 0.0018	0.6488 $\pm$ 0.0167	0.0745 $\pm$ 0.0006	713 $\pm$ 42	508 $\pm$ 10	463 $\pm$ 3
GW05044.25	143	1735	1251	0.0739 $\pm$ 0.0017	0.6791 $\pm$ 0.0137	0.0667 $\pm$ 0.0004	1037 $\pm$ 30	526 $\pm$ 8	416 $\pm$ 3
GW05056.01	33.1	150	375	0.0565 $\pm$ 0.0012	0.5692 $\pm$ 0.0104	0.0731 $\pm$ 0.0005	471 $\pm$ 29	458 $\pm$ 7	455 $\pm$ 3
GW05056.02	55.6	253	562	0.0633 $\pm$ 0.0009	0.6462 $\pm$ 0.0073	0.0741 $\pm$ 0.0004	717 $\pm$ 15	506 $\pm$ 5	461 $\pm$ 2
GW05056.03	33.1	181	354	0.0562 $\pm$ 0.0011	0.5738 $\pm$ 0.0098	0.0740 $\pm$ 0.0005	461 $\pm$ 27	460 $\pm$ 6	460 $\pm$ 3
GW05056.04	21.6	120	206	0.0621 $\pm$ 0.0016	0.6349 $\pm$ 0.0145	0.0741 $\pm$ 0.0006	678 $\pm$ 36	499 $\pm$ 9	461 $\pm$ 3
GW05056.05	70.2	191	463	0.0636 $\pm$ 0.0015	0.5930 $\pm$ 0.0127	0.0677 $\pm$ 0.0005	727 $\pm$ 33	473 $\pm$ 8	422 $\pm$ 3
GW05056.06	31.6	182	270	0.0647 $\pm$ 0.0014	0.6134 $\pm$ 0.0122	0.0687 $\pm$ 0.0005	766 $\pm$ 31	486 $\pm$ 8	428 $\pm$ 3
GW05056.07	65.4	346	732	0.0629 $\pm$ 0.0012	0.6416 $\pm$ 0.0109	0.0740 $\pm$ 0.0005	703 $\pm$ 25	503 $\pm$ 7	460 $\pm$ 3
GW05056.08	24.2	119	269	0.0555 $\pm$ 0.0014	0.5672 $\pm$ 0.0134	0.0742 $\pm$ 0.0005	431 $\pm$ 40	456 $\pm$ 9	461 $\pm$ 3
GW05056.09	179	682	1988	0.0603 $\pm$ 0.0007	0.6139 $\pm$ 0.0047	0.0739 $\pm$ 0.0004	613 $\pm$ 9	486 $\pm$ 3	459 $\pm$ 2
GW05056.10	40.7	185	454	0.0576 $\pm$ 0.0011	0.5884 $\pm$ 0.0094	0.0740 $\pm$ 0.0004	516 $\pm$ 25	470 $\pm$ 6	460 $\pm$ 3
GW05056.11	48.5	206	551	0.0578 $\pm$ 0.0010	0.5868 $\pm$ 0.0087	0.0737 $\pm$ 0.0004	520 $\pm$ 23	469 $\pm$ 6	458 $\pm$ 3
GW05056.12	46.2	180	522	0.0577 $\pm$ 0.0010	0.5879 $\pm$ 0.0083	0.0739 $\pm$ 0.0004	519 $\pm$ 21	469 $\pm$ 5	459 $\pm$ 2
GW05056.13	93.9	474	955	0.0560 $\pm$ 0.0009	0.5725 $\pm$ 0.0085	0.0742 $\pm$ 0.0004	451 $\pm$ 36	460 $\pm$ 5	461 $\pm$ 2
GW05056.14	187	940	1929	0.0574 $\pm$ 0.0016	0.5541 $\pm$ 0.0152	0.0700 $\pm$ 0.0004	507 $\pm$ 63	448 $\pm$ 10	436 $\pm$ 2
GW05056.15	172	1984	1530	0.0562 $\pm$ 0.0009	0.5730 $\pm$ 0.0074	0.0739 $\pm$ 0.0004	461 $\pm$ 19	460 $\pm$ 5	460 $\pm$ 2
GW05056.16	20.8	104	215	0.0622 $\pm$ 0.0020	0.6368 $\pm$ 0.0191	0.0743 $\pm$ 0.0006	680 $\pm$ 50	500 $\pm$ 12	462 $\pm$ 4
GW05056.17	21.8	126	226	0.0618 $\pm$ 0.0015	0.6285 $\pm$ 0.0137	0.0737 $\pm$ 0.0005	668 $\pm$ 35	495 $\pm$ 9	458 $\pm$ 3
GW05056.18	86.5	397	931	0.0565 $\pm$ 0.0008	0.5771 $\pm$ 0.0058	0.0740 $\pm$ 0.0004	473 $\pm$ 14	463 $\pm$ 4	460 $\pm$ 2
GW05056.19	38.1	163	409	0.0585 $\pm$ 0.0010	0.6002 $\pm$ 0.0085	0.0744 $\pm$ 0.0004	548 $\pm$ 21	477 $\pm$ 5	463 $\pm$ 2
GW05056.20	32.4	130	354	0.0596 $\pm$ 0.0011	0.6072 $\pm$ 0.0098	0.0739 $\pm$ 0.0004	588 $\pm$ 25	482 $\pm$ 6	460 $\pm$ 3
GW05056.21	123	631	1366	0.0569 $\pm$ 0.0008	0.5797 $\pm$ 0.0061	0.0739 $\pm$ 0.0004	488 $\pm$ 14	464 $\pm$ 4	459 $\pm$ 2
GW05056.22	63.3	239	515	0.0567 $\pm$ 0.0012	0.5758 $\pm$ 0.0107	0.0736 $\pm$ 0.0005	481 $\pm$ 30	462 $\pm$ 7	458 $\pm$ 3
GW05056.23	31.5	120	357	0.0573 $\pm$ 0.0012	0.5879 $\pm$ 0.0108	0.0744 $\pm$ 0.0005	504 $\pm$ 29	470 $\pm$ 7	462 $\pm$ 3
GW05056.24	260	1811	2409	0.0692 $\pm$ 0.0015	0.7419 $\pm$ 0.0139	0.0778 $\pm$ 0.0005	903 $\pm$ 27	564 $\pm$ 8	483 $\pm$ 3
GW05056.25	168	946	1706	0.0569 $\pm$ 0.0007	0.6149 $\pm$ 0.0047	0.0783 $\pm$ 0.0004	489 $\pm$ 9	487 $\pm$ 3	486 $\pm$ 2
GW05056.26	43.4	173	489	0.0567 $\pm$ 0.0009	0.5824 $\pm$ 0.0076	0.0745 $\pm$ 0.0004	479 $\pm$ 19	466 $\pm$ 5	463 $\pm$ 2
GW05056.27	46.7	199	520	0.0568 $\pm$ 0.0010	0.5818 $\pm$ 0.0098	0.0743 $\pm$ 0.0004	483 $\pm$ 40	466 $\pm$ 6	462 $\pm$ 2

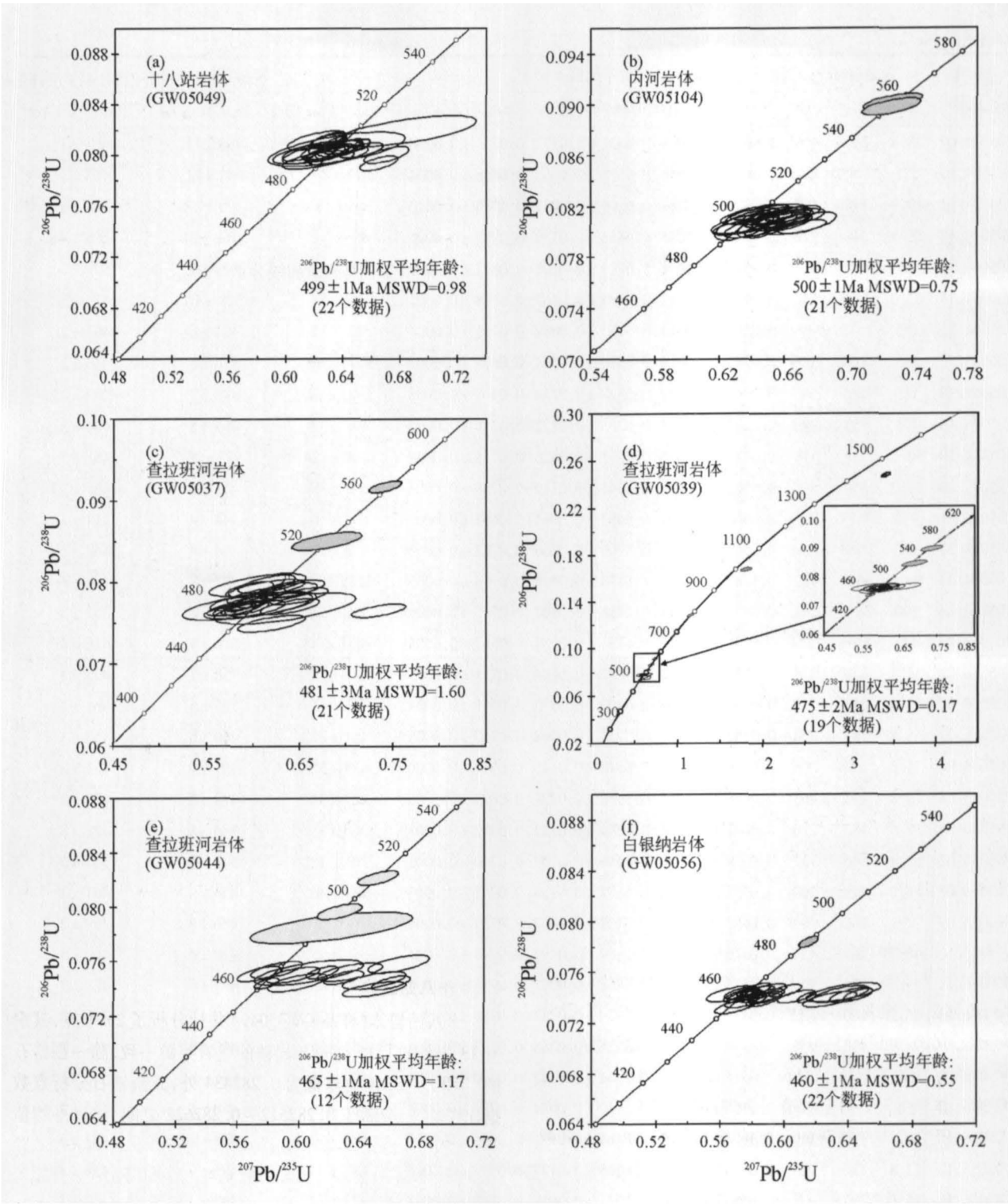


图3 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 U-Pb 谐和图解
Fig. 3 Zircon U-Pb concordian diagrams of the early Paleozoic granites in northeastern Da Hinggan Mts.

3.1 十八站岩体

十八站岩体样品为采自永庆林场的斑状二长花岗岩 (GW05049 取样点位置: 52°25'2.4"N, 125°05'52.7"E)。本文对该样品中具有明显振荡环带的岩浆锆石进行了 23 个颗粒

的 25 个点测定。结果表明, 除 3 个锆石的数据远离谐和线外, 其余 22 个点均落在谐和线及其附近 (图 3a), 22 个锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $499 \pm 1\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 0.98$, 代表十八站岩体的岩浆结晶年龄。

3.2 内河岩体

内河岩体位于韩家园子南部,样品为中细粒角闪花岗岩闪长岩(GW05104 取样点位置:52°00′42.1″N,125°39′24.3″E)。24 个岩浆锆石的测试结果表明,所测锆石的同位素分析数据均落在谐和线上及其附近(图 3b),其中 21 个数据的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $500 \pm 1\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 0.75$,代表内河岩体的岩浆结晶年龄。另有 2 个锆石的谐和年龄分别为 $555 \pm 3\text{Ma}$ 和 $557 \pm 3\text{Ma}$,可能为岩体捕获的早期岩浆锆石。

3.3 查拉班河岩体

查拉班河岩体主要由斑状二长花岗岩、细粒角闪黑云母花岗岩闪长岩和片麻状黑云母花岗岩闪长岩组成。本文对该岩体的上述 3 种岩石类型分别进行了锆石 U-Pb 同位素定年。

(1) 斑状黑云母二长花岗岩(GW05037 取样点位置:52°21′11.2″N,125°05′24.5″E)的 24 颗岩浆锆石的分析结果表明,22 个分析点集中落在谐和线上及其附近(图 3c),其中 21 个点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $481 \pm 3\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 1.6$,代表样品岩浆结晶年龄。另有 2 颗锆石的谐和年龄分别为 $526 \pm 5\text{Ma}$ 和 $566 \pm 3\text{Ma}$,应为岩体捕获的早期岩浆锆石。

(2) 片麻状中粒黑云母花岗岩闪长岩(GW05039 取样点位置:52°16′46.7″N,125°01′29.9″E)的锆石 CL 图像相对较复杂。本文对其中 27 颗锆石进行 30 个点的分析结果表明,其中 19 颗具清晰振荡环带结构的锆石同位素分析数据集中位于谐和线上及其附近,其加权平均年龄为 $475 \pm 2\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 0.17$ (图 3d),代表岩浆结晶年龄。另有 4 颗岩浆锆石的谐和年龄分别为 $501 \pm 3\text{Ma}$ 、 $527 \pm 5\text{Ma}$ 、 $557 \pm 5\text{Ma}$ 和 $776 \pm 6\text{Ma}$,这 4 颗锆石应该是岩体捕获的早期岩浆锆石,其中 $527 \pm 5\text{Ma}$ 为锆石核部点的年龄数据,其边部环带的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和年龄为 $474 \pm 4\text{Ma}$ 。有一颗锆石核部 CL 图像较暗,呈浑圆状,边部圆滑,未见环带结构,其核部(分析点 13)的近谐和年龄为 $1626 \pm 17\text{Ma}$ ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$),边部(分析点 14)的近谐和年龄为 $1149 \pm 47\text{Ma}$ ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$),该锆石的年龄结果与兴华渡口群变质岩中的碎屑锆石类似(苗来成等,2007),可能是岩浆侵位过程中捕获的碎屑锆石。其余数据因远离谐和线分布而未参与计算。

(3) 细粒角闪黑云母花岗岩闪长岩样品(GW05044 取样点位置:52°18′34.8″N,125°02′27.6″E)的 24 颗岩浆锆石的 25 个点的分析结果表明,16 个锆石颗粒同位素分析数据落在谐和线上及其附近(图 3e),有 13 个颗粒的数据相对比较集中,其中 12 个锆石颗粒的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $465 \pm 1\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 1.17$ 。另有 3 个锆石的谐和年龄分别为 $487 \pm 6\text{Ma}$ 、 $494 \pm 3\text{Ma}$ 和 $509 \pm 3\text{Ma}$,其余 9 个数据远离谐和线分散分布。 $465 \pm 1\text{Ma}$ 年龄应代表样品岩浆结晶年龄,而 $494 \pm 3\text{Ma}$ 和 $509 \pm 3\text{Ma}$ 年龄与十八站岩体的年龄相近,可能是岩浆上升时捕获的十八站岩体同期的岩浆锆石。

3.4 白银纳岩体

白银纳岩体的斑状黑云母花岗岩闪长岩采自白银纳西南采石场(GW05056 取样点位置:52°23′28.4″N,125°52′32.8″E)。26 颗岩浆锆石的 27 个点分析结果表明,其中 22 个分析数据集中落在谐和线上及其附近(图 3f),其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 $460 \pm 1\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 0.55$,代表白银纳岩体岩浆侵位结晶的年龄。另有一个锆石的谐和年龄为 $486 \pm 2\text{Ma}$ 。其余 4 个点偏离谐和线分散分布。

4 锆石 Hf 同位素

在 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年的基础上,对十八站、查拉班河、白银纳、内河和哈拉巴奇等 5 个岩体进行了 8 个样品的锆石微区 Hf 同位素测定。锆石原位 Lu-Hf 同位素分析在中国科学院地质与地球物理研究所配有 193nm 激光取样系统的 Neptune 多接收电感耦合等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)上进行,激光束斑直径为 $63\mu\text{m}$,激光脉冲宽度为 15ns,试验中采用 He 气作为剥蚀物质载气。详细测试流程以及仪器运行条件等参见 Wu *et al.* (2006)。本次实验 91500 的测定结果是 0.282292 ± 22 ,该值与目前用溶液法获得的值在误差范围内一致(Woodhead *et al.*, 2004)。 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 和模式年龄计算中,现今球粒陨石和亏损地幔的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 和 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 分别采用 0.0332、0.282772 和 0.0384、0.28325 (Bichler *et al.*, 1997),二阶段模式年龄采用平均地壳的 $f_{\text{cc}}(-0.548; \text{Veevers } et al., 2005)$ 进行计算。

锆石的 Lu-Hf 同位素测定结果列于表 3。所有锆石均具有低的 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比值(绝大多数小于 0.002),显示锆石在形成以后具有较低的放射成因 Hf 的积累。

4.1 十八站岩体

十八站岩体(样品 GW05049)共计分析了 25 个点,其中有 23 个点的 U-Pb 年龄与岩体的成岩年龄一致,除一颗锆石的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值略低为 0.282434 外,其余锆石分析点数据比较均一,分布于 0.282512 ~ 0.282622 之间,加权平均值为 $0.282573 \pm 0.000015 (2\sigma, n = 22)$ (图 4a)。 $\epsilon_{\text{Hf}}(499\text{Ma})$ 除一个数据为 -1.35 外,其余均在 +1.51 ~ +6.22 之间,其加权平均值为 $+3.60 \pm 0.54$ (图 5a)。二阶段 Hf 模式年龄(t_{DM2})变化范围为 1120 ~ 1370Ma,平均为 1251Ma。

4.2 白银纳岩体

白银纳岩体(样品 GW05056)共计分析了 20 颗锆石,其中有 17 颗锆石的 U-Pb 年龄与岩体的成岩年龄一致,其 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值分布在 0.282512 ~ 0.282649 之间,比较均一, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 加权平均值为 $0.282590 \pm 0.000013 (2\sigma, n = 16)$ (图 4b)。 $\epsilon_{\text{Hf}}(460\text{Ma})$ 除一个数据较低,为 +0.50,其余

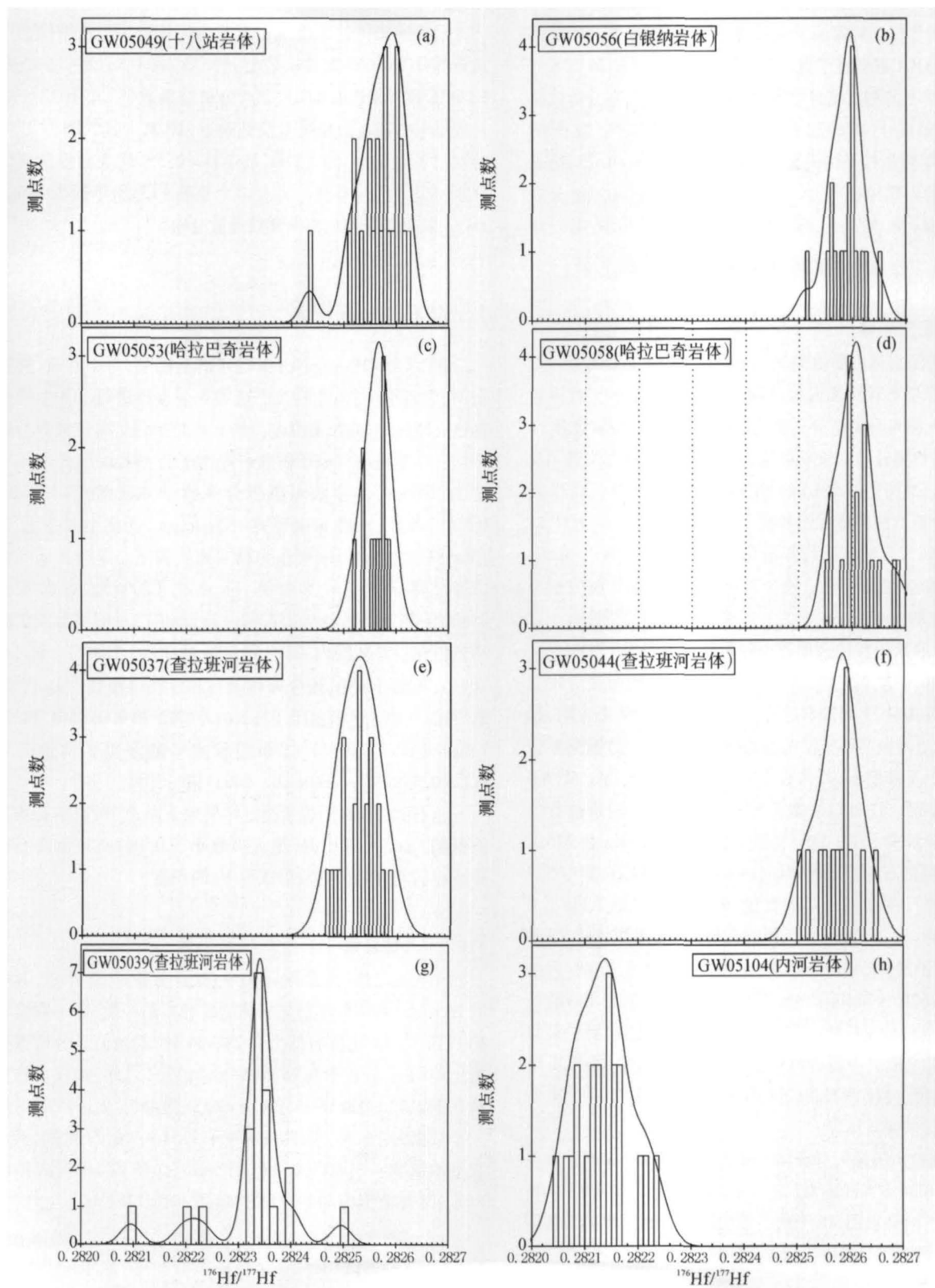


图4 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 Hf 同位素组成
(只包括 U-Pb 年龄与岩体成岩年龄一致的锆石 Hf 同位素分析数据)

Fig. 4 Zircon Hf isotopic compositions of the early Paleozoic granites from the northeastern Da Hinggan Mts.

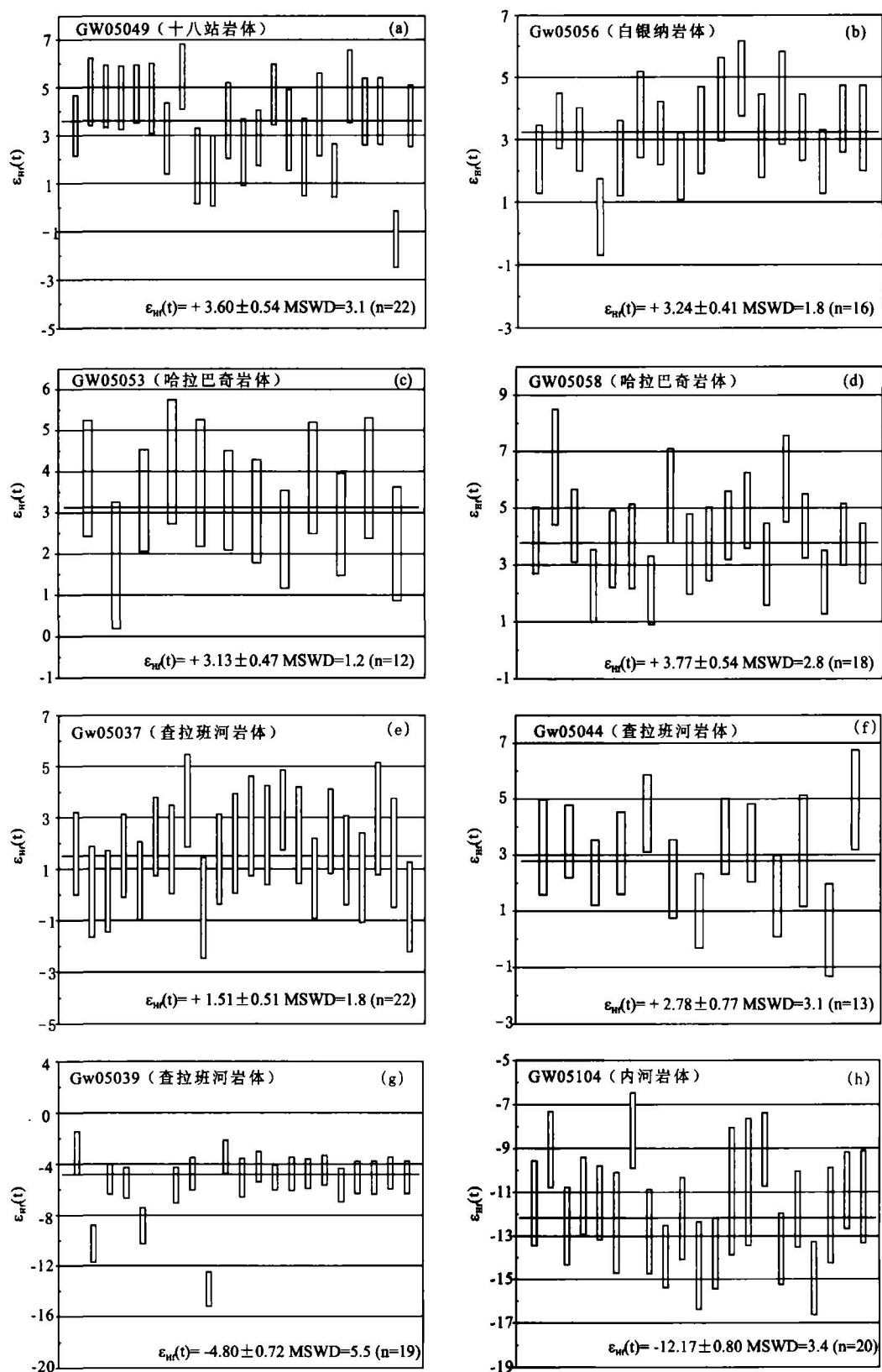


图5 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 Hf 同位素特征
(只包括 U-Pb 年龄与岩体成岩年龄一致的锆石 Hf 同位素分析数据)

Fig. 5 Zircon Hf isotopic features of the early Paleozoic granites from the northeastern Da Hinggan Mts.

表3 大兴安岭东北部地区早古生代花岗岩 LA-MC-ICPMS 锆石 Hf 同位素分析结果

Table 3 Zircon Hf isotopic compositions of the early Paleozoic granites from northeastern Da Hinggan Mts.

样品号	t (Ma)	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_{\text{Corr.}}$	2σ	$\varepsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$	2σ	T_{DM1}	T_{DM2}	$f_{\text{Lu/Hf}}$
GW05049(十八站岩体)												
-1	499	0.016980	0.000594	0.282548	0.282563	0.000018	-7.39	3.40	0.64	965	1250	-0.98
-2	499	0.031483	0.001047	0.282592	0.282607	0.000020	-5.83	4.82	0.71	914	1160	-0.97
-3	499	0.020218	0.000664	0.282583	0.282598	0.000019	-6.15	4.62	0.65	917	1173	-0.98
-4	499	0.022288	0.000756	0.282582	0.282597	0.000019	-6.18	4.56	0.67	921	1177	-0.98
-5	499	0.018073	0.000615	0.282585	0.282600	0.000017	-6.08	4.71	0.61	913	1167	-0.98
-6	499	0.042756	0.001371	0.282587	0.282602	0.000021	-6.01	4.53	0.74	929	1179	-0.96
-7	499	0.023031	0.000762	0.282534	0.282549	0.000021	-7.88	2.86	0.74	988	1285	-0.98
-8	499	0.019022	0.000644	0.282606	0.282622	0.000019	-5.32	5.46	0.69	884	1120	-0.98
-9	499	0.036752	0.001201	0.282506	0.282521	0.000022	-8.89	1.71	0.79	1040	1358	-0.96
-10	499	0.041246	0.001334	0.282501	0.282516	0.000021	-9.04	1.51	0.74	1050	1370	-0.96
-11	499	0.013826	0.000482	0.282553	0.282568	0.000022	-7.23	3.61	0.79	955	1237	-0.99
-12(核)	499	0.085920	0.002949	0.282538	0.282553	0.000020	-7.74	2.27	0.69	1043	1322	-0.91
-13(边)	499	0.026687	0.000851	0.282535	0.282551	0.000016	-7.83	2.88	0.58	989	1283	-0.97
-14	499	0.079879	0.002643	0.282603	0.282618	0.000018	-5.43	4.69	0.64	938	1168	-0.92
-15	499	0.035329	0.001180	0.282548	0.282563	0.000024	-7.40	3.20	0.85	980	1263	-0.96
-16	499	0.039335	0.001323	0.282517	0.282532	0.000023	-8.48	2.07	0.80	1027	1334	-0.96
-17	554	0.016478	0.000561	0.282593	0.282608	0.000023	-5.79	6.22	0.80	901	1114	-0.98
-18	499	0.021637	0.000739	0.282562	0.282577	0.000024	-6.88	3.87	0.86	948	1221	-0.98
-19	499	0.023840	0.000823	0.282497	0.282512	0.000016	-9.20	1.52	0.55	1042	1370	-0.98
-20	499	0.020311	0.000696	0.282595	0.282610	0.000022	-5.72	5.05	0.77	901	1146	-0.98
-21	499	0.025838	0.000860	0.282567	0.282582	0.000020	-6.72	3.99	0.70	945	1213	-0.97
-22	499	0.043888	0.001488	0.282573	0.282588	0.000020	-6.50	4.00	0.70	952	1212	-0.96
-23	499	0.034684	0.001163	0.282419	0.282434	0.000017	-12.0	-1.35	0.59	1161	1551	-0.96
-24	499	0.028413	0.001022	0.282563	0.282578	0.000018	-6.86	3.79	0.64	954	1225	-0.97
-25	465	0.048038	0.001498	0.282556	0.282571	0.000019	-7.11	2.67	0.68	977	1271	-0.95
GW05056(白银纳岩体)												
-1	460	0.027122	0.000930	0.282545	0.282560	0.000015	-7.49	2.35	0.54	977	1287	-0.97
-2(核)	460	0.039636	0.001346	0.282584	0.282599	0.000013	-6.12	3.60	0.44	933	1208	-0.96
-3(边)	460	0.032923	0.001113	0.282565	0.282580	0.000014	-6.79	3.00	0.51	954	1246	-0.97
-4	460	0.042634	0.001428	0.282497	0.282512	0.000017	-9.19	0.50	0.61	1058	1404	-0.96
-5	422	0.032183	0.001175	0.282578	0.282593	0.000017	-6.32	2.64	0.60	937	1240	-0.96
-6	428	0.056730	0.001873	0.282561	0.282576	0.000018	-6.94	1.95	0.65	980	1288	-0.94
-7	460	0.048085	0.001541	0.282551	0.282566	0.000017	-7.27	2.39	0.60	984	1284	-0.95
-8	460	0.035939	0.001263	0.282589	0.282604	0.000020	-5.95	3.79	0.69	924	1195	-0.96
-9	460	0.053182	0.001758	0.282576	0.282591	0.000014	-6.40	3.19	0.51	955	1234	-0.95
-10	460	0.035796	0.001155	0.282541	0.282556	0.000015	-7.65	2.13	0.54	989	1301	-0.97
-11	460	0.048675	0.001746	0.282579	0.282594	0.000020	-6.30	3.30	0.70	950	1227	-0.95
-12	460	0.038110	0.001411	0.282604	0.282619	0.000019	-5.42	4.29	0.67	906	1164	-0.96
-13	460	0.076505	0.002692	0.282634	0.282649	0.000017	-4.36	4.95	0.61	894	1122	-0.92
-14	436	0.057230	0.002032	0.282646	0.282662	0.000017	-3.90	5.11	0.60	860	1094	-0.94
-15	460	0.044970	0.001430	0.282571	0.282586	0.000019	-6.59	3.11	0.67	954	1239	-0.96
-16	460	0.049595	0.001819	0.282609	0.282624	0.000021	-5.24	4.33	0.75	909	1161	-0.95
-17	460	0.067817	0.002235	0.282585	0.282600	0.000015	-6.07	3.38	0.53	954	1222	-0.93
-18	460	0.028432	0.000914	0.282543	0.282558	0.000014	-7.57	2.28	0.51	980	1292	-0.97
-19	460	0.030780	0.001051	0.282583	0.282598	0.000015	-6.16	3.65	0.54	927	1205	-0.97
-20	460	0.073448	0.002522	0.282587	0.282602	0.000020	-6.01	3.35	0.69	959	1223	-0.92

续表 3

Continued Table 3

样品号	t (Ma)	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_{\text{Corr.}}$	2σ	$\varepsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$	2σ	T_{DM1}	T_{DM2}	$f_{\text{Lu/Hf}}$
GW05053(哈拉巴奇岩体)												
-1	522	0.026860	0.001009	0.282621	0.282636	0.000031	-4.81	6.35	1.10	872	1081	-0.97
-2	500	0.016591	0.000626	0.282559	0.282574	0.000020	-6.99	3.82	0.71	949	1224	-0.98
-3	500	0.027964	0.000994	0.282503	0.282518	0.000022	-8.98	1.71	0.77	1038	1358	-0.97
-4	523	0.021394	0.000755	0.282532	0.282547	0.000028	-7.95	3.31	0.99	991	1274	-0.98
-5	500	0.032021	0.001074	0.282548	0.282563	0.000018	-7.37	3.28	0.62	976	1258	-0.97
-6	500	0.023840	0.000877	0.282573	0.282588	0.000021	-6.49	4.23	0.76	936	1198	-0.97
-7	500	0.023070	0.000826	0.282558	0.282573	0.000022	-7.03	3.71	0.78	956	1231	-0.98
-8	500	0.021163	0.000720	0.282545	0.282560	0.000017	-7.49	3.29	0.61	972	1258	-0.98
-9	461	0.035456	0.001217	0.282519	0.282534	0.000015	-8.41	1.37	0.53	1021	1350	-0.96
-10	500	0.068837	0.002587	0.282555	0.282570	0.000018	-7.14	3.02	0.63	1007	1275	-0.92
-11	500	0.023761	0.000915	0.282520	0.282535	0.000017	-8.37	2.34	0.59	1012	1318	-0.97
-12	500	0.019740	0.000664	0.282560	0.282575	0.000019	-6.96	3.84	0.68	949	1224	-0.98
-13(核)	500	0.048694	0.001866	0.282539	0.282554	0.000018	-7.69	2.70	0.62	1010	1295	-0.94
-14(边)	500	0.028277	0.001086	0.282564	0.282579	0.000021	-6.82	3.83	0.73	955	1224	-0.97
-15	500	0.035799	0.001121	0.282519	0.282534	0.000019	-8.41	2.23	0.69	1019	1325	-0.97
GW05058(哈拉巴奇岩体)												
-1(核)	461	0.040943	0.001512	0.282591	0.282607	0.000017	-5.85	3.84	0.58	926	1193	-0.95
-2(边)	461	0.054875	0.002200	0.282671	0.282686	0.000029	-3.04	6.44	1.03	828	1028	-0.93
-3	461	0.035768	0.001253	0.282604	0.282619	0.000018	-5.41	4.36	0.65	902	1160	-0.96
-4	461	0.035316	0.001246	0.282544	0.282559	0.000018	-7.53	2.24	0.64	987	1295	-0.96
-5	461	0.027183	0.000954	0.282578	0.282593	0.000019	-6.32	3.54	0.68	931	1212	-0.97
-6	461	0.024420	0.000884	0.282580	0.282595	0.000021	-6.24	3.64	0.75	926	1206	-0.97
-7	461	0.030825	0.001017	0.282537	0.282552	0.000017	-7.76	2.08	0.60	990	1305	-0.97
-8	485	0.029354	0.000985	0.282555	0.282570	0.000020	-7.14	3.23	0.72	964	1250	-0.97
-9	461	0.045092	0.001694	0.282638	0.282653	0.000024	-4.21	5.42	0.84	864	1093	-0.95
-10	461	0.051441	0.001664	0.282580	0.282595	0.000020	-6.27	3.37	0.71	947	1223	-0.95
-11	461	0.036816	0.001301	0.282586	0.282601	0.000018	-6.04	3.72	0.65	928	1201	-0.96
-12	477	0.049583	0.001686	0.282571	0.282586	0.000016	-6.56	3.41	0.57	959	1233	-0.95
-13	461	0.047788	0.001689	0.282608	0.282623	0.000017	-5.26	4.38	0.60	907	1159	-0.95
-14	461	0.035751	0.001374	0.282620	0.282635	0.000019	-4.83	4.91	0.67	882	1126	-0.96
-15	461	0.031446	0.001148	0.282565	0.282580	0.000020	-6.80	3.00	0.72	955	1247	-0.97
-16	461	0.075772	0.002882	0.282665	0.282680	0.000022	-3.26	6.02	0.77	853	1055	-0.91
-17	461	0.049592	0.001555	0.282606	0.282621	0.000016	-5.33	4.35	0.57	906	1161	-0.95
-18	461	0.035175	0.001149	0.282547	0.282562	0.000016	-7.43	2.37	0.56	980	1287	-0.97
-19	461	0.036907	0.001361	0.282596	0.282611	0.000015	-5.69	4.05	0.54	916	1180	-0.96
-20	460	0.037025	0.001397	0.282578	0.282593	0.000015	-6.34	3.36	0.53	943	1223	-0.96
GW05037(查拉班河岩体)												
-1	481	0.024833	0.000930	0.282511	0.282526	0.000023	-8.70	1.59	0.80	1025	1351	-0.97
-2	481	0.035351	0.001269	0.282471	0.282487	0.000025	-10.10	0.09	0.89	1090	1446	-0.96
-3	481	0.019708	0.000739	0.282467	0.282482	0.000022	-10.2	0.11	0.80	1081	1445	-0.98
-4	481	0.023942	0.000900	0.282508	0.282523	0.000023	-8.81	1.49	0.81	1029	1357	-0.97
-5	481	0.036991	0.001320	0.282484	0.282499	0.000021	-9.65	0.52	0.76	1074	1419	-0.96
-6	481	0.022207	0.000805	0.282528	0.282543	0.000022	-8.09	2.25	0.77	997	1309	-0.98
-7	481	0.017581	0.000659	0.282513	0.282528	0.000024	-8.64	1.74	0.87	1015	1342	-0.98
-8	481	0.032845	0.001078	0.282570	0.282585	0.000026	-6.60	3.65	0.90	946	1221	-0.97
-9	481	0.041621	0.001467	0.282455	0.282471	0.000028	-10.70	-0.54	0.98	1119	1486	-0.96

续表 3

Continued Table 3

样品号	t (Ma)	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_{\text{Corr.}}$	2σ	$\varepsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$	2σ	T_{DM1}	T_{DM2}	$f_{\text{Lu/Hf}}$
-10	481	0.032151	0.001154	0.282506	0.282522	0.000025	-8.86	1.37	0.88	1037	1365	-0.97
-11	481	0.046200	0.001640	0.282528	0.282543	0.000027	-8.09	1.98	0.97	1020	1327	-0.95
-12	481	0.057267	0.002050	0.282551	0.282566	0.000027	-7.27	2.67	0.97	998	1283	-0.94
-13	481	0.022510	0.000857	0.282530	0.282545	0.000027	-8.01	2.31	0.97	996	1306	-0.97
-14	481	0.026973	0.000954	0.282559	0.282574	0.000022	-6.99	3.30	0.78	958	1243	-0.97
-15	481	0.030339	0.001133	0.282533	0.282548	0.000027	-7.93	2.30	0.94	1000	1306	-0.97
-16	481	0.023679	0.000880	0.282483	0.282498	0.000022	-9.69	0.62	0.78	1063	1413	-0.97
-17	481	0.024231	0.000895	0.282535	0.282550	0.000023	-7.85	2.46	0.82	990	1296	-0.97
-18	481	0.024370	0.000910	0.282503	0.282518	0.000025	-8.97	1.33	0.87	1035	1368	-0.97
-19	481	0.021269	0.000759	0.282482	0.282497	0.000025	-9.71	0.64	0.87	1060	1411	-0.98
-20	481	0.020555	0.000754	0.282548	0.282563	0.000031	-7.40	2.95	1.10	969	1265	-0.98
-21	526	0.015280	0.000591	0.282473	0.282488	0.000025	-10.1	1.33	0.90	1069	1402	-0.98
-22	481	0.025578	0.000967	0.282512	0.282527	0.000030	-8.67	1.62	1.06	1025	1350	-0.97
-23	481	0.033408	0.001158	0.282454	0.282469	0.000025	-10.7	-0.49	0.88	1112	1483	-0.97
-24	566	0.029523	0.001069	0.282508	0.282523	0.000023	-8.82	3.26	0.80	1034	1311	-0.97
GW05044 (查拉班河岩体)												
-1	280	0.107536	0.003159	0.282594	0.282609	0.000017	-5.77	-0.20	0.61	966	1311	-0.90
-2	465	0.100262	0.003092	0.282587	0.282602	0.000024	-6.02	3.26	0.85	975	1233	-0.91
-3	465	0.031920	0.001006	0.282574	0.282590	0.000018	-6.45	3.48	0.65	938	1219	-0.97
-4	465	0.056440	0.001821	0.282550	0.282565	0.000016	-7.32	2.36	0.58	994	1290	-0.95
-5	517	0.028792	0.000967	0.282492	0.282507	0.000020	-9.38	1.67	0.69	1053	1374	-0.97
-6	465	0.039316	0.001280	0.282565	0.282580	0.000021	-6.80	3.05	0.74	958	1246	-0.96
-7	465	0.062985	0.001863	0.282610	0.282625	0.000020	-5.20	4.47	0.69	908	1156	-0.94
-8	465	0.053818	0.001522	0.282541	0.282556	0.000020	-7.64	2.13	0.70	999	1305	-0.95
-9	465	0.027401	0.000926	0.282503	0.282519	0.000019	-8.96	0.99	0.67	1035	1377	-0.97
-10	417	0.092064	0.002749	0.282569	0.282585	0.000023	-6.63	1.79	0.80	990	1290	-0.92
-11	487	0.052241	0.001625	0.282540	0.282555	0.000025	-7.66	2.54	0.89	1002	1295	-0.95
-12	465	0.017143	0.000655	0.282576	0.282591	0.000019	-6.39	3.65	0.68	926	1208	-0.98
-13	509	0.043188	0.001367	0.282474	0.282489	0.000017	-10.0	0.75	0.61	1089	1426	-0.96
-14	465	0.056004	0.001666	0.282578	0.282594	0.000020	-6.31	3.42	0.70	949	1223	-0.95
-15	465	0.065306	0.002091	0.282528	0.282543	0.000021	-8.09	1.51	0.73	1032	1344	-0.94
-16	380	0.055265	0.001523	0.282550	0.282565	0.000021	-7.33	0.64	0.74	986	1334	-0.95
-17	292	0.053082	0.001768	0.282580	0.282595	0.000021	-6.24	-0.17	0.73	949	1318	-0.95
-18	494	0.027810	0.001104	0.282569	0.282584	0.000018	-6.64	3.88	0.62	948	1216	-0.97
-19	465	0.047257	0.001419	0.282556	0.282571	0.000024	-7.10	2.70	0.84	974	1268	-0.96
-20	465	0.033650	0.001166	0.282566	0.282581	0.000028	-6.75	3.13	0.99	954	1241	-0.96
-21	465	0.043130	0.001304	0.282487	0.282502	0.000023	-9.54	0.30	0.83	1069	1421	-0.96
-22	465	0.099313	0.003284	0.282577	0.282592	0.000024	-6.36	2.87	0.84	994	1258	-0.90
-23	494	0.036516	0.001167	0.282602	0.282617	0.000020	-5.46	5.04	0.70	902	1143	-0.96
-24	465	0.084357	0.002479	0.282629	0.282644	0.000025	-4.52	4.96	0.89	896	1125	-0.93
-25	416	0.036679	0.001106	0.282533	0.282549	0.000020	-7.90	0.95	0.73	998	1342	-0.97
GW05039 (查拉班河岩体)												
-1	475	0.020865	0.000642	0.282311	0.282326	0.000020	-15.8	-5.52	0.72	1295	1796	-0.98
-2	475	0.017323	0.000519	0.282378	0.282393	0.000024	-13.4	-3.12	0.84	1199	1645	-0.98
-3	475	0.026885	0.000820	0.282396	0.282411	0.000023	-12.8	-2.58	0.82	1183	1610	-0.98
-4	475	0.035284	0.001227	0.282182	0.282197	0.000021	-20.4	-10.3	0.73	1497	2096	-0.96
-5(边)	475	0.011119	0.000382	0.282317	0.282332	0.000017	-15.6	-5.22	0.59	1278	1777	-0.99
-6.1(核)	527	0.023150	0.000673	0.282471	0.282486	0.000018	-10.1	1.25	0.65	1074	1408	-0.98
-6(核)	527	0.025239	0.000808	0.282442	0.282457	0.000017	-11.1	0.20	0.61	1118	1475	-0.98
-7	776	0.008334	0.000263	0.282034	0.282049	0.000016	-25.6	-8.59	0.57	1661	2216	-0.99
-8	475	0.023854	0.000771	0.282312	0.282328	0.000017	-15.7	-5.51	0.60	1297	1795	-0.98
-9	475	0.017716	0.000610	0.282216	0.282231	0.000020	-19.1	-8.88	0.72	1425	2008	-0.98

续表 3

Continued Table 3

样品号	t (Ma)	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_{\text{Corr.}}$	2σ	$\varepsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$	2σ	T_{DM1}	T_{DM2}	$f_{\text{Lu/Hf}}$
-10(核)	475	0.052925	0.001909	0.282480	0.282496	0.000019	-9.78	0.08	0.69	1096	1442	-0.94
-11(边)	557	0.015264	0.000480	0.282308	0.282323	0.000027	-15.9	-3.78	0.95	1293	1748	-0.99
-12	475	0.019380	0.000590	0.282306	0.282321	0.000020	-16.0	-5.69	0.70	1300	1806	-0.98
-13(核)	1626*	0.026377	0.000938	0.281718	0.281733	0.000017	-36.7	-1.57	0.62	2126	2425	-0.97
-14(边)	1149*	0.009267	0.000324	0.281854	0.281869	0.000019	-31.9	-6.75	0.66	1909	2383	-0.99
-15	475	0.015468	0.000514	0.282330	0.282345	0.000018	-15.1	-4.80	0.64	1264	1750	-0.98
-16	475	0.035868	0.001237	0.282080	0.282095	0.000019	-23.9	-13.9	0.67	1640	2322	-0.96
-17	475	0.081050	0.002685	0.282387	0.282403	0.000019	-13.1	-3.45	0.66	1256	1665	-0.92
-18	501	0.027597	0.000896	0.282310	0.282325	0.000016	-15.8	-5.09	0.58	1305	1788	-0.97
-19	475	0.017469	0.000616	0.282323	0.282338	0.000021	-15.4	-5.10	0.75	1278	1770	-0.98
-20	475	0.012080	0.000453	0.282346	0.282361	0.000017	-14.5	-4.22	0.59	1240	1714	-0.99
-21	475	0.014104	0.000470	0.282322	0.282337	0.000014	-15.4	-5.08	0.48	1274	1768	-0.99
-22	475	0.016357	0.000582	0.282307	0.282322	0.000018	-15.9	-5.65	0.65	1298	1804	-0.98
-23	475	0.011102	0.000387	0.282329	0.282344	0.000018	-15.1	-4.79	0.65	1261	1750	-0.99
-24	475	0.018525	0.000664	0.282332	0.282347	0.000016	-15.0	-4.77	0.58	1266	1749	-0.98
-25	475	0.011711	0.000384	0.282337	0.282352	0.000016	-14.8	-4.51	0.58	1250	1732	-0.99
-26	475	0.014519	0.000551	0.282306	0.282321	0.000019	-15.9	-5.68	0.66	1299	1806	-0.98
-27	475	0.038602	0.001245	0.282329	0.282344	0.000018	-15.1	-5.08	0.63	1290	1768	-0.96
-28	475	0.033758	0.001139	0.282327	0.282342	0.000018	-15.2	-5.10	0.65	1289	1769	-0.97
-29	475	0.011258	0.000380	0.282331	0.282346	0.000018	-15.1	-4.73	0.62	1258	1746	-0.99
-30	475	0.015037	0.000492	0.282322	0.282337	0.000018	-15.4	-5.07	0.64	1274	1768	-0.99
GW05104(内河岩体)												
-1	500	0.029439	0.001085	0.282169	0.282145	0.000027	-22.2	-11.5	0.97	1563	2192	-0.97
-2	500	0.016196	0.000550	0.282234	0.282210	0.000025	-19.9	-9.06	0.87	1452	2038	-0.98
-3	500	0.016230	0.000671	0.282136	0.282112	0.000025	-23.4	-12.6	0.89	1592	2258	-0.98
-4	500	0.021715	0.000708	0.282175	0.282151	0.000025	-21.9	-11.2	0.88	1539	2171	-0.98
-5	500	0.026678	0.001031	0.282170	0.282146	0.000024	-22.1	-11.5	0.84	1560	2190	-0.97
-6	500	0.018210	0.000747	0.282141	0.282117	0.000033	-23.2	-12.4	1.16	1588	2249	-0.98
-7	500	0.035745	0.001134	0.282264	0.282240	0.000024	-18.8	-8.19	0.86	1433	1983	-0.97
-8	500	0.016616	0.000654	0.282128	0.282104	0.000027	-23.6	-12.8	0.96	1601	2274	-0.98
-9	500	0.034999	0.001194	0.282101	0.282077	0.000020	-24.6	-14.0	0.72	1663	2346	-0.96
-10	500	0.026096	0.001004	0.282148	0.282124	0.000027	-22.9	-12.2	0.94	1589	2237	-0.97
-11	500	0.026233	0.000803	0.282086	0.282062	0.000029	-25.1	-14.4	1.01	1667	2372	-0.98
-12	500	0.033104	0.001163	0.282105	0.282081	0.000023	-24.5	-13.8	0.81	1656	2337	-0.96
-13	500	0.015113	0.000628	0.282180	0.282157	0.000041	-21.8	-11.0	1.46	1529	2158	-0.98
-14	426	0.020648	0.000842	0.282184	0.282160	0.000027	-21.6	-12.5	0.96	1532	2199	-0.97
-15	500	0.019231	0.000778	0.282194	0.282170	0.000041	-21.3	-10.6	1.46	1516	2131	-0.98
-16	500	0.018676	0.000690	0.282235	0.282211	0.000024	-19.8	-9.06	0.84	1456	2038	-0.98
-17	500	0.026527	0.001028	0.282109	0.282085	0.000023	-24.3	-13.6	0.83	1644	2324	-0.97
-18(核)	500	0.063976	0.001988	0.282170	0.282146	0.000025	-22.1	-11.8	0.87	1600	2209	-0.94
-19(边)	557	0.017793	0.000678	0.282200	0.282176	0.000025	-21.1	-9.08	0.89	1504	2082	-0.98
-20	500	0.022901	0.000831	0.282069	0.282045	0.000024	-25.7	-15.0	0.84	1691	2409	-0.97
-21	500	0.039027	0.001143	0.282154	0.282130	0.000031	-22.7	-12.1	1.10	1587	2228	-0.97
-22	500	0.028363	0.001091	0.282186	0.282162	0.000025	-21.6	-10.9	0.87	1540	2155	-0.97
-23	555	0.015418	0.000597	0.282152	0.282128	0.000035	-22.8	-10.8	1.25	1567	2187	-0.98
-24	500	0.018553	0.000704	0.282174	0.282150	0.000030	-22.0	-11.2	1.06	1541	2175	-0.98

* 为 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄; 相邻的(核)、(边)代表同一锆石颗粒的核部和边部

均在 $+2.13 \sim +4.95$ 之间, 加权平均值为 $+3.24 \pm 0.41$ (图 5b)。二阶段 Hf 模式年龄 (t_{DM2}) 变化范围为 $1122 \sim 1301$ Ma, 平均为 1236 Ma。

4.3 哈拉巴奇岩体

哈拉巴奇岩体进行了不同岩性的两个样品的锆石 Hf 同位素分析。

样品 GW05053 岩性为中粒二长花岗岩, 共分析了 15 个点, 其中 12 个点的 U-Pb 年龄与岩体的成岩年龄一致, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值比较均一, 分布于 $0.282518 \sim 0.282588$ 之间, 加权平均值为 0.282560 ± 0.000011 ($2\sigma, n = 12$) (图 4c)。 $\epsilon_{\text{Hf}}(500\text{Ma})$ 范围在 $+1.71 \sim +4.23$, 加权平均值为 $+3.13 \pm 0.47$ (图 5c)。二阶段 Hf 模式年龄 (t_{DM2}) 变化范围为 $1198 \sim 1358$ Ma, 平均为 1266 Ma。有一颗谐和年龄稍老的捕获锆石 (分析点: $-1, 522$ Ma) 的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 值略高, 为 0.282636 , $\epsilon_{\text{Hf}}(522\text{Ma})$ 也略高, 为 $+6.35$ 。

样品 GW05058 岩性为中粒黑云母花岗闪长岩, 共分析了 20 个点, 其中 18 个点的 U-Pb 年龄与岩体的成岩年龄一致, 其 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值分布于 $0.282552 \sim 0.282686$ 之间, 比较均一, 加权平均值为 0.282604 ± 0.000016 ($2\sigma, n = 18$) (图 4d)。 $\epsilon_{\text{Hf}}(461\text{Ma})$ 范围在 $+2.08 \sim +6.44$, 加权平均值为 $+3.77 \pm 0.54$ (图 5d)。二阶段 Hf 模式年龄 (t_{DM2}) 变化范围为 $1028 \sim 1305$ Ma, 平均为 1186 Ma。哈拉巴奇岩体不同岩性、不同形成年龄两个样品的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值、 $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 和模式年龄都基本相同。

4.4 查拉班河岩体

查拉班河岩体进行了 3 个样品的 Hf 同位素分析。

样品 GW05037 共分析了 24 个点, 其中 22 个点的 U-Pb 年龄与岩体的成岩年龄一致, 其 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值分布于 $0.282471 \sim 0.282585$ 之间, 加权平均值为 0.282524 ± 0.000015 ($2\sigma, n = 22$) (图 4e)。 $\epsilon_{\text{Hf}}(481\text{Ma})$ 范围在 $-0.54 \sim +3.65$, 加权平均值为 $+1.51 \pm 0.51$ (图 5e)。二阶段 Hf 模式年龄 (t_{DM2}) 变化范围为 $1221 \sim 1486$ Ma, 平均为 1354 Ma。两颗捕获锆石 (分析点: $-21, -24$) 的 Hf 成分特征与具有岩体成岩年龄的锆石基本一致。

样品 GW05044 共分析了 25 个点, 其中 13 个点的 U-Pb 年龄与岩体的成岩年龄一致, 其 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值分布于 $0.282502 \sim 0.282625$ 之间, 加权平均值为 0.282575 ± 0.000023 ($2\sigma, n = 13$) (图 4f)。 $\epsilon_{\text{Hf}}(465\text{Ma})$ 范围在 $+0.30 \sim +4.96$, 加权平均值为 $+2.78 \pm 0.77$ (图 5f)。二阶段 Hf 模式年龄 (t_{DM2}) 范围在 $1125 \sim 1421$ Ma, 平均为 1261 Ma。3 颗捕获锆石 (分析点: $-11, -13$ 和 -18) 的 Hf 成分特征与具有岩体成岩年龄的锆石基本一致。分析点 -1 和 -2 的 $^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$ 和 $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比较高 (表 3), -1 分析点相应的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 280 Ma, 可能是后期流体作用使锆石的 Lu-Hf 同位素体系受到扰动的缘故。

样品 GW05039 共分析了 31 个点, 其中 21 个点的 U-Pb 年龄与岩体的成岩年龄一致, 它们的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值低且变化范围大, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值在 $0.282080 \sim 0.282480$ 之间, 加权平均值为 0.282345 ± 0.000010 ($2\sigma, n = 17$) (图 4g)。而且 $\epsilon_{\text{Hf}}(475\text{Ma})$ 值变化也很大, 范围在 $-13.89 \sim +0.08$ 之间, 加权平均值为 -4.80 ± 0.72 (图 5g)。二阶段 Hf 模式年龄 (t_{DM2}) 相对较老, 变化范围为 $1442 \sim 2322$ Ma, 平均为 1793 Ma。有一颗年龄较老的锆石其核部和边部 ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 近谐和年龄为 1626 Ma 和 1149 Ma) 分析点的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值都明显偏小, 分别为 0.281733 ± 0.000017 和 0.281869 ± 0.000019 , 二阶段 Hf 模式年龄 (t_{DM2}) 也较老, 分别为 2425 Ma 和 2383 Ma。另有 4 颗年龄较老 ($501 \sim 776$ Ma) 的捕获 (或残留) 锆石的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值在 $0.282049 \sim 0.282486$ 之间, $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ 在范围在 $-8.59 \sim +0.20$ 之间, 二阶段 Hf 模式年龄 (t_{DM2}) 变化范围为 $1408 \sim 2216$ Ma。

4.5 内河岩体

内河岩体 (GW05104) 共分析了 24 个点, 其中 21 个点的 U-Pb 年龄与岩体的成岩年龄一致, 其 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值最低, 变化范围在 $0.282045 \sim 0.282240$ 之间, 加权平均值为 0.282126 ± 0.000022 ($2\sigma, n = 21$) (图 4h)。 $\epsilon_{\text{Hf}}(500\text{Ma})$ 均为很低的负值, 范围在 $-14.98 \sim -8.19$ 之间, 加权平均值为 -12.17 ± 0.80 (图 5h)。二阶段 Hf 模式年龄 (t_{DM2}) 相对较老, 变化范围为 $1983 \sim 2409$ Ma, 平均为 2213 Ma。

5 讨论

5.1 早古生代花岗岩的形成时代

前人根据 K-Ar 法和少量 Rb-Sr 全岩等时线法年龄, 将研究区内花岗岩体的侵位时代划分为新元古代、早古生代和晚古生代, 如内河、查拉班河、哈拉巴奇等岩体被定为新元古代, 十八站和白银纳等岩体被定为早古生代 (黑龙江省地质矿产局, 1993)。作者对研究区内的花岗岩进行的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年结果表明, 区内绝大多数花岗岩为早古生代花岗岩和侏罗纪花岗岩 (隋振民等, 2007), 目前在该区尚未发现新元古代花岗岩。

查拉班河岩体的细粒角闪黑云母花岗闪长岩、片麻状中粒黑云母花岗闪长岩和斑状黑云母二长花岗岩的形成年龄分别为 465 ± 1 Ma、 475 ± 2 Ma 和 481 ± 3 Ma, 表明查拉班河岩体是一个早古生代多次侵入的杂岩体。前人认为研究区北部的哈拉巴奇岩体主要由二长花岗岩-正长花岗岩和花岗闪长岩组成 (黑龙江省地质矿产局, 1993), 它们的形成年龄分别为 499 ± 1 Ma 和 461 ± 1 Ma (隋振民等, 2006), 从同位素年代学结果和岩石组合方面考虑, 该岩体南部靠近白银纳的花岗闪长岩作为白银纳岩体的一部分可能更合理。

本文所获得的十八站、内河、白银纳、查拉班河等 4 个岩体的侵位结晶的年龄分别为 499 ± 1 Ma、 500 ± 1 Ma、 460 ± 1 Ma

和 465 ~ 481 Ma, 它们均形成于早古生代。结合哈拉巴奇花岗岩体年龄结果(隋振民等, 2006), 以及紧邻本区的塔河花岗岩杂岩体的 5 个锆石 U-Pb 年龄介于 494 ~ 480 Ma(葛文春等, 2005)。本地区 6 个代表性岩体的 13 个锆石 U-Pb 年龄均介于 460 ~ 500 Ma 之间, 基本可以限定大兴安岭东北部早古生代花岗岩浆活动的时限为 460 ~ 500 Ma。

5.2 岩浆源区及成因

十八站岩体(GW05049)、白银纳(GW05056、GW05058)、哈拉巴奇岩体(GW05053)以及查拉班河岩体部分样品(GW05037、GW05044)锆石的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值相对较高(图4), $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 多为正值(最高达+6.44), 在 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ - t 图解上(图6), 这些花岗岩体的数据都落在球粒陨石演化线之上而且相对集中分布, 表明这些花岗岩的源区物质主要是来自亏损地幔。

内河岩体(GW05104)在该区早古生代花岗岩中具有最低的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值和 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 负值(-14.98 ~ -8.19, 加权平均值为 -12.17 ± 0.80), 这些锆石具有古元古代的两阶段 Hf 同位素模式年龄(2.0 Ga ~ 2.4 Ga), 在 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ - t 图解上(图6), 这些锆石的 Hf 同位素位于元古代地壳演化范围内, 与前述岩体的 Hf 同位素组成明显不同。内河岩体的 Hf 同位素特征可能被解释为老地壳物质(如, 兴华渡口群)再熔融或古元古代底侵地壳物质熔融的产物, 但该花岗岩具有 I 型花岗岩的特征, 以及兴华渡口群的 Nd 模式年龄 < 1.7 Ga(表尚虎等, 1999)等基本上可以排除这种可能性。一种可能的解释是, 该岩体与其他早古生代花岗岩一样, 其源岩是新元古代增生的地壳物质, 但其地幔源区可能具有富集地幔的特征。

对于查拉班河岩体中一个样品(GW05039)的 $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值相对较低且变化范围较大, 其中岩浆结晶锆石的

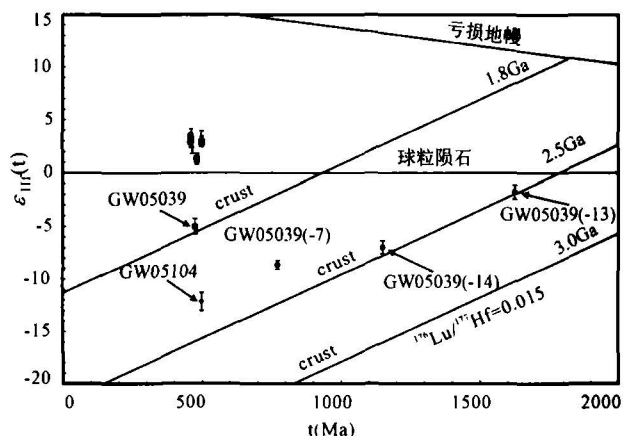


图6 大兴安岭东北部早古生代花岗岩锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ - t 图解

Fig. 6 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ - t plot for the zircons of the early Paleozoic granites from the northeastern Da Hinggan Mts.

$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比值介于 0.282095 ~ 0.282496 之间, $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为负值变化范围也较大, 其 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 集中在 -4.80 ± 0.72 , 个别颗粒低至 -10.29 和 -13.89, Hf 同位素模式年龄多在 1.4 ~ 2.0 Ga 之间, 明显高于该杂岩体的另外两个样品和十八站等岩体, 同时该样品中的 776 Ma 和 1149 Ma 及 1626 Ma 的捕获锆石的存在也表明该岩石的形成过程中有地壳物质的涉入, 即在其岩石形成过程中有地壳物质(可能是兴华渡口群)的混染。至于该样品(GW05039)的形成过程中是否有内河岩体源区的贡献, 尚需进一步深入研究。

从本文的锆石 Hf 同位素资料看, 该区的早古生代花岗岩至少应该有两个不同的岩浆源区, 即中-新元古代分别从亏损地幔和富集地幔起源的玄武质地壳物质, 个别样品在岩石形成过程中发生了地壳物质的混染作用。

5.3 地质意义

最近陆续发表了一些有关额尔古纳地块早古生代花岗岩的锆石 U-Pb 同位素年代学资料, 并根据岩石组合及区域构造演化资料认为它们是形成于后造山或碰撞后阶段的花岗岩体(Sorokin *et al.*, 2004; 武广等, 2005; 葛文春等, 2005; 隋振民等, 2006)。本文报道的几个花岗岩体与洛古河岩体、塔河岩体在形成时代、岩石组合及地球化学特征上具有相似性, 且均位于额尔古纳地块, 应该具有相同构造背景。

近年来关于兴蒙造山带乃至中亚造山带地壳增生的研究主要侧重显生宙地壳增生问题的讨论, 而对前寒武纪地壳增生问题较少涉及。兴蒙造山带东段的东北地区具有多块体拼合的特点, 不同块体可能具有不同的地壳增生事件和构造属性。本文研究区及邻区早古生代花岗岩大面积分布, 花岗岩的锆石 Hf 同位素资料显示, 除个别样品(GW05039 和 GW05104)的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 值为负值外, 其余样品的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 均为正值, 其二阶段 Hf 模式年龄介于 1.1 ~ 1.4 Ga, 暗示额尔古纳地块在中-新元古代时期曾发生一次重要的地壳增生事件。而兴安地块仅有两个有确切年代学资料的早古生代花岗岩体, 规模很小, 其二阶段 Hf 模式年龄(如多宝山花岗岩闪长岩的二阶段 Hf 模式年龄为 0.5 ~ 0.7 Ga)明显低于本文的早古生代花岗岩。兴安地块以中生代花岗岩和火山岩为主, 其 Hf 模式年龄明显具有显生宙地壳增生的性质(Zhang *et al.*, 2006; 隋振民等, 2007 见本专辑)。从这个意义上讲, 额尔古纳地块与兴安地块应该具有明显不同的构造属性和演化历史。

6 结论

(1) 本区十八站岩体、内河岩体、白银纳岩体、查拉班河岩体的锆石 U-Pb 年龄分别为 499 Ma, 500 Ma, 460 Ma 和 465 ~ 481 Ma, 表明这些岩体的侵位时代为早古生代。结合本区和邻区其它早古生代花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄, 判定大兴安岭东北部地区早古生代花岗岩浆活动的时限为 460

~500Ma。

(2) 锆石 Hf 同位素成分特征表明本区早古生代花岗岩体岩浆源区物质主要为中-新元古代增生的地壳物质, 反映额尔古纳地块在中-新元古代时期曾发生一次重要的地壳增生事件, 与兴安地块明显不同。

感谢 中国科学院地质与地球物理研究所毛寿博士、谢烈文博士、杨岳衡博士及西北大学柳小旺教授在测试过程中给予的帮助。

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chem. Geol.*, 192: 59–79
- Biao SH, Li YC, He XH, *et al.* 1999. The geochemical characteristics of the Xinghuadukou Group in the Lulin forestry center, Tahe, Heilongjiang Province. *Regional Geol. China*, 18: 28–33 (in Chinese with English abstract)
- Bichert-Toft J., Albaredo F. 1997. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle/crust system. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 148: 243–258
- Chen B, Jahn B M, Wilde S and Xu B. 2000. Two contrasting paleozoic magmatic belts in northern Inner Mongolia, China: Petrogenesis and tectonic implications. *Tectonophysics*, 328: 157–182
- Chu, NC, Taylor, RN., Chavagnac, V, Nesbitt RW, Boella RM, Milton JA, German CR, Bayon G and Burton K. 2002. Hf isotope ratio analysis using multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry: an evaluation of isobaric interference corrections. *J. Anal. At. Spectrom.*, 17: 1567–1574
- Ge WC, Wu FY, Zhou CY, Abdel Rahman AA. 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 Sci. Bull.*, 50: 2097–2105
- Griffin WL, Wang X, Jackson SE, Pearson NJ, Oreilly SY. 2002. Zircon geochemistry and magma mixing, SE China: in-situ analysis of Hf isotopes, Tonglu and Pingtan igneous complexes. *Lithos*, 61: 237–269
- Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. 1993. *Regional Geology of Heilongjiang Province*. Beijing: Geological Publishing House, 1–734 (in Chinese with English abstract)
- Hong DW, Zhang JS, Wang T, *et al.* 2004. Continental crustal growth and the supercontinental cycle: evidence from the Central Asian Orogenic Belt. *J. Asian Earth Sci.*, 23: 799–813
- Jahn BM, Wu FY and Chen B. 2000. Granitoids of the Central Asian Orogenic Belt and Continental Growth in the Phanerozoic. *Trans. Royal Soc. Edinburgh: Earth Sci.*, 91: 181–193
- Sorokin AA, Kudryashov NM, Li JY, *et al.* 2004. Early Paleozoic granitoids in the eastern margin of the Argun' terrane, Amur area: first geochemical and geochronologic data. *Petrology*, 12: 367–376
- Sui ZM, Ge WC, Wu FY, *et al.* 2006. U-Pb chronology in zircon from Halabaqi granitic pluton in northeastern Daxing'anling area and its origin. *World Geol.*, 25: 229–236
- Sui ZM, Ge WC, Wu FY, Zhang JH, Xu XC and Cheng RY. 2007. Zircon U-Pb ages, geochemistry and its petrogenesis of Jurassic granites in northeastern part of the Da Hinggan Mts. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 461–480
- Veevers JJ, Saeed A, Belousova EA, Griffin WL. 2005. U-Pb ages and source composition by Hf-isotope and trace element analysis of detrital zircons in Permian sandstone and modern sand from southwestern Australia and a review of the paleogeographical and denudational history of the Yilgarn craton. *Earth Sci. Rev.*, 68: 245–279
- Woodhead J, Hergt J, Shelley M, Eggins S and Kemp R. 2004. Zircon Hf-isotope analysis with an excimer laser, depth profiling, ablation of complex geometries, and concomitant age estimation. *Chem. Geol.*, 209: 121–135
- Wu FY, Sun DY, Lin Q. 1999. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeast China. *Acta Petrol. Sinica*, 15: 181–189 (in Chinese with English abstract)
- Wu FY, Jahn BM, Wilde SA and Sun DY. 2000. Phanerozoic continental crustal growth: U-Pb and Sr-Nd isotopic evidence from the granites in northeastern China. *Tectonophysics*, 328: 89–113
- Wu FY, Yang YH, Xie LW, Yang JH, Xu P. 2006. Hf isotopic compositions of the standard zircons and baddeleyites used in U-Pb geochronology. *Chem. Geol.*, 234: 105–126
- Wu G, Sun FY, Zhao SC, Li ZT, Zhao AL, Pang QB, Li GY. 2005. Discovery of the Early Paleozoic post-collisional granites in the northern margin of the Erguna massif and its geological significance. *Chinese Sci. Bull.*, 50: 2733–2743
- Xu P, Wu FY, Xie LW and Yang YH. 2004. Hf isotopic compositions of the standard zircons for U-Pb dating. *Chinese Sci. Bull.*, 49: 1642–1648
- Yuan HL, Wu FY, Gao S, Liu XM, Xu P, Sun DY. 2003. Determination of U-Pb age and rare earth element concentrations of zircons from Cenozoic intrusions in northeastern China by laser ablation ICP-MS. *Chinese Sci. Bull.*, 48: 1511–1520
- Zhang J H, Ge WC, Wu FY *et al.* 2006. Mesozoic bimodal volcanic suite in Zhalatun of the Da Hinggan Range and its geological significance: zircon U-Pb age and Hf isotopic Constraints. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 58–69

附中文参考文献

- 表尚虎, 李仰春, 何晓华等. 1999. 黑龙江省塔河绿林林场一带兴华渡口群岩石地球化学特征. *中国区域地质*, 18: 28–33
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, Abdel Rahman AA. 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: 1239–1246
- 黑龙江省地质矿产局. 1993. 黑龙江省区域地质志. 地质出版社, 1–734
- 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*, (出版中)
- 隋振民, 葛文春, 吴福元, 徐学纯, 王青海. 2006. 大兴安岭东北部哈拉巴奇花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其成因. *世界地质*, 25: 229–236
- 隋振民, 葛文春, 吴福元等. 2007. 大兴安岭东北部侏罗纪花岗岩岩石的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因. *岩石学报*, 23(2): 461–480
- 吴福元, 孙德有, 林强. 1999. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生. *岩石学报*, 15: 181–189
- 武广, 孙丰月, 赵财胜. 2005. 额尔古纳地块北缘早古生代后碰撞花岗岩的发现及其地质意义. *科学通报*, 50: 2278–2288
- 徐平, 吴福元, 谢烈文, 杨岳衡. 2004. U-Pb 同位素定年标准锆石的 Hf 同位素. *科学通报*, 49: 1403–1410
- 袁洪林, 吴福元, 高山. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. *科学通报*, 48: 1511–1520