

# 大兴安岭东北部侏罗纪花岗质岩石的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及成因<sup>\*</sup>

隋振民<sup>1</sup> 葛文春<sup>1</sup> 吴福元<sup>2</sup> 张吉衡<sup>1</sup> 徐学纯<sup>1</sup> 程瑞玉<sup>1</sup>

SUI ZhenMin<sup>1</sup>, GE WenChun<sup>1</sup>, WU FuYuan<sup>1</sup>, ZHANG JiHeng<sup>1</sup>, XU XueChun<sup>1</sup> and CHENG RuiYu<sup>1</sup>

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 Science, Jilin University, Changchun 130061, China

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

2006-09-12 收稿, 2006-12-20 改回.

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

**Abstract** The U-Pb dating results determined by LA-ICPMS show that quite a large of Jurassic granites were still distributed inside the Proterozoic, Early and Late Paleozoic granite, which were recognized and categorized by predecessors. The intrusion sequence of Jurassic granite in the studied area could be classified into two stages, i. e. early and late stages on the basis of event occurring time, whose U-Pb dating in zircon are 188 ~ 190Ma and 171 ~ 181Ma, respectively. The dating data of Jurassic granite are fully comparable to those of Jurassic granite existing in the other part of Northeast China. Geochemically, these granitics could be distinguished by two types- low-Sr and high-Yb granitics and high-Sr and low-Yb granitics, they possess the same or similar source rock compositions but originated at different depth. The early intruded granitics, characterized by the low-Sr and high Yb, originated at the low pressure in the mid crust, however, the late intruded ones, characterized by high Sr and Low Yb, similarly to C-type adakites and it originated at the relatively high pressure in lower part of the crust. Characteristics of zircon Hf isotope indicated that the source materials of Jurassic granitics came from newly accreted crustal materials and their mixture in the Neoproterozoic and phanerozoic. The Jurassic granitics in the studied area are dominantly composed of granodiorite and adamellite, which belong to aluminum saturated or oversaturated, high potassium calc-alkaline series-the granite in type I, with similar feature of the granite associations at the active continental margin. It is a part of stripped or belted Jurassic granitics in Northeast China distributed along NNE direction, its origin might be related to the subduction of paleo-Pacific tectonic plate.

**Key words** Jurassic granites, Zircon U-Pb ages, Geochemistry, Hf isotope, Petrogenesis, Northeast area of the Da Hinggan Mts.

**摘要** 大兴安岭东北部花岗岩锆石的 LA-ICPMS U-Pb 年龄测定结果表明,前人划分的元古代、早古生代和晚古生代的花岗岩有相当一部分是侏罗纪花岗岩。根据时间先后关系,可将本区侏罗纪花岗岩的侵位顺序划分为早、晚两期,其锆石 U-Pb 年龄分别为 188 ~ 190Ma 和 171 ~ 181Ma,这些侏罗纪花岗岩的年龄数据与东北其它地区侏罗纪花岗岩完全可以对比。在地球化学特征上可以将这些花岗质岩石划分为低 Sr 高 Yb 型和 high Sr 低 Yb 型两类,它们有相同或相似的源岩组成而起源的深度不同,早期侵入的花岗岩为低 Sr 高 Yb 型,起源于压力较低的中地壳,而晚期侵入的花岗岩为高 Sr 低 Yb 型,类似于“C”型埃达克岩,起源于压力较高的下地壳。锆石 Hf 同位素成分特征表明,侏罗纪花岗岩的源区物质主要为新元古代和显生宙期间增生的地壳物质及两期增生地壳物质的混合物。本区侏罗纪花岗岩以花岗闪长岩-二长花岗岩为主,为准铝质或弱过铝质、高钾钙碱性系列的 I 型花岗岩,具有类似于活动大陆边缘花岗岩的岩石组合特征,属于呈北北东向带状展布的中国东北地区侏罗纪

\* 本文为国家自然科学基金(40372038,40325006)和国家油气专项(XQ2004-07)项目研究成果。

第一作者简介:隋振民,男,1963年生,博士研究生,岩石学专业, E-mail: suizhenmin@sina.com.cn

花岗岩带的一部分,其形成与古太平洋板块的俯冲作用有关。

**关键词** 侏罗纪花岗岩; 锆石 U-Pb 年龄; 地球化学; Hf 同位素; 岩石成因; 大兴安岭东北部

**中图法分类号** P588.121; P597.3

兴蒙造山带东段以广泛发育显生宙花岗岩为其主要特征。近年来,高精度锆石 U-Pb 年代学资料表明(秦克章等, 1998; 孙德有等, 2000, 2001, 2004, 2005; 张艳斌等, 2002a, 2002b, 2004; Wu *et al.*, 2002, 2003; 葛文春等, 2005a, 2005b; 苗来成等, 2003), 东北地区显生宙花岗岩以中生代为主, 并初步确定了其年代学格架, 这深化了人们对东北地区中生代花岗岩及构造演化的认识, 但目前对大兴安岭东北部中生代花岗岩尚缺乏系统的研究。大兴安岭东北部位位于大、小兴安岭结合部位, 该区不仅由于具有大型、超大型多金属矿产而一直是人们关注的热点地区之一, 而且该区中生代花岗岩的年代学格架、岩石成因及其形成的构造背景研究, 对理解东北地区侏罗纪花岗岩的时空分布, 进而讨论东北地区中生代的构造演化具有重要意义。本文旨在通过侏罗纪花岗岩的锆石 U-Pb 年代学、Hf 同位素和地球化学资料, 讨论这些花岗岩的岩石成因问题。

## 1 地质概况和岩相学特征

前人根据两条拼合带(塔源-喜桂图断裂和贺根山-黑河)将兴蒙造山带东段划分为三个块体: 额尔古纳地块、兴安地块和松嫩地块。研究区位于大兴安岭东北部, 大地构造上属于兴安地块和额尔古纳地块的结合部(图 1a)。额尔古纳地块是含少量前寒武纪碎块的早古生代造山拼贴体, 属大陆边缘增生建造, 而兴安地块则具有与额尔古纳地块不同的“基底”和完全不同的早期历史, 应属不同的块体(葛文春等, 2005a)。研究区出露的地层主要为角闪岩相变质的兴华渡口群, 绿片岩相变质的落马湖群, 古生代的火山-沉积建造以及中生代火山岩(黑龙江省地质矿产局, 1993)。

大兴安岭东北部花岗质岩石极其发育, 前人将这些大面积出露的花岗质侵入体划分为新元古代、早古生代和晚古生代, 而中生代花岗岩仅南部黑河新开岭岩体有高精度的锆石 U-Pb 年龄报道(苗来成等, 2003)。最近的研究表明, 该区确实存在早古生代和晚古生代花岗岩(葛文春等, 2005a; 葛文春等, 2007), 但相当多的“早古生代-晚古生代”花岗岩体则实为中生代侵入体, 代表性的岩体如, 正棋村岩体、韩家园子岩体、兴华-翻身屯岩体、鸡尾甸子岩体和黑花山岩体等(图 1)。

正棋村岩体位于研究区东北部, 主要岩石组合为角闪花岗岩闪长岩及少量二长花岗岩和角闪石英二长闪长岩, 花岗岩闪长岩中可以见到细粒闪长岩包体。岩石为中-细粒半自形粒状结构, 块状构造。主要矿物组成为石英(15~25%) + 碱长石(5~20%) + 斜长石(40~50%) + 角闪石(5~20%) + 黑云母( $\pm 10\%$ )。斜长石常见聚片双晶, 偶见环带结构。

韩家园子岩体主要岩石组合为角闪闪长岩、角闪石英闪长岩, 少量花岗闪长岩。岩石呈中细粒半自形粒状结构, 块状构造。主要矿物组成为石英(5~20%) + 斜长石(50~70%) + 碱长石(0~20%) + 角闪石(5~15%) + 黑云母(5~10%)。

兴华-翻身屯岩体出露于研究区中部兴华和翻身屯之间, 为一面积近 500km<sup>2</sup> 的岩基。主要岩石组合为中细粒黑云母花岗闪长岩和中细粒黑云母二长花岗岩。主要为块状构造, 偶见片麻状构造。岩石呈灰白色, 粒度变化较大, 多以半自形粒状结构为主, 局部为似斑状结构。主要矿物组合为石英(25~35%) + 碱长石(10~30%) + 斜长石(50~60%) + 黑云母(5~10%) + 角闪石( $\pm 2\%$ )。碱长石主要为条纹长石, 少量微斜条纹长石。

鸡尾甸子岩体出露于研究区中部前哨乡以西, 为一面积约 900km<sup>2</sup> 的巨大岩基, 主要岩石组合为花岗闪长岩-二长花岗岩。岩体可划分为内部相、过渡相和边缘相, 内部相以中粗粒斑状花岗岩为主, 少量中粗粒花岗闪长岩; 过渡相构成该岩体的主体, 主要岩石类型为中粗粒斑状二长花岗岩和中粗粒斑状花岗闪长岩; 边缘相主要岩性为细粒花岗岩、细粒花岗闪长岩<sup>①</sup>。岩石呈灰白色, 具有典型的花岗结构, 普遍具有似斑状结构, 斑晶为钾长石, 斑晶大小在 1~2cm, 斑晶含量约为 5~10%。块状构造为主, 局部为弱片麻状构造。主要矿物组合为石英(25~30%) + 斜长石(35~40%) + 碱长石(25~35%) + 黑云母( $\pm 5\%$ )。碱长石以微斜条纹长石为主, 少量条纹长石。

黑花山岩体出露于研究区南部的小新屯、黑花山、滨南林场一带, 出露面积约 1400km<sup>2</sup>, 主要岩石组合为花岗闪长岩-二长花岗岩。岩体可划分为内部相、过渡相和边缘相, 内部相主要岩石类型为中粗粒二长花岗岩和中粗粒斑状二长花岗岩, 斑晶为钾长石; 过渡相主要岩石类型为中粒二长花岗岩和中粒花岗闪长岩; 边缘相主要岩石类型为细粒二长花岗岩和细粒花岗闪长岩<sup>②</sup>。岩石呈浅灰色。具有典型的花岗结构, 局部为似斑状结构, 斑晶为钾长石, 块状构造为主。主要矿物组合为石英(25~30%) + 斜长石(35~55%) + 碱长石(2~25%) + 黑云母(2~5%)。

## 2 锆石 U-Pb 测定结果

用于锆石定年的样品均为采自采石场或天然露头的新的

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

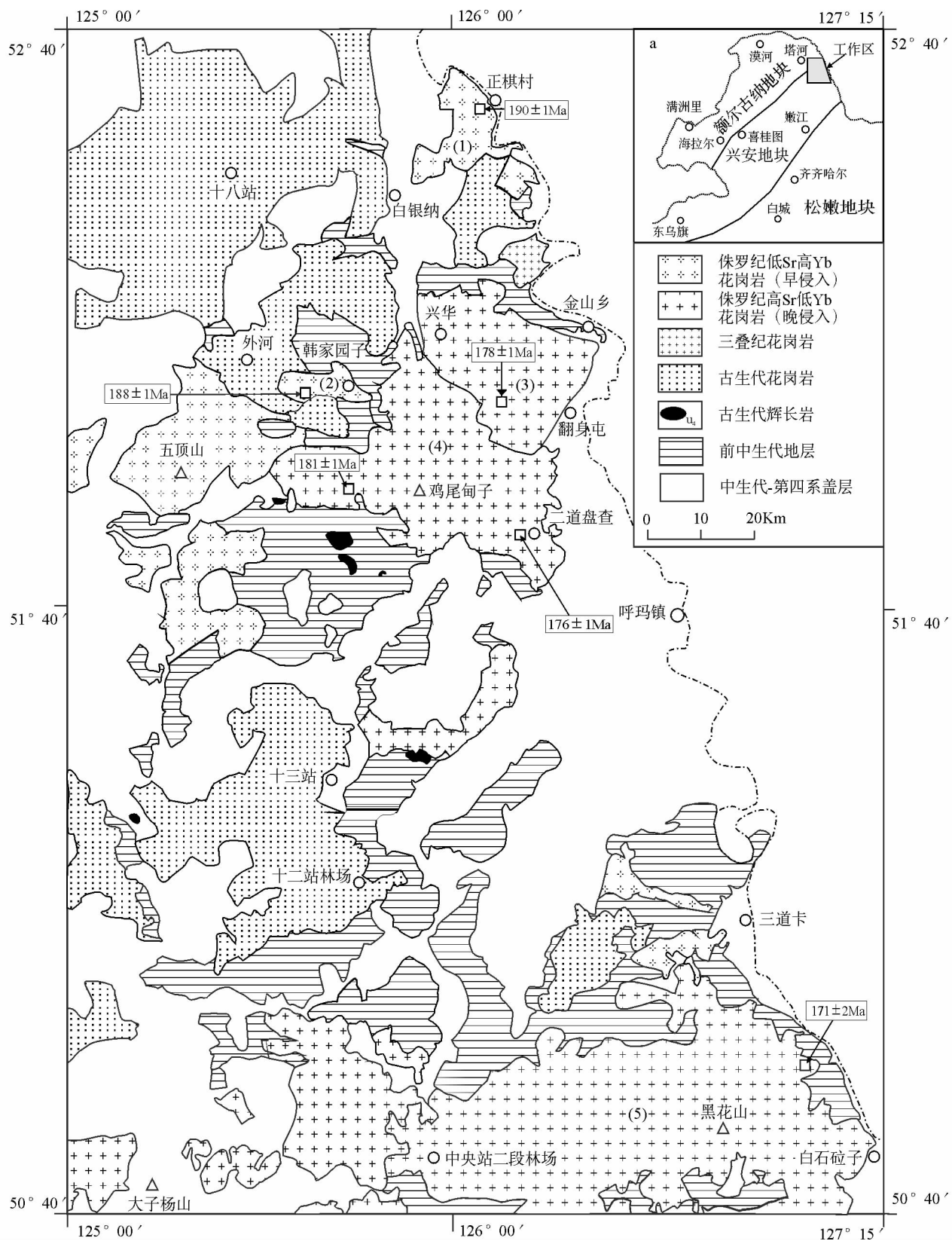


图1 大兴安岭东北部地质简图

1-正棋村岩体; 2-韩家园子岩体; 3-兴华-翻身屯岩体; 4-鸡尾甸子岩体; 5-黑花山岩体

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

鲜样品。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-ICP-MS)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  $30\mu\text{m}$ ,普通铅校正采用 Anderson (2002) 的方法,详细实验测试过程可参见袁洪林等(2003)。年龄计算采用国际标准程序 Isoplot(ver3.0)。

锆石的阴极发光(CL)图像在中国科学院地质与地球物理研究所电子探针实验室完成。本文所测试的锆石颗粒均具有清晰的岩浆型振荡环带结构,表明这些锆石为岩浆结晶成因。锆石 U-Pb 测定数据列于表 1,根据这些数据所做的 U-Pb 谐和图如图 2 所示。本文所测定的岩石均形成于中生代,其结果以  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄计算,年龄误差为  $2\sigma$ 。

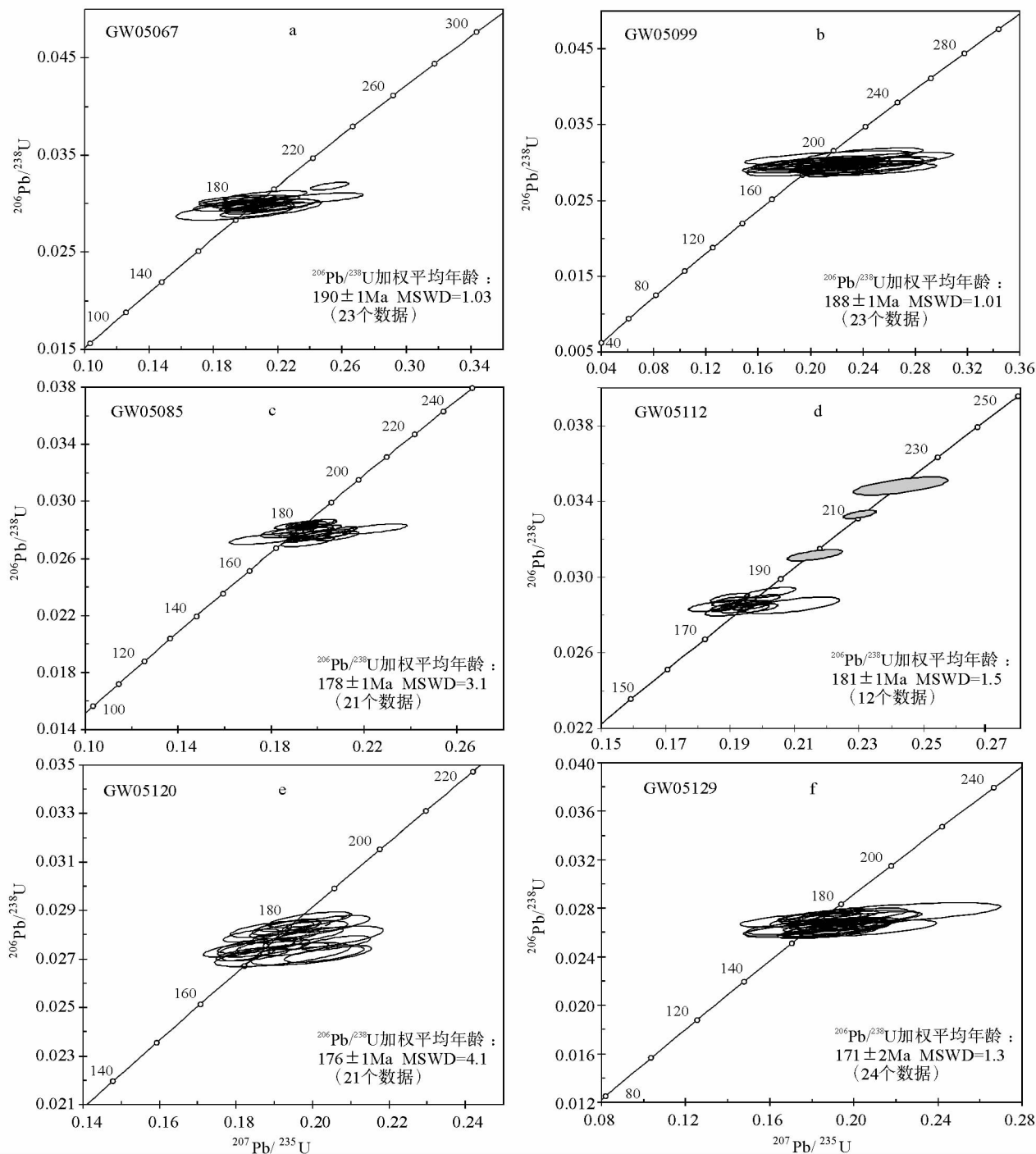


图 2 大兴安岭东北部侏罗纪花岗质岩石锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 2 Zircon U-Pb diagrams of Jurassic granites of northeastern part in the Da Hinggan Mts.

表 1 侏罗纪花岗岩质岩石的锆石 LA-ICP MS U-Pb 分析结果

Table 1 LA-ICP MS zircon U-Pb data of Jurassic granites of northeastern part in the Da Hinggan Mts.

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	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
GW05067.01	8.07	184	193	0.0463 $\pm$ 0.0022	0.1920 $\pm$ 0.0090	0.0299 $\pm$ 0.0003	15 $\pm$ 83	178 $\pm$ 8	190 $\pm$ 2
GW05067.02	4.06	61.9	105	0.0524 $\pm$ 0.0056	0.2154 $\pm$ 0.0229	0.0297 $\pm$ 0.0005	302 $\pm$ 206	198 $\pm$ 19	189 $\pm$ 3
GW05067.03	8.50	137	219	0.0493 $\pm$ 0.0024	0.2053 $\pm$ 0.0099	0.0301 $\pm$ 0.0003	162 $\pm$ 93	190 $\pm$ 8	191 $\pm$ 2
GW05067.04	8.06	159	203	0.0526 $\pm$ 0.0032	0.2142 $\pm$ 0.0128	0.0294 $\pm$ 0.0003	312 $\pm$ 116	197 $\pm$ 11	187 $\pm$ 2
GW05067.05	5.34	75.6	146	0.0478 $\pm$ 0.0059	0.1965 $\pm$ 0.0240	0.0297 $\pm$ 0.0005	90 $\pm$ 228	182 $\pm$ 20	188 $\pm$ 3
GW05067.06	3.87	60.2	98.8	0.0490 $\pm$ 0.0048	0.2028 $\pm$ 0.0196	0.0299 $\pm$ 0.0004	146 $\pm$ 191	187 $\pm$ 17	190 $\pm$ 3
GW05067.07	3.97	55.6	106	0.0498 $\pm$ 0.0093	0.2015 $\pm$ 0.0370	0.0292 $\pm$ 0.0009	185 $\pm$ 317	186 $\pm$ 31	186 $\pm$ 6
GW05067.08	4.00	54.7	104	0.0460 $\pm$ 0.0041	0.1911 $\pm$ 0.0167	0.0300 $\pm$ 0.0004	-3 $\pm$ 170	178 $\pm$ 14	191 $\pm$ 2
GW05067.09	8.68	99.7	217	0.0501 $\pm$ 0.0034	0.2095 $\pm$ 0.0139	0.0303 $\pm$ 0.0003	200 $\pm$ 153	193 $\pm$ 12	193 $\pm$ 2
GW05067.10	3.77	56.0	93.5	0.0465 $\pm$ 0.0047	0.1948 $\pm$ 0.0196	0.0303 $\pm$ 0.0004	24 $\pm$ 199	181 $\pm$ 17	192 $\pm$ 2
GW05067.11	8.49	128	231	0.0497 $\pm$ 0.0031	0.2017 $\pm$ 0.0122	0.0293 $\pm$ 0.0003	181 $\pm$ 117	187 $\pm$ 10	186 $\pm$ 2
GW05067.12	5.16	74.8	135	0.0514 $\pm$ 0.0047	0.2064 $\pm$ 0.0186	0.0290 $\pm$ 0.0005	258 $\pm$ 173	191 $\pm$ 16	184 $\pm$ 3
GW05067.13	5.15	78.6	136	0.0498 $\pm$ 0.0032	0.2044 $\pm$ 0.0129	0.0297 $\pm$ 0.0003	186 $\pm$ 124	189 $\pm$ 11	189 $\pm$ 2
GW05067.14	4.17	62.6	105	0.0579 $\pm$ 0.0058	0.2434 $\pm$ 0.0241	0.0304 $\pm$ 0.0005	527 $\pm$ 192	221 $\pm$ 20	193 $\pm$ 3
GW05067.15	3.99	57.1	104	0.0501 $\pm$ 0.0042	0.2044 $\pm$ 0.0170	0.0295 $\pm$ 0.0004	201 $\pm$ 163	189 $\pm$ 14	187 $\pm$ 3
GW05067.16	17.5	516	374	0.0576 $\pm$ 0.0023	0.2521 $\pm$ 0.0097	0.0317 $\pm$ 0.0003	514 $\pm$ 68	228 $\pm$ 8	201 $\pm$ 2
GW05067.17	4.81	60.3	109	0.0512 $\pm$ 0.0042	0.2073 $\pm$ 0.0168	0.0293 $\pm$ 0.0004	251 $\pm$ 157	191 $\pm$ 14	186 $\pm$ 3
GW05067.18	3.69	53.5	94.1	0.0498 $\pm$ 0.0047	0.2053 $\pm$ 0.0191	0.0299 $\pm$ 0.0005	184 $\pm$ 181	190 $\pm$ 16	190 $\pm$ 3
GW05067.19	4.78	71.4	121	0.0492 $\pm$ 0.0034	0.2016 $\pm$ 0.0135	0.0297 $\pm$ 0.0003	155 $\pm$ 131	186 $\pm$ 11	189 $\pm$ 2
GW05067.20	10.6	216	246	0.0526 $\pm$ 0.0028	0.2196 $\pm$ 0.0112	0.0302 $\pm$ 0.0003	312 $\pm$ 97	202 $\pm$ 9	192 $\pm$ 2
GW05067.21	5.65	82.2	149	0.0494 $\pm$ 0.0032	0.2029 $\pm$ 0.0127	0.0297 $\pm$ 0.0003	168 $\pm$ 121	188 $\pm$ 11	189 $\pm$ 2
GW05067.22	5.00	95.6	118	0.0501 $\pm$ 0.0051	0.2117 $\pm$ 0.0211	0.0306 $\pm$ 0.0005	198 $\pm$ 197	195 $\pm$ 18	194 $\pm$ 3
GW05067.23	7.52	113	196	0.0510 $\pm$ 0.0027	0.2109 $\pm$ 0.0110	0.0300 $\pm$ 0.0003	239 $\pm$ 101	194 $\pm$ 9	190 $\pm$ 2
GW05067.24	4.35	58.4	111	0.0536 $\pm$ 0.0044	0.2178 $\pm$ 0.0174	0.0295 $\pm$ 0.0004	352 $\pm$ 156	200 $\pm$ 14	187 $\pm$ 3
GW05085.01	17.6	364	469	0.0526 $\pm$ 0.0015	0.2033 $\pm$ 0.0055	0.0280 $\pm$ 0.0002	312 $\pm$ 50	188 $\pm$ 5	178 $\pm$ 1
GW05085.02	24.1	586	627	0.0502 $\pm$ 0.0018	0.1948 $\pm$ 0.0066	0.0281 $\pm$ 0.0002	205 $\pm$ 65	181 $\pm$ 6	179 $\pm$ 1
GW05085.03	32.2	1191	737	0.0500 $\pm$ 0.0013	0.1946 $\pm$ 0.0046	0.0282 $\pm$ 0.0002	195 $\pm$ 44	181 $\pm$ 4	179 $\pm$ 1
GW05085.04	11.0	221	294	0.0523 $\pm$ 0.0021	0.1995 $\pm$ 0.0077	0.0277 $\pm$ 0.0002	298 $\pm$ 73	185 $\pm$ 6	176 $\pm$ 1
GW05085.05	14.5	212	370	0.0473 $\pm$ 0.0036	0.1781 $\pm$ 0.0133	0.0273 $\pm$ 0.0003	64 $\pm$ 169	166 $\pm$ 11	174 $\pm$ 2
GW05085.06	30.9	161	386	0.0565 $\pm$ 0.0017	0.5537 $\pm$ 0.0153	0.0710 $\pm$ 0.0005	473 $\pm$ 48	447 $\pm$ 10	442 $\pm$ 3
GW05085.07	12.4	51.2	177	0.0563 $\pm$ 0.0026	0.3019 $\pm$ 0.0136	0.0389 $\pm$ 0.0004	463 $\pm$ 81	268 $\pm$ 11	246 $\pm$ 3
GW05085.08	14.0	259	379	0.0489 $\pm$ 0.0021	0.1906 $\pm$ 0.0077	0.0282 $\pm$ 0.0002	144 $\pm$ 79	177 $\pm$ 7	180 $\pm$ 1
GW05085.09	28.9	930	685	0.0547 $\pm$ 0.0014	0.2108 $\pm$ 0.0050	0.0279 $\pm$ 0.0002	400 $\pm$ 43	194 $\pm$ 4	178 $\pm$ 1
GW05085.10	12.2	362	302	0.0531 $\pm$ 0.0023	0.2021 $\pm$ 0.0085	0.0276 $\pm$ 0.0003	333 $\pm$ 79	187 $\pm$ 7	175 $\pm$ 2
GW05085.11	9.00	190	252	0.0510 $\pm$ 0.0026	0.1951 $\pm$ 0.0098	0.0278 $\pm$ 0.0003	239 $\pm$ 98	181 $\pm$ 8	176 $\pm$ 2
GW05085.12	18.2	377	482	0.0511 $\pm$ 0.0015	0.2004 $\pm$ 0.0054	0.0285 $\pm$ 0.0002	244 $\pm$ 50	185 $\pm$ 5	181 $\pm$ 1
GW05085.13	14.2	438	371	0.0528 $\pm$ 0.0030	0.2007 $\pm$ 0.0113	0.0276 $\pm$ 0.0003	320 $\pm$ 107	186 $\pm$ 10	175 $\pm$ 2
GW05085.14	17.3	314	470	0.0503 $\pm$ 0.0018	0.1960 $\pm$ 0.0065	0.0282 $\pm$ 0.0002	211 $\pm$ 64	182 $\pm$ 6	179 $\pm$ 1
GW05085.15	20.2	504	541	0.0548 $\pm$ 0.0022	0.2080 $\pm$ 0.0078	0.0275 $\pm$ 0.0003	405 $\pm$ 67	192 $\pm$ 7	175 $\pm$ 2
GW05085.16	22.0	545	586	0.0523 $\pm$ 0.0026	0.1957 $\pm$ 0.0095	0.0271 $\pm$ 0.0003	299 $\pm$ 90	181 $\pm$ 8	172 $\pm$ 2
GW05085.17	16.7	314	447	0.0505 $\pm$ 0.0023	0.1976 $\pm$ 0.0085	0.0284 $\pm$ 0.0003	220 $\pm$ 84	183 $\pm$ 7	180 $\pm$ 2
GW05085.18	6.05	161	150	0.0580 $\pm$ 0.0031	0.2241 $\pm$ 0.0116	0.0280 $\pm$ 0.0003	531 $\pm$ 95	205 $\pm$ 10	178 $\pm$ 2
GW05085.19	7.31	168	196	0.0495 $\pm$ 0.0032	0.1898 $\pm$ 0.0120	0.0278 $\pm$ 0.0003	173 $\pm$ 121	176 $\pm$ 10	177 $\pm$ 2
GW05085.20	22.7	485	573	0.0512 $\pm$ 0.0014	0.1924 $\pm$ 0.0049	0.0273 $\pm$ 0.0002	248 $\pm$ 46	179 $\pm$ 4	174 $\pm$ 1
GW05085.21	23.5	535	624	0.0492 $\pm$ 0.0013	0.1920 $\pm$ 0.0048	0.0283 $\pm$ 0.0002	158 $\pm$ 47	178 $\pm$ 4	180 $\pm$ 1
GW05085.22	16.4	344	459	0.0493 $\pm$ 0.0020	0.1892 $\pm$ 0.0075	0.0278 $\pm$ 0.0003	163 $\pm$ 76	176 $\pm$ 6	177 $\pm$ 2

续表 1

Continued Table 1

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	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
GW05085.23	25.3	566	682	0.0517 $\pm$ 0.0015	0.1998 $\pm$ 0.0055	0.0280 $\pm$ 0.0002	273 $\pm$ 49	185 $\pm$ 5	178 $\pm$ 1
GW05099.01	1.43	24.6	35.6	0.0501 $\pm$ 0.0114	0.2034 $\pm$ 0.0460	0.0295 $\pm$ 0.0007	199 $\pm$ 378	188 $\pm$ 39	187 $\pm$ 5
GW05099.02	2.21	49.0	53.8	0.0603 $\pm$ 0.0077	0.2411 $\pm$ 0.0306	0.0290 $\pm$ 0.0006	615 $\pm$ 244	219 $\pm$ 25	184 $\pm$ 4
GW05099.03	1.88	35.6	46.2	0.0500 $\pm$ 0.0100	0.2059 $\pm$ 0.0410	0.0299 $\pm$ 0.0007	194 $\pm$ 336	190 $\pm$ 35	190 $\pm$ 5
GW05099.04	2.02	31.9	54.0	0.0511 $\pm$ 0.0109	0.2041 $\pm$ 0.0433	0.0289 $\pm$ 0.0007	247 $\pm$ 361	189 $\pm$ 36	184 $\pm$ 4
GW05099.05	1.99	31.2	51.3	0.0626 $\pm$ 0.0095	0.2498 $\pm$ 0.0376	0.0289 $\pm$ 0.0006	694 $\pm$ 293	226 $\pm$ 31	184 $\pm$ 4
GW05099.06	2.49	39.8	60.0	0.0770 $\pm$ 0.0083	0.3242 $\pm$ 0.0344	0.0305 $\pm$ 0.0006	1122 $\pm$ 185	285 $\pm$ 26	194 $\pm$ 4
GW05099.07	1.96	43.6	48.4	0.0497 $\pm$ 0.0100	0.2007 $\pm$ 0.0400	0.0293 $\pm$ 0.0006	182 $\pm$ 337	186 $\pm$ 34	186 $\pm$ 4
GW05099.08	2.92	61.8	66.6	0.0590 $\pm$ 0.0096	0.2382 $\pm$ 0.0383	0.0293 $\pm$ 0.0007	567 $\pm$ 366	217 $\pm$ 31	186 $\pm$ 4
GW05099.09	2.59	58.6	60.2	0.0612 $\pm$ 0.0091	0.2518 $\pm$ 0.0369	0.0298 $\pm$ 0.0006	646 $\pm$ 287	228 $\pm$ 30	190 $\pm$ 4
GW05099.10	3.20	64.9	81.3	0.0563 $\pm$ 0.0057	0.2327 $\pm$ 0.0233	0.0300 $\pm$ 0.0005	465 $\pm$ 197	212 $\pm$ 19	190 $\pm$ 3
GW05099.11	2.00	40.0	49.8	0.0494 $\pm$ 0.0097	0.2019 $\pm$ 0.0395	0.0297 $\pm$ 0.0007	165 $\pm$ 328	187 $\pm$ 33	188 $\pm$ 4
GW05099.12	2.36	47.9	57.4	0.0588 $\pm$ 0.0102	0.2372 $\pm$ 0.0409	0.0293 $\pm$ 0.0007	560 $\pm$ 341	216 $\pm$ 34	186 $\pm$ 4
GW05099.13	2.52	39.5	65.1	0.0552 $\pm$ 0.0080	0.2232 $\pm$ 0.0319	0.0293 $\pm$ 0.0006	419 $\pm$ 283	205 $\pm$ 26	186 $\pm$ 4
GW05099.14	6.58	130	173	0.0529 $\pm$ 0.0036	0.2134 $\pm$ 0.0142	0.0293 $\pm$ 0.0004	325 $\pm$ 129	196 $\pm$ 12	186 $\pm$ 2
GW05099.15	1.77	27.5	43.7	0.0568 $\pm$ 0.0109	0.2324 $\pm$ 0.0441	0.0297 $\pm$ 0.0007	484 $\pm$ 363	212 $\pm$ 36	188 $\pm$ 5
GW05099.16	2.91	65.1	63.7	0.0566 $\pm$ 0.0086	0.2418 $\pm$ 0.0365	0.0310 $\pm$ 0.0007	477 $\pm$ 300	220 $\pm$ 30	197 $\pm$ 4
GW05099.17	3.81	88.0	93.3	0.0530 $\pm$ 0.0066	0.2176 $\pm$ 0.0267	0.0298 $\pm$ 0.0005	327 $\pm$ 244	200 $\pm$ 22	189 $\pm$ 3
GW05099.18	1.98	43.8	45.3	0.0624 $\pm$ 0.0096	0.2607 $\pm$ 0.0397	0.0303 $\pm$ 0.0007	686 $\pm$ 295	235 $\pm$ 32	193 $\pm$ 4
GW05099.19	3.38	51.7	87.9	0.0571 $\pm$ 0.0059	0.2319 $\pm$ 0.0238	0.0295 $\pm$ 0.0005	493 $\pm$ 199	212 $\pm$ 20	187 $\pm$ 3
GW05099.20	3.76	92.6	83.9	0.0495 $\pm$ 0.0059	0.2044 $\pm$ 0.0241	0.0299 $\pm$ 0.0005	173 $\pm$ 230	189 $\pm$ 20	190 $\pm$ 3
GW05099.21	3.72	82.2	91.5	0.0557 $\pm$ 0.0052	0.2193 $\pm$ 0.0200	0.0286 $\pm$ 0.0004	441 $\pm$ 178	201 $\pm$ 17	181 $\pm$ 3
GW05099.22	2.86	50.6	72.4	0.0485 $\pm$ 0.0071	0.1965 $\pm$ 0.0285	0.0294 $\pm$ 0.0006	124 $\pm$ 261	182 $\pm$ 24	187 $\pm$ 4
GW05099.23	4.68	58.3	67.3	0.0508 $\pm$ 0.0127	0.2140 $\pm$ 0.0530	0.0305 $\pm$ 0.0008	233 $\pm$ 446	197 $\pm$ 44	194 $\pm$ 5
GW05112.01	18.4	483	476	0.0509 $\pm$ 0.0014	0.1984 $\pm$ 0.0051	0.0283 $\pm$ 0.0002	236 $\pm$ 46	184 $\pm$ 4	180 $\pm$ 1
GW05112.02	17.2	306	487	0.0491 $\pm$ 0.0013	0.1929 $\pm$ 0.0048	0.0285 $\pm$ 0.0002	154 $\pm$ 45	179 $\pm$ 4	181 $\pm$ 1
GW05112.03	11.4	104	216	0.0528 $\pm$ 0.0021	0.3767 $\pm$ 0.0145	0.0518 $\pm$ 0.0005	319 $\pm$ 70	325 $\pm$ 11	325 $\pm$ 3
GW05112.04	17.1	118	496	0.0504 $\pm$ 0.0017	0.2161 $\pm$ 0.0070	0.0311 $\pm$ 0.0003	213 $\pm$ 60	199 $\pm$ 6	197 $\pm$ 2
GW05112.05	30.2	756	810	0.0482 $\pm$ 0.0011	0.1881 $\pm$ 0.0037	0.0283 $\pm$ 0.0002	109 $\pm$ 35	175 $\pm$ 3	180 $\pm$ 1
GW05112.06	44.0	327	537	0.0461 $\pm$ 0.0034	0.1698 $\pm$ 0.0124	0.0267 $\pm$ 0.0002		159 $\pm$ 11	170 $\pm$ 1
GW05112.07	65.0	658	691	0.0573 $\pm$ 0.0012	0.5921 $\pm$ 0.0104	0.0750 $\pm$ 0.0005	502 $\pm$ 28	472 $\pm$ 7	466 $\pm$ 3
GW05112.08	63.6	371	824	0.0652 $\pm$ 0.0020	0.4889 $\pm$ 0.0148	0.0544 $\pm$ 0.0004	780 $\pm$ 67	404 $\pm$ 10	341 $\pm$ 2
GW05112.09	7.13	74.0	201	0.0461 $\pm$ 0.0028	0.2022 $\pm$ 0.0121	0.0318 $\pm$ 0.0004		187 $\pm$ 10	202 $\pm$ 2
GW05112.10	15.2	234	416	0.0503 $\pm$ 0.0014	0.1990 $\pm$ 0.0051	0.0287 $\pm$ 0.0002	207 $\pm$ 47	184 $\pm$ 4	183 $\pm$ 1
GW05112.11	17.9	70.0	417	0.0506 $\pm$ 0.0026	0.2427 $\pm$ 0.0120	0.0348 $\pm$ 0.0004	223 $\pm$ 93	221 $\pm$ 10	220 $\pm$ 2
GW05112.12	16.5	253	477	0.0501 $\pm$ 0.0014	0.1962 $\pm$ 0.0051	0.0284 $\pm$ 0.0002	199 $\pm$ 48	182 $\pm$ 4	181 $\pm$ 1
GW05112.13	24.0	421	636	0.0480 $\pm$ 0.0012	0.1893 $\pm$ 0.0043	0.0286 $\pm$ 0.0002	99 $\pm$ 42	176 $\pm$ 4	182 $\pm$ 1
GW05112.14	28.7	610	808	0.0494 $\pm$ 0.0011	0.1920 $\pm$ 0.0040	0.0282 $\pm$ 0.0002	165 $\pm$ 38	178 $\pm$ 3	179 $\pm$ 1
GW05112.15	18.1	551	462	0.0474 $\pm$ 0.0019	0.1857 $\pm$ 0.0073	0.0284 $\pm$ 0.0003	70 $\pm$ 70	173 $\pm$ 6	181 $\pm$ 2
GW05112.16	16.7	319	442	0.0727 $\pm$ 0.0017	0.3125 $\pm$ 0.0068	0.0312 $\pm$ 0.0002	1006 $\pm$ 32	276 $\pm$ 5	198 $\pm$ 1
GW05112.17	7.87	117	222	0.0534 $\pm$ 0.0031	0.2091 $\pm$ 0.0119	0.0284 $\pm$ 0.0004	346 $\pm$ 106	193 $\pm$ 10	181 $\pm$ 2
GW05112.18	42.9	663	808	0.0905 $\pm$ 0.0055	0.3903 $\pm$ 0.0231	0.0313 $\pm$ 0.0004	1436 $\pm$ 118	335 $\pm$ 17	199 $\pm$ 2
GW05112.19	13.2	321	362	0.0494 $\pm$ 0.0022	0.1919 $\pm$ 0.0081	0.0282 $\pm$ 0.0003	168 $\pm$ 81	178 $\pm$ 7	179 $\pm$ 2
GW05112.20	35.0	446	878	0.0501 $\pm$ 0.0010	0.2300 $\pm$ 0.0042	0.0333 $\pm$ 0.0002	201 $\pm$ 32	210 $\pm$ 3	211 $\pm$ 1
GW05112.21	7.80	242	194	0.1282 $\pm$ 0.0043	0.5053 $\pm$ 0.0155	0.0286 $\pm$ 0.0003	2073 $\pm$ 38	415 $\pm$ 10	182 $\pm$ 2
GW05112.22	25.0	514	517	0.0731 $\pm$ 0.0019	0.3201 $\pm$ 0.0075	0.0318 $\pm$ 0.0002	1016 $\pm$ 35	282 $\pm$ 6	202 $\pm$ 1
GW05112.23	16.6	208	470	0.0504 $\pm$ 0.0017	0.2022 $\pm$ 0.0064	0.0291 $\pm$ 0.0002	213 $\pm$ 59	187 $\pm$ 5	185 $\pm$ 1
GW05112.24	22.1	601	554	0.0477 $\pm$ 0.0013	0.1897 $\pm$ 0.0050	0.0288 $\pm$ 0.0002	86 $\pm$ 48	176 $\pm$ 4	183 $\pm$ 1

续表 1

Continued Table 1

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	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
GW05120.01	14.3	215	440	0.0495 $\pm$ 0.0020	0.1850 $\pm$ 0.0071	0.0271 $\pm$ 0.0002	171 $\pm$ 74	172 $\pm$ 6	173 $\pm$ 1
GW05120.02	12.3	254	355	0.0534 $\pm$ 0.0035	0.1994 $\pm$ 0.0129	0.0271 $\pm$ 0.0004	345 $\pm$ 124	185 $\pm$ 11	172 $\pm$ 2
GW05120.03	14.0	257	391	0.0542 $\pm$ 0.0021	0.2060 $\pm$ 0.0075	0.0276 $\pm$ 0.0002	377 $\pm$ 66	190 $\pm$ 6	176 $\pm$ 2
GW05120.04	16.0	288	455	0.0496 $\pm$ 0.0020	0.1932 $\pm$ 0.0074	0.0283 $\pm$ 0.0003	177 $\pm$ 73	179 $\pm$ 6	180 $\pm$ 2
GW05120.05	23.0	630	630	0.0495 $\pm$ 0.0017	0.1875 $\pm$ 0.0062	0.0275 $\pm$ 0.0002	172 $\pm$ 62	174 $\pm$ 5	175 $\pm$ 1
GW05120.06	9.94	175	294	0.0496 $\pm$ 0.0027	0.1872 $\pm$ 0.0100	0.0274 $\pm$ 0.0003	175 $\pm$ 101	174 $\pm$ 9	174 $\pm$ 2
GW05120.07	2.64	23.5	63.5	0.0552 $\pm$ 0.0070	0.2687 $\pm$ 0.0337	0.0353 $\pm$ 0.0007	421 $\pm$ 247	242 $\pm$ 27	224 $\pm$ 4
GW05120.08	14.0	245	401	0.0517 $\pm$ 0.0020	0.1952 $\pm$ 0.0072	0.0274 $\pm$ 0.0002	274 $\pm$ 71	181 $\pm$ 6	174 $\pm$ 1
GW05120.09	16.0	293	445	0.0528 $\pm$ 0.0035	0.2026 $\pm$ 0.0129	0.0278 $\pm$ 0.0004	320 $\pm$ 119	187 $\pm$ 11	177 $\pm$ 3
GW05120.10	22.0	629	549	0.0517 $\pm$ 0.0019	0.1994 $\pm$ 0.0070	0.0280 $\pm$ 0.0002	272 $\pm$ 65	185 $\pm$ 6	178 $\pm$ 1
GW05120.11	12.0	205	331	0.0505 $\pm$ 0.0024	0.1992 $\pm$ 0.0090	0.0286 $\pm$ 0.0003	220 $\pm$ 88	184 $\pm$ 8	182 $\pm$ 2
GW05120.12	21.0	252	667	0.0543 $\pm$ 0.0024	0.2030 $\pm$ 0.0085	0.0271 $\pm$ 0.0003	383 $\pm$ 77	188 $\pm$ 7	172 $\pm$ 2
GW05120.13	12.0	197	367	0.0491 $\pm$ 0.0025	0.1862 $\pm$ 0.0090	0.0275 $\pm$ 0.0003	152 $\pm$ 94	173 $\pm$ 8	175 $\pm$ 2
GW05120.14	18.0	382	521	0.0487 $\pm$ 0.0024	0.1893 $\pm$ 0.0089	0.0282 $\pm$ 0.0003	133 $\pm$ 88	176 $\pm$ 8	179 $\pm$ 2
GW05120.15	19.0	418	494	0.0496 $\pm$ 0.0018	0.1939 $\pm$ 0.0066	0.0283 $\pm$ 0.0002	177 $\pm$ 65	180 $\pm$ 6	180 $\pm$ 1
GW05120.16	17.0	347	471	0.0501 $\pm$ 0.0020	0.1930 $\pm$ 0.0072	0.0279 $\pm$ 0.0002	201 $\pm$ 72	179 $\pm$ 6	177 $\pm$ 1
GW05120.17	21.0	413	542	0.0500 $\pm$ 0.0019	0.2089 $\pm$ 0.0074	0.0303 $\pm$ 0.0003	193 $\pm$ 67	193 $\pm$ 6	193 $\pm$ 2
GW05120.18	30.0	906	788	0.0662 $\pm$ 0.0018	0.2307 $\pm$ 0.0059	0.0253 $\pm$ 0.0002	812 $\pm$ 42	211 $\pm$ 5	161 $\pm$ 1
GW05120.19	13.0	230	353	0.0505 $\pm$ 0.0028	0.1962 $\pm$ 0.0105	0.0282 $\pm$ 0.0003	220 $\pm$ 103	182 $\pm$ 9	179 $\pm$ 2
GW05120.20	17.0	350	462	0.0520 $\pm$ 0.0025	0.2034 $\pm$ 0.0093	0.0284 $\pm$ 0.0003	283 $\pm$ 86	188 $\pm$ 8	180 $\pm$ 2
GW05120.21	12.0	173	365	0.0513 $\pm$ 0.0040	0.1920 $\pm$ 0.0147	0.0271 $\pm$ 0.0004	256 $\pm$ 146	178 $\pm$ 13	172 $\pm$ 3
GW05120.22	19.0	473	544	0.0487 $\pm$ 0.0018	0.1823 $\pm$ 0.0063	0.0271 $\pm$ 0.0002	135 $\pm$ 65	170 $\pm$ 5	173 $\pm$ 1
GW05120.23	26.0	569	712	0.0478 $\pm$ 0.0017	0.1839 $\pm$ 0.0061	0.0279 $\pm$ 0.0002	87 $\pm$ 61	171 $\pm$ 5	178 $\pm$ 1
GW05120.24	28.0	812	725	0.0477 $\pm$ 0.0019	0.1798 $\pm$ 0.0070	0.0273 $\pm$ 0.0002	84 $\pm$ 71	168 $\pm$ 6	174 $\pm$ 2
GW05129.01	5.03	133	144	0.0501 $\pm$ 0.0036	0.1788 $\pm$ 0.0126	0.0258 $\pm$ 0.0003	201 $\pm$ 137	167 $\pm$ 11	164 $\pm$ 2
GW05129.01-1	5.05	63.3	114	0.0528 $\pm$ 0.0058	0.1905 $\pm$ 0.0206	0.0261 $\pm$ 0.0005	322 $\pm$ 207	177 $\pm$ 18	166 $\pm$ 3
GW05129.02	3.80	51.4	108	0.0531 $\pm$ 0.0053	0.1923 $\pm$ 0.0189	0.0263 $\pm$ 0.0004	332 $\pm$ 192	179 $\pm$ 16	167 $\pm$ 3
GW05129.03	10.6	174	248	0.0525 $\pm$ 0.0035	0.1938 $\pm$ 0.0128	0.0268 $\pm$ 0.0003	307 $\pm$ 155	180 $\pm$ 11	170 $\pm$ 2
GW05129.04	2.41	45.4	66.7	0.0533 $\pm$ 0.0059	0.1955 $\pm$ 0.0215	0.0266 $\pm$ 0.0004	340 $\pm$ 219	181 $\pm$ 18	169 $\pm$ 3
GW05129.05	3.75	64.2	108	0.0542 $\pm$ 0.0047	0.1979 $\pm$ 0.0170	0.0265 $\pm$ 0.0004	379 $\pm$ 167	183 $\pm$ 14	168 $\pm$ 3
GW05129.06	4.82	112	125	0.0516 $\pm$ 0.0041	0.1901 $\pm$ 0.0150	0.0267 $\pm$ 0.0003	269 $\pm$ 156	177 $\pm$ 13	170 $\pm$ 2
GW05129.07	3.44	75.8	95	0.0502 $\pm$ 0.0042	0.1876 $\pm$ 0.0154	0.0271 $\pm$ 0.0003	204 $\pm$ 162	175 $\pm$ 13	172 $\pm$ 2
GW05129.08	6.39	167	178	0.0523 $\pm$ 0.0027	0.1902 $\pm$ 0.0094	0.0264 $\pm$ 0.0003	297 $\pm$ 95	177 $\pm$ 8	168 $\pm$ 2
GW05129.09	2.74	50.0	73.9	0.0512 $\pm$ 0.0042	0.1926 $\pm$ 0.0154	0.0273 $\pm$ 0.0004	249 $\pm$ 158	179 $\pm$ 13	174 $\pm$ 2
GW05129.10	6.96	170	186	0.0508 $\pm$ 0.0026	0.1935 $\pm$ 0.0095	0.0276 $\pm$ 0.0003	234 $\pm$ 95	180 $\pm$ 8	175 $\pm$ 2
GW05129.11	2.69	41.4	74.1	0.0506 $\pm$ 0.0079	0.1825 $\pm$ 0.0283	0.0262 $\pm$ 0.0006	221 $\pm$ 289	170 $\pm$ 24	167 $\pm$ 4
GW05129.12	3.44	77.3	103	0.0489 $\pm$ 0.0067	0.1778 $\pm$ 0.0240	0.0264 $\pm$ 0.0005	144 $\pm$ 250	166 $\pm$ 21	168 $\pm$ 3
GW05129.13	3.91	91.3	114	0.0529 $\pm$ 0.0051	0.1892 $\pm$ 0.0178	0.0259 $\pm$ 0.0004	324 $\pm$ 183	176 $\pm$ 15	165 $\pm$ 3
GW05129.14	3.87	88.8	118	0.0477 $\pm$ 0.0056	0.1718 $\pm$ 0.0201	0.0261 $\pm$ 0.0004	86 $\pm$ 227	161 $\pm$ 17	166 $\pm$ 3
GW05129.15	4.17	64.5	128	0.0518 $\pm$ 0.0052	0.1886 $\pm$ 0.0185	0.0264 $\pm$ 0.0004	277 $\pm$ 227	175 $\pm$ 16	168 $\pm$ 3
GW05129.16	3.43	75.3	104	0.0570 $\pm$ 0.0076	0.2061 $\pm$ 0.0271	0.0262 $\pm$ 0.0006	491 $\pm$ 256	190 $\pm$ 23	167 $\pm$ 4
GW05129.17	4.37	106	125	0.0500 $\pm$ 0.0046	0.1861 $\pm$ 0.0170	0.0270 $\pm$ 0.0004	194 $\pm$ 180	173 $\pm$ 15	172 $\pm$ 2
GW05129.18	2.36	38.3	64.2	0.0573 $\pm$ 0.0115	0.2169 $\pm$ 0.0433	0.0275 $\pm$ 0.0007	503 $\pm$ 380	199 $\pm$ 36	175 $\pm$ 5
GW05129.19	4.13	98.9	116	0.0556 $\pm$ 0.0054	0.2076 $\pm$ 0.0200	0.0271 $\pm$ 0.0005	436 $\pm$ 187	192 $\pm$ 17	172 $\pm$ 3
GW05129.20	4.06	84.4	117	0.0469 $\pm$ 0.0064	0.1744 $\pm$ 0.0236	0.0270 $\pm$ 0.0005	44 $\pm$ 240	163 $\pm$ 20	172 $\pm$ 3
GW05129.21	5.26	115	145	0.0490 $\pm$ 0.0038	0.1848 $\pm$ 0.0142	0.0273 $\pm$ 0.0003	150 $\pm$ 151	172 $\pm$ 12	174 $\pm$ 2
GW05129.22	10.3	291	277	0.0467 $\pm$ 0.0025	0.1746 $\pm$ 0.0090	0.0271 $\pm$ 0.0003	35 $\pm$ 93	163 $\pm$ 8	172 $\pm$ 2
GW05129.23	4.96	112	133	0.0531 $\pm$ 0.0055	0.2002 $\pm$ 0.0205	0.0273 $\pm$ 0.0005	334 $\pm$ 199	185 $\pm$ 17	174 $\pm$ 3
GW05129.24	2.40	28.9	64.6	0.0524 $\pm$ 0.0079	0.1952 $\pm$ 0.0290	0.0270 $\pm$ 0.0006	303 $\pm$ 291	181 $\pm$ 25	172 $\pm$ 4

正棋村岩体测年样品(GW05067)取样点位置为 $52^{\circ}31'50.3''N, 126^{\circ}08'24.9''E$ 。样品岩性为中粒角闪花岗岩长岩,块状构造,是正棋村岩体的主要岩石类型,主要由斜长石(50%)、石英(25%)、碱长石(5%)、角闪石(10%)、黑云母(10%)及少量锆石、磷灰石、磁铁矿等副矿物组成。该样品进行了24个锆石颗粒的测定,结果显示除一个偏离谐和线外,其余23个点均落在谐和线上及其附近(图2a),23个 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为 $190 \pm 1Ma$ , MSWD = 1.03。这一年龄结果代表正棋村岩体的岩浆结晶年龄。

韩家园子岩体测年样品(GW05099)取样点位置为 $52^{\circ}02'42.8''N, 125^{\circ}38'39.9''E$ 。样品岩性为中细粒角闪石英闪长岩,块状构造,主要由斜长石(70%)、石英(5%)、碱长石(<2%)、角闪石(15%)、黑云母(8%)及少量锆石、磁铁矿、磷灰石、榍石等副矿物组成。该样品进行了23个锆石颗粒的测定,23个点均落在谐和线上(图2b),23个 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为 $188 \pm 1Ma$ , MSWD = 1.01。该年龄代表岩体的岩浆结晶年龄。

兴华-翻身屯岩体测年样品(GW05085)取样点位置为 $52^{\circ}00'23.2''N, 126^{\circ}12'46''E$ 。样品岩性为中细粒黑云母二长花岗岩,块状构造,为兴华-翻身屯岩体的主要岩石类型,主要由斜长石(53%)、石英(30%)、碱长石(10%)、角闪石(2%)、黑云母(5%)及少量榍石、锆石、磁铁矿等副矿物组成。该样品进行了23个锆石颗粒的测定,有2个锆石的数据偏离谐和线,其表面年龄分别为246Ma和442Ma,可能为岩浆上升时捕获的锆石。其余21个点的均落在谐和线上及其附近(图2c),21个 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为 $178 \pm 1Ma$ , MSWD = 3.1,应代表兴华-翻身屯岩体的岩浆结晶年龄。

鸡尾甸子岩体进行了两个样品的测定(GW05112 取样点位置:  $51^{\circ}52'45.3''N, 125^{\circ}47'40.2''E$ ; GW05120 取样点位置:  $51^{\circ}49'13.9''N, 126^{\circ}16'20.9''E$ )。GW05112 样品岩性为中粗粒含斑二长花岗岩,似斑状结构,斑晶为钾长石,块状构造,主要由斜长石(38%)、石英(30%)、碱长石(30%)、黑云母(2%)及少量锆石、榍石、磁铁矿等副矿物组成。GW05112 样品的锆石相对复杂,进行了24个点的测试,有5个点明显偏离谐和线,另外7颗位于谐和线上的锆石具有5组年龄,分别是198~202Ma、211Ma、220Ma、325Ma、466Ma,这些锆石可能为岩浆上升时捕获的早期岩浆锆石。其余12个点集中于谐和线上(图2d),这12个点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为 $181 \pm 1Ma$ , MSWD = 1.5,应代表岩浆结晶的年龄。GW05120 样品岩性为中粒斑状黑云母二长花岗岩,似斑状结构,斑晶为钾长石,块状构造,主要由斜长石(32%)、石英(25%)、碱长石(38%)、黑云母(5%)及少量锆石、榍石、磁铁矿等副矿物组成。GW05120 样品进行了24个点的测定,其中有一个点明显偏离谐和线,有2个颗粒虽在谐和线上,但明显离群(192Ma、244Ma),可能为岩浆上升过程中捕获的

早期岩浆锆石。其余21个点集中分布于谐和线上及其附近(图2e),21个点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为 $176 \pm 1Ma$ , MSWD = 4.1,应代表岩浆结晶的年龄。鸡尾甸子岩体的两个年龄值在误差范围内是相近的,其岩浆结晶年龄应为176~181Ma。

黑花山岩体测年样品(GW05129)取样点位置为 $50^{\circ}53'40.8''N, 127^{\circ}04'59.5''E$ 。样品岩性为中粒黑云母花岗岩长岩,块状构造,主要由斜长石(52%)、石英(26%)、碱长石(2%)、黑云母(15%)、角闪石(5%)及少量锆石、磁铁矿等副矿物组成。该样品进行了23个锆石颗粒24个点的测定,结果显示所有点的数据均落在谐和线上及其附近(图2f),24个 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为 $171 \pm 2Ma$ , MSWD = 1.3,代表岩浆结晶的年龄。

### 3 地球化学特征

主量和微量元素的测定由中国科学院广州地球化学研究所完成。本区侏罗纪花岗岩样品的22个主量元素和微量元素成分列于表2。本区侏罗纪花岗岩 $SiO_2$ 含量在57~77%之间,只有一个样品的 $SiO_2$ 较低,为52.84%, $Al_2O_3$ 多大于15%,仅两个样品略低,也接近15%, $K_2O$ 含量在1.66~4.43%之间。ANK-ACNK图解表明(图3a),本区侏罗纪花岗岩质岩石主要为准铝质~弱过铝质,ACNK主要介于0.79~1.10,仅个别样品的ACNK>1.1(最高为1.18)。本文研究的岩体以闪长岩-石英闪长岩-花岗闪长岩-二长花岗岩为主、常见暗色矿物为普通角闪石和黑云母,副矿物组合中出现榍石而未见富铝矿物的矿物组合等特征表明,本区侏罗纪花岗岩均属于I型花岗岩,而个别样品的ACNK偏高可能是岩浆分异作用的结果。在 $K_2O-SiO_2$ 图解上(图3b),多数样品落于高钾钙碱性范围内,少部分样品落于钙碱性范围并靠近分界线。根据Sr和Yb的富集和亏损程度可将本区侏罗纪花岗岩划分为高Sr低Yb和低Sr高Yb两种类型(图4):高Sr低Yb型花岗岩的 $Sr > 500\mu g/g$ ,  $Yb < 2\mu g/g$ ;而低Sr高Yb型花岗岩的 $Sr < 420\mu g/g$ ,  $Yb > 2\mu g/g$ 。本区早期侵入的侏罗纪花岗岩为低Sr高Yb型,如正棋村岩体、韩家园子岩体、三道卡岩体、五顶山岩体,而晚期侵入的侏罗纪花岗岩为高Sr低Yb型,如兴华-翻身屯岩体、鸡尾甸子岩体和黑花山岩体(黑花山岩体中包含部分低Sr高Yb型花岗岩,由于覆盖严重而未能在地质图上标出)。两种类型的花岗岩表现出相似的主量元素地球化学特征: $K_2O$ 含量基本相同,高Sr低Yb型花岗岩的 $K_2O = 1.82 \sim 4.3\%$ ,平均为2.87%,低Sr高Yb型花岗岩的 $K_2O = 1.66 \sim 4.43\%$ ,平均为2.99%;在岩石的Harker图解上(图略),除高Sr低Yb型花岗岩的 $Na_2O$ 略高于低Sr高Yb型花岗岩外,两种类型的花岗岩具有相近的主量元素含量和近乎一致的变异演化趋势。



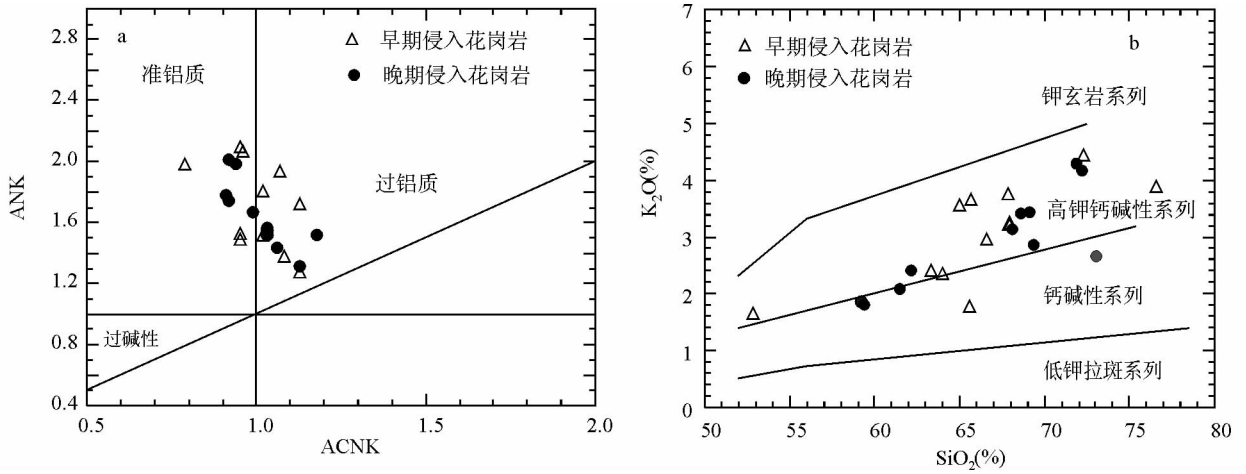


图 3 两类花岗质岩石的 ACNK、K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>图解

Fig. 3 Aluminous Saturation Index and K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> relationship diagram of the two type granites

表 2 大兴安岭东北部侏罗纪花岗质岩石的主量元素 (%) 和微量元素 (μg/g) 成分

Table 2 Major (%) and trace (μg/g) element composition of selected samples for the Jurassic granites from northeastern part in the Da Hinggan Mts.

岩体 样品号	低 Sr 高 Yb 型花岗岩(早期侵入)												
	正棋村				韩家园子			五顶山		黑花山		三道卡	
	GW05064	GW05067	GW05069	GW05070	GW05099	GW05101	GW05110	GW05127	GW05132	GW05133	GW05141		
SiO <sub>2</sub>	65.58	63.97	63.35	67.96	52.84	72.31	76.60	66.59	67.99	64.96	65.64		
TiO <sub>2</sub>	0.53	0.65	0.62	0.43	1.65	0.32	0.19	0.69	0.63	0.96	0.86		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.27	16.07	16.55	15.74	17.33	14.76	12.94	16.67	15.09	15.46	15.10		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.77	5.46	5.22	3.74	9.74	2.07	1.70	3.72	3.59	4.98	4.58		
MnO	0.10	0.09	0.09	0.07	0.20	0.05	0.05	0.05	0.06	0.08	0.08		
MgO	1.74	2.53	2.45	1.54	3.65	0.54	0.23	1.55	1.31	1.93	1.80		
CaO	3.78	5.11	5.12	3.67	7.23	1.61	0.73	2.77	2.64	3.37	3.20		
Na <sub>2</sub> O	3.93	3.10	3.29	3.18	4.21	3.60	3.59	3.95	3.59	3.79	3.75		
K <sub>2</sub> O	1.79	2.37	2.41	3.23	1.66	4.43	3.89	2.95	3.77	3.56	3.67		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.14	0.13	0.09	0.66	0.08	0.04	0.19	0.20	0.29	0.27		
LOI	1.30	0.65	0.79	0.81	0.32	0.12	0.27	0.51	0.49	0.54	1.24		
Total	99.94	100.13	100.02	100.46	99.50	99.90	100.23	99.63	99.37	99.94	100.18		
Sc	12.8	13.7	13.2	8.08	24.4	2.66	1.02	6.73	7.70	11.3	10.1		
V	66.2	97.8	90.5	59.7	174	19.6	5.74	60.1	63.1	93.5	78.2		
Cr	2.52	8.94	7.61	5.94	10.6	2.06	0.44	19.5	17.0	32.2	28.9		
Co	8.71	13.9	13.3	9.25	18.2	2.50	1.06	8.23	8.11	12.1	10.6		
Ni	1.43	4.58	5.10	3.89	7.11	1.71	0.74	14.6	11.0	19.4	18.0		
Ga	19.9	18.5	18.4	17.3	24.2	17.2	18.8	21.0	17.0	19.3	19.0		
Rb	50.4	79.9	78.3	116	44.9	157	111	107	91.9	74.8	89.1		
Sr	303	339	337	297	530	215	191	403	388	409	358		
Y	22.2	17.2	19.1	15.1	44.0	20.7	20.2	20.5	19.7	25.7	27.4		
Zr	161	130	133	118	134	188	173	290	204	252	174		
Nb	7.83	7.91	7.93	7.83	13.9	14.5	17.1	11.6	11.0	14.8	15.1		
Ba	846	729	670	716	787	975	555	1158	975	955	738		
Hf	4.39	3.82	4.16	3.91	4.10	5.59	6.02	7.59	5.67	6.88	5.18		
Ta	0.52	0.64	0.60	0.91	0.69	1.48	1.48	1.18	1.01	1.13	1.13		
Th	5.57	7.93	10.8	18.4	4.60	19.0	16.2	11.2	10.5	8.15	8.83		
U	1.10	1.31	1.81	2.91	1.16	4.84	1.73	2.90	2.92	2.52	3.93		
La	24.6	23.0	30.0	30.4	48.0	43.9	30.3	45.7	36.0	40.9	43.0		
Ce	51.6	47.6	60.2	53.8	103	71.9	79.3	87.2	73.5	86.1	91.2		
Pr	6.54	5.82	7.03	5.90	14.1	8.74	7.17	10.3	8.99	11.2	11.6		
Nd	26.1	22.6	26.9	20.7	60.1	30.1	25.2	37.8	34.5	44.1	45.3		
Sm	5.28	4.18	4.87	3.54	12.5	4.92	4.50	6.29	6.16	8.22	8.30		

续表 2

Continued Table 2

岩体	低 Sr 高 Yb 型花岗岩(早期侵入)										
	正棋村				韩家园子		五顶山	黑花山	三道卡		
Eu	1.28	1.08	1.13	0.91	3.12	0.90	0.48	1.57	1.38	1.99	1.82
Gd	4.90	3.80	4.44	3.33	11.7	4.34	4.04	5.43	5.33	7.27	7.22
Tb	0.77	0.58	0.64	0.51	1.74	0.64	0.63	0.77	0.75	1.04	1.09
Dy	4.50	3.28	3.72	2.97	9.90	3.75	3.86	4.36	4.28	5.91	6.03
Ho	0.91	0.66	0.75	0.61	1.88	0.77	0.81	0.84	0.81	1.10	1.14
Er	2.52	1.84	2.13	1.75	5.02	2.24	2.44	2.41	2.21	3.07	3.17
Tm	0.38	0.28	0.32	0.28	0.70	0.35	0.40	0.38	0.33	0.45	0.46
Yb	2.60	1.95	2.22	2.00	4.48	2.53	2.91	2.58	2.19	2.97	3.12
Lu	0.41	0.32	0.36	0.34	0.69	0.43	0.47	0.42	0.36	0.48	0.48
岩体	高 Sr 低 Yb 型花岗岩(晚期侵入)										
	兴华-翻身屯				鸡尾甸子				黑花山		
样品号	GW05079	GW05082	GW05085	GW05088	GW05112	GW05119	GW05120	GW05122	GW05129	GW05130	GW05137
SiO <sub>2</sub>	61.46	62.17	69.164	68.07	72.25	71.87	68.62	69.34	59.21	59.36	73.05
TiO <sub>2</sub>	0.66	0.61	0.50	0.38	0.25	0.49	0.51	0.47	0.95	1.07	0.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.06	17.14	15.69	15.66	15.59	14.45	16.20	16.01	17.32	17.57	15.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.88	4.57	2.78	3.39	1.33	2.67	2.71	2.66	6.76	6.67	1.48
MnO	0.08	0.07	0.06	0.07	0.04	0.04	0.04	0.04	0.09	0.09	0.04
MgO	3.26	3.08	1.13	1.70	0.27	0.87	0.85	0.85	3.09	2.79	0.36
CaO	5.03	4.88	2.82	3.52	1.07	1.94	2.83	2.92	5.63	5.41	1.60
Na <sub>2</sub> O	4.45	4.40	3.91	3.65	4.46	3.28	4.22	4.34	4.02	4.19	4.48
K <sub>2</sub> O	2.08	2.40	3.43	3.13	4.17	4.30	3.42	2.85	1.86	1.82	2.66
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.23	0.21	0.16	0.14	0.06	0.19	0.18	0.17	0.25	0.27	0.06
LOI	0.87	0.64	0.29	0.50	0.47	0.22	0.25	0.24	0.42	0.33	0.51
Total	100.04	99.52	99.93	100.20	99.97	100.08	99.81	99.88	99.62	99.57	99.95
Sc	9.85	10.2	4.58	6.36	1.09	0.77	0.61	0.70	11.1	8.64	1.90
V	93.9	90.4	46.5	59.0	11.1	32.6	31.8	33.0	165	151	9.83
Cr	89.2	76.2	4.32	17.6	0.21	1.41	1.75	4.08	22.2	17.4	0.10
Co	16.3	15.8	5.46	8.31	1.47	4.14	4.18	4.52	20.1	19.6	1.22
Ni	27.0	25.1	3.45	7.81	0.56	1.56	2.06	2.39	15.2	13.8	0.47
Ga	21.8	21.3	20.5	18.1	20.9	18.6	21.5	21.8	21.2	21.4	18.1
Rb	35.5	41.3	107	88.9	104	85.0	78.2	69.5	43.6	41.8	44.1
Sr	1020	1009	589	555	619	590	797	767	655	676	650
Y	9.29	9.48	10.1	10.4	4.57	3.70	10.2	8.71	17.0	15.9	9.70
Zr	63.9	104	117	123	136	193	165	176	98.5	90.8	101
Nb	5.81	6.01	10.1	8.98	7.13	3.32	10.4	9.60	6.25	6.41	4.13
Ba	973	979	868	831	1167	1477	1424	1159	427	463	977
Hf	2.01	3.00	3.50	3.99	4.17	5.61	4.60	4.79	3.26	2.82	3.04
Ta	0.37	0.42	0.78	0.91	0.61	0.29	1.38	1.25	0.64	0.59	0.24
Th	5.92	4.09	13.4	11.9	9.60	9.82	8.48	7.97	5.87	5.20	4.77
U	0.79	0.86	3.44	3.10	2.00	0.85	1.88	1.73	1.27	1.36	0.94
La	43.9	28.4	26.1	27.8	28.3	44.3	36.9	32.7	19.4	24.5	20.7
Ce	80.5	58.7	49.5	54.5	50.8	79.4	75.6	65.0	43.7	52.8	43.1
Pr	9.12	7.24	6.00	6.28	5.80	8.76	9.51	8.36	6.01	6.98	5.45
Nd	32.8	28.3	22.1	22.9	20.0	28.1	36.0	31.1	26.7	29.1	20.6
Sm	4.74	4.62	3.68	3.75	2.68	3.15	5.62	4.82	5.55	5.60	3.54
Eu	1.24	1.22	0.99	0.89	0.67	0.70	1.46	1.35	1.40	1.58	0.87
Gd	3.43	3.47	2.83	2.79	1.91	1.89	4.01	3.38	5.04	4.98	2.79
Tb	0.42	0.43	0.39	0.37	0.20	0.18	0.45	0.39	0.73	0.68	0.37
Dy	2.12	2.25	2.14	2.03	0.95	0.82	2.26	1.96	3.88	3.69	2.09
Ho	0.37	0.41	0.37	0.39	0.17	0.14	0.37	0.32	0.72	0.67	0.38
Er	1.03	1.11	1.02	1.16	0.51	0.44	1.06	0.94	1.86	1.80	1.12
Tm	0.14	0.15	0.14	0.17	0.07	0.06	0.16	0.14	0.28	0.26	0.16
Yb	0.90	0.96	0.96	1.28	0.52	0.42	1.10	0.99	1.86	1.69	1.13
Lu	0.14	0.15	0.15	0.21	0.09	0.07	0.17	0.16	0.29	0.27	0.18

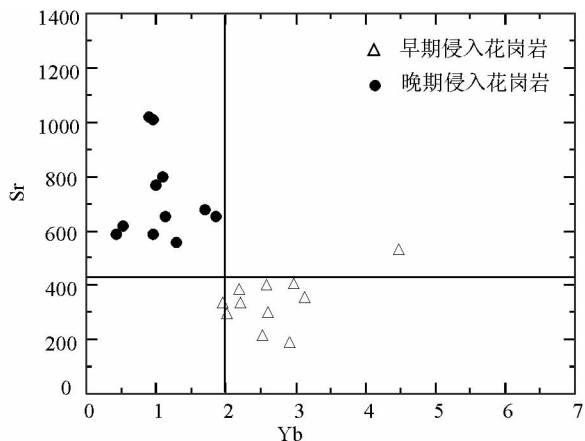


图4 两类花岗岩质岩石的 Sr- Yb 图解

Fig. 4 The Sr-Yb relationship diagram of the two type granites

两类花岗岩的稀土元素特征表现出明显的差别(图 5a、b): 高 Sr 低 Yb 型花岗岩的稀土元素特征非常类似于 adakite, 具有陡倾的富集 LREE 稀土配分模式, 特别是它们都

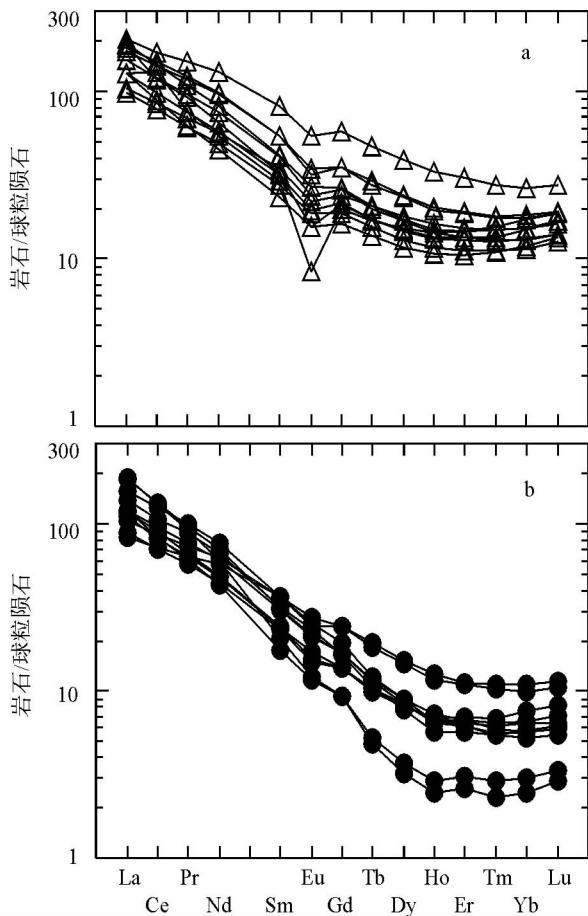
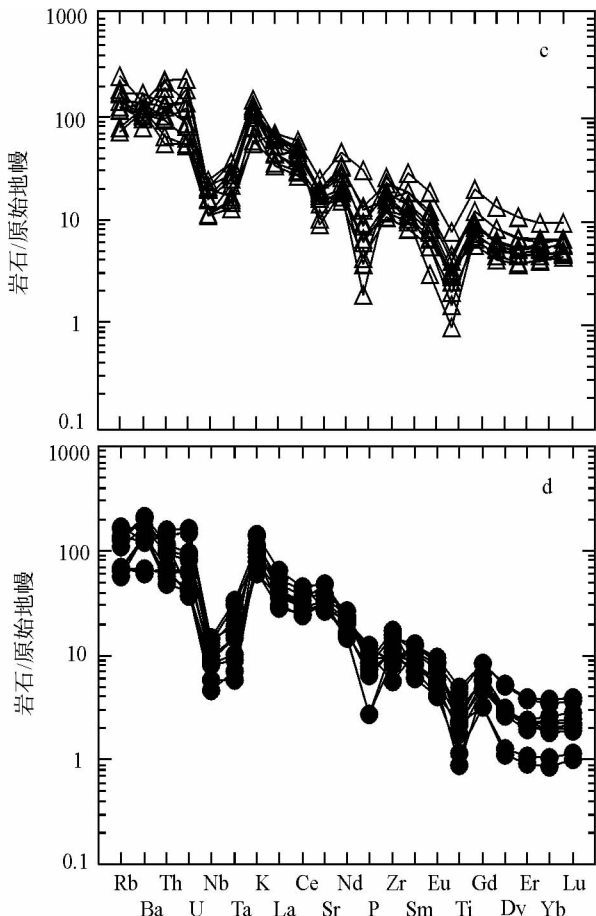


图5 两类花岗岩质岩石的稀土、微量元素图解(图例同图4)

Fig. 5 Trace elements patterns and REE patterns of the two type granites

明显亏损重稀土元素, Yb 均小于  $2\mu\text{g/g}$ , HREE 多明显低于 10 倍球粒陨石丰度, 因此具有较高的 La/Yb 比值 ( $10.4 \sim 105.2$ )。不出现一般中酸性火成岩常见的负铕异常 ( $\delta\text{Eu} = 0.79 \sim 0.97$ )。与高 Sr 低 Yb 型花岗岩不同, 虽然低 Sr 高 Yb 型花岗岩的 LREE 特征与前者相似, 但重稀土元素的亏损程度明显低于前者, 表现出相对平缓的富集 LREE 稀土配分模式, Yb 均大于  $2\mu\text{g/g}$ 。HREE 都明显高于 10 倍球粒陨石丰度, 因此具有相对较低的 La/Yb 比值 ( $9 \sim 17.7$ )。具有较弱的负铕异常 ( $\delta\text{Eu} = 0.34 \sim 0.81$ )。

两类花岗岩的微量元素蛛网图性质相似, 但部分微量元素的亏损和富集程度表现出明显的差别(图 5c、d), 高 Sr 低 Yb 型花岗岩的 Nb、Ta 的负异常和 Sr 的正异常更为明显。高 Sr 低 Yb 型花岗岩的 Y 多小于  $11\mu\text{g/g}$  (仅两个样品稍高为  $15.85\mu\text{g/g}$  和  $17.04\mu\text{g/g}$ ), 而低 Sr 高 Yb 型花岗岩的 Y 变化于  $15.06 \sim 27.4\mu\text{g/g}$  之间(一个样品高达  $43.99\mu\text{g/g}$ )。因此这些高 Sr 低 Yb 型花岗岩质岩石具有很高的 Sr/Y 比值, 它们在 Sr/Y-Y 图解上(图 6)落入 adakite 岩成分区, 而低 Sr 高 Yb 型花岗岩具有较低的 Sr/Y 比值, 它们在 Sr/Y-Y 图解上分布于正常的岛弧安山岩和英安岩成分区。



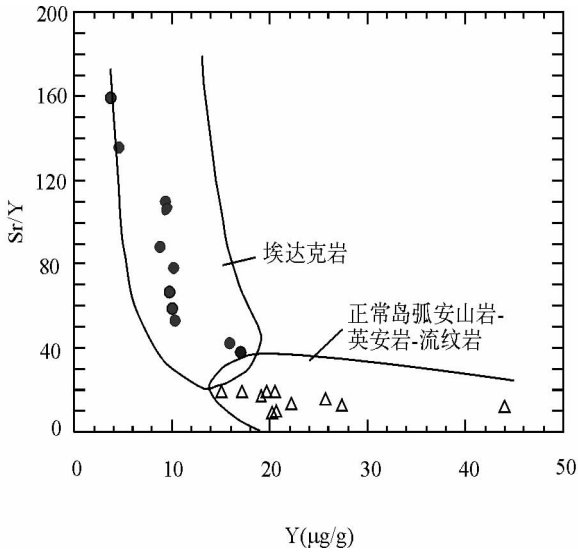


图6 两类花岗质岩石的 Sr/Y-Y 图(图例同图4), 图中的分界线据 Atherton and Petford(1993)

Fig. 6 The relationship diagram between Sr/Y and Y of the two type granites

## 4 Hf 同位素特征

在 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年的基础上, 参照锆石阴极发光 (CL) 图像对正棋村、韩家园子、鸡尾甸子、兴华-翻身屯和黑花山岩体进行了锆石微区 Hf 同位素测定工作(表 3)。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 μm, 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)。本文的数据是由两次实验完成的, 两次实验测定过程中 91500 的测定结果分别是  $0.282331 \pm 6$  和  $0.2822919 \pm 22$ , 这两个值与目前用溶液法获得的值在误差范围内一致 (Woodhead *et al.*, 2004)。 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  和模式年龄计算中, 现今全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 (Bicherl *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。

表 3 侏罗纪花岗质岩石 LA-MC-ICPMS 锆石 Hf 同位素分析结果

Table 3 Lu-Hf isotopic compositions for the zircons of the Jurassic granites from northeastern part in the Da Hinggan Mts.

样品号	$t$ (Ma)	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}^*$	$2\sigma_m$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$	$2\sigma$	$T_{\text{DM1}}$	$T_{\text{DM2}}$	$f_{\text{Lu}/\text{Hf}}$
GW05067.01	190	0.058058	0.002117	0.282645	0.282660	0.000020	-3.95	-0.04	0.72	864	1233	-0.94
GW05067.02	190	0.017548	0.000664	0.282609	0.282624	0.000015	-5.23	-1.14	0.54	881	1303	-0.98
GW05067.03	190	0.035852	0.001397	0.282615	0.282630	0.000017	-5.02	-1.03	0.59	890	1295	-0.96
GW05067.04	190	0.031509	0.001194	0.282629	0.282644	0.000015	-4.52	-0.50	0.51	865	1262	-0.96
GW05067.05	190	0.018476	0.000710	0.282616	0.282631	0.000015	-5.00	-0.92	0.53	873	1288	-0.98
GW05067.07	190	0.022220	0.000863	0.282632	0.282647	0.000015	-4.43	-0.37	0.54	854	1254	-0.97
GW05067.08	190	0.033817	0.001309	0.282648	0.282663	0.000017	-3.84	0.17	0.60	841	1220	-0.96
GW05067.09	190	0.025048	0.000999	0.282660	0.282675	0.000017	-3.42	0.63	0.62	817	1190	-0.97
GW05067.10	190	0.033522	0.001248	0.282619	0.282634	0.000019	-4.87	-0.85	0.66	880	1284	-0.96
GW05067.11	190	0.021715	0.000830	0.282642	0.282657	0.000021	-4.06	0.01	0.73	838	1229	-0.97
GW05067.12	190	0.015824	0.000610	0.282624	0.282639	0.000018	-4.71	-0.62	0.65	859	1269	-0.98
GW05067.13	190	0.027073	0.001014	0.282614	0.282629	0.000017	-5.04	-1.00	0.59	882	1294	-0.97
GW05067.14	190	0.021883	0.000826	0.282635	0.282651	0.000015	-4.29	-0.23	0.53	848	1245	-0.98
GW05067.15	190	0.036557	0.001307	0.282644	0.282659	0.000017	-3.99	0.02	0.61	846	1229	-0.96
GW05085.01	178	0.017116	0.000612	0.282634	0.282649	0.000016	-4.35	-0.51	0.56	845	1254	-0.98
GW05085.02	178	0.025735	0.000989	0.282680	0.282695	0.000036	-2.73	1.06	1.26	789	1153	-0.97
GW05085.03	178	0.016443	0.000574	0.282654	0.282669	0.000020	-3.65	0.19	0.72	817	1209	-0.98
GW05085.04	178	0.013318	0.000440	0.282638	0.282653	0.000025	-4.20	-0.35	0.88	836	1243	-0.99
GW05085.05	178	0.022507	0.000888	0.282699	0.282714	0.000024	-2.05	1.76	0.85	760	1109	-0.97
GW05085.06	442	0.022717	0.000693	0.282569	0.282584	0.000015	-6.64	2.89	0.54	938	1239	-0.98
GW05085.07	246	0.016836	0.000619	0.281969	0.281984	0.000020	-27.9	-22.6	0.72	1766	2696	-0.98
GW05085.08	178	0.015500	0.000585	0.282639	0.282655	0.000018	-4.15	-0.32	0.63	837	1241	-0.98
GW05085.09	178	0.019763	0.000661	0.282659	0.282674	0.000021	-3.45	0.38	0.73	811	1197	-0.98
GW05085.10	178	0.023421	0.000714	0.282666	0.282681	0.000020	-3.20	0.62	0.69	802	1181	-0.98

续表 3

Continued Table 3

样品号	$t$ (Ma)	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}^*$	$2\sigma_m$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$	$2\sigma$	$T_{\text{DM1}}$	$T_{\text{DM2}}$	$f_{\text{Lu}/\text{Hf}}$
GW05085.11	178	0.014579	0.000409	0.282659	0.282674	0.000020	-3.47	0.39	0.72	806	1196	-0.99
GW05085.12	178	0.018069	0.000577	0.282568	0.282584	0.000022	-6.66	-2.82	0.78	935	1400	-0.98
GW05085.13	178	0.026638	0.000815	0.282641	0.282656	0.000020	-4.11	-0.30	0.71	840	1240	-0.98
GW05085.14	178	0.026220	0.000922	0.282622	0.282637	0.000023	-4.78	-0.99	0.81	869	1284	-0.97
GW05085.15	178	0.018426	0.000781	0.282604	0.282619	0.000030	-5.41	-1.60	1.08	891	1323	-0.98
GW05085.16	178	0.026652	0.000845	0.282667	0.282682	0.000022	-3.18	0.63	0.79	804	1181	-0.97
GW05085.17	178	0.012955	0.000450	0.282650	0.282665	0.000019	-3.77	0.08	0.66	819	1216	-0.99
GW05085.18	178	0.031263	0.000881	0.282729	0.282744	0.000024	-0.98	2.82	0.85	717	1041	-0.97
GW05085.19	178	0.018212	0.000531	0.282654	0.282670	0.000022	-3.62	0.22	0.76	815	1207	-0.98
GW05085.20	178	0.020174	0.000712	0.282642	0.282657	0.000019	-4.08	-0.25	0.68	837	1237	-0.98
GW05085.21	178	0.018026	0.000674	0.282613	0.282628	0.000020	-5.09	-1.26	0.70	876	1301	-0.98
GW05085.22	178	0.018853	0.000670	0.282641	0.282656	0.000019	-4.10	-0.27	0.65	836	1238	-0.98
GW05099.01	188	0.046474	0.001258	0.282757	0.282772	0.000025	-0.01	3.96	0.88	685	976	-0.96
GW05099.02	188	0.029608	0.000931	0.282775	0.282791	0.000024	0.65	4.67	0.85	653	931	-0.97
GW05099.03	188	0.030495	0.000934	0.282748	0.282763	0.000024	-0.32	3.69	0.85	692	994	-0.97
GW05099.04	188	0.050690	0.001470	0.282798	0.282813	0.000021	1.47	5.41	0.74	629	884	-0.96
GW05099.05	188	0.033554	0.001039	0.282696	0.282711	0.000026	-2.16	1.84	0.91	767	1111	-0.97
GW05099.06	188	0.029270	0.000890	0.282709	0.282725	0.000016	-1.68	2.34	0.55	745	1080	-0.97
GW05099.07	188	0.037480	0.001184	0.282739	0.282754	0.000026	-0.63	3.35	0.90	709	1015	-0.96
GW05099.08	188	0.044617	0.001448	0.282701	0.282717	0.000025	-1.96	1.99	0.88	768	1102	-0.96
GW05099.09	188	0.039488	0.001206	0.282709	0.282724	0.000025	-1.68	2.30	0.89	752	1083	-0.96
GW05099.10	188	0.042567	0.001448	0.282756	0.282771	0.000028	-0.03	3.92	1.00	690	979	-0.96
GW05099.11	188	0.039283	0.001464	0.282726	0.282741	0.000022	-1.08	2.86	0.79	733	1046	-0.96
GW05099.12	188	0.031918	0.001066	0.282719	0.282734	0.000024	-1.35	2.65	0.83	736	1060	-0.97
GW05099.13	188	0.037989	0.001167	0.282718	0.282733	0.000026	-1.39	2.59	0.91	739	1064	-0.96
GW05099.14	188	0.015531	0.000525	0.282723	0.282738	0.000022	-1.20	2.87	0.76	719	1046	-0.98
GW05099.15	188	0.049327	0.001568	0.282729	0.282744	0.000028	-0.98	2.96	1.00	730	1040	-0.95
GW05112.01	181	0.012884	0.000489	0.282668	0.282644	0.000023	-4.54	-0.62	0.83	851	1264	-0.99
GW05112.02	181	0.008197	0.000349	0.282627	0.282602	0.000022	-5.99	-2.06	0.79	905	1356	-0.99
GW05112.03	325	0.017693	0.000647	0.282523	0.282499	0.000023	-9.65	-2.64	0.81	1056	1502	-0.98
GW05112.04	197	0.033253	0.001060	0.282717	0.282693	0.000022	-2.80	1.39	0.79	794	1148	-0.97
GW05112.05	181	0.022044	0.000833	0.282642	0.282618	0.000025	-5.46	-1.58	0.87	895	1326	-0.97
GW05112.06	181	0.050825	0.000998	0.284443	0.284419	0.003281	58.2	62.1	116	-1702	-2825	-0.97
GW05112.07	466	0.047566	0.001521	0.282464	0.282440	0.000025	-11.7	-1.95	0.88	1165	1566	-0.95
GW05112.08	341	0.033255	0.001198	0.282581	0.282557	0.000024	-7.61	-0.38	0.87	990	1371	-0.96
GW05112.09	202	0.013583	0.000556	0.282759	0.282735	0.000176	-1.30	3.06	6.24	724	1046	-0.98
GW05112.10	181	0.021374	0.000689	0.282633	0.282609	0.000025	-5.75	-1.86	0.88	903	1343	-0.98
GW05112.11	220	0.020952	0.000922	0.282506	0.282482	0.000029	-10.3	-5.56	1.04	1088	1608	-0.97
GW05112.12	181	0.021421	0.000936	0.282687	0.282663	0.000045	-3.86	0.00	1.60	834	1225	-0.97
GW05112.13	181	0.021746	0.000871	0.282719	0.282695	0.000027	-2.74	1.14	0.97	788	1152	-0.97
GW05112.14	181	0.026860	0.000877	0.282654	0.282630	0.000030	-5.02	-1.15	1.07	879	1298	-0.97
GW05112.15	181	0.022977	0.000903	0.282696	0.282672	0.000024	-3.55	0.32	0.86	821	1205	-0.97
GW05112.16	198	0.022654	0.000930	0.282718	0.282694	0.000032	-2.76	1.46	1.12	790	1145	-0.97
GW05112.18	199	0.024856	0.000948	0.282608	0.282584	0.000026	-6.64	-2.40	0.93	945	1391	-0.97
GW05112.19	181	0.022883	0.000831	0.282678	0.282654	0.000030	-4.16	-0.28	1.07	843	1243	-0.97

续表 3

Continued Table 3

样品号	$t$ (Ma)	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}^*$	$2\sigma_m$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(0)$	$\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$	$2\sigma$	$T_{\text{DM1}}$	$T_{\text{DM2}}$	$f_{\text{Lu}/\text{Hf}}$
GW05112.20	211	0.037992	0.001194	0.282720	0.282696	0.000023	-2.68	1.79	0.82	792	1134	-0.96
GW05112.21	181	0.017647	0.000722	0.282699	0.282675	0.000037	-3.43	0.46	1.30	812	1196	-0.98
GW05112.22	202	0.023661	0.000988	0.282697	0.282673	0.000052	-3.51	0.80	1.83	821	1190	-0.97
GW05112.23	181	0.033392	0.001285	0.282687	0.282663	0.000033	-3.87	-0.05	1.18	842	1228	-0.96
GW05112.24	181	0.026633	0.000896	0.282639	0.282615	0.000028	-5.56	-1.69	0.98	900	1332	-0.97
GW05120.01	176	0.006914	0.000366	0.282956	0.282932	0.000063	5.67	9.49	2.23	446	614	-0.99
GW05120.03	176	0.016868	0.000724	0.282721	0.282697	0.000027	-2.66	1.12	0.97	782	1150	-0.98
GW05120.04	176	0.014144	0.000595	0.282644	0.282620	0.000026	-5.38	-1.58	0.92	886	1322	-0.98
GW05120.05	176	0.016399	0.000682	0.282673	0.282649	0.000037	-4.35	-0.56	1.32	848	1257	-0.98
GW05120.06	176	0.012774	0.000555	0.282652	0.282628	0.000038	-5.09	-1.29	1.36	874	1303	-0.98
GW05120.07	224	0.018746	0.000639	0.282684	0.282660	0.000041	-3.97	0.86	1.45	831	1203	-0.98
GW05120.08	176	0.017387	0.000651	0.282651	0.282627	0.000032	-5.14	-1.35	1.15	878	1307	-0.98
GW05120.09	176	0.020895	0.000762	0.282641	0.282617	0.000026	-5.47	-1.69	0.91	894	1329	-0.98
GW05120.10	176	0.015527	0.000585	0.282658	0.282634	0.000030	-4.88	-1.08	1.06	866	1290	-0.98
GW05120.11	176	0.009423	0.000425	0.282707	0.282683	0.000029	-3.14	0.67	1.04	794	1178	-0.99
GW05120.12	176	0.012408	0.000515	0.282691	0.282667	0.000031	-3.72	0.09	1.09	819	1215	-0.98
GW05120.13	176	0.012905	0.000546	0.282695	0.282671	0.000035	-3.57	0.23	1.26	814	1206	-0.98
GW05120.14	176	0.017126	0.000746	0.282665	0.282641	0.000037	-4.65	-0.87	1.30	861	1276	-0.98
GW05120.15	176	0.020748	0.000746	0.282661	0.282637	0.000030	-4.77	-1.00	1.05	866	1284	-0.98
GW05120.16	176	0.016608	0.000595	0.282697	0.282673	0.000029	-3.51	0.29	1.01	812	1203	-0.98
GW05120.17	193	0.013725	0.000576	0.282653	0.282629	0.000031	-5.06	-0.89	1.09	873	1291	-0.98
GW05120.18	161	0.012887	0.000444	0.282631	0.282607	0.000031	-5.83	-2.35	1.09	901	1359	-0.99
GW05120.19	176	0.017753	0.000700	0.282669	0.282645	0.000029	-4.48	-0.69	1.03	853	1265	-0.98
GW05120.20	176	0.018266	0.000737	0.282663	0.282639	0.000034	-4.72	-0.94	1.22	863	1281	-0.98
GW05129.01	171	0.035921	0.001007	0.282947	0.282923	0.000029	5.34	8.99	1.02	467	643	-0.97
GW05129.02	171	0.011950	0.000369	0.282913	0.282889	0.000021	4.13	7.84	0.76	507	716	-0.99
GW05129.03	171	0.060492	0.001804	0.282901	0.282877	0.000029	3.70	7.25	1.02	544	754	-0.95
GW05129.04	171	0.032843	0.000930	0.283022	0.282998	0.000028	7.98	11.6	0.99	360	473	-0.97
GW05129.05	171	0.016220	0.000517	0.283012	0.282988	0.000024	7.63	11.3	0.85	370	493	-0.98
GW05129.06	171	0.038412	0.001146	0.282949	0.282925	0.000028	5.42	9.04	1.01	466	639	-0.97
GW05129.07	171	0.035615	0.001023	0.282948	0.282924	0.000027	5.39	9.03	0.96	465	640	-0.97
GW05129.08	171	0.045436	0.001370	0.282925	0.282901	0.000028	4.55	8.16	0.98	503	696	-0.96
GW05129.09	171	0.032120	0.001011	0.283008	0.282984	0.000026	7.49	11.1	0.93	380	505	-0.97
GW05129.10	171	0.040583	0.001291	0.282940	0.282916	0.000027	5.07	8.69	0.94	481	662	-0.96
GW05129.11	171	0.015825	0.000486	0.282987	0.282962	0.000030	6.74	10.4	1.07	405	550	-0.99
GW05129.12	171	0.019720	0.000604	0.282971	0.282947	0.000024	6.19	9.88	0.85	428	586	-0.98
GW05129.13	171	0.025797	0.000731	0.282986	0.282962	0.000029	6.70	10.4	1.04	409	554	-0.98
GW05129.14	171	0.027677	0.000791	0.282919	0.282895	0.000026	4.35	8.01	0.91	504	705	-0.98
GW05129.15	171	0.017910	0.000564	0.282919	0.282895	0.000028	4.34	8.04	0.98	501	704	-0.98
GW05129.16	171	0.021989	0.000667	0.282959	0.282935	0.000023	5.77	9.45	0.81	446	613	-0.98
GW05129.17	171	0.041256	0.001176	0.282986	0.282962	0.000028	6.73	10.4	1.00	413	555	-0.96
GW05129.18	171	0.025949	0.000807	0.282963	0.282939	0.000029	5.90	9.56	1.04	442	606	-0.98
GW05129.19	171	0.035603	0.001064	0.282913	0.282889	0.000027	4.13	7.77	0.95	516	721	-0.97
GW05129.20	171	0.032856	0.000976	0.282941	0.282916	0.000027	5.11	8.76	0.95	476	658	-0.97

注:  $^{176}\text{Lu}$  衰变常数  $\lambda = 1.867 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$  (Soderlund *et al.*, 2004);  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}^*$  为用锆石标样 91500 校正后的值 (Wu *et al.*, 2006)

#### 4.1 正棋村岩体(GW05067)

正棋村岩体的锆石 U-Pb 年龄比较一致, 锆石同位素成分也比较均一(表 3),  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值在 0.282624 ~ 0.282675, 加权平均值为  $0.282645 \pm 0.000010$  ( $2\sigma, n = 14$ ),  $\varepsilon_{\text{Hf}}$  (190Ma) 范围在 (-1.14 ~ +0.63, 加权平均值为 (-0.46  $\pm$  0.30)。二阶段 Hf 模式年龄 ( $t_{\text{DM2}}$ ) 变化范围为 1190 ~ 1303Ma, 平均为 1257Ma。

#### 4.2 韩家园子(GW05099)

韩家园子岩体的锆石 U-Pb 年龄比较一致, 锆石同位素成分也比较一致(表 3),  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值在 0.282711 ~ 0.282813, 加权平均值为  $0.282742 \pm 0.000013$  ( $2\sigma, n = 14$ ),  $\varepsilon_{\text{Hf}}$  (188Ma) 均为正值, 范围在 +1.84 ~ +5.41, 加权平均值为 +2.93  $\pm$  0.46。二阶段 Hf 模式年龄 ( $t_{\text{DM2}}$ ) 相对较小, 在 884 ~ 1111Ma 之间, 平均为 1027Ma。

#### 4.3 兴华-翻身屯岩体(GW05085)

兴华-翻身屯岩体共分析了 22 个点, 其中 20 个点的 U-Pb 年龄与岩体的成岩年龄一致, 其  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值在 0.282619 ~ 0.282744, 加权平均值为  $0.282662 \pm 0.000014$  ( $2\sigma, n = 20$ ),  $\varepsilon_{\text{Hf}}$  (178Ma) 范围在 -2.82 ~ +2.82, 加权平均值为 -0.07  $\pm$  0.35。二阶段 Hf 模式年龄 ( $t_{\text{DM2}}$ ) 变化范围为 1109 ~ 1400Ma, 平均为 1223Ma。

#### 4.4 鸡尾甸子岩体

鸡尾甸子岩体进行了 2 个样品的锆石 Hf 同位素分析。

对 GW05112 样品的 22 颗锆石进行了 Hf 同位素分析, 其中有 11 个点的 U-Pb 年龄与岩体的成岩年龄一致, 其  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值范围在 0.282602 ~ 0.282695, 加权平均值为  $0.282638 \pm 0.000020$  ( $2\sigma, n = 11$ ),  $\varepsilon_{\text{Hf}}$  (181Ma) 范围在 (-2.06 ~ +1.14, 加权平均值为 -0.84  $\pm$  0.72)。二阶段 Hf 模式年龄 ( $t_{\text{DM2}}$ ) 变化范围为 1152 ~ 1356Ma, 平均为 1270Ma。有两颗谐和年龄较老 (466Ma、325Ma) 的捕获锆石的  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值略低, 分别为 0.282440 和 0.282499,  $\varepsilon_{\text{Hf}}$  ( $t$ ) 为 -1.95 和 -2.64, 二阶段 Hf 模式年龄 ( $t_{\text{DM2}}$ ) 为 1566 和 1502Ma。

对 GW05120 样品的 19 颗锆石进行了 Hf 同位素分析, 其中有 16 个点的 U-Pb 年龄与岩体的成岩年龄一致, 其中一个点 (01 点) 的  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  较高, 为 0.282932,  $\varepsilon_{\text{Hf}}$  (176Ma) 为 9.49, 二阶段 Hf 模式年龄 ( $t_{\text{DM2}}$ ) 为 614Ma。其余 15 个点的  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值比较一致, 范围在 0.282617 ~ 0.282697, 加权平均值为  $0.282649 \pm 0.000014$  ( $2\sigma, n = 15$ ),  $\varepsilon_{\text{Hf}}$  (176Ma) 范围在 -1.69 ~ +1.12, 加权平均值为 -0.58  $\pm$  0.51。二阶段 Hf 模式年龄 ( $t_{\text{DM2}}$ ) 变化范围为 1150 ~ 1322Ma, 平均为 1218Ma。两颗谐和年龄稍老 (193Ma、224Ma) 的捕获锆石的

Hf 同位素成分特征与具有成岩年龄的锆石基本相同。

#### 4.5 黑花山岩体(GW05129)

黑花山岩体的锆石 U-Pb 年龄比较一致, 锆石同位素成分也比较均一,  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值较其它样品明显偏高, 在 0.282877 ~ 0.282998 之间, 加权平均值为  $0.282931 \pm 0.000017$  ( $2\sigma, n = 20$ ),  $\varepsilon_{\text{Hf}}$  (171Ma) 高达 +7.25 ~ +11.64, 加权平均值为 +9.27  $\pm$  0.60。二阶段 Hf 模式年龄 ( $t_{\text{DM2}}$ ) 最小, 在 493 ~ 754Ma 之间, 平均为 624Ma。

## 5 讨论

### 5.1 花岗岩的形成时代

前人对本区花岗岩的定年根据主要为 K-Ar 法和 Rb-Sr 全岩等时线法获得的年龄, 详细的锆石年代学资料极少。由于 K-Ar 体系具有较低的封闭温度, 因此这些 K-Ar 年龄不能准确反映岩浆的侵位结晶时代。对于 Rb-Sr 全岩等时线法给出的年龄, 野外观察表明这些花岗岩体中有的含有围岩的捕虏体或与围岩发生同化混染作用, 导致 Rb-Sr 等时线年龄的含义不确定。

兴华-翻身屯岩体被前人定为新元古代花岗岩, 岩体本身没有同位素年龄数据, 定年依据是其与外河-韩家园子一带的新元古代花岗岩相似, 而后者在韩家园子北五号桥变质岩(兴华渡口群)中的一个淡色花岗岩脉(0.5 ~ 1m)取得了 838.8Ma 的 K-Ar 年龄。由于岩脉与岩体之间的关系不明确, 加之前人 K-Ar 数据的可信性等原因, 我们还不能对其做出具体评价。韩家园子岩体和正棋村岩体被前人定为早古生代花岗岩, 主要依据是该期岩体获得了 Rb-Sr 全岩等时线年龄分别为 458Ma 和 447Ma, 但具体采样地址和地质情况不详, 也没有报道年龄的原始数据。鸡尾甸子岩体和黑花山岩体被前人定为晚古生代花岗岩, 主要依据是鸡尾甸子岩体在二道盘查村附近获得一个样品的同位素年龄为 229.2Ma, 但该年龄的具体测定方法不详, 黑花山岩体在黑花山和滨南林场分别获得 308Ma 和  $328 \pm 170$ Ma 两个 K-Ar 年龄。前一个年龄误差范围不详, 后一个年龄的误差范围太大, 不能准确反映岩体的结晶年龄。

本文对上述 5 个代表性岩体 6 个样品的锆石 U-Pb 同位素测定结果表明, 韩家园子岩体的锆石 U-Pb 年龄为 188Ma, 正棋村岩体的锆石 U-Pb 年龄为 190Ma, 兴华-翻身屯岩体的锆石 U-Pb 年龄为 178Ma, 鸡尾甸子岩体的锆石 U-Pb 年龄为 176 ~ 181Ma, 黑花山岩体的锆石 U-Pb 年龄为 171Ma。本文所测试的锆石均为具有明显振荡环带的自形岩浆锆石, 所测样品的锆石数据点均位于 U-Pb 谐和线上及其附近, 表明这些年龄应代表岩浆侵位结晶的年龄。所以上述 5 个岩体的侵位时代均为侏罗纪。

综上所述, 本区早、中侏罗世花岗岩浆活动可以划分为早晚两期, 分别为 188 ~ 190Ma 和 171 ~ 181Ma。本文获得的

年代学新资料与大兴安岭其它地区的早、中侏罗世花岗岩的锆石 U-Pb 年龄结果完全可以对比(秦克章等,1999;苗天成等,2003;葛文春等,2005b)。

## 5.2 源区性质

一般认为具有正  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值的花岗质岩石来自亏损地幔或从亏损地幔中新生的年轻地壳物质的部分熔融,而本区大面积的花岗质岩石应来源于地壳岩石的部分熔融。本区侏罗纪花岗岩的 Hf 同位素成份变化较大 ( $\varepsilon_{\text{Hf}}(t) = -2.82 \sim +11.64$ ),反映了不同来源区物质的贡献。黑花山岩体 (GW05129) 的锆石  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值最高 (图 7),  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  最高达 +11.64,更靠近亏损地幔线 (图 8),其年轻的二阶段 Hf 模式年龄 (0.47 ~ 0.72Ga) 反映其源区物质为显生宙期间从亏损地幔中新生的年轻地壳物质。正棋村岩体 (GW05067)、兴华-翻身屯岩体 (GW05085)、鸡尾甸子岩体 (GW05112、GW05120) 4 个样品的锆石  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值集中分布在 0.2826 ~ 0.2827 之间 (图 7),  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  为  $-2.82 \sim +2.82$ ,分布于球粒陨石线附近 (图 8),其较老的二阶段 Hf 模式年龄 (平均为 1.2Ga) 反映了源区可能为新元古代增生的地壳物质。而韩家园子岩体 (GW05099) 锆石  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  比值和  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  值介于上述二者之间 (图 7, 8),但  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  均为正值,其二阶段 Hf 模式年龄明显低于正棋村岩体、兴华-翻身屯岩体和鸡尾甸子岩体,高于黑花山岩体,反映该岩体的源岩可能以新元古代增生的地壳物质 (类似正棋村岩体、兴华-翻身屯岩体和鸡尾甸子岩体的源岩) 为主,同时有显生宙增生的地壳物质 (类似黑花山岩体的源岩) 的贡献。因此,本区侏罗纪花岗岩的源区物质可能有两个来源,即显生宙增生的年轻地壳物质和新元古代增生的地壳物质,韩家园子岩体的源岩则可能是上述两个时期增生地壳物质的混合物。

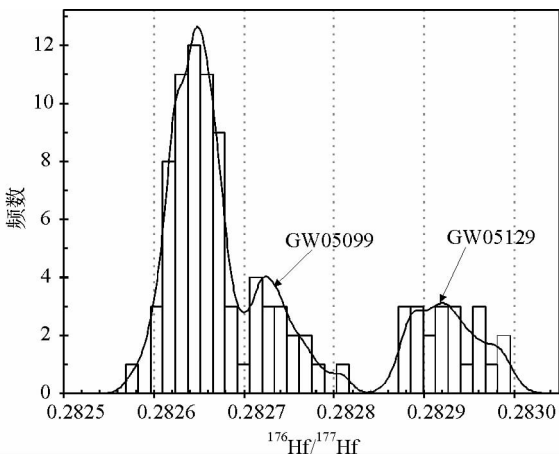


图 7 侏罗纪花岗岩质岩石的 Hf 同位素比值  
(只包括 U-Pb 年龄与岩体成岩年龄一致的锆石 Hf 同位素分析数据)  
Fig. 7 Zircon  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  ratios for zhe Jurassic granites of northeastern part in the Da Hinggan Mts.

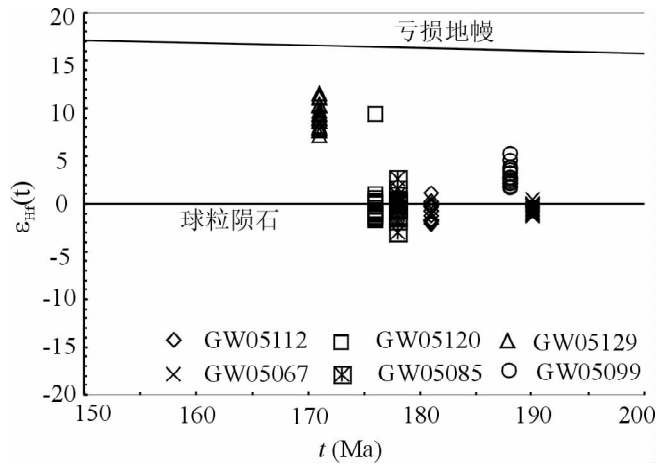


图 8 侏罗纪花岗岩质岩石的  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ -t 图解  
(只包括 U-Pb 年龄与岩体成岩年龄一致的锆石 Hf 同位素分析数据)  
Fig. 8  $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$  -t plot for the zircons from the Jurassic granites of northeastern part in the Da Hinggan Mts.

额尔古纳地块高 Sr 低 Yb 和低 Sr 高 Yb 两类花岗岩的 Hf 同位素并没有表现出明显的差别,如属于高 Sr 低 Yb 型的正棋村岩体与低 Sr 高 Yb 型的兴华-翻身屯岩体、鸡尾甸子岩体具有相似的 Hf 同位素组成和模式年龄,反映它们的源区物质都是新元古代增生的地壳物质,而兴安地块的黑花山岩体的源岩则为显生宙增生的地壳物质,额尔古纳地块的韩家园子岩体则为新元古代和显生宙增生地壳物质的混合物。因此,额尔古纳地块和兴安地块在地壳增生时间方面存在着明显的差异,而且显生宙的地壳增生作用对额尔古纳地块具有一定的影响。

## 5.3 两类花岗岩成因的地球化学制约

最近一些学者在研究中国东部中生代岩浆作用时,提出中国东部普遍发育一套埃达克质岩 (adakitic rock) 或称为“C”型埃达克岩 (C-type adakitic) (张旗等,2001; 许继峰等,2001; 王强等,2002; 刘红涛等,2002; 李承东等,2004),并推测当时中国东部发生了明显的地壳加厚作用,而引起国内地质学界的广泛关注。张旗等 (2005) 指出中国东部中生代花岗岩可以划分为高 Sr 低 Yb 和低 Sr 高 Yb 两类花岗岩,其中华北为高 Sr 低 Yb 型,华南和东北 (主要指大兴安岭地区) 主要为低 Sr 高 Yb 型。对于高 Sr 低 Yb 类似于埃达克岩的花岗岩和低 Sr 高 Yb 属“正常的”花岗岩之间的时空关系和成因联系方面的研究则相对较少。

本区高 Sr 低 Yb 型花岗岩以富铝 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 14.45 ~ 17.6%, 平均为 16.2%)、富钠 ( $\text{Na}_2\text{O}$ : 3.28% ~ 4.48%)、高 Sr (554.9 ~ 1019.6  $\mu\text{g}/\text{g}$ )、强烈亏损重稀土元素 (Yb: 0.52 ~ 1.86  $\mu\text{g}/\text{g}$ ) 而与 adakite 岩相似,但与典型的 adakite 岩相比,  $\text{K}_2\text{O}$  含量相对较高 ( $\text{K}_2\text{O} = 1.82 \sim 4.3\%$ , 平均为 2.87%), 明显比洋壳物质部分熔融形成的 adakite 岩平均的  $\text{K}_2\text{O}$  含量



(~1.72%) 高很多。含镁指数较低 ( $Mg^{\#}$ : 0.29 ~ 0.57, 平均为 0.43), 过渡元素含量也相对较低 (Cr 平均为  $21.3 \mu\text{g/g}$ , Ni 平均为  $9.05 \mu\text{g/g}$ )。因此可见, 本区高 Sr 低 Yb 型花岗岩的地球化学特征与俯冲板片熔融的典型 adakite 岩存在着一定的差别, 不是俯冲板片熔融的典型 adakite 岩, 而与增厚下地壳熔融成因的“C”型 adakite 岩相似 (张旗等, 2001)。本区低 Sr 高 Yb 型花岗岩的元素地球化学特征类似于正常组份的中酸性侵入岩。

不相容元素的比值在部分熔融和分离结晶过程中不发生分馏, 可以在很大程度上反映源区物质成分的特点, 如两类花岗岩的 Nb/Ta、Nb/Th、Ta/Th、Ce/Pb 及 La/Ce 和 Nb/U 基本相同, 反映二者之间可能为同源岩浆演化关系或具有相同/相似的源岩成分。本区两类花岗岩具有相似的主量元素含量和一致的主量元素变异演化趋势, 含镁指数和微量元素 Ni、Cr、Co、V 等的含量也相当。两类花岗岩具有不同的 Sr-SiO<sub>2</sub> 变异演化线 (图 9), 而且闪长岩也具有低 Sr 高 Yb 的地球化学特征, 表明低 Sr 高 Yb 花岗岩类不可能是高 Sr 低 Yb 花岗岩分异演化的产物。

不同元素在岩浆和矿物间的分配系数 (Evans and Hanson, 1993), 以及矿物的稳定性与压力 (深度) 的关系是导致岩浆成分变化的重要原因 (Rapp *et al.*, 1991; Rapp and Watson, 1995)。尽管目前关于 adakite 研究还存在着争论, 但实验岩石学的研究结果, 特别是最近关于 adakite 成因研究表明, adakite 岩浆形成于较高的压力条件已是人们的共识 (Defent and Drummond, 1990; Rapp *et al.*, 2003; Martin *et al.*, 2005; 张旗等, 2005; 肖龙等, 2004), 即镁铁质岩石在大于 1.2 GPa 的压力下, 由于斜长石不稳定而转变为石榴石, 岩石部分熔融形成的熔体具有 adakite 的地球化学属性。如上所述, 本区的高 Sr 低 Yb 型花岗岩虽然不同于典型的 adakite, 但很多特征更类似于张旗等 (2001) 所划分的“C”型 adakite。因此, 我们认为, 本文的高 Sr 低 Yb 型花岗岩形成于

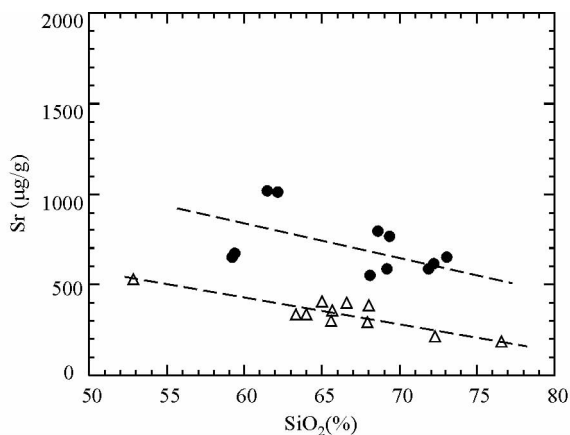


图 9 两类花岗质岩石的 Sr-SiO<sub>2</sub> 图解 (图例同图 4)

Fig. 9 The relationship diagram between Sr and SiO<sub>2</sub> of the two type granites

较高压力的下地壳, 而低 Sr 高 Yb 型花岗岩则可能形成于较低压力的中地壳。

东北地区, 特别是兴蒙造山带最东端的小兴安岭-张广才岭地区的中生代花岗岩主要以侏罗纪为主, 向南延至延边地区, 呈北北东-北东向带状展布 (孙德有等, 2001; 张艳斌等, 2002a, 2002b, 2004; 苗来成等, 2003), 本文研究的侏罗纪花岗岩位于该花岗岩带的最北端, 属于中国东北地区侏罗纪花岗岩带的一部分。大兴安岭东北部侏罗纪花岗岩具有与小兴安岭-张广才岭和延边地区相同的岩石组合, 即以花岗闪长岩和二长花岗岩为主, 少量石英闪长岩、正长花岗岩, 多为准铝质或弱过铝质、高钾钙碱性系列的 I 型花岗岩, 具有类似于活动大陆边缘花岗岩的岩石组合特征。因此, 上述侏罗纪花岗岩的时空分布及岩石组合特征暗示其可能形成于活动大陆边缘构造背景 (孙德有等, 2005; 葛文春等, 2005b), 即与古太平洋板块的俯冲有关。

本区侏罗纪两类花岗岩虽然显示出先后就位结晶关系, 但其时间间隔很短 (<10Ma), 应是同一构造体制下的产物。前已述及, 两类花岗岩浆的源区组成类似但起源深度不同, 一种可能的解释是, 在古太平洋板块的俯冲背景下, 地壳不同深度的岩石基本同时发生部分熔融, 形成不同类型的花岗质岩浆。这些起源于不同深度的岩浆上升、就位结晶形成两类不同地球化学特征的花岗岩。小兴安岭-张广才岭地区以及延边地区侏罗纪花岗岩也具有与本区类似的特征 (孙德有等, 2005; 张炯飞等, 2004), 它们可能具有相同的地球动力学背景和成因机制。

## 6 结论

(1) 大兴安岭东北部地区花岗岩锆石的 LA-ICP MS U-Pb 定年结果表明, 本区原定为新元古代、早古生代和晚古生代的花岗岩有相当一部分是早、中侏罗世花岗岩, 其侵位结晶时代为 190 ~ 171Ma。

(2) 研究区侏罗纪花岗岩以花岗闪长岩、二长花岗岩为主, 在地球化学上可以划分为两类: 一类是早侵入的低 Sr 高 Yb 型花岗岩; 另一类是晚侵入的高 Sr 低 Yb 型花岗岩, 具有类似埃达克岩的地球化学特征。

(3) Hf 同位素成分特征表明, 研究区两类花岗岩的源区物质为新元古代和显生宙期间增生的地壳物质及这两期增生地壳的混合物。

(4) 两类花岗岩虽具有相同或相似的源岩组成, 但起源深度不同, 其形成与古太平洋板块的俯冲背景下, 地壳不同深度岩石的部分熔融作用有关。

**致谢** 感谢中国科学院地质与地球物理研究所毛骞在锆石 CL 图像采集、西北大学地质学系柳小明在锆石 U-Pb 测试及中国科学院广州地球化学研究所刘颖和涂湘林在主、微量元素分析过程中的帮助。

## References

- Anderson T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report <sup>204</sup>Pb. *Chem. Geol.*, 192: 59–79
- Atherton MP, Petford N. 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust. *Nature*, 362: 144–146
- Bicherl TJ, Albarède F. 1997. The Lu-Hf isotope geochemistry of chondrites and the evolution of the mantle/crust system. *Earth and Planetary Science Letters*, 148: 243–258
- Chu NC, Taylor RN, Chavagnac V *et al.* 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
- Defant MJ and Drummond MS. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347: 662–665
- Drummond MS and Defant MJ. 1990. A model for trondhjemite-tonalitedacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons. *Journal of Geophysical Research*, 95 (13): 21503–21521
- Evans RC and Hanson GN. 1993. Accessory mineral fractionation of rare earth element (REE) abundance in granitoid rocks. *Chemical Geology*, 110: 69–93
- 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 Eguna block in the northern part of the Da Hinggan Mts. *Chinese Sci. Bulletin*, 50 (12): 1239–1247 (in Chinese with English abstract)
- Ge WC, Wu FY, Zhou CY, Zhang JH. 2005b. Zircon U-Pb ages and its significance of the Mesozoic granites in the Wlanhaote region, central Da Hinggan Mountain. *Acta Petrologica Sinica*, 21 (3): 749–762 (in Chinese with English abstract)
- Ge XY, Li XH, Chen ZG, Li WP. 2002. Geochemistry and petrogenesis of Jurassic high Sr/low Y granitoids in East China: Constrains on crustal thickness. *Chinese Science Bulletin*, 47: 961–968 (in Chinese with English abstract)
- 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 Great Xing'an Range, northeastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 423–440
- 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, Wang SG, Xie XL, Zhang JS. 2000. Genesis of positive  $\epsilon(\text{Nd}, t)$  granitoids in the Da Hinggan Mts-Mongo-Lia orogenic Belt and growth continental crust. *Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing)*, 7(2): 441–456 (in Chinese with English abstract)
- Jahn BM and Zhang JQ. 1984. Archean granulite gneisses from eastern Hubei Province, China: rare earth geochemistry and tectonic implication. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 85: 224–243
- Kay RW. 1978. Aleutian magnesian andesite: melts from subducted Pacific ocean crust. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 4: 117–132
- Li CD, Zhang Q, Miao LC, Meng XF. 2004. Mesozoic high-Sr, low-Y and low-Sr, low-Y type granitoids in the northern Hebei province: Geochemistry and petrogenesis and its relation to mineralization of gold deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 20 (2): 269–284 (in Chinese with English abstract)
- Lin Q, Ge WC, Wu FY, Sun DY, Cao L. 2004. Geochemistry of Mesozoic granites in Da Hinggan Ling ranges. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 403–412 (in Chinese with English abstract)
- Liu HT, Sun SH, Liu JM, Zai MG. 2002. The mesozoic high-Sr granitoids in the northern marginal region of North China Craton: geochemistry and source region. *Acta Petrologica Sinica*, 18(3): 257–274 (in Chinese with English abstract)
- Martin H, Smithies RH, Rapp R, Moyen JF, Champion D. 2005. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos*, 79: 1–24
- Miao LC, Fan WM, Zhang FQ, Liu DY, Jian P, Shi GH, Tao H, Shi YR. 2003. SHRIMP zircon geochronology and its implications on the Xinkailing-Keluo complex, Northwestern of Lesser Xing'an Range. *Chinese Science Bulletin*, 48(22): 2315–2323 (in Chinese)
- Qin KZ, Li HM, Li WS, Ishihara S. 1999. Intrusion and mineralization ages of the Wunugetushan porphyry Cu-Mo deposit, Inner Mongolia, Northwestern China. *Geological Review*, 45 (2): 181–185 (in Chinese with English abstract)
- Rapp RP, Shimizu N, Norman MD. 2003. Growth of early continental crust by partial melting of eclogite. *Nature*, 425: 605–609
- Rapp RP, Watson EB, Miller CF. 1991. Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalities. *Precambrian Research*, 51: 1–25
- Rapp RP, Watson EB. 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8–12 kbar: implications for continental growth and crust/mantle recycling. *J. Petrol.*, 36: 981–991
- Soderlund U, Patchett PJ, Vervoort JD, Isachsen CE. 2004. The <sup>176</sup>Lu decay constant determined by Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of Precambrian mafic intrusions. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 219: 311–324
- Sun DY, Suzuki K, Wu FY, Lu XP. 2005. CHIME dating and its application for Mesozoic granites of Huanggoushan, Jilin Province. *Geochimica*, 34(4): 306–314 (in Chinese with English abstract)
- Sun DY, Wu FY, Gao S. 2004. la-icpms zircon U-Pb age of the Qingshui pluton in the east Xiao Hinggan Mountains. *Acta Geoscientia Sinica*, 25 (2): 213–218 (in Chinese with English abstract)
- Sun DY, Wu FY, Lin Q and Lu XP. 2001. Petrogenesis and crust/mantle interaction of early Yanshanian Baishishan pluton in Zhanguangcai Range. *Acta Petrologica Sinica*, 17(2): 227–235 (in Chinese with English abstract)
- Sun DY, Wu FY, Li HM and Li Q. 2000. Emplacement age of the postorogenic A-type granites in Northwestern Lesser Xing'an Ranges, and its relationship to the eastward extension of Suolunshan-Hegenshan-Zhalai collisional suture zone. *Chin. Sci. Bull.*, 45 (20): 2217–2222 (in Chinese)
- Sun SS, McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in the Ocean Basins* (Saunders AD and Norry MJ, eds.), Geological Society Special Publication, 42: 313–345
- Veevers JJ, Saeed A, Belousova FA *et al.* 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-Science Reviews*, 68: 245–279
- Wang Q, Xu JF, Zhao ZH, Wang RJ, Qiu JX, Bao ZW. 2001. The petrogenesis and geodynamic significances of HREE depleted granitoids during Yanshan period in the Dabie Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 17 (4): 551–564 (in Chinese with English abstract)
- Wu FY, Jahn BM, Lo CH, Yui TF, Lin Q, Ge WC, Sun DY. 2003.

- Highly fractionated I-type granites in NE China (1): Geochronology and petrogenesis. *Lithos*, 66: 241 – 273
- Wu FY, Sun DY and Lin Q. 1999. Petrogenesis of the Phanerozoic granites and crustal growth in Northeast China. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 181 – 189 (in Chinese with English abstract)
- Wu FY, Sun DY, Li HM, Jahn BM, Wilde S. 2002. A-type granites in northeastern China; age and geochemical constraints on their petrogenesis. *Chemical Geology*, 187: 143 – 173
- Wu FY, Sun DY, Li HM and Wang XL. 2000. The zircon U-Pb ages of Songliao basement rocks. *Chin. Sci. Bull.*, 45: 656 – 660 (in Chinese)
- Wu FY, Yang JH, Liu XM. 2005. Geochronological Framework of the Mesozoic granitic magmatism in the Liaodong Peninsula, Northeast China. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 305 – 317 (in Chinese)
- Wu FY, Yang JH, Wilde SA, Zhang XO. 2005. Geochronology, petrogenesis and tectonic implications of Jurassic granites in the Liaodong Peninsula, NE China. *Chemical Geology*, 221: 127 – 156
- 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. *Chemical Geology*, 234: 105 – 126
- Woodhead J, Hergt J, Shelley M, et al. 2004. Zircon Hf-isotope analysis with an excimer laser, depth profiling, ablation of complex geometries, and concomitant age estimation. *Chemical Geology*, 209: 121 – 135
- Xiao L, Robert P RAPP, Xu J F. 2004. The role of deep processes controls on variation of compositions of adakitic rocks. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 219 – 225 (in Chinese with English abstract)
- 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(14): 1403 – 1410 (in Chinese)
- Xu JF, Wang Q, Xu YG, Zhao ZH, Xiong XL. 2001. Geochemistry of Anjishan intermediate-acid intrusive rocks in Ningzhen area: Constraint to origin of the magma with HREE and Y depletion. *Acta Petrologica Sinica*, 17(4): 576 – 584 (in Chinese with English abstract)
- 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. *Chin. Sci. Bull.*, 48: 1511 – 1520 (in Chinese)
- Zhang JF, Li ZT, Jin CZ. 2004. Adakites in northeastern China and mineralized implications. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 361 – 368 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Q, Li CD, Wang Y, Wang YL, Jin WJ, Jia XQ, Han S. 2005. Mesozoic high-Sr and Low Yb granitoids and low-Sr and high-Yb granitoids in eastern China; comparison and geological implications. *Acta Petrologica Sinica*, 21(6): 1527 – 1537 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Q, Qian Q, Wang EQ, Wang Y, Zhao TP, Hao J, Guo GJ. 2001. An east China Plateau in mid-late Yanshanian period: implication from adakites. *Scientia Geologica Sinica*, 36(2): 248 – 255 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Q, Xu JF, Wang Y, Xiao L, Liu HT, Wang YL. 2004. On the diversity of adakite. *Geological Bulletin of China*, 21: 431 – 435 (in Chinese)
- Zhang YB, Wu FY, Li HM, Lu XP, Sun DY and Zhou HY. 2002b. Single grain zircon U-Pb ages of the Huangniling granite in Jilin Province. *Acta Petrologica Sinica*, 18(4): 475 – 481 (in Chinese)
- Zhang YB, Wu FY, Sun DY, Li HM. 2002a. Single grain zircon U-Pb Ages of the "Earcynian" Miantian granites and Zhongping hypersthene diorite in the Yanbian Area. *Geological Review*, 48(4): 424 – 429
- Zhang YB, Wu FY, Zhai MG and Lu XP. 2004. The tectonic attributes of the Helong block and the eastern borderline of the north margin of North China. *Science in China (D)*, 34(9): 475 – 481 (in Chinese)

### 附中文参考文献

- 葛文春, 吴福元, 周长勇, Abdel Rahman AA. 2005a. 大兴安岭北部塔河花岗岩体的时代及对额尔古纳地块构造归属的制约. *科学通报*, 50(12): 1239 – 1246
- 葛文春, 吴福元, 周长勇, 张吉衡. 2005b. 大兴安岭中部乌兰浩特地区中生代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义. *岩石学报*, 21(3): 749 – 760
- 葛文春, 隋振民, 吴福元, 张光衡, 徐学纯, 程瑞玉. 2007. 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. *岩石学报*, 23(2): 423 – 440
- 葛小月, 李献华, 陈志刚, 李伍平. 2002. 中国东部燕山期高 Sr 低 Y 型中酸性火成岩的地球化学特征及成因: 对中国东部地壳厚度的制约. *科学通报*, 47(6): 474 – 480
- 黑龙江省地质矿产局. 1993. 黑龙江省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1 – 734
- 洪大卫, 王式洗, 谢锡林, 张季生. 2000. 兴蒙造山带正  $\Sigma$  (Nd, t) 值花岗岩的成因和大陆地壳生长. *地学前缘*, 7(2): 441 – 456
- 李承东, 张旗, 苗来成, 孟宪峰. 2004. 冀北中生代高 Sr 低 Y 和低 Sr 低 Y 型花岗岩: 地球化学、成因及其与成矿作用的关系. *岩石学报*, 20(2): 269 – 284
- 林强, 葛文春, 吴福元, 孙德有, 曹林. 2004. 大兴安岭中生代花岗岩的地球化学. *岩石学报*, 20(3): 403 – 412
- 刘红涛, 孙世华, 刘建明, 翟明国. 2002. 华北克拉通北缘中生代高锶花岗岩类: 地球化学与源区性质. *岩石学报*, 18(3): 257 – 274
- 苗来成, 范蔚茗, 张福勤, 刘敦一, 简平, 施光海, 陶华, 石玉若. 2003. 小兴安岭西北部新开岭-科洛杂岩锆石 SHRIMP 年代学研究及其意义. *科学通报*, 48(22): 2315 – 2323
- 秦克章, 李惠民, 李伟实, Ishihara Shunso. 1999. 内蒙古乌奴格吐山斑岩铜钼矿床的成岩、成矿时代. *地质论评*, 45(2): 181 – 185
- 孙德有, 铃木和博, 吴福元, 路孝平. 2005. 吉林省南部荒沟山地区中生代花岗岩 CHIME 定年. *地球化学*, 34(4): 305 – 314
- 孙德有, 吴福元, 高山. 2004. 小兴安岭东部清水岩体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定. *地球学报*, 25(2): 213 – 218
- 孙德有, 吴福元, 李惠民, 林强. 2000. 小兴安岭西北部后造山 A 型花岗岩的时代及与索伦山-贺根山-扎赉特碰撞拼合带东延的关系. *科学通报*, 45(20): 2217 – 2222
- 孙德有, 吴福元, 林强, 路孝平. 2001. 张广才岭燕山早期白石山岩体的成因与壳幔相互作用. *岩石学报*, 17: 213 – 218
- 王强, 许继峰, 赵振华, 王人镜, 邱家骧, 包志伟. 2001. 大别山燕山期亏损重稀土元素花岗岩类的成因及动力学意义. *岩石学报*, 17(4): 551 – 564
- 吴福元, 孙德有, 李惠民, 汪菽林. 2000. 松辽盆地基底岩石锆石 U-Pb 年龄. *科学通报*, 45: 656 – 660
- 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(2): 181 – 189
- 吴福元, 杨进辉, 柳小明. 2005. 辽东半岛中生代花岗岩浆作用的年

- 代学格架. 高校地质学报, 11(3): 305 - 317
- 肖龙, Rapp R P, 许继峰. 2004. 深部过程对埃达克质岩石成分的制约. 岩石学报, 20(2): 219 - 225
- 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(14): 1403 - 1410
- 许继峰, 王强, 王义刚, 赵振华, 熊小林. 2001. 宁镇地区中生代安基山中酸性侵入岩的地球化学: 亏损重稀土和钇的岩浆产生的限制. 岩石学报, 17(4): 576 - 584
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 2003. 中国东部新生代侵入体的锆石激光探针年龄测定与稀土元素成分分析: 对渐新世幔源岩浆底侵作用和地壳抬升的指示. 科学通报, 48: 1511 - 1520
- 张炯飞, 李之彤, 金成洙. 2004. 中国东北部地区埃达克岩及其成矿意义. 岩石学报, 20(2): 361 - 368
- 张旗, 李承东, 王焰, 王元龙, 金惟俊, 贾秀勤, 韩松. 2005. 中国东部中生代高 Sr 低 Yb 和低 Sr 高 Yb 型花岗岩: 对比及其地质意义. 岩石学报, 21(6): 1527 - 1537
- 张旗, 钱青, 王二七, 王焰, 赵太平, 郝杰, 郭光军. 2001. 燕山中晚期的“中国东部高原”: 埃达克岩的启示. 地质科学, 36: 248 - 255
- 张旗, 许继峰, 王焰, 肖龙, 刘红涛, 王元龙. 2004. 埃达克岩的多样性. 地质通报, 23: 959 - 965
- 张艳斌, 吴福元, 李惠民, 路孝平, 孙德友, 周红英. 2002b. 吉林黄泥岭花岗岩体的单颗粒锆石 U-Pb 年龄. 岩石学报, 18(4): 475 - 481
- 张艳斌, 吴福元, 翟明国, 路孝平. 2004. 和龙地块的构造属性与华北地台北缘东段边界. 中国科学(D 辑), 34(9): 795 - 806
- 张艳斌, 吴福元, 孙德有, 李惠民. 2002a. 延边“早海西期”棉花花岗岩体和仲坪紫苏辉石闪长岩的单颗粒锆石 U-Pb 定年. 地质论评, 48(4): 424 - 429