

内蒙古西部呼伦陶勒盖地区花岗岩类的初步研究

韩宝福¹, 张 臣¹, 赵 磊¹, 任 荣¹, 徐 钊¹, 陈家富¹, 张 磊¹,
周印章¹, 宋 彪²

(1. 教育部造山带与地壳演化重点实验室, 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871;
2. 北京离子探针中心, 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037)

摘 要: 靠近中蒙边界的内蒙古西部呼伦陶勒盖地区的中元古界和石炭系中产出数个花岗岩体, 其中以英格特-巴格毛道岩体的出露面积最大, 岩性变化显著, 包括石英闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩, 含有围岩的残留体, 并被年轻的花岗岩和伟晶岩等侵入。以前的资料显示该岩体是晚古生代形成的, 而其他红色的花岗岩和钾长花岗岩小岩体(如库楚乌拉和一连)是中生代形成的。SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果显示, 英格特-巴格毛道岩体的年龄为 313 ± 5 Ma, 相当于晚石炭世。原定为中生代的库楚乌拉和一连两个红色花岗岩体的年龄分别为 277 ± 2 Ma 和 278 ± 4 Ma, 相当于早二叠世, 而侵入于英格特-巴格毛道岩体中的石英二长岩的年龄为 130 ± 2 Ma, 相当于早白垩世。晚石炭世花岗岩具有 I-A 型过渡的元素地球化学特征, 而早二叠世花岗岩具有 A 型花岗岩的特征, 属于铝质 A 型花岗岩。晚古生代花岗岩的共同特征是均以具正的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值(0.90~3.43)为特征, 具有新生地壳的性质, 是内蒙古西部地区陆壳生长的标志。而早白垩世石英二长岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值为 -8.71, 指示岩浆起源可能以壳源物质为主, 有地幔物质参与。

关键词: 花岗岩类, 锆石年代学, 同位素, 地壳生长, 内蒙古

中图分类号: P588.12⁺1; P597

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)06-0741-09

A preliminary study of granitoids in western Inner Mongolia

HAN Bao-fu¹, ZHANG Chen¹, ZHAO Lei¹, REN Rong¹, XU Zhao¹, CHEN Jia-fu¹, ZHANG Lei¹,
ZHOU Yin-zhang¹ and SONG Biao²

(1. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution of Ministry of Education, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Beijing HSRIMP Center, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: In the Huluntaolegai area of western Inner Mongolia, close to China-Mongolia border, several granitoid plutons occur in the Mesoproterozoic and Carboniferous country rocks, of which the Yinggete-Bagamaode pluton is the largest one. This pluton has greatly varied lithologies, composed of quartz diorite, granodiorite and granite, which contain abundant relicts of country rocks and have experienced intrusion of younger granites and pegmatites. According to previous data, the Yinggete-Bagamaode pluton may be Late Paleozoic in age, whereas other small plutons dominated by red granite and potassium feldspar granite such as the Kuchuwula and Yilian plutons, which occur within or to the west of the largest pluton, were possibly emplaced in the Mesozoic. Unfortunately, neither reliable chronological constraints nor geochemical data for these plutons are available. In view of this situation, the authors conducted a preliminary study of these plutons in order to determine their

收稿日期: 2010-04-01; 修订日期: 2010-04-12

基金项目: 国家重点基础研究规划项目(2007CB411305); 国家科技支撑计划重点项目(2006BAB07B08); 中国地质调查局项目(1212010611803)

作者简介: 韩宝福(1960-), 教授, 博士生导师, 构造地质学专业, E-mail: bfhfan@pku.edu.cn.

emplacement ages and geochemical characteristics. SHRIMP zircon U-Pb dating reveals that the Yinggete-Bage-maode pluton was emplaced at 313 ± 5 Ma (Late Carboniferous), and this pluton was cut by the quartz monzonite at 130 ± 2 Ma (Early Cretaceous), whereas the Kuchuwula and Yilian red granite plutons were emplaced at 277 ± 2 and 278 ± 4 Ma, respectively, suggesting products of Early Permian instead of Mesozoic magmatism. Geochemically, Yinggete-Bage-maode pluton shares characteristics of I- and A- type granites, with $10\,000\text{ Ga/Al}$ of $2.15 \sim 3.04$ and negative Ba, Nb, Ta, P, and Ti anomalies, while the Kuchuwula and Yilian plutons are aluminous A-type granites, showing significantly negative Ba, Nb, Ta, P and Ti anomalies and high $10\,000\text{ Ga/Al}$ ratios ($4.02 \sim 4.89$). All the Late Paleozoic plutons are characterized by positive $\epsilon\text{Nd}(t)$ values ($0.90 \sim 3.43$), like the coeval granitoids in North Xinjiang, Mongolia, and Northeast China in this respect, and thus are indicative of crustal growth in the study area. In contrast, the Early Cretaceous quartz monzonite has significantly negative $\epsilon\text{Nd}(t)$ value (-8.71), implying a dominantly crustal origin, possibly derived from the Mesoproterozoic metamorphic rocks in the study area, with some involvement of depleted-mantle derived materials.

Key words: granitoid; zircon age; isotope; crustal growth; Inner Mongolia

中亚造山带是全球规模最大的由大陆和大洋地体组成的显生宙增生造山带,占据了西起乌拉尔山东至锡霍特-阿林山脉、北自北冰洋南抵华北克拉通和塔里木克拉通之间的广大区域(图1)。中国北方造山带是

古生代花岗岩普遍以高(正) $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值为显著特征,是大陆生长的重要标志。近年来,中国北方造山带的花岗岩研究取得了长足进步,发表了大量高质量的锆石 U-Pb 年代学和 Sr-Nd 同位素等资料,为研究中国北方造山带乃至中亚造山带的构造演化和地壳

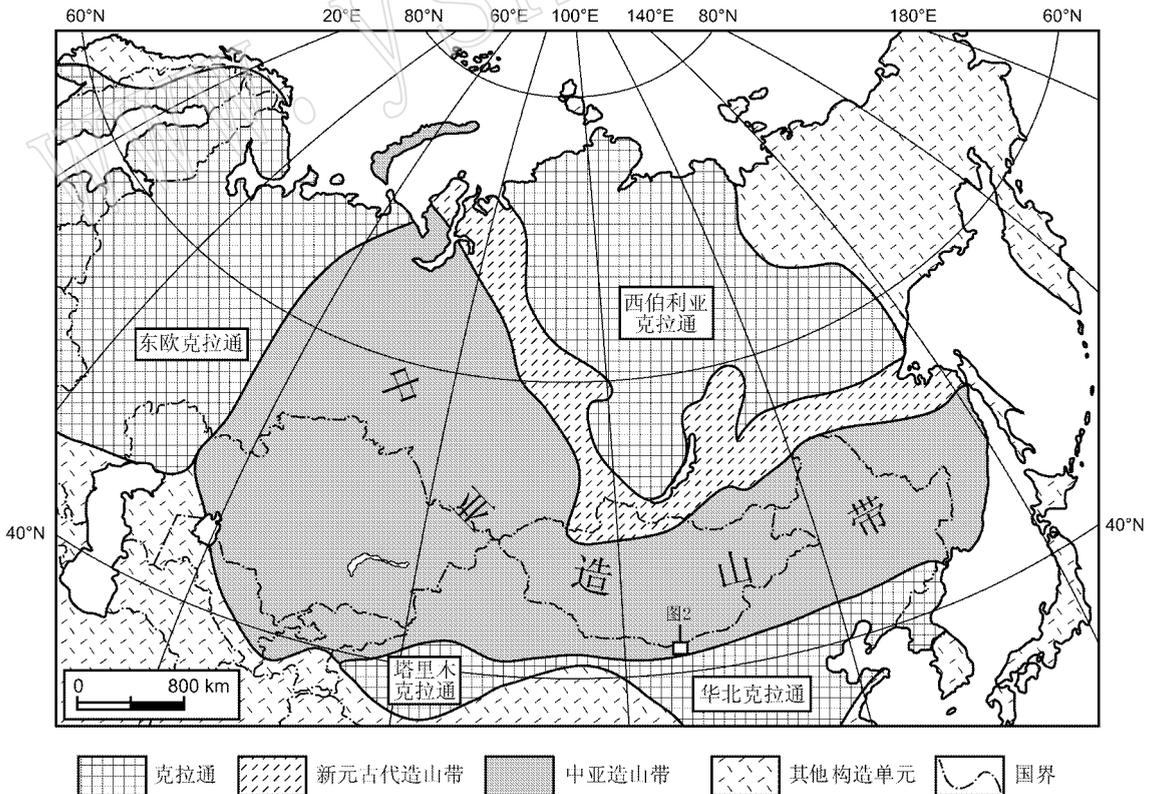


图1 中亚造山带的范围和本文研究区在中亚造山带的位置

Fig. 1 Limits of the Central Asian orogenic belt and location of the study area in the Central Asian orogenic belt

生长等重要问题奠定了必要的基础。但相对于中国东北-内蒙古二连和新疆北部,位于中国北方造山带中段的内蒙古西部地区(图 1)的花岗岩研究明显滞后,资料匮乏,亟待开展工作。本文报道的是对内蒙古西部呼伦陶勒盖地区花岗岩研究的初步结果。

1 地质背景

内蒙古西部呼伦陶勒盖地区位于乌拉特后旗,靠近中蒙边界。这里地处戈壁荒漠地区,岩石露头普遍很差。在东经 105°00'至 106°30'、北纬 41°20'至 42°00'的范围内,在大面积分布的白垩系之中,出露有中元古界和上石炭统。中元古界主要为一套变质岩系,包括二长黑云片岩、黑云斜长片岩、石榴黑云石英片岩、绢云片岩和石英片岩等。上石炭统的主要岩性包括碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩等,有一定程度的变质,但变质程度很浅。灰岩透镜体中含有苔藓虫、腕足、珊瑚、海百合茎等化石。上石炭统之上被白垩系不整合覆盖。

中元古界和上石炭统被花岗岩、辉长岩等岩体侵入(图 2),其中的花岗岩被认为是晚古生代和中生代两期岩浆活动的产物(内蒙古自治区地质矿产局,1991)。晚古生代(华力西中期)花岗岩以位于研究

区中部的英格特-巴格毛德花岗岩体为代表,它们是研究区内出露面积最大的岩体。在英格特-巴格毛德岩体内部常见中元古界变质岩的残余岩块。岩体内发育各种岩性的岩脉,如花岗岩、伟晶岩、闪长玢岩、辉绿岩等。沿着英格特-巴格毛德花岗岩体的西北边界,发育北东走向的构造变形带,岩体和围岩均发生韧性变形,发育强弱不等的片麻状或糜棱状构造。而中生代(燕山期)花岗岩则以肉红色和浅肉红色钾长花岗岩、似斑状花岗岩、二长花岗岩、黑云母花岗岩等为特征,在研究区西部靠近中蒙国界处的库楚乌拉和一连花岗岩体,它们侵入在上石炭统和辉长岩之中。在英格特-巴格毛德岩体的西南也有出露中生代花岗岩产出。此外,中生代花岗岩还以小型侵入体产出在英格特-巴格毛德岩体之中。

显然,呼伦陶勒盖地区花岗岩的时代需可靠的同时素年代学资料给予约束。这些花岗岩的元素和 Nd 同位素地球化学特征及其意义也需要开展研究。

2 分析方法

岩石样品的主要氧化物分析在北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室(XRF, ARLADVANT XP+)、微量元素分析在西北大学大陆动力学国家重

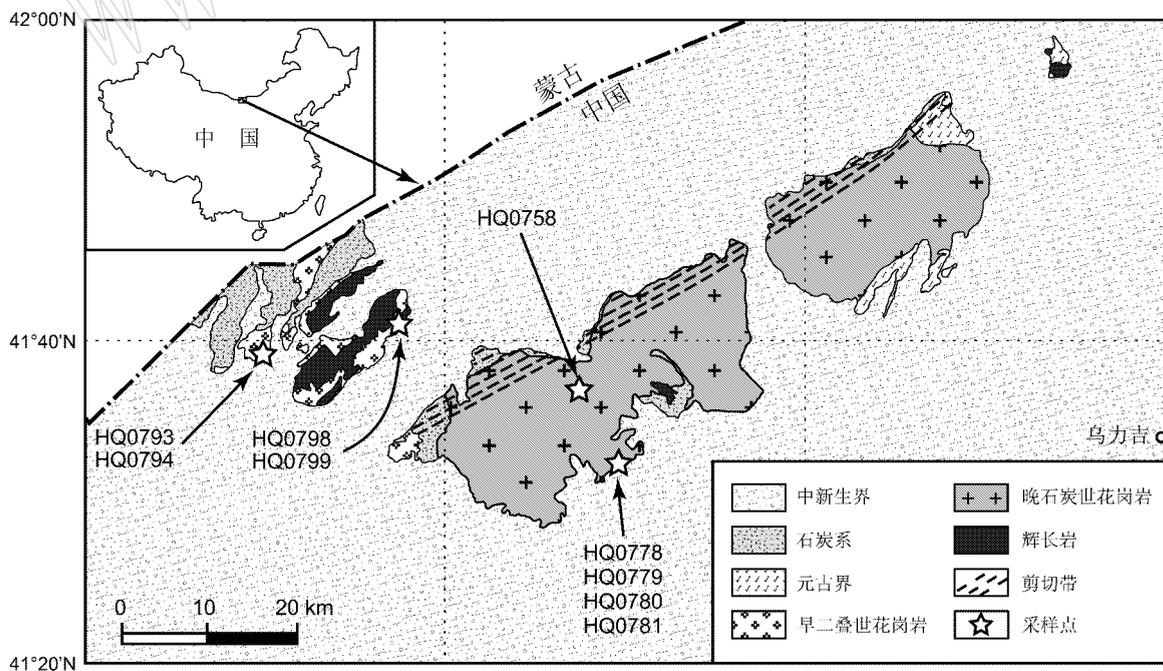


图 2 内蒙古西部呼伦陶勒盖地区地质简图及采样点位置

Fig. 2 Geological sketch map of western Inner Mongolia, showing the distribution of granite plutons and sampling locations

点实验室完成 (ICP-MS, Perkin Elmer ELAN 6100DRC), Nd 同位素分析在中国科学院地质与地球物理研究所 (TIMS, Finnigan MAT 262) 完成。

采用常规方法从样品中分选出锆石后,在北京离子探针中心制靶 (宋彪等, 2002), 然后拍摄待测锆石和标准锆石 TEMORA 1 (年龄值为 417 Ma) 的透射光、反射光和阴极发光图像。阴极发光显微图像是用北京大学电子显微镜室配置 MONOCL3 阴极发光器的 Quanta 200FEG 扫描电子显微镜拍摄的。根据图像特征, 在环带结构发育较好、裂隙较少的锆石上选取好定年光斑位置后, 在北京离子探针中心 SHRIMP II 型离子探针上完成 U-Th-Pb 同位素分析。TEMORA 1 和待测锆石的 U、Th、Pb 含量用标准锆石 SL13 标定, 而锆石 U-Th-Pb 同位素比值用 TEMORA1 标定。用 SQUID (Ludwig, 2002) 和 ISOPLOT (Ludwig, 2003) 程序完成数据处理、年龄计算和绘图。表 1 列出的 SHRIMP 分析数据是每个锆石点连续 5 次分析的平均值, 误差为 1σ , $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄是误差为 95% 置信度的结果。

3 定年样品和锆石 U-Pb 年龄

样品 HQ0758 为未变形的石英二长岩, 取自英格特-巴格毛德花岗岩体的中心部位, 地理坐标为北纬 $41^{\circ}36'54''$ 、东经 $105^{\circ}41'12''$ 。半自形粒状结构, 块状构造, 主要矿物组成为斜长石 (40%)、钾长石 (30%)、角闪石 (10%)、黑云母 (10%) 和石英 (5%), 暗色矿物局部发生绿泥石化, 局部可见方解石。可能由于破碎过度的原因, 从样品中分离的锆石主要为晶体的碎片, 形态完整的颗粒稀少。在 CL 图像上, 多以平行生长条带为特征, 个别颗粒可见环状生长环带, 有些颗粒发育宽窄不一的亮边。对该样品共测定了 12 颗锆石, 其中 10 个点集中成群, 位于谐和线上或附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 124~135 Ma 之间, 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 129.8 ± 2.4 Ma, 相当于早白垩世 (图 3a)。另外两个点 (8.1 和 11.1) 偏离较远, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分别为 114 和 110 Ma。

样品 HQ0781 为似斑状花岗岩, 取自英格特-巴格毛德花岗岩体的东南边缘, 地理坐标为北纬 $41^{\circ}32'07''$ 、东经 $105^{\circ}44'33''$ 。块状构造, 似斑状结构, 斑晶为斜长石和钾长石, 基质为斜长石和石英。矿物组成为石英 (40%)、斜长石 (40%)、钾长石 (10%)、黑云母 (10%)。锆石以柱状晶体为主, 生长环带清晰,

有的颗粒显示明显的核幔结构。该样品共测定了 12 颗锆石, 皆集中在谐和线上或附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 302~323 Ma 之间, 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 313.3 ± 4.5 Ma, 相当于晚石炭世 (图 3b)。

样品 HQ0794 取自库楚乌拉岩体, 为未变形的紫红色中细粒花岗岩, 采样点的地理坐标为北纬 $41^{\circ}38'59''$ 、东经 $105^{\circ}14'42''$ 。半自形粒状结构, 块状构造, 主要矿物组成为石英 (30%)、斜长石 (15%)、钾长石 (45%), 含很少量的黑云母, 蠕虫结构发育, 并含有较多的细小石英脉。锆石以短柱状晶体为主, 发育环状生长环带, 个别颗粒含有清晰的核。对该样品共测定了 11 颗锆石, 其中 9 个点集中成群, 位于谐和线上或附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 271~279 Ma 之间, 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 277.1 ± 2.1 Ma, 相当于早二叠世 (图 3c)。另外两个数据点中, 一个数据点 (1.1) 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄相对偏小, 为 265 Ma, 另一个数据点 (7.1) 来自锆石核, 偏离其他数据点很远, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 1 121 Ma, 可能指示捕获的是中元古代晚期的锆石。

样品 HQ0799 取自一连岩体, 为未变形的肉红色花岗岩, 采样点的地理坐标为北纬 $41^{\circ}41'02''$ 、东经 $105^{\circ}26'03''$ 。块状构造, 嵌晶结构, 蚀变强烈。主要矿物组成为石英 (20%)、钾长石 + 条纹长石 (50%)、斜长石 (30%)。锆石以柱状晶体为主, 环状生长环带清晰。对该样品共测定了 11 颗锆石, 其中 10 个点集中成群, 位于谐和线上或附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在 266~285 Ma 之间, 它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 277.9 ± 4.4 Ma, 也相当于早二叠世 (图 3d)。一个点 (1.1) 虽然位于谐和线上, 但其偏离其他数据点很远, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 219 Ma, 明显年轻。

4 岩石化学和地球化学特征

晚石炭世英格特-巴格毛德花岗岩样品以高 SiO_2 含量为特征 (表 2), 全碱含量在 6.62~8.71% 之间, $A/\text{CNK} = 1.02 \sim 1.05$, $A/\text{NK} = 1.10 \sim 1.34$, 属于过铝花岗岩。和英格特花岗岩样品相比较, 早二叠世库楚乌拉和一连红色花岗岩样品具有更高的 SiO_2 和更低的 Al_2O_3 和 CaO 含量 (表 2), 全碱含量 (7.53~8.49%) 和 A/CNK (1.01~1.06) 值差别不大, 而 A/NK (1.05~1.08) 值较低, 但仍属于过铝花岗岩。白垩纪石英二长岩明显低 SiO_2 , 富 Fe_2O_3^* 和 CaO , $A/\text{CNK} = 0.83$, $A/\text{NK} = 1.50$, 属于准铝花岗岩。

表 1 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分析结果

Table 1 SHRIMP zircon U-Pb data for granitoids in western Inner Mongolia

Spot	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$w_b/10^{-6}$			Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}(1\sigma)$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}(1\sigma)$	err corr
		U	Th	$^{206}\text{Pb}^*$					
HQ0758									
1	1.97	74	80	1.30	1.09	128.6 ± 3.2	0.156 ± 0.032 8	0.020 14 ± 0.000 504	0.117
2	1.00	132	113	2.44	0.85	135.7 ± 2.2	0.162 ± 0.019 4	0.021 27 ± 0.000 340	0.140
3	1.22	200	212	3.61	1.06	132.3 ± 2.0	0.138 ± 0.013 8	0.020 74 ± 0.000 311	0.149
4	1.35	182	186	3.24	1.02	130.0 ± 1.9	0.142 ± 0.015 6	0.020 41 ± 0.000 306	0.134
5	0.00	113	113	2.03	1.00	130.3 ± 2.4	0.190 ± 0.012 5	0.020 87 ± 0.000 376	0.269
6	1.57	163	72	2.77	0.44	124.7 ± 3.2	0.117 ± 0.017 6	0.019 42 ± 0.000 505	0.178
7	1.11	198	238	3.58	1.20	132.4 ± 2.1	0.109 ± 0.016 4	0.020 76 ± 0.000 332	0.106
8	0.00	43	27	0.669	0.63	114.6 ± 2.9	0.148 ± 0.014 8	0.017 94 ± 0.000 466	0.248
9	0.61	364	330	6.25	0.91	126.8 ± 1.4	0.130 ± 0.011 6	0.019 87 ± 0.000 219	0.126
10	3.71	65	56	1.13	0.87	125.8 ± 5.5	0.173 ± 0.064 0	0.019 71 ± 0.000 867	0.120
11	0.00	134	56	1.98	0.42	110.0 ± 2.2	0.153 ± 0.010 9	0.017 20 ± 0.000 344	0.286
12	2.85	48	40	0.838	0.83	125.4 ± 4.0	0.134 ± 0.045 6	0.019 65 ± 0.000 648	0.095
HQ0781									
1	0.74	145	72	6.21	0.49	311.1 ± 4.8	0.332 ± 0.026 2	0.049 44 ± 0.000 791	0.198
2	0.42	182	97	7.70	0.53	308.0 ± 5.7	0.354 ± 0.022 6	0.048 94 ± 0.000 930	0.299
3	0.15	465	227	19.4	0.49	305.9 ± 3.5	0.351 ± 0.012 3	0.048 60 ± 0.000 583	0.339
4	0.56	165	94	7.12	0.57	315.0 ± 3.6	0.367 ± 0.023 5	0.050 08 ± 0.000 601	0.183
5	0.62	390	220	16.3	0.56	304.4 ± 6.6	0.344 ± 0.017 5	0.048 40 ± 0.001 065	0.436
6	0.54	147	103	6.37	0.70	315.7 ± 3.6	0.389 ± 0.019 8	0.050 20 ± 0.000 602	0.231
7	0.61	203	112	8.81	0.55	316.0 ± 3.3	0.348 ± 0.020 5	0.050 24 ± 0.000 553	0.181
8	0.18	321	156	14.2	0.49	323.6 ± 2.6	0.365 ± 0.017 9	0.051 47 ± 0.000 417	0.164
9	0.60	133	108	5.51	0.81	302.6 ± 4.3	0.375 ± 0.028 5	0.048 05 ± 0.000 673	0.190
10	0.00	245	131	10.7	0.53	318.1 ± 2.9	0.367 ± 0.013 2	0.050 58 ± 0.000 475	0.262
11	0.00	204	84	8.51	0.41	306.1 ± 3.2	0.382 ± 0.013 3	0.048 63 ± 0.000 535	0.306
12	1.10	106	61	4.48	0.58	306.1 ± 4.6	0.344 ± 0.030 6	0.048 64 ± 0.000 730	0.173
HQ0794									
1	0.67	235	105	8.53	0.45	265.2 ± 3.0	0.322 ± 0.024 5	0.041 99 ± 0.000 462	0.149
2	1.36	110	33	4.23	0.30	279.6 ± 4.5	0.310 ± 0.040 3	0.044 32 ± 0.000 709	0.125
3	1.08	243	97	9.17	0.40	273.7 ± 5.6	0.312 ± 0.024 6	0.043 37 ± 0.000 911	0.266
4	0.73	260	106	9.74	0.41	272.8 ± 3.0	0.346 ± 0.021 8	0.043 23 ± 0.000 467	0.180
5	0.52	244	95	9.33	0.39	279.1 ± 2.9	0.338 ± 0.020 6	0.044 24 ± 0.000 487	0.173
6	0.00	299	124	11.0	0.41	271.2 ± 6.9	0.335 ± 0.014 7	0.043 00 ± 0.001 118	0.586
7	0.07	1 170	130	191	0.11	1 121.4 ± 6.1	2.013 ± 0.017 5	0.190 0 ± 0.001 064	0.648
8	0.43	275	120	10.4	0.43	277.3 ± 3.8	0.335 ± 0.025 7	0.043 95 ± 0.000 615	0.181
9	0.31	714	375	27.2	0.53	278.7 ± 1.7	0.316 8 ± 0.008 24	0.044 18 ± 0.000 269	0.232
10	0.54	229	83	8.66	0.36	276.9 ± 3.1	0.330 ± 0.024 4	0.043 89 ± 0.000 483	0.154
11	0.94	334	152	12.6	0.46	274.1 ± 3.7	0.302 ± 0.022 3	0.043 37 ± 0.000 607	0.185
HQ0799									
1	0.83	248	90	7.42	0.36	219.0 ± 2.5	0.234 ± 0.023 4	0.034 56 ± 0.000 415	0.114
2	0.63	298	126	10.9	0.42	266.7 ± 2.6	0.303 ± 0.018 8	0.042 25 ± 0.000 418	0.159
3	1.03	246	95	9.15	0.39	270.6 ± 3.6	0.295 ± 0.021 5	0.042 87 ± 0.000 600	0.186
4	0.36	344	119	13.4	0.35	285.0 ± 2.7	0.305 ± 0.015 9	0.045 20 ± 0.000 434	0.186
5	0.42	210	96	7.97	0.46	277.3 ± 3.3	0.313 ± 0.019 4	0.043 95 ± 0.000 527	0.198
6	0.55	261	87	10.1	0.33	283.6 ± 3.0	0.313 ± 0.016 3	0.044 98 ± 0.000 495	0.205
7	1.02	242	98	9.14	0.40	275.0 ± 3.1	0.296 ± 0.022 2	0.043 58 ± 0.000 523	0.154
8	1.02	249	89	9.54	0.36	278.5 ± 3.1	0.302 ± 0.026 9	0.044 14 ± 0.000 530	0.130
9	0.29	395	202	15.0	0.51	278.3 ± 2.6	0.312 ± 0.011 2	0.044 12 ± 0.000 424	0.268
10	1.10	236	85	9.03	0.36	278.2 ± 3.0	0.313 ± 0.018 2	0.044 10 ± 0.000 485	0.192
11	0.68	331	121	12.9	0.37	284.1 ± 2.7	0.322 ± 0.020 3	0.045 06 ± 0.000 437	0.155

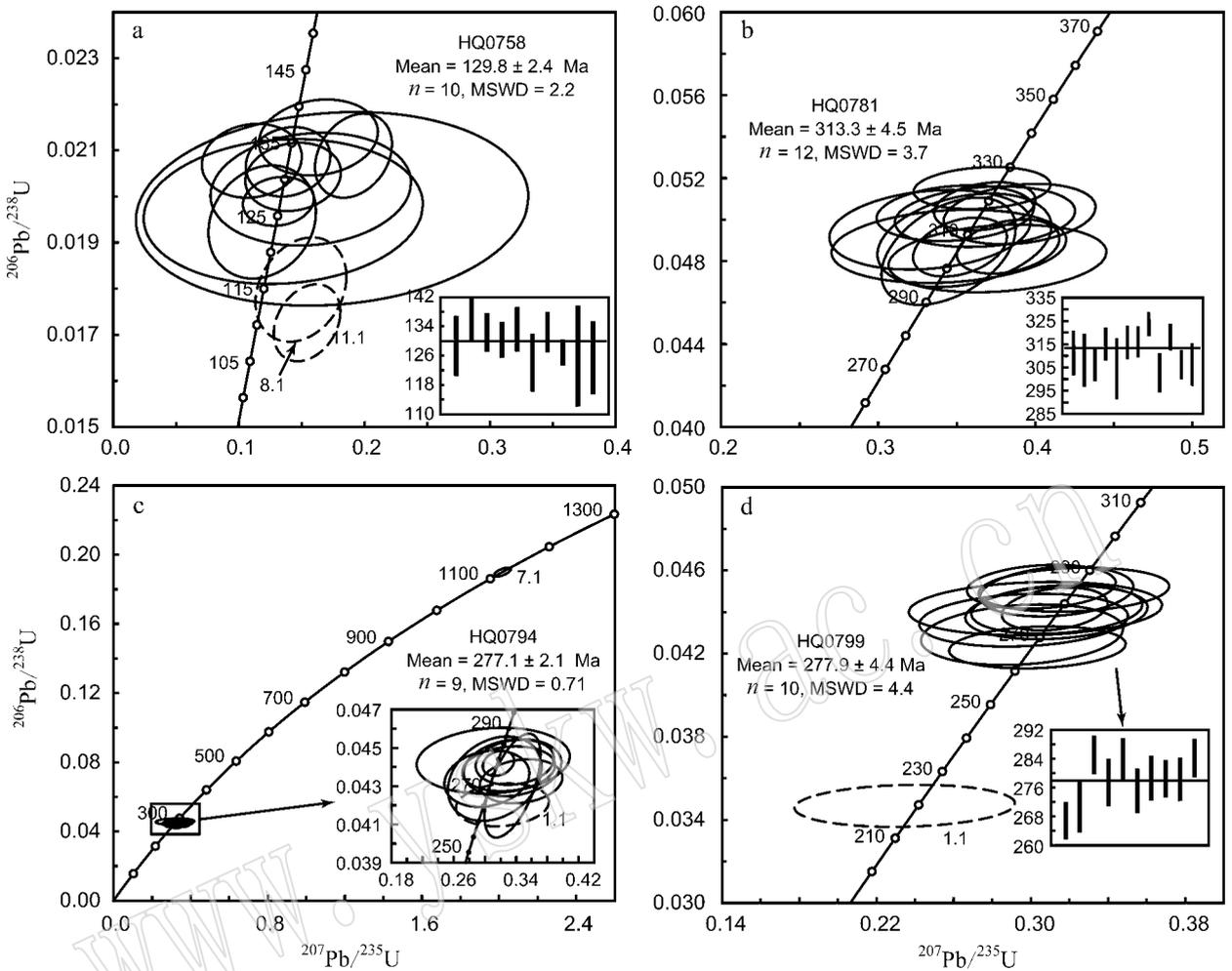


图 3 内蒙古西部呼伦陶勒盖地区花岗岩类的锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 3 U-Pb concordia diagrams of zircons from granitoids in western Inner Mongolia

晚石炭世英格特-巴格毛德花岗岩样品的稀土元素含量($96.47 \times 10^{-6} \sim 142.04 \times 10^{-6}$)、轻、重稀土元素分馏($La/Yb = 3.68 \sim 17.54$)、Eu 负异常($0.04 \sim 0.21$)和重稀土元素含量均变化较大。轻稀土元素分馏明显,有的样品存在明显的 Ce 正异常,重稀土元素呈下凹的曲线。早二叠世库楚乌拉和一连花岗岩样品的稀土元素含量较高($228.51 \times 10^{-6} \sim 319.11 \times 10^{-6}$),但轻、重稀土元素分馏变化不大($La/Yb = 5.07 \sim 6.53$),重稀土元素分馏不强, Eu 负异常显著(0.01),具有一致的稀土元素配分曲线(图 4)。早白垩世石英二长岩的稀土元素含量最高(450.52×10^{-6}),轻、重稀土元素分馏最明显($La/Yb = 39.47$)。

在微量元素方面,晚石炭世英格特-巴格毛德花岗岩和二叠纪库楚乌拉和一连花岗岩比较相似,均

显示 Ba、Nb、Ta、P 和 Ti 负异常,后者还显示明显的 Sr 负异常,P 和 Ba 负异常更明显,但 Nb、Ta 负异常较小,而早白垩世石英二长岩的微量元素特征却明显不同(图 5)。

晚石炭世英格特-巴格毛德花岗岩和早二叠世库楚乌拉和一连花岗岩均以正的 $\epsilon Nd(t)$ 值为特征, $\epsilon Nd(t)$ 值分别为 $2.25 \sim 3.43$ 和 $0.90 \sim 1.83$,但白垩纪石英二长岩的 $\epsilon Nd(t)$ 值却为负值(-8.71)。

5 讨论与初步结论

锆石 U-Pb 定年结果显示,英格特-巴格毛德花岗岩体是晚古生代岩浆活动的产物,形成于晚石炭世(313 Ma),并且被早白垩世(130 Ma)石英二长岩侵入。以前的资料虽然显示英格特-巴格毛德花岗

表 2 主要元素 ($w_B/\%$), 微量元素 ($w_B/10^{-6}$) 和 Nd 同位素分析结果Table 2 Major ($w_B/\%$), trace element ($w_B/10^{-6}$) and Nd isotopic analyses of granitoids from western Inner Mongolia

	HQ0758	HQ0793	HQ0794	HQ0794R	HQ0798	HQ0799	HQ0778	HQ0779	HQ0780	HQ0781
SiO ₂	60.42	77.12	79.70	79.71	77.36	76.69	76.24	75.93	77.37	76.01
TiO ₂	1.66	0.15	0.12	0.12	0.11	0.15	0.10	0.09	0.17	0.16
Al ₂ O ₃	14.58	11.60	10.63	10.61	11.84	11.70	13.15	13.05	12.67	13.57
Fe ₂ O ₃ *	8.17	1.89	1.31	1.31	0.91	2.05	1.10	1.64	1.02	1.01
MnO	0.10	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.03	0.03
MgO	1.98	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.03	0.04	0.30	0.24
CaO	4.39	0.09	0.17	0.17	0.27	0.29	0.52	0.55	1.44	1.41
Na ₂ O	3.56	3.31	3.12	3.11	3.64	3.55	4.43	4.38	4.01	4.06
K ₂ O	3.54	4.92	4.44	4.42	4.85	4.74	4.28	4.24	2.61	3.41
P ₂ O ₅	0.58	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
LOI	0.62	0.67	0.64	0.64	0.68	0.87	0.44	0.32	0.47	0.39
Total	99.60	99.82	100.19	100.15	99.73	100.13	100.33	100.30	100.12	100.32
A/ANK	0.83	1.06	1.04	1.04	1.01	1.02	1.02	1.02	1.05	1.05
A/NK	1.50	1.08	1.07	1.07	1.05	1.07	1.10	1.11	1.34	1.31
Li	62.6	9.70	9.45	34.6	3.60	3.91	14.7	22.4	23.5	21.2
Be	4.57	4.79	4.80	4.69	3.56	6.56	3.00	4.08	1.58	1.56
Sc	16.5	1.65	1.63	1.43	1.80	2.09	5.45	6.32	2.71	2.74
V	122	1.46	1.44	2.15	2.05	2.67	6.45	6.00	12.8	17.0
Cr	4.98	1.40	1.29	2.12	5.44	6.47	3.92	1.68	2.29	2.24
Co	13.6	0.99	0.99	1.11	0.51	0.69	0.20	0.22	1.79	2.14
Ni	2.79	2.27	2.21	2.10	0.62	1.40	2.96	0.60	1.52	0.92
Cu	16.4	1.84	1.62	2.91	2.27	3.52	0.90	1.37	6.69	4.23
Zn	195	95.5	94.2	94.4	41.9	72.8	46.4	65.7	16.9	14.8
Ga	29.6	28.4	27.5	25.5	25.6	24.9	20.9	21.0	14.9	15.4
Ge	1.74	4.80	4.67	3.59	1.81	1.88	1.76	2.03	1.26	1.27
Rb	109	281	277	239	230	220	143	163	59.2	72.3
Sr	773	13.6	13.1	14.9	19.8	21.2	41.8	40.0	161	177
Y	31.9	101	102	77.5	60.9	66.5	27.5	28.5	12.5	10.8
Zr	635	509	503	365	293	368	241	245	118	103
Nb	45.1	30.9	31.0	23.9	20.4	22.3	16.2	14.9	5.82	7.82
Cs	2.95	59.7	58.4	68.0	3.19	3.93	6.00	10.9	9.59	11.3
Ba	1661	130	124	129	135	128	532	539	432	572
La	95.7	59.0	57.4	48.5	43.5	51.8	14.3	32.1	26.3	24.2
Ce	201	126	125	102	93.9	111	43.5	51.5	60.6	51.0
Pr	22.8	14.6	14.4	12.0	10.5	12.6	4.04	7.25	4.83	4.38
Nd	89.3	57.4	56.9	48.0	40.9	48.6	15.4	27.2	15.6	14.6
Sm	14.7	12.4	12.3	10.3	8.33	9.69	3.68	5.46	2.31	2.17
Eu	3.37	0.55	0.54	0.49	0.53	0.55	0.53	0.73	0.50	0.52
Gd	10.8	12.3	12.2	9.98	8.04	9.29	3.54	4.74	1.88	1.79
Tb	1.26	2.12	2.07	1.65	1.33	1.52	0.62	0.74	0.26	0.23
Dy	6.01	13.2	13.1	10.4	8.07	9.27	3.97	4.49	1.49	1.28
Ho	0.98	2.86	2.88	2.21	1.73	1.98	0.84	0.95	0.32	0.28
Er	2.32	8.11	8.25	6.24	4.93	5.56	2.43	2.73	0.96	0.83
Tm	0.30	1.26	1.27	0.97	0.78	0.86	0.39	0.45	0.16	0.14
Yb	1.74	8.14	8.13	6.31	5.20	5.69	2.79	3.20	1.14	0.99
Lu	0.24	1.17	1.16	0.91	0.77	0.86	0.44	0.50	0.19	0.16
Hf	11.3	11.8	11.4	9.01	7.03	8.39	5.98	5.98	3.08	2.69
Ta	1.71	2.14	2.14	1.76	1.52	1.74	1.14	1.07	0.44	0.46
Pb	24.3	29.8	29.7	19.1	17.8	21.8	32.6	31.7	13.4	15.3
Th	7.86	23.3	23.1	18.8	17.4	18.7	15.8	15.9	19.6	18.8
U	2.24	4.01	3.94	3.71	2.91	3.60	2.59	2.32	1.92	1.49
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.512 109	0.512 565	0.512 565		0.512 598	0.512 550	0.512 692	0.512 652	0.512 549	0.512 595
±2σ	0.000 013	0.000 013	0.000 012		0.000 011	0.000 014	0.000 013	0.000 012	0.000 014	0.000 013
εNd(t)	-8.71	+0.90	+0.90		+1.83	+0.98	+3.14	+3.28	+2.55	+3.43

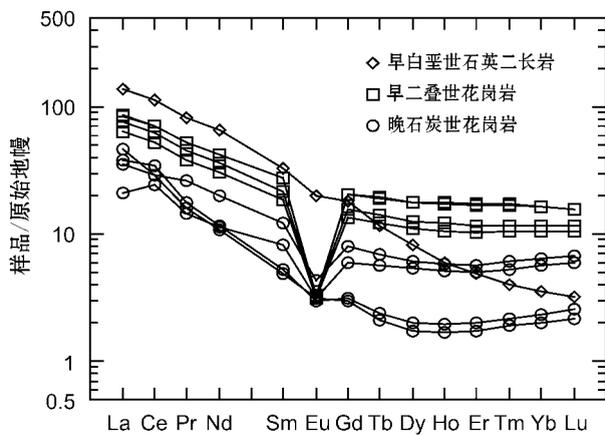


图 4 内蒙古西部呼伦陶勒盖地区花岗岩类的稀土元素图谱(原始地幔标准化值引自 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 4 Primitive mantle (PM)-normalized rare earth element patterns of granitoids in western Inner Mongolia (PM values from Sun and McDonough, 1989)

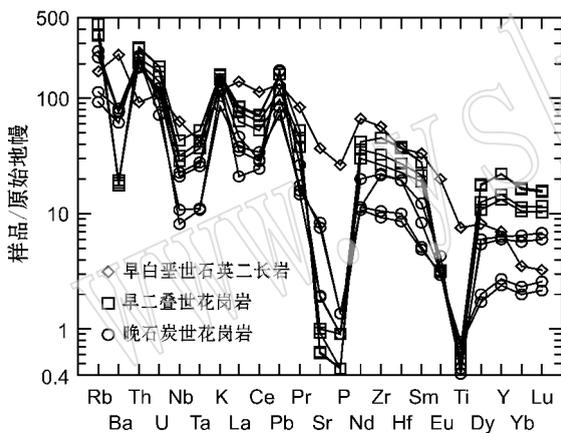


图 5 内蒙古西部呼伦陶勒盖地区花岗岩类的微量元素图谱(原始地幔标准化值引自 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 5 Primitive mantle (PM)-normalized trace element patterns of granitoids in western Inner Mongolia (PM values from Sun and McDonough, 1989)

岩被中生代花岗岩侵入,但本文报道的石英二长岩并不属于原来划定的中生代花岗岩的范围。因此,这个中生代石英二长岩的产状和分布范围还需要进一步野外工作才能确定。而原来定为中生代的库楚乌拉和一连两个花岗岩体实际上是早二叠世形成的,它们的锆石 U-Pb 定年结果在误差范围内一致。由此看来,呼伦陶勒盖地区花岗岩主要是晚古生代岩浆活动的产物,而中生代岩浆活动确实存在,但这一期岩浆活动的规模可能远比原来认为的要小得多。

早二叠世库楚乌拉和一连花岗岩明显具有 A 型

花岗岩的地球化学特征, $10\ 000\ Ga/Al = 4.02 \sim 4.89$ 属于准铝质 A 型花岗岩。二叠纪 A 型花岗岩在中亚造山带南部的新疆北部(韩宝福等, 1998, 2006; 毛启贵等, 2008)、内蒙古二连-锡林浩特地区(Hong *et al.*, 1995; 施光海等, 2004)、中国东北(Wu *et al.*, 2002)和蒙古南部(Yarmolyuk *et al.*, 2008)广泛发育。在内蒙古二连-锡林浩特地区和蒙古南部还发育早二叠世双峰式火山岩组合(Kozlovsky *et al.*, 2005; Yarmolyuk *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2008)。

晚石炭世英格特-巴格毛德花岗岩具有 I-A 型花岗岩过渡的地球化学特征, $10\ 000\ Ga/Al = 2.15 \sim 3.04$ 。晚石炭世 I-A 型花岗岩新疆北部和蒙古南部也广泛发育。早白垩世石英二长岩的元素地球化学特征明显不同于晚古生代花岗岩,表明二者在源区和成因上可能存在显著差别。在蒙古南部发育晚石炭世花岗岩包括花岗岩闪长岩(302 Ma)和碱性花岗岩(318 Ma)及同时代的双峰式火山岩(314 Ma)(Yarmolyuk *et al.*, 2008)。在新疆准噶尔盆地周边地区晚石炭世后碰撞花岗岩就具有 I-A 型花岗岩组合的特征(Han *et al.*, 1997, 2010; 韩宝福等, 2006; 苏玉平等, 2006a, 2006b; Geng *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2010)。而在内蒙古二连-锡林浩特地区,晚石炭世花岗岩不发育。

和中亚造山带内部其他地区的晚古生代花岗岩类一样,呼伦陶勒盖地区的晚石炭世和早二叠世花岗岩也具有正的 $\epsilon Nd(t)$ 值,显示它们具有新生地壳的性质,是内蒙古西部地区陆壳生长的标志。而早白垩世石英二长岩的 $\epsilon Nd(t)$ 值为很低的负值,指示岩浆可能主要来自古老的地壳物质,或许是区域内中元古界部分熔融作用产生的熔体与少量岩浆混合的结果。

和新疆北部晚古生代花岗岩相比,内蒙古西部地区晚古生代花岗岩的 $\epsilon Nd(t)$ 值明显偏低,但接近于蒙古南部一些同时代的花岗岩(Yarmolyuk *et al.*, 2008)。这和区域内存在中元古界地壳物质可能有关,即地壳混染可能是导致晚古生代花岗岩的 $\epsilon Nd(t)$ 值偏低的重要原因。而早白垩世石英二长岩的 Nd 同位素特征也证明这样的可能性是不能忽视的。

致谢 评审人对本文提出了宝贵的修改意见,中国科学院地质与地球物理研究所郭敬辉、李超峰和西北大学刘焯等给予本文工作大力支持,在此作者表示衷心的感谢。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Nei Mongol Autonomous Region. 1991. Regional Geology of Nei Mongol Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 725 (in Chinese with English abstract).
- Chen J F, Han B F, Ji J Q, et al. 2010. Zircon U-Pb ages and tectonic implications of Paleozoic plutons in northern West Junggar, North Xinjiang, China [J]. Lithos, 115: 137~152.
- Geng H Y, Sun M, Yuan C, et al. 2009. Geochemical, Sr-Nd and zircon U-Pb-Hf isotopic studies of Late Carboniferous magmatism in the West Junggar, Xinjiang: Implications for ridge subduction? [J]. Chemical Geology, 266: 364~389.
- Han B F, Guo Z J, Zhang Z C, et al. 2010. Age, geochemistry, and tectonic implications of a late Paleozoic stitching pluton in the North Tian Shan suture zone, western China [J]. Geological Society of America Bulletin, 122: 627~640.
- Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, et al. 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post-collisional plutonism [J]. Acta Petrologica Sinica, 22: 1077~1086 (in Chinese with English abstract).
- Han B F, Wang S G, Jahn B M, et al. 1997. Depleted-mantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang, China: Geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence, and implications for Phanerozoic crustal growth [J]. Chemical Geology, 138: 135~159.
- Hong D W, Huang H Z, Xiao Y J, et al. 1995. The Permian alkaline granites in central Inner Mongolia and their geodynamic significance [J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 10: 169~176.
- Kozlovsky A M, Yarmolyuk V V, Salnikova E B, et al. 2005. Age of bimodal and alkali granite magmatism of the Gobi-Tien Shan Rift Zone, Tost Range, southern Mongolia [J]. Petrology, 13: 197~203.
- Ludwig K R. 2002. SQUID 1.02, a user's manual [A]. Berkeley Geochronology Center Special Publication [C], No. 2.
- Ludwig K R. 2003. User's Manual for Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for microsoft excel [A]. Berkeley Geochronological Center Special Publication [C] 4: 71.
- Mao Qigui, Xiao Wenjiao, Han Chunming, et al. 2008. Late Paleozoic southward accretionary polarity of the eastern Junggar orogenic belt: insight from the Dajianshan and other A-type granites [J]. Acta Petrologica Sinica, 24: 733~742 (in Chinese with English abstract).
- Shi Guanghai, Miao Laicheng, Zhang Fuqin, et al. 2004. Emplacement age and tectonic implications of the Xilinhot A-type granite in Inner Mongolia, China [J]. Chinese Science Bulletin, 49: 723~729.
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating [J]. Geological Review, 48 (Supp.): 26~30 (in Chinese with English abstract).
- Su Yuping, Tang Hongfeng, Hou Guangshun, et al. 2006a. Geochemistry of aluminous A-type granites along Darabut tectonic belt in West Junggar, Xinjiang [J]. Geochimica, 35: 55~67 (in Chinese with English abstract).
- Su Yuping, Tang Hongfeng, Liu Congqiang, et al. 2006b. The determination and a preliminary study of Sujiquan aluminous A-type granites in East Junggar, Xinjiang [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 25: 175~184 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [A]. Saunders A D and Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins [C]: Geological Society of London Special Publication 42, 313~345.
- Wu F Y, Sun D Y, Li H M, et al. 2002. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis [J]. Chemical Geology, 187: 143~173.
- Yarmolyuk V V, Kovach V P, Kovalenko V I, et al. 2008. Isotopic Composition of the Hercynian Crust of Southern Mongolia: Substantiation of the Hercynian Juvenile Crust-Forming Event. Doklady [J] Earth Sciences, 417: 1178~1182.
- Zhang X H, Zhang H F, Tang Y J, et al. 2008. Geochemistry of Permian bimodal volcanic rocks from central Inner Mongolia, North China: Implication for tectonic setting and Phanerozoic continental growth in Central Asian Orogenic Belt [J]. Chemical Geology, 249: 262~281.

附中文参考文献

- 韩宝福, 季建清, 宋彪, 等. 2006. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)——后碰撞深成岩浆活动的时限 [J]. 岩石学报, 22(5): 1077~1086.
- 韩宝福, 王式洸, 孙元林, 等. 1998. 正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值的准铝-过铝花岗岩: 新疆也布山岩体 [J]. 科学通报, 43(12): 1323~1328.
- 毛启贵, 肖文交, 韩春明, 等. 2008. 东准噶尔地区晚古生代向南增生: 来自A型花岗岩启示 [J]. 岩石学报, 24(4): 733~742.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 725.
- 施光海, 苗达成, 张福勤, 等. 2004. 内蒙古锡林浩特A型花岗岩的时代及区域构造意义 [J]. 科学通报, 49(4): 384~389.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论 [J]. 地质论评, 48(增刊): 26~30.
- 苏玉平, 唐红峰, 侯广顺, 等. 2006a. 新疆准噶尔达拉布特构造带铝质A型花岗岩的地球化学研究 [J]. 地球化学, 35(1): 55~67.
- 苏玉平, 唐红峰, 刘丛强, 等. 2006b. 新疆西准噶尔达拉布特构造带铝质A型花岗岩的地球化学研究 [J]. 岩石矿物学杂志, 25(3): 175~184.