

阿拉善地区新元古代岩浆事件及其地质意义

耿元生, 周喜文

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要: 在阿拉善西部地区分布有一些眼球状片麻岩和条带状片麻岩, 以往将它们作为阿拉善群的地层对待。本文研究表明它们是受到变形改造的正片麻岩。通过锆石 LA-ICPMS U-Pb 分析, 4 个样品分别获得了 913 ± 7 Ma、 921 ± 7 Ma、 926 ± 15 Ma 和 904 ± 7 Ma 的年龄结果。新元古代早期变形花岗岩的发现表明, 阿拉善地区经历了新元古代早期(格林威尔期)造山作用的强烈改造, 它们可能与祁连地块等相似, 应属于不同于华北克拉通的独立的变质地块。

关键词: 岩浆事件; 锆石 LA-ICPMS 定年; 新元古代早期; 阿拉善地区

中图分类号: P588.34⁺5; P597⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)06-0779-17

Early Neoproterozoic granite events in Alax area of Inner Mongolia and their geological significance: evidence from geochronology

GENG Yuan-sheng and ZHOU Xi-wen

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The Alax metamorphic block (basement) distributed in the western margin of the North China Craton is mainly composed of Archean Diebusige Rock Group, Paleoproterozoic Bayan-Wulashan Rock Group, Paleo-Middle Proterozoic Alax Rock Group and some orthogneisses. There are some augen and banded gneisses in the Alax Rock Group, which were commonly referred to in the past as the metamorphic strata of Alax Rock Group. However, the authors' study indicates that these augen and banded gneisses are actually deformed granites (orthogneisses). Four samples of augen and banded gneisses were dated by zircon LA-ICPMS U-Pb technique. The zircons from the four samples show clear oscillatory growth zoning in CL images, suggesting that they are of magmatic origin. The augen gneiss (AL0820-2) from the Dabusushan area was formed at 913 ± 7 Ma. The banded porphyritic gneiss (AL0815-3) and the banded amphibolite-bearing biotite-muscovite gneiss (AL0815-2) from Habuqigai area yielded magmatic crystallization ages of 921 ± 7 Ma and 926 ± 15 Ma, respectively. The magmatic age of banded gneiss (AL0817-1) from Keketuolegai area is 904 ± 7 Ma. Geochemical characteristics of the deformed granites in Alax area indicate that they were formed at the syn-collision stage. The discovery of the Early Neoproterozoic granites in this area suggests that the Alax metamorphic basement was reformed by magmatic events of the Early Neoproterozoic orogenesis (Grenville orogenesis). The Alax metamorphic basement is different from the North China Craton, but is similar to the Qilianshan massif and northern Qinling massif in the evolutionary history of Grenville. Therefore, the Alax metamorphic basement is an independent metamorphic massif.

Key words: magmatic event; zircon LA-ICPMS dating; Early Neoproterozoic; Alax area

收稿日期: 2009-12-24; 修订日期: 2010-07-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40672126); 地质大调查资助项目(1212010611702)

作者简介: 耿元生(1950-), 研究员, 主要从事前寒武纪地质、变质地质和岩石学的研究, E-mail: ys-geng@cags.net.cn, geng_ys@sina.com

在北秦岭、祁连地块、柴达木地块等地均有新元古代早期岩浆事件的表现,主要是同造山花岗岩的产出(陆松年等,2006)。这一时期的花岗岩在华北克拉通内部鲜有报道。笔者等曾在前期研究中,在华北克拉通西北缘的阿拉善地区发现有同造山、强变形的新元古代早期岩浆事件产物,并通过锆石逐层蒸发法获得了 972 Ma 和 845 Ma 的年龄结果(耿元生等,2002)。为获得该区新元古代早期花岗岩确切的形成年龄,笔者又采用锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年方法对一些变形的花岗岩进行了年代学研究,本文主要报道该工作的最新成果。

1 区域地质背景

阿拉善地区早前寒武纪岩石主要出露于内蒙古自治区西部阿拉善左旗及阿拉善右旗东部的雅布赖山一带,早期曾被称作阿拉善台隆,属于中朝准地台的次级构造单元(任纪舜等,1980)。以往把这些

早前寒武纪变质岩系统称为阿拉善群(宁夏回族自治区区域地层表编写组,1978),后霍福臣等(1987)将其解体并划分为中太古代的迭布斯格群、晚太古代的阿拉善群和古元古代的阿拉坦敖包群。陈志勇等(2004)根据与内蒙古其他地区前寒武纪岩系的对比,把该区的变质岩系划分为中太古代乌拉山岩群、新太古代色尔腾山岩群以及中元古代的渣尔泰山群和白云鄂博群。笔者等根据岩石组合特征、变质变形特点和同位素年代学资料等将该区变质岩系划分为新太古代的迭布斯格杂岩(岩群)、古元古代的巴彦乌拉山杂岩(岩组)和古中元古代的阿拉善杂岩(岩群)以及以英云闪长-花岗闪长质为主的波罗斯坦庙深成片麻岩和以花岗闪长质为主的毕及格台深成片麻岩(耿元生等,2006,2007)。以巴彦乌拉山东侧断裂为界,以东主要为迭布斯格杂岩(岩群)和波罗斯坦庙片麻岩,以西主要为巴彦乌拉山杂岩(岩组)阿拉善杂岩(岩群)和毕及格台片麻岩(图 1)。

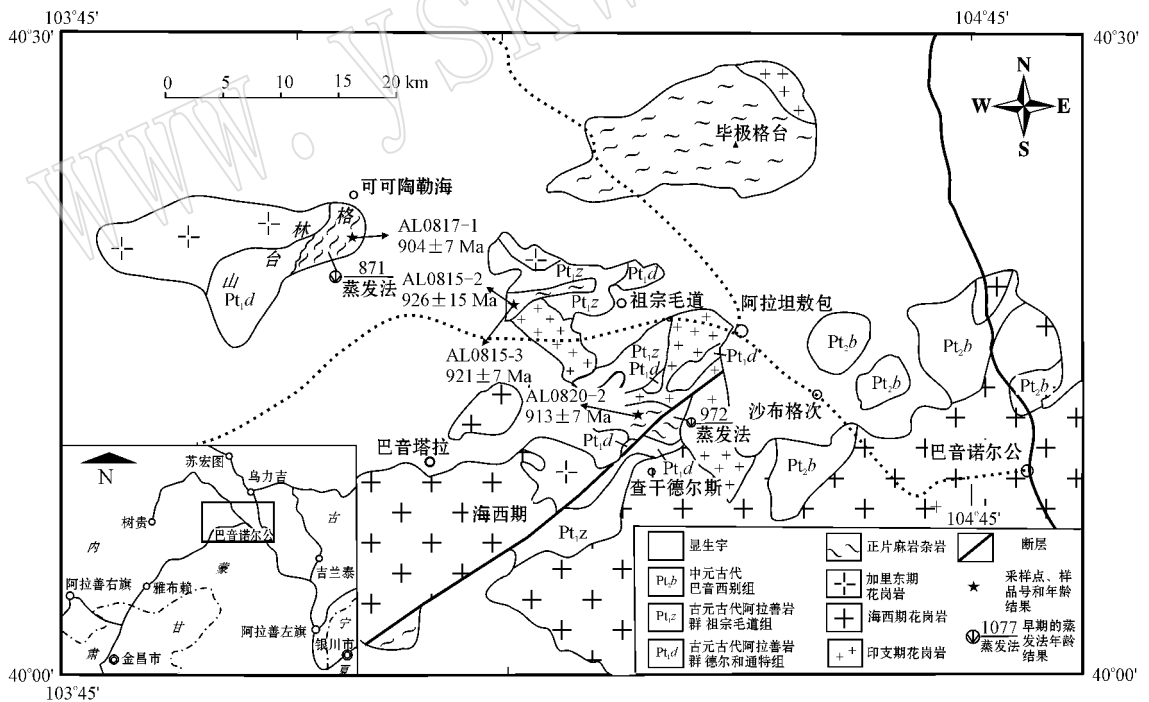


图 1 阿拉坦敖包附近地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of Alatan'aobao area, showing sampling locations

在巴彦乌拉山以西的阿拉善杂岩(岩群)中发育有眼球状片麻岩和条带状片麻岩,以往将它们作为地层划分为阿拉善岩群的大布苏山组或德尔和通特

组。笔者等根据野外接触关系、地球化学特点和颗粒锆石蒸发法的年龄结果将它们确定为新元古代早期的同造山花岗岩(耿元生等,2002)。

2 样品特征

为确定新元古代早期变形花岗岩的形成时代, 本文选择了4个样品进行锆石 AL-ICPMS U-Pb 定年分析, 各样品的特征如下。

2.1 AL0820-2 号样品

AL0820-2 号样品采自阿拉善右旗阿拉坦敖包苏木南的大布苏山脚下, 地理坐标为北纬 $40^{\circ}11.771'$, 东经 $104^{\circ}22.165'$ 。该点出露的变形花岗岩以眼球状片麻岩为主, 变形弱的部位长石斑晶呈长板状; 变形强时长石斑晶呈眼球状、透镜状、条带状(图 2a); 变形更强时, 岩石则为黑云二长片麻岩、条带状片麻岩。用于测年的样品为眼球状片麻岩, 主要由石英、斜长石、微斜长石(条纹长石)、黑云母及少量白云母和电气石组成, 斑状结构, 片麻状构造。石英、斜长石和黑云母等多为基质; 微斜长石常为斑

晶, 经变形成为眼球。大的斑晶或眼球可达 2 cm 以上。副矿物有锆石、磷灰石、磁铁矿等。

2.2 AL0815-3 号样品

AL0815-3 号样品采自哈布其盖附近, 地理坐标为北纬 $40^{\circ}18.406'$, 东经 $104^{\circ}15.036'$ 。岩性为斑状花岗质片麻岩, 主要由石英、斜长石、微斜长石(条纹长石)、黑云母及少量白云母和电气石组成。斑状结构, 片麻状构造, 石英、斜长石和黑云母等多为基质; 微斜长石常为斑晶, 经变形成为眼球。大的斑晶或眼球可达 2 cm 以上。斑晶的含量不均, 最多可达 30% 左右, 一般为 15~20%。多数斑晶未变形, 顺片麻理分布; 个别斑晶变形, 在条纹长石-微斜长石斑晶的两端形成由细粒长石、石英组成的拖尾, 呈眼球状; 变形强烈处, 长石斑晶压扁成条带状(图 2b)。

2.3 AL0815-2 号样品

AL0815-2 号样品与前述 AL0815-3 号样品采自同一个露头, 岩性为角闪二云片麻岩, 主要由石英、

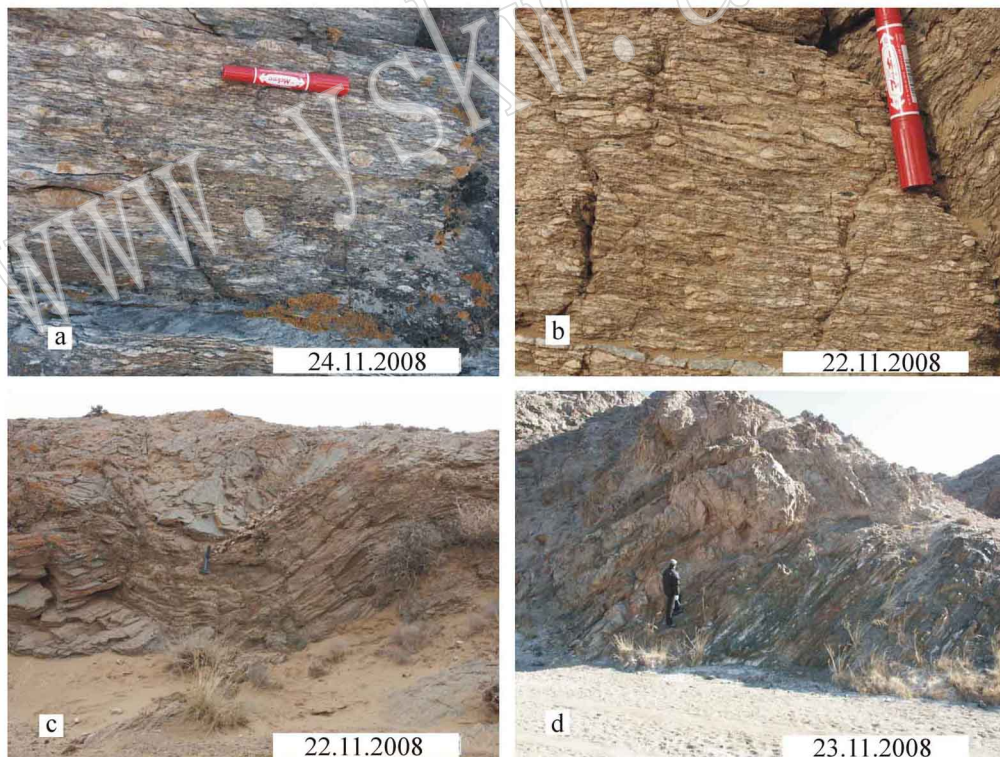


图 2 样品的野外特征

Fig. 2 Photographs of rocks in the Alatan' aobao area

a—大布苏山眼球状片麻岩的外貌特征; b—哈布其盖附近斑状(眼)球状片麻岩外貌; c—眼球状片麻岩中的宽缓向斜构造; d—可可托勒盖附近条带状片麻岩与花岗岩的侵入接触关系, 样品 AL0817-1 号片麻岩采自条带状片麻岩

a—augen gneiss in Dabusushan area, feldspar phenocrysts deformed into augen structure; b—porphyritic (augen) gneiss in Habuqigai area;

c—porphyritic (augen) gneiss folded into open syncline in Habuqigai area; d—granite vein intruding into banded gneiss in Keketuolegai area,

AL0817-1 sampled from banded gneiss

斜长石、微斜长石(条纹长石)、黑云母、白云母和少量的角闪石组成。花岗粒状变晶结构,片麻状构造或细条带状构造。在变形相对较弱的部位呈片麻状,局部变形较强,形成云母和角闪石富集和石英富集的带,成为条带状构造。角闪二云片麻岩和眼球状片麻岩之间为过渡关系。这套片麻岩是眼球状片麻岩强变形的产物,还是在变形岩体中残留的地层?本次研究力图通过对该样品的年代学研究,确定角闪二云片麻岩与眼球状片麻岩形成时代的关系。

2.4 AL0817-1 号样品

用于定年的 AL0817-1 号样品采自可可托勒盖附近,地理坐标为北纬 $40^{\circ} 21.109'$,东经 $104^{\circ} 03.804'$ 。采样点以花岗岩为主,其中有多条片麻岩的条带,采样的片麻岩在花岗岩中呈 3 m 宽的条带保留(图 2d)。样品的岩性为条带状(角闪)黑云片麻岩,花岗变晶结构,片麻状和条带状构造。主要由斜长石、微斜长石、石英、黑云母、少量角闪石组成,黑云母有退化现象。副矿物主要有绿帘石、磷灰石、锆石、磁铁矿、榍石等。

3 分析测试方法

锆石定年工作在中国地质大学(北京)地学实验中心的元素地球化学实验室完成。所用的 ICP-MS 为 Agilent 公司最新一代带有 Shield Torch 的 Agilent 7 500a 型质谱仪,辅助气为 Ar,流速 1.13 L/min ,RF 功率为 1350 W ,元素积分时间 U、Th、Pb 为 20 ms ,其他元素为 15 ms 。采用的激光剥蚀系统为美国 New Wave 科技有限公司 UP 193 SS 型激光器,激光波长 193 nm ,载气为 He,流速 0.7 L/min ,束斑直径 $25 \mu\text{m}$,激光频率 10 Hz ,预剥蚀时间 5 s ,剥蚀时间 45 s 。数据处理采用 Glitter 4.4 软件,普通铅校正依据 Andersen (2002)。年龄计算时以标准锆石 91500 为外标进行同位素比值校正,TEM 为监控盲样。阴极发光图像(Cathodoluminescence,以下简称 CL)在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心的扫描电镜上完成。

4 锆石特征和 LA-ICPMS 定年结果

4.1 AL0820-2 号样品

AL0820-2 号样品中的锆石可分为两类。一类以不规则状、次浑圆状为特征,长宽比小于 $2:1$,一般

粒度为 $60 \sim 80 \mu\text{m}$,其中内部可见有环带结构,这类颗粒中有些含有暗色的核,以核为中心向外有生长环带(图 3)。这些环带结构表明它们主要是岩浆成因的。这类锆石是锆石中的主体。另一类锆石为长柱状,长宽比为 $3:1$ 到 $4:1$,粒度 $60 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$,这类锆石内部基本都发育有较密集的环带,显示出岩浆成因的特点。

对该样品共测定了 25 个颗粒中的 25 个点,其结果见表 1 和图 4。由于该样品中的锆石以次浑圆状为主,本文测试也以浑圆状的颗粒为主,同时也对长柱状的颗粒进行了适当的测定。所测定的 25 个点的 Th/U 比值均大于 0.1 ,最高达 0.918 (表 1)显示出岩浆锆石特征。在谐和图上所测点基本位于谐和线上(图 4),去掉 5 个稍偏离集群的点(2.1、11.1、

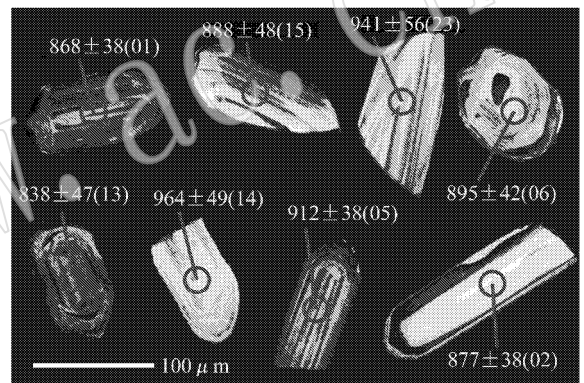


图 3 AL0820-2 号样品中锆石的阴极发光图像(图中数据采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄)

Fig. 3 CL images of zircons from augen gneiss (AL0820-2) (ages in the figure are $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages)

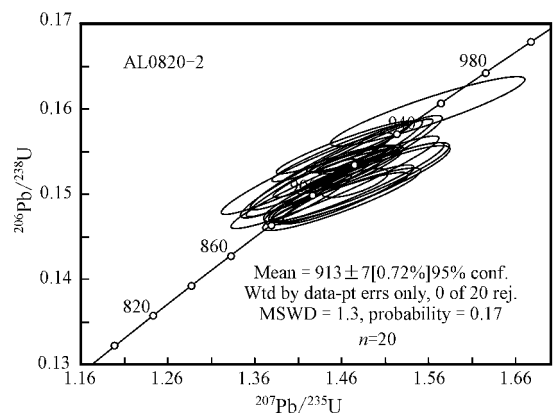


图 4 AL0820-2 号样品锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} - ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图解

Fig. 4 U-Pb concordia diagram of zircons from augen gneiss (AL0820-2)

表1 阿拉善西部地区新元古代早期花岗岩中锆石的LA-ICPMS U-Pb同位素测定结果
Table 1 LA-ICPMS U-Pb analytical results of zircon U-Pb isotopes from Neoproterozoic orthogneisses in the western part of Alax area

点号	$\epsilon_{\text{B}}/10^{-6}$				同位素比值				视年龄/Ma						
	Pb	U	Th	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	1σ	1σ	1σ	
AL0820-2(大布苏山眼球状片麻岩)															
1.1	37.35	231.73	40.72	0.176	0.154 19	0.002 06	1.445 33	0.041 67	0.067 98	0.001 97	12	908	17	868	38
2.1	39.52	237.36	64.21	0.271	0.159	0.002 12	1.496 91	0.043 32	0.068 27	0.001 98	12	929	18	877	38
3.1	68.56	430.15	3.82	0.125	0.152 59	0.002 02	1.468 58	0.041 08	0.069 8	0.001 95	11	918	17	922	36
4.1	73.01	465.64	47.78	0.103	0.150 54	0.002	1.411 05	0.040 12	0.067 98	0.001 93	11	894	17	868	37
5.1	48.02	295.82	55.22	0.187	0.155 41	0.002 09	1.488 49	0.043 48	0.069 46	0.002 03	12	926	18	912	38
6.1	30.13	188.99	44.28	0.234	0.152 7	0.002 1	1.450 45	0.045 59	0.068 89	0.002 17	12	910	19	895	42
7.1	46.68	298.86	40.29	0.135	0.150 19	0.002 04	1.408 21	0.042 68	0.067 99	0.002 06	11	892	18	868	40
8.1	35.19	226.60	51.13	0.226	0.149 04	0.002 06	1.399 89	0.044	0.068 11	0.002 15	12	889	19	872	42
9.1	50.29	322.40	55.11	0.171	0.149 76	0.002 06	1.446 06	0.044 66	0.070 02	0.002 16	12	908	19	929	41
10.1	64.78	407.42	41.78	0.103	0.152 75	0.002 1	1.508 69	0.046 57	0.071 62	0.002 21	12	934	19	975	41
11.1	27.93	187.93	42.30	0.225	0.142 17	0.002 02	1.378 25	0.051 45	0.070 31	0.002 81	11	880	22	937	84
12.1	59.28	375.10	39.91	0.106	0.152 54	0.002 14	0.459 34	0.047 61	0.069 37	0.002 26	12	914	20	910	44
13.1	39.61	253.82	47.48	0.187	0.150 81	0.002 14	1.393 67	0.047 15	0.067 01	0.002 27	12	886	20	838	47
14.1	21.76	138.51	73.78	0.533	0.149 81	0.002 18	1.471 62	0.052 71	0.071 23	0.002 56	12	919	22	964	49
15.1	33.64	213.93	93.86	0.439	0.150 87	0.002 17	1.428 22	0.049 73	0.068 65	0.002 39	12	901	21	888	48
16.1	29.05	169.91	49.88	0.294	0.163 83	0.002 4	1.673 21	0.060 07	0.074 06	0.002 66	13	998	23	1 043	49
17.1	18.94	119.18	49.25	0.413	0.152 44	0.002 28	1.498 84	0.056 65	0.071 29	0.002 7	13	930	23	966	53
18.1	44.17	274.44	43.80	0.160	0.155 77	0.002 27	1.496 04	0.053 52	0.069 64	0.002 49	13	929	22	918	50
19.1	27.89	217.17	31.05	0.143	0.123 78	0.001 83	1.131 33	0.046 09	0.066 29	0.002 87	10	768	22	815	93
20.1	6.87	40.87	37.52	0.918	0.159 71	0.002 63	1.559 72	0.073 76	0.070 81	0.003 37	15	954	29	952	70
21.1	56.55	357.77	44.92	0.126	0.153 46	0.002 29	1.487 26	0.055 88	0.070 27	0.002 63	13	925	23	936	52
22.1	44.53	289.77	47.94	0.165	0.149 07	0.002 25	1.452 95	0.055 59	0.070 67	0.002 69	13	911	23	948	54
23.1	31.67	204.01	76.34	0.374	0.149 91	0.002 29	1.456 52	0.057 47	0.070 44	0.002 77	13	913	24	941	56
24.1	23.73	148.38	36.40	0.245	0.155 3	0.002 42	1.473 66	0.060 48	0.068 8	0.002 82	14	920	25	893	59
25.1	36.11	218.40	37.98	0.174	0.160 54	0.002 47	1.579 15	0.063 22	0.071 31	0.002 84	14	962	25	966	56

续表 1-1
continued Table 1-1

点号	$^{238}\text{U}/10^{-6}$			Th/U			同位素比值			视年龄/Ma						
	Pb	U	Th	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ			
AL0815-3(哈布其盖眼球状片麻岩)																
1.1	31.77557	146.41	57.14	0.3903	0.14707	0.00181	0.00181	1.47274	0.05847	0.07263	0.00302	10	919	24	1004	86
2.1	57.66185	384.18	32.65	0.0850	0.14595	0.00159	0.00159	1.39424	0.02441	0.06927	0.00123	9	886	10	907	19
3.1	68.93898	451.49	63.31	0.1402	0.1459	0.00162	0.00162	1.45527	0.02751	0.07233	0.00139	9	912	11	995	21
4.1	64.10601	387.11	49.97	0.1291	0.15126	0.00167	0.00167	1.49091	0.02725	0.07147	0.00133	9	927	11	971	20
5.1	55.2635	330.27	65.08	0.1971	0.14669	0.00164	0.00164	1.44384	0.02813	0.07138	0.00142	9	907	12	968	22
6.1	62.73361	374.89	76.08	0.2029	0.15287	0.00169	0.00169	1.4694	0.02736	0.0697	0.00132	9	918	11	920	21
7.1	80.54046	495.69	114.06	0.2301	0.14871	0.00164	0.00164	1.43787	0.02621	0.07011	0.0013	9	905	11	932	20
8.1	85.59974	457.72	60.11	0.1313	0.18222	0.00204	0.00204	1.8462	0.03536	0.07347	0.00143	11	1062	13	1027	21
9.1	57.45744	361.99	34.63	0.0957	0.15339	0.00169	0.00169	1.4582	0.02655	0.06893	0.00128	9	913	11	897	20
10.1	58.00114	386.16	47.51	0.1230	0.14663	0.00164	0.00164	1.40101	0.02721	0.06928	0.00137	9	889	12	907	22
11.1	20.79087	113.41	102.28	0.9019	0.14237	0.00197	0.00197	1.30944	0.07419	0.0667	0.00389	11	850	33	829	125
12.1	148.0403	1023.64	131.54	0.1285	0.1387	0.00152	0.00152	1.54191	0.02679	0.08062	0.00142	9	947	11	1212	18
13.1	25.99777	155.53	107	0.6880	0.14807	0.00181	0.00181	1.38924	0.03696	0.06803	0.00185	10	884	16	869	35
14.1	43.10144	276.2	40.9	0.1481	0.14909	0.00166	0.00166	1.43971	0.02756	0.07002	0.00136	9	906	11	929	22
15.1	26.93574	165.45	44.98	0.2719	0.1524	0.00172	0.00172	1.46134	0.0296	0.06953	0.00143	10	915	12	915	24
16.1	43.06251	288.18	71.87	0.2494	0.14541	0.00166	0.00166	1.61891	0.03307	0.08073	0.00168	9	978	13	1215	23
17.1	40.57038	259.39	36.89	0.1422	0.15135	0.00167	0.00167	1.46295	0.03023	0.0701	0.00164	9	915	12	931	49
18.1	35.70606	226.95	29.49	0.1299	0.15014	0.00167	0.00167	1.46237	0.03115	0.07064	0.0017	9	915	13	947	50
19.1	67.36065	427.54	59.72	0.1397	0.15263	0.00169	0.00169	1.4655	0.02748	0.06963	0.00133	9	916	11	917	21
20.1	54.96614	359	48.87	0.1361	0.14827	0.00163	0.00163	1.42545	0.02948	0.06973	0.00163	9	900	12	920	49
21.1	46.42842	286.44	46.12	0.1610	0.1532	0.00173	0.00173	1.47009	0.02989	0.06958	0.00144	10	918	12	916	24
22.1	20.58487	129.46	31.28	0.2416	0.15031	0.00174	0.00174	1.48919	0.0328	0.07184	0.00161	10	926	13	981	26
23.1	25.49851	158.14	58.34	0.3689	0.1484	0.00173	0.00173	1.47336	0.03333	0.07199	0.00166	10	920	14	986	27
24.1	69.48866	440.89	49.37	0.1120	0.15058	0.00169	0.00169	1.44383	0.02805	0.06953	0.00137	9	907	12	915	22

续表 1-2

continued Table 1-2

点号	$w_B/10^{-6}$			Th/U			同位素比值						视年龄/Ma			
	Pb	U	Th	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ
AL0815-3(哈布其盖眼球状片麻岩)																
25.1	54.467 64	348.37	34.59	0.099 3	0.149 65	0.001 69	1.413 62	0.028 54	0.068 5	0.001 41	899	9	895	12	884	24
26.1	52.51	345.13	50.05	0.145 0	0.154 47	0.001 69	1.504 18	0.023 12	0.070 61	0.001 09	926	9	932	9	946	15
27.1	64.33	424.69	142.50	0.335 5	0.145 83	0.001 61	1.610 03	0.025 78	0.080 06	0.001 29	878	9	974	10	1 198	16
28.1	110.89	395.88	93.77	0.236 9	0.269 82	0.002 94	4.016 3	0.057 66	0.107 94	0.001 55	1 540	15	1 638	12	1 765	12
29.1	46.68	292.30	44.61	0.152 6	0.155 96	0.001 7	1.488 06	0.028 17	0.069 2	0.001 51	934	9	926	11	905	46
30.1	30.13	201.04	73.93	0.367 7	0.141 32	0.001 6	1.361 12	0.032 75	0.069 86	0.001 86	852	9	872	14	924	56
31.1	63.13	436.94	62.12	0.142 2	0.146 19	0.001 59	1.438 98	0.021 7	0.071 38	0.001 08	880	9	905	9	968	15
32.1	56.36	383.42	120.46	0.314 2	0.141 91	0.001 54	1.499	0.022 55	0.076 6	0.001 15	855	9	930	9	1 111	14
33.1	41.03	273.79	34.65	0.126 6	0.151 23	0.001 62	1.453 59	0.024 38	0.069 71	0.001 39	908	9	911	10	920	42
34.1	88.70	561.79	110.59	0.196 9	0.154 73	0.001 67	1.702 64	0.028 47	0.079 81	0.001 59	927	9	1 010	11	1 192	40
35.1	92.89	558.93	172.28	0.308 2	0.163 1	0.001 75	1.773 4	0.024 77	0.078 85	0.001 1	974	10	1 036	9	1 168	13
36.1	53.76	358.03	66.48	0.185 7	0.149 39	0.001 61	1.444 5	0.020 94	0.070 12	0.001 02	898	9	908	9	932	14
37.1	99.03	330.00	151.06	0.457 8	0.168 06	0.002 31	1.805 85	0.131 12	0.077 93	0.005 76	1 001	13	1 048	47	1 145	151
38.1	58.33	382.95	153.10	0.399 8	0.139 12	0.001 57	1.744 86	0.036 05	0.090 97	0.002 14	840	9	1 025	13	1 446	46
39.1	78.55	530.23	78.00	0.147 1	0.148 39	0.001 6	1.436 2	0.020 67	0.070 18	0.001 01	892	9	904	9	934	14
40.1	72.06	490.70	55.39	0.112 9	0.148 17	0.001 59	1.410 39	0.019 77	0.069 02	0.000 96	891	9	893	8	899	13
41.1	26.26	147.07	115.62	0.786 2	0.152 85	0.001 7	1.465 96	0.025 63	0.069 55	0.001 23	917	10	916	11	915	19
42.2	40.51	260.13	69.32	0.266 5	0.148 28	0.001 62	1.475 95	0.028 82	0.072 19	0.001 62	891	9	921	12	991	47
43.1	52.47	331.40	45.83	0.138 3	0.156 88	0.001 68	1.537 22	0.025 05	0.071 06	0.001 38	939	9	945	10	959	41
44.1	54.06	366.27	39.10	0.106 8	0.147 65	0.001 63	1.411 67	0.023 61	0.069 33	0.001 17	888	9	894	10	909	18
45.1	38.66	225.60	130.17	0.577 0	0.151 79	0.001 65	1.452 91	0.022 35	0.069 41	0.001 07	911	9	911	9	911	15
46.1	50.93	366.60	46.23	0.126 1	0.138 73	0.001 56	1.327 28	0.024 34	0.069 38	0.001 29	837	9	858	11	910	20
47.1	40.92	253.62	40.52	0.159 8	0.158 6	0.001 78	1.562 39	0.027 98	0.071 43	0.001 29	949	10	955	11	970	19
48.1	64.69	415.49	62.31	0.150 0	0.153 7	0.001 65	1.481 03	0.021 3	0.069 87	0.001	922	9	923	9	925	14
49.1	83.86	551.27	82.41	0.149 5	0.150 54	0.001 63	1.458 58	0.021 84	0.070 26	0.001 05	904	9	913	9	936	15
50.1	99.56	736.19	59.69	0.081 1	0.135 59	0.001 47	1.312 52	0.019 7	0.070 19	0.001 06	820	8	851	9	934	15

续表 1-3
continued Table 1-3

点号	$\omega_B/10^{-6}$				Th/U	同位素比值				视年龄/Ma						
	Pb	U	Th			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		
	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ		1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ	1 σ		
AL0815-2(哈布其盖角閃二云片麻岩)																
1.1	40.88	239.59	31.86	0.1330	0.16716	0.00181	1.60121	0.02434	0.06946	0.00106	996	10	971	10	912	15
2.1c	70.23	310.11	75.74	0.2442	0.20781	0.00225	2.40102	0.04232	0.0838	0.00173	1217	12	1243	13	1288	41
3.1	33.58	214.09	37.22	0.1739	0.15134	0.00166	1.45234	0.02389	0.06959	0.00115	908	9	911	10	916	17
4.1	77.57	503.71	104.91	0.2083	0.14858	0.00161	1.4849	0.02253	0.07247	0.0011	893	9	924	9	999	15
5.1	79.34	497.18	50.68	0.1019	0.15805	0.0017	1.49874	0.02126	0.06876	0.00098	946	9	930	9	892	14
6.1	82.15	549.49	128.21	0.2333	0.14384	0.00156	1.45589	0.0224	0.0734	0.00114	866	9	912	9	1025	15
7.1	27.45	155.71	108.62	0.6976	0.14613	0.00161	1.48315	0.02469	0.0736	0.00124	879	9	924	10	1031	17
8.1	52.17	325.11	55.35	0.1703	0.154026	0.00167	1.46455	0.02188	0.06884	0.00103	925	9	916	9	894	15
9.1	28.92	167.59	70.66	0.4216	0.15472	0.0017	1.5356	0.02505	0.07197	0.00118	927	9	945	10	985	17
10.1	66.93	430.29	59.21	0.1376	0.15009	0.00163	1.44386	0.02268	0.06975	0.0011	901	9	907	9	921	16
11.1c	49.37	304.25	45.31	0.1489	0.15605	0.00169	1.49146	0.02286	0.0693	0.00107	935	9	927	9	908	15
12.1c	23.70	138.26	60.48	0.4374	0.14937	0.00169	1.43196	0.02723	0.06951	0.00134	897	9	902	11	914	21
13.1	72.29	465.49	47.97	0.1031	0.15068	0.00162	1.4282	0.02092	0.06873	0.00101	905	9	901	9	891	14
14.1	23.89	130.76	70.11	0.5362	0.15789	0.00175	1.52526	0.02656	0.07005	0.00123	945	10	941	11	930	19
15.1	87.49	572.45	99.77	0.1743	0.1478	0.0016	1.41782	0.02126	0.06956	0.00105	889	9	896	9	915	15
16.1c	50.86	300.18	49.83	0.1660	0.15959	0.00174	1.53966	0.02456	0.06996	0.00112	954	10	946	10	927	16
17.1c	51.52	326.24	71.12	0.2180	0.14735	0.0016	1.38527	0.02192	0.06817	0.00109	886	9	883	9	874	16
18.1	41.80	274.77	94.40	0.3436	0.14208	0.00163	1.31766	0.02705	0.06725	0.0014	856	9	853	12	846	24
19.1	92.12	591.95	117.72	0.1989	0.14725	0.00161	1.42867	0.02317	0.07035	0.00115	886	9	901	10	939	17
20.1c	84.64	529.13	185.06	0.3497	0.14563	0.00158	1.54936	0.02408	0.07715	0.00121	876	9	950	10	1125	15
21.1c	78.45	461.01	153.86	0.3337	0.15085	0.00163	1.42836	0.02145	0.06866	0.00104	906	9	901	9	889	15
22.1	49.43	294.77	45.77	0.1553	0.15752	0.00171	1.46551	0.02302	0.06746	0.00107	943	10	916	9	882	16
23.1	60.06	368.34	91.59	0.2487	0.15075	0.00163	1.50135	0.02295	0.07222	0.00111	905	9	931	9	992	15
24.1	84.49	524.79	89.25	0.1701	0.15004	0.00164	1.46776	0.02352	0.07093	0.00115	901	9	917	10	955	16

续表 1-3
continued Table 1-3

点号	$\epsilon_{\text{Pb}}/10^{-6}$			Th/U			同位素比值						视年龄/Ma				
	Pb	U	Th	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		
AL0815-2(哈布其盖角闪二云片麻岩)																	
1.1	40.88	239.59	31.86	0.1330	1.60121	0.02434	0.16716	0.00181	1.60121	0.02434	0.06946	0.00106	0.996	0.971	10	912	15
2.1c	70.23	310.11	75.74	0.2442	2.40102	0.04232	0.20781	0.00225	2.40102	0.04232	0.0838	0.00173	1.217	1.243	13	1288	41
3.1	33.58	214.09	37.22	0.1739	1.45234	0.02389	0.15134	0.00166	1.45234	0.02389	0.06959	0.00115	0.908	0.911	10	916	17
4.1	77.57	503.71	104.91	0.2083	1.4849	0.02253	0.14858	0.00161	1.4849	0.02253	0.07247	0.0011	0.893	0.924	9	999	15
5.1	79.34	497.18	50.68	0.1019	1.49874	0.02126	0.15805	0.0017	1.49874	0.02126	0.06876	0.00098	0.946	0.930	9	892	14
6.1	82.15	549.49	128.21	0.2333	1.45589	0.0224	0.14384	0.00156	1.45589	0.0224	0.0734	0.00114	0.866	0.912	9	1025	15
7.1	27.45	155.71	108.62	0.6976	1.48315	0.02469	0.14613	0.00161	1.48315	0.02469	0.0736	0.00124	0.879	0.924	10	1031	17
8.1	52.17	325.11	55.35	0.1703	1.46455	0.02188	0.15426	0.00167	1.46455	0.02188	0.06884	0.00103	0.925	0.916	9	894	15
9.1	28.92	167.59	70.66	0.4216	1.5356	0.02305	0.15472	0.0017	1.5356	0.02305	0.07197	0.00118	0.927	0.945	10	985	17
10.1	66.93	430.29	59.21	0.1376	1.44386	0.02268	0.15009	0.00163	1.44386	0.02268	0.06975	0.0011	0.901	0.907	9	921	16
11.1c	49.37	304.25	45.31	0.1489	1.49146	0.02286	0.15605	0.00169	1.49146	0.02286	0.0693	0.00107	0.935	0.927	9	908	15
12.1c	23.70	138.26	60.48	0.4374	1.43196	0.02723	0.14937	0.00169	1.43196	0.02723	0.06951	0.00134	0.897	0.902	11	914	21
13.1	72.29	465.49	47.97	0.1031	1.4282	0.02092	0.15068	0.00162	1.4282	0.02092	0.06873	0.00101	0.905	0.901	9	891	14
14.1	23.89	130.76	70.11	0.5362	1.52526	0.02656	0.15789	0.00175	1.52526	0.02656	0.07005	0.00123	0.945	0.941	11	930	19
15.1	87.49	572.45	99.77	0.1743	1.41782	0.02126	0.1478	0.0016	1.41782	0.02126	0.06956	0.00105	0.889	0.896	9	915	15
16.1c	50.86	300.18	49.83	0.1660	1.53966	0.02456	0.15959	0.00174	1.53966	0.02456	0.06996	0.00112	0.954	0.946	10	927	16
17.1c	51.52	326.24	71.12	0.2180	1.38527	0.02192	0.14735	0.0016	1.38527	0.02192	0.06817	0.00109	0.886	0.883	9	874	16
18.1	41.80	274.77	94.40	0.3436	1.31766	0.02705	0.14208	0.00163	1.31766	0.02705	0.06725	0.0014	0.856	0.853	12	846	24
19.1	92.12	591.95	117.72	0.1989	1.42867	0.02317	0.14725	0.00161	1.42867	0.02317	0.07035	0.00115	0.886	0.901	10	939	17
20.1c	84.64	529.13	185.06	0.3497	1.54936	0.02408	0.14563	0.00158	1.54936	0.02408	0.07715	0.00121	0.876	0.950	10	1125	15
21.1c	78.45	461.01	153.86	0.3337	1.42836	0.02145	0.15085	0.00163	1.42836	0.02145	0.06866	0.00104	0.906	0.901	9	889	15
22.1	49.43	294.77	45.77	0.1553	1.46551	0.02302	0.15752	0.00171	1.46551	0.02302	0.06746	0.00107	0.943	0.916	9	852	16
23.1	60.06	368.34	91.59	0.2487	1.50135	0.02295	0.15075	0.00163	1.50135	0.02295	0.07222	0.00111	0.905	0.931	9	992	15
24.1	84.49	524.79	89.25	0.1701	1.46776	0.02352	0.15004	0.00164	1.46776	0.02352	0.07093	0.00115	0.901	0.917	10	955	16

续表 1-4

continued Table 1-4

点号	$\omega_B/10^{-6}$				Th/U		同位素比值				视年龄/Ma					
	Pb	U	Th	Th/U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
AL0815-2(哈布其盖角闪二云片麻岩)																
25.1	148.05	457.10	168.57	0.3688	0.27052	0.00293	3.70996	0.05479	0.09944	0.00148	1.543	15	1574	12	1614	13
26.1	35.29	181.88	106.28	0.5843	0.1557	0.00171	1.45856	0.02476	0.06793	0.00117	933	10	913	10	866	18
27.1	29.67	143.65	101.41	0.7060	0.15872	0.00176	1.53409	0.02683	0.07008	0.00124	950	10	944	11	931	19
28.1c	34.60	206.97	39.70	0.1918	0.15227	0.00171	1.39451	0.0264	0.06641	0.00127	914	10	887	11	819	22
29.1c	78.10	410.05	257.44	0.6278	0.14861	0.00162	1.85466	0.02918	0.09049	0.00144	893	9	1065	10	1436	15
30.1	39.34	206.27	88.06	0.4269	0.1591	0.00174	1.53583	0.02539	0.07	0.00117	952	10	945	10	928	17
31.1	45.05	255.00	54.59	0.2141	0.15672	0.00172	1.51406	0.02569	0.07005	0.0012	939	10	936	10	930	18
32.1	91.77	555.13	99.28	0.1788	0.14894	0.00163	1.45809	0.0242	0.07099	0.00119	895	9	913	10	957	17
33.1	101.15	639.77	76.60	0.1197	0.14548	0.00159	1.37782	0.0223	0.06867	0.00112	876	9	880	10	889	17
34.1	36.23	205.75	51.70	0.2513	0.1505	0.00167	1.42047	0.0312	0.06845	0.00168	904	9	898	13	882	52
35.1c	81.05	191.70	152.73	0.7967	0.29144	0.00317	4.20327	0.06422	0.10458	0.00161	1649	16	1675	13	1707	14
36.1	183.85	432.70	256.98	0.5939	0.30723	0.00332	4.68687	0.07024	0.11062	0.00167	1727	16	1765	13	1810	13
37.1	37.12	225.30	58.60	0.2601	0.14201	0.00164	1.33912	0.02806	0.06837	0.00146	856	9	863	12	880	25
38.1c	85.68	527.71	147.48	0.2795	0.13974	0.00157	1.46185	0.02683	0.07586	0.00141	843	9	915	11	1091	20
39.1	40.63	237.02	31.69	0.1337	0.15348	0.0017	1.45723	0.02609	0.06885	0.00125	920	10	913	11	894	20
40.1c	95.68	515.99	205.98	0.3992	0.14923	0.00166	1.57614	0.02781	0.07659	0.00137	897	9	961	11	1111	18
41.1	78.06	462.64	81.52	0.1762	0.14507	0.00158	1.42924	0.02709	0.07145	0.00156	873	9	901	11	970	46
42.2	75.49	459.17	119.24	0.2597	0.13845	0.00153	1.38998	0.02406	0.0728	0.00128	836	9	885	10	1008	18
43.1c	39.09	212.94	59.60	0.2799	0.1516	0.00168	1.43011	0.02524	0.0684	0.00122	910	9	902	11	881	19
44.1	104.65	620.57	135.55	0.2184	0.14211	0.00157	1.45186	0.02536	0.07408	0.00131	857	9	911	11	1044	18
45.1	73.61	409.54	53.80	0.1314	0.15536	0.0017	1.49621	0.02507	0.06983	0.00119	931	9	929	10	923	18
46.1	46.75	247.33	64.58	0.2611	0.15867	0.00175	1.55387	0.02676	0.07101	0.00124	949	10	952	11	938	18
47.1	114.62	676.27	77.90	0.1152	0.1499	0.00163	1.42278	0.02251	0.06882	0.0011	900	9	899	9	893	16
48.1c	159.55	392.93	312.15	0.7944	0.23338	0.00261	3.06762	0.05368	0.09531	0.0017	1352	14	1425	13	1534	17
49.1	114.12	660.93	109.05	0.16500	0.14681	0.0016	1.40598	0.02263	0.06944	0.00113	883	9	891	10	912	17
50.1	92.90	493.04	122.29	0.2480	0.15165	0.00166	1.46732	0.02444	0.07016	0.00118	910	9	917	10	933	17

16.1、19.1 和 25.1) 其余 20 个点的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb加权平均年龄为 913 ± 7 Ma, MSWD=1.3。该年龄代表了眼球状片麻岩中的锆石的形成年龄,即眼球状片麻岩的形成年龄。

该年龄结果与笔者(耿元生等,2002)曾获得的大布苏山眼球状片麻岩 972 ± 10 Ma 的锆石逐层蒸发法年龄结果接近,基本可以确定大布苏山眼球状片麻岩形成于新元古代早期。

4.2 AL0815-3 号样品

AL0815-3 号样品中的锆石形态与大布苏山眼球状片麻岩中的锆石形似,主要为次浑圆状、不规则状,在阴极发光下这类锆石的内部结构规则,有的呈层圈不多的环带,有的则呈不规则的条带(图 5)。

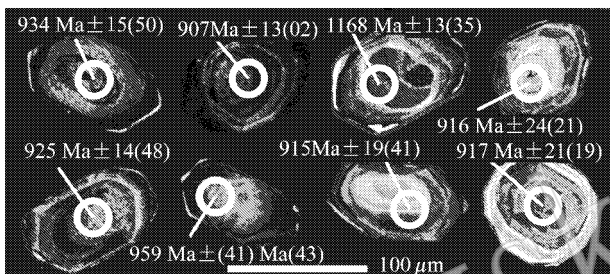


图 5 AL0815-3 号样品中锆石的阴极发光图像 (图中数据采用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 的表面年龄)

Fig. 5 CL images of zircons from porphyritic (augen) gneiss (AL0815-3) (ages in the figure are ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb ages)

少部分锆石为柱状,长宽比为 2:1~4:1。这类锆石在阴极发光下,有的显示出内部较宽,外部较窄的生长环带,有的内部为不规则状的结构(图 5)。这两类锆石总体上具有岩浆锆石的特点。

对该样品进行了 50 个点的分析,其结果见表 1。它们的 Th 含量从 31.28×10^{-6} 到 172.28×10^{-6} , U 含量从 113.41×10^{-6} 到 1023.64×10^{-6} , Th/U 比值从 0.08 到 0.90,总体具有岩浆锆石的 Th/U 比值特征。其中 28.1 号点的 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄为 1765 ± 12 Ma,可能为继承性锆石。还有 10 个分析点的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄界于 1 004~1 215 Ma 期间,其中有的是内核的年龄,如 12.1 和 16.1 号点均位于有较明显内核的部位,它们的年龄分别为 1212 ± 18 Ma 和 1215 ± 23 Ma,但它们的 $t(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) > t(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) > t(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})$,这种特点通常认为是锆石中放射性成因铅不同程度丢失引起的(沈渭洲等,2000)。由于这组年龄多具有 $t(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) > t(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) > t(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})$ 特点,可以认为是

较老锆石铅丢失的结果,所以这组数据点多位于谐和线的下方(图 6)。但是并不是所有具有内核的点都获得大的年龄,如 17.1 也是位于一粒锆石暗色的核部,其²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 表面年龄为 941 ± 49 Ma。这可能意味着部分锆石的核部已被强烈地改造,与后期的年龄一致,只是保留了原来的结构。

去除上述 1 004~1 215 Ma 的一组数据和和分析误差大的数据,其余 26 个点多位于谐和线上(图 6),它们的²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 加权平均年龄为 921 ± 7 Ma, MSWD=0.69。该年龄可以代表样品中主要锆石的形成年龄,即可以代表眼球状片麻岩原岩斑状二云母花岗岩的形成年龄。该结果与大布苏山眼球状花岗岩 913 ± 7 Ma 的年龄结果在误差范围内是一致的。

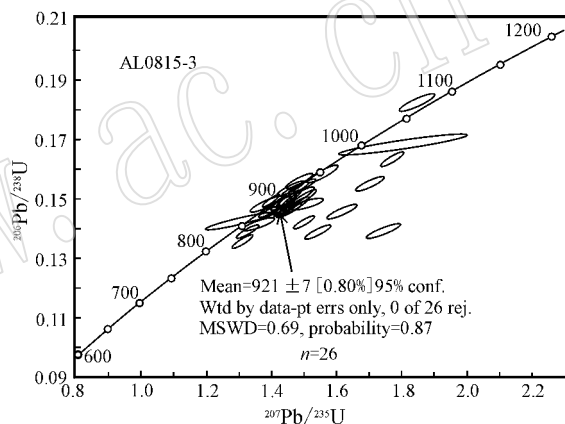


图 6 AL0815-3 号样品锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U - ²⁰⁷Pb/²³⁵U 谐和图

Fig. 6 U-Pb concordia diagram of zircons from porphyritic (augen) gneiss (AL0815-3)

4.3 AL0815-2 号样品

AL0815-2 号样品中的锆石形态主要为次浑圆状、不规则状,在阴极发光下这类锆石多数有一大小不等的较暗色的内核,内核的结构不明显。在内核的外部颜色较内核浅,为灰色,有的颗粒在这一部分发育有较密集环带(图 7)。少部分锆石为柱状,长宽比为 3:1~4:1,由于粉碎的粒径较细,这类锆石中的多数已破碎。这类锆石在阴极发光下,有的显示出内部较宽、外部较窄的生长环带,有的内部为不规则状的结构(图 7)。这两类锆石总体上具有岩浆锆石的特点,部分浑圆状锆石颗粒的暗色内核可能为继承性锆石或捕获的锆石。

对该样品进行了 50 个点的分析,其结果见表 1。它们的 Th 含量从 31.69×10^{-6} 到 312.15×10^{-6} , U 含量从 130.76×10^{-6} 到 676.27×10^{-6} , Th/U 比值

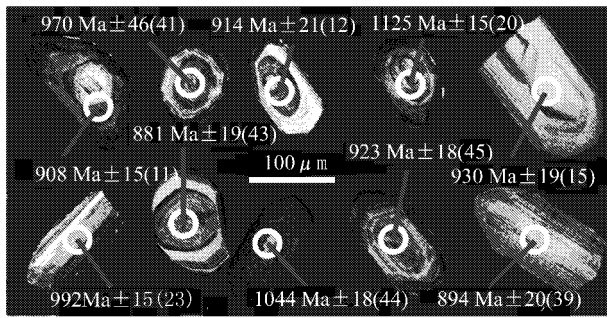


图 7 AL0815-2 号样品中锆石的阴极发光图像
(图中数据采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 的表面年龄)

Fig. 7 CL images of zircons from amphibole-bearing biotite-muscovite gneiss (AL0815-2) (ages in the figure are $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages)

从 0.1019 到 0.7967, 总体具有岩浆锆石的 Th/U 比值特征。由于该样品中的锆石部分具有明显的内核, 所以既测定了一部分核部数据(在表 1 的测点号后加 c 予以表示), 也测定了大量的没有核边结构的锆石颗粒。从数据(表 1)中可以看出, 具有核边结构的锆石年龄很复杂, 有的内核具有明显偏大的年龄, 如 29.1c、35.1c 和 48.1c 点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄分别为 $1\,436 \pm 15\text{ Ma}$ 、 $1\,707 \pm 14\text{ Ma}$ 和 $1\,534 \pm 17\text{ Ma}$, 有的内核则具有相对较大的年龄, 如 2.1c、20.1c 和 40.1c, 它们的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄分别为 $1\,288 \pm 41\text{ Ma}$ 、 $1\,125 \pm 15\text{ Ma}$ 和 $1\,111 \pm 18\text{ Ma}$ 。但也有在形态上具内核的锆石, 其内核年龄与样品中许多没有内核结构的锆石年龄一致, 如 11.1c 和 12.1c 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄分别为 $908 \pm 15\text{ Ma}$ 和 $914 \pm 21\text{ Ma}$ 。显然, 具有核的锆石可能具有不同的成因, 前两组年龄较大的核可能为继承锆石的年龄; 后一组的核可能是同一期岩浆作用中锆石结晶先后形成的。值得注意的是, 有的老锆石并没有作为核部被包裹, 如 36.1c 号颗粒并没有核边结构, 但却获得了该样品中最大的年龄($1\,810 \pm 13\text{ Ma}$)。由此看来, 该样品中的锆石非常复杂, 多数情况下内核的年龄相对较大, 而无核边结构的锆石年龄较小, 但也有例外, 不能确定核部一定老、无核的锆石一定年轻, 还需根据测得的具体数据进行分析。

对所有数据进行分析后, 可以将该样品中获得的 50 个年龄数据按时代分为 3 组。第 1 组年龄大于 $1\,400\text{ Ma}$, 包括 25.1、29.1c、35.1c、36.1 和 48.1c 等 5 个点, 在谐和图上均位于主锆石群的上方, 有的接近谐和线(图 8a), 有的有较弱的铅丢失。这些锆

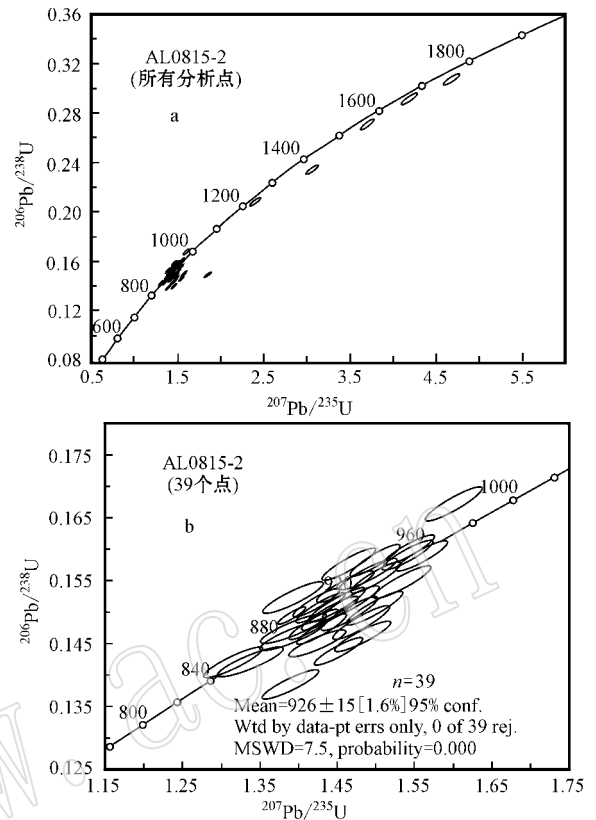


图 8 AL0815-2 号样品锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图(a 为所有的测点投影, b 为 a 图的局部放大)

Fig. 8 U-Pb concordia diagram of zircons from amphibole-bearing biotite-muscovite gneiss (AL0815-2)

石在年龄上的差异是由于锆石来源于不同时代的母岩还是来自同一时代的母岩后期铅丢失造成的尚需进一步研究, 但可以确定, 该样品中有来自较老母岩的继承性锆石。第 2 组年龄是 $1\,044 \sim 1\,288\text{ Ma}$, 包括 5 个点(2.1c、20.1c、38.1、40.1c 和 44.1)。它们有的呈锆石的核, 有的则无核边结构。这组数据都有不同程度的铅丢失, 在谐和图上位于主群锆石的下方, 但与主群年龄较接近。根据该组年龄多位于锆石的核部, 可以认为该组锆石年龄反映的是继承锆石年龄。去掉以上两组数据, 其余 39 个测点年龄是该样品的主群年龄, 该组中的锆石多数无核边结构, 年龄较集中, 在谐和图上主要位于谐和线上及附近(图 8b)。39 个点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 $926 \pm 15\text{ Ma}$, $\text{MSWD} = 7.5$ 。由于参加计算的点多, 且包括部分有铅丢失的点以及部分反向异常的点(图 8b 中偏离谐和线的点), 所以导致 MSWD 值偏高。可以认为这组锆石年龄代表了角闪二云母片麻岩的形成年龄。该年龄与同一采样点的眼球状片麻

岩 (AL0815-3) 的年龄 (921 ± 7 Ma) 十分接近, 说明它们是同时形成的, 结构上的变化只是变形程度的差异。

4.4 AL0817-1 号样品

条带状(角闪)黑云片麻岩(AL0817-1)中的锆石以柱状为主, 长 $100 \sim 200 \mu\text{m}$, 长宽比 $2:1 \sim 3:1$, 锥面不发育, 柱面有熔蚀。在阴极发光下, 有的锆石晶体具有明显的环带状构造, 环带疏密不一(图 9)。有的锆石颗粒仅显示出条带状的结构, 并没有构成封闭的生长环带(图 9)。有的锆石颗粒内部显示出不规则的结构, 有的显示出有较窄的增生边。锆石的 Th/U 比值介于 0.1240 到 1.5526 之间, 多数在 0.2 ~ 0.4 之间, 具有岩浆锆石的 Th/U 比值特征。综合锆石这些特征看, 它们主要属岩浆成因。

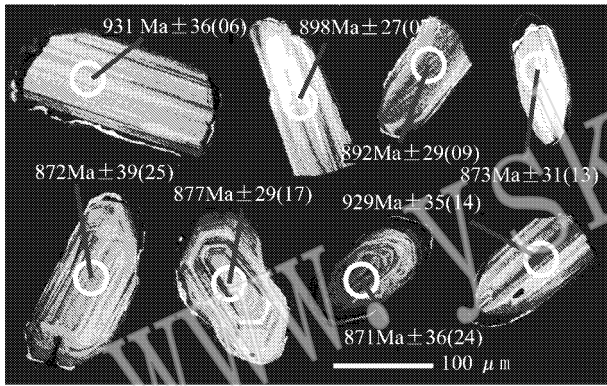


图 9 AL0817-1 号样品的锆石阴极发光图像 (图中数据采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 的表面年龄)

Fig. 9 CL images of zircons from banded gneiss (AL0817-1) (ages in the figure are $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages)

由于该样品中的锆石成分比较单一, 对其中 25 粒锆石进行了 25 个点的分析, 其结果见表 1。它们的 Th 含量从 38.68×10^{-6} 到 219.56×10^{-6} , U 含量从 84.34×10^{-6} 到 449.43×10^{-6} 。所测定的绝大多数点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄相近, 表明它们之间是和谐的, 所以在锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} - ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 谐和图基本位于谐和线上(图 10), 去掉谐和性较差和年龄偏大的 5 个点, 其余 20 个点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 的加权平均年龄为 904 ± 7 Ma, MSWD=2.1。综合野外特征、锆石特征和年龄数据, 笔者认为, 该加权年龄代表该样品中锆石的形成时代, 也可以代表条带状(角闪)黑云片麻岩的形成时代。

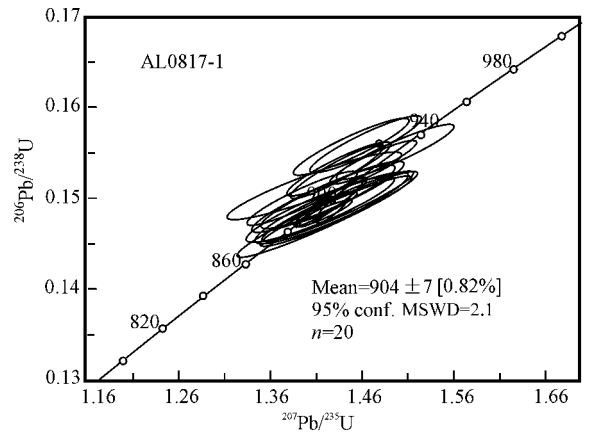


图 10 AL0817-1 号样品锆石 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} - ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和图
Fig. 10 U-Pb concordia diagram of zircons from banded gneiss (AL0817-1)

5 阿拉善地区新元古代早期岩浆事件的地质意义

5.1 从新元古代花岗岩看阿拉善地块的属性

以上采自不同地点的 4 个样品均获得了 904 Ma 到 921 Ma 的早晋宁期的岩浆事件年龄, 这些年龄与笔者等在该区获得的 972 ~ 845 Ma 的锆石逐层蒸发法的年龄数据(耿元生等, 2002)基本一致。以上数据均采自阿拉善的西部地区(阿拉善右旗), 表明阿拉善地区, 特别是西部地区受到了新元古代早期岩浆事件的强烈影响, 产生了一些与造山作用相关的花岗岩。这些花岗岩经历了较强烈的变形改造, 使它们以片麻岩的面貌出现, 使人误以为它们是阿拉善岩群内受到混合岩化改造的地层。通过本次锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年的研究, 进一步证明了在原阿拉善变质地层中有受到变形改造的早晋宁期的花岗岩。

从分布看, 新元古代早期的岩浆事件在华北克拉通内鲜有发现, 但在中央造山带中西部的变质地块则有较多的报道, 不论是中阿尔金-祁连-全吉地块、柴达木地块还是北秦岭地块(陆松年等, 2003, 2006, 2009) 都有出露(表 2)。这些新元古代早期的岩浆岩以往多作为古老地块被划分, 近些年的同位素年代学则揭示出这些多已变形的花岗岩是新元古代早期的产物。并且, 在西部的新元古代早期的岩浆岩主要出露在卷入到中央造山带的变质地块中。尽管这些变质地块变质基底的组成和形成时代并不完全一致(陆松年等, 2009), 但它们都经历了新元古

表 2 中国西北变质地块新元古代早期岩浆事件的同位素年龄

Table 2 Summary of isotopic ages for Early Neoproterozoic granitoids in Northwest China

样品名称	采样地点	形成年龄/Ma	测定方法	资料来源
中阿尔金-祁连-全吉地块				
含石榴钾长花岗岩片麻岩	中阿尔金淡水泉	930 ± 42	锆石 TIMS	陆松年等(2006)
片麻状花岗岩	青海湟源县南约 5 km	930 ± 8	锆石 SHRIMP U-Pb	董国安等(2007)
片麻状花岗岩	甘肃省榆中县南马街山	918 ± 14	锆石 SHRIMP U-Pb	董国安等(2007)
片麻状二长花岗岩	甘肃省榆中县南马街山	943 ± 28	锆石 TIMS	Wan 等(2000)
片麻状花岗闪长岩	甘肃省榆中县南马街山	943 ± 28	锆石 TIMS	Wan 等(2000)
黑云钾长片麻岩	青海化隆合群峡	904 ± 7	SHRIMP U-Pb	陆松年等(2009)
花岗闪长岩	青海湟源东响河	917 ± 12	TIMS	郭进京等(2000)
花岗质片麻岩	阿尔金巴什瓦克石棉矿	905 ± 11	TIMS	陆松年等(2006)
变质凝灰岩	青海湟源湟源群	910 ± 7	TIMS	陆松年等(2006)
柴北缘俯冲碰撞杂岩带				
奥长花岗岩片麻岩	柴北缘绿梁山鱼卡河南	1 020 ± 41	TIMS	陆松年等(2002)
英云闪长质片麻岩	柴北缘绿梁山	987 ± 93	TIMS	陆松年等(2006)
眼球状花岗闪长片麻岩	柴北缘东段沙柳河	917 ± 21	SHRIMP U-Pb	陆松年等(2002)
花岗片麻岩	绿梁山	891 ± 31	SHRIMP	Zhang 等(2008)
二云母花岗岩片麻岩	柴北缘落凤坡	928 ± 18	TIMS	王惠初等(2004)
柴达木地块和敦煌地块				
正片麻岩	锡铁山	952 ± 13	TIMS	张建新等(2003)
正片麻岩	都兰北	927 ± 7	锆石 SHRIMP U-Pb	Mattinson 等(2006)
正片麻岩	都兰北	921 ± 7	锆石 SHRIMP U-Pb	
伟晶岩	甘肃敦煌大泉沟	913 ± 20	TIMS	陆松年等(2002)
北秦岭地块				
黑云母花岗岩片麻岩	陕西卢县涝峪	955 ± 8	TIMS	陆松年等(2003)
二云母花岗岩片麻岩	河南卢氏狮子坪	955 ± 5	TIMS	陆松年等(2003)
石英二长片麻岩	郭家坪	953 ± 14	SHRIMP U-Pb	陆松年等(2003)
黑云母二长花岗岩片麻岩	河南西峡德河	943 ± 18	SHRIMP U-Pb	陆松年等(2003)
黑云母二长花岗岩片麻岩	河南西峡德河	964 ± 5	TIMS	陆松年等(2003)
糜棱岩化黑云母花岗岩	河南西峡寨根	914 ± 10	SHRIMP U-Pb	陆松年等(2003)
英云闪长质片麻岩	陕西太白官山	911 ± 18	SHRIMP U-Pb	陆松年等(2003)
黑云花岗闪长质片麻岩	河南西峡李家庄	937 ± 21	SHRIMP U-Pb	陆松年等(2009)
阿拉善地块				
眼球状片麻岩	内蒙古阿拉善右旗大布苏山	972 ± 10	颗粒锆石蒸发法	耿元生等(2002)
眼球状片麻岩	内蒙古阿拉善右旗大布苏山	913 ± 6.6	LA-ICPMS	本文
眼球状花岗岩片麻岩	内蒙古阿右旗哈布其盖	921 ± 7.4	LA-ICPMS	本文
角闪二长片麻岩	内蒙古阿右旗哈布其盖	926 ± 15	LA-ICPMS	本文
条带状(角闪)片麻岩	内蒙古阿右旗可可托勒盖	904 ± 7.4	LA-ICPMS	本文

代早期岩浆事件的改造和影响,彼此之间具有相似性。

不论是阿拉善地区的新元古代早期的花岗岩,还是中阿尔金-祁连-全吉地块、柴达木地块、北秦岭地块中的新元古代早期的花岗岩,在地球化学参数上都具有钙碱性、富铝、富钾、轻重稀土元素分馏强烈,钨呈现明显负异常,Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素强烈亏损的特征(耿元生等,2002;徐学义等,2008;陆松年等,2009)。这种地球化学特征表明新元古代早期的岩浆事件具有地壳重熔的特点,显示同构造环境或同碰撞岩浆事件的特征(耿元生,2002;徐学

义等,2008;陆松年等,2009)。

“地块”一词系指“卷入造山带中的地质块体,其主体的形成时代早于造山作用形成的时代,但其整体或边缘受到造山作用的强烈改造”(陆松年等,2009)。从其分布和同造山的特点可以看出,阿拉善地块中的新元古代早期的岩浆事件与秦(岭)-祁(连山)-昆(仑山)造山带中变质地块中的同阶段的岩浆事件具有相似性,因此阿拉善地块即使不是全部,至少是西部曾卷入到新元古代早期的造山带中。由此推断,阿拉善变质基底应属于一个独立的地块,而相对独立于华北克拉通。黄汲清等(1977)曾提出阿拉

善地块固结时代为晋宁期。之后有的研究者认为柴达木-祁连-阿拉善为统一的地块,且与扬子地块关系密切,在震旦纪之前,可能属扬子地块的组成部分(郭进京等,1999a,1999b)。有的研究者还认为,阿拉善、中祁连-柴达木、北羌塘等微陆块和塔里木板块是一个整体的克拉通-西域板块,并且是在晋宁期形成的统一基底(葛肖虹等,2000;葛肖虹等,2009)。本文资料表明,阿拉善地块卷入了新元古代早期的造山作用,但其是否在该时期与柴达木地块和祁连地块形成统一的地块还需进一步研究。

5.2 新元古代早期岩浆事件与格林威尔造山运动

目前多数研究者认为中元古代晚期-新元古代早期的 Rodinia 超大陆是由 1.3~1.0 Ga 期间广泛的格林威尔运动拼合到一起的(McMenamin and McMenamin, 1990; Moores, 1991; Hoffman, 1991; Powell *et al.*, 1993; Li *et al.*, 1995; Ketchum *et al.*, 1998; Solari *et al.*, 2003)。有的学者提出在我国存在北秦岭造山带和江南造山带两条格林威尔期造山带(李江海等,1999),有的学者提出,中国各主要克拉通地块(包括华夏地块、扬子地块、华北地块、阿拉善-祁连-柴达木地块、塔里木地块)曾经通过晋宁期碰撞拼合带发生过一次全面的多块体复杂拼贴。这次拼贴过程是全球性新元古代格林威尔碰撞造山作用和 Rodinia 超大陆形成过程的一个组成部分(郭进京等,1999a)。从目前的年代学数据看,扬子地块和华夏地块的格林威尔期造山拼合时间主要在 1.1~0.9 Ga 期间(邢凤鸣等,1992; Li *et al.*, 2002; Greentree *et al.*, 2006; 张传恒等,2007; 耿元生等,2007; 杨崇辉等,2009),而祁连地块、柴达木地块、北秦岭地块和阿拉善地块等中国西北的格林威尔期的碰撞拼合则主要发生在 1.0~0.9 Ga 期间(表 2)。从时代和花岗岩的同造山的特点,可以认为中国西北地区(包括阿拉善地区)新元古代早期的岩浆事件是格林威尔期造山运动在该地区的反映。

6 结论

通过对阿拉善西部大布苏山、哈布其盖等地眼球状、条带状片麻岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 同位素的测定,分别获得了 913 ± 7 Ma、 921 ± 7 Ma、 926 ± 15 Ma 和 904 ± 7 Ma 的年龄结果,表明在原划分的古元古代阿拉善岩群中存在经过强烈变形改造的新元古代形成的正片麻岩。

通过与中阿尔金-祁连-全吉地块、柴达木地块和敦煌地块、北秦岭地块以及柴北缘俯冲碰撞杂岩带中新元古代早期岩浆事件的对比,提出阿拉善地块的西部与上述地块或碰撞杂岩带新元古代早期都经历了格林威尔期岩浆事件的改造,彼此间具有亲缘性,应形成于同一构造背景下,而与华北克拉通有较明显的区别。

致谢 在论文形成过程中与沈其韩院士、李锦轶研究员、葛肖虹教授等进行过多次讨论,从中受到很多启发,在此向他们表示感谢。两位评审员提出了宝贵的修改意见,一并表示感谢。

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192: 59~79.
- Chen Zhiyong, Yang Shuishi, Meng Ergen, *et al.* 2004. Revision of Precambrian stratigraphic units in the Bayan Nuruarea, Alxa Zuoqi, Inner Mongolia [J]. *Geological Bulletin of China*, 23(4): 345~351 (in Chinese with English abstract).
- Editorial Group of Regional Stratigraphic Chart of Ningxia Hui Autonomous Region. 1978. *Regional Stratigraphic Chart of Northwestern China (Ningxia Hui Autonomous Region Fascicule I M)*. Beijing: Geological Publishing House, 1~188 (in Chinese).
- Ge Xiaohong and Liu Junlai. 2000. Broken "Western China Craton" [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(1): 59~66 (in Chinese with English abstract).
- Ge Xiaohong, Ma Wenpu, Liu Junlai, *et al.* 2009. A discussion on the tectonic framework of Chinese mainland [J]. *Geology in China*, 36(5): 949~965.
- Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan *et al.* 2002. The discovery of Neoproterozoic Jinningian deformed granites in Alax area and its significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(4): 412~420 (in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, *et al.* 2006. Redefinition of the Alax Group of Precambrian metamorphic basement in Alax region, Inner Mongolia [J]. *Geology in China*, 33(1): 138~145 (in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, *et al.* 2007. Chronology of the Precambrian metamorphic series in the Alxa, Inner Mongolia [J]. *Geology in China*, 34(2): 251~261 (in Chinese with English abstract).
- Geng Yuansheng, Yang Chonghui, Wang Xinshe, *et al.* 2008. Metamorphic Basement Evolution in Western Margin of Yangtze Block [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~215 (in Chinese).
- Greentree M R, Li Z X, Li X H, *et al.* 2006. Late Mesoproterozoic to earliest Neoproterozoic basin record of the Sibao orogenesis in west-

- ern South China and relationship to the assembly of Rodinia [J]. *Precambrian Research* , 151 : 79~100.
- Guo Jinjing , Zhang Guowen , Lu Songnian. 1999a. Neoproterozoic continental block collage of China and Rodinia supercontinent [J]. *Geological Journal of China Universities* , 5(2) : 117~135 (in Chinese with English abstract).
- Guo Jinjing , Zhao Fengqing and Li Huaikun. 1999b. Jinningian collisional granite belt in the eastern sector of the Central Qilian Massif and its implication [J]. *Acta Geoscientia Sinica* , 20(1) : 10~15 (in Chinese with English abstract).
- Guo Jinjing , Zhao Fengqing and Li Huaikun. 2000. Jinningian collisional granite belt in the eastern sector of the Central Qilian Massif and its implication [J]. *Acta Geoscientia Sinica* , 20(1) : 10~15 (in Chinese with English abstract).
- Hoffman P F. 1991. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside out [J]. *Sciences* , 252 : 1409~1412.
- Huang T K , Ren Jishun , Jiang Chunfa , *et al.* 1977. An outline of the tectonic characteristics of China [J]. *Acta Geologica Sinica* , (2) : 117~135 (in Chinese with English abstract).
- Huo Fuchen , Cao Jingxuan , Dong Yansheng , *et al.* 1987. The Division correlation metamorphism and mineralization features of the lower and middle Precambrian in the Helashan Mountain- Alashan region , China [J]. *Journal of the Changchun Geological Institute* , 17(1) : 35~46 (in Chinese with English abstract).
- Ketchum J W F , Heaman L M , Krogh T E , *et al.* 1998. Timing and thermal influence of late orogenic extension , in the lower crust : a U-Pb geochronological study from the southwest Grenville orogen , Canada [J]. *Precambrian Research* , 89 : 25~45.
- Li Jianghai and Mu Jian. 1999. Tectonic constraints from Chinese cratonic blocks for the reconstruction of Rodinia [J]. *Scientia Geologica Sinica* , 34(3) : 259~272 (in Chinese with English abstract).
- Li Z X , Zhang L and Powell C McA. 1995. South China in Rodinia : part of the missing link between Australia-East Antarctica and Laurentia [J]. *Geology* , 23 : 407~410.
- Li Zhengxiang , Li Xianhua , Zhou Hanwen , *et al.* 2002. Grenvillian continental collision in south China : New SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia [J]. *Geology* , 30(2) : 163~166
- Lu Songnian. 2002. Preliminary Study of Precambrian Geology in the North Tibet-Qinghai Plateau [M]. Beijing : Geological Publishing House , 1~125 (in Chinese).
- Lu Songnian , Yu Haifeng , Li Huaikun , *et al.* 2006. The Research of Important Precambrian Geological Problems of China : A Group of Important Precambrian Geological Problems of Western China and the Global Tectonic Significance [M]. Beijing : Geological Publishing House , 1~206 (in Chinese).
- Lu Songnian , Yu Haifeng , Li Huaikun , *et al.* 2009. Precambrian Metamorphic Basement and Structural Division of the Centre-Western of Central China Orogen [M]. Beijing : Geological Publishing House , 1~203 (in Chinese).
- Mattinson C G , Wooden J L , Liou J G , *et al.* 2006. Geochronology and tectonic significance of Middle Proterozoic granitic orthogneiss , North Qaidam HP/UHP terrane , Western China [J]. *Mineralogy and Petrology* , 88 : 227~241.
- McMenamin M A S and McMenamin D L S. 1990. The Emergence of Animals : The Cambrian Break Through [M]. New York : Columbia University Press , 1~12.
- Moore J L. 1991. Southwest U S-East Antarctic (SWEAT) connection : a hypothesis [J]. *Geology* , 19 : 425~428.
- Powell C M , Li Z X , McElhinny M W , *et al.* 1993. Paleomagnetic constraints on timing of the Neoproterozoic breakup of Rodinia and the Cambrian formation of Gondwana [J]. *Geology* , 21 : 889~892.
- Ren Jishun , Jiang Chunfa , Zhang Zhengkun , *et al.* 1980. The Geotectonic Evolution of China [M]. Beijing : Science Press , 1~124 (in Chinese).
- Shen Weizhou , Li Huimin , Xu Shijin , *et al.* 2000. U-Pb chronological study of zircons from the Huangcaoshan and Xiasuozi granites in the western margin of Yangtze plate [J]. *Geological Journal of China Universities* , 6(3) : 412~416 (in Chinese with English abstract).
- Solari L A , Keppie J D , Ortega-Gutierrez F , *et al.* 2003. 990 and 1000 Ma Grenvillian tectonothermal events in the northern Oaxacan Complex , southern Mexico : roots of an orogen [J]. *Tectonophysics* , 365 : 257~282.
- Tung Kuoan , Yang Huaifen , Yang Hougnyi , *et al.* 2007. SHRIMP U-Pb geochronology of the zircons from the Precambrian basement of the Qilian Block and its geological significance [J]. *Chinese Science Bulletin* , 52(19) : 2687~2701.
- Wan Y S , Yang J S , Xu Z Q , *et al.* 2000. Geochemical characteristics of the Maxianshan complex and Xinglongshan group in the eastern segment of the Qilian orogenic belt [J]. *J. Geol. Soc. China* , 43(1) : 52~68.
- Wan Y S , Zhang J X , Yang J S , *et al.* 2006. Geochemistry of high-grade metamorphic rocks of the North Qaidam Mountains and their geological significance [J]. *Journal of Asian Earth Sciences* , 28 : 174~184.
- Wang Huichu , Yuan Guibang , Xin Houtian , *et al.* 2004. Geological characteristic and age of the Iqe River Group-complex on the northern margin of the Qaidam basin [J]. *Geological Bulletin of China* , 23(4) : 314~321 (in Chinese with English abstract).
- Xing Fengming , Xu Xiang , Chen Jiangfeng , *et al.* 1992. The late Proterozoic continental accretionary history of the southeastern margin of the Yangtze Platform [J]. *Acta Geologica Sinica* , 66(1) : 59~72 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi , He Shiping , Wang Hongliang , *et al.* 2008. Conspectus of Regional Geology in the northwestern China—Qinling , Qilian and Tianshan regions [M]. Beijing : Science Press , 1~347 (in Chinese).
- Yang Chonghui , Geng Yuansheng , Du Lilin , *et al.* 2009. The identification of the Grenvillian granite of the western margin of the Yangtze Block and its geological implications [J]. *Geology in China* , 36(3) : 647~657 (in Chinese with English abstract).

Zhang Chuanheng, Gao Linzhi, Wu Zhenjie, *et al.* 2007. SHRIMP U-Pb zircon age of tuff from the Kunyang Group in central Yunnan: Evidence for Grenvillian orogeny in South China [J]. Chinese Science Bulletin, 52(11): 1517~1525.

Zhang Jianxin, Mattinson C G, Meng Fancong, *et al.* 2008. Polyphase tectonothermal history recorded in granulitized gneisses from the north Qaidam HP/UHP metamorphic terrane, western China: Evidence from zircon U-Pb geochronology [J]. Geological Society of America Bulletin, 120: 732~749.

Zhang Jianxin, Wan Yusheng, Meng Fancong, *et al.* 2003. Geochemistry, Sm-Nd and U-Pb isotope study of gneisses (schists) enclosed eclogites in the North Qaidam Mountains—deeply subducted Precambrian metamorphic basement [J]. Acta Petrologica Sinica, 19: 443~451 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈志勇, 杨帅师, 孟二根, 等. 2004. 内蒙古阿拉善左旗巴音诺日公地区前寒武系的厘定 [J]. 地质通报, 23(4): 345~351.

董国安, 杨怀仁, 杨宏仪, 等. 2007. 祁连地块前寒武纪基底锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其地质意义 [J]. 科学通报, 52(13): 1572~1585.

葛肖虹, 马文璞, 刘俊来, 等. 2009. 对中国大陆构造格架的讨论 [J]. 中国地质, 36(5): 949~965.

葛肖虹, 刘俊来. 2000. 被肢解的“西域克拉通” [J]. 岩石学报, 16(1): 59~66.

耿元生, 王新社, 沈其韩, 等. 2002. 阿拉善地区新元古代晋宁期变形花岗岩的发现及其地质意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 21(4): 412~420.

耿元生, 王新社, 沈其韩, 等. 2006. 内蒙古阿拉善地区前寒武纪变质基底阿拉善群的再厘定 [J]. 中国地质, 33(1): 138~145.

耿元生, 王新社, 沈其韩, 等. 2007. 内蒙古阿拉善地区前寒武纪变质岩系形成时代的初步研究 [J]. 中国地质, 34(2): 251~261.

耿元生, 杨崇辉, 王新社, 等. 2008. 扬子地台西缘变质基底演化 [J]. 北京: 地质出版社, 1~215.

郭进京, 张国伟, 陆松年, 等. 1999a. 中国新元古代大陆拼合与 Rodinia 超大陆 [J]. 高校地质学报, 5(2): 148~156.

郭进京, 赵凤清, 李怀坤. 1999b. 中祁连中段晋宁期碰撞型花岗岩及其地质意义 [J]. 地球学报, 20(1): 10~15 259~272.

郭进京, 赵凤清, 李怀坤. 2000. 中祁连中段晋宁期碰撞型花岗岩及其地质意义. 地球学报, 20(1): 10~15.

黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 1977. 中国大地构造基本轮廓 [J]. 地质学报, 1977(2): 117~135.

霍福臣, 曹景轩, 董燕生, 等. 1987. 贺兰山-阿拉善地区下、中前寒武系的划分对比及其变质、成矿作用特征 [J]. 长春地质学院学报, 17(1): 35~46.

李江海, 穆剑. 1999. 我国境内格林威尔造山带的存在及其对中元古代末期超大陆再造的制约 [J]. 地质科学, 34(3): 259~272.

陆松年. 2002. 青藏高原北部前寒武纪地质初探 [M]. 北京: 地质出版社, 1~125.

陆松年, 李怀坤, 陈志宏. 2003. 秦岭中-新元古代造山带与 Rodinia 大陆再造 [M]. 北京: 地质出版社, 1~190.

陆松年, 于海峰, 李怀坤, 等. 2009. 中央造山带(中-西部)前寒武纪地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1~203.

陆松年, 于海峰, 李怀坤, 等. 2006. 中国前寒武纪重大地质问题研究——中国西部前寒武纪重大地质事件群及其全球构造意义 [M]. 北京: 地质出版社, 1~206.

宁夏回族自治区区域地层表编写组. 1978. 西北地区区域地层表 [M]. 北京: 地质出版社, 1~188.

任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 1980. 中国大地构造及其演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1~124.

沈渭洲, 李惠民, 徐士进, 等. 2000. 扬子板块西缘黄草山和下索子花岗岩体锆石 U-Pb 年代学研究 [J]. 高校地质学报, 6(3): 412~416.

王惠初, 袁桂邦, 辛后田, 等. 2004. 柴达木盆地北缘鱼卡河岩群的地质特征和时代 [J]. 地质通报, 23(4): 314~321.

邢凤鸣, 徐祥, 陈江峰, 等. 1992. 江南古陆东南缘晚元古代大陆增生史 [J]. 地质学报, 66(1): 59~72.

徐学义, 何世平, 王洪亮, 等. 2008. 中国西北部地质概论——秦岭、祁连、天山地区 [M]. 北京: 科学出版社, 1~347.

杨崇辉, 耿元生, 杜利林, 等. 2009. 扬子地块西缘 Grenville 期花岗岩的厘定及其地质意义 [J]. 中国地质, 36(3): 647~657.

张传恒, 高林志, 武振杰. 2007. 滇中昆阳群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄: 华南格林威尔造山的证据 [J]. 科学通报, 52(7): 818~824.

张建新, 万渝生, 孟凡聪, 等. 2003. 柴北缘夹榴辉岩的片麻岩(片岩)地球化学、Sm-Nd 和 U-Pb 同位素研究——深俯冲的前寒武纪变质基底 [J]. 岩石学报, 19: 443~451.