

# 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

耿元生<sup>1</sup> 王新社<sup>1</sup> 沈其韩<sup>1</sup> 吴春明<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:**根据锆石 SHRIMP 和单颗粒逐层蒸发法的研究, 初步确定了内蒙古阿拉善地区早前寒武纪变质岩系的形成时代。迭布斯格岩群下部依肯乌苏岩组的形成时代为 2 700 Ma 左右, 并经历了新太古代晚期和古元古代末两期变质改造, 同时在其中发现了目前该区最老的 3.5 Ga 的残留碎屑锆石。巴彦乌拉山岩组形成于 2 500~2 264 Ma, 属于古元古代。在阿拉善岩群中获得了 1 367 Ma 和 1 617 Ma 的离子探针分析结果, 因此不能排除部分阿拉善岩群属于中元古代的可能性。初步的同位素年代学研究表明, 该区的变质岩系由不同时代的多套变质岩系组成, 具有各自的组成特点, 应将它们划分开。

**关键词:**前寒武纪; 变质地层; 形成年龄; 年代学; 阿拉善地区

**中图分类号:** P588.3; P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)02-0251-11

## 1 引言

内蒙古自治区阿拉善盟东自磴口西到雅布赖山分布一套早前寒武纪的中高级变质岩系, 曾将其统称为阿拉善群<sup>[1]</sup>, 时代归为太古宙。霍福臣等<sup>[2]</sup>对阿拉善群进行了重新厘定, 划分为中太古代的迭布斯格群、新太古代的阿拉善群和古元古代的阿拉坦敖包群。中国地层典(太古宇)<sup>[3]</sup>采纳了这一方案。陈志勇等<sup>[4]</sup>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岩群、古元古代的巴彦乌拉山岩组和古—中元古代的阿拉善岩群以及主体为古元古代的波罗斯坦庙深成片麻岩和主体为新元古代的毕及格台深成片麻岩<sup>[5]</sup>(图 1)。

该区变质岩系的同位素年代学研究早期以矿物的 K-Ar 法为主, 得到的多为晚古生代到中生代的结果。后在迭布斯格岩群获得了 3 219 Ma 的全岩 Rb-Sr 等时线年龄<sup>[6]</sup>, 在小井子伟晶岩中获得过 1 948 Ma 的褐帘石 U-Pb 法年龄<sup>[7]</sup>。在巴彦乌拉山的花岗闪长质片麻岩中曾获得过(2 082±22)Ma 的颗粒锆石 U-Pb 法年龄结果<sup>[7]</sup>。在本区书记沟组不整合面之

下的哈布达哈拉片麻岩中获得过(1 953±49)Ma 的锆石 U-Pb 不一致线年龄<sup>[8]</sup>。在原划分为阿拉善群达布苏山组的眼球状片麻岩中获得过(928±7)Ma 和(1 077±11)Ma 的颗粒锆石逐层蒸发法年龄结果<sup>[9]</sup>。以上同位素年龄资料一方面表明该区的变质岩系形成时代较为复杂, 并经历了多期构造热事件的改造; 另一方面也说明目前该区可靠的同位素年龄资料还很少, 比华北东部五台山地区、阜平地区的同位素年代学研究还有较大差距。笔者根据对该区变质岩系的划分, 重点对该区迭布斯格岩群、巴彦乌拉山岩组和阿拉善岩群的形成时代进行讨论, 其基本地质特征可见参考文献<sup>[8]</sup>, 在此不赘述。

## 2 分析测试方法

为从岩石样品中选取锆石, 先将采集的样品用清水清洗, 之后用大锤或颚式破碎机将大样破碎成小块, 再根据样品粒度用球磨机将样品粉碎到 80~120 目。为避免选择过程中的污染, 采用淘盘淘洗方法。经过粗淘把长石、石英等轻矿物分离。把剩余的重矿物经过多次淘洗, 选出锆石。然后在双目镜下逐一挑选, 剔除杂质, 使挑选出的锆石纯度达到 98% 以上。根据对锆石的阴极发光的研究, 该区部分深成岩中的锆石内部结构简单, 退变质边不发育, 采用微量锆石逐层蒸发法分析。对结果较复杂的样品采用离子探针分析。

收稿日期: 2006-07-31; 改回日期: 2007-01-17

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(199913000006)和国家自然科学基金(40672126)资助。

作者简介: 耿元生, 男, 1950 年生, 研究员, 主要从事前寒武纪地质、变质地质和岩石学研究; Email: ys-geng@cags.net.cn。

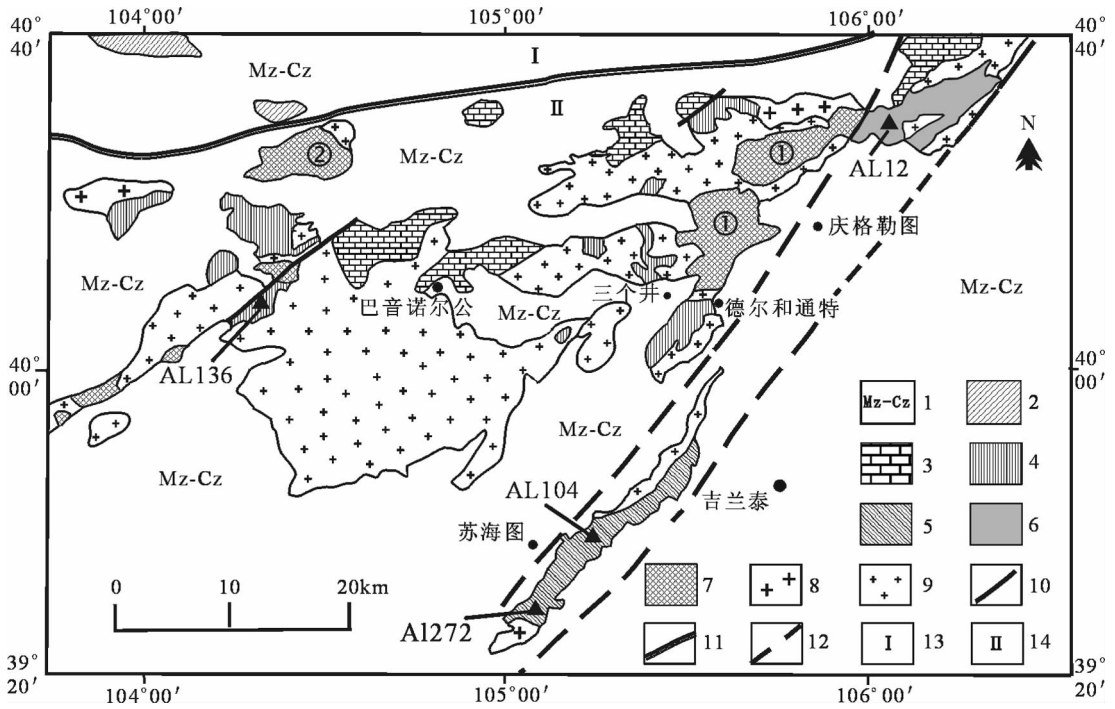


图1 阿拉善地区地质略图

1—中—新生界;2—古生界;3—中元古代巴音西别组;4—元古—中元古代阿拉善岩群;5—元古—中元古代巴彦乌拉山岩组;6—新太古代迭布斯格岩群;7—变质深成杂岩;①—波罗斯坦庙花岗岩质片麻岩杂岩,②—毕及格台花岗闪长质片麻岩杂岩;8—加里东期花岗岩;9—海西—印支期花岗岩;10—断层;11—边界断层;12—推测断层;13—海西期造山带;14—阿拉善地块

Fig.1 Geological sketch map of the Alxa area

1-Meso-Cenozoic;2-Paleozoic;3-Mesoproterozoic Bayinxibe Formation;4-Paleo- and Mesoproterozoic Alxa Group-complex; 5-Paleoproterozoic Bayan Ul Formation;6-Neoproterozoic Diebusige Group-complex;7-Plutonic metamorphic complex; ①-Boluosutanmiao tonalitic-granitic-gneissic complex;②-Bijigetai granodioritic-gneissic complex; 8-Caledonian granite; 9-Hercynian-Indosinian granite;10-Fault;11-Boundary fault;12-Inferred fault;13-Hercynian orogenic belt;14-Alxa block

锆石离子探针分析样品的制备按宋彪等<sup>[4]</sup>提出的方法进行,对抛光后的样品进行阴极发光和透、反射光照相,便于测定时确定需测定的颗粒位置。上述准备工作完成后,再对样品靶进行清洗,用纯度为99.999%的金丝进行镀金,以备测定使用。本次研究的所有锆石离子探针分析均在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心的SHRIMP II离子探针上用标准测定程序条件<sup>[10]</sup>进行。用标准锆石SL13校正U含量(标准值为 $U=238 \times 10^{-6}$ ,  $t=572$  Ma),TEM用于校正年龄(标准值为 $t=417$  Ma),每分析一次标样TEM测定3~4个样品锆石点。

单颗粒锆石逐层蒸发法按Kober<sup>[11]</sup>提出,刘敦一等<sup>[12]</sup>改进的方法进行。先将要测定的锆石颗粒置于铯(Re)蒸发带的中心部位,装于离子源并与相对的电离带呈平行状开始分析,在蒸发带和电离带上加高温数秒钟以除去锆石表面的普通铅。而后开始逐层蒸发、沉淀、测定。锆石逐层蒸发法测定在中国地质科学院地质研究所同位素地质开放研究实验室的MAT-261质谱计上完成,微弱铅离子流用电子倍增器收集并测定。质量分馏对Pb每个质量单位约为0.3%,普通铅按测定的<sup>204</sup>Pb的丰度扣除。年龄误差以95%置信度表示。

### 3 主要变质岩层的同位素年龄测定结果

本区的变质地层以变质碎屑岩为主,确定其形成时代存在较大困难。尽管如此,仍对其中的一些片麻岩进行了锆石离子探针或锆石逐层蒸发法同位素年龄测定,以确定其形成时代。

#### 3.1 迭布斯格变质岩群的同位素年代

AL12号样品采自内蒙古自治区阿拉善左旗哈拉陶勒盖,地理坐标为北纬40°31.596',东经106°06.327',岩性为透辉角闪斜长片麻岩,主要由角闪石、斜长石、透辉石等组成,透辉石和角闪石部分阳起石化。斜长石不等粒粒状,粒度0.4~2.5 mm,变化较大,轻微绢云母化。有的斜长石中有钾长石斑块。石英呈不规则粒状,大小差别很大,大者与斜长石呈镶嵌状,不规则细粒者充填于斜长石和钾长石之间。棕色角闪石为不规则粒状,多色性不明显,但两组菱形解理清楚。有的角闪石边部有一圈帘石边,是晚期退变质的结果。透辉石呈残晶状,多已强烈蚀变,难于识别。但在一些颗粒的核部仍可见突起高、多色性明显的残晶,表明原为透辉石。副矿物有榍石、锆石、磁铁矿、磷灰石等。岩石中所含的锆石以紫色为

主,长圆柱状,粒度较大,长轴方向多大于 200 μm,晶面浑浊,棱角圆滑,表面常见麻坑。在采样点上,透辉角闪斜长片麻岩和含辉斜长角闪岩、斜长角闪岩及条带状混合岩间层产出。岩层属于查布斯格岩群下部的依肯浩特岩组。

为确定该样品的年龄,首先进行了锆石双带逐层蒸发法年龄测定(表 1)。所测定的 7 组锆石显示出 3 组年龄。1 号测点的 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄为(1 954±4)Ma,应为吕梁期变质改造的年龄。7 号测点的 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄为(2 963±14)Ma,2~6 号测点的 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄从(2 394±35)Ma 到(2 514±6)Ma,相互接近,应属于同一热事件的产物,5 个测点的平均值为 2 453 Ma。从逐层蒸发法测定结果可知,该样品中的锆石不属于同一世代,成因复杂,为此笔者对该样品又进行了锆石离子探针分析。

由 AL12 号样品的离子探针分析结果(表 2)可以看出,所测定的 28 个点大致可以分为 4 组年龄(图 2),第一组年龄大于 2 800 Ma,共有 3 个点,最老可到 3 600 Ma 左右;第二组年龄在 2 750 Ma 左右;第三组年龄在 2 400~2 500 Ma;第四组年龄为 1 900~2 000 Ma。除测到可与蒸发法测定结果相互印证的 3 组年龄之外,还测定到一组 2 750 Ma 左右的年龄,表明该样品中的锆石大致形成于 4 个阶段。

为搞清锆石的成因,对部分离子探针分析过的锆石进行了阴极发光研究。大部分锆石呈浑圆状外形,应以碎屑锆石和变质锆石为主。其中部分锆石含有具环带的内核(发光较弱)和宽窄不一的边(发光较强),有的锆石在核和边之间还

有一中间层,可称为幔(图 3)。有两个颗粒边部(4.r,13.r)的 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄分别为(1 990±13)Ma 和(1 838±22)Ma,其核部 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄分别为(2 465±17)Ma 和(2 467±170)Ma,这表明 1 900~2 000 Ma 的年龄代表晚期变质改造的年龄。另一些锆石,如 AL12 中的 1.1,3.1 和 18.1 等颗粒的 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄也在此范围,均应属晚期变质成因。值得注意的是,还有部分颗粒的边部年龄在 2 690 Ma 左右(如 9.r, 11.r),其核部年龄最大可达(3 570±7)Ma,其他则在 2 750 Ma 左右。对于这些颗粒而言,核部为碎屑锆石,因此其年龄变化较大,而边部则代表其遭受早期变质改造的年龄。由此可知,最早一期的变质事件在 2 690 Ma 左右,大于 2 700 Ma 的锆石应属碎屑锆石,除个别测点达到 3 500 Ma 之外,多数碎屑锆石的 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄在 2 750 Ma 左右(如 2.1,6.1,11.c,17, 17.1, 19.1)。这些锆石多具环带结构(图 3),显示岩浆成因特点,表明这些碎屑锆石主要来自岩浆岩区。碎屑锆石的最小年龄在 2 750 Ma 左右,而边部变质成因的外环已达 2 690 Ma,由此可以推断该岩石形成于 2 750~2 690 Ma,考虑到从沉积到变质改造的过程,初步判断岩石形成于 2 700 Ma 之前。从 2 690 Ma 到 2 450 Ma 期间的锆石是一期变质作用的产物还是两期变质作用的产物,目前还缺少充分的依据。

通过该样品的分析,可以说碎屑锆石大于 2 750 Ma,最老达到 3 570 Ma,岩石大致形成于 2 700 Ma,第一期变质作用发生在 2 690 Ma 时,到古元古代末期(1 900~2 000 Ma)又经历了一次较强烈的变质改造。

表 1 AL12 号样品颗粒锆石质谱计双带逐层蒸发-沉积法年龄测定结果

Table 1 Stepwise evaporation-deposition dating of zircon grains from sample AL12

颗粒号	S	NS	锆石中铅同位素测量值(2σ)			计算结果(2σ)		锆石特征
			<sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>204</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	( <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb)*	年龄/Ma	
1	1	5	0.1136±13	0.11488±37	0	0.11488±37	300 μm×200 μm 1 粒,紫色,长圆柱状,晶面不清,棱角圆,表面多麻坑,少裂纹,透明度一般	
	2	10	0.11587±58	0.11715±40	0	0.11715±41		
	3	30	0.1963±9	0.11984±24	0	0.11984±24 1954±4		
2	1	10	0.0520±23	0.1617±23	0	0.1617±23 2474±24	260 μm×200 μm, 2 粒,锆石特征同颗粒 1	
3	1	20	0.0293±25	0.1543±32	0	0.1543±32 2394±35	240 μm×200 μm, 4 粒,锆石特征同颗粒 1	
	2	25	0.05353±20	0.14566±22	0	0.14566±22		
4	1	10	0.06431±40	0.14984±19	0	0.14984±19	240 μm×200 μm, 4 粒,紫色,长圆柱状,晶面不清,棱角圆,表面多麻坑,少裂纹,透明度一般	
	2	15	0.06716±48	0.15158±22	0.0000043±38	0.15152±22		
	3	15	0.0698±10	0.1529±9	0.0000118±53	0.1528±9		
	4	20	0.07471±48	0.15616±26	0.0000079±40	0.15606±26		
5	1	50	0.02535±33	0.13319±58	0.0000110±52	0.13305±58	220 μm×160 μm, 5 粒,紫色,长圆柱状,晶面不清,棱角圆,表面多麻坑,少裂纹,透明度一般	
	2	25	0.0303±12	0.1537±8	0	0.1537±8		
	3	10	0.02728±54	0.15164±37	0	0.15164±37		
	4	10	0.0310±9	0.15409±45	0	0.15409±45		
	5	5	0.0353±13	0.15700±24	0	0.15700±24 2424±3		
6	1	10	0.06895±55	0.1572±8	0	0.1572±8	200 μm×100 μm, 3 粒,锆石特征同颗粒 1	
	2	15	0.0738±9	0.16057±52	0	0.16057±52 2462±6		
7	1	10	0.0520±19	0.1318±30	0	0.1318±30	200 μm×100 μm, 6 粒,紫色,长圆柱状,晶面不清,棱角圆,表面多麻坑,少裂纹,透明度一般	
	2	20	0.06505±32	0.15282±15	0.0000263±24	0.15248±15		
	3	25	0.1204±22	0.1850±16	0.0000050±16	0.1844±16 2963±14		

注:S 代表蒸发沉积的阶段,NS 代表沉积后测得的数据组数 (Block 数目),每个 Block 由 8 次扫描构成;(<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb)\*

表示放射性成因铅的同位素比值。

表 2 阿拉善地区样品的锆石离子探针分析结果  
Table 2 SHRIMP U-Pb zircon analyses of samples from the Alxa area

点号	U( $10^{-6}$ )	Th( $10^{-6}$ )	Th/U	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}_c$	同 位 素 比 值( $\pm\%$ )			表 面 年 龄(Ma)	
						$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
AL12										
1.1	1037	320	0.32	284	0.02	$0.3186\pm 1.3$	$5.025\pm 1.3$	$0.11438\pm 0.25$	$1783\pm 20$	$1870\pm 4.5$
2.1	165	146	0.92	72	0.00	$0.5095\pm 1.4$	$13.44\pm 1.4$	$0.19136\pm 0.43$	$2655\pm 30$	$2754\pm 7$
3.1	761	136	0.19	225	0.04	$0.3446\pm 1.3$	$5.574\pm 1.3$	$0.11732\pm 0.32$	$1909\pm 22$	$1916\pm 5.7$
4.c	270	159	0.61	98.5	0.08	$0.4239\pm 1.3$	$9.40\pm 1.7$	$0.1609\pm 1.0$	$2278\pm 26$	$2465\pm 17$
4.r	176	69	0.41	47.1	0.24	$0.3107\pm 1.4$	$5.239\pm 1.5$	$0.12229\pm 0.71$	$1744\pm 21$	$1990\pm 13$
5.1	134	52	0.40	63.1	0.14	$0.5496\pm 1.6$	$15.99\pm 1.8$	$0.2110\pm 0.67$	$2823\pm 38$	$2914\pm 11$
6.1	317	155	0.51	143	0.08	$0.5254\pm 1.3$	$13.90\pm 1.4$	$0.19193\pm 0.31$	$2722\pm 30$	$2759\pm 5$
7.r	342	106	0.32	122	0.11	$0.4187\pm 1.5$	$9.350\pm 1.9$	$0.1620\pm 1.2$	$2255\pm 28$	$2477\pm 20$
7.c	676	263	0.40	297	0.04	$0.5122\pm 1.3$	$12.98\pm 2.0$	$0.1838\pm 1.5$	$2666\pm 29$	$2687\pm 25$
8.1	224	111	0.51	87.7	0.47	$0.4547\pm 1.4$	$10.93\pm 1.6$	$0.1744\pm 0.89$	$2416\pm 27$	$2600\pm 15$
9.c	253	171	0.70	147	0.04	$0.6797\pm 1.4$	$29.99\pm 1.8$	$0.3200\pm 1.1$	$3343\pm 36$	$3570\pm 17$
9.r	662	95	0.15	227	0.05	$0.3989\pm 1.5$	$10.17\pm 1.8$	$0.1849\pm 1.1$	$2164\pm 27$	$2697\pm 18$
10.1	123	96	0.80	54.6	0.07	$0.5160\pm 2.0$	$13.62\pm 2.0$	$0.1915\pm 0.54$	$2682\pm 43$	$2755\pm 9$
11.r	402	130	0.33	168	0.08	$0.4844\pm 1.3$	$12.37\pm 1.4$	$0.18515\pm 0.45$	$2546\pm 28$	$2699\pm 7$
11.c	145	19	0.13	60.0	0.20	$0.4817\pm 1.8$	$12.69\pm 1.8$	$0.1911\pm 0.53$	$2535\pm 37$	$2751\pm 8$
12.1	430	44	0.11	51.9	0.45	$0.1399\pm 1.4$	$1.336\pm 1.9$	$0.06928\pm 1.3$	$844\pm 11$	$907\pm 26$
13.r	130	76	0.60	34.1	0.22	$0.3031\pm 1.7$	$4.695\pm 2.1$	$0.1124\pm 1.2$	$1707\pm 26$	$1838\pm 22$
13.c	162	83	0.53	58.8	11.09	$0.3748\pm 2.5$	$8.32\pm 11$	$0.1610\pm 10$	$2052\pm 43$	$2467\pm 170$
14.1	215	113	0.54	85.5	0.07	$0.4618\pm 1.4$	$11.04\pm 1.9$	$0.1733\pm 1.3$	$2448\pm 28$	$2590\pm 22$
14.2	239	13	0.05	95.1	0.44	$0.4619\pm 1.4$	$11.21\pm 1.8$	$0.1760\pm 1.1$	$2448\pm 28$	$2616\pm 19$
15.1	811	9	0.01	316	0.04	$0.4527\pm 1.4$	$10.59\pm 1.8$	$0.1697\pm 1.1$	$2407\pm 28$	$2555\pm 19$
15.2	119	73	0.63	42.3	0.27	$0.4111\pm 1.9$	$9.77\pm 2.0$	$0.1725\pm 0.74$	$2220\pm 35$	$2582\pm 12$
16.1	227	123	0.56	90.2	0.08	$0.4631\pm 1.3$	$11.47\pm 1.5$	$0.1796\pm 59$	$2453\pm 27$	$2650\pm 10$
17	514	177	0.36	223	0.03	$0.5037\pm 1.3$	$13.32\pm 1.4$	$0.19175\pm 0.34$	$2629\pm 29$	$2757\pm 6$
17.1	413	136	0.34	178	0.07	$0.5005\pm 1.3$	$13.36\pm 1.5$	$0.1937\pm 0.60$	$2616\pm 28$	$2774\pm 10$
18.1	230	91	0.41	69.3	0.11	$0.3501\pm 1.4$	$5.837\pm 1.5$	$0.12091\pm 0.63$	$1935\pm 23$	$1970\pm 11$
19.1	131	112	0.88	55.7	0.08	$0.4949\pm 1.9$	$13.15\pm 2.6$	$0.1927\pm 1.7$	$2592\pm 41$	$2765\pm 27$
20.1	904	111	0.13	338	0.04	$0.4352\pm 1.4$	$9.52\pm 1.7$	$0.1587\pm 0.97$	$2329\pm 26$	$2442\pm 16$
AL272										
1.1	196	116	0.61	8.41	0.36	$0.0496\pm 2.6$	$0.329\pm 4.8$	$0.0481\pm 4.1$	$312\pm 7.8$	$104\pm 96$
2.1	296	280	0.98	9.53	2.28	$0.0365\pm 2.8$	$0.259\pm 13$	$0.0514\pm 13$	$231\pm 6.4$	$261\pm 290$
3.1	265	196	0.77	15.6	1.98	$0.0682\pm 2.6$	$0.499\pm 3.5$	$0.0530\pm 2.2$	$425\pm 11$	$330\pm 51$
4.1	323	133	0.42	81.9	0.16	$0.2948\pm 2.5$	$4.44\pm 2.6$	$0.10936\pm 0.58$	$1665\pm 37$	$1789\pm 11$
5.1	158	52	0.34	9.43	0.72	$0.0690\pm 2.7$	$0.512\pm 4.8$	$0.0538\pm 4.0$	$430\pm 11$	$363\pm 90$
6.1	402	391	1.01	24.9	0.44	$0.0721\pm 2.5$	$0.571\pm 2.9$	$0.05741\pm 1.5$	$449\pm 11$	$507\pm 32$
7.1	116	55	0.49	19.4	3.56	$0.1955\pm 2.6$	$2.789\pm 2.7$	$0.10346\pm 0.95$	$1151\pm 27$	$1687\pm 18$
8.1	595	118	0.21	83.0	2.59	$0.1622\pm 2.9$	$2.316\pm 3.8$	$0.1036\pm 2.4$	$969\pm 26$	$1689\pm 45$
9.1	128	97	0.79	5.11	0.71	$0.0462\pm 2.6$	$0.330\pm 5.8$	$0.0518\pm 5.1$	$291\pm 7.5$	$227\pm 120$
10.1	254	103	0.42	13.1	0.79	$0.0599\pm 2.6$	$0.459\pm 4.0$	$0.0557\pm 3.0$	$375\pm 9$	$439\pm 68$
11.1	229	133	0.60	12.9	0.25	$0.0652\pm 2.5$	$0.488\pm 4.0$	$0.0543\pm 3.1$	$407\pm 10$	$383\pm 70$
12.1	178	48	0.28	26.9	2.27	$0.1750\pm 2.6$	$2.404\pm 3.5$	$0.0996\pm 2.4$	$1040\pm 25$	$1617\pm 45$
13.1	141	67	0.49	8.08	0.14	$0.0656\pm 2.6$	$0.420\pm 8.4$	$0.0465\pm 7.9$	$410\pm 10$	$22\pm 190$
14.1	274	148	0.56	13.4	1.19	$0.0559\pm 2.6$	$0.372\pm 8.2$	$0.0482\pm 7.8$	$351\pm 9$	$111\pm 180$
15.1	190	112	0.61	11.5	0.09	$0.0697\pm 3.0$	$0.497\pm 5.5$	$0.0517\pm 4.7$	$434\pm 13$	$274\pm 110$
16.1	501	394	0.81	171	0.17	$0.3975\pm 2.5$	$9.01\pm 2.5$	$0.16434\pm 0.26$	$2157\pm 46$	$2501\pm 4.4$
17.1	115	77	0.69	22.6	0.19	$0.2281\pm 2.8$	$3.44\pm 4.9$	$0.1094\pm 4.1$	$1324\pm 33$	$1779\pm 79$
18.1	680	309	0.47	44.9	0.03	$0.07668\pm 0.51$	$0.557\pm 1.9$	$0.05271\pm 1.9$	$477\pm 2.4$	$400\pm 43$

续表 2

点号	U( $10^{-6}$ )	Th( $10^{-6}$ )	Th/U	$^{206}\text{Pb}^*$	$^{206}\text{Pb}_C$	同 位 素 比 值( $\pm\%$ )			表 面 年 龄(Ma)	
						$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
19.1	326	290	0.92	20.3		0.07330 $\pm$ 0.85	0.618 $\pm$ 2.4	0.0611 $\pm$ 2.3	453 $\pm$ 4	429 $\pm$ 80
20.1	519	39	0.08	32.1	0.10	0.0720 $\pm$ 2.2	0.525 $\pm$ 4.4	0.0529 $\pm$ 3.8	448 $\pm$ 10	308 $\pm$ 88
21.1	561	369	0.68	88.1	0.35	0.17580 $\pm$ 0.49	1.508 $\pm$ 2.5	0.0622 $\pm$ 2.5	1079 $\pm$ 5.3	1430 $\pm$ 46
22.1	364	114	0.32	21.2	0.02	0.0668 $\pm$ 1.5	0.480 $\pm$ 2.6	0.0512 $\pm$ 2.1	423 $\pm$ 6	180 $\pm$ 67
23.1	239	170	0.73	9.2	0.45	0.04478 $\pm$ 1.4	0.314 $\pm$ 3.8	0.0509 $\pm$ 3.6	282 $\pm$ 5	127 $\pm$ 310
24.1	388	168	0.45	151	0.07	0.4533 $\pm$ 0.63	10.28 $\pm$ 0.95	0.1646 $\pm$ 0.71	2412 $\pm$ 13	2511 $\pm$ 12
25.1	92	27	0.31	3.37	3.07	0.04234 $\pm$ 1.6	0.270 $\pm$ 6.8	0.0463 $\pm$ 6.6	262 $\pm$ 4	-
26.1	301	92	0.31	83.4		0.3206 $\pm$ 1.3	5.00 $\pm$ 2.9	0.1130 $\pm$ 2.6	1801 $\pm$ 20	1914 $\pm$ 45
27.1	148	82	0.57	9.23	0.43	0.07244 $\pm$ 1.4	0.525 $\pm$ 4.4	0.0526 $\pm$ 4.1	450 $\pm$ 6	261 $\pm$ 100
28.1	415	180	0.45	15.5	0.51	0.04429 $\pm$ 0.83	0.3737 $\pm$ 2.5	0.0612 $\pm$ 2.3	274 $\pm$ 2	
29.1	800	500	0.65	31.5	0.48	0.04631 $\pm$ 0.56	0.3877 $\pm$ 1.6	0.06071 $\pm$ 1.5	288 $\pm$ 2	184 $\pm$ 57
30.1	161	92	0.59	9.19	0.91	0.06743 $\pm$ 1.2	0.569 $\pm$ 3.2	0.0613 $\pm$ 3.0	412 $\pm$ 5	
AL136										
1.1	187	90	0.50	34.8	--	0.2168 $\pm$ 1.1	2.586 $\pm$ 2.1	0.0865 $\pm$ 1.8	1265 $\pm$ 13	1349 $\pm$ 35
2.1	253	253	1.03	47.8	0.01	0.2200 $\pm$ 0.83	2.754 $\pm$ 1.8	0.0908 $\pm$ 1.6	1282 $\pm$ 9.6	1442 $\pm$ 30
3.1	483	306	0.65	71.0	0.57	0.1701 $\pm$ 0.63	2.359 $\pm$ 1.9	0.1006 $\pm$ 1.8	1012.8 $\pm$ 5.9	1635 $\pm$ 33
4.1	135	185	1.41	21.8	--	0.1878 $\pm$ 0.95	2.226 $\pm$ 2.1	0.0859 $\pm$ 1.9	1109 $\pm$ 9.7	1337 $\pm$ 36
5.1	92	44	0.49	18.7	0.19	0.2365 $\pm$ 1.3	2.90 $\pm$ 3.5	0.0889 $\pm$ 3.2	1369 $\pm$ 17	1403 $\pm$ 62
6.1	672	1206	1.85	103	0.42	0.1781 $\pm$ 0.49	2.166 $\pm$ 1.3	0.0882 $\pm$ 1.2	1057 $\pm$ 4.8	1387 $\pm$ 23
7.1	173	50	0.30	29.7	--	0.1999 $\pm$ 1.1	4.404 $\pm$ 1.9	0.1598 $\pm$ 1.5	1175 $\pm$ 12	2453 $\pm$ 25
8.1	430	221	0.53	60.8	0.68	0.1635 $\pm$ 0.65	1.844 $\pm$ 2.4	0.0818 $\pm$ 2.3	976 $\pm$ 5.9	1241 $\pm$ 45
9.1	253	188	0.77	26.0	2.17	0.1169 $\pm$ 1.1	1.345 $\pm$ 4.9	0.0834 $\pm$ 4.8	713 $\pm$ 7.4	1279 $\pm$ 93
10.1	62	37	0.61	13.0	--	0.2447 $\pm$ 1.5	3.25 $\pm$ 3.6	0.0964 $\pm$ 3.2	1411 $\pm$ 19	1555 $\pm$ 60
11.1	87	39	0.47	15.1	1.80	0.1991 $\pm$ 1.3	2.30 $\pm$ 5.1	0.0839 $\pm$ 4.9	1171 $\pm$ 14	1291 $\pm$ 95
12.1	145	87	0.62	26.0	0.60	0.2069 $\pm$ 0.98	2.766 $\pm$ 2.8	0.0970 $\pm$ 2.6	1212 $\pm$ 11	1566 $\pm$ 48
13.1	68	36	0.54	27.6	--	0.4696 $\pm$ 1.4	9.34 $\pm$ 2.5	0.1442 $\pm$ 2.1	2482 $\pm$ 28	2278 $\pm$ 35
14.1	230	192	0.86	48.3	0.35	0.2433 $\pm$ 1.2	2.522 $\pm$ 2.7	0.0752 $\pm$ 2.4	1404 $\pm$ 16	1074 $\pm$ 48
15.1	189	108	0.59	35.0	--	0.2158 $\pm$ 2.3	2.025 $\pm$ 3.7	0.0681 $\pm$ 2.9	1260 $\pm$ 27	870 $\pm$ 60
16.1	260	96	0.38	43.1	0.04	0.1929 $\pm$ 0.86	2.033 $\pm$ 2.0	0.0764 $\pm$ 1.8	1137 $\pm$ 9.0	1107 $\pm$ 36
17.1	173	147	0.88	33.2	0.46	0.2218 $\pm$ 1.0	2.416 $\pm$ 2.6	0.0790 $\pm$ 2.3	1291 $\pm$ 12	1172 $\pm$ 46
AL154										
1.1	633	315	0.51	33.5	0.00	0.0617 $\pm$ 1.1	0.491 $\pm$ 3.4	0.0577 $\pm$ 3.2	385.8 $\pm$ 4.2	520 $\pm$ 71
2.1	202	327	1.68	47.8	0.10	0.2754 $\pm$ 0.80	3.783 $\pm$ 1.7	0.0996 $\pm$ 1.5	1,568 $\pm$ 11	1,617 $\pm$ 28
3.1	381	48	0.13	25.5	0.06	0.0777 $\pm$ 0.79	0.751 $\pm$ 2.1	0.0701 $\pm$ 1.9	482.5 $\pm$ 3.7	930 $\pm$ 39
4.1	604	99	0.17	39.4	--	0.0760 $\pm$ 1.9	0.620 $\pm$ 2.8	0.0592 $\pm$ 2.1	472.3 $\pm$ 8.5	574 $\pm$ 45
5.1	216	3	0.02	8.31	1.22	0.04431 $\pm$ 1.3	0.232 $\pm$ 9.3	0.0380 $\pm$ 9.2	279.5 $\pm$ 3.6	-484 $\pm$ 250
6.1	365	298	0.84	25.7	0.32	0.0817 $\pm$ 1.2	0.630 $\pm$ 3.3	0.0559 $\pm$ 3.1	506.1 $\pm$ 6.0	450 $\pm$ 68
7.1	286	100	0.36	60.7	0.12	0.2468 $\pm$ 0.68	5.195 $\pm$ 1.7	0.1526 $\pm$ 1.6	1,422 $\pm$ 8.7	2,376 $\pm$ 27
8.1	194	35	0.19	22.6	0.29	0.1356 $\pm$ 0.89	1.900 $\pm$ 2.8	0.1016 $\pm$ 2.6	819.8 $\pm$ 6.8	1,654 $\pm$ 49
9.1	555	43	0.08	19.3	0.41	0.04027 $\pm$ 0.69	0.2672 $\pm$ 2.7	0.0481 $\pm$ 2.7	254.5 $\pm$ 1.7	105 $\pm$ 63
10.1	176	150	0.88	6.24	--	0.04138 $\pm$ 1.8	0.314 $\pm$ 7.4	0.0551 $\pm$ 7.2	261.4 $\pm$ 4.6	417 $\pm$ 160
11.1	143	121	0.88	5.23	--	0.04266 $\pm$ 1.4	0.331 $\pm$ 5.7	0.0563 $\pm$ 5.5	269.3 $\pm$ 3.7	463 $\pm$ 120
12.1	632	9	0.01	20.9	--	0.03868 $\pm$ 0.69	0.2940 $\pm$ 3.2	0.0551 $\pm$ 3.2	244.6 $\pm$ 1.7	417 $\pm$ 71
13.1	956	93	0.10	121	0.05	0.14767 $\pm$ 0.62	1.421 $\pm$ 1.2	0.0698 $\pm$ 0.98	887.9 $\pm$ 5.2	922 $\pm$ 20
14.1	1267	27	0.02	45.0	0.16	0.04129 $\pm$ 0.58	0.2885 $\pm$ 3.0	0.0507 $\pm$ 3.0	260.8 $\pm$ 1.5	226 $\pm$ 69
15.1	1251	376	0.31	80.6	--	0.07503 $\pm$ 0.44	0.5918 $\pm$ 1.3	0.05721	466.4 $\pm$ 2.0	500 $\pm$ 28
16.1	129	89	0.71	37.7	0.00	0.3416 $\pm$ 1.9	7.58 $\pm$ 2.2	0.1609	1,895 $\pm$ 31	2,465 $\pm$ 20
17.1	600	42	0.07	24.3	1.52	0.04634 $\pm$ 0.82	0.413 $\pm$ 8.7	0.0646	292.0 $\pm$ 2.3	760 $\pm$ 180

注:表中误差均以  $1\sigma$  表示,  $\text{Pb}_C$  和  $\text{Pb}^*$  分别代表普通铅和放射性成因铅部分,所有结果均采用测定的  $^{206}\text{Pb}$  对普通铅进行了校正。

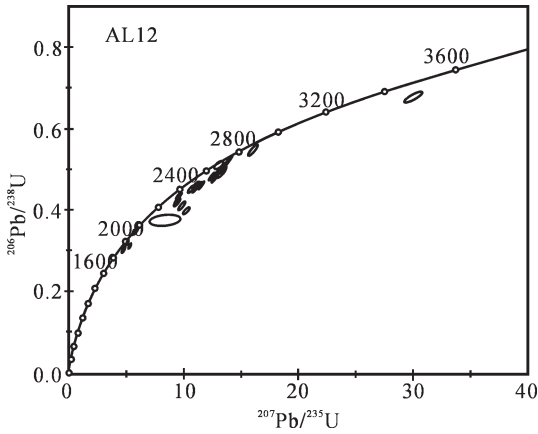


图2 AL12号样品的锆石离子探针数据  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ — $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图  
Fig.2 Zircon U-Pb concordia diagram of sample AL12

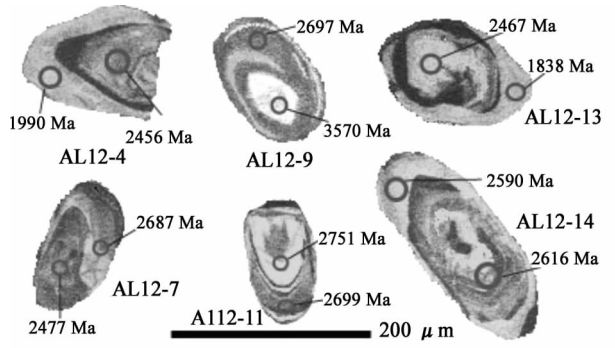


图3 AL12号样品的锆石阴极发光照片  
Fig.3 CL images of zircons from sample AL12

表3 AL104号样品颗粒锆石质谱计双带逐层蒸发-沉积法年龄测定结果  
Table 3 Stepwise evaporation-deposition dating of zircon grains from sample AL104

颗粒号	S	NS	锆石中铅同位素测量值 (2σ)			计算结果 (2σ)		锆石特征
			$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ) * 年龄 (Ma)		
1	1	25	0.09968±57	0.14247±36	0	0.14247±36		300 μm×200 μm, 1粒, 紫色, 长柱状, 难辨晶面, 棱角圆, 表面有麻点, 有裂纹, 透明度一般
	2	20	0.1209±17	0.14362±64	0	0.14362±64	2271±8	
2	1	30	0.15769±55	0.14304±22	0	0.14304±22	2264±3	280 μm×200 μm, 2粒, 锆石特征同颗粒1

注: 表中的S表示蒸发沉积的阶段, NS表示沉积后测得的数据组数 (Block 数目), 每个Block由8次扫描构成; ( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ )\*表示放射性成因铅的同位素比值。

3.2 巴彦乌拉山岩组的同位素年龄

为确定巴彦乌拉山岩群的形成时代,笔者对AL104号和AL272号两个样品分别进行了锆石逐层蒸发法年龄的测定和锆石离子探针的分析。各样品的特征和年龄结果如下:

AL104号样品采自巴彦乌拉山中段,阿拉善左旗到阿拉善右旗公路的北侧,地理坐标为北纬39°36.852',东经105°09.619',该点出露的主要是条带状黑云角闪片麻岩。岩石的主体是暗色的黑云角闪斜长片麻岩,其中有部分浅色的黑云母长英片麻岩条带,有的部位条带较多,呈宽3~10 mm的细条带,有的条带较宽,达10 mm以上。还有部分黑云母长英片麻岩未形成连续的条带,在黑云角闪斜长片麻岩基质中断续分布。所有的条带均沿片麻理的方向分布。由于岩石具有以上特点,以前称为混合质条带状片麻岩。这种条带状片麻岩在许多变质岩出露区都有较广的分布,如华北克拉通的阜平地区,现多认为这些条带是深熔作用的产物<sup>[13-14]</sup>。

条带状黑云角闪片麻岩的基质主要由斜长石(35%±)、石英(35%±)、黑云母(15%±)、角闪石(10%~15%)等组成,斜长石半自形粒状,椭圆状,拉长颗粒的长轴平行片麻理方向。斜长石表面有较弱的绢云母化,在一些干净的晶体中显示出较细的钠长石双晶纹。石英常为不规则粒状,有波状消光,部

分与斜长石等交生,少量形成集合体成条纹状集中分布。黑云母多为长片状,平行于片麻理展布,多数较干净,少量颗粒的表面已经绿泥石化。多数粒度较小的黑云母与斜长石、角闪石镶嵌接触,属于同一世代的产物。有的长片状黑云母穿入角闪石中,它们可能形成较晚。地球化学研究表明这套片麻岩的原岩为火山岩。

由于AL104号样品为条带状构造,为避免长英质条带的影响,在碎样之前先用切割机切除了较宽的长英质条带,以便获得其中基质部分——黑云角闪斜长片麻岩的形成时代。由于去除了岩石中的浅色条带,所获得的锆石颗粒较少,从中挑选出粒度较大、表面洁净、裂纹少、透明度好的锆石颗粒进行了单颗粒锆石逐层蒸发-沉积法  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄测定(表3)。由于所选出的锆石少,仅进行两组测定,其  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄分别为(2 271±8) Ma和(2 264±3)Ma,两个结果在误差范围内一致,表明它们是同时代的产物。从锆石特征看(表3),所测定的锆石以长柱状岩浆型锆石为主。因此,(2 271±8)Ma和(2 264±3)Ma的年龄结果基本可代表AL104号样品原岩的形成时代。

为更准确地确定巴彦乌拉山岩组的形成时代及所遭受的后期影响,笔者在巴彦乌拉山的南段选择了AL272号样品

进行锆石离子探针分析。

AL272 号样品采自巴彦乌拉山南段,和屯盐池的西北部,地理坐标为北纬  $39^{\circ}30.714'$ ,东经  $105^{\circ}05.742'$ ,该点出露的主要是变形较强烈的(绢云)白云母长英片岩,局部夹绿泥钠长片岩。(绢云)白云母长英片岩为灰白色,片状构造,在片理面上发育近水平的线理,线理主要由白云母集合体和拉长的石英颗粒构成,表明岩石经历了较强烈的韧性剪切改造。岩石主要由斜长石、石英、白云母和绢云母等组成。地球化学研究表明其原岩很可能为酸性火山岩。其中的锆石在形态上可分为两种,一种是浑圆状的,其长宽比接近于 1:1,另一种是长柱状的,其长宽比从 2:1 到 3:1。锆石的粒度变化较大,从  $30\sim 200\mu\text{m}$ 。锆石阴极发光显示,不论大颗粒还是小颗粒锆石多有宽窄不一的发光较强的边,多数边很窄仅  $5\sim 20\mu\text{m}$  因此难以测定它们的同位素组成。

对 AL272 号样品共测定了不同形态、不同粒度的 30 个锆石颗粒(表 2),在测试中既测定了浑圆状锆石也测定了长柱状锆石,既测定了大颗粒的锆石也测定了较小颗粒的锆石。但从测定的结果看,不同形态、不同粒度的锆石都是既有老的年龄也有年轻的年龄结果。从分析数据的  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}-^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图上(图 4-a,4-b)可以看出所测定的年龄结果主要可分为 4 组。第一组年龄包括 16.1 和 24.1 两个测点,它们的  $^{207}\text{Pb}/^{236}\text{Pb}$  视年龄分别为  $(2\ 501\pm 4.4)\text{Ma}$  和  $(2\ 511\pm 12)\text{Ma}$ ,16.1 号点为浑圆形颗粒,24.1 为柱状颗粒,均测定在颗粒的中部。这两个点虽然数据较少,但可能代表了原岩的形成时代。第二组年龄包括 6 个测点(4.1, 7.1, 8.1, 12.1, 17.1 和 26.1),它们的  $^{207}\text{Pb}/^{236}\text{Pb}$  视年龄均大于  $1\ 687\text{Ma}$ ,这 6 个点的加权平均  $^{207}\text{Pb}/^{236}\text{Pb}$  年龄为  $(1\ 774\pm 49)\text{Ma}$ ,MSWD=7.5。从谐和图上(图 4-a)可以看出,这 6 个点不同程度地偏离谐和线,表明它们有一定的铅丢失,1 774 Ma 的年龄值应是该次热事件的最低限年龄,实际的地质事件年龄应稍大于该年龄值。因此可以认为,该样品的 1 774 Ma 的年龄值是该区 18~19 亿年的区域变质事件的结果,只是由于铅丢失导

致年龄稍偏小。除上述两组较老的年龄结果之外,在该样品中还分别获得了  $(446\pm 10)\text{Ma}$  和  $(281\pm 10)\text{Ma}$  两组较年轻的年龄结果(图 4-b)。研究区内有大量的古生代到中生代的岩体存在,它们的侵位产生了大量的热势必造成同位素体系发生局部或较大范围的重置,形成新生锆石,所以这两组年龄应是岩石受到晚期岩浆侵位影响的结果。

以上两个样品的锆石离子探针分析和锆石逐层蒸发法的测定结果表明,巴彦乌拉山岩组经历较复杂的构造热演化历史,由于受到多期构造热事件的影响,代表该岩群形成的年龄信息保留很少,许多结果反映了后期构造热事件的影响。但本次研究获得的 2 500 Ma 左右到 2 267 Ma 的年龄结果初步证明巴彦乌拉山岩组形成于古元古代,而非太古宙。李俊健等<sup>[7]</sup>的工作也得出了相似的认识。巴彦乌拉山岩组还经历了古元古代末期的区域变质改造,到古生代、中生代期间又受到了较强烈的岩浆侵位的影响,使其年龄的结果异常复杂。

### 3.3 阿拉善岩群的同位素年龄

由于阿拉善岩群主要由变质碎屑岩、变质泥质岩和碳酸盐岩等组成,缺少非常适合于同位素定年的对象,准确确定其时代较为困难。尽管如此,在大量调查的基础上选取了两个样品(AL136 和 AL154)进行了锆石同位素定年。

AL136 号样品采自阿拉善右旗阿拉腾敖包苏木南部的查干都贵,地理坐标为北纬  $40^{\circ}08.270'$ ,东经  $104^{\circ}19.127'$ ,该点附近出露的主要是含榴二云母石英片岩、黑云母石英片岩和绿泥白云石英片岩等各类片岩,其中夹有少量的大理岩。这套组合属于阿拉善岩群下部的德尔和通特组。用于锆石离子探针测年的样品为含石榴石二云母石英片岩,岩石为灰褐色到红褐色,片状构造或片麻状构造,鳞片粒状变晶结构。主要由石英、黑云母、白云母、斜长石和少量的石榴石等组成。副矿物有锆石、榍石、磁铁矿、磷灰石等。其中锆石均为小颗粒(小于  $70\mu\text{m}$ )的浑圆状锆石,长宽比略大于 1,表面粗糙,多裂纹,锥面柱面都已磨蚀,这些表面特点表明该样品中

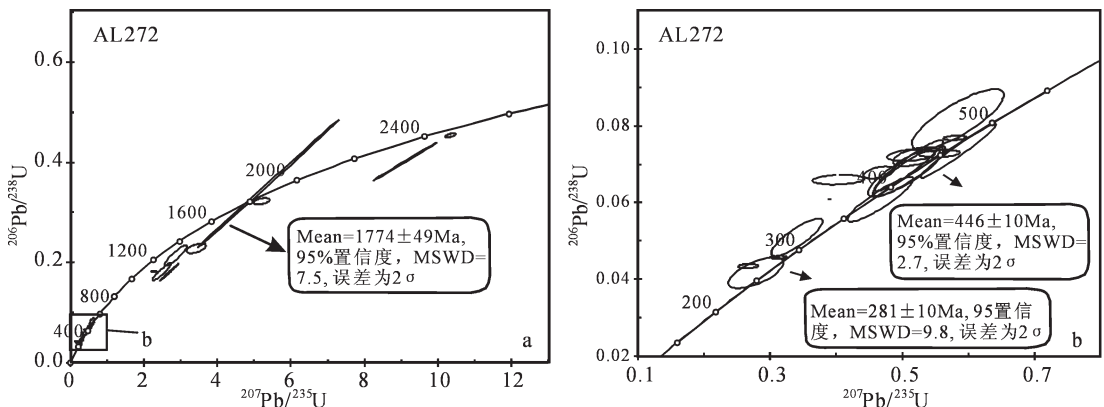


图 4 AL272 号样品锆石离子探针分析数据的  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}-^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图  
(b 是 a 的局部放大)

Fig.4 U-Pb concordia of zircons from sample AL272  
(b) is the local enlargement of (a)

的锆石主要是碎屑锆石。在阴极发光照射下,少量锆石内部显示出环带状构造,表明它们中的部分可能来自火山或岩浆岩区。

本次研究对样品中的 17 颗锆石进行了离子探针分析(表 2)。在所测定的 17 个颗粒中,除 7.1 和 13.1 号颗粒的  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  年龄分别为  $(2453\pm 25)\text{Ma}$ 、 $(2278\pm 35)\text{Ma}$  的年龄较老之外,其他测点的  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  年龄均较小,多数在  $1107\sim 1635\text{Ma}$ ,其平均值为  $1363\text{Ma}$ ,并且这些点在  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}-^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图上较均匀分布(图 5)。年龄值在一定的区间内分布,缺少确切的集中点是许多沉积岩中碎屑锆石年龄的分布特点<sup>[15-16]</sup>。这与本样品原岩属于碎屑沉积岩,其中的锆石具有碎屑锆石表面特征的性质是一致的。如果以上分析是正确的,那么阿拉善岩群部分变质沉积岩的形成时代就不是以往认为的古元古代,而应为中元古代。由于已有  $8\sim 9$  亿年的变形花岗岩侵入在阿拉善岩群之中<sup>[8]</sup>,因此阿拉善岩群形成应在晋宁期花岗岩侵位之前。如果用其平均值  $1363\text{Ma}$  作参考值,可以初步认为

阿拉善岩群(至少一部分)可能形成于中元古代。

一个样品难以确定阿拉善岩群的形成时代,为此在研究区西部选择了 AL154 号样品进行锆石离子探针分析。

AL154 号样品采自阿拉善右旗的海布勒格,地理坐标为北纬  $39^{\circ}47.773'$ ,东经  $103^{\circ}19.695'$ 。采样点附近出露的主要是二云母斜长石英片岩、纹层状千枚岩等,岩层属于阿拉善岩群上部的祖宗毛道组,但采样点以西  $500\text{m}$  左右有花岗岩和花岗闪长岩的侵入。1:20 万图幅中把该层定为酸性火山岩,笔者观察认为其原岩为变质沉积岩。定年的样品(二云母斜长石英片岩)为粒片状变晶结构,片状构造,主要由斜长石(35%)、石英(35%)、黑云母(16%)和白云母(14%)等组成,副矿物有磁铁矿、锆石、磷灰石、电气石和绿帘石。斜长石和石英为长椭圆粒状,可能为变余碎屑。黑云母有长片状和短片状两种,有时单独沿片理分布,有时与白云母组成束状,成带分布。白云母无色高突起,干涉色强、片状,分布特点与黑云母同。其中的锆石有两种,一种为较细的长柱状,长宽比  $2.5\sim 4:1$ ,柱、锥面发育,透明度较好。另一种为次浑圆状,长宽比近于  $1:1$ ,晶棱和晶面已被磨蚀,表面较粗糙,透明度较差。

该样品中的 17 个锆石颗粒进行了 SHRIMP U-Pb 测定(表 2)。其中,细长柱状锆石颗粒的分析结果均给出小于 8 亿年的年龄值。而浑圆状颗粒给出的年龄值变化较大,既有与细长柱状颗粒一样年轻的结果,也有较老的年龄结果。由此可以认为,该样品中的细长柱状锆石形成较晚而次浑圆状锆石经历了复杂的演化过程。在获得较大的  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  年龄值的 4 个点中,只有年龄为  $1617\text{Ma}$  的 2.1 号点在谐和图位于谐和线附近,几乎没有 Pb 丢失,其他 3 个点则非常远离谐和线(图 6-a),表明它们的 Pb 丢失非常严重,其目前获得的结果很可能是 U-Pb 同位素体系受到干扰的结果,并不具有明确的地质意义。没有受到干扰的 2.1 号点的  $1617\text{Ma}$  可能代表岩石中碎屑锆石的形成年龄,进一步证明阿拉善岩群很可能形成于中元古代。获得较年轻的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  的 12 个测点,在  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}-^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图上(图 6-b)大体可分为两组,一组(7 个点)的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  视年龄从  $244\text{Ma}$  到  $292\text{Ma}$ ,平均为  $(266\pm 2.7)\text{Ma}$ 。另一

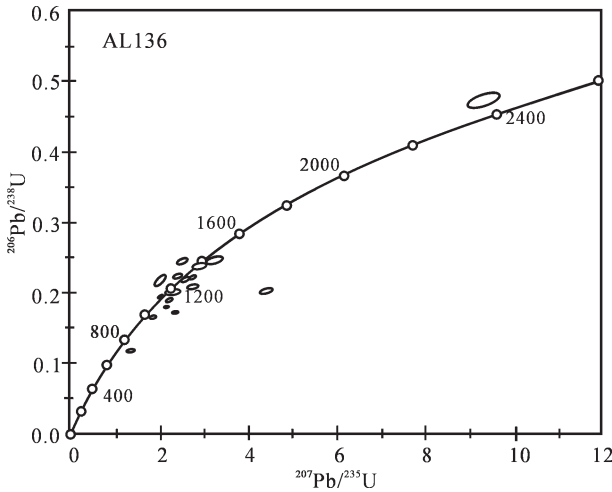


图 5 AL136 号样品锆石离子探针分析结果的  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}-^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图

Fig.5 U-Pb concordia diagram of zircons from sample AL136

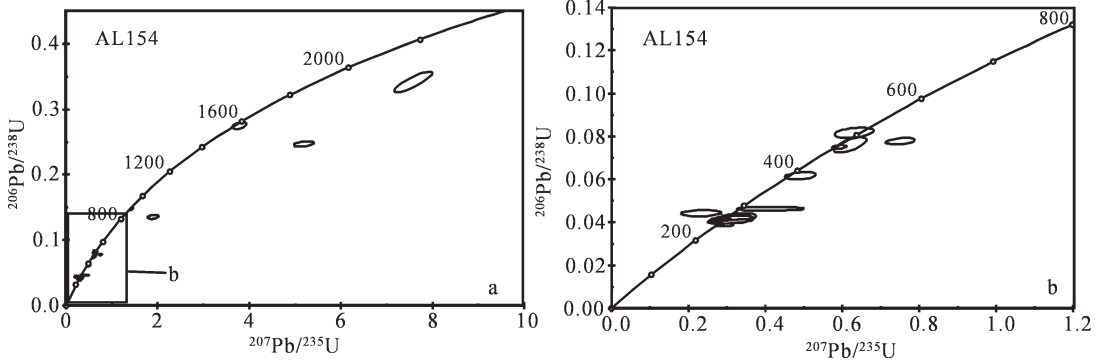


图 6 AL154 号样品离子探针分析结果的  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}-^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和图 (b 是 a 的局部放大)

Fig.6 U-Pb concordia diagram of zircons from sample AL154 (b is the local enlargement of (a))



组 4 个点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  视年龄从 466~506 Ma, 平均为 (482±3.5)Ma。如前所述, 在该样品采样点以西 500 余米就出露有未变形的花岗岩和花岗闪长岩, 这两组年龄显然是受到这些花岗岩侵位影响的结果。这两组年龄结果与采自巴彦乌拉山地区的 AL272 号样品获得的 (446±10)Ma 和 (281±10)Ma 两组较年轻的年龄结果基本一致, 表明这两期岩浆事件在研究区内影响是较为广泛的。

尽管对阿拉善岩群德尔和通特组和祖宗毛道组分别采样进行了锆石离子探针分析, 由于该岩群中缺少更适合测年的对象(如中酸性火山岩等), 只能采变质碎屑岩的样品进行分析, 所以并未得到十分令人满意的结果。值得注意的是, 这两个样品都没有获得较确切的太古宙到古元古代的年龄信息, 而提供了中元古代的年龄信息, 据此笔者提出阿拉善岩群可能形成于中元古代的认识。但年龄数据并不理想, 这只是一个初步的认识, 要准确地确定其形成时代还要进行更多的研究。

## 4 讨论和结论

与华北克拉通其他部分明显不同的是, 阿拉善地区的前寒武纪变质基底受到了中生代构造热事件的明显改造, 除本文报道的巴彦乌拉山南段巴彦乌拉山岩组 446 Ma 和 281 Ma、海布格勒地区阿拉善群祖宗毛道组 482 Ma 和 266 Ma 两个阶段的新生锆石记录之外, 笔者在研究区东部包罗项乌拉地区的变形花岗岩中获得过 (480±70)Ma 和 (281±4)Ma 的锆石离子探针年龄数据, 在研究区中部扫格特沟德尔和通特组的黑云斜长角闪岩中获得过 288 Ma 的角闪石  $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$  阶段升温坪年龄和等时线年龄, 在中部的叠布斯格乌拉地区原德尔和通特组的斜长角闪岩中获得过 277 Ma 的角闪石  $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$  阶段升温坪年龄和 288 Ma 的角闪石  $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$  等时线年龄。这些数据一方面表明, 阿拉善地区的变质基底至少受到早中生代和晚中生代两期构造热事件的改造; 另一方面也表明, 这两期构造热事件对阿拉善地区的变质岩系影响改造是非常广泛的, 不仅有岩浆事件的影响, 同时也有变质事件的改造。而这两期构造热事件与研究区北部中奥陶世时中亚—蒙古大洋壳的俯冲作用和沿宗乃山—沙拉扎山晚中生代火山弧褶皱带内石炭纪—早二叠世大规模钙碱性火山和深成岩浆活动的时间基本是一致的。据此笔者推断, 阿拉善地区的大部分变质基底在中生代被裹入了中生代的中亚—蒙古造山带的演化。

内蒙古阿拉善地区前寒武纪变质岩系可以划分为 3 套时代不同的岩石地层单位。太古代的迭布斯格岩群形成于 2.7 Ga 之前, 并经历了太古代晚期 (2.69~2.5 Ga) 和古元古代晚期 (1.9~2.0 Ga) 两期变质热事件的改造, 形成了锆石增生边或新生锆石。巴彦乌拉山岩组形成于 2.5~2.267 Ga 期间, 属于古元古代的产物, 但是部分地区经历了 446 Ma 和 281

Ma 两期构造热事件的影响, 目前获得的阿拉善岩群中碎屑锆石的年龄多在 1 107~1 675 Ma 期间, 平均为 1 363 Ma, 表明它们可能形成于中元古代。但是, 由于目前精确数据较少, 阿拉善岩群准确的形成时间还需深入研究。

## 参考文献 (References):

- [1] 宁夏回族自治区区域地层表编写组. 西北地区区域地层表 (宁夏回族自治区分册)[M]. 北京:地质出版社, 1978:1-188.  
Editorial Group of Regional Stratigraphic Chart of Ningxia Hui Autonomous Region. Regional Stratigraphic Chart of Northwestern China (Ningxia Hui Autonomous Region Fascicule)[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978:1-188(in Chinese).
- [2] 霍福臣, 曹景轩, 董燕生, 等. 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, 1987, 17(1):35-46.  
Hu Fuchen, Cao Jingxuan, Dong Yansheng, et al. The division and 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, 1987, 17(1):35-46(in Chinese with English abstract).
- [3] 沈其韩, 耿元生, 刘国惠, 等. 中国地层典(太古宙)[M]. 北京:地质出版社, 1996:1-75.  
Shen Qihan, Geng Yuansheng, Liu Guohui, et al. Stratigraphic Lexicon of China (Archean Eonothem) [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1996:1-75.
- [4] 陈志勇, 杨帅师, 孟二根, 等. 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, 2004, 23(4):345-351.  
Chen Zhiyong, Yang Shuaishi, Meng Ergen, et al. Revision of Precambrian stratigraphic units in the Bayan Nuruarea, Alxa Zuoqi, Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(4):345-351(in Chinese with English abstract).
- [5] 耿元生, 王新社, 沈其韩, 等. 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, 2006, 33(1):138-145.  
Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, et al. Redefinition of the Alax Group of Precambrian metamorphic basement in Alax region, Inner Mongolia[J]. Geology in China, 2006, 33(1):138-145 (in Chinese with English abstract).
- [6] 杨振德, 潘行适, 杨易福. 阿拉善地块及邻区地质构造特征与矿产[M]. 北京:科学出版社, 1988:1-254.  
Yang Zhende, Pan Xingshi, Yang Yifu. Geological Structure Characteristics and Deposites of Alaxa Blocks and Adjacent Region [M]. Beijing:Science Press, 1988:1-254(in Chinese).
- [7] 李俊建, 沈保丰, 李惠民, 等. 内蒙古西部巴彦乌拉山地区花岗闪长质片麻岩的单颗粒锆石 U-Pb 法年龄 [J]. 地质通报, 2004, 23(12):1243-1245.  
Li Junjian, Shen Baofeng, Li Huimin, et al. Single - zircon U-Pb age of granodioritic gneiss in the Bayan Ul area, western Inner Mongolia [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23 (12):1243-

①耿元生, 沈其韩, 王新社, 等. 中国西北地区若干重点前寒武纪区构造-岩石-地层单元的划分对比及年代格架, 2003.

- 1245(in Chinese with English abstract).
- [8] 耿元生, 王新社, 沈其韩, 等. 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, 2002, 21(4):412-420.  
Geng Yuansheng, Wang Xinshe, Shen Qihan, et al. The discovery of Neoproterozoic Jinningian deformed granites in Alxa area and its significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2002, 21(4):412-420(in Chinese with English abstract).
- [9] 宋彪, 张玉海, 万渝生. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊):26-30.  
Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng. Mount making and procedures of the SHRIMP dating [J]. Geology Review, 2002, 48 (supp.):26-30(in Chinese with English abstract).
- [10] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L. Zircon U-Pb ages for the early Cambrian time-scale [J]. Journal of the Geological Society, London, 1992, 149:171-184.
- [11] Kober B. Whole-grain evaporation for  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  age - investigation on single zircon using a double-filament thermal ion source[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1986, 93:482-490.
- [12] 刘敦一, 赵敦敏. 用热离子发射质谱计直接测定单颗粒锆石  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄[J]. 地质论评, 1988, 34(6):496-505.  
Liu Dunyi, Zhao Dunmin. Direct determination of the  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  age of single grain zircon by use of the thermal emission mass spectrometer [J]. Geological Review, 1988, 34 (6):496-505 (in Chinese with English abstract).
- [13] 程裕淇, 万渝生, 高吉凤, 等. 河北平山小觉地区阜平岩群中三种岩类深熔现象的岩相学特征[J]. 地质论评, 2001, 47(1):1-8.  
Cheng Yuqi, Wan Yusheng, Gao Jifeng, et al. Petrographic characteristics of three anatectically transformed metamorphic rock types of the Fuping Group complex of the Xiaojue region, Pingshan, Hebei[J]. Geological Review, 2001, 47(1):1-8(in Chinese with English abstract).
- [14] 万渝生, 程裕淇, 杨崇辉. 河北平山小觉地区阜平岩群黑云变粒岩-片麻岩深熔作用地球化学研究 [J]. 地质论评, 2002, 48 (增刊):36-44.  
Wan Yusheng, Cheng Yuqi, Yang Chonghui. A study on geochemistry of biotite leptonite -gneisses and their anatectic derivatives of the Fuping Complex -Group in the Xiaojue area, Hebei Province[J]. Geological Review, 2002, 48(supp.):36-44(in Chinese with English abstract).
- [15] Liu D Y, Nutman A P, Compston W, et al. Remnants of  $\geq 3800$  Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean craton [J]. Geology, 1992, 20:339-342.
- [16] Zhou Mei-fu, Ma Yu-xiao, Yan Dan-ping, et al. The Yanbian terrane (southern Sichuan Province, SW China): A Neoproterozoic arc assemblage in the western margin of the Yangtze Block [J]. Precambrian Research, 2006, 144:19-38.
- [17] 王廷印, 王士政, 王金荣. 阿拉善地区古生代陆壳的形成和演化 [M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1994:1-215.  
Wang Tingyin, Wang Shizheng, Wang Jinrong. The Formation and Evolution of Paleozoic Continental Crust in Alaxa Region[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1994:1-215 (in Chinese with English abstract).

## Chronology of the Precambrian metamorphic series in the Alxa area, Inner Mongolia

GENG Yuan-sheng<sup>1</sup>, WANG Xin-she<sup>1</sup>, SHEN Qi-han<sup>1</sup>, WU Chun-ming<sup>2</sup>

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China;

2. Department of Earth Sciences, Graduate School, Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

**Abstract:** The formation ages of the early Precambrian metamorphic series in the Alxa area, Inner Mongolia, have preliminarily been determined using the zircon SHRIMP U-Pb and single-zircon stepwise evaporation methods. The Yiken Us Formation-complex in the lower part of the Debusige Group-complex formed ~2700 Ma ago and underwent two phases of metamorphism in the late Neoproterozoic and at the end of the Paleoproterozoic. The oldest (3.5 Ga) detrital zircons in the area have been found in the formation-complex, suggesting that older crustal material probably exists in the area. The Bayan Ul Formation-complex formed in the period of 2500-2264 Ma and is considered to be of Paleoproterozoic age. SHRIMP ages of 1367 and 1617 Ma have been obtained for detrital zircons in the Alxa Group-complex, which means that the possibility that the Alxa Group-complex might belong to the Mesoproterozoic cannot be ruled out. Isotope chronological studies indicate that the Precambrian metamorphic series in the area consists of several metamorphic series of different ages and geneses, which have their own compositional characteristics, so they should be subdivided into the Neoproterozoic Debusige Group-complex, Paleoproterozoic Bayan Ul Formation-complex and Paleo- and Mesoproterozoic Alxa Group-complex.

**Key words:** formation age; Precambrian; metamorphic strata; geochronology; Alxa area.

---

**About the first author:** GENG Yuan-sheng, male, born in 1950, senior researcher, mainly engages in the study of Precambrian, metamorphic geology and petrology; E-mail: ys-geng@cags.net.cn.