

文章编号: 1000- 6524 (2002) 04- 0412- 09

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

耿元生¹, 王新社¹, 沈其韩¹, 吴春明²

(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: 在内蒙古阿拉善地区原划分的阿拉善岩群中识别并划分出了新元古代(晋宁期)的变形花岗岩。该期变形花岗岩主要为眼球状片麻岩, 以高 SiO₂、碱(Na₂O+ K₂O)、REE, 低 MgO、TFeO、CaO 且 K₂O 大于 Na₂O, 具强烈负 Eu 异常为特点。两个样品的锆石逐层蒸发法年龄分别为 971 Ma 和 845 Ma, 表明它们是晋宁期岩浆事件的产物。地球化学特征和含有电气石、白云母的矿物组合特点表明, 阿拉善地区晋宁期的变形花岗岩形成于同碰撞构造环境。该区晋宁期变形花岗岩的发现意味着新元古代早期的岩浆活动一直影响到华北地台的西北缘。

关键词: 晋宁期花岗岩; 地球化学特征; 锆石同位素年龄; 新元古代; 阿拉善地区

中图分类号: P588. 12⁺ 1

文献标识码: A

The discovery of Neoproterozoic Jinningian deformed granites in Alax area and its significance

GENG Yuan_sheng¹, WANG Xin_she¹, SHEN Qi_han¹ and WU Chun_ming²

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China; 2. Department of Earth Sciences, The Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China)

Abstract: Neoproterozoic Jinningian deformed granites were recognized from the formerly defined Alax Group. The ages of zircons from two deformed granite samples determined by step-evaporation technique are 971 Ma and 845 Ma, respectively, implying that they were formed by Jinningian magmatic event. The deformed granites are mainly augen gneisses, characterized by high content of SiO₂, alkali(Na₂O+ K₂O) and REE, low content of MgO, TFeO and CaO, K₂O > Na₂O, and intense negative Eu anomaly. Geochemical characteristics and tourmaline- and muscovite-bearing rock associations suggest that Jinningian deformed granites in Alax area were formed in the syn-collisional setting. The discovery of Jinningia deformed granites demonstrates that magmatic activity of early Neoproterozoic affected the northwest margin of North China platform.

收稿日期: 2002- 07- 29; 修订日期: 2002- 09- 03

基金项目: 中国地质调查局资助项目(199913000006); 国家自然科学基金资助项目(40072060, 40002017)

作者简介: 耿元生(1950-), 男, 研究员, 从事变质地质学研究。

Key words: Jinningian granite; geochemical characteristics; isotope age of zircon; Neoproterozoic; Alax area

随着对 Rodinia 超大陆研究的深入, 新元古代(晋宁期, 8~10 亿年)的岩浆活动及其与 Rodinia 超大陆形成演化关系的研究日益受到重视(沈渭洲等, 2001; 裴先治等, 1999; 郭进京等, 1999; 李怀坤等, 1999)。陆松年等(2002)提出沿中央造山带广泛分布有晋宁期花岗岩, 它们与超大陆的拼合、裂解关系密切。然而, 华北陆台内部和北部边缘很少有晋宁期花岗岩的报道。本文报道了内蒙古阿拉善地区晋宁期变形花岗岩的年代学和地球化学特征, 并讨论了其地质意义。

1 地质背景和岩石特征

阿拉善地区早前寒武纪岩石主要出露在内蒙古自治区阿拉善盟阿拉善左旗及阿拉善右旗东部的雅布赖山一带(图1)。该区曾被称为阿拉善台隆, 属于中朝准地台的次级构造单元(任纪舜等, 1980)。以往把该区的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(1988)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腾敖包群。近年的研究表明, 原划分的地层中包含了许多英云闪长质片麻岩和变形花岗岩, 它们应从地层系统中剔除; 岩层之间也不是简单的叠覆关系, 而是经过复杂改造的岩片的堆叠, 因此原阿拉善群应予解体并重新划分。

本次研究在原阿拉善群(霍福臣等称阿拉腾敖包群)的大布苏山组和德尔和通特组中发现了一些变形花岗岩, 经变质变形多已成为眼球状片麻岩。岩石主要由斜长石(30%)、微斜长石(条纹长石)(25%)、石英(35%)、黑云母(3%)、白云母(5%)等矿物组成, 其中长石斑

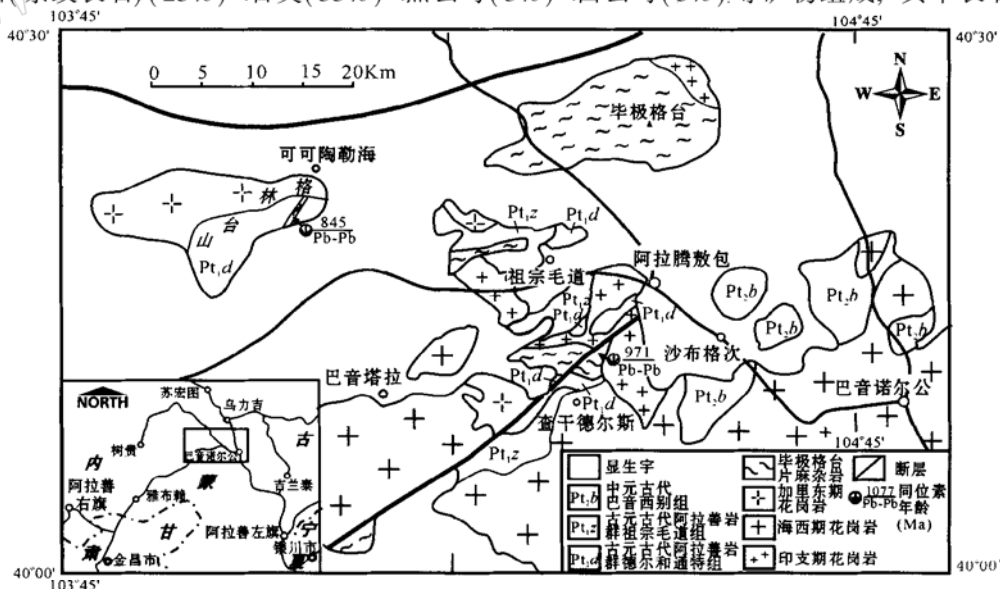


图1 阿拉腾敖包地区地质简图及采样位置

Fig. 1 Sketch geological map of Alatan Aobao area showing sampling locations

晶(斜长石、微斜长石)颗粒粗大,粒径在 1.0 cm 左右,大者可达 3 cm。经变形,长石斑晶形成拖尾,呈眼球状。长石边部为较细粒的云母、长石和石英等,具明显定向性,显微镜下可见云母鱼构造。在片理面上,黑云母或角闪石的集合体定向排列,组成拉伸线理。局部变形更强,长石和石英集合体强烈拉长,长宽比可达 10:1,构成 L 型构造岩。根据长石变斑晶的拖尾,可以判定岩石经历了右行剪切变形。

在研究区内,目前已有同位素年龄证据的晋宁期变形花岗岩有两处(图 1):一处位于阿拉善右旗阿拉腾敖包乡大布苏山一带,主要出露变形较强的眼球状片麻岩,规模较大,宽约 1 km,延长近 5 km;另一处位于阿拉善右旗可克托勒盖一带,主要出露变形较弱的花岗片麻岩,宽 50 m 左右,延长 1 km 左右。此外,在阿拉善右旗的毕及格台一带亦有此类片麻岩出露,但目前尚无确切的同位素年龄数据。

2 变形花岗岩的形成年代

为确定变形花岗岩的形成时代,选择了两个典型样品进行了锆石逐层蒸发法年龄测定。先将样品破碎至 80 到 120 目,通过淘洗、重液分离、镜下挑选,选出纯净的锆石。由于逐层蒸发法需多次蒸发,因此选择较大颗粒的锆石,装入镱袋,在中国地质科学院地质研究所同位素室 MAT261 质谱计上进行测定,具体测定方法见宋彪(1994)所述,测定结果见表 1。

AL118 号样品采自阿拉善右旗阿拉腾敖包乡大布苏山一带(图 1),地理坐标为北纬 $40^{\circ}11'26.3''$,东经 $104^{\circ}24'29.8''$ 。岩性为眼球状黑云二长花岗质片麻岩,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,副矿物有锆石、磷灰石、磁铁矿等。其中锆石以浅黄色为主,长柱状,可见(100)、(111)晶面,由于溶蚀作用,锆石棱角稍圆,表面有溶蚀坑,透明度较好,有裂纹,长柱状晶面发育、锥面较短等均为岩浆型锆石特

表 1 锆石逐层蒸发-沉积法年龄测定结果

Table 1 Zircon ages measured by stepwise evaporation - deposition technique

样号	镱袋号	颗粒数及大小(μm)	S	NS	铅同位素测量值 (2σ)			计算结果	
					$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})^*$	年龄(Ma)
AL118	1	2,300×180	1	35	0.098 1±9	0.089 57±41	0.001 00±15	0.075 31±41	1 077±11
	2	2,260×180	1	25	0.077 09±49	0.071 50±36	0	0.071 50±36	972±10
	3	5,240×160	1	15	0.066 7±23	0.082 9±10	0.001 046±53	0.067 9±10	
	3	5,240×160	2	25	0.110 7±17	0.085 22±32	0.001 010±38	0.070 77±32	951±9
	4	5,220×100	1	40	0.077 56±25	0.077 23±13	0.000 587±8	0.068 79±13	
	4	5,220×100	2	25	0.085 76±28	0.075 31±16	0.000 414±11	0.069 37±16	
	4	5,220×100	3	15	0.088 26±69	0.076 30±23	0.000 439±20	0.070 00±23	928±7
	5	5,220×100	1	40	0.064 5±19	0.073 07±24	0.000 211±13	0.070 03±24	929±7
	AL141	1	8,200×100	1	25	0.068 7±12	0.071 23±53	0.000 218±28	0.068 09±53
2		8,200×100	1	5	0.090 8±24	0.066 2±18	0	0.066 2±18	814±56
3		8,200×100	1	30	0.045 6±29	0.066 85±20	0	0.066 85±20	833±6
4		8,260×180	1	35	0.061 96±29	0.068 46±12	0.000 025 4±46	0.068 10±12	872±4

注: S 是 Steps 的缩写,表示锆石颗粒蒸发-沉积的某个阶段; NS 表示 scan 数,即所采集的数据组数;年龄由放射成因($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$)^{*}计算得到;所有误差均为 2σ 。

征。该样品5次测定年龄介于928~1077 Ma之间,数据较为集中,平均值为971 Ma,表明所测定的锆石是同一时代的产物。该结果与 $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 测定值为零时的972 Ma的结果一致,而 $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 测定值为零表明该锆石几乎没有铅的丢失,接近于其形成年龄,可以认为971 Ma代表了此变形花岗岩的形成时代。

AL141号样品采自阿拉善右旗阿拉腾敖包乡可克托勒盖一带(图1),地理坐标为北纬 $40^{\circ}21.114'$,东经 $104^{\circ}03.795'$,岩性为条带状花岗片麻岩。该地区以原划分的德尔和通特组的云母石英片岩、石榴云母石英片岩等为主。花岗质片麻岩呈宽30余米的带状顺层侵入到云母石英片岩之中,延长达数百米。花岗质片麻岩主要由石英(40%)、斜长石(23%)、微斜长石(条纹长石)(27%)、黑云母(4%)、白云母(4%)等组成。岩石变形强烈,呈片麻状、条带状构造,并可见到眼球状构造。眼球主要由长石、石英斑晶经变形、拉长形成。样品中的锆石主要为棕黄色,长柱状,晶形完整,棱角清楚,无裂纹,表面干净,透明度一般,显示出岩浆锆石的特点。4次测定的结果很接近,从814 Ma到872 Ma,平均为845 Ma(表1)。根据锆石的岩浆成因特点以及4次测定结果的一致性,可以认为845 Ma代表该变形花岗岩的形成时代。

尽管锆石逐层蒸发法测定的只是铅同位素,不是铀-铅同位素结果,但对于较单一的岩浆型锆石来说仍不失为一种有效的同位素定年手段,并得到了锆石离子探针的验证(宋彪,1994;Kroner,1993)。从本次分析的样品看,其中的锆石均为长柱状,晶形较好,无内核,形态单一,属于岩浆形锆石,且每个样品的多次测定结果基本一致,因此其结果是可信的。两个样品年龄上的差异可能有两方面的原因:一是因为锆石逐层蒸发法毕竟不是十分精确的定年方法,二者的差距实际可能并没有这样大,尚需精确的离子探针分析验证;另一方面,二者的差异可能较真实地反映了该区的实际地质情况,即大布苏山一带眼球状片麻岩可能形成较早,可克托勒盖一带呈带状分布的花岗片麻岩形成稍晚,但它们均属于晋宁期的产物。不论何种原因,本文提出的该区存在晋宁期花岗岩是可靠的。

3 地球化学特征

本区晋宁期变形花岗岩的地球化学组成如表2所示。从表中可以看出,常量元素以高 SiO_2 (69.87%~77.60%)、高碱(6.99%~8.51%)、低 MgO (0.18%~0.64%)、低 TFeO (0.73%~4.37%)、低 CaO (0.50%~1.77%)且 K_2O 含量大于 Na_2O 为特点。稀土元素以总量高($\Sigma\text{REE}=49.1\times 10^{-6}\sim 245.71\times 10^{-6}$)、轻重稀土元素分馏明显[(La/Yb) $_N=10\sim 20$]和具强烈的负铕异常($\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.19\sim 0.52$)为特点(图2a)。在微量元素方面,铁族元素含量低,Ba相对于Rb和Th亏损明显,高场强元素Nb、P、Zr,特别是Ti相对亏损(图2b)。在标准矿物An-Ab-Or图解上多位于Ab-Or连线附近,属于典型的花岗岩(图3)。以上地球化学特征表明它们是成熟度较高的地壳物质部分熔融的产物。

在R1-R2图解(Batchelor *et al.*, 1985)上,本区晋宁期变形花岗岩主要位于同碰撞区(图4);在 $\log\text{Rb}-\log(\text{Y}+\text{Nb})$ 和 $\log\text{Nb}-\log\text{Y}$ 图解(图5)上主要位于同碰撞花岗岩和火山弧花岗岩区。另外,据Harris(1986)等人研究,同造山期花岗岩在矿物学上以白云母和电气石的普遍存在为特征。本区,特别是在大布苏山一带,变形花岗岩中多含有白云母和电气石,有时电气石含量达到2%~3%。这种岩石的矿物组合特点与地球化学指示的同碰撞环境是

表 2 阿拉善地区晋宁期变形花岗岩的地球化学组成

Table 2 Chemical composition of Jinningian deformed granites in Alxa area

	AL082	AL111	AL118	AL141	AL281	AL288	AL292
SiO ₂	74.47	70.08	77.60	74.34	69.87	73.39	74.45
TiO ₂	0.17	0.28	0.17	0.22	0.55	0.22	0.05
Al ₂ O ₃	13.63	14.09	11.55	12.66	14.35	14.00	13.21
Fe ₂ O ₃	0.43	0.62	0.63	0.28	1.24	0.47	0.17
FeO	1.60	1.81	0.63	1.81	3.13	1.58	0.56
MnO	0.05	0.08	0.05	0.06	0.07	0.05	0.05
MgO	0.38	0.62	0.18	0.31	0.64	0.21	0.19
CaO	1.50	1.77	0.50	1.21	1.10	0.93	0.83
Na ₂ O	3.74	3.49	1.68	2.39	2.10	2.47	3.27
K ₂ O	3.54	4.21	6.11	4.68	4.89	5.10	5.24
P ₂ O ₅	0.03	0.10	0.10	0.16	0.23	0.16	0.06
H ₂ O	0.42	1.22	0.58	1.00	1.22	0.84	0.76
CO ₂	0.36	1.0	0.36	0.73	0.45	0.45	0.54
总量	100.32	99.37	100.14	99.85	99.84	99.87	99.38
La	35.08	42.50	16.82	38.24	46.65	36.45	9.32
Ce	69.04	78.53	37.54	77.34	112.30	77.53	20.50
Pr	5.70	6.62	3.24	7.11	10.41	7.33	2.21
Nd	23.59	28.59	13.77	30.52	42.51	28.12	7.81
Sm	4.03	5.34	3.38	7.32	9.69	5.95	2.39
Eu	0.58	0.86	0.62	1.14	1.49	0.92	0.14
Gd	4.83	6.32	3.99	8.44	8.32	4.74	2.03
Tb	0.68	0.76	0.50	1.07	0.96	0.65	0.33
Dy	3.35	4.78	2.79	5.03	6.32	2.64	1.88
Ho	0.69	0.98	0.47	0.80	1.03	0.39	0.32
Er	2.18	2.85	1.34	2.10	2.87	0.98	0.83
Tm	0.31	0.37	0.17	0.28	0.32	0.13	0.14
Yb	2.13	2.55	0.98	1.44	2.49	0.81	1.06
Lu	0.35	0.41	0.17	0.24	0.35	0.12	0.14
ΣREE	152.54	181.46	85.78	181.07	245.71	166.76	49.1
Eu/Eu*	0.41	0.45	0.52	0.46	0.50	0.52	0.19
Cr	13	14	8	12	35	16	16
Ni	11	6	8	7	12	6.1	4.9
Sc	4	6	3	5	9	3.3	4.1
Rb	65	136	225	198	203	288	255
Sr	114	11	58	57	88	52	49
Ba	954	718	679	789	597	452	240
Ga	17	18	12	23	23	29	22
Ta	0.60	1.70	0.70	1.80	1.10	1.30	2.20
Nb	9.5	10.0	7.3	15.0	15.0	15.0	7.70
Hf	7.4	5.2	2.0	6.3	6.9	4.6	2.7
Zr	231	139	59	176	218	138	37
Th	13	23	10	15	12	10	6.4
U	1.30	8.30	1.90	2.50	1.40	1.90	1.40

注: 常量元素用 X 荧光光谱法测定, 稀土元素和微量元素用等离子光谱法测定, 由国家地质实验测试中心完成; 常量元素单位为 $w_B/\%$, 微量和稀土元素单位为 $w_B/10^{-6}$ 。

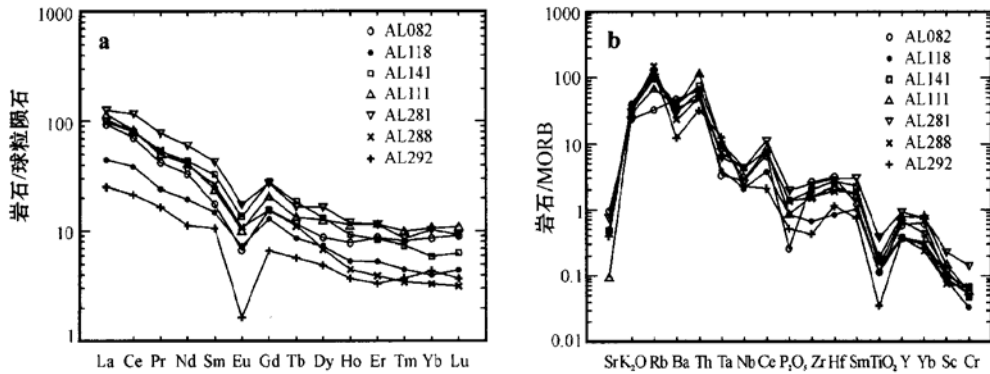


图 2 阿拉善地区晋宁期变形花岗岩的稀土元素模式配分图(a)和微量元素蛛网图(b)
 Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns (a) and MORB-normalized trace element spider diagrams(b) of Jinningian deformed granite in Alxa area

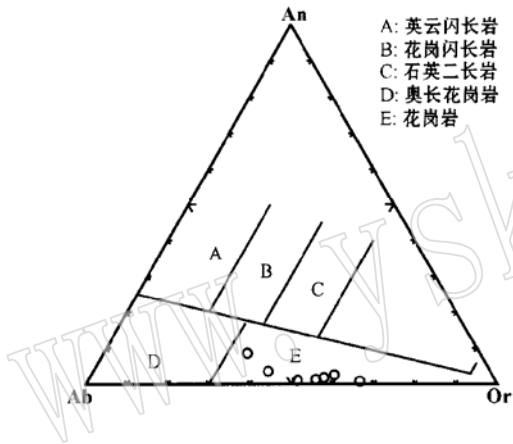


图 3 阿拉善地区晋宁期变形花岗岩的标准矿物 An-Ab-Or 分类图 (引自 O'Connor, 1965)

Fig. 3 Normative An-Ab-Or ternary diagram of Jinningian deformed granite in Alxa area

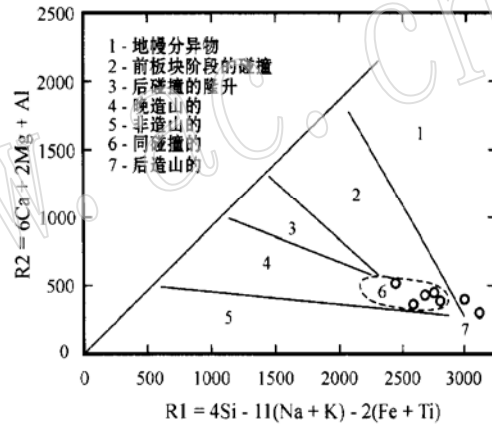


图 4 阿拉善地区晋宁期变形花岗岩的 R1- R2 图 (据 Batcher et al., 1985)

Fig. 4 R1- R2 diagram of Jinningian deformed granite in Alxa area

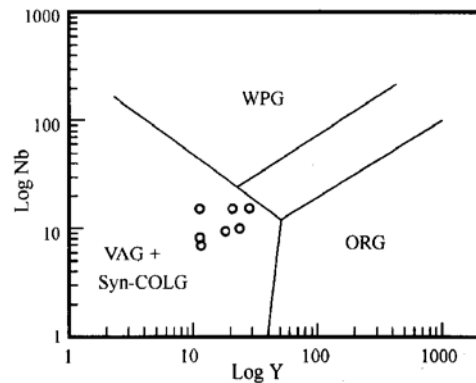
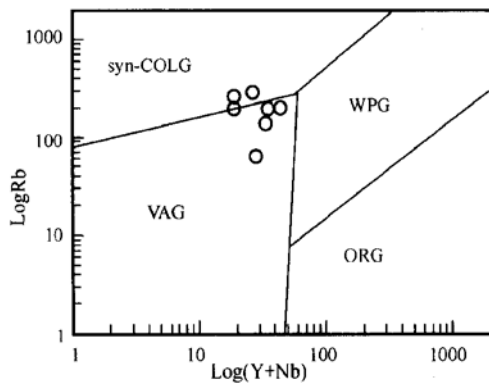


图 5 阿拉善地区晋宁期变形花岗岩的 log Rb- log(Y+ Nb) 和 log Nb- log Y 图(据 Pearce et al., 1984)

Fig. 5 log Rb- log(Y+ Nb) and log Nb- log Y diagrams of Jinningian deformed granite in Alxa area
 Syn- COLG 一同构造的碰撞带花岗岩; VAG 一火山弧花岗岩; WPG 一板内花岗岩; ORG 一洋中脊花岗岩

一致的。因此可以认为, 该区晋宁期的变形花岗岩主要形成于同碰撞的构造环境。

4 阿拉善地区晋宁期花岗岩的地质意义

阿拉善地区晋宁期碰撞型花岗岩的存在表明晋宁期的岩浆活动不仅限于华南和中央造山带, 在华北地台西北缘也有表现。另据 Wang Tao 等(2001) 研究, 在阿拉善以北的亚干杂岩中也有 900 Ma 的地质事件记录, 在华北地台北缘的四子王旗一带有 894 Ma 的乌兰花片麻状花岗岩和 950 Ma 的那尔莫格其沟似斑状花岗岩(内蒙古自治区地质矿产局, 1991) 出露, 显然晋宁期岩浆活动对华北地台西北缘及北缘的影响较为明显。尽管该区目前发现的晋宁期花岗岩较少, 但由于过去曾把这些变形花岗岩作为地层划分, 随着工作的深入可能会发现更多的晋宁期花岗岩。本文不仅对于全面认识晋宁期花岗岩的活动范围、性质有重要的意义, 同时在 Rodinia 超大陆重建过程中对阿拉善地块的归属也有启发意义。

最近陆松年等(2002) 在塔里木东缘划分出阿拉善、祁连、欧龙布鲁克、柴达木等 4 个微陆块, 其中柴达木微陆块南缘和北缘均有较强烈的新元古代早期(820 Ma~ 878 Ma) 的岩浆活动, 并在北缘形成了长达 700 km 的岩浆岩带。虽然还不能确定该岩浆岩带是否为微大陆之间会聚的标志, 但其大地构造意义是不应忽视的。笔者认为在阿拉善地区也存在新元古代早期的碰撞型变形花岗岩, 并有向北东延伸的趋势, 这就提出了阿拉善微陆块和祁连微陆块在晋宁时期是否发生过碰撞会聚的问题。进一步研究该区晋宁期花岗岩的分布和特征, 对于认识这些微陆块的相互关系十分重要。

大规模花岗片麻岩的产生不是一个孤立的地质事件, 它或者与陆块的拼合会聚有关, 或者与会聚后的拉伸作用有关。在华北地台以北有中元古代末期至新元古代早期的陆缘裂陷盆地, 如 1 107 Ma~ 1 130 Ma 的白乃庙群裂陷型沉积岩系(聂凤军等, 1995)、961 Ma~ 807 Ma 的温都尔庙群陆缘沉积(张臣等, 1998) 及 1 282 Ma 的锡林郭勒陆缘火山岩(郝旭等, 1997) 等。以往曾认为这些被动陆缘火山沉积盆地经过长时间的演化及 600 Ma 左右变质变形才结束, 火山型被动陆缘演化进入古生代活动陆缘演化的阶段(张臣等, 1998)。与一个造山过程相比, 5~ 6 亿的演化过于漫长, 可以认为 800 Ma~ 1 000 Ma 的晋宁期碰撞型花岗岩的出现很可能与这些盆地的闭合有关。因此, 对华北地台西北缘晋宁期花岗岩的研究可以深化对华北地台西北缘中元古代到晚元古代演化的认识。

致谢: 野工作 衡 宁夏回族自治区地调院李天斌、陆彦俊、阎志强等同志的大力帮助和支持, 锆石同位素由中国地质科学院地质研究所同位素实验室张巧大、杨淳等同志测定完成, 在此一并致谢。

References

- Batcher R A and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using muticationic parameters[J]. *Chemical Geology*, 48: 43~ 55.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Nei Mongol Autonomous Region. 1991. *Regional Geology of Nei Mongol (Inner Mongolia) Autonomous Region*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 389~ 393 (in Chinese with English abstract).

- Guo Jinjing, Zhao Fengqing and Li Huaikun. 1999. 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).
- Hao Xu and Xu Bei. 1997. Sm- Nd, Rb- Sr isotopic geochronology of the Xilin Gol complex, Inner Mongolia, China[J]. *Geological Review*, 43(1): 101~ 105 (in Chinese with English abstract).
- Harris N B W, Pearce J A and Tindle A G. 1986. Geochemical characteristics of collision zone magmatism[A]. Coward M P and Ries A C. *Collision Tectonics*[C]. Geological Society Special Publication, 19: 67~ 81.
- Huo Fuchen, Cao Jingxuan, Dong Yansheng, *et al.* 1987. The division, correlation, metamorphism and mineralization features of the lower and middle Precambrian in the Helanshan mountain - Alashan region, China[J]. *Journal of Changchun College of Geology*. 17(1): 35~ 46 (in Chinese with English abstract).
- Kroner A and Willms I J. 1993. Age of metamorphism in the high grade rocks of Sri Lanka[J]. *Journal of Geology*, 101: 503~ 512.
- Li Huaikun, Lu Songnian, Zhao Fengqing, *et al.* 1999. Geochronological framework of the Neoproterozoic major geological events in the northern margin of the Qaidam basin[J]. *Geoscience*, 13(2): 224~ 225 (in Chinese).
- Lu Songnian, Wang Hui-chu, Li Huaikun, *et al.* 2002. Redefinition of the "Dakendaban Group" on the northern margin of the Qaidam basin[J]. *Geological Bulletin of China*, 21(1): 19~ 23 (in Chinese with English abstract).
- Nie Fengjun, Pei Rongfu, Wu Liangshi, *et al.* 1995. Nd and Sr isotope study on greenschist and granodiorite of the Bainaimiao district, Inner Mongolia, China[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, (1): 36~ 44 (in Chinese with English abstract).
- O'Connor J T. 1965. A Classification for Quartz-rich Igneous Rocks Based on Feldspar Ratio[M]. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap., 525B: 79~ 84.
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 25: 956~ 983.
- Pei Xianzhi, Wang Tao, Wang Yang, *et al.* 1999. Major geological events of Jinning period and their tectonic settings in the north Qinling [J]. *Geological Journal of China Universities*, 5(2): 137~ 147 (in Chinese with English abstract).
- Ren Jishun, Jiang Chunfa, Zhang Zhengkun, *et al.* 1980. *The Geotectonic Evolution of China*[M]. Beijing: Science Press, 1~ 124(in Chinese).
- Shen Weizhou, Ling Hongfei, Xu Shijin, *et al.* 2000. Geochemical characteristics and genesis of some Neoproterozoic granitoids in the northern part of the western margin of Yangtze block[J]. *Geological Review*, 46(5): 512~ 519 (in Chinese with English abstract).
- Song Biao. 1994. Principle of the single zircon stepwise evaporation technique and applications of zircon geochronology[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, (1~ 2): 206~ 217 (in Chinese with English abstract).
- Wang Tao, Zheng Yadong, Gehrels G E, *et al.* 2001. Geochronological evidence for existence of South Mongolian microcontinent: A zircon U- Pb age of granitoid gneisses from the Yagan - Onch Hayrhan metamorphic core complex[J]. *Chinese Science Bulletin*, 46(23): 2 005~ 2 008.
- Zhang Chen and Wu Tairan. 1998. Sm- Nd, Rb- Sr isotopic isochron of metamorphic volcanic rocks of Ondor Sum group, Inner Mongolia[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 33(1): 25~ 30 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 郭进京, 赵风清, 李怀坤. 1999. 中祁连东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.
- 郝旭, 徐备. 1997. 内蒙古锡林浩特锡林郭勒杂岩的原岩年代和变质年代[J]. *地质论评*, 43(1): 101~ 105.
- 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.
- 李怀坤, 陆松年, 赵风清, 等. 1999. 柴达木北缘新元古代重大地质事件年代格架[J]. *现代地质*, 13(2): 224~ 225.
- 陆松年, 王惠初, 李怀坤, 等. 2002. 柴达木盆地北缘“达肯大坂群”的再厘定[J]. *地质通报*, 21(1): 19~ 23.
- 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, 389~ 394.

- 聂凤军, 裴荣富, 吴良世, 等. 1995. 内蒙白乃庙地区绿片岩和花岗闪长斑岩的钨和铈同位素研究[J]. 地球学报, (1): 36~ 44.
- 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[J]. 北京: 地质出版社.
- 裴先治, 王涛, 王洋, 等. 1999. 北秦岭晋宁期主要地质事件及其构造背景探讨[J]. 高校地质学报, 5: 137~ 147.
- 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 1980. 中国大地构造及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1~ 124.
- 沈渭洲, 凌洪飞, 徐士进, 等. 2000. 扬子板块西缘北段新元古代花岗岩类的地球化学特征和成因[J]. 地质论评, 46 (5): 512~ 519.
- 宋彪. 1994. 质谱计逐层蒸发- 沉积法测定单颗粒锆石年龄原理及可靠性的证明[J]. 地球学报, (1~ 2): 206~ 217.
- 张臣, 吴泰然. 1998. 内蒙古温都尔庙群变质基性火山岩 Sm- Nd, Rb- Sr 同位素年代学研究[J]. 地质科学, 33(1): 25~ 30.

www.yskw.ac.cn