

# 阿拉善地区前寒武纪斜长角闪岩的岩石学、 地球化学、形成环境和年代学

沈其韩, 耿元生, 王新社, 吴春明

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

**摘要:** 阿拉善地区前寒武纪不同岩群、岩组和杂岩中的斜长角闪岩均呈层状产出, 其原岩多为高铁拉斑玄武岩, 普遍具有高钾高钛、稀土元素含量高、轻稀土元素富集的地球化学特征, 与典型的大洋拉斑玄武岩、太古宙的 TH<sub>1</sub> 型和 TH<sub>2</sub> 型拉斑玄武岩有较明显的区别。岩石组合特征和多种地球化学判别图解均表明, 该区的斜长角闪岩主要形成于板内环境, 属于板内裂陷或大陆边缘裂陷的大地构造环境。初步的同位素年代学研究表明, 叠布斯格岩群中斜长角闪岩的原岩形成于新太古代, 含黑云斜长角闪岩中的角闪石<sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar 坪年龄和等时线年龄分别为 1 918 Ma 和 1 919 Ma, 说明其曾经历了古元古代角闪岩相变质作用的叠加。巴彦乌拉山岩组中斜长角闪岩形成于 2 271 Ma~2 264 Ma。波罗斯坦庙片麻杂岩中的斜长角闪岩已被 1 818 Ma 和 1 839 Ma 花岗片麻岩侵入, 根据该杂岩体中斜长角闪岩与巴彦乌拉山岩组中同类岩石的地球化学特征, 推断其形成于古元古代早期。阿拉善群德尔和通特组中的斜长角闪岩目前尚无确切的同位素年代学数据, 但相同层位的石榴石-二云母石英片岩中锆石离子探针定年已获得平均同位素年龄值为 1 363 Ma, 推测它有可能形成于中元古代。

**关键词:** 斜长角闪岩; 地球化学; 同位素年龄; 板内裂陷或大陆边缘裂陷; 阿拉善地区

**中图分类号:** P588.3; P591; P597+

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6524(2005)01-0021-11

## Petrology, geochemistry, formation environment and ages of Precambrian amphibolites in Alxa region

SHEN Qi\_han, GENG Yuan\_sheng, WANG Xin\_she and WU Chun\_ming

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

**Abstract:** Petrology, geochemistry, formation environment and isotopic geochronology of Precambrian amphibolites in Alxa area are reported in this paper. Amphibolites in different group complexes, formation complexes and complex rock bodies all crop out in layers, and their protoliths are mainly ferrian tholeiite characterized geochemically by high potassium and titanium as well as rich REE and LREE. These characteristics are remarkably different from features of typical oceanic tholeiite, TH<sub>1</sub> and TH<sub>2</sub> tholeiite of Archean rock assemblages. Various geochemical diagrams indicate that amphibolites are mainly formed in an intraplate environment characterized by intraplate depression or epicontinental faulted depression. Isotopic geochronology shows that amphibolite in Diebusige group complex was formed in Neo-archean. <sup>39</sup>Ar-<sup>40</sup>Ar age and isotopic age of hornblende from biotite-bearing amphibolite are 1 918 Ma and 1 919 Ma respectively, suggesting that they underwent metamorphism of amphibolite faces in Paleoproterozoic. Amphibolite in Bayanwulashan formation complex was formed between 2 271 Ma and 2 264 Ma. Amphibolite in Boluositanmiao gneiss complex was intruded by granitic gneiss of 1 818 Ma and 1 839 Ma. According to geochemical characteristics of amphibolite in the complex and the same sort of

收稿日期: 2004-04-19; 修订日期: 2004-08-18

基金项目: 中国地质调查资助项目(199913000006)

作者简介: 沈其韩(1922-), 男, 研究员, 中国科学院资深院士, 长期从事变质地质学研究。

rocks in Bayanwulashan formation complex, it is concluded that it was formed in early Paleoproterozoic. Accurate isotopic chronological data of amphibolite from Delhetongte formation complex in Alxa Group are not available, but the average zircon ion probe age of garnet\_muscovite\_biotite\_quartz\_schist in the same layer is 1 363 Ma, which indicate that the amphibolite was probably formed in Meso-proterozoic.

**Key words:** amphibolite; geochemistry; isotopic age; intraplate depression or epicontinental faulted depression

阿拉善地区前寒武纪变质岩系分布较广。前人已对该区的前寒武纪地层、岩石和构造特征等做了较详细的划分和描述(董燕生等, 1986; 霍福臣等, 1987; 史美良, 1987; 杨振德等, 1988; 王廷印等, 1994; 耿元生等, 2002), 在 1: 20 万磴口幅和庆格勒幅区域地质调查报告<sup>①②</sup>中对变质岩系中斜长角闪岩的层位、分布和岩石学特征也做了简要介绍, 但系统的岩石学、微量元素和稀土元素地球化学特征等均未涉及。本文在对该区前寒武纪构造-岩石-地层单元划分和年代格架研究的基础上, 重点报导斜长角闪岩的地质产状、地球化学、原岩类型、形成环境和部分岩石的形成时代。这些资料对探讨该区变质岩系的原岩组合、形成的大地构造背景均具有重要的意义。

## 1 斜长角闪岩产出层位和岩相学特征

根据区域构造分区、岩石地层组合特征以及同位素年代学资料, 阿拉善地区的早前寒武纪岩系由下而上可分为 3 套变质岩石地层组合, 即新太古代的叠布斯格岩群、古元古代的巴彦乌拉山岩组和可能属中元古代的阿拉善岩群。此外还可分出波罗斯坦庙英云闪长-花岗质片麻杂岩和毕及格台花岗闪长-花岗质片麻杂岩。在叠布斯格岩群、巴彦乌拉山岩组、阿拉善岩群的德尔和通特岩组和波罗斯坦庙片麻杂岩中都有斜长角闪岩的出露。

### 1.1 叠布斯格岩群中的斜长角闪岩

该岩群分为上、下两个岩组。下岩组称为依肯乌苏岩组, 又分为下、中、上 3 个岩段。在下岩段中有少量斜长角闪岩夹于角闪黑云斜长片麻岩中, 中岩段有少量斜长角闪岩与含石英砾的大理岩伴生, 上岩段的查汗陶勒盖剖面中见有 6 层斜长角闪岩, 底部为次闪石化含石榴斜长角闪岩, 厚 40 余米; 中部见有 2~ 3 层斜长角闪岩、次闪石化透辉斜长角闪

岩和含黑云母斜长角闪岩, 厚 4~ 8 m, 夹于含砾大理岩与片麻岩或混合岩与片麻岩之间; 上部有两层较厚的次闪石化石榴斜长角闪岩和透辉斜长角闪岩, 厚 70~ 100 m, 夹于含砾大理岩与片麻岩之间或含砾大理岩内。此外, 还有一些斜长角闪岩呈脉状产出。此次研究的斜长角闪岩均分布在下岩组之中。

该岩群中的斜长角闪岩一般呈黑绿色, 细粒块状, 部分呈芝麻点状。镜下呈不等粒、柱粒状变晶结构, 片状-弱片麻状构造。主要由角闪石(40%~50%)和斜长石(40%~50%)组成, 有的含有透辉石(10%±)和/或黑云母(5%±), 部分样品中还见有少量石榴石和石英, 副矿物有磷灰石、磁铁矿、榍石和锆石等。

### 1.2 巴彦乌拉山岩组中的斜长角闪岩

主要见于巴彦乌拉山岩组分布区的中部和北部。在该岩组的下部和中部出露的斜长角闪岩较多, 上部较少。据吉兰泰西的路线剖面观察, 该岩组由下而上见有 6 套岩石或组合: 下部为中厚层状的黑云石英片岩, 向上依次为角闪黑云或黑云角闪斜长片麻岩组合、黑云二长片麻岩夹角闪黑云片岩组合、角闪变粒岩、斜长角闪岩和二云石英片岩。斜长角闪岩层岩性较单一, 是巴彦乌拉山岩组的主要岩石类型之一, 处于该岩组的较上层位。在巴彦乌拉山的南段, 由于强烈的构造变形导致岩石退变质和蚀变, 有的斜长角闪岩已转变为绢云绿泥角闪片岩和绿泥钠长片岩。

该岩组中的斜长角闪岩可细分为黑云斜长角闪岩、透辉斜长角闪岩和石榴斜长角闪岩。岩石在镜下呈粒状变晶结构, 片状或弱片麻状构造。主体由角闪石和斜长石组成, 粒度 0.4~ 1.5 mm。有的岩石中含少量石榴石、黑云母和石英, 副矿物主要为磁铁矿。

### 1.3 阿拉善岩群中的斜长角闪岩

主要产于阿拉善岩群的德尔和通特组靠近底部

① 宁夏回族自治区地质局区域地质调查队, 1980. 1: 20 万磴口幅区域地质调查报告.

② 宁夏回族自治区计委地质局区域地质调查队, 1980. 1: 20 万庆格勒幅区域地质调查报告.

的层位中,常以较薄的单层夹于黑云长英片麻岩中。有的片理明显,野外称为角闪片岩。有的斜长角闪岩与角闪变粒岩呈间层状产出。此外,据 1:20 万庆格勒幅区域地质调查报告<sup>①</sup>介绍,在查干德尔斯北德尔和通特组上段顶部也见有 55 m 和 18 m 两层斜长角闪岩夹于镁质大理岩中或镁质大理岩与二长变粒岩之间。在阿拉善西部的德尔和通特组被晋宁期的花岗片麻岩侵入(耿元生等,2002)。

该岩群中的斜长角闪岩有 3 种,一种为典型的斜长角闪岩,一种为黑云斜长角闪岩,另一种为石榴斜长角闪岩,以前两种为主。岩石在镜下主要呈粒状变晶结构,片状构造。由角闪石和斜长石组成,一般各占 50% 左右,有的含有黑云母,少部分样品中含有少量石英和绿帘石。

#### 1.4 波罗斯坦庙片麻岩杂岩中的斜长角闪岩层

斜长角闪岩多以宽窄不一的条带状产出,宽的达 30 余米,窄的仅宽 0.3~0.5 m,多在 3~10 m,延长数十米至数百米。它们或以单独的斜长角闪岩条带赋存于英云闪长质片麻岩中,或与石榴黑云斜长片麻岩一起组成很大的透镜体或条状体分布于花岗质片麻岩中。

该杂岩中的斜长角闪岩类包括斜长角闪岩、含黑云斜长角闪岩、黑云斜长角闪岩、透辉斜长角闪岩及透辉石榴黑云斜长角闪岩等。岩石一般呈灰黑绿色,中细粒,有时呈芝麻点状。镜下呈柱-粒状变晶结构。岩石主要由斜长石(40%±)和角闪石(45%~50%)组成,有的含有黑云母(5±%)、透辉石(0%~10%)和石榴石(少量)。副矿物主要有磁铁矿、磷灰石、榍石等。

## 2 斜长角闪岩的化学成分与原岩恢复

从表 1 可见,叠布斯格岩群中斜长角闪岩的 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、MgO 和 CaO 的含量(w<sub>B</sub>/% ,下同)变化较大,TiO<sub>2</sub> 含量平均为 0.95%,K<sub>2</sub>O 含量高,从 1.06%~1.92%,平均为 1.49%。巴彦乌拉山岩组中斜长角闪岩的 SiO<sub>2</sub> 含量均小于 50%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 MgO 含量比较稳定,FeO、CaO、MnO、Na<sub>2</sub>O 含量相对稳定。K<sub>2</sub>O 含量 0.61%~1.52%,变化大,TiO<sub>2</sub> 含量相对较高,为 1.49%~1.91%,平均达 1.70%。阿拉善岩群德尔和通特岩组中斜长角闪岩

的 SiO<sub>2</sub> 含量 51.35%~53.05%,有一定变化,且高于其他岩群和岩组中的斜长角闪岩。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量 14.95%~18.65%,后者已属高铝范围。FeO、MgO 含量不高,但有一定的变化。CaO 含量 7.63%~12.26%,变化较大。K<sub>2</sub>O 含量一般为 0.43%~0.64%,个别高达 2.0%,平均为 1.03%。TiO<sub>2</sub> 含量平均达 1.40%。波罗斯坦庙片麻岩杂岩中斜长角闪岩 SiO<sub>2</sub> 含量 41.52%~49.17%,前者偏低,有一定变化。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量除 2 个样品为 13.34%~15.93% 以外,其余均在 16.99%~18.10%,说明大部分样品的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量较高。FeO、MgO 和 CaO 含量波动较大,K<sub>2</sub>O 含量为 0.56%~1.98%,平均 1.34%。TiO<sub>2</sub> 含量 1.19%~2.85%,平均达 1.83%,是区内最高的。

上述各岩群和岩组的斜长角闪岩样品化学成分在(al+fm)-(c-alk)对si图上均位于火山岩区。根据(FeO\*+TiO<sub>2</sub>)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO 三角图解(图 1),除阿拉善岩群德尔和通特岩组中 AL057 号样品和波罗斯坦庙片麻岩杂岩中 AL212 号样品的岩性相当于拉斑玄武质安山岩外,其余样品均位于高铁拉

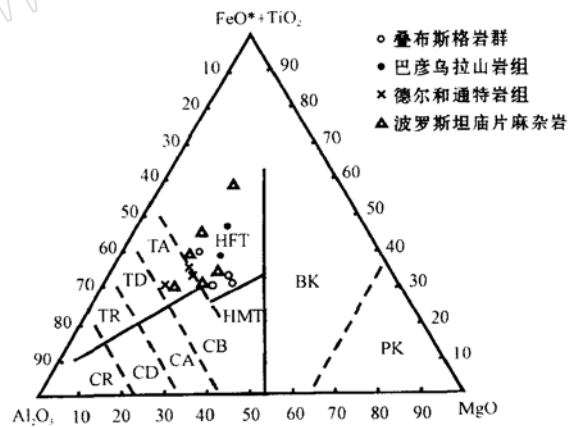


图 1 阿拉善地区前寒武纪斜长角闪岩的(FeO\*+TiO<sub>2</sub>)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO 三角图(分类边界据 Jensen, 1976)

Fig. 1 (FeO\*+TiO<sub>2</sub>)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO diagram of Precambrian amphibolites from Alxa region (after Jensen, 1976)  
PK—peridotitic komatiite; BK—basaltic komatiite; HMT—MgO-high tholiite; HFT—FeO-high tholiite; TA—tholiitic andesite; TD—tholiitic dacite; TR—tholiitic rhyolite; CB—alkali basalt; CA—alkali andesite; CD—alkali dacite; CR—alkali rhyolite

① 宁夏回族自治区计委地质局区域地质调查队. 1980. 1:20 万庆格勒幅区域地质调查报告.

表1 阿拉善地区前寒武纪斜长角闪岩的主量元素( $w_B/\%$ )和微量元素( $w_B/10^{-6}$ )含量Table 1 Chemical composition ( $w_B/\%$ ) and trace element ( $w_B/10^{-6}$ ) of Precambrian amphibolites from Alxa region

样号	叠布斯格岩群 依肯乌苏岩组			巴彦乌拉山岩组		波罗斯坦庙片麻杂岩中斜长角闪岩层						阿拉善岩群德尔 和通特岩组		
	AL008	AL017	ZHQ_9	AL091	AL098	AL020	AL024	AL210	AL212	AL223	AL243	Q1_2	AL057	AL083
SiO <sub>2</sub>	49.00	52.32	46.83	45.09	48.65	44.81	46.41	46.93	49.17	41.52	48.49	49.65	53.05	52.50
TiO <sub>2</sub>	0.85	0.78	1.20	1.91	1.49	1.62	1.40	2.85	1.70	2.24	1.19	0.68	1.99	0.93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.73	18.26	13.89	14.32	14.68	18.10	15.93	13.54	17.63	16.99	17.06	14.98	14.95	18.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.96	3.80	1.72	3.52	3.80	2.34	2.60	3.37	1.50	3.07	2.17	1.35	3.90	1.91
FeO	7.04	5.41	8.68	13.60	7.78	10.65	8.50	12.05	8.28	13.96	7.17	7.84	5.14	7.40
MnO	0.16	0.18	0.14	0.33	0.20	0.23	0.19	0.38	0.16	0.29	0.17	0.15	0.16	0.27
MgO	7.93	4.55	8.54	7.39	6.57	4.74	7.75	5.29	4.71	5.23	7.28	6.41	4.47	3.53
CaO	9.40	5.97	12.04	8.95	10.46	8.94	9.56	10.78	10.97	11.47	8.11	13.53	8.84	12.26
Na <sub>2</sub> O	3.06	3.85	2.53	1.14	2.57	2.76	2.71	1.26	2.72	1.95	3.10	1.63	4.44	1.16
K <sub>2</sub> O	1.49	1.92	1.06	0.61	1.52	1.98	1.76	0.96	0.56	0.94	1.89	0.92	0.64	0.43
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.18	0.39	0.06	0.18	0.14	0.39	0.17	0.25	0.26	0.03	0.26	0.09	0.37	0.24
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1.56	1.70	1.28	1.82	1.28	2.48	1.66	1.46	1.20	1.36	2.48	0.91	1.18	0.80
CO <sub>2</sub>	0.54	0.36	1.40	0.45	0.27	1.00	0.73	0.54	0.45	0.66	0.62	0.49	0.18	0.36
Total	99.90	99.49	99.37	99.31	99.14	100.00	99.37	99.66	98.86	99.05	99.99	98.63	99.31	100.35
Cr	234	28		118	126	14	187	167	96	317	93	79	164	
Ni	142	83		48	60	4	85	51	48	95	44	65	68	
Co	39	26		43	34	28	38	66	47	77	43	23	32	
Se	25	17		42	27	25	23	42	26	63	23	15	27	
Rb	30	28		18	59	61	33	23	14	24	87	7	4	
Ba	568	879		419	154	605	177	409	294	52	427	473	291	
Sr	315	590		114	246	517	318	146	383	378	491	766	632	
Ga	15	18		19	21	22	21	28	27	30	23	21	17	
Ta	0.6	0.5		1.2	1.6	1.1	2.6	0.4	1.2	0.5	0.5	2	1.6	
Nb	7	58		15	19	14	11	4.6	17	5	6.4	22	4.2	
Hf	2.9	150		5	4	3.5	3	5.8	4.4	4	2.9	4.3	3.2	
Zr	90	49		94	117	91	115	187	153	126	110	142	97	
Y	12	7		32	30	29	15	48.66	21.88	41.97	16.82	22	17	
Th	1.5	0.8		2.6	3.4	1	0.7	0.3	1.1	0.5	1	1.7	1.9	
U	0.3	0.2		0.8	1.8	1	0.4	0.6	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	
Th/Ta	2.5	1.6		2.2	2.1	0.9	0.27	0.75	0.92	1	2	0.85	3.2	
Th/Tb	3.8	1.86		2.2	2.9	0.8	1.4	0.21	1.64	0.42	1.5	1.8	3.8	
Th/Hf	0.52	0.28		0.52	0.85	0.29	0.23	0.05	0.25	0.13	0.52	0.4	0.59	
Ta/Hf	0.21	0.21		0.24	0.4	0.31	0.87	0.07	0.27	0.13	0.21	0.47	0.19	
La	16.46	17.23		29.20	32.24	22.62	10.05	8.59	19.19	7.83	17.60	27.10	15.55	
Ce	32.00	33.59		72.31	87.28	55.96	20.45	20.63	43.32	15.27	37.30	61.75	33.53	
Pr	2.96	3.03		7.26	8.97	5.74	2.28	2.92	4.67	2.13	3.78	6.11	3.57	
Nd	14.25	13.35		35.73	40.35	29.09	11.69	17.27	22.15	13.73	19.90	28.64	17.65	
Sm	2.89	3.02		8.41	8.56	6.80	3.06	6.77	5.22	5.56	4.54	6.69	3.92	
Eu	0.98	1.03		1.50	1.27	1.73	1.10	2.00	1.68	1.77	1.42	2.04	1.18	
Gd	2.74	2.55		9.74	9.16	8.04	3.35	8.69	5.19	7.17	4.05	8.17	3.83	
Tb	0.39	0.43		1.21	1.19	1.19	0.51	1.41	0.67	1.18	0.67	0.97	0.53	
Dy	2.53	1.85		7.09	6.32	5.90	3.33	9.49	4.49	8.23	3.52	5.16	3.38	
Ho	0.50	0.37		1.45	1.24	1.23	0.68	1.87	0.80	1.62	0.62	0.98	0.68	
Er	1.44	1.09		3.61	3.52	3.40	1.79	5.89	2.43	4.86	0.99	2.57	2.02	
Tm	0.21	0.16		1.45	0.51	0.47	0.24	0.72	0.33	0.62	0.24	0.30	0.28	
Yb	1.34	0.81		3.06	3.14	3.01	1.53	5.10	2.09	4.00	0.66	2.00	1.87	
Lu	0.22	0.14		0.50	0.46	0.51	0.25	0.74	0.30	0.56	0.24	0.33	0.31	
ΣREE	78.91	78.65		181.50	204.20	45.69	60.51	92.09	112.50	74.53	97.53	152.81	83.30	
(La/Yb) <sub>N</sub>	8.09	14.01		6.29	6.76	4.95	4.33	1.11	6.05	1.29	6.98	8.92	5.48	
δEu	1.06	1.12		0.51	0.44	0.72	0.03	0.81	0.985	0.87	1.00	0.85	0.93	

注: 以AL开头的样品为本项目所采, 由国家地质分析测试中心测试; 常量元素采用X荧光光谱法分析, 其中全铁用X荧光光谱法分析, FeO用化学法分析, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>由全铁减去FeO换算得出; 微量元素和稀土元素采用等离子光谱和等离子质谱分析; ZHQ\_9和Q1\_2分别引自1:20万磴口幅和庆格勒幅区域地质调查报告。

斑玄武岩区。尽管在  $\text{FeO}^* - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{MgO}$  三角图中部分样品位于钙碱性系列区, 考虑到  $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{K}_2\text{O}$  在变质变形改造中易于活动, 难以准确反映原岩的特征, 因此采用  $(\text{FeO}^* + \text{TiO}_2) - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$  三角图解的结果。各岩群中的斜长角闪岩的原岩主要为基性火山岩, 主体属于高铁拉斑玄武岩。

### 3 微量元素和稀土元素地球化学

不同岩组和杂岩中斜长角闪岩的稀土元素地球化学成分见表1。根据成分计算获得的稀土元素标准化曲线图[按 Masuda(1975)数据标准化]和微量元素蛛网图[按 Taylor等(1985)数据标准化]见图2。

叠布斯格岩群的斜长角闪岩稀土元素含量较低, 为  $78.65 \times 10^{-6} \sim 78.91 \times 10^{-6}$ , 平均  $78.75 \times 10^{-6}$ , 是本区相对较低的。 $(\text{La}/\text{Yb})_N$  平均为11.05, 说明分异比较强烈,  $\delta\text{Eu}$  稍大于1, 曲线呈右倾, 轻稀土元素明显富集, 微显正铕异常, 两个样品特征基本一致。在微量元素蛛网图上,  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Ba}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Ce}$ 、 $\text{Sm}$  富集,  $\text{Rb}$ 、 $\text{Th}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Zr}$  亏损。巴彦乌拉山岩组中斜长角闪岩的稀土元素总量是全区最高的为  $181.5 \times 10^{-6} \sim 204.2 \times 10^{-6}$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 6.53$ , 说明有一定的分异, 曲线右倾, 轻稀土元素富集明显, 突出的特点是负铕异常明显,  $\delta\text{Eu} = 0.48$ 。在微量元素蛛网图上,  $\text{Rb}$  或  $\text{Ba}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Ce}$ 、 $\text{Sm}$  富集,  $\text{Th}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$  和  $\text{Zr}$  亏损。阿拉善岩群德尔和通特岩组中斜长角闪岩的稀土元素总量稍高, 为  $83.8 \times 10^{-6} \sim 152.81 \times 10^{-6}$ , 平均  $118.05 \times 10^{-6}$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 7.2$ , 说明有一定分异。 $\delta\text{Eu} = 0.89$ , 两个样品基本呈右倾, 表明轻稀土元素富集。一个样品略显负铕异常, 一个不明显。在微量元素蛛网图上显示  $\text{Ba}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Ce}$ 、 $\text{Sm}$  富集, 除与其他岩群、岩组中斜长角闪岩同样显示出  $\text{Th}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Zr}$  亏损之外, 该岩组中斜长角闪岩的  $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Rb}$  相对  $\text{Sr}$  和  $\text{Ba}$  显示出亏损的特点。波罗斯坦庙片麻杂岩中斜长角闪岩的稀土元素含量变化较大, 可分为两类: 一类以 AL210 和 AL223 为代表, 其稀土元素总量平均为  $83.31 \times 10^{-6}$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  值低, 分异差。稀土元素标准化曲线呈平坦状, 具明显的负铕异常。在微量元素蛛网图上, 这两个样品有些差别: AL210 显示  $\text{Rb}$ 、 $\text{Ta}$  富集, 而  $\text{Th}$  强烈亏损,  $\text{Nb}$  稍有亏损; 样品 AL223  $\text{Ba}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Ce}$  相对富集, 而  $\text{Th}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$  亏损。另一类样品(AL20、AL24、AL212、AL243) 稀土元素总量平均为  $79.76 \times 10^{-6}$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 5.58$ , 有一定

程度的分异, 稀土元素标准化曲线右倾, 显示轻稀土元素有一定程度的富集。其中一个样品(AL20)显示负铕异常, 其他均不显示异常。在微量元素蛛网图上, 一部分显示  $\text{Rb}$ 、 $\text{Ba}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Ce}$  富集, 一部分显示  $\text{Rb}$ 、 $\text{Ta}$  富集, 全部显示  $\text{Th}$  亏损, 个别  $\text{P}_2\text{O}_5$  亏损。

总的看来, 4个地区斜长角闪岩的稀土元素模式, 除波罗斯坦庙地区有两个样品基本属平坦型外, 其他都属于轻稀土元素富集型。绝大多数样品的铕异常不明显, 但巴彦乌拉山地区的两个样品显示出明显的负铕异常。在微量元素的蛛网图上, 4个地区的斜长角闪岩普遍显示高  $\text{Ba}$ 、 $\text{Ta}$  和  $\text{Ce}$ , 普遍低  $\text{Th}$ 。各地区又有各自的特点。叠布斯格岩群中斜长角闪岩高  $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Ba}$ , 低  $\text{Sr}$ 、 $\text{Th}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Y}$  和  $\text{Yb}$ 。巴彦乌拉山的斜长角闪岩既有高  $\text{Ba}$  的, 也有高  $\text{Rb}$  的, 普遍低  $\text{Sr}$ 、 $\text{Th}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$  和  $\text{Zr}$ 。波罗斯坦庙的同类岩石主要高  $\text{Ba}$ 、 $\text{Ta}$  和  $\text{Ce}$ , 低  $\text{Sr}$ 、 $\text{Th}$  和  $\text{Nb}$ , 个别低  $\text{P}_2\text{O}_5$ 。德尔和通特岩组以高  $\text{Ba}$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Ce}$  和  $\text{Sm}$ , 低  $\text{Rb}$ 、 $\text{Th}$ 、 $\text{Nb}$  和  $\text{Zr}$  为特征。

以上特征表明, 阿拉善地区不同岩群岩组和杂岩中的斜长角闪岩在稀土元素和微量元素方面既有相似性也有一定的差异。相似性主要表现在重稀土元素和相容元素方面。由于重稀土元素和相容元素不易活动, 这种相似性表明不同斜长角闪岩的源区可能是相似的。不同岩群、岩组中斜长角闪岩的差异主要表现在轻稀土元素和不相容元素方面, 即结晶分异程度、分离结晶残余物的种类和后期改造等方面存在着差异。

与华北克拉通新太古代一些地区的同类岩石的稀土和微量元素特点(万渝生, 1998; 耿元生, 1998)相比, 叠布斯格岩群和波罗斯坦庙片麻杂岩中的斜长角闪岩与冀东等地新太古代的同类岩石相似, 而巴彦乌拉山和德尔和通特岩组中的斜长角闪岩则与其有较大差别, 这可能与其时代不同有关。

### 4 斜长角闪岩形成环境的判别

如前所述, 本区斜长角闪岩的原岩均为基性火山岩, 除个别样品为拉斑玄武质安山岩之外, 均为高铁拉斑玄武岩。按  $\text{TiO}_2 - \text{K}_2\text{O} - \text{P}_2\text{O}_5$  三角图投点, 除巴彦乌拉山岩组和波罗斯坦庙片麻岩杂岩中少数样品因  $\text{TiO}_2$  含量高而投入大洋区外, 绝大部分都投入非大洋区(图3)。

从  $2\text{Nb} - \text{Zr}/4 - \text{Y}$  三角图解(图4)中可以看出,

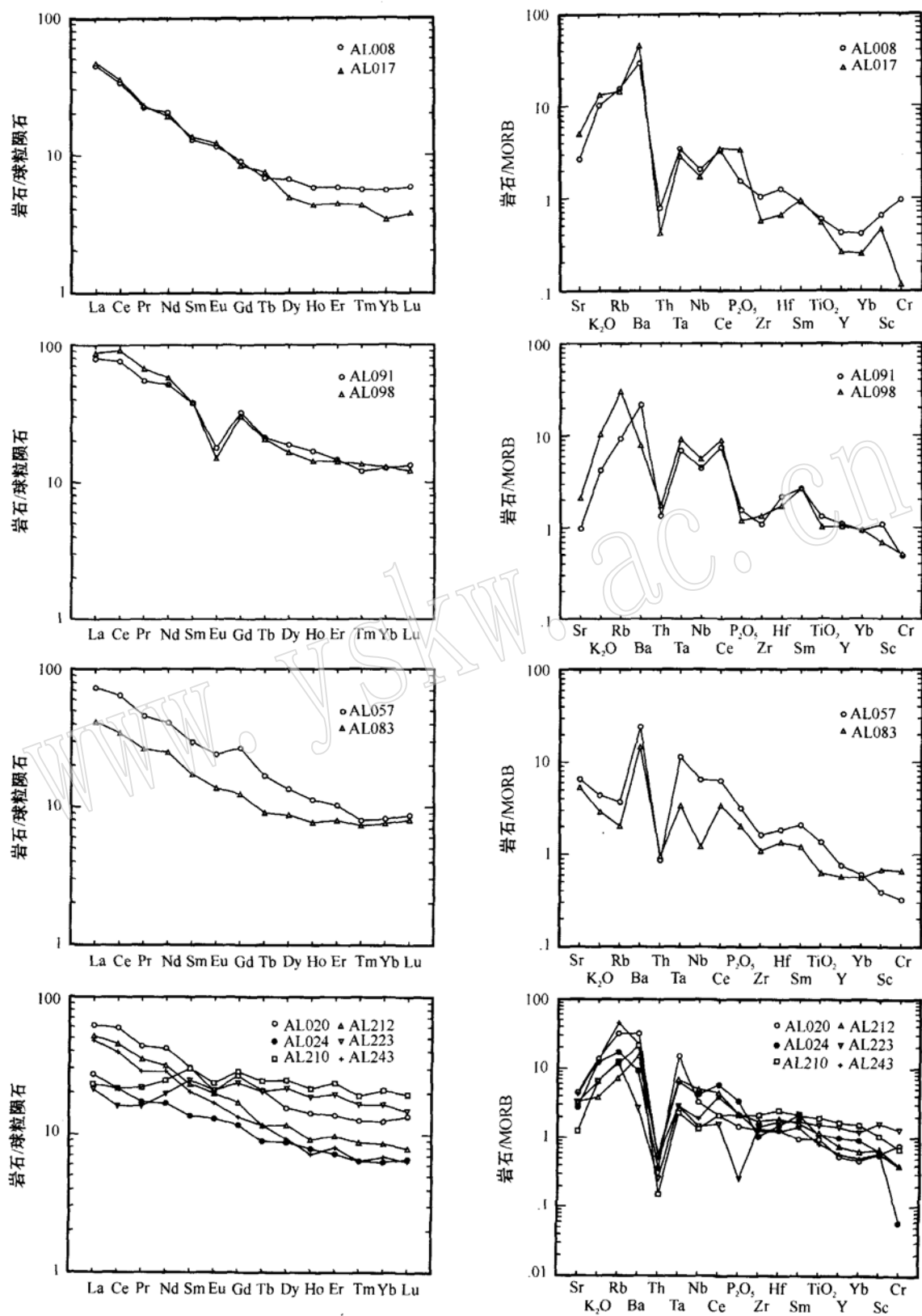


图 2 阿拉善地区前寒武纪斜长角闪岩的稀土元素标准化曲线和微量元素蛛网图

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns and spidergrams of trace elements for Precambrian amphibolites from Alxa region

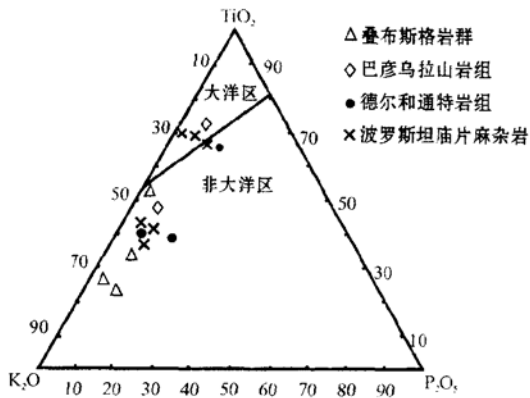


图 3 斜长角闪岩的  $TiO_2-K_2O-P_2O_5$  三角图  
(分区据 Pearce 等, 1975)

Fig. 3  $TiO_2-K_2O-P_2O_5$  ternary diagram of amphibolite  
(after Pearce *et al.*, 1975)

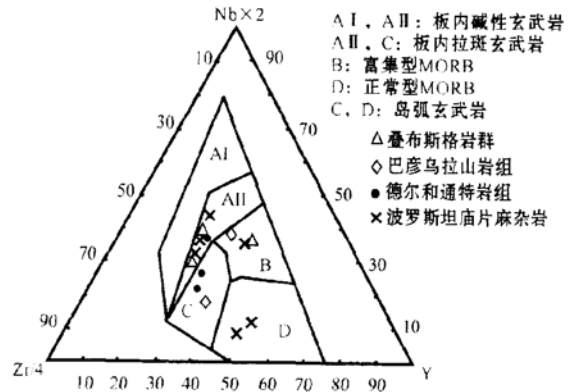


图 4 斜长角闪岩的  $2Nb-Zr/4-Y$  三角图解(分区  
边界据 Pearce 等, 1979)

Fig. 4  $2Nb-Zr/4-Y$  ternary diagram of amphibolites  
(after Pearce *et al.*, 1979)

叠布斯格岩群中的 2 个斜长角闪岩样品位于板内拉斑玄武岩区, 巴彦乌拉山岩组的一个斜长角闪岩样品位于岛弧玄武岩区, 另一个位于富集型的 MORB 区。德尔和通特岩组中斜长角闪岩主要位于板内拉斑玄武岩区。波罗斯坦庙片麻岩杂岩中的斜长角闪岩的产出环境比较复杂, 有一个样品 (AL20) 位于富集型的 MORB 区, 大部分位于板内拉斑玄武岩区, 有两个样品 (AL210, AL223) 位于正常的 MORB 区。这两个样品稀土元素地球化学特征显示平坦型并有负铈异常, 与板内拉斑玄武岩显然有不同。

根据  $TiO_2-10MnO-10P_2O_5$  三角图 (图 5), 阿拉善 4 个岩群、岩组和杂岩中的斜长角闪岩, 除叠布斯格岩群一个样品 AL17 投于岛弧拉斑玄武岩区外, 全部投入到岛弧拉斑玄武岩区。

阿拉善地区 4 个岩群、岩组和杂岩中斜长角闪岩在图解中多数位于板内拉斑玄武岩区, 且普遍具有高钾和较高钛的共同特点 (叠布斯格岩群中斜长角闪岩  $K_2O$  平均 1.49%,  $TiO_2$  平均 0.95%; 巴彦乌拉山岩组中斜长角闪岩  $K_2O$  平均 1.06%,  $TiO_2$  平均 1.70%; 德尔和通特岩组斜长角闪岩  $K_2O$  平均 1.03%,  $TiO_2$  平均 1.40%; 波罗斯坦庙片麻岩杂岩中斜长角闪岩  $K_2O$  平均 1.34%,  $TiO_2$  平均 1.83%), 与 Condie (1981) 划分的绿岩带中的  $TH_1$  ( $K_2O$  在 0.20% 左右) 和  $TH_2$  型 ( $K_2O$  多小于 0.5%) 拉斑玄武岩以及低钾低钛的大洋岛弧拉斑玄武岩有明显的区别。因此, 对少数样品位于洋壳区内应慎重对待。总的看来, 这些样品与大陆玄武岩高钾的特点类似。

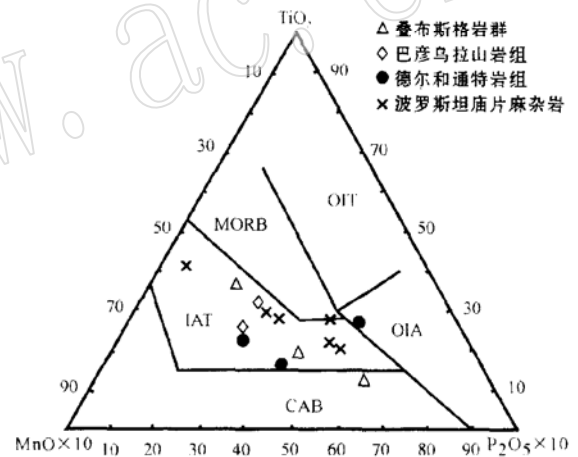


图 5 斜长角闪岩的  $TiO_2-10MnO-10P_2O_5$  三角图解  
(据 Mullen, 1983)

Fig. 5  $TiO_2-10MnO-10P_2O_5$  ternary diagram of amphibolites (after Mullen, 1983)

除波罗斯坦庙片麻杂岩中少数样品的稀土元素标准化曲线为平坦型、在  $2Nb-Zr/4-Y$  三角图解位于岛弧玄武岩区外, 大部分归属于板内玄武岩区, 它们主要应形成于大陆内部或边缘的裂隙环境。

## 5 斜长角闪岩形成时代的讨论

将产于叠布斯格岩群下部依肯乌苏岩组中的透辉角闪斜长片麻岩 (AL12) 中的锆石在北京离子探针中心进行了分析。该样品锆石多为碎屑锆石, 初



步测定其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄在2750 Ma左右,其边部变质成因的外环年龄为2690 Ma,代表较早一期变质年龄。初步推断该岩石形成于2750~2690 Ma之间,其形成时代为新太古代。含黑云母斜长角闪岩(AL11)与之紧密共生,故其形成时代同属新太古代。此外,在一些锆石增生边还获得了1900~2000

Ma的年龄值,与AL11样品中角闪石的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 同位素年龄1918 Ma(表2、图6)一致。这些数据均表明,在1900 Ma~2000 Ma期间,本区的叠布斯格岩群曾经历了一次影响较为广泛的角闪岩相变质作用叠加,它比古元古代末期岩浆事件的时间(1826~1839 Ma)要早。

表2 AL11样品中角闪石阶段升温分析结果

Table 2  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  laser step heating analyses of hornblende from Sample AL11

加热阶段	加热温度/℃	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{39}\text{Ar}_k$ / $10^{-12}\text{mol}$	$(^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_k)$ $\pm 1\sigma$	$^{39}\text{Ar}_k/\%$	视年龄 $t \pm 1\sigma$ /Ma
1	420	246.87	0.0729	3.6948	0.48958	1.110	226.3 $\pm$ 0.1316	3.69	2403.41 $\pm$ 175.6
2	540	82.58	0.0561	2.7173	0.30674	2.060	66.39 $\pm$ 0.033	6.84	1078.70 $\pm$ 28.88
3	660	124.71	0.0459	4.3983	0.43448	2.012	111.8 $\pm$ 0.053	6.68	1563.58 $\pm$ 57.56
4	780	162.19	0.0325	5.1559	0.34552	2.843	153.5 $\pm$ 0.063	9.44	1916.45 $\pm$ 75.76
5	900	161.39	0.0294	6.0461	0.36397	3.142	153.8 $\pm$ 0.063	10.40	1918.62 $\pm$ 76.57
6	1000	159.63	0.0240	8.0291	0.34939	3.829	154.0 $\pm$ 0.061	12.70	1919.92 $\pm$ 74.57
7	1100	159.38	0.0234	7.2667	0.37323	4.916	153.8 $\pm$ 0.063	16.30	1918.35 $\pm$ 76.02
8	1220	158.43	0.0205	8.0947	0.36008	5.606	153.8 $\pm$ 0.0619	18.60	1918.73 $\pm$ 74.55
9	1350	161.66	0.0333	10.8380	0.52833	2.763	153.8 $\pm$ 0.0749	9.18	1918.72 $\pm$ 89.68
10	1500	170.95	0.0636	10.2010	0.50573	1.808	154.1 $\pm$ 0.077	6.00	1920.55 $\pm$ 93.10

由桑海清等在中国科学院地质与地球物理研究所 Ar-Ar 实验室按王松山等(1987)改进的方法进行测定,质谱分析在 VSS 公司生产的 RGA-10 气体源质谱计上完成;衰变常数  $\lambda = 5.54 \times 10^{-10} \text{a}$ ,等时线年龄用 Ludwig 软件计算。

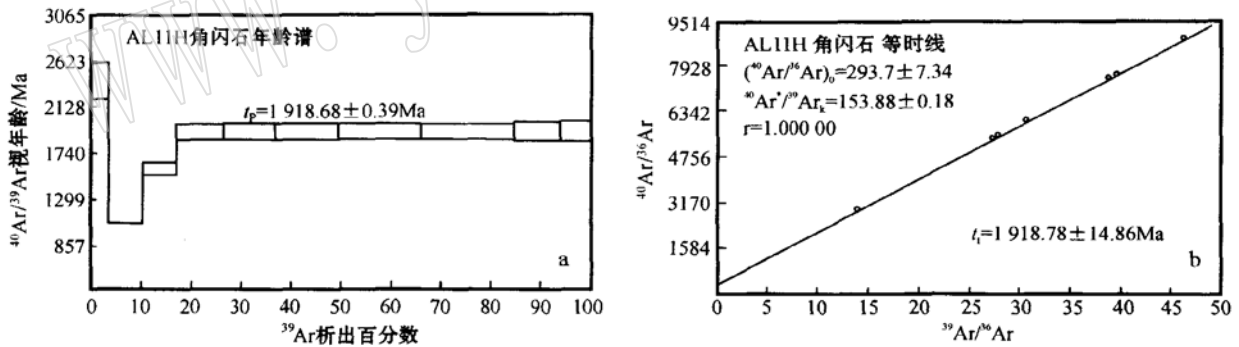


图6 AL11号样品中角闪石的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 阶段升温坪年龄(a)和等时线年龄(b)图

Fig. 6  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  step heating plateau age (a) and isochron age (b) of hornblende from Sample AL11

巴彦乌拉山岩组的斜长角闪岩未直接进行同位素年龄测定,但对该岩组中与斜长角闪岩共生的条带状黑云角闪斜长片麻岩(AL104)中的锆石进行了单颗粒蒸发-沉积法测年,获得的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 的年龄为 $2271 \pm 8 \text{ Ma}$ 和 $2264 \pm 3 \text{ Ma}$ (表3)。由于条带状黑云角闪斜长片麻岩与斜长角闪岩共生,因此以上数据可以代表巴彦乌拉山岩组中斜长角闪岩的形成时代。

波罗斯坦庙片麻岩杂岩中的斜长角闪岩还未做

过同位素年龄测定,但对侵入其中的哈拉陶勒盖黑云母花岗质片麻岩(样品AL27)和黑云斜长片麻岩(样品AL48,原岩为英云闪长岩)中的锆石都进行了离子探针测定,分别获得 $1818 \pm 19 \text{ Ma}$ 和 $1839 \pm 18 \text{ Ma}$ 的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 的年龄结果,说明侵入斜长角闪岩的深成片麻岩形成于古元古代末期,斜长角闪岩的形成年龄应老于该年龄值,但其上限尚不清楚。现以黑云斜长片麻岩(英云闪长岩)的样品为例,介绍其测定的原始数据和测定结果(表4和图7)。



表 3 AL104 号样品单颗粒锆石质谱计双带逐层蒸发-沉积法年龄测定结果

Table 3 Single grain zircon dating of amphibolite AL104 using the stepwise evaporation-deposition technique on the mass spectrometer

颗粒号	S	NS	锆石中铅同位素测量值(2σ)			计算结果(2σ)		锆石描述
			<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) <sup>*</sup>	年龄(Ma)	
1	1	25	0.099 68 ±57	0.142 47 ±36	0	0.142 47 ±36	300μm × 200μm, 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	0.120 90 ±17	0.143 62 ±64	0	0.143 62 ±64		2 271 ±18
2	1	30	0.157 69 ±55	0.143 04 ±22	0	0.143 04 ±22	2 264 ±3	280μm × 200μm, 2 粒, 锆石特征同颗粒 1

注: 表中 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。( <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb )<sup>\*</sup> 表示放射性成因铅的同位素比值。测定方法按 Kober(1986) 提出、刘敦一等(1988) 和宋彪等(1995) 改进的方法进行。由张巧大、杨淳在中国地质科学院地质研究所同位素地质开放实验室的 MAT\_261 质谱计上完成, 微弱铅离子流由电子倍增器接受并测定, 质量分馏时, Pb 的每个质量单位约为 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。

表 4 AL48 号样品的锆石离子探针分析结果

Table 4 SHRIMP analytical data of zircons from Sample AL48

点号	U	Th	<sup>206</sup> Pb <sup>*</sup>	Th/U	<sup>206</sup> Pb <sub>c</sub>	同位素比值			视年龄/Ma	
						w <sub>p</sub> /10 <sup>-6</sup>	%	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U (±%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U (±%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb (±%)
1.1	129	87	34.6	0.70	0.51	0.312 4 ±2.6	4.80 ±2.7	0.111 52 ±0.79	1 753 ±40	1 824 ±14
2.1	1 361	96	354.0	0.07	0.01	0.302 5 ±2.5	4.70 ±2.5	0.112 74 ±0.31	1 704 ±37	1 844 ±6
3.1	173	101	45.7	0.60	0.85	0.306 8 ±2.5	4.72 ±2.6	0.111 66 ±0.74	1 725 ±38	1 827 ±13
4.1	1 430	86	379.0	0.06	0.00	0.308 4 ±2.5	4.82 ±2.6	0.113 36 ±0.45	1 733 ±38	1 854 ±8
5.1	654	93	187.0	0.15	0.05	0.332 0 ±2.5	5.24 ±2.5	0.114 45 ±0.30	1 848 ±40	1 871 ±6
6.1	522	109	137.0	0.22	0.05	0.304 3 ±2.5	4.82 ±2.6	0.115 00 ±0.79	1 713 ±38	1 880 ±14
7.1	180	143	50.1	0.82	0.38	0.323 5 ±2.5	5.05 ±2.6	0.113 30 ±0.65	1 807 ±40	1 853 ±12
8.1	214	69	55.0	0.33	0.03	0.298 2 ±2.5	4.52 ±2.6	0.110 01 ±0.59	1 682 ±37	1 800 ±11
9.1	129	86	34.4	0.69	0.16	0.309 1 ±2.6	4.76 ±2.7	0.111 70 ±0.81	1 736 ±39	1 827 ±15
10.1	903	108	229.0	0.12	0.04	0.295 7 ±2.5	4.52 ±2.5	0.110 83 ±0.26	1 670 ±37	1 813 ±5

注: 表中误差均以 1σ 表示, Pb<sub>c</sub> 和 Pb<sup>\*</sup> 分别代表普通铅和放射性成因铅, 所有结果均采用测定的 <sup>204</sup>Pb 对普通铅进行了校正。本项分析在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心的 SHRIMP II 上用标准测定程序进行, 数据处理按 Willians(1998) 和 Nelson(1997) 程序进行。用标准锆石 SL13 校正 U 含量(标准值为 U = 238 × 10<sup>-6</sup>, t = 572 Ma), 用标准锆石 TEM 校正年龄(标准值为 t = 417 Ma), 每分析一次标准样 TEM 测定 3 个样品点。对标准锆石 TEM 的 U/Pb 值分析偏差为 0.8% ~ 2.3%。根据同位素衰变特点采用 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄进行讨论。

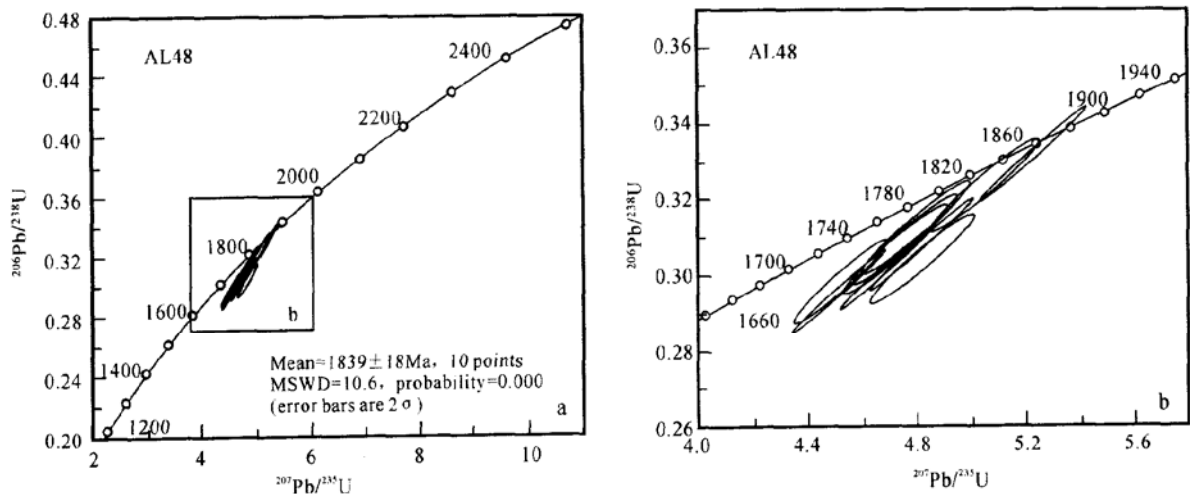


图 7 AL48 号样品锆石的 <sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U - <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 谐和图

Fig. 7 <sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U - <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U concordia diagram of zircon from Sample AL48

AL48号样品所分析的10个点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄均在1800~1880 Ma较小的范围内(图7a、7b),10个点的加权平均年龄为 $1839 \pm 18$  Ma,代表了黑云斜长片麻岩(英云闪长岩)原岩的岩浆结晶年龄。根据该杂岩中的斜长角闪岩与巴彦乌拉山岩组中的斜长角闪岩在地球化学特征上有较大的相似性,推断该杂岩中的斜长角闪岩形成于古元古代的中早期。

阿拉善岩群德尔和通特岩组中的斜长角闪岩目前尚无同位素测年,但对与该类岩石属同一层位的石榴二云母石英片岩中的锆石进行了离子探针分析。共测定了17个颗粒,除有2个颗粒分别测得 $2453 \pm 25$  Ma和 $2278 \pm 35$  Ma的继承性锆石外,其余测点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄均较小,在1107~1635 Ma之间,平均值为1363 Ma。据此推断德尔和通特岩组中的斜长角闪岩可能形成于中元古代,但由于Pb丢失严重,确切的形成年龄尚需进一步研究。

## 6 结论

(1) 阿拉善地区不同岩群、岩组和杂岩中的斜长角闪岩的原岩多为高铁拉斑玄武岩,普遍显示高钾、较高钛、稀土元素含量高、轻稀土元素富集的地球化学特征,与典型的大洋拉斑玄武岩、太古宙的TH1型和TH2型拉斑玄武岩的地球化学特征有明显的区别。岩石组合特征和多种地球化学图解均表明,该区的斜长角闪岩主要形成于板内环境,属于板内裂隙或大陆边缘裂隙的大地构造环境。

(2) 初步的同位素年代学研究表明,叠布斯格岩群中的斜长角闪岩形成于新太古代,并经历了古元古代晚期区域变质作用的改造。巴彦乌拉山岩组中的斜长角闪岩形成于2271~2264 Ma期间,属于古元古代。波罗斯坦庙片麻岩杂岩中的斜长角闪岩已被1818 Ma和1839 Ma的古元古代晚期的花岗片麻岩所侵入,因此它们亦可能形成于古元古代中早期。阿拉善岩群德尔和通特岩组中的斜长角闪岩尚无确切的同位素年龄数据,但相同层位的石榴二云母石英片岩的年龄数据表明,它们很可能形成于中元古代。

野外工作期间曾得到宁夏回族自治区地调院李天兵、陆彦俊和自治区区调队阎志强等同志的大力协助。在分析测试工作中得到了中国科学院地质与地球物理研究所徐平、桑海青等,中国地质科学院

地质研究所同位素研究室刘敦一、张巧大、杨淳、宋彪、万渝生等的大力协助。杜利林同志帮助整理了部分资料,在此一并致谢。

## References

- Condie K C. 1981. Archean Greenstone Belts[M]. Amsterdam\_Oxford, New York: Elsevier Sci. Pub. Company, 1~ 434.
- Geng Yuansheng. 1998. Early Precambrian mafic volcanic events and early Precambrian evolution of eastern Hebei Province[A]. Cheng Yuqi. Papers on Early Precambrian in North China Platform[C]. Beijing: Geological Publishing House, 92~ 104(in Chinese).
- 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).
- 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 the Changchun Geological Institute, 17(1): 35~ 46 (in Chinese with English abstract).
- Jensen L S. 1976. A New Cation Plot for Classifying Subalkalic Volcanic Rocks[M]. Ontario Department of Mines, Miscellaneous Paper 66.
- Kober B. 1986. Whole grain evaporation for  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  age investigation on single zircons using a double filament thermal ion source[J]. Contrib. Mineral Petrol., 93: 482~ 490.
- Liu Dunyi and Zhao Dunmin. 1988. 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, 34(6): 496~ 505 (in Chinese with English abstract).
- Masuda A. 1975. Abundances of monoisotopic REE, consistent with the Leedeey chondrite values[J]. Journal Geochem., 9: 183~ 184.
- Mullen E D. 1983. MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis[J]. Earth and Planetary Science Letters, 62: 53~ 62.
- Nelson D R. 1997. Compilation of SHRIMP U-Pb zircon geochronology data[J]. Geological Survey of Western Australia Record, 2: 189.
- Pearce T H, Gorman B E and Birkett T C. 1975. The TiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 24: 419~ 426.
- Pearce J A and Norry M J. 1979. Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb Variations in Volcanic Rocks[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 69: 33~ 47.
- Shi Meiliang. 1987. Problems on the geological structure of Alax[J]. Regional Geology of China, (3): 268~ 273 (in Chinese with English abstract).
- Song Biao. 1995. The principle of dating single grain zircon using the technique of stepwise evaporation - deposition on the mass spectrometer - with a discussion[J]. Geological Review, 41(3): 245~ 251 (in Chinese with English abstract).
- Taylor S R and McLennan S M. 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. Blackwell, Oxford, 312.
- Wan Yusheng and Geng Yuansheng. 1998. Geochemical characteristics of Precambrian basalts in north China Craton[A]. Cheng Yuqi. Papers on Early Precambrian in North China Platform[M]. Beijing: Geological Publishing House, 39~ 59(in Chinese).
- Wang Songshan, Hu Shiling, Zhai Mingguo, et al. 1987. An application of the  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating technique to the formation time of

- Qingyuan granite-greenstone terrain in NE China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, (4): 55~ 62 (in Chinese).
- Wang Tingyin, Wang Shizheng and Wang Jinrong. 1994, The Formation and Evolution of Paleozoic Continental Crust in Alaxa Region [M]. Lanzhou: Lanzhou Publishing House, 1~ 215 (in Chinese with English abstract).
- Williams I S. 1998. U-Pb geochronology by ion microprobe[A]. Mckibben M A, Shanks III W C and Ridley W I. Application Of Microanalytical Technique To Understanding Mineralizing Processes[C]. *Reviews Econ. Geol.*, 7: 1~ 55.
- Yang Zhende, Pan Xingshi and Yang Yifu. 1988. Geological Structure Characteristics and Deposites of Alaxa Blocks and Adjacent Region [M]. Beijing: Science Press, 1~ 245 (in Chinese).
- 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.
- 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.
- 刘敦一, 赵敦敏. 1988. 用热离子发射质谱计直接测定单颗粒锆石<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb年龄[J]. *地质论评*, 34(6): 496~ 505.
- 史美良. 1987. 阿拉善地区构造问题的几点认识[J]. *中国区域地质*, 6(3): 268~ 273.
- 宋 彪. 1995. 质谱计蒸发-沉积测定单颗粒锆石年龄原理及讨论[J]. *地质论评*, 41(3): 245~ 251.
- 万渝生, 耿元生, 伍家善. 1998. 华北克拉通早前寒武纪玄武质岩石的地球化学特征[A]. 程裕淇. 华北地台早前寒武纪地质研究论文集[C]. 北京: 地质出版社, 39~ 59.
- 王松山, 胡世玲, 翟明国, 等. 1987. 应用<sup>49</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar定年技术研究清原花岗岩-绿岩地体的形成时代[J]. *岩石学报*, 4(4): 55~ 62.
- 王廷印, 王士政, 王金荣. 1994. 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, 1~ 215.
- 杨振德, 潘行适, 杨易福. 1988. 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, 1~ 254.

### 附中文参考文献

- 董燕生, 石 龙. 1986. 阿拉善群变质岩系的研究及其演化历史的探讨[J]. *宁夏地质*, 1: 25~ 30.
- 耿元生. 1998. 冀东地区早前寒武纪基性火山事件及早前寒武纪的演化[A]. 程裕淇. 华北地台早前寒武纪地质研究论文集[C]. 北京: 地质出版社, 105~ 122.
- 耿元生, 王新社, 沈其韩, 等. 2002. 阿拉善地区新元古代晋宁期变

### • 简讯 •

## “全国第四届火山学术研讨会”一号通知

为交流我国火山研究与监测方面的成果, 迎接在我国举办的国际火山学与地球内部化学协会(IAVCEI) 2006 年国际学术大会, 进一步推动我国火山工作的深入研究和发 展, 中国灾害防御协会火山专业委员会、中国矿物岩石地球化学学会火山及地球内部化学专业委员会、JUGG 中国 IAVCEI 委员会和广西地震局, 定于 2005 年 11 月在广西北海市共同主办“全国第四届火山学术研讨会”, 欢迎全国同行及有兴趣的各界人士参会。有关事项如下:

#### 一、主要议题(暂定):

1. 大陆火山作用(火山地质学、物理火山学、年代学、地球化学与板块动力学)
2. 地幔柱与大火成岩省(大火成岩省的时空分布、岩浆起源与构造背景)
3. 火山地球物理探测研究(火山地震学、火山区地球物理探测)
4. 大陆火山作用的资源与环境效应(火山灾害与减灾、旅游与矿产资源)
5. 活动火山监测(方法、技术与成果交流)

二、会议时间: 2005 年 11 月 8~ 11 日, 会议期间有一天考察涠洲岛火山, 会后安排地质考察(路线待定)。

三、会议地点: 广西北海市(具体报到地点见二号通知)

四、会议将出论文集, 要求论文摘要篇幅 A4 纸 1~ 2 页(具体格式和提交方式见二号通知), 会后将组稿在核心刊物以专集或专栏形式正式出版论文全文。提交论文摘要截止日期: 2005 年 9 月 30 日。

五、费用: 会议注册费 600 元, 会议住宿费自理(150 元以内/标间), 会后地质考察费见二号通知。

请欲参会者于 2005 年 4 月 30 日前将回执邮寄 E\_mail 或传真至会务组。会务组联系人: 孙谦, 单位: 中国地震局地质研究所, 通讯地址: 北京德外祁家豁子中国地震局地质研究所, 邮编: 100029, 电话: 010-62009017, 62009148, 传真: 010-62009017, E\_mail: qiansunstr@sina.com 或 fq@ies.ac.cn。

全国第四届火山学术研讨会会务组 供稿  
2004 年 12 月 1 日