

# 内蒙古武川西乌兰不浪高级区岩石及其形成环境

张玉清,许立权,贾和义,刘颖璠,王 骏

(内蒙古自治区地质调查院,呼和浩特 010020)

**摘 要:**西乌兰不浪高级变质的兴和岩群是 1:5 万、1:25 万区域地质调查时从海西期岩体和五台群中重新厘定出来的地质体。通过野外宏观地质特征、岩石化学、地球化学等综合分析,认为西乌兰不浪地区高级区岩石不只是由表壳岩组成,还有大量的 TTG 岩系、紫苏花岗岩、脉岩和岩墙,它们是不同的构造环境、不同时代的构造拼合体。其中表壳岩称为兴和岩群,为一套火山—沉积岩系,形成于活动大陆边缘。

**关键词:**表壳岩;TTG;紫苏花岗岩;高角闪岩—麻粒岩相;内蒙古西乌兰不浪

**中图分类号:**P534.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-4135(2005)02-0071-08

内蒙古大青山北坡西乌兰不浪地区的高级变质岩,在上世纪 70 年代的 1:20 万地质图上称为太古界五台群,80 年代看成深变质的色尔腾山群<sup>①</sup>,此后定为下集宁群<sup>[1]</sup>、兴和群,现在称兴和岩群<sup>[2]</sup>。最近,随着 1:5 万及 1:25 万区调的开展,西乌兰不浪地区已厘定出多处兴和岩群,本文中野外地质特征、岩石学、岩石化学、地球化学等资料对原“兴和岩群”进行重新厘定,讨论各岩石类型的形成环境。

## 1 地质背景

内蒙古中部的寒武系划分有古太古界兴和岩群、中太古界乌拉山岩群、新太古界色尔腾山岩群、古元古界二道洼岩群和中—新元古界渣尔泰山群,变质深成体有太古代 TTG 岩系<sup>[3,4]</sup>及元古代闪长岩—花岗岩系,它们共同构成前寒武纪变质基底,总体呈东西向带状展布。武川县西乌兰不浪位于大青山以北,呼和浩特西北 70 km,内蒙古高级变质岩区的最北缘,其出露的表壳岩(兴和岩群)以规模不等、形态各异的残留体赋存于太古宙变质深成体之中(图 1)。西乌兰不浪兴和岩群的时代目前还没有确切的同位素数据,已有王惠初等(2001)在该区麻粒岩中获得单颗粒锆石 U-Pb(2 648.5 ± 4.6)Ma 的上交点年龄和 2 673 Ma 的表面年

龄,认为是最后一次麻粒岩相的变质年龄<sup>[5]</sup>;陶继雄等(2002)在召河庙北角闪斜长片麻岩中获得锆石单颗粒锆石 U-Pb 不一致线上交点年龄(2 750 ± 46)Ma 和(2 519 ± 4)Ma,<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 表面年龄(3 049 ± 1.4)Ma<sup>[6]</sup>,认为兴和岩群形成年龄应远大于 3 049 Ma;张玉清等<sup>[4]</sup>在西乌兰不浪北侵入兴和岩群的变质深成体(紫苏斜长麻粒岩)中获得单颗粒锆石 U-Pb 不一致线上交点年龄(2 511.4 ± 4.9)Ma,代表古花岗岩侵入体上侵就位时代。因此,笔者认为西乌兰不浪兴和岩群的变质年龄应大于 2 500 Ma,而 3 049 Ma 的表面年龄暗示岩体保存有古老信息,其原因有待今后深入研究。

## 2 地质剖面

西乌兰不浪的地貌为低缓山丘,岩石类型主要有表壳岩、深成岩(TTG)、紫苏花岗岩、脉体和岩墙。其中表壳岩称兴和岩群,经多期强烈变质变形改造,已丧失岩石地层的层序特征而呈无序的岩石残留,主要有石榴黑云斜长片麻岩、石榴二辉斜长片麻岩、石榴黑云紫苏斜长片麻岩、含铁石英岩等。此外深成岩角闪斜长片麻岩、紫苏花岗岩等与兴和岩群密切相伴,在希拉穆仁一带可见兴和岩群被角闪斜长片麻岩(深成体)穿切和改造,二者界线多呈平直状渐

收稿日期:2005-02-05

区调项目:中国地质调查局区域地质调查项目(20001300008051)

作者简介:张玉清(1965-),男,工程师,从事区域地质调查、综合研究、岩矿鉴定工作。

①李树勋,张履桥.内蒙古中部东五分子—朱拉沟地区太古宙地质特征与含矿性,1986.

变过渡,但二者变质程度明显不同。前者遭受了麻粒岩相变质,而后者未见特征变质矿物,变

质程度相对较浅,因此二者不能相提并论。

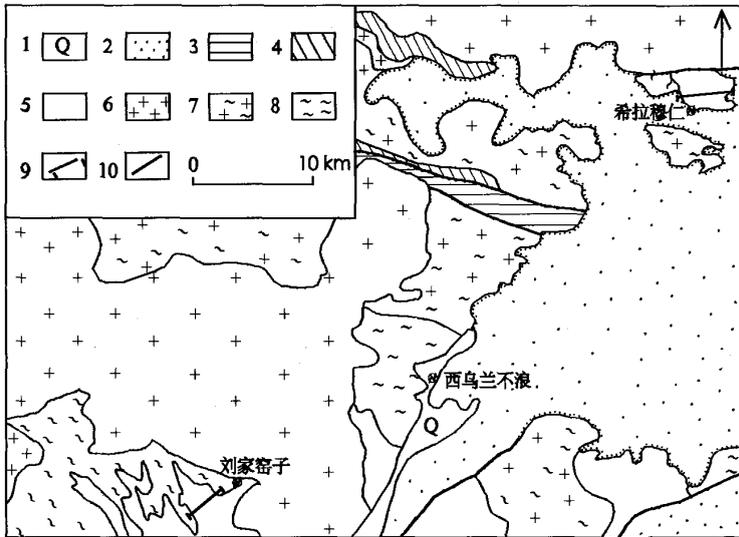


图 1 西乌兰不浪地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the Xi-Ulanbulang high-grade terrain

1. 第四系; 2. 中—新生代不变质盖层; 3. 渣尔泰山群; 4. 色尔腾山群; 5. 高级区变质杂岩; 6. 印支、海西期花岗岩; 7. 新太古代变质石英闪长岩—花岗岩系; 8. 新太古代片麻杂岩; 9. 剖面线; 10. 断层

现以刘家窑子剖面(图 2)为代表,高级区岩性组合如下:

- |                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| 1. 石榴黑云紫苏斜长片麻岩(北部被紫苏花岗岩侵入)          | 115 m   |
| 2. 暗灰色黑云斜长片麻岩(深成体,伴有基性岩墙—灰黑色斜长角闪岩)  | 50 m    |
| 3. 灰色石榴黑云紫苏斜长片麻岩                    | 265 m   |
| 4. 石榴黑云紫苏斜长片麻岩                      | 125 m   |
| 5. 紫苏花岗岩(有多条辉绿岩脉侵入),与第 6 层的界线被第四系掩盖 | 1 025 m |
| 6. 石榴二辉斜长片麻岩夹角闪透辉斜长麻粒岩(平行化了的基性岩墙)   | 40 m    |
| 7. 含石榴二辉斜长片麻岩                       | 80 m    |
| 8. 灰黑色斜长角闪岩夹角闪透辉石岩(基性岩墙)            | 45 m    |
| 9. 紫苏花岗岩,局部顺片麻理见有透镜状的透辉石岩           | 605 m   |
| 10. 灰黄色细粒含石榴黑云紫苏斜长片麻岩               | 110 m   |
| 11. 灰黄色石榴黑云紫苏斜长片麻岩                  | 90 m    |
| 12. 灰色灰黄色石榴黑云斜长片麻岩                  | 10 m    |
| 13. 紫苏花岗岩,见有花岗伟晶岩脉                  | 155 m   |
| 14. 灰色细粒石榴紫苏斜长片麻岩(有多条辉绿岩脉侵入)        | 130 m   |
| 15. 灰黄色石榴黑云紫苏斜长片麻岩                  | 105 m   |

- |                         |        |
|-------------------------|--------|
| 16. 紫苏花岗岩,见有花岗伟晶岩脉及辉绿岩脉 | 500 m  |
| 17. 灰黄色石榴黑云斜长片麻岩        | 35 m   |
| 18. 灰黄色含石榴紫苏斜长片麻岩       | 60 m   |
| 19. 紫苏花岗岩               | >250 m |

### 3 岩石学特征

依据岩石的结构、构造、矿物成分并结合岩石成因,该高级区岩石可以划分为以下几类:

#### 3.1 表壳岩(兴和岩群)

(1)石英岩类:有(石榴夕线)长石石英岩、榴英岩等,岩石具粒状变晶结构、筛状变晶结构,块状、条带状、变余层状构造,特征变质矿物有夕线石(10%)、石榴石(5%)。

(2)磁铁石英岩:岩石具粒状变晶结构,条带、条纹状构造,磁铁矿 10% ~ 40% 不等。

(3)变粒岩类:透辉斜长变粒岩、角闪斜长变粒岩,柱—粒状变晶结构,块状构造,特征变质矿物为透辉石(10% ~ 25%)。

(4)富铝片麻岩:主要为黑云石榴(或石榴夕线)斜长片麻岩,具鳞片柱粒状变晶结构,片麻状构造,特征变质矿物有石榴石(10% ~ 15%)、夕线石(10%)。

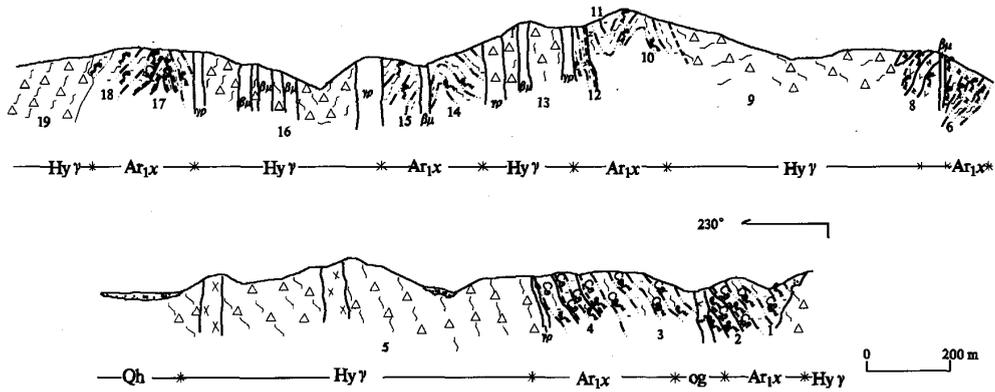


图 2 刘家窑子地质剖面图(剖面岩层编号及岩性见剖面文字描述)

Fig. 2 Geological section of the Xi-Ulanbulang high-grade complex near Liujiayaozi Village

### 3.2 深成岩(TTG)

一类含特征矿物紫苏辉石的有二辉(斜长)麻粒岩、紫苏斜长片麻岩,紫苏辉石 15%~35%,透辉石 5%~35%,皆有片麻理。另一类不含特征矿物的主要是 TTG 质的黑云斜长片麻岩、钾长片麻岩,条带、片麻构造发育。

### 3.3 紫苏花岗岩类、脉体和岩墙

(1)紫苏花岗岩,一般片麻理较弱,紫苏辉石 5%~20%,石英 10%~30%,岩石内部见有石榴紫苏黑云斜长片麻岩等包体。

(2)脉体包括浅粒岩、花岗伟晶岩和辉绿玢岩。二长浅粒岩和钾长浅粒岩的长石和石英都有两个世代,长石条纹结构和蠕英结构发育,系同构造花岗岩的组成部分之一,常产在紫苏花岗岩与表壳岩的外接触带。辉绿(玢)岩群产状陡倾,走向 160°。

(3)老岩墙主要有透辉石岩,角闪岩和基性麻粒岩类构成。野外产状主要为透镜状和脉状,基性麻粒岩与围岩产状基本一致,有时二者界限不清。

## 4 岩石化学、地球化学特征

(1)富铝片麻岩的氧化物含量:SiO<sub>2</sub> 55.96%~64.06%(表 1);Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15.40%~25.46%,含量较高;CaO 0.75%~1.85%,MgO 2.57%~2.65%含量较低;K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O;Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量低,FeO 含量高。稀土总量 338.47×10<sup>-6</sup>(表 2),轻重稀土比 11.65,(La/Yb)<sub>N</sub> 为 13.69,属轻稀土富集

型,δEu = 0.63,显示铕负异常。

(2)紫苏黑云(/角闪)斜长片麻岩的氧化物含量:SiO<sub>2</sub> 53.47%~57.99%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 16.02%~16.99%,CaO 4.04%~6.93%,MgO 2.32%~4.11%,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.24%~5.48%,FeO 3.68%~7.2%,Na<sub>2</sub>O>K<sub>2</sub>O。稀土总量变化范围大,在 66.94×10<sup>-6</sup>~494.87×10<sup>-6</sup>之间,轻重稀土比为 5.18~14.22,(La/Yb)<sub>N</sub> 为 4.16~23.15,δEu 大部分在 0.57~0.82 之间,其中一个样为 1.06,铕异常不明显。与变质的 TTG 岩系特征相似。

(3)紫苏花岗岩, SiO<sub>2</sub> 64.03%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15.06%, CaO 4.35%, MgO 3.03% Na<sub>2</sub>O>K<sub>2</sub>O。

(4)麻粒岩中 SiO<sub>2</sub> 平均值在 49.22%~50.21%之间,属基性岩类;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 平均值在 12.43%~15.02%之间;MgO 有 2 个样品的平均值较低(3.11%)外,其它样品的平均值较高,在 7.33%~9.91%之间;CaO 在 6.82%~11.10%之间,变化范围较大,且与 SiO<sub>2</sub> 呈负相关;Na<sub>2</sub>O>K<sub>2</sub>O, FeO>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。

二辉麻粒岩稀土元素总量较低,在 54.69×10<sup>-6</sup>~110.96×10<sup>-6</sup>之间,轻重稀土比为 1.75~5.64,(La/Yb)<sub>N</sub> 主要在 2.8~5.53 之间,属轻稀土略富集型;δEu 在 0.87~1.17 之间,铕异常不明显。Rb/Sr 在 0.1 以上(表 3),Sr/Ba>0.55,Cr/Ni 在 0.4~17.3 之间,Sr、Cr、Ni、V 的含量较高,显示火山成因的特征。

表 1 西乌兰不浪高级区岩石氧化物含量表(wt%)

Table 1 Major elements of the high-grade rocks in Xi-Ulanbulang terrain (wt%)

序号	岩石名称	样品数量	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	石榴夕线斜长片麻岩	1	55.96	0.96	25.46	0.58	6.9	0.08	2.57	0.75	0.58	3.42	0.07
2	黑云石榴斜长片麻岩	3	64.06	0.84	15.4	0.85	4.8	0.10	2.65	1.85	3.12	3.65	0.14
3	紫苏榴云斜长片麻岩	4	55.21	1.04	16.89	4.6	5.62	0.16	3.91	5.6	3.54	1.64	0.40
4	黑云斜长片麻岩	3	55.80	1.09	16.02	5.48	3.68	0.15	4.11	5.88	3.74	1.88	0.49
5	角闪斜长片麻岩	1	53.47	0.75	16.72	1.24	7.2	0.18	5.70	6.93	3.72	1.70	0.18
6	紫苏二长片麻岩	2	57.99	1.50	16.99	3.24	4.92	0.14	2.32	4.04	3.71	4.69	0.62
7	紫苏花岗岩	9	64.03	0.58	15.06	2.63	4.03	0.09	3.03	4.35	3.64	1.67	0.14
8	二辉麻粒岩	3	49.22	1.02	15.02	3.62	8.74	0.19	7.33	10.12	2.48	0.80	0.26
9	紫苏麻粒岩	2	50.21	1.10	13.57	6.96	7.04	0.21	9.91	6.82	2.49	0.47	0.48
10	二辉麻粒岩	2	49.58	2.55	12.43	10.25	9.21	0.28	3.11	7.54	2.29	0.79	0.76
11	紫苏麻粒岩	1	49.30	0.62	14.36	5.75	6.07	0.18	9.56	11.10	1.30	0.20	0.09
12	斜长透辉石岩	1	56.02	0.78	16.68	2.66	3.96	0.13	2.20	8.36	4.05	4.04	0.55
13	斜长角闪岩	7	47.49	1.17	17.05	5.95	5.88	0.21	6.34	9.45	3.07	1.32	0.27
14	钾长浅粒岩	1	72.44	0.28	14.31	0.3	0.66	0.03	0.19	0.62	3.47	6.72	0.06

地质矿产部内蒙古自治区中心实验室在原子吸收分光光度计下测试

表 2 西乌兰不浪高级区岩石稀土元素含量及部分参数

Table 2 REE contents and some parameters of the high-grade rock in Xi-Ulanbulang terrain

序号	岩石名称	稀土含量( $\times 10^{-6}$ )														部分参数			
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	总量	L/H	(La/Yb) <sub>N</sub>	$\delta$ Eu
1	钾长浅粒岩	30.04	115.7	8.27	26.09	4.29	0.36	2.73	0.30	1.94	0.38	0.65	0.12	0.85	0.14	191.86	25.98	20.03	0.33
2	石榴二辉石英岩	7.44	12.77	1.56	7.84	3.73	0.4	5.45	0.98	5.86	1.22	3.29	0.46	2.91	0.44	54.35	1.64	1.48	0.27
3	石榴夕线片麻岩	85.06	140.8	15.55	57.19	11.24	1.89	8.74	1.21	7.01	1.42	3.73	0.54	3.52	0.57	338.47	11.65	13.69	0.63
4	石榴紫苏斜长片麻岩	25.18	67.96	10.85	47.98	11.25	1.9	12.42	2.27	15.1	3.10	9.09	1.32	9.03	1.28	218.73	3.08	1.86	0.49
5	紫苏二长片麻岩	102.0	208.0	28.0	103.0	17.0	4.36	14.7	1.69	6.75	1.40	4.08	0.49	2.97	0.43	494.87	14.22	23.15	0.82
6	角闪斜长片麻岩	27.34	57.93	6.76	33.26	7.14	1.53	6.82	0.91	4.87	0.95	2.07	0.26	1.71	0.22	151.77	7.52	9.06	0.75
7	紫苏黑云斜长片麻岩	11.71	23.34	3.09	13.31	3.53	1.13	2.85	0.44	2.95	0.65	1.79	0.25	1.63	0.27	66.94	5.18	4.16	1.06
8	紫苏黑云斜长片麻岩	56.37	89.96	10.15	36.97	7.06	1.32	4.54	0.64	3.39	0.74	1.94	0.28	1.92	0.3	215.58	14.16	17.01	0.67
9	紫苏黑云斜长片麻岩	60.3	140	19.3	71.5	12.6	2.27	11.3	1.79	6.02	1.27	3.78	0.48	3.02	0.44	334.07	11.05	13.46	0.57
10	透辉石岩	9.45	20.3	3.24	15	3.63	1.62	4.08	0.53	2.76	0.56	1.69	0.20	1.30	0.18	64.54	4.71	4.90	0.88
11	二辉麻粒岩	18.2	40.1	5.75	23.4	5.26	1.54	5.41	0.79	4.06	0.86	2.71	0.34	2.22	0.32	110.96	5.64	5.53	0.87
12		8.10	27.1	3.11	12.8	2.93	0.92	3.45	0.53	3.04	0.66	2.26	0.3	1.95	0.26	67.41	4.41	2.80	0.88
13		9.08	22.25	4.18	21.49	5.39	1.84	7.06	1.38	10.11	2.17	6.6	0.99	7.04	1.05	100.63	1.75	0.76	1.01
14		8.91	19.5	3.05	10.3	2.34	0.87	2.73	0.39	2.56	0.58	1.53	0.27	1.45	0.21	54.69	4.65	3.65	1.17
15	斜长角闪岩	62.80	139	18.2	70.4	12.10	3.2	10.40	1.17	4.96	0.96	2.83	0.37	2.15	0.29	328.83	13.22	19.69	0.98
6		24.23	42.28	5.38	20.55	3.46	2.00	2.88	0.39	2.35	0.49	1.54	0.23	1.75	0.26	107.79	9.90	9.26	1.89

北京大学地质学系测试中心稀土室测试

(5) 钾长浅粒岩 SiO<sub>2</sub> 为 72.44%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 14.31%, CaO 为 0.62%, Na<sub>2</sub>O < K<sub>2</sub>O; 稀土总量为 191.21  $\times 10^{-6}$ , 轻重稀土比为 25.98, (La/Yb)<sub>N</sub> 为 20.09,  $\delta$ Eu = 0.33, 明显的铕负异常。石榴二辉石英岩稀土总量 54.35  $\times 10^{-6}$ , 轻重稀

土比为 1.64, (La/Yb)<sub>N</sub> 为 1.48,  $\delta$ Eu = 0.27。

(6) 透辉石岩 SiO<sub>2</sub> 平均含量 56.02%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 16.68%, Na<sub>2</sub>O 与 K<sub>2</sub>O 含量近于相等。稀土总量低, 为 64.54  $\times 10^{-6}$ , 轻重稀土比 4.17, (La/Yb)<sub>N</sub> = 4.19。

(7) 斜长角闪岩  $\text{SiO}_2$  平均 47.49% , 量在  $107.79 \times 10^{-6} \sim 328.83 \times 10^{-6}$  之间, 轻重  $\text{Al}_2\text{O}_3$  17.05% ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$  的含量较高, 平均 稀土比在 9.9 ~ 13.22 之间,  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  在 9.26 值分别为 5.95%、5.86% ,  $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ 。稀土总 ~ 19.69 之间。

表 3 西乌兰不浪高级区岩石微量元素含量( $\times 10^{-6}$ )

Table 3 Trace elements of the high-grade rocks in Xi-Ulanbulang terrain

序号	岩石名称	Yb	La	Ba	Co	Cr	Ni	Sr	V	Zr	Rb	Sc	Th	B	Ta	Hf	Nb	Y	Sr/Ba	Cr/Ni	Rb/Sr
1	二辉麻粒岩	2.1	38	666	52.1	459	26.5	341	249	99	42	25.7	10.2	2.5	1.0	1.0	15.0	36	0.51	17.3	0.12
2		2.0	8.1	202	69.9	349	133	123	280	49.3	14.6	23.9	0.18	1.3	1.0	2.0	11.0	24	0.61	2.6	0.12
3	角闪二辉麻粒岩	1.4	46	826	30.4	8.0	18.8	773	367	244	76.1	15.4	5.9	5.3	7.0	11.0	19.0	17	0.94	0.4	0.11
4		2.2	18	177	14.1	411	162	292	358	99.5	30.2	22.4	5.58	1.7	1.0	1.0	30.0	30	1.65	2.5	0.10
5	二辉斜长片麻岩	3.9	46	762	25.9	1.75	7.25	368	50	184	29.7	32.2	0.01	2.6	1.0	3.0	30.0	55	0.48	0.2	0.08
6	紫苏斜长片麻岩	1.4	47	965	35.7	62.6	44.9	1306	127	106	29.5	16.6	3.68	3.1	1.0	1.0	15.0	21	1.07	1.4	0.02
7	紫苏角闪斜长片麻岩			811	25.1	20.5	16.3	454	225	280	46.7	23.8	17.6	2.6	1.0	1.0	64.0	43	0.56	1.3	0.03
8	紫苏黑云斜长片麻岩	1.4	22	463	35.7	99.0	44.2	430	182	110	14.3	22.9	0.35	4	2.0	4.0	34.0	17	0.93	2.2	0.08
9	紫苏黑云二长片麻岩	3.0	102	3269	16.3	11.9	10.2	1052	111	301	87.9	18.6	5.66	4.8	1.0	2.0	33.0	47	0.32	1.2	0.08
10	石榴透辉斜长角闪岩			94.8	64.5	11.0	52.6	229	347	112	53.4	28.9	2.1	7.2	1.0	3.0	19.3		2.42	0.2	0.23
11	斜长角闪石榴透辉岩			146	62.2	12.5	62.7	376	704	125	39.3	31.1	7.4	12.8	105	3.0	17.5		0.58	0.2	0.10
12	斜长角闪透辉石岩			393	55.4	189	51.3	340	381	68	27.7	24.2	3.03	2.1	0.9	1.5	12.4		0.87	3.7	0.08
13	透辉石岩			597	53.9	518	51.9	228	281	76.8	35.3	20	0.01	4.7	0.7	1.1	11.0		0.38	9.9	0.15
14	透辉斜长变粒岩			266		7.90	2.7	241.9		127.2	16.2						5.0		0.9	2.9	

地质矿产部内蒙古自治区中心实验室用 X-荧光光谱仪测试

### 5 原岩恢复和沉积环境讨论

在结合野外宏观地质的基础上, 综合岩石学、岩石化学、地球化学等特征以及各种岩石化学判别图解, 对高级区的变质岩原岩恢复如下:

石英岩类, 局部见有条带状构造, 特征变质矿物有夕线石、石榴石等, 原岩为长石石英砂岩、泥质石英砂岩, 为陆源富铝碎屑沉积建造, 形成于浅海滨岸环境。石榴二辉石英岩的稀土总量稀低,  $54.35 \times 10^{-6}$ ,  $\delta\text{Eu}$  为 0.27, 铕异常(图 3a), 也反映了其陆源碎屑岩成因属性<sup>①</sup>。

变粒岩中微量元素 Ba 含量低, 为  $266 \times 10^{-6}$ ; Nb  $5.0 \times 10^{-6}$ , Sr  $241.9 \times 10^{-6}$ , Rb  $16.2 \times 10^{-6}$ , Sr/Ba 为 0.9,  $> 0.55$ , Cr/Ni 达 2.9, 表现为火山成因, 结合矿物成分看, 其原岩应为中酸性火山岩。

磁铁石英岩具条带状构造, 属于火山沉积的条带状铁质建造(BIF)。

富铝片麻岩类  $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ , 具沉积特征, 石榴石、夕线石等是泥质岩变质产物, 稀土配分曲

线为右倾, 为强铕负异常。其原岩为粘土质岩石。

黑云(/角闪)斜长片麻岩、紫苏黑云斜长(二长)片麻岩, 野外片麻理发育, 沿片麻理有后期长英质脉体注入, 局部见有穿切和改造表壳岩的现象, 二者界线多呈平直状渐变过渡。稀土配分曲线较平缓(图 3b), 铕异常不明显; 在  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  图解中落入玄武质粗面安山岩区及粗面安山岩区, 其原岩为中性岩。在主元素化学成分上  $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ , 稀土配分形式为高铝型( $\text{Al}_2\text{O}_3 > 16\%$ ), 轻稀土富集, 重稀土高度分馏、亏损, 铕为低正异常或低负异常, 总体特征与太古代 TTG 深成岩系一致。

基性麻粒岩类, 因构造平行化其野外产状与片麻岩类近于一致, 但颜色发暗, 有时边界也不清。二辉麻粒岩、(角闪)紫苏麻粒岩在  $\text{TiO}_2 - 10 \cdot \text{MnO} - 10 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$  图解(图 4)中大部分样点落入岛弧拉斑玄武岩区, 部分落入钙碱性玄武岩区, 但均处于二者分界线的附近。钙碱性玄武岩常见于大陆边缘的岛弧环境<sup>[7]</sup>, 其形成涉及到俯冲板块的部分熔融; 在  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$

①内蒙古自治区地质调查院. 区域地质调查报告 1: 25 万白云鄂博幅, 2003.

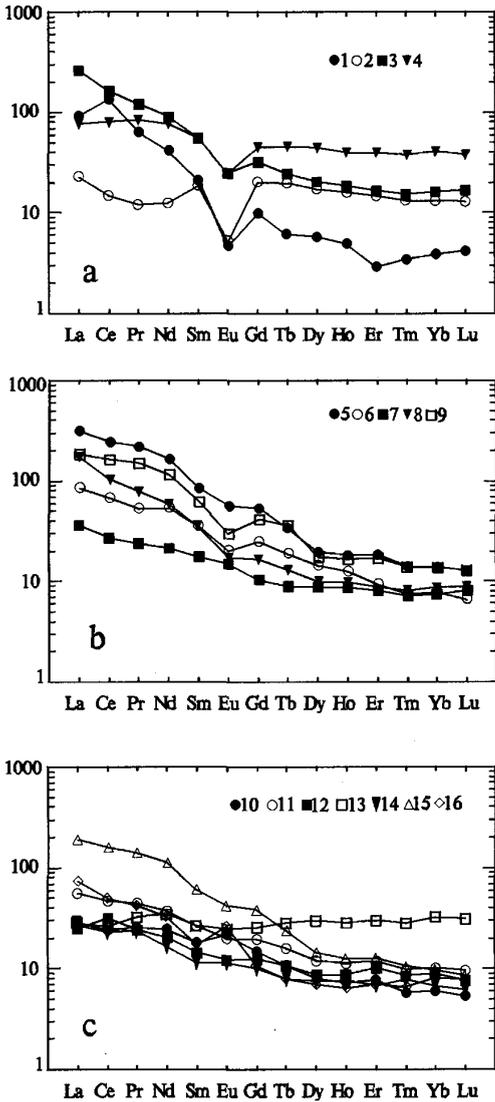


图 3 西乌兰不浪地区兴和岩群稀土配分曲线  
Fig 3 REE patterns of the Xinhe group-complex in Xi-Ulanbulang terrain

图中谱线 1~16 的编号与表 2 的岩石编号和岩性对应

-SiO<sub>2</sub> 图解(图 5)中落入玄武岩区。稀土曲线平滑(图 3c),无铕异常,δEu 接近于 1.0,具岛弧拉斑玄武岩系特征<sup>[7]</sup>,其原岩可能是岛弧环境的基性侵入体,多产于构造转换部位。

钾长浅粒岩常与紫苏花岗岩密切相伴,为紫苏花岗岩的中弱变形部分,K<sub>2</sub>O 明显大于 Na<sub>2</sub>O,表明后期钾质热液较多,与花岗伟晶岩脉

有关。稀土配分曲线为右倾海鸥型(图 3a),铕亏损,为陆壳熔融的产物。

紫苏花岗岩与麻粒岩、片麻岩相比,变形相对弱,表现为弱片麻状构造,宏观上有时与麻粒岩等的界线不清,但其内部的包裹体清晰可见,为浑圆状、透镜状、椭圆状,平行片麻理分布,包体由石榴紫苏斜长片麻岩、透辉石岩等组成。在 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 图解中落入英安岩区。为同构造花岗岩,锆石 U-Pb 年龄(2 455±5)Ma<sup>①</sup>, (2 491±7)Ma<sup>②</sup>, (2 511.4±4.9)Ma<sup>[6]</sup> 显示其为新太古代的产物。

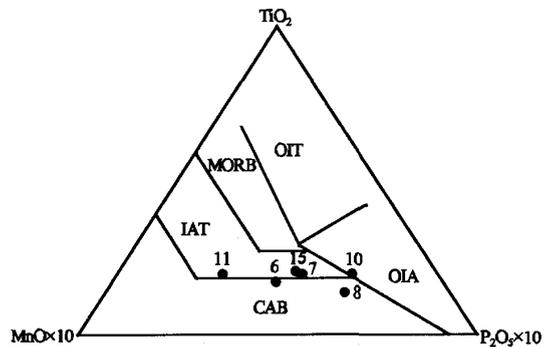


图 4 TiO<sub>2</sub>-(10·MnO)-(10·P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)图解(据 Mullen, 1983)

Fig. 4 TiO<sub>2</sub>-(10·MnO)-10·P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> diagram  
OIT. 大洋岛屿拉斑玄武岩;MORB. 洋中脊玄武岩;LAT. 岛弧拉斑玄武岩;OIA. 大洋岛屿碱性玄武岩;CAB. 钙碱性玄武岩(投点编号与岩性见表 1)

斜长角闪岩,呈脉状分布于麻粒岩中,与片麻理有明显交角,为后期基性岩墙事件的产物。在 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 图解中落入玄武岩区,在 TiO<sub>2</sub>-10·MnO-10·P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 图解中,落入岛弧拉斑玄武岩区。

透辉石岩为古老岩墙的残留体,呈透镜体状产于紫苏花岗岩和斜长角闪岩中,在 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 图解中落入粗面安山岩区。稀土配分曲线平滑,铕略具正异常。Cr/Ni 达 9.9,岩石化学和稀土元素特征反映其上侵时的深部上地幔的情况。

综上所述,在西乌兰不浪高级区岩的三大类岩石组成中,一是由陆源碎屑沉积岩的和中酸

①李树勋,张履桥. 内蒙古中部东五分子—朱拉沟地区太古宙地质特征与含矿性,1986.

②中国地质调查局天津地调中心. 石兰哈达幅、下湿壕幅 1:5 万区域地质调查联测报告,2000.

性火山(碎屑)岩组成的表壳岩,为活动大陆边缘环境的(兴和岩群)火山—沉积建造,在本区形成时代最早;二是由高铝型 TTG 岩系为代表的深成岩,相当于源区原岩部分熔融产物;三是由紫苏花岗岩、脉体和岩墙为代表的晚期侵入岩类,其中紫苏花岗岩、钾长浅粒岩等为同构造的酸性侵入岩。花岗伟晶岩、斜长角闪岩呈脉状产出,与围岩边界清晰。角闪透辉石岩的岩墙已构造改造为透镜状,基性麻粒岩为构造平行化了的岩墙。

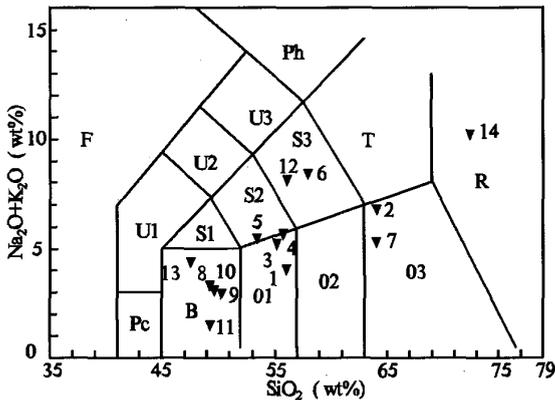


图5  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  图解(据 LeMaitre, 1989)

Fig. 5  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  diagram

F. 副长石岩; Pc. 苦橄玄武岩; U1. 碱玄武岩、碧玄武岩; U2. 响岩质碱玄武岩; U3. 碱玄武质响岩; Ph. 响岩; B. 玄武岩; S1. 粗面玄武岩; S2. 玄武质粗面安山岩; S3. 粗面安山岩; T. 粗面岩、粗面英安岩; O1. 玄武安山岩; O2. 安山岩; O3. 英安岩; R. 流纹岩(投点编号与岩性见表1)

从形成时序看,表壳岩形成最早,可能是目前华北地台北部边缘最古老岩石地层,但一直缺乏直接的同位素年龄数据。随着地壳挤压俯冲,在构造转换部位出现了基性岩墙。而在大陆一侧不同源岩部分熔融,形成了高铝轻稀土富集型 TTG 岩系,构造后期由钠质向钾质转化,出现钾质侵入体——紫苏花岗岩。这一认识可从已有的同位素年龄<sup>[3,4]</sup>得到印证。晚期进入地壳松弛阶段应力释放,产生了多期次的基性—酸性岩脉。因此西乌兰不浪高级区的岩石是不同构造环境、不同时代的构造拼贴产物,不能统统都称为“兴和岩群”,兴和岩群只限于其中的表壳岩部分。

## 6 西乌兰不浪高级区岩石温度、压力讨论

该高级区岩石经历了高角闪岩相—麻粒岩相变质,后期叠加了低角闪岩相的退变质作用。泥质岩的变质矿物共生相当于区域紫苏辉石带和铁铝榴石带,相当于中压—高温变质类型。研究表明<sup>①</sup>,兴和岩群火山—沉积岩系下沉到一定深度时,深部热流值增高产生早期角闪岩相变质作用,形成 Hb + Pl + Bi 共生矿物组合。稍后由于板底垫托大量的岩浆,温压逐渐增加,发生麻粒岩相变质,压力继续增加,紫苏辉石的边部开始生成石榴石,形成所谓“红眼圈”构造。二辉石温度计计算变质温度达 836 ~ 1 085 °C,峰期变质矿物共生组合为 Gr + Cor + Sill(泥质岩)。之后岩石由下地壳向中地壳折返,地壳伸展变薄,变质作用进入近等压冷却阶段。此时温度为 800 ~ 1 032 °C,压力为 1.099 GPa,大约在 2 500 Ma 左右发生强烈的地壳挤压俯冲运动,产生了韧性剪切变形和新太古代岩体底辟就位,岩石发生角闪岩相退变质作用,温度降至 600 °C 左右<sup>②</sup>,压力在 0.75 ~ 0.8 GPa。刘喜山等<sup>[8]</sup>对本区太古宙高级变质岩研究认为,早期变质的压力 0.38~0.42 GPa,温度(700 ± 20)°C;峰期变质的压力为 0.87 ~ 1.05 GPa,温度达(845 ± 20)°C;近等压抬升阶段的压力为 0.87 ~ 1.05 GPa,温度则降到(790 ± 20)°C,构成逆时针方向的 PTt 轨迹,并认为本区变质与岩浆的增生(accretion)有关,这与本文认为的高级区形成的动力学背景一致。

**致谢:**文中引用了天津地调中心、内蒙古自治区地质调查院的区调成果,文中插图由高清秀计算机制作,在此一并表示感谢!

### 参考文献:

- [1] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区岩石地层 [M]. 武汉:中国地质大学出版社,1996,114-116.  
[2] 王榭,陆松年,等. 内蒙古中部变质岩同位素年代构造

① 内蒙古自治区地质院. 区域地质调查报告 1: 25 万白云鄂博幅,2003.

② 内蒙古自治区地质调查院. 区域地质调查报告 1: 5 万双玉城幅、希拉穆仁幅,2001.

- 框架[J]. 天津地质矿产研究所所刊, 1995, 29: 56 - 64.
- [3]陶继雄. 内蒙固阳地区新太古代变质侵入岩特征及与成矿关系[J]. 地质调查与研究, 2003, 26(1): 21 - 25.
- [4]张玉清, 王戎, 贾和义, 张志祥. 内蒙古中部大青山北西乌兰不浪紫苏斜长麻粒岩锆石 U - Pb 年龄[J]. 中国地质, 2003, 30(4): 394 - 399.
- [5]王惠初, 袁桂邦, 辛后田. 内蒙古固阳村空山地区麻粒岩的锆石 U - Pb 年龄及其对年龄解释的启示[J]. 前寒武纪研究进展, 2001, 24(1): 28 - 34.
- [6]陶继雄, 许立权. 内蒙古中部召河庙北侧片麻岩的锆石 U - Pb 年龄[J]. 内蒙古地质, 2002, 3: 5 - 9.
- [7]吴澄宇, 万渝生. 稀土元素地球化学与玄武质岩石成因 - 应用与问题[A]. 张炳熹, 等. 岩石圈研究的现代方法[C]. 北京: 原子能出版社, 1996, 215 - 227.
- [8]Liu Xishan, Jin Wei, Li Shuxun and Xu Xuecun. Two types of Precambrian high - grade metamorphism, Inner Mongolia, China[J]. J. Metamorphic Geol., 1993, 11: 499 - 510.

## Metamorphic Petrology and Tectonic Setting of the Xi-Ulanbulang High-Grade Terrain, Wuchuan County, Inner Mongolia

ZHANG Yu-qing, XU Li-quan, JIA He-yi, LIU Ying-fan, WANG Tao

(Inner Mongolia Institute of Geological Survey, Hohhot 010020)

**Abstract:** The Xi-Ulanbulang high-grade terrain is located in the northwest of Wuchuan County, Inner Mongolia, in which the Xinghe Rock-group is distinguished out from the original Variscian magmatic rocks and the Archean Wutai Group. Through the integration of field investigation, petrochemical and geochemical analysis, it is thought that the Xi-Ulanbulang high-grade terrain consists of not only supracrustal rocks, but also lots of TTG, charnockite and dyke rocks, which implicates to be a tectonic assemblage of various rocks with different setting and time. Among the assemblage, the supracrustal rocks named the Xinghe Rock-group is composed of volcano-sedimentary rocks that formed in mobile continental margin. These rocks underwent intensive thermal-tectonic event, metamorphosed into high-amphibolite to granulite facies.

**Key words:** supracrustal rocks; TTG; charnockite; high-amphibolite to granulite facies; Xi-Ulanbulang; Wuchuan County; Inner Mongolia