

文章编号: 1000- 6524 (2002) 01- 0040- 09

# 内蒙古锡林郭勒杂岩 岩石学特征及其变质作用的 $p-t$ 条件

赵 光, 朱永峰, 张 勇  
(北京大学地质系, 北京 100871)

**摘 要:** 锡林郭勒杂岩出露于华北地台北缘晚古生代褶皱带内, 形成于 1.3~ 1.0 Ga, 主要由黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、斜长角闪片岩以及变粒岩夹透镜状或脉状斜长角闪岩组成, 具角闪岩相变质, 原岩以钙碱性系列火成岩为主。通过对其中角闪岩及片麻岩中的长石、角闪石的矿物化学研究, 计算出其变质作用发生的温度为 540~ 550 °C, 压力为 0.5~ 0.6 GPa。

**关键词:** 锡林郭勒杂岩; 岩石学; 变质作用; 内蒙古

**中图分类号:** P588.34

**文献标识码:** A

## Petrology and metamorphic $p-t$ condition of Xilin Gol complex, Inner Mongolia, China

ZHAO Guang, ZHU Yong\_feng and ZHANG Yong

(Department of Geology, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Exposed on the northern edge of North China Platform, Xilin Gol complex has an age of 1.3~ 1.0 Ga. It is mainly composed of hornblende- plagioclase gneiss and biotite- plagioclase gneiss, plagioclase- hornblende schist, and amphibolite. Subjected to metamorphism of hornblende subfacies, its protolith comprises mostly calc\_alkaline igneous rocks. This paper deals with mineral chemistry of amphiboles and feldspars in the complex and indicates that the metamorphism took place at temperature of 540~ 550 °C and pressure of 0.5~ 0.6 Gpa.

**Key words:** Xilin Gol complex; petrology; metamorphism; Inner Mongolia

锡林郭勒杂岩是指出露于锡林郭勒地区的一套古老变质岩。这套岩系具复杂变形和角闪岩相变质, 局部混合岩化明显, 大约在 13~ 10 亿年间形成(徐备等, 1996; 郝旭等, 1997; 朱永峰等, 待刊)。它的成因及其所蕴含的大地构造意义一直有争议。有些学者认为锡林郭勒杂岩是从华北地台分离出的块体(朱永峰等, 待刊; Gordienko, 1996), 另一些人则认为它是被

收稿日期: 2001- 05- 29; 修订日期: 2001- 09- 26

基金项目: 中国科学院重大科研资助项目(KZ- 951- B1- 404)

作者简介: 赵 光(1974- ), 男, 岩石地球化学专业硕士研究生。

动大陆边缘的组成部分(徐备等, 1996; 张臣等, 1998)。本文报道了锡林郭勒杂岩的岩石矿物学特征, 分析其变质作用发生的温度- 压力条件。

## 1 地质概况

锡林郭勒杂岩出露于华北地台北缘晚古生代褶皱带内, 位于内蒙古东部锡林郭勒盟—西乌珠穆沁旗(以下简称西乌旗)—巴林右旗一带(图 1), 大致在东经  $116^{\circ} \sim 119^{\circ}$ 、北纬  $43^{\circ} \sim 45^{\circ}$  之间。它主要有 3 部分组成, 分别位于锡林浩特西南的巴音塔拉、西乌旗南边的猴头庙、巴林右旗南边的巴林桥。巴音塔拉部分散布于锡林浩特市西南部, 出露总面积约  $600 \text{ km}^2$ , 猴头庙地区的变质岩出露面积约  $500 \text{ km}^2$ , 巴林桥部分的出露面积约  $500 \text{ km}^2$ 。早二叠世火山- 沉积岩直接覆盖在变质岩上。

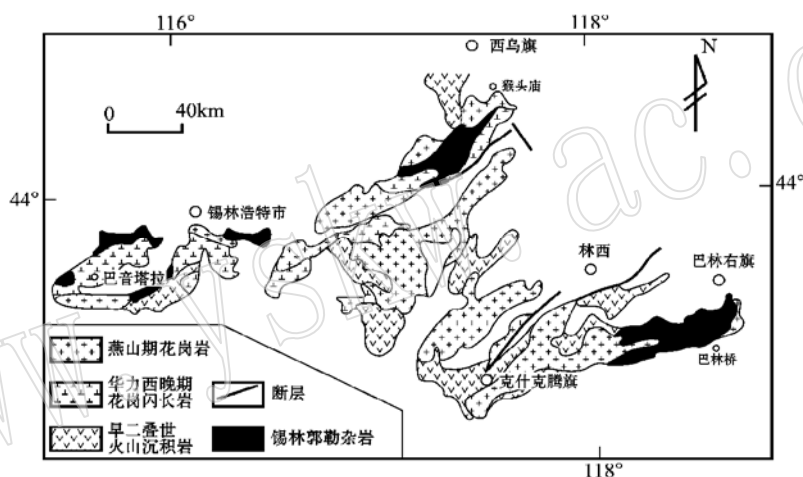


图 1 锡林郭勒杂岩分布图[简化自《内蒙古自治区区域地质志》(1991)]

Fig. 1 Distribution of Xilin Gol complex

## 2 岩石学特征

### 2.1 岩石类型

锡林郭勒杂岩主要由片麻岩、片岩以及变粒岩夹透镜状或似层状斜长角闪岩组成。其中角闪斜长片麻岩和黑云斜长片麻岩最常见。变粒岩在成分及结构构造上与片麻岩或角闪岩呈过渡状态。角闪岩的展布方向多与片麻岩或片岩的片理吻合。各类岩石具有相同的变质变形特征。

斜长角闪岩呈透镜状或脉状产出于片麻岩及片岩中。岩石绿黑色, 细粒均粒柱状变晶结构, 块状构造或平行构造。脉状角闪岩(宽  $0.1 \sim 1 \text{ m}$ , 有时可宽达数米, 延长数十至数百米)与寄主片麻岩或片岩之间界限明显, 展布方向与片麻岩或片岩的片理吻合。矿物成分简单, 主要由普通角闪石( $55\% \sim 40\%$ )、斜长石( $50\% \sim 30\%$ )及少量的石英( $5\% \sim 10\%$ )组成, 副矿物有磁铁矿、榍石、钛铁矿。常见角闪石和斜长石呈平直镶嵌接触, 形成典型的平衡共生结构。

片麻岩是最常见的岩石类型,以片麻状构造为特征。主要类型为角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、花岗片麻岩、花岗闪长片麻岩。角闪斜长片麻岩具均粒或不等粒粒柱状变晶结构,主要矿物有斜长石(60%~75%)、角闪石(15%~30%)、石英(5%~20%)及少量黑云母。副矿物有榭石、绿帘石及磷灰石,次生矿物有绢云母和绿泥石。部分角闪斜长片麻岩具变余斑状结构,斑晶为斜长石及角闪石,基质为显微粒状重结晶石英和斜长石。黑云斜长片麻岩具鳞片不等粒粒柱状变晶结构,主要矿物有石英(40%~50%)、斜长石(45%~50%)、黑云母(5%~10%),副矿物有榭石,次生矿物有绢云母、绿泥石。花岗片麻岩或花岗闪长片麻岩具变余花岗结构。片麻岩中可见轻度的混合岩化,表现为局部长英质含量增加,浅色体主要由黑云二长变粒岩、二云浅粒岩等组成,有时以细石英脉为主。

片岩与角闪斜长片麻岩过渡,以片状构造为特征。岩石呈灰-灰白色,细粒粒柱状或鳞片粒柱状变晶结构。岩石类型有斜长角闪片岩,主要矿物为角闪石、斜长石、石英。副矿物有绿帘石、阳起石。次生矿物有绢云母、绿泥石。局部见黑云透闪片岩(含透闪石30%±)。

黑云二长变粒岩与片麻岩过渡,以细粒结构、长石含量较高及不具明显的定向构造为特征。岩石具变余花岗结构或不等粒粒状变晶结构,块状构造。主要矿物有斜长石(20%~50%)、石英(30%±)、黑云母(10%~25%)、钾长石(微量~40%)。副矿物有磁铁矿。黑云角闪变粒岩与角闪岩过渡,以细粒结构、角闪石含量小于40%及不具明显的定向构造为特征。鳞片细粒粒状变晶结构,块状构造。主要矿物有斜长石(50%~60%)、角闪石(20%~30%)、黑云母(5%~10%)以及少量石英。

## 2.2 矿物共生分析及变质相

在锡林郭勒杂岩的矿物共生组合中,石英为过剩组分,放到共生组合图解外表示。去掉磁铁矿、榭石、绿帘石、磷灰石、钛铁矿等副矿物后,简化为以下4种组合:①角闪石(或透闪石)+斜长石;②斜长石+角闪石+黑云母;③斜长石+微斜长石+黑云母;④斜长石+黑云母。根据这些矿物的标准化学式,可知组成这些矿物的组分为CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、FeO、MnO、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、SiO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O和OH<sup>-</sup>,其中K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、H<sub>2</sub>O和OH<sup>-</sup>为活动组分,SiO<sub>2</sub>为过剩组分,MgO、FeO和MnO可以合并为一个组分(Mg,Fe,Mn)O,最后剩下3个有效惰性组分CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、(Mg,Fe,Mn)O作为AFM共生图解的端员组分,得到锡林郭勒杂岩矿物共生图解(图2)。

综上所述,内蒙古锡林郭勒杂岩主要矿物组合为:斜长石+角闪石+石英+黑云母(+榭石+绿帘石+磷灰石+磁铁矿+钛铁矿)和斜长石+微斜长石+石英+黑云母(+榭石+绿帘石+磁铁矿),分别为基性及长英质类角闪岩相区域变质岩的特征矿物组合,表明锡林郭勒杂岩的变质程度为角闪岩相。

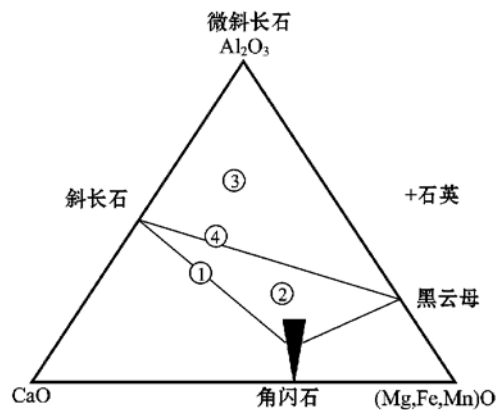


图 2 锡林郭勒杂岩矿物共生图解  
Fig. 2 Mineral association diagram of  
Xilin Gol complex

### 3 岩石化学

锡林郭勒杂岩片麻岩、角闪岩的主要元素数据列于表 1。岩石中全碱含量为 2%~5%, 与  $\text{SiO}_2$  含量没有明显相关性, 后者为 45%~75%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 12%~17%,  $\text{CaO}$  含量为 4%~10%。里特曼指数  $\sigma$  小于 3.3(0.35~3.20)。

表 1 角闪岩及片麻岩的全岩化学组成  
Table 1 Chemical composition of amphibolite and gneiss

序号	1	2	3	4	5
样品号	YF881022	YF881221	YF881004	YF881005	YF881219
岩石名称	斜长角闪岩	斜长角闪岩	角闪斜长片麻岩	花岗闪长片麻岩	花岗片麻岩
$\text{SiO}_2$	48.55	51.85	58.7	62.57	71.58
$\text{TiO}_2$	0.50	1.36	0.72	0.65	0.50
$\text{Al}_2\text{O}_3$	15.56	16.64	16.15	14.51	12.14
$\text{FeOt}$	8.74	10.77	7.33	8.47	3.72
$\text{MnO}$	0.16	0.20	0.13	0.15	0.04
$\text{MgO}$	8.36	5.18	3.80	2.68	1.33
$\text{CaO}$	9.57	8.83	6.05	6.92	4.77
$\text{Na}_2\text{O}$	1.12	3.31	3.20	2.34	3.34
$\text{K}_2\text{O}$	3.08	0.85	1.41	0.26	0.39
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.07	0.23	0.13	0.11	0.09
总量	95.74	99.28	97.62	98.66	97.90

采用 XRF 法分析, 由中国科学院矿物资勘探研究中心实验室测定;  $\text{FeOt}$  表示全铁含量。

### 4 矿物学特征

长石是最主要的造岩矿物之一, 在斜长角闪岩中主要为斜长石, 钾长石仅出现在片麻岩和长英质变粒岩中。斜长石常与石英、角闪石、钾长石共生。具变余花岗结构的斜长石具有环带结构, 且发育钠长石洁净边, 边部出溶蠕虫状石英, 呈文象结构。由长石的电子探针分析结果(表 2)可知, 斜长石的 Or 含量极低, 牌号  $An_{30} \sim 60$ , 主要为中长石和拉长石。碱性长石的 An 含量极低, Or 含量达 90% 以上(图 3)。

角闪石在角闪岩、片麻岩、片岩以及变粒岩中均有出现, 是锡林郭勒杂岩的主要造岩矿物之一, 主要为普通角闪石, 局部可见透闪石, 常被长英质包体所筛分, 裂缝处可见浅黄色绿泥石, 有时也可见退变的黑云母。角闪石的电子探针分析结果和其他有关特征参数见表 3。

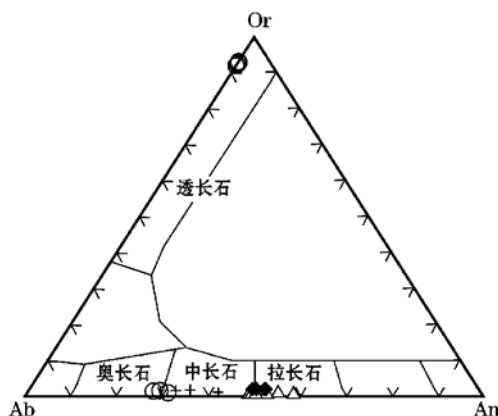


图 3 长石分类图解

Fig. 3 Compositional classification of feldspar

▲—斜长角闪片岩; ○—角闪斜长片麻岩; ▲—花岗闪长片麻岩; ◆—斜长角闪岩

表 2 长石的电子探针化学成分  
Table 2 Chemical composition of feldspar

w<sub>B</sub>/%

样品号	WL981101			WL981102		YF881105		YF881216	
矿物号	818	821	823	906	917	193	200	957	964
SiO <sub>2</sub>	60.78	63.52	62.47	57.34	60.27	55.62	54.62	55.22	55.59
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.66	18.40	18.50	26.60	25.09	29.35	29.82	28.34	27.23
FeOt	0.10	0.02	0.14	0.20	0.11	0.13	0.12	0.17	0.13
MnO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.01
MgO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
CaO	5.78	0.02	0.05	8.75	6.80	11.14	12.21	10.85	10.09
Na <sub>2</sub> O	8.21	0.84	0.80	6.67	7.85	5.22	4.81	5.40	5.69
K <sub>2</sub> O	0.22	14.77	14.58	0.15	0.25	0.07	0.06	0.16	0.19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.01	0.04	0.00	0.02	0.03	0.01	0.06	0.00
总量	98.82	97.61	96.59	99.72	100.39	101.58	101.67	100.27	98.93
以 8 个 O 计算, FeOt 表示全铁									
Si	2.73	2.99	2.98	2.58	2.68	2.47	2.43	2.49	2.53
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al <sup>3+</sup>	1.25	1.02	1.04	1.41	1.31	1.53	1.56	1.50	1.46
Fe <sup>2+</sup>	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.28	0.00	0.00	0.42	0.32	0.53	0.58	0.52	0.49
Na	0.72	0.08	0.07	0.58	0.68	0.45	0.42	0.47	0.50
K	0.01	0.89	0.89	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ab	71.10	8.00	7.60	57.50	66.70	5.70	41.50	47.00	49.90
An	27.70	0.10	0.30	41.70	31.90	53.90	58.20	52.10	48.90
Or	1.30	91.90	92.10	0.80	1.40	0.40	0.40	0.90	1.10

矿物的化学成分用电子探针 JEOL8900(日本早稻田大学)测定, 电流 20 nA, 工作电压 15 kV。

本文采用 13- CNK 法(Leak, 1979), 即改变 Fe<sup>2+</sup> / Fe<sup>3+</sup> 比值, 将阳离子总数(不包括 Ca, K, Na)调整到 13, 再换算出 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 FeO 来计算 Fe<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>。按照国际矿物学协会的最新命名规则(Leak *et al.*, 1997), 锡林郭勒杂岩的角闪石均属于钙质角闪石组, 主要类型为镁角闪石, 也有少量镁钙闪石、浅闪石、韭闪石和镁绿钙闪石(图 4)。

## 5 讨论

### 5.1 变质作用的温压条件

钠长石组分在长石固溶体系列之间的分配系数主要取决于固溶体系列平衡的温压条件。Green 和 Usdansky 于 1986 年发表的三端员温度计较为完善又便于实际操作。本文采用该方法计算样品 WL981101 的温度大约在 540~ 560 °C 之间(表 4)。样品 WL9811001 为角闪斜长片麻岩, 样品新鲜, 后期低温蚀变不明显, 且样品中各部分的矿物成分变化不大(图 3), 可以认为钾长石与斜长石之间达到了平衡, 可以用于计算其封闭温压条件。除了由 818 号斜长石参加测定的温度在 510 °C 左右外, 由其他矿物计算出的温度大都集中在 540~ 560 °C 之间。

表 3 角闪石的电子探针化学成分分析  
Table 3 Chemical composition of amphibole

样品号 矿物号	WL981101		WL981102			YF981105		YF981216	
	826	832	894	896	899	177	218	953	958
SiO <sub>2</sub>	42.63	42.67	45.63	45.36	43.67	45.54	47.01	46.11	47.16
TiO <sub>2</sub>	0.67	0.64	0.54	0.70	0.47	0.77	0.76	1.40	1.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.04	10.63	10.03	9.63	12.45	10.75	8.34	8.00	8.33
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.06	0.02	0.05	0.04	0.00	0.02	0.01	0.03
FeOt	18.13	17.76	13.56	13.50	14.28	18.46	18.76	17.77	17.82
MnO	0.48	0.48	0.37	0.47	0.45	0.40	0.44	0.33	0.28
MgO	9.67	9.52	13.21	13.10	11.34	9.99	11.03	10.82	10.63
CaO	11.24	11.52	11.97	12.05	12.91	10.71	9.61	11.53	11.86
Na <sub>2</sub> O	1.22	1.36	1.19	1.09	1.16	1.27	1.01	0.99	1.02
K <sub>2</sub> O	1.29	1.32	1.07	1.00	1.26	0.25	0.20	0.53	0.64
Cl	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.09
总量	96.41	95.98	97.59	96.94	98.02	98.14	97.18	97.62	98.86
以 23 个 O 计算, FeOt 表示全铁									
Si	6.43	6.51	6.65	6.67	6.46	6.62	6.80	6.82	6.91
Ti	0.08	0.07	0.06	0.08	0.05	0.08	0.08	0.16	0.11
<sup>IV</sup> Al	1.57	1.49	1.35	1.34	1.54	1.38	1.20	1.18	1.09
<sup>VI</sup> Al	0.40	0.42	0.37	0.33	0.62	0.46	0.22	0.22	0.35
Cr	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>3+</sup>	0.78	0.48	0.59	0.55	0.16	1.02	1.53	0.61	0.39
Fe <sup>2+</sup>	1.51	1.79	1.06	1.11	1.61	1.23	0.74	1.59	1.80
Mn	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03
Mg	2.18	2.17	2.87	2.87	2.50	2.16	2.38	2.39	2.32
Ca	1.82	1.88	1.87	1.90	2.05	1.67	1.49	1.83	1.86
Na	0.36	0.40	0.34	0.31	0.33	0.36	0.28	0.28	0.29
K	0.25	0.26	0.20	0.19	0.24	0.05	0.04	0.10	0.12
Cl	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02
$p / \text{GPa}$	0.6	0.6	0.5	0.5	0.7	0.6	0.4	0.4	0.4

矿物的化学成分用电子探针 JEOL8900(日本早稻田大学)测定, 电流 20 nA, 工作电压 15 kV。

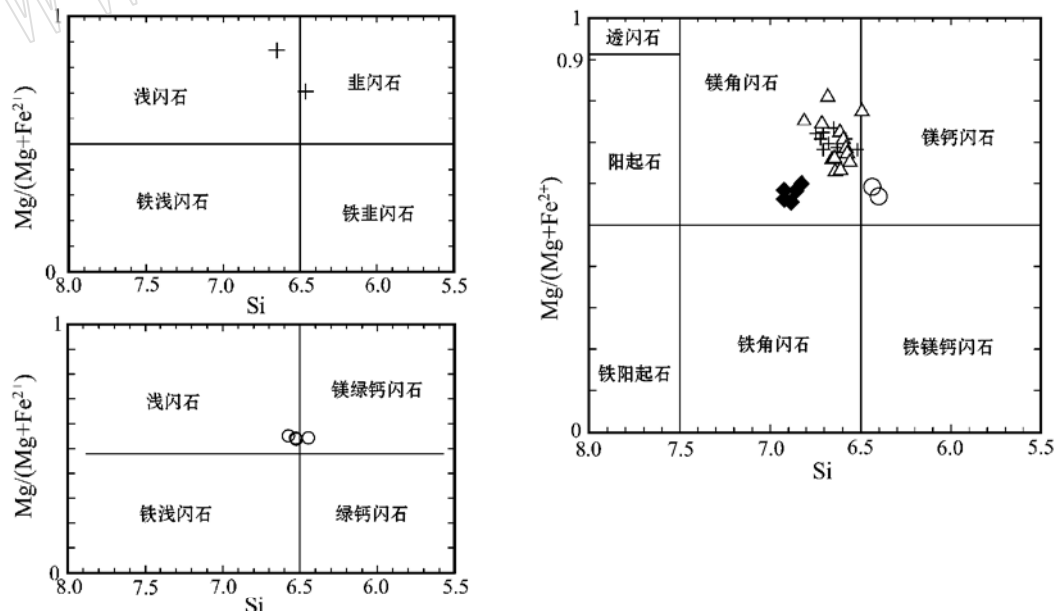


图 4 角闪石成分分类图解(图例见图 3)

Fig. 4 Compositional classification of amphibole

表 4 二长石温压计测温结果

℃

Table 4 Temperatures of potash feldspar and plagioclase measured by thermobarometer

斜长石样号	钾长石样号				
	821	822	823	824	825
818	514.7	511.6	516.4	507	511.2
819	553.7	550.2	550.1	545.1	548.3
820	551.8	548.4	548.7	543.4	546.6
830	571	563.4	563.9	561.4	564.1

表 3 中的压力值采用 Schmidt 的全铝压力计(1992) 计算。可以看出, 由样品 YF981216 斜长角闪岩的矿物测得的压力较低(0.4 GPa), 这可能是受到后期蚀变影响导致角闪石中 Al 含量降低的缘故。其余部分大都集中在 0.5~0.6 GPa 之间(相当于现代大陆地壳 20 km 左右的深度)。这与由岩石学研究所显示的角闪岩相变质条件是吻合的。

利用 Blundy 和 Holland 提出的角闪石-斜长石温度计(1990) 计算样品 WL981102(斜长角闪岩)的形成温度, 结果集中在 535~545 ℃之间(表 5)。

表 5 角闪石-斜长石温度计计算结果

Table 5 Calculations by amphibole-plagioclase thermometer

角闪石 矿物号	斜长石矿物号				
	906	910	917	918	920
892	545.4	537.4	537.3	537.7	537.6
893	547.1	539.1	538.9	539.3	539.3
894	545.9	537.0	537.8	538.2	538.1
895	542.9	535.0	534.9	535.3	535.2
896	544.8	536.9	536.7	537.1	537.0
897	542.7	534.8	534.6	535.0	534.9
898	544.0	536.1	535.9	536.3	536.2
899	557.8	549.5	549.3	549.8	549.7

其中  $K = (Si - 4) / (8 - Si)$ , 压力取  $p = 0.57$  GPa。

## 5.2 原岩分析

锡林郭勒杂岩各类岩石具有相同的变质变形特征, 且各类岩石在结构构造、矿物成分上的过渡关系明显, 缺乏生物化石和沉积岩的结构构造。斜长角闪岩呈透镜状或脉状产出, 可能为中基性火山岩经后期构造变形作用的结果。

(al+fm)-(c+alk)-Si 图解对恢复变质岩原岩类型非常有效(王仁民等, 1987), 锡林郭勒杂岩的片麻岩及角闪岩在该图解上均落入火山岩区(图 5), 表明锡林郭勒杂岩的原岩为火成岩。在 AFM 图解(图 6)中, 除样品 YF881005 花岗闪长片麻岩落入拉斑玄武岩系列外, 其他样品都落入钙碱性系列区。

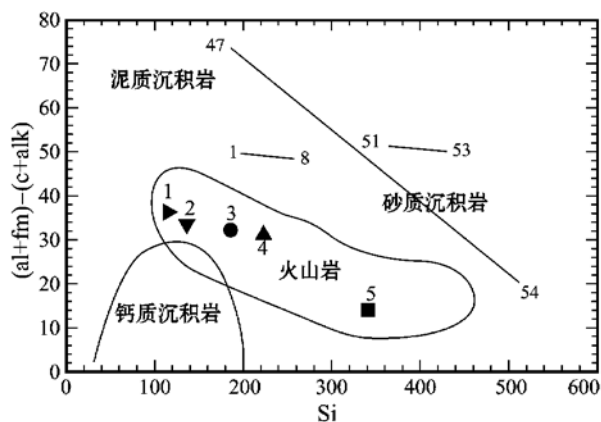


图 5 (al+ fm) - (c+ alk) -Si 图解  
(据王仁民等, 1987)

Fig. 5 (al+ fm) - (c+ alk) -Si diagram  
投点序号含义见表 1

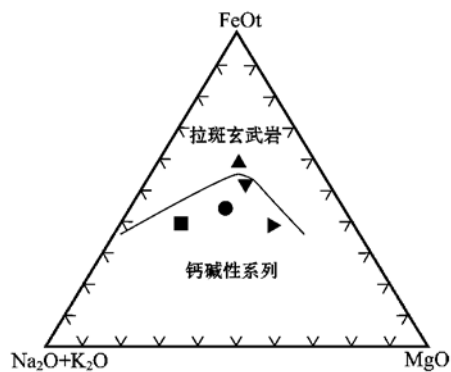


图 6 锡林郭勒杂岩 AFM 图解  
(据 Irvine, 1971)

Fig. 6 AFM diagram of Xilin Gol complex  
图例见图 5

## 6 结 论

(1) 锡林郭勒杂岩主要由黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、斜长角闪片岩以及变粒岩夹透镜状或脉状斜长角闪岩组成, 属区域角闪岩相变质, 原岩以钙碱性系列火成岩为主。

(2) 锡林郭勒杂岩的变质作用发生的条件为温度 540~ 550 °C, 压力 0.5~ 0.6 GPa。

## Reference

- Blundy J D and Holland T J B. 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole- plagioclase geothermometer[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 104: 208~ 224.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Autonomous Region. 1991. *Regional Geology of Inner Mongolia* [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Gordienko I V. 1996. Correlation of Pre-Jurassic sections of ancient continents and microcontinents in east Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 13: 215~ 221.
- Hao Xu, 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).
- Green N L, Usdansky S I. 1986. Ternary\_feldspar mixing relations and thermobarometry[J]. *American Mineralogist*, 71: 1100~ 1108.
- Irvine T N. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. *J. Earth Sci.*, 8: 523~ 548.
- Leak B E. 1979. Nomenclature of amphiboles[J]. *Am. Min.*, 63: 1023~ 1052.
- Leak B E. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names[J]. *The Canadian Mineralogist*, 35: 219~ 246.
- Schmidt M W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function pressure, an experimental calibration of the Al\_inhornblende barometer[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110: 304~ 310.
- Wang Renmin, He Gaopin, Chen Zhenzhen, *et al.* 1987. *Distinguish the Protolith of Metamorphics Via Diagrams*[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).



- Xu Bei, Chen Bin, Shao Jian. 1996. Sm- Nd, Rb- Sr isotopic geochronology of the Xilin Gol complex, Inner Mongolia, China[J]. Chinese Science Bulletin, 41(2): 153~ 155 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chen, Wu Tairan. 1998. Sm- Nb, Rb- Sr isotopic Geochronology of metamorphic volcanic rocks of Ondor Sum Group, Inner Mongolia[J]. Scientia Geological Sinica. 33(1): 25~ 30 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongfeng, Sun Shihua. Elemental and Sr- Nd isotopic geochemistry of the Xilin Gol complex: Implication for the evolution of the Precambrian basement in the Mongolia orogenic zone[J]. Acta Petrologica Sinica (Submitted).

### 附中文参考文献

- 郝旭, 徐备, 1997. 内蒙古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.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 地质出版社.
- 王仁民, 贺高品, 陈珍珠, 等. 1987. 变质岩原岩图解判别法[M]. 地质出版社.
- 徐备, 陈斌, 邵济安. 1996. 内蒙古锡林郭勒杂岩 Sm- Nd, Rb- Sr 同位素年代研究[J]. 科学通报, 41(2): 153~ 155.
- 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 同位素年代研究[J]. 地质科学, 33(1): 25~ 30.
- 朱永峰, 孙世华. 锡林浩特杂岩的元素和 Sr- Nd 同位素地球化学特征及其对蒙古造山带前寒武基底性质的限定[J]. 岩石学报(待刊).
- IMA- CNMMN 角闪石专业委员会全体成员. 2001. 角闪石命名法——国际矿物学协会新矿物及矿物命名委员会角闪石专业委员会的报告[J]. 王立本编译. 岩石矿物学杂志, 20(1): 84~ 100.