

内蒙古色尔腾山地区花岗绿岩带糜棱岩 变形变质过程探讨

胡 玲, 宋鸿林, 翟裕生, 苏尚国, 肖荣阁

(中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 采用不同研究方法分析和解读岩石和矿物的显微构造特征, 能再造结晶基底岩石复杂的变形和变质演化过程和条件。通过对色尔腾山地区花岗绿岩带中韧性剪切带的糜棱岩显微构造、石英组构、矿物化学等综合分析, 发现该区糜棱岩在经历了低角闪岩相区域变质及绿帘角闪岩相退变质变形之后, 发生了不均匀进变质重结晶作用及中低绿片岩相退变质变形等几个演化阶段。由不同阶段温压条件所限定的 $p-T$ 演化轨迹为一个在早期顺时针的基础上叠加了一个晚期逆时针的复杂图像。

关键词: 花岗绿岩带; 糜棱岩; 变形变质; 演化过程; 色尔腾山地区; 内蒙古

中图分类号: P588.3; P313

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2006)01-0053-08

The deformation and metamorphic processes of mylonites in the granite-greenstone belt of Seerteng area, Inner Mongolia

HU Ling, SONG Hong-lin, ZHAI Yu-sheng, SU Shang-guo and XIAO Rong-ge

(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Reconstruction of deformation and metamorphic processes and conditions can be carried out by studying micro-features of rock and minerals. This paper has investigated the microstructures, quartz fabrics, and mineral chemistry of mylonites from the ductile shear zone of the granite-greenstone belt in Seerteng area, Inner Mongolia. Synthetic analyses reveal that the mylonites underwent four evolutionary processes of deformation and metamorphism, such as lower-amphibolite facies regional metamorphism, retrograde epidote-amphibolite facies metamorphism and deformation, progressive recrystallization and retrograde greenschist facies metamorphism and deformation. The temperature and pressure combination of four metamorphic stages defines a clockwise $p-T$ path, with the superimposition of a later anticlockwise $p-T$ path.

Key words: granite-greenstone belt; mylonite; deformation and metamorphism; evolutionary process; Seerteng area; Inner Mongolia

结晶基底岩石常常经历了十分复杂的变形及变质演化, 每一次变形或变质作用都会在岩石尤其是矿物中留下证据。因此, 采用不同研究方法分析和解读岩石及矿物的显微特征能再现结晶基底的复杂变形及变质演化过程和条件。本文对内蒙古色尔腾山地区的太古宙花岗绿岩带内的糜棱岩进行了较为

详细的显微构造分析, 并选择了其中一条剪切带剖面, 对糜棱岩中的石英进行了组构分析, 对斜长石、角闪石、云母、绿泥石等矿物进行了电子探针成分测定及矿物化学分析, 探讨了该区糜棱岩不同阶段的温压条件以及演化过程。

收稿日期: 2004-07-12; 修订日期: 2005-06-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(49772148); 原地质矿产部九五重点基础研究项目(9501105)

作者简介: 胡玲(1965-), 女, 博士, 副教授, 构造地质学专业, 从事显微构造的教学与科研工作。

1 区域地质特征概述

内蒙古色尔腾山地区的太古宙花岗岩-绿岩带(色尔腾山群)主要出露于色尔腾山中部和北部,总体呈东西带状分布(内蒙古自治区地质局,1991)(图1)。岩性为一套低角闪岩-绿片岩相变质的火山-沉积岩系,主要有斜长角闪岩、各种片岩、大理岩及(磁

铁)石英岩,岩石总体发生了低角闪岩相-绿片岩相区域变质以及韧性剪切变形^①。李树勋等(1994)认为该套岩石是一套典型的绿岩建造,沉积特征具裂隙槽性质。与绿岩建造伴生的 TTG 侵入岩系列的同位素年龄多集中在 2.3~2.5 Ga 之间(金巍等,1994;李景春等,2003)标志着太古宙末的一次大规模岩浆事件(金巍等,1994)。随后,该区还发育有多期中酸性侵入岩。

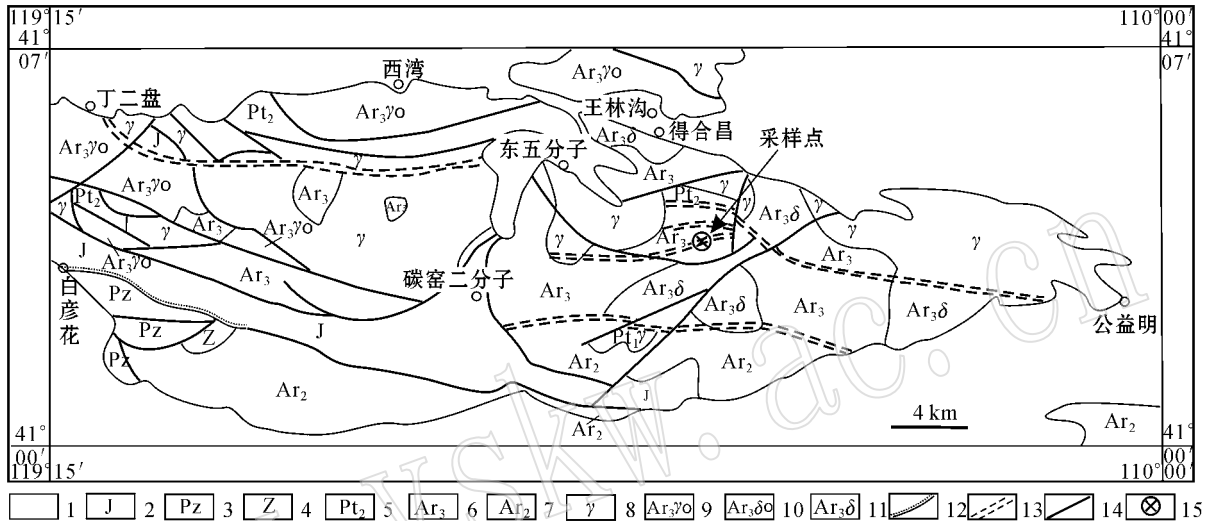


图 1 色尔腾山地区地质简图

Fig.1 Sketch geological map of Seerteng area

- 1—中、新生界覆盖区 2—侏罗系 3—古生界 4—震旦系 5—中元古代渣尔泰山群 6—色尔腾山群 7—太古宙乌拉山岩群及变形变质深成体 8—各时代侵入岩 9—新太古代斜长花岗岩 ;10—新太古代石英闪长岩 ;11—新太古代闪长岩 ;12—不整合地质界线 ;13—韧性剪切带 ;14—断裂 ;15—剖面及采样点
- 1—Mesozoic and Cenozoic ;2—Jurassic ;3—Paleozoic ;4—Sinian ;5—Middle Proterozoic Zhaertaishan Group ;6—Seertengshan Group ;7—Archean Wulashan rock group and deformed and metamorphic pluton ;8—Intrusive rocks of different epochs ;9—Neo-Archean plagiogranite ;10—Neo-Archean quartz diorites ;11—Neo-Archean diorites ;12—unconformity ;13—ductile shear zone ;14—fault ;15—section of ductile shear zone and sampling site

2 糜棱岩显微构造特征

色尔腾山地区剪切带中的糜棱岩一般发育典型的 S-C 结构和残斑结构(图 2),其中残斑主要为角闪石和斜长石,为典型的中温糜棱岩(胡玲,1999)。部分糜棱岩中发育有两期面理:以残斑系为主构成的 S₁ 面理(糜棱面理)和与之略有斜交的由细粒矿物集合体构成的强直面理 S₂(图 2c、2d、2e、2f)。其矿物变形、变质特征分别为:

2.1 斜长石

主要形成核幔结构(图 2a),核部常常发育机械

双晶及双晶扭折,幔部主要为重结晶的细小新晶粒,并常与细小的黑云母(暗绿色)、白云母和绿帘石共生,斜长石的变形特征表明其变形机制由位错滑移开始向动态重结晶调节的位错蠕变机制过渡,反映了中温糜棱岩的变形特征(胡玲,1998)。部分岩石中斜长石可沿一组裂隙发生滑移,形成很强的形态组构,沿裂隙还出现雏晶状细粒基质,反映了后期以显微破裂为主的低温糜棱岩变形现象的叠加。

2.2 石英

在部分岩石中保留了多晶石英条带,其单晶边界为锯齿状,颗粒近等轴,少量细条带中石英成矩形,反映了位错蠕变机制为主的中温变形。但在大

① 内蒙古地矿局第一区域地质研究院. 色尔腾山地区店梁等六幅 1:5 万区调报告.

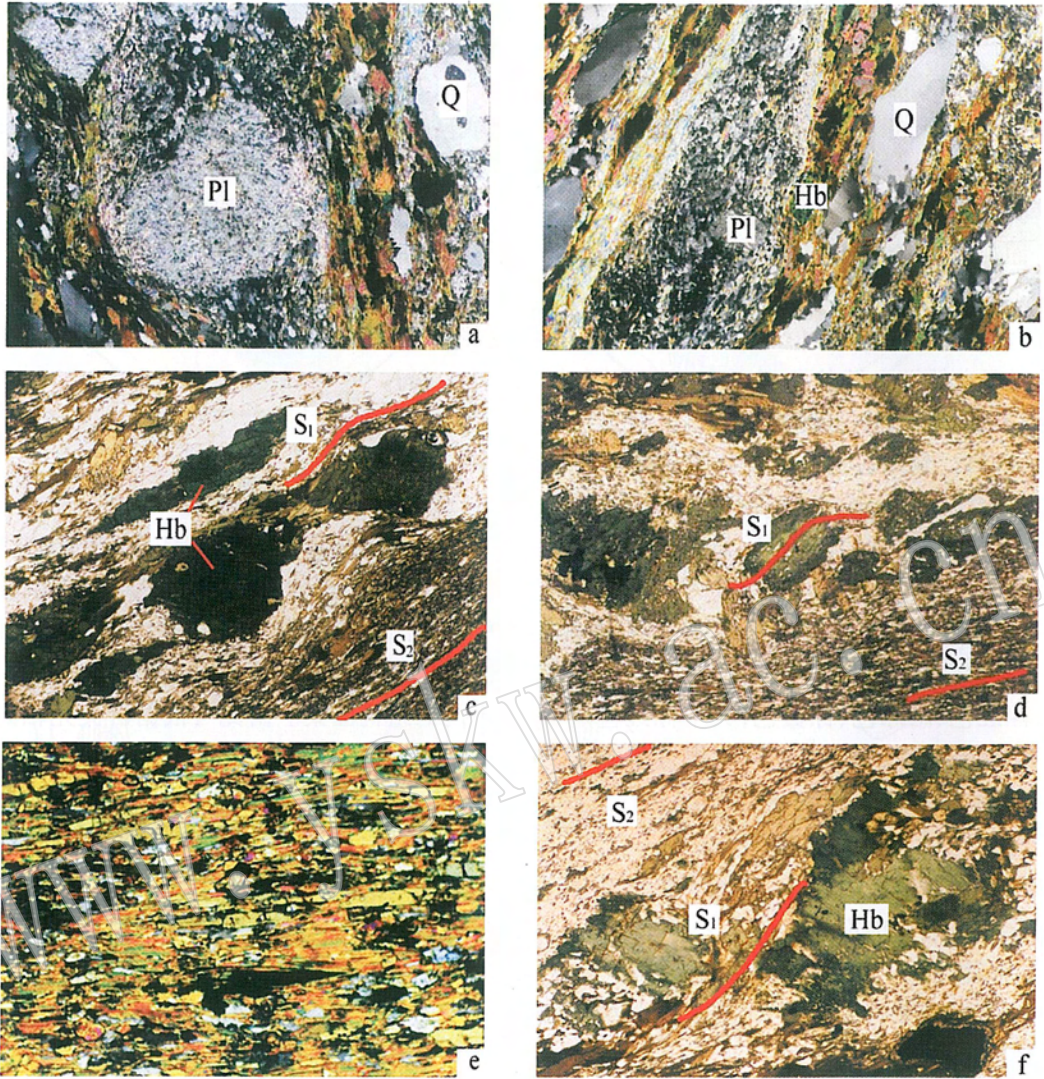


图 2 糜棱岩显微构造特征

Fig. 2 Microstructure of mylonites from Seerteng area

a—变余的斜长石核幔结构，其中斜长石为残斑，石英单晶为变斑晶，XS45，10×4(+)，d=5mm；b—变余糜棱结构，石英单晶为变斑晶，XS42，10×4(+)，d=5mm；c—角闪石残晶（绿褐色）、新晶（蓝绿色）及S₁面理，右下角为S₂面理，XS57，10×4(—)，d=5mm；d—角闪石环带（中心为浅绿色，边部为蓝绿色），S₁面理和S₂面理，XS57，10×4(—)，d=5mm；e—S₂面理，主要由静态重结晶的针状角闪石和斜长石组成，XS57，10×10(+), d=2mm；f—角闪石环带及变斑晶，XS48，10×4(—), d=5mm

a—Relic core and mantle texture of plagioclase, the plagioclase is a porphyroid crystal, and the quartz is a porphyroblast, XS45, 10×4(+), d=5mm; b—Relic mylonite texture, the quartz lens is a porphyroblast, XS42, 10×4(+), d=5mm; c—Amphibole porphyroblast (green brown) and porphyroblast (blue green), S₁ schistosity and S₂ schistosity, XS57, 10×4(—), d=5mm; d—The zone of amphibole (light green and blue), S₁ schistosity and S₂ schistosity, XS57, 10×4(—), d=5mm; e—S₂ schistosity; amphiboles and plagioclases formed in static recrystallization, XS57, 10×10(+), d=2mm; f—The zone of amphibole and porphyroblast, XS48, 10×4(—), d=5mm

部分中温糜棱岩中，石英常呈透镜状单晶（图2a、2b），岩石成变余糜棱结构，显示了变形之后的进变质重结晶作用。同时，单晶内消光带发育，部分变形为亚晶粒化发育的核幔结构或石英呈细长单晶丝状（边界为锯齿状），有少量动态重结晶的新晶粒，说明

了以位错滑移为主并逐渐向位错蠕变过渡的低温变形机制。上述变形现象反映石英经历了中温变形→升温变质重结晶→低温变形叠加这样的复杂过程。

2.3 角闪石

主要构成残斑，残斑尾部由暗绿色黑云母构成。

角闪石还常常发育环带构造,由中心向边缘环带,多色性有绿褐色→浅绿色→蓝绿色 3 种。中心的绿褐色环带内常因大量析出钛铁矿而显得表面脏化(图 2c),但其浅绿色或蓝绿色环带表面干净,当浅绿色环带较大时其内部包含有大量石英包裹体,并大致呈定向排列,还可见以石英和暗绿色黑云母构成的旋转尾部,而最外圈的蓝绿色将这种旋转尾部包含在其中(图 2d、2f)。角闪石除残斑外,也可见柱状蓝绿色角闪石变斑晶,表面干净但不具有残斑尾部,与发育在 S_2 面理内的细小针状角闪石多色性相同(图 2e)。另外,在部分薄片中还可见角闪石退变为绿泥石并析出钛铁矿。角闪石这种复杂环带等特点反映了早期变质(绿褐色)、由中温变形引起的退变(浅绿色)、进变质热重结晶(蓝绿色)和低温退变质过程。

2.4 黑云母

主要与角闪石共生,常构成其尾部或共同构成暗色矿物集合体,定向性强。本区的黑云母具有三种多色性,棕红色、暗绿色、棕黄色,其中棕红色黑云母常退变为暗绿色黑云母,而棕黄色黑云母主要与 S_2 面理中针状蓝绿色角闪石共生(图 2e)。

2.5 白云母

常与黑云母、绿帘石共生,部分可集中呈条带出现,个别白云母尾部可出现棕黄色黑云母小晶粒,表明有升温重结晶作用。在晚期低温糜棱岩变形中,云母片可构成残斑,并有大量绢云母出现(与绿泥石共生)。

2.6 磁铁矿

分布在由角闪石和黑云母组成的暗色矿物集合体中,或与蓝绿色角闪石共同结晶成藕节状,在暗色矿物集合体中的磁铁矿常发育椭圆石退变边,而单独与蓝绿色角闪石共同结晶的磁铁矿无这种退变现象,说明退变作用是由韧性变形引起的。其退变反应式为: $Hb + Ilm + H_2O \rightarrow Chl + Sph + Q$ ^①。由该反应式所限定的温度约在 500~550℃ 之间(靳是琴等, 1986)。

由上述岩石和矿物的显微构造变形变质特征可知,色尔腾山地区的糜棱岩可能经历了区域变质→中温糜棱岩退变质变形→进变质重结晶→低温糜棱岩退变质变形叠加这样一个较为复杂的变形及变质过程。各阶段的变形现象及新生矿物组合分别为:

(1) 区域变质:变质矿物组合为 $P1 + Q + Hl$ (绿褐色)+ B (棕红色)。

(2) 中温糜棱岩退变质变形: $S-C$ 组构、残斑结构等,退变质新生矿物组合: $P1 + Q + Hl$ (浅绿)+ Bi (暗绿色)+ $Ms + Ep$ 。

(3) 进变质结晶:新生矿物组合为 $P1 + Q$ (单晶透镜体)+ Hl (蓝绿色)+ B (棕黄色)。

(4) 低温糜棱岩退变质及变形:斜长石的显微破裂、石英的位错滑移等,新生矿物组合为 $P1 + Q + Ms + Chl$ 。

3 石英组构

矿物优选方位的形成是岩石的应变强度、运动方式、变形历史以及石英变形时滑移系的活动状况等多种因素影响的结果。在不同变形条件下,石英的塑性变形通过不同的滑移系而发生,从而表现出不同的组构图案。由此可根据石英光轴的优选方位图案,分析石英变形时的滑移系和变形及温度条件(胡玲, 1998, 1999)。本文选择了该区一条剪切带剖面中 4 件样品的石英进行了光轴组构的测定分析,其剖面及岩组图如图 3 和图 4。本文组构定向是以矿物线理方向为 X 轴, Y 轴垂直于 X 轴并位于片理面内, Z 轴垂直于 XY 面即片麻理面。岩组图采用上半球吴氏网投影,在波娄尼网上统计,并采用内插法绘制极密图。

诸组构图(图 4)中,最为显著的特征是发育以 Y 轴为旋转轴的小圆环带及近 Z 轴的点极密,反映

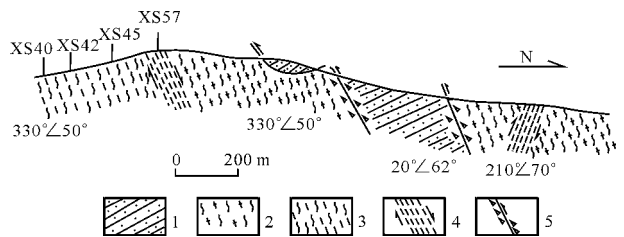


图 3 韧性剪切带剖面图

Fig. 3 Section of the ductile shear zone in Seerteng area

1—变质石英砂岩 2—花岗片麻岩 3—新太古代花岗绿岩;

4—韧性剪切带 5—脆性断层

1—metamorphic quartz sandstone; 2—granitic gneiss; 3—Neo-Archean granitic greenstone; 4—ductile shear zone; 5—brittle fault

① Hb —角闪石, Ilm —磁铁矿, Chl —绿泥石, Sph —榍石, Pl —斜长石, Q —石英, Ms —白云母, Bi —黑云母, Ep —绿帘石, And —红柱石, ky —蓝晶石, $sill$ —硅线石, 下同。

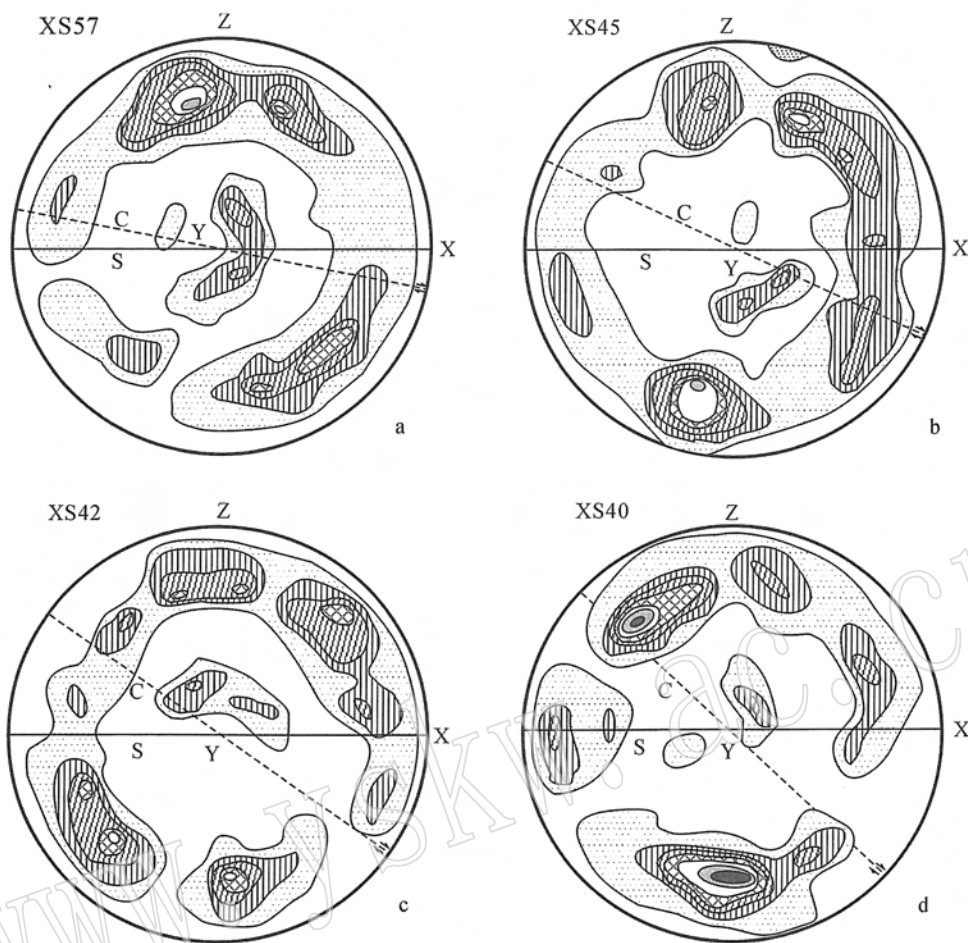


图4 糜棱岩的石英组构图

Fig.4 Quartz fabric diagram of mylonites

了中温糜棱岩的变形及低温糜棱岩变形的叠加。其中,以Y轴为旋转轴的小圆环带应代表石英在菱面($10\bar{1}1$)上沿a方向和c方向共同滑移的结果,滑移系为 $(10\bar{1}1)\langle a+c \rangle$;近Y轴点极密反映了柱面沿a方向的滑移,滑移系为 $(10\bar{1}0)\langle a \rangle$ 。二者所反映的变形温度区间为 $400\sim 600^{\circ}\text{C}$,与中温糜棱岩变形条件一致。近Z轴的点极密反映了在底面上沿a方向的滑移,滑移系为: $(0001)\langle a \rangle$,形成温度小于 400°C ,应代表低温糜棱岩变形条件。另外,上述样品组构的对称性较差,均近似单斜对称,说明岩石变形的受力方式应以简单剪切为主。

从组构图中可以看出,石英的组构主要反映岩石变形特征,而单纯的变质及重结晶作用因不能改变石英的光性方位而不产生组构。

4 矿物化学特征

为进一步验证该区糜棱岩显微构造所显示的复

杂变形变质过程,本文就上述剖面中的两件样品中斜长石残斑与新晶之间、角闪石环带成分的变化等进行了探针测试和矿物化学分析。糜棱岩变形的同时也伴随有变质作用,因此对不同矿物的化学特征分析既能了解变形前后的变质作用特点,也能了解变形时的变质作用。

4.1 斜长石

本文做了XS42和XS57两个样品中斜长石从残斑到新晶7个点的探针成分分析。同一样品中样号从1→2→3分别是残斑核部→边部→到新晶粒3个点,XS57还测试了 S_2 中与蓝绿色角闪石共生的斜长石新品(XS57-4)。分析结果见表1。

一般认为长石中钙长石分子的含量与变质程度有一定的关系。绿片岩相变质岩中,斜长石 An 约在 $0\sim 7$ 之间,为钠长石;在角闪岩相变质岩中, An 约在 $15\sim 30$ 之间,为更长石(靳是琴等,1986)。残斑及新晶的 An 牌号应分别代表变形前及变形时的

表 1 斜长石探针分析结果 $w_B/\%$

Table 1 Microprobe analyses of plagioclases

样号	XS42-1	XS42-2	XS42-3	XS57-1	XS57-2	XS57-3	XS57-4
SiO ₂	67.53	67.49	68.00	63.54	63.85	65.06	62.45
TiO ₂	0.20	0.10		0.01	0.15	0.09	0.19
Al ₂ O ₃	19.07	19.29	20.17	23.20	22.44	22.17	23.13
FeO		0.14	0.42	0.12	0.25	0.13	
MnO							0.16
MgO				0.02			
CaO	0.53	0.66	0.73	4.72	4.24	3.52	5.19
Na ₂ O	11.07	11.17	10.97	8.04	7.41	8.42	8.82
K ₂ O	1.01	0.25	0.53	0.12	0.07		0.02
TOTAL	99.41	99.10	100.82	99.77	98.41	99.39	99.56
以 8 个 O 为基础							
Si	2.98	2.98	2.96	2.81	2.84	2.87	2.77
Al	0.99	1.00	1.03	1.21	1.18	1.15	1.21
Ti	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Fe ²⁺	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Ca	0.03	0.03	0.03	0.22	0.20	0.17	0.25
Na	0.95	0.96	0.93	0.69	0.64	0.72	0.76
K	0.06	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
Ab	92.10	95.50	93.70	74.90	75.60	81.30	75.40
An	2.40	3.10	3.40	24.30	23.90	18.70	24.50
Or	5.50	1.40	2.90	0.80	0.50	0.00	0.10

由中国地质大学(北京)电子探针室测试。

变质条件。本文样品 XS42 位于绿片岩相区,样品 XS57 位于角闪岩相区,表明样品 XS42 中的斜长石在后期低温糜棱岩变形中已完全退变。样品 XS57 后期退变弱,从残晶到新晶 *An* 牌号的降低,说明在中温糜棱岩变形过程中相对变形前发生了退变质作用,而 *S*₂ 面理中斜长石新晶 *An* 牌号的升高则表明中温糜棱岩变形之后的变质重结晶发生了进变质作用。

4.2 角闪石

角闪石的环带及多色性反映了不同变质期次及变质条件的变化。本区角闪石成分分析结果见表 2。角闪石计算采用 13-CNK 法(Leak, 1997),即改变 Fe²⁺/Fe³⁺ 比值,将阳离子总数(不包括 Ca、K、Na)调整到 13,再换算出 Fe₂O₃ 和 FeO 来计算 Fe²⁺、Fe³⁺。计算结果表明本区角闪石均为钙质角闪石。利用 Ti-Al^{IV} 与变质相的关系(靳是琴, 1989)可知, XS57-1 和 XS57-3 位于角闪岩相区, XS57-2 位于绿帘角闪岩相区,说明 *S*₁ 面理内由绿褐色角闪石→浅绿色角闪石发生了退变质作用,而由浅绿色角闪石→蓝绿色角闪石则再次发生了进变质作用。这与显微构造中多晶石英条带普遍发育粒度加粗的重结晶

表 2 角闪石、白云母和绿泥石探针分析结果 $w_B/\%$

Table 2 Microprobe analyses of hornblendes, muscovite and chlorite

矿物	角闪石			白云母	绿泥石
	<i>N_g</i> 颜色	绿褐色	浅绿色		
样号	XS57-1	XS57-2	XS57-3	XS42	XS42
SiO ₂	43.49	46.08	43.42	47.47	26.25
TiO ₂	1.46	0.24	0.42	1.32	0
Al ₂ O ₃	9.68	7.45	10.82	29.57	19.39
FeO	18.00	17.10	19.60	5.18	25.70
Cr ₂ O ₃	0.03	0.03	0.00	0	0.17
MnO	0.46	0.34	0.18	0.04	0.37
MgO	9.61	10.42	9.09	1.80	14.54
CaO	10.53	10.64	10.98	0	0.05
Na ₂ O	1.22	1.04	1.86	0.34	0.03
K ₂ O	1.48	0.73	0.97	7.46	0.04
TOTAL	95.96	94.07	97.34	93.18	86.54
角闪石、白云母、绿泥石分别以 23、11 和 14 个氧为基础					
Si	6.59	7.03	6.52	3.24	5.63
Al ^{IV}	1.41	0.97	1.48	0.76	2.37
Al ^{VI}	0.32	0.37	0.43	1.61	2.53
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.69	0.61	0.69	0.00	0.00
Ti	0.17	0.03	0.05	0.07	0.00
Mg	2.17	2.37	2.04	0.18	4.65
Fe ²⁺	1.59	1.58	1.77	0.30	4.61
Mn	0.06	0.04	0.02	0.00	0.07
Ca	1.71	1.74	1.77	0.00	0.01
Na	0.36	0.31	0.54	0.05	0.01
K	0.29	0.14	0.19	0.65	0.01
Mg/(Mg + Fe ²⁺)				0.38	0.50

由中国地质大学(北京)电子探针室测试。

乃至石英单晶透镜体的出现、部分白云母边部出现棕色黑云母细小晶粒以及斜长石矿物化学特征等进变质重结晶现象相一致。

综合上述两种矿物的矿物化学特征,该区糜棱岩的变质作用过程大致为:低角闪岩相变质(XS57 斜长石残斑、XS57 绿褐色角闪石)→绿帘角闪岩相退变质(XS57 斜长石新晶、XS57 浅绿色角闪石、*S*₁ 面理)→角闪岩相进变质(XS57 斜长石新晶、蓝绿色角闪石、*S*₂ 面理)→绿片岩相退变质(XS42 斜长石及绿泥石)。另外,上述样品还显示该区岩石的升温进变质及绿片岩相退变质作用发育不均匀,与野外特征一致。

5 不同变形变质阶段温压条件分析

综合显微构造、石英组构和矿物化学等所反映

的变形及变质作用,本区糜棱岩经历了低角闪岩相区域变质→绿帘角闪岩相中温糜棱岩变形变质→角闪岩相进变质重结晶→中低绿片岩相低温糜棱岩退变质变形几个不同的演化阶段。对每一阶段变质温压条件探讨如下:

5.1 低角闪岩相区域变质阶段

用残斑斜长石-角闪石矿物对作温压计,其相应的温压条件为: $p = 0.52 \text{ GPa}$, $t = 594^\circ\text{C}$ (Blundy & Holland, 1990),为角闪岩相,代表了中温糜棱岩变形前的变质条件。

5.2 中温糜棱岩变形变质阶段

由角闪石(浅色环带)-斜长石(新晶)矿物对温度计,计算得到其相应的温压条件为: $p = 0.32 \text{ GPa}$, $t = 516^\circ\text{C}$,即中温糜棱岩变形条件为绿帘角闪岩相。这一结果与石英活动滑移系及由钛铁矿退变质为榍石反应温度(发生的温度大约在 $500 \sim 550^\circ\text{C}$) 等结果一致。与区域变质条件相比,发生了退变质作用。

5.3 进变质重结晶阶段

以(蓝绿色)角闪石-斜长石(S_2 面理中的新晶)矿物对作温压计,其相应的温压条件为: $p = 0.61 \text{ GPa}$, $t = 605^\circ\text{C}$,相当于高角闪岩相。在中温糜棱岩变形条件的基础上,重结晶发生了进变质作用。

5.4 低温糜棱岩退变质及变形阶段

低温糜棱岩的退变质变形矿物组合说明,本区低温糜棱岩变形变质条件相当于中低绿片岩相。以绿泥石-白云母矿物对作温压计(靳是琴等,1986),其相应的温压条件为: $p = 0.27 \text{ GPa}$, $t = 260^\circ\text{C}$ 。

由上述 4 个阶段的温压条件所做的 p - T - t 轨迹显示了在早期顺时针环基础上叠加一个逆时针环的复杂图像(图 5),与前人所得的简单的逆时针轨迹结论不同(金巍等,1992)。

6 演化过程讨论

综上所述,色尔腾山地区剪切带中的糜棱岩经历的变质变形几个不同演化阶段的演化过程大致为:

该区岩石首先在低角闪岩相区域变质的基础上发生了中温韧性剪切变形,并由于剪切变形的上升位移造成温压的相对降低而同时发生了绿帘角闪岩相的退变质作用。石英的中温组构对称性较差,表明剪切带的剪切变形应为单剪应力状态。

岩石在中温韧性剪切变形之后,再次受到升温

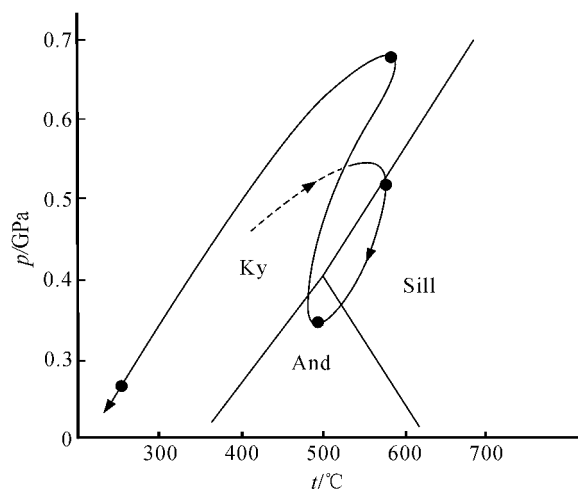


图 5 色尔腾山地区糜棱岩 p - T 轨迹

Fig. 5 p - T path of mylonites from Seerteng area

进变质作用,使本区中温糜棱岩受到了较普遍但不均匀的进变质重结晶作用。据区域资料,该区在结晶基底形成之后,发育有多期岩浆活动,但仅以 $1.4 \sim 1.6 \text{ Ga}$ 的中酸性侵入体规模大、数量多,具“面状”分布特点,而之后的岩浆活动规模均较小,以“点”状分布。因而推测,该次普遍但不均匀的进变质重结晶作用可能主要是受到此时期大规模岩浆活动而造成的地壳增厚作用有关。

随后随着地壳演化,在岩石整体逐渐抬升过程中,受到低温脆韧性变形及变质作用的改造。石英低温组构对称程度偏低可能说明低温变形以简单剪切为主。

致谢 野外工作中得到了葛文胜博士、龚羽飞博士的帮助,室内电子探针的测试得到了中国地质大学探针实验室陈卉泉高工的大力帮助,一并表示感谢!

References

- Blundy J D & Holland T J B. 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 104(2): 208-224.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Nei Mongolia Autonomous Region. 1991. *Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Hu Ling. 1998. *Introduction to Microstructural Geology*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Hu Ling. 1999. On the Fault Zone of the Northern Margin of Yanshan

- Orogenic Belt and Its West Section [D]. Beijing : China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Jin Shiqin. 1989. Calc-amphiboles of metamorphic rocks from different parts of the north China Platform [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences. 19(2): 141 ~ 147 (in Chinese with English abstract)
- Jin Shiqin and Li Hongchao. 1986. Introduction to Genetic Mineralogy (Upper and Low Volume [M]. Changchun : Publishing House of Jilin University (in Chinese).
- Jin Wei and Li Shuxun. 1992. The lithological association and geological features of early Proterozoic orogenic belt in Daqingshan , Nei Monggo [A]. Qian Xianglin and Wang Renmin. Geological Evolution of the Granulite Terrain in North Part of the North China Crator [C]. Beijing : Seismological Press , 32 ~ 42 (in Chinese).
- Jin Wei , Li Shuxun and Liu Xishan. 1992. Early Precambrian metamorphic rocks and early earth crust evolution in Daqingshan , Inner Mongolia [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences , 22 (3): 280 ~ 289 (in Chinese with English abstract).
- Leake 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.
- Li Jingchun , Zhao Ailin , Wang Li , et al . 2003. U-Pb isotope zircon age of Baiyanhua plagiogranite in Seerteng area , Inner Mongolia [J]. Acta Petrologica et Mineralogica , 22(3): 225 ~ 228 (in Chinese with English abstract).
- Li Shuxun , Xu Xuechun , Liu Xishan , et al . 1994. Early Precambrian Geology of Wulashan Region , Inner Mongolia [M]. Beijing : Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 胡 玲. 1998. 显微构造地质学概论 [M]. 北京 : 地质出版社 , 80 ~ 96.
- 胡 玲. 1999. 燕山北缘断裂带及其西延断裂研究 [博士论文 [D]. 北京 : 中国地质大学.
- IMA-CNMMN 角闪石专业委员会全体成员 (王立本译). 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]. 岩石矿物学杂志 , 2(1) 84 ~ 100.
- 靳是琴. 1989. 华北地台某些地区变质岩中的钙质角闪石 [J]. 长春地质学院学报 , 19(2): 141 ~ 147.
- 靳是琴, 李鸿超. 1986. 成因矿物学概论 (上、下册 [M]. 长春 : 吉林出版社.
- 金 巍, 李树勋. 1994. 内蒙古大青山地区早元古造山带的岩石组成及特征 [A]. 钱祥麟, 王仁民. 华北北部麻粒岩带地质演化 [C]. 北京 : 地震出版社 , 32 ~ 42.
- 金 巍, 李树勋, 刘喜山. 1992. 内蒙大青山早前寒武纪高级变质岩和早期陆壳的演化 [J]. 长春地质学院学报 , 22(3) 281 ~ 289.
- 李景春, 赵爱林, 王 力, 等. 2003. 内蒙古色尔腾地区白彦花斜长花岗岩锆石 U-Pb 年龄 [J]. 岩石矿物学杂志 , 22(3): 225 ~ 228.
- 李树勋, 徐学纯, 刘喜山, 等. 1994. 内蒙古乌拉山区早前寒武纪地质 [M]. 北京 : 地质出版社.
- 内蒙古自治区地质局. 1991. 内蒙古自治区区域地质志 [M]. 北京 : 地质出版社.

致 谢

2005 年度 , 许多地质学及相关学科的专家在百忙之中抽出时间 , 配合编辑部为本刊评审了稿件 , 为提高刊物质量做出了重要贡献。没有这些专家的辛勤劳动 , 本刊是不可能多方面取得进步的。为此 , 本刊编辑部特向他们表示衷心的感谢 !

这些专家有 (以汉语拼音为序)

鲍佩声	鲍志东	陈 鸣	陈柏林	陈克樵	陈天虎	储雪蕾	崔军文	邓万明	董发勤	杜乐天
范宏瑞	顾连兴	郭立鹤	韩 成	韩宝福	何明跃	和政军	洪大卫	胡宁静	黄文辉	简 平
姜 枚	姜在兴	金若谷	况 军	李 忠	李国武	李华芹	李锦轶	李立武	李曙光	李双应
李献华	李延河	刘福来	刘福生	刘玉琳	邱检生	任留东	任玉峰	沈其韩	沈渭洲	施倪承
史仁灯	孙桂英	汤集刚	万 朴	万渝生	王莉娟	王立本	王希斌	王新社	魏春景	吴才来
吴福元	吴宏海	肖金凯	肖庆辉	徐世琦	徐晓春	徐学义	薛传东	闫全人	杨崇辉	杨天南
杨晓勇	于炳松	於祖相	曾令森	张 旗	张成君	张成立	张建新	张泽明	张招崇	张作衡
章邦桐	赵振华	赵志新	郑海飞	郑文武	周永胜	朱金初	朱笑青			