

文章编号: 1000- 6524(2001) 02- 0134- 12

## 赣东北高压变质岩的岩石类型、 矿物组成与变质过程

高俊

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

**摘要:** 赣东北高压变质岩包括含硬玉霓辉石钠长角闪片岩、含硬玉霓辉石石英钠长石岩、含霓辉石角闪石石英钠长石岩、含霓辉石钠长角闪片岩、蓝透闪石石英钠长石岩、镁钠闪石石英钠长石岩等岩石类型。主要组成矿物为硬玉、霓辉石、镁钠闪石、蓝透闪石、镁角闪石、阳起石、石英、钠长石、金红石和榍石。研究表明, 高压变质峰期后经历了近等温降压退变质过程。

**关键词:** 高压变质岩; 岩石类型; 矿物组成; 变质过程

**中图分类号:** P588. 33; P588. 12\* 5

**文献标识码:** A

含钠质角闪石、钠质辉石等矿物的高压变质岩通常被认为是与俯冲作用密切相关的高压低温变质作用的产物<sup>[1]</sup>。虽然部分学者认为高压变质岩可形成于大型推覆构造带、大型走滑断裂带等构造环境<sup>[2~4]</sup>, 但全球出露的高压变质地体中的大多数都产出在会聚板块边界, 包括 Franciscan 俯冲杂岩代表的 B 型俯冲带(洋陆俯冲带) 和西阿尔卑斯代表的 A 型俯冲带(陆-陆碰撞带) 两个典型极端实例<sup>[5,6]</sup>, 所以高压变质岩的研究往往被视为揭示会聚板块边界构造过程的重要途径<sup>[7]</sup>。本文旨在通过对赣东北高压变质岩的岩石类型和矿物组成的初步研究, 讨论其变质过程, 为进一步认识赣东北碰撞造山过程提供基础资料。

### 1 区域地质概况与高压变质岩石的产状

西起弋阳县中港坂、樟树墩, 向北经漆工镇、德兴西湾、张村、绕二、茅桥、新岗山至婺源县汪口一带分布的赣东北断裂带是扬子板块九岭地体和华南板块怀玉地体间缝合带的一部分<sup>[8,9]</sup>(图 1)。它是由一系列 NE 向断裂, 蛇纹岩、辉长岩、变基性火山岩、硅质岩等外来岩块, 原双桥山群片理化复理石构成的基质和后期花岗岩类侵入体等构成的一条典型蛇绿混杂岩带<sup>[10]</sup>。基性岩块的 Sm-Nd、U-Pb 法测年和同位素地球化学特征表明蛇绿岩代表新元古代弧后盆地的残块<sup>[11~13]</sup>。但近年来含放射虫硅质岩在樟树墩蛇绿混杂岩等地点的陆续发现<sup>[14]</sup>和辉长岩岩块 233~ 266 Ma <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 法同位素年龄的获得<sup>[15]</sup>, 则可能支持 Hsu 等<sup>[16,17]</sup>有关该带可能为华南印支碰撞造山带一部分的设想。

高压变质岩残迹曾报道在蛇绿混杂岩带的弋阳樟树墩、德兴西湾和绕二三处发现<sup>[18]</sup>。

收稿日期: 2001- 03- 20; 修订日期: 2001- 04- 17

基金项目: 原地质矿产部青年地质学家基金资助项目(Qn979824)

作者简介: 高俊(1966-), 男, 研究员, 博士, 目前主要从事大陆造山带等方面的研究。

德兴西湾高压变质岩角闪石的 K-Ar 法和<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 法年龄可能说明高压变质作用发生在新元古代<sup>[19,20]</sup>。本文研究的样品采自德兴西湾作米坂村西蛇纹岩块中 1 m × 2 m 至 5 m × 6 m 大小不等的 8 个小岩块内(图 1)。岩块不规则地散布在蛇纹岩块的边部,两者之间为构造接触。此外,蛇纹岩块与东西两侧的双桥山群变杂砂岩、千枚岩亦为构造接触。

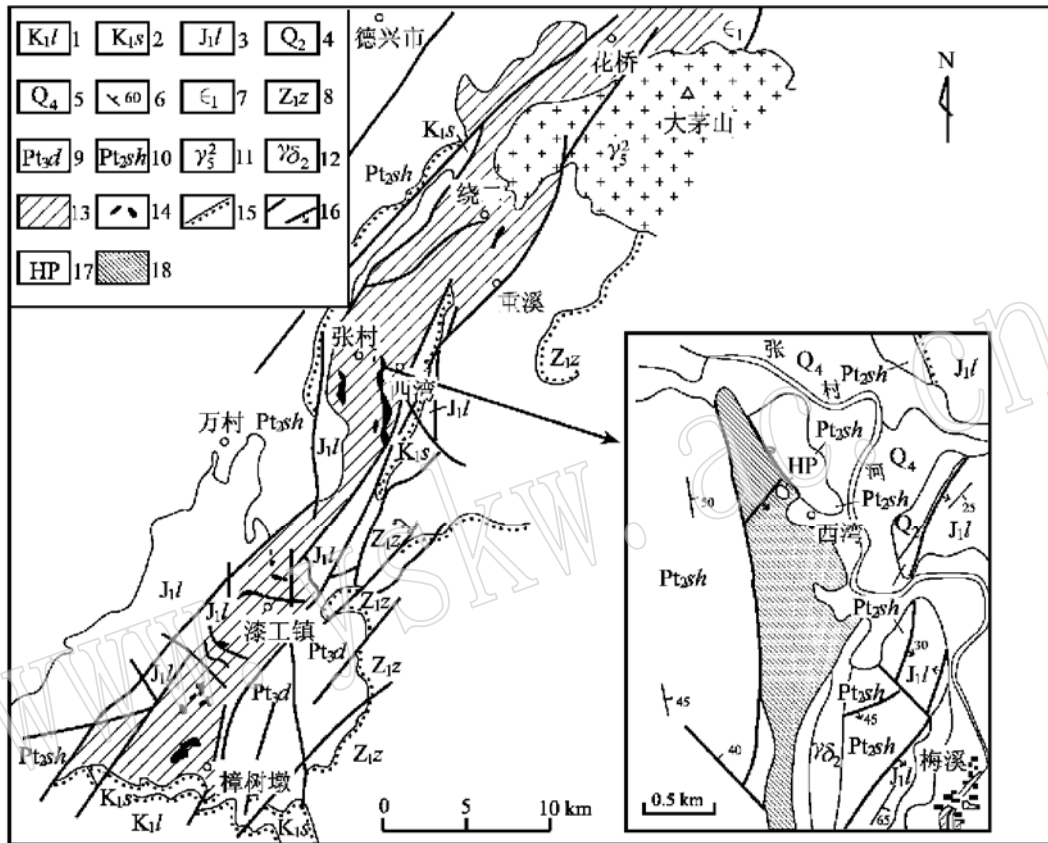


图 1 赣东北断裂带构造简图(据何科昭等<sup>[19]</sup>图改编)

Fig 1 Simplified tectonic map of the northeastern Jiangxi fault belt

- 1—下白垩统罗塘组; 2—下白垩统石溪组; 3—下侏罗统林山组; 4—中更新统; 5—全新统; 6—岩层产状; 7—下寒武统;
- 8—下震旦统志棠组; 9—新元古界登山群; 10—中元古界双桥山群; 11—燕山期花岗岩; 12—中元古代花岗闪长斑岩;
- 13—蛇绿混杂岩带; 14—蛇纹岩块; 15—地层不整合界线; 16—断层; 17—高压变质岩出露点; 18—含高压变质岩岩块的蛇纹岩块

## 2 高压变质岩的岩石类型

根据代表样品的详细岩相学研究, 高压变质岩石可划分为以下几种类型, 矿物含量见表 1。

含硬玉霓辉石钠长角闪片岩: 灰黑色, 呈夹层状产于含硬玉霓辉石石英钠长石岩之中, 由钠长石、石英、角闪石、硬玉、霓辉石、角闪石、榴石、钛铁矿和磷灰石等组成, 具糜棱岩化结构, 弱片理构造, 片理面代表产状为 5° < 70°, 由角闪石定向排列指示。钠长石(1~ 3 mm)呈斑晶颗粒产出, 边部发生糜棱岩化作用, 转变为 0.02~ 0.03 mm 大小的细粒重结晶石英。

硬玉呈残晶颗粒(0.5 mm × 1 mm)产于钠长石斑晶之中(照片1),而霓辉石与钛铁矿则生长于钠长石斑晶之间,并发生向阳起石的退变,亦可呈短柱状晶形被镁角闪石集合体包围(照片2)。镁钠闪石、阳起石则与少数绿辉石呈定向排列指示片理(照片3)。

表1 赣东北高压变质岩石的矿物含量

 $w_B/10^{-2}$ 

Table 1 Mineral constituents of high pressure metamorphic rocks in northeastern Jiangxi Province

岩石类型	硬玉	霓/含钠普通辉石	镁/蓝透闪石	镁/阳起石	钠长石	石英	绿泥石	滑石	金红石	磷灰石	榍石	钛铁矿
含硬玉霓辉石钠长角闪片岩	1	3	3	41	35	15				1		1
含硬玉霓辉石石英钠长石岩	2	7		1	75	13			1			1
含霓辉石钠长角闪片岩		5		69	20	5						1
含霓辉石角闪石英钠长石岩		1		2	55	41			0.5			0.5
蓝透闪石石英钠长石岩		1	7	3	45	42			1	0.5		0.5
镁钠闪石石英钠长石岩			9.5		75	14		0.5	0.5			0.5
阳起石英钠长石岩				5	70	23						1
绿泥石石英钠长石岩					85	10		4				1

含硬玉霓辉石石英钠长石岩:灰白-灰绿色,略带玉石光泽,由硬玉、霓辉石、钠长石、石英、阳起石、金红石、榍石组成,具糜棱岩化结构,块状构造,糜棱面理面产状 $40^\circ \sim 75^\circ$ 代表。岩石中局部产出 $5 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$ 大小的富角闪石团块构成的透镜体,在垂直糜棱面理面的断面上显示左行剪切运动,石英指示的拉伸线理倾伏 $50^\circ \sim 55^\circ$ 。钠长石呈碎斑( $2 \sim 3 \text{ mm}$ )颗粒产出,内含 $0.5 \text{ mm}$ 大小的硬玉残晶,外与霓辉石、榍石等共生(照片4);沿钠长石颗粒边缘发育细粒重结晶石英,少部霓辉石可退变为放射状阳起石。金红石沿边部转变为与霓辉石共生的榍石(照片5)。

含霓辉石钠长角闪片岩:灰黑色,亦呈薄层状产于含硬玉霓辉石石英钠长石岩之中,与含硬玉霓辉石钠长角闪片岩呈渐变过渡关系,弱片理面相互平行,但不含硬玉残晶,霓辉石呈细残晶或细短柱状产于镁角闪石集合体之中,暗色的角闪石层略定向指示片理,钠长石斑晶亦沿边部发生糜棱岩化作用,形成细粒石英。

含霓辉石角闪石英钠长石岩:灰-灰淡绿白色,具糜棱结构,块状构造,弱糜棱叶理面由定向拉伸石英指示,代表产状 $30^\circ \sim 70^\circ$ 。钠长石斑晶含量 $> 50\%$ ,细粒( $0.02 \sim 0.2 \text{ mm}$ )石英颗粒围绕钠长石斑晶分布,发生向阳起石退变的霓辉石与金红石、榍石呈不规则形态生长于细粒石英颗粒之中(照片6)。

蓝透闪石石英钠长石岩:灰白-灰黄色,与含硬玉霓辉石钠长角闪片岩渐变过渡,由钠长石、石英、蓝透闪石、阳起石、金红石、磷灰石等组成,亦具糜棱岩化结构,蓝透闪石-阳起石沿钠长石斑晶间分布,蓝透闪石与阳起石可构成同一矿物颗粒( $0.1 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm} \sim 0.2 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm}$ ),因成分变化,归属不同角闪石种类。蓝透闪石中还可以保存少量含钠普通辉石、霓辉石的残晶。钠长石斑晶表面发生绢云母化蚀变,颗粒边部为细粒化干净的石英。金红石呈包体产于蓝透闪石颗粒之中,而磷灰石( $0.2 \text{ mm} \times 0.3 \text{ mm}$ )则产于钠长石斑晶之间(照片7)。

镁钠闪石石英钠长石岩: 灰白夹蓝黑色斑点, 块状构造, 由镁钠闪石、石英、钠长石、金红石、榍石和少量滑石组成。钠长石斑晶(0.3 mm × 0.8 mm) 沿颗粒边部发生糜棱岩化作用形成细粒(0.02 mm × 0.04 mm) 重结晶石英。镁钠闪石(0.02 mm × 0.2 mm~ 0.04 mm × 0.4 mm) 呈放射状、毛发状生长在钠长石斑晶之间的基质细粒石英之中(照片 8), 无定向排列的趋势。

阳起石英钠长石岩和绿泥石英斜长石岩: 灰白色, 与含霓辉石角闪石英钠长石岩和镁钠闪石石英钠长石岩产出同一岩块中, 它们之间为渐变过渡关系。前者具糜棱岩化结构, 钠长石斑晶(2 mm × 3 mm) 沿边部发生糜棱岩化作用, 形成细粒重结晶石英, 阳起石呈长柱状或放射状产于钠长石之间的石英基质中。后者具变余细粒花岗结构, 斜长石颗粒(0.1 mm~ 1 mm) 表面有蚀变绢云母, 呈板条状晶形, 不发育糜棱岩化结构, 绿泥石充填斜长石与石英颗粒之间, 石英 0.5 mm × 0.8 mm 大小, 不发育波形消光等变形构造。

### 3 高压变质岩的矿物组成

构成赣东北高压变质岩石的主要矿物有钠质辉石类、钠质角闪石、钠钙角闪石、钙质角闪石、钠长石、石英, 副矿物有金红石、榍石、钛铁矿、磷灰石, 代表矿物的成分见表 2~ 4。矿物电子探针分析在中国地质科学院资源所电子探针室完成, 仪器型号 JEOL8800, 加速电压 20 kV, 电流  $2 \times 10^{-8}$  A; 标样使用天然矿物(K—Al—Si—正长石, Ca—硅灰石, Na—钠长石, Ti—金红石) 和人工合成矿物(Cr—Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe—Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn—MnO)。

钠质辉石类有硬玉、绿辉石、霓辉石和含钠普通辉石(图 2)。硬玉呈残晶赋存于钠长石斑晶之中(照片 1), 镜下为无色, 正高突起, 干涉色 I 级黄, C<sub>ANg</sub> 在 30°左右, 钠长石沿斜理面交代硬玉。JX15- 3 样品中的硬玉残晶接近纯硬玉, Jd > 96%, 而 JX5- 8 样品中的硬玉的 Jd 为 84%。绿辉石可与硬玉、霓辉石呈多晶集合体残晶产于钠长石斑晶中(照片 1), 也可呈残晶产于镁钠闪石与阳起石集合体之中(照片 3), 前者 Jd 含量 69%, 后者 42%。除少数霓辉石可与硬玉、绿辉石构成多晶集合体残晶外, 大多数霓辉石呈短柱状、放射状或不规则晶形与细粒重结晶石英共生于钠长石斑晶之间(照片 4, Jd 7~ 12%), 亦有少数霓辉石呈短柱状产于角闪石集合体之中(照片 2, Jd > 10%)。含钠普通辉石与霓辉石共生, 或作为霓辉石的边部环带产出, 只是 Na<sub>2</sub>O 的含量相对较低(< 2.35%), 致使 Jd 分子含量亦较低(< 8%)。

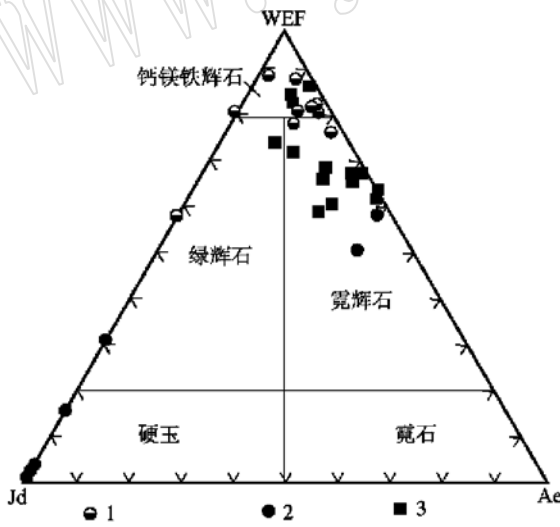


图 2 赣东北高压变质岩钠质辉石成份 (分类据 Morimoto<sup>[21]</sup>)

Fig. 2 Sodic pyroxene composition of high-pressure metamorphic rocks in northeastern Jiangxi  
1—被后期退变质角闪石包围的辉石; 2—钠长石斑晶中的残晶辉石; 3—钠长石斑晶间未发生退变的辉石



表 3 赣东北高压变质岩代表角闪石的成分

样品号	JX18-2						JX18-3						JX15-8						JX15-6						JX15-5A						JX14-2											
	镁钠闪石石英钠长石岩												含硬玉翡翠石英钠长角闪片岩												蓝透闪石石英钠长片岩						含霞辉石英钠长角闪片岩						含霞辉石英角闪石英钠长石岩					
矿物名称	Mri	Mri	Mri	Mri	Mri	Mri	Mri	Mri	Mri	Mri	Mri	Mri	Mho	Mho	Mho	Mho	Mho	Mho	Win	Win	Win	Win	Win	Win	Mbo	Mbo	Mbo	Mbo	Mbo	Mbo	Act	Act	Act	Act	Act	Act	Act	Act	Act	Act	Act	Act
SiO <sub>2</sub>	57.08	56.51	55.87	56.32	56.24	56.42	55.57	57.01	56.00	55.80	55.18	56.85	57.67	56.26	55.53	55.31	54.00	56.59	57.24	57.08	56.51	55.87	56.32	56.24	56.42	55.57	57.01	56.00	55.80	55.18	56.85	57.67	56.26	55.53	55.31	54.00	56.59	57.24				
TiO <sub>2</sub>	0.74	0.45	0.66	0.44	0.57	0.70	0.51	0.03	0.08	0.06	0.08	0.04	0.05	0.07	0.14	0.12	0.12	0.34	0.23	0.74	0.45	0.66	0.44	0.57	0.70	0.51	0.03	0.08	0.06	0.08	0.04	0.05	0.07	0.14	0.12	0.12	0.34	0.23				
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.04	0.03	0	0	0.01	0.02	0	0.03	0	0.02	0.03	0.02	0	0	0	0.03	0.03	0.02	0.01	0.04	0.03	0	0	0.01	0.02	0	0	0	0.01	0.03	0.03	0.02	0	0	0.03	0.03	0.02				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.39	0.44	0.40	0.53	0.76	0.66	0.55	1.16	0.52	0.70	0.93	0.91	0.80	0.30	0.06	0.08	4.34	0.26	0.55	0.39	0.44	0.40	0.53	0.76	0.66	0.55	1.16	0.52	0.70	0.93	0.91	0.80	0.30	0.06	0.08	4.34	0.26	0.55				
MgO	10.63	9.87	8.50	8.31	9.08	9.58	9.55	17.45	14.22	14.15	14.83	18.24	17.14	16.59	14.10	13.82	15.68	15.92	16.66	10.63	9.87	8.50	8.31	9.08	9.58	9.55	17.45	14.22	14.15	14.83	18.24	17.14	16.59	14.10	13.82	15.68	15.92	16.66				
CaO	0.13	0.11	0.36	0.10	0.08	0.09	0.09	1.84	9.11	8.47	12.08	4.69	4.81	12.26	8.50	8.50	10.89	9.76	10.19	0.13	0.11	0.36	0.10	0.08	0.09	0.09	1.84	9.11	8.47	12.08	4.69	4.81	12.26	8.50	8.50	10.89	9.76	10.19				
MnO	0.09	0.08	0.12	0.08	0.06	0.03	0.07	0.26	0.12	0.13	0.10	0.24	0.27	0.11	0.13	0.23	0.07	0.06	0.06	0.09	0.08	0.12	0.08	0.06	0.03	0.07	0.26	0.12	0.13	0.10	0.24	0.27	0.11	0.13	0.23	0.07	0.06	0.06				
FeO*	22.25	22.24	24.26	25.31	23.67	23.33	8.41	11.08	14.77	15.44	13.40	12.34	11.79	11.43	14.97	15.32	10.14	12.55	11.15	22.25	22.24	24.26	25.31	23.67	23.33	8.41	11.08	14.77	15.44	13.40	12.34	11.79	11.43	14.97	15.32	10.14	12.55	11.15				
Na <sub>2</sub> O	6.44	6.64	7.24	7.26	6.86	6.67	6.57	7.87	2.11	2.06	6.68	3.59	4.50	0.53	1.97	2.22	1.55	1.83	1.16	6.44	6.64	7.24	7.26	6.86	6.67	6.57	7.87	2.11	2.06	6.68	3.59	4.50	0.53	1.97	2.22	1.55	1.83	1.16				
K <sub>2</sub> O	0.03	0.04	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.07	0.59	0.90	0.10	0.14	0.15	0.06	0.89	0.89	0.21	0.16	0.09	0.03	0.04	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.07	0.59	0.90	0.10	0.14	0.15	0.06	0.89	0.89	0.21	0.16	0.09				
总量	97.80	96.40	97.50	98.38	97.34	97.52	96.28	96.76	97.56	97.70	97.40	97.05	97.19	97.60	96.30	96.49	97.01	97.49	97.34	97.80	96.40	97.50	98.38	97.34	97.52	96.28	96.76	97.56	97.70	97.40	97.05	97.19	97.60	96.30	96.49	97.01	97.49	97.34				
Si	8.134	8.171	8.031	8.039	8.087	8.093	8.073	7.695	8.061	8.060	7.958	7.920	7.996	8.022	8.143	8.093	7.656	8.142	8.142	8.134	8.171	8.031	8.039	8.087	8.093	8.073	7.695	8.061	8.060	7.958	7.920	7.996	8.022	8.143	8.093	7.656	8.142	8.142				
Al <sup>IV</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0.185	0	0	0.042	0.080	0.004	0	0	0	0.344	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.185	0	0	0.042	0.080	0.004	0	0	0	0.344	0	0				
Al <sup>VI</sup>	0.065	0.074	0.068	0.090	0.129	0.111	0.095	0	0.088	0.119	0.116	0.069	0.126	0.051	0.011	0.014	0.380	0.043	0.092	0.065	0.074	0.068	0.090	0.129	0.111	0.095	0	0.088	0.119	0.116	0.069	0.126	0.051	0.011	0.014	0.380	0.043	0.092				
Ti	0.080	0.049	0.071	0.047	0.061	0.076	0.055	0.003	0.008	0.006	0.009	0.004	0.005	0.007	0.016	0.014	0.012	0.036	0.024	0.080	0.049	0.071	0.047	0.061	0.076	0.055	0.003	0.008	0.006	0.009	0.004	0.005	0.007	0.016	0.014	0.012	0.036	0.024				
Cr	0.001	0.004	0.003	0	0	0.001	0.002	0	0.004	0	0.003	0.003	0.002	0	0.001	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.004	0.003	0	0	0.001	0.002	0	0.004	0	0.003	0.003	0.002	0	0.001	0.003	0.003	0.002	0.002				
Fe <sup>3+</sup>	1.281	1.335	1.733	1.739	1.482	1.400	1.494	1.250	0.251	0.159	0.078	0.945	1.050	0.026	0.063	0.235	0.323	0.256	0	1.281	1.335	1.733	1.739	1.482	1.400	1.494	1.250	0.251	0.159	0.078	0.945	1.050	0.026	0.063	0.235	0.323	0.256	0				
Fe <sup>2+</sup>	1.370	1.354	1.183	1.282	1.365	1.398	1.339	0	1.527	1.707	1.539	0.493	0.317	1.337	1.773	1.640	0.879	1.237	1.326	1.370	1.354	1.183	1.282	1.365	1.398	1.339	0	1.527	1.707	1.539	0.493	0.317	1.337	1.773	1.640	0.879	1.237	1.326				
Mg	2.259	2.127	1.821	1.769	1.946	2.049	2.068	3.511	3.051	3.047	3.187	3.788	3.542	3.527	3.083	3.014	3.315	3.376	3.533	2.259	2.127	1.821	1.769	1.946	2.049	2.068	3.511	3.051	3.047	3.187	3.788	3.542	3.527	3.083	3.014	3.315	3.376	3.533				
Mn	0.011	0.009	0.015	0.009	0.007	0.003	0.008	0.030	0.015	0.016	0.012	0.028	0.032	0.013	0.016	0.029	0.008	0.007	0.007	0.011	0.009	0.015	0.009	0.007	0.003	0.008	0.030	0.015	0.016	0.012	0.028	0.032	0.013	0.016	0.029	0.008	0.007	0.007				
Ca	0.020	0.017	0.055	0.016	0.012	0.014	0.014	0.265	1.406	1.311	1.867	0.700	0.714	1.873	1.336	1.332	1.654	1.488	1.553	0.020	0.017	0.055	0.016	0.012	0.014	0.014	0.265	1.406	1.311	1.867	0.700	0.714	1.873	1.336	1.332	1.654	1.488	1.553				
Na	1.780	1.860	2.019	2.009	1.911	1.855	1.852	2.060	0.590	0.576	0.190	0.970	1.211	0.145	0.559	0.629	0.425	0.504	0.320	1.780	1.860	2.019	2.009	1.911	1.855	1.852	2.060	0.590	0.576	0.190	0.970	1.211	0.145	0.559	0.629	0.425	0.504	0.320				
K	0.006	0.008	0.010	0.007	0.005	0.005	0.005	0.012	0.109	0.165	0.019	0.025	0.026	0.011	0.167	0.166	0.038	0.030	0.016	0.006	0.008	0.010	0.007	0.005	0.005	0.005	0.012	0.109	0.165	0.019	0.025	0.026	0.011	0.167	0.166	0.038	0.030	0.016				
Na(M4)	1.78	1.86	2.00	2.00	1.91	1.86	1.85	2.00	0.59	0.58	0.19	0.97	1.21	0.15	0.60	0.63	0.43	0.50	0.32	1.78	1.86	2.00	2.00	1.91	1.86	1.85	2.00	0.59	0.58	0.19	0.97	1.21	0.15	0.60	0.63	0.43	0.50	0.32				

FeO\* 为全铁; Mri—镁钠闪石; Mho—镁角闪石; Win—蓝透闪石; Act—阳起石

钠质角闪石主要呈放射状、针状集合体与细粒重结晶石英产于钠长石斑晶之间(照片8),多色性明显, $N_p$ —蓝黑色, $N_m$ —深蓝色, $N_g$ —蓝色,消光角 $N_p \wedge c$ 小于 $15^\circ$ 。少数浅蓝色钠质闪石内含绿辉石残晶,外与阳起石构成同一颗粒。该类闪石的 $Al_2O_3$ 含量较低,按Leake<sup>[22]</sup>分类为镁钠闪石(图3-A)。

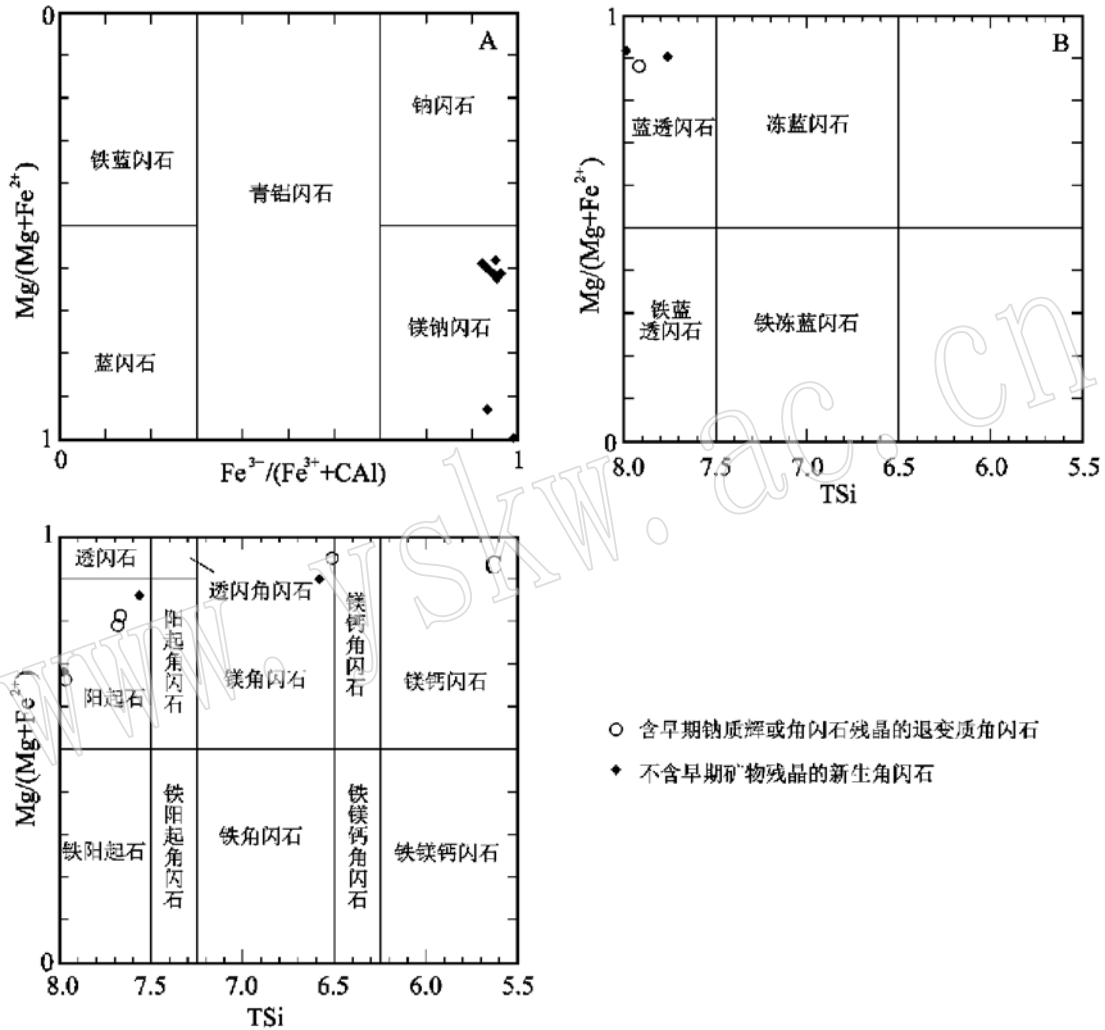


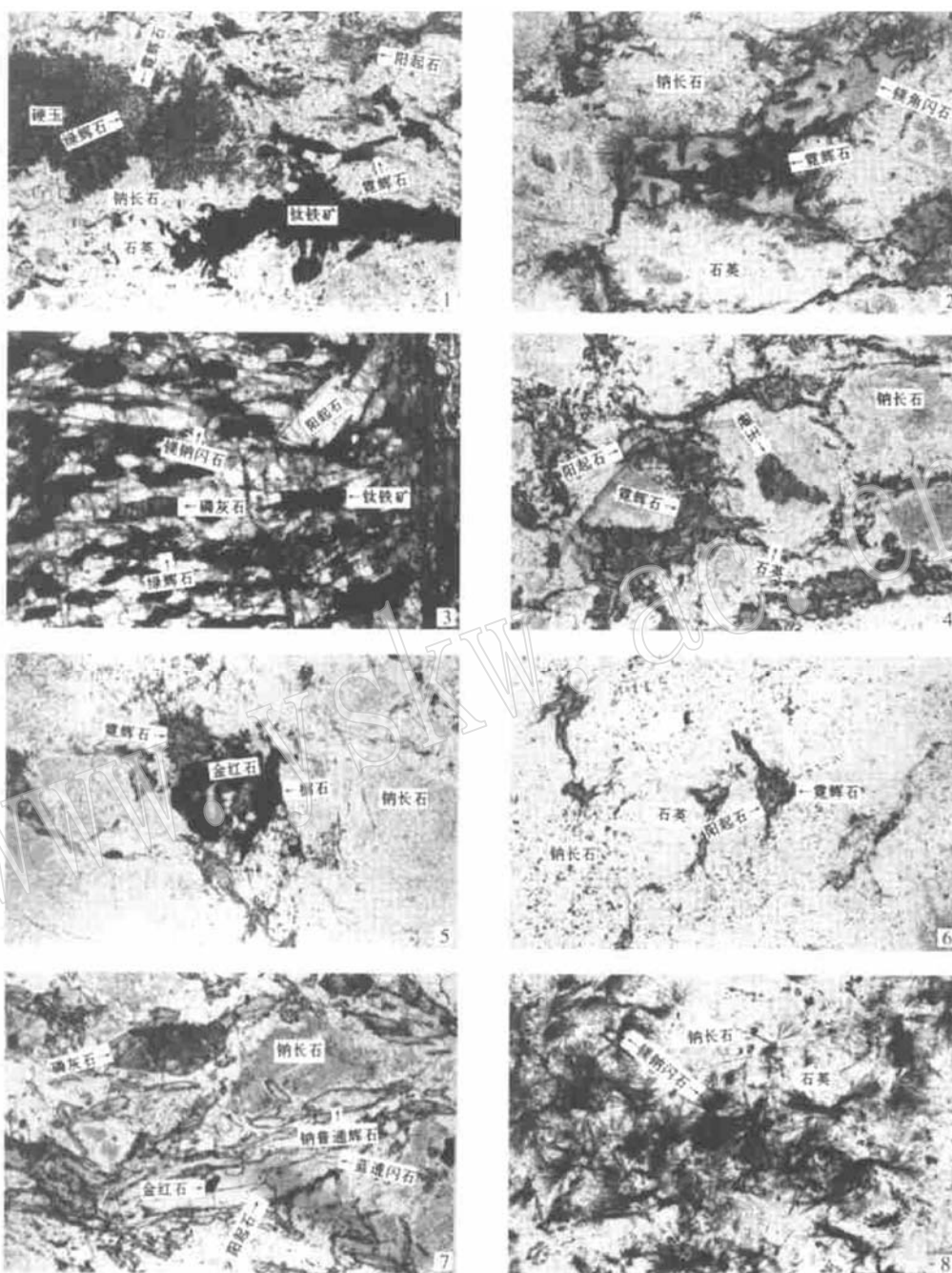
图3 赣东北高压变质岩角闪石成份(分类据Leake<sup>[22]</sup>)

Fig. 3 Amphibole composition of high-pressure metamorphic rocks in northeastern Jiangxi

A—钠质角闪石; B—钠钙角闪石; C—钙角闪石

钠钙角闪石呈 $0.05\text{ mm} \times 0.2\text{ mm} \sim 0.2\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 左右的长柱状颗粒定向排列指示弱理构造,主要分布于钠长石斑晶颗粒之间,少部分亦产于钠长石斑晶之中,并含有少量含钠普通辉石和霓辉石残晶,边部可转化为阳起石。 $Na_2O$ 含量 $3.59\% \sim 4.50\%$ ,按Leake<sup>[22]</sup>的分类为蓝透闪石(图3-B)。具弱多色性, $N_p$ —淡蓝色, $N_m$ —蓝灰色, $N_g$ —无色。

钠长石是高压变质岩石的主要组成矿物,个别样品中其含量可达 $75\%$ 。呈残斑颗粒( $1 \sim 4\text{ mm}$ )产出,内可含硬玉、绿辉石、霓辉石的包体矿物,表面一般都有绢云母化蚀变,沿颗



照片 1~ 8 赣东北高压变质岩的显微构造

Photo 1~ 8 Micro textures of high pressure metamorphic rocks in northeastern Jiangxi Province

照片 1 含硬玉霓辉石钠长角闪片岩钠长石斑晶中的硬玉-绿辉石-霓辉石包体和斑晶间的霓辉石、阳起石、钛铁矿, 单偏光, 照片长边 1.5 mm, JX15- 8; 照片 2 含硬玉霓辉石钠长角闪片岩短柱状霓辉石与镁角闪石集合体, 单偏光, 照片长边 2 mm, JX15- 8; 照片 3 含硬玉霓辉石钠长角闪片岩绿辉石残晶、镁钠闪石、阳起石、磷灰石、钛铁矿组合, 单偏光, 照片长边 2 mm, JX15- 8; 照片 4 含硬玉霓辉石石英钠长石岩钠长石斑晶内的硬玉包体、斑晶间的霓辉石集合体, 单偏光, 照片长边 3 mm, JX15- 3; 照片 5 含硬玉霓辉石石英钠长石岩金红石向榭石退变结构, 单偏光, 照片长边 3 mm, JX15- 3; 照片 6 含霓辉石阳起石石英钠长石岩阳起石集合体与霓辉石残晶, 单偏光, 照片长边 3 mm, JX14- 2; 照片 7 蓝透闪石石英钠长石岩蓝透闪石中的含钠普通辉石残晶和金红石包体, 单偏光, 照片长边 1.5 mm, JX15- 6; 照片 8 镁钠闪石石英钠长石岩中的放射状镁钠闪石, 单偏光, 照片长边 2 mm, JX18- 2



粒边部发生糜棱岩化作用,形成 0.02~0.06 mm 细粒重结晶石英颗粒。霓辉石、镁钠闪石、蓝透闪石、镁角闪石和阳起石均可生长在钠长石斑晶之间。钠长石的成分显示 Ab 组成含量 > 90% (表 4)。

钙质角闪石既可作为霓辉石、含钠普通辉石退变质形成的多晶集合体(照片 6),也可作为 0.2 mm × 0.8 mm 左右的长柱状颗粒与镁钠闪石构成面理(照片 3),镜下颜色从淡绿色至无色变化,按 Leake<sup>[22]</sup>的分类,主要包括阳起石和镁角闪石 2 种(图 3- C)。

表 4 赣东北高压变质岩代表金红石、榍石、滑石和钠长石的成份

Table 4 Chemical compositions of representative rutile, sphene, talc and albite of high- pressure metamorphic rocks in northeastern Jiangxi Province

样品号	JX15- 3			JX15- 4		JX18- 3
	含硬玉霓辉石石英钠长石岩			含霓辉石角闪石英钠长石岩		镁钠闪石石英钠长石岩
矿物名称	Ab	Rt	Spn	Ab	Ab	Tc
SiO <sub>2</sub>	67.77	0.03	30.35	69.22	68.85	62.52
TiO <sub>2</sub>	0.10	98.71	40.01	0.01	0	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.03	0.07	0	0.01	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.06	0.02	0.28	19.98	18.94	0.86
MgO	0	0	0	0	0.01	25.11
CaO	0.39	0.24	27.35	0.46	0.02	0.01
MnO	0	0.02	0.01	0	0	0.03
FeO*	0.18	0.06	0.47	0	0.14	8.41
Na <sub>2</sub> O	10.70	0.01	0.37	10.82	11.51	0.15
K <sub>2</sub> O	0.25	0.02	0.01	0.25	0.02	0.04
总量	99.45	99.13	98.92	100.74	99.50	97.16
Si	2.975	0	1.014	2.994	3.018	4.016
Al <sup>IV</sup>	0.003	0	0	0.006	0	0
Al <sup>VI</sup>	1.034	0	0.009	1.012	0.978	0.065
0.001	0.003	0.997	0.974	0	0	0
Cr	0	0	0.002	0	0	0
Fe <sup>3+</sup>	0	0	0	0	0	0
Fe <sup>2+</sup>	0.007	0.001	0.009	0.001	0.005	0.452
Mg	0	0	0	0	0.001	2.404
Mn	0	0	0	0	0	0.002
Ca	0.018	0.003	0.998	0.021	0.001	0.001
Na	0.911	0	0.004	0.907	0.978	0.019
K	0.014	0	0	0.013	0.001	0.003
O	8	2	5	8	8	12

FeO\* 为全铁; Ab—钠长石; Rt—金红石; Spn—榍石; Tc—滑石

金红石可呈细小包体(0.02 mm × 0.05 mm)产于蓝透闪石颗粒中(照片 7),也可为 0.3 mm 左右的周边退变为榍石的颗粒与霓辉石共同产于钠长石残斑之间(照片 5)。TiO<sub>2</sub> 含量 > 98% (表 4)。少数滑石与镁钠闪石共生产于钠长石残斑之间, MgO 含量达 25% (表 4)。

#### 4 赣东北高压变质岩石的变质过程讨论

高压变质岩保存的主要矿物组合为硬玉+ 霓辉石+ 镁钠闪石+ 阳起石(镁角闪石)+ 钠

长石+ 石英+ 金红石/ 榍石/ 钛铁矿/ 磷灰石, 含钠普通辉石+ 蓝透闪+ 阳起石+ 钠长石+ 石英+ 金红石+ 磷灰石和镁钠闪石+ 钠长石+ 石英+ 滑石+ 金红石+ 榍石/ 钛铁矿。这些矿物组合中, 硬玉和少数绿辉石/ 霓辉石呈残晶颗粒产于钠长石斑晶中, 金红石颗粒处于榍石反应边和蓝透闪石颗粒之中, 这些结构表明硬玉(少数绿辉石、霓辉石)和金红石可能为现存的最早一期高压变质矿物组合。蓝透闪石含有含钠普通辉石的残晶、钠长石斑晶之间的阳起石和镁钠闪石往往含有霓辉石和含钠普通辉石的残晶等结构, 可能暗示了由钠质辉石向蓝透闪石的退变质。部分蓝透闪石边部可转化为阳起石则证实了更进一步的退变质作用。而显微结构显示共生的霓辉石+ 钠长石+ 石英+ 钛铁矿/ 榍石, 蓝透闪石+ 钠长石+ 石英+ 磷灰石和镁钠闪石+ 钠长石+ 石英+ 榍石/ 磷灰石矿物共生组合则代表了现存的主期高压变质矿物组合。

由于最早矿物组合仅残存少数硬玉、绿辉石、霓辉石和金红石, 致使没有合适的温度计来确定变质温度; 但根据 Holland<sup>[23-24]</sup> 标定的硬玉+ 石英= 钠长石变质反应, 早期变质作用在 400 °C 温度下, 压力可达 1.2 GPa。钠长石中辉石包体可由硬玉向绿辉石、霓辉石转变得来(照片 1), Jd 含量由 84%、经 69% 降至 10%, 则指示了一个降压过程。基质钠质辉石的 Jd 含量可由 42% 降至 6%, 由霓辉石/ 绿辉石变为含钠普通辉石, 而含钠普通辉石又可向蓝透闪石转变。这种钠质辉石 Jd 含量的降低和钠质辉石向钠钙闪石的转变与许多地区榴辉岩的退变质后成晶的形成相类似, 代表了一近等温降压过程<sup>[25]</sup>。而日本三波川高压变质带的研究说明蓝透闪石一般稳定在 300~ 420 °C,

0.4~ 0.8 GPa 条件下<sup>[26]</sup>。所以, 我们推测赣东北高压变质岩保存的早期变质矿物组合(可能为峰期)代表的温压条件可能为 400 °C、1.2 GPa。基质镁钠闪石、蓝透闪石、镁角闪石和阳起石 M4 位的 Na 由 2.00、1.91、1.86, 经 1.21、0.97、0.58 逐渐降至 0.15(表 3), 反映退变质过程中压力由 0.7 GPa 经 0.6 GPa、0.5 GPa 降至 0.2 GPa<sup>[27]</sup>。金红石向榍石的转变在 400 °C 条件下估计压力为 0.2 GPa<sup>[25]</sup>。总之, 由于峰期变质矿物呈残晶产出, 而且缺乏合适的温度计来定量计算温压条件, 这里仅根据标定的变质反应定性估计峰期变质温压条件, 推

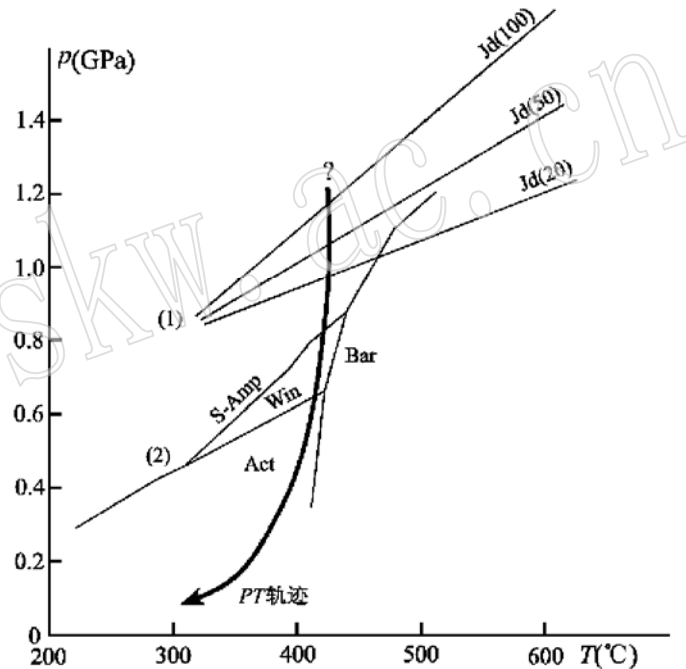


图 4 赣东北高压变质岩的  $PT$  演化轨迹

Fig. 4  $PT$  evolutionary track of high-pressure metamorphic rocks in northeastern Jiangxi

1—标定的硬玉+ 石英= 钠长石反应据文献[23, 24]; 2—蓝透闪石(Win)、冻蓝闪石(Bar)、阳起石(Act)、钠质角闪石(S-Amp)稳定范围据文献[26]

测赣东北高压变质岩的退变质为一近等温降压过程(图4)。鉴于高压变质岩石中的钠长石颗粒沿边部发生主糜棱岩化作用,形成细粒重结晶石英,而细粒石英与霓辉石和镁钠闪石共生,所以我们推断近等温降压过程伴随较强的韧性剪切主变形作用,即高压变质岩石的折返与碰撞造山过程中的韧性推覆或伸展运动相关。

#### 参考文献:

- [1] Ernst W G. Systematics of large-scale tectonics and age progression in Alpine and Circum-Pacific blueschist belts[J]. *Tectonophysics*, 1975, 26: 229~ 246.
- [2] Rubie D C. A thermal tectonic model for high-pressure metamorphism and deformation in the Sesia zone, Western Alps[J]. *Journal of Geology*, 1984, 92: 21~ 36.
- [3] Schermer E R. Mechanisms of blueschist creation and preservation in an A-type subduction zone, Mount Olympus region, Greece[J]. *Geology*, 1990, 18: 1130~ 1133.
- [4] 叶慧文, 张兴洲, 周裕文. 牡丹江地区蓝片岩脉状青铝闪石<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄及其地质意义[J]. *长春地质学院学报*, 1994, 24(4): 370~ 372.
- [5] Ernst W G. Tectonic history of subduction zones inferred from retrograde blueschist P-T paths[J]. *Geology*, 1988, 16: 1081~ 1084.
- [6] Maruyama S, Liou J G, Terabayashi M. Blueschists and eclogites of the world and their exhumation[J]. *International Geology Review*, 1996, 38: 485~ 594.
- [7] Schreyer W, Stockhert B. High-pressure metamorphism in nature and experiment[J]. *Lithos*, 1997, 41: 1~ 4.
- [8] 舒良树, 施央申, 郭令智, 等. 江南中段板块-地体构造与碰撞造山运动学[M]. 南京: 南京大学出版社, 1995.
- [9] 何科昭, 赵崇贺, 乐昌硕, 等. 板溪群构造属性的再认识与思考[J]. *地学前缘*, 1999, 6(4): 353~ 362.
- [10] 赵建新, 李献华, McCulloch M T, 等. 皖南和赣东北蛇绿岩成因及其构造意义: 元素和 Sm-Nd 同位素制约[J]. *地球化学*, 1995, 24(4): 311~ 326.
- [11] 徐备, 郭令智, 施央申. 皖浙赣地区元古代地体和多期碰撞造山带[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [12] Chen J, Foland K A, Xing F, et al. Magmatism along the southeast margin of the Yangtze block: Precambrian collision of the Yangtze and Cathaysia block of China[J]. *Geology*, 1991, 19: 815~ 818.
- [13] 李献华, 周国庆, 赵建新. 赣东北蛇绿岩的离子探针锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. *地球化学*, 1994, 23(2): 125~ 131.
- [14] 赵崇贺, 何科昭, 莫宣学. 赣东北深断裂带蛇绿混杂岩中含晚古生代放射虫硅质岩的发现及其意义[J]. *科学通报*, 1995, 40(22): 2161~ 2163.
- [15] 赵崇贺, 何科昭, 郜道乾. 赣东北重要火山岩的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄[J]. *地球科学*, 1997, 22(3): 257~ 260.
- [16] Hsu K J, Sun S, Li J, et al. Mesozoic overthrust tectonics in south China[J]. *Geology*, 1988, 16: 418~ 421.
- [17] Hsu K J, Li J, Chen H, et al. Tectonics of South China: Key to understanding west Pacific geology[J]. *Tectonophysics*, 1990, 183: 9~ 39.
- [18] 舒良树, 周国庆. 赣北元古代地体拼贴带中高压变质矿物的发现及其构造意义[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 1988, 24(3): 421~ 429.
- [19] Shu L, Zhou G, Shi Y, et al. Study of the high-pressure metamorphic blueschist and its late Proterozoic age in the eastern Jiangnan belt[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1994, 39: 1200~ 1204.
- [20] 胡世玲, 邹海波, 周新民. 安徽歙县堇青石花岗岩和江西德兴钠长花岗岩中白云母和青铝闪石的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄及其地质意义[A]. 李继亮. 东南大陆岩石圈结构与地质演化[C]. 北京: 冶金工业出版社, 1993, 141~ 144.
- [21] Morimoto N. Nomenclature of pyroxenes[J]. *American Mineralogist*, 1988, 73: 1123~ 1133.
- [22] Leake B E. Nomenclature of amphiboles[J]. *American Mineralogist*, 1978, 63: 1023~ 1052.
- [23] Holland T J B. The reaction albite = jadeite + quartz determined experimentally in the range 600~ 1200 °C[J]. *American Mineralogist*, 1980, 65: 129~ 134.
- [24] Holland T J B. The Experimental Determination of Activities in Disordered and Short-Range Ordered Jadeitic Pyroxenes

- [J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 1983, 82: 214~ 220.
- [25] EL- Shazly A K, Sisson V B. Retrograde evolution of eclogite facies rocks from NE Oman: evidence from fluid inclusions and petrological data[J]. *Chemical Geology*, 1999, 154: 193~ 223.
- [26] Otsuki M, Banno S. Prograde and retrograde metamorphism of hematite-bearing basic schists in the Sanbagawa belt in central Shikoku[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 1990, 8: 425~ 439.
- [27] Brown E H. The crossite content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism[J]. *Journal of Petrology*, 1977, 18: 53~ 72.

## Rock Types, Mineral Constituents and Metamorphic Process of High Pressure Metamorphic Rocks in Northeastern Jiangxi Province

GAO Jun

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

**Abstract:** The high pressure metamorphic rocks in northeastern Jiangxi Province include such types of rocks as jadeite-bearing aegirine-augite albite amphibole schist, jadeite-bearing aegirine-augite quartz albitite, aegirine-augite-bearing amphibole quartz albitite, aegirine-augite-bearing albite amphibole schist, winchite quartz albitite, and magnesio-riebeckite quartz albitite. Mineral constituents consist mainly of jadeite, aegirine-augite, magnesio-riebeckite, winchite, magnesio-hornblende, actinolite, quartz, albite, rutile and sphene. The high pressure metamorphic rocks underwent an isothermal decompressional retrograde process after the peak metamorphism.

**Key words:** High pressure metamorphic rocks; rock type; mineral constituent; metamorphic process

### 《中国火成岩地质图》(1:500万) 现已正式出版

《中国火成岩地质图》(1:500万)及其说明书现已由地质出版社出版发行。该图由中国地质科学院地质研究所李兆鼐、王碧香主编,经有关科研院所和区调队(所)30多位专家全面、系统地搜集资料和研究编制而成。该图在表示中国构造-岩浆域、主要断裂系统、火成岩时代、火山中心和莫霍面深度等基本要素的基础上,重点突出了火山岩和深成岩岩性的自然共生组合。火成岩组合的划分依据是其产出的地质环境、地质学、岩石学、矿物学、主量和微量元素地球化学以及同位素地球化学等特征。图中表示出了27种火山岩和深成岩组合,以及54种主要岩性,时限从元古宙到第四纪,以显生宙为主。该图内容丰富,说明清晰,是生产、教学和科研工作者不可多得的一份实用图件。有欲购买该图者,请直接与地质出版社发行部联系。

(中国地质科学院地质研究所 王碧香 供稿)