

文章编号: 1000-6524(2003)01-0034-07

苏北连云港地区蓝闪绿片岩相岩块的发现

邱海峻^{1,2}, 许志琴², 张建新², 杨经绥², 张泽明², 李海兵²

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130026; 2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要: 在苏北连云港地区(红石咀、东西连岛及蟹脐沟)发现以岩块、岩片形式出现的蓝闪绿片岩相岩石, 其由石榴石、蓝透闪石、冻蓝闪石、阳起石、钠长石、多硅白云母、榍石及文石等矿物组成。石榴石变斑晶作为低扩散的刚性矿物, 经历了多期变质变形作用, 变质反应证据保存在石榴石的成分环带及包体矿物组合中。蓝透闪石、冻蓝闪石及文石包体的存在表明, 本区出露的绿片岩相系属早期经历低温高压变质作用、晚期又叠加绿片岩相变质作用的高压变质地体。这一发现为苏鲁高压地体的构造单元划分提供了重要依据。

关键词: 高压变质带; 蓝闪绿片岩相; 蓝透闪石; 冻蓝闪石; 连云港; 苏北

中图分类号: P588.3; P578.955

文献标识码: A

The discovery of glaucophane greenschist facies rock mass in Lianyungang, northern Jiangsu

QIU Haijun^{1,2}, XU Zhiqin², ZHANG Jianxin², YANG Jinghui², ZHANG Zeming² and LI Haibing²

(1. Faculty of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The Sulu high pressure (HP) metamorphic belt lies on the southeastern margin of the Sulu ultrahigh pressure (UHP) metamorphic belt in northern Jiangsu. Its outcrops consist mainly of greenschist facies rocks of the Meso- to Neoproterozoic Yuntai Group complex. Nevertheless, typical blueschist was only found in the drilling cores from Yangji Town of Guanyun County in northern Jiangsu. The glaucophane greenschist facies rocks discovered in such places of Lianyungang area as Hongshizui, Dongxiliandao and Xieqigou consist of winchite, barroisite, actinolite, albite, phengite, sphene, aragonite, etc. These garnets as a kind of low-diffuse rigid mineral have undergone multi-stage deformation and metamorphism. The evidence of the metamorphism is preserved in the compositional zoning of garnet. These minerals indicate that the outcrops in the study area are part of a HP terrane which was overprinted by greenschist facies metamorphism at the late stage. This discovery provides important evidence for dividing geotectonic units in the Sulu high pressure terrane.

Key words: high pressure metamorphic belt; glaucophane greenschist facies; winchite; barroisite; Lianyungang; northern Jiangsu

苏北高压变质带位于苏鲁超高压变质带(张儒媛等, 1993; 索书田等, 2000)的南部, 主要由中晚元古代的锦屏岩群和云台岩群组成。因典型的蓝片岩仅见于该带南缘灌云县杨集镇钻孔岩芯中, 故对其变质相带的划分一直存在分歧, 争议的焦点是对该带北部后云台山地区云台岩群的变质相带划分。近年来, 不同学者提出了不同的划分方案, 归纳起来有如下3种: 孙竞雄等(1989)认为该带为高-中压高绿片岩相, 将其划归为石榴石带; 于津海等(2001)的研究认为, 该带属于苏北高压变质带中的石榴石绿帘石带, 是中高压过渡相系; 陈火根等(1997)认为蓝闪绿片岩相变质作用并未涉及整个云台岩

群, 并将本带归入低绿片岩相的阳起-绿帘-绿泥石带。上述不同观点各有其划分依据, 但均认为后云台山地区的云台岩群为一套绿片岩相岩系。

本文在前人厘定的绿片岩相带内发现了蓝闪绿片岩相岩石, 为解决上述分歧及进一步认识本区的高压变质作用提供了基础资料。

1 区域地质概况及样品产状

研究区位于苏鲁造山带东南缘, 其北部为著名的大别-

收稿日期: 2002-08-01; 修订日期: 2002-10-23

基金项目: 国家“九五”重大科学工程——中国大陆科学钻探工程项目资助

作者简介: 邱海峻(1972-), 男, 博士生, 构造地质学专业。

苏鲁超高压变质带, 作为秦岭- 大别造山带的东延部分, 具有极为复杂的构造演化史(孙克雄, 1992)。下部锦屏岩群的原岩为一套含磷酸盐岩- 碎屑岩建造, 夹碱性玄武岩, 属初始裂陷海槽沉积; 上部为云台岩群, 其原岩为一套细碧- 石英角斑质和碱流纹质火山- 沉积建造, 形成于弧后张裂边缘海环境(樊金涛, 1995)。样品采自连云港港口东南的红石咀、后云

台山西南麓的蟹脐沟及港口东部的东西连岛, 主要采自云台岩群的中下部(图 1)。红石咀样品呈岩片形式产于围岩白云斜长石英片岩、绿帘白云斜长石英片岩中, 产状为 $NE60^{\circ} \sim 70^{\circ} \angle 25^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。蟹脐沟样品以团块状产于变质酸性火山岩中(图 2a), 为深绿色, 质地坚硬, 产状为 $NE65^{\circ} \angle 15^{\circ}$, 线理 L 产状为 $110^{\circ} \angle 20^{\circ}$ 。东西连岛样品以薄岩片夹于围岩当中(图

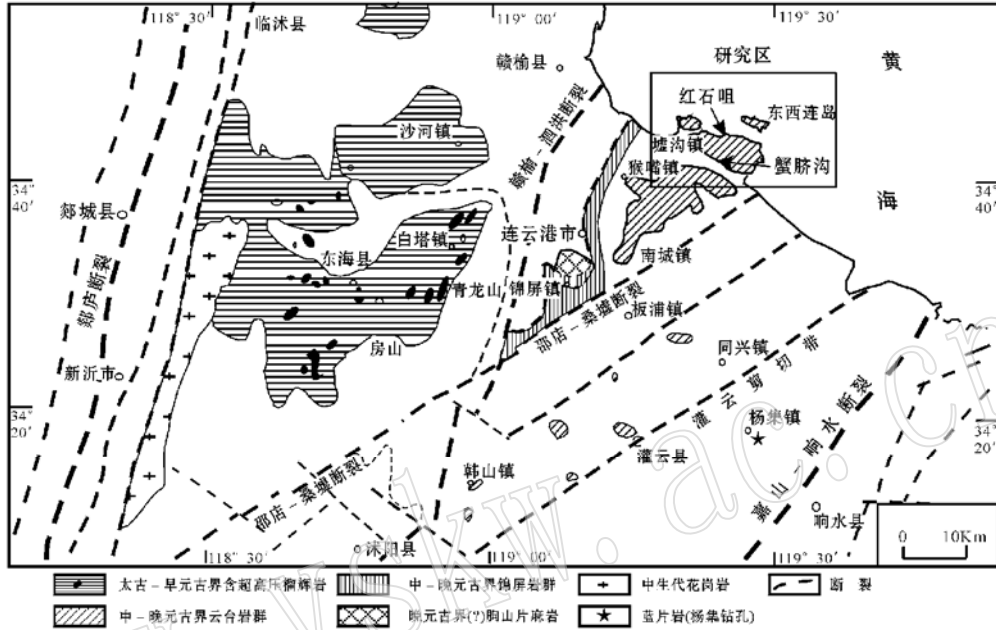


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Schematic geologic map of the study area

2b), 产状为 $NE65^{\circ} \angle 37^{\circ}$, 线理 L 产状为 $125^{\circ} \angle 30^{\circ}$ 。

2 样品的岩相学特征

红石咀地区样品(ZQ17- 2 ZQ17- 3) 为含蓝透闪石石榴钠长阳起片岩, 片理构造发育, 石榴石与钠长石等矿物呈斑晶形式产出, 其中钠长石含量约 30%, 阳起石约 40%, 石榴石含量约 10%, 其它矿物为黑云母、多硅白云母、蓝透闪石、冻蓝闪石、绿帘石及榍石。钠长石为粗粒变斑晶, 粒度一般为 0.5~ 2 mm, 少数钠长石变斑晶集合体粒度可达 5~ 7 mm, 其颗粒边界不规则, 呈火焰状, 内含细粒多硅白云母、阳起石、绿帘石及石榴石包体。钠长石变斑晶内的包体均定向排列, 构成平行的或 S 形的残留面理, 残留面理与基质中的叶理面斜交。

东西连岛地区(LYG49 LYG50) 样品为蓝透闪石多硅白云母钠长阳起片岩, 其中闪石类矿物呈残斑形式产出(图 2c), 且多发育环带构造。绿片岩相岩石的片理主要由多硅白云母、绿帘石及阳起石组成。

蟹脐沟地区(L808- 3) 样品为冻蓝闪石多硅白云母钠长片岩。钠长石含量为 40%, 多硅白云母 30%, 绿帘石为 20%。钠长石呈变斑产出, 粒径为 0.3~ 0.5 mm, 多硅白云母、绿帘石及阳起石等矿物构成的片理围绕钠长石变斑生长, 其中冻蓝闪石呈包体形式产于钠长石变斑晶中。钠长石变斑晶近等粒, 靠近边部包裹体为较粗大的冻蓝闪石, 粒径 0.05 mm × 0.2 mm~ 0.05 mm × 0.6 mm, 而核部的冻蓝闪石呈细小针柱状(图 2d)。

本区蓝闪绿片岩相岩石的矿物组合主要有 4 类: ① Wnc + Ab + Act + Grt + Phe + Arg; ② Bar + Ab + Phe + Grt + Act; ③ Bar + Ab + Phe + Act; ④ Wnc + Ab + Act + Ep + Phe。绿片岩相岩石的矿物组合主要为: Act + Ep + Ab + Grt + Ms + Bt*。

3 主要变质矿物特征

3.1 角闪石类矿物

本区代表性角闪石的电子探针分析数据见表 1。根据 Leake(1997) 分类, 本区蓝闪绿片岩相岩石中角闪石可分为钠

* 矿物代号: Ab- 钠长石; Act- 阳起石; Ap- 磷灰石; Arg- 文石; Bar- 冻蓝闪石; Bt- 黑云母; Ep- 绿帘石; Grt- 石榴石; Ms- 白云母; Phe- 多硅白云母; Wnc- 蓝透闪石; 下文同。

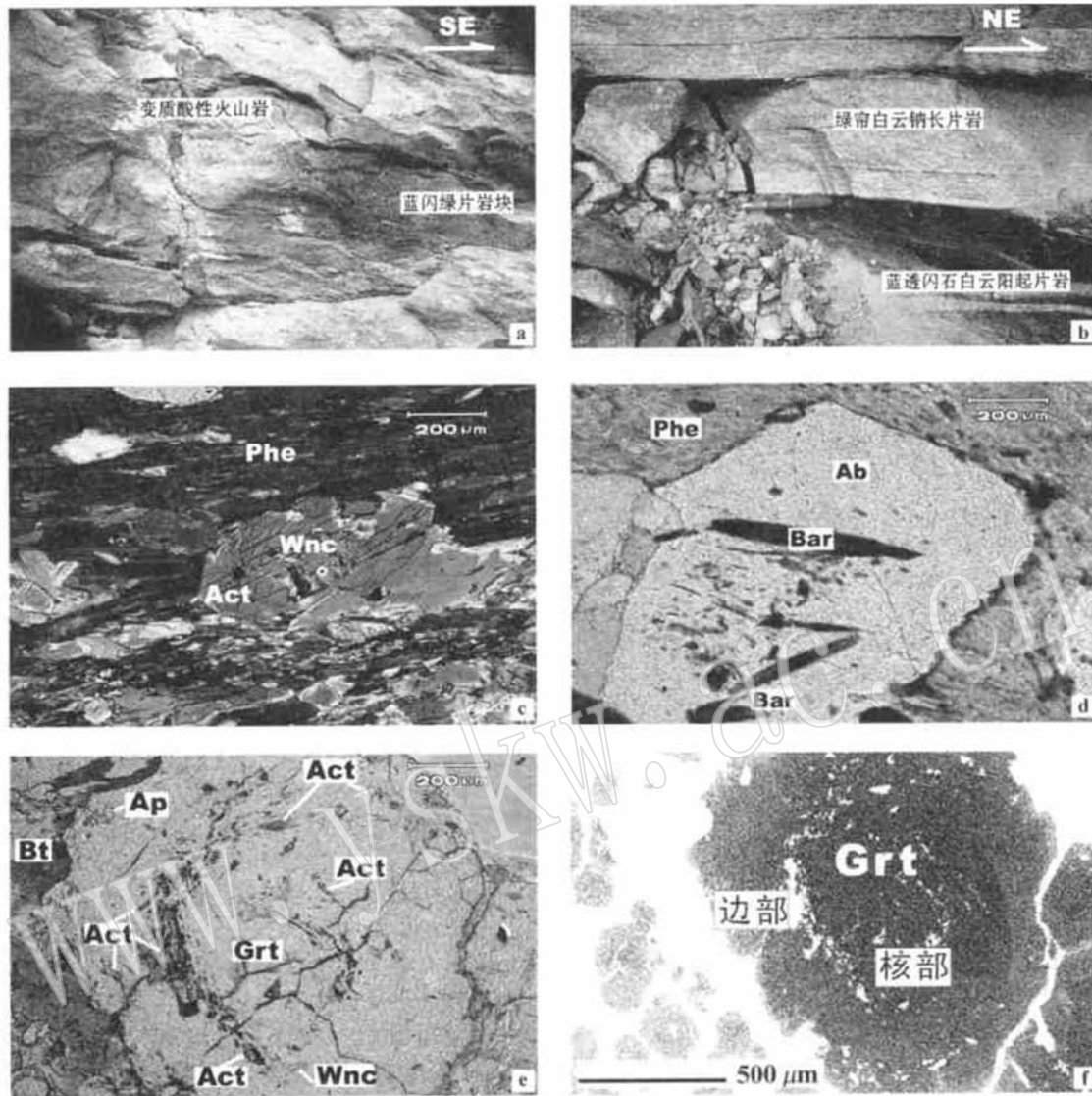


图2 样品照片

Fig 2. Photographs of samples

- a—蟹脐沟蓝闪绿片岩块与围岩; b—东西连岛蓝透闪石白云阳起片岩岩片与围岩; c—东西连岛角闪石环带特征; d—钠长石变斑晶中的冻蓝闪石包体; e—石榴石中的蓝透闪石、阳起石及磷灰石包体; f—石榴石 Grt05 的背散射图像
- a—glaucophane greenschist block and country rock in Xieqigou; b—actinolite schist and country rock in Dongxiliandao; c—zoned amphibole in Dongxiliandao; d—barroisite inclusions in albite porphyroblast; e—winchite, actinolite and apatite inclusions in the garnet; f—backscattered electron image of the Garnet 05

钙质闪石和钙质闪石两类(图3)。

3.1.1 钠钙质闪石——蓝透闪石及冻蓝闪石

红石咀样品(ZQ17-2)中的蓝透闪石(a2)以包体形式产于石榴石中, Al_2O_3 含量为 4.21%, CaO 含量为 7.63%, Na_2O 含量为 2.58%, 与石榴石中其他阳起石包体相比较, 蓝透闪石具有高 Na_2O 、高 Al_2O_3 、低 CaO 的特征(表1)。

蟹脐沟地区冻蓝闪石的 Na_2O 含量为 2.66%~4.05%, Al_2O_3 含量为 4.75%~6.03%, FeO 含量为 16.86%~18.99%, CaO 含量为 5.99%~8.44%, Na(M4) 为 0.664~

1.04, 在分类图上, 所有投点均落入冻蓝闪石区域。

东西连岛样品 LYG50 中的长柱状钠钙质角闪石以变质残斑的形式产于基质中, 其核部为蓝透闪石, 边部为阳起石。核部蓝透闪石的化学成分 ($w_B/\%$) 为 Al_2O_3 3.64, FeO 16.78, MgO 12.50, CaO 9.26, Na_2O 1.92, 而边部阳起石的探针数据 ($w_B/\%$) 为 Al_2O_3 1.73, FeO 13.75, MgO 14.95, CaO 12.02, Na_2O 0.42。二者对比可知, 其核部富钠贫钙, 富铁贫镁, 而边部则与之相反, 为贫钠富钙, 贫铁富镁。其中, Na_2O 的含量从核部到边部呈逐渐降低趋势, Na(M4) 从 0.540

表 1 连云港地区高压变质带中的代表性角闪石的探针数据
Table 1 Representative microprobe analyses of amphiboles from the High-pressure belt

采样点	东西连岛										红石咀 ZQ17-2						红石咀 ZQ17-3										
	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Wnc	Act	Bar	Act	Wnc	Act	a13	Act	Wnc	Act	Wnc	Act	Wnc	Act	Bar	Bar	
矿物																											
样号	5-1-hb1	5-1-hb2	5-1-hb3	5-1-hb4	5-1-hb5	5-2-hb1	5-2-hb2	5-2-hb3	5-2-hb4	5-2-hb5	2-1-hb2	2-1-hb3	1-d-1Hb	1-d-2Hb	a2	a13	2-a-1Hb	2-a-2Hb	2-b-6	2-b-8	2-b-6	2-b-8	2-b-6	2-b-8	2-b-6	2-b-8	
SiO ₂	49.950	48.440	50.220	49.930	50.170	49.420	51.040	49.090	49.040	52.140	53.240	51.140	53.340	54.690	53.700	52.940	53.070	53.830	51.170	52.940	53.070	53.830	51.170	52.940	53.070	53.830	51.170
TiO ₂	0.050	0.040	0.040	0.040	0.040	0.030	0.030	0.040	0.050	0.050	0.020	0.110	0.030	0.040	0.010	0.040	0.040	0.050	0.010	0.040	0.050	0.050	0.010	0.040	0.050	0.050	0.010
Al ₂ O ₃	4.750	5.160	4.910	4.990	5.190	5.170	5.480	6.020	6.030	3.640	1.730	5.970	2.510	4.210	1.790	4.610	4.670	1.480	5.890	4.610	4.670	1.480	5.890	4.610	4.670	1.480	5.890
FeO ^T	17.820	17.980	18.390	18.710	17.620	18.090	16.860	18.770	18.990	16.780	13.750	17.940	15.190	16.750	15.920	14.760	14.010	14.410	16.390	14.760	14.010	14.410	16.390	14.760	14.010	14.410	16.390
Cr ₂ O ₃	0.000	0.020	0.010	0.010	0.000	0.000	0.010	0.010	0.020	0.000	0.010	0.030	0.050	0.000	0.010	0.000	0.020	0.010	0.010	0.000	0.020	0.010	0.010	0.000	0.020	0.010	0.010
MnO	0.700	0.660	0.700	0.670	0.670	0.720	0.420	0.630	0.450	0.550	0.650	0.470	0.460	0.550	0.350	0.370	0.340	0.470	0.430	0.370	0.340	0.470	0.430	0.370	0.340	0.470	0.430
MgO	11.080	10.440	11.110	10.580	10.990	11.120	11.830	10.500	9.700	12.500	14.950	11.000	13.420	11.760	13.390	13.590	13.820	14.080	11.890	13.590	13.820	14.080	11.890	13.590	13.820	14.080	11.890
CaO	8.440	8.220	7.680	7.470	7.160	8.030	6.690	6.640	5.990	9.260	12.020	9.340	11.590	7.630	11.120	9.930	9.700	12.100	9.630	9.930	9.700	12.100	9.630	9.930	9.700	12.100	9.630
Na ₂ O	2.660	3.030	3.090	3.260	3.250	2.960	3.900	3.790	4.050	1.920	0.420	1.830	0.660	2.580	0.590	1.740	1.930	0.430	2.060	1.740	1.930	0.430	2.060	1.740	1.930	0.430	2.060
K ₂ O	0.430	0.380	0.430	0.460	0.360	0.380	0.470	0.430	0.400	0.330	0.160	0.160	0.080	0.110	0.110	0.090	0.110	0.040	0.100	0.090	0.110	0.040	0.100	0.090	0.110	0.040	0.100
总量	95.880	94.370	96.580	96.120	95.450	95.920	96.730	95.920	94.720	97.170	96.950	97.990	97.330	98.320	96.990	98.070	97.720	96.860	97.650	98.070	97.720	96.860	97.650	98.070	97.720	96.860	97.650
氧原子数	O=23																										
Si	7.413	7.346	7.371	7.390	7.412	7.313	7.404	7.244	7.335	7.565	7.721	7.381	7.751	7.755	7.809	7.537	7.562	7.860	7.394	7.537	7.562	7.860	7.394	7.537	7.562	7.860	7.394
Al ^{IV}	0.587	0.654	0.629	0.610	0.588	0.687	0.596	0.756	0.665	0.435	0.279	0.619	0.249	0.245	0.191	0.463	0.438	0.140	0.606	0.463	0.438	0.140	0.606	0.463	0.438	0.140	0.606
Al ^{VI}	0.243	0.268	0.219	0.260	0.315	0.214	0.340	0.290	0.397	0.187	0.017	0.395	0.181	0.458	0.116	0.310	0.346	0.115	0.396	0.310	0.346	0.115	0.396	0.310	0.346	0.115	0.396
Cr	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001	0.003	0.006	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001
Fe ³⁺	0.801	0.739	1.025	0.948	1.000	0.998	0.984	1.192	1.084	0.757	0.373	0.767	0.245	0.732	0.420	0.619	0.564	0.106	0.615	0.619	0.564	0.106	0.615	0.619	0.564	0.106	0.615
Fe ²⁺	1.410	1.541	1.232	1.368	1.177	1.241	1.061	1.124	1.291	1.280	1.295	1.398	1.601	1.255	1.516	1.138	1.106	1.654	1.366	1.138	1.106	1.654	1.366	1.138	1.106	1.654	1.366
Mg	2.451	2.360	2.431	2.334	2.420	2.453	2.558	2.310	2.163	2.704	3.232	2.367	2.907	2.486	2.903	2.884	2.936	3.065	2.561	2.884	2.936	3.065	2.561	2.884	2.936	3.065	2.561
Mn	0.088	0.085	0.087	0.084	0.084	0.090	0.052	0.079	0.057	0.068	0.080	0.057	0.057	0.066	0.043	0.045	0.041	0.058	0.053	0.045	0.041	0.058	0.053	0.045	0.041	0.058	0.053
Ca	1.342	1.336	1.208	1.185	1.133	1.273	1.040	1.050	0.960	1.440	1.868	1.444	1.805	1.159	1.733	1.515	1.481	1.893	1.491	1.515	1.481	1.893	1.491	1.515	1.481	1.893	1.491
Na	0.766	0.891	0.879	0.935	0.931	0.850	1.097	1.084	1.174	0.540	0.118	0.512	0.186	0.709	0.166	0.480	0.533	0.122	0.577	0.480	0.533	0.122	0.577	0.480	0.533	0.122	0.577
K	0.081	0.074	0.081	0.087	0.068	0.072	0.087	0.081	0.076	0.061	0.030	0.029	0.015	0.020	0.020	0.016	0.020	0.007	0.018	0.016	0.020	0.007	0.018	0.016	0.020	0.007	0.018
Na(M4)	0.658	0.664	0.792	0.815	0.867	0.727	0.960	0.950	1.040	0.540	0.118	0.512	0.186	0.709	0.166	0.480	0.519	0.107	0.509	0.480	0.519	0.107	0.509	0.480	0.519	0.107	0.509

由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室的 JXA-8800R 电子探针分析。

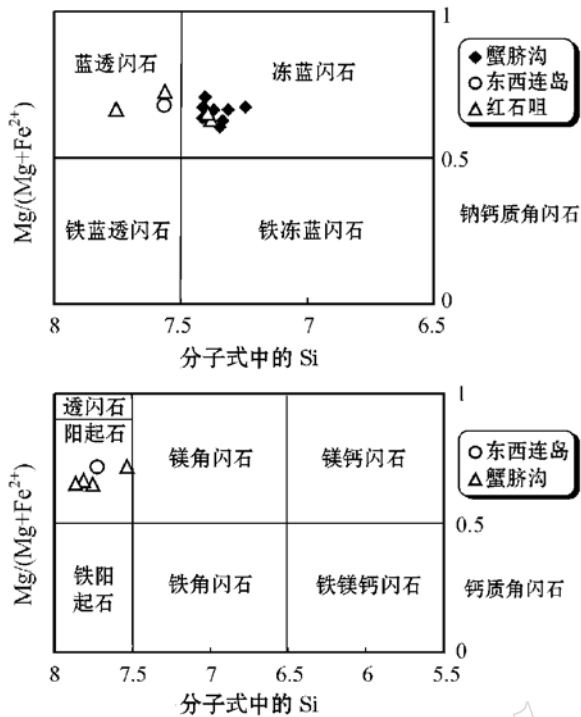


图3 角闪石分类图解(据 IMA-CNMMN 角闪石专业委员会, 2001)

Fig. 3 Classification of amphiboles

降至 0.118, 反映压力的降低。该特点与木兰山蓝片岩(索书田等, 1993)中的闪石环带特征较为类似。

3.1.2 钙质角闪石

本区钙质角闪石主要为阳起石, 在各类绿片岩中广泛分布。阳起石沿主期变形片理生长, 部分阳起石与钠钙质角闪石共生, 并常构成钠钙质闪石环带的边部。在东西连岛地区阳起石的形成晚于蓝透闪石(图 2c), 而红石咀地区晚期绿片岩相片理主要由定向排列的阳起石、黑云母、绿帘石及榭石组成。石榴石变斑晶的包裹体中闪石成分发生有规律变化, 即从阳起石-蓝透闪石-阳起石的规律性变化(图 2e)。

3.2 多硅白云母

本区高压变质岩中多硅白云母与石榴石、钠长石共生, 呈细小鳞片状。本区多硅白云母的探针分析结果显示 Si^{4+} 值为 3.425~3.460。Velde(1967)的研究认为多硅白云母中的 Si^{4+} 值与温度成反比关系, 而随着压力的增大, Si^{4+} 值也增高。因此, 可以认为该矿物形成于较高的压力环境之中。

3.3 石榴石

石榴石通常呈半自形的变嵌晶状变斑晶出现, 颗粒细小, 粒径为 0.1~0.5 mm, 含量 5%~10%。少量石榴石粒度粗大, 粒径可达 1.4 mm。石榴石内部常含有阳起石、榭石、黄铁矿、磷灰石及文石包体, 包体多呈“S”型构造或同心环带状产出。本文对石榴石斑晶进行了探针分析, 部分分析数据列于表 2。同时, 对这些石榴石变斑晶进行了能谱分析测试, 测试

表 2 红石咀绿片岩中石榴石电子探针分析 $w_B\%$

Table 2 Microprobe analyses of garnet from greenschists of Hongshizui

位置 测点	核部		边部	
	a3	a4	a6	a14
SiO ₂	37.12	38.04	37.52	37.82
TiO ₂	0.11	0.15	0.13	0.09
Al ₂ O ₃	20.08	20.95	20.84	21.03
Cr ₂ O ₃	0.01	0.03	0.00	0.01
FeO	13.03	13.15	15.59	16.51
MnO	16.09	16.04	12.68	12.7
MgO	0.29	0.27	0.3	0.33
CaO	11.4	11.79	11.91	11.6
Na ₂ O	0.00	0.02	0.02	0.02
总计	98.13	100.44	98.99	100.11
Si	3.03	3.03	3.03	3.02
Al ^{VI}	1.93	1.964	1.98	1.978
Fe ²⁺	0.89	0.88	1.05	1.10
Mg	0.04	0.03	0.04	0.04
Mn	1.11	1.08	0.87	0.86
Ca	1.00	1.01	1.03	0.99
氧原子	12	12	12	12
Alm	26.02	28.21	35.01	36.35
Gross	34.36	33.97	34.63	33.38
Pyrope	1.22	1.09	1.21	1.32
Spess	38.37	36.64	29.15	28.92

单位为中国大陆科学钻探大陆动力学实验室, 所获得的背散射图像见图 2f。

探针分析结果表明, 这些石榴石为锰铝榴石-铁铝榴石固熔体, 且普遍具有化学成分环带。石榴石成分环带主要表现为核部富锰铝榴石, 而边部贫锰铝榴石, 富铁铝榴石。样品 Grt05 的端员分子组成为 $Alm_{26-37} Grs_{33-34} Prp_{1-2} Sps_{28-38}$, 其镁铝榴石($x_B/\%$)仅为 1%~2%, 与智利南部低温高压变质带中的石榴石特征相似(Willner *et al.*, 2000)。从核部至边部, 其 MnO 含量逐渐降低, 成分剖面变化具有“钟”型剖面的特点; FeO 含量及铁铝榴石端员分子则从核部至边部逐渐增加。根据样品 Grt05 的背散射图像(图 2f)可清晰看到石榴石核部与边部的成分变化, 其成分环带的特征属于典型的生长环带(O'Brien, 1997; 张泽明等, 1999), 表明石榴石具有单阶段生长的特点(Spear *et al.*, 1991)。作为低扩散刚性矿物, 石榴石中包裹体为榭石、阳起石、蓝透闪石、磷灰石、文石(见另文)及黄铁矿等矿物, 且包体矿物从核心至边部呈同心环带状分布, 这与西阿尔卑斯 Lago di Cignana 高压-超高压变质带中的石榴石特征极为相似(Reinecke, 1998)。

4 变质作用 $p-T$ 条件估计

Otsuki 等(1990)对日本三波川高压变质带的研究表明, 蓝透闪石一般稳定在 300~420 °C、0.4~0.8 GPa 条件下。笔者根据石榴石-角闪石温度计(Ravna, 2000)估算, 本区石榴

石及蓝透闪石的形成温度在 300~ 370 °C 范围内。本区出现蓝透闪石, 同时, 由于石榴石核部还见有文石包体, 根据文石-方解石的稳定曲线(邱海峻等, 2002)可知, 其形成时的温压条件为 300~ 360 °C, 0.7~ 0.85 GPa, 是典型的低温高压变质作用, 其后期叠加绿片岩相变质作用的温度根据石榴石-黑云母温度计计算为 350~ 410 °C。文石作为典型的低温高压矿物(Volkova *et al.*, 1999), 其稳定区域与蓝片岩相的稳定区域重合, 而本区并未发现有蓝闪石, 仅南部杨集镇钻孔中见有蓝闪石, 推测可能是由于后期变质作用中温度升高造成蓝闪石与阳起石反应生成蓝透闪石, 致使蓝闪石消失。因此, 峰期变质作用的压力应为文石稳定区域即蓝片岩相。

5 问题与讨论

冻蓝闪石、蓝透闪石及文石包体的存在确切表明本区经历了低温高压变质作用。红石咀石榴石变斑晶核部到边部的成分及闪石包体成分的变化, 也反映了温压条件的变化, 即变质作用经历了绿片岩相-蓝片岩相(?) - 蓝闪绿片岩相-绿片岩相的连续渐变演化过程。东西连岛地区蓝透闪石的环带特征也证明了后一阶段的变质作用演化过程, 即核部为蓝透闪石, 至边部发生退变质形成阳起石, 表明了温压条件由低温高压向高温低压的转变(高俊, 2001)。蓝闪绿片岩相岩石中(红石咀、蟹脐沟、东西连岛) 现存变质矿物乃峰期变质之后退变质作用的产物。其中, 峰期矿物组合可能为石榴石+文石+蓝闪石(?), 蓝闪绿片岩相矿物组合为石榴石+蓝透闪石+多硅白云母+钠长石或石榴石+冻蓝闪石+多硅白云母+钠长石。

蓝闪绿片岩相变质作用发生于蓝片岩相峰期变质之后, 蓝闪石等矿物在后期快速折返过程中被蓝闪绿片岩相变质作用叠加, 蓝闪石与阳起石反应形成蓝透闪石。碰撞造山运动晚期大规模的韧性推覆作用及快速剥蚀作用, 促使蓝闪绿片岩相岩石快速抬升, 使得蓝闪绿片岩相变质矿物组合得以保存并出露于造山带中, 同时, 由于晚期的绿片岩相变质作用的叠加, 蓝透闪石、冻蓝闪石等矿物仅在石榴石变斑晶中作为包体或作为残斑核心部分得以保留。

由于上述退变质作用的叠加, 使得目前露头所见岩系均表现为绿片岩相的矿物组合特征。因此, 前人的研究一直将其划归绿片岩相带, 并形成了多套划分方案。低温高压变质矿物的发现为解决这些分歧提供了充分的证据, 并表明其形成温度远低于前人估计的 400~ 500 °C(于津海等, 2001), 而且本区早期的低温高压变质事件可能与南部的蓝片岩相变质作用为同一变质事件的体现。因此, 蓝透闪石、冻蓝闪石及文石包体在本区的发现为苏北高压变质带中蓝片岩相带的北界的厘定提供了重要的证据。

References

Chen Huogen. 1997. Metamorphic characteristics of middle- lower pro-

- terozoic Yuntai Group in northern Jiangsu[J]. *Jiangsu Geology*, 21(4): 204~ 211(in Chinese with English abstract).
- Chernoff C B, Carlson W D. 1997. Disequilibrium for Ca during growth of pelitic garnet[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 15: 421~ 438.
- Fan Jintao. 1995. The petrogenesis of the spilite-keratophyre sequence of the Haizhou Group in northern Jiangsu. *Regional Geology of China*, 2: 118~ 124(in Chinese with English abstract).
- Gao Jun. 2001. Rock types, mineral constituents and metamorphic progress of high-pressure metamorphic rocks in northern Jiangxi Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(2): 134~ 145 (in Chinese with English abstract).
- Kata T, Enam M and Zhai M. 1997. Ultra-high-pressure(UHP) marble and eclogite in the Su-Lu UHP terrane, eastern China[J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 15: 169~ 182.
- Leake B E, *et al.* 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral names [J]. *American Mineralogist*, 19: 1019~ 1037.
- Liou J C and Maruyama S. 1987. Parageneses and Compositions of amphiboles from Franciscan jadeite-glaucophane type facies series metabasites at Cazadero, California[J]. *Geology*, 5: 371~ 395.
- Otsuki M, Banno S. 1990. Prograde and retrograde metamorphism of hematite-bearing schists in the Sanbagawa belt in central Shikoku [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 8: 425~ 439.
- O'Brien P J. 1997. Garnet zoning and textures in overprinted eclogites, Bohemian Massif, European Variscides: A record of their thermal history during exhumation [J]. *Lithos*, 41, 119~ 133.
- Qiu Haijun, Xu Zhiqin, Zhang Zeming, *et al.* 2002. New mineral evidence of high-pressure metamorphism of the subei high-pressure belt-Aragonite in clusions in garnet from greenschist[J]. *Geological Bulletin of China*, 21(10): 617~ 624(in Chinese with English abstract).
- Ravna. 2000. Distribution of Fe²⁺ and Mg between coexisting garnet and hornblende in synthetic and natural systems: an empirical calibration of the garnet-hornblende Fe-Mg geothermometer [J]. *Lithos*, 53: 265~ 277.
- Reinecke T. 1998. Prograde high- to ultrahigh-pressure metamorphism and exhumation of oceanic sediments at Lago di Cignana, Zermatt-Saas Zone, western Alps[J]. *Lithos*, 42: 147~ 189.
- Selverstone J, Spear F S. 1985. Metamorphic P-T Paths from pelitic schists and greenstones from the southwest Tauern Window, Eastern Alps [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 3: 439~ 465.
- Spear F S, Kohn M J, Florence F P, *et al.* 1991. A model for garnet and plagioclase growth in pelitic schists: implications for thermobarometry and P-T path determinations [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 8: 683~ 696.
- Sun Jingxiong, Pan Mingbao, Chen Huogen, *et al.* 1992. Macroscopic deformation characteristics of Donghai eclogites in Pre-Sinian metamorphic complex in northern Jiangsu Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 8(2): 161~ 167(in Chinese with English abstract).

- Sun Jingxiong, Zong Chunhu, Cao Demin, *et al.* 1989. The metamorphism of proterozoic Haizhou group, northern Jiangsu [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 8(3): 212~ 220 (in Chinese with English abstract).
- Suo Shutian, Sang Longkang, Han Yujing, *et al.* 1993. The petrology and tectonics in Dabie Precambrian metamorphic terranes, central China [M]. WU Han: Press of China University of Geosciences, 182~ 197 (in Chinese with English abstract).
- Suo Shutian, Zhong Zengqiu, You Zhendong, *et al.* 2000. Relic UHP structure in Dabie- Sulu region, China: structural expression and geodynamic significance [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(6): 557~ 563 (in Chinese with English abstract).
- Virginia B S, *et al.* 1997. High pressure (~ 2000 MPa) kyanite and glaucophane bearing pelitic schist and eclogite from Cordillera de la Costa Belt, Venezuela [J]. *Journal of Petrology*, 38(1): 65~ 83.
- Volkova N I, Budanov V I. 1999. Geochemical discrimination of metabasalt rocks of the Fan_Karategin transitional blueschist/greenschist belt, South Tianshan, Tajikistan: seamount volcanism and accretionary tectonics [J]. *Lithos*, 47: 201~ 216.
- Wang Qingchen. 2001. Development of studying ultrahigh pressure metamorphic rocks from China during the past 15 years [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(1) 11~ 16 (in Chinese with English abstract).
- Willner A P, Herve F and Massonne H J. 2000. Mineral chemistry and pressure- temperature evolution of two contrasting high pressure- low temperature belts in the Chonos Archipelago, Southern Chile [J]. *Journal of Petrology*, 41(3): 309~ 330.
- Ye Huiwen. 1990. Metamorphism of the Glaucophane schists in China [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 6(2): 103~ 111 (in Chinese with English abstract).
- Yu Jinhai, Wang Ciyin, Lin Liming. 2001. The nature of HP metamorphic zone and its relationship with the UHP metamorphic zone in northern Jiangsu, China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 82~ 90 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Ruyuan, Cong Bolin, Liu Zhongguang. 1993. Su- Lu ultrahigh pressure metamorphic terrane and explanation of its origin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 9(3): 211~ 225 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zeming, Yang Yong, Zhang Jiangxin. 1999. Chemical zoning in eclogites garnet and its dynamics in the west Altyn [J]. *Chinese Science Bulletin*, 44(16): 1769~ 1773 (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈火根. 1997. 苏北中- 晚元古代云台群变质作用特征 [J]. *江苏地质*, 21(4): 204~ 211.
- 樊金涛. 1995. 苏北海州群细碧角斑岩系的成因 [J]. *中国区域地质*, 2: 118~ 124.
- 高俊. 2001. 赣东北高压变质岩的岩石类型、矿物组成与变质过程 [J]. *岩石矿物学杂志*, 20(2): 134~ 145.
- IMA- CNMNM 角闪石专业委员会 (王立本译). 2001. 角闪石命名法 [J]. *岩石矿物学杂志*, 20(1): 84~ 100.
- 邱海峻, 许志琴, 张泽明, 等. 2002. 苏北高压变质带绿片岩中石榴石内文石包裹体的发现 [J]. *地质通报*, 21(10): 617~ 624.
- 孙竞雄, 潘明宝, 陈火根, 等. 1992. 苏北东海前震旦变质杂岩中榴辉岩的宏观变形特征 [J]. *岩石学报*, 8(2): 161~ 167.
- 孙竞雄, 宗淳虎, 曹德民, 等. 1989. 苏北元古宙海州群变质作用 [J]. *岩石矿物学杂志*, 8(3): 212~ 220.
- 索书田, 桑隆康, 韩郁菁, 等. 1993. 大别山前寒武纪变质地体岩石学与构造学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 183~ 197.
- 索书田, 钟增球, 游振东, 等. 2000. 大别- 苏鲁区残余超高压构造及其动力学意义 [J]. *地球科学*, 25(6): 557~ 563.
- 叶慧文. 1990. 中国蓝闪片岩相的变质作用 [J]. *岩石矿物学杂志*, 6(2): 103~ 111.
- 于津海, 王赐银, 林黎明. 2001. 苏北高压变质带及其与北侧超高压变质带的关系 [J]. *地质学报*, 75(1): 82~ 90.
- 张儒媛, 从柏林, 刘忠光. 1993. 苏鲁超高压变质地体及其成因解释 [J]. *岩石学报*, 9(3): 211~ 225.
- 张泽明, 杨勇, 张建新. 1999. 阿尔金西段榴辉岩中石榴石的成分环带及其动力学意义 [J]. *科学通报*, 44(16): 1769~ 1773.