

苏北高压变质带绿片岩中石榴石内 文石包裹体的发现

邱海峻^{1,2} 许志琴² 张泽明² 杨经绥²

杨天南² 张建新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 苏北高压变质带位于苏鲁超高压变质带东南缘,露头多为绿片岩相的中—晚元古代云台岩群,典型的蓝片岩仅见于灌云县杨集的钻孔岩心中。本文通过拉曼光谱研究,在连云港地区的绿片岩内石榴石中发现文石(CaCO_3)包裹体。文石呈细小包裹体残留于细粒半自形石榴石斑晶中。这些石榴石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。文石包裹体的存在证明苏北高压变质带北部的、即本区出露的这套岩系是早期经历了高压变质作用、晚期又叠加了绿片岩相变质作用的高压变质地体。

关键词 文石 高压变质带 石榴石 苏北

中图分类号 P588.3 P578.6 **文献标识码** A **文章编号** 1671-2552(2002)10-0617-08

苏北高压变质带位于大别—苏鲁超高压变质带的南部。近年来,许多学者对其北侧的超高压变质带进行了大量研究^[1-8],获得了许多重要认识。而对于南缘的高压变质带(云台岩组)的研究则相对较少,同时,由于典型的低温高压变质岩——蓝片岩仅见于苏北灌云县杨集镇的钻孔岩心中,露头岩系多为绿片岩相矿物组合,因此不同学者对该高压变质带的划分也各不相同。归纳起来有以下3种认识:(1)孙竟雄等^[9,10]认为该带为高绿片岩相,其中云母片岩—云英片岩类岩石的矿物组合与典型的巴罗型铁铝榴石带相同,故而将其划分为石榴石带。(2)陈火根等^[11]认为蓝闪绿片岩相变质作用并未涉及整个云台岩群,将本带归入低绿片岩相的阳起—绿帘—绿泥石带。(3)于津海等^[12]认为,该带属于苏北高压变质带中的石榴石绿帘石带,形成温度为400~500℃,压力为0.65~0.85 GPa。属于中高压过渡相系。本文通过对石榴石内显微包体的研究,发现其内部的碳酸盐矿物包裹体为典型的高压变质矿物——文石,这一发现对探讨本区高压变质作用及区域构造演化具有重要意义。

1 区域地质概况

研究区位于苏鲁造山带东南缘(图1)。其北部为著名的苏鲁超高压变质带(UHP),是秦岭—大别造山带的东延部分^[8],具有极为复杂的构造演化史。本区的主要岩石地层单元为中新元古代海州群,其下部锦屏岩组的原岩为一套含磷碳酸盐岩—碎屑岩建造,夹碱性玄武岩,属初始裂陷海槽沉积;上部云台岩组的原岩为一套细碧—石英角斑质和碱流纹质火山—沉积建造^[13]。它形成于一个基底为硅铝壳的弧后张裂边缘海环境。

本文样品(ZQ17-2、ZQ17-3)均采自连云港港口东南的红石咀处,即云台岩组的中下部。这套绿片岩呈岩片夹于围岩白云斜长石英片岩、绿帘白云斜长石英片岩中,其面理产状为 $\text{NE}60^\circ\sim 70^\circ\angle 29^\circ\sim 40^\circ$ 。

2 绿片岩的岩石矿物特征

样品ZQ17-2为石榴钠长阳起石片岩,主要矿物为石榴石、阳起石、多硅白云母、钠长石、石英、绿

收稿日期 2002-07-17 修订日期 2002-09-28

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年生,男,博士,构造地质学专业。

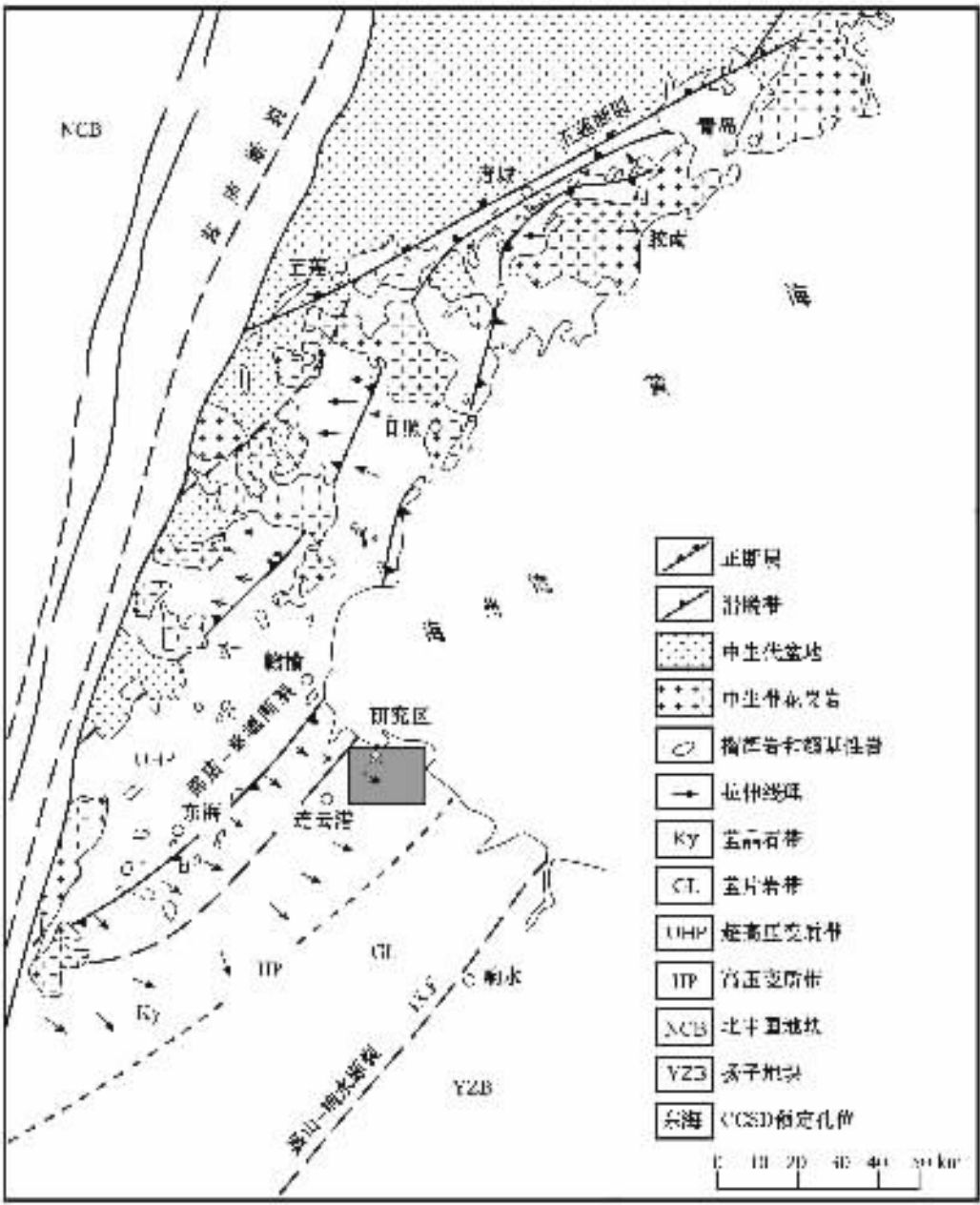


图1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the study area

帘石和黑云母,还含少量榴石、黄铁矿、蓝透闪石及冻蓝闪石(见另文)。

2.1 石榴石斑晶及文石包裹体

石榴石在绿片岩中分布较广。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、榴石、黄铁矿、磷灰石及文石包裹体。包裹体多呈“S”型构造或同心环

带状产出。

本研究对石榴石斑晶及文石进行了探针分析,部分分析数据列于表1中。同时,对这些石榴石变斑晶还进行了能谱分析测试。

探针分析结果表明,这些石榴石为富锰的钙铝榴石,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(Sps),而边部富铁铝榴石(Alm)。样品Grt01(表1)的端元分子组成为Alm27~45,

Grs35~40, Prp1~2, Sps13~36, 从核部至边部, 其MnO含量(wt%)逐渐降低, 由15.52%降至5.89%, FeO含量从12.25%增至20.15%。根据样品Grt04的背散射图像(图2)可清晰看到石榴石核部与边部的成分变化。图2为锰元素分布成分相图, 其中的谱线为MnO含量变化谱线, 其形状具有“钟”型剖面的特点。这种成分环带的特征属于典型的生长环带^[14], 该剖面特点表明石榴石环带为单阶段生长模式^[15~17]。这种环带特点还表现为包裹体矿物从核心至边部呈同心环带状分布(图3), 单偏光镜下样品Grt04中的包裹体如榴石、阳起石、文石及黄铁矿等矿物呈同心环带状分布。

2.2 文石包裹体的拉曼光谱分析

样品Grt03、Grt05中均有文石包裹体分布, 呈短柱状或不规则粒状出现(图3, 4), 粒径为5~55 μm 。在单偏光镜下, 其为无色、具闪突起和高级白干涉色。探针分析表明其为碳酸钙类矿物(表2)。由于文石与方解石的晶体结构不同, 故其拉曼谱线也不相同^[18], 因此通过拉曼光谱仪测试可以准确而快捷地鉴定文石。为此, 应用RM1000型激光拉曼光谱仪(英国RENISHAW公司生产)对其进行室温下拉曼光谱分析。该光谱仪空

表 1 红石咀绿片岩中石榴石电子探针分析数据($W_B/\%$)

Table 1 Microprobe analyses of garnets in greenschist of Hongshizui

样品	Grt01			Grt02			Grt03	
	边部	核部	边部	边部	核部	边部	核部	边部
SiO ₂	38.04	37.79	38.24	37.75	37.89	38.36	37.73	38.00
TiO ₂	0.12	0.23	0.11	0.08	0.14	0.08	0.08	0.06
Al ₂ O ₃	21.06	20.51	21.16	21.51	21.61	21.61	21.19	21.36
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
FeO	20.15	12.25	20.02	21.09	18.10	20.36	20.35	21.18
MnO	5.89	15.52	6.03	6.02	9.47	6.02	6.66	6.11
MgO	0.46	0.20	0.47	0.48	0.36	0.46	0.41	0.50
CaO	13.97	12.01	13.69	12.92	12.37	13.69	13.67	13.56
Na ₂ O	0.08	0.07	0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	0.01
总计	99.77	98.58	99.74	99.86	99.96	100.60	100.12	100.79
TSi	3.03	3.06	3.04	3.01	3.02	3.03	3.00	3.00
Al ^{VI}	1.97	1.96	1.98	2.02	2.03	2.01	1.98	1.98
Fe ²⁺	1.34	0.83	1.33	1.41	1.21	1.34	1.35	1.40
Mg	0.06	0.02	0.06	0.06	0.04	0.05	0.05	0.06
Mn	0.40	1.06	0.41	0.41	0.64	0.40	0.45	0.41
Ca	1.19	1.04	1.17	1.10	1.06	1.16	1.16	1.15
O	12	12	12	12	12	12	12	12
Alm	44.57	27.45	44.99	47.29	40.97	45.43	44.23	45.88
Gross	40.19	35.48	39.38	37.09	35.87	39.14	39.09	38.42
Pyrope	1.84	0.82	1.88	1.92	1.45	1.83	1.63	1.97
Spess	13.40	36.25	13.72	13.67	21.71	13.61	15.06	13.70

注 探针分析由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室分析测试。

间分辨率为2 μm (50倍), 分辨力为1 cm^{-1} , 激光波长为514 nm, 扫描时间为10s。同时, 为区分文石与方解石, 我们对取自同一地点的样品钠长阳起片岩(ZQ17-3)中的方解石布丁(Calc01)进行了相同条件的拉曼光谱测定。

经RM1000分析Grt3中的CaCO₃包裹体, 获得了1085.6, 703.33, 206.87, 152.25(cm^{-1})等文石的特殊峰

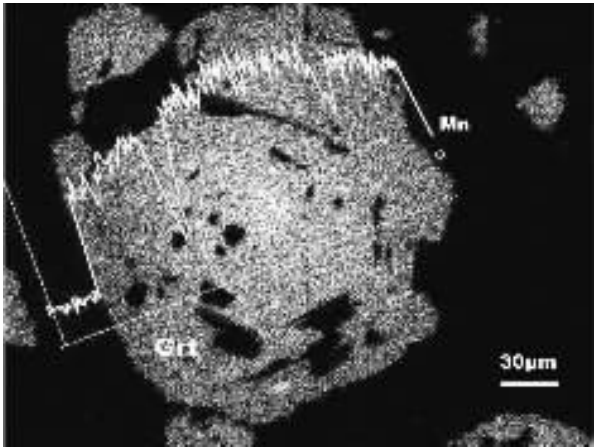


图2 石榴石Grt04中的Mn元素分布图(X-ray)

Fig.2 Mn X-ray composition map of garnet sample Grt04
Grt—石榴石

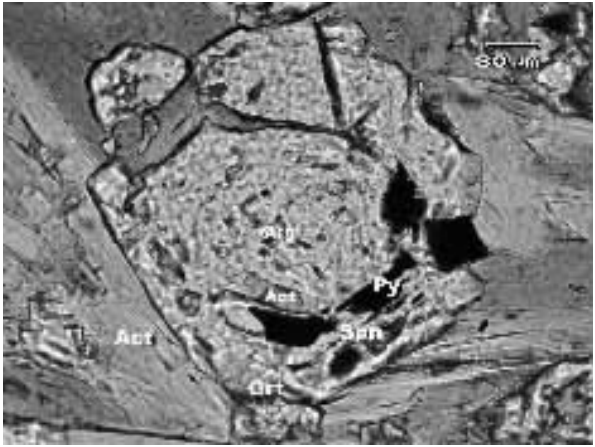


图3 石榴石Grt04中的包裹体(单偏光)

Fig.3 Inclusions in garnet sample Grt04 (plane-polarized light)
Grt—石榴石; Arg—文石; Act—阳起石; Py—黄铁矿; Spn—榴石

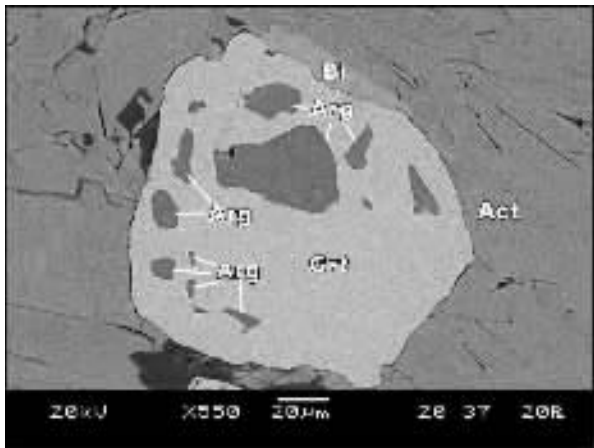


图4 石榴石Grt03中的文石包裹体背散射图像
Fig.4 Backscattered electron image of
aragonite inclusion in garnet sample Grt03
Arg—文石 ;Grt—石榴石 ;Act—阳起石 ;Bi—黑云母

值(图5上部)。通过与RM1000标准谱峰数据库(RENISHAW公司提供)中的文石峰值比对(如图5下部),可见二者特殊峰值完全吻合,而且本区的文石谱峰与美国加利福尼亚文石大理岩中的文石的主要拉曼谱也一致^[15,18]。样品ZQ17-3中的方解石特征峰值为1088,712,282.87cm⁻¹(图6),其与文石的拉曼谱峰特征对比见表2。文石和方解石都具有1090 cm⁻¹附近的一个强峰值,但文石以703.33,206.87,182.39,152.25(cm⁻¹)等几个特殊峰值而明显

区别于方解石(图5,6)。J.L.Bishop 等^[19]的研究表明,靠近712、282和155 cm⁻¹的弱峰是方解石的特征,而在700、207和155 cm⁻¹附近的弱峰则是文石所特有的。Grt03中文石包裹体的特征峰值与J.L.Bishop等^[19]所论述的文石特征完全相符(表3)。
由此证明这些碳酸盐类矿物包裹体均为文石。

2.3 多硅白云母

本区绿片岩中多硅白云母与石榴石共生,呈细小鳞片状。多硅白云母的探针分析数据见表1。本区多硅白云母的SiO₂含量为49.67%~52.17%,Si⁴⁺值为3.425~3.460,均大于3.0。Velde^[20]认为多硅白云母的Si⁴⁺值与温度成反比关系,而随着压力的增大而增高。与典型高压地区变质岩中的多硅白云母^[21,22]的对比见表4,可知本区多硅白云母中的MnO、CaO比后两者高些,这可能与原岩的成分有关。

3 变质作用p-T条件估算

Ernst等^[6]、Liou等^[23]、Winkler等许多学者曾对不同地区的高压变质作用p-T条件进行过详细的研究,虽然不同地区、不同研究者估算的温压条件不尽相同,但一般将其限制在250~550℃、0.3~1.2GPa范围内。本文根据石榴石-角闪石温度计^[20]估算,本区石榴石及蓝透闪石的形成温度在300~360℃范围内。Liou和Maruyama(转引自文献[24])的研究表明,当压力升高到一定程度,蓝闪石与阳起石反应形成蓝

表 2 红石咀绿片岩中文石包裹体电子探针分析数据(W_B/%)

Table 2 Microprobe analyses of aragonite inclusions in greenschist of Hongshizui											
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	总计
文石	0.002	0.002	0.002	0.00	0.009	55.017	0.007	0.016	0.009	0.242	55.306

注 测试单位同表 1。

表 3 方解石与文石特征拉曼峰值对比表

样品	文石特征峰值				方解石特征峰值				备 注
	~ 1190	~ 700	~ 207	~ 155	~ 1190	~ 712	~ 282	~ 155	参考文献[19]
苏北连云港文石	1085.6	703.33	206.87	152.55	—	—	—	—	本文测定 RENISHAW 公司(英国)
LRM 文石标样	1085	703	206	152	—	—	—	—	
皖西新店文石	1085.5	701.5	208	—	—	—	—	—	参考文献[18]
California 文石(USA)	1085.5	706	206	—	—	—	—	—	
皖西新店方解石	—	—	—	—	1085.5	712	280	—	本文测定
苏北连云港方解石	—	—	—	—	1088.0	713.21	282.87	155.83	

测试单位 中国大陆科学钻探大陆动力学实验室。

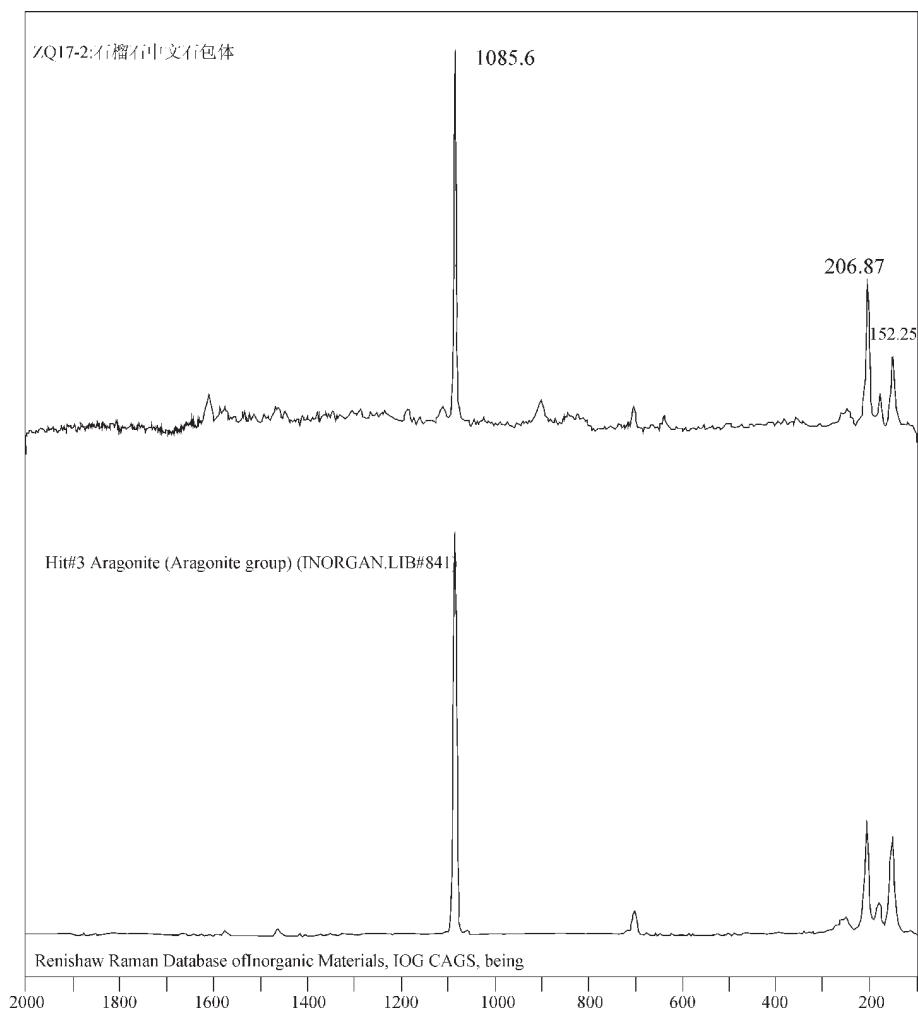


图5 文石的拉曼谱图(ZQ17-2)

Fig.5 LRM spectrum of aragonite (ZQ17-2)

上部—Grt03中的文石包裹体(ZQ17-2);下部—标准数据库中的图谱(RENISHAW公司提供)

透闪石,其温压范围大致为 $300\sim 350^{\circ}\text{C}$ 、 $0.8\sim 0.9\text{GPa}$ 。本区出现蓝透闪石,同时,由于石榴石核部还见有文石包裹体,根据文石-方解石的稳定曲线可知,其形成时的温压条件为 $300\sim 360^{\circ}\text{C}$ 、 $0.7\sim 0.85\text{GPa}$,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 $350\sim 410^{\circ}\text{C}$ (图7)。

4 问题与讨论

自Coleman等(1962)在加利福尼亚弗兰西斯科建造的高压变质带中发现文石以来,文石就成为低温高压变质相——蓝片岩相的标志矿物之一,其形成环境、保存条件、相变机制及动力学问题一直广

受关注。许多研究者对文石形成条件进行了论述。Johannes等^[25]的研究认为文石-方解石的转变条件为: $T=185\sim 220^{\circ}\text{C}$ 时, $p=0.55\text{GPa}$; $T=404\sim 415^{\circ}\text{C}$ 时, $p=0.92\text{GPa}$ 。Brown^[26]等认为文石在蓝片岩相变质条件下结晶和保存时,其平均地热梯度不高于 $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。Carlson^[27]等认为含文石的地质体折返过程中其 $p-T$ 轨迹必须与其前进变质的 $p-T$ 轨迹非常类似(即折返过程中 dp/dT 亦很高)。赵文俞等^[28]在木兰山蓝片岩中观察到粒间文石及文石包裹体,其中,微米级文石包体存在于非晶质 SiO_2 中,估计其地热梯度为 $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 左右。

本区高压变质岩形成时的温压条件为 $300\sim 360^{\circ}\text{C}$ 、 $0.7\sim 0.85\text{GPa}$,其后期叠加绿片岩相变质作用

的温度为350~410℃。同时,本区绿片岩中的文石包裹体不同于木兰山蓝片岩中的文石包裹体赋存形式,其载体矿物主要为石榴石,本文认为正是石榴石这种刚性矿物的特性使得文石得以保留。载体矿物石榴石此时起到了刚性容器的作用, 尽管折返过程中变斑晶外的实际围压已经处于低压状态,但文石包裹体在石榴石变斑晶内部仍可处于稳定域中^[29]。石榴石包容文石包裹体的同时还阻止了促使退化变质作用产生的流体的进入,因此文石得以被完全地保留下来。

综上所述,本区石榴石中文石包裹体的发现有几个方面的地球动力学意义:(1) 文石包裹体的存在及所在岩系的温压条件估算表明该岩系早期经历过低温高压变质作用。其形成温度远远低于前人认为的400~500℃。前人的研究将后期的绿片岩相叠加事件视为这套岩系的形成条件,并由此划分为不同的石榴石亚带或石榴石绿帘石亚带,

表 4 红石咀绿片岩多硅白云母电子探针分析数据
Table 4 Microprobe analyses of the phengites
in the greenschists of Hongshizui

样号	苏北连云港				东阿尔卑斯	
	17 - c1	17 - c2	17 - c3	17 - c4	— Cordillera(1985) ^[21]	92 - 32a (1997) ^[22]
SiO ₂	51.92	50.2	49.67	52.17	51.14	49.81
TiO ₂	0.11	0.09	0.13	0.12	0.16	0.37
Al ₂ O ₃	26.27	24.9	26.85	26.82	29.09	26.64
Cr ₂ O ₃			0.04	0.03	—	—
FeO	4.31	3.55	4.37	4.24	1.91	4.22
MnO	0.07	0.03	0.05	0.04	0.00	0.02
MgO	3.05	3.21	2.74	3.1	2.56	3.00
CaO	0.01	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00
Na ₂ O	0.2	0.15	0.16	0.17	0.48	0.22
K ₂ O	11.44	11.1	11.34	11.25	9.87	10.59
Total	97.38	93.3	95.37	97.96	95.23	99.49
Si	3.437	3.46	3.367	3.425	3.386	6.75
Al ^{IV}	0.563	0.54	0.633	0.575	0.614	1.25
Al ^{VI}	1.485	1.48	1.511	1.499	1.657	1.503
Ti	0.005	0.01	0.007	0.006	0.008	0.019
Fe ³⁺	0	0	0	0	—	—
Fe ²⁺	0.239	0.21	0.248	0.233	0.106	0.239
Cr	0	0	0.002	0.002	—	—
Mn	0.004	0	0.003	0.002	0.000	0.001
Mg	0.301	0.33	0.277	0.303	0.253	0.303
Ca	0.001	0	0.001	0.001	0	0.0
Na	0.026	0.02	0.021	0.022	0.062	0.029
K	0.966	0.98	0.981	0.942	0.834	0.916
O	11	11	11	11	11	11

测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室。

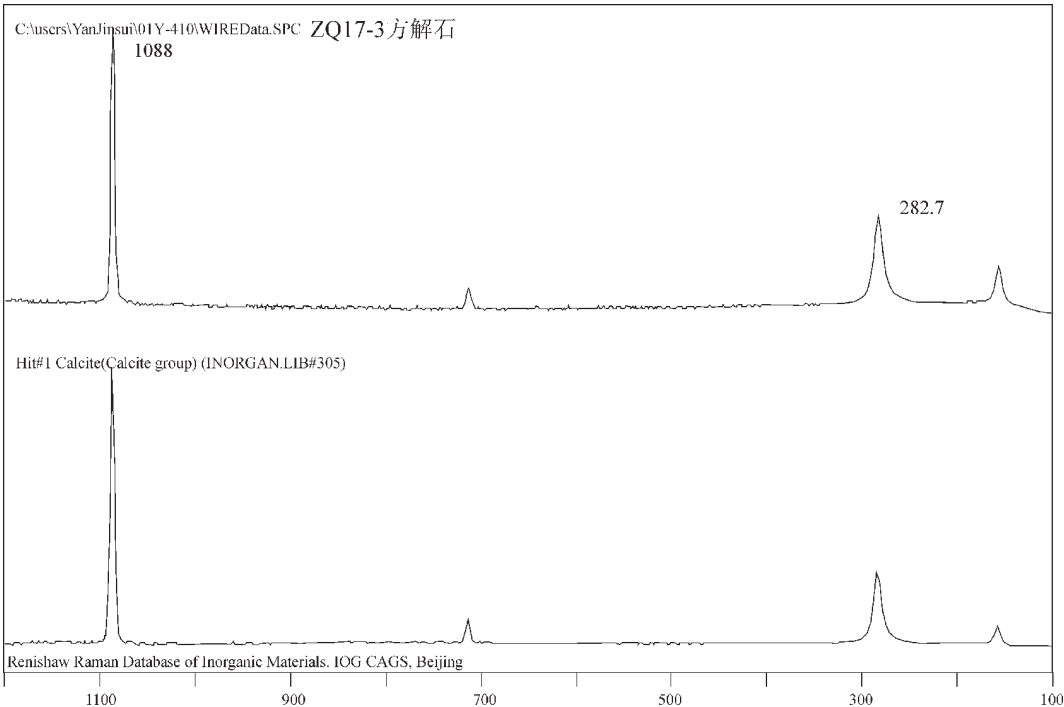


图6 方解石的拉曼谱图(ZQ17-3)

Fig.6 LRM spectrum of calcite (ZQ17-3)

上部—ZQ17-3方解石布丁;下部—标准数据库中的图谱(RENISHAW公司提供)

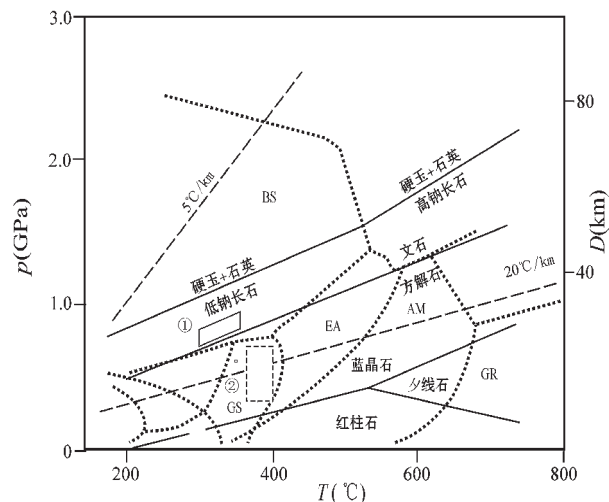


图7 连云港红石咀高压变质作用的 p - T 条件
(变质相界线引自文献[23])

Fig.7 p - T conditions for HP metamorphism
at Hongshizui, Lianyungang

①—早期高压变质作用条件；②—后期绿片岩相变质条件
BS—蓝片岩相；GS—绿片岩相；EA—角闪岩相；AM—绿帘角
闪岩相；GR—麻粒岩相

忽略了早期的高压变质事件。本区可能与其南部的蓝片岩带为同一低温高压变质事件的反映。(2)本区出露的绿片岩相岩系是后期构造热事件叠加形成的产物。早期(前峰期)的高压矿物组合在基质矿物组合中已经“消失”,而在石榴石这类刚性矿物中却得以保留。(3)早期的低温高压变质作用形成的地热梯度为 $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 左右,而不应是根据后期矿物组合估算的 $(15\pm 3)^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 左右。这与其北部的超高压变质带形成时的地热梯度($7\sim 11^{\circ}\text{C}/\text{km}$)近似,预示着二者形成环境及过程可能具有相似性。

显然,本区绿片岩中的石榴石内发现文石包裹体仅仅是对本区构造格局及演化过程进行重新构思的开始,对载体矿物石榴石进行详细的矿物学方面的研究以及应用显微构造分析揭示变质变形之间的关系将会为本区的构造演化、动力学过程的讨论提供更多依据。这也将是今后我们在本区继续工作的重点。

致谢 在成文过程中曾得到大陆动力学实验室戎合、陈方远两位实验员的大力帮助,特表感谢。

参考文献:

[1] 从柏林,王清晨. 大别山苏鲁超高压变质带研究的最新进展[J].

科学通报,1999,44(11):1127~1129.

[2] 叶凯. 大别山苏鲁超高压变质带的矿物学和岩石学研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报,2001,20(3):142~148.

[3] 刘福来,许志琴,杨经绥,等. 中国苏北预先导孔CCSD-PP2片麻岩中锆石的矿物包裹体及其超高压变质作用的证据[J]. 科学通报,2001,46(3):241~246.

[4] 张泽明,许志琴,徐惠芬. 南苏鲁超高压变质带东海ZK703钻孔榴辉岩的变质作用[J]. 地质学报,2001,73(4):322~333.

[5] 徐惠芬,杨天南,刘福来,等. 苏鲁超-高压变质带南部花岗片麻岩-花岗岩的多时代演化[J]. 地质学报,2001,75(3):371~378.

[6] Ernst W G, Liou J G. Contrasting plate-tectonic styles of Qinling-Dabie-Sulu and Franciscan metamorphic belts[J]. Geology,1995,23:353~356.

[7] T Kata, M Enam, M Zhai. Ultra-high-pressure (UHP) marble and eclogite in the Su-Lu UHP terrane, eastern China [J]. J. Metamorphic Geol. 1997,15:169~182.

[8] 张儒媛,从柏林,刘忠光. 苏鲁超高压变质带及其成因解释[J]. 岩石学报,1993,9(3):211~225.

[9] 孙竞雄,吕恩茂. 苏北前寒武纪变质岩变质相带的基本特征[A]. 见:中国变质地质图编制与研究论文集(第2辑)[C].北京:地质出版社,1988.178~191.

[10] 孙竞雄,宗淳虎,曹德民,等. 苏北元古宙海州群变质作用[J]. 岩石矿物学杂志,1989,8(3):212~220.

[11] 陈火根. 苏北中-晚元古代云台群变质作用特征[J]. 江苏地质,1997,21(4):204~211.

[12] 于津海,王赐银,林黎明. 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,2001,75(1):82~90.

[13] 樊金涛. 苏北海州群碧玉角斑岩系的成因[J]. 中国区域地质,1995,(2):118~124.

[14] Patrick J O'Brien. Garnet zoning and textures in overprinted eclogites,Bohemian Massif,European Variscides: A record of their thermal history during exhumation [J]. Lithos,1997,41:119~133.

[15] 张泽明,刘淑春,郭月敏,等. 高压超高压变质作用石榴石成分环带及动力学[J]. 国外矿床地质,1999,2:1~40.

[16] Spear F S, Kohn M J, Florence F P, et al. A model for garnet and plagioclase growth in pelitic schists: implications for thermobarometry and p - T path determinations [J]. J. metamorphic Geol.,1991,8:683~696.

[17] Chernoff C B, Carsen W D. Disequilibrium for Ca during growth of pelitic garnet [J]. J. metamorphic Geol.,1997,15:421~438.

[18] 徐培苍,李如璧,王永强,等. 地学中的拉曼光谱[N]. 西安:陕西科学技术出版社,1996.74~76.

[19] Bishop J L, Lane M D, Mancinelli R L, et al. composition and origin of martian surface material, remote detection of minerals, and applications to astrobiology Workshop on Mars 2001 Integrated Science Preparation for Sample Return and Human Exploration [M]. October 24 1999 Lunar and Planetary Institute, Houston, Texas, USA.

- [20] 张儒媛,从柏林编著. 矿物温度计和矿物压力计[M]. 北京:地质出版社,1983.226~228.
- [21] Jane S, Frank S S. Metamorphic p - T Paths from pelitic schists and greenstones from the south-west Tauern Window, Eastern Alps[J]. 1985,3:439~465.
- [22] Virginia B Sisson et al.High-pressure(~ 2000 MPa)Kyanite- and Glaucophane-bearing Pelitic Schist and Eclogite from Cordillera de la Costa Belt, Venezuela[J]. Journal of Petrology,1997,38(1):65~83.
- [23] Liou J G, Zhang R Y, Ernst W G, et al. High-pressure minerals from deeply subducted metamorphic rocks[A]. In: Hemley R J (ed.). Ultrahigh-pressure Mineralogy: Physics and Chemistry of the Earth's Deep Interior[C]. Mineral Soci. Am.,Reviews in Mineralogy,37:33~96.
- [24] 邓希光,丁林,刘小汉,等.藏北羌塘中部冈玛日-桃形错蓝片岩的发现[J]. 地质科学,2000,25(2):227~232.
- [25] Joohannes W, Puhon D.The calcite-aragonite transition, reinvestigated[J]. Contr.Mineral.Petrol.,1971,31:28~38.
- [26] Brown W H, Fyfe W S, Turner F J. Aragonite in California glaucophane schists, and the kinetics of the aragonite-calcite transformation[J]. J. Petrol.,1962,3:566~582.
- [27] Carlson W D, Rosenfeld J.Optical determination of topotactic aragonite-calcite growth kinetics; metamorphic implications[J]. Journal of Petrology,1981,89:615~638.
- [28] 赵文俞,刘嵘,王勤燕,等. 木兰山蓝片岩中两种文石的产出特征及其动力学意义[J]. 地球科学,2001,26(6):568~573.
- [29] 刘雅琴编译. 超高压变质岩石的产生、保存和剥露[J]. 世界地质,1997,16(4):10~19.

New mineral evidence of high-pressure metamorphism of the Subei high-pressure belt—Aragonite inclusions in garnet from greenschist

QIU Haijun^{1,2} XU Zhiqin² ZHANG Zeming² YANG Jingsui²
YANG Tiannan² ZHANG Jianxin² LI Haibing²

(1. Faculty of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The Subei high-pressure(HP)metamorphic belt lies on the southeastern margin of the Sulu ultrahigh-pressure (UHP) metamorphic belt, northern Jiangsu. Most of its outcrops consist of greenschist-facies rocks of the Meso- to Neoproterozoic Yuntai Group-complex. In this belt, however, the typical blueschist is only found in drill cores from Yangji Town, Guanyun County, northern Jiangsu. The laser Raman (LRM)spectrum shows that there occur micron-sized aragonite (CaCO_3)inclusions in fine-grained subhedral garnet phenocrysts from greenschist of the group-complex in Lianyungang,northern Jiangsu. These garnets as a low-diffuse rigid mineral have undergone multi-stage deformation and metamorphism. The evidence of the metamorphism is preserved in the compositional zoning of garnet and the inclusion mineral assemblage. The appearance of aragonite inclusions indicates that the greenschist-facies rocks in the northern part of the Subei HP metamorphic belt, i.e. the outcrops in the study area, are part of a HP terrane which was overprinted by greenschist facies metamorphism in the late stage.

Key words: aragonite; high-pressure metamorphic belt (HP); garnet; northern Jiangsu