

# 胶南造山带中高压、超高压变质矿

王来明 宋明春 刘建文

(山东省地质调查研究院)

**提要** 胶南造山带榴辉岩中的高压、超高压变质矿物主要有绿辉石、镁铝榴石、柯石英、金刚石、金红石等。柯石英、金刚石均呈微晶状包裹于石榴子石、绿辉石中。柯石英多已转化为石英聚晶,并使包裹它的矿物产生放射状胀裂纹;金刚石呈近等轴八面体等,其形成压力达3.5GPa以上。榴辉岩围岩中的高压、超高压变质矿物主要有辉石类(透辉石、霓石、暗硬玉)、钠钙质—钠质角闪石(钠闪石、镁钠闪石)、多硅白云母(3T型)、钠长石、绿帘石等。高压、超高压变质矿物的广泛出现指示区内存在两期高压变质作用:早期为超高压榴辉岩相变质作用;晚期为高压绿片岩相—榴辉岩相变质作用。华北板块与扬子板块的多次碰撞是区内高压、超高压变质作用产生的主要原因。

**关键词** 矿物组合 变质作用 高压带 演化阶段 胶南造山带

胶南造山带因发育含柯石英榴辉岩等高压、超高压变质岩而引起众多中外地质学者的关注。自 Enem i and Zhang (1988) 在东海榴辉岩中发现高压矿物镁十字石后,人们又陆续发现了许多高压、超高压成因的变质矿物。本文对此作一系统介绍,以阐述该区高压、超高压变质作用的特征。

## 1 榴辉岩中的高压、超高压变质矿物

榴辉岩中的矿物可分为原生矿物和后生矿物两大类。榴辉岩的主要组成矿物绿辉石、石榴子石和特征指相矿物柯石英、金刚石、金红石等均为原生矿物,形成于高压、超高压环境。由于前人对榴辉岩中主要矿物的矿物化学特征已有较多的论述,故本文仅简述其矿物学特征。

### 1.1 绿辉石

呈柱状、板柱状均匀分布于榴辉岩中,显微镜下呈浅—深的各种绿色。有的绿辉石呈团块状聚晶构成绿辉石岩,其边部常有透辉石和斜长石的指纹状合晶冠状体。绿辉石的硬玉组分一般在30%~60%之间,反映其形成的压力大于1.0GPa。

### 1.2 石榴子石

主要为镁铝榴石,呈粉红色或淡玫瑰红色,粒径0.5mm左右。也有呈变斑晶者,粒径

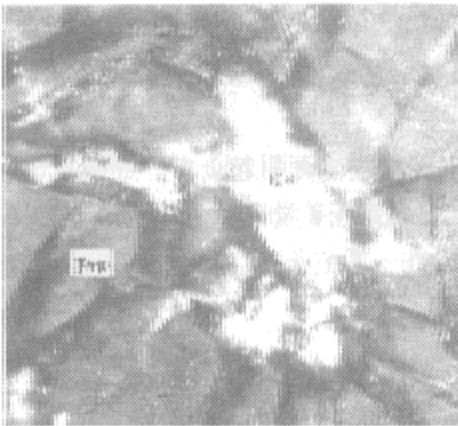
1~1.5mm。有的斑晶呈近椭圆状,其内包裹微晶金红石。石榴石自形等轴晶体的原始形态由呈残余环带状分布的金红石包裹体所显示,说明矿物形成的初始阶段为均衡压力重结晶,而后为应力重结晶。石榴子石内可见柯石英、透长石、金红石、锆石、金刚石、石墨等包体,说明其形成时处于超高压、高温环境。部分石榴子石因含有辉石、角闪石、石英等包体而呈骸晶状或筛状变晶结构。

由石榴子石-单斜辉石矿物对估算的石榴子石形成温度为 601 ~ 1375<sup>[1]</sup>。

### 1.3 柯石英

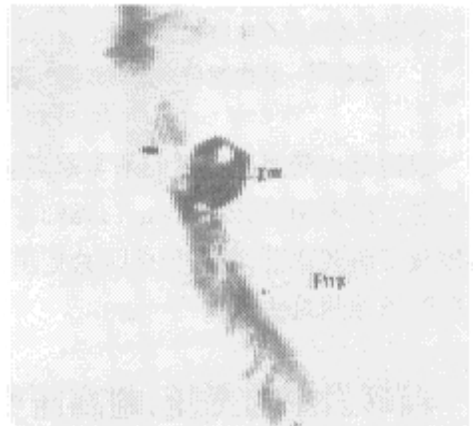
柯石英多呈浑圆状包于石榴子石和绿辉石内,是榴辉岩中较常见的特征指相矿物。多数柯石英晶体已转化为多晶石英聚晶体,仅个别颗粒保留假六方形态,但在同一薄片内仍可见到柯石英的残留体。柯石英具中高突起,折光率为  $N_g = 1.594, N_m = 1.596, N_p = 1.599, (+)2V = 55^\circ$ 。柯石英的外围常有针状石英镶边,这是由于柯石英在降压后首先转化为针状石英(呈毛发状晶体围绕柯石英并由外向内逐渐转化),之后针状石英发生重结晶呈微晶状(粒径 0.01~0.02mm)聚晶(粒径 1mm 左右)而形成的。聚晶周围的主矿物常出现放射状裂纹,形成胀裂结构(照片 1)。

柯石英形成的压力超过 2.8GPa。



照片 1 镁铝榴石(Pyp)中的  
柯石英(Cs)包体及胀裂结构  
(日照岚山头, L = 0.30mm)

Photo. 1 Coesite (Cs) inclusions and  
crack structure in pyrope (pyp)



照片 2 镁铝榴石(Pyp)中的  
金刚石(Dm)包体  
(荣成滕家集, L = 0.30mm)

Photo. 2 Diamond (Dm) inclusions  
in pyrope (Pyp)

### 1.4 金刚石

日照岚山头、诸城及荣成一带的榴辉岩中发现的金刚石矿物,呈等轴八面体、四方体和六方假象晶体,粒径 0.005~0.007mm(照片 2)。镜下为均质体,极高突起,无色。金刚石形成的压力达 3.5GPa 以上。

### 1.5 金红石

金红石是榴辉岩中的常见副矿物。主要有二种产出状态:一是呈微晶针状体交织状散布于石榴石的中心部位;另一是呈正方柱状体分布在石榴石和单斜辉石的外缘或孔隙中,粒径 0.1~0.3mm。后者在退变质阶段可聚集加大,并集结为细脉。金红石在榴辉岩中较

稳定,但在强退变质条件下,由于温度降低和  $P_{H_2O}$  增大,亦可转变为榴石或钛铁矿。故金红石周围常有榴石镶边,变化强烈时,甚至全被榴石和钛铁矿所替代。

## 2 榴辉岩围岩中的高压、超高压变质矿物

### 2.1 主要高压矿物组合

胶南造山带中除榴辉岩具有典型的高压、超高压特征外,近年来在其围岩中也发现了一些曾经受过高压变质的迹象,如高压的特征矿物(含较高硬玉组分的单斜辉石,3T型多硅白云母等)及高压矿物组合。榴辉岩围岩中的主要高压矿物组合有:

Ab(钠长石)+Mic(微斜长石)+Qz(石英)+Ae(霓石)+Rie(钠闪石)±Gt(石榴子石),主要见于变含霓石碱长花岗岩;

Gt+Phe(多硅白云母)+Ab+Qz+Ep(绿帘石),主要见于含绿帘钠长白云片岩;

Phe+Zo(黝帘石)+Ab+Qz,主要见于含黝帘钠长白云石英片岩;

Ha(绿钠闪石)+Ab+Mic+Qz,主要见于变角闪二长花岗岩;

Di(透辉石)+Pl(斜长石)+Qz+Gt,主要见于含石榴透辉变粒岩;

Cm(暗硬玉)+Mr(镁钠闪石)+Ab+Qz,主要见于含镁钠闪石暗硬玉片麻岩。

主要高压矿物组合中代表性矿物的电子探针分析结果列于表1,各高压变质矿物的主要特征列述于下。

### 2.2 辉石类

区内与高压变质有关的辉石类矿物主要有透辉石、暗硬玉及霓石。

透辉石主要见于荆山群含石榴透辉变粒岩中,其Jd(硬玉)分子含量高,达15.28%,说明它曾经受过高压变质作用。依共生的Gt-Cpx矿物对估算其形成压力为1.35GPa,已进入高压相系。

暗硬玉发现于诸城磊石山的片麻岩中。具成分环带:中心部分成分为Jd=22.5%、Ae=58.8%、Hd(钙铁辉石)=7.8%、Di=10.9%;边部退变为锥辉石质普通辉石,成分为Jd=9.9%、Ae=70.3%、Hd=5.9%、Di=13.9%<sup>[2]</sup>。

霓石主要见于日照老爷顶及莒南车夫山的变含霓石碱长花岗岩中。矿物呈不规则状、柱状,深绿色,柱状者定向排列,长轴0.5~1.5mm。其Ae分子含量达76.8%。与霓石伴生的钠长石是纯钠长石,其中包含有星点状的辉石、石英残留体。表明长英质岩石在由高压向低压的退变质过程中,发生了富Jd的辉石+石英=贫Jd的辉石+钠长石的变质反应。即原来富Jd的辉石(可能是绿辉石)为榴辉岩相变质作用的产物,而现存贫Jd的辉石(霓石)则是退变质作用的结果。

### 2.3 角闪石类

角闪石类是胶南造山带中成分变化较复杂的一类矿物,其中绝大多数是钙质角闪石,另有少量钠钙质角闪石和钠质角闪石。与高压成因有关的角闪石主要有钠闪石、绿钠闪石及镁钠闪石。

表 1 代表性矿物电子探针分析结果(wt%)

Table 1 Microprobe analysis results of representative minerals (wt%)

矿物	Di (透辉石)	Ae (霓石)	Ha (绿钠闪石)	Mr <sup>*</sup> (镁钠闪石)	Rie (钠闪石)	Phe (多硅白云母)	Ab (钠长石)	Gt (石榴子石)	Ep (绿帘石)
SiO <sub>2</sub>	50.40	50.91	37.18	55.79	51.10	47.67	67.89	35.94	38.87
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.13	0.46	0.22	0.00	0.28	0.00	0.16	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.13	2.05	10.93	0.51	0.79	23.63	19.77	20.21	28.30
FeO	12.90	29.36	33.54	15.83	34.62	9.30	0.00	24.60	7.41
MnO	1.23	0.55	0.76	1.16	0.96	0.00	0.00	8.57	0.00
MgO	8.56	0.73	1.40	14.79	2.84	2.02	0.00	0.65	0.00
CaO	22.70	3.28	9.26	3.43	0.36	0.00	0.14	9.62	22.68
Na <sub>2</sub> O	2.17	11.07	2.00	5.87	6.33	0.22	11.50	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.16	0.00	2.66	0.74	0.19	12.02	0.16	0.00	0.00
Sum	99.25	98.09	98.20	98.34	97.19	95.19	99.46	99.74	97.43
O	6	6	23	23	23	11	8	12	25
Si	1.906	1.949	6.171	8.034	7.929	3.357	2.982	2.905	6.046
Ti	0.000	0.004	0.057	0.025	0.000	0.015	0.000	0.010	0.020
Al	0.050	0.092	2.138	0.087	0.145	1.961	1.023	1.925	5.188
Fe <sup>3+</sup>	0.353	0.768	0.578	0.000	1.236	0.000	0.000	0.244	0.677
Fe <sup>2+</sup>	0.057	0.172	4.078	1.906	3.256	0.548	0.000	1.419	0.290
Mn	0.039	0.018	0.107	0.143	0.126	0.000	0.000	0.587	0.000
Mg	0.482	0.042	0.035	3.176	0.657	0.212	0.000	0.078	0.000
Ca	0.920	0.135	1.647	0.529	0.060	0.000	0.007	0.833	3.780
Na	0.159	0.821	0.644	1.638	1.591	0.030	0.979	0.000	0.000
K	0.008	0.000	0.563	0.136	0.352	1.080	0.009	0.000	0.000

注: FeO 为电子探针分析的全铁含量以 FeO 形式给出的值; Sum 为氧化物总量; \* 为引自苏尚国资料, 1994。

钠闪石与霓石相伴分布, 呈深绿色, 细长柱状, 前者可交代后者。形成压力约 0.93~1.11GPa。

绿钠闪石见于胶南石灰窑、月季山等地的变含角闪二长花岗岩类岩石中, 呈淡蓝绿色, 细柱状, 与石榴子石、石英、钠长石交生构成集合体, 为高压退变质过程的产物。

镁钠闪石主要见于诸城磊石山, 呈蓝紫色, 其 Na<sub>2</sub>O 含量高达 5.87%。具成分环带, 从中心至边缘蓝闪石分子不断减少, 而 Tschermak (契尔马克) 分子基本保持不变, 反映压力由高向低的变化过程<sup>[5]</sup>。

## 2.4 白云母

白云母广泛分布于榴辉岩及其围岩中, 呈片状, 无色—淡绿色,  $2V$  近于 0°。Si = 3.1~3.55, 为多硅白云母, Si 值高者已进入榴辉岩相变质条件。白云母的 X 射线分析结果, 表明其晶体结构主要属 3T 型(图 1)。白云母的  $b_0 = 9.030 \sim 9.054^{\circ}$ , 按照萨西(Sassi)的形成白云母的压力范围( $b_0 = 9.040$  为中、高压界限), 本区白云母多已进入高压相系。

## 2.5 钠长石

钠长石是胶南造山带中分布最为广泛的变质矿物, 是不同世代退变质阶段的产物。与

其它高压矿物(如多硅白云母、绿钠闪石等)共生的钠长石其 $A_n < 5$ 。在胶南月季山的含黝帘钠长白云石英片岩中, 钠长石构成白云母和黝帘石的环边(宽约 0.02~ 0.04mm) (图 2)。这种结构特征说明可能存在  $Cs$ (柯石英)+  $Ky$ (蓝晶石)+  $San$ (透长石)=  $Qz$ +  $Mu$ (白云母)+  $Ab$ +  $Zo$  退变质反应, 即现存岩石内的白云母、钠长石、黝帘石等矿物主要是蓝晶石、柯石英的退化转变产物。

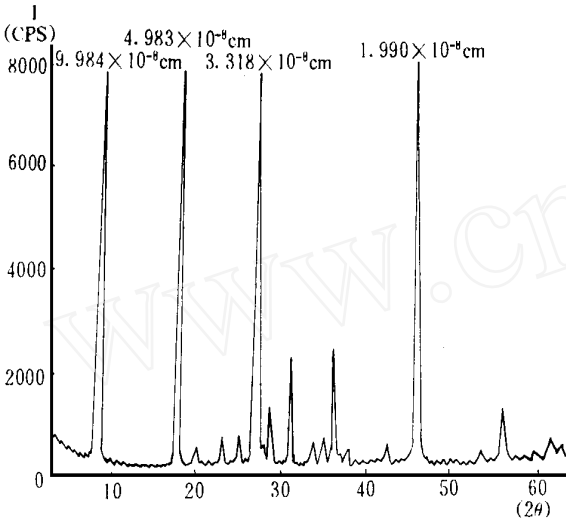


图 1 白云母 X 射线衍射图 (胶南月季山)

Fig 1 X- ray diffractogram of muscovite

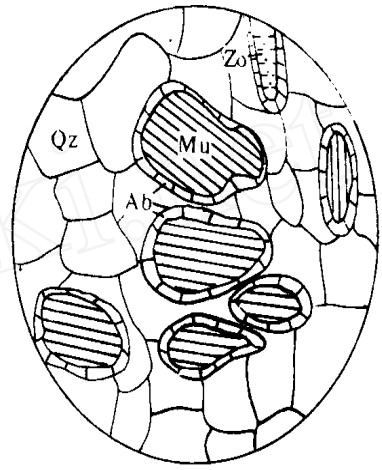


图 2 白云石英片岩中白云母(Mu)和黝帘石(Zo)的钠长石(Ab)环边 (胶南月季山, 据显微薄片素描)

Fig 2 Albite rim of muscovite- quartz schist

### 2.6 帘石

帘石也是本区普遍存在的变质矿物, 它可形成于高压、超高压变质作用和退变质作用的各个阶段。绿帘石中柯石英包体的发现, 表明含水矿物可以在超高压作用下稳定存在<sup>[4]</sup>。区内帘石中绿帘石组分( $PS = Fe^{3+} / (Al + Fe^{3+})$ )含量为 11% ~ 28%。诸城一带含蓝晶石的硅质片岩中出现  $Ky + Zo + Qz$  组合<sup>[5]</sup>, 这个组合与变质反应  $An + H_2O = Zo + Ky + Qz$  有关, 即斜长石中  $A_n$  含量越低, 则发生该反应所需的压力越高。而本区的钠长石  $A_n < 5$ , 因此  $Ky + Zo + Qz$  的出现应是高压变质作用的产物。

### 3 高压变质作用的演化

上述变质矿物及矿物组合特征, 反映了胶南造山带分别经历过高压及超高压变质作用。高压变质作用的  $P - T$  域由  $Si = 3.55, Jd = 15$  及  $Pa$ (钠云母)+  $Qz = Ab + Ky + H_2O$  和蓝片岩相与绿片岩相的相界确定(图 3)。而超高压变质作用的  $P - T$  域则由生成柯石英、金刚石的压力线及 600 和 1350 的温度线所确定。

胶南造山带经受过两期高压变质作用: 早期为超高压榴辉岩相变质作用, 压力范围 2.8~ 4.5 GPa; 晚期为高压绿片岩相—榴辉岩相变质作用, 压力范围 0.9~ 1.5 GPa。根据



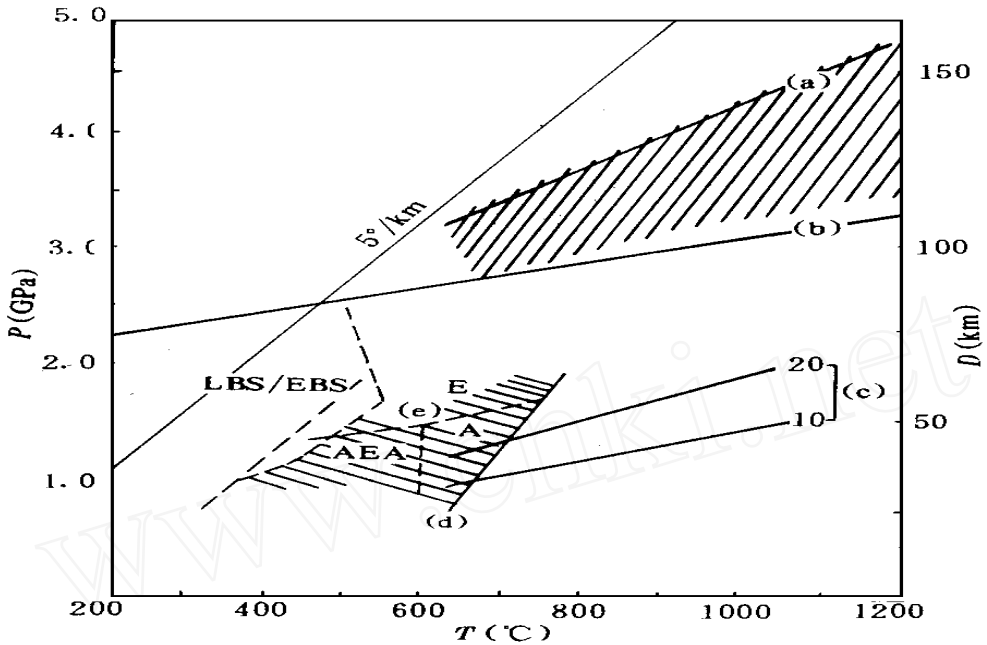


图3 高压、超高压变质作用的  $P$ - $T$  域

Fig 3  $P$ - $T$  domain of high and ultrahigh metamorphism

变质反应: (a) 石墨—金刚石; (b) 石英—柯石英; (c) 钠质单斜辉石—石英组合的压力下限, 10、20 表示辉石中的硬玉分子含量; (d) 钠云母+ 石英= 钠长石+ 蓝晶石+  $H_2O$ ; (e) 多硅白云母中  $S_i = 3.50$  的压力线

变质相界(据 Evans): A 为角闪岩相; E 为榴辉岩相; LBS/EBS 为硬柱石—蓝片岩相/绿帘—蓝片岩相; AEA 为高绿片岩相

变质矿物的形成年代、岩石地球化学特点、大地构造背景等可确立胶南造山带的高压、超高压变质作用演化过程: 早、中元古代形成的华北板块及扬子板块于晋宁运动阶段发生快速俯冲、碰撞, 地壳加厚, 产生榴辉岩相超高压变质作用; 在冷板块的后续俯冲过程中, 含柯石英榴辉岩因剪切回流和在板底垫托作用及壳源熔融形成的花岗质岩浆裹携下加速抬升至地壳一定部位; 印支期陆—陆再次俯冲碰撞, 产生高压绿片岩相—榴辉岩相变质作用, 碰撞后的岩浆顶托及断块升降作用使高压、超高压变质岩抬升至地表。

### 参 考 文 献

- [1] 王来明, 宋明春, 刘贵章等. 鲁东榴辉岩的形成与演化. 见: 山东地质矿产研究文集. 济南: 山东科学技术出版社, 1996. 39—49
- [2] 苏尚国, 王仁民, 顾德林, 赖兴运. 山东诸城地区胶南群榴辉岩围岩高压变质作用特征. 现代地质, 1994, 8(1): 65—71
- [3] 赖兴运, 苏尚国, 陈珍珍. 山东诸城榴辉岩相长英质岩石变质特征. 地质论评, 1996, 42(3): 257—260
- [4] 张泽明, 游振东, 韩郁菁, 桑隆康. 大别—苏鲁榴辉岩带的岩石学、变质作用过程及成因研究. 地质学报, 1995, 69(4): 306—323

# HIGH- PRESSURE AND ALTRAHIGH- PRESSURE METAMORPHIC MINERALS IN JIAONAN TECTONIC BELT

Wang Laiming, Song Mingchun and Liu Jianwen

(Shandong Geological Survey Institute)

## Abstract

The high and altrahigh- pressure metamorphic minerals in the eclogites of Jiaonan tectonic belt were mainly composed of omphacite, pyrope, coesite, diamond and rutile, etc. The coesite and diamond are included in the garnet and omphacite as a microcline. The coesite mainly changed quartz glomerocryst which made its including minerals create radial cracks; and the diamond with an equant octahedron formed at  $> 3.5$  GPa. The high and altrahigh- pressure metamorphic minerals in eclogite country rocks are mainly composed of pyroxene (diopside, aegirine, dark jadeite), sodium-calcium to sodium amphibole (riebeckite and magnesioriebeckite), lepidomorphite (3T type), albite and epidote. These metamorphic minerals indicate that two stages of high- pressure metamorphism occurred here. The early stage is altrahigh- pressure eclogite facies metamorphism; and the late one is high- pressure greenschist facies to eclogite facies metamorphism. The high and altrahigh- pressure metamorphism are mainly caused by collisions between Huabei and Yangtze plates.

**Key words:** mineral association, metamorphic high- pressure belt, evolution stage, Jiaonan tectonic belt