科学通报
第40卷 第8期 CHINESE SCIENCE BULLETIN 1995年4月

荣城滕家集超高压变质钙硅酸盐岩的岩石学研究*

叶 凯 从柏林

(中国科学院地质研究所岩石圈构造演化开放实验室,北京 100029)

关键词 钙硅酸盐岩 超高压变质 荣城滕家集

在大别山-(江)苏-鲁(山东)超高压变质带中,发育有大量榴辉岩、超基性岩、大理岩和变质泥质岩等高压岩块. 近几年来,在这些高压岩石中相继发现了柯石英[1,2]和金刚石[3]. 最近我们在位于(江)苏-鲁(山东)超高压变质带东北端的荣城滕家集发现了一种特殊的超高压变质岩,它们与榴辉岩具有类似的产出特征. 两个样品的全岩化学成分(分析如表1).

表1 样品的全岩化学成分

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
TJS	72.56	0.39	6.31	3.75	0.25	2.27	16.09	0.00	0.01	0.11
TJS-1	62.31	1.24	10.86	7.20	0.30	3.64	13.68	0.00	0.07	0.28

岩石中较高的 SiO_2 和 CaO,较低的 Al_2O_3, MgO 和不含 Na_2O 和 K_2O 等特征说明它们的原岩是一种钙硅酸盐岩. 这种特殊岩石在文献中还未见有详细的研究报道. 它们与榴辉岩密切相关,与榴辉岩一样是大别山-苏-鲁超高压变质带中重要的岩石单元.

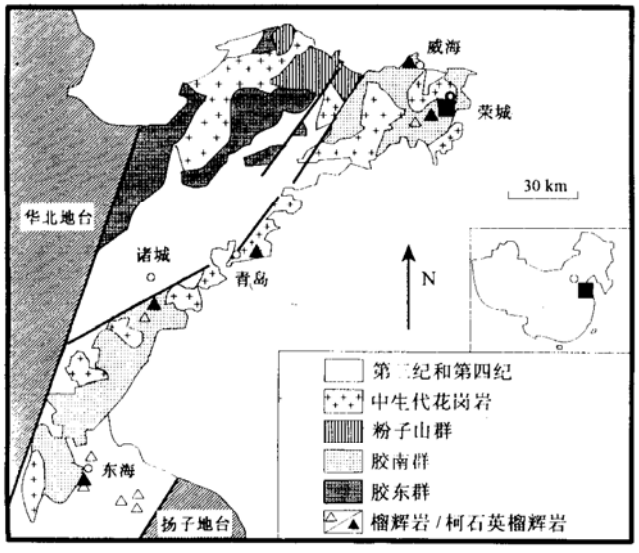

图1 胶东地区地质纲要图

1 区域地质

荣城滕家集位于苏-鲁超高压变质带的东北部(图1). 该超高压变质带有一条夹于几条深大断裂之间的北东东向的狭长变质带,带内广泛出露胶南群地层. 胶南群主要由混合岩化黑云角闪斜长片麻岩组成,另外还夹有少量斜长角闪岩、石英岩和黑云母片岩. 其西部边界为郯庐断裂,北部以五莲-青岛-烟台断裂与胶东群接壤,南部以嘉山-响水断裂与扬子地台的海州群接壤. 该带无论是岩石建造还是构造格局均可与大别山超高压变质带相对比,被认为是大别山超高压变质带的东延部分,并沿郯庐断裂向北北东方向位移. 带内有大量大小不等(长轴从几厘米到几百米)的榴辉岩、超基性岩、大理岩和变质泥质岩等超高压岩块呈透镜状、瘤状或豆荚状产于胶南群片麻岩中.

1994-08-27收稿,1994-12-10收修改稿
*国家自然科学基金资助项目

本文所研究的超高压变质钙硅酸盐岩产于苏-鲁超高压变质带东北端的荣城滕家集，它们呈透镜状或布丁状产于胶南群片麻岩中，周围有几个榴辉岩透镜体以类似的状态产出．块体大致平行于围岩的片麻理分布，局部几个透镜体呈布丁状产于片麻岩的同一层位中．靠近透镜体，围岩的产状围绕块体旋转；远离透镜体，围岩的产状非常稳定．

2　岩相学特征

变质钙硅酸盐岩主要由石榴子石、透辉石、黝帘石、斜黝帘石、榍石和石英组成，另外还含有少量白云母、金红石和浑圆状锆石．不同的块体具有不同的矿物百分比，有的富石英和黝帘石，有的富石英、石榴子石和透辉石，但是它们具相同的矿物组合和矿物成分．岩石具块状或不明显的条带状构造，粗粒状变晶结构．石榴子石和透辉石为自形-半自形，相互共生．黝帘石为它形，分布于石榴子石和辉石所构成的空隙中，常包裹石榴子石和辉石，这说明黝帘石是较晚期的产物，是由石榴子石退变而来．斜黝帘石仅呈环边分布于黝帘石的边缘，是黝帘石退变的产物．二者的接触边界明显，非环带关系，是不同期次变质的产物．榍石为自形晶，常被包裹于黝帘石和斜黝帘石中，但未见它们被包裹于石榴子石和辉石中，而金红石却常呈细小的包裹体产于石榴子石中，因此榍石的形成应晚于石榴子石和辉石．白云母仅被发现与黝帘石共生并被共同包裹于斜黝帘石中．锆石呈浑圆状被包裹于石榴子石中．沿着岩石中的细小裂隙有绿帘角闪岩脉贯入．

3　矿物学特征

变质钙硅酸盐岩中主要矿物的代表性电子探针分析列于表1中．它们是由叶凯和Hirojima在京都大学用Hitachi S550的能谱测量系统(Kevex guantum detecter)测得，测试条件遵循Hirojima[2].

3.1　石榴子石

尽管不同的块体具有不同的矿物百分比，但其石榴子石具有一致的化学成分．不同于榴辉岩和超基性岩中的石榴子石，该变质钙硅酸盐岩中的石榴子石为钙铝榴石($Gro_{81\sim92}$ $Alm_{7\sim16}$ $Spe_{0.3\sim2.1}$ $Pyr_{0.6\sim1.3}$)，含有很低的镁铝榴石组分，较低的铁铝榴石组分和较高的锰铝榴石组分(颗粒边缘)．它们普遍具有不规则的成分环带，自颗粒的中心到边缘，钙铝榴石组分降低，铁铝榴石、锰铝榴石和钙铁榴石组分升高．故为退变环带．

3.2　透辉石

变质钙硅酸盐岩中的辉石为较纯的透辉石，含有很低的Al_2O_3(重量分数为0.4%～1.4%)和Na_2O(重量分数为0～0.30%)．辉石中低的硬玉组分可能是因为原岩中低的Al_2O_3含量和几乎不含Na_2O所致．

3.3　黝帘石

黝帘石呈浑圆状包裹体残存于斜黝帘石中，含有较低的FeO*(重量分数为2%～3.8%)，其结构式中的$Al_2Fe[Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)]$的摩尔系数为18%～20%.

3.4　斜黝帘石

斜黝帘石为晚期矿物，环绕黝帘石生长，是黝帘石退变的产物．它们含有较高的FeO*(重量分数为5.6%～6.0%)，其结构式中的$Al_2Fe[Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)]$的摩尔分数为33%(中

表 2 荣城滕家集变质钙硅酸盐岩代表性矿物的电子探针分析数据

样品号	TJ3			TJ4			TJ5					
矿物	Ttn	Zoi	Czo	Cpx	Crt		Cpx	Grt			Ttn	
位置	In.Zoi	Core	Rim	In.Grt	Core	Rim	Core	Core	Mid	Rim	Rim	Core
SiO_2	30.80	38.80	38.58	52.69	38.84	38.30	53.35	38.28	39.40	39.07	30.03	31.06
TiO_2	30.50	0.00	0.02		0.84	0.35	0	0.69	0.31	0.47	34.68	30.56
Al_2O_3	6.11	31.37	28.11	1.35	19.46	18.86	0.43	17.78	18.65	18.14	2.49	5.25
Cr_2O_3				0.15	0.11	0.12	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO*	0.46	3.19	7.93	8.63	3.72	6.39	7.4	6.46	6.99	7.50	0.47	0.72
MnO	0.00	0.00	0.01	0.39	0.44	0.79	0.26	0.29	0.46	0.87	0.00	0.00
MgO	0.00	0.16	0.16	13.10	0.16	0.23	13.2	0.24	0.40	0.36	0.00	0.00
CaO	28.57	23.57	23.75	23.74	35.19	33.46	24.49	33.81	34.28	33.19	27.90	28.34
Na_2O	0.00	0.00	0.00	0.10			0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K_2O	0.12	0.11	0.09	0.08	0.14	0.12	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
总量	96.56	97.20	98.65	100.23	98.90	98.62	99.43	97.55	100.49	99.60	95.57	95.93
O	3	25	25	6	12	12	6	12	12	12	3	3
Si	0.619	5.965	5.932	1.968	2.985	2.968	2.000	3.003	2.997	3.008	0.613	0.628
Ti	0.461	0.000	0.002	0.000	0.049	0.020	0.000	0.041	0.018	0.027	0.533	0.465
Al	0.145	5.684	5.062	0.059	1.762	1.722	0.019	1.644	1.672	1.646	0.060	0.125
Cr	0.000	0.000	0.000	0.004	0.007	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe^{3+}	0.000	0.410	1.021	0.000	0.180	0.309	0.000	0.273	0.303	0.288	0.000	0.000
Fe^{2+}	0.008	0.000	0.000	0.270	0.061	0.110	0.232	0.156	0.147	0.201	0.008	0.012
Mn	0.000	0.000	0.001	0.012	0.029	0.052	0.008	0.019	0.030	0.057	0.000	0.000
Mg	0.000	0.037	0.037	0.730	0.018	0.027	0.738	0.028	0.045	0.041	0.000	0.000
Ca	0.615	3.882	3.913	0.950	2.897	2.778	0.984	02.842	2.794	2.738	0.610	0.614
Na	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K	0.003	0.022	0.018	0.004	0.014	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
总量	1.850	16.000	15.986	4.005	8.002	8.005	4.002	8.005	8.005	8.006	1.824	1.844

心)～45%(边缘). 斜黝帘石具成分环带,自颗粒中心到边缘,FeO* 含量升高.

3.5 榍石

榍石为自形晶,与石榴子石和透辉石共生或被包裹于黝帘石和斜黝帘石中. 它们具明显的成分环带,颗粒中心含有很高的 Al_2O_3(重量分数为 71.6%),为高铝榍石. 自颗粒的中心到边缘,Al_2O_3 逐渐降低(重量分数为 5.7%～2.5%).

3.6 白云母

白云母与黝帘石共生并被共同包裹于斜黝帘石中. 它是普通白云母,Si=3.05～3.07.

4 变质作用讨论

根据结构关系,变质钙硅酸盐岩经历了 3 期变质: (1)主期变质:其矿物组合为石榴子石+透辉石±石英+金红石. 石榴子石和透辉石为自形-半自形,相互共生,或被包裹于黝帘石和斜黝帘石中; (2)早期退变质,表现为主期石榴子石退变为黝帘石,白云母与黝帘石的共生关系说明它也是早期退变质阶段的稳定矿物;(3)晚期退变质,表现为黝帘石退变为斜黝帘石.

主期钙铝榴石被包裹于早期退变质的黝帘石中,以及黝帘石呈它形分布于石榴子石和辉石所构成的空隙中,说明黝帘石在主期变质阶段不稳定,它们是石榴子石退变而来. 可能反应为

$$4\mathrm{Gro}+5\mathrm{Kya}+\mathrm{Otz}+3\mathrm{H_2O}=6\mathrm{Zoi} \quad (1)$$

或　　$3Gro + 5Rut + 2Qzt + H_2O = 5Ttn + 2Zoi.$　　(2)

蓝晶石在岩石中的缺失，说明岩石具有 Al_2O_3 不饱和的特征，它们可能已在退变的早期阶段通过反应(1)转化为黝帘石．上述两个反应均主要受压力的控制．据 Browm 等[4]，Berman[5,6]，设计了 PTX 程续计算的结果显示，当温度为 800 ℃ 时，这两个反应均发生于非常高的压力($>25\times10^8$Pa)环境．换言之，岩石经历了超高压的主期变质．高铝榍石的出现以及与榴辉岩具类似的产出特征也证明了这一论断．

主期超高压变质之后，岩石经历了两期退变与作用，反映了压力的下降．钙长石在这两期退变阶段的缺失说明，这两期退变质阶段变质的温压范围高于角闪岩相变质的温压条件，且位于下述单变线之上：

$$4An + H_2O = 2Zoi + Kya + Qtz. \quad (3)$$

Goldsmith[7,8]，Chatterjee[9] 的实验岩石学研究表明，在 600 ℃ 和 700 ℃ 时，反应(3)平衡的压力分别为 10×10^8 Pa 和 $(10\sim12)\times10^8$ Pa.

综上所述，产于荣城腾家集的变质钙硅酸盐岩不但与榴辉岩具有类似的产出特征，而且其矿物组合和结构关系说明它们经历了至少 25×10^8 Pa 的超高压变质及类似于榴辉岩的温压下降的退变质．因此它们可能经历了同样的变质和构造演化，是同一构造运动过程中高压变质的产物．

不同于以前报道过的任何超高压变质岩，它们的石榴子石中含有很低的镁铝榴石和铁铝榴石组分，辉石中几乎不含硬玉组分．这种特殊的矿物化学特征可能是由于它们的原岩中含有很低的 MgO，Al_2O_3 和不含 Na_2O 所致．这说明在超高压变质条件下，变质矿物的化学成分不仅受温压条件，且受原岩成分的控制．

致谢　本工作得到了翟明国和王清晨博士的热情帮助，文中电子探针分析数据是在日本京都大学地质和矿物学系完成的，分析过程中得到了 Hirajima 博士的帮助，在此谨表谢意．

参　考　文　献

1 Okay A L, Shutong Xu, Senger A M C. Coesite from Dabie Shan eclogite, Central China. Eur Jour Mineral, 1989, (1): 595～598

2 Hirajima T, Ishiwatari A, Cong B *et al*. Coesite from Mergzhong eclogite at Donghai county, northeastern Jiangsu province. China Mineral Mag, 1990, 54: 579～583

3 徐树桐，孙　文，刘贻灿等．大别山东段高压榴辉岩中的金刚石．科学通报，1992, 37(17): 1 318～1 321

4 Brown T H, Berman R G, Perkins E H. Geo-cal: software package for calculation and display of pressure-temprature-composition phase diagrams using an IBM or compatible personal computer. Coput Geoci, 1988, 14: 279～289

5 Berman R G. Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system K_2O-Na_2O-CaO-MgO-FeO-Fe_2O_3-Al_2O_3-SiO_2-TiO_2-H_2O-CO_2. Jour Petrol, 1988, 29: 445～522

6 Berman R G, Brown T H, Greewood H J. An internallyconsistent thermodynamic data base for minerals minerals in the system K_2O-Na_2O-CaO-MgO-MnO-FeO-Fe_2O_3-Al_2O_3-SiO_2-TiO_2-H_2O-CO_2. Atomic Energy of Canada Ltd Technical Report, 1985, 377: 62

7 Goldsmith J R. The join $CaAl_2Si_2O_8$-H_2O(anorthite-water) at elevated pressures and temperatures. Amer Mineral, 1981, 66: 1 183～1 188

8 Goldsmith J R. Plagioclase stability at elevated temperatures and water pressures. Amer Mineral, 1982, 67: 653～675

9 Chatterjee N D, Johannes W, Leistner H. The system CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O: new phase equilibria data, some calculated phase relations, and their petrological implications. Petrol, 1984, 88: 1～13