

山东榴辉岩中的柯石英假象

榎并正树 臧启家

(日本名古屋大学) (北京大学地质系)

提要 从中国东部山东的荣成、诸城和莒南地区采集的四个榴辉岩样品中,柯石英的假象以包裹体的形态产在石榴石内。次浑圆状石英包裹体由中心不规则状石英多晶集合体和边缘放射状纤维组成。有些包裹体还含细粒钾长石。石英也可呈多边形晶体产在基质中。榴辉岩样品中的原生组合主要由石榴石(镁铝榴石=23—40mol%和钙铝榴石=15—30mol%)、绿辉石(硬玉=38—57mol%和锥辉石=0—4mol%)、角闪石、白云母、磷灰石和金红石组成。原生角闪石的化学成分变化较大,由韭闪石到镁绿闪石。荣成和莒南的样品中还有原生蓝晶石。在角闪岩相区域变质作用条件下形成的次生矿物有:韭闪石(或基性韭闪石)、绿帘石以及钠质普通辉石和钠质斜长石的后成合晶。

柯石英—榴辉岩阶段的 p - T 条件大约为 $>2.8\text{GPa}$ 和 $800\text{--}840\text{C}$ 。榴辉岩呈独立的岩体零散地分布于中朝克拉通和扬子克拉通间的缝合带附近。含有柯石英或其假象的高压榴辉岩在华东和华中的前寒武纪地体中可能有广泛的分布。

前 言

柯石英是 SiO_2 的高压多象,在 $>2.9\text{GPa}$ 和 800C 时处于稳定状态 (Mirwald 和 Massonne, 1980)。已为人描述过的地球上非撞击产生的柯石英,或来自阿尔卑斯山的高压变质沉积岩 (Chopin, 1984),或来自挪威加里东造山带的“地壳”榴辉岩 (Smith, 1984, 1988),或来自金伯利岩中的榴辉岩 (如 Smyth 和 Hatton, 1977; Schulze 和 Helmstaedt, 1988)。Chesnokov 和 Popov (1965) 报道过乌拉尔南部和德国明希贝格的榴辉岩内有柯石英的假象。含柯石英的榴辉岩被认为是变质成因的,其产状对于解释构造环境十分重要,因为它们同位于 90km 以下深处的消减岩石圈的岩石成因及后来抬升到地面相关。

在对华东前寒武纪变质岩进行岩石学研究过程中,我们发现数个山东榴辉岩样品中有石英呈柯石英的假象。近期有人对采自安徽大别山的一些榴辉岩进行了鉴定,确认有柯石英存在。取自山东和大别山地区的样品被认为是同属一条榴辉岩带;现在,这条榴辉岩带为郯庐断裂带错开(图 1)。因此,在华东和华中的前寒武纪地体中,极不寻常的高压变质岩可能有着广泛的分布。

地质环境和岩石学

柯石英的假象见于山东荣成、诸城和莒南地区的四个榴辉岩样品中。图 1 是华东地区

本文 1990 年 9 月收到,10 月改回。

构造和取样地点略图。该地区的前寒武纪基底为郯庐断裂带分割成两部分:东部的胶辽地块,变质年龄为 1300—2400Ma;西部的齐鲁地块,变质年龄大于 2400Ma。取自荣城、诸城和莒南的榴辉岩样品沿山东半岛一主要北东向断裂带分布。上述地区都处于胶辽地块内和中朝克拉通的东南边缘。

在山东及其邻近地区,榴辉岩和石榴石角闪岩以小于 20m 的岩块或透镜体产在泥质和基性片麻岩中。石榴石角闪岩被认为是区域变质作用过程中强烈退化成角

闪岩相的榴辉岩。也有人描述过该地区蛇纹岩化的石榴二辉橄榄岩内块状的石榴石—刚玉岩、石榴单斜辉石岩和榴辉岩。

荣成(R1-7)和诸城(SD0401)榴辉岩样品是产于泥质片麻岩中的次圆状块体,直径为 20—60cm。莒南样品(SD0301 和 SD0304)产于泥质片麻岩中,呈薄层或 1—2m 宽的透镜体。这些样品具有条带状构造,由富含石榴石的棕色条带和富含绿辉石的绿色条带构成。

表 1 列出了所研究的榴辉岩样品的矿物组合。榴辉岩中的原生矿物组合主要由石榴石、绿辉石、角闪石、白云母、磷灰石、金红石和锆石组成。有些石榴石包含呈柯石英假象的石英多晶集合体。这将在后面进行讨论。石英还以多边形晶体产于基质中。有些石英多晶集合体内含细粒半自形晶(直径为 1—20 μm)钾长石。样品 R1-7 和 SD0304 中还含原生蓝晶石;SD0301 的石榴石和绿辉石中含有钙质角闪石、钠云母、绿帘石和方解石包裹体。黝帘石和钙质角闪石均以石榴石中的包裹体和基质矿物分别产在 SD 0304 和 SD0401 中。

在区域变质作用下,这些地区的榴辉岩重结晶成角闪岩相。最终的退变质矿物包括呈后成合晶的钠质辉石、钠质斜长石、钙质角闪石和绿帘石。后成合晶(图 2d)是由绿辉岩和

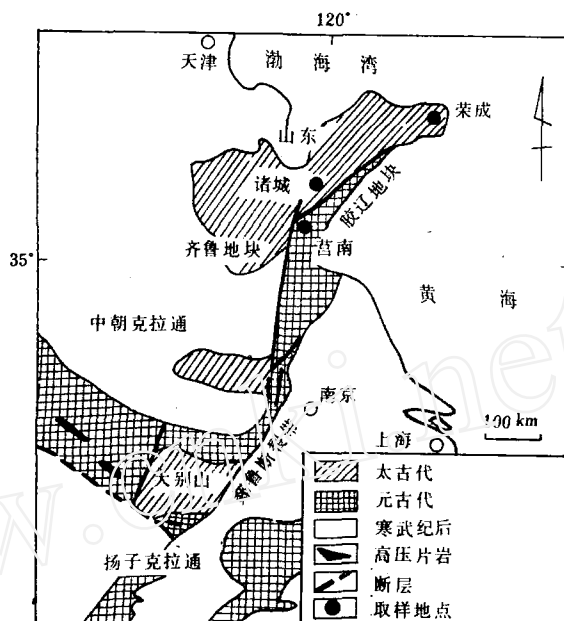


图 1 华东地区构造略图

(据董申保等人的中国变质图简化,1986)

图中标注了所研究的榴辉岩的取样地点

石英发生退化反应产生的;除了SD0301外,这在所有样品中都可见到。SD0301中的石英很少。次生钙质角闪石和绿帘石沿边缘和裂隙交代石榴石和绿辉石。在R1-7和SD0304中,钠质斜长石环绕着蓝晶石晶体的边缘分布。

表1 山东含柯石英假象榴辉岩的矿物组合

	Grt	Cpx	Amp	Ky	Ep	Zo	Ms	Pg	Cal	Pl	Kfs	Qtz	Apt	Rt	Ilm	Zrn
R1-7	+	b	s	+	s		+			s	i	+	+	+	+	+
SD0401	+	b	b				+			s	i	+	+	+		+
SD0301	+	+	+		b		+	i	i		i	+	+	+		+
SD0304	+	b	s	+	s	+				S		+	+	+		

注:缩写名称:+,原生相;b,原生十次生相;s,仅为次生相;i,仅为石榴石和/或绿辉石中的包裹体;Grt,石榴石;Cpx,单斜辉石;Amp,角闪石;Ky,蓝晶石;Ep,绿帘石;Zo,黝帘石;Ms,白云母;Pg,钠云母;Cal,方解石;Pl,斜长石;Kfs,钾长石;Qtz, SiO₂ 矿物;Apt,磷灰石;Rt,金红石;Ilm,钛铁矿;Zrn,锆石。

石英呈柯石英假象

在R1-7和SD0304中观察到的绿辉石+蓝晶石组合在600℃和高于约2GPa时是稳定的。Enam和Zang(1988)报道过山东以南约100km的东海地区石榴石-刚玉岩和榴辉岩(石榴石单斜辉石岩)中有镁质十字石($X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe^{2+}) = 0.68-0.74$)。镁质十字石是一种典型的高压矿物。Chopin(1987)报道过,在阿尔卑斯山西部含柯石英的地体中有镁质十字石以包裹体形式产在镁铝榴石中。所以,预料山东榴辉岩中应该有柯石英或其假象出现。

图2a,2b和2c表示了石英呈柯石英假象的结构特征。石榴石中有杂乱排列的石英多晶包裹体(直径为50—300μm)。多晶石英核为一些放射状石英纤维所环绕(图2b,2c)。这一特征同Smyth(1977),Chopin(1984)和Smith(1984)描述过的柯石英周围转化成石英集合体的特征性放射状结构相仿。主矿物石榴石中的裂隙从包裹处向石榴石颗粒边缘辐射开来(图2a)。在图2a和2b中也可以看到同心裂隙;伴随着柯石英转变为石英,其体积大大增加。这些裂隙的存在与此相符。上述矿物和结构特征说明,虽然没有探测到残余的柯石英,但石英多晶包裹体是柯石英的假象。有人描述过乌拉尔和明希贝格的榴辉岩中与此相似的石英假象。

矿物化学

在名古屋大学用一JEOL电子探针分析仪(EMPA)JCXA-733对样品R1-7,SD0401和SD0301做过化学分析。加速电压、样品电流和X射束直径分别为15kV、120nA和3μm。



图2 荣成地区 R1-7 样品中柯石英假象 [(a), (b) 和 (c)] 和钠质辉石、钠质斜长石呈后成晶交生 (d) 的显微照片

(a), (b) 和 (d) 为平面偏光。(c) 为偏光镜略微斜交。比例尺线段长度为 100 μ m。(a) 主矿物石榴石晶体中的裂隙从石英包裹体(呈柯石英假象)向颗粒边缘辐射; 石英包裹体附近也可见到同心裂隙。(b) 和 (c) 为 (a) 的一部分的放大图, 显示了石英多晶集合体核心周围的放射状石英纤维。(d) 后成晶钠质辉石和钠质斜长石是由原生绿辉石和石英间发生退化反应生成的。矿物缩写名称: Omp, 绿辉石; Aug + Pl, 钠质辉石和钠质斜长石的后成晶交生; Qsc, 石英呈柯石英的假象。其他的见表 1 中的规定

所用标样有合成的石英(测定 Si)、金红石(Ti)、刚玉(Al)、Cr₂O₃(Cr)、MnO₂(Mn)、方镁石(Mg)、NiO(Ni)和硅灰石(Ca),以及天然的赤铁矿(Fe)、钠长石(Na)和冰长石(K)。我们用 Bence 和 Albee 法(1968)进行了基体校正。表 2 列出了主要组成矿物的化学成分。所分析的矿物中, Cr₂O₃ 和 NiO 的含量低于检出限,即 Cr₂O₃ 低于 0.03wt%, NiO 低于 0.02wt%。

表 2 主要组成矿物的代表性化学分析(wt%)

	R1-7(荣城)							SD0401(诸城)				
	Cpx				Amp			Cpx				
	Grt	Mx(c)	Mx(r)	Sym	Pgt	Pep	Ky	Grt	Mx(c)	Mx(r)	Sym	
SiO ₂	38.8	56.7	57.0	53.6	38.2	43.1	37.3	39.5	55.2	55.4	51.9	
TiO ₂	0.05	0.10	0.09	0.12	0.10	0.56	0.04	0.00	0.10	0.12	0.19	
Al ₂ O ₃	21.8	14.3	15.1	5.14	20.8	11.9	62.1	22.7	10.3	10.8	7.12	
FeO*	22.9	4.37	3.62	8.23	13.2	12.7	3.36	20.6	4.03	3.73	5.24	
MnO	0.40	0.06	0.00	0.30	0.13	0.07	0.05	0.54	0.11	0.11	0.09	
MgO	5.98	6.48	6.00	10.1	10.9	14.0	0.00	10.5	9.44	9.10	11.5	
CaO	10.4	10.8	9.83	17.5	10.7	10.4	0.00	5.53	14.6	14.0	18.9	
Na ₂ O	0.03	7.96	8.35	3.89	3.66	3.28	0.03	0.00	5.44	6.08	3.44	
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	100.4	100.8	100.0	99.4	97.8	96.0	99.9	99.4	99.2	99.3	98.4	
化学式												
	O=12	O=6	O=6	O=6	O=23	O=23	O=5	O=12	O=6	O=6	O=6	
Si	2.989	1.984	1.995	1.972	5.566	6.363	1.009	2.993	1.981	1.982	1.905	
Al	1.979	0.590	0.623	0.223	3.573	2.071	1.980	2.027	0.436	0.455	0.308	
Ti	0.003	0.003	0.002	0.003	0.011	0.062	0.001	0.000	0.003	0.003	0.005	
Fe ³⁺		0.000	0.000	0.104	0.593	0.543			0.000	0.000	0.115	
Fe ²⁺	1.475	0.128	0.106	0.173	1.028	1.026	0.008	1.305	0.121	0.112	0.045	
Mn	0.026	0.002	0.000	0.000	0.016	0.009	0.001	0.035	0.003	0.003	0.003	
Mg	0.687	0.338	0.313	0.554	2.367	3.080	0.000	1.186	0.505	0.485	0.629	
Ca	0.858	0.405	0.369	0.694	1.671	1.645	0.000	0.449	0.561	0.537	0.743	
Na	0.004	0.540	0.567	0.277	1.034	0.939	0.002	0.000	0.378	0.442	0.245	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

表 2 主要组成矿物的代表性化学分析(wt%)

SD0401(诸城)		SD0301(莒南)							
Amp		Grt		Cpx				Amp	
Mx	Pgt	(c)	(r)	Mx(c)	Mx(r)	In(c)	In(r)	Mx	In
45.6	37.6	39.7	40.3	56.9	55.0	56.8	56.8	45.6	40.2
0.37	0.12	0.14	0.10	0.07	0.24	0.04	0.08	0.35	0.63
16.4	20.6	22.4	22.4	12.7	11.7	11.7	11.8	15.5	19.6
7.13	15.4	21.7	22.1	3.50	4.30	3.39	3.21	9.94	13.2
0.04	0.32	0.41	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14.1	8.75	6.08	7.59	7.74	8.33	8.62	8.3	12.1	10.0
9.35	9.92	11.2	8.97	11.8	13.7	12.6	12.7	8.71	10.3
3.64	3.43	0.63	0.02	7.65	6.47	7.33	7.30	3.95	3.86
0.44	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00
97.1	96.7	101.7	101.7	100.4	99.7	100.5	100.2	96.4	97.8
化学式									
O=23	O=23	O=12	O=12	O=6	O=6	O=6	O=6	O=23	O=23
6.459	5.610	3.000	3.023	1.998	1.961	1.993	2.000	6.577	5.862
2.739	3.624	1.995	1.980	0.525	0.492	0.484	0.490	2.636	3.369
0.039	0.014	0.008	0.006	0.002	0.006	0.001	0.002	0.038	0.069
0.222	0.548			0.000	0.021	0.027	0.004	0.181	0.293
0.623	1.374	1.371	1.386	0.103	0.107	0.072	0.090	1.018	1.317
0.005	0.040	0.026	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.976	1.946	0.685	0.849	0.405	0.443	0.451	0.436	2.601	2.173
1.419	1.586	0.907	0.721	0.444	0.523	0.474	0.479	1.346	1.609
1.000	0.992	0.004	0.003	0.521	0.447	0.499	0.498	1.105	1.091
0.080	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.053	0.000

注:缩写名称:Mx,基质中的原生相;(C),核部;(r)边缘;Sym,后成合晶中的次生相;Pgt,石榴石假象;Pcp,绿辉石假象;In,石榴石中的包裹体。其他的见表1中的规定。★Fe的总量,以FeO计。

单斜辉石和角闪石中三价铁含量用 Papike 等(1974)的计算机程序进行了计算。石榴石和单斜辉石各端员组分比例计算结果如下:石榴石——:Prp(镁铝榴石)=Mg,Alm

(铁铝榴石)=以 Fe^{2+} 表示的全铁含量, Grs (钙铝榴石)= Ca , Sps (锰铝榴石)= Mn ; 单斜辉石—— Jd (硬玉)= $Na-Fe^{3+}$, Acm (锥辉石)= Fe^{3+} , Aug (普通辉石)= $1-Na$ 。角闪石的化学特征是根据可能的 Fe^{3+} 最大和最小含量的中值来讨论的。

石榴石、单斜辉石和角闪石

所研究的石榴石属于富含钙铝榴石的镁铝榴石—铁铝榴石系列, MnO_2 的含量低于 0.5wt%。R1-7 和 SD0401 中多数石榴石颗粒的成分是均匀的, 其平均成分分别为 Prp 22.6, Alm 48.4, Grs 28.2, Sps 0.9 和 Prp 39.9, Alm 43.9, Grs 15.1, Sps 1.2。SD0301 中的石榴石具有前进分带(如, Ghent, 1988), 从核部(Prp 22.9, Alm 45.9, Grs 30.3, Sps 0.9)到边缘(Prp 28.6, Alm 46.7, Grs 24.3, Sps 0.5), X_{Mg} 渐增, 而 Mn 和 Ca 含量则渐减。

R1-7, SD0401 和 SD0301 中原生绿辉石的 Jd 含量分别为 49—57mol%, 38—45mol% 和 43—53mol%。因为从核部到边缘 Jd 的含量渐增, 所以 R1-7 和 SD0401 中绿辉石呈微弱的递进分带(见表 2)。原生绿辉石中 Acm 的含量少于 4mol%。后成合晶钠质辉石的平均成分在 R1-7 中为 $Jd = 17mol%$, $Acm = 10mol%$; 在 SD0401 中为 $Jd = 13mol%$, $Acm = 12mol%$ 。

根据 Leake 命名法(1978), SD0401 中的原生钙质角闪石为韭闪石, $Al_2O_3 = 14.5-16.4wt%$ 。SD0301 石榴石中角闪石包裹体是亚铁韭闪石, $Al_2O_3 = 16.8-19.6wt%$, 基质中有些角闪石含镁质红闪石或镁质绿闪石($C=23$ 时 $Si = 6.5-6.6$, $Ca = 1.35-1.37$, $Na + K = 1.16-1.21$)。次生角闪石的成分因晶体不同而各异。在 R1-7 中, 取代石榴石的角闪石为基性韭闪石, Al_2O_3 最多为 20.8wt%, 而取代绿辉石的角闪石为韭闪石, Al_2O_3 最多为 11.9wt%。取代石榴石的基性韭闪石($SiO_2 = 38.2wt%$, $Al_2O_3 = 20.8wt%$, $CaO = 10.7wt%$)中 SiO_2 , Al_2O_3 和 CaO 的含量同主矿物石榴石的($SiO_2 = 38.8wt%$, $Al_2O_3 = 21.8wt%$, $CaO = 10.4wt%$)十分相似。这意味着在退化阶段, 这些成分可能没有受到改变。

其他矿物

白云母是多硅白云母($FeO + MgO = 3.8-5.6wt%$), Na_2O 的含量为 0.5—1.3wt%。钠云母含 0.5—0.7wt% 的 CaO 和 0.5—0.8wt% 的 K_2O 。某些绿帘石呈现成分分带: 核部富含稀土元素, 边缘不含。不含稀土元素的边缘部分含 Fe_2O_3 6—14wt%。钠质斜长石和钾长石的平均化学成分分别为: $Ab_{90}An_{10}Or_0$ 和 $Ab_1An_0Or_{99}$ 。蓝晶石不具多色性, 其 Fe_2O_3 含量为 0.40—0.52wt%。方解石几乎为纯端员成分, 仅含微量 FeO (少于 0.4wt%) 和 MgO (少于 0.1wt%)。

柯石英假象的形成

压力—温度条件

山东榴辉岩中的石榴石和绿辉石都有前进分带现象。它们含有钙质角闪石、白云母、钠云母和绿帘石族矿物等一些含水矿物包裹体。这些资料表明, 这些榴辉岩乃前进变质作用的产物, 故代表了原先俯冲的地壳岩石。

图 3 是含柯石英假象的榴辉岩的 $p-T$ 值估测图。结合石榴石和绿辉石间 $Mg-Fe$ 的分配(Powell, 1985)和柯石英稳定范围(Mirwald 和 Massonne, 1980)的已有资料, 我们推测

经受了角闪岩相变质作用;在较高温度条件下压力迅速降低,柯石英完全转化成了石英多晶集合体。

地质意义

在山东南南西约 600—700km 的安徽大别山地区前寒武纪片麻岩地体中发现了含柯石英的榴辉岩(Wang 等,1989)。山东和大别山地区的榴辉岩都处于中朝克拉通和扬子克拉通之间相似的缝合带内或附近。有人认为它们被左旋的郟庐断裂带错开了大约 600—700km(Zhang 等,1984)。通过仔细的岩相鉴定,也许会在华东发现更多的含柯石英的高压榴辉岩。虽然年龄测定并非结论性的,但人们认为山东、安徽两省的榴辉岩属前寒武纪(董等,1986)。中国有高压榴辉岩的产出说明,在前寒武纪中朝克拉通生长过程中,曾有过活动俯冲作用。

译自《American Mineralogist》,1990,Vol. 75. PP. 381—386

译者 孙吉全(山东省地质科学研究所)

校对 沈 昆