

大别山超高压变质镁铁-超镁铁岩中 钛斜硅镁石(±钛粒硅镁石)-菱镁矿组合成因*

樊祺诚¹ 刘若新¹ 徐平² 张旗² 赵大升² 马宝林¹

1(国家地震局地质研究所, 北京 100029)

2(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

关键词 大别山 镁铁-超镁铁岩 钛斜硅镁石(±钛粒硅镁石)+菱镁矿组合

一般认为上地幔的少量水主要储存于金云母和角闪石中,但在少数金伯利岩中报道过含水的钛粒硅镁石和钛斜硅镁石^[1]。菱镁矿作为地幔条件下稳定的碳酸盐也发现于金伯利岩^[2]和超高压变质岩中^[3]。最新的高温高压实验证明它们都是能在100km以上深度的地幔条件下稳定的含H₂O和CO₂的高压矿物^[4-6]。本文报道在大别山毛屋、碧溪岭、南山岭超高压变质镁铁-超镁铁岩中发现钛斜硅镁石(±钛粒硅镁石)和菱镁矿共生组合,表明镁铁-超镁铁岩经历了超过100km深度含H₂O和CO₂等挥发分流体参与下的超高压变质作用。

1 产状和岩相学

大别山毛屋岩体是典型的超高压变质镁铁-超镁铁质层状岩体,在薄层的方辉橄榄岩和橄榄方辉岩中均发现钛粒硅镁石、钛斜硅镁石、菱镁矿与橄榄石、斜方辉石共生。钛粒硅镁石浅黄—桔黄,弱多色性,干涉色二级黄—三级蓝,见聚片双晶,以半自形板条状为主,与主要矿物斜方辉石一起呈定向排列,也有少数呈叶片状或浑圆状沿斜方辉石的解理方向分布,可能原先是斜方辉石中的橄榄石嵌晶,后转变为钛粒硅镁石。个别钛粒硅镁石中包含残留的细粒橄榄石,是高压变质的残余。与钛粒硅镁石相比,钛斜硅镁石数量少得多,颜色较深,为桔红色,具异常干涉色。在浅黄色钛粒硅镁石的局部区域出现桔红色钛斜硅镁石,表明二者紧密共生,这与橄榄石转变成钛粒硅镁石和钛斜硅镁石过程中钛的类质同象替代数量有关。菱镁矿以不规则填隙状与钛粒硅镁石共生,多出现在斜方辉石的粒间。

碧溪岭岩体是大别山最大的含柯石英榴辉岩体,钛斜硅镁石与毛屋岩体类似,呈桔黄—桔红色,以板条状为主,少数粒状,与橄榄石或斜方辉石共生。菱镁矿以填隙状或包裹体产于石榴石二辉橄榄岩的斜方辉石粒间或其颗粒内部。

南山岭镁铁-超镁铁岩体由石榴橄榄岩、石榴透辉岩和榴辉岩组成,在石榴橄榄岩中,板条状或叶片状钛斜硅镁石,以及少量填隙菱镁矿与橄榄石、斜方辉石和透辉石共生。

三处钛斜硅镁石普遍发生不同程度退变质作用,钛斜硅镁石退变为无色透明的橄榄石和钛铁矿,钛铁矿呈麻点状、文象状或梳状分布在橄榄石基体上,有些钛斜硅镁石完全被钛铁矿

替代,有些则呈残留的团块。毛屋岩体钛粒硅镁石中常有针状的磁铁矿集合体包裹物,是典型的退变特征。

2 矿物化学与 p - T 稳定条件

图1为毛屋岩体钛粒硅镁石和钛斜硅镁石 X 射线衍射谱图。由图可见其中一些谱线与粒硅镁石和斜硅镁石的谱线一致,证实后二者的存在,这与岩相学观察结果一致;由于它们与橄榄石、斜方辉石共生,X 射线衍射同时也得到橄榄石和斜方辉石的谱线。

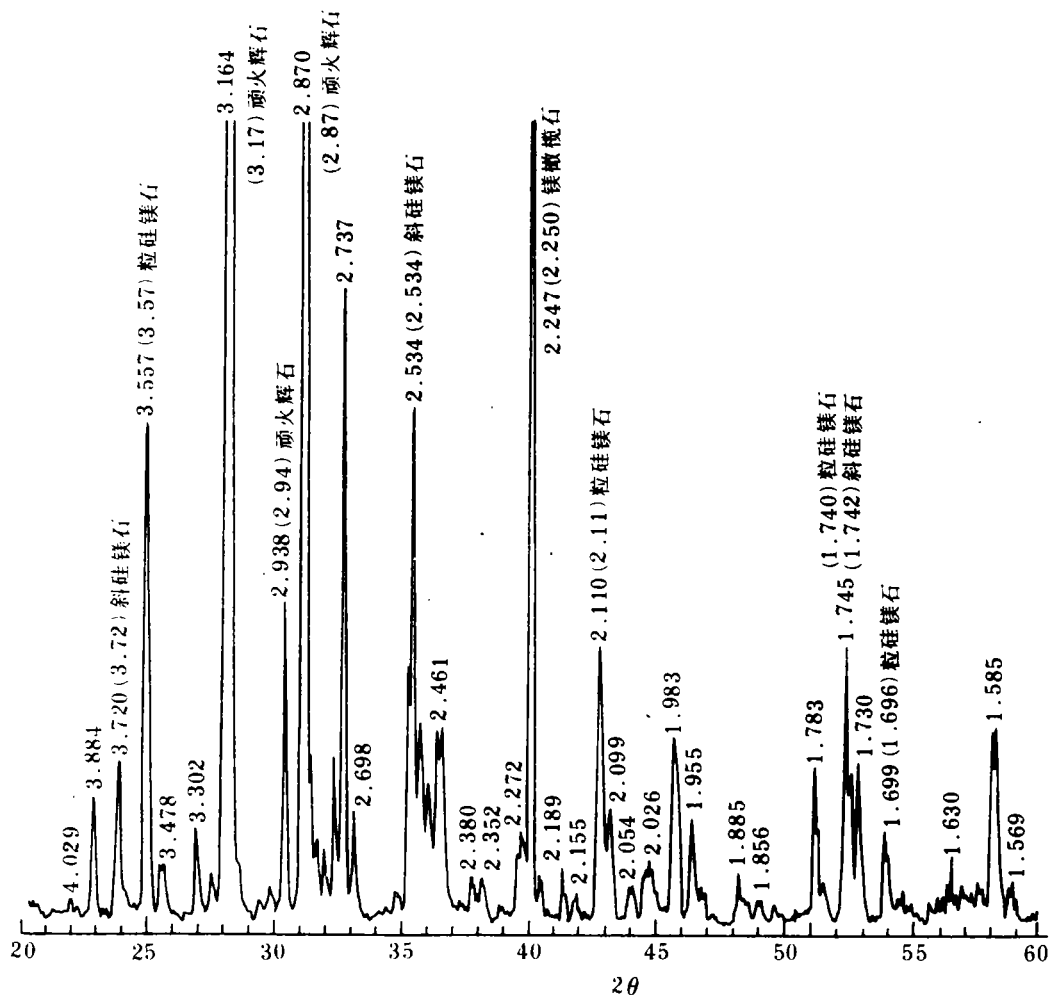


图1 毛屋岩体钛粒硅镁石、钛斜硅镁石 X 射线衍射谱 CuK α

括号内数字为标准粉晶谱线,分析者:国家地震局地质研究所张秉良

电子探针分析结果(表1)表明,钛粒硅镁石、钛斜硅镁石的成分与橄榄石很相近,但二者都明显含有 TiO_2 而有别于橄榄石,电子探针分析总量不足,估计含 H_2O 和挥发分占2%~3%。三岩体的钛粒硅镁石与钛斜硅镁石的 TiO_2 含量和变化都不一样:毛屋钛粒硅镁石的 TiO_2 < 1% (0.49%~0.68%, 平均0.56%), 钛斜硅镁石 TiO_2 > 1% (1.39%~1.75%, 平均1.57%); 南山岭钛斜硅镁石最富 TiO_2 (4.39%~4.56%, 平均4.46%), 碧溪岭钛斜硅镁石的 TiO_2 显示

了一定的变化(2.67%~4.46%,平均3.57%)。由钦斜硅镁石退变的橄榄石与同一样品的主矿物橄榄石成分基本一致,南山岭退变的橄榄石含残余的TiO₂(0.48%),而南山岭和碧溪岭由钦斜硅镁石退变的钦铁矿成分很一致(TiO₂分别为49.31%和49.08%)。

表1 钦斜硅镁石、钦粒硅镁石、菱镁矿电子探针分析结果

产地	岩石	样号	矿物	SiO ₂	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	Total
毛屋	橄榄辉岩	AM23-2	En	58.94	0.00	0.00	0.00	4.60	0.00	36.05		0.00		99.59
			Ol	41.60	0.00	0.08	0.01	6.99	0.00	51.16	0.99	0.02		100.85
			Chd	37.18	0.62	0.33	0.33	8.35	0.03	50.13	0.49	0.00		97.16
			Chd	37.81	0.53	0.31	0.01	8.12	0.07	50.54	0.66	0.00		98.04
			Chd	37.76	0.49	0.43	0.03	7.73	0.00	50.86	0.67	0.00		97.97
			Chd	37.29	0.68	0.24	0.01	8.47	0.07	50.68	0.54	0.02		98.01
			Clh	38.21	1.39	0.30		7.95	0.03	50.80		0.05		98.73
			Mag					3.54	0.06	44.52				48.12
			Mag					3.45	0.15	44.26				47.86
		AM23-9	En	58.64	0.00	0.01	0.00	4.57	0.00	35.45		0.07		98.74
			Ol	40.44	0.08	0.00	0.00	6.58	0.00	51.14		0.00		98.24
			Chd	38.10	0.50			6.56		53.83				98.99
	方辉橄榄岩	AM18-1	En	59.51	0.00	0.17	0.01	4.20	0.17	36.26		0.00		100.32
			Ol	40.72	0.08	0.11	0.00	5.89	0.19	51.01		0.07		98.07
			Clh	36.85	1.75	0.29		6.16		51.56		0.02		96.63
南山岭	石榴石橄榄岩	DN-11		39.67	0.04	2.73	20.33	15.03	0.62	16.69		4.11		99.22
			En	55.20	0.02	0.10	0.16	7.77	0.05	35.65		0.07		99.02
			Di	51.58	0.08	2.49	2.30	4.21	0.00	14.33		20.82	3.32	99.13
			Ol	40.37	0.03	0.01	0.00	9.84	0.17	48.05	0.43	0.01		98.91
			Clh	35.84	4.39	0.13	0.00	10.41	0.03	45.34	0.12	0.01		96.27
			Clh	35.69	4.41	0.15	0.00	10.44	0.12	44.94	0.26	0.00		96.01
			Clh	35.79	4.56	0.09	0.01	9.99	0.06	46.42	0.25	0.00		97.17
			Clh	35.95	4.47	0.04	0.05	11.63	0.09	44.99	0.01	0.22		97.45
			Ol*	40.06	0.48	0.03	0.00	10.54	0.14	47.86	0.02	0.29		99.42
			Il	0.03	49.31	0.56	0.03	41.03	0.26	4.91	0.00	0.05		96.18
			Mag					5.09	0.16	43.28		0.09		48.62
碧溪岭	石榴石橄榄二辉岩	DX-418	Gt	40.61	0.04	0.37	21.53	16.39	0.46	16.30		3.48		99.18
			En	57.25	0.01	0.04	0.00	7.73	0.00	33.67		0.00		98.70
			Di	54.52	0.12	0.09	0.31	3.41	0.03	16.28		22.97	1.43	99.16
			Ol	40.81	0.00	0.00	0.00	10.92	0.03	48.09	0.07	0.03		99.95
			Clh	35.94	2.67	0.01	0.03	12.28	0.03	45.82	0.16	0.00	0.01	96.95
			Ol*	40.28	0.00	0.04	0.00	11.56	0.05	47.77	0.11	0.00	0.02	99.83
			Il	0.11	48.77	0.13	0.00	47.45	1.29	1.24	0.18	0.00	0.00	99.17
		DX-19	Gt	40.13	0.00	0.23	22.96	14.20	0.37	18.07		3.59	0.08	99.63
			En	57.81	0.04	0.00	0.23	6.36	0.05	34.79		0.09	0.03	99.40
			Di	55.19	0.08	0.38	1.76	3.92	0.00	14.83		20.79	2.65	99.60
			Ol	41.12	0.04	0.00	0.00	9.96	0.14	47.44	0.53	0.00		99.23
			Clh	35.93	4.46	0.06	0.00	11.63	0.10	46.01		0.06		98.25
			Ser	46.59	0.37	0.10	1.80	3.05	0.00	30.97	0.32	0.09		83.29
			Il	0.13	49.38	0.05	0.02	43.57	3.47	1.03	0.12	0.00		97.77
			Mag					6.05	0.14	43.77		0.07		50.03
			Mag					4.59	0.17	45.14		0.33		50.23

注:Chd—钦粒硅镁石;Clh—钦斜硅镁石;Mag—菱镁矿;En—顽火辉石;Gt—石榴石;Di—透辉石;Ol—橄榄石;Ol*—钦斜硅镁石退变的橄榄石;Il*—钦斜硅镁石退变的钦铁矿;Ser—橄榄石退变的蛇纹石;Mg'=100×Mg/(Mg+Fe);分析者:中国科学院地质研究所徐平

毛屋、南山岭两地的钦粒硅镁石和钦斜硅镁石中Mg'和NiO分别与其共存橄榄石的

Mg'、NiO 呈协变。毛屋钛粒硅镁石、钛斜硅镁石的 Mg' 和 NiO 分别为 91.7%~93.7% 和 0.59%，橄榄石的相应值为 92.9%~93.9% 和 0.99%；南山岭钛斜硅镁石的 Mg' 和 NiO 分别为 88.4% 和 0.16%，橄榄石的相应值为 89.7% 和 0.43%。表明钛粒硅镁石、钛斜硅镁石与橄榄石之间成因上的联系。

三地的菱镁矿几乎都不含 CaO (0.04%~0.09%)，主要由 MgO (43.28%~44.39%) 和少量 FeO (3.49%~6.05%) 组成。

从三个地点共存矿物钛斜硅镁石、钛粒硅镁石、菱镁矿、顽火辉石、橄榄石的 Mg' 比较可以发现，同一地点的共存矿物有相似的 Mg'，另外对于同一地点的钛斜硅镁石、钛粒硅镁石与橄榄石的相应 NiO、Mg' 也呈协变关系，表明它们有成因上的联系，主要是高压自变质作用结果。

根据 MgO-SiO₂-H₂O 体系实验研究，钛粒硅镁石和钛斜硅镁石在同样 *p-T* 条件 (800~1000℃ 和 2.9~7.7 GPa) 稳定 (Aoki et al, 1976)，表明二者可在 100km 以上深度，作为上地幔含水和挥发分的硅酸盐矿物。所以推测毛屋方辉橄榄岩和橄榄方辉岩中的钛斜硅镁石均在 100km 以上深度超高压变质条件下，由橄榄石+钛铁矿+水反应生成。

菱镁矿的成分中几乎无 Ca (CaO 0.1%)，纯为 Mg、Fe 组成，但毛屋、南山岭、碧溪岭三地的 MgO、FeO 含量也不一样，其 Mg' 分别为 95.8、91.8、92.8，与其相应岩石中共存矿物顽火辉石、橄榄石的 Mg' 有相似的变化。Zhang and Liou^[7] 报道的碧溪岭石榴二辉岩和榴辉岩中菱镁矿的 Mg' 分别为 94.0 和 75.0，而挪威含斜方辉石榴辉岩中菱镁矿的 Mg' 为 82.0~90.0，这些菱镁矿的 Mg' 也都显示了与全岩及共存矿物的 Mg' 变化的一致性，表明是由主矿物转变而来。许多高温高压实验测定了白云石+顽火辉石=透辉石+菱镁矿的转变条件^[8~10]，尽管不同研究者提出的上述转变的 *p-T* 条件和单变反应的斜率有明显的差异 (分别为 4.0~4.5 GPa, 1000℃; 4.5~5.0 GPa, 1200℃; 3.0 GPa, 1000℃; 3.9 GPa, 1200℃。与柯石英-石英转变线非常接近)，但都表明菱镁矿能在 100km 以上的地幔深处稳定存在^[5~6]。毛屋、南山岭菱镁矿能与高压成因的钛粒硅镁石、钛斜硅镁石共生无疑都是上地幔条件下高压变质的产物。

3 讨 论

正如大别—苏北—胶东南高压变质带榴辉岩中发现的微粒金刚石和柯石英等高压矿物一样，大别山毛屋、碧溪岭、南山岭超镁铁岩中钛粒硅镁石、钛斜硅镁石和菱镁矿等高压矿物共生也不是偶然现象，相信在高压带的超镁铁岩中都可能存在类似的高压矿物。上述资料说明在扬子板块与华北板块碰撞俯冲过程中，超镁铁岩和榴辉岩同样经历了高压—超高压变质作用，Zhang and Liou^[7] 报道的碧溪岭含菱镁矿石榴石橄榄岩和石榴二辉岩的 *p-T* 平衡条件相当于 5.6 GPa，我们认为毛屋、碧溪岭含贫铝顽火辉石的超镁铁岩的 *p-T* 平衡条件也在 4.5~5.0 GPa 和 800℃ 左右^[11~12]。因此，根据镁铁-超镁铁岩的矿物共生组合、*p-T* 平衡条件和高温高压实验结果，大别山高压带镁铁-超镁铁岩中的钛斜硅镁石(±钛粒硅镁石)和菱镁矿是在 120~150km 以上、有 H₂O 和 CO₂ 参与下的超高压变质作用的产物。

参 考 文 献

- McGetchin T R, Silver L T and Chodos A A. Titanoclinohumite: a possible mineralogical site for water in the upper mantle. *J Geophys Res*, 1970, 75: 255~259
- McGetchin T R and Besancon J R. Carbonate inclusions in mantle derived pyroxenes. *Earth planet Sci Lett*, 1973, 18: 408~

- 3 Lappin M A and Smith D C. Mantle-equilibrated orthopyroxene eclogite pods from the Basal gneisses in the Selje district, western Norway. *J Petrol.* 1978, 19, 530~584
- 4 Thompson A B. Water in the Earth's upper mantle. *Nature.* 1992, 358, 295~301
- 5 Gillet Ph. Stability of magnesite MgCO_3 at mantle pressure and temperature conditions: a Raman Spectroscopic study. *Am Miner.* 1993, 78, 1328~1331
- 6 Redfern S A T, Wood B J and Henderson C M B. Static compressibility of magnesite to 20 GPa: implications for MgCO_3 in the lower mantle. *Geophys Res Lett.* 1993, 20, 2099~2102
- 7 Zhang R Y and Liou J G. Significance of magnesite paragenesis in ultrahigh-pressure metamorphic rocks. *Am. Miner.* 1994, 79, 397~400
- 8 Kushiro I, Satake H and Akimoto S. Carbonate-silicate reactions at high pressures and possible presence of dolomite and magnesite in the upper mantle. *Earth planet Sci Lett.* 1975, 28, 116~120
- 9 Brey G, Brice W R, Ellis D J et al. Pyroxene-carbonate reactions in the upper mantle. *Earth planet Sci Lett.* 1983, 62, 63~74
- 10 Olafsson M and Eggli D H. Phase relations of amphibole, amphibole-carbonate, and phlogopite-carbonate peridotite: Petrologic constraints on the asthenosphere. *Earth planet Sci Lett.* 1983, 64, 305~315
- 11 樊祺诚, 刘若新, 马宝林等. 大别山毛锥镁铁-超镁铁岩块的原岩与超高压变质作用. *岩石学报* (出版中)
- 12 刘若新, 樊祺诚, 李惠民等. 大别山碧溪岭石榴石橄榄岩-榴辉岩体的原岩性质及其同位素年代学启示. *岩石学报*, 1995, 3, 243~255

Petrogenesis Significance of Ti-Clinohumite ($\pm$ Ti-Chondrodite) + Magnesite Assemblage in Ultrahigh Pressure Metamorphic Mafic-Ultramafic Rocks in Dabie Area

Fan Qicheng¹⁾ Liu Ruoxin¹⁾ Xu Ping²⁾ Zhao Dasheng²⁾ Ma Baolin¹⁾

1 (Institute of Geology, State Seismological Bureau, Beijing 100029)

2 (Institute of Geology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Ti-clinohumite ($\pm$ Ti-chondrodite) + magnesite high pressure mineral assemblage has been discovered in mafic-ultramafic rocks of Maowu, Bixiling, Nanshanling in Dabieshan area. Based on results of mineralogy-petrology study and high temperature-high pressure experiments, it is believed that assemblage is the product of ultrahigh pressure metamorphism happened at more than 120~150 km depth mantle with the participation of volatile fluids such as H_2O , CO_2 etc. when Yangzi plate and North China plate collided and subducted.

Key words: Dabieshan area; mafic-ultramafic rocks; Ti-clinohumite ($\pm$ Ti-chondrodite) + magnesite assemblage