女山玄武岩中麻粒岩捕虏体的发现与意义

周新民　于津海　徐夕生

（南京大学地球科学系，南京 210008）

关键词　捕虏体、麻粒岩、女山

笔者从位于安徽嘉山县城明光镇之北 35km 的女山碧玄质火山碎屑岩中，采集到 156 块壳源捕虏体，从中发现为数不少的麻粒岩．本文报道对这些壳源捕虏体所作的岩石学初步研究，并结合 HQ-13 地震测深剖面资料，提出女山地区粗略的地壳-上地慢岩性分层柱状剖面．

一、岩石学

女山玄武岩为碧玄质玄武岩，喷发于早更新世[1]．从中采集的壳源捕虏体可分为三类：高级变质岩、砂岩-页岩和伟晶岩状石英和长石碎块．其中高级变质岩约占总量的 1/3．偶尔发现紫苏辉长岩碎块．捕虏体呈不规则状、次圆状，一般直径 3—6cm，个别达 12cm．

高级变质岩捕虏体有以下 5 种：（1）二辉麻粒岩；（2）透辉斜长麻粒岩；（3）斜长紫苏花岗岩；（4）奥长花岗片麻岩；（5）浅色花岗片麻岩．它们的岩石化学和岩相学特征见表 1，呈细粒，压扁结构和板状花岗变晶结构，不含角闪石、黑云母、石榴石、蓝晶石和矽线石．对二辉麻粒岩中的两类辉石的电子探针成分分析表明，它们是透辉石和紫苏辉石（表 2）．后者普遍含出溶的透辉石细纹．二辉麻粒岩和斜长紫苏花岗岩中斜长石呈细微的反条纹构造．透辉斜长麻粒岩中斜长石具卡-钠复合律双晶．上述结构和矿物特征说明，前 3 种岩石的变质程度已达麻粒岩相，其中的二辉麻粒岩为中压麻粒岩[2]；后 2 种奥长花岗片麻岩和浅色花岗片麻岩呈不等粒结构，较粗大的斜长石成分为 An22，粒径约 0.5—1.5mm，含量约 3—5%，而其基质中钠-更长石和石英构成片麻状叶理，这些石英呈被拉长的、相互平行的、具钝角或浑圆状末端的卵形或舌状，据此可以认为它们也属麻粒岩相，或高角闪岩相，成分上以富 Na_2O 和 SiO_2，贫 K_2O 和 Rb(3—30ppm) 为特征．

二辉麻粒岩中透辉石和紫苏辉石的成分（表 2）在 Saxena[3] 的 X_{Fe}^{Opx} 对 X_{Fe}^{Cpx} 图解上均落于紫苏花岗岩曲线上（麻粒岩相），说明该类岩石中两类辉石成分基本上达到了平衡．据此，用两辉石地质温度计，算出它们的结晶温度如表 2．鉴于许多作者[4]认为，用表 2 采用的两种地温计计算的温度值，比实际温度高 ±60℃，所以女山二辉麻粒岩捕虏体的形成温度为 770—820℃．二辉麻粒岩捕虏体的结晶压力，可以根据透辉石中 Al_2O_3，Al^{VI} 和 Na 含量（反映硬玉分子数量）的多寡，与其他地区麻粒岩对比后作出估计（如表3），其值约 7—8kb．

1991-10-07 收稿，1992-02-09 收修改稿

表 1　女山玄武岩中壳源捕虏体的化学成分与岩相学特征 a)

岩石名称		二辉麻粒岩		透辉斜长麻粒岩	斜长紫苏花岗岩	奥长花岗片麻岩	浅色花岗片麻岩
编号		8902	8903	8912	8911	8914	8916
顺序号		1	2	3	4	5	6
SiO_2		51.26	53.70	54.56	68.19	77.50	76.87
TiO_2		0.52	1.16	1.04	0.19	0.15	0.17
Al_2O_3		18.79	17.20	15.67	17.22	13.11	13.02
Fe_2O_3		3.62	4.44	4.55	1.11	1.09	1.15
FeO		4.49	4.92	4.62	0.71	0.24	0.21
MnO		0.13	0.16	0.11	0.05	0.02	0.06
MgO		7.41	4.20	5.77	0.93	0.36	0.58
CaO		9.14	8.44	6.48	4.84	0.30	0.46
Na_2O		2.19	3.67	4.36	4.05	5.27	3.77
K_2O		0.70	1.26	0.58	0.78	0.68	2.41
P_2O_5		0.28	0.56	0.75	0.20	0.03	0.20
灼失		0.77	0.68	0.80	1.05	1.13	1.05
总量		99.30	100.39	99.30	99.32	99.88	99.95
矿物含量(%)	石英			14.0	29.7	36.4	36.6
	斜长石(An%,n)	68.5 (48.5, 10)	58.3 (39.7, 16)	74.3 (47.5)	62.3 (35.4,7)	50.8 (4—15)	50.4 (5—14)
	碱性长石		0.4			1.5	6.6
	紫苏辉石	13.9	24.1		7.0		
	透辉石	13.4	11.5	10.1			
	副矿物	4.2	5.7	1.6	1.0	11.3	6.4
平均粒径(mm)		0.30	0.25	0.25	0.4	0.11	0.13
结构		细粒、压扁结构、花岗变晶结构				细粒、板状花岗变晶结构	

a) 顺序号 1、2 和 4 的斜长石的括号内数字为用电子探针测定的 An% 和测点数目，3、5 和 6 中为用显微镜的测定值；顺序号 1 至 4 中的副矿物主要是铁钛氧化物，5 和 6 中为黑棕色玻璃质条带(是含水的铁质氧化物，据电子探针分析)；顺序号 5 和 6 中平均粒径指细粒矿物平均粒径.

二、女山地壳剖面的塑造

对壳源捕虏体起源深度的估计，除了借助于捕虏体形成压力值的推算外，岩石的密度和该岩石地震 P 波波速也可提供重要信息. 岩石密度(D)可根据实际矿物含量(表 1)和各矿物密度计算得出. 将该岩石密度值投影于 Birch[5] 的 V_p 对 D 图解上(取岩石平均原子量 $\bar{M}$ = 21.5)，便可得到近似的岩石的 V_p 值，即表 4 中 V_1. 表 4 还列出根据各捕虏体实际矿物含量和各矿物已知的 V_p 值[6](见表 4 脚注)，求出的岩石的 V_p 值，即 V_2. V_3 为 V_1 和 V_2 的平均值. 由于这些数据是在常温常压下得到的，因此就地壳中岩石而言，需对 V_3 作温度校正. 考虑到表 4 中二辉麻粒岩捕虏体形成于较大深度，其 V_p 值按下地壳 500℃ 温度校正，对其他捕虏体则按中地壳 300℃ 校正[7,8](用 $dV_p/dV_T = 0.038 km \cdot s^{-1}/100K$ 公式). 由此得出各种捕虏体的校正值 V_4. 将该值与女山地区地震剖面资料对照后，可作如下分析:

HQ-13 地震测深剖面(从安徽符离集至上海奉贤)在安徽嘉山县和五河之间通过，女山正位于该剖面上. 女山的地震 P 波速度变化如图 1 左所示[9]: 女山地区地壳厚度约 31km. 上地

表2　二辉麻粒岩捕虏体中辉石的化学成分与结晶温度[a)]

矿物名称	透辉石	紫苏辉石	透辉石	紫苏辉石
岩石编号	8902		8903	
测点数	10	10	3	10
SiO_2	50.77(0.28)	51.88(0.25)	49.77(0.05)	49.94(0.18)
TiO_2	0.41(0.01)	0.08(0.00)	0.29(0.00)	0.08(0.00)
Al_2O_3	3.09(0.21)	1.55(0.02)	2.53(0.04)	1.36(0.03)
Cr_2O_3	0.09(0.00)	0.04(0.01)	0.04(0.00)	0.02(0.00)
FeO*	8.81(0.14)	22.21(0.05)	12.26(0.23)	28.47(0.21)
MnO	0.18(0.00)	0.42(0.01)	0.23(0.00)	0.62(0.00)
MgO	13.19(0.08)	22.26(0.04)	11.52(0.01)	17.86(0.08)
CaO	21.76(0.19)	0.57(0.03)	21.06(0.08)	0.72(0.01)
Na_2O	0.53(0.00)	0.01(0.00)	0.72(0.00)	0.01(0.00)
总和	98.83	99.02	98.42	99.08
分子(%) Wo	46.3	1.2	45.1	1.5
分子(%) En	39.1	63.4	34.4	52.0
分子(%) Fs	14.6	35.4	20.5	46.5
T_1(℃)	863		834	
T_2(℃)	876		872	

a) T_1——据 Wood, B. J., Banno, S. (*Contr. Mineral. Petrol.*, **42** (1973), 109—124) 方法计算; T_2——据 Wells, P.R.A. (*Contr. Mineral. Petrol.*, **62** (1977), 129—139) 方法计算;括号内数字为方差

表3　女山二辉麻粒岩捕虏体中透辉石 Al_2O_3、Al^{VI} 和 Na 含量及其与其他地区麻粒岩的比较

	Bengal[a)]	胶东[b)]	水厂[c)]	石人沟[d)]	女山	Madras[e)]	密云[f)]
Al_2O_3	1.24	2.38	2.25	2.86	2.53—3.09	3.13	3.86
Al^{VI}	0.02	0.035	0.062	0.048	0.040—0.057	0.068	0.065
Na	0.02	0.036	0.038	0.021	0.039—0.041	0.036	0.073
P(kb)	6.3	5	8	7.4—8.4	7—8	9—10	10

a) Bhattacharyya, P.K. et al., *Geol. Mag.*, **124**(1987), 21～22, 表 2, $n=5$; b) 靳是琴等,地质学报, 1987, 3: 240—252,表 1, $n=5$; c) 靳是琴等,长春地质学院院报, 1986,2: 29—36, 表 1, $n=4$; d) 王苇锐等, 矿物学报,1987, 3: 227—237, 表 1, No. 3A334; e) Weaver, B.L. et al., *Achaean Geochemistry*, 1978, 177—202, 表 3a, $n=6$; f) 卢良兆等,地球化学,1984,1: 50—59,表 1, $n=7$

壳、中地壳和下地壳分别约厚 3—6km、16km 和 10km，相应的 V_p 值为 5.8km·s^{-1}、6.3km·s^{-1} 和 6.8km·s^{-1}。根据上一节对二辉麻粒岩捕虏体形成压力的估算值 7—8kb (相当 23—27 km)和表 4 的 V_4 值 (6.64—6.91) 对照图 1 左,可以认为二辉麻粒岩是女山地区下地壳的主要组成。用同样方法,将表 4 的1/4值与图 1 左对照，可以推断透辉斜长麻粒岩和斜长紫苏花岗岩是中地壳下部的组份,而奥长花岗片麻岩和浅色花岗片麻岩,则是中地壳上部组份。至于浅部地壳，由未变质的碎屑岩、粘土岩组成，这些岩石不仅呈捕虏体产于女山玄武岩中,也出露于女山之西南(其时代为 K—Q)。

鉴于以上认识,结合笔者以往对女山玄武岩及幔源捕虏体和各种巨晶研究[1]，提出了初步的女山地区地壳一上地幔岩石圈岩性分层柱状剖面，如图 1 右。从中可以看出，女山地区的

表 4　女山壳源捕虏体 P 波速（$km \cdot s^{-1}$）估算值[a)]

岩石名称	二辉麻粒岩			透辉斜长麻粒岩	紫苏斜长花岗岩	奥长花岗片麻岩	浅色花岗片麻岩
编　号	8920	8903	8902	8912	8911	8914	8916
D	3.10	3.02	2.93	2.77	2.73	2.73	2.68
V_1	7.22	7.02	6.84	6.38	6.28	6.28	6.17
V_2	6.98	6.85	6.82	6.61	6.39	6.18	6.17
V_3	7.10	6.94	6.83	6.50	6.34	6.23	6.17
V_4	6.91	6.75	6.64	6.38	6.22	6.11	6.05

a) D、V_1、V_2、V_3 和 V_4 的含义与计算方法见正文，用以计算的矿物平均 V_P 值[4]是：斜长石 7.18(An100)，6.12(An0)；钾长石 6.20(Or100)，5.82(Or70)；单斜辉石 7.1；斜方辉石 7.36；磁铁矿 7.39；石英 6.01（单位 $km \cdot s^{-1}$）

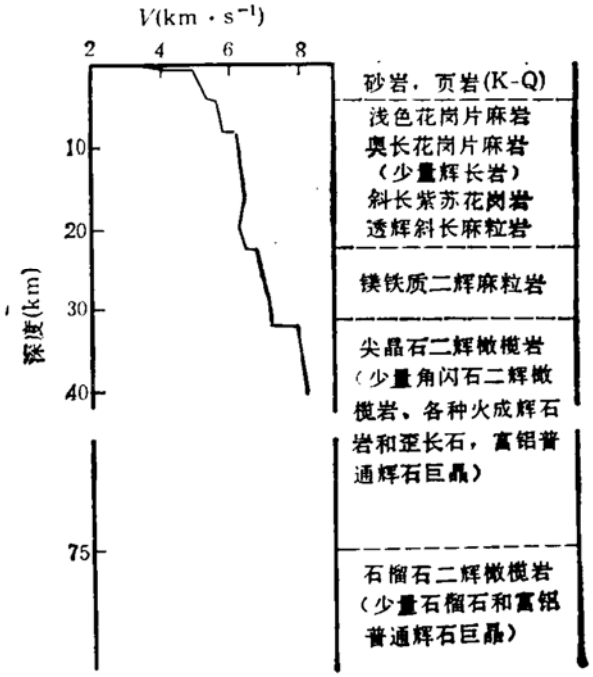

图 1　建议的女山地区地壳-上地幔岩性柱状剖面

图左 V_P 变化据 HQ-13 地震测深剖面资料[9]

中、下地壳由酸性和基性高级变质岩组成，属麻粒岩相至高角闪岩相，它们应是华北地块结晶基底的一部分，可能形成于早元古代以前。

参　考　文　献

[1] 周新民等，南京大学学报(自然科学版)，1980，2：83—103.

[2] Green, D.H., Ringwood, A.E., *Geochim. Cosmochim. Acta*, **31**(1967), 767—833.

[3] Saxena, S.K., *Amer. Mineral.*, **53** (1968), 1674—1695.

[4] Rollinson, H.R., *Lithos*, **14** (1981), 225—238.

[5] Birch, F., *Jour. Ecophys. Research*, **66**(1961), 2199—2224.

[6] Kern, H., Schenk, V., *Phys. Earth Planet. Int.*, **40** (1985), 147—160.

[7] Condie, K.C., *Tectonophysics*, **105** (1984), 29—41.

[8] Mengel, K., *Contr. Mineral. Petrol.*, **104**(1990), 8—26.

[9] 张四维等，地球物理学报，**31**(1988)，6：637—648.