科学通报
第41卷 第3期 CHINESE SCIENCE BULLETIN 1996年2月

汉诺坝玄武岩中高温麻粒岩捕掳体*

樊祺诚 刘若新
(国家地震局地质研究所,北京 100029)

关键词 高温麻粒岩 捕掳体 玄武岩 汉诺坝

汉诺坝新生代玄武岩中丰富的幔源橄榄岩捕掳体,成为透视上地幔的重要窗口,而与橄榄岩相伴随的麻粒岩捕掳体由于数量少,且对它们的注意和研究是不够的. 以往我们主要通过出露于地表的太古代麻粒岩相地体了解下地壳,这些麻粒岩都经历过复杂的地质构造与变质演化历史才抬升到地表,相比,被新生代玄武岩捕获快速携至地表的捕掳体麻粒岩其演化历史要简单得多,更能直接反映下地壳性质,因而成为我们探索现今下地壳物质组成和演化的最直接研究对象. 这里我们提出的汉诺坝新生代玄武岩中的高温麻粒岩捕掳体,不同于华北克拉通地台区地体麻粒岩,可能具有现今下地壳的组成特点.

1 样品与岩相学特征

这里报道的几个麻粒岩样品均采自汉诺坝大麻坪,与橄榄岩一道由新生代玄武质熔岩携带至地表. 在手标本上可见麻粒岩与橄榄岩同为玄武岩浆所捕获,大者二三十厘米,小的约十厘米左右. 岩石具明显的条带构造,包括变形条带和矿物分带现象清晰可见. 本文的4个麻粒岩样品,3个为二辉麻粒岩,1个为紫苏辉石麻粒岩,前者属基性麻粒岩,后者属中性麻粒岩.

3个二辉麻粒岩由 Opx+Cpx+Pl 组成,3种矿物相对百分含量略显变化($Opx_{65-75}Cpx_{10-15}Pl_{10-15}$),岩石具粒状变晶结构,局部可见变余火成结构. 重结晶辉石矿物一般具有平直边,自形-半自形,三连点很发育. 大部分斜长石半自形,具聚片双晶和格子状肖钠双晶,成条带状分布,表明具有麻粒岩相变质特征. 少量斜长石仍具不规则他形填隙状,推测为辉长质原岩的残余结构特征. 辉石矿物内无矿物包裹体,这区别于地体麻粒岩,但含有十分丰富的密集成带状分布的流体包裹体. 副矿物有铁钛氧化物.

一个紫苏辉石麻粒岩由 Opx+Pl+Qz 组成,矿物百分含量为 $Opx_{20}Pl_{65}Qz_{15}$. 从手标本可见明显的变形条带和矿物分带现象,斜长石或石英形成浅色条带,紫苏辉石成褐色条带. 斜长石聚片双晶常见,个别具格子状肖钠双晶,斜长石中有蠕虫状钾钠长石出溶,具文象结构特点. 不规则状细粒石英紧密相嵌. 重结晶紫苏辉石较自形,淡褐色,弱多色性. 不含矿物包裹体和流体包裹体.

1995-07-10 收稿,1995-09-08 收修改稿
*国家自然科学基金资助项目

2 矿物化学与岩石形成条件

4 个麻粒岩的矿物电子探针分析结果列于表 1.

表 1 汉诺坝麻粒岩捕掳体矿物电子探针分析结果[a)]

岩石	二辉麻粒岩									紫苏辉石麻粒岩			
样号	HDW-9			HD-50			HD-71			HD-70			
矿物	OPX	CPX	PL	OPX	CPX	PL	OPX	CPX	PL	OPX	PL	AF	QZ
SiO_2	51.73	51.41	55.63	52.61	51.11	54.63	51.16	52.25	55.49	50.46	59.25	65.48	99.80
TiO_2	0.12	1.04	0.02	0.18	1.04	0.01	0.09	0.82	0.08	0.17	0.03	0.01	0.06
Cr_2O_3	0.11	0.18	0.00	0.00	0.06	0.00	0.02	0.00	0.00	0.08	0.05	0.00	0.00
Al_2O_3	4.36	6.41	26.72	4.49	6.81	27.95	4.75	5.88	28.78	3.05	25.44	20.31	0.05
FeO	16.21	6.53	0.15	15.45	6.45	0.12	16.51	6.19	0.00	23.51	0.12	0.00	0.05
MnO	0.28	0.25	0.00	0.00	0.00	0.06	0.28	0.00	0.00	0.25	0.01	0.00	0.02
MgO	25.80	13.48	0.03	26.17	14.30	0.00	25.87	13.94	0.06	21.54	0.04	0.00	0.04
CaO	0.53	19.56	10.03	0.43	18.50	10.96	0.54	19.22	9.96	0.58	6.69	0.81	0.00
Na_2O	0.04	1.09	5.40	0.04	0.91	5.20	0.08	0.89	5.43	0.07	6.26	4.03	0.01
K_2O	0.01	0.00	0.36	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.31	0.00	1.60	9.07	0.00
合计	99.20	99.95	98.34	99.37	99.18	99.15	99.30	99.19	100.11	99.71	99.49	99.73	100.03
Si	1.890	1.885	2.542	1.879	1.862	2.485	1.871	1.901	2.489	1.901	2.660	2.949	0.998
Ti	0.003	0.029	0.001	0.005	0.029	0.000	0.002	0.023	0.003	0.005	0.001	0.001	0.000
Cr	0.003	0.005	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000
Al	0.187	0.277	1.439	0.192	0.295	1.498	0.205	0.254	1.521	0.135	1.346	1.078	0.001
Fe	0.495	0.200	0.006	0.469	0.198	0.005	0.505	0.190	0.000	0.741	0.005	0.000	0.000
Mn	0.006	0.006	0.008	0.000	0.000	0.008	0.006	0.000	0.008	0.006	0.008	0.008	0.002
Mg	1.404	0.736	0.002	1.418	0.783	0.000	1.410	0.762	0.004	1.209	0.003	0.000	0.001
Ca	0.021	0.768	0.491	0.017	0.728	0.534	0.021	0.756	0.479	0.023	0.322	0.039	0.000
Na	0.003	0.077	0.478	0.003	0.065	0.459	0.006	0.063	0.472	0.005	0.545	0.352	0.000
K_2O	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.180	0.000	0.092	0.521	0.000
合计	4.012	3.983	4.988	3.983	3.962	5.002	4.027	3.949	5.156	4.027	4.984	4.948	1.002
Wo	1.1	44.9		0.9	42.6		1.1	44.3		1.2			
En	72.9	43.0		74.5	45.8		72.6	44.6		61.1			
Fs	26.0	12.1		24.6	11.6		26.3	11.1		37.7			
An			49.6			53.1			49.4		33.6	4.3	
Or			2.1			1.3			1.8		9.6	57.1	
Ab			48.3			45.6			48.8		56.8	38.6	
T_1[b)]	976 ℃			1 053 ℃			1 050 ℃						
T_2[c)]	968 ℃			1 028 ℃			1 018 ℃						

a) 分析者: 中国地质科学院矿床地质研究所, 余静

b) T_1 据 Wells 方法计算[1]

c) T_2 据 Wood 和 Banno 方法计算[2]

3 个二辉麻粒岩矿物成分非常接近, 斜方辉石端员分子(平均)为 $Wo_{1.0}En_{73.4}Fs_{25.6}$, 属紫苏辉石系列. 单斜辉石端员分子(平均)为 $Wo_{43.9}En_{44.5}Fs_{11.6}$, 属普通辉石系列. 斜长石的 An 变化于 49.4 ~ 53.1, 属中拉长石. 而紫苏辉石麻粒岩的紫苏辉石相对富 FeO 贫 MgO, 其端员分子为 $Wo_{1.2}En_{61.1}Fs_{37.7}$. 斜长石成分 $An_{33.6}$, K_2O 和 Na_2O 组分明显增加. 斜长石中出溶的钾钠长石

($K_2O > Na_2O$)，端员组分 $An_{4.3}Or_{57.1}Ab_{38.6}$.

从表2可以发现，汉诺坝捕掳体麻粒岩与华北地台太古代麻粒岩相地体中的麻粒岩[3～5]和女山玄武岩中的捕掳体麻粒岩(形成于元古代以前)[6]在矿物成分上的系统差异. 女山二辉麻粒岩的矿物化学成分与华北太古代麻粒岩的矿物化学成分十分接近，它们可能均属华北地台古老结晶基底的部分. 与之相比，汉诺坝捕掳体麻粒岩中的斜方辉石更富MgO贫FeO; 同样，单斜辉石也较之富MgO贫FeO，且 Al_2O_3, Al^{IV} 和 Na_2O 也较高.

采用二辉石温度计[1, 2]计算了3个二辉麻粒岩的平衡温度分别变化于976～1 050 ℃和968～1 028 ℃，如果考虑上述两种温度计的计算值比实际温度高60 ℃[7]，那么汉诺坝二辉麻粒岩捕掳体的平衡温度应在900～1 000 ℃范围，这显然是一种高温麻粒岩. 对于不含石榴石的二辉麻粒岩的形成压力，目前尚无适用的压力计，但我们可以根据麻粒岩中单斜辉石的 Al_2O_3, Al^{IV} 和 Na_2O 含量与其它地区麻粒岩对比作出估计[6]. 汉诺坝捕掳体二辉麻粒岩的单斜辉石的 Al_2O_3 和 Al^{IV} 均比其它地区相应成分高出两倍以上，Na_2O 也明显高于后者(表2)，估计汉诺坝二辉麻粒岩的形成压力至少1.0～1.2 GPa，相当于33～40 km的深度.

表2　麻粒岩矿物成分比较[a)]

矿物	氧化物	汉诺坝	冀东[3]	华北[4]	密云[5]	女山[6]
石榴石	MgO		4.57～7.72 (6.34)	6.14～7.40(6.90)	8.4	
	FeO		25.66～28.94(27.54)	24.22～25.96(24.97)	21.78	
斜方辉石	MgO	25.80～26.17(25.95)	17.62～20.98(19.68)	20.38～22.53(21.34)	19.50～23.80(20.95)	17.86～22.26(20.06)
	FeO	15.45～16.51(16.06)	24.49～27.08(26.02)	22.96～25.35(24.22)	20.97～23.73(22.86)	22.21～28.47(25.34)
	Al_2O_3	4.36～4.75(4.53)	1.55～2.05(1.83)	1.50～2.31(1.90)	2.29～3.42(2.62)	1.36～1.55(1.46)
单斜辉石	MgO	13.48～14.30(13.91)	11.34～13.19(12.09)	12.87～13.55(13.10)	12.25～14.25(12.75)	11.52～13.19(12.36)
	FeO	6.19～6.53(6.39)	8.82～12.27(10.37)	9.55～9.85(9.67)	9.09～10.48(10.01)	8.81～12.26(10.54)
	Al_2O_3	5.88～6.81(6.37)	2.91～3.37(3.07)	2.82～3.58(3.17)	3.89～4.16(4.01)	2.53～3.09(2.81)
	Al^{IV}	0.155～0.162(0.158)	0.063～0.080(0.074)	0.055～0.076(0.067)	0.070～0.099(0.089)	0.040～0.057(0.049)
	Na_2O	0.89～1.09(0.96)	0.54～1.11(0.74)	0.71～1.01(0.86)	0.071～0.084(0.078)	0.53～0.72(0.63)
T/℃		900～1 000	550～940	800～840	765～849	770～820
P/GPa		1.0～1.2	0.3～1.1	0.7～0.9	±1.0	0.7～0.8

a) 括号内数字为平均数

3　初步讨论

汉诺坝捕掳体麻粒岩与出露于地表的华北地台太古代麻粒岩，以及女山玄武岩中捕获的形成于元古代之前的麻粒岩，二者在矿物化学成分上的差异，反映了它们不同的来源与成因. 后者作为地表出露的华北地台太古代或元古代麻粒岩相地体，均位于克拉通地区，反映前寒武纪构造-火成事件，麻粒岩经历了长期的构造、变质演化，其成分变化范围很宽，以中性(长英质)为主. 它们的形成温压条件较低，且变化范围也宽，根据对华北冀东、太行-五台地区的地体麻粒岩研究[8]，其下地壳底部主要由辉石麻粒岩或基性麻粒岩组成，它们反映太古-早元古时期形成的克拉通性质，其平均 V_p 为7.3～7.4 km/s. 而地球物理探测资料表明[9]，华北东部地区存在一个 V_p 为7.3～7.6 km/s 的异常高速壳底层，这可能与新生代时期强烈的构造-岩浆事件的改造有关. 早期的克拉通地壳(特别是壳底)受到基性辉长质或玄武质岩浆的

底侵，在下地壳底部(33 ～ 40 km)形成高温麻粒岩，如上文指出其矿物成分较地体麻粒岩更富镁，自然密度也更大，所以 V_p 也高．世界上克拉通地区出露的麻粒岩相地体一般形成于较低的温压环境(<850 ℃, 0.5 ～ 1.0 GPa)[10]，而我们研究的汉诺坝富镁质基性捕掳体麻粒岩相对高温高压平衡条件，具有世界上裂谷区和扩张带(如南非、东澳等地)的捕掳体麻粒岩特点(温度>850 ℃，大部分在 900 ℃以上)，压力为(0.8 ～ 1.4 GPa，大部分大于 0.9 GPa)[10]，汉诺坝玄武岩中捕掳体麻粒岩与中国东部新生代玄武岩中幔源橄榄岩捕掳体推导的新生代以前古地温类似，均靠近大洋地温与裂谷地温线附近[11, 12]，说明新生代时期汉诺坝地区具有裂谷区或扩张带的构造环境．推测汉诺坝高温捕掳体麻粒岩由幔源辉长质岩浆底侵下地壳，再经壳－幔相互作用导致麻粒岩相变质而成．这种被玄武岩浆捕获快速携至地表的麻粒岩，其被捕获后的变化比起经历了漫长复杂的地质历史演化的麻粒相地体要简单得多，更能直接反映现今下地壳的组成特点．

最近，我们还对汉诺坝基性麻粒岩中的 CO_2 流体包裹体进行碳、氧同位素的初步研究(另文讨论)，样品真空下在 800 ℃ 和 1 100 ℃ 分步爆裂提取包裹体中的 CO_2，然后进行碳、氧同位素测定．发现它们的碳、氧同位素组成($\delta^{13}C/‰$ 分别为 −21.21 和 −24.18，$\delta^{18}O/‰$ 分别为 −8.97 和 −22.81)与中国东部新生代玄武岩的地幔橄榄岩捕掳体中 CO_2 流体包裹体的碳同位素组成类似[13]，说明与麻粒岩的原岩岩浆来自地幔有关．

本文是对汉诺坝玄武岩中捕掳体麻粒岩的初步研究报道，需要进一步从捕掳体麻粒岩的年代学与同位素地球化学方面深入研究华北地区现今下地壳及其壳－幔相互作用特点．

致谢 作者得到周新民教授颇有裨益的指教，并承蒙周新民教授与王清晨副研究员审阅全文提出宝贵的修改意见，谨此致谢．

参 考 文 献

1 Wells P R A. Pyroxenethermometry in simple and complex systems. Contr Miner Petrol, 1977, 62: 129～139
2 Wood B J, Banno S. Garnet-orthopyroxene and clinopyroxene-orthopyroxene relationship in simple and complex systems. Contr Miner Petrol, 1973, 46: 11～23
3 贺高品，叶慧文．冀东麻粒岩相区的变质作用及其演化．岩石学报，1992, 8(2): 128～135
4 翟明国，郭敬辉，阎月华等．中国华北太古宙高压麻粒岩的发现及初步研究．中国科学，B 辑，1992, (12): 1 325～1 330
5 卢良兆，靳是琴，叶慧文等．北京密云群变质作用的温度、压力研究．地球化学，1984, 1: 50～59
6 周新民，于津海，徐夕生．女山玄武岩中麻粒岩捕掳体的发现与意义．科学通报，1992, 37(13): 1 118～1 201
7 Rollinson H R. Garnet-pyroxene thermometry and barometry in the Scourie granulites, NW Scotland. Lithos, 1981, 14: 225～238
8 吴宗絮，邓晋福，赵海玲等．华北大陆地壳－上地幔岩石学结构与演化．岩石矿物学杂志，1994, 13(2): 106～114
9 孙武城，李松林，杨玉春．华北东部地区地壳结构的初步研究．地震地质，1985, 7(3): 1～11
10 Rudnick R. Xenoliths-Samples of the lower continental crust. In: Continental Lower Crust. Elsevier, 1992, 269～316
11 Fan Q C, Hooper P R. The mineral chemistry of ultramafic xenoliths of eastern China: implications for upper mantle composition and the paleogeotherms. J Petrol, 1989, 30: 1 117～1 158
12 刘若新．中国东部大陆上地幔基本状况．地球物理进展，1994, 4: 40～54
13 储雪蕾，樊祺诚，刘若新．中国东部新生代玄武岩中超镁铁质捕掳体的 CO_2 包裹体的碳、氧同位素初步研究．科学通报，1994, 39(1): 62～64