细碧岩岩浆成因的最新证据

——北祁连山下古生代辉石细碧玢岩单斜辉石斑晶中发现原生富钠质岩浆包裹体*

夏林圻　　夏祖春**

（中国地质科学院西安地质矿产研究所）

关键词　细碧岩、单斜辉石、岩浆包裹体

海相火山岩系的重要组成部分——细碧-角斑质火山岩组合的成因，长期以来一直处于争论之中，其焦点是钠质的来源问题. 作者等[1-3]曾根据在细碧-角斑岩中发现无序-过渡型钠长石，以及在石英角斑岩石英斑晶中发现原生富钠质岩浆包裹体，证明细碧-角斑质火山岩极有可能是从一种富钠、富水的岩浆中结晶产出. 最近，作者又于甘肃省永登县石灰沟奥陶系辉石细碧玢岩的单斜辉石斑晶中发现了原生富钠质岩浆包裹体，现报道如下.

一、单斜辉石斑晶中的原生岩浆包裹体

辉石细碧玢岩产于奥陶纪海相火山岩系的下部，是北祁连山下古生代海相火山岩系的主要岩石组成之一. 岩石具斑状结构，斑晶由单斜辉石（顽透辉石-普通辉石）和钠长石（$An_{0.4-0.8}Ab_{99.2-99.4}Or_{0-0.9}$）组成. 基质具间粒-间片结构，钠长石微晶（$An_{0.6-1.7}Ab_{98.0-99.4}Or_{0-0.1}$）构成格架，格架间充填有单斜辉石、绿泥石、钛磁铁矿、榍石、白钛石、黑硬绿泥石等（图 1）. 单斜辉石斑晶大小为（0.5—1.5）mm × （0.1—0.4）mm，部分遭受绿泥石、绿帘石化. 多数单斜辉石斑晶具正环带结构，自中心向边缘镁含量降低、铁含量升高. 少数单斜辉石斑晶具反环带结构（表 1）. 单斜辉石斑晶中含大量演化型原生岩浆包裹体（图 2），大小一般为 7—30μm，具主矿物负晶形，包裹体充填物由子矿物相（单斜辉石＋钛磁铁矿）、残余玻璃相和收缩气泡组成.



图 1　辉石细碧玢岩
cpx——单斜辉石斑晶；　ab——钠长石微晶

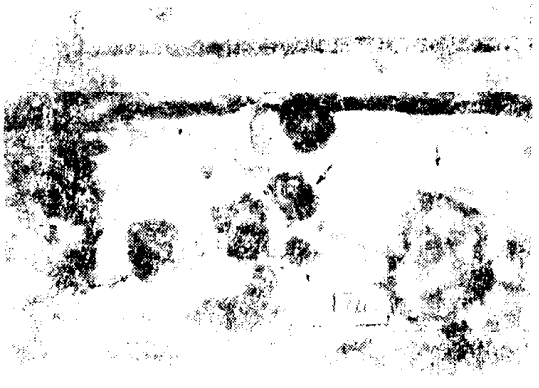

图 2　辉石细碧玢岩单斜辉石斑晶中的演化型岩浆包裹体（箭头所指）

本文 1988 年 10 月 10 日收到.
* 国家自然科学基金资助项目.
** 彭礼贵、任有祥、杨静华、张诚、李智佩、王兴安等曾参加野外考察.

表 1　甘肃永登石灰沟辉石细碧玢岩单斜辉石斑晶中岩浆包裹体的化学成分(重量%)

种类 / 化学成分	全岩*	单斜辉石(具反环带结构)中岩浆包裹体										单斜辉石(具正环带结构)中岩浆包裹体									
		内带						过渡带		边缘		内带		过渡带					边缘		
		主矿物	包裹体(均一后)	主矿物	包裹体(均一后)			主矿物	包裹体(均一后)	主矿物	包裹体(均一后)	主矿物	包裹体(均一后)	主矿物	包裹体(均一后)				主矿物	包裹体(均一后)	
SiO_2	53.87	53.43	53.47	53.46	54.61	54.16	54.40	51.14	56.34	52.70	54.53	52.47	54.35	52.24	56.26	57.53	56.78	57.04	56.54	51.91	59.71
TiO_2	0.30	0.09	0.24	0.00	0.20	0.22	0.22	0.16	0.18	0.14	0.18	0.06	0.23	0.05	0.18	0.19	0.14	0.15	0.13	0.00	0.13
Al_2O_3	16.34	1.55	15.45	1.78	16.07	16.03	16.59	2.14	14.68	1.58	15.60	1.75	14.95	2.07	17.96	17.83	17.73	17.91	18.40	1.71	15.48
$FeO^{Fe_2O_3}_{FeO}$	7.24 4.78	6.66	8.15	6.23	6.43	6.90	6.18	7.40	6.58	6.01	5.93	6.85	6.54	6.88	4.17	4.01	4.14	4.63	4.90	8.59	5.83
MgO	4.54	18.20	5.27	17.96	4.56	4.72	4.42	17.84	5.62	18.84	4.84	18.65	6.77	17.38	3.00	2.99	3.10	3.26	3.00	16.78	4.67
CaO	2.29	19.93	9.38	20.69	9.89	10.21	9.90	20.06	9.82	21.20	9.84	20.34	9.18	20.48	7.92	7.77	8.67	7.39	8.69	19.80	7.35
Na_2O	6.86	0.10	3.85	0.13	3.90	3.67	4.44	0.10	4.00	0.10	4.41	0.13	3.69	0.15	4.91	3.82	4.48	4.63	4.67	0.19	4.14
K_2O	0.21	0.00	0.30	0.00	0.49	0.42	0.39	0.00	0.10	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.76	0.66	0.73	0.62	0.60	0.00	0.40
MnO	0.12	0.06	0.00	0.17	0.10	0.21	0.13	0.29	0.15	0.17	0.09	0.19	0.10	0.21	0.17	0.12	0.13	0.08	0.00	0.19	0.00
Cr_2O_3	0.002	0.07	0.01	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.13	0.09	0.29	0.05	0.49	0.07	0.00	0.13	0.09	0.00	0.20	0.00
NiO H_2O^+	0.003 3.04	0.12	0.13	0.04	0.03	0.00	0.13	0.00	0.05	0.10	0.08	0.00	0.08	0.05	0.12	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.03
总计	99.595	100.21	96.25	100.67	96.27	96.54	96.79	99.14	97.57	100.97	96.03	100.73	95.94	100.00	95.51	95.00	96.35	95.81	96.93	99.37	97.73
En		50.2		49.4				49.0		50.3		50.3		48.3						46.8	
Wo		39.5		50.0				39.6		40.7		39.4		50.0						39.7	
Fs		10.3		9.6				11.4		9.0		10.3		10.7						13.5	
均一温度℃		1222		1218				1204		1218		1218		1195						1185	

* 湿法分析,分析者: 石宝贵、龚心才. 其余为电子探针分析,测定者、夏林圻、刘文峰. 探针: JXA-733; 条件: 15kV,10nA,2—5μm.

利用 Leitz-1350 型热台进行均一化实验，自 700℃ 左右，玻璃相始熔，子矿物相于 780—820℃开始熔化，包裹体的均一温度介于 1185℃ 至 1222℃ 之间. 正环带单斜辉石中，自中心向边缘，包裹体的均一温度逐渐降低 (1218→1195→1185℃)；反环带单斜辉石中，自中心向过渡带，包裹体均一温度降低，至斑晶基性边缘，包裹体均一温度复又升高(表 1). 于 CHAIX-MECA 冷热台中对上述包裹体进行冷冻法研究，查明包裹体的收缩气泡中含有密度为 0.04g/cm³ 的CO_2 (CO_2 相－28.3℃均一为气相). CO_2 相熔点为－54.5℃，表明收缩气泡中除 CO_2 外尚含有其它气体. 将上述 CO_2 密度值及岩浆包裹体的完全均一温度(1222℃)代入 Bottinga的 CO_2 状态方程[4]求得，单斜辉石斑晶中心相大约在 11.5MPa 的压力下于 1222℃ 结晶析出.

二、岩浆包裹体的化学成分及其意义

演化型岩浆包裹体中所存在的玻璃相只是析出子矿物后剩下的残余熔体，为了获得单斜辉石斑晶中演化型岩浆包裹体的初始化学成分，应将研究样品先均一化，淬火后再制成探针样进行测定，测定结果列于表 1. 从表 1 可以看出，产于斑晶中心相中的岩浆包裹体基性度最高，与全岩化学成分十分相近，其 Na_2O 含量为 3.69—4.44%(重量%)，K_2O 含量为 0.00—0.49%(重量%)，这正是细碧岩类的化学成分特点. 由此证明，辉石细碧玢岩的早期矿物相单斜辉石结晶时，周围岩浆已经富钠. 正环带单斜辉石斑晶中，从中心向边缘，随着结晶温度逐渐降低，岩浆包裹体的成分渐趋偏酸性(表 1). 反环带单斜辉石斑晶中，从内带向过渡带，随着结晶温度降低，岩浆包裹体的成分酸度升高；至富镁贫铁的基性边缘带，结晶温度反向增高，岩浆包裹体的成分复又变得偏基性，与内带中岩浆包裹体的成分相近(表 1). 上述事实意味着细碧玢岩形成过程中，曾发生过岩浆混合作用：即顽透辉石-普通辉石相首先从早期细碧质岩浆中结晶，随着温度降低，岩浆演化程度增高，变为以普通辉石相为主析出；尔后，又有新的、演化程度低的原始细碧岩浆注入，与先期已发生演化的中等基性度的岩浆混合，造成在早期单斜辉石晶体边部又结晶生长出一圈结晶温度较高的顽透辉石带.

根据电子探针分析不能测出的亏损量可以估算石灰沟奥陶纪细碧质火山岩浆中所溶解的挥发组分总量[2,5]为 2.5—5% (重量%)，其中 F、Cl、S 等挥发性元素 (S——0.87%，Cl——0.08%，F——0.14%，系电子探针分析结果，用重量%表示)所占比例小于 25%. 考虑到浅部结晶的基性岩浆中 CO_2 的溶解度一般小于 1%(重量%)[6]，可以估测，本区细碧质火山岩浆中所溶解的 H_2O 量约为 1.5—3%(重量%). 演化型岩浆包裹体中，除相当部分的 H_2O 仍溶解于残余玻璃相中外，由于子矿物的析出，原来溶解于岩浆中的大部分其它挥发组分均已转移到收缩气泡之中. 经激光喇曼探针测定，收缩气泡中的气相组分以 CO_2 为主，此外还有 N_2、CH_4、H_2O、H_2、H_2S、SO_2 等(表 2). 根据岩浆包裹体收缩气泡中的气相成分，以及包裹体的完全均一温度和均一时的压力，可以借助热力学方法[7]计算出各气体组分的逸度(表 2) 和单斜辉石结晶时的氧逸度 ($fO_2 = 10^{-11.02}$bar) 条件.

综上述，本研究成果为细碧岩的岩浆成因提供了最新确凿证据. 它至少可证明甘肃省永登县石灰沟奥陶纪辉石细碧玢岩中的单斜辉石是从一种富钠富水的基性岩浆中结晶析出.

将单斜辉石中岩浆包裹体的化学成分投影于 Miyashiro[8] 的火山岩系列分类图中(图 3)，可以判别该区细碧岩类的"源"岩浆系列应属于岛弧型钙碱性火山岩系列. 至于该区富钠质的细碧岩浆是否是正常的钙碱性岩浆的分异派生物，或是钙碱性火山岩浆在上升过程中与海底沉积物中的热卤水发生岩浆混染作用所产生[9]？尚需进一步研究. 目前看来，Soler[10]根据西

表 2　甘肃永登石灰沟辉石细碧玢岩单斜辉石斑晶内岩浆包裹体收缩气泡中气相化学成分和逸度

Th	$P_{总}$	气相成分 (mol %)							气体组分的逸度 (bar)							
℃	MPa	CO_2	N_2	CH_4	H_2O	H_2	H_2S	SO_2	fO_2	fCO_2	fN_2	fCH_4	fH_2O	fH_2	fH_2S	fSO_2
1222	11.5	60.4	4.8	6.4	8.4	3.4	7.9	8.7	$10^{-11.02}$	$10^{1.86}$	$10^{0.76}$	$10^{0.88}$	$10^{0.99}$	$10^{0.60}$	$10^{0.97}$	$10^{1.01}$

气相成分系激光喇曼探针测定. 测定者: 西安地质矿产研究所　徐培苍. 仪器: RAMANOR U-1000; 氩离子激光器: 514.5nm; 功率: 400mW; 狭缝宽: 400μm; 扫描速度: 6cm^{-1}/min. Th——岩浆包裹体均一温度; $P_{总}$——岩浆包裹体均一时的压力, 系根据收缩气泡中 CO_2 的密度和均一温度计算求得.

班牙 Huelva 地区细碧岩类氢-氧同位素研究数据所提出的有关细碧-角斑岩形成的"海底热卤水-岩浆混染"成因模式比较有说服力.

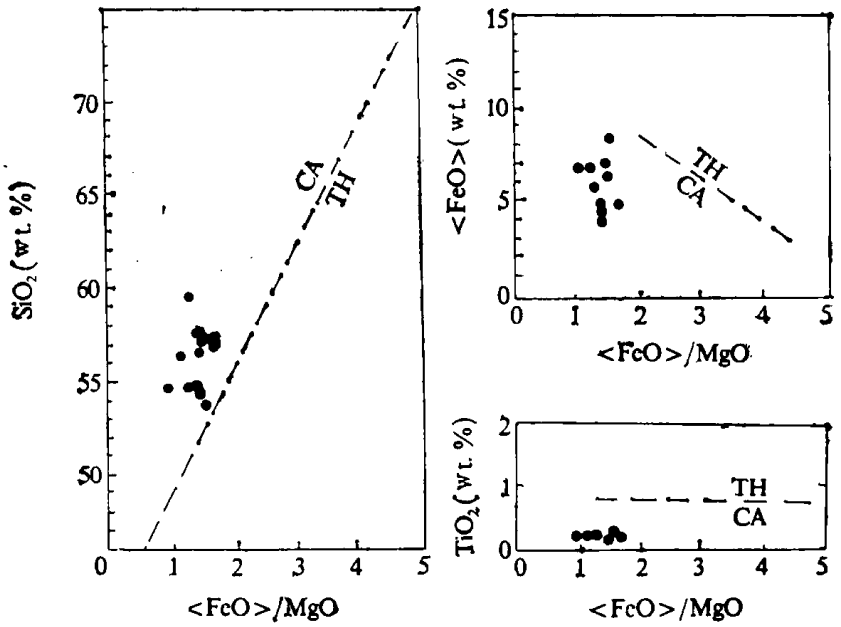

图 3　火山岩系列分类图(据 Miyashiro, 1975)

● ——单斜辉石中岩浆包裹体; TH——拉斑玄武质火山岩系列; CA——钙碱性火山岩系列

参　考　文　献

[1] 夏林圻、黄月华, 地球化学, 1979, 1: 13—27.
[2] Xia Linqi (夏林圻), Thèse de doctorat, Université de Paris sud, 1984, 316.
[3] 夏林圻, 岩石学报, 1987, 2: 51—63.
[4] Bottinga, Y. and Richet, P., *Amer. J. Sci.*, **281**(1981), 615—660.
[5] 夏林圻, 岩石矿物学杂志, **7**(1988), 1: 1—11.
[6] Mysen, B. O. et al., *Amer. J. Sci.*, **276**(1976), 455—479.
[7] Булах А. Г. и Кривовичев В. Г., *Расчет Минеральных Равновесий*, 1985, 183.
[8] Miyashiro, A., *J. Geol.*, **83**(1975), 249—281.
[9] 夏林圻、夏祖春, 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 1987, 19: 1—30.
[10] Soler, *E., C. N. R. S.*, Nancy, 1980, 461.