科 学 通 报
第 38 卷 第 13 期 CHINESE SCIENCE BULLETIN 1993 年 7 月

花岗岩体系的失水熔融及其意义*

林 强 吴福元 马 瑞
(长春地质学院地质系,长春 130061)

关键词 失水熔融、开放体系、花岗岩

Q-Ab-Or-An-H_2O 系的相平衡关系表明，花岗岩体系的熔融作用遵循矿物相消失所制约的固-液相平衡规律[1]. 然而,天然花岗岩开放体系的熔融作用,其初熔液相成分、矿物相消失顺序、液相成分随熔融程度的变化以及残余固相的成分变化等,均与花岗岩封闭体系截然不同. 天然花岗闪长岩块状样品的熔融实验表明，初熔液相并不相当于花岗闪长岩体系的低熔点成分，而是 SiO_2 含量很低的玄武质液相. 同时随着熔融程度的增加，液相成分向着安山质、英安质、流纹质演化,残余固相趋向于超酸性. 这一实验结果对岩浆起源以及地壳深部的物质组成和地壳结构的研究可能有新的启示.

1 实验样品及实验方法

样品采自吉林省桦甸县白山地区太古宙花岗闪长质片麻岩. 岩性均匀，主要由斜长石(54%)、微斜长石(20%)、石英(20%)、黑云母(4%)和白云母(1%)组成,副矿物(1%)有绿帘石、榍石、锆石和磷灰石. 岩石具有半自形粒状结构和片麻状构造.

将岩石块切成直径 25mm、高 50mm 的圆柱体,并用石墨套管包住. 实验采用长春地质学院高温高压三轴变形实验室的活塞圆筒式固体介质实验装置. 该装置包括围压系统、轴压系统、加温系统和记录系统. 围压由 Wy-300IIB 型稳压源控制,最大压力可达 1.42GPa,传压介质为叶腊石，实验误差为 10%左右. 轴压由英国 Instron 公司生产的电液伺服压机控制，该压机在静态时可提供压力 200t. 温度由 DWT-702 型自动控温仪控制,仪器误差 10℃. 用 NiCr-NiSi 热电偶连接样品底端,由于样品内部的温度场效应，样品中央的温度一般高于底端温度约 50℃. 实验时,加温速率为 100℃/15min,加压速率为 4bar/s，采用恒温、应力跃迁和恒应力、温度跃迁等两种方法获得有关数据. 本次实验共取 12 个样品,在温度 800°—900℃和轴压 200—900 MPa、围压 200MPa 条件下进行,共获得 141 个电子探针分析数据.

2 熔融作用的岩相学

三轴活塞圆筒式固体介质实验装置对水来说是开放体系，岩石的粒间水和结晶水在熔融过程中不断地脱离体系,是属于失水熔融. 与块状样品的吸水封闭体系[2]相比,开放体系的失水熔融作用在熔融机制、矿物相消失顺序、熔体成分等方面存在明显差别(表 1).

封闭体系吸水熔融时，其初始熔体主要出现于石英与长石颗粒边界上，熔体成分相当于

1992-10-30 收稿,1993-03-15 收修改稿.
* 国家教委高等学校博士学科点专项科研资助项目.

表 1 吸水封闭体系与失水开放体系的熔融特征对比

熔融体系	吸 水 熔 融	失 水 熔 融
熔融机制	低限共熔 初始熔体出现于石英与长石边界	含水矿物的脱水熔融 初始熔体出现于含水矿物周边
矿物相消失顺序	石英→黑云母、钾长石→斜长石	黑云母→斜长石→钾长石→石英
初熔液相	富硅酸性熔体	富铁镁基性熔体
淬火晶体	角闪石	橄榄石、基性斜长石、钛磁铁矿
残留固相特征	趋向于基性	趋向于酸性

Q-Ab-Or-An-H_2O 系同熔线附近的富硅酸性熔体. 因此,封闭体系的吸水熔融属于花岗岩体系的低限共熔作用. 开放体系失水熔融的初始熔体则主要出现于黑云母、白云母、绿帘石等含水矿物的周边,随着黑云母的脱水熔融,黑云母周围的斜长石开始熔融, 熔体成分为远离花岗岩体系低共熔点的富铁镁基性熔体. 因此, 开放体系的失水熔融并不属于花岗岩体系的低限共熔,而是含水矿物脱水引起的非低限熔融作用.封闭体系的吸水熔融作用随着温度升高和熔融程度的增加,矿物相消失顺序为石英→黑云母、钾长石→斜长石, 熔体由体系低限共熔点成分逐渐逼近原岩成分,熔融残留物趋于基性,其淬火晶体主要出现低铝型角闪石. 开放体系失水熔融的矿物相消失顺序为黑云母→斜长石→钾长石→石英, 熔体由富铁镁基性成分逐渐逼近原岩成分,熔融残留物趋于酸性,其淬火晶体主要有橄榄石、钛磁铁矿和基性斜长石(表2).

表 2 淬火晶体的电子探针分析 (wt%)[a)]

序号	样品号	晶形	矿物名	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	总和
1	SD-9	粒 状	橄榄石	38.61	0.00	0.00	23.06	0.30	37.87	0.19	0.44	0.00	100.47
2	SD-9	细柱状	基性斜长石	54.46	0.03	29.11	0.58	0.02	0.13	11.36	4.26	0.28	100.23
3	17	针 状	角闪石	44.85	1.29	8.76	16.48	0.34	13.37	9.96	2.82	0.43	98.30

a) 1,2 为失水熔融,3为吸水熔融,*为全铁.

3 熔体成分及熔融系列

开放体系的失水熔融作用, 根据熔融程度和矿物相消失顺序划分为初熔 (MF < 10%)、低熔 (MF = 10～30%)、高熔 (MF = 30～70%)、近全熔 (MF > 70%) 等四个熔融阶段(图1). 初熔阶段: 黑云母脱水熔融,并强烈暗化成贫钾、富铁镁的不透明均质体,斜长石成分由 An_{25} (原岩样品)变为 An_{34}, 钾长石成分基本未变. 熔融玻璃为褐色,据电子探针分析,其成分相当于粗面玄武岩、玄武质粗面安山岩和粗面安山岩,淬火后局部见到由橄榄石和基性斜长石构成的间粒结构. 低熔阶段: 黑云母、白云母已消失,斜长石残留晶的成分为 An_{41-43}, 钾长石成分由 Or_{45} (原岩样品)变为 Or_{54}. 熔融玻璃为浅褐色,其成分为粗面安山岩和粗面岩-粗面英安岩,淬火后常见到由中基性斜长石 (An_{46-67}) 构成的安山结构或交织结构.高熔阶段:黑云母、白云母、斜长石已全部消失,钾长石仅有少量残留,熔融玻璃为无色,其成分为粗面岩-粗面英安岩和流纹岩.近全熔阶段: 只有少量具有珍珠构造的石英残留晶,熔融玻璃成分为流纹岩. 从低熔阶段到近全熔阶段,黑云母和白云母等含水矿物和斜长石为早期消失相,石英为液相线矿物,熔体成分由粗面玄武质逐渐过渡为流纹质, 形成基性→中性→酸性的熔融系列(图

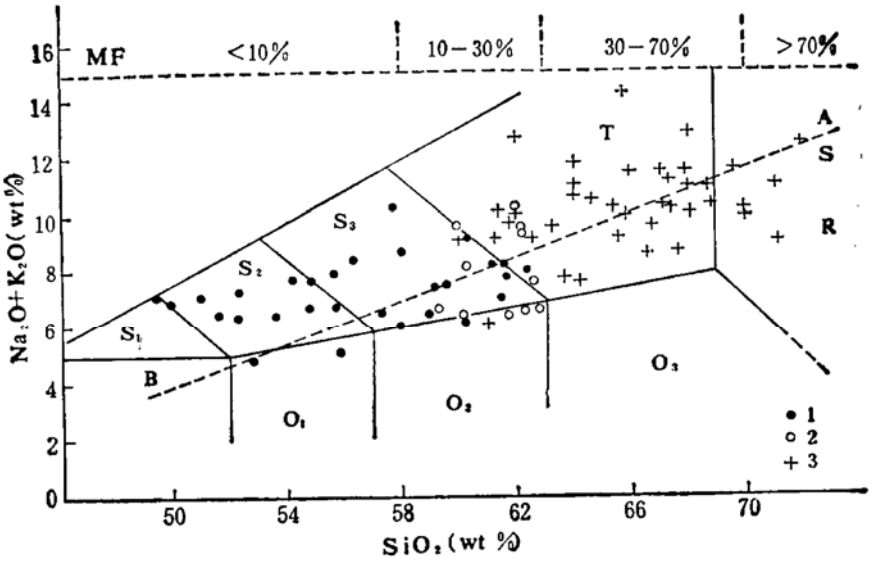

图 1　失水熔融熔体成分的碱-硅图

B 为玄武岩；O_1 为玄武安山岩；O_2为安山岩；O_3 为英安岩；S_1 为粗面玄武岩；S_2 为玄武质粗面安山岩；S_3 为粗面安山岩；T为粗面岩-粗面英安岩；R为流纹岩．1.褐色熔体；2.浅褐色熔体；3.浅色熔体．虚线为碱性（A）与亚碱性（S）系列界线（Irvince 等，1971）[3]

1)．这与封闭体系吸水熔融作用形成的由酸性到偏基性的熔融系列形成明显的对照[1]．

花岗岩块状样品的失水熔融实验结果，对大陆地区玄武质岩浆的起源以及现代深部地壳的组成和结构的认识可能有新的启示．通常认为，大陆岩石圈地幔是大部分各种类型玄武质岩浆之源．然而，一些伸展环境大陆地壳的部分玄武岩浆并不一定来源于岩石圈地幔的部分熔融，深部地壳的中酸性岩石发生较低程度的失水熔融作用即可生成具有较高锶同位素初始比值的玄武质岩浆． 吸水熔融和失水熔融促使大陆岩石圈地壳的岩石组成朝着不同方向演化，前者使地壳逐渐趋于基性，而后者使地壳愈趋于酸性．也就是说，大陆岩石圈地壳可能不是随深度逐渐趋于基性的单向结构． 西伯利亚地台地壳深部的 V_p/V_s 值随地壳深度降低或者增高[4]，其 V_p/V_s 值的明显降低可能与深部地壳趋于酸性这一特征有关．

参　考　文　献

[1] Winkler, H. G. F., *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*, 5th ed., Springer-Verlag, New York, 1979.
[2] 吴福元、林强，长春地质学院学报，1990，**20**(2)：139—146.
[3] Irvine, T. N., Baragar, W.R. A., *Can. J. Earth Sci.*, 1971, **8**:523—548.
[4] Egorkin, A. V., Zuganov, S. K., Pavlenkova, N. A. *et al.*, *Tectonophysics*, 1987, **140**: 29—47.

1) 吴福元，花岗质岩石块状样品的局部熔融体系及熔融序列，长春地质学院博士后科研报告，1992.