

胶东西北部地区花岗岩类岩石成岩 的物理化学条件

孙胜龙

(长春地质学院)

提要 胶东西北部地区发育有不同类型的花岗质岩石。研究表明,这些花岗质岩石是经胶东群在不同的物理化学条件下熔融形成。本文利用热力学计算公式及有关实验资料,说明不同花岗质岩石形成时的 T 、 P 、 f_{O_2} 、 f_{H_2O} 。

胶东西北部地区基底岩石为胶东群,其上为粉子山群、蓬莱群和少量中生界、新生界地层。区内众多的花岗岩体为玲珑片麻状花岗岩(LGG)、滦家河中粗粒花岗岩(LMG)和郭家岭斑状花岗岩(GPG)。各岩体形成的环境是本文讨论的重点。

一、岩石的地质特征

LMG系指招远滦家河至莱州郭家店一带的中粗粒黑云母花岗岩,它分布于栖霞复背斜核部,与胶东群呈侵入接触关系。LGG系指玲珑、华山、磨山、望儿山和三山岛等地的片麻状黑云母花岗岩,与胶东群为侵入接触关系,与LMG主要为断层接触以及渐变过渡关系。GPG系指郭家岭、纪山、北截、上庄和苍上等地的斑状花岗岩,它们与胶东群和LGG均为侵入接触关系。GPG与LMG之间关系未见到。

在LGG及GPG中都含有大量形态不一的胶东群包体。在GPG中尚见有深源细粒闪长岩包体。

LMG及LGG的矿物组成简单,主要由斜长石、碱性长石和石英所组成。按其形态结构和形成时间可分为早晚两期,晚期矿物一般交代早期矿物。在LMG中较富含白云母,且越靠岩体边缘越较富集(可达5%)。在LGG中白云母较少,黑云母较多(可达4%)。GPG中出现钾长石大斑晶,在其内部包裹早期斜长石、黑云母及磷灰石、榍石等,尚出现角闪石含量可达6%。与LGG中黑云母比较,GPG中更富镁而贫铁,但它们都属羟铁云母类。GPG中的基质主要为自形较好的斜长石和钾长石等。三类花岗岩类岩石中,所含主要副矿物:LGG中为磁铁矿、榍石、褐帘石、磷灰石和石榴子石;LMG中为磁铁矿、榍石和独居石;GPG中为榍石、磷灰石和褐帘石。

本文1992年3月收到,8月改回。

分析不同类花岗岩类岩石化学成分和所作的哈克图解、K—Na—Ca 图解、A—C—F 图解、 $\Sigma\text{FeO}-\Sigma\text{MgO}$ 图解、 $\text{TiO}_2-\Sigma\text{FeO}$ 图解、 $\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$ 图解、 $\text{K}\%-\text{Rb}\%$ 图解及 $\text{K}/\text{Rb}-\text{Rb}\%$ 图解等,其规律性明显,从总体上看它们具有一致的演化趋势,但又有各自的演化区间。表明其来源与演化所具有的内在联系性。

花岗岩类岩石中 REE 分布明显不同于由玄武岩浆演化而形成的岩石晚期富集 ΣHREE ,而是贫 ΣHREE 。各类岩石中 Eu 异常不明显,反映了部分熔融形成的花岗岩石的特点(R. L. Calleis, J. L. Graf, 1984)。REE 含量按 $\text{LMG}\rightarrow\text{LGG}\rightarrow\text{GPG}$ 渐增,表明晚期富集 REE。

区内酸性岩、中性岩、煌斑岩和钾长伟晶岩等脉岩极为发育。

二、岩石形成的物理化学条件

1. 温度(T)

温度的估测结果是借助于已经建立起的矿物地质温度计计算及实验研究而获得。Whitney 和 Stormer(1977)根据低温结构状态下的碱性长石和微斜长石中钠长石和钾长石组份交换能数据,得出了如下温度计算公式:

$$T^{\circ}(\text{K}) = \frac{\{7978.1 - 16910.6X_{\text{Al}} + 9901.9(X_{\text{Al}})^2 + [0.11 - 0.22X_{\text{Al}} + 0.11(X_{\text{Al}})^2] \cdot P\}}{-1.9872\ln(X_{\text{Al}}/X_{\text{K}}) + 6.48 - 21.58X_{\text{Al}} + 23.72(X_{\text{Al}})^2 - 8.62(X_{\text{Al}})^3}$$

式中 X_{Al} 为碱长石中钠长石分子百分比, X_{K} 为与碱长石共存斜长石中钠长石分子数, P 为压力。分析各岩体中共存二长石中钠长石分子数,和应用花岗岩压力投影图(图 2)所得压力,计算得出的温度 LMG 为 704°C , LGG 为 680°C , GPG 为 704°C 。Wones 等(1965)提供的有关铁云母—金云母的成分—温度数据表明,云母中的 $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ 比值与温度成反相关关系(表 1,图 1)。

表 1 据黑云母 $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ 比值所求温度

类 型	$\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$	温度($^{\circ}\text{C}$)
LMG	0.6425(4)	780
LGG	0.6025(4)	790
GPG	0.4525(4)	850
脉岩	0.6363(3)	770

括号中数字为样品数

兰玉琦等(1981)对不同类型岩石进行的熔融实验表明,LMG、LGG 及 GPG 初熔温度为 $300 \times 10^{-8}^{\circ}\text{C}/\text{Pa}$ — $650 \times 10^{-8}^{\circ}\text{C}/\text{Pa}$ 。在熔化实验中见到半玻状、皮壳状透明玻璃,其油

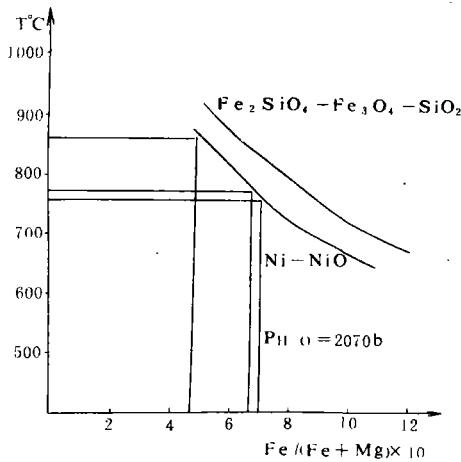


图1 黑云母中 $Fe/(Fe+Mg)-T(^{\circ}C)$ 图
(Wones, 1974)

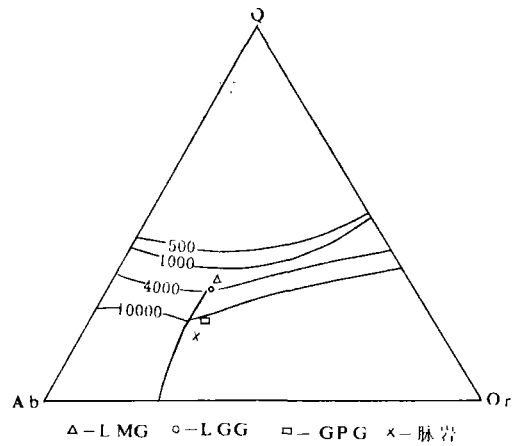


图2 花岗岩压力投影图

浸折光率为 $N=1.493-1.503$, 属于酸性玻璃, 黑云母保持稳定, 故认为初熔是选择性熔融。贵阳地球化学研究所的实验资料表明, 华南变质岩的熔化温度为 $340 \times 10^{-8} \text{ } ^{\circ}C/\text{Pa}-533 \times 10^{-8} \text{ } ^{\circ}C/\text{Pa}$, 花岗岩的结晶温度为 $350 \times 10^{-8} \text{ } ^{\circ}C/\text{Pa}-533 \times 10^{-8} \text{ } ^{\circ}C/\text{Pa}$ 。

以上由实验所得温度及由热力学公式所求算温度可代表本区岩石形成温度, 即 LMG 及 LGG 温度范围为 $650-790^{\circ}C$, GPG 为 $700-850^{\circ}C$, 脉岩形成温度大于 $700^{\circ}C$ 。

2. 压力(P)

据花岗岩成因理论, 岩石化学成分与其形成压力有关。利用标准矿物成分 (Ab、An、Or) 可以确定花岗岩熔体水饱和时的压力 (Tuttle and Bowen 1957, Lath 1964)。将各岩体标准矿物投点作图 (图 2), 可以看出, LMG 和 LGG 投点接近, LGG 位于三相最低熔点附近的 4kb 附近, 而 LMG 则位于其上约 3kb 处。GPG 及脉岩离三相最低熔点较远, GPG 位于 10kb 左右, 而脉岩则位于 GPG 之下, 说明脉岩形成深度更大。

花岗岩原生白云母出现与否, 一方面取决于岩浆固结的深度, 另一方面还取决于原岩的化学成分。在 Tuttle 和 Bowen (1985)、Euans (1965) 实验图上, 原生白云母出现说明它形成压力下界应为 $3 \times 10^8 \text{ Pa}$ 。但是 Miller 和 Stodard 等 (1980) 对该图进行了评述, 认为白云母可能与硅酸盐液体共存, 取决于许多因素, 由于分析云母很不理想, 实验数据不能直接适应于它们的稳定性, 因此白云母 + 钠长石 + 石英 = 钾长石 + 铝硅酸盐 + 水的反应曲线与花岗岩的最低熔融曲线交点不是原生火成白云母结晶的最低压力。热力学研究使 Anderson 和 Rowley (1981) 得出非理想成分的白云母比理想的白云母有较高温度的稳定极限。可能在 $2 \times 10^8 \text{ Pa}$ (7.6km) 压力下已从花岗闪长岩熔体中析出。

综上所述, LMG 形成压力大约为 $2 \times 10^8 - 3 \times 10^8 \text{ Pa}$, LGG 为 $4 \times 10^8 \text{ Pa}$, GPG 与脉岩形成深度更大, 压力约为 $1 \times 10^9 \text{ Pa}$ 。

3. 氧逸度(f_{O_2})

铁是变价元素,它与周围介质中的氧反应最灵敏。条件不同,形成的 Fe^{2+} 与 Fe^{3+} 含量也不同,故矿物中二者比例也不同。这种比值的大小取决于岩石形成的温度、水汽压力、原始水含量、基性及碱性程度、硫的状态,分异作用和结晶顺序等。要精确确定这种比值与各种因素的函数关系是比较困难的。但可以利用这种比值对氧逸度做一大体估计。由表 2 列出的氧化系数 F 值($F=Fe_2O_3/FeO$)可以看出 LMG→LGG→GPG 的演化顺序,其 F 值依次下降,而脉岩中 F 值又有所提高,说明脉岩的侵位较之前三者要浅。

表 2 岩石中 F 值

类型	样数	F
LMG	12	0.775
LGG	10	0.523
GPG	10	0.426
脉岩	10	0.549

Wones 等(1965)用实验提出了一个定量估计 f_{O_2} 的方法。在 f_{O_2} -T 图(图 3)上综合反映了黑云母成分与 f_{O_2} 及温度的关系。利用表 1 所给出的 $Fe/(Fe+Mg)$ 及温度值,将其投点于图上,得出不同岩石的氧逸度是:LMG 的 $f_{O_2}=10^{-6}Pa$,LGG 的 $f_{O_2}=10^{-7}Pa$,GPG 的 $f_{O_2}=10^{-4}Pa$ 和脉岩的 $f_{O_2}=10^{-8}Pa$ 。

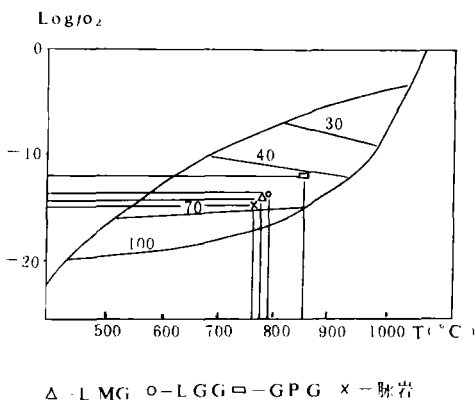


图 3 黑云母稳定性与氧逸度和温度函数关系图
(据 Wones, 1965, 略改)
数字 100, 70, 40, 30 代表黑云母中 $Fe/(Fe+Mg)$

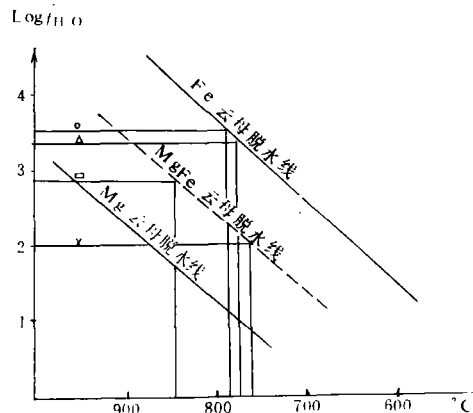


图 4 $\log f_{H_2O}$ - $10^3/K$ 座标
中黑云母稳定曲线图
(Burnham 1969, Wones 1981)

4. 水逸度(f_{H_2O})

利用 Wones 和 Engster(1965)在溶液理论上导出的经验公式来计算各岩体的 f_{H_2O} 。其公式为:

$$\log f_{H_2O} = [3428 - 4212(1 - X_1)^2] / \log X_1 - \frac{1}{2} \log f_{O_2} + 8.23 - \log a_{KAlSi_3O_8} + \log a_{Fe_3O_4}$$

式中 X_1 为黑云母中 $Fe/(Fe+Mg)$, $a_{KAlSi_3O_8}$ 为碱长石中钾长石活度, $a_{Fe_3O_4}$ 为钛磁铁矿中磁铁矿活度。由该公式算得 LMG 的 $f_{H_2O} = 10^{6.5} Pa$, LGG 的 $f_{H_2O} = 10^9 Pa$ (毛建仁, 1983)。

应用上述公式所计算得出的 f_{H_2O} 是在黑云母矿物中 Fe^{3+} 不大于 10% 的情况下计算而得的, 本地区中的黑云母 Fe^{3+} 占全铁大于 10%, 故所得的 f_{H_2O} 仅是一种近似值。

由于 LMG 及 LGG 中黑云母为铁云母系列, 而 GPG 及脉岩中黑云母为镁铁云母系列, 据此利用图 1 所提供的温度, 在 $\log f_{H_2O}$ -温度图解上(图 4)所得的 f_{H_2O} 是, LMG 为 $10^{8.5} Pa$, LGG 为 $10^{8.4} Pa$, GPG 为 $10^{7.9} Pa$ 和脉岩为 $10^7 Pa$, 表明 GPG 及脉岩侵位较浅。

三、岩石成因

将 LMG、LGG 及 GPG 标准矿物投影于 Q—Ab—Or 三角图中, 其投影点较为集中, 均位于三相最低共熔点附近, 重合于 Bower(1967)所圈定的半原地花岗岩区内(图 5)。

在 Qr—Ab—An 三角图上(图 6), LMG、LGG、GPG 及脉岩都落在 I 区即二长岩共存区, 但其投点是按 LMG(LGG)→GPG→脉岩方向, 其温度是渐次升高的, 而且离固结线温度也越来越远, 这说明不同类型花岗岩石都是在地热温度增值的情况下发生熔融作用而形成的。首先达到 LMG 及 LGG 熔融温度, 随着地温渐增, 而进一步

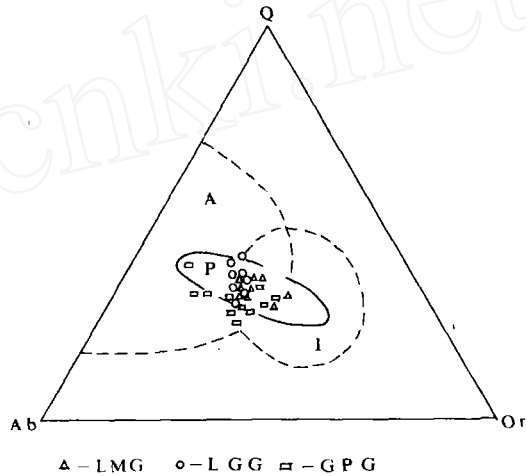


图 5 Q—Ab—Or 图解

据 Tuowen 和 Bowen, 1958; Bowers, 1967) 利用苏格兰 Lewision 花岗质岩石标准矿物资料所圈定的原地(A)、半原地(P)和侵入花岗岩(I)的分布区

使 GPG 及脉岩发生熔融。表明岩浆形成的多阶段特点, 前面所讨论的各类岩石形成时的不同压力及 f_{H_2O} 等, 也表明不同类型岩石形成深度增加及侵位变浅的特点。温克勒(1975)认为, 花岗岩—花岗闪长岩的岩浆(深熔)可以生成在同一层位结晶, 也可以上升到地壳较高层位, 即可以发生侵位作用。这主要取决于熔体温度及固相线之间的温度之差, 若它们的温度与固相线温度差不明显, 就不能上升侵位作用; 反之如果熔融温度与固相线温度差别较大, 就要发生上升侵位作用, 而且温度差别越大, 其侵位距离就越远。由图可以看出, 熔体与共结线温度之差是按 LMG、LGG→GPG→脉岩逐渐加大的, 因此有理由认为, 它们为半原地型侵入岩, 而脉岩及 GPG 的侵位较 LGG 和 LMG 要更浅些, 亦即它们离源

岩距离更近些。

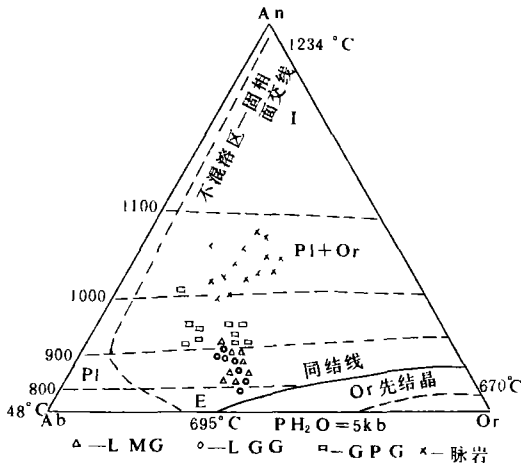


图6 Au-Ab-Or 相图
(据 Hyndman, 1972)

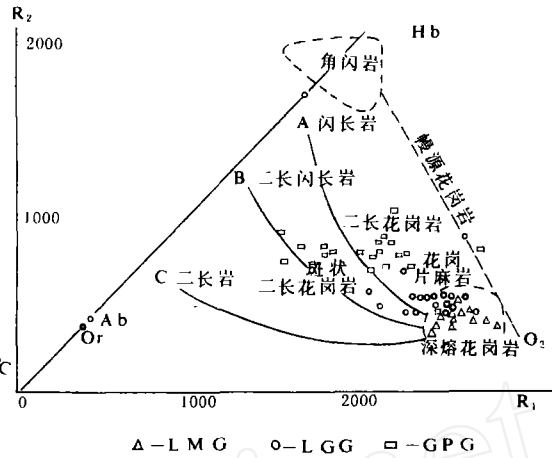


图7 R₁-R₂ 图解

Richard 等(1985)在研究了大量花岗岩资料后,提出了用 R₁-R₂ 多阳离子图解来表示岩石的成因(图7)。图中 R₁ = 4Si - 11(Na+K) - 2(Fe+Ti), R₂ = 6Ca + 2Mg + Al。图中圈内为源地部分熔融岩浆首先熔出低熔组份物质。假定地壳源的物质不同(如 A 闪长岩、B 二长闪长岩和 C 二长岩等),那么随着部分熔融程度的增加,则熔融岩浆会产生从原地按箭头指向方向成分演化,即熔融组份越来越偏中基性。本区 R₁-R₂ 图解可以看出,形成的花岗岩属深熔花岗岩,随着温度增加,偏基性组份的最后熔出,其演化大体是由酸性的花岗片麻岩向二长花岗岩和斑状二长花岗岩演化,连续性较好,由于侵位作用而形成半原地型花岗岩。

小 结

据野外地质产状、岩浆岩石出露关系、岩体内包体特征,造岩矿物学特征以及常量、微量元素的不同地球化学图解所表现出的演化趋势和成因信息,说明胶东西北部地区不同岩浆岩石是胶东群经不同阶段熔融作用所形成。其熔融时物理化学环境为:LMG 及 LGG 形成温度为 650—790℃,压力为 2×10⁸—4×10⁸Pa, f_{O₂} 为 10⁻⁶—10⁻⁷Pa, f_{H₂O} 为 10^{11.4}—10^{11.5}Pa; GPG 及 脉岩形成温度为 700—850℃,压力为 1×10⁹Pa 左右, f_{O₂} 为 10⁻⁴—10⁻⁶Pa, f_{H₂O} 为 10¹⁰—10^{12.9}Pa。

胶东西北部地区金矿储量,而金矿床的形成又与岩浆演化有关,尤其与晚期的 GPG 及 脉岩形成有关。因此,讨论不同岩浆岩石形成时物理化学环境及其演化,对认识金矿床的形成和寻找新的金矿床都具有一定意义。

参 考 文 献

- (1) 毛健仁, 1983, 胶东玲珑—滦家河花岗岩岩石特征及形成条件. 长春地质学院学报, 第 13 卷, 第 3 期。
- (2) L. S. E. 迈克尔等, 1980, 火成岩石学(中译本), 地质出版社。
- (3) H. G. F. 温克勒, 1980, 变质岩成因(中译本), 科学出版社。
- (4) Charles J. Haggis, 1982, *Igneous Petrology*, Elsevier Scientific Publishing Compan.
- (5) K. S. Surendra, 1979, *Kinetics and Equilibrium in Mineral Reaction*. PP. 40—170.
- (6) C. Naganna, 1987, *Gold Mineralization in the Hatti Ming Area*, Vol. 82, No. 8, PP. 2008—2016.

PHYSICAL AND CHEMICAL CONDITION FOR THE FORMATION OF GRANITES IN THE NORTHWEST OF JIAODONG REGION SHANDONG PROVINCE

Sun Shenglong

(*Changchun Univ. of Earth Sciences*)

Abstract

There are various types of granites in the Northwestern Jiaodong district. The study has shown that these rocks were formed by partial melting of the Jiaodong group. This paper gives the conditions at which the rocks were formed, including T , P , f_{O_2} , f_{H_2O} by the calculation with thermodynamic formulas and some experimental results.