

山东招掖地区花岗质岩体 形成条件及成因研究^①

周凤英

(南京大学地科系)

李兆麟

(中山大学地质系)

提 要 山东招掖地区是我国黄金主要产地之一,而金矿的形成又与该地区花岗质岩体成因密切相关。通过对岩体分布特征的观察,岩体中锆石特征及其中的熔融、包裹体研究和岩石的重熔实验研究认为,本区与金矿形成密切相关的三大类型岩体:玲珑花岗岩、郭家岭花岗闪长岩和滦家河花岗岩,为来自深部的热流体交代—熔融胶东群变质岩,在不同阶段形成的产物。

关键词 熔融包裹体 重熔实验 花岗岩

招掖地区是我国金矿分布最密集的地区之一,与金矿的形成关系最密切的岩石是花岗质岩石。而且,主要岩体是玲珑花岗岩,郭家岭花岗闪长岩和滦家河花岗岩。前人对此做了大量的研究工作,取得了不少有益的成果,但对它们的时代和成因尚未取得一致性认识,归纳有以下几种看法:

(1)由混合岩化、交代作用形成广义玲珑花岗岩(玲珑花岗岩和滦家河花岗岩)、郭家岭花岗闪长岩(郭文魁,1949;长春地质学院,1958;山东区测队,1952;朱奉三,1979;王炳成,1985,1988);

(2)玲珑花岗岩(广义)为混合岩化产物,而郭家岭花岗闪长岩为岩浆形成(施性明等,1981;姚凤良,刘连登,1988,1989);

(3)由岩浆作用形成了玲珑花岗岩(广义)(黄德业,龚振强,1980);

(4)玲珑花岗岩、郭家岭花岗闪长岩和滦家河花岗岩为早期岩体经后期再生和重熔作用而形成(王鹤年,徐克勤,1988);

(5)玲珑花岗岩,郭家岭花岗闪长岩,滦家河花岗岩为一个多期多阶段的复式岩体,称玲珑复式岩体(毛建仁,1983;徐金方,1989)。

本文着重从岩体中副矿物锆石中熔融包裹体特征、均一法测温及岩石重熔实验等方面,对本区花岗质岩石成岩机制做进一步的探讨。

^① 国家自然科学基金资助项目

(收稿日期:1993. 5. 5)

1 区域地质概况

本区位于沂沭断裂带东侧,胶东隆起区西北部。区内构造复杂,具多期多次活动的特点。尤以E—W向构造和NE(NEE)向构造最为发育。对本区的岩体分布及金矿床的形成有重要的控制作用。

本区基底为太古界一下元古界胶东群地层,是一套由中基性火山岩及沉积岩经区域变质形成的中浅变质岩系,岩性主要有绿片岩相和角闪岩相的黑云变粒岩、斜长角闪岩、黑云斜长片麻岩、大理岩等。区内出露的与金矿有关的花岗质岩石(图1)主要有:

(1)玲珑花岗岩:主要为片麻状花岗岩,具二种岩相。一为中粒黑云母片麻状花岗岩,另一为细粒石榴子石片麻状花岗岩,两者呈完全和谐过渡(张韞璞^①等1983;桑隆康,1982^[1])。岩体中交代结构发育,主体片麻理走向近东西,与区域构造线一致。岩体多分布于栖霞复背斜的南北两翼,面积很广,约占全区面积的1/3。岩体中普遍具有地层残留体,与岩体呈渐变过渡关系。在残留体中可清楚看到变质岩的片麻理构造,方向与岩体的延长方向基本一致,产状与胶东群区域产状一致,说明岩体边部形成于没有流动的情况下,为重熔交代而成。玲珑花岗岩与围岩胶东群地层的接触关系主要有三种:①断层接触;②侵入接触;③渐变接触。

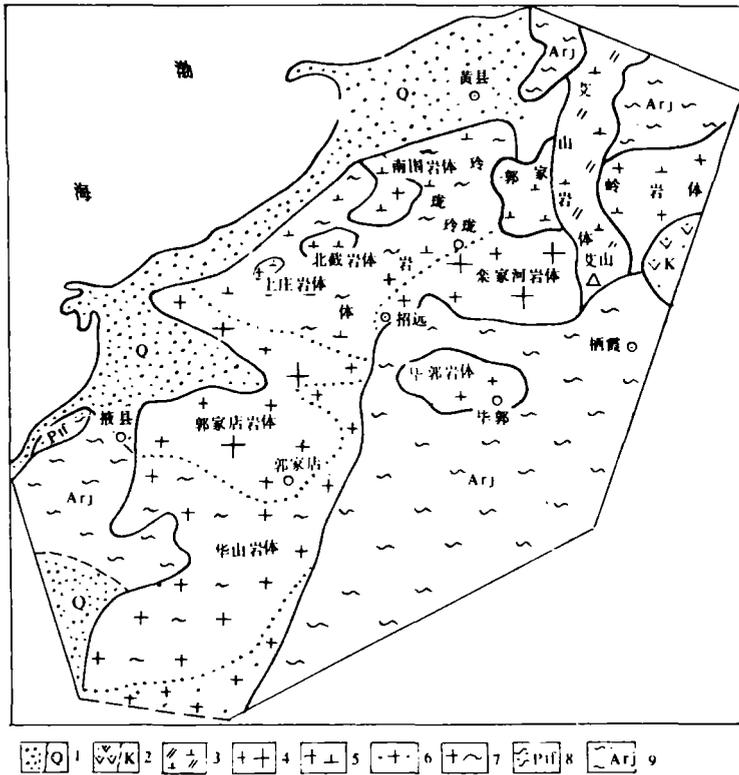
(2)郭家岭花岗闪长岩:主要为斑杂状花岗闪长岩,具变斑状交代结构。断续分布于栖霞复背斜的北翼。岩体自中部向边部地层残留体的数目逐渐增多,残留体的岩性主要为斜长角闪岩,有的残留体被钾长石斑晶插入。岩体与玲珑花岗岩及有关地层多呈渐变过渡关系,也有突变接触。且在过渡接触处,可见钾长石变晶伸入到玲珑花岗岩岩体之中。有时,郭家岭花岗闪长岩可呈岩株状产于玲珑花岗岩中,甚至以夹层形式出现于玲珑花岗岩中。许多现象表明,郭家岭花岗闪长岩的形成略晚于玲珑花岗岩。

(3)滦家河花岗岩:主要为中粗粒花岗岩,分布于栖霞复背斜的核部,延展方向以东西为主。岩体内部地层的残留体极少,仅在岩体的边部有少量残留体出现,且产状零乱,应为捕虏体。表明滦家河岩体是由岩浆结晶而成。滦家河花岗岩的围岩有二种:①胶东群变质岩,岩体与其呈侵入接触。②玲珑花岗岩,可见岩体呈岩枝状穿切于玲珑花岗岩中,也可见两者呈一种和谐渐变过渡关系,这说明岩体的形成略晚于玲珑花岗岩,为岩浆作用形成。

2 岩体中副矿物锆石中的包裹体研究

利用矿物中熔融包裹体测定岩浆成岩温度,已为广泛地质工作者所应用。但由于成岩过程中温度变化区间大,测定的造岩矿物中包裹体温度,往往不能确切地反映出岩浆成岩温度的变化过程,特别是在一些不具熔融包裹体的造岩矿物中的石英,测定的气相包裹体均一温度,

① 张韞璞、文子中,山东焦家式金矿地质,山东地质局六队,1983。



1. 第四系 2. 白垩系 3. 艾山花岗岩 4. 漆家河花岗岩 5. 郭家岭花岗岩 6. 含石榴子石细粒花岗岩 7. 玲珑花岗岩 8. 粉子山群 9. 胶东群

图1 胶东西北部花岗岩分布图(据[1])

Fig. 1 Distribution of Jiaodong granites

实际上只能代表成岩温度下限。为了揭示岩浆岩成岩早期温度,就要测定从岩浆熔体中早期析出的副矿物中包裹体的均一温度。研究成果表明^[2],运用副矿物,如锆石、榍石、磷灰石探讨岩浆岩早期成岩温度卓有成效。因此,本文着重运用锆石探讨本区花岗质岩体形成的早期温度。

2.1 岩体中副矿物锆石的特征

2.1.1 玲珑花岗岩锆石特征

玲珑花岗岩中的锆石,绝大多数为浅棕黄色或浅褐色。晶形多为复正方双锥{311}或{131},正方柱{100}和正方双锥{111}。但部分锆石具有不同程度的浑圆度,有的可见溶蚀沟或再生长形成的包晶。这些现象说明玲珑花岗岩的形成,经历过早期交代为主,到晚期部分熔融的过程。

2.1.2 郭家岭花岗闪长岩中锆石特征

郭家岭花岗闪长岩中锆石较为发育,绝大多数为无色—浅黄色。晶形主要以复正方双锥{311},不太发育的正方双锥{111},较发育的{100}和不太发育的复正方柱{110}组成的聚形为

主。内部熔融包裹体清晰可见。表明,在郭家岭花岗闪长岩形成过程中,熔浆比例已明显增大了。

2.1.3 滦家河花岗岩中锆石特征

滦家河花岗岩中锆石,多呈无色—浅黄色,金刚光泽。晶形较为简单,一般为复正方柱。有的锆石中清晰可见其间的熔融包裹体,有的锆石内部则无明显的包裹体。说明,滦家河花岗岩是在温、压条件稳定的状态下,熔体缓慢结晶而成。

总之,上述三种花岗质岩体,彼此之间在形成过程中,具有一定的相似性和继承性。

2.2 锆石中熔融包裹体特征

本区岩体锆石中熔融包裹体虽不普遍发育,但类型各异。据相态特征,相态比例,可以划分为以下几类:

2.2.1 单相固体包裹体

锆石中常见的固体包裹体,主要是非晶质(A_{Si}),晶质磷灰石、锆石。偶而可见硅质结晶相(C_{Si}),其分布不均匀。在本区岩体中,从玲珑花岗岩→郭家岭花岗闪长岩→滦家河花岗岩,其锆石中的固体包裹体出现的几率和数量逐渐减少,这说明矿物形成于一定的温度区间内。

2.2.2 两相熔融包裹体

主要由 $A_{Si}+G$, $C_{Si}+G$ 组成。包裹体中气相占 10%~40%,气相可为单个气泡或多个气泡组成,有时气相与玻璃质、铁质组成混熔相,在包裹体的边部分布。本区岩体主要以后者为主,尤其是对玲珑花岗岩和郭家岭花岗岩闪长岩而言。包裹体多呈负晶形和不规则形状,其大小从 0.4~50 μm ,呈线状或孤立状分布。

2.2.3 三相及多相熔融包裹体

主要由 $A_{Si}+C_{Si}+G$, $A_{Si}+C_{Fe}+G$, $A_{Si+Fe}+C_{Si}+G$ (A —非晶质, C —晶质, G —气相, L —液相)组成。本区岩体锆石的包裹体中气体及玻璃质含量较高, $A+G>80\%$,特别是玲珑花岗岩与郭家岭花岗闪长岩。表明本区花岗质岩体形成过程中气体含量高,熔体在结晶过程中有序度较低,这与结晶环境有关。各岩体锆石中包裹体特征见表 1。

表 1 花岗岩锆石中包裹体特征

Table 1 The characteristics of melt inclusion in zircon of granite

岩石名称	采样位置	熔融包裹体特征			
		形态	大小(μm)	相态比例	分布特征
滦家河花岗岩	滦家河南侧	负晶形不规则状	2.3×1~13×8	G:35, A:45, C:20	零星状分布
玲珑花岗岩	玲珑金矿采石坑 郭家村采石坑	少量负晶形多为不规则状	5×3~50×40	A:55, G:30, C:15	孤立状分布、面状分布
郭家岭花岗闪长岩	郭家村采石坑 丛家村采石坑 丛家村采石坑	少量负晶形大多数为不规则形状	2~2~10×20	A:45, G:35, C:20	零星状分布为主,少量呈线状分布

3 岩体形成温度的测定

由于熔融包裹体一直处于封闭体系中,因此,我们可以通过加热升温,使其重返原状态,从而测得早期岩浆的温度。

本文采用的副矿物为岩体中晶形完好,无包晶的锆石,运用我们 1981 年首创的油浸淬火法的基本原理与方法^[2],采用直接淬火法。

在测温过程中,当融包裹体中气体明显收缩,包裹体中固相成分,包括结晶质和非晶质产生明显热扩张时,说明包裹体中固相成分开始熔解,此时温度为初熔温度。对于 $C_{Si}+G$ 或 $C_{Si}+A_{Si+Fe}+G$ 组成的熔融包裹体,以结晶质消失,气相成分有显著变化作为熔融包裹体的均匀状态。对于 $A_{Si+Fe}+G$ 组成的熔融包裹体,以气相与玻璃质的显著熔合变化作为均匀状态。达到均匀化状态时的温度,则可以代表岩浆早期结晶温度。其结果见表 2。

表 2 岩体形成温度测定结果

Table 2 The measure results of homogenization of melt inclusion in zircon of granite

采样位置	岩石名称	初熔温度 (°C)	均匀温度 (°C)
滦家河南侧	滦家河花岗岩	750	820
玲珑金矿采石坑	玲珑花岗岩	780	840~980
郭家村采石坑	玲珑花岗岩	780	
郭家村采石坑	郭家岭花岗闪长岩	750	780~820
丛家村采石坑	郭家岭花岗闪长岩	750	
丛家村采石坑	郭家岭花岗闪长岩	750	

根据 Muryase 和 Mcbirney 据密度和纵波速度测定的一系列硅酸盐熔体的绝热压缩性的结果,发现对大多数硅酸盐熔融包裹体来说,压力效应是很小的。因而对所测的均匀化温度不必进行应力校正。

从所测温度可以看出,玲珑花岗岩形成温度很高,为 840~980°C,而郭家岭花岗闪长岩为 780~820°C,滦家河花岗岩约 820°C,三种花岗岩成岩温度,既有明显差异,又有一定的相似区间。

4 岩体形成压力

根据 B. B. 纳乌莫失和 C. Д. 马里宁(1968)综合用均一法和爆裂法测定包裹体生成压力的方法^[1],即依据下列计算公式:

$$P = \frac{850}{T_{爆}}(T_{均} + \Delta T) \quad (1)$$

$$\Delta T = \frac{700}{1000}P - 3 \quad (2)$$

式中 $T_{爆}$ ——爆裂温度

$T_{均}$ ——均一温度

ΔT ——校正温度

所估计的成岩压力,见表(3)

上述计算公式利用了岩体形成过程中常见造岩矿物石英中包裹体测温数据进行计算而得的,其数据不能代表成岩压力的绝对值,它只反映岩体主要形成期,固-流平衡体系时的压力条件。

表 3 本区花岗岩成岩压力

Table 3 The formation pressure of granite

岩石名称	均一温度 (°C)	爆裂温度 (°C)	成岩压力(计算)($\times 10^5$ Pa)
玲珑花岗岩	220~270	300~360	755~767
郭家岭花岗闪长岩	260~290	325~350	663~840
滦家河花岗岩	275~300	320~380	888~788

数据表明,本区岩体的成岩压力区间主要在 $663 \times 10^5 \sim 888 \times 10^5$ Pa 之间,结合表(2)成岩温度的结果,认为玲珑花岗岩形成于一个高温而压力迅速下降的环境中,从而导致了玲珑花岗岩体具有交代结构,岩体边缘多为细粒花岗岩,中部粒度变大的特征;郭家岭花岗闪长岩则处于压力、温度均缓慢下降的过程中,从而形成了具有较大斑晶的花岗岩;而滦家河花岗岩则处于温压条件均相对稳定的区间内,形成了中粗等粒结构为主的花岗岩。所以,主要由于温压场的不同导致了本区花岗岩体在结构、构造上的差异。

5 岩石的重熔实验研究

为了解本区花岗质岩体形成的物理化学条件及演化规律,我们采用了模拟实验。

实验样品:均选用未蚀变的岩石样品,粉碎至 200 目以下。

实验仪器:在确定岩:溶=1:1.5 之后,根据所需要的温压条件确定充填度,将样品及介质放入银管中,焊接封口,置于冷封外紧式高压釜中。加热装置为筒式电阻炉,区内温度波动小于 20°C 。控温装置为 Jwk-707 型自动控温仪。压力是通过溶液的充填度控制。氧逸度未加以特别控制。

实验条件与方法的选择:根据本区岩体的实际情况及参阅前人对各种岩体的初熔曲线资

料,选定了本次实验的条件范围:即对不同岩体,在不同温度,不同压力条件下的初熔点为3~4个以上,每个初熔点的确定是在一定温度范围内,相同压力下进行3~4次实验。本实验的温度范围为500~800℃,压力区间为50~200MPa,介质为0.5N NaF溶液,时间为144小时,然后淬火,取出样品。实验结果见表4。同时,根据实验结果,做出岩体的初熔曲线(图2)。

从表(3)及(2)可以看出,玲珑花岗岩和滦家河花岗岩具有同源的特点。另外,施性明等(1981)^[5]通过对胶东玲珑花岗岩和郭家岭花岗闪长岩的重熔实验提出,玲珑花岗岩和郭家岭花岗闪长岩具有同源特点。由此可以看出,玲珑花岗岩,郭家岭花岗闪长岩和滦家河花岗岩为同源花岗岩。

施性明等(1981)^[5]的实验得出,玲珑花岗岩和郭家岭花岗闪长岩初熔温度均为650℃左右,而本文实验得出,玲珑花岗岩和滦家河花岗岩的初熔温度为650~700℃,这与锆石中熔融包裹体的初熔温度相近似。

6 成岩机制探讨

通过对岩体的Rb-Sr同位素年龄测定,玲珑片麻状花岗岩为 $160.97 \pm 10.65\text{Ma}$ (王鹤年,1988)^[6];郭家岭花岗闪长岩为154Ma(文子中,1985^[7]);滦家河花岗岩为 $152.5 \pm 7.2\text{Ma}$ (王鹤年,1988^[6])。同时,综合本区岩体特征及锆石中熔融包裹体及岩石重熔实验的研究,对本区岩体的形成机制,认识如下:

由于构造运动的影响,使深部热流体沿构造软弱带向上运移,交代并熔融了胶东群地层,据兰玉琦等实验研究结果^①,见表5。加之本文锆石中熔融包裹体研究表明,玲珑花岗岩岩体的成岩温度为820~980℃,大于胶东群地层的初熔温度较多,使胶东群地层在深部可以达到熔融条件,但由于在不同空间,温压条件各异,故在玲珑花岗岩体中心部分可出现中粒结构的花岗岩,在岩体边部,由于温度,压力条件迅速降低,未达到变质岩重熔,保留了围岩残留体或与围岩呈过渡状态。可见重熔与交代作用,在成岩过程中乃是一个事物的二个方面,这决定于体系。

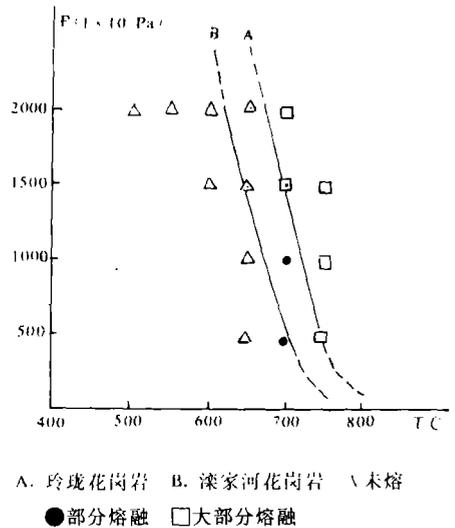


图2 本区花岗岩初熔曲线

Figure 2 Melting curve of granite

^① 兰玉琦、施性明,山东招远胶东群变质建造特征及成因的实验研究,长春地质学院,1981

表 4 本区花岗岩熔融实验结果

Table 4 The results of granitic melting experiments

岩石名称	实验温度 (°C)	实验压力 ($\times 10^8$ Pa)	实验结果
玲珑花岗岩	550	2000	未熔
	600	2000	未熔
	650	2000	未熔
	700	2000	大部分熔融
	600	1500	未熔
	650	1500	未熔
	700	1500	15%熔融
	750	1500	大部分熔融
	650	1000	未熔
	700	1000	5%熔融
	750	1000	部分熔融
漆家河花岗岩	500	2000	未熔
	550	2000	未熔
	600	2000	未熔
	650	2000	10%熔融
	700	2000	部分熔融
	600	1500	未熔
	650	1500	10%熔融
	700	1500	部分熔融
	650	500	未熔
	700	500	5%熔融
	750	500	部分熔融

表 5 胶东群部分岩石的初熔温度

Table 5 The initial melting temperature of some Jiaodong group rocks

岩石类型	变质强度	初熔温度(°C), 压力(Pa)		
		2×10^8	1.5×10^8	1×10^8
角闪二辉麻粒岩	麻粒岩相	740	750	800
斜长角闪岩	角闪岩相	700	715	745
角闪黑云片麻岩	角闪岩相	680	690	730

在玲珑花岗岩形成的中晚期,由于构造作用的影响,热流沿构造薄弱带上升侵位,既交代熔融了早结晶的玲珑花岗岩,也交代重熔了胶东群地层,由于此时热流的温度不很高,故对胶东群地层进行了选择性交代,主要交代并熔融了初熔温度较低的片麻岩和斜长角闪岩,形成了郭家岭花岗闪长岩。而玲珑花岗岩与郭家岭花岗闪长岩的残余熔体混合后,在较稳定的温压条件下,经过缓慢的结晶分异作用,形成具中粗粒结构的漆家河花岗岩。因此,在岩体的形成时间

上,从早→晚,为玲珑花岗岩→郭家家岭花岗闪长岩→滦家河花岗岩,彼此间隔很不明显,但又具有一定的继承性,这也就导致了岩体间接触关系的多样性。但其成岩的物理化学条件很相似,从玲珑花岗岩→郭家岭花岗闪长岩→滦家河花岗岩,其温度、压力具有下降并趋于稳定的趋势。

总之,本区玲珑花岗岩、郭家岭花岗闪长岩和滦家河花岗岩为同源不同阶段交代→熔融胶东群变质岩地层的产物。

笔者在野外工作中,得到山东第六地质大队黄德业高级工程师的热情帮助,室内工作中得到蒋浩深高级工程师及吴启志副教授的帮助和指导,在此,表示深深的感谢!

参考文献

- 1 陈光远,等. 胶东金矿成因矿物学与找矿. 重庆出版社,1989
- 2 李兆麟. 岩浆岩副矿物中包裹体成岩温度测定,新方法及其应用. 中国科学(B辑),1986,(2):1327~1334
- 3 王炳成. 山东胶西北地区两类花岗岩的矿物包裹体特征. 山东地质,1989,(1)
- 4 裘有守. 山东招远-掖县地区金矿区域成矿条件. 辽宁科学技术出版社,1988
- 5 施性明,等. 山东招远一带花岗质岩石基本特征及其实验研究. 长春地质学院学报,1981,(1)
- 6 王鹤年,等. 胶东中元古代玲珑花岗岩及其后期叠加改造作用的地质、地球化学证据. 南京大学学报(地学版),1988,(1)
- 7 文子中. 玲珑花岗岩同位素年代学问题讨论. 山东地质,1985,(1)

STUDIES OF ROCK FORMATION CONDITION AND GENESIS OF GRANITE IN ZHAO—YE AREA, SHANDONG PROVINCE

Zhou Fengying

Li Zhaolin

(Department of Earth Sciences Nanjing University)

(Department of Geology Zhongshan University)

Abstract

Zhao—Ye area is one of the main Au—producing areas in China. Au—ore here is genetically related to granites. Distribution of the granites, study on the zircon within them and its melting inclusions and the remelting experiments reveal that three types (Linglong, Guojialing and Lianjiahe) of granites closely related to Au—deposits are the products of different periods during melting and replacement of the metamorphosed Jiaodong Group rocks by the deep sourced hydrothermal fluid