

山东招掖金矿带花岗岩成因及与金矿床的关系

田 农

戚长谋

吕以发

(中国地质科学院矿床地质研究所) (长春地质学院岩化系) (山东省地矿局地质矿产研究所)

内容提要: 著名招掖金矿带中金矿床的形成与本区玲珑、滦家河和郭家岭花岗岩有着密不可分的成因联系。根据这些花岗岩的地质和岩石特征,以及主要元素、微量元素、稀土元素的演化特点和黑云母成分分析,认为它们均为地壳深部部分熔融形成的花岗岩。玲珑花岗岩和滦家河花岗岩是同一岩浆源经分异作用形成的不同岩体,郭家岭花岗岩则为晚期侵入岩体。总体为燕山早期同一构造岩浆演化旋回形成的复式岩体。金的成矿作用与郭家岭花岗岩有关。

主题词: 金矿床 花岗岩的地球化学演化 花岗岩的成因 成矿作用 山东招掖

山东胶西北地区招远、掖县一带是重要的产金基地。它包括玲珑、焦家、新城、三山岛以及灵山、望儿山、蚕庄等大、中、小型金矿床,构成著名的招掖金矿带。金矿床的形成与玲珑、滦家河、郭家岭花岗岩的演化有着密不可分的成因联系。

一、花岗岩特征简述

玲珑、滦家河和郭家岭花岗岩系三种不同类型的花岗岩,它们的总体分布见图1。玲珑花岗岩为片麻状黑云母花岗岩,矿物组合为长石-石英-黑云母-钛铁矿-独居石;滦家河花岗岩为中粗粒花岗岩,矿物组合为长石-石英-二云母-钛铁矿-独居石-刚玉;郭家岭花岗岩为似斑状花岗闪长岩,具大小不等的钾长石斑晶,矿物组合为长石-石英-黑云母-角闪石-铜石-磁铁矿。

玲珑花岗岩与围岩大部分为构造接触,局部地段与胶东群和粉子山群呈顺层或斜切侵入接触;滦家河花岗岩与胶东群在东段和北东部边缘呈清晰的侵入接触;郭家岭花岗岩仅在北面与胶东群接触,也为侵入关系(长春地质学院姚凤良等,1985),玲珑和滦家河花岗岩之间为渐变接触,而郭家岭花岗岩则侵入到玲珑花岗岩中。此外郭家岭花岗岩中还有一种属于深源的细粒闪长岩包体(外形呈圆形或椭圆形,大小约为10—30cm),说明岩浆形成时有深源物质的加入。

本区花岗岩的形成时代(U-Pb等时线法,北京铀矿地质研究所测试),玲珑花岗岩为118 Ma,郭家岭花岗岩为93 Ma,总体属燕山早期。

二、花岗岩的地球化学演化特征

我们通过对主要元素、微量元素、稀土元素、黑云母单矿物等的研究,探讨了三种不同类型花岗岩的地球化学演化特征。

1. 花岗岩主要元素变化特征

将测得的60个岩石化学分析数据的变化范围和平均值列于表1。由各平均值与我国和世界花岗岩对比得出:玲珑花岗岩 DI 、 SiO_2 、 Q 值和碱度等相对较高, Fe 、 Mg 组分、色率、 K_2O/Na_2O 比和钾质系数则较低,说明岩石偏酸、碱,且相对低钾。滦家河花岗岩与玲珑花岗岩差别不大,仅岩石酸度、碱度有所增高,相

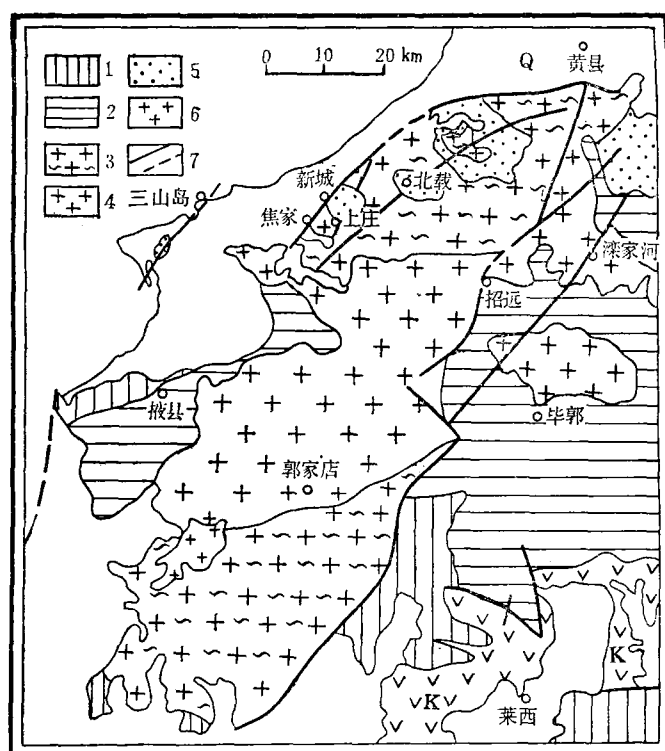


图 1 玲珑、滦家河、郭家岭花岗岩体分布图

Q—第四系；K—白垩系；1—上元古界粉子山群；2—下元古界胶东群；3—玲珑岩体；4—滦家河岩体；5—郭家岭岩体；6—艾山岩体；7—断裂

Fig. 1. Distribution of Linglong, Luanjiahe and Guojialing granite body.

Q—Quaternary; K—Cretaceous; 1—Upper Proterozoic Fengzishan Group; 2—Lower Proterozoic Jiaodong Group; 3—Linglong rock body; 4—Luanjiahe rock body; 5—Guojialing rock body; 6—Aishan rock body; 7—Fault.

表 1 花岗岩岩石化学成分

Table 1. Chemical composition of granites

岩体	项 目	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅
玲珑花岗岩	变化范围	2.92—4.60	3.51—4.73	1.08—3.21	0.10—2.01	0.71—2.34	0.16—1.24	68.15—74.75	13.77—16.42	0.02—0.09	0.07—0.27	0.03—0.16
	平均值	3.86	4.10	1.83	0.39	1.30	0.58	72.41	14.60	0.05	0.13	0.07
滦家河花岗岩	变化范围	3.43—5.30	3.40—4.62	0.43—2.79	0.06—0.48	0.23—2.63	0.06—1.40	71.26—74.95	13.25—15.12	0.01—0.14	0.02—0.16	0.02—0.18
	平均值	4.12	3.89	1.23	0.26	1.33	0.40	73.42	14.14	0.06	0.10	0.05
郭家岭花岗岩	变化范围	1.45—5.48	3.28—4.64	2.74—5.80	1.14—4.64	0.49—3.89	0.21—2.56	61.71—68.48	13.57—16.05	0.04—0.15	0.03—0.75	0.12—0.90
	平均值	3.71	3.95	3.73	1.95	2.45	0.99	65.80	15.25	0.08	0.38	0.26

注：各花岗岩样品数均为20，由山东省地矿局实验室测定

对富钾, 分异性增强, 显示出滦家河花岗岩与玲珑花岗岩同源分异的变化特征。郭家岭花岗岩与玲珑花岗岩相比差异较大。前者属于正常系列, 后者属于铝过饱和系列, 前者偏中性, 后者偏酸性; 前者 Fe、Mg、色率高; 后者 SiO_2 、 Q 值、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 、 AR 、 DI 等高。这些都说明郭家岭花岗岩是继玲珑、滦家河花岗岩之后又一次岩浆活动的产物。

图2中的Q-Ab-Or图和K-Na-Ca图表明, 三种花岗岩的投影点基本上落在岩浆成因范围内, 均为岩浆型花岗岩; 在图2中的ACF图上, 玲珑和滦家河花岗岩的投影点大部分落在斜长石-黑云母-蓝青石S型花岗岩

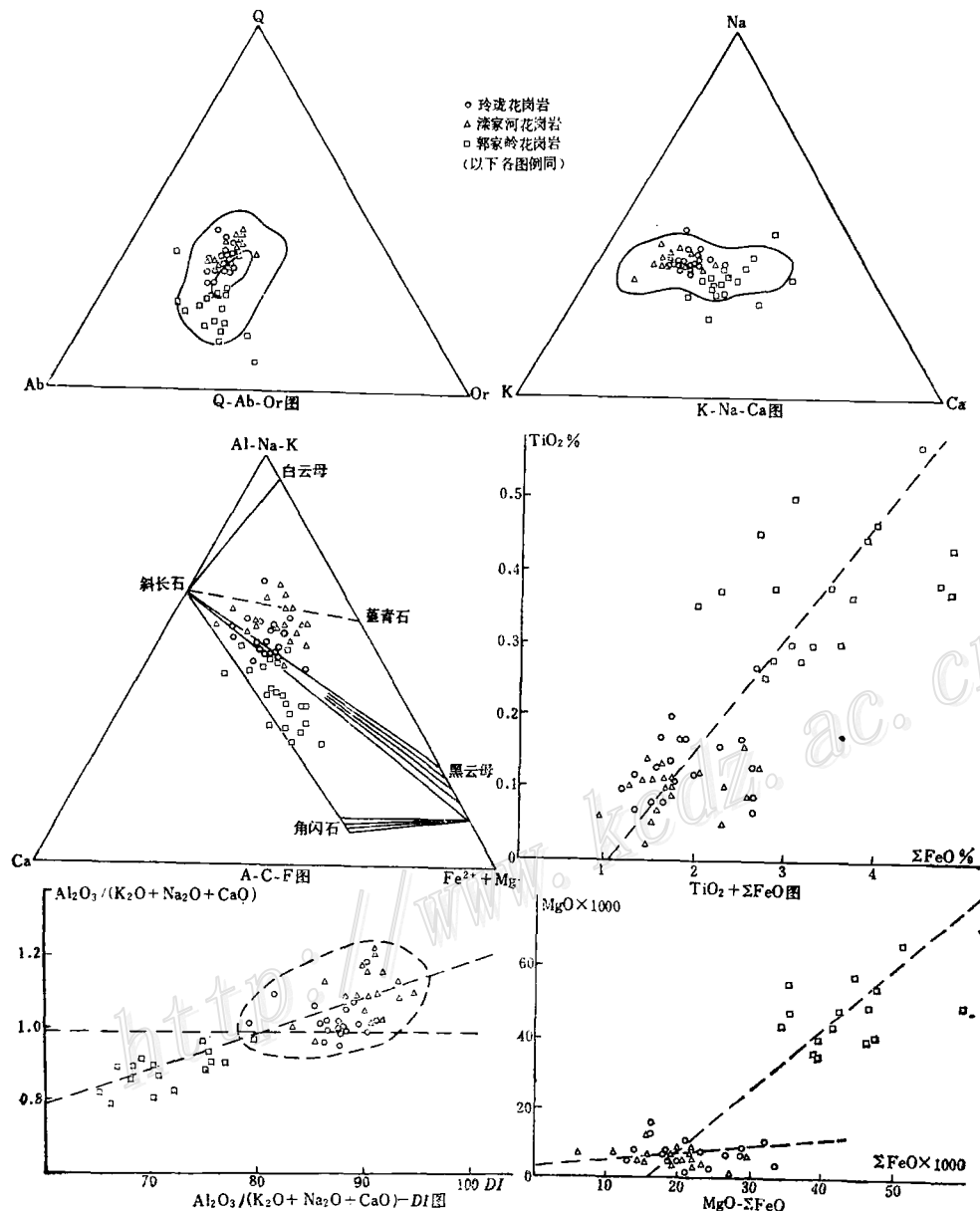


图2 花岗岩主要元素图解

Fig.2. Diagram of major elements in granites.

岩区内,郭家岭花岗岩的投影点则主要落在斜长石-黑云母-角闪石I型花岗岩区; $Al_2O_3/(K_2O + Na_2O + CaO)$ - D/I 图给出了花岗岩的铝、碱和碱土元素的相对饱和程度和演化关系,玲珑花岗岩比值变化于1.00—1.10之间,属于轻微的铝过饱和,滦家河花岗岩属于铝过饱和,郭家岭花岗岩则属于铝欠饱和。应该指出的是 $Al_2O_3/(K_2O + Na_2O + CaO)$ - D/I 图给出的玲珑花岗岩投影点与滦家河花岗岩部分重合,并随着 D/I 的增大该比值由玲珑花岗岩向滦家河花岗岩逐渐增高,反映出两者间的内在演化关系;而郭家岭花岗岩投影点与玲珑花岗岩明显分开,但却位于同一演化方向上,说明它们之间既有成因上的差别,又有物质成分上的联系。 $TiO_2-\Sigma FeO$ 图和 $MgO-\Sigma FeO$ 图等图解中也反映出类似的变化规律。

2. 花岗岩主要微量元素演化特征

花岗岩中的Rb、Sr、Ba是指示岩浆演化的三种重要微量元素,它们之间的变化可以较好地反映岩浆分异演化的特点。本区三类花岗岩的Rb、Sr、Ba的平均含量及其比值列于表2,表2显示了它们之间早晚分异的演化特征。

应该指出的是,若单从 K/Rb 、 Rb/Sr 比分析,三种花岗岩中的郭家岭花岗岩应属于同一岩浆演化系列的更早期产物。但其实不然,这可以从图3看出。郭家岭花岗岩与玲珑和滦家河花岗岩分属于两个不同演

表2 各花岗岩的Rb、Sr、Ba含量及比值

Table 2. Contents and ratios of Rb, Sr, Ba in various granites

项 目 岩 体	元素含量 (ppm)			元 素 比 值		
	Rb	Sr	Ba	K/Rb	Rb/Sr	Ba/Rb
玲珑花岗岩	110(14)	270(16)	2654(16)	439	0.41	24.13
滦家河花岗岩	130(12)	184(12)	1909(12)	315	0.72	14.68
郭家岭花岗岩	80(17)	575(17)	2971(17)	478	0.14	37.14

注: 括号里为样品数, 由山东省地矿局实验室测定

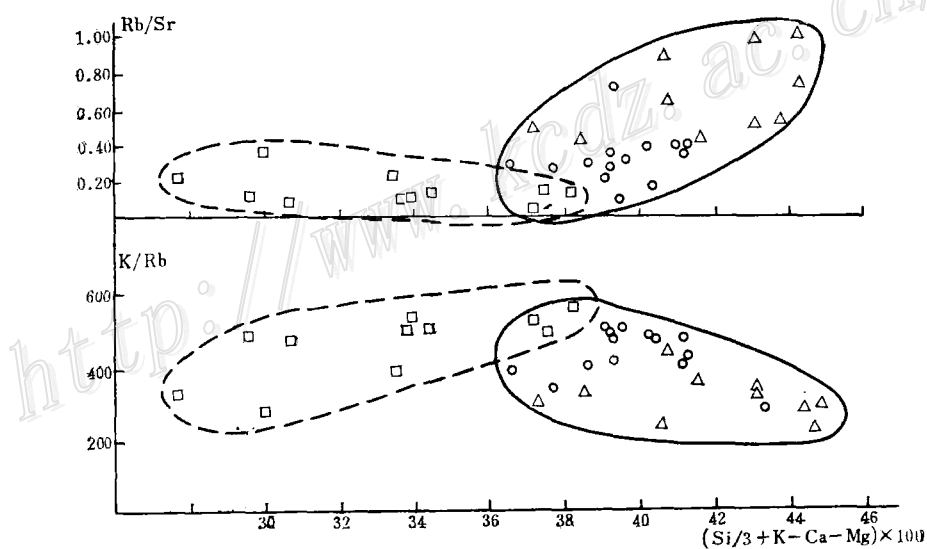


图3 $(\frac{1}{3}Si + K - Ca - Mg) - Rb/Sr, K/Rb$ 图

Fig.3. $(\frac{1}{3}Si + K - Ca - Mg)$ versus Rb/Sr and K/Rb diagram.

化区间。玲珑和滦家河花岗岩的Rb/Sr比和K/Rb比分别随拉森因子的增加而升高和降低,且投影点连续,表明它们是同源分异的结果。郭家岭花岗岩正好与此相反。K/Rb比反向演化,推测可能与其岩浆来源较为复杂有关。即它的形成除熔融地壳组分外,还有一部分深源物质的混入,故初始岩浆中K的含量较低,在以后演化的过程中K的含量增加比Rb快,以至呈现反向演化关系。Rb/Sr比的反向变化则主要与 Sr^{2+} 的地球化学性质有关,因 Sr^{2+} 既可以置换 Ca^{2+} 又可以取代 K^+ ,而郭家岭花岗岩由于形成物理化学环境和成分的不同,导致较晚结晶的内部相岩石钾长石斑晶明显增多,因而相对富集更多的Sr。所以对整个郭家岭花岗岩来说,Rb/Sr比呈反向演化关系。

本区三类花岗岩Ba含量较高。我们知道Ba在常见的阳离子中主要替代 K^+ ,故一般富集在含钾的长石和黑云母中。本区以胶东群为主要地壳熔融组分形成的花岗岩浆,因部分熔融组分主要是长石、石英等低融组分,还可包括黑云母等暗色矿物,所以形成的岩浆中相对富Ba,导致由其结晶形成的岩石Ba含量高。类似的情况在国外一些地区也有表现,如美国西海岸北部的Idaho岩基,其围岩为元古代变质岩,岩基的Ba含量介于1500—1600ppm之间。D.W.Hyndman(1984)认为这些围岩就是Idaho岩体的原岩^[6]。

以上讨论说明,本区花岗岩中微量元素具有与主要元素一致的成因演化特征。

3. 花岗岩的稀土元素演化特征

将本区花岗岩代表性样品的稀土元素分析结果作REE科里尔标准图解(图4),并将它们的特征值列于表3。三种岩石的 ΣREE 低, $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 和La/Yb比值大, δEu 为轻微负异常或无异常。R.L. Callors和J.L. Grif (1984)^[5]认为部分熔融形成的二长花岗岩和正长花岗岩,当 δEu 为轻微或无异常时一般 ΣREE 低, $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 和La/Yb比值大;并认为具有 δEu 轻微负异常的花岗岩类允许源岩中有斜长石,这些源岩包括古老的英云闪长岩、石英斜长角闪岩黑云母片麻岩或变杂砂岩。本区花岗岩的稀土元素分布特征正好显示了这一特点,同时熔融源岩即黑云母变粒岩和斜长角闪岩等残留体也含有斜长石。

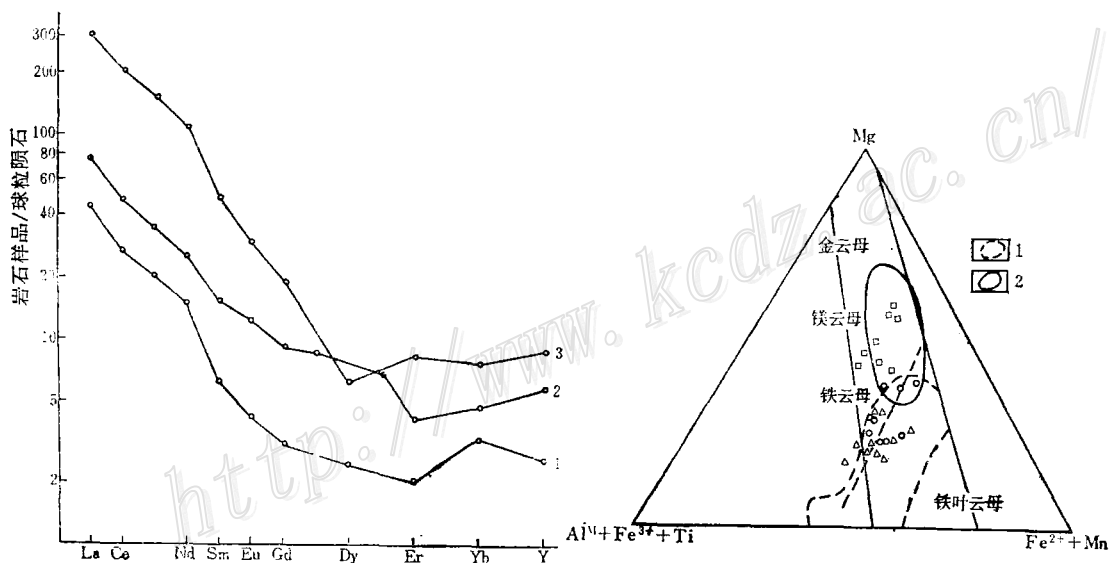


图4 花岗岩稀土元素球粒陨石标准化型式图 图5 花岗岩中黑云母 $\text{Mg}-\text{Al}^{\text{IV}} + \text{Fe}^{3+} + \text{Ti}-\text{Fe}^{2+} + \text{Mn}$ 图解
1—玲珑花岗岩; 2—滦家河花岗岩; 3—郭家岭花岗岩 1—华南改造型; 2—华南同熔型(两个类型投影区据徐克勤等)

Fig.4. Chondrite-normalized REE patterns of granites.

1—Linglong granite; 2—Luanjiahe granite; 3—Guojialing granite.

Fig.5. $\text{Mg}-\text{Al}^{\text{IV}} + \text{Fe}^{3+} + \text{Ti}-\text{Fe}^{2+} + \text{Mn}$ triangular diagram of biotite from granites.

1—South China transformation type; 2—South China syntexis type.

4. 花岗岩黑云母成分特征

根据不同花岗岩中 28 个黑云母成分分析结果计算出 Mg 、 Al^{IV} 、 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Ti 、 Mn 等阳离子数^①，并投影在 $Mg-Al^{IV} + Fe^{3+} + Ti - Fe^{2+} + Mn$ 三角图中（图 5）。玲珑和滦家河花岗岩投影点落于华南改造型花岗岩范围内，属于铁云母，且由玲珑花岗岩向滦家河花岗岩，黑云母中的 Mg 减少， $Al^{IV} + Fe^{3+} + Ti$ 增加，具有线性演化趋势，郭家岭花岗岩的黑云母属于镁云母到镁铁云母，与华南同熔型花岗岩投影区重合。上述资料表明了它们成因上的差别。

表 3 花岗岩稀土元素特征值

Table 3. REE characteristic values of granites

岩体	样号	δEu	ΣREE (ppm)	$\Sigma LREE/\Sigma HREE$	La/Yb
玲 珑	VI ₃	0.89	58.57	5.13	13.22
滦 家 河	滦-1	1	102.15	4.69	15.2
郭 家 岭	郭-1	0.87	385.08	11.39	39.74

注：VI₃由长春地质学院分析室用等离子法测定，其它据姚凤良1986年资料

三、花岗岩的形成环境及成因

图 6 是本区三种不同类型花岗岩的 Ab 、 Or 、 Q 的平均值投影图。由图可见，玲珑和滦家河花岗岩的投影点紧靠在一起，位于 0.4 GPa 三相最低熔熔点附近，说明两种花岗岩浆形成的压力相同，属于同一起来源的产物。而郭家岭花岗岩浆形成的压力明显高于玲珑和滦家河，位于 1 GPa 线附近，并落在 Or 区，说明它们来自于更深部位。投影点落在 Or 区则表明温度下降时，应首先晶出钾长石，也就是说郭家岭花岗岩中的钾长石斑晶是融体相对较早结晶的产物，而非交代成因。

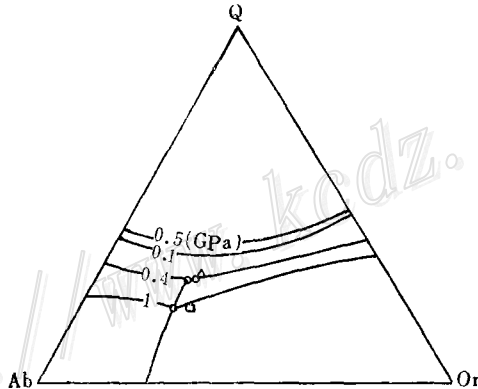


图 6 花岗岩压力投影图

（引自塔特尔1958年和卢思等1964年压力实验图）

Fig. 6. Pressure projection of granites.

根据玲珑和滦家河花岗岩以大面积岩基形式产出，可以推断它们应属于深成岩体。郭家岭花岗岩以岩株的形式产出，则可能是浅成岩体。为进一步了解各岩体的侵位压力和深度，首先借助于不同成分的黑云母脱水线来了解岩石的水逸度。对此我们引用 Burnham 等（1969）实验提供的数据，以及 Wones（1981）重新计算的黑云母 $\lg f_{H_2O} - 10^3/K$ 的稳定图解（图 7）⁽⁴⁾。由图可知玲珑和滦家河花岗岩的云母属于铁云母，郭家岭花岗岩的云母为镁铁云母。又据长春地质学院施性明、赵元进等的成岩成矿实验^②，三种花岗岩的平均初

① 1981年长春地质学院第五届学术报告论文选

② 田农，1986，长春地质学院研究生论文

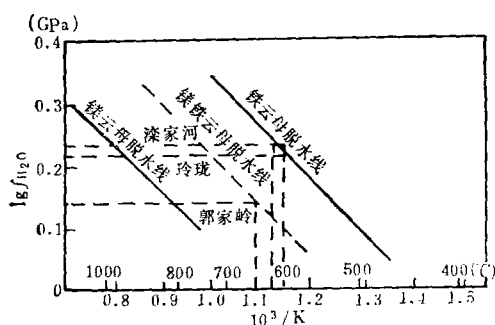


图7 $\lg f_{H_2O}-10^3/K$ 的黑云母稳定图
(引自Wones, 1981)

Fig.7. $\lg f_{H_2O}-10^3/K$ biotite stability diagram.

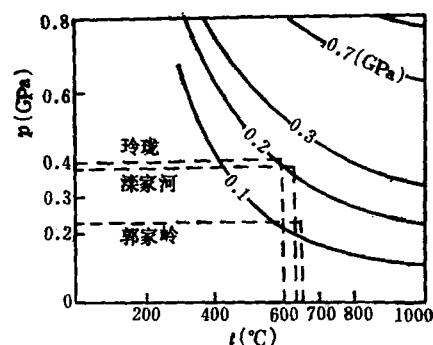


图8 花岗岩不同温、压的水逸度图解
(引自饶纪龙, 1979)

Fig.8. Water fugacity of granite under different pressure and temperature.

熔温度 (压力大于20MPa), 玲珑为600°C, 滦家河为640°C, 郭家岭为650°C。我们可以近似地 将这些温度看成为岩石的结晶温度。根据这些已知条件在图7上对不同成分黑云母脱水线投影得出 花岗岩的水逸度, 郭家岭为0.14GPa, 玲珑为0.22GPa, 滦家河为0.24GPa。用已知的水逸度和温度投影在饶纪龙 (1979) 的 t - P - f 图解上 (图8), 求得郭家岭花岗岩的侵位压力为0.23GPa, 玲珑花岗岩为0.4GPa, 滦家河花岗岩为0.38GPa。若假设地壳平均密度恒为2.7g/cm³, 算得郭家岭花岗岩的侵位深度为8.5km, 玲珑为14.8km, 滦家河为14.1km。玲珑花岗岩侵位压力和形成压力大致差不多的特点, 表明它没有产生大的侵位, 应属于原地和半原地型部分熔融花岗岩。这与玲珑花岗岩在 Q - Ab - Or 图解上投影位于最低熔融点附近特征相一致, 从而也解释了为什么玲珑花岗岩与围岩呈层状接触和具有大量老地层残留体等特征。滦家河花岗岩侵位压力表明, 它较之玲珑花岗岩相对上侵, 但侵位深度不大。郭家岭花岗岩的侵位压力则表明岩浆经历过长距离迁移, 由地壳深部上升到浅部结晶成岩。

综上所述, 本区三种不同类型的花岗岩是中生代以来古老地壳活化部分熔融的产物。其中玲珑和滦家河花岗岩是由早期同一岩浆源分异而产生的不同岩体, 郭家岭花岗岩则是晚期另一次岩浆活动的产物。总体为燕山早期同一构造热事件岩浆演化旋回, 不同时期形成的复式岩体, 金矿则在这一演化旋回的晚期形成。

四、花岗岩成矿作用探讨

世界上各种成因类型金矿, 尤其是中生代以来的金矿, 大多与花岗岩有关。就本区而言, 由以下几方面分析, 我们认为金的直接成矿母岩是郭家岭花岗岩。

1. 成矿时代和空间

根据野外地质产状和同位素年龄资料分析, 郭家岭花岗岩是晚期形成的岩体。金矿体虽然大部分赋存在早期的玲珑花岗岩中, 但也有部分矿体是由郭家岭花岗岩蚀变而成。这在新城和河东金矿可以直接观察到。成矿和蚀变叠加在郭家岭花岗岩之上, 说明成矿在郭家岭花岗岩之后。而区域上比郭家岭更晚的艾山岩体明显与成矿无关。由此推断金的成矿只能与郭家岭花岗岩有关。空间上金矿床基本上分布在郭家岭花岗岩内外接触带中, 特别是外接触带的玲珑花岗岩内, 其范围不超过5km。这种矿床围绕成矿母岩的现象正是岩浆热液矿床的重要特征之一, 它反过来又可说明郭家岭花岗岩是金的成矿母岩。

2. 岩体类型的差异性

如前所述玲珑和滦家河花岗岩特征可以和S型花岗岩相对比, 而郭家岭花岗岩则类同于I型花岗岩。根据花岗岩的成矿专属性, 与S型花岗岩有关的矿床主要为W、Sn、Bi、Mo及稀有稀土矿床, 而与I型花岗岩有关的矿床则多为Au、Ag、多金属等矿床。由此也可以推测本区金矿与郭家岭花岗岩有关。

3. 岩体的侵位深度

我们知道作为大面积岩基存在的深成花岗岩, 由于其形成的深度大, 岩浆结晶过程中流体挥发分的分离作用弱, 故不易形成含矿岩浆热液。而浅成岩体由于压力降低至使岩浆“沸腾”, 在岩浆结晶的过程中流体挥发分分离作用强, 使之在晚期富集成含大量挥发分的流体相。这些富含挥发分的流体相是成矿物质聚集形成含矿热液的本质因素。前述资料表明, 玲珑和深家河花岗岩均为深侵位岩体, 而郭家岭花岗岩则为浅侵位岩体。它的形成为挥发分的分离创造了有利条件, 至使晚期流体相富集, 同时吸取岩浆中的金, 形成富金的含矿热液。

4. 岩体含金性

据53个不同花岗岩样品的Au的含量分析^①, 郭家岭花岗岩含Au最高(49ppb), 玲珑居中(19ppb), 深家河最低(7ppb)。郭家岭花岗岩Au含量高, 从一个侧面说明其岩浆中Au的背景亦高, 可以为成矿提供物质来源。

5. 岩体成矿微量元素

一般成矿母岩应具有较高的成矿微量元素组成, 为此我们统计了三类岩体的Cu、Pb、Zn、Ga、Hg、As、Sb、Ag等微量元素的含量(表4)。表中数据表明, 郭家岭花岗岩的Zn、Ga、Hg、As、Sb、Ag含量均高于玲珑和深家河花岗岩。我们知道一般花岗岩中Au含量甚微, 平均为3ppb(美国地球化学手册), 很难提供

表4 花岗岩微量元素含量

Table 4. Minor element contents of granites

岩体	样品数	元素及含量(ppm)							
		Cu	Pb	Zn	Ga	Hg	As	Sb	Ag
玲 珑	18	34	11	47	16	1.12	0.58	1.50	0.052
深 家 河	9	24	18	49	16	1.23	0.50	0	0.038
郭 家 岭	14	23	18	51	19	1.33	0.78	7.80	0.109

注: 光谱分析, 山东省地矿局实验室测定

形成金矿的足够物质来源。郭家岭花岗岩Au的背景含量却很高, 可以为金的晚期富集提供足够的物质来源。如前所述, 形成郭家岭花岗岩浆的物质成分, 是玲珑和深家河花岗岩形成之后, 由残留的胶东群进一步熔融而成, 同时还有一部分深源物的加入, 岩浆中的高金背景正是与这两种物质成分的来源有关。

作为胶西北金矿主要地质背景之一的胶东群, 历来受到人们的重视。对其含金性各家做过大量工作, 然结果差别较大, 这可能与采样的位置及测试的精度有关, 同时也说明了地层中Au的分布是不均匀的, 但总体高于地壳丰度值。表5是山东第六地质队实测1:10000招远—莱西胶东群剖面时得到的Au及一些微量元素含量。胶东群中Au、Pb、Cr、Zn、Cu、Ni等成矿元素含量均高于地壳平均值; 而Ag、Ba、Mn、Ti、Zr、Ga等一些主要和微量元素含量则低于地壳平均值。这种由较高含量的多种成矿元素组成的胶东群, 经部分熔融形成岩浆后, 自然也会使岩浆中同类元素含量增高。另外根据Ag一般富集在地幔基性物中, 以及胶东群Ag是亏损元素等特点, 说明郭家岭花岗岩较高的Ag可能是随深源物一起带上来, 在这过程中与Ag紧密伴生的Au也就被带入到成矿岩浆中。由此可见本区金矿成矿的直接物质来源主要是郭家岭花岗岩, 而岩浆中的Au则来自于部分熔融的胶东群和深源物。

综合上述讨论, 山东招掖金矿带中金矿床的形成与郭家岭花岗岩有关。类似的成矿机理并不局限于胶东半岛, 如辽东一带也有同样的规律。总之我们认为, 太平洋西岸华北地台古陆边缘, 在古老的地壳上产生的部分熔融花岗岩, 均有类似的成矿规律可循。

① 山东省地矿局实验室测定

表 5 胶东群部分元素丰度对比表
Table 5. Comparison of some element abundances between Jiaodong Group and the crust

地 层	元 素 及 丰 度 (ppm)												
	Au	Ag	Ba	Mn	Pb	Cr	Ti	Zr	Zn	Sn	Cu	Ga	Ni
胶 东 群	22.91	21.22	327	516	24	168	2337	73	104	824	136	10	93
地壳 (黎彤, 1974)	4	80	390	1300	12	110	4600	130	94	400	63	18	89

引自山东第六地质队1983年资料。样品数: Au64, 其余49

参 考 文 献

- [1] R.W.Boyle 1984 《金的地球化学及金矿床》 地质出版社
- [2] 刘英俊等 1984 《元素地球化学》 科学出版社
- [3] 饶纪龙 1979 《地球化学中的热力学》 科学出版社
- [4] D.R.Wones 1984 作为花岗岩岩浆强度变量指示的铁镍矿物 地质地球化学 第2期
- [5] R.L.Callors, J.L.Graf 1985 大陆壳火成岩中的稀土元素—中性岩和硅质岩—矿石的成因 地质地球化学 (稀土增刊)
- [6] Hyndman, D. W., 1984, Petrographic and chemical section through the Northern Idaho Batholith. Jour. Petrol., Vol. 72.
- [7] Wedepohl, K. H., 1974, Handbook of Geochemistry. Vol. II/4, New York.

THE RELATIONSHIP BETWEEN GRAINITE GENESIS AND GOLD DEPOSITS ALONG THE ZHAOYUAN- YEXIAN GOLD ORE BELT IN SHANGDONG PROVINCE

Tian Nong

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)

Qi Changmou

(Department of Rock and Chemistry, Changchun College of Geology, Changchun, Jilin)

Lu Yifa

(Institute of Geology and Mineral Resources, Bureau of Geology and Mineral Resources of Shandong Province, Jinan, Shandong)

Abstract

The Zhaoyuan-Yexian area in northwestern part of east Shandong is an important gold-producing base and constitutes the well-known Zhao-Ye gold ore belt in which the gold deposits have close genetic relationship with the evolution of Linglong, Luanjiahe and Guojialing granites of this area.

The Linglong rock body is a medium-grained gneissic granite body which shows intruding along bedding or cross-cutting contact with old strata of Jiaodong Group and thus contains old strata enclaves of different shapes and sizes whose contents obviously increase at the marginal facies of the rock body. The typical mineral assemblage of the granite is feldspar-quartz-biotite-ilmenite-mo-

nazite. Compared with other granites in China or the whole world, it has higher values of DI , SiO_2 , Q , AR and lower values of Fe , Mg and K_2O/Na_2O ratio, with $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+CaO)$ ratio varying in the range of 1.00–1.10; as for trace elements, it is characterized by higher Ba , Sr contents and Ba/Sr ratio, lower Rb/Sr ratio and ΣREE , higher $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ and La/Y ratios as well as slight Eu anomalies. Biotite contains high iron and low magnesium. Calculation shows that the rock-forming pressure is almost the same as the magma-forming pressure (some 0.4 GPa), rock-forming temperature is low (600–685°C), and water fugacity is high (0.22 GPa). Therefore, it is comparable with S type granites in overall characteristics, thus belonging to contemporaneous granite.

The Luanjiahe rock body is a medium-coarse-grained granite body with typical mineral assemblage being feldspar-quartz-biotite-muscovite-monazite-cordierite. It obviously shows the same differentiation and evolution features as the Linglong granite in such aspects as major elements, trace elements and genetic minerals, implying that it is a late differentiation product of the Linglong granite.

The Guojialing rock body is a porphyritic granodiorite body characterized by the existence of K-feldspar phenocrysts with different sizes. The rock body also contains a few old strata enclaves and some enclaves of hypogene fine-grained diorite. Its rock-forming age is younger than that of Linglong and Luanjiahe granites, and its typical mineral assemblage is feldspar-quartz-biotite-amphibole-magnetite. Petrochemically, it is rich in Mg , Fe and poor in Q , DI , with $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O+CaO)$ ratio varying in the range of 0.78–0.98. The Guojialing granite and Linglong granite have different genetic characteristics but inherent material connections in the aspects of major elements, trace elements and genetic minerals. The REE pattern of the Guojialing granite is similar to that of the Linglong granite except that the former has higher ΣREE . Biotite is relatively rich in Mg . The calculated rock solidification pressure is 0.23 GPa and magma-forming pressure is 1 GPa, indicating that the rock is somewhat of I type granite.

From the above discussion, the authors hold that the three different types of granites in this area were all formed by partial melting of the crust. The Linglong and the Luanjiahe granites are different rock bodies formed as a result of differentiation of the same magma source at the early stage of evolution, belonging to autochthonous or basically autochthonous type granites with hypabyssal origin and shallow emplacement. The Guojialing granite is a deep source and shallow-emplaced rock body formed by further melting of crust with the mixing of some deep source substances. On the whole, it is a complex rock body produced in the same tectonomagmatic evolution cycle of Early Yanshanian period.

The gold deposits are distributed along the endo- and exo-contact zone of the Guojialing granite and were formed later than the granite body. The Guojialing granite is of deep-source shallow-emplaced I type, relatively rich in gold and some other ore-forming trace elements. It is believed that the Guojialing granite is the direct parent rock for gold and the gold deposits are of post-magmatic hydrothermal origin.