

胶东地区与金矿成矿有关的花岗岩体中的流体包裹体研究

王海芹¹, 霍光辉²

(1. 山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013; 2. 山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013)

摘要:与胶东金矿有密切关系的玲珑片麻状花岗岩、栾家河二长花岗岩、郭家岭花岗闪长岩、上庄二长花岗岩4种类型花岗岩中矿物包裹体的发育程度、类型、大小及其特点, 以及包裹体的显微测温结果, 反映出玲珑岩体是经历了高级区域变质作用形成的重熔型花岗岩, 郭家岭岩体是由高温、高粘度岩浆结晶成岩的。栾家河岩体是由一种富CO₂的高温、高粘度的岩浆中结晶演化而来, 岩体的侵入深度也较浅。上庄岩体形成温度压力较低。

关键词:金矿; 花岗岩; 流体包裹体; 熔融包裹体; 显微测温; 山东胶东地区
中图分类号: P618.51 **文献标识码:** A

胶东地区是中国最大的金矿集中区, 现已查明上百个金矿床, 该区金矿的形成在空间上与花岗岩关系密切。本区花岗岩类型较多, 成因复杂。本文对该区与金矿形成有关的花岗岩进行了系统的包裹体研究, 取得了较好的成果。为阐明本区花岗岩成因提供了新的佐证。

1 区域地质概况

胶东金成矿区位于沂沭断裂带的东侧, 胶北地体的西北部(图1)。胶北地体是一个古老的变质地体, 主要由新太古代胶东岩群和前寒武纪侵入岩组成, 中生代燕山期又经历强烈的岩浆侵入作用。根据岩石学、地球化学及同位素资料, 该区与金矿形成密切的花岗岩主要有4种类型: 玲珑片麻状花岗岩、栾家河二长花岗岩、郭家岭花岗闪长岩、上庄二长花岗岩。

胶东地区的金矿, 依据其成矿作用和金的物质来源, 多属于深源重熔岩浆期后热液矿床。它们的矿源主要来自前寒武纪变质基底, 其热源来自燕山早期岩浆活动。本区主要有两个重要的金矿类型, 即破碎带蚀变岩型(焦家式金矿床)和含金石英脉型(玲珑式金矿床)。与焦家式金矿床有关的岩体是郭家岭花岗闪长岩体和玲珑花岗岩体, 岩体金的丰度较高, 是重要的热源和矿源。玲珑式金矿床的成矿地质背景、控矿因素、矿石矿物、围岩蚀变等与焦家式相似的, 其不同之处是玲珑式金矿床以石英脉群的形式出现, 而焦家式金矿式破碎带蚀变岩型^[1]。另外, 栾家河岩体与玲珑式金矿床有密切关系; 上庄岩体与焦家式金矿的形成密切相关。

2 岩体地质特征

2.1 玲珑岩体

分布在招远北部、莱州东部，呈 NE 走向带状分布（图 2）。岩体与胶东岩群地层往往呈渐变式过渡关系，内见胶东岩群地层的残留或残影体，其产状与区域地层一致。岩体的定向组构具有同心环带分布特点。岩性为二长花岗岩。岩石呈灰白色，具片麻状构造，粒状结构并广泛发育交代残留结构。主要矿物成分为斜长石（55%），钾长石（15%），石英（25%），黑云母（5%）。该岩体的岩石化学成分见表 1。该岩体的岩石化学特征是高碱、偏酸性，属钙碱性岩石。与徐克勤改造型花岗岩相似，但又兼具了结晶基底的某些特征。稀土元素特征及微量元素含量见表 2、表 3。该岩体的同位素指示的年龄范围很宽（285 ~ 1718Ma）^[2]，因此导致其形成时代争议较大。

Wangel al.（1998）测得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 165 ~ 150Ma^[3]，认为形成时期为晚侏罗世，而《山东省区域地质》中同位素年龄多数集中在 622 ~ 734Ma^[2]，认为形成时期为新元古代南华纪—震旦纪。

2.2 郭家岭岩体

郭家岭岩体呈近 EW 向带状分布于招远东北部，岩体被 NE 向断裂切穿，艾山岩体沿北东向断裂侵入于岩体的中部。野外观察表明，郭家岭花岗闪长岩岩体侵入于玲珑片麻状二长花岗岩岩体，并侵入于蓬莱群^[4]。岩石具似斑状结构。斑晶为钾长石，基质具中粒花岗结构。主要矿物成分为斜长石（40% ~ 50%），钾长石（20% ~ 25%），石英（20% ~ 22%），角闪石（6% ~ 8%），黑云母（5% ~ 7%）。岩体中常见闪长质暗色包体分布^[5]。矿物组成上以暗色矿物含量高为特点，SiO₂ 含量较低。岩石化学成分见表 1。该岩体的岩石化学特征是富硅、碱而贫钙、镁、铁、锰。具有同熔型或“I”型花岗岩的特征。稀土元素特征及微量元素含量见表 2、表 3。该岩体的同位素年龄多集中在 102 ~ 200.6Ma^[2]，认为主要形成时代为早侏罗世，是燕山早期的侵入岩。而 Wang el al.（1998）测得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 128 ~ 125Ma^[3]，认为是早白垩世燕山晚期侵入岩。

2.3 栾家河岩体

分布于玲珑复式岩基中部及东侧，岩体呈近 EW 向带状分布，被 NE 向断裂切穿。岩性为二长花岗岩，具中粗粒花岗结构，似斑状、块状构造。主要矿物成分为斜长石（30%），钾长石（40%），石英（25%），白云母（3%），黑云母少量；以含白云母为特点。岩石化学成分见表 1。岩体与玲珑片麻状花岗岩呈侵入接触，是印支期的侵入岩。Wang el al.（1998）同位素测年为 165 ~ 150Ma^[3]，认为形成时代为晚侏罗世。该岩体的岩石化学特征是富酸碱而贫铁、镁、锰、钛等。具有“I”、“S”型花岗岩的双重特征。稀土元素特征及微量元素含量见表 2、表 3。

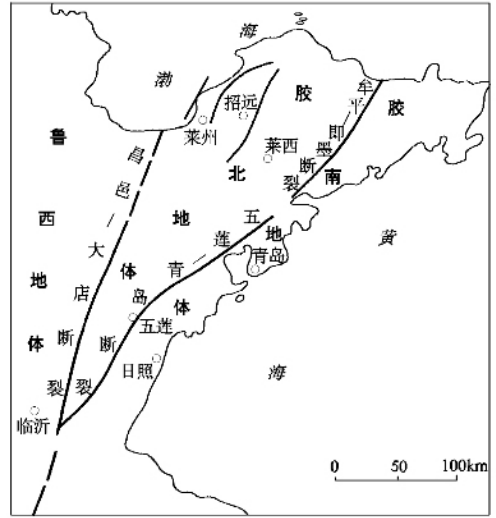


图 1 胶东半岛地体构造格架示意图
(据贾东, 1993)

Fig.1 A sketch showing terrain framework
in Jiaodong Peninsula

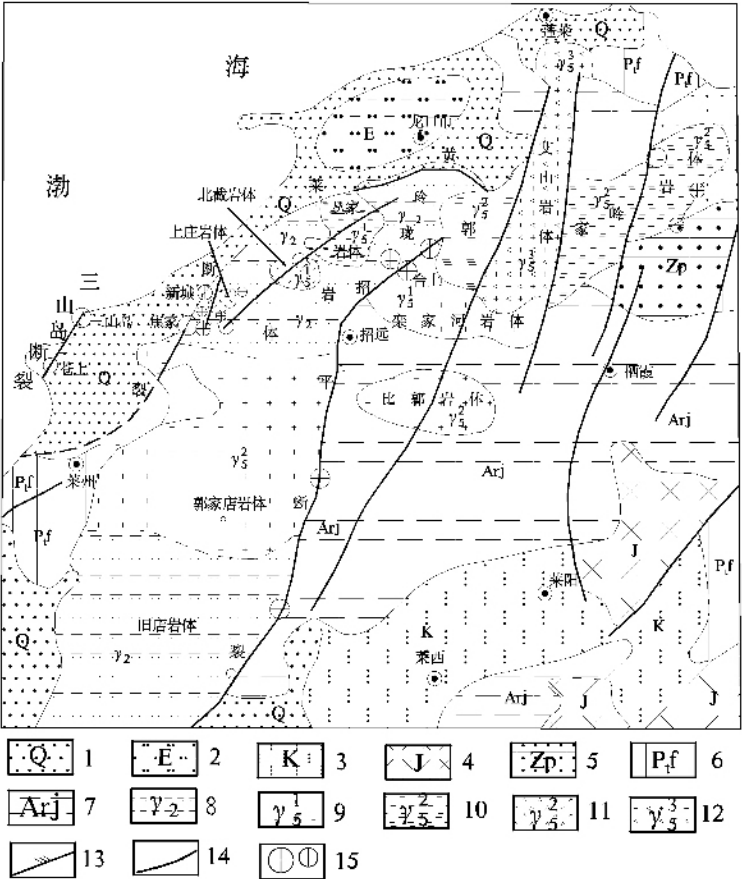


图 2 胶东西北部地质略图（据第六地质队资料修编）

Fig.2 Geological sketch of northwest part of eastern Shandong
(Revised from No.6 Geological Parth of Shandong Province)

- 1、第四系 2、古近系 3、白垩系 4、侏罗系 5、新元古代蓬莱群 6、古元古代粉子山群
- 7、新太古代胶东岩群 8、玲珑片麻状花岗岩 9、栾家河中粗粒花岗岩 10、郭家岭斑状花岗岩闪长岩
- 11、上庄斑状二长花岗岩 12、艾山花岗斑岩 13、压扭性主干断裂 14、次级断裂 15、金矿床

表 1 岩石化学成分表（%）

Table 1 Chemical compositions of rocks（%）

岩体	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO
玲珑	73.3	0.14	14.36	0.36	1.72	0.01	0.25
栾家河	73.02	0.14	14.49	0.42	1.57	0.03	0.17
郭家岭	67.99	0.31	15.32	0.91	2.01	0.04	1.17
上庄	70.50	0.23	15.44	0.44	1.69	0.09	0.59
岩体	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	CO ₂	Los
玲珑	1.52	3.81	4.51	0.05	0.50		
栾家河	1.24	4.13	4.21	0.55	0.52		
郭家岭	2.91	4.38	3.44	0.08	0.54		0.81
上庄	2.30	4.43	3.58	0.15	0.38	0.27	

据山东地矿局 1:20 万烟台、蓬莱幅区调报告。

表 2 稀土元素含量表 ($\times 10^{-6}$)

Table 2 Contents of rare earth elements ($\times 10^{-6}$)

岩体	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
玲珑	34.62	71.97	6.45	20.86	3.71	0.78	2.28	0.40	1.36	0.29
栾家河	17.63	33.36	3.46	11.89	2.63	0.53	1.75	0.32	1.40	0.26
郭家岭	60.50	105.3	11.58	29.83	6.29	1.34	3.69	0.43	2.07	0.28
上庄	26.63	51.62	4.96	17.55	2.90	0.76	1.76		0.89	0.15
岩体	Er	Tm	Yb	Lu	Y	\sum REE	LREE	HREE	δ EU	LREE/HREE
玲珑	0.62	0.15	0.50	0.04	5.65	149.68	138.39	5.64	0.82	24.54
栾家河	0.65	0.12	0.61	0.12	7.63	82.36	69.5	5.23	0.77	13.29
郭家岭	0.72	0.05	0.53	0.13	7.13	229.97	214.84	7.9	0.85	27.19
上庄	0.34		0.27		3.02					

据山东地矿局 1:20 万烟台、蓬莱幅区调报告。

表 3 微量元素含量表 ($\times 10^{-6}$)

Table 3 Contents of microelements ($\times 10^{-6}$)

岩体	Ba	Be	As	P	Sc	Zr	Pb	Sn	Ti	Mn
玲珑	1668		0.77			198	42			
栾家河	1127	< 10		< 1000	< 5	222	27		1681	481
郭家岭	2568	< 10		< 1000	< 10	208	44		2526	316
上庄	1293		1.13			185	25.44			
岩体	Ga	W	Cr	Ni	Bi	Nb	Mo	V	Ce	Li
玲珑	20		10	4		8.4				
栾家河	31		< 10	< 10		20	2.5	< 10	< 1000	< 100
郭家岭	27		39	17		< 10	< 1	56	< 1000	37
上庄			9.9	4.5		10.3				
岩体	La	Cu	Yb	Y	Zn	Ag	Co	Sr		
玲珑		208			47.6	0.08	2.1	610		
栾家河	100	13	13	20	< 100	0.2	< 10	445		
郭家岭	84	< 10	< 10	20	< 100		< 10	1147		
上庄		26.3			51.2	0.16	3.1	946		

据山东地矿局 1:20 万烟台、蓬莱幅区调报告。

2.4 上庄岩体

上庄岩体呈小岩株状靠近龙口—莱州弧形断裂下盘产出，NE 向延伸。侵入体内闪长质包体较多，且见有闪长玢岩、煌斑岩脉穿插。岩性为二长花岗岩，岩石呈灰白色，巨斑似斑状结构，块状、片麻状构造。由于经历过强烈的塑性变形，整体上具初糜棱结构。主要矿物成分为斜长石（48%），钾长石（20%），石英（22%），黑云母（7%）。暗色矿物主要为黑云母，角闪石少见。岩石化学成分见表 1。与玲珑片麻状花岗岩呈侵入接触（图 2）。《山东区域地质》^[2]认为形成时代为侏罗世，为燕山早期的侵入岩。李建威测得年龄为 127 ~

$^{128}\text{Ma}^{[6]}$ ，认为是早白垩世燕山晚期的产物。

3 包裹体的岩相学特征

3.1 玲珑岩体

该岩体以含大量次生包裹体为特点，形态不规则，沿裂隙呈线状分布，原生包裹体只有流体包裹体发育，数量较少，呈散状分布于石英中，个体较小，在 $2 \sim 8$ 微米之间。形态上有椭圆形、多边形或不规则状，大多为气液两相包裹体。气液比在 $20\% \sim 30\%$ 之间，气泡有跳动现象。偶见 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体，二氧化碳约占包裹体体积的 $60\% \sim 70\%$ 。

3.2 郭家岭岩体

原生包裹体发育，类型齐全，包括熔融包裹体、含石盐子晶的盐水包裹体， $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体及 H_2O 两相包裹体。这些包裹体形态比较规则，呈孤立状分布，但分布密度较小。次生包裹体较小，且往往不规则，沿裂隙呈线状分布。熔融包裹体较少见且形态规则，大小在 $16 \sim 32$ 微米之间，孤立状分布于石英中，包裹体由气泡 + 玻璃质或气泡 + 结晶质组成，气体约占包裹体总体积的 15% 左右；含石盐子晶的盐水包裹体大小为 32 微米，石盐、气体、其他盐类比为 $1:1:3$ ； $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体（照片 P、Q）， CO_2 约占 $50\% \sim 80\%$ ，其中气相 CO_2 约占 $40\% \sim 50\%$ ； H_2O 两相包裹体（照片 R），个体大小差别较大在 $2 \sim 24$ 微米之间。

3.3 栾家河岩体

原生包裹体十分发育，类型上既有熔融包裹体和流体包裹体（含盐类子晶的盐水包裹体、 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体、 CO_2 两相包裹体），也有介于二者之间的流体熔融包裹体。它们在石英中呈孤立状、星散状或成群分布。在不同样品磨制的 7 个切片中，仅有两个切片包裹体大量发育，其他切片中零星分布，这说明在整个岩体中包裹体分布很不均匀。熔融包裹体形态规则（照片 A、B、C），个体较大，在 $8 \sim 32$ 微米之间，由气体和玻璃质组成，气体约占包裹体体积的 $10\% \sim 15\%$ ；流体熔融包裹体（照片 D、E、F、G），大小在 $11 \sim 48$ 微米之间，由结晶质 + 流体（液相 + 气相）组成，流体约占包裹体的 $15\% \sim 75\%$ ，结晶质主要为石英，可能含有长石；含盐类子晶的三相包裹体（照片 H）大小 8 微米，子晶呈柱状； $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体（照片 I、J、K、L、M、N），广泛发育 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体是栾家河岩体的一大特点，包裹体形态规则，个体较大，在 $5 \sim 42$ 微米之间， CO_2 含量较高，体积是一般包裹体体积的 $60\% \sim 80\%$ 。偶见纯的 CO_2 气液两相包裹体（照片 O）； H_2O 两相包裹体，分布较少，形态规则，有时见石英负晶形，大小在 $4 \sim 16$ 微米之间，气液比变化较大，在 $15\% \sim 70\%$ 之间。

3.4 上庄岩体

该岩体由于经历过强烈的塑性变形，绝大部分原生包裹体已经被破坏，见到的多是一些很细小的（ 2 微米左右）沿裂隙呈线状分布的次生包裹体。原生包裹体只见于包于长石颗粒内的粒状石英中，为气液两相，形态规则，呈浑圆状、柱状或多边形。大小在 $2 \sim 6$ 微米之间，气液比在 $20\% \sim 30\%$ 之间。

4 显微测温特征

本次测温对流体包裹体和熔融包裹体进行了测温，流体包裹体测温用的是英国产的

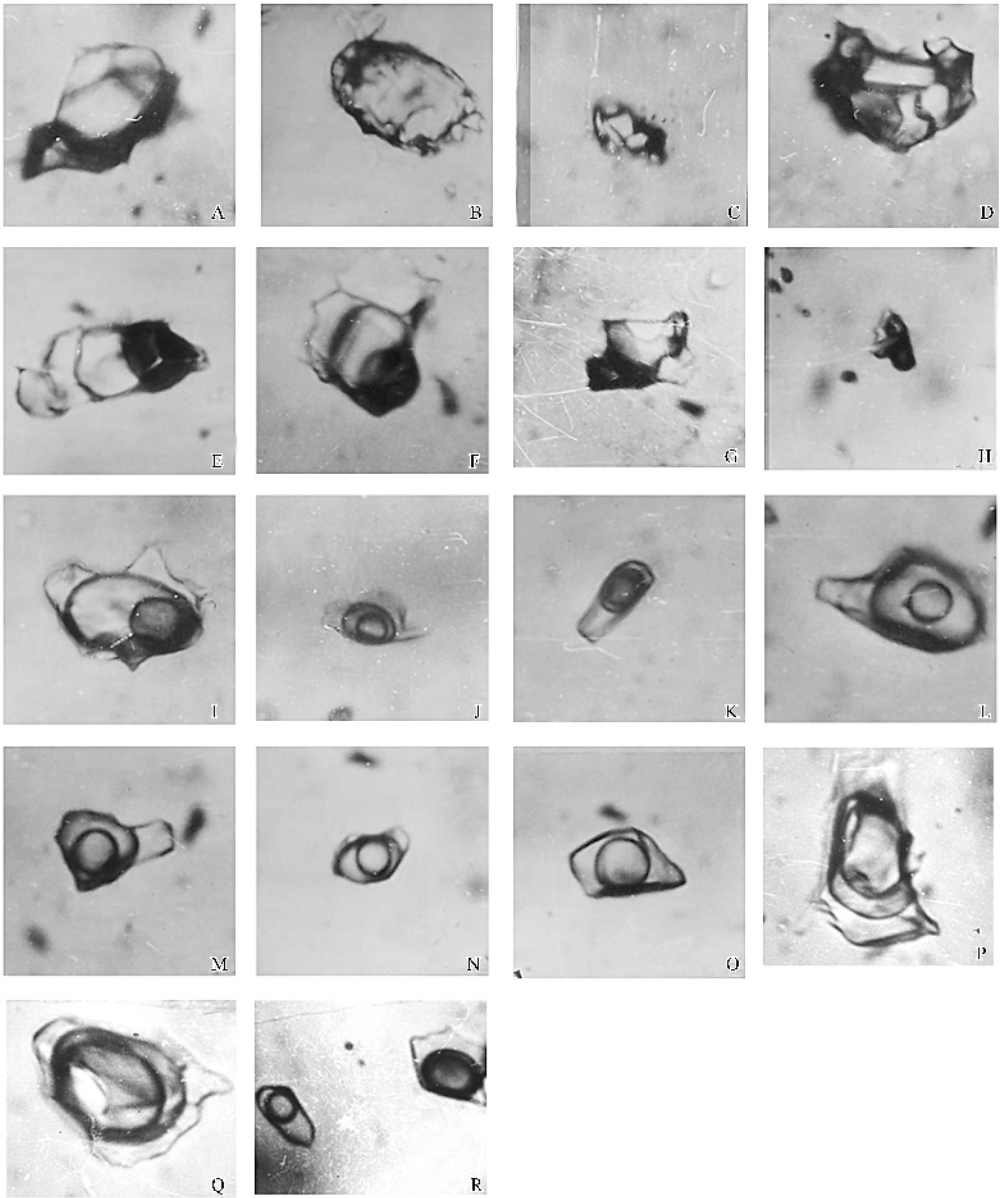


图 3 包裹体照片

Fig.3 Photos of mineral inclusions

照片 A、B、C 气体与玻璃质组成的熔融包裹体；照片 D、E、F、G 由结晶质和流体组成的流体熔融包裹体；照片 H 含盐类子晶三相包裹体；照片 H、I、J、K、L、M、N 由气态 CO_2 + 液态 CO_2 + 液态 H_2O 组成的包裹体；照片 O 纯 CO_2 气液两相包裹体；照片 P、Q 由气态 CO_2 + 液态 CO_2 + 液态 H_2O 组成的包裹体；照片 R 为 H_2O 两相包裹体。

LINKAM THMS-600 型冷热台，设计温度区间在 $-196 \sim +600^\circ\text{C}$ ，测温前用蒸馏水 (0°C) 和重铬酸钾 (394°C) 对仪器进行温度校正，前者偏差 0.1°C 左右，后者偏差 2°C 左右。熔融包裹体测温是在 LEITZ-1350 型热台上进行的，测温前用重铬酸钾 (394°C) 和氯化钠 (801°C) 进行温度校正，前者偏差 6°C 左右，后者偏差 10°C 左右。

包裹体获得的均一温度只能大体界定包裹体捕获时的温度范围,因为这里要考虑压力的重要影响以及流体的超临界状态。包裹体是在一定的地壳压力下捕获的,而均一温度是在常压下测定的。实验表明,在近地表 2×10^8 kPa 的范围内,这个压力差可以是流体包裹体的均一温度降低 $50 \sim 150^\circ\text{C}$,对于熔融包裹体效果正好相反,由于压力降低导致流体在熔体中的溶解度降低,从而使熔体的熔融温度升高,幅度可达几十度到上百度。此外,包裹体中流体的超临界状态也有重要影响。因为均一的流体被捕获后,很可能经历一定的降温范围才能发生分离,所以所测的均一温度与捕获温度之间有差别。考虑上述影响因素,从包裹体的均一温度可以对捕获温度进行较好界定。测温结果见表4。

4.1 玲珑岩体

该岩体没有熔融包裹体,对 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体测温表明,该岩体的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体的 CO_2 熔化温度为 -57.3°C ,很接近纯 CO_2 体系的三相点 -56.6°C ,这说明包裹体中除含 H_2O 和 CO_2 外,还有少量的其他挥发分存在,从地质上推测应为 N_2 和 CH_4 。 CO_2 水合物的分解温度为 -0.6°C ,部分均一温度为 27.1°C ,低于纯 CO_2 的临界温度 31.1°C 。最后均一到液相的均一温度为 377°C 。对该岩体三个流体包裹体的测温结果得出均一温度在 $346.7 \sim 377^\circ\text{C}$ 之间。加上压力校正,捕获温度估计在 $400 \sim 450^\circ\text{C}$ 之上。压力在 $1.5 \times 10^5 \sim 0.3 \times 10^5$ kPa 之间。

4.2 郭家岭岩体

对该岩体中两个熔融包裹体测温结果表明,包裹体的气体均一化温度分别为 395°C 和 390°C ,玻璃体完全均一温度分别为 945°C 和 982°C 。考虑到压力效应,实际捕获温度大体在 900°C 左右。 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体的均一温度较高,在 $264.3 \sim 421.4^\circ\text{C}$ 之间,与玲珑岩体相同,部分均一温度低于纯 CO_2 的临界温度,在 $25.7 \sim 29.8^\circ\text{C}$ 之间。 H_2O 两相包裹体均一温度在 $225.6 \sim 293.8^\circ\text{C}$ 之间。加上压力校正后其实际均一温度应在 $350 \sim 550^\circ\text{C}$ 之间。若作为包裹体捕获温度的下限,这已经接近一些低温花岗岩的固相线。由 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体求得的捕获压力在 $1.2 \times 10^5 \sim 1.8 \times 10^5$ kPa 之间^[7]。 H_2O 两相包裹体的压力在 $0.39 \times 10^5 \sim 0.65 \times 10^5$ kPa 之间。由此反映出该岩体结晶过程经历了较大的温度、压力区间。

4.3 栾家河岩体

该岩体熔融包裹体的均一温度分别为 976°C , 855°C ,考虑到压力的影响,实际均一温度应在 $800 \sim 900^\circ\text{C}$ 之间。因此, 900°C 可大体看作是岩浆结晶过程的上限温度。从流体包裹体看, $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体的部分均一温度在 $31.6 \sim 32.9^\circ\text{C}$ 之间。略高于纯 CO_2 的临界温度,这说明流体中除含 H_2O 和 CO_2 外,可能还有少量的 H_2S 和 SO_2 存在。完全均一到液相,均一温度在 $324 \sim 365.8^\circ\text{C}$ 之间。 H_2O 两相包裹体的均一温度为 223°C ,加上压力校正,实际捕获的温度大体在 $350 \sim 450^\circ\text{C}$ 之间。根据 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体的均一温度和二氧化碳密度,求得捕获压力在 $0.5 \times 10^5 \sim 0.9 \times 10^5$ kPa 之间。 H_2O 两相包裹体的捕获压力为 0.5×10^5 kPa。说明岩体是在很低的地壳压力下结晶的。

4.4 上庄岩体

该岩体中有 H_2O 两相包裹体,均一到液相,均一温度在 $158.8 \sim 360^\circ\text{C}$ 之间。包裹体的均一压力也明显偏低,在 $0.18 \times 10^5 \sim 0.9 \times 10^5$ kPa 之间。

表 4 胶东花岗岩矿物包裹体的显微测温结果及物理化学参数

地名	样品 编号	类型（相态）	照 片 号	CO ₂		三相点 T _m , CO ₂ (℃)	均一温度 (℃)		冰点 T _m _i (℃)	水合物 分解点 T _m _c (℃)	压力 (MPa)	盐度 (Wt% NaCl)	密度 (g/cm ³)
				V	L		完全 T _h	部分 T _h , CO ₂					
栾 家 河	B95-2	两相 LCO ₂ + VH ₂ O	O			- 56.1		32.4					
	B95-01	两相 LH ₂ O + VH ₂ O					242		- 2.6		500	4.3	0.85
		两相 LH ₂ O + VH ₂ O					257		- 1.8		495	3.0	0.83
		两相 LH ₂ O + VH ₂ O					223		- 2.2		580	3.7	0.88
		三相 LH ₂ O + LCO ₂ + V CO ₂	K	35	20	- 56.8	360.3	32.9		- 2.8	900	18.48	0.763
	B95-02	三相 LH ₂ O + LCO ₂ + V CO ₂	J	30	30	- 56.4	365.8	31.9		- 4.8	800	20.28	0.79
	B95-03	三相 LH ₂ O + LCO ₂ + V CO ₂	I	20	50	- 55.3	324	31.6		6.0	500	7.45	
	B95-1	熔融包裹体	A				970						
		流体熔融包裹体	D				855						
郭 家 岭	B95-06-1	三相 LH ₂ O + LCO ₂ + V CO ₂	S	40	20	- 56.2	421.4	29.8		3.4	1600	11.4	
	B95-06-2	两相 LH ₂ O + VH ₂ O					253.7		- 5.3		600	8.29	0.88
		两相 LH ₂ O + VH ₂ O					387.7		- 5.8		450	8.97	0.67
		三相 LH ₂ O + LCO ₂ + V CO ₂	P	50	30	- 57.2	264.3	25.7		- 1.1	1200	17.1	
		三相 LH ₂ O + LCO ₂ + V CO ₂	Q	40	20	- 56.8	408.7	27.4		5.3	1800	8.5	
	B95-07	两相 LH ₂ O + VH ₂ O					386.3		- 2.2		400	3.69	0.50
		两相 LH ₂ O + VH ₂ O					375.8		- 0.8		390	1.36	0.45
	B95-08	两相 LH ₂ O + VH ₂ O		50	30		291.9		- 3.2		540	5.25	0.79
		两相 LH ₂ O + VH ₂ O		40	20		293.8		0.0			0	1.00
		两相 LH ₂ O + VH ₂ O					225.6		- 8.1		650	11.85	0.92
	B95-09	两相 LH ₂ O + VH ₂ O					292.8		- 2.2		650	3.69	0.78
		含有子晶					> 510						
	B95-07	熔融包裹体					945						
	B95-08	熔融包裹体					982						
尚 庄	B95-013	两相 LH ₂ O + VH ₂ O					360		- 1.7		300	2.85	0.53
	B95-014	两相 LH ₂ O + VH ₂ O					158.8		- 2.8		180	4.61	0.94
		两相 LH ₂ O + VH ₂ O					237.6		- 0.8		250	1.36	0.81
	B95-16	两相 LH ₂ O + VH ₂ O					253.8		- 1.6		200	2.7	0.58
		两相 LH ₂ O + VH ₂ O					219.7		- 1.3		250	2.2	0.86
玲 珑	B95-017	三相 LH ₂ O + LCO ₂ + V CO ₂		30	30	- 57.3	377	27.1		- 0.6	1500	16.5	0.65
	B95-018	两相 LH ₂ O + VH ₂ O					346.7		- 1.2		350	2.08	0.62
		两相 LH ₂ O + VH ₂ O					364		- 2.6		320	4.3	0.60

5 花岗岩成因讨论

5.1 玲珑岩体

玲珑岩体中缺少熔融包裹体。流体包裹体中主要是 H_2O 两相包裹体,偶尔见到 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体。包裹体均一温度较高,在 $346.7 \sim 377^\circ\text{C}$ 。压力校正温度可达 500°C 。这些特点与该岩体的地质特征相吻合。该岩体中常见胶东岩群的交代残留体和残影体。残留体产状与区域地层一致。岩石具有交代残留结构、片麻状构造。具有混合花岗岩的地质和地球化学特点。所以岩体中缺少熔融包裹体。包裹体较高的均一温度应该与高级区域变质的温度相联系。

早元古代末期,强烈的构造热事件使胶东岩群黑云变粒岩等部分熔融,生成花岗岩浆,进而定位。该岩体早期是以原地—半原地交代形式形成的,岩体的宏观特征指示其具有 S 型花岗岩的特点。岩体锶同位素样品测定的 $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ 值在 $0.710 \sim 0.718$ 之间,均在地壳部分熔融花岗岩的范畴。岩体石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值多属正常范围,指示岩浆主要为地壳熔融物。总之,玲珑岩体的成因类型属陆壳重熔花岗岩类。燕山运动期间,玲珑岩体又经历了强烈构造热事件的改造。大批浓集于 $100 \sim 150\text{Ma}$ 间的同位素测年数据正是燕山期地质事件的时间记录。

玲珑岩体本身金含量并不高,但是它是区内大型特大型金矿床形成的载体,是金矿化形成的物质基础。在该岩体形成过程中存在着金的活化、迁移和富集的作用,岩体中的韧性剪切带及脆性断裂等构造系统是含矿热液的运移和富集的有利空间。燕山运动早期玲珑岩体又经历了大规模的构造岩浆活动,特别是郭家岭岩体侵位产生的岩浆热液叠加作用,使区内金矿床最终定位形成。

5.2 郭家岭岩体

该岩体熔融包裹体发育。两个熔融包裹体给出的均一温度分别为 982°C 和 945°C ,由此推测岩浆温度应该在 1000°C 以上。含水量较低,表明该岩体是从一种高温高粘度岩浆结晶成岩的。岩体中没有发现流体熔融包裹体,代之以形成的都是高盐度、高温流体包裹体。该包裹体加热到 510°C 石盐子晶尚未完全熔化(爆裂)。研究认为这类包裹体是岩浆结晶分异过程中熔体不混溶的证据。其主要依据是均一温度在 500°C 以上,其捕获温度应在 500°C 以上,这样就接近花岗岩体系正常的固相线温度。由此说明,该岩体在岩浆结晶晚期发生过高盐度含水流体与硅酸盐溶体的不混溶过程。岩体中也常见 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体分布,但数量上明显少于 H_2O 两相包裹体。说明岩浆是以 H_2O 为主, CO_2 较少。 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 三相包裹体给出均一压力在 $1.2 \times 10^5 \sim 1.8 \times 10^5 \text{ kPa}^{[7]}$ 。表明该岩体形成深度较大,大体在 $4 \sim 7\text{km}$ 。

岩体的宏观特征指示其具有 I 型花岗型的特点。岩体 $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ 值在 $0.70728 \sim 0.7160$ 之间,属地壳物质锶初始值范畴。岩体石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值属于高 $\delta^{18}\text{O}$ 花岗岩类,反映其源岩物质壳源成分较多。岩体中,黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值与围岩元古宙花岗岩中的 $\delta^{34}\text{S}$ 值吻合较好,反映二者具有一定的亲缘关系。总之,郭家岭岩体岩浆来源既有幔源组分,又有壳源组分,是幔源与壳源岩浆混合而成的同熔深入型花岗岩类。

郭家岭岩体与金矿的形成和分布密切相关。胶东地区金矿成矿的岩浆热液来源与郭家岭岩体及整个郭家岭超单元有其密切的亲缘关系。

胶东地区金矿成矿的同位素年龄资料多介于 $100 \sim 120\text{Ma}$ 之间,SHRIMP 定年为 $(120 \pm 2) \sim (128 \pm 2) \text{ Ma}^{[8]}$ 。该成矿年龄均晚于岩体形成是由于岩浆热液成矿滞后作用于成矿源岩而

产生的结果。

5.3 栾家河岩体

熔融包裹体于 970℃ 发生均一, 说明该岩体是从 1000℃ 左右岩浆中开始结晶的, 岩浆演化早期含水量较低 ($2.5\% \pm$) 随着温度的降低和结晶作用不断进行, 残余岩浆的含水量不断增加, 到 855℃ 时, 形成了流体熔融包裹体, 岩浆含水量达到 5.8% 左右, 粘度降低, 表现出湿花岗岩浆的结晶作用特点。Nd, Sr 同位素资料表明, 该岩体形成过程有明显的流动活动。矿物组成上白云母的出现与喜马拉雅同碰撞淡色花岗岩 (一种富水花岗岩) 一致^[9]。矿物中大量发育 H_2O-CO_2 三相包裹体, 并且 CO_2 含量高, 说明该岩体是富 CO_2 的。随着岩浆的分异演化, 流体中 H_2O 含量不断增加。由 CO_2 包裹体求得成岩压力在 $0.5 \times 10^5 \sim 0.92 \times 10^5$ kPa 之间, 说明该岩体的侵入深度很浅。

栾家河岩体岩浆来源于陆壳, 系陆壳重熔型花岗岩。该岩体侵入于玲珑超单元, 被燕山早期郭家岭岩体侵入。该岩体与玲珑式金矿成矿关系密切, 在与玲珑岩体和郭家岭岩体的接触带附近, 有大型金矿床产出。《山东区域地质》根据同位素测年等资料综合分析, 认为其形成于印支期, < 200 Ma 的年龄值, 可能是受燕山期岩浆热事件影响的结果^[2]。

5.4 上庄岩体

由于经历了强烈的塑性变形, 该岩体中的原生包裹体绝大部分被破坏。现保留下的少量流体包裹体已不能反映岩浆分异演化特点。

上庄岩体的成因类型与郭家岭岩体相同, 为幔源与壳源岩浆混合而成的同熔深成型花岗岩类。该岩体与焦家式金矿床的形成与分布有密切的关联。

6 结语

上述对于玲珑片麻状花岗岩、栾家河二长花岗岩、郭家岭花岗闪长岩、上庄二长花岗岩 4 种类型花岗岩矿物中流体包裹体的研究结果表明, 玲珑岩体是经历了高级区域变质作用形成的重熔型花岗岩, 郭家岭岩体是由高温、高粘度岩浆结晶成岩的。栾家河岩体是由一种富 CO_2 的高温、高粘度的岩浆中结晶演化而来, 岩体的侵入深度也较浅, 形成温度压力较低。不同的包裹体特征, 反映了各岩体不同的形成条件, 也反映出各岩体由于成因的差异, 而导致其在金矿成矿中所发生的作用也不尽相同。玲珑花岗岩在形成过程中大范围熔融了“胶东岩群”等早期岩系, 捕获了大量成矿物质, 为后期成矿奠定了物质基础, 与焦家式、玲珑式金矿床的形成密切相关。燕山早期郭家岭花岗闪长岩在演化成岩过程中将部分幔源矿物质带入地壳, 其岩浆期后形成的含矿热液沿断裂带上侵充填, 形成了金矿床。郭家岭花岗闪长岩的演化和成岩为金矿的形成提供了热源和矿源, 与焦家式金矿床的形成尤为密切。

参 考 文 献

- [1] 王世称, 刘玉强, 伊丕厚, 等. 山东省金矿床及金矿床密集区综合信息成矿预测 [M]. 北京: 地质出版社, 2003. 23 ~ 26.
- [2] 宋明春. 山东省区域地质 [M]. 济南: 山东地图出版社, 2003. 448 ~ 450, 489 ~ 493.
- [3] Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J, et al. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the Northwestern Jiaodong Peninsula, China, from SHRIMP U-Pb zircon studies of granitoids [J]. Ore Geology Reviews, 1998, 13: 275 ~ 291.

- [4] 徐贵忠, 应汉龙, 周瑞, 等. 论胶西北河西金矿床成因及动力学条件 [J]. 矿床地质, 2002, 21 (3): 246 ~ 254.
- [5] 王海芹, 曲晓明, 王鹤年. 郭家岭岩体矿物包裹体研究 [J]. 山东地质, 1998, (2): 52 ~ 56.
- [6] 李建威. 胶东金矿集区晚中生代大规模成矿作用: 年代学与地球动力学背景 [C]. 2004 年全国岩石学与地球化学研讨会论文摘要, 2004. 97 ~ 100.
- [7] 刘斌, 沈昆. 流体包裹体热力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1992. 47 ~ 90.
- [8] 张成基. 山东区域矿床成矿谱系概论 [J]. 山东国土资源, 2005, 21 (2).
- [9] 王炳成. 山东胶西北地区两类花岗岩的矿物包裹体特征 [J]. 山东地质, 1989, 5 (1): 48 ~ 51.

CHARACTERISTICS OF MINERAL INCLUSIONS IN GRANITES CLOSELY RELATED WITH GOLD FORMING IN EASTERN SHANDONG PROVINCE

WANG Hai-qin¹, HUO Guang-hui²

(1. Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Jinan 250013, China ;

2. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Jinan 250013, China)

Abstract : In eastern Shandong Province (Jaodong area), there are distributed Linglong gneissic granite, Luanjiahe granite, Guojialing diorite and Shangzhuang monzonitic granite, which have close relation with Jiaodong gold mine. According to developing degree, type, size and characteristics of mineral inclusions, and based on temperature-measuring result by microscope, it is indicated that the Linglong rock mass was formed by remelting of granite caused by high regional metamorphism, the Guojialing rock mass was derived from crystallization of a high-temperature and high-viscosity magma, the Luanjiahe rock mass was crystallized from high-temperature, high-viscosity and CO₂-rich magma at a relatively small depth, and the Shangzhuang rock mass was formed at a low-temperature and low-pressure condition.

Key words : Gold deposit ; granite ; fluid inclusion ; melting inclusion ; temperature-measuring by microscope ; eastern Shandong Province