

山东三山岛金矿床形成 物理化学条件研究^①

李兆麟 黄兰英

(南京大学地质系) (福建闽北地质大队)

三山岛金矿床形成与该区玲珑花岗岩形成有密切关系。对玲珑花岗岩形成大多数人认为与混合岩化、花岗岩化作用有关。1979年我们在该区进行过室内外研究工作,在此基础上曾提出金矿成矿物质来源与胶东群有密切关系^[1,2]。近年通过对三山岛金矿中矿物包裹体的研究,认为本区存在岩浆成因的花岗岩。通过矿物中包裹体,研究三山岛金矿形成物理化学条件,运用粒间溶液成矿新观点来解释该矿床成因是行之有效的。

一、地质概况

胶东西部金矿床主要集中于招远、掖县北部,构成长近60km的东西向金矿带,称招-掖金矿带。它位于沂沭断裂带的东部、胶东隆起区西部。该区东西向构造、华夏系、新华夏系构造发育,局部有南北向构造,金矿床主要产于华夏系与东西向构造复合部位。招-掖金矿带由于受区域性大断裂控制,并分布于破碎带之中,故曾被命名为山东焦家式破碎带蚀变岩型金矿^②。

区内出露地层主要为太古界一下元古界胶东群变质岩,岩石类型有片岩、片麻岩、变粒岩、斜长角闪岩、大理岩及石英岩等。原岩属基性火山岩喷发和泥砂沉积建造,伴有碳酸盐及硅铁沉积。

区内分布有印支期玲珑花岗岩体(γ_1^L)及燕山期郭家岭花岗闪长岩(γ_2^L)岩体。前者是本区分布的主要岩体,同位素年龄为126—145 Ma,与胶东群地层呈侵入接触,局部呈过渡关系。后者主要分布在栖霞、招远、掖县北部,岩性为似斑状花岗闪长岩,边缘相为石英二长岩,岩体呈岩基,与玲珑花岗岩呈侵入接触关系。

三山岛金矿床位于玲珑岩体西缘弧形突出部位(图1)。根据花岗岩蚀变强度与矿化关系,自三山岛中部至围岩可分为四个带(图2),作者沿该矿床地质剖面进行了系统取样和研究。

1. 含金黄铁绢英岩(图2中1、2号样):花岗岩受强烈蚀变,被石英、绢云母及黄铁矿交代,具粒状鳞片变晶结构。原岩结构和矿物成分难以区别,仅局部保留钾长石残余。金含量达工业品位。

① 中国科学院科学基金资助的课题。

② 山东地矿局第六地质大队1978年资料。

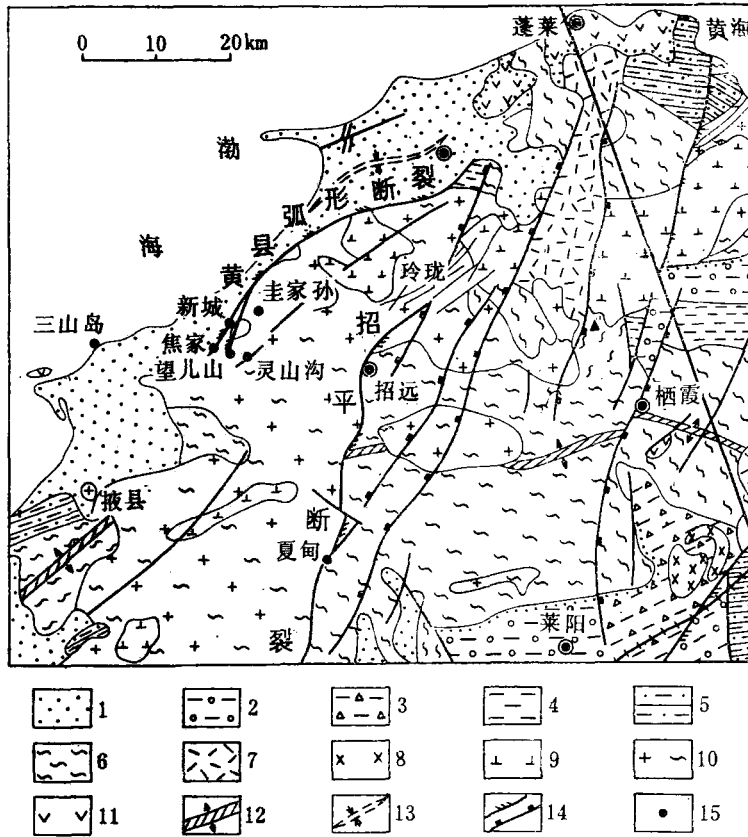


图1 胶东西北部区域地质图

(据山东地矿局第六地质队)

1—第四系；2—白垩系；3—侏罗系；4—震旦蓬莱群；5—上元古界粉子山群；6—太古界—下元古界胶东群；7—花岗岩 (γ_2^2)；8—霏细岩；9—花岗闪长岩；10—玲珑花岗岩；11—玄武岩；12—背斜轴；13—向斜轴；14—新、晚华夏系压扭性断裂带；15—金矿床

Fig.1. Schematic regional geological map of northwestern part of eastern Shandong.

1—Quaternary; 2—Cretaceous; 3—Jurassic; 4—Sinian Penglai Group; 5—Upper Proterozoic Fenzishan Group; 6—Archaean-Lower Proterozoic Jiaodong Group; 7—granite (γ_2^2); 8—felsite; 9—granodiorite; 10—Linglong granite; 11—basalt; 12—axis of anticline; 13—axis of syncline; 14—compression-shearing fracture zone of Neo-or late Cathaysian system; 15. gold deposit.

2. 弱蚀变含金绢英岩 (3号样): 原岩矿物及构造大部分被细鳞片状绢云母及石英集合体所交代, 局部石英相对集中成团状。金达可采工业品位。

3. 硅化绢英岩化蚀变岩 (4、5号样): 以石英为主, 绢云母极少, 多为蚀变产物。岩石具粒状变晶结构、斑状变晶结构, 局部见碎裂结构、糜棱岩化结构。金含量较高。

4. 斑状黑云母花岗岩 (6、7号样): 为本区原岩, 中粒斑状结构, 矿物成分主要由斜长石、钾长石和石英组成。黑云母多被绿泥石、绢云母交代, 斜长石有微弱绢云母化。花岗岩中有少量石英脉分布, 金含量较低, 未见矿化。此花岗岩属玲珑花岗岩体东缘部分。

从三山岛地质剖面中可看出, 由岩体内部到边缘岩石蚀变交代作用由弱到强, 由简单到复杂。由弱交代斑状黑云母花岗岩→硅化绢云母化蚀变花岗岩→弱蚀变含金绢英岩化花岗

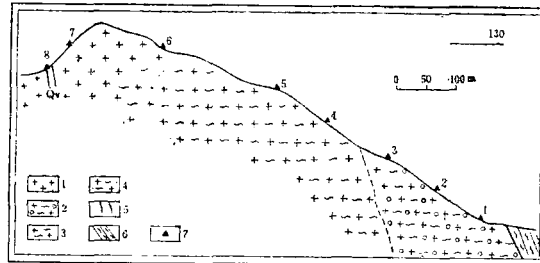


图2 山东掖县三山岛地质剖面图

(据梁子豪, 1982)

1—斑状黑云母花岗岩; 2—含金黄铁绢英岩; 3—浅色绢英岩化蚀变岩; 4—弱蚀变斑状黑云母花岗岩; 5—石英脉; 6—胶东群变质岩; 7—样品号(1—8)

Fig. 2. Diagrammatic geological section of Sanshan Island in Yen-xian County, Shandong Province.

1—porphyritic biotite granite; 2—gold-bearing pyrite-sericite-quartz altered rocks; 3—light-colored sericite quartz altered rocks; 4—weakly-altered porphyritic biotite granite; 5—quartz veins; 6—metamorphic rocks of Jiaodong Group; 7—sample number.

岩, 金含量逐渐增加, 在黄铁绢英岩中形成工业矿体。

二、矿物中包裹体特征

据本区不同类型岩石及石英脉中包裹体的特征、比例, 可分下列几类^[4,5,6,10,11] (表1):

1. 固体包裹体: 多见于石英中, 由锆石和少量磁铁矿组成。锆石晶形完好, 呈四方柱和四方双锥, 突起高, 形成早于石英, 是于石英生长时机械捕获而成。

2. 熔融包裹体(固化包裹体): 分布在黄铁绢英岩及斑状黑云母花岗岩的石英中。黄铁绢英岩石英中包裹体由玻璃质+气体组成, 气相占30—60%。玲珑花岗岩石英中则为结晶质熔融包裹, 由结晶质硅酸盐+气体组成, 气相占20—30%。晶质硅酸盐无色透明, 折光率与主矿物相近, 在硅酸盐中气相呈圆形。包裹体呈长条形及不规则状, 大小为 $4 \times 6—10 \times 12(\mu\text{m}^2)$, 常呈孤立状态不均匀分布。

3. 气相包裹体: 分布在斑状黑云母花岗岩及蚀变岩中, 由气相+液相组成, 气相占60—80%, 为均一气相。包裹体多呈圆形、椭圆形、不规则状, 大小为 $6 \times 8—16 \times 10(\mu\text{m}^2)$ 。在蚀变岩中气相可达80%。气相包裹体在岩体局部范围内存在, 常与液相包裹体共存。其形成与岩浆局部分异作用形成的粒间气热液有密切关系。

4. 液相包裹体: 在花岗岩、蚀变岩及石英脉中广泛分布, 由液相+气相组成, 液相占55—85%, 形态呈椭圆、长条状、不规则状, 大小为 $2—10\mu\text{m}$ 。在蚀变岩中液相包裹体数量随蚀变加强而增加。

三、成岩、成矿温度测定

1. 成岩温度测定: 我们采用国产LGHS-1型高温加热台及LGHS-T1型淬火炉进行矿物

表1 三山岛金矿不同类型岩石及脉石英中包裹体主要特征及其形成温度

样号	岩性	包裹体类型	包裹体形态	包裹体大小 (μm)	气相在包裹体中比例 (%)	均一温度 ($^{\circ}\text{C}$)	爆裂温度 ($^{\circ}\text{C}$)
1	含金黄铁矿绢英岩 (矿体)	液相、气相	椭圆形、圆形、不规则形	$3 \times 2 - 4 \times 6$, 个别为 6×8	10—35, 少部分达60	280—380	320—440
2	含金黄铁矿绢英岩 (矿体)	液相、气相	椭圆形、圆形、不规则形	< 2 , 个别为 20×10	20—40	320—380	390—420
		熔融包裹体	长条形、不规则形	$8 \times 6 - 14 \times 5$	30—60	780	
3	弱蚀变含金绢英岩	液相	椭圆形、长条形、不规则形	< 2 , 少部分为 $4 \times 6 - 8 \times 5$	20—40	300—420	340—360
4	硅化绢云母化蚀变岩	液相、气相	椭圆形、不规则长条形、圆形、树枝状	< 2 , 少部分为 $4 \times 6 - 8 \times 5$	20—30 个别达80	360—420	370—435 210—260(次生)
5	破碎硅化绢云母化蚀变岩	液相、气相 (少量)	椭圆形、不规则长条形、圆形	$2 \times 2 - 2 \times 4$ 少部分为 $4 \times 6 - 8 \times 5$	25—45 个别达80	340—400	340—410 180—210(次生)
6	斑状黑云母花岗岩	液相、气相 (少量)	椭圆、三角、长条形、不规则形	$4 \times 3 - 6 \times 4$ 个别为 16×10	10—20 个别达70	300—460	330—520
7	斑状黑云母花岗岩 (弱蚀变)	熔融包裹体	不规则形、四方椭圆、三角形	$3 \times 4 - 12 \times 18$ $6 \times 8 - 4 \times 3$ 个别为 10×9	20	860—940	
		液相、气相	不规则形、椭圆形		15—30, 50—70	360—440	350—475
8	斑状黑云母花岗岩中石英脉 (不含矿)	液相	椭圆、长方形、不规则形	< 2 , 少量为 $4 \times 2 - 8 \times 6$, 个别为 15×10	15—35	300—460	330—460 200—220(次生)

中包裹体均一法及焙火法测温, 温度误差为 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。运用缓慢升温, 阶段恒温方法进行实验。恒温时间4—12h。斑状黑云母花岗岩中晶质熔融包裹体在 700°C 时始融, 随着温度升高熔体体积扩大, 硅酸盐由晶质转变为非晶质。气相在硅酸盐中出现不同情况: 当加温至 $900 - 940^{\circ}\text{C}$ 时气相消失, 包裹体中为硅酸盐熔体所充满, 达到均匀化状态; 当温度下降, 气相在硅酸盐熔体中重新出现, 呈非均匀化状态。黄铁矿绢英岩石英中固化包裹体均一温度为 780°C 。即玲珑花岗岩成岩最高温度为 $780 - 940^{\circ}\text{C}$ 。

岩体中气-液包裹体均一温度(未经压力校正), 属成岩温度下限(表1)。

花岗岩浆在成岩作用过程产生固熔体与固熔体或熔体与气热液分离作用(或称液态分离), 已为中外不少研究者实验所证实。B.H.艾菲洛戈夫(1973)^[14]、D.C.格柳克(1973)^[12, 13]、王联魁^[9]等人的实验资料表明, 花岗岩浆结晶过程由于挥发分含量不同, 可以在不同温度范围($600 - 700^{\circ}\text{C}$)、1000大气压条件下产生熔体与溶液分离, 随着KF或NaF含量增加, 在 $600 - 100^{\circ}\text{C}$ 条件下固相-熔体-热液可以共存, 石英可以在较大的温度范围($700 - 100^{\circ}\text{C}$)从熔体或气-热液中结晶。这为溶液成矿提供了有力的实验佐证。三山岛花岗岩、蚀变岩石英中气-液包裹体均一温度为 $300 - 460^{\circ}\text{C}$, 如成矿压力为1000大气压, 经压力校正石英形成温度可达 $420 - 580^{\circ}\text{C}$, 与上述文献资料熔体-溶液分离及石英结晶的温度相近似。因此

岩体中气-液原生包裹体均一温度可以作为成岩温度的下限。

在玲珑花岗岩体及三山岛蚀变花岗岩中发现熔融包裹体,为本区花岗岩成因提供了新的依据。大多数研究者认为玲珑花岗岩属混合岩化、花岗岩化成因。我们曾在招远附近花岗岩岩体中发现有塑性变形的褶皱,花岗岩与胶东群变质岩呈明显侵入接触关系,但围岩热变质作用不强烈。这些均与华南地区某些花岗岩性质相似^[3]。结合包裹体研究,我们认为本区花岗岩应为多成因的,主要为深部陆壳重熔形成的花岗岩,部分属交代成因,包括混合岩化、花岗岩化。岩体中熔融包裹体的发现及成岩温度的测定为重熔花岗岩成因观点提供了有力佐证。玲珑花岗岩熔融包裹体均一温度为780—940℃,它与华南花岗岩重熔实验的熔化温度相近似。华南地区变质岩熔化温度为680—830℃,压力为1500—2000大气压^[7];本区变质岩熔化实验(兰玉琦、施性明,1981),角闪岩相初熔温度为680℃/2kb—730℃/1kb,麻粒岩相初熔温度740℃/2kb—800℃/1kb,熔化温度与变质作用呈正相关。本文花岗岩中熔融包裹体均匀化温度比上述变质岩熔化实验始熔温度高。在变质岩或花岗岩融化实验中岩石全部熔融温度(玻璃质达100%)应比始熔温度高,熔融包裹体均一温度应与岩石全部熔融温度相近,高于初熔温度,后者与熔融包裹体始熔温度700℃相近。此外,变质岩、花岗岩熔化实验表明,体系中由于挥发分成分或含量的差异,亦会导致熔化温度不同。熔融包裹体中挥发分与实验体系有着明显的不同,故其均匀化温度与岩石样品熔化温度亦会产生差异。花岗岩中存在塑性变形褶皱,证明该岩体岩浆冷却时曾经历由熔体—蠕动塑性体—刚体(固体)的演变。塑性蠕动态的存在,表明岩浆仍未完全固化,在固体结晶矿物之间仍存在液相,当岩浆处于塑性体时如受力作用可以产生塑性形变。岩体石英中气-液包裹体均一温度为300—460℃,经压力校正可达400—580℃,岩浆冷却至600℃左右熔体产生熔体与气-液相分离,因此玲珑花岗岩浆具有熔体-溶液性质。

成岩作用过程在高温条件下可以使本区变质岩重熔形成花岗岩浆,如温度不能达到重熔温度,则产生交代作用形成混合岩化、花岗岩化花岗岩。两种成岩机制往往会在同一成岩作用不同温度、压力条件下产生,这也是自然界作用矛盾的统一。因此,在同一花岗岩体中常出现等粒状花岗岩与变斑状的花岗岩、具围岩残留体的花岗岩在不同空间上分布。如华南西华山—荡萍、姑婆山、大吉山等花岗岩与玲珑、郭家岭花岗岩具相似的特征。了解这一成岩机制对解决花岗岩的成因及花岗岩有关的成矿作用有一定指导意义。

三山岛蚀变花岗岩形成是由于粒间溶液对玲珑花岗岩产生不同程度面型蚀变的结果,它的原岩为玲珑花岗岩,在蚀变岩中残留的原岩石英中发现非晶质熔融包裹体是一个佐证。熔融包裹体中硅酸盐具非晶质的特点,表示原花岗岩体是近地表条件下冷凝的,这与三山岛处于玲珑花岗岩体西部边缘岩瘤状突出部位的特征相吻合。其形成温度也比岩体内部低。故三山岛蚀变花岗岩为岩浆晚期粒间溶液交代花岗岩而成。

2. 成矿温度测定:成矿温度测定采用均一法和爆裂法,均一温度为280—400℃,爆裂温度为320—440℃,(表1)。各带矿物中气-液包裹体均一温度:斑状黑云母花岗岩为300—460℃;硅化绢云母化蚀变岩为360—420℃;弱蚀变含金绢英岩为300—420℃;含金黄铁绢英岩为280—380℃。蚀变岩中金的含量随温度下降、黄铁绢英岩化增强而增加。此外破碎硅化绢英岩化蚀变岩中,原生包裹体均一温度为340—400℃,次生包裹体为80—210℃,后者为沿裂隙带晚期热液作用的温度。

三山岛、新城、玲珑三个矿区成矿温度测定结果, (分别为280—420℃、280—370℃、300—460℃) 与玲珑花岗岩石英中气-液相包裹体均一温度(300—460℃)相近似,表明,三个矿区的成矿溶液主要来自玲珑花岗岩岩体粒间溶液,但彼此成矿机制略有区别,三山岛以粒间溶液面型交代为主;新城为破碎带裂隙充填;玲珑则为脉状裂隙充填。

四、成矿溶液成分分析

矿物中包裹体成矿溶液分析,运用粒度为0.5—0.25mm、0.25—1mm的单矿物石英5克,放置在密封容器中进行加热爆裂,然后利用去离子水淋滤提取成矿溶液,并进行化学及原子吸收光谱分析。各蚀变岩带及花岗岩样品分析结果(精度<1—4%)列于表2、图3。

1. pH值:从成矿溶液与去离子水的pH对比,可以了解其酸碱度相对值的变化。花岗岩、硅化蚀变岩的pH值均比去离子水高,属碱性。而弱蚀变含金绢英岩、含金黄铁绢英岩的pH值比去离子水低,属弱酸性。即原岩岩浆在早期蚀变作用中具弱碱性,到晚期蚀变交代作用(主要矿化作用)为弱酸性。破碎带硅化蚀变岩pH值比硅化蚀变岩低,这可能受具弱酸性晚期成矿溶液叠加的影响。花岗岩中石英脉成矿溶液pH值为6.25,与母岩分异溶液相似,具弱碱性。

2. 电导率:成矿溶液浓度与电导率有密切关系,一般电导率高浓度也高。花岗岩及其石英脉(不含矿)中电导率较低,而含矿蚀变岩则较高,平均比原岩高达2—4倍,表明电导率增加、成矿溶液浓度升高与金矿化有密切关系。此外破碎带硅化绢云母化蚀变岩中电导率比矿化蚀变岩高0.5—1倍,可能与晚期热液沿破碎带叠加相关。

3. 化学组分:成矿溶液化学组分见表2。阳离子 K^+/Na^+ 比值变化于0.77—4.82,除个别花岗岩样品小于1外,其余比值均大于1。含矿蚀变岩 K^+/Na^+ 比值均高于花岗岩(图3),即含矿热液为含有 K^+ 的弱酸性介质溶液。在成矿溶液中铜离子(Cu^{+2})含量随绢英岩化蚀变作用加强而增加,含金黄铁绢英岩比花岗岩含铜量增加2—5倍,这与金、铜共生的地球化学性质相一致。因此包裹体中铜的含量可以作为金矿的找矿指示剂。锌在包裹体中含量与铜相反,花岗岩比含金黄铁绢英岩含锌高。

成矿溶液中常含有 Cl^- 、 F^- 、 SO_4^{-2} 、 HCO_3^{-1} 等阴离子。在玲珑花岗岩及花岗岩石英脉中阴离子变化具有相似的特征。按含量多少顺序为: $HCO_3^{-1} > Cl^- > SO_4^{-2} > F^-$ 或 $Cl^- > HCO_3^{-1} > SO_4^{-2} > F^-$;而含金黄铁绢英岩中 $SO_4^{-2} > Cl^- > HCO_3^{-1} > F^-$;硅化绢云母化蚀变岩具有过渡类型特征。即由花岗岩到热液阶段,溶液由 HCO_3^{-1} 、 Cl^- 为主演化为以 SO_4^{-2} 、 Cl^- 占优势。而 F^- 在整个成岩成矿过程不显主要作用。

三山岛金矿各蚀变岩阴离子比值变化见表2、图3,从斑状黑云母花岗岩→硅化绢云母化蚀变岩→含金黄铁绢英岩, Cl^-/F^- 、 Cl^-/HCO_3^{-1} 、 SO_4^{-2}/HCO_3^{-1} 比值具升高趋势,而 Cl^-/SO_4^{-2} 、 HCO_3^{-1} 则下降,即含金蚀变作用使 SO_4^{-2} 、 Cl^- 含量增加。结合上述成矿溶液pH值变化,从早期岩浆不混熔液相到晚期含矿热液,其性质由含 HCO_3^{-1} 、 Cl^- 弱碱性向含 SO_4^{-2} 、 Cl^- 弱酸性演化。

据成矿溶液性质可以推测,本矿床金可以呈氯或硫络合物形式迁移。在高温条件下金可以呈氯的络合物形式 $[AuCl_2]^{-1}$ 迁移,在温度下降至300℃以下可以呈 Au^{+3} 的氯络合物

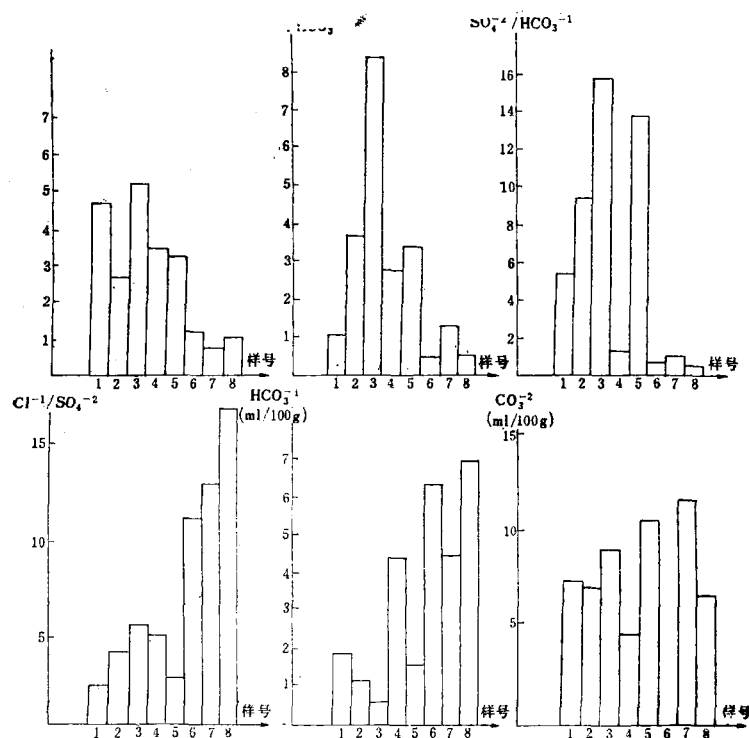
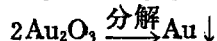
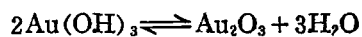
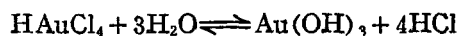


图 3. 三山岛金矿各蚀变岩及花岗岩中石英包裹体成分分析、元素含量变化图

Fig.3. Histogram showing variations in composition of fluid inclusions in quartz from various altered rocks and granites in the Sanshan Island gold ore district.

$[\text{AuCl}_4]^{-1}$ 或硫的络合物形式 $[\text{Au}_2(\text{HS})_2]^{-2}$ 、 $[\text{Au}(\text{HS})]^{-1}$ 或 $[\text{Au}_2\text{Cl}_2(\text{HCl})_2]$ 形式迁移。一般在酸性介质、较高温(300—250℃)条件下以氯络合物 $[\text{AuCl}_4]^{-1}$ 形式迁移,其溶解度随温度升高而增大,在350℃以上金在HCl的介质中溶解度有所下降。在温度降低至250℃,碱性条件下金则以硫的络合物形式迁移较为有利。金络合物在热液中运移的稳定性受温度、压力、氧化还原电位综合因素影响,原来稳定存在于粒间溶液或裂隙溶液中的金络合物,很可能因体系物理化学条件变化,络合物稳定性破坏而沉积成矿。包裹体测温资料表明本区金矿形成温度范围较宽(280—380℃)。金氯络合物水解实验资料证明单一温度变化对金的络合物稳定性影响不大,在高于300℃时金氯络合物水解显著上升,到400℃又逐渐缓慢,在300—350℃发生沉淀^[9]:



在高温时 Au^{+3} 的络合物逐渐转变成 Au^{+1} 的络合物稳定存在,当温度降低至300℃以下发生歧化反应金以硫络合物稳定存在。因此金矿形成温度范围较宽。

表 2 三山岛金矿床矿物中包裹体

样品号 №	岩 性	测定 矿物	样品粒度 (mm)	电导率 $\mu\text{V}/\text{cm}$	pH值	Eh值 (mV)	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂
1	含金黄铁绢英岩	石英	0.25—0.1	20.3	5.4	135.5	0.71	3.42	1.01	0.20	0.20	26.5
2	含金黄铁绢英岩	石英	0.5—0.25	32.2	5.03	157.5	0.87	2.28	4.32	0.87	0.24	13
3	弱蚀变含金绢英岩	石英	0.25—0.1	27.0	5.00	140.8	0.75	2.23	2.07	0.78	0.23	7.0
3-1	弱蚀变含金绢英岩	石英	0.25—0.5	13.0	4.25	203.6	3.47	17.6	0.11	0.76	0.10	13
4	硅化绢云母化蚀变岩	石英	0.25—0.5	12.0	6.08	95.3	0.51	1.89	0.06	0	0.05	20
4-1	硅化绢云母化蚀变岩	石英	0.25—0.1	28.0	5.91	105.4	0.73	2.70	0.05	0	0.08	14.5
5	破碎硅化绢云母化蚀变岩	石英	0.25—0.1	42.2	5.03	157.4	1.40	4.82	0.04	0.5	0.46	8.0
5-1	破碎硅化绢云母化蚀变岩	石英	0.5—0.25	39.8	4.72	175.8	1.09	4.4	0.05	0.52	0.42	16.0
6	斑状黑云母花岗岩	石英	0.25—0.1	4.5	6.16	90.6	0.46	0.55	0.03	—	0.04	23
7	斑状黑云母花岗岩 (弱蚀变)	石英	0.25—0.1	14.0	5.98	101.2	1.12	0.86	0.34	—	0.13	20
8	斑状黑云母花岗岩中 石英脉(不含矿)	石英	0.25—0.1	3.5	6.75	85.2	0.41	0.43	0.05	0.02	0.04	10
8-1	同 上	石英	0.25—0.5	3.5	6.17	90	0.38	0.47	—	0.01	0.04	8
	去离子水		0.92		5.72	111.6						

(分析者: 南京大学地质系赵梅芳、蒋浩深)

压力降低会促使硫络合物分解沉积。因此, 本区低压、氧逸度高的破碎带对破坏金硫络合物分解沉淀成矿有利。

氧化还原电位变化对金络合物分解沉淀是一个重要因素。因金是变价元素, 其迁移与沉淀的价态不同。体系Eh的变化会导至 $[\text{AuCl}_4]^{-1}$ 或 $[\text{Au}(\text{HS}_2)]^{-1}$ 的分解沉淀。金以氯络合物迁移时, 在Eh值下降、pH值升高的还原环境, 即当低价铁、黄铁矿等硫化物或围岩含碳时则会使 $[\text{AuCl}_4]^{-1}$ 还原成 Au^{+1} 、 Au^0 沉淀, 本区金常与黄铁矿共生或在黄铁矿裂隙中存在, 便是一个例证。当以金硫化络合物存在时, Eh值升高到络合物稳定存在上限或pH值下降向酸性方向发展, 会促使金硫络合物分解沉淀。因此本区含金热液沿破碎带上升, Eh值升高或大气降水渗透与之相遇使pH值发生变化均会导至金络合物分解沉淀成矿, 如新城焦家式金矿。因此金络合物稳定性改变是体系中温度、压力、Eh值、pH值不断变化的综合因素影响的结果。上述成矿机制已为金的高温高压成矿模拟实验所证实^[9]。

成分(ppm)及微量气体成分分析

Cu	Pb	Zn	F ⁻¹	Cl ⁻¹	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻¹	$\frac{K^{+1}}{Na^{+1}}$	F ⁻¹	Cl ⁻¹	$\frac{Cl^{-1}}{HCO_3^{-1}}$	$\frac{SO_4^{-2}}{HCO_3^{-1}}$	$\frac{Cl^{-1}}{SO_4^{-2}}$	CO ₂ ml/100g	CH ₄ ml/100g	H ₂ O mg 100g
0.011	—	0.055	0.048	1.98	9.7	1.86	4.82	0.024	1.06	5.22	0.204	7.84	1.92	29	
0.024	—	0.054	0.35	3.77	9.4	1.01	2.62	0.093	3.73	9.31	0.40	6.8	1.92	170	
0.011	—	0.038	0.12	4.49	8.3	0.53	2.97	0.027	8.47	15.66	0.54	8.96	1.84	100	
0.08	1.51	0.051	0.06	5.32	8.9	0.45	5.1	0.011	11.82	19.78	0.60				
0.004	0.09	0.62	0.07	1.98	4.0	4.34	3.71	0.035	0.46	0.92	0.49	4.32	2.08	30	
0.010	—	0.65	0.036	10.98	4.6	3.96	3.7	0.003	2.77	1.16	2.38				
0.006	1.78	0.24	0.042	0.18	13.9	1.48	3.44	0.233	0.12	9.39	0.013	11.68	2	60	
0.007	1.68	0.22	0.07	3.05	12.7	0.91	4.04	0.023	3.35	13.96	0.24				
—	—	0.21	0.04	1.98	1.8	6.25	1.2	0.02	0.32	0.288	1.1	4.4	1.92	30	
0.004	0.025	0.78	0.11	5.57	4.3	4.34	0.77	0.020	1.28	0.99	1.30	12.56	2	80	
—	—	0.036	0.036	3.05	1.8	6.82	1.05	0.012	0.45	0.26	1.69	7.12	2	20	
—	—	0.037	0.044	3.77	1.5	5.29	1.24	0.012	0.71	2.83	2.51	6.24	2.08	50	

五、包裹体中微量气体分析

利用自行设计热爆炉的色谱仪进行包裹体中微量气体(CO₂、CH₄、H₂O)分析,其结果列于(表2)。

H₂O: 硅化蚀变岩与母岩中H₂O含量相似,绢英岩化及含矿蚀变岩中H₂O含量明显增加。即自花岗岩向含金黄铁绢英岩H₂O含量增加。

CH₄: 各蚀变岩带中含量在1.84—2.08 ml/100g,数值变化不大。花岗岩中CH₄含量略高于含矿绢英岩,CH₄含量随着氧逸度增加而略有下降。

CO₂: 各样品中含量变化在4.32—12.56 ml/100g(表2)。含金黄铁绢英岩中CO₂含量略有下降,这与溶液中HCO₃⁻¹含量变化相符。即在岩体中HCO₃⁻¹、CO₂含量高于蚀变岩中的含量。

六、矿床成因讨论

三山岛金矿床成因和新城、焦家矿区相似，均与玲珑花岗岩密切相关，并受区域 NE 向构造裂隙的影响。对玲珑花岗岩岩浆性质、成岩温度和成矿的关系前面已讨论。

花岗岩形成过程，岩浆可以产生局部分异作用，随着温度下降，造岩矿物析出，熔体与液相分离，在矿物之间存在有分异的粒间溶液。三山岛位于玲珑岩体西部边缘突出部分，呈小岩瘤状，可以富集较多的挥发分和水，有利于成矿元素的集中。本区区域性 NE 向断裂构造发育，可以使三山岛花岗岩中粒间溶液进一步往断裂带运移。在围岩具良好封闭条件下，近围岩边缘附近岩体中粒间溶液可以对已固结的造岩矿物交代产生面型的含金绢云母化蚀变岩、含金黄铁绢英岩化蚀变岩。蚀变岩成矿温度为 280—420℃，与母岩石英中气-液包裹体均一温度相近似。这为花岗岩粒间溶液交代成矿提供有力佐证。

当玲珑花岗岩体受构造断裂或裂隙切割，岩体中粒间溶液可以往构造破碎带或简单裂隙系统的低压区运移充填，形成焦家式破碎带蚀变岩型金矿（新城、焦家）或石英脉型金矿（玲珑）。其成矿温度，新城为 280—370℃，玲珑为 300—460℃。均与玲珑花岗岩石英气-液包裹体均一温度相近。这进一步证明成矿属粒间溶液沿裂隙充填。

据包裹体成矿溶液分析，三山岛金矿成矿溶液性质由岩浆早期到晚期是由弱碱性往弱酸性演化，成分由 HCO_3^- 、 Cl^- 转变为富 SO_4^{2-} 、 Cl^- 。因此，在成矿作用中金主要呈氯络合物或硫络合物迁移，在氧逸度、温度或酸碱度条件发生变化时，金络合物分解导致在蚀变岩中金的沉淀，形成含金黄铁绢英岩。其中斜长角闪岩中金的富集系数为 28.5，片麻状花岗岩和似斑状花岗岩含量较低，其富集系数分别为 5.25 和 5.5，而混合岩化斜长角闪岩和花岗岩中金含量则介于二者之间，分别为 23.5 和 13.5。据朱奉三、山东地质局地质六队分析资料：斜长角闪岩金的富集系数为 7；胶东群变质岩为 145。变质岩重熔形成花岗岩浆时，金可以从变质岩活化转移到花岗岩中。当岩体受蚀变作用金可以进一步富集成矿。因此，本区金矿成矿物质来源主要来自古老的基底变质岩，胶东群可视为矿源层^[1]。

通过三山岛金矿床矿物中包裹体研究，进一步确定了本区金矿形成物理化学条件，从而胶东花岗岩成因及其成矿关系有了新的认识，在理论与实践上均有一定指导意义。

本文工作得到徐克勤、刘英俊教授、梁子豪工程师、赵梅芳同志的热情帮助，特表谢忱！

参 考 文 献

- [1] 刘英俊、李兆麟、马东升 1982 华南含钨建造的地球化学研究中国科学 第10期
- [2] 刘英俊、张景华、乔恩光等 1982 华南花岗岩类中金的丰度 地球化学 第3期
- [3] 郭文魁 1983 西华山钨矿床的金属矿化作用——一个与岩浆后期渗透相联系热液脉矿的实例 矿床地质 第2卷 第2期
- [4] 李秉伦、王英兰、谢奕汉 1982 气-液包裹体气相色谱分析及其地质意义 地质科学 第2期
- [5] 卢焕章、施继锡等 1977 南岭地区各种类型钨矿床的气液包裹体特征和形成温度的研究 地球化学 第3期
- [6] 李荫清、芮宗瑶、程莱仙 1981 玉龙斑岩铜（钼）矿床的流体包裹及成矿作用研究 地质学报 第3期

- [7] 王联魁、赵斌、蔡元吉、李统锦、李维显 1979 南岭花岗岩熔化实验的初步研究 中国科学 第2期
[8] 王联魁、朱为方、张绍立 1983 液态分离——南岭花岗岩分异方式之一 地质论评 第29卷 第2期
[9] 涂光炽等著 1984 中国层控矿床地球化学 第1卷 科学出版社

THE PHYSICOCHEMICAL CONDITION FOR THE FORMATION OF SANSHAN ISLAND GOLD DEPOSIT

Li Zaolin

(Department of Geology, Nanjing University)

Huan Lanying

*(North Fujian Geological Party, Bureau of Geology and Mineral
Resources of Fujian Province)*

Abstract

The gold deposits located in the west of the Jiaodong Peninsula occur mostly in Zhaoyuan and the north of Yexian, which constitute the Zhaoyuan-Yexian gold mineralization zone. The Sanshan Island gold deposit is a part of this mineralization zone. The formation of the deposits was closely related to the intrusion of the Linglong granitic body distributed in the district. The Linglong and Guojiaoling granitic bodies related to the formation of the gold deposits in the region were formed as a result of the polygenetic processes, mostly by the intrusion of the granitic magma due to the melting of the Jiaodong Group and partly by the metasomatism caused by regional migmatization. The melting inclusions formed under the temperature range from 780° to 940°C have been found in the Linglong granite during this study. It shows that in this district the granite is of magmatic origin. During the formation of the granite, the local differentiation could have occurred in the magma. With the falling of the temperature of the magma, the rock-forming minerals were crystallized, the aqueous solutions were separated from the melt, the differentiated intergranular solutions could replace the rock-forming minerals, and the massive sericite-quartz gold-bearing rock formed (the Sanshan Island gold mine). In the fracturing surroundings, the intergranular solutions could infiltrate through the cracks, fissures and fractured zones and, as a result, the gold-bearing fractured zones or vein gold deposits were formed (e. g., Jiaojia and Linglong Gold Mines). The altered rocks in Sanshan Island was formed at 280—420°C, which is close to the homogenization temperature (300—460°C) of the

gas-liquid inclusions in the quartz of the mother rocks. Moreover, the compositions of the liquid and trace gases in the inclusions of the two kinds of rocks are also similar. All of these facts reasonably indicate that in genesis, the deposits were formed as a result of metasomatism by intergranular solutions of the granite in the district. In the altered rocks, there is a close correlation between the intensities of the mineralization and the alteration. With the reducing of temperature and the intensification of the pyrite-sericite-quartz alteration, the gold content increases. The analyses of the ore-forming solutions show the characteristics of $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^{-1} > \text{HCO}_3^{-1} > \text{F}^{-1}$, $\text{K}^+/\text{Na}^+ > 1$, and $\text{H}_2\text{O} > \text{CO}_2 > \text{CH}_4$, caused by potassium ions and weak acid in the gold-bearing pyrites-sericite-quartz altered rocks. Gold should be transported in the form of sulfur or chlorine complexes. Owing to the change in temperature, pressure and the fugacity of oxygen in the environment, the complexes could be decomposed and as a result, natural gold was separated out and deposited in the ore.

The source of the ore-forming materials of the gold deposits in the district must have been closely related to the Jiaodong Group, whose gold content is decades times higher than that of normal metamorphic rocks. During the formation of the granite through the melting of the gold-bearing metamorphic rocks, gold should be mobilized and transferred into the granite and then be further concentrated in the deposits by the action of the intergranular solutions. The metallogenic elements, therefore, must have mostly come from old basement metamorphic rocks, and Jiaodong Group could be regarded as the source beds of gold. Besides, the ore-forming solutions had a close relationship with the intergranular solutions.

征订启示——《地质与勘探》(月刊)

《地质与勘探》杂志,系综合性地质技术刊物。主要报道黑色金属、有色金属和稀贵金属矿床的成矿规律与预测、找矿勘探方法、地球物理与地球化学探矿、岩矿、同位素测试以及钻探技术等方面的研究成果和技术经验。

《地质与勘探》杂志,历史悠久、报道及时、内容丰富、资料翔实。它的特点是实践性与实用性强,面向生产、面向实际、面向群众。可供从事地质、物化探和钻探技术等专业的科研、生产人员、地质院校师生、干部和技术工人阅读。

《地质与勘探》杂志,国内外公开发行人。国内订阅处:全国各地邮局(所),刊号:18—58。今年11月份各地邮局陆续收订1986年订户,请及时订阅以免漏订。