

玲珑金矿床特征和成矿模式

王吉珺 冯文涛

提 要 玲珑大型金矿在成因上与底辟交代型花岗岩有关,受韧性剪切带控制,具有水平原生分带和垂向次生分带,地表发生氧化淋失和次生富集,伴随韧性—脆性断裂的阶段性演化发生多期成矿和七种蚀变类型八种矿物转化。通过硫、氧、氢、碳、铅同位素以及稀土元素、微量元素、气液包体地球化学研究证实成矿物质来源于胶东群矿源层。结合成矿的物化环境、地球化学规律,建立了矿源层、底辟交代花岗岩和韧性剪切—脆性叠加断裂三位一体的层控型成矿模式。

关键词 金矿地质 地球化学 成矿模式

玲珑金矿位于山东省招远县北,为一特大型金矿,包括 108、欧家乔,玲珑一大开头、九曲、东风、双顶、破头青及后地八个矿段。1985 年以来,我们对胶东地区金矿和有关花岗岩进行了系统研究,取得一些新的认识,本文仅就玲珑金矿成矿特点和成矿模式进行一些讨论。

1 矿田地质概况

玲珑金矿产在华北古板块胶东地体的西北部。

地层是太古界上部胶东群黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、黑云母变粒岩和少量辉石角闪岩。K~Ar 年龄 17.21 亿年,为中—深变质的角闪岩相,分布零星,破碎强烈。

玲珑底辟交代型花岗岩(另文专述)出露面积占矿田的 92%以上,为 NNE 向带状延展的复式岩基,受中生代的 NE—NNE 向断裂制约。中侏罗世(164.2Ma)成岩。岩基主体由交代型片麻状黑云钾长花岗岩组成,近中心处被郭家店重熔岩浆型二云母花岗岩占居,二者之间过渡关系。后者作为交代前者的共存重熔岩浆,由于岩基的侵位使围岩(胶东群)破碎和上隆,并有派生岩枝穿入。岩体边缘形成宽约 10~150m 的晚期气成伟晶化带。岩体由东向西分为:片麻状黑云钾长花岗岩带—片麻变斑状黑云钾长花岗岩带—含石榴石黑云钾长花岗岩带—片麻状黑云钾长花岗岩带。片麻状构造发育,岩体内部片麻理以北东向为主,与岩体延长方向一致,边部片麻理与接触带平行。含有大量胶东群变质岩交代残留体和残影,直径 0.01~数 10m。含有较多的铁质空心球状和硅酸盐玻璃质球状宇宙尘。岩石的塑变、应变、再结晶、变斑、溶蚀、交代、包含、蠕英、火焰状流变结构和异常消光普遍发育。造岩矿物以微斜长石、更长石、微斜条纹长

石、交代条纹长石、石英、黑云母为主,少量白云母、磷灰石、锆石、褐帘石、锰铝—镁铝榴石和由黑云母析出的针状金红石。化学成分以富 K、Na、贫 Ca、Mg 为特点的钙碱系列花岗岩, $A/CNK = 0.90 \sim 1.12$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值 $0.7086 \sim 0.7125$, $\delta\text{Eu} = 1.07$, $\delta\text{Ce} = 1.44$, 为富轻稀土型, $\delta^{143}\text{Sm}/^{147}\text{Sm} = 7.9 \sim 10.7\%$ 。综合以上所述该岩体是燕山期壳源底辟交代型花岗岩^[1]。成岩作用始终伴随在构造活动之中。

郭家岭花岗岩,与玲珑花岗岩基本相似,所不同的是沿着 E—W 向复活的古断裂展布,属基性程度略高的二长花岗岩,微斜长石和微斜条纹长石变斑晶多而大,角闪石和榍石增多。切穿玲珑岩体。

断裂构造发育(图 1),在前寒武纪基底的东西向褶皱和断裂的古亚洲构造域的基础上,中生代太平洋板块的俯冲,弧后陆壳活化,形成以 NE—NNE 向断裂为主的太平洋构造域的叠加,同时有些古断裂的复活。区内中生代断裂有二个系列:第一是破头青 NE—NEE 断裂系列,是主要控矿构造。以破头青断裂为主干的向南东突出的弧形断裂群,倾向 SE—SSE,远外侧的次级断裂逐渐变为 NW 倾斜(图 2)。该组断裂有两个演化阶段:a. 韧性剪切阶段,当玲珑花岗岩尚在准固体状态下,伴随底辟侵位,发生强烈的韧性剪切作用。沿剪切带发育有塑变流、糜棱岩、褶皱、挠曲、旋转透镜体、压力影、火焰状流变石英集晶、扭折、亚颗粒、重结晶、毕姆纹和吕德尔纹、异常消光现象等^{[2][8]}。b. 脆性断裂阶段,岩体侵位冷却后,在同一应力场下,发生脆性断裂,并叠加在韧性剪切带之上,使塑变构造岩再次改造成脆变构造岩。广泛发育构造透镜体和 X 形、羽状脆性裂隙。第二是玲珑 NNE 向断裂系列,生成较晚,切割 NE—NEE 向断裂和金矿脉,并有拖曳和追踪现象,是一组左行压扭性的脆性断裂,平移断距 400m 左右。

目前发现的构造蚀变带和石英脉 500 余条(图 1),其中有工业价值的百余条。矿体呈脉状、透镜状,沿走向和倾向往往呈舒缓波状起伏,膨缩和分枝普遍,单矿体长 40~350m,厚 1~10m,延深 40~700 或千余米。有三种矿石建造:a. 绢英岩中细脉浸染型黄铁矿金矿石;b. 钾化花岗岩中细脉浸染型黄铁矿金矿石;c. 石英脉型硫化物金矿石。前二者含金较低,但品位稳定,后者含金高但不稳定。

2 金矿床分带性

2.1 矿床原生水平分带

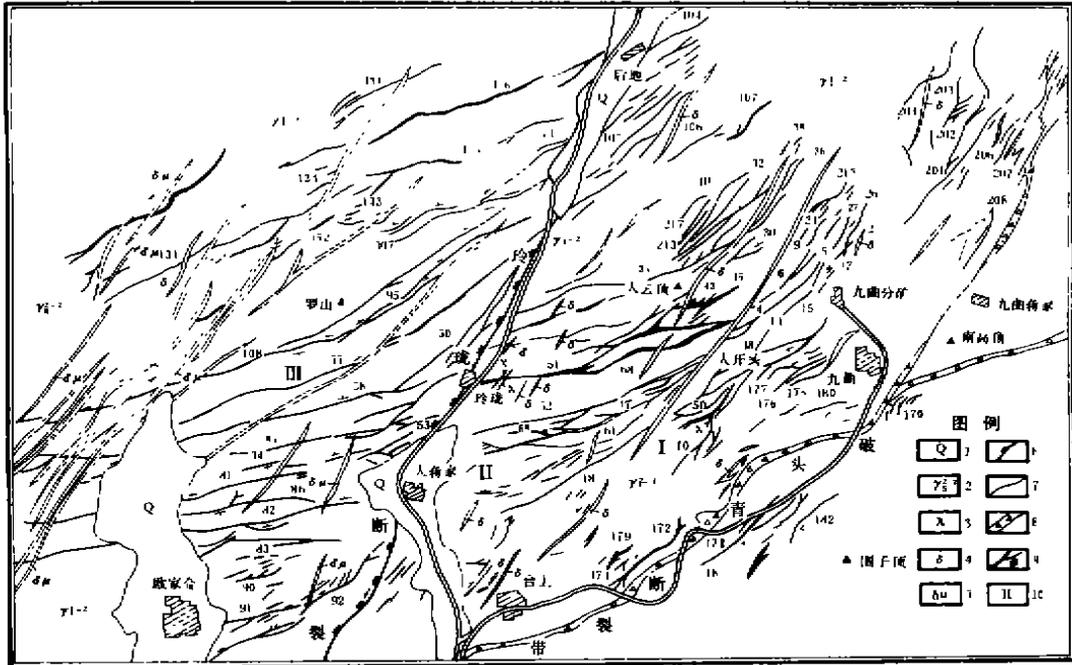
从破头青断裂向北西至 126 号脉原生金矿存在如下变化规律:

a. 矿体赋存深度由深变浅(表 1)

表 1 矿体深度变化

Table 1 Depths of ore bodies

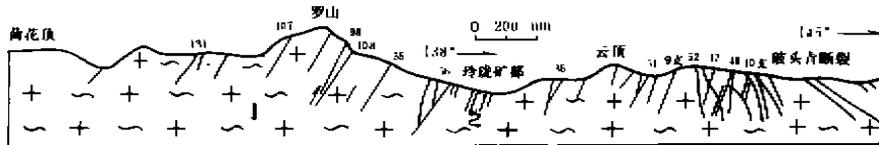
矿脉号	171	207	175	52	10	108
最深标高(m)	-500 或更深	-300		-100		+100



图例说明:1. 第四系 2. 片麻状黑云母花岗岩 3. 煌斑岩脉 4. 闪长岩脉 5. 闪长玢岩脉 6. 玲珑断裂 7. 断裂
8. 破头青断裂 9. 含金石英脉及蚀变带 10. 金矿水平分带编号

图1 山东玲珑金矿田地质示意图

Fig. 1. Geological sketch of Linglong Gold Ore Field



图例说明:1. 片麻状黑云母花岗岩 2. 断裂及金矿脉

图2 玲珑金矿田地质剖面

Fig. 2. Geological profile of Linglong Gold Ore Field

- b. 绢云母化和绢英岩化由强到弱,由宽变窄。
c. 石英脉由少到多,脉幅由窄变宽。
d. Cu、Pb、Zn 含量渐增(表 2)

表 2 Cu、Pb、Zn 含量变化(据 805 队)

Table 2 Variation of Pb, Zn, Cu content in the ore field

带 别(E-W)	Cu%	Pb%	Zn%	As%	S%	Au*	Ag*
内带(九曲)	0.15	0.03~0.10	0.01~0.08	0.006	3.5~10.0	1~6.7	2.7~9.7
中带(玲珑)	0.01~0.45 或 3.09	0.19~1.47	0.68~1.36	0.007~0.040	3.0~10.0	4.1	4.9
外带(108)	0.10~2.27	0.10~6.94	0.15~1.56	0.003~0.75	5.0~20.40	6.7	19.3

* Au、Ag 是相对比值,而非真实品位,下同。

- e. 金、银含量由低到高(表 2),金成色东高西低(表 3),南高(东山区 853.5)、北低(635.0)。

表 3 各金矿脉金的成色

Table 3 Fineness of gold ore veins

脉 号	10	48	47	52	51	108	126
金成色	829.0	825.7	897.8	761.2	893.4	634.2	659.2

- f. $\delta^{34}\text{S}$ 有降低趋势(表 4)

表 4 各矿脉硫同位素($\delta^{34}\text{S}$)变化(805 队)

Table 4 S-isotope analysis of gold ore veins

矿脉号	48	47	52	53	55	108
$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	8.14	7.11	7.07	3.10	6.33	4.90

- g. $\delta^{18}\text{O}$ 有增高趋势(表 5)

表 5 各矿脉矿石石英 $\delta^{18}\text{O}$ 变化(据韩世珍)

Table 5 O-isotope analysis of gold ore veins

矿脉号	48	52	55	108
$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	9.97	13.97	13.00	14.72

- h. 石英气液包体均匀温度有渐降趋势(表 6)

表 6 各脉中矿石石英气液包体均匀温度

Table 6 Homogeneous temperatures of ore quartz inclusions

矿脉号	48	52	108
均匀化温度(℃)	327	313~310	290.5~314

i. 矿石建造,由绢英岩和钾化花岗岩中细脉浸染型含金黄铁矿建造→石英脉型含金黄铜矿黄铁矿建造→石英脉型含金多金属硫化物建造。

综合以上,确认成矿作用是以破头青韧性—脆性叠加主干断裂为动—热作用中心。根据柯尔仁斯基迁移能力关系式 $M = \pi C$ 。(注: π 迁移系数, C 相对浓度)和矿物共生序数判断,成矿元素迁移能力由低到高的顺序是 Fe-Cu-Zn、Pb 和 Au,以此顺序由内向外形成原生成矿晕带。根据矿石建造,围岩蚀变、金属矿物组合和金属元素变化等由东向西分为三个带(呈 NE 向延展):

a. 绢英岩和钾化花岗岩中细脉浸染型黄铁矿金矿带(内带),从 171 到 52 号脉。金矿产在绢云母化或绢英化花岗岩和糜棱岩中,呈细脉浸染状,石英脉少而细,主要金属矿物是黄铁矿,很少量的黄铜矿、闪锌矿和方铅矿,金矿物以银金矿为主,自然金极少,矿化均匀, Au(2.7)、Ag(1.5)含量低,但稳定,金成色较高(715.3~829.0),唯东风矿段降低到 529.1。

b. 石英脉型黄铜矿黄铁矿金矿带(中带),从 51 至 55 号矿脉。有少量绢英岩细脉浸染型黄铜矿黄铁矿金矿石的混杂。金品位高,但不稳定。富黄铁矿的含金石英脉含 Au6.71、Ag14.69、S21.86%,贫黄铁矿的含金石英脉含 Au3.88、Ag3.12、S2.54%。石英脉以大脉和巨脉为主,其两侧有宽度不大的硅化、绢英岩化和钾化蚀变,矿石构造主要有网状、条带状、块状、角砾状和细脉浸染状。矿物以黄铁矿为主,黄铜矿明显增多,少量闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿、毒砂、辉钼矿、银金矿和自然金等。金成色相对最高,一般为 752.5~950.7,平均为 857.1。

c. 石英脉型多金属硫化物金矿带(外带),包括 108 以西各矿脉,矿石构造和围岩蚀变等特征与(b)带相似,最特征的是矿物组合更为复杂,除黄铁矿外,闪锌矿、方铅矿明显富集,尚有部分磁黄铁矿转变成假相黄铁矿和赤铁矿组合(详后)。银金矿、自然金与铜铅锌硫化物紧密连生,金成色普遍偏低(454.2~794.1),矿石含金较高(6.72),矿脉两侧蚀变较弱,由内向外的蚀变次序为硅化—绢英岩化—钾化。

从总的情况看,水平分带尚较明显,在破头青韧性剪切带附近形成绢英(糜棱)岩型细脉浸染状金矿石,远处形成石英脉型金矿石,各带之间呈渐变关系。至于垂直方向上,因矿床已被剥蚀,难以恢复原状,但从成矿机理和邻区矿床对比,石英脉型金矿成矿深度较绢英岩型金矿要浅些,离成矿中心较远,存在某些相对的上下关系。

2.2 矿床垂直次生分带

由上而下可分三个带:

a. 氧化淋失带(上部带),一般深度为 5~10m,原生硫化物几乎全部氧化成针铁矿、纤铁矿、钠铁矾、黄钾铁矾、水赤铁矿、软锰矿、自然铜等。氧化矿石包括原地和非原地两种。前者仍

保留原生矿石组构和金的残余,后者呈胶体流动纹理,金氧化流失。据 5427 件样品统计和镜下观察,金明显氧化淋失贫化,淋失率达 89%。约有 90% 的地表样品含 Au<0.1g/t,7.5% 样品含 Au0.10~0.85g/t,仅有极少数>3g/t。

b. 半氧化一次生富集带(中部带),下限深度 10~30m,个别达 70m。上部以次生氧化物和次生硫化物为主,如针铁矿、纤铁矿、水赤铁矿、斑铜矿、铜蓝、蓝辉铜矿和孔雀石等。其次为残余原生硫化物,均被次生交代溶蚀。向下过渡为以原生硫化物为主次生氧化物减少,但次生硫化物有明显增加。该带基本上处于氧化环境中,但在早期显示一定的还原作用,从而广泛形成次生硫化物,到后期 Eh 值升高,次生硫化物又被次生氧化物取代。由于长期接受氧化淋失带下渗的含金溶液发生金的再富集,有次生自然金和贫银的银金矿生成,与次生硫化物和次生氧化物连生,金成色均在 800 以上。矿石中金增富达 5~16.7,尤其在孔穴和裂隙中的粘土质填充物的阻滞和吸附作用下使金富集达数百 g/t。据计算金的次生富集率达 48%。

c. 原生硫化物带(下部带),在半氧化一次生富集带之下,除个别裂隙中有轻度次生变化外,全部为原生硫化物,如黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿,还有少量辉钼矿、辉铋矿、黝铜矿、毒砂、磁铁矿、赤铁矿、穆磁铁矿、假相黄铁矿和白铁矿等,银金矿—自然金与黄铜矿紧密连生,在黄铁矿粒间或裂隙中呈填充状。

3 围岩蚀变

金矿均产在玲珑花岗岩内的韧性剪切带和构造裂隙中,花岗岩发生强烈蚀变,诸如钾化、绢云母化、绢英岩化、硅化、高岭石化和少量碳酸盐化(铁方解石、铁白云石、菱铁矿)、绿泥石化。其中与成矿关系最密切的是前四种。

3.1 钾化

在花岗岩成岩期已经广泛发生自变质钾化作用,最大—中间微斜长石和微斜条纹长石交代更长石形成变斑晶。角闪石被黑云母取代。直至成矿期仍有广泛的钾化,沿裂隙和更长石粒间交代成网络状,钾长石继续沿更—钠长石的(010)解理交代形成交代条纹长石,更—钠长石被交代成平行条纹状残余,并保持同消光位,有时可见原晶体轮廓。正长石沿更长石边缘交代或填充在粒间。随着交代作用的加强,黑云母往往不稳定,又被 1M 型白云母和 1M 型绢云母取代,直至全部消失。在某种程度上,钾化对成矿有一定的控制和促进作用,一则钾可提高金属元素在矿液中的溶解度,并参与组成金的载体—络合物,另则钾化可促使金从寄生的造岩矿物中解离出来参与成矿作用。

3.2 绢云母化

主要发育在韧性剪切带中和裂隙两侧,花岗质糜棱岩和碎裂花岗岩被 1M 型绢云母强烈交代,最先被绢云母取代的是更长石和黑云母,其次是最大—中间微斜长石和微斜条纹长石,另外石英也同时遭到强烈溶蚀,发生去硅作用,最后形成单一成分的绢云岩,加入大量 Fe^{3+} 、Mn、Mg 和 H_2O ,析出 Si、Al、Ca、Na、K(表 7),其中 Na、K 参与到成矿作用中,增强溶液对金的溶解和迁移,游离 SiO_2 伴同金迁移到相对低温低压的断裂空间中形成含金石英脉,多余的钙形

成含金方解石脉。规模巨大的断裂蚀变带为成矿创造了最佳地质部位。

3.3 绢英岩化

蚀变过程和空间部位与绢云母化基本一致,只是改造强度略差,并有少量 SiO₂ 的加入(表 7),与绢云母化一起构成广泛的构造蚀变带,岩石疏松,孔隙度大,广泛发育成细脉浸染状金矿石。

3.4 硅化

较少,是近矿蚀变,蚀变宽度<3m,与绢英岩过渡,石英骤然增加,除原岩残留石英和火焰状流变石英集合体外,还有大量新生的鲕粒状和显微晶质石英集合体,呈迁移填充状,它是由长石被绢云母化后产生的游离 SiO₂ 局部集中而成。岩石致密坚硬,但裂隙发育,沿裂隙形成网状、细脉状及条带状矿石。

3.5 高岭石化

一种是内生高岭石,分布广、数量少,往往超出绢云母化的范围,主要是微斜长石和微斜条纹长石,偶尔有更长石初期蚀变而成,呈尘埃状产出。另一种是表生高岭石,仅限于地表和裂隙中,在硫酸水的广泛影响下,长石表面形成高岭石,经常伴有铁染而成红褐色。

表 7 蚀变岩化学成分加入带出计算结果

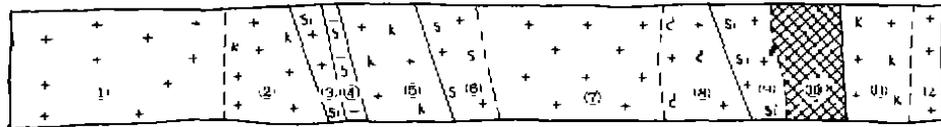
Table 7 Calculations of materials which were carried in and out during rock alteration

氧化物 %	岩石	绢云岩		绢英岩		
	玲珑花岗岩	6个样平均(%)	13个样平均(%)	加入(+)/带出(-)	7个样平均(%)	加入(+)/带出(-)
SiO ₂	73.34	52.10	-28.90	76.05	+3.90	
TiO ₂	0.14	0.14	0.00	0.15	0.00	
Al ₂ O ₃	14.19	7.10	-50.20	12.47	-12.20	
Fe ₂ O ₃	0.77	27.69	+3370.00	2.70	+240.00	
FeO	1.74	1.23	-29.20	0.91	-45.80	
MnO	0.05	2.24	+3100.00	0.09	0.00	
MgO	0.26	1.00	+300.00	0.46	+83.00	
CaO	1.74	1.03	-41.90	0.53	-71.00	
Na ₂ O	4.08	0.18	-95.50	0.39	-89.40	
K ₂ O	4.19	2.39	-42.20	4.17	0.00	
H ₂ O ⁺	0.41	4.48	+1082.60	1.98	+859.40	
玲珑花岗岩化学式: Si ₇₃₂₂ Ti ₁₂ Al ₁₆₇₄ Fe ₈₀ ³⁺ Fe ₁₄₄ ²⁺ Mn ₆ Mg ₃₈ Ca ₁₂₆ Na ₃₉₆ K ₂₇₆ H ₁₈₈ O ₁₈₂₂₈						
绢云岩化学式: Si ₅₂₀₂ Ti ₁₂ Al ₂₃₄ Fe ₂₀₈₂ ³⁺ Fe ₁₀₂ ²⁺ Mn ₁₈₂ Mg ₁₉₂ Ca ₁₀₈ Na ₁₈ K ₁₅₆ H ₁₈₃₂ O ₁₈₀₉₆						
绢英岩化学式: Si ₇₈₀₂ Ti ₁₂ Al ₁₄₇₀ Fe ₂₀₄ ³⁺ Fe ₇₈ ²⁺ Mn ₆ Mg ₃₈ Ca ₅₄ Na ₄₂ K ₂₇₀ H ₁₃₂₀ O ₁₈₇₅₀						

蚀变分带性:以破头青断裂带蚀变最强,向西逐渐减弱,从总体看只有强弱变化而无明显分带,仅在矿脉两侧的蚀变呈现对称带状分布,根据四个剖面的实测结果(图 3)综合起来,由矿脉向外最完整的蚀变剖面是:矿脉→硅化带→绢云母化和绢英化带→钾化带→花岗岩。各带

间呈渐变,其中钾化带最宽,几乎形成面型蚀变,而且无例外的受到硅化、绢云母化和绢英化蚀变的改造和叠加。

在蚀变过程中计有八种矿物转化形式:a.更长石→钠长石→微斜条纹长石;b.角闪石→铁黑云母→1M水白云母和1M绢云母;c.更长石→1M水白云母、1M绢云母和显微晶质石英晶;d.微斜长石→高岭石或1M型绢云母;e.辉石和角闪石→菱铁矿和铁白云石;f.黑云母和角闪石→绿泥石;g.更长石→方解石;h.粒状石英→鲕粒状石英集晶。



1. 花岗岩 2. 钾化花岗岩 3. 硅化碎裂花岗岩 4. 108号断裂绢英岩和硅化岩 5. 钾化花岗岩 6. 碎裂花岗岩
7. 花岗岩 8. 绢英岩化花岗岩 9. 硅化花岗岩 10. 96号矿体绢英岩硅化岩 11. 钾化花岗岩 12. 花岗岩

图3 230米中段595穿脉地质素描图

Fig. 3 Sketch across 595 vein at 230m level

4 矿石矿物,矿石组构及成矿阶段

4.1 矿石矿物(表8)

表8 矿石矿物

Table 8 Ore minerals

分类/矿物	主要	次要	少量
原生贱金属矿物	黄铁矿	黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿	辉钼矿、辉铋矿、白铁矿、毒砂、黝铜矿、磁铁矿、赤铁矿、穆磁铁矿
原生贵金属矿物			银金矿、自然金
次生贱金属矿物	针铁矿	纤铁矿、水赤铁矿、钢铁矾、黄钾铁矾	铜蓝、蓝辉铜矿、辉铜矿、斑铜矿、软锰矿、孔雀石
次生贵金属矿物			自然金、低银的银金矿
脉石矿物	石英、绢云母	方解石、菱铁矿	铁白云石

金银的赋存状态:原生矿石中主要是银金矿,约占78%,其次是自然金,约占22%。在次生富集带中有少量次生自然金和低银的银金矿,与次生硫化物和次生氧化物连生,金成色均高于800。金矿物电子探针分析结果列于表9。

银金矿和自然金五种产状和特点列于表10。硫化矿物含金情况,单矿物化学分析列于表11。电子探针分析列于表12。另外用1~2mm粒度的黄铁矿在HNO₃中等时间溶解三次,分别

进行分析,分析结果:第一次溶解液含 Au 为零,第二次含 Au20.1ppm,第三次含 Au0.4ppm。

表 9 金矿物电子探针分析结果(本院测)

Table 9 Electronic probe analysis

金矿物	样数	Au%		Ag%		金成色		Co	Ni	Te
		变化	平均	变化	平均	变化	平均			
自然金	2	81.56~85.01	83.29	14.09~16.83	15.46	829~858	844	0~0.13	0~0.01	0~0.23
银金矿	7	52.00~71.89	63.70	28.62~46.82	35.48	529~715	643	0~0.06	0~0.01	0~0.46

表 10 金矿物产状和特征

Table 10 Mineral occurrences and characteristics of ores

顺序	产状类型	粒数	形态	粒度(mm)		体积%
				变化	一般	
1	黄铁矿间隙金	33	细网脉、树枝及不规则状	0.006~0.12	0.03~0.10	51.6
2	石英脉散染金	19	片状、粒状、不规则状	0.01~0.15	0.03~0.15	29.7
3	黄铜矿连生金	12	片状、粒状、不规则状	0.01~0.10	0.03~0.10	11.8
4	黄铁矿包含金	24	浑圆状	0.006~0.08	0.01~0.06	6.7
5	针铁矿包含金	10	不规则、细粒状	<0.006~0.03	0.008~0.03	0.2

表 11 单矿物中金的化学分析(据 805 队)

Table 11 Chemical analysis of gold in monominerals

主矿物	Au(g/t)	Ag(g/t)
黄铁矿(I世代压碎状)	86.4	78.78
黄铁矿(II世代六面体晶)	52.00	36.36
黄铁矿(II世代六面体晶)	40.00	40.40
黄铜矿(第二阶段)	85.71	242.40
磁铁矿(早期的)	2.00	75.75
石英(脉石英)	1.00	20.20
绢云母(绢英岩中)	1.00	

综合上述,可得出三点结论:a.金主要以银金矿和自然金存在。国外曾以顺磁共振法确定黄铁矿晶格中有类质同象金,该区黄铁矿和黄铜矿化学分析含金虽高,但据矿相学研究可以肯定这是微粒间隙金和包体金影响的结果;电子探针分析证实黄铁矿含金极不稳定,有60%的黄铁矿根本无金,又据同一黄铁矿样品多次溶矿测定结果进一步表明黄铁矿含金是无规律的,由此确认该区黄铁矿中基本上没有类质同象金或者是微不足道的。b.银金矿、自然金与黄铜矿、闪锌矿、方铅矿构成一个共生组,导致在空间分布上的一致性,尤其与黄铜矿紧密连生。随

着温度的下降金矿物的粒度有增大和成色降低的趋势。氧化作用中由于化学净化作用,银金分离,使金成色提高。c. 早期黄铁矿愈破碎,后期填充的间隙金愈多,反之几乎无金。黄铁矿与金是构造叠加关系,而非共生关系,因此黄铁矿的破碎程度是评价金的直接标志。

表 12 硫化物电子探针分析

Table 12 Electronic probe analysis of sulfides

硫化物	样数	Au%	Ag%	Co%	Ni%	Co/Ni
黄铁矿(I世代细粒浸染状)	2	0	0	0.05~0.9	0~0.02	>2.5
黄铁矿(II世代他形粒状)	2	0~0.01	0~0.24	0~0.03	0	大
黄铁矿(II世代较晚的六面体)	2	0~0.01	0.04~0.69	0.03~0.1	0	大
黄铁矿(II世代较晚的六面体)	4	0~0.36	0~0.22	0.03~0.05	0~0.03	1.7~2.5
黄铜矿(第二阶段)	1	0.04	0.52			
闪锌矿(第二阶段)	1	0	0.02			
方铅矿(第二阶段)	1	0	0			

4.2 矿石构造及结构

矿石构造主要有八种:a. 细脉浸染状构造,在多孔隙的绢英岩和钾化花岗岩中金属矿物呈均匀填充浸染。分布广、品位低;b. 网脉状构造,金属矿物沿X形或羽状裂隙填充形成的富矿石;c. 条带状构造,黄铁矿、多金属硫化物与石英或绢云母之间分别间互呈条带状,与原岩构造和定向流动有关;d. 块状构造,在断裂交叉处或构造透镜体中有时金属矿物富集达70%以上的块状矿石;e. 角砾状构造,一种是围岩构造角砾被金属矿胶结,另种是黄铁矿石角砾被晚期金—多金属硫化物胶结而成;f. 浸染状构造,仅在塑变流和石英脉中见到,金属矿物呈细粒均匀浸染状;g. 蜂窝状构造,硫化矿石被氧化而成多孔状的针铁矿石,在孔洞中往往吸附或残留有金矿物;h. 胶状构造,强氧化发生迁移的针铁矿,形成胶体流纹,鲕状和肾状等。

矿石结构(表 13)

4.3 成矿阶段

根据前述的矿物共生组合、矿石组构以及空间上的穿插和叠加、地球化学、构造演化关系等,将成矿作用划分三个期五个阶段(表 14)。

韧性剪切期的黄铁矿(I),主要伴生在绢英化糜棱岩带中,呈细粒浸染状无金或贫金。脆性断裂活动期较长,有三个成矿阶段,第二阶段除黄铁矿和少量包体银金矿和自然金外,仅有少数毒砂、辉钼矿。第三阶段是金—多金属成矿极盛期,当第二阶段黄铁矿强烈破碎又被第三成矿阶段叠加时,便形成富金地段。第四阶段含金碳酸盐是成矿的尾声,仅在裂隙中形成少量含金(明金)方解石脉。表生期,近地表原生矿石强烈氧化,金被淋失,下渗到半氧化一次生富集带,生成次生硫化物和次生自然金、金银矿(低银)。

表 13 矿石结构
Table 13 Textures of ores

类型	结构名称	特 征 及 分 布
原始结晶结构	自形—半自形晶	黄铁矿六面体、八面体及二者的聚形。八面体磁铁矿。
	他形	普遍。多金属硫化物及金矿物多为他形。
	雏晶	很少。雪花状闪锌矿雏晶被黄铜矿捕获。
	反应边	少见。磁黄铁矿外缘的黄铁矿反应边。
固溶体分	乳浊状结构	较少。乳浊状黄铜矿和辉铋矿分别在闪锌矿和方铅矿中。
	线状结构	很少。线状黄铜矿沿闪锌矿四面体解理析出。
交代溶蚀结构	蚕蚀状结构	较多。黄铁矿被多金属硫化物向心选择交代。
	交代填充结构	较多。铜、铅、锌硫化物沿黄铁矿粒间交代扩容填充胶结。
	筛孔状残余结构	较多。黄铁矿被铜、铅、锌硫化物交代成筛孔状的残余。
	交代网格状结构	较少。次生硫化物沿黄铜矿、黄铁矿解理、裂隙交代成格状。
	假象	多。针铁矿成黄铁矿、黄铜矿假象。胶状黄铁矿、白铁矿、赤铁矿和磁铁矿组合体呈磁黄铁矿假象，并显露(001)解理。
应变结构	压碎结构	广泛。脆性黄铁矿强烈压碎，被多金属硫化物填充胶结。
	再结晶结构	多见。黄铁矿重结晶成自形，排除杂质，次生环带，碎而愈合。
	揉皱结构	较多。方铅矿、磁黄铁矿、菱铁矿、赤铁矿的解理，双晶揉皱弯曲，有时折断。
晶内结构	双晶及解理	黄铁矿贯穿双晶。闪锌矿、磁黄铁矿的聚片双晶。方铅矿(100)、闪锌矿(110)和磁黄铁矿(0001)解理发育。

表 14 成矿阶段划分表
Table 14 Metallogenic stages

韧性剪切期	脆性断裂期			表生期
	1	2	3	
黄铁矿阶段	含金黄铁矿阶段	金—多金属硫化物阶段	含金碳酸盐阶段	针铁矿—辉铜矿阶段
黄铁矿(I) (在绢英岩化糜棱岩带中细粒均匀浸染状，贫金)	黄铁矿(II) (含银金矿、自然金包体)，毒砂、辉钼矿、菱铁矿、石英。	磁铁矿、黄铜矿、辉铋矿、黝铜矿、银金矿、自然金、闪锌矿、方铅矿、石英。	黄铁矿(III) 银金矿、自然金、方解石、铁白云石。	针铁矿、纤铁矿、水赤铁矿、软锰矿、钠铁矾、黄钾铁矾、辉铜矿、蓝辉铜矿、斑铜矿、铜蓝、孔雀石。

5 矿床地球化学及成矿物化环境⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁹⁾

5.1 石英气液包体成分及均一温度(表 15)

从表 15 可见，富金矿石中石英气液包体含 Na⁺、K⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、CO₂、盐度和矿化度最高，贫金者次之，无金者最低。Eh 值随含金的增高而降低。由此可见，原始富金和无金的热液在组分和物化参数上是有明显差异的，而且进一步证明 Na、K、Cl、SO₄²⁻、CO₂ 含量愈高生成运载金

的络合物愈多,愈容易形成富金矿石。概括上述,玲珑金矿主要成矿期的物化条件:温度 327~180℃,压力 18847~15300Pa,PH=7.6(±),Eh=-85.54~-0.75,盐度 0.14~0.02(wt%),矿化度 4.8~1.2(MRG/I)⁽⁵⁾⁽⁶⁾

表 15 矿石中石英包体液相—气相成分和计算结果

Table 15 Calculations of compositions of gases and fluids in ore quartz fluid inclusion

顺序	样品名称	液相成分(微克/10克)						
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
1	富矿石英	54.90	9.00	0.60	0.09	0.99	72.54	36.33
2	富矿石英	13.50	6.90	0.00	0.00	0.63	11.97	17.01
3	贫矿石英	4.67	2.67	0.00	0.00	1.23	2.87	8.09
4	无矿石英	2.27	1.00	0.00	0.00	0.63	1.50	2.70
5	无矿石英	5.77	1.50	0.00	0.00	1.60	5.16	2.70

(续表 15)

气相成分(微克/公升)					均一温度 (℃)	压力 (Pa)	盐度 (wt%)	矿化度	PH	Eh
CO ₂	H ₂ O	N ₂	CH ₄	CO						
470.28	3378.19	1.495	0.903	1.784	327	18847	0.10	4.8	7.6	-85.54
162.33	1195.38	1.882	1.510	1.326	325	17225	0.14	2.6	7.6	-0.82
179.80	1491.46	9.446	5.415	5.200	180	15300	0.02	1.2	7.6	-0.75
91.48	1725.56	1.480	0.245	0.462	342	16415	0.01	0.5	7.6	-0.84
87.45	1802.74	4.480	3.710	2.295	270	18036	0.03	0.9	2.9	-0.23

测定者:地科院矿床所包体成分组

5.2 石英中标型元素

据 11 个含矿与无矿的石英,分别测定 17 种微量元素,经过综合对比其中有 9 种元素具有一定的信息意义(表 16)

由表 16 可知:a. 含矿石英脉的石英富含 Sb、Sr、Ba、Ni、Ga、Zn,贫 Cr、Mn、Bi,无矿石英恰好相反。其中最具有标型意义的是 Sb、Sr、Ni 三个元素,它们在含矿石英中不仅平均含量高,而且具有明显的含量界限,在有矿石英中 Sb>1.9ppm, Sr>92ppm, Ni>10.2ppm,无矿石英均低于这个界限。b. 在空间上,从破头青断裂向西,石英中 Sb、Sr、Zn、Ba 含量逐渐升高,而 Ni、Mn、Ga、Bi 逐渐降低。这一变化恰与前述的金矿分带一致。

5.3 硫同位素⁽⁷⁾

矿石硫同位素有如下规律:a. 富含重硫,较陨硫正向偏高<10%。b. 有明显塔式分布规律,具单源性。c. δ³⁴S 与胶东群变质岩和玲珑花岗岩近似(表 17),表明矿石硫来源于胶东群。d. 极差大(表 17),并且从破头青断裂向西各矿脉中 δ³⁴S 逐渐降低(表 4),表明成矿时发生进一步分馏,轻硫较重硫易于迁移,相对远离成矿作用中心。

表 16 石英中标型元素

Table 16 Typemorphic elements

	样号	位置	Sb	Sr	Ni	Ba	Zn	Ga	Cr	Bi	Mn
有 矿 石 英	155—26	47号矿脉	1.6	94	17.6	136	430	6.4	300	0.92	98
	51—4	51号矿脉	3.0	104	16.8	144	780	3.8		0.60	122
	56	56号矿脉	1.9	98	15.6	92	390	1.0	270	0.52	72
	59—5	55号矿脉	3.4	122	13.8	136	420	2.4	230	0.60	160
	82—2	双顶	3.4	108	13.8	126	480	3.0	280	0.70	68
	27—3	双顶	1.9	92	10.2	114	580	2.4	490	0.70	88
	平均			2.53	103.0	14.6	124.7	513.3	3.17	376.7	0.67
无 矿 石 英	85—14	破头青	1.7	78	8.8	66	530	3.0	400	1.34	100
	85—13	玲珑	1.5	84	10.8	72	156	1.0	270	0.44	84
	85—10	林场	1.6	88	7.4	86	200	1.0	270	0.66	154
	85—12	涵洞	1.7	86	5.4	128	640	2.0	620	1.38	102
	24	紫火顶	1.9	86		126	360	1.0	560	0.90	260
	平均			1.68	84.4	10.2	95.6	377.2	1.60	424.0	0.94

表 17 矿石和岩石硫同位素(据王文文)

Table 17 S-isotope of pyrite from ores and the wall rocks

样品名称	样数	$\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 变化	$\delta^{34}\text{S}\text{‰}$ 平均	极差
金矿石黄铁矿	47	4.9~10.4	6.7	5.5
胶东群黄铁矿	5	7.0~7.8	7.4	0.8
玲珑花岗岩黄铁矿	6	7.9~10.2	9.5	2.3

5.4 氢氧同位素

矿石中 $\delta^{18}\text{O} = 9.97 \sim 14.72\text{‰}$ (表 5), $\delta\text{D} = -76.84\text{‰}$ 。与玲珑花岗岩 ($\delta^{18}\text{O} = 7.47 \sim 10.43\text{‰}$) 和非变质带花岗岩 ($\delta^{18}\text{O} = 8 \sim 9\text{‰}$) 近似, 但明显高于幔岩 ($\delta^{18}\text{O} = 6\text{‰}$)。在空间分布上从金矿内带→外带 $\delta^{18}\text{O}$ 依次增高 (9.97→14.73‰)。据计算原始成矿溶液 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 6.85 \sim 9.26\text{‰}$, 与标准岩浆水 ($\delta^{18}\text{O} = +5.5 \sim +8.5\text{‰}$) 接近。又按 sheppard $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}$ 关系图投影主要落在岩浆水范围, 但有天水参与的影响。

5.5 铅同位素

据方铅矿、菱铁矿和胶东群片麻岩计 23 个铅同位素分析结果各种特征值的计算和对比 (表 18), 并采用 K·C·Cannon 的 $^{206}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb} - ^{208}\text{Pb}$ 三角图和 B·R·Doe 的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 或 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 座标图等投影, 经过综合判断可以得出如下三点结论: a. 均属古老普通正常铅; b. 为克拉通化下地壳铅, 尤其片麻岩相对趋近地幔铅平均演化曲线; c. 矿石与胶东群片麻岩中铅同位素特征基本一致, 具有同源性。

表 18 玲珑金矿矿石铅同位素(据沈阳所、武汉地院及本院)

Table 18 Pb-isotope of ores from Linglong Mine

矿物	样数	$^{204}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	模式年龄 (亿年)	μ	ν	w	K_1	K_2	K_3	Th/Pb	Th/U
方铅矿	14	17.205	15.347	37.312	7.38	8.75	0.64	36.2	4.1	57	4.0	0.51	4.25
菱铁矿	4	17.298	15.398	38.290	7.29	8.76	0.64	40.6	4.6	48	4.5	0.56	3.90
胶东群片麻岩	5	17.449	15.545	37.890	6.20	8.75	0.63	37.8	4.3	60	4.2	0.53	4.02

5.6 碳同位素

4个矿石中方解石测定 $\delta^{13}\text{C} = -3.91 \sim -5.43\%$, 极差 1.52, 平均值 -4.77% , 近似地壳 $\delta^{13}\text{C} = -6.5\%$, 与 S·K·addy 研究的内生热液方解石 $\delta^{13}\text{C} = -2.6 \sim -5.9\%$, 吻合。

5.7 稀土元素

通过绢英岩型金矿石与玲珑花岗岩, 胶东群黑云母斜长片麻岩的稀土元素对比(表 19、图 4)可见, a. 均为富轻稀土型, δEu 以正常—正异常型为主; b. 数据表明, 花岗岩成岩时的 Eh 值低于成矿期, 从而导致矿石中 δEu 的增高, δCe 的亏损。另知花岗岩随着钾化的增强 Eu 亏损愈明显, 这表明在 Eu 低时部分 Eu^{2+} 和 Au 同时被析出并转移到热液中, 因此 δEu 值增高是矿石中富金的标志之一。

表 19 绢英岩型金矿石和围岩稀土元素对比表(本院分析室测)

Table 19 REE comparison between sericite-quartzitized alteration type gold ore and the including rocks

顺序	名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	δEu	δCe	$\frac{\Sigma\text{LREE}}{\Sigma\text{HREE}}$
1	金矿石	49	65	6.7	21.5	3.1	1.0	1.5	0.26	0.73	3.3	0.14	0.22	0.07	0.43	0.06	1.35	0.66	16.78
2	花岗岩	28.73	54.23	4.67	14.72	3.05	0.76	1.51	0.24	1.17	6.60	0.24	0.67	0.14	0.45	0.06	1.04	0.90	9.58
3	片麻岩	38.80	57.10	5.77	29.95	3.91	1.61	3.18	0.28	1.61	11.20	0.37	1.10	0.21	0.81	0.67	1.48	0.72	7.06

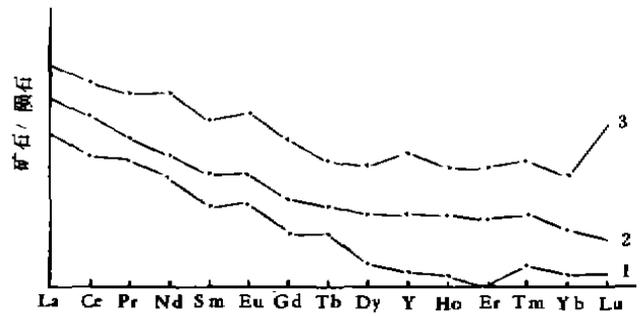
6 控矿因素和找矿标志

胶东群矿源层, 韧性剪切—脆性叠加断裂和交代型花岗岩三位一体, 在时间和空间上的紧密结合是控制玲珑金矿成矿的基本因素。

矿源层系指那些能够提供成矿物质来源的地层(地质体), 是区域成矿的重要基础, 但并非所有含成矿元素高的地层都能成为矿源层, 构成矿源层至少应当具备三个条件: a. 含有成矿元素, 相对含量较高; b. 经过改造能使成矿元素活化析出; c. 通过流体迁移, 并富集成矿。胶东群含金比较高(表 20), 平均含金 24.83ppb, 相当克拉克值 8 倍左右, 最高达 323ppb, 构成胶东地区基底金的地球化学场, 为区域性成矿提供了有利的地质基础。在中生代由于太平洋板块的俯

冲,导致中国东部弧后陆壳的活化,一则使古基底的EW向构造重新复活,二则又广泛生成太平洋构造域的NE-NNE向断裂系统,使胶东群地层遭受强烈的改造,并驱使交代花岗岩和有关金矿床的生成。区内主要控矿构造破头青断裂,成矿深度达千米以上,并控制了原生成矿的分带,其次是旁侧一系列入字形次级断裂,这些控矿断裂的特点是早期为韧性剪切(花岗岩底辟侵位时生成),后期是脆性断裂(花岗岩侵位后),二者在空间上的叠

加为成矿提供了最佳构造条件,在韧性剪切塑变流上若有脆性断裂,X形和羽状裂隙的叠加,便有脉状、格状和网状金矿的广泛发育。在S形主结构面上的构造透镜体中往往形成串珠透镜状富矿体。由于强烈的断裂活动和郭家店式共存重熔花岗岩浆作用,交代改造胶东群变质岩,形成玲珑交代型花岗岩,尤其成岩过程中使源岩中的载金矿物—辉石、角闪石、黑云母和部分长石遭受强烈改造,并使其中的金大量析出。不容忽视的还有广泛的钾化和绢云母化作用进一步改造载金矿物,将活化析出的金不断的转移到热液中,尤其热液富含 K^+ 、 Na^+ 时,可明显增加金的溶解度,并直接参加组成络合物,运载金属发生迁移,伴随韧性剪切—脆性断裂的扩容作用,在适宜的构造空间中富集成矿。由于玲珑花岗岩是在准固态下交代成岩的,缺乏岩浆式的强烈分异,所以金矿仅仅限于岩体内部富集。从实测得知,胶东群变质岩含Au24.83ppb,玲珑花岗岩含Au4.5ppb,滦家店花岗岩含Au0.75ppb,绢云岩含Au<2ppb,它们虽同出一源,但金的含量迥然不同,很明显,金的含量随着岩石改造程度的增强而降低。当源岩被改造成交代花岗岩时约有82%的金被析出,当进一步发生钾化和绢云母化时又有10%的金被析出,总共可以从源岩中析出约92%的金有机会参加成矿作用。至于壳源重熔岩浆型的郭家店花岗岩,经过强烈的分异作用金的析出就更明显了。总之,含金丰度高的胶东群矿源层经受了强烈的韧性—脆性断裂活动,共存花岗岩浆和交代型花岗岩的成岩作用以及广泛的钾化、绢云母化等因素的综合改造,为成矿作用创造了最佳地质条件,这就是胶东地区能够形成规模巨大金矿的根本原因。



1. 金矿石 2. 玲珑花岗岩 3. 角闪斜长片麻岩

图4 金矿石稀土分布模式

Fig. 4 REE pattern of ores

表20 胶东群地层含金丰度(ppb)(据泊勒三队)

Table 20 Gold abundance of Jiaodong Group

组别	主要岩石	含 Au 变化	平均含 Au
富阳组	黑云斜长片麻岩、角闪黑云斜长岩	10~151	20.00
民山组	黑云变粒岩、斜长角闪岩、石墨黑云片岩	4~260	26.18
蓬乔组	黑云变粒岩、斜长角闪岩、云母片岩	2~323	19.30

在上述地质条件下生成的金矿床,反映在找矿标志上主要有:a. NE—NNE 向韧性剪切带与脆性断裂叠加和交叉部位;b. 交代型花岗岩体中的钾化—绢云母化;c. 标型石英一般含杂质多,透明度差,气液包体中 CO_2 红外光密度 > 25 , H_2O 红外光密度 > 1.5 , 含 $\text{Sb} > 1.5\text{ppm}$, $\text{Sr} > 2.5\text{ppm}$, $\text{Ni} > 10\text{ppm}$;d. 黄铁矿强烈破碎;e. 原地针铁矿化和铁染;f. 线型植被繁茂带;g. 矿顶标型元素组合: As 、 Fe 、 Be 、 Sn 、 Co ;h. 地表氧化淋失带金的指示性边界指标 $> 0.24\text{g/t}$, 指示性最低平均指标 0.4g/t ;i. 物化探异常。

7 成矿模式

综合上述,玲珑金矿在成因上有如下特点:a. 根据区域成矿规律、地球化学场、岩石和矿物演化、微量元素、稀土元素和稳定同位素特点,确认成矿物质是来源于胶东群变质岩系,金矿和交代花岗岩均属同源产物,矿源层中金的析出包括二个过程,第一,在交代型花岗岩成岩期,改造源岩析出金;第二,在花岗岩体内发生韧性剪切和强烈蚀变时,又一次将金析出,并不断的转移到热流中;b. 根据氢氧同位素数据,成矿流体主要来自共存的重熔花岗岩浆派生的残余气液,还有间隙溶液和部分天水混合组成;c. 据气液包体成分分析,矿液中富含 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_2 , 推测金呈 $[\text{AuCl}_2]^-$ 、 $[\text{Au}(\text{SO}_4)]^-$ 、 $[\text{Au}(\text{HS})_2]^-$ 络合物形式搬运,随着 PH 值下降,钾钠的消耗(用于钾化)和铁的作用,使络合物破坏,伴随贱金属硫化物沉淀成矿;d. 成矿温度 $327 \sim 180^\circ\text{C}$, 压力约 $18.847 \sim 15.3\text{KPa}$, 中性—弱酸性 ($\text{PH} = 7.6 \pm$) 和弱还原 ($\text{Eh} = -85.54 \sim -0.75$) 环境;e. 伴随断裂的多次扩容,发生多次成矿,往往早期黄铁矿石发生破碎又被后期富含多金属硫化物组合填充叠加,造成金的富集。由于各种金属元素的浓度和迁移系数的差

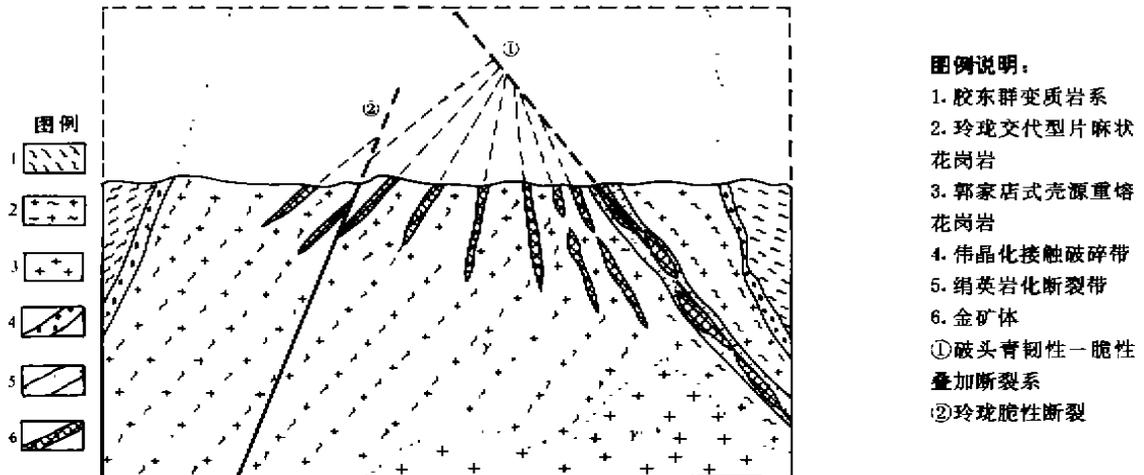
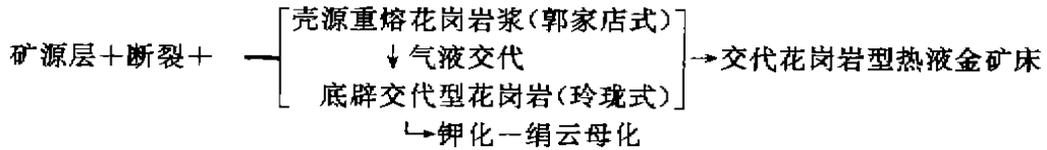


图 5 玲珑金矿成矿模式图

Fig. 5 Model sketch of Linglong gold ore deposit

异,造成原生成矿分带,其中硫化铁相对浓度最大,故黄铁矿生成范围布满全区。韧性剪切带中强烈绢云母化析出大量 SiO_2 携带金发生较远距离的迁移,沿构造裂隙形成含金石英脉。

含矿热流体是伴随底辟交代花岗岩的成岩和韧性剪切带的钾化—绢云母化,以交代或热侧分泌方式从源岩中不断获取成矿元素,在断裂活动驱使下沿隙迁移,形成交代花岗岩型热液金矿床。其成矿模式可概括为(图 5):



参考文献

- 1 胡世玲、王松山、桑海清、裘冀、张任祐,山东玲珑和郭家岭岩体的同位素年龄及其地质意义,岩石学报,(3)1987,83~88
- 2 王吉璠、余和勇,玲珑金矿田花岗岩中韧性剪切带与成矿的关系,矿床地质,9(3)1990,231~242
- 3 南京大学地化教研室,地球化学,地质出版社,1979
- 4 卢武长,稳定同位素地球化学,成都地质学院出版社发行组,1986
- 5 王真光、黄森云、芮晓燕,矿物包体成分物理化学参数的计算机程序,矿产地质动态(1)1988,28~35
- 6 何知礼,包体矿物学,地质出版社,1982
- 7 王义文,我国主要类型金矿床同位素地质学研究,地质论评,28(2)1982,108~177
- 8 Sibson, R. H., Fault rocks and fault mechanisms. J. Geol. Soc. London, Vol. 133, 1977, 191~213.
- 9 Seward, T. M., The complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions, Geochim. et Cosmochim. Acta, Vol. 37, 1973, 379-399

THE LINGLONG GOLD ORE DEPOSIT AND THE METALLOGENIC MODEL

Wang Jijun Feng Wentao

Abstract

The Linglong Gold ore deposit is a super-large size deposit occurring in the Yanshanian diapiric replacement genetic granite i. e gneissic biotite-K-feldspar granite. It is strictly controlled by a complicated fissure zone which is a ductile zone superimposed by brittle shearing. Potouqing fracture is the dynamic-heat center. Three primary mineralization are developed outward, pyrite quartz-veinlet mineralization—chalcopyrite-pyrite-quartz vein mineralization—multi-sulfides-quartz vein mineralization.

Long period of weathering leaves verticle zonation of oxidized-leaching zone, semi-oxidized-leaching zone and the primary zone. 89% gold were leached away from oxidized-leaching zone and 48% gold in the semi-oxidized leaching zone is concentrated. Alterations, such as K-alteration, sericitization, silicification and sericite-quartzitization take place along mineralized fractures. During the alterations there are 8 minerals were decomposed and transformed to new minerals. Electrum and native gold are filled interstitially in five occurrences. Therefore, gold tends to precipitate and concentrate in the place where pyrite is intensely cataclastic. Based on ore fabric, time-spatial distribution and mineral evolution three metallogenic epoch and five metallogenic stages are recognized accompanied by fracturing activity (ductile-brittle). Quartz fluid inclusion study shows that ore-forming temperature range in 327-180°C; pressure, in 18.847-15.3 Pa; $P_h=7.6(\pm)$; Eh, in-85.54~0.75; salinity, in 0.14-0.02(wt%); mineralization degree, 4.8-1.2 (MRg/L). Gold-rich solution contains Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_2 with high mineralization degree and high salinity. Isotope analysis indicates that ore materials are derived from Jiaodong Group which was replaced and modified by granitic magma producing mobilization of ore materials. Magmatic water mixed with meteoroid water transported and concentrated the ore materials. REE association also indicates the source of ore from Jiaodong Group. Eu increase is one of the marks for concentration of gold. Temperature-spatial combination of Jiaodong Group, ductile fissure superimposed by brittle shearing and diapiric granite is the main ore-controlling factor and the motive force for the metallogenesis is the mobilization of the continental margin caused by the Mesozoic Pacific Plate Movement. The typemorphic elements of Sr, Sb and Ni in quartz and infra-red spectral density are important information to ore prospect in Linglong Mine Area. The metallogenic model is summed up:

