

477-484
内蒙古东伙房金矿床矿物包裹体
研究和矿床成因*p618.510.4
p618.510.1

石准立

谢广东

(地矿系 北京 100083)

摘 要 着重研究了东伙房金矿床矿物包裹体的空间分布,并将其用于解释矿床成因。研究了成矿压力场、温度场和热液沸腾与矿质沉淀的关系,利用矿物包裹体气相和液相成分测定结果讨论了金的搬运形式。论述了碱性潜火山岩正长斑岩体与成矿的关系,指出矿床形成于印支期地幔热柱引发的张性成矿动力学背景之下,矿床属于和碱性岩有关的中浅成高温热液矿床。

关键词 东伙房金矿床, 矿物包裹体, 碱性岩浆, 热液沸腾

分类号 P618.51

矿床成因

东伙房金矿床位于内蒙古武川县。大地构造上属华北地台北缘,大青山北坡 NEE 向临河—集宁大断裂北侧次级 EW 向断裂、NNE 向断裂控制矿床分布。东伙房金矿床和该区韧性剪切带中的后石花金矿床明显不同,对其成因加以研究具有重要理论和找矿意义。

1 矿床地质简介

东伙房金矿床出露地层为太古宙集宁群,由麻粒岩相二辉斜长片麻岩、紫苏辉石二长片麻岩、辉石角闪斜长片麻岩等组成。片麻理走向南北,与韧性剪切带以南片麻理和小褶皱枢纽 NEE 走向的角闪岩相岩石分布区有很大差异,展示韧性剪切带为古元古代两地块拼贴线。矿区岩浆岩发育,包括太古代斜长花岗岩、吕梁期片麻状二长花岗岩、加里东期石英闪长岩、海西期辉长闪长玢岩、印支期正长斑岩、燕山期花岗岩(图1)。在辉长闪长玢岩和正长斑岩组成的复式岩体中心出露有 400 m² 的正长质角砾熔岩筒,环以宽约 5 m 的流纹状正长斑岩,流纹走向环岩筒而变化,向外变为块状正长斑岩,说明正长斑岩体为一火山机构。矿区内脉岩发育,成矿前有闪长玢岩、辉石角闪岩及闪长岩,成矿后包括正长斑岩、花岗斑岩、花岗闪长斑岩等。控矿断裂分布在正长斑岩体四周约 500 m 处,北侧 EW 向 F₂ 断裂控制 I、II 号矿体,东侧 NNE 向 F₄ 断裂带中产出 III 号矿体,南侧 NWW 向 F₁ 断裂矿化较弱,西侧也出现 SN 向控矿断裂,矿化较弱。这些断裂倾角较陡,但都倾向岩体方向。

I 号矿体是目前勘查和开采的主矿体,地表长 500 m,延深 300 m 左右。矿石有破碎蚀变岩型和石英脉型两类,以富硫化物为特征。围岩蚀变有钾长石化、黄铁绢英岩化、硅

收稿日期:1998-09-29

* 高等学校博士学科点专项科研资金资助项目成果。

第一作者简介:石准立,男,1930 年出生,教授,矿床学和矿产勘查专业。

化、绿泥石化和碳酸盐化。成矿阶段分为：石英黄铁矿阶段（Ⅰ）、多金属硫化物阶段（Ⅱ）、石英黄铁矿碳酸盐阶段（Ⅲ）。主要金矿物为自然金和银金矿，其他矿物有石英、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿等。自然金为中细粒，0.01~0.12 mm。金成色变化大，为 676~967，有裂隙金、包体金和晶隙金。

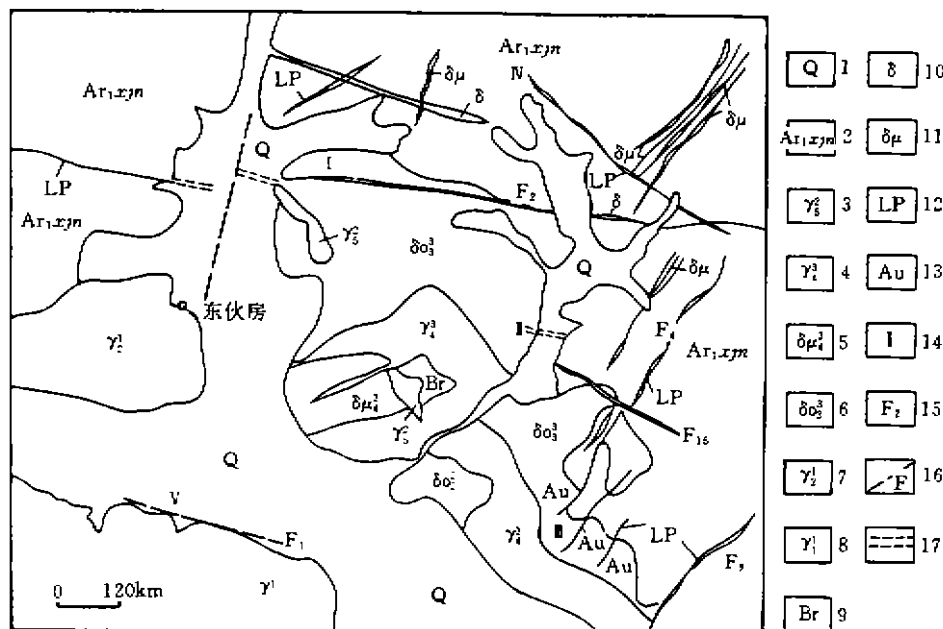


图 1 东伙房金矿床地质图（据内蒙古地质一队，简化）

Fig. 1 Geological map of Donghuofang gold deposit

1. 第四系；2. 太古宙集宁群；3. 燕山期花岗岩；4. 印支期正长斑岩；5. 海西期辉长闪长玢岩；6. 加里东期石英闪长岩；7. 吕梁期片麻状花岗岩；8. 太古宙斜长花岗岩；9. 角砾熔岩；10. 闪长岩脉；11. 闪长玢岩脉；12. 褐铁矿化破碎带；13. 金矿脉及编号；14. 矿带编号；15. 实测断层及编号；16. 推测断层；17. 隐伏矿带

2 矿物包裹体研究

2.1 包裹体类型

镜下观察，3 个成矿阶段石英的原生包裹体类型相似，主要特征为：（1）气液两相包裹体（图 2）：浅褐色或棕褐色，不规则形、圆形、椭圆形，石英负晶形，1~5 μm 为主，偶见 6~15 μm 者，气液比变化大（5%~35%）、数量多，有时成群出现；（2）含液相二氧化碳的多相包裹体：不规则形、椭圆形、圆形，石英负晶形，一般小于 6 μm ，个别 8~15 μm ，气液比变化大（5%~30%），液态 CO_2 含量变化也大（图 2）；（3）含石盐子矿物多相包裹体，数量少；（4）单一液相或气相包裹体，圆形、椭圆形、不规则形，1~5 μm ，分布不均，数量变化大。在一些包裹体群中，有时见到气液比变化很大的包裹体类型，其均一温度相差不大，且有的均一成气相，有的均一成液相，说明其为沸腾包裹体群。对分布于不同位置的 97 块薄片进行了系统观察，在矿体纵投影图上圈出沸腾包裹体群的范围，大致确定了沸腾区的上界（图 3）。

2.2 成矿温度

均一温度在莱茨 1350 热台上测定,共测薄片 75 个,获得测温数据 196 个。第 I 成矿阶段成矿温度主要在 350 ~ 400 °C 之间,第 II 成矿阶段为 250 ~ 350 °C,第 III 成矿阶段以 300 ~ 350 °C 为主。对第 II 成矿阶段(主成矿阶段)均匀分布于不同位置的 24 个样品进行了均一温度测定。每个样品测定 5 ~ 15 个包裹体,求其平均值,代表该点成矿温度,将其投在矿体纵投影图上,绘出等值线,即为该成矿阶段的热场(图 3)。由图 3 可见成矿时的温度梯度较大,达 0.3 °C/m,预示成矿垂直范围小。

2.3 成矿压力

对第 I、第 II 成矿阶段样品,采用

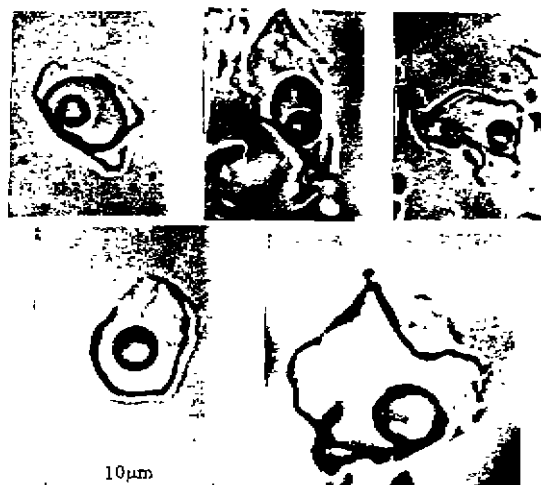


图 2 矿物包裹体类型

Fig.2 Types of fluid inclusions

左上两图为含液态 CO₂ 的多相包裹体,液态 CO₂ 含量差别大,其余为气液包裹体,气液比有差异

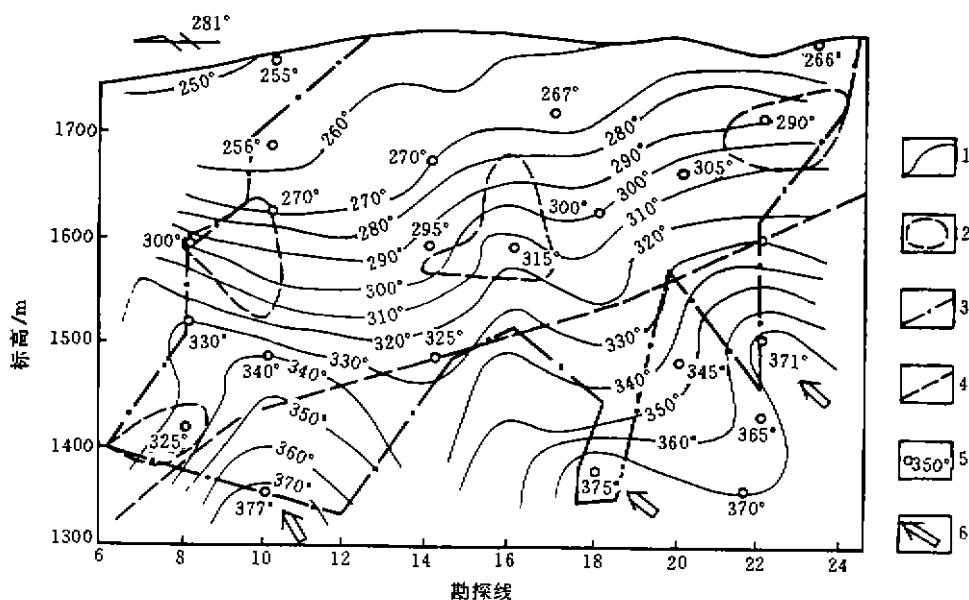


图 3 纵投影图上第 II 成矿阶段成矿热场、沸腾上界面及金矿体和富集区综合图

Fig.3 Ore-forming thermal field, up surface of boiling fluid inclusions,

orebodies and shoots at vertical project in Donghuofang gold deposit

1. 等温线; 2. 金品位大于 10×10^{-9} 的地段; 3. 矿体边界; 4. 沸腾区上界面; 5. 测温点及平均温度值; 6. 推测的矿液流动方向

含液相 CO₂ 的多相包裹体测定 H₂O 充填度、CO₂ 密度和均一温度,求取成矿压力的方法。为此,在室温下用目镜测微尺量出整个包裹体及液相 CO₂ (含气泡) 的直径或长短轴,分

别计算出其体积,用以求出 H_2O 的充填度,根据液相 CO_2 的均一温度求出 CO_2 的密度。内蒙古地研队测定的地表样品的压力值和我们所测的同高程上的结果一致,说明测定的压力值可信。

从用压力测定结果编制的压力与高程相关关系图(图4)可以看出,随深度增加压力变大,两个成矿阶段组成一条直线,说明两者有相似的压力场和压力梯度。将第Ⅱ成矿阶段压力值在矿体纵投影面上编制出等压线图,虽然数据略少,但概略反映了成矿的压力场(图5)。由图5可以看出成矿压力梯度较大,平均约 200 MPa/km ,低于静岩压力梯度 330 MPa/km ,显示出成矿时断裂处于张开状态,可能发生过对成矿溶液的泵吸作用。

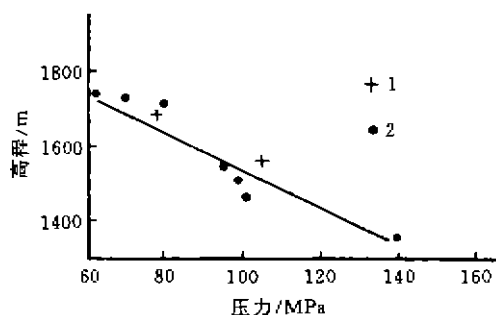


图4 东伙房金矿第Ⅰ、第Ⅱ成矿阶段成矿压力与高程相关关系图

Fig.4 Relation diagram of mineralization pressure and altitude in Donghuofang gold deposit

1. 第Ⅰ成矿阶段; 2. 第Ⅱ成矿阶段

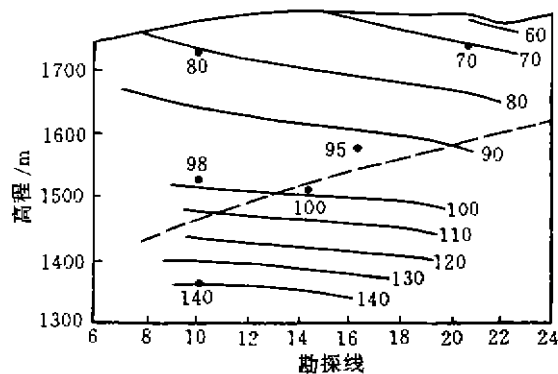


图5 东伙房金矿床第Ⅱ成矿阶段成矿压力场略图

Fig.5 Schematic diagram of ore-forming pressure field in main mineralization stage of Donghuofang gold deposit

矿体纵投影图,虚线为沸腾包裹体分布的上界面

2.4 矿物包裹体成分研究及金的搬运形式

对3个成矿阶段挑选了5个纯净石英集合样品,除进行气相色谱测定外,采用热爆法用去离子水提取包裹体,用液相色谱测定其成分,并对提取液做了微金分析。为了估算出成矿流体中金含量,详细测定了样品重量和提取液体积,利用下列公式进行计算:

$$\begin{aligned} \text{包裹体中成矿溶液中金含量} &= \frac{\text{样品包裹体中金含量}}{\text{样品包裹体中 } H_2O \text{ 含量}} \\ &= \frac{\text{提取液体积} \times \text{提取液金浓度}}{\text{气相成分测定的 } H_2O \text{ 量} \times \text{样品重量}} \end{aligned}$$

计算结果见表1。与H.H.巴兰诺瓦等对包裹体测金结果处于相同的数量级^[2],有可比性和代表性。

利用矿物包裹体成分测定数据,进行了 pH 值、 $\lg f_{O_2}$ 等物理化学参数的计算(表2)。东伙房金矿包裹体成分以 H_2O 为主。冷冻法求得盐度 w_{NaCl} 仅为 $1.018\% \sim 1.186\%$,利用矿物包裹体成分测定结果估算出的盐度也仅为 $1.21\% \sim 7.59\%$,多数为 $1.21\% \sim 2.91\%$ 。第Ⅰ、第Ⅱ成矿阶段成矿流体成分及物理化学参数相似,第Ⅲ成矿阶段 F 、 Cl 、 K 、 Na 、 Ca 等含量较前二者为高,相应地盐度、 pH 值等也略高(表2)。

表1 用爆裂法提取液时包裹体溶液中金含量估算
Table 1 Estimated content of Au in the fluid inclusions using
decrepitation method for extract of Au

样号	成矿阶段	样品重量/g	取液体积/ml	取液金浓度/ 10^{-9}	包裹体溶液中金含量/ 10^{-9}	包裹体溶液中水含量/ 10^{-6}	包裹体溶液中金浓度/mol
DH170	I	2.9501	26.80	0.80	7.268	503.93	7.32×10^{-5}
DH427	II	3.5104	25.50	1.40	10.170	503.06	1.03×10^{-4}
DH215	II	5.7752	22.80	0.70	2.764	513.28	2.73×10^{-5}
DH047	III	5.7287	26.60	0.40	1.857	335.86	2.67×10^{-5}
DH061	III	5.3851	26.70	0.65	3.223	405.02	4.04×10^{-5}

表2 各成矿阶段成矿流体金浓度及物理化学参数
Table 2 Content of Au and physico-chemical parameters
in various mineralization stages

成矿阶段	样号	矿物	各种物理化学参数						
			$w_{\text{NaCl}}/\%$	pH	Eh	$\lg f_{\text{O}_2}$	$\lg f_{\text{CO}_2}$	$\lg f_{\text{H}_2}$	$\lg f_{\text{CO}}$
I	DH170	石英	1.87	4.96	-0.39	-39.16	0.66	0.38	-3.56
	DH215	石英	1.90	4.51	-0.39	-40.60	0.99	0.82	-3.59
II	DH427	石英	1.21	4.68	-0.37	-39.25	0.47	0.43	-3.55
	DH047	石英	2.91	7.08	-0.59	-39.21	0.70	0.59	-3.41
III	DH061	石英	7.58	7.08	-0.59	-39.21	0.65	0.44	-3.47

成矿阶段	样号	矿物	各种物理化学参数							Au 浓度/mol
			$\frac{w_{\text{CO}_2}}{w_{\text{H}_2\text{O}}}$	$\frac{m_{\text{Na}^+}}{m_{\text{K}^+}}$	T/°C	m_{Na^+}	m_{Cl^-}	m_{K^+}	$m_{\text{SO}_4^{2-}}$	
I	DH170	石英	0.03	8.58	350	0.14	0.19	0.017	0.049	7.32×10^{-5}
	DH215	石英	0.06	24.20	264	0.11	0.12	—	0.029	1.03×10^{-4}
II	DH427	石英	0.02	0.00	295	0.16	0.20	0.007	—	2.73×10^{-5}
	DH047	石英	0.03	1.69	258	0.10	0.78	0.061	0.10	2.67×10^{-5}
III	DH061	石英	0.03	22.55	240	0.54	0.39	0.023	—	4.04×10^{-5}

注:“—”表示低于检出限

第I和第II成矿阶段发育大量硫化物,且矿物包裹体盐度低, Cl^- 含量少,所测矿物包裹体中Au浓度与 $w_{\text{CO}_2}/w_{\text{H}_2\text{O}}$ 、 m_{Na^+} 、 m_{Cl^-} 值成反比,故Au应以 $\text{M}^+ [\text{Au}(\text{HS})_2]^-$ 等Au-S络合物形式搬运。第III成矿阶段矿物组合中硫化物数量少,矿物包裹体盐度略高,溶液中Au浓度与 $m_{\text{SO}_4^{2-}}$ 成反比,与 m_{Na^+} 、 m_{Cl^-} 成正比(表2),故金以Au-Cl络合物形式搬运的可能性更大。

3 岩体与成矿关系及成矿时代

岩浆活动与成矿关系是矿床成因的重要问题,它涉及岩体和矿体的时间和空间关系、成矿物源和岩体热能与成矿等问题。

3.1 岩体和矿体的时空关系

有5条矿脉围绕正长斑岩岩株分布,从空间分布上显示它们成因关系密切。为了确定成矿年龄,在平硐中采集新鲜而强烈蚀变的黄铁绢英岩,粉碎后制成水悬浮液,用离心机

提取绢云母,经 X 光衍射分析,样品中绢云母占 85%,绿泥石和石英占 15%。经 K-Ar 稀释法测定,求得成矿年龄为 (239.98 ± 4.33) Ma。对正长斑岩全岩样获得 K-Ar 年龄为 (250.34 ± 5.66) Ma。内蒙古地研队采用锆石铀铅法测得正长斑岩年龄为 237 Ma,因此成矿与成岩时间极为接近,说明两者关系密切。

3.2 岩体热能与成矿

将正长斑岩岩体北侧和东侧的矿脉和岩体内矿化石英脉的均一法测温资料投影于平面图上,编制出等温线图(图 6),分析温度变化规律可以解决岩体热能在成矿中的作用。从图 6 可以看出,越靠近岩体,温度逐渐升高,达到 450°C ,不利于金的沉淀。这可能是矿体分布于距岩体一定距离的原因。

3.3 成矿物源

正长斑岩岩株规模小,不可能是成矿的母岩。辉长闪长玢岩(3 个样平均含 Au 8.6×10^{-9})和正长斑岩(2 个样平均含 Au 10.4×10^{-9})金含量都较高,其岩浆源区或岩浆房可能与金矿源有关。正长斑岩与中基性岩浆岩密切共生,推测它们都为地幔来源。

前人^①对脉石英测定的 H、O 同位素组成表明成矿流体以岩浆水为主,矿石矿物硫同

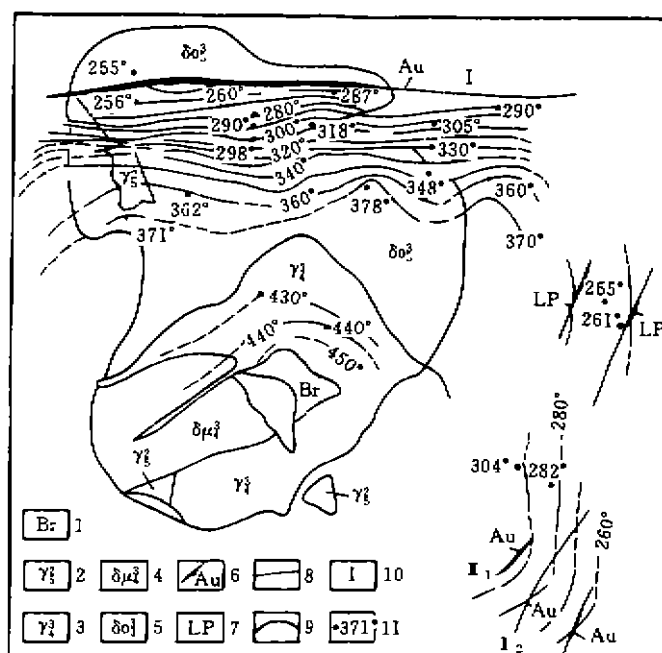


图 6 东伙房金矿床围绕正长斑岩体的成矿热场

Fig. 6 Ore-forming thermal field around the syenite porphyry in Donghuofang gold deposit

1. 角砾熔岩筒; 2. 燕山期花岗岩; 3. 印支期正长斑岩; 4. 海西期辉长闪长玢岩; 5. 加里东期石英闪长岩; 6. 金矿脉; 7. 含金褐铁矿化破碎带; 8. 等温线; 9. 岩性界线; 10. 矿脉编号; 11. 测点位置及温度值

① 张履桥等, 华北地台北缘金矿成矿地质条件、成矿规模及矿床预测, 科研报告, 1990。

位素组成8个样变化于0.002%~0.61%之间,总硫为0.47%,以幔源为主,方铅矿铅同位素组成也说明为幔源铅。从这些资料推断成矿流体是由正长斑岩的岩浆源区或岩浆房提供的。

4 矿床成因

前述印支期正长斑岩与成矿关系密切,而正长斑岩与中基性辉长闪长玢岩(K-Ar法测年为274 Ma)组成复式岩体。它们类似于裂谷中出现的双峰式岩浆组合,据此我们曾指出东伙房金矿床形成于裂谷或造山后构造环境^[3]。考虑到本区沉积物缺少三叠系等特点,与地幔热柱有关的张性构造环境解释更为恰当。西起包头、经东伙房、凉城、天镇、阳原到崇礼,发育印支期碱性岩带(190~260 Ma)^[4],此带中分布有哈达门沟^[5]、东伙房、东坪^[6]等富钾长石化热液金矿床。这可能与地幔热柱有利于幔汁中富碱流体上涌有关。

矿床处于长期活动的临河—集宁大断裂带是成矿的重要条件。该带古元古代两个地体拼贴形成宽大的韧性剪切带。海西期在近SN向挤压应力下形成NNE向右旋压扭性大断裂,其北侧产生次级EW向和NNW向压扭性和NNE向张性断裂,中基性脉岩就位于这些断裂和裂隙构造之中,奠定了成矿前的基本构造格架。印支期初地幔热柱使本区转入张性构造环境,成矿前断裂张开,发生泵吸促使深部成矿溶液上升而成矿。

确定矿质沉淀方式是研究矿床成因的一个重要方面。沸腾包裹体群的发现对解释金的沉淀至关重要。从图3可见,沸腾现象出现的上界面大致与330~340℃等温线一致。大部分矿体分布于此界面之上,金的主要富集区段距此界面有相似的距离。矿体的这种分布格局说明,成矿溶液发生沸腾应是金沉淀的主要因素。类似现象常常发生在浅成低温热液矿床之中^[7],但东伙房金矿床形成深度较之略深,成矿温度较高。矿体上部压力值70 MPa可能代表成矿时静岩压力,约相当于2~2.5 km深度,矿体深部压力达140 MPa,它可能包含着上涌流体来自深部的压力,不能以之估算成矿深度。矿床中发现超临界包裹体、矿液沸腾区段温度较高达340~370℃,向上逐渐降低到270℃。引起矿液发生沸腾的主要原因是压力降低和温度的变化,但两者的作用大小有所差异。矿床形成时压力梯度很大,达0.2 MPa/m。图5显示矿液沸腾区等压线密度大,压力梯度达0.33 MPa/m,其上矿体分布区等压线密度稍稀,压力梯度仅0.09 MPa/m。如此巨大的压力梯度变化无疑是引起矿液沸腾的主因。与之相反,矿床的温度梯度仅0.3℃/m,成矿溶液发生沸腾的等温线密度小于矿化富集地段,说明它对矿液沸腾次要,而对金沉淀起更重要的作用。矿液沸腾时有大量H₂S、CO₂等挥发分从成矿溶液中逸出,导致溶液pH值等参数改变,破坏了体系的平衡,使Au-S、Au-Cl等络合物分解发生金的沉淀而成矿。这种平衡条件遭受破坏的矿液,在向上迁移时温度继续降低,进一步使Au-S等络合物大量分解而形成工业矿体及金的富集地段。这样,就形成了上述矿体相对于沸腾区的分布格局。

东伙房金矿尽管有沸腾包裹体群存在,并不能简单地将该矿床划为浅成低温热液型,它属于和碱性岩有关的中浅成中高温热液矿床。

作者在前北京地质学院学习和工作期间,于冯景兰教授处受益颇多,先生生前在经济地质方面涉猎极广,金矿地质方面多有建树。值此冯景兰教授百年诞辰之际,谨以此文作

为对先生的怀念。

参 考 文 献

- 1 石准立, 谢广东. 内蒙武川后石花—东伙房两类金矿床的地质特征和成矿机制. 现代地质, 1993, 7 (增刊): 1~8
- 2 Баранова Н Н, Кольмов А Б; 张维根译. 热液中金属组分和挥发性组分对金的迁移过程和沉淀过程的影响 (据液态包体的研究结果). 地质地球化学, 1987, 12: 171~177
- 3 陈纪明, 刘纲, 李才春等. 内蒙古乌拉—大青山绿岩型金矿床地质. 北京: 地质出版社, 1996. 99
- 4 阎国翰, 许保良, 牟保磊. 中国北方中新生代板内拉张性岩浆作用及其地球动力学意义. 见: 北京大学地质学系编. 北京大学国际地质科学学术研讨会论文集. 北京: 地震出版社, 1998. 650~659
- 5 中国人民武装警察部队黄金指挥部. 内蒙古自治区哈达门沟伟晶岩金矿地质. 北京: 地震出版社, 1995
- 6 赵振华, 周玲棣, 包杏伟等. 张家口地区 (东坪) 与碱性岩有关的金矿床. 见: 中国科学院黄金科技工作领导小组办公室主编. 中国金矿研究新进展, 第一卷下篇. 北京: 地震出版社, 1994. 399~418
- 7 Cole D K, Drummond S E. The effect of boiling on Ag/Au ratios in hydrothermal solution: a preliminary assessment and implication for the formation of epithermal precious-metal ore deposits. Journal of geochemical exploration, 1986, 25 (1~2): 45~60

STUDY ON FLUID INCLUSIONS AND GENESIS OF DONGHUOFANG GOLD DEPOSIT, INNER MONGOLIA

Shi Zhunli Xie Guangdong

(China University of Geosciences, Beijing, 100083)

Abstract

Boiling inclusions are first discovered in Donghuofang gold deposit. The distributions of boiling inclusions and orebodies in vertical project indicate that abrupt decrease of ore-forming pressure is the most important factor, causing boiling of ascending ore fluid along the opening fault. Boiling of ore-forming fluid and decrease of the temperature made Au precipitate in the gold veins. The study on the compositions of fluid inclusions shows that the transport forms of gold in I and II mineralizing stages were complex Au-S, but in III mineralizing stage complex Au-Cl is major form of transportation. Space-time relationship between orebodies and syenite stock, and the mineralizing thermal field of gold veins around this stock show them having similar sources. Alkali-magma which formed the syenite stock was from mantle. Bimodal magmatic association in Donghuofang gold deposit shows the extensional metallogenic geodynamic related to the mantle plume, so the Donghuofang gold deposit is hypo-mesothermal deposit. It is connected with alkali-magma, and formed at period of India-China (239.98 Ma).

Key words: Donghuofang gold deposit, fluid inclusion, alkaline magma, hydrothermal boiling