

文章编号:1009-0258(2001)03_04-0025-05

招远市夏甸金矿含金流体成因 及就位机制的研究

穆太升¹,董鑫¹,曲延波²,许洪泉²,孙忠实³

(1. 招远夏甸金矿, 山东 招远 265400; 2. 山东省国土资源厅, 山东 济南 250014; 3. 吉林大学, 吉林 长春 130061)

摘要: 通过对夏甸金矿石英中流体包裹体成分和矿石微量元素测定, 得出含金流体为幔源—岩浆和变质复合成因。依据容矿断裂形成机制的理论分析、高温高压实验研究、含金流体就位过程及容矿断裂形成环境的探讨, 提出复合含金流体主动就位机制。

关键词: 金矿; 含金流体成因; 主动就位机制; 山东夏甸

中图分类号: P618.5101

文献标识码: A

夏甸金矿脉与基性—超基性脉岩关系密切, 曾被认为是同源岩浆分异的结果, 但岩浆分异机理始终没有一个合理的或令人满意的解释。近年来国内外一些学者开始注意到金矿床的形成与幔源流体的关系, 并且幔源流体就位机制与容矿断裂的形成等已成为矿床学的重要前沿之一^[1], 本文对山东夏甸金矿床的流体来源和就位机制进行了较系统和深入的探讨。

1 含金流体成因

山东夏甸金矿位于招平断裂带之上。近年来, 随着矿山生产的不断发展, 相继在断裂带上盘(下庄)和下盘(姜家窑)(支脉)发现了新的金矿体, 其矿山规模也由小型一跃变成中型。通过研究发现, 成矿流体为复合成因(表1), 既有变质流体或雨水的大量加入,

表1 石英包裹体气液相成分分析结果

Table 1 Component analysis results of gas-liquid facies in quartz inclusions

样号	阳离子组(g/L)				阴离子组(g/L)				气体组($\mu\text{g/L}$)						盐度	pH	Eh	
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	H ₂ O	Wt		(V)
A5	3.47	8.87	11.35	2.84	0.42	14.84	2.85	8.51	3.06	11.73	1.67	<0.05	3.02	59.6	650.2	2.86	6.60	-6.26
A21	3.50	9.39	149.20	26.84	0.33	26.93	2.20	6.73	5.90	8.18	2.90	<0.05	6.14	113.6	826.8	2.97	6.85	-6.50
A9	2.74	5.77	10.24	1.88	0.34	16.99	2.32	6.92	4.23	12.66	3.39	<0.05	4.39	37.9	786.7	1.95	6.45	-6.18

注: 样品采自下庄, 由长春科技大学测试中心测试。

收稿日期: 2001-03-24; 修订日期: 2001-07-30; 编辑: 孟舞平

作者简介: 穆太升(1962-), 男, 山东聊城人, 高级工程师, 主要从事矿产开采管理工作。

又有来自地幔和岩浆的热液。幔源流体主要体现在两个方面：金矿与基性—超基性脉岩相伴产生,常位于辉绿岩脉、煌斑岩脉之内或上、下盘,二者形成时代都为燕山期；硫同位素($^{34}\text{S} = 0\text{‰} \sim 6\text{‰}$),碳同位素($^{13}\text{C} = -4.7\text{‰}$),石英包裹体中 CO_2 含量高达113.6mg/L(表1),表明成矿流体主要来自上地幔。

经对矿石微量元素测试(表2),Au,As,Sb,Bi,Co,Ni及Co/Ni比值有明显差别,表明各金矿床成矿流体的形成温度、深度和含金量等不同。通过元素组合分析(图1),夏甸金矿支脉钻孔矿石19种元素分为三组: Au,Bi,Co,Ag,Pb,Sb,Cr,As,Mn; Ni,B,Ti,Mo,Zn,Hg,W,V;(3)Cu,Sn。从相关系数来看,Au与其它元素密切相关,相关系数由高到低的顺序为Bi,Co,Pb,Sb,Ag,As,反映了岩浆热液成因。

另外,从各矿床中所出露的酸性石英斑岩、石英闪长玢岩、闪长玢岩与基性煌斑岩等脉岩相互切割、与金矿在空间上紧密伴生、形成时间相近等特征都表明成矿流体具地幔和岩浆复合成因。

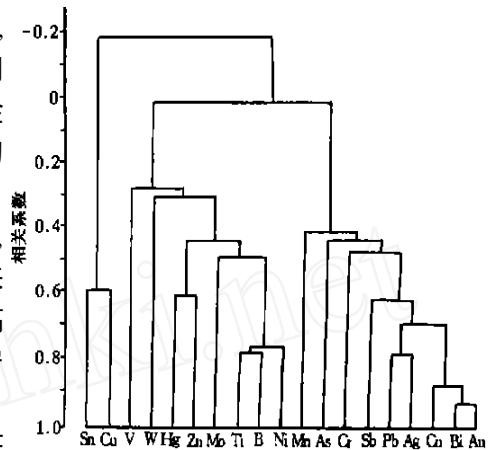


图1 夏甸金矿支脉元素型聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of elements types in vein of Xiadian gold deposit

表2 主要微量元素含量对比(10^{-6})

Table 2 Content contrast between major microelements (PPm)

	Au	Au/Ag	Co	Co/Ni	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn
支脉	10.69	0.99	5.1	1.51	5.5	0.53	1.99	60.5	593	416
夏甸金矿	7.91	0.89	32.6	0.98	42.5	1.14	5.48	4.1	492	242
夏甸号脉	6.96	1.24	31.2	2.27	25.5	0.80	4.20	168.6	300	215
夏甸号脉	12.30	0.82	33.8	1.14	63.7	1.56	4.55	701.9	439	286
姜家窑矿石	3.17	1.19	35.0	0.66	52.8	2.68	1.91	117.4	495	160
姜家窑矿石	7.77	1.41	44.1	1.94	27.7	1.99	4.28	137.4	811	229
尹格庄金矿	23.6	4.61	13.5	0.64	11.3	1.71	7.22	271.6	1391	550

2 复合流体主动就位机制

2.1 复合流体主动就位机制存在的证据

幔源流体、岩浆热液和变质热液萃取围岩金质形成含金流体,由导矿构造(主要指招平断裂)进入容矿构造(主要指下盘支脉和上盘下庄断层)过程中,依自身扩张力或贯入力而使岩石发生破裂,导致含矿流体运移、容矿断裂的形成和含金流体的沉淀近于同时进

行。本文把这种成矿过程称之为复合含金流体主动就位机制(前人又称水力破裂^{[2][3]};流体自生裂隙;液压致裂^[4])。大型金矿主要分布在深大断裂两侧不远的次级构造内,含金流体呈定向性贯入并不在早期其它方向裂隙中沉淀、控矿构造不具有岩石专属性、多种控矿构造组合形式在短距离内可明显反映出含金流体扩张力或贯入力由强到弱的连续性变化等,这些都是含金流体主动就位机制的主要野外鉴别标志。

2.2 容矿断裂形成机制的理论分析

根据 Griffith 准则(岩石发生破裂的唯一条件是应力莫尔圆与破裂包络线相切)和应力应变公式计算,总结出影响岩石破裂的因素主要有三个方面^[4]: 岩石抗张强度 T ; 岩石所受应力 σ_1 和 σ_3 ; 流体压力 P_f 的大小。当岩石抗张强度 T 和构造应力 σ_1 和 σ_3 都处于平衡状态,流体压力 $P_f = \sigma_3 + T$ 时,即有液压破裂作用的发生。因此,在一定的区域地质背景下,流体的参与和压力 P_f 的大小构成岩石发生破裂的主要因素之一。

另外,从断裂的生长速度与流体粘度的关系,运用该动力学公式计算^[5]可得出:若裂隙宽度为 10^{-2} m,流体的驱动压力仅为 2.6×10^4 Pa,一条垂向长 5km 的裂隙,只需 1 年时间就可完成。

2.3 容矿断裂形成的高温高压实验研究

为进一步了解容矿岩石受力状态,在 Griffith 准则基础上,再增加一定温度即带有差应力条件下的高温高压实验来探究应力与应变转化关系和岩石的力学性质。按不同温度段和不同差应力梯度对矿区外围 16 件花岗岩岩样品进行系列实验,从中确定出能反映应力与应变转化关系的样品(高 5cm,直径 2.5cm)主要有两件 TP10 和 TP12,实验结果如下:

2.3.1 样品 TP10 载荷与位移关系

样品围压 1×10^7 Pa,温度 400 °C 固定,然后按设定的应变速率 (10^{-8} /S) 进行加载,当载荷 (23765 千克) 应力达到 4.85×10^7 Pa 时(按已标定的修正值,包括要克服的摩擦力约为 $1/2$ ^[6]) 岩石开始发生宏观破裂。载荷—位移曲线达到屈服破裂点后迅速下降,实验时间 20000 秒,样品应变量为 1.2% (图 2)。

2.3.2 样品 TP12 载荷与位移关系

按已标定的修正值,将 TP12 样品处于静压状态,即围压 1×10^7 Pa,轴压 8925 千克,然后逐渐加温(达 480 °C)、加压(11420 千克),差应力达 5×10^7 Pa (包括要克服的摩擦力)时,岩石开始发生破裂,样品应变量为 2% (图 2)。

样品 TP10、TP12 实验结果表明:成矿时的花岗岩在一定温度 (400 ~ 480 °C)、围压 (1×10^7 Pa) 条件下,加少许差应力达 $48.5 \times 10^6 \sim 50 \times 10^6$ Pa 时(本次实验虽没有流体加入,但该差应力是幔源成矿流体所具有的最低压力,且 $P_f = \sigma_3 + T$),复合成矿流体在地壳深部和浅部都有破裂作用的发生。

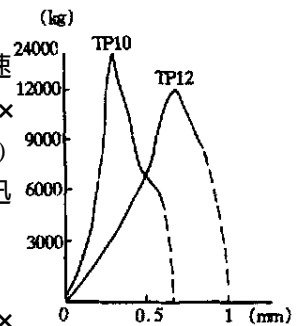


图2 载荷—位移曲线图

Fig.2 Curve showing load - displacement

3 含金流体瞬间就位过程

液压张破裂的形成,为含矿流体进一步活动提供了空间。在容矿断裂形成的即刻间,产生了巨大的压力降,促使高压流体迅速涌入张裂隙,如同抽吸泵一般^[7]。该过程使含矿流体所处物理化学环境发生了改变,如温度和压力降低, SiO_2 与含金络合物的溶解度减少^[8]。也可使流体发生相分离^[9],导致 pH 、 f_{O_2} 和组分浓度升高^[10],从而使金的溶解度降低。因此,裂隙一旦形成,金矿流体中的成岩成矿元素(SiO_2 , Au等)在流体流过裂隙的瞬间,因浓度压力降低或流体沸腾,溶解度低而迅速沉淀。形成含金石英脉,裂隙随之“愈合”。

含金石英脉具瞬间性质的形成过程,代表成矿流体主动就位机制的主要特征。流体主动就位与沉淀二者时间差极短,或近于同时,这一点可通过数学公式得到证实^[11]。从石英脉形成速度研究表明,即使石英以 $3.15\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 这样慢的速度沉淀,175cm宽的裂隙在555年内填满;22cm宽的裂隙70年即可填满。从地质意义上讲,脉体的就位过程应该是瞬间完成的。

可见,正是含金 SiO_2 流体沉淀具有瞬间性,使含金流体未来得及进入其它裂隙之前, SiO_2 和金质一起固结在液压破裂隙之中。在空间上二者具有一致性,同时也正是含金 SiO_2 流体沉淀具有瞬间性和液压裂隙本身所具有的“愈合”性,才得以沉淀时剩余的流体被挤压入围岩之中而形成矿体围岩蚀变岩。

4 容矿断裂形成环境

山东夏甸金矿床座落在招平韧—脆性剪切带之上,韧—脆性剪切使岩石渗透率升高,聚集在该带下部的含矿流体压力 P_f 降低,流体压力介于 $10 \times 10^7 \sim 90 \times 10^7 \text{Pa}$ 之间(已大大超出实验时所需求的最低压力 $48.5 \times 10^6 \sim 50 \times 10^6 \text{Pa}$)。流体的成矿温度高达 460°C ^[11],与实验温度一致。成矿最大深度按10km计与成矿流体由气相变为液相和莫尔圆与破裂包络线相切易产生张破裂的深度相对应。显然,在区域定向应力作用下,带有一定温度和压力的深部幔源含矿流体($P_f = P_3 + T$)向上运移,渗透过韧—脆性剪切带,岩浆热液加入,流量加大产生厘米级宽度的水压破裂并快速向浅部增殖,通过导矿构造,进入其附近地区,极易将岩石劈开。若流体驱动压力仅为 $2.6 \times 10^4 \text{Pa}$,劈开裂隙速度按 $5\text{km}/\text{a}$ 计,就20多公里长的招平金矿带来说仅需要4年时间就可完成。因此,这种液压破裂作用的产生,为成矿流体主动就位打开了大门,形成有规律分布的次级脆性容矿构造。夏甸金矿属脆性容矿断裂迭加在韧—脆性构造之上,类似的还有吉林夹皮沟、冀东金厂峪、小秦岭以及山东焦家、新城和三山岛、上仓等大型超大型金矿。

5 结语

除变质热液、岩浆热液和天水外,成矿流体也可来自上地幔,运移方式有三种:深部韧

—脆性剪切带孔隙渗透;中部沿深大断裂向上运移;浅部主动就位。这对于金矿脉与基性—超基性脉岩和中酸性脉岩的关系,以及金矿脉在空间呈有规律性地分布和建模研究等增加新的内容。

本文得到单位领导和研究部门的热情指导和大力帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 邓军,徐守礼,方云,等.胶东西北部构造体系及金成矿动力学[M].北京:地质出版社,1996.
- [2] Spera F.J. Dynamics of transilthopheric migration of metasomatic fluid and alkaline magma. *Mantle Metasomatism* MA Menzies, et al, 1987, 1 - 20.
- [3] Spera F.J. Caubon dioxide in igneous petrogenesis: fluid dynamics of mantle metasonatism. *Contrib Mineral Petrol*, 1981, 77, 56 - 65.
- [4] 邵世才,何绍勋.剪切带型金矿床中含金石英脉的一种可能成生机制[J]. *大地构造与成矿学*, 1994, 18 (2) : 155 - 162.
- [5] 岳石,马瑞.实验岩石变形与构造成岩成矿[M].长春:吉林大学出版社,1990.
- [6] 孙丰月,石淮立,冯本智.胶东金矿地质及幔源 C - H - O 流体分异成岩成矿[M].长春:吉林人民出版社,1995.
- [7] Sibson, R. H., Robert, F., Pulsen, K. H. High - angle reverse faults, fluid - pressure cycling, and mesothermal gold - quartz deposits. *GEOLOGY*, 1988, (16) : 551 - 555.
- [8] Shenberger, D. M. et al. Solubility of gold in aqueous sulfide solutions from 150 ~ 350 . *Geochimiet Cosmochim Acta*, 1989, 53, 269 - 378.
- [9] 卢焕章.从包裹体研究探索太古代一些金矿的成矿机理[J].《*矿物学报*》, 1991, 11 (3) : 289 - 297.
- [10] Drummond, S. E. et al. Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems.
- [11] 立见辰雄.矿床学[M].北京:地质出版社,1982, 132 - 136.

Origin of Gold - bearing Fluid and Study on Its Emplacement Mechanism of Xiadian Gold Deposit in Zhaoyuan City

MU Tai - sheng¹, DONG Xing¹, QU Yan - bo², XU Hong - quan², SUN Zhong - shi³

(1. *Xiadian Gold Mine in Zhaoyuan City, Shandong, Zhaoyuan 265400, China*; 2. *Shandong Department of Land and Resources, Shandong, Jinan 250014, China*; 3. *Jilin University, Jilin, Changchun 130061, China*)

Abstract: Through determination of components quartz fluid inclusions and microelements of ores in Xiadian gold deposit, it is regarded that the origin of gold - bearing fluid formed by mantle derived magma and metamorphism. According to theoretical analysis of ore - bearing fault forming mechanism, high temperature and pressure experiment, and emplacement process of gold - bearing fluid and study on ore - bearing fault forming environment, forcible emplacement of composit gold - bearing fluid is put forward in this paper.

Key words: Gold deposit; origin of gold - bearing fluid; forcible emplacement mechanism; Xiadian in Shandong province