2008 年 2 月
29 卷 1 期 :81-88

地 球 学 报
ACTA GEOSCIENTICA SINICA

Feb. 2008
29(1) :81-88

焦家金矿床成矿流体运移的通道、方式及驱动机制

郭 涛[1)] 邓 军[2)] 吕古贤[1)] 孙之夫[3)]

1) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;
2) 中国地质大学, 北京 100083;
3) 山东省黄金工业公司焦家金矿, 山东莱州 261441

摘 要 流体输导系统是成矿研究中的一个重要内容。本文通过焦家金矿床地质特征研究及趋势面分析等手段, 探讨矿床成矿流体运移的通道和方向,进而对流体运移的方式和驱动作了分析。认为矿体的形成和空间分布受断裂流体输导系统的控制,流体总体从南西向上和侧向运移;由于断裂构造带不同部位岩石破碎程度不同,从而导致具有差异的孔隙度和渗透率,进而影响流体的运移方式;流体运移的驱动力主要由构造产生的附加静水压力所引起,同时重熔岩浆的上侵作用加速了流体的运移速率。

关键词 趋势面分析;运移通道;运移方式;驱动力;流体;焦家

中图分类号:P618.51 **文献标识码**:A **文章编号**:1006-3021(2008)01-81-08

The Channel Way, Style and Driving Mechanism of Ore Fluid Migration in the Jiaojia Gold Deposit

GUO Tao[1)] DENG Jun[2)] LÜ Guxian[1)] SUN Zhifu[3)]

1) *Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing* 100081;
2) *China University of Geosciences, Beijing* 100083;
3) *Jiaojia Gold Mine, Shandong Company of Gold Industry, Laizhou, Shandong* 261441

Abstract The fluid conduction system is an important component part of the metallogenic research. Based on geological studies of the Jiaojia gold mine and trend surface analysis, the authors investigated the channel way and direction of ore fluid migration in this mine and, on such a basis, analyzed the style and driving force for fluid migration. It is held that the formation and spatial distribution of ore bodies were controlled by the fault fluid conduction system, and that the ore fluid moved on the whole from southwest upward and laterally. As the shatter degrees of rocks in the faulted structural zone were different in different positions, the porosities and rates of percolation were also different in different places, which affected the migration style of the fluid. The authors consider that the driving force of fluid migration was mainly caused by additional static water pressure resulting from structures, and that the upward intrusion of the anatectic magma accelerated the fluid migration.

Key words trend surface analysis; migration channel way; migration style; driving force; fluid; Jiaojia

成矿作用是一个复杂的动力学系统。成矿系统由矿源子系统、输矿子系统、储矿子系统、动力子系统及时间跨度等多个因素组成(翟裕生等,1999;邓军等,1999)。在成矿过程中,构造作用控制着系统演化的进程,而流体则是成矿物质活化、运移的载体。其中输矿子系统对矿化的形成,特别是热液矿

本文由国土资源部科技项目"构造作用下流体的运移及物理化学效应"(编号:992027)和中国地质科学院地质力学研究所基本科研业务费项目"成岩成矿深度构造校正测算研究"(编号:DZLXJK200702)联合资助。
收稿日期:2007-03-26;改回日期:2007-04-26。责任编辑:刘志强。
第一作者简介:郭涛,男,1972 年生,副研究员,研究方向:矿田构造;通讯地址:100081,北京市海淀区民族大学南路 11 号;电话:010-68486476;E-mail:gtaot@sohu.com。

CAGS

床的形成起着至关重要的作用。由于成矿流体的运动,才使得溶解、携带其中的矿物质得以富集,从而促使成矿作用得以源源不断地进行。

目前对于输矿系统研究的较少,大多数的研究多集中在油气运移作用中。通常认为流体的运移与不同介质条件有关,并且提出了多种油气运移的体系模式(白玉宝,1996;仵彦卿等,1998;童亨茂等,1999)。在成矿流体输导研究方面,最近才引起重视。这不仅因为流体的输导系统与矿化蚀变有着密切的联系,而且又可能是实际的富矿地段,流体运移通道的形态可能对形成一些大型、超大型矿床起着关键作用。在国外,Cline 等(1992)提出了浅成热液金矿床中沸腾作用引起的流体流动—硅质运输—矿质沉淀的数学模型;Sibson(1994)和 Robert 等(1995)提出的'断裂阀—地震泵吸—周期性破裂—愈合'成矿模式。国内,向才富等(2000)提出了沉积岩区成矿流体运移的输导体系;於崇文等(1998)、杨瑞琰等(2001)从成矿流体热质输运与反应动力学出发,探讨了成矿流体输运的动力学特征;杨巍然(1996)、解习农等(1996)、翟裕生(1999)从构造—流体—成矿的角度阐述的成矿流体的构造模型;杨敏之等(1996)与吕古贤等(1999)从矿化体的围岩蚀变特征分析流体的运移方式和通道。这些研究极大地丰富和加深了流体输导体系的研究,对于成矿研究和找矿预测都有着重要的作用。

本文从焦家金矿床地质特征研究出发,在分析矿床矿石构造裂隙的基础上,通过矿体产出特征、矿化类型、强度及矿体品位、厚度数据的数理分析等手段,探讨矿床的成矿流体运移通道和方向,进而对流体运移的方式和驱动了作了阐述。

1 矿床地质特征

焦家金矿位于胶东西北部,是'焦家式破碎带热液蚀变岩型'金矿的命名地。它以规模巨大、矿体形态简单、矿化连续、稳定等特点明显有别于石英脉型金矿(吕古贤等,1999)。焦家金矿总体受焦家断裂带控制(图 1)。断裂北部发育在郭家岭岩体与玲珑岩体、以及玲珑岩体与胶东群的接触带中,主断面波状起伏,走向平均 NE30°,倾向 NW,倾角 35°左右,在平面上呈'S'状。断裂带内部结构分带性极为明显,由主断面向两侧依次不对称发育了断层泥带、挤压片理带、构造透镜体带、密集节理带和稀疏节理带。矿体赋存于断裂中段构造强烈的破碎蚀变带中,并偏向于胶东群和花岗岩的内接触带,矿化基本

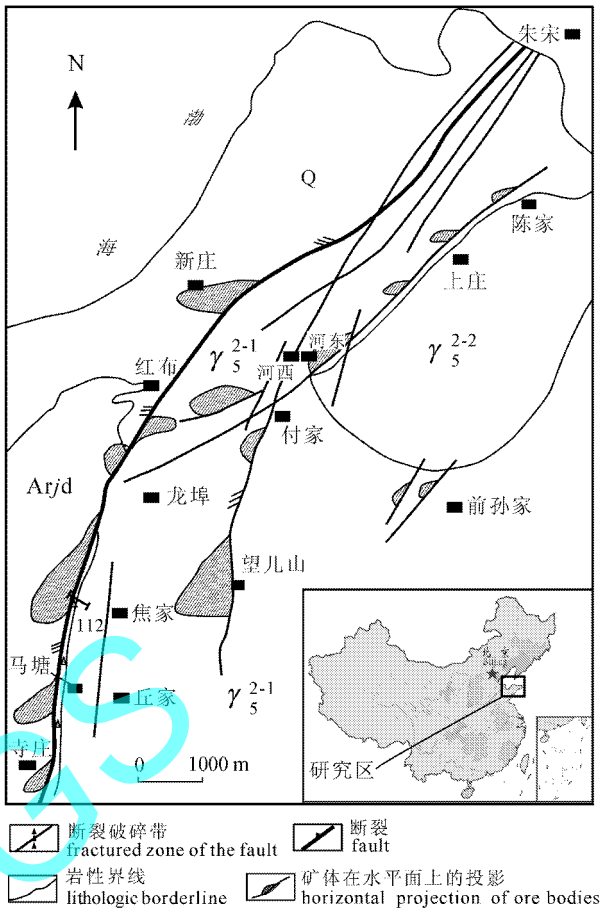


图 1 焦家金矿区地质简图(据山东省地质六队资料修编)

Fig. 1 Geological sketch map of the Jiaojia gold deposit (modified from data of No. 6 Geological Party, Shandong Province)

没有超出蚀变范围。

2 构造裂隙发育特征

焦家金矿床构造裂隙可分为 3 类:微裂隙、细脉状裂隙及介于二者之间的复合型裂隙。

微裂隙主要发育于焦家主断裂附近,由于断裂构造强烈的挤压、破碎及碾磨作用,岩石具有极小的裂隙和极大的孔隙度,但其连通性较差;从垂向来看,随着深度增加,地壳深部温度、压力逐渐升高,岩石物性也更接近于塑性,由近地表浅构造层次的韧脆性变形到较深层次的韧性、韧脆性变形,微裂隙发育状况也出现相应变化,微裂隙带的发育逐渐减小,有收敛于主断面的趋势(图 2)。

细脉状裂隙多成群出现,控制着矿床Ⅲ号矿脉群的产出。在横向上,其局限于断裂应力应变稍强的一段,在两侧构造作用减弱处,其规模也迅速减弱;在纵向上,细脉状裂隙多分布在 -70～-400 m 之间,随着地壳深部韧性作用加强,细脉状裂隙的延

GAGS

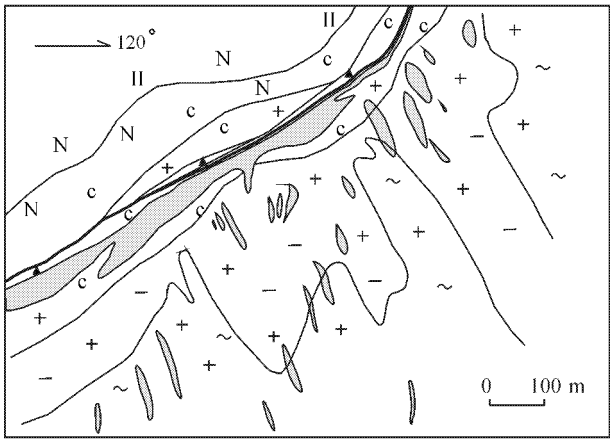


图 2　焦家金矿床 112 勘探线剖面图(据山东省地质六队资料修编)

Fig. 2　Geological section along No. 112 exploration line min he Jiaojia gold deposit(modified from data of No. 6 Geological Party, Shandong Province)

伸可能不会太远。

除了上述两种矿化裂隙外,还有一种就是复合型裂隙,它是后期脆性作用叠加在早期韧性作用上的产物。因此与微构造裂隙之间往往没有截然分开的界线,常呈渐变接触关系,后期脉状裂隙往往迁就利用了早期裂隙。复合型裂隙多发育于微构造裂隙外带,分布局限。

3　成矿流体运移通道及方向

流体运移,特别是剪切带流体的运移,通常是以通道的方式进行的。通道式可分为单通道式和多通道式(钟增球,1996)。在构造变形带中,固体介质的渗透率通常是各向异性的,这种流体的运移具有一定的方向性(Hutchinson,1980)。因此可以通过多种宏观或微观的地质特征来研究流体的空间运移踪迹,如矿体的形态特征、矿化的梯度变化、围岩蚀变组合、温压梯度变化、流体包裹体特征、化学成分、同位素变化等。本文着重从以下几个方面进行研究:

3.1　地质证据

3.1.1　矿体产出形态

焦家金矿Ⅰ号矿体以似层状、不规则厚脉状产出,在空间上呈舒缓波状延伸。矿体厚度分布具有明显的方向性,即与矿体的侧伏方向一致,并且在 96 和 112 勘探线存在着 3 条厚大的侧伏矿柱;矿体厚度变化较不稳定,存在着沿走向略大于倾向的趋势;从矿体厚度品位变化图来看,两者之间明显地存在着同消长关系,且方向性较为明显。从 124 勘探线到 86 勘探线,Au 含量总体呈下降趋势,但在 111 线、96 线附近明显出现两个峰值,这可能与成矿流体迁移运输的通道有关。

3.1.2　矿体产状

焦家金矿主矿体沿走向有着明显的侧伏现象,总体向南西侧伏,侧伏角大约 40°左右,这种现象在焦家金矿田的其他矿床如新城、马塘、望儿山等也都普遍存在(图 1)。在垂向上,焦家金矿Ⅰ号主矿体及其下伏的Ⅲ号脉体总体呈倒'八'字形(图 2),断裂附近的矿体类似与 SEDEX 型矿床(Hutchinson,1980)的通道相,而其下伏的矿脉群则相当于 SEDEX 系统中的脉岩相。同时作者对不同中段Ⅲ号矿脉群控矿裂隙进行统计,结果表明节理裂隙的密集中心从 - 70 m 中段到 - 190 m 中段有逐渐向 SW 侧伏方向迁移的现象,从 - 70 m 中段的 94-106 勘探线向下渐变为 - 190 m 中段的 104-112 勘探线,密集中心和矿化的侧伏基本一致,这不仅表明断裂构造活动对构造容矿裂隙的成生起着控制作用,断裂构造作用所产生的破碎是流体上升运移的通道,而且更为重要的是指出了在成矿作用中成矿流体运移的趋势对矿化的空间定位有着深刻的影响作用。

3.1.3　矿化类型

焦家金矿床矿化具有明显的水平分带性(图 3)。随着远离主断面,矿化由单一的破碎蚀变岩型逐渐变得复杂,出现蚀变岩型和脉型矿化的组合类型;再向外延伸矿化类型又趋于单一,以细脉、网脉状硫化物矿化为主。与此相对应的是矿石类型也由靠近主构造带的星点状、稠密浸染状逐渐过渡为斑杂状、细脉—网脉状,成矿方式亦由交代为主渐变为以充填为主。

3.1.4　蚀变矿物组合

该矿床金矿化带中围岩蚀变非常发育。蚀变主要是在富钠花岗岩基础上进行的,主要类型有钾长石化、绢云母、硅化、碳酸盐化和黄铁矿化,并伴有其他硫化物和金银矿化。

从空间上看,表现靠近主断裂面以成矿晚期的蚀变为主,蚀变类型以碳酸盐化、硅化和绢英岩化为特征(图3),蚀变矿物组合为:绢云母、石英、黄铁

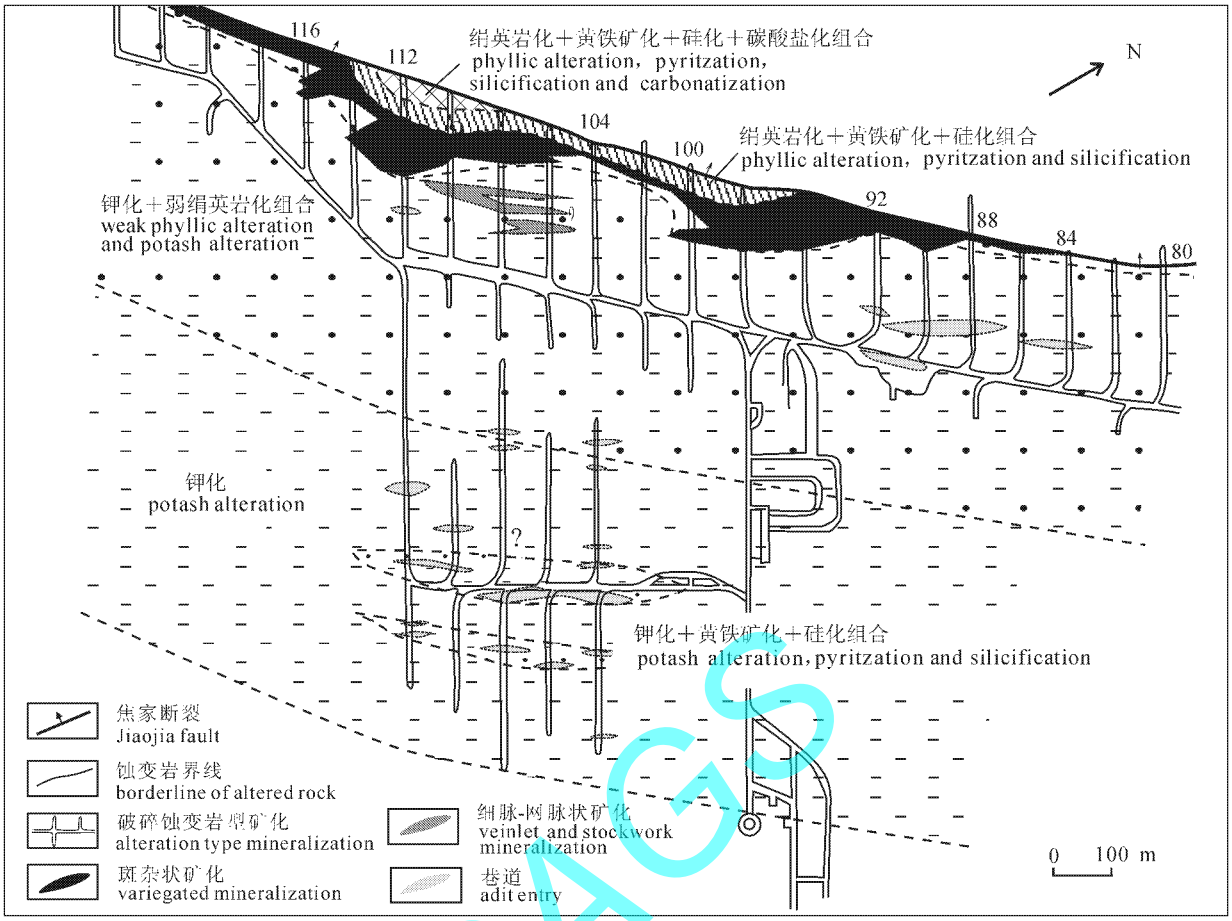


图 3 焦家金矿 －190 m 中段围岩蚀变和矿化类型分布图(据山东省焦家金矿资料修编)

Fig. 3 Distribution of mineral assemblages and mineralization types of altered rocks at －190 m level of the Jiaojia gold deposit (modified from data of the Jiaojia gold deposit)

矿、绿泥石,局部出现少量应力矿物铬绿云母,是晚期蚀变叠加在早期蚀变产物上的结果;而远离主断面的岩石蚀变主要以早期的钾化为主,矿物组合为绢云母、石英、黑云母、钛铁矿等;而Ⅱ号矿体附近的矿物组合及复杂程度介于两者之间,尤其是石英－碳酸盐阶段仅分布在 112 勘探线断裂面不远处,反映出从成矿早期到晚期矿化波及范围在逐渐缩小,强度也在逐渐减弱。

3.1.5 蚀变矿化强度

由于构造应力及成矿热动力条件影响,不同构造部位及方向上表现出了差异的矿化蚀变。从规模上看,靠近断裂的Ⅰ号矿体规模最大,占矿石总量的 76%,其次为Ⅱ号脉 14%,Ⅲ号矿脉群仅占 10%;从强度上看,矿化强度由紧靠断面的无—弱矿化,渐变为强矿化,其中 96-112 勘探线是蚀变矿化的强烈区,尤其在 112 勘探线附近形成了巨厚的蚀变岩型矿体(图 2,3),可能指示了成矿流体上升的通道;在其外侧由于温度压力的降低,矿化蚀变强度和规模都有所减小,虽然在硫化物细脉发育地带矿化品位通常有异常的高值,但就总体趋势来看,矿化强度还是降低的;此外在垂向上,矿化规模及矿化强度均有减小的趋势,Ⅱ号矿体和Ⅲ号矿脉群在 －300 m 以下便迅速尖灭,Ⅰ号矿体厚度、品位也都有所下降。

3.1.6 成矿温度

矿液运移是一个单向的降温过程,随着成矿物质的不断析出,成矿温度也逐渐降低。因此成矿温度规律性的变化往往可以指示成矿热液运移的方向。从杨士望等(1993)所做的热晕和蒸发晕的结果来看,在主断裂下盘向下沿不同方向有升温的趋势。一是向主断裂方向升温,另一个是随着Ⅲ号脉向下升温,这表明成矿热液可能主要沿主干断裂向上及侧向运移,引起围岩升温,同时构造剪切也可能产生一部分热能。

3.2 矿体厚度及微量元素含量的数理分析

在成矿流体运移过程中,随着物理化学条件的改变,成矿元素根据其化学活动能力大小而在有利

CAGS

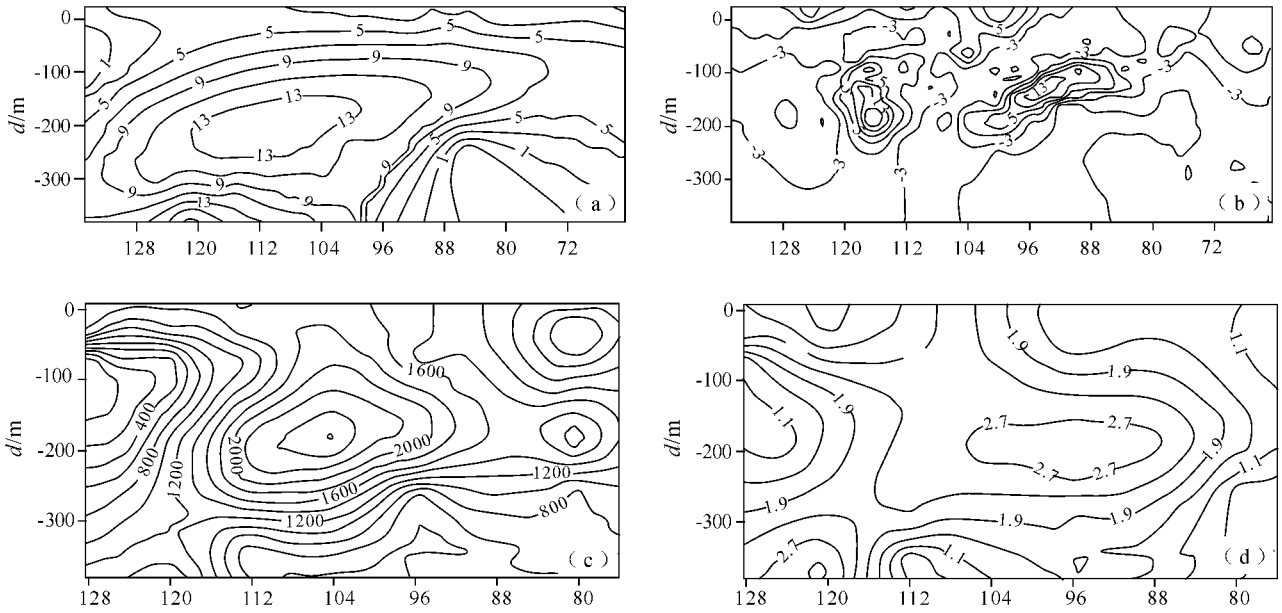


图 4　矿体厚度和元素含量趋势面分析

Fig. 4　Trend surface analyses of ore body thickness and element content

(a)-Ⅰ号矿体厚度三次趋势面图;(b)-Ⅰ号矿体厚度二次趋势剩余图;(c)-金元素四次趋势面图;(d)-银元素四次趋势面图

(a)-cubic trend surface map of the thickness of No. 1 ore body;(b)-quadratic trend surface map of the thickness of No. 1 ore body;(c)-quartic trend surface map of Au content;(d)-quartic trend surface map of Ag content

的构造部位先后沉淀下来。因此利用矿体厚度及微量元素含量的变化规律,可以帮助分析恢复成矿作用过程中流体的运移方向和通道。

3.2.1　Ⅰ号矿体厚度的趋势面分析

对焦家金矿Ⅰ号矿体厚度数据进行一到三次的趋势面分析(赵鹏大等,1993)。从 3 次趋势面图(图 4(a))可以看出,在 -200 m 左右高程出现了一个介于 112-96 勘探线之间、长轴南西侧伏的不规则椭圆形封闭高值区,同时出现了两个半封闭的椭圆域,一个向 SW 侧伏,一个向 NE 侧伏,向上迅速增值,其中向 SW 侧伏的半椭圆域趋势值明显高于 NE 侧伏的半椭圆封闭区,与矿体的空间变化性基本一致,表明在向 SW 侧伏的方向上成矿物质来源较为丰富,矿液流动趋势最大,可能为成矿热液上升的来源通道。同时Ⅰ号矿体厚度的 2 次趋势剩余值图(图 4(b))也反映出了同样的规律。

3.2.2　金元素的趋势面分析

从金元素四次趋势面(图 4c)来看,出现 3 个封闭的椭圆形高值区,其中以等值线中心在 112 勘探线附近的高值区范围最大,其总体向 SW 侧伏,侧伏角 30°左右;再从 128 勘探线以南及深部情况来看,等值线均呈半椭圆形大开口状,在 SW 侧伏方向出现了中高值的异常侧伏带,向下发散,这一方面表明了在 128 勘探线以南及矿区深部依然有较好的成矿远景,同时也暗示深部成矿热液可能的上升来源方向。

3.2.3　银元素趋势面分析

由于银与金具有相近的原子半径、配位数及配位多面体大小,因此两者在地球化学性状上具有较大的相关性,在空间上常呈完全类质同象体密切共生(杨国清,1990)。但由于银元素的活动能力较强,扩散较远,因此是指示成矿热液流体运移方向及上升渠道的良好标志。

从 4 次趋势面(图 4(d))分析结果来看,其表现出的分布特征不仅与金趋势面分布,而且与地质实际情况极为吻合,等值线高值区总体表现为向 NE 向收敛,SW 发散的长椭圆形,椭圆高值中心大约位于 -200 m 高程 106-80 勘探线之间,与金元素趋势值中心相比其明显的向地壳浅部及 NE 方向迁移,这显然和银的活动性强、扩散强度大有关;再从其他几个半封闭椭圆形等值线来看,其中以左下角向 SW 侧伏的为明显的高值区,而且在 -350 m 以下趋势值有升高的迹象,且变化性较为平稳,可能指示了流体上升运移的通道。

4　成矿流体运移方式

流体运移的方式通常与构造应力载荷的梯度、固体介质的孔隙度和孔隙性质,流体本身的热动力性质和环境的温压条件有关。根据对岩石中的孔隙

CAGS

状态和孔隙率的测定(Geraud et al.,1995)及模拟结果表明(罗元华等,1998;方金云等,2001;谭凯旋等,2000),在地壳浅部流体主要通过裂隙系统迁移或流动,渗透率取决于裂隙的宽窄及相互间的联通性;而在剪切构造带部位,孔隙度随应变强弱而变,同时也和构造裂隙的形态特征有关,变形带边缘的孔隙度明显高于变形中心。

4.1 真空泵式

Scholz 等(1973)提出扩容或流体扩散假设解释断裂带中流体的再分配是地震周期中应力积累和释放的结果,这种与应力有关的扩容应变局限于断裂带附近。流体压力和有效压力的瞬间作用变化在岩石破裂发生和中止的过程中起着直接的作用。研究表明,由于岩石胶结作用和断裂开启导致幕式破裂和角砾岩化,其明显地影响着断裂带附近岩石的渗透性能,并相应地导致断裂带渗透性周期性的变化。前人研究也表明(胡受奚等,1998),在焦家金矿床深部确实存在着隐爆角砾岩或水压致裂现象。由于断裂构造强烈的挤压破碎作用,使得岩石的孔隙度大为提高。在构造裂隙生成阶段,即封闭裂隙生成的瞬间,由于压力差的存在而驱使成矿流体像真空泵汲水一样进入扩张空间,通过沉淀使裂隙发生阻塞而形成了许多矿液包。这些矿液包在构造应力作用下其内压力逐渐升高,与周围的岩石孔隙构成了压力差,从而会驱动流体促使显微裂隙发生扩展,矿液再次发生迁移。这样每形成一个连通的构造裂隙,矿液便乘虚而入,当充满饱和裂隙之后便停止运移;等到积累的应力达到一定程度时,又开始新的扩展过程;这样经过无数次的运移、沉淀,从而形成了广泛的蚀变与矿化。这种成矿流体的运移方式在焦家Ⅰ号脉表现的较为明显,多形成微细浸染状蚀变矿化及细脉浸染状矿化,矿石品位较为均匀,发育规模大且稳定.

4.2 渗流方式

多发生在断裂远处及近地表浅部。由于温度、压力的急骤降低以及构造应力的减弱,成矿流体的活动性大为降低,其大多在微弱压力差的作用下,以缓慢流动的方式进入早已在张剪性作用下开启的剪切裂隙中。这就形成了在金矿床的局部地段,裂隙充填的范围超出了蚀变岩带的范围,形成了没有蚀变的富金矿体,特别是花岗岩中的许多硫化物脉很细,在矿洞下不易被察觉,因而常被当作无矿地段。如-70 m 中段 100 勘探线中部,花岗岩基本无蚀变,但是经连续分段取样化验发现,其金平均品位达 5.5 g/t,厚度超过 24 m,由此可见虽然热动力条件的减弱已不足以引起大规模的蚀变与矿化,但是在无蚀变的部位依然有可能由于流体的缓慢渗流而形成矿化体。

5 流体运移的驱动力

流体的运移主要取决于两个主要的因素,第一是流体场本身的边界特征,第二就是固体地质介质的渗透性能(Hubbert,1956)。而促使流体上升运移或侧向运移的驱动力可能有:沉积压实作用、地形梯度、流体密度的侧向变化、地震泵吸作用等(贾跃明,1996)。其中构造作用对流体的运移起着主导作用,一方面构造变形可以改变流体运移场的势能分布,另一方面构造作用可以通过压缩、扩容、破裂等方式改变固体介质的渗透性能,从而影响流体的运移速率、方向和方式等。然而倘若把引起构造变形的差应力作为成矿流体的驱动力似乎显得有些牵强,因为只有静水压力才能对液态物质起作用,因此构造作用如何来驱动流体运移依然属于探索中问题。

吕古贤等(1999)通过数学模拟等手段对构造带不同部位的压力状态作了研究,认为构造对流体运移的影响通过构造所产生的附加静水压力来表现的。这里所说的构造附加静水压力是指地壳中某一深度的总静水压力除去重力附加静水压力的剩余部分,这是一个各向等正应力。由于流体的运移主要由静水压力引进起,因此在断裂构造活动时,尤其是在构造裂生成的瞬间,由于存在着静水压力差,成矿流体会因此而向上运移,并向两侧发生扩散与溶滤。由于构造活动的间歇性及不同构造带存在的静水压力梯度,因而成矿流体得以迅速的迁移。另外根据应力模拟所得的运移势也说明了这一点,在成矿早期断裂带附近具有较高的运移势和能量,流体和成矿元素向外发生迁移,而在成矿中晚期由于应力变化及张弛作用,使得断面附近成为引张区,矿化流体有向断裂运移的趋势,从而导致蚀变与矿化的发生(图 5)。

同时,也应该认识到花岗岩体对流体的驱动作用。其实对于岩体说,它不仅能够提供部分的矿质,而且主要的是可以作为热源促使地壳局部范围的成矿流体变热而发生迁移。通过作者对玲珑花岗岩体的研究发现:矿区的主压应力倾角一般都较大,大多在 60°~80°之间,这可能与深部玲珑花岗岩体、郭家岭岩体的上升侵位有关,由于岩体的侵入改变了局部热应力场,从而驱动流体发生运移。大量实验表

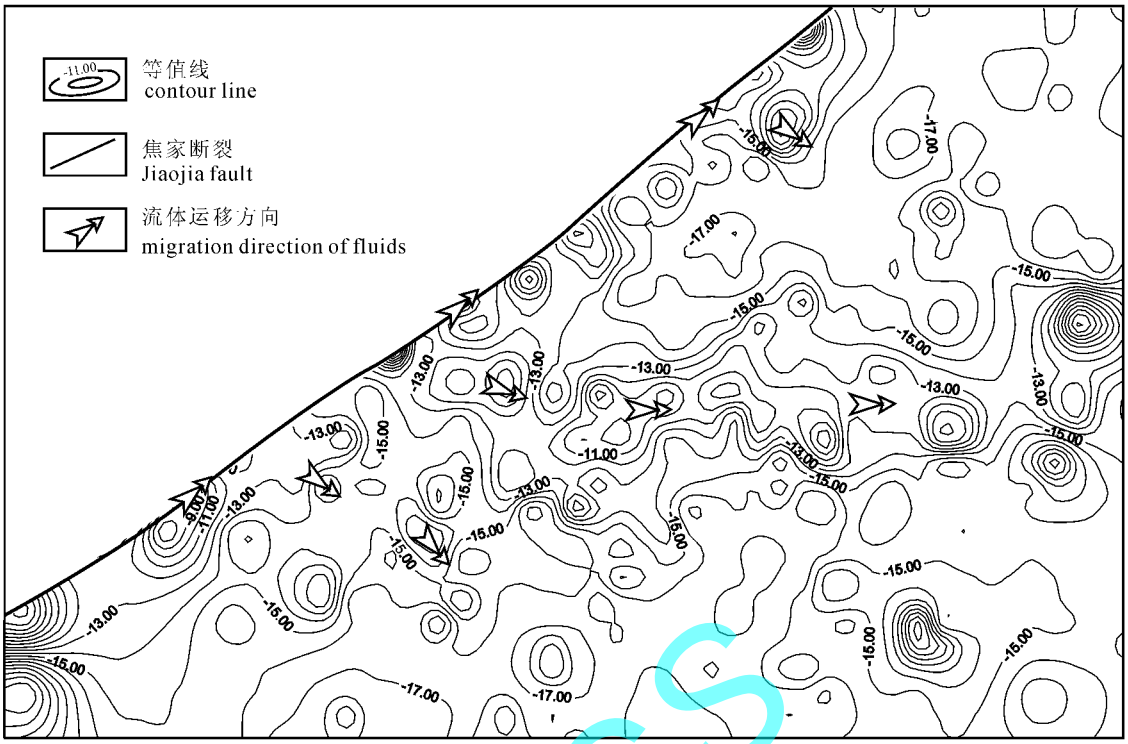


图 5　焦家金矿成矿期流体运移势等值线图

Fig. 5　Contour map of the moving potential of ore-forming fluids in the Jiaojia gold deposit

明,在各类侵入岩中,花岗岩的热能最大,当岩体降温时,早期的超临界流体会因温度、压力的下降形成高温热水溶液,且具有很高的内压力,促使流体的运移。

因此,对于焦家金矿来说,流体的驱动主要由构造产生的附加静水压力所引起。同时由于重熔岩浆的上侵作用,改变了区域热力场,加速了成矿流体的运移。

6　结论

通过对焦家金矿床地质特征、流体运移系统的研究和数理分析,可以看出:

(1)矿体的形成和空间分布受断裂流体输导系统的控制,流体总体沿焦家主断裂从南西方向向上和侧向运移,流体通道应该位于 112 勘探线及 96 勘探线附近。

(2)成矿流体运移的趋势对矿化体的空间定位有着深刻的影响作用,焦家金矿田中的矿床矿体大多具有明显的侧伏和侧列现象。

(3)由于断裂构造带不同部位岩石破碎程度不同,从而导致具有差异的孔隙度和渗透率,进而影响流体的运移方式;认为焦家金矿床矿化流体的运移主要有真空泵式和渗流方式两种。

(4)认为流体运移的驱动力主要由构造产生的附加静水压力所引起,同时重熔岩浆的上侵作用加速了流体的运移速率。

参考文献

白玉宝. 1996. 华庆地区延长组储层富集区块的地质规律研究. 地质论评,42(增刊):242~246.

邓军,杨立强,方云,等. 1999. 剪切带构造成矿动力机制与模式. 现代地质,13(2):125~129.

方金云,孙景瑜,姚书振. 2001. 胶东望儿山金矿床成矿渗透率模型. 地质与勘探,37(4):46~48.

胡受奚,王鹤年,王德滋,等. 1998. 中国东部金矿地质学及地球化学. 北京:科学出版社,1~343.

贾跃明. 1996. 地壳规模流体的远距离运移不断得到证实. 地学前缘,3(3):18.

罗元华,孙雄. 1998. 不同应力状态下地层渗透系数的变化及其对流体运移影响的数值模拟研究. 地球学报,19(2):144~149.

吕古贤,林文蔚,罗元华,等. 1999. 构造物理化学与金矿成矿预测. 北京:地质出版社,1~458.

谭凯旋,谢炎石,郭定良. 2000. 构造—流体—成矿体系的耦合动力学:以湘西金矿为例. 矿物岩石地球化学通报,19(4):241~243.

童亨茂,李德同. 1999. 应力对流体及油气二次运移作用的几种模式. 石油大学学报,23(2):14~18.

仵彦卿,高荣芳. 1998. 影响油气运移的应力场地温场渗流场耦合的双重介质模型. 西安理工大学学报,14(2),113~117.

向才富,庄新国,张文淮,等. 2000. 成矿流体运移的输导体系研究——以右江地区微细浸染型金矿为例. 地质科技情报,19(4):65~69.

解习农,李思田. 1996. 断裂带流体作用及动力学模型. 地学前缘,3(3):145~152.

杨国清. 1990. 构造地球化学. 桂林:广西师范大学出版社,1~120.

CAGS

杨敏之,吕古贤. 1996. **胶东绿岩带金矿地质地球化学**. **北京:地质出版社**,1~228.

杨瑞琰,鲍征宇. 2001. **热质输运与反应动力学的研究进展和发展趋势**. **地学前缘**,8(3):181~182.

杨士望,侯建琪,郭百创. 1993. **胶东半岛东部金矿地质**. **青岛:青岛海洋大学出版社**,1~169.

杨巍然,张文淮. 1996. **构造流体——一个新的研究领域**. **地学前缘**,3(3):124~131。

於崇文,岑况,鲍征宇,等. 1998. **成矿作用动力学**. **北京:地质出版社**,1~230.

翟裕生,邓军,李晓波. 1999. **区域成矿学**. **北京:地质出版社**,1~286.

赵鹏大,胡旺亮,李紫金. 1993. **矿床统计预测**. **北京:地质出版社**,1~272.

钟增球. 1996. **剪切带的流体—岩石相互作用**. **地学前缘**,3(4):209~215.

References

BAI Yubao. 1996. Study on the geological rules of reservoir's enrichment block of Yanchang group in Huaqing area. Geological Review, 42(supp.):242~246(in Chinese).

Cline J S, Bondnar R J, Rimstidt J D. 1992. Numerical simulation of fluid flow and silica transport and deposition in boiling hydrothermal solutions: application to epithermal gold deposits. J Geophys Res., 97:9085~9103.

DENG Jun, YANG Liqiang, FANG Yun, et al. 1999. Dynamic mechanism and model of ore forming system of shear zone tectonics. Geosciences, 13(2):125~129(in Chinese).

FANG Jinyun, SUN Jingyu, YAO Shuzhen. 2001. Temporal and spatial model of ore-forming permeability in Wangershan gold deposit, Eastern Shandong. Geology and Prospecting, 37(4):46~48(in Chinese).

Geraud Y, Caron J M, Faure P. 1995. Porosity network of a ductile shear zone. J. Struc. Geol.,17:1757~1769.

HU Shouxi, WANG Henian, WANG Dezi, et al. 1998. Geology and geochemistry of deposits in Eastern China. Beijing: Science Publishing House, 1~343(in Chinese with English abstract).

Hubbert M K. 1956. Dracy law and the field equations of the flow of underground fluid. Trans Amer Tnst Min Metal Eng, 207:222~239.

Hutchinson R W. 1980. Massive base metal sulphide deposits as guides to tectonic evolution. In: D W Strangway ed. The continental crust and its mineral deposits. Geological Association of Canada Special Paper, 20:659~684.

JIA Yueming. 1996. The earth crust scale fluid long-distance migration obtains the confirmation unceasingly. Earth Science Frontiers, 3(3):18(in Chinese).

LUO Yuanhua, SUN Xiong. 1998. Variation of permeability coefficient of strata under different stresses and their numerical models for their influence on fluid migration. Acta Geosicientia Sinica, 19(2):144~149(in Chinese).

LÜ Guxian, LIN Wenwei, LUN Yuanhua, et al. 1999. Tectonophysicochemistry and gold metallogenic prognosis. Beijing: Geological Publishing House, 1~458(in Chinese with English abstract).

Robert F, Boullier A M, Firdaous K. 1995. Gold-quartz veins in metamorphic terranes and their bearing on the role of fluids in faulting. Journal of Geophysical research B, 100(7):12861~12879.

Scholz C H, Sykes L R, Aggarwal Y P. 1973. Earthquake prediction: a physical basis. Science, 181(4102):803~810.

Sibson R H. 1994. Crustal stress, faulting and fluid flow. In: Parnell J (ed). Geological Society Special Publications, 78:69~84.

TAN Kaixuan, XIE Yanshi, GUO Dingliang. 2000. Dynamic simulation of tectonic-fluid-mineralization system: the study case for Xiangxi gold deposit. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 19(4):241~243(in Chinese).

TONG Hengmao, LI Detong. 1999. Models of formation stress action on fluid and oil and gas migration in reservoir. Journal of China University of Petroleum, 23(2):14~18(in Chinese).

WU Yanqing, GAO Rongfang. 1998. A double porosity media model of coupled stress, geotemperature and seepage fields affecting oil-gas migration. Journal of Xi'an University of Technology, 14(2),113~117(in Chinese).

XIANG Caifu, ZHUANG Xinguo, ZHANG Wenhuai, et al. 2000. Studies on the pass-way of the ore-forming fluids: according to the Carlin type gold deposits in Youjiang district. Geological Science and Technology Information, 19(4):65~69(in Chinese).

XIE Xinong, LI Sitian. 1996. Fluid flow and dynamic model in fault zones. Earth Science Frontiers, 3(3):145~152(in Chinese).

YANG Guoqing. 1990. Tectono-geochemistry. Guilin: Guangxi Normal University Press, 1~120(in Chinese with English abstract).

YANG Minzhi, LÜ Guxian. 1996. Gold deposit's geochemistry of greenstone belt in Jiaodong area. Beijing: Geological Publishing House, 1~228(in Chinese with English abstract).

YANG Ruiyan, BANG Zhengyu. 2001. Progress and development trend of hot material's transport and reaction dynamics. Earth Science Frontiers, 8(3):181~182 (in Chinese).

YANG Shiwang, HOU Jianqi, GUO Baichuang. 1993. Geology of gold deposits in Eastern Jiaodong peninsula. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 1~169(in Chinese with English abstract).

YANG Weiran, ZHANG Wenhuai. 1996. Tectonic Fluids-a new research domain. Earth Science Frontiers, 3(3):124~131 (in Chinese).

YU Chongwen, CENG Kong, BAO Zhengyu, et al. 1998. Dynamics of ore-forming processes. Beijing: Geological Publishing House, 1~230(in Chinese with English abstract).

ZHAI Yusheng, DENG Jun, LI Xiaobo. 1999. Regional metallogeny. Beijing: Geological Publishing House, 1~286(in Chinese with English abstract).

ZHAO Pengda, HU Wangliang, LI Zijin. 1993. Statistical prognosis of mineral deposits. Beijing: Geological Publishing House, 1~272(in Chinese with English abstract).

ZHONG Zengqiu. 1996. Fluid-rock interaction in shear zone. Earth Science Frontiers, 3(4):209~215 (in Chinese).

CAGS