

50-55

湖南沃溪金矿断裂构造动力成矿研究

刘亚军

(地质出版社,北京 100013)

P618.5/0.5

【摘要】 文章重点探讨了断裂构造动力成矿的机制及模式,并以此为基础,全面分析了湖南沃溪金矿含金石英脉中金及 SiO_2 在断裂构造动力成矿作用下垂向和侧向上的积聚过程,指出断裂构造动力成矿作用与该矿床的形成演化有密切关系。

关键词 断裂构造动力成矿,机制与模式,含金石英脉,积聚过程,沃溪金矿,湖南

1 沃溪金矿区地质特征概述

已有百余年开采史的湖南沃溪金矿,位于扬子地台江南背斜南缘雪峰山弧形隆起带向北西凸起的急剧转弯地带。矿区西起红岩溪,东至上沃溪,东西长约6km,南北宽1~2km,面积约7.5km²,由西至东分为红岩溪、鱼儿山、栗家溪、十六棚公、上沃溪五个矿段。地层主要为板溪群浅变质岩系,矿区外围分布有变质程度稍深的冷家溪群,二者呈角度不整合接触。矿区北部出露有上白垩

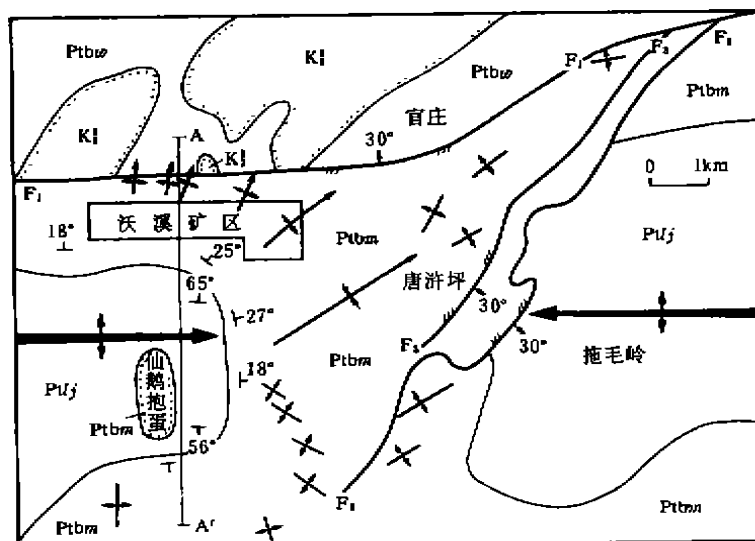


图1 沃溪矿区地质构造纲要图

Fig. 1 Sketch map showing the geology and tectonics in Woxi ore area

Kl, 上白垩统; Ptbo, 五强溪组; Ptbm, 马底驿组; Ptfg, 冷家溪群

1991-05-06 收稿

• 50 •

统陆相厚层状红色砂砾岩,以角度不整合覆盖于元古界地层之上。板溪群自上而下分为五强溪组和马底驿组。马底驿组中、上段的紫红色绢云母板岩或含钙质结核的条带状板岩为主要赋矿层位(图1)。

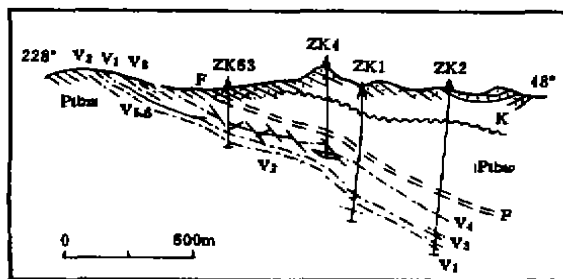


图2 沃溪金矿床第4线地质剖面图

Fig. 2 Geological section along No. 4

exploration line of the Woxi gold deposit

K. 白垩系红色砂砾岩; Ptbm. 五强溪组石英砂岩;

Ptbm. 马底驿组紫红色板岩; V. 矿体及编号

较大的层间断裂,主要发育于 F_1 下盘的马底驿组紫红色板岩中,它们均为含矿断裂,分别记为 $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$ (图2)。它们沿走向长650~5300m不等,彼此平行排列,并具近似等距性,产状基本上与围岩一致或呈小角度斜交。

区内矿体主要是以含金石英脉形式产出,按其形态分为层间矿脉和网状-羽状矿脉两种。层间矿脉主要赋存于上述6条层间断裂内,走向近东西,倾向北或北北东,倾角 $25^\circ \sim 35^\circ$ 。剖面上自上而下依次为 $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$ (图2),其中 V_1 至 V_6 为工业矿脉,形态主要为似层状、扁豆状、肠状等。网状-羽状矿脉分布于层间矿脉两侧,有的与层间矿脉平行,有的与之斜交,主要产在由层间断裂所派生的次一级裂隙内。

2 断裂构造动力成矿作用研究

2.1 断裂构造动力成矿作用机制及其模式

2.1.1 成矿机制

按照广义热力学的定义,断裂构造不断地与外界交换物质和能量,故属开放体系。又因在这一体系中存在的压力差、温度差和浓度差等,使体系处于一种非平衡状态,必然要发生物质的扩散运移与分异,这实质上是一种耗散结构,系受压力、温度和浓度的功能作用的结果。同样,断裂从孕育到成长,又是从非平衡态到新的平衡态的持续过程,断裂的张挤离合能量互相转换与积聚释放,使不同构造部位出现温度差、应力差、浓度差,导致某些区域的各种元素(含成矿元素)不同程度地活化和重新调整分配,从高应力区向低应力区(高温处向低温处、高浓度处向低浓度处)发生侧向和垂向迁移,在适宜部位积聚富集成矿。由于各种元素在不同期次的断裂构造活动中,其活化程度不一,强度和序次有异,迁移方向、速度和距离不等,聚集场所与规模不同,因而形成多期次矿化分带与多阶段矿化叠加,造成了成矿的复杂性。断裂作用也改变了岩石的物理机械性质,使岩石发生破裂位移,增加了其孔隙度、渗透率和过滤效应,有利于

矿液的迁移富集,提高了矿质含量。

我们不妨把受到构造运动影响的一定范围内的矿源层当作一个体系,在没有断裂活动产生裂隙之前,体系内的各个相处于相对平衡状态。依热力学观点,平衡即 $\Delta G=0$ 。在任何压力和温度条件下,平衡条件为(杨国清,1988):

$$Y\mu_c^a + Z\mu_b^a - W\mu_a^a - X\mu_b^a = \Delta G = 0$$

$\mu_a^a, \mu_b^a, \mu_c^a, \mu_d^a$ 分别为在相 a, b, c, d 中组分 A, B, C, D 的化学势; W, X, Y, Z 分别为反应中相应组分的摩尔数。此平衡是相对的,各组分之间由分子运动引起的自由扩散仍存在,但速度极慢。

构造裂隙的产生破坏了岩石内的静应力平衡。由于负压的作用,促使矿液作定向迁移,同一元素在不同的构造部位具有不同的位能(即化学势)。

化学势是一种能量,为体系的状态函数,可用吉布斯自由能来表述。吉布斯自由能就是体系中每个组分的化学势与其各自的摩尔数的乘积之和:

$$G_s = \sum_i \mu_i n_i$$

式中 μ_i 为任意组分 i 的化学势, n_i 为相中 i 组分的摩尔数,总和涉及全部组份。任意组分 i 的化学势 μ_i 在体系的压力 p 、温度 T 和总成分固定时具有单值,并可从对 n_i 的偏微分求得:

$$\mu_i = \left(\frac{\partial G_s}{\partial n_i} \right)_{p, T, n_j}$$

式是 n_j 为除组分 i 之外的其它组分的摩尔数。各组分的流动方向,总是从高化学势部位向低化学势部位迁移,它的自发过程是不可逆的,服从热力学第二定律。

某些矿床的形成也遵循上述热力学规律。因为断裂作用使成矿裂隙成为应力消失的极限,因此裂隙中的有用组分比围岩中的有用组分具有较低的化学势[即由于 $p_{裂} < p_{岩}$ ($p_{裂}, p_{岩}$ 分别为裂隙及围岩中的压力),所以元素 i 的化学势 $\mu_i^{裂} > \mu_i^{岩}$],从而有用组分定向地由分散状态向裂隙处浓集是可能的。只要化学势差 $\Delta\mu_i$ 不消失,从理论上讲,有用组分及其相关元素的断裂构造动力成矿作用就会发生。

以元素 i 的化学势差 $\Delta\mu_i$ 为动力的断裂构造成矿作用,肯定了压力差 Δp 是重要的。只要有了压力差,定向扩散就成为可能,成矿元素 i 的局部富集成矿也就会进行(贺潜飞,1986;杨国清,1988)。

2.1.2 成矿模式

成矿元素及其相关元素在断裂构造动力成矿作用下的迁移积聚富集过程,可由如下模式

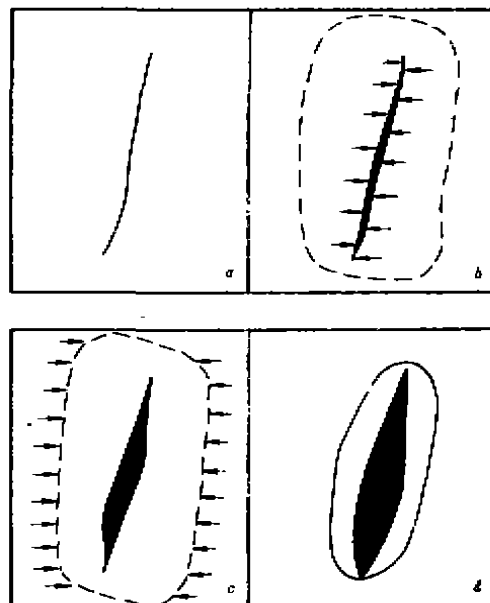


图3 断裂构造动力成矿模式图

Fig. 3 Sketch map showing the fracture-structure dynamic model

表述(图3)。

a. 断裂初始形成阶段 原始矿源层在构造应力作用下开始形成断裂构造(图3a)。

b. 萌矿脉形成阶段 由于初始断裂内部的压力较低,它与围岩之间便产生了压力差 Δp ,进而产生了化学势差 $\Delta \mu$, $\Delta \mu$ 驱动断裂两侧岩石中具高迁移能力的成矿元素及其相关元素,以定向扩散方式迁移,被“榨取”到断裂内,萌矿脉开始形成(图3b)。

c. 萌矿脉生长阶段 由于“榨取”不断进行,使得断裂与淋滤晕(图3中封闭断线所示范围)之间的压力差渐小,而淋滤晕与其外侧岩石中的压力差渐增,因此导致成矿元素及其相关组分向淋滤晕内作定向扩散迁移,使得萌矿脉增大(图3c)。

d. 本旋回形成的矿脉“睡眠”阶段 断裂构造动力成矿作用使这次断裂活动产生的裂隙被成矿元素及其相关元素等填满后,压力差暂时消失,矿脉停止生长,本旋回的断裂构造动力成矿作用暂告结束(图3d)。

由于断裂活动具有脉动性、长期性和继承性特点,因而断裂构造动力成矿也具脉动性、长期性和继承性特征,多期次的断裂构造动力成矿在相同空间的继承性叠加就可形成矿体。

2.2 沃溪金矿断裂构造动力成矿作用研究

沃溪金矿四条具工业价值的含金石英脉,均产在马底驿组地层的层间断裂内。马底驿组紫红色绢云母板岩是该矿床的矿源层,矿源层的存在为断裂构造动力成矿作用的发生提供了物质基础。含金石英脉的矿石矿物主要为自然金等,而脉石矿物主要是石英,自然金以细小颗粒赋存于石英的微裂隙内。下面分别对金及石英在断裂构造动力成矿作用下的积聚过程作一综合分析。

2.2.1 含金石英脉中金的积聚过程分析

沃溪矿区近矿围岩的含金量很高,最高可达48ppb,平均值为16ppb,与区域背景值5.6ppb(杨燮,1985)相比,高出3倍以上;而远矿围岩含金量相对较低,平均值为2.15ppb,为区域背景值的1/2以下(表1)。从正常区域地层→远矿围岩→近矿围岩→矿体,金的含量变化曲线直方图表现为特征的马鞍形(图4)。栗家溪钻孔剖面内围岩及矿体中金的含量变化也有相似的规律:未蚀变的板岩内含金量为4ppb,靠近矿脉含金量下降至1ppb左右;而在强蚀变的矿脉旁侧含金量陡增,达数十至数百 ppb,其含金量变化曲线也呈近似马鞍形(图5)。在矿区螺丝湾,笔者横穿矿脉采集了11个构造地球化学样品,由成都地质学院测试中心进行了分析,其结果列于表2。

据表2所列数据做出的这条剖面的含金量变化曲线直方图(图6)可以看出,由正常区域地层→远矿围岩→近矿围岩→矿体,其变化曲线亦呈较特征的马鞍形。

上述事实表明,在层间断裂形成及其演化过程中,由于压力差的存在而产生了化学势差,

表1 沃溪矿区围岩含金量数据表

Table 1 Gold content data in country rocks of Woxi ore-bearing area

近矿围岩	Au(ppb)	远矿围岩	Au(ppb)
紫黑色板岩	8.6	灰绿色板岩	0.7
紫红色板岩	7.5	紫灰色板岩	0.9
浅紫色板岩	38	灰绿色板岩	1.3
灰绿色板岩	48	紫色含钙扁豆体	1.1
紫灰色板岩	14	紫黑色板岩	1.0
紫灰色板岩	5.9	紫灰色板岩	6.7
紫灰色板岩	3.6	含白云质紫红色板岩	3.4
紫灰色板岩	12.5	平均值	2.15
紫灰色板岩	6.5	区域背景值	5.6
平均值	16.06	(杨燮,1985)	

(据沃溪金矿等)

成矿元素金将从旁侧作为矿源层的紫红色板岩中向层间断裂方向发生定向扩散式迁移(包括

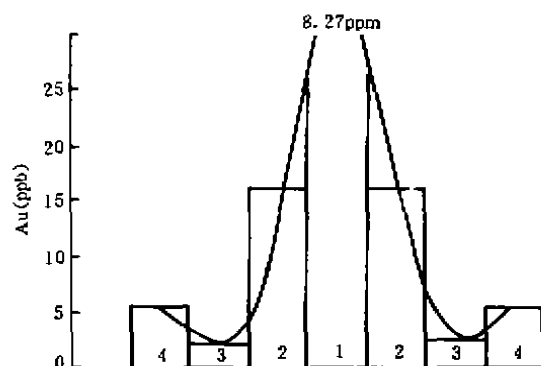


图4 沃溪矿区矿体及围岩含金量变化曲线直方图

Fig. 4 Variation curve-histogram of gold content in orebody and country rock in Woxi ore-bearing area

1. 矿体, 2. 近矿围岩, 3. 远矿围岩, 4. 区域背景值

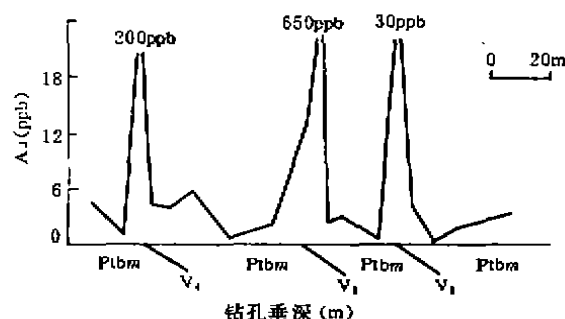


图5 沃溪金矿聚家溪钻孔剖面中矿体及围岩含金量变化曲线图

Fig. 5 Variation curve-histogram of gold contents in orebody and country rock of a drill hole in Woxi gold deposit

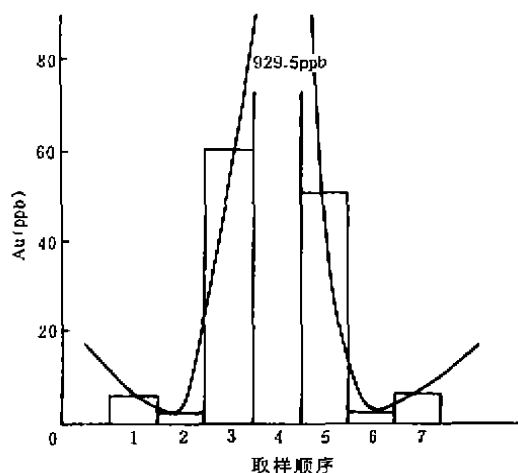


图6 沃溪金矿螺丝湾剖面矿脉及围岩含金量变化曲线直方图

Fig. 6 Variation curve-histogram of gold contents of ore vein and country rock of Luosiwan section in Woxi gold deposit

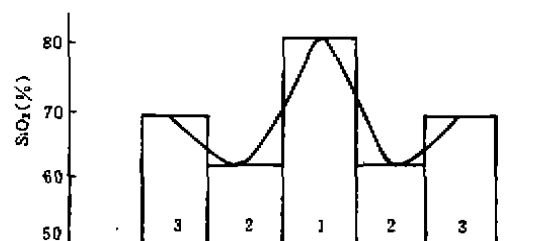


图7 沃溪矿区矿体与围岩中SiO₂含量变化曲线直方图

Fig. 7 Variation curve-histogram of SiO₂ contents of country rock and orebody in Woxi ore-bearing area

1. 矿体, 2. 近矿围岩, 3. 远矿围岩

表2 沃溪矿区螺丝湾剖面矿脉及围岩中含金量表

Table 2 Gold contents in ore vein and country rock of Luosiwan section in Woxi ore-bearing area

取样位置及样品类别	矿脉上盘远矿围岩	矿脉上盘近矿围岩	矿脉	矿脉下盘近矿围岩	矿脉下盘远矿围岩	区域背景值(杨 燮, 1985)
金平均含量值(ppb)	1.7	59.6	929.5	50.0	1.9	5.6

测试单位: 成都地质学院测试中心

侧向的和垂向的)。由于断裂活动的脉动性、长期性和继承性,其作用的最终结果即形成了沃溪矿区现今的各条层间含金石英脉(它们实际上均为一种复矿脉,是断裂构造动力成矿作用脉动

性、长期性和继承性的反映)。成矿元素金的定向扩散迁移过程也可解释为:由于断裂活动产生的裂隙与矿源层围岩之间存在着负化学势,负化学势驱使裂隙不断地从围岩中向自己方向“化学榨取”成矿元素金,这样成矿元素金便不断地在裂隙中积聚富集。

2.2.2 含金石英脉中石英的积聚过程分析

沃溪矿区含金石英脉中脉石矿物石英,也是在断裂形成及活动过程中伴随断裂构造动力成矿作用不断生成的。远矿围岩、近矿围岩及矿体中 SiO_2 的含量平均值分别为 68.9%, 60.57%, 79.86% (表3)。由这些数据作出的 SiO_2 含量变化曲线直方图 (图7), 亦显示了马鞍形分布特征, 表明 SiO_2 由近矿围岩向矿体方向曾发生过定向扩散式迁移, 致使近矿围岩中的 SiO_2 含量与远矿围岩中的 SiO_2 含量相比, 减少了 12% 强。上述事实亦表明, 在矿区发生多期次的断裂构造动力成矿作用过程中, 由于断裂活动而产生的裂隙与围岩之间存在着负化学势, 负化学势驱动裂隙多期次地从围岩中向自己方向“化学榨取” SiO_2 , 致使 SiO_2 不断地在裂隙中积聚起来而形成现今的层间石英脉。

表3 沃溪矿区围岩及矿体内 SiO_2 含量表
Table 3 SiO_2 contents of country rock and orebody in Woxi gold deposit

范 围	地 点	岩(矿)石	样品数	宽度(m)	SiO_2 含量(%)	平均值(%)
远矿围岩	冷家溪	紫红色板岩	9	>120	69.54	68.93
	新田冲	紫红色板岩	5		68.32	
近矿围岩	十六棚公	紫红色板岩	236	80~120	60.23	60.57
	上沃溪	紫红色板岩	12		60.92	
矿 体	-110m 中段	含金石英脉	15	0.2~1	80.13	79.86
	+15m 中段	含金石英脉	21		79.60	

据沃溪金矿等

本文在完成过程中承蒙成都地质学院徐开礼教授、蔡学林副教授的指导, 在此致谢。

STUDY OF DYNAMIC MINERALIZATION OF FRACTURE STRUCTURE IN WOXI GOLD DEPOSIT, HUNAN PROVINCE

Liu Ya-jun

Abstract The structure dynamic mineralization theory is so important in study of geology of ore deposits that more and more geologists have been paying close attention to it, it has provided new enlightenment and opened up new sphere and shown new prospects for the study of geology of ore deposits and structural geology. Fracture structure dynamic mineralizing occupies an important place in this theory. This paper discusses mainly the mechanism and model of the fractural dynamic mineralization. Furthermore, based on this mechanism and model the accumulative process of gold and SiO_2 in vertical and horizontal dimension under the fractural structure dynamic mineralization of Woxi gold deposit in Hunan Province is analysed. It is pointed out that the fractural dynamic mineralization is closely related to the formation and evolution of the ore deposit.

Key words fracturo-structural dynamic mineralization, mechanism and model, gold-bearing quartz vein, accumulation process, Woxi gold deposit, Hunan Province