

胶东焦家金矿床有限应变分析及其意义^①

丁式江 翟裕生 邓 军

(中国地质大学,北京,100083)

提 要 焦家金矿床构造岩中广泛发育变形石英颗粒,这些变形石英颗粒的三维有限应变分析表明:金矿床定位于断裂带的扩容空间中,付林参数普遍表现为拉伸型,体积应变为增加型。金矿体就位于强应变与相对弱应变的转换部位。构造岩的有限应变椭球体拉伸轴主要集中于 NE—SW 向,含矿热液运移方向与焦家断裂带平行。成矿过程中体系是开放的,有大量体系外物质迁入。

关键词 焦家断裂带 有限应变分析 金矿床

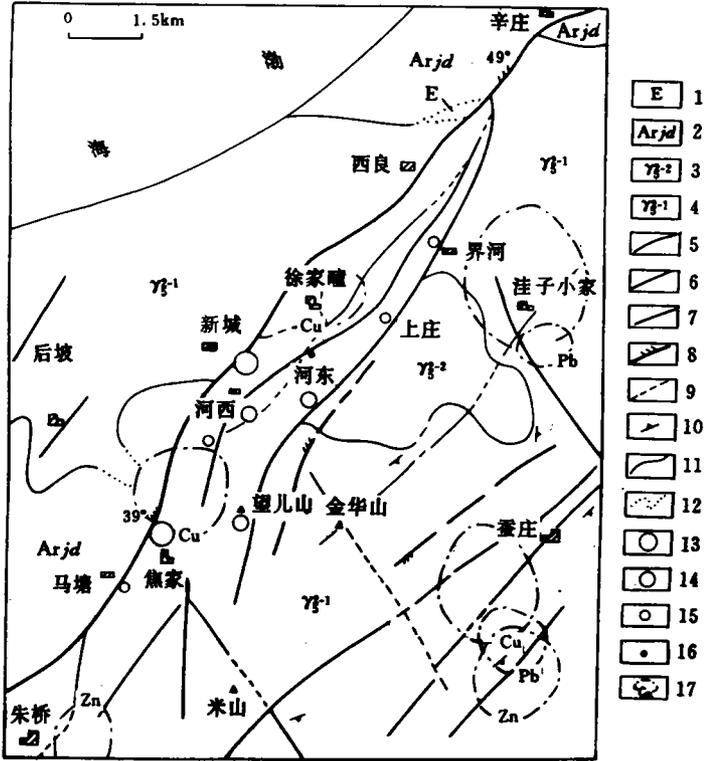
焦家金矿床,以其规模大,矿体形态简单,矿石类型单一,矿化连续,品位稳定,可选性好等特点,且是著名的焦家式金矿命名地而闻名于世,本文试图通过该金矿床不同中段的构造岩系统的三维有限应变分析,探讨焦家断裂带的应变状态和物质运动方向,并进一步揭示构造运动与金矿化之间的内在联系。

1 焦家金矿床地质特征

焦家金矿区位于沂沭断裂带的东侧,胶东隆起区的西北部,黄掖弧形断裂带的南西段上,太古界胶东群地层分布在矿区西南、焦家断裂带的上盘。胶东群地层与中生代的岩浆岩呈侵入接触或断层接触关系(图 1)。主要岩性为条带状混合岩化斜长角闪岩,其次有黑云角闪片岩,黑云斜长片麻岩等。岩石为中深变质,具混合岩化现象。区内的岩浆岩为燕山早期的玲珑型黑云母花岗岩(γ_2^{-1})及郭家岭型花岗闪长岩(γ_8^{2-2})。

焦家断裂走向北东 $40^\circ \pm$,倾向北西,倾角约 30° 。断裂蚀变带宽 100m~200m,为一宽大的糜棱质碎裂岩、花岗质碎裂岩、绢英岩、红化花岗岩等组成的韧-脆性剪切带。沿主断面发育 10cm~20cm 厚的灰黑色及灰白色断层泥,连续稳定,局部发生小褶皱,显示出压扭性断裂的性质。早期具韧性变形,而后叠加了脆性变形。蚀变破碎带下盘发育更宽大,并且具对称性,从中心向两侧依次为:黄铁绢英岩带、黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩带、绢英化花岗质碎裂岩及红化花岗岩。矿体与断裂基本平行,蚀变岩型 I、II 号矿体属于蚀变带中部主断面之下,呈规则宽厚脉状。I 号主矿体长 1200m,厚 2m~60m,斜深 850m,金品位 3.07g/t~52.29g/t,一般为 2g/t~10g/t。金矿体沿走向、倾向均有胀缩、局部分支、复合现象。III 号矿体为细脉状石英硫化

^① 收稿日期:1997-08-04 审回日期:1997-08-25



- 1. 第三系 2. 太古宇 3. 郭家岭型花岗岩 4. 玲珑型花岗岩 5. 矿田一级断裂 6. 矿田二级断裂 7. 矿田三级断裂
- 8. 压扭性断裂 9. 推测断裂 10. 片麻理产状 11. 地质界线 12. 推测地质界线 13. 特大型矿床 14. 大型矿床
- 15. 中小型矿床 16. 矿点及矿化点 17. 化探异常

图1 焦家金矿田地质构造略图 (据山东省地质六队修编)

Fig. 1 Structural sketch of Jiaojia gold ore field

物细脉群,赋存于焦家断裂下盘蚀变花岗岩中。

2 三维有限应变测量过程

焦家断裂带中发育的构造蚀变岩其主要矿物组成均为初始椭球形石英颗粒,这些石英颗粒是记录成矿期或成矿期后的构造变形的应变标志,经过燕山早期及中晚期的构造变形,这些石英颗粒呈长椭球形,而且其长轴显示明显的优选方位。

在横过焦家金矿床的-190m、-150m及-110m中段穿脉中共采集含有大量初始椭球形石英颗粒的定向标本26件,其中-190m中段12件,-150m中段9件,-110m中段5件。然后,每块定向标本切割三块相互垂直的定向薄片,每块定向薄片在显微镜下连续测取40个石

英颗粒长短轴长度(X_i, Y_i)及长轴的取向(φ_i),将这些数值输入彭少梅等(1991)^[3]根据 Ramsay (1967)和 Dunnet(1969)的计算公式^[1]:

$$\cos 2\varphi = \frac{\pm R_i(R_i^2 + 1) \mp 2(R_i^2 + 1)R_i R_j}{R_i(R_i^2 - 1)(R_j^2 - 1)}$$

编制的 R_i/φ 法统计分析计算机程序,便得到 3×26 个二维应变值,其中每个二维应变值包括 n, R_i, R_j, F 和 θ 五个参数。利用 $F_{0.05}(1, n-2)$ 作为临界值检验这些二维应变值的可信度,发现这 3×26 个二维应变值都符合精度要求。最后,将每块定向标本所对应的三个二维应变值、三个互相垂直薄片的产状以及应变椭圆长轴在每个薄片上的侧伏角输入邵济安(1983)编制的三维应变分析计算机程序^[2],便得到 26 个定向标本所对应的 26 个有限应变椭球体中每个应变椭球体三个主半轴长度比 $X:Y:Z$ 及其产状 $\alpha_x/\beta_x, \alpha_y/\beta_y, \alpha_z/\beta_z$, 以及对数付林参数 $K = (\log x/y)/(\log y/z)$ 、应变强度 γ , (表 1)。

表中体积应变 $\Delta V (\Delta V = V_1 - V_0)/V_0$, 其中 V_0, V_1 分别为岩石块体变形变质前后的体积)采用彭少梅(1992)建立的体积应变计算公式^[4]:

$$\Delta V = e^{(k-k')(\ln Y - \ln Z)} - 1$$

求得。该式中 K 为与 K 处于同一均匀应变场中的无体积应变标志体的对数付林参数,根据焦家金矿区-150m 中段长石颗粒的测量结果,取值为 1.20。

3 有限应变测量结果及其意义

有限应变椭球体的相对大小、主轴产状以及付林参数、变形强度等,反映了构造变形的强度状态和物质运动方向。

3.1 付林参数 K 值

焦家金矿-190m 中段构造岩的付林参数 K 值大部分大于 1.0 (图 2), 为伸展型, 反映岩石处于强烈的拉伸状态, 岩性为红化花岗岩及绢英岩。在靠近主断裂的 I、II 号矿带及 III 号矿脉带内, 岩石的付林参数一般大于 1.0, 甚至大部分大于 2.0, 反映出在伸展状态下, 有利于矿液的运移与充填。在远离主断裂的玲珑型片麻状花岗岩内, 付林参数 ($K=3.14$) 也较大, 表明玲珑型花岗岩形成于伸展拆离状态。在近主断面的矿化不良地段及 III 号矿脉带外围, 付林参数一般小于 1.0 为挤压型, 如 124S₇、CM88S₃ 及 CM104S₁、S₆, 可能反映出①在挤压紧闭状态下, 不利于矿液的运移与带入, ②该断裂带早期经历过强烈的挤压变形。该中段付林参数反映出的另一重要特征就是在 II 号与 III 号矿脉带之间存在一个强烈的拉伸地带, 如 104S₁₃、61106S₁、118S₁、118S₅ 等, 宽度约 150m, 其南东侧为 III 号脉带, 矿化以细脉充填型为主; 北西侧为 I、II 号脉带, 以浸染状矿化为主。

-150m 中段绝大多数样品的付林参数大于 1.0, 反映岩石处于强烈的拉伸状态, 有利于矿液充填。少数样品接近于平面应变型, 反映其处于简单剪切状态。因而该中段矿化较好且品位变化较稳定。-110m 中段的付林参数, 大部分大于 1.5, 局部保留有早期走滑运动的痕迹。

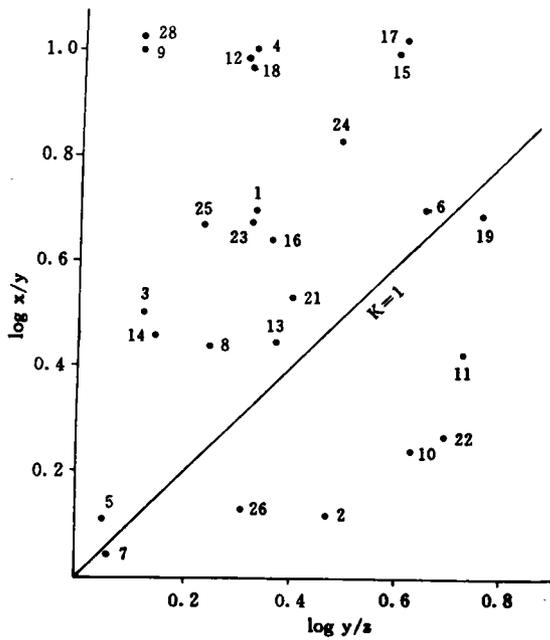


图2 焦家金矿构造岩付林参数图

(图中数字同表1中序号)

Fig. 2 Plot showing Flinn parameters of tectonite in Jiaojia gold ore field

3.2 应变强度 γ

应变强度 γ , 反映着样品畸变的强烈程度, 从表1中可以看出, 其 γ 的变化是非常有规律的, -190m 中段表现为跳跃式, 应变强度较大处(如 104S₁₁、104S₁₃、118S₅、124S₁) 及近于无应变处(124S₇) 无矿化产出; 而应变强度夹持于二者之间的样品如 104S₁、104S₆、104S₂、61106S₁, 附近则有较好的金矿化产出。焦家金矿构造岩应变强度的这些规律, 可能隐含着下述三方面的信息: ①金矿床总体上位于强应变带中, 但在强应变带内, 金矿体就位于强应变与相对弱应变的过渡部位, 这一信息为该区进一步寻找隐伏矿体提供了有益的启示。②构造带内强应变带与弱应变带组成规律的网络结构, 强应变部位呈跳跃式。③靠近主断面部位并非应变强度最大处。-150m 中段应变强度也呈跳跃式, I、III 号矿脉带间有一应变强带, 自然地将二种矿化类型分开。

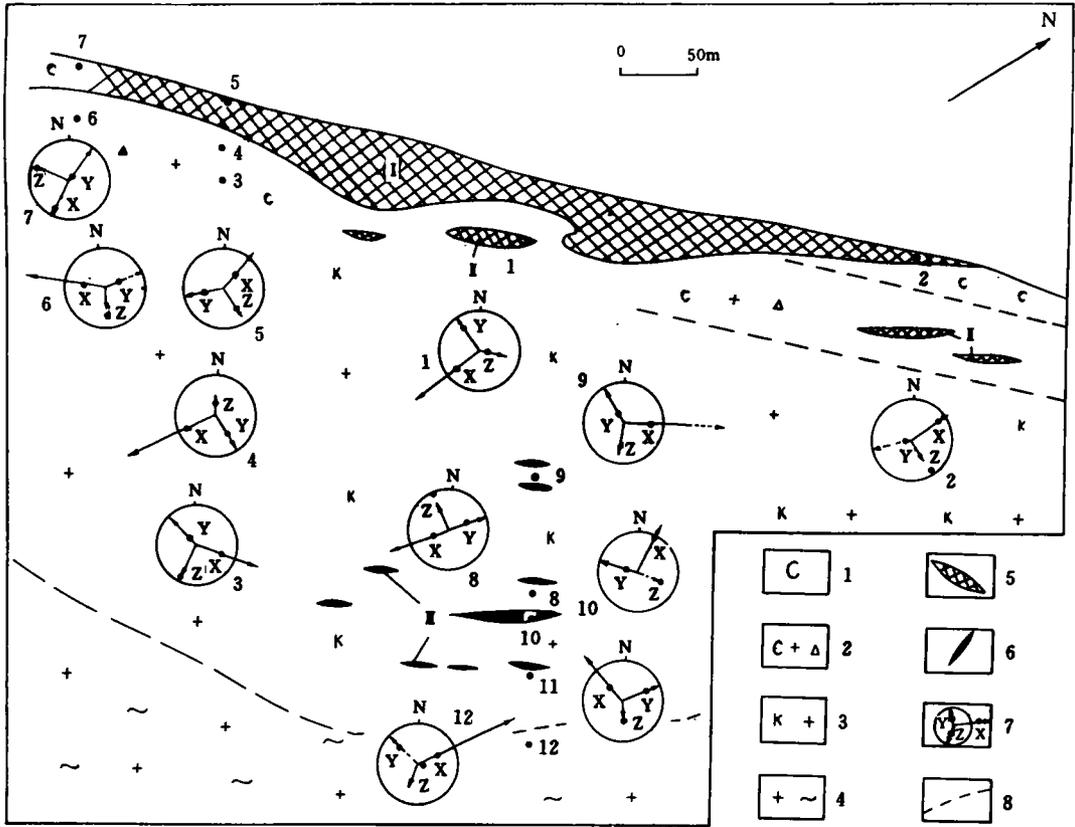
-110m 中段构造带内应变强度均较大, 且变化有规律, 自主断面向外围, 应变强度依次增强。矿体赋存于应变量相对较小部位 ($\gamma = 0.45 \sim 0.70$), 同样, 较大的应变强度不利于金矿体的产出。

3.3 体积应变

体积应变 ΔV 能够揭示变形时物质的带进带出情况, 从表1来看, 焦家金矿不同中段构造岩主要为体积增加型 ($\Delta V > 1$), 尤其是 I、III 号矿脉带及其附近, $\Delta V > 0$ 占大多数, 表明成矿过程中, 体系是开放的, 体系外物质(由深源热液携带) 不断迁入, 金矿化与构造变形同步, 为典型的构造动力矿床。少数样品为体积亏损型 ($\Delta V < 0$) 及体积不变型 ($\Delta V \approx 0$), 主要分布于主断面附近, 可能反映出焦家断裂带早期的压剪变形特点。

3.4 有限应变椭球体的产状

构造岩有限应变椭球体的产状与构造运动期次及构造样式密切相关(图3, 4)。①-190m 中段靠近主断裂(主矿体)的样品及 III 号矿脉带内, 有限应变椭球体的拉伸轴 (e_1) 集中分布于 NE-SW 向, 而且倾角一般较缓, 表明构造运动方向与物质运动方向平行, 成矿流体主要沿主断裂带运移。其压缩轴 (e_3) 主要集中于 NW-SE 向及近 SN 向, 倾角大部分较平缓, 少数较陡, 表明成矿时既受到区域应力的影响, 又有深部岩浆作用力的叠加。② I、III 号矿脉带之间的无矿地段, 仍保留有早期断裂形成时的走滑运动痕迹, 有限应变椭球体的拉伸轴主要集中于 NW-SE 向, 倾角较平缓, 物质运动与构造运动方向垂直, 椭球体压缩轴 (e_3) 集中分布于 NE-SW 向, 与运动方向平行。③构造带外围的片麻状花岗岩样品, 拉伸轴为 NE-SW 向, 与玲珑



1. 绢英岩 2. 绢英岩化碎裂花岗岩 3. 红化花岗岩 4. 片麻状花岗岩 5. I、II号矿体 6. III号矿体 7. 三维应变图示 8. 地质界线

图3 焦家金矿-190m中段平面图

Fig. 3 Plan of -190m level of Jiaojia gold mine

型岩体总体展布方向一致。压缩轴 NNE—SSW 方向, 倾角稍陡, 表明玲珑岩体的形成与深部地质作用密切相关。

-150m 中段构造岩, 在 I、II 号矿体及附近, 有限应变椭球体的拉伸轴主要集中于 NW—SE 向, 倾角较平缓, 而压缩轴集中分布于 NE—SW 向, 与其它中段所显示的 e_1 NE—SW 向相反, 可能反映出成矿作用的多阶段性, 表明在焦家剪切带形成初期就伴随有成矿作用的发生。

-110m 中段构造岩及 -150m 中段 III 号矿脉群的有限应变椭球体的拉伸轴集中分布于 NE—SW 向, 倾角中等, 构造运动方向与物质运动方向一致。其压缩轴主要集中于 NW—SE 向。

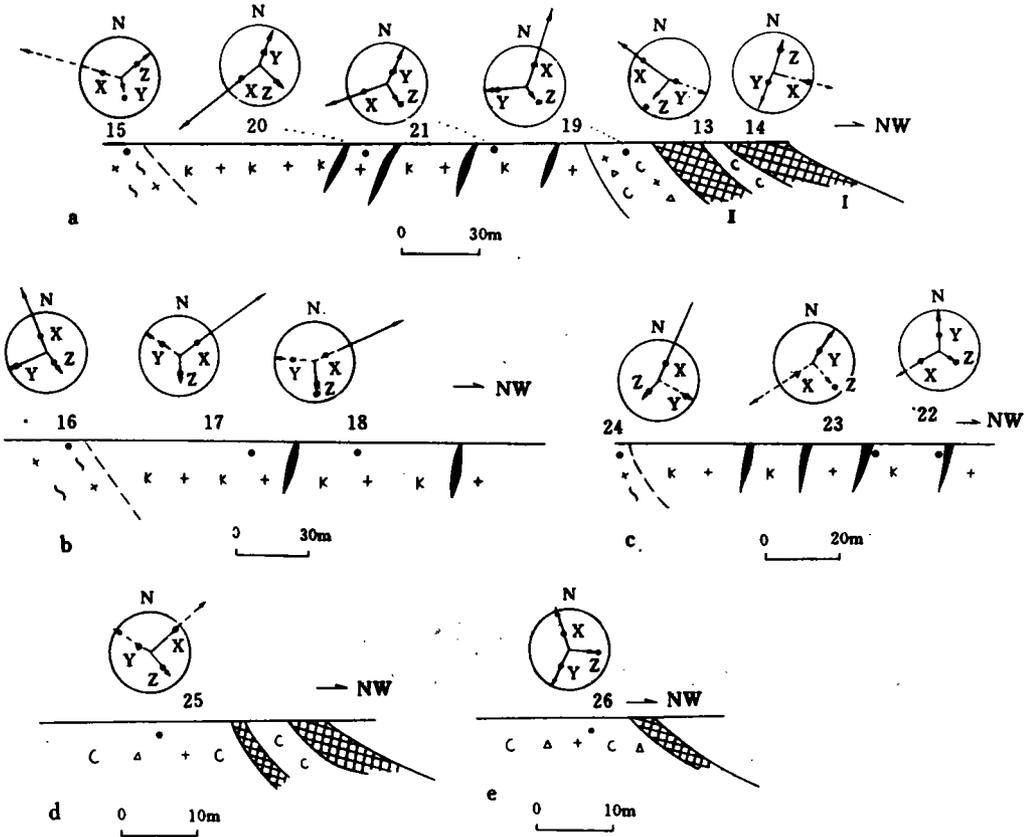
表1 焦家金矿三维应变测量结果

Table 1 Three-dimension strain test and measurement in Jiaojia gold mine

序号	中段	样号	立半轴长度比	立半轴产状			K	ΔV	γ_s
			X : Y : Z	X	Y	Z			
1	-190m	61106S ₁	2.01 : 1.0 : 0.72	230 \angle 13	324 \angle 17	104 \angle 68	2.11	0.35	0.74
2		CM88S ₃	1.14 : 1.0 : 0.62	53 \angle 7	256 \angle 82	143 \angle 3	0.27	-0.36	0.44
3		CM118S ₁	1.65 : 1.0 : 0.88	116 \angle 22	321 \angle 66	210 \angle 9	4.02	0.43	0.47
4		CM118S ₅	2.73 : 1.0 : 0.72	243 \angle 13	146 \angle 28	355 \angle 58	3.10	0.87	0.98
5		CM118S ₁₀	1.12 : 1.0 : 0.95	39 \angle 42	258 \angle 40	149 \angle 21	2.07	0.04	0.12
6		CM124S ₁	2.02 : 1.0 : 0.52	294 \angle 36	77 \angle 48	189 \angle 19	1.09	-0.07	0.95
7		CM124S ₇	1.04 : 1.0 : 0.94	201 \angle 14	31 \angle 76	291 \angle 3	0.60	-0.04	0.07
8		CM104 (NW)S ₂	1.56 : 1.0 : 0.78	243 \angle 47	65 \angle 42	334 \angle 1	1.80	0.16	0.49
9		CM104 (NW)S ₁₃	10.6 : 1.0 : 0.77	97 \angle 15	334 \angle 64	192 \angle 21	8.98	6.64	2.04
10		CM104 (SE)S ₁	1.28 : 1.0 : 0.54	24 \angle 1	291 \angle 60	114 \angle 29	0.39	-0.39	0.63
11		CM104 (SE)S ₆	1.52 : 1.0 : 0.49	323 \angle 40	69 \angle 18	178 \angle 44	0.58	-0.36	0.81
12		CM104 (SE)S ₁₁	2.68 : 1.0 : 0.73	60 \angle 36	310 \angle 24	195 \angle 42	3.14	0.84	0.96
13	-150m	5006S ₃	1.57 : 1.0 : 0.69	313 \angle 15	115 \angle 74	222 \angle 5	1.23	0.01	0.58
14		5006S ₁	1.58 : 1.0 : 0.87	116 \angle 2	210 \angle 66	25 \angle 24	3.23	0.33	0.45
15		E106S ₁	4.59 : 1.0 : 0.42	290 \angle 38	50 \angle 33	167 \angle 35	1.77	0.64	1.74
16		E112S ₁	1.90 : 1.0 : 0.70	342 \angle 39	247 \angle 6	149 \angle 51	1.77	0.22	0.72
17		W112S ₂	2.78 : 1.0 : 0.55	57 \angle 31	305 \angle 32	180 \angle 42	1.69	0.34	1.17
18		W112S ₃	2.64 : 1.0 : 0.72	63 \angle 57	271 \angle 30	174 \angle 13	2.99	0.80	0.95
19		CM104 (NW)S ₁₃	1.99 : 1.0 : 0.47	18 \angle 37	266 \angle 27	150 \angle 41	0.91	-0.20	1.02
20		CM104 (NW)S ₃	2.8 : 1.0 : 0.89	230 \angle 32	20 \angle 54	131 \angle 15	9.28	1.56	0.89
21		CM104 (NW)S ₁₁	1.70 : 1.0 : 0.67	257 \angle 28	31 \angle 53	154 \angle 23	1.32	0.05	0.66
22	-110m	104S ₁	1.32 : 1.0 : 0.50	244 \angle 31	3 \angle 39	128 \angle 35	0.40	-0.43	0.70
23		104S ₃	1.88 : 1.0 : 0.73	243 \angle 37	39 \angle 50	144 \angle 12	1.97	0.27	0.68
24		104S ₆	2.30 : 1.0 : 0.61	24 \angle 39	120 \angle 7	219 \angle 50	1.71	0.29	0.94
25		51086S ₇	1.94 : 1.0 : 0.79	52 \angle 8	310 \angle 55	147 \angle 34	2.88	0.48	0.66
26		4001S ₁	1.14 : 1.0 : 0.73	337 \angle 40	197 \angle 42	86 \angle 21	0.43	-0.22	0.32

4 结论与讨论

①焦家断裂带总体形成于压剪体制,但断裂带产状变化部位往往可形成一定的扩张地段,金矿床即定位于断裂带的扩容空间中,因而付林参数普遍表现为拉伸型。



a. -150m 中段 104 穿脉 b. -150m 中段 112 号穿脉 Ⅲ号脉带 c. -110m 中段 104 穿脉 Ⅲ号脉带 d. -110m 中段 51086 穿脉 e. -110m 中段 4001 穿脉

图 4 焦家金矿不同中段构造剖面图

Fig. 4 Structural section for several levels in Jiaojia gold mine

②尽管金矿床就位于应变较强部位,但在强应变带内,金矿体就位于强应变与相对弱应变的过渡部位。因为过渡带往往会产生温度、压力和流体浓度等梯度的变化,促使流体(物质)运移与富集,导致成矿作用的发生。在西澳 Lady Bountiful 金矿区也有类似现象(Cassidy, 1993)⁽⁵⁾。

③断裂构造带内仍然存在强应变带与弱应变带的网络结构,焦家金矿床Ⅱ、Ⅲ号矿脉间的过渡地带,表现为一系列的异常,如-190m中段付林参数为强拉伸型,-190m、-150m中段存在强应变带,有限应变椭球体产状与两侧的不协调性等,因而表现为两侧成矿方式、成矿作用强度上的差异。

④焦家金矿构造岩的有限应变椭球体拉伸轴主要集中分布于NE—SW向,且倾角缓至中等,压缩轴主要为NW—SE向,倾角缓或较陡,表明成矿溶液多来源,一部分来自矿体顶底板围岩,另一部分可能与深部岩浆作用及岩浆热液有关。这些含矿热液首先从NW—SE方向及近SN方向挤压溶出,进入裂隙后,即沿NE方向运移,富集成矿,运动方向与焦家断裂带平行。

⑤焦家金矿构造岩主要表现为体积增加型,表明成矿过程中,体系是开放的,有大量体系外物质迁入。

参考文献

1. 郑亚东,常志忠. 岩石有限应变测量及韧性剪切带. 北京:地质出版社,1985
2. 汤经武,杨学敏. 微型计算机在地质构造解析中的应用,武汉:中国地质大学出版社,1989,117~149
3. 彭少梅,宋鸿林. 北京西山北岭向斜的有限应变分析及其意义. 桂林冶金地质学院学报,1991,(3):260~268
4. 彭少梅. 粤北新州逆冲推覆构造与金矿成矿系列,武汉:中国地质大学出版社,1992
5. Cassidy K F and Bennet J M. Gold mineralization at the Lady Bountiful Mine, Western Australia; an example of a granitoid-hosted Archean Lode gold deposit. Mineral Deposita, 1993, 28:388~408
6. 邓军等. 胶东西北部构造体系及金成矿动力学. 北京:地质出版社,1996

STRAIN ANALYSIS AND ITS IMPLICATION FOR JIAOJIA GOLD DEPOSIT IN EASTERN SHANDONG

Ding Shijiang Zhai Yushen Deng Jun

(China University of Geosciences, Beijing, 100083)

Abstract

Jiaojia fault is a very important gold mineralization zone in Eastern Shandong. Deformed quartz is widely developed in Jiaojia gold deposit. Three-dimension strain analysis of the quartz grains indicates that gold deposit is located in dilation space of the fault zone, Flinn parameters are usually extension style, volume strains are raised. Gold ore is located in transfer sites between strong and weak strain. The extensional axes of strain ellipsoid are mainly NE-SW direction. The ore fluid immigrates along Jiaojia fault zone. The ore-forming system is open and lots of materials are immigrated into the system during the mineralization.

Key words Jiaojia fault zone strain analysis gold deposit