

断层的三维应变分析方法及其在 康山金矿的应用

张银旗 何绍勋 段嘉瑞

(中南工业大学地质系·长沙)

文中介绍了滑动模型、奇轴模型及其在康山金矿区的应用情况,认为该矿区北东和北北东向容矿断层呈斜方对称,是由区域应变场诱导的局部应力场引起的,并求出了三维应变场的主应变方位和主应变比率。

关键词: 断层; 三维应变分析; 金矿



工作方法

到目前为止,国内外普遍应用安德森 (Anderson, 1951) 的共轭剪切理论解释断层的形成机制。安德森按照库仑破裂准则假设某一方向的剪切强度等于剪应力时将形成两组共轭断裂面,其与最大主压应力是 45° , 两共轭面交线为中间轴。由于摩擦阻力的影响,两个方向与主压应力轴夹角略小于 45° , 由于断层两盘的相对滑动垂直于中间应力轴,所以在该轴方向上并无应变存在。因此,安德森理论适用于平面应变。本文拟介绍断层的三维应变分析方法及其在康山金矿区应用的情况。

滑动模型

滑动模型是Reches(1978)在研究多组断层的形成机制时首次提出的。他认为在三维应变场中,岩石中会同时出现4组断层,其与3个主应变轴呈斜方对称。他在1983年用花岗岩、灰岩、砂岩制成立体块样进行了系统的实验,得到了理想的3组和4组斜方对称的断层面,并在此基础上对1978年提出的

滑动模型进行了修改。首先假设:

1. 试验模型在变形前含有许多随机分布的不连续面。
2. 变形仅仅是断层的滑动作用产生的,它导致了每组断层的单剪应变。
3. 每一组断层有足够的密度,从而使得含有断层的岩石块体的变形接近于均匀材料。

4. 断层的滑动阻力遵循库仑摩擦定律,因此包括内聚力和摩擦力。

根据以上假设,Reches利用张量原理进行理论推导^[2],得出立体块样在三维应变场中总的变形张量矩阵为

$$D_{ij} = \sum_{n=1}^K T_{ij}^n r_n \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (1)$$

其中 r_n 为第 n 个剪切系统的剪应变, T_{ij}^n 为第 n 个剪切系统与总的应变场的转化矩阵。由于只考虑沿断层面的单剪应变,因此体积不变, $D_{33} = -(D_{11} + D_{22})$, 因此张量矩阵中只有8个独立分量, (1)式中为8个方程组,因此需要8个滑动系统,每个断层面内有两个独立的滑动系统(图1)。要获得单剪应变 r 的唯一解,4组断面足以满足方程(1)。如果分量少于8个,则需较少的滑

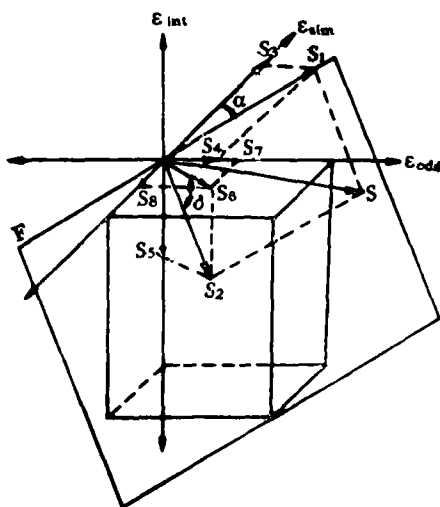


图 9 三维应变场及一组断层立体图

ϵ_{odd} 、 ϵ_{int} 、 ϵ_{sim} 分别为奇轴、中间轴和相似轴， α 为断层走向与相似轴间的夹角， δ 为断层倾角， S 为滑动分量， S_i 为滑动分量 ($i=1, 2, \dots, 8$)， F 为断层面

$$S_{odd} = S(\sin\alpha\cos\gamma + \cos\alpha\cos\delta\sin\gamma) \quad (12)$$

$$S_{int} = S\sin\delta\sin\gamma \quad (13)$$

在其相对应方向上的断层数 $n_i = l_i/d_i$ (14)

其中 d_i 是该主应变方向上平行断层平均间距 n ，在三维主应变方向上断层间的相互距离为：

$$d_{sim} = \frac{d}{\sin\alpha\sin\delta} \quad (15)$$

$$d_{odd} = \frac{d}{\cos\alpha\sin\delta} \quad (16)$$

$$d_{int} = \frac{d}{\cos\delta} \quad (17)$$

其中 d 为相邻平行断层间的垂直间距，将 (15)~(17) 式代入 (14) 式得：

$$n_{sim} = \frac{l'_{sim}\sin\alpha\sin\delta}{d} \quad (18)$$

$$n_{odd} = \frac{l'_{odd}\cos\alpha\sin\delta}{d} \quad (19)$$

$$n_{int} = \frac{l'_{int}\cos\delta}{d} \quad (20)$$

将 (15)、(18)、(16)、(19)、(17)、(20) 式分别代入 (10) 式得：

$$\Delta l_{sim} = n_{sim} S_{sim} = l'_{sim} R \sin\alpha \sin\delta (\cos\alpha \cos\gamma - \sin\alpha \cos\delta \sin\gamma) \quad (21)$$

$$\Delta l_{odd} = n_{odd} S_{odd} = l'_{odd} R \cos\alpha \sin\delta (\sin\alpha \cos\gamma + \cos\alpha \cos\delta \sin\gamma) \quad (22)$$

$$\Delta l_{int} = n_{int} S_{int} = l'_{int} R \cos\delta \sin\delta \sin\gamma \quad (23)$$

其中 $R = S/d$

根据 (9) 式得

$$\epsilon_{sim} = \frac{-\frac{R}{2}(\sin^2\alpha\sin\delta\cos\gamma - \sin^2\alpha\sin^2\delta\sin\gamma)}{1 - \frac{R}{2}(\sin^2\alpha\sin\delta\cos\gamma - \sin^2\alpha\sin^2\delta\sin\gamma)} \quad (24)$$

$$\epsilon_{odd} = \frac{\frac{R}{2}(\sin 2\alpha\sin\delta\cos\gamma + \cos^2\alpha\sin 2\delta\sin\gamma)}{1 - \frac{R}{2}(\sin 2\alpha\sin\delta\sin\gamma + \cos^2\alpha\sin 2\delta\sin\gamma)} \quad (25)$$

$$\epsilon_{int} = \frac{-\frac{R}{2}\sin\gamma\sin 2\delta}{1 - \frac{R}{2}\sin\gamma\sin 2\delta} \quad (26)$$

(24)、(26) 式中的负号表示该方向受到压缩。上述结果是根据一组断层求得的。Krantz 指出，在斜方对称及其等应变分布条件下，

由 4 组断层求产生的主应变可将等式 (24)、(25)、(26) 分别乘以一个相同因子。因此我们可以确定主应变比值：

$$\frac{e_{sim}}{e_{odd}} = - \frac{\left[1 - \frac{R}{2} (\sin 2\alpha \sin \delta \cos \gamma + \cos^2 \alpha \sin 2\delta \sin \gamma) \right]}{\left[1 - \frac{R}{2} (\sin 2\alpha \sin \delta \cos \gamma - \sin^2 \alpha \sin 2\delta \sin \gamma) \right]} \times \frac{(\sin 2\alpha \sin \delta \cos \gamma - \sin^2 \alpha \sin 2\delta \sin \gamma)}{(\sin 2\alpha \sin \delta \cos \gamma + \cos^2 \alpha \sin 2\delta \sin \gamma)} \quad (27)$$

$$\frac{e_{int}}{e_{sim}} = \frac{\sin \gamma \sin 2\delta}{\left[1 - \frac{R}{2} (\sin \gamma \sin 2\delta) \right]} \times \frac{\left[1 - \frac{R}{2} (\sin 2\alpha \sin \delta \cos \gamma - \sin^2 \alpha \sin 2\delta \sin \gamma) \right]}{(\sin 2\alpha \sin \delta \cos \gamma - \sin^2 \alpha \sin 2\delta \sin \gamma)} \quad (28)$$

由于(27)、(28)式所求为应变比值,所以与断层组数无关,它适用于同时形成的多组断层系统。

考虑到北东向断层较发育,将其作为坐标系中的一组断层。从图7中可以量出 e_{sim} 与北东间夹角 $\alpha=20^\circ$,取 $\bar{\delta}=70^\circ$, $\bar{\gamma}=25^\circ$,再根据野外实际观测和黄金十四支队的资料,取参数 $S=5m$, $d=100m$,将其代入(27)、(28)式得:

$$\frac{e_{sim}}{e_{odd}} = -0.71; \quad \frac{e_{int}}{e_{sim}} = 0.40$$

从应变比值可以看出,中间应变轴(e_{int})方向上存在应变量,这表明北东、北北西方向斜方断层是在三维应变场中形成的。

由于假设滑动模型的变形是共轴的,因此3个主应力轴 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$),分别对应于3个主应变轴 e_x (e_{sim})、 e_y (e_{int})、 e_z (e_{odd})。这一局部应力场的形成受区域应力场控制。在马超营东西向脆韧性断裂带中,康山金矿、筛子庙红庄金矿、潭头等金矿大致呈15km等间距分布,因此康山金矿无疑受到马超营东西向断裂带的影响。在燕山成矿期早期,该地区表现为南北向的不均匀挤压,对成矿前的构造体系进行改造和破坏,使原东西向断裂由压性变为剪性。

燕山期南北向力偶的右行剪切,形成NE45°的区域主压应力 σ_1^0 ,从而使东西向马超营断裂呈左行剪切。 σ_1^0 与局部应力场 σ_1 呈20°角相交(图10),表明它在康山金矿

发生了旋转。这可能是介质的差异和不连续面造成的。旋转后的应力场使矿区受到三维应力场的作用,而不是单剪作用,在 σ_2 方向上岩石受到压缩,从而形成北东、北北东向的斜方断层系统。

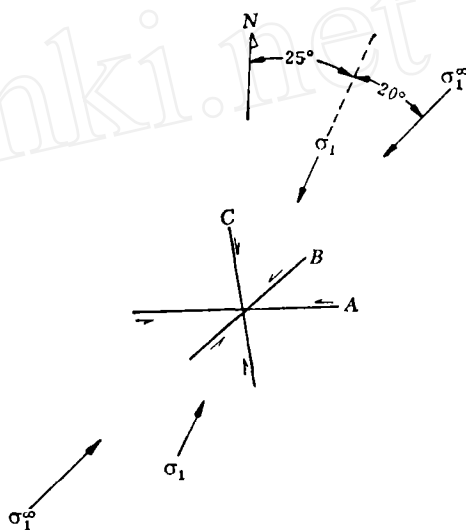


图10 成矿期北东(B)、北北西(C)向容矿断层及北西向马超营断裂(A)与区域、局部应力关系平面图

结 论

1. 康山金矿北东向、北北西向容矿断层是在三维应变场中同时形成的斜方断层系,且受区域应力场控制。

2. 区域应力 σ_1^0 与局部应力 σ_1 呈20°相交,表明区域应力场在康山金矿发生旋转。

(下转第42页)

结 论

1. 黄铁矿热电系数的导电分区, 与金矿化富集之间有着极密切的联系。该参数是寻找、评价隐伏金矿的一项有用的参数。

2. 在金矿富集部位的上部, 存在一个P型导电区的“头晕”, 它的分布范围, 至少可以离开金矿富集部位100m, 虽然我们尚无确切的资料说明它最远可以扩展的范围, 但仍不失为预测隐伏金矿化的有效手段。

3. 热电系数的垂向分带, 可以用来判断金矿体的剥蚀水平。

4. 由于需要系统地采集黄铁矿样品,

目前其应用还只局限于在有大量钻孔、坑道分布的矿区范围内。

本文得到新疆国家305项目办公室、新疆有色701队的指导和帮助, 谨表谢意。

参 考 文 献

- [1] Красник, В. И., и др., «Советская геология» 1975, 8.
- [2] Самарцев, И. Т. и др., «Записки всесоюзного минералогического общества» 1976, 5.
- [3] Макомнова, З. М., «Разведка и охрана недр» 1984, 4.
- [4] Ревякин, Д. С. и др., «Разведка и охрана недр» 1978, 7.
- [5] Никулин, В. Н. и др., «Разведка и охрана недр» 1986, 8.

A Practical Example of Gold Exploration by Measuring Thermoelectric Coefficient of Pyrites

Liu Liangxian Xiao Shujian

A practical gold exploration case of the No. 1 gold deposit in Sartohai, Uygur Autonomous Region of Xinjiang is given in this paper to illustrate the working principle and measuring process of the thermoelectric coefficient method and its application to delineate Au-bearing ore-body and prognosticate concealed gold deposits.

(上接第34页)

3. 形成康山金矿斜方断层的局部三维应变场方位为 ε_x : $122^\circ \angle 10^\circ$, ε_y : $343^\circ \angle 76^\circ$, ε_{zm} : $210^\circ \angle 13^\circ$, 应变比率为 $\varepsilon_x/\varepsilon_z = -0.71$, $\varepsilon_y/\varepsilon_z = 0.40$ 。

最后应当指出的是:

滑动模型、奇轴模型所依赖的假设很多, 因此在应用时必须注意到其适用的地质条件, 不能生搬硬套。

由于断裂构造的多期性, 断层面上有时能见到多方位擦痕, 另外由于构造运动的叠加改造或风化剥蚀作用, 现在我们能够见到的擦痕往往是最后一期构造运动的产物, 应用时必须注意到这一点。

附录

野外实测断层产状

侧伏角

$330^\circ \angle 70^\circ$	$20^\circ S$
$256^\circ \angle 75^\circ$	$20^\circ N$
$95^\circ \angle 50^\circ$	$45^\circ S$
$335^\circ \angle 75^\circ$	$55^\circ S$
$275^\circ \angle 72^\circ$	$12^\circ N$
$140^\circ \angle 75^\circ$	$40^\circ S$
$325^\circ \angle 65^\circ$	$25^\circ S$
$275^\circ \angle 70^\circ$	$10^\circ N$
$350^\circ \angle 40^\circ$	$45^\circ S$
$280^\circ \angle 65^\circ$	$10^\circ S$
$260^\circ \angle 45^\circ$	$20^\circ N$
$255^\circ \angle 70^\circ$	$30^\circ N$
$140^\circ \angle 75^\circ$	$55^\circ N$
$345^\circ \angle 70^\circ$	$20^\circ N$
$100^\circ \angle 85^\circ$	水平

Three Dimensional Strain Analysis Method and Its Application in the Kangshan Gold Deposit

Zhang Yinqi, He Shaoxun, Duan Jiarui

Slide Model and singular axis model, together with their application in the Kangshan gold mining district are expounded in this paper. It is considered that the NE and NNE striking ore-hosting faults in an oblique symmetry are formed by local stress fields which induced by the regional strain fields. The principal strain orientation and rate of the regional three dimensional strain field are also calculated.