

米山断裂构造变形 特征及其意义^①

许顺山 吕古贤

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081)

鲁安怀

(中国地质大学, 北京)

提 要 米山断裂是一多期变形断裂, 早期以韧性变形为主, 后期以脆性变形为主, 断裂变形具有准对称性, 西盘变形强度大于东盘。变形强度决定了断裂带的蚀变及矿化特点, 蚀变的分带结构与断裂的不同的矿化特征都与断裂的变形有关, 因此米山断裂的生成与发展, 对胶东东部的成岩成矿具有重要作用, 它控制了燕山早期花岗岩的侵入, 韧性变形作用是金矿成矿的必要条件。

关键词 米山断裂 韧性变形 断裂控矿 金矿成矿

1 米山断裂的基本构造地质特征

米山断裂是胶东东部的重要控矿断裂, 其发育规模、活动历史、控矿作用都可与西部的牟乳断裂带相比拟。目前对米山断裂的专门研究还很少, 本文试图通过研究该断裂变形历史, 变形强度, 应力作用方式及其与金矿成矿的关系, 揭示出该断裂的重要变形特征及控矿规律。

米山断裂是贯穿于胶东东部的区域性压扭性断裂构造带, 主干断裂在北部作为昆嵛山岩体的东部边界断裂, 向南延伸达 36km 以上, 沿断裂带发育有糜棱岩, 硅化岩带, 闪长玢岩脉, 以及早白垩世小型拉张盆地, 反映了断裂带的多期活动。该断裂带总体走向 N5°E, 倾向南东, 倾角 40°~65°左右, 在北部由数条相互平行的断裂组成, 主断裂在米山水库宽达 300~700m 以上(图 1)。

2 米山断裂多期活动地质特征

米山断裂是一韧、脆性迭加的断裂带, 经历过多次活动。

^① 收稿日期: 1997-03-03 改回日期: 1997-06-17

2.1 构造岩的迭加

在米山断裂带中随处可见韧、脆性构造岩的共生。早期韧性变形表现为变形带、变形纹、波状消光,动态恢复及动态重结晶。其中波状消光有扇状消光,带状消光,不规则状等。

碎裂流现象是指岩石或矿物被密集的裂隙所切割,而整体不失去连续性的变形作用。它与沙袋中的砂粒流动相似,从宏观上整体保持连续性,显韧性变形特征。而在微观上则见许多微破裂,岩石被裂隙密集切割,显脆性变形特征。据 Tullis(1987),碎裂流是脆性-韧性过渡阶段重要变形机制,可见米山断裂早期为典型的韧脆性变形。

晚期脆性裂隙往往迭加于早期构造岩上,微细裂隙或限于晶内或可以穿晶,有不规则状,平行状或共轭状产生。

2.2 应力场的演变

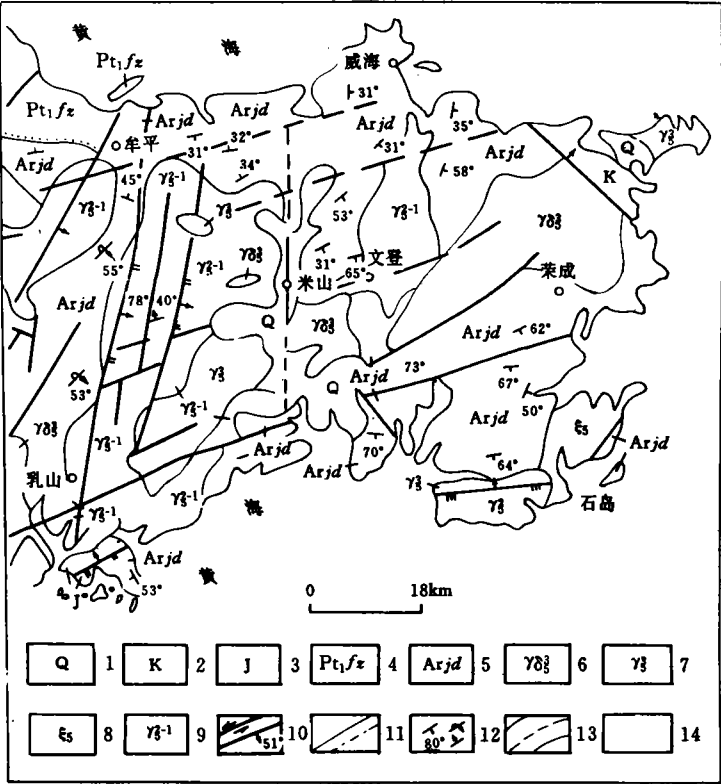
2.2.1 岩石磁组构分析

磁组构产生的主要原因是定向应力和温度。决定因素是岩石形成或其后所经历的热动力学条件及其变化,而与岩石成份及其中所含磁性矿物成份、数量的关系较小。

构造应力作用往往使岩石内磁性矿物产生定向排列,韧性变形或定向重结晶,结果是使岩石产生较强的磁化率各向异性。大量研究成果表明,岩石应力椭球的三个主轴与磁化率椭球的三个主轴相互平行,具有共轴关系,通过断裂带中 13 个磁组构样品的最小磁化率产状投影,如图 2 所示,可以发现最小磁化率轴反映了三个方向的主应力个值,一个近东西方向,在此应力作用下米山断裂经历过压性阶段,一个是近南北方向,表明米山断裂经历张扭性阶段。一个是北西南东方向,表明了米山断裂经历过压扭阶段。

2.2.2 共轭节理及张性节理的应力方位

区域上两套典型的共轭节理及一组典型的张性节理反映了米山断裂的多期活动,其结果与磁组构的结论一致,共轭节理所求压应力近东西方向和 NWW 方向。 σ_1 产状分别为 260



1. 第四系 2. 白垩系 3. 侏罗系 4. 粉子山群 5. 胶东群 6. 花岗闪长岩 7. 花岗岩 8. 正长岩 9. 片麻状黑云母花岗岩 10. 断裂扭动方向, 断裂产状 11. 性质不明, 卫星解译断裂 12. 层理、片理、片麻理及流面产状 13. 地质界线及不整合面

图 1 区域构造格架图
Fig. 1 Sketch-map showing the location of regional structures

$\angle 35^\circ, 295^\circ \angle 10^\circ$, 另外在金矿成矿阶段, 近南北向的米山断裂为张性活动, 有张性石英脉及张性角砾岩形成, 反映近南北向的压应力。

综上所述, 米山断裂经历三期变形作用, 早期以压性变形为主, 中期遭受张扭作用, 晚期为压扭活动。

3 断裂应变应力定量分析

前人对断裂的应变应力分析的目的是研究断裂的变形机制和形成演化, 笔者对米山断裂进行应变应力定量分析是为研究断裂的变形强度及其变化规律, 以此探讨动力作用强度与成岩成矿的关系。采样位置见图 3。

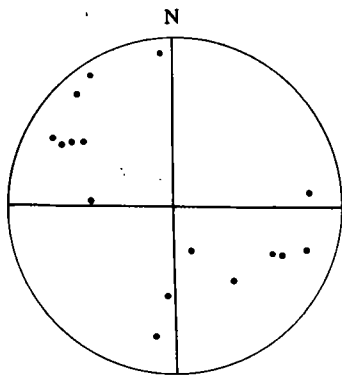


图 2 米山断裂最小磁化率产状投影图

Fig. 2 Map showing minimum susceptibility axis of magnetic anisotropy

3.1 早期韧性变形阶段

应变测量采用测量应变石英晶体的方法确定应变椭球体类型, 应变椭球体类型是根据富林指数 (Flinn 指数 K) 来确定, $0 < K < 1$ 为压扁型, $K = 1$ 为剪切型, $1 < K < \infty$ 为收缩型。

在米山断裂中测量了五个样品, 测量结果见图 4、图 5, 所取得的认识如下:

(1) 所有的 K 值都在 $0-1$ 之间, 反映了变形性质为压扁变形。

(2) 图 5 所示, 米山断裂从南往北 K_{ac} 值减小, 表明南部变形强度大, 北部变形强度小。

(3) 03—2 号样的 K_{ac} 值大于 03—0 的 K_{ac} 值, 反映西部变形大于东部变形如图 4 所示。

磁组构的测量结果与应变测量结果一致, 磁各向异性度 $P = K_1/K_3$ 代表变形强度 (K_1 为

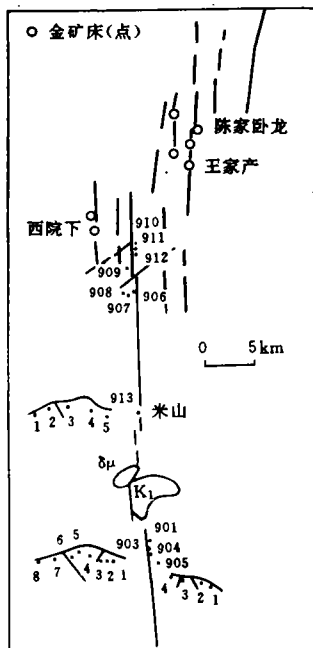


图 3 米山断裂采样位置图

Fig. 3 Sampling distribution map

最大磁化率, K_3 最小磁化率) 相当于应变测量中的 K_{ϵ} 值, 结果如图 6、图 7 所示, 结论与应变测量结果一致, 即西部变形大于东部变形, 南部变形大于北部变形。

3.2 韧脆性变形阶段

韧脆性变形的典型构造岩为碎裂流。Tullis(1987)认为碎裂流是脆性-韧性过渡阶段的重要变形机制。因而从米山断裂的碎裂流现象来看, 它经历过典型的韧脆性变形阶段。Brigel 及 Geotze(1978)认为位错密度只反映构造运动最后阶段的应力状态, 而不能反映一个典型的塑性变形阶段的应力状态, 而是与塑性变形向脆性变形时破裂作用有关。在过渡阶段由于差应力的增加, 于是出现位错构造。因此位错密度法和重结晶颗粒法估算的差应力代表韧脆性变形阶段的差应力^[4]。

位错密度与应力的定量关系最早是从金属研究中给出, 即 $\sigma_1 - \sigma_3 = a\mu b\rho^{\frac{1}{2}}$, 式中 a 为材料系数, b 为布格矢量, 可由材料的晶体常数表中查出, ρ 是位错密度, μ 是剪切模量。本文采用 Weather et al(1979)的经验公式: $\Delta\sigma = 6.6 \times 10^{-3}\rho^{0.5}$, 其中 ρ 的单位是 cm^{-2} , 差应力单位为 Mpa, 位错密度的统计方法是采用厚度线条法, SMITH-Guthman 法; 公式为 $\rho = 2N/Lt$ 。

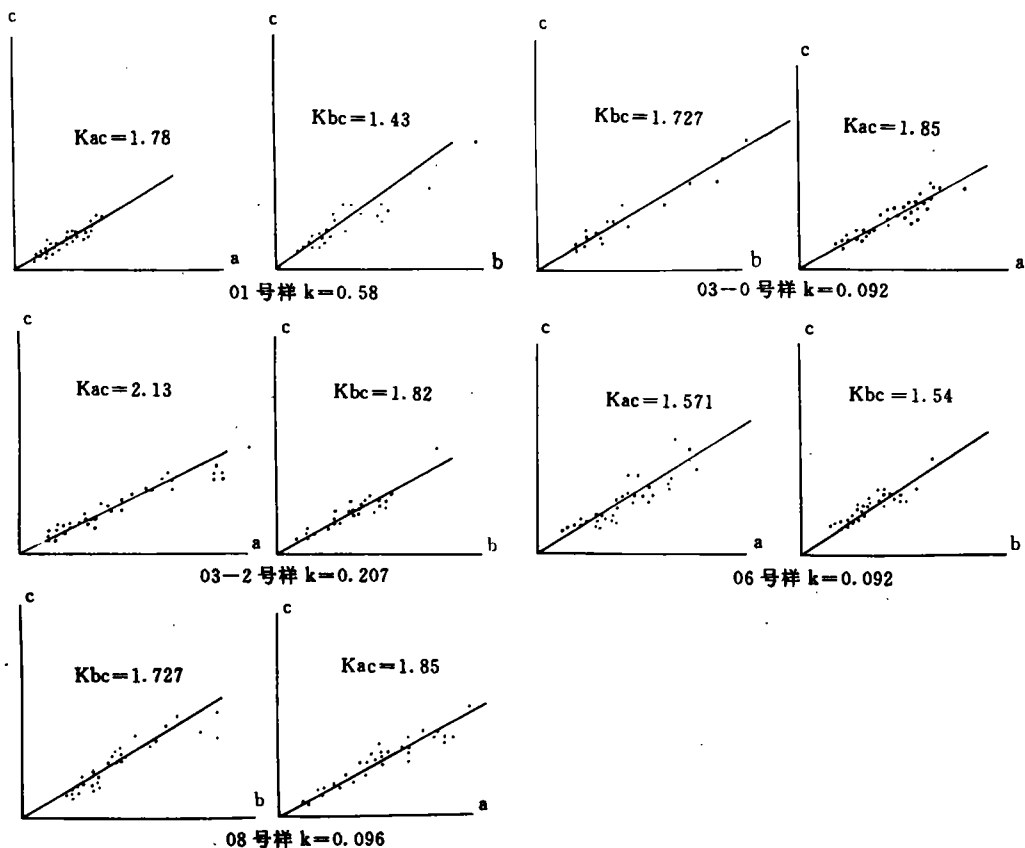
重结晶颗粒平均值是在显微镜下测得, 用随机直线测得该直线所有颗粒大小, 同时测量许多条直线, 求出平均值, 应力估算采用公式 $\Delta\sigma = 1345D^{-0.7}$ (Friedmen), D 的单位为微米, 差应力单位为 MPa(表 1)

表 1 米山断裂古应力值
Table 1 Paleostress value in Mishan fault

样品号	位 置	方 法	公 式	差应力(MPa)	备注
II 20	西院下金矿	位错密度	$\Delta\sigma = 6.6 \times 10^{-3}\rho^{0.5}$	192.79	
52—5	王家产矿点	同上	同上	153.7	
903—2	米山主干断裂	同上	同上	90.37	
901	米山断裂	同上	同上	144.26	
903—3	米山主干断裂	重结晶颗粒	$\Delta\sigma = 1345D^{-0.7}$	101.82	比照位错 密度结果 校正
903—2	同上	同上	同上	96	
908	同上	同上	同上	150.63	
901	同上	同上	同上	141.2	

计算结果表明, 米山断裂晚期变形北部大南部小(图 8)。这与应变测量的结果正好相反, 说明两方面的问题: (1) 经历过塑性变形阶段的断裂其差应力值与应变值并不成正比, 塑性应变大小还与应力作用时间、温度和围压条件有关。(2) 地质体抬升过程中, 北部抬升幅度大, 因此差应力值增加较大。

综上所述, 米山断裂在不同的变形阶段, 变形特征有明显的不同, 变形强度也从早期的南部变形强发展为北部变形强。



K 为富林指数 a:应变椭球体长轴 c:应变椭球体短轴

图 4 米山断裂应变测量结果

Fig. 4 Map showing strain measurement result

4 米山断裂对金矿化分布规律的控制作用

如上所述,米山断裂自形成以来经历三期明显的活动时期,它对胶东中新生代的地质发展及成矿起重要作用。

4.1 米山断裂是一条岩相界限断裂

米山断裂与昆嵛山岩体西侧的金牛山断裂相对应产生,都是界于该岩体与变质岩地层接触带的断裂,对昆嵛山复式岩体有一定的控制。该断裂早期变形是南部比北部强,表明它的早期活动受南部的五莲—荣城断裂影响比较大,在燕山期,主要与新华夏系主干构造相复合,不宜作为地体的边界断裂,而是一条岩相界限断裂。

4.2 米山断裂的控岩作用

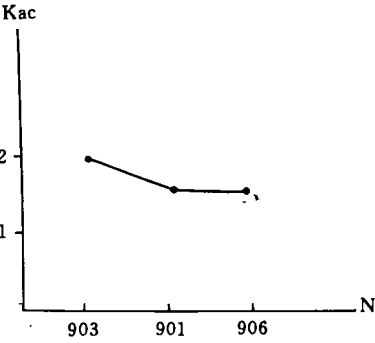


图 5 沿米山断裂 Kac 值变化规律
Fig. 5 Kac regularity along Mishan fault

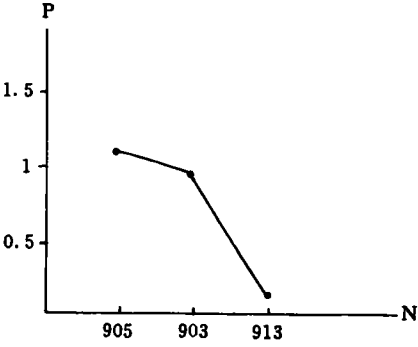


图 6 米山断裂 P 值变化规律
Fig. 6 Regularity of magnetic anisotropy(p) in Mishan fault

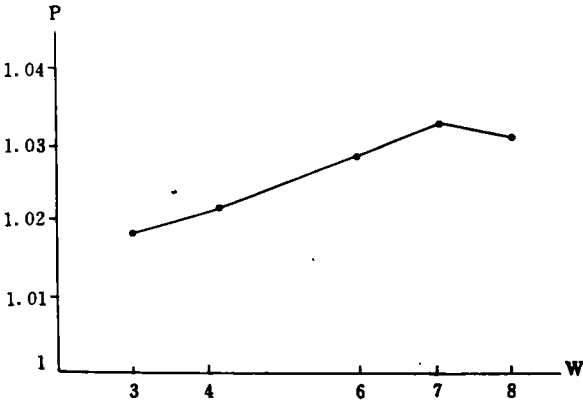


图 7 903 号小剖面 P 值变化规律
Fig. 7 Map showing regularity of magnetic anisotropy(p) of No. 03 section

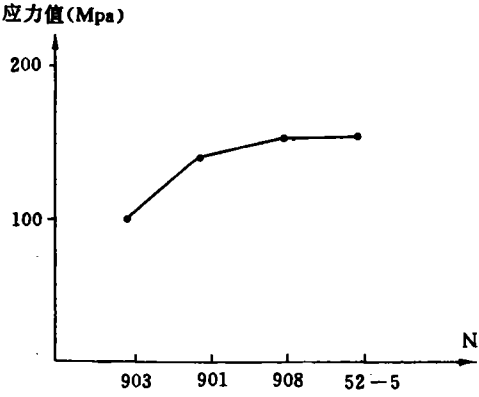


图 8 沿米山断裂的古应力变化
Fig. 8 Map showing paleostress change along Mishan fault

在米山断裂两盘发育的昆崙山复式岩体及文登岩体都呈北北东向展布,反映了米山断裂对两岩体侵位的控制作用。由于应力大小的差异,两岩体在许多方面具有明显的差异(表 2)。由表 2 可知,由于西盘的差应力强度大,西侧的昆崙山复式岩体形成的压力大,侵入温度高,石榴石含量多,黑云母富铁等。昆崙山复式岩体成矿作用主要在岩体的内接触带,而文登岩体主要在岩体的外接触带。已知环绕文登岩体发现了范家埠,大时家,孙家沟等金银矿及金银矿化点。

4.3 断裂多期活动与成矿

米山断裂从韧脆变形至脆性变形阶段金的活化、迁移、沉淀环环相扣。

(1)金的活化阶段:首先在剪切变形作用下,岩石中的含水矿物及碳酸盐矿物发生去水脱炭反映,形成以 H_2O 为主要成份的变质流体,同时提取金及硫进入流体,构成含金的变质流体,由于释放大量的流体,流体与岩石处于暂时的平衡状态,构成一个近封闭的循环体系,使原

始的分散金开始富集^{[1][2][3]}。

(2)金的迁移:然后,在地质体抬升过程中,打破原来的平衡关系,含金流体从矿源岩迁出进入韧性剪切带,断裂变形出现脆性显微裂隙,从而建立起了高流体压力梯度,这一过程的重复,促进含金流体沿剪切带上升,因而又加强了含金流体从矿源层迁出,最终剪切带集中大量的含金流体。

(3)含金流体的沉淀:韧性变质带进一步发展到浅部,又一次导致含金流体与围岩的明显反应,使金沉淀下来,与生成物组合在一起,构成蚀变岩+石英脉型金矿。

表 2 昆崙山岩体与文登岩体对比表

Table 2 Comparation between Kunyushan pluton and Wendeng pluton

岩体名称	昆崙山岩体	文登岩体
形成方式	交代重熔	重熔
形成压力	$3\times10^8\text{Pa}$	$2\times10^8\text{Pa}$
形成温度	$5379^{\circ}\text{--}618^{\circ}$	690°
形成时代	复式岩体最终定位于燕山期	单式岩体 燕山期
副矿物	石榴石多,磷灰石少	石榴石少 磷灰石多
斜长石有序度	0.80	0.76
黑云母	富铁黑云母	富镁黑云母
钾长石有序度	0.38	0.89
$\delta^{18}\text{O}$	高,变化大	低,变化小
构造	片麻状 块状	块状
成矿部位	岩体内晕	岩体外晕

在米山断裂中由于南部变形强度大,含金流体不仅向上运移,且由南向北运移,从而在断裂带北部形成了西院下金矿,王家产金矿,陈家卧龙金矿等。

4.4 断裂变形岩带岩矿地球化学的分带性质

在米山断裂带中每条断裂的蚀变矿化都具有分带结构,表明变形作用不仅使物质带出带人(蚀变、矿化)且这种带人带出的特征与变形强度有关。

主要蚀变分带特征:内带为硅化、黄铁绢英岩化、红化,中带为红化、绢英岩化、外带红化、钾化(图 9)。内带变形最强,主要有糜棱岩、片理化岩石往外渐变为构造透镜体、构造角砾岩变形带。

蚀变作用使元素带人带出以西院下金矿硅化岩为例,随着硅化的由繁到简,矿物相由多变少,直至趋近单矿物岩。从化学组分增减计算也充分说明这一点,由于岩石中长石和铁镁矿物大量分解与转化,最后形成石英为主伴有少量绢云母与白云母组成的硅化岩,导致大部分活化组分 Al、Fe、Mg、Ca、Ni 被带出,而且带出的幅度较大,被带出的数常占原岩的 58%~98%左

右,如 Al、Ca、Mg 几乎全部带出。带入组分种类有 Si、K 和 Fe^{3+} 。

米山断裂带两盘的变形强度还决定了矿化的差异。由于西盘变形强度较大,Au 矿化西盘比东盘强。以米山断裂为界两边的成矿特点有很大差异,东部银金多金属矿的浅层矿化、矿床发育,矿床规模小;而西部以硫化物石英含金矿脉为主要工业矿床类型,包括牟乳带产出大、中、小型金矿。

东西两个地段中的黄铁矿中微量元素变化规律是东部矿床组(范家埠、大时家,同家庄)黄铁矿中 Ni、As、Ag、Sb、Hg 且 Se/Te 比值较高,表明低温元素较富集,特别是东部黄铁矿 Ag 与东部地区矿床集中相一致;西部矿床组 Co、Au、Bi、Te、Co/Ni 比值较高,反映较高温元素较富集。

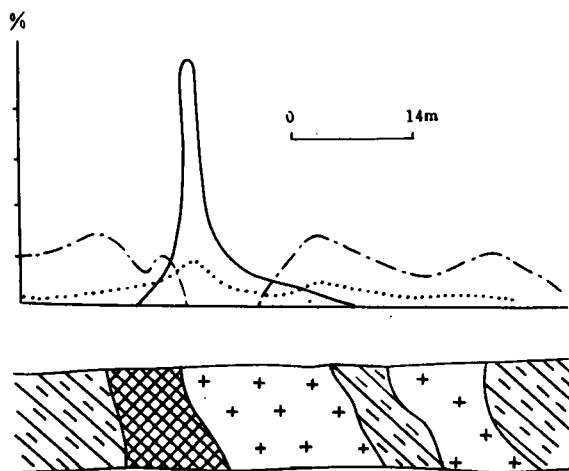
另外矿石石英中微量元素东西部也有变化,西部矿石脉石英中 Ba 和 Na 明显较高,Zn 和 Sb 变贫,而东部矿床中石英含 $\text{Zn} > 17 \times 10^{-6}$, $\text{Sb} > 0.1 \times 10^{-6}$ 。

矿石中硫同位素也有东西明显差异,西部矿床如西院下,英山前 $\delta^{34}\text{S}$ 为正值,在 $12.5\% \sim 7.5\%$ 间,峰值 10.7% ,离散度 5.3% ;东部矿床如范家埠,同家庄以负值为主,在 $+1.8\% \sim -6.6\%$ 之间,峰值为 $-4.3\% \sim -6.0\%$,离散度 8.4% ,由此可见东西矿床的硫同位素具有不同的来源。

矿石中稀土元素总量西部矿床较高,而东部矿床较低,成矿年龄西部较大,西院下金矿石中成矿期绢云母 K-Ar 年龄为 $101.97 \pm 2.49\text{Ma}$,东部较新,范家埠金矿蚀变钾长石 K-Ar 年龄为 $43.6 \pm 1.05\text{Ma}$ (据王吉君)。

5 结束语

通过对米山断裂的变形研究认为米山断裂是燕山运动形成作用为主的脆脆性迭加的多期变形断裂,断裂变形强度达不到大陆边缘构造的规模,不宜作为地体的边界。米山断裂的成生与发展对胶东东部的成岩成矿具有重要作用,它控制了燕山早期花岗岩的侵入,韧性变形作用是金矿成矿的必要条件,断裂变形强度的差异决定成矿的特点,在变形中心地带形成硅化岩型或石英脉型金矿,在变形强度较大的断裂西盘往往产出大型、中型金矿,东盘金矿规模较小,同时有银矿床产出。



1. 黑云二长片麻岩 2. 金矿体 3. 黑云二长花岗岩 4. 钾化 5. 绢云母化 6. 硅化

图9 西院下40米中段9号穿脉蚀变分带图(据王吉军)

Fig. 9 Alteration zoning map of Xiyuanxia gold deposit

参考文献

1. Duba A G et al., The Brittle-Ductile Transition in Rocks, 1990
2. Johnson S E. J. struct, Geol., 1990, 516
3. Paterson M S. Tectonophysics, 1980, 133(1-2)
4. 杨开渠. 构造古应力估算与金的富集. 广东地质, 1990, 5(1)
5. 于津海. 胶东东部昆崙山混合杂岩体的形成时代及成因. 地质论评, 1989, 35(4)
6. 肖庆辉. 韧性断层特征及断层应变与位移测定方法. 构造地质论丛(3). 地质出版社, 1982
7. 杨开庆. 动力成岩成矿理论的研究内容与方向. 地质力学研究所所刊(7), 1986
8. 吕古贤, 孔庆存. 胶东玲珑—焦家式金矿地质. 科学出版社, 1993
9. Briegel U, Geotze C. Estimates of differential stress recorded in the dislocation structure of Lochseiten limestone. Tectonophysics, 1978, 48: 61~76
10. 邓军, 等. 胶东西北部构造体系与金成矿动力学. 地质出版社, 1996

STRUCTURAL DEFORMATION OF MISHAN FAULT AND ITS SIGNIFICANCE

Xu Shunshan Lu Guxian

(*Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing, 100081*)

Lu Anhuai

(*China university of Geosciences, Beijing*)

Abstract

Mishan fault is considered as a multi-period deformation fault with ductile deformation in early period and brittle deformation in later period. The deformation is characterized by parasymmetry, higher degree in west wall than in east wall. Characteristic of alteration zoning and mineralization zoning depends on the deformation intensity. Main alteration is intense silicification. Therefore, formation and development of Mishan fault is important to petrogenesis and metallogenesis in east Jiaodong. It controls granite emplacement in early Yanshanian movement. Its ductile deformation is basic condition of gold metallogenesis.

Key words: Mishan fault ductile deformation fault ore-controlling gold metallogenesis