

# 胶东旧店金矿构造控矿特征研究

岳石 赵寅震

(中国地质科学院研究生部) (长春地质学院地质系)

**提 要** 通过对胶东旧店金矿床的构造及其演化特征和成矿作用的研究,说明构造活动释放能量导致了金的活化,构造的分布和差异性所产生的能量不均匀性是金元素迁移、沉积的动因,是控制金矿形成的主导因素。

**关键词** 旧店金矿 构造控矿机理 能量 活化 迁移富集

本文通过对胶东旧店金矿的构造及其演化特征与金矿成矿特征的调查与研究,探讨了构造活动对金的成矿的控制机理。说明了构造活动不仅控制了金矿的分布,而且控制了金矿的形成,这种控制的机理是:构造活动释放能量是导致金元素活化的重要因素,构造分布和构造活动的差异性造成能量分布的不均匀性,是金元素迁移和沉淀富集的动因,是控制金矿形成的主导因素。这一认识可为金矿的普查与预测开辟出新的途径,为确定找矿的指导思想提供了理论依据。

## 一、绪言

胶东西北部地区是我国著名的黄金产地。一些众所周知的大型金矿如玲珑金矿、焦家金矿和三山岛金矿等都产于这一地区,且在此区内,大小矿点星罗棋布。近年来始终是众人瞩目之地。无数地质工作者深入该区,从各方面探讨金矿的成因和找矿规律,取得了很多有意义的成果。

该区金矿具有很多特征。一个最明显的特征是金矿的分布严格受构造控制。因此,从构造入手,探讨成矿规律及找矿方向,会收到更为明显的效果。我们选取了这一地区南部旧店金矿进行调查,总结出了构造成矿规律。这对于确立区域找矿方向无疑是具有一定意义的。

## 二、旧店金矿的地质背景

旧店金矿位于胶东隆起的西部,东西向构造带栖霞复式背斜的西段(图1)。

矿区内地层主要是太古界—元古界变质岩系,呈残留体形态存在于玲珑花岗岩体内。岩性为黑云斜长片麻岩,变粒岩和大理岩等。玲珑岩体是中生代形成的,成因很复杂,众说不一。旧店金矿位于玲珑岩体的南段,附近有变质岩残留体和小规模的岩体(图2)。矿区内还广泛发

育断裂构造,其中主要有北东向,北北东向和北北西向构造。残留体地层近东西向展布,岩层陡立,挤压现象明显。说明其原是古老的東西向褶皱,由于持续变形作用和变质作用,难于恢复原来的褶皱面貌。而该区发育的断裂构造都明显切割该区内的各种地质体。根据这些断裂与岩体的关系可以断定它们形成于中生代,至少可以说在中生代它们都发生过活动。

各断裂带的性质不尽相同,有的复杂,有的较简单,如北东向断裂都发生过多期活动。在矿区东部的纵贯矿区的招平断裂,无论从形态、构成和性质都表现出复杂性。该断裂控制了玲珑岩体和变质岩地层的边界。总体走向N40°E左右,舒缓波状。断裂带内岩石破碎强烈,发生角砾岩化,透镜体化,片理化和断层泥化,具有强烈挤压和碾磨的特征。经确定认为该断裂具有多期活动特点,早期“反扭”。经过强烈挤压,后来又变成“顺扭”。这些特点在矿区内较小规模的断裂群中也可反映出来。这些特点对成矿具有特殊的意义。而北北东向断裂性质比较单一,具有压扭,反扭的性质。北北西向断裂则具有反扭张扭的性质。矿体一般位于北东向断裂和北北东向断裂之中。

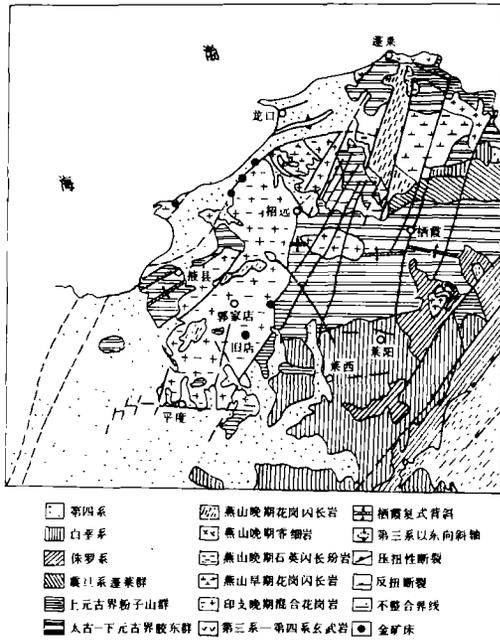


图 1 胶东西北部地区地质构造略图

Fig. 1. Geological map of the northwest Jiaodong Peninsula

### 三、金矿的成矿特征

要探讨成矿规律,必须了解成矿过程,包括成矿物质的来源,成矿物质的运移方向和动因以及成矿的物理化学环境等。

成矿物质来源是成矿特征的一个重要方面。如果不知道成矿物质来源,就无从探讨成矿过程或成矿机理。确定成矿物质来源可用多种方法互相印证,才能得到更为确切的认识。

首先对不同地质体的金的含量进行分析。在旧店矿区内测得混合岩化的斜长片麻岩中的金含量为 0.006g/t;混合岩中为 0.005g/t;蚀变岩中为 0.15g/t,而胶东群地层中的金丰度值是较高为 0.163g/t(朱奉山),0.011g/t(胡兆洁)和 0.024g/t(山东地质六队)。以上说明混合岩化斜长片麻岩和混合岩的金含量远远低于胶东地区老变质岩的金平均丰度,金已发生了转移。而小岩体中的金为 0.031g/t,没有发生较大的转移,金矿床中的金可能是由老地层中活化出来的。

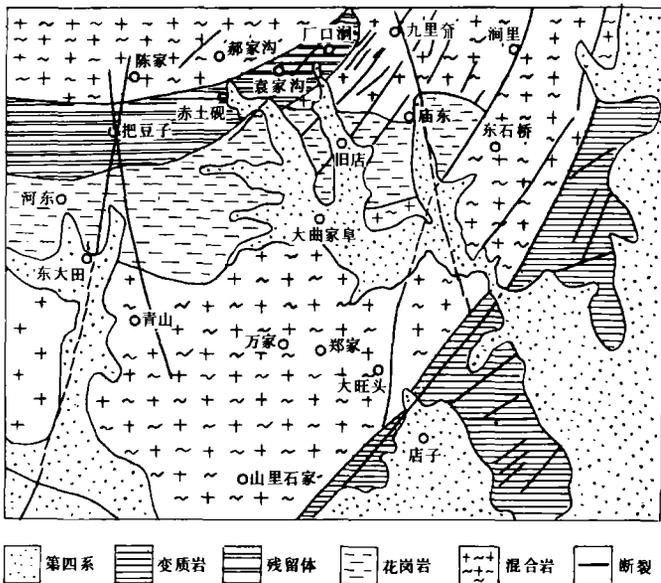


图 2 旧店地区构造略图

Fig. 2. Sketch map of structure in Jiudian region

成矿肯定是发生在中生代或其后。矿石铅的等时线年龄不可能代表成矿年龄，而矿区内地层残留体粉子山群是元古代地层，与 10 亿年的年龄值吻合，其铅同位素的年龄代表了原岩的年龄，也就是矿源层的年龄。这就说明了铅是来源于老地层，是由成矿热液携带而来的。

成矿温度是成矿另一个重要特征。通过对旧店矿区的成矿温度的测定，得到包体爆裂温度为  $300^{\circ}\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，硫同位素平衡温度为  $350^{\circ}\text{C}$  左右。这说明对于该类型的金矿，当温度近于  $400^{\circ}\text{C}$  时，金处于活化状态。当温度降到  $300^{\circ}\text{C}$  以下，则金处于沉淀状态。

成矿期次反映了构造活动的多期性，对于探讨构造成矿作用来说无疑也是非常重要的。成矿作用常常是一个长期复杂的过程，在此过程中，成矿条件和成矿特征常常发生变化，一个矿床一般是经过多期的矿化作用才能完成的。不同期的矿化和蚀变类型是由不同的构造活动阶段所控制的。所以，根据常常保留着的构造活动的踪迹，就可将不同期的矿化分开。

在旧店金矿中，主要可以分为早、晚两期矿化。早期伴随着绢英岩化，发育了石英粗粒黄铁矿化；晚期发育了细粒黄铁矿化和方铅矿化等，最后发育有限的碳酸盐矿化。其依据是最早发生的蚀变形成的绢英岩呈角砾状被石英脉所胶结。绢英岩中包含很多颗粒粗大、晶形完好的黄铁矿颗粒。黄铁矿颗粒被破碎。细粒黄铁矿则呈细脉状穿切或包含先成的蚀变岩和破碎的粗粒黄铁矿。早晚两期的石英也不一样，早期的为乳白色，晚期的为烟灰色，而方解石则呈微细脉穿切所有的蚀变与矿化的岩石。伴随着早晚两期的蚀变都有金矿化发生，而以晚期的矿化较好。金的矿化与蚀变的关系很密切，凡是金矿化较好的地方，蚀变也非常发育，金矿化与黄铁矿化关系最为密切。黄铁矿的结晶形态和粒度很不一样，有粗粒自形、细粒自形和细粒他形黄铁矿。后两者的金含量很高，金的高度富集主要与后两种黄铁矿相关。

从硫同位素组成看，对旧店矿区采取硫化物矿石测得硫同位素组成为： $\delta S^{34}$  的分布范围从  $+4.9\sim 8.5\%$ ，与区域上硫同位素背景值一致。胶东一带的金矿床是以富集  $S^{34}$  为特征，变化范围较大，在  $5\sim 12\%$  之间。因此，可认为这一地区的金矿中的硫不是深源的。金与硫密切伴生的，金是随着硫化物的沉淀而沉淀的，一般认为金与硫是同源的。

从铅同位素组成看，将在旧店矿区测得的铅同位素组成投到卡农三角形图解上，可确定其是正常铅。按单阶段演化公式来计算其形成的时代，得到等时线年龄为 10 亿年左右。我们已确定出金矿是形成于玲珑岩体之后，而岩体形成时代是中生代，因此，

### 四、矿化与构造的关系

旧店金矿的矿化分布与构造的关系极其明显,可以看出构造对金矿化的控制作用。总结归纳如下:

1、矿化受新华夏构造体系控制。所有矿化都赋存于新华夏构造体系的断裂中,主要是北东和北北东的压扭性断裂,其次是北北西向的张扭性断裂也有矿化,而其他方向的断裂则无矿化。见图3。

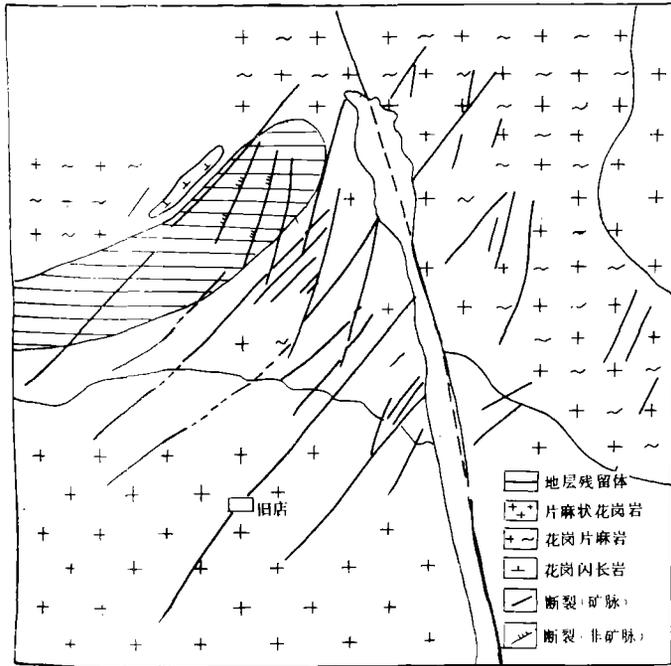


图3 旧店矿区断裂分布图

Fig. 3. Fault distribution in Jiudian gold ore deposit

粗粒黄铁矿集中分布于一个半波上,而代表主要成矿期的石英细粒黄铁矿则分布于另一个半波上如图1所示。

5、矿化与断裂的规模,岩石破碎的程度有一定的关系。断裂规模大,岩石破碎强烈,破碎带宽,则蚀变发育,矿化也好。矿化规模大,矿化好的断裂都是比较大的断裂。

6、切割已矿化的断裂的断裂可使矿化迁移或消失。在矿区内的北北东向断裂,有的有矿化,有的则没有矿化。通过观察分析发现有矿化的断裂一般都切割北东向断裂,而在北东向断裂群的范围内的未切割北东向断裂的北北东向断裂则无矿化(图3)。说明有矿化的北北东向断裂可能是使北东向矿脉中的金活化析析了出来。

在区内主矿脉中段,被一条东西向的压性断裂所切断,错动距离约1m左右。矿脉虽没

2、矿化强度与断裂性质有关。压性和压扭性断裂矿化好,而张性或张扭性断裂矿化则较差。如矿区内北东和北北东向断裂的矿化都比北北西向的张扭性断裂矿化好。

3、矿化强度还与断裂的复合活动有关。复合断裂尤其是具有不同活动方式的断裂矿化好,而单一性质的断裂矿化次之。如北东向断裂具有反扭性和顺扭性两期活动,矿化最好。而北北东向断裂一般只发生过一次运动,没有不同方向的活动方式的迭加,不如北东向构造矿化好。

4、断裂的不同部位对矿化类型和矿化程度有一定的控制作用。在北东向断裂中矿化很好,但并非均匀地沿着断裂分布,富矿体是呈透镜状,几乎等距地,有规律地斜列于断裂中。在舒缓波状的断裂中,代表早期矿化的

有被错走，但矿化在该断裂的两侧却消失了，如图 5 所示。

7、从区域矿化分布看，基础构造体系也起到一定的控制作用。整个胶东地区，金矿的分布是东西向呈带状，北北东向呈串分布的。三山岛金矿，焦家金矿，玲珑金矿至林西一带金矿大致呈东西向展布，与栖霞复式背斜轴近于平行。焦家玲珑等金矿分布于栖霞复式背斜轴的北翼，而旧店，夏甸等金矿则分布于该背斜轴的南翼。而这些金矿又分别是沿着三山岛断裂，黄县断裂，招平断裂等北东或北北东向断裂分布(图 6)。

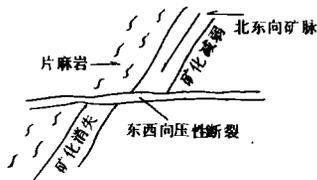


图 5 东西向断裂切割北东向矿脉示意图

Fig. 5. Indication of EW faults crossing NE ore veins

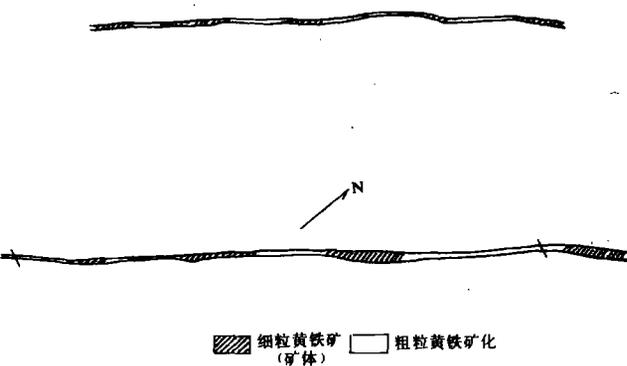


图 4 旧店金矿矿体分布图

Fig. 4. Distribution of orebodies in Jiudian gold deposit



图 6 胶东西北部地区金矿分布略图

Fig. 6. Distribution of major gold ore deposits in the northwest Jiaodong Peninsula

通过以上所述构造与矿化的关系，说明了构造与成矿之间有某种成因上的联系。构造不仅能为成矿物质提供成矿空间，更重要的是构造活动可造成成矿物质的活化和迁移或者沉淀和富集。这种作用有时可导致矿体的消失，就象在旧店金矿中所见那样。总之，旧店矿区的矿化与构造的关系说明了构造活动控制了金矿的成矿过程。

## 五、构造成矿机理

构造活动怎样控制成矿物质的活化和沉淀,这要从构造活动能量与成矿所需能量的关系来考虑。因为物质在运动过程中,其运动形式的变换是通过能量的转换来完成的,能量的转换和守恒定律应该是解决不同运动过程之间的联系问题的钥匙。

成矿物质来源于围岩,其活化需要能量。对于金在介质中的溶解度,温度因素起了很大的控制作用。一般同类矿床都有大致相同的成矿温度,说明在介质成分相同或相近的情况下,存在一个临界温度值。高于这个温度,成矿物质处于活化的状态,低于这个温度值则成矿物质处于沉淀的状态。因此,要使成矿物质从岩石中活化出来,需要升高温度,而升高温度就需要热量,热量从哪里获得呢?当然,热量可以从地下深部获得,或者从放射性同位素的衰变中获得,但构造活动的能量更是不容忽视的因素。各种矿床,岩浆岩和变质带都与构造带紧密相关这一明显的事实就是解决这一问题很好的例证。

如何正确估计构造活动所产生的能量,这是一个正在探索中的问题。首先确定出古应力的大小和测量出应变或位移量的大小,求出在构造活动中外力所作的功,根据功能原理就可求构造活动等产生的热量。我们对旧店矿区的成矿构造活动的能量进行了计算,首先统计出断裂的分布密度,断裂规模和滑移距离,再根据有限单元法计算了成矿时的应力强度。计算结果表明构造活动所产生的能量对于成矿物质的活化起着重要作用。如果将构造活动能量和地热增温率综合考虑,就可以知道在什么部位能够使成矿物质活化,然后考察其迁移方向,最后就可追踪到成矿部位。

在一个矿田内,如果还不能确定断裂活动所释放的能量,可以通过计算弹性应变能的方法来考察。断裂活动能量是与岩石中所贮存的弹性应变能有关的,岩石中破裂的发生,褶皱的形成都是由于岩石中弹性应变能的积累超过了岩石所能承受的极限。在弹性应变能值高的地方,岩石也容易发生破坏或塑性变形,使一部分弹性应变能释放,然后又逐渐积累,积累到一定程度又释放,所以,在这样的地区也是热能积累最快的地方。因此,可以认为,在成矿构造活动过程中,矿化的分布与应力的分布和应变能的分布是有关系的,通过计算成矿构造应力场,有助于对成矿规律的认识。

对旧店矿区成矿时的应力场通过有限单元法进行计算,作出了应变能分布图(图7)。为了能够互相印证,又采用了全息光弹实验法对成矿构造应力场进行了模拟,所得结果很相似,只是用实验法所得出的结果粗略一些(图8)。通过应变能的分布与矿化情况对比分析,可以看到矿化较好的地方一般在高应变能区附近,即不在最高的地方,也不在最低的地方。因为在能量最高的地方,元素活化迁移,在高值区附近沉淀富集,而最低的地方,元素未曾活化,当然也就不可能富集成矿了。

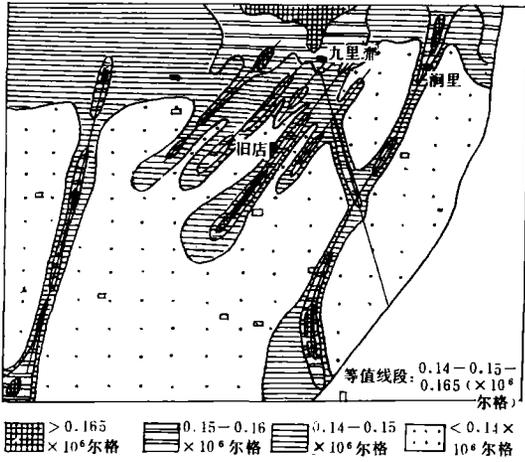


图7 有限单元法计算成矿应变能的分布  
 Fig. 7. Gradation of strain energy values by method of finite element

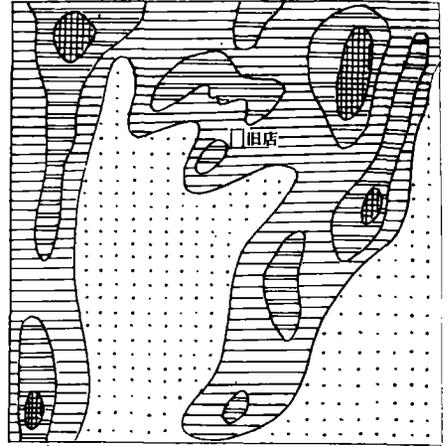


图8 全息光弹模拟旧店矿区应变能值分级图  
 Fig. 8. Gradation of strain energy values by experiment of holographic elasticity

### 六、成矿规律总结

我们已经确定成矿物质的来源是古老的变质岩系，胶东地区太古代胶东群是该区内金矿的原始矿源层。矿源层中的金必须经过活化，迁移和富集才能成矿。构造动力作用为金的活化提供了能源。在胶东西北部地区，古生代以前主要是以东西向构造体系发育为主。在长期的南北向挤压作用下，形成强烈的褶皱断裂带，并伴随着强烈的变质作用，这时金不可避免地发生活化迁移。迁移的方向是由高能值区向低能值区。在东西向构造带中，以栖霞—掖县一线为轴，构成复式背斜，在强烈挤压作用下轴部变形最强烈。因此，轴部的热能值也高于翼部，造成含金溶液从核部向翼部迁移的趋势，形成东西向的富金条带。所以，这一地区的金矿都沿着栖霞复式背斜的两翼分布(图6)。可以认为，金的迁移不会受到岩层界线的控制。所以在发生迁移之后，金丰度就不以同时代地层为界线，而主要与构造环境相关。在卷入这一构造的岩层中不管以前金丰度如何，都可构成矿源带。对于后期的成矿作用，矿源层实际上是构造层或叫矿源带。进一步具体地说，在该地区发生褶皱作用和变质作用之后，胶东群和粉子山群在后期成矿中具有同等的意义，一同构成矿源带。旧店金矿就发生在粉子山群的残留体及由粉子山群经混合岩化转变的岩石中。

虽然胶东群地层中的金丰度较克拉克值高很多，但要形成矿床还须高度的富集。一般来说，一次迁移富集不太容易形成矿床，当然也不能说没有形成矿床的可能。但多次富集而成矿对于金矿的形成可能是很重要的。在胶东地区中生代以前的构造活动过程中，形成了东西向的构造带，也形成了东西向的矿源带，为后期的成矿作用奠定了基础。

到了中生代，中国东部大陆边缘发生了构造运动，形成了北北东向的构造带，以广泛发育的断裂为主，也伴随着褶皱作用和混合岩化作用。使金又一次发生迁移富集，在新华夏构造应力场的演化过程中，早期的主压性面利用了东西向构造体系的北东向扭性面，将其改造成压扭性断裂，金便向这些构造带迁移。在断裂带中形成广泛的蚀变和矿化，几乎沿着整个断裂带分布，但含金品位较低。由于新华夏构造应力场的演化，后期又形成了北北东向的压扭性构造

带,同时使北东向的构造带发生相反方向的扭动。由于断裂的形态产状在断裂不同部位的差异性,造成在断裂走向上的应力分布和能量分布的差异性,因此,使金元素又发生了沿着断裂的迁移,最后在断裂的不同地段形成富矿体。

成矿规律总结与成矿远景预测:首先,中生代的构造活动是以断裂活动为主,绝大部分能量是通过断裂活动而释放的。因此,在寻找中生代形成的金矿时,应该以新华夏系断裂为目标,矿化与断裂规模相关,断裂规模大,产生的热能量值也高,热作用范围广,就能使围岩中活化出更多的金。所以,规模较大的断裂是形成较大规模的矿床的先决条件,其次也要看断裂的性质。

压扭和压扭性断裂是成矿断裂。这是因为压性和压扭性断裂应力作用强,岩石更破碎,产生的热能值高。但在断裂中一定要有张性空间,也就是由于断裂面不平整,当发生滑动时所造成的空间,否则矿液不会向断裂中运移而是远离断裂运移。在有空间的情况下,由于在压性和压扭性断裂的周围也都是处于挤压状态,溶液便向断裂中运移,且在断裂中由于总体的封闭性造成一种还原环境,有利于金的沉淀。而张性和张扭性断裂中一般为氧化环境,张扭性断裂中的热能值一般也较低,在其两侧的岩石处于拉张状态,在断裂与两侧岩石之间不存在显著的应力差或能量差,溶液的定向流动性不明显,因此,成矿亦较差。复杂性质的断裂或断裂之间的相互作用容易造成断裂中应力差和能量差,从而造成金多次迁移富集,这是形成富矿的有利条件。

围岩为成矿提供物质来源,前已叙述。岩石中的金在成矿前已发生过迁移和分异,所以,这一条件取决于基础构造即东西向构造,在东西向的成矿带上寻找北东或北北东向的压扭性断裂带是一条有效的找矿途径。破碎带的发育对金的成矿非常重要。它使含矿热液易于对岩石发生作用,促进蚀变矿化,蚀变作用不仅可以改变成矿溶液的成分,还可以降低溶液温度,有利于金的沉淀。

据此,可以指出胶东西北部地区的金矿的找矿方向。在栖霞复式背斜的南翼是一个有潜力的含矿带,切割该带的北东和北北东向的压扭性断裂都可能形成富矿体,尤其是在转弯张开部位。

金矿的形成也不应该限于混合岩内部,在变质岩内部也可能存在大型金矿,这是值得重视的。

## 参考文献

- (1)郭振一:山东地质构造特征及其力学分析,《全国第二届构造地质讨论会》,1980
- (2)杨开庆:关于构造动力控岩控矿和成岩成矿问题,《地质力学论丛》,第六号,1984

# ORE-FORMING STRUCTURE FEATURES IN JIUDIAN GOLD DEPOSIT AND THEIR SIGNIFICANCE TO EXPLORATION, SHANDONG PROVINCE

*Yue Shi*

*(Graduate school of Chinese Academy of Geosciences)*

*Zhao Yunzhen*

*(Changchun Geology College)*

## Abstract

The investigation on structures and their evolution in Jiudian gold ore deposit proves that gold mineralization is closely related to tectonism. Analysis for gold contents of various geological bodies and distributions of S and Pb isotopes indicate that metallogenetic materials derived from Archean-Proterozoic metamorphic rocks. During the formation of folds in E-W strike, gold in the old strata reactivated and differentiated to form gold-rich zones spreading in E-W strike. And in the faulting of NE to NNE structural zones, gold migrated further and accumulated into rich ores along the faults.

Finite element calculation and holographic elastic experiment on syn-metallogenetic stress field show that gold ore deposits occurred generally in those portions with relative middle-lower strain energy value in higher strain energy area. Tectonic movement provides energy for reactivation of gold from strata. Differences of energy in various portions controlled migration and accumulation of gold. This knowledge is considered as a new guide for exploration of gold.