

# 内蒙古莲花山金矿区成矿应力场 数值模拟与隐伏矿床预测\*

姜喜荣 赵寅震 肖劲民

(秦皇岛东北大学分校)

**摘要** 成矿过程是成矿物质的运动过程,有用元素的活化、迁移、稳定和集中,与“同成矿构造体系”活动时期地应力和能量的集中和构造发生时的释放息息相关。地应力和能量逐步积累,伴随地温升高和水分的参与,促使元素活化,地应力积累到一定程度导致地壳岩石变形、破碎和位移,又引起应力和能量的释放,活化了的元素便向应力降低的构造带集中从而形成矿床。全息光弹和数学模拟可以定量地计算出成矿时区域及矿田中应力和能量的分布状态及其变化,根据应力和能量的高值区与矿化集中的位置关系,可进一步确定矿脉中的富矿段,预测隐伏矿脉的位置,使矿的预测由定性提到定量的高度。

**关键词** 同成矿构造体系 应力场 模拟

内蒙古红花沟矿田是国内十大金矿产地之一,莲花山金矿是矿田中一个重要矿区。由于该区构造复杂,矿脉方向各异,地质规律不清,潜在资源不明,属于危急矿山。为了老矿山的复苏,解决隐伏矿床预测问题是当务之急。本文着重研究了同成矿构造体系,在区域上进行了全息光弹模拟,预测矿区外围的有望地区,在矿区进行了应力场和能量场的数学模拟,预测隐伏矿床和矿体。

## 1 概述

莲花山矿区位于一个向北倾伏的背斜构造之中。矿区南北两侧为EW向断裂所限,东西两侧分布侏罗系火山沉积岩系,与组成倾伏背斜的太古宙变质岩系多被断裂隔开。矿区附近有燕山期花岗岩岩株,区内有闪长岩小岩体和闪长玢岩、安山玢岩、正长斑岩等岩脉。成矿前构造有EW向构造带、NE向弧形构造带及NW向压扭性构造带;成矿后构造有NNE向压扭性断裂带及晚期EW向压性断裂。经过鉴定,同成矿构造属于经向构造体系,SN向一级构造大致800m出现一个带,二级构造250—300m出现一个带。背斜轴部附近构造较强,向两侧有减弱趋势,可被同成矿构造利用的NE向构造带分3带,有南强北弱,东强西弱趋势;NW向构造带分为4带,较好的矿化集中区多分布在与SN向压性断裂的交接复合部位。主要成矿期为燕山

\* 参加该项目研究的还有长春地质学院王成金、常文志等。

期,成矿分6个阶段,金的主要成矿阶段在石英脉和粗粒黄铁矿阶段之后,碳酸盐阶段之前。根据上述地质特征,按一定比例尺,制作实验模型。

## 2 构造应力场模拟

现今地震现象和地应力实测数据,证实地壳中地应力的分布是不均衡的。在一定空间范围内,地应力的分布状态叫做应力场,而同成矿应力场是指成矿时期活动和演化的应力场。它们均是一定方式和方向的区域性构造运动形成的。在应力场作用下,一场构造运动形成的构造形迹群显示一定的组合型式(即构造体系),而组合型式反过来,在一定程度上,可以反映出地应力的分布状态。一般地说,在同成矿应力场中,应力集中的部位则构造发育,岩石破碎、位移、变形后产生应力降(即构造发生前后的应力差),应力降直接反映构造活动的强度和岩石破碎的程度,与矿化富集部位紧密相关。莲花山矿区构造条件复杂,岩石力学性质各异,以及它们之间的相互干扰,影响应力和能量的分散或集中。因此,仅从地质图图面分析,很难准确地达到预期的效果。作者设想用模拟成矿当时的应力场和相应的能量场,去研究它们与成矿的关系,进而探索矿化富集的部位。

### 2.1 矿区有限元数学模拟

**2.1.1 影响应力分布的因素探讨** 弹性力学和塑性力学理论认为,在同一外力作用下,改变材料的力学性质和边界形状,则应力、能量的分布状态会发生明显的变化,可以得到不同的变形组合。相反,同一材料力学性质和边界形状,如果改变力的作用方向和方式,也可得出不同的结果。据此可以看出,决定应力场中应力分布状态的重要因素是外力作用方式和方向,研究对象的边界形状和岩体、岩层的力学性质。根据这些因素制作模型,加力、运算。

**2.1.2 实验模型的建立** 模拟区的面积约  $20\text{km}^2$ ,南北两面被 EW 向断裂切断;东西两侧有近 SN 向断裂与侏罗系地层隔开,大致呈南北较长的四边形。模型建立在与实际地质构造特征高度相似的基础上。考虑到成矿作用发生在经向构造体系发展的某一特定阶段,因此,将主要成矿阶段以前,影响应力分布的构造和地质体保留下来。如成矿前各项构造体系的成分及经向

表 1 岩石力学参数测试结果

Table 1 Results of the rock mechanical test

代号	岩石名称	弹性模量(E) (Mpa)	泊松比( $\mu$ )	抗压强度( $\rho$ ) (Mpa)
I	混合质斜长角闪岩、混合质角闪斜长片麻岩	$7.3 \times 10^4$	0.36	154.68
II	混合质黑云角闪斜长片麻岩、混合质、长英质砾岩	$7.0 \times 10^4$	0.34	158.30
III	斜长角闪岩	$8.1 \times 10^4$	0.29	193.29
J <sub>3</sub>	凝灰质砾岩	$2.5 \times 10^4$	0.27	74.73
$\lambda$	流纹质熔结凝灰岩	$3.4 \times 10^4$	0.26	130.89
$\lambda'$	流纹斑岩	$6.9 \times 10^4$	0.23	268.24
J' <sub>3</sub>	灰绿色角砾凝灰岩	$2.8 \times 10^4$	0.21	66.52
$\delta$	闪长岩	$8.1 \times 10^4$	0.26	288.53
	控岩、控矿断裂	$2.5 \times 10^4$	0.32	

构造体系中,主要成矿阶段以前的构造成分;在地质体中包括含粗粒黄铁矿的石英脉等,并清除主要成矿阶段以后的构造和地质体,以免影响同成矿应力场中应力的分布状态。对于不同力学性质的地质体,要加以区分,便于划分单元。为了突出规律,减轻图面负担,可将上述内容适当简化,制成实验模型。

**2.1.3 岩石力学性质测定** 区内划分9种岩石类型。采集没有裂隙、矿化和蚀变的新鲜岩石样品,测定岩石的弹性模量( $E$ )、泊松比( $\mu$ )和抗压强度( $\rho$ )。对相同或相似的岩石,取其3种测试结果(表1),求出数学平均值作为代表性参数。

**2.1.4 边界条件研究**

(1) 边界的确定。确定边界一般要考虑研究对象的范围和边界四周的地质情况。通常取断层面、岩体的边界等天然界面作边界,也可任取一面为边界。该区南北两侧以EW向断层为界面,东西两侧取与SN向构造带近平行的界面。使南北两边固定,东西方向自由约束;在东西两边的边界上相对加力。为使模型不发生刚体位移,在西北角加一东西向固定约束。

(2) 作用力的方式、方向及大小。区内金矿受经向构造体系控制,SN向压性断裂控制金矿的形态和分布。主要成矿阶段断裂的形成,是受EW向挤压力作用的结果。根据矿体中切穿粗粒黄铁矿的两组共轭节理统计和计算,证实石英脉和粗粒黄铁矿阶段之后(即主要成矿阶段),受到近EW向挤压,挤压方向为93°和273°。这是成矿时外力作用的方式和方向。作用力的大小以石英脉和两侧围岩的抗压强度的高值为参考判据。

**2.1.5 单元的划分** 单元的边界线尽量与构造线、岩体与围岩的接触线、不同力学参数的岩层接触线重合,重点地段加密,次要地段适当放大。三角形单元尽量使其边长近等,避免出现钝角。若边界线是曲线就用几条直线代替曲线作为单元的边。该区共划分2015个四边形和三角形单元,2014个结点。

**2.1.6 模拟结果分析** 一般地说,决定应力状态的主要因素是模型的边界条件。因此,探讨和设置真实的或接近真实的边界条件是模拟实验的关键。有时边界条件设置后经过运算,还要通过反演法进行调试,使我们对边界条件的认识更接近真实,使模拟的结果与自然界的实际情况

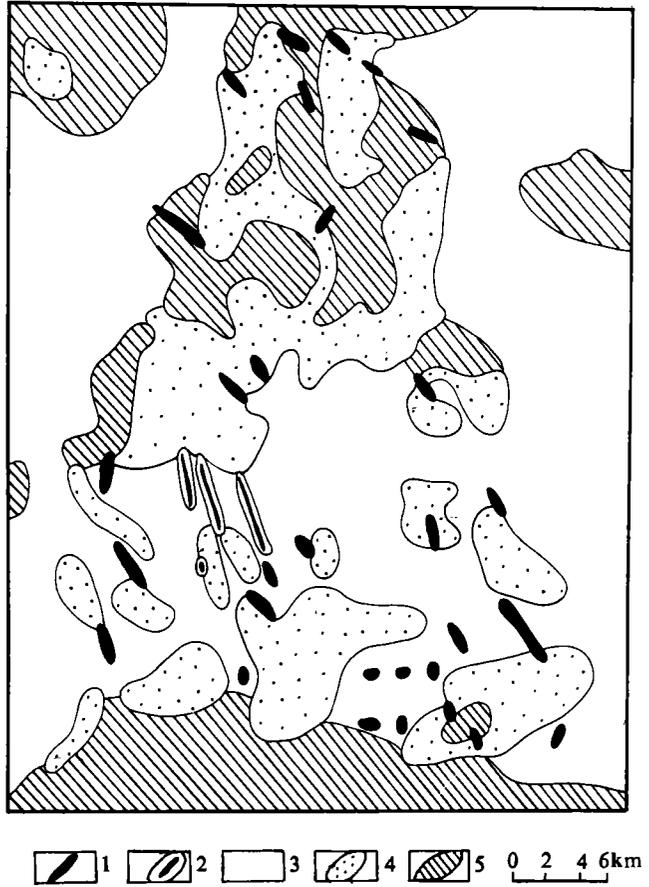


图1 莲花山金矿区同成矿应力场图(平均主应力)  
Fig. 1 Syn-metallogenic stress field (the mean principal stress) in Lianhuashan gold-ore field  
1. 一级区; 2. 二级区; 3. 三级区; 4. 四级区; 5. 五级区

相一致。

这次工作中,构造体系图是经野外观察、追索填出的;岩石力学参数的测定也是可信的;边界条件的设置是合理的;应力场、应力降场、能量场、能量释放场及其成图均由计算机完成。同成矿构造发生前后形成的应力降是采用改变某些断裂单元的弹性模量处理的,其它条件没有变化。从模拟的结果可以看出,应力集中点和应力降的高值点,90%以上落在已知矿体和矿点上(图1,2),并与几个主要矿体吻合较好。如6号矿脉在图面上显示南端较好,北部其次,中间较差,与实际开采情况完全一致;2号矿脉北端较好,51号脉的高值点对应五、六中段富矿段的位置,均已被开采所证实;1号矿脉的中部,上述几个图面上的高值点在此重合。经实地观察,该处岩石强烈破碎,矿化喜人,品位在1000g/t以上;13号矿脉的高值点也是当前民采的重点;只有42号矿脉与高值点有所偏离,尚无工程验证。由此看来,模拟的结果不仅与已知矿体相吻合,而且为确定矿脉中的富矿段提供了依据,并反映出矿脉中品位变化的趋势。因此,模拟的结果是可信的、令人满意的。

## 2.2 区域全息光弹模拟

在区域上,我们暂时把岩块看作是均一的,主要研究特定断裂引起的应力分布状态。将主要成矿阶段以前的断裂刻在实验模型(环氧树脂薄板)上,清除成矿后断裂的影响。按同成矿构造应力场的外力作用方式加力,测定模型中每一点的应力状态。实验是在全息光弹仪上进行的。这样作出了应变能量分级图(图3),该图与区内已知金矿区的位置和规模吻合得很好。据此,在应变能的高值点,提出了新的隐伏矿床预测区。

## 3 几点体会

(1) 该区地应力和能量的分布状态与构造和金矿的分布规律、赋存部位是完全协调一致的。这说明应力和能量在成矿过程中是不容忽视的因素,将几个图面上的高值区进行套合优选,可大大缩小预测靶区的范围。甚至在一条含金石英脉中,可以圈出金和硫化物的富集地段(图略),且与矿区实际情况相吻合。在此基础上,我们编制了成矿规律图、金矿预测图,提出了

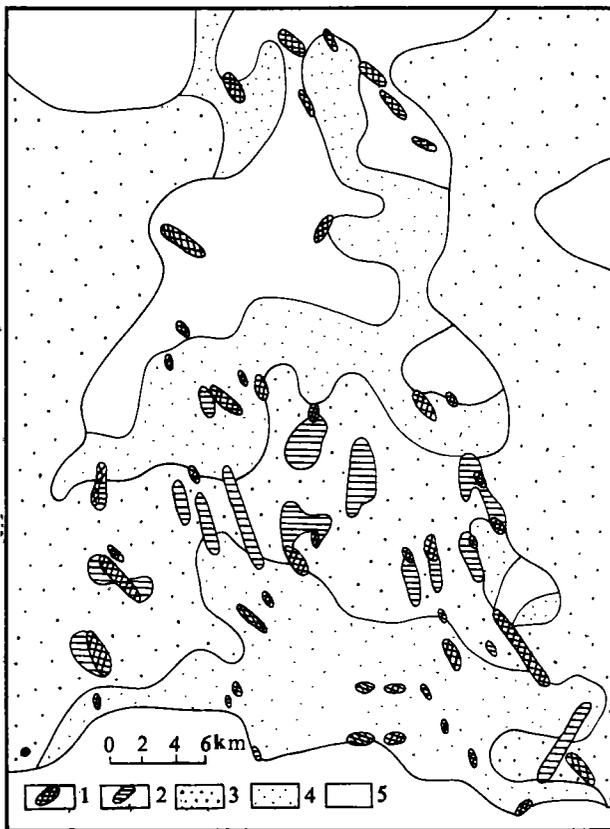


图2 莲花山金矿区应力降异常图(平均主应力)  
Fig. 2 Anomaly map of the stress drops (the mean principal stress) in Lianhuashan gold-ore field

1. 一级区; 2. 二级区; 3. 三级区; 4. 四级区; 5. 五级区

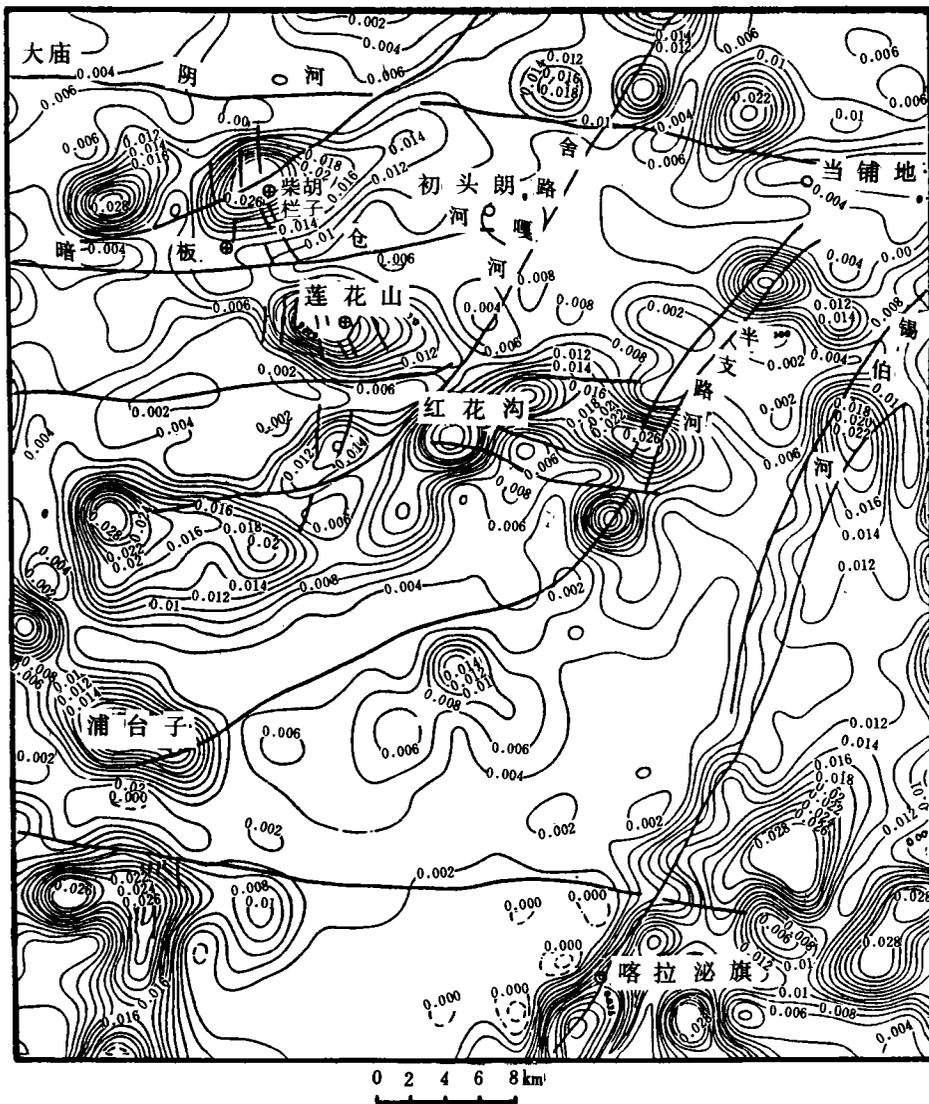


图3 区域激光全息光弹模拟应变能量分级图  
 Fig. 3 Strain-energy gradational map obtained  
 by the regional photoelastic modelling

七个一级预测区,七个二级预测区。并选择两个隐伏矿体设计了钻孔位置,提出坑道开拓方案。

(2) 通过电算模拟实验,把找矿工作从定性分析提高到数值化定量预测高度,特别是对隐伏矿体预测和最佳靶区优选是富有成效的。

(3) 模拟计算工作中,确定同成矿构造体系是一个关键步骤。矿区往往位于几个构造体系的交接复合部位,构造的联合、复合、利用、改造现象十分复杂,要详细研究复性断裂活动的期次及其与矿化的关系,并在有关矿点上加以验证。

(4) 把构造应力场的时间限制在主要成矿阶段,是提高预测精度的方法。这样可以圈出石英脉中或含矿断裂中富矿段的位置。

(5) 根据应力场、能量场的演化特征,进行套合优选是缩小找矿范围的有效方法。

(6) 结合成矿机制,研究成矿时应力、能量的演化特征,是解决构造应力驱动下成矿溶液运移、集中规律的途径。

工作期间得到内蒙古自治区黄金局、红花沟矿山、黄金学院、沈阳地质研究所、内蒙地质三队的支持与帮助,也得到地质力学研究所崔盛芹教授、王连捷研究员的指导,在此表示衷心感谢。

## 参 考 文 献

- 1 李四光,地质力学概论。北京:科学出版社,1973。
- 2 孙殿卿、高庆华,地质力学与地壳运动。北京:地质出版社,1982。
- 3 赵寅震,同成矿应力场与矿床形成、分布的关系。地质力学文集(9),北京:地质出版社,1989。
- 4 常文志,新疆萨尔托海金矿田成矿构造应力场的有限元模拟及成矿部位确定。世界地质,1987。
- 5 博伊尔,R. W,金的地球化学及金矿床。北京:地质出版社,1984。

# MODELLING OF MINERALIZATION STRESS FIELD AND CONCEALED DEPOSITS PREDICTION IN LIANHUASHAN GOLD-ORE FIELD OF INNER MONGOLIA

Jiang Xirong Zhao Yinzhen Xiao jinmin  
(Northeastern Univeisity at Qinhuangdao)

**Abstract** Mineralization is the process of the movement of ore forming materials. The activation, migration and concentration of ore-forming elements closely correlates with the accumulation of stress and energy when "the syn-metallogenic structural system" became active and with the release of stress and energy when the hast rocks fail. Ore-forming elements would be mobilized in consequence of continued accumulation of stress and energy, increase of temperature and the presence of water. The rise of stress would eventually cause the rock of the crust to be deformed, broken and dislocated, to release the stress and energy accumulated so that mobilized ore-forming elements migrate toward and concentrate in structural zones of reduced stresses. Photoelastic and mathematical modelling will give the distribution of stress and energy quantities in and around the region of ore deposits. The close link of the formation and distribution of ores with syn-metallogenic stress field may provide some hints for the known and blind deposits. A quantitative instead of qualitative ore prediction is thus stepping up .

**Key words** Syn-metallogenic structural system, stress field, modelling

## 第一作者简介

姜喜荣,男,1952年生,1977年毕业于长春地质学院物探系,长期从事于矿田构造研究。通讯地址:秦皇岛东北大学分校。邮政编码:066004。