

山东牟平金牛山金矿区构造控矿研究 中的数学、力学实验方法

乔德武

(中国地质科学院研究生部)

提要 本文在对金牛山金矿带和金牛山金矿区控矿构造分析的基础上,用明胶网格法模拟计算了矿带中部最大剪应变分布;用有限单元法计算了矿区的最大主应力分布。结合矿带和矿区成矿地质条件及已知矿化部位分析,预测了位于应变和应力异常区但未知矿化或矿化不明显的部位。实践验证,取得了较好效果。

关键词 构造分析 数字 力学 预测

运用数学、力学的理论和方法对成矿构造体系的应力场模拟计算,进行矿产富集规律的实验研究已经在理论和地质找矿实践中得到逐步验证和发展。大量的实践和研究证实了矿产的分布和富集是受成矿时的构造活动控制的,成矿构造的规律分布和发展隶属于一定的构造体系,而成矿构造体系又是受成矿时构造应力场的控制。因此,“我们就得出这样一种规律性的认识,即内生金属矿产的分布和富集主要是受成矿构造体系的应力场控制,矿产富集的部位则是成矿构造应力场在特定的边界条件下活动而引起的应力集中区,这就是用构造应力场模拟矿产富集规律的依据”^[1]。

这方面的工作已有了良好的开端,如大别山北麓成矿构造体系的应力,应变和能量场的模拟实验就很好地说明了该区内斑岩型铜钼等矿产的分布特点,在这个基础上的成矿预测得到了找矿实践的验证^[1]。山东玲珑金矿成矿构造的应力场模拟计算也在金矿分布和预测中得到了实践检验。^[2]

这都说明,应用数学、力学的方法进行成矿构造应变场和应力场的计算,模拟矿产分布和富集规律有其理论基础和实践证明。

模拟计算成矿构造体系应力场和应变场,必须搞清实验的边界条件,即必须在野外地质详细观察研究的基础上,对研究区内的构造体系进行细致、准确的划分,分清成矿前构造体系,成矿构造体系和成矿后构造体系。成矿前构造体系和成矿构造体系在成矿阶段前的构造为实验的基础条件。成矿后构造对成矿不具有重要意义。

对山东牟平金牛山金矿带的详细观察和野外研究表明,该矿带内发育老纬向系、新华夏系和新纬向系三个构造体系。老纬向系是成矿前构造体系。新华夏系在时间上、空间上、成因上与本区的金矿化作用有着密切的成生联系。它的主压性结构面和伴生构造成分控制金矿的形成和分布,控制矿床、矿体的位置和形态。因此,新华夏系为本区金矿的成矿构造体系。新纬向构造体系是成矿后的构造体系。因此,要做金牛山金矿带的构造模拟实验,就要把老纬向构造体系 and 新华夏构造体系成矿阶段以前的构造做为基础条件,按新华夏系的外力作用

方式加作用力。

模拟实验还要搞清矿带内的岩石力学性质。该矿带内主要分布着胶东群地层的第二岩组的第一、第二岩段,以及昆崙山花岗岩体。野外取样,分岩体和地层两类,地层取样要依主要层位分别进行。然后按照力学测试的规格要求制成样品。在长春地质学院工程力学实验室分别测得各岩样的泊松比(ν)和弹性模量(E)及抗压、抗张和抗剪强度。

一、明胶网格模拟实验求矿带应变场

为研究矿带中部构造与金矿分布的关系,利用网格法对矿带中部进行了应变场的模拟实验。实验是以相似理论为基础的。首先按一定比例尺制成反映本区岩体、围岩和构造的明胶模型。由于岩体和围岩的力学性质不同,因此模型分两次浇筑。工程实验室测得岩体和地层的弹性模量和泊松比分别为:岩体: $E = 5 \times 10^5 \text{ Kg/Cm}^2$; $\nu = 0.21$ 。地层: $E = 6 \times 10^5 \text{ Kg/Cm}^2$ $\nu = 0.21$ 。模型中岩体和围岩明胶材料的弹性模量和泊松比分别调试为:岩体: $E = 2.5 \text{ Kg/Cm}^2$ $\nu = 0.23$; 地层: $E = 3 \text{ Kg/Cm}^2$, $\nu = 0.26$ 。因为所做的实验属于平面弹性静力问题,并且没有体积力,在应力边界条件和几何形状相似的基础上,只要满足方程:

$$C_E = C_G$$

$$\text{和 } C_\nu = 1$$

则模型就与型相似。式中的 C_E , C_G 和 C_ν 分别为地质体(原型)与模型的弹性模量比例,应力比例和泊松系数比例。所调试的试件的泊松比基本满足 $C_\nu = 1$ 的要求。要使 $C_E = C_G$, 就要在模型施加初始作用力时,使得所加的大小满足于 $C_E = C_G$ 。即边界初始应力按

$$\sigma_0' = \frac{E_0' \sigma_0}{E_0}$$

取值。 E_0 , E_0' 分别为岩体原型和模型的弹性模量, σ_0' 和 σ_0 分别为岩体原型和模型的边界初始应力。 σ_0 采用岩块的破裂强度极限值。

为了反映金矿化之前已经存在的断裂内充填无矿石英脉这一特点,因此,在模型上第一次刻制断裂后再次加温,使其稍微愈合。待模型冷固成型后按照新华夏构造体系的外力作用方式施加外力。

因为模型受力后变形将增大,在此种情况下,仍用虎克定律计算应力分布会有误差。因此,这个实验结果是采用了应变分布而不是应力分布。考虑到矿带范围内的新华夏系北北东向断裂成矿时的压扭性特点,因此,最后采用的是最大剪应变分布。

通过加力前后直角应变变化的 ϵ_x , ϵ_y 和 γ_{xy} 的测量,利用计算机,根据公式:

$$\gamma_{\max} = \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2}$$

求出模型中各点的最大剪应变值 $\gamma_{\max}$ 。根据各点的 $\gamma_{\max}$ 的分布状态做出整个矿带中部的最大剪应变分布图(图1)。

通过剪应变分布图可以看出,图1中除了边界效应引起的边部局部的高值区分布外,较高值区主要分布在新华夏系的北北东向的三个大的断裂上,等值线的长轴走向与断裂走向基本一致。主要分布区在金牛山断裂中至北部,唐家沟断裂中偏南部及福绿地断裂的南北呈串珠状分布。

将矿田范围内的矿点分布图与最大剪应变分布图进行对比后发现这些最大剪应变的较高值区 ($1.4 \times 10^{-1} < \gamma_{\max} < 2 \times 10^{-1}$) 的大部分对应着已知矿点的分布集中区。如唐家沟金矿点,金牛山金矿点及东庄,福绿地金矿点的分布基本上与最大剪应变较高值区的分布相一致。特别是在金牛山断裂中部和北部,大面积分布着 $1.4 \times 10^{-1} < \gamma_{\max} < 2 \times 10^{-1}$ 的较高等值区。这种明显的分布突出特点对金牛山矿带的金矿分布和进一步工作给以启示。

这样就可以根据成矿地质条件的研究,结合 $\gamma_{\max}$ 的分布,分析和预测一些虽位于这些异常区但尚未发现矿化的部位,作为找矿的远景区。

二、有限单元法模拟矿区应力场

这种方法是把研究区的岩块整体划分成有限个简单形状的单元,先对单元逐个分析,然后再将这些小单元合成整体进行综合分析。这种先分后合的处理可使得所用模型更逼近所研究地质体的实际情况。主要用于解决所研究区的边界形状的复杂性。并且通过单元的划分,确定单元的力学参数,使得岩块整体性质的不均匀特点得到反映。

应用有限单元法研究矿区应力场的分布状态应建立在野外地质的观察和分析上,即分清成矿前构造体系,成矿构造体系和成矿后构造体系;划分成矿阶段,搞清构造与矿化的时空关系。对矿区内的岩石进行取样分析,求得岩石的力学性质参数。

通过网格模拟实验研究了矿带中部的最大剪应变分布状态,结果显示出金牛山矿区明显集中分布着较高值区。为此,利用有限单元法对金牛山矿区的最大主应力进行了计算,以缩小范围,详细研究矿区内应力场与矿化关系。

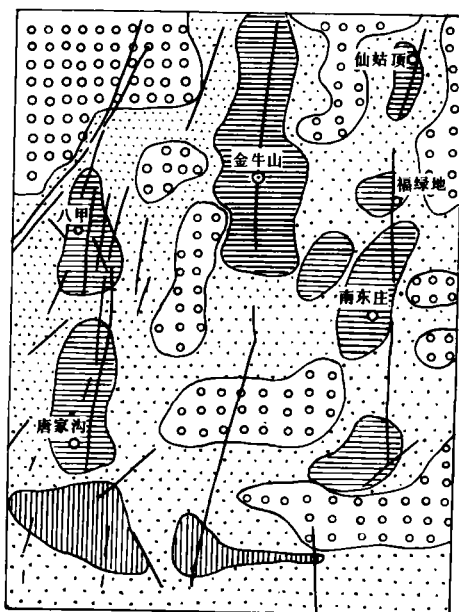
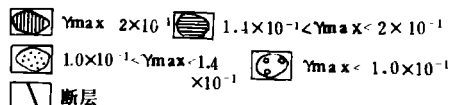


图1 金牛山金矿带中部剪应变分布图



有限单元法计算工作主要步骤:

1、金牛山矿区位于昆崙山花岗岩体内。为正确反映区内的岩石力学性质,根据岩性特点在矿区不同部位分批取样。按照力学测试要求加工试件,然后由长春地质学院工程力学实验室测定弹性模量E和泊松比 ν 。

根据力学实验分析和岩石学分析,知岩体的总体力学性质较均匀,且在矿区范围内无明显岩带和岩相变化这一特点,因此,所研究问题在这里为弹性平面应力问题处理。

2、区域的成矿前构造体系—老东西向构造体系是在昆崙山花岗岩体形成之前发生的,对于矿区范围内的新华夏构造体系形成时的应力场没有影响。因此,模型中不考虑老东西向构造形迹。

矿区内的成矿构造体系是新华夏构造体系,成矿阶段为第二次压扭性活动阶段,因此,第一阶段的含无矿石英脉断裂为成矿前构造,在模型中作为基础断裂。

新东西向构造体系的构造成分,如图2中 F_7 和 F_8 断裂晚于成矿构造活动阶段,在该问题中只分析成矿时构造活动应力场,不分析后期构造对矿脉和矿体的破坏和改造作用,因此,模型中不予考虑新东西向构造体系的成分。矿区实际观察分析也表明, F_7 和 F_8 断裂对矿脉的形态产状无明显影响。

3、矿区内新华夏系形成的第一阶段断裂被无矿石英脉充填,这种先存断裂对第二阶段成矿构造活动时的应力场会产生重要的影响。由于这些含无矿石英脉的断裂的存在,而使矿区范围内的岩体的连续性和均匀性受到破坏,考虑到这种影响作用,从两个方面在模型上做了处理:

(1) 在野外取力学实验样时,对第一阶段的无矿石英脉单独取样,测试。进行力学计算时这些早期石英脉的力学参数单独输入。这样,早期断裂的力学性质在模型上得到反映。

(2) 在建立数学,力学模型时,先存的含无矿石英脉的第一阶段断裂要单独划分单元,也就是不能让一个单元既跨围岩又跨断裂。同时使单元的网度在断裂处加密。这样做能够完整地区分开早期充填石英脉断裂与岩体的力学性质差异,并且能够明确地显示出断裂和围岩之间的突然变化。

力学性质参数见表 表1

序 号	E (10 ⁵ Kg / Cm ²)	ν	序 号	E (10 ⁵ Kg / Cm ²)	ν
1	5.4	0.19	8	4.6	0.26
2	5.4	0.208	9	4.6	0.26
3	5.4	0.208	10	5.1	0.31
4	3.1	0.21	11	4.6	0.26
5	3.1	0.21	12	4.0	0.22
6	3.1	0.21	13	4.0	0.22
7	5.8	0.22	14	4.8	0.35

—其中4,5,6号为无矿石英脉,余者为岩体。

4、新华夏构造体系为矿区的成矿构造体系,因此按新华夏构造体系的作用方式施加边界作

用力,外力值是根据样品测试值,进行试算反演并在进行过程中逐渐调整各项参数,直至所施加外力逼近矿区的实际受力状态。

5. 矿区东侧近距离内没有大断裂,因此设为一理想面作为边界,施加固定约束。考虑到矿区北侧北北东向断裂角度变小,断裂间距也有减小趋势,因此,北侧设为自由边界,南侧的东西方向为固定约束,南北向为自由约束。

6. 根据所研究矿区的范围,区内断裂的发育情况和计算机的容量,划分三角形单元 605 个,节点 307 个,满足试验的精度要求。

7. 作为平面应力问题,采用 E 程序,在长春地质学院电算站完成计算工作。

根据计算结果编绘出最大主应力分布等值线图(图 2)。

将最大主应力分布等值线图和矿床地质图对比分析,可看出如下特点:

1. 矿区西侧边界地段有因边界力引起的局部高值区, $\sigma_1 > 5 \times 10^3 \text{ Kg/Cm}^2$ 。这不反映成矿时构造应力场的总体分布特点,也不做为成矿应力场的分析内容。

2. 最大主应力等值线的较高值区 $\sigma_1 = 2 \times 10^3 - 5 \times 10^3 \text{ Kg/Cm}^2$ (即图 2 中 II 区) 的分布呈北北东向长轴延展,与新华系主压扭性断裂走向基本一致。

3. 最大主应力 II 区等值线主要分布在北

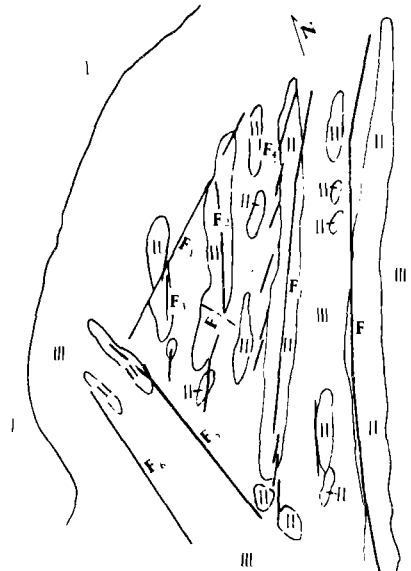
北东向断裂上或其附近。北北西向断裂上分布较少,且仅集中在 F_5, F_6 断裂的北西端,向南东渐弱至无。显示了构造应力场分布的方向性。

4. 最大主应力 II 区等值线的分布范围从金牛山主大断裂 F 向左侧的 F_1, F_2, F_3 断裂依次递减,显示了构造应力场的递变性。

5. 最大主应力 II 区等值线由东向西呈大致等距离的北北东向分布。与断裂的等距性基本一致。

6. 主应力值 II 区等值线沿北北东向分布常呈走向上的斜列,这种斜列方式与先存断裂的斜列方式一致,均反映了新华夏构造应力场的作用特点。

矿区中的 F_2 断裂为含矿断裂(模拟实验开始做之前,地质勘探就已经证明);而 F_2 断裂上的最大主应力 II 区等值线分布特点与 F, F_1, F_3 断裂上的 II 区等值线分布特点均相同,这就给予一个启示:这三条断裂应该具有与 F_2 断裂相同的金矿化特点。



粗直线为断裂 细曲线为应力等值线
I 区 $\sigma_1 > 5 \times 10^3 \text{ 公斤/厘米}^2$ II 区 σ_1
 $2 - 5 \times 10^3 \text{ 公斤/厘米}^2$ III 区 $\sigma_1 < 2 \times 10^3$
 公斤/厘米^2

图 2 金牛山矿区最大主应力分布图

三、结 语

所做模拟实验分析金牛山金矿带和矿区的金矿分布特点至现在已两年多。这两年的地质勘探工作已经证明金牛山矿区是整个矿带中一个金矿化较好的矿区。在金牛山矿区内 F_1 断裂的含矿特点与 F_2 断裂含矿特点基本相同。 F 断裂中的矿化规模较大,但是品位较差。 F_1 断裂有待于地质勘探的验证。

总之,经过近两年地质生产实践证明用这两种数学、力学模拟方法分析金牛山矿带中部和金牛山矿区的金矿分布特点取得了较好效果。但是,这种方法也需要在地质找矿的实践中逐步补充、修正和提高,其中存在着的问题需要进一步讨论。如金矿带中部最大剪应变分布图中南东庄南边的一块 $1.4 \times 10^{-1} \sim 2 \times 10^{-1}$ 等值区分布的原因,以及金牛山矿区内 F 断裂的矿化规模大,但品位低的特点,都有待于从数学、力学实验理论和方法上,结合地质条件的深入研究做进一步探索。

本文是在赵寅震教授和陈子光付教授指导下完成的,也曾得到了王成金讲师的帮助,程玉明高级工程师和杨丙中付教授给以审阅,山东地质三队安家桐工程师等给予过积极协助。在此表示感谢。

主要参考文献

- [1] 赵寅震等, 1982, 大别山北麓斑岩型矿床的构造控制和矿化富集规律的模拟实验, 地质力学文集, 第6集, 地质出版社。
- [2] 姜跃俭, 1981, 应用力学模拟进行成矿预测的初步探讨, 长春地质学院研究生论文。

USING THE MATHEMATICAL AND MECHANICAL METHODS IN THE STUDY OF ORE-CONTROLLING TECTONICS

Qiao Dewu

(The Graduate Division, Chinese Academy of
Geological sciences)

Abstract

Based on the analysis of ore-controlling tectonics in Jinnuishan gold mining area, Moupin, Shandong province, the author has made simulation calculation of the maximum shearing strain distribution in the middle section of the gold belt using the gelatin grid method and of the maximum stress distribution using finite element method. Combined with the consideration of the geological setting and the known mineralization, prospecting prognosis has been made in the anomalous strain and stress areas.