

控矿断裂数字模拟方法及其应用步骤

白万成,任林子,卿 敏

(武警黄金地质研究所,廊坊 065000)

[摘 要]利用矿山勘探、生产过程中积累的大量地质勘探数据,模拟、预测控矿断裂深部的波形、运动及由此产生的容矿空间,定位预测脉状金矿床深部的矿体。较系统地介绍了控矿断裂几何形态和运动学模拟的方法及在金矿深部定位预测中的应用步骤。

[关键词]控矿断裂 数字模拟 金矿床 深部预测

[中图分类号]P618.51;P628 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2001)06-0034-05

控矿断裂几何学、运动学研究,历来是脉状矿床成矿规律和成矿预测研究的关键环节之一。尤其对于脉状金矿床来说,其矿体规模较小,矿体产出部位与控矿断裂的波状变化及运动方式的关系更为密切。多年来,国内许多研究者在金矿控矿断裂的几何学、运动学控矿规律研究领域,已经取得了一批重要的成果^[1,2,3]。

笔者 1993 年首次提出“控矿断裂几何形态模拟”方法,将物理学中波的叠加原理应用于控矿断裂研究,运用计算机技术进行断裂面波形的分解和深部波形预测^[4];1995 年又引入断裂运动学参数,从数学上论证了控矿断裂振幅(A)、波长(l)、剪切位移(a)三者与矿体厚度(D)、长度(L)之间的关系,给出了在围岩不可压缩情况下上述 5 个参数之间关系的一组公式,并将这种深部预测方法命名为“断裂面波形模拟预测法”^[5];1996 年,进一步导出了在围岩可压缩情况下控矿断裂 A 、 l 、 a 与 D 、 L 之间关系的一组公式,并界定了该深部预测方法的应用条件^[6];1998 年,将数字模拟的范围从“断裂面几何形态”模拟扩大到“断裂运动方向”模拟^[7],从而使脉状金矿床断裂控矿规律研究和深部定位预测研究从定性向定量、半定量过渡迈出了关键的一步。近年来,“控矿断裂数字模拟法”先后在河南省的东沟金矿、杨砦峪金矿、吉林省的海沟金矿、山东省的黄埠岭金矿等矿床的深部定位预测研究中应用,均取得了良好的找矿预测效果。本文将简要介绍“控矿断裂数字模拟法”的原理、应用条件和应用步骤。

1 基本问题、相关事实和基本假设

一条较大规模的容矿断裂经过地质勘探,浅部

一定范围内的矿体分布已经查明并已大体开采完毕,根据类比或研究推断,深部应有盲矿体存在,现在的问题是:可能存在的盲矿体在什么位置。

在对脉状金矿床的研究中,我们注意到以下几点事实:(1)脉状矿床中矿体分布严格受断裂控制,矿体局限于断裂构造破碎带范围内。(2)脉状矿床矿体在容矿断裂中不连续分布,呈扁透镜状。(3)脉状矿床的控矿断裂在走向和倾向上均呈波状延伸。(4)一个矿区内的若干条矿脉中,一般有 1~2 条主要矿脉,其控矿断裂规模大,长度常可达 1km 以上;主要矿脉中矿体规模较大,一般有多个矿体存在。(5)主要容矿断裂在成矿期内多阶段活动,但位移量均不大,且断裂活动强度呈逐渐递减趋势。(6)与断裂活动的几个阶段相对应,发生 3~4 个阶段的矿化,矿体位置主要受 1、2 阶段矿化沉淀物分布所控制,而矿化强度主要受 2、3 阶段沉淀物分布所控制。

根据上述事实,为解决本节开始提出的矿体定位预测问题,我们作如下基本假设:(1)控矿断裂向深部一定范围内的延伸是存在的、连续的;(2)容矿断裂的波状延伸主要受地质应力和温度、压力条件所控制,是有规律可循的,尽管对这些规律目前我们还知之甚少;(3)矿体的定位受容矿断裂运动产生的虚脱或减压空间所控制。

对上述第一个假设,只要对容矿断裂的出露长度、构造岩性质和矿区成矿后断裂发育程度等进行研究,就不难作出判断。由于这个假设,该方法只适用于规模较大的矿脉。对第二个假设,目前确实难下结论,因为对波状断裂及波形的成因目前尚没有一致的结论,事实上,对不同规模、不同性质、不同构造层次上发育的容矿断裂,其波形发育也不可能用

[收稿日期]2000-10-27;[修订日期]2001-04-19;[责任编辑]曲丽莉。

一个成因模式去解释。但如果认为波形的发育是随机的,无规则的,那么,任何建立在断裂波形研究基础上的“预测”就失去了意义。第三个假设对石英脉型金矿床来说是显而易见的,对以蚀变岩矿化为主的金矿床,该假设也是可以接受的。

2 基本原理和应用条件

2.1 断裂面波形模拟原理

控矿断裂面是三维空间中的一个复杂曲面,对于勘探过的地段,可以通过制作勘探剖面图、坑道平面图、断裂面等值线图、三维表面图等了解其空间形态(波形)。而对于深部的未勘探部分,我们无法了解其波形,这使得在浅部研究所得到的波形控矿规律无法应用于深部的定位预测。

设想可以获得浅部断裂面波形的函数,那么其深部的波形就可以通过计算而求出。实际工作中,不少研究者遵循这条思路,使用了趋势分析的方法。但只要将任何一条矿脉的波形图与其各阶趋势图对比一下,就不难发现二者相去甚远,其拟合精度根本不足以反映断裂面的控矿特征,因而不能用趋势函数向深部推断其波形。

我们进行波形函数模拟的原理如图 1 所示,根据物理学中波的叠加和分解原理,设复杂的断裂面波形是由 n 个方向、振幅、波长和起点不同的单向波(简状波)合成的结果,那么对于断裂面上的任意一点 $P(x, y)$,单向波 V_i 的贡献为:

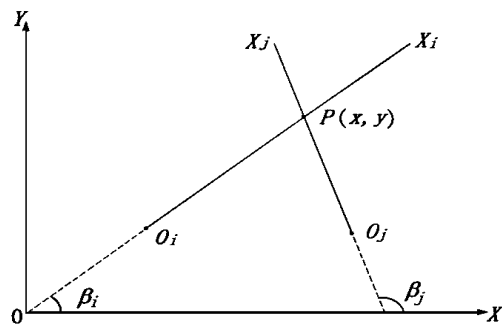


图 1 断裂面波形分解示意图

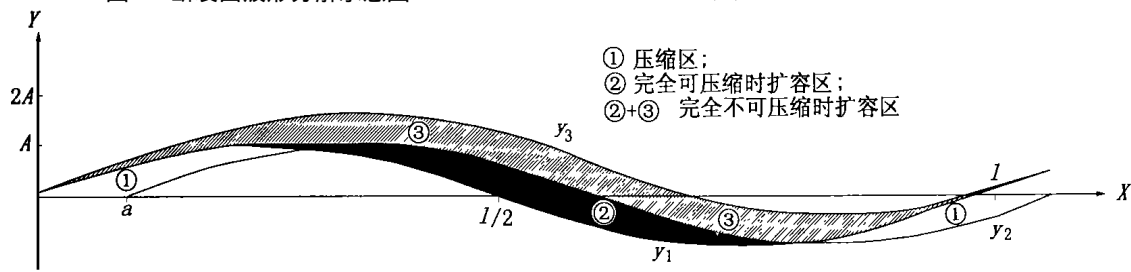


图 2 断裂面波形、剪切位移与扩容空间关系示意图

$$Z_i = A_i \cos \frac{2\pi}{l_i} X_i \tag{1}$$

其中:

$$X_i = (x - x_{i0}) \cos \beta_i - (y - y_{i0}) \sin \beta_i \tag{2}$$

式中 A_i 、 l_i 、 β_i 分别为单向波 V_i 的振幅、波长和传播方向。 x_{i0} 、 y_{i0} 为单向波的始点坐标。 n 个单向波对 P 点的贡献为:

$$Z(x, y) = \sum_{i=1}^n Z_i = \sum_{i=1}^n A_i \cos \frac{2\pi}{l_i} X_i \tag{3}$$

现在要解决的问题是,找出每一个单向波的波形参数 A_i 、 l_i 、 β_i ,如果有了每一个单向波的波形参数,波形函数(3)式就变成了一个确定的函数。逐个找出单向波的波形参数的过程,就是波形分解的过程。波形分解采用数字滤波的方法,由计算机来完成。

2.2 断裂剪切运动模拟原理

对于各种热液型矿床来说,容矿断裂在成矿期内的活动是矿体形成的必要条件^[8]。脉状金矿床也不例外,通常在各主要成矿阶段均伴随有断裂活动,但位移量一般不大。由于重力的作用,在地下一定深度范围内,容矿断裂无论性质为正、逆或平移活动,最终都表现为两盘间的相对剪切活动。正是由于波状断裂的这种剪切活动,控制了透镜状矿体的发育和空间分布。

如图 2 所示,用函数 $y(x) = A \sin \frac{2\pi}{l} x$ 来近似地描述断裂面在运动方向上的波形,当断裂剪切位移距离为 a 时,在岩石非压缩条件下,容矿空间厚度可近似地描述为:

$$\begin{aligned} d(x) &= y_3 - y_1 \\ &= A \sin \frac{2\pi}{l} (x - a) - A \sin \frac{2\pi}{l} x + A \sin \frac{2\pi}{l} a \end{aligned} \tag{4}$$

而在岩石完全可压缩条件下,其容矿空间为:

$$\begin{aligned} d(x) &= y_2 - y_1 \\ &= A \sin \frac{2\pi}{l} (x - a) - A \sin \frac{2\pi}{l} x \end{aligned} \tag{5}$$

$$d(x) > 0 \tag{6}$$

实际情况是,断裂两盘剪切运动时,两盘间压剪性滑动接触部分(压缩区)既不是完全不可压缩,也不是完全可压缩重叠的,而是介于二者之间,加之岩石又处在一定的围压条件下,在减压部位,围岩还会发生弹性扩容,占据一定的空间,因而实际提供矿质沉淀(通常形成石英脉)的虚脱空间介于上述两组公式之间。总体上可能更接近于(5)、(6)式的结果。此外,通常两盘断裂面之间还发育厚度不等的糜棱岩带、碎裂岩带,在减压部位,它们会通过增大空隙度而扩容,从而使虚脱空间减小。有时甚至不发育虚脱空间,而形成网脉状、细脉浸染状矿石。

断裂容矿空间模拟就是以上述理论分析为基础,把公式(5)、(6)的应用扩展到三维空间中的结果,即用(3)式的函数 $Z(x, y)$ 来代替式(5)中的 $y(x)$,模拟计算断裂向不同方向运动时的扩容空间分布。

2.3 应用条件

控矿断裂数字模拟法的应用条件可概括为以下几个方面:

1) 深部成矿条件:深部定位预测以深部成矿地质条件研究为前提,深部应有成矿的可能性。

2) 容矿断裂向深部延伸条件:在待预测的深度范围内断裂必须是存在的。可通过断裂长度规模、发育历史、活动性质研究来判定。

3) 容矿断裂连续性条件:断裂向深部的延伸必须是连续的。如果在勘查或采矿时发现容矿断裂被成矿后断裂切错的情况,在断距大于 2 m 时,必须查明错动的相对位移方向,并在数据的初始处理阶段予以矫正。

4) 介质条件:理论上岩性越均一,其中的断裂发育就越具规律性。对断裂切穿不同围岩的情况,要进行具体分析。一般脆性、韧性断裂产状很少受岩性变化影响。

5) 观测数据条件:模拟波形函数是以观测数据为基础的,必须有足够范围、足够网度的工程控制数据,才能客观地反映出断裂面波形的特征和规律。已知矿体的规模大,模拟所需的数据范围就大,但网度可以较稀,反之亦然。一般地,以往经过正规勘探、长度大于 1000 m 的矿脉,可以使用该方法进行深部预测。

6) 外推距离限定:影响断裂面波形发育的因素是复杂的,因此利用波形函数进行远距离的外推是不可取的。一般情况下,向深部外推的距离与原勘探系统工程控制的深度相当为宜。

3 应用步骤

图 3 是控矿断裂数字模拟法的应用步骤,简要说明如下。

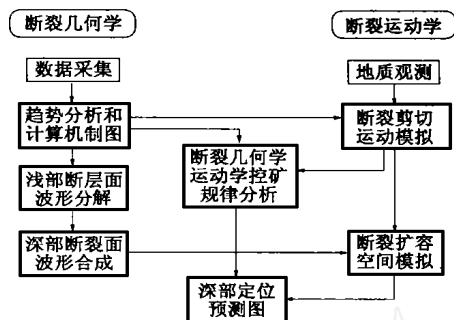


图 3 控矿断裂数字模拟法应用步骤图解

该方法由断裂几何学研究 and 断裂运动学研究两大部分构成,而借助投影图件在三维空间内对断裂波形控矿规律和断裂运动控矿规律的分析是深部定位预测的关键。

3.1 地质观测

主要有三方面的内容:(1)对容矿断裂的发育特征进行观测,确定断裂发育的构造层次、运动方式、构造岩规模和属性,判定断裂发育时期的应力场状态;(2)对断裂在成矿期内的运动期次、运动方式、活动强度及相关阶段矿化特征进行观测研究,建立断裂活动阶段与矿化阶段间的对应关系,充分收集主要矿化阶段断裂运动方向的证据,为进行断裂运动学数字模拟分析打下基础;(3)对矿区成矿后断裂的活动规模、特征进行观测,对切过主要容矿断裂的成矿后断裂的活动方式、断距作出判断。

3.2 数据采集

对以往矿区的地质勘探、采矿生产中有关矿脉的地质观测、化验数据进行系统的采集,并建立相应的数据库。主要有以下几个参数:(1)控矿断裂底板的三维坐标。对要研究的矿脉的所有地质采样点处的高斯坐标和高程坐标数据进行采集、记录,数据主要来自勘探报告的附图、附表、矿山的坑道平面图等。断裂底板以金品位小于 1×10^{-6} 处为界。不难理解,观测点越密,分布越均匀,越能准确地反映断裂面的变化特征。(2)矿体厚度。由于矿体是一个经济概念,不同矿区作为矿体的边界品位是不同的。因这里研究的主要是矿化的分布,所以统一将金品位大于 1×10^{-6} 的矿化地质体真厚度作为“矿体厚度”参数。有其他伴生、共生矿种时,还可同时采集这些矿种的“矿体厚度”数据。(3)矿石品位。一个采样点通常分段取样,有多个品位数据,应对金品位

大于 1×10^{-6} 的样品进行厚度加权平均处理,记录其平均品位。对伴生、共生矿种作同样的处理。(4) 石英脉厚度。石英脉对脉状金矿床的研究具有特别的意义,因为它代表了构造虚脱空间的实际发育情况。

3.3 一次趋势分析和制图

以下工作均在计算机上完成。(1) 进行必要的坐标数据矫正,尤其对成矿后断裂切错的矿脉,要根据 3.1 中的研究结果进行数据矫正,“恢复”断开前的位置。(2) 对观测点坐标数据进行一次趋势分析,求出矿脉的总体产状,计算各点的一次趋势垂距^[7]。(3) 以矿脉的总体走向为新的坐标轴向,进行平面坐标变换。如果矿脉走向为近 SN 或近 EW 时,也可不作坐标变换。(4) 选择投影基准面,制作以下几种投影等值线图:(a) 断裂面一次趋势垂距投影等值线图(波形图);(b) 金品位等值线图;(c) 矿体厚度等值线图;(d) 石英脉厚度等值线图;(e) 线金属量等值线图。投影基准面的选择依据矿脉的总体倾角而定,倾角大于 45° 时,采用纵投影,反之采用水平投影。

3.4 浅部断裂面波形分解

波形分解的主要目的在于获得一个能准确描述断裂波形的函数表达式(3),其次在于将复杂的波形分解为若干个简单的波,以便于分析主要波形对矿体和矿体分布带的控制规律。根据以往几个矿床的应用经验,一级波的轴向主要受断裂发育期的应力场控制,与断裂的运动方向相垂直,控制着矿体带的分布。二级波发育的控制因素尚不清楚,多数控制着矿体的侧伏方向。

波形分解不同于以往的多项式趋势分析和傅里叶趋势分析,它所获得的主要波的波形参数均具有明确的物理意义,可以在波形图上找到其对应的部分。它的拟合程度也是趋势分析方法所不能比拟的。我们认为,这种方法可以部分取代前两种趋势分析方法,用来研究那些带有方向性和周期性分布的数据。

波形分解计算以 3.3 中制作“断裂面波形图”的过程中形成的网格化数据为基础。由于要对振幅、波长和波的方向 3 个参数进行组合模拟,故计算工作量是很大的,只能由计算机来完成。

3.5 深部断裂面波形合成

通过上一步的波形分解,波形函数 $Z(x, y)$ 的表达式中各级波的波形参数都已获得, $Z(x, y)$ 已经成为一个确定的函数,给定投影平面上任意一点 $P(x, y)$ 的坐标,就可以获得其函数值。因而,给定

深部预测的坐标范围,计算出各点的函数值是一件简单的事情。有了各点的函数值,一张预测的“深部断裂面波形图”就可以制作出来了。

3.6 断裂剪切运动模拟

以 3.3 中制作“断裂面波形图”的过程中形成的网格化数据为基础,模拟断裂向不同方向运动时所产生的容矿空间的分布,制作成“模拟容矿空间分布图”,对照“石英脉厚度分布图”、“矿体厚度分布图”、“线金属量分布图”,看哪个方向的模拟结果与真实的石英脉厚度、矿体厚度或矿化强度的分布相吻合,对比这个方向与野外观察结果是否一致。一般地,对于主要矿化阶段较少的矿脉,总能取得满意的效果。对主要矿化阶段较多,且各阶段断裂活动方式差别较大的矿脉,矿化强度的吻合程度较差。这是因为不同阶段物质沉淀的部位不同,而矿化强度或矿体厚度反映的是各阶段物质的叠加结果。总之,运动学的模拟分析要密切结合断裂活动阶段特征、矿化阶段特征来进行,目的是获得主要成矿阶段断裂运动方向参数。

3.7 深部断裂扩容空间模拟

根据上一步所得的断裂运动方向参数,以 3.5 中合成的深部断裂面波形数据为基础,模拟断裂运动,计算出相对的扩容空间,制作“深部扩容空间分布图”。

3.8 控矿规律分析

根据 3.1、3.3 和 3.6 的结果,综合分析断裂面波形和断裂运动联合控矿规律,定性分析矿体部位与波形之间的关系,获得该矿脉矿体分布的一般规律的认识,尤其对主要矿化阶段较多且各阶段断裂运动方式差别又较大的矿脉,更要进行认真的分析判断,必要时进一步实地考察主要成矿阶段沉淀物质的实际分布情况。如果在 3.3 中进行了平面坐标旋转变换,则还应进行相应的反变换,恢复到实际的大地坐标位置。

3.9 深部定位预测图的编制

根据 3.7 和 3.8 的结果,编制矿脉的深部定位预测图,圈定矿体靶位,并根据“深部扩容空间分布图”中容矿空间的相对厚度,对矿体的厚度规模作出判断,还可根据浅部矿石的平均品位和体重参数,计算出预测矿体的资源量。

以上简要介绍了“控矿断裂数字模拟法”的基本原理和应用步骤。该方法在构造地质学方法和数学地质方法结合的基础上,为金矿的深部定位预测提供了一种新的途径。根据几年来的应用经验,该方

法与原生晕地球化学方法结合使用,指示近程的隐伏矿体效果最好。

[参考文献]

- [1] 刘石年. 山东玲珑式金矿床矿体空间定位形式及其形成机制的探讨[J]. 地球科学, 1984(4): 47~56.
- [2] 吴树仁. 控矿断裂几何学和运动学及其控矿规律研究[J]. 地质与勘探, 1993(1): 1~6.
- [3] 章增凤, 王可勇, 范永香, 等. 河南灵宝枪马金矿床 410 脉矿化富集规律及深部预测[C]. 北京国际黄金矿山技术研讨会论文集, 1993, 62~69.
- [4] 白万成, 任林子. 控矿断裂几何形态模拟及在矿床深部定位预

测中的应用[C]. 第五届全国矿床会议论文集. 北京: 地质出版社, 1993, 545~547.

- [5] 白万成, 任林子, 王春宏, 等. 断裂面波形模拟预测法在脉状金矿床深部定位预测中的应用[J]. 贵金属地质, 1995(3): 214~221.
- [6] 白万成. 断裂面波形模拟预测法——一种大脉型金矿床深部定位预测方法[C]. “八五”地质科技重要成果学术交流会议论文选集. 北京: 冶金工业出版社, 1996, 725~728.
- [7] 白万成. 脉状金矿床断裂容矿空间模拟[J]. 黄金地质, 1998(3): 1~6.
- [8] 曾庆丰. 论热液成矿条件[M]. 北京: 科学出版社, 1986.

DIGITAL - ANALOG METHOD OF ORE - CONTROL FRACTURE AND THE APPLIED STEPS

BAI Wan - cheng, REM Lin - zi, QING Min

Abstract: Using amounts of geological data in the deposits exploration and process of production, the waveform and activity in the depth of the ore - control fracture were analogized and predicted, and host space was thus formed. Then locating prognosis can be done in the depth of lode gold deposit. The analog method of geometric shape and kinematics of the ore - control fracture, and their applied steps in the locating prognosis in the depth of gold deposit were systematically introduced.

Key words: ore - control fracture, digital - analog, gold deposit, prognosis in the depth



[第一作者简介]

白万成(1955年-),男,1982年毕业于北京大学地质系,1987年获北京大学理学硕士学位,现任武警黄金地质研究所副所长兼总工程师,政府特殊津贴获得者,主要从事金矿地质和找矿预测研究。

通讯地址:河北省廊坊市广阳道93号 武警黄金地质研究所 邮政编码:065000

记录探工发展历程

展现岩土工程技术

连续两届全国优秀科技期刊 全国探矿工程核心期刊 中国科技论文统计源期刊
中国学术期刊(光盘版)、中国期刊网、万方数据系统科技期刊群全文收录期刊

《探矿工程(岩土钻掘工程)》双月刊

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告

本刊创刊于1957年,由时任中国科学院院长的郭沫若先生亲笔题写刊名;由国土资源部主管,中国地质调查局主办,地质出版社出版;探矿工程、岩土钻掘工程行业创刊最早、发行量大、影响面广的技术类双月刊。

大16开本,80页码,精美彩印封面。

主要栏目:

岩土工程(桩基础,基坑支护,软基处理,锚固与注浆,非开挖,工程勘察,基桩检测等)

钻探(井)技术(岩心钻探技术,磨料与磨具,岩石破碎,钻井液,油气、盐田、煤层气、地热井、水井钻井技术等)

钻掘设备与器具 地质灾害治理 管理与安全
隧道与爆破工程 科学钻探 国外动态

本刊面向探矿工程及岩土工程各个领域的广大科研、生产、施工、教学、管理部门的广大技术人员、管理人员及在校学生。

本刊诚征相关学术、技术、动态类稿件。

本刊兼营广告业务,收费低廉,印制精美,注重实效。

刊号:CN11—1994/TD,ISSN1000—3746

邮发代号:2-333,也可随时汇款至编辑部订阅

2002年每期待价6.50元,全年6期39.00元

编辑部地址:北京市阜外百万庄26号 邮编:100037

电话:(010)68320471 联系人:张进

E-mail:tkgcz@public.lfptt.he.cn

http://TKGC.chinajournal.net.cn 或//www.chinainfo.net.cn