

物质场—能量场—空间场综合成矿预测方法 在豫西马超营断裂带中段的应用

和志军^{1,2}, 崔彬¹, 郑镒²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 河南省有色金属地质勘查总院, 郑州 450052)

[摘要]形成矿床的成矿物质、驱使成矿物质运移和聚集的能量和使成矿物质就位的有利空间(简称物质、能量、空间)是任何矿床形成所必备的3个主要因素。物质场—能量场—空间场综合成矿预测是以成矿三要素为指导思想,以热力学原理为基本原理,利用符合成矿预测尺度要求的地、矿、物、化、遥等资料,综合考虑其它成矿有利因素,结合GIS工具的一种综合成矿预测方法。文章详述了三场综合预测的原理、流程,并结合在豫西马超营断裂带中段的应用,介绍了三场预测方法和效果。

[关键词]物质场 能量场 空间场 综合成矿预测 马超营断裂带

[中图分类号]P612 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2003)03-0045-05

成矿预测就是利用预测区的地、物、化、遥等资料,结合预测区的地质环境和地质条件,总结其控矿因素和成矿规律,抓住对矿床形成起关键作用的成矿控矿因素,利用科学合理的预测方法,筛选出有利的成矿地段或远景区。成矿预测的方法很多,有定量的、定性的、主观的、经验的和定位预测等等,但归根结底,它不是按度量矿床实体的直接参数进行计算,而是将描述地质体的不同类别数据(地、矿、物、化、遥)转换为成矿预测所涉及的地质理论和技术方法。对于矿床形成而言,形成矿床的成矿物质、驱使成矿物质运移和聚集的能量和使成矿物质就位的有利空间(简称物质、能量、空间)是任何矿床形成所必备的3个主要因素。因此,抓住成矿必备的三要素——物质、能量和空间进行综合成矿预测,就是“物质场—能量场—空间场综合成矿预测”的基本思想;以热力学原理为指导去考虑成矿的结果,综合考虑3个成矿要素的空间分布及组合是“物质场—能量场—空间场综合成矿预测”的基本原理^[1,3]。

1 物质场、能量场、空间场

1.1 物质场

是通过研究预测区成矿物质的分布状态和分布

特征,并结合成矿作用的研究,获得能反映区内成矿作用的成矿元素的空间分布特征。因为对于一个预测区,不管成矿物质从哪来,由何种流体搬运,在何种物理化学条件下沉淀成矿,最终这些成矿物质都具有一定的分布状态和分布特征——物质场。

通过现代矿床学的研究,绝大多数矿床的形成具有多来源、多阶段、多成因的特征^[2]。因此,对于一个地区的物质场的形成过程可以看作是多个总体的混合或叠加,可以用混合总体筛分数学公式来表达为:

$$P(A+B+C+\dots) = f_A P_A + f_B P_B + f_C P_C + \dots$$

式中, $P(A+B+C+\dots)$ 表示混合总体(最终物质场), P_A, P_B 表示若干不同总体(不同成矿阶段物质场), $f_A, f_B, \dots$ 代表不同总体所占的百分比, $f_A + f_B + \dots = 1$ 。通过对预测区主成矿元素的筛分,结合成矿作用赋予总体以不同的地质含义。

1.2 能量场

能量场是借鉴“成矿能量”这一概念而来的^[1]。“成矿能量”首先是由苏联地质学家萨弗隆诺夫在1978年提出的。是指成矿元素由分散状态组合成富集体(矿体或矿石)时的地球自然能,也就是各种金属成矿元素从原始分散状态到局部富集成矿、成

[收稿日期]2002-12-25; **[修订日期]**2003-02-25; **[责任编辑]**余大良。

[第一作者简介]和志军(1970年-),男,2001年毕业于中国地质大学(北京),获硕士学位,在读博士生,现主要从事成矿预测、遥感地质及GIS应用研究工作。

晕而所要消耗的相应的能量。能量场展示了成矿能量在某一预测区内的分布状态和空间分布特征。

在成矿过程中,元素的浓缩和稀释,均要通过消耗能量才能完成,其能耗之和即为总成矿能。萨氏以物理化学原理为基础,导出有多少种元素参与成矿过程,即利用可以表示元素从最初的原始分散状态到最终富集状态时的富集程度的克拉克浓度来表示其成矿能量的变化。具体到一个矿床就是利用矿区内某几种元素的含量同区域上该元素的背景值的比值来反映能量的变化。单位体积矿石(晕)成矿能消耗(E_n)的计算公式为:

$$E_n = \sum_{i=1}^n k_i \ln k_i$$

E_n :由 n 个元素形成单位体积矿石或地球化学晕时所消耗的能量;

n :成矿、成晕的元素个数;

k_i :为组成矿石或地球化学晕的第 i 个元素的克拉克浓度值(该元素的含量/该元素区域背景值);

这样研究计算出的成矿能量只反映元素富集到现有程度能量增加或减少的相对值而不反映元素富集或分散所消耗的能量绝对值。同时也不反映具体到哪一种(期)地质作用对能量场发生了怎样的影响,仅是最终形成现有状态的能量的分布情况。

1.3 空间场

作为成矿要素之一的成矿空间的形成、存在、类型在很大程度上决定了矿床有类型和分布^[4]。在不同的地质条件下和地质作用下,形成不同类型的成矿空间,而在不同的成矿空间中,又以不同的成矿方式形成不同的矿床类型,成矿空间及其受其控制矿体的规模、形态产状和矿体产出的空间位置,就反映了成矿空间的分布特征,构成了空间场。

成矿空间(特指构造作用形成的裂隙空间)可以用构造应力场的模拟来表征,构造应力场可以采用有限元进行数值模拟^[5,6]。为了计算方便可将构造应力场简化为平面应力场。其数学表达式为:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \end{bmatrix} \text{ 和 } \sigma_x = \frac{E}{1-\mu}(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y)$$

式中, $\sigma = D\varepsilon$,其中 D 为弹性矩阵, E 和 μ 为弹性常数, ε_x 和 ε_y 为 x 和 y 方向的应变变量, γ_{xy} 为剪应变, σ_x 表示 x 方向的正应力, v 和 u 表示 x 和 y 方向的位移。

2 物质场—能量场—空间场综合成矿预测方法

物质场—能量场—空间场综合成矿预测是崔彬教授结合多年的教学、生产和科研实践经验,根据成矿三要素的基本思想和热力学原理,为了更好地利用地、矿、物、化、遥各专业资料的空间数据库,使 GIS 能更好地在成矿预测中得到应用,使成矿预测方法更具有可操作性而提出的一种现代矿产资料预测新方法^[1,3](简称“三场综合成矿预测”)。换句话说,“三场”综合成矿预测方法是利用符合成矿预测尺度要求的地、矿、物、化、遥资料,在物质场、能量场和空间场三场分别预测的基础上,综合考虑其它成矿有利因素,利用 GIS 的空间分析中的叠加分析功能^[7],综合考虑各预测单元其他有利成矿因素(预测单元如有无矿床点等),划分出 I、II、III 级综合成矿预测区。达到综合成矿预测的目的。其主要步骤流程如图 1。

值得提出是,在进行物质场分析中,可以将单一的主预测元素的物质场作为用于综合预测的物质场(单一物质场),也可以先获取多元素的物质场,进而利用 GIS 叠加分析的功能,确定以主预测元素物质为主,其他相关元素物质场为辅的多元素在各预测单元的物质场(多元素物质场)。根据单一物质场和多元素物质场特征,划分出各单元不同级别的物质场。

3 在豫西马超营断裂带中段的应用

3.1 马超营断裂带中段地质特征

马超营断裂带地处华北地块南缘的熊耳山南坡。中段(白土—秋扒)地层出露简单,有太古宇太华群(Ar)具有双峰模式特征的火山岩系,中元古界熊耳群(Pt₂xl)中基—中酸性(偏碱)熔岩夹少量的火山碎屑岩系,官道口群(Pt₂g)的碎屑岩和大理岩建造和新生界(Q)沉积(图 2)。众多资料表明,太华群对金及其它成矿元素的分布具有一定的控制作用,为豫西主要的赋金岩系,是豫西金矿的主要矿源层^[8]。熊耳群的中基性火山岩属碱性玄武岩浆系列,中酸—酸性火山岩属拉斑玄武岩浆系列,且两者都自成体系,在化学成分上和微量元素之间的关系上都不存在同源岩浆演化的特性^[8]。

马超营断裂带是由北部的康山—南坪断裂(F_1)、中部的白土—石窑沟断裂(F_2)和南部的马超营—狮子庙—红庄断裂(F_3)等 3 条主要由北向南

逆冲的断裂组成的区域性断裂带,并且在近东西向主干断裂带基础上,近等间距叠加着北东向断裂,它们与马超营断裂斜交,构成菱块状构造格局。在马

超营断裂中段就有两条,星星阴—上宫断裂(F_4)、石窑沟—焦园断裂(F_5)(图2)。

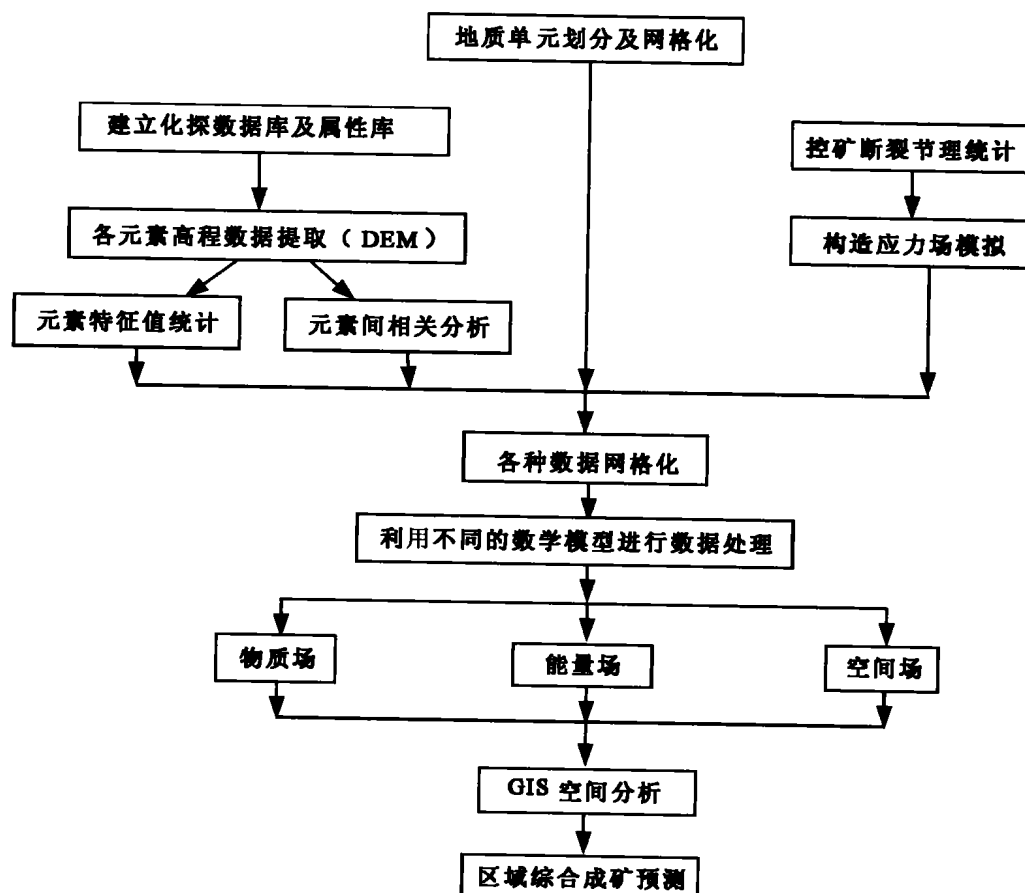


图1 “三场”综合区域成矿预测方法框图

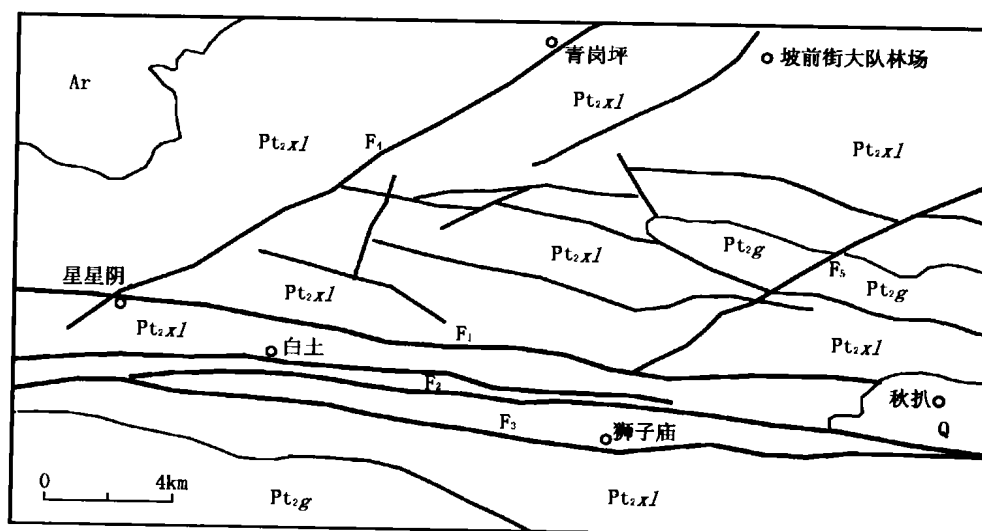


图2 马超营断裂带中段地质简图

Q—第四系冲坡积物; Pt_2xl —熊耳群变火山岩; Pt_2g —官道口群碎屑岩和大理岩;

Ar—太华群片麻岩; F_i —断裂及编号

3.2 马超营断裂带中段三场预测

3.2.1 地质单元划分

在地质单元划分时,考虑到为了更好地处理预测区的资料和方便直观地显示预测结果,我们采用了成熟的正方形网格法,以南北、东西两个方向划分,使之与地理坐标平行。底图采用“1:1 万岩石地球化学测量原始点位图”,以 $0.33 \times 0.33 = 0.1 \text{ km}^2$ 为一单元面积,共将全区网格化为 1000 多个单元。

3.2.2 数据处理

将 1:10000 岩石地球化学测量的原始数据采用

高斯距离权法,以 $0.33 \text{ km} \times 0.33 \text{ km}$ 间距进行网格化。

3.2.3 物质场

马超营断裂带 Au 元素物质场的研究是在对 Au 元素进行总体筛分的基础上,统计其在不同区间含量值出现频数变化,分析 Au 元素的在测区的分布形态,并进行网格化,将 $\text{Au} \geq 1.5 \times 10^{-9}$ 划分为 Au 的 I 级物质场, $0.8 \times 10^{-9} \leq \text{Au} < 1.5 \times 10^{-9}$ 区间划分为 II 级物质场,其分布如图 3。

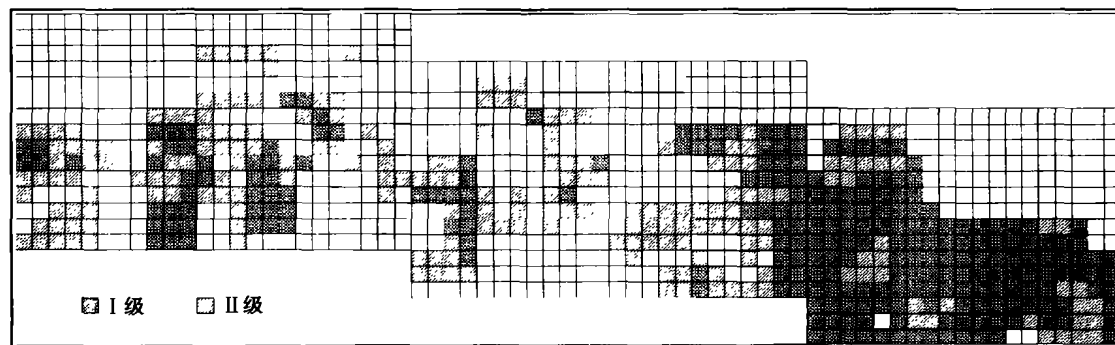


图 3 马超营断裂带中段 Au 物质场分布图

3.2.4 能量场

对马超营断裂带中段的 Au 元素及与其呈正相关的 Ag、Cu、Pb、As、Sb 等元素的综合能量场进行了计算,得出全区的成矿能。通过对能量场所有的能

量的相对数值进行了筛分统计。据能量场筛分特征,将其分为两个等级,将能量 > 50 个单位的为 I 级,能量介于 $15 \sim 50$ 个单位之间的为 II 级。这样得出了工作区能量场分布图(图 4)。

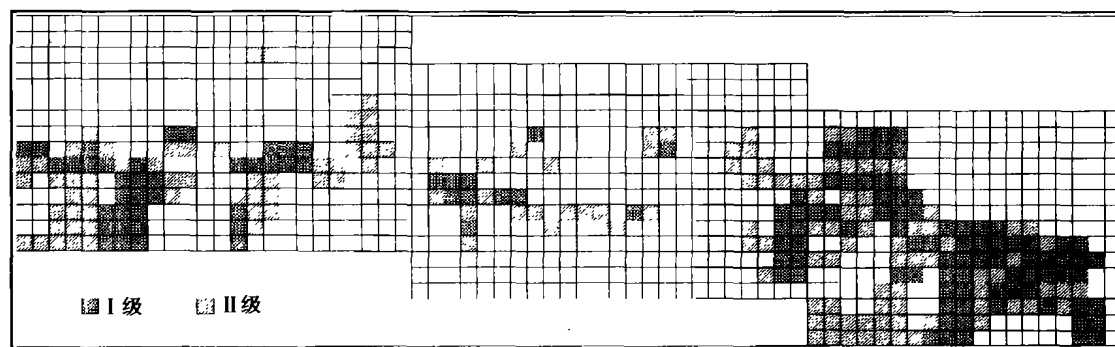


图 4 马超营断裂带多元素综合能量场分布图

3.2.5 空间场

对预测区的“已知金矿体分布区”、“EW 向矿带成矿期时古构造应力场数学模型单元剪应力 $180 \sim 200 \text{ MPa}$ 区域”及“NE 向矿带成矿期时古构造应力场数学模型单元剪应力 $180 \sim 200 \text{ MPa}$ 区域”和网格化的预测区进行叠合分析,得到其有利空间场。

3.2.6 “三场”综合成矿预测

将 Au 元素物质场法得出的物质场和能量场、空间场,利用 GIS 的空间分析功能的叠加分析,进行

综合预测,若 Au 的物质场为一级,能量场也为一级,有空间场叠加的划为综合成矿预测一级区;三场叠加,但 Au 的物质场不为一级的,划为成矿预测二级区(图 5)。

3.3 “三场”综合成矿预测应用效果

经过生产单位在 I 级预测区内进行勘探施工,在深部发现金矿体,品位达 51.6×10^{-6} ,穿矿厚度 2.3 m ,推断内蕴资源量(333) 3149 kg 。还发现 4 条矿脉,具有一定的经济价值或潜在的经济价值。

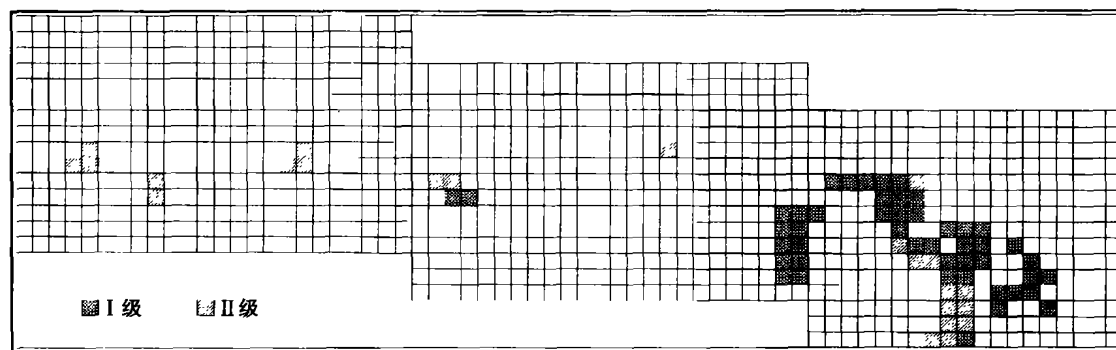


图5 马超营断裂带中段 Au 综合成矿预测图

此外,经过在Ⅱ级预测区内进行的预查工作,发现多处矿化点及矿化线索,进一步确定了预测区为一银金多金属成矿远景区。

4 结论和评论

1)“三场(物质场—能量场—空间场)”预测方法,是以成矿的三要素为基本的理论基础,以热力学原理为指导的一种综合成矿预测方法。该方法不仅考虑到了成矿元素的地球化学场,而且也重视了控矿构造的因素。

2)“三场”预测方法,是一种原理简单,操作性强,易和 GIS 相结合的现代成矿预测方法之一,易被生产科研工作采用,且效果明显。

3)在运用“三场”综合成矿预测方法时,结合预测区主要矿床类型及主要控矿因素,灵活运用,考虑是否应用空间场(如沉积矿床等)。空间场也可以以区域遥感线性、环形构造解译密度等代替区域应力场分析。

4)利用“三场”综合成矿预测的结果要经过初

步的检验及野外查证。

5)有多种方法进行数据的网格化,哪一种最好?网格化步距或半径多大合适?这些直接影响数据网格化的结果。另外,用于计算的地球化学测量类型和比例尺度也是影响成矿预测的一个重要因素。

[参考文献]

- [1] 崔彬,李志文.江西九瑞地区铜金成矿系列[M].北京:中国地质大学出版社,1992.
- [2] 翟裕生,邓军,李晓波,等.区域成矿学[M].北京:地质出版社,1999.
- [3] 崔彬.江西九瑞地区 1:5 万瑞昌幅综合成矿预测[J].地球科学,1995.
- [4] 崔彬,李忠.成矿空间初探[J].地质与勘探,2000,36,(6):6~8.
- [5] 万天丰.古构造应力场[M].北京:地质出版社,1988.
- [6] 万天丰.中国东部中生代内板内变形构造应力场及应用[M].北京:地质出版社,1993.
- [7] 吴信才.地理信息系统原理与方法[M].北京:电子工业出版社,2002.
- [8] 王志光,崔毫,徐孟罗,等.华北地块南缘地质构造演化与成矿[M].北京:冶金工业出版社,1997.

SYNTHETIC METALLOGENIC PROGNOSIS BY MATERIAL FIELD - ENERGY FIELD - SPATIAL FIELD METHOD IN THE MIDDLE SECTION OF MACHAOYING FAULT BELT IN WESTERN HENAN

HE Zhi-jun^{1,2}, CUI Bin¹, ZHENG Di²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. Henan Non-ferrous Metal Geological Prospecting Institute, Zhengzhou 450052)

Abstract: Material, energy and space are three important factors of metallogenesis. Material field, energy field and spatial field method (Three-field) is a synthetic metallogenetic prognosis method which takes stand on the three metallogenetic factors and the thermodynamic principles. It not only uses the data on geology, deposit, geophysics, geochemistry and remote sensing, but also takes into account others favorable metallogenetic factors and can be processed on GIS. This paper describes the elements and flow path of Three-field method, and introduces application effects of the method using in the middle section of Machaoying fault belt in the west of Henan Province.

Key words: material field, energy field, spatial field, synthetic metallogenetic prognosis, Machaoying fault belt