

基于数字矿床模型的 福建永梅地区隐伏矿三维成矿预测

陈建平, 王春女, 尚北川, 史蕊

(中国地质大学(北京)国土资源与高新技术研究中心, 北京 100083;
北京市国土资源信息开发研究重点实验室, 北京 100083)

摘要:从福建永梅地区的地质背景入手,结合成矿理论,对该区的找矿地质模型进行系统的梳理及分析,分别从地层、岩浆岩、构造、围岩蚀变4个方面确定了找矿标志,采用计算机建模技术并结合隐伏地质体反演法建立矿田周围地区的数字地质模型,实现研究区域三维可视化;在找矿模型的指导下,选取了成矿有利地层、断裂缓冲、中心对称度、等密度、燕山早期岩浆岩等17个证据因子,并在建立三维数字研究区的基础上,将地球物理信息、地球化学信息加入到地质模型中,以地质背景为依托,充分运用物探、化探的指示作用,对深部隐伏矿进行预测,实现地质、地球物理地球化学结合预测;并应用“立方体预测模型”预测方法,结合地质统计学相关方法,圈定出6个成矿远景区。

关键词:数字矿床模型;成矿预测;三维数字;福建永梅

中图分类号:P61(257)

文献标识码:A

文章编号:1009-4210(2012)06-014-07

目前,三维矿产预测方法大多是在建立数字矿床模型的基础上展开的一系列研究。数字矿床模型通过将描述性矿床模型数字化、知识化,以计算机可以直接识别和处理的数据、知识规则和符号形式,在计算机中建立起与之对应的数字化矿床模型^[1]。随着计算机三维技术的迅速发展,越来越多的学者广泛开展了基于数字矿床模型的成矿预测研究。丁建华等^[2]将三维可视化技术应用于大比例尺矿产资源评价,通过建立各种模型,使各种地质体、地球化学异常、地球物理异常、蚀变带、反演出的地质体以及它们之间的相互关系形象直观地反映出来。陈建平

等^[3,4]及史蕊等^[5]建立了一套基于三维可视化技术的隐伏矿体三维立体定量预测方法和流程,并多次应用于新疆可可托海稀有金属矿、云南个旧锡矿及陕西省潼关县小秦岭金矿的隐伏矿体预测,建立了三维地质模型,并用三维插值方法对矿床的储量进行了估算。福建永梅地区较系统的区域地质调查工作始于20世纪60年代,至今积累了丰富的基础地质、地球物理、地球化学资料。本文旨在对已有勘查资料充分应用的基础上,以数字矿床模型为依托,以地质找矿模型为指导,以立方体预测模型为手段初步实现永梅地区的隐伏矿预测。

收稿日期:2012-09-12;改回日期:2012-10-20

作者简介:陈建平(1959—),男,教授,从事矿产资源预测评价和“3S”技术应用的教学与研究。

1 区域地质与数字矿床模型的建立

研究区位于闽西南拗陷带东南部与闽东火山断拗带接合部,处于政和一大埔 N(N)E 向断裂带和上杭—云霄 NW 向断裂带、永定—连江 NEE 向大断裂交汇部位,构成了错综复杂的构造格局(图 1)。区内地壳运动频繁,经历了基底变质、沉积盖层的形成和构造变动、岩浆活动的长期多旋回发展演化过程^[6]。

研究中共收集到的资料是以 1:5 万矿调资料为基础,具体有永定县、湖雷、梅林、下洋 4 个地区的 1:5 万地质地形图、部分剖面图,1:5 万物探航磁数据和化探数据及其他文字资料,数字矿床模型的建立即是在图切割面的基础上通过三维建模软件来实现的。

在进行三维地质建模时,必须根据具体的地质情况选取合适的建模方法。常用的建模方法包括基

于钻孔建模、基于平行剖面建模及基于多源数据建模等。三维地质模型通常包括地表模型、地层模型、构造模型、岩体模型、矿体(矿化信息)模型等。本文通过利用永梅地区现有地质资料,切割及绘制研究区的大剖面,选择基于平行剖面的建模方法,建立了地形、地层、构造及岩体的三维实体模型。

1.1 地层

区内地层发育较齐全,分布较广,从元古代—新生代均有出露。地层的分布明显受区域性 NW 向、NE 向断裂带控制。其中,中新元古代地层呈带状围绕拉拔山岩体边缘分布,古生代沉积地层主要分布于抚市—长塔一带的沉积盆地以及三坝—平滩一带,中生代地层与火山作用关系密切,呈两条近于平行的 NE 向带状展布。该研究区内地层主要为侏罗系上统南园组和侏罗系下统藩坑组(图 1)。

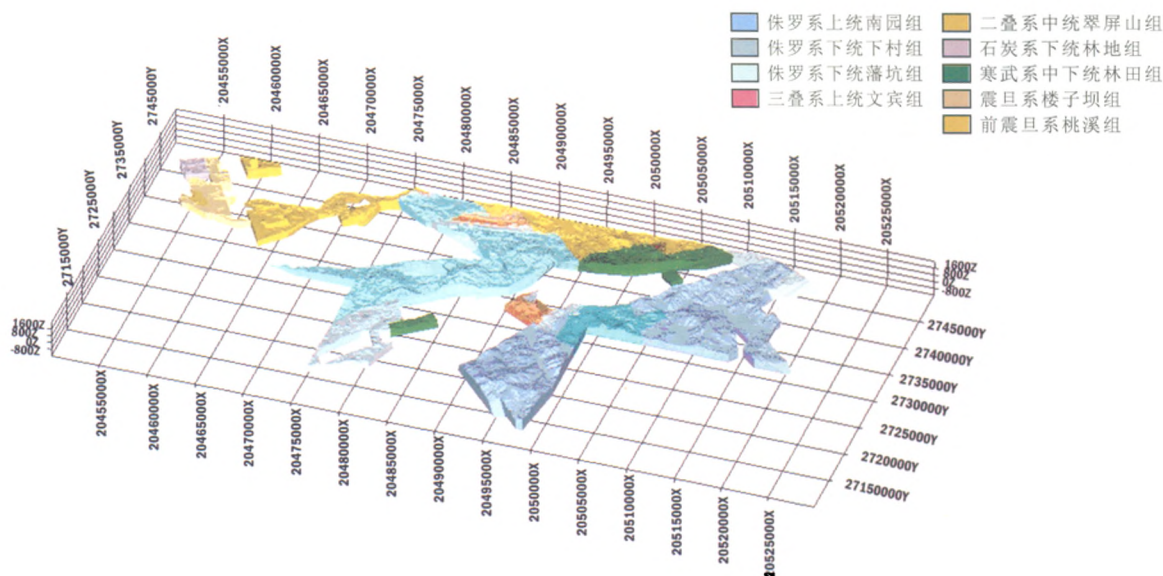


图 1 永梅地区地层实体模型

1.2 构造

研究区处于华南板块东南部南华活动带,属福建造单元的闽西南拗陷南部和闽东火山断拗带接合部。同时还有上杭—云霄 NW 向深断裂带与永定—闽江口 NEE 向大断裂带、政和一大埔 NNE 向深断裂带交汇于区内,构成研究区较为复杂的构造

格架。其中变形机制多样,褶皱断裂错综复杂,但构造线具明显的方向性。

根据地层不整合、沉积建造、岩浆活动及演化、构造变形、变质及混合岩化作用等,将研究区划分为:四堡—晋宁期、加里东期、华力西期、燕山期、喜马拉雅期 5 个构造旋回,并相应划分构造层、亚构造

层。由于各时期构造演化发展具方向性、多旋回性和继承性特点,其成矿作用相应呈规律性演化。其中燕山期为濒太平洋大陆边缘活动演化时期,是研究区最重要的成矿期,具多幕的活动特点,形成了燕山期丰富的多次的成矿作用。在火山、岩浆活动的同时或稍后,揭开了断裂活动的序幕,形成 NNE 向张性及 NW 向、NEE 向压

性或压扭性断裂,它们不仅分别控制火山喷发盆地形成和花岗岩侵入,且提供了成矿作用的通道和空间,使热液型的铅锌多金属矿产沿断裂成带分布。

研究区脆性断裂发育,是燕山期主要构造形迹之一。主要有 NE 向、NW 向、NEE 向断裂,零星有近 SN 向断裂,主要构造形迹展布如图 2。

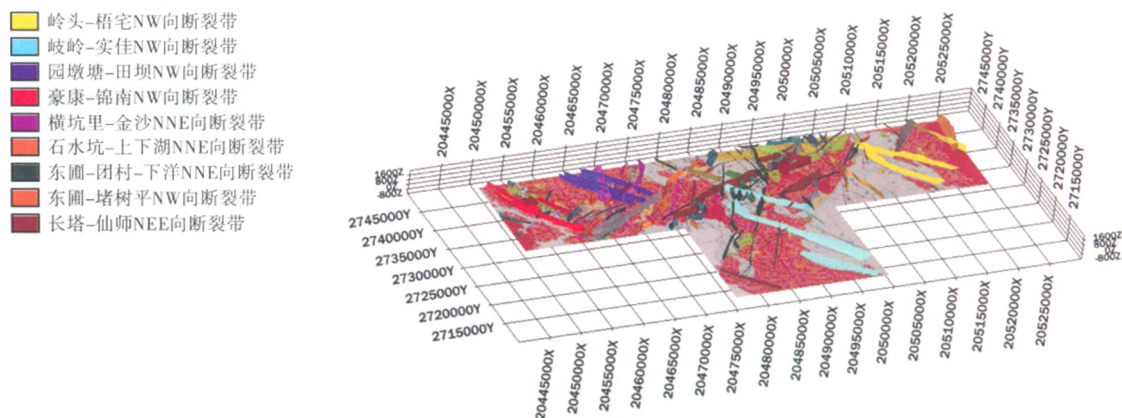


图 2 研究区构造分布

1.3 岩浆岩

研究区岩浆活动频繁,岩浆的喷发和侵入作用强烈,分布广泛。活动时期有志留纪和早、晚侏罗世及早、晚白垩世等,其中侏罗世最为鼎盛。伴随着构造活动,岩浆在断陷区内大规模喷发,形成一套巨厚

层的火山岩,岩类齐全,反映有长期频繁的岩浆活动,造成了区内侵入岩分布广,岩石种类齐全的特点,对研究区各类矿产的生成和富集提供了有利条件。其中燕山早期侵入岩与区内的铜、钼等多金属矿关系最为密切。岩浆岩实体模型如图 3 所示。

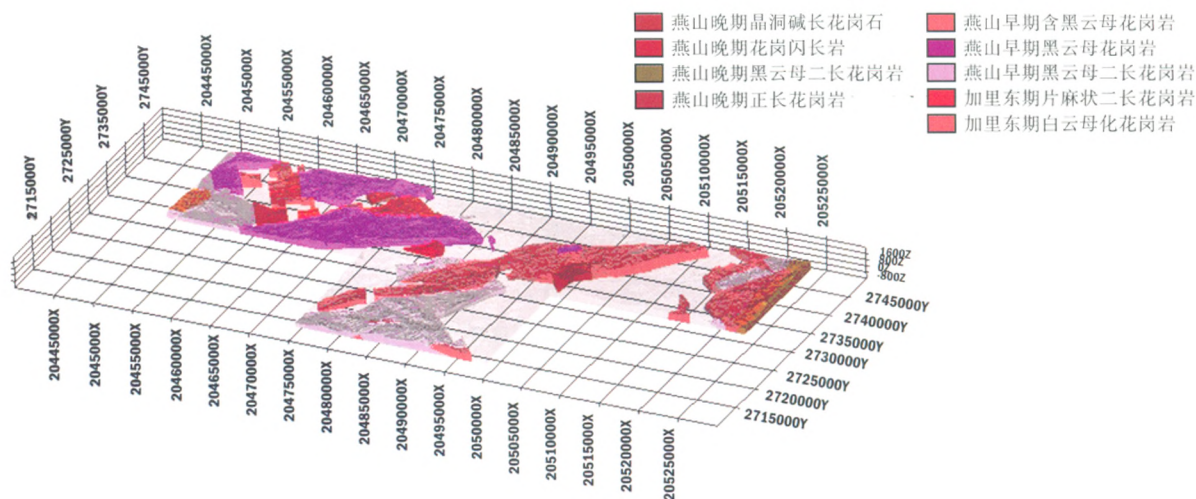


图 3 永梅地区岩浆岩实体模型

2 找矿地质模型与预测模型的建立

2.1 找矿地质模型

依据研究区地质背景和成矿模式分析结果及已有的勘查资料,建立三维找矿地质模型(表 1)。

基于数字矿床模型的三维预测主要是借助“立方块模型”来实现找矿地质模型由二维向三维分析的转变。基本思想是:先将一个实体模型分割成相同大小的立方体(立方体的尺寸取决于模型的精度),并将所属类型或预测参数作为属性赋

给每一个立方体;然后通过对这些立方体单元进行各种地学统计分析,从而实现三维成矿有利条件的提取和矿产定量预测评价。根据现有地质资料将该范围进行三维立方体化,模型区形态是一个坐标范围为东西长 74 200 m、南北中间长 35 900 m,两端长 17 280 m 的梯形区域,垂高 1 950 m,单元块行×列×层为 150 m×150 m×50 m,模型总共有 3 054 432 个单元块,在建立好立方体模型以后,可以将找矿数字模型所确定的预测参数作为属性赋给每一个单元块。

表 1 区域找矿地质模型

控矿地质条件	成矿预测因子	特征变量	变量指导意义
地层	有利地层信息	成矿有利地层	含矿性较好区域
构造	有利成矿构造发育信息	构造等密度	线性构造发育程度
		构造交点数	构造交汇部位
		构造频数	线性构造复杂程度
		构造中心对称度	构造对称特征
		构造方位异常度	线性构造优势方位
	有利成矿构造条件	断裂推断区域	断裂缓冲区
岩体	有利成矿岩体信息	主干断裂分析	等密度/频数
		局部断裂分析	频数/等密度
		岩体推断区域	岩体缓冲区

2.2 有利成矿信息提取

在建立找矿概念模型的基础上,采用立方体预测模型或地质统计学的方法进行示矿信息的提取,确定成矿有利部位,为后续的矿产三维预测提供重要的找矿信息变量。

2.2.1 地层信息

地层含矿性的分析主要通过两个方面来说明,一是地层中元素含量的多少;二是地层中已有的成矿事实的个数是多少^[7]。由矿点与地层叠加的统计确定了侏罗系下统藩坑组为最主要的成矿有利地层,占有矿点的 36.364%,其次为元古界中下统梅溪岩组,再次为石炭系下统林地组、寒武系中统林田组、侏罗上统南园组,因此选择上述几个地层作为有利成矿地层预测因子。

2.2.2 构造信息

构造的断裂优益度、断裂等密度、构造交点数、构造中心对称度、构造平均方位等变量,分别从不同的角度反映线性构造的特征,从中选取与成矿有关的构造特征进行分析和提取。通过区域二维矿点分别与断裂等密度、断裂优益度、断裂交点数、构造中心对称度、主干断裂叠加分析,确定等密度值为(150,600]、断裂优益度值为(312,832]、中心对称度值为(0.04,0.08]和(0.20,0.28]、主干断裂值为(300,600]的变量为定量信息的成矿有利因子,并做断裂交汇和深大断裂的 250 m 缓冲区,将其分别作为限制立方块的有利成矿因子。

2.2.3 岩体信息

研究区内岩浆活动表现为多期次的特点,有加

里东期、燕山早期、燕山晚期等。区内主要矿(点)床均与岩浆作用有关,因此研究岩浆岩信息与成矿的关系对矿床预测有着重要的意义。通过二维矿点与岩浆岩叠加分析的统计结果可以看出,燕山早期花岗岩是成矿的最有利岩体,占有岩体的 67.76%,其侵入为矿床的后期改造富集提供了必要的条件;其次为加里东期片麻状二长花岗岩,占有岩体的 16.01%。因此,将这两种岩体作为成矿预测的有利因子。

2.2.4 物探信息

根据观测平面上的航磁异常计算高于或者低于实测平面上的异常值的过程称为向上下延拓。进行上延计算时,由浅部场源体引起的范围小、比较尖锐的“高频”异常,随高度增加的衰减速度比较快,而由深部场源体引起的异常的衰减比较慢。因此,向上延拓有利于突出深部异常的特征^[8]。本次实验对地表航磁数据分别做 250 m、500 m、750 m 和 1 000 m 的向上延拓,将延拓得到的等值线通过距离反比加权法插值到立方块体中,通过统计分析选择航磁值在 $[-150,-75]$ 和 $[11,14]$ 的立方块作为成矿有利变量。

2.2.5 化探信息

地球化学信息是最直接的找矿信息^[9],对于地表化探数据可以采用传统化探处理方法对其进行处理,再将三维技术融入,使它可以成功向下进行立体延伸显示;对于深部化探数据,可以利用钻孔数据来分析元素三维异常分布。可以采用 IDW 等方法对未知单元块进行该元素插值。

本次对 Mo、Cu 两种化探元素进行了处理,由于是地表地球化学数据,所以只往下延 100 m 形成体,将其值赋到立方块体中。经统计,Mo 的异常值选为 $[5,40]$,Cu 的异常值选取 $[35,140]$,把落在异常区间内的 Mo、Cu 的块作为有利成矿的化探数据。

2.3 找矿预测模型

根据对研究区矿床的成矿条件分析及有利成矿信息提取,结合大区域已有三维数据资料甚少且数据精度较低的实际情况,本实验建立了研究区矿产预测评价模型(表 2)。其中,研究区的主要控矿因素取决于几个方面:①有利地层岩性发育;②有利成矿构造发育;③岩浆岩脉群发育;④有利物探信息;⑤有利化探信息。

表 2 研究区找矿预测模型

控矿要素	成矿预测因子	特征变量	特征值
地层	有利地层信息	成矿有利地层	寒武系中统林田组 前震旦系桃溪组 石炭系下统林地组 侏罗系上统南园组 侏罗系下统藩坑组
构造	有利成矿构造发育信息	构造等密度	$(150,600]$
		构造交点数	>0
		构造中心对称度	$(0.04,0.08],[0.20,0.28]$
		构造优益度	$(312,832]$
	有利成矿构造条件	断裂推断区域	250 m 缓冲区
		断裂交汇	250 m 缓冲区
		主干断裂分析	$(300,600]$
		局部断裂分析	$(0.015,0.045]$
岩体	有利成矿岩体信息	岩体	燕山早期岩浆岩
物探	物探异常信息	磁异常	$[11,14],[-150,-75]$
化探	化探异常信息	Mo	$[5,40]$
		Cu	$[35,140]$

3 研究区三维成矿预测

3.1 成矿有利度计算

由于研究区覆盖范围较大,且没有已知矿体,因此本次采用成矿有利度的方法对区域进行预测。首先,将已经选取的有利成矿信息提取出来作为一个证据权因子;然后计算出各有利因子的权重值,根据二维中得到的各个找矿标志变量的权重值来计算大区域三维预测中各地质因素、找矿标志所提供的找矿信息量,以此来定量计算各地质因素和标志对指导找矿的作用;其次,计算每个单元中各标志信息量的总和,其大小反映

了该单元相对的找矿意义,用以对评价找矿远景区进行预测。基本原理和方法如下:

$$F=f(x)=a_1x_1+a_2x_2+a_3x_3+\cdots+a_nx_n$$
$$\sum_{i=1}^na_i=1$$

式中: x_1,x_2,\cdots,x_n 为各证据因子; n 为证据因子个数; a_1,a_2,\cdots,a_n 为每个找矿标志的相对权重值。

从表 3 可以看出,化探元素异常的权值最高,说明该异常对远景区的圈定起着重要的指示作用;其次,断裂的大部分找矿标志的权值也都很高,说明构造是主要的控矿因素;侏罗系下统藩坑组对矿床的形成起着重要作用。

表 3 研究区各找矿标志权重值

序号	找矿标志	综合权值	相对权值	序号	找矿标志	综合权值	相对权值
L1	寒武系中统林田组	1.190	0.052 58	L10	区域主干断裂	1.775	0.078 43
L2	前震旦系桃溪组	0.313	0.013 83	L11	区域局部断裂	0.611	0.027 00
L3	石炭系下统林地组	1.811	0.080 02	L12	断裂缓冲区	1.697	0.074 98
L4	侏罗系上统南园组	0.422	0.018 65	L13	断裂交汇处	0.999	0.044 14
L5	侏罗系下统藩坑组	1.618	0.071 49	L14	岩浆岩	0.077	0.003 40
L6	断裂优益度	1.856	0.082 00	L15	磁异常	1.214	0.053 63
L7	断裂等密度	1.433	0.063 31	L16	Mo	2.636	0.116 47
L8	断裂中心对称度	1.297	0.057 31	L17	Cu	2.147	0.094 86
L9	断裂交点数	1.537	0.067 91				

3.2 远景区圈定

根据计算的各找矿标志权值,计算每个立方体单元的相对权值之和。最后根据主观概率法确定立方块综合信息量大于 0.055 的块体为远景区,在研

究区内的三维空间范围内按照找矿潜力大小圈定了 6 个成矿远景区,并将其依次命名为 A、B、C、D、E、F。将二维中的已知矿点与三维空间模型叠加,可以看出矿点与综合信息量的高值区有很好的重合(图 4)。

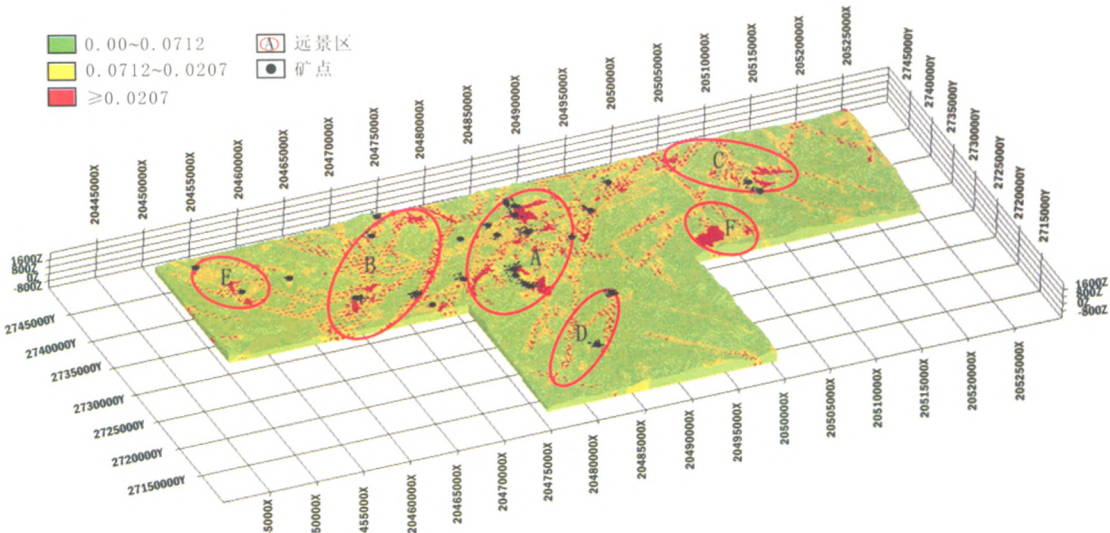


图 4 成矿远景区

4 结论

(1)研究区东部综合预测值较高,且已发现的矿床很少,尤其是远景区 F,预测高值既密集又没有已知矿点,具有较好的找矿前景。从圈定的远景区可看出,远景区 A 找矿前景最大,虽然区内已发现大部分矿点,但还有一些地区具有良好的找矿前景,且已发现矿点的地区应注意其深部矿床的开采。

(2)充分发挥多学科多方法的优势,对区域地质、地球物理、地球化学和矿床特征进行深入研究,充分提取控矿有关的各类因素,以达到全面认识区域成矿规律,更好地进行区域成矿预测。

(3)本文成功地将物探中反映深部地质体信息的航磁信息应用于三维成矿预测中,从而为成矿预测提供了物探方面的证据因子。

(4)基于数字矿床模型的隐伏矿三维预测在矿产资源三维预测中具有明显的优势,不仅促进了对地质资料的充分利用,而且基于其可视性对地质现象的反演也大大提高了预测的科学性和准确性。

致谢:研究数据全部源于中国地质调查局发展中心危机矿山技术处,本次研究得到危矿技术处和

吕志成副总工的大力支持,特此表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1]毛政利. 凤凰山铜矿数字矿床模型及其预测系统开发研究[D]. 长沙:中南大学,2004.
- [2]丁建华,肖克炎,姜德波,等. 大比例尺三维矿产预测[J]. 地质与勘探,2009,44(6):729-734.
- [3]陈建平,陈勇,曾敏,等. 基于数字矿床模型的新疆可可托海 3 号脉三维定位定量研究[J]. 地质通报,2008,27(4):551-559.
- [4]陈建平,尚北川,吕鹏,等. 云南个旧矿区某隐伏矿床大比例尺三维预测[J]. 地质科学,2009,44(1):324-337.
- [5]史蕊,陈建平,陈珍平,等. 陕西小秦岭金矿带潼关段区域三维定量预测[J]. 地质通报,2011,30(5):711-721.
- [6]揭育金,刘乃忠,何道金,等. 福建永定一梅林地区矿产远景调查报告[R]. 福州:福建省地质调查研究院,2009.
- [7]卢映祥,陈德友,等. 战略性矿产远景调查综合研究培训讲义[Z]. 北京:中国地质调查局,2007.
- [8]朱裕生,肖克炎,等. 成矿预测方法[M]. 北京:地质出版社,1997.
- [9]翟裕生,彭润民,等. 区域成矿研究法[M]. 北京:中国大地出版社,2004.

Three-Dimensional Metallogenic Prediction in Yongmei Region Based on Digital Ore Deposit Model


CHEN Jian-ping, WANG Chun-nv, SHANG Bei-chuan, SHI Rui

(Institute of Land Resources and High Techniques, China University of Geosciences; Land Resources Information Development and Research Laboratory of Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Proceeding with geological background of Yongmei Region, Fujian Province, and combined with the metallogenic theory, this paper systematically analyzes the prospecting geological model, determining the prospecting marks from the aspects of strata, volcanic rocks, structure, and wall-rock alteration, and establish the geological model of the surrounding mineral field using the computer modeling technology combined with concealed geologic body inversion in order to realize the research area three-dimensional visualization. Then guided by prospecting model, the paper selects favorable ore-forming strata, fault buffer, center symmetrical, fault density, early Yanshanian magmatic rock etc. as evidence factors. On the basis of establishing the three-dimensional digital research area and relying on geologic setting, it adds geophysical and geochemical information to the geological model and predicts the deep concealed ore by making full use of the geophysical and geochemical exploration indication so as to realize geophysical and geological combination forecast. Finally, using the prediction method of "Cube prediction model" and combined with geostatistic method, the paper determines six prospective mining areas.

Key words: digital ore deposit model; metallogenic prediction; three-dimensional digit; Yong mei, Fujian Province

基于数字矿床模型的福建永梅地区隐伏矿三维成矿预测

作者: [陈建平](#), [王春女](#), [尚北川](#), [史蕊](#), [CHEN Jian-ping](#), [WANG Chun-nv](#), [SHANG Bei-chuan](#), [SHI Rui](#)
作者单位: [陈建平, 尚北川, CHEN Jian-ping, WANG Chun-nv, SHANG Bei-chuan, SHI Rui \(中国地质大学\(北京\)国土资源与高新技术研究中心, 北京, 100083\)](#), [王春女, 史蕊 \(北京市国土资源信息开发研究重点实验室, 北京, 100083\)](#)
刊名: [国土资源科技管理](#) 
英文刊名: [Scientific and Technological Management of Land and Resources](#)
年, 卷(期): 2012, 29(6)

参考文献(9条)

1. 毛政利 [凤凰山铜矿数字矿床模型及其预测系统开发研究](#)[学位论文] 2004
2. 丁建华; 肖克炎; 娄德波 [大比例尺三维矿产预测](#)[期刊论文]-[地质与勘探](#) 2009(06)
3. 陈建平; 陈勇; 曾敏 [基于数字矿床模型的新疆可可托海3号脉三维定位定量研究](#)[期刊论文]-[地质通报](#) 2008(04)
4. 陈建平; 尚北川; 吕鹏 [云南个旧矿区某隐伏矿床大比例尺三维预测](#)[期刊论文]-[地质科学](#) 2009(01)
5. 史蕊; 陈建平; 陈珍平 [陕西小秦岭金矿带潼关段区域三维定量预测](#)[期刊论文]-[地质通报](#) 2011(05)
6. 揭育金; 刘乃忠; 何道金 [福建永定-梅林地区矿产远景调查报告](#) 2009
7. 卢映祥; 陈德友 [战略性矿产远景调查综合研究培训讲义](#) 2007
8. 朱裕生; 肖克炎 [成矿预测方法](#) 1997
9. 翟裕生; 彭润民 [区域成矿研究法](#) 2004

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gtzykjgl201206004.aspx