

陕西小秦岭金矿带潼关段区域三维定量预测

史蕊, 陈建平, 陈珍平, 王丽梅, 田毅, 王翔, 王春女, 严琼

SHI Rui, CHEN Jian-ping, CHEN Zhen-ping, WANG Li-mei,

TIAN Yi, WANG Xiang, WANG Chun-nü, YAN Qiong

中国地质大学(北京)国土资源与高新技术研究中心/北京市国土资源信息研究开发重点实验室, 北京 100083

Institute of High and New Techniques Applied to Land Resources, China University of Geosciences/

Land Resources Information Development and Research Key Laboratory of Beijing, Beijing 100083, China

摘要: 依靠三维可视化技术, 进行深部隐伏矿体的定位定量预测, 是现代矿产资源预测的主流技术和方法。根据地质异常理论, 在找矿模型的指导下, 利用商业建模软件 Micromine 建立了研究区的地形、地层、构造、岩浆岩和探矿工程模型, 结合找矿信息量法圈定了 8 处成矿远景区, 并采用体积法和丰度估计法估算了整个研究区的资源量。在此基础上, 将研究区典型矿脉已知矿体的立方体模型与预测矿块进行重合率统计, 定量地评价了本次预测的有效性。结果表明, 小秦岭金矿带潼关段仍有较好的开发利用潜力, 具有良好的勘探前景; 基于三维可视化技术的区域三维预测方法行之有效。

关键词: 陕西潼关地区; 区域; 三维; 立方体预测模型

中图分类号: P618.51; P628

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2011)05-0711-11

Shi R, Chen J P, Chen Z P, Wang L M, Tian Y, Wang X, Wang C N, Yan Q. 3D positioning and quantitative prediction of the Xiaoqinling gold belt in Tongguan area, Shaanxi. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(5):711-721

Abstract: The performance of the 3D positioning and quantitative prediction of buried ore bodies based on 3D visualization technology seems to be a main means for predicting mineral resources. According to geonomaly theory, under the guidance of the mineral exploration model, and by means of commercial 3D modeling software Micromine, the authors constructed topography, stratigraphy, structure, magmatite and project models, delineated eight prospect areas with the help of the traditional quantitative predicting method, and estimated gold deposit resources in the study area by using the method of abundance and volume. The contact ratios between known ore blocks and predicted blocks were calculated, thus quantitatively evaluating the validity of this prediction. The result shows that the Xiaoqinling gold belt in Tongguan still has a good potential for development and utilization and the 3D prediction method based on 3D visualization technology is very effective.

Key words: Tongguan area in Shaanxi; region; 3D; cubic predicting model

潼关县是中国的矿产资源大县, 县域南部的秦岭地区, 埋藏有金、银、铅、石墨、大理石、蛭石等多种矿产, 其黄金储量在全国占有重要的地位, 是全国三大主要产金地之一。近几年来, 该地区金矿产量保持平稳增长, 国家和地方企业同时在加紧勘探金矿资源方面的研究。本文以 Micromine 软件为平台, 通过

建立研究区的地质模型^[1], 对隐伏矿体进行三维定位、定量预测研究, 其成果对该区域今后的矿产资源勘探工作具有一定的指导意义。

1 区域地质背景与控矿规律

潼关县境内太古宙、元古宙、新生代地层均有出

收稿日期: 2011-02-25; 修订日期: 2011-03-23

资助项目: 陕西省潼关县人民政府委托项目《陕西省潼关县“数字国土”及金矿资源潜力评价》

作者简介: 史蕊(1986-), 女, 在读硕士, 研究方向为矿产资源预测与评价。E-mail: shirui616@126.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

露,北部以新生代地层为主,南部以太古宙和元古宙地层为主,属华北区豫西分区金堆城小区^①。其中太古宙太华岩群分布较广,也是该区主要的赋矿地层,据统计含金石英脉 90%以上分布在该地层中,尤其是片麻岩类地层中,严格受所谓绿色岩系的控制。潼关地区位处华北板块南缘小秦岭陆内造山带核部,北及渭河地堑南缘,是自太古宙以来,经历了阜平期大陆壳发展、形成,五台期克拉通化,以后多期次伸展与收缩构造相互转化,中—新生代大规模陆内俯冲与伸展—拆离,以变质核杂岩构造抬升而形成的造山带。正是这种特殊的大地构造位置与演化历史,造就了本区众多不同层次、不同样式的构造相互叠加,不同时代构造地质体相互拼叠的复杂面貌。断裂构造的剪张、引张扩容空间控制矿体的产出。大月坪复背斜轴部控制着中、大型矿床的展布。该区侵入岩分布广泛,侵入活动频繁。从太古宙—中生代均有活动,超基性岩、基性岩、中性岩、酸性岩类均有出露,尤以太古宙变质古侵入岩、中生代花岗岩为广。含金石英脉多分布在燕山期重熔花岗岩体外围 2~8km 的范围内,远离岩体则含矿性弱^[2]。

2 地质体三维实体模型和立方体模型

根据潼关地区现有的地质资料(主要是地质图),切割和绘制整个潼关县的大剖面,然后建立陕西省潼关县小秦岭金矿带地形、地层、构造、岩体、钻孔、坑道工程的三维实体模型,进而对整个研究区建立三维立方体模型,最终应用找矿信息量的方法进行大区域成矿有利靶区的预测与圈定。

(1)地形。地形实体模型,在矿产资源三维成矿预测中是不可缺少的一部分,可以真实地反映地表的情况,并精确地指示出成矿的有利空间位置。该模型在露天矿山和地采矿山中可以用来切割绘制平面图和剖面图,在采矿设计中具有重要意义。所以必须建立有效的地形实体模型(图 1)。

(2)地层。利用图切和实测共 12 条剖面,建立地层的实体模型(图 2)。勘探线剖面上详细划分了研究区内的地层,主要包括太华岩群、武家坪片麻岩、侯家村片麻岩、马驹峪片麻岩、长沟口片麻岩、大月坪片麻岩、第四纪上更新统风积黄土和第四纪全新统现代河床砂砾堆积。

(3)构造。潼关南部地区断裂构造十分发育,强

弱不等、方向不同、性质不一,加上强烈的中、酸性岩浆活动,无疑为金矿的形成创造了良好的条件。图 3 为研究区断裂构造分布图。

(4)岩体。区内岩浆岩分布广泛(图 4),类型多样,活动频繁。佛头崖单元岩性为片麻状黑云二长花岗岩,细粒花岗鳞片变晶结构—变余花岗结构,块状—片麻状构造,按实际矿物分类属二长花岗岩类。罗斑花岗伟晶岩分布于华山以东太华变质核杂岩区,以蒲峪—善车峪一带最为发育。

(5)钻孔。本次工作共收集到潼关县南部山区的钻孔柱状图 106 张。从研究区钻孔数据的平面分布图(图 5)中可以清楚地看到,东部地区勘查程度较高,钻孔数据密集,中西部地区钻孔数据极为缺少,所以有效的几个钻孔并不能代表整个区域范围内元素异常的分布。

(6)坑道。收集到部分矿脉以 Excel 表形式记录的测量数据。笔者将数据按照 Micromine 软件要求的数据格式导入工程,参照勘探报告给出的 YD(样洞)素描图,对不同中段的坑道导线进行连接,进而建立模型(图 6),有助于了解研究区矿体的勘探情况。

找矿模型的定量分析在三维空间上主要借助于“立方体模型”来实现传统的二维找矿向三维找矿的新突破。该方法首先通过分析研究区控矿地质条件和找矿标志在空间上,特别是在深部的变化规律,然后将研究区划分成三维立方体,综合分析处理各种深部找矿评价的定量化信息,实现三维找矿模型的建立,最终进行三维成矿预测与评价。该方法在技术上使用了先进的三维软件,因此在空间三维分析、数据储存管理、三维地质体的可视化方面也有巨大的优势。

根据现有地质资料对矿体的揭示,特别是勘探线的分布,结合矿体的形态、走向、倾向和空间分布特征确定了研究区的范围^[3],并且将该范围进行三维立方体化。模型区的形态是一个坐标范围为南北长 12859.5m、东西长 24532m 的矩形区域,垂高 1729m,单元块行×列×层为 100m×100m×50m,模型总共有 291817 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。如用地层实体模型对三维立方体进行限定,划分出不同地层所包含的立方体,作为矿床预测中的地层

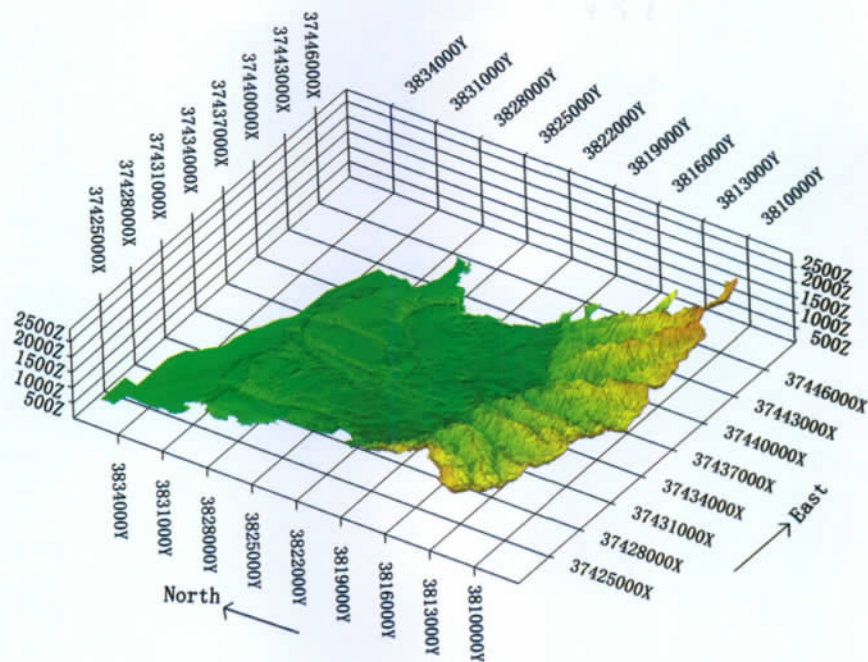


图 1 潼关县地形模型
Fig. 1 Terrain model of Tongguan County

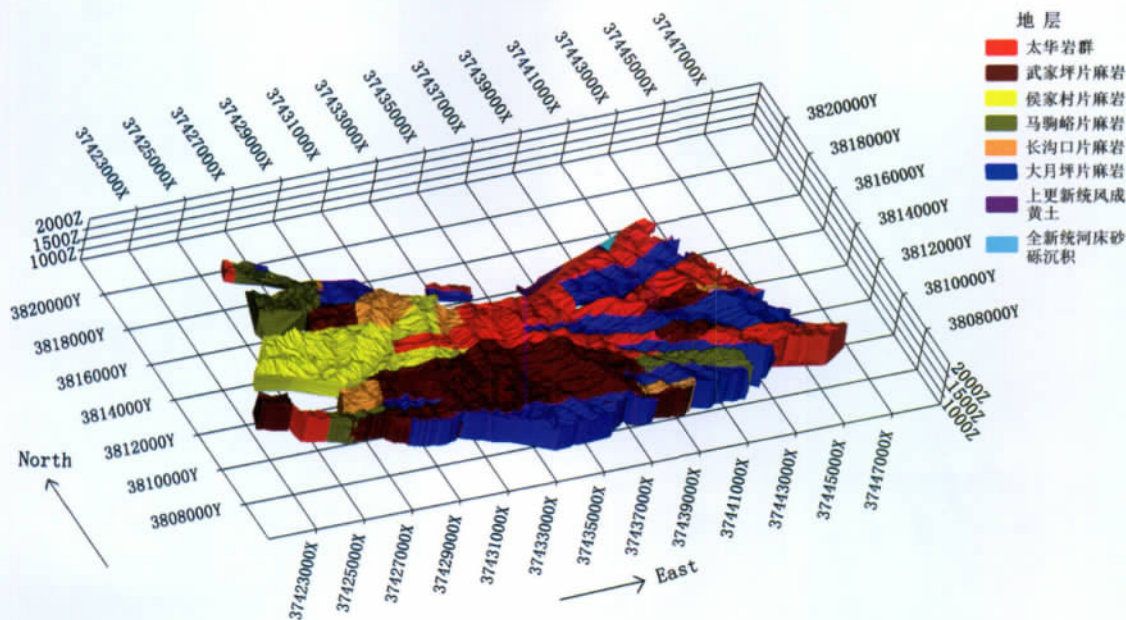


图 2 潼关县南部山区三维地层
Fig. 2 3D stratigraphic map of the southern mountain area of Tongguan County

变量;使用断裂实体模型对三维立方体进行限定,划分出不同断裂所包含的立方体,作为矿床预测中的断裂变量;使用岩浆岩实体模型对三维立方体进行限定,划分出不同矿体所包含的立方体单元,作为矿床预测中的岩体变量。

3 成矿有利信息提取

3.1 有利地层信息提取

潼关地区地层原始含金较高,与金矿成矿密切相关,是矿源层。已有的资料^[4-5]表明,研究区金矿成

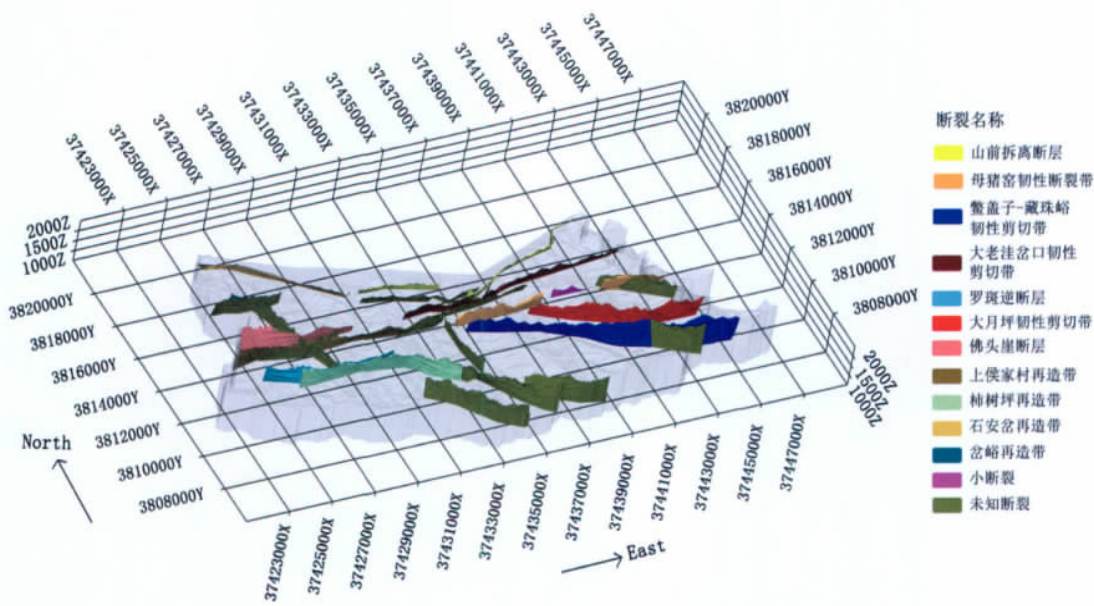


图 3 研究区断裂构造分布

Fig. 3 Distribution of fractures in the study area

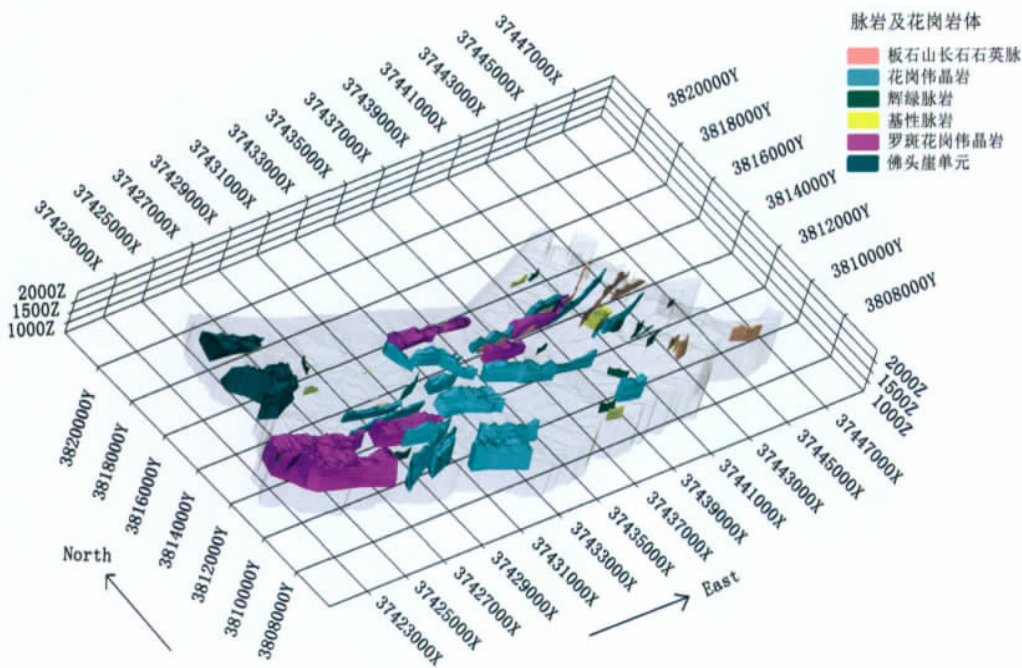


图 4 研究区岩浆岩分布

Fig. 4 Distribution of magmatic rocks in the study area

矿严格受控于太古宙地层，集中分布于太古宙太华岩群(Ar_2h)；然后是大月坪片麻岩(Ar_2D)，其次为武家坪片麻岩(Ar_2W)。因此选取以上地层作为有利地层信息预测变量(图 7)。

3.2 有利构造信息提取

在传统的矿产资源预测中，构造信息在二维层面上主要提取断裂优益度、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，它们分

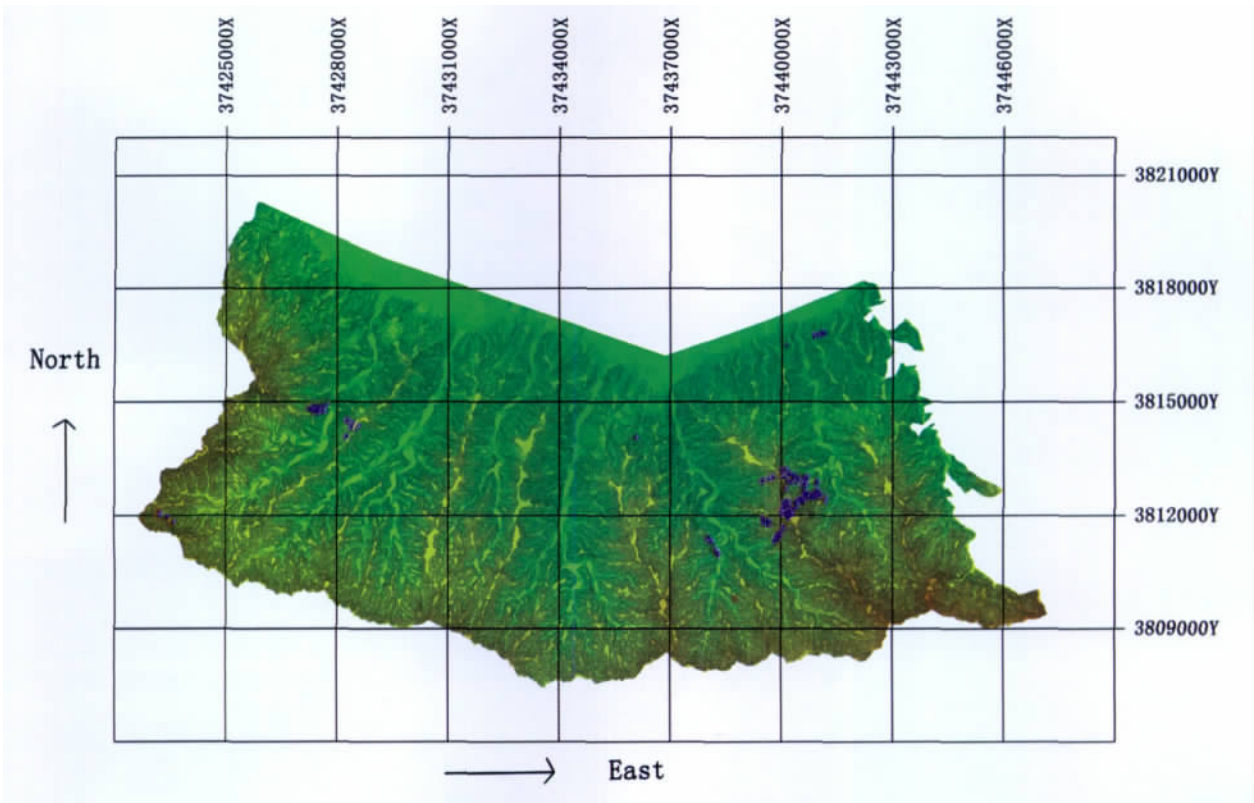


图 5 收集到的钻孔平面分布

Fig. 5 Plane distribution of the collected drilling holes

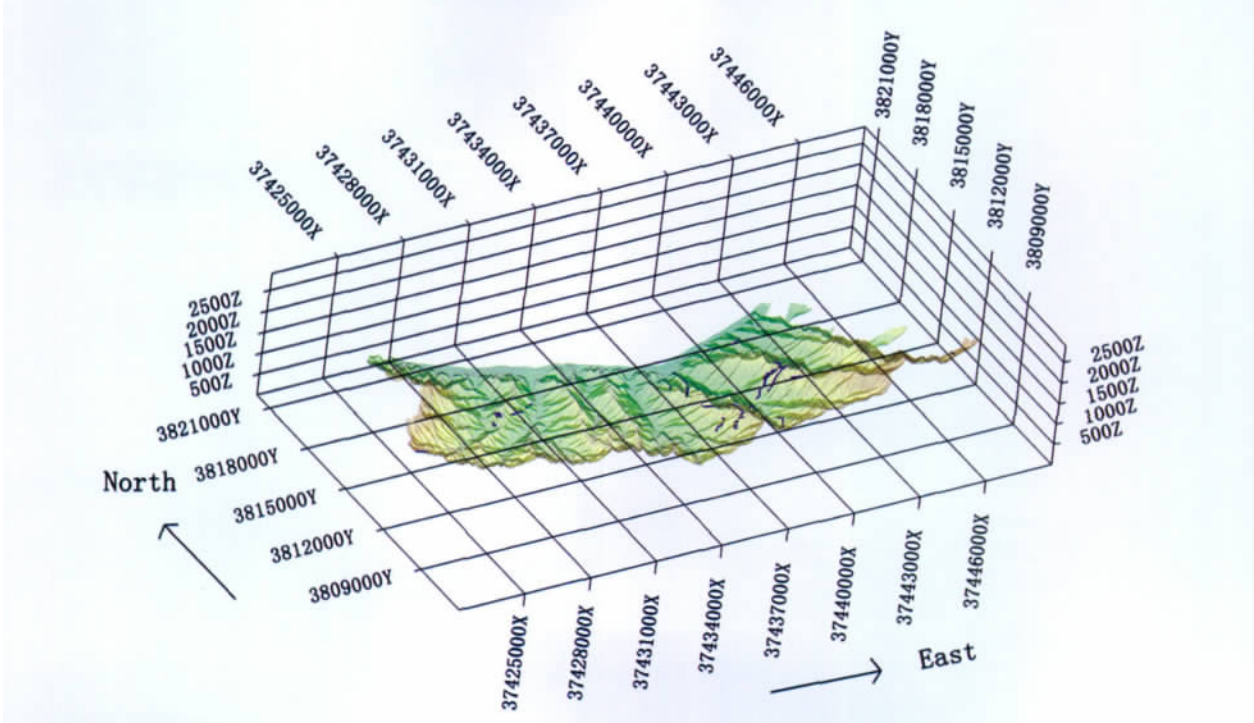


图 6 研究区坑道实体模型

Fig. 6 3D entity model of tunnel in the study area

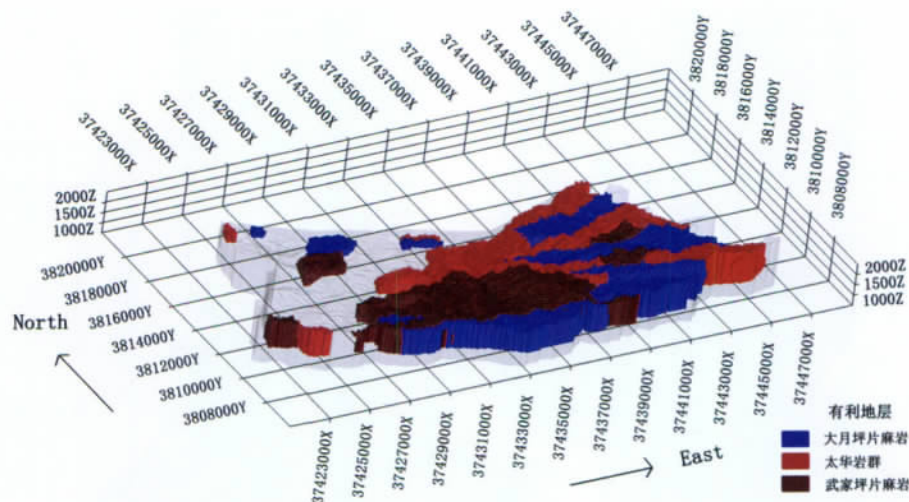


图 7 有利地层信息立方体提取

Fig. 7 Cubic information extraction of favorable strata

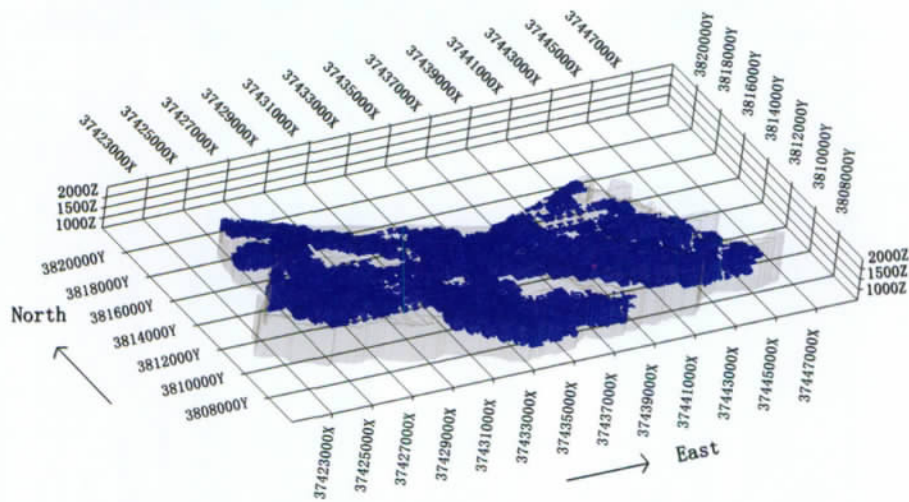


图 8 断裂优益度中利于成矿信息的立方体提取

Fig. 8 Cubic extraction of the favorable ore-forming information of advantage grade of fractures

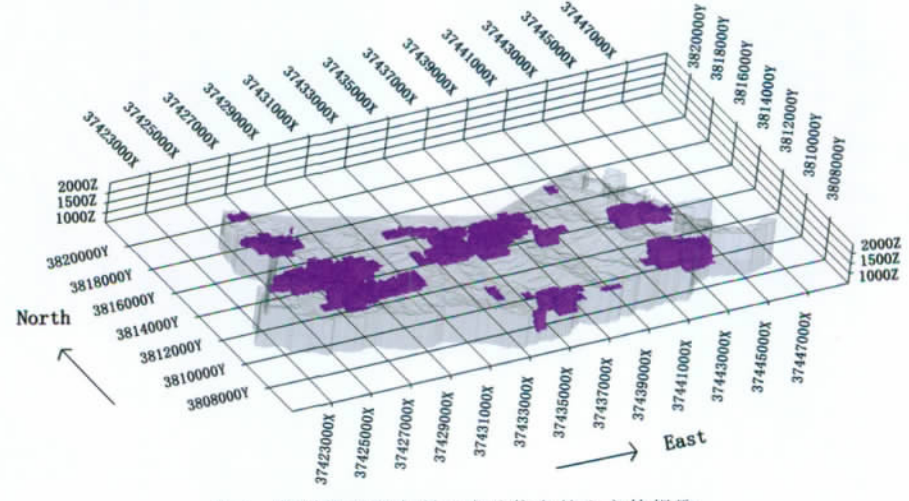


图 9 断裂等密度中利于成矿信息的立方体提取

Fig. 9 Cubic extraction of favorable ore-forming information of equidensity of fractures

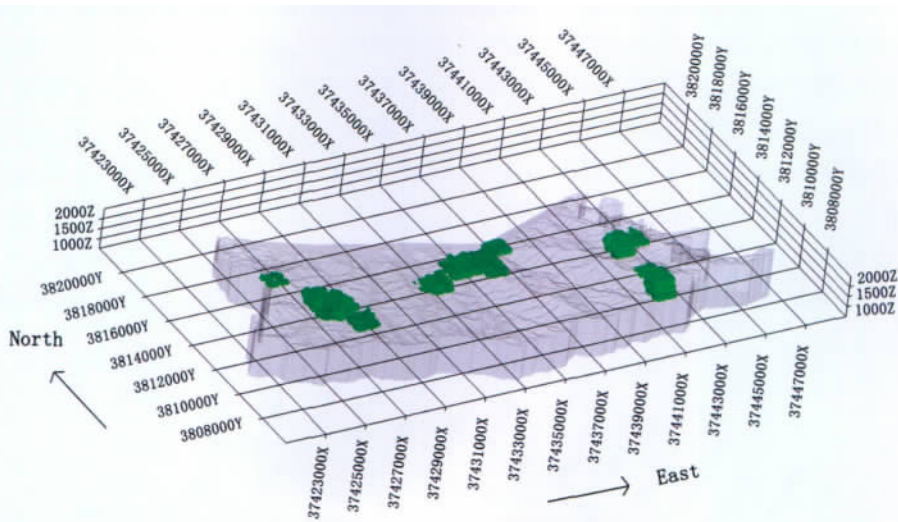


图 10 构造交点数中有利成矿的立方体提取

Fig. 10 Cubic extraction of favorable ore-forming information of cross-point numbers of structures

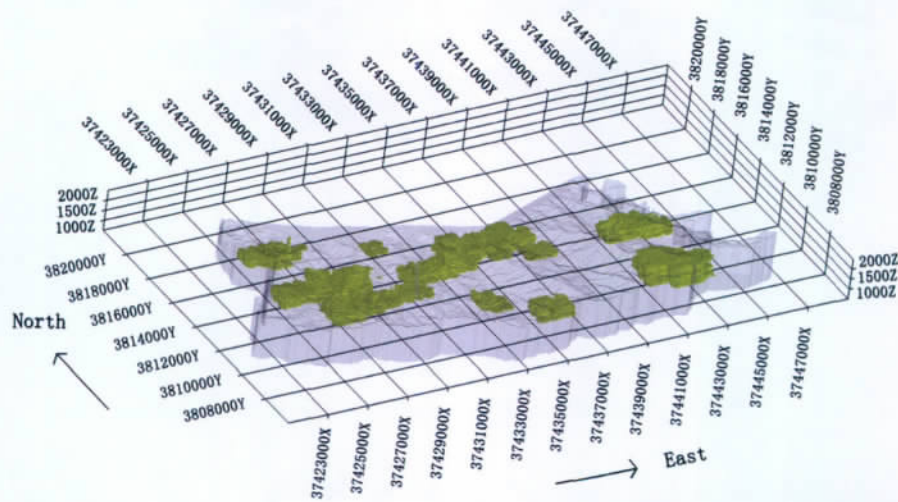


图 11 中心对称度中有利成矿的立方体提取

Fig. 11 Cubic extraction of favorable ore-forming information of central symmetry of structures

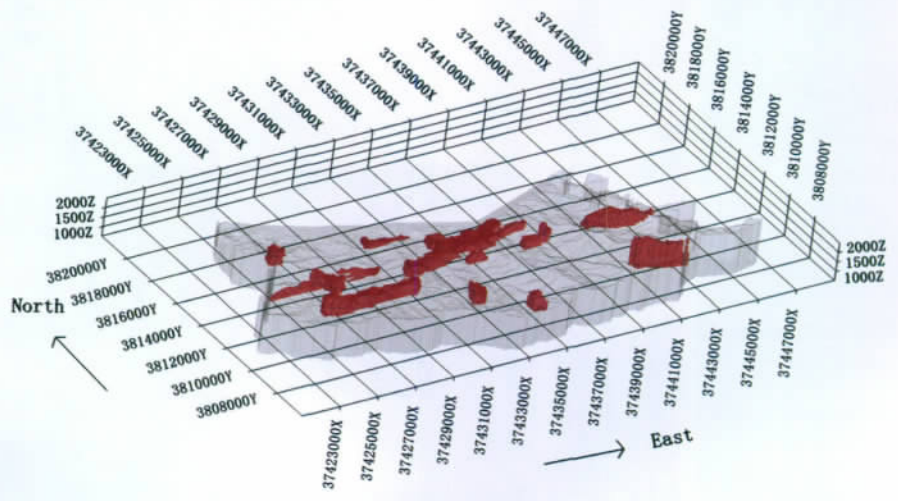


图 12 构造交会处 300m 缓冲区立方体提取

Fig. 12 Cubic extraction of the structural convergence 300m buffer

别从不同的角度反映了线性构造的特征,从中选取与成矿有关的特征,提取致矿信息^[6]。本次研究尝试性地将二维成矿预测中的这些被认可的变量分析拓展到三维空间内,从而为三维成矿预测提供新的变量。

根据区域二维预测中矿点分别与断裂优益度、断裂等密度、构造交点数、中心对称度的相交分析,以及典型矿脉中含矿立方块与这些变量叠加分析得出结论:含有矿体的立方块在断裂优益度属性值区

间[100,200]、[300,500]为最多;矿体集中分布的等密度值区间为[350,850],构造交会部位对成矿有利,中心对称度大于 0 的立方块与矿体立方块具有较高的一致性,因此分别将优益度值处于该范围内的立方块(图 8)、密度值范围为[350,850]的立方块(图 9)、构造交点数大于 0 的立方块(图 10)、中心对称度大于 0 的立方块(图 11)和构造交会处 300m 缓冲区立方体(图 12)、研究区大断裂 300m 缓冲区(图 13)作

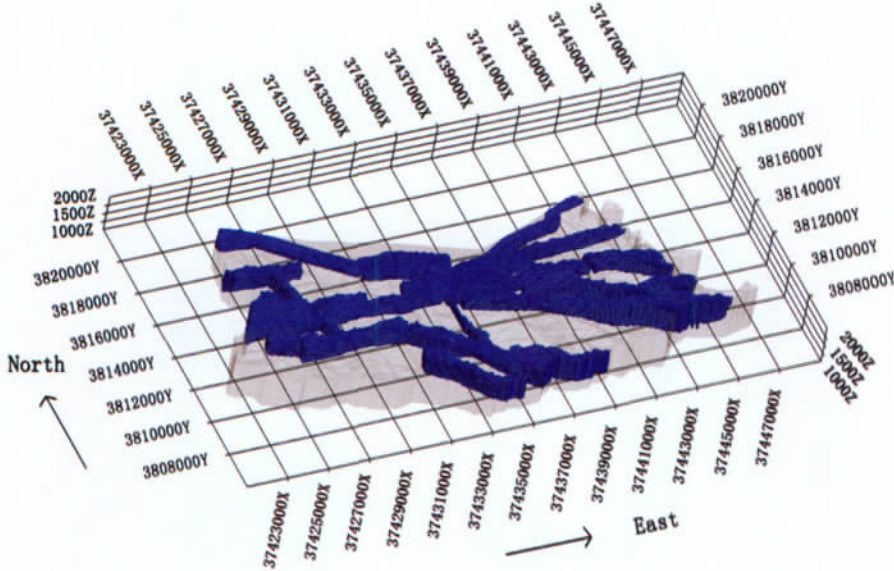


图 13 研究区大断裂 300m 缓冲区立方体模型

Fig. 13 Cubic model of fractures 300m buffer in the study area

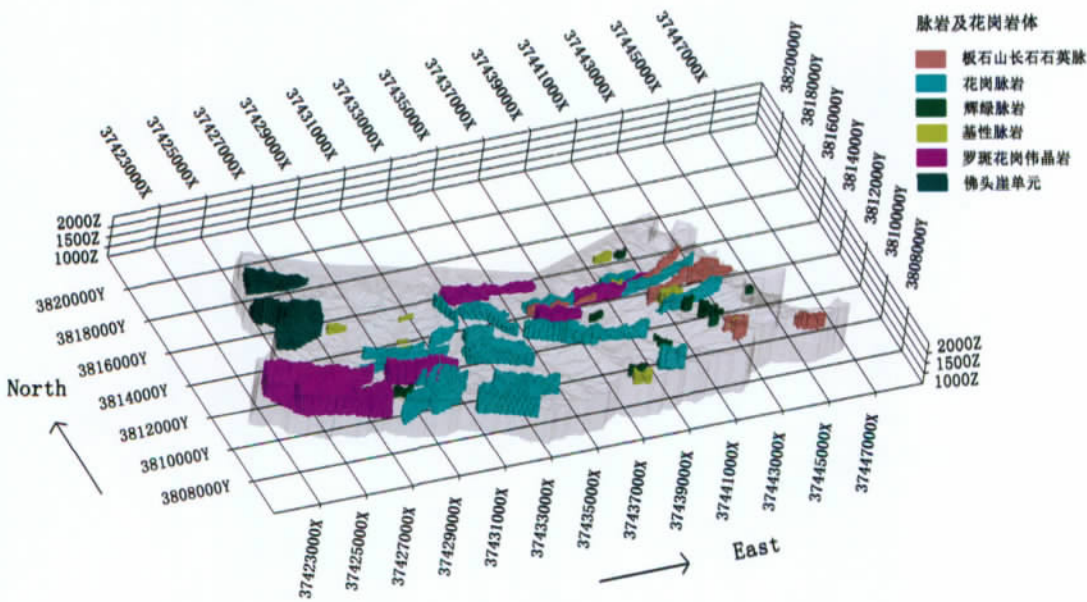


图 14 研究区花岗伟晶岩体和脉岩立方块模型

Fig. 14 Cubic model of granitic pegmatite and vein rocks in the study area

表 1 研究区金矿预测各个找矿标志权重值统计

Table 1 Statistics of weight in various prospecting criteria for gold prognosis in the study area

序号	找矿标志	特征值	综合权值	相对权值
L1	太华岩群 (Ar ₂ th)	Ar ₂ th	0.3356	0.0539
L2	大月坪片麻岩 (Ar ₂ D)	Ar ₂ D	0.2798	0.0448
L3	武家坪片麻岩 (Ar ₂ W)	Ar ₂ W	0.2224	0.0357
L4	构造交会	交会部位 300 m 缓冲区	1.0094	0.1620
L5	构造缓冲区	断裂 300m 缓冲区	0.5830	0.0936
L6	断裂优益度	[100,200][300,500]	0.6796	0.1091
L7	断裂等密度	[350,850]	0.7770	0.1247
L8	断裂交点数	>0	0.8807	0.1414
L9	中心对称度	>0	0.9261	0.1486
L10	花岗岩体	花岗岩体及岩脉	0.5396	0.0862

为对金矿成矿有利的预测因子。

3.3 有利岩体信息提取

尽管岩体并不在矿体附近出露，但岩体和脉岩之间是含矿热液到达的地方，是含矿热液迁移、沉淀、富集的有利场所，是金矿体赋存的地方，所以脉岩与金矿体之间的关系密切。据此提取出花岗伟晶岩体和脉岩的立方块模型(图 14)，作为金矿预测的一个变量。

4 研究区金矿三维定量预测

4.1 成矿有利度计算

由于研究区覆盖范围较大，且数据精度较低，为了能够在此情况下进行有效的成矿预测，对该区域今后的找矿工作起到指导性作用。本次工作采用三维信息量法对数据进行成矿有利度的计算。

首先，根据区域二维预测和典型矿脉 Q8 号脉三维预测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(表 1)，以此来定量评价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，用以评价找矿远景区进行预测。其基本原理和方法如下：

$$F=f(x)=a_1x_1+a_2x_2+a_3x_3+\cdots+a_nx_n \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i=1$$

式中： x_i 为各个找矿标志， a_1,a_2,\cdots,a_n 为每个找矿标志的相对权重值。

为了更好地反应不同深度层面断裂的控矿作用，对所有与断裂相关的变量因子(构造交会、构造缓冲区、断裂优益度、断裂等密度、断裂交点数、构造中心对称度)分别乘以深度变化系数 σ ，其计算公式如下：

$$\sigma=\ln\left(\frac{RL-500}{1600}\cdot(e-1)+1\right),RL\in[500,2100] \quad (2)$$

式中： σ 为深度变化系数， RL 为标高。

4.2 远景区圈定

根据提取的成矿有利信息，结合每种找矿标志的相对权值计算出该单元立方块的综合信息量，在研究区的三维空间范围内圈定了 8 个成矿远景区(图 15)，分别对每个远景区含有信息量高值的立方块数进行统计(图 16)，然后依据每个小区域找矿潜力的大小依次将其命名为 A、B、C、D、E、F、G、H。

4.3 资源量估算

把已知地区有代表性的单位体积矿产平均含量估计值外推到研究地区体积内的资源，这种估计方法称体积估计法^[7]。具体做法是，用控制区地壳单位体积内的矿产平均含量乘所研究地区的总体积，得到矿产资源估计值。公式如下：

$$T_2=\frac{T_1}{V_1}\times V_2 \quad (3)$$

法是资源估计的下限。

结合丰度估计法和体积法估算的结果,预测的靶区内资源量的上限为 1031.1t,下限为 649.6t。

5 结 论

(1)本项研究的特色可以概括为“三个结合”:资料的二次利用与定量分析,多元信息有效综合与资源评价方法,三维可视化与矿床的立体定位、定量预测相结合。

(2)本文成功地将二维成矿预测中反映线性构造致矿信息的定量化分析(主要包括断裂等密度、中心对称度、断裂优益度、构造交点数等变量)拓展到三维空间内,从而为三维成矿预测提供了新的变量。

(3)根据地质异常理论,选取了有利地层、断裂等密度、中心对称度、花岗伟晶岩脉等 10 个找矿标志,进行了深部金矿体的三维综合信息成矿预测,根据预测结果圈定了有利成矿远景区 8 处,对该区域今后的找矿工作具有指导意义^[8]。

(4)预测结果表明:金矿体的分布严格受到地层和断裂的控制,垂向上位于标高 750~1450m 之间。预测的靶区内资源量的上限为 1031.1t,下限为 649.6t。对典型矿脉 Q8 号脉、Q12 号脉的已知矿块

和预测矿块重合率进行统计,精度达到 51%以上,说明了本次预测的有效性。

致谢:在文章撰写过程中得到中国地质大学(北京)尚北川、唐超、郑啸博士和戎景惠、伍昱、马继义硕士的帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文献

- [1]Simon W Houlding. 3D geoscientific modeling computer technique for geological characterization[M]. Hongkong: South Sea Int. Press Ltd.,1994:1-309.
- [2]黎世美,瞿伦全,等.小秦岭金矿地质和成矿预测[M].北京:地质出版社,1996:67-192.
- [3]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.
- [4]高军辉,黄建军.陕西小秦岭含金石英脉的矿化富集规律[J].黄金科学技术,2008,16(5):7-11.
- [5]栾世伟,陈尚迪.小秦岭地区深部金矿化特征评价[M].成都:成都科技大学出版社,1991:1-180.
- [6]刘春学,秦德先,党玉涛,等.个旧锡矿高松矿田综合信息矿产预测[J].地球科学进展,2003,18(6):921-927.
- [7]范永香,阳正熙.成矿规律与成矿预测[M].徐州:中国矿业大学出版社,2003:187-279.
- [8]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):552-559.
- ① 陕西省地勘局综合研究队. 中华人民共和国区域地质报告(1:50000)华山幅、太峪口幅.1996.