# 基于证据权法的鹿井铀矿床三维预测研究

耿瑞瑞，范洪海，孙远强
核工业北京地质研究院，北京，100029

**关键词：**三维建模；多元成矿信息提取；三维证据权；靶区圈定；鹿井铀矿床

随着三维地质建模技术的深入研究，三维成矿预测技术的应用也在逐步发展，现在三维定量预测的研究对象从重点区域逐渐向矿床尺度扩展，随着理论和技术的不断更新完善，三维定量预测方法可进行找矿信息的精确分析，包括多源地学空间信息、地球物理和地球化学等识别标志信息，最大限度地提取找矿信息，实现深部三维成矿预（毛先成等，2016）。

## 1 矿床地质简介

鹿井铀矿床位于鹿井矿田的中部，产于花岗岩与浅变质岩接触带附近。矿床范围内广泛出露中寒武统茶园头组，与岩体呈侵入接触，其接触部位常发生热变质而发育角岩化、强硅化。岩浆岩主要为印支早期第二阶段中粗粒似斑状黑云母花岗岩（$\gamma_5^{1-2}$），其次为燕山早期第二阶段中细粒二云母花岗岩（$\gamma_5^{2-2}$）和燕山早期第三阶段细粒少斑黑云母花岗岩（$\gamma_5^{2-3}$）。区内断裂构造十分发育，北北东向的 QF2、北东东向 F2、北西向 F1、北东向 F3 和北东东向 F5 构成矿区内基本构造格架（任洁，2019）。矿床东部矿体基本赋存于寒武系浅变质岩中，西部矿体主要赋存于印支早期第二阶段和燕山早期第三阶段岩体中，并有少量矿体赋存于寒武系浅变质岩中。矿体形态较为复杂，多呈脉状、透镜状，向西部有品位升高，规模变大的趋势。

## 2 三维地质模型及空间分析

### 2.1 三维地质模型

三维地质建模以计算机为平台，将多元数据融合表达。本文利用 GOCAD 三维建模软件的 DSI 算法构建了鹿井铀矿床的三维地质模型，包括地层模型和岩体模型、断裂构造模型和矿体模型等。

### 2.2 三维空间分析

#### 2.2.1 地质体含矿性分析

通过统计中寒武统茶园头组浅变质岩、印支期第二阶段中粗粒似斑状黑云母花岗岩、燕山早期第二阶段细粒二云母花岗岩和燕山早期第三阶段中细粒少斑黑云母花岗岩中的含矿块数，分析其含矿性。

#### 2.2.2 空间距离场分析

对区内主要的控矿断裂 QF2、F2、F1、F3、F5 进行三维空间缓冲距离分析，通过分析已知矿块数与断裂缓冲距离的关系，确定断裂带的最佳空间缓冲距离为 60 m，包含了 80%的已知矿体，含矿率为 1.675%。

矿体赋存在接触带上下两侧，对其进行缓冲区距离分析，当缓冲距离到达 80 m 时，其含矿比例达 80%，根据距离属性，通过面域运算建立接触带缓冲区模型。

#### 2.2.3 空间形态场分析

断层的曲面分析主要通过其方位角进行分析，将断层曲面与已知矿体曲面模型做成玫瑰图加以分析，选取断层与已知矿体尽可能重合的方位区间 60°～80°和 200°～260°，将其视为最可能成矿的断层方位。

岩体顶面形态分析是分析岩体曲面的隆起、凹陷形态的一种方法（李晓晖等，2014），本次研究应用曲面的高斯曲率与平均曲率，两者不同的组合方式表达出不同的曲面形态，并对各曲面的含矿性进行了分析，接触面上的矿体表面模型的鞍脊面和

注：本文为中核集团集中研发项目“南方重点花岗岩型铀矿基地资源预测与扩大”（编号：LTD1602）和中核集团产研结合研究项目“华南富大铀矿空间定位条件与远景预测研究”（编号：202035-6）的成果。
收稿日期：2021-02-10；改回日期：2021-03-20；责任编辑：李曼。 DOI：10.16509/j.georeview. 2021. s1. 098
作者简介：耿瑞瑞，女，1987 年生，博士研究生，矿产普查与勘探专业；Email：grsunshine1987@163.com。

鞍谷面相对较多，均为 45%和 26%，将鞍脊面和鞍谷面作为预测因子，建立其立方体模块，用于定量预测。

## 3 结论

通过证据权算法获得预测因子的权值（表 1），后经最大似然比计算获得各立方块的后验概率值，将后验概率值分为 0.87～0.97 以及>0.97 两个成矿有利区间（图 1a）。在此基础上，进一步结合该矿床的成矿地质特征圈定了 3 个靶区（图 1b）。其中，靶区 A 位于 F5 断裂与 F1 断裂的近相交部位，25 号勘探线以东地区；靶区 B 位于 F5 断裂向西南延伸的矿床区域边部，该部位的已知钻孔的矿化品位较高，或为富集中心，其外围的区域或为有利部位。靶区 C 位于 QF2 断裂西南段的尾部，隐伏深度较大，为燕山期、印支期花岗岩接触带与断裂的相交处。

将矿床的地质成矿控矿因素与三维定量预测相结合，是知识驱动与数据驱动的成果，该成果不仅可指导研究区深部及外围的铀矿找矿工作，亦可为花岗岩型铀矿的三维定量预测工作提供借鉴。

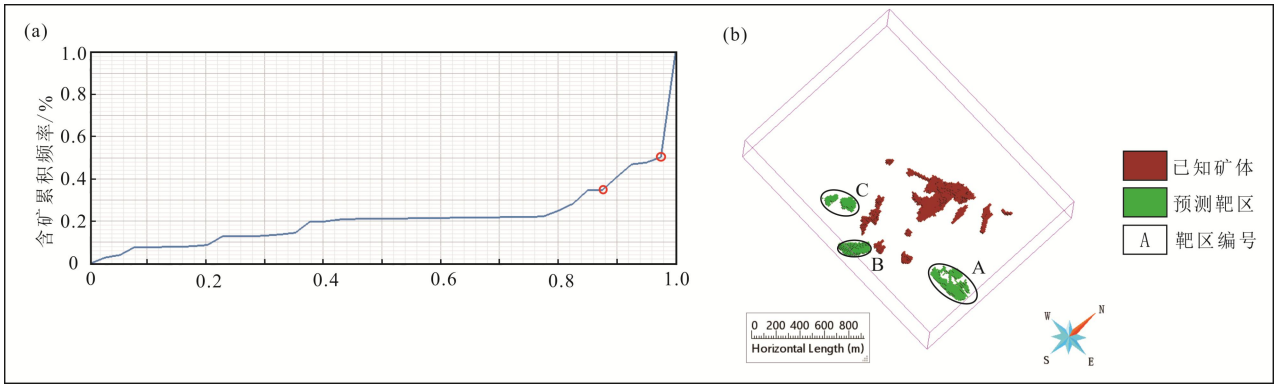


图 1 靶区圈定（a，后验概率累积频率；b，靶区圈定）

**表 1 鹿井铀矿床定量预测模型**

| 预测要素 | 定量描述 | 定量特征值 | $W^+$ | $W^-$ | C |
|---|---|---|---|---|---|
| 成矿有利地层 | 寒武系茶园头组 | 厚度 0～543 m | 0.143921 | -0.054383 | 0.198318 |
| 成矿有利岩体 | 印支期第二阶段花岗岩 | 厚度 0～495 m | 0.198094 | -0.137414 | 0.335509 |
| | 燕山早期第二阶段花岗岩 | 厚度 0～214 m | 0.007780 | -0.000373 | 0.008154 |
| | 燕山早期第三阶段花岗岩 | 厚度 0～749 m | 0.027084 | -0.009694 | 0.036779 |
| 岩体影响范围 | 岩性接触带缓冲 | 80 m | 0.673783 | -1.062114 | 1.735898 |
| 岩体曲面形态 | 鞍脊面 | $C_{平}<0$， $C_{高}<0$ | 1.175100 | -0.027406 | 1.202506 |
| | 鞍谷面 | $C_{平}>0$， $C_{高}<0$ | 1.580696 | -0.055958 | 1.636655 |
| 构造影响区域 | 断裂带缓冲 | 60 m | 0.607636 | -0.843220 | 1.450855 |
| 构造交点数 | 交点缓冲 | 60 m | 2.049414 | -0.089184 | 2.138598 |
| 构造方向 | 构造异常方位 | （60°～80°） | 1.478542 | -0.044711 | 1.523252 |
| gamma 异常 | U 异常值分析 | $>8\times10^{-6}$～$12\times10^{-6}$ | 1.509089 | -1.327170 | 2.836260 |
| 放射性水化学 U 异常 | U 异常值分析 | $>1.5\times10^{-6}$（μg/l） | 0.589804 | -1.497537 | 2.087343 |

## 参 考 文 献 / References

毛先成，张苗苗，邓浩，邹艳红，陈进. 2016. 矿区深部隐伏矿体三维可视化预测方法. 地质学刊, 40(3): 363~371.

任洁. 2019. 鹿井铀矿床成矿规律. 铀矿冶, 38(3): 165~170.

李晓晖，袁峰，张明明，贾蔡，周涛发，张淑虹，郑通科，高道明，洪东良，刘晓明. 2014. 宁芜盆地白象山矿区人工神经网络三维成矿定位预测研究. 地质学报, 88(4): 644～657.

**GENG Ruirui, FAN Honghai, SUN Yuanqiang： Study on the three-dimensional Quantitative prediction of Lujing uranium deposit**

**Keywords: 3D modelling； multi-metalloganic information extraction； 3D weights of evidence； target delineation； Lujing uranium deposit**