

隐伏矿定位预测中探查技术有效性评价

——以安徽铜陵凤凰山铜矿南区为例*

The effectiveness of exploration methods in location prediction of concealed ore deposits: a case study of the Fenghuangshan Cu ore deposit in Tongling, Anhui Province

杨 牧, 彭省临, 邵拥军, 赖健清, 杨 斌

(中南大学地学与环境工程学院, 湖南 长沙 410083)

YANG Mu, PENG ShengLin, SHAO YongJun, LAI JianQing and YANG Bin

(School of Geoscience Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

摘 要 文章以安徽铜陵凤凰山铜矿南区深边部隐伏矿勘查预测为例, 针对研究区矿床和矿体的定位规律和控制因素, 采用了构造地球化学、地电化学提取 γ 能谱测量、可控源音频大地电磁法、伪随机多频激电探测方法等多种技术方法在靶区开展多方法技术的隐伏矿定位预测, 运用因子分析和层次分析法对不同探查方法技术及其组合在综合信息优化集成技术体系中的有效性和有效度进行了研究。通过综合预测, 在研究靶区圈定了 4 个异常带, 其中 III 异常已得到工程验证。

关键词 定位预测; 因子分析; 层次分析; 有效性; 凤凰山铜矿

在隐伏矿定位预测的综合勘查与评价中, 各种探查方法对所探测矿种的有效性和有效探查方法组合在优化集成预测技术体系中的相对重要程度——有效度评价一直是一个亟待研究解决的技术关键。由于所采用的每种探查方法技术都只是针对所探查对象的某一属性特征(物理的或化学的)进行信息提取, 每种方法都有其很强的针对性, 而且所提取的信息基本都是一定范围内探查对象的物理和(或)化学性质的一个综合反映。每种方法所提取的信息中在多大程度上反映了探查目标体的存在可能, 以及各种方法所提取得这些综合信息之间的存在何种程度的关联性, 弄清了这些因素, 然后通过技术优化和信息集成, 那么定位预测的精度和准确度将得到大大提高。

1 矿区地质概况

凤凰山铜矿床位于新屋里复式向斜的中段核部, 矿区出露的地层主要为三叠系南陵湖组条带状灰岩和东马鞍山组白云质灰岩, 靠近岩体部位蚀变为大理岩。新屋里岩体呈岩株状产于新屋里向斜核部, 平面上呈椭圆形, 岩体与围岩呈明显的侵入接触, 接触面产状及形态随岩体部位不同和深度变化有明显的差异。沿岩体的接触带分布有一系列的磁铁矿-菱铁矿-铜、金矿床。矿体主要呈似“板状”和“不规则透镜状”产于

*第一作者简介 杨牧, 男, 1973 年生, 博士, 主要从事成矿学与矿床定位预测研究。Email: dwyjs@mail.csu.edu.cn

岩体与灰岩间的接触带上,为矽卡岩-斑岩型,受接触带和断裂构造的复合控制。根据钻孔和坑道揭露情况,矿体内部及其附近发育有强烈的钾化、石英-绢云母化、绿泥石化等,外围发育强烈的绿泥石化。

靶区内主要出露花岗岩闪长岩体和大理岩,还有正长岩、辉绿玢岩等后期岩脉,发育硅化、钾化、矽卡岩化和黄铁绢英岩化等蚀变和接触交代变质作用。江家冲附近有小型铜矿床,外接触带地表常见石英方铅矿细脉。

2 隐伏矿探查技术及应用情况

根据凤凰山铜矿矿床、矿体地质特征及控矿因素、定位规律的综合研究,以及目前国内外各种隐伏矿探查技术方法的技术特点,选用了三频激电、CSAMT、 γ 能谱、构造地球化学、地电化学提取 5 种探查技术在靶区内开展隐伏矿探查与预测。各方法的技术特点、探测参数和应用效果见表 1。

表 1 凤凰山铜矿南区找矿靶区探查方法技术特点和应用效果简表

探查方法	主要技术特点	主要测量参数	应用效果
三频激电	①测量速度快,精度高;②对金属硫化矿探测效果好,探测有效深度可达 700 m	视电阻率、视极化率、视频散率、激电相位等	在预测区内确定两个有意义的激电异常带,对应着两条接触带构造
CSAMT	①能探测大的电阻率差异,探测构造及硫化物矿很有效;②探测深度大,可达 1 000 m	卡尼亚电阻率、相位差、全域复电阻率等	含矿有利空间部位大致在 104 线至 112 线范围内,确定了 7 个有利找矿空间
γ 能谱	可圈定热液矿化蚀变带和岩体的分布范围	U、Th、K 和总量	对钾质蚀变及岩体分布的探查效果好,探测出 3 个综合异常带
构造地球化学	对导通性构造发育区的隐伏矿体效果好	Cu、Pb、Zn、Ag、Au、As、Sb、Mo 等 19 种元素	异常主要呈 NNE、NW 和近 SN 三个方向展布;圈定了 15 个 Cu 的异常浓集中心
地电化学提取	①对覆盖较厚的隐伏矿体探查效果好;②异常影响因素较多	Cu、Au	圈定了 3 个铜金异常带,与已知矿体有较好的对应关系

3 探查方法技术的有效性评价

3.1 数据采集与处理

为了探讨在隐伏矿定位预测中各种探查技术方法(组合)对目标体探测的有效性,首先对凤凰山铜矿预测靶区一定深度范围内与隐伏矿体有关的各控矿因素和找矿标志(包括断裂构造、矽卡岩化、蚀变组合、角砾岩带、大理岩与岩体接触带等 6 个因子)与地表和深部已知矿化(体)按 60×200 m 的网格,将各因子根据与矿化(体)关系的密切程度按 0(无关)、1(弱相关)、2(中等相关)、3(密切相关)分别赋值,再与靶区所采用的隐伏矿预测评价中所采用的 5 种方法技术的 7 项参数:构造地球化学($G\text{-Cu}/10^{-6}$)、地电化学提取($D\text{-Cu}/10^{-6}$ 、 $D\text{-Au}/10^{-9}$)、 γ 能谱测量($\sum\gamma$)、多频激电(F_s , $\Delta\Phi$)以及可控源音频大地电磁测深(ρ_s)按单元格列表后,首先进行归一化无量纲处理,然后利用单变量和多变量数据统计方法进行整合、分析。

3.2 应用因子分析对各探查方法技术的有效性评价

因子分析能归纳和提炼不同变量组合,从而将混合型原始数据形态转换为反映不同成因关系的数据形

态。在运用不同探查技术方法进行隐伏矿定位预测过程中, 尽管不同探查方法的探查对象及其属性特点均有显著差别, 但最终目标都是隐伏的矿化体, 都包含有或多或少的隐伏矿信息在其中。借助因子分析模型可以将不同方法所获得的探查变量组合进行分解, 通过分析变量组合的专属性, 可以推断隐伏目标体与各种探查技术方法之间的相关性程度, 从而了解方法组合对隐伏定位预测的有效程度。

对靶区各参数进行正交计算并进行了方差极大正交旋转, 根据计算结果, 第一主因子表现为 $\Sigma\gamma$ 、地电化学提取 Cu 与矿化、蚀变、SK 岩化、断裂构造组合, 因子载荷大, 其贡献率占总因子贡献的 28.9%, 反映 γ 能谱测量和地电化学提取 Cu 能对矿化、蚀变和 SK 岩化有较好的探查效果; 第二主因子为 $\Delta\Phi$ 、 $\Sigma\gamma$ 、地电化学提取 Cu、与矿化、蚀变、SK 岩化组合, 因子载荷较大, 其贡献率占总因子贡献的 12.3%。第三主因子为 $\Delta\Phi$ 、 ρ_s 、构造地球化学提取 Cu、矿化、角砾岩、接触带组合, 实际上 CSAMT 对深部大理岩与岩浆岩接触带有很好的探查效果, 对矿体也有较好的异常反应; 第四主因子则反映了激电法 F_s 与 CSAMT 相对相位 ($\Delta\Phi$) 测量结合可有效探测深部角砾岩带及接触带部位。

因子分析结果表明, 不同方法对探测目标体有着明显不同的探查效果, 采用 γ 能谱测量、地电化学提取 Cu、多频激电测量 F_s 、 $\Delta\Phi$ 和 CSAMT 电阻率测量、构造地球化学测量的方法组合能有效地探测研究区是否存在隐伏矿化体及预测矿体赋存部位。

3.3 层次分析对各探查方法技术的有效度评价

为了进一步分析各种隐伏矿定位预测中不同探查方法技术在信息优化集成技术体系中的相对重要程度, 对研究区所采用的 5 种方法技术的 7 项参数进行层次分析。

层次分析法, 是把 m 个评价因子排成 m 阶判断矩阵, 通过因子两两比较, 根据各因子的重要程度来确定矩阵中元素值的大小, 然后计算判断矩阵的最大特征根及其对应的特种子向量, 这个特征向量就是所求的因子重要程度系数。层次分析主要步骤分为: ①变量选择及重要性比较; ②各变量 (元素) 相对排序权重; ③进行判断的一致性检验; ④建立数学模型 (任若恩等, 1998; 彭省临等, 2005)。现将本次计算结果简述如下:

表 2 探查变量相对重要性判断表

变 量	最重要	相邻中值	很重要	相邻中值	较重要	相邻中值	稍重要	相邻中值	不重要
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_s				√					
$\Delta\Phi$			√						
ρ_s							√		
$\Sigma\gamma$					√				
D-Cu		√							
G-Cu	√								
D-Au						√			

排序权向量 $\overrightarrow{W_6} = (0.1056, 0.1590, 0.0318, 0.0697, 0.2375, 0.3504, 0.0462)^T$

一致性指标 $CI = \frac{\lambda_{\max} - 7}{7 - 1} = 0.0329$;

查表得随机一致性指标 $RI = 1.36$;

一致性比例 $CR = \frac{CI}{RI} = 0.0242$; 因 $CR < 0.1$, 故判断矩阵的一致性可以接受。

由此建立靶区综合预测数学模型为:

$$y = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_6) w^T = 0.1056x_1 + 0.1590x_2 + 0.0318x_3 + 0.0697x_4 + 0.2375x_5 + 0.3504x_6 + 0.0462x_7$$

从计算结果分析来看, 在研究区内已开展的各种找矿探查方法技术中, 有效度最高的是构造地球化学测量和地电化学测量, 其次是多频激电测量 CSAMT 方法, 对应各方法在综合预测中所占的权重依次是: 0.3504; 0.2375; 0.1590; 0.1056。这四种方法组合在靶区隐伏矿探测中的有效度可达 85.5%。根据该综合数学模型进行综合预测, 认为研究区从西向东共分布 4 个异常带, 其中 I 异常与已知矿体分布范围非常吻合。根据预测结果, 选择 III 异常进行验证, 在异常中心计施工了验证钻孔。验证钻孔深 671.86 m, 揭露矿体视厚度达 53.03 m。

参 考 文 献

- 彭省临, 刘亮明, 赖健清, 等. 2005. 层次分析法在矿床大比例尺定位预测中的应用. 大地构造与成矿学, 29(1): 71~77.
任若恩, 王惠文. 1998. 多元统计数据分析——理论、方法、实例. 北京: 国防工业出版社.

<http://www.kcdz.ac.cn/>