

找矿信息量法在成矿预测中的应用 ——以武当西缘铅锌铜矿预测为例

游远航, 杨建中, 胡 明, 杨 斌

(鄂西北地质矿产调查所, 湖北襄樊 441003)

摘 要: 在了解武当西缘地层、构造等地质背景的基础上, 深入分析了已知铅锌铜矿床的成矿特征和控矿地质因素。运用找矿信息量法对研究区进行综合定量成矿预测, 圈定了 7 个成矿远景区, 预测结果对于该区的进一步找矿具有一定的指导意义。

关键词: 找矿信息量法; 成矿预测; 铅锌铜矿; 武当西缘

中图分类号: P628. 1; P612 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2006)01-0058-05

0 引言

找矿信息量法属于统计分析方法。该方法应用于区域矿产预测, 是由 E. B. 维索科奥斯特罗夫斯卡娅(1968)及 N. N. 恰金(1969)先后提出的^[1]。它是地以地质异常理论为指导, 以地质、物探、化探、遥感、矿产分布等找矿信息为基础, 通过统计途径计算各地质因素、找矿标志所提供的找矿信息量, 定量地评价控矿地质因素和找矿标志对指示找矿作用的大小, 确定有利成矿部位。定量评价和预测是当前成矿预测的热点之一^[2-5]。本次研究运用此方法进行铅锌铜矿综合定量成矿预测, 取得了较理想的效果。

1 区域地质概况

武当西缘系指南秦岭印支褶皱带武当复背斜西部倾伏地带。研究区处于近 SN 向的莫霍面武当幔坡与旬阳幔坪过渡带和康腊德面武当坪台与漫川关—关口深坳槽过渡带(即深层构造变异带)上, 成矿条件优越, 是鄂西北地区的重要一级成矿带, 竹山银洞沟金银(铅锌)矿床和郧西锡洞沟铅锌矿床为此矿带内的主要矿床(图 1)。

研究区内地层除二叠系—侏罗系未出露外, 中元古界—第四系其他地层均有分布。中—上元古界武当岩群为变基性、酸性火山—沉积岩建造, 上元古界下震旦统耀岭河组为一套细碧角斑岩建造, 上震旦统陡山沱组和灯影组为变碎屑岩(夹细碧质火山岩)—碳酸盐岩建造组合, 下古生界为浅海相碳硅泥质岩—细碎屑岩夹碱性玄武岩—粗面岩组合, 上古生界为陆源碎屑岩—碳酸盐岩组合。其中, 武当岩群下部变火山岩组上岩段变酸性火山岩建造、震旦系上统灯影组碳酸盐岩建造为该区铅锌铜矿的主要赋矿层位。另外, 邻区陕西旬阳地区志留系和泥盆系中、上统分别是铅锌矿、锑汞金铅锌矿的重要产出层位, 本区古生界分布区与之属同一个成矿单元。

本区构造变形较为复杂, 主体构造线展布方向按演化顺序依次为 EW 向、NE 向(或近 SN 向)、NW 向和 NNE 向, 并相互叠加。断裂构造十分发育, 主要有伸展型滑脱剪切断层、具多阶段演化历史的区域性断裂、挤压推覆型韧性、韧—脆性剪切带、同褶皱幕的脆性、脆—韧性走向断层和复杂成因的脆性斜断层等。本区多表现为叠加复合构造控矿, 控矿断裂主要是韧性、韧—脆性剪切带, 脆性断层次之; 控矿褶皱主要是造山期挤压—推覆型褶皱。

区内岩浆活动频繁, 岩浆岩分布较广, 岩浆岩主要为中—晚元古代武当岩群变质火山岩和加里东期偏碱性的玄武—粗面质火山喷出岩和侵入岩。

收稿日期: 2005-01-31 改回日期: 2005-02-24

基金项目: 湖北省地质调查开发局科研项目(AA301C103)资助。

作者简介: 游远航(1972), 男, 湖北崇阳人, 工程师, 硕士, 主要从事地质矿产勘查及成矿预测工作。

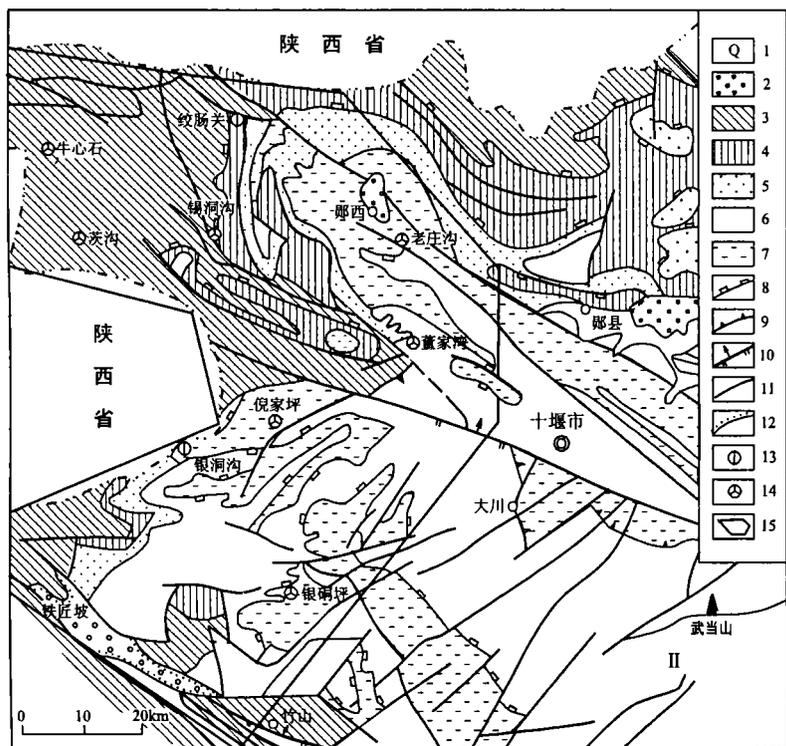


图 1 湖北武当西缘地质略图

Fig. 1 The geological sketch showing western Wudang of Hubei

- 1. 第四系 2. 中新界 3. 古生界 4. 震旦系上统 5. 震旦系下统耀岭河组 6. 中上元古界武当岩群变沉积岩组 7. 武当岩群变火山岩组 8. 主要滑脱构造或层滑断层 9. 脆-韧性断层 10. 脆性逆(斜)冲断层 11. 一般断层 12. 角度不整合界线 13. 银金矿 14. 多金属矿 15. 研究区范围

2 找矿信息量法原理简介

找矿标志对研究对象的作用是用信息量的大小来评价地质因素、标志与研究对象的关系密切程度。某种标志的找矿信息量用条件概率计算,即:

$$I_{A(B)} = \lg P(A/B)/P(A)$$

式中, $I_{A(B)}$ 为 A 标志有 B 矿的信息量, $P(A/B)$ 为已知有 B 矿存在条件下出现标志 A 的概率, $P(A)$ 为在研究区内出现标志 A 的概率。

由于总体概率估计上的困难,具体运算时,用样本频率值来估计总体概率值。此时

$$I_{A(B)} = \lg (N_j/N) / (S_j/S)$$

式中, N_j 为研究区内具有标志 A 的含矿单元数; N 为研究区内的含矿单元总数; S_j 为研究区内具有标志 A 的单元数; S 为研究区内的单元总数。

若 $I_{A(B)} = 0$, 表示标志 A 不提供任何找矿信息,

即标志 A 存在与否对找矿无影响; 若 $I_{A(B)}$ 为负值, 表示在标志 A 存在条件下对找矿更为不利; 若 $I_{A(B)}$ 为正值, 表示标志 A 能提供找矿信息, 且越大提供找矿信息越多^[1, 4, 6]。

3 武当西缘铅锌铜矿成矿预测

3.1 预测依据

成矿预测的依据有以下两个方面: 一是典型矿床的成矿特征和控矿条件指示预测。通过对本区典型矿床成矿特征的研究, 已大致查明该区铅锌铜矿床的控矿因素, 初步建立了该区 Pb, Zn, Cu 矿致地质异常概念模型, 以指导该区的 Pb, Zn, Cu 成矿预测工作; 二是预测工作主要是以地质异常理论^[6]、矿床统计预测理论^[1]为指导, 以矿致地质异常和多种成矿信息为依据, 采用定性分析与定量统计预测相结合的方法进行。

3.2 基本单元的划分

单元作为资源可能的载体是矿产资源定量预测中统计模型与地质模型

有机关联的关键环节, 其划分的正确与否直接关系到预测的精度及效果^[6]。本研究区预测比例尺为 1 : 10 万, 采用网格法划分基本单元。单元面积的大小采用加拿大地调局开发的基于 ARCVIEW 的证据权法软件模块中使用的公式($S = \text{研究区总面积} / \text{矿点数} / 40$)确定, 同时考虑单元划分的影响因素(如预测比例尺、地质复杂程度等), 为了更准确地指示找矿目标区的空间位置, 最终确定网格大小为 2.5 km × 2.5 km, 将研究区划分为 1 075 个基本单元, 已知有矿单元 21 个。

3.3 找矿标志及其信息量

根据本区矿致地质异常概念模型, 选择与矿化关系密切的地质、物探、化探和遥感标志(共 30 个)作为铅锌铜矿统计分析变量, 各标志状态按“0, 1”二态取值, 即各标志在单元中存在取值为 1, 不存在取 0。统计各标志在各单元的分布, 计算各标志的信息量, 结果见表 1。

表1 武当西缘找矿标志铅锌铜矿信息量计算结果

Table 1 The ore guide for prospecting lead-zinc-copper in western Wudang

标志号	找矿标志	N_j	S_j	$(N_j/N)/(S_j/S)$	$I_{A(B)}$
1	武当岩群变火山岩组	10	403	1.27	0.104
2	耀岭河组	8	303	1.352	0.131
3	陡山沱组	5	202	1.267	0.103
4	灯影组	5	132	1.939	0.288
5	中志留统	2	37	2.767	0.442
6	中泥盆统	1	36	1.422	0.153
7	叠加褶皱	5	194	1.319	0.12
8	次级褶皱倾伏端	3	81	1.896	0.278
9	顺层剪切带	8	372	1.101	0.042
10	NE向断裂	6	215	1.429	0.155
11	NW向断裂	9	450	1.024	0.01
12	SN向断裂	0	50	0	-
13	近EW向断裂	5	110	2.327	0.367
14	断裂交点	6	273	1.125	0.051
15	NW向线性影象	10	405	1.264	0.102
16	近EW向线性影象	11	374	1.506	0.178
17	NE向线性影象	7	373	0.961	-0.02
18	SN向线性影象	2	71	1.442	0.159
19	环形影象内外1.25 km	3	46	3.339	0.524
20	水系沉积物Cu异常	11	219	2.571	0.41
21	水系沉积物Pb异常	13	138	4.822	0.683
22	水系沉积物Zn异常	14	228	3.143	0.497
23	水系沉积物Ag异常	13	270	2.465	0.392
24	水系沉积物Au异常	7	301	1.19	0.076
25	NE向深断裂	1	118	0.434	-0.36
26	NW向深断裂	4	194	1.055	0.023
27	剩余布格异常<0	7	540	0.664	-0.18
28	剩余布格异常0~2	7	389	0.921	-0.04
29	剩余布格异常2~4	6	353	0.87	-0.06
30	剩余布格异常>4	10	356	1.438	0.158

3.4 确定有利找矿标志

据表1计算结果将所有标志按信息量由大到小进行排序,按下式计算有用信息的累计临界值,即:

$$\Delta I^+ = K \sum_{j=1}^n I_j$$

式中, K 为给定有用信息水平,经验取值为0.75, n 为正值的信息数。然后将各标志信息量由大到小进行累加,累计到 ΔI^+ 值,则累计的若干个找矿标志即为有利找矿标志^[1]。经计算后选取有利找矿标志共10个(表2)。

表2 武当西缘铅锌铜矿有利找矿标志选取结果

Table 2 Selected ore guide for prospecting lead-zinc-copper in western Wudang

标志号	找矿标志	信息量
21	水系沉积物Pb异常	0.683
19	环形影象内外1.25 km	0.524
22	水系沉积物Zn异常	0.497
5	中志留统	0.442
20	水系沉积物Cu异常	0.410
23	水系沉积物Ag异常	0.392
13	近EW向断裂	0.367
4	灯影组	0.288
8	次级褶皱倾伏端	0.278
16	近EW向线性影象	0.178

3.5 含矿远景单元的确定

利用各找矿标志信息量分别计算每个基本单元的信息量总和。根据研究区成矿地质条件和已知有矿单元信息量的大小,采取主观概率法确定预测单元的找矿信息量临界值为1.80,将大于临界值的基本单元选定为含矿远景单元,小于临界值的单元视为成矿无望单元。以此为依据,对研究区1075个基本单元进行判断,共确定含矿远景单元98个(其中包括13个已知有矿单元)。

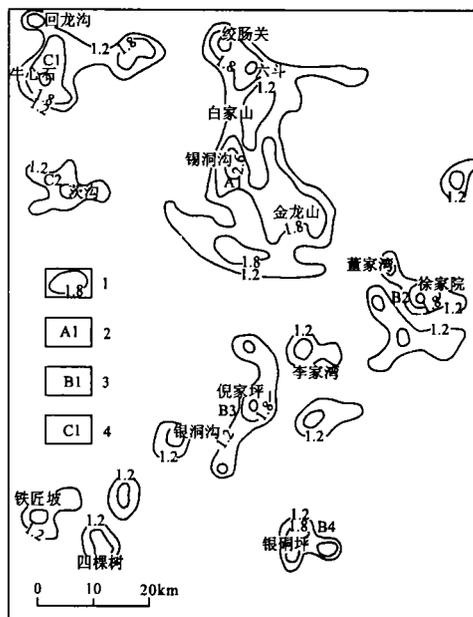


图2 武当西缘铅锌铜矿信息量等值线图

Fig. 2 The contour of lead-zinc-copper information values

1. 铅锌铜矿等值线及信息量值
2. A类预测远景区及编号
3. B类预测远景区及编号
4. C类预测远景区及编号

3.6 效果检验

针对确定的含矿远景单元 98 个中有 13 个已知有矿单元,全区内共有 21 个已知有矿单元,则 21 个单元中有 $13/21 \times 100\% = 61.9\%$ 与已知含矿单元重合,即含矿远景单元中找到铅锌铜矿的概率为 0.619。

3.7 成矿远景区圈定

将各单元的信息量总和作为基本单元中心点的值,绘制信息量等值线图(图 2),根据基本单元信息量的大小及其空间形态,圈定成矿远景区 7 个,其中 A 类远景区 1 个, B 类远景区 4 个, C 类远景区 2 个(图 2,表 3)。

表 3 武当西缘铅锌铜矿预测远景区地质论证及评价表

Table 3 The future prospecting targets and their geology

远景区编号	远景区位置	找矿信息量	成矿地质条件	潜力评价
A1	锡洞沟-金龙山	2.942	下震旦统耀岭河组 and 上震旦统灯影组分布较广;灯影组镁质碳酸盐岩较为发育;该区为多幕构造叠加区,位于马鞍川复式背斜西翼,发育层间剪切断层、NNW 向短轴褶皱和 NW 向脆性斜断层;区域变质程度为高绿片岩相与绿片岩相绿泥石带过渡部位;处于康氏面武当坪台过风楼次级低凸东南缘外侧;1:5 万水系沉积物 Ag, Au, Cu, Pb, Zn 异常多处。	该区总信息量高,面积大,地质背景条件好,寻找锡洞沟式铅锌矿的潜力极佳。
B1	绞肠关-六斗	2.577	区内出露上震旦统陡山沱组变碎屑岩夹变细碧质火山岩建造和灯影组镁质碳酸盐岩建造;为 EW 向、近 SN 向、NW 向多幕正向褶皱叠加部位;发育顺层韧性剪切断层和不同方位的脆性断层、节理裂隙带;区域变质为绿片岩相黑云母带;处于物探推断的 3 条 NNW 向弧形基底断裂与 NW 向基底断裂交汇部位和康氏面黄云铺凸起区;Ag, Au, Cu, Pb, Zn 异常多处。	该区总信息量高,面积较大,具有寻找 Pb, Zn, Cu 矿的良好前景。
B2	徐家院-董家湾	2.762	区内主要出露中、上元古界武当岩群变火山岩组上岩段变酸性火山岩建造;广泛发育元古代变辉绿岩岩床;北部处于 NW 向两郎右行走滑剪切带上, NW 向韧性、韧性剪切带规模较大,南部位于白河复式向斜仰起端部位,构造线呈 NE 向展布;区域变质程度达高绿片岩相;化探信息丰富。区内分布有徐家院多金属矿床。	该区总信息量高,构造条件尚佳,是多金属矿的找矿有利地区。
B3	银洞沟-倪家坪	2.768	出露中、上元古界武当岩群和下震旦统耀岭河组,武当岩群上岩组变酸性火山岩建造是银金铅锌矿的重要含矿层位和矿源建造;构造上处于银洞沟-油窄岗复式背斜西段北、北西翼和倾伏端;顺层韧性剪切断层和陡倾、带状韧性-脆性剪切断层发育;元古代变辉绿岩岩床分布广泛;Ag, Cu, Pb, Zn 异常多处。	该区总信息量较高,面积较大,银洞沟深部铅锌矿尚有潜力,倪家坪一带具多金属矿找矿前景。
B4	银洞坪	2.263	出露地层主要为中、上元古界武当岩群变火山岩组上岩段变酸性火山岩建造;构造线近 EW 向展布,褶皱构造均为倒转样式。发育顺层韧性剪切断层, NNW 向断层与 NE 向断层在区内交汇;元古代变辉绿岩床、岩脉分布广泛;区域变质程度为高绿片岩相;Ag, Au, Cu, Zn 异常丰富,且 Ag, Au 异常峰值高。	总信息量较高,有一定的多金属矿找矿潜力。
C1	胡家山	2.353	区内出露中、上志留统千枚状钙质、硅质、泥质碎屑岩建造,局部含碳;横跨胡家山 NW 向以上志留统为核部的倒转向斜和过风楼倒转背斜的北西倾伏端。发育 NE、NW 向两组断裂;区域变质程度为绿片岩相绿泥石带;化探信息丰富。	该区总信息量较高,面积较大,有武当西缘最大的 Zn 异常,与邻区陕西南沙沟大型铅锌矿属同一个成矿单元,寻找铅锌矿潜力较大。
C2	景阳	2.002	出露地层为奥陶系和下志留统变碎屑岩夹碳酸盐岩、硅质岩;构造线以 NW 向为主,东部转为近 SN 向,发育 NW 向、NNE 向及 NEE 向断裂;北侧分布有加里东期变辉绿岩;区域变质程度南部为高绿片岩相;Ag, Au, Cu, Pb, Zn 异常丰富。	与邻区陕西南沙沟大型铅锌矿属同一个成矿单元,有一定的铜铅锌矿找矿潜力。

4 小结与展望

(1) 通过对各预测远景区成矿地质条件的综合分析可看出(表3), 信息量的大小与对应区段的成矿地质条件所反映的找矿前景大小基本一致, 证实了该方法的合理性和可靠性。预测结果对于该区的进一步找矿具有一定的指导意义。

(2) 运用找矿信息量法圈定的成矿远景区与用传统的成矿预测方法所确定的有利找矿地段十分相似, 但与之相比, 此方法能定量地对多来源、多尺度的不同信息进行综合处理与分析, 信息量的大小能反映该单元相对的找矿意义, 比传统的定性预测更加科学合理。

(3) 找矿信息量法简单易行, 无需复杂的计算和太难的操作, 便于生产实际中推广应用。但基本单元的划分目前尚无明确的准则, 还需进一步探索。

(4) 基于 GIS 平台的矿产资源快速评价系统(MORPAS)基本开发完成, 它能实现预测过程的自动化; 随着各种基础空间数据库建设的逐步完善, 定

量成矿预测将更加快速、有效。并可以尽量减少人为操作的失误, 使预测结果更客观。

致谢: 本文为《湖北武当地区铜、银矿控矿条件、成矿规律及找矿方向研究》的部分成果; 在论文的撰写过程中, 得到项目组人员的帮助, 蔡志勇高工、罗洪高工和张锡鹏高工审阅了全文, 在此深表谢意。

参考文献:

- [1] 赵鹏大, 胡旺亮, 李紫金. 矿床统计预测[M]. 北京: 地质出版社, 1983. 52-53, 104-107.
- [2] 王勇, 陈邦国. 找矿信息量法在铜山铜矿成矿预测中的应用[J]. 地质与勘探, 2002, 38(3): 49-51.
- [3] 黄海峰, 姚书振, 丁振举. 基于 GIS 的证据权重法在成矿预测中的应用——以甘肃省岷县—礼县地区的金矿预测为例[J]. 地质科技情报, 2003, 22(3): 77-82.
- [4] 肖克炎, 张晓华, 郑邦辉, 等. 成矿预测中证据权重法与信息量法及其比较[J]. 物探化探计算技术, 1999, 21(3): 223-225.
- [5] 郑玉清, 王建琼. 滇东地区铂钯无模型定量成矿预测与评价[J]. 地质与勘探, 2004, 40(3): 20-25.
- [6] 赵鹏大. 定量地学方法及应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 23-24, 279-288.

APPLICATION OF PROSPECTING-INFORMATION CONTENTS METHOD FOR MINEROGENETIC PREDICTION: A CASE STUDY ON PREDICTION OF LEAD-ZINC-COPPER DEPOSIT IN WESTERN WUDANG AREA

YOU Yuan-hang, YANG Jian-zhong, HU Ming, YANG Bin

(Northwestern Hubei Survey of Geology and Mineral Resources, Xiangfan 441003, China)

Abstract: Based on the comprehensive analysis of geology background and lead-zinc-copper mineralization and ore-controlling conditions of western Wudang, the authors apply prospecting-information contents to synthesize quantitative minerogenetic prediction. The prediction shows 7 minerogenetic prospective areas. The conclusion of prediction has some indication for further ore-prospecting of this area.

Key words: prospecting-information contents; minerogenetic prediction; lead-zinc-copper deposit; western Wudang