

基于 Arc-WofE 系统的证据权法在层控型 铅锌成矿预测中的应用

严冰¹, 阳正熙¹, 王小春²

(1. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059; 2. 四川省冶金地质勘察院, 四川 成都 610059)

摘要:通过分析四川宁南地区层控铅锌矿床成矿特征,建立了基于 GIS 平台的应用图层数据库,采用 Arc-WofE 系统进行证据权法模拟预测,划分出 13 个铅锌成矿远景区。通过对宁南地区现有矿床的分析,认为证据权法数学预测模型对区域成矿远景区预测有较高的准确性和科学性,同时在和 Arc-WofE 系统结合后,可对多源信息进行空间位置综合处理并形成新的综合变量,能更全面、客观的反映地质体空间特征,使成矿预测更加准确。

关键词:证据权法;证据层;铅锌矿;成矿预测

传统的圈定成矿预测区做法是在透图台上,把研究区内地球化学异常和地球物理异常叠加在相同比例尺的地质图上,根据地质、地球化学以及地球物理特征的叠合程度圈定目标矿床类型的成矿预测区;或者采用多元统计预测的方法进行数学概率预测^[1],使对大量多源信息间相互空间位置进行分析成为必然。多源信息的综合与分析实质是求异和定量组合控矿理论的应用^[2],只有通过适宜的数学模型结合相对应的 GIS 软件,对多源信息进行空间位置的叠加、复合处理才可获得新的、全面反映区域内地质要素空间特征的综合变量,使成矿预测结果更具可信性和客观性。笔者在对四川省宁南地区层控型铅锌成矿预测研究中,采用美国地质调查所和加拿大地质调查所合作开发的名为 WofE 的 Arc-GIS 扩展平台,成功的实现了基于 GIS 的铅锌矿化证据权法模拟,完成了对层控型热液铅锌矿成矿远景区的圈定。

1 区域地质特征

宁南地区位于扬子地台西缘,康滇地轴东侧。该区域地层发育完整(图 1)^[3]:前震旦系为一套伴有中酸性火山堆积的变质岩系,构成本区深变质的结晶基底和中-浅变质的褶皱基底;下震旦统是以酸性为主的陆相火山岩系或陆源碎屑岩系;上震旦统一二叠统为滨浅海碎屑和台地碳酸盐岩多次交替沉积,其中上震旦统灯影组、奥陶系大箐组和红石崖组为本区重要赋矿层位。上二叠统为海相-陆相玄武岩;上二叠统一古近一新近系为陆相碎屑沉积。区域内岩浆岩

分布广泛,主要为前震旦系中酸性花岗岩浆和海西期玄武岩浆。

本区为断裂密集发育区域(图 1),各级断裂大致构成近 NS 向、近 EW 向两组断裂带。其中近 EW 向断裂为先期断裂,对本区构造演化和构造格局起控制作用,并对区域内后期断裂有着重要影响。近 NS 向断裂规模大,演化延续时间长,对区域内沉积盖层的形成、火山活动、构造变形活动和成矿作用等起着控制作用,是川滇地区铅锌成矿带得以形成的重要因素^[4]。

2 铅锌矿床控矿地质要素

通过对研究区内铅锌矿床成矿特征和空间位置的研究,认为宁南地区铅锌成矿与下述地质因素关系密切:

(1) 有利成矿地层。研究区内 21 处已知矿床赋矿层位为下寒武统灯影组、志留系石牛栏组、奥陶系大箐组和红石崖组,表明区域成矿具有显著的层控性。各矿床的容矿围岩均以微晶白云岩、含燧石结核白云岩和生物碎屑灰岩为主,而较惰性的砂岩、页岩中一般很少成矿,表现出铅锌矿床的富集具有明显的岩性及岩相选择。

(2) 成矿与区域内不同期次、方向、性质的断层切、复合部位有关。断层构造与褶皱构造轴部相交接、复合部位及断层分布密集的地区与成矿更加密切。

(3) 区域内广泛分布的前震旦纪中-酸性花岗岩体、海西期玄武岩体、岩脉与成矿也有密切关系。

(4) 成矿分布多沿断层走向展布,与岩体关系密

收稿日期:2005-03-07;修订日期:2005-05-20;作者 E-mail: yb200302003@sohu.com

第一作者简介:严冰(1977-),男,四川内江人,1999年毕业于成都理工大学,在读硕士,从事成矿规律与 GIS 成矿预测研究

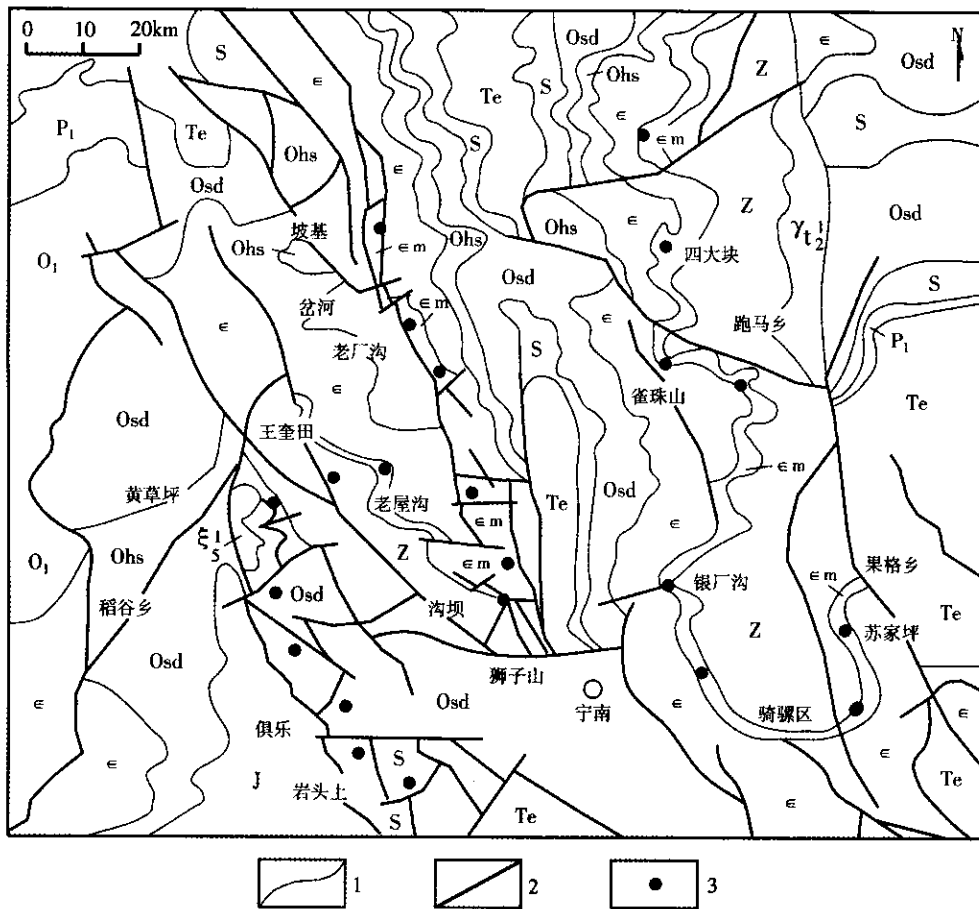


图 1 四川省宁南地区区域地质图
Fig.1 Geological map in Ningnan region, Sichuan
(据四川省冶金地质勘察院资料修编, 2004)

1. 地质界线; 2. 断层; 3. 铅锌矿床(点)
J——侏罗系砂岩; Te——三叠系峨眉山玄武岩; P₁——二叠系下统末分組; S——志留系砂岩、白云岩互层; Osd——奥陶系大筲组;
O₁——奥陶系砂岩; Ohs——奥陶系红石崖组; ξ₁₅——寒武系砂岩、白云岩互层; γ_{t2}——灯影组麦地坪段; Z——震旦系碳酸盐岩;
ξ₁₅——三叠纪霞石正长岩; γ_{t2}——前震旦纪花岗斑岩

切的 Pb、Zn 异常分布带也与成矿有一定关系。当岩体边缘出现沿接触带发育的断裂破碎带和有利的成矿地层或断裂构造与褶皱构造轴部相交切、复合时,成矿前景较为有利。

3 证据权法简介

证据权法用于组合各种来源的空间数据,描述和分析数据之间的相互作用,建立预测模型,为决策者提供支持。这种方法在 80 年代末期由加拿大数学地质学家 Agterberg 和 Bonham-Carter 发展、应用在矿产资源预测领域^[5],并最终形成较为完善的矿产勘查数学地质模型。在成矿预测中,证据权法的基本原理是把每一种成矿信息(转化为存在或缺失的二元图)都看作成矿预测的一个证据因子,每一个证据因子对成矿预测的贡献是由该因子的权来确定的。证据权模

拟的目的就是要确定这些与已知类型的矿床(点)相关的二元图的证据权^[6],计算出研究区内任意空间位置的成矿概率值,并以可视化图形的方式圈定出成矿远景区。该方法可分解为 4 个步骤:①建立空间数字数据库;②根据矿床勘查模型提取目标矿床类型的预测证据层;③计算每个证据专题图的权重值;④综合各证据专题图、圈定成矿远景区。

4 数据库图层的选择与处理

4.1 建立 GIS 数据库

宁南地区矿产地质数据库是在收集本区域矿产资料基础上,利用 Arc-GIS 自动成图功能,建立的 1:10 万区域铅锌矿点数据库,区域内不同走向线形构造数据库;从西南冶金地质勘察院 1:50 万地质空间图库中,经放大、剪切得到本区域 1:10 万地质空间图库;经过

收集区域物化探资料,建立了区域物化探异常数据库。

4.2 有利证据层选择

参照 Agterberg, A 教授选择证据层原则^[5],对宁南地区铅锌成矿证据层选择如下:

成矿地层 本区铅锌矿资源为公认的典型层控型矿床,有利的成矿地层是与成矿活动关系最为密切的因素之一。区域内共出露 21 类不同地层,据统计,已成矿床主要赋存于下寒武统灯影组麦地坪段、志留系石牛栏组、奥陶系大箐组,红石崖组有零星分布(图 2)。根据其不同层位与成矿相关度大小并考虑赋矿岩性组合因素,选择灯影组麦地坪段、志留系石牛栏组、奥陶系大箐组为有利成矿证据层。

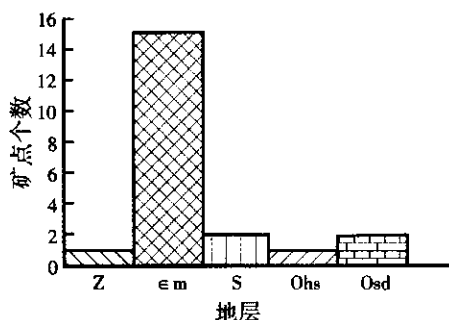


图 2 宁南地区铅锌矿地层分布统计直方图

Fig.2 Statistical histogram of Pb-Zn deposits in strata of Ningnan region

Z——震旦系碳酸盐岩; em——灯影组麦地坪段; S——志留系砂岩、白云岩互层; Ohs——奥陶系红石崖组; Osd——奥陶系大箐组

断裂带 区域内断裂构造与成矿关系密切,已成矿床多赋存于断裂分布密集、不同走向断裂相互交切、复合地区。按照断裂带不同走向,可将其分为近 EW 和近 NS 向二组断裂带,并建立相应的 Arc-GIS 数据层作为证据层,以研究二组不同走向断裂带对铅锌成矿过程的影响。

断裂带交汇点 作为不同方向应力作用的交汇点,断裂带交点地区通常能为成矿物质的运、储、存提供有利条件。通过 Arc-WofE 系统“Generalize Evidential theme”功能对二组不同走向断裂带图层的处理,生成作为有利证据层之一的断裂带交汇点图层。

岩浆岩体 区域内所有已成铅锌矿床具有明显的热液矿床特征,广泛分布的岩浆活动可为矿床形成提供必须的热源。根据岩体出露规模、性质及其与已成铅锌矿床(点)的相互空间位置,提取海西期峨眉山玄武岩、三叠纪霞石正长岩和前震旦纪花岗斑岩体分别作为 3 个独立有利成矿证据层。

化探异常 化探异常作为地表元素富集的表象,对成矿远景区的圈定具有直接指示意义。根据所收集的资料,将 Pb、Zn 元素化探数据作为有利证据层之一。

在确定矿床(点)受不同控矿因素作用的前提下,基本实现了对本区域证据层的优选。

4.3 有利证据层处理

各种不同性质、不同规模的控矿要素,与区域成矿的紧密关系不尽相同。为使对区域成矿远景区的预测更加准确,应对优选后的有利证据层进行影响范围预处理。根据控矿要素的不同性质与规模,应用系统中“buffer”功能将各点性、线性和面性证据层,以其作用范围为参数生成新的缓冲区证据层。缓冲区证据层为栅格数据模式,在生成证据层时,应当指定较多的栅格行、列数以减小栅格面积、提高预测精确度。

证据层预处理后,以新的缓冲区证据层为数据源,通过系统中“Calculate Response theme”和“Create chart”功能计算各证据层值(表 1)。

表 1 宁南地区有利证据权参数表
Table 1 Weight parameters of evidence layers in the Ningnan region

证据层因子	W ⁺	W ⁻	C
灯影组麦地坪段	0.813	-1.168	1.981
志留系石牛栏组	0.337	-0.472	0.809
奥陶系大箐组	0.349	-0.425	0.774
峨眉山玄武岩	0.497	-0.513	1.010
花岗斑岩	0.274	-0.431	0.705
霞石正长岩	0.249	-0.367	0.616
EW 断层条数	0.315	-0.346	0.661
NS 断层条数	0.823	-1.031	1.854
断层交汇带	0.671	-0.879	1.550
Pb 异常	0.765	-1.172	1.937
Zn 异常	0.742	-1.241	1.983

注:W⁺:证据层因子存在权重值; W⁻:证据层因子缺失权重值; C:证据层因子与成矿相关度

5 证据权法的 GIS 模拟与结果分析

5.1 GIS 模拟

证据权法数学模型的预测结果是一份成矿后验概率图,其值在 0~1 之间,数值越大,表明发现矿床(点)的概率越大。采用作证据权重值单元频散图求拐点的方法,得到成矿后验概率拐点值,以此作为成矿概率临界值^[7],圈出后验概率大于临界值的地区,即得到成矿预测远景区。以宁南地区为例,圈出的铅锌成矿预测图见图 3。在模拟过程中,成功与否的关键在于确定含矿单元面积,其基本原则是一个单元含有且只能含有一个矿床(点)^[8]。在 WofE 扩展平台的“Set Analysis Parameters”选项中,系统自动给出了供参考的单元面积值,该值小于模拟所需要的最佳值。通常情况下,单元面积值的设定需要综合考虑研究区内各种控矿因素和地质事实,在不影响模拟精度的前提下自行设定。

5.2 结果分析

在图 3 中应用 Arc-WofE 系统共圈定了 13 个成

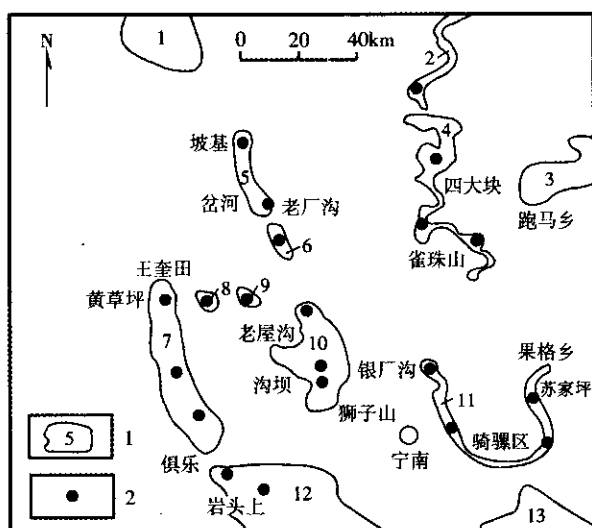


图 3 四川省宁南地区铅锌成矿预测图

Fig.3 Lead-Zinc metallogenetic prognosis map of Ningnan region, Sichuan Province

1. 成矿预测区; 2. 铅锌矿床 (点)

矿远景区,联系区域内地质因素及铅锌成矿特点,笔者认为:①13个预测成矿远景区出露地层都为研究区内有利含矿地层,具有明显层控特点,同区域内已知铅锌矿床的层控性是相吻合的,这说明预测结果是基本可靠的;②2、4~12号远景区涵盖了区域内已知的21个铅锌矿床(点),说明预测结果对已知条件没有出现漏判;③1、3、13号预测区尚未发现铅锌矿床(点),但这3个预测区都位于较大断裂带和大型岩体附近,并为对成矿有利的奥陶系,具有同其余预测区相似的成矿条件.根据对各证据层权重的计算,成矿有利地层、近EW向断裂带和较大规模岩浆岩体是对成矿作用影响最大的因素之一,所以这3处尚未发现矿床(点)的预测区是应当引起注意的区域.

6 结论

(1) 预测结果共圈出成矿远景区13个,全部为有

利成矿地层出露区域,涵盖了区域内所有已成矿床(点),其中有3处远景区尚未发现铅锌矿床(点).分析认为:采用证据权法进行成矿预测具有较高可信度,对该区域进一步找矿工作具有指导意义.

(2) 证据权法在进行成矿预测的过程中,可以对大量的多源信息进行有效的优化综合处理,将预测结果以可视化的方式表示出来.在和Arc-WofE系统结合后,可以对各类图形进行操作,对多源信息进行空间位置综合处理,得到更能表示空间地质特征的新变量,使矿产预测更具可信度.

(3) GIS是一种处理空间信息的有效技术,适宜的数学模型结合相应的GIS功能模块,能极大的提高GIS技术在矿产资源预测领域的应用范围.使用GIS技术进行矿产预测成功与否的关键在于:①选择有利的数学预测模型及相对应的功能模块;②建立标准的、全面的应用数据库.同时,在预测过程中应当考虑成矿过程的特殊性和耦合性,联系已知的地质事实,对预测结果进行全面分析,使最终预测结果更加客观、更加符合地质事实.

参 考 文 献

- [1] 赵鹏大.矿床统计预测[M].北京:地质出版社,1983.
- [2] 胡光道.陕西勉略宁地区成矿预测研究工作方法及思路[J].地球科学,1999,14(增刊):29-34.
- [3] 邵世才,李朝阳.扬子地块西缘震旦系灯影组层控铅锌矿床的成矿规律及形成超大型矿床的可能性[J].云南地质,1996,15(4):345-350.
- [4] 吴学益,吴惠明,李省芬.扬子地块西南缘区域成矿的大地构造背景和矿床形成的构造控制[J].矿物学报,1997,17(4):376-385.
- [5] Frederik P. Agterberg, Graeme F. Bonham-Carter. Logistic regression and weights of evidence in mineral exploration[M]. Proceedings APCOM Symposium, 1999.
- [6] 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.
- [7] boleneus D E, Raines G L, Causey J D, et al. Assessment method for epithermal gold deposits in northeast Washington State using weights-of-evidence GIS modeling[M]. U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2001.
- [8] 严明疆,帕拉提·阿不都卡迪尔.证据权法在成矿预测中的应用[J].新疆地质,2003,21(4):491-492.

APPLYING THE ARC-WOFE SYSTEM TO PREDICT THE POTENTIAL FOR STRATABOUND PB-ZN

YAN Bing¹, YANG Zheng-xi¹, WANG Xiao-chun²

(1. Geosciences College of Chengdu University of Technology, Sichuan, Chengdu 610059, China; 2. Sichuan Institute of Metallurgical Geology & Exploration, Sichuan, Chengdu 610059, China)

Abstract: Based on the metallogenetic characteristics of the stratabound Pb-Zn deposits in Ningnan region, 13 potential areas for Pb-Zn deposits are delineated using GIS-based modeling. Using the Gal-Sph deposit in Ningnan region, weights of evidence prediction model show preferred precision for predicting minerals resources. Information to create new preferable compositive variables was integrated using the Arc-WofE system.

Key words: weights of evidence; evidence layer; Pb-Zn deposits; metallogenetic prediction