

在 ArcGIS 栅格数据环境下的 综合信息成矿预测

张会琼¹, 张寿庭², 韦昌山³, 王京彬⁴, 王玉往⁴

(1. 中色地科矿产勘查股份有限公司, 北京 100012; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;
3. 中国地质科学院地质力学所, 北京 100081; 4. 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100012)

摘 要 探索有效的成矿预测方法, 一直是矿产勘查领域的前沿与热点, 近年来基于 GIS 综合信息成矿预测受到国内外地质学者所关注。文章以广西佛子冲铅锌矿田为例, 尝试在大比例尺范围内, 以已知矿体与地、物、化信息的空间相关性作为预测依据, 从地质背景出发, 对研究区已有地、物、化等多源信息进行综合分析。基于 ArcGIS 空间分析模块, 在栅格数据环境下建立空间数据库, 进行二次信息提取, 以及依据专家打分模型、权重计算等数学方法, 进行适宜性分析, 获得适宜成矿靶区 3 处。该方法的科学性及其有效性通过之后的钻探工作得到了验证。

关键词 栅格数据环境 地质变量 预测模型

中图分类号: P612 **文献标识码**: A **文章编号**: 1674 - 7801(2010)02 - 0165 - 08

0 前言

近十余年来, 综合信息矿产预测理论与方法在地、物、化、遥等多源综合信息成矿预测方面的探索与成功应用, 为最大限度地利用以往积累起来的各类地学资料, 将传统的地质找矿方法与地球物理学、地球化学和遥感地质学等找矿方法有机地结合起来, 以系统的、全面的观点“二次开发”所获得的信息, 并从这些繁杂的海量地学信息中甄别与成矿关系密切的致矿信息, 为达到以尽可能多的信息判别矿床存在与否, 以尽可能少的投入取得最大的找矿效果提供了可能^[1-6]。

目前应用于综合信息成矿的软件出现了 MRAS、MPAS、SurPac、MapGIS 等, 但是 ArcGIS 作为 ESR 在全面整合了 GIS 与数据库、软件工程、人工智能、网络技术及其他多方面的计算机主流技术之后, 成功地推出了代表 GIS 最高技术水平的全系列 GIS 产品, 然而在成矿预测中基本上没有应用到, 在这种背景下, 本文以广西佛子冲铅锌矿田为例, 基于

ArcGIS 平台开展了地物化综合信息成矿预测^[7]。

1 研究区背景

佛子冲铅锌矿田位于加里东褶皱系云开隆起北西缘, 南岭东西构造带中段南缘, 博白—岑溪深断裂北东段, 多种构造体系的复合部位。区内有六塘矿床、石门—刀子口矿床、大罗坪矿床、勒寨牛龙岗矿床、牛卫矿床、水滴矿床, 出露地层为下古生界奥陶系及志留系, 属浅海至滨海相沉积。控矿层位主要为奥陶系中统上组上段 ($O_2^{b-2}Z$)、奥陶系上统上组上段 (O_3^{b-2}) 及志留系下统中组 (S_1^b)。区内构造发育, 以断裂为主, 且具有多向性和复合性特点, 计有北东、北北东、南北向等 3 组。北东向断裂以牛卫断层为代表, 具多期活动特点, 是牛卫矿床的主要控矿构造, 还控制了矿田南部英安斑岩的形态及分布。北北东向断裂较为发育, 构成明显的北北东向构造带, 北北东向褶皱主要有佛子冲背斜。近南北向断裂以勒寨断层为代表, 勒寨矿床、牛龙岗矿床就产于该断层及两侧碳酸盐岩夹层中。由于区域岩浆活动

[收稿日期] 2009 - 12 - 03

[基金项目] 全国危机矿山接替资源找矿项目 (编号: 200645051) 资助。

[第一作者简介] 张会琼 (1982—), 女, 2007 年毕业于中国地质大学, 获硕士学位, 现主要从事矿床勘查科研工作。

频繁,岩浆岩分布广泛,种类颇多,形态各异,大小不一。从岩基、岩株、岩脉、岩墙到岩床由深成、浅成到喷出相均有,生成时代主要为燕山期。成分以酸性至中酸性为主,按岩性分有黑云母花岗岩、花岗闪长岩、花岗斑岩、英安斑岩及流纹斑岩等。矿体主要存在以下几种形态:似层状、透镜状、脉状、脉状浸染状、网状。矿体的倾向在 $115^{\circ} \sim 330^{\circ}$ 之间,倾角在 $42^{\circ} \sim 83^{\circ}$ 之间。区内矿产以铅锌矿为主,已知具有工业价值的铅锌矿床有佛子冲、牛卫、勒寨铅锌矿床^[8,9]。

该研究区已知的矿点为 102 个,大部分都被开采,从研究资料来看成矿作用主要与岩浆作用有关,矿床明显受区内构造、地层和岩浆岩联合控制,是典型的“灰岩(泥质灰岩、钙质粉砂岩)层位+燕山期的花岗质岩浆+NNE(NE)断裂破碎带”的“三位一体”控矿条件组合。总体来看该矿区的研究程度较低,找矿难度大,但从国内外的找矿实践来看,已知矿区、矿带内及其附近或其深部发现新矿床、新矿体的潜力很大。

2 技术思路

综合信息成矿预测是指在研究成矿系列矿床实例的基础上,从中提取地物化遥综合找矿标志,并以这些找矿标志为依据对工作区的数据进行分析和处理,从而确定重点找矿靶区的过程(图 1)。本次综合信息成矿预测是在 ArcGIS9.1 上完成的,包括属性数据库、图形数据库的建立,以及最后的综合信息成矿预测。具体工作步骤如下:

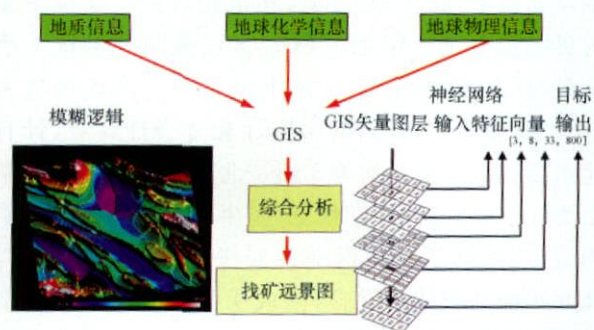


图 1 基于 GIS 综合信息成矿预测模式图

(据 DAVID GROVES, 2009)

(1) 收集地质、物探、化探数据以及建立数据库:地质数据为佛子冲矿区及外围 1:10000 地质地

形图。由点、线、面文件组成。点文件包括矿点层、硅化层、黄铁矿化层;线文件主要为断层、岩体接触线;面文件包括地层岩体,属性字段为面积、周长、地层时代、地层岩性,本区的时代比较简单,在划分上细化到系。物探数据采用的是 204 队于 80 年代完成的矿田范围内的 1:10000 地磁测量成果。由点、线、面文件组成,点文件为每一个异常等值线对应的异常值,线文件为根据磁异常数据解译得到的异常等值线(本次论文采用的正异常等值线),面文件为正异常等值线造区得到,属性字段主要为周长、面积、异常值。化探数据:采用的是 204 队 1:10000 化探次生晕测量成果,本次论文采用的数据为铅、锌、铜、银、砷、锡异常。矢量数据也包括点、线、面文件,点文件为异常值注释,线文件为各元素异常等值线,区文件为各元素的异常等值线造区,属性字段为周长、面积、异常值。

(2) 应用 ArcGIS 中空间分析模块对矿点与地质、物化探数据进行迭加分析,找出与成矿相关性较大的要素,将该要素提取出来,确定参与最终运算的地质变量,即影响因子。

(3) 通过 ArcGIS9.1 中 TooBox 带的适宜性权重计算模块对各地质变量按照其对成矿的影响进行重分类,将得到的栅格要素进行综合信息成矿预测。

(4) 成矿预测成果的计算机表达。

(5) 提出下一步找矿工作部署建议。

3 致矿信息提取

成矿信息提取主要是通过 ArcGIS 的空间分析功能,将已知的 102 个矿点与各地质要素进行相交分析,来确定其与成矿的相关性。102 个矿点中 84 个落在奥陶系中统上组上段、奥陶系上统上组上段、志留系下统中组和奥陶系中统上组下段上,有 71 个矿点落在 Pb 元素异常范围内,74 个落在 Zn 元素异常范围内,41 个落在 Cu 异常范围内,5 个落在 Sn 异常范围内,30 个矿体落在 As 异常范围内,有 30 个矿点落在磁异常范围内,类比开采程度较高的石门—刀支口矿段,以及矿区主要控矿构造,将断层的影响区设在 400 m 以内,距断层 200 m 以内设为一级缓冲区,200~400 m 作为二级缓冲区,102 个矿点中有 96 个落在断层缓冲区范围内,根据矿体的分布情况,取实际地面距离为 200 m 作为缓冲区半径对岩体与地层接触线进行缓冲区分析,102 个矿点中

有 94 个落在岩体与地层的接触线缓冲区范围内。

因此确定参与计算变量参数有：奥陶系中统 b 组上段砂岩钙质砂岩、页岩与灰岩互层的地层；

志留系下统 b 组黑灰色板岩、粉砂岩板岩、夹薄层状石英砂岩的地层；奥陶系中统 b 组下段砂岩夹板岩和少量薄层灰岩的地层；奥陶系上统 b 组上段灰绿色砂质板岩夹板岩及少量薄层灰岩的地层；NNE 向构造；NE 向构造；燕山晚期花岗岩斑岩与地层的接触线；燕山早期花岗岩闪长岩

与地层的接触线；燕山早期花岗岩与地层的接触线；地球化学锌、砷、锡、铜异常。

4 综合信息成矿预测

当代国内外在综合信息成矿预测中应用的数学模型种类比较多,如专家打分系统、多元统计模型、纯代数模型及其他数学模型。其中尤以应用专家系统模型最为广泛。近几年,国内根据不同用户的需求,以 MAPGIS 为平台,研制了 3 种不同的模型。即

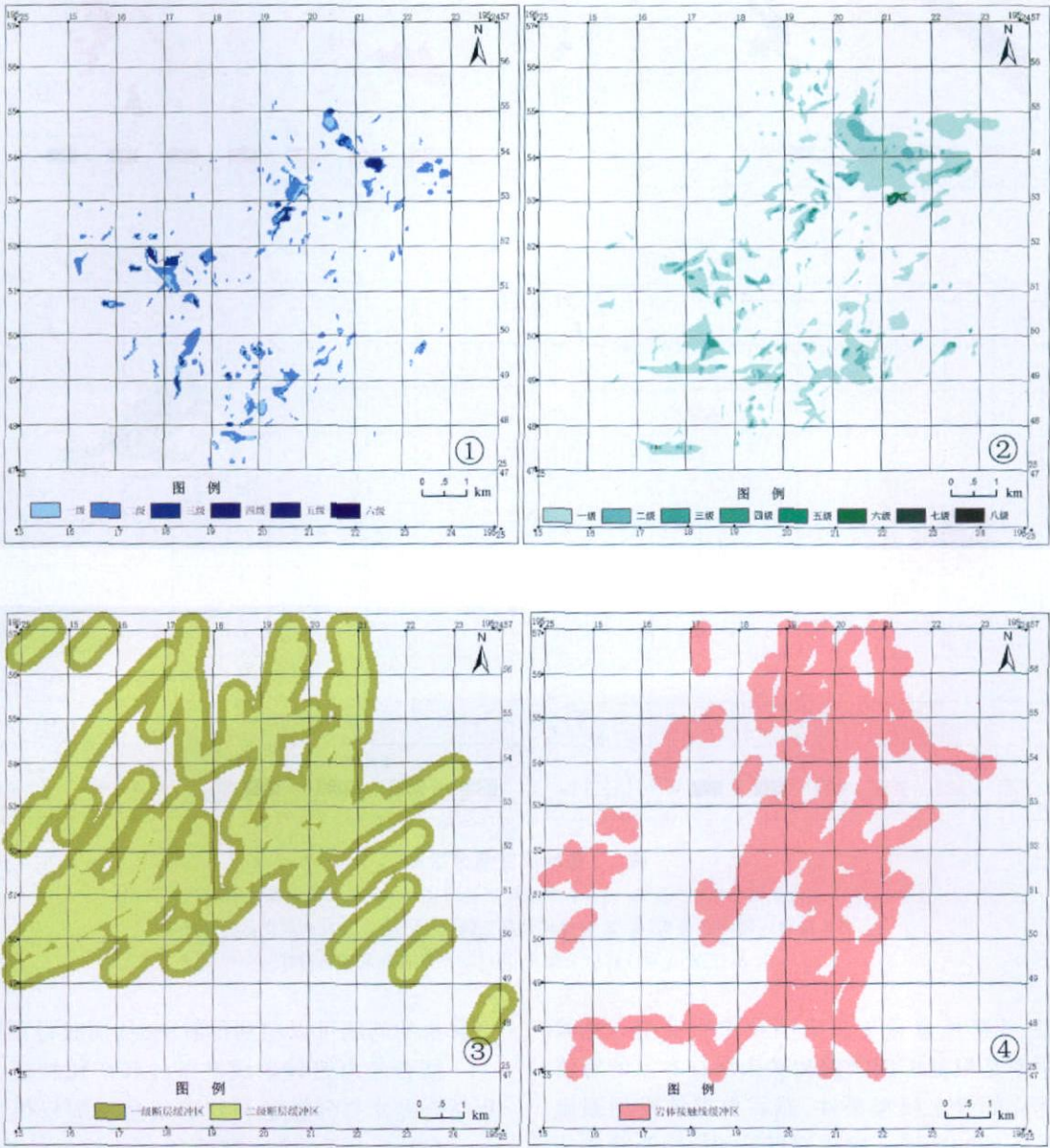


图 2 各地质变量分级图

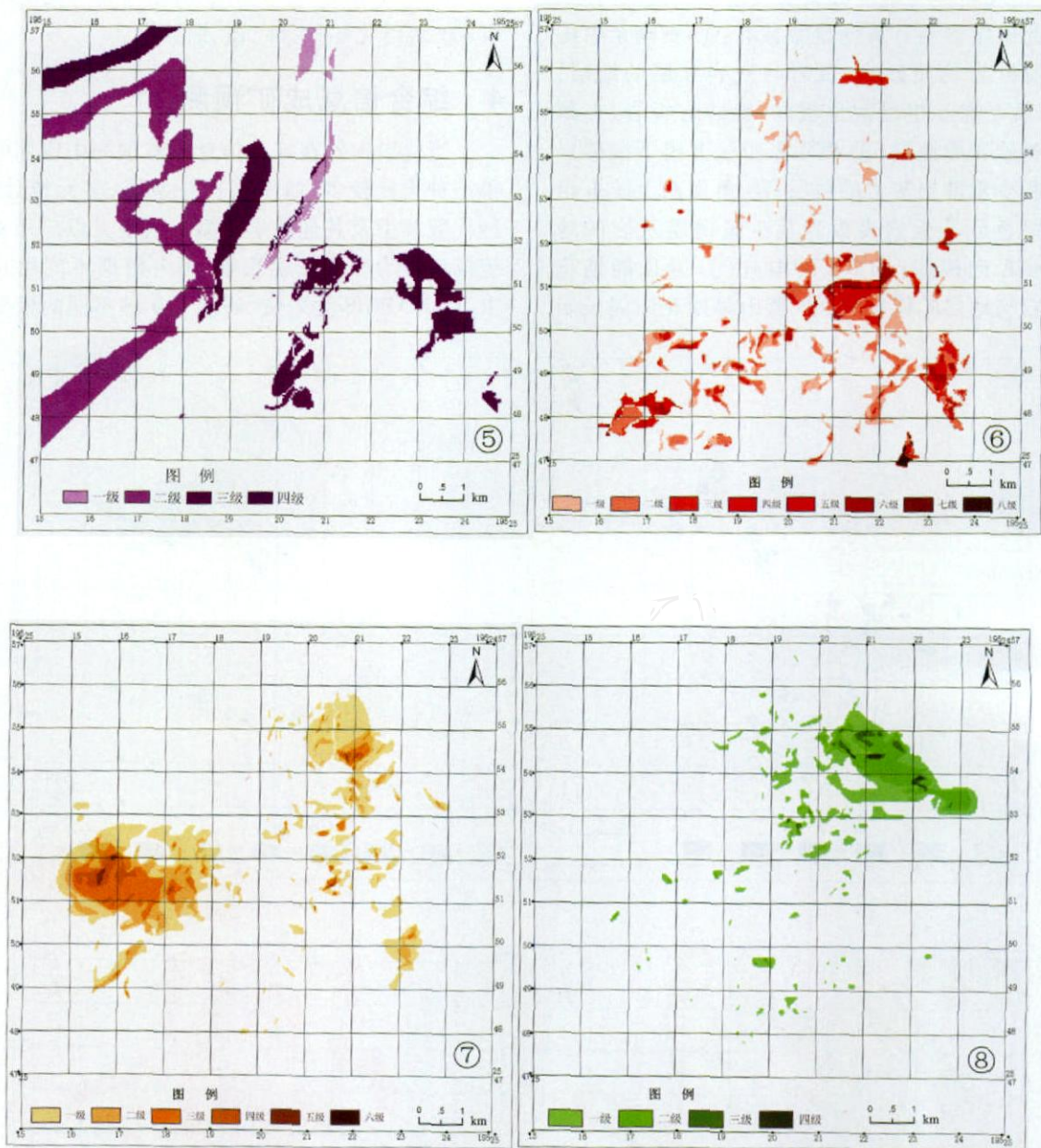


图 2 各地质变量分级图

Pb元素有利成矿区分级图； Zn元素有利成矿区分级图； NNE、NE向断层缓冲区分析图；
 岩体接触线缓冲区分析； 有利成矿地层分级图； 磁异常有利成矿区分级图；
 As元素有利成矿区分级图； Cu元素有利成矿区分级图

经验模型、找矿信息量加权模型及矿床模型。经验模型法主要是根据矿床学家和矿床勘查专家的思路和经验建立的概念模型条件,然后根据该模型圈出相似成矿条件的区域。找矿信息量加权模型及矿床模型的基本思路是运用概率统计方法研究各类地质标志与成矿的相关性,并给出每一个贡献的权重。

由于GIS空间拓扑分析功能,使得应用其他方法难以解决的问题可以顺利得解决,从而获得预期成果。

结合区内铅锌矿成矿条件和矿化特征,本次采用结合专家打分模型和找矿信息量加权模型,通过ArcGIS9.1中TooBox带的适宜性权重计算模块进行成矿预测^[10~12]。

4.1 预测模型

本次综合信息成矿预测研究所用到的数学模型主要为专家打分法以及重分类数据集。

所谓专家打分模型,是将相关联的影响因素按其相对重要性排队,给出各因素所占的权重值;对每一因素内部进一步分析,按其内部的分类进行排队,并按各类结果的影响打分即专家打分,从而得到该因素内各类别对结果的影响量,最后系统进行复核,得出最终结果。专家打分法是决策支持系统中经常用到的一种间接定性类方法。该方法得到的是专家的经验值,往往比普通数学方法得到的结果更加接近实际情况,对成矿预测更具有指导意义。

重分类数据集是用新的值取代输入的单元值并输出,使数据标准化。重分类原则是适宜性越强重分类值越大,适宜性越弱则重分类值越小。

本次预测工作中专家打分法应用于各地质变量的内部等级,根据各地质变量对成矿作用的贡献排序。如不同物化探异常值的大小、地层岩性、断层的空间位置、岩体的空间位置不同对找矿的指示意义也是不同的,在进行预测之前利用专家打分法对各地质变量对成矿的影响进行排序,形成有序的空间数据集。接下对数据集进行重分类,一般依次赋值为 1, 2, 3...9,也就是越有利成矿,数据重分类值越大;地层主要是根据以往的勘探、开采资料将有利成矿的地层分为 1, 2, 3, 4;构造数据集按缓冲区的半径分为 1, 2 级;岩浆岩数据集按岩体与断层的接触线做缓冲区分 1 级;磁异常和化探异常根据异常值从低到高赋予从小到大 1 至 9 之间的值。重分类完成之后,所有的地质变量都转为栅格数据。重分类数据集经过处理后得到的结果如图 2 所示,图例中的数字是成矿适宜性的量化表示,数值越小,适宜性越强。

4.2 数学方法

经过上述处理我们得到了 Pb 有利成矿区, Zn 有利成矿区, 断层, 岩体接触线, 有利成矿地层, 磁异常区, As 有利成矿区, Cu 有利成矿区重分类栅格数据集, 每层数据对最后的预测靶区都有影响, 但影响不同。将总的权重定为 1, 按照各地质变量与成矿的相关性(第 4 节中已经得出矿点落在 Pb 异常, Zn 异常, 断层缓冲区, 岩体接触线缓冲区, 有利成矿地

层, 磁异常, As 异常, Cu 异常区域内的百分比分别为 69%、71%、94%、92%、82%、39%、30% 以及 40%。利用百分比的比值来确定各地质变量所占的权重)得出的权重依次为 0.20, 0.20, 0.15, 0.15, 0.15, 0.05, 0.05, 0.05, 经检验一致性达到要求。

利用栅格计算器(rastercalculator)或者是 ArcGIS 的扩展模块对所有的重分类数据按照给定的权重进行合并(图 3)。计算公式是:

$$G = \sum_{i=1}^m W_i C_i$$

式中: G —每个单元格最终复合结果值, 其值确定靶区的圈定; W_i —第 i 个要素的权重; C_i —第 i 个要素的专家打分值^[13]。



图 3 栅格计算器计算过程图

4.3 预测结果分析

通过计算后将整个预测区分成了 37056 个单元格, 属于一级找矿靶区的单元格有 18 个, 属于二级找矿靶区的单元格有 205 个, 属于三级找矿靶区的单元格有 9329 个单元格(图 4)。其中属于一级、二级找矿靶区的单元格在地理位置上分布在石门—刀支口, 龙树洞、六塘、铜帽顶、勒寨、水滴、勒寨、午龙岗以及火分口; 在预测结果中大部分一级单元格所对应的地理位置石门—刀支口, 但是石门—刀支口矿段作为佛子冲铅锌矿最主要的矿段已经被开采或者正在被开采, 就不作为本次研究的预测区。在火分口地段二级成矿单元格也比较集中, 但是属于矿权范围之外, 研究程度很低, 资料缺乏, 在指导靶区选定时不予考虑。

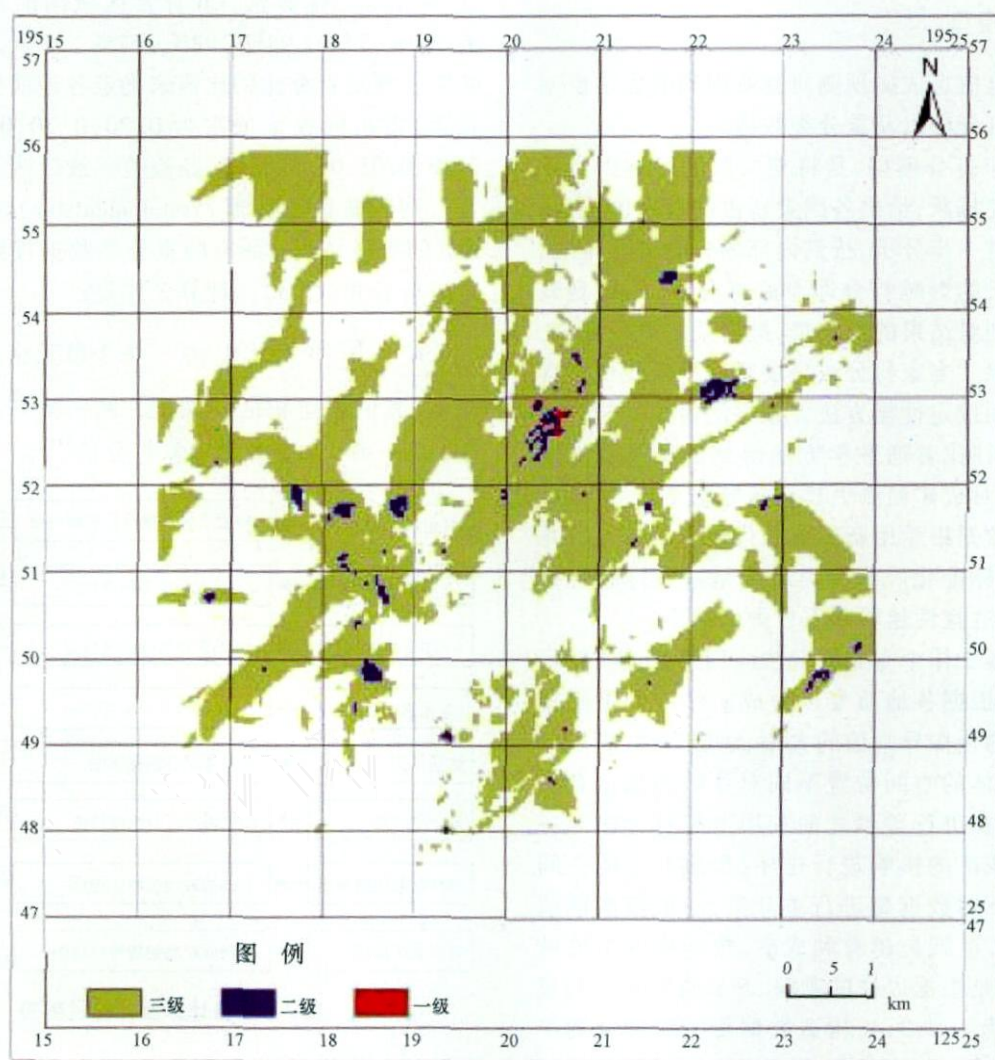


图 4 预测成果图

按照预测结果的空间分布以及所在位置的地质特点分成 3 个预测区 (图 5): 六塘—铜帽顶—龙树洞预测区、牛卫预测区、水滴—勒寨—舞龙岗, 并对 3 个预测区分别从地质特征、物化探特征以及矿化特征等方面进行了验证, 说明预测区成矿地质条件较好, 仍有较大的找矿潜力。2008 年对六塘—铜帽顶—龙树洞预测区开展钻孔工程, ZK0201 钻孔见单矿体厚度 0.22~3.9 m, 矿体赋存标高 298~227 m, 目估品位 Pb1~8%, Zn 2~12%, 找矿效果较好^[14]。

5 结论

本文试将已知矿体与地质要素、物探信息、化探信息的空间相关性作为预测依据, 在栅格数据环境

下, 利用 ArcGIS 平台在大比例尺范围内运用综合信息进行成矿预测, 圈定成矿靶区, 经过钻探工作验证, 说明了该方法的可行性。与基于矢量数据的传统方法相比, 具有操作简单、科学性强, 对于一线的地质工作者也具有可操作性, 并且预测结果能够精确地定位, 克服了传统靶区圈定过程中出现位移的问题。从计算机表达结果中看出一级有利成矿栅格主要是集中在已开采的石门—刀子口矿段, 说明致矿信息提取以及预测模型的应用是合理的。从本次预测的结果来看, 基于 ArcGIS 栅格环境下的成矿预测对老矿山深部及外围找矿具有很好的指导意义。

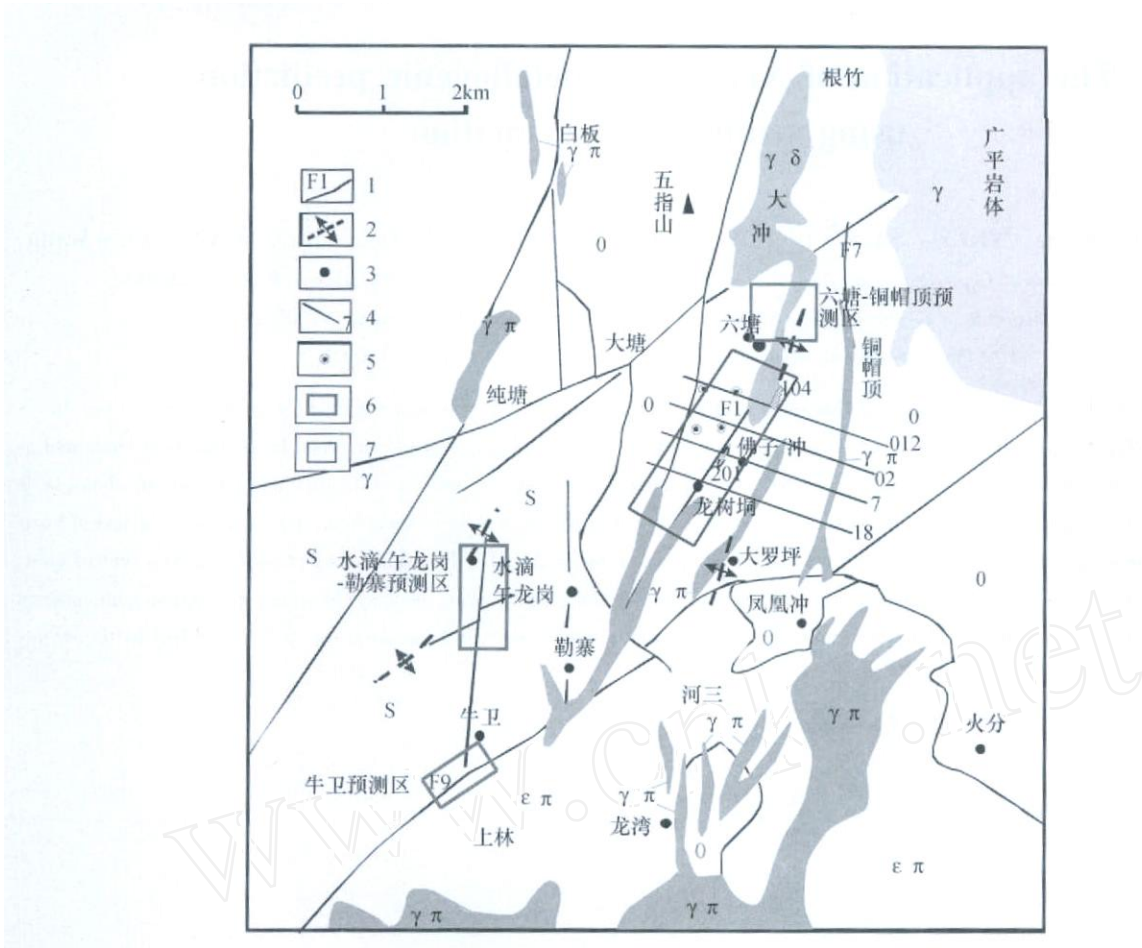


图 5 佛子冲矿田工程布置图及预测区分布示意图

1—断裂及编号; 2—背斜; 3—地名; 4—勘探线及编号; 5—见矿钻孔及编号;
6—预测区位置; 7—已开采的有利找矿地段

参考文献

[1] 王世称, 成秋明, 范继璋. 金矿资源综合信息评价方法 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990. 1~440.

[2] 王世称, 陈永良, 夏立显. 综合信息矿产预测理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1~335.

[3] 王世称. 大型、超大型金矿床密集区综合信息预测 [M]. 北京: 地质出版社, 2001. 1~161.

[4] 陈永清, 夏庆霖. 金属矿产勘查技术发展现状与思考 [J]. 地球物理学进展, 2002, 17 (3): 540~541.

[5] 李景朝, 刘少华, 严光生. 大型超大型金属矿床综合信息成矿预测方法研究 [J]. 地球物理学进展, 2002, 17 (4): 736~744.

[6] Watson G P, Rencz A N, Bonham - Carte G F. 1989. Geographic information system are being applied to mineral resource assessment in Northern New Brunswick [J]. GEOS, 18 (1): 8~15.

[7] 薛顺荣, 肖克炎, 丁建华. 基于 GIS 技术下思茅—景洪地区铜多金属综合信息成矿预测 [J]. 地质学报, 2008, 82 (5): 648~654.

[8] 徐海. 广西佛子冲铅锌矿田地质特征及找矿前景 [J]. 广西地质, 1996, 9 (4): 43~52.

[9] 雷良奇, 张起钻. 广西佛子冲火山岩覆盖区孔坡隐伏铅锌矿床定位预测 [J]. 有色金属矿产与勘查, 1999, 8 (6): 439~441.

[10] 冯险峰, 汪 闽, 孟雪莲. ArcGIS 空间分析实用指南 [R]. 北京: ESR I 中国 (北京) 有限公司, 2002. 23~41.

[11] 周利军, 张淑花, 臧淑英. ArcGIS 空间分析模块在选址中的应用 [J]. 地域研究与开发, 2007, 26 (1).

[12] 汤国安. ArcGIS 地理信息空间分析实验教程 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[13] 蔡爱民. GIS 在芜湖市城市生活垃圾卫生填埋点选址中的应用 [J]. 国土与自然资源研究, 2004, 26 (1): 58~59.

[14] 张会琼. 佛子冲铅锌矿田构造控矿特征与成矿预测 [D]. 中国地质大学 (北京) 硕士论文, 2007.

The application of ArcGIS in metallogenic prediction using synthetical information

ZHANG Hui - qiong, ZHANG Shou - ting, WEI Chang - shan, WANG Jing - bin, WANG Yu - wang

(1. Sinotech Mineral Exploration Co., Ltd, Beijing 100012; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083;

3. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100081;

4. China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012)

Abstract: Exploring effective mineralization prediction method always is the frontier and hot field for mineral exploration. In recent years, metallogenic prediction using synthetical information on the base of GIS have been concerned by geologists at home and abroad. Using the space relevance of the existing geological, geophysical, geochemical and other information of known ore deposits as prediction basis, this paper tries to comprehensively analyze the information above in large - scale area, taking the case history of Fozichong Pb - Zn ore - field in Guangxi. Based on the spatial analysis module of ArcGIS, I establish the database and do a second information extraction in the raster data environment. In addition, on the basis of expert scoring models, the weight calculation mathematical methods, I get three target mineralization areas after carrying out suitability analysis which has been successfully verified by the following drilling work.

Key words: raster data environment, geological variable, prediction model