

# 利用 GIS 知识驱动模型开展区域矿产资源预测

陈江<sup>1,2</sup>, 付建飞<sup>3</sup>

(1. 中国地质科学院, 北京 100037; 2. 沈阳地质矿产研究所, 沈阳 110032; 3. 东北大学资源与土木工程学院, 沈阳 10032)

**[摘要]**在 GIS 环境中可以用多种模型来处理各类图件。文章重点强调了经验模型, 即从专家角度主观地控制各类参数。当处理 GIS 图件时, 布尔逻辑, 索引叠加模型和模糊逻辑是 3 个基本的重要的方法。这些模型适合于勘查区选择, 还可以根据其成矿潜力进行分级。文章介绍了 3 种模型的意义, 并用实例方法阐述了如何在一个成矿远景区开展矿产资源预测工作。

**[关键词]**GIS 知识驱动模型 布尔逻辑 索引叠加模型 模糊逻辑

**[中图分类号]**P628 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2005)05-0066-03

利用地理信息系统进行预测是 GIS 研究的主要目的(G. F. Bonham - Carter, 1994)。在区域矿产资源评价过程中, 预测是重要的方法之一, 一般来说只要具有专家知识, 就可以进行矿产预测工作, 而专业的找矿工作人员利用经验提供参数, 结合地理信息系统对空间数据进行分析, 最终建立找矿模型, 是当前找矿的前缘研究课题。

## 1 知识驱动模型类型

这些由专家来确定在 GIS 中应用的经验模型, 主要强调了专家在建立模型中的作用。Chung and Moon, 1991, Chung and Fabbri, 1993 曾在专家系统中应用知识驱动模型包括模糊逻辑理论等。根据地质成矿理论及各种数据处理方法分别从地质、地球物理、地球化学、遥感等信息中提取成矿信息后, 综合分析这些成矿信息, 形成最终的尽可能接近实际的评价结果。用于矿产资源评价方面的知识驱动模型主要包括有以下几种:

### 1.1 布尔逻辑模型

寻找满足特定条件的地区, 当满足条件时, 则确定为“是”, 当不能满足条件时, 则确定为“非”。最终结果可应用于逻辑“与”和逻辑“或”操作。成果图只显示两个结果, 即“是”(所有条件均能得以满足), 和“非”(一项或多项条件不能满足)。

布尔逻辑模型主要优点是其简洁性, 缺点在于每一标准具有同样的重要性, 成果图中只有两种结果“是”和“非”。

### 1.2 索引叠加模型

此种模型分两种情况:

#### 1) 二元信息图索引叠加模型

每个信息图乘以它的权重系数, 所有加权过的图件相加, 成果图由权重值总量标准化, 最终成果值介于“0”和“1”之间, “0”表示极端不适宜性, “1”表示完全适应。最终成果图显示各种数字, 介于“0”和“1”之间。

$$S = \sum_i^n W_i \text{class}(map_i) / \sum_i^n W_i$$

$W_i$ : 第  $i$  幅图的权重;  $\text{class}(map_i)$ : 对适合区为 1, 对不适合区为 0

#### 2) 多元信息图索引叠加模型

利用多元地图, 每一个图中具有多个种类, 每一个输入图中不同种类具有不同的权值, 称作分值。每一个输入图中也赋与不同的权重值, 某一点的平均权重由该点的种类分数和该信息图的权重值来确定。

索引叠加模型的评价比布尔逻辑具有更加灵活的信息图组合, 通过分值和权重来吸收专家知识, 成果范围很广而不局限于是“0”和“1”

$$S = \sum_i^n S_{ij} W_i / \sum_i^n W_i$$

$S$ : 目标物的分值;  $W_i$ : 所输入图(第  $i$  幅)的权重;  $S_{ij}$ : 第  $i$  幅图第  $j$  类的分值。

### 1.3 模糊逻辑

在布尔逻辑中, 一个系列的端元成分被定义是“是”与“非”, 但是在模糊系列中, 端元是一个从

**[收稿日期]**2004-11-29; **[修订日期]**2005-03-11; **[责任编辑]**余大良。

**[基金项目]**国家“十五”科技攻关项目(编号: Z003BA61ZA-05)资助。

**[作者简介]**陈江(1971年-), 男, 2002年毕业于东北大学, 获博士学位, 在站博士后, 高级工程师, 现主要从事矿产资源勘查、GIS 和遥感方面的研究工作。

“0”到“1”的序列, (“0”为非端元成分, “1”为绝对端元成分)。端元总是与某一假设相联系, 比方说, 假定这一地区为成矿利区, 值得注意的是“0”和“1”的选择, 模糊值“0”用于绝对的没有此种现象发生, 而“1”则是用于这种情况绝对发生不管其它参数怎么变化。

与索引叠加方法相比一个重要的不同之处是模糊端元值反映出每一个图的相对重要性, 以及单一信息图中每一种类的相对重要性。An 等 (1991) 讨论了在矿产资源预测中运用的五种模型:

1) 模糊“与”

这与布尔逻辑的逻辑“与”相似, 利用这个操作, 合成的在某一点的端元值被限制在信息图中最可能发生的位置。

$$\mu_{combination} = \text{Min}(\mu A, \mu B, \mu C, \dots)$$

A 是图 A 的端元值, 其它类推。

2) 模糊“或”

$$\mu_{combination} = \text{Max}(\mu A, \mu B, \mu C, \dots)$$

模糊或与布尔逻辑的逻辑“或”相似。

3) 模糊“乘”

$$\mu_{combination} = \prod_{i=1}^n \mu_i$$

i 是对第 i 幅图模糊单元函数

独立的信息图相乘, 由于每个端元值都不大于 1, 这会造成结果很小。

4) 模糊“加”

$$\mu_{combination} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)$$

这个结果总是大于或等于最大的端元值, 所以效果是“增加”的。

5) 模糊“伽玛”

$$\mu_{combination} = (\text{Fuzzy sum})^{gamma} * (\text{Fuzzy product})^{1-gamma}$$

伽玛值被选择在 0 - 1 之间, 当伽玛值等于 1 时, 结果相当于逻辑“加”, 当伽玛值等于 0 时, 结果等于逻辑“和”。

2 知识驱动模型实例研究

对上面的运用各种方法建立模型, 总会让初学者觉得不知如何入手。下面以青城子地区找矿勘查为例, 介绍如何建立知识驱动模型的一般方法。

青城子找矿远景区位于该区位于辽东古元古宙裂谷区内营口~宽甸台拱西北部, 辽河群地层发育, 其内的含铅锌的碳酸盐岩系和含金碎屑岩系分布广泛。断裂构造相互交错, 中生代侵入体多处分布。大面积分布的含矿岩系及频繁强烈的岩浆活动对金及多金属成矿起着重要的控制作用。据化探资料,

区内存在有一系列近南北和东西向明显呈串珠状 AuAg、PbZn、Cu 组合异常, 且各异常具分带性好、浓集中心明显、强度高等特点。区内金、银、铅锌资源十分丰富, 以青城子为中心, 周围分布有大小金、银、铅锌矿床(点)多处, 典型矿床有青城子铅锌矿、小佟家堡子金矿和高家堡子银矿。这些金属矿床的形成不仅受控于古元古代含矿层位, 同时与构造岩浆活动关系密切。

表 1 地层图中的每一地层权重

地层	布尔逻辑	索引叠加(多元)	模糊逻辑
大石桥组一段	1	5	0.5
大石桥组二段	1	3	0.3
大石桥组三段 1 层	1	6	0.6
大石桥组三段 2 层	1	4	0.4
大石桥组三段 3 层	1	7	0.7
大石桥组三段 4 层	1	4	0.4
大石桥组三段 5 层	1	10	0.99
盖县组	1	8	0.8
其它地层	0	0	0.01

表 2 异常图中不同异常值的权重

金异常值大小/10 <sup>-6</sup>	布尔逻辑	索引叠加(多元)	模糊逻辑
<1	0	0	0.01
1~3	0	5	0.5
3~5	0	6	0.6
5~7	0	7	0.7
7~10	0	7	0.7
10~20	1	8	0.8
20~50	1	9	0.9
50~100	1	9	0.9
>100	1	10	0.99

利用地理信息系统软件 ILWIS3.2, 可以进行方便的矢量数据与栅格数据的转换。基于知识驱动模型的矿产资源预测可以依照下面步骤进行:

1) 总结青城子矿田关于成矿的知识, 从矿源层、热源、化学异常等三个主要方面研究成矿的必要条件, 并将它们转换成可用 GIS 图形表示的条件。首先形成三个基本信息图, 即地层图、化学异常图(经过插值法处理)和岩浆岩分布图。

2) 对各个信息图确定权重值及分值。

以地层图为例, 青城子地区的与金成矿有关的地层主要是大石桥组与盖县组的过渡带, 而其它地层中则很少, 因此在布尔逻辑中则把所有盖县组与大石桥组各层均划分为“1”, 对其它地层则划分为“0”; 在这张结果图中只有两个数据即“1”和“0”。

而在索引叠加(多元)模型中, 其它地层的分值仍被确定为“0”, 但是对大石桥组和盖县组中的分层则分别赋以不同分值, 其中大石桥组 3 段 5 层为最有利成矿地层, 可以赋最大值为“10”, 依次是盖

县组、大石桥组 3 段 3 层、大石桥组 3 段 1 层、大石桥组一段等有序递减,这反映了哪个种类与成矿关系紧密程度。对于模糊逻辑则采用赋值为 0.99 到 0.01 的办法,显示出各个种类的重要性。依次类推,对异常图和岩浆岩图也进行赋值。

表 3 距燕山期花岗岩距离的权重

与燕山期花岗岩的 距离/km	布尔逻辑	索引叠加 (多元)	模糊逻辑
<0.25	1	6	0.6
0.25~0.5	1	7	0.7
0.5~0.75	1	8	0.8
0.75~1.0	1	10	0.99
1.0~1.5	0	8	0.8
1.5~2.0	0	6	0.6
2.0~5.0	0	4	0.4
5.0~10	0	2	0.2
>10	0	0	0.01

3) 利用以上提及的各种模型合并每个信息层,并对选择出来的预测区进行分级。以布尔逻辑模型为例,青城子地区根据地层、异常和岩浆岩的特征产生 3 张信息图:有利地层图(图中只有两个数值,“1”和“0”,其中“1”为成矿有利地层,“0”为不利地层);有利异常图(“1”为异常区,“0”为非异常区);有利岩浆热液成矿区(“1”为有利热液成矿区,“0”为不利热液成矿区)。将此 3 张信息图进行“逻辑与”运算,产生一张新的成果图,这张图满足了 3 张信息图信息,既含有利地层,又有异常,同时兼有岩浆热液来源。满足这三种条件的,则赋值为“1”,其余为“0”。由此产生了“是”与“非”两种成矿预测区。同样的方法,在索引叠加(多元)模型中和模糊逻辑模型中,分别产生不同分值的信息图层,最后应用相应的公式进行运算,产生成果图。在索引叠加(多元)模型中和模糊逻辑模型中最终的成果图中是由“0”至“1”之间的数值构成。根据数值大小可以进行分级,如规定 1~0.9 为一级成矿预测区,0.9~0.75 为二级成矿预测区,0.75~0.5 为三级成矿预测区等。

4) 对各种模型预测结果进行评估,把所得的预测图与已知的矿床(点)图对比,从而得到适合该地区的最佳知识驱动模型。结合青城子地区的成矿预测结果,可以得出如下的一般性认识:在布尔逻辑模型中得到的结果只是两种结果,是成矿预测区和非成矿预测区;索引叠加模型结果则有一定的弹性,更能充分的把专家经验知识应用于矿产预测中;而模糊逻辑模型结果更加灵活,特别适用于地质现象复杂地区的成矿预测。

### 3 结论

GIS 技术所提供的多源地学信息的管理能力、空间分析方法以及计算机辅助制图的能力不仅大大提高了矿产资源评价的效率,而且有利于发挥地质学家的主观能动性。数据库建立以后,如何利用数据库中的数据取决于地质模型,而作为整个评价工作基础的地质模型随地质学家的经验、专长和智慧而变。应用 GIS 进行矿产资源评价不仅可加深对可用地质数据的理解,而且可加深对地质模型本身的理解。当处理 GIS 图件时,布尔逻辑,索引叠加模型和模糊逻辑是三个基本的重要的方法。这些方法适合于有利勘查区选择,并且根据其成矿潜力进行分级。当然这些知识驱动模型不仅仅只应用于矿产资源评价,在其它方面的预测如地震灾害、泥石流等地质灾害以及环境污染等。

[参考文献]

- [1] Bonham - Carter, G F. Geographic Information Systems for Geoscientists Modelling with GIS, Pergamon[J]. Ontario, 1994. 1~23.
- [2] An P, Moon W M, Rencz A. Application of fuzzy set theory for integration of geological, geophysical and remote sensing data[J]. Canadian Journal of Exploration Geophysics, 1991, 27: 1~11.
- [3] Chung C F and Fabbri A G. The representation of geoscience information for data integration[J]. Nonrenewable Resources, 1993, 2(2): 122~139.
- [4] Chung C F and Moon W M. Combination rules of spatial geoscience data for mineral exploration[J]. Geoinformatics, 1991, 2: 159~169.

## MINERAL EXPLORATION PREDICTION BASED ON GIS KNOWLEDGE - DRIVEN MODEL

CHEN Jiang<sup>1,2</sup>, FU Jian-fei<sup>3</sup>

(1. Chinese Academy of Geological Science, Bijiang 100037;

2. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110032;

3. Institute of Resources and Civil Engineering, Northeast University, Shenyang 110004)

**Abstract:** In GIS, many models could be used for exploration prediction. Sometimes empirical model needs expert knowledge, and parameters are decided by experts. When dealing with the GIS multiple maps, Boolean logic, index overlay model and fuzzy logic are the basic model. These models are suitable for the region selection of mineral exploration and classification of mineralizing potential. The paper introduces the meaning of models and demonstrates how to carry out mineralization prediction in a potential area.

**Key words:** GIS knowledge - driven model, Boolean logic, index overlay model, fuzzy logic