

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

一种基于 GIS 的矿产资源潜力评价的自动制图模型

陈永良¹⁾ 刘大有²⁾

1) 吉林大学数学地质研究所, 长春, 130026; 2) 吉林大学计算机科学系, 长春, 130012

内容提要 在基于 GIS 技术的矿产资源评价工作中, 矿产资源潜力评价的自动制图模型通常用来统计综合多源地学信息以便自动圈定成矿远景靶区。在本文中, 笔者以人工智能研究领域中的一种不确定推理模型——确定性理论为基础, 提出了一种新的矿产资源潜力评价的自动制图模型——合成有矿可置信度模型。该模型可以根据研究区各种成矿有利和不利证据的空间分布图, 统计生成对应于每一种证据的有矿可置信度栅格图, 然后, 按照特定的有矿可置信度合成规则, 将所有的有矿可置信度栅格图统计综合生成合成有矿可置信度栅格图。以该图为依据, 可以把研究区内合成有矿可置信度相对较高的成矿远景区圈定出来。也可以生成研究区合成有矿可置信度等值线图。应用该模型预测了新疆北部多拉纳萨依—阿舍勒地区的多金属成矿远景, 并将预测结果与证据加权模型预测结果进行了比较, 两种模型的预测结果基本相似, 证明了该模型的有效性和实用性。

关键词 矿产资源 不确定推理 确定性理论 合成有矿可置信度模型 证据加权模型

GIS (Geographic Information System——地理信息系统) 作为一种现代高新技术已广泛应用于城市规划、交通管理、人口普查以及农业、林业及地球科学等领域。在地学领域, GIS 作为一种高新技术工具主要应用于数字制图、矿产普查勘探、矿产资源评价和地学数据管理等领域。目前, 许多发达国家的矿业部门都在从事 GIS 应用开发方面的研究工作。例如, 英国地质调查所的科研人员提出了一种地质图数据存储的标准模型, 用以支持英国数字地图的生产; 澳大利亚地学标准数据模型的研究从 1991 年开始, 得到了澳大利亚矿业研究协会和多家赞助商的资助; 美国和加拿大等国的绝大部分地学数据管理工作使用了 GIS 技术。随着 GIS 技术的广泛应用和地学图形数据的数字化, GIS 矿产资源评价研究已经成为矿产资源评价领域的一个崭新研究方向。在 GIS 技术支持下, 应用多源地学图形数据对特定地区矿产资源潜力进行快速、适时的综合评价, 能够为地方经济和社会发展的中长期规划提供科学依据。矿产资源潜力制图模型的研究, 是 GIS 矿产资源评价领域的重要研究内容之一。国外在这方面已经取得了一定的研究成果。例如, 应用证据加权模型

(Agterberg, 1990; Agterberg et al., 1990) 将满足条件独立性的成矿证据图统计综合成成矿后验概率图, 进而根据成矿后验概率的相对大小圈定成矿远景区; 应用扩展证据加权模型 (Pan, 1996) 统计综合多态证据变量并生成矿产资源潜力图。目前, 这两种矿产资源潜力制图模型已广泛应用于 GIS 矿产资源评价研究中。

在本文中, 笔者以人工智能研究领域中的一种不确定推理模型——确定性理论为基础, 提出了一种新的矿产资源潜力制图模型——合成有矿可置信度模型。可置信度是人们根据以往经验对某个事物或现象为真的程度的一种判断, 或者说是人们对某个事物或现象为真的相信程度 (吴泉源等, 1995; 王万森, 2000)。在矿产资源评价中, 某一空间位置有矿的可置信度可以作为该部位矿产资源潜力的一种量化标志。根据这种量化标志可以生成特定地区矿产资源潜力空间分布图, 也可以根据这种量化标志圈定成矿远景区。用合成有矿可置信度模型生成矿产资源潜力图, 首先要根据每一种成矿有利或不利证据的空间分布图 (图层) 计算出研究区每一个栅格点的有矿可置信度, 生成与证据图层相对应的有矿可置信度栅格

注: 本文为国土资源部非传统矿产资源研究开放实验室基金和矿产资源勘查与评价研究开放实验室基金资助项目的成果。

收稿日期: 2001-04-23; 改回日期: 2001-09-27; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 陈永良, 男, 1965 年生。1992 年于长春科技大学获工学硕士学位, 并留校任教。1998 年获长春科技大学工学博士学位。2000 年完成了吉林大学计算机软件与理论博士后科研流动站的博士后研究工作。现为吉林大学数学地质研究所副研究员。主要从事矿产资源评价、数学地质方法、地理信息系统应用开发、计算机图形图像处理等方面的研究工作。通讯地址: 130026, 吉林省长春市西民主大街 6 号, 地质宫, 吉林大学数学地质研究所; 电话: 0431-7620092。Email: wfx_88@163.net。

数据图。然后,根据有矿可信度合成规则(该合成规则源于确定性理论中的结论不确定性合成规则)对所有可信度栅格图进行统计综合,生成研究区合成有矿可信度栅格数据图。研究区内各个空间位置的证据组合方式决定了该位置合成有矿可信度的相对大小,也决定了该位置矿产资源潜力的相对大小,因此,研究区合成有矿可信度栅格图可以作为反映研究区矿产资源潜力的一种有效图件。合成有矿可信度模型已成功地应用于新疆北部多拉纳萨依—阿舍勒地区 1:5 万多金属成矿预测。笔者将该模型的预测结果与证据加权模型预测结果进行了比较,两种模型的预测结果基本相似,证明了该模型的有效性和实用性。

1 合成有矿可信度模型的基本原理

矿产资源评价的主要任务,是对研究区各个空间部位的成矿远景(或成矿可能性)作出合理的评估,这种评估的基本依据是出现在研究区内的一系列成矿有利或不利的证据(成矿控制因素)。成矿证据组合的形式及其空间分布决定了矿床、矿点及矿化点(成矿实体)的空间分布,进而决定了研究区内不同空间部位的矿产资源潜力。这里引入有矿可信度来反应特定研究区内某一种成矿证据的存在与不存在对矿床产出状态的影响,它是该研究区先验成

矿概率和条件成矿概率的函数,取值范围为 $[-1, +1]$ 。在合成有矿可信度模型中,研究区某个空间部位的矿产资源潜力用合成有矿可信度来度量。合成有矿可信度是由多个有矿可信度数据按照有矿可信度合成规则综合而成的,它反映证据组合对矿床产出状态的影响,如果某一空间部位的合成有矿可信度大于零,表示该部位的证据组合以一定的可信度肯定有矿假设;如果合成有矿可信度小于零,表示该部位的证据组合以一定的可信度否定有矿假设;如果合成有矿可信度等于零,表示该部位的证据组合既不能肯定有矿假设也不能否定有矿假设。

在一个研究区内,通常存在多种成矿证据,不妨假设某研究区存在 m 种成矿证据,分别用二态变量 Z_1, Z_2, \dots, Z_m 来表示。同时,用二态变量 Y 表示矿床点的产出状态。当研究区不存在任何肯定(或否定)有矿假设的证据时,研究区有矿的概率称为先验成矿概率,用 $p(Y^+)$ 来表示,其中 Y^+ 代表有矿。

当使用一种肯定(或否定)有矿假设的证据 Z_j ($j=1, 2, \dots, m$) 来评价研究区各个空间位置有矿假设的可信程度时,研究区内存在两种类型的证据组合,分别用 Z_j^+ 和 Z_j^- 来表示。其中, Z_j^+ 和 Z_j^- 分别代表证据 Z_j 存在与不存在的空间区域。这两种类型空间区域的有矿可信度可以用公式 1.1 和 1.2 计算出来。

$$CF(Y^+, Z_j^+) = \begin{cases} \frac{p(y^+ | Z_j^+) - p(Y^+)}{[1 - p(Y^+)]p(Y^+ | Z_j^+)} & p(Y^+ | Z_j^+) \geq p(Y^+) \\ \frac{p(y^+ | Z_j^+) - p(Y^+)}{p(Y^+)[1 - p(Y^+ | Z_j^+)]} & p(Y^+ | Z_j^+) < p(Y^+) \end{cases} \quad (1.1)$$

$$CF(Y^+, Z_j^-) = \begin{cases} \frac{p(y^+ | Z_j^-) - p(Y^+)}{[1 - p(Y^+)]p(Y^+ | Z_j^-)} & p(Y^+ | Z_j^-) \geq p(Y^+) \\ \frac{p(y^+ | Z_j^-) - p(Y^+)}{p(Y^+)[1 - p(Y^+ | Z_j^-)]} & p(Y^+ | Z_j^-) < p(Y^+) \end{cases} \quad (1.2)$$

式中, $CF(Y^+, Z_j^+)$ 和 $CF(Y^+, Z_j^-)$ 分别为证据 Z_j 存在的空间区域和不存在的空间区域的有矿可信度, $p(Y^+ | Z_j^+)$ 和 $p(Y^+ | Z_j^-)$ 分别为证据 Z_j 存在与不存在时的条件成矿概率。

当使用两种肯定(或否定)有矿假设的证据 Z_j, Z_k ($j \neq k, j, k = 1, 2, \dots, m$) 来评价研究区有矿假设的可信程度时,研究区存在四种类型的证据组合,

用集合的形式可以分别表示为

$$Z_j^+ \cap Z_k^+, Z_j^+ \cap Z_k^-, Z_j^- \cap Z_k^+ \text{ 和 } Z_j^- \cap Z_k^-。$$

假设两种证据单独存在和不存在条件下的有矿可信度已经由公式 1.1 和 1.2 计算出来,那么,可以根据有矿可信度合成规则,计算证据组合的合成有矿可信度。上述 4 种证据组合对应的合成有矿可信度计算公式如下:

$$\begin{aligned}
 & CF(Y^+, Z_j^+ \cap Z_k^+) = \\
 & \begin{cases} CF(Y^+, Z_j^+) + CF(Y^+, Z_k^+) - CF(Y^+, Z_j^+)CF(Y^+, Z_k^+) & CF(Y^+, Z_j^+) \geq 0, CF(Y^+, Z_k^+) \geq 0 \\ \frac{CF(Y^+, Z_j^+) + CF(Y^+, Z_k^+)}{1 - \min(|CF(Y^+, Z_j^+)|, |CF(Y^+, Z_k^+)|)} & CF(Y^+, Z_j^+) \cdot CF(Y^+, Z_k^+) < 0 \\ CF(Y^+, Z_j^+) + CF(Y^+, Z_k^+) + CF(Y^+, Z_j^+)CF(Y^+, Z_k^+) & CF(Y^+, Z_j^+) < 0, CF(Y^+, Z_k^+) < 0 \end{cases} \quad (2.1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & CF(Y^+, Z_j^+ \cap Z_k^-) = \\
 & \begin{cases} CF(Y^+, Z_j^+) + CF(Y^+, Z_k^-) - CF(Y^+, Z_j^+)CF(Y^+, Z_k^-) & CF(Y^+, Z_j^+) \geq 0, CF(Y^+, Z_k^-) \geq 0 \\ \frac{CF(Y^+, Z_j^+) + CF(Y^+, Z_k^-)}{1 - \min(|CF(Y^+, Z_j^+)|, |CF(Y^+, Z_k^-)|)} & CF(Y^+, Z_j^+) \cdot CF(Y^+, Z_k^-) < 0 \\ CF(Y^+, Z_j^+) + CF(Y^+, Z_k^-) + CF(Y^+, Z_j^+)CF(Y^+, Z_k^-) & CF(Y^+, Z_j^+) < 0, CF(Y^+, Z_k^-) < 0 \end{cases} \quad (2.2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & CF(Y^+, Z_j^- \cap Z_k^+) = \\
 & \begin{cases} CF(Y^+, Z_j^-) + CF(Y^+, Z_k^+) - CF(Y^+, Z_j^-)CF(Y^+, Z_k^+) & CF(Y^+, Z_j^-) \geq 0, CF(Y^+, Z_k^+) \geq 0 \\ \frac{CF(Y^+, Z_j^-) + CF(Y^+, Z_k^+)}{1 - \min(|CF(Y^+, Z_j^-)|, |CF(Y^+, Z_k^+)|)} & CF(Y^+, Z_j^-) \cdot CF(Y^+, Z_k^+) < 0 \\ CF(Y^+, Z_j^-) + CF(Y^+, Z_k^+) + CF(Y^+, Z_j^-)CF(Y^+, Z_k^+) & CF(Y^+, Z_j^-) < 0, CF(Y^+, Z_k^+) < 0 \end{cases} \quad (2.3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & CF(Y^+, Z_j^- \cap Z_k^-) = \\
 & \begin{cases} CF(Y^+, Z_j^-) + CF(Y^+, Z_k^-) - CF(Y^+, Z_j^-)CF(Y^+, Z_k^-) & CF(Y^+, Z_j^-) \geq 0, CF(Y^+, Z_k^-) \geq 0 \\ \frac{CF(Y^+, Z_j^-) + CF(Y^+, Z_k^-)}{1 - \min(|CF(Y^+, Z_j^-)|, |CF(Y^+, Z_k^-)|)} & CF(Y^+, Z_j^-) \cdot CF(Y^+, Z_k^-) < 0 \\ CF(Y^+, Z_j^-) + CF(Y^+, Z_k^-) + CF(Y^+, Z_j^-)CF(Y^+, Z_k^-) & CF(Y^+, Z_j^-) < 0, CF(Y^+, Z_k^-) < 0 \end{cases} \quad (2.4)
 \end{aligned}$$

当使用 $m(m > 2)$ 种证据对研究区的有矿可信程度进行评价时, 研究区按证据组合的不同被分割成许许多多小多边形区域, 每一个小多边形区域都具有一定的证据组合方式。确定所有证据组合的合成有矿可信度方法如下:

根据公式 1.1 和 1.2 计算出每一种证据单独存在与不存在时的有矿可信度。然后, 根据公式 2.1~2.4 对 m 个证据对应的可信度进行综合。综合的具体步骤是, 先对第一种和第二种证据的可信度进行综合, 再将合成后的可信度与第三种证据的可信度进行综合, 依次进行下去, 直到 m 种可信度均被综合完为止。

在实际应用中, 可以将整个研究区划分成规则

$$\hat{p}(Y^+ | Z_j^+) = n(Y^+, Z_j^+) / n(Z_j^+) \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (4.1)$$

$$\hat{p}(Y^+ | Z_j^-) = n(Y^+, Z_j^-) / n(Z_j^-) \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (4.2)$$

把由公式 3、公式 4.1 和公式 4.2 算得的概率估计值代入公式 1.1 和公式 1.2, 即可算得证据

的网格, 网格的规模应足够小, 最好小到每一个网格内至多出现一个已知的矿床点。那么, 研究区有矿的先验概率和某一种证据存在和不存在时有矿的条件概率可以用研究区内的网格单元集合来估计。假设研究区内网格单元总数为 n , 有矿的网格单元总数为 $n(Y^+)$, 则研究区的先验成矿概率估计值为:

$$\hat{p}(Y^+) = n(Y^+) / n \quad (3)$$

构造一个关于变量 $Z_j(j=1, 2, \dots, m)$ 和变量 Y 的二维列联表, 表中元素表示两个变量不同状态组合发生的频数(周光亚等, 1993)。将有关的概率用频率代替, 则在证据 $Z_j(j=1, 2, \dots, m)$ 单独存在和不存在时的成矿条件概率估计值分别为:

$Z_j(j=1, 2, \dots, m)$ 单独存在与不存在时的有矿可信度。

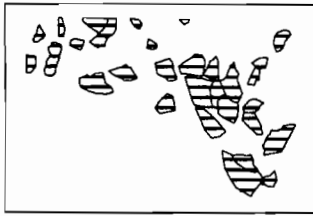


图 1 金异常最小汇水盆地
Fig.1 The minimum drainage basin with gold anomalies

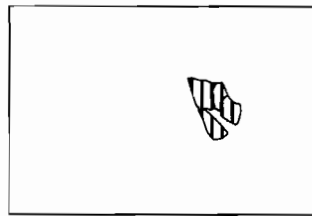


图 2 银异常最小汇水盆地
Fig.2 The minimum drainage basin with silver anomalies

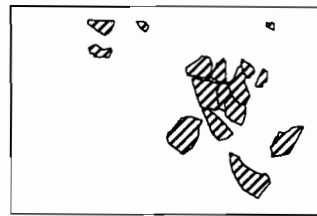


图 3 铜异常最小汇水盆地
Fig.3 The minimum drainage basin with copper anomalies

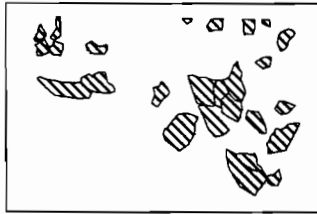


图 4 铅异常最小汇水盆地
Fig.4 The minimum drainage basin with lead anomalies

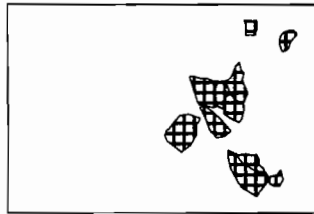


图 5 锌异常最小汇水盆地
Fig.5 The minimum drainage basin with zinc anomalies



图 6 区域矿化分布图
Fig.6 Regional distribution map of mineralization

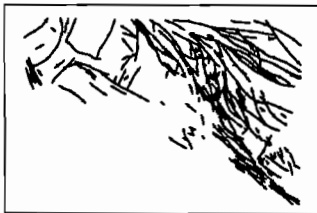


图 7 区域线性构造分布图
Fig.7 Regional distribution map of linear structures

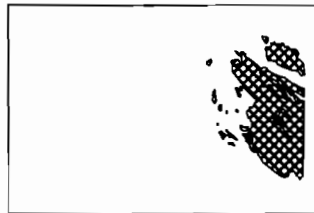


图 8 区域酸性岩体分布图
Fig.8 Regional distribution map of acidic intrusive rocks

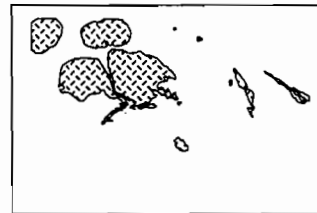


图 9 区域中性岩体分布图
Fig.9 Regional distribution map of neutral intrusive rocks

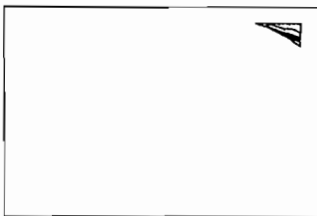


图 10 下泥盆统分布图
Fig. 10 Regional distribution map of Lower Devonian Series

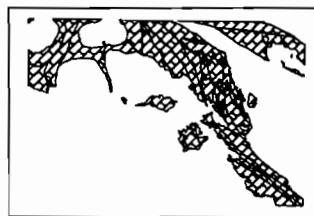


图 11 中泥盆统分布图
Fig. 10 Regional distribution map of Middle Devonian Series

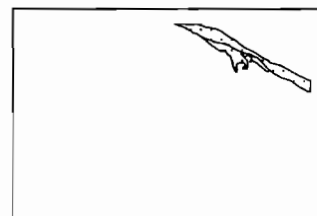


图 12 中石炭统分布图
Fig. 12 Regional distribution of Middle Carboniferous Series

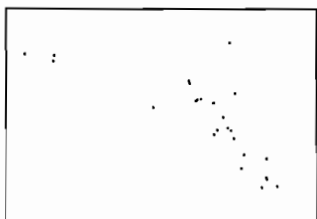


图 13 已知矿床(点)分布图
Fig.13 Regional distribution map of the explored ore deposits



图 14 合成有矿可信度栅格图
Fig.14 Integrated ore-forming believable degree raster map



图 15 成矿后验概率栅格图
Fig.15 Ore-forming posterior probability raster map

由于网格单元相对于整个研究区来说可以近似地看成是一个点,而且,每一点都具有一定的证据组合。因此,可以根据合成有矿可信度模型计算出所有网格点的合成有矿可信度,得到合成有矿可信度的栅格数据图。根据该图可以直接圈定出合成有矿可信度相对较高的成矿远景区,也可以根据该栅格数据生成合成有矿可信度等值线图,研究合成有矿可信度的空间分布规律。该模型与证据加权模型相似,模型中使用的成矿证据必须是GIS中的面实体。如果是线实体需要在使用前进行缓冲区分析,转化具有一定跨度的带状面实体(边馥苓,1996)。另外,该模型使用的不同成矿证据之间可以不满足条件独立性。

2 合成有矿可信度模型的应用

本研究实例是应用GIS技术开展区域成矿预测研究的一个典型范例。研究工作的主要任务是,在GIS技术支持下以区域地质、区域物化探和区域矿产等为依据,应用合成可信度模型和证据加权模型评价新疆北部多拉纳萨依—阿舍勒地区的区域多金属成矿远景,并圈定1:5万成矿远景靶区。

为了完成上述成矿预测研究任务,笔者收集了多拉纳萨依—阿舍勒成矿区的数幅1:5万地质矿产图和相应的金、银、铜、铅、锌等元素的1:5万水系沉积物原始数据图。将这些原始数据输入计算机并分层存储于MapInfo中。以该区的区域地质和矿床地质资料为基础,研究了区内多拉纳萨依金矿和阿舍勒铜矿等已知矿床及矿点的区域控矿因素,综合前人对该区区域成矿规律的认识,初步确定区域地质构造、中酸性岩浆岩体、泥盆纪和石炭纪地层是主要的区域控矿因素,金、银、铜、铅、锌等元素的水系沉积物异常对区内的进一步找矿工作选区具有一定的指导意义。因此,选择该区包括区域地质、区域化探、区域矿化信息和区域地质矿产信息等为区域成矿预测的原始信息。区域化探信息是以金、银、铜、铅、锌元素的水系沉积物原始数据为基础,用泛克里格法(王仁铎,1985)圈定上述5种元素的水系沉积物剩余异常,并将每一种元素的异常图与多级汇水盆地网系图作关联叠置,生成5种元素异常最小汇水盆地地图(王世称等,2000)。最后,形成以下13个原始数据图层:①1:5万金元素异常最小汇水盆地分布图(图1);②1:5万银异常最小汇水盆地分布图(图2);③1:5万铜异常最小汇水盆地分布图(图3);④1:5万铅异常最小汇水盆地分布图(图4);⑤

1:5万锌异常最小汇水盆地分布图(图5);⑥1:5万区域矿化分布图(图6);⑦1:5万线性构造分布图(图7);⑧1:5万酸性岩浆岩体分布图(图8);⑨1:5万中性岩浆岩体分布图(图9);⑩1:5万下泥盆统分布图(图10);⑪1:5万中泥盆统分布图(图11);⑫1:5万中石炭统分布图(图12);⑬1:5万已知矿床、矿点分布图(图13)。

合成有矿可信度模型的统计结果生成合成有矿可信度栅格图(图14),图中黑色部分栅格点的合成有矿可信度高于0.90。证据加权模型的统计结果生成成矿后验概率栅格图(图15),图中黑色部分栅格点的成矿后验概率在0.90以上。对比图13、图14和图15可以得出以下结论:

(1) 合成有矿可信度模型的成矿预测结果与证据加权模型的成矿预测结果非常相似。

(2) 研究区内的已知矿床和矿点基本上都位于合成有矿可信度和成矿后验概率相对较高的区域。

(3) 研究区东北角虽然没有已知矿床和矿点出现,但出现了合成有矿可信度和成矿后验概率均较高的两个区域,这两个区域可以作为进一步工作的找矿靶区。

从上述研究结果可以看出,合成有矿可信度模型作为GIS矿产资源潜力评价的自动制图模型用于区域矿产资源评价是可行的和有效的。

参 考 文 献

- 边馥苓. 1996. 地理信息系统原理与方法. 北京:测绘出版社.
 吴泉源,刘江宁. 1995. 人工智能与专家系统. 长沙:国防科技大学出版社.
 王仁铎. 1985. 线性地质统计学. 北京:中国地质大学出版社.
 王世称,陈永良,夏立显. 2000. 综合信息矿产预测理论与方法. 北京:科学出版社.
 王万森. 2000. 人工智能原理及其应用. 北京:电子工业出版社.
 周光亚,夏立显. 1993. 非定量数据分析及其应用. 北京:科学出版社.

References

- Agertberg F P. 1990. Combining indicator patterns for mineral resource evaluation. In: China University of Geosciences, ed. Proceedings of International Workshop on Statistical Prediction of Mineral Resources, Vol. 1, Wuhan, China; 1~15.
 Agertberg F P, Bonham-Carter G F, Wright D F. 1990. Statistical pattern integration for mineral exploration. In: Gaal G, Merriam D F. eds. Computer Applications for Mineral Exploration in Resource Exploration; Oxford: Pergamon Press, 1~21.
 Bian Fuling. 1996. Principles and methods of geographic information system, Beijing: Cartography Press(in Chinese).
 Pan G C. 1996. Extended weights of evidence modeling for the pseudo-estimation of metal grades. Nonrenewable Resources, 5 (1); 53~76.

- Wang Renduo. 1985. Linear geostatistics. Beijing: China University of Geosciences Press(in Chinese).
- Wang Shicheng, Chen Yongliang, Xia Lixian. 2000. Theory and method of mineral prediction with comprehensive information. Beijing: Science Press(in Chinese).
- Wang Wansen. 2000. Artificial intelligence principle and its application. Beijing: Publishing House of Electronic Industry (in

- Chinese).
- Wu Quanyuan, Liu Jiangning. 1995. Artificial intelligence and expert system. Changsha: University of National Defence Science and Technology Press(in Chinese).
- Zhou Guangya, Xia Lixian. 1993. Nonquantitative data analysis and its application. Beijing: Science Press(in Chinese).

A New Automatic Mapping Model for Mineral Resource Potentials Assessment Based on the GIS Technology

CHEN Yongliang¹⁾, LIU Dayou²⁾

1) *Mathematical Geology Research Institute, Jilin University, Changchun, 130026;*

2) *Computer Science Department of Jilin University, Changchun, 130012*

Abstract

Automatic mapping models for the evaluation of mineral — resource potentials are usually applied to statistical integration of multi-genetic geological information in order to automatically delineate metallogenetic-prospecting areas based on the GIS technology. In this paper, a new automatic mapping model for mineral resource potentials assessment based on the GIS technology is proposed, named the combined metallogenetic confidence model, developed based on the certainty theory that is a reasoning model with uncertainty. With this model, a raster map of the metallogenetic confidence can be created on the basis of a favorable or an unfavorable metallogenetic indicator pattern. Then, according to the special combining rule of metallogenetic confidence, all raster maps can be statistically integrated into the raster map of combined metallogenetic confidence. Based on this raster map, areas with relatively high values of combined metallogenetic confidence are delineated as the metallogenetic prospecting targets. And a contour map of combined metallogenetic confidence also can be generated based on this raster map. The model has been applied to predict multi — metallogenetic prospecting targets in the district from Duolanasayi to Ashele in northern Xinjiang. The predicted targets by the model are compared with those by the weighted evidence model. The two predicted results are very similar to each other. This proves that this new model is effective and practical.

Key words: mineral resource, reasoning with uncertainty, certainty theory, combined metallogenetic confidence model, weighted evidence model

王弼力,刘成林,焦鹏程等著. 2001. 罗布泊盐湖钾盐资源. 北京:地质出版社. 16开,精装 342页,彩色图版 14幅,黑白图版 4幅,定价 120元. 罗布泊是位于新疆塔里木盆地东部的一个第四纪湖相盆地. 本书是第一系统论述罗布泊钾盐资源的科学专著. 作者们经过 5 年团结协作,克服野外工作的艰辛,开展了大量野外调查、采样及室内分析测试和资料总结,对罗布泊(重点在罗北凹地)第四纪地质及地层划分、古气候与环境、水文地质、水文地球化学、氢氧硫锶稳定同位素,氟同位素,盐类矿物特征和盐湖沉积,钾盐矿床成因,钾矿特征及其资源评价,室内卤水蒸发实验与野外盐田提钾工艺试验及概略技术经济评价等进行深入研究,发现了资源量达超大型规模的卤水钾矿床,这是我国近年来找钾工作的重大突破. 该钾盐矿床属一种新的类型矿床可采性好,资源保证程度高. 本书在第四纪地质、矿床水文地质、钾盐成矿理论与开发应用研究等方面取得了许多新成果和新发现. 本书共分 8 章,内含大量图表和照片,资料翔实,数据丰富. 王登红,陈毓川,徐志刚,李天德,傅旭杰著. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律. 北京:原子能出版社. 16开,平装 494页,定价 160元. 阿尔泰成矿省既是我国重要的稀有金属、白云

母、有色金属和贵金属资源的重要产地,也是我国典型的多旋回造山带之一. 本书属于九五国家科技攻关 305 项目的专题研究成果. 该书在典型矿床研究、数据库建立和成矿系列图编制的基础上,根据近年来在同位素年代学、惰性气体同位素地球化学等方面取得的新成果,系统地建立了阿尔泰成矿省的矿床成矿系列和亚系列,论述了各矿床成矿系列和亚系列的地质、地球化学特征及其成因,探讨了矿床成矿系列的演化历史与造山带形成发展历史之间的关系,建立了阿尔泰成矿省特别是海西旋回的成矿谱系和成矿规律. 书中提出,阿尔泰的特征性矿产资源主要是伟晶岩型稀有金属白云母矿床可以形成于加里东期、海西期、印支期和燕山期等不同时代,并且具有时代越新,规模越大、矿种越多、元素组合越复杂、伟晶岩分带越完善等特点;同时也指出了在燕山期碱性偏碱性岩浆岩分布区寻找稀有金属和贵金属矿床以及在前寒武系分布区寻找铁、铜铅锌矿床的可能性. 这些规律及其它成矿规律的揭示不但丰富了区域成矿学的内容,深化了对于阿尔泰成矿省的理性认识,提高了我国矿床成矿系列和区域成矿规律的研究水平,对于地质矿产工作也具有重要的理论指导意义.