

矿产资源评价中的成矿信息提取 与综合技术^{*}

肖克炎 朱裕生 张晓华 宋国耀 陈郑辉

(中国地质科学院成矿远景区划室, 北京)

提 要: 矿产资源评价就是运用最新的成矿理论及评价技术对地质调查所获取的信息资料进行全面的综合分析, 科学地评价矿产潜在位置、数量、质量等。国际地科联于 70 年代推广 6 种基本矿产资源评价方法以来, 矿产资源评价理论技术得到了很大发展, 同时现代矿产勘查积累了大量的找矿资料, 如何在新的成矿理论指导下, 使这些宝贵资料在成矿分析中发挥最大效能是一项重要课题。本文综述了目前成矿信息提取与综合的研究现状, 并讨论了相应的几个问题, 最后对急需研究的领域做一展望。

关键词: 成矿模式 信息 综合 矿产资源 评价

成矿分析就是研究区域成矿规律, 为进一步普查找矿、选区提供依据^[1]。自法国学者朗内提出“成矿规律”概念以来^[4], 成矿分析随着找矿实践发展的需要, 成矿分析学科发展十分迅速。如前苏联以毕利宾为代表的科学家, 发展了构造-建造成矿分析法^[4], 而欧美学者阿格特伯格、哈里斯、麦卡门及我国著名学者以赵鹏大、王世称教授为代表发展了矿产资源区域评价技术方法^[1,2]。随着信息技术革命浪潮和科学找矿时代的到来, 进入现代信息找矿阶段(谢学锦, 1996)。相对应的新阶段, 大量的高分辨率、强穿透性的地质、地球物理、地球化学、遥感等找矿方法技术不断成熟与应用, 同时也为地质勘查、成矿分析积累了大量的找矿资料。运用现代计算机信息处理手段, 对其进行深层次的提取与综合, 是目前成矿分析一项十分必要的工作。

1 成矿信息提取与综合的基本概念

信息是用数字、图形、影象、文字、符号及介质来表达事件、事物、现象的内容、数量或特征, 信息来自未加工的原始资料数据。成矿信息是指指示和识别某种矿床的成矿条件和赋存方式的地质信息总和, 可分描述性、事实性成矿信息及通过深加工才能获取的加工型数据。成矿信息的提取与综合就是在全面研究和综合分析地质、地球物理、地球化学和遥感资料的基础上, 总结成矿规律及控矿因素, 从中提取出指示矿床存在、赋存规模及质量的评价信息, 为潜在矿床的预测评价, 制订普查找矿的最佳方案提供依据。成矿信息的提取与综合的重要性体现在以下几点:

^{*} 原地矿部百人“跨世纪科技人才”资助

第一作者简介: 肖克炎: 男, 1964 年生, 博士, 研究员, 1991 年长春地质学院博士毕业。邮政编码: 100037

1999-05-15 收稿, 1999-09-16 修改回

(1) 成矿分析是目标性、探索性预测：尽管一个地区的成矿分析和资源评价有明确的目标性，但目前仍未出现一种唯一性找矿方法。例如对隐伏金矿床的勘查由于受到当前技术与理论发展的限制，单一找矿信息找寻隐伏矿床并不一定有效，这使得预测成果具有探索性。

(2) 物探、化探、遥感勘查技术产生的成矿信息多解性：尽管地球化学勘查是一种直接找矿方法，但大的地球化学异常信息并不能表示一定有大矿，而小异常却有时对应大矿的事实已屡见不鲜，如排山楼、猫岭等金矿与化探异常的对应关系并不明显。地球物理、遥感技术的多解性更众所周知。至于地质找矿标志对成矿的指示意义也同样具有不确定性，具有相似地质环境的地区找不到相似矿床也是有目共睹的。因此迫切希望在新的成矿理论指导下，进行多元信息的成矿信息深层次提取与综合。

(3) 成矿分析中隐含信息的捕捉与强化：物、化探和遥感图象资料正如前述，强者不一定与矿床有关，弱者与矿床不一定无关。有些弱的信息常常是潜在矿床的反映，有必要采用特殊的方法识别成矿信息，压缩或排除干扰信息，特别是要研究当一种勘查技术测量信息只有在另一种地质测量出现才有找矿意义（赵鹏大，1994）。捕捉隐蔽信息，有可能在地质找矿中发现在通常情况下不易发现的隐伏矿床。

(4) 大量的勘探资料需要信息浓缩与综合：据不完全统计，全国地质、地球物理、地球化学资料建立数据库将是上万兆的海量数据库，而且还在不断产生新的勘查资料，因此，必须利用新技术手段，特别是计算机信息手段，研究挖掘与矿床生成有密切联系的“浓缩信息集”。Data mining 将使人们借助计算机手段，帮助地质学家处理人脑从海量数据中难以完成的复杂的成矿信息分析工作。

2 成矿信息的提取

众所周知，成矿作用过程是复杂的，其复杂性决定了矿床成矿元素的不均匀性和多变性，也决定了地球物理场与地球化学场的复杂多变性。因而应对勘探资料作深层次成矿信息提取与研究（图1），只有这样才能把握复杂的成矿规律。成矿信息提取是针对地质勘查资料进行的，不同的数据源其处理方法又各有不同。

地球物理勘查方法种类较多^[5]，如重力、磁法、电法、地震、放射性测量等，主要是以地质体的物理性质差异为直接观测对象，并通过对观测的地球物理场的变化，进行地质解译。和其它地质找矿方法不同，物探方法仅是一种间接找矿方法。对物探资料的成矿信息提取，主要侧重于发挥物探深源性探测优势，挖掘其反映深部构造认识的信息，如目前先进的地震CT信息技术来反映深部地质精细结构。对于重磁资料处理，可以通过不同层次空间滤波分析，反映地质构造的深部变化规律。目前从成矿分析经常用到的重磁提取的新趋势来看，一些先进的欧美国家发展了一系列计算机可视化强的重磁解译系统，如可视化地质构造三维反演系统等。另外，还引进了小波分析、分形理论全新的数据处理模型。

地球化学成矿信息的提取技术主要涉及到区域化探异常的圈定与识别，传统的数学地质方法一直发挥着非常重要的作用，如因子分析法、判别、聚类分析法等。这些方法能够有效地研究元素的相关关系，找出与成矿作用相关的地球化学元素组合。当前发展地球化学成矿

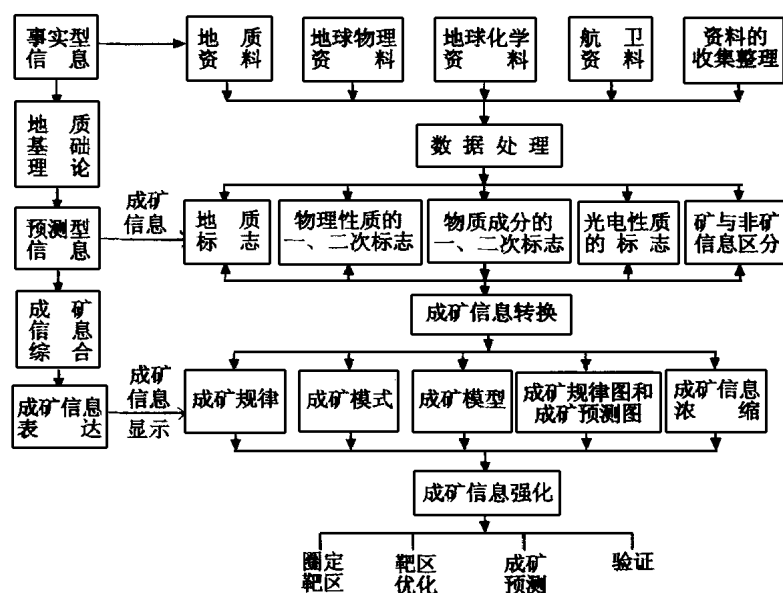
图1 成矿分析信息图^[1]

Fig. 1. Diagram of metallogenic information analysis.

信息的技术方法是：从区域地球化学场角度出发，研究区域地球化学元素的物质结构性与空间结构性特征。例如，通过稳健统计学的办法，进行地球化学异常场的分解；通过因子分析，解决地球化学场物质演化特征；通过空间地质统计学技术，进行地球化学场空间结构分析及异常圈定。发展基于GIS空间信息技术的地球化学异常分析系统，是化探成矿信息提取的有效途径。

地质信息的提取以前做得到较多的是成矿信息的研究，如岩石、同位素

等数据定量统计提取，以及构造等密度、方位统计，但对地质概念图件的提取研究，大多数处于定性阶段，GIS技术应用将使地质信息的提取进入新阶段。F P Agterberg 运用GIS缓冲区分析，成功地、详细地研究了新科金地区金矿化与北西向构造的关系。运用GIS技术，可以方便地进行地层、岩浆岩与矿产的统计规律认识，可以构造反映地质复杂度的熵分析模型，可以快捷地完成各地质因素的找矿信息定量分析。

值得指出的是，成矿信息的提取并非使用的数学模型越复杂越好，相反使用一些简单模型，如比值模型、找矿信息量模型往往会得到十分好的找矿效果。如美国学者坎农在研究MVT铅锌矿时，通过几十个同位素分析结果，总结出矿石中 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 为1.48的为矿，从而指导该类型矿床预测。但运用计算机信息处理技术对成矿信息的提取能力、工作效率会产生质的飞跃。

3 成矿信息的综合

地质特征、地球物理、地球化学、遥感等信息都是区域地质及成矿作用不同侧面的反映，成矿信息的综合也属必然。同样，综合（integration）在空间地质信息技术中也是使用者最广泛术语之一。

(1) 成矿多元信息地质理论综合：地质、地球物理、地球化学、遥感等多元成矿信息的综合分析一直是目前最具有挑战性的成矿分析工作。正如前苏联学者谢格洛夫所说：“目前成矿分析已发展到一个新阶段——综合阶段，必须广泛利用所有的地质、地球物理、地球化学资料，特别是航天、航空地球物理资料”^[4]。运用多元信息进行成矿规律的综合在我国矿

产资源评价中,特别是二轮区划中取得了卓有成效的成果,并发展了综合信息矿产资源预测方法(图2)。它包括综合信息成矿规律图编制、综合找矿模型的建立及矿产资源定量评价等内容。

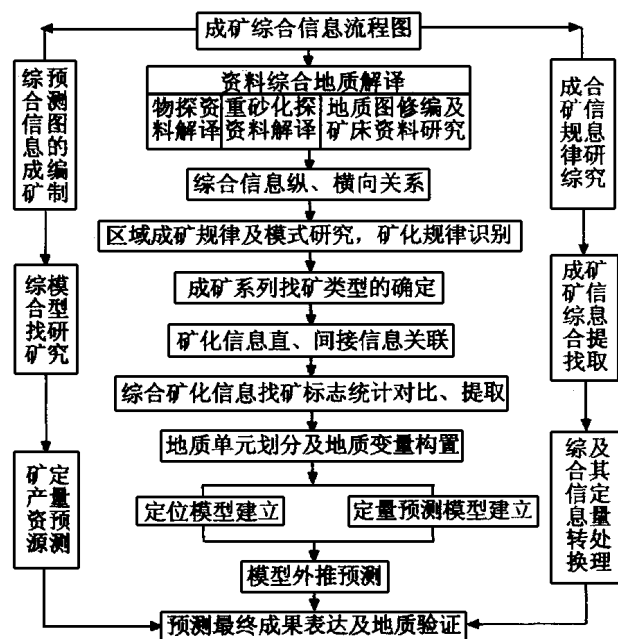


图2 成矿综合信息工作程序

(据王世称教授的内容修改)

Fig. 2. Working procedure of metallogenic integrated information.

成矿信息综合法就是在现代成矿理论指导下,从地质演化发展的历史观点,充分利用地质、地球物理信息,研究地壳地质构造、演化的深层结构特征,利用地球化学信息研究成矿作用过程的物质表现。通过不同信息纵向、横向关联,形成反映三维空间地质建造特征的区域成矿规律。

成矿规律综合信息分析是成矿分析的上层建筑,需要广泛的、扎实的地质经验和知识,是任何技术手段都替代不了的。

(2) 成矿信息的定量综合分析: 矿产资源定量评价实质上是运用计算机手段,采用适当的数学模型,研究区域矿床产出及其远景规模与各种成矿信息的关系,查明各个控矿因素、矿化信息在确定矿床出现的规模中所占的重要性。如特征分析中,确定各地质变量在成矿有利的权大小。成矿定量综合分析包括统计单元的合理划分,控矿因素地质变量的

构置,模型单元的选择及定位定量模型的建立等问题。矿床定位、定量预测模型是以已知模型单元为基础建立的,建立定位预测模型的数学方法有循环分析、数量化理论等;建立资源量预测模型的数学方法有逻辑信息法、蒙特卡罗法等。对所建立的定量模型,尚需检验、简化、优化研究,最后根据成矿信息定量综合模型,外推预测。

(3) 基于GIS成矿信息的综合: GIS地理信息系统是采集、存贮、管理空间地理信息的有效工具,是目前先进国家在矿产资源评价中广泛使用的信息合成手段^[7]。随着我国大量的找矿信息空间数据库的建设,成矿分析将从方法上悄悄地发生变革。GIS技术的主要优势是: ① 高效、有序地管理地质、地球物理、地球化学、遥感找矿信息资料。这些资料既可以是数据、文字,又可以是空间地图数据,使得成矿分析可以经常化。② 快捷、方便地完成各种空间信息的查询与综合。如可以在很短的时间内,完成区域有利构造带与地球化学异常的综合;可以完成以前理论上可靠,但实际上工作量太大,工作难以实施的方法,如地质复杂度熵分析等。③ 可以实现预测过程思维可视化。这使得到预测过程可以通过计算机再现。

GIS成矿信息的综合与传统的定量评价相比,有其不可比拟的优势。它不仅可以对数据

进行综合,还可以对图形、图象信息综合。研制开发 GIS 成矿信息分析系统,成为近期热点。我们在矢量数据结构为主体 GIS 平台上,开发了 MRAS 系统(图3)。其中成矿信息的综合包括经验模型、找矿信息加权及矿床模型法3个子系统,提出了 GIS 预测独立条件图层概念,较成功地将定量预测与 GIS 可视化及空间分析结合起来。

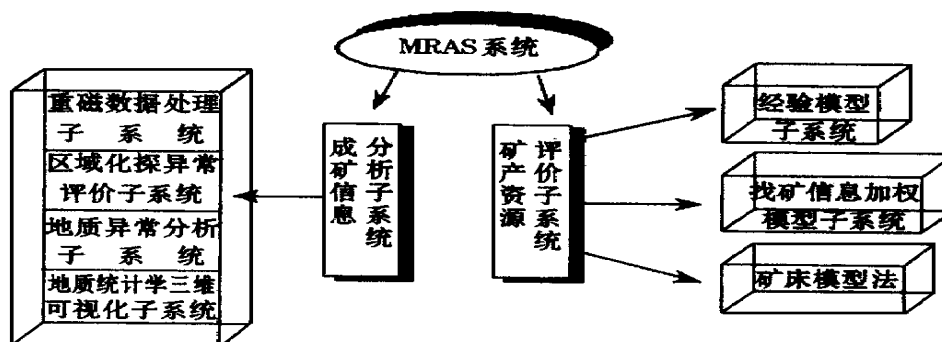


图3 MRAS 子系统构架图

Fig. 3. Frame diagram of MRAS subsystem.

4 成矿信息分析的进一步发展趋势

(1) 建立国家和地区的矿床模型库及专家系统：在区域矿产资源评价中，矿床模型的建立是预测的基础^[6]。尽管我国已建立了各式各样矿床的成矿模式，但这些模式目前均是以一种通过文字式图表表达的理论。面对今后成矿分析的媒体均是数字化信息的需求，急需将这些专家知识总结成数字化信息。根据国际资源评价的成功经验来看 (Wyborn Hodgson 等)，建立数字化矿床模型专家系统关键问题必须从成矿系统出发，建立不同预测尺度层次、不同精度水平的找矿预测模型。那种只研究具体矿床成因、局部标志的矿床模型，在区域资源预测中并不适用 (Wyborn)^[8,9]。应该从成矿系列研究出发，建立满足预测资料水平的信息转换模型。

(2) 建立以成矿分析为基础新的成矿预测方法体系：如何以矿床模型研究为基础，将区域成矿学、多源信息成矿综合研究、矿产资源定量预测有机地结合起来，实现经验模型法与成因概念模型法的统一，达到运用地、物、化、遥多元信息研究成矿规律，以及以成矿学为基础研究多元信息的找矿模型，是矿产资源评价的重要研究课题。建立起新的成矿预测方法体系，将使成矿预测有更新的进展。

(3) 发展以 GIS 技术为支撑的多元信息分析系统：解决成矿信息的提取不充分，以及对多元找矿信息的深层次研究，仍然是矿产资源评价的重要研究课题。积极发展 GIS 矿产资源评价技术，探索非线性多元信息分析模型、神经网络模型、多元分形及人工智能技术，将 GIS 空间数据库图形可视化，及空间分析模型与宽间信息模式分析结合起来。

(4) 发展以矿床品位—吨位模型为基础的矿产资源经济评价模型：改变我国以往资源评价重数量、轻质量的评价思想，以适应市场经济对矿产资源新的需求，可积极引进国外先进模型。

(5) 探索在中、大比例尺成矿预测的三维可视化及虚拟现实 (VR) 地质计算机模拟技术三维可视化技术的发展, 将有利于地质专家在隐伏矿床预测中, 对三维地质构造、矿床的展布有更加形象、直观、透彻的了解。VR 技术能够真实模拟我们未可经历的成矿过程, 使矿床评价专家的理论得到最大程度可视化。

参 考 文 献

- 1 朱裕生, 肖克炎等. 成矿预测方法. 北京: 地质出版社, 1997.
- 2 赵鹏大, 胡旺亮, 李紫金等. 矿床统计预测. 北京: 地质出版社, 1983.
- 3 陈毓川, 朱裕生, 张洪涛等. 中国主要区带矿产资源远景评价. 北京: 地质出版社, 1998.
- 4 谢格洛夫. 成矿分析基础. 吴承栋译. 北京: 地质出版社, 1985.
- 5 熊光楚, 谢德顺, 张文斌等. 新疆金属矿产快速勘查方法技术系统. 北京: 地质出版社, 1997.
- 6 Cox D P, Singer D A. Mineral deposit models. United States Geological Survey Bulletin 1693. 1986.
- 7 Bonham-Carter G F. Geographic information systems for geoscientists. Pergamon Press, New York, 1995.
- 8 Wybron et al. Using GIS for mineral potential evaluation areas with few known mineral occurrences. Australian Geological Survey Organization Record, 1995.
- 9 Knox-Robinson. Towards a holistic exploration strategy: using Geographic information systems as a tool to enhance exploration. Australian Journal of Earth Sciences, 1997.

THE EXTRACTION AND INTEGRATION TECHNOLOGY OF MINEROGENIC INFORMATION IN MINERAL RESOURCES ASSESSMENT

Xiao Keyan, Zhu Yushen, Zhang Xiaohua, Song Guoyao and Chen Zhenhui

(Regional Mineral Resources Assessment Division, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100037)

Key words: metallogenic model, information, integration, mineral resource, assessment

Abstract

Mineral resources have deep influence on social economy, public health and sustainable development. How many quantities of mineral resources have already been discovered in our country? How many are undiscovered? Where can we exploit the deposits? How many deposits remain to be discovered in future and what is the quality of these deposits? The above problems are key problems in national resources investigation. Mineral resource assessment tries to answer these questions by analyzing the comprehensive information of geological exploration in an integrated way. There are many multiresource data in modern mineral exploration, and it is very important to use these data for mineral resource assessment. Tremendous advances have been made since six basic mineral resource assessment methods were put forward by IGS in 1970s. In this paper, some problems are discussed concerning geological information integration and analytical methods. The trend of geological information integration is also predicted.