



“中国成矿体系与区域成矿评价”项目系列丛书

总主编：陈毓川 常印佛 裴荣富 任纪舜 汤中立 翟裕生

中国矿产资源 评价新技术与评价新模型

肖克炎 王勇毅 陈郑辉 等著

地质出版社

“中国成矿体系与区域成矿评价”项目系列丛书

中国矿产资源评价 新技术与评价新模型

肖克炎 王勇毅 陈郑辉 薛群威
黄文斌 朱裕生 杨永华 张寿庭 著
杨毅恒 张晓华 刘 锐

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系统全面总结了国内外矿产资源评价的现状 & 当前矿产资源评价流行新方法 & 新模型,着重解剖了矿床模型专家系统及数字矿床模型、非线性理论(神经网络、分形等)、矿床品位吨位模型等的基本原理、应用条件、工作流程及实施方案,阐述了探索 GIS 技术与矿床模型知识专家系统相结合、在 GIS 平台上实现非线性理论多元信息提取与综合、进一步完善 & 发展运用综合信息估算资源量的定量模型等问题。给出作者对数字矿床模型的理解 & 总体研究思路,在前人总结的成矿模式 & 综合信息找矿模型基础上,以近二百个典型矿床为实例,研究矿床地质知识模型及计算机推理网络模型,建立以多元地学空间数据库为支撑的我国铜、金矿产区域空间综合信息找矿知识模型,建成中国铜、金矿数字矿床模型专家系统,在此基础上开发出基于数字化矿床知识模型的 GIS 矿产资源定位评价系统。详细介绍了建立我国铜、金矿产的品位吨位模型等新方法模型研究过程,包括神经网络模型、分形模型、品位-吨位模型及资源量模拟模型。全书内容丰富,学术思想新颖、严谨,研究思路清晰,具有先进性、系统性、可操作性,可供基础地质研究和矿产勘查科研、生产、教学部门人员的地质工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国矿产资源评价新技术与评价新模型 / 肖克炎等著.
北京:地质出版社,2006.3
ISBN 7-116-04735-2

I. 中... II. 肖... III. 矿产资源-评价-研究-
中国 IV. TD98

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 015668 号

ZHONGGUO KUANGCHAN ZIYUAN PINGJIA XINJISHU YU
PINGJIA XINMOXING

组稿编辑:王大军 白 铁

责任编辑:刘建三 白 铁

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324579 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京京科印刷有限公司

开 本:787mm × 1092mm ¹/₁₆

印 张:18.25

字 数:450 千字

印 数:1—1000 册

版 次:2006 年 3 月北京第一版·第一次印刷

定 价:60.00 元

ISBN 7-116-04735-2/P·2657



**“中国成矿体系与区域成矿评价”项目系列
丛书是集体劳动的结晶！**

**谨以此书献给耕耘在地质勘查、科学研究及
教学岗位上的广大地质工作者！**

“中国成矿体系与区域成矿评价”项目系列丛书

编委会名单

总主编：（以姓氏拼音排序）

陈毓川 常印佛 裴荣富 任纪舜 汤中立 翟裕生

委 员：（以专题顺序排列）

徐志刚 邓晋福 胡云中 任天祥 邓 军 朱裕生

杜建国 沈保丰 钱壮志 毛景文 王登红 肖庆辉

王世称 肖克炎

编辑组：白 铁 王大军 朱明玉 邢瑞玲 郝梓国 李凯明

刘建三

总 序

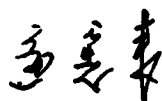
不断将地质调查和地质科研成果进行综合集成，形成系列地质科学文献，具有重要价值。由中国工程院院士陈毓川同志主持，常印佛、汤中立、裴荣富、任纪舜、翟裕生、滕吉文、张本仁等 200 多位专家共同参加完成的“中国成矿体系与区域成矿评价”项目及其所属各课题、专题研究成果陆续出版，将为中国地质学界提供一批重要的文献资料。

“中国成矿体系与区域成矿评价”是 1999 年中国地质调查局设立的国土资源大调查关于矿产资源调查评价工作的全国性、综合性研究项目。该项目成果是对新中国成立 50 多年来广大野外地质工作者和地质科研工作者辛勤劳动成果的一次全面、系统地总结和提升，是目前关于我国大陆矿床成矿系列、主要地质时期大规模成矿作用及其时空结构与成因机理、主要成矿区（带）成矿物质富集规律和定位机制等方面研究的最新、最完整的世纪性科学巨著。

在“中国成矿体系与区域成矿评价”系列成果中，涉及全国性的成矿背景的成果包括“中国地质构造环境、演化及其对成矿的控制”、“中国大陆地球物理场与深部结构及其对成矿作用的制约”及“中国地球化学场与成矿”等；涉及全国性和区域性成矿规律研究的成果有“中国主要成矿区带研究”及“大别-台湾走廊域成矿区带形成的四维结构”等；涉及不同时代成矿作用的包括“前寒武纪成矿作用”、“古生代成矿作用”、“中生代成矿作用”及“新生代成矿作用”等；涉及区域成矿理论的有“中国矿床成矿系列、成矿系列组合、成矿谱系”及“主要成矿系列形成机制和结构特征”的研究，并在此基础上构筑了“中国成矿体系”框架；涉及矿产资源评价的有“综合信息区域成矿评价系统”及

“全国成矿远景评价与重要矿产资源潜力评估”等专题成果及相应的专著。同时，各省、自治区也分别对区域成矿规律进行了系统的总结，对找矿前景和找矿方向进行了分析，并且结合地质大调查资源评价项目的实施，取得了很好的找矿效果。这一系列成果的出版，无疑是对几十年来中国区域成矿规律研究的检阅，也将对今后的地质勘查和地质科研工作产生极大影响，同时对矿产资源调查评价工作部署和生产实践具有重要的指导意义。

中国地质调查局局长

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Song Zhen, the Director of the Geological Survey of China.

2005 年 1 月

前 言

目前我国随着矿产勘查市场化,矿产资源潜力评价已进入一个新阶段。一方面矿产资源潜力评价要为国家政府部门摸清家底进行资源宏观战略性决策服务;另一方面要为矿产勘查生产部门提供勘探选区。这是两类不同性质的任务,摸清家底需要标准的一致方法模型,要有统一性;而具体勘查公司的成矿预测和选区工作,则是一项具有高度创新复杂的技术工作。

自20世纪初法国地质学家L. de Launay提出“成矿区(带)是研究金属的自然富集作用”初始及成矿规律概念以来,研究成矿规律进行成矿预测一直是矿床学家关心的重要内容。20世纪50年代,美国科学家诺贝尔奖获得者阿莱斯首先进行了阿拉斯加矿产潜力价值经济评价,是矿产资源评价的开拓性工作。与此同时,更多的地质学家从研究地质成矿规律进行矿产预测,如李四光将地质力学理论应用于我国东部石油预测与找矿部署。20世纪70年代陈毓川、李文达为首的研究集体开展了宁芜火山岩地区成矿的系统研究,首次建立了区域矿床成矿模式-宁芜玢岩铁矿成矿模式。20世纪70年代,美国地调局实施了包括美国本土金属、石油等四项大的矿产资源评价计划,第一次在当时地质认识水平上全面系统评价了地下未发现的资源潜力,美国地质调查局出版了820专题报告,第一次全面介绍美国国家矿产资源评价,包括了对金矿、银矿、铜矿、铅矿和锌矿保存的地质环境、矿床类型、资源量、预测方法和今后研究要解决的问题的总结,未来一代所需要资源的地质开发利用的可持续性首次被考虑。20世纪90年代初,美国地质调查局使用统一的三步式评价方法及标准的评价模型(93个矿床模型),在全国19个成矿省开展了金、银、铜、铅和锌未发现资源评价。与此同时许多地质勘查专家、数学地质专家在使用计算机工具和统计方法开展矿产资源定量预测研究,比较有代表性有麦卡门、阿格特伯格、哈里斯等,并在20世纪80年代初推荐了6种矿产资源评价方法。与区域成矿规律研究地质预测相比较,定量预测能够充分挖掘多元勘探找矿信息,有其独特优势。在20世纪80~90年代统计定量预测风行一时,取得一定效果,20世纪90年代后期将矿床模型与定量预测方法有机结合是其新的趋势。如美国三部式预测方法,实质是矿床模型加品位吨位模型计算机模拟。基于上述背景开发出以矿床模型为出发点的数字矿床定量评价方法构成本次研究的核心问题。20世纪80年代美国地质调查局就开展了基于矿床模型的专家系统计算机软件开发研究工作,他们第一次成功地系统使用人工智能推理技术建立评价系统,并取得一定实际找矿效果。该项研究一直没有停止过,如最近加拿大Dome Ventures公司开发了MINEMATCH系统辅助勘探专家对特定地区所见矿化类型进行识别。这些系统最大优势是将世界范围内典型矿床模型知识表达内容加以丰富,地质基础性强,但明显不足只是专家知识推理,没有将海量勘察信息与矿床模型知识结合起来。

本书研究内容属矿产资源综合评价与地质信息技术交叉研究领域,研制的矿产资源评价新模型适合于地质大调查中矿产资源评价领域,为新一轮国土资源地质大调查提供基础

性方法模型。本专著的基础材料来自中国地质调查局国土资源大调查项目“矿产资源评价新技术与评价新模型（编号：DKD2002012）”的研究成果报告，项目起止时间为2000年1月至2003年6月。该项目的总体目标是以国家地质空间多元信息库为支撑，以GIS为平台，发展新一轮矿产资源定量评价方法模型，为我国矿产资源评价提供方法技术支撑。其主要任务包括：矿产资源评价的新方法新模型研究；我国主要铜、金矿床GIS数字知识模型建立；新一代矿产资源评价软件系统集成与开发。具体内容如下：

（1）研制区域找矿数字矿床模型评价系统

以前人总结的成矿模式和综合信息找矿模型为基础，以近二百个典型矿床为实例，以1:20万地质、地球物理、地球化学、遥感空间数据库为支撑，建立我国铜、金矿床区域性空间综合信息数字化找矿知识模型。在此基础上开发基于数字化矿床知识模型的GIS定位评价系统。

（2）发展新一代矿产资源定量评价方法

重点解剖非线性理论（神经网络、分形等）、产出率模型、经济成本滤波器模型、GIS专家系统及模型等的应用条件、方式、工作原理流程及实施方案，建立我国铜、金等矿产的经济成本滤波器及产出率模型，探索GIS技术与矿床模型知识专家系统（ES）结合问题，在GIS平台上实现非线性理论多元信息提取与综合，进一步完善和发展运用综合信息估算资源量的定量模型。

（3）开发相应的矿产资源评价软件

在目前最流行的GIS平台上，建立我国铜、金矿床找矿评价数字知识库，开发基于这些矿床空间数字知识的评价工具系统；探索新一代定量评价方法模型，在GIS平台上从应用的角度出发，开发相应的软件工具。将新开发的方法模型与已开发的MRAS系统结合起来，形成实用的、先进的数字矿床评价软件工具。

研究过程中，查阅、分析了20多本矿床模式著作及大量铜矿、金矿科研报告、勘查报告和总结性文字资料，铜矿、金矿建库分析了全国铜矿、金矿储量表60多份，建库填表金1411个，铜984个。完成全国1:500万、东昆仑、阿舍勒等三个地区多元空间数据库的集成，并集成了最新的全国1:250万地质图、4万多个化探数据点。

数字矿床模型评价系统研究过程参考陈毓川院士、裴荣富院士及美国地质调查局Cox和Singer等的有关矿床模型建模研究成果确定矿床模型建模要素，并选取137个典型铜矿床实例和60多个典型金矿床实例总结铜矿、金矿矿床找矿模型知识，构建我国铜、金矿产矿床模型知识库，由此建成我国铜、金矿产数字矿床模型专家系统，然后与MRAS矿产资源GIS评价系统融合，建成基于专家系统和GIS的数字矿床模型区域矿产资源评价系统。

新方法模型研究过程完成了神经网络模型、分形模型、品位-吨位模型。神经网络模型包括BP模型、Hopfield模型、Kohonen模型及ART1模型四种；分形完成了我国主要铜矿类型品位-吨位联合分形模型，包括岩浆熔离型铜镍硫化物矿、斑岩型、接触交代型、海相火山气液型、陆相火山气液型、热液型、海相沉积型、陆相沉积型、受变质型；品位-吨位模型包括九种铜矿模型（岩浆熔离型铜镍硫化物矿、斑岩型、接触交代型、海相火山气液型、陆相火山气液型、热液型、海相沉积型、陆相沉积型、受变质型）及4种金矿模型（构造破碎带蚀变岩型、绿岩型、微细浸染型、接触交代型）。基于上述模型，建

立了新一代神经网络、MARK3 矿产资源定量评价方法体系。

采用泊松分布方法对十种类型铜矿进行了资源量模拟。德尔非法资源量评价利用各个专家对矿点数的估计,获得矿点的分布参数,得到资源量的模拟。专家打分包括对全国将来最有可能发现的铜矿资源量及铜矿个数进行打分、模拟以及对斑岩铜矿个数及斑岩铜矿资源量进行打分、模拟。面金属量的计算利用次生晕和分散流资料进行地球化学异常评价,估算矿产资源量。共对十种类型铜矿进行了资源量模拟。

矿产资源潜力评价对国家地质找矿工作部署和经济可持续发展十分重要,研究和开发为地质矿产调查服务的评价新方法模型具有重要意义。本书取得的主要成果如下:

(1) 在数字矿床模型技术研究方面有一定突破

该研究是近年来矿产资源评价的热点研究课题,始于美国地质调查局,为世界前沿性研究领域。目前,这一领域的研究工作正在美国地质调查局进行。本研究按照我们对数字矿床模型的理解,在数字矿床模型理论和实践两方面进行了有益的探索,开发出中国铜金矿数字找矿模型评价系统。该系统借鉴美国地质调查局“三步式”成矿预测方法的基本思路,通过建立数字矿床模型计算机智能推理网络系统,进行多源地学数据的综合,推理判别预测区可能产出的矿床类型;然后利用地学综合信息空间数据库中可用于定位的地学图层数据,在 GIS 软件平台上进行多元信息综合处理,圈定可能赋存该类矿床的地质找矿可行地段,实现远景区定位;最后,选取人工神经网络模型等定量分析方法,进行远景区级别优选,最终完成区域成矿潜力的综合定量评价。以上几步工作是在统一的计算机软件平台上,通过一体化系统处理完成。研究开发的数字矿床模型“中国铜金矿数字矿床模型评价系统”是对传统矿床模型找矿的重要改进和创新。

(2) 初步建立我国铜、金矿数字矿床模型

研究建立的数字矿床模型专家系统在深入研究我国大量典型铜矿床实例的基础上,对我国铜矿典型矿床描述性模型进行概括和总结,抽取其中最能概括并区分各种矿床类型的内容,把这些用自然语言描述的项目转化成数据和符号,建立我国铜矿主要典型矿床成因模型的数字矿床模型原始数据库。在此基础上,通过解决描述矿床模型的自然语言与计算机可以识别和处理的符号集合之间的对应关系,建成矿床类型计算机专家推理系统知识规则库,实现矿床模型智能推理。本研究以岩浆熔离铜镍硫化物型、斑岩型、接触交代(矽卡岩)型、海相火山气液型、陆相火山气液型、热液型、海相沉积型、陆相沉积型、受变质型和表生型 10 种铜矿床成因类型为原始描述性矿床模型分类依据,首次系统地对我国铜矿种的各种类型矿床进行矿床模型研究、总结,通过分析、研究、对比大量典型矿床实例,概括总结出每一类矿床的综合地质特征及标志组合,建立中国铜矿 10 个矿床类型的地质找矿知识模型,然后从中抽取可用于推理判类、并能把 10 个铜矿模型区分开的地质特征,建立相应的计算机推理网络模型,初步建成中国铜、金矿数字矿床模型专家系统,是一项创新性探索研究工作。

(3) 开发了数字矿床模型推理软件原型

重大创新点是将 GIS 与人工智能专家系统结合起来,初步开通矿床模型知识与 GIS 地质矿产资源数据库信息联系的桥梁。近年来,随着 GIS 技术的日趋成熟,用 GIS 空间数据库存储、分析、表达地学工作成果成为 GIS 技术在地学中应用的重要方面。如何将专家系统的知识库、知识推理与区域地质多元信息数据结合起来,实现专家系统与 GIS 的结合,

已成为 GIS 空间分析的发展趋势,这同时也是使专家系统能在地质科学中成功应用的重要研究课题。本研究在中国铜金矿数字矿床模型评价系统中,通过建立中国铜金矿数字矿床模型专家系统,并将专家系统与综合地学 GIS 数据库及 MRAS 矿产资源 GIS 评价系统工具有机结合,初步实现了专家系统与 GIS 技术融合。

(4) 在国内矿产资源潜力评价中研究矿床品位-吨位模型

取得的结论有一定的创新性,如通过项目研究发现金属元素的分布由于不同成矿作用其元素的概率统计分布形式不一样,初步修正了国外统一使用对数正态分布的结论,可以提高预测精度。建立了我国不同类型铜矿、金矿地质数据库和品位-吨位模型。通过对比研究我国斑岩铜矿模型和世界斑岩铜矿品位-吨位模型差别较大,根据 MARK3 软件得出的全国斑岩资源量差别较大,从这方面说,我们应该在参照国际标准得模型基础上,建立自己的品位-吨位模型,这样才可能有可靠的潜力定量评价基础。

(5) 开发的矿产资源潜力评价软件工具取得较好应用效果

在 GIS 平台上开发了类似 MARK3 的矿产资源潜力评价工具,为我们今后中美合作项目和区域资源量评价提供工具,开发的软件在河北、江西、新疆矿、金资源评价和油田资源评价得到较好的应用效果。应用神经网络模型、地球化学面金属量法和数字矿床模型工具进行全国铜矿资源潜力、东昆仑地区 and 新疆阿舍勒铜矿评价,取得一定应用效果。

本专著是参加矿产资源评价新技术与评价新模型(项目编号:DKD2002012)课题全体成员的集体成果。编写分工是:前言由肖克炎、王勇毅完成;第一章由肖克炎、黄文斌完成;第二章由王勇毅完成;第三章由王勇毅、朱裕生、张寿庭完成;第四章、第五章由王勇毅完成;第六章由薛群威、刘锐完成;第七章第一节由朱裕生完成,其余各节由陈郑辉完成;第八章、第九章由肖克炎、陈郑辉、刘锐完成。全书由肖克炎、王勇毅统稿。

本项研究负责人为肖克炎,主要研究人员有王勇毅、朱裕生、陈郑辉、薛群威、张寿庭、黄文斌、杨永华、杨毅恒、高兰、潘辉逖、陈明、刘锐等。王勇毅、朱裕生、张寿庭负责知识库的总结和研究,薛群威负责专家系统软件开发,陈郑辉、杨永华、陈明等负责神经网络和分形研究,高兰、潘辉逖负责铜矿、金矿数据库建立。本书研究由于国内无可全面参照的研究成果,探索性强,难度大,加之工作时间较短及其他主、客观方面的原因,研究成果还存在一些不尽如人意之处,敬请学者、专家给予批评指正。

在研究过程中,河北地质调查院、山东地质调查院和河南地质调查院等参与了软件试点和野外工作,夏立显对神经网络数学进行了简明数学表达工作,张德全研究员提供了东昆仑铜矿预测数据和实验,王全明研究员提供了新疆阿舍勒铜矿数据和软件实验,向运川提供了全国地球化学数据,叶天竺等提供全国 1:250 万最新数字化地质图。研究工作还得到陈毓川、赵鹏大、李裕伟、黄崇珂、王瑞江、王全明、彭齐鸣、刘凤山、芮宗瑶、王登红等帮助与指导,美国地质调查局矿床评价专家 Singer 通过 Email 多次对我们具体科研工作指导,在此表示衷心感谢!

目 录

总 序

前 言

第一章 当前固体矿产资源潜力评价方法评述	(1)
第一节 固体矿产资源潜力评价发展现状	(1)
第二节 有关矿产资源评价新方法模型的探讨	(4)
第二章 数字矿床模型概述	(12)
第一节 国内外研究现状	(12)
第二节 研究内容及技术路线	(18)
第三章 矿床地质模型的建立	(22)
第一节 矿床模型建模工作流程	(22)
第二节 中国铜矿床地质知识模型的建立	(22)
第三节 铜矿床地质模型的计算机推理模型	(44)
第四节 金矿床地质知识模型的建立	(59)
第四章 专家系统概述	(74)
第一节 人工智能与专家系统概述	(74)
第二节 专家系统基本结构	(75)
第三节 专家系统知识表示	(76)
第四节 专家系统推理机设计	(83)
第五节 专家系统推理网络	(86)
第五章 数字矿床模型专家系统的设计	(92)
第一节 系统菜单	(92)
第二节 矿床模型知识库	(112)
第六章 数字矿床模型专家系统的实现	(119)
第一节 数字矿床模型专家系统实现技术	(119)
第二节 数字矿床模型专家系统推理系统	(123)
第三节 数字矿床模型专家系统软件的实现	(131)
第七章 中国铜矿数字矿床模型评价系统	(147)
第一节 铜矿床类型空间定位的标志	(147)
第二节 空间定位单元的生成	(159)
第三节 预测单元的生成	(162)
第四节 靶区的优选	(162)
第五节 数字矿床模型评价系统设计与实现	(165)

第八章 数字矿床模型中的神经网络方法	(177)
第一节 神经网络方法	(177)
第二节 神经网络 BP 模型	(179)
第三节 神经网络 Hopfield 模型	(195)
第四节 神经网络 Kohonen 模型	(204)
第五节 神经网络 ART1 模型	(209)
第九章 基于我国矿床品位-吨位模型的 MARK3 资源量评价预测技术	(215)
第一节 MARK3 资源量评价预测技术原理	(215)
第二节 MARK3 资源量评价预测技术的实现流程	(216)
第三节 应用实例	(223)
第四节 我国矿床品位-吨位模型研究	(231)
参考文献	(261)
英文摘要	(266)
附 图	(267)

Contents

General foreword

Preface

Chapter 1	Review on the mineral resources assessment methods recently	(1)
1.	Status quo of mineral resources assessment	(1)
2.	Discussion on new methods and models of the mineral resources assessment	(4)
Chapter 2	Overview of the digital mineral deposit model	(12)
1.	Status quo of the digital mineral deposit model inside and outside	(12)
2.	Main points and research approach of the digital mineral deposit model	(18)
Chapter 3	Establishing mineral deposit model	(22)
1.	Work flow of establishing mineral deposit model	(22)
2.	Establishing geological knowledge model of copper ore in China	(22)
3.	Establishing computer-reasoning model of copper deposit model in China	(44)
4.	Establishing geological knowledge model of gold ore in China	(59)
Chapter 4	Introduction of expert system	(74)
1.	A brief of artificial intelligence and expert system	(74)
2.	Basic configuration of expert system	(75)
3.	Knowledge expression of expert system	(76)
4.	Design of reasoning machine for expert system	(83)
5.	Reasoning network of expert system	(86)
Chapter 5	Design of digital mineral deposit model expert system	(92)
1.	System interface menu of digital mineral deposit model expert system	(92)
2.	Knowledge database of mineral deposit model	(112)
Chapter 6	Realizing an expert system of digital mineral deposit model	(119)
1.	Technique of expert system of digital mineral deposit model	(119)
2.	Reasoning system of expert system of digital mineral deposit model	(123)
3.	Software system of expert system of digital mineral deposit model	(131)
Chapter 7	Resources assessment system of digital copper mineral deposit model in China	(147)
1.	Spatial positioning factors of copper mineral deposit type	(147)
2.	Production of spatial positioning units	(159)
3.	Production of forecast units	(162)
4.	Optimization of target units	(162)
5.	Design and realization of digital mineral deposit model assessment system	(165)
Chapter 8	Neural network methods in digital mineral deposit model	(177)
1.	Neural network methods	(177)

2. BP network model	(179)
3. Hopfield network model	(195)
4. Kohonen network model	(204)
5. ART1 network model	(209)
Chapter 9 MARK3 Quantitative resources assessment based on the grade and tonnage models in China	(215)
1. Principle of MARK3	(215)
2. Work flow of MARK3	(216)
3. Instances	(223)
4. The grade and tonnage models in China	(231)
References	(261)
Abstract	(266)
Attached Map	(267)

第一章 当前固体矿产资源潜力评价方法评述

本章对矿产资源评价的现状及目前的矿产资源评价流行方法进行了论述，目的是为矿产资源评价新方法模型研究提供参考。

第一节 固体矿产资源潜力评价发展现状

矿床是能够为人类所利用的具有经济价值的地质体。矿产勘查就是不断地找寻未发现的矿床。由于矿床具有经济上的紧缺性、地质上的稀有性及特异性和人们对地球表面地壳三维地质结构认识的有限性特征，找寻未发现的矿床就是一项非常复杂和具有风险性的工作。如何去发现新的矿产资源、在哪里有所需要的质量和数量符合要求的矿产即在哪里进行地质勘探工作，这就是矿产资源潜力评价（在我国通称成矿预测）的根本任务。

成矿规律概念是由法国地质学家朗内首先引进到地质学中的，它被用来表示矿床生成的某种联系，研究矿床生成时空规律即是矿产预测。目前，成矿预测已广泛被广大经济地质工作者所接受，是地学中较为活跃的新型学科。在前苏联成矿预测已纳入地质工作规范，成为地质工作中不可缺少的一个环节；在欧美成矿预测被认为是发现矿床的有效途径。由于找矿勘探的需要，成矿预测于20世纪四五十年代得到蓬勃发展，前苏联地质学家毕利宾、斯米尔诺夫、费尔斯曼、科罗列夫及欧美吉尔德、纽豪斯、艾孟斯、鲁蒂埃等为该学科发展进行了许多有开创性的工作。毕利宾所创建的构造-建造成矿预测分析法在目前仍然为俄罗斯等国地质工作者奉为经典预测方法，也是当前现代金属成矿分析方法体系的基础（Warren J. Nokleberg, 1997、2002）。斯米尔诺夫在四、五十年代对成矿预测深入研究致使成功地发现了东外贝加尔锡矿带。著名的地质学家李四光等是我国成矿预测研究的杰出代表，李四光教授根据地质力学理论和方法研究我国东部石油的分布规律对我国大庆油田的发现起过重要作用。程裕淇、陈毓川等研究和总结的区域成矿系列理论对我国近期开展的全国成矿远景评价和区划发挥着重要作用。

目前对成矿预测还没有一个通用定义，一般认为成矿预测是分析和研究一定地质单元（大到全球、地槽、地台，小到具体矿区）的地质背景和成矿地质历史及矿床空间分布规律所采用的合理的预测方法，为进一步普查找矿指明成矿远景区。按照谢格诺夫的观点，成矿预测是研究和分析矿床时间上和空间上的形成分布规律，在目前必须利用相邻科学最新成就，采用新的预测方法，特别是研究地质产物建造分析方法，全面地分析具体地区和全球范围的地球化学和航天地球物理资料，并采用现代化数学方法来处理相关地质信息，以便查明地质矿床的生成规律。地质建造就是一套反映在相似的构造环境下形成的在成因上具有密切联系的地质产物。建造分析方法就是客观地研究矿床与具体地质建造的成因联系以及各种成矿地质建造时空发展的演化规律，其结果是确定矿床分布规律。目前区域构

造成矿学派较多，主要有三大学派，它们是成矿构造建造学、板块俯冲学及线性成矿学。这些成矿学比较强调构造环境及其演化对成矿作用的控制。而目前方兴未艾的关于典型矿床成矿模式的研究则是研究具体矿床成矿的物质来源、成矿作用地质地球化学机理，其最终目的是研究矿床的各种控矿因素及找矿准则。显然各种成矿学说和成矿模式都是以一定事实为依据对成矿作用做一般规律总结，它们是成矿预测理论的基础。

20 世纪中后期，由于计算机信息技术的飞速发展，人类社会进入信息化社会。地球科学这门古老的学科，同样在信息技术应用方面取得突破性进展。70 ~ 80 年代发展起来的处理空间数据的地理信息技术（GIS）彻底解决了地学信息技术应用的技术障碍，从而在地球学科各个研究和应用领域得到前所未有的应用。在矿产资源调查评价中，无论在计算机辅助制图、数据管理、数据综合，还是在矿产资源定量评价方面，计算机信息技术同样发挥了巨大的作用。信息技术是近年来提升和推动矿产资源评价学科创新的核心原动力。现代矿产勘查工作是一个使用多学科勘查方法技术增加对近地表矿产资源状况的认识程度和减少发现风险的过程，产生大量的地质岩性构造、地球化学、地球物理、遥感等专题信息，需要计算机定量分析技术进行信息合成和综合。矿产资源定量评价是以计算机信息处理技术为工具，研究各种勘查信息资料的成矿信息，特别是通过定量方法，研究各种多源信息与矿床资源潜力的关系模型，达到对未知区的定位、定量评价。自 20 世纪 50 ~ 60 年代阿莱斯、哈里斯、格里菲斯、康斯坦丁诺夫等人先后进行单变量资源评价方法探索以来，至 70 年代末，国际地科联第 98 项计划推出了 6 种标准的矿产资源定量评价方法，标志着定量评价进入实用阶段。国际上实施了“矿产资源评价中计算机应用标准（IGP98 项）”，总结并向全世界推广了区域价值估计法、体积估计法、丰度估计法、矿床模型法、德尔菲法和综合方法共 6 种预测方法，科学地进行定位评价。在这方面，一些代表性的成果有：80 年代加拿大学者 Agterberg F P 及美国学者 Duda 研制出矿产资源预测专家系统；美国哈里斯、麦卡门等发展的一套矿产资源经济评价方法体系。近几年来，矿产资源评价进入了一个信息更加综合、技术飞快更新的新时期，主要表现在有机地将当代成矿理论与现代高新综合勘查技术结合起来，体现在将传统的定量数值科学方法与计算机 GIS 图形图像信息可视化结合起来。应用 GIS 进行矿产资源评价探索工作，起始于七、八十年代。早期应用大多数是借助于栅格图像综合叠加布尔运算功能，来研究勘查综合信息与矿产的关系。1978 年加拿大地质调查所在 Quiet 湖区开展了水系沉积物调查，将元素浓度以不同的符号和色调进行编码，叠加于栅格化地质图像、卫星图像进行综合分析。80 年代初，Agterberg F P、Bonham-Carter 等应用以栅格数据结构为主体的 SPANS GIS 系统，利用其空间分带性分析功能从多源数据中提取找矿信息，标度成矿有利区，并发展了证据权重法等矿产资源评价方法。美国 EROS 数据中心在犹他州—科罗拉多州的油气勘探中，建立 1:25 万 Vernal 图幅，包括 MSS、航磁、航放、重力、水系沉积物和地质图空间数据，并对空间栅格数据进行多元统计分析，建立了区域油气评价模型。在 80 年代中期实施的美国 CUSMAP 国家矿产资源评价计划中，GIS 作为一种常规工具，在大多数图幅中得到充分应用，比较有代表性的地区是纳贝斯地区多金属矿产资源评价。澳大利亚地调局 Wyborn 等人在 GIS 平台上开发出从澳大利亚成矿系统出发的成因概念模型 GIS 评价系统，Bonham-Carter 研制出基于栅格数据结构的 GIS 多源信息综合评价系统。

进入 20 世纪 90 年代信息化阶段，美国提出了第二代矿产资源评价的信息化内容，主