

矿床模型综合地质信息预测技术研究

叶天竺¹, 肖克炎², 严光生³

1. 中国地质调查局 发展研究中心, 北京 100037
2. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037
3. 中国地质调查局, 北京 100011

Ye Tianzhu¹, Xiao Keyan², Yan Guangsheng³

1. Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China
2. Institute of Mineral Resource, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China
3. China Geological Survey, Beijing 100011, China

Ye Tianzhu, Xiao Keyan, Yan Guangsheng Methodology of deposit modeling and mineral resource potential assessment using integrated geological information. Earth Science Frontiers, 2007, 14(5): 011-019

Abstract : With sustained and rapid development of the national economy, China's demand for mineral resources is rapidly increasing. This has resulted in resource shortage, which has strongly restricted Chinese economic development. In order to resolve the shortage of mineral resources, it has become an impending task for us to find out the location, quality and quantity of near-surface undiscovered mineral resources. This paper introduces a systematic methodology of ore deposit modeling and mineral resource potential assessment, using integrated geological information. This methodology is based on geodynamics, metallogeny and metallogenic series. It emphasizes the in-depth study of regional geological structures, and the gathering of metallogenic information from geological structures. Taking different levels of metallogenic belts as units, we carry out the classification of mineral deposit types for main mineral products, which facilitates the building of deposit models and the summarization of regional metallogenic series. Besides using information obtained by geophysical, geochemical and remote sensing data and the prediction technique based on geological metallogenic laws, we further apply spatial database and GIS techniques throughout the whole process to delineate a metallogenic prognosis tract, and to estimate the quantity of the potential resource.

Key words : GIS; metallogenic series; integrated information; mineral prediction; geodynamics; metallogeny

摘 要: 随着中国国民经济持续快速发展, 中国对矿产资源的需求呈现了快速增长的趋势, 资源短缺已经成为制约中国经济又好又快发展的主要瓶颈之一。为了解决矿产资源短缺问题, 对陆地近地表未查明矿产资源潜力的区位、数量和质的评价工作已经成为当前十分迫切的任务。文章对矿床模型综合地质信息预测技术体系进行了详细、系统的介绍。该体系以地球动力学、成矿动力学和成矿系列理论为指导, 深入开展区域地质构造研究, 最大限度地分析地质构造的成矿信息, 以各级成矿区带为单元, 划分主要矿产的矿床预测类型, 建立矿床模型, 总结区域成矿系列。全面利用物探、化探、遥感等资料所显示的地质找矿信息, 运用体现地质成矿规律内涵的预测技术, 全面、全过程应用空间数据库及 GIS 技术, 在圈定成矿预测区的基础上估计潜在资源量。

收稿日期: 2007-04-16; 修回日期: 2007-05-18

基金项目: 中国地质调查局全国重要矿产资源潜力预测评价及综合项目 (1212010633901)

作者简介: 叶天竺 (1941—), 男, 教授级高级工程师, 现任国土资源部全国矿产资源潜力评价项目办总工程师, 长期从事矿产勘查工作。
Tel: 010-62303045

关键词: GIS; 成矿系列; 综合信息; 矿产预测; 地球动力学; 成矿动力学

中图分类号: P62 文献标识码: A 文章编号: 1005-2321(2007)05-0011-09

0 前言

已有地质资料表明,我国大约有三分之一的陆地国土面积矿产勘查工作程度低和极低^[1]。为了解决矿产资源短缺问题,对陆地近地表未查明矿产资源潜力的区位、数量和质量的评价工作已经成为当前十分迫切的任务。本文基于我国地质工作的实际情况,在全面总结我国第一轮、第二轮全国成矿区划研究工作经验基础上,充分吸取国内外最新的地质成矿理论和矿产勘查技术及资源评价方法,针对制定国家矿产资源战略与国民经济中长期规划以及科学合理部署矿产勘查工作的需要,经过长期探索,总结了固体矿产矿床模型综合地质信息预测技术。

矿床模型综合地质信息预测技术体系,是以地球动力学、成矿动力学、成矿系列理论为指导,深入开展区域地质构造研究,最大限度地分析地质构造的成矿信息,以各级成矿区带为单元,划分主要矿产的矿床预测类型,建立矿床模型,总结区域成矿系列。全面利用物探、化探、遥感等资料所显示的地质找矿信息,运用体现地质成矿规律内涵的预测技术,全面、全过程应用空间数据库及 GIS 技术,在圈定成矿预测区的基础上估计潜在资源量。

1 理论基础

矿床模型综合地质信息预测技术体系是在地球动力学理论、成矿地质动力学理论、矿床成矿系列理论基础上建立起来的,现把三大理论基础从成矿学的角度加以简要说明如下:

1.1 地球动力学理论

地球动力学是一种统称,其理论由各类学说构成,如:板块构造学说、大陆构造动力学说等。从成矿学的角度,对地球动力学通俗地理解为:指研究由地球层圈(壳幔)转换而引起的各类地壳块体所经历的离散、会聚、碰撞、造山等螺旋形演化过程所反映的动力学的机制、过程、产物的理论。地壳块体的离散、会聚、碰撞、造山等动力学过程主要体现在沉积作用、火山作用、岩浆作用、变质作用、大型变形构造

作用等地质作用特征中。因此研究沉积、火山、岩浆侵入、变质作用、大型变形等地质作用特征是研究地壳块体动力学状态及过程的基本手段。沉积、火山、岩浆侵入、变质作用的研究包括了建造和构造两方面内容,并且与大型变形构造作用密切相关,存在相生相存的关系。为了便于反映地球动力学状态与过程,近几年来国内外开始采用大地构造相的表达方式,我们通过区域地质填图以及某些重要成矿区带的矿产潜力评价试点工作,认为大地构造相的表达方式能够较好的体现地壳块体的地球动力学演化过程,比较真实地反映地壳块体的动力学状态。因此本体系采用大地构造相的概念描述成矿地质背景。

1.2 成矿地质动力学理论

当今成矿学的研究已经纳入了地球系统科学的研究范畴,从描述性特征研究发展为动力学过程研究,成矿作用是地质作用的产物和重要组成部分,地球动力学过程从根本上控制了成矿作用过程。在特定的地质构造活动阶段产生特定的成矿作用,各类地壳块体离散、会聚、碰撞、造山过程中产生各种类型的成矿作用,在不同的地质构造动力学背景下形成的矿产的组合、类型、规模、产状、时空分布等都存在规律性,目前这些规律都在不断地被地质学家所揭示。由于地壳层圈转换而形成地壳物质的熔融、渗滤、分异、运移、侵位过程,导致了成矿物质在特定的地质构造环境中、特定的物理化学条件下集聚、沉淀形成工业矿床。国内外有的学者在近年来根据地球动力学理论还提出了造山带深部成矿说。

成矿地质动力学的研究内容主要包括三方面:一是成矿地质作用研究,包括沉积、火山、岩浆侵入、变质、区域性大型变形构造、综合成矿地质作用。二是成矿构造研究,包括区域成矿构造和矿田构造。三是成矿特征及成矿流体作用研究。

1.3 矿床成矿系列理论

矿床成矿系列,是从四维空间探讨矿床成矿规律的理论,其定义为:“在一定的地质历史时期,在一

叶天竺,王全明,等.全国地质工作程度数据库成果报告,2004.
中国工程院重大咨询项目“中国可持续发展矿产资源战略研究”
可供性分析卷.北京:科学出版社,2006:97-208.

定的构造部位,与一定的地质作用有关的一组具有成因联系的矿床的自然的组合。矿床成矿系列的基本内涵及结构的认识包括如下的概念:(1)认为矿化与矿床是地质环境中的一个组成部分,其成矿作用与各地区地质历史发展阶段的地质构造环境相关,亦是形成地质环境的地质作用中的一个组成部分;(2)在一个矿床成矿系列中,成矿作用具有一定的时空演化规律及分布规律,形成的各类不同成因类型的矿床在时空分布上相互有不同程度的制约,在成因上具有内在的联系;(3)在不同地区或不同时代的相似地质历史构造环境中形成的矿床成矿系列,具有相似性,但同时具有时代与地区性的各自特性;(4)在全球及各地区地质历史演化过程中形成的各矿床成矿系列具有一定的演变规律,同时具有一定的继承性;(5)在经受多期地质构造活动、成矿作用的地质单元中,早期形成的矿床成矿系列常受到后期的地质作用或成矿作用的不同程度的叠加、改造或再造^[2-3]。

后来,通过人们对于矿床成矿系列的不断探索和研究,提出了许多新的概念和方法,不断地充实矿床成矿系列理论。如2001年提出了矿床成矿谱系的概念,2004年提出了矿床成矿系列组的概念,2006年进一步完善了矿床成矿系列序次;矿床成矿系列可划分为7个序次,由大到小依次为:矿床成矿系列组合、矿床成矿系列类型、矿床成矿系列组、矿床成矿系列、矿床成矿亚系列、矿床式(类型)、矿床;2005年提出了全位和缺位的概念以及矿床类型常量化理论^[4]。

2 成矿地质背景条件研究

成矿地质背景条件研究是矿产预测的基础工作,主要目的是研究成矿作用和地质作用的关系,分析矿产形成和成矿地质环境,深入分析和提取成矿地质构造信息,研究和总结成矿地质构造形成演化规律,为成矿规律研究和矿产预测提供地质背景资料 and 认识^[5]。

2.1 成矿地质作用研究

成矿地质作用研究直接为单因素成因的矿产预测评价提供地质依据,同时为综合地质构造研究提供基础资料。主要包括:沉积、火山、岩浆侵入、变质、区域性大型变形构造等研究内容。具体如下:

沉积作用研究内容包括:沉积地层、分区、时代、

岩性、沉积建造、特殊标记层、沉积构造、沉积作用、沉积岩相、古地理、盆地构造、沉积原始环境等特征,并编制岩相古地理图或构造古地理图、建造古构造图等专题图件^[6-8]。

火山作用研究内容包括:火山地层、时代、岩性、蚀变、火山旋回、火山岩相、火山机构、火山构造、次火山岩体等特征,需要编制火山岩性岩相图及火山构造图等专题图件^[9]。

岩浆侵入作用研究内容包括:岩体特征、时代、产状、接触带、侵位方式、岩性、矿物成分、岩石化学、地球化学、同位素、侵入期次、大地构造环境等特征,需要编制岩浆构造图等专题图件^[10-11]。

变质作用研究内容包括:岩石特征、原岩建造、原始构造环境复原、变质相带、热中心、 $p-T-t$ 轨迹、多期变形构造、变质作用等特征,并编制变质构造图等专题图件^[12-13]。

区域性大型变形构造作用研究内容包括:构造类别、区域展布特征、规模、产状、性质、形态、运动方式、活动期次、空间组合、构造带岩性特征、与其他地质作用的关系等,并编制构造带专题图件^[14]。

2.2 综合地质构造特征的研究与表达

综合地质构造特征的研究集中体现了成矿地质构造研究的内容,矿产预测工作的成效在较大程度上取决于成矿地质背景的研究程度,因此综合地质构造特征的研究与表达十分重要。

在沉积、火山、岩浆侵入、变质、区域大型变形构造等地质作用研究基础上,具体判断属于离散、会聚、碰撞、造山等不同的动力学环境,从而通过总结已知矿床的地质模型,通过成矿地质背景的类比,进而在区域上预测未知区内的矿产资源潜力及空间位置。

综合地质构造特征的表达主要通过编制大地构造相图实现。大地构造相是指在相似环境中形成,经历了相似的变形和就位作用,并具有类似的内部构造的岩石构造组合^[15],具有揭示造山带组成结构和演化的大地构造特征的功能。主要通过对沉积建造类型及演化和盆地特征及演化、火山喷发及岩浆侵入活动特征及演化、区域大型变形构造特征及演化经综合分析后确定。以大地构造相图表达综合地质构造特征。图面内容包括沉积建造、火山建造、岩浆侵入建造、变质建造及盆地、构造岩浆带、变质构造、区域性大型变形构造等基本内容^[16]。在编制大地构造相图时必须充分吸收应用物探、化探、遥感等

综合信息推断地质构造内容。

3 物探、化探、遥感等多元信息研究

物探、化探、遥感等多元信息研究工作,主要由两部分组成,一是应用物探、化探、遥感资料进行地质构造推断解释,进一步丰富和深化成矿地质构造背景的研究内容。二是在成矿规律研究过程中结合成矿特征的分析研究充分应用物探、化探、遥感等综合异常资料,建立找矿模式,在矿产预测过程中通过物探、化探、遥感、自然重砂等局部异常的分析研究直接确定为找矿信息,提供矿产预测依据。

3.1 物探、化探、遥感资料的地质构造研究工作

区域物探(重力、航磁)的推断解释主要依据地质体客观存在的物性特征,区分不同类型地质体,可以判断地质构造的空间特征,尤其可以判别区域地质构造格架,通过定量反演可以定量计算深部特定物性地质体的埋深、形状和范围。对于推断深部构造及岩浆岩体的空间位置意义重大^[17]。具体用于地层、岩体、火山岩、盆地、断裂带等地质构造信息的识别。

区域化探资料主要通过化学元素组分来推断地质构造物质组分及其空间分布,能用于反映不同化学元素组分的地质体的存在^[17]。具体用于推断区域地质构造类型、地层、侵入岩类型;判别构造带、侵入接触带等特殊地质体。

遥感资料在反映地质构造空间特征方面直观、信息量大,是一种应用广泛的手段。具体用于解译构造、岩体、火山构造、地层岩性等各种地质特征^[17-18]。

多元信息资料分析必须以地质观察为基础,必须坚持以物探、化探、遥感各专业本身的学科理论原理为依据进行地质解释,必须遵照实事求是的科学原则,坚持先单学科资料分析后多元信息综合分析的技术路线。研究成果以编制物探、化探、遥感推断地质构造图等专题图件进行表达。

3.2 物探、化探、遥感异常找矿信息研究

物探异常找矿信息研究:磁性矿产形成的矿致异常是十分重要的直接找矿信息,通过建立找矿模型筛选矿致磁异常可以推断磁性矿产的空间位置、埋深、产状、规模并估算资源量。通过确定具有找矿意义的局部异常,判断成矿地质体的空间位置、埋深、产状以及成矿有利的地质构造部位。

重力资料对于规模大的高密度矿产能够提供直接找矿信息,一般情况下用于判断深部构造,判断成矿地质体及成矿有利的地质构造部位。

物探资料找矿信息研究应编制重磁异常图等专题图件^[17]。

区域化探局部异常对多数矿产而言是进行矿产预测的基本信息,其意义和重要性以及常规异常研究方法已经成为众所周知的常识,当前需要应用各种人工智能技术,发挥计算机的功能,努力探索将矿致异常与岩性异常、表生环境有关的异常、采样分析偏差造成的异常区分开来的有效方法,这是我们特别需要强调的工作重点。化探资料找矿信息研究应编制化探单元异常图及化探综合异常图等专题图件^[17,19]。

使用普通光谱数据提取遥感蚀变异常在近几年来得到广泛应用,实践中取得了成功,利用光谱数据处理直接提取羟基矿物以及铁染矿物异常对确定找矿预测区的确切位置具有重要意义,因此使用普通光谱数据进行遥感异常研究是当前找矿综合信息研究的重点内容;条件允许时还应该开展高光谱蚀变异常研究工作。

遥感资料找矿信息研究应编制遥感蚀变异常图等专题图件^[17]。

自然重砂作为直接找矿信息,对于某些在表生环境下能形成稳定矿物的矿产的预测具有重要意义,通过分析重砂矿物组合及其在水系中的分布,可以推断不同矿床类型及可能的空间位置。自然重砂资料找矿信息研究应编制自然重砂异常图等专题图件。

4 成矿规律研究与矿产预测

成矿规律研究与矿产预测是两部分相对独立的工作内容,但又是密切不可分割的统一体。成矿规律研究是矿产预测的前提,矿产预测是成矿规律研究的结果。成矿规律研究工作以成矿系列为核心内容,矿产预测以综合地质信息预测方法为基本内容。

4.1 成矿规律研究与矿床建模方法

该项研究工作包括:进行区域成矿特征和典型矿床研究,建立矿床模型,划分成矿系列,建立区域成矿模式,编制成矿规律图。

典型矿床研究:区域成矿规律研究工作以典型

矿床研究为基础。典型矿床是指在特定的成矿地质作用过程中受特定的成矿地质因素控制而形成的具有典型意义的矿床。同一矿种应根据成矿时代、大地构造环境、控矿因素、成矿作用特征等因素划分矿床自然类型;典型矿床应按不同矿床类型确定^[4]。其研究内容主要有三方面:第一,成矿地质因素研究,成矿作用是地质作用的组成部分,因此研究控制成矿作用的地质要素是典型矿床研究的基础工作。主要研究矿床沉积、火山、岩浆侵入、变质建造特征以及各种地质作用与成矿作用的关系。第二,研究矿床控岩控矿构造特征,确定成矿构造体系类别,研究成矿构造空间形态、期次、强度、物质组成、力学性质、运动方式、应力作用等特征。第三,研究成矿作用特征,包括矿床三维空间分布、物质组分、成矿期次及阶段、成矿年龄、成矿作用物理化学条件,分析可能的物质来源等。

在以上工作基础上结合成矿地质作用特征,建立矿床模型。矿床模型应表达上述基本内容,特别应清楚表达成矿特征与成矿地质作用的关系,应编制矿床模型有关图表^[20-21]。

4.2 研究区域成矿特征划分成矿系列

在典型矿床研究,建立矿床模型基础上,分析不同矿床类型在各类成矿地质构造环境下不同区块的空间分布规律,研究大地构造不同演化阶段与不同矿床类型的关系,研究不同矿床类型与地质建造的关系,分析各种矿床类型的区域地层、火山岩、侵入岩、构造等具体成矿地质因素,结合大地构造分区划分成矿区带。

在上述工作基础上全面总结区域成矿规律,按照矿床成矿系列组合-类型-组-系列-亚系列-矿床式-矿床建立成矿系列,在以上工作基础上建立区域成矿模式。

区域成矿模式是区域矿产特征,区域成矿作用与区域地质构造特征相互关系的表达,也是区域成矿规律的综合表达。按照不同的成矿系列相对应的大地构造单元内的块体建立区域成矿模式,按照各种矿床类型的典型矿床根据其产出空间因素表达在地质构造空间位置上,尽量反映矿床主要特征及控矿因素的各种数据,区域成矿模式一般应反映区域内主导的矿床成矿系列,如果一个成矿区带内存在不同时代的矿床成矿系列,应分别建立各自的成矿模式。

在以上工作基础上,编制区域成矿规律图,一般

作为进行矿产预测的基础图件。

5 矿产预测评价

5.1 总体技术路线

固体矿产矿床模型综合地质信息预测方法采用的技术路线为:全面利用地质构造、综合信息、成矿规律研究工作成果,根据某一矿种的某一矿床类型的典型矿床及区域成矿规律研究成果,建立区域成矿模式;应用已知矿床的区域成矿模式,全面解析区域地质构造特征,主要控矿因素,物探、化探、遥感、自然重砂等综合信息,已知矿床矿化特征,确定不同矿床类型的预测要素,建立预测模型,对未知区进行类比预测,圈定预测区、预测矿床数、估算资源量。

以上技术路线的核心思路是立足于我国地质工作及资料水平的实际情况,通过深入研究模型区成矿特征以及控制成矿的地质要素(建造和构造)全面解析统一技术标准下获得的区调、区域物探、区域化探资料,精细研究地质构造、矿产、物探、化探、遥感等信息,通过编制各类区域专题图件的途径,对预测区进行关联,并实现类比预测,解决信息不对称问题。通过模型区地质构造、矿产、物探、化探、遥感等信息的精细研究,归纳预测要素建立预测模型,采用定性(先)和定量(后)相结合的途径,运用GIS技术以及数学方法进行数据量化处理,解决知识驱动与数据驱动不协调的问题。

综合地质信息预测方法技术内容详见表1。

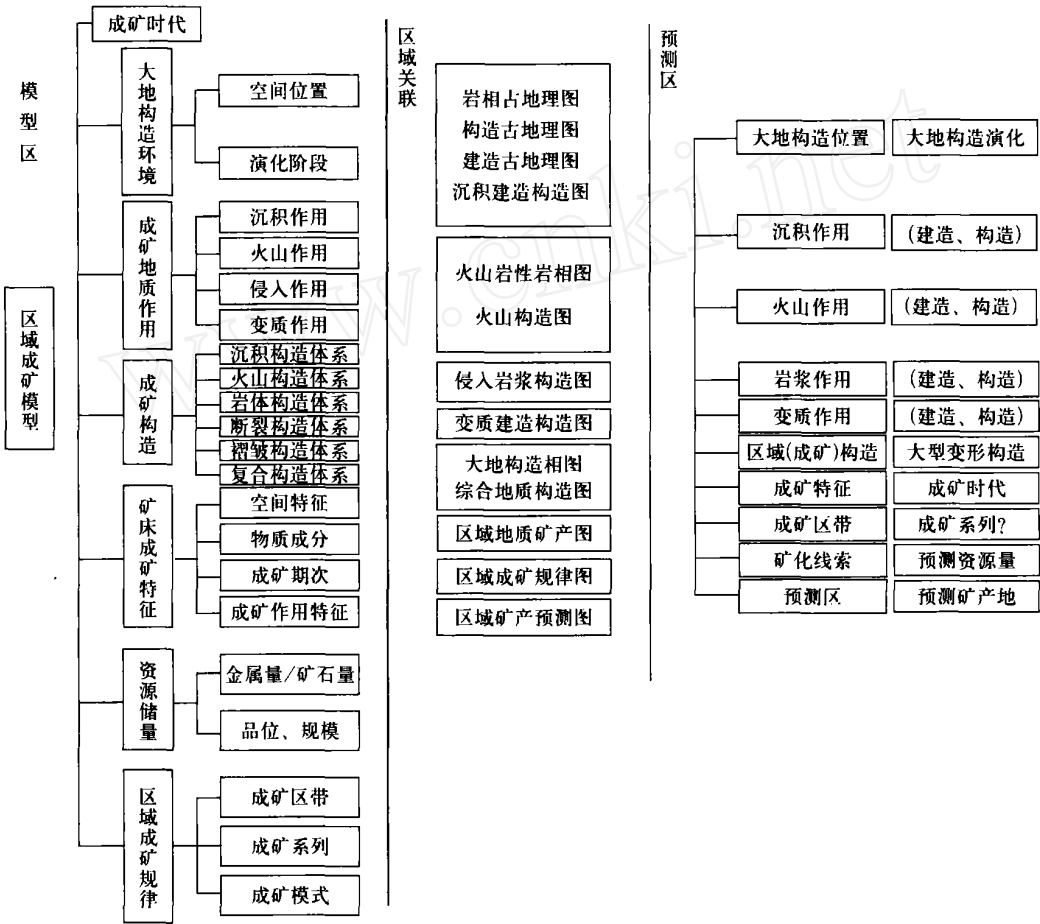
5.2 建立区域矿产评价模型

在综合地质信息编图和区域成矿模式基础上,进行矿产预测要素信息提取与相应模型类比后建立区域矿产预测评价模型。

确定预测要素:根据典型矿床研究资料和区域成矿规律总结区域成矿地质模型及地、物、化、遥、重砂等多元信息,按不同矿床类型确定预测要素,并按矿床类型对预测要素分类。根据我国现有地质资料水平,一级要素初步归纳为26项:(1)成矿时代、(2)大地构造位置、(3)大地构造演化阶段、(4)沉积建造/沉积作用、(5)岩相古地理/构造古地理/建造古构造、(6)火山建造/火山作用、(7)火山岩性岩相/火山构造、(8)岩浆建造/岩浆作用、(9)侵入岩浆构造、(10)变质建造/变质作用、(11)变质变形构造、(12)大型变形构造/区域断裂构造、(13)成矿构造、(14)成矿特征、(15)资源储量、(16)磁测资料、

表 1 综合地质信息预测方法技术内容一览表

Table 1 Schedule of methodology of mineral resource potential assessment for deposit models using integrated geological information



(17) 重力资料、(18) 伽玛能谱资料、(19) 化探资料、(20) 遥感资料、(21) 自然重砂异常、(22) 找矿线索 (预测区) (包括: 矿点、矿化点、规模性蚀变带、老窿、转石矿化线索等)、(23) 水文条件、(24) 河湖、(25) 地貌、(26) 预测区。

在一级要素基础上进一步确定二级要素。根据预测要素在预测评价中的作用, 针对各种具体的矿床类型, 应用定性和定量的方法, 按矿床类型划分为三类: 必要的、重要的、次要的。根据预测目的把预测要素划分为预测区圈定组合、预测矿床数组合、预测资源量组合, 最终建立不同矿种不同矿床类型的区域矿产评价模型。

5.3 预测方法研究

主要包括预测区圈定方法、优选评价方法、矿床数估计及资源量估算方法。

预测区圈定方法: 预测区定位方法应用已有 MRAS 和 MORPAS 软件中成矿有利单元的确定方

法, 主要有证据权法、特征分析法、信息量法、BP 神经网络法等。在确定成矿有利度后应用类比法、概率分布法、有序聚类分析法、变点分析法等确定成矿潜力单元^[22]。

预测区边界确定方法: 按不同矿床类型分别考虑采用地质构造约束条件确定边界, 在成矿有利单元基础上按控矿地质建造进一步限定的方法。

预测区优选方法: 采用预测要素优选模型法、地质背景衬度法、非先验约束模型法以及主观优选、专家系统等方法, 或者两者结合通过综合分析的途径进行预测区优选分类排序^[22-23]。

矿床数估计方法: 选择模型估计法、统计学方法、德尔菲法, 也可以使用航磁异常或地球化学综合元素异常结合遥感异常分割法。

资源量估算方法: 根据不同矿床类型选用矿床模型概率分布法、地球化学元素丰度估值法、体积估计法、矿床模型综合地质信息定量预测法等等。

找矿概率估计方法:要素估计法、品位-吨位模型估计法。

矿产预测各种方法都有其适用条件,因此必须根据不同矿床类型的实际情况,通过试验、对比后确定^[24-28]。

5.4 预测成果要求

预测资源量根据预测依据及可信度分为 334-1、334-2、334-3,预测区根据预测资源量数量大小以及类别分为 A、B、C 三类。预测区根据面积划分为 1、2、3 三级。

矿产预测成果的表达式为各种类别的矿产预测图,其底图为成矿规律图。要求在成矿规律图基础上突出标示预测要素及预测成果内容。

6 GIS 技术应用

矿产资源预测评价工作涉及资料浩繁、信息量大、数据处理复杂、技术专业种类繁多,工作量很大,如果不应用计算机技术是不可能完成的。而且在工作过程中所有数据都涉及空间分析,因此必须全面、全过程应用 GIS 技术。主要涉及资料收集及整理、资料处理及解释、成矿信息关联及综合、矿产资源定性及定量预测评价等各个环节,主要包括地学基础数据库维护和整理、综合信息提取、矿产预测和各类图件编制等内容^[22]。

6.1 地学基础数据库维护和整理

中国地质调查局于 2000—2006 年相继完成了全国各类地学基础数据库,包括:全国地质图数据库(1:20 万、1:50 万、1:250 万)、全国矿产地质数据库、全国区域物探数据库(重力、航磁)、全国区域化探数据库、全国区域遥感数据库、全国自然重砂数据库、全国地质工作程度数据库、全国典型矿床数据库等,在开展矿产预测工作中应充分应用这些数据库,但需要进行维护和更新。这是十分重要的基础性工作^[29-30]。

6.2 多元信息提取

在基础数据库的基础上,利用各种专业数据处理软件和矿产预测评价应用软件工具提供的功能,通过 GIS 平台分析并提取地质构造特征、物探、化探、遥感、自然重砂等找矿信息,应用人机交互编制各类基础图件^[24]。

目前国内开发的遥感信息处理软件:RSMAP、RSIE,重磁数据处理软件 GEOEXPL (2005 年版),

区域化探数据处理软件 GEOMDIS (2005 年版),地质图编图软件 GM GIS (2006 年版) 等各类信息处理软件都可用于多元信息提取。

6.3 矿产预测

基于 GIS 的矿产预测主要利用一定的数学模型进行成矿有利信息图层的综合计算,确定成矿信息的有利部位及其信息量的程度,进而用来圈定成矿远景地段对其进行定性、定量评价,包括预测区圈定、预测区优选、资源量估算。目前国内已经开发的有 MRAS2.0 (2006 年版)、MORPAS3.0 (2006 年版) 等软件,可以用于矿产预测^[22]。

6.4 图件输出与表达

以 GIS 为平台,应用 MAPGIS 软件、各专业数据处理软件、地质编图软件工具,按照统一的标准建立矿产预测评价系列空间数据库,编制矿产预测系列图件。第一类为基础空间数据库并形成相应的图件,包括工作程度图、地质图、矿产图、航磁平剖面、重力等值线图、化探多元素图、遥感影像图等;第二类为多元信息空间数据库并形成相应的专题图件,包括岩相古地理图、沉积建造古构造图、火山性岩相图、侵入岩浆构造图、变质岩地质构造图、大地构造相图或岩性建造构造图、物探/化探/遥感推断地质构造图、物探/化探/遥感综合异常图、重砂异常图等专题图件;第三类为预测评价成果空间数据库并形成相应的图件:包括成矿规律图、矿产预测图、地质工作部署建议图、未来矿产资源基地预测图等^[17]。

7 结语

矿床模型综合地质预测技术具有如下特色:

(1) 在矿产预测中细化、深化地质构造研究工作,充分利用区调原始资料,针对不同矿床类型的成矿地质作用开展深入研究,解决了地质构造信息与矿产预测脱节的问题。

(2) 在矿产预测中强调了充分应用物探、化探、遥感等多元信息,增加预测依据,提高预测的可信度。同时对科学应用物探、化探、遥感等综合信息提出了明确要求:如物探资料进行半定量、定量解释,化探资料处理要求解决矿致异常和其他非矿致异常的判别问题,应用普通光谱数据提取遥感羟基矿物及铁染异常等。

(3) 在矿产预测方法中根据我国的地质资料水

平给出了预测要素分类分级方案,对解决信息不对称、解决知识驱动和数据驱动结合的问题提供了有效途径。

(4)在预测工作中全面全过程应用 GIS 技术,给出了基础多元信息专题、成果三类数据库模型和建库指南,为全面全过程应用 GIS 技术提供了操作工具。

References :

- [1] Wang Q M, Ye T Z, Wang B L, et al. Comparison for main metal mineral exploration in China[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(5) :442-447(in Chinese) .
- [2] Chen Y C, Pei R F, Song T R, et al. Preliminary discussion of metallogenic series in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998:20-100(in Chinese) .
- [3] Chen Y C, Wang D H, Zhu Y S, et al. Chinese mineralization system and regional mineral resource potential assessment [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007:15-175.
- [4] Chen Y C, Pei R F, Wang D H, et al. On minerogenetic (metallogenic) series: third discussion[J]. Acta Geological Sinica, 2006, 80(10) :1501-1508(in Chinese) .
- [5] Zhai Y S, Deng J, Li X B, et al. Regional metallogeny[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 60-120 (in Chinese) .
- [6] Liu B J, Zeng Y F. Lithofacies palaeogeography basis and working method[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985:90-331(in Chinese) .
- [7] Wang L C, Zhang J L. Sedimentary setting and facies[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996:1-266(in Chinese) .
- [8] He J Y, Meng X H. Mode and formation of sedimentary rocks and sedimentary facies[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987:293-424(in Chinese) .
- [9] Qiu J X, Tao K Y, Zhao J L, et al. Volcanic rocks[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 10-43, 83-103 (in Chinese) .
- [10] Xiao Q H, Deng J F, Ma D Q, et al. Thinking and method of granite research[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002:12-50(in Chinese) .
- [11] Gao B Z, Hong D W, Zheng J J, et al. 1 : 50 000 scale regional geological mapping of granite[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991:68-93, 133-135(in Chinese) .
- [12] Fu Z R, Cai X L. Tectonics in metamorphic rock area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996:110-214(in Chinese) .
- [13] Ma X Y. Tectonics in metamorphic area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004:10-62(in Chinese) .
- [14] Liu G H, Zhang S G. Main metamorphic groups and their evolvement in Qinling orogenic belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:156(in Chinese) .
- [15] Li J L. Geotectonic facies in orogenic belt[M]. Beijing: Science Press, 1992:5-30(in Chinese) .
- [16] Zhang K X, Yin H F. Theory, method and practice of complex areas of orogen belt[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2001:7-9, 32-37, 107-112(in Chinese) .
- [17] Ye T Z. The methods and techniques for prediction and assessment of solid minerals[M]. Beijing: China Land Press, 2004:10-60, 68-103, 207-326(in Chinese) .
- [18] Yu X Z. Remote sensing geology and mineral resource in the east of Tibet [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003:130-144(in Chinese) .
- [19] Xu C. Apply of manual network for mineral prediction[J]. Mathematic Geology, 1997(8) :206-211(in Chinese) .
- [20] Zhu Y S. Main content and method of building metallogenic mode[J]. Geology in China, 1992(2) : 22-24(in Chinese) .
- [21] Zhu Y S. Discussion of metallogenic mode[J]. Geological Review, 1993(3) : 216-222(in Chinese) .
- [22] Xiao K Y, Zhang X H, Zhu Y S, et al. Mineral resource GIS assessment system [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000:87-107(in Chinese) .
- [23] Xia Q L. Review of application multi-S integration based on network techniques to localizing ore-bodies occurring with geo-anomaly area[J]. Geological Review, 2000, 46(Suppl) : 97-100(in Chinese) .
- [24] Wang S C, Chen Y L, Xia L X. Theory and method of mineral prediction using integrated information[M]. Beijing: Science Press, 2000:65-180(in Chinese) .
- [25] Zhu Y S, Yu J S. Mathematic model in mineral resource assessment [J]. Mineral Deposit of CA GS, 1986(1) : 57-86 (in Chinese) .
- [26] Zhu Y S. Essentials for methodology of mineral prediction [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984:120-180(in Chinese) .
- [27] Xia Q L, Zhang S T, Zhao P D. Power-law and mineral prediction[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science and Technology Edition, 2003, 30(5) : 453-456 (in Chinese) .
- [28] Zhao P D. Method and application of quantificational geoscience[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004 (in Chinese) .
- [29] Wang X Q, Liu G, Han Z J, et al. Model database and classification system of point source database of geological mineral resource[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(2) :199-204(in Chinese) .
- [30] Wang X Q, Liu G, Yuan Y B, et al. Application of “the terminology classification codes of geology and mineral resources point source information system”[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(5) :529-532(in Chinese) .

参考文献:

- [1] 王全明,叶天竺,王宝良,等.我国主要金属矿产勘查程度对比[J].地质通报,2005,24(5):442-447.
- [2] 陈毓川,裴荣富,宋天锐,等.中国矿床成矿系列初论[M].北京:地质出版社,1998:20-100.
- [3] 陈毓川,王登红,朱裕生,等.中国成矿体系与区域成矿评价[M].北京:地质出版社,2007:15-175.
- [4] 陈毓川,裴荣富,王登红,等.三论矿床的成矿系列问题[J].地质学报,2006,80(10):1501-1508.
- [5] 翟裕生,邓军,李晓波,等.区域成矿学[M].北京:地质出版社,1999:60-120.
- [6] 刘宝珺,曾允孚.岩相古地理基础和工作方法[M].北京:地质出版社,1985:90-331.
- [7] 王良忱,张金亮.沉积环境和沉积相[M].北京:石油工业出版社,1996:1-266.
- [8] 何镜宇,孟祥化.沉积岩和沉积相模式及建造[M].北京:地质出版社,1987:293-424.
- [9] 邱家骥,陶奎元,赵俊磊,等.火山岩[M].北京:地质出版社,1996:10-43,83-103.
- [10] 肖庆辉,邓晋福,马大铨,等.花岗岩研究思维与方法[M].北京:地质出版社,2002:12-50.
- [11] 高秉璋,洪大卫,郑晋俭,等.花岗岩类1:5万区域地质填图方法指南[M].北京:地质出版社,1991:68-93,133-135.
- [12] 傅昭仁,蔡学林.变质岩区构造地质学[M].北京:地质出版社,1996:110-214.
- [13] 马杏垣.解析构造学[M].北京:地质出版社,2004:10-62.
- [14] 刘国惠,张寿广.秦岭造山带主要变质岩群及变质演化[M].北京:地质出版社,1993:156.
- [15] 李继亮.碰撞造山带的大地构造相[M].北京:科学出版社,1992:5-30.
- [16] 张克信,殷鸿福.造山带混杂岩区地质填图理论方法与实践[M].武汉:中国地质大学出版社,2001:7-9,32-37,107-112.
- [17] 叶天竺,朱裕生,夏庆霖,等.固体矿床预测评价方法技术[M].北京:大地出版社,2004:10-60,68-103,207-326.
- [18] 于学政.藏东遥感地质与矿产资源[M].北京:地质出版社,2003:130-144.
- [19] 徐驰.人工神经网络在矿产预测中的应用[M].中国数学地质,1997(8):206-211.
- [20] 朱裕生.建立成矿模式的内容及工作方法[J].中国地质,1992(2):22-24.
- [21] 朱裕生.论矿床成矿模式[J].地质论评,1993(3):216-222.
- [22] 肖克炎,张晓华,朱裕生,等.矿产资源GIS评价系统[M].北京:地质出版社,2000:87-107.
- [23] 夏庆霖.网络多“S”集成技术在地质异常矿体定位中的应用前景[J].地质论评,2000,46(增刊):97-100.
- [24] 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,2000:65-180.
- [25] 朱裕生,余金生.矿产资源评价中的数学模型[J].中国地质科学院矿床地质研究所刊,1986(1):57-86.
- [26] 朱裕生.矿产预测方法学导论[M].北京:地质出版社,1984:120-180.
- [27] 夏庆霖,张寿庭,赵鹏大.幂律度与成矿预测[J].成都理工大学学报:自然科学版,2003,30(5):453-456.
- [28] 赵鹏大.定量地学方法及应用[M].北京:高等教育出版社,2004.
- [29] 汪新庆,刘刚,韩志军,等.地质矿产点源数据库系统的模型库及其分类体系[J].地球科学——中国地质大学学报,1998,23(2):199-204.
- [30] 汪新庆,刘刚,袁艳斌,等.地质矿产术语分类代码在点源信息系统中的应用[J].地球科学——中国地质大学学报,1999,24(5):529-532.