矿 床 地 质
2002 年 MINERAL DEPOSITS 第 21 卷 增刊

基于 GIS 的区域成矿规律及成矿预测研究*

Research on GIS-based Regional Metallogenic Regularities and Prediction

高景刚 薛春纪

（长安大学，陕西 西安 710054）

Gao Jinggang and Xue Chunji

(Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

摘 要 GIS 作为一种先进技术，以其强大的制图和空间-属性分析功能，在地学领域广泛应用。文章分析了区域成矿规律及成矿预测研究的内容和理论及方法，探讨了在 GIS 平台上有效开展区域成矿规律及成矿预测研究的方法学，提出了基于 GIS 的多源成矿信息处理模型。

关键词 GIS 成矿规律 成矿预测 空间-属性分析

区域成矿规律及成矿预测研究是矿产勘查和矿床研究的重点，根据成矿预测尺度可分为：大区（全球）、区域和矿区三类。区域成矿规律研究承上启下，是大比例尺成矿预测的基础。当前，国民经济建设对矿产资源的需求量越来越大，而许多矿种保存储量逐年减少，供需矛盾日益加剧。同时，找矿难度越来越大，难识别、难发现和难开发是目前矿产勘查的主要特点。要求从寻找战略型、紧缺型和超大型矿床的思路出发，开拓矿产勘查的新类型、新深度、新领域。找矿方法从传统方法向地质、物化探和遥感等综合预测发展，找矿目标从单个矿种和矿床类型向区域矿床或矿床系列研究发展。所以采用先进的技术，准确、快速、有效地开展成矿预测是矿产资源勘查和矿床研究急需解决的问题。

地理信息系统（GIS）是 20 世纪 60 年代发展起来的一种采集、存储、询查、操作、分析和显示地理数据的系统。作为传统学科（地理学、地质学、地图学等）与现代科学技术（遥感学、计算机科学技术等）相结合的产物，现已发展成为一个独立的新兴学科。目前，GIS 已广泛应用于区域地质调查、区域矿产经济与环境评价、地图与专题地图制作以及成矿预测等地学领域。本文学习和总结了区域成矿规律及成矿预测研究的理论、内容和方法，分析了 GIS 在地学研究中的应用，试图探索 GIS 在区域成矿规律及成矿预测研究中的新应用。

1 区域成矿规律研究及成矿预测的理论基础

区域成矿规律研究是在区域成矿地质背景分析研究的基础上，通过一系列典型矿床的控矿因素和成矿机制以及对区域控矿条件分析，总结其成矿环境，成矿作用，成矿物质及它们的时空分布规律。

1.1 矿床成矿系列理论

这一理论是由陈毓川等(1998)地质学家提出，其研究的目的是揭示区域内不同矿床的组合关系和分布规律，探索成矿作用在四维空间中的规律性，指导矿产勘查，提高地质找矿的科学性。

矿床成矿系列是由有成因联系的矿床所组成的自然体，亦就是在特定的地质环境中形成的有成因联系的各种矿床组合。其定义为：在一定的地质构造单元和一定地质构造运动阶段内，与一定地质作用有关形成的在成因上有联系的各矿种、各种成因类型及在不同地质位置产出的矿床组合。目前该理论在成矿规律研究及成矿预测中已广泛应用，取得了明显的成效。

矿床成矿系列的研究基础是从一个成矿时期、一定地区的成矿地质构造背景的统一性和具体成矿环境的差异性，以及区域成矿作用发展全过程考虑的，具有全局性综合性。因此这一理论在区域成矿规律研究及成矿预测中具有重要意义。

* 教育部优秀青年教师资助计划项目资助

第一作者简介 高景刚，男，1974 年出生，主要从事计算机教学及 GIS 在成矿规律和成矿预测中的应用研究。

1.2　综合信息成矿预测理论

综合信息成矿预测理论 80 年代出提出(王世称等，1999)。目前已成为理论上较为成熟，方法较全面，实用性较强的矿产预测体系。现正被广大地质工作者广泛应用于成矿规律研究及成矿预测等领域，并且效果显著。该理论的主要思想是：以找矿模型为基础，应用地、物、化、遥感等综合信息开展矿床预测；以计算机为工具，以各种数学模型为手段，充分开发各类矿产地质资料蕴含的成矿信息；以地质先验为前提，以地质体和矿产资源（矿体、矿床、矿带）为单元，合理地运用综合信息解译；通过对各种控矿信息的有机联系和综合，深化对成矿规律的认识。

综合信息成矿预测是一项点面结合的系统工作，是系统论、信息论和系统工程论多学科的有机组合。通过对地质、航磁、重力、遥感等资料的综合解译，总结成矿规律，建立综合信息矿产预测图。

除上述成矿规律和成矿预测理论，在成矿规律研究及成矿预测中应用的还有赵鹏大院士倡导的的地质异常理论和相似对比理论及“ 5P ”地段找矿理论（池顺都，赵鹏大，1998），翟裕生院士提出的“ 成矿系统 ”理论（翟裕生，彭润民等，2001）以及 80 年代的矿床成因模式理论等，这些理论在成矿规律研究及成矿预测工作中都发挥着重要的作用。

2　区域成矿规律研究及成矿预测的方法

长期以来，区域成矿规律及成矿预测研究是矿床学研究的热点。中外许多学者从各方面作了大量的工作，如苏联学者采用地质建造分析作为成矿预测的理论基础，我国的地洼与成矿作用，以及板块构造研究成矿规律等。尽管这些理论及方法在不少地区已反映了一定的客观规律，而且取得了一定成果。但仅采用一家观点来研究复杂的区域成矿规律及开展成矿预测效果并不是最佳。运用地、物、化、遥等多源信息，从分析控矿因素和提取致矿信息两方面认识成矿规律，开展成矿预测是最有效的途径。

2.1　区域成矿规律研究的思路

区域成矿规律研究是开展大比例尺成矿预测的基础，在区域成矿规律研究中首先要从分析控制和影响矿床形成的各种地质因素着手。控制矿床的主要地质因素：构造作用、岩浆作用、沉积作用等。

构造因素是控制矿床形成和分布的重要因素之一。根据其发育的规模可分为全球构造、区域构造、矿田矿床范围的构造。不同级别、不同规模的构造，对成矿起着不同的控制作用。①大地构造控制着成矿的总背景。在古地理环境、古地质环境，当时的沉积作用、岩浆活动、变质-变形作用、构造运动等大地构造背景下，导致矿床在时间和空间上呈规律分布。槽台控矿理论和板块构造控矿理论都有论述。②区域构造控制着成矿区（带），大量资料表明：区域沉积盆地、岩浆-火山带、断裂带、构造界面等构造发育的地方，往往是岩浆活动和内生矿化集中的地方。③次级构造不但控制矿田矿床的空间分布，而且是很好的储矿场所。

岩浆活动是地壳运动的主要形式，是矿床形成的主要因素之一。岩浆作用强度，岩体的成分、含矿性、大小、形态、产状和形成时代等都对矿床的时空分布、类型、规模有一定的影响。其表现在：①成矿物质来源与岩浆作用有关；②一定类型的岩浆建造形成一定类型的矿床；③矿床在岩体周围呈带状分布规律；④岩浆的形成深度和侵位冷凝深度不同，形成不同类型矿床。

同时，地层、岩相、古地理等因素也对矿床的时空分布起到一定的作用。

2.2　区域成矿预测方法

矿化信息是指示矿化存在的各种显示和标志，包括各种直接和间接指示矿化存在或可能存在的一切有用信息。在区域成矿预测中深入地对各种矿化信息进行分析、评价，从中提取综合信息极为重要,是划分成矿远景区和成矿规律图的主要依据。矿化信息主要包括：地质信息、遥感地质信息、地球化学信息、地球物理信息等。

地质信息：从控矿因素的分析得知，成矿规律的研究必须从分析控制和影响矿床形成的各种地质因素着手，通过对地层、岩体、断裂、蚀变等地质因素分析，确定控制地质因素，分析其对成矿有利的程度，从而划分地质异常单元。提取地质信息要充分考虑航天遥感、区域物化探等辅助信息。

遥感地质信息：遥感信息具有信息广、经济、易获取等特点为地质界所认可，广泛应用于区域地质调查、控矿因素分析、地质背景研究、构造分析等方面。通过卫星影像的解译（即：各种地质实体现象和电磁波信息在卫星影象上以不同的色调、形态、大小、结构、图形、阴影等反映出来），了解区域构造格架，分析隐伏、半隐伏和基底的地质构造特征，分析地层围岩蚀变特征等，从而划定区域成矿远景评价区域。

地球化学信息：地球化学法是通过对成矿元素和成矿有关的元素在岩石、土壤、水体、空气等的分布分析，发现异常指导找矿的方法。根据其测定的范围可分为全球化探，区域化探，局部化探。区域化探在区域成矿规律及成矿预测研究中意义重大。其主要作用：①根据区域化学元素分布情况，圈定化探异常，从而圈定找矿远景区；②借助于区域化探资料，研究区域成矿规律。分析矿化与地质体、控矿因素与成矿、区内主要矿化特征及矿床分布、空间展布等与区域化探异常的关系。③根据化学元素丰度，评价地质体的含矿性。④利用元素的共生组合作为预测找矿的标志。

物探信息：物探方法是通过地球物理场和岩石物理性质的研究来解决地质问题。它的一个最显著特点是具有“透视性”。它不仅可以获取浅部或地表的地质现象，而且通过场的研究，还可以获得深部地质信息，在揭示隐式地质异常结构方面扮演重要角色。其在区域成矿预测中主要提供：①深部矿化信息，利用物探异常来指导预测找矿。②反映区域构造格架，划分区域构造单元边界线。③反映地壳深部构造。近年来浅层地震技术的应用，解决了对深部构造作精细评价的问题，为寻找深部矿体提供了技术支持。

3 GIS 在区域成矿规律研究及成矿预测中的应用

目前，地理信息系统在人类生活和国民经济建设中发挥越来越重要的作用，在环境，土地，地质学，测绘等领域的应用，极大促进了 GIS 的发展。GIS 以其强大的制图功能，特有的空间分析功能，以及空间数据和属性数据的双向查询功能，得以在地学中广泛应用。

3.1 GIS 的制图功能

在区域成矿规律及成矿预测研究中，多数的研究成果是以地质图件的形式保存信息。GIS 提供了强大的制图功能，利用计算机具有存储、调出、修改、保存数据信息的特性，克服了传统地图制作工艺复杂，周期长，不易修改的缺点。GIS 应用于地质制图通过对地质图形的数字化使得传统地图电子化、数字化。GIS 采用图层的概念来组织和管理数据，对地图分层处理，用户可通过图形分层技术，根据需要进行组合，以各种图形样式（例如颜色填充模式）图形化显示地图的基础信息。

3.2 GIS 的空间分析功能

空间分析是地理信息系统的核心功能，也是地理信息系统与其他计算机系统的根本区别。目前，GIS 的空间分析功能主要包括：基于图形分析的叠置分析，缓冲区分析，网络分析及并、交、差运算分析；基于数据分析的空间统计分析；基于探索性数据分析的空间探索性数据分析，即：利用统计学原理和图形图表相结合对空间信息的性质进行分析，检索，鉴别用以引导确定性模型的结构和解法。

GIS 处理的空间数据主要有两种：矢量数据和栅格数据。在区域成矿规律及成矿预测中用到的地物化探，重砂等信息为矢量数据，遥感影象为栅格数据。不同的地理信息系统软件处理的数据格式不同，例：MAPINFO 支持矢量数据，MAPGIS 支持时态矢量栅格数据。可以通过矢量数据与栅格数据转换（软件技术已经成熟），统一数据格式。利用 GIS 的空间查询功能能够方便地检索到单因素的地、物、化、遥异常的分布情况；利用 GIS 空间信息叠加分析能够帮助我们找到既有有利地层或岩体又有有利的地、物、化和遥感异常的地区；利用 GIS 缓冲区分析，对区域内主要控矿因素按一定的半径划定缓冲区域，可以用来统计主要控矿因素周围一定区域内的矿床或矿（化）点的分布规律，总结区域成矿规律。

3.3 GIS 的数据库管理

数据库是地理信息系统的基本技术之一，但 GIS 使用的数据库技术与其他数据库系统不同。它把图形数据与属性数据密切结合起来，形成对地物的描述，实现了图形数据与属性数据的双向查询。同时，大多数 GIS 软件通过内置与连接接口方式与关系数据库相连接。例：MAPINFO 内置关系型数据库管理系统，支持 SQL 查询，具有动态连接关系数据库功能，通过运用地理编码（GEOCODE）的功能，根据数据点的空间地址，将数据库的数据与图形上对应的图形元素一一对应，完成数据库与图形相结合。

4 基于 GIS 的多源地学信息处理

根据成矿规律及成矿预测的研究分析以及 GIS 在地学上的应用分析，利用 GIS 的现有功能及 GIS 的二次开发功能，建立基于 GIS 的成矿规律及成矿预测的综合信息分析模型是可能的（图 1）。

（1）空间数据库的建立：资料收集是空间数据库建立的基础，收集资料主要包括矿产、区域地质、遥感、物化探等

数据，包括图件和属性数据。

（2）基于 GIS 的空间分析：包括叠置分析、Buffer 分析、统计分析等。

（3）成果输出：①编制区域地质、地球化学、地球物理、遥感的综合信息图；②分析区域控矿因素（地层、构造、岩浆、地球化学等）；③提取致矿信息；④编制区域成矿预测图。

5　几点思考

区域成矿规律及成矿预测研究是一项复杂的系统工作。现代成矿理论与高新综合勘查技术相结合，传统的定量数值科学方法与计算机 GIS 图形图象信息可视化技术相结合，是运用地、物、化、遥等多源信息，进行区域成矿规律研究及开展成矿预测的有效途径。但应加强以下几方面工作：①利用 GIS 的现有功能及 GIS 的二次开发，对成矿规律及成矿预测进行研究必须广泛收集区内的地质，物化探，遥感等资料信息；②通过对地质、物化探、遥感等异常进行相交、叠加、缓冲区等分析，找出复合后的增强点和区域，圈定找矿可能地段，分析区域成矿规律；③通过对已知矿床的种类、矿床类型、控矿因素、成矿的条件等主成分分析，统计分析，建立区域矿床模式和找矿模式；④运用地质异常理论，加强各类异常及综合异常的致矿性评价，分析矿化信息异常与地质异常之间的关系；⑤对成矿远景区，进行大中比例尺物化探的进一步工作。

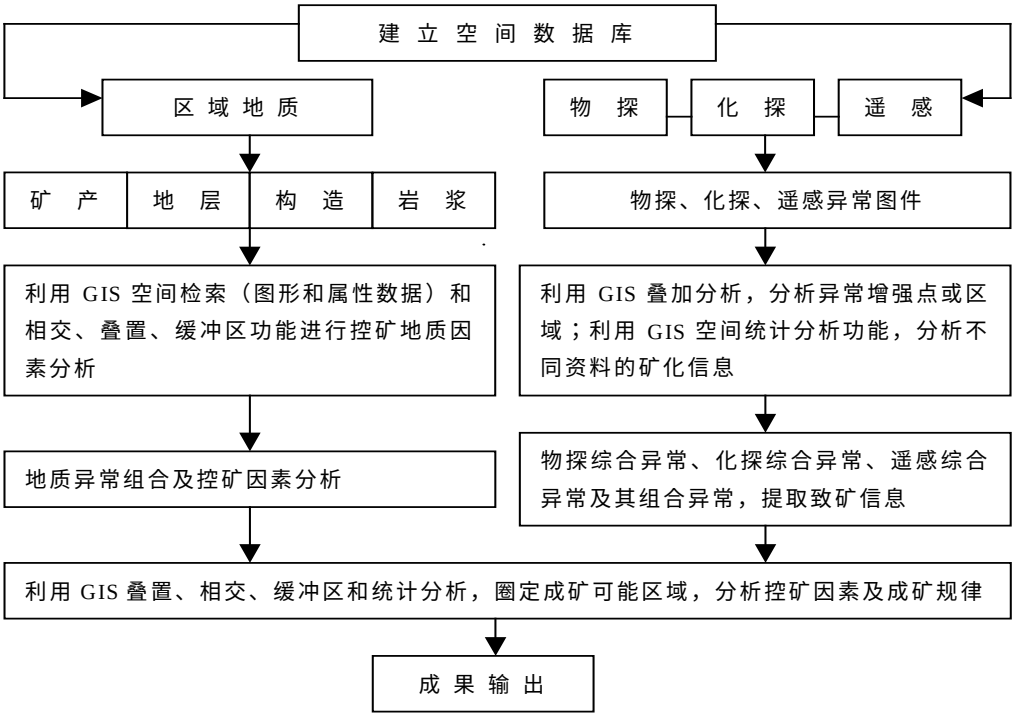


图 1　基于 GIS 的数据处理流程

参　考　文　献

陈毓川, 等. 1998. 中国矿床成矿系列初论. 北京: 地质出版社.

池顺都，赵鹏大. 1998. 应用 GIS 圈定找矿可行地段和有利地段. 地球科学, 23(2): 125～128.

王世称, 等. 1999. 综合信息成矿系列预测专家系统. 吉林: 长春出版社.

翟裕生, 彭润民, 等. 2001. 区域成矿学与找矿新思路. 现代地质, 15(2): 151～156