

基于 GIS 空间分析的成矿预测

矫东风¹, 吕新彪²

(1. 中国地质大学 研究生院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: GIS(地理信息系统) 空间分析为成矿预测提供了强有力的工具。借助于 GIS 所提供的空间分析功能, 利用掌握的地质资料, 依据目前及传统的成矿预测方法, 推演地质模型, 从而达到矿产资源预测评价的目的, 可为地质工作者提供有益的启示。

关键词: GIS; 空间分析; 成矿预测

中图分类号: P208; P612 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2003)04-0269-06

1 GIS 与空间分析概述

地理信息系统(GIS)是以地理空间数据库为基础, 在计算机技术的支持下对空间相关数据进行采集、管理、分析和显示, 并能提供多种空间和动态的地理信息, 为地理研究和地理决策服务而建立起来的计算机信息系统^[1]。随着地球科学的不断发展, 地理信息系统在地学中的应用越来越深入。地理信息系统与其他计算机信息系统, 如数据库管理系统(DBMS)、计算机辅助设计(CAD)等的重要区别在于该信息系统具有自己独特的空间分析功能, 可以达到不同的应用研究目的。所谓空间分析^①, 就是在现代 GIS 领域中, 利用计算机分析地图及各种专题图并从中获取和传输空间信息的方法。空间分析是地理信息系统中最为重要的内容之一, 体现了 GIS 的本质。

通过开发和应用适当的数据模型, 用户可以使用 GIS 的空间分析功能来研究现实世界。由于模型中蕴涵着空间数据的潜在趋向, 从而可能由此得到新的信息。GIS 提供一系列的空间分析工具, 用户可以将它们组合成一个操作序列, 从已有模型来求得一个新模型, 而这个新模型就可能展现出数据集内部或数据集之间新的或未曾明确的关系, 从而深化

我们对现实世界的理解。

从宏观上划分, 空间分析可以归纳为以下 3 个方面:

(1) 拓扑分析: 包括空间图形数据的拓扑运算, 即旋转变换、比例尺变换、三维及三维显示、几何元素计算等。

(2) 属性分析: 包括数据检索、逻辑与数学运算、重分类、统计分析等。

(3) 拓扑与属性的联合分析: 包括与拓扑相关的数据检索、叠置处理、区域分析、领域分析、网络分析、形状探测、瘦化处理、空间内插等。

目前, 用于各行业的 GIS 软件主要包括 ARC/INFO, ARCVIEW, MAPINFO, MAPGIS 等。它们的功能日趋完善, 特别是空间分析功能。GIS 软件支持多种类型数据和多种数据库, 这些功能对地学多源信息成矿预测具有十分重要的作用。

2 成矿预测研究现状及发展趋势

20 世纪 80 年代以后, 随着科学技术的进步和生产节奏的加快, 世界各国对矿产资源需求与日俱增, 但随着地表露头矿、易识别矿越来越少, 找矿难度越来越大, 日益严峻的矿产资源短缺形势推动了成矿预测的研究。这一时期 GIS 高新技术进入成矿预测

收稿日期: 2003-03-14; 修订日期: 2003-09-03

基金项目: 中国地调局大调查研究项目(项目编号: 20031020040)资助。

作者简介: 矫东风(1978-), 男, 辽宁北票人, 硕士生, 2001 年毕业于中国地质大学资源学院, 现就读于中国地质大学研究生院, 主要从事 GIS 在矿床预测方面的研究。

①吴信才. 地理信息系统原理、方法及应用. 武汉: 中国地质大学信息工程学院, 2000.

领域,产生了立足于 GIS 的成矿预测方法。这表明,随着地球科学的发展和新理论、新技术的应用,成矿预测已经开始经历从简单到复杂、由粗略到精细、由抽象到具体的转变^[2]。主要表现为:从单纯定性预测到定性和定量预测结合,再到定量预测;由单一信息预测,逐步转变为多源信息综合预测;由经验式类比预测,发展到模式类比、多元统计方法预测,以及科学化、系统化、动态化和可视化预测。在这一转变过程中,地理信息系统的出现和发展,无疑起了推波助澜的作用。

国内外的实践证明, GIS 的应用彻底改变了传统成矿预测的方法体系,极大地提高了预测效率和水平,简化了预测过程。从理论、技术、逻辑、效果来看,以 GIS 为主要工具的矿产资源预测方法的确展示出广阔的应用前景,得到越来越多的国内外地质学家的重视,成为地质学家不可缺少的工具,与成矿预测紧密地结合在一起。可以预料,随着地理信息系统和成矿预测理论的发展以及二者的结合运用,对地质工作者的找矿思维方式必将产生深远的影响。

3 GIS 空间分析应用于成矿预测势在必行

成矿预测的基本目的是能够预测未发现矿床的位置,并大体知道这些矿床的基本类型、规模和品位^[3]。其传统的做法是根据地质资料和专家的经验统计分析,研究各类地质数据的相互关系以达到预测矿产资源的目。随着大量的多源地学信息数据(如地质、遥感、地震、大地电磁、高精度重磁、激电、物探、化探等)的积累,以及成矿预测学科自身的不断发展(如地质异常理论的建立、从定性预测到定量预测的变化等),以往的那种以手工分析、处理的方式将是不可想象甚至是不可能的。并且由于地学数据是典型的多源空间数据,它们的量纲不一、形式多样,传统的计算机数据库技术对这种多源的空间数据的管理和分析也无能为力^[4]。所以,如何适应形势的变化,充分利用这些丰富的资料快速、经济、有效地进行成矿预测,是地质工作者面临的一个重大问题^[5]。

地理信息系统把客观世界的各种空间数据抽象为点、线、面(多边形)^①。如矿床(点)的分布, GIS 作为点考虑;断层的延伸, GIS 抽象为线;地层、岩体的出露,

GIS 作为面来处理。GIS 对数据的管理采用分层方式,称之为图层(coverage)。地质中的每一类特征数据都可以单独组成一个图层,也可以合并若干类特征数据组成一个新的图层。因此用 GIS 对数据进行管理,数据的提取和修改都十分灵活和方便。如我们在进行矿产资源的评价过程中,把数据分为地理类、地质类、物探类、化探类、遥感等。每一类又分为若干图层,如地理类可分为水系、交通、居民地、等高线等。不同的用户可以根据自己的需要方便地提取数据,加以组合,真正体现了我们填图中所要求的“客观实在”的反映。不同观点的学者可以利用这些基本素材,借助 GIS 所提供的分析工具,进行加工、提炼,形成各自的成果。这样成本低、速度快,又能进行相互间的交流。同时借助 GIS 的空间分析功能,利用同样的素材,可以反演找矿模型,寻找成矿有利地段。因此,可以说,地质数据的多源性和表达的多样性使它与 GIS 的空间分析相结合成为可能,同时也是必然的结果。

在基于 GIS 的空间分析进行多源信息成矿预测时,作者以 MAPGIS 6.0 为平台,重点介绍利用 GIS 的空间分析功能进行成矿预测的过程和步骤,这对实际的预测工作具有指导意义。

4 利用 GIS 空间分析进行成矿预测的工作流程和方法

4.1 利用 GIS 空间分析进行成矿预测的基本工作流程

利用 GIS 的空间分析进行成矿预测是一项较为复杂的工程。预测区地学空间数据库建立以后,即要进行矢量数据与属性数据的连接,开展空间分析,确定地质变量,正确应用预测数学模型进行矿床预测和资源量评估,提出评价成果与工作建议^[6]。整个预测工作都是有序进行的。其基本程序(图 1)是:

(1) 建立预测区地学空间数据库;

(2) 对研究区成矿地质背景、成矿作用、各类控矿因素进行深入研究,同时进行典型矿床地质对比分析,总结成矿规律和成矿模式,建立找矿地质模型;

① 罗志琼等. 地理信息系统原理及应用. 武汉: 中国地质大学计算机系, 1996.

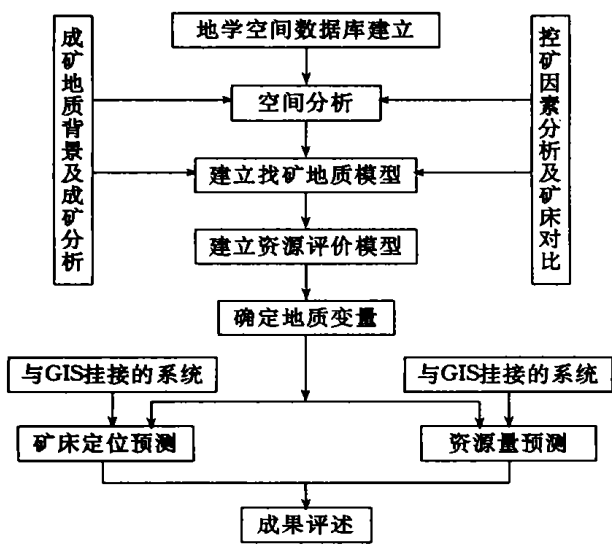


图 1 GIS 空间分析成矿预测工作流程

Fig. 1 The GIS-based spatial analysis of ore formation

- (3) 进行 GIS 可视化矿产资源信息处理和解释;
- (4) 开展空间分析, 将与成矿相关的图层数据关联, 叠加、磨合、综合分析区域成矿规律及找矿标志;
- (5) 建立资源评价模型;
- (6) 确定地质变量, 计算参数和取值;
- (7) 选择合适的数学模型软件并与 GIS 平台相挂接;
- (8) 进行矿床定位预测和资源量预测;
- (9) 对预测成果进行评述, 提出找矿工作建议。

4.2 利用 GIS 空间分析进行成矿预测的实现方法

在地学中, 特别是在地质学方法论中的相似类理论, 是最重要、最基本的成矿预测理论, 是我国矿产勘查人员长期沿用的预测方法之一。该理论认为, 在相似地质环境下, 应有相似的矿床产出, 在相同的地质范围内, 应有等同或相近的资源量。地质异常致矿理论是近年赵鹏大院士提出的成矿预测新理论。该理论认为, 在物质组成、结构、构造或成因次序上与周围环境具有显著差异的地质体或地质体组合部位是矿床产出的最有利地段。综合信息矿产预测理论, 是王世称教授领导的科研集体在多年矿产资源预测科研实践中, 基于地、物、化、遥等综合信息解译、有机关联的基础上, 通过综合信息找矿模型的建立, 圈定最佳找矿有利地段。相似类理论是成矿预测的基础; 地质异常致矿理论是成矿预测的核心; 综合信息矿产预测理论是成矿预测的归宿, 这 3 种理论相互依存、相互补充、相互深化^[3,7]。

目前, GIS 用于成矿预测主要有两类方法^[8]: 一

是利用 GIS 的空间分析功能研究地质矿产实体的空间关系(基于实体关系), 对未知地段找矿远景进行直观评价; 二是与数字模型相结合(基于数字模型), 进行成矿预测。但不管是基于哪种方法, 利用 GIS 空间分析进行成矿预测的理论依据主要是上面介绍的 3 种理论, 尤其是后两种。

4.2.1 利用空间分析实现基于地质实体关系的成矿预测

在区域地质成矿预测中, 地理信息系统(GIS)可以对各种相关控矿因素进行直观的叠加分析和统计分析, 即通过生成各类视觉效果较好的控矿因素统计图表, 再根据这些图表所反映的各种特殊信息, 结合研究区的区域地质背景, 分析它们在区域上的特征及在成矿预测中的有利程度。GIS 具有强大的空间分析功能, 开展空间分析是成矿预测的关键技术之一, 空间分析采用的主要技术要点是:

- (1) 进行地质调查, 对研究区的成矿地质背景, 成矿作用, 各类控矿因素和典型矿床进行全面分析和综合研究;
- (2) 应用岩石地层图层、特殊岩性图层与矿点图层、地球化学元素图层相关联, 了解地层的含(赋)矿性, 确定主要含(赋)矿层位;
- (3) 应用断裂(带)及其他构造图层与岩浆岩、矿产关联, 解释构造与岩浆岩、矿产的关系, 认识矿化与构造的关系, 厘定控矿、容矿构造;
- (4) 应用侵入岩图层与构造图层及物、化、遥图层相关联, 推测隐伏侵入体, 再同地球化学图层叠加关联, 了解岩浆作用与成矿的关系, 确定岩浆岩成矿专属性及成矿成岩系列;
- (5) 应用围岩蚀变图层与侵入岩图层进行关联, 叠加矿产图层, 认识其主要图层与矿化的关系, 了解围岩蚀变类型与矿化的关系;
- (6) 应用基底变质岩系图层、布格重力异常图层、磁异常图层关联, 叠加矿产图层, 推测隐伏基底, 了解预测矿种与基底的关系, 分析矿源层;
- (7) 应用地质、矿产信息图层与重砂、物化遥异常图层叠加, 分析总结成矿规律和成矿模式, 结合地质调查实际进行成矿预测。

4.2.2 利用空间分析实现基于数字模型的成矿预测

利用该方法来实现成矿预测这一目标, 关键是必须建立正确有效的资源评价空间数字模型, 而资源评价模型建立的基础是依赖于研究区内地质背景、成矿条件和成矿规律、以及对各类控矿因素和找

矿信息的认识程度,也取决于研究区的空间数据库内数据(图形和属性)的丰富程度及可靠程度,所以要建立正确的资源评价模型,首先必须建立矿床地质模型(找矿地质模型),矿床地质模型是建立资源评价模型的基础。基于此,把利用 GIS 的空间分析来实现基于数字模型的成矿预测的几个关键步骤列于下面:

(1)数据的采集与建库。地学空间数据库中的数据是指图形和属性数据^[9,10]。一般说来,应包括:地理、地层、构造、岩浆岩与脉岩、矿点、围岩蚀变、重磁异常、地球化学异常及遥感等内容。

在建库过程中需注意以下几点:

①将具有时空特征的地质信息数据空间可视化(即用图形图像来表征数据),以便直接对数据进行空间分析;

②各种数据离散为 GIS 所能识别的点文件、线文件和面文件;

③每一类数据按其属性分成若干图层,例如,地

质类可分为地层、岩体等,图层的划分主要是根据成矿预测的需要,且以适应 GIS 软件功能特点为基本原则;

④输入数据的同时要建立属性文件,以描述各实体的基本属性,即提供关于数据的特征和它所属的地质对象的附加信息(即属性数据),以便于快速浏览检索和观察多种数据集及分析其相互关系和趋势;

⑤图形数字化处理,进行图形编辑,完成属性文件建立和连接;

⑥对各类数据进行预处理,如投影变换、格式转换等,以适应各种分析叠加工作。

可以说,高质量的数据建库是预测成功的基本保证。

(2)空间模型的建立。在以上空间数据库的基础上,根据地质异常理论,一个具有普遍性的成矿预测空间模型基本上由以下几个部分组成^[11](图 2)。

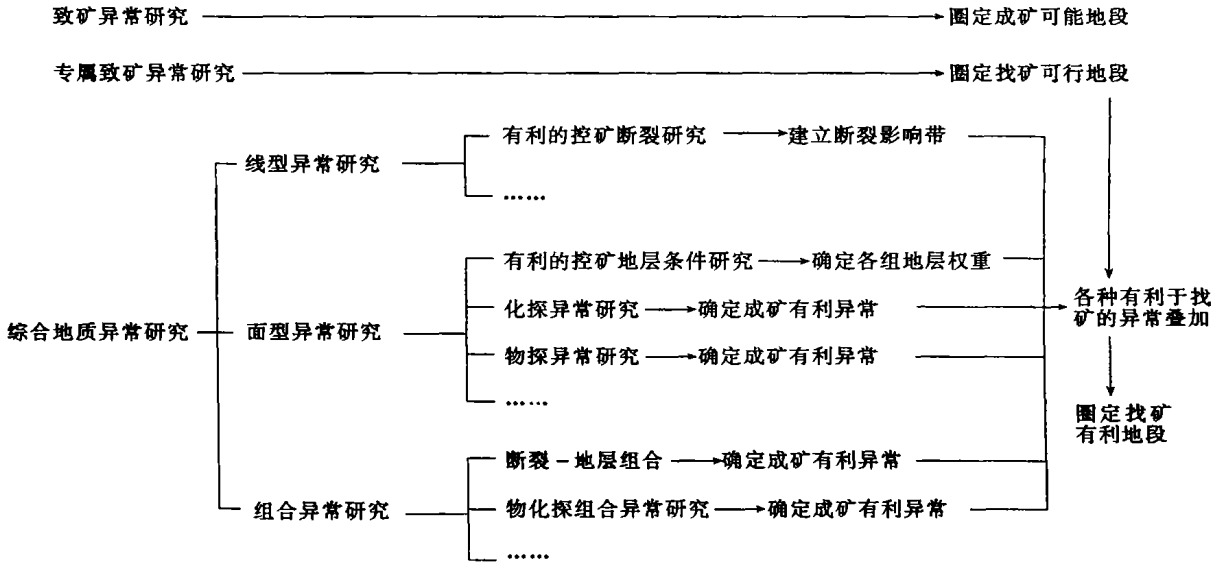


图 2 GIS 成矿预测空间模型

Fig. 2 GIS-based spatial model of ore-forming prediction

图 2 是一个一般性的模型,这种模型以赵鹏大院士的“5P”找矿地段理论为依据。在现代成矿理论的指导下,利用 GIS 的空间分析进行成矿预测是现代地质找矿的必然趋势。而现代高新科技的产物 GIS 为区域地质找矿预测提供了有利平台。GIS 用于成矿预测主要是利用图层增加(COVERLAY)功能,它是按一定的逻辑运算法则来计算单元网格内的各控矿因素参与成矿和控矿的权重的加权和,然

后生成新的图层、新的数据关系,从而获得更多的有利成矿的信息。

在这一阶段的主要任务是根据成矿预测的空间模型,分析各种线型异常和面型异常,其中线型异常为有利的控矿断裂,面型异常包括地层、岩体、物探和化探异常,从而确定有利成矿异常^[12]。接下来的工作是将上述各种异常进行组合,研究各种组合异常,从而圈定找矿有利地段。

(3) 靶区圈定。靶区圈定是成矿预测的成果所在, 按下述步骤进行:

①在所有的找矿标志中, 找出单位矿产当量最大的那些标志, 将这些标志按一定原则着色。

②将所有选出的证据层进行区对区的合并, 得到若干不同色的区, 颜色色标反映了利于成矿的程度。

③对所有颜色的色标作统计分析, 确定找矿有利地段的级别并划分界限。

④根据划分的界限对不同色标区圈出各级找矿有利地段。

⑤整理各级找矿有利地段, 并统计面积。
经过各种组合异常研究, 根据上述圈定靶区的步骤, 即可圈出研究区的找矿远景区^[13, 14]。

需要说明的是, 为了寻找成矿的最有利地段, 与计算机进行人机对话的过程, 就是提取找矿模型的过程^[15, 16]。

5 几点体会

(1) 本文提出的观点, 仅是作者在实际操作过程中得出的体会。作者认为, 进行成矿预测工作, 既可以在专家的指导下用 GIS 实现专家的思想, 也可以发挥 GIS 所提供的功能, 另寻途径, 作为专家思想的补充或旁证。

(2) GIS 是一种工具, 它既可以实现专家的思想, 又可以实现实际工作者的想法, 因此它能充分发挥各人的聪明才智。

(3) 在用 GIS 进行矿产资源评价的过程中, 不管哪种方法, 它所使用的的基本素材是一致的, 因此图形数据库和属性数据库的设计至关重要, 要充分体现现有资料及区调所有的“客观实在”的反映, 不拘泥观点的制约。

(4) 用 GIS 进行矿产资源的评价工作, 各环节的图件可以便捷的形成和输出, 不仅速度快、而且成本低。

(5) 本文主要是在 MAPGIS 6.0 平台上操作得出的一些认识和经验, 但对于其他的 GIS 软件, 如 ARC/INFO, ARCVIEW, MAPINFO 等, 只要稍作改变仍然适用, 因为 GIS 软件大同小异, 其指导意义

是不变的。

(6) 利用 GIS 的空间分析进行成矿预测, 并不能脱离成矿预测理论的指导, 并且往往是多种评估方法的结合运用。

(7) 利用 GIS 的空间分析进行成矿预测的基础依然是对预测区的成矿地质背景成矿条件、控矿因素和典型矿床综合分析和研究, GIS 只是一个技术平台, 空间分析也只是一种方法, 缺少对研究区地质调查的预测, 也只是空中楼阁, 是站不住脚的。

参考文献:

[1] 郭伦, 任伏虎, 谢昆青, 等. 地理信息系统教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 1994. 20-26.

[2] 薛顺荣, 胡光道, 丁俊. 成矿预测研究现状及发展趋势[J]. 云南地质, 2001, 20(4): 411-416.

[3] 陈毓川. 90 年代地球科学的动向[M]. 北京: 地质出版社, 1997. 15-22.

[4] 郭仁忠. 空间分析[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000. 45-51.

[5] 黄海峰. GIS 在成矿预测中的应用[J]. 甘肃地质学报, 2002, 11(1): 89-96.

[6] 唐永成, 何义权, 王永敏, 等. GIS 应用于安徽地区金矿资源评价研究[M]. 北京: 地质出版社, 2002. 145-242.

[7] 宋国耀, 张晓华, 肖克炎, 等. 矿产资源潜力评价的理论和 GIS 技术[J]. 物探化探计算技术, 1999, (3): 199-206.

[8] 廖崇高, 陈建平. 基于 GIS 空间分析进行多源信息成矿预测[J]. 物探化探计算技术, 2002, 24(2): 146-150.

[9] 唐宾. GIS 支持下的金属矿产成矿预测简介[J]. 广西地质, 2000, 13(1): 69-71.

[10] 戴刚毅, 张锦章. 基于 GIS 的矿山空间数据库的建立[J]. 江西地质, 2000, 14(4): 292-294.

[11] 赵鹏大, 陈建平. 地质异常理论与遥感地质研究[J]. 大自然探索, 1996, 15(2): 44-60.

[12] 池顺超, 赵鹏大. 应用 GIS 圈定找矿可行地段和有利地段. 地球科学——中国地质大学学报. 1998, 23(2): 125-128.

[13] 唐文周. 我国遥感地质工作的现状和近期展望[J]. 国土资源遥感, 2001, 26(2): 36-41.

[14] 田德森. 现代地图学理论[M]. 北京: 测绘出版社, 1991. 41-50.

[15] 瞿裕生, 邓军, 李晓波. 区域成矿学[M]. 北京: 地质出版社, 1999. 4-14.

[16] 王桥, 吴纪桃. GIS 中的应用模型及其管理研究[J]. 测绘学报, 1997, 26(3): 55-62.

GIS BASED SPATIAL ANALYSIS OF ORE FORMATION

JIAO Dong-feng¹, LU Xin-biao²

(1. *Graduate School, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;*

2. *Faculty of Resouces, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*)

Abstract: GIS is a powerful tool in ore prediction. With the help of geological informations avaiable and troditional ore prediction technologies GIS can make spafial analysis of ore formation and work out ore-forming models so as to meet requirements of mineral resources assessment.

Key words: GIS; Spatial analysis; ore formation

(上接第 256 页)

APPLICATION OF MINERAL CLEAVAGE PROPERTIES TO THE GEMSTONE APPRAISAL

HUANG Guo-jun

(*Tianjin Geological Academy, Tianjin 300061, China*)

Abstract: Cleavage propertyes are compleleness of cleavage (degree of cleavage development), groups of cleavage and angles between cleavge planes, reflection light and luster of the plances, relation of deflection light to mineral grain size and space lattice etc. The properties are varied with different gem types and individual piece of the same type. And they are used to identify gem especially for nakedeye identification of Jadeite.

Key words: mineral; mineral size; cleavage; cleavage property; gemstone appraisal;