

基于 GIS 矿产预测的思考

牛翠祎^{1,2}, 史小翠²

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 武警黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: GIS(地理信息系统)在矿产预测中已得到广泛的应用。文章在简述 GIS 矿产预测现状的基础上,对矿产预测的空间数据库建设中应该注意的问题(包括地质数据的问题、地质专业人员的作用、预测单元划分、成矿模型与找矿模型等)进行了重点论述,以期提高成矿预测的效率和准确性。

关键词: GIS 矿产预测;地质数据;预测单元;成矿模型和找矿模型

中图分类号: P612;P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2012)02-0201-05

0 引言

GIS(Geographic Information System)技术随着现代计算机信息处理技术的飞速发展应运而生,在采集、存储、检索、分析和显示方面有着独特的优势。它不仅可以将空间数据和属性数据有机结合,在计算机技术辅助下对多源地学信息进行有效的管理和综合分析,而且对空间数据的分析具有高效、快捷、准确的特点,是矿产资源预测评价工作中的一种有力工具。随着计算机的普及和 GIS 在地学领域的深入应用,GIS 技术在矿产资源预测评价中的应用已成为国内外勘查技术发展的新趋势。

1 GIS 矿产预测的发展现状

进入 20 世纪 90 年代以来,GIS 在矿产资源预测方面的应用研究得到了长足的发展,基于 GIS 平台开发的矿产资源预测评价的软件层出不穷。如,基于 MapGIS 平台开发的中国地质大学胡光道等的“金属矿产资源评价分析系统”(MORPAS)^[1]、中国

地质科学院肖克炎等的“矿产资源评价系统(MRAS)”^[3]、长春科技大学王世称等“综合信息矿产资源预测系统(KCYC)”^[3],中国地质大学池顺都开发的“基于 GIS 地质异常的分析系统”,中国地质矿产信息研究院与四川地质矿产勘查开发局在 ARC/INFO 和 ARCVIEW 平台合作开发的“GIS 应用于矿产资源区域评价方法(AMS-GIS)”^[4],武警黄金指挥部白万成等基于 ARCVIEW 开发的“矿产位置预测系统(DPIS)”^[5]等。这些基于 GIS 的矿产预测系统在地质矿产资源预测评价中得到广泛的应用,如李光明“西藏冈底斯铜多金属成矿带基于 MRAS 资源评价系统的成矿预测”^[6],薛顺荣“基于 MRAS 的证据权重法在香格里拉地区的综合信息成矿预测”^[7],李绍儒“松潘—摩天岭地区金矿定位预测研究”^[8],矫东风“基于 MORPAS 平台的甘南铅锌矿床远景区预测”^[9]等。

2 GIS 矿产预测中应注意的问题

2.1 地质数据的问题

矿产预测过程中,收集矿产地质资料,编制地质图、专题地图及辅助性图件是一项工作量很大的基

收稿日期: 2012-02-07; 改回日期: 2012-04-08; 责任编辑: 余和勇

基金项目: 武警黄金指挥部重点项目(HJ98-24)资助。

作者简介: 牛翠祎(1970-),女,高级工程师,博士研究生,主要从事黄金地质与矿产资源评价方面的研究工作。通信地址:河北省廊坊市广阳道 93 号;邮政编码:065000;E-mail:niucuiyi@hotmail.com

基础性工作。

矿产地质数据是矿产资源评价预测的基础。在应用 GIS 进行矿产预测的过程中,我们收集到的数据不仅包括基础地质数据,如地质、构造、地层、岩浆岩、物探、化探、遥感、重砂等,而且还包括基于基础地质的各项研究成果资料。这些数据资料的表达形式各异,如地质图、素描图、照片等图像资料;报告、说明书等文本资料等。对于这些来源多样、跨越不同的学科和部门的表达方式不一的众多数据如何进行有效地组织和管理,成为 GIS 矿产预测评价过程中亟待解决的问题。许多研究者对数据组合管理进行了探讨,如向运川等开发的 Geoexplore 系统、胡光道的 Morpas 系统等都涉及数据的组织和管理模块的开发,这些系统在数据组织和管理方面体现出各自的特色。但不同的矿产预测评价工作应根据矿产预测评价的目的,以成矿规律的研究为基础,从矿床成矿作用的角度对收集到的矿产地质数据进行归纳、总结、分类,建立多源地质空间数据库。该数据库不仅包括基础地质数据,还包括在成矿规律及成矿作用研究基础上,由基础地质数据派生的成果数据。空间数据库建立的好坏直接影响着矿产预测能否顺利进行及预测工作的成效,因此空间数据库的建立是矿产预测的基础及关键环节。在此过程中必须注意以下问题:

(1)矿产地质数据的矢量化。基于 GIS 的矿产资源预测需要采集大量的矿产地质数据,由于上世纪地质工作获得的基础地质数据大部分都是以纸质和图形形式存储,因此图形的矢量化成为目前地质数据获取的重要方式。而目前采用数字化仪或基于 GIS 平台的屏幕数字化均存在工作量大、精度控制难等问题。虽然一些 GIS 平台(如 MAPINFO, ARC/INFO 和 MAPGIS 等)提供了自动数字化功能,一些专门的矢量化软件(如 R2V, VPStudio 和 GeoScan 等)也可以对图形自动矢量化,但由于地质数据内容的复杂性,其自动矢量化的效果均不理想,交互式半自动矢量化仍是目前图像数据转换为矢量数据的主要方式。对于数据精度问题,目前可行的方法是,在地图扫描的基础上,应用 GIS 的镶嵌配准功能对扫描图形进行校正,然后基于 GIS 平台或专门矢量化软件进行半自动、交互式的屏幕数字化,对矢量化的数据再进行误差校正,以提高矢量化过程中图形数据的精度及准确度。

(2)矿产、地质数据的转换。由于 GIS 技术的不断进步与推广应用,现已建立了大量的地学空间

数据库。但由于各部门建立数据库采用的 GIS 软件不尽一致,其数据的存储格式多种多样,如 ARC-GIS, MAPINFO, MAPGIS, SURFER 等矢量数据和 JPE, TIF, GIF 等栅格数据,因此在矿产预测过程中,根据所选取的预测软件对数据的要求,将不同矢量格式的数据转换为统一的矢量数据格式,而栅格数据需要通过矢量化方式转换为统一的矢量数据格式。

(3)矿产、地质空间数据库的建立。由于数据来源的多样性,不同来源的空间地质数据的坐标系及所用图形投影参数存在差别,因此必须根据基础地质图的坐标系和投影参数对所有的空间数据通过误差校正、投影转换、镶嵌配准等功能进行坐标系及投影参数的统一,使相同地理位置的数据在同一坐标系下的误差控制在预测精度所要求的范围内,以减少地质数据误差对成矿预测精度的影响。矿产、地质空间数据库不仅包括空间数据,其空间数据的属性数据也是矿产预测过程中必不可少的。对于预测过程中数据的分类提取,专题图层的建立具有不可或缺的作用,因此属性数据要根据预测工作的目的和需要,在成矿规律研究的基础上来确定。如在断裂构造中,不同级别的断裂对成矿的控制作用不同,区域深大断裂控制着岩浆岩带或矿带的空间展布,而次级的断裂则控制着矿体的就位,因此断裂属性中断裂级别是必不可少的。

2.2 地质专业人员的作用

在成矿预测过程中,地质专家的参与贯穿于成矿预测的全过程,包括数据的收集、数据库的建设、成矿规律及控矿条件的研究、预测模型的建立、地质变量的构建及预测成果的解释等。由于计算机技术和 GIS 的应用,矿产预测数据处理自动化程度有所提高,但地质人员在成矿预测过程中仍起着不可忽视的作用。

矿产地质数据组织离不开地质人员的参与,地质人员必须根据预测目的及预测思路提出矿产地质空间数据库建设的方案。基础地质矿产数据库建立的好坏影响着地质变量的选取与构建计划能否顺利进行,成矿预测的思路和方案能否实现,成矿预测的成果能否有效指导找矿。

在矿产预测过程中收集了大量地质、物化探、遥感、重砂、矿产及基础地质方面的图形及文字资料。资料是否完整,能否用于矿产预测,需要地质人员根据预测的目的、任务、要求对大量的资料进行筛选和补充,同时还要剔除一些不能满足精度、范围要求的

资料。如在区域矿产预测中,预测区内的工程程度各不相同,部分工程程度较高的区段可能具备有高精度的数据,如果预测者将其作为变量而参与建模,而该数据在整个预测区不具有可比性的话,就会造成预测区该变量的取值不确定而使预测成果的不确定性增加,因此在预测工作中应由地质人员根据实际情况来决定该数据的取舍;又如某些地质图只有图形数据,其属性数据则应由地质人员根据相关的基础地质资料或图形内容进行补充。

遥感数据图像能较好地反映工作区构造的总体格局,可以作为区域地质资料中构造信息的补充。人们可以从中提取出区域地质图上未能很好反映的隐伏断裂、岩体等信息,也可对区分断裂的规模、性质,隐伏岩体规模等起到辅助判别的作用。对于遥感解译出的各类地质变量,要由地质人员对其进行分析鉴别,如环形构造反映的是构造信息还是岩体信息?要对环形构造的细节与特点结合地质情况进行具体分析,如果由岩体引起的,变量应划分为岩体变量,而构造作用形成的环形构造,应按构造变量来对待。同时对遥感解译信息和地质图上提供的相关信息进行分析,对一些重复的信息要有所取舍,选择一些有用的、不重复的数据,对遥感数据的有效运用需要遥感人员与地质人员的有机配合。

变量的选取与构置。地质数据不仅包括定量的数据,如化探分析数据、物探数据、有用元素的含量等,还包括许多定性的或描述性的数据,如蚀变的强度、矿化强度、矿体的规模、控矿地质体的产状、规模等;不同的数据具有不同的单位和量纲。如何在成矿预测过程中把这些语句有机地组合起来,如何把定性的描述性数据用定量的数据进行合理的表达,需要地质人员根据各种方法所获取的数据之间的关系,结合地质实际情况进行合理的变量赋值,或根据数据分析所获得的不同变量之间的关系将相关的变量进行组合,使复杂的变量简化,优化变量结构,使成矿预测过程中涉及到的变量尽可能地少,同时又能有效地反映矿床或矿体空间变化特征,提高预测的可信度和准确性。

矿产地质人员在成矿预测的过程中,必须对区域成矿规律及控矿地质条件进行研究,把成矿规律或成矿模型转换为相应的找矿预测模型。矿产地质人员在矿产预测过程中,需要不断对预测结果与找矿模型间存在的偏差进行分析,找出造成预测结果与地质事实之间存在偏差的原因,并提出校正的思路和方法,对预测结果进行修正,以保证预测结果的

准确性和精确性,最后对矿产预测的结果进行地质解释与评价。

袁峰等^[9]和魏芳^[10]曾经论述过地质矿产数据在 GIS 预测过程中如何有效组织的问题,矿产时间谱系在 GIS 预测中如何体现及地质专家与 GIS 预测评价系统如何有效结合仍是目前 GIS 预测中需要考虑的关键问题。这些问题的解决仅仅依靠 GIS 系统是不能实现的,必须由地质专家或地质专业人员,在成矿规律研究的基础上,根据矿产资源评价的要求,提出解决问题的思路,通过 GIS 系统实现数据有效组合与表达,从而提高预测的准确性和可信度。

2.3 单元的划分

单元是矿产预测的基本单位,预测工作以单元进行观测和取值,不同大小的单元对地质现象描述的精度不同,影响着地质变量观测的尺度,最终制约预测评价结果的准确程度。前人对地质单元的划分进行了研究,提出了地质体单元法、地质异常单元法及网格单元法,如陈永良探讨了 GIS 中地质体单元的划分^[11],李钟山等将地质体单元划分方法应用于华北地台北缘金矿预测^[12],赵鹏大等应用地质异常单元方法在鲁西地区进行了金矿的预测工作^[13]。以上两种单元划分方法在 GIS 系统中的实现还有待探索,由于网格单元法的划分自动化程度较高,目前依然是网格单元划分常用的方法。网格单元划分中网格单元面积、形状及铺设的合理性对于预测精度起着至关重要的作用,在划分过程中需要考虑以下几个因素^[14]:

(1)统计预测的比例尺。统计预测所采用的比例尺决定着预测过程中所使用数据的精度,也决定着预测的精度。经过大量矿产预测评价的实践,地质学家对预测所使用地质图件的比例尺与预测单元大小之间的关系进行了总结:当预测比例尺为 1:50 000 时,单元大小宜为 0.25~1 km²;预测比例尺为 1:200 000 时,单元大小宜为 4~16 km²;预测比例尺为 1:500 000 时,单元大小宜为 25~100 km²。

(2)研究区地质条件的复杂程度。合理的单元划分应该能使建立的模型反映区域地质构造背景和矿床地质条件变化的信息。在预测目的及预测资料精度确定的前提下,根据地质条件的复杂程度来确定单元格的面积。如西秦岭地区进行 1:500 000 的金矿资源评价时,地质条件变化复杂,信息量大,为了能客观地反映预测区情况,在不增加预测工作量的前提下,采用了 5 km×5 km 的单元格。如果

地质条件相对简单,在保证统计预测所要求的单元格数量的前提下采用较大面积的单元格。

(3)研究区出露的矿点数量及空间分布的特征。研究表明,网格单元的面积不同,其矿点分布模型也不同,李新中等^[15]对单元格面积与矿点分布模型进行了研究,提出了网格单元划分的基本准则,推导出确定单元格面积的公式:

$$S = \frac{9S_i}{100(9+n)}$$

式中, S 为单元格面积; S_i 为研究区总面积; n 为研究区参与统计的矿床(点)总数。

值得注意的是,研究区出露的矿点数量不仅与研究区成矿地质背景及成矿条件有关,还与研究区的工作程度密切相关,因此需要在综合研究成矿地质背景及调查研究区工作程度的基础上,对上述公式计算的单元面积进行合理的调整。

(4)保证统计分析所需的单元数。矿产预测是统计意义的预测,因此单元的划分必须使含矿单元的数量满足统计分析所要求的最小单元数,即含矿单元数要大于变量数^[16]。

(5)地质特征的空间变异性。地质变量在空间的分布是不均匀的,通常表现为各向异性,因此在划分单元格时,要考虑地质变量的空间变化特征,利用区域化变量理论来研究单元内地质变量的空间结构性。当地质变量的结构变化表现为各向同性时,采用正方形单元;当地质变量的结构变化表现为各向异性时,则采用长方形单元,并以长方形的短边平行变化较大的方向。比如在祁连成矿带进行金矿资源量预测时,由于构造及地层主要呈NW向延伸,表现出较强的各向异性,因此在划分单元格时采用长方形网格,网格的长边平行于构造及地层的延长方向(即NW向),而网格单元的短边则垂直构造和地层的走向(即NE方向)。

因此,单元格划分只有综合考虑上述因素,找出预测工作区内影响单元格划分的主要因素,在合理划分单元格的基础上进行预测评价,预测结果才能更好地反映地质客观事实,达到真实、可靠的要求。

2.4 成矿模型和找矿模型

应用成矿模型和找矿模型进行矿产预测是地质工作者常用的预测方法,如斑岩型铜矿模型、石英脉型钨矿的“五层楼”模型、长江中下游矽岩铁矿模型,以及在这些模型基础上提出的矿床模型预测理论。它们是根据各类矿床复杂的地质现象和各种各样找矿信息对成矿规律及控矿地质条件的高度概括和总

结,对矿床成矿作用的研究及找矿勘探具有指导意义。但是成矿模型和找矿模型既有内在的联系,也存在着差别。成矿模型是对矿床赋存的地质环境、控矿因素、内外部特征、时空变化规律、成矿物质来源、成矿机理的高度概括和综合,并用图表和文字进行表达,使人们对同类或相似的成矿作用有完整的认识^[16]。找矿模型则是在成矿规律及成矿模型综合研究的基础上建立的,主要对成矿地质作用的结果,即对矿床发现有特殊意义的地质、物化探、遥感等找矿标志及其在空间的变化规律进行研究,总结矿床发现所需要的信息标志及使用的有效方法,是对成矿地质作用过程所表现的外在信息的综合和概括。在实际应用中出现了各种各样的找矿模型,并有不少成功的范例,如地质—地球化学模型、地质—地球物理模型、吨位—品位模型等。

成矿模型侧重矿床成矿的过程和形成机理,揭示的是成矿作用过程内在控制因素的组合同样规律;而找矿模型侧重的是成矿地质作用的外在表现。只有通过对成矿规律的研究,建立成矿模型,才能更好地理解哪些找矿信息反映成矿规律和成矿作用的本质,在矿产预测过程中所起作用的大小,在此基础上建立找矿模型,更能对所获得的各种信息数据进行有效而充分的综合,并转化为矿产预测的各种地质标志,提高找矿预测的效率及准确性。

3 GIS 矿产预测的发展趋势

随着计算机技术的发展,GIS成为矿产资源评价及成矿预测的一种强有力的工具,在成矿预测实践中得到广泛应用,在多源地学数据的集成管理、模型建立及空间分析方面具有不可比拟的优势。随着时态GIS^[17-18]、三维GIS^[19-21]、WebGIS^[22-24]的发展,GIS技术在时空演化、三维可视化、数据开放共享的方面不断拓展,这为成矿时空变化规律的有效阐述、成矿预测的三维立体直观表达、GIS数据的共享提供了实现的途径,成为GIS目前的发展趋势。

参考文献:

- [1] 矫东风,吕新彪,胡光道,等.基于MORPAS平台的甘南Pb-Zn矿床远景区预测[J].地质与勘探,2005(3):65-70.
- [2] 肖克炎,张晓华,王四龙.矿产资源GIS评价系统[M].北京:地质出版社,2000:142.
- [3] 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,2000:343.

- [4] 王于天,刘超. 金矿综合信息预测知识抽取机制[J]. 长春地质学院学报,1995(1): 103-109.
- [5] 白万成,臧忠淑. 基于 ArcViewGIS 的矿床定位预测系统简介[J]. 地质与勘探,2004,40(3):52-54.
- [6] 李光明,余宏全,张丽,等. 西藏冈底斯铜多金属成矿带基于 MRAS 资源评价系统的成矿预测[J]. 地质与勘探,2009(6): 645-654.
- [7] 薛顺荣,肖克炎,丁建华. 基于 MRAS 的证据权重法在香格里拉地区的综合信息成矿预测[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2008,38(5): 738-744.
- [8] 李绍儒,卿敏,牛翠祎,等. 松潘—摩天岭地区金矿定位预测研究[J]. 地质与勘探,2007(4):74-78.
- [9] 袁峰,周涛发,李湘凌,等. 基于 GIS 的矿产资源预测现状及关键问题[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2004(5):486-489.
- [10] 魏芳,邢怀学. 基于 GIS 成矿预测中几个关键问题的探讨[J]. 地质学刊,2009(1):48-50.
- [11] 陈永良,刘少华,伍伟,等. GIS(MapInfo)矿产预测地质体单元的自动生成[J]. 地质论评,2000,44(1):200-203.
- [12] 李钟山,范继璋. 华北地块北缘金矿预测[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2004(2):292-296.
- [13] 赵鹏大,陈永清. 基于地质异常单元金矿找矿有利地段圈定与评价[J]. 地球科学,1999(5):443-448.
- [14] 赵鹏大,胡旺亮,李紫金. 矿床统计预测[M]. 北京:地质出版社,1983.
- [15] 李新中,赵鹏大,肖克炎,等. 矿床统计预测单元划分的方法与程序[J]. 矿床地质,1998,17(4):369-375.
- [16] 高章红. 大比例尺找矿预测及 GIS 应用[J]. 安徽地质,2006,17(3):197-203.
- [17] 吴信才,曹志月. 时态 GIS 的基本概念、功能及实现方法[J]. 地球科学:中国地质大学学报,2002,27(3):241-245.
- [18] 王长纁. 时态 GIS 若干关键技术的研究[D]. 西安:西北大学,2006.
- [19] 苏红军,闫志刚,栗敏光,等. 基于三维 GIS 的矿山数据模型研究[C]//国际矿山测量协会(ISM)工作会议暨“数字矿业城市、数字矿山”建设信息技术学术研讨会论文集. 北京:中国煤炭学会,2006.
- [20] 曾新平. 地质体三维可视化建模系统 GeoModel 的总体设计与实现技术[D]. 北京:中国地质大学(北京),2005.
- [21] 韩李涛,朱庆. 一种面向对象的三维地下空间矢量数据模型[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006(4):636-641.
- [22] 鲍远律,郭杰华,胡玉锁,等. 基于 Internet 的地理信息系统(WebGIS)的研究和开发[J]. 微机发展,1999(2):60-63.
- [23] 周文生,毛锋,胡鹏. 开放式 WebGIS 的理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2007:168.
- [24] 张正兰,刘耀东,张明. 基于 ArcIMS 的 WebGIS 系统开发[J]. 河海大学学报:自然科学版,2004,32(1):113-116.

Consideration about the mineral prognosis based on GIS

NIU Cui-yi^{1,2}, SHI Xiao-cui¹

(1. School of Earth and Resource of China Geoscience University, Beijing 100083, China;

2. Gold Geologic Insititute of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: Geographic information system has been widely applied to the mineral prediction. In order to improve the efficiency and veracity of the prognosis, the author discussed the problems as follows: the problem encountered in the construction of the geological spatial data; the effect of geological researchers; determination of unit grid; the application of the metallogenic model and prospecting model. Finally, the problems to be studied in the prediction have been put forward.

Key Words: GIS-based ore prediction; geological data; prediction unit; metallogenic model and prospecting model