

成矿预测研究现状及发展趋势

薛顺荣^① 胡光道^① 丁俊^②

(^①中国地质大学资源学院, 武汉 430074;

^②中国地质调查局西南地区项目管理办公室, 成都 610082)

摘要: 随着地表露头矿、易识别矿越来越少, 找矿难度越来越大, GIS 高新技术普及应用, 为成矿预测展示了新的前景。本文通过成矿预测发展历史的回顾, 概述今后一段时期地勘行业成矿预测的主要思路; 在新的成矿理论指导下, 借助 GIS 技术, 实现科学化、系统化、信息化、动态化和可视化多源信息综合预测找矿, 为普查立项提供依据, 并提出了具体工作步骤。

关键词: 成矿预测; 现状及趋势; GIS 技术; 工作步骤;

中图分类号: P612 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-1885 (2001) 04-411-6

随着地表露头矿、易识别矿越来越少, 未来勘探将不再是以直接检测矿化的简单勘查为主的传统方式, 而是以现代成矿理论为指导的多种方法有机结合的勘查模式为中心的新方式。寻找隐伏矿、盲矿和难识别矿必将成为 21 世纪首要勘查任务。面对找矿难度加大, 应用新理论、新技术、新方法提高成矿预测水平和找矿效果, 最大限度地减少地勘投入风险, 实现找矿工作重大突破, 必将成为今后找矿工作的指导思想。

由于研究对象是复杂的地质体, 虽有其共性, 但也千差万别, 因此成矿预测成为最重要、最复杂的地质课题之一, 它是普查找矿的先行, 更是决定普查找矿效果的重要措施。作为对各种成矿信息进行深入研究和综合分析重要手段的成矿预测方法, 是关系预测成败的重要技术问题, 一直为国内外矿产勘查学者所关注。但由于预测方法尚不成熟, 目前都在探索之中。只有把握成矿预测现状与发展趋势, 才能探索切实可行的预测方法, 使成矿预测在矿产资源评价中起到普查找矿的先行作用, 提高普查找矿效果。

特别对地处祖国边陲的云南, 具有“有色金属王国”的美誉, 但矿产资源的可持续发展状况不容乐观。响应党中央西部开发战略, 探索快速矿产资源评价方法, 迅速摸清矿产资源潜力, 对政府矿产资源产业政策的制定及现实地勘工作均具有重要意义。

1 研究现状

国内外, 随着地质科学的发展, 新理论、新技术的应用, 成矿预测经历了由简单到复杂、由粗略到精细、由抽象到具体的演变过程。表现为: 从单纯定性预测到定性与定量预测

收稿日期: 2001-07-18

作者简介: 薛顺荣 (1965~), 男, 云南玉溪人, 地质高级工程师, 在该地球探测与信息技术专业硕士研究生, 主要从事矿产资源评价工作。

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等。有过多种不同提法:矿产预测、矿产统计预测、矿产资源评价、矿产潜力评价、矿产丰度评价、矿产富源评价、矿产资源预测、成矿区划与成矿资源总量预测、找矿靶区优选和矿产资源区域评价等,但它们立足的基础均是区域地、物、化、遥等所获得的综合地学信息,并不强调勘探工作信息,以及研究区勘查工作程度。在整个矿产地质勘查工作中处于区域地质之后、矿产普查之前。其中靶区优选、资源定量预测是定性预测的延伸,只是针对工作目的、区域工作程度,而选择不同的预测方法。定量预测要求确定某种矿产资源的数量、质量和空间位置,这有助于政府制定资源政策;而定性与定量预测结合圈定找矿有利地段,则适于生产部门制定工作部署决策。

从成矿预测发展历史看,大体经历三个阶段:

第一阶段,20世纪50、60年代,主要进行各种形式的区域性成矿规律和成矿预测研究。其实质是在确立典型区域成矿条件下,使用经验地质类比法,把找矿目标从已知区推向未知区,以前苏联和我国为代表。而西方国家则没有进行这种区域性、有完备的理论系统与技术系统的成矿预测,只是在欲实施勘查地区作一些常规的远景分析。

第二阶段,20世纪70年代至80年代初,主要进行成矿预测理论和方法的全面总结。此期间,1976年在挪威的洛恩举行的国际地质对比计划98项专题提出了区域价值估计、体积估计、丰度估计、德尔菲估计法、矿床模拟法和综合方法六种资源预测的标准方法。这一阶段,多元统计方法和计算机技术广泛应用于成矿预测中,除常规判别回归、因子等统计方法外,还有两种特别受到我国地质人员喜爱的方法:Botbol等人提出的特征分析法和P·M·康斯坦丁诺夫等人提出的逻辑信息法。此外,这一阶段专家系统被引入到成矿预测的实践中,以美国斯坦福大学国际研究所人工智能中心建立的勘探者(PROSPECTOR)专家系统^[1]为代表,它是世界上最早的成矿预测专家系统;而国内起步较晚,以赵大鹏院士领导的研究集体建立的中大比例尺矿床统计预测专家系统(MILASP)^[2]、王世称教授领导的研究集体跟踪国家“863”计划完成的综合信息成矿系列预测专家系统^[3]为代表。这一阶段,成矿预测进行地质经验类比的定性预测与数学统计的定量预测开始汇集为统一的系统(成矿规律,矿床模式,多元统计,专家系统,计算机系统已融为一体),开创了成矿预测的新篇章。

第三阶段,20世纪80年代以后,随着科学技术的进步,世界各国对矿产资源需求与日俱增,日益严峻的矿产资源短缺形势推动了成矿预测的新高潮。这一阶段以GIS高新技术进入成矿预测领域,产生了立足于GIS的成矿预测方法为特点。首推美国、加拿大、澳大利亚等发达国家把GIS技术与成矿预测结合起来并成功应用,如美国地质调查局启动了应用和评价美国国土资源评价计划(CUSMAP)。通过研究,确定了进行矿产资源评价对栅格、矢量和表格式数据处理能力及相互间的接口、和在GIS内建立、应用模型及表示评价结果的制图功能的需求^{[4][5]};加拿大地质调查局G·F·Bonham-Carter、F·D·Agterberg和D·F·Wright提出适合于GIS平台上操作完成的资源预测模型——证据加权模型(Weights of Evidence Mode),和基于GIS的Nova Scotia地区金矿勘探地质资料综合利用^[6]、以及G·P·Watson, A·N·Rencz, G·F·Bonham-Carter基于GIS在新布瑞克省北部矿产资源评价中的应用^[7];澳大利亚地质调查局广泛用于建立矿产资源评价的基础——矿产省的GIS数据集^[8],镍红土矿、镍硫矿、脉金

矿、红土金矿、含金刚石的金伯利岩及铅锌矿产资源潜力图^[9]，以及适用于已知矿床很少或没有已知矿床的未勘探区的概念法，和适用于含有大量已探明矿床地区的经验法两种以 GIS 为基础的勘查方法应用^{[8][10]}等。国内 GIS 技术应用研究起步较晚。“八五”期间，GIS 技术才被列为地矿勘查关键技术，进入 90 年代以后，GIS 矿产资源预测研究得到了足够的重视。这方面以中国地质大学胡光道教授领导的研究集体在 MAPGIS 软件平台开发的金属矿产资源评价分析系统 (MORPAS)，中国地质大学池顺都教授基于 GIS 地质异常分析、金属矿产经验预测、找矿有利度分析、找矿有利地段圈定、矿产资源潜力评价和成矿强度广度定量分析等方面^{[11][12]}，中国地质矿产信息研究院与四川地质矿产勘查开发局合作在 ARC/INFO 和 ARCVIEW 软件平台开发的 GIS 应用于矿产资源区域评价方法 (AMS-GIS)；长春科技大学王世称教授领导的研究集体在 MAPGIS 软件平台开发的综合信息矿产源预测系统 (KCYC)；中国地质科学院肖克炎博士为首的在 MAPGIS 软件平台开发的矿产资源评价系统 (MRAS) 等为代表。

2 发展趋势——面向 21 世纪的成矿预测

成矿预测的发展是由地质工作程度提高，找矿工作不断深入，科学技术进步，以及理论更新所决定。跟踪地质找矿途径的变化需求、成矿预测理论的发展方向，才能对成矿预测的发展趋势作出合理的判断，回答是否有助于提高成矿预测水平和找矿效果。

从地质演化角度来看，矿床是地质演化的一个特殊事件，主要是它所含的有用矿物在质和量上均达到现实经济、技术条件下能被开采利用的要求。任何矿床的形成都是地壳一定发展演化阶段的产物，是地质演化过程中多种地质事件（异常）耦合作用的结果，均具有独自的特点。而这种独自的特点是各种成矿信息差异造成的，这就决定了矿床形成的长期性、复杂性和特殊性。而且，在地质演化过程中，记录成矿过程的各类信息，部分可能在地质演化过程中弱化、淹没，或被其它信息取代。特别是隐伏矿床（体），埋藏越深，矿化信息越弱，发现越是困难。在地质找矿工作已逐渐由寻找地表出露矿转入隐伏矿、盲矿或难识别矿的预测、普查和评价的今天，找矿工作各方面投入越来越高，找矿难度越来越大，使得传统的地质找矿方法已很难在找矿上有所突破，单一信息预测找矿已难于奏效。这就要求充分应用新理论、新技术，最大限度地利用以往积累起来的各类地学资料，将传统的地质找矿方法与地球物理学、地球化学和遥感地质学等找矿方法有机地结合起来，以系统的、全面的观点进行“二次开发”获得信息，并从这些繁杂的海量地学信息中甄别与成矿关系密切的致矿信息，达到以尽可能多的信息判别矿床存在与否，以尽可能少的投入取得最大的找矿效果。

几十年来积累的地、物、化、遥等找矿信息为多源信息综合预测找矿奠定了基础，但传统的人工方法难于胜任。地理信息系统（简称 GIS, Geographic Information System）是在计算机软硬件支持下，以采集、存储、管理、检索、分析和描述空间物体的地理分布数据及与之相关的属性，并回答用户问题等为主要任务的技术支持系统^[22]。因此，GIS 技术提供了在计算机辅助下对地、物、化、遥等多源地学信息进行集成管理、有效综合与分析的能力，使其成为改变传统矿产资源评价的有力依据。国内外 GIS 技术在矿产资源评价方面的应用表明，GIS 强大的空间信息处理和分析功能，是地质学家对多源地学信息综合分析进行成矿预测划时代的理想工具^{[7][10][13]}。据此，通过对地、物、化、遥等资料充分研究，确定合适的数

源、建立合理有效的 GIS 数据库；单个空间关系的确定和量化以及多个空间关系集成，并以数字形式编辑和综合各种地学数据集，确定数据集中与矿产位置最密切的地质特征，达到以较小的投入快速、高效、灵活、易于实现多方案对比圈定找矿有利地段，减少地勘投入风险。实现综合信息有机结合，多思路、动态地进行成矿预测、缩短预测评价周期，达到快速矿产资源评价之目的。

找矿实践证明：“相似的地质条件”并不一定是成矿的充分条件；在成矿地质背景相似的不同地区，有的成矿，有的不成矿；有的有规模巨大的矿床，有的却只有一些矿点或小型矿。而成矿地质背景不同的地区，则可能形成同类型矿床。“地质异常”只是一种必要的成矿基础，即重要的矿床必定位于具有最大地质异常的地段，但有最大地质异常地段不一定必然有矿存在，也就是矿床的存在或产生是多个地质异常（综合信息）有机关联的产物。由于成矿的不确定性，导致勘查工作的不确定性事件、成矿预测水平和找矿效果不高。因此矿产勘查工作首要任务就是提高找矿概率。其途径除了在最有利的地段进行勘查工作外，只有依赖于新的成矿理论、新技术和新方法提高成矿预测水平和找矿效果，以达到既经济、又有效的预测新领域成矿有利地段。

在地质学中，特别是在地质学方法论中的相似类比理论，是最重要和最基本的理论，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，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^[14]。该理论认为，在物质组成、结构、构造或成因序次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^[15]，是王世称教授领导的科研集体在多年矿产资源预测的科研实践中，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。三者是相互依存、相互补充、和相互深化。

相似类比理论是成矿预测的基础，它要求详细了解已知矿床成矿条件、矿床特征和找矿标志；地质异常致矿理论是成矿预测的核心，它要求在相似类比的基础上注意发现不同层次、不同尺度水平、不同类型的异常；综合信息矿产预测理论是成矿预测的归宿，它要求把握一切与矿床有关的地、物、化、遥等因素及其表征。相似类比理论指导成矿环境的对比，从而使有可能在广泛的地壳范围内选择所要寻找和预测的最可能成矿环境，或在给定的地段内，根据其地质环境判断可能寻找和预测的矿产；地质异常致矿理论指导成矿背景场和地、物、化、遥等异常的分析，从而使有可能在确定的有利成矿环境或地段进行预测靶区的选择；综合信息矿产预测理论指导成矿概率大小和成矿优劣程度的分析，从而有可能在圈定的成矿远景区中评价和优选最可能成矿地段或优选可能成矿的最佳地段。以此成矿预测理论为指导，GIS 技术为主要手段。目的在于既预测新领域成矿有利地段和新类型矿床，又能预测具有相似成矿条件的同类型矿床，实现成矿预测科学化、系统化、信息化、多思路动态化和可视化。

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，极大的提高了预测效率和水平，简化了预测过程。无论从理论、技术、逻辑、效果来看，以 GIS 为主要工具的矿产资源预测方法展示了广阔的应用前景，越来越得到国内外地质学家的重视，成为地质学家不可缺少的划时代新工具。另外，一些高新技术（如：RS 技术、GPS 技术、人工神经

网络技术、图形图象处理技术、数据仓库技术、非线性科学技术、计算机网络技术、3D GIS 技术、数据集成技术等),新理论(如:地质异常成矿预测理论、综合信息预测理论、成矿系列理论等)在成矿预测中的应用,展示了 21 世纪成矿预测的发展方向:科学化、系统化、信息化、动态化和可视化的定量、定位预测。

3 结 论

GIS 技术的普及和应用,一些新的成矿预测理论的出现,以及几十年来积累的地、物、化、遥等找矿信息,为实现新理论、新技术、新方法下科学化、系统化、信息化、动态化和可视化多源信息综合预测找矿奠定基础,成为提高成矿预测水平和找矿效果的根本途径。以全面的观点分析与解译各类致矿信息,作出成矿有利度分析;采取野外调研和室内研究相结合、理论与实践相结合、点和面相结合的基本原则,在“相似类比理论、地质异常致矿理论和综合信息矿产预测理论”的指导下,应用 GIS 技术实现综合信息有机综合与分析,多思路、动态地进行靶区筛选和找矿有利地段圈定,为普查立项提供依据;将成为一段时期地勘行业成矿预测的重要方法。具体工作步骤如下:

(1) 收集地质、矿产、构造、地球化学(包括重砂)、航磁、重力、遥感等资料,建立多源地学信息数据库。

(2) 成矿地质背景和典型矿床特征分析,确定区域找矿模型。

(3) 对地、物、化、遥等多源地学信息进行处理,建立综合信息找矿模型,形成适合成矿预测的专题图层和专题属性。

(4) 利用 GIS 提供的可视化空间分析功能,对地、物、化、遥等专题图层综合分析研究,进而圈定成矿有利地段。

(5) 对专题属性进行多元统计分析,优化成矿有利地段。

(6) 成矿预测成果的计算机表达。

(7) 提出下一步找矿工作部署建议。

参 考 文 献

- [1] 刘承祚. 地质专家系统与成矿预测 [M]. 当代矿产资源勘查评价的理论与方法, 北京: 地震出版社, 1999.
- [2] 李新中、赵鹏大、胡光道. 基于规则知识表示的模型单元选择专家系统的实现 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20 (2): 173 ~ 178.
- [3] 王世称、叶水盛等. 综合信息成矿系列预测专家系统 [M]. 长春出版社, 1999.
- [4] 美国地质调查局. 美国本土矿产资源评价计划系列报告之一 [M]. 地理信息系统及其在地学领域中的应用译文集, 地矿部科技司计算机办公室, 1993.
- [5] 美国地质调查局. 美国本土矿产资源评价计划系列报告之二 [M]. 地理信息系统及其在地学领域中的应用译文集, 地矿部科技司计算机办公室, 1993.
- [6] C. F. Bonham-Carter, F. P. Agterberg, and D. F. Wright. Nova Scotia 地区金矿勘探地质资料的综合利用 [M]. 地理信息系统及其在地学领域中的应用译文集, 地矿部科技司计算机办公室, 1993.
- [7] C. P. Watson, A. N. Rencz and C. F. Bonham-Carte. Geographic information system are being applied to mineral resource assessment in Northern New Brunswick [J]. GEUS 1989, 18 (1).

- [8] Lesley Wyborn et al., Using GIS for mineral potential evaluation in Areas with few know mineral occurrences [J]. The second forum on GIS in the geosciences, AGSO, p.199 ~ 211, 1995.
- [9] Lyle A.Burgess, Recent applications and research into mineral prospective mapping using GIS [J]. Proceeding of third national forum on GIS in the geosciences, AGSO, p.121 ~ 129, 1997.
- [10] C.M.Knox-Robinson, L.A.I.Wyborn, Towards a holistic exploration strategy: Using geographic information systems as a tool to enhance exploration [J]. Australian journal of earth sciences, 1997, 44: 453 ~ 463.
- [11] 池顺都、周顺平、吴新林. GIS支持下的地质异常分析及金属矿产经验预测 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1997, 22 (1): 99 ~ 103.
- [12] 池顺都、赵鹏大、刘粤湘. 应用 GIS 研究矿产资源潜力——以云南澜沧江流域为例 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24 (5): 493 ~ 497.
- [13] 向运川、任天祥、杨竹溪. 开发利用地理信息系统 (GIS) 综合分析地学信息进行矿产预测 [J]. 物探与化探, 1996, 20 (1): 1 ~ 13.
- [14] 赵鹏大、陈永清、刘吉平等. 地质异常成矿预测理论与实践 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999.
- [15] 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.

THE CURRENT SITUATION AND DEVELOPMENT TREND OF METALLOGENETIC PROGNOSIS

XIU SHun-rong^①, HU Guang-dao^①, DING Jun^②

(① Resources College, China University of Geosciences, Wuhan 430074

② Project Office of Southwest China, China Geosurvey, Chengdu 610082)

Abstract: The ore-finding is more difficult because the outcropping and recognizable ore deposits are very few. Fortunately, the spread application of high-tech GIS shows a new advance in the metallogenetic prognosis. According to a historic review of metallogenetic prognosis, we put forward the main thoughts and working steps of future metallogenetic prognosis in geological exploration working, ie, to realize scientific, systematic, informative, dynamic, visible multiple information comprehensive prognosis and ore-finding under direction of new metallogenetic theory and using GIS technique in order to provide the basis for approval ore prospecting project.

Key Words: Metallogenetic Prognosis; Current Situation and Development Trend; GIS Technique; Working Step.