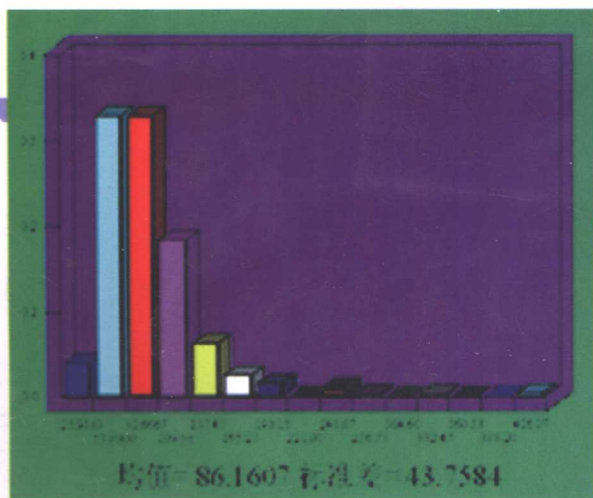




矿产资源 GIS 评价系统

肖克炎 张晓华 王四龙 刘冬林 等 编著



地质出版社

TD8
X-467

成矿预测方法通则之四

矿产资源 GIS 评价系统

肖克炎 张晓华 王四龙 刘冬林
朱裕生 葛 燕 肖 斌 宋国耀 编著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

GIS 地理信息系统技术在国土资源大调查中作为技术支撑正在得到广泛的应用,这将使得传统的矿产资源定量评价方法及工作流程发生根本性改变。本书介绍了作者近年来在 GIS 平台上进行矿产资源评价系统(MRAS)二次开发的成果,它是目前 GIS 地学应用系统二次开发系统的专著之一。书中重点介绍了 GIS 矿产资源评价的发展状况、MRAS 系统开发的需求分析和矿产资源 GIS 评价系统的计算机实现,以及作者自己开发的基于 GIS 成矿信息提取子系统和矿产资源 GIS 综合评价子系统,总结了在开发 MRAS 系统中的一些经验体会。将 GIS 技术有机地与矿产资源定量评价方法结合是本书论述的关键问题。

本书可供矿产勘查人员阅读,也可作为科研和教学人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

矿产资源 GIS 评价系统/肖克炎 等编著.-北京:地质出版社,2000.3

(成矿预测方法通则;4)

ISBN 7-116-03023-9

I. 矿… II. 肖… III. 矿产资源-地理信息系统 IV. F407.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 57309 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:杨友爱 赵俊磊

责任校对:黄苏晔

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:9.375 字数:220000

2000 年 3 月北京第一版·2000 年 3 月北京第一次印刷

印数:1—1000 册 定价:25.00 元

ISBN 7-116-03023-9

P·2091

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

加强高新技术研究 提高资源评价水平

代 序

矿产勘查难度日益增大,矿产资源评价效果日益降低的形势呼唤新的勘查理论和先进的勘查评价技术与方法。近年来,作为一种先进技术,GIS在矿产资源勘查与评价中得到广泛应用。肖克炎等编著的《矿产资源GIS评价系统》是我国在这方面具有代表性的研究成果之一。该书是在原地矿部首批地理信息系统应用项目“基于GIS平台上固体矿产资源评价辅助决策系统”成果基础上编写而成的。该成果在详细研究GIS功能及矿产资源评价需求基础上,系统总结了GIS矿产资源评价的通用工作程序,提供了一种数据综合、成矿信息提取、预测方法选择,找矿靶区圈定与优化、成果输出一体化等预测评价流程,同时研究了基于矢量数据结构下GIS矿产资源系统信息综合评价的一些关键技术问题,包括如何实现GIS地质图形数据(点、线、面)与物化探专题数据(定量数据)的综合,如何进行多元矢量数据的变量自动赋值与变量筛选,如何实现矿产资源评价各流程的数据交换及信息综合可视化。该系统还包括成矿信息分析子系统、重磁数据处理及可视化子系统、地球化学数据处理子系统、地质统计学及三维可视化子系统以及矿产资源评价地质因素标志交互搜索模型、找矿信息证据加权模型及矿床模型综合评价法等三类评价方法模型系统,为今后矿产资源评价提供了GIS软件系统技术支撑,从而使矿产资源评价工作进入高起点、高技术和高层次的计算机信息化与现代化发展阶段。

应强调指出的是,获取第一手高质量的地质、物探、化探、遥感数据并采取有效方法将这些数据中与成矿及找矿有关的信息充分加以提取是资源勘查与评价的前提与基础。但是,如果没有恰当的技术方法将不同层次、不同类型、不同属性、不同结构的信息加以集成和综合,同样也不可能达到科学有效的资源评价目的。

本书的出版对推动GIS技术的地质应用,特别是对提高矿产资源勘查与评价水平具有重要意义。目前,我国正开展新一轮国土资源大调查,正对重点成矿远景区进行矿产资源潜力评价。本书将直接为这些工作做出重要贡献,因而她的出版是非常及时和必要的,我们对此表示热忱的欢迎。



2000. 3. 27

前 言

本书是在原地矿部首批地理信息系统应用项目——“基于 GIS 平台上固体矿产资源评价辅助决策系统”研究成果基础上编写成的,项目编号为:9506004。

本书共分十章。第一章回顾了国内外矿产资源评价及 GIS 在地质应用中的现状,介绍了本项目按立项要求的主要研究内容,以及项目取得的突出成果;第二章对 GIS 的一些基本概念及应用趋势做了展望;第三章系统地介绍了与项目有关的基于 GIS 矿产资源评价的理论技术探索工作,特别是研究者利用 GIS 基本平台开发应用系统的有关体会、思路;第四章介绍了基于 GIS 矿产资源评价系统(Mineral Resource Assessment System,简称 MRAS)的总体设计方案;第五章介绍了系统实施的技术路线及系统包括的主要子系统和各子系统的内容及关系;第六章介绍了 MRAS 重磁数据处理子系统的基本原理、方法、数据类型、数据流程等,以及系统的主要功能;第七章着重介绍了处理空间相关信息的地质统计学子系统,包括变差函数、泛克立格法等;第八章介绍了 MRAS 区域地球化学异常分析子系统的主要内容、功能,以及基于 GIS 的地球化学分析可视化处理流程;第九章介绍了项目开发的基于 GIS 三种矿产资源评价模型,以期满足不同资料水平、不同任务的金属矿产资源评价工作;第十章为应用 MRAS 进行全国金、铜矿预测实例。附录为主要课题成果查新及美国 Geosight 公司总裁潘国成先生对系统的使用评价。

课题负责人为肖克炎研究员,参加项目的有关人员有:刘冬林、王四龙、张晓华、朱裕生、葛燕、肖斌、宋国耀等,其中肖克炎、张晓华、朱裕生、刘冬林完成系统的总体结构框架的设计工作;刘冬林、王四龙、肖克炎完成重磁可视化分析子系统的设计与编程工作;肖克炎、刘冬林完成基于 GIS 的可视化地球化学分析子系统;肖斌完成地质统计学分析子系统;刘冬林、葛燕、肖克炎、张晓华完成矿产资源综合评价子系统;张晓华、朱裕生完成了本书第十章的编写工作。全书由肖克炎、刘冬林、张晓华、王四龙、朱裕生等编写完成。

在项目完成过程中,原地矿部科技司姜作勤处长给予了极大的支持与帮助,项目顾问陈毓川院士、叶天竺局长、周家骧司长对项目提出了许多有益的建议。此外,长春科技大学王世称教授、夏立显教授,中国地质大学赵鹏大院士、杨永华教授,中国矿业大学研究生院宁书年教授,中国地质调查局王保良处长、李晨阳高工、彭齐鸣研究员,地科院区划室王安建教授、王全明研究员等也对项目提供了许多有益的帮助,黄文斌女士参与本书的校对工作,在此对他们致以衷心的感谢!

由于在 GIS 平台上开发矿产资源评价系统在国内外尚属前沿性课题,研制一个全面的、公认的矿产资源评价系统有一定的难度,其中有许多问题是边探索、边实践。项目取得的成果有许多值得探讨之处,欢迎各位专家及感兴趣的应用用户提出宝贵意见,以便使该系统在我国新一轮国土资源大调查中发挥一定的作用。

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 国内外矿产资源评价发展现状	(1)
第二节 国内外 GIS 矿产资源评价发展现状	(2)
第三节 项目研究的主要内容	(3)
第二章 GIS 地理信息系统简介	(4)
第一节 GIS 的基本概念	(4)
第二节 空间数据库的建设	(7)
第三节 GIS 的软件及发展趋势	(12)
第三章 基于 GIS 矿产资源评价有关技术方法研究	(15)
第一节 基于 GIS 矿产资源评价的需求分析	(15)
第二节 GIS 为矿产资源评价系统提供的主要有用功能	(17)
第三节 基于 GIS 矿产资源评价解决的几个关键性问题	(18)
第四章 MRAS 系统分析与设计	(21)
第一节 基于 GIS 矿产资源评价的数据库结构及流程	(21)
第二节 成矿信息的提取与综合	(22)
第三节 MRAS 系统的总体结构分析	(26)
第五章 MRAS 系统开发的计算机技术实现	(31)
第一节 面向对象方法概述	(31)
第二节 MRAS 系统面向对象设计	(34)
第三节 科学计算可视化技术	(35)
第四节 MRAS 系统计算机实现	(42)
第六章 基于 GIS 重磁数据处理子系统	(47)
第一节 重磁数据处理方法	(47)
第二节 成矿预测中地球物理资料的有效处理方法	(50)
第三节 基于 GIS 重磁系统分析与设计(GGDPS)	(52)
第四节 GGDPS 系统应用实例	(61)
第七章 地质统计学及三维可视化子系统	(65)
第一节 地质统计学子系统	(65)
第二节 三维可视化子系统	(71)
第八章 基于 GIS 区域地球化学异常分析系统(GGCAS)	(74)
第一节 区域地球化学异常分析原理	(74)
第二节 GGCAS 的相关数学模型	(77)
第三节 GGCAS 系统计算机实现	(81)
第四节 区域化探异常 GIS 分析系统(GGCAS)界面及应用	(84)

第九章 MRAS 的矿产资源综合评价子系统	(87)
第一节 基于 GIS 矿产资源综合评价系统(MRAS)的基本原理	(87)
第二节 矿产资源评价的数学模型	(92)
第三节 MRAS 矿产资源三种评价模型系统结构分析及实现	(98)
第十章 MRAS 在全国金、铜矿床资源评价中的应用	(108)
第一节 内生金矿资源 GIS 定量预测	(108)
第二节 斑岩铜矿资源 GIS 定量预测	(118)
结 论.....	(123)
参考文献.....	(125)
附 录.....	(127)
英文摘要.....	(130)

CONTENTS

CHAPTER 1 THE CURRENT SITUATION OF MINERAL RESOURCES	
ASSESSMENT	(1)
1.1 Developing actuality of mineral resources assessment internal and external ...	(1)
1.2 Developing actuality of mineral resources assessment based on GIS in the world	(2)
1.3 Main contents of research task	(3)
CHAPTER 2 AN INTRODUCTION TO THE CONCEPT AND THEORY OF	
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM	(4)
2.1 The concept of GIS	(4)
2.2 Construction of Spatial Database	(7)
2.3 Integration of GIS	(12)
CHAPTER 3 THE STUDY OF THE METHODS FOR MINERAL RESOURCES	
ASSESSMENT BASED ON GIS	(15)
3.1 Demand analysis for mineral resources assessment based on GIS	(15)
3.2 Main useful functions for mineral resources assessment supplied by GIS	(17)
3.3 Some key problems of mineral resources assessment solved by GIS	(18)
CHAPTER 4 THE ANALYSIS AND DESIGN OF MRAS	(21)
4.1 Database structure and its flow for mineral resources assessment based on GIS	(21)
4.2 Extraction and integration of mineralizing information	(22)
4.3 The structure analysis of MRAS	(26)
CHAPTER 5 TECHNOLOGY REALIZATION OF MRAS DEVELOPMENT	
ON COMPUTER	(31)
5.1 A summarization of object-oriented analysis methods	(31)
5.2 The design of object-oriented analysis of MRAS	(34)
5.3 Visual technology	(35)
5.4 MRAS realization on computer	(42)
CHAPTER 6 THE SUBSYSTEM OF DATA PROCESSING FOR GRAVITY	
AND MAGNETISM USING GIS	(47)
6.1 Data processing for griavity and magnetism	(47)
6.2 Effective methods for geophysical data processing in mineral predication	(50)
6.3 Analysis and design of gravity-magnetism system based on GIS	(52)
6.4 Applied examples	(61)
CHAPTER 7 THE GEOSTATISTICS AND 3D VISUALIZATION SUBSYSTEM	(65)

7.1	The geostatistic subsystem	(65)
7.2	The 3D visualization subsystem	(71)
CHAPTER 8 DATA PROCESSING SYSTEM FOR REGIONAL GEOCHEMISTRY		
	BASED ON GIS(GGCAS)	(74)
8.1	The regularity of analysis for regional geochemical abnormality	(74)
8.2	The relative mathematical models of GGCAS	(77)
8.3	GGCAS Realization on computer	(81)
8.4	The interface and application of GGCAS	(84)
CHAPTER 9 THE SUBSYSTEM OF MRAS FOR MINERAL RESOURCES		
	INTEGRATION ASSESSMENT	(87)
9.1	The basic regularity of integrating assessment for mineral resources based on GIS	(87)
9.2	The mathematical models of integrating assessment for mineral resources ...	(92)
9.3	The structure analysis and realization about three assessment models	(98)
CHAPTER 10 THE APPLICATION OF MRAS FOR NATIONAL DEPOSIT		
	PROGNOSIS	(108)
10.1	Quantitative assessment based on GIS for national endogenesis deposits	(108)
10.2	Assessment for porphyry copper in China	(118)
CHAPTER 11 CONCLUSION		
Reference		
Appendix		
Abstract		

第一章 概 述

第一节 国内外矿产资源评价发展现状

20 世纪以来, 社会与经济持续性发展对固体矿产资源的需求持续增长, 极大地促进了矿业地质勘查工作的发展。长期大规模的勘查和开采活动, 使资源的勘查环境及技术手段发生了根本性的变化。有人总结: 矿产勘查过程从 19 世纪到现在, 经历了“找矿人”勘探、传统找矿、理论勘查及目前的以高新技术为代表的科学找矿阶段, 矿产资源预测与评价实质上贯穿了矿产勘查的全过程。研究区域成矿规律, 对一定地区的矿产资源存在的可能性、资源数量、质量及经济价值进行科学的预测与评价, 即是矿产资源评价的主要任务。

矿产资源预测与评价的发展是与矿业勘查过程密不可分的。早期的矿产预测, 往往是根据简单的地表露头地质标志, 进行矿产评价。自法国学者朗内提出“成矿规律”一词以来, 随着理论找矿的高潮出现, 成矿预测在 20 世纪 50~60 年代得到蓬勃发展, 如毕利宾创建的“构造-建造”成矿预测分析法被原苏联地质工作者奉为经典; 斯米尔诺夫对矿床分带性规律的研究, 发现了外贝加尔东锡矿带; 我国地质学家李四光教授根据地质力学理论, 对我国东部石油分布规律的认识, 对大庆油田的发现起到了决定性作用。70 年代以来, 随着航天、航空、遥感技术、地球物理、地球化学等找矿技术的广泛、成熟地应用, 随着科学找矿的兴起, 矿产资源评价进入一个全新阶段。一些国家政府为了国家宏观决策战略的需要, 系统地、全方位地开展区域矿产资源潜力评价工作。如美国自 80 年代以来, 开展全国近 $5 \times 10^6 \text{ km}^2$ $1^\circ \times 2^\circ$ 标准图幅金属矿产资源评价工作; 我国系统地开展了二轮区划工作。同时, 也产生了以计算机为手段的矿产资源定量评价的方法体系。矿产资源定量评价是以计算机信息处理技术为工具, 研究各种勘查信息资料的成矿信息, 特别是通过定量方法, 研究各种多源信息与矿床资源潜力的关系模型, 达到对未知区的定位、定量评价。自 50~60 年代以来, 阿莱斯、哈里斯、格里菲斯、康斯坦丁诺夫等人先后进行了单变量资源评价方法探索工作, 至 70 年代末, 国际地科联第 98 项计划推出了 6 种标准的矿产资源定量评价方法, 这标志着矿产资源定量评价进入实用阶段。在这方面, 一些代表性的成果有: 80 年代加拿大学者 F. P. Agterberg 及美国学者 Duda 研制的矿产资源预测专家系统; 美国哈里斯、麦卡门等发展的一套矿产资源经济评价方法体系; 赵鹏大院士提出的以“求异理论”为代表的科学找矿评价理论方法体系; 王世称教授创立的综合信息矿产资源预测方法。近几年来, 矿产资源评价进入了一个信息更加综合、技术飞快更新的新时期, 主要表现在有机地将当代成矿理论与现代高新综合勘查技术结合起来, 体现在将传统的定量数值科学方法与计算机 GIS 图形图像信息可视化技术结合起来。从目前矿产资源评价方法体系来看, 可分为经验模型法与成因模型法。经验模型法主要是研究区域矿床与多元地质找矿信息的关系, 通过定量分析方法, 建立起区域成矿有利度和资源潜力值与多参数地质信息的统计规律, 根据经验模型进行区域评价。该方法强调对各种找矿信息的充分挖掘与综合, 使得科学找矿的各种勘探手段所获取的成矿信息得到最大程度的利用。经验模型法根据预测区信

息数据资料水平及预测任务,又可细分为不同的方法。如完全从多元地学数据出发,统计研究区的定量找矿标志组合的证据加权法(F. P. Agterberg, 1989、1994),以及从已知矿床模型出发,以特征分析为基础的矿床综合评价法。经验模型法的缺陷是,需要一定数量的统计样本单元。成因模型法则是通过综合勘查资料,研究区域矿床生成规律,系统地、全面地考察矿床形成机制,研究控矿的关键因素标志,从而完成区域矿产资源评价。其代表工作有Cox、Singer、C. J. Hodgson、Wyborn等人的成果。不管采用什么方法体系,一个基本趋势是,两种方法都试图以GIS作为分析空间矿产资源分布的工具和手段;或者是以GIS为工具,研究多源信息定量模型;或者是建立以GIS为支撑,从成矿系统出发,发展矿床模型专家系统。

第二节 国内外GIS矿产资源评价发展现状

地理信息系统(GIS)是用来获取、管理、分析、模拟和展示空间相关信息的计算机系统。自20世纪60年代加拿大学者Tomlison首先提出“GIS”概念以来,GIS得到空前的发展。60~70年代,GIS的发展处于理论、技术攻关阶段,这方面的主要成果是成功地解决了空间地理信息的计算机表达问题,以及地理空间信息计算机综合问题。加拿大研制了世界上第一个CGIS系统,用来管理数字化土地图件及其属性;之后,又出现了SYMAP(Synagraphic Mapping)综合分析地理信息软件。至70年代,终于诞生了目前占主导地位的ESRI公司研制的Arc/Info软件系统。80年代以来,随着计算机软硬件技术的飞速发展,GIS技术已经走向成熟,先进的GIS软件系统纷纷出现。一些先进国家投入了大量的人力、财力,建设空间信息基础设施,如美国地调局1984年提出,逐步完成全国几千幅地质图建设。这个阶段GIS对空间数据库的建设问题,如数据库标准问题、数据问题、数据共享问题等更加引起关注。美国由地质调查局局长牵头,花了近10年的时间,发展了空间数据交换格式标准(SDTS),该标准实质上是目前许多国家、机构、公司进行空间信息相关标准制定的标准。美国1994年正式实施了国家空间数据基础设施计划——NSRDI,目前已完成了国家1/100万地形数据库,完成1/10万国家地质图库的70%,并建立了近11万条世界矿产资源战略数据库。加拿大SGL完成全国918幅1/20万地形图。随着INTERNET的广泛应用,目前网络GIS成为新的发展方向。以美国地质调查局(USGS)为例,它建立了由多个局域网互联规模巨大的INTERNET地学信息网络,WebGIS将使人们足不出户地更加便利地使用空间信息。1997年美国在空间信息产业创造了产值近100亿美元。在跨世纪未来战略中,美国地调局把集成地理空间数据及开发地理数字产品,列为其未来5年的主要任务;在国家矿产资源调查计划(MRSP)中,“空间信息与技术转让”被列为4项重大计划之一。空间信息系统建设在先进国家机构如USGS,被认为是其为公众服务的核心实力条件。

我国GIS的应用发展起始于80年代,但进步迅速,在90年代初,已研制出具有自己版权的MAPGIS、CITYSTAR等GIS基础平台软件;在国土空间信息数据库建设方面,也取得了一定成果,国家测绘局完成1/100万、1/25万数字地形图;原地质矿产部初步完成国家1/50万、1/20万化探数据库,完成全国近一半1/20万数字化地质图,建立了国家级矿产资源远景评价信息系统、矿产资源储量数据库。但与发达国家相比,无论在GIS软件产业,还是在数据库建设方面,均存在明显差距。

应用 GIS 进行矿产资源评价探索工作,起始于 70~80 年代。早期应用大多数是借助于栅格图像综合叠加布尔运算功能,来研究勘查综合信息与矿产关系。1978 年加拿大地质调查所在 Quiet 湖区开展水系沉积物调查,将元素浓度以不同的符号和色调进行编码,叠加于栅格化地质图像、卫星图像上,进行综合分析。80 年代初,F. P. Agterberg、Bonham-Carter 等应用以栅格数据结构为主体的 SPANS GIS 系统,利用其空间分带性分析功能从多源数据中提取找矿信息,标度成矿有利区,并发展了证据权重法等矿产资源评价方法。美国 EROS 数据中心在犹他州—科罗拉多州的油气勘探中,建立了 1/25 万 Vernal 图幅,包括 MSS、航磁、航放、重力、水系沉积物和地质图空间数据,并对空间栅格数据进行多元统计分析,建立了区域油气评价模型。在 80 年代中期实施的美国 CUSMAP 国家矿产资源评价计划中,GIS 作为一种常规工具,在大多数图幅中得到充分应用,比较有代表性地区是纳贝斯地区多金属矿产资源评价。澳大利亚地调局 Wyborn 等人在 GIS 平台上开发出从澳大利亚成矿系统出发的成因概念模型 GIS 评价系统,Bonham-Carter 研制出基于栅格数据结构 GIS 多源信息综合评价系统。

我国 GIS 矿产资源评价工作最近几年才开始兴起,地调局于 1995 年组织在四川省开展应用 GIS 进行矿产资源评价的试点工作;中国地质大学数学地质室在云南铜矿预测中首先运用 MAPGIS 进行评价;中国地质科学院区划室在二轮区划汇总中,将 GIS 技术成功地应用在全国资源潜力的评价上;原地质矿产部科技司也组织 GIS 应用系统的二次开发工作。本书实际上是我们近两年研究成果的总结。

第三节 项目研究的主要内容

本项目是对 GIS 平台上矿产资源评价系统进行研究,按照立项合同要求,此次工作的目的是探索运用 GIS 技术,建立矿产资源评价的方式、途径及工作程序。在此基础上,设计了矿产资源评价系统的总体框架及数据流程,并研制出 GIS 平台上矿产资源评价系统中成矿信息提取及评价方法模型,开发出相应的计算机应用软件系统。

与传统的矿产资源评价方法相比,在 GIS 新技术支撑下,开展矿产资源评价是一项新任务。在矿产资源评价信息系统(MRAS)开发过程中,会遇到许多理论及技术问题,系统在研制中必须从理论上、实际应用上解决这些问题。因此解决在 GIS 平台上开发矿产资源评价信息系统所遇到的理论和技术关键问题,是课题的一项重要任务。

根据当代矿产资源评价特点,以及 GIS 空间分析技术构架,MRAS 系统的数据流程、数据模型及实施方案是系统开发的首要任务。

发展集 GIS 功能与矿产资源评价结合的矿产资源评价方法模型,可以有机地将矿产资源评价数值计算与 GIS 可视化结合起来。GIS 技术为空间多源信息提供了非常强大的综合分析及可视化功能,但没有提供强有力的矿产资源评价模型;而传统定量评价方法又缺乏对图像、图形数据的综合处理能力。将两者结合起来,形成一些实用的、快捷的评价模型是可行的。

研制 GIS 平台上矿产资源评价计算机系统,以满足生产单位的需求,是我们的任务。我们的工作思路是:MRAS 系统应该既能对地质、地球物理、地球化学、遥感等勘查信息进行成矿信息的深层次提取,又可以根据综合评价模型,对矿产资源位置、数量、质量进行科学评价

第二章 GIS 地理信息系统简介

第一节 GIS 的基本概念

一、GIS 发展过程

对表示地球表面各种有用信息空间分布特征数据的观测、收集，一直是人类了解自然社会的主要活动。为了准确、形象地表达观测数据集，地图是表现和描述空间数据集的最有效工具。地质图被认为是地质学家最形象的语言，“一张地质图赛过一本文学报告”这一说法一点也不为过。不过，传统纸介质地质图作为一种信息载体，有其致命的缺陷，即图件的更新能力差，图件叠加综合能力差，不能完全反映空间数据调查所获得的全部信息，特别是描述性的表格报告信息。

计算机技术的飞速发展彻底改变了空间地理信息处理表达方式，使得传统地图变成电子地图。计算机不但能够处理地图、表格数据，而且能够最有效地将空间地理图形数据与其相对应的属性数据融合起来，这就是基于计算机的 GIS 技术。

GIS 理论方法起始于本世纪 60~70 年代，GIS 概念首先由加拿大学者 Tomlison 提出，1962 年由他领导开发了世界上第一个 GIS 系统（GIS——用来管理地块属性的计算机系统）。之后，为了适应人工进行专题图件叠加的需求，以使用计算机辅助完成更高层次决策的需求，70 年代初产生了 SYMAP GIS 软件。70 年代中后期第一个商业化、也是目前世界上使用最多的 GIS 平台诞生了，这标志着 GIS 技术基本走向实际应用阶段了。进入 80 年代，GIS 技术应用得到了空间的发展，一些国家、机构、公司纷纷投巨资进行空间数据库的建设。美国通过近 20 年的工作，初步完成国家基础地理信息设施的建设工作，完成全国 1/10 万地理底图数字化，完成全国 1/50 万地质图数据库的 80%；制定了空间数据库交换标准。进入 90 年代，随着计算机软硬件价格不断下降，其性能却越来越高，这些促使人们对空间数据库的建设热情更加高涨，主要体现在我们的决策上，大多数都与空间基本范围相关。空间信息就是财富，谁掌握了信息，谁就有竞争力。这就使得 GIS 形成产业化。1997 年美国在空间信息中创造产值近 100 亿美元，美国地调局在跨世纪未来战略中，把集成 GIS 地理空间数据及开发数字产品列为其未来五年之中的主要业务，空间信息系统建设被认为是美国 USGS 未来为公众服务的核心实例条件。

二、GIS 定义

GIS 是计算机技术用来进行处理空间地理信息的系统。由于 GIS 是近 30 年来不断涌现的高新技术，同时 GIS 本身又在不断的发展，加之不同领域的专家对 GIS 理解、要求又不一样，例如制图专家主要侧重于 GIS 制图功能的要求上，而决策人员则主要强调 GIS 的空间查询分析上，计算机专家则把 GIS 看作是用于空间数据分析的决策人工智能系统。因此，这就使得 GIS 的定义各有不同，但目前比较为人们所接受的定义有：

(1) 能够管理和使用描述地球表面空间位置数据的计算机方法。

(2) 一个由计算机硬件、软件、地理信息和信息使用者构成的信息系统，能够采集、管理、分析、模拟和展示空间相关信息。

在上述定义中可见，GIS 的特色是其空间数据库及软件。GIS 与 AutoCAD 等制图软件的区别在于 GIS 不仅能够绘制高质量的图件，更重要的是能够有序地管理各图形实体的描述性数据；与一般的数据库软件区别是，GIS 管理的是空间位置图形数据。GIS 技术是以计算机科学为核心，涉及到地学、制图、遥感等多学科的综合性技术（图 2-1）。

GIS 必须能够回答和辅助解决在空间某一位置有什么，在哪些位置存在我们感兴趣的对象，空间范围对象变化趋势样式及可能发生情况等问题。

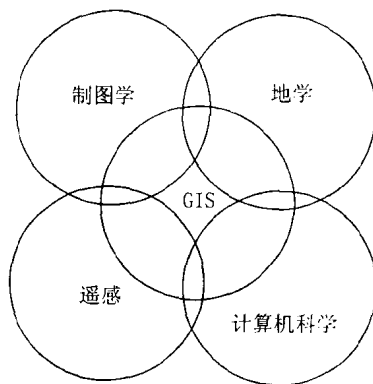


图 2-1 GIS 与其他学科的关系

三、GIS 地理数据模型

(一) 空间数据分类

从地理信息角度来看，地理数据可分为两类，即空间图形数据与非空间图形描述性数据。

1. 空间图形数据

用来表达空间实体对象的几何大小、形状、方向及相对位置，空间图形数据是由各种野外专题调查，或通过遥感解译形成的图形信息构成的。在 GIS 中，空间图形数据是用 x 、 y 坐标来描述的。根据描述实体几何特性，空间图形数据可分为 3 类：

(1) 点：点数据是通过一对坐标来表达空间没有方向的几何实体，通常所说的高程点、城市居民点等都是点空间图形数据的代表。

(2) 线：线数据用来表达具有一定长度而没有面积的实体，用一系列坐标对来表达，典型的线状实体如铁路、水系等。

(3) 多边形：多边形数据是由一系列相关的线围成的区域，典型特征是具有面积和周长。

2. 非空间图形描述性数据

与空间图形数据相对，非空间图形描述性数据是用来说明空间点、线、面实体是什么，具有哪些内在特性等。表达方式通常有 4 种：

(1) 名义性数据。名义性数据又可分为两类：

①二值数据：用来表达某事物的存在或缺乏，也可以表达是否型数据，如某断层是否含金矿，或是否存在地球化学异常等。

②分类型数据：主要用来表达数据的分类，如不同的岩石类型、土地利用状况等。如用数据值 1 表达岩浆岩，2 表达沉积岩，3 表达变质岩，……，1、2、3、……只是一种分类，其数据无任何大小意义。

(2) 有序性数据。有序性数据是通过数值有序逻辑大小，表达客观事物自然变化序列状态。如利用 1、2、……、10 对矿物硬度的分级表达便是一种有序性数据，在这里矿物硬度为 9 级的，肯定比矿物硬度为 7 级的抗压能力大。

(3) 间隔性数据。间隔性数据是一种连续性测量数据，和有序性数据相比，其值大小是定量的，具有严格的意义。

(4) 比率性数据。比率性数据也是一种连续性数据。

在 GIS 的综合分析中，所有的描述性数据都得用上述 4 种类型数据表达。

(二) GIS 数据结构模型

为了更好地表达空间信息及其属性，必须使用一定逻辑规则来表征这些地理数据，数据模型即是计算机或 GIS 系统对现实范围内地理数据的表达，数据结构又是数据模型的核心。最常见的 GIS 数据模型有两种：

1. 栅格数据结构模型

网格单元栅格数据结构模型是一种相对简单的数据表达方式。它是通过固定的网格大小，将研究区离散成许多网格单元，每个网格单元通过与真实实体相匹配的属性值来表达(图 2-2)，数据表达精度取决于网格大小。

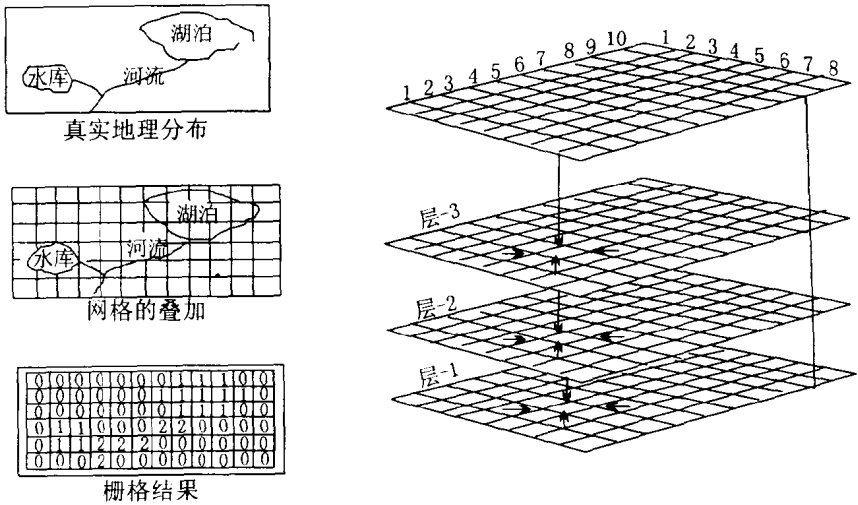


图 2-2 GIS 栅格数据结构模型图

2. 地理关系模型

该模型是 GIS 近年来着重发展商业化软件常用的模型，其出发点是将空间实体抽象为点、线、面，并将实体的属性描述与其关联。

矢量数据结构是地理关系模型最常用来表达空间数据的方法。在矢量数据结构中，通过一系列坐标对来表示地理对象。一般地说，点是通过一个坐标对表达，线是通过一系列坐标对表达，而多边形的表达有几种方式，例如，多边形表达可以和线表达一样，通过一系列坐标对表达，但这种表达在存贮上不是最优的，因为两个相邻多边形的公共边界存贮重复。在现代 GIS 中，矢量数据结构使用拓扑结构来表达点、线、面的相互关系，其中矢

量坐标对是最基本要素，所有空间实体如点、线、面都可以从矢量坐标对派生出来。点实体与矢量坐标对是“1 对 1”的关系；线是由一系列矢量坐标对表达的，其关系是“1 对多”的关系；面多边形则是由一系列形成此多边形的线段构成，这样点、线、面这种矢量相依关系便构成拓扑关系（图 2-3）。

在地理关系模型中，空间实体属性是单独存在于关系数据表中，实体与属性数据的联结是通过关键词相联的。

关于矢量数据结构与栅格数据结构的优缺点，前人已做了大量的对比。总的来说，矢量数据结构对于表达地质图概念图件有优势，具有精确地表达面积长度及修改编辑等优势；而栅格数据结构对表征遥感、物化探测量数据有优势，具有空间操作简单、效率高等优势，但精度依赖于网格大小，存贮量大等缺陷。

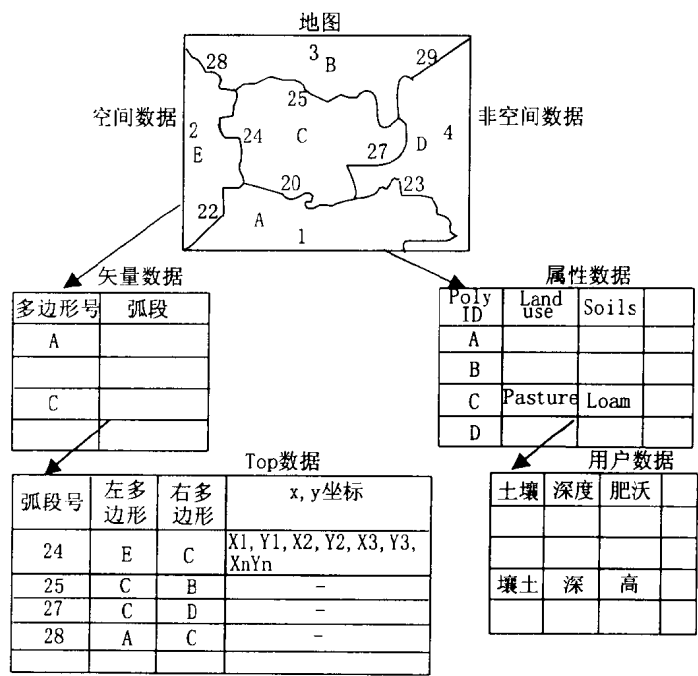


图 2-3 GIS 矢量数据结构模型

目前大多数 GIS 软件都支持栅格、矢量数据一体化，但各软件仍然以某一种数据结构为主。

第二节 空间数据库的建设

空间数据库是指在地球表面某一范围内与空间地理相关的，反映某一主题信息的数据集合。GIS 应用系统功能的好坏，直接与空间数据库的合理组织有关。由于空间数据都是密切相关的，因此有必要将它们合理地组织起来，以便于快捷、方便地进行空间数据库的查询与分析。

一、空间数据库的设计

与传统的合理设计数据库一样，GIS 空间数据库优化设计应满足以下条件：

- (1) 系统的灵活性；
- (2) 数据输入与更新的标准化；
- (3) 系统的有效性检验；
- (4) 数据安全性；
- (5) 最小冗余原则。

GIS 系统设计应该首先满足应用的需求，其次应该考虑空间实体的相关关系，以便预先定义其联结关系。GIS 数据库设计包括以下几点：

1. 概念设计

概念设计 (CD) 表明空间数据库的主题目的及需求。概念设计是独立于 GIS 软硬件环境的，CD 应该包含系统的以下功能：

(1) 确定空间数据库的最终使用目的。例如一个地区的“金矿资源评价 GIS 数据库”与“煤炭资源评价数据库”显然建库内容侧重点是不同的，建库的目的决定了建库的内容与形式。

(2) 建库的比例尺。我们知道，不同比例尺的成矿预测其目标任务是不一样的，例如全省 1/50 万预测只要求预测到矿化级远景区，而 1/20 万、1/5 万预测必须预测到矿床级靶区。显然，要达到相应的预测评价目的，必须使用不同尺度水平的信息资料，这就要求在 GIS 平台上建立相应比例尺的空间数据库。

(3) 空间数据库包括的基本内容。根据建库目的，概念设计应对数据库包含的基本内容、专题信息进行总结，确定哪些专题必须通过数字化，哪些专题可通过收集得来，哪些是可以通过原始数据进行中间处理得出导出数据集。

(4) 空间数据库的来源。由于研究区的信息往往是由不同的权威调查机构完成的，数据库设计应该明确到哪里能够获取最优的专题信息。

(5) 数据时间周期。建库应清楚各专题信息的产生时间，尽量收集时间较新、内容质量高的空间信息。

(6) 定义数据库的空间范围。

(7) 确定空间框架。确定各专题信息都容易获取的地理位置控制点，以便使空间信息统一在一定的坐标位置。

2. 逻辑设计

逻辑设计 (LD) 是 GIS 数据库的逻辑定义，尽管大多数逻辑设计的内容与 GIS 软件平台有关，但这些内容在各个平台的 GIS 上都有涉及，LD 考虑的主要问题有：

(1) 数据库的坐标系统。坐标系统决定了 GIS 空间图形数据坐标对的存贮方式。许多 GIS 软件均有一系列坐标系统，所有 GIS 数据库专题信息均应采用统一坐标系统。

(2) 叠互式数据结构设计及数据模型。在大多数 GIS 软件平台上，图层一直是非常重要的概念。图层是代表具有相同的拓扑关系和共同的专题属性的空间地理实体的集合。影响图层划分的因素很多，这也使得不同专家对同一数字化底图究竟用多少图层来表达有不同的看法。图层划分的主要技术依据是：①图层中的图元空间几何特征一致，它们组成共