

阿舍勒铜锌矿床及三维定位预测

朱裕生

肖克炎

冯京

高兰

等著

徐珏

王全明

庄道择

宋国耀

高永峰

方一平

陈郑辉

地质出版社

阿舍勒铜锌矿床及三维定位预测

朱裕生 肖克炎 王全明 徐珏 冯京 庄道择
高永峰 高兰 宋国耀 陈郑辉 方一平 等著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

阿舍勒铜锌矿床是我国著名的块状硫化物矿床。本书是一部关于该矿床地质研究及地质、物探、化探、遥感成矿信息提取和当代三维 GIS 技术应用方面的专著。书中全面概括了阿舍勒块状硫化物矿床的成矿地质构造背景、矿床形成过程的地质环境、矿田构造特征、成矿地质条件、成矿元素富集和共聚一体的成矿作用、控矿因素和找矿标志,建立了矿床成矿模式和找矿模式;建立了地质、物探、化探、遥感资料的空间数据库,对成矿信息模型进行了全面探索、对不同类别的成矿信息做了有机的综合;应用当代的计算机技术和数学地质方法按信息论的方法做了找矿靶区的优选和综合评价,提出了矿区外围的找矿方向。本书亦对三维可视化技术的应用做了专门介绍,叙述了 VULCAN 软件的基本功能,应用阿舍勒铜锌矿床的三维立体模型等实例阐明三维可视化技术的先进性和矿产勘查、开采过程中的实用性,在实现数字地球目标的今天,该技术是矿产勘查的发展方向。通过实践总结概括矿产预测的基本理论(矿床定位、相似类比、求同求异)和圈定矿产预测的基本准则。最终提出 11 个可供勘查验证的找矿靶区。

本书内容翔实、资料丰富、理论和实际结合,可供矿产预测、科学研究、大专院校师生参考、借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

阿舍勒铜锌矿床及三维定位预测/朱裕生等著. 北京:地质出版社,2002.4

ISBN 7-116-03435-8

I. 阿… II. 朱… III. ①铜矿床-三维-定位-研究②铜锌矿床-三维-定位-研究

IV. P618.405

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 036540 号

责任编辑:杨友爱 梅燕雄

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部)

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787×1092 $1/16$

印 张:16.25 图版:2 页

字 数:360 千字

印 数:1~800 册

版 次:2002 年 4 月北京第一版·第一次印刷

定 价:48.00 元

ISBN 7-116-03435-8/P·2197



(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)

前 言

《阿舍勒铜锌矿床及三维定位预测》系“阿舍勒铜锌矿床深部及外围隐伏矿的三维定位研究”(编号 95-915-01-03)的攻关成果,属科研与矿产勘查结合的案例。研究工作始于 1996 年,结束于 2000 年,历时五年。在工作过程中,1996 年在阿舍勒矿床北端发现了萨依朔克铜金矿床,扩大了阿舍勒矿区外围找矿的思路,具有重大的理论和勘查意义。

阿舍勒铜锌矿床于 1984 年发现,1985~1990 年进行普查,1991~1993 年对 I 号矿床进行详查,1993~1996 年进行勘探。随着矿床勘查工作的开展,国家 305 项目办公室在“七五”、“八五”对矿区进行了两轮研究,获得重大成果。在 32 km² 范围内,虽然矿产勘查和攻关研究方面获得的成果斐然,但在矿田范围内(约 100 km²)及其外围的整体研究程度仍然不高,三维立体方面的研究更少有人问津。这一现状为本次攻关确定了目标任务。

“九五”期间,阿舍勒矿产勘查工作的运作模式由计划经济转变为市场经济,矿产勘查经费的投入渠道发生改变,使阿舍勒矿区由原来的国家投入转为企业投入,即由国家的计划经济转入企业行为,转为市场体制的经营范围,使阿舍勒矿区的勘查和开采工作受到一定影响。整个转变期间正是本次攻关进入现场研究的关键时期。在这样的经济条件下,攻关的思路由创新为主,转为研究与勘查相结合,利用当代高新技术,开拓矿产勘查的新途径。由此确定目标如下:

1. 在已有研究成果基础上,通过矿床深部和外围隐伏矿床特征的研究扩大矿床规模,开设勘查新基地,为阿舍勒建立大型冶炼基地准备资源和提供科学依据。
2. 对阿舍勒铜锌矿床成矿地质特征和铜、锌、银综合大型矿床的成矿作用(又称“共聚成矿作用”)进行探讨,建立与地质实际吻合程度较高的勘查模型,发展矿床学理论,力争跨入世界先进行列,对今后寻找同类矿床亦有参考价值。
3. 应用当代的先进技术方法,特别是计算机技术、地理信息系统功能、多源地学信息处理技术和三维立体模拟技术建立阿舍勒铜锌矿床的可视化程度较高的立体模型,将成矿理论与隐伏(盲)矿床的勘查技术方法结合起来,开拓深部和隐伏(盲)矿床勘查新途径,创立新理论、新技术、新方法在矿产勘查中应用的新实例。

确定的基本任务如下:

1. 对阿舍勒铜锌矿床已有勘查、科研、物探、化探和遥感影像(包括多光谱航空摄影和彩色航空摄影)的资料进行再开发,以 I 号矿床的定位条件研究为重点,要求标定成矿控制因素和找矿标志,完善找矿模型的研究。
2. 阿舍勒铜锌综合矿床成矿元素共聚作用研究。阿舍勒矿床成矿的主元素为 Cu、Pb、Zn、Au、Ag,可综合利用的元素有 S、Se、Te、Cd、Ba 等,对它们在成矿过程中共聚一体的成矿作用进行探讨,为预测评价和隐伏(盲)矿床的勘查建立地质依据。
3. 火山机构和海底火山喷发再造研究。通过同生构造研究(同生角砾岩、强地震波冲击形成的网状构造、沉积—成岩中的火山-沉积层缝合线构造、同生节理等)了解古生代不同

时期火山-沉积盆地古构造、古地形及其在三维空间上的演化和火山岩矿层的控制特征,确定矿液的来源、聚集堆积场所及成矿作用的关系。

4. 建立多元地学空间数据库。在 GIS 平台上进行信息处理,围绕数据(或资料)处理工作中的成矿信息提取、充分利用数据处理新方法,实现非成矿信息的剔除、成矿信息转换、浓缩和叠合等,应用这些信息论技术方法,汇集成矿信息,推断潜在矿床定位的空间位置,对矿田内的隐伏(盲)矿床做出预测评价。

5. 建立三维立体模型。应用当代数据库建库技术方法,建立三维空间样品库;应用计算机橡皮膜技术和图形、图像技术实现矿体立体图像的空间旋转观察;将勘查人员难以观察到的空间展示出来,创立计算机技术在找矿决策中试验应用的实例。

6. 隐伏(盲)矿床的三维定位预测。按现有勘查程度和外围普查工作的进展现状,Ⅰ号矿床已具备进行深部预测的条件,对Ⅱ—Ⅳ号矿(化)体的远景作预测评价,矿田内可能存在的隐伏(盲)矿体开展远景预测。对其中资料齐全、成矿信息集中和成矿条件较好的地段提出工程验证和进行普查评价。

7. 主观预测评价。组织地、物、化、遥多学科专家进行主观预测,其成果将充实三维立体模型的内容和提高预测的可靠性。

按以上任务所作的研究工作,充分体现了当代矿产勘查中新技术、新方法的应用,并充分体现出矿产预测向信息化发展的事实。本书涉及的内容有矿床地质、物化遥综合方法、计算机技术、三维立体模拟和预测评价等高新技术。这些内容是当代地质科学中综合研究和探索的前沿内容。

矿床三维立体模型是当代矿产预测研究的重点内容和国内外的热点,我国仅在个别矿床上与国外合作建立了矿床三维立体模型(如云南曼加寨铜矿),而在阿舍勒铜锌矿床上,我们独立建成了阿舍勒Ⅰ号铜锌矿床的三维可视化立体模型,它在国内是首例,在国际上也是先进的,是今后我国矿产勘查和矿业开发应用新技术的方向。其建模的方法推广后,将大大提高地质模型的实用价值和矿山开采的管理水平,使矿山开采能控制月、旬、日的矿产品产量和产品质量,将有效地提高经济效益,发展前景远在。

由上可知,本专著是一部当代研究矿床的新技术、新思路、新方法的具体成果,我们认为这些方法代表矿产预测今后发展的方向。作者在多年的研究实践中,结合中国的实际情况,对先进的理论和方法进行引进、应用、发展和创新,形成了具有中国特色和独创见解的理论方法体系,在矿产勘查实践中,已取得较好效益。总之,本书的出版,标志着我国三维定位技术研究在高起点、新技术、新方法的基础上踏上了新的台阶。

本书是集体劳动的结晶,具体分工是:第一章由朱裕生、肖克炎编写;第二章由朱裕生编写;第三章由朱裕生、高兰、高永峰编写;第四章由徐珏编写;第五章由王全明、冯京、庄道择、高永峰、方一平编写;第六章由肖克炎、陈郑辉、宋国耀编写;第七章由朱裕生、王小兵编写;第八章由朱裕生编写,滕家欣、张愉才、高永峰提供资料;第九章由朱裕生编写。最后由朱裕生统稿、修改、定稿,英文摘要由张立生翻译。在研究工作中梅燕雄、张愉才、李小鹏、王士新协同进行了野外工作。编写过程中宋国耀承担了有关图件和软件的制作、整理工作。野外工作期间新疆地勘局第四地质大队和新疆地勘局地球物理地球化学勘查队为本专题研究创造了工作条件,赵更新、董志远、李魁元、范忠信等专家给予了指导帮助,在此一并致谢。书中的疏漏之处,尚祈读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 概述	(1)
第一节 矿产预测方法在我国的发展	(1)
第二节 三维定位研究的方法途径	(3)
第三节 建立三维可视化地质模型的基本条件	(7)
第二章 区域成矿特征	(9)
第一节 区域地质特征	(9)
第二节 盆地概略地质特征	(12)
第三章 阿舍勒铜锌块状硫化物矿床地质特征	(26)
第一节 矿化蚀变带	(26)
第二节 矿体形态、产状和规模	(30)
第三节 矿石矿物特征	(35)
第四节 矿石结构、构造和矿石类型	(49)
第五节 矿化阶段的划分及成矿元素富集的共聚作用探讨	(52)
第六节 矿床成因探讨及找矿信息标志	(58)
第四章 矿田构造	(63)
第一节 阿舍勒矿田的区域地质构造背景	(63)
第二节 阿舍勒火山-沉积盆地构造	(65)
第三节 阿舍勒火山-沉积盆地外围的矿田构造	(79)
第五章 阿舍勒矿区深部及外围成矿预测	(87)
第一节 预测的方法途径	(87)
第二节 矿床成矿信息模型	(91)
第三节 成矿要素的 GIS 空间信息识别	(100)
第四节 成矿信息的综合	(116)
第五节 勘查靶区评价	(133)
第六章 阿舍勒铜锌矿床三维立体模型及其应用	(147)
第一节 矿体的空间形态及其关系	(149)
第二节 地质三维概念模型	(150)
第三节 三维可视化技术及 VULCAN 软件基本功能	(153)
第四节 阿舍勒铜锌矿床三维立体模型的建立	(162)
第五节 储量计算	(176)
第六节 三维立体可视化模型的科学性和合理性的评价	(189)

第七章 萨依朔克铜金矿床	(193)
第一节 概述.....	(193)
第二节 矿区地质构造特征.....	(194)
第三节 矿床地质特征.....	(202)
第八章 阿舍勒矿田隐伏矿的定位预测	(221)
第一节 预测的理论系列.....	(222)
第二节 全区预测.....	(225)
第三节 阿舍勒 I 号矿床的预测.....	(226)
第四节 萨依朔克金矿床的深部预测.....	(229)
第五节 加曼阔依塔斯矿点的初步评价.....	(232)
第六节 阿舍勒矿区银资源的估算.....	(238)
第九章 结论和建议	(240)
英文摘要	(246)

Contents

Foreword

Chapter 1 Introduction	(1)
Section 1 Objective and assignment	(1)
Section 2 Study area and selection of prognosis and assessment area	(3)
Section 3 Methods and way to study	(7)
Chapter 2 Regional metallogeny	(9)
Section 1 General geology	(9)
Section 2 Generalized basin geology	(12)
Chapter 3 Geology of the Ashele massive Cu-Zn sulfide deposit	(26)
Section 1 Wallrock alteration	(26)
Section 2 Shape, occurrence and size of orebodies	(30)
Section 3 Mineral composition of ores	(35)
Section 4 Ore texture and structure, ore type	(49)
Section 5 Division of mineralization stages and copolymerization of ore-forming elements	(52)
Section 6 Ore genesis and prospecting criteria	(58)
Chapter 4 Orefield structure	(63)
Section 1 Tectonic setting of the Ashele orefield	(63)
Section 2 Ashele volcanic-sedimentary basin	(65)
Section 3 Orefield structure in the periphery of the Ashele volcanic-sedimentary basin	(79)
Chapter 5 Metallogenic prognosis at the depth and in the periphery of the Ashele orefield	(87)
Section 1 Methods and way of metallogenetic prognosis	(87)
Section 2 Ore-forming information model	(91)
Section 3 GIS space recognition of ore-forming factors	(100)
Section 4 Space analysis and intergration of ore-forming information	(116)
Section 5 Assessment of targets	(133)
Chapter 6 Three-dimensional model and its application for the Ashele Cu-Zn deposit	(147)
Section 1 Shape of orebodies	(149)
Section 2 Three-dimensional conceptual geological model	(150)
Section 3 Three-dimensional videotexture and basic function of VULCAN software	(153)
Section 4 Three-dimensional model for the Ashele Cu- Zn deposit	(162)

Section 5	Calculation of reserves	(176)
Section 6	Assessment of three-dimensionally localized model for the Ashele Cu-Zn deposit	(189)
Chapter 7	Sarshuoke Cu-Au deposit	(193)
Section 1	Outline	(193)
Section 2	Geological structure in the ore field	(194)
Section 3	Geology of the deposit	(202)
Chapter 8	Prognosis of concealed deposits localization in the Ashele orefield	(221)
Section 1	Theoretical principle of prognosis	(222)
Section 2	Prognosis within the study area	(225)
Section 3	Prognosis of the Ashele deposit I	(226)
Section 4	Deep prognosis of the Sarshuoke Cu-Au deposit	(229)
Section 5	Preliminary assessment of the Jiamankuoyitashi ore spot	(232)
Section 6	Estimation of Ag resource extent in the Ashele ore field	(238)
Chapter 9	Conclusions and proposals	(240)

第一章 概述

矿产预测是根据已有的地质工作程度和技术经济发展条件,研究成矿规律,圈定成矿区(带),指出现在还没有发现而将来可能或应当发现潜在矿床的成矿有利空间,提出矿产勘查的工作建议。它贯穿在矿产勘查的全过程。在实际工作中,常以预测远景区的形式来反映矿产预测的成果。预测远景区是在一定的地质构造单元范围内,将各类地质资料和数据(地、矿、物、化、遥等)转化为成矿信息,据此圈出成矿区(带),推断具有找矿潜力的地区。

矿产预测的任务是汇集现阶段地、矿、物、化、遥和专题研究资料,在GIS平台上建立空间数据库;对物、化、遥和有关数据进行处理,分析区域成矿背景,总结控矿因素,研究成矿规律;编制矿产预测的系列图件,指出开展矿产勘查的具体地区,为地勘费的投入指明方向。

矿产预测的方法是一项系统工程,它包括地、矿、物、化、遥和科研资料的汇集,建立空间数据库,成矿信息的提取,信息的综合,成矿理论的应用,预测远景区的圈定和优化,甚至包括勘查验证工程的设计等等。目前在GIS平台上已形成一个完整的“矿产预测体系”。

第一节 矿产预测方法在我国的发展

我国的矿产预测工作所以能获得飞速发展,它与我国一批预测专家认识地质数据的特殊性和应用新技术有密切关系^[1~6]。地学数据复杂多样,与社会上人们经常接触到的金融数据、商业数据、股市变动数据完全不同,它自身的主要特征^[6]表现在:

1. 地学自身是具有多个分支学科、地学数据属跨学科、多领域的。具体数据又涉及到地层、岩石、构造、古生物、矿产、地球物理、地球化学、遥感、测量、土地、地质年代和众多的技术方法,这些领域的的数据无论从空间上,还是从属性上都有不同程度的联系。只有从总体上研究和协调数据之间的联系,在建立空间数据库的工作中,才有可能设计数据模型。

2. 类型多样,取样方法手段各异。有地质调查野外记录数据、室内测试数据,地质图及其他图件的空间关系数据,也有非空间关系数据,有些数据是记录在磁带上,需用专门设备才能显示出来,数据本身有定性的,也有定量的,为建立空间数据库让计算机进行合理管理已成为一项专门的研究任务。

3. 地学数据本身是跨时间和空间的。地质实体不考虑它的空间和时间关系失去了应用的意义。

4. 数据的层次性。地学数据首先有宏观的(全球、巨型构造带、地区),又有微观的(手标本、显微镜下观察的),既有用比例尺限定观察精度的数据,又有不同化验精度的仪

器分析的数据, 还有地质实体自身的不同层次(如不同级别的断裂、不同级别的构造单元等)观察获得的数据等, 在建库前的属性表设计中, 不同层次的数据都要分别表达出来。

5. 来源多样性。有的地学数据来源是地质人员观察描述的, 有些是应用当代的先进手段和方法自动记录的(如航磁, 遥感等), 有些是通过专业学科的特定方法处理后的中间成果数据, 在空间数据库中必须按不同来源, 不同专业的数据围绕预测评价这个大目标汇集一体, 进行处理。

6. 地学数据源有限, 使用者较少。地学数据大部分是少数专业人员使用的专用数据, 与商业、金融数据被人普遍关注和使用的情景完全不同。由此可知, 地学空间数据库的建库工作必须考虑数据源和财务资源。否则, 开发的数据库产品是没有生命力的, 而有些数据是人们感兴趣的和使用地学数据人员往往对地学缺乏深入的了解, 必须通过概念模型让社会公众理解地学数据的内涵。

以上特征构成了地学数据之间的庞杂性和复杂关系, 应用地学数据模型抽象相互之间的关系, 减少它们的复杂性成为当前研究地学数据模型、建设矿产预测空间数据库的主要任务。加之地学数据模型较少涉及到计算机空间数据库文件系统的内部结构, 只是用接近应用领域的术语表达地学数据之间的关系, 借用地学数据模型这一桥梁, 沟通了 GIS 数据库专家、地学专家和用户之间的联系。研究地学数据模型是研制具有经济效益和实用的地学空间数据库的前导工作。矿产预测人员只有认识了地学数据的上述特征, 才有可能将矿产预测工作、运用的预测方法和空间数据库联接一体, 在 GIS 平台上实施矿产预测。

我国开展矿产预测以来, 对地质数据的特征做了深入的探索工作^[1,2], 构成了地质数据汇集、建立空间数据库、进行数据处理、运用预测方法编制矿产预测系列图件和预测成果向找矿成果转化等完整的工作顺序。在我国这个工作顺序形成和积累的工作经验, 有一个发展过程。这个过程, 也就是矿产预测在我国的发展过程, 大体经历了三个发展阶段^[7]。

一、试验探索和应用阶段

该阶段大体在 20 世纪 80 年代前的 30 年中, 国际上以 M. Allais 和 D. P. Harris 为首的数学地质工作者建立矿床成矿地质条件与矿产资源量之间关系的定量评价模型, 从此矿产资源潜力开始进行定量评价; 美国地质调查局在 1972 年成立矿产资源评价室; 1975 年开始执行“资源评价中的计算机应用标准”项目(即 IGCP 第 98 项), 美国首次完成了 AM-RAP、NURE、CUSMAP 和可回收石油、天然气的地质估计四大项目^[1]。在此阶段我国数学地质蓬勃发展, 开展定量预测, 并成立了成矿远景区划室, 在全国开展成矿远景区划工作, 将矿产资源潜力评价纳入地质找矿的工作范畴, 以计划形式作为地质工作任务下达执行。

二、全面发展阶段

自 20 世纪 80 年代开始至 90 年代初, 矿产预测工作在全世界发展起来, 计算机在地质上得到广泛应用, 研究开发了矿产预测的实用软件, 原苏联在 14 个矿区开展立体填图、立体预测。在我国开展一二轮成矿远景区划、10 个矿种的总量预测等工作中完成矿产预测项目 400 余项(其中一轮区划 268 项、二轮区划 127 项、科研项目数十项)、比例尺从 1:150 万至 1:1 万均有, 矿种涉及煤、铁、铬、锰、金、银、铜、铅外和非金属矿产 54

个,几乎遍及全国各地。在实际工作中还独创了一套矿产预测的理论和圈定预测远景区的实用原则,达到了矿产预测评价的高潮。

三、信息化阶段

该阶段自 20 世纪 90 年代初开始至今仍在继续发展。主要特征是矿产预测中应用高新技术和地理信息系统 (GIS),工作任务列入国民经济发展的中长期规划;矿产评价的项目和技术方法研究列入“数字国土工程”。使工作全面实行数字化、数据库化、自动化和网络化,克服原有矿产预测评价数据分散、保存方法落后、操作原始、要求不统一、利用率低的多种弊病。该阶段发展较快,已初步研制成功在 MAPGIS 平台上的“矿产资源评价决策辅助系统”(MRAS^[6]),使矿产资源评价在地质数据数字化、数据库化基础上自动进行。这个阶段在政府计划指导下,可望在不久的将来成为政府决策,矿产勘查和地质找矿人员不可缺少的工作内容。

应用矿床数据和矿床自身的地球物理场、地球化学场及遥感特征,阐明矿床的定位条件,建立矿床的三维立体模型,实现矿床观察的三维可视化成为当前发展的新趋势。

从上可知,矿产预测是当前矿产调查工作中不可缺少的前期工作,属公益性地质工作范畴。国际上自 20 世纪 50 年代开始着手探索该项工作,我国在 60 年代开始研究,然后纳入地质工作的范畴。可以说我国矿产预测这一领域中不仅与世界同步进入数字化、数据库化和网络化发展的阶段,还在三维可视化领域中开拓了新的探索途径。

第二节 三维定位研究的方法途径

阿舍勒矿区在“七五”、“八五”期间,攻关研究阐述了火山喷发建造、沉积盆地演化、火山机制、成矿构造环境及控矿构造、成矿作用、矿床成因和成矿物质来源等重大基础地质和勘查方法手段,为新一轮的研究建立了基础。但由于这类矿床自身具有特定而复杂的成矿作用,受多种因素的控制,这些实际问题成为本书总结归纳的重点。近年来国内外成矿理论的新进展、勘查方法技术的多样化和计算机应用技术 in 矿产勘查中的新突破,为阿舍勒隐伏(盲)矿床三维空间定位研究提供了方法和技术条件。

一、三维定位的研究途径

1. 火山成因块状硫化物成矿理论日渐成熟

火山成因块状硫化物矿床由于其规模大、品位高而受到更多国家矿业勘查行业人员的关注,矿床成矿模式的构建已日趋成熟,理论指导找矿成效显著。最近 Gibson (1994) 就该类矿床分布规律提出:在空间上定向分布,产出部位与同火山期断裂或火山口关系密切,成矿不限定在特种构造环境或时间区段等新见解^[7];在三维空间上,认为由多个透镜体组成,规模大的矿床起源于富锌的铜矿床,一个矿化集中区一般具有 4~20 余个矿床(体)不等,其中最大的矿床占集中区总金属量的 60%~70% 等。这些新见解构成了定位研究的基本框架。

2. 隐伏(盲)矿体勘查技术的进步

随着地质研究程度的提高,大多数出露地表和近地表的矿床已被发现,寻找隐伏(盲)矿床成为勘查的基本内容。目前隐伏(盲)铜矿床的找寻和勘查多数采用物探、化探两种手段,在成矿地质条件分析基础上,通过建立物、化探找矿信息模型的途径展示定

位研究的内容:

(1) 物探技术上, 西方采用地面和井中时间域电磁法, 勘查效果甚好。在原苏联, 大功率充电发挥较大作用; 高精度重力在葡萄牙内维斯隐伏矿床勘查中起到重要作用。近几年国内引进了瞬变电磁法 (TEM), 对勘查硫化物矿床, 特别是块状硫化矿床, 获得明显效果。国内研制的 GDP-16 电磁仪和震裂电磁法等新技术增强了探测强度和深度, 已进入效果查证和推广阶段。阿舍勒矿床由于矿石与围岩存在着明显的密度、电性差异, “七五”和“八五”期间在阿舍勒矿区已分别使用了高精度重力、声频大地电流法 (CSAM)、瞬变电磁法 (TEM)、激电、大功率充电等勘查技术, 收效明显。“九五”攻关期间, 将其中有些技术拓宽到矿田深部及外围, 扩大预测找矿范围和深度, 大功率充电为阿舍勒矿田的三维定位研究提供了基础资料。

(2) 化探的原生晕、次生晕测量在矿区勘查中已广泛应用, 其异常元素组合类别、强度、分带等特征有效地推断了隐伏矿体三度空间位置。在“七五”和“八五”攻关期间, 矿区应用了土壤、岩石测量等方法资料, 建立了阿舍勒 I 号矿床地球化学找矿模型, 表达了矿床 (体) 和蚀变带元素组合特征和类别, 视为隐伏矿体的识别标志和预测依据之一, 也是设计深部勘查工程的基本信息, 为矿区隐伏 (盲) 矿床的寻找提供有效手段。

3. 新技术、新方法和计算机技术的应用

隐伏 (盲) 矿床的预测和寻找, 在很大程度上取决于有效的物、化探方法和多源地学信息的处理 (含直接找矿信息的提取)、叠加合成技术的应用和矿床模型与物、化探 (含数学模型) 方法理论模型的结合程度, 它已成为当今矿产勘查中研究的热点。为攻克这一难关, 国内外重视控矿因素耦合关系的综合分析、研究和发展找矿的新技术、新方法 (如 TEM 法、双频道激电法、阵列 AMT 法、成像技术、近场源激发激化法、成像雷达探测技术、弹性传播理论为基础的地震勘查技术、地气测量等)、应用地理信息系统 (GIS)、采用综合技术等方法, 并在计算机上展示出来, 突破了抽样观察的局限性。

在现代信息处理技术中, 正交理论最近应用于处理地质、物探、化探、遥感资料, 它在压抑干扰、提取直接找矿信息中已具有很多探讨的资料。Vasco D.W 1990 年用正交函数模拟地震震源; Morlet 1998 年运用小波交换分析地震波。它在固体地学领域的应用有较广阔前景。

三维立体模拟预测属地质过程现象的计算机模拟技术。早在 20 世纪 70 年代原苏联地质学家 Visteeias 做了岩浆岩生成过程的模拟, 促进了花岗岩类成因的研究工作。以后众多学者 (Krumbein, Harbaugh) 作了沉积盆地模拟, 对油气的成因获得科学解释。目前随着计算机橡皮筋等图形、图像及多媒体网络技术的发展, 地质学中计算机模拟也进入了一个新境界。有关商品化软件产品也纷纷推出, 如 GIS 图形图像工作站, 石油地质勘查计算机模拟系统等。

二、三维可视化技术

(一) 三维可视化技术的现状

在地质工作中已积累了大量描述地质体的种种信息, 如何有效应用科学可视化技术直观地展示这类信息是 80 年代后期随着计算机图形学的研究及应用的拓宽而发展起来的一个研究分支。三维定位研究以可视的方式计算和显示各类地质体的物理模型、抽象概念和数字化表达, 有效地帮助科技工作者形象地、有联系地“看到”大量测试、数学计算、实

验等数据构成的地质实体,从而更有效地进行分析、处理、推理和预测评价。

目前已积累的地质数据单凭人工进行综合已经超出地质学家们现有的能力,因而,必然要求借助于计算机来处理,不但在空间量化方面已有一套完整的软件和方法,而且在三维可视化方面也取得突破性进展。应用计算机中建立三维地质体模型是一项较困难的工作,很多学者和软件开发商都相继探讨三维空间地质体的表示方法,目前已在三维地质体模型数据结构、图形算法和可视化图形显示方面都取得了大量的研究成果,在地质工作和矿业开发中得到广泛应用。

目前对三维空间地质体的表示方法的研究从数据结构的观点来看,这些方法中主要有基于面的三维数据结构,它借助于微小的面单元,或面元素来描述三维空间地质实体的几何性质。而基于体的三维数据结构则是用实体信息代替面信息来描述三维空间地质实体的内部联系。由于地质体的复杂性,重建地下目标的结构和描述资源分布的状态信息量非常巨大,因此,处理这些信息并实时显示它们,对计算机硬件在运算速度、内存空间、硬盘容量等方面有较大的要求。对上述基于面的和基于体的表示方法都是在工作站上开发的,目前随着计算机技术的发展,已能在微机环境下实现三维矢量结构的地质可视模型。

我国对阿舍勒矿区三维地质可视模型的研究是紧紧围绕微机环境下三维地质信息可视化的目标,利用地质学、计算机图形学、计算机数学等学科的相关理论,对三维矢量结构地质模型、三维地质信息数据结构、三维空间数据的操作和微机环境下地质可视化图形显示技术诸方面都进行了初步研究,初步建立了阿舍勒矿区三维地质可视模型。

(二) 三维可视化地质模型

地质信息可视化图形显示系统中,首先要解决的问题是计算机对三维地质体的技术,即提出地质模型,它既能够有效地满足地质信息几何形状和属性特征的表示,又能适合计算机处理,且便于几何信息、属性信息传递和数据交换。

在微机环境下,三维地质模型只能采取三维矢量数据模型,主要处理的是三维空间地质体的信息。三维空间地质体的特征有:属性特征、空间位置特征、空间关系特征和时间特征。属性特征是指描述地质体的实际现象或特征;空间位置特征是指地质体的空间位置;空间关系特征是指地质体之间的空间邻接关系和包含关系;时间特征是指地质体随时间变化的特征。这些特征均是定位研究的基本要素。

在研究地质模型时,对三维地质体的描述要求采用面向对象的原则。首先依据研究和应用目的,确定地质体对象类及其属性特征。其次,确定地质体对象的三维空间几何模型。地质体对象可以依据三维空间几何形态被划分为三维空间的点、线、面或体四类不同的几何对象类,每一几何对象类又由若干个点、线、面几何元素构成,地质体空间位置特征是用几何元素的三维坐标(x, y, z)表示的,空间关系特征是通过构成几何元素间具有特定空间拓扑特征表示的。

综上所述,在研究地质体对象及地质对象几何特征的基础上建立三维可视化地质模型。在三维可视化模型中,一个区域内地质体是按照属性特征划分成许多子地质体对象,每个子地质体对象由若干个面圈定范围,而每个面由若干条边、棱圈定范围,而每条边、棱包含两个结点,每个结点连接两条以上的边和棱。体对象与点、线、面几何元素之间是一种多层次的网络关系,并且,三维空间几何元素存在截面、界面、环、棱、边和结点等拓扑关系。网络关系和拓扑关系构成了三维定位研究在计算机上实施的途径。

(三) 三维地质计算机模型

三维地质计算机模型中关键是数据结构和空间图像技术问题。

1. 关于数据结构方面

在三维可视化地质模型的基础上,从模型特征出发,用面向对象的观点集成地质体的空间数据和属性数据,提出三维空间数据结构——多面体编码方案并以数据宏结构和微结构来组织和存储三维地质信息数据,达到在微机环境下用三维矢量数据结构建成的地质模型来表示三维地质体的面貌。

2. 关于空间图像技术

由于野外的各种地质信息,一般都是离散型数据。如何在计算机模型中利用这些实测数据来推测地质体在区域内的空间分布和具体范围,以及如何利用图形、图像技术来显示地质体的分布规律,这是图形处理技术要解决的关键问题。为此采用空间数据插值技术以及计算机图形学中的投影变换等技术,即根据地质学基本原理,提出体边界插值的概念,确保三维矢量结构地质模型包含断层、矿区边界等信息,确保地质体三维空间的变化符合地质体的实际位置和地质原理。从实用的角度出发,利用计算机图形学、计算数学的有关原理,基于离散地质信息数据,建立可视化模型和完成三维地质信息可视化显示中涉及的三角剖分、曲面插值、投影变换、消隐处理、剪裁处理以及光照模型等图形处理技术问题。以此形成阿舍勒矿区三维可视计算机模型,并进行实验。结果表明,该模型能够较逼真地显示地质界面的形态。

(四) 系统开发的状态

在对三维可视化地质模型、三维地质计算机模型研究的基础上,根据面向对象设计的思路,采用基于 Windows95 环境下 Borland C++ 作为系统开发的编程工具,对系统的设计进行初步实现。采用 C++ 作为编程工具是由于它是一种面向对象的程序语言,能较好地满足系统的实现。

首先进行面向对象的系统分析,从问题实际所处的环境和系统应用领域出发,认识系统的本质,利用人类概括客观事物的三个基本原理定义和交流系统需求,使用自包含分块分析和说明系统,建立一个稳定的模型化虚拟空间,使得一个对象和其他对象之间的依赖较少,对象之间的界面为可见的接口操作,是访问隐藏在对象内部数据的惟一途径,针对对象的每一个操作都会向对象发送一条消息。

在地质信息可视化系统中设计了几十个亚类,将这些亚类分成 5 类:①系统管理系列类,主要是为控制和管理微机系统状态、窗口状态等的设计;②窗口系列的类,负责提供交互式显示与操作窗口;③模型系列类,三维可视化地质模型程序的具体实现;④观察者系列类,与实现窗口中模型的显示状态密切相关;⑤数据库系列类,决定软件系统能否快速准确地操作,减少计算机内存空间的关键因素。

综合以上设计思路,初步解决相对规则的三维空间地质体的三维地质模型和相应的信息可视化系统。该系统是在微机环境下用直接来源于野外的离散稀疏地质特征数据或是经处理的物理数据,或是此二者的结合,采用多面体编码空间数据结构,以交互方式建立三维矢量结构地质模型。该系统是由计算机硬件、图形输入输出设备、计算机系统软件和图形软件组成的。本着界面友好的原则,这个系统具有较好的图形用户界面和较强的交互、计算、存储、对话、输入等方面的基本功能。借助于计算机外部交互设备,能实现三维地

质模型在三维空间的旋转、放大、缩小、平移、切割、剥离等操作,并能在任意剖面或平面上实时地增加、删除、修改某一岩矿界面。当在某个剖面图增加、修改或删除数据而改变某岩(矿)层面的形态时,那么与此相关的一些图形及图形显示窗口,都能同时显示其所发生的变化。还能交互地选择颜色,并可以通过改变 HSV 颜色模型三维值的方法改变颜色。

(五) 探讨

阿舍勒矿区三维地质可视模型已经初步建立(详见第六章),若将矿体作为一个对象,仍有许多尚需进一步探讨的问题,为进一步完善该模型的建立指明方向。

1. 关于复杂形态的三维可视化模型

目前所开发的这个可视化模型主要是基于相对规则的和相对简单的三维空间地质体而建立的,对于实际野外存在着复杂形态的三维空间地质体,还有待于进一步研究,如受构造应力造成的倒转褶皱,以及钻孔的采样结果等原因实际资料圈出的层矿体呈分支复合状态时建立这类模型遇到的实际技术问题更多,建模的难度更大。

2. 三维可视化模型与勘查地质统计学的结合

建模的着重点是实现可视化,因而相对较少考虑到勘查地质统计学方面的内容。从实用的角度来看,建模不仅是三维定位,还要指导找矿、矿山建设设计和矿床开采等方面的实际需求,面向这类目标任务时,常常牵涉到勘查地质统计学的内容,如矿体储量计算、资源评价,实时指导矿山的开采等内容。从满足各方面的需求出发,上述内容都应在建模时作为统一整体考虑。

第三节 建立三维可视化地质模型的基本条件

近年来发展起来的计算机可视化(VISC——Visualization in Scientific Computing)系统是建立三维空间模型的技术和方法思路,阿舍勒矿区的三维可视化地质模型建模工作中使用。阿舍勒矿床(I号矿床)已有大量的钻孔数据,取了大量的样品,每个样品都有基本分析和部分样品的组合分析两类数据,这些化验数据在空间上刻画了I号矿床在三维方向上的变化和自身的形态变化。应用三维可视化技术展示这类信息可以解释深部矿化特征、矿体空间定位和隐伏矿的预测评价。这些信息较为复杂,超过地质学家传统的认识和利用它的能力。地理信息系统(GIS——Geographic Information System)的研究对象,面向对象的程序设计方法和空间数据库,要求计算机速度的提高,都为进一步处理这类大量复杂的地质信息提供了条件。由此可知,利用以上的新技术,以图形、图像的方式逼真再现三维地质实体(或矿床、矿体),真实地模拟已知矿体或推断隐伏矿体的结构、描述其分布状况、设计矿山开采过程、分析地质现象的变化特征、相互关系和空间展布成为当代建立可视化的三维立体模型的最新技术方法。

图形、图像是地质科学中表达各种地质现象的常用方法。图形、图像与文字描述的区别在于它对信息的分布能够给予精确直观地定位,即在平面图上能够传递三维信息,以抽象手段表达信息的动态、展示数据所反映的内涵及其相互之间的关系,它比直接从浩瀚的数据中获得信息更直观、丰富和容易,克服了人为的思维对复杂信息判断的“信息障碍”。长期以来,地质学家一直在探讨用图形、图像直观反映地质变量的空间变化和直观观察问

题,但由于地质体(或矿床、或矿体)形态都为表面极不规则的多维实体,在计算机环境下建立三维立体可视化模型较为困难。近年来,计算机软件突破了数据值影射和几何模型的关系,即用科学数据建立空间几何模型。从数据结构观点出发,宏观表示方法主要有基于面和基于体的两种三维几何两类模型。基于面的三维数据结构借助于微小单元或面元素描述三维空间地质体(矿床或矿体)的几何性质,包括网络模型、形态模型、面片模型、矢量模型。基于体的三维数据结构是实体信息代替面信息来描述三维空间地质体(矿床或矿体)的内部状态,包括边界表示模型、结构实体几何模型、晶胞结构模型、CAD法等。根据这些特征,国际上完成了多种版本的三维立体可视化软件。在阿舍勒矿区探索三维立体可视化地质模型是在澳大利亚 MAPTEK 公司开发的 VUCAD 软件平台上建立的。

阿舍勒铜锌矿床已进行了普查,测制 1:1 万地形地质图 32 km²,地表投入约有 4 万余立方米的槽探,69 个钻孔,总进尺达 3 万余米的控矿工程,采集 20000 余个化验分析样,在矿体走向上和倾向上都有工程控制,这些探矿工程圈定了阿舍勒矿区的 I 号矿床,计算获得工业储量铜 92 万 t、锌 41 万 t、硫铁矿 3008 万 t、伴生铅 5.6 万 t、伴生金 22t、伴生银 1286t、Se1807t,属 Cu、Au、Ag、Se、硫铁矿综合大型矿床。此外尚在矿区进行 1:50 000 水系沉积物测量、1:25 000 和 1:10 000 的大功率充电,做了大比例尺重力测量和多种电法,为三维立体模型的建立准备了资料。

由上可知,阿舍勒铜锌矿床的勘探程度相当高,积累的资料足以在 VUCAN 软件平台上建立阿舍勒铜锌矿床 I 号矿体 Cu、Pb、Zn、Ag、S 的三维可视化立体模型。

本章参考文献

- [1] 朱裕生. 矿产资源评价方法导论. 北京:地质出版社,1984.
- [2] 陈毓川、朱裕生、李文祥等. 中国矿床成矿模式. 北京:地质出版社,1993.
- [3] 朱裕生、肖克炎、梅燕雄等. 成矿预测方法. 北京:地质出版社,1997.
- [4] 陈毓川主编. 中国主要成矿区带矿产资源远景评价. 北京:地质出版社,1999.
- [5] 陈毓川、叶庆同、冯京等. 阿舍勒铜锌成矿带成矿条件和成矿预测. 北京:地质出版社,1996.
- [6] 肖克炎、张晓华、朱裕生等. 矿产资源 GIS 评价系统. 北京:地质出版社,2000.
- [7] 陈毓川、朱裕生等. 中国大型超大型矿床的基本特征和勘查现状,中国地质,1994 第 1 期.