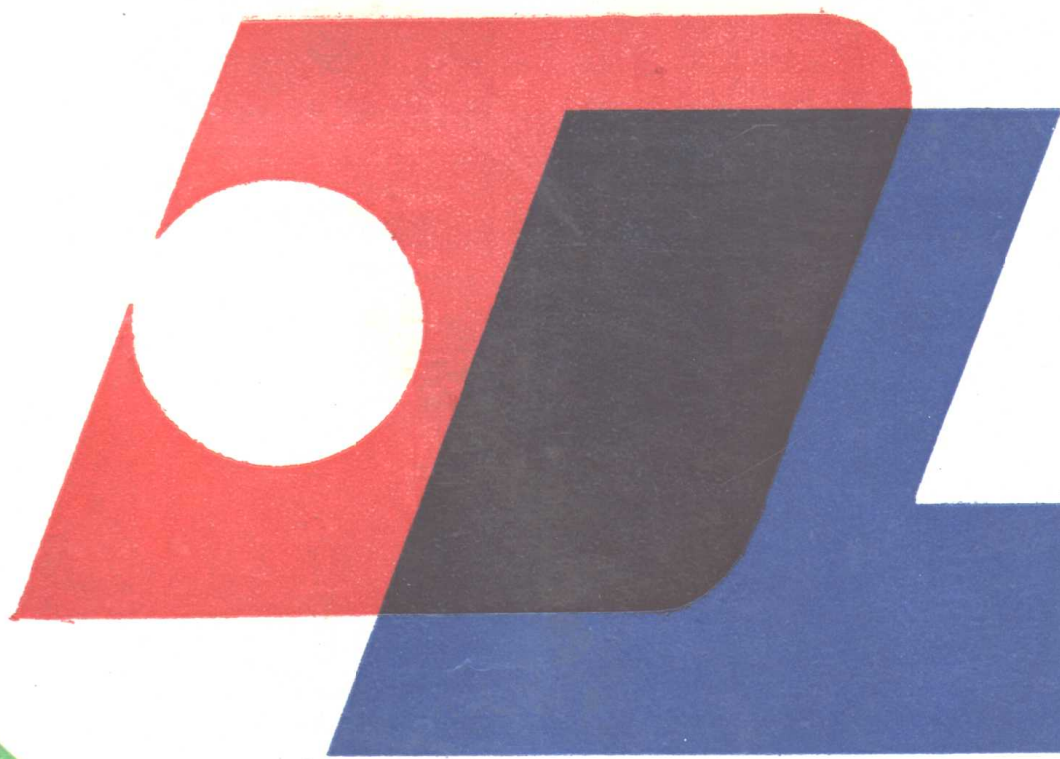


金属矿床大比例尺定量预测

周宏坤 丁宗强 雷祖志 徐良根 傅水兴 编著



9500179

地质出版社

金属矿床大比例尺定量预测

周宏坤 丁宗强 雷祖志 徐良根 傅水兴 编著

(京)新登字 085 号

内 容 简 介

该书主要介绍有色地质系统 20 多年来开展大比例尺矿床定量预测工作的成果。它的内容丰富,既有理论、又有方法,并挑选了十个已为后期工作(或工程)所证实的成功实例,向广大读者介绍和推广大比例尺矿床定量预测工作的经验。书中对数学方法的介绍着重应用条件、计算步骤及其结果的地质意义分析。这是一本有较大实用价值的书,可作为数学地质课的教材,也可作为从事大比例尺矿床定量预测工作者的工具书。

金属矿床大比例尺定量预测

周宏坤 丁宗强 雷祖志 徐良根 傅水兴 编著

*

责任编辑:杨友爱

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京顺义永利印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:14.625 字数:400000

1993年4月北京第一版·1993年4月北京第一次印刷

印数:1—1050册 定价:10.00元

ISBN 7-116-01242-7/P·1042

序

为了提高找矿效果,今后必须开展科学找矿。我们认为科学找矿应包括以下四方面内容:(1)理论找矿,以先进的地质理论为指导,进行矿床勘查工作;(2)综合找矿,包括综合手段、综合信息和综合矿种;(3)立体找矿,查明矿化在三维空间的变化,增加找矿的深度并敢于动工程;(4)定量预测,通过建立各种数学模型,定量预测和评价矿床。

由于矿床的形成受概率法则支配,在相似的地质条件下有时在成矿远景上存在着明显的差异,因而矿床预测是在不确定条件下进行的一种决策工作,这里有两种不确定性:一是预测有矿的地区是否真正有矿,或反之,推测无矿的地区是否真正无矿;二是在有矿的条件下矿床值的大小是否与所预测的值相近似,矿床所处的空间位置上是否与所预测的位置相近似。此外,各种地质因素在控制矿床形成中所起作用的大小和性质是不同的,各种找矿标志及其不同状态指示找矿的意义和显著程度也是不同的。所以,为了进一步提高矿床预测在指导找矿中的作用和提高矿床预测的精度和可靠程度,有必要开展定量预测或称矿床统计预测。

矿床定量预测是数学地质一个重要分支,它是数学地质与成矿规律和成矿预测学相互渗透而形成的三级边缘学科,同时,它又是一项具有重要生产实际意义的工作。矿床定量预测可包括三类工作:第一类是小比例尺、大区域的矿产资源总量预测和潜力评价工作;第二类是中比例尺成矿远景区定量预测;第三类是大比例尺定量预测,它是在已知矿田及矿床范围内进行,旨在发现新矿床和矿体的工作,因而是一项重要的工作。

近几年来,中国有色金属工业总公司、冶金工业部及其它一些单位大力开展了矿床定量预测工作。特别值得提出的是,在中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所组织领导下的大比例尺矿床统计预测研究工作进行得比较深入、系统和完善。在研究中特别注意了矿种的选择和矿床类型的代表性,广泛利用了矿区地质、物化探及勘探资料,特别注意定量预测的实际效果,因而大凡定量预测提出的远景区,都能及时组织力量开展进一步研究或钻探验证,并在不少地区已取得可喜成果,这是很有特色、很值得称赞的做法。

还应指出的是,在有色地质系统开展大比例尺定量预测工作具有广泛的群众性,它以中国有色金属工业总公司数学地质中心为核心,组织了有关大区、省有色地质勘查局、及院校开展这项工作。这种精心组织、协调研究、广泛合作、及时掌握进程并交流经验的研究方式也是很难得的。有色地质系统在矿床定量预测方面的研究,特别是大比例尺矿床定量预测研究、科研与生产结合等方面是很有成效的。

本书是在这些年工作经验的总结基础上编写而成的,它对于指导今后这类工作的开展,进一步推动和推广矿床定量预测工作是一个有力的工具。本书内容丰富、阐述清楚、实用性强,是我国数学地质研究的一项重要成果。

赵鹏大

前 言

有色地质系统的数学地质工作开始于 1975 年。在中国有色金属工业总公司地质局的领导下,已开展的数学地质工作和项目有 100 多项,其中,有文字总结或报告的成果达 97 项。内容以已知矿床及其外围的大比例尺矿床定量预测工作为主,几乎涉及了有色金属的所有矿种,如铜、铅、锌、钨、锡、钼、锑、汞、镍和金、银等。这些数学地质工作不仅积极地配合了有色金属的找矿工作,而且对地质工作由定性向定量发展起到了推动作用。

为了进一步提高数学地质工作水平和更好地普及、推广数学地质工作方法,中国有色金属工业总公司数学地质中心曾开设过“大比例尺矿床统计预测方法总结”项目,对一些矿床的定量预测工作效果进行过实地调查和研究,并要求各有色地质勘查局登记和推荐有经济效益、直接(或间接)为勘探工程所证实的数学地质工作成果。所谓直接验证是指那些以数学地质成果为主要依据或依据之一而开展的地质工作(或勘探工程)并取得成效者;所谓间接验证是指那些虽不是以数学地质成果为依据,而是在数学地质工作的同时或其后开展的地质工作(或勘探工程),但取得了与数学地质成果相一致的成效者。

在上述工作和资料的基础上,中国有色金属工业总公司数学地质中心邀请了有经验的专家,认真讨论、分析、总结以往的工作;并从各地勘局推荐的数学地质成果中,挑选了部分效果显著的定量预测工作成果,组织人力编写了本书,书中所选的实例,反映了有色地质找矿工作的不同侧面。

本书内容主要包括三大部分。第一部分为理论篇:讨论了矿床定量预测的国内外现状、特点和依据;大比例尺矿床定量预测工作的几种类型、基本要求、做法和一般步骤;模型区的研究等。第二部分为方法篇:主要介绍有色地质系统在实际应用中有较深入研究的 15 种数学方法。至于其他一些常用的多元统计方法如因子、判别、聚类、回归分析等方法,因为在其他书籍中已有较多介绍,所以本书不再赘述。第三部分为实例篇:共介绍 10 个成功实例,有复杂类型矿床正确评价的实例、预测地质体(岩体、岩脉)含矿性的实例、预测隐伏矿脉及其延伸的实例、扩大矿区远景的实例和寻找隐伏矿田的实例等。成功实例突出其成功点,并附有直接(或间接)验证的资料。有的实例已取得明显的经济效益和社会效益,如原广西有色地质勘查局 204 队总工程师杨元吉同志在地质找矿科研实践中创建了一套用于复杂类型金银矿床资源量定量预测和快速评价的数学地质方法,并成功地预测和评价了广西贺县鹰阳关银矿,据此该矿 1988 年进入边采边探,一年半收回投资,现每年为国家创利 200 万元。

有色金属矿床大比例尺定量预测方法及成功实例,既是有色地质系统多年来开展矿床定量预测工作的总结,也是一份普及数学地质方法的教材。它的主要服务对象是具一般数理统计基础知识的广大地质人员,特别是那些从事大比例尺矿床定量预测工作的同志。本书力求文字浅显易懂,工作步骤简单明了。对数学方法的介绍着重应用条件、计算步骤及其地质意义分析。

本书的编写工作是在中国有色金属工业总公司数学地质中心顾问赵鹏大教授指导下进

行的。参加编写的人员还有黄世乾、卢国雄、郭光裕、韩秉忠、姜明辉、王勇毅等同志,提供实例材料的有邓少汉、杨建新、陈泽忠、谢英奎、邓勇、李松、孙树浩等同志。

在编写过程中曾得到广西有色地质勘查局、广东有色地质勘查局、辽宁有色地质勘查局、河南有色地质勘查局、甘肃有色地质勘查局、西北有色地质勘查局、湖南有色地质勘查局、华东有色地质勘查局和浙江有色地质勘查局等单位的大力支持。张小绵、邹天平两同志参加了个别重点实例的现场调查。此次出版得到广西贺县鹰阳关银矿和广东连山县金银矿的赞助。谨此鸣谢!由于我们水平有限,错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1992. 3. 27

目 录

序
前言

理 论 篇

第一章 概论	1
第一节 国内外矿床定量预测工作的现状.....	1
第二节 矿床定量预测的特点和依据.....	5
第三节 大比例尺矿床定量预测工作的几种类型和基本要求.....	8
第四节 大比例尺矿床定量预测的步骤与做法.....	10
第五节 定量预测对数学方法的选择.....	14
第二章 模型区的研究	18
第一节 单元的划分与模型区的选择.....	18
第二节 地质概念模型的建立.....	20
第三节 地质变量的选取及定量.....	21
第四节 预测数学模型的建立.....	34
第三章 矿床定量预测工作	48
第一节 预测区的选定.....	48
第二节 综合运用各种有效方法确定有利成矿远景地段.....	48
第三节 远景区的资源量估计.....	53
第四节 预测结果的地质解释.....	58

方 法 篇

第四章 常用数学方法	61
第一节 逻辑信息法.....	61
第二节 特征分析法.....	85
第三节 秩相关分析法.....	91
第四节 找矿信息量法.....	96
第五节 欧氏距离分析法.....	100
第六节 条件概率分析法.....	105
第七节 齐波夫定律.....	113
第八节 模式识别.....	117
第九节 模糊聚类分析.....	121
第十节 马尔科夫概型分析.....	127

第十一节	对应分析·····	139
第十二节	非线性映射分析·····	146
第十三节	层次分析法·····	150
第十四节	成矿有利度法·····	156
第十五节	杨氏复杂矿床评价法·····	158

实 例 篇

第五章	定量预测成功实例·····	164
第一节	鹰阳关银矿重新评价并取得良好效益的实例·····	164
第二节	张公岭银金矿定量预测与勘探验证实例·····	169
第三节	康家湾矿区及外围扩大远景的统计预测实例·····	174
第四节	缩小找矿靶区及 F 级资源量估计的实例——陕西铜厂地区矿床定量 预测·····	179
第五节	甘肃老金厂金矿含金石英脉含矿性预测实例·····	185
第六节	宁镇地区岩体含矿性研究及成矿预测实例·····	191
第七节	辽宁五龙金矿盲矿体定量预测实例·····	197
第八节	广东厚婆坳锡多金属矿区隐伏矿脉的预测实例·····	202
第九节	河南嵩县地区 1:5 万分散流异常评价实例·····	211
第十节	辽东辽河群寻找隐伏铅锌矿田综合定量预测实例·····	215
参考文献·····		226

理 论 篇

第一章 概 论

第一节 国内外矿床定量预测工作的现状

随着近代科学的飞速发展,地质学已进入了由简单到复杂、由宏观到微观、由定性到量化的发展阶段,数学与地质学的紧密结合给地质找矿事业翻开了崭新的一页。随着电子计算机的诞生,定量研究的深度和广度已达到了新的水平,这就在地球科学中产生了一个具强大生命力的分支——数学地质。

应用数学地质理论和方法进行矿产预测被称谓矿床定量预测,也有人称为矿床统计预测,它是数学地质的一个重要组成部分。在成果形式上要体现四定,即定量圈定成矿远景区、定量估算远景区内的找矿潜力、定量确定远景区内的成矿风险、定量确定远景区内的质量。其预测结果可作为找矿勘探工作部署的依据,可减少找矿勘探工作的盲目性和冒险性,增加预见性,从而提高找矿工作的经济效益和效果。因此,矿床定量预测工作在各国都受到极大的重视。例如,在国际地质协调计划(IGCP)中,开设了第 98 号专题,专门研究资源评价的数学地质方法和资源数据的计算机管理问题。又如,美国地质调查所,在政府的支持下,与其他部门一起开展了四项资源评价计划:“美国尚未发现的石油天然气可回收资源的地质估计”、“阿拉斯加矿产资源评价计划(AMRAP)”、“国家铀矿资源评价计划(NURE)”和“美国本土矿产资源评价计划(CUSMAP)”。进行这些计划有关费用由美国政府资助,仅国家铀矿资源评价计划一项,就拨款达 3 亿美元。

1974 年,加拿大联邦政府在能源矿山和资源部内成立了铀矿资源评价小组,每年对加拿大的铀矿资源进行一次估计。此外,在世界不少地区,如加拿大地盾的绿岩带、阿比蒂比地区,苏联的科拉半岛、哈萨克斯坦、阿尔泰等地,都开展矿床定量预测工作。

近几年来,我国在矿产资源统计预测方面也取得了显著进展。石油部在油气田资源预测及生油理论数学模拟方面已取得很大成功。地质矿产部拨出大量经费,有计划地在全国开展 10 个矿种的总量预测工作,并建立了资源总量预测程序系统。核工业总公司地质局还组织编写了“铀矿资源总量预测基本要求”,并发文各地勘局按此要求开展铀矿总量预测工作。冶金及有色地质系统主要开展矿区及其外围的大比例尺矿床定量预测工作,有些预测成果已得到直接(或间接)验证。除本书所介绍的成功实例外,还有贵州有色地质勘查局地质一总队所开展的万山汞矿的矿床定量预测,冶金工业部天津地质研究院开展的山东玲珑金矿某矿脉深部定量预测等。

矿床(产)定量预测是数学地质中较为活跃的一个分支。在 28 届国际地质大会上有关矿床(产)定量预测的论文占有所有数学地质论文(如地质数据合成、地质统计学、地质数据库、人工智能、专家系统、计算机程序系统,以及自动成图、地质过程的数学模拟、行星地质学、微机在地质学中应用等)的 9.4%。1985 年在前苏联哈萨克斯坦的首都举行“矿产、石油、天然

气的定量预测的资源估计新进展”的国际讨论会。1990 年在中国召开了“矿产资源统计预测国际学术讨论会”等。近几年,我国各系统分别召开的全国性矿产资源(如铀矿、煤、有色金属等)定量预测讨论会也不少。特别值得提出的是 1991 年 10 月在广东连山县召开的“全国中、大比例尺矿产定量预测理论、方法及实效研讨会”,会上介绍了一些取得明显经济效益并为后期工作直接(间接)证实的矿床(产)定量预测工作成果,大会组织代表参观了因出色的数学地质工作而取得明显经济效益和社会效益的鹰阳关银矿和连山金银矿。它标志着我国的矿床定量预测工作已进入新的发展阶段,即由实验探索到正式投产的阶段。

经过实践证明,根据不同的任务和要求,可以开展三类矿床(产)定量预测工作(表 1-1-1)。

表 1-1-1 矿床(产)定量预测工作的分类及任务

分 类	比例尺	工 作 范 围	工 作 任 务	工作目的	实 例
小比例尺 矿产资源总量的 估计 (或称潜力 评价)	1:200万 或更小	几个省、一个国家或 更大范围	估计工作区内的资源总量	为确定找矿任务 和总体安排提供 依据	国际地质协调计 划第98号专题
中比例尺 成矿远景区定量 预测	1:20万— 1:10万	按图幅,或某一成矿 带	1. 圈定有利成矿的远景区 (带) 2. 预测远景区内可能出 现的矿床个数、质量和资 源量	为布置找矿工作 提供依据	美国的阿拉斯加 资源评价计划。 苏联在阿尔泰地 区进行1:20万统 计预测
大比例尺 矿床及矿体的定 量预测	1:5万— 1:1万或 更大	一个矿区及外围,或 一个矿田	1. 圈定成矿的有利地段即 指出矿床(或矿体)可能 出现的空间部位 2. 预测矿床(或矿体)可能 的质量和规模	为进一步找矿及 勘探工作布署提 供依据	湖南桃林铅锌矿 田统计预测

目前国内外矿床定量预测工作已取得以下进展:

一、矿床(产)定量预测的理论日趋完善

为了适应科学找矿的需要,赵鹏大教授较系统地总结了矿床统计预测的基本理论、准则和方法^①。他认为矿床统计预测的基本理论是相似-类比理论、求异理论和定量组合控矿理论。基本准则为综合预测准则、尺度水平对等准则、矿床值分布律准则、定量预测准则、评价准则和发现率分析准则等。基本方法有单元划分、预测对象确定、模型区选择、变量取值、变换、构置与优选、方法合理应用靶区优度排序与筛选问题、预测成果形式问题、精度评价、风险评价、经济评价问题、矿床预测专家系统的建立问题、预测成果的验证与效果追踪问题。

求异理论是对物化探异常概念的引伸,它强调地质异常。地质异常是一种与周围地质环境迥然不同的地质结构。它可表现为地质体的不连续界面;不同地质体的分界面;地质体内部及外部特征突变部位、单位面积(或体积)内各种地质体或同一地质体不同属性的组合异常;不同成因地质体的嵌入;具不同演化历史的地质体等(赵鹏大,1991)。根据地质异常有利寻找新类型的矿床、超大型矿床。

① 赵鹏大等,1990,矿床统计预测理论和实践的新发展,中国地质大学,矿产资源统计预测国际学术讨论会论文

二、方法层出不穷,并不断改进

1976 年建立的国际地质协调计划(IGCP)第 98 项“资源研究中计算机应用标准”,已有 6 种方法(区域价值估计法、体积估计法、丰度估计法、矿床模型法、德尔菲法和综合法)成为通用方法而进入实用阶段。前苏联 A·H·布加也茨的《预测有用矿产的数学方法》、P·M·康斯坦丁诺夫等的《评价金属矿床的逻辑信息法》,都系统地介绍了预测的方法和原理,建立了完整而独立的体系。美国 D·勃·兰契费尔德应用主观概率法成功地评价了美国全国的铀矿资源。

处理定性数据的方法不断增多。定性变量的取值只有“1”、“0”之分,需要有一套特殊的方法对它进行处理。为研究这类变量在定量预测中除已有的秩相关分析、逻辑信息法、数量化理论、特征分析、信息量分析、条件概率法等外,目前又扩展了新的内容,如:(1)非对称联系系数和非对称相关分析^①, (2)二维空间自典型相关分析^②、线性迭代法^③和秩估计法^④, (3)层次分析(许树柏,1988), (4)矿产资源评价组合标志模型等。

常规的多元统计方法在定量预测中得到改进和发展,如为了满足回归分析的应用条件(自变量、因变量均呈正态分布),而采取变量先经过变换再作回归分析的办法。针对地质变量多而模型单元少的特点,在矿产资源总量预测中提出分层回归法^⑤。不同数学方法仅在解决某类问题上有它的优势,通过不同方法的相互交叉,产生新方法,如模糊因子分析、相合分析(因子分析与聚类分析相结合)、成功树的模糊数学算法等,起到取长补短的作用。

多种多样的方法,不仅丰富了矿床定量预测的内容,而且提高了预测成果的实际效果。

三、在多种找矿信息的综合分析和整理方面积累了经验

应用多种信息(如地质、物探、化探、遥感等)进行找矿预测,是当前找矿工作发展的一个重要趋势。各种找矿手段对其获得的数据(或资料)虽然已有一套整理分析方法,如区域航磁、重力资料的处理、区域地球化学背景与异常的研究、遥感图像分析等。但各种资料如何达到有机的综合却是目前亟待解决的问题。近几年,在矿床定量预测的实践中,已注意到这个问题,并逐步去解决它。有人在青城子式铅锌矿定量找矿模式的研究中^⑥强调使用物化探数据时,应在常用的物化探处理方法的基础上,进一步用数学地质方法揭示它们所提供的找矿信息,从而选取一些综合变量建立定量找矿模型。如用数学地质方法分析各断裂中的原生晕样品,从中了解青城子矿区各断裂成矿活动的特征,如活动频繁性、主要成矿元素、成矿活动在断裂活动中的地位等。王世称教授根据中国的地质找矿工作特点,提出以地质为先验前提,以地质、地球物理、地球化学及遥感信息为基础,以计算为手段的综合信息矿产资源定量评价。该工作通过四个工作步骤来实现:①建立地质找矿模型;②建立地质-数学

① 成秋明,1990,非对称关系统计分析方法及其在地质学中的应用,中国地质大学,矿产资源统计预测国际学术讨论会论文

② 金友渔,1990,二维空间序列分析与矿床统计预测,中国地质大学,矿产资源统计预测国际学术讨论会论文

③ 成桃江,1990,线性学习机在万山系矿资源预测中应用,中国地质大学,矿产资源统计预测国际学术讨论会论文

④ 夏立显等,1990,一个秩估计方法和它在矿产资源评价中的应用,中国地质大学,矿产资源统计预测国际学术讨论会论文

⑤ 徐君桂,1990,矿产资源总量预测分层回归法,中国地质大学,矿产资源统计预测国际学术讨论会论文

⑥ 周宏坤,1990,青城子式铅锌矿床定量找矿模式的研究与应用,中国地质大学,矿产资源统计预测国际学术讨论会论文集

转换模型;③建立资源预测定量模型;④建立成果表达模型^①。

四、三维空间的预测工作不断增加

三维空间的预测,也称立体预测。随着找矿工作的发展,需要从小比例尺的面上预测进入大比例尺的深部预测。1990年“矿产资源统计预测国际学术讨论会”上,提交的大比例尺定量预测的论文不少,它提供了近几年找矿工作向大比例尺方向转移的信息。如香花岭锡矿的预测,用统计分析和空间定位等方法建立矿床值与控矿因素间定量联系的三维数学模型^②。又如铜录山地区矽卡岩型铜铁金矿的预测^③,通过对不同规模、不同埋深的典型矿床研究,建立隐伏矿体的找矿模式,并开展立体填图、立体普查、编制立体成矿预测图等。又如安徽月山地区的大比例尺三维立体矿床统计预测取得较好的预测效果,他们的途径主要是:①加强基础地质研究,进一步查明各种控矿和成矿因素;②充分利用各种地质找矿信息并进行信息优化处理,突出和强化有用信息;③综合研究不同尺度水平上的控矿地质条件及找矿标志,建立地质概念模型和预测模型,进而对深部隐伏矿体进行定量预测(李紫金,1991)。

五、广泛应用电子计算机先进技术

电子计算机是矿床统计预测工作可靠而有效的工具。地质数据库是利用计算机存储和管理各种图件、文字、数字等信息,并为用户查询、整理和分析各种信息提供了方便。近年来,这项工作发展很快,世界上已建成四百多个地质数据库。其中比较重要的有“计算机矿产资源信息库”(CRIB),是世界上最大的矿产资源数据库,存有四万多个美国及世界各地的矿床记录,内容有:矿床位置、地质特征、储量和产量等数据。用户可以通过电子计算机网络在世界五千多个城市用电话查阅或索取有关数据。

我国这项工作也有很大进展。例如,各大油田已建立油田地质数据库、地质矿产部的华北铁矿资源数据库、化探数据库、重力数据库和矿产资源定量预测数据库等,都已初具规模。地质数据库还能借助电子计算机储存和管理野外工作收集和填制的各种数据、图件和文字资料,也可以为某种目的编制程序系统、分析和处理这些资料。如前苏联的“АСОМ—ПОИСК”自动预测系统就包括多个亚系统,模糊资料自动化处理系统就是其中的一个。该亚系统在研究与找矿预测有关的模糊信息时,可用于分类、排队和制定决策。又如,加拿大的区域勘探程序决策控制系统,可以储存数据、选择勘探靶区单元,并为所选择的地区进一步开展野外工作制定最佳预算分配方案,最后,将预测结果以图表的形式输出。这不仅节约了大量的人力,而且促进了找矿预测工作的现代化。

电子计算机可以模拟人的思维过程被称谓人工智能。例如,美国斯坦福研究所设计的《勘查者》咨询系统,可以替代专家对找矿工作进行咨询。咨询时,咨询者先回答计算机向你提出的一系列地质问题,然后计算机告诉你在那里找矿。从1990年矿产资源统计预测国际学术讨论会的材料看,现已有较多的专家系统投入使用,见表1-1-2。

① 王世称等,1987,综合信息矿产资源定量评价,长春地质学院

② 毛先成等,1990,香花岭锡矿床三维数学模型及深部盲矿预测,中国地质大学,矿产资源统计预测国际学术讨论会论文集

③ 魏世昆,1990,湖北大冶铜录山矽卡岩型铜铁金隐伏矿体的定量预测理论和方法,中国地质大学,矿产资源统计预测国际学术讨论会论文集

表 1-1-2 各专家系统简介

系 统 名 称	主 要 用 途	研究的单位
阿舍勒型多金属矿床预测评价专家系统 (FORESEE)	模拟专家分析, 确定研究区是否为成矿靶区	地质矿产部北京计算中心
监控变异性研究的专家系统	查明有利金矿化的地质异常、定量评价单元含矿性	中国地质大学(武汉)
煤质评价辅助系统(MPES)	判断煤类和评价煤的工业用途	江西煤田地质研究所
综合矿产资源地理信息系统(GIS)	预测矿产潜力、成图、咨询解释异常	加拿大地质调查所
生油凹陷地质类比专家系统	通过与已知凹陷对比, 确定未知凹陷的生油量及可信度	中国地质大学(武汉)
金矿地质咨询系统	提供一系列典型金矿地质资料, 为勘查提供咨询	中南工业大学
煤发角砾岩型铀矿专家咨询系统	咨询该类铀矿的矿床特征、成因模式、地质环境、找矿标志	湖南长沙230研究所
煤炭生产矿井地质条件评价系统	对矿井地质条件进行分类评价	煤炭科学研究总院西安分院

第二节 矿床定量预测的特点和依据

一、不同的成矿环境有不同的成矿特征

矿床是在一定的地质环境下形成的, 而不同的成矿环境有不同的成矿特征。例如, 我国的铜矿资源主要集中在几个地区。不同的地区地质环境不同, 所呈现的铜矿类型以及规模均不相同(表 1-2-1)。

表 1-2-1 我国几个铜矿地区的成矿特征

地区(省)	各 类 铜 矿 比 例							各 级 规 模 比 例(%)					
	斑岩型	矽卡岩型	岩脉型	热液型	火山型	沉积热	变质型	I*	II	III	IV	V	VI
江 西	67.22	29.07		3.55				7.69	23.08	7.69	23.08	15.38	23.08
山 西	78.42	5.92					15.66	16.69		16.69	50.00	16.67	
安 徽	9.17	88.89		0.62	1.32				4.76	28.57	19.05	28.57	19.05
湖 北		99.63		0.37					33.33	11.11	11.11	22.22	22.22
云 南	1.60	15.27	0.51			16.56	66.06		9.09	12.12	48.48	21.21	9.09
甘 肃	1.45	0.89	71.16		26.51			14.29	14.29			57.14	14.29

* I: 特大型 $>200\times 10^4t$; II: 大型 $200-50\times 10^4t$; III: 大—中型 $50-25\times 10^4t$; IV: 中—小型 $25-5\times 10^4t$; V: 小型 $5-1\times 10^4t$; VI: 特小型 $<1\times 10^4t$ (据北京矿产地质研究所)

有人将矿床定量预测看成是按成矿有利程度的“环境分类”工作, 并研究各种成矿环境所对应的成矿模式, 最后进行相似区的预测。例如, 海底火山喷发成因的多金属硫化物矿床成矿带内, 矿床围绕火山喷发中心成群分布。在每一个矿群中, 均有一个最大的矿床, 其储量可占整个喷发中心总储量的 45—80%。而且, 各中心所含硫化物总量的大小均呈对数正态分布。据此, 按照硫化物总量概率分布可分别建立酸性火山喷发与洋壳裂谷基性火山喷

发的两类定量评价模型,并运用于相似区的资源评价。

二、建立控矿的定量模式,进行定量类比预测

矿床定量预测,对于成矿的地质环境和地质因素的控矿作用,要求量化和模式化。矿床成矿的数学模型可由三个基本要素组成(赵鹏大,1983):控矿地质因素的必要组合、各因素控矿的有利数值区间以及表示各种因素控矿作用的“因素向量”。

矿床成矿的数学模型不仅是一个描述成矿地质环境的定量模式,而且是未知(或研究)区开展矿床定量预测的重要依据,可通过定量对比未知区和模型区地质环境的差异,来圈定远景区,从而对远景区内的成矿特征进行预测。

矿床定量预测的一个重要目的是区分“矿”与“非矿”。而“矿”与“非矿”却是相对的、暂时的、变化的概念。例如,在一个含铜的斑岩体中,可以根据工业指标,把含铜品位大于0.2%的地段圈出来称作铜矿体,而其它地段称为非矿地段。实际上,它们可以随着工业指标的变化而相互转化,当工业指标降低时,“非矿”可变为矿;升高时,“矿”变为“非矿”。

另外,在预测中,我们还采用了研究区和模型区相对比的办法,并根据地质环境的相似性作预测。“相似”也是一个相对的概念。例如,有一模型区(A)的地质环境可以用几个地质标志($x_1, x_2, \dots, x_n$)来描述,在 n 维空间内则表示为由各地质标志值确定的一个点。要与其对比的研究区,也可以根据它们的地质标志($x_1, x_2, \dots, x_n$)的取值标入 n 维空间。(图1-2-1)便是以 x_1, x_2, x_3 三个值在三维空间内标出的模型区和研究区。

这时,便可根据二点之间的距离来讨论相似性。若以距离 d_1 为尺度,便有1号、2号两个研究区与模型区(A)的地质环境相似。当放宽尺度后,以距离 d_2 ($d_2 > d_1$)衡量时,与模型区相似的研究区范围就扩大了,由1号、2号两个区扩大到1号、2号、3号、4号、5号和6号六个区。由此说明,“相似”仅有程度之分,并无明确的界线。

由于“矿”与“非矿”,地质条件的“相似”与否均属相对的概念。所以,在进行矿床定量预测时,不论对模型区的分类(富矿与贫矿、大矿与小矿、有矿与无矿),或是研究区与模型区的对比,都需要根据一些准则或尺度即定量标准进行工作。有关尺度的研究是矿床定量预测中的一个重要问题,尤其是模型区与研究区的对比原则和定量标准,既是预测的依据,也是供使用者了解预测结果的必要资料。因此,作为一个预测的数学模型,除了包括定量描述它的三个基本要素外,还应包括用于预测的分类标准。

三、地质控矿条件具有随机性

由于成矿是一个漫长而又复杂的地质过程,矿床的形成和分布受大量随机因素影响。而矿床定量预测者则认为成矿是一种随机事件,所预测的矿床和矿点所具有的特征,如矿床规模、品位、厚度等属于随机变量。矿床定量预测工作要求研究在特定成矿环境下的矿床(点)统计分布规律、矿化强度的统计规律、各种地质条件及其组合的控矿概率等规律。已有资料表明,不同的矿田内矿床(点)的空间分布具有不同的统计规律。如表1-2-2所示。有的矿

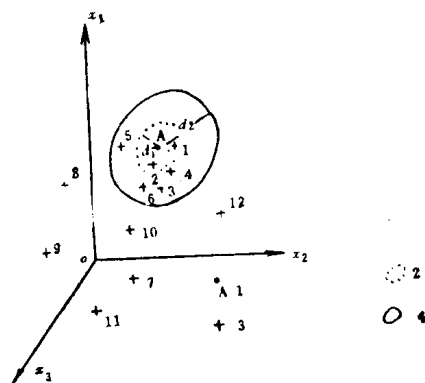


图 1-2-1 模型区和研究区对比

- 1—模型区的点;
- 2—以距离 d_1 圈定的范围;
- 3—各研究区的点及编号;
- 4—以距离 d_2 圈定的范围

表 1-2-2 几个矿田(或地区)内矿床(点)的分布特征

地 区	主要的矿床类型	地区内矿床(点) 的分布类型	参 数*		统计的面积 (km ²)	统计单元的 大小 (km ²)	统计的单位
			$\bar{x}$	s^2			
甘肃白银地区	火山岩型铜矿	在 $\alpha=0.05$ 水平 服从泊松分布	0.35	0.48	250	2.25	西北有色地质勘 探公司研究所
江苏江宁地区	火山岩型铁矿	$\alpha=0.05$ 水平 服从负二项分布	0.34	0.48	700	4	华东有色地质勘 探公司研究所
湖北铁山矿田	矽卡岩型铁矿	$\alpha=0.01$ 水平 服从负二项分布	2.50	3.46	300	6.25	中南冶金地质勘 探公司研究所
湖南水口山矿田	接触型和层控再 造型铅—锌矿	$\alpha=0.01$ 水平 服从负二项分布	0.75	1.09	144	2	湖南有色地质勘 探公司研究所

* $\bar{x}$ —单元内平均的矿床(点)个数; s^2 —方差; α —置信度

田服从泊松分布, 有的矿田服从负二项分布。对于每个矿田的矿床(点)分布, 可用平均数($\bar{x}$)和方差(s^2)加以区别。从我国铜矿控矿因素的统计分析也明显地说明了这一点。据北京矿产地质研究所统计, 各类铜矿在不同地层中的出现有一定的概率(图 1-2-2) 沉积型铜矿主要产于白垩纪(K)地层内, 相应的概率达75%, 而火山型铜矿则多集中于寒武纪地层内, 产出的概率为44%。

四、矿床定量预测是一项找矿决策工作

圈出远景区后, 由于受各种条件的限制, 预测结果与实际情况总是会有出入的。为了减少找矿风险, 还应通过经济价值, 找矿效益和风险的分析, 对远景区作出统计决策, 为进一步找矿布署提供依据。

加拿大在区域普查中注意了这一问题, 并建立了区域勘探程序的决策控制系统, 根据三条标准来选择勘探靶区。这三条标准是: ①单元内预期矿床价值的回归估计; ②单元内找矿的成功概率; ③预期的实际支付。其中预期的支付(EP)和损失(L)由下式求得。

$$EP = m_1 P_{rs} + m_2 (1 - P_{rs}) \quad (1-2-1)$$

式中: P_{rs} 为成功概率; m_1 为单元内矿床价值的回归估计值减去为了利用最近的设施而修筑道路和架设电线所花的费用; m_2 为勘探失败所付的费用, 它由损失函数 L 表示

$$L = A(1 + K_1 d_1 + K_2 d_2) \quad (1-2-2)$$

L 为损失函数; A 为一个单元饱和勘探的平均费用, 一般指用航空和地面方法(包括钻探验证)普查一个单元所花的平均费用; K_1, K_2 分别为修建铁路或公路, 每单位长度所需要的费用; d_1, d_2 分别为单元中心到最近铁路或公路的距离。

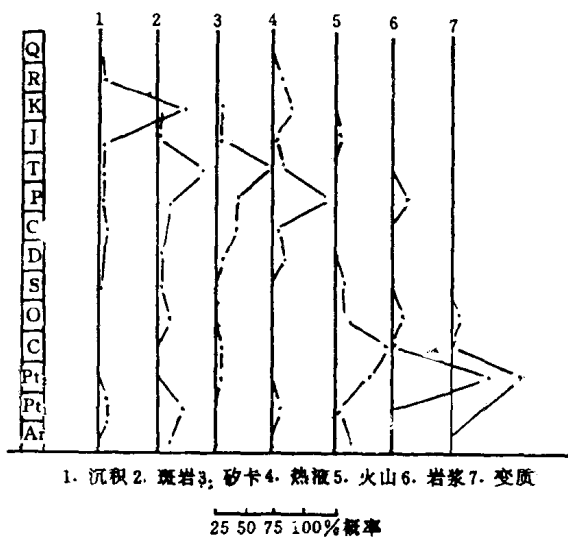


图 1-2-2 各类铜矿产出层位及概率

图 1-2-3 则是通过统计预测工作，对加拿大地盾格伦维尔成矿省部分地区各单元的找矿成功概率和预期支付所作的预测。

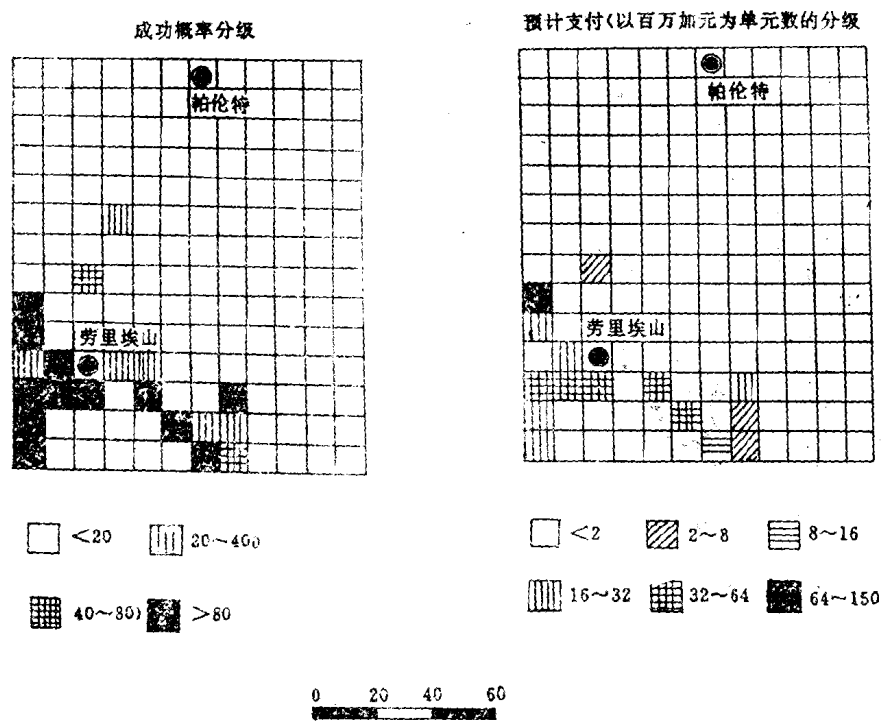


图 1-2-3 研究区内成功概率和预计支付元数

五、注意地质异常

地质异常是在结构、构造或成因序次上与周围环境有明显差异的地质体或地质体组合。也是指示矿床存在的地质标志。就异常规模的大小，可将地质异常分为全球性地质异常、区域性地质异常、局部地质异常和显微地质异常。不同规模的异常有不同的找矿意义。控制矿田、矿床和矿体产出的地质异常一般为局部异常(赵鹏大, 1991)。

地质异常区别于一般的控矿地质因素或找矿标志，它具有一定的空间范围和时间界限。地质异常是可能产生特殊类型矿床或产出前所未有的新类型或新规模矿床的必要条件。在研究地质异常时要注意：①场的大小及圈定；②场的形态及边界特征；③地质场与地球物理场、地球化学场、生物化学场的关系；④成矿地质场的准备与成矿有利程度等问题。

第三节 大比例尺矿床定量预测工作的几种类型和基本要求

一、大比例尺矿床定量预测工作的几种类型

大比例尺矿床定量预测是在较小范围内进行的找矿评价工作。根据不同的找矿任务和具体的情况可分为三种类型的工作。

1. 在已知矿田或有利成矿区内寻找新的勘探基地的预测工作

属于这类工作的工作范围可达几百平方公里，比例尺一般为 1:5 万—1:2.5 万或更大些。例如，中南冶金地质勘探公司研究所进行的“金山店矿田矽卡岩型铁矿的统计预测”和“湖北铁山矿田的统计预测”、西北有色地质研究所进行的“白银厂铜矿区及其外围的统计预测”、湖南有色地质研究所进行的“湖南水口山铅锌矿田的统计预测”、广西有色地质勘查局

215 队进行的“广西大厂矿田的成矿预测”、湖南有色地质勘查局 238 队进行的“湖南桂阳坪宝地区多金属成矿区的预测”、山西冶金地质勘探公司物探队进行的“中条山胡篦类型铜矿床的统计预测”、西南有色地质勘查局 308 队与中国地质大学(武汉)共同进行的“个旧锡矿东区北部统计预测”、贵州有色地质勘查局 1 队进行的“万山汞矿南部成矿远景区的预测”、华东有色地质研究所进行的“江宁地区火山岩铁矿统计预测”等,皆属此类工作。

这类预测工作的任务是:①对预测区内的找矿潜力进行分析;②针对找矿对象在预测区内圈定有利的成矿远景区;③估计远景区内可能发现的矿产资源量;④预测远景区内找矿的成功概率;⑤对进一步找矿工作的布署提出建议。

2. 在已知勘探矿区内及其外围为扩大矿区远景开展统计预测工作

属于这类工作的工作范围大的可达几十平方公里,小的数平方公里;比例尺一般为 1:1 万或更大。例如,冶金工业部天津地质研究院进行的“白云鄂博矿区铁矿的统计预测”、湖南有色地质研究所进行的“康家湾铅锌矿的统计预测”、辽宁有色地质勘查局进行的“五龙金矿的统计预测”、西南有色地质勘查局 315 队进行的“云南矿山厂铅锌矿床的预测”等。

这类预测的工作任务是:①圈定有利矿体出现的地段;②估计有利地段的矿体规模和质量;③预测钻孔的见矿概率、见矿深度和矿化情况;④为钻孔设计提出建议。①、②两类预测工作可以随着找矿工作的进展而相互渗透。譬如,在①类工作的基础上,择选部分地区转入第②类预测,也可在开展第②类工作的地区向外扩展,同时进行第①类的预测工作。

3. 矿床、矿点的评价工作

在有的地区,如果已经有了矿床(点)或某些找矿线索,则可将面积性的搜索工作转入对某一地质体(如矿床、矿点、岩体、岩脉、铁帽、异常等)的评价工作。这类评价工作所依据的资料水平一般较高,有的甚至有一定数量的工程控制。开展此类工作的目的是:①为了缩小靶区;②正确肯定矿床的价值。

对一些复杂类型的矿床,由于矿体规模小,变化大,难于在勘探阶段控制其位置和形态,因此加强找矿阶段的评价工作有较大的实际意义。

属于这类工作的有,广西有色地质勘查局 272 队进行的“桂东南铁帽的评价”、华东有色地质研究所进行的“姑山旋回次火山岩含矿性的研究”、甘肃有色地质勘查局 4 队进行的“老金厂金矿石英脉的含矿性预测”、吉林有色地质研究所进行的“老岭地区的铁帽评价”、广西有色地质勘查局 204 队进行的鹰阳关银矿评价工作等。

这类预测工作的任务是:①估计矿床(点)的价值;②确定岩体或岩脉的含矿性;③判断铁帽指示矿床的可靠性。

二、大比例尺定量预测的基本要求

1. 对原始资料和数据的要求

(1) 应以相应比例尺或更大比例尺的地质图、物化探图及矿产图为依据。

(2) 收集研究区内可利用的遥感及航片、卫片资料。

(3) 广泛收集国内外有关的典型矿床资料,汇集研究区内和邻区的同类矿床的资料和数据,建立“非计算机化”的数据库。

(4) 收集预测区内沿剖面的地质观察资料和物化探测量数据。

(5) 尽量收集和利用已有的深部勘探资料(如岩性、蚀变、矿化、品位、厚度等)、化探原生晕资料、物探测井资料和各种专题研究资料。