

文章编号 :1000-0550(2001)02-0169-08

大洋多金属结核资源评价的基本理论与方法^①

张富元¹ 章伟艳¹ 王 英¹ 殷汝广² 程永寿² 何高文³

1(国家海洋局海底科学重点实验室、国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)

2(国家海洋信息中心 天津 300171)

3(国土资源部广州海洋地质调查局 广州 510760)

摘 要 根据大量工作实践和研究,系统扼要地介绍了大洋多金属结核资源评价的基本概念、理论基础、评价方法及国内外概况,论述了多元统计分析(聚类分析、因子分析、趋势面分析)、地质统计学(克立格法)、神经元网络分析进行多金属结核资源评价的方法原理,以及实现矿区边界指标—资源量—面积动态分析的《大洋多金属结核资源动态评价系统》软件开发简介。

关键词 太平洋 多金属结核 资源评价 理论与方法

第一作者简介 张富元 男 1952 年出生 研究员 海洋地质

中图分类号 P744 **文献标识码** A

1 引言

1872—1876 年英国“挑战者”号考察船环球考察时,在摩洛哥的法罗岛西南海底首次采集到多金属结核^[1]。默里和雷纳德^[2]根据“挑战者”号考察资料第一次报道了多金属结核的产状、形态和成分。阿迦西斯(Agassiz,1902)根据“信天翁”测量资料绘制了太平洋结核分布图。1947—1948 年瑞典深海探险队^[3]在太平洋获得了大量的多金属结核资料。以后全球性结核资源调查仍有间断性进行,但主要是探险性和学术性的。由于当时测试手段不能精确揭示结核成分和潜在资源价值,加之调查技术限制,因此直到本世纪六十年代,梅楼^[4]根据 110 个测站的结核样品分析,指出潜在的经济价值后,美国、法国、前苏联、日本等西方国家才开始大规模多金属结核资源调查研究。

多金属结核是一种蕴藏在海底的海洋矿产资源,它与陆地矿产资源既有共性又有差异。除了多了一层海水覆盖和结核是一种二维分布矿床外,陆地矿产资源和海洋矿产资源在资源评价理念、评价方法、勘探和开发等许多方面有许多相似之处。因此,陆地矿产资源评价基本概念和基本理论同样适合于大洋多金属结核资源评价,而在选择计算方法和建立理论模型时必须针对多金属结核资源这一特殊矿床特别对待。大洋多金属结核资源评价是矿产资源评价的新领域,它的概念、理论、方法及与其它学科的关系,强烈地依赖于实践与经验积累。就当前我们所了解的国内外情况而言,多金属结核资源评价理论和方法体系尚处在由简

单到复杂^[5,6]、由单因素到多因素、从传统统计学到地质统计学的探索应用发展之中,公开出版的有关大洋多金属结核资源评价的理论和方法的书籍、文章所见甚少。1982 年联合国海洋经济和技术处,为配合《联合国海洋法公约》的建立和通过,陆续出版了海底矿物系列丛书^[7],从不同角度各个方面对多金属结核资源进行了综合评价。但是所列举的资源评价非常简化,运用了一个简单的剔除法基本模式,即不断地剔除不符合要求的丰度和品位资料,最终保留能用来进行资源评价的部分。近十几年来西方国家对多金属结核资源调查研究,基本上处于停滞和观望状态。

我国开展多金属结核资源调查较晚,1991 年经联合国批准,使中国成为“深海采矿先驱投资者”国家之一,并在太平洋 CC 区(Clarion Clipperton Zone)获得 15 万 km² 多金属结核开辟区,在向联合国提交申请矿区时,采用较简单的方法进行结核资源量估算和评价。“八五、九五”期间在“中国大洋矿产资源研究开发协会”部署下,以开辟区地质和资源勘查为重点,重视采矿条件与技术和结核加工工艺研究,为结核资源评价提供了多方面的科学依据。与此同时,利用数学地质方法,把地质统计学应用到资源量计算和资源评价,取得了一定的成绩和经验^[8,9]。由于海洋矿产资源评价方法和基本理论不像陆地矿产资源那么完善和广泛的国际交流,也没有进行大规模的开采,因此结核资源评价工作中遇到的许多问题有待在实践中完善解决。

^① 中国大洋矿产资源研究开发协会“九五”重大资助项目(批准号:DY95-02-07)成果之一

2 多金属结核资源评价的基本概念

自地球科学形成以来,地质学家们一直在探索矿产资源评价问题。从大的方面来说,矿产资源评价是对地壳内各种矿产蕴藏量进行估算并对其实用价值作出推测,属于地质调查工作的发展战略内容的组成部分,在研究和认识地质规律的基础上,用地质理论和可能的技术方法(地质的、物化探的、数学地质的),指出现在还没有发现而将来可能或应当发现的矿产蕴藏量或矿藏,并对它的质和相应的量作出评价,还需对蕴藏量在当前和未来的社会政治和经济发展趋势作出预测。因此,矿产资源评价^[10]是一个综合性很强的实用地球科学分支,它涉及到地学的各个方面和计算机信息技术。矿产资源评价也是地质理论、资料搜集和整理、评价方法、评价设备、矿产品生产和技术经济条件之间联接的过程。

大洋多金属结核资源评价是矿产资源评价的一个新的组成部分,因此上述矿产资源评价基本概念同样适合于它。但是,多金属结核矿藏因被厚厚的海水覆盖,对其调查和勘探的难度增加,调查精度相对较低,目前多金属结核资源评价主要是利用实际调查得到的大量结核资源、地质地球物理、生物化学、水文气象和沉积环境等数据资料,结合经济、政治、法律、技术等客观条件,彼此联系起来进行资源评价和转化成矿产资源量。中国多金属结核勘探区资源评价,通过近几年的不断实践积累,逐渐建立起一套行之有效的资源评价方法。

3 多金属结核资源评价的理论基础

矿产资源评价基本内涵是人们把观测到的数据资料转化为矿产资源量。由于过去的地质研究程度不够,技术条件不足,以及经济发展对矿产资源量的供求矛盾尚不突出,矿产资源评价方法和评价设备等实际问题尚未得到解决,矿产资源评价主要是通过地质人员的主观分析,凭借有限的经验和公式预测矿产资源量。随着电子计算机在地学中的应用不断扩大,具备了搜集综合大量各类信息资料和建立起社会政治经济发展与矿产资源关系的能力,加上矿产资源评价方法的研究也有了重大突破,随之而来的便是矿产资源评价飞速发展。矿产资源评价理论基础也不断发展与完善,归纳起来,矿产资源评价理论主要有以下几方面。

3.1 地质条件类比的理论

在一定地质条件下产出一定的矿床,相似地质条件下赋存有类似的矿床,这是 D. P. Harris 建立矿产资源同地质环境之间定量关系的理论指导原则。在此

理论原则的指导下,矿产资源评价将采用“由已知到未知”的原则,即利用在已知区矿产资源量与地质条件之间建立的评价模型,外推到未知区,最终目的是获得未知区矿产资源量。大洋多金属结核资源调查主要是通过定点地质采样获得观测点的结核资源量,用已知点资源情况(丰度和品位)推测其邻区的资源分布,利用海底照相、深拖等技术作连续的可视性剖面观测,与地质采样结果进行对比和校验。

3.2 地质变量的综合和分解的理论

地质变量是建立矿产资源评价模型的基础,各种原始地质数据的综合利用使各种地质信息集中地反映出事物的本质。一般认为综合地质特征(如镍等量丰度和镍等量品位^[11])比单个特征能提供更多的信息。另一方面,矿产资源评价最感兴趣的是从一系列地质变量中分解出各个地质变量的特有行为,特别是与矿产资源成因有关的行为(如结核中的钴含量与海山关系极为密切)。这就是矿产资源评价中变量分解的意义。无论是对变量的综合还是对变量的分解,数学地质和计算机技术的完美结合强有力地提供了解决这些问题的技术和方法。

3.3 地质解释的理论

地质解释就是把观测资料 and 理论模型转变为地质成因和资源特征。无论是人们直接的利用观测到的数据资料,还是利用经数学地质方法和计算机技术处理后数据来解释地质现象,最终都离不开地质人员的主观知识和经验。地质解释的理论意义在于用评价人员所掌握的地质理论和积累的经验,补充矿产资源评价模型没有包括的那部分信息,进一步修改和完善评价模型不真实的部分,最后把它转化为地质意义和矿产资源量的概念。

矿产资源评价是地质工作的主要组成部分,它与国民经济和可持续发展有着密切联系,历来受到国际组织和各国政府重视。1976年在挪威和1979年在墨西哥召开的国际地质协调计划会,对矿产资源评价的理论和方法进行了全面总结(区域价值估计法、体积估计法、丰度估计法、矿床模拟法和综合法等),推广应用后获得了快速发展。为了保证矿产品、矿产资源和能源的近期、中期和长期供给需要,许多发达国家把矿产资源评价作为一项基本国策来考虑。几十年来,通过不断探索、实践和研究,已形成了一套较完整的矿产资源评价方法,并初步建立起矿产资源评价的理论体系。

矿产资源评价有两种基本形式,即总和式和非总和式估计。总和式估计是资源总量的估计,其目标是预测矿床的个数和资源总量。非总和式则要求总量估计的同时,在0.05至0.95概率范围内估计矿床个数、

位置、质量和数量。大洋多金属结核资源调查精度,到目前为止,应该说还是资源量水平,而不是计算储量阶段,因此对多金属结核资源评价应是总和式估计。

4 多金属结核资源评价方法

矿产资源评价的方法学不仅仅是指诸如丰度估计法、矿床模拟法、回归分析法之类具体的独自的评价方法,而且它是指由描述地质体的各类数据转化为矿产资源量整个过程所涉及的一切地质理论和技术方法手段。在矿产资源评价的实际中涉及到原始数据的汇集、整理、筛选、变量的转换、单元的划分、方法的选择与应用、结果的地质解释都属于矿产资源评价范畴。大洋多金属结核资源评价还涉及到水文气象、采矿技术和环保、政治法律等问题。由于矿产资源评价几乎涉及整个地学和计算机技术,因此矿产资源评价方法学涉及到广泛的基础理论和技术方法。近几十年来,计算机数据图像处理技术的突破,各种定量的数学地质方法如因子分析、聚类分析、趋势面分析等多元统计分析进行了大量的实践和研究,特别是七十、八十年代数学地质在矿产资源评价中得到了飞速发展。随后比多元统计分析具有更多优点的地质统计学也在地质领域中得到广泛应用,近几年含有智能化神经网络分析也开始在矿产资源评价中应用。

4.1 多元统计分析(聚类分析、因子分析、趋势面分析)

任何一门自然科学都需要对作为其学科基础的观测、概念和观点加以分析、归纳和分类。尤其是地质工作者更习惯于这样做。对地质研究的对象进行科学合

理的分类,是地学研究的重要内容之一。传统地质学建立了一个定性的概念化分类系统,主要根据少数变量特征来确定。随着地质工作的逐步深入,要求能考虑多种变量,使分类更精确,这就要求地质学由定性向定量发展,用数字方法对地学测量数据,依照数学模型中参数大小来进行分类,如因子分析、判别分析,根据相似系数和判别函数值的大小进行分类。多金属结核类型区域分布、成矿元素相互关系、成矿元素受控因素分析,也可通过聚类分析(图 1)和因子分析(图 2)来解决^[12]。

地质现象在空间上和时间上都具有复杂的变化,对这种变化通常利用等值线方法来表示。等值线法用一个点与周围最近的点作线性插值,因此不能充分反映区域性趋势变化和非线性变化。这是由于等值线方法只反映邻近点之间的相互关系,未利用所有点彼此之间的相互关系所包含的信息。对区域中的趋势性变化在等值线图上反映得就不那么明显。另外,相邻点之间是非线性变化时,使用线性插值,误差便较大。为解决线性插值可能存在的问题,逐步形成了趋势面分析方法。趋势面分析就是把地质体的空间分布特征分解为趋势部分(区域变化)和偏差部分(局部变化),把某个观测点上的观测值分成为趋势值和剩余值。多金属结核丰度通过趋势面分析(图 3),能很好地认识结核区域变化和局部变化及提供物源方面的信息^[13]。

4.2 地质统计学(克立格法)

传统统计学的研究对象必须是纯随机变量,而地质学中所遇到的许多地质变量并不是纯随机变量,而是既有随机性又有结构性(也就是具有方向性)的变

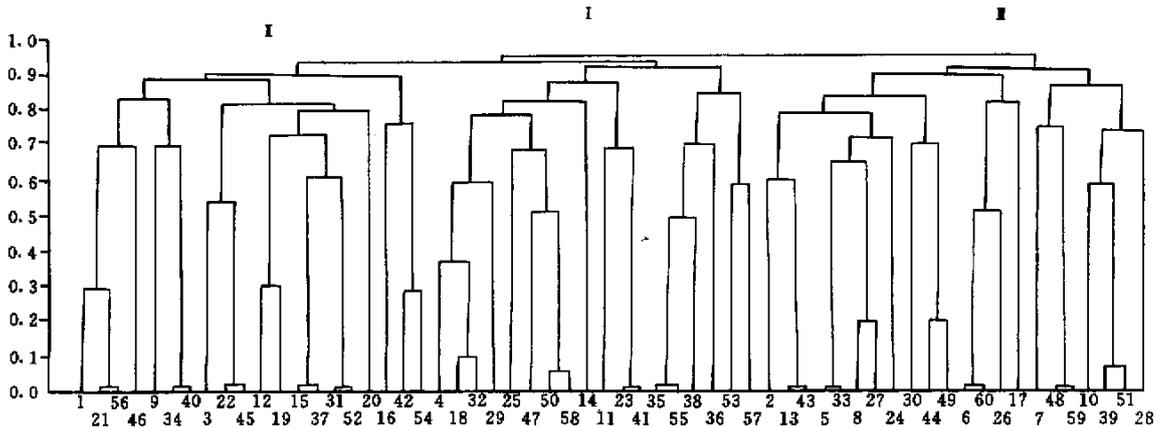


图 1 多金属结核聚类分析谱系图

Fig.1 Cluster analysis of the polymetallic nodules

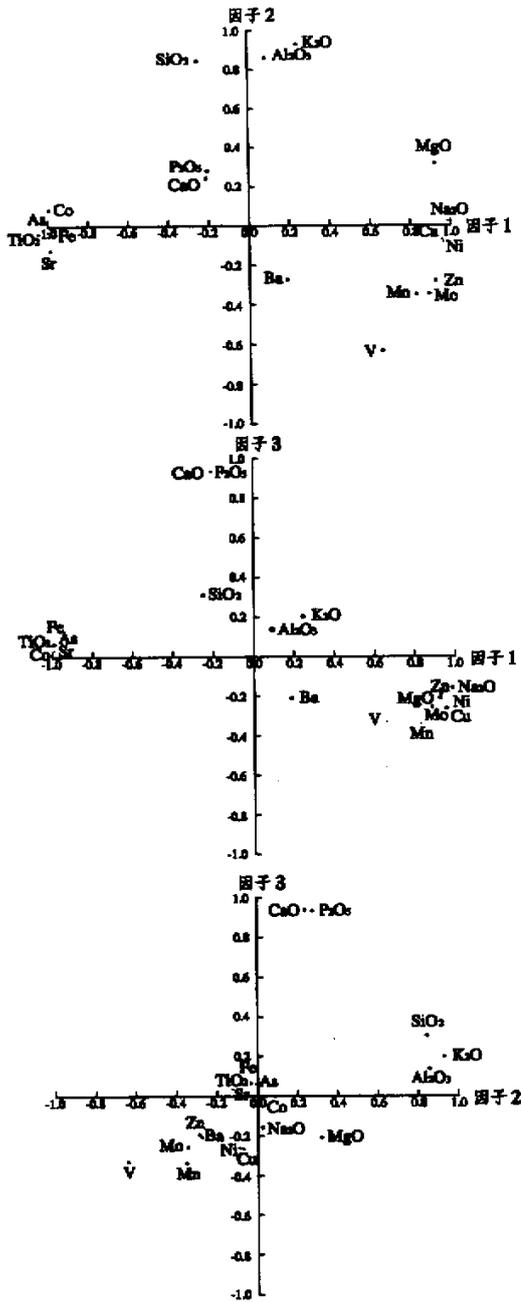


图 2 因子分析方差极大公因子载荷图解

Fig.2 Diagrams of varimax principal of factor analysis

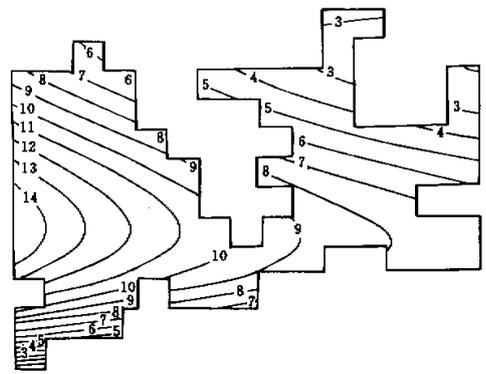


图 3 多金属结核丰度趋势面分析等值线图

Fig.3 Isogram of polymetallic nodule abundance by trend surface analysis

随机性和结构性的条件下仍能使用统计方法的问题, H.S. 西舍尔 (H. S. Sichel) 在四十年代提出了变差函数 (Variogram), 变差函数能够同时描述地质变量的随机性和结构性变化, 这就为地质学使用统计方法奠定了基础。六十年代法国著名矿山地质工作者 G. 马特隆 (G. Matheron) 在 H.S. 西舍尔和 D.G. 克立格 (D.G. Krige) 工作基础上进行了系统化和理论化, 于 1962 年提出了地质统计学 (Geostatistics^[14, 15])。按照他的定义: “地质统计学是随机函数的形式体系对于自然现象的调查与估计的应用”, 1970 年, 他又把定义明确而具体化为“地质统计学是区域化变量理论在评估矿床上的应用 (包括其中所采用的各种方法和技巧)”。概括起来, 地质统计学是以矿石品位和矿床储量的精确估计为主要目的, 以矿化的空间结构为基础, 以区域化变量为核心, 以变差函数为基本工具的一种数学地质的理论和方法。值得指出的是地质统计学是当前数学地质领域中最活跃的一个分支, 通过近些年的发展已经取得了巨大的成就, 而且应用也越来越广, 地质统计学不仅能有效地用于矿产资源评价上, 而且还可以广泛地应用于其它学科。地质统计学之所以发展如此之快, 普及如此之广, 是因为它有着一系列的优点 (1) 地质统计学不是简单地把现成的概率统计理论、方法直接套用到地质采矿领域, 而是从地质、采矿实际出发, 根据地质变量本身的特点来选择合适的数学概念、理论、模型、方法, 并加以改造、创新, 使之适应地质、矿业生产特殊性的需要。正因为它在数学与地质的结合上作了深入研究, 因此它能更有效地解决地质、矿业等领域中的问题。(2) 它最大限度地利用了勘探工程所提供的各种信息。如用克立格法估计矿床中某块段的平均品位时, 不仅考虑了落在该块段中的样品数据, 而且还考虑了块段外的邻近样品数据。不仅考虑了待估块段与信息样品间的空间位置关系, 而且还考虑了各信

量。这种数学假设与地质事实不符合的情况导致传统统计学在地质学中应用受到了限制。在地质学中经常需要对已知样品点之间的未知点进行插值, 传统统计学在进行插值时既不考虑方向性也不能给出估计误差, 虽然趋势分析也能给出插值点的估计误差, 但是给出的估计误差都是相同的。为了解决在地质变量具有

息样品彼此之间的空间位置关系。(3)它不仅可以进行储量的整体估计,更重要的是可以进行储量的局部估计。传统的储量计算方法提供的只是若干个勘探块段的储量,这种块段对采矿设计来说太大,而且很不规则,设计部门难以使用。而用地质统计学方法则可分别算出矿床中所有最小开采块段的品位和储量。这样就能更好地满足矿山设计的要求,从而有利于用矿床勘探、矿山设计和开采三个阶段的相互衔接。(4)它能在开采前定量给出估计精度(克立格方差),而传统的储量计算方法只能两种方法的结果对比得到相对误差,或与开采结果对比得出误差。这就大大降低了其估计结果的意义。(5)在矿床储量计算及预测工作中,经常要作吨位—品位曲线。地质统计学方法做出的吨位—品位曲线,不但可以求出对应于任一边界品位的矿石吨位,进行经济标志分析,而且还可以检验和改进金属矿床的分类,预测可能存在的矿床。用地质统计学方法计算储量有其独到之处。地质统计学应实践要求而产生,经实践而完善理论。地质统计学也能很好地应用于多金属结核资源量(储量)计算、矿区圈定和资源评价(图4)。

4.3 神经网络分析

神经网络的研究^[16]起源是对生物神经系统的模拟,其信息处理功能是由网络单元(神经元)的输入特性(激活特性)、网络的拓扑结构(即神经元的连接方式以权连接)、连接权的大小和神经元的阈值决定的,网络的拓扑结构固定时,其学习归结为连接权的变化,连接权修改方式不一,则学习算法不同。误差反传学习算法简称为BP(Back-Propogation)算法,是一种多层前馈网络所使用的监控式学习算法。它利用误差反传播算法把学习结果反馈到中间层的隐单元,改变它们的权系数矩阵,从而达到预期的学习目的,是迄今为止应用最为广泛的神经网络。人工神经网络BP算法与线性插值法和地质统计学方法相比,主要有二方面的优点(1)地质统计学方法要求区域化变量满足二阶平稳假设,BP网络无此限制,它依赖于矿区背景与结核分布的地质模型的建立,而矿区地质背景是很容易得到的。BP网关键是要有大量广泛的学习样本供它学习(2)克立格法预测结核分布时,预测值是通过邻域内已知点加权移动平均得到的,这相对于线性插值法来说,因已采用客观加权的方法,预测结果比较客

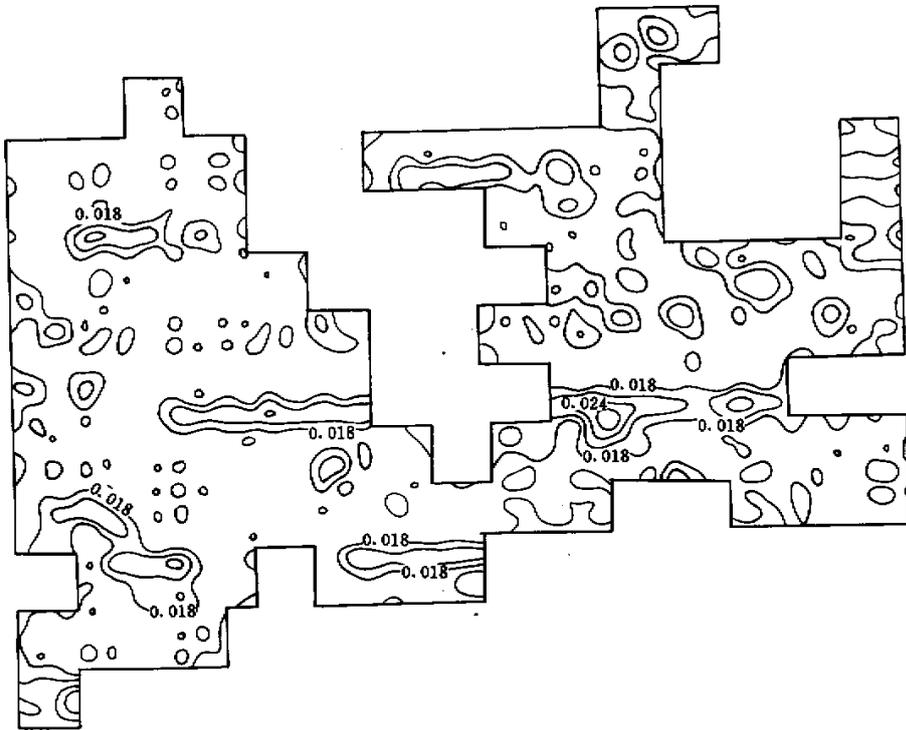


图4 多金属结核中Co克立格标准差等值线图

Fig.4 Kriging deviation isogram of Co in polymetallic nodules

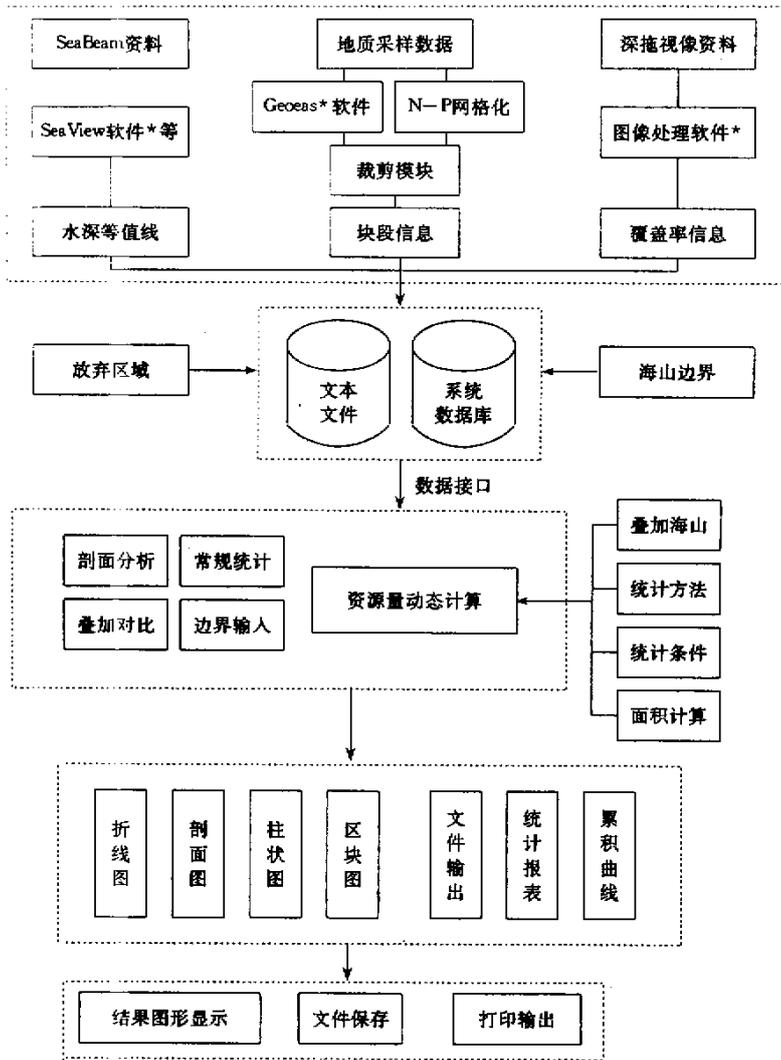


图5 “多金属结核资源动态评价”程序设计构成图

Fig.5 Program structure of “evaluation system of polymetallic nodule resources”

观。人工神经网络以其高度的联想、容错功能,在地质地球物理领域得到广泛应用,国内外已有很多成功的范例。人工神经网络不仅有识别功能,还有数值计算能力,虽然人工神经网络计算精度不高,但它可以通过大量的样本输入,客观地一次性地反映整个预测区内的海底多金属结核的分布情况^[17]。由于地质因素与多金属结核分布之间的关系是控制与被控制的关系,只要预测单元和地质因素与多金属结核分布匹配,必能得到确定的关系,通过网络的自我调节一定能得到适合该单元的神经网络,利用确立的网络可以预测该区内任一点的结核分布,从而得到全区结核分布,因此可以采用人工神经网络方法对多金属结核的分布进行预测(表1)。

5 大洋多金属结核资源动态评价系统软件开发

为实现多金属结核矿区边界指标—资源量—面积动态分析,我们“中国多金属结核勘探区资源动态评价及矿区圈定综合研究”课题组开发完成了“大洋多金属结核资源动态评价系统”软件。该系统软件采用VC++面向对象的方法编程,集数据计算、模块分析、叠加对比、剖面分析、图形显示于一体,具有数据丰富、交互式界面友好、移植性强,便于操作和管理,查询计算快捷精确等特点,为我国按时完成多金属结核开辟区50%区域放弃工作作出了成绩。资源量计算所用数据有地质采样丰度、结核中Mn、Cu、Co、Ni含量,深拖剖

表1 神经网络分析得出多金属结核丰度、品位和资源量
Table 1 Abundance, grade and resource amounts of polymetallic nodules according to the neural network analysis

海底地形 坡度	平均丰度 /kg·m ⁻²	元素平均含量/%				干结核量和金属量/×10 ³ t				
		Mn	Cu	Co	Ni	干结核量	锰	铜	钴	镍
0°~1°	9.22	26.62	1.04	0.21	1.14	5645.01	1522.37	61.88	11.07	64.08
1°~2°	9.36	26.16	0.96	0.23	1.18	6325.32	1684.27	66.41	13.48	76.12
2°~3°	9.79	25.59	0.91	0.24	1.15	3248.58	839.73	32.72	7.73	39.06
3°~4°	9.11	24.99	0.77	0.26	1.05	1658.94	415.26	13.83	4.25	17.65
4°~5°	9.75	24.71	0.62	0.27	1.04	1463.51	362.25	9.31	3.86	15.47
5°~6°	9.37	24.91	0.55	0.27	1.11	1066.83	265.29	6.10	2.83	11.81
6°~7°	8.51	24.89	0.54	0.27	1.15	711.76	178.44	4.09	1.93	8.25
7°~8°	9.35	24.79	0.80	0.21	1.29	173.53	42.97	1.50	0.37	2.17
8°~9°	6.49	24.98	0.65	0.21	1.36	92.34	22.38	0.75	0.19	1.19
9°~10°	7.81	22.83	0.77	0.22	1.35	80.81	19.01	0.58	0.18	1.07
加权平均(0°~10°)	9.33	25.86	0.90	0.23	1.41	20466.59	5351.98	197.15	45.89	236.85
加权平均(0°~5°)	9.40	25.99	0.94	0.23	1.14	18341.36	4823.88	184.14	40.39	212.37
加权平均(5°~10°)	8.83	24.80	0.58	0.26	1.15	2125.24	528.09	13.01	5.50	24.48
(0°~5°)(5°~10°)	1.06	1.05	1.62	0.88	0.99	8.63	9.13	14.15	7.34	8.67

面资料,SeaBeam测深数据。该系统充分利用Windows资源强大的计算和图形绘制功能,选取最优算法,采用多种编程和模块化设计,能够快速方便定量演示矿区资源和地形条件,系统界面交互性强,界面友好,操作使用方便,系统总体设计采用结构化方法。大洋多金属结核资源动态评价系统程序构成图见图5。

本文是“中国多金属结核勘探区资源动态评价和矿区圈定综合研究(批准号DY95-02-07)”课题的成果之一。该课题得到《中国大洋矿产资源研究开发协会》的重点资助,课题立项论证和完成过程中得到金翔龙院士、李廷栋院士、兰玉琦教授、郭世勤总工、李裕伟研究员、吕文正研究员指导帮助和全体大洋多金属结核资源调查人员的辛勤工作,在此向他们表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 王成厚. 大洋锰结核[M]. 北京: 海洋出版社, 1982. 1~14
- 2 Murray J, Renard A F. Deep Sea Deposits[R]. Re p. Sci. Results Explor. Voyage Challenger, 1891. 525
- 3 Landergren S. On the geochemistry of deep sea sediments[R]. Rept. Swedish Deep Sea Exped.(1947-1948), 1964. 1(2) 57~178
- 4 Mero J L. Ocean floor manganese nodules[J]. Econ. Geol., 1962. 57. 747~

767

- 5 United Nations(Ocean Economics Technology Branch), Delineation of Mine Sites and Potential in Different Sea Area(Seabed Minerals, Volume 1), Published by Graham & Trotman Limited, London, 1987
- 6 张富元. 大洋多金属结核资源量计算和资源评价方法探讨[J]. 海洋学报, 1995, 17(4): 85~93
- 7 联合国海洋经济与技术处编. 金建才译. 锰结核矿址的圈定与评价[M]. 北京: 海洋出版社, 1989
- 8 李裕伟. 应用二维克里金评价大洋多金属结核资源[R]. 深海采矿政策研讨会. 北京: 海洋出版社, 1991. 72~78
- 9 张富元. 太平洋多金属结核富集区结核丰度和品位的地质统计学分析[J]. 沉积学报, 1997, 15(3): 126~132
- 10 朱裕生著. 矿产资源评价方法学导论[M]. 北京: 地质出版社, 1984
- 11 张富元. 用镍等量丰度和镍等量品位圈定和评价大洋多金属结核矿区[J]. 海洋学报, 1996, 18(3): 58~65
- 12 於崇文编著. 数学地质的方法与应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980
- 13 章伟艳, 张富元, 马维林. 东太平洋多金属结核分布的趋势面分析[J]. 东海海洋, 2001, 19(1).
- 14 Isobel Clark. Practical Geostatistics[J]. Applied Science Publishers, Printed in Great Britain by Galliard(Printers), Ltd, Great Yarmouth, 1979
- 15 王仁铎, 胡光道. 线性地质统计学[M]. 北京: 地质出版社, 1988
- 16 靳藩, 范俊波, 谭永东. 神经网络与神经计算机原理及应用[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1991
- 17 王英, 金翔龙. 人工神经网络在多金属结核研究中应用[J]. 海洋学报, 1998, 20(5): 83~89

Theory and Method of Polymetallic Nodule Resources Evaluation

ZHANG Fu-yuan¹ ZHANG Wei-yan¹ WANG Ying¹
YIN Ru-guang² CHENG Yong-shou² HE Gao-wen³

1 (Lab of Submarine Science of SOA , Second Institute of Oceanography of SOA Hangzhou 310012)

2 (National Marine Information Center ,Tianjin 300171)

3 (Second Marine Geological Investigation Brigade of MLR , Guangzhou 510760)

Abstract

The polymetallic nodule deposit is a kind of submarine mineral resources. Except for its two dimension distribution being covered by the thick overlying waters, basic theory and method of submarine mineral resources evaluation, as well as its procedure of exploration and exploitation are similar to those of the land mineral resources. However, it should be thought to select mathematical function and to construct theoretical model based on polymetallic nodule deposit.

The foundational theory and method of polymetallic nodule resources evaluation has been briefly introduced. The principle and the advantage of the resources evaluation methods such as multivariate statistical method (including cluster analysis, factor analysis and trend surface analysis), geostatistics (Kriging) and neural network analysis (back-propagation method) are respectively described in detail. The application examples and calculation results are given out in the forms of tables or figures according to the theory and method. The software of " Evaluation System of Polymetallic Nodule Resources " has been developed by authors for realizing the computerized mobile analysis of cutoff indexes (grade and abundance)-resource amounts - deposit area and its program structure is shown in the paper.

Key words Pacific polymetallic nodules resources evaluation theory and method