

数学地质在冶金地质工作中的作用 及其发展趋势

侯景儒 黄兢先

传统地质学理论及其实践在找矿勘探、发展生产、创造人类文明的过程中起着重要的作用。在它发展的整个进程中,先后与生物学、物理学、化学、天文学及数学等学科相结合,产生了诸如地球物理学、地球化学等边缘学科,从而大大促进了地质学自身的发展。

电子计算机的产生和应用,是二十世纪科学技术最卓越的成就之一,由于它的高速自动运算、逻辑判断、计算精确和存贮信息等无可比拟的功能,引起了整个工业技术上的一次深刻的变革。本世纪六十年代初,电子计算机开始应用于地质学,从此,孕育了一个世纪的数学地质——数学与地质学相结合的边缘学科——诞生了。

数学地质以地质科学为理论基础,以数学为主要方法,以电子计算机为主要工具,根据控制和影响地质体形成、发展的复杂因素,揭示其内在规律,为地质科研及找矿提供定量的依据。数学地质是电子计算机应用于传统地质学的必然产物,也是地质学向前发展的必然趋势。由于数学地质的产生,使传统地质学从定性描述,逐步向定量解释发展,从应用确定性模型转向应用更适于地质作用的概率型模型,从根据观测数据对地质现象的简单描述到在电子计算机上对地质过程模拟,从对地质体的单变量(双变量)研究到使用更多有用信息的多变量研究。这样,复杂地质现象的解释就更为确切和客观。

数学地质发展很快,地质科研及生产中的许多问题都可用数学地质方法去研究。从目前情况来看,数学地质基本上沿着多元分析方法、地质数据处理系统和地质作用的数学模拟三个方向发展(表1)。

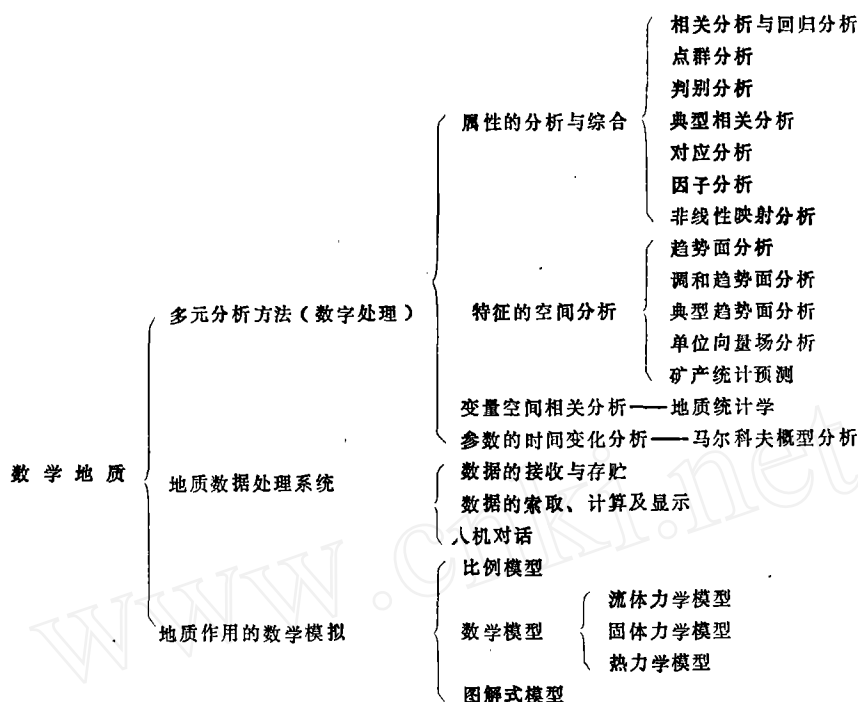
一 冶金地质领域应用数学地质的简单回顾

十多年前,我国冶金地质领域内,数学地质几乎是一个空白,但当电子计算机应用于冶金地质之后,就很快为广大的地质工作者及各级领导所重视。几年来,经过数学地质工作者的辛勤劳动和艰苦探索,数学地质已在冶金地质的各个领域逐步开展起来,并且取得了一定成绩。其中,应用最早、发展最快的是多元分析方法。它是一种数学处理方法,几乎涉及到地质工作的所有领域:从地层、构造、岩石、矿物到矿床成因、成矿预测,从普查找矿到勘探开发,无不应用多元分析方法。

下面简要回顾一下多元分析方法的应用情况。

1. 矿床成因及成矿阶段的研究 应用多元分析方法,结合矿床的地质、地球化学等特征,进行矿床成因分析及划分成矿阶段,在冶金地质工作中已有许多成功的例子。于崇文等人配合陕西冶金地质勘探公司对陕西某镍矿应用数学地质及地球化学方法进行了矿床成因研究,认为该区镍的原始含矿岩相为橄榄岩及斜方辉橄岩类,镍矿形成于岩浆作用的早期,大致相当于晚期橄榄石和早期辉石阶段。由于钴、铜、硫与镍分属于不同的两个公因子,参照其他标志,他们认为镍矿化与钴、铜矿化分别由两种不同的地质作用所形成,前者为早期矿化,后者为晚期矿化。从因子相关矩阵可知,这两期矿化还保存着某种微弱的联系:晚期成矿阶段部分地

数学地质分类表 表1



继承了早期的成矿阶段。

侯景儒等曾对我国北方几个风化淋滤型铁矿床(点)应用数学地质方法进行了成因探讨。对所研究的矿床(点)系统取样,分析TFe、Fe₂O₃、FeO、SiO₂、Al₂O₃、MnO、CaO、MgO、K₂O、Na₂O、TiO₂等11个氧化物,收集了这些矿床(点)的地质、岩石、矿物学的详细资料,为了对比还利用了国外认为是风化淋滤型铁矿的有关资料,结合矿源层及矿石特征、元素地球化学特征的对比,确定了一些矿床(点)的风化淋滤型成因类型,并给出了此类铁矿床形成过程中元素的分异模式图。

另外,孙树浩等人1975年对一个长石斑岩脉型钨铋矿床的成因进行了研究,并划分了成矿阶段。

2.地质体的评价 应用数学地质方法对地质体(如岩体、铁帽、赋矿地段等)的综合评价已为许多地质工作者所采纳。1975年,于崇文等配合陕西冶金地质勘探公司在陕西某地作了这方面的工作。他们利用趋势面分析寻找岩体范围内新的矿致异常,应用逐步多类判别分析对岩体评价地段进行含矿

性评价,利用因子分析恢复岩体的原始含矿岩相、划分成矿阶段和分析矿床成因,利用马尔科夫模型研究镍、钴、铜成矿阶段的划分及其空间分布。此后,应用数学地质方法综合评价地质体的工作迅速展开。周宏坤等应用数学地质对斑岩铜矿的成矿地质条件进行了研究,利用点群、判别、因子分析等方法,区分成型与不成型或无矿岩体,并对岩体的剥蚀深度进行了探讨。

广西冶金地质272队曾利用两类判别,在广西某铜矿区区分菱铁矿铁帽和硫化矿铁帽,经钻探验证,效果良好。该队还利用多类判别对桂东南的铁矿点作了成因分类,并进行成因类型分带,为在该区寻找不同类型的铁矿指出了方向。

3.地层及岩石学研究 众所周知,地层及岩石学是地质工作中经常遇到而且非常重要的基础工作,应用数学地质进行这方面的研究已经取得了初步成效。王世称等应用马尔科夫链综合分析方法,对首钢所属铁矿区的东、西矿带含矿层位进行了对比,提出了该区主要含矿层位的数学地质标志,为地层划分及矿产预测提供了依据。

变质岩的原岩恢复,过去大多采用岩石化学法或根据岩石残留的结构构造。实践证明,数学地质也是进行原岩恢复的有力工具。侯景儒与周世泰等曾对鞍本地区广泛分布的斜长角闪岩及细粒黑云变粒岩进行了数学地质研究,认为本区许多斜长角闪岩应为玄武岩变质而来,细粒黑云变粒岩的原岩因采样地点不同可以是粗面岩,也可以是泥质沉积岩。

4. 矿产统计预测 随着国家建设的需要及找矿难度的增大,有效地进行矿产预测已成为地质工作的迫切任务。应用各种统计方法、综合大量地质信息的所谓矿产统计预测,在冶金地质工作中正逐步展开。广西冶金地质215队曾在广西某矿区的168km²范围内进行了矿产统计预测,确定1km²的单元作为各变量指标的一个统一取值范围,以各单元中心作为统计各观测值的具体位置,以“矿体价值”(单位:万元)为因变量,以许多地质特征为自变量,综合各变量与矿体价值的关系,得出各种控矿因素及找矿标志的最有利于找矿的定量范围,指出了成矿远景区,结合趋势剩余、回归分析、判别分析进一步指出了找矿有望地段并为钻探所证实。

赵鹏大、胡旺亮、李紫金等对首钢铁矿区东矿带进行了大比例尺矿产统计预测,目的是在这个勘探程度较高的矿区寻找隐伏矿体。考虑到本区地质特征,他们采用垂直于矿带走向按一定间距将2800×200m²范围划分为穿透整个矿带的等体积长条形单元共46个地段为多元分析取值的基本单元,选用地质变量12个。某种标志对指导找矿的作用,可通过对这种标志所提供的找矿信息量的计算来评价:

$$I_{Aj \rightarrow Bi} = \log \frac{P(Aj/Bi)}{P(Aj)}$$

式中: $P(Aj/Bi)$ —已知有矿条件下(Bi)出现标志值 Aj 的概率,

$P(Aj)$ —整个研究区中标志值 Aj 的分布概率。实际预测中,概率以频率表示,最后得到公式:

$$I_{Aj \rightarrow Bi} = \log \frac{Ni/N}{Sj/S}$$

式中: Nj —具标志值 Aj 的含矿单元数,

N —研究区中含矿单元总数,

Sj —区内具标志值 Aj 的单元数,

S —研究区总单元数。

经计算,该区内信息总量大于1的单元中找到铁矿的概率为0.07,而在小于1的单元其概率仅为0.025。据此,应用信息总量 ≥ 1 作为划分含矿远景区,认为本区有找矿潜力,并指出了找矿具体范围。此外,他们还应用多元分析方法对块段进行研究,指出了找矿方向。

应用矿产统计预测方法进行预测,在全国各个系统均已展开。中国地质科学院李裕伟等在福建某地的铁矿预测就是一个很好的例证,这里不一一列举。

5. 应用地质统计学(克立格法)计算储量 地质统计学为数学地质中几乎独立的一个分支。它不但对矿床储量计算有其独特优点(见本文第三节),为世界许多国家普遍采用,而且还可以用来处理物化探异常、各种地质参数(蚀变等)以及环境保护监测数据。

在我国,应用该法进行储量计算还刚刚开始。本文作者和王书惠等应用该法对首钢某铁矿床储量进行了计算。为了进行克立格估计,将2600×800×750m³的估计范围划分为200×100×50m³的估计单元共1560块,在垂直方向上,用7个钻孔的可溶铁含量计算本区垂向半变异函数(图1、2),在水平方向计算了四个方向的半变异函数,经过结构分析得出本区半变异函数的有关参数(表2)。

根据半变异函数,应用点随机克立格法求出克立格数系数 λ_i ,然后应用 λ_i 代入估计公式对各待估块段的品位逐个估计,最后对该矿床进行了总体估计,求出了总储量,给出了矿床(品位分布)模型。

此外,作者还对北京某铁锌矿床的金属锌储量用该法进行了计算,对一个矿区的物探磁异常进行了试验性研究并和四次趋势面分析作了对比。

6. 构造研究 数学地质用于地质构造的研究已经引起许多人的重视并有许多成功的例子。中国科学院地质研究所刘承祚等对我

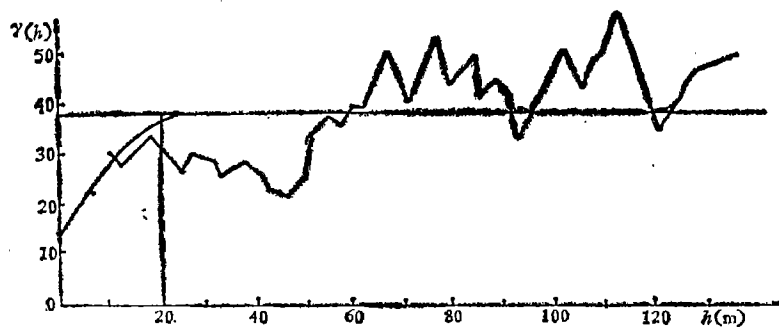


图1 铁矿区(钻孔CK5)可溶铁变异曲线

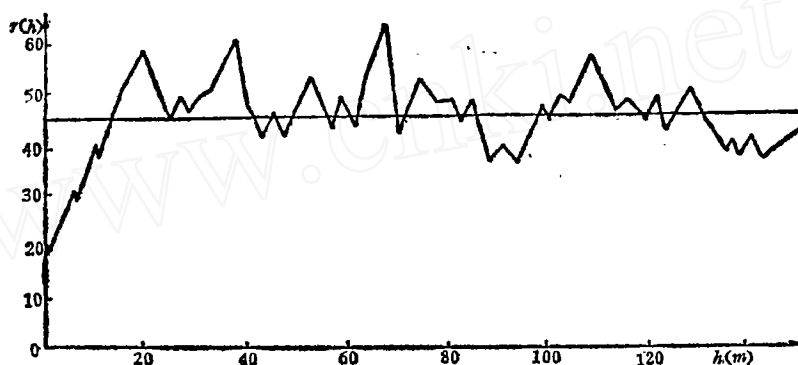


图2 铁矿区垂直方向可溶铁平均变异曲线

表 2

不同方向可溶铁平均半变异函数的参数	$a(m)$	C	Co
垂 直 方 向	20.7	27.98	17.16
水 平 方 向	240	7.611	11.0
垂直方向相对于水平方向的变异	220	20.0	6.0

裂的预测也有积极作用。

二 数学地质方法应用中的若干问题

1. 准确了解方法的实质及其应用条件

为了提高数学地质方法的应用效果,除对研究对象的地质特征要有充分认识之外,还必须针对所要解决的实际问题,有的放矢地选用适当的数学地质方法。要做到方法选择准确,重要的一点是对方法的实质及其应用条件有足够了解。

例如,点群分析是应用最多的数字分析方法之一。用于点群分析的相似性函数,有相关系数、相似性系数、距离函数及误差平方和等。使数据规一化的方法有标准化及正规化两种。通常,人们为了不漏掉有信息,总是既把数据标准化又将其正规化,计算时几乎将上述几种相似性函数全部使用一遍。这样做既浪费时间,又会由于方法之间配合

国不同方向构造断裂长度进行了统计分析。他们统计了对中国大地构造特点起控制作用的北北东—北北西向(第一组)和北东东—北西西向(第二组)两套X型剪切断裂,以及不属于此类型的第三组断裂的断裂线长度,通过对这三组共1500条断裂线的研究,认为北北东—北北西向剪切断裂的长度数据很接近皮尔逊Ⅲ型分布,这两套X型断裂是一定应力场作用下的产物,因而可看作是确定性成因的,而第三组断裂的长度数据和皮尔逊Ⅲ型分布接近程度较差。构造断裂长度的统计分析具有一定的理论意义,同时它对未知断

不当造成混乱从而影响地质效果。关于这一点,可以从下面的例子得到说明:假设有5个样品要进行分类,已知其中1,2号样是铜矿样,3号是铜矿化样,而4,5号确知为非矿岩石样。对这5个样品用Cu、Ag两个元素作变量进行Q式点群分析。经正规化后的数值,分布于0~1之间(表3)。这样4,5号样品因其Cu、Ag的低含量将分别位于以Cu、Ag表示的二维坐标系的两个坐标轴上(图3),当我们采用相似系数S时,4,5号样品便由原来最相似(均属无矿岩样)变成了最不相似。这是由于相似系

表3

样品号	1	2	3	4	5
变 量					
Cu(%)	0.9	0.7	0.3	0.1	0.0
Ag(γ/g)	0.95	0.8	0.4	0.0	0.15

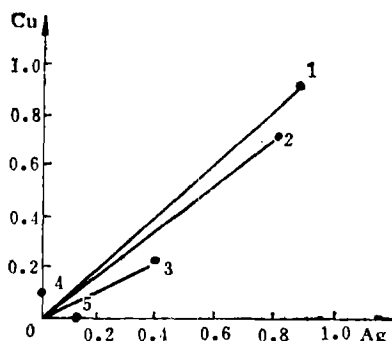


图3 点群分析

数值S实为以变量表示的n维空间中样品间夹角 θ 的余弦($n=1, 2, \dots$), θ 愈小, $\cos\theta$ 愈大,表示两个样品愈相似。 $\theta=90^\circ$ 时, $\cos\theta=0$,即两个样品最不相似。图3中4,5号样便属后一种情况。另外,倘若在所有样品中,某一个样品的所有变量值均属最低,它在坐标系中便位于坐标原点(图4)。这样该样品与所有样品的夹角均为0,表示它与所有样品具有相同的相似性程度。即使采用多个变量也是一样。这一结果显然是不对的。产生上述错误的原因,就在于方法选用不当,即应在正规化后的数据作相似系数

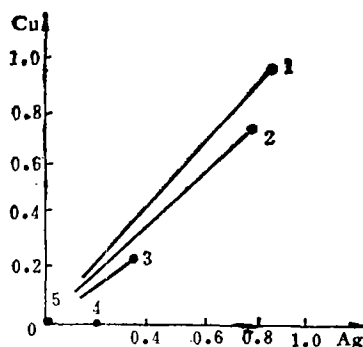


图4 点群分析

的计算,类似上述实例的情形必将造成分类上的混乱。

2.有关变量的选择 众所周知,选择变量是多元分析的关键。变量选择不当,会使研究工作事倍功半,乃至失败。在逐步多类判别分析和回归分析中,目前常用程序控制在电子计算机上进行逐步优选变量,一般来讲这样能够得到较为满意的效果。但机器选择有其局限性,只能做到相对的“择优”,而且它与最初所用变量组的特征有直接的关系。如果所用变量组包括了研究对象的重要信息,并预先对一些干扰因素作了剔除,则最后机器所选变量也就较为可靠。有些情况下,除机器选择变量外,还要加入一些经地质分析认为有意义的变量,甚至还要适当剔除机器选出的某些变量,才能得到满意的地质效果。

必须强调指出,应用数学方法选择变量时,一定要注意地质变量自身的特征,不能把数学上的空间关系,全盘套于地质学。例如,在作样品Q式点群分析之前,通常先进行R式分析,选出那些不相关的变量。这种作法是完全沿用了欧氏空间概念,即把变量看成n维欧氏空间中的n个正交坐标轴,把样品看成其中分布的点,并由此规定Q式点群分析所用变量必须正交。事实上,对样品进行分类,只要选择那些类间差大的对分类有利的变量即可,而不一定要求变量正交。实际工作中,不正交(即相关)的变量有时对于分类更为适合。例如为寻找斑岩铜矿,利用元素含量对斑岩体进行评价时,行之有效的变量往往是铜、银、钼(铅、锌),其中

铜、银在多数矿床上具有相关关系（即不正交）。这就说明所选择的变量相关与否要按实际情况来定，况且在统计学中的变量相关是指同一总体而言，而多重总体变量的相关—独立性基本上已失去了这一概念的原来含义。

3. 方法本身的条件限制问题 每一种多元分析方法的应用是有条件的，满足方法要求的条件才能得到良好的地质效果。例如，地质统计学中的点克立格法、逐步多类判别分析法等，均要求参加计算的变量属正态分布，矿产统计预测要求矿床（点）在研究区为随机分布。因此，必须十分注意方法的应用条件。

三 对今后冶金系统发展数学地质的几点看法

1. 开展地质统计学研究，逐步改变储量计算方法 当前，地质统计学在计算矿产储量时已为世界许多国家所用。这是因为除了地质统计学有其独特优点之外，同时也因为过去所用的储量计算方法有以下三个不足之处：①以矿块边部样品长度加权得出平均品位，作为整个块段品位的计算方法，对于复杂矿体常常存在着系统偏差。南非的克立格（D.G.Krige）对某金矿的品位值，对比之后发现：高品位矿石块段的品位值估计偏高，低品位矿石块段的品位值估计偏低，其原因之一是一个样品的体积不可能恰恰等于其影响范围。②传统方法可以计算出矿石品位平均值，但不能反映矿化强度（离散度）这个对矿产开采设计有重要意义的特征，③传统方法可以计算出矿床总储量并可对品位分级，但不能给出品位在矿体中的分布特征，特别是没有给出有经济意义的矿块的具体位置和大小。造成上述情况的根本原因之一，是在进行地质找矿和储量计算时，没有同时考虑地质特征（如品位）空间分布的结构性和随机性这两个相当重要的特点。为了解决这个问题，经克立格提出（1951年）、马西隆（Matheron, 1962年）改进并系统化，形成了所谓的地质统计学（Geostatistics）（又叫克立格法）。该法是以矿石品

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（regionalized variable）为核心，以变异函数（Variogram）为基本工具的数学地质方法。它要求在估计误差的方差极小的条件下，通过对待估块段影响范围之内所有品位值进行加权平均来估计待估块段的平均品位。对于一个矿床进行地质统计研究之后，可以给出：①该矿床的矿石总储量或某金属的平均品位及其大于工业品位的总储量，②矿床地质（矿石品位分布）模型，③矿石可采储量，以及④矿山设计和矿床经济效益分析所需之地质资料。

为了提高计算精度，扩大方法的应用范围，地质统计学除目前应用最广的点克立格法之外，还有泛克立格法，析取克立格法及条件概率分布法等，其应用范围也从估计品位，计算储量，发展到用来评价区域矿产资源及研究勘探方法（如勘探网度、取样方法）等。

我国从1978年开始这一方法的研究并在几个矿床上应用点克立格法进行了试算。为了提高方法的计算精度，提高可靠的矿产储量，地质统计学今后的研究重点是：①变异函数，它是综合地质特征的结构性及随机性的重要手段，必须提高结构分析方法，深入研究其意义。②地质统计学的基本理论，③通过对不同矿种和类型矿床的储量计算，积累经验，提高方法应用效果。

2. 普及矿产统计预测 矿石预测无论对普查找矿或详查勘探，都是相当重要的。以往的矿产预测工作，着重考虑的是有利的成矿构造带或有利的成矿岩相带，或者结合物化探异常进行综合分析。由于找矿难度越来越大，加之矿石因素又十分复杂，只考虑少数几个因素是无法反映复杂的矿石过程的，从而给定量预测矿床赋存部位带来困难。为了适应上述找矿条件，阿赖斯首先（Allais, 1957年）提出了在一个小单元内发现金属的概率模式。随后格里菲斯（Griffiths, 1966年）考虑到矿体成群出现的概率，修正了阿赖斯模式，并对矿体的空间分布特征应用了不同的函数。同年，哈里斯对矿产统计预测方法作了重大改进，他考虑到区域地质特

征,把在测区所观测的结果与地质图上反映出来的各种地质特征定量化,然后进行概率统计分析,预测不同地区找到工业矿床的总量。

矿产统计预测方法可概括为以下几步:

1)总体的选择及分布类型的检验,这是因为许多统计方法要求总体是随机分布,2)选择控制区(已知区)或控制单元,以便将已知区的研究成果在地质条件基本相似的条件用于研究区,3)选择地质变量,4)划分统计单元,将研究区按一定大小网格划分成等面积的小单元,5)预测研究区找到大、中、小型各类矿床的潜力,6)预测成矿远景区,根据控制区建立的数学模型,求出每一小单元内可能找到矿床的概率,最后指出成矿区。

3.加强地质理论研究及野外地质观测

对数学地质的评论,概括起来有四种看法:

1)苏联的维斯奇里乌斯(А.Б.Вистилюс)等认为,从现有地质理论出发,对野外及室内所得的观测数据采用现有数学方法即可解决地质学中的有关问题。他强调地质理论及野外观测对数学地质的作用,并提出了数学地质的若干任务。2)以美国的梅里安(D.F.Merriam)为代表的欧美学者,认为地质作用相当复杂,过去尽管有数学公式可被应用,但由于计算任务庞大而无法实现,只有在电子计算机产生后才有可能将这些方法应用于地质学,因而非常强调电子计算机在地质定量化中的作用。3)沃罗宁(Ю.А.Воронин)认为,目前的地质学概念无法应用数学。4)别罗乌索夫(В.В.Белоусов)认为,地质学太复杂,不能用数学解决。通过几年来的实践,我们认为数学地质是一种有效的手段,为了迅速而稳步的发展数学地质,必须强调野外地质观察及室内检定。这样,不但能取得更多的有用信息,而且可以将数学地质成果与其他方法相互配合,综合分析。同时,我们还必须强调数学和电子计算机在发展数学地质中的重要作用。因此,地质、数学和电子计算机的密切配合是发展数学地质的关键,不能偏废。

4.深入研究和大力普及多元分析方法

目前应用于实践的多元分析方法已有几十

种,但由于不注意方法实质及应用条件而常常影响了地质效果。例如什么地质问题在什么条件下用什么方法来解决?选择哪些地质变量才能取得最好的地质效果?为了适应方法的要求怎样对数据进行预先处理?为了解决某些特殊地质问题还要研究哪些新方法?等等。所有这些问题都要从深入研究方法,修改或重新设计计算程序,研究方法应用条件来解决。同时,在大力普及现有方法的情况下,通过生产实践就能更快地发现问题,解决问题,使数学地质不断的向前发展。

5.着手数据处理系统的研究 数学地质的另一个十分有用的分支是数据处理系统(表1)。它是通过电子计算机对大量的地质资料及数据建立一套自动存贮、索取和处理的系统。在该系统中,有能解决各种地质问题的程序库。有能存贮大量地质数据及资料的数据库及资料库,它可以为地质科研及生产单位及时而准确地提供所需之地质资料及有关数据,并且根据需要进行显示及处理,为人们提供结论性意见。可见数据处理系统能更有效地和充分地使用现有资料,加快地质工作速度,有利于综合分析及理论归纳。所以,有人认为数据处理系统可能改变传统地质学的观念和工作方法。

当前,许多国家都在这方面进行研究并用于实践,例如美国地质调查所采用了一种大型数据存贮系统“NIPS”,加拿大采用自动适应灵活存贮和索取系统“SAFRAS”,瑞典设计了野外存贮与索取系统“GEOMAP”,国际地科联有一个专业组织:国际地质数据存贮、自动处理和检索委员会“COGEODATA”。有人认为,今后矿产资源的评价基础是矿产资源数据库,可见,数据处理系统在今后地质工作中处于何等重要的地位。

我国在这方面的工作刚刚开始。胜利油田和华东石油学院在该油田建立了探井数据库(所用计算机为法国的IRIS60通用电子计算机)。冶金地质领域这方面仍为空白,鉴于这一工作在实现地质科技现代化方面的重要作用,建议尽早着手研究。

6.地质过程数学模拟的研究

(下转第85页)

不过,我国有些大中型多矿段矿床不是采取分期分段勘探的,勘探深度过大,造成投资多,勘探周期长。

分期分段勘探为分期分段建设提供资源基础。在进行分期分段勘探前,关键在于合理地划分矿段和正确选择先期勘探和开采地段。根据已往经验,矿段划分一般应按矿体自然分段,即把矿体间不连续,有较大的无矿间隔,开采时互不崩落影响,并能形成完整的开拓系统的单元,划为不同的矿段。对有些矿体规模大的大型矿床,也可以根据建设规模、矿石类型等划分的开拓范围划分矿段。先期勘探块段应选择矿石质量较好,储量较大和开采条件较优越的地段,不能单纯按勘探的难易程度来选择。在进行分期分段建设前,一般需进行矿区总体规划,提出最终规模,分期建设的衔接,进行厂址方案(集中与分散)比较,研究远近结合等问题。因此,在提交分段地质报告时,对矿区范围内已知其余矿段和深部,应有稀疏工程控制,

初步查明矿体规模、矿石物质组份、矿石可选性及开采技术条件等问题,以使矿山建设总体规划合理。

以上初步小结,只是三十年来广大地质勘探、矿山生产、设计、科研同志辛勤劳动所获得的宝贵经验的一部分。它是在反复实践中积累起来的技术财富,在社会主义建设中曾经发挥了积极作用,受到了广大职工的重视,我们在清除“四人帮”对地质勘探工作造成的破坏、损失的时候,更感这些经验的可贵。现在党中央号召我们要为实现四个现代化而奋发图强,我们一定要虚心学习外国先进经验,吸收近年来的新鲜经验,适应我国生产技术的发展的新水平和社会主义建设的需要,进一步运用毛主席的光辉哲学思想,在新的长征中发展、提高我国金属矿床勘探方法这门技术,使之现代化、理论化。欣逢社会主义祖国国庆三十周年,心潮澎湃,投文以表心意,限于水平和工作的局限性,不当之处,请予指正。

主 要 参 考 资 料

(1) 桂林冶金地质研究所勘探方法专题组,《铁铜矿床勘探三十例》,1975.3。

(2) 周秋兰,1977,“对铁矿储量分级条件问题的几点认识”,《地质与勘探》1977.6期。

(3) 《金属矿床地质勘探规范总则》,地质出版社,1978.8。

(4) 冶金部有色冶金设计院系统“铜矿床地质勘探

程度经验总结”编写组,《铜矿床地质勘探程度经验总结》,1977.10。

(5) 周秋兰,1977,“谈谈勘探类型和勘探网度问题”,《地质与勘探》1977,5期。

(6) 铁矿山地质勘探程度总结编写组,《从矿山生产实践与探采对比铁矿床地质勘探中几个问题的讨论》,1978.1。

(上接第96页)

规模大,过程长,而且不可能再现。传统地质学对地质作用的了解是采用观测一对比—归纳—提出假设—实际检验的定性描述方法,而地质过程的数学模拟则是用数学模型来模拟各种地质现象并对它进行定量解释,其方法要点是:1)野外及室内的调查研究,2)根据调查结果构成数学模型,选择适当函数进行拟合,3)根据实际资料,确定必要参数,进行模拟计算,并且修改参数,反复计算,直至与实际相似,4)检验模拟结果,如与实际不符,找出原因,或修改模型,或改变计算方法,或改变参数取值,反复计算,直到满意为止。很明显,通

过改变各种参数,修改数学模型,就可以了解地质作用发展演化的全过程,这将有助于预测,并且可能发现至今尚未观测到的然而又有可能存在的某些地质现象。

地质过程的数学模拟,目前尚处于研究试验阶段,国外只是在沉积学、地层、构造和古生物等方面有专门的研究成果,我国也有人开始地层等方面的研究,而冶金地质系统工作中尚无人研究,鉴于该法对了解地质过程,研究地质理论,进行矿产预测都有很大益处,而且对地质学的发展可能会产生深远影响,因此,我们也应该着手研究这方面的问题。