

● 沈步明 沈远超 著

金属矿山地质数据库与地质统计学

科学出版社

金属矿山地质数据库 与地质统计学

沈步明 沈远超 著

科学出版社

1994

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书主要介绍了金属矿山地质数据库系统以及地质统计学、分形理论在矿床地质上的应用。全书共分十七章。分别对数据库的计算机语言；地质统计学在表征矿床空间分布特征以及储量计算上的应用；分形理论在金属矿地质上的应用及其意义；金属矿床地质；常规的地质储量计算方法；金属矿山地质数据库系统简介和总控程序；地质信息数据库的数据输入；数据格式转换程序，备份数据库程序；数据库的数据检索程序；块段法储量计算程序；开拓块段法储量计算程序；地质勘探法储量计算程序；地质统计法储量计算程序，绘图程序及地质报表的输出作了介绍。

本书适用于地质、矿床地质、矿山地质工作者以及高等院校有关专业师生参考。

金属矿山地质数据库 与地质统计学

沈步明 沈远超 著

责任编辑 彭 斌 张汝玫

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

北京市怀柔黄坎印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1994 年 6 月 第 一 版 开本：787×1092 1/16

1994 年 6 月 第一次印刷 印张：17 1/2

印数：1—850 字数：400 000

ISBN 7-03-003918-1/P·728

定价：19.00 元

作者的话

现在已进入信息大爆炸时代，依靠脑子记忆、手工进行数据处理、书面通讯已经远远不能满足科学发展的要求。随着计算机技术的发展，计算机已被各行各业广泛使用，各种各样的数据库管理系统相继问世，数据处理电脑化，数据传递网络化已是大势所趋。本书试图利用微机和绘图仪等现代化手段，以数据库形式，以最新的地质统计学和分形理论为基础，把常规的储量计算与最新的地质统计法储量计算方法结合起来，把矿床的评价、地质储量计算与原始数据（即数据库）、数据处理（即数据处理系统）结合起来，形成一个比较完整的计算机数据库系统。本书中包括了在矿山开采中常用的块段法地质储量计算程序（其中包括采准矿量、备采矿量、回采矿量、剩余矿量、矿柱矿量、副产矿量的计算）和开拓块段法储量计算程序（开拓矿量的计算），以地质勘探钻孔数据为基础的地质勘探法储量计算程序，此外还包括了目前国外比较先进的地质统计法程序，绘图程序，地质报表打印程序等。由于我们编写的地质储量计算程序是以矿脉型为基础，因而具有通用性。但因为各种矿床的复杂程度不一，地质储量的计算方法也多种多样。企图利用一个数据库系统就包括所有计算方法是不可可能的，也是不现实的，应该有以不同目的和不同方法为基础的各种数据库系统。为此，本书愿能起到抛砖引玉的作用，为他人的数据库系统提供一些参考。本书的第五章和第六章由沈远超和沈步明编写，其它各章由沈步明编写。由于我们水平有限，时间仓促，如有错误之处，恳请读者批评指正。

在编写金矿地质数据库系统过程中，曾得到新疆有色金属公司第二矿的刘福成总工程师、李义甫副总工程师和张晋国科长的大力支持，第二矿为本书资助了部分出版费用；陈友明、孔凡信、陆学良、任桂兰、赵润珍、吴俊玲、马美娟、章平传等同志参加了部分的数据库系统的研究工作，在此表示感谢。

作者

1992年6月于北京

目 录

作者的话

第一章 前言	(1)
第二章 数据库的计算机语言	(3)
第一节 数据库的几个基本概念	(3)
第二节 数据库的计算机语言	(4)
第三节 SR6602绘图仪指令	(5)
第三章 地质统计学在表征矿床空间分布特征以及储量计算上的应用	(9)
第一节 地质统计学的研究现状	(9)
第二节 地质统计学的几个基本概念	(9)
第三节 变差函数及其应用	(11)
第四节 变差函数在表征矿床空间分布特征上的意义	(18)
第五节 金属品位平均值的计算方法	(19)
第六节 克立格法与地质储量计算	(22)
第七节 地质统计法储量计算与传统储量计算方法的对比	(28)
第四章 分形理论在金矿地质上的应用及其意义	(30)
第一节 分形学在当代自然科学中的地位	(30)
第二节 分形学的几个基本概念	(30)
第三节 金矿金品位分布的分形结构特征	(34)
第四节 金矿金品位分形维数 D 值的地质意义	(39)
第五节 分形维数 D 值与样品采集之间的关系	(40)
第五章 金属矿床地质	(43)
第一节 地壳的元素分布和成矿作用	(43)
第二节 矿床的成因分类	(45)
第三节 金属矿床的勘探	(49)
第四节 金属矿山地质数据库系统的应用范围	(50)
第六章 常规的地质储量计算方法	(52)
第一节 地质储量和生产矿量的分级	(52)
第二节 地质储量的计算	(53)
第三节 生产矿量的计算	(55)
第四节 常规地质储量计算的难点和对策	(55)
第七章 金属矿山地质数据库系统简介和总控程序	(57)
第一节 金属矿山地质数据库系统简介	(57)
第二节 金属矿山地质数据库系统的安装和启动	(58)
第三节 金属矿山地质数据库系统应用程序的主菜单程序	(58)

第四节	金属矿山地质数据库系统总控程序	(60)
第八章	地质信息数据库的数据输入	(67)
第一节	地质样品数据库 (ADT.DBF) 的数据输入	(67)
第二节	矿块坐标数据库 (KKCO.DBF) 的数据输入	(69)
第三节	矿块地质储量变动数据库 (REN.DBF) 的数据输入	(70)
第四节	地质储量和生产矿量变动数据库 (CLMXOLD.DBF, CLMXNEW.DBF) 的数据 输入	(70)
第五节	掘进工作量数据库 (XDJ1.DBF) 的数据输入	(72)
第六节	采矿工作量数据库 (CCG1.DBF) 的数据输入	(72)
第七节	季度生产矿量数据库 (BBCO.DBF) 的数据输入	(73)
第九章	数据格式转换程序	(75)
第一节	井下数据格式转换程序 (DT.FOR)	(75)
第二节	钻孔数据格式转换程序 (ZK.FOR)	(79)
第十章	备份数据库程序 (REDISK.PRG)	(82)
第十一章	数据库的数据检索程序	(84)
第一节	绘图数据检索程序	(84)
第二节	地质储量计算的数据检索程序	(99)
第十二章	块段法储量计算程序	(106)
第一节	程序的主要功能和计算方法	(106)
第二节	块段法储量计算程序的简要说明	(108)
第三节	块段法储量计算的源程序	(113)
第四节	块段法储量计算的算例	(145)
第十三章	开拓块段法储量计算程序	(150)
第一节	程序的主要功能和计算方法	(150)
第二节	开拓块段法储量计算程序的简要说明	(151)
第三节	开拓块段法储量计算的源程序	(153)
第四节	开拓块段法储量计算的算例	(179)
第十四章	地质勘探法储量计算程序	(181)
第一节	程序的主要功能和计算方法	(181)
第二节	地质勘探法储量计算程序的简要说明	(182)
第三节	地质勘探法储量计算的源程序	(186)
第四节	地质勘探法储量计算的算例	(210)
第十五章	地质统计法储量计算程序	(213)
第一节	井下和钻孔数据处理程序	(214)
第二节	半变差函数计算程序 (GAMA.FOR)	(214)
第三节	地质统计法储量计算程序	(227)
第四节	地质统计法储量计算的源程序	(230)
第五节	地质统计法储量计算的算例	(243)
第十六章	绘图程序	(245)
第一节	样品位置绘图程序	(245)
第二节	品位频率分布和品位分形特征绘图程序	(250)

第十七章	地质报表的输出	(264)
第一节	掘进数据库和采矿数据库的合并	(264)
第二节	矿量数据库的维护	(265)
第三节	地质储量和生产矿量数据库的更新	(265)
第四节	季度和年度报表的输出	(266)
主要参考文献	(270)

第一章 前 言

随着科学技术飞速发展，现在已进入全面的信息时代。在地质勘探、矿山开采领域中也是如此，当前该领域的现状和发展动向是：

(1) 数据成倍甚至以十几倍的速度增长，尤其在矿山开采中，数据增长速度更为明显，如何以最快速度充分地、有效地使用这些数据已成为当务之急。

(2) 地质储量计算是地质勘探、矿山开采中最经常而且又是最繁琐的工作，尤其在矿山开采中，需要进行各种地质储量计算，如：开拓矿量、采准矿量、备采矿量、回采矿量、剩余矿量、矿柱矿量、副产矿量等，即所谓三级矿量管理。随着井下工程的掘进和矿石的开采，上述各种矿量都要产生相应的变化，并且这些矿量变化比较频繁，因此，利用计算机代替手工进行地质储量和矿量的计算，使三级矿量管理计算机化，已成为当务之急。

(3) 对于一个矿山来说，地质报表的汇总和打印又是一项既经常又繁琐的工作，月报、季报、年报耗时、耗力。因此地质报表的计算机化也是当务之急。

(4) 有色金属矿床，特别是金矿床，矿体形态都比较复杂，金属品位变化很大，严重影响地质储量计算的精度。为了解决这个问题，目前在国内主要采用距离、面积等加权方法，或者采取加密钻孔间距或采样间距的方法，提高地质储量计算的精度，但这些方法不能很好地解决因矿体形态、品位分布不均而影响地质储量计算的精度问题。近一、二十年来，在国外已较为普遍使用地质统计学的方法计算地质储量，即克立格储量计算方法，这种方法不仅是一种无偏的、误差最小的最优储量计算方法，而且，可以定量地描述矿体的空间变化，合理制定钻探网距和采样间距，因而，又是非常经济的方法，但这种方法在国内仍处在研究试用阶段，尚未作为规范在地质勘探和矿山部门使用，其中最重要的原因就是计算过程复杂，无法手算，需要使用计算机。

(5) 近十几年来，科学已进入从线性到非线性，从平衡到非平衡，从有序到无序的研究阶段，分形学、耗散结构理论、混沌论就是在非线性、非平衡研究中发展起来的新兴学科，分形学是定量描述矿床空间分布和金属品位分布的有效手段，许多学者正在利用耗散结构理论探索矿床的形成机制，所有这些研究都离不开计算机。

(6) 近几年来，微机在国内已广泛使用，利用计算机研究矿床的空间变化，计算地质储量，打印地质报表已具备了物质条件。

我们在1986—1989年“加速查明新疆矿产资源”科研项目的工作期间，与新疆有色公司第二矿共同进行“金矿地质数据库和数据处理系统”的研制。本书就是在这个金矿地质数据库和数据处理系统的基础上，进一步扩大、完善、理论化写成的。主要包括两大部分，第一部分是基础理论，其中包括编写数据库系统程序的计算机语言，分形理论在金矿地质上的应用及其意义，地质统计学在表征矿床分布特征及其储量计算上的应用，矿床地质简介，常规矿产储量的计算方法等，这一部分，除了介绍一些矿产地质知

识和常规的地质储量计算的方法外，主要介绍了地质统计学和分形理论的应用，因为分形维数，也具有统计学的特征，因此，地质统计学的理论是本书的重点。第二部分主要包括数据的输入、数据的格式转换、数据的检索、备份数据库、块段法地质储量计算、开拓块段法地质储量计算、地质勘探法地质储量计算、地质统计法地质储量计算、绘图、地质报表打印等几十个源程序。实用性强，内容新颖、方法先进，这是本书的一大特点，目前在国内外尚无利用微机和绘图仪等现代化手段，以数据库系统形式，以最新的地质统计学和分形学为理论基础，把矿床的评价、储量计算与原始数据（即数据库）、数据处理（即数据处理系统）有机结合起来的书籍。本书所介绍的方法不仅适用于金矿的地质勘探和矿山开采，对于其它矿床，特别是对于有色金属矿床都是适用的。另外，本书地质储量计算的方法是以矿脉型为基础，其计算机程序通用性较强，因此，本书不仅具有很大实用价值，而且具有一定的理论意义。

第二章 数据库的计算机语言

第一节 数据库的几个基本概念

一、什么叫数据库

数据库、数据库管理系统(DBMS)、数据库系统是数据库技术中常见的术语，三者有着一定的区别和联系。数据库是存储在计算机内的有结构的数据的集合，形象地说，是数据的“仓库”；数据库管理系统是一个数据库的管理文件，它的职能是维护数据库、接受和完成用户程序或指令提出的访问数据的各种请求。数据库系统由数据库、数据库管理系统、用户程序三部分组成，如图 2.1 所示。

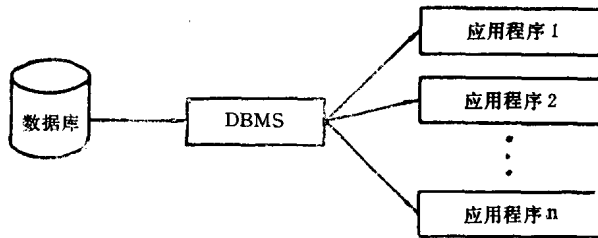


图 2.1 数据库系统示意图

二、数据库的分类

数据库按其结构可分为层次型、网络型和关系型三大类。层次型数据库是以记录为单位的有向树（如图 2.2），这种关系复杂庞大，不易维护。网络型数据库是以记录为结

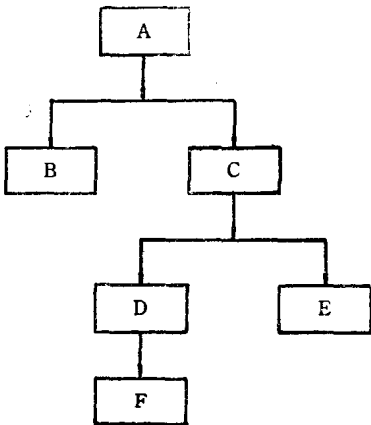


图 2.2 层次型数据库的有向树

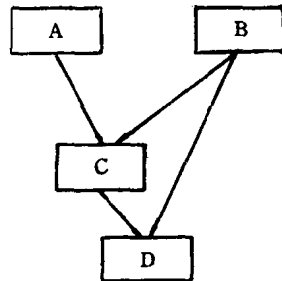


图 2.3 网络型数据库的循环链结构

点的网络结构,采用循环链的结构(如图 2.3),关系型数据库是把数据之间的关系抽象为一张二维表,这个表就称为关系型数据库。表列由若干个字段组成,表行由许多记录组成。字段是最基本的、不可分的、有名字的数据单位,它由若干个字符组成。组成该字段字符的个数称为该字段的长度。记录由若干相互关联的字段组成,组成该记录的全部字段的长度称为该记录的长度。文件是同类记录的集合。数据库是若干文件组成的集合,比如,图 2.4 是职工信息数据库示意图。从图中可以看出,职工信息数据库包括职工文件、工资文件、职工科技档案文件等,在职工文件中又由若干条职工情况的记录组成(每个职工一条记录),每条记录又包括职工号、姓名、年龄、性别等字段。dBASE III 关系型数据库具有功能强、使用方便、应用面广等优点,是目前最为常用的数据库系统。本书的金属矿山地质数据库系统就采用了 dBASE III 关系数据库系统。

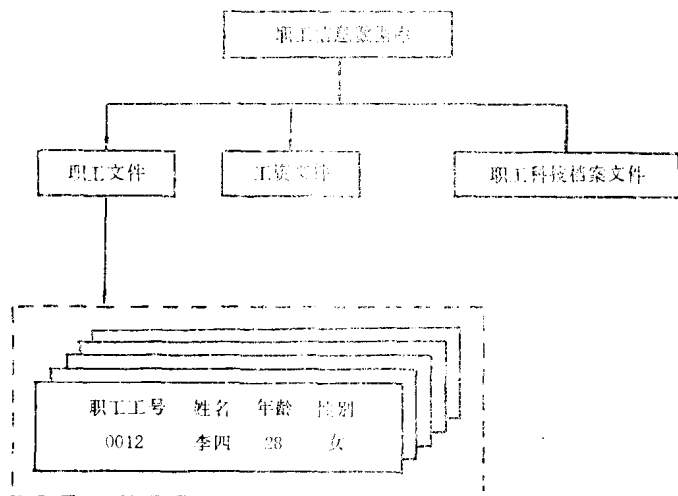


图 2.4 职工信息数据库示意图

第二节 数据库的计算机语言

与金属矿山地质数据库系统有关的计算机语言有 dBASE 关系数据库管理系统、FORTRAN 语言、BASIC 语言、PASCAL 语言等,下面将简要说明这些语言在数据库中所起的作用:

一、dBASE 关系数据库管理系统

本书的矿山地质数据库系统是在 IBM PC/AT (内存 512KB) 微机上,利用汉化 dBASE III 关系数据库管理系统编成的。样品数据的输入、查询、检索、索引等程序都是采用 dBASE III 关系数据库管理系统的指令编成。

二、FORTRAN 语言

地质储量计算是金属矿山地质数据库系统的核心,它涉及到大量复杂的数据处理,

编写计算机程序时不仅要使用大量的变量,而且,程序也很长,因为 dBASE III 的数据处理功能不强,就连最简单的数组变量都没有,因此,不能利用 dBASE III 的指令直接编写地质储量计算程序, BASIC 语言虽然具有比较强的数值运算功能,但是运行速度慢,内存小,不能进行非常复杂的数据处理,为此,在金属矿山地质数据库系统中,块段法地质储量计算程序、开拓块段法地质储量计算程序、地质勘探储量计算程序、地质统计法储量计算程序、等值线图程序以及其它绘图程序都是利用 FORTRAN-77 语言编成,编辑后的目标程序,在利用 PASICAL 语言编写的总控程序控制下运行。

三、BASIC 语言

如上所述,由于 BASIC 语言运行速度较慢,内存小,对于复杂的数据处理有困难,没有使用 BASIC 语言编写地质储量计算程序,但是,利用了 BASIC 系统的屏幕绘图指令编写矿块样品坐标位置屏幕显示程序。

四、PASICAL 语言

金属矿山地质数据库系统原想在 AST386/390 微机上,利用汉化 dBASE III PLUS 关系数据库管理系统编成,但考虑到目前 386 微机不如 IBM PC/AT 微机普及,另外,汉化 dBASE III PLUS 虽然有几个版本,但是,往往只限于在某种汉卡或某种软汉字系统下运行,而汉化 dBASE III 关系数据库管理系统对汉字系统要求没有那么严格,为此,金属矿山地质数据库系统将在 IBM PC/AT (内存 512KB) 微机上,利用 dBASE III 关系数据库管理系统编成。又因为本系统的地质储量计算程序的变量多,语句多,不能在 dBASE III 系统控制下,利用 RUN 指令运行,为此,本系统的总控程序是利用 TURBO PASICAL 语言编成。它将启动金属矿山地质数据库系统以及控制利用 FORTRAN-77 语言编写的程序的运行。

第三节 SR6602 绘图仪指令

在金属矿山地质数据库系统中,利用 SR6602 绘图仪编写了等值线绘图程序、样品坐标位置绘图程序和品位频率分布图等程序。由于 SR6602 绘图仪型号比较老,市场上已经难于买到,为了便于读者把本程序中有关语句修改后能够继续使用,在本节将简要介绍 SR6602 绘图仪的指令。

(1) 定义笔的移动速度: SP

格式: SP; P₁

P₁ 可在 1—6 之间取值,其笔的移动速度见表 2.1。

(2) 初始化指令: IN

格式: IN

执行指令 IN 后,使打印头取 1 号笔,并停留在初始位置,等待绘图指令。

(3) 结束指令: TE

表 2.1

P_1	笔的移动速度 (cm/s)
1	20
2	15
3	10
4	7
5	5
6	3

格式: TE

执行指令 TE 后, 把笔送回到原来位置, 然后还回到初始化位置。

(4) 定义比例尺: DF

格式: DF; $P_1, P_2 [P_3, P_4]$

指定 X 轴的比例尺为 $P_1 \div P_2$; Y 轴的比例尺为 $P_3 \div P_4$ 。如果 P_3 和 P_4 被省略, 则 $P_3 = P_1, P_4 = P_2$ 。如果 P_1, P_2, P_3, P_4 全部被省略, 则 $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 1$ 。

(5) 定义点线和点虚线的长度: DS

格式: DS; P_1, P_2

P_1 为实线段长度; P_2 为虚线段长度。如果 P_1, P_2 不作声明, 则其初始值为: $P_1 = 20, P_2 = 10$ 。

(6) 定义直线的种类: LT

格式: LT; P_1

P_1 为直线种类的参数。其参数见表 2.2

表 2.2

P_1	直 线 的 种 类
0	实 线
1	点 线
2	点 虚 线
3	双倍的点虚线

当执行这条指令后, 绘图仪将按 LT 指令的参数, 利用指令 RP, AP, RC 和 AC 绘制线段。如果 P_1 不作声明, 则其初始值为 $P_1 = 0$, 即实线。

(7) 定义字符高度: SH

格式: SH; P_1

P_1 为字符高度, 其单位为步长, 每个步长等于 0.1mm, 如果 P_1 不作声明, 则初始值为: $P_1 = 30$, 即为 3mm。

(8) 定义字符宽度: SI

格式: SI; P_1

P_1 为字符的宽度 (包括字符本身宽度和字符之间的间隔)。

(9) 定义坐标轴标记的长度: DH

格式: DH; P_1

P_1 为刻度标记的长度, 如果 P_1 不作声明, 即其初始值为: $P_1 = 15$ 。

(10) 斜体字符的起始指令: SC

格式: SC

(11) 斜体字符的终止指令: EC

格式: EC

(12) 笔的选择指令: NP

格式: NP; P_1

P_1 为笔的位置编号, 如果 P_1 不作声明, 则 $P_1 = 1$ 。

(13) 笔的移动: AP, RP

格式 I: AP; P_1, P_2, P_3

格式 II: RP; P_1, P_2, P_3

格式 I 表示以原点为起点, 笔在 X 轴上移动 P_1 步长, Y 轴上移动 P_2 ; P_3 表示持笔方式, 当 $P_3 = 0$ 或 1 时, 笔保持原来状态, 当 $P_3 = 2$ 时, 笔向下, 当 $P_3 = 3$ 时, 笔向上。如果 P_3 为负时, 以新点为原点。

格式 II 表示以现在位置为起点, 以 $P_1 - P_3$ 为参数, 移动所指定的位置。

(14) 起伏线或点的绘制指令: AM, RM

格式 I: AM; $P_1, P_2, P_3, P_4, X_1, Y_1, \dots, X_i, Y_i$

格式 II: RM; $P_1, P_2, P_3, P_4, X_1, Y_1, \dots, X_i, Y_i$

格式 I 表示以原点为参考点, $P_1 - P_4$ 为参数, 把点分别投在 $X_1, Y_1, \dots, X_i, Y_i$ 位置上。其中, P_1 为点与点之间连线的类型, 如果 $P_1 = -1$, 则为点线; 如果 $P_1 = 0$, 则为虚线; 如果 $P_1 = 1$, 则为点—虚线; 如果 $P_1 = 2$, 则为二点虚线。利用 P_2 指定是否同时画标记和连线, 如果 $P_2 = 1$, 则既画点的标记, 又画连线; 如果 $P_2 = 0$, 只画点的标记; 如果 $P_2 = -1$, 表示仅画连线, 而不画投点的标记。 P_3 为投点标记符的编码。 P_4 为投点标记符的高度。 $X_1, Y_1, \dots, X_i, Y_i$ 为投点的坐标位置。

格式 II 表示以现在位置为参考点, $P_1 - P_4$ 为参数, 把点分别投在 $X_1, Y_1, \dots, X_i, Y_i$ 位置上。

(15) 写字符指令: AS, RS

格式 I: AS; $P_1, P_2, P_3, P_4, A_1 - A_n$

格式 II: RS; $P_1, P_2, P_3, P_4, A_1 - A_n$

格式 I 表示以原点为参考点, 按 $P_1 - P_4$ 为参数, 打印字符 $A_1 - A_n$ 。其中 P_1 和 P_2 为开始写字符位置的 X 轴和 Y 轴的分量。 P_3 为字符高度 (可在 1—255 之间取值), P_4 为打印方向 (单位为 1°)。

格式 II 表示以当前点为参考点, 按 $P_1 - P_4$ 参数, 写字符 $A_1 - A_n$ 。

(16) 轴的绘制指令: AX, RX

格式 I: AX; $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9$

格式 II: RX; $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9$

格式 I 以原点为参考点, $P_1 - P_9$ 为参数, 绘制坐标轴, 其中 P_1 和 P_2 分别为轴起点位置的 X 轴分量和 Y 轴分量, P_3 为轴的长度, P_4 为轴的方向, P_5 为刻度值的字符高度 (1—255), P_6 为刻度标记的位置 (如果 $P_6 = 1$, 则刻度标记画在轴的上边; 如果 $P_6 = -1$,

则刻度标记画在轴的下边；如果 $P_6 = 0$ ，则刻度标记画在轴的下边，并且打印刻度值）， P_7 为刻度的起始值， P_8 为刻度标记的间隔， P_9 为刻度的增值。

格式 II，以当前点的位置为参考点， $P_1 - P_9$ 为参数，绘制轴线和轴的刻度标记以及刻度值。

(17) 圆、圆弧和弧的绘制指令：RC

格式：RC； P_1 ， P_2 ， P_3 ， P_4

以当前点为圆点， P_1 为起始点的半径（即圆心与起始点之间距离）， P_2 为终点的半径（即圆心与终点之间距离）， P_3 为起始线与 X 轴之间的夹角（单位为 1° ）， P_4 为终止线与 X 轴之间的夹角，绘制圆、圆弧和弧。

(18) 圆、圆弧和螺（旋）线的绘制指令：AC

格式：AC； P_1 ， P_2 ， P_3 ， P_4 ， P_5 ， P_6

以绝对点为圆心点， P_1 为圆心的 X 轴分量（以原点为参考点）， P_2 为圆心的 Y 轴分量， P_3 为起始点的半径， P_4 为终点的半径， P_5 为起始线与 X 轴之间的夹角， P_6 为终止线与 X 轴之间的夹角，绘制圆、圆弧和螺（旋）线。

(19) 指令之间的分隔符：EB

格式：EB； A_1

A_1 为分隔符，它仅包括一个字符。

(20) 指令串的开始符：EX

格式：EX； A_1A_2

A_1A_2 表示二个字符，如果被省略，则以回车、换行符（CR 或 LF）作为指令串结束符。

(21) 带笔还回到初始位置指令：HM

格式：HM

该指令执行后，带笔还回到初始位置。

第三章 地质统计学在表征矿床空间分布特征以及储量计算上的应用

第一节 地质统计学的研究现状

地质统计学起源于克里格法的储量计算。克里格法的储量计算是南非采矿工程师克里格于 1951 年首次提出来的 (D.G.Krige, 1951)。它是利用邻近若干钻孔 (或坑道) 样品的品位来估计处于这些样品中间某个块段 (甚至某个点) 的品位, 是一种无偏的误差最小最优的储量计算方法。19 世纪 60 年代初, Matheron (1963) 在克里格等人研究成果的基础上进一步理论化和系统化, 从而形成了真正的地质统计学。地质统计学这个概念是 Matheron 于 1962 年首次提出来的。地质统计学是一门新的边缘地质学科, 是数学地质的重要分支, 区域化变量、变差函数、克里格方程组是地质统计学的三大支柱。地质统计学主要解决从矿床勘探到矿山开采过程中的各种储量计算。目前地质统计学已形成了一套完整的理论和方法体系, 积累了大量的实际应用经验。法国、美国、加拿大、澳大利亚、英国和一些拉美国家大力开展地质统计学的研究和应用。自 1977 年以来, 国外一些学者来华讲学, 在国内也翻译出版了许多有关地质统计学的书籍 (A. G. 儒尔奈耳等, 1982; M. 戴维, 1989), 发表了许多研究论文 (侯景儒等, 1984, 1984, 1987, 1989; 杨尔煦, 1984; 吴龙英, 1988), 出版了一些专著 (侯景儒等, 1982; 王仁铎等, 1988), 在地质、冶金、大专院校等部门开展了地质统计学的研究。目前在国内地质统计学尚处于研究和试验阶段, 地质统计学法的储量计算并没有作为规范在地质、矿山部门推广使用。本书除引用国内外地质统计学中的一些成熟的计算机程序外 (A.G. 儒尔奈耳等, 1982; 侯景儒等, 1982), 还把地质样品数据的输入、存储、检索和地质统计法储量计算有机结合起来, 形成了一个完整的系统, 达到了可以解决实际问题的能力, 无疑将促进地质统计学的研究和应用。

第二节 地质统计学的几个基本概念

一、区域化变量

当一个变量呈空间分布时, 把它称之为区域化变量。区域化变量也可以用数学语言表示为: 令 x 是空间 R^3 中的一个点, 而 $z(x)$ 是在 x 点上要研究的函数, 称这个函数为区域化变量。因此, 区域化变量是一个与空间分布有关的变量, 区域化变量 $z(x)$ 的值依赖于空间位置 x , 比如:

- (1) 金属的市场价格，可以看成是随时间变化的价格分布（一维空间）；
- (2) 似水平层的厚度，可以看成是厚度的二维空间分布；
- (3) 品位、密度、回采率、粒度等矿化现象，可以看成是这些变量的三维空间分布。

事实上，在地球科学上所遇到的变量几乎都可以看成是区域化变量。区域化变量不仅可以用于地质学，也可以用于其它领域。

区域化变量通常是高度变异的和非常不连续的，具有规则性的空间变化(结构变化)和随机变化的两重性。利用随机函数可以描述区域化变量的随机属性和结构属性。从局部来说，某特征量（如金属品位） $z(x_1)$ 是在 x_1 点上的一个随机变量，具有随机性的不规则特点，从整体来说， $z(x)$ 又是一个随机函数，可以把它看成是随机变量 $z(x_1)$ 的集合，即对每一个对点 x_1 和 x_1+h ，其相应的随机变量 $z(x_1)$ 和 $z(x_1+h)$ 并不独立，具有某种程度的自相关。这种自相关依赖于分隔该两点的向量 h 和矿化特征，反映了区域化变量的结构特征。

二、区域化变量的三种假设

目前在地质统计学中对区域化变量作出的三种最普遍的假设是弱平稳假设、内蕴假设、泛克立格法假设，使用每种假设所提供的参数估计方法，可以计算出克立格方程和误差方程所需要的基本参数，因此，可以对矿床或块段的储量进行克立格估计。

(1) 弱平稳假设 又称二阶平稳性假设。当一个随机函数满足下列条件时，就称该函数为弱平稳或二阶平稳。

1) 在整个研究区域内，区域化变量 $z(x)$ 的期望是相等的，期望值是：

$$E[z(x)] = m \quad (3.1)$$

2) 在整个研究区域内，协方差也是相等的，协方差只取决于滞后 h ，协方差是：

$$\text{cov}(x, x+h) = E\{[z(x) - m][z(x+h) - m]\} = \kappa(h) \quad (3.2)$$

随机函数 $z(x)$ 的方差是：

$$\text{var}[z(x)] = E\{[z(x) - m]^2\} = \kappa(0) \quad (3.3)$$

(2) 内蕴假设 在许多矿床中，有限的方差不存在。如果不考虑品位本身而只考虑品位的差异，那么变量就具有有限的方差。如果只考虑其增量 $z(x+h) - z(x)$ 时，该增量满足平稳假设，这时可以认为随机函数 $z(x)$ 是内蕴平稳的，其增量的数学期望和方差是：

$$E[z(x+h), z(x)] = 0 \quad (3.4)$$

$$\text{var}[z(x+h) - z(x)] = 2\gamma(h) \quad (3.5)$$

式中 $\gamma(h)$ 为半方差，又称半变差函数，这是地质统计学中的一个非常重要的函数。

内蕴假设的实质是：随机函数 $z(x)$ 的增量 $[z(x), z(x+h)]$ 只依赖于分隔它们的距离 h ，而不依赖于具体位置 x ，在这种假设下，虽然得不到 $z(x)$ 的协方差，但可以得到一个半方差 $\gamma(h)$ ，使用 $\gamma(h)$ 进行储量计算，而避免使用 $\kappa(h)$ ，这样就使地质统计学家在平稳性和遍历性问题面前没有陷入绝境。

(3) 泛克立格法假设 如果在一个限定范围的领域内，假设随机函数 $z(x)$ 或其增量 $z(x+h) - z(x)$ 的二阶矩具有某种平稳性质，而期望值没有平稳性，具有一定