第 14 卷第 4 期　　地 质 与 资 源　　Vol. 14 No. 4
2005 年 12 月　　GEOLOGY AND RESOURCES　　Dec. 2005
文章编号:1671 – 1947(2005)04 – 0293 – 04　　中图分类号:P628;P618.53　　文献标识码:A

地质统计学及其在云南金宝山铂钯矿的应用

刘方成[1],秦德先[1],燕永锋[1],李保珠[1],秦来勇[2],洪　托[1]
(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院,云南 昆明　650093;2. 桂林矿产地质研究院,广西 桂林 541004)

摘　要:应用地质统计学的理论和方法,编制了矿床数学 – 经济模型软件包,并使用该软件建立了金宝山铂钯矿矿床数学经济模型,计算了矿石储量,为提高矿山生产的经济效益、充分合理利用矿产资源提供了科学依据.
关键词:矿床模型;储量计算;地质统计学;变异函数

金宝山铂钯矿是云南省主要铂钯产地,位于云南省祥云县境内,是 20 世纪 70 年代初期发现的一特大型矿床. 铂加钯金属储量 47 t,除含有铂钯外,还伴有铜、镍、钴、锇、铱、钌、铑、金、银等金属,具在重大的经济价值. 如何有效利用和开发该矿床,减少损失,降低成本,提高开发的经济效益和社会效益,是目前矿山开采面临的问题之一.

1　地质统计学基本原理及研究现状

地质统计学是 20 世纪 60 年代初法国马特隆(G. Matheron)教授创立并发展起来的一门边缘学科,是数学地质的一个分支[1~6]. 它是以区域化变量理论为基础,以变异函数为主要工具,采用不同的克立格方法,研究在空间上既有随机性又有结构性的自然现象的科学. 经过 40 多年的发展,目前已初步形成了一套完整的理论体系,提出了一些重要的方法并编制了一些实际有效的软件.

我国自 1977 年开始引入地质统计学,受到广泛重视,国内地质系统的一些科研院所及高校也进行了研究,研制或购买了相应的软件包,如长沙有色冶金设计研究院开发的矿化模型 CAD 管理系统,北京有色矿业总院在引进美国软件包的基础上开发的矿床建模系统(简称 DMS). 这些程序库和软件包在一些大矿山(如江西德兴铜矿、山西中条山铜矿、湖南张家界金矿、广西大厂锡矿等)进行了实践和应用,并取得了很好的效果.

但是,地质统计学作为一门新兴边缘交叉学科,目前尚未在国内得到广泛推广应用. 主要存在如下问题:首先原来的软件包大多是基于 DOS 操作系统,已不适应 Windows 成为计算机操作系统主流的今天;其次,当初引进的地质统计学软件都是英文界面,使得矿山的工程技术人员在操作上有一定的语言障碍,使它的推广应用受到限制;再者,当初引进的软件局限于当时的计算机发展水平,并且制图模块不够灵活多样[7,8].

针对以上问题,编制一套操作简单、界面友好、易于普及和适合中国地质工程技术人员使用的地质统计学软件包,对地质统计学在我国的推广应用和指导矿山生产有着十分重要的理论及现实意义. 昆明理工大学矿产地质研究所经过 3 年的努力,终于成功编制出适合中国国情的矿床数学 – 经济模型(Deposit Mathematics-Economy Modeling)软件包,并在国内 10 多个矿山进行了推广应用,取得了可喜的成果.

2　矿床数学 – 经济模型软件简介

矿床数学 – 经济模型软件包是一种用于建立矿床数学 – 经济模型的综合软件包,该软件包以 Windows 为操作平台,采用 Access 为数据库,以 Visual Basic 为开发工具,结合矿山生产实际开发而成. 与国内外目前同类软件相比,有以下特点:①运行于 Windows 平台之上,中文界面,操作简单,使用方便,结合中国国情,具有易推广和易普及的特点;②提供以文本格式为主、数字化仪录入为辅两种录入手段;③灵活多样的查询、编辑和输出功能以及丰富的报表、图形输入样式;④提供了与其他数据库和相关软件接口的功能,使该系统的数据可被其他数据库管理系统和相关软件查询和编辑;⑤直接面向矿山生产设计者,完成设计者要做的各

收稿日期:2004 – 06 – 08;修回日期:2004 – 08 – 10. 李兰英编辑.
基金项目:云南省自然科学基金项目(2003D0008Q)资助.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

种计算和绘图工作，功能齐全，覆盖了矿山地质设计的全过程.

软件包各模块见程序流程图(图 1)，主要功能如下.

(1)地质原始资料数据库的形成：包括钻孔工程名称、测斜数据、样品品位、岩性代码、地形数据等，并可按指定长度生成工程数据的组合样.

(2)地质数据的统计分析：计算单样、组合样的样品品位的平均值、方差、标准差，并输出相应的统计直方图.

(3)数字高程模型建立：根据矿区已有地形数据建立的三维地形模型.

(4)岩性建模：运用已有的岩性数据对每个单元块进行岩性估值，并结合地质工作者的实际经验来解释地质岩性资料.

(5)变异函数：三维空间任意方向求取矿床实验变异函数值，并自动拟合理论变异函数，完成对矿区范围内区域化变量的结构分析.

(6)品位建模：包括克立格法和距离反比法两种估值方法，对建模范围内的单元块进行品位估值.

(7)储量计算：根据矿山需要，按不同边界品位，计算各个采场的矿产资源储量，对于露天矿山，按用户定义的露天采坑参数，建立相应的露天采场及计算最终露天采坑的储量及剥采比.

(8)根据生产成本和市场变化情况，确定矿床临界品位及进行经济效益的动态分析.

(9)图形绘制：包括地形图、工程分布图、岩性分布图、品位分布图和品位等值线图.

3 软件包的推广应用

“矿床数学－经济模型”软件包开发成功后，已先后在云南省大姚铜矿、晋宁磷矿、广西大厂锡矿、云南省元江金矿等 10 多个矿山推广应用，取得了良好的效果，得到了矿山的一致好评. 以云南省金宝山铂钯矿为例说明其应用效果.

(1)建立了金宝山铂钯矿原始资料数据库，矿山可随时进行检索、更新和调用，有利于矿山生产的动态管理.

(2)对矿区内约 8000 个样品进行了统计分析，结果表明，Pt 的最高品位为 5.84×10^{-6}，最低品位为 0.01×10^{-6}，平均品位为 0.21×10^{-6}，变化系数为 171.4%；Pd 的最高品位为 8.61×10^{-6}，最低品位为 0.01×10^{-6}，平均品位为 0.31×10^{-6}，变化系数为 170.9%，说明矿床属极不均匀变化矿床. Pt、Pd 品位服从对数正态分布，可选择对数克立格法进行品位估值.

(3)建立了矿区的数字高程模型(DEM)，这给矿体

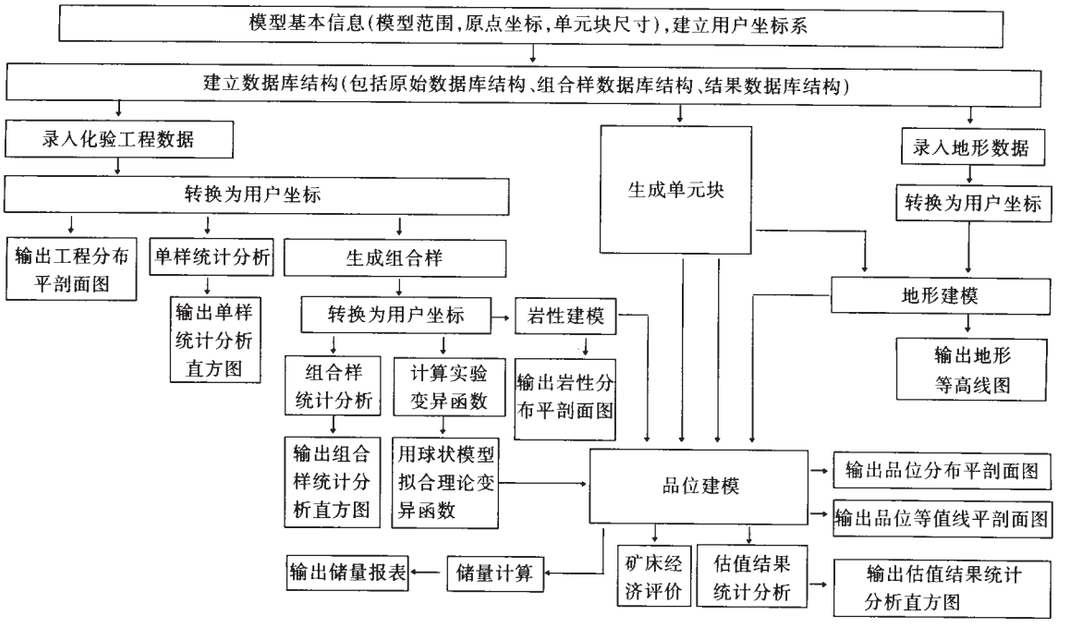


图 1 矿床数学－经济模型系统流程图

Fig. 1 Flow chart of the Deposit Mathematics-Economy Modeling System

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

圈定、储量及剥采比计算带来了极大的方便，节省了人力物力.

(4)根据金宝山铂钯矿的矿体形态、产状及矿化空间分布，分别计算了矿体走向、倾向和厚度 3 个方向的实验变异函数，并对各方向变异函数进行了套合. 通过变异函数计算，得到变异函数参数(表 1)，并计算了平均实验变异函数及理论变异函数(图 2).

表 1　变异函数参数表

Table 1　The parameters of variogram

方向	块金(C_0)	拱高(C)	基台(C_0+C)	极限变程(a)
走向	30	72	102	190
倾向	15	50	65	110
厚度	25	66	91	80
平均	23	63	86	127

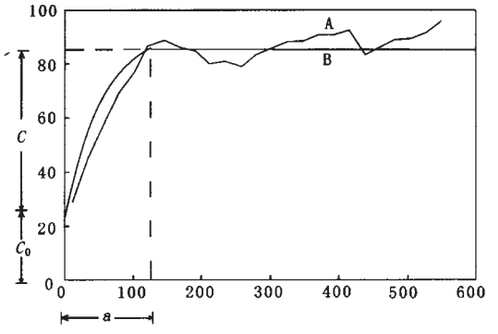


图 2　平均实验变异函数曲线及理论变异函数曲线

Fig. 2　Mean experimental variogram and theoretical variogram

a—极限变程 (limit distance)；C_0—块金 (nugget)；C—跃迁系数 (sill)；C_0+C—基台值(sill + nugget)；A—实验变异函数曲线(experimental variogram)；B—理论变异函数曲线(theoretical variogram)

(5) 建立了金宝山铂钯矿的岩性模型、品位模型，根据品位模型可绘制出任意方向的品位分布图 (图 3)，该模型的计算结果可以根据原始资料的改变而改变，为矿山生产的动态管理提供了科学依据.

(6)在品位建模的基础上，计算出在多种边际品位下的储量和平均品位.

(7)对首采地段进行了剥采比计算，为矿山制定采剥计划时提供了依据.

(8)运用价格法对矿床进行了经济评价，在当前的技术经济条件下，该矿的最低工业品位为 $**\times10^{-6}$.

金宝山铂钯矿矿床数学经济模型的建立为矿山后续生产提供了极大的方便. 在市场经济条件下，根据产品价格的波动及不同产品对矿石质量的不同要求，动态地确定矿体边界品位、多方案对比圈定矿体、计算储量和剥采比，为矿山生产、投资、决策提供了科学依据，实现了矿山生产的动态管理，节约了矿产资源，降低了生产成本，为矿山、为国家创造出更大的社会效益和经济效益.

参考文献：

[1]王仁铎，胡光道. 线性地质统计学[M]. 北京：地质出版社，1998.

[2]儒尔奈耳 A G，尤日布雷格茨 H J. 矿业地质统计学[M]. 侯景儒，黄兢先，等译. 北京：冶金工业出版社，1982.

[3]杜德文，马淑贞，等. 地质统计学方法综述[J]. 世界地质，1995，14(2)：79—84.

[4]侯景儒. 地质统计学发展现状及对若干问题的讨论[J]. 黄金地质，1996，2(1)：1—11.

[5]王仁铎. 地质统计学的发展趋势[J]. 地质科技情报，1996，15(2)：49—102.

[6]侯景儒，郭光裕. 矿床统计预测及地质统计学理论的应用[M]. 北京：

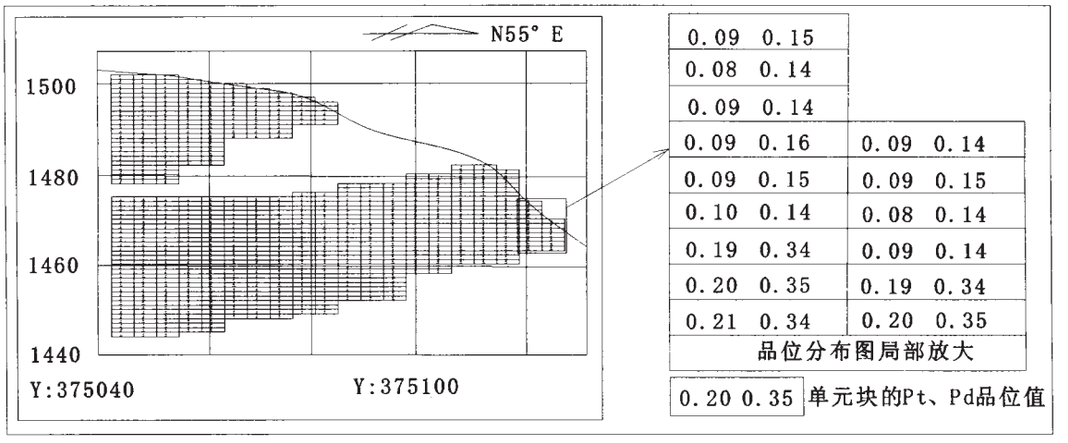


图 3　金宝山铂钯矿 311 号勘探线南端品位分布剖面图

Fig. 3　Distribution of grade in the section along No. 311 exploration line of Jingbaoshan Pt-Pd deposit

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

冶金工业出版社,1993.
[7]侯景儒. 中国地质统计学(空间信息统计学)发展的回顾与前景[J]. 地质与勘探,1997,33(1):53—58.
[8]向永生,孙爱云,等. 地质统计学在金矿中应用及其发展方向[M]. 北京:冶金工业出版社,1998.

GEOSTATISTICS AND ITS APPLICATION IN JINGBAOSHAN Pt-Pd DEPOSIT, YUNNAN

LIU Fang-cheng[1], QIN De-xian[1], YAN Yong-feng[1], LI Bao-zhu[1], QIN Lai-yong[2], HONG Tuo[1]
(1. *Faculty of Land and Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming* 650093, *China*;
2. *Guilin Research Institute of Geology for Mineral Resources, Guilin* 541004, *China*)

Abstract: Geostatistics is a new cross-discipline subject developed in the last 40 years. It was introduced into China in 1977 and attracted much attention. However it has not been widely applied because of the problems in programs of special software, on the basis of the theory of geostatistics, the researchers at Kunming University of Science and Technology programmed the software of Deposit Mathematics-Economy Modeling, which has been widely used in mines for its advantage and practicality. In this paper, the functions of each model of the software are discussed and its application is introduced by taking Jinbaoshan Pt-Pd deposit for example. With the models, ore reserves and mean grades are calculated.

Key words: deposit model; calculation of reserves; geostatistics; variant function

作者简介:刘方成(1975—),男,昆明理工大学矿产普查与勘探专业博士研究生,主要从事数字矿山及地理信息系统的教学与科研工作,通讯地址 昆明理工大学 国土资源工程学院,邮政编码 650093,E-mail//liufangcheng-km@hotmail.com

(上接第 282 页)

APPLICATION OF MULTIFACTOR OVERLAP ANALYSIS IN THE METALLOGENIC PROGNOSIS FOR LEAD-ZINC ORE IN LIAOHE GROUP

WANG En-de[1], FU Hai-tao[1,2], FU Jian-fei[1], TIAN Lin-hao[3,4]
(1. *Northeastern University, Shenyang* 116014, *China*; 2. *Liaoning Bureau of Geology and Mineral Exploration, Shenyang* 110032, *China*;
3. *Institute of Geophysics and Information Tecthnology, China University of Geosciences, Beijing* 100083, *China*;
4. *Inner Mongolian Geological Survey, Hohhot* 010020, *China*)

Abstract: The multifactor overlap analysis, based on GIS (Geographic Information System), is a new method of metallogenic prognosis, by which two nonferrous metallic deposits have been found within one target in Western Liaoning Province. In this paper, the authors introduce the result of the method applying in lead-zinc ore metallogenic prognosis in Liaohe group in Eastern Liaoning. The Liaohe group covers 7% land of the province, but about 43% of lead-zinc deposits occur in the stratum. Therefore Liaohe group has a great potential for lead-zinc ore prospecting. With the multifactor overlap analysis, 5 prospect areas and 11 targets are determined in Liaohe group. And more small or medium sized deposits are expected.

Key words: overlap analysis; Liaohe group; lead-zinc ore; metallogenic prognosis; GIS

作者简介:王恩德(1957—),男,辽宁省盖县人,教授,博士生导师,1982 年毕业于中南工业大学地质系,现主要从事资源环境 3S 技术研究,通讯地址 辽宁省沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号 东北大学资源与土木工程学院,邮政编码 110004.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net