

中国数学地质

中国地质学会数学地质专业委员会 主编

4

地质出版社

中国数学地质

4

中国地质学会数学地质专业委员会 主编

地 质 出 版 社

(京)新登字085号

中国数学地质

4

中国地质学会数学地质专业委员会 主编

*

责任编辑：杨友爱

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：8.25 字数：190000

1993年6月北京第一版·1993年6月北京第一次印刷

印数：1—500册 定价：5.70元

ISBN 7-116-01295-8/P·1078

前 言

本书的文章选自1991年10月21日至25日在广东省连山壮族瑶族自治县召开的“全国中、大比例尺矿产定量预测理论、方法及实效研讨会”的论文。本次会议是由中国地质学会数学地质专业委员会、广西贺县鹰阳关银矿、广东连山县金银矿、中国金属学会冶金地质学会遥感地质数学地质计算机技术专业委员会和中国有色金属工业总公司数学地质中心共同主持召开的。来自全国各个系统和部门的86名数学地质工作者出席了会议，共提交了47篇学术论文。

会议的学术交流涉及下列八个方面的内容：

1. 杨元吉高级工程师介绍了关于应用数学地质的理论和方法评价广西鹰阳关银矿与广东连山金银矿的经验和效果。

2. 矿田和成矿带的矿产统计预测，其中多数是配合成矿带的矿产地质研究开展的中比例尺找矿预测，应用数学地质的理论和方法有效地综合了区域地质、物探和化探资料，最后提供一批成矿远景区。

3. 大比例尺矿床（矿体）预测，主要内容为深部矿床（矿体）的三维立体预测。

4. 矿床统计预测的理论和方法总结，在求异理论指导下，我国数学地质工作者对地质异常进行了深入研究，在矿床立体预测的深部推断方法方面提出了一定见解。

5. 在小比例尺矿产资源评价预测方面进行了一定的交流。

6. 地质统计学在矿产预测中的应用。

7. 在区域物化探异常处理、找矿指示元素研究和化探数据库方面进行了一定的交流。

8. 在数学地质国内外最新发展动态及其他数学地质研究方面（指矿产统计预测以外的内容）也进行了一定的交流。

会议的一个重要内容是听取了广西鹰阳关银矿和广东连山金银矿两矿矿长杨元吉同志介绍他们如何应用数学地质理论与方法快速评价两矿并取得显著经济效益的报告。杨元吉高级工程师锐意改革，积极地将科学技术转化为生产力，成功地将数学地质理论和方法应用于找矿实践中，艰苦创业，顽强拼搏，为两矿的勘探和开发，作出了重要贡献。

中国有色总公司数学地质中心、广东有色地勘局矿产地质研究所、中国有色总公司桂林矿产地质研究院、广西贺县鹰阳关银矿、广东连山金银矿承担了会务工作，为本次会议的成功召开付出了大量辛勤劳动。

杨元吉高级工程师资助了本书的出版，特此致谢，并对他的这种赞助科学事业和无私奉献精神表示钦佩。

由于一些客观原因，还有很多优秀论文未选入本书，敬请作者和读者谅解。

刘承祚

1992年8月

目 录

数学地质方法在有色金属矿床大比例尺预测和评价中的进展·····	周宏坤 (1)
复杂矿床杨氏推断法的应用及其找矿效果与经济效益·····	邓少汉 (7)
模式识别方法在矿体立体预测中的应用·····	邓少汉 甘九如 (12)
大比例尺综合信息成矿定量预测的几个问题 ·····	王世称 肖克炎 刘少华 路来君 (22)
浅论求异理论及其应用·····	李紫金 (28)
地质统计学应用中若干问题的讨论·····	黄竞先 杨文玉 (33)
脉状金矿床危机矿山深部预测问题·····	郭光裕 (40)
金矿勘查中钻探结果的不确定性及解决办法·····	林卓虹 (45)
深部推断的离散型综合模式剖面法·····	胡光道 (49)
应用克立格法精确计算金矿的可采储量·····	高维华 (55)
利用欧氏距离法估算金属矿产的远景储量·····	姜明辉 雷祖志 (60)
带节理非连续岩体三维有限元分析·····	张菊明 (66)
滇西兰坪地区铜矿 1:5 万定量预测·····	刘才英 (74)
中大比例尺矿产统计预测中几个问题的讨论·····	傅水兴 (88)
大栗子铁矿找矿中磁异常数据处理的探索·····	陶定仁 (95)
多元场-泛克立格联合方法在中、大比例尺化探数据自动化处理中的应用 ·····	徐锡华 卢铁贵 (101)
多元统计方法在孤山川流域产沙模型中的应用 ·····	杜明亮 王治华 姚 宁 高德秀 孙 芑 (107)
通化西江金矿化区大比例尺定量预测·····	檀国平 卫万顺 刘光萍 (113)
数学地质在1989—1991年期间的主要进展·····	刘承祚 (120)

数学地质方法在有色金属矿床 大比例尺预测和评价中的进展

周 宏 坤

(中国有色金属工业总公司数学地质中心)

摘 要 本文介绍了有色地质系统在大比例尺地质找矿和评价中开展数学地质工作的进展情况。其中有的工作已取得了明显的经济效益和社会效益。

关键词 大比例尺矿床统计预测, 矿床评价, 预测矿体延伸, 化探异常筛选。

应用数学地质理论和方法进行矿产预测, 称之为矿床统计预测。这是数学地质的一个重要组成部分。按照找矿任务、工作比例尺的不同可将矿床统计预测工作大致分为三类: 小比例尺矿产资源潜力评价; 中比例尺成矿远景定量预测; 大比例尺矿床及矿体定量预测。各类预测工作与不同找矿阶段相对应。

有色系统数学地质工作始于1975年, 已开展的数学地质工作或项目有100多项, 目前有文字总结或报告的成果达97项。其中以危急矿山、已知矿床及其外围的大比例矿床预测工作为主要应用对象。

为了总结工作和提高技术水平笔者曾对一些矿床的统计预测效果进行了调查。这里, 凡将数学地质成果作为依据之一而安排的后期地质工作(或工程)称作直接验证, 而与数学地质工作同时或在其后开展的地质工作(或工程)可视为间接验证。经初步了解, 在有色金属矿床大比例尺预测和评价中已取得以下进展:

1. 在已知矿区及其外围扩大了远景区

湖南康家湾铅锌矿床, 矿区约 2 km^2 , 属湖南水口山矿田的一部分。为扩大矿区远景区, 湖南有色地质研究所1980年在此开展了数学地质工作。

已知矿体主要产于含矿砾岩中, 这次工作利用已有的76个钻孔资料, 对含矿砾岩顶底板标高、铅锌矿化强度(品位 $\times$ 厚度)的空间变化进行研究, 据趋势分析结果: (1)含矿砾岩为沉积成因, 应划归下二叠统当冲组, 该砾岩呈向南倾伏的背斜产出; (2)已探明的矿体仅是背斜东翼的矿体, 西部仍有矿体存在, 并在矿区西北部圈出 $400\text{ m} \times 1200\text{ m}$ 的找矿远景区。

由于 F_{22} 断裂构造使含矿层位上升而被剥蚀, 所以, 该远景区原来并未引起注意, 至1982年, 冶金地质217队, 才将上述预测结果列为地质设计三条依据之一, 在远景区内施工5个钻孔, 其中3个钻孔见到工业矿体(表1)、2个见含矿层。从而扩大了找矿前景。

2. 在已知矿田或有利成矿区内预测的新勘探基地已见分晓

陕西铜厂地区是找铜矿的有利地区, 区内已有铜厂式铜矿床, 同时具备寻找该类矿床的地质条件。为此, 西北有色地质研究所和西北有色地质勘查局711总队在此开展1:1万

表 1 远景区内的见矿情况

钻孔编号	矿体厚度 (m)	铅品位 (%)	锌品位 (%)
1352	7.93	2.5	0.66
1355	6.00	1.25	3.23
1277	≥2.00	1.48	2.33

矿床统计预测工作。通过对矿化强度与含矿性的关系、航片环形影像与成矿关系、蚀变与矿化关系、构造与成矿关系、岩浆-岩性-异常组合得分等问题的研究,提出了利用 5 个找矿指标建立本区成矿有利度的估计模型,该模型的数学表达式为:

$$f = \sum_{i=1}^5 W_i P(C_i) \quad (1)$$

式中: C_i 为第 i 个找矿标志 (其中 C_1 为矿化强度、 C_2 为蚀变、 C_3 为岩浆-岩性-异常组合、 C_4 为单元中心距环形影像的距离、 C_5 为构造综合得分); $P(C_i)$ 为第 i 个找矿标志出现的概率; W_i 为第 i 个找矿标志的权系数。

该模型对已知含矿单元的正判率为 94.74%, 对已知无矿单元的正判率为 100%。而用于全区时, 预测出: I 级 ($f > 0.8$) 成矿有利单元 12 个; II 级 ($0.8 \geq f \geq 0.6$) 成矿有利单元 26 个。对 I、II 级成矿有利地段的成矿地质条件, 通过欧氏距离法、回归分析与已获储量的地段进行定量类比, 并推断铜厂地区找铜矿有较大的潜力, 可获远景储量数十万吨。该成果为该区找矿起到缩小靶区的作用, 后经有色 711 总队的生产实践, 目前已在预测区内探明铜储量数十万吨。

3. 对某些地质体含矿性、化探异常的正确评价

在有的地区已经有了矿床 (点)、或某些找矿线索时, 统计预测工作可转入对某一地质体 (如矿床、矿点、岩体、岩脉、铁帽、异常等) 的评价。这种数学地质工作已取得效果的有:

(1) 甘肃老金厂金矿含金石英脉含矿性的预测

老金厂金矿是甘肃省较大的金矿床之一, 矿区内含金石英脉繁多, 分布在东西长约 5 km, 南北宽约 1 km 的范围内。成矿后被北东用断层所破坏, 构造复原后可见矿床产于小背斜的东端。背斜核心为辉绿岩, 它与成矿有关。含金石英脉主要分布于辉绿岩和流纹岩中, 受断裂控制。

1980—1983 年甘肃有色地质勘探 4 队在此开展了系统的评价工作。考虑到矿区内石英脉很多, 脉内金矿物细小以及全面取样作定量分析成本较高等情况, 而首先采用数学地质方法, 在前人工作的基础上, 补充某些简单的取样化验工作, 对矿区内石英脉含金性作定量估计。队上再从中选择部分石英脉作进一步评价, 评价的结果与估计情况基本吻合 (表 2)。起到了缩小靶区、加快评价的作用。

(2) 河南嵩县地区 1:5 万分散流异常的筛选

嵩县地区实指嵩县西北部—洛宁县西南部一带地区, 为河南金矿资源的重要集中地。为配合该区金矿找矿工作, 1986—1987 年河南有色地质研究所在“河南嵩县地区角砾岩筒

金的含矿性及找矿方向”研究中安排了部分数学地质工作，对区内 1:5 万化探分散流工作圈出的57个异常进行筛选，从中找出有价值的异常。他们以异常为单位（研究对象）通过逻辑信息法，建立评价异常的逻辑信息模型，该模型由20个标志组成。由它计算的对象权可将异常分为 5 类，各类异常的分类依据（对象权）及找矿意义见表 3。据此将57个异常分为 5 类。其中：Ⅰ类异常 2 个（为两个已知矿床异常），Ⅱ类异常 8 个，Ⅲ类异常10，Ⅳ类异常28个，Ⅴ类异常 9 个。Ⅰ、Ⅱ类异常的间接验证情况见表 4。

表 2 矿脉含矿预测和评价检查结果对照表

矿段	矿脉号	估算和预测结论		评价检查结果 (g/t)		
		矿脉可能含矿情况	石英脉金含量估值 (g/t)	石英脉体	上盘蚀变带	下盘蚀变带
西矿段	1	石英脉含金较低 (1.10—4.50g/t)，脉壁、蚀变带可能含矿良好，应特别注意	3.26	1.44	3.88	7.44
	25		3.30	3.45	2.60	7.55
	5		4.00	1.78	5.10	1.64
	9		2.75	2.06	0.98	3.20
	8		1.19	1.33	1.17	3.00
	12		3.68	1.47	4.62	
	13		1.26	1.45	2.48	
中矿段	46	以石英脉含矿为主，平均含金量 2.25—5.75 (g/t)	2.96	2.33	—	1.00
东矿段	60	石英脉体及其蚀变围岩都可能为矿区内含矿性最好的，应加强评价，脉体平均含金量3.55—6.43 (g/t)	3.58	3.32	2.90	
	62		8.30		12.00 (含石英细脉蚀变带)	

注：5 号脉估算和评价结果相差较大，可能是地表已被古人大量将富矿采掉而至。

表 3

类 别	对 象 权	找 矿 意 义
Ⅰ	>3	有望找到中型以上金矿床的异常
Ⅱ	1.62—3	有望找到小型以上金矿床的异常
Ⅲ	0.99—1.62	为矿点异常
Ⅳ	0.25—0.99	无矿和矿点混合异常
Ⅴ	<0.25	无矿异常

4. 解决复杂类型银（金）矿体的详查评价，并获得较大的经济效益

复杂银矿的矿体小、变化大，很难以钻孔控制矿体的形态，往往是一个矿体仅有一个

表 4 I、II类异常及验证情况

类 别	异 常 (数)	异常号	间 接 验 证 情 况
I	2	53.36	两个为已知矿床异常
II	8	49	为已知矿床异常
		34	为已知矿床异常
		1	为已知矿床异常
		33	异常中找到金矿床
		54	异常中找到银矿床
		10	异常中找到金矿床
		2	异常中发现金矿化
		55	异常中发现金矿化

钻孔控制。因此在详查阶段,应用传统的储量计算方法对矿床评价有困难。数学地质方法为此提供了一种新的思维方法,将每一钻孔视为一次独立抽样试验,当钻孔分布基本均匀时,可达到随机抽样的目的,每次抽样的结果只有两种可能(见矿与不见矿),在 N 次(N 达一定数量时)试验中见矿的次数为一随机变量,服从二项式分布。因而解决此类矿床的评价问题,可引入概率论的计算方法。

广西贺县鹰阳关银矿的评价即是一例,该矿属于破碎带含银多金属硫化物型矿床。矿体主要产在15号破碎带及其上、下盘的断裂中,矿床位于鹰阳关复式倒转背斜的东翼。地层为元古界板溪群第二段,局部为第三段,一般是碎屑沉积的变质岩。

破碎带走向北东 19° — 60° ,倾向南东,倾角 50° ,有上缓下陡的趋势。1984—1987年广西有色204队对破碎带用槽探、钻孔和部分坑道控制,槽探间距为50—200m,钻孔间距为200—400 $\times$ 160—400m,施工钻孔24个,见工业矿体的钻孔仅8个,由工程圈出的矿体共13个。因矿体规模小,多数为单工程控制,如何评价矿床?采用了两种作法:(1)用剖面法;和(2)数理统计方法计算矿石量、金属量。不同方法的计算结果见表5。

表 5 两种方法的评价结果对比

作 法	结 果			
	矿石量	银金属量	金金属量	铅金属量
剖面法	$40.76 \times 10^4 \text{ t}$	97.6 t	0.627t	$1.938 \times 10^4 \text{ t}$
数理统计法	$143.38 \times 10^4 \text{ t}$	384 t	1.99 t	$7.728 \times 10^4 \text{ t}$

用数理统计法评价该矿床的结果为中型以上的银矿床,上马后实行了边采边探的做法。对11个异常中的3个异常作了工作,截止1990年12月已探明金属量银117 t、金2.24 t、铅 $4 \times 10^4 \text{ t}$,与统计法计算的法接近。不仅证明原估计正确,而且取得明显的经济效益和社会效益。1988年5月进入边采边探后,共投资259万元,1989年8月1日已出矿,

全年获利税69万元，1990年已生产白银3542 t、黄金8.123 kg、铅479 t、锌269 t，获利税400万元，仅一年半时间回收了全部投资。现人均月产值达5万元，每年为国家创利200万元。

5. 预测矿脉延伸，指导勘探工程布置

有些复杂的矿床，在勘探中须要对矿体（脉）的延伸情况进行研究和预测，以便指导下一步工程的施工工作，从而提高工程的见矿效果。从五龙金矿的实例说明应用数学地质方法预测矿脉的延伸是有效的。

五龙金矿位于营口背斜之东南翼，鸭绿江大断裂的北西地带及三股流花岗闪长岩北部的脉金矿化带上。区域内分布大片黑云母花岗片麻岩，近南北的含金石英脉成群成带发育。矿脉严格受断裂构造控制，主要控矿构造为北北东向和北西向张扭性复合断裂。矿脉陡倾斜，延长小于延伸。

为对盲矿以及矿脉深部进行定量评价，辽宁有色107队对该区原生晕建立以下判别式：

$$R = 4.58(As \cdot Ag) - 4.96(Au \cdot Bi) - 20.99(Cu \cdot Pb \cdot Zn) - 5.84(W \cdot Ni)$$

(2)

用以区分矿脉的头晕和尾晕。以 $R_0 = -10.22$ 作为临界值，预测矿脉是否向下延伸，收到好的效果。

如516线1978年施工1599号孔未见矿，但经判别计算 $R > R_0$ ，预测下部有矿。1979年施工后排孔（1598号孔），在预计部位见到2.7m（穿孔厚）含金石英脉工业矿体。据1598孔计算 $R < R_0$ ，估计深部无矿，竣工1589号孔后确未见矿，证实工业矿体已尖灭。用此法对矿区内17处作了判别，其中13处已为工程所证实，见表6。

表6 判别结果的验证情况

序号	勘探线	钻孔号	采样位置	样号	R 值	对下部 见矿意见	实 际 情 况
1	516	1599	92-274m	29	- 9.8449	见矿有望	后排1598号孔见工业矿体2.70m
2	516	1598	245-345m	23	-10.6996	见矿无望	下部1589号孔未见矿
3	520	1558	139-227m	19	-12.0483	见矿无望	后排1593号孔相应部位未见矿
4	520	1503	341-462m	22	-12.3967	见矿无望	待验证
5	524	1596	168-288m	24	-11.4378	见矿无望	后排1597号孔见非工业矿体
6	524	1596	291-370m	11	-12.1159	见矿无望	后排1597号孔未见矿
7	524	1597	335-407m	14	-13.5260	见矿无望	后排1590号孔未见矿
8	524	1597	431-522m	15	-10.2767	见矿无望	后排1590号孔未见矿
9	528	三坑三中段	24213测点穿脉	10	- 7.2386	有望	下部1595号孔见16.04m工业矿体
10	528		224-277m	10	-10.3214	无望	后排1594号孔见非工业矿体
11	528		342-415m	12	-10.0857	有望	待验证
12	532	1579	204-287m	16	-11.6348	无望	下部1546号孔见0.13m非工业矿体
13	532	1579	301-384m	10	-11.2070	无望	待验证
14	532	1546	293-400m	22	-12.7192	无望	下部1574号孔未见矿
15	532	1546	453-515m	13	- 7.3091	有望	待验证
16	536	1566	62-131m	12	-12.1032	无望	后排1700号孔0.08m工业矿体
17	536	1566	140-267m	15	-11.6039	无望	后排1700号孔未见矿

综上所述数学地质的理论和方法用于找矿预测是有效果的。但由于我们的水平有限，工作中还存在着不少的问题。因此对今后矿床统计预测工作的发展，还应注意以下几方面：

1. 与生产实践密切结合。矿床统计预测是实践性很强的工作，只有密切配合生产部门的找矿，并及时提供统计预测的成果，其成果能为生产所利用才具有生命力。生产检证是推动统计预测发展的重要环节，通过各种途径接受生产实践的检验，不断总结经验教训，才有利提高矿床统计预测的水平。

2. 以地质为基础。在解决找矿地质问题时要遵循这样一工作模式：地质—数学—地质。前一个“地质”是以地质为基础，强调开展必要的野外地质工作，根据地质问题所研究的地质内容选择数学方法，设计工作方案，根据地质问题的性质和特点选取地质变量和定量方法，应用物化探数据及其它信息时要注意它们的地质意义。后一个“地质”是解决的地质问题，也就是数学地质工作的目的，要求对计算结果赋予地质意义，用计算结果回答地质问题。

3. 发挥数学地质方法对多种信息综合分析和整理的优势。应用多种信息（如地质、物探、化探、遥感等信息）是当今找矿工作发展的一个趋势。而不同的信息仅从不同侧面提供找矿信息，只有有机的综合各种信息才能正确和全面地认识成矿地质作用及其产物（矿带、矿田、矿床、矿体）。数学地质方法应在各信息数据处理（如区域航磁重力处理，区域地球化学异常，遥感图像分析等）的基础上，进一步揭示它们所提供的找矿信息，以及建立综合信息定量找矿模式上发挥其优势。

4. 研究地质成矿作用的定量规律。矿床的形成，都包括成矿物质的供给，搬运，富集几个主要的环节。了解各成矿环节地质作用的定量规律，对矿床的空间分布规律的认识才能深化。由此提出的预测，会比通过地质条件类比圈定成矿远景区更上一层楼。但要实现成矿地质作用的定量研究，还需要寻找相应的数学途径。

5. 提高与普及相结合。找矿预测工作必须从定性发展为定量预测，而矿床统计预测工作的发展将推动这一进程。因此矿床统计预测，不仅要研究本身的方法和理论问题，提高定量预测的水平，而且应注意定性预测与定量预测如何有机的结合的问题，经常向广大地质人员普及成熟的定量预测方法，使找矿预测工作不断立于新技术、新方法之上。

复杂矿床杨氏推断法的应用及其找矿效果与经济效益

邓 少 汉

(广西贺县鹰阳关银矿)

摘 要 本文介绍“复杂矿床杨氏推断法”的方法原理、功能特点、应用条件以及在矿区勘探和矿山开发的实际应用中所取得的找矿效果和经济效益。

关键词 复杂矿床杨氏推断法, 远景储量预测, 置信概率, 数理统计。

由杨元吉总工程师创建的, 被专家称之为“复杂矿床杨氏推断法”的矿床快速评价、快速决策的数理统计新技术、新方法, 是从多年地质勘探实践中应用数学地质方法找矿的经验总结。该法从研究试验到实际应用经历了若干年时间。并在多个开采矿山和勘探矿区开展试验研究, 取得了满意的结果。前期选择的研究对象包括丹东四道沟金矿、广西烂夹山钨矿, 大厂长坡锡矿、佛子冲铅锌矿等。这类矿山, 历经多年开采或勘探, 生产报表齐全, 储量计算准确, 满足新方法的应用条件。试验应用结果表明, 新方法所估算的储量与矿山生产统计储量接近, 其误差低于地质报告提交的储量误差, 从而证明了“复杂矿床杨氏推断法”是可行的。该法先后实际应用于广西张公岭银金矿床的远景评价和勘探决策以及鹰阳关银矿的远景评价和矿山开发决策, 取得了较好的找矿效率和经济效益, 从而再次证明该法是行之有效的。

一、方法的功能特点

“复杂矿床杨氏推断法”最适于快速解决复杂类型矿床的远景评价, 也可用于矿区勘探和矿山开发决策、对其他类型矿床的远景评价原则上也适用。该法的功能特点在于, 可定量评价矿床的远景储量, 并可回答远景储量的置信概率。具体地说, 当勘探初期矿床信息较少时, 可用于矿床储量的远景预测; 在矿床信息较多的情况下, 可用于拟定勘探设计最优化方案; 当勘探工作结束之后, 可以对矿床储量计算进行核查; 当由勘探阶段转入矿山建设时, 可对矿山基建投资风险作出判断, 以避免投资项目失误。该法所建立的一套预测数学模型, 计算简便、易于掌握, 易于推广应用。

二、方法的应用条件及基本要求

新方法的应用必须具备一定的条件, 否则无法用之。它的基本要求包括:

1. 适应对象必须是经过初步工作, 获得一定矿床信息, 具备一定勘探资料、数据的

普查和勘探矿区。在地质图件上要求具备勘探工作布置图, 采样分布图, 储量计算垂直投影或水平投影图, 在勘探数据方面必须具备施工工程(槽、井、坑、钻)个数, 见矿工程个数, 矿体品位, 厚度, 体重等。

2. 该方法是借助于随机抽样理论建立起来的, 因此, 它要求探矿工程大致均匀分布。在以往的勘探工作中, 能满足这一要求的不多, 为此, 在具体应用时必须借助于地质统计学方法对已有资料数据作某种技术处理, 即首先依据已有的工程分布特点确定大致均匀分布的支撑点, 然后浓缩信息, 即把围绕支撑点分布的探矿工程提供的矿床信息, 浓缩到理想的支撑点上来, 并以此代表抽样个数。

3. 对于探矿工程见矿和不见矿, 以及矿体品位、厚度等的地质含义, 必须按储量规范的要求给予定义, 以利于研究工作的展开和成果的地质解释。

4. 对于落入非矿化域的探矿工程, 原则上剔除不用。远景储量的预测, 仅限于有效控制范围内, 不能外推。

三、方法原理及地质理论基础

统计推断和概率演算在解决许多重要地质问题方面的贡献, 已得到人们的普遍公认。事实上, 统计方法几乎已成为各种数学地质方法应用的一部分。在地质科学中, 地壳的地质作用及其所形成的有用矿产资源, 常常是地学中各分支学科研究的主要对象。从统计学观点看, 地壳是由无数集合块体构成的, 它们具有一系列可测的性质, 因而对其是可以分别加以研究的。对于数理统计而言, 感兴趣的是集合块体的总体性质, 即通过对属于它的一系列更小对象的各种参数的测定, 如各种岩石、岩体、矿物数量、百分数、粒度大小、元素含量、矿体品位、厚度、长度等, 对所测参数, 应用统计学方法处理, 获得一系列统计量, 用以对总体性质的推断了解。

作为本文研究对象是矿床, 它可以看成是组成地壳的更小部分。相对而言, 矿床是很小的集合块体, 人们还可以根据研究的需要, 将其进一步分割成一系列更微小的对象分别加以研究。

什么是矿床, 在这里我们可以对它作出如下约定:

1. 矿床是地壳发展过程的地质作用产物, 是具有一定形态的三度空间几何体。不同成因、不同类型和不同矿种的矿床, 其规模大小、物质组分、变化性质是不相同的。

2. 矿床是有限延展的, 与周围介质岩块在岩石性质、岩石、矿物组合、地球化学成分、物理特性、地质构造和元素的共生组合等方面, 总体表现是不同的, 存在可鉴别的边界。矿床以内的空间定义为矿化几何域。

3. 矿床的内涵由三部分不同性质的地质体掺合组成:

(1) 工业矿体——是指在当前加工和生产技术条件下, 可以回收利用, 经济上有利可图的有用矿物和元素集合体。它的规模大小、数量、质量和变化规律性是勘探学的主要研究对象。

(2) 矿化体——当前暂时不能利用或含量不高的矿物、元素集合体。

(3) 与成矿有关的配套组合地质构造体——是指与成矿密切相关的地层、岩性、构造、岩体、蚀变、矿化等配套组合出现的地质构造。

这一约定,对于用数理统计方法研究矿床提供了方便,同时也不难发现,它与传统的矿床地质概念模型是有差异的。

勘探实践工作证明,不同的矿床类型矿体的变化性质是很不相同的,有的变化甚微,有的则变化极大。对于影响矿体空间变化性的原因,不同的学派有不同的认识。一种意见认为:“从本质上讲任何时候都不是随机性变化,受地质规律的确定法则支配。”另一种见解则认为:“成矿事件或矿体的变化性质受概率法则支配。”现在多数意见认为,矿体标志的变化性质受双重因素支配,可用如下模型表示:

$$Y_i = T_i + \xi_i$$

式中: Y_i ——矿床或矿体任一点的观测值;

T_i ——矿床或矿体任一点的趋势值;

ξ_i ——矿床或矿体任一点的随机值。

这一模型表明,矿床或矿体空间上的每点观测值 Y_i 都可以看作趋势值 T_i 与随机值 ξ_i 的线性组合,由于 T_i 与 ξ_i 在不同类型矿床或矿体中所占比重不同,构成了矿床或矿体变化的复杂形式。数理统计方法最适于研究随机因素起主导作用的复杂类型矿床。这类矿床常表现为矿体变化性大,矿化连续性差,矿体形态复杂,常呈尖灭再现、分支复合、膨大缩小等变化。我们把这类矿床的勘探工作,看成是针对矿化域的几何型随机试验。在几何型试验中,矿化域好比靶区,探矿工程好比投向靶区的子弹,若子弹射出呈均匀分布,则子弹击中矿体目标的概率大小与目标的形状和位置无关,而与它的面积(或体积)总和所占全部矿化域的面积(或体积)的比率大小有关,这个比率称之为矿体的几何概率。也就是说,子弹击中矿体目标的概率大小与矿体的几何概率大小成正比。

很显然,在明确矿体定义的情况下,探矿工程是否见矿,只有是与非两种结果,是离散型的随机试验。在一批探矿工程中,其中有多少个见矿是服从二项式分布的,在 k 、 n 、 p 固定情况下,可用二项式 $b(k, n, p)$ 通式求得见矿工程个数的概率分布,这一数学模型在地质勘探工作中有着广泛的用途。

同时,我们又把探矿工程看成是针对矿床母体的随机抽样试验,一批探矿工程构成属于矿床母体的子样集合体,个体工程测得的矿体品位、厚度、体重等参数,构成一点的多维随机向量。很明显,在地质勘探中,这类参数属于连续型随机变量,在子样集合体的容量足够大时,可以通过拟合检验方法判别其概率密度函数服从何种分布,以确定对它的处理方法。在一般情况下,这类参数是服从正态或近似正态分布的。在此假设前提下,诸如平均品位、平均厚度、平均体重、方差、标准差、变异系数等统计量,自然被看成对矿床母体的无偏估计。

在常规的储量计算方法中,有一种简单的算术平均法,其公式为:

$$Q = S \times \bar{m} \times \bar{D} = V \times \bar{D}$$
$$P = Q \times \bar{C} = S \times \bar{m} \times \bar{D} \times \bar{C} = V \times \bar{D} \times \bar{C}$$

式中: Q ——矿石储量;

P ——金属储量;

S ——矿体面积;

V ——矿体体积;

$\bar{m}$ ——矿体平均厚度;

$\bar{D}$ ——平均体重;

$\bar{C}$ ——矿体平均品位。

由上式看出,矿体平均品位、平均厚度和平均体重这类统计量,恰恰是储量计算不可缺少的参数,它可以通过见矿工程的统计计算获得。在常规的矿产储量计算方法中,矿体面积参数,或者依据相邻见矿工程合理连接圈定,在图纸上测量获得,或者是测量矿体的走向长度和倾斜延长计算获得。如果我们能找到一种合理办法,不用直接测量 S 而求得它的估值,那么上述公式的用途就广泛得多。问题归结为如何获得 S 的合理估值。下面我们以矿体几何概率为桥梁,并对其与统计概率和见矿频率的关系作如下推导。

设 $U(S_K)$ 为 K 个见矿工程控制的矿体面积量度, $U(S_N)$ 为 N 个工程控制的矿化域面积量度, $S_K \in S_N$,记 A 为见矿事件,则

$$P(A) = U(S_K) / U(S_N) \text{ 定义为事件 } A \text{ 的几何概率。}$$

若矿化域靶区 S_N 固定,向 S_N 区域均匀投掷 N 次,其中有 K 次由中矿体目标 A ,则 A 事件出现的频率为 $f_n(A) = K/N$ 。当 N 足够大时, K/N 趋于某一固定数值,这个数值称为统计概率,记为 $P\{A=K\}$,由于事件 A 的概率是在固定的 S_N 内发生,当 N 足够大时,则

$$f_n(A) = K/N \xrightarrow{N \text{ 足够大}} P\{A=K\} \approx P(A) = U(S_K) / U(S_N)$$

这一关系式成立,故见矿频率或统计概率可以作为矿体几何概率的近似估值。

令 $U(S_K) = S_K$ (含矿面积), $U(S_N) = S_N$ (工程控制的矿化域面积), 则 $S_K/S_N \approx K/N$, $S_K \approx S_N \times K/N$ 。在地质勘探中,若对什么是矿体和什么为见矿给出定义,则上式中的 K 、 N 、 S_N 均是可知和可测的,因此 S_K 可求解。这样,含矿面积参数的估值问题便得到合理解决,因而远景储量的估值亦随之得到解决。

应当指出的是,我们利用常规的储量计算方法进行矿床远景储量预测,是与地质储量计算本身地质含义不相同的,后者包含矿体储量明确的数量、质量、等级差别和确定的空间位置与分布边界,而前者只有远景储量数量、质量的整体估值,而其空间位置、分布边界、等级差别一般是不明确的。

我们用上述方法定量地解决了矿床远景储量数量,质量的估值问题,无疑为矿床的正确评价提供最重要的依据。在我们的评价方法中,还有一个重要问题必须给予解决,这就是远景储量估值出现的可能性有多大——置信概率是多少,只有这两个基本问题结合起来考虑,对矿床的评价才是全面的。

在“复杂矿床杨氏推断法”中,围绕后一问题的解决提出了某些新理论和新方法,其中包括:多参数运算三态误差组合概率分布理论,修正置信概率理论以及在给定预测储量误差的情况下,计算离散或连续的参数变量允许误差,临界值 t_0 。并根据 t_0 值和自由度 $n-1$ 查 t 氏双侧临界值表,求得连续参数变量的信度和置信概率 $1-\alpha$ 。对于含矿面积参数变量,采用二项分布求它的置信概率。具体步骤是,先求出变量参数的允许误差、代入公式求出二项式见矿孔数的上、下限区间,该区间的概率和即为含矿面积参数变量的置信概率。这样的思考和做法很直观明了,因为我们最终要回答远景储量的置信概率是多少,而这个概率是参与储量计算的各参数置信概率的交,只有在计算出各项参数变量置信概率的情况下,才能计算出远景储量的置信概率和对其进行修正。有关这方面的具体计算方法步骤比较繁琐,由于本文篇幅所限,在此不一一赘述,请参阅有关文章。

作为三维空间的矿床，用三维图形是难以表述的，一般通过降维的方法加以解决。人的感观对二维图像分辨能力最强，因而矿床一般用二维图形加以描述。在实际勘探工作中，常以垂直纵投影图或水平投影图使用最广泛，因此，矿床储量计算或远景预测通常都在这二类图形上进行。

四、找矿效果与经济效益

“复杂矿床杨氏推断法”在80年代初首次实际应用于广西张公岭银金矿床的远景评价并获得较好的找矿效果。该矿在1979年之前，已经过几个地质队的普查，先后共施工35个钻孔，获得远景储量黄金438 kg，白银12 t，因矿床储量不大而终止进一步的勘探工作。

杨元吉总工程师利用前人提供的资料、数据，用“复杂矿床杨氏推断法”进行预测，提出张公岭银金矿床矿石远景储量 238×10^4 t、黄金13.53 t、白银460 t，并预测黄金潜在储量的下限不少于10.4 t、白银不少于357 t，其置信概率在84%以上。后来有关地质队以此为依据，作出重新勘探张公岭的决策。以后经过五年的勘探工作，在预测区找到一处大型银金矿床，至提交勘探报告时，获得黄金储量9.2 t（表内7.38 t）、白银689 t（表内572 t），黄金比原有储量增加21倍，白银增加57倍，使该矿一跃而成为知名的大型银金矿床。该项找矿成果，得到主管上级部门的嘉奖，被载入当代中国丛书——“中国有色金属”的地质部分。

“复杂矿床杨氏推断法”取得的第二项实际找矿成果，是用于广西鹰阳关银矿的矿床远景评价和矿山开发决策。该矿床在80年代中期，经地质队普查三年，施工钻孔23个，耗资370余万元。普查评价结果认为：“矿体变化大，连续性差，矿床规模未突破”而终止进一步的工作。

杨元吉总工程师利用地质队提供的原有资料数据，对矿床进行预测提出：潜在矿石储量 143×10^4 t、潜在金属储量银384 t、铅 7.73×10^4 t、伴生金1.99 t，预测储量的误差在 $\pm 50\%$ 之内的可靠性大于70%。后来，该矿由杨元吉总工程师牵头，采用乡镇企业股份制进行矿山开发，经过三年的边采边探，获得B+C+D级矿石储量 112×10^4 t、金属储量银177 t、铅 4.02×10^4 t、锌 3.27×10^4 t、伴生金2.24 t。

此外，广东连山金银矿的开发，也部分地用到新方法新技术。该矿由于地质资料、数据较少，未能满足“复杂矿床杨氏推断法”的应用条件，故未进行系统的地质预测，但矿山开发中许多方面都用到了新方法的原理和技术。

从以上情况看出，“复杂矿床杨氏推断法”的找矿效果是显著的。如将找矿成果按矿产品现价折算，其潜在经济价值约为9.2亿元，一批被评价的矿床均已投入矿山开发，并创造了良好的社会效益和直接的经济效益。

参考文献（略）

模式识别方法在矿体立体预测中的应用

邓少汉 甘九如

(中国有色金属工业总公司矿产地质研究院)

摘 要 本文以湘南某锡多金属矿为例,采用模式识别与多元线性回归相结合进行大比例的矿体立体预测。在方法步骤上分两步走,即首先解决二维平面预测问题,进而解决远景单元的矿体埋深问题。这两步合起来以达到矿体立体预测的目的。

关键词 立体预测,模式识别,线性回归,训练样本,预测模型,主成分,非线性映照,分层判别,共享近邻。

一、问题的提出

在以往的地质找矿工作中,大多数远景预测方法仅涉及二维平面,矿体(矿床)的立体空间预测则很少见。主要依靠找地表露头矿的时代已经过去,这是因为此类矿床的绝大多数已被发现。因此,进一步的找矿难度显然是愈来愈大了。现在的找矿任务、主要依靠找隐伏矿和盲矿来扩充矿产资源量,这就要求在预测方法上,不但要指出矿床(矿体)分布的平面位置,而且要指明矿床(矿体)的埋藏深度,这实际上就是三维立体空间预测。

本文以湘南某锡多金属矿为例,采用模式识别与多元线性回归相结合的方法进行大比例的矿体立体预测。在方法步骤上分两步走,即首先解决二维平面预测问题,进而解决远景单元的矿体平均埋深问题,这两步合起来便构成模式识别方法的立体预测。

应用该法的优点在于:(1)圈定的找矿靶区范围较小,便于实施工程验证;(2)可以定性地判别有矿或无矿;(3)可以定量地预测含矿规模;(4)可以定量地预测矿体(矿床)埋深。这些重要地质问题的解决,无疑是每个从事找矿预测工作者最关心的问题,我们的这项研究,将有助于推动地质预测方法的发展和提高预测方法的实效。

二、矿区地质简况

矿区出露地层以石炭系为主,下石炭石磴子组与成矿关系密切,由条带状深灰色厚层状灰岩及黑色灰岩夹紫色泥灰岩组成。矿区为一复式向斜构造,轴向NE 23°,向北倾没,南段扬起。矿区中心位于向斜南段,并由次级小背斜与纵向断裂组成不对称的褶皱构造。与成矿有关的断裂主要为两组:(1)NE 20°,倾向SE或NW,倾角60°—80°;(2)走向近东西,倾向北,倾角70°,具张扭性,切过前期断裂使之产生位移。此两组断裂组合成网格状,对控岩控矿起主要作用。有关的火成岩为燕山期花岗岩体,与成矿关系最为