

普查地球化学资料的数学处理

Р. И. 杜鲍夫等 编

地质出版社

普查地球化学资料的数学处理

Р. И. 杜鲍夫 等编

吴传璧 等译

地质出版社

内 容 提 要

本书包括12篇文章, 介绍在地球化学调查中用数学工具处理资料的方法。内容涉及观测网度的选择、化探样品的分析、结果的解释等地球化学调查各主要阶段, 而且原编者注意到了选择具有方法指南意义的文章, 因此本文集可以当作工作指南对待, 读者在书中可以找到在不同条件下选择方法的一般原则。

本书适于有概率论、数理统计和化探理论基础知识 的化探人员参考。

本书承蒙余金生、刘承祚同志从数学上作了审校。译稿由译者互校, 最后经吴传璧整理定稿。

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ В ПОИСКОВОЙ ГЕОХИМИИ

Ответственный редактор д-р геол.-мин. наук

Р. И. Дубов

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Новосибирск.1976

普查地球化学资料的数学处理

Р.И.杜鲍夫 等编

吴传璧 等译

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑: 高书平 黄世乾

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·全国新华书店经售

开本: $850 \times 1168^{1/32}$ 印张: $6^{15/16}$ 字数: 180,000

1983年10月北京第一版·1983年10月北京第一次印刷

印数: 1—3,909册 定价: 1.20元

统一书号: 15038·新952

原 书 前 言

数学往往不可用来直接求解地球化学课题，因为其中尚有一些用数学还未能解决的问题，而且地球化学概念与数学概念间的对应关系亦尚需确定。

近年来，出现了不少普及数学知识和论述数学在地球化学某些方面应用的书籍和文章，它们主要涉及对地球化学调查的最后结果进行处理以便于地质解释的问题。编写方法指南已极感必要，在指南中用始终统一的观点对在地球化学调查的所有阶段运用数学方法的问题进行阐述，把调查工作全面地提高到一个新水平。

本书由十二篇文章汇编而成，它们联系起来达到一个目的：帮助化探人员、勘探人员和科学工作者在地球化学调查的各主要阶段——提出设计（选择采样网度）、物质分析、结果解释——采用数学方法处理资料。因此，文章的选择遵循了这样的原则：选择具有方法指南意义的文章。

循此原则，将 Г. А. 巴扎诺夫和 Г. С. 瓦赫罗麦耶夫合写的论述根据已知异常的形态和规模的初步资料计算观测网度的文章放在本文集首篇。

第二篇是 B. E. 卡普兰的文章，谈的是岩石和矿石物质快速分析中的方法组合问题。作者指出，数学的这种特殊运用能使物质分析方法搭配得更为有效。文章所述原则适用于任何地球化学调查。

H. H. 茹科夫和 M. И. 托尔斯泰的文章论述了数据统计处理时地球化学样品分析误差的估计和测量误差的计算问题。

第四篇文章是 P. И. 杜鲍夫写的，探讨了用数学方法对引起地球化学异常的地质体进行分类和地球化学场的图示及解释问题。他从理论上指出，在解释地球化学资料时，对拟采用解的预

期获益（它取决于在被查明客体上所做工作的成本和该客体的经济价值）进行计算是可能的和适宜的。文章介绍了所用的统计规律和所研究场的近似算法。根据监控样的结果得出观测误差的估计值，有助于从地球化学数据中提取有用信息。

B. A. 奈格包埃尔的文章谈的是近似算法在地球化学场的图示中的实际应用，以及地球化学场的统计特征图的编制问题。

除此而外，A. A. 施曼斯基和 A. П. 普洛特尼科夫从稍微不同的角度探讨了用所谓趋势分析法对地球化学场进行近似的问题。

П. И. 巴尔克写的文章是关于用数学方法解释残留地球化学晕的，该方法一般说能提高所得结果的精度。它引入了一种特殊的对解反演题的积分方程中的函数进行近似的方法。之所以要作这种近似，是为了把积分号以内的通常不可积的表达式变成可积的表达式。在研究类似的扩散场时，我们可使用这种方法。

在 H. M. 弗朗科夫斯卡娅关于地球化学异常分类的文章中，阐述了一种以人所共知的最大似然原则为依据的方法，同时还考虑到提高这种方法效果的一些原理。这种分类方案可以用来对许多客体进行分类。

H. A. 基塔耶夫、B. H. 叶夫道基莫娃和 B. H. 楚马金介绍了一种研究矿体及其晕的分带性的方法，他们是通过在地质剖面上划分出一些具有一定的化学元素特征组合的带来研究的。

A. A. 施曼斯基和 Л. П. 普洛特尼科夫的文章论述了用主分量法解释地球化学数据的问题，近年来这种方法在数学地质中运用颇广。

不进行综合解释就不可能最大限度地将在地球化学资料中的有用信息提取出来。A. Ю. 达维坚科和 Г. С. 瓦赫罗麦耶夫的文章谈的就是这个问题。

文集的最后一篇文章是 P. И. 杜鲍夫写的，讨论了数据处理方法的选择问题。

目 录

原书前言

计算普查网度的图解法.....	1
岩石和矿石物质快速分析的综合方法.....	11
地球化学资料统计处理时分析误差的估计和测量	
误差的计算.....	24
客体分类、地球化学场图示及解释时效益率的计	
算和等级近似法.....	28
地球化学图的编制及地质解释实例.....	53
利用内插法和趋势分析编制地球化学图和剖面图.....	82
论残留地球化学晕的解释.....	96
利用最大似然法对地球化学异常进行分类的方法.....	105
矿体及矿体晕分带性经验模型的建立.....	119
主分量分析法在解释地球化学资料中的应用.....	138
地球化学和地球物理资料的综合解释.....	147
论选择、论证和建立数据数学处理方法的理论问题.....	166

计算普查网度的图解法

Г.А.巴扎诺夫 Г.С.瓦赫罗麦耶夫

首先利用概率-统计方法来论证勘探地球物理和应用地球化学普查网度的是А. П. 索洛沃夫(1959)。后来,这一方向在И. Д. 萨文斯基(1964), А. 库拉拉(1964)、Д. И. 萨弗拉索夫(1965)、О. Г. 谢苗诺娃和Ю. Д. 叶夫多基莫夫(1970)、А. М. 舒雷金(1972)等人的文章中进一步得到发展,他们提出了各种解析公式、表格和计算机程序。上述方法都很精确,但由于计算方法不一定都能搞成表格和列线图,故其中大多数使用起来是很费事的,既使有这样的表格和列线图,也会由于要填入的数据太多而感到困难,何况往往是需要简单而迅速地估算出最合适的观测网度。为此,可以利用И. В. 弗兰茨基和Г. А. 巴扎诺夫(1969)为确定沿走向延伸的客体起码被一个探矿工程所穿切的概率而制作的列线图。但在勘查地球化学中,只有被一条剖面上的两个或两个以上测点查明的异常才被认为是可靠的。因此,又提出了计算满足这些条件的新列线图的任务。

我们来探讨事件C——最低限度用两个点来揭示异常。这个事件包括另外两个须协同完成的事件:事件A——最低限度有一条普查线穿切普查客体;事件B——每条普查线上最低限度有两个点落在普查客体上。因为这些事件是互相依赖的,事件C的概率可以写成:

$$P(C) = P(A) \cdot P(B|A) \quad (1)$$

事件A的概率取决于客体长度 L 、剖面间距 a 和客体走向与剖面线之间的夹角 φ (图1)。事件B的概率则取决于客体宽度 m 、沿剖面的测点间距 b 和夹角 φ 。

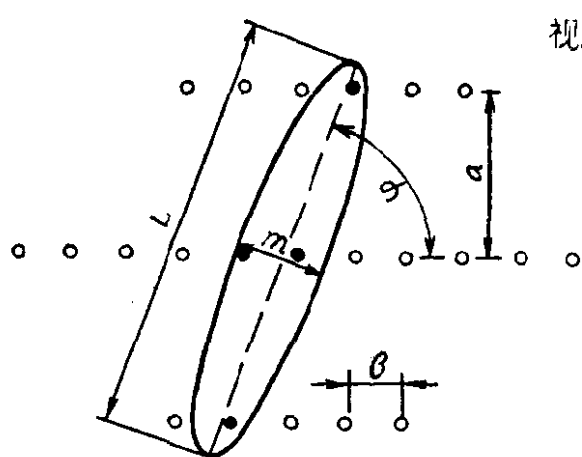


图 1 普查网示意图

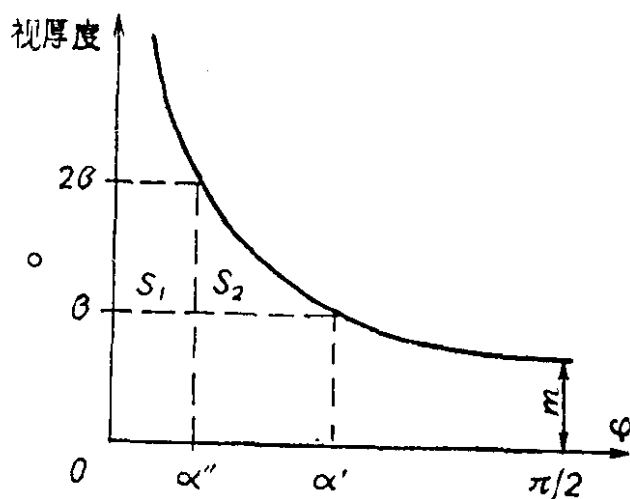


图 2 视厚度变化曲线图

我们用一些符号来表示这些概率

$$P(A) = P_L, \quad P(B/A) = P_m, \quad P(C) = P_{n2}$$

如果不考虑异常的方向，就可按下列以解比尤方(Бюффон)题为基础的公式(弗兰茨基，巴扎诺夫，1969)计算概率 P_L ：

$$P_L = [L(1 - \sqrt{1 - a^2/L^2}) + a(\pi - 2y)]/a\pi \quad (2)$$

在这里， $y = \arcsin a/L$

在异常方位处于 $\varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2$ 范围内的条件下，公式(2)可变换成：

$$P_L = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} L \sin \varphi d\varphi / a(\varphi_2 - \varphi_1) = L(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) / a(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (3)$$

在这里， φ_1, φ_2 ——弧度角。

许多文章(萨文斯基，1964；舒雷金，1972)指出，在一个方向伸长的客体，走向偏转 30° 对穿切它的概率不会有重大改变。因此，编制夹角 φ 变化范围为 30° 的三种(即 $0-30^\circ$ ， $30-60^\circ$ ， $60-90^\circ$)列线图便足够了。

我们再来探讨概率 P_m 的确定问题。图2是客体的视宽度(在剖面线方向上的宽度)随夹角 φ 而变化的曲线。视厚度值可由公

式 $m_{\text{视}} = m / \sin \varphi$ 来确定。

如果 $2\theta < m$ ，则在异常被剖面穿切（以任意角度 φ ）时，至少都有两个点落在异常上。在这种情况下， $P_{>2} = 1$ 。

在 φ 值中间（见图2）存在着两个可使下列命题成立的值 α' 和 α'' 。这些命题是：

如果 $2\theta > m$ ，那么，当夹角 $\varphi < \alpha''$ 时， $2\theta < m_{\text{视}}$ ， $P_{>2} = 1$ ；当 $\varphi > \alpha''$ 时， $P_{>2} < 1$ ；当 $\varphi > \alpha'$ 时， $\theta < m_{\text{视}}$ ， $P_{>2} = 0$ ，也就是说，异常内落有两个点是不可能的事件。

概率 P_m 可以根据通过上述夹角确定的矩形及与其毗邻的曲线三角形的面积 S_1 和 S_2 （见图2）来计算： $P_m = (S_1 + S_2) / S_0$ ，这里， $S_0 = \pi \theta / 2$ 。

概率 P_m 的解析表达式是：

$$P_m = [\theta(\alpha'' - \varphi_1) + m \ln \operatorname{tg} \alpha' / \operatorname{tg} \alpha' - (\alpha' - \alpha'')\theta] / \theta(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (4)$$

在这里， $\sin \alpha'' = m / 2\theta$ ， $\sin \alpha' = m / \theta$ ， φ_1 和 φ_2 ——夹角 φ 的变化范围。

根据上面的表达式，可将公式（1）写成：

$$P_{>2} = \sum_{i=1}^n \left\{ L \frac{\cos \varphi_{i-1} - 2 \cos \varphi_i + \cos \varphi_{i+1}}{a(\varphi_2 - \varphi_1)} \rightarrow \frac{+[(i-1)\varphi_{i-1} + (i+1)\varphi_{i+1} - 2i\varphi_i]}{a(\varphi_2 - \varphi_1)} \right\} \left\{ iP_m - C_{i,2}P_{m,2} + C_{i,3}P_{m,3} - \dots + (-1)^n P_{m,n} \right\}, \quad (5)$$

在这里， i ——穿切异常的剖面线数目； φ_i ——剖面线与异常间的夹角； $\sin \varphi_i = ia / L$ ； n ——当夹角由 φ_1 变至 φ_2 时，剖面线穿切异常的最大可能次数。

在解公式（4）和（5）时可作如下替换：

当 $\alpha'' < \varphi_1$ 时，以 φ_1 代 α'' ，

当 $\alpha' > \varphi_2$ 时，以 φ_2 代 α' ，

当 $\varphi_{i-1} < \varphi_1$ 时, 以 φ_1 代 φ_{i-1} ,

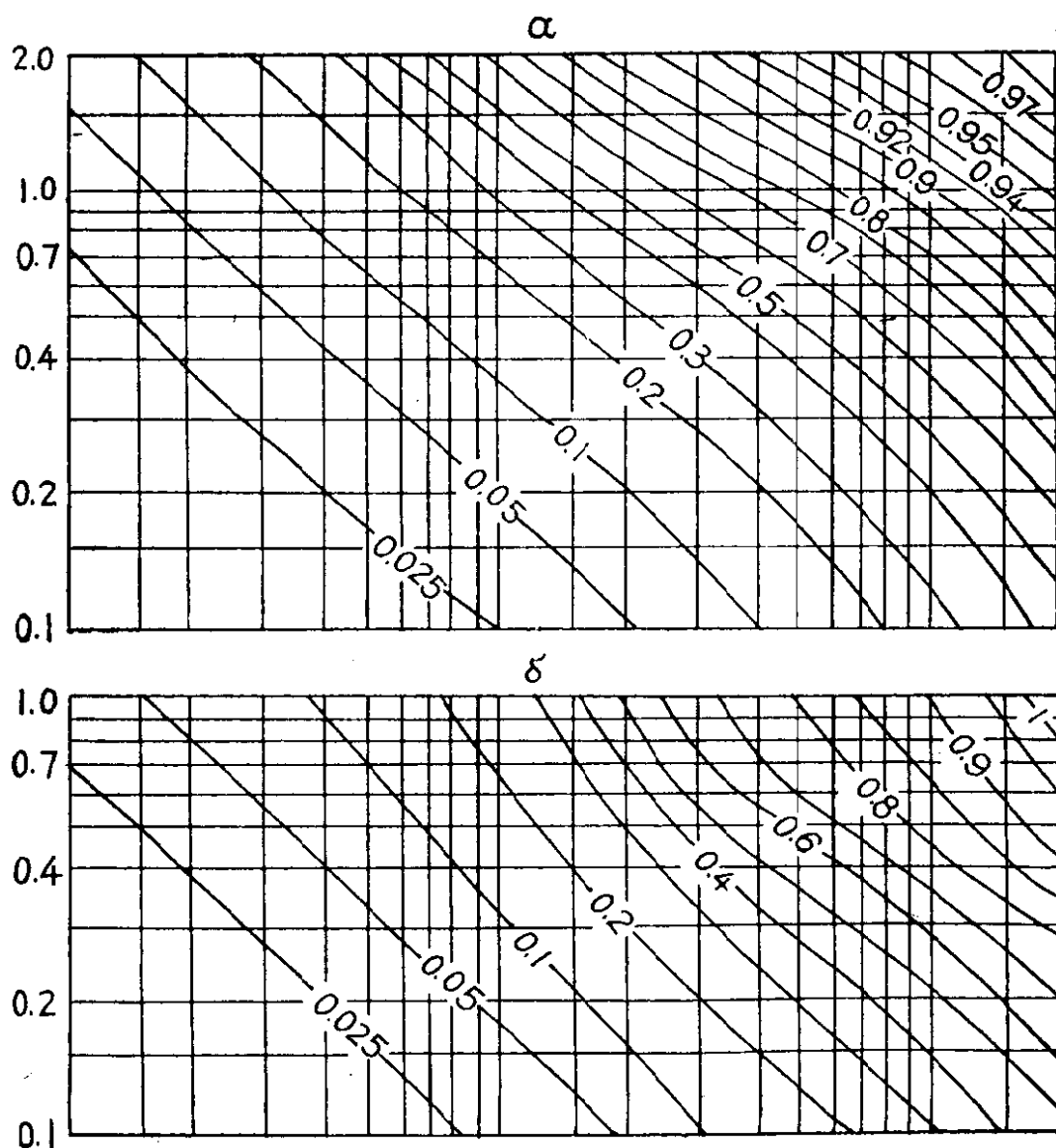
当 $\varphi_{i+1} > \varphi_2$ 时, 以 φ_2 代 φ_{i+1} ,

当 $\varphi_i < \varphi_1$ 时, 以 φ_1 代 φ_i ,

当 $\varphi_i > \varphi_2$ 时, 以 φ_2 代 φ_i 。

根据公式(5)编制出了夹角分别为 $0-90^\circ$ (图3, a), $0-30^\circ$, $30-60^\circ$ 和 $60-90^\circ$ (图3, b-d) 的列线图。这些列线图编制成概率曲面形式, 座标轴相应为按普查网的参数规格化的异常长度和宽度, 即 $L_a = L/a$, $m_a = m/b$ 。

为了检验所编制的列线图, 做了下述试验。准备了几套有机玻璃的客体模型, 往绘有给定的观测网度的图案板上, 进行1000次任



意投放，模型的参数和实验结果列于表1。可以看出，计算的概率和试验的概率是很接近的。

列线图的编制和模拟是由大学生 A. B. 斯米尔诺夫和 B. A. 马雷舍夫完成的。

下面以实例说明用列线图进行工作的方法。

例1 在普查与硫化物-黄铁矿矿化带有关的钴矿床时，按200

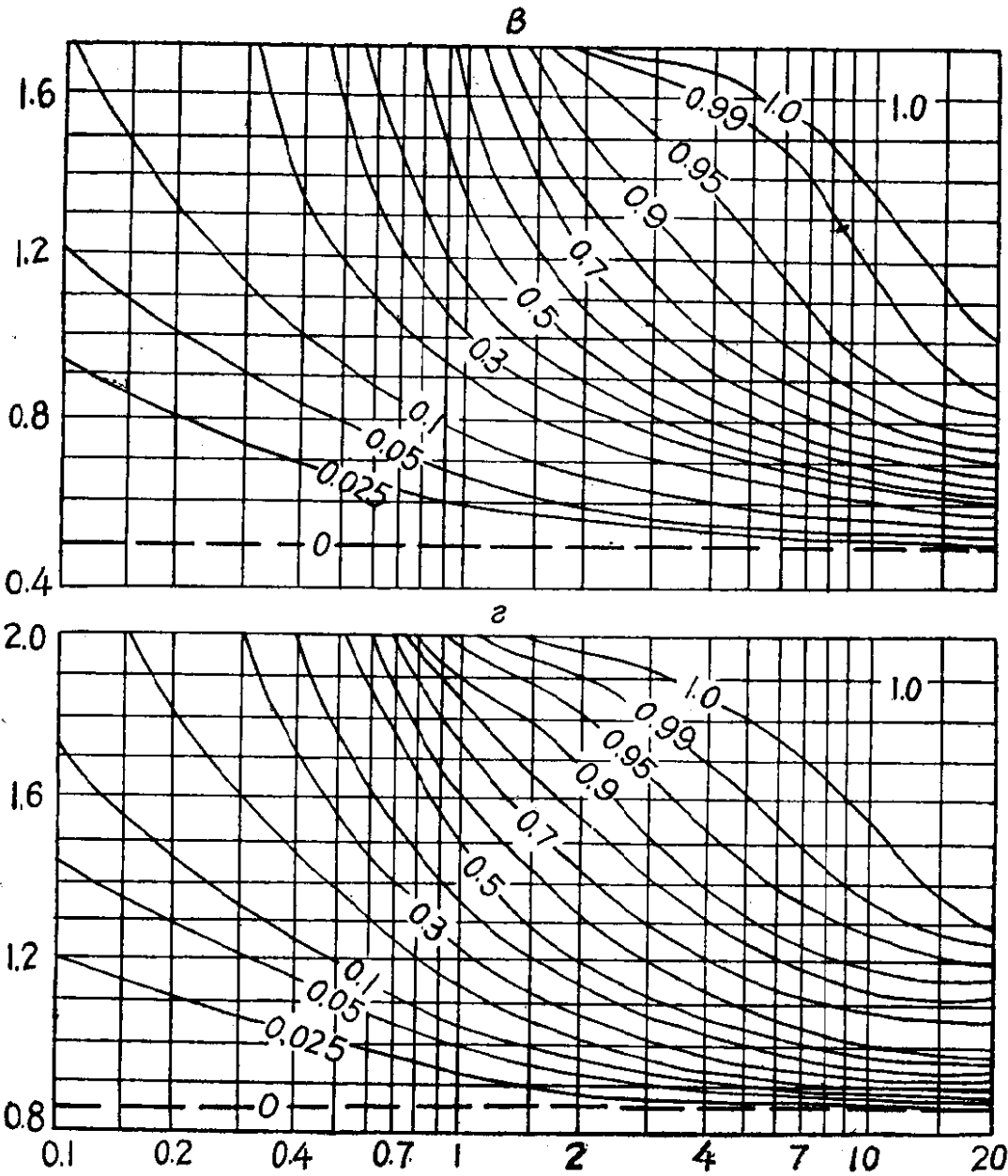


图 3 确定 $P_{\geq z}$ 的列线图

夹角 φ 分别为0—90° (a)、0—30° (б)、30—60° (B)和60—90°

× 20米和 100 × 10 米的网度进行了次生分散晕岩石地球化学测量 (瓦赫罗麦耶夫, 福科夫, 1972)。试估计当以钴^①的地球化学异常下限圈定的异常的平均大小为 400 × 30 米和交角 $\varphi = 60-90^\circ$ 时, 这种测量的可靠程度。

A. 网度 200 × 20 米, $L_a = L:a = 400:200 = 2.0$, $m_a = m:b = 30:20 = 1.5$ 。根据 60—90° 的列线图, 求得其概率 $P_{\geq 2} = 0.75$ 。

B. 网度 100 × 10 米, $L_a = 400:100 = 4.0$, $m_a = 30:10 = 3.0$ 。概率 $P_{\geq 2} = 1$ 。

因此, 100 × 10 米的网度可保证查明所有的钴晕, 而 200 × 20 米的网度只能查明 75% 的钴晕。

表 1 根据模拟结果对 0—90° 列线图所作的检验
(网度 5 × 10 毫米)

普查岩体的规模		概 率 $P_{\geq 2}$	
以客体的宽度和长度表示, 毫米 $m \times L$	以规格化后的客体的宽度和长度表示 $m_b \times L_a$	根据列线图查出的概率	由实验取得的概率
7.5 × 15	1.5 × 1.5	0.620	0.612
7.5 × 30	1.5 × 3.0	0.810	0.814
7.5 × 70	1.5 × 7.0	0.925	0.934
7.5 × 150	1.5 × 15.0	0.966	0.964
4.0 × 20	0.8 × 2.0	0.410	0.397
4.0 × 70	0.8 × 7.0	0.750	0.738
10 × 100	2.0 × 10.0	0.965	0.993

例 2 列线图不仅可在 L , m 和 φ 为固定值的情况下使用, 亦可在知道这些参数的统计分布的情况下使用。我们以乌里克斯科-伊伊斯克地堑 (近萨彦岭东部) 的一个地段为例, 来估计通过地面磁测、并配合重砂和岩石地球化学取样对该地段的金伯利岩进行普查的可靠程度。使用的测量网度为 100 × 20 米, 剖面线的方位角等于 55°。表 2 分别按 φ 、 L 和 m 列出了区内已知的磁场垂

① 此句中原文是“钙”, 似应为“钴”——译注。

直分量 ΔZ 异常的频率分布。并已查明, L 和 m 之间不存在相关关系, 异常参数和异常方向之间也没有关系。

拟求概率 $P_{\geq 2}$ 可以根据下列全概率公式来计算:

$$P_{\geq 2} = \sum_{k=1}^q P_k \cdot P_{\varphi k} \quad (6)$$

在这里, $P_{\varphi k}$ ——交角为 φ_k 的异常出现的频率; P_k ——含有交角 φ_k 的各个交角组与异常相交切的概率。

表 2 金伯利岩脉上的 ΔZ 异常按交角 φ , 长度 L 和密度 m 的分布情况
(近萨颜岭东部)

按 交 角		按 长 度			按 宽 度		
角 度 φ_k	频 率 P_{φ}	长度分类	平均长度 L_i	频 率 P_{Li}	宽度分类	平均宽度 m_i	频 率 P_{mi}
0—30	0.03	50—150	100	0.40	<25	20	0.20
30—60	0.26	150—250	200	0.37	25—35	30	0.55
60—90	0.71	250—350	300	0.15	35—45	40	0.16
		>350	400	0.08	>45	50	0.09

概率 P_k 由下述公式确定:

$$P_k = \sum_{i=1}^n P_{L,m} \cdot P_{Li} \cdot P_{mi} \quad (7)$$

在这里, $P_{L,m}$ ——根据与给定的夹角 φ_k 相应的列线图确定的发现长度为 L_i 、宽度为 m_i 的异常的概率; P_{Li} ——平均长度为 L_i 的异常的出现频率; P_{mi} ——平均宽度为 m_i 的异常的出现频率。

根据公式(7), 通过专门的表格(表3)来求解是较方便的。该表左侧列的是 P_{mi} 值; 表头中所列的 P_{Li} 值取自表2。将 P_{mi} 的数据和 P_{Li} 的数据写成分数, 每个分数的分子是根据列线图查出的概率 $P_{L,m}$, 分母则是 $P_{L,m}$ 与左侧的 P_{mi} 和表头的 P_{Li} 的乘积。例如, 对左上端第一格来说, 在 $L=100$ (即 $La=1.0$)和 $m=10$ (即 $m_s=1.0$)时, 计算出 $P_{mi}=0.20$, $P_{Li}=0.40$ 。根据列线图查得概

率 $P_{L,m}=0.05$ 。这一数据就相应于给定的 P_{mi} 和 P_{Li} 写在左上端第一格分数的分子上，而将 $0.05 \times 0.20 \times 0.40 = 0.004$ 写在分母上。

在表的最右边，列出了分母的总和，写在相应那一行的位置上。该表底部一行写出了相应纵列分母的总和，右侧最下面一格则是所有分母的总和。在本例中，它等于 $P_k=P_{k1}=0.663$ 。

利用相似的方法找出另外两交角组的概率，在 $\varphi=30-60^\circ$ 时， $P_{k2}=0.76$ ；在 $\varphi=0-30^\circ$ 时， $P_{k3}=0.85$ 。

根据公式（6）算出拟求的有限概率：

$$P_{>_2}=0.66 \times 0.71 + 0.76 \times 0.26 + 0.85 \times 0.03 = 0.70$$

从这里，不应当得出所研究的磁法测量不太可靠的结论，这是因为，普查工作一开始就是以至少根据一个点来发现金伯利岩脉上的磁异常为目标的，其工作的详细程度是通过将剖面上的测量间距缩小到10—15米，再每隔50米增加一条中间剖面来保证的（瓦赫罗麦耶夫，罗季奥诺夫，日特科夫，罗斯托娃，1970）。根据标准曲线计算出的概率 $P_{>_1}=0.97$ （弗兰茨基，巴扎诺夫，1969），也就是说，磁侧是足够可靠的。

表 3 根据公式(7)针对交角 $\varphi=60-90^\circ$ 的异常组得出的解

P_{mi}	P_{Li}				$\Sigma P_{L,m} \cdot P_{Li} \cdot P_{mi}$
	0.40	0.37	0.15	0.08	
0.20	$\frac{0.05}{0.004}$	$\frac{0.20}{0.015}$	$\frac{0.30}{0.009}$	$\frac{0.35}{0.006}$	0.034
0.55	$\frac{0.53}{0.117}$	$\frac{0.75}{0.153}$	$\frac{0.90}{0.074}$	$\frac{0.94}{0.041}$	0.385
0.16	$\frac{0.90}{0.058}$	$\frac{1.00}{0.059}$	$\frac{1.00}{0.024}$	$\frac{1.00}{0.013}$	0.154
0.09	$\frac{1.00}{0.036}$	$\frac{1.00}{0.033}$	$\frac{1.00}{0.014}$	$\frac{1.00}{0.007}$	0.090
$\Sigma P_{L,m} \cdot P_{Li} \cdot P_{mi}$	0.215	0.260	0.121	0.067	0.663

我们用普查工作的实际结果对求得的数据 $P_{>_2}=0.70$ 作检验。所查明的27条金伯利岩脉中，有20条脉是由一个以上的异常

点发现的。

例 3 我们预计某一地区经统计查明的地球化学异常密度为 20 米，并假设异常长度为 100 米，这时，我们计算：当客体与测线基本上垂直（60—90°）分布时，若要以不小于 0.95 的概率发现拟寻客体，测量网度应多大。显然，位于列线图右上侧的 0.95 等值线区就符合这种条件，因而可以采用与座标为 $L_0=1.0$ ， $m_0=2.0$ 的点相对应的网度 100×10 米。

计算出的列线图与诸如被广泛采用的 И. Д. 萨文斯基等的一些表格相比，具有许多优点。第一，使用起来要比表格简便而快速；第二，列入计算的参数较少，只有两个（ L_0 和 m_0 ），而不是表格所需的三个；第三，列线图能够在较宽的 L_0 范围内和各种观测网方位角的情况下估计概率。但是，列线图也存在一些缺点，尤其是它们只适用于沿走向延伸的客体。通过列线图和 И. Д. 萨文斯基的表格的对比表明，在普查客体与测网的方向任意交切时，用这两种方法估计出的概率 $P_{>}$ 的相对差值 δ 是：当客体的收缩系数 $\sigma' = m/L \leq 0.25$ 时， δ 不超过 5%；当 $\sigma' = 0.4$ 时， δ 增至 10—12%。但如果剖面垂直于拟寻异常的长轴（ $\varphi = 60-90$ ），那么，这两种方法的估计值是相近的（ $\delta \leq 1-2\%$ ），而与异常的延伸程度无关。

参 考 文 献

Вахромеев Г. С., Родионов Н. И., Житков А. Н., Ростова Л. С. Опыт применения магниторазведки при поисках кимберлитов в Присянье. — В кн.: Геофизические исследования при решении геологических задач в Восточной Сибири, вып 4. М., “Недра”, 1970, с. 155—163.

Вахромеев Г. С., Фоков Н. М. Применение геохимических методов при поисках кобальт-пиритового оруденения. — В кн.: Геохимические поиски рудных

месторождений. М., "Недра", 1972, с. 83—87.

Савинский И. Д. Таблицы вероятностей подсечения эллиптических объектов прямоугольной сетью наблюдений. М., "Недра", 1964. 86с.

Саврасов Д. И. Оценка вероятностей обнаружения аномалий геофизическими съемками. — "Геол. и геофиз.", 1965, № 4, с. 134—137.

Семенова О. Г., Евдокимов Ю. Д. Оценка эффективности поисковой сети наблюдений с помощью ЭЦВМ. — "Разведка и охрана недр", 1970, № 10, с. 21—24.

Соловов А. П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Алма-Ата, Изд-во АН КазССР, 1959. 266с.

Францкий И. В., Вазанов Г. А. Вероятностный метод определения плотности поисковой сети. — В кн.: Маркшейдерское дело в социалистических странах, вып. 4. Л., 1969, с. 261—269. (ВНИМИ. LXXV).

Шурыгин А. М. Расчет оптимальных сетей для поисков эллиптических залежей. М., "Недра", 1972. 95 с.

Kyrala A. Basic probabilistic methods in Geological Search. — "Geophysics", 1964. 29, № 1 p. 105—108.

王家枢 译

岩石和矿石物质快速 分析的综合方法

B. E. 卡普兰

浸染状钛磁铁矿工业矿体的界线是根据主要有益组分的含量确定的。矿石（可分为铁钒矿石和铜铁钒矿石）和矿化程度不够工业要求的围岩（辉长岩和辉岩）用肉眼区分不开。因此在普查、勘探和开采这类矿床时，有用组分含量的快速估测方法具有重要意义。

从1961年起就开始研究用物理方法快速分析铁钒矿床岩石和矿石的可能性（米克舍维奇，特鲁鲍夫，1963；米克舍维奇，特鲁鲍夫，萨莫依洛夫，维谢洛夫，1966；波诺马廖夫，格卢希赫，1963）。通过这些工作，确定了铁含量同岩石及矿石的磁化率、某些极化特征及其他物理参数的配对相关关系，研制出了测定仪器和方法，但它们在生产条件下的应用遇到了一系列困难，由于快速估测的精度不够而未被地质勘探和采矿企业所采用。

本文拟讨论在铁钒矿床以及以前没有研究过的铜铁钒矿床中，为了达到必需的快速估测精度和扩大所分析组分的数目，在对结果作适当的数学处理的情况下综合应用物理测量的经验。

快速估测的随机误差及减小方法

快速测定的随机误差是由物理测量的误差和由所使用的物理参数同所研究的含量之间的随机特征引起的随机偏差造成的。正如一些著作（杜鲍夫，1969；杜鲍夫，拉比诺维奇，顿科皮，富尔索夫，1970，等等）所指出的那样，通过改进仪器和测量方