

# 对数正态网纸法及其应用

## ——一种微量元素地球化学数据分析法

杨思学

(柏林自由大学地质系)

介绍了一种非常有用的微量元素地球化学数据分析法——对数正态分布网纸法。用此方法不仅可以减少数据分解之人为因素,提供一些附加信息,如平均值、方差及变形系数;而且可以区分地层,了解不同矿化产出状态;更重要的是可以将微量元素分析数据自然而合理地分解成一组或几组,进而结合地质观察解释其地球化学过程。

关键词 对数正态分布网纸法 微量元素 地球化学数据分组  
平均值 方差及变形系数



### 1 概述

岩石中微量元素的含量是各种地质作用、形成环境及岩石类型等的复合函数。

因此,鉴于地质作用的差异,不仅各种微量元素在不同岩石中的含量不同,即使在相同的岩石而不同地区中的含量也不一样,而常常是在给定地区的相同岩石中,微量元素的含量变化也很大。因而,在一给定地区进行地质普查、勘探评价时,首要任务就是要查明该区由于地质作用的差异而在微量元素含量上所产生的不同,进而将其计算分析,结合地质及薄片观察,了解其产生原因和形成过程。对于这种计算分析有不同方法,常用者有:计算平均值法和简单分组累计百分数法。笔者在此介绍一种简单而有效的方法。它是根据 Ahren(1954)提出微量元素在岩石中的分布服从对数正态分布;随后几经争论,虽认为 Pernson 分布是最一般的分布,特殊情况下也服从一般正态分布,但大

多数情况下还是服从对数正态分布。这种方法不仅使用、计算简便,数据分解合理自然,减少人为误差,而且可以产生一些附加信息——平均值、方差及其异常下限,更重要的是可以结合地质证据,科学地合理解释矿区外围有用元素的高含量值是成矿作用形成的,还是原始沉积作用形成的。不同的结论将产生不同的矿床成因及找矿方向,由此可见,这种方法具有独特性及实用性,而此法在国内地质界的使用却十分少见。因此,笔者在此用实例对其计算过程、解释及其应用等进行说明。

### 2 计算作图

在对给定地区进行普查、采样、分析后就得到一组微量元素地球化学数据。数据最好在 60 个以上,越多统计性越好。但从经济方面考虑,数据应少而精,有代表性。如果数据在 100 个以下,不用将其分组而直接计算;数据如多于 100,可先将其分组,再进行累计计算。分组原则是根据对数正态网纸的特点将

本文 1993 年 11 月收到,于纯烈编辑。

各组的中点定在 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 各点或其 10, 100 倍, 1/10, 1/100 倍等的各点上(表 1)。将表 1 中的累计百分数投影在对数正态网纸(以下简称网纸)上(图 1), 并将各点用光滑曲线连接起来。在此实例中, 曲线是由两个转折点所分开的 3 条直线组成。一般认为: 网纸上的 1 条直线代表 1 个对数正态分布, 与一个地质作用相联系。在矿区外围, 一般是由 3 条直线复合成的总体分布, 最小值者代表区域背景值, 中间值者代表热液作用所产生的异常值, 而最大值是和矿化作用相联系的。所以, 首先将图 1 中的总体分布 A 进行分解是必须的。转折点 1 将曲线在 35% 处分成两段, 前段占 35%, 后段占 65%。前段各点的累计百分数除以 35 后, 再投影在图 1 上, 得直线 C。而转折点 1 以后各点累计百分数用 100 减去, 除以 65, 所得百分数再用 100 减去; 其值再投影, 如 55% 的点  $(100-55)/65=69.2\%$ , 100

$-69.2=30.8$ , 以 30.8% 投影。得曲线 B。曲线 B 又由转折点 3 分成两个直线段。用上述相同的方法将其再分解成直线 D 和 E。

表 1 湘西金矿外围黄家凹马底驿组 As 含量

| 组中值<br>( $\times 10^{-6}$ ) | 频数(个) | 累计频数<br>(个) | 累计百分数<br>(%) |
|-----------------------------|-------|-------------|--------------|
| 0.5                         | 4     | 4           | 4.2          |
| 1.0                         | 6     | 10          | 10.4         |
| 1.5                         | 7     | 17          | 17.7         |
| 2.0                         | 6     | 23          | 24.0         |
| 2.5                         | 6     | 29          | 30.2         |
| 3.0                         | 12    | 41          | 42.7         |
| 3.5                         | 12    | 53          | 55.2         |
| 4.0                         | 10    | 63          | 65.6         |
| 4.5                         | 6     | 69          | 71.9         |
| 5.0                         | 4     | 73          | 76.0         |
| 6.0                         | 4     | 77          | 80.2         |
| 7.0                         | 6     | 83          | 86.5         |
| 9.0                         | 1     | 84          | 87.5         |
| 10.0                        | 2     | 86          | 89.6         |
| 15.0                        | 2     | 88          | 91.7         |
| 17.0                        | 3     | 91          | 94.8         |
| 20.0                        | 1     | 92          | 95.8         |
| 23.0                        | 1     | 93          | 96.9         |
| 25.0                        | 1     | 94          | 97.9         |
| 30.0                        | 1     | 95          | 99.0         |
| 50.0                        | 1     | 96          | 100.0        |

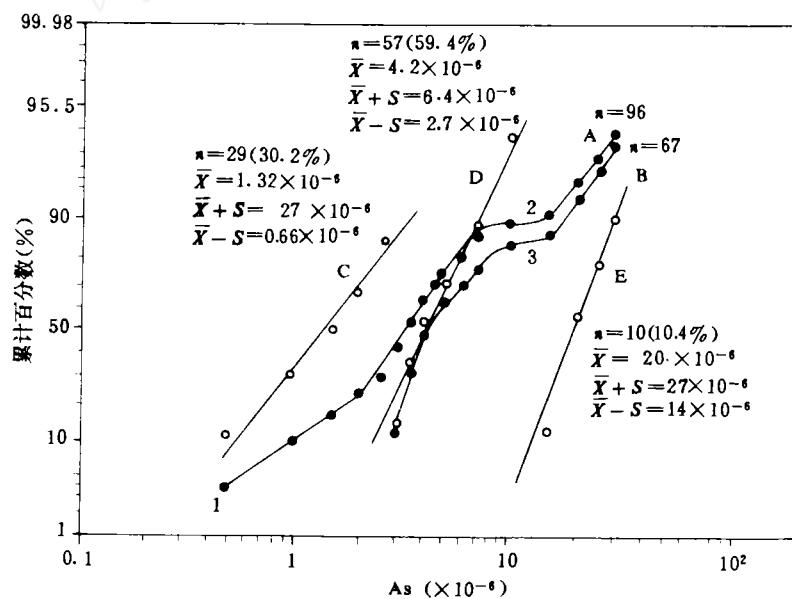


图 1 表 1 中 As 的对数分布图

$\bar{X}$ —平均值;  $S$ —方差;  $n$ —样品数(以下各图图例相同)

### 3 平均值及方差等计算

经上述处理, 从图 1 中得到 3 条直线, 每

一直线代表 1 个分布。直线的斜率说明该分布中数据的集散程度。越陡数据越集中, 越缓越分散。每一直线与 84% 线交点在含量轴上

的读数为其平均值  $\bar{X}$ , 与 84% 线的交点的读数为  $\bar{X}+S$  (方差) 值, 与 16% 线交点的读数为  $\bar{X}-S$  值,  $(\bar{X}+S)-(\bar{X}-S)=2S$ , 由此可计算出方差值。如图 1 中直线 C, 其平均值为  $1.32 \times 10^{-6}$ ,  $\bar{X}+S=2.7 \times 10^{-6}$ , 而  $\bar{X}-S=0.66 \times 10^{-6}$ , 因此  $S=(2.7-0.66)/2=1.00 \times 10^{-6}$ 。其他直线的平均值和方差用同样方法可以求出。如果某一微量元素为单一分布时, 可以很容易地从图 1 中确定其异常下限, 即直线与纵坐标 97.7% 交点的横坐标便是异常下限值, 亦即是  $\bar{X}+2S$  的值。

4 应用

由上述可知, 此方法简单、直观, 易于从总体分布图中分解出与地质作用相联系的分分布。而这种分分布的解释必须而且只能以地质观察及研究为依据, 否则, 将得不到合理的解释。笔者在此列举几个实例稍加说明其应用。

4.1 划分地层

由于各地层的沉积环境及其后所经历的地质作用不同, 所以, 其中的微量元素的含量也是不相同的。故用此方法是不难区分的。如在湘西金矿外围选了两条均穿过冷家溪群和马底驿组的剖面, 采样分析了其中的元素砷 (表 2)。将其用上述方法计算投影在网纸上, 容易分出两个分布 A 和 B (图 2)。对比表 2 和图 2 可以清晰地看出: A 分布代表马底驿组, B 分布代表冷家溪群。

4.2 了解矿体的主要赋存状态

矿体可以存在于不同的构造中。如可以赋存于断裂中成主脉, 存在于多组裂隙中形成网脉, 或主脉旁的节理脉中。不同构造部位的矿体品位是不同的, 因而, 可以用此方法将其区分。同时, 可以估算在各构造中所占的百分数。笔者收集了湘西金矿近 400 个钨 ( $WO_3\%$ ) 和锑 ( $Sb\%$ ) 的品位。用本文所描述的方法进行处理得图 3、4。由图 3 可知,  $WO_3$  服从非常好的单一分布, 其平均值为

0.07%, 方差为 0.27%。地质观察表明, 白钨矿主要赋存于层间裂隙两侧的羽状裂隙中。图 4 表明锑品位服从两个分布: 其一, 矿化离散, 含量低, 平均值为 0.035%, 代表网脉矿化; 其二, 矿化均匀, 含量高, 平均值  $\bar{X}=4.8\%$ , 占样品总数的 38%, 代表主矿脉矿化。钨和锑产于不同的构造部位, 所以, 两者的相关系数为 -0.069。

4.3 区分矿区外围背景值和由于矿化所产生的异常值

在矿区外围经常由于矿化作用而产生有用元素的高含量值。而这种高含量值常被误认为是矿床形成的原因, 即矿源层或成矿建造, 而使矿床成因发生误解。如著名的湘西金

表 2 太平铺和方子坝剖面冷家溪和马底驿组中 As 的含量

| 样品号    | 地层单位 | As<br>( $\times 10^{-6}$ ) | 样品号    | 地层单位 | As<br>( $\times 10^{-6}$ ) |
|--------|------|----------------------------|--------|------|----------------------------|
| WA2    | 马底驿组 | 1.0                        | WS4-1  | 冷家溪群 | 11.5                       |
| WA3    |      | 1.0                        | WS4-2  |      | 14.6                       |
| WA4    |      | 1.0                        | WS5    |      | 5.5                        |
| WA5    |      | 1.0                        | WS6    |      | 16.5                       |
| WA6    |      | 1.0                        | WS7    |      | 8.0                        |
| WA7    |      | 1.0                        | WS8    |      | 7.5                        |
| WA8    |      | 8.1                        | WS9    |      | 8.0                        |
| WA9    |      | 7.7                        | WS10   |      | 13.0                       |
| WA10-1 |      | 18.9                       | WS11   |      | 1.5                        |
| WA10-2 |      | 11.3                       | WS12-1 |      | 6.1                        |
| WA11   | 冷家溪群 | 1.4                        | WS12   |      | 1.5                        |
| WA12   |      | 6.1                        | WS13   | 马底驿组 | 1.5                        |
| WA13   |      | 17.7                       | WS14-1 |      | 1.6                        |
| WA14   |      | 1.0                        | WS14-2 |      | 1.5                        |
| WA15   |      | 8.2                        | WS15-1 |      | 1.6                        |
| WA16   |      | 8.6                        | WS15-2 |      | 1.5                        |
| WA17   |      | 6.4                        | WS16   |      | 1.5                        |
| WA18   |      | 5.8                        | WS16-2 |      | 1.6                        |
| WA19   |      | 10.3                       | WS17   |      | 1.5                        |
| WA20   |      | 29.3                       | WS18   |      | 1.5                        |
| WS21   |      | 14.0                       | WS19   |      | 1.5                        |
| WS22   |      | 11.7                       | WS1    | 冷家溪群 | 4.8                        |
| WS23   |      | 1.5                        | WS2-1  |      | 6.7                        |
| WS24   |      | 5.1                        | WS2-2  |      | 3.3                        |
| WS25   |      | 8.3                        | WS3    |      | 6.2                        |
| WA1-1  |      | 1.8                        | WA1-4  |      | 1.0                        |
| WA1-3  |      | 4.9                        |        |      |                            |

此表数据由马东升提供

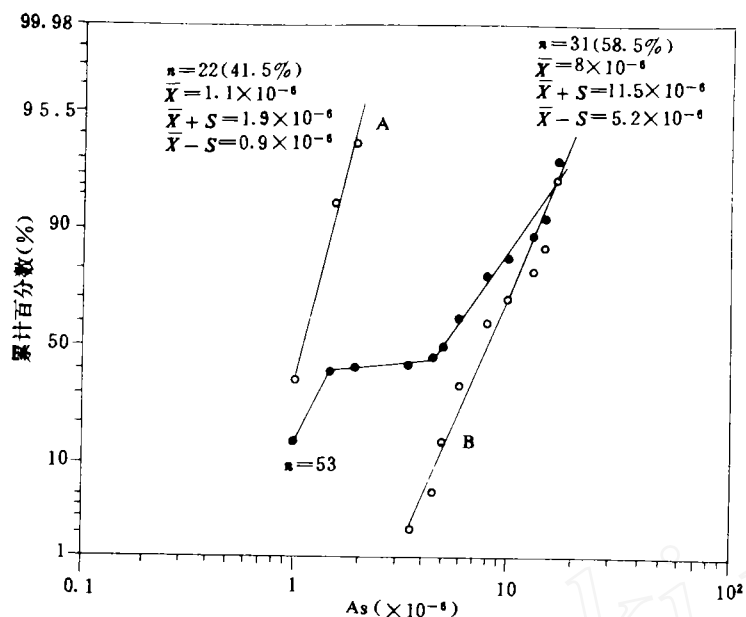


图2 表2中As的含量在对数正态网纸上的投影图

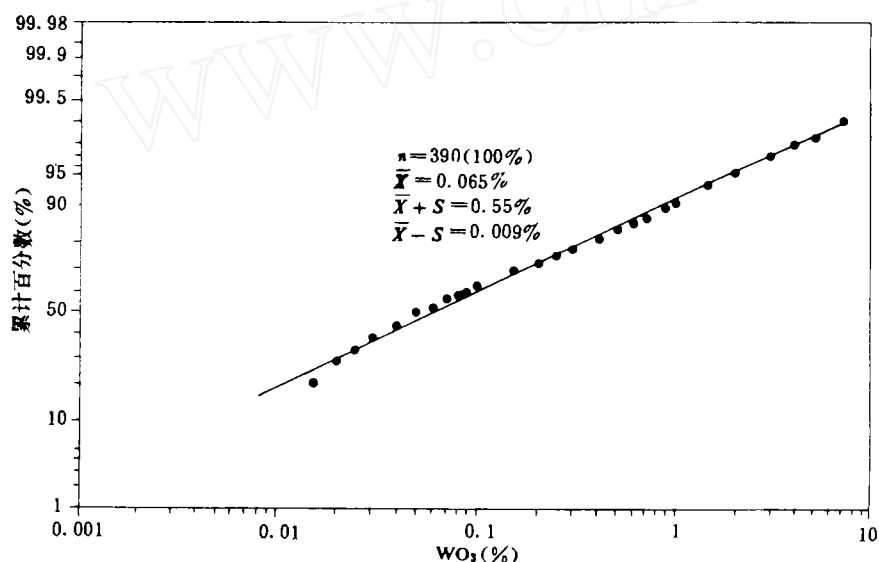


图3 湘西金矿  $WO_3$  (%)含量在对数正态网纸上的投影

矿外围地层马底驿组中金的含量按平均值计算是比较高,为  $9.52 \times 10^{-9}$ 。近地壳平均值 ( $1.8 \times 10^{-9}$ ) 的 5.3 倍<sup>[4]</sup>。但仔细检查其方差,发现其数据变化大,分散,而这仅是定性的衡量。笔者用上述方法处理,发现这一总分布是由 3 个分分布组成(图 5)。分布 A 的平均值为  $3.6 \times 10^{-9}$ ,是金的地壳平均值的 2 倍,而接近于页岩的平均值  $2.3 \times 10^{-9}$ <sup>[5]</sup>,占

样品总数的 82%,它代表岩石原始沉积所形成的背景值,但不能排除略受矿化影响<sup>[6]</sup>。而分布 B 和 C 是由矿化作用产生的。检查原始地质记录,发现分布 C 中的高含量值正好位于不整合面和断层附近。说明成矿时,成矿热液不仅从控矿构造——沃溪断层上侵,而且从不整合面和次级构造上升形成成矿元素的高含量值和较高含量值(分布 B 和 C)。薄片

中看到的热液活动所形成的石英—方解石—绿泥石—绢云母—磷灰石组合是和矿体中的围岩蚀变矿物组合十分接近的。从而证明外围岩石中金的高含量和矿体围岩蚀变是由成

矿热液形成的。因此,成矿物质不是来自马底驿组,而很可能是来自下部地层或上部地壳<sup>[6]</sup>。

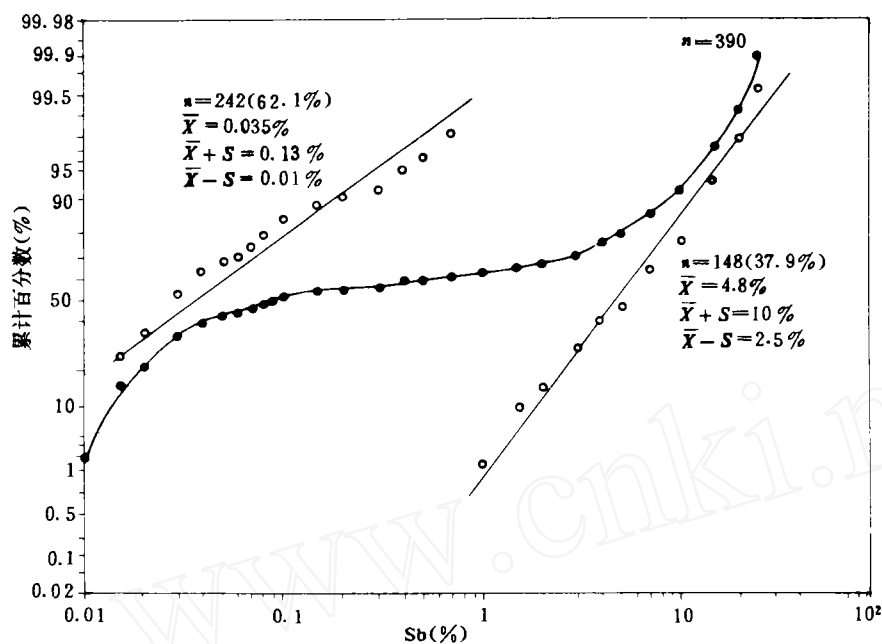


图4 湘西金矿 Sb(%)含量在对数正态网纸上的分布

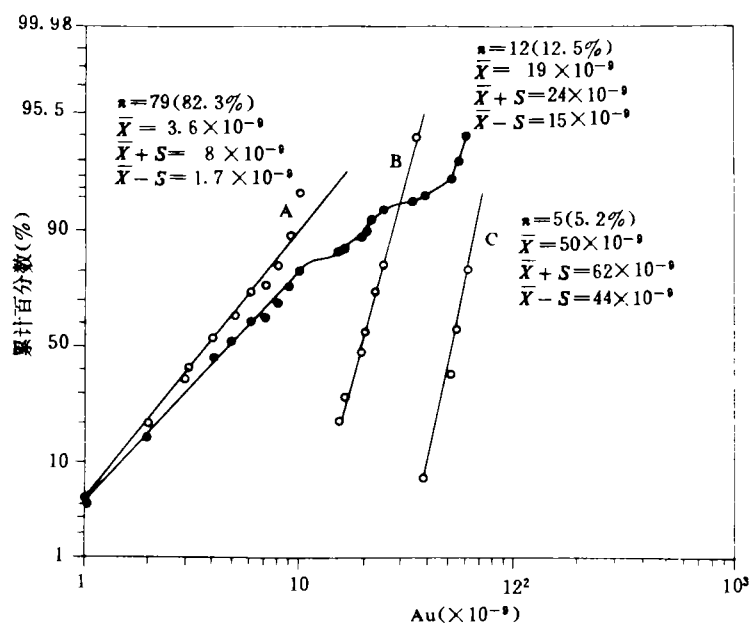


图5 湘西金矿外围黄家凹、马底驿组 Au( $\times 10^{-9}$ )含量在对数正态网纸上投影

## 5 结束语

上述方法使用简单、方便,减少数据分解的人为性。同时,它可以提供许多有用信息,如平均值和方差等,帮助划分地层,了解矿体主要赋存状态等。更重要的是可以判断矿区外围地层中微量元素的高含量是原始沉积形成的,还是在矿化过程中形成的。从而正确了解矿床成因,准确预测找矿方向。

在本文工作中,中南工业大学地质系张振儒教授和湘西金矿地测科的同志给予了大力帮助;此外,此法的应用得到 B. 莱曼教授的指教,在此谨表谢意。

### Logarithmic Probability Graph Paper and its Applications

Yang Sixue

This paper presents a useful method for the interpretation of geochemical data of trace elements—the logarithmic probability graph paper. Using it can not only decrease the man-made errors in the grouping the analysed data and give some useful information, such as average value, standard deviation and variation coefficient, but also discriminate the strata from each other and give the information about the occurrence of the different mineralisations. It is more important, that the analysed data of trace elements can be separated with it naturally and reasonably into a or more populations and furthermore applied to interpret their geochemical process in combining with the geological observation.

(上接第 43 页)

矿特征明显,并且,不仅北北东向构造与金矿成矿关系密切,而且近东西向构造对金矿的形成与分布也产生了同等的重要影响。例如,已知的大型牟平县金矿与乳山县金矿都产在北北东向与近东西向构造交汇部位或其附近。为此,我们综合上述控矿条件与已知金矿分布规律,推测育黎一下初、唐家沟—马台石—乳山县金矿、北徐格庄—曲河庄、上王格庄—石沟—西柳庄为本区进一步开展金矿找矿的有望区。

为了进一步检验上述预测的有效性,

### Application of Airborne VLF Electromagnetic Anomaly to Structural Mapping in Muru Area of Eastern Shandong

Hou Junsheng, Xian Jian, Wang Deguang

By analyzing 1 : 25000 Airborne VLF Electromagnetic anomaly in Muru area of eastern Shandong with airborne magnetic survey, airborne radioactivity survey, remote sensing and regional geological tectonic data, tectonic geological mapping has been conducted. Near EW fracture structure, which is neglected by former researchers, has been conformed and accurately positioned.

**Key words:** airborne, VLF, electromagnetic anomaly, structural mapping, eastern Shandong

## 参考文献

- 1 Ahrens L H. The lognormal distribution of the elements (A fundamental law of geochemistry and its subsidiary); *Geochimica et. Cosmochimica Acta*, 1954, 5:49.
- 2 徐光炽等. 地球化学. 北京: 科学出版社, 1984 年.
- 3 Rose A W. et al. *Geochemistry in mineral exploration*; 2th Edition, Academic Press, 1979.
- 4 Taylor S R and McLennan S M. *The continental crust; its composition and evolution*; Blackwell Scientific Publications, 1985.
- 5 Foster R P. (ed.) *Gold metallogeny and Exploration*; Blackwell Scientific Publications, 1991.
- 6 Yang S X, Lehmann B and Halbach P. The Madiyi Formation in NW Hunan, PR China and the "Source-Bed Concept". A Reinterpretation; The Symposium of the 9th International Association of Genesis of Ore Deposit (I-AGOD), in Beijing, PR China, 1994.

1992 年 7 月,我们对部分预测区进行了实地考察,均见到了矿化程度不等的石英脉出露。并且,大多数已知矿床(点)都分布在我们预测区之内,另外,1993 年 3 月 3 日《中国地质矿产报》报道的在金牛山附近发现的大型金矿床也在我们的预测区之内,这都有力地证实了上述预测的正确性。

## 参考文献

- 1 钱纪安等. 航空甚低频电磁法几个问题的探讨及应用. *物探与化探*, 1992, 16(2)
- 2 侯俊胜等. 航空 VLF 电磁法边界元分析及其应用. *桂林冶金地质学院学报*, 1993, 13(2)