

# 多元统计分析方法在莫桑比克穆卡拉金矿区的应用

杜小亮,刘广胜,崔庆岗,孟令华

(中化地质矿山总局山东地质勘查院,山东泰安 271000)

**摘要:**在矿产勘查中,化探资料的应用越来越广泛,通过对化探取得的数据进行分析和处理,可以比较准确的圈定异常区,对该地区的找矿工作有一定的指导作用。该文运用统计分析软件 SPSS 对矿区的化探数据进行了相关分析、因子分析、R 型聚类分析,确定了元素共生组合关系,为成矿预测提供依据。

**关键词:**相关分析;因子分析;R 型聚类分析;共生组合;穆卡拉金矿区;莫桑比克

**中图分类号:**P618.51;P632

**文献标识码:**B

**引文格式:**杜小亮,刘广胜,崔庆岗,等.多元统计分析方法在莫桑比克穆卡拉金矿区的应用[J].山东国土资源,2016,32(1):47-50. DU Xiaoliang, LIU Guangsheng, CUI Qinggang, etc. Application of Multivariate Statistical Analysis Method in Mukalla Gold Deposit in Mozambique [J]. Shandong Land and Resources, 2016,32(1):47-50.

地球化学勘查主要是运用化学元素的分布、分配,共生组合及其变化规律来进行找矿。在矿产普查与勘探中,通过化探数据分析和处理,可以准确地圈定化探数据异常区,为找矿工作起到指导作用<sup>[1]</sup>。目前主要采用多元统计分析法处理化探数据。多元统计分析方法是进行地质数据处理的常用方法,主要包括相关分析、因子分析、聚类分析等。该文拟对莫桑比克共和国穆卡拉金矿区化探样品运用 SPSS 软件进行相关分析、因子分析和聚类分析,异常下限值的计算,制作元素异常图,并对分析的元素进行分类,以确定元素之间的共生组合。并结合该地区区域地质,地球物理,地球化学等的信息综合评价,指导该地区的找矿潜力分析,对成矿远景区做出成矿预测<sup>[2]</sup>。

## 1 研究区地质简况

研究区大地构造位置位于非洲板块,非洲大陆南部,莫桑比克省,楠普拉亚省。地层单元划分则属于楠普拉单元。区内由老到新分布的地层有中元古代莫库巴群和莫洛奎群。莫库巴群大面积出露,岩

性主要为条带状黑云片麻岩和混合质黑云片麻岩。莫洛奎群主要有以下 2 个岩性段:第 1 岩性段岩性以片麻岩为主,含大理岩、钙一硅质、长英质和基性变火山岩夹层,片麻岩原岩为泥岩、砂岩为主。发育片麻理构造,走向 NE,倾向 NW,倾角 20°左右。第 2 岩性段岩性以斜长角闪质片麻岩和其他基性片麻岩为主。发育片麻理构造,走向 SE,倾向 SW,倾角 20°~30°。构造主要表现为断裂构造,褶皱构造不发育。岩浆岩为中元古代楠普拉杂岩体库里库埃序列的浅色片麻状花岗岩,浅色矿物呈条带状,眼球状,具有片麻理构造,片麻理倾向主要为 NW 向和 SW 向,倾角 10°~30°(图 1)。

## 2 地球化学数据的处理及分析

### 2.1 土壤的采集与分析

按南北向 500 m×250 m 网度对整个工作区开展了 1:5 万土壤化学测量,共取化探分析样 200 个,样品分析按单点样分析,每个样分析 11 种元素。

土壤测量主要采样线方向以垂直矿化体长轴方向和构造线方向布置,设计采样线方向 90°,线距 500 m,点距 250 m,采样密度约为 8 个点/km<sup>2</sup>,共

收稿日期:2015-04-02;修订日期:2015-04-30;编辑:王敏

作者简介:杜小亮(1976—),男,黑龙江省鸡西人,工程师,主要从事矿产勘查方面的工作;E-mail:yxwddxl@163.com

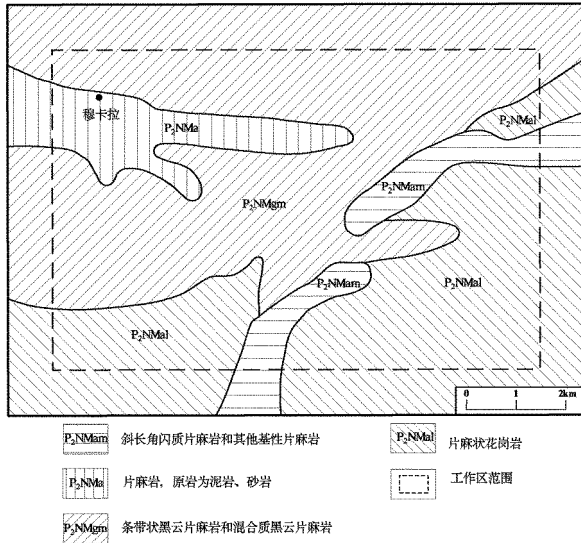


图 1 区域地质简图

200 件样品,土壤地球化学采样主要是采取 B 层为主,当为冲积物或其他外来搬运物所覆盖的地区进行采样时,通常应穿过这些覆盖物,在原地的残积、坡积层中采样。分析元素为 Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Hg, Co, Mo 共 11 种;分析方法及检出限应达到 1:5 万化探样品测试检出限要求。

### 2.2 土壤中元素的分布

变异系数 CV 是代表数据集中位置和分散程度的综合特征数,便于不同元素间的含量变化特征对比。其值为该地质单元元素含量标准方差与该地质单元元素含量的平均值比值,变异系数 CV>1,表明元素分布极不均匀,分异能力强,富集成矿的可能性大。变异系数 CV<1,表明元素分布比较均匀,分异能力弱,成矿的可能性小。各元素特征统计见表 1。

表 1 土壤测量元素含量的特征值

元素	平均值	标准方差	偏度	峰度	最小值	最大值	变异系数	元素单位
Au	1.71	2.44	3.79	22.00	0.20	13.80	1.43	10 <sup>-9</sup>
Co	17.51	9.96	1.11	1.14	2.74	50.76	0.57	10 <sup>-6</sup>
Cu	41.14	26.08	1.14	0.92	8.58	139.40	0.63	10 <sup>-6</sup>
Zn	33.24	15.45	0.42	-0.49	5.80	73.75	0.46	10 <sup>-6</sup>
Mo	1.51	1.99	5.32	34.84	0.39	17.79	1.32	10 <sup>-6</sup>
Pb	15.29	10.74	2.18	5.76	3.45	67.45	0.70	10 <sup>-6</sup>
As	0.76	1.00	3.45	13.92	0.09	6.48	1.32	10 <sup>-6</sup>
Sb	0.10	0.04	1.77	4.97	0.05	0.33	0.40	10 <sup>-6</sup>
Hg	27.86	12.08	2.71	13.10	7.99	111.63	0.43	10 <sup>-9</sup>
Bi	0.64	1.06	5.63	38.43	0.09	9.74	1.66	10 <sup>-6</sup>
Ag	0.04	0.03	3.89	27.28	0.02	0.31	0.81	10 <sup>-6</sup>

从表中可以看出, Au, As, Bi, Mo 的变异系数 >1.0;异常性质强,易于活动迁移形成矿化物或强异

常,为成矿元素或伴生元素、指示元素,找矿意义大。

### 2.3 异常下限值的计算

化探工作中,异常下限的确定是重要的环节之一,计算的合理与否直接影响找矿效果的好坏,是决定地球化学勘查有效性的一个关键性环节<sup>[3]</sup>。对研究区的 200 件化探样品采用剔除特高值的方法。首先将样品数据进行处理,对样品数据先取对数,再将数值大于均值加三倍标准差的数据剔除,直至无剔除点,即所有的数据都小于均值加三倍标准差,最后以二倍背景值加标准差作为异常下限(表 2)。

表 2 异常下限

元素	Ag	Au	Co	Cu	Zn	Mo	Pb	As	Sb	Hg	Bi
异常下限值	0.11	5.19	47.45	88.99	84.35	3.46	41.77	2.81	0.19	52.78	1.80

### 2.4 元素的相关分析

相关分析是研究和处理一组变量与另外一组变量间相关关系的一种统计方法。在相关分析中,主要包括 2 个变量,一个叫因变量,另外叫自变量。变量之间相关关系密切程度的统计分析指标用相关系数来衡量,相关系数取值范围在 -1 和 +1 之间,其值越接近 1,表示 2 个变量之间的相关性越大,相关程度越好。

利用 SPSS 软件对 11 种元素的相关性进行研究和分析,得出表 3,从表中可以看出, Cu, Zn, Co 的相关性比较好;其中 Cu 与 Co 的相关系数最高,达到了 0.849, Zn 与 Co 的相关系数为 0.798, Cu 与 Zn 的相关性比较好,为 0.759,与 Mo 也有较好的相关性。Bi, Hg 与 Pb 具有较好的正相关性。

表 3 元素相关系数

元素	Au	Co	Cu	Zn	Mo	Pb	As	Sb	Hg	Bi	Ag
Au	1.000										
Co	0.029	1.000									
Cu	0.140	0.849	1.000								
Zn	0.032	0.798	0.759	1.000							
Mo	0.003	0.380	0.471	0.322	1.000						
Pb	-0.013	0.159	0.029	0.229	0.052	1.000					
As	0.422	0.149	0.180	0.201	0.020	0.156	1.000				
Sb	-0.180	0.164	0.064	0.035	-0.025	0.014	-0.085	1.000			
Hg	0.187	0.230	0.171	0.278	0.054	0.524	0.325	-0.101	1.000		
Bi	0.061	-0.017	-0.058	-0.020	-0.064	0.467	0.251	0.025	0.723	1.000	
Ag	0.123	0.399	0.390	0.403	0.189	0.193	0.213	0.069	0.227	0.095	1.000

### 2.5 元素的因子分析

因子分析是对大量地质观测资料进行分析和作出较为合理解释的一种多变量统计方法<sup>[4]</sup>。它实际

上是一种降维分析,降维后使标本具有更明确的意义<sup>[5-6]</sup>。通常 *R* 型因子分析用于研究变量间的关系,*Q* 型因子分析用于研究样品间的关系<sup>[7]</sup>。利用 SPSS 软件对元素进行 *R* 型因子分析,分析结果见表 4。从表 4 可以看出,前 3 个因子的累计方差贡献率达到了 63.207%,表明用这 3 个因子代表了该地区原始变量的大部分信息,其中每个因子代表了不同的元素组合。第 1 因子 *F1* 的方差贡献率达到了 28.863%,远高于其他 2 个因子,具有较高载荷的元素为 Cu, Co, Zn, Mo, Ag; 说明因子 *F1* 主要受这些元素的影响,代表了 Cu, Co, Zn, Mo, Ag 组合。从地球化学亲和性来说, Cu, Zn, Ag 都为亲硫性元素; 为成矿元素组合类型; 与该区的岩浆型热液成矿作用有关, Mo 为高温元素易于在酸性岩体中富集, 与该区中的花岗岩关系密切。第 2 因子 *F2* 的方差贡献率达到了 20.543%, 代表的地质信息较为丰富, 具有较高载荷的元素为 Bi, Hg, Pb; 因子 *F2* 受这些元素的影响比较大, 代表了 Bi, Hg, Pb 组合。其中 Bi, Hg 是低温元素; 比较活跃, 一般代表了前缘指示元素, 它们形成的地球化学异常可以在一定程度上指示隐伏矿体。第 3 因子 *F3* 的方差贡献率达到了 13.801%, 具有较高载荷的元素为 Au, As; 因子 *F3* 主要受这些元素的影响, 代表了 Au, As 组合。在戈氏分类中 As 属于亲铜元素, 经常与成矿元素相伴生。

表 4 因子正交旋转载荷

元素	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>F3</i>
Cu	0.923	-0.031	0.076
Co	0.917	0.089	-0.071
Zn	0.870	0.139	0.001
Mo	0.566	-0.083	-0.032
Ag	0.539	0.217	0.117
Bi	-0.111	0.876	0.065
Hg	0.176	0.852	0.211
Pb	0.114	0.770	-0.103
Au	0.077	0.013	0.831
As	0.189	0.295	0.679
Sb	0.131	0.065	-0.530
特征值	3.411	2.165	1.376
方差贡献%	28.863	20.543	13.801
累计方差贡献%	28.863	49.406	63.207

## 2.6 元素的聚类分析

聚类分析则根据分类事物个体间关系的紧密程度或近似程度而进行聚合分类<sup>[8]</sup>。它是一种根据数字特征进行分类的办法, 所以不受研究对象的了解程度的限制, 而且所得的结果是一张树枝状谱系

图, 可以根据问题的性质的多少, 选择不同的相似性水平, 作出合理的分类和解释<sup>[9]</sup>。

聚类分析主要根据研究对象的不同, 分为 2 大类。一类是 *R* 型聚类分析, *R* 型聚类分析主要是对变量之间的关系进行研究, *R* 型聚类分析不但可以了解个别变量组合之间的亲疏程度<sup>[2]</sup>, 还可以确定元素的共生组合关系。另一类是 *Q* 型聚类分析, *Q* 型聚类分析则是对样品之间的关系进行研究。

该文用 SPSS 软件对矿区中的 11 种元素进行了 *R* 型聚类分析, 得出了元素相关谱系图(图 2), 由聚类谱系图可以看出当相关系数 *R* 为 16 时, 将元素分为 4 组。其中 Co, Cu, Zn, Ag, Mo 关系密切; 为第 1 组, 这与因子分析中的 *F1* 因子相对应。Bi, Hg, Pb 的关系较为密切; 为第 2 组, 这与因子分析中的 *F2* 因子相对应。Au, As 关系较为密切; 为第 3 组, 这与因子分析中的 *F3* 因子相对应。总的来说, *R* 型聚类分析不但可以了解个别变量组合之间的亲疏程度(谷振飞等, 2009), 还可以确定元素的共生组合关系。

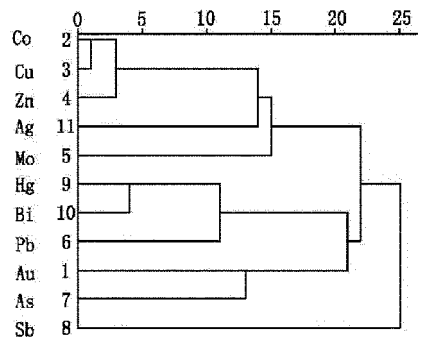


图 2 元素相关谱系图

## 3 地球化学异常图分析及初步查证

### 3.1 地球化学异常图分析

根据求得异常下限值制作单元素化学异常图, 分带结果显示 Mo 具有外、中、内带, Au 有外、中带, Cu, As 只有外带。再根据因子分析方法确定的元素的共生组合关系圈定组合异常, 最后得出 2 个异常组合, 一个是 Au-As 异常组合, 一个是 Cu-Mo 异常组合(图 3)。

### 3.2 初步异常查证

为了评价土壤化学测量圈出的综合异常区, 在异常区内又开展了土壤化学测量、槽探、浅井、物探等验证工作。

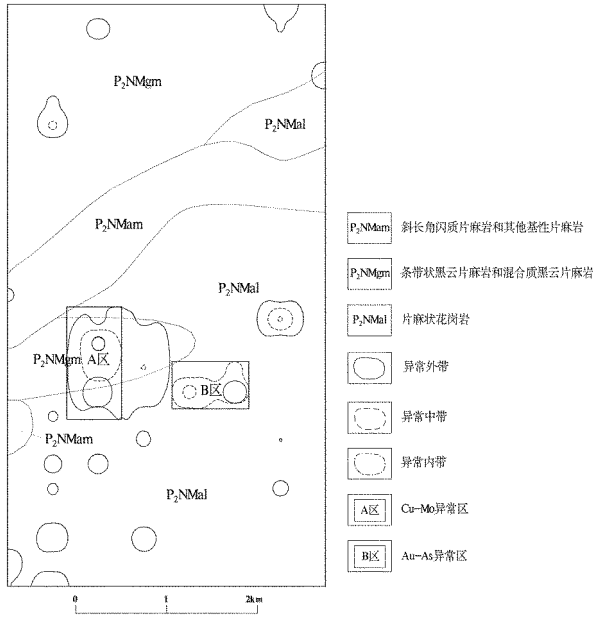


图 3 Au-As Cu-Mo 异常图

Au-As 异常区沿南北向布了 9 个物探测深点, 从测得的结果分析, 视电阻率显示化探异常点下有高极化率地质体存在。所以 Au-As 异常区为找 Au 重点区域, 建议对该区进行物探中梯扫面及地表工程验证。

Cu-Mo 异常区通过土壤化学测量验证, Mo 异常区与化探圈出的 Mo 异常区相符, 该次工作还利用物探方法对 Cu-Mo 区进行了中梯电法扫面及局部电测深工作, 与地表化探 Mo 异常区吻合。建议对该物探异常部位进行深部钻探验证。对重点铜、钼异常区进行地表工程验证。

## 4 结论

(1) 对矿区化探样品分析的数据采用多元统计分析方法, 运用 SPSS 软件进行了相关分析、因子分析、R 型聚类分析, 确定元素的共生组合关系。

(2) 分析结果表明该矿区的主要成矿元素为 Au, As, Cu, Mo; 这与 F1 因子和 F3 相对应, 可作为矿区的找矿指示性元素。

(3) 根据因子分析方法确定的元素的共生组合关系圈定出 Cu-Mo 和 Au-As 两个异常组合。

(4) 运用多元统计分析方法进行数据处理, 对成矿远景区成矿预测和找矿勘探有重要意义。

## 参考文献:

- [1] 谷振飞, 刘红微, 王晓枝. 泛克里金法在化探数据处理中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2009, 31(5): 507-510.
- [2] 张再天, 潘家永. 江西玉华山地区水系沉积物化探数据处理及找矿靶区划分[J]. 物探化探计算技术, 2013, 35(1): 86-92.
- [3] 王志刚. 分形方法在海南屯昌地区地球化学找矿中的应用[J]. 地质调查研究, 2012, 35(4): 315-320.
- [4] 罗先熔, 文美兰, 欧阳菲. 勘查地球化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
- [5] 姚玉增, 巩恩普, 梁俊红. R 型因子分析在处理混杂原生晕样品中的应用——以河北丰宁银矿为例[J]. 地质与勘探, 2005, 4(2): 51-55.
- [6] 魏印涛, 何其芬, 刘伟. R 型因子分析和聚类分析在水系沉积物测量中的应用[J]. 山东国土资源, 2014, 30(10): 50-53.
- [7] 时艳香, 纪宏金, 陆继龙. 水系沉积物地球化学分区的因子分析方法与应用[J]. 地质与勘探, 2004, 40(5): 73.
- [8] 杨守业, 杨从先. 元素地球化学特征的多元统计方法研究——长江与黄河沉积物元素地球化学研究[J]. 矿物岩石, 1999, 19(1): 63-67.
- [9] 蒋敬业. 应用地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2006.

## Application of Multivariate Statistical Analysis Method in Mukalla Gold Deposit in Mozambique

DU Xiaoliang, LIU Guangsheng, CUI Qinggang, MENG Linghua

(Shandong Geological Exploration Institute of Geology and mineral exploration, Shandong Tai'an 271000, China)

**Abstract:** Geochemical datas have been used in mineral exploration more and more widely. Through analysis and processing of geochemical datas, abnormal areas can be more accurately delineated. It has a certain guiding role in the ore-prospecting work in this area. In this paper, by using SPSS statistical analysis software, correlation analysis, factor analysis and R cluster analysis of geochemical datas have been carried out, and the relationship between the element association has been determined. It provides the basis for metallogenic prediction.

**Key words:** Correlation analysis; factor analysis; R cluster analysis; paragenetic association; Mukala gold deposit; Mozambique