

基于多元统计的微量元素地球化学特征分析 ——以广西资源县向阳坪地区构造蚀变岩型铀矿为例

黄宏业, 肖建军, 欧阳平宁, 唐智源, 王江波

(核工业 230 研究所, 长沙 410011)

摘要: 应用聚类分析和因子分析对广西资源县向阳坪地区构造蚀变岩型铀矿样品的 22 种微量元素进行了系统分析。分析结果表明, W-Sr-Hg-As-Sb 元素组合在铀成矿作用过程中起关键性作用。该元素组合特征可以用于本区地球化学找矿中判别构造的含矿性以及推断隐伏的铀矿体。

关键词: 微量元素特征; 聚类分析; 因子分析; 找矿意义

doi: 10.3969/j.issn.1001-1412.2009.03.006

中图分类号: P595; P619.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2009)03-0211-06

0 引言

多元统计是一种数理统计方法,它能够把隐藏在大规模原始数据群体系中的重要信息提炼出来,把握住系统的主要特征,因而能广泛地应用在地质找矿各个领域^[1,2]。研究区位于广西壮族自治区资源县向阳坪地区,沙子江铀矿床的西部和南部。对区内含矿断裂及钻孔内的 63 个构造蚀变岩样品和 28 个正常岩石样品进行多元统计分析,研究微量元素的组合特征以及内在的关系。

1 地质特征

研究区位于广西资源县苗儿山铀成矿带的中西部,除南部出露新元古界—古元古界浅变质岩系外,大面积出露印支期中粗粒斑状黑云母花岗岩(γ_5^1)、燕山早期第二阶段中细粒斑状黑云母花岗岩(γ_5^2)以及燕山晚期细粒花岗岩脉(γ_m)。该区 NNE 向和 NE 向两组

构造最为发育,是主要的控(含)矿构造。自东向西

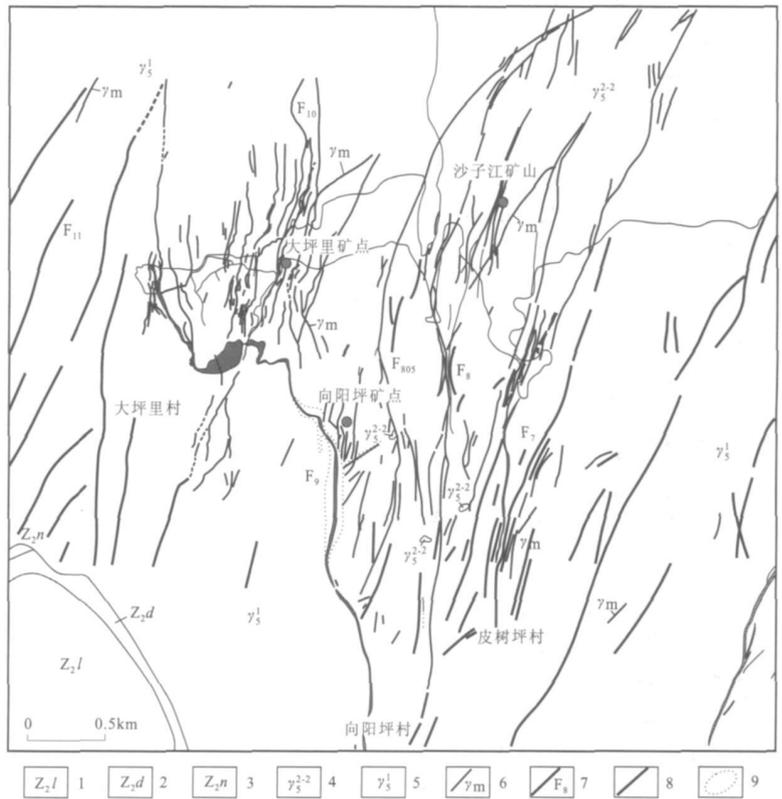


图 1 向阳坪地区铀矿地质略图

Fig. 1 Geological sketch of U-deposit in Xiangyangping area

- 1. 上震旦统老堡组硅质岩 2. 上震旦统陡山沱组浅海相深色页岩 3. 下震旦统南沱组含砾砂岩夹变质砂岩、粉砂岩 4. 燕山早期第二阶段中细粒斑状黑云母花岗岩 5. 印支期中粗粒斑状黑云母花岗岩 6. 细粒花岗岩脉 7. 断裂及编号 8. 硅质脉 9. 蚀变岩带

收稿日期: 2008-07-28; 改回日期: 2008-09-25

作者简介: 黄宏业(1972-),男,湖南邵阳人,高级工程师,硕士。主要从事地质勘查工作。通信地址:长沙 320 信箱,邮政编码:410011。

主要分布有 F₇, F₈, F₉, F₁₀, F₁₁ 等硅化断裂带组, 其中 F₇, F₈, F₁₀, F₁₁ 等硅化断裂带组总体走向为 NNE-近 SN 向, F₉ 硅化断裂带形迹特殊, 其总体走向为 NNW 向(图 1)。

向阳坪地区铀矿严格受断裂控制, 矿体赋存于破碎强烈的断裂构造及其上、下盘次级断裂带内, 断裂拐弯、收缩、分支复合及尖灭再现部位常产有较好的矿体。构造岩主要分为碎裂花岗岩、硅化碎裂岩、硅质脉及硅质胶结角砾岩, 局部见初糜棱岩、糜棱岩。带内成矿脉体发育, 常见胶黄铁矿、赤铁矿脉和红色、灰黑色微晶石英脉以及少量沥青铀矿微脉, 上、下盘围岩蚀变强烈, 常见钾长石化、水云母化、绿泥石化、硅化和碱交代等蚀变。区内铀矿体形状为脉状、似脉状、透镜状、囊状、柱状等。赤铁矿-硅化及黄铁矿-硅化碎裂花岗岩为区内主要矿石类型, 本次微量元素分析主要是针对此类矿石类型。矿石矿物以沥青铀矿、黄铁矿、赤铁矿为主, 少量白铁矿、毒砂、白钨矿、辉锑矿; 脉石矿物为玉髓、石英、绢云母、高岭石、萤石、方解石等。铀的次生矿物为硅钙铀矿、板铅铀矿、钙铀云母、铜铀云母等。

2 地球化学特征分析

样品微量元素测试采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS), 由核工业北京铀矿地质研究院分析测试中心测定。根据铀矿勘查规范, 按铀的质量分数将构造蚀变岩样品分为矿石样($\geq 1 \times 10^{-6}$, 38 个样品)、无矿样($< 1 \times 10^{-6}$, 26 个样品) 2 类, 以便于对比分析。

2.1 微量元素特征

对比分析矿石样及围岩(中粗粒斑状黑云母花岗岩、中细粒斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩等), 矿石样微量元素质量分数明显增加的元素主要有: Sr, Mo, As, Sb, U (表 1), 其中 As, Sb 增加得最为明显, 分别达 7.07 倍和 11.6 倍, 这些元素显然属于矿化热液活动元素, 其元素组合反映成矿流体的特征。Ta, Sn, Nb, Bi 和 Cu 的质量分数呈下降趋势, 反映了这些元素在被带出的特点。Hg 和 W 较为特殊, 它们的质量分数基本上与中细粒斑状黑云母花岗岩中一样。

表 1 向阳坪地区微量元素统计特征表

Table 1 Micro-elements statistics for Xiangyangping area

($w_B/10^{-6}$)

| 分类(样品数) | 统计量 | V | Cr | Co | Ni | Cu | Zn | As | Rb | Sr | Zr | Nb |
|-----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 矿石样(38) | X | 20.59 | 11.48 | 2.95 | 3.5 | 20.46 | 42.51 | 152.46 | 354.34 | 85.34 | 132.44 | 18.23 |
| | S | 5.79 | 3.56 | 1.35 | 1.39 | 35.39 | 13.61 | 254.46 | 92.64 | 264.89 | 41.8 | 6.64 |
| | C _v | 0.28 | 0.31 | 0.46 | 0.4 | 1.73 | 0.32 | 1.67 | 0.26 | 3.1 | 0.32 | 0.36 |
| 无矿样(25) | X | 21.43 | 13.47 | 3.01 | 4.09 | 24.45 | 45.59 | 64.69 | 386.58 | 47.12 | 139.19 | 24.25 |
| | S | 10.58 | 4.95 | 1.94 | 2.2 | 32.11 | 25.89 | 127.1 | 88.55 | 34.44 | 50.08 | 14.94 |
| | C _v | 0.49 | 0.37 | 0.64 | 0.54 | 1.31 | 0.57 | 1.96 | 0.23 | 0.73 | 0.36 | 0.62 |
| 中粗粒斑状黑云母花岗岩(8) | X | 28.59 | 17.56 | 5.56 | 8.59 | 164.93 | 64.74 | 11.10 | 326.86 | 74.51 | 149.57 | 25.29 |
| 中细粒斑状黑云母花岗岩(11) | X | 6.83 | 8.06 | 1.18 | 1.85 | 15.04 | 35.43 | 8.83 | 564.82 | 19.03 | 58.51 | 34.04 |
| 细粒黑云母花岗岩(11) | X | 7.12 | 6.63 | 1.12 | 2.15 | 27.29 | 33.15 | 21.57 | 682.10 | 12.47 | 49.05 | 54.85 |
| 分类(样数) | 统计量 | Mo | Sn | Sb | Y | Hf | Ta | W | Hg | Bi | Th | U |
| 矿石样(38) | X | 3.61 | 12.61 | 17.98 | 16.94 | 5.31 | 2.14 | 31.32 | 0.87 | 2.5 | 30.25 | 2462.29 |
| | S | 5.11 | 6.91 | 23.73 | 5.33 | 1.49 | 0.97 | 73.25 | 2.34 | 3.03 | 8.26 | 7279.76 |
| | C _v | 1.42 | 0.55 | 1.32 | 0.31 | 0.28 | 0.45 | 2.34 | 2.69 | 1.21 | 0.27 | 2.96 |
| 无矿样(25) | X | 2.22 | 17.4 | 6.03 | 16.74 | 5.33 | 3.19 | 9.05 | 0.23 | 3.3 | 33.73 | 35.98 |
| | S | 2.31 | 11.94 | 9.67 | 6.96 | 1.67 | 2.06 | 6.29 | 0.16 | 4.82 | 15.93 | 27.29 |
| | C _v | 1.04 | 0.69 | 1.6 | 0.42 | 0.31 | 0.65 | 0.7 | 0.69 | 1.46 | 0.47 | 0.76 |
| 中粗粒斑状黑云母花岗岩(8) | X | 1.84 | 12.73 | 1.55 | 20.10 | 5.37 | 2.51 | 2.99 | 0.08 | 3.17 | 39.37 | 25.44 |
| 中细粒斑状黑云母花岗岩(11) | X | 0.99 | 30.37 | 0.58 | 11.30 | 3.29 | 8.80 | 33.94 | 0.79 | 8.51 | 13.28 | 24.99 |
| 细粒黑云母花岗岩(11) | X | 2.29 | 47.32 | 0.96 | 11.07 | 4.04 | 12.89 | 135.30 | 3.34 | 17.46 | 12.35 | 36.39 |

注: 算术平均值(X), 标准差(S), 变异系数(C_v= S/X)

对比无矿样(表 1, 图 2), 矿石样中的亲铁元素 V, Cr, Co, Ni 和稀有元素 Y, Zr, Hf 的含量保持不变, Nb, Ta 有所减少; 亲铜元素中的 As, Sb, Hg 增加明显, 分别增加 2.35 倍、2.98 倍和 3.78 倍, Cu 和 Zn 的质量分数几乎没有变化; W, Mo 分别增加 3.46 倍和 1.63 倍, Sn, Bi 有所贫化; 亲石元素 Rb 的变化不大, Sr 则增加 1.81 倍。构造运动使 U 和 W, Mo, Sr, As, Sb, Hg 等成矿元素活化、迁移, 并在有利的部位富集成矿^[3]。

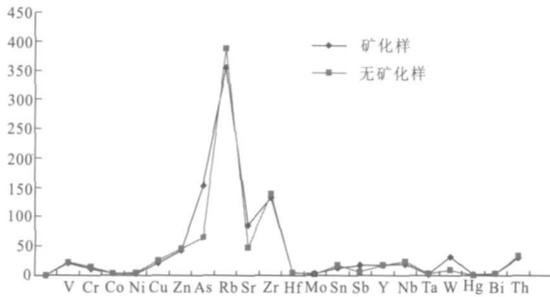


图 2 向阳坪地区构造蚀变岩微量元素算术平均值得曲线图

Fig. 2 Arithmetic average value curve of micro-elements of altered tectonite in Xiangyangping area

本区构造蚀变岩主要成矿元素 U 以及与成矿相关的元素 Cu, As, Mo, Sb, Bi 的变异系数均 > 1 (图 3)。一般说来, 越靠近矿体, 成矿元素的分布越不均匀, 成矿元素组合越复杂, 变异系数越大。与无矿样相比, 矿石样中 Sr, W, Mo, Hg 的变异系数变大, 说明与铀成矿关系密切。

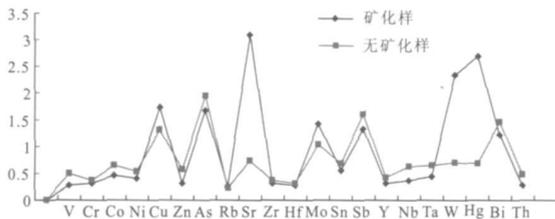


图 3 向阳坪地区构造蚀变岩微量元素变异系数曲线图

Fig. 3 Variation coefficient curve of micro-elements of altered tectonite in Xiangyangping area

2. 2 聚类分析

聚类分析(Cluster Analysis)是定量研究分类问题的一种多元统计方法。其基本思想是同一类中的个体有较大的相似性, 不同类中的个体差异较大, 按照一定的类定义准则对研究的事物进行分类。根据聚类的对象不同, 可把聚类分析分为变量聚类(R

型聚类)和样品聚类(Q型聚类)两种。研究样品(或变量)间亲疏程度的数量指标有 2 个: 一是距离, 二是相似系数, 在进行聚类处理时, 将比较相似的变量归为一类, 不太相似的变量归为不同的类^[1]。

通过分别对构造蚀变岩中的铀矿石样和无矿样做系统聚类分析(Hierarchical Cluster Analysis)^[4]: 先把 n 个变量各成一类, 即 G_1, G_2, \dots, G_n 类, 然后计算类与类之间的距离, 并选择最小距离的二类合并成新类, 然后再计算新类与其他类之间的距离, 再找最小距离的二类合并。如此进行下去, 直到合成一大类为止(图 4)。系统聚类分析采用类间平均距离连接法和皮尔逊相关系数度量方法进行计算。

由初始相关关系矩阵得出的结论经过反复计算合并变量, 可以更精确地分析出元素之间的相关关系。从相关关系谱系图(图 4), 对于矿石样若以 $R = 0.143$ 分类, 22 种元素可分成 3 组: 第 1 组 U, Hg, W, Sr, As, Sb 代表本区主要成矿元素组合; 第 2 组 Nb, Ta, Rb, Sn, Bi, Y; 第 3 组 Zr, Hf, Th, Cr, V, Co, Ni, Zn, Cu, 主要以亲铁元素组合为主。后 2 组主要与围岩原有成分的带出有关, 只是带出的程度不一样。总体上看, 第 1 组主要成矿元素与后 2 组元素呈负相关, 显示其富集趋势是不一致的。本区主要成矿元素组合若以 $R = 0.8$ 分类, U 与 Hg, W, Sr, Mo 的关系非常密切(相关系数分别为 0.969, 0.959, 0.974 和 0.803), 代表一期重要的热液成矿活动, 而 As, Sb 单独为一组, 代表中低温热液成矿阶段, 反映了热液成矿具有多期次的特点。

26 个无矿样品的聚类分析表明, $R = 0.5$ 左右时, U 与 Hg, W, Sn, Ta, Bi, Rb 相关性较好; $R = 0.637$ 左右时, U 与 Hg, W 的关系密切, 而其他元素各自为组。对比无矿样品和矿石样的聚类分析, U 与 Sr 的关系变化较大, 这反映出在构造运动中 Sr 易进入长石内和富钙矿物晶体内的 Sr 有所富集的特点。

2. 3 因子分析

因子分析是主成分分析的进一步发展, 它从因子相关矩阵出发, 找出若干个对这些因子起支配作用的独立新因子来表达所有的分析数据, 每个独立新因子反映一种元素组合关系。根据各因子累积方差贡献来确定公共因子的个数, 研究它们的内部结构和特征, 并计算各因子组的因子得分, 做出因子组得分综合异常图, 分析其与矿化的关系, 从而给公共因子赋予更符合实际情况的解释^[4]。

对构造蚀变岩铀矿石样与无矿样作 R 型因

子分析, 因子旋转方法为方差最大旋转 (varimax raw), 公因子提取方法为主分量分析 (principal components), 得到方差极大旋转因子载荷矩阵以及各自提取的公因子(表 2)。矿石样、无矿样的前 5

个公因子方差累计分数分别为 82.78 % 和 81.63 %, 即累计贡献率均大于 80%, 由此可见, 前 5 个因子已包含了原始变量的大部分信息。

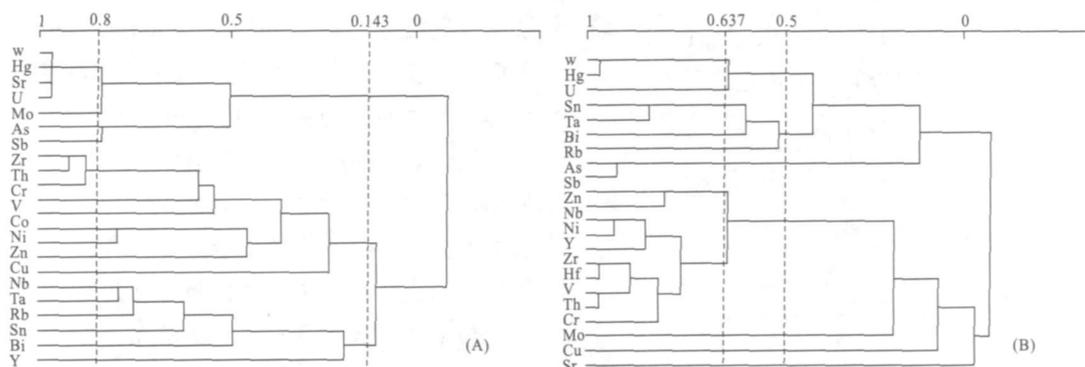


图 4 向阳坪地区构造蚀变岩 R 型聚类分析谱系图

Fig. 4 R-type cluster analysis tree diagram

表 2 矿石样与无矿样微量元素正交旋转因子载荷矩阵表

Table 2 Ortho-rotation factor loading matrix for ore sample and bare rock sample

| 因子 元素 | 无矿样 | | | | | 因子 元素 | 矿石样 | | | | |
|-----------|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 |
| Th | 0.98 | - 0.07 | 0.01 | - 0.07 | 0.01 | Hg | 0.99 | - 0.08 | - 0.03 | - 0.05 | 0.10 |
| V | 0.94 | - 0.08 | - 0.05 | - 0.13 | 0.02 | Sr | 0.98 | 0.01 | 0.00 | - 0.02 | 0.10 |
| Y | 0.92 | 0.14 | 0.00 | 0.02 | 0.19 | W | 0.98 | - 0.09 | - 0.04 | - 0.06 | 0.08 |
| Zr | 0.92 | - 0.27 | 0.02 | - 0.08 | - 0.07 | U | 0.97 | - 0.12 | - 0.02 | - 0.06 | 0.05 |
| Hf | 0.92 | - 0.18 | 0.10 | - 0.06 | - 0.10 | Mo | 0.78 | - 0.10 | - 0.17 | - 0.05 | 0.52 |
| Co | 0.88 | 0.15 | - 0.19 | 0.02 | - 0.04 | Zr | - 0.16 | 0.91 | - 0.03 | 0.20 | - 0.15 |
| Cr | 0.84 | - 0.09 | - 0.04 | - 0.15 | 0.18 | Th | - 0.10 | 0.90 | 0.02 | 0.24 | - 0.15 |
| Ni | 0.82 | 0.18 | - 0.31 | - 0.06 | 0.09 | Hf | 0.23 | 0.89 | 0.08 | 0.23 | - 0.11 |
| Zn | 0.79 | 0.49 | - 0.13 | 0.02 | - 0.06 | Cr | - 0.31 | 0.76 | 0.04 | - 0.24 | - 0.10 |
| Nb | 0.66 | 0.63 | 0.12 | 0.08 | 0.21 | V | 0.09 | 0.58 | - 0.53 | 0.20 | - 0.33 |
| Sn | 0.18 | 0.81 | 0.24 | 0.16 | 0.32 | Cu | - 0.09 | 0.24 | 0.02 | 0.19 | 0.00 |
| Bi | - 0.32 | 0.76 | 0.26 | - 0.01 | - 0.05 | Ta | - 0.23 | 0.08 | 0.92 | - 0.05 | - 0.13 |
| Rb | 0.13 | 0.75 | 0.13 | - 0.09 | - 0.36 | Sn | 0.22 | - 0.05 | 0.91 | 0.04 | - 0.05 |
| Ta | 0.07 | 0.73 | 0.43 | 0.11 | 0.37 | Nb | - 0.21 | 0.45 | 0.75 | - 0.22 | - 0.12 |
| Sr | 0.09 | - 0.59 | 0.01 | - 0.18 | 0.06 | Bi | 0.05 | - 0.38 | 0.68 | - 0.07 | - 0.19 |
| U | - 0.03 | 0.00 | 0.88 | 0.18 | - 0.15 | Rb | - 0.47 | 0.40 | 0.65 | 0.10 | - 0.24 |
| Hg | - 0.10 | 0.40 | 0.84 | 0.06 | 0.19 | Ni | - 0.24 | 0.17 | - 0.21 | 0.85 | 0.11 |
| W | - 0.13 | 0.42 | 0.83 | - 0.02 | 0.18 | Co | 0.07 | 0.24 | - 0.24 | 0.83 | - 0.11 |
| As | - 0.23 | 0.09 | - 0.01 | 0.95 | - 0.01 | Y | 0.10 | 0.02 | 0.36 | 0.65 | 0.18 |
| Sb | - 0.24 | 0.02 | 0.20 | 0.89 | - 0.01 | Zn | - 0.32 | 0.20 | - 0.07 | 0.49 | - 0.42 |
| Mo | 0.32 | 0.23 | 0.06 | 0.48 | - 0.03 | As | 0.12 | - 0.19 | - 0.21 | 0.11 | 0.88 |
| Cu | 0.10 | 0.00 | 0.08 | - 0.06 | 0.90 | Sb | 0.47 | - 0.25 | - 0.27 | 0.05 | 0.71 |
| 特征值 | 8.03 | 3.93 | 2.73 | 2.11 | 1.42 | 特征值 | 5.42 | 4.18 | 3.80 | 2.44 | 2.11 |
| 方差贡献 (%) | 36.49 | 17.84 | 12.40 | 9.59 | 6.46 | 方差贡献 (%) | 24.65 | 19.02 | 17.28 | 11.09 | 9.59 |
| 累计百分比 (%) | 36.49 | 54.33 | 66.73 | 76.32 | 82.78 | 累计百分比 (%) | 24.65 | 43.67 | 60.95 | 72.03 | 81.63 |

由表 2 可得出 U 在矿石样与矿化样中的因子模型:

$$U_{\text{无矿样}} = -0.03F_1 + 0.0003F_2 + 0.88F_3 + 0.18F_4 - 0.15F_5$$

$$U_{\text{矿石样}} = 0.97F_1 - 0.12F_2 - 0.02F_3 - 0.06F_4 + 0.05F_5$$

U 的因子模型显示, U 含量在矿化样与矿石样中提供的因子不同, 但两者也存在一定的共性, 无矿样因子模型中公因子 F_3 (Hg, W, U) 和 F_4 (Mo, As, Sb) 所占权重较大, 矿石样因子模型中元素组合 F_1 (Hg, Sr, W, Mo, U) 和 F_5 (As, Sb) 所占公因子权重较大, 即 U 与 Hg, Sr, W, Mo, As, Sb 元素呈正相关, 表明它们之间的关系较为密切, 其中 As, Sb, Hg 元素代表低温热液元素的组合特征, 高温元素 W, Mo 和成岩元素 Sr 与 U 关系最密切, 在铀成矿过程中表现突出。而在矿石样因子模型中公因子 F_2 , F_3 , F_4 元素组合与铀呈负相关, 表明这些元素在铀成矿过程中为带出元素组合, 只是程度不一样(图 5)。

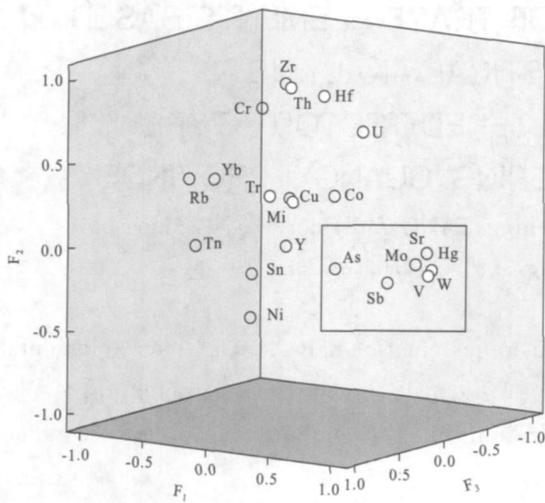


图 5 向阳坪地区矿石样因子载荷三维散点图

Fig. 5 The 3-dimension point dispersion of factor loading diagram of ore samples from Xiangyangping area

3 结论及找矿意义

3.1 结论

(1) 从微量元素的含量特征分析、聚类分析和因子分析的结果都比较吻合, U, Hg, Sr, W, Mo, As, Sb 是典型的多金属元素组合, 反映了铀矿体的微量

元素组合, 表明本区具有复杂的热液成矿作用。

(2) 本区铀矿属于与酸性、中酸性花岗岩有关的中低温热液铀矿类型, 成矿阶段温度的变化集中于 200~150℃ 之间, 热液成因铀矿物(沥青铀矿)的形成温度 120~250℃, 铀的成矿是在岩浆固结成岩之后的热液对岩石中铀的深部浸出, 是地幔流体-幔汁运动的产物。沥青铀矿结晶作用伴随有黄铁矿和脉石矿物(主要为石英、碳酸盐)的沉淀以及矿脉附近围岩的钾交代作用和白云母化。As, Sb, Hg 是比较典型的中低温热液元素组合, 在矿石样中, 其质量分数远远高于围岩, 最高达 11.6 倍, 这和铀矿石中见到辉锑矿、毒砂等矿物比较吻合, 反映了原始成矿物质来源较深的特点。同时 As 和 Hg 具有挥发性, 是铀成矿的外围元素, 可以作为铀矿体的指示元素。

(3) W, Mo 元素组合与 U 关系密切, 沙子江矿床 1440 中段 32 号矿体富铀矿石、1480 中段高品位富铀矿石(U 为 17.08%, W 可达 0.4973%), 镜下均见有白钨矿(方适宜, 2005), 其他矿石中常见辉钼矿。这种现象在华南花岗岩矿床较为少见, 但在苗儿山铀矿田比较常见, 如苗儿山铀矿田中的孟公界矿床、禾高岭矿点以及越城岭岩体西缘的全州铀矿田都见到与铀伴生的钨、钼矿组合。有研究表明, 这种铀、钨在空间上的叠生是一种比较特别的成矿现象, 它们在产出空间上相互叠合, 在成矿时间上大致相近, 成矿温度也相差不大, 为中低温热液产物^[5-7]。铀和钨本应是产于两种完全不同的成矿热液体系, 但这种空间上叠生关系的出现, 在地质地球化学上是酸性与碱性中低温热液交替出现, 并多次脉动叠加的结果, 对丰富铀矿与多金属矿产的伴生理论具有重要意义。

(4) 由于 Sr^{2+} 离子半径 6 配位时介于 Ca^{2+} 和 K^+ 之间, 易与 K^+ 和 Ca^{2+} 形成类质同象替换。在矿石样中, U 与 Sr 的相关系数较大, 这表明在构造运动中, Sr 易进入长石, 其他富钙矿物晶体内的 Sr 亦有所富集。

3.2 找矿意义

微量元素在地质作用过程中的地球化学行为通常受物理化学中的亨利(Henry)定律制约, 而不参与岩石化学平衡反应, 一般不受常量(主量)元素含量的约束和习性的影响, 在一般的地质作用及岩浆分异作用过程中地球化学性质比较稳定。因此, 岩石的微量元素地球化学特征往往很好地保存了有关成岩(或成矿)物质来源及形成时地质构造环境的信息, 成为一种独特的地球化学“指纹”^[8]。

根据向阳坪地区矿石样和无矿样微量元素组合多元统计分析, 由于 W-Sr-Hg-As-Sb 元素组合与铀元素呈正相关, 表明与铀成矿关系密切, 可以把 W-Sr-Hg-As-Sb 作判断铀成矿的最佳指示元素, 据此可以更准确地判断构造的含矿性以及构造含矿部位。Ta, Sn, Nb, Bi 等元素含量低于周围正常花岗岩含量, 多元统计分析表明这些元素与 U 成矿作用呈负相关, 表明在铀成矿过程中逐渐减少。在地球化学找矿中, 可与 U 富集元素 Hg, Sr, W, Mo, As, Sb 匹配使用, 能起到较重要的作用。比如利用矿石品位越高、As/Bi 值和 Sb/Bi 值越大的规律来指导本区地球化学找矿。

参考文献:

[1] 胡以铿. 地球化学中的多元统计分析[M]. 武汉: 中国地质大学

出版社, 1991.

- [2] 於崇文. 数学地质的方法与应用: 地质与化探工作中的多元分析[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980.
- [3] 牟保磊. 元素地球化学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1999.
- [4] 章文波, 陈红艳. 实用数据统计分析及 SPSS 12.0 应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006: 1-339.
- [5] 罗兴章, 阎茂中. 一个罕见的铀钨矿物组合[J]. 矿物学报, 2001, 21(2): 129-132.
- [6] 黄广荣, 庞玉蕙. 一个铀钨矿床的成矿地质条件及成因特征[J]. 矿床地质, 1993, 12(1): 87-95.
- [7] 庞玉蕙. 一个罕见的铀钨矿化带的成矿特征[J]. 地球化学, 1997, 26(4): 86-93.
- [8] 章邦桐, 凌洪飞, 陈培荣. 多体系微量元素地球化学对比中存在的问题及解决途径[J]. 地质地球化学, 2003, 31(4): 102-106.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF TRACE ELEMENTS BASED ON MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS —AN EXAMPLE FROM THE ALTERED TECTOITE TYPE URANIUM DEPOSIT IN XIANG YANGPING, GUANGXI PROVINCE HUANG Hong-ye, XIAO Jian-jun, OUYANG Ping-ning, TANG Zhi-yuan, WANG Jiang-bo (Research Institute No. 230, CNNC, Changsha 410011, Hunan, China)

Abstract: Cluster and factor analysis methods are applied to systematic analysis of 22 micro-elements of samples collected from Xiangyangping altered tectonite type U-deposit showing that combination of W-Sr-Hg-As-Sb plays an important role in process of U-mineralization thus the combination can be used as judge factor of faulted zones and blind ore bodies.

Key Words: micro-element characteristics; cluster analysis; factor analysis; significance to ore prospecting