

基于多元统计的相山铀矿田微量元素地球化学特征分析

刘国奇, 夏菲, 潘家永, 巫建华, 陈少华, 刘帅

东华理工大学 放射性地质与勘探技术国防重点学科实验室, 江西 抚州 344000

摘要:通过对相山铀矿田微量元素进行了判别分析、Q 聚类分析和 R 型分析表明围岩与矿石之间的关系较远, U、Th、Pb、Li、Rb、Sr、Ba、Zr、Y、Mo、Zn、P、Ti 可将岩石划分为围岩、蚀变岩石和矿石三类。矿物学特征研究表明, 铀矿化分为早期的铀矿-磷灰石矿化与晚期的铀石-硫化物-方解石矿化两期矿化。结合以上两个方面, 相山铀矿田的成矿物质来源与围岩无直接关系, 成矿的热液系统分为高温热液系统和低温热液系统。

关键词:相山铀矿田; 微量元素; 判别分析; 聚类分析

中图分类号: P595 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2011)04-0423-10

Multivariate Statistical Analysis Based Geochemical Characteristics of Trace Elements in the Xiangshan Uranium Orefield

LIU Guo-qi, XIA Fei, PAN Jia-yong, WU Jian-hua, CHEN Shao-hua, LIU Shuai

Key Laboratory of Radioactive Geology and Exploration Technology Fundamental Science for National Defense, East China Institute of Technology, Fuzhou Jiangxi, 344000, China

Abstract: Discriminant and cluste methods were applied to analyze the trace elements of the Xiangshan uranium orefiled. The results showed that the surrounding rock and the ore are not closely related. The rock can be classified into three categories, wall rock, altered rock and ore, according to the data of U, Th, Pb, Li, Rb, Sr, Ba, Zr, Y, Mo, Zn, P, Ti, and the uranium mineralization can be divided into early uranium-apatite mineralization and late uranium-sulfide-calcite mineralization according to the mineralogical characteristics research. In summary, the ore-forming materials have no relation with the surrounding rock and both high temperature and low temperature ore-forming hydrothermal systems may exist in the Xiangshan uranium orefiled.

Key words: Xiangshan uranium orerfield; trace element; discriminant analysis; cluste analysis

多元统计是一种数理统计方法, 能够将大规模原始数据群体中隐藏的重要信息提炼出来, 因而被广泛地应用在地质找矿各个领域^[1,2]。本文通过对相山铀矿田中邹家山、横涧-岗上英、沙洲 3 个矿床的 23 个围岩样品、12 个近矿蚀变岩石样品和 20 个矿石样品的微量元素进行判别分析和聚类分析, 研究了微量元素的组合特征以及内在关系, 探讨上述矿床的成矿物质来源。

江西相山铀矿田是我国最大的火山岩型铀矿田, 它位于赣杭构造火山岩成矿带西南端的一个晚

侏罗世中酸性火山塌陷盆地内。50 多年来国内外诸多学者在构造地质学、矿物岩石学、地球化学、成矿作用机理等方面对相山铀矿田开展了大量的研究工作, 但对矿田的成矿物质来源一直存在争论。主要代表性的观点有: (1) 铀来自原生流体和富铀地层及古老铀矿床的溶解^[3]; (2) 铀最终主要来自富铀火山岩本身或者基底变质岩^[4,5]; (3) 铀来自于下寒武统黑色岩系^[6]。本文通过对相山铀矿田中邹家山、横涧-岗上英、沙洲 3 个矿床矿石的微量元素进行了判别分析和聚类分析, 旨在分析上述矿床的微

收稿日期: 2011-01-25 收到, 03-18 改回

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40872072, 40963004, 40972067)

第一作者简介: 刘国奇 (1986—), 男, 硕士研究生, 矿产普查与勘探专业。

通讯作者: 夏菲. E-mail: fxia@ecit.edu.cn.

量元素地球化学特征,为可能的成矿物质来源及其形成方式提供新的证据。

1 矿田地质概况

相山铀矿田位于扬子板块与华南板块缝合带南缘,遂川-德兴深断裂南东侧,处于北东向赣杭铀成矿带与北北东向大王山-于山花岗岩型铀成矿带的交汇部位。区域上受遂川深断裂与宜黄-安远深断裂控制。

相山火山盆为一大型破火山口。火山盆地总体上为三层结构,基底主要为震旦系千枚岩、片岩为主的变质岩,部分为下石炭统、上三叠统石英砂岩,紫红色砂岩;基底之上为上侏罗统火山岩,分为上下两组:下部打鼓顶组(J₃d),由砂砾岩、粉砂岩、熔结凝灰岩、流纹英安岩等组成;上部为鹅湖岭组(J₃e),砂砾岩、粉砂岩、熔结凝灰岩和巨厚层碎斑熔岩组成;盆地火山岩之上有上白垩统红色砂岩、砂砾岩不整合覆盖(图 1)。

相山矿田是大矿、富矿的集中产地,所有矿床均分布在相山火山盆地内,铀矿化受基底构造、盖层

构造和火山构造联合控制。主要赋矿围岩为:流纹英安岩、碎斑熔岩和次花岗斑岩等火山、次火山岩,其次为变质岩。主要铀矿物有沥青铀矿、钛铀矿、铀钍石、铀石等。脉石矿物主要为方解石、石英、萤石等。常见有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等金属矿物与铀矿物相伴生。围岩蚀变类型主要有钾化、水云母化、绿泥石化、萤石化、碳酸盐化和黄铁矿化等,沿裂隙向两侧呈带状对称分布。

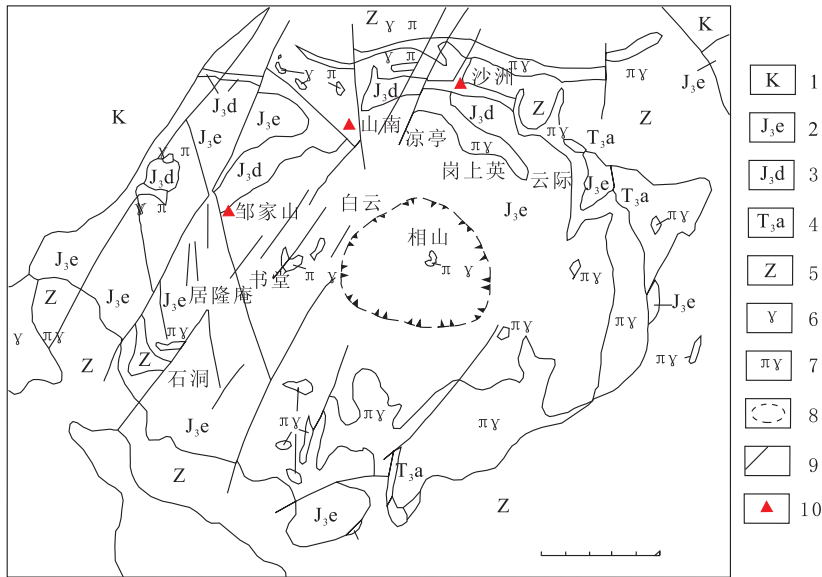
2 采样及分析方法

本次研究的 55 件样品取自相山铀矿田中邹家山、横涧一岗上英、沙洲矿床。样品编号代表的矿床:ZJS09 代表邹家山矿床样品,SN09 代表横涧一岗上英矿床样品,SZ09 代表沙洲矿床样品。

电子探针测试工作在东华理工大学核资源与环境国家重点实验室培养基地完成,电子探针型号 J EOL JXA8100,工作电压 15 kV,电流 10 μA,标准样品为美国国家标准局的 53 个国际标准样品。

样品的微量元素在电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)上测试,由核工业北京地质研究院测试中心承担完成,其分析方法和步骤如下:

(1)准确称取 25 mg 样品(<200 目粉末)于洗净的 Teflon 溶样罐中,加入 1 mL 的 HF 敞开于电热板上 150℃蒸至近干;(2)再加入 1.0 mL 的 HF、0.6 mL 的 HNO₃,盖好盖子、放入钢套内,置于 190℃烘箱内加热,保温 48 h 以上,开盖,敞开于电热板上蒸发,至样品溶液呈液滴状;(3)加入 1 mL 的 HNO₃(浓),继续蒸发至呈液滴状,重复此步骤两次,注意不要完全蒸发干;(4)加 1.6 mL 的 HNO₃,拧紧钢套盖后置于 140℃烘箱内保温 3~5 h,将样品完全溶解;(5)将溶液转移到 50 mL 离心管中,多次冲洗 Teflon 溶样罐,以确保样品溶液完全转移,然后在离心管中加入 1 mL 500 × 10⁻⁹ Rh 内标,定溶至 50 mL 后,静置待上机测试。所用电感耦合等离子质谱仪为 Finnigan MAT 公司产 Element I 型,检测能力小于 1 × 10⁻⁹,RSD < 2% (1 h),灵敏度:1000cps/1 × 10⁻¹² Rh(R = 300)。微量元素分析结果列于表 1。



1. 白垩纪红色砂砾岩层;2. 晚侏罗世鹅湖岭组火山-沉积岩;3. 晚侏罗世如意亭组火山-沉积岩;4. 晚三叠世-早侏罗世安源组黑色岩系碎屑岩建造;5. 震旦-寒武系变质岩;6. 晚侏罗世花岗岩斑岩;7. 加里东期花岗岩;8. 破火山口;9. 断裂;10. 采样位置
1. Cretaceous red conglomerate layers; 2. Late Jurassic Ehuling group volcanic-sedimentary rocks; 3. Late Jurassic Ruyiting group volcanic-sedimentary rocks; 4. Late Triassic-Early Jurassic Anyuan group black rock series clastic rock formation; 5. Sini-an-Cambrian metamorphic rock; 6. Late Jurassic granite-porphry; 7. Caledonian granite; 8. caldera; 9. Fracture; 10. sampling location

图 1 相山铀矿田地质略图(据文献[7]修改)

Fig. 1 Sketch geological map of the Xiangshan uranium orefield(modified from ref. [7])

附表 1

续卧表 1

3 矿床的矿石矿物特征

为更好地认识矿物中微量元素的赋存形式,对表 1 中的部分样品进行了电子探针分析,结果见表 2、表 3。

表 2 铀矿物电子探针分析结果

Table 2 Electron microprobe analysis of the uranium minerals (%)

样品点 编 号	SZ09- 15A.3	SZ09- 15A.4	SN09- 37A.1	SN09- 37A.2	SN09- 37A.3
Na ₂ O	0.05	0.04	0.52	0.02	2.81
ThO ₂	0.00	0.11	4.60	0.34	3.42
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.03	0.02	0.08	0.50
FeO	2.31	1.34	1.10	1.16	2.08
UO ₂	56.58	52.07	43.33	3.65	30.01
Al ₂ O ₃	1.50	0.19	0.55	0.20	5.20
MnO	0.14	0.48	0.34	0.04	0.22
MoO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	16.56	0.98	8.04	1.48	23.59
TiO ₂	0.28	31.28	24.86	91.67	24.77
ZrO ₂	0.00	0.22	1.64	0.00	0.94
V ₂ O ₃	0.10	0.50	0.24	0.76	0.27
P ₂ O ₅	0.42	1.93	0.10	0.03	0.02
HfO ₂	0.30	0.00	0.07	0.00	0.38
CaO	3.15	7.08	2.65	0.24	1.71
Total	81.39	96.23	88.05	99.66	95.91
可能的 矿物名称	铀石	钛铀矿	钛铀矿	金红石	钛铀矿

表 3 金属硫化物电子探针分析结果

Table 3 Electron microprobe analysis of the metal sulfides (%)

样品点 编 号	SZ09- 14B.1	SZ09- 15A.1	SZ09- 15A.2	SZ09- 30B.1
Se	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.83	46.26	0.16	7.28
S	34.87	56.20	11.29	29.29
As	0.05	0.00	0.00	0.05
Cu	0.00	0.00	0.02	0.12
Mo	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	65.74	0.02	0.04	53.95
Pb	0.00	0.02	73.84	0.20
Ni	0.03	0.00	0.01	0.05
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00
Co	0.00	0.13	0.09	0.03
Sb	0.01	0.03	0.06	0.00
Total	101.52	102.65	85.50	90.97
可能的 矿物名称	闪锌矿	黄铁矿	方铅矿	闪锌矿

从电子探针背散射图中可以看出,铀矿化分为早期的钛铀矿+磷灰石矿化与晚期的铀石+硫化物+方解石矿化两期矿化(图 3);硫化物主要为方铅矿和闪锌矿(图 2、3、4),并且闪锌矿包含于方解石脉体中,明显为晚期矿化产物;磷灰石化与金红石等副矿物也是富矿化主要特征(图 3、5);脉石矿物主要为方解石、钠长石和钾长石(图 2、4)。

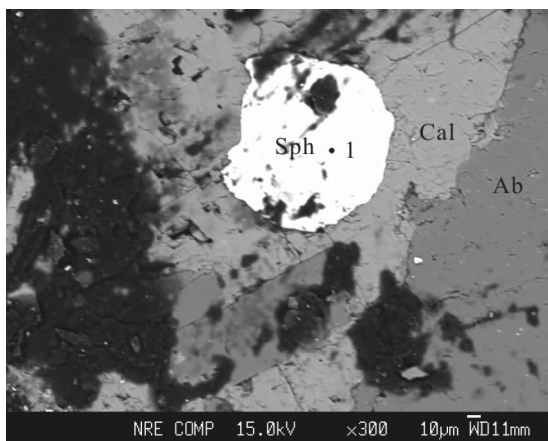


图 2 闪锌矿产于方解石脉中(SZ09-14B)

Fig. 2 Sphalerite in calcite veins

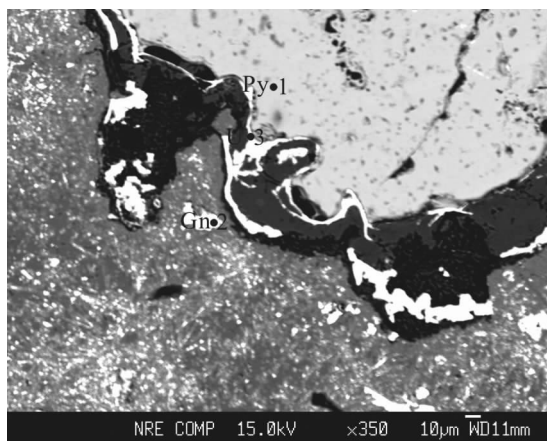


图 3 早期钛铀矿矿化与晚期的铀石矿化(SZ09-15A)

Fig. 3 Early brannerite and late coffinite

结合微量元素(表 1)和电子探针分析结果(表 2),可知:(1)U、Th 主要以铀石、钛铀矿、沥青铀矿和铀杜石等形式存在;(2)P、Ti、Li、Zr 主要存在于与铀矿物密切共生的磷灰石、金红石、锆石等副矿物中;(3)Pb、Zn 主要以方铅矿和闪锌矿的形式存在,是中低温热液元素的典型代表。

4 微量元素特征

从表 1 可以看出:(1)主要成矿元素 U、Th、Pb 含量从围岩到矿石呈现逐渐增高的趋势,矿石中含量远高于围岩中含量。(2)Li(16.2~779 μg/g), Rb(7.24~873 μg/g), Sr(29.1~5345 μg/g),

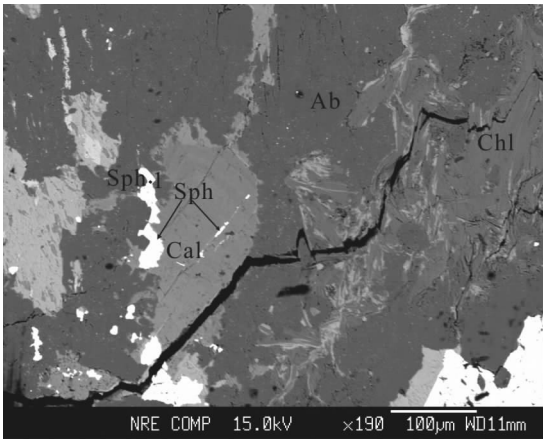


图4 闪锌矿与方解石产于裂隙两侧(SZ09-30B)
Fig. 4 Sphalerite and calcite at the side of cracks

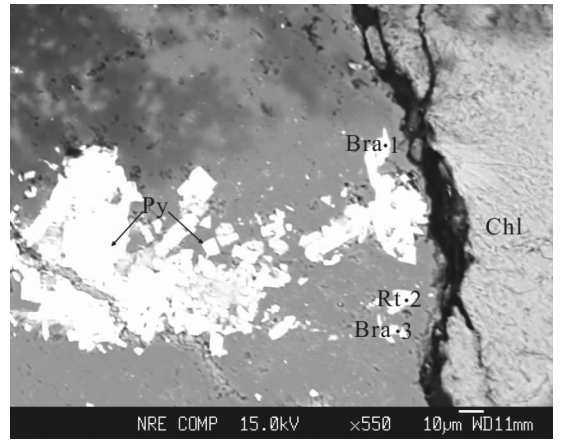


图5 裂隙两侧钛铀矿和金红石矿化(SN09-37A)
Fig. 5 brannerite and rutile at the side of cracks

Ba(22~3411 $\mu\text{g/g}$), Zr(118~4612 $\mu\text{g/g}$), Y(17.1~6888 $\mu\text{g/g}$), Mo(1.06~7055 $\mu\text{g/g}$), Zn(6.17~9571 $\mu\text{g/g}$), P(437.7~37124.84 $\mu\text{g/g}$), Ti(9453.7~433524.94 $\mu\text{g/g}$)元素含量异常高,并且变化范围很大。很显然,这些元素含量与矿化和蚀变密切相关。

所有围岩微量元素球粒陨石标准化曲线都呈现右倾趋势,元素含量均高于球粒陨石, Sr、Th、Ba、Ti、P 出现异常。根据曲线型式可将样品分为矿石和蚀变围岩两种类型:矿石 Th 正异常高, P 为正异常, Ti 为弱负异常, HFSE 整体含量高;蚀变围岩 Th 正异常相对低, P 为负异常, Ti 强负异常, HFSE 含量低。LILE 一般进入稳定性较小的造岩硅酸岩中, LILE 的富集指示造岩矿物中大离子亲石元素的类质同象, 因此 K、Rb 的正异常曲线型式反映了与相山成矿作用密切相关的一种蚀变-碱交代蚀变。HFSE 富集可能与金红石、磷灰石、锆石等稳定矿物的晶出相关, 磷灰石化是形成富矿的重要因素之一^[8]。这与电子探针分析结果一致: 铀矿物与金红石、磷灰石、锆石矿物密切共生(图3、5)。

邹家山矿床, 横涧-岗上英矿床和沙洲矿床的微量元素配分曲线型式(图6、7、8)具有基本相同的趋势, 这是由于忽略了蛛网图上因纵坐标轴采用了对数坐标而产生的畸形, 从而缩小不同样品之间微量元素的差别, 使原本不相同的曲线变为相似^[9]。为进一步获取不同矿床微量元素之间的差异和相关地质信息, 本文对相山轴矿田内选取的55个具有代表性的围岩与矿石样品进行多元数理统计分析。

5 微量元素统计分析

以上矿物学和微量元素蛛网图的特征表明 U、

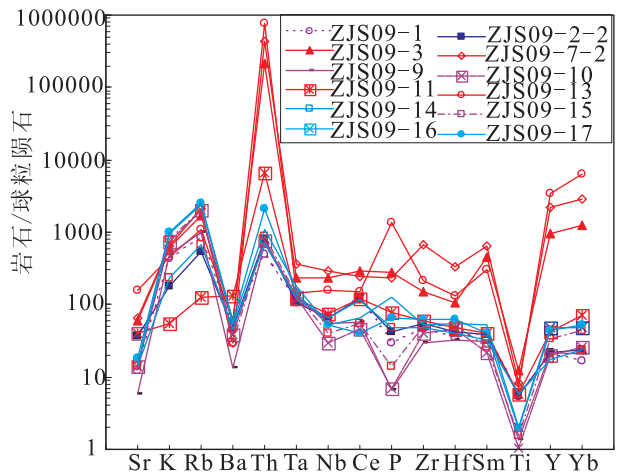


图6 邹家山矿床微量元素球粒陨石标准化蛛网图
Fig. 6 Chondrite-normalized spider diagram of trace elements in the Zoujiashan deposit

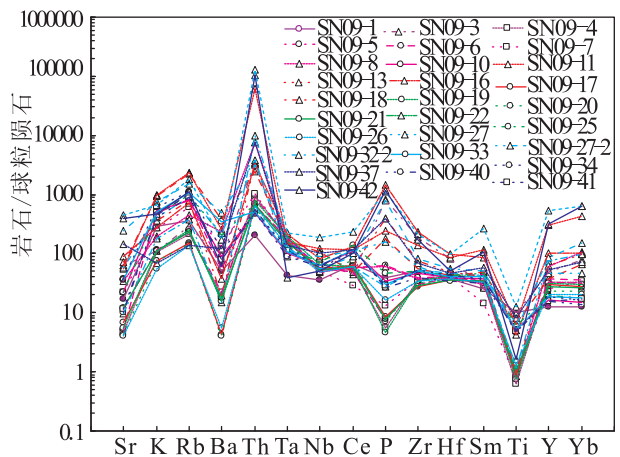


图7 横涧-岗上英矿床微量元素球粒陨石标准化蛛网图
Fig. 7 Chondrite-normalized spider diagram of trace elements in the Henjian-Gangshangying deposit

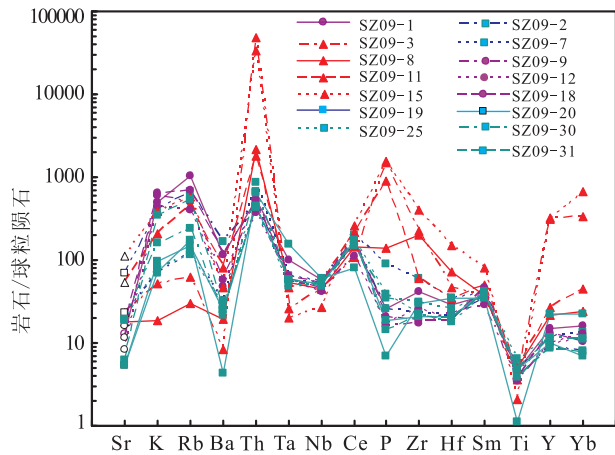


图8 沙洲矿床微量元素球粒陨石标准化蛛网图
Fig.8 Chondrite-normalized spider diagram of trace elements in the Shazhou deposit

Th、Pb、Li、Rb、Sr、Ba、Zr、Y、Mo、Zn、P、Ti 的含量异常高,变化范围大,因此与矿化及蚀变关系最为密切。为了进一步研究这些微量元素之间的内在关系,以这十三个元素作为指标进行统计分析。

5.1 判别分析

根据对微量元素的综合分析,选择变量 U、Th、Pb、Li、Rb、Sr、Ba、Zr、Y、Mo、Zn、P、Ti 为指标,将矿石分为围岩、蚀变围岩和矿石三个类型。选择 Fisher 判别法对相山铀矿床进行判别分析(图 9)。为了在同一标准下选取具有典型统计意义,选取横涧一岗上英矿床进行判别分析,建立判别模型。选择 20 个样本为训练样本(原始数据见表 1),得到判别函数参数(表 4)和判别结果(表 5)。用 5 个未参加训练样本为检验样本。

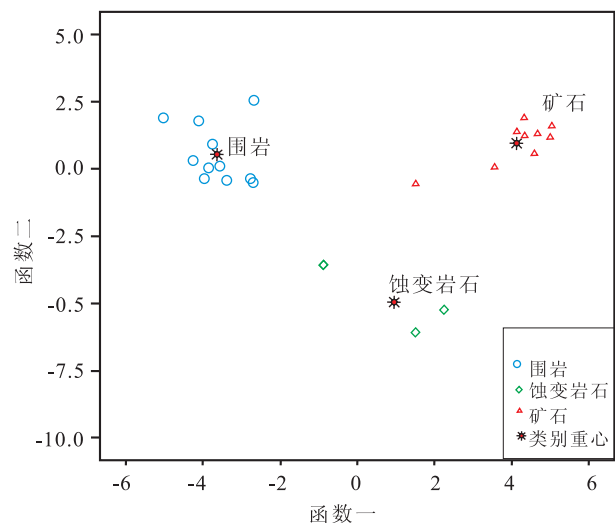


图9 Fisher 典型判别函数图

Fig.9 Fisher discriminant function diagram

表 4 判别函数参数

Table 4 Classification function coefficients

元素	围岩	蚀变围岩	矿石
Li	266.79	300.34	244.25
Zn	-1087.22	-1246.64	-1080.18
Rb	34.33	16.28	24.86
Sr	-41.20	-46.88	-28.05
Y	1817.90	1927.03	1603.35
Zr	-174.84	-171.66	-152.80
Mo	-296.07	-380.10	-269.07
Ba	-5.76	-2.88	-5.36
Pb	-12533.00	-10804.40	-10913.40
Th	-789.87	-864.79	-808.24
U	538.62	177.67	646.26
P	61.34	36.41	48.25
Ti	-56.61	-29.78	-41.16
(常数)	-1231.06	-1056.67	-946.58

为了检验岩石分类结果的准确性和正确性,对 20 个样本实测数据逐一检验,按照回代估计法计算误判率,可得误判率为 0,与实际情况符合(表 5),判别模型是稳定可靠的。另外 5 个未参加训练样本的预测样本的预测结果与实际情况完全符合。

从图 9 可以看出,所有样本都能被准确分类。说明了这 13 种元素对矿化和围岩蚀变是具有重要判别意义。从表 4 的判别函数参数可以看出:Pb、Y、Th、U、Mo 判别系数较大,说明这些元素在三种类型岩石中含量差异大,是与蚀变和矿化相关元素;Rb、Sr、Ba 判别系数小,说明这些元素在三种类型中含量差异小,是与成岩作用相关的元素。

表 5 横涧-岗上英矿床岩石类型判别分析结果

Table 5 Classification Results for the Henjian-Gangshangying deposit

样品号	分析结果		样品号	分析结果	
	实际类别	Fisher 判别结果		实际类别	Fisher 判别结果
SN09-1	围岩	围岩	SN09-18	矿石	矿石
SN09-3	矿石	矿石	SN09-20	围岩	围岩
SN09-4	蚀变岩石	蚀变岩石	SN09-21	围岩	围岩
SN09-5	围岩	围岩	SN09-22	矿石	矿石
SN09-6	围岩	围岩	SN09-25	围岩	围岩
SN09-7	蚀变岩石	蚀变岩石	SN09-26	围岩	围岩
SN09-8	矿石	矿石	SN09-27	矿石	矿石
SN09-10	围岩	围岩	SN09-27-2	矿石	矿石
SN09-11	矿石	矿石	SN09-32-2	矿石	矿石
SN09-13	蚀变岩石	蚀变岩石	SN09-33	围岩	围岩
SN09-16	矿石	矿石	SN09-34	围岩	围岩
SN09-17	围岩	围岩			

5.2 聚类分析

5.2.1 Q型聚类分析 对相山邹家山矿床、横涧-岗上英矿床、沙洲矿床的55个样品进行Q型聚类分析,选用元素U、Th、Pb、Li、Rb、Sr、Ba、Zr、Y、Mo、Zn、P、Ti共13个元素。采用最远距离法,距离测度法为欧氏距离(Euclidean distance)。聚类分析结果如图10、11、12。

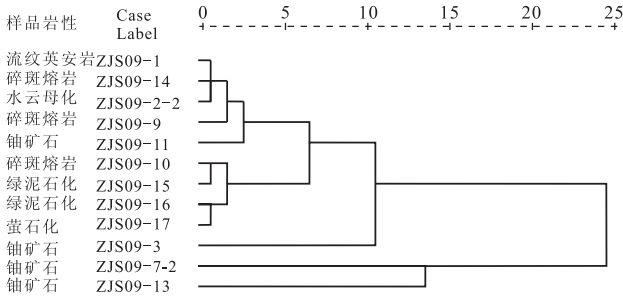


图10 邹家山矿床Q型聚类分析谱系图

Fig. 10 The tree plot of Q-cluster for the Zoujiashan deposit

图10中可以看出样品被分为三大类:第一类为ZJS09-3, ZJS09-7-2, ZJS09-13;第二类为ZJS09-10, ZJS09-15, ZJS09-16, ZJS09-17;第三类为ZJS09-1, ZJS09-14, ZJS09-2-1。

个别样品ZJS09-11为细小铀矿脉,第一类样品是U平均含量47852 μg/g的特富矿石。第二类是U平均含量为156 μg/g的绿泥石化和水云母化的矿化蚀变。第三类样品U平均含量为28.32 μg/g的围岩。

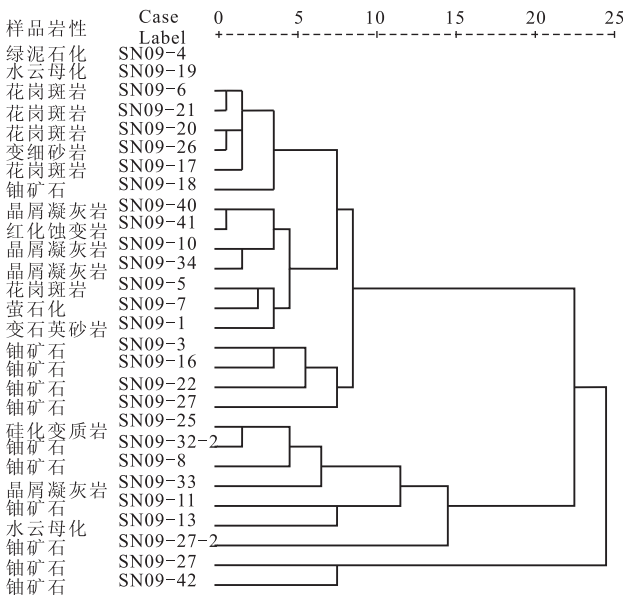


图11 横涧-岗上英矿床Q型聚类分析谱系图

Fig. 11 The tree plot of Q-cluster for the Henjian-Gangshangying deposit

图11可以看出,样品也可以分为三类:

第一类为SN09-27, SN09-42;第二类为SN09-27-2, SN09-13, SN09-11, SN09-8, SN09-32-2, SN09-25;第三类为SN09-37, SN09-22, SN09-16, SN09-3, SN09-1, SN09-7, SN09-5, SN09-34, SN09-10, SN09-41, SN09-40, SN09-18, SN09-17, SN09-26, SN09-20, SN09-21, SN09-6, SN09-19, SN09-4。

第一类是特富矿石, U平均含量13600 μg/g;第二类为贫矿石与矿化蚀变岩石, U平均含量为1723 μg/g;第三类为U平均含量409 μg/g的围岩。

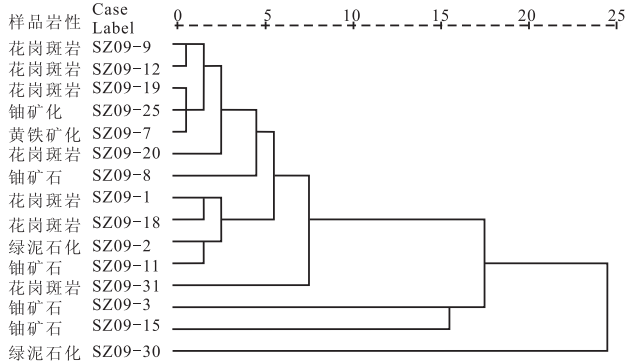


图12 沙洲矿床Q型聚类分析谱系图

Fig. 12 The tree plot of Q-cluster for the Shazhou deposit

图12可看出,除个别样品外,样品分为三类:第一类特富矿石, U平均含量73047 μg/g。包括SZ09-3, SZ09-15。第二类为蚀变岩石和矿石, U平均含量1205 μg/g。包括SZ09-11, SZ09-2, SZ09-18, SZ09-1, SZ09-8。第三类为围岩, U平均含量139 μg/g。包括SZ09-8, SZ09-20, SZ09-7, SZ09-25, SZ09-19, SZ09-12, SZ09-9。

从以上Q型聚类分析的结果可以看出,选取U、Th、Pb、Li、Rb、Sr、Ba、Zr、Y、Mo、Zn、P、Ti作为指标可以将样品分为特富矿石、蚀变岩石或贫矿石和赋矿围岩三类。这充分说明这13种元素是典型的成矿元素代表。

选取三个矿床中不同的围岩类型(碎斑熔岩, 英安岩, 花岗岩斑岩, 震旦系变质岩)和铀矿石进行Q型聚类分析, 聚类分析结果见图13。

由图13可以看出, 英安岩、碎斑熔岩、花岗岩斑岩和震旦系变质岩聚为一类, 三个矿床的矿石聚为一类。围岩与矿石之间的关系较远。从微量元素Q型聚类分析的结果来看成矿物质来源与围岩无直接关系, 铀源可能与深部流体作用有关。

5.2.2 R型聚类分析 为了进一步寻找U、Th、Pb、Li、Rb、Sr、Ba、Zr、Y、Mo、Zn、P、Ti元素之间的相互关系, 对相山铀矿田采集的55个样品进行R

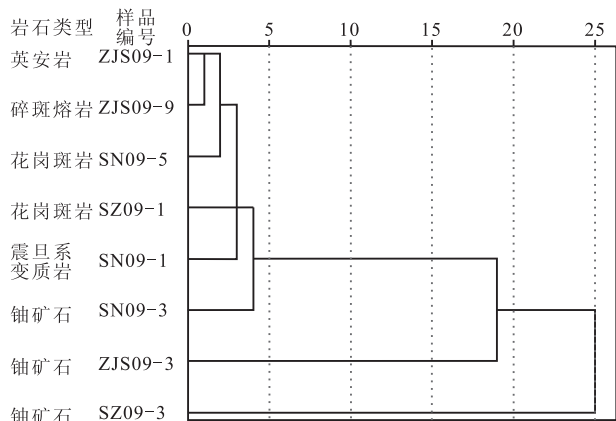


图 13 不同类型岩石 Q 型聚类分析

Fig. 13 The tree plot of Q-cluster for the different rocks

型聚类分析,采用最远距离法,距离测度法为欧氏距离,计算分析结果如图 14。

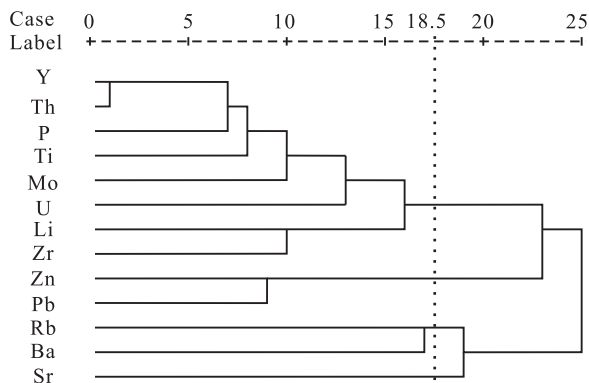


图 14 相山铀矿田 R 型聚类分析谱系图

Fig. 14 The tree plot of R-cluster for the Xiangshan uranium ore field

从图 14 中可以看出当聚类阈值为 18.5 时,微量元素可被分为三大类:第一类为 Y、Th、P、Ti、Mo、U、Li、Zr 分为一类;第二类为 Pb、Zn 分为一类;第三类为 Rb、Sr、Ba 分为一类。

结合矿床地质特征以及矿物学特征可以看出:第一类为代表了成矿密切元素类;第二类为为中低温硫化物矿化典型元素;第三类为代表了成岩相关的元素。

矿物学电子探针分析中,成矿元素所组成的矿物可以分为两类:钨铀矿、磷灰石、金红石、锆石等矿物为主的中高温矿物组合和方铅矿、闪锌矿为主的中低温成矿元素组合。前人对相山铀矿田成矿温度做了大量流体包裹体研究表明^[10,11],成矿温度分为两个峰值 200~220℃ 和 260~270℃。因此认为相山成矿热液系统可划分为高温成矿热液系统和低温成矿热液系统。

5.3 地质意义

(1)从横涧-岗上英矿床微量元素的判别分析可以看出,用 U、Th、Pb、Li、Rb、Sr、Ba、Zr、Y、Mo、Zn、P、Ti 建立岩石分类判别模型效果明显,其中 Pb、Y、Th、U、Mo 判别系数较大,为成矿元素组合;Rb、Sr、Ba 判别系数较小,为成岩元素组合。

(2)对所有样品的 U、Th、Pb、Li、Rb、Sr、Ba、Zr、Y、Mo、Zn、P、Ti 进行 R 聚类分析表明:①微量元素被分为三大类:成矿元素和蚀变元素组合 Y、Th、P、Ti、Mo、U、Li、Zr;中低温硫化物矿化元素组合 Pb、Zn;成岩元素 Rb、Sr、Ba。②结合矿床地质特征和矿物学特征,中高温成矿元素以钨铀矿,磷灰石,金红石,锆石等矿物存在,中低温成矿元素以方铅矿和闪锌矿的形式存在。③结合前人流体包裹体测温研究,可以将相山成矿热液系统分为中高温成矿热液系统和低温成矿热液系统。

6 结 论

上述矿床的围岩与矿石的微量元素数据显示,与成岩成矿最密切的元素为:U、Th、Pb、Li、Rb、Sr、Ba、Zr、Y、Mo、Zn、P、Ti。

以这些元素为指标进行判别分析和 Q 型聚类分析,可将样品分为特富矿石、贫矿石或蚀变岩石和围岩;通过对三个矿床不同类型围岩和矿石进行 Q 型聚类分析后认为,相山铀矿田铀成矿物质来源于围岩并无直接关系,其成矿物质来源可能与深部流体作用有关。

根据这些元素进行 R 型聚类分析,可将元素分为三类:其中成矿元素和蚀变元素组合为 Y、Th、P、Ti、Mo、U、Li、Zr;中低温硫化物矿化元素组合为 Pb、Zn;成岩元素组合为 Rb、Sr、Ba。结合矿床地质特征和矿物学特征认为,相山成矿热液系统分为中高温成矿热液系统和低温成矿热液系统。

参考文献 (References):

[1] 黄宏业,肖建军,欧阳平宁,唐智源,王江波. 基于多元统计的微量元素地球化学特征分析[J]. 地质找矿论丛, 2009, 24 (3): 211-216.
Huang Hongye, Xiao Jianjun, Ouyang Pingning, Tang Zhiyuan, Wang Jiangbo. Geochemical characteristics of trace elements base on multivariate statistical analysis[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2009, 24 (3): 211-216. (in Chinese with English abstract)

[2] 章邦桐,吴俊奇,凌洪飞,陈培荣. 应用数理统计与蛛网图相结合的方法研究成矿物质来源[J]. 铀矿地质, 2008, 24(4): 214-220.

- Zhang Bangtong, Wu Junqi, Lin Hongfei, Chen Peirong. Research on the Metallogenetic material source by means of mathematical statistics and spider gram[J]. Uranium Geology, 2008, 24(4): 214—220. (in Chinese with English abstract)
- [3] Chen Zhaobo. “Double mixing” genetic model of uranium deposits in volcanic rocks and relationship between China’s Mesozoic vein-type uranium deposits and Pacific tectonics[A]. Metallogenesis of Uranium. Proceedings of the 26th IGC[C]. Beograd:Geoinstitute, 1981, 65—971.
- [4] 范洪海, 凌洪飞, 王德滋, 沈渭洲, 刘昌实, 姜耀辉. 江西相山铀矿田成矿物质来源的 Nd、Sr、Pb 同位素证据[J]. 高校地质学报, 2001, 7(2): 139—145.
- Fan Honghai, Ling Hongfei, Wang Dezi, Shen Weizhou, Liu Changshi, Jiang Yaohui. Ore-forming material sources for Xiangshan uranium ore-field in Jiangxi Province: Evidence from Nd-Sr-Pb isotopes[J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7(2):139—145. (in Chinese with English abstract)
- [5] 李学礼, 孙占学, 周文斌. 古水热系统与铀成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 36—91.
- Li Xueli, Sun Zhanxue, Zhou Wenbin. Ancient hydrothermal systems and uranium mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000:36—91. (in Chinese)
- [6] 邵飞. 水-岩相互作用及其与铀成矿关系研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2007:43—50.
- Shao Fei. Study on water-rock interactions and its relation with Uranium Metallogenesis [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2007, 43—50. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王德滋, 周新民. 中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩成因与地壳演化[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- Wang Dezi, Zhou Xinmin. The origin about later Mesozoic of the volcanic-intrusive complexes in eastsouth China and the crust evolution [M]. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese)
- [8] 温志坚, 杜乐天, 刘正义. 相山铀矿田特富矿成矿模式[J]. 地质论评, 1990, 45(增刊): 765—767.
- Wen Zhijian, Du Letian, Liu Zhengyi. Ore-forming model of the extremely rich ores in Xiangshan Uranium Orefield, Jiangxi[J]. Geol. Rev., 1990, 45(suppl.):765—767. (in Chinese with English abstract)
- [9] 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.
- Zhang Bangtong, Lin Hongfei, Chen Peirong. Trace element geochemical comparison among multiple Geological Objects-Problems and solutions[J]. Geology-Geochemistry, 2003, 31(4): 102—106. (in Chinese with English abstract)
- [10] 黄锡强. 江西相山铀矿田热液蚀变特征及成矿物理化学条件分析[D]. 北京: 中国地质科学院, 2007: 36—48.
- Huang Xiqiang. The hydrothermal Alteration characteristics and Physics and chemistry conditions of mineralization of Xiangshan uranium orefield in Jiangxi[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2007: 36—48. (in Chinese with English abstract)
- [11] 张树明, 王蕾, 蒋振频, 郭国林, 安伟涛, 刘金枝, 邵上. 邹家山铀矿床流体包裹体研究[J]. 铀矿地质, 2009, 25(5): 263—269.
- Zhang Shuming, Wang Lei, Jiang Zhenpin, Guo Guolin, An Weitao, Liu Jinzhi, Shao Shang. Fluid inclusion study of Zoujiashan deposit in Xiangshan uranium orefield[J]. Uranium Geology, 2009, 25(5): 263—269. (in Chinese with English abstract)