

文章编号:0258-7106(2002)03-0292-06

330 铀矿床水分散晕指示元素组成及分带性*

陈贤春

(广东省核工业地质局, 广东 广州 510800)

摘要 文章依据放射性水文地球化学找矿理论,运用花岗岩热液铀矿水异常晕与铀矿化之间的关系,采用 R 型逐步聚类分析方法,通过对下庄矿田北部 330 矿床及其外围水化学资料的统计整理,对铀矿床水分散晕指示元素(或指标)的组成及其分带性进行了初步探讨,认为该矿床水分散晕指示元素和指标由 U 、 SO_4^{2-} 、 F^- 、 Al^{3+} 、 Mg^{2+} 、 Cr 、 Ni 、 Mo 、 Pb 、 As 、 Bi 、 Mn 、 M (矿化度)等组成,而且,这些元素和指标具有分带规律。

关键词 花岗岩型铀矿 水分散晕 指示元素分带性

中图分类号: P619.14

文献标识码: A

放射性水化学找矿是寻找铀矿床的有效手段,在野外工作中,常常发现众多的水异常。但由于形成水异常的影响因素极其复杂,并非所有的放射性水异常都能指示铀矿的存在。如何区分哪些是或者是铀矿化引起的真异常,哪些是非铀矿引起的假异常,就成为放射性水化学找矿的技术关键。自 20 世纪 70 年代中期以来,已有不少专家应用地下水中放射性同位素比值(叶鑫声,1988;契尔登采夫,1975)、饱和指数(金立敏等,1998)、电导率(王诚等,1998)、微量元素(潘乃礼,1983)、地电化学提取铀同位素(李育敏,1998)等方法对水异常进行评价,这些方法在一定条件下取得了较好的效果。本文应用地学多元信息统计方法,对野外取样所获得的水化学资料进行计算机处理,试图揭示铀矿床水异常晕找矿指示元素(或指标)多元化组成及其迁移分带规律,为水异常深层次解释和找矿预测提出新的思路 and 认识,更好地发挥放射性水化学找矿在“攻深找盲”中的作用。

1 矿床地质概况

1.1 铀矿地质背景

330 矿床位于广东翁源县下庄矿田北部,区域性新桥一下庄硅化断裂带上盘。围岩为燕山早期第一阶段侵入过渡相的中粒斑状黑云母花岗岩,第三阶段中细粒、细粒白云母花岗岩,燕山晚期第三阶段辉

绿岩脉。矿床构造主要为 NEE 向、NNE 向和近 EW 向 3 组,以 NEE 向的 86 号、92 号硅化断裂带与矿床的形成关系最为密切(王尤梓,1994)。断裂构造具多期性和继承性,它们既是矿液的运移通道,同时也是铀成矿的良好空间。矿体多赋存在硅化带及其上、下盘硅化花岗岩中,产状与硅化带一致。矿体形态一般呈脉状或透镜状。铀矿化与红色、灰黑色玉髓脉及黄铁矿化关系密切,矿物共生组合为沥青铀矿-萤石、沥青铀矿-黄铁矿。铀的伴生元素主要有 Mo 、 Ni 、 Pb 、 P 、 Bi 、 Cu 、 Zn 、 Cr 、 Be 、 Mn 、 As 、 V 等。主要近矿围岩蚀变有硅化、绢云母化、赤铁矿化和绿泥石化。

1.2 水文地质背景

330 矿床及外围地区处于南岭九连山脉中,海拔 500~800 m,相对高差 300 m,地形切割强烈。该区域属亚热带气候,年平均气温 17~18℃,最高达 35℃。雨季多集中在 3~6 月份,年平均降水量 2 234 mm,年平均蒸发量 1 706 mm。

区内花岗岩中断裂、裂隙十分发育,地下水主要为风化裂隙潜水、基岩裂隙潜水和构造裂隙承压水 3 种类型。受地下水埋藏条件、出露条件及气候条件等因素的影响,潜水循环深度小,具有由分水岭向两侧逐渐变小的规律。潜水面一般在地面以下 0.5~15 m 深处,在被冲沟、河流切割地段,以下降泉的形式出露。泉水流量一般 0.001~0.054 L/s,矿化度 0.04~0.11 g/L,水化学类型为 HCO_3-Ca 或 HCO_3-

* 本文得到核工业华南地质局“下庄矿田水异常判别研究”项目(92-49-05-01)的资助
作者简介 陈贤春,男,1963 年生,高级工程师,长期从事放射性水文地球化学找矿研究。
收稿日期 2001-03-05; 改回日期 2001-10-08。李岩编辑。

Na 型。承压水(钻孔水)循环深度相对较大,矿化度 0.23 ~ 0.68 g/L,水化学类型为 HCO₃-Ca·Na 型(刘金辉等,2001)。矿床坑道中裂隙水的化学成分受矿体和矿坑开掘的影响,其水文地球化学环境被改变,因而矿化度升至 1.5 ~ 3.4 g/L,pH < 3.8,水化学类型为 SO₄-Ca·Mg 型^①。本文对潜水、承压水及坑道裂隙水的化学资料进行指示元素组成及其水平分带性研究,对坑道裂隙水化学资料进行指示元素垂直分带性探讨。

2 铀矿水分散晕指示元素组成

在表生作用下,铀矿石中的放射性元素及其各种伴生元素被地下水溶解、溶滤而迁移,并在矿体周围形成放射性水异常。在水异常中能够指示铀矿存在和特征的标志性元素或化学组分称为指示元素。通过对指示元素的研究可以判断铀矿是否存在。铀矿水分散晕指示元素组成包括放射性元素、水化学常量成分和微量元素(高万林,1980)。

2.1 放射性元素

水中放射性元素(U、Ra、Rn、He)的绝对含量是放射性水异常评价的主要标志,通过对研究区地下

水中 U、Rn、He 含量的背景值^①进行统计(表 1),得出区内各类放射性水异常(含增高)共 61 个(表 2)。

地下水放射性元素异常以单个或多个复合形式出现。区内 U-Rn 或 U-Rn-He 复合水异常点多数出露在 86 号、92 号硅化带附近及其次级构造带上,并且水中 Rn、He 含量均较高,直接反映深部铀矿化。单个异常比较分散,规律性不强。所以,区内放射性水异常分布特点是:水异常与构造关系密切,在有铀矿化的断裂或裂隙发育的部位,地下水出现 U-Rn、U-He 或 U-Rn-He 等复合异常(图 1)。产生这种现象的主要原因是研究区内断裂构造发育,这些部位易形成射气聚集体,从而出现 Rn、He 含量较高的水异常,与 U 一起形成复合水异常。区内 NEE 向的 86 号带、92 号带为矿床主要控矿构造。

2.2 水化学常量成分

地下水与围岩作用发生溶解、交代、置换的过程中,地下水的化学成分不断被改变。同时,水的化学成分又影响着岩石中放射性元素向地下水中迁移的性能以及水中放射性元素的富集、沉淀和运移程度。所以,水化学常量成分可作为放射性水化学找矿的间接标志(俞壁,1983)。为研究水中铀元素与水化学常量成分之间的相关性,确定水化学常量指示元

表 1 地下水中放射性元素背景值统计表

Table 1 Statistics of radioactive element background values in the groundwater

元 素	样品数/个	剔除数/个	背 景 值			
			均值	方差	增高值	异常值
$\rho_U \times 10^{-6}/(g \cdot L^{-1})$	176	2	3.21	2.13	6.73	10.88
$CA_{Rn}/(Bq \cdot L^{-1})$	160	14	190	4.36	8.31	2169
$CA_{He}/(Bq \cdot L^{-1})$	31	1	3.81	1.59	6.06	8.2

表 2 放射性水异常类型统计表

Table 2 Statistics of radioactive water anomalous types

分布位置	单个异常/个			复合异常/个				合计/个
	U	Rn	He	U-Rn	U-He	Rn-He	U-Rn-He	
86 号带	8	8	1	4	2	1	1	25
92 号带	9	5		3			1	18
其 他	14	4						18
合计/个	31	17	1	7	2	1	2	61

① 陈贤春,刘海庭,黄国芝.1993.下庄矿田水异常判别研究.核工业华南二九〇研究所.科研报告.

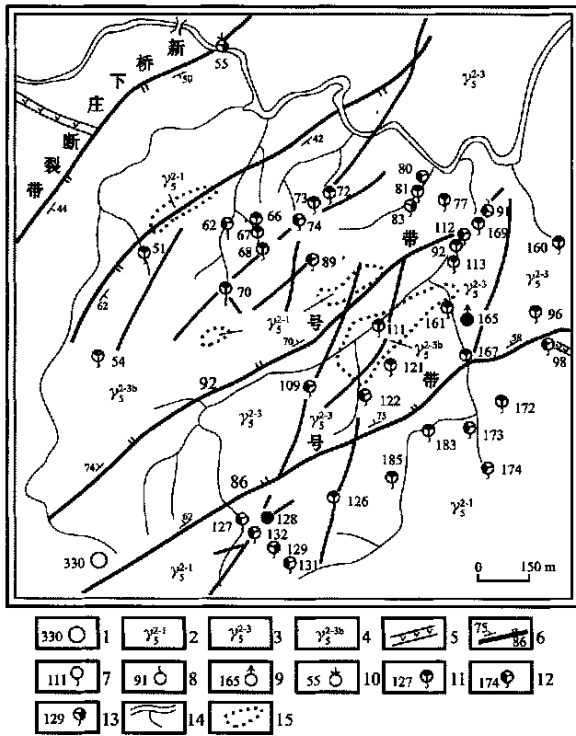


图1 下庄330矿床及其外围放射性水异常分布略图
 1—矿床及编号；2—中粒斑状黑云母花岗岩；3—细粒白云母花岗岩；4—中细粒二云母花岗岩；5—辉绿岩；6—断裂带及其编号；7—下降泉点及其编号(区内水源点统一编号,下同)；8—上升泉点及其编号；9—涌水钻孔及其编号；10—温泉点及其编号；11—U异常点；12—Rn异常点；13—He异常点；14—地表水系；15—岩性界线

Fig. 1 Schematic map of radioactive water anomalies in the Xiaozhuang 330 deposits and its periphery

1—Deposit and its serial number; 2—Medium-grained porphyritic biotite granite; 3—Fine-grained muscovite granite; 4—Medium-fine-grained muscovite biotite granite; 5—Diabase; 6—Fault zone and its serial number; 7—Descending spring and its serial number; 8—Ascending spring and its serial number; 9—Drill hole of spout water and its serial number; 10—Thermal spring and its serial number; 11—U anomaly point; 12—Rn anomaly point; 13—He anomaly point; 14—Surface drainage; 15—Lithologic boundary

素(或指标)组成,笔者选择了330矿床23个有代表性的水化学分析资料[●],选用U、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、HCO₃⁻、SO₄²⁻、PO₄³⁻、Al³⁺、F⁻、CO₂、SiO₂、Fe的质量浓度(ρ)和H₀(硬度)、M(矿化度)、K₀(电导率)、pH值等18项分析项目作为变量进行了多元统计计算。统计计算采用聚类分析法(王学

仁,1982)。通过计算可以得出以下认识:

(1) 在全部变量均取对数的情况下进行R型逐步聚类分析计算,统计结果表明 ρ 与SO₄²⁻、Mg²⁺、Ca²⁺、F⁻、Al³⁺的质量浓度以及H₀、M、K₀呈对数正相关,相关系数0.927(图2)。

(2) 在仅对变量 ρ 取对数的情况下进行R型逐步聚类分析计算,统计结果lg ρ 与SO₄²⁻、Mg²⁺、Ca²⁺、F⁻、Al³⁺、SiO₂等离子质量浓度以及H₀、M、K₀呈算术正相关,相关系数0.874(图3)。

同类合并后,聚类分析结果表明与U密切相关的重要离子或指标为SO₄²⁻、F⁻、Al³⁺、Mg²⁺和M。这与研究区矿物共生组合为沥青铀矿-萤石、沥青铀矿-黄铁矿,围岩蚀变有硅化、绿泥石化,Si、S、Al、F为本区矿床矿物中存在的化学成分等特征相吻合。

2.3 微量元素

地下水对铀矿石矿物溶滤的同时,也溶解了与铀伴生的其他矿物,导致某些金属微量元素在水中富集、迁移,这样,水中微量元素便可成为水化学找铀矿的辅助标志。为了研究330矿床与铀密切相关的微量指示元素,选择既在固体铀矿中与铀伴生,又在水中与铀密切相关,同时,又能被仪器检出的13种微量元素(Cu、Cr、Ni、P、Mo、Pb、As、Bi、Zn、Be、Mn、Sr、Ba),进行多元统计计算,结果表明:

(1) 利用20个地表泉水的U、Cr、Ni、P、Mo、Pb、As、Zn、Be、Mn、Sr、Ba等12项分析结果(ρ)组成20×12数据矩阵,在对所有变量均取对数的情况下进行R型逐步聚类分析,结果U、Be之间存在密切相关关系,相关系数0.43(图4)。Ni、Mo、Pb、As之间,Cr、Mn、Be之间密切相关和有组合关系,它们与U的相关关系是通过Be的间接关系表现出来的。故U与Be、Mn、Cr、As、Pb、Mo、Ni密切相关。

(2) 利用11个井下坑道裂隙泉水及1个钻孔(见矿)的U、Cu、Cr、Ni、P、Mo、Pb、As、Bi、Zn、Be、Mn、Sr、Ba等14项分析结果(ρ)组成12×14数据矩阵,在对所有变量分别取对数的情况下进行R型逐步聚类分析,结果U、As之间存在密切相关关系,相关系数0.75(图5)。Cu、Cr、Ni之间,Zn、Be、Mn之间,P、Mo、Pb、As之间密切相关或有组合关系,它们与U的相关关系是通过As的间接关系表现出来的。故U与Cu、Cr、Ni、P、Mo、Pb、As、Bi、Zn、Be、Mn

● 陈贤春,刘海庭,黄国芝.1993.下庄矿田水异常判别研究.核工业华南二九〇研究所.科研报告.

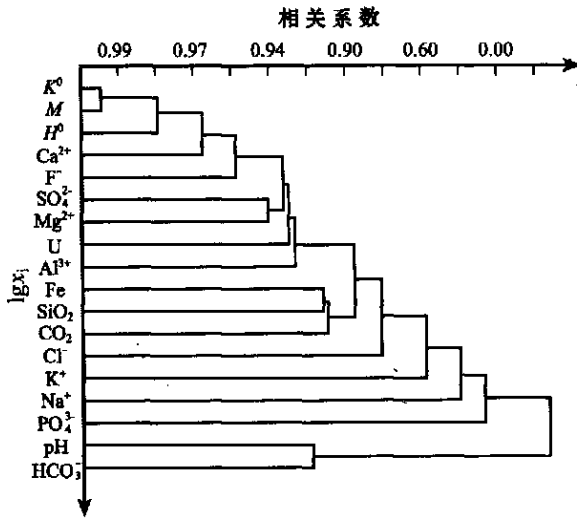


图 2 23 × 18 R 型逐步聚类谱系图

纵坐标中的原子及离子符号均代表质量浓度($\rho_b/\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)

Fig. 2 Dendritic diagram of 23 × 18 R-type successive cluster analysis

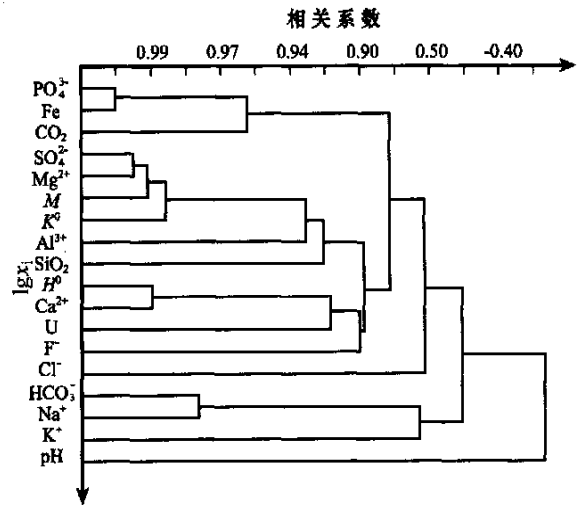


图 3 23 × 18 R 型逐步聚类谱系图

纵坐标中的原子及离子符号均为质量浓度($\rho_b/\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)

Fig. 3 Dendritic diagram of 23 × 18 R-type successive cluster analysis

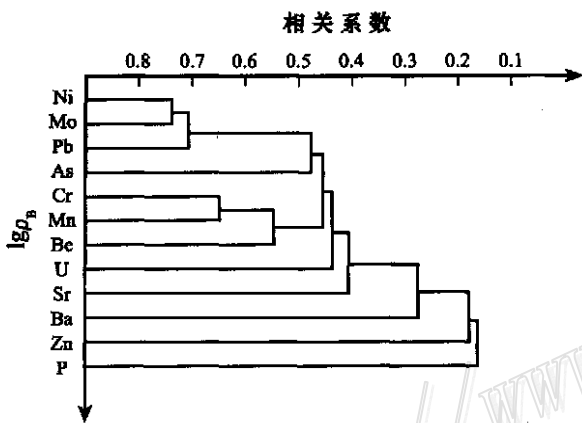


图 4 20 × 12 R 型逐步聚类谱系图

Fig. 4 Dendritic diagram of 20 × 12 R-type successive cluster analysis

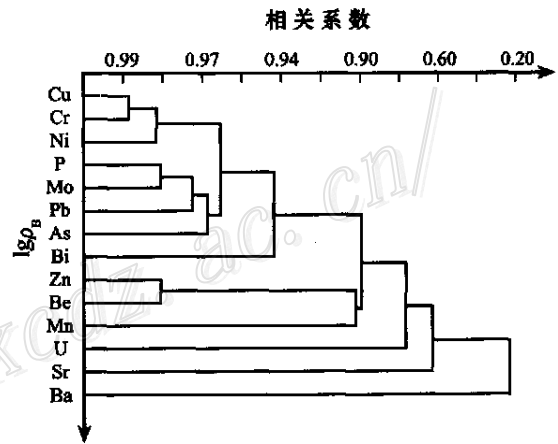


图 5 12 × 14 R 型逐步聚类谱系图

Fig. 5 Dendritic diagram of 12 × 14 R-type successive cluster analysis

密切相关。

综合以上计算结果,选出与 U 密切相关的微量指示元素组成为 Cr、Ni、Mo、Pb、As、Be、Mn。由此可见,研究区内地下水中 As、Bi 与 U 密切相关,Cr、Ni、Mo、Pb、Mn 等其他元素通过 As、Bi 与 U 间接相关,这些元素的固体状态与铀伴生,可作为本区放射性水化学找矿的微量元素标志。

3 指示元素分带性

3.1 水平迁移分带

地下水分散晕在水平迁移扩散方向上,分为矿体水和晕水。矿体水是指循环于透水矿体中的成矿元素高浓度水,由于花岗岩热液铀矿及现代地下水

均受断裂构造控制,所以,矿体水空间形态呈脉状或带状。晕水是成矿元素含量介于矿体水与背景水之间的过渡类型水。由于受冲淡作用和分解作用的影响,晕水中的成矿元素含量与矿体水相比有较大的减少,所以晕水在平面上由浓集中心向外呈环带状散开。330矿床水分散晕各指示元素(或指标)含量的高低在水平方向上具有明显差异,表现在近矿地下水中 U 、 SO_4^{2-} 、 Mo 含量及矿化度明显增高;远矿地下水中 U 含量、矿化度明显降低,而 Mn 、 Cr 、 Ni 、 As 、 Be 、 Al^{3+} 、 F^- 等含量则明显增高, Pb 含量变化不明显。所以,区内铀矿水分散晕找矿指示元素的水平迁移,可以按距离矿化带(或矿体)的远近划分出远程元素组合为 $Mn-Cr-Ni-As-Be-Al^{3+}-F^-$,近程元素和指标组合为 $U-Mo-SO_4^{2-}-M$ 。

3.2 垂直迁移分带

花岗岩热液铀矿床矿体、围岩中的铀及其伴生元素,通过淋滤作用而进入水中,并以络合物形式在水中迁移。由于不同络合物的稳定性存在差异,因此在迁移过程中,某些不稳定的络合物因物理化学条件的改变而分解沉淀,从而使矿化带中的地下水出现水化学元素(或指标)的垂直分带(史维浚,1990)。

利用330矿床井下坑道裂隙水样的分析数据^①,通过计算元素分带指数,建立起指示元素垂直分带序列。计算结果是:①水化学常量指示元素和指标序列为 $F^- - Al^{3+} - (SO_4^{2-}、M、Mg^{2+})$;②微量指示元素序列为 $(Mn、Bi、Pb、As) - (U、Mo) - (Ni、Cr)$ 。本区水分散晕指示元素(或指标)垂直分带:矿体上部和顶部元素为 $Mn、Bi、Pb、As、F^-、Al^{3+}$,矿体下部、底部元素和指标为 $U、Mo、Ni、Cr、SO_4^{2-}、Mg^{2+}$ 和 M 。

在铀矿床的氧化带中,金属硫化物的强烈氧化产生了游离硫酸, SO_4^{2-} 成为主要阴离子;尤其在矿体下部,地下水呈强酸性($pH=2.5$), $E_h=765$ mV,这样的水文地球化学环境十分有利于变价元素 Mo 、 Cr 等的高价离子的迁移。

4 结 论

应用 R 型逐步聚类分析方法对水化学资料进行统计,对已知铀矿床水分散晕指示元素和指标及其

分带性进行探索性研究,取得了初步认识:330矿床水分散晕指示元素和指标由 $U、SO_4^{2-}、F^-、Al^{3+}、Mg^{2+}、Cr、Ni、Mo、Pb、As、Bi、Mn$ 和 M 等组成,同时,这些元素和指标具有水平分带及垂直分带规律。该区地下水中指示元素发育齐全,尤其是微量元素。在水平方向上,近矿泉水中 $U、SO_4^{2-}、Mo$ 等含量及 M 值较高;在垂直方向上,矿体水中 $U、SO_4^{2-}、Mg^{2+}、Mo、Ni、Cr$ 等含量及 M 明显增高。但是,应用聚类分析方法选出的指示元素组成尚存在数量多、准确性不足等问题,如能综合运用因子分析、回归分析、模糊聚类分析等多种方法进行对比研究,则一定能得到更切合实际的结果,这些有待今后进一步研究探索。

致 谢 本文在撰写过程中得到刘海庭、黄国芝两位高级工程师以及刘金辉教授的大力帮助,在此致以由衷感谢!

References

- Gao W L. 1980. Radioactivity hydrogeochemical prospecting[M]. Beijing: Atomic Energy Press. 90~132, 208~245 (in Chinese).
- Jin L M, Jian X P, Yang J L. 1988. The application of hydrogeochemical and thermodynamics method in the hydrogeological exploration of uranium[A]. In: The papers of technical conference of hydrogeological of uranium[C]. Beijing: Editorial Department of Uranium Geology. 22~30 (in Chinese).
- Li Y M, Meng R M and Luo H F. 1988. The method of isotope ratio of U abstraction in electrogeochemical to evaluate radioactivity water anomaly halo[A]. In: The papers of technical conference of hydrogeological of uranium[C]. Beijing: Editorial Department of Uranium Geology. 94 (in Chinese).
- Liu J H and Li X L. 2001. Research for uranium metallogenesis on the discharge area (decompression area) of the paleo-hydrothermal system of uranium metallogenic in the Xiazhuang[J]. Mineral Deposits, 20(3): 259~264 (in Chinese with English abstract).
- Pan N L. 1983. Prospecting for using trace elements of water[A]. In: The fact example assembled and edited of exposure and evaluation of radioactivity water anomaly[C]. Beijing: Atomic Energy Press. 185~193 (in Chinese).
- Qedcf B B. 1975. ^{234}U and its application in geology[M]. Beijing: Atomic Energy Press (in Chinese).
- Shi W J. 1990. Theory of hydrogeochemical of uranium[M]. Beijing: Atomic Energy Press. 269~305 (in Chinese).

① 陈贤春, 刘海庭, 黄国芝. 1993. 下庄矿田水异常判别研究. 核工业华南二九〇研究所. 科研报告.

- Wang C and Wang J L. 1988. The application of electric transit ratio of ground water in the exploration of uranium[A]. In: The papers of technical conference of hydrogeological of uranium[C]. Beijing: Editorial Department of Uranium Geology. 95 ~ 97 (in Chinese).
- Wang X R. 1982. Statistical analysis of much variable of geological date [M]. Beijing: Sci. Pub. House. 75 ~ 81, 207 ~ 305 (in Chinese).
- Wang Y Z. 1994. Hydrogeological characteristics and explore method of 330 granite type of uranium deposits[A]. In: The papers of hydrogeological exploration of uranium deposits[C]. Beijing: Atomic Energy Press. 134 ~ 136 (in Chinese).
- Ye X S. 1988. The application of isotope ratio of uranium and radium in the water in the evaluation of water anomaly[A]. In: The papers of technical conference of hydrogeological of uranium[C]. Beijing: Editorial Department of Uranium Geology. 10 ~ 17 (in Chinese).
- Yu B. 1983. Basis of exposure and evaluation and explanation of radioactivity water anomaly[A]. In: The fact example assembled and edited of exposure and evaluation of radioactivity water anomaly[C]. Beijing: Atomic Energy Press. 1 ~ 17 (in Chinese).
- 李育敏, 孟瑞曼, 罗洪发. 1988. 地电化学提取铀同位素方法评价放射性水异常晕[A]. 见: 铀矿水文地质学术讨论会论文集[C]. 北京: 铀矿地质编辑部. 94.
- 刘金辉, 李学礼. 2001. 下庄铀成矿古水热系统排泄区(减压区)铀成矿作用研究[J]. 矿床地质, 20(3): 259 ~ 264.
- 潘乃礼. 1983. 利用水中微量元素找矿[A]. 见: 放射性水异常揭露评价实例汇编[C]. 北京: 原子能出版社. 185 ~ 193.
- 契尔登采夫 B B. 1975. ^{234}U 及其在地质学中的应用[M]. 北京: 原子能出版社.
- 史维浚. 1990. 铀水文地球化学原理[M]. 北京: 原子能出版社. 299 ~ 308.
- 王 诚, 王敬来. 1988. 地下水电导率在铀矿普查中的应用[A]. 见: 铀矿水文地质学术讨论会论文集[C]. 北京: 铀矿地质编辑部. 95 ~ 97.
- 王学仁. 1982. 地质数据的多变量统计分析[M]. 北京: 科学出版社. 75 ~ 81, 207 ~ 305.
- 王尤梓. 1994. 330 花岗岩型铀矿床的水文地质特征及勘探方法[A]. 见: 铀矿床水文地质勘探论文集[C]. 北京: 原子能出版社. 134 ~ 136.
- 叶鑫声. 1988. 水中铀、镭同位素比值在水异常评价中的应用[A]. 见: 铀矿水文地质学术讨论会论文集[C]. 北京: 铀矿地质编辑部. 10 ~ 17.
- 俞 壁. 1983. 放射性水异常揭露评价及解释依据[A]. 见: 放射性水异常揭露评价实例汇编[C]. 北京: 原子能出版社. 1 ~ 17.

附中文参考文献

- 高万林. 1980. 放射性水文地球化学找矿[M]. 北京: 原子能出版社. 90 ~ 132, 208 ~ 245.
- 金立敏, 剪勋平, 杨炯礼, 等. 1988. 水化学热力学方法在铀矿水文地质勘查中的应用[A]. 见: 铀矿水文地质学术讨论会论文集[C]. 北京: 铀矿地质编辑部. 22 ~ 30.

Indicator Elements of Water Dispersion Halos and Their Zoning in 330 Uranium Deposits

Chen Xianchun

(Guangdong Bureau of Geology, CNNC, Guangzhou 510800, Guangdong, China)

Abstract

The rational appraisal of water anomalies is a key technology in the radioactive hydrogeochemical prospecting. Based on radioactive hydrogeochemical prospecting theory, utilizing the relationship between water anomalous halos and uranium mineralization in the granitic hydrothermal uranium deposit, and adopting R type successive cluster analysis method, the authors arranged the hydrogeochemical materials of 330 deposits in the north of the Xiazhuang orefield and its periphery, and preliminarily discussed the composition of the indicator elements in water dispersion halos of the uranium deposit and their zoning. It is considered that the indicator elements of water dispersion halos in such a deposit consist of U, SO_4^{2-} , F^- , M, Al^{3+} , Mg^{2+} , Cr, Ni, Mo, Pb, As, Bi, Mn etc., which also exhibit zonation.

Key words: granite-type uranium deposit, water dispersion halo, zoning of indicator elements