

## 氦及其子体测量在东胜砂岩铀矿勘查中的应用

李必红, 刘庆成, 邓居智

(东华理工学院, 江西 抚州 344000)

**摘要:**通过对砂岩型铀矿地区氦及其子体的测量及对异常形成机理的分析, 进一步研究数据处理和解释方法。东胜地区实测资料表明了氦及其子体低值异常对应成矿相对有利的地段, 说明了解释方法的有效性, 为充分发挥攻深能力强的氦及其子体方法在铀矿找矿中的作用奠定基础。

**关键词:**放射性勘探; 氦及其子体; 热释光; 砂岩型铀矿

**中图分类号:** P631.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2005)06-0519-04

近年来, 由于核燃料的迫切需求和出露地表或近地表的铀矿越来越少等缘故, 找深部铀矿的工作已被提到议事日程上<sup>[1]</sup>。在我国, 找矿工作的重点从主攻南方的火山岩型和花岗岩型铀矿转移到北方中生代盆地中寻找可地浸砂岩型铀矿上来。近几年, 氦及其子体测量方法试用于寻找砂岩型铀矿, 结果表明, 在砂岩型铀矿床上能够形成清晰的异常, 方法原理已得到物探技术人员的肯定。但还需要进一步摸索提高氦及其子体测量方法应用效果及异常处理与解释方法, 使氦及其子体测量方法应用领域不断扩大。

## 1 氧化还原假说

天然放射系中, 氦的同位素有<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn、<sup>219</sup>Rn。铀矿中<sup>238</sup>U衰变成<sup>226</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra衰变的直接子体是<sup>222</sup>Rn, 氦再衰变产生<sup>218</sup>Po、<sup>214</sup>Po、<sup>214</sup>Pb、<sup>210</sup>Pb、<sup>214</sup>Bi等子体。氦是天然放射性元素铀系中的一个放射性元素, 有较大的迁移特性。测量氦及其子体的放射性活度或含量的变化有利于寻找深部铀矿体<sup>[2]</sup>。

铀矿主要产在氧化与还原的过渡带上。可地浸砂岩型铀矿成矿环境的氧化—还原电场的形成与周围水溶液的不均匀性有关。由于大气降雨的不断循环, 所以含+6价铀络合物、金属离子和大量游离氧随地下水沿岩层流动。在上游矿头方向富含氧, 溶液具有很强的氧化性质, +6价铀络合物、金属离子和氢离子等将得到电子, 发生还原反应, 溶液物质还原反应的结果使得溶液中的这些物质得到电子, 从而使原来中性的溶液发生改变。在向着水流方向相

对地多余了正离子, 而背着水流方向一侧相对地多余了负离子, 于是在矿头聚集正电荷。相反地, 在下游矿尾方向溶液中游离氧较少, 具有强氧化性质, 溶液中某些高价离子又会失去电子发生氧化反应, 在矿尾聚集负电荷。为达到电性平衡, 两侧多余的正负电荷会通过矿体和围岩组成回路电场。氦及其子体是带正电的粒子, 在矿体附近氧化还原电场的作用下, 其运动轨迹和正离子相似。当地层产状平缓时, 在外电场的影响下, 氦的子体从矿头向矿尾移动, 在矿头和矿尾处电流线最密集, 显然氦及其子体的数量也越多, 这就使得在地面观测时矿体上方出现低值异常, 而在矿体两端出现高值异常, 如图1所示<sup>①</sup>。矿体两端高值异常在所测曲线上形成双峰, 通过双峰可以推测矿体的边界, 曲线双峰之间的低值段的宽度及起伏变化反应地下矿体的矿化程度, 可以据此推测矿体分布情况, 曲线两峰之间的距离反应水平矿体的大致长度, 如果矿体倾斜, 矿体倾角已知, 则可以通过矿体倾角推测矿体大致长度, 在实际的测量工作中由于矿体的分布不规则, 产状复杂,

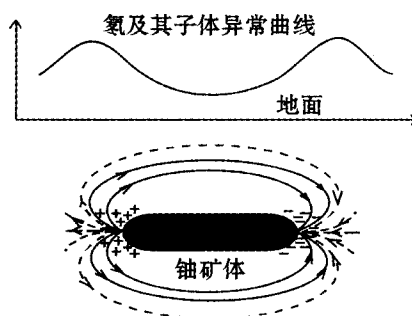


图1 水平矿体氦及其子体异常形成机理

① 刘庆成, 邓居智. 氦及其子体测量与异常解释方法研究. 东华理工学院科研报告, 2004.

曲线的形状变化较大。

## 2 常用的测量方法

### 2.1 $^{210}\text{Po}$ 法

$^{210}\text{Po}$  法是用来寻找铀矿床的一种放射性测量方法,测量的是岩石和土壤中氡衰变子体 $^{210}\text{Po}$ 的 $\alpha$ 射线强度。 $^{210}\text{Po}$ 测量野外取样按一定的网格进行,挖坑约30~49 cm,采集B层土壤样品50~100 g装入写有样品编号的样品袋中。室内分析提取、测量的具体操作步骤是:称取5 g的60~80目土壤样品,放入有样品编号、套有套环的特制专用铜片的100 mL烧杯中,在烧杯中放入0.3~0.5 g VC(抗坏血酸),然后将烧杯放置在CHY-81恒温摇床上,并在每个烧杯中加入2~3 mol/L的HCl 20~25 mL,进行60℃恒温振荡2 h后,从烧杯中取出铜片放入清水中冲洗,凉干约0.5 h后,将载有 $^{210}\text{Po}$ 的铜片采用WAY-80型五通道 $\alpha$ 仪进行 $^{210}\text{Po}$ 活度(或计数率)测量5 min。每个样品读2次取平均值<sup>[3-4]</sup>。

### 2.2 土壤天然热释光法

土壤天然热释光方法是指采集地表一定深度的土壤或砂样品,用高灵敏度的热释光测量装置测量样品中天然矿物在漫长的地质年代内接受放射性核素,尤其是氡及其子体的辐射而产生的热释光强度进行找矿的一种方法。它属于累积测氡方法的范畴<sup>[5]</sup>。野外取样点距50 m,每个测点取B层土壤样品150 g,室内对样品过80目筛,用固定分样器分样后,再用高灵敏度的热释光测量仪器测量样品的热释光强度。

## 3 应用

### 3.1 工区地质概况

工作区盖层主要由上三叠系延长组及中、新生界地层组成。在东胜地区上三叠统出现较少,主要出露侏罗系和部分白垩系以及少量第三系地层。区域构造主要有鄂尔多斯北缘断裂、乌拉特前旗—呼和浩特断裂、鄂尔多斯西缘断裂、呼和浩特—河曲断裂。地表矿化主要出露在工作区东部神山沟—淖尔壕约30 km长的南北向狭长地带内,矿化多产在侏罗系中统的直罗组,矿体呈板状或透镜状,环境指标分析结果反映了环境为弱氧化环境。

### 3.2 资料处理方法

#### 3.2.1 绘制相对等值图

由测量值求出平均值 $\bar{x}$ 和均方差 $s$ ,利用相对等值图对异常进行统计分析,处在 $\bar{x}-s \sim \bar{x}+s$ 为成矿有利地段。实测结果表明96%工业孔和91.3%

矿化孔分布在此区段。

#### 3.2.2 序列方差最优化分割法

方法的基本思想是将野外所采集的数据用一个矩阵 $X$ 表示,以 $x_{ij}$ 表示第 $i$ 层中第 $j$ 个观测值,则根据方差分析原理,层间方差 $B$ 为

$$B = \frac{1}{z-1} \sum_{i=1}^z n_i (M_i - M)^2,$$

层内方差 $W$ 为

$$W = \frac{1}{N-z} \sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^{n_i} n_i (x_{ij} - M_i)^2.$$

式中, $z$ 为地层剖面上的层数; $N$ 为整个地层剖面上总观测点数; $n_i$ 第 $i$ 层的观测点数; $M_i$ 为第 $i$ 层的观测值的平均值; $M$ 为整个地层剖面上观测值的总平均值。

显然层内方差 $W$ 越小,表明层内各样品性质越相似;层间方差 $B$ 越大,表明层内各样品性质差异越显著,反之越小。其主要特点是分割点是游动的未知的,需要从中选择最优的分界系数来确定边界。

分界系数 $R$ 可用

$$R = (B - W) / B$$

计算,且 $0 \leq R \leq 1$ 。 $R$ 接近于1时, $W \rightarrow 0$ ,表示层内无差异,层间差异最大,分界也最清楚。当 $R < 0$ 时, $B < W$ 分层无意义,这时 $R$ 记为0<sup>[6]</sup>。利用该思想对实测剖面曲线分层解释,可以划出矿化程度相同的层(段)。

### 3.3 实测资料分析

图2是东胜A175线 $^{210}\text{Po}$ 测量剖面。地层为中生界,下白垩统( $K_1$ )厚度约55 m左右,主要岩性为灰绿色、黄绿色、土红色、灰紫色砾岩,砂砾岩、砂岩。侏罗系中统直罗组( $J_2z$ )主要岩性为灰绿色、灰白色、灰色砂岩夹灰色、黄灰色、紫红色、杂色泥岩和灰绿色粉砂岩,砂岩成分以长石砂岩、长石英砂岩为主,是主矿化层。该地层与下伏地层呈整合—平行不整合接触。侏罗系中统延安组( $J_2y$ )岩性由灰色、灰白色砂岩、粉砂岩、泥岩等组成。根据已知钻孔资料结合地质资料,推测矿体倾角平缓,约 $1.3^\circ$ ,矿体埋深约190 m左右,长约300 m左右,长条状, $^{210}\text{Po}$ 曲线分别在150 m和850 m处高值异常,在450~550 m段出现次高值异常,反应矿体的复杂性,在矿体上方曲线低值段,矿体两端的曲线出现高峰,呈明显的不对称的双峰,有偏移,这是由于矿体的产状等因素影响的结果。

图3是东胜A111线土壤天然热释光测量结果。依据已知钻孔资料和地质勘探结果,推测矿体倾角平缓,约 $4.1^\circ$ ,矿体埋深约180 m,长约400 m。

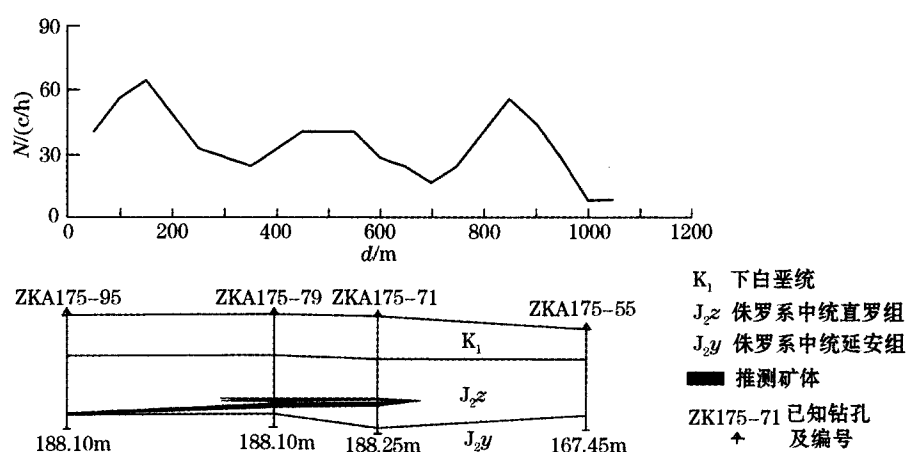


图2 东胜 A175 线<sup>210</sup>Po 测量剖面

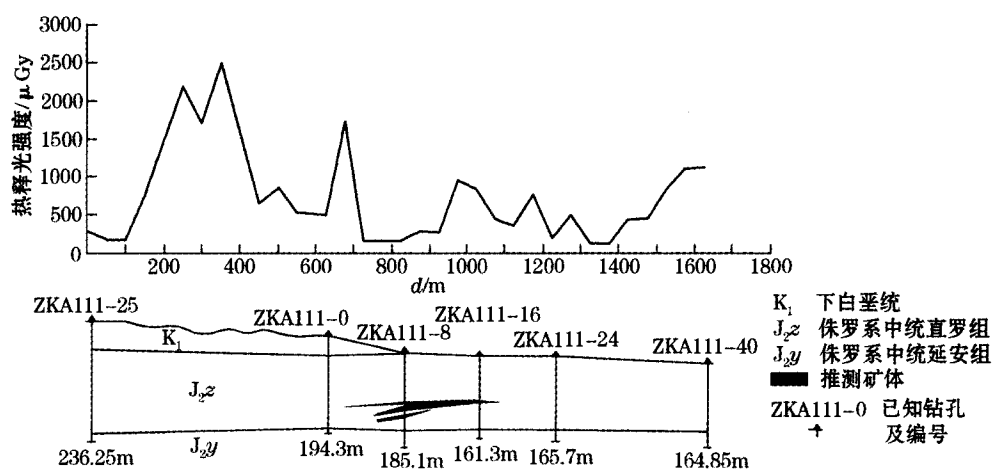


图3 东胜 A111 线土壤天然热释光测量剖面

土壤天然热释光测量曲线呈多峰形态:在 0 ~ 500 m 段有两高值,结合该段的地质情况推测是局部干扰引起;在 670 ~ 990 m 段,由两侧高值异常,中间低值异常组成,从已知的钻孔资料推测出该区段两侧高值对应矿体边端,中间低值段对应矿体空间位置;在 1 100 ~ 1 700 m 段出现的起伏变化,但 ZKA111-24 和 ZKA111-40 是无矿孔,结合该区段的地质勘探资

料,推测是地表矿石所致或未知因素所造成。

利用相对等级图对异常进行统计分析,划出成矿有利地段。将所测数据图形经三点平滑后,利用序列方差最优化分割法编制的相应的分层处理程序对其分层,大致划出地下成矿环境相同的地段,结合地质资料和钻孔资料更好地、更准确地推断地下铀矿的分布情况。

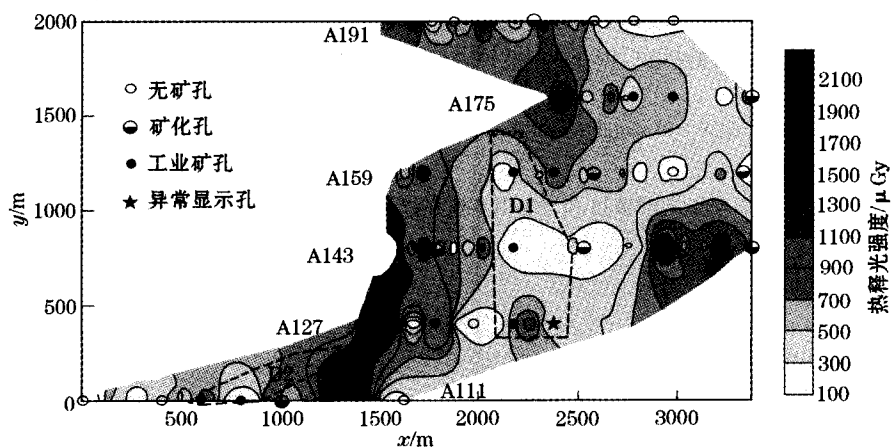


图4 土壤热释光测量平面等值线

图 4 是东胜工区土壤热释光测量平面等值线。在图中,测区的东、西两边出现高值,中间部分为低值区。虚线区 D1 是南北走向的低值区,通过 A127 线、A143 线和 A159 线的钻孔均为已知孔或异常孔;在该区平面等值线图的东西两段对应热释放高值异常区,已知钻孔大多是无矿孔,部分矿化孔;虚线区 D2 是一条呈大致北西展布的热释光低值异常区,位于该异常区内的钻孔均为工业孔或矿化孔。该地区的地质勘探资料分析表明,氡及其子体低值异常对应成矿相对有利的地段相吻合。

#### 4 结语

笔者从自然电场的角度来解释氡及其子体在砂岩铀矿中产生异常的机制,是传统扩散、对流等运移机制所难以解释的,采用相对等级图有利于划分成矿区,序列方差最优化分割对划分矿化程度相同地段效果好,实测结果表明该方法是有有效的、经济的。现已取得的成果表明,这种解释对铀矿勘查有着重要的意义。但氡及其子体异常曲线的形成机理及其异常解释方法对一些无矿区形成局部异常无法解释,需结合地质条件、矿体产状、团簇等氡及其子体

的其他运移机制来解释,具体还有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 吴慧山. 核技术勘查[M]. 北京:原子能出版社,1998.
- [2] 刘庆成. 铀矿地面物化探的发展与应用[J]. 世界核地球科学, 2004, 21(1):38.
- [3] 张锦由. 放射性方法勘查实验[M]. 北京:原子能出版社, 1992.
- [4] 叶树林,刘庆成,王勇,等. 油气田勘查中的核探测技术和异常解释方法[J]. 现代地质,2003,17(4):470.
- [5] 刘庆成,杨亚新,万骏,等. 土壤天然热释光测量在可地浸砂岩型铀矿找矿中的应用研究[J]. 铀矿地质,2002,18(2):118.
- [6] 张锦由,黎春华. 铀矿物化探数据处理方法[M]. 北京:原子能出版社, 2001.
- [7] 黄国叶,叶树林,万骏. 地面放射性氡法在寻找层间氧化带型砂岩铀矿中的应用[J]. 物探与化探,2000,24(1):12-16.
- [8] 杨亚新,刘庆成,龙期华,等. 氡气测量在下庄铀矿田扩大矿床范围中的应用[J]. 物探与化探,2003,27(3):184-186.
- [9] 刘庆成,邓居智,杨亚新,等. 可地浸砂岩型铀矿床上土壤天然热释光异常特征[J]. 物探与化探,2002,26(4):287-290.
- [10] 吴信民,刘庆成,杨亚新,等. 土壤天然热释光法在下庄铀矿田找深隐伏矿床中的试验研究[J]. 物探与化探,2003,27(5):338-340.

## THE APPLICATION OF RADON AND ITS DAUGHTERS TO THE EXPLORATION OF SANDSTONE TYPE URANIUM DEPOSITS IN DONGSHENG AREA

LI Bi-hong, LIU Qing-cheng, DENG Ju-zhi

(East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, China)

**Abstract:** Based on a study of the survey methods and the formation mechanism of the anomalies caused by radon and its daughters over the sandstone uranium deposits, this paper deals with the data processing and interpretation methods. An analysis of the measured data from Dongsheng area shows that the low value anomalies of radon and its daughters are in accord with the mineralization sectors, and that the anomalies caused by radon and its daughters as well as the interpretation method are effective. This study has laid the foundation for the application of radon and its daughters characterized by great penetration capacity in search for uranium deposits.

**Key words:** radiometric exploration; radon and daughters; thermoluminescence; sandstone type uranium deposit

**作者简介:** 李必红(1976-),男,东华理工学院核技术与应用专业在读研究生。