

doi:10.11720/wtyht.2015.2.04

刘武生,李必红,史清平,等.二连盆地砂岩型铀矿土壤氡异常模型及应用[J].物探与化探,2015,39(2):234-239.http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.2.04

Liu W S, Li B H, Shi Q P, et al. Model and application of radon anomaly in soil of sandstone type uranium deposits in Erlian Basin. [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(2): 234-239. http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.2.04

# 二连盆地砂岩型铀矿土壤氡异常模型及应用

刘武生,李必红,史清平,贾立城,赵兴齐

(核工业北京地质研究院 中核集团铀资源勘查与评价技术重点实验室,北京 100029)

**摘要:** 二连盆地是我国北方重要的砂岩型铀矿产地之一。为提取地表弱矿化信息,建立直接找矿标志,在盆地内实施面积型土壤氡及其子体测量,通过剖面、平面叠合铀矿化信息分析,建立了砂岩型铀矿土壤氡异常模型:即土壤氡气异常往往位于铀矿体上游一侧,异常值高达 15 000 Bq/m<sup>3</sup> 以上,矿体上方大多为氡气背景值,而矿体下游一侧多为氡的偏高晕。此模型揭示二连盆地具有较好的铀成矿潜力,指明了进一步铀矿找矿方向。

**关键词:** 砂岩型铀矿;土壤氡浓度;异常下限;异常模型;成矿预测;二连盆地

**中图分类号:** P631;P632      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2015)02-0234-06

二连盆地砂岩铀矿潜力大,产于下白垩统赛汉组上段古河道砂体中,其上覆盖有 120~300 m 上白垩统二连组、始新统伊尔丁曼哈组、中新统通古尔组<sup>[1-2]</sup>,地表异常信息微弱,地表的直接找矿标志不明显。前人曾开展过车载能谱测量、土壤化探找矿等方法应用,结果显示对于产于浅地表(小于 50 m)的沉积岩型铀矿化具有较好的指示作用,而对于深埋(大于 100 m)的砂岩型铀矿化效果不明显。近年来,在鄂尔多斯盆地、海拉尔盆地、巴音戈壁盆地等砂岩型铀矿勘探中利用氡及其子体测量方法确定砂岩型铀矿体取得了较好的效果<sup>[3-6]</sup>。

本次研究拟在二连盆地中部开展面积型土壤氡及其子体测量,确定最佳测量条件,厘定不同地质背景下土壤氡浓度的背景值、异常晕下限值、异常下限值和最大值,通过剖面、平面分析,建立砂岩型铀矿土壤氡异常模型,并运用该模型预测成矿位置,实现快速找矿。

## 1 地质背景

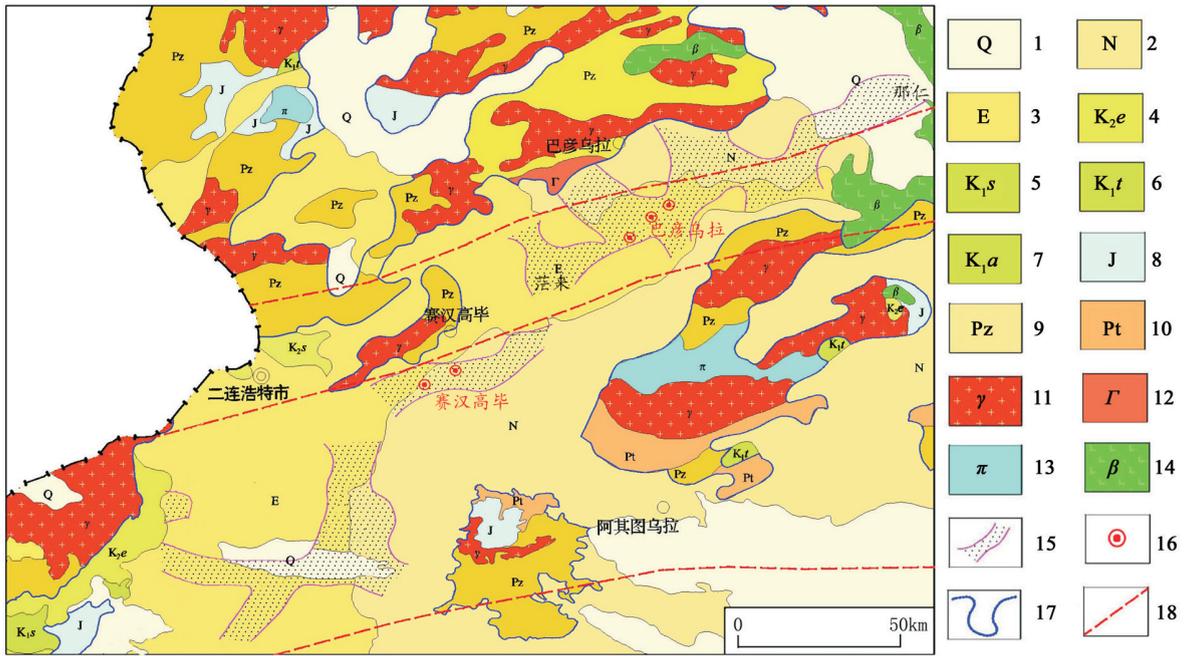
二连盆地是在海西期褶皱基底上发育起来的裂谷型断陷盆地,它是由许多分散的小断陷盆地组成,呈北东向和北北东或北东东向展布。区内蚀源区主要由上元古界、C-P 纪花岗岩和晚古生界组成,铀

源丰富;区内盖层主要由中下侏罗统阿拉坦力群( $J_{1-2}al$ )含煤碎屑岩建造、下白垩统阿尔善组( $K_1a$ )杂色粗碎屑岩建造、腾格尔组( $K_1t$ )含油细碎屑岩建造、赛汉组( $K_1s$ )含煤粗碎屑岩建造、上白垩统二连组( $K_2e$ )杂色细碎屑岩建造、始新统伊尔丁曼哈组( $E_2y$ )杂色碎屑岩建造、中新统通古尔组( $N_1t$ )红色含膏盐碎屑岩建造和第四系冲洪积层构成<sup>[2-3]</sup>,其中,赛汉组上段古河道广泛分布,岩性主要为成熟度低、富含有机质、黄铁矿等还原介质的灰色粗碎屑岩,是砂岩型铀矿化的主要富集场所(图 1)。

## 2 氡及其子体测量方法

### 2.1 仪器与测量方法

氡及其子体的测量方法分瞬时和累积两种,瞬时测量主要是测量氡的短寿命子体<sup>218</sup>Po、<sup>214</sup>Pb、<sup>214</sup>Bi、<sup>214</sup>Po。目前,土壤氡气测量大多采用<sup>218</sup>Po 瞬时测氡方法;累积测量主要是测量氡的长寿命子体<sup>210</sup>Po 及活性炭测量、径迹蚀刻等<sup>[7]</sup>。笔者采用的是土壤瞬时测氡方法,仪器采用由美国生产的 RAD7 连续测氡仪。该仪器的电动能够连续均匀抽取地气流,通过过滤器过滤掉氡的老子体,进入半球腔内的气体用金硅面垒半导体探测器测量获得  $\alpha$  能谱,采用窗口设置获取<sup>218</sup>Po 能量窗口的计数率来



1—第四系;2—新近系;3—古近系;4—上白垩统二连组;5—下白垩统赛汉组;6—下白垩统腾格尔组;7—下白垩统阿尔善组;8—侏罗系;9—古生界;10—元古界;11—花岗岩;12—中酸性岩;13—中性岩;14—玄武岩;15—赛汉晚期古河道;16—古河道型铀矿工业孔;17—盆地边界;18—推测断裂

图1 二连盆地中部铀矿地质简图

确定土壤氡浓度,该方法是目前比较先进的方法,这种方法能较好地区分氡和钍射气,极大地减少了氡子体沾污,测量数据具有较好的可靠性。

使用 RAD7 连续测氡仪野外测量方法步骤如下:①打孔,使用直径 4 cm 的钢钎打孔,孔深约 80 cm;②抽气,将钢钎快速拔出,插入抽气杆,开始抽气;③测量,其中一个测点测量次数设置为 4 次,每次测量时间为 3 min。取值第三个测量值,因为,前一个测点残留的氡气对第一、二次测量值有影响,第四次测量值由于抽气时间较长,孔周边土壤中的氡气降低,测量值开始降低,而第三次测量值往往处于土壤氡气的最高值。

## 2.2 测网布置

二连盆地氡及其子体测量网格按线距 500 m,点距 100 m 布置,共测量面积达 2 520 km<sup>2</sup>,测点 52 400 个,目的是通过建立巴彦乌拉和赛汉高毕已知铀矿床氡及其子体异常模型,用以指导类似地区铀矿找矿。

## 2.3 数据处理

对氡及其子体测量进行数据质量评价,不同地质景观背景统计等确定背景值和异常下限。

(1)背景值和均方差的确定。本研究采用平均值( $M$ )、均方差( $S$ )统计法,采用逐步挑剔异常数据的(即挑剔“ $\geq M+3S$ ”和“ $\leq M-3S$ 或 $\leq 0$ ”)方法直至所剩数据在“ $M-3S(0) \sim M+3S$ ”范围内为止,以

此散点数据的统计结果作为统计单元或地质景观的统计背景值和均方差。

(2)土壤氡异常下限的确定。统计单元土壤氡浓度大于或等于 5 倍( $5M$ )背景值的数据空间范围视为异常;土壤氡浓度为背景值加 3 倍均方差,即统计大于“ $M+3S$ ”的散点数据所占的空间范围视为异常晕;氡高晕下限为背景值加 2 倍均方差( $M+2S$ ),即数据大于等于“ $M+2S$ ”且小于“ $M+3S$ ”的空间范围视为高晕;偏高晕下限为背景值加 1 倍均方差( $M+S$ ),即大于或等于“ $M+S$ ”且小于“ $M+2S$ ”的空间范围视为偏高晕;正常晕一般指大于等于背景值减去 1 倍均方差至背景值加 1 倍均方差之间的空间范围;小于背景值减去 1 倍均方差且大于或等于背景值减去 2 倍均方差的空间范围视为偏低晕;小于背景值减去 2 倍均方差范围为低晕<sup>[7-10]</sup>。

## 3 成果分析

### 3.1 异常模型建立

通过对二连盆地内巴彦乌拉和赛汉高毕已知砂岩型铀矿区氡及其子体测量数据处理,结合成矿特征和控矿要素,建立了二连盆地砂岩型铀矿氡异常模型。

(1)赛汉高毕矿土壤氡异常模型。赛汉高毕铀矿体产于下白垩统赛汉组上段河道砂体中,埋深 120~160 m,呈透镜状或板状,发育于含矿砂体的中

下部,产在潜水氧化界面附近,矿体厚 0.7~2.4 m,主要是含氧含铀水通过“天窗”垂向渗入,与容矿砂岩发生水-岩作用,形成潜水氧化带型铀矿化。铀矿化受河道下切深度、河道微相、潜水氧化等各种变异因素控制,含矿主岩为富含有机质的细砂岩为主。铀存在形式以吸附铀和铀矿物为主<sup>[11-13]</sup>。

赛汉高毕土壤氡浓度背景值为 3 678 Bq/m<sup>3</sup>,其东北部有一沿北东方向展布长约 6 km,宽 1~1.5 km 的异常带(图 2),最大值达 84 740.2 Bq/m<sup>3</sup>,此异常与潜水强烈氧化带基本吻合,与砂体经氧化改造后松散、渗透性有关;矿体基本位于异常的背景低值区,与含矿砂体富含有机质,粒度偏细,渗透性相对较差有关<sup>[14-16]</sup>。因此,赛汉高毕土壤氡气模型主要是在强烈潜水氧化带表现为氡异常区,铀矿体位于氡异常且地下水下游一侧附近的低值区(图 3a)。

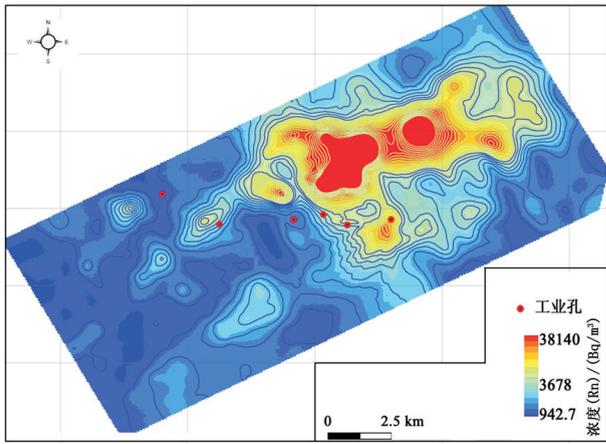
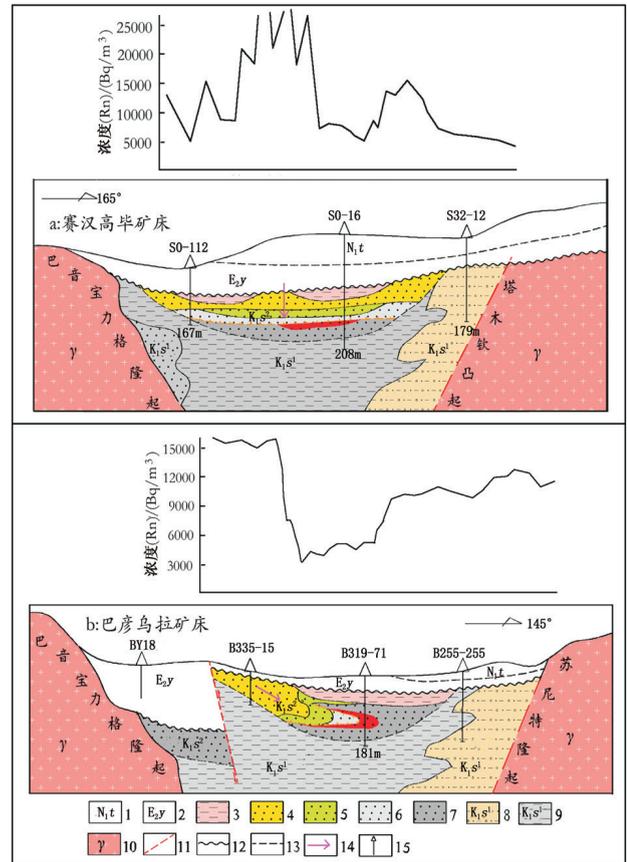


图 2 赛汉高毕矿区土壤氡浓度等值线

(2)巴彦乌拉矿体土壤氡异常模型。巴彦乌拉铀矿体埋深 81.6~168.6 m,走向 NE 向,与下白垩统赛汉组上段古河道展布方向一致;矿体形态呈卷状和板状,长 8 500 m,宽度 60~750 m;矿体平均厚度 6.38 m,总体上看矿体稳定连续,规模较大。主要是含氧含铀水通过侧向(谷坡)或顺向(河道走向)渗入,形成层间氧化带型铀矿化,受古河道交汇、古河道微相、层间氧化带等控制<sup>[11-13]</sup>。

矿区土壤氡气浓度背景值为 3 516 Bq/m<sup>3</sup>,均方差 2 072 Bq/m<sup>3</sup>。矿体上方土壤氡浓度测量值 89.09% 都处在土壤氡偏低晕或背景值内,而沿矿体走向的两端存在明显异常,形成圈闭(晕)异常(图 4),基本控制了巴彦乌拉主矿体的规模和走向。形成这种土壤氡异常主要原因是盖层地质条件、容矿空间及层间氧化等因素有关,其一,是矿区层间完全氧化带方向,砂体黏土含量少,渗透性好,有利于铀、镭晕及氡气的迁移,在表层土壤中氡浓度达到异常范围(>5M);其二,是矿体主要富集于富含有机质、

黏土的砂体中,其上又覆盖有较厚的隔水顶(古近系红色泥岩),孔隙度小,透气性较差,不利铀、镭、氡等核素的迁移,从而难以到达地表富集,在表层土壤中氡浓度为背景区间(M-S)~(M+S);其三,在还原带,砂体趋于正常,即黏土、有机质含量、渗透性趋于前二者之间,在表层土壤中氡浓度达到高晕范围(M+2S)~(M+3S)<sup>[4-16]</sup>。因此,巴彦乌拉土壤氡气模型是在层间氧化带表现为异常晕,在矿体上方为背景值,在还原带表现为高晕,形成“两高夹一低”找矿模型(图 3b)。



1—通古尔组;2—伊尔丁曼哈组;3—红色泥岩;4—黄色砂岩;5—灰绿色砂岩;6—灰白色砂岩;7—灰色砂岩;8—赛汉组下段砂泥混杂堆积;9—赛汉组下段灰色泥岩;10—石炭—二叠纪花岗岩;11—断裂;12—角度不整合;13—平行不整合;14—含氧含铀水运移方向;15—钻孔

图 3 二连盆地砂岩型铀矿土壤氡异常模型

### 3.2 成矿区预测

二连盆地产于下白垩统赛汉组上段古河道中的砂岩型铀矿主要受古河道特征(河道微相、河道规模、河道形态等)、氧化特征(氧化类型、氧化规模、氧化带展布等)控制;找矿标志为潜水氧化带型铀矿化是赛汉高毕式,层间氧化带型是巴彦乌拉式。

#### 3.2.1 赛汉高毕式

地质标志:下白垩统赛汉组上段古河道处于变

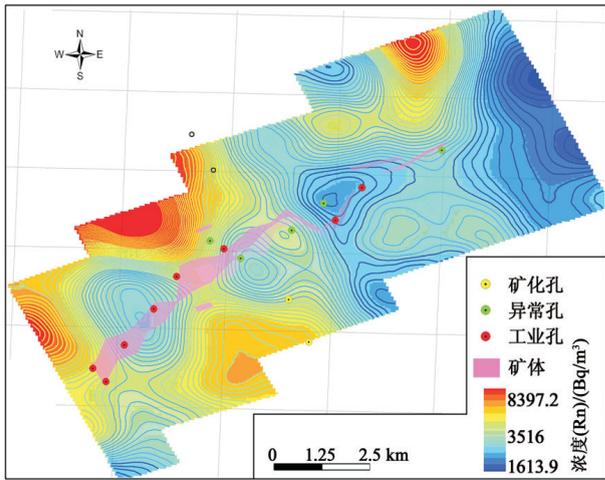


图4 巴彦乌拉矿区土壤氡浓度等值线

宽或交汇部位,发育潜水氧化作用。土壤氡气标志:强烈潜水氧化带土壤氡浓度异常下限值达 15 000 Bq/m<sup>3</sup> 以上,铀矿化处于异常带附近的低值区。铀矿化就位模式:铀矿化发育于古河道中央下部,位于土壤氡浓度异常且地下水下游一侧附近的低值区。适用地区:赛汉高毕及外围地区、茫来—巴润地区。

(1)赛汉高毕及外围地区。该区赛汉组上段处于河道变宽变缓部位,河道呈东西向展布,为一条曲流河砂质河道,河道长 60 km,宽 5~10 km,在河道东北部发育有强烈的潜水氧化作用,具备赛汉高毕式预测条件。区内土壤氡浓度背景值为 2 340.4 Bq/m<sup>3</sup>,异常晕下限为 6 789.5 Bq/m<sup>3</sup>,异常下限为 16 702.1Bq/m<sup>3</sup>,最大值为 84 740.2Bq/m<sup>3</sup>,统计分析本区存在具有一定规模的异常晕有 3 处,地下水由北东向南西流动,因此,认为在 3 处土壤氡异常晕的西南方向具有较好的铀成矿远景<sup>[17]</sup>(图 5)。

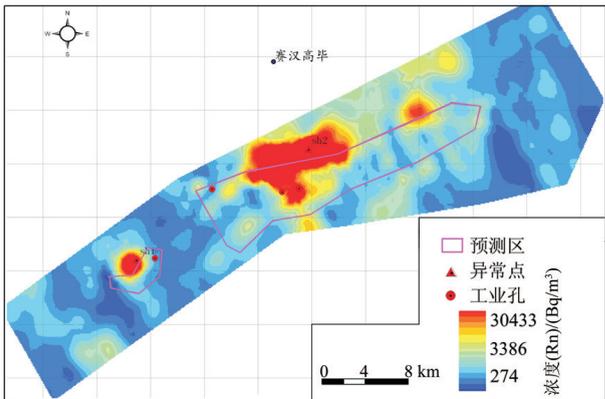


图5 赛汉高毕及外围地区土壤氡浓度等值线及预测

(2)茫来—巴润地区。该区赛汉组上段处于河道交汇部位,河道呈东西向展布,宽 5~8 km,长 40 km,埋深约 70~200 m,在河道的北侧发育有强烈的潜水氧化作用,具备赛汉高毕式预测条件。区内土

壤氡浓度背景值为 6 054 Bq/m<sup>3</sup>,异常晕下限为 16 104 Bq/m<sup>3</sup>,异常下限为 30 270 Bq/m<sup>3</sup>,最大值 32 549.9 Bq/m<sup>3</sup>,统计分析本区存在具有一定规模的异常晕有 3 处,地下水由北北西向南南东流动,因此,认为在 3 处土壤氡异常晕的南东方向具有较好的铀成矿远景(图 6)。

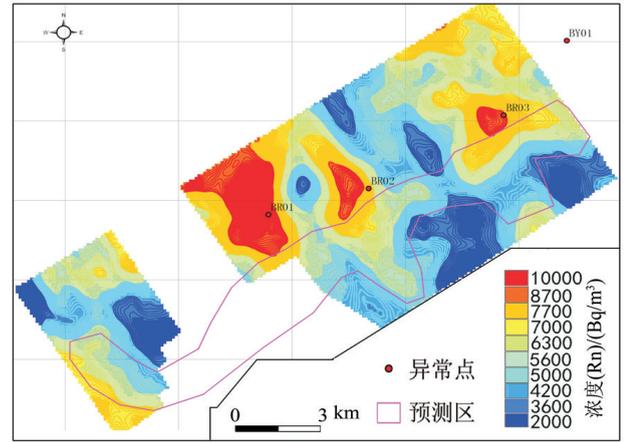


图6 茫来—巴润地区土壤氡浓度等值线及预测

### 3.2.2 巴彦乌拉式

地质标志:下白垩统赛汉组上段古河道处于变宽或交汇部位,发育层间氧化作用。土壤氡气标志:层间氧化带发育区土壤氡浓度异常下限值达 10 000 Bq/m<sup>3</sup> 以上,还原带发育区土壤氡浓度值为高晕,达 8 000 Bq/m<sup>3</sup> 以上,铀矿化位于土壤氡浓度异常晕和高晕夹持的背景区。铀矿化就位模式:铀矿化发育于古河道中央中下部,位于土壤氡浓度“两高夹一低”的低值区。适用地区:巴彦乌拉及外围地区、那仁地区。

(1)巴彦乌拉及外围地区。该区在赛汉组上段发育一条呈东西向展布,宽 5~15 km,长 120 km,埋深约 100~350 m 的辫状河道,河道砂体较为发育,自北而南发育有层间氧化作用,具备巴彦乌拉式预测条件。区内土壤氡浓度背景值为 3 146 Bq/m<sup>3</sup>,异常晕下限为 8 870 Bq/m<sup>3</sup>,异常下限为 15 730 Bq/m<sup>3</sup>,最大值为 21 756 Bq/m<sup>3</sup>。研究发现具较好的异常 2 处,异常晕 6 处。异常“一点 (BY02) 三晕 (BY01、BY03、BY04)”基本控制了巴彦乌拉主矿体的规模和走向,由此推断测区东侧的“一点 (BY06) 两晕 (BY07、BY08)”异常区的成矿潜力较大(图 7)。

(2)那仁地区。该区在赛汉组上段主要发育辫状河—三角洲沉积体系,自北而南发育有层间氧化作用,具备巴彦乌拉式预测条件。区内土壤氡浓度背景值为 3 088 Bq/m<sup>3</sup>,异常晕下限为 9 619 Bq/m<sup>3</sup>,异常下限为 15 440 Bq/m<sup>3</sup>,最大值为 29 600 Bq/m<sup>3</sup>,统

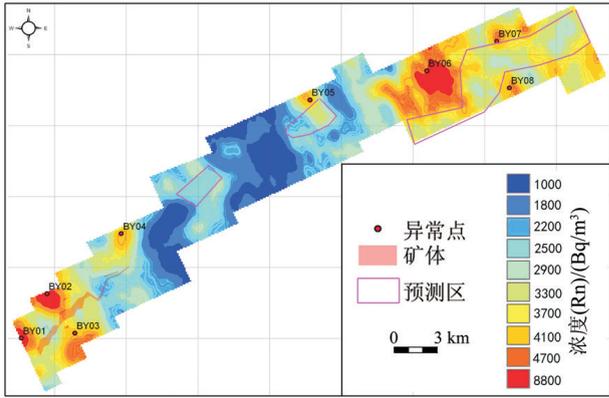


图7 巴彦乌拉及其以东地区土壤氡浓度等值线

计分析本区存在异常点3处、异常晕2片。其中,异常NR01与北边的偏高晕、异常BR3与异常晕BR02形成南北“两高夹一低”的态势,由此推测其低值区具有较好的成矿远景(图8)。

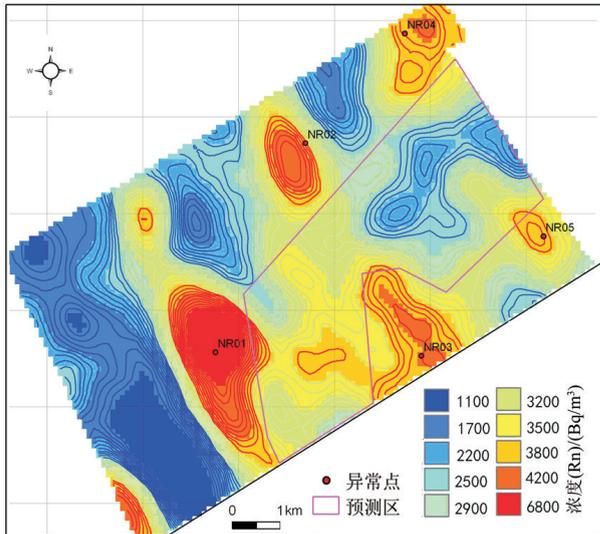


图8 那仁地区土壤氡浓度等值线及预测

### 4 结论

(1)二连盆地土壤氡及其子体测量采用RAD7连续测氡仪数据可靠;最佳测量条件是按线距500 m,点距100 m进行测量;孔深约80 cm;每个测点测量次数设置为4次,每次测量时间为3 min,取值第三个测量值。

(2)二连盆地下白垩统赛汉组上段发育两种类型砂岩铀矿化,土壤氡气异常对砂岩铀矿均具有较好的指示作用。其中,发育潜水氧化带型的赛汉高毕式铀矿化土壤氡气标志是强烈潜水氧化带土壤氡浓度异常下限值达15 000 Bq/m<sup>3</sup>以上,铀矿化处于

异常带附近的低值区;发育层间氧化带型铀巴彦乌拉式铀矿化土壤氡气标志是层间氧化带发育区土壤氡浓度异常下限值达10 000 Bq/m<sup>3</sup>以上,还原带发育区土壤氡浓度值为高晕,达8 000 Bq/m<sup>3</sup>以上,铀矿化位于土壤氡浓度异常晕和高晕夹持的背景区。

(3)采用土壤氡气找矿模型,通过土壤氡气测量结果分析,结合地质特征认为二连盆地砂岩型铀矿成矿条件好,特别是巴彦乌拉及其以东地区、那仁地区具备巴彦乌拉式铀矿成矿潜力大;茫来—巴润地区、赛汉高毕及其以东地区具备赛汉高毕式铀矿成矿潜力大。

### 参考文献:

- [1] 刘武生,贾立城,刘红旭,等.全国砂岩型铀矿资源潜力评价[J].铀矿地质,2012,28(6):349-357.
- [2] 刘武生,刘金辉,王正邦,等.二连盆地含矿建造后生作用过程的演化特征[J].东华理工学院学报,2006,28(1):52-58.
- [3] 李必红,刘庆成,邓居智.氡及其子体测量在东胜砂岩铀矿勘查中的应用[J].物探与化探,2005,29(6):519-522.
- [4] 徐增亮,隆盛银,徐绍谱,等.铀矿找矿勘探地质学[M].北京:原子能出版社,1990.
- [5] 叶树林,童建平.用放射性测量法确定砂岩型铀矿层间氧化带尖灭地段[J].东华理工学院学报,2004,27(2):112-117.
- [6] 李必红.砂岩铀矿体上氡及其子体异常分析研究[D].抚州:东华理工学院,2006.
- [7] 中华人民共和国核行业标准.氡及其子体测量规范[S].1991-10-11.
- [8] 吴慧山,林云飞,白云生,等.氡测量方法与应用[M].北京:原子能出版社,1995.
- [9] 曾兵,葛良全,刘合凡,等.土壤取样测氡的可行性研究与实现[J].核电子学与探测技术,2010,30(6):826-830.
- [10] 刘泰峰,安海忠,亢俊健,等.煤田陷落柱氡气场的数值计算及空间形态分布特征[J].地球物理学报,2004,47(1):171-177.
- [11] 聂逢君,陈安平,彭云彪,等.二连盆地古河道砂岩型铀矿[M].北京:地质出版社,2010.
- [12] 刘武生,康世虎,贾立城,等.二连盆地中部古河道砂岩型铀矿成矿特征[J].铀矿地质,2013,29(6):328-335.
- [13] 鲁超,彭云彪,刘鑫扬,等.二连盆地马尼特拗陷西部砂岩型铀矿成矿的沉积学背景[J].铀矿地质,2013,29(6):336-343.
- [14] 李必红,刘庆成,邓居智,等.砂岩铀矿床上氡及其子体异常分析[J].铀矿地质,2007,23(1):49-54.
- [15] 贾文懿,方方,周蓉生,等.氡及其子体向上运移的内因与团聚现象[J].成都理工学院学报,1999,26(2):171-175.
- [16] 李伟,刘鸿福,张新军,等.低射气介质地区浅部土壤氡气迁移规律研究[J].原子能科学技术,2013,47(2):312-316.
- [17] 叶树林,邓居智,刘庆成.氡及其子体测量方法在滑坡勘查中的应用研究[J].地质与勘探,2008,44(1):113-116.

## Model and application of radon anomaly in soil of sandstone type uranium deposits in Erlian Basin

LIU Wu-Sheng, LI Bi-Hong, SHI Qing-Ping, JIA Li-Cheng, ZHAO Xing-Qi

(CNNC Key Laboratory of Uranium Resources Exploration and Evaluation Technology, Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Erlian Basin is one of the most important sandstone-type uranium fields in northern China. In order to get the weak mineralization data at surface and establish the direct prospecting criteria, the authors carried out measurement of areal-type soil radon and its daughter in the basin. According to the analysis of uranium mineralization data as well as the section and plane data, soil radon anomaly of sandstone-type uranium deposits can be built, i.e., radon anomalies in soil are always located in the upstream direction of uranium, with the anomaly value higher than 15 000 Bq/m<sup>3</sup>. In general, the upper part of the deposit has the background value of radon, while the larger halos of radon are distributed in the downstream direction of the deposit. On the basis of this model, it can be inferred that Erlian Basin is characterized by fairly favorable potential of uranium mineralization. On such a basis, further prospecting targets can be delineated.

**Key words:** sandstone uranium deposits; radon density of soil; lower limit of anomaly; model of anomaly; mineralization prospecting; Erlian Basin

**作者简介:** 刘武生(1977-),男,高级工程师,主要从事沉积型铀矿评价与研究。E-mail:lwd970815@126.com