

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.03.009

甘肃省花海盆地土壤氡分布特征及控制因素研究

雷波¹, 贺锋², 陈冠¹, 刘伟¹, 鲁宝龙³

(1. 南华大学资源环境与安全工程学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 核工业北京地质研究院, 北京 100029;
3. 核工业二〇三研究所, 陕西 咸阳 712000)

摘要: 花海盆地位于甘肃省走廊盆地群西缘, 是中国深部铀资源勘探的重要潜力区之一。根据对土壤氡气浓度信息提取和野外勘探钻探成果分析, 花海盆地土壤氡浓度可分为东部正常场-偏高场氡晕和西部偏高-高场氡晕; 下白垩统下沟组(K_1x)砂岩层段为本区铀矿化有利层位, 建议在西部、南部土壤氡气偏高-高场氡晕过渡带追索层铀矿化带, 寻找有利靶区。

关键词: 花海盆地; 土壤氡; 分布特征; 有利靶区

中图分类号: P595

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)03-0106-07

Radon Distribution Characteristics and Controlling Factors in the Soil of Huahai Basin, Gansu Province

LEI Bo¹, HE Feng², CHEN Guan¹, LIU Wei¹, LU Baolong³

(1. School of Resource & Environmental and Safety Engineering, University of South China, Hengyang 421001, Hunan, China; 2. Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China; 3. No. 203 Research Institute of Nuclear Industry, Xianyang 712000, Shaanxi, China)

Abstract: Huahai basin is located in the western margin of Corridor basins in Gansu Province, and is one of the important potential areas for deep uranium exploration. Based on the extraction of radon gas in soil and the information of the field exploration, it is considered that the soil radon concentration in Huahai basin can be divided into normal to high in the east and even higher in the west. The Lower Cretaceous sandstone of Xiagou Formation (K_1x) is the target reservoir of uranium deposits in the study area. The authors suggest that the favorable target is in the transition zones and uranium mineralization belt with higher Radon levels in the west and south of the area.

Keywords: Huahai basin; soil radon; distribution characteristics; favorable target

铀矿是一种重要的清洁能源和重要的国防战略物质, 在国民经济、国家战略防御等领域具有重要作用(孟凡兴等, 2016)。随着中国能源“供给侧”改革的逐步推进, 人们对铀等清洁能源需求亦增加。自

20 世纪末期, 中国陆续在伊犁盆地(夏毓亮等, 2003)、吐哈盆地(聂逢君等, 2018)、巴音戈壁盆地、鄂尔多斯盆地(刘正义等, 2017; 马晔等, 2013)、二连盆地(曹惠锋等, 2018; 柳益群等, 2006; 罗晶晶等,

收稿日期: 2020-01-13; 修回日期: 2020-06-02

基金项目: 湖南省自然科学基金(2019JJ50525), 湖南省教育厅科技项目(180SJK022), 衡阳市科技指导性项目(S2018G9031015322), 中国核工业地质局项目(No. 201827-02)

作者简介: 雷波(1985-), 男, 讲师, 博士, 主要从事氡测量和地质勘查与研究工作。E-mail: hame88@126.com

2018)、松辽盆地(刘华健等,2017;钟延秋,2012)发现一批铀矿床,也在相山盆地、酒泉盆地等区域开展深部或隐伏铀资源探索(姜涛等,2018)。但是对河西走廊盆地群勘探有限,对土壤中放射性信息分布特征和控制因素的认识尚不明朗(郭庆银等,2006)。笔者以河西走廊盆地群西段花海盆地为研究对象,采用 RAD-7 测氡仪进行土壤氡气测量,根据区域地质条件、分析了该区土壤 Rn 异常区域分布规律和控制因素,为在该区开展进一步勘探工作提供依据。

1 区域地质背景

河西走廊盆地群为受北西西向祁连山北缘断裂和龙首山断裂所控制的山前拗陷盆地,盆地内部又被一组活动性很强的北北西—北西东走向的次级断裂及其所控制的隆起分割成酒西盆地、金塔盆地

等几个次级盆地。花海盆地位于走廊盆地群西部,即甘肃省酒泉市北山与宽台山和黑山之间,西接阿尔金地块,南邻走廊过渡带,北接北山—海西褶皱带。本地区经历了南南西向和北北东向等主压应力作用,可分前侏罗纪陆块稳定发展、早侏罗世断陷形成、早白垩世断陷发育、新近纪拗陷褶皱冲断和第四纪持续拗陷沉降 5 个时期的构造演化。花海盆地内发育下白垩统(K₁)、中新统(N₁)和第四系(Q)等,其中,下白垩统与中新统之间为不整合接触。断裂构造主要位于盆地中部和南部,以北东向和北西向展布为主(高雄雄等,2016)。区内侵入岩以古生代闪长岩和斜长花岗岩为主,主要分布在花海盆地外缘北山、宽台山附近,是本区铀矿体重要物源。在白垩世—古新世干旱气候期间,研究区地层抬升剥蚀,有利于区内铀矿的后生化改造和富集。ZHK3-1 井勘探结果表明,河湖交互相“砂-泥-砂”发育的下白垩统下沟组(K_{1x})是研究区内含矿目的层段(图 1)。

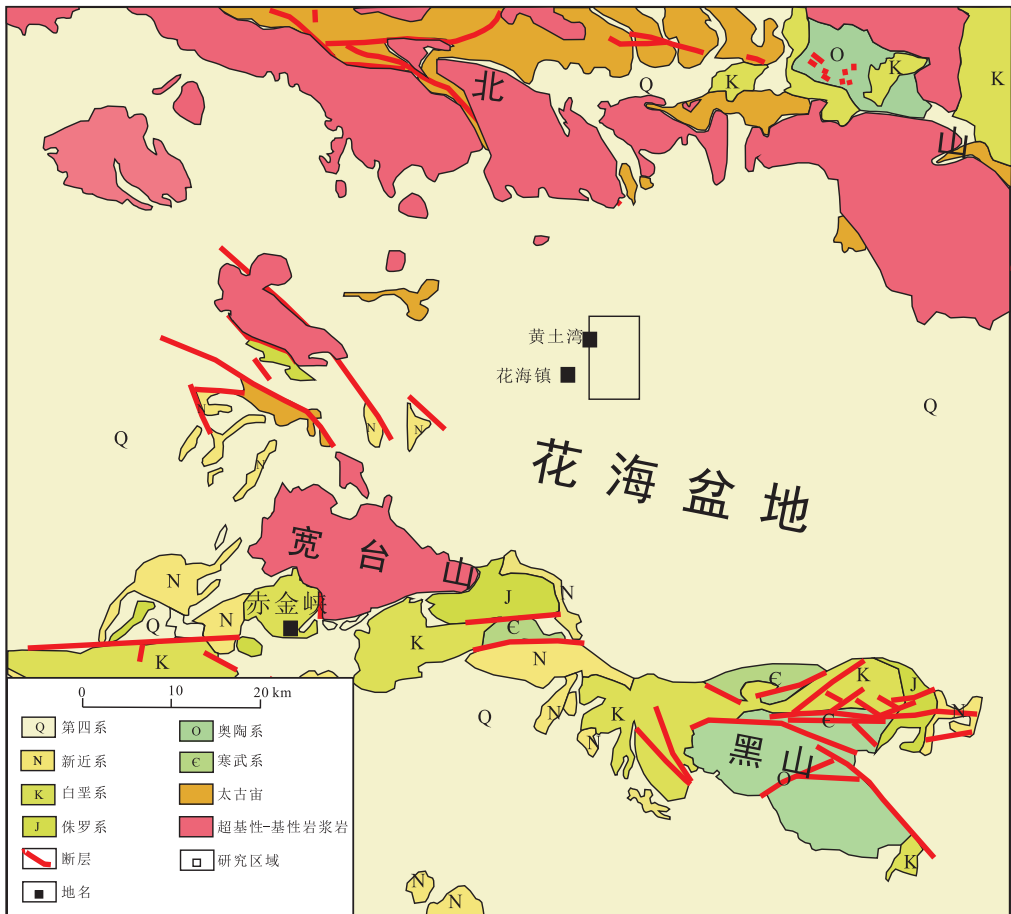


图 1 花海盆地构造分布图(据门相勇等,2005 修改)

Fig. 1 Sketch map of the Huahai basin

2 Rn 及其子体测量及数据处理方法

笔者采用的是土壤瞬时测 Rn 方法,根据《中华人民共和国核行业标准 EJ/T 605-91 氡及其子体测量规范》,采用美国生产的 RAD-7 连续测氡仪,按照线距 500 m、点距 100 m 布置测点 1 200 个。数据处理如下(刘武生等,2015;王浩锋等,2018)。

(1)背景值和均方差的确定。笔者采用平均值(μ)、均方差(σ)统计法,采用逐步剔除异常数据,使观测数据位于 3 倍标准差以内,并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 Rn 异常晕分级。当土壤 Rn 浓度测量值位于($\mu+3\sigma, \infty$)区间,土壤 Rn 浓度定义为异常晕;当土壤 Rn 浓度测量值位于($\mu+\sigma, \mu+3\sigma$)区间,土壤 Rn 浓度视为高晕;当土壤 Rn 浓度测量值位于($\mu-\sigma, \mu+\sigma$)区间,土壤 Rn 浓度定义为正常晕;当土壤 Rn 浓度测量值位于($\mu-2\sigma, \mu-\sigma$),土壤 Rn 浓度当作偏低晕;当土壤 Rn 浓度测量值位于($\mu-3\sigma, \mu-2\sigma$)区间,土壤 Rn 浓度视为低晕。

3 土壤 Rn 浓度特征

3.1 统计特征

对土壤 Rn 浓度测量数据进行系统整理和校对,反复剔除测量数据中大于和小于($\mu\pm 3\sigma$)数据,统计其整体性和离散性特征。结果显示,花海盆地西部范围在 110.58~3 715 Bq/m³,主要分布在

500~2 000 Bq/m³内,平均值为 1 368.97 Bq/m³;研究区土壤 Rn 的变化系数为 1.27(大于 1),峰度为 0.40,偏度为 0.96,土壤氡浓度测量结果呈现较强的非均值性和浓集特征(图 2)。

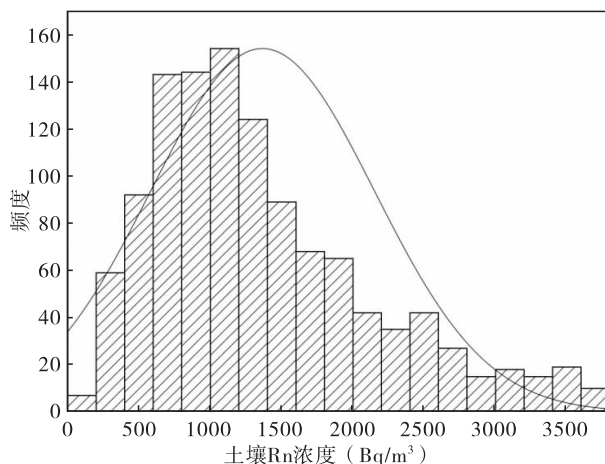
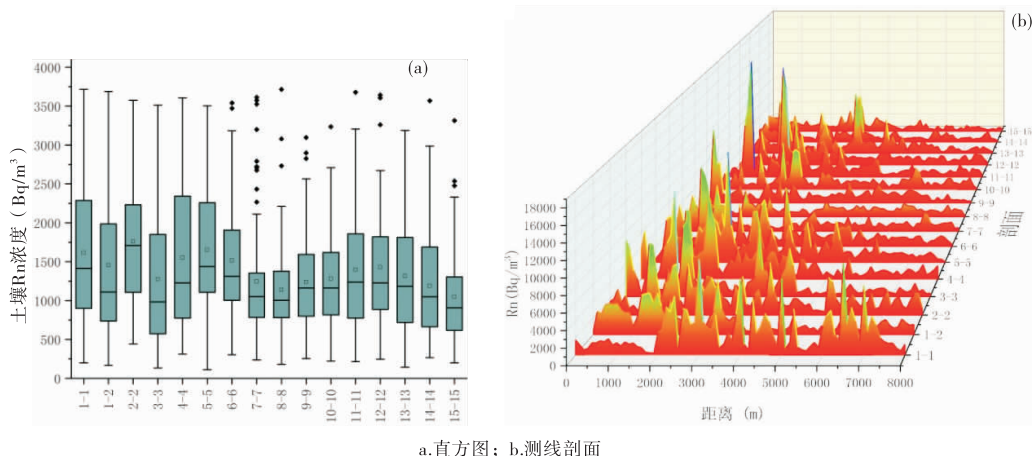


图 2 研究区土壤 Rn 浓度统计分布特征图

Fig. 2 The statistical characteristic of Rn concentration in the soil in the research area

3.2 测线数据分布特征

从图 3 来看,各测线中土壤 Rn 含量均值分布并不统一,而呈现波动变化。测线 1-1、2-2、4-4、5-5 土壤 Rn 含量平均值略高于其他测线土壤 Rn 含量平均值,测线 1-2、7-7、8-8、13-13、14-14、15-15 土壤 Rn 浓度含量较为平稳,波动范围较小。土壤氡气浓度按测线统计表明,测线西部土壤 Rn 含量较东部土壤 Rn 含量略高,但是土壤 Rn 含量变化幅度较大,非均质性较强。



a. 直方图; b. 测线剖面

图 3 研究区测线 Rn 浓度分布特征图

Fig. 3 Distribution characteristics of measuring lines in the research area

3.3 平面特征

根据土壤 Rn 浓度平面等值线图可知,研究区土壤 Rn 浓度场呈南北向团块状、零星状展布,主要分为东、西 2 个部分。研究区东部地区土壤 Rn 浓度主要为偏高-正常晕,偏高晕为 4 处;研究区西部土壤氡气浓度偏高晕为 12 处,高场晕为 5 处,约占整体 80%。

不同铀矿类型与土壤氡气浓度晕联系模式存在

差别。花岗岩、火山岩型铀矿一般在铀矿体上方形成土壤氡气浓度异常,而砂岩型铀矿土壤 Rn 的高值异常多出现在矿体两侧(李必红等,2006;刘武生等,2015)。

深部钻探 ZHK3-1 成果表明,深部砂岩型铀矿主要分布在下白垩统下沟组“泥砂复层”沉积结构,位于表层土壤氡气浓度偏高晕至正常晕过渡地(图 4、图 5)。

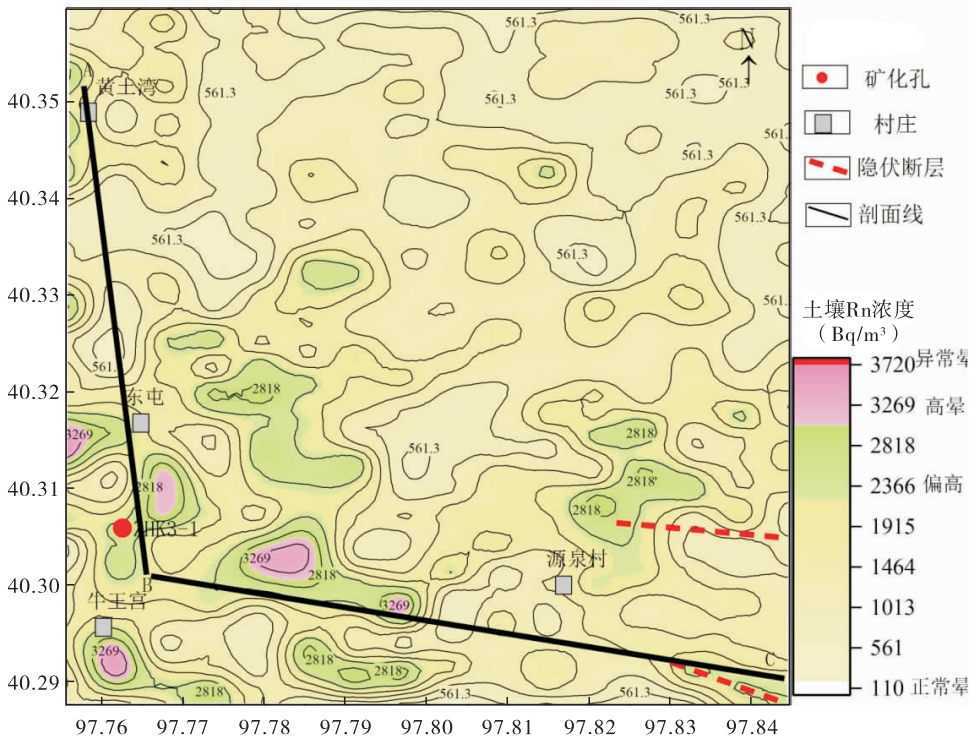


图 4 研究区浅部土壤 Rn 浓度等值线图

Fig. 4 Contour map of soil gas ²²²Rn concentration at a depth of 70 cm in the research area

4 土壤 Rn 浓度控制因素

4.1 地质构造、埋深

在正常情况下,由同一源项引起的氡浓度随地层埋藏深度增加而减少,土壤 Rn 浓度平面梯度也会减少,呈现宽缓形态。反之,随临近放射性源项距离减少,土壤 Rn 浓度异常峰值越突出。花海盆地处于不同大地构造单元的交汇部位,经历了早白垩世拉张,自新生代以来处于挤压,逐渐形成了花海凹陷和金塔隆起。研究区上覆第四系等地层埋深“自西向东、自北向南”呈现增加趋势,而土壤 Rn 浓度

呈现“自东向西,自北向南”增涨的趋势,并且在东屯—牛王宫一带出现土壤氡气异常高晕(图 4、图 5)。在土壤氡气浓度“两高夹一低”过渡地带施工的 ZHK3-1 钻孔成功发现了下伏深部下白垩统下沟组铀矿化砂岩,表明研究区西部土壤氡气异常过渡带是本区有利勘探区域。

研究区东南边缘下白垩统下沟组发育北西西向断层,致使附近岩石渗透性能增强,有利于深部地层氡气通过孔裂隙系统向地表土壤运移,并在研究区东南缘土壤中形成偏高氡晕带。但是,土壤氡气浓度异常峰值并未与下伏断层一一对应,这与本区断层位置较深存在一定的关系。

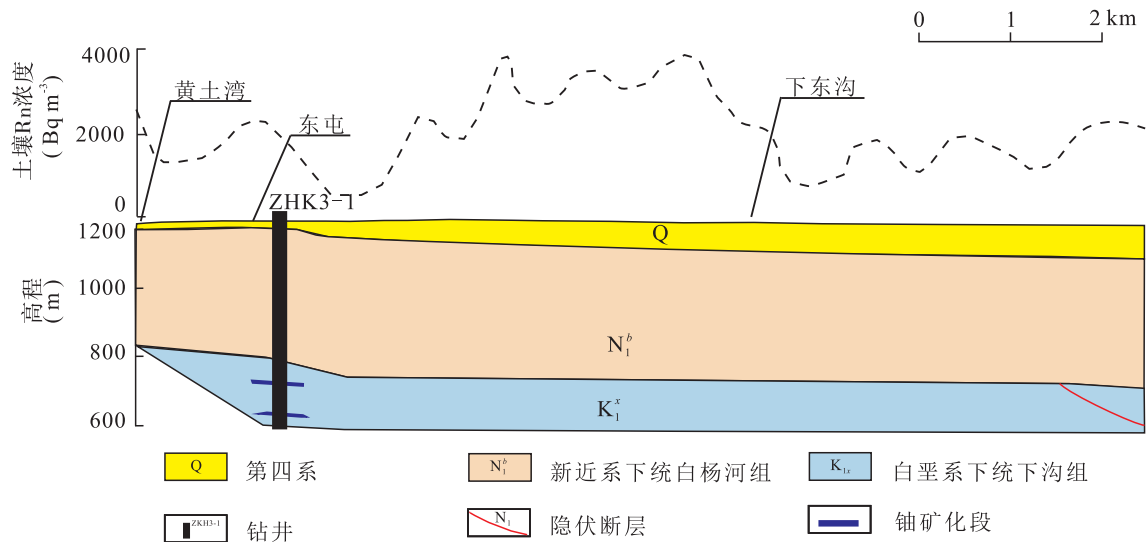


图5 研究区土壤 Rn 浓度与下伏铀矿化段、断层关系图

Fig. 5 Relationship of soil gas ^{222}Rn concentration, faults and uranium mineralization in the research area

4.2 Ra 等放射性元素

^{226}Ra 是多孔介质中 ^{222}Rn 的直接衰变母体核素, 介质中 Ra、U 等核素含量及分布与 Rn 含量、Rn 析出率密切相关。北山—祁连山一带土壤 U 含量为 $1.34 \times 10^{-6} \sim 1.71 \times 10^{-6}$ (任天祥等, 2004), 而研究区土壤中 U 含量为 $3.39 \times 10^{-6} \sim 5.86 \times 10^{-6}$, 高于北山—祁连山一带土壤中 U 背景含量。研究区浅层土壤中 Ra 含量为 74~329 Bq/kg, 低于《铀矿冶设施退役环境管理技术规定》(GB 14586—93) 中“15 cm 厚度土层以下的平均值为 560 Bq/kg”限值(表 1)。

表 1 花海盆地土壤 U、Ra 元素含量汇总表

Tab. 1 Summary of U and Ra contents in the soil of Huahai basin

样品采集地	U(10^{-6})	Ra(Bq/kg)	来源
S ₁	4.20	329	
S ₂	5.86	94	
S ₃	3.39	75	
S ₄	4.98	74	
U ^{ZHK3-1}	90.86	—	
北山	1.34	—	任天祥等,(2004)
祁连山	1.71	—	任天祥等,(2004)
中国地壳平均值	2.45	—	

ZHK3-1 钻孔在下白垩统下沟组砂岩(K_1x)

中发现了明显的放射性异常段和铀矿化层, U 元素含量平均值为 91×10^{-6} , 显著高于浅层中国土壤和地壳 U 元素含量, 表明研究区土壤氡气浓度异常受深部富集放射性元素影响可能性较高。

4.3 温度

一般来说, 氡气主要以气态赋存在岩石或者多孔介质的孔隙、裂缝中。当环境温度升高, 岩石等对 Rn 的吸附能力降低, 使氡射气系数增大。蔡梓麒等(2018)发现当温度不超过 60°C 时, Rn 析出率与温度呈现良好的正线性关系。花海盆地现今地温梯度一般不超过 $3.00^\circ\text{C}/100\text{m}$, 大地热流值在 $50\text{mW}/\text{m}^2$ 左右, 未出现异常地热迹象。在研究区野外土壤氡气浓度测量期间, 花海地区气象温度在 $25 \sim 35^\circ\text{C}$, 平均值为 30°C , 近地表 70cm 土壤温度在 $25 \sim 45^\circ\text{C}$ 。但是, 研究区土壤氡气浓度与土壤温度关系离散, 并未呈现线性变化趋势(图 6)。因此, 温度对研究区的土壤中 Rn 浓度分布影响有限。

5 结论

(1) 花海盆地西部范围在 $110.58 \sim 3715\text{Bq}/\text{m}^3$, 主要分布在 $500 \sim 2000\text{Bq}/\text{m}^3$ 内; 土壤 Rn 浓度变化系数为 1.27(大于 1), 峰度为 0.40, 偏度为 0.96, 土壤 Rn 浓度测量结果呈现显著的非均值性和浓集特征。

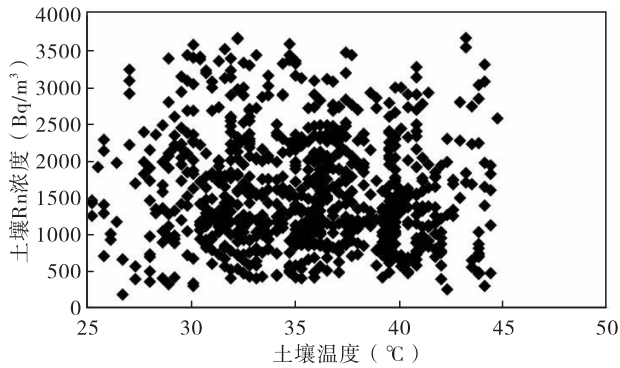


图6 研究区气温变化曲线图

Fig.6 Variation of temperature in the research area

(2)研究区 Rn 异常区域主要分为东西 2 个部分,高场晕为 5 处,偏高场共 16 处。研究区 Rn 浓度分布呈现多种因素控制,东南缘 Rn 浓度分布在一定程度上受到下伏断层的影响,而西南部主要 Rn 异常区受下伏放射性矿化段影响的可能性较高。

(3)研究区施工的 ZKH3-1 井成果显示,下白垩统下沟组是该地区铀矿化异常目的层,建议在 ZKH3-1 井附近南部土壤 Rn 异常区域追索铀矿化带,寻找有利靶区。

参考文献(References):

孟凡兴, 聂斌, 邱崇涛, 等. 综合物探测量在鹿井红盆地区铀矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2016, 40(1): 21-26.

MENG Fanxing, NIE Bin, QIU Chongtao, et al. The application of comprehensive geophysical method to uranium exploration in Lujing Red Basin[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(1): 21-26.

夏毓亮, 林锦荣, 刘汉彬, 等. 中国北方主要产铀盆地砂岩型铀矿成矿年代学研究[J]. 铀矿地质, 2003, 19(3): 129-136, 160.

XIA Yuliang, LIN Jinrong, LIU Hanbin, et al. Research on geochronology of sandstone-hosted uranium ore-formation in major uranium-productive basins, northern China [J]. Uranium Geology, 2003, 19(3): 129-136, 160.

聂逢君, 张成勇, 姜美珠, 等. 吐哈盆地西南缘地区砂岩型铀矿含矿目的层沉积相与铀矿化[J]. 地球科学, 2018, 43(10): 3584-3602.

NIE Fengjun, ZHANG Chengyong, JIANG Meizhu, et al. Relationship of Depositional Facies and Microfacies to

Uranium Mineralization in Sandstone along the Southern Margin of Turpan-Hami Basin [J]. Earth Science, 2018, 43(10): 3584-3602.

刘正义, 李西得, 赵兴齐, 等. 鄂尔多斯盆地皂火壕-纳岭沟地区铀矿含矿砂体矿物特征与成矿机理探讨[J]. 西北地质, 2017, 50(2): 191-206.

LIU Zhengyi, LI Xide, ZHAO Xingqi, et al. Discussion on Metallogenic Mechanism and Mineral Characteristics of Ore-bearing Sandstone from the Zaohuohao-Nalinggou Uranium Deposit in Ordos Basin[J]. Northwestern Geology, 2017, 50(2): 191-206.

马晔, 吴柏林, 刘亚非, 等. 鄂尔多斯盆地 HJQ 地区砂岩型铀矿铀赋存状态研究[J]. 西北地质, 2013, 46(2): 141-152.

MA Ye, WU Bolin, LIU Yafei, et al. Study on Uranium Occurrence State of Sandstone-Type Uranium Deposits in HJQ Region, Ordos Basin[J]. Northwestern Geology, 2013, 46(2): 141-152.

曹惠锋, 刘厚宁, 杜鹏, 等. 鄂尔多斯盆地南缘双龙铀矿床地质特征及铀矿物类型探析[J]. 地质科技情报, 2018, 37(5): 148-153.

CAO Huifeng, LIU Houning, DU Peng, et al. Characteristics of Shuanglong Uranium Deposit and the Types of Uranium Mineral in the Southern Margin of Ordos Basin [J]. Geological Science and Technology Information, 2018, 37(5): 148-153.

罗晶晶, 李艳青, 庞康, 等. 鄂尔多斯盆地大营砂岩型铀矿古层间氧化带地球化学特征[J]. 铀矿地质, 2018, 34(5): 280-287.

LUO Jingjing, LI Yanqing, PANG Kang, et al. Geochemical Characteristics of Paleo-interlayer Oxidation Zone in Daying Uranium Deposit in Ordos Basin[J]. Uranium Geology, 2018, 34(5): 280-287.

柳益群, 冯乔, 杨仁超, 等. 鄂尔多斯盆地东胜地区砂岩型铀矿成因探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 761-767.

LIU Yiqun, FENG Qiao, YANG Renchao, et al. Discussion on Genesis of Sandstone-Type Uranium Deposits in Dongsheng Area, Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 761-767.

刘华健, 金若时, 李建国, 等. 松辽盆地北部含铀岩系沉积物源及铀源分析研究进展[J]. 地质调查与研究, 2017, 40(4): 281-289.

LIU Huajian, JIN Ruoshi, LI Jianguo, et al. Advance in research for sedimentary and uranium source analysis of the uranium-bearing series in northern Songliao basin [J]. Geological Survey and Research, 2017, 40(4): 281-

- 289.
- 钟延秋. 大庆长垣构造演化特征及对砂岩型铀矿成矿的控制作用[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2012, 35(4): 315-321.
- ZHONG Yanqiu. Tectonic Evolution and Control Effect on Sandstone-Type Uranium Mineralization in Changqi Placantieline[J]. Journal of East China Institute of Technology(Natural Science Edition), 2012, 35(4): 315-321.
- 姜涛, 刘国安, 吴建勇, 等. 粤北某铀矿勘查区深部铀矿找矿潜力分析[J]. 地质与勘探, 2018, 54(1): 52-58.
- JIANG Tao, LIU Guoan, WU Jianyong, et al. Analysis of Prospecting Potential of Deep Uranium Deposits in an Uranium Exploration Area of North Guangdong Province[J]. Geology and Exploration, 2018, 54(1): 52-58.
- 郭白银, 陈祖伊, 刘红旭, 等. 北山-走廊地区中-新生代构造演化及盆地产铀远景评价[J]. 铀矿地质, 2006, 22(6): 321-327, 335.
- GUO Qingyin, CHEN Zuyi, LIU Hongxu, et al. Meso-Cenozoic tectonic evolution and uranium potential evaluations of basins in Beishan-Gansu Corridor region[J]. Uranium Geology, 2006, 22(6): 321-327, 335.
- 高雄雄, 罗群, 姚立邈, 等. 源储组合特征对花海凹陷致密油成藏的影响[J]. 特种油气藏, 2016, 23(2): 55-58.
- GAO Xiongxiang, LUO Qun, YAO Limiao, et al. The Effect of Source -Reservoir Combinations on Tight Oil Accumulation in Huahai Depression[J]. Special Oil and Gas Reservoir, 2016, 23(2): 55-58.
- 门相勇, 王智谔. 花海凹陷白垩系含油气系统勘探潜力评价[J]. 中国石油勘探, 2005, 10(3): 26-29.
- MEN Xiangyong, WANG Zhiye. Potential Evaluation of Exploration in Cretaceous Petroleum System in Huahai Sag[J]. China Petroleum Exploration, 2005, 10(3): 26-29.
- 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.
- LIU Wusheng, LI Bihong, SHI Qingping, 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.
- 王浩锋, 刘波, 陈霜, 等. 相关分析在二连盆地艾勒格庙地区²¹⁰Po异常解释中的应用[J]. 物探与化探, 2018, 42(6): 1166-1172.
- WANG Haofeng, LIU Bo, CHEN Shuang, et al. The application of correlation analysis to the ²¹⁰Po anomaly interpretation in Ailegemiao area of Erlian Basin[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(6): 1166-1172.
- 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.
- LIU Wusheng, LI Bihong, SHI Qingping, 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.
- 李必红, 双娜, 刘庆成. 有限差分算法求解砂岩型铀矿体氡气场分布初探[J]. 东华理工学院学报, 2006, 29(4): 311-313.
- LI Bihong, SHUANG Na, LIU Qincheng. Preliminary Research on Finite Difference Method to Solve Radon Field Distribution over Sandstone-type Uranium Ore Body [J]. Journal of East China Institute of Technology, 2006, 29(4): 311-313.
- 任天祥, 汪明启. 中国浅表地球化学场基本特征[J]. 矿床地质, 2004, 23(S1): 41-53.
- REN Tianxiang, WANG Mingqi. Basic Characteristics of Surficial Geochemical Fields in China[J]. Mineral Deposits, 2004, 23(S1): 41-53.
- 蔡梓麒, 李向阳, 雷波, 等. 低频振动对高温类铀矿岩氡析出规律的影响研究[J]. 工业安全与环保, 2018, 44(4): 22-26.
- CAI Ziqi, LI Xiangyang, LEI Bo, et al. Experimental Study on Influences of Low-frequency Vibration on Radon Exhalation from Hyperthermal Uranium-like Rock[J]. Industrial Safety and Dust Control, 2018, 44(4): 22-26.